



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy in Education

Development and Application of
Problem-Solving Based STEAM
Program for Middle School Science
and Mathematics Gifted Students

- Designing the Appropriate technology to use solar
energy based Fractal

Department of Biology Education

GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

Seon Heo

February 2021

Development and Application of Problem-Solving
Based STEAM Program for Middle School
Science and Mathematics Gifted Students

- Designing the Appropriate technology to use solar energy based Fractal

Seon Heo

(Supervised by professor Hong-Shik Oh)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for
the Degree of Doctor of Philosophy in Education

2020 . 12 .

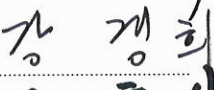
This thesis has been examined and approved.

Yongju Kwon 

Thesis director, Yong-Ju Kwon, Prof. of Biology Education

Youngshin Kim 

Kehee 

Kyunghee Kang 

Hongshik Oh 






(Name and signature)

DEC. 2020

Date

Department of Biology Education
GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

I hereby recommend that the thesis prepared by
Seon Heo
is accepted in partial fulfillment for the Degree of Doctor of
Philosophy in Education
in the Department of Biology Education

Chair of committee	김영주	
Member of committee	김영신	
Member of committee	고은희	
Member of committee	장경희	
Member of committee	오홍식	

GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

February 2021

Abstract

**Development and Application of Problem-Solving Based STEAM
Program for Middle School Science and Mathematics Gifted Students**
- Designing the Appropriate technology to use solar energy based Fractal

Heo Seon

Biology Education Major

Graduate School of Education, Jeju-National University

Jeju, Korea

Supervised by Oh Hong-Shik

Many studies show that Korean students have high performance levels in science and mathematics, but their affective characteristics such as an interest and confidence are negative. Growing a positive attitude toward science and mathematics affects their academic achievement so that is considered an important learning goal. As the world's technology is developing rapidly, there is a need to develop creative problem-solving skills and STEAM literacy in order to solve international problems.

STEAM is also important for fostering talent needed in the future, so that many prior studies about STEAM have been conducted. Among them, there have been several studies that claim STEAM is more effective when it is applied to gifted students. The goal of both gifted students' education and STEAM are related to developing their creative problem-solving and positive learning attitudes. Because gifted students are generally more creative than other ordinary students, STEAM could be more suitable for the gifted students rather than others.

There have been many studies about STEAM elements included in science and mathematics textbooks. Following the studies, it was necessary to develop problem-based STEAM activities because the goal of STEAM is to develop students'

creative problem solving. Thus the problem-solving based STEAM program was developed in this study. While solving problems, students can learn knowledge about the learning contents while improving problem-solving skills so that they foster global talent.

In this study, it was in wanting to develop problem-solving based STEAM program that converged every subject including science, mathematics, arts, and technology and home economics in order to improve the quality of STEAM. The program was organized to let students solve problems with international context. As for developing a problem-solving based STEAM program, the theme was 'Designing the appropriate technology to use solar energy based Fractal'. In science, 'plants and energy' was selected; in mathematics, 'similarity of the shape' was selected; in arts, 'expression' was selected; and in technology and home economics, 'utilization of technology' was selected. The purpose of the study was to find out if the program had an effect on developing the scientific attitude, mathematical attitude, creative problem solving, and STEAM literacy of middle school science and mathematics gifted students. To this end, the research problems were established as follows:

First, How does the problem-solving based STEAM program for science and mathematics gifted students work?

Second, How does the developed program affect scientific attitude, mathematical attitude, creative problem solving, and STEAM literacy of middle school science and mathematics gifted students?

For this, a problem-solving based STEAM program that converged science, mathematics, arts, technology and home economics was developed. This program was based on solving international contextual problems. After developing the program, the research groups were selected and the program applied in order to find out the effect of the program on their scientific attitude, mathematical attitude, creative problem solving, and STEAM literacy. The study was conducted on forty students in two classes of gifted students at A Middle School, which were equally secured through a

pre-questionnaire. The developed program was applied to a class of the experimental group, and the unconverted mathematics program was applied to a class of the comparison group. Each of the two groups conducted 10 classes and wrote down a post-questionnaire in order to compare and analyze the results. In addition, qualitative data were obtained by collecting students' class-materials that they wrote in the class and doing surveys and interview with experimental groups.

Analyzing post-questionnaire, review and interview, it was found that the STEAM program affected all the affective characteristics. The scientific attitude was significant by a significance level $t = -5.032$, $***p < .001$. The mathematical attitude was significant by a significance level $t = -3.015$, $**p < .01$. The creative problem solving was significant by a significance level $t = -2.256$, $*p < .030$. The STEAM literacy was significant by a significance level $t = -6.753$, $***p < .001$. In STEAM satisfaction research, the average score was 4.53/5, it means most of the students were satisfied with the program.

There were few studies which developed a STEAM program based on solving problems, and none of those were converged every STEAM elements, nor did they examine the theme or context of presented problems. It is differentiated with other studies because most of prior studies about development and application of STEAM program were not based on problem-based learning (PBL).

The results of this study are expected to have significant implications for developing and applying various STEAM programs. It was revealed that a problem-solving based STEAM program could be converged well with every STEAM element. Also, it was found that a problem-solving based STEAM program could be converged well by transdisciplinary integration and dealt with international contextual problems. It is expected that this study will help to develop and conduct post STEAM programs.

key-word: STEAM, PBL, Problem-Solving Based STEAM, science and mathematics gifted students, scientific attitude, mathematical attitude, creative problem-solving skills, STEAM literacy

List of Contents

I. Introduction	1
1. Necessity and Purpose of the Research	1
2. Research problems	5
3. Definition of terms	5
A. STEAM	5
B. Problem-Based Learning (PBL)	6
C. Problem-Solving Based STEAM	6
D. Science and Mathematics gifted students	6
E. Scientific attitude	6
F. Mathematical attitude	6
G. Creative problem skills	7
H. STEAM literacy	7
II. Theoretical Background	8
1. STEAM	8
A. Theoretical model of STEAM	10
B. Design of STEAM	17
2. The 2015 revised curriculum	19
A. Science curriculum	21
B. Mathematics curriculum	21
C. Arts curriculum	22
D. Technology and home economics curriculum	23
3. Problem-Based Learning (PBL)	25
A. Principles of problem-based learning	26
B. Learning process of problem-based learning	27
III. Methods	31
1. Procedures	31

2. Development of Problem-Solving Based STEAM program	32
A. Program development model	32
B. Development of the draft of STEAM program	35
C. Validation of STEAM program experts	40
D. Revision of STEAM program	43
3. Application of Problem-Solving Based STEAM program	49
A. Participants	49
B. Design of research	50
C. Research tools	51
D. Data analysis methods	55
IV. Results	56
1. Development of Problem-Solving Based STEAM program	56
2. Application of Problem-Solving Based STEAM program	77
A. The results of pre-test	77
B. The post-test results of scientific attitude test	79
C. The post-test results of mathematical attitude test	83
D. The post-test results of creative problem-solving skills test	86
E. The post-test results of STEAM literacy test	89
F. The results of STEAM satisfaction survey	91
3. Students' Response to Problem-Solving Based STEAM classes	93
A. Response related to scientific attitude and mathematical attitude	93
B. Response related to problem-solving skills	94
C. Response related to STEAM literacy	95
D. Response related to design creative output	98
V. Conclusion & Implication	104
1. Conclusion	104
2. Implication	109
References	113
Abstract in Korean	131
Appendix	134

List of Tables

Table 1.	Each meaning of elements of STEAM	9
Table 2.	Capabilities of each STEAM element emphasized by subjects ..	15
Table 3.	Draft of STEAM program from 1 st to 5 th periods	38
Table 4.	Draft of STEAM program from 6 th to 10 th periods	39
Table 5.	The results of validity test from expert panel	41
Table 6.	Revised STEAM program from 1 st to 5 th periods	47
Table 7.	Revised STEAM program from 6 th to 10 th periods	48
Table 8.	Questions composition by elements of scientific attitude	52
Table 9.	Questions composition by elements of mathematical attitude	52
Table 10.	Questions composition by elements of creative problem solving	53
Table 11.	Questions composition by elements of STEAM literacy	54

Table 12.	Final STEAM program 1 st period	56
Table 13.	Final STEAM program 2 nd period	58
Table 14.	Final STEAM program 3 rd period	62
Table 15.	Final STEAM program 4 th period	64
Table 16.	Final STEAM program 5 th period	66
Table 17.	Final STEAM program 6 th period	69
Table 18.	Final STEAM program 7 th period	73
Table 19.	Final STEAM program 8 th to 10 th period	76
Table 20.	Comparison of pre-test results between experimental and comparative groups	78
Table 21.	Comparison of post-test by scientific attitude from experimental and comparative groups	79
Table 22.	Comparison of post-test by mathematical attitude from experimental and comparative groups	83
Table 23.	Comparison of post-test by creative problem-solving skills from experimental and comparative groups	86
Table 24.	Comparison of post-test by STEAM literacy from experimental and comparative groups	89
Table 25.	Satisfaction survey result of STEAM program	92

List of Figures

Fig. 1. A pyramid model of STEAM	10
Fig. 2. A cubic model of STEAM	12
Fig. 3. Classification according to the convergence of subjects on X axis	12
Fig. 4. Classification according to the school level on Y axis	13
Fig. 5. Classification according to the element of convergence on Z axis	13
Fig. 6. An Ewha-STEAM model	14
Fig. 7. Three STEAM elements	16
Fig. 8. The main contents of the 2015 revised curriculum	20
Fig. 9. The achievement criteria in ‘plants and energy’	21
Fig. 10. The achievement criteria in ‘similarity of shapes’	22
Fig. 11. The achievement criteria in ‘expression’	23
Fig. 12. The achievement criteria in ‘utilization of technology’	24
Fig. 13. Problem-based learning process by Barrow(1994)	28
Fig. 14. Problem-based learning process by Yoon(2006)	29
Fig. 15. Research procedure	31
Fig. 16. Criteria for achievement of STEAM program by subjects	37
Fig. 17. Profile of experts panel	41
Fig. 18. Draft of STEAM program material 1	44
Fig. 19. Revised STEAM program material 1	44
Fig. 20. Draft of STEAM program material 2	45
Fig. 21. Revised STEAM program material 2	46
Fig. 22. Revised STEAM program material 3	47

Fig. 23. Research design	51
Fig. 24. Worksheet material of final STEAM program 1	58
Fig. 25. PPT material of final STEAM program 1	60
Fig. 26. PPT material of final STEAM program 2	61
Fig. 27. Worksheet material of final STEAM program 2	63
Fig. 28. Worksheet material of final STEAM program 3	66
Fig. 29. Worksheet material of final STEAM program 4	68
Fig. 30. Worksheet material of final STEAM program 5	68
Fig. 31. Worksheet material of final STEAM program 6	70
Fig. 32. PPT material of final STEAM program 3	71
Fig. 33. Worksheet material of final STEAM program 7	72
Fig. 34. Worksheet material of final STEAM program 8	74
Fig. 35. PPT material of final STEAM program 4	75
Fig. 36. Content of Worksheet material written by student 1	94
Fig. 37. Content of Worksheet material written by student 2	95
Fig. 38. Content of Worksheet material written by student 3	96
Fig. 39. Content of Worksheet material written by student 4	97
Fig. 40. Content of Worksheet material written by student 5	98
Fig. 41. Content of Worksheet material written by student 6	99
Fig. 42. Content of Worksheet material written by student 7	101
Fig. 43. Content of Worksheet material written by student 8	102
Fig. 44. Content of Worksheet material written by student 9	103

I . Introduction

1. Necessity and Purpose of the Research

Nowadays, many countries around the world think that studying science and mathematics is very important. By the way, the scientific and mathematical attitude of Korean students is still negative. In the Programme for International Student Assessment (PISA) 2018 studies, Korean students' science and mathematics cognitive achievement showed a high level. Their cognitive achievement of science placed 3rd - 5th and the cognitive achievement of mathematics placed 1st - 4th among 37 countries in the OECD. Also their cognitive achievement of science placed 6th - 10th and the cognitive achievement of mathematics placed 5th - 9th among every 79 countries (MOE, 2019).

Korea has participated in PISA since 2000 and has maintained an excellent level, but students' interest and confidence in science and mathematics showed relatively low levels (KICE, 2017; Yoo & Oh, 2019). In the International Mathematics and Science Study (TIMSS) 2015 studies, the Korean students' science confidence placed 27th among 29 countries in the OECD and mathematics confidence placed 35th among 39 countries in the OECD. Their science confidence placed 29th among 29 countries in the OECD and mathematics confidence placed 35th among 37 countries in the OECD (Koo & Sang, 2017).

The development of a positive science attitude affects on scientific achievement so it is an important goal of schools (Haladyna *et al.*, 1982; Dulski, 1992; MEST, 2011b; Joo *et al.*, 2011). Similarly, a positive Mathematics attitude is very important too (Townsend & Wilton, 2003; An *et al.*, 2011; Smith *et al.*, 2014; An, 2018). The aim of STEAM is to spread a

positive perception of studying of science and mathematics, and to foster global talent that leads future intelligent society through a comprehensive plan of STEAM Education (MOE, 2020). To this end, it was emphasized that classes based on close connections and convergence among various subjects should be held.

Many countries around the world emphasized convergence education in order to foster creative talent required by future societies (Matthews, 2007; Hudson, Chandra, 2010). Today's diverse and complex social problems – such as global warming, acid rain, and destruction of rainforest – should be solved by taking into account the future of the earth, climate, environment, and scientific technology (Kwon & An, 2012; Lim, 2013). Because convergence thinking is necessary when students explore the themes related to global issues, STEAM is important. So many education experts around the world emphasized the necessity of STEAM (Kim & Kim, 2002). In Korea, STEAM has been considered as a major policy task to foster future talent (Friedman, 2002; MEST, 2011a; Yoo & Kwon, 2020).

STEAM means the education enhanced creative problem-solving skills and STEAM literacy by converging Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics (Yakman, 2006). STEAM in schools has been conducted by converging each theme of various subjects based on situations related to real life (Kim & Kim, 2002; Kim *et al.*, 2012). Because STEAM is so important, there are many prior studies such as those related to theoretical background (Yakman, 2008; Moomaw, 2010; Kim, 2011; KOFAC, 2011; Kim *et al.*, 2012; Dejamette, 2012); studies related to development and application of the program (Kim *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2014; Kim, 2015; Cho, 2017); and studies related to gifted students (Jeon *et al.*, 2015; Moon *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 2016).

Many STEAM studies related to gifted students suggested that STEAM is more appropriate for gifted students than ordinary students (Kang & Seo,

2013; Tae, 2014; Yang & Yoo, 2017). By converging each subject in order to solve many problems, gifted students can grow into creative and scientific talent (Maeng, 2013). Gifted students prefer in-depth exploration and tend to effectively develop their creativity compared to ordinary students (James *et al.*, 2008; Ryu, 2009). For this reason, developing creative problem-solving skills and positive attitude toward the subjects, which are considered the most important goal of gifted students' education are in line with the goal of STEAM education (Koo *et al.*, 1999; Seo, 2002). The necessity of STEAM is increasing for gifted students in order to develop their creative and convergence thinking (Tae, 2011; Kim, 2012). Many teachers believe that applying STEAM to gifted students' education is necessary because STEAM has a huge effect on gifted classes (Seo & Maeng, 2016).

The 2015 revised curriculum is aimed to support students who could create new values by converging various knowledge with humanistic imagination, and scientific and technological creativity (MOE, 2015). In order for STEAM to take place effectively in schools, STEAM elements have to be reflected enough in textbooks that are actually used in classes. Therefore, there are many prior studies on STEAM elements included in science textbooks (Cho *et al.*, 2011; Bok & jang, 2012; Hong & Park, 2014; Kim & Jung, 2019; Heo & Oh, 2020a) and mathematics textbooks (Kim, 2014a; Ryu, 2015; Ryu, 2016; Ban, 2018).

However, there were only 23.3% of problem-based activities in the 2015 revised middle school science ② textbook (Heo & Oh, 2020a). In STEAM classes, students can gain interest and motivation to study science by recognizing the necessity of problem-solving and looking for problem-solving methods (Baek *et al.*, 2012b). Since the goal of both STEAM and Problem-Based Learning (PBL) are to creatively solve various problems in real life, STEAM can be better to associate with problem-based learning (Lee, 2015b; Lee & Sim, 2019). Thus, one of the purposes of this study was

to find out how the STEAM program based on solving problems affects students' problem-solving skills. For this reason, development of a problem-solving based STEAM program that focus on problem-solving rather than the problem itself was wanted.

By the way, the more subjects that are converged, the higher the level of STEAM got so the development of STEAM program converging lots of subjects is needed (Bybee, 2010; Sanders, 2011; Kim, 2014b). There were relatively few studies converging all STEAM elements among studies related to the development of the STEAM program (Kim, 2015; Oh, 2015; Bae, 2017; Kang, 2018a; Kang, 2018b). However, none of these studies suggested to teach each content in all STEAM element. It only included each STEAM element as activities such as drawing pictures or creating something related to the theme. In order for the level of STEAM to improve, it is necessary to deal with each content in various subjects directly (Boy, 2013; Kuhn, 2015; Oner, 2016).

In the 2015 revised middle school science ② textbook, international contextual activities accounted for only 23.3%. So it was necessary to develop a STEAM program that included this factor (Heo & Oh, 2020a). In modern society, global problems are still being solved, and STEAM with an international context is needed to do so (Kwon, 2012; Moon *et al.*, 2012). By conducting STEAM activities with international context, students can understand what they need to solve global problems.

This study wanted to develop a problem-solving based STEAM program that directly includes learning the contents of each subject in all STEAM elements. In order to maximize the effectiveness of the STEAM program, the study targeted science and mathematics gifted students. Following the revised 2015 curriculum, the program was made by converging Science, Mathematics, Arts, and Technology and Home Economics to teach to middle school 2nd grade students.

There was no problem-solving based STEAM program dealt with international contextual problems. It is also different from other prior studies because none of those dealt with every subject in STEAM elements. Since this program converged every learning content from four subjects, it could make the level of STEAM higher (Drake, 1988; Fogarty, 1991; Drake, 2007). As this study developed problem-solving based STEAM activities dealt with international contextual contents in every STEAM element, it is expected to have a great effect on improving students' various competencies.

2. Research problems

This study aimed to develop a STEAM program in order to improve students' scientific attitude, mathematical attitude, creative problem-solving skills, and STEAM literacy. In order to differentiate with other prior studies, the purpose of this study was to develop the problem-solving based STEAM program. Also it aimed to apply the program to students and find out the effect. To this end, the following research problems were established:

First, How does the problem-solving based STEAM program for science and mathematics gifted students work?

Second, How does the developed program affect scientific attitude, mathematical attitude, creative problem solving, and STEAM literacy of middle school science and mathematics gifted students?

3. Definition of terms

A. STEAM

STEAM is an education that improves creative problem-solving skills by converging learning contents and course in two or more subjects among Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics (Sanders, 2009; Yakman, 2010).

B. Problem-Based Learning (PBL)

Problem-Based Learning refers to the learning method in which problems lead learning. In this method, the problem is included with meaningful and practical situation that students can be experienced around their lives (Park & Woo, 2017; Jang, 2019).

C. Problem-Solving Based STEAM

Problem-Solving Based STEAM is defined in this study as the STEAM education focused on problem-based learning (PBL). It makes students to develop various competencies including problem-solving skills by solving meaningful and practical problems converged different subjects.

D. Science and Mathematics gifted students

Gifted students are talented people who needs a special education to develop their natural potential (Renzulli *et al.*, 1976). In this study, science and mathematics gifted students refer to both science gifted students and mathematics gifted students, with more than an average level of knowledge and talent related to science and mathematics.

E. Scientific attitude

Scientific attitude means a special form of behavior that is taken by solving problems or evaluating ideas with a habit of thinking scientifically (Gauld, 1982; Yoo, 1999).

F. Mathematical attitude

Mathematical attitude refers to the general and emotional tendency toward mathematics, and means a special form of behavior that is taken with a habit of thinking mathematically (Kennedy & Tipps, 2000; Kim, 2004).

G. Creative problem-solving skill

Creativity is a mental process associated with discovering new ideas or concepts, and building original ideas or concepts refreshingly (Guilford, 1959; Treffinger, 1996). Creative problem-solving skill refers to both creative attributes and problem-solving attributes, and it means a competency expressed through the various steps needed to solve problems creatively (Cho *et al.*, 2008).

H. STEAM literacy

Convergent talent is called a person with competencies to solve problems creatively and comprehensively by utilizing convergent knowledge (Baek *et al.*, 2011). Convergent talent should have STEAM literacy, and STEAM literacy means the competency connected 4C: Creativity, Communication, Convergence, and Caring (Baek *et al.*, 2012a).

II. Theoretical Background

1. STEAM

STEAM originated from STEM in the United States with the aim of strengthening national competitiveness by fostering talent in the field of science and technology after the Sputnik shock (Seo, 2011). STEM, which has been attracted attention in the United States, refers to education that improves creative problem-solving skills by converging Science, Technology, Engineering, and Mathematics. In Korea, STEM was introduced by suggesting the need for convergence education in the science and technology education (Kim, 2007). In the United States, STEM was focused mainly by technology teachers (Bae, 2009). STEM is a teaching and learning method that provides students with a practical and appropriate learning experience by eliminating traditional barriers separated into four subjects: science, technology, engineering, and mathematics (Vasquez *et al.*, 2013).

STEAM was suggested by converging Arts into STEM in order to converge not only the fields of science and technology, but also the arts, humanities, and social areas (Yakman, 2006). In Korea, STEM and STEAM are used as general terms that mean convergence education in science, technology, and engineering. STEM represents original science and technology education, while STEAM represents convergence education, including Arts (Baek *et al.*, 2012a; Cho *et al.*, 2012).

Convergence education is strictly different from integrated education, and integrated education is divided into various areas depending on differences in approaches to integration, forms of integration, and the way subjects are integrated (Lee & Hong, 2008). In general, integrated education refers to an approach that meaningfully organizes various areas of the curriculum by

eliminating the boundaries between different subjects (Shoemaker, 1989; Hong, 2014). In other words, integrated education is a method of education that integrates the concepts, functions, and principles of traditionally separated curriculum into an integrated whole area (Hennes, 1990; An, 2013).

Integration means physical associating with different subjects, whereas convergence means chemical associating with different subjects and creating something new (Kim, 2011; Jung, 2013). Integrated education was appeared from the result of efforts to break away from the subject-centered curriculum, while convergence education was appeared in order to foster talent who could solve problems creatively without being tied into each subjects. Thus, convergence education requires for students to converge knowledges of diferent fields in order to solve problems in creative ways (Seo, 2012).

STEAM can utilize materials in real life that students may be easily interested in by emphasizing Arts. Arts in STEAM include not only art-oriented activities such as drawing or expressing, but also the humanities and language arts, too (Yakman, 2011). STEAM can make students to improve their understanding, interest, and creativity, including arts in various subjects (Kim, 2016). It is also in line with the convergence of humanities, science, and technology in the 2015 revised curriculum proposed by MOE(2015). Each meaning of five elements in STEAM are such as Table 1. (AAAS, 1990; ITEA, 2007; Lee & No, 2011).

Table 1. Each meaning of elements of STEAM

STEAM elements	meanings
Science	Discovering and exploring the characteristics, principles, and objective laws of events in the nature.
Technology	Exploring the means and methods that are necessary to make useful products for humans in the nature.

Engineering	Designing and developing the useful products for humans by utilizing scientific and technological concepts and methods.
Arts	Pursuing the values related to human life, such as artistic behavior, humanistic communication skills, social ethics, and historical consciousness.
Mathematics	Dealing with quantities, shapes, and changes by using numbers and symbols, or inferring logically.

A. Theoretical model of STEAM

There are some theoretical models of STEAM such as a pyramid model (Yakman, 2008), a cubic model (Kim, 2011), an Ewha-STEAM model (Kim *et al.*, 2012).

1) A pyramid model

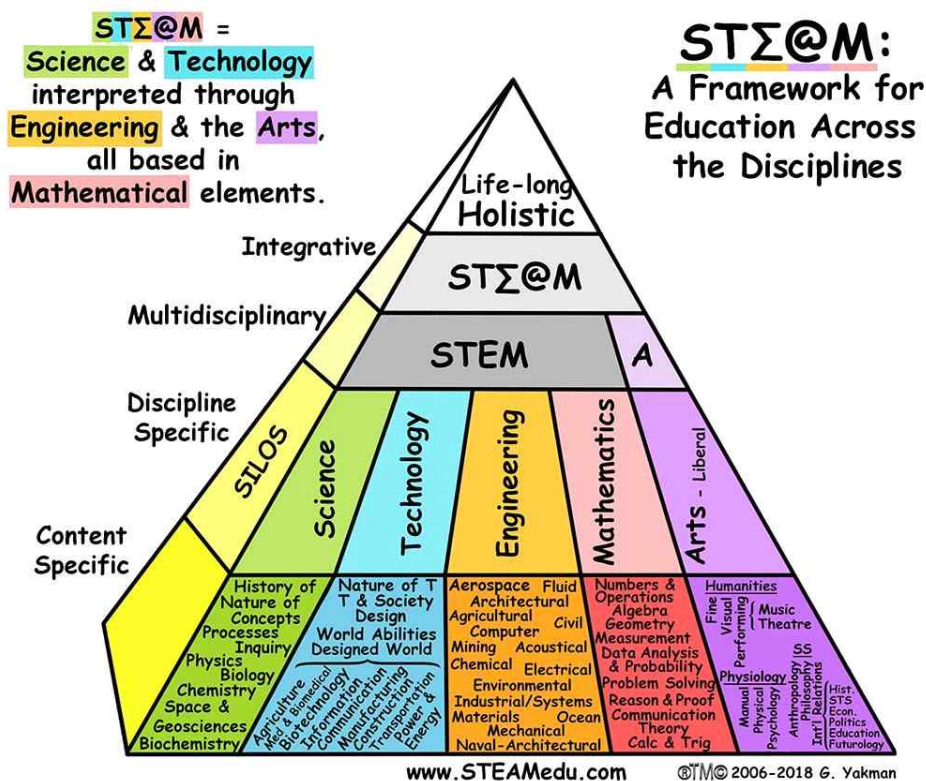


Fig. 1. A pyramid model of STEAM (Yakman, 2008).

A pyramid model was presented the concepts of STEAM as five steps, including Arts into STEM, such as Fig. 1. (Yakman, 2008).

The first step is the ‘content specific’, which is a process of learning centered specific contents in each subject. In this step, it is appropriate to cultivate the knowledge of the specific contents in each subject, and those contents are taught to students individually.

The second step is the ‘discipline specific’, which is a process of integrating the specific contents in each subject. In this step, students can learn different learning themes or principles around a theme.

The third step is ‘multidisciplinary’, which is a process of integrating different contents in each subject around specific associations. In this step, the independence of each subject is acknowledged in some measure. In particular, STEM and Arts are considered very independently.

The fourth step is ‘integrative’, which is a process of eliminating the boundaries for each subject and being conducted of STEAM. Students learn specific contents in various subjects while acquiring a basic perspective on how each content are related in real life.

The fifth step is ‘lifelong’, which is a process of adjusting environment that changes constantly in real life. The whole-person education is conducted by learning all situations that can happen unintentionally around students.

2) A cubic model

A cubic model was presented by classifying into X axis according to the convergence of subjects, Y axis according to the school level, and Z axis according to the element of convergence such as Fig. 2. (Kim, 2011).

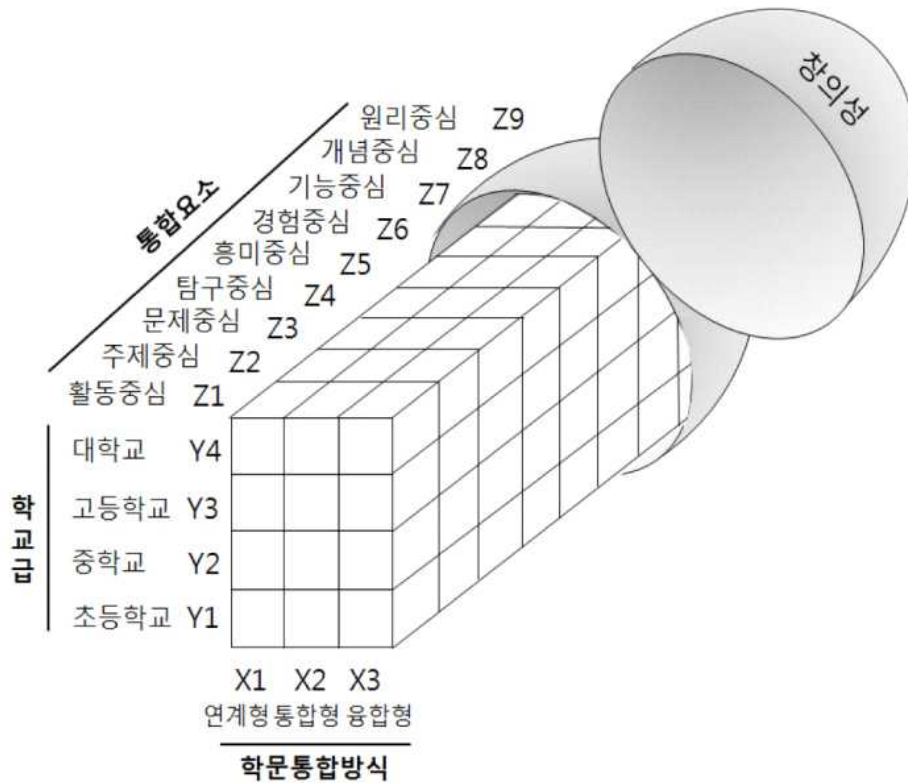


Fig. 2. A cubic model of STEAM (Kim, 2011).

First, elements of the X axis were classified as multidisciplinary integration (X1), interdisciplinary integration (X2), and transdisciplinary integration (X3) by according to the convergence of subjects such as Fig. 3. It is consistent with the classification of integrated education (Drake, 1988).

the convergence of subjects (X axis)	multidisciplinary integration (X1)	interdisciplinary integration (X2)	transdisciplinary integration (X3)
--------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------

Fig. 3. Classification according to the convergence of subjects on X axis.

Second, elements of the Y axis were classified as elementary school (Y1), middle school (Y2), high school (Y3), and university or college (Y4) by

according to the school level such as Fig. 4.

the school level (Y axis)	elementary school (Y1)	middle school (Y2)	high school (Y3)	university or college (Y4)
------------------------------	---------------------------	-----------------------	---------------------	-------------------------------

Fig. 4. Classification according to the school level on Y axis.

Third, elements of the Z axis were classified as activities oriented (Z1), theme oriented (Z2), problem oriented (Z3), exploration oriented (Z4), interest oriented (Z5), experience oriented (Z6), function oriented (Z7), concepts oriented (Z8), principle oriented (Z9) by according to the element of convergence such as Fig. 5.

the element of convergence (Z axis)	activities oriented (Z1)	theme oriented (Z2)	problem oriented (Z3)
	exploration oriented (Z4)	interest oriented (Z5)	experience oriented (Z6)
	function oriented (Z7)	concepts oriented (Z8)	principle oriented (Z9)

Fig. 5. Classification according to the element of convergence on Z axis.

The cubic model is a model that lists and classifies each integration elements in X, Y, and Z axes, and surrounds it with a capsule called creativity to make an environment that can grow it.

3) An Ewha-STEAM model

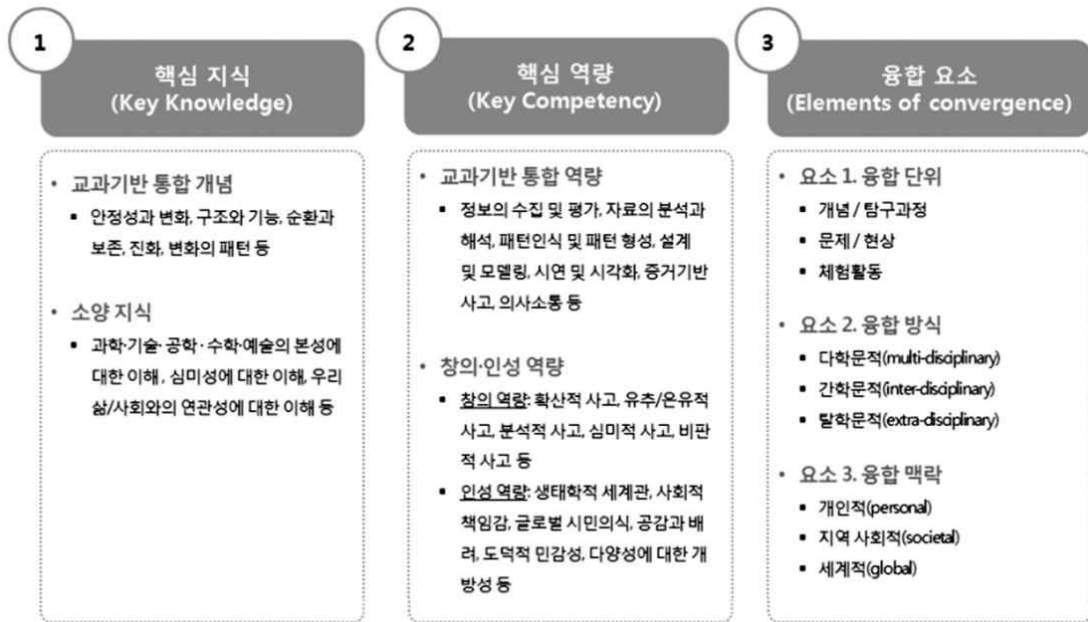


Fig. 6. An Ewha-STEAM model (Kim *et al.*, 2012).

An Ewha-STEAM model was presented by using three convergence factors that teachers in fields or curriculum developers should consider in actually planning and operating STEAM according to the element of convergence such as Fig. 6. (Kim *et al.*, 2012).

First, key knowledge refers to the basic knowledge that creative and convergent talents should have, it is divided into the concepts of integration based on the curriculum and knowledge of accomplishments. By understanding the concepts of integration based on the curriculum, students can explain the surrounding phenomena or understand how these relate to various other phenomena. It is necessary to consider the concepts of integration of subjects that can extend within each subject to other subjects. Knowledge of accomplishments refers to knowledge as accomplishments to converge more essentially different subjects. In modern society, knowledge is constantly changing so it is difficult to have all the expertise in each STEAM element. Therefore, by having knowledge of the accomplishments that links each content in various subjects, it is possible to transfer learning

contents to other contents in different subjects.

Second, key competency is divided into curriculum-based integration capabilities, and creative and personal capabilities. Curriculum-based integration capabilities refer to the competencies to solve problems by transferring knowledge on each subject into various subjects. Capabilities of each STEAM element emphasized by subjects are such as Table 2.

Table 2. Capabilities of each STEAM element emphasized by subjects

STEAM elements	Capabilities
Science	Observation, classification, prediction, reasoning, measurement, problem perception, problem solving skills
Technology	Exploration of principles and processes, improvement of systems, optimization, upgradation of means and methods, production and evaluation
Engineering	Demand survey, design, modeling, prototyping, testing, and feedback
Arts	Ideas, conception, selection of materials and tools, application, production, and expression
Mathematics	Inference, calculation, pattern, theorization, relationship, symbolization, measurement

capabilities of Creativity and personality should include factors about personality that should be equipped with creative and convergent talents who will lead the future society. These capabilities include the skills of recognizing the potential of convergence, the skills of accepting diversity, the skills of pursuing sustainable development.

At third, STEAM elements include three factors, which refer to practical guidance in developing STEAM program, such as Fig. 7. The unit of convergence contains factors that should consider as operating STEAM

curriculum in the school. The most basic unit is ‘concept / exploration (A1)’, which refers to the way in which various subjects are converged by common concepts or processes of exploration. The next unit is ‘problem / phenomenon (A2)’, which refers to the way in which various subjects are converged to solve the problems in the real life or deal with scientific, technological, engineering, and artistic phenomena. The last unit is ‘experience activities (A3)’ refers to activities where various problems or phenomena are complexly embedded.

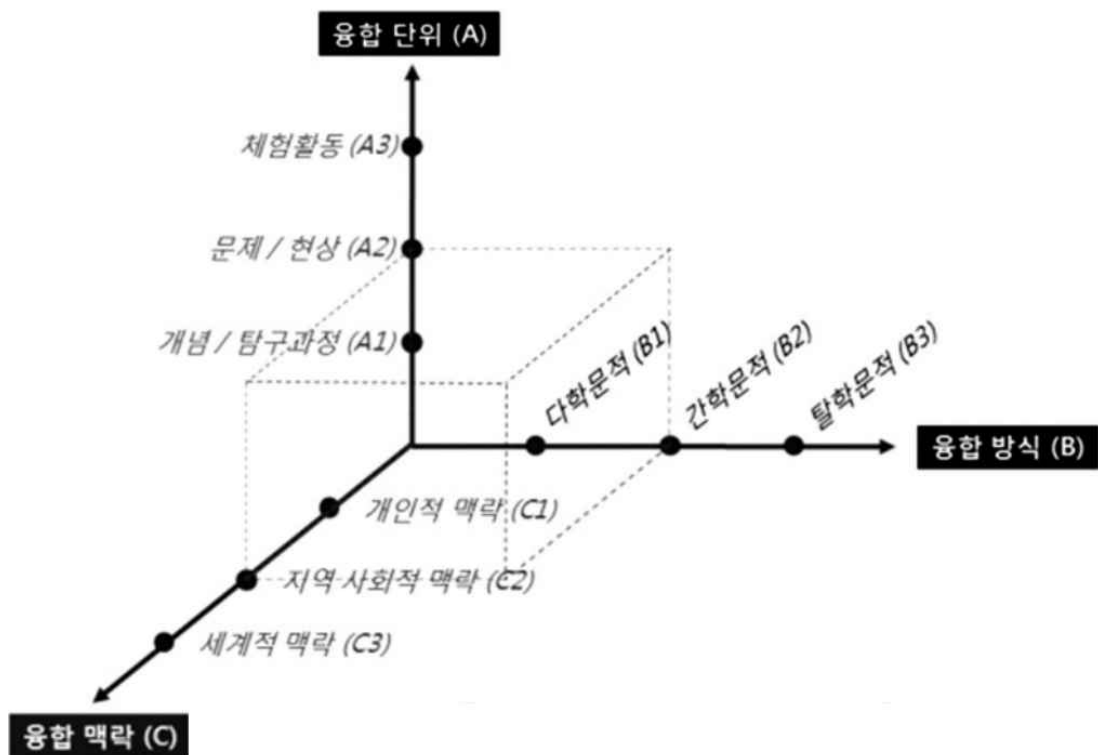


Fig. 7. Three STEAM elements (Kim, 2011).

The way of convergence is about how to converge different areas of various subjects, it is divided into three steps by the classification (Drake, 1988). ‘Multidisciplinary convergence (B1)’ is the most passive form, by placing different subjects around a subject and allowing them to interact.

‘Interdisciplinary convergence (B2)’ is a way in which certain subjects are not centered, but concepts, methods, and procedures of various subjects are freely used to solve the problems. ‘Transdisciplinary convergence (B3)’ is the most active form, by eliminating the boundaries of each subject and converging into new subject areas.

STEAM could be the best way for students to learn academic concepts of science, technology, engineering, arts, and mathematics with contextual meanings. ‘Personal context (C1)’ refers to convergence centered on the contents and capabilities needed in the personal learning and the context of the life. ‘Local and social context (C2)’ refers to convergence centered on the learning contents, issues, and competencies required at the local and social level. It is aimed to develop various capabilities as fostering leader of the local community. ‘Global context (C3)’ refers to convergence centered on the learning contents, issues, and competencies required at the global level. It is aimed to foster capabilities as a leader of the global society.

B. Design of STEAM

It was claimed that STEAM in Korea has distinctly different background, motivation, educational environment, and conditions with STEAM in developed countries including the United States. Therefore, it is necessary 4C-STEAM in order to appropriate in the Korea educational environment. 4C-STEAM is consisted with Creativity, Communication, Convergence, and Caring, and that pursues the improvement of the core capabilities of 4C.

First, creativity should be emphasized because Korean students have high scientific achievements, but lag behind in creativity. Students can improve their creative thinking by solving the problems in the real world through STEAM (Hennessy, 2006). Second, Communication should be emphasized in the society that requires fostering talents who can communicate and

sympathize with others. Communication skills are very important in the global information and knowledge society. Third, the knowledge and thinking of convergence are very important in modern society because it is necessary to solve complex problems. Fourth, Caring is emphasized to acquire scientific and technological ethics, and respect others.

4C-STEAM is the education to foster talent who has the knowledge of convergence to creatively and comprehensively solve problems by enhancing their understanding of convergence and procedures through ‘creative design’ and ‘emotional experience’ (Baek *et al.*, 2011).

First of all, ‘creative design’ refers to a comprehensive process in which students find the best way to solve the problems by expressing their creativity, economy, efficiency, and aesthetic in a given situation. Because various problems in the real world are complex, it is hard to claim that the problems place in an area. In the situation that requires a convergence various subjects and creative problem-solving, creative design can be said to be a comprehensive problem-solving process.

A study has shown that design-based science classes had an effect on significantly improving scientific knowledge (Fortus *et al.*, 2005). It was claimed that the design-based chemistry classes in high school improved students’ interest and understanding (Apedoe *et al.*, 2008). It was presented that the achievement of the class studied science by design-based method was twice than the achievement of the other class that did not (Mehalik *et al.*, 2008).

Second of all, ‘emotional experience’ refers to activities to feel the positive emotions about experiencing of success. In the process of learning, students can feel positive emotions such as interest, confidence, and a sense of accomplishment in learning, and it makes that their will to learn can be expressed. Students’ affective characteristics have an effect on their academic achievement as much as cognitive characteristics affect (Bloom, 1976; Marsh,

1993). Emotional experience emphasizes to improve students' affective characteristic that can be achieved by experiencing the learning situation.

Including these activities, the development of the STEAM program requires three steps: situational presentation, creative design, and emotional experience (Baek *et al.*, 2012a; Cho, 2012). Situational presentation, the first step, it has presented an intended situation related to learning theme and students' real life. In this step, students can recognize learning activities as their own problems, and it makes them to motivate. Creative design, the second step, students improve problem-solving skills by solving self-directly complex and multi-step problems. Emotional experience, the third step, students have a sense of challenge for post-learning by experiencing to create output, and feeling immersion and achievement. Through creative design and emotional experience, students can learn contents converged various subjects and grow up to the talent with skills of convergence.

In this study, The cubic model was used to develop the program. To be specific, transdisciplinary integration (X3) on the X axis, middle school (Y2) on the Y axis, and problem oriented (Z3) on the Z axis were chosen. As choosing transdisciplinary integration (X3), the purpose of this program was to present the problems related to real life beyond each curriculum. As choosing middle school (Y2), middle school curriculum was based on developing this program. As choosing problem oriented (Z3), problem-based learning (PBL) method was used to develop the program.

2. The 2015 revised curriculum

The vision of the general 2015 revised curriculum is to foster creative and convergent talent (MOE, 2015). The direction of the representative revision is the fostering balanced talents with humanities imagination, and science and

technology creativity. The biggest feature of the 2015 revised curriculum is the emphasis on core competency.

Among the core competencies emphasized in the general discussion, there are self-management, knowledge and information processing, creative thinking, aesthetic sensibility, communication, and community. In particular, creative thinking refers to the competency to create something new by utilizing knowledge, technology, and experience in various fields based on a wide range of basic knowledge.

The 2015 revised curriculum aims to foster creative and convergent talents with the right personality by cultivating core competencies required by future societies. The main contents of the curriculum are such as Fig. 8.

- 가. 인문·사회·과학기술의 기초 소양을 균형 있게 함양하며, 학생의 적성과 진로에 알맞은 선택학습을 강조한다.
- 나. 교과 핵심 개념을 중심으로 학습의 내용을 구조화하고 학습량을 적정화하여 학습의 질을 개선한다.
- 다. 교과 특성에 알맞은 학생 참여형 수업을 다양하게 활성화하여 자기 주도적 학습 능력을 기르고 학습에서의 즐거움을 경험하도록 한다.
- 라. 학습 과정을 중시하는 평가를 강조하여 학생의 자신의 학습 정도를 성찰하고 평가 결과를 활용하여 교수·학습의 질을 개선한다.
- 마. 교과의 교육 목표와 교육 내용, 교수·학습 및 평가의 일관성을 강조한다.

Fig. 8. The main contents of the 2015 revised curriculum (MOE, 2015).

In this study, the contents of science, mathematics, arts, and technology and home economics were converged for the development of STEAM program. The detailed contents of each subject converged into the program were ‘plants and energy’ in science; ‘similarity of shapes’ in mathematics; ‘expression’ in arts; and ‘utilization of technology’ in technology and home

economics.

A. Science curriculum

Science is a subject in which students improve scientific competencies to scientifically and creatively solve problems in individuals and societies by understanding scientific concepts, and cultivating scientific inquiry skills and scientific attitude. By learning science, students learn scientific knowledge and cultivate scientific accomplishments through the situations related to the experience of real life. In science, there are the core competencies of the subject, such as scientific thinking skills, scientific inquiry skills, scientific problem-solving skills, scientific communication skills, scientific participation, and lifelong learning skills.

In ‘plants and energy’, students would be curious how plants obtain energy by understanding process that plants make their own nutrients in order to get the energy needed for life activities. The achievement criteria in this part are such as Fig. 9.

[9과11-01] 식물이 생명 활동에 필요한 에너지를 얻기 위해 양분을 만드는 광합성 과정을 이해하고, 광합성에 영향을 미치는 요인을 설명할 수 있다.
[9과11-02] 광합성에 필요한 물의 이동과 증산 작용의 관계를 이해하고, 잎의 증산 작용을 광합성과 관련지어 설명할 수 있다.
[9과11-03] 식물의 호흡을 이해하고, 광합성과의 관계를 설명할 수 있다.
[9과11-04] 광합성 산물의 생성, 저장, 사용 과정을 모형으로 표현할 수 있다.

Fig. 9. The achievement criteria in ‘plants and energy’ (MOE, 2015).

B. Mathematics curriculum

Mathematics is a subject to improve rational problem-solving skills and attitude of understanding concepts, principles, and laws of mathematics. It also makes to improve several skills about acquiring functions, exploring and interpreting mathematically various phenomena of real life, and thinking logically. Mathematics has been the driving force for development of human civilization over a long history, and it provides core competencies to future societies. By utilizing the mathematical knowledge and function, students can creatively solve problems in various fields in real life, including mathematical problems. In mathematics, there are the core competencies of the subject, such as problem-solving skills, reasoning, creative and convergent skills, communication, information-processing, and attitude and practice.

In ‘similarity of shapes’, students would understand the unique properties of each shape by categorizing different shapes into several plane figures and solid figures. Understanding properties of plane and solid figures is based on solving various problems in real life, it is closely related to the concepts of various fields. The achievement criteria in this part are such as Fig. 10.

- | |
|---|
| <p>[9수04-13] 도형의 닮음의 의미와 닮은 도형의 성질을 이해한다.</p> <p>[9수04-14] 삼각형의 닮음 조건을 이해하고, 이를 이용하여 두 삼각형이 닮음인지 판별할 수 있다.</p> <p>[9수04-15] 평행선 사이의 선분의 길이의 비를 구할 수 있다.</p> |
|---|

Fig. 10. The achievement criteria in ‘similarity of shapes’ (MOE, 2015).

C. Arts curriculum

Arts is a subject about human activities that communicates with people and understands the world by visually expressing one’s thoughts and feelings. Because arts reflect and records the culture of the time, it can be understood

the past and present, and contributed further to the development of culture. Through arts activities, students can improve personalities by expressing one's thoughts and feelings, understanding one's emotions, communicating with images, and sympathizing other's thoughts and feelings. In arts, there are the core competencies of the subject, such as aesthetic sensibilities, visual communication skills, creative and convergent skills, understanding of art cultures, and self-directed learning skills of arts.

In 'expression', students would improve competencies to effectively solve various problems and design products. For this purpose, the focus is on directly exploring themes that are suitable for expressing intentions, planning the process of expression, and utilizing the shaping elements and principles that can effectively represent the characteristic of the themes. The achievement criteria in this part are such as Fig. 11.

- | |
|--|
| [9미02-01] 표현 의도에 적합한 주제를 다양한 방식으로 탐색할 수 있다. |
| [9미02-02] 주제에 적합한 표현 과정을 계획할 수 있다. |
| [9미02-03] 표현 재료와 용구, 방법의 특징을 이해하고 표현 과정을 점검할 수 있다. |
| [9미02-04] 주제의 특징과 표현 의도에 적합한 조형 요소와 원리를 탐색하여 효과적으로 표현할 수 있다. |
| [9미02-05] 표현 매체의 특징을 알고 다양한 표현 효과를 탐색할 수 있다. |
| [9미02-06] 주제와 의도에 적합한 표현 매체를 선택하여 활용할 수 있다. |

Fig. 11. The achievement criteria in 'expression' (MOE, 2015).

D. Technology and home economics curriculum

Technology and home economics have the characteristic of practical subject, which is divided and operated in the 'world of technology' and 'home

economics'. In this subject, students would be the self-directed subject of their life by solving problems faced in real life.

In 'utilization of technology', students would look at examples of solving problems by utilizing technology, in terms of adaptation, innovation, and sustainability. The achievement criteria in this part are such as Fig. 12.

- | | |
|------------|---|
| [9기가05-01] | 기술의 발달에 따른 사회, 가정, 직업의 변화를 이해하고 미래 기술 활용 및 사회의 변화에 대하여 예측한다. |
| [9기가05-02] | 가정과 사회의 변화에 따른 안전 사항에 대하여 조사하고 예방 및 대처 방안에 대하여 이해한다. |
| [9기가05-03] | 일상생활에서 사용되는 제품들이 기술적 문제 해결 과정을 통해 개발되고 발전하고 있음을 이해한다. |
| [9기가05-04] | 발명의 개념, 특징을 이해하고 발명이 사회 변화에 미친 영향을 설명한다. |
| [9기가05-05] | 특허의 개념을 이해하고 지식재산권 침해 사례를 분석하고 발표한다. |
| [9기가05-06] | 생활 속 문제를 찾아 아이디어를 구상하고 확산적·수렴적 사고 기법을 활용하여 창의적으로 해결한다. |
| [9기가05-07] | 표준의 개념과 중요성을 알고 표준화의 영향을 분석하고, 평가한다. |
| [9기가05-08] | 표준화가 되어 있지 않아 불편한 사례를 찾아 해결 방안을 탐색하고 실현하며 평가한다. |
| [9기가05-09] | 적정기술과 지속가능 발전의 의미를 이해하고 적정기술 체험 활동을 통하여 문제를 창의적으로 탐색하고 실현하고 평가한다. |

Fig. 12. The achievement criteria in 'utilization of technology' (MOE, 2015).

The 2015 revised curriculum is trying to nurture creative and convergent talents by developing students' core competencies (MOE, 2015). Because the

purpose of this curriculum is to develop both humanities imagination, and science and technology creativity, it is a suitable curriculum for STEAM education. Thus the problem-solving based STEAM program was developed following the 2015 revised curriculum in this study. The program was converged science, mathematics, arts, and technology and home economics in this curriculum. In order to teach learning contents of each subject, the problem-solving based STEAM program is dealt with meaningful and practical problems about those four subjects.

3. Problem-Based Learning (PBL)

Problem-based learning (PBL) is an educational method that improves problem-solving skills while learning basic knowledge in the process of understanding and solving the presented problems (Barrows, 1985). Problem-based learning pursues learner-centered education and emphasizes solving problems to acquire new knowledge. The problems are based on unstructured problems that reflect the context of real life or the environment around students. In the process of solving the problems in a new way, students can develop self-directed learning skills. Students solve presented problems by discussing with members or interacting dynamically through problem-based learning (Walton & Matthews, 1989; So, 2005).

Students learn the basic knowledge and concepts related to problems by solving those. For this reason, presented problems should be something that students can actually feel can freely explore on their own. Because problem-based learning pursues students' dynamic interaction, it is the most effective by conducting out in the small group activities (Barrows, 1996).

Because students set goals to solve presented problems on their own in problem-based learning, learning goals are not revealed mostly. Thus,

students set learning goals related to problems and solve problems by focusing on discussions with the small group. By solving problems, students participate in classes as active subject who collect and analyze information to solve it. The role of teachers at this time is sufficient as facilitators, not as teaching students directly how to solve problems. Students can improve self-directed learning skills by planning and implementing strategies to solve problems, and evaluating the results (So, 2005).

Problem-based learning is the teaching strategy that teaches knowledge based on the curriculum, and problem-solving skills at the same time by presenting unstructured problems in a complex context of real life (Scheiman *et al.*, 1989). Because it is necessary to present unstructural problems related to real life, integrated education is more significant than non-integrated education (Schmidt & Gijsselaers, 1990; Distlehorst & Robbs, 1998).

A. Principles of problem-based learning

Principles of problem-based learning was presented such as below (Barrow & Kelson, 1999).

First, problem-based learning is a student-centered teaching method. Students take responsibility for their learning and become independent from teachers.

Second, problem-based learning is based on practical problems. The presented problems should be able to stimulate to learning, so those are consisted around complex problems that would integrate learning information.

Third, problem-based learning is consisted of a comprehensive approach to education.

Fourth, problem-based learning allows students to actively participate in learning activities individually and collectively.

Fifth, problem-based learning allows students to meaningful learning.

Sixth, problem-based learning allows students to improve their

problem-solving skills and learn knowledge by presenting problems reflected real life.

Seventh, the most important role of teachers is the role of facilitator to help students to learn.

Eighth, problem-based learning is the most effective when it is made up with small group activities, and students can improve collaboration skills by working together to solve problems.

B. Learning process of problem-based learning

The most of learning process of problem-based learning is appeared to reflect the principles of that. It is divided as class preparation step, problem presentation step, problem-solving step, result of problem-solving step, and evaluation step.

First, it was presented the learning process of problem-based learning such as Fig. 13. (Barrow, 1994). This learning process is presented with three step, such as problem presentation step, problem following step, and problem completed and after that step.

At the problem presentation step, each member of small group are shared their roles and selected learning materials to solve learning tasks. At the problem following step, they put together those learning materials and share their opinions with each other. At the problem completed and after that step, they complete the task and do self-assessment.

수업전개			
1. 수업을 소개한다.			
2. 수업분위기를 조성(교·강사의 역할 소개)			
문제제시			
1. 문제를 제시한다.			
2. 문제에 대한 주인의식을 느끼도록 한다.(학생들이 문제를 내재화하도록)			
3. 마지막에 제출한 과제물에 대해 소개한다.			
4. 그룹 내 각자의 역할 분담을 한다.			
생각(가정들)	사실	학습과제	실천계획
주어진 문제에 대한 학생들의 생각을 기록 : 원인과 가능한 해결안 등	개인 혹은 그룹 학습을 통해 제시된 가정을 뒷받침할 지식과 정보 종합	주어진 과제를 해결하기 위해 학생이 더 알거나 이해해야 할 사항 기록	주어진 과제를 해결하기 위해 취해야 할 구체적인 실천 계획을 수립
5. 주어진 문제의 해결안에 대하여 깊이 사고 : 칠판에 적은 다음, 과연 나는 무엇을 할 것인가를 생각한다.			
생각(가정들)	사실	학습과제	실천계획
확대/집중시킴	종합/재종합	규명과 정당화	계획을 공식화
6. 가능할 법한 해결안에 대한 생각을 정비한다.			
7. 학습과제를 규명하고 분담한다.			
8. 학습 자료를 선정·선택한다.			
9. 다음번 토론 시간을 결정한다.			
문제 후속단계			
1. 활용된 학습 자료를 종합하고 그에 대한 의견을 교환한다.			
2. 주어진 문제에 대하여 다시 새롭게 접근을 시도한다. : 다음 사항에 대하여 나는 무엇을 할 것인지를 생각한다.			
생각(가정들)	사실	학습과제	실천계획
수정	새로 얻은 지식을 활용하여 재종합	(만일 필요하다면) 새로운 과제규명과 분담	앞서 세웠던 실천안에 대한 재설계
결과물 제시 및 발표			
문제 완결과 해결 이후			
1. 배운 지식의 일반화하고 도표, 목록, 개념, 원칙들을 만들어 본다.			
2. 그룹원으로부터 견해를 들은 후에 자기평가 한다.			
<ul style="list-style-type: none"> · 문제해결과정에 대한 논리적 사고가 사용되었는가? · 적합한 학습자료를 선정하여 필요한 지식과 정보를 얻어냈는가? · 주어진 과제를 잘 수행함으로써 그룹원들에게 협조적이었는가? · 문제해결을 통해 새로운 지식 습득이 이루어졌는지 혹은 심화되었는가? 			

Fig. 13. Problem-based learning process by Barrow(1994).

Second, it was presented the other learning process of problem-based learning such as Fig. 14. (Yoon, 2006). This process is presented as four steps, such as introduction, problem-finding, exploration and implementation, and evaluation and arrangement.

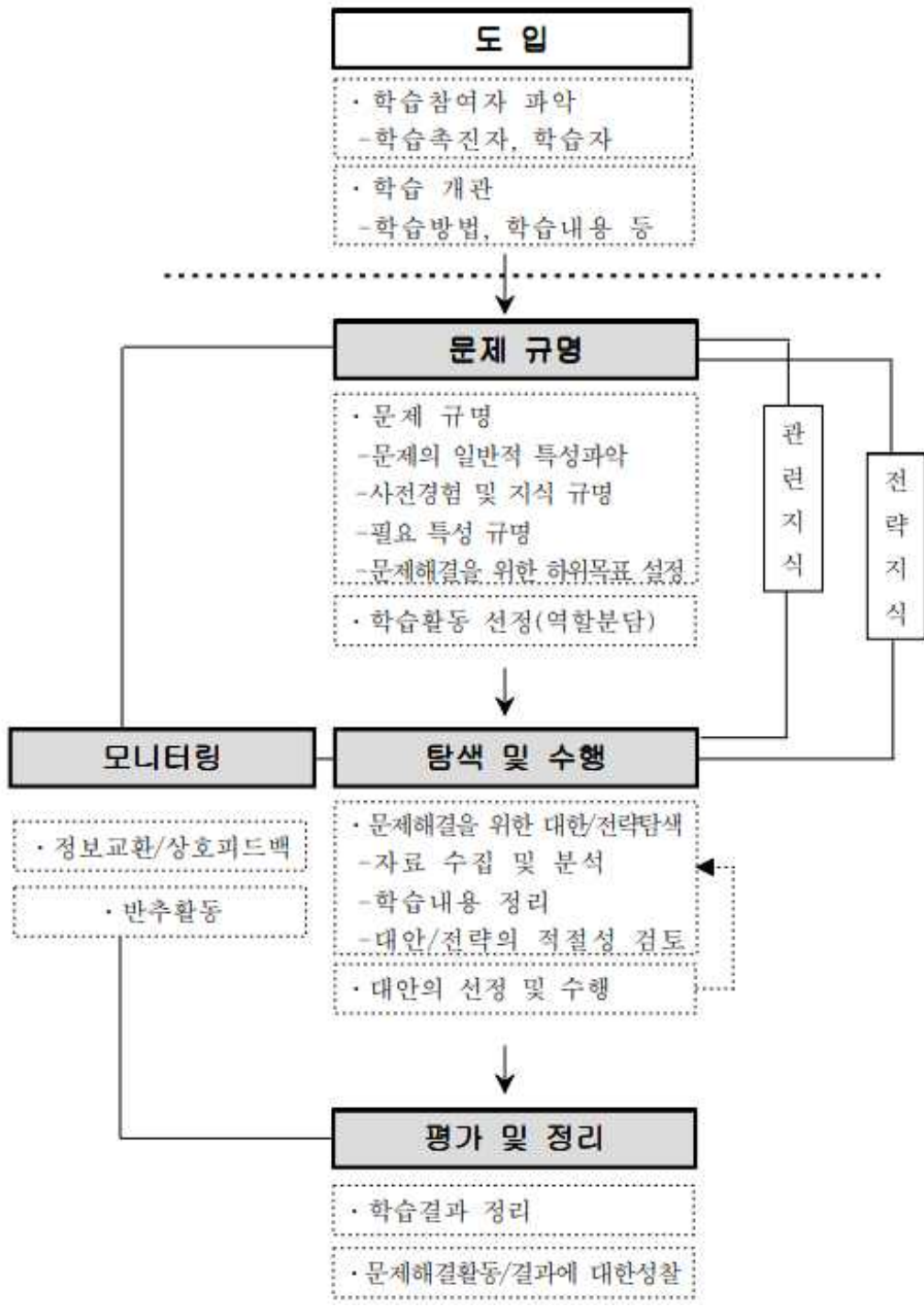


Fig. 14. Problem-based learning process by Yoon(2006).

At the step of introduction, teachers as facilitators and students as learners identify their roles and look at their learning contents. At the step of

problem-finding, students look at presented problems and select sub-goal to identify and solve general principles of the classes. At the step of exploration and implementation, students explore the strategies to solve presented problems, and implement and review the relevance of the strategies. Students monitor each other, share information and provide feedback by themselves. After solving problems, at the step of evaluation and arrangement, students evaluate and arrange the results of learning, and reflect on their own.

By organizing classes as a method of problem-based learning, students can understand the context of presented problems, try to solve the problems learn the concepts about the problems in real life. They can improve their creative problem-solving skills, communication skills, and collaboration skills by this method.

In this study, problem-solving based STEAM was defined by following the method of problem-based learning (PBL). Because the purpose of problem-based learning is to develop students' problem-solving skills by understanding and solving the problems, it is suitable with STEAM. In order to be problem-solving based STEAM, the program was developed by dealing with meaningful and practical problems related to the contents of four subjects: science, mathematics, arts, and technology and home economics.

III. Methods

1. Procedures

In this study, a problem-solving based STEAM program that converged science, mathematics, arts, technology and home economics was developed. It was dealt with international contextual problems by following problem-based learning method. This program was applied to find out the effects of the program on scientific attitude, mathematical attitude, creative problem-solving skills, STEAM literacy. The detail procedures are such as Fig. 15.

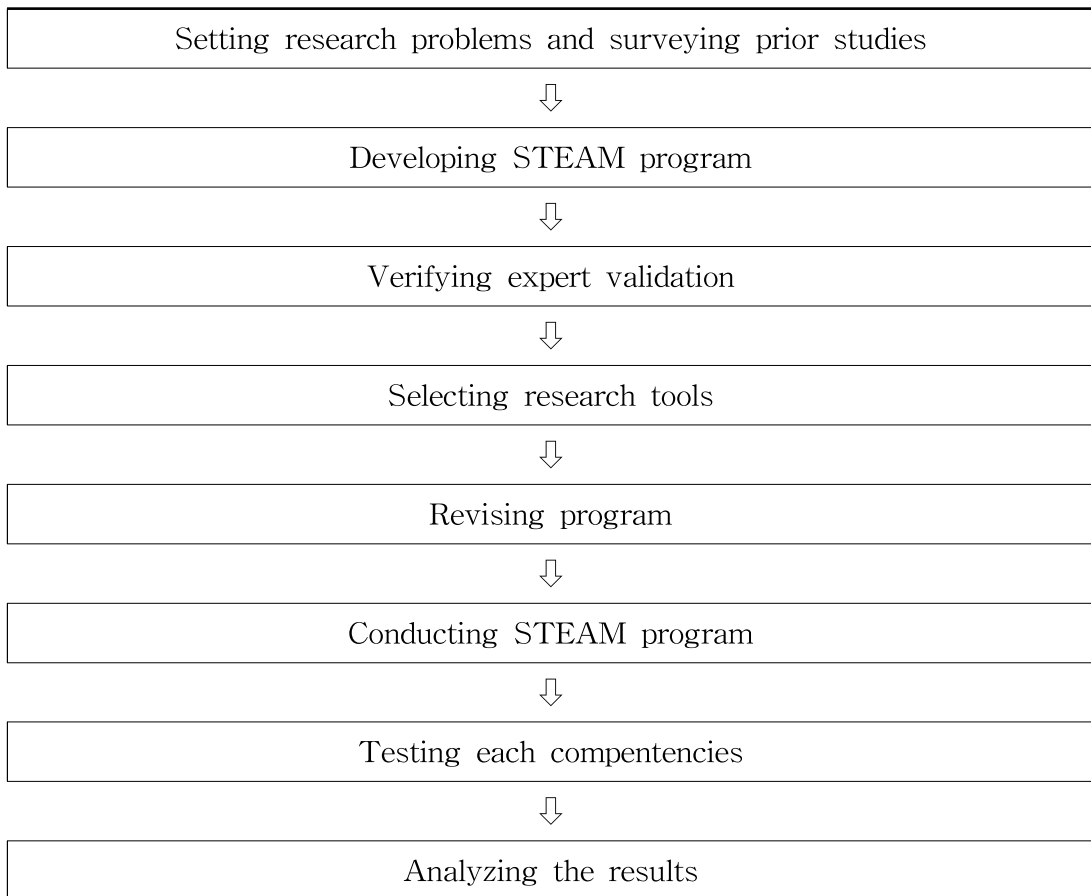


Fig. 15. Research procedure.

2. Development of Problem-Solving Based STEAM program

A. Program development model

In this study, STEAM program was developed by following the ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation) model, which is called the basic model of instructional systems development. The model is consisted as Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation (Choi, 2002; Lim, 2012).

Analysis, the first step of the model, refers to the earliest step in the instructional systems development. In this step, it is conducted to define learning contents, decide learning plans, and analyze needs and learners. In analyzing needs, it is necessary to analyze the differences between the current state (as is) of the situation about knowledge and functions that students knew, and the expected state (to be) where students are expected to reach through this program.

In this study, as analyzing those things, it was analyzed: curriculum of each subject, knowledge level of gifted students, prior studies about scientific attitude, mathematical attitude, creative problem-solving skills, and STEAM literacy. And then design procedures and contents of the program were chosen.

Design, the second step of the model, refers that teaching and learning method is decided specifically. In this step, it is specified learning goals, developed evaluation tools, and selected teaching procedures and strategies. It has concretely set the goal for the development of the program based on the demand interpretation from prior studies. The evaluation tools are developed to find out if students reach to the goal, and the class procedures are selected. Also, teaching strategies and media are chosen to actually conduct

the class.

In this study, because it was wanted to develop a problem-solving based STEAM program, the theme of problems related with meaningful and practical situation was needed to suggest. Thus the final goal of this program was selected to design appropriate technology that can help to the region and society. For this purpose, arts, including 'design', and technology and home economics, including 'appropriate technology' were selected to converge. Science was selected to learn 'photosynthesis of plants' in order to use solar energy for utilizing to appropriate technology. Finally, mathematics was selected to learn fractals based on 'similarity of shapes' when compared to the structure of plants to ensure photosynthesis works well. Thus the theme of this program was established that: 'designing the appropriate technology to use solar energy based fractal'. To make it possible, science, mathematics, arts, technology and home economics were selected.

Development, the third step of the model, refers to the step to develop teaching and learning material, and create actually. In this step, the program was developed by based on learning goals and strategies in prior two steps. The program allows students to improve their problem-solving skills through the process of solving various problems that they may face in their real life. The program was developed by verifying expert validation, taking the feedback, and revising.

In this study, the problem-solving based STEAM program was developed to achieve the goal of this study. Because the STEAM program was based on solving problems, it makes students to learn the contents of each subject and apply those to solve the presented problems. The contents of the study are started with the 'plants and energy' in science to learn photosynthesis. It is followed by 'similarity of shapes' in mathematics from the fractal structure of plants to ensure that makes photosynthesis work well. By looking at fractal design, it allows students to learn 'design' in arts, it follows to learn

universal design. Then it makes them to learn ‘appropriate technology’ in technology and home economics related to universal design. At the end, it asked them to solve international problems personally. By solving this problems, students can naturally develop various competencies including problem-solving skills.

For the proper amount of learning, prior studies on both classes utilizing fractals and STEAM classes were investigated. Among them, the total number of periods in the STEAM program developed and applied in the doctoral dissertation studies was looked at. Those appeared such as 4 periods (Kim, 2020), 8 periods (Bae, 2017; Na, 2018), 9 periods (Kim, 2017), 10 periods (Lee, 2013; Lee, 2015a; Choi, 2015), 11 periods (Kim, 2015), 15 periods (Oh, 2015), 24 periods (Sin, 2017), 36 periods (Kang, 2018a). Most of prior studies developed the STEAM program with more or less than 10 periods. In particular, studies that targeted low grades of elementary school showed to develop the program with more than 10 periods. Because this study targeted middle school students, in this study, STEAM program with 10 periods was decided to develop. The program was revised by referring nine experts’ reviews and feedback.

Implementation, the fourth step of this model, refers to the step that the contents of the program developed in development step are delivered directly to students. In this step, classes are conducted so that learning materials can actually be used to be delivered effectively and efficiently to students.

In this study, It was wanted to look at the effects of the problem-solving based STEAM program on scientific attitude, mathematical attitude, creative problem-solving skills, and STEAM literacy. For this purpose, two classes of science and mathematics gifted students were selected. One class of those was conducted the problem-solving based STEAM program developed in this study, whereas the other was conducted mathematics classes without convergence. both pre-tests and post-test were conducted and after the

classes were completed, the results of those tests were compared and analyzed.

Evaluation, the fifth step of the model, refers to evaluating how efficiently the process of designing the program has been conducted and how effectively the learning contents of the program have been delivered. After all classes are over, it is found out how well the classes that based on the learning materials are intended by the researchers in order to match the goal. The results of the evaluation are used as feedback materials to improve the quality of teaching.

In this study, the results of the surveys that are conducted pre-test and post-test were compared and analyzed in order to find out the effects of the problem-solving based STEAM program on developing to students' scientific attitude, mathematical attitude, creative problem-solving skills, and STEAM literacy. Students' responses were evaluated by utilizing the worksheets that students wrote down during the classes, the results of satisfaction survey, review that students wrote after the classes finished, and interview contents.

B. Development of the draft of STEAM program

In this study, prior studies were investigated from 8th January, 2020 to 3rd March. The problem-solving based STEAM program that converged science, mathematics, arts, and technology and home economics in the 2015 revised curriculum was developed from 4th February to 10th May. In this program, it was to deal with international contextual problems. For this, the program was converged by centered on 2nd grade in middle school in order to learn the appropriate technology of 'utilization of technology' that learned at 2nd grade in technology and home economics. Arts was converged to the program in order to learn the universal design which is similar to appropriate technology, design elements, and principles of design of 'expression' at 2nd grade in arts. In order to consist of the contents that linked naturally both science and

mathematics at 2nd grade, that is, 'plants and energy' in science and 'similarity of shapes' in mathematics were converged.

The 10 periods classes of the program consist that situational presentation is in 1st period, creative design is in from 2nd to 7th periods, and emotional experience is in from 8th to 10th periods. From 1st to 7th periods, the program allows students to learn every contents of each subject. From 8th to 10th periods, the program was designed to allow them to solve the international contextual problems by based problem-based learning method, in using contents learned from 1st to 7th periods. The theme of the problem-solving based STEAM program is selected such that: 'designing the appropriate technology to use solar energy based fractal'.

After learning about photosynthesis in the 'plants and energy' in science, students understand the principles of photosynthesis and identify the structure of plants to ensure that photosynthesis works well. After they find out that stems and roots of plants have fractal structure, they learn fractal and look at the principles of fractal shapes in the 'similarity of shapes' in mathematics. Then they find fractals in nature and look at fractal design in the 'expression' in arts, and learn principles of fractal design. Students learn appropriate technology in the 'utilization of technology' in technology and home economics. And they learn universal design, which is a kind of design. Through learning all contents in each subject, students can create something new utilizing those contents that they learned. The achievement criteria in each subject of the problem-solving based STEAM program that developed in this study is such as Fig. 16.

In order to develop the problem-solving based STEAM program, every contents that related to problems in each subject were selected at first, after the theme of the program was established. By looking at the criteria of achievement of those areas in each subject, all learning procedures were consisted.

과목	영역	성취기준
생물	식물과 에너지	[9과11-01] 식물이 생명 활동에 필요한 에너지를 얻기 위해 양분을 만드는 광합성 과정을 이해하고, 광합성에 영향을 미치는 요인을 설명할 수 있다.
		[9과11-03] 식물의 호흡을 이해하고, 광합성과의 관계를 설명할 수 있다.
수학	도형의 닮음	[9수04-13] 도형의 닮음의 의미와 닮은 도형의 성질을 이해한다.
미술	표현	[9미02-02] 주제에 적합한 표현 과정을 계획할 수 있다.
		[9미02-04] 주제의 특징과 표현 의도에 적합한 조형 요소와 원리를 탐색하여 효과적으로 표현할 수 있다.
기술·가정	기술 활용	[9기가05-09] 적정 기술과 지속가능 발전의 의미를 이해하고 적정 기술 체험 활동을 통하여 문제를 창의적으로 탐색하고 실현하고 평가한다.

Fig. 16. Criteria for achievement of STEAM program by subjects (MOE, 2015).

In order to learn the established theme, the program was consisted to allow students to learn every contents in each subject by based on the criteria of achievement. It was allowed for students to solve the problems based on what they learned from 8th to 10th. By referring to the principles of problem-based learning, The presented problems were related to international context in their real life. Taking it into account, the draft of the problem-solving based STEAM program was developed such as Table 3, 4.

Table 3. Draft of STEAM program from 1st to 5th periods

Theme		Designing the appropriate technology to use solar energy based Fractal			
		Teaching and learning contents	Subjects	STEAM elements	
Situational presentation	1 st	<ul style="list-style-type: none"> - Understanding the process of oxygen formation of the Earth - Understanding the conditions of photosynthesis through several experiments - Learning photosynthesis 	Science	S	
			Teaching and learning contents	Subjects	STEAM elements
	2 nd	<ul style="list-style-type: none"> - Learning the process about the way photosynthesis is worked - Learning fractals by looking at the fractal structure in the nature - Understanding the principles of fractals 	Science Math	S M	
Creative design	3 rd	<ul style="list-style-type: none"> - Exploring Sierpinski triangle, 2D fractal shape and Menger sponge, 3D fractal shape - Reasoning the regularity and principles of fractal shapes 	Math	M	
			Teaching and learning contents	Subjects	STEAM elements
	4 th	<ul style="list-style-type: none"> - Exploring Koch's snowflakes and identifying the rule to make it - Understanding the properties of fractal and exploring aesthetic elements in fractal design - Reasoning principles of design that used in fractal design 	Math Arts	M A	
			Teaching and learning contents	Subjects	STEAM elements
	5 th	<ul style="list-style-type: none"> - Exploring the various uses of fractal designs - Understanding the means and uses of design in modern society - Learning the universal design 	Arts	A	

Table 4. Draft of STEAM program from 6th to 10th periods

Theme	Designing the appropriate technology to use solar energy based Fractal			
	Teaching and learning contents	Subjects	STEAM elements	
Creative design	6 th	- Learning appropriate technology when compared to universal design	Arts	A
		- Identifying the usefulness of appropriate technology	Tech and home	T
		- Understanding appropriate technology by directly designing it through presented situation	home	E
	7 th	- Recognizing the necessity of sustainable development and understanding renewable energy		
		- Understanding the importance of solar energy, which accounts for the majority of renewable energy	Tech and home	T E
		- Thinking about appropriate technology using solar energy while making solar waterwheel		
	Teaching and learning contents	Subjects	STEAM elements	
Emotional experience	8 th	- Reviewing that they have learned from 1 st to 7 th periods	Science	S
		- Thinking of a situation in which appropriate technology is necessary to develop using solar energy	Math	T
	9 th	- Designing the appropriate technology to use solar energy based fractal	Arts	E
			Tech and home	A
	10 th	- Presenting what they designed and giving feedback	home	M

C. Validation of STEAM program experts

After developing the draft of STEAM program, validation of STEAM program experts was conducted from 11th May, 2020 to 9th June in order to verify the internal validity. Internal validity verification is essential in program development to establish causality among several variables. By choosing of appropriate experts, researchers can improve the quality of their research by knowledge, experience, and insight of the relevant experts. However, if the number of experts is inappropriate (too large or too small), or the choice of experts is not appropriate, only biased research results will be obtained. Therefore, experts in the field should be carefully chosen and the number of experts is appropriate from three to ten (Rubio *et al.*, 2003; Steiner, 2008; Johnson & Christensen, 2013).

The experts chosen in the study was consisted that two professors whose teach each science and mathematics, seven secondary teachers whose teach each science, mathematics, arts, and technology and home economics. Based on the criteria for choosing the field experts (Ericsson *et al.*, 1993), The experts were included with more than 10 years of experience in teaching their own subjects. It also included teachers who have experience in STEAM classes and constantly have improved teaching skills, even if they had less than 10 years of experience in teaching their subjects.

It was considered how many years they have experience in teaching gifted students' classes or STEAM classes. But in arts, the B provincial office of education, where the study was conducted, does not have arts gifted students' classes. In that case, arts teachers were chosen by whether they have experience in teaching STEAM classes. The profiles of each expert panel are such as Fig. 17.

구분	직위	교과	최종학위	전공 교육경력(년)	영재 교육경력(년)	융합수업 경험여부
A	교수	생물	교육학박사	18	7	○
B	교사	수학	석사	19	5	○
C	교사	기술·가정	학사	12	5	○
D	교사	수학	석사	19	12	○
E	교사	생물	학사	5	-	○
F	교수	수학	이학박사	25	18	X
G	교사	생물	학사	16	5	○
H	교사	미술	학사	30	-	○
I	교사	미술	석사	6	-	○

Fig. 17. Profile of expert panel.

Validation of STEAM program experts was conducted with a Likert five-point scale test paper that used in a prior study (Sin, 2017) that developed the STEAM program for gifted students, in similar to this study. The test paper was consisted of questions that related to the composition and the appropriateness of the program. The results of every expert validation are such as Table 5.

Table 5. The results of validity test from expert panel

Area	No.	questions	The number of experts	The number of 4 or 5 points	CVI
Composition of the program	1	The STEAM program is well organized for the purpose of gifted education.	9	9	1.0
	2	The STEAM program will improve achievement of educational goals.	9	9	1.0

	3	STEAM elements are reflected appropriately in the program.	9	9	1.0
	4	The contents of the STEAM program has been selected appropriately.	9	8	0.89
	5	It is a program that improves students' understanding and interest of each subject.	9	8	0.89
	6	It is a program that improves students' STEAM literacy and problem-solving skills.	9	9	1.0
Appropriate ness of the program	7	The program is suitable for gifted education to guide analysis, creativity, and practical capabilities.	9	9	1.0
	8	The STEAM program is consisted of steps that are suitable to improve students' learning motivation.	9	9	1.0
	9	The general exploration step of the STEAM program can improve students' analytical intelligence.	9	9	1.0
	10	The group training step of the STEAM program can improve students' creative thinking and collaboration skills.	9	8	0.89
	11	The exploration step of the STEAM program's actual problems can improve students' practical intelligence.	9	9	1.0

To ensure validity of the survey results that answered by experts, it was

used Content Validity Index (CVI). The value of CVI is the number of experts who responded positively to each survey divided by the total number of experts (Rubio *et al.*, 2003). Through CVI of expert validation, internal validity can be ensured of the program. The test paper that used in this study was consisted of five indexes such as (5) strongly agree; (4) agree; (3) neither agree nor disagree; (2) disagree; (1) strongly disagree (Sin, 2017). If experts answered 4 or 5 by the questions of validation test, it is considered as a positive assessment and treated as a point. On the other hand, if experts answered from 1 to 3, it is not considered positive and treated as zero points. When the number of experts is between five and ten, the value of CVI ensures validity if the average of the questions is 0.8 or higher (Grant & Davis, 1997). In this study, the validity of the STEAM program is ensured because the values of CVI are 0.89 or higher for all questions.

D. Revision of STEAM program

Experts were asked to draw up feedback on what is necessary to be modified. From 10th June, 2020 to 1st July, the program was revised by referring feedback that experts suggested. The feedback from experts and revision followed the feedback are such as below.

- *The data on the birth of the earth is too professional and there are many difficult terms: plagioclase, anorthosite, and pyroxene.*
- *The contents about the process of magma sea formation, separation of mantle and nucleus, and the formation of primitive sea are too difficult.*
- *It was curious if the material presented in the paper is too difficult to understand properly.*

There were many feedbacks that the process of the earth's birth was too difficult to learn the process of oxygen formation on the earth at 1st period.

That contents are handled at a high school in the 2015 revised curriculum so it must be difficult for middle school students. They said it is better to start with a contents that students can understand easily. Accordingly, the program was revised such as Fig. 18, 19.

거대충돌이 일어난 후 200만 년이 지났을 무렵, 마그마 바다의 온도가 1,500도 아래로 내려가면서 마그마 바다에서는 광물 결정들이 생성되기 시작하였다. 마그마로부터 광물이 생성될 때의 온도와 압력 조건에 따라 생성되는 광물의 종류는 달라진다. 연구에 의하면, 지구와 달의 마그마 바다에서 맨 처음 생성된 광물은 감람석이다. 감람석은 철과 마그네슘으로 이루어진 규산염 광물로 결정이 생성되면 마그마 용액보다 무겁기 때문에 바닥에 가라앉는다. 따라서 마그마 바다에서 맨 처음 만들어진 암석은 주로 감람석으로 이루어진 감람암이었고, 마그마 바다가 식어감에 따라 마그마 바다의 바닥은 감람암으로 채워지기 시작했을 것이다.

감람석 결정들이 바다에 쌓임에 따라 마그마 바다의 성분도 바뀌어 간다. 마그마 바다에서 철과 마그네슘은 줄어드는 반면, 칼슘과 알루미늄의 농도는 상대적으로 높아진다. 이 무렵에 만들어진 광물로 사장석의 일종인 아노르사이트(anorthite)와 휘석이 있다. 현재 달 표면에는 주로 아노르사이트로 이루어진 회장암이 넓게 분포하고 있고, 지구에도 드물긴 하지만 회장암이 있다.

그런데 실험에 의하면, 아노르사이트는 물이 없는 마그마에서는 뜨지만, 물이 있는 마그마에서는 가라앉는다고 한다. 따라서 물이 거의 없었던 달의 마그마 바다에서는 아노르사이트가 생성되면 떠올라 달 표면을 덮었다. 현재 달 표면의 65%가 회장암으로 덮여있는 이유가 바로 이것이다. 달에 물을 포함한 휘발성분이 거의 없었던 이유는 거대충돌 후 생겨난 암석 부스러기들이 합쳐져 달을 형성하는 과정에서 휘발성분을 잃어버렸기 때문이다.

반면에 달에 비해 덩치가 컸던 지구는 강력한 중력으로 물을 붙잡을 수 있었고, 또한 마그마 바다의 온도와 압력이 높았기 때문에 달과는 다른 결과를 얻었다. 지구의 마그마 바다에서도 아노르사이트가 만들어지기는 했지만, 그 양이 많지 않았고 만들어진 아노르사이트 결정도 마그마 바다의 바닥에 가라앉았다. 그 대신 마그네슘을 포함하는 휘석이 많이 생성되어 먼저 생성된 감람석과 섞여 감람암을 만들었다.

Fig. 18. Draft of STEAM program material 1.

45억 년 전, 거대충돌로 갓 태어난 지구는 아마도 맨틀과 핵으로만 구분되었을 것이다. 왜냐하면, 겉 부분이 모두 마그마 바다였기 때문에 지각은 아직 만들어지지 않았고, 핵은 모두 녹은 상태였기 때문이다. 충돌하기 전의 원시지구와 테이아도 맨틀과 핵으로만 구분되어 있었을 것이다. 충돌 직후 두 천체의 핵은 곧바로 합쳐졌으며 이 중심핵을 맨틀이 감싸고 있는 모습이 되었을 것이라고 보인다. 충돌 직후 지구 중심핵은 반지름이 3,500km였고, 무거운 철과 니켈로 이루어졌으며, 모두 액체 상태였다. 한편, 맨틀의 대부분은 고체 상태였겠지만, 겉 부분은 이글거리는 마그마 바다로 덮여 있었다. 마그마 바다는 충돌 후 약 200만 년 동안 존재했던 것으로 알려져 있는데, 시간이 흐르면서 식어 굳었다. 충돌 후 200만 년이 지났을 무렵 마그마 바다가 굳기 시작했다면, 이는 최초의 지각이 형성되었음을 의미한다.

Fig. 19. Revised STEAM program material 1.

- *There seems to be a lack of information about the cyanophyta when compared to the process of earth' birth.*
- *Identifying cyanophyta with plants through the words that oxygen was formed by photosynthesis of cyanophyta can be misconception to students.*

The contents about cyanophyta were to emphasize the appearance for photosynthesis so that it is necessary to refer photosynthetic bacteria. Accordingly, the program was revised such as Fig. 21, 22.

원시지구에서 수증기가 응결하여 바다를 만든 후, 대기권의 남은 성분들은 일산화탄소, 이산화탄소, 질소, 염소 등이었을 것이다. 초기에 많았던 이산화탄소는 1,000만 년 이내에 탄산염 퇴적물 형태로 바다에 퇴적되면서 대기에서 제거되어 이산화탄소의 함량은 점차 줄어들어 현재와 비슷해졌다. 한편, 질소는 화학적으로 비활성 기체이기 때문에 광물이나 암석을 형성하는데 쓰이지 않아 지질시대를 통하여 꾸준히 증가해 현재의 수준에 도달했을 것이다. 이러한 대기의 상태가 약 20억 년까지 지속되었는데, **시생대 시대 말의 27억 년 전 스트로마틀라이트 화석에서 발견된 남조류에 의해 산소가 대기 중에 형성되었다.**

Fig. 20. Draft of STEAM program material 2.

최초의 원시 생명체는 광합성과 같은 물질대사를 수행할 만큼 복잡한 세포 구조를 갖추기는 어려웠을 것이다. 따라서 과학자들은 원시 바다에 유기물이 풍부했으므로 원시 생명체는 이를 흡수하여 생활하는 **종속 영양 생물**이었을 것으로 추정한다. 원시 대기에는 산소가 거의 없었으므로 이들은 무산소 호흡으로 생활에 필요한 에너지를 얻었을 것이며, 이때 발효와 같은 무산소 호흡에 의해 이산화탄소가 대기 중으로 방출되었을 것이다.

원시 생명체가 증가함에 따라 원시 바다의 유기물이 점차 감소했을 것이다. 따라서 빛에너지를 흡수하여 이산화탄소로부터 탄수화물을 합성하는 독립 영양 생물이 출현하였을 것이고, 이들의 **광합성 결과 산소가 방출되어 대기의 산소 농도가 증가하였을 것으로 추정된다.** 산소 농도가 증가함에 따라 산소에 취약한 생명체는 멸종하거나 산소가 희박한 환경에 국한하여 살아남은 반면, 산소 호흡을 하면서 생물을 먹이로 섭취하는 **종속 영양 생물**이 출현하였을 것이다. 대기 중의 산소는 태양의 자외선을 흡수하여 오존을 생성하고 메테인과 암모니아를 산화시켜 대기 중의 이산화탄소와 질소 농도를 증가시켰을 것이다. 이 결과로 현재와 같은 대기층이 형성되었을 것이라 추정한다. 한편, 대기에 오존층이 형성되면서 태양의 강한 자외선을 비롯하여 지구로 유입되던 각종 유해 광선이 차단됨에 따라 물속에서 생활하던 생물들이 차츰 육지로 올라와 생활할 수 있게 되었고 지구 전역에 생물이 분포하게 되었다. 이처럼 환경은 생물에게 영향을 미치고 생물은 환경을 변화시키는 상호 작용을 통하여 지구와 생물이 현재와 같이 진화하게 되었다.

Fig. 21. Revised STEAM program material 2.

- It is difficult to make emotional experience to work at 8th period if they just look at art works that applied the principles of fractals at 4th period and understand the design of life at 5th period.
- It is needed to understand the process of design to supplement the area of arts, especially students need to understand the elements of design.

Some suggested that students need to have experience designing with presented situation on their own in order to design appropriate technology in emotional experience step. They also said students have to learn the elements of design in order to design properly. Through feedback from experts, the contents about the design was newly-organized such as Fig. 22. The revised STEAM program is such as Table 6, 7.

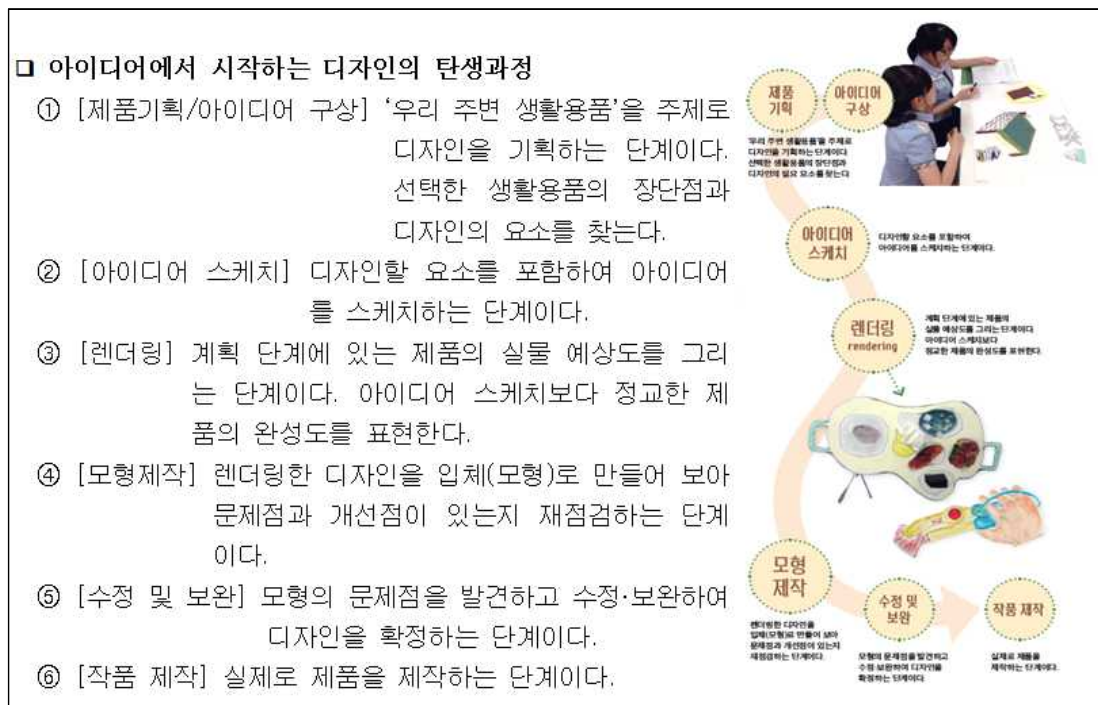


Fig. 22. Revised STEAM program material 3 (Kim *et al.*, 2017).

Table 6. Revised STEAM program from 1st to 5th periods

Theme		Designing the appropriate technology to use solar energy based Fractal		
		Teaching and learning contents	Subjects	STEAM elements
Situational presentation	1 st	<ul style="list-style-type: none"> - Understanding the process of oxygen formation on the Earth - Understanding the conditions of photosynthesis through several experiments - Learning photosynthesis 	Science	S
	2 nd	<ul style="list-style-type: none"> - Learning the process about the way photosynthesis is worked - Learning fractals by Looking at the fractal structure in the nature - Understanding the principles of fractals 	Science Math	S M
Creative design	3 rd	<ul style="list-style-type: none"> - Exploring 2D fractal shape and looking at the regularity - Exploring 3D fractal shape and reasoning the regularity 	Math	M
	4 th	<ul style="list-style-type: none"> - Exploring Koch's snowflake and identifying the rule to make it - Understanding the process of designing Sierpinski triangle and Koch's snowflake - Learning design elements and principles of fractal design 	Math Arts	M A
	5 th	<ul style="list-style-type: none"> - Understanding the means of design through fractal design and uses of design in modern society - Learning factors of design and process of design, and designing by several conditions 	Arts	A

Table 7. Revised STEAM program from 6th to 10th periods

Theme	Designing the appropriate technology to use solar energy based Fractal			
	Teaching and learning contents	Subjects	STEAM elements	
Creative design	6 th	- Learning universal design and understanding the usefulness of it	Arts	A
		- Learning appropriate technology and looking at the usefulness of it	Tech	T
		- Understanding appropriate technology by directly designing it through presented situation	and home	E
	7 th	- Recognizing the necessity of sustainable development and understanding renewable energy	Tech and home	T E
		- Understanding the importance of solar energy, which accounts for the majority of renewable energy		
		- Thinking about appropriate technology using solar energy while making solar waterwheel		
Emotional experience	8 th	- Reviewing that they have learned from 1 st to 7 th periods	Science	S
		- Thinking of a situation in which appropriate technology needed to develop using solar energy	Math	T
	9 th	- Designing the appropriate technology to use solar energy based fractal	Arts	E
			Tech and home	A
	10 th	- Presenting what they designed and giving feedback	home	M

3. Application of Problem-Solving Based STEAM program

A. Participants

This study was conducted on 40 students from of science and mathematics gifted students' classes at A Middle School drafted in 2020. The students who participated in the study were from regional science and mathematics gifted students' classes in B city, drafted according to the criteria for drafting the gifted education candidates of the C provincial office of education. These students were highly scored for their awareness of science and mathematics learning, exploration skills, and creative problem-solving skills in the draft process.

There were two classes in science and mathematics gifted students' classes at A middle school, one of those was consisting of 1st grade and the other was consisting of 2nd grade. The classes of 1st grade had 11 boys and 9 girls, while the class of 2nd grade had 12 boys and 8 girls. As they were science and mathematics gifted students, their knowledge, interest, and curiosity in science and mathematics were higher than ordinary students. Since their learning attitude was positive, they did not show reluctance when it was dealt with the contents of arts, or technology and home economics, even though they wanted to learn just science and mathematics.

The STEAM program was expected to be finished to develop in July by following the research procedure, but the prevailing forecast of the situation about COVID-19 would worsen after August. Due to this uncertainty, the duration of classes teaching STEAM program was limited to July. The middle school science and mathematics gifted students' classes among regional gifted students' classes in B city are total of six classes. It was only two gifted students' classes that would be held face-to-face in July. Among

them, the class of 1st grade was planned for three mathematics classes, each of those are consisted of four periods from 20th June to 4th July. The class of 2nd grade was planned for three mathematics classes, each of those are consisted of four periods too, from 4th July to 18th July. To ensure the equality of the two classes, pre-test and post-test of scientific attitude, mathematical attitude, creative problem-solving skills, and STEAM literacy were compared and analyzed. Because the affective characteristics were measured, not the cognitive characteristic, it was ensured that two groups were equal in all areas, even if their grades were different. Among them, the class of 1st grade had a difficulty in applying to the class due to the research procedure. For this reason, 20 students of 2nd grade class were set up as the experimental group and 20 students of 1st grade class were set up as comparative group.

B. Design of research

This study wanted to find out the effect of the developed STEAM program to scientific attitude, mathematical attitude, creative problem-solving skills, and STEAM literacy of middle school science and mathematics gifted students. To this end, experimental group and comparative group were selected and it was planned to do ‘non-equivalent control group pre- and post-test design’. Before it was started classes utilizing the STEAM program, equality of two groups was ensured by pre-test. Experimental group was had classes utilizing the STEAM program developed in this study. Whereas, comparative group was had mathematics classes about fractal and similarity without convergence. The classes were started with the history of fractal and dealt with similarity. After each class of two groups finished, post-test was conducted and the results of pre-test and post-test were compared and analyzed. The specific design model is such as Fig. 23.

Groups	Pre-test	Have classes	Post-test
Experimental group	O_1	X	O_2
Comparative group	O_1	Y	O_2

O_1 : pre-test of all competencies

O_2 : post-test of all competencies

X : classes utilizing STEAM program that developed in this study

Y : mathematics classes without convergence

Fig. 23. Research design.

C. Research tools

In this study, research tools were selected in order to ensure the effects of the program on scientific attitude, mathematical attitude, creative problem-solving skills, and STEAM literacy such as below.

1) Research tool of scientific attitude

This study selected the research tool of scientific attitude that was used to find out the effect of STEAM classes for science gifted students on their scientific attitude (Heo & Oh, 2020c). The questions of this tool had 21 questions to measure the exploration attitude, problem-solving methods related to the spirit of science, evaluation of information and idea, and the approach to making decisions. The 21 questions consisted of each 3 questions for each 7 capabilities such as curiosity, patency, criticism, collaboration, volunteerism, persistence, creativity. The reliability of this tool was obtained Cronbach's α of .87 so it was ensured, so this tool was used in various prior studies (Woo & Hong, 2016; Moon & Hong, 2019; Han & Hong, 2019). Questions composition by elements of scientific attitude are such as Table 8.

Table 8. Questions composition by elements of scientific attitude

elements	questions	the number of questions
curiosity	1, 8, 15	3
patency	2, 9, 16*	3
criticism	3, 10, 17	3
collaboration	4, 11, 18	3
volunteerism	5*, 12, 19	3
persistence	6, 13*, 20	3
creativity	7, 14, 21	3
total (positive / negative)		21(18/3)

(* marked after question means negative)

2) Research tool of mathematical attitude

This study selected the research tool of mathematical attitude that was used to find out the effect of STEAM class for mathematics gifted students on their mathematical attitude (Heo & Oh, 2020d). The questions of this tool had 20 questions, which consisted of each 5 questions for each 4 capabilities such as interest, confidence, value awareness, willingness to learn. The reliability of this tools was obtained Cronbach's α of .94, so it was ensured. Questions composition by elements of mathematical attitude are such as Table 9.

Table 9. Questions composition by elements of mathematical attitude

elements	questions	the number of questions
interest	2, 3, 5, 6, 18	5
confidence	1, 4, 9, 11, 13	5
value awareness	12, 15, 16, 17, 20	5
willingness to learn	7, 8, 10, 14, 19	5

total	20
-------	----

3) Research tool of creative problem-solving skills

This study selected the research tool of creative problem-solving skills that was used in several prior studies (Yang *et al.*, 2016; Gong & Hong, 2017). The questions of this tool had 20 questions, which consisted of each 5 questions for each 4 capabilities such as understanding, divergence, criticism, motivation. The reliability of this tools was obtained Cronbach's α of .93, so it was ensured. Questions composition by elements of creative problem-solving skills are such as Table 10.

Table 10. Questions composition by elements of creative problem-solving skills

elements	questions	the number of questions
understanding	1, 2, 3, 4, 5	5
divergence	6, 7, 8, 9, 10	5
criticism	11, 12, 13, 14, 15	5
motivation	16, 17, 18, 19, 20	5
total		20

4) Research tool of STEAM literacy

This study selected the research tool of STEAM literacy that was used to find out the effect of STEAM class to students' STEAM literacy (Bae, 2017). The questions of this tool had 25 questions, which consisted of 4 capabilities such as 7 questions for creativity; 5 questions for communication; 5 questions for convergence; 8 questions for caring. The reliability of this tools was obtained Cronbach's α of .94, so it was ensured. Questions composition by elements of STEAM literacy are such as Table 11.

Table 11. Questions composition by elements of STEAM literacy

elements	questions	the number of questions
creativity	2, 3, 8, 9, 14, 18, 23	7
communication	6*, 12, 16, 21*, 25	5
convergence	1, 7, 13, 17, 22	5
caring	4, 5*, 10, 11, 15, 19, 20, 24	8
total (positive / negative)		25(22/3)

(* marked after question means negative)

5) Research tool of STEAM satisfaction survey

This study selected the research tool of STEAM satisfaction survey that was developed in prior study (KOFAC, 2015). The questions of this tool had 18 questions. This tool was used in many studies (Woo & Hong, 2016; Gong & Hong, 2017; Moon & Hong, 2019; Lee & Hong, 2019; Han & Hong, 2019; Hong & Hong, 2019).

6) Qualitative data

After classes utilizing the STEAM program were completed, participants were asked to write their thoughts and review about the classes. The questions of the review were such as changes in scientific attitude and mathematical attitude, creative problem-solving skills and STEAM literacy that they felt while taking the classes. And it also included what they were satisfied with the classes, and what they wanted more about the classes. worksheets that students wrote down during the classes were collected. The students who showed significant changes and who wrote meaningful contents were asked to participated in the interview during the classes. The results of this study were analyzed By referring those reviews, contents of interview, responses of worksheets, and the results of satisfaction survey.

D. Data analysis methods

In this study, the results of pre- and post-test were compared and analyzed in order to find out the effects of the problem-solving based STEAM program on their scientific attitude, mathematical attitude, creative problem-solving skills, and STEAM literacy. To this end, experimental group and comparative group were selected and the research was planned 'non-equivalent control group pre- and post-test design'. To analyze the results, SPSS 19 statistics program was used. The results were analyzed by an independent sample t-test at a significance level of 5%.

IV. Results

1. Development of Problem-Solving Based STEAM program

A problem-solving based STEAM program was finally developed after the program was revised through feedback from experts review. In the 1st period, the situational presentation step, students understand the process of oxygen formation on the earth through photosynthesis, by looking at the birth of the earth such as Table 12.

Table 12. Final STEAM program 1st period

Period	Step	Sub-theme	Contents
1	Situational presentation	To learn photosynthesis by understanding the fact that plants make oxygen through various experiments	<p style="text-align: center;">㉟ ㉠ Understanding the process of oxygen formation by looking at the birth on the earth</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reasoning how oxygen was formed by looking at the process and understanding how oxygen was created by photosynthetic bacteria - Introducing photosynthesis from the assumption that photosynthetic bacteria can create oxygen <p style="text-align: center;">㉟ Understanding the experiment of Helmont and determining if the process of inferring the results is correct</p>

-
- Discussing if the process of inferring the results in the experiment of Helmont is correct in groups
 - Understanding that variable control has not been done well and recognizing that plants do not grow only by drinking water

㉓ **Understanding the research process of Priestley and Ingenhousz, and inferring what plants need to live**

- Inferring what students find out by looking at several experiments in order
- Understanding plants require the light and carbon dioxide for photosynthesis and they create oxygen through it

㉓ ㉔ ㉕ **Learning photosynthesis**

- Learning the process of photosynthesis by looking at the chemical formula about it
 - Understanding the fact that the light energy is converted into chemical energy by photosynthesis
-

Students recognize that oxygen was created by the action of photosynthetic bacteria, not from the beginning on the earth. Photosynthesis is introduced from the assumption that photosynthesis is necessary to create oxygen. And then students discuss to find out which conditions for plants to create oxygen by photosynthesis. By looking at the experiment of Helmont, they think whether plants can grow only by drinking water.

As started with the experiment of Helmont, they understand the process of the experiments of Priestley and Ingenhousz and find out what plants require

to live. And they infer that plants require the light and carbon dioxide to create oxygen by photosynthesis such as Fig. 24. They learn the process and principles of photosynthesis in plants by looking at the chemical formula of photosynthesis. In this process, students understand the fact that the light energy is converted into the chemical energy by photosynthesis.

□ 광합성이란 무엇인가? 직접적으로 식물이 살아갈 수 있도록 해 주는 것은?



Fig. 24. Worksheet material of final STEAM program 1.

In the 2nd period, where creative design is started, students understand the breathing process of plants when compared to the process of photosynthesis such as Table 13. They find out how energy is created by understanding the breathing process.

Table 13. Final STEAM program 2nd period

Period	Step	Sub-theme				Contents
2	creative	To learn fractals by	⑤	①	③	Understanding the breathing process of plants

-
- Understanding how energy is created by using glucose that obtained from photosynthesis through breathing
 - Inferring how animals can obtain energy when compared to the chemical formula of breathing and the chemical formula of photosynthesis

㉓ ㉓ Understanding the energy source on the earth and solar energy

- Understanding that energy cannot be converted in both directions and looking for the sources of energy on the earth
- Recognizing the fact that most of the energy used on the earth is solar energy and understanding its importance

exploring the structure of stems and roots for photosynthesis and breathing of plants and identifying their properties

㉓ ㉓ Understanding the conditions for good photosynthesis and finding out that the structure of roots and stems helps photosynthesis of plants

- Understanding the factors for good photosynthesis
- Understanding the self-similarity for photosynthesis to be well done, the structure of the plants by itself rather than external factors

㉓ ㉓ Learning fractals

- Learning fractals by looking at the
-

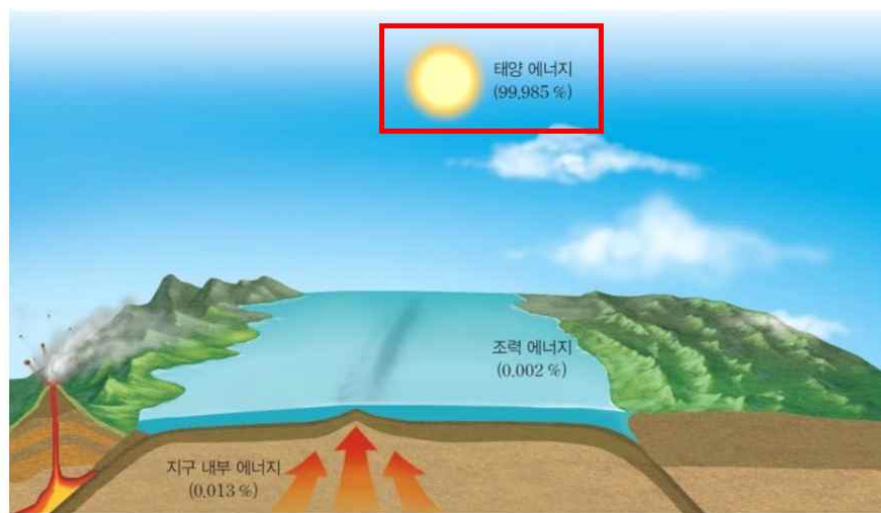
structure of stems and roots of plants

- Looking at fractals in nature and understanding the necessity of fractals

㉠ ㉡ **Identifying the properties of fractals**

- Inferring common properties of fractals by looking at examples of fractals in nature
 - Identifying the properties of fractals such that: self-similarity and cycling
-

Students infer how animals obtain energy when compared the way how plants obtain energy. In this process, they recognize that the source of energy that plants use for live is solar energy.



지구에 존재하는 에너지의 근원

에너지 지구의 에너지

Fig. 25. PPT material of final STEAM program 1.

Students understand that there is no new generation of energy on the earth

and identify sources of energy on the earth. They find out the importance of solar energy by recognizing that 99.985% of the sources of energy present on the earth are solar energy such as Fig. 25.

The following process is to understand the three external factors for photosynthesis to be well done, and identify the structure of stems and roots of plants for the efficiency of photosynthesis. By looking at the structure of plants related to self-similarity and the properties of plants, students learn fractals such as Fig. 26.

프랙탈 : 작은 구조가 전체 구조와
비슷한 형태로
끊임없이 되풀이되는 구조



프랙탈 프랙탈의 뜻

Fig. 26. PPT material of final STEAM program 2.

Students look at the origin of the fractals about that how long the coastline of Europe is, and identify the usefulness of fractals. They infer the common properties of fractals by looking at the uses of fractals. In this process, they can find out the properties of fractals such that: self-similarity and cycling.

In the 3rd period, students explore mathematical fractal shapes such as Table 14.

Table 14. Final STEAM program 3rd period

Period	Step	Sub-theme	Contents
3	Creative design	To identify the mathematical principles of fractals and understand the properties of fractals	<p>㉠ ㉡ ㉢ Drawing Sierpinski triangle and identifying the regularity</p> <ul style="list-style-type: none"> - Drawing Sierpinski triangle based on the regular triangle by utilizing the properties of fractals - Identifying the regularity by finding out the area and the length of the circumference of Sierpinski triangle as the step increase and inferring what will happen if it continues indefinitely
			<p>㉠ ㉡ ㉢ Drawing Sierpinski carpet and identifying the regularity</p> <ul style="list-style-type: none"> - Drawing Sierpinski carpet based on square by utilizing the properties of fractals - Identifying the regularity by finding out the area and the length of the circumference of the Sierpinski carpet as the step increase and inferring what will happen if it continues indefinitely
			<p>㉠ ㉡ ㉢ Designing Menger sponge, 3D fractal shape and identifying the regularity</p> <ul style="list-style-type: none"> - Drawing Menger sponge based on cube by utilizing the properties of fractals

-
- Identifying the regularity by finding out the volume and area of the surface of Menger sponge as the step increase and inferring what will happen if it continues indefinitely
-

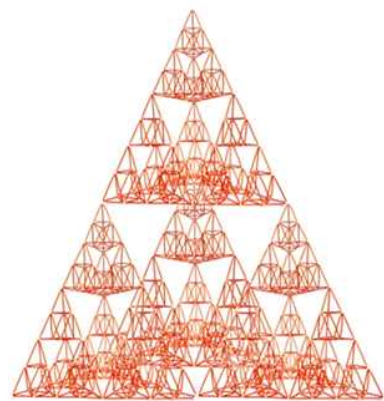
Students look at the Sierpinski triangle, which is considered a representative fractal shape in mathematics such as Fig 27. They draw Sierpinski triangle by based on regular triangle and identify the regularity by finding out the area and the length of the circumference of the Sierpinski triangle as the step increase. They understand triangles, which is newly created as the step increase, are all similar shapes with each other. And they learn that the ratio of the area of similar shapes can be obtained using the ratio of similarity.

□ 시에르핀스키 삼각형이란?

시에르핀스키 삼각형(Sierpinski triangle)은 폴란드의 수학자 바츨라프 시에르핀스키의 이름을 딴 프랙탈 도형이다.

시에르핀스키 삼각형은 다음과 같은 방법을 통해 얻을 수 있다.

- ① 정삼각형의 세 변의 중점을 이어 합동인 4개의 작은 정삼각형을 만든다.
- ② 가운데 있는 정삼각형을 제거하고 3개의 정삼각형만 남긴다.
- ③ 남은 정삼각형에 대해서도 이런 과정을 끊임없이 반복하면 시에르핀스키 삼각형을 얻을 수 있다.



[그림 17] 시에르핀스키 피라미드

프랙탈은 자기유사성과 순환성이 특징이므로 시에르핀스키 삼각형의 각 부분도 이런 성질이 있기 때문에 자기닮은 도형이라 할 수 있다.

Fig. 27. Worksheet material of final STEAM program 2.

Students identify how they can draw Sierpinski triangle by based on

regular triangle and find out the regularity. Then they can draw it by applying the regularity that they found out. In the process of drawing fractal shapes on their own, they can directly understand the increasing and decreasing parts of the shapes.

After drawing Sierpinski triangle, they draw Sierpinski carpet by utilizing the same principles to draw a Sierpinski triangle and find out the regularity. Both of Sierpinski triangle and Sierpinski carpet are 2D fractal shape based on regular polygons, so that their properties are similar. Then they draw Menger sponge, the 3D fractal shape based on the cube, and infer the properties of it.

In the 4th period, they look at various fractal designs and find out design elements in arts and principles of fractal design such as Table 15.

Table 15. Final STEAM program 4th period

Period	Step	Sub-theme	Contents
4	creative design	To understand principles of fractals and design elements, and find out it within artistic works	<p>③ ④ ⑤ Looking at a crystal structure of snow and understanding Koch's snowflakes that made by fractal rule</p> <p>- Looking at Koch's snowflakes and infer which rule it was made of</p> <p>- Looking at Koch's snowflakes and infer from which shape was started to make it</p> <p>⑥ ⑦ Identifying the generator and constructor of Sierpinski triangle and Koch's snowflakes</p> <p>- Learning the generator and constructor of fractal, and identifying the rule by looking at</p>

those fractal shapes

- Searching the generator and constructor of Koch's snowflakes

㉠ Understanding design elements in arts

- Learning design elements by looking at various design
- Identifying designs elements that utilized to heart, which is a kind of fractal designs

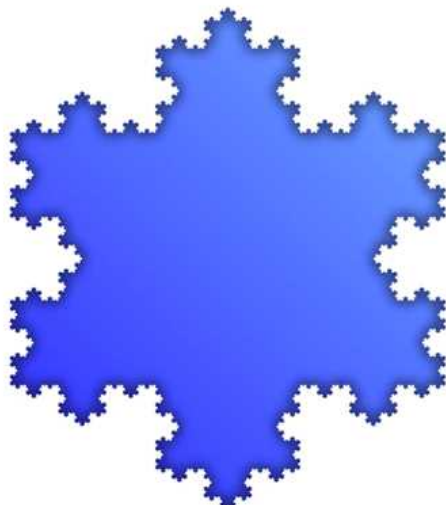
㉠ Identifying the four principles of fractal design

- Looking at the four principles of fractal design such that superposition, repetition, distortion, and scaling transformation
 - Exploring artistic works with each principle of fractal design and understanding it
-

After students learn fractal shapes that based on regular polygons, strict mathematical shapes, in the 4th period, students learn Koch's snowflakes which are fractal shapes by looking at a crystal structure of snow. In order to understand Koch's snowflakes, they learn generator and constructor, and understand the process of drawing it such as Fig. 28.

Afterwards, they look at fractal designs and learn the design elements: rhythm, proportion, balance, contrast, symmetry and emphasis, so on. Applying it to fractal design, they find out that design elements used within the presented design and they understand the principles of it. They learn four principles of fractal design: superposition, repetition, distortion, and scaling transformation. And then, they find these principles in the actual fractal design. In this process of finding principles of design, they can understand fractal design well.

□ 코흐 눈송이는 프랙탈 규칙에 따라 만들어진 도형입니다. 코흐 눈송이를 어떻게 만들 수 있을지 생각해 보고, 시초자와 생성자를 그려 봅시다.



[그림 3] 코흐 눈송이

생성자	시초자

Fig. 28. Worksheet material of final STEAM program 3.

In the 5th period, students look at fractal design used in various area and identify the uses of design such as Table 16.

Table 16. Final STEAM program 5th period

Period	Step	Sub-theme	Contents
5	creative	To explore fractal	① ㉠ Exploring fractal designs in various area

designs
and
design understand
the design
in life

-
- Exploring fractal designs in various area such that jewelry, environment, and architecture
 - Identifying principles of fractal design by looking at fractal design in various area, and recognizing how principles of fractal design are used

㉠ Finding out the means of design in modern society and identifying the uses of design

- Finding out the means of design in modern society and looking at the uses of several designs
- Understanding the process of design's birth and sketching a design that can advertise what they like on the road

㉡ Understanding the design in life

- Inferring the purpose of each design by looking at environmental design, and green design
 - Designing something by attaching new meaning to the environment around them
-

Students look at several fractal designs in various area, such as jewelry, environment, and achitecture. For instance, there are fractal designs that used in area of jewelry such as Fig. 29. And they identify principles of fractal designs by looking at fractal designs in various area, and recognize how principles of fractal design are used.

☉ 각 주얼리에서 사용된 프랙탈 조형 원리는?

		
<p>[그림 17] Jenny Lawlor, 〈ORBIT〉</p>	<p>[그림 18] Hyphae Jewelry, 〈vessel-2〉, 2011</p>	<p>[그림 19] 이정연, 〈Visual Rythm X〉, 2014</p>

Fig. 29. Worksheet material of final STEAM program 4.

Students find out the means of design while looking at the uses of design in various area. As the boundaries of various fields of design become blurred in modern society, the areas of design have become broader. They learn five conditions of design that is necessary in situations where students design on their own in later. They understand the process of design's birth and face the presented situation where they can design on their own such as Fig. 30.

☉ 도로에서 자신이 좋아하는 무언가를 광고할 수 있는 디자인을 스케치해봅시다.

<p>제품기획 / 아이디어 구상</p>	<p>아이디어 스케치</p>

Fig. 30. Worksheet material of final STEAM program 5.

As students design and express what they like around their real life, they understand the design in life, such as environmental design and green design. In the process of learning design in various area, they can improve creativity, as well as usefulness of design.

In the 6th period, they learn the universal design, which is called a design for everyone in the view of design in life such as Table 17.

Table 17. Final STEAM program 6th period

Period	Step	Sub-theme	Contents
6	creative design	To design appropriate technology in various situation and understand it	<p>㉠ ㉡ Understanding the means of universal design</p> <ul style="list-style-type: none"> - Learning the universal design and its seven principles, by looking at examples of it, and understanding the purpose of various designs
			<p>㉠ ㉡ Learning appropriate technology</p> <ul style="list-style-type: none"> - Learning appropriate technology when compared universal design, and understanding the four principles of it - Exploring the ball washing machine and the plastic bottle light bulb, and identifying the principles of appropriate technology and its usefulness
			<p>㉢ ㉠ ㉡ Planning appropriate technology to get drinking water in Africa</p>

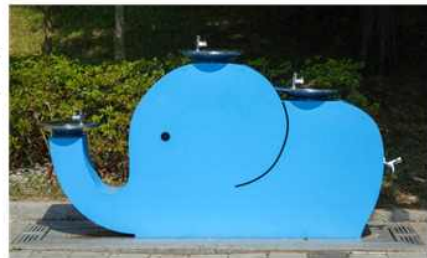
**by utilizing condensation from
water vapor**

- Planning appropriate technology to get drinking water in Africa through the fact that water vapor condenses well in Africa due to the wide temperature difference between day and night
 - Understanding appropriate technology by looking at the Warka water tower
-

Students understand the need of universal design, which refers to design for everyone to be used equally without discomfort such as Fig. 31.

□ 모두를 위한 디자인 (유니버설 디자인)

어린이나 노약자, 장애인, 소외 계층, 빈곤한 국가의 국민들은 많은 사람들이 편리하게 사용하고 있는 다양한 디자인의 혜택을 누리지 못하는 경우가 있다. 이러한 문제점을 극복하여 모든 사람이 평등하고 불편함 없이 사용할 수 있도록 고려한 디자인을 유니버설 디자인이라고 한다. 장애의 유무와 상관없이 모든 사람이 무리 없이 이용할 수 있도록 도구, 시설, 설비를 설계하는 것을 유니버설 디자인(공용화 설계)이라고 한다. 최근에는 노약자와 장애인만을 위한 것이 아니라 사용자 중심의 디자인이 강조되면서 그 범위가 확대되고 있다. 노스캐롤라이나 주립 대학교의 유니버설 디자인 센터는 미국 교육부의 국립장애재활 연구소 후원을 받아 다음과 같은 유니버설 디자인의 7대 원칙을 마련했다.



[그림 32] 코끼리 음수대

Fig. 31. Worksheet material of final STEAM program 6.

Students find out the seven principles of universal design: equitable use, flexibility in use, simple and intuitive use, perceptible information, tolerance for error, low physical effort, size and space for approach and use. They understand the purpose of universal design and look at how it is applied in the area of design. After they learn universal design, they try to design

something that are uncomfortable around them so that they can change it.

They learn appropriate technology that has similar philosophies, but slightly different uses with universal design. Universal design is a design for everyone, whereas appropriate technology is a technology not for everyone, but for specific someone. Both universal design and appropriate technology can be seen as an area of design from the view of designing somethings for a particular purpose. But mostly, appropriate technology is dealt with in the area of technology and engineering due to its uses and the technical needs.

They understand the means of appropriate technology by looking at examples of various appropriate technologies that can be used in regions and societies for need to help and support them as Fig. 32.



적정 기술이란?

적정 기술 누군가를 위한 기술

Fig. 32. PPT material of final STEAM program 3.

After students understand the means of appropriate technology when compared to universal design, they identify the principles of it. Appropriate technology has four principles: low cost and distance locality, local technology

and labor utilization, easy to use and maintain, and practice sharing in order to ensure that it can help people in need. Students find out the usefulness of it by looking at the ball washing machine and a plastic bottle light bulb.

□ 수증기의 응결 현상을 이용해 아프리카의 식수를 얻을 수 있는 적정 기술을 생각해 봅시다.

아프리카에서만 매일 10억 명의 사람들이 마실 물을 얻기 어려워 고통을 받고 있습니다. 에티오피아의 어느 마을에서는 매일 6시간 넘게 걸어 겨우 물을 얻지만, 그렇게 힘들게 구한 물이 흙탕물이거나 오염되어 오히려 건강에 위협을 주고 있습니다. **아프리카는 낮과 밤의 기온 차가 큰 곳이 많아서 응결 현상이 잘 일어납니다.** 응결이란 욕실의 천장에 물방울이 맺히거나, 유리창에 입김을 불면 뿌옇게 김이 서리는 것처럼 공기 중의 수증기가 차가운 물체의 표면에서 식으면서 물이 되어 맺힌 것입니다. 이를 이용해 식수를 얻을 수 있을까요?

참고자료:

http://www.edunet.net/nedu/contsvc/viewWkstCont.do?class_id=CLSS0000000363&menu_id=82&contents_id=d652b722-ecc8-4e6d-8e77-51239ce962c6&svc_class_id=CLSS0000072432&contents_openapi=naverdic

Fig. 33. Worksheet material of final STEAM program 7.

After students learn appropriate technology, they are asked to apply it and solve problems on their own. They will design appropriate technology by planning the situation that appropriate technology is required and using it in emotional experience step. To make it possible, students are given the situation that appropriate technology is required and the scientific principles that are available in the region. It is suggested the situations and conditions

that water vapor condensation is well done in Africa, where drinking water is difficult to obtain such as Fig. 33. They can create appropriate design to help that region by discussing with each member of the groups.

In the 7th period, the last of creative design, students understand the need for sustainable development and learn renewable energy such as Table 18.

Table 18. Final STEAM program 7th period

Period	Step	Sub-theme	Contents
7	creative design	To understand solar energy for sustainable development and figure out the uses of appropriate technology by making solar energy waterwheel	<p>㉓ ㉔ Understanding the need of sustainable development and renewable energy</p> <ul style="list-style-type: none"> - Recognizing the need for sustainable development and renewable energy - Understanding the fact that most of the renewable energy comes from solar energy and recognizing the importance of it
			<p>㉓ ㉔ ㉕ Making solar energy waterwheel</p> <ul style="list-style-type: none"> - Making solar energy waterwheel, a technology used solar energy - Finding out how solar cells are used and how the waterwheel works in the process of making it
			<p>㉔ ㉕ Thinking the uses of solar energy waterwheel</p> <ul style="list-style-type: none"> - Inferring what they can do with a solar energy waterwheel - Figuring out the uses of solar energy waterwheel in the view of appropriate technology

Students recognize the need for sustainable development to meet both the demands of current and future generations in the ethical and developmental view. They learn kinds of renewable energy for sustainable development such as Fig. 34.

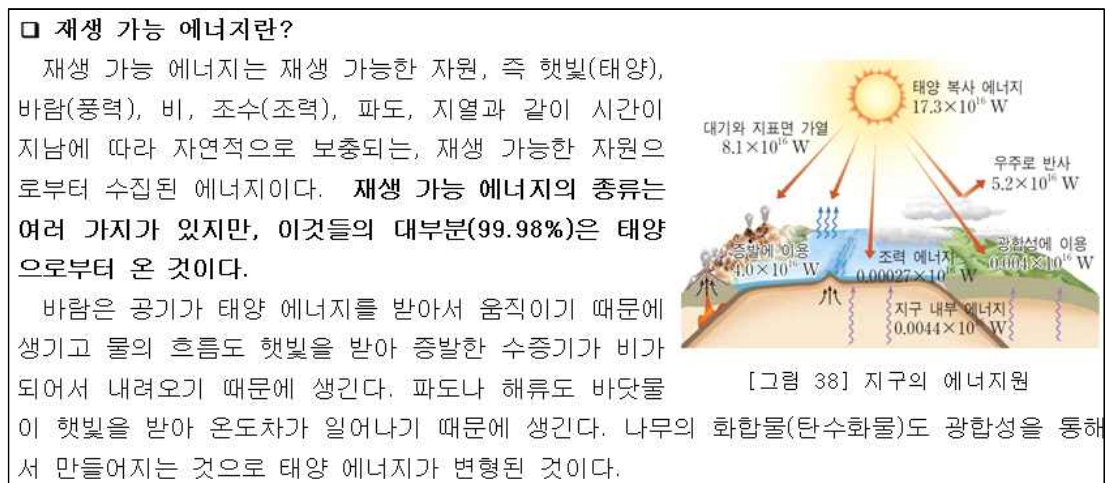


Fig. 34. Worksheet material of final STEAM program 8.

Students recognize the importance of solar energy once again after the 1st period by the fact that most of the renewable energy comes from solar energy. In this process, they understand how much solar energy is important. In order to find out directly the usefulness of solar energy, they make solar energy waterwheel such as Fig. 35.

Students figure out how solar cells are used while making solar energy waterwheel. As they experience to make a technology used solar energy on their own, they can come up with what they can do by using solar energy.



태양광 물레방아를 만들어 볼까요?

태양광 에너지 지속 기능을 위한 에너지

Fig. 35. PPT material of final STEAM program 4.

From 8th to 10th periods, the emotional experience is conducted such as Table 19. In the 8th period, where emotional experience is started, they review what they have learned in science, mathematics, arts, and technology and home economics. There are presented the problems utilizing photosynthesis in science; fractals in mathematics; design in arts; and appropriate technology in technology and home economics. They suggest a difficult situation in specific regions where is needed to help in order to deal with the theme of this program such that: ‘designing the appropriate technology to use solar energy based fractal’.

Table 19. Final STEAM program from 8th to 10th period

Period	Step	Sub-theme	Contents
8	emotional experience	To plan the creative product	<p>④ ① ② ③ ④ Reviewing what they have learned</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reviewing what they have learned about photosynthesis and breathing, fractal structure, principles of design, universal design, appropriate technology, sustainable development, and solar energy
			<p>④ ① ② ③ ④ Suggesting the situation that appropriate technology using solar energy is required</p> <ul style="list-style-type: none"> - Suggesting difficult situations in specific regions in need of help
9	emotional experience	To design the creative product	<p>④ ① ② ③ ④ Designing appropriate technology by using solar energy</p> <ul style="list-style-type: none"> - Designing the appropriate technology to use solar energy based fractal in order to help the region that they suggested
10	emotional experience	To present the creative product	<p>④ ① ② ③ ④ Presenting appropriate technology using solar energy</p> <ul style="list-style-type: none"> - Presenting appropriate technology using solar energy in groups - Giving feedback after the presentation

In the 9th period, students design appropriate technology that can help and

support in the situation that they suggested in 8th period in groups. They design using principles of fractal design such as a fractal structure of plants for efficient use of solar energy. They are asked to include what they have learned into their design. In other words, they are asked to think about the principles of converting solar energy into the energy what they need, in similar plants convert solar energy into chemical energy through photosynthesis.

In the 10th period, the last of this program, they present what they designed in groups. They suggest the situation that appropriate technology is needed at first, and explain which energy they will convert from solar energy. And they announce how they use the principles of fractal design in order to efficiently use solar energy. They emphasize how difficulties in the region can be solved in the future through this technology that they designed. After groups finished to present, teachers and their friends give feedback and presenter reflect what they did well, what they lacked, and what they needed to improve through it.

2. Application of Problem-Solving Based STEAM program

A. The results of pre-test

Before classes using the problem-solving based STEAM program are conducted, both experimental group and comparative group wrote pre-test of scientific attitude, mathematical attitude, creative problem-solving skills, STEAM literacy. The results of pre-test of two groups were compared and analyzed to ensure their equality. As a result, it was revealed that experimental group and comparative group were ensured to equal group about their four competencies such as Table 20.

Table 20. Comparison of pre-test results between experimental and comparative groups

Competencies	Group	Average	Standard deviation	<i>t</i>	<i>p</i>
Scientific attitude	Experimental	3.50	.325	.466	.644
	Comparative	3.54	.252		
Mathematical attitude	Experimental	3.71	.428	.439	.663
	Comparative	3.77	.362		
Creative problem-solving skills	Experimental	3.47	.292	.885	.382
	Comparative	3.55	.315		
STEAM literacy	Experimental	3.45	.363	1.038	.306
	Comparative	3.56	.292		

An average of the experimental group's scientific attitude was 3.50 and a standard deviation for them was .325. Besides an average of the comparative group's scientific attitude was 3.54 and a standard deviation for them was .252. In the result, scientific attitude of pre-test was not statistically significant by a significance level of 5% ($t = .466, p = .644$) so it means those are equal for scientific attitude.

An average of the experimental group's mathematical attitude was 3.71 and a standard deviation for them was .428. Besides an average of the comparative group's mathematical attitude was 3.77 and a standard deviation for them was .362. In the result, mathematical attitude of pre-test was not statistically significant by a significance level of 5% ($t = .439, p = .663$) so it means those are equal for mathematical attitude.

An average of the experimental group's creative problem-solving skills was 3.47 and a standard deviation for them was .292. Besides an average of the

comparative group's creative problem-solving skills was 3.55 and a standard deviation for them was .315. In the result, creative problem-solving skills of pre-test was not statistically significant by a significance level of 5% ($t = .885, p = .382$) so it means those are equal for creative problem-solving skills.

An average of the experimental group's STEAM literacy was 3.45 and a standard deviation for them was .363. Besides an average of the comparative group's STEAM literacy was 3.56 and a standard deviation for them was .292. In the result, STEAM literacy of pre-test was not statistically significant by a significance level of 5% ($t = 1.038, p = .306$) so it means those are equal for STEAM literacy.

After it was revealed that both groups were equal, experimental group was conducted classes using the problem-solving based STEAM program, whereas comparative group was conducted mathematics classes without convergence. After each class was conducted, both experimental group and comparative group wrote post-test of scientific attitude, mathematical attitude, creative problem-solving skills, STEAM literacy.

B. The post-test results of scientific attitude test

Scientific attitude consists of curiosity, patency, criticism, collaboration, volunteerism, persistence, and creativity. The results of scientific attitude test are such as Table 21.

Table 21. Comparison of post-test by scientific attitude from experimental and comparative groups

Competencies	Group	Average	Standard deviation	<i>t</i>	<i>p</i>
Scientific attitude	Experimental	4.05	.438	-5.032	.000***
	Comparative	3.49	.235		

Curiosity	Experimental	4.14	.662	-3.333	.002 ^{**}
	Comparative	3.39	.533		
Patency	Experimental	4.07	.600	-2.833	.007 ^{**}
	Comparative	3.55	.554		
Criticism	Experimental	4.23	.583	-3.544	.001 ^{**}
	Comparative	3.63	.482		
Collaboration	Experimental	4.55	.394	-5.053	.000 ^{***}
	Comparative	3.80	.534		
Volunteerism	Experimental	3.55	.736	-.177	.861
	Comparative	3.52	.411		
Persistence	Experimental	3.75	.700	-2.732	.009 ^{**}
	Comparative	3.22	.522		
Creativity	Experimental	4.00	.405	-6.831	.000 ^{***}
	Comparative	3.15	.382		

^{**} $p < 0.01$, ^{***} $p < 0.001$

An average of the experimental group's scientific attitude was 4.05 and a standard deviation for them was .438. Besides an average of the comparative group's scientific attitude was 3.49 and a standard deviation for them was .235. In the results, the scientific attitude of the students post-test after classes using the problem-solving based STEAM program were statistically significant ($t = -5.032$, ^{***} $p < 0.001$).

It shows a similar result with a prior study (Chae & No, 2013) that science-based STEAM classes had significant effect on improving positive scientific attitude. Other study (Chae & No, 2013) argued that the difference of the creativity was prominent in particular, which is similar to the results of this study.

An average of the experimental group's curiosity was 4.14 and a standard

deviation for them was .662. Besides an average of the comparative group's curiosity was 3.39 and a standard deviation for them was .533. In the results, curiosity within scientific attitude was statistically significant ($t = -3.333$, $**p < 0.01$). Curiosity about science in students can be improved by solving problems related to their real life (Lee & Hong, 2013). Students who participated in the problem-solving based STEAM classes showed curiosity about the concepts learned in their classes that can be applied in many areas of their real life. They were especially surprised to learn that the leaves of bracken, as well as the stems and roots of trees represent same fractal structure. Some students tried to explore how many fractal structures they can find in nature.

An average of the experimental group's patency was 4.07 and a standard deviation for them was .600. Besides an average of the comparative group's patency was 3.55 and a standard deviation for them was .554. In the results, patency within the scientific attitude was statistically significant ($t = -2.833$, $**p < 0.01$). It is similar to the result of a study (Kim *et al.*, 2016) that STEAM classes improved students' inferring competency within science research ability. Students seemed that they improved their ability with looking at each concept by multiple perspectives through STEAM classes.

An average of the experimental group's criticism was 4.23 and a standard deviation for them was .583. Besides an average of the comparative group's criticism was 3.63 and a standard deviation for them was .482. In the result, criticism within scientific attitude was statistically significant ($t = -3.544$, $**p < 0.01$). A study (Moon & Hong, 2019) argued that STEAM classes improved students' ability by reflecting whether what they usually took for granted was right. In these classes, students used to determine if other students' opinions were reasonable in group work.

An average of the experimental group's collaboration was 4.55 and a

standard deviation for them was .394. Besides an average of the comparative group's collaboration was 3.80 and a standard deviation for them was .534. In the result, collaboration within scientific attitude was statistically significant ($t = -5.053$, $***p < 0.001$). A study (Kim, 2017) argued that problem-based learning has greatly affected on improving skills for caring and collaboration with others. The problem-solving based STEAM program was developed with focus on problem-based learning, so it seemed to have affected improving collaboration skills. In the problem-solving based STEAM classes, students were encouraged to achieve their goals in a cooperative way (Zollman, 2012). Students showed that they gradually cooperated more to solve problems in groups.

An average of the experimental group's volunteerism was 3.55 and a standard deviation for them was .736. Besides an average of the comparative group's volunteerism was 3.52 and a standard deviation for them was .411. In the result, volunteerism within scientific attitude was not statistically significant ($t = -.177$, $p = .861$). Students showed to have fewer presentations when they learned arts, and technology and home economics when compared to science and mathematics. A prior study (Park *et al.*, 2012) argued that science and mathematics gifted students are more confident when they are learning science and mathematics than other subjects. Science and mathematics gifted students seemed that they were not active enough when they learned other subjects that they were not confident in. For this reason, it can be interpreted that there is not much difference from the comparative group that only learned the basic contents of mathematics.

An average of the experimental group's persistence was 3.75 and a standard deviation for them was .700. Besides an average of the comparative group's persistence was 3.22 and a standard deviation for them was .522. In the result, persistence within scientific attitude was statistically significant

($t = -2.732$, $**p < 0.01$). Through the integrated education, students can broaden their understanding of the tasks that they have to perform (Basham & Mario, 2013). As students learn whether they could solve problems by understanding it correctly, it affects their ability to concentrate on the task.

An average of the experimental group's creativity was 4.00 and a standard deviation for them was .405. Besides an average of the comparative group's creativity was 3.15 and a standard deviation for them was .382. In the result, creativity within scientific attitude was statistically significant ($t = -6.831$, $***p < 0.001$). As the goal of STEAM is improving creative problem-solving skills, many studies argued that STEAM improves students' creativity (Choi, 2017; Kim & Yoo, 2018; Kim & Jung, 2018). Students were showed to create new ideas by converging diverse knowledge in solving problems based on what they had learned in various subjects. Through convergence of subjects, students can solve complex problems well.

C. The post-test results of mathematical attitude test

Mathematical attitude consists of interest, confidence, value awareness, and willingness to learn. The results of mathematical attitude test are such as Table 22.

Table 22. Comparison of post-test by mathematical attitude from experimental and comparative groups

Competencies	Group	Average	Standard deviation	<i>t</i>	<i>p</i>
Mathematical attitude	Experimental	4.33	.377	-3.015	.005 ^{**}
	Comparative	3.96	.404		
Interest	Experimental	4.32	.427	-2.474	.018 [*]
	Comparative	3.90	.627		

Confidence	Experimental	4.29	.479	-1.974	.056
	Comparative	4.00	.450		
Value awareness	Experimental	4.27	.528	-1.268	.213
	Comparative	4.06	.520		
Willingness to learn	Experimental	4.43	.407	-4.555	.000***
	Comparative	3.86	.381		

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

An average of the experimental group's mathematical attitude was 4.33 and a standard deviation for them was .377. Besides an average of the comparative group's mathematical attitude was 3.96 and a standard deviation for them was .404. In the result, mathematical attitude of post-test after classes using the problem-solving based STEAM program were statistically significant ($t = -3.015$, ** $p < 0.01$).

This is in line with a study (Lee & Choi, 2017) that STEAM-based mathematics classes had a lot of effects on improving students' positive mathematical attitude. They can figure out the usefulness of mathematics and improve a positive mathematical attitude by applying what they have learned in mathematics to other subjects (Han, 2018).

An average of the experimental group's interest was 4.32 and a standard deviation for them was .427. Besides an average of the comparative group's interest was 3.90 and a standard deviation for them was .627. In the result, interest within mathematical attitude was statistically significant ($t = -2.474$, * $p < 0.05$). A study (Heo & Oh, 2020d) argued that students were interested in mathematics classes that do not deal with numbers or do not solve equations. Students can improve positive attitude toward mathematics through mathematics classes that can arouse their motivation (Oh, 2000).

They felt more a sense of accomplishments and thought mathematics is an interesting subject in the view that mathematical contents were related to other areas (Heo & Oh, 2020e). In this study, students seemed to have interest about that mathematical fractal shape are applied many areas such as science and design.

An average of the experimental group's confidence was 4.29 and a standard deviation for them was .479. Besides an average of the comparative group's confidence was 4.00 and a standard deviation for them was .450. In the result, confidence within mathematical attitude was not statistically significant ($t = -.974, p = .056$). A study (Park & Choi, 2019) argued there are some competencies that are difficult to improve by a short-term program after analyzing results on mathematics-based STEAM program. It said even if all sub-elements of the mathematical attitude are not developed, mathematical attitudes can be improved enough when students feel interest and usefulness of mathematics. On the other hand, because comparative group was also conducted mathematics classes and improved confidence toward mathematics, it seemed that it was not significant.

An average of the experimental group's value awareness was 4.27 and a standard deviation for them was .528. Besides an average of the comparative group's value awareness was 4.06 and a standard deviation for them was .520. In the result, value awareness within mathematical attitude was not statistically significant ($t = -1.268, p = .213$). The affective characteristics toward mathematics is defined by a continuous pattern of behavior or attitude in mathematics learning, which does not easily change by a short-term program (Anderson, 1981). Because mathematics gifted students have positively awarded the value of mathematics, the effect of the problem-solving based STEAM program was not significant. It is in line with a study (Heo & Oh, 2020b) argued that most of students have already understood the importance of mathematics although they dislike mathematics.

An average of the experimental group's willingness to learn was 4.43 and a standard deviation for them was .407. Besides an average of the comparative group's willingness to learn was 3.86 and a standard deviation for them was .381. In the result, willingness to learn within the mathematical attitude was statistically significant ($t = -4.555$, $***p < 0.001$). Gifted students were not interested in school classes because they already had a lot of private classes (Han & Park, 2013). Many gifted students tend to think that they were learning what they already knew, so they do not have an interest to study well. However, students who had never encountered convergence classes before, took part in the problem-solving based STEAM classes with enthusiasm. If new stimulation has continuously provided to students through STEAM classes, students' willingness to learn will gradually increase.

D. The post-test results of creative problem-solving skills test

Creative problem-solving skills consists of understanding, divergence, criticism, and motivation. The results of creative problem-solving skills test is such as Table 23.

Table 23. Comparison of post-test by creative problem-solving skills from experimental and comparative groups

Competencies	Group	Average	Standard deviation	<i>t</i>	<i>p</i>
Creative problem-solving skills	Experimental	4.14	.473	-2.256	.030*
	Comparative	3.82	.423		
Understanding	Experimental	3.92	.640	-4.123	.000***
	Comparative	3.19	.466		
Divergence	Experimental	4.07	.589	-2.427	.020*
	Comparative	3.59	.660		

Criticism	Experimental	4.32	.437	-.910	.368
	Comparative	4.19	.466		
Motivation	Experimental	4.25	.565	.347	.731
	Comparative	4.31	.560		

* $p < 0.05$, *** $p < 0.001$

An average of the experimental group's creative problem-solving skills was 4.14 and a standard deviation for them was .473. Besides an average of the comparative group's creative problem-solving skills was 3.82 and a standard deviation for them was .423. In the results, creative problem-solving skills of post-test after classes using the problem-solving based STEAM program were statistically significant ($t = -2.256$, * $p < 0.05$).

It is similar to a study (Kim & Choi, 2013) argued that the STEAM program about 'structure and function of plants' has affected students' creative problem-solving skills. The study argued that students can improve their creative problem-solving skills by passing experiencing creative design step and emotional experience step in order to solve presented problems. There were no statistically significant differences in criticism and motivation, whereas there were statistically significant differences in understanding and divergence. It is in line with studies (Yang *et al.*, 2016; Moon & Hong, 2019).

An average of the experimental group's understanding was 3.92 and a standard deviation for them was .640. Besides an average of the comparative group's understanding was 3.19 and a standard deviation for them was .466. In the result, understanding within creative problem-solving skills was statistically significant ($t = -4.123$, *** $p < 0.001$). Through the problem-based learning, students can solve the problems by exploring problem situations and finding ideas (Kim & Kang, 2007). Students tried to understand problems by compiling the information that they knew to solve it. In this process, it

seemed for students to improve their understanding.

An average of the experimental group's divergence was 4.07 and a standard deviation for them was .589. Besides an average of the comparative group's divergence was 3.59 and a standard deviation for them was .660. In the result, divergence within creative problem-solving skills was statistically significant ($t = -2.427$, $*p < 0.05$). A study (Woo & Hong, 2016) argued that students improve their divergent thinking by creating various products and telling their own opinion. They tried to think with various perspectives to solve problems.

An average of the experimental group's criticism was 4.32 and a standard deviation for them was .437. Besides an average of the comparative group's criticism was 4.19 and a standard deviation for them was .466. In the result, criticism within creative problem-solving skills was not statistically significant ($t = -.910$, $p = .368$). It is quite different from the results of scientific attitude test that showed significant effect on criticism. Both areas are related to criticism, but the means of each question are different. Questions of scientific attitude's criticism are "Weighing if there is sufficient evidence.", "Asking if you do not think it is right.", and "Suggesting different opinion.". Those are about post-actions after they think critically. Whereas, questions of creative problem-solving skills' criticism are "Knowing the difference between facts and imagination.", "Refining the conclusion well.", "Drawing conclusions well.", "Telling whether it is true.", and "Finding information well.". Those are about judgement and reasoning from critical thinking. Students seemed to improve some abilities to critically weigh what they are curious. However, it can be interpreted that judging and reasoning about information and facts have not been greatly developed.

An average of the experimental group's motivation was 4.25 and a standard deviation for them was .565. Besides an average of the comparative group's

motivation was 4.31 and a standard deviation for them was .560. In the result, motivation within creative problem-solving skills was not statistically significant ($t = -.347$ $p = .731$). Gifted students tend to be well motivated when they learn their favorite subjects, whereas they neglect learning other subjects that they dislike (Heo & Lee, 2008). In the view of it, the result can be considered in relation to the fact that there was no statistically significant effect on volunteerism within the scientific attitude. Thus, it can be interpreted that science and mathematics gifted students are not well motivated to learn other subject.

E. The post-test results of STEAM literacy test

STEAM literacy consists of creativity, communication, convergence, and caring. The results of STEAM literacy test is such as Table 24.

Table 24 Comparison of post-test by STEAM literacy from experimental and comparative groups

Competencies	Group	Average	Standard deviation	<i>t</i>	<i>p</i>
STEAM literacy	Experimental	4.27	.350	-6.753	.000***
	Comparative	3.56	.309		
Creativity	Experimental	4.14	.454	-5.741	.000***
	Comparative	3.39	.368		
Communication	Experimental	4.30	.321	-9.488	.000***
	Comparative	3.28	.358		
Convergence	Experimental	4.36	.387	-5.197	.000***
	Comparative	3.75	.358		
Caring	Experimental	4.25	.519	-1.959	.057
	Comparative	3.89	.637		

* $p < 0.05$, *** $p < 0.001$

An average of the experimental group's STEAM literacy was 4.27 and a standard deviation for them was .350. Besides an average of the comparative group's STEAM literacy was 3.56 and a standard deviation for them was .309. In the result, STEAM literacy of post-test after classes using the problem-solving based STEAM program were statistically significant ($t = -6.753$, $*** p < 0.001$).

It is similar to a study (Lee & Kim, 2013) argued that STEAM classes have significant effect on improving STEAM literacy. As the purpose of STEAM is improving STEAM literacy, it seems that STEAM classes have to affect on developing STEAM literacy.

An average of the experimental group's creativity was 4.14 and a standard deviation for them was .454. Besides an average of the comparative group's creativity was 3.39 and a standard deviation for them was .368. In the result, creativity within STEAM literacy was statistically significant ($t = -5.741$, $*** p < 0.001$). It can be associated with that there was significantly effect on understanding and divergence within creative problem-solving skills. Students understand contents that they have learned in various subjects and created various strategies to solve problems by applying it. In this process, it seems that students' creativity has naturally been improved.

An average of the experimental group's communication was 4.30 and a standard deviation for them was .321. Besides an average of the comparative group's communication was 3.28 and a standard deviation for them was .358. In the result, communication within STEAM literacy was statistically significant ($t = -9.488$, $*** p < 0.001$). Communication skills are naturally improved by discussing with group members in order to solve convergence problems in STEAM classes. In this study, students were asked to solve the problems in the problem-solving based STEAM classes in groups. It seems for students to improve communication skills by this point.

An average of the experimental group's convergence was 4.36 and a standard deviation for them was .387. Besides an average of the comparative group's convergence was 3.75 and a standard deviation for them was .358. In the result, convergence within STEAM literacy was statistically significant ($t = -5.197$, $***p < 0.001$). It is similar to studies (Lee & Kim, 2013; Kim & Moon, 2016) argued that STEAM classes had a positive effect on improving STEAM literacy. It seems reasonable that students' STEAM literacy is improved through STEAM classes because the classes were conducted with converging various subjects.

An average of the experimental group's caring was 4.25 and a standard deviation for them was .519. Besides an average of the comparative group's caring was 3.89 and a standard deviation for them was .637. In the result, caring within STEAM literacy was not statistically significant ($t = -1.959$, $p = .059$). It is similar to a study (Lee *et al.*, 2013) argued that STEAM classes had no significant effect on caring within STEAM literacy. It said that students tended to be more competitive in presenting their ideas rather than telling others what they thought. In this study, some students wrote or presented by themselves what they had not discussed in their group. It is necessary to develop caring that can make to reveal their ideas to others in order to reborn as a future talent.

F. The result of STEAM satisfaction survey

After completing the STEAM classes, a STEAM satisfaction survey was conducted on the experimental group such as Table 25. The survey found that all but one question scored a high average of 4.5 points or more (out of 5). The survey is consisted of 18 questions, and an average for all questions was 4.53, it means that students very satisfied with the STEAM classes.

Table 25. Satisfaction survey result of STEAM program

Contents	Average
1. I became interested in science class.	4.55
2. I understood a lot about the contents of science and mathematics.	4.5
3. I became interested in science and mathematics learning.	4.65
4. I began having an interest in science and technology.	4.45
5. I became being fond of reading somethings about science.	4.5
6. I became thought by myself to solve the problems.	4.55
7. I became that I can finish various studies well.	4.5
8. I thought about one problem in various ways.	4.55
9. I tried to associate what I learned with real life.	4.55
10. I tried to apply the knowledge that I learned in various subjects at the same time to solve problems.	4.55
11. I participated actively in the classes.	4.2
12. I shared my opinions with my friends.	4.5
13. I expressed my ideas to my friends.	4.65
14. I listened and respected friends' opinions.	4.55
15. I became thought about the importance of working with friends.	4.6
16. I began having consideration for others.	4.65
17. I became being not afraid to fail and having a sense of challenge.	4.55
18. I became interested in work related to science and technology.	4.5
Total average	4.53

The highest scoring questions scored 4.65 points and those are “3. I became interested in science and mathematics learning.”, “13. I expressed

my ideas to my friends.”, and “16. I began having consideration for others.”. It is in line with a study (Kang & Seo, 2013) argued that students satisfied with STEAM classes by expressing their ideas and caring others. Students seem to be less resistant to expressing what they know to others.

The lowest scoring question scored 4.2 points and it is “11. I participated actively in the classes.”. It is similar to the fact that there was no significant effect on volunteerism within scientific attitude. When the classes were started, students were embarrassed because they have to learn other subjects in science and mathematics classes. But as the classes progressed, they gradually shared their opinions and solved problems with others.

3. Students’ Response to problem-solving based STEAM classes

After the problem-solving based STEAM classes were finished, students were asked to write a review and have an interview. Students’ responses within review and interview are such as below.

A. Response related to scientific attitude and mathematical attitude

- *It was amazing that various subjects could be connected and it was more interested than just learning one subject.*
- *I was worried that I would learn many subjects, but the fact that those are linked to many areas made me to be fond of science even more.*
- *Knowing that science and mathematics used in many places has made me to think that those are not so difficult.*

Students, who said they are fond of study science and mathematics than other subjects, responded that it was interesting to know that science and mathematics can be used in other subjects. They said that they were able to

accept the difficult concepts when they knew those would be used in real life. The student who wrote Fig. 36. said he cannot solve this problem by his own if he had learned fractals just in the view of mathematics.

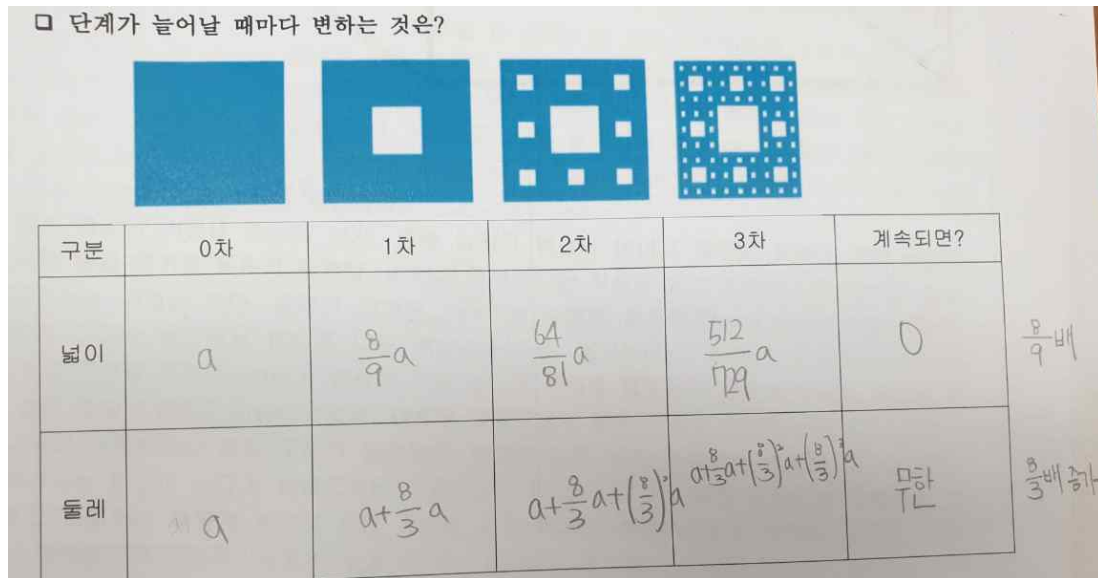


Fig. 36. Content of Worksheet material written by student 1.

He said that he did not want to learn something very difficult although he like mathematics. But after he knew those difficult concepts could be useful in real life or other subjects, his attitude was changed. Students showed to make more effort to solve difficult problems because they wanted to know how other difficult concepts can be used in. He realized solving problems can make him to develop motivation to study as well as problem-solving skills.

B. Response related to problem-solving skills

- I thought c would be difficult, but I was surprised to find better idea than what I thought as I talked with my friends.
- It was amazing I have learned a lot, but I still have got more questions.
- I realized it could be better to ask someone else when there was

something I did not know.

When the classes were started, there were students who thought that their opinions would be better than others. They often wrote their opinions only on their own papers without telling others. Some of them were reluctant to discuss or they did not understand the necessity of discussion with others. But as they shared what they thought, recognize others' opinions could be better than their ideas. And it makes that discussion became more active.

They understood solving problems with other friends helps to make them better. The design created with different opinions, such as Fig. 37., was started with a student's question of how get good ventilation. After that question, every group members suggested their opinions, and it makes that they could create a fine design.

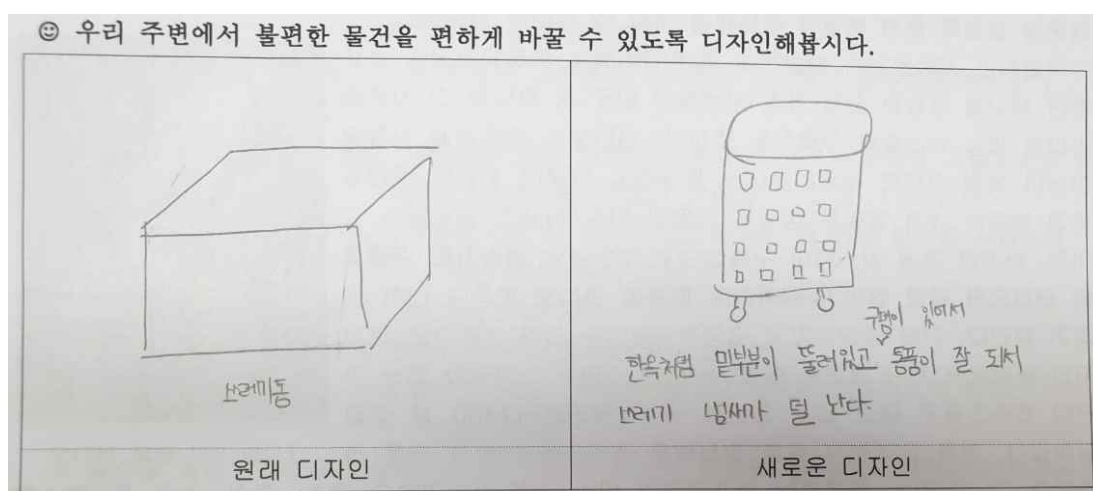


Fig. 37. Content of Worksheet material written by student 2.

C. Response related to STEAM literacy

- *It was amazing that what seemed to be separate fields were converged into one field.*
- *I have understood that science, mathematics and technology can be*

converged but it was amazing that arts was converged too.
 - I learned each subject separately and used knowledge of a subject to solve problems. But through this classes, I learned how to think by converging what I learned in various subjects to solve problems.

The most common response within the review and interview was that it was amazing that various subjects could be converged. After they experienced that they solved problems by converging different subjects, they said they became thought by converging what they knew and learned in different subjets.

They responded that the specific contents of each subject directly affected the most on the convergence the contents of various subjects. The students who wrote the worksheet such as Fig. 38. said that it was better understood as she learned the concept of photosynthesis by inferring from various facts and experiments in order to solve problems.

□ 광합성이란 무엇인가? 직접적으로 식물이 살아갈 수 있도록 해 주는 것은?

광합성이란 합성되어 생기는 화학 에너지이다.
 이산화탄소라 물이 살아갈 수 있도록
 햇빛, 흙, 산소, 물이
 직접적으로 해준다.

광합성 식
 $6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{빛에너지, 포도당}} \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{H}_2\text{O} + 6\text{O}_2$

광합성 ← → 흙
 물 + 이산화탄소 → 포도당 + 산소 → 물 + 이산화탄소 + 에너지

[그림 6] 식물의 대사 과정

★ 광합성 식 : $6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{빛에너지}} \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{H}_2\text{O} + 6\text{O}_2$

Fig. 38. Content of Worksheet material written by student 3.

As students solve meaningful problems related to photosynthesis, they said that they could understand the concepts and conditions of photosynthesis. Even though they did not experiments on their own, but they learned several conditions of photosynthesis by exploring each experience. So they thought that they could understand how plants do photosynthesis and what they need for doing photosynthesis. In order to learn photosynthesis, students were asked to discuss the validity of Helmont's experience.

Some students said that it was difficult to learn the contents of various subjects at the same time. However, it seemed that most of students understood well because they did not learn everything in each subject, but only the specific concepts they needed for each subject. A students who wrote Fig. 39. said it was amazing because he thought that he had learned each concept separately at first, but those concepts were connected as one gradually.

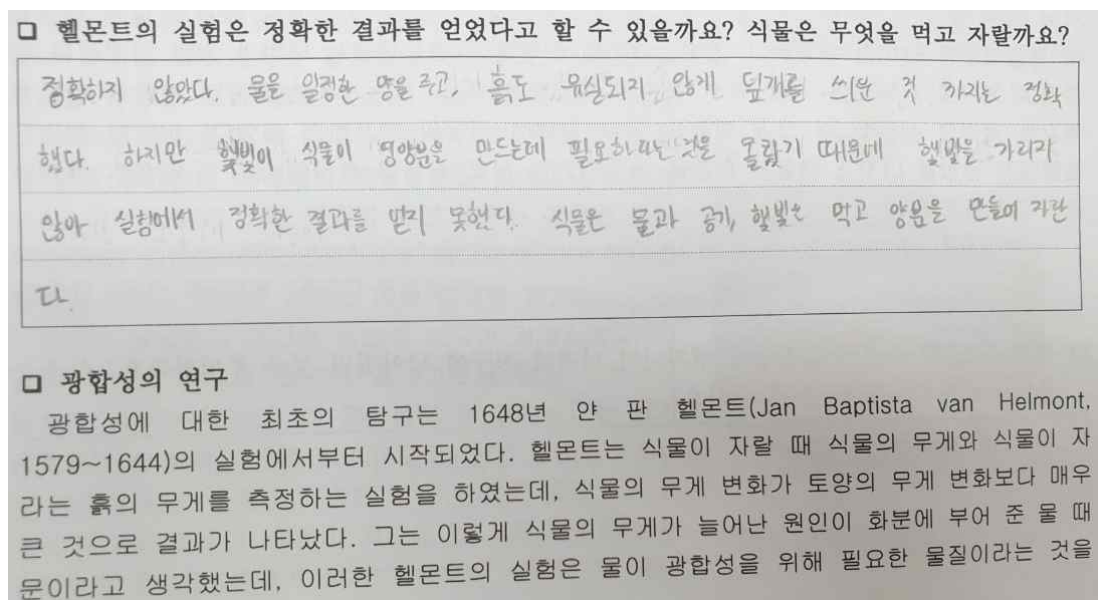


Fig. 39. Content of Worksheet material written by student 4.

D. Response related to design creative output

- Before the classes, I did not bother to try that seems not to work, but now I recognize everything is going to be okay through this classes because many problems in this classes seemed not to solve but it worked.
- It was amazing that I could solve the problems using several contents in various subjects.
- As I learned many things in each subject, I thought that I became smarter and I could solve the problems better in the future.

As what students have learned in the classes can be used in their real life, they were experienced cases in which they can apply what they learned. They were suggested problems to design something they can usually see in their life. They learned design elements and principles of design, the process of design's birth and after that, they were asked to think what they want to express. Then they created design to advertise what they like. Students created their advertisement such as Fig. 40.

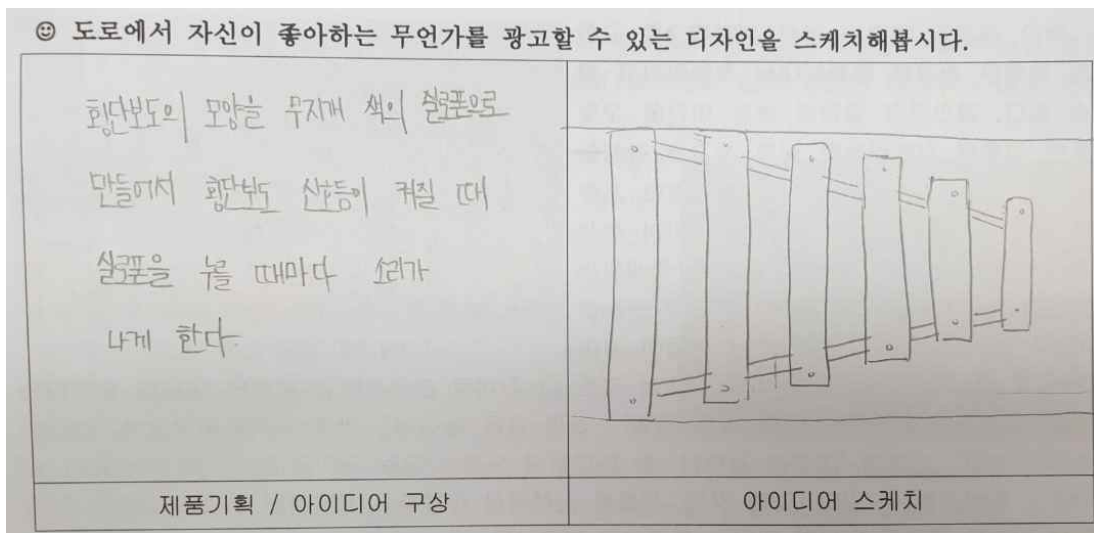


Fig. 40. Content of Worksheet material written by student 5.

Students have gained a successful experience that they will eventually be able to solve any difficult problems through the problem-solving based STEAM classes. Because the program was based on problem-based learning method, students who were studied through this program could develop various competencies including problem-solving skills. By solving meaningful and practical problems, they understood how they converge and apply the contents of different subjects to solve the presented problems.

The problems in this program would have been difficult enough for students who had never solved problems by converging the concepts of various subjects. But they could think of creative ideas such as Fig. 41. after they think and discuss enough.

□ 수증기의 응결 현상을 이용해 아프리카의 식수를 얻을 수 있는 적정 기술을 생각해 봅시다.

아프리카에서만 매일 10억 명의 사람들이 마실 물을 얻기 어려워 고통을 받고 있습니다. 에티오피아의 어느 마을에서는 매일 6시간 넘게 걸어 겨우 물을 얻지만, 그렇게 힘들게 구한 물이 흙탕물이거나 오염되어 오히려 건강에 위협을 주고 있습니다. 아프리카는 낮과 밤의 기온 차가 큰 곳이 많아서 응결 현상이 잘 일어납니다. 응결이란 특실의 천장에 물방울이 맺히거나, 유리창에 입김을 불면 뿌옇게 김이 서리는 것처럼 공기 중의 수증기가 차가운 물체의 표면에서 식으면서 물이 되어 맺힌 것입니다. 이를 이용해 식수를 얻을 수 있을까요?

참고자료:
http://www.edunet.net/nedu/contsvc/viewWkstCont.do?class_id=CLSS0000000363&menu_id=d=82&contents_id=d652b722-ecc8-4e6d-8e77-51239ce962c6&svc_class_id=CLSS0000072432&contents_openapi=naverdic

통에 들어있는

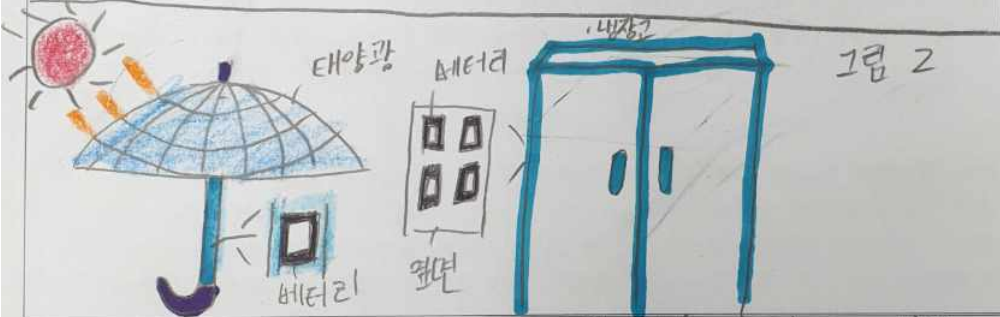
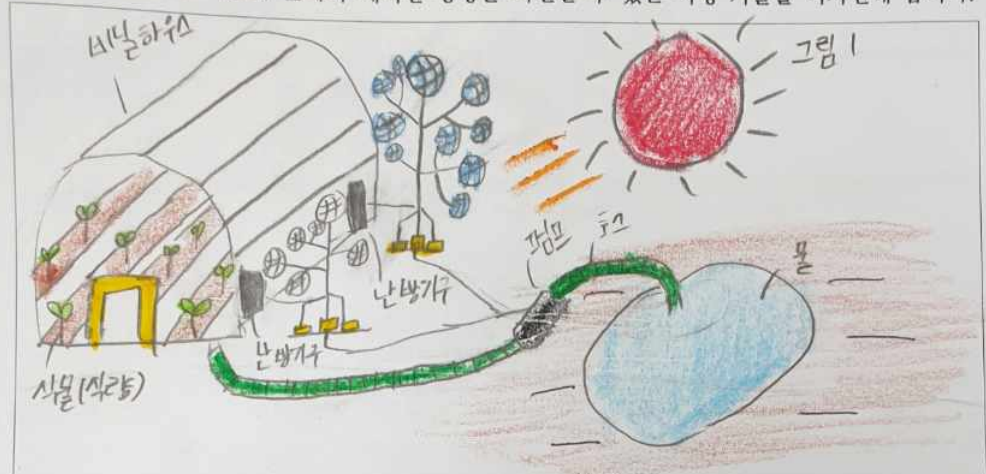
<p>얼음을 정공양이 놓고 밑에 미니 선 풍기를 달아서 온도를 유지한다. 통에 응결이 맺는다. 계속 물이 생겨서 물을 모은다.</p>	
---	--

Fig. 41. Content of Worksheet material written by student 6.

Students learned that they could create an output by converging what they had learned in each subject. It is in line with the comprehensive approach emphasized by problem-based learning. In problem-based learning (PBL), it is effective when problems reflected real life were suggested in order to motivate students. Because the problem-solving based STEAM program was dealt with meaningful and practical problems, students seemed to be motivated to learn.

Students can naturally improve their problem-solving skills as well as collaboration skills while discussing and solving problems in groups. As a result, they were able to create output, which were asked for the result of the class, such as Fig. 42, 43, 44.

□ 태양 에너지를 이용해 앞에서 제시한 상황을 지원할 수 있는 적정 기술을 디자인해 봅시다.



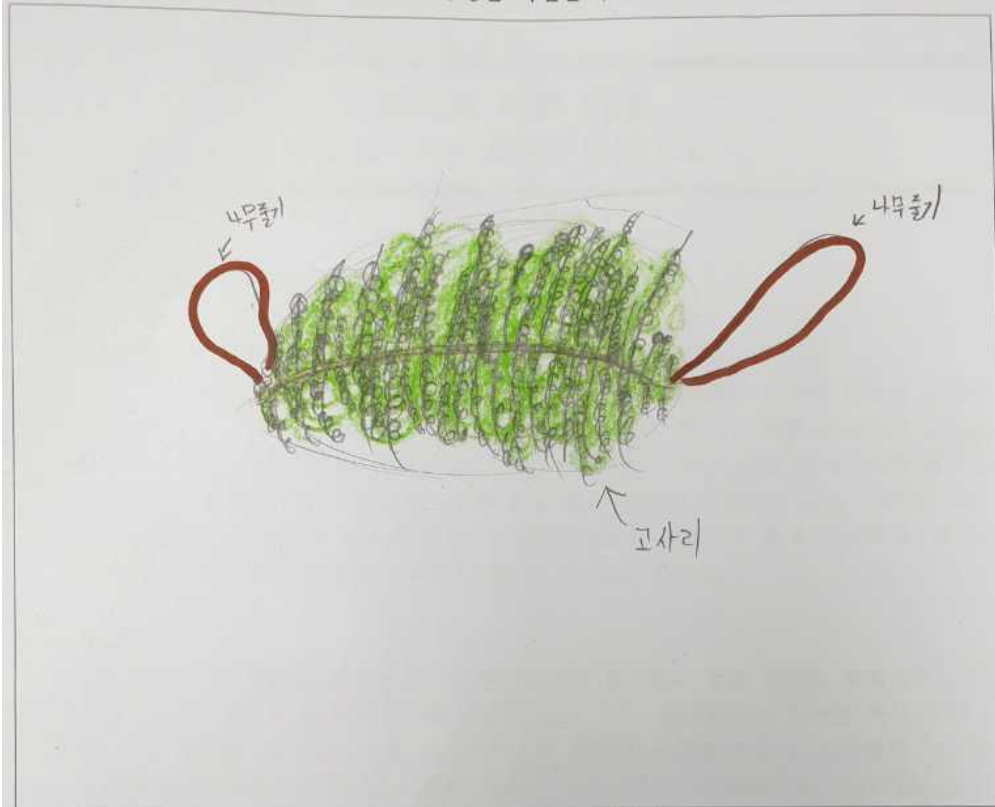
적정 기술에서 사용된 태양 에너지의 쓰임과 그 원리 : 그림 1에서는 규모상으로 태양광 전지를 설치해 어느 방향으로 에너지를 얻을 수 있도록 했고 이 에너지를 식물 가장 잘 자랄 수 있는 온도를 유지하기 위해 난방기에 쓰고 물을 끌어 올리기 위한 펌프로 사용했다. 그림 2에서는 우산에 굵직한 면을 완만하게 해서 표면적을 넓혀 에너지 효율적으로 생산될 수 있게 했고 이 에너지를 주민들의 생활에너지에 사용했다.

태양 에너지의 효율적인 활용을 위해 쓰인 프랙탈의 원리 : 그림 1에서 에너지를 생산하는 장치에서 스케일링 변환과 반복이라는 조형 원리를 활용해서 미적인 감각을 얻을 수 있고 빛과 닿는 표면적이 넓어 많은 에너지를 생산할 수 있다.

적정 기술로 인해 기대되는 효과와 미래의 모습 : 그림 1에서는 태양광장치로 인해 식물(작물)을 생산할 수 있어 식량부족 문제를 해결할 수 있고 프랙탈 구조를 활용한 장치를 통해 미적효과를 누릴 수 있다. 그림 2에서는 양산을 통해 에너지 뿐만 아니라 그늘을 만들어 열사병을 예방할 수 있고 냉장고로 음식을 상하지 않게 보관하면서 주민들의 생활수준을 높일 수 있다.

Fig. 42. Content of Worksheet material written by student 7.

□ 태양 에너지를 이용해 앞에서 제시한 상황을 지원할 수 있는 적정 기술을 디자인해 봅시다.



적정 기술에서 사용된 태양 에너지의 쓰임과 그 원리 : 고사리가 광합성을 할 때 물, 이산화탄소, 빛 에너지가 필요한데 물은 사람들이 말할 때 튀는 비말과 공기 중에 떠다니는 물을 이용해 얻고, 이산화탄소는 사람들이 호흡한 후 내뿜는 이산화탄소를 껍질 통과 얻는다. 마지막으로 빛에너지는 태양에너지에서 얻고, 이를 광합성을 할 때 사용해서 산소를 발생시키고 사람들이 숨쉴 때 더 잘 쉬 수 있게 한다.

태양 에너지의 효율적인 활용을 위해 쓰인 프랙탈의 원리 : 나무에 광합성을 하기 위해 태양 에너지를 받는 면적을 최대로 늘릴 수 있는 프랙탈 모양인 고사리를 사용해서 광합성으로 인해 생성되는 산소의 양을 증가시킬 수 있게 만든 역할을 한다.

적정 기술로 인해 기대되는 효과와 미래의 모습 : 친환경적인 재료를 이용하여 환경오염을 줄이고 제품을 만들 때 드는 돈을 줄일 수 있다. 코로나 같은 전염병으로부터 의의사별이 없는 지역과 돈이 없이 마크는 살 수 없는 지역들을 보살볼 수 있고, 주변에서 쉽게 구할 수 있는 재료를 사용하여 건설비가 줄어든다.

Fig. 43. Content of Worksheet material written by student 8.

□ 태양 에너지를 이용해 앞에서 제시한 상황을 지원할 수 있는 적정 기술을 디자인해 봅시다.



적정 기술에서 사용된 태양 에너지의 쓰임과 그 원리 :

앞 부분에서는 태양광 전지판을 이용해 전기를 생산한다. 그리고 증류수를 만드는 장치는 태양열을 이용해서 물을 증발시킨다.

태양 에너지의 효율적인 활용을 위해 쓰인 프랙탈의 원리 :

태양광 전지판에 프랙탈의 원리 중 스케일링 변환이 사용되었다.
(태양광 전지판에 프랙탈의 원리 중 스케일링 변환이 사용되었다.)

적정 기술로 인해 기대되는 효과와 미래의 모습 :

사람들이 더 이상 더러운 물을 마시지 않아서 많은 질병을 예방할 수 있고 집 안에 별도 키고 전기를 사용할 수 있는 것이다. 그리고 사람들이 나무 그늘에서 휴식을 취할 수도 있을 것이다.

Fig. 44. Content of Worksheet material written by student 9.

V. Conclusion & Implication

1. Conclusion

The purpose of this study was to develop a problem-solving based STEAM program for middle school science and mathematics gifted students. Also it was to verify the effects of this program on their scientific attitude, mathematical attitude, creative problem-solving skills, and STEAM literacy.

Because the purpose of both STEAM and problem-based learning (PBL) are to develop students' problem-solving skills by solving meaningful and practical problems, a problem-solving based STEAM program can maximize the effects of the program. For this reason, the based STEAM program was developed in this study. It is differentiated from other studies because most of the prior studies, which were about the development and application of the STEAM program, were not based on problem-based learning (PBL). Although one of the most important purposes of STEAM is developing creative problem-solving skills, many STEAM programs from various studies were not focused on solving problems. That is the reason why the program was developed with the view of problem-based learning.

There were few studies that developed STEAM program based on solving problems, and none of those converged every STEAM element, nor had a specific theme or context of presented problems. For the problem-solving based STEAM program is meaningful in the view of problem-based learning (PBL), the presented problems should be unstructured problems that reflect the context of real life or the environment around students. Also for the problem-solving based STEAM program is meaningful in the view of STEAM, it is better for the problems to break down the boundaries between different subjects. By considering these perspectives, the problem-solving

based STEAM program in this study could be differentiated from other studies.

To this end, prior studies about STEAM were surveyed and it was revealed that it was necessary to develop the problem-solving based STEAM program with international contextual problems in 2nd year middle school students. In order to develop activities within an international context, ‘utilization of technology’ in technology and home economics was chosen to facilitate students to design appropriate technology at the end of the classes.

In addition, according to prior studies, there were few STEAM program, including every contents of Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics. Thus, in order to include every subject of the STEAM elements, science, mathematics, arts, and technology and home economics were selected to be converged. The theme of this program suggested that ‘designing the appropriate technology to use solar energy based fractal’. In the 2015 revised curriculum, as detailed in the contents of each subject, the program was developed by selecting ‘plants and energy’ in science; ‘similarity of shapes’ in mathematics; ‘expression’ in arts; and ‘utilization of technology’ in technology and home economics.

The problem-solving based STEAM program was decided to consist of 10 periods by following prior studies. The 1st period was a situational presentation step; 2nd to 7th periods were creative design steps; 8th to 10th periods were emotional experience steps. After a draft of the program was developed, an expert panel were asked to do a validation test and revised the final STEAM program by following the feedback from them.

After development of the problem-solving based STEAM program, the effects of the program on students’ competencies were verified. For this, two science and mathematics gifted classes were chosen. A 2nd grade class among them was set up as an experimental group and 1st grade class was set up as a comparative group. The experimental group conducted STEAM classes

using the problem-solving based STEAM program, whereas the comparative group conducted mathematics classes without convergence. Before classes were conducted in each group, a pre-test on those competencies was held. In the results of the pre-test, it was revealed that the two groups were equal in relation to those competencies. After classes in each group were finished, a post-test on those competencies was held. Also, the experimental group was asked to write a review and STEAM satisfaction survey, and have an interview. Worksheets that students wrote during the classes were collected. Through those, the results analyzed in this study are as below.

First, the problem-solving based STEAM program, including the contents from science, mathematics, arts, and technology and home economics was developed. In science, students learn photosynthesis and explore the fractal structure, the structure of plants to ensure photosynthesis works well. In mathematics, they learn the similarity of shapes and figure out the principles of fractals. In arts, by looking at fractal design, they learn the means and uses of design, and they create designs on their own. In technology and home economics, they learn the appropriate technology when compared universal design, and create appropriate technology related to presented situation. After students learn the contents of each subject, in the emotional experience step, students are presented a specific situation wherein they need to help someone. In this context, students are asked to create appropriate technology in order to help them in the presented situation. After the program was developed, it was developed from expert validation to ensure the validity of the program and the final program was created by revising through the feedback.

Second, the problem-solving based STEAM program had statistically significant effects on students' scientific attitudes. There were significant effects in most of the sub-elements of scientific attitudes: curiosity, patency, criticism, collaboration, persistence, and creativity. Curiosity, patency, criticism,

and persistence had statistically significant changes ($**p < 0.01$). Collaboration and creativity had statistically significant changes ($***p < 0.001$). However, volunteerism had not statistically significant changes ($p = .861$). It can be interpreted that science and mathematics gifted students, who are particularly confident in science and mathematics, were unable to present their opinions confidently as they were learning other subjects. It means students can develop their scientific attitude by studying through the problem-solving based STEAM program.

Third, the problem-solving based STEAM program had statistically significant effects on students' mathematical attitudes. There were significant effects in two sub-elements of mathematical attitudes: interest and willingness to learn. The reason why there were relatively few significant changes in mathematical attitude when compared to the scientific attitude that had significant changes in most of the sub-elements seems that comparative group was conducted mathematics classes. Interest had statistically significant changes ($*p < 0.05$), and willingness to learn had statistically significant changes ($***p < 0.001$). However, confidence and value awareness had not statistically significant changes ($p = .056$ of confidence and $p = .213$ of value awareness). It can be seen that science and mathematics gifted students have a positive perception of those subjects, so it was difficult to see a big change through the application of a short-term program. Interest and willingness to learn can be improved in a short-term of time by feeling mathematical usefulness or dealing with interesting learning topics. However, it can be interpreted that because confidence and value awareness are factors that are gradually developed during learning mathematics, it is difficult to represent significant changes through this a short-term program. It means students can develop their mathematical attitude by studying through the problem-solving based STEAM program.

Fourth, the problem-solving based STEAM program had statistically significant effects on students' creative problem-solving skills. There were significant effects in two sub-elements of creative problem-solving skills: understanding and divergence. Understanding had statistically significant changes ($***p < 0.001$). Divergence had statistically significant changes ($*p < 0.05$). However, criticism and motivation had not statistically significant changes ($p = .368$ of criticism and $p = .731$ of motivation). It is in line with prior studies (Yang *et al.*, 2016; Moon & Hong, 2019). It seems that because science and mathematics gifted students are already well motivated to learn, they are not greatly affected by these classes. It means students can develop their creative problem-solving skills by studying through the problem-solving based STEAM program.

Fifth, the problem-solving based STEAM program had statistically significant effects on students' STEAM literacy. There were significant effects in the most of sub-elements of STEAM literacy: creativity, communication, and convergence. Creativity, communication, and convergence had statistically significant changes ($***p < 0.001$). However, caring had not statistically significant changes ($p = .057$). As the experimental group conducted STEAM classes, whereas the comparative group conducted non-convergence classes, it seems to have had big effect on STEAM literacy. The reason for the lack of significant changes in caring was that students wanted to present their opinions on their own rather than to share their opinions with others. They occasionally wrote their opinions that were not revealed with others. As the classes progressed, they seemed to realize the importance of sharing opinions with others, so they have gradually discussed with their friends and shared opinions. It means students can develop their STEAM literacy by studying through the problem-solving based STEAM program.

Sixth, classes that applied the problem-solving based STEAM program were finished being conducted, the results of a STEAM satisfaction survey obtained an average of 4.53 points (out of 5). Among 18 questions, the highest scoring questions scored 4.65 points and that is “3. I became interested in science and mathematics learning.”, “13. I expressed my ideas to my friends.”, and “16. I began having consideration for others.”. The lowest scoring question scored 4.2 points and it is “11. I participated actively in the classes.”. It is in line with the fact that there was no statistically significant effect on volunteerism within scientific attitude. At first, students were reluctant to present their opinions with low confidence as they learned subjects other than science and mathematics. But as the classes progressed, students seemed to be gradually confident because they realized that science and mathematics are connected to other subjects.

2. Implication

As a result of this study, it was found that the problem-solving based STEAM program with an international context of learning contents of science, mathematics, arts, and technology and home economics had a significant effect on students' competencies. Through this, it is thought to give significant implications to the development and application of STEAM program that can be applied in school in order to develop students' scientific attitude, mathematical attitude, creative problem-solving skills, and STEAM literacy. I would like to suggest the following implications from the results of this study.

First, it was revealed that the problem-solving based STEAM program could be converged well with every STEAM element. A prior study analyzed STEAM contents in the middle school science ② textbooks, there were only

10% of activities converged science, technology, engineering, arts, and mathematics (Heo & Oh, 2020a). If the level of convergence is equal, the higher the number of subjects converged into the STEAM program, the better the quality of convergence. Of course, STEAM can be meaningful when just more than two subjects converge. However, the more subjects that are converged, the more fluent the meaning will be. This study suggests the implication that every STEAM element can be converged to develop an independent STEAM program. Through this study, post studies about the development of a STEAM program that converged every STEAM element can be done well.

Second, it was referred to that the problem-solving based STEAM program could be converged well by transdisciplinary integration. Compared to multidisciplinary integration and interdisciplinary integration, transdisciplinary integration means that every student works on the same problems by transcending disciplinary boundaries. By doing transdisciplinary integration, the presented problems can be broader than any one discipline. And it is suggested to students that they have to use different concepts of each subject to solve one comprehensive problem. Students can foster global talent if they have experience solving international problems such as global warming, acid rain, and destruction of the rainforest. Through this study, post studies about transdisciplinary integration can be done well.

Third, it was found that the problem-solving based STEAM program deal with international contextual problems. Because the purpose of STEAM is to foster students to become future talents, dealing with international contextual problems in the STEAM program is certain to meaningful. A prior study analyzed STEAM contents in the middle school science ② textbooks, there were only 23.3% of activities had international context (Heo & Oh, 2020a). To maximize the effects on developing competency so that students solve problems in the future, the problem-solving based STEAM program is

necessary to deal with international contextual problems. Through this study, post studies about international contextual STEAM activities can be done well.

This study obtained meaningful results by conducting STEAM classes for science and mathematics gifted students. It is expected to provide implications for future STEAM studies. I would like to suggest the following proposals from the results of this study.

First, the purpose of this study was to develop the problem-solving based STEAM program by converging every STEAM element. For this, the program converged science, mathematics, arts, and technology and home economics. The theme of the program suggested that ‘designing the appropriate technology to use solar energy based fractal’. The contents were selected as ‘plants and energy’ in science; ‘similarity of shapes’ in mathematics; ‘expression’ in arts; and ‘utilization of technology’ in technology and home economics. Because this study selected suitable subjects, contents and theme, there is the limitation that these are presented in a limited way. It is also likely that there are difficulties in the STEAM classes to proceed at school because teachers will have to control the progress of all the corresponding classes. Therefore, continuous development of STEAM program converging the contents of different subjects from this program is necessary.

Second, this study wanted to minimize the effects of other variables in order to only verify the effect of the STEAM program on improving students’ competencies. To this end, it was difficult to observe the factors that were unable to improve in a short-term of program because participants had only 10 class periods in 15 days. In addition, this study was conducted on selected 40 gifted students at A Middle School because there were difficulties in selecting targets due to COVID-19. Because the duration and participants were limited, it is difficult to generalize the results of this study. Thus the studies that targeted ordinary students or more students are

necessary. And if studies with a long-term STEAM program may be conducted, improving other factors that were not observed in this study can be found. Therefore, studies with a long-term STEAM program are necessary, too.

Third, this study looked at the effects of the problem-solving based STEAM program on students' scientific attitude, mathematical attitude, creative problem-solving skills, and STEAM literacy. The research method in this study was to select tests for each competency and analyze it when compared each other. So the effects of the STEAM program on each competency was visible, but the possible interaction effects between each competency could not be analyzed. Because there were sub-elements of different competencies that had a correlation in analyzing the results of the study, it is necessary to be considered in post studies.

References

- American Association for the Advancement of Science (AAAS) (1990).
Science for All Americans. New York: Oxford Press Inc.
- An, J. S. (2018). The effect of mathematical disposition and learning attitude in instruction utilizing STAD cooperative learning model. *Education of primary school mathematics*, 32(2), 147-174.
- An, S. A., Ma, T., & Capraro, M. M. (2011). Preservice Teachers' Beliefs and Attitude About Teaching and Learning Mathematics Through Music: An Intervention Study. *School science and mathematics*, 111(5), 236-248.
- Anderson, L. W. (1981). *Assessing affective characteristics in the school*. Boston, NY: Allyn and Bacon, Inc.
- Apedoe, X., Reynolds, B., Ellefson, M., & Schunn, C. (2008). Bringing Engineering Design into High School Science Classrooms: The Heating/Cooling Unit. *Journal of Science Education and Technology*, 17(5), 454-465.
- Bae, S. A. (2009). *The Development of Activity-Centered STEM Education Program of Electricity, Electronics, and Communication area in Industrial Technical High School*. Unpublished doctoral dissertation, The graduate school, Korea national university of Education.
- Bae, S. H. (2017). *Development and application of STEAM program based on the science thinking : focusing on global warming*. Unpublished doctoral dissertation, The graduate school, Kongju national university.
- Baek, Y. S., Park, H. J., Kim, Y. M., No, S. K., Park, J. Y., Lee, L. Y., Jung, J. S., Choi, Y. H., & Han, H. S. (2011). STEAM Education in Korea. *The Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 11(4), 149-171.

- Baek, Y. S., Park, H. J., Kim, Y. M., No, S. K., Park, J. Y. Lee, J. Y., Jung, J. S., Choi, Y. H., Han, H. S., & Choi, J. H. (2012a). A Basic Study on the Implementation of STEAM. Seoul: Korea Foundation for the Advancement of Science & Creativity (KOFAC).
- Baek, Y. S., Park, H. J., Kim, Y. M., No, S. K., Park, J. Y. Lee, J. Y., Jung, J. S., Choi, Y. H., Han, H. S., & Choi, J. H. (2012b). A Study on the Action Plans for STEAM Education. Seoul: Korea Foundation for the Advancement of Science & Creativity (KOFAC).
- Ban, E. S. (2018). Development and Application of STEAM Education Model centered on Mathematics Subject using Real-life Context. *Communications of mathematical education*, 32(3), 341-362.
- Barrows, H. S. (1985). How to design a problem-based curriculum for the preclinical years. New York: Springer Publishing.
- Barrows, H. S. (1994). *Practice-Based Learning: Problem-Based Learning Applied to Medical Education*. Southern Illinois University, School of Medicine.
- Barrows, H. S. (1996). Problem-based learning in medicine and beyond: a brief overview. In Wikerson, L. and W.H. Gijelaers(Eds). *Bring Problem-Based Higher Education: Theory and Practice: New Directions for Teaching and Learning* No. 8(5-6). San Fransisco, CA: Jossey-Bass.
- Bloom, B. S. (1976). *Human characteristic and school learning*. New York, NY: Mcgraw-Hill.
- Bok, J. R., & Jang, N. H. (2012). Analysis of 2009 Revised Chemistry I Textbooks Based on STEAM Aspect. *Journal of Science Education*, 36(2), 381-393.
- Boy, G. A. (2013). From STEM to STEAM: toward a human-centred education, creativity & learning thinking. In *Proceedings of the 31st European Conference on Cognitive Ergonomics*, 3.
- Bybee, R. W. (2010). *Advancing STEM education: A 2020 vision*. Technology

- and Engineering Teacher, 70(1), 30-35.
- Chae, H. I., & Noh, S. G. (2013). The Effect of the STEAM Activities on the Elementary Student's Science Process Skills and Science-Related Attitudes. *Journal of Science Education*, 37(3), 417-433.
- Chesloff, J. D. (2013). STEM education must start in early childhood. *Education Week*, 32(23), 27-32.
- Cho, G. M. (2017). The Development and the Effect in the Early Childhood Science Education Program Based on Maker Education. Unpublished doctoral dissertation, The graduate school, Kyungsoong university.
- Cho, H. S. (2012). 2020 STEAM Conference Presentation. Seoul: Ministry of Education and Science Technology (MEST).
- Cho, H. S., Kim, H., & Heo, J. Y. (2012). Understanding of STEAM through Field Application Cases. Seoul: Korea Foundation for the Advancement of Science & Creativity (KOFAC) (OR2012-02-2).
- Cho, K. S., Jung, D. H., Son, T. K., & Park, K. J. (2011). Analysis of Science, Technology and Society contents in Earth Science 1 Textbooks 2009 revised education Curriculum. *Journal of science education*, 36, 55-65.
- Cho, Y. S., Sung, J. S., & Lee, H. J. (2008). Creativity Education: Improving creative problem-solving skills and instructional methods. Seoul: Ewhapress.
- Cho, Y. W., & Kwon, H. G. (2016). The Effect of STEAM Education based on Art education on Children's Problem Solving Skills, Self-Efficacy and Communication Abilities. *Journal of Korean Council for Children & Rights*, 20(1), 49-71.
- Choi, E. Y. (2017). Study on How Art-centered STEAM Program Influences the Learner's Creativity. *Journal of art education*, 48, 187-223.
- Choi, J. I. (2002). Demand Analysis Practice Guide for Human Resource Development. Seoul: Hakjisa.

- Choi, Y. M. (2015). The Development and Application of a STEAM Program to Improve Elementary Students' Conception and Perception on Small Organisms. Unpublished doctoral dissertation, The graduate school of Education, Jeju national university of education.
- Dejarnette, N. K. (2012). America's children: providing early exposure to STEM (Science, Technology, Engineering and Math) Initiatives. *Teacher Education*, 133(1), 77-84.
- Distlehost, L. H., & Robbs, R. S. (1998). A comparison of problem-based learning and standard curriculum students: three years of retrospective data. *Teaching and Learning in Medicine*, 10(3), 131-137.
- Drake, S. M. (1998). *Creating integrated curriculum*. California: Corwin Press.
- Drake, S. M. (2007). *Creating Standards-based Integrated Curriculum*. CA: Corwin Press.
- Dulski, R. E. (1992). Development of a factor analytic path model of the relationship between selected science-related attitudes in secondary school students (Doctoral dissertation). State University of New York at Buffalo.
- Ericsson, K. A., Krampe, R. T., & Tesch-Romer, C. (1993). The Role of Deliberate Practice in the Acquisition of Expert Performance. *Psychological Review*, 100(3), 363-404.
- Forgaty, R. (1991). Ten ways to integrate curriculum. *Educational Leadership*, 49(42), 61-65.
- Fortus, D., Krajcik, J., Dershimer, R. C., Marx, R. W., & Mamlok-naaman, R. (2005). Design-based science and real-world problem solving. *International Journal of Science Education*. 27(7), 855-879.
- Friedman, T. L. (2000). *The Lexus and the Olive Tree*. New York: Anchor Books.
- Gauld, C. (1982). The scientific attitude and science education: A critical reappraisal. *Science education*, 66(1), 109-121.

- Gong, J. H., & Hong, S. H. (2017). The Influences of 'Bone and Muscle Model' STEAM Class on Basic Inquiry Ability and Scientific Attitude of Elementary Students. *Biology Education*, 45(3), 344-354.
- Grant, S. J., & Davis, L. L. (1998). Selection and use of content experts for instrument development. *Research in Nursing & Health*, 20(3), 269-274.
- Guilford, J. P. (1959). Traits of creativity. In H. H. Anderson (Ed.), *Creativity and its cultivation*(pp. 142-161). New York: Harper & Row.
- Haladyna, T., Olsen, R., & Shaughnessy, J. (1982). Relations of student, teacher, and learning environment variables to attitudes toward science. *Science Education*, 66(5), 671-687.
- Han, G. S., & Park, Y. J. (2013). Why Gifted Students Participate in Private Education?: A Study on the Current Status and Key Factors of the Attendance in Private Education. *Journal of Gifted/Talented Education*, 23(4), 505-521.
- Han, H. S. (2018). The Effects of Mentoring Experience in STEAM Classes on Pre-service Mathematics Teachers' Teaching Competency for STEAM Education. *Education of primary school mathematics*, 32(1), 1-22.
- Han, J. S., & Hong, S. H. (2019). The Development and Application Effects of STEAM Program for Tree Model Fractal Structure using 3D Printer. *The Journal of Korea elementary education*, 30(1), 235-247.
- Hennes, J. (1990). Restructing education strategies options required for excellence. Colorado: State Department of Education.
- Hennessy, S. (2006). Integrating technology into teaching and learning of school science: a situated perspective on pedagogical issues in research. *Studies in Science Education*, 42(1), 1-50.
- Heo, S., & Oh, H. S. (2020a). An Analysis of STEAM Contents in The Middle School Science ② Textbooks published based on The 2015 Revised National Curriculum. *The Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 20(23), 803-825.

- Heo, S., & Oh, H. S. (2020b). Development and Effect of Math-Tour to improve Mathematics Study Attitude. *Education of primary school mathematics*, 34(4), 465-484.
- Heo, S., & Oh, H. S. (2020c). The Development and Application of a Photosynthesis Based STEAM Program for Increasing The Positive Scientific Attitude of Middle School Science Gifted Students. *The Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 20(22), 999-1023.
- Heo, S., & Oh, H. S. (2020d). The Effect of STEAM-based Coding Classes for Mathematical Prodigies on Math Learning Attitudes. *Journal of Science Education for the Gifted*, 12(1), 19-32.
- Heo, S., & Oh, H. S. (2020e). The Effects of the Mathematics Room Escape Program on Middle School Students' Interest and Attitude in Learning Mathematics. *Journal of Education Science*, 22(3), 53-71.
- Hong, M. A., & Park, J. Y. (2014). An analysis of STEAM activities in the middle school science ① textbooks published based on the 2009 Revised National Curriculum. *Journal of Research in Curriculum Instruction*, 18(4), 1033-1055.
- Hong, S. E. (2014). A study on the development and effect of STEAM-based art education program for the cultivation of convergent human resources : focused on the prodution of objects. Unpublished doctoral dissertation, The graduate school, Hanyang university.
- Hudson, P., & Chandra, V. (2010). Fusing curricula: Science, Technology and ICT. *The Sixth International Conference on Science, Mathematics and Technology Education*, 19-22. Taiwan: Hualien.
- International Technology Education Association (ITEA) (2007). *Standards for Technological Literacy: Content for the Study of Technology*. Virginia: International Technology Education Association.
- James, J. J., & Bixler, R. D. (2008). Children's role in meaning making through their participation in an environmental education. *The Journal of*

- Environmental Education, 39(4), 44-59.
- Jang, G. W. (2019). Learning Experiences and Difficulties of Learners in Problem Based Learning. *Journal of Competency Development & Learning*, 14(1), 109-138.
- Jeon, J. D., Park, G. S., & Lee, H. N. (2015). A Study on the Science Gifted Students Awareness of Science, Mathematics and Technology/Engineering to Enhance National Competitive Power. *Journal of Gifted/Talented Education*, 25(3), 363-380.
- Johnson, R. B., & Christensen, L. B. (2013). *Educational Research: Quantitative, Qualitative, and Mixed Approaches*. SAGE Publications, Inc; Fifth Edition.
- Joo, Y. J., Jung, Y. L., & Lee, Y. K. (2011). The Structural Relationship and Latent Means Analysis of Gender among Academic Self-Efficacy, Interest, External Motivation and Science Achievement for High School Students. *Journal of the Korean Association for Science Education* , 31(6), 876-886.
- Jung, J. H. (2013). A Study of Policy on STEAM Education in Korea: Focused on Korean and International Case Studies and Experts' Perception. Unpublished doctoral dissertation, The graduate school, Kyungpook university.
- Kang, H. S., & Seo, H. A. (2013). The Development and Application of a Life Science Based STEAM Program for Middle School Science Gifted Students. *Journal of Science Education for the Gifted*, 5(3), 162-173.
- Kang, K. H. (2018a). Development and Application Effects of Science-centered Early Childhood STEAM Program. Unpublished doctoral dissertation, The graduate school, Gacheon University.
- Kang, Y. S. (2018b). A study on the convergent thinking characteristics for visual artistic giftedness based on STEAM : a grounded theory approach. Unpublished doctoral dissertation, The graduate school of

- Education, Seoul national university of education.
- Kim, B. H., Lee, H. J., & Kim, J. S. (2013). Development of T-STEAM Program in Middle School Technology Subject and Its Application. *The Korean Journal of Technology Education*, 13(1), 131-151.
- Kim, D. H. (2015). Development and Application Effects of STEAM Program Utilizing Learning Materials for Geology of Jeju-do Province. Unpublished doctoral dissertation, The graduate school of education, Jeju national university.
- Kim, E. J., & Yoo, M. H. (2018). The Effects of Creativity in A-STEAM Education Program by Meta-Analysis. *The Journal of Creativity Education*, 18(2), 107-125.
- Kim, H. G. (2014a). An Analysis of 2009 Revised Elementary First Grade Mathematics Textbooks Based on STEAM-related Subject Contents. *Education of Primary School Mathematics*, 17(3), 277-297.
- Kim, H. J. (2014b). Study on Complementary Design Education for Vitalization of Integrative Talent Education. Unpublished doctoral dissertation, The graduate school, Kyunghee university.
- Kim, H. M. (2020). Development and Application of STEAM Instructional Materials with Engineering Design. Unpublished doctoral dissertation, The graduate school, Kangwon national university.
- Kim, H. S., & Jung, S. (2019). Comparative analysis of STEAM for creative and convergent activities presented in Integrated Science Textbooks. *School Science Journal*, 13(2), 133-146.
- Kim, H. S., & Kang, G. S. (2007). The Relationships between Children's Science Aptitude, Creativity, and Scientific Creative Problem Solving Abilities. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 26(1), 32-40.
- Kim, I. G., Kang, H. J., Ko, S. H., Ko, Y. O., Gwak, S. J., Kim, S. J., Kim, Y. S., Na, M. G., Park, M. Y., Seo, J. A., Lee, J. I., Ham, J. H., & Hong, E. J. (2017). *Arts*. Seoul: Mijinsa.

- Kim, J. H., & Jung, J. H. (2018). The Effects of STEAM-Based Mathematical Education Activity on Young Children's Mathematical Problem-solving Ability and Creativity. *Korean Journal of Thinking Development*, 14(4), 41-68.
- Kim, J. S. (2017). A Development of the STEAM Teaching and Learning Materials by Using Technology : Focused on the Optimization Problem. Unpublished doctoral dissertation, The graduate school, Pusan national university.
- Kim, J. S. (2011). A Cubic Model for STEAM Education. *The Korean Journal of Technology Education*, 11(2), 124-139.
- Kim, J. W. (2016). Exploration of STEM Education as a New Integrated Education for Technology Education. *The Korean Journal of Technology Education*, 7(3), 1-29.
- Kim, M. G, & Choi, S. Y. (2013). The Effects of the STEAM Project-Based Learning on Students' Creative Problem Solving and Science Achievement in the Elementary Science Class. *Journal of Science Education*, 37(3), 562-572.
- Kim, M. H., & Kim, B. G. (2002). A Comparative Study of the Trends of Current Science Education and the System Thinking Paradigm. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 22(1), 64-75.
- Kim, M. J., & Moon, D. Y. (2016). The Effect of Invention-Based STEAM Education Program on STEAM Literacy of the Gifted in invention of Elementary School. *Journal of Korean practical arts education*, 29(3), 77-93.
- Kim, S. H. (2004). Development of mathematical games as an assessment tool for mathematical knowledge, mathematical process skill, and mathematical attitude in early childhood education. Unpublished doctoral dissertation, The graduate school of Duksung women's university.
- Kim, S. H., Yoo, H. S., & Choi, K. H. (2012). An Analysis of the Contents

- and STEAM Educational Factors of Global Issues Presented in the 2009 Revision of Secondary School Science Curriculum. *The Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 12(2), 73-76.
- Kim, S. W., Jung, Y. L., Woo, A. J., & Lee, H. J. (2012). Development of a Theoretical Model for STEAM Education. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32(2), 388-401.
- Kim, S. W., Park, H. Y., & Kim, Y. S. (2016). Development and Application of STEAM Educational Program for Scientifically Gifted Middle School Students - Making a 3D Camera -. *Biology Education*, 44(4), 633-645.
- Kim, W. D. (2012). Building Conceptual Framework to Bring Up Talents Capable of Creative Fusion: From the Perspective of Fusion between Science and Technology and Art. *The Journal of the Korean Society for Gifted and Talented*, 11(1), 97-119.
- Koo, J. O., & Sang, K, A. (2017). Implication and Achievement of Korean Students through the results of PISA 2015 and TIMSS 2015. *Education Plaza*, 63, 36-39.
- Korea Foundation for the Advancement of Science & Creativity (KOFAC). (2011). STEAM International Seminar and STEAM Teacher's Research Association Orientation Material Book. Seoul: KOFAC.
- Korea Foundation for the Advancement of Science & Creativity (KOFAC). (2015). 2015 STEAM Program Development Satisfaction Survey. Seoul: KOFAC.
- Korea Institute for Curriculum and Evaluation (KICE) (2017). Report of PISA 2018 Results. Seoul: KICE.
- Kuhn, M. (2015). Encouraging Teachers to WAIT Before Engaging Students In Next Generation Science Standards STEAM Activities. *The STEAM Journal*, 2(1), 1-6.
- Kwon, N. J., & An, J. H. (2012). The Analysis on Domestic Research Trends for Convergence and Integrated Science Education. *Journal of the Korean*

- Association for Science Education, 32(2), 708-717.
- Kwon, S. M. (2012). The Necessity and the Developmental Suggestion for Developing Convergent Education Contents Focusing on the Arts. *Korean Journal of Research in Music Education*, 41(2), 67-100.
- Lee, C. W., & Hong, S. H. (2013). Development and Application of STEAM Program to 'Save the Pine Tree'. *The Journal of Education*, 35(3), 1-18.
- Lee, Do, W., Choi, Y. H., Park, S. J., & Jung, J. S. (2013). To the effect of Topic-Based STEAM education program for STEAM literacy of elementary school students. *Journal of Korean practical arts education*, 26(1), 195-212.
- Lee, G. E., & Choi, J. H. (2017). The Effects of STEAM-based Mathematics Class in the Mathematical Problem-solving Ability and Self-efficacy. *Journal of Elementary Mathematics Education in Korea*, 21(4), 663-686.
- Lee, H. R. (2013). The Development and Application Effect of Digital Storytelling-based STEAM Instruction Program. Unpublished doctoral dissertation, The graduate school, Pusan university.
- Lee, J. A. (2015a). A study on the impact of creative scientific thinking from art and science STEAM education program : focused on 3rd grade in elementary school. Unpublished doctoral dissertation, The graduate school, Hanyang university.
- Lee, J. Y., & Sim, G. C. (2019). The Effect of problem-solving based STEAM Program on the Science-related Attitudes, and the Perception about the STEAM Instruction for High School Students. *Biology Education*, 47(1), 59-71.
- Lee, M. Y. (2015b). A Study on the Children's Design Education Learning Model for STEAM -with a focus on connecting STEAM education criteria and PBL-. *Journal of Communication Design*, 53, 326-335.
- Lee, S. D., & Hong, J. S. (2008). The Theoretical Research for developing an integrated curriculum model for gifted. *The Journal of the Korean*

- Society for Gifted and Talented, 7(2), 39-73.
- Lee, S. G., & Kim, S. S. (2013). The Effect of the STEAM Program utilizing Regional Science Experiences Resource for Scientific Attitude and STEAM Literacy. *Journal of the Korean Society of Earth Science Education*, 6(3), 261-270.
- Lee, S. Y. (2011). The instructional design model for STEM integrated approach in technology education. *The Korean Journal of the Technology Education*, 11(3), 1-20.
- Lee, Y. E., & Lee, H. N. (2014). The Effects of Engineering Design and Scientific Inquiry based STEAM Education Programs on the Interest, Self-Efficacy and Career Choices of Middle School Students. *Journal of Research in Curriculum Instruction*, 18(3), 513-540.
- Lim, C. I. (2012). The theory and model of instructional design. Seoul: Kyoyookbook.
- Lim, Y. G. (2013). Development and Analysis of Effects of Writing Educational Program for Improving System Thinking Ability. Unpublished doctoral dissertation, The graduate school, Kyungpook university.
- Maeng, H. J. (2013). Discussions on The Directions of Research and Development Tasks for Convergence Gifted Education. *Journal of Gifted/Talented Education*, 23(6), 981-1001.
- Marsh, H. W. (1993). Academic self-concept: Theory, measurement, and research. In J. Suls (Ed.), *Psychological perspectives on the self* (Vol. 4, 59-98). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Matthews, C. M. (2007). Science, Engineering, and Mathematics Education: Status and Issues, Congressional Research Service Report for Congress.
- Mehalik, M. M., Doppelt, Y., & Schunn, C. D. (2008). Middle-school science through design-based learning versus scripted inquiry: Better overall science concept learning and equity gap reduction. *Journal of Engineering*

- Education, 97(1), 71-85.
- Ministry of Education and Science Technology (MEST) (2011a). Collection of performance presentations for STEAM. Seoul: MEST.
- Ministry of Education and Science Technology (MEST) (2011b). General discussion of primary and middle school curriculum. Seoul: MEST.
- Ministry of Education (MOE) (2015). 2015 Revised Curriculum. Seoul: MOE.
- Ministry of Education (MOE) (2019). Presentation of PISA 2018 Result. Seoul: MOE.
- Ministry of Education (MOE) (2020). Comprehensive Plan of STEAM Education. Seoul: MOE.
- Moomaw, S., & Davis, J. A. (2012). STEM comes to preschool. *Young Children*, 65(5), 12-18.
- Moon, J. H., & Hong, S. H. (2019). Application Effects of STEAM Program to Make Creative Output Utilizing Repeat Structure. *The Journal of Korea elementary education*, 30(3), 225-237.
- Moon, K. J., Moon, J. Y., Cho, M. Y., Jung, Y. S., Kim, S. W., & Joseph Krajcik (2012). Development and Application of 21st Century Scientific Literacy Evaluation Framework on Korean High School Science Text Books. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32(5), 789-804.
- Moon, S. H., Lee, S. C., & Kang, H. H. (2016). The effects of STEAM program using kinetic art on scientifically gifted students and middle school students' scientific attitude. *Educational Research*, 66, 33-50.
- Na, J. Y. (2018). A study on development of instructional design model and teaching-learning materials for mathematics-arts STEAM classes based on smart education. Unpublished doctoral dissertation, The graduate school, Korea national university of Education.
- Oh, M. O. (2015). The development of smart-learning based STEAM Program for upper grade of elementary school students. Unpublished doctoral

- dissertation, The graduate school, Joongbu University.
- Oh, S. C. (2000). The Consequences of Development and Application of Interest Induced Learning Material on Mathematics Scholastic Achievement –Focused on vocational high school–. *Journal of the Korean School Mathematics*, 3(2), 111–122.
- Oner, A. T., Nite, S. B., Capraro, R. M., & Capraro, M. M. (2016). From STEM to STEAM: Students’ Beliefs About the Use of Their Creativity. *The STEAM Journal*, 2(2), 6.
- Park, B. T., Ko, M. S., & Kim, O. B. (2012). The Comparison of the Science Gifted and Mathematics Gifted in Attitude Toward Science and Learning Motivations in Science of Elementary School Students. *Journal of Gifted/Talented Education*, 22(4), 917–928.
- Park, J. Y., & Woo, A. J. (2017). A meta-analysis on the learning effects in problem based learning (PBL). *The Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 17(11), 69–93.
- Park, S. W., & Choi, C. W. (2019). The Effects of STEAM-based Mathematics class on Students’ Mathematical Attitude and Academic Achievement. *Journal of Elementary Education*, 35(2), 59–76.
- Renzulli, J. S., Hartman, R. K., & Westberg, K. L. (1976). Scales for rating the behavioral characteristics of superior students. Mansfield Center, CT: Creative Learning Press.
- Rubio , D. M., Maria, B. W., Susan, S., Lee, E. S., & Rauch, S. (2003). Objectifying Content Validity: Conducting a Content Validity Study in Social Work Research. *Social Work Research*, 27(2), 94–104.
- Ryu, J. H. (2009). A study on development of inquiry-based environmental education model by means of water quality monitoring. Unpublished doctoral dissertation, The graduate school of Korea national university of education.
- Ryu, S. R. (2015). An Analysis of STEAM Elements included in the

- Elementary School Mathematics Textbooks Revised on 2009 - Focusing on the 3rd and 4th Grade Group -. *Education of primary school mathematics*, 18(3), 235-247.
- Ryu, S. R. (2016). An Analysis of STEAM Elements included in the Elementary School Mathematics Textbooks Revised on 2009 - Focusing on the 5th and 6th Grade Group -. *Education of primary school mathematics*, 20(2), 333-351.
- Sanders, M. (2009). STEM, STEM Education, STEM mania. *the Technology Teacher*, 68(4), 2-26.
- Sanders, M. (2011). An introduction to integrative STEM education. Seoul: Korea Foundation for the Advancement of Science & Creativity (KOFAC).
- Scheiman, M., Whittaker, S., & Dell, W. (1989). Problem-based learning as a potential teaching approach: A literature review. *Journal of Optometric Education*, 15(1), 8-15.
- Schmidt, H. G., & Gijselaers, W. H. (1990). Causal modeling of problem-based learning. Paper presented at the Annual Meeting of American Educational Research Association, Boston, MA, April 16-22.
- Seo, B. G., & Maeng, H. J. (2016). The Secondary Gifted Education Teachers' Perceptions of the STEAM and the Convergence Gifted Education. *Journal of Gifted/Talented Education*, 26(1), 53-76.
- Seo, H. A. (2002). Scientific Creativity and Science Education for Fostering Creativity. *Journal of Science Education*, 26, 113-148.
- Shoemaker. B. (1989). Integrative Education: A curriculum for the twenty century. *Oregon School Study Council Bulletin*, 33(2), 1-46.
- Sin, S. C. (2018). Development and Application of STEAM Program for Improving Successful Intelligence of Gifted Students. Unpublished doctoral dissertation, The graduate school, Gacheon University.
- Smith, T. J., McKenna, C. M., & Hines, E. (2014). Association of group

- learning with mathematics achievement and mathematics attitude among eighth-grade students in the US. *Learning environments research*, 17(2), 229-241.
- So, Y. H. (2005). The effects of learners' motivational orientation, types of problem, competition, assessment, and choice on interest in problem based learning. Unpublished doctoral dissertation, The graduate school, Korea university.
- Steiner, D. L. (2008). *Health Measurement Scales*. New York: Oxford Press Inc.
- Tae, J. M. (2011). With Training Creative Convergence Talents, Why is Art Education Noted? *Journal of Gifted/Talented Education*, 21(4), 1011-1032.
- Tae, J. M. (2014). The Delphi Survey for Seeking an Efficient Application Plan of STEAM Education to Gifted. *The Journal of the Korean Society for Gifted and Talented*, 13(2), 126-149.
- Townsend, M., & Wilton, K. (2003). Evaluating change in attitude towards mathematics using the 'then-now' procedure in a cooperative learning programme. *The British journal of educational psychology*, 73(4), 473-488.
- Treffinger, D. J. (1996). *Dimensions of creativity*. Sarasota, FL: Center for Creative Learning.
- Vasquez, J. A., Sneider, C., & Comer, M. (2013). *STEM lesson essentials, grades 3-8*. Portsmouth, NH: Heinemann.
- Wlaton, H. J., & Matthews, M. B. (1989). Essentials of problem-based learning. *Medical Education*, 23, 542-558.
- Woo, Y. B., & Hong, S. H. (2016). The Development and Application Effects of Eco-play Materials and STEAM Program for Learning "Life and Environment" Unit. *Biology Education*, 44(3), 523-537.
- Yakman, G. (2006). *STEM pedagogical commons for contextual learning*. Unpublished paper for EDCI5774 STEM Education Pedagogy. Virginia Polytechnic and State University Master Thesis.

- Yakman, G. (2008). STEAM pedagogical commons for contextual learning. Unpublished class paper for EDCI 5774, Virginia Tech.
- Yakman, G. (2010). STEAM: A Framework for Teaching Across the Disciplines NY: Steam education.
- Yakman, G. (2011). Introducing teaching STEAM as a practical education framework for Korea. Seoul: Korea Foundation for the Advancement of Science & Creativity (KOFAC).
- Yang, J. H., Choi, Y. M., & Hong, S. H. (2016). The Effect of STEAM Lessons concerning the Aquatic Organisms on Elementary Students' Creative Problem-Solving Ability, Basic Scientific Process Skills and Affective Domain. *Biology Education*, 44(4), 597-610.
- Yang, Y. J., & Yoo, M. H. (2017). The Effect of Mathematics-Based STEAM Program Using Big Data on the Creative Problem-Solving Abilities, Mathematics Career Orientation and STEAM Core Competencies of Middle School Gifted Students. *Journal of Gifted/Talented Education*, 27(4), 607-629.
- Yoo, G. H., & Kwon, S. M. (2020). Analysis of Competence in Musical creativity and convergence thinking applied to 2015 3-4 grade Music textbooks. *Journal of musiology*, 28(1), 73-104.
- Yoo, G. S. (1999). Analysis of the differences of the playdough activity based on constructivism on a scientific concept, processing skill and the attitude of young children according to the ways of constructions. Unpublished doctoral dissertation, The graduate school, Jungang university.
- Yoo, H. Y., & Oh, Y. J. (2019). Comparison of Science Performance and Perception on Enjoyment of Science among PISA 2015 Participating Countries. *Journal of Research in Curriculum Instruction*, 23(4), 346-360.
- Yoo, M. H. (2008). Development and application effects of 'program inquiring into scientist' for enhancing social-affective characteristics and

science-related perceptions of the science-gifted. Unpublished doctoral dissertation, The graduate school, Seoul national university.

Yoon, Y. H. (2006). The effects of problem-based learning program on the creative problem-solving ability of the gifted in elementary mathematics. Unpublished doctoral dissertation, The graduate school, Konkuk university.

Zollman, A. (2012). Learning for STEM literacy: STEM literacy for learning. *School Science and Mathematics*, 112(1), 12-19.

중학교 과학·수학 영재 학생을 위한 문제해결 중심 STEAM 학습 자료 개발 및 적용
- 프랙탈을 활용해 태양광 에너지를 사용하는 적정 기술을 디자인

허 선

제주대학교 일반대학원 과학교육학부 생물교육전공
지도교수 오 홍 식

많은 연구에서 우리나라 학생들의 과학·수학 학습 성취도는 매우 높은 편이지만 흥미, 자신감과 같은 정의적 특성은 매우 부정적이라는 사실을 드러내고 있다. 과학·수학에 대한 긍정적인 태도의 신장은 과학·수학 학업 성취에도 많은 영향을 미치기 때문에 중요한 학습 목표로 여겨진다. 한편, 세계의 과학기술이 빠르게 발전함에 따라 생겨나는 복잡한 문제들을 해결하기 위하여 창의적 문제해결력과 더불어 융합 인재 소양의 신장이 필요하다.

융합 인재 교육은 미래에 필요한 인재의 양성을 위하여 중요하게 다루어지고 있으며, 그 중요성 때문에 많은 선행 연구가 이루어져 왔다. 그중 융합 인재 교육은 영재 학생을 대상으로 할 때 더욱 효과가 크다는 연구가 여럿 있었다. 영재 교육의 목표와 융합 인재 교육의 목표는 창의적 문제해결력과 교과에 대한 긍정적인 학습 태도의 신장으로 서로 연관이 있다. 영재 학생들은 기본적으로 다른 일반 학생들에 비하여 창의적이며 과제집착력이 높기 때문에 융합 인재 교육에 더욱 적절하다고 볼 수 있다.

융합 인재 교육과 관련하여 이루어진 연구 중 과학·수학 교과서에 포함된 창의·융합 요소에 관한 연구도 많이 이루어져 왔다. 선행 연구에 따르면, 융합 인재 교육의 목표가 학생들의 창의적 문제해결력 신장이므로 문제 중심의 창의·융합 활동의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 이유로 두 교육방법 모두의 성격이 드러나는 문제해결 중심의 융합 인재 교육 학습 자료를 개발하였다. 문제를

해결하는 과정에서 학생들은 학습 내용과 관련한 지식을 배움과 동시에 문제해결 능력을 신장시킴으로써 국제 인재로 거듭날 수 있을 것이다.

이에 본 연구에서는 과학, 수학, 미술, 기술·가정 교과를 융합하여 융합 인재 교육 학습 자료를 개발하고자 하였다. 본 프로그램은 문제 중심 학습에 따라 국제적 맥락을 띤 문제를 학생들에게 제시하도록 흐름을 구성한 것이다. 이를 위하여 수업의 주제를 ‘프랙탈을 활용해 태양광 에너지를 사용하는 적정 기술을 디자인’으로 선정하였다. 프랙탈 내용을 기반으로 하여 과학, 수학, 미술, 기술·가정의 4개 교과를 융합한 학습 자료를 개발하였다. 과학 교과에서는 ‘식물과 에너지’ 단원을, 수학 교과에서는 ‘도형의 닮음’ 단원을, 미술 교과에서는 ‘표현’ 단원을, 기술·가정 교과에서는 ‘기술 활용’ 단원을 선정했다. 이렇게 개발한 문제해결 중심의 융합 인재 교육 학습 자료가 중학교 과학·수학 영재 학생들의 과학적 태도와 수학적 태도, 창의적 문제해결력, 융합 인재 소양에 어떠한 영향을 미치는지 파악하고자 하였다. 이를 위하여 설정한 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 중학교 과학·수학 영재를 위한 문제해결 중심의 융합 인재 교육 학습 자료는 어떠한가?

둘째, 본 연구에서 개발한 학습 자료가 중학교 과학·수학 영재 학생의 과학적·수학적 태도와 창의적 문제해결력, 융합 인재 소양에 어떤 영향을 미치는가?

이를 밝히기 위하여 우선 과학, 수학, 미술, 기술·가정 교과를 융합한 국제적 맥락을 띤 문제 중심의 융합 인재 교육 학습 자료를 개발하였다. 학습 자료를 개발한 후에는 연구 대상을 선정하여 이를 실제로 적용하여 학생들의 과학적·수학적 태도와 창의적 문제해결력, 융합 인재 소양에 미치는 영향을 알아보하고자 하였다. 해당 역량들에 대한 사전 검사를 통하여 동일성이 확보된 A중학교 영재학급 2개 학급의 40명을 대상으로 연구가 진행되었다. 실험집단 1학급에는 개발한 학습 자료를 적용한 문제해결 중심의 융합 인재 교육 수업을, 비교집단 1학급에는 융합이 이루어지지 않은 수학 수업을 실시했다. 두 집단 모두 각각 10차시의 수업을 각각 진행한 후 사후 검사를 하여 그 결과를 비교 분석했다. 또한, 실험집

단을 대상으로 수업에서 작성한 활동지를 수합하고 설문과 인터뷰를 실시하여 질적 자료를 확보했다.

사후 검사와 설문, 인터뷰를 분석한 결과 연구에서 알아본 모든 역량에서 통계적으로 유의미한 변화가 있었다. 개발한 융합 인재 교육 수업을 적용한 결과 과학적 태도에서는 t 통계값 -5.032 , 유의확률 $.000$ 이었고 수학적 태도에서는 t 통계값 -3.015 , 유의확률 $.005$ 이었으며 창의적 문제해결력에서는 t 통계값 -2.256 , 유의확률 $.030$, 융합 인재 소양에서는 t 통계값 -6.753 , 유의확률 $.000$ 으로 모든 역량에서 통계적으로 유의미한 변화가 있었다. 융합 인재 교육 만족도 조사 결과로는 평균 4.53점(5점 만점)을 기록해 학생들이 대부분 융합 인재 교육 수업에 만족했다고 볼 수 있다.

문제해결 중심의 융합 인재 교육 학습 자료가 개발된 선행 연구는 거의 없었다. 또한, 융합 인재 교육을 이루는 과학, 기술, 공학, 예술, 수학의 모든 영역을 포함한 학습 자료를 개발하거나 특정한 주제나 맥락을 이루는 문제를 중심으로 하는 학습 자료를 개발한 융합 인재 교육 관련 연구도 거의 이루어지지 않았다. 본 연구는 다른 선행 연구들과 달리 문제 중심 학습을 기반으로 한 융합 인재 교육 학습 자료를 개발하고 적용했다는 점에서 차별성이 있다고 할 수 있다.

본 연구의 결과를 통하여 다양한 융합 인재 교육 학습 자료를 개발하고 적용하는 데에 유의미한 시사점을 줄 수 있을 것으로 기대한다. 우선, 본 연구로 인하여 융합 인재 교육의 모든 교과 영역을 포함한 문제해결 중심의 융합 인재 교육 학습 자료를 개발할 수 있다는 점을 알 수 있었다. 또한, 탈학문 통합이 이루어지거나 국제적 맥락을 띤 문제를 중심으로 한 문제 해결 중심의 융합 인재 교육 학습 자료를 본 연구에서 개발하였다. 이러한 점에서 본 연구가 추후 연구의 융합 인재 교육 학습 자료 개발과 운영에 도움이 될 것이라 기대한다.

주요어: 융합 인재 교육, 문제 중심 학습, 문제해결 중심 융합 인재 교육, 과학·수학 영재, 과학적 태도, 수학적 태도, 창의적 문제해결력, 융합 인재 소양

Appendix (부 록)

1. 교수·학습 과정안
2. 과학적 태도 검사지
3. 수학적 태도 검사지
4. 창의적 문제해결력 검사지
5. 융합 인재 소양 검사지
6. STEAM 만족도 조사지
7. 전문가 타당화 검사지
8. STEAM 수업 활동지
9. STEAM 수업 PPT

1. 교수·학습 과정안

학습 주제	수업 내용
<사전 설문>	<p>창의적 문제해결력 검사(Cronbach α .93) , 과학적 태도 검사 (Cronbach α .87) , 수학적 태도 검사 (Cronbach α .85) , 융합 인재 소양 검사 (Cronbach α .94) , 수업 만족도 검사</p>
<p><상황 제시> 식물이 산소를 만든다는 사실을 여러 실험을 통해 이해하고 광합성 파악하기 (50분) (1/10차시) - 지구과학 및 생물(과학)</p>	<p>㉟ ① 지구의 탄생에서부터 산소가 생겨나기까지의 과정 파악 (20분) - 과정을 살펴보고 산소가 어떻게 발생했는지 자료를 통해 추측하며 산소가 처음부터 있었던 것이 아니라 광합성 세균에 의해서 만들어졌다는 사실을 인지한다. - 광합성 세균이 산소를 만들어낼 수 있을 것이라는 추측으로부터 광합성을 도입한다.</p> <p>㉟ 헬몬트의 실험을 이해하고 결과를 추론하는 과정이 옳은지 판단 (10분) - 헬몬트의 실험을 이해하고 정확한 결과를 얻었다고 할 수 있을지 모둠별로 토론한다. - 변인 통제가 잘 이루어지지 않았다는 것을 이해하여 식물은 물만 먹고 자라는 것이 아니라는 점을 인지한다.</p> <p>㉟ 프리스틀리와 잉겐호우스의 연구 과정을 이해하고 식물이 살아가기 위해 필요한 것 파악 (10분) - 헬몬트의 실험에서부터 프리스틀리, 잉겐호우스의 실험을 차례로 살펴보고 점차 어떤 사실을 추가로 알 수 있는지 이해한다. - 광합성에는 빛과 이산화탄소가 필요하며, 이 과정에서 산소를 만들어낸다는 사실을 추론한다.</p> <p>㉟ ① ㉟ 광합성을 학습 (10분) - 화학식을 살펴보며 광합성이 이루어지는 과정을 학습한다. - 광합성을 통해 빛 에너지가 화학 에너지로 전환된다는 사실을 이해한다.</p>
<창의적 설계> 식물의 광합성과	<p>㉟ ① ㉟ 식물의 호흡 과정을 이해 (15분) - 호흡을 통하여 광합성에서 얻은 포도당을 이용해 에너지가 발생된다는 사실을 이해한다.</p>

<p>호흡을 위한 줄기와 뿌리의 구조로부터 프랙탈을 학습하고 그 성질을 파악하기 (50분) (2/10차시) - 생물(과학) - 기하학(수학)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 호흡의 화학식을 광합성의 화학식과 비교해 보며 동물은 어떤 방법으로 에너지를 얻을 수 있는지 추론한다. ⑤ 지구의 에너지를 파악하고 태양 에너지의 중요성 인지 (10분) <ul style="list-style-type: none"> - 에너지 보존 법칙과 에너지는 양 방향으로 전환될 수 없다는 사실을 이해하고 에너지의 근원을 찾아본다. - 지구에서 쓰이는 에너지의 대부분이 태양 에너지라는 사실을 인지하고 그 중요성을 파악한다. ⑤ ④ 광합성이 잘 이루어지기 위한 조건을 이해하고 식물의 뿌리와 줄기의 구조가 광합성에 도움이 된다는 사실을 파악 (10분) <ul style="list-style-type: none"> - 광합성이 잘 이루어지기 위한 세 가지 주요 요인을 이해한다. - 광합성이 잘 이루어지기 위한 외부 요인이 아닌 식물 자체의 구조, 즉 잎과 줄기, 뿌리의 구조에서의 자기유사성을 이해한다. ⑤ ④ 프랙탈을 학습 (10분) <ul style="list-style-type: none"> - 식물의 뿌리와 줄기 구조의 특징을 살펴보며 프랙탈을 학습한다. - 프랙탈의 기원을 살펴보며 프랙탈의 필요성을 이해하고 자연 속에서의 프랙탈의 모습을 찾아본다. ① ④ 프랙탈의 성질 파악 (5분) <ul style="list-style-type: none"> - 자연 속에서의 프랙탈의 여러 예시를 살펴보며 공통적으로 갖고 있는 성질을 추론한다. - 이 과정에서 자기유사성, 순환성이라는 성질을 파악한다.
<p><창의적 설계> 프랙탈의 수학적 원리를 파악하고 다양한 프랙탈 도형을 통해 그 성질을 이해하기 (50분) (3/10차시) - 기하학(수학)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ① ④ ④ 4차 시에르핀스키 삼각형을 만들고 규칙성 파악 (20분) <ul style="list-style-type: none"> - 프랙탈의 성질을 이용하여 정삼각형을 기반으로 한 시에르핀스키 삼각형을 직접 만들어 본다. - 단계가 늘어날 때마다 변하는 넓이와 둘레의 길이를 찾아 그 규칙성을 파악하고 한없이 계속된다면 어떻게 될지 추론한다. ① ④ ④ 시에르핀스키 카펫을 만들면서 규칙성 파악 (15분) <ul style="list-style-type: none"> - 프랙탈의 성질을 이용하여 정사각형을 기반으로 한 시에르핀스키 사각형을 만들어보며 그 과정을 이해한다. - 단계가 늘어날 때마다 변하는 넓이와 둘레의 길이를 찾아 그 규칙성을 파악하고 한없이 계속된다면 어떻게 될지 추론한다. ① ④ ④ 3차원 프랙탈 도형인 멩거 스펀지를 만들고 규칙성 파악 (15분) <ul style="list-style-type: none"> - 입체도형인 정육면체를 이용한 프랙탈 도형인 멩거 스펀지를 만

	<p>들어보며 그 과정을 이해한다.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 단계가 늘어날 때마다 변하는 부피와 겹넓이를 찾아 그 규칙성을 파악하고 한없이 계속된다면 어떻게 될지 추론한다.
<p><창의적 설계> 프랙탈의 다양한 속성과 조형의 원리를 이해하고 이를 미술 작품에서 찾아보기 (50분) (4/10차시) - 기하학(수학) - 디자인(미술)</p>	<p>㉓ ㉔ ㉕ 눈의 결정체 구조를 이해하고 프랙탈 규칙에 따라 만들어진 코흐 눈송이를 이해 (10분)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 눈의 결정체가 육각형 구조를 띠는 이유를 파악한다. - 코흐 눈송이의 모양을 살펴보며 어떤 규칙으로 만들어졌는지, 어떤 도형에서부터 출발하였는지를 추론한다. <p>㉔ ㉕ 시에르핀스키 삼각형과 코흐 눈송이의 생성자와 시초자 파악 (15분)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 시초자와 생성자를 학습하고, 시에르핀스키 삼각형의 시초자와 생성자를 찾으며 규칙을 이해한다. - 코흐 눈송이의 시초자와 생성자를 찾고 만들어진 규칙을 파악한다. <p>㉖ 미술에서 조형의 원리 파악 (10분)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 디자인을 살펴보며 조형의 원리를 학습한다. - 프랙탈을 이용해 디자인한 하트에서 쓰인 조형의 원리를 파악한다. <p>㉗ 프랙탈의 4가지 조형 원리 파악 (15분)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 프랙탈 아트를 살펴보며 사용된 조형 원리 4가지인 중첩, 반복, 왜곡, 스케일링 변환을 찾아본다. - 각 조형 원리가 쓰인 미술 작품을 살펴보며 프랙탈 조형의 원리를 이해한다.
<p><창의적 설계> 프랙탈을 활용한 디자인을 살펴보며 삶 속의 디자인을 이해하기 (50분) (5/10차시)</p>	<p>㉔ ㉖ 프랙탈을 활용한 다양한 분야에서의 디자인 파악 (10분)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 주얼리, 환경, 건축 분야에서의 프랙탈을 활용한 디자인을 파악한다. - 각 분야에서의 프랙탈 디자인을 살펴보며 프랙탈 조형의 요소를 이해하고 프랙탈의 원리가 디자인에서 어떻게 쓰이는지 인지한다. <p>㉗ 디자인의 의미와 현대에서 디자인의 쓰임 파악 (20분)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 디자인의 의미를 살펴보고 현대에서 디자인이 어디까지를 일컬어 말하는지를 파악하여 여러 디자인의 쓰임을 살펴본다. - 디자인의 탄생 과정을 이해하고 도로에서 자신이 좋아하는 것을

<p>- 디자인(미술)</p>	<p>광고할 수 있는 디자인을 스케치한다.</p> <p>㉠ ㉠ 삶 속의 디자인 이해 (20분)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 환경 디자인, 그린 디자인을 살펴보며 각 디자인의 목적을 추론한다. - 우리 주변의 환경에 새로운 의미를 부여하여 디자인을 한다.
<p><창의적 설계> 다양한 상황에서의 적정 기술을 직접 계획해보며 적정 기술을 이해하기 (50분) (6/10차시)</p> <p>- 디자인(미술) - 기술(가.가)</p>	<p>㉠ ㉠ 유니버설 디자인 이해 (20분)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 유니버설 디자인과 그 7대 원칙을 학습하고 유니버설 디자인의 예를 살펴보며 각 디자인의 목적과 이를 이루기 위해 어떤 디자인이 쓰였는지 파악한다. - 우리 주변에서 불편한 물건을 편하게 바꿀 수 있도록 디자인을 한다. <p>㉠ ㉠ 적정 기술 이해 (10분)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 유니버설 디자인과 비교하여 적정 기술과 그 4가지 특징을 이해한다. - 공놀이 세탁기와 페트병 전구를 살펴보며 적정 기술의 특징과 그 유용성을 파악한다. <p>㉠ ㉠ ㉠ 수증기의 응결을 이용해 아프리카의 식수를 구할 수 있는 적정 기술을 계획 (20분)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 아프리카에서는 밤낮의 기온차가 커 수증기의 응결이 잘 이루어진다는 사실로부터 아프리카의 식수를 구할 수 있는 적정 기술을 계획해 본다. - 와카 워터를 살펴보며 적정 기술을 이해한다.
<p><창의적 설계> 지속 가능한 발전을 위한 태양 에너지를 이해하고 태양광 물레방아 제작을 통해 적정 기술</p>	<p>㉠ ㉠ 지속 가능한 발전과 이를 위한 재생 에너지 이해 (10분)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 지속 가능한 발전의 필요성을 인지하고 이를 위한 재생 에너지를 이해한다. - 재생 에너지의 대부분은 태양 에너지에서부터 나온다는 사실을 이해하고 태양 에너지의 중요성을 인지한다. <p>㉠ ㉠ ㉠ 태양광 물레방아 제작 (30분)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 태양광을 이용한 기술인 태양광 물레방아를 만들어본다. - 태양광 물레방아를 만드는 과정에서 태양광 전지가 어떻게 쓰이고 물레방아가 돌아가는 원리가 무엇인지 파악한다.

<p>이해하기 (50분) (7/10차시) - 기술(기·가)</p>	<p>㉠ ㉡ 태양광 물레방아의 쓰임을 생각 (10분) - 태양광 물레방아를 이용해서 어떠한 일을 할 수 있을지 상상해본다. - 태양광 물레방아의 적정 기술로서의 쓰임을 생각해본다.</p>
<p><감성적 체험> 창의적 산출물 설계하기 (50분) (8/10차시) - 통합 교과</p>	<p>㉢ ㉠ ㉡ ㉢ ㉣ ㉤ 1-7차시 동안 배운 내용 복습 (15분) - 이제까지 학습한 식물의 광합성과 호흡, 프랙탈 구조, 프랙탈 조형의 원리, 유니버설 디자인, 적정 기술, 지속 가능한 발전, 태양 에너지에 대해 돌아본다. ㉥ ㉠ ㉡ ㉢ ㉣ ㉤ 태양광 에너지를 이용한 적정 기술을 개발할 상황 제시 (35분) - 도움이 필요한 특정 지역의 어려운 상황을 모둠별로 제시한다.</p>
<p><감성적 체험> 창의적 산출물 제작하기 (50분) (9/10차시) - 통합 교과</p>	<p>㉥ ㉠ ㉡ ㉢ ㉣ ㉤ 태양 에너지를 이용한 적정 기술을 디자인 (50분) - 태양 에너지를 이용해 앞에서 제시한 특정 지역의 어려운 상황을 지원할 수 있는 적정 기술을 모둠별로 디자인한다(실제로 제작하지는 않음).</p>
<p><감성적 체험> 창의적 산출물 발표하기 (50분) (10/10차시) - 통합 교과</p>	<p>㉥ ㉠ ㉡ ㉢ ㉣ ㉤ 태양 에너지를 이용한 적정 기술 발표 (20분) - 모둠별로 태양 에너지를 이용한 적정 기술을 발표한다. - 교사, 동료 피드백을 실시한다.</p>
<p>사후 설문</p>	<p>창의적 문제해결력 검사(Cronbach α .93) , 과학적 태도 검사 (Cronbach α .87) , 수학적 태도 검사 (Cronbach α .85) , 융합 인재 소양 검사 (Cronbach α .94) , 수업 만족도 검사</p>

2. 과학적 태도 검사지

1. 과학적 태도 검사 도구

이 검사 문항지는 여러분의 과학적 태도를 알아보고자 작성된 것입니다. 각 글을 읽어 나가면서 그 글의 내용이 “나 자신을 잘 나타냈는지” 또는 “내 생각과 같은지”를 판단하여 ○ 표를 하십시오.

이 검사 문항지의 결과는 여러분의 성적과는 아무런 관련이 없으며, 검사의 결과는 연구 목적 이외에는 사용되지 않을 것입니다. 한 문제도 빠짐없이 문항을 잘 읽고 해당되는 부분에 ○표시 하시면 됩니다. 본 연구에 협조해 주셔서 대단히 감사합니다.

제주대학교 과학교육학부 생물교육과 허 선

	전혀 아니다	그렇지 않다	보통 이다	그렇다	매우 그렇다
1. 나는 새로운 현상을 보면 왜 그런지 알아보고 싶다.	1	2	3	4	5
2. 나는 친구들의 의견이 내 의견과 다르더라도 주의 깊게 듣는다.	1	2	3	4	5
3. 나는 친구들이 발표하는 실험 결과에 대하여 충분한 근거가 있는지 따져본다.	1	2	3	4	5
4. 나는 실험이 끝난 후에 친구들과 함께 실험기구를 정리한다.	1	2	3	4	5
5. 나는 조별 실험을 할 때 내가 직접 하기 보다는 친구들이 하는 것을 지켜본다.	1	2	3	4	5
6. 나는 실험 결과가 잘못 나오면 실망하지 않고 다시 그 실험을 해본다.	1	2	3	4	5
7. 나는 새로운 것을 발명해 내려고 노력한다.	1	2	3	4	5
8. 나는 집에 있는 물건이 고장나면 원인이 궁금해진다.	1	2	3	4	5
9. 나와 다른 의견을 가진 친구와 토론을 통해 내 의견을 수정할 수 있다.	1	2	3	4	5
10. 나는 선생님의 설명이 옳지 않다고 생각되면 질문한다.	1	2	3	4	5

	전혀 아니다	그렇지 않다	보통 이다	그렇다	매우 그렇다
11. 나는 조별 실험을 할 때 역할 분담을 토의해서 결정한다.	1	2	3	4	5
12. 나는 내가 할 수 있는 것을 찾아서 스스로 한다.	1	2	3	4	5
13. 나는 실험을 하다가 실험 과정이 복잡해지면 그만둔다.	1	2	3	4	5
14. 나는 어떤 문제를 해결하기 위한 새로운 방법을 찾아내려고 한다.	1	2	3	4	5
15. 나는 무엇을, 어떻게, 왜, 언제 등이 들어가는 질문을 많이 한다.	1	2	3	4	5
16. 나는 나의 주장이 틀렸을 때 부끄럽다.	1	2	3	4	5
17. 나는 남들이 다 옳다고 하더라도 증거가 불충분하다면 다른 의견을 제기한다.	1	2	3	4	5
18. 나는 실험기구를 잘 다루지 못하는 친구를 보면 도와주고 싶다.	1	2	3	4	5
19. 나는 의문나는 과학 문제가 생겼을 때 책을 찾아서 스스로 해결한다.	1	2	3	4	5
20. 나는 다른 친구들이 실험을 먼저 끝내더라도 내 실험을 끝까지 한다.	1	2	3	4	5
21. 나는 실험기구를 사용할 때 불편한 점을 고치려고 한다.	1	2	3	4	5

3. 수학적 태도 검사지

2. 수학적 태도 검사 도구

이 검사 문항지는 여러분의 수학적 태도를 알아보려고 작성된 것입니다. 각 글을 읽어 나가면서 그 글의 내용이 “나 자신을 잘 나타냈는지” 또는 “내 생각과 같은지”를 판단하여 ○표를 하십시오.

이 검사 문항지의 결과는 여러분의 성적과는 아무런 관련이 없으며, 검사의 결과는 연구 목적 이외에는 사용되지 않을 것입니다. 한 문제도 빠짐없이 문항을 잘 읽고 해당되는 부분에 ○표시 하시면 됩니다. 본 연구에 협조해 주셔서 대단히 감사합니다.

제주대학교 과학교육학부 생물교육과 허 선

	전혀 아니다	그렇지 않다	보통 이다	그렇다	매우 그렇다
1. 나는 대체로 수학을 잘한다.	1	2	3	4	5
2. 나는 수학을 좋아한다.	1	2	3	4	5
3. 나는 수학 공부하는 것이 즐겁다.	1	2	3	4	5
4. 나는 수학이 내가 잘하는 과목 중 하나라고 생각한다.	1	2	3	4	5
5. 나는 수학 공부에 흥미가 있다.	1	2	3	4	5
6. 나는 수학이 재미있는 과목이라 생각한다.	1	2	3	4	5
7. 나는 수학 수업 시간에 열심히 수업을 듣는다.	1	2	3	4	5
8. 나는 수학 공부가 어려워도 포기하지 않는다.	1	2	3	4	5
9. 나는 수학 내용을 빨리 배운다.	1	2	3	4	5
10. 나는 수학 문제가 풀릴 때까지 계속해서 시도한다.	1	2	3	4	5

	전혀 아니다	그렇지 않다	보통 이다	그렇다	매우 그렇다
11. 나는 수학 수업 시간에 어려운 내용도 이해한다.	1	2	3	4	5
12. 나는 수학이 논리적으로 사고하는 데 도움이 된다고 생각한다.	1	2	3	4	5
13. 나는 수학에 자신이 있다.	1	2	3	4	5
14. 나는 수학을 더 잘할 수 있을 것이다.	1	2	3	4	5
15. 나는 다른 교과를 배우는 데 수학이 도움이 된다고 생각한다.	1	2	3	4	5
16. 나는 수학이 일상생활을 하는 데 도움이 된다고 생각한다.	1	2	3	4	5
17. 내가 직업을 얻는 데 도움이 되는 것들을 수학에서 배울 수 있다.	1	2	3	4	5
18. 나는 수학 문제를 풀 때 신난다.	1	2	3	4	5
19. 나는 수학 공부를 할 때에 최선의 노력을 기울인다.	1	2	3	4	5
20. 수학 공부는 내가 나중에 하고 싶은 일을 하는 데 도움이 될 것이다.	1	2	3	4	5

4. 창의적 문제해결력 검사지

3. 창의적 문제해결력 검사 도구

이 검사 문항지는 여러분의 창의적 문제해결력을 알아보고자 작성된 것입니다. 이 검사 문항지의 결과는 여러분의 성적과는 아무런 관련이 없으며, 검사의 결과는 연구 목적 이외에는 사용되지 않을 것입니다. 한 문제도 빠짐없이 문항을 잘 읽고 해당되는 부분에 ○표시하시면 됩니다. 본 연구에 협조해 주셔서 대단히 감사합니다.

제주대학교 과학교육학부 생물교육과 허 선

[특정 영역의 지식, 사고기능, 기술의 이해 및 숙달 여부]

	전혀 아니다	그렇지 않다	보통 이다	그렇다	매우 그렇다
1) 수업시간에 맡은 일에 호기심을 가지고 계속 질문한다.	1	2	3	4	5
2) 주어진 문제에 대하여 다양한 해답을 찾아내며, 이따금 독특한 해답을 제시한다.	1	2	3	4	5
3) 나는 수업시간에 의사를 자유로이 표현하며, 이따금 의견이 맞지 않을 때는 과격하게 맞서거나, 고집을 부린다.	1	2	3	4	5
4) 나는 평소에 유머가 풍부하며, 남이 우습지 않은 상황에서도 남들을 곤장 웃긴다.	1	2	3	4	5
5) 나는 공부시간에 머리를 쓰는 놀이를 좋아한다.	1	2	3	4	5

[확산적 사고]

	전혀 아니다	그렇지 않다	보통 이다	그렇다	매우 그렇다
1) 나는 참신하고 남다른 생각을 말할 수 있다.	1	2	3	4	5
2) 나는 이미 알려진 것과는 다른 새로운 방법으로 문제를 풀 수 있다.	1	2	3	4	5
3) 내가 만든 것은 새로워서 다른 친구들이 만든 것과는 많이 다르다.	1	2	3	4	5
4) 나는 문제를 풀어낼 아이디어를 다양하고 풍부하게 만들어 낸다.	1	2	3	4	5
5) 나는 서로 상관없이 보이는 것을 잘 연결짓는다.	1	2	3	4	5

[비판적·논리적 사고]

	전혀 아니다	그렇지 않다	보통 이다	그렇다	매우 그렇다
1) 나는 실제로 있는 사실과 상상을 구별할 줄 안다.	1	2	3	4	5
2) 나는 과학 시간에 아이디어나 결론을 꼼꼼하고 찬찬히 다듬어 나갈 수 있다.	1	2	3	4	5
3) 나는 공부시간에 말이 맞는 말인지 또는 틀린 말인지 판단할 줄 안다.	1	2	3	4	5
4) 나는 친구들과 다양한 정보를 바탕으로 혼자서 결론을 이끌어 낼 수 있다.	1	2	3	4	5
5) 나는 주어진 문제와 관계가 있는 정보를 찾아낼 수 있다.	1	2	3	4	5

[동기적 요소]

	전혀 아니다	그렇지 않다	보통 이다	그렇다	매우 그렇다
1) 나는 어렵고 힘든 것도 쉽게 포기하지 않고 끝까지 하려고 한다.	1	2	3	4	5
2) 나는 이 과목의 다른 주제에 대해서도 더 알고 싶다.	1	2	3	4	5
3) 나는 과학 시간의 공부 내용이 매우 재미있다.	1	2	3	4	5
4) 나는 목표에 달성하지 못했다고 생각되면 목표 달성을 위해 더 노력한다.	1	2	3	4	5
5) 나는 목표를 이루었다고 생각하면 그 다음 단계의 목표를 정한다.	1	2	3	4	5

5. 융합 인재 소양 검사지

4. 융합 인재 소양 검사 도구

이 검사 문항지는 여러분의 융합 인재 소양(STEAM Literacy)을 알아보고자 작성된 것입니다. 이 검사 문항지의 결과는 여러분의 성적과는 아무런 관련이 없으며, 검사의 결과는 연구 목적 이외에는 사용되지 않을 것입니다. 한 문제도 빠짐없이 문항을 잘 읽고 해당되는 부분에 ○표시 하시면 됩니다. 본 연구에 협조해 주셔서 대단히 감사합니다.

제주대학교 과학교육학부 생물교육과 허 선

	전혀 아니다	그렇지 않다	보통 이다	그렇다	매우 그렇다
1. 나는 새로운 문제가 주어지면 다양한 지식을 사용하여 문제를 해결하려고 한다.	1	2	3	4	5
2. 나는 다른 사람들이 생각하지 못하는 새로운 아이디어를 만들어 낸다.	1	2	3	4	5
3. 나의 독창적인 생각에 대해 많은 사람들이 관심을 갖는다.	1	2	3	4	5
4. 나는 어려운 문제가 주어져도 해결할 수 있는 자신감이 있다.	1	2	3	4	5
5. 다른 사람이 해낸 일이기 때문에 나는 할 수 없다고 생각한다.	1	2	3	4	5
6. 나는 문제해결에 필요한 다양한 정보를 못 찾는 편이다.	1	2	3	4	5
7. 나는 새로운 문제가 주어지면 다양한 사람들의 의견을 종합적으로 파악하여 최선의 문제해결 방법을 생각해 낼 수 있다.	1	2	3	4	5
8. 나는 어떤 문제에 대해 다양한 분야의 지식을 찾아보고 그 해결방법을 제시한다.	1	2	3	4	5
9. 나는 어떤 문제가 주어지면 이에 대한 여러 가지 해결책을 갖고 있다.	1	2	3	4	5
10. 나는 나보다 어려운 처지에 있는 사람을 보면 도와주고 싶은 마음이 든다.	1	2	3	4	5
11. 나는 나와 다른 생각을 가진 친구들의 의견을 존중한다.	1	2	3	4	5
12. 나는 남이 제시한 의견을 듣고 잘 이해하는 편이다.	1	2	3	4	5

	전혀 아니다	그렇지 않다	보통 이다	그렇다	매우 그렇다
13. 나는 새로운 지식을 배우면 기존의 알고 있는 지식들과 관련지어 새롭게 해석할 수 있다.	1	2	3	4	5
14. 나는 문제를 해결하기 위한 가장 적합한 방법을 찾아낼 수 있다.	1	2	3	4	5
15. 나는 문제를 해결할 때 경제적 효과가 높지만 자연환경을 훼손하는 문제 해결 방법은 최선이 될 수 없다고 생각한다.	1	2	3	4	5
16. 나는 문제 해결을 위해 의사소통을 잘 하는 편이다.	1	2	3	4	5
17. 나는 새로운 문제에 대하여 과학적 지식뿐만 아니라 사회적 의미와 가치를 다각적으로 고려하여 문제해결을 하고자 한다.	1	2	3	4	5
18. 나는 일반적으로 알려진 결론이나 해결방법을 그대로 믿고 실천하기보다는 더 유용하고 가치로운 방법이 있는지 지속적으로 탐색한다.	1	2	3	4	5
19. 나는 문제를 해결하려는 과정에서 다른 사람과 입장 차이가 있을 때 그 사람의 입장에서 생각해보려고 시도하는 편이다.	1	2	3	4	5
20. 나는 어려운 문제를 해결하고 나면 도전하기를 잘했다고 생각한다.	1	2	3	4	5
21. 나는 문제해결을 위해 다른 사람과 협력을 못 하는 편이다.	1	2	3	4	5
22. 나는 새로운 문제에 대한 해결방법을 다른 사람의 공감이나 이해를 이끌어낼 수 있는 다양한 방법으로 표현하는 것을 좋아한다.	1	2	3	4	5
23. 나는 문제를 해결한 뒤 다른 문제가 발생할 때를 예상한 시나리오를 구상하는 편이다.	1	2	3	4	5
24. 나는 친구의 도움 없이 스스로 문제를 해결할 때가 더 즐겁다.	1	2	3	4	5
25. 나는 나의 의견을 발표할 때 나와 다른 사람의 의견을 잘 설득하는 편이다.	1	2	3	4	5

6. STEAM 만족도 검사지

5. 수업 만족도 검사 도구

	전혀 아니다	그렇지 않다	보통 이다	그렇다	매우 그렇다
1. 나는 과학 수업이 재미있어졌다.	1	2	3	4	5
2. 나는 과학·수학 학습 내용에 대해 많이 이해하게 되었다.	1	2	3	4	5
3. 나는 과학·수학 학습에 대한 흥미가 생겼다.	1	2	3	4	5
4. 나는 과학 기술에 대한 관심이 생겼다.	1	2	3	4	5
5. 나는 과학 관련 책이나 글을 읽는 것이 좋아졌다.	1	2	3	4	5
6. 나는 문제 해결을 위해 스스로 생각을 하게 되었다.	1	2	3	4	5
7. 나는 다양한 학습 내용을 끝까지 해내게 되었다.	1	2	3	4	5
8. 나는 한 가지 문제를 다양하게 생각해보았다.	1	2	3	4	5
9. 나는 배운 내용을 실생활과 연관 지으려고 노력하였다.	1	2	3	4	5
10. 나는 문제해결에 여러 과목에서 배운 지식을 동시에 적용하려고 노력하였다.	1	2	3	4	5
11. 나는 적극적이고 활발하게 수업에 참여하였다.	1	2	3	4	5
12. 나는 친구들과 사이좋게 의견을 나누었다.	1	2	3	4	5
13. 나는 다른 친구들에게 나의 아이디어를 표현하였다.	1	2	3	4	5
14. 나는 다른 친구들과 의견을 경청하고 존중하였다.	1	2	3	4	5
15. 나는 다른 친구들과 협력하는 것의 중요성을 생각하는 마음이 생겼다.	1	2	3	4	5
16. 나는 다른 친구들을 배려하는 마음이 생겼다.	1	2	3	4	5
17. 나는 실패하는 것을 두려워하지 않고, 도전의식이 생겼다.	1	2	3	4	5
18. 나는 과학기술 분야에 관련된 작업에 대한 관심이 생겼다.	1	2	3	4	5

7. 전문가 타당화 검사지

이름		소속	
나이(만)		전공(세부)	
전공교육경력		영재교육경력	
최종학위		융합수업 경험여부	
분류	번호	문항내용	배점
프로그램의 구성 여부	1	STEAM 프로그램은 영재교육의 목적에 적합하게 구성되어 있다.	
	2	STEAM 프로그램이 학습자의 교육목표 달성도를 향상시킬 것이다.	
	3	STEAM 요소들이 프로그램에 적절하게 반영되어 있다.	
	4	STEAM 프로그램의 주제(내용요소)가 적합하게 선정되었다.	
	5	각 교과에 대한 학생들의 흥미와 이해를 높이는 프로그램이다.	
	6	융합적 사고와 문제 해결력을 배양하는 교육 프로그램이다.	
교수·학습 방법의 적절성	7	성공지능의 하위영역인 분석, 창의, 실천적 능력을 지도하는 점이 영재교육에 적합하다.	
	8	STEAM 프로그램은 학습자의 학습동기 향상에 적합한 단계로 이루어져 있다.	
	9	STEAM 프로그램의 일반적 탐색 단계는 분석적 학습자의 분석적 지능을 향상시킬 수 있다.	
	10	STEAM 프로그램의 집단 훈련단계는 학습자의 창의적 사고와 협동력을 향상시킬 수 있다.	
	11	STEAM 프로그램의 실제 문제의 탐구 단계는 실천적 지능을 향상시킬 수 있다.	
주관적 의견			

※ 배점은 1~5점 사이의 정수 점수로 주시면 감사하겠습니다.

(5: 매우 그렇다. 4: 그렇다. 3: 보통이다. 2: 그렇지 않다. 1: 전혀 그렇지 않다.)

광합성과 프랙탈

- 생명의 근원 -

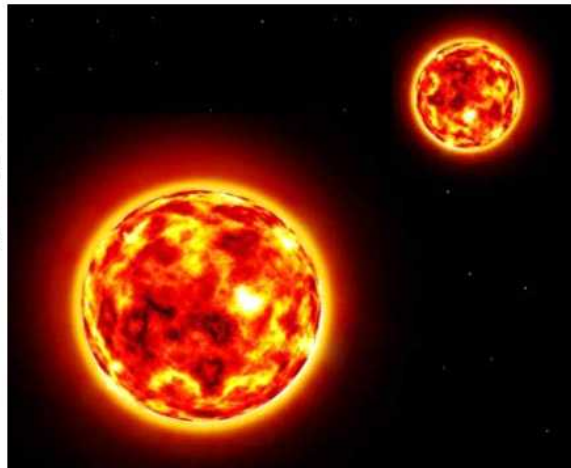
() 중학교 () 학년 이름 : ()

1. 지구의 탄생

□ 지구에 생명이 존재할 수 있는 이유는?

45억 년 전 무렵, 원시지구와 테이아의 거대충돌로 갓 태어난 지구와 달은 어떤 모습이었을까? 테이아와의 충돌에서 발생한 엄청난 열 때문에 지구의 겉 부분은 대부분 녹은 상태였겠지만, **거대충돌 후에도 지구궤도를 돌고 있던 크고 작은 미행성의 충돌이 이어지면서 지구의 겉 부분은 한동안 녹은 상태를 유지했을 것이다.**

달 역시 암석 덩어리의 충돌에 의하여 만들어졌으므로 갓 태어난 달 표면 역시 녹은 상태였다. 충돌 후 지구와 달의 겉 부분은 대부분 녹아있었을 텐데, 이처럼 암석이 녹아있던 바다가 마그마를 연상시키기 때문에 마그마 바다(magma ocean)



[그림 1] 마그마 바다를 이루고 있는 원시지구와 달

라고 부른다. 지구의 마그마 바다는 거대충돌 후 200만 년 동안 지속되었던 것으로 추정된다.

45억 년 전, 갓 태어난 지구와 달을 태양계 밖에서 바라보았다면 어떤 모습이었을까? 아마도 이글거리는 두 개의 커다란 불덩어리가 소용돌이치며 지구궤도를 빠르게 돌고 있는 모습이었을 것이다. 당시 지구와 달은 매우 가까웠고, 모두 엄청나게 빠른 속도로 돌고 있었기 때문에 지구와 달의 상호작용에 의하여 일어났던 당시 모습을 그려보면, 오늘날 지구에서는 상상할 수도 없는 기이한 일들이 벌어졌다.

먼저 당시의 기권을 생각해 보자. **충돌 당시의 엄청난 에너지 때문에 암석이 기체 상태로 존재할 만큼 대기의 온도가 높았다.** 암석이 증발한다는 사실을 믿기 어렵겠지만, 암석도 높은 온도에서는 기체가 된다. 암석이 기체로 존재하는 상태를 암석증기(rock vapor)라고 부른다. 아울러 마그마 바다에서 뿜어져 나온 휘발성분(수소, 일산화탄소, 수증기, 이산화탄소, 질소 등)들이 기권을 채웠을 것이다. 암석이 기체 상태로 존재할 정도였기 때문에 기권의 온도는 무척 높아 섭씨 2,000도 이상이였으며, 대류권 상층부에서 붉은 구름을 형성하였다.

대류권 상층부에서 붉은 구름이 응결하면, 불방울 같은 비가 하늘에서 내렸을 것이다. 지구 표면에서는 마그마 바다가 용광로처럼 이글거리고 있었고, 대기는 붉게 달아오른 구름으로 드리워있기 때문에 **태양계 밖에서 보면 지구는 마치 커다란 불덩어리처럼 보였을 것이다.** 기권에서 암석증기가 사라지기까지는 충돌 후 약 1,000년이 걸렸을 것이라고 한다.

그러면 충돌 직후 지구에서 바라본 달은 어떤 모습이었을까? 달 표면 역시 마그마 바다였으

니까 달도 이글거리는 불덩어리처럼 보였을 것이다. 그때 달이 지구 중심으로부터 24,000km 떨어져 있었으므로 지구 표면으로부터는 불과 18,000km 상공에 떠 있는 셈이다. 지금 지구와 달의 거리인 384,000km와 비교하면 무척 가까웠던 것이다. 그 무렵 달의 겉보기 크기를 계산해 보면, 지금 보이는 달의 400배 이상이었다. 지금보다 400배 더 커 보이는 달이 밤하늘에 떠 있다면 어땠을까? 것처럼 커다란 보름달이 뜨면 밤일지라도 대낮같이 환했을 것이고, 따라서 별도 보이지 않았을 것이다.

45억 년 전, 거대충돌로 갓 태어난 지구는 아마도 맨틀과 핵으로만 구분되었을 것이다. 왜냐하면, 걸 부분이 모두 마그마 바다였기 때문에 지각은 아직 만들어지지 않았고, 핵은 모두 녹은 상태였기 때문이다. 충돌하기 전의 원시지구와 테이아도 맨틀과 핵으로만 구분되어 있었을 것이다. 충돌 직후 두 천체의 핵은 곧바로 합쳐졌으며 이 중심핵을 맨틀이 감싸고 있는 모습이 되었을 것이라고 보인다. 충돌 직후 지구 중심핵은 반지름이 3,500km였고, 무거운 철과 니켈로 이루어졌으며, 모두 액체 상태였다. 한편, 맨틀의 대부분은 고체 상태였겠지만, 걸 부분은 이글거리는 마그마 바다로 덮여 있었다. 마그마 바다는 충돌 후 약 200만 년 동안 존재했던 것으로 알려져 있는데, 시간이 흐르면서 식어 굳었다. **충돌 후 200만 년이 지났을 무렵 마그마 바다가 굳기 시작했다면, 이는 최초의 지각이 형성되었음을 의미한다.**

거대충돌이 일어난 후 200만 년이 지났을 무렵, 마그마 바다의 온도가 1,500도 아래로 내려가면서 마그마 바다에서는 광물 결정들이 생성되었다. 물이 거의 없었던 달의 마그마 바다에서는 광물들이 생성되며 떠올라 달 표면을 덮었다. 달에 물을 포함한 휘발성분이 거의 없었던 이유는 거대충돌 후 생겨난 암석 부스러기들이 합쳐져 달을 형성하는 과정에서 휘발성분을 잃어버렸기 때문이다. 반면에 **달에 비해 덩치가 컸던 지구는 강력한 중력으로 물을 붙잡을 수 있었고, 또한 마그마 바다의 온도와 압력이 높았기 때문에 달과는 다른 결과를 얻었다.**

무거운 광물들이 마그마 바다의 바닥에 가라앉았고, 그 결과 주변의 온도와 압력이 올라가면서 먼저 만들어진 암석의 일부가 녹았다. **이 과정에서 마그마 바다는 굳기 시작하였다.** 시간이 흐르면서 마그마 바다 곳곳에 화산체가 솟아올랐고, 마침내 화산체가 모여 지구 표면 전체를 덮게 되었을 것이다. **이것이 지구에 맨 처음 생성된 원시 지각으로 마그마 바다가 굳기 시작하여 수백만 년 혹은**



[그림 2] 원시지구의 변화 과정

수천만 년이 지난 후의 일이다.

원시지구의 마그마 바다에서는 대기의 수증기가 많아지고 수증기의 온실 효과에 의해 대기의 온도가 올라가며, 그러면 마그마 바다가 녹아 대기의 수증기를 흡수하게 되어 대기 중의 수증기 양이 줄어든다. 그 결과 대기의 온도가 내려가면, 마그마 바다가 식으면서 수증기를 방출해 대기 중 수증기의 양이 다시 증가하고, 그러면 대기의 온도가 다시 올라가 마그마 바다는 녹게 된다. 이러한 과정은 지구 탄생 초기에 한동안 반복되었고, 거대충돌 이후 적어도 수백만 년은 지속되었을 것이다. 시간이 흘러 지표면의 온도는 점점 낮아졌고 대기압이 높은 상태에서 수증기가 응결할 수 있는 온도까지 낮아지면 비가 내리기 시작했을 것이다. 바닥에 떨어진 비는 지표면이 무척 뜨거웠기 때문에 곧바로 증발하여 다시 수증기가 되었겠지만, 이러한 과정이 반복되면서 **지표면은 빠르게 식어갔고, 내린 비가 모여 마침내 바다를 형성하게 된다.**

최초의 단세포 생물인 원시 세포는 원시바다가 생성되었을 때 깊은 바닷속 해저화산 열극 주변에서 출현한 것으로 추정된다. 원시 세포는 막 안으로 여러 가지 유기물을 흡수하여 간단한 물질대사를 할 수 있었을 것이다. 그러나 원시 세포는 생명의 본질이라고 할 수 있는 자기 복제 능력과 단백질 합성 능력을 갖추지 못해 진정한 생명체로 볼 수 없다. 그러면 원시 세포는 어떻게 자기 복제계와 단백질 합성계를 갖춘 원시 생명체로 진화했을까?

최초의 원시 생명체는 광합성과 같은 물질대사를 수행할 만큼 복잡한 세포 구조를 갖추기는 어려웠을 것이다. 따라서 과학자들은 원시 바다에 유기물이 풍부했으므로 원시 생명체는 이를 흡수하여 생활하는 **종속 영양 생물**이었을 것으로 추정한다. 원시 대기에는 산소가 거의 없었으므로 이들은 무산소 호흡으로 생활에 필요한 에너지를 얻었을 것이며, 이때 발효와 같은 무산소 호흡에 의해 이산화탄소가 대기 중으로 방출되었을 것이다.

원시 생명체가 증가함에 따라 원시 바다의 유기물이 점차 감소했을 것이다. 따라서 빛에너지 흡수하여 이산화탄소로부터 탄수화물을 합성하는 독립 영양 생물이 출현하였을 것이고, 이들의 **광합성 결과 산소가 방출되어 대기의 산소 농도가 증가하였을 것으로 추정된다.** 산소 농도가 증가함에 따라 산소에 취약한 생명체는 멸종하거나 산소가 희박한 환경에 국한하여 살아남은 반면, 산소 호흡을 하면서 생물을 먹이로 섭취하는 종속 영양 생물이 출현하였을 것이다. 대기 중의 산소는 태양의 자외선을 흡수하여 오존을 생성하고 메테인과 암모니아를 산화시켜 대기 중의 이산화탄소와 질소 농도를 증가시켰을 것이다. 이 결과로 현재와 같은 대기층이 형성되었을 것이라 추정한다. 한편, 대기에 오존층이 형성되면서 태양의 강한 자외선을 비롯하여 지구로 유입되던 각종 유해 광선이 차단됨에 따라 물속에서 생활하던 생물들이 차츰 육지로 올라와 생활할 수 있게 되었고 지구 전역에 생물이 분포하게 되었다. 이처럼 환경은 생물에게 영향을 미치고 생물은 환경을 변화시키는 상호 작용을 통하여 지구와 생물이 현재와 같이 진화하게 되었다.

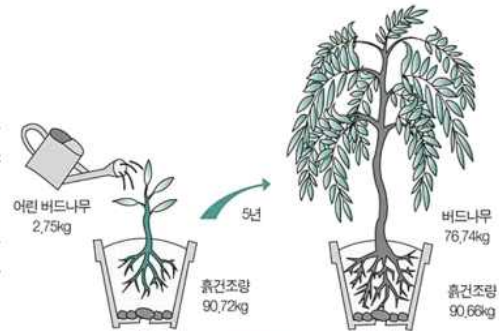
참고자료: 1) <https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=3581053&cid=59558&categoryId=59558>
2) 전동렬 (2016). 융합과학. 서울: 미래엔.

□ 위의 밑줄 친 부분에서 산소가 생겨나기 이전에 지구에 남아있던 것은 무엇일까요? 산소는 무엇으로부터 어떻게 생겨났을까요?

2. 식물의 광합성과 호흡

□ 헬몬트의 실험

사람을 포함한 동물은 계속해서 음식을 먹으며 자란다. 식물도 자라려면 무언가를 먹어야 하는데, 식물이 흙에 뿌리를 내려 살아가는 것을 보고 사람들은 식물이 흙에서 무언가를 먹고서 자란다고 생각했다. 플랑드르 지방의 내과의사였던 반 헬몬트가 실험을 하기 전인 1600년대 초까지의 사람들은 그렇게 생각했다.



[그림 3] 헬몬트의 실험 과정

1630년 반 헬몬트는 니콜라우스 쿠사누스에 의해 이미 2세기 전에 착수된 것을 모방한 실험을 시작했다. 커다란 화분에 200파운드(90.7kg)의 마른 흙을 큰 용기에 채운 다음 여기에 물을 주어 정확히 5파운드(2.3kg)짜리 버드나무 가지를 심었다. (버드나무는 가지만 잘라서 심어도 잘 자란다. 버드나무 가지를 잘라서 물에다 담가 놓으면 뿌리가 생기는 모습을 볼 수 있을 정도이다.) 그러고는 그걸 5년 동안 물을 주면서 키웠다. 그 용기는 먼지가 쌓이는 것을 방지하기 위해 덮개가 씌워져 있었으며 매일 물을 받았고, 단지 증류수만 이용되었다.

정확한 측정, 명확한 실험조건, 사용되는 재료의 순수성에 대한 강조는 확실히 파라셀수스의 연금술적 실험방법에 영향을 받은 것이었다. 헬몬트는 만약 버드나무가 흙에 있는 무언가를 먹고서 자란다면 버드나무 무게가 늘어난 만큼, 흙은 꼭 그만큼은 아니더라도 흙의 무게가 반드시 줄어든 것이라 생각했다.

5년 동안 물을 주자 버드나무는 큰 나무로 자랐다. 반 헬몬트가 그것을 파내 무게를 잰 결과 그 나무는 169파운드 30온스(77.6kg)였다. 남아있는 흙을 말린 후 무게를 잰고, 흙은 단지 2온스(56.7g)만 줄어 있다는 것을 알았다. 생물학적인 성장 구조는 그 시기에 알려져 있지 않았기 때문에 그는 나무와 그 가지에서 생겨난 잎이 전적으로 물에 의해 구성된다는 결론을 내렸다. 이것은 단순히 나무에 의해 그 자체의 물질 속으로 전환된 것이었다.

참고자료: <http://sdyjm.x-y.net/2008/08data/09experiment1.htm>

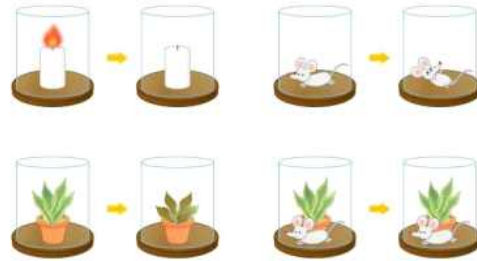
□ 헬몬트의 실험은 정확한 결과를 얻었다고 할 수 있을까요? 식물은 무엇을 먹고 자랄까요?

□ 광합성의 연구

광합성에 대한 최초의 탐구는 1648년 안 판 헬몬트(Jan Baptista van Helmont, 1579~1644)의 실험에서부터 시작되었다. 헬몬트는 식물이 자랄 때 식물의 무게와 식물이 자라는 흙의 무게를 측정하는 실험을 하였는데, 식물의 무게 변화가 토양의 무게 변화보다 매우 큰 것으로 결과가 나타났다. 그는 이렇게 식물의 무게가 늘어난 원인이 화분에 부어 준 물 때문이라고 생각했는데, 이러한 헬몬트의 실험은 물이 광합성을 위해 필요한 물질이라는 것을

밝히는 최초의 실험이었다.

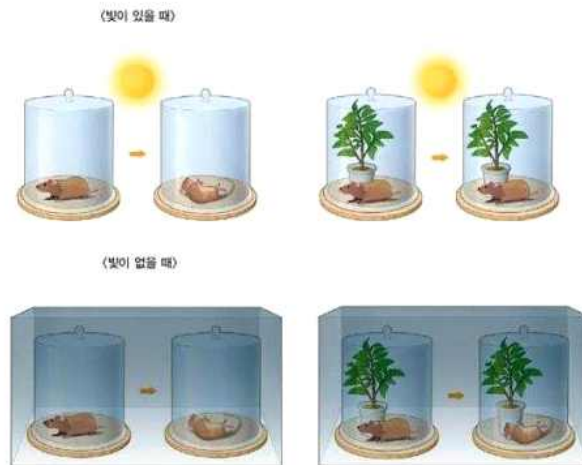
1772년 영국의 화학자이자 성직자인 프리스틀리(Joseph Priestley, 1733~1804)의 실험은 헬몬트가 설명하지 못한 기체에 관한 내용을 알려 주었다. 프리스틀리는 유리로 된 종 안에서 양초를 태우는 실험으로 '나쁜 공기'를 발견하였다. 이 공기가 들어 있는 곳에 쥐를 넣었더니 쥐가 질식사하였고, 식물을 넣어 주었을 때에는 쥐가 다시 깨어나는 것을 관찰할 수 있었다. 또한, 유리종 안에 식물만 넣거나 쥐만 넣으면 쥐와 식물이 모두 죽지만 둘을 함께 넣으면 둘 다 죽지 않는다는 것도 관찰하였다.



[그림 4] 프리스틀리의 실험 과정

프리스틀리는 이 실험을 통하여 녹색 식물이 초의 연소나 동물의 호흡으로 만들어지는 나쁜 공기를 신선한 공기로 바꾸는 능력을 가지고 있다고 설명하였다. 프리스틀리의 실험은 광합성 과정에서 이산화탄소가 이용되고 산소가 방출된다는 사실을 처음으로 밝힌 실험이라 할 수 있다. 그러나 프리스틀리는 이러한 결과가 반드시 빛이 비치는 곳에 있는 녹색 식물에서만 나타난다는 사실을 설명하지 않았기 때문에, 이후에 그의 실험을 반복하던 다른 과학자들은 실험에 실패하는 경우가 많았다.

네덜란드의 왕실 의사였던 얀 잉겐호우스(Jan Ingenhousz, 1730~1799)는 1779년에 식물의 녹색 부분에 빛을 쬐어 주면 기체가 발생하고, 빛을 쬐어 주지 않으면 기체가 발생하지 않는다는 사실을 발견하여, 식물의 작용에 빛이 중요한 역할을 한다는 것을 밝혔다. 잉겐호우스는 또한 식물이 어둠 속에서는 산소를 이용하고 이산화탄소를 내어놓는다는 것을 밝혔으며, 빛이 없을 때 식물이 사용하는 산소 질량보다 빛이 있을 때 식물에서 만들어 내는 산소의 질량이 더 많다는 것도 발견하였다.



▲ 쥐만 있을 경우에는 빛과 관계없이 쥐가 죽지만, 쥐가 식물과 함께 있는 경우에는 빛이 있으면 쥐는 살아남고 빛이 없으면 쥐는 죽는다.

[그림 5] 잉겐호우스의 실험

그 후에 1782년 프랑스의 목사인 장 세네비어는 녹색 식물에 빛을 쬐어 줄 때만 이산화탄소를 흡수한다는 사실을 알아냈으며, 1804년 소쉬르는 광합성 과정에서 영양분이 만들어지려면 이산화탄소뿐만 아니라 물이 필요하다는 사실을 밝혀냈다. 소쉬르는 식물의 무게가 증가하는 것이 공기 중으로부터 흡수한 이산화탄소와 물 때문인 것을 밝혔다.

1845년에는 광합성 과정 중에 빛에너지가 화학 에너지로 바뀐다는 것이 밝혀졌고, 1937년과 1939년에 로버트 힐은 광합성 후에 나오는 산소가 식물이 흡수한 물에서 얻어지는 것이라고 주장하였다. 1941년 루벤과 카멘은 힐의 주장을 방사성 동위 원소를 이용한 실험을 통해 증명했다. 1945년 캘빈(Melvin Calvin, 1911~1997)과 벤슨(Benson)은 엽록체 내에서 포도당이 합성되는 과정인 캘빈 회로를 밝혀 1961년도에 노벨상을 수상하였다.

참고자료:

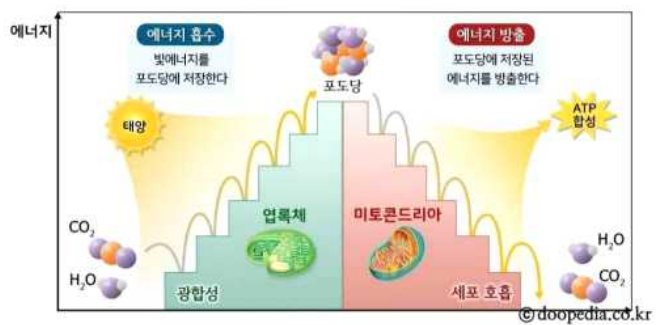
http://www.edunet.net/nedu/contsvc/viewWkstContPost.do?contents_id=a3cfd0c2-6725-41d0-a1be-98f03f7ae669&head_div

□ 광합성이란 무엇인가? 직접적으로 식물이 살아갈 수 있도록 해 주는 것은?



□ 식물의 호흡

녹색 식물은 빛을 받아 스스로 물질을 만들어 내는데, 이러한 과정을 광합성이라고 한다. 광합성과 같은 작용으로 생물체 내에서 합성되는 물질을 유기물 또는 유기 양분이라고 한다. 광합성으로 처음 만들어지는 유기 양분은 포도당이다. 포도당은 대부분의 식물에서 설탕으로 바뀌고 각 기관으로 이동하여 살아가는 데 필요한 에너지원으로 사용된다. 이동된 양분 중 일부는 식물체를 구성하는 재료로 이용되며 남은 것은 탄수화물, 지방, 단백질의 형태로 저장되기도 한다. 이렇게 저장된 것 중 일부는 자손의 생장에 필요한 영



양분으로 남겨지며 일부는 동물의 먹이가 되기도 한다.

이와 같이 세포가 에너지를 유리시키는 일련의 과정을 '호흡'이라고 한다. 즉, 생명 활동에 필요한 모든 에너지는 호흡으로 얻어진다. 이때 모든 생물의 호흡 재료는 광합성으로 만들어진 유기물인 포도당과 산소가 사용되는데, 이 속에 저장되어 있던 빛에너지가 호흡에 의해 생물의 여러 가지 활동에 이용되는 것이다. 식물은 뿌리, 줄기, 잎 등 몸 전체에서 산소를 받아들이고 이산화탄소를 내보내는 호흡 작용을 하고 있다.

식물의 호흡 작용은 동물과 마찬가지로 에너지를 분해하고 이산화탄소를 방출한다. 호흡을 할 때 드나드는 기체는 광합성이 일어날 때와는 반대이다. 광합성이 빛 에너지를 포도당에 저장하는 과정이라면 호흡은 저장된 에너지를 이용하는 과정이라고 할 수 있다.

참고자료:

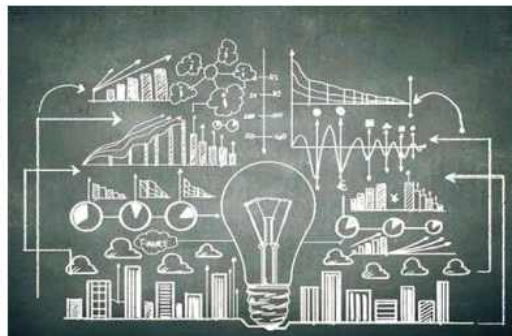
<https://www.scienceall.com/%EB%AC%B4%EC%97%87%EC%9D%84-%EC%95%8C%EC%95%84%EC%95%BC-%ED%95%A0%EA%B9%8C-11/>

□ 식물이 에너지를 얻는 과정은? 동물도 같은 방법으로 에너지를 얻을까?

3. 지구의 에너지

□ 에너지

도시 가스 공급이 갑자기 끊어지고 전기가 들어오지 않는다면 어떤 일이 벌어질까? 밥도 못 짓고 난방도 할 수 없을 뿐 아니라, 텔레비전, 컴퓨터, 냉장고가 모두 멈추게 될 것이다. 우리는 큰 불편을 경험하게 될 것이다. 가스와 전기는 우리가 많이 사용하는 에너지이다. 이들이 제대로 공급되지 않으면 우리 생활이 거의 마비된다는 점을 볼 때, 에너지가 얼마나 소중한지를 알 수 있다.



[그림 8] 전기의 사용

백열 전구를 켜면 빛이 나온다. 전기 에너지가 빛 에너지로 바뀐 것이다. 녹즙기를 콘센트에

꽃으면 녹즙기가 돌아가면서 채소가 갈아진다. 녹즙기에서는 전기 에너지가 기계를 돌리는 기계적 에너지로 바뀐 것이다. 화력 발전소에서는 석유나 석탄을 태워서 얻은 열에너지가 전기 에너지로 바뀌고, 수력 발전소에서는 떨어지는 물의 위치 에너지가 전기 에너지로 바뀐다. **에너지는 이렇게 여러 가지 종류가 있는데, 이들은 서로 다른 종류의 에너지로 바뀔 수 있다.**

우리가 직접 보거나 만져 볼 수는 없지만 에너지는 생활의 거의 모든 부분에서 사용되고 있다. 우리에게 가장 친숙한 에너지는 모든 생명의 근원인 태양으로부터 오는 태양 에너지이다. 태양 에너지는 빛에너지와 열에너지로 구성되어 있다. 에너지는 우리가 먹는 음식물 속에도 들어 있고, 석탄, 석유, 천연 가스 등과 같은 화석 연료 속에도 들어 있다.

움직이고 있는 물체가 가지고 있는 에너지를 운동 에너지라고 한다. 도로 위를 달리는 오토바이, 달리는 열차, 투수가 던진 공, 달리기를 하고 있는 운동 선수처럼 움직이는 모든 것은 운동 에너지를 가지고 있다. 운동 에너지는 움직이는 속력이 클수록, 그리고 움직이고 있는 물체의 질량이 클수록 커진다. 그러나 움직이고 있는 물체만 에너지를 가질 수 있는 것은 아니다. 물체는 평형 상태에서부터 위치가 변하면 에너지를 저장할 수 있는데, 이러한 종류의 에너지를 위치 에너지라고 부른다. 예를 들어, 평형 상태보다 늘어나 있는 용수철이나 화살을 쏘기 위해 활시위가 팽팽히 당겨진 활은 위치 에너지를 가지고 있다. 이 밖에도 **에너지의 형태에는 빛 에너지, 전기 에너지, 화학 에너지, 열 에너지, 핵 에너지, 소리 에너지 등이 있다.**

에너지는 한 형태에서 다른 형태로 바뀔 수 있다. 우리는 흔히 “에너지를 써 버린다.” 라고 말하지만 사실은 에너지를 사용하여 없어지게 하는 것이 아니라 다른 형태로 바꾸는 것이다. 예를 들어 가정에서 사용하는 전기 기구들은 가정으로 공급된 전기 에너지를 없어지게 하는 것이 아니라, 전기 에너지를 다른 형태의 에너지로 바꾸어 주는 것이다.



[그림 9] 지구에서 쓰이는 에너지 이용의 역사

텔레비전에서는 전기 에너지가 빛 에너지와 소리 에너지로 바뀐다. 또 전기 에너지는 전열 기구에서는 열 에너지, 전등에서는 빛 에너지, 오디오에서는 소리 에너지로 바뀐다. 전기 에너지 자체도 위치 에너지와 운동 에너지, 그리고 연료의 화학 에너지 등이 전환되어 만들어진 것이다. 이렇게 에너지는 서로 다른 형태로 전환될 수 있는데, 전환되는 과정에서 에너지가 감소하거나 없어지는 것은 아니다. 한 종류의 에너지가 감소하면 감소한 만큼 다른 종류의 에너지가 생성된다. 컴퓨터를 켜서 전기 에너지를 사용하면 전기 에너지를 사용한 만큼 빛 에너지, 소리 에너지, 열 에너지가 생긴다. 이렇게 **에너지가 서로 다른 에너지로 전환되더라도 그 총량은 항상 일정하게 유지되는 것을 에너지 보존 법칙이라고 한다.**

에너지 보존 법칙에 의하면, 에너지는 새로 만들어지는 것이 아니라 다른 형태의 에너지로 바뀌는 것이다. 댐에 고여 있는 물이 가지고 있는 위치 에너지는 수력 발전소에서 발전기를 돌리면서 전기 에너지로 바뀐다. 원자력 발전소에서는 우라늄이 핵분열할 때에 발생하는 열이 전기 에너지로 전환된다. 그리고 이 전기 에너지가 각 가정으로 전달되어서 전열기에 공급되면 열에너지로 바뀌고, 전등에 공급되면 빛 에너지로 바뀌고, 녹즙기에서는 전기 에너지가 기계적 에너지로 바뀐다.

에너지의 총량이 항상 일정하다는 것은 우리가 에너지를 사용해도 그것이 사라지지 않고 어

던가에 남아있다는 것을 의미한다. 그런데도 우리 사회는 왜 에너지 부족 문제를 겪고 있는 것일까?

그 이유는 어떤 형태의 에너지가 다른 형태의 에너지로 바뀔 때에 그 방향에 제약이 있기 때문이다. 예를 들어서, 운동 에너지나 전기 에너지는 모두 열에너지로 바뀔 수 있다. 그러나 열에너지는 그것의 일부만이 역학적 에너지(위치 에너지+운동 에너지)나 전기 에너지로 바뀔 수 있다. 열에너지 전체를 다른 형태의 에너지로 완전히 바꾸는 것은 불가능하다. 따라서 지구 상에 존재하는 에너지의 합은 일정하지만, 우리에게 필요한 에너지는 부족한 현상이 나타나는 것이다. 한편, 에너지가 전환되는 과정에서 생긴 열에너지는 공기나 물의 열오염을 일으킨다.

참고자료: http://www.kemco.or.kr/web/kem_class/middleschool/middleschool0102.asp

□ 지구에서 쓰이는 에너지는 어디에서 생산되는가? 이 에너지의 근원은 무엇일까?

에너지 생산	에너지의 근원

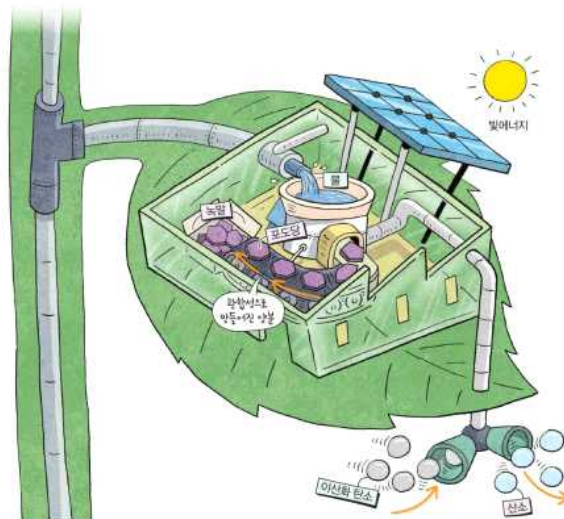
4. 광합성이 잘 일어나기 위한 조건

□ 광합성이 잘 일어나는 조건

광합성에 영향을 미치는 세 가지 주요 요인들은 다음과 같다.

- 1) 빛의 세기와 파장
- 2) 이산화탄소의 농도
- 3) 온도

총광합성량은 다양한 환경 요인에 의해 제한된다. 여기에는 이용 가능한 빛의 양, 식물이 빛을 포획하기 위한 잎의 면적(다른 식물에 의한 그림자가 광합성의 주요 제한 요인임), 광합성을 지원하기 위해 엽록체에 이산화탄소를 공급할 수 있는 속도, 물의 이용 가능성 및 광합성을 수행하기 위한 적절한 온도 등이 모두 포함된다. 광합성은 생물권으로 자유 에너지가 투입되는 주요 경로이며, 식물의 생명활동에서 매우 중요하다. 식물 군집 내에서 빛의 조사량은 시간과 공간에 따라 매



[그림 10] 광합성의 과정

우 다양하다.

20세기 초에 프레더릭 블랙만(Frederick Blackman)과 가브리엘 하워드(Gabrielle Matthaei)는 빛의 세기(방사조도)와 온도가 탄소 동화 속도에 미치는 영향을 조사했다. 온도가 일정할 때, 탄소 동화 속도는 빛의 세기에 따라 다르며, 빛의 세기가 증가함에 따라 광합성량이 증가하지만, 빛의 세기가 어느 정도 이상이 되면 광합성량은 더 이상 증가하지 않고 일정해진다. 빛의 세기가 약할 때, 온도를 증가시키면 탄소 동화 속도에 거의 영향을 미치지 않는다. 빛의 세기가 일정하게 강할 때, 온도가 증가함에 따라 탄소 동화 속도가 증가한다.

이러한 두 가지 실험은 다음과 같은 몇 가지 중요한 점을 보여준다. 첫째, 일반적으로 광화학 반응은 온도에 영향을 받지 않는 것으로 알려져 있다. 그러나 이러한 실험들은 온도가 탄소 동화 속도에 영향을 미치기 때문에 탄소 동화의 전체 과정에서 두 세트의 반응이 있어야 한다는 것을 분명하게 보여준다. 이들은 광의존적, 온도 비의존적인 '광화학적' 단계와 광비의존적, 온도 의존적 단계이다. 둘째, 블랙만의 실험은 제한 요인의 개념을 설명해준다. 또 다른 제한 요인은 빛의 파장이다. 수중 수 미터에서 서식하는 남세균은 기존의 광합성 색소에서 광유도 전하 분리를 일으키는데 필요한 정확한 파장의 빛을 받을 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해 서로 다른 광합성 색소를 가진 일련의 단백질들이 반응 중심을 둘러싸고 있다.

이산화탄소의 농도가 증가함에 따라 광비의존적 반응에 의해 당이 생성되는 속도는 다른 요인들에 의해 제한될 때까지 증가한다. 광비의존적 반응에서 이산화탄소를 포획하는 효소인 루비스코는 이산화탄소와 산소 모두에 결합 친화력을 가지고 있다. 이산화탄소의 농도가 높으면, 루비스코가 이산화탄소를 고정한다. 그러나, 이산화탄소의 농도가 낮으면, 루비스코는 이산화탄소 대신에 산소와 결합한다. 광호흡이라고 하는 이러한 과정은 에너지를 소모하지만, 당을 생성하지는 않는다.

참고자료:

https://ko.wikipedia.org/wiki/%EA%B4%91%ED%95%A9%EC%84%B1#광합성에_영향을_미치는_요인

□ 햇빛을 잘 받기 위한 잎의 구조는?



5. 프랙탈

□ 프랙탈이란?

프랙탈(영어: fractal) 또는 프랙털은 일부 작은 조각이 전체와 비슷한 기하학적 형태를 말한다. 이런 특징을 자기 유사성이라고 하며, 다시 말해 자기 유사성을 갖는 기하학적 구조를 프랙탈 구조라고 한다. 브누아 망델브로가 처음으로 쓴 단어로, 어원은 조각났다는 뜻의 라틴어 형용사 'fractus'이다. 프랙탈 구조는 자연물에서 뿐만 아니라 수학적 분석, 생태학적 계산, 위상 공간에 나타나는 운동모형 등 곳곳에서도 발견되어 자연이 가지는 기본적인 구조이다. 불규칙하며 혼란스러워 보이는 현상을 배후에서 지배하는 규칙도 찾아낼 수 있다. 복잡성의 과학은 이제까지의 과학이 이해하지 못했던 불규칙적인 자연의 복잡성을 연구하여 그 안의 숨은 질서를 찾아내는 학문으로, 복잡성의 과학을 대표하는 혼돈 이론에도 프랙탈로 표현될 수 있는 질서가 나타난다.



[그림 12] 프랙탈을 이용해 만든 가상의 섬

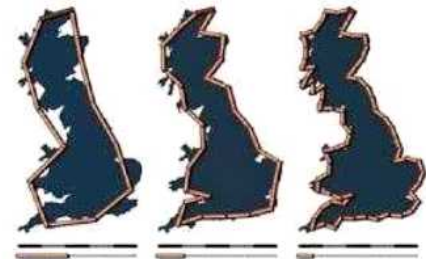
프랙탈은 수학적 도형으로도 연구되고 있다. 프랙탈 도형은 종종 컴퓨터 소프트웨어를 이용한 재귀적이거나 반복적인 작업에 의한 반복되는 패턴으로 만들어진다. 대표적인 프랙탈 도형에는 망델브로 집합, 칸토어 집합, 시에르핀스키 삼각형, 페아노 곡선, 코흐 곡선 등이 있다. 프랙탈은 결정론적이거나 추계학적인 수 있으며, 혼돈계와 연관지어 발생할 수도 있다.

프랙탈 기하학은 프랙탈의 성질을 연구하는 수학 분야의 하나이다. 이는 과학, 공학, 컴퓨터 예술에 적용되기도 한다. 자연계에서도 프랙탈 구조가 자주 발견되며, 구름, 산, 번개, 난류, 해안선 및 나뭇가지 등이 여기에 해당한다. 프랙탈은 실용적인 목적으로 많이 사용되며, 현실 세계의 매우 불규칙한 물체들을 표현하기 위해서 쓰일 수 있다. 프랙탈 기법은 과학의 여러 분야에서는 물론, 기술적으로 이미지 압축 등에서도 사용된다.

참고자료: <https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%94%B4%EB%9E%99%ED%83%88>

□ 프랙탈의 역사

프랙탈은 1975년 만델브로(Benoit Mandelbrot, 1924~2010)에 의해 유클리드 기하로는 설명할 수 없는 해안선, 나무, 강의 모양 등 자연현상이나 도형을 나타내고 이해하기 위한 수단으로 만들어졌다. 만델브로는 영국의 생리학자인 리처드슨(Louis Richardson)이 죽은 후에 발표된 논문에서 영국 해안선 길이 문제를 우연히 발견하였다. 영국의 해안선은 우리나라의 서해안처럼 리아스식 해안이다. 이 해안에 대해 만델브로는 “**영국 해안선의 길이는 얼마나 될까?**”라는 물음에 고민했다. 이 울퉁불퉁한 해안선은 자의 눈금의 크기에 따라 해안선의 길이가 달라졌기 때문이다. 그래서 그는 유클리드 기하에서 다루는 점, 직선, 곡선, 원, 구, 다각형 등의 단순한 개념으로는 자연의 복잡성을 나타낼 수 없음을 깨닫고, 울퉁불퉁하고 거칠거칠한 자연현상이나 도형을 설명할 수 있는 새로운 기하인 프랙탈을 생각하게 되었다. 그래서 1975년 만델브로는 수학 및 자연계의 비정규적인 패턴에 대한 체계적 고찰을 담은 자신의 논문 제목으로 **프랙탈이란 말을 만들었다.**



[그림 13] 자의 눈금의 크기에 따라 길이가 달라지는 영국의 해안선

사실 프랙탈과 관련된 연구는 1800년대부터 이루어졌다. 이탈리아의 페아노(Peano)가 정사각형의 면을 완전히 메워버리는 연속곡선인 페아노 곡선을, 독일의 칸토어(Cantor)가 조각의

수는 무한이지만 전체의 길이는 0인 칸토어 집합을, 바이어슈트라스(Weierstrass)가 모든 점에서 연속이면서 미분불가능한 곡선을, 하우스도르프(Hausdorff)가 하우스도르프 차원을 발견하였다. 또한, 1906년 스웨덴의 수학자 코흐(von Koch)는 정삼각형에서 각 변을 삼등분하고, 중앙의 $\frac{1}{3}$ 에 한 변의 길이가 원래의 길이의 $\frac{1}{3}$ 인 정삼각형을 무한히 만들어가면서 얻어지는 코흐 눈송이를 만들었다. 이 당시에는 이러한 것들을 '자연에서 발견된 것처럼 보이지 않는 병리적인 것', 즉 병적인(pathological) 대상으로 취급하여 푸앵카레(Poincare)는 '괴물들의 전시회'라고 불렀고, 수학이나 과학에서는 중요한 것으로 여기지 않았다. 그 뒤 몇 가지 이런 종류의 곡선이 더 발견되었고, 만델브로가 기괴한 곡선들을 생성해내는 법칙을 찾아냈다. 그 법칙에 의해 이제까지는 '무질서'라고 밖에 설명될 수 없었던 여러 가지 현상들 속의 질서를 설명하여 주목받기 시작하였다.

만델브로는 "구름은 구가 아니고, 산은 원뿔이 아니며, 해안선은 원이 아니다. 또한 나무껍질은 매끄럽지 않으며, 빛은 직선으로 나아가지 않는다."라고 말했다. 그는 컴퓨터의 도움으로 자연에 존재하는 프랙탈을 찾아 나섰으며, 결국 '만델브로 집합'으로 불리는 프랙탈들을 만들어내게 되었다. 그 외에도 만델브로는 서로 전혀 연관성이 없어 보이는 다양한 주제들을 연구했다. 예를 들면, 전화선에서 나는 잡음과 섬유시장의 경기 변동, 언어학과의 상관관계를 연구하였다. 또 경제학에서는 가격변동, 소득분포 등과 같은 경제현상을 설명하기 위해, 공학에서는 소음이 나는 현상을 분석하기 위해, 압축기술을 개발하기 위해, 과학에서는 브라운 운동과 같이 불규칙한 입자의 운동을 설명하거나 은하의 분포를 설명하기 위해 프랙탈이 이용된다. 미술에서도 프랙탈을 이용한 타일링이나 새로운 디자인 개발에 이용되고 있다. 더 나아가, 오늘날 프랙탈 연구는 강철의 강도, 폐의 성장, 파킨슨병에 걸린 환자의 걸음거리 패턴, 건강한 심장의 박동수, 자연재해의 위치와 발생 시기를 예상하고 진단하는 데 이용되는 등 응용 범위가 엄청나게 넓어지고 있다. 또 아프리카 미술과 건축, 디지털 예술과 애니메이션, 작곡 같은 예술 분야에서도 프랙탈이 이용되고 있다.



[그림 14] 번개에서 찾아볼 수 있는 프랙탈

참고자료: 김인경 (2017). 프랙탈의 기초. 서울: 교우사.

□ 자연 속 프랙탈

자연에서는 자기 닮음으로 표현될 수 있는 유한한 구조물들이 자주 발견된다. 김용운, 김용국(1992)은 '자연의 아름다움은 그것이 지니는 법칙성이 단순하고 늘 되풀이되는 재귀적인 현상이기 때문이다. 만일 보는 것이 항상 다르다면, 아름다움을 느낄 만큼 자연의 질서가 뇌에 미적으로 받아들여지지 않을 것이다. 그러나 프랙탈 이론은 자연을 미묘하게 모방한다는 뜻에서 위대한 예술인지도 모른다.'고 하였다.

번개: 번개는 같은 길을 반복해서 계단을 이루듯이 방전한다. 습도, 기압, 온도 등 여러 조건에 의해 복잡하게 경로가 결정되기 때문에, 일직선이 아니고 구불구불한 형태를 지닌다. 불규칙해 보이지만, 전체적인 모습과 가지 하나하나가 비슷한 구조를 이루고 있다. 즉, 자기닮음의 프랙탈 구조를 가지고 있다.

강줄기: 강의 부분과 전체는 닮았다. 나일강의 모습과 한강의 모

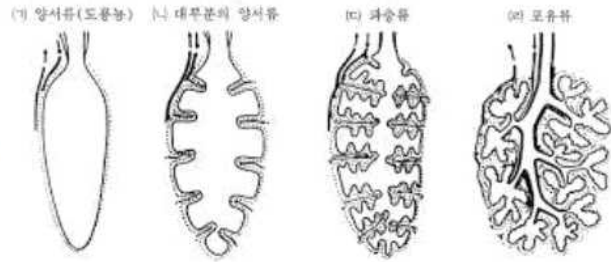


[그림 15] 나일강 지도

습이 전체적으로 비슷하고, 어느 지역에서건 강의 모습은 비슷한 형태를 지닌다. 지류와 전체적인 강줄기의 모습은 닮았다. 수많은 비가 내리면서 산에 많은 분기점이 생긴다. 이 하나하나가 작은 강이 되어 큰 줄기로 만났다가 작은 줄기로 뿔어나가는 행위를 반복한다.

나무: 나무는 큰 가지가 나뉘면서 여러 가지가 생기고, 이 작은 가지에 또 여러 작은 가지들이 갈라진다. 나무는 저마다의 프랙탈 차원을 가지고 있다. 이런 나무의 프랙탈 형태는 물과 영양분의 운반을 전체에 고르게 보내는 역할을 한다.

뇌의 표면: 뇌의 표면에는 여러 주름이 있다. 뇌에 주름져 있는 것은 좁은 공간 안에 되도록 넓은 표면을 확보해서 거기에 많은 뇌세포를 배치하기 위해서이다. 이 뇌의 주름 패턴은 프랙탈 구조를 하고 있다. 커다란 주름에 다시 작은 주름들이 계속되어 나간다. 지적 능력의 향상을 위해 여러 주름으로 최대한 공간을 만들어서 뇌세포를 배치시킨다. 이런 뇌의 주름의 패턴은 여러 주름이 자기닮음의 형식으로 뿔어나간다는 점에서 프랙탈의 형식을 띠고 있다. 인간의 뇌는 개인차가 있기 때문에 그 넓이는 신



[그림 16] 폐의 진화

문지의 넓이보다도 더욱 넓어질 가능성이 있는 것이다. 이것은 한마디로 인간의 지능이 한없이 개발될 가능성이 있다는 사실과도 일맥상통하다.

폐: 폐의 기능은 가슴이라는 한정된 공간 안에서 되도록 산소를 많이 흡수할 수 있어야 하므로 폐의 표면이 되도록 많은 공기와 접하도록 하기 위해 기관지가 사방으로 뿔는다. 그 결과 프랙탈 구조를 만들게 되는 것이다. 같은 이유로 폐 안에 분포되어 있는 모세혈관과 동맥, 정맥도 역시 프랙탈 구조를 이루고 있다. 인간의 폐는 원래 양서류나 물고기가 물속에서 몸의 비중을 조절하기 위해 공기를 넣어두는 밧줄이라는 자루가 진화한 것이라고 한다.

산호: 군체들이 응집을 통해 밖으로 성장하면서 바깥쪽으로 자라나는 표면에 물질이 연속적으로 쌓인다. 나무뿌리와 비슷한 원리로 프랙탈 차원을 가진다.

구름: 매우 균일한 프랙탈로, 뭉게구름의 경우 대략 1.35차원을 가진다. 무작위적으로 일어난 응결과정에서 생성된 구름은 생성된 물방울들이 주위 물방울들을 끌어모으면서 프랙탈의 형태를 띠게 된다.

참고자료: <https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%94%84%EB%9E%99%ED%83%88>

□ 프랙탈의 뜻과 성질은?

프랙탈의 뜻
프랙탈의 성질

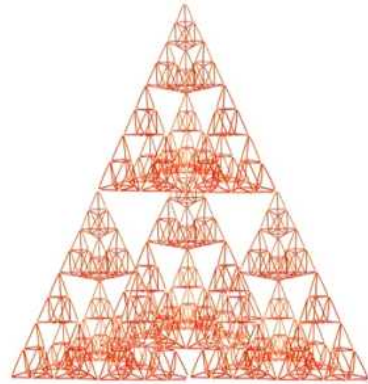
6. 시에르핀스키 삼각형과 시에르핀스키 카펫

□ 시에르핀스키 삼각형이란?

시에르핀스키 삼각형(Sierpinski triangle)은 폴란드의 수학자 바츨라프 시에르핀스키의 이름을 딴 프랙탈 도형이다.

시에르핀스키 삼각형은 다음과 같은 방법을 통해 얻을 수 있다.

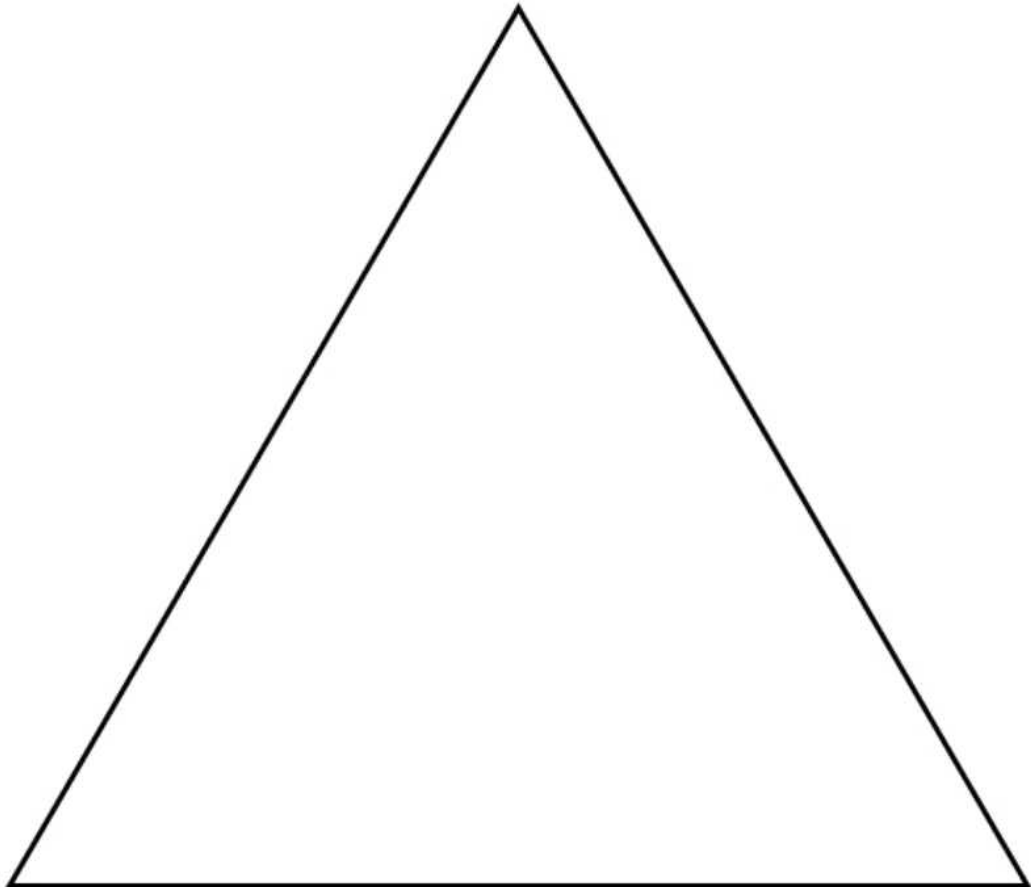
- ① 정삼각형의 세 변의 중점을 이어 합동인 4개의 작은 정삼각형을 만든다.
- ② 가운데 있는 정삼각형을 제거하고 3개의 정삼각형만 남긴다.
- ③ 남은 정삼각형에 대해서도 이런 과정을 끊임없이 반복하면 시에르핀스키 삼각형을 얻을 수 있다.



[그림 17] 시에르핀스키 피라미드

프랙탈은 자기유사성과 순환성이 특징이므로 시에르핀스키 삼각형의 각 부분도 이런 성질이 있기 때문에 자기닮은 도형이라 할 수 있다.

□ 프랙탈의 성질을 이용하여 전체와 같은 부분이 반복되는 삼각형을 만들어 봅시다.



□ 단계가 늘어날 때마다 변하는 것은?



구분	0차	1차	2차	3차	4차	계속되면?
넓이						
둘레						

□ 시에르핀스키 카펫이란?

정삼각형을 이용해 프랙탈 도형을 만들었던 시에르핀스키 삼각형과 다르게 시에르핀스키 카펫은 정사각형을 이용한다. 원리는 비슷하기 때문에 쉽게 이해할 수 있을 것이다.

시에르핀스키 카펫은 다음과 같은 방법을 통해 얻을 수 있다.

- ① 정사각형의 네 변을 각각 삼등분하여 9개의 정사각형으로 분할한다.
- ② 가운데 있는 정사각형을 제거하고 8개의 정삼각형만 남긴다.
- ③ 남은 정사각형에 대해서도 이런 과정을 끊임없이 반복하면 시에르핀스키 카펫을 얻을 수 있다.

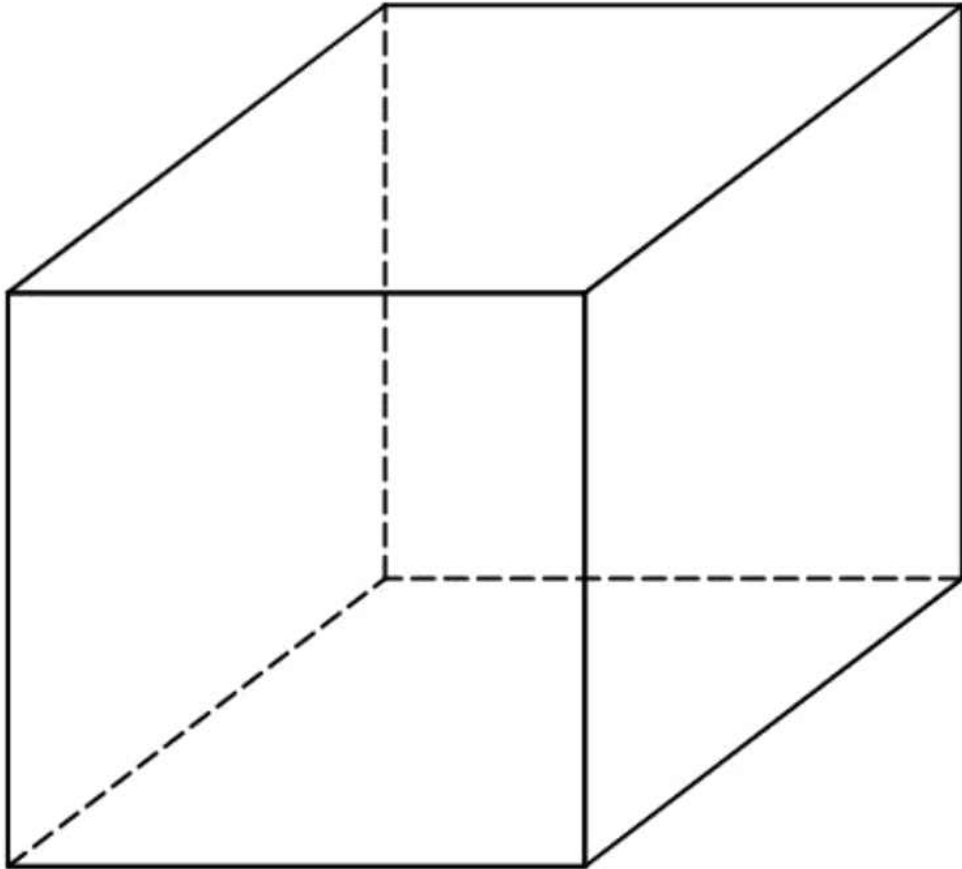
□ 단계가 늘어날 때마다 변하는 것은?



구분	0차	1차	2차	3차	계속되면?
넓이					
둘레					

7. 멩거 스펀지

□ 입체도형인 정육면체를 이용해 프랙탈의 성질을 띤 도형을 만들어 봅시다. 몇 단계를 간단히 그려보고, 무한 차례 반복할 때 부피와 겉넓이는 어떻게 될지 생각해 봅시다.



부피	겉넓이

디자인과 적정 기술

- 프랙탈 디자인과 유니버설 디자인 -

() 중학교 () 학년 이름 : ()

1. 코흐 눈송이

□ 눈의 결정체

하늘에 떠다니는 구름의 대부분은 물과 공기로 이루어져 있다. 하지만 구름 속에는 물과 공기만이 아닌 작은 먼지, 화산재, 소금 알갱이 등이 있고, 심지어 살아 있는 박테리아가 바람에 날려 구름 속에 머물기도 한다. 눈 결정이 자라려면 이러한 핵이 필요한데, 눈은 이러한 핵에서부터 시작된다. 기온이 낮아져서 구름에 있는 물 분자가 응결, 즉 얼기 시작하면 핵을 중심으로 물 분자가 달라붙게 된다. 점점 커진 눈 결정은 무게를 견디지 못하게 되는 어느 순간부터 땅으로 떨어진다. 떨어지는 눈 결정은 구름 속을 지나는 동안 계속 자라서 제각각 다른 모양이 된다. 눈 결정은 떨어지는 동안 지나간 구름이 얼마나 물기를 머금고 있는지, 또 얼마나 차가운지에 따라 눈 결정체의 모양이 달라진다. 처음 생긴 눈 결정은 한 방향으로 자라지만, 구름 속을 지나면서 눈 결정은 다른 방향으로도 자란다. 구름을 다 지나고 나면 눈 결정은 곧바로 성장을 멈춘다. 눈이 땅으로 떨어지는 과정에서 구름 속의 물 분자들은 가장 안정적인 형태로 눈에 달라붙게 되는데, 이 모양이 육각형이다.



[그림 1] 다양한 눈 결정체 모양

□ 코흐 눈송이

프랙탈의 의미를 가장 극명하게 보여준다고 할 수 있는 것이 바로 코흐 곡선과 코흐 눈송이이다. 스웨덴의 수학자 코흐(Helge von Koch, 1870~1924)에 의해 1904년에 만들어진 코흐 곡선은 독일의 수학자 칸토어(G. Cantor)의 칸토어 집합, 그리고 이탈리아 수학자 페아노(G. Peano)의 페아노 곡선과 함께 유클리드 기하학이 지배하던 세상의 끝을 알리는 신호탄이 되었고, 이는 프랙탈의 아버지라고 불리는 만델브로에 의해 1970년대 이후 정식으로 인정받기 시작했다.


프랙탈 도형을 만들기 위해서는 최초의 선이나 도형이 있어야 한다. 이것을 시초자(initiator)라고 한다. 그리고 여기에 프랙탈 도형을 만드는 규칙이 주어진 후에 생긴 도형을 생성자(generator)라고 부른다. 이 생성자를 어떤 규칙에 의해 반복하느냐에 따라 서로 다른 프랙탈 도형이 만들어지는 것이다.

코흐 곡선의 특징은 구불구불한 곡선이 되며 직선인 부분은 전혀 없게 된다. 코흐 눈송이 역시 1904년 코흐가 발표한 논문에서 처음 제기된 것으로 모양이 흡사 눈송이를 닮았다고 하

여 '코흐 눈송이'라고 불린다. 코흐 눈송이 또한 코흐 곡선과 마찬가지로 시초자에서부터 출발하여 생성자가 만들어지는 규칙을 수없이 반복하여 만들어지는 것이다.

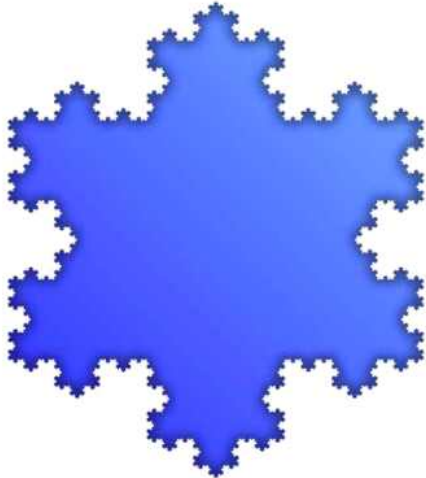
참고자료: 김인경 (2017). 프랙탈의 기초, 서울: 교우사.

□ 시에르핀스키 삼각형의 시초자와 생성자를 표시해 보고, 그 규칙을 설명해 봅시다.



표시					
규칙 설명:					

□ 코흐 눈송이는 프랙탈 규칙에 따라 만들어진 도형입니다. 코흐 눈송이를 어떻게 만들 수 있을지 생각해 보고, 시초자와 생성자를 그려 봅시다.



[그림 3] 코흐 눈송이

생성자	시초자

2. 조형의 원리

□ 조형의 원리

시각적 이미지를 통한 인간의 의사소통은 문화의 발전 및 이해에 크게 기여해 왔다. 국가 간, 민족 간의 언어적 격차에도 불구하고 시각적 이미지는 즉각적이며 보편적인 의사 전달을 가능하게 해준다. 문자 언어와는 다른 특성을 지닌 시각 언어를 이해하고 그 활용을 통하여 자신이 나타내고자 하는 바를 표현하는 조형 활동은 인간의 생활을 풍요롭게 해주며 일상생활 속에 미적인 감동과 즐거움을 가져다준다.

아름다운 자연과 조형물을 살펴보면 거기에는 미적인 특징이 담겨 있음을 발견할 수 있는데, 이러한 것을 조형 원리라고 한다. 조형 원리는 미술을 이해하고(‘미적 체험’ 활동) 표현하며(‘표현’ 활동) 감상하는 데(‘감상’ 활동) 공통적으로 작용하는 기준의 역할을 한다. 모든 작품은 공통적인 조형 원리를 이용하여 시각적 표현이 가능하다. 미술가가 어떤 의도로 작품을 제작하든지 간에 하나의 작품에 포함된 모든 조형 요소와 원리는 이러한 의도를 실현해주는 기초적인 구성 요인으로 작용한다. 조형 원리를 알고 이를 조형 활동에 활용하게 되면 주제를 효과적으로 표현할 수 있으며, 미술품을 이해하고 감상하는 데 기초가 될 수 있다.

조형 원리는 시각적인 여러 부분들이 작품에서 어떤 방법으로 상호작용하여 작품을 만들어 내는가에 대한 것으로, 어떤 실체를 형성하기 위하여 그것이 이루어야 할 여러 부분들을 유기적으로 통일하기 위한 구조적 계획을 말한다. 즉, **조형 원리는 작품의 부분들이 어떤 특정한 효과를 성취하기 위하여 어떻게 결합할 수 있는지를 결정하는 하나의 연관된 법칙이나 구성 계획들을 질서화하는 시각 예술의 문법이라 할 수 있다.**

자연이나 조형물에서 볼 수 있는 조형 원리는 보통 하나의 요소나 원리만이 적용되거나 발견되는 것이 아니라 일반적으로 복합적인 구성 가운데서 발견되기 때문에 이를 실제 생활에서 발견하고 아름다움을 찾아보려는 노력은 조형 활동에 도움을 준다. 또한 복잡해 보이는 자연이나 조형물에도 기본이 되는 조형 원리를 발견하게 되면 대상의 특징을 좀더 잘 파악할 수 있다. 따라서 우리의 생활 주변에서 흔히 볼 수 있는 조형물에 나타난 조형 요소와 원리를 찾아보고 주위 환경과 어떻게 조화를 이루고 있는지 살펴보는 활동은 큰 의미를 지닌다.

- 1) 율동(리듬): 선, 형태, 색, 크기 등의 동일한 요소나 대상이 일정한 간격을 두고 반복적으로 배열되어 점점 팽창하거나 수축되어 나타나는 것 모두 율동감에 포함된다. 동일한 선과 색으로 움직이는 반복적인 요소에서 운동감과 리듬감을 느낄 수 있다.



[그림 4] 율동(리듬)의 원리

- 2) 비례: 모든 물체는 가로, 세로의 비율에 따라서 그 느낌이 달라지는데, 이렇게 어떤 영역 안에서 크기 관계를 나타낼 때 그 비율을 비례라고 한다. 전체와 부분, 혹은 부분과 부분 간의 사이에서 크기의 상호 관계를 나타내는 것으로, 서로의 상대적인 크기 관계 사이에서 형성되는 것이 비례라 할 수 있다.
- 3) 균형: 모양이나 크기가 같지 않으면서 전체와 부분 간에 힘이 기울어지지 않고 평형을 이루어 대칭적, 비대칭적 균형이 형성되었을 때를 말한다. 두 개 이상의 요소 사이에서 부분과 부분, 또는 전체 사이에서 시각적으로 힘의 무게중심이 안정되게 느껴질 경우 균형을 이루게 되어 보는 사람에게 안정감과 명쾌한 감정을 느끼게 해준다.

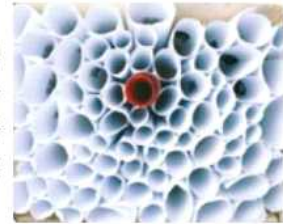
- 4) 대비: 서로 반대되는 요소가 대비되어 특징이 강하게 부각되며, 이로 인하여 전체적으로 대비의 강한 효과를 가져오게 되는데, 이 때 얻어지는 어울림을 대비라고 한다. 대비에서는 강조, 대조의 미를 느낄 수 있다. 선의 대비, 형태의 대비, 색의 대비(채도 대비, 명도 대비, 보색 대비, 색상 대비, 연변 대비, 면적 대비, 한남 대비)가 있다. 대비는 리듬, 균형, 통일 등에 변화를 주는 중요한 요소이다.



[그림 5] 대칭의 원리

- 5) 대칭: 축을 중심으로 접었을 때 도형이 완전하게 겹쳐지는 것을 말하며, 안정된 느낌을 강하게 줄 수 있다.

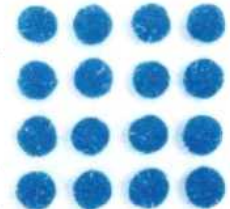
- 6) 강조: 형태가 같거나 면적이 같은 경우 대비가 되는 색채로서 강조를 줄 수가 있으며, 색채가 동일한 경우에는 형태나 면적을 대조시킴으로써 강조를 줄 수 있다. 평범한 색과 형태의 구성에서 어느 한 부분을 다른 요소로 강조하면 화면의 짜임새에 생동감을 더해줄 수 있다.



- 7) 점(점중): 가운데를 중심으로 선이 밖으로 팽창하여 나선형으로 돌아가며 나타나는 점의 효과는 방향성을 느끼게 해준다. 선, 크기 외에도 색이 점차적으로 밝아지거나 어두워지는 명도의 변화에서도 같은 효과를 볼 수 있다. 또는 보는 방향에 따라 하나의 시점에서 출발하여 밖으로 퍼지는 효과에서도 점의 원리를 발견할 수 있다.

[그림 6] 강조의 원리

- 8) 반복: 같은 것이 연속적으로 되풀이되는 것을 말한다. 반복에 의하여 리듬이 나타나지만 단조롭게 보일 수도 있다.



- 9) 통일: 구성미의 요소에서 근본을 이루는 것으로, 형태, 색, 재료 및 제작 기법 등에서 미적 결합으로 이어지는 하나의 일관성을 말한다. 그림을 그릴 때는 산만함을 정돈하여 주는 요소로서, 질서와 안정감을 느끼게 하나 지나치면 단조롭기 쉽다.


[그림 7] 통일의 원리

- 10) 변화: 변화는 단조롭고 평이한 여러 부분들 간의 관계에 긴장감을 주고 흥미를 느끼게 하나 지나치게 강하면 무질서하게 보인다.

- 11) 조화: 두 개 이상의 부분 간의 관계에 대한 내적 가치 판단으로 통일된 전체로서의 높은 감각적 효과를 발휘할 때 일어나는 현상을 말한다. 즉, 부분과 부분, 또는 부분과 전체 사이에 안정된 관련성을 주면서도 공감을 일으킬 때 조화가 성립한다.

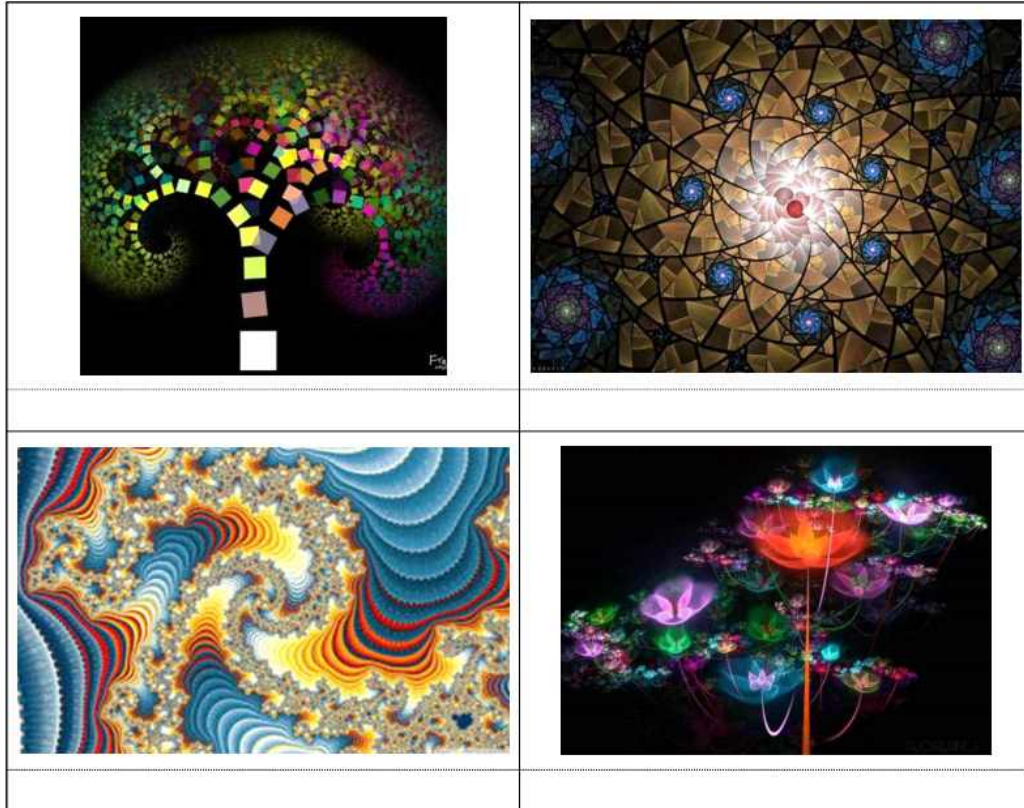
참고자료: <https://m.blog.naver.com/mosimsim/70171376921>

□ 프랙탈을 이용해 디자인한 하트에서 쓰인 조형의 원리를 찾아봅시다.

<p>Four horizontal dashed lines for writing.</p>	
<p>[그림 8] 프랙탈 디자인</p>	

3. 미술에서의 프랙탈

□ 각 디자인에 쓰인 조형의 원리를 생각해 봅시다.



□ 프랙탈 조형의 원리

자기유사성, 무작위성, 불규칙성 등으로 요약되는 프랙탈의 기하학적 특성은 자연의 비규칙적 패턴을 분석하는 데에 기여하고 있으며 창조적 조형 원리로서의 가능성을 지니고 있다. 그리하여 조형에서 프랙탈의 원리를 적용하여 사용하고 있는 많은 부분들을 찾아볼 수 있다. 조형에서 사용하고 있는 프랙탈의 원리는 크게 4가지로 살펴볼 수 있다. 이는 중첩, 반복, 왜곡, 스케일링의 변화이다.

1) 중첩 (Overlapping)

중첩의 형태는 인식 대상들이 동시에 이중적인 구조를 지닌 대상으로 나타나지만 서로의 의미가 혼합되거나 중첩되어 결국은 통일된 새로운 의미를 지닌다는 점에서 입체적인 디자인 이미지를 표출하는 데 중요한 조형 원리이다. **중첩의 정의는 두 개 이상의 형상을 포개어 합친다는 뜻으로 하나의**



[그림 13] 계단을 내려오는 나무

형상에서 어떠한 다른 형상으로 변환시키는 과정을 가시화하여 시간과 공간의 동적인 상태를 표현하는 것이다.

조지 케퍼스(Georgy Kepes)는 그의 저서인 '시각언어'에서 중첩에 대해 "우리는 어떤 겹쳐 있는 두 개의 형상을 볼 때 두 개의 공간적 의미를 알 수 있는데 뒤에 있는 형상보다 앞에 있는 형상이 더욱 가까운 것으로 지각된다. 이로 인해 우리는 공간적 차이를 경험하게 되며, 이러한 중첩의 표현은 깊이와 공간감을 일으킨다."고 정리했다. 케퍼스의 이러한 이론에 중첩형태가 내포하고 있는 의미는 대상들이 갖고 있는 원래의 이미지와는 다른 형태의 미를 창출한다는 점이고 둘째는 공간의 깊이를 가진다는 점이다. 이러한 공간의 깊이 역시 보는 이에 따라 고정된 이미지가 아닌 시공간에 따라 다양한 이미지를 드러내는 것으로도 파악할 수 있다.

대표적인 예로 뒤샹(Marcel Duchamp, 1887-1968)의 <계단을 내려오는 나부(裸婦)>를 들 수 있다. 고대 이래로 미술은 정지된 상을 표현하여왔다. 그러나 미래파에 이르러 움직이는 물체를 온전히 표현하려는 시도가 행해진다. 공간 속에서 움직이는 물체는 어떤 방식으로 표현되어야 하는지가 당시에는 중요한 문제였다.

1912년 제작된 <계단을 내려오는 나부(裸婦)>는 1913년 출품되어 일대 센세이션을 일으킨다. <계단을 내려오는 나부>는 기계적으로 분해되고 조합된 인물의 표현이 기계적인 운동의 모습과 결합되었던 점에서 대중에게 충격적인 모습으로 비춰졌다. 고결하고 정지된 인물상이 와해되고 기계화되었던 점을 대중들은 수용하기 어려웠을 것이다. 뒤샹은 시간에 따라 사람이 계단을 내려오는 형상을 중첩하여 그림으로써 일정한 시간 동안에 사람의 동적인 형태를 한번에 파악할 수 있다.

참고자료: <http://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=miart23&logNo=30144522302>

2) 반복 (Repetition)

자연의 형태에서는 많은 반복성이 발견되는데 반복은 자연 질서 속의 근본적이며 공통되는 특징으로서 율동적이며 역동적인 리듬을 불러 넣어준다. **조형 표현에 있어서 반복이란 동일한 요소나 대상을 하나의 단위로 하여 둘 이상 배열하는 것을 말하며 형태와 형태 사이, 공간과 공간 사이에 대한 동일한 패턴의 연속 또는 율동적인 회전을 뜻한다.** 같은 형태나 색채가 화면에서 규칙적으로 반복되었을 때는 통일감과 안정감을 가져다주지만 단순한 반복이 지나칠 경우에는 단조롭고 지루한 느낌을 준다. **프랙탈 기하학에서 반복은 유사한 형태의 지속적인 반복에 의해 시각적으로 무한히 확장되는 효과를 자아낸다.**

대표적인 예로 에셔(Escher)의 작품을 들 수 있다. 대상을 있는 그대로 재현하는 데 중점을 두었던 과거의 작가들과 달리 현대의 많은 작가들은 자신이 인식하고 해석한 세계를 표현하는 것에 중점을 두었다. 그 중, 에셔는 기하학적 표현을 활용하여 공간에 대한 자기만의 새로운 인식을 표현한 작가이다. 에셔는 먼저 '평면의 규칙적 분할'을 활용하여 2차원의 평면 구조를 표현하는 것에 관심을 가졌다. 우선 그는 새, 물고기 등 구체적이고 일상적인 사물들을 단순화하여 평면 구조를 표현하기 위한 기본 형태로 설정했다. 이것을 반복하여, 상하좌우로 평행이동시키거나 한 지점을 축으로 다양한 각도로 회전시키기도 하고, 평행이동한 후 거울에 비친 것처럼 반사시키기도 하면서 분할된 평면을 빈틈없이 채웠다. 또한 기본 형태를 점점 축소하거나 확대하는 과정을 반복하여 평면을 무한히 분할하는 듯한 효과를



[그림 14] 대칭 105

주어 평면이 가진 무한성을 드러내고자 하였다.

에셔의 작품 <대칭 105>에서는 평행이동하는 형태들의 윤곽선을 기준으로 흰 말을 사물의 형태로 인지할 경우 다른 색의 말은 사물이 아닌 배경으로 인식된다. 반대로 다른 색의 말을 사물의 형태로 인지할 경우 흰 말은 배경으로 인식된다. 이를 통해 에셔는 어떠한 형태들이 배경이나 사물로 인식되는 것은 절대적으로 정해져 있는 것이 아니라, 관찰자의 선택에 의해 상대적으로 달라질 수 있음을 드러낸다. 이는 어떠한 형태도 배경 없이는 스스로 존재할 수 없다는 인식을 드러낸 것이라고도 볼 수 있다.

참고자료: <https://m.blog.naver.com/leeid225/220881113523>

3) 왜곡 (Distortion)

왜곡은 대상의 크기나 내각과 같은 특정요소를 부분적으로 변형시켜 형태를 일그러뜨리는 것을 말한다. 왜곡에 의해 생성된 형태는 원본의 변형과 유사, 즉 완전한 복제가 아닌 것을 의미한다. 형태를 왜곡시키는 방법 중 흔히 볼 수 있는 것으로 가로, 세로 폭의 비례를 바꾸는 것을 들 수 있다. 이로 인해 다양한 형태를 얻을 수 있는데 화가들은 움직임 표현함에 있어서 형상을 길게 늘이고 잡아당김으로써 형태를 왜곡시켜 나타냈으며, 심리적인 표현의 수단으로서 왜곡을 시도하기도 했다. 그것은 체적의 변형을 통한 새로운 공간 형태로 나타나게 된다.



[그림 15] 절규

대표적인 예로는 몽크(Munch)의 <절규>를 들 수 있다. 몽크는 노르웨이의 대표적인 표현주의 화가로, 그의 대표작 <절규>는 여러 대중매체에서 등장하고 수없이 패러디되어 대중에게 이미 친숙하다. 몽크의 대부분의 작품들 속엔 항상 공포와 광기, 슬픔과 죽음, 의심과 질투 등 어두운 요소로 가득 차 있다. 공포에 떨며 서 있는 몽크는 어느 날 갑자기 커다란 비명을 들었다. 그것은 자연을 뚫고 나오는 해아릴 수 없이 거대하고 그치지 않을 끝없는 절규였지만, 친구들은 그 소리가 들리지 않아 계속 길을 걸어갔다. 양손을 얼굴에 댄 채 입을 크게 벌리고 소리를 지르는 인물은 몽크 내면의 모습을 보여주고 있다. 몽크는 이 인물을 유령이나 해골 같은 환자의 모습처럼 기이하게 왜곡시켜 표현했다. 몽크는 깊은 좌절감에 빠진 자신의 모습과 절망적인 심리 상태를 극적으로 표현하기 위해 이러한 왜곡을 사용했다.

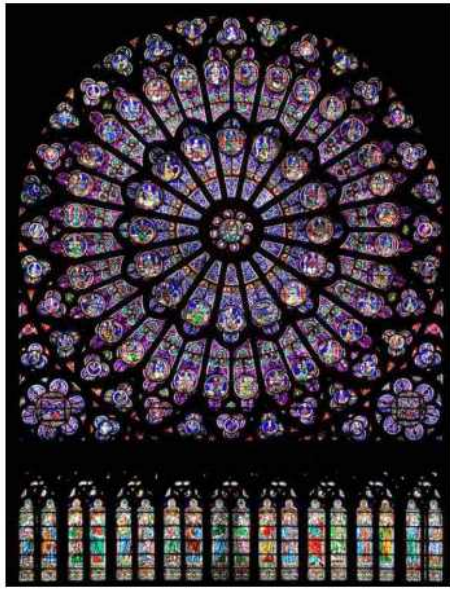
참고자료: <https://m.blog.naver.com/jessica1914/220344182184>

4) 스케일링 변환 (Fractal scaling)

일반적으로 기하학에서 스케일링은 선형변환으로 정의된다. **스케일링이란 하나의 도형으로 그것과 닮은 도형을 만들어낼 때 사용하는 방법이다.** 내각과 길이의 비례를 유지시키며 도형의 크기를 변형하여 닮음 도형을 얻어내는 방법이다. **스케일링의 변환은 형상의 변화 없이 크기만 변화시키는 표현방법이다.** 어떠한 형태를 원래의 자리에서 분리시켜 다른 자리로 옮기거나 이 기본형을 축소 또는 확대시키면서 다양한 표현을 할 수 있는데, 이때 크기나 위치는 변해도 그 기본 속성은 변하지 않는다. 이러한 변형과정을 거친 이미지를 다시 한 번 중첩, 반복시켜 새로운 형태를 만드는 것도 가능하다. 이러한 스케일링 변환기법은 기본형에 해당하는 형상이 지니게 되는 단편적 형태이나 이미지를 수용하는 동시에 다른 한편으로는 기본 형태와 절연시킴으로써 의미는 유보되고 형태는 자유로워진다고 볼 수 있다.

대표적인 예로 중세 유럽의 성당에서 볼 수 있는 스테인드글라스를 들 수 있다. 중세 유럽 미술은 종교 미술이라고 할 수 있을 정도로 기독교 정신과 교회 건축을 중심으로 한 미술이었다.

스콜라 철학자인 로버트 그로스테스트(Robert Grosseteste, 1170~1253)는 “빛은 만물의 창조 원리이며 천상계에서 가장 활동적인 것으로 지상의 모든 유기적 성장의 원인이며 질서와 가치의 원리임으로 빛나는 대상을 볼 때의 기쁨에 대하여 존재론적 존엄성을 직관하게 된다.”고 말했다. 그의 말에서 알 수 있듯 중세 그리스도 교회에서의 빛은 신의 속성을 가지고 있는 것, 그리고 천상 세계, 그리스도를 상징했다. 이런 한 신의 모습을 나타내기 위한 고딕 건축양식에서 빛의 의미는 중요한 것이었다. 따라서 창으로써 빛을 유입하여 환상적 색광을 내는 스테인드글라스는 중세의 시대적 정신과 융합된 양식이었다고 볼 수 있다.



[그림 16] 노트르담 대성당 스테인드글라스

참고자료: http://www.europlus.co.kr/bbs/board.php?bo_table=B323&wr_id=474

4. 프랙탈을 활용한 디자인

한 시대의 공간 디자인은 다른 조형 예술 영역에서와 마찬가지로 그 시대를 지배하는 자연관과 세계관 위에서 형성된다. 새로운 자연 인식은 새로운 과학 패러다임을 낳으며 동시에 새로운 조형 언어를 생성시킨다. 그래서 자연, 과학, 예술은 연동되어 변화하는 관계로 이해될 수 있다. 카오스 이론이나 프랙탈 이론에 기초한 예술은 자연과학 패러다임의 전환에 따른 것으로, 과거와는 다른 새로운 조형 패턴의 세계를 열어가고 있다. 이러한 패턴들이 인간 경험에 어떠한 영향을 미치며 어떠한 효과를 가져다주는지는 아직 단언할 수 없지만, **많은 부분에서 다양하고 역동적인 공간의 창출과 유기적인 형태적 비전을 제시하고 있다.**

오늘날 카오스와 프랙탈이 디자인의 연구 대상으로 부상하게 된 것은 새로운 과학적 방법을 추구하는 현대의 시대 정신과 일치한다. 지난 세기 말의 디자인학 연구는 종래의 환원적이고 유클리드 기하학적인 디자인의 한계를 인식하고 그에 대응하는 새로운 사고방법을 모색하고 있었다. 창조적 디자이너의 사고와 공간 디자인 과정은 혼돈 속에 내재된 질서와 수많은 개연성 중에서 모종의 가능성을 선택하는, 일련의 혼돈적인 개방시스템으로 설명된다. 과학과 예술의 상보적 관계 속에서, 카오스 이론과 프랙탈 기하학은 디자이너의 자연 인식과 디자인 사고에 새로운 개념과 언어를 제공하고 있으며, 공간 디자인 방법과 과정에도 무한한 조형적 가능성을 제시하고 있다. 한편 이는 오늘날 우리로 하여금 자연, 과학, 예술을 이해하는 기존의 사고틀에서 벗어날 것을 요구하고 있다.

참고자료:

<http://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=zidane1024&logNo=80007125550&widgetTypeCall=true>

□ 프랙탈을 활용한 주얼리 디자인

손지민(2018)은 프랙탈 기하학의 조형성을 응용하여 주얼리 디자인을 연구하였다. 그는 여

러 예술 분야에서의 프랙탈 기하학이 응용된 사례를 찾아보아 과학 분야가 예술 분야와 상호 작용을 하여 함께 발전을 이루고 있다는 것을 확인했다. 컴퓨터의 발달로 프랙탈 기하학이 나타난 후 이러한 독특한 형태들은 많은 예술가에게 매력적인 소재가 되었다.

◎ 각 주얼리에서 사용된 프랙탈 조형 원리는?

		
<p>[그림 17] Jenny Lawlor, <ORBIT></p>	<p>[그림 18] Hyphae Jewelry, <vessel-2>, 2011</p>	<p>[그림 19] 이정연, <Visual Rythm X>, 2014</p>

[그림 17]은 같은 작은 형태들이 모여 반복해서 전체의 형태를 이루고 있는 자기유사성을 응용한 것이다. 반복되는 조형성은 구조적으로 안정감과 견고함을 느끼게 해준다. 규칙적이고 통일성 있는 형태는 사용자로 하여금 집중과 안정적인 느낌을 받을 수 있게 한다. [그림 18]은 나뭇가지와 같은 구조로 가지처럼 뻗어 나가는 형태를 갖추고 있으며, 방향성과 더불어 계속해서 변화하는 느낌을 주고 있다. 이러한 구조가 연속적으로 발생하면서 방향감과 생동감을 준다. [그림 19]은 나무의 나이테를 모티브로 만들어졌으며, 나이테를 그대로 사용한 것이 아니라 적당히 비틀고 회전하였다. 그 결과 새로운 형태가 만들어져 역동성을 드러내고 있다.

현대에 이르러 주얼리의 착용 목적이 개인의 미적 욕구를 충족시켜주는 수단이 되면서 사용자들은 다양한 주얼리 디자인을 요구하게 되었다. 이는 주얼리 디자인의 조형성이 다양하게 발달하는 계기가 되었으며, 이에 끊임없이 새로운 조형성이 시도되고 있다. 자연 속의 패턴과 규칙성을 과학적으로 분석한 프랙탈 기하학의 이론을 근거로 조형성이 점차 발달되고 있는 것이다. 프랙탈 기하학의 종류를 통한 조형 원리 분석과 조형성 도출을 통하여 예술 분야에서 다양하고 새로운 조형적인 모티브를 얻을 수 있다.

참고자료: 손지민 (2018). 프랙탈 기하학의 조형성을 응용한 주얼리 디자인 연구. 석사학위논문. 중앙대학교 대학원.

□ 프랙탈을 활용한 건축 디자인

공항 전문가로 알려진 폴 앙드류(Paul Andreu)는 공항을 변화무쌍하고, 선택 가능성을 가진 통로로 이루어진 구조로 해석하고 공항 진입에서 비행기 탑승에 이르기까지의 전체 시스템을 관장하는 장소로 설명한다. 공항 설계라는 특정 분야에서 최고의 명성을 쌓은 앙드류는 파리 샤를 드골 국제공항과 아랍에미리트 아부다비 국제공항과 두바이 국제공항, 중국 상하이 푸둥 국제공항 등이 그의 손에서 탄생했다. 수많은 공항 중에서 그의 대표작으로는 단연 파리 샤를 드골 국제공항이 꼽힌다. 앙드류는 이 공항에서 카오스 이론에서의 비선형성과 복잡성을 형태 생성 과정에 적용하여 유기적 구조를 실현했다. 반복되는 비선형적 루프에 의해 질서가 이루어진 것이다. 유클리드적 구체 원형 안에서 비대칭적, 비유클리드적 구조는 자기조직화를 일으

키게 되며 유기적 성질을 띠게 한다. 장엄한 스케일의 구름군 지붕은 프랙탈 구조의 자기유사 구조로 복잡성, 비선형성을 갖고 있다. 아치의 입방형과 구름군의 관계는 건물과 나무의 관계에 비유될 수 있다. 이 공간은 움직임과 변형이 가득한 장소로 순환성, 수직성과 수평성의 대비, 빛을 향한 움직임 등을 발견할 수 있다.

☺ 각 건축에서 사용된 프랙탈 조형 원리는?

	
<p>[그림 20] 아랍에미리트 두바이 국제공항</p>	<p>[그림 21] 빌바오 구겐하임 뮤지엄</p>

프랙탈을 이용한 조형 원리와 패턴은 여러 가지 유형으로 분류할 수 있는데 실제 공간의 구성이나 조형에 응용될 수 있는 원리로는 나뭇가지와 같은 자기유사성이 주로 사용된다. 나무의 전체 형상과 나뭇잎의 잎맥의 형상이 크기만 다르고 동일하게 생겼다. 결국 무질서해 보이는 형상의 내면에서 그 질서를 가지고 있는 것이다. 프랭크 개리가 설계한 빌바오 구겐하임 뮤지엄에서 개리는 건축물의 표피 아이디어를 뱀의 피부, 새의 깃털 등과 같은 자연물로부터 얻었다. 자연의 일부분을 차용하였지만 빌바오 구겐하임 뮤지엄의 전체적인 형상 또한 자연의 형태와 유사하다. 부분과 전체는 크기만 다를 뿐 동일하다는 자기유사성이 보이는 사례이다. 프랙탈을 이용한 요소로는 해체주의 작가들의 건축에서 많이 나타나는 흔적(trace)과 중합(superimposition)이 있으며, 그것들은 기하학적 변형을 통해서 도형에 내재된 성질을 연구하고 표현한 것이다. 전환(shift), 회전(rotation), 중합, 혹은 잡아당김과 접음(stretch and fold), 왜곡(distortion)등의 과정을 거치면서 비가시적인 움직임을 유추하며 그 흔적을 가시화하여 시간과 공간의 동적인 상태를 조형으로 표현하는 것이다.

참고자료: https://blog.naver.com/royal_story/221690524638

5. 삶 속의 디자인

디자인이란 ‘물품(물품의 부분 및 글자체를 포함)의 형상·모양·색채 또는 이들을 결합한 것으로서 시각을 통하여 미감을 일으키게 하는 것’을 말한다. 디자인이 우리 생활에 미치는 영향력은 매우 크다. 디자인에는 제품 디자인, 시각 디자인, 패션 디자인 등이 있다. 디자인은 생활용품을 편리하고 아름답게 바꾸기도 하지만 오늘날의 디자인은 그 이상의 역할을 한다.

공간에 의미를 부여하고, 사람의 생명을 구하기도 하며, 생태계를 보호하는 등 새로운 가치를 창출하며 발전하고 있다. 현재는 디지털 환경의 증가에 따라 소프트웨어 디자인 등이 생겨나고 운송, 가구, 패션 등 여러 분야로 디자인의 범위가 확장되고 있다. **테크놀로지의 발**



[그림 22] 아이들을 위한 의자

전에 따라 서로 다른 분야로 여겨졌던 엔지니어와 디자이너의 경계가 모호해지고 있다.

하지만 단순히 경계가 허물어지기만 하는 것이 아니라 엔지니어가 갑의 위치, 디자이너가 을에 놓이는 경우가 늘고 있다. 즉, 엔지니어링이 디자인을 통합해가고 있다는 것이다. 디자인에는 그 목적에 알맞은 합목적성과 아름다움을 지녀야 하는 심미성, 그리고 디자인에 알맞는 적당한 가격의 경제성과 독창성이 필요하며, 또한 이들 넷의 조건을 서로 융합되도록 하는 질서성이 필요하다. 이 5가지를 디자인의 조건이라 한다.

1) 합목적성

합목적성이란 일정한 목적에 도달하는 데 적합한 대상 또는 행위의 성질로서 조형에서는 이를 기능성, 실용성 또는 효용성이라 할 수 있다. 실제로 목적에 알맞도록 디자인하는 것은 복잡하고 곤란한 것으로, 예를 들면 의자는 앉기 위한 도구라는 것은 옳바르지만 그것만으로는 충분하다고 할 수 없다. 사실 의자의 크고 작음에 따라 각각 다른 용도를 갖고 있으며 의자도 부분에 따라 여러 가지 역할이 있다. 그러므로 목적이 합리적으로 설정되고 세부적인 부분까지 명확해지는 것이 기능성의 전제조건이 된다.



[그림 23] 디자인의 조건

2) 심미성

기능성과는 대립되는 위치에 심미성이 있다고 볼 수 있으며, 아름답다는 느낌을 통틀어 심미성이라고 할 수 있다. 디자인에서 심미성이 중요한 부분을 차지하고 있지만 기능과 유기적으로 결합된 조형미나 내용미, 또는 기능미 등과 색채, 그리고 재료의 아름다움을 나타내야 한다. 그러므로 디자인에 있어서 심미성을 성립시키는 미의식은 시대성, 국제성, 민족성, 사회성, 개성 등의 복합이라 할 수 있다.

3) 경제성

경제성이란 일반적인 경제의 원리와 같이 최소의 재료와 경비, 노력으로 최대의 이익을 발생시키려는 경제활동의 가장 기본이 되는 원칙이다. 근대 조형 및 건축물에서는 경제성을 우선 하고 있으며, 디자인에서도 경제성을 중요한 조건으로 취급하고 있다. 제품이 대량생산될 경우는 재료나 가공, 조립방법 등 여러 미세한 곳까지 경제성을 검토하지 않으면 우수한 디자인을 얻기 어렵다. 디자인이란 경제성에 의한 새로운 아름다움이 나타나는 것으로 근대적 디자인의 원리중 하나가 되는 것이다.

4) 독창성

독창성이라고 하는 것은 예술을 기술과 구별해 주는 것이다. 따라서 독창성이야말로 예술적인 중요성을 재는 척도라고 말해도 좋을 것이다. 디자인의 여러 조건이 만족하리만큼 충족되었다 하더라도 창조성, 즉, 독창성이 결여되어 있다면 그것은 아무런 가치가 없다고 할 수 있다. 따라서 현대 디자인의 본질은 독창적인 것이어야 한다.

5) 질서성

디자인의 조건 중 주관적 영역의 심미성이나 창조성 그리고 객관적 사과의 영역인 경제성이나 기능성은 그들 조건에 따라 이론적으로 각각 뚜렷한 독자적인 성립이유를 갖고 있다. 동시에 각각의 조건들은 서로 상관관계를 유지하고 있는데, 이 관계를 유효하고 적절하게 유지해주는 것이 질서성이다. 어느 한쪽에 치우친 디자인의 조건에 의하여 만들어진 제품은 대중적

으로 선호되기 어렵고 이는 좋은 디자인이라 할 수 없다. 따라서 모든 조건을 하나의 통일체로 묶어주는 질서성은 디자인에 있어서 중요하고 필요한 조건이다. 이 때문에 ‘디자인은 질서’라고 불리기도 한다.

참고자료: <http://blog.daum.net/number300/3600907>



[그림 24] 맥도날드 횡단보도



[그림 25] 맥도날드 가로등



[그림 26] 맥도날드 야간 광고

맥도날드에서는 우리가 살아가는 주변의 환경을 이용한 창의적이고 재미있는 옥외광고를 다양하게 사용한다. [그림 22]는 스위스의 한 횡단보도인데, 횡단보도의 모습이 맥도날드의 감자튀김 모양과 닮아 횡단보도를 건너면서 감자튀김이 생각나도록 했다. [그림 23]은 캐나다 벤쿠버에 있는 가로등을 이용한 맥도날드 커피 광고이다. 살짝 휘어진 긴 가로등의 형상이 커피를 따르는 모습처럼 보인다. 밤이 되면 커피포트 안에 있는 조명이 켜지면서 가로등의 역할도 독특히 한다고 한다. [그림 24]은 조명을 이용한 광고인데, 붉은 판 위에 노란색 조명 두 개를 비추어 M 모양을 나타냈다. 밤에도 영업한다는 내용을 기발하게 표현한 것이다. 이처럼 디자인을 이용하여 자신이 원하는 바를 다양하고 의미 있게 표현할 수 있다.

참고자료: https://blog.naver.com/hm_maria/22028869525

□ 아이디어에서 시작하는 디자인의 탄생과정

- ① [제품기획/아이디어 구상] ‘우리 주변 생활용품’을 주제로 디자인을 기획하는 단계이다. 선택한 생활용품의 장단점과 디자인의 요소를 찾는다.
- ② [아이디어 스케치] 디자인할 요소를 포함하여 아이디어를 스케치하는 단계이다.
- ③ [렌더링] 계획 단계에 있는 제품의 실물 예상도를 그리는 단계이다. 아이디어 스케치보다 정교한 제품의 완성도를 표현한다.
- ④ [모형제작] 렌더링한 디자인을 입체(모형)로 만들어 보아 문제점과 개선점이 있는지 재점검하는 단계이다.
- ⑤ [수정 및 보완] 모형의 문제점을 발견하고 수정·보완하여 디자인을 확정하는 단계이다.
- ⑥ [작품 제작] 실제로 제품을 제작하는 단계이다.



[그림 27] 디자인의 탄생 과정

㉔ 도로에서 자신이 좋아하는 무언가를 광고할 수 있는 디자인을 스케치해봅시다.

제품기획 / 아이디어 구상	아이디어 스케치

□ 공간을 바꾸는 디자인 (환경 디자인)

우리가 살아가는 공간은 주거, 업무, 상업, 공공 등의 목적에 따라 분류할 수 있다. **환경 디자인은 이러한 공간들을 보다 쾌적하고 아름답게 꾸며서 새로운 의미를 부여하는 활동을 말한다.** 즉, 인간 생활의 주변 요소에 대한 디자인을 말한다. 이는 정서 안정과 능률적인 환경을 조성하기 위하여 생활 주변의 조경, 도시 계획 등 환경을 쾌적하고 아름답게 꾸미는 것을 포함한다. 특히 자연미와 인공미가 조화를 이루도록 하고, 시설물의 능률적인 배치, 건물 상호간의 질서와 조화를 중시한다. 따라서 **환경 디자인을 할 때에는 공간의 사용 목적에 맞아야 하며 편리함과 아름다움을 동시에 줄 수 있도록 고려해야 한다.**

바쁜 현대인들이 꾸준히 운동하기란 정말 쉽지 않고 여유가 없기 때문에 계단보다는 에스컬레이터, 엘리베이터를 이용하곤 한다. 스웨덴의 수도 스톡홀름에서는 세계에서 가장 먼저 피아노 계단이 만들어져 일상 생활에서 자연스럽게 칼로리를 소모하도록 유도하는 도시 디자인이 새롭게 주목을 받았다. 스톡홀름의 오데플란 지하철역의 승객 대부분은 에스컬레이터를 이용했다. 어느 날, 바로 옆 계단을 피아노 모양으로 바꾸고 실제 소리도 나게 만들자 **흥미를 느끼며 계단을 오르는 승객들이 생겨 이전보다 계단 이용이 66%나 증가했다.**



[그림 28] 스웨덴에 있는 피아노 계단

참고자료: <https://blog.naver.com/kuk061473/220080447319>

공간은 사람의 심리와 정서, 상호관계 등에 큰 영향을 미친다. 형태가 경직되면 운영하는 방식도 경직되고, 형태가 다양하고 개방적이면 운영방식도 훨씬 유연하다. 대한민국의 모든 학교는 거의 똑같은 모양을 하고 있다. 한 노래 가사에도 나오는 것처럼 네모난 건물에 다닥다닥 붙어있는 네모난 교실, 네모난 책상, 네모난 의자, 네모난 운동장, 네모난 놀이터 등 네모난 곳에서 하루의 대부분을 생활하는 아이들에게 세상은 둥글게 살아야 한다고 가르치는 곳이 학교이다. 학교 공간은 아이들을 감시하고 통제하는 '파놉티콘'이 아니라 아이들이 다양한 관계를 맺고 배우며 성장하는 삶터가 되어야 한다.

학교 공간을 바꾸는 것은 본질적으로 교육의 새로운 희망을 만들어내는 작업이라고 할 수 있다. 물리적인 공간의 변화 이전에 오랫동안 교육을 지배해왔던 낡은 사고와 관행들을 바꾸어야 하는 것이다. 건물 이전에 사람을 먼저 고민해야 한다. 교육의 주인이 학생이라면 당연히 학교 공간의 주인도 학생이어야 한다. 아이들의 관점에서 아이들의 눈높이로 아이들의 생각을 반영하여, 아이들이 참여하는 방식으로 학교 공간을 바꿔 나가는 것은 그 자체로 창의적이고 새로운 교육을 실천하는 것이다. 서울시교육청의 '꿈을 담은 교실', '꿈을 담은 놀이터', 광주 극락초등학교의 '어디든 놀이터 사업', 순천의 '기적의 놀이터' 등 아이들의 숨결이 달는 곳이라면 어디든 아이들의 시각에서 탈바꿈할 수 있다. 다른 각도, 새로운 시선에서 관찰하고 사유하면 하나의 용도만 갖고 있던 익숙한 공간도 다양한 의미로 확장되고 변주된다.



[그림 29] 꿈을 담은 교실

하는 방식으로 학교 공간을 바꿔 나가는 것은 그 자체로 창의적이고 새로운 교육을 실천하는 것이다. 서울시교육청의 '꿈을 담은 교실', '꿈을 담은 놀이터', 광주 극락초등학교의 '어디든 놀이터 사업', 순천의 '기적의 놀이터' 등 아이들의 숨결이 달는 곳이라면 어디든 아이들의 시각에서 탈바꿈할 수 있다. 다른 각도, 새로운 시선에서 관찰하고 사유하면 하나의 용도만 갖고 있던 익숙한 공간도 다양한 의미로 확장되고 변주된다.

참고자료: 1) http://www.ohmynews.com/NWS_Web/View/at_pg.aspx?CNTN_CD=A0002572504
2) <https://blog.naver.com/zooc8005/221106608343>

☉ 우리 주변의 환경에 새로운 의미를 부여하여 디자인을 해봅시다.

원래 디자인	새로운 디자인

□ 환경을 살리는 디자인 (그린 디자인)

사회와 산업이 발달함에 따라 점점 더 황폐해지는 지구를 살릴 수 있는 방법은 무엇일까? 그린 디자인은 환경을 보호하고 살릴 수 있는 방안을 모색하는 환경친화적 디자인 활동을 일컫는다. 그것을 실현하기 위해서는 제품의 개발부터 유통, 사용, 폐기의 전 과정에 걸쳐 환경을 고려하는 아이디어와 기술이 필요하기 때문에 여러 나라와 디자이너들이 그린 디자인 개발에 힘쓰고 있다.

자신의 몸을 누일 거처만 있어도 다행이라 생각하는 저개발 국가 주민들에게, 집을 지을 때 '환경'과 '디자인'을 고려하라고 주문하는 것은 사치일지도 모른다. 그러나 최근 들어 수많은 적정 기술 단체와 전문가들의 도움으로 소득 수준이 낮은 그들에게도 환경친화적이면서 아름다운까지 고려한 공간에서 지낼 수 있는 기회가 제공되고 있다.

태국에 있는 판야덴(Panyaden)이라는 학교를 방문하면 마치 연꽃처럼 생긴 모양으로 지어진 체육관 건물을 볼 수 있다. 세련된 외형의 현대 건축물 같은 이 체육관은 수백 명의 사람들이 동시에 입장할 수 있는 넓은 공간을 뽐낸다. 학생은 물론 주변에 거주하는 주민들도 이 체

육관에서 다양한 운동을 할 수 있다. 주목할 점은 이 체육관이 넓고 쾌적한 이유가 사실 특별한 건축 소재에 있다는 점이다. **동남아 같은 열대 지역에서 많이 자라는 대나무가 바로 판야덴 학교의 체육관 건설에 사용되었다.**

대나무는 다른 나무들과는 달리 나무를 죽이지 않고도 채취가 가능하기 때문에 자연을 파괴하지 않는다. 하지만 대나무는 강도가 그리 강하지 않기 때문에 얼마 전까지만 해도 체육관과 같은 대형 건물을 대나무로 짓는다는 것은 생각도 못했다. 하지만 치앙마이 라이프 아키텍트(Chiangmai Life Architects)라는 태국의 건설 회사가 대나무만으로 지어졌다는 것이 의심될 정도로 튼튼하게 체육관을 시공한 것이다. 체육관은 자연적으로 환기와 채광이 될 수 있도록 개방형으로 지어져 조



[그림 30] 판야덴(Panyaden) 체육관

명을 사용하지 않아도 캄캄한 밤이 되기 전까지는 내부를 밝게 유지할 수도, 에어컨 없이도 낮은 온도의 실내 환경을 만들 수 있다. 또한 소재가 100% 천연 대나무이기 때문이나 철근이나 콘크리트 소재로 지은 건물에 비해 탄소 배출량을 대략 90% 정도까지 줄일 수 있다고 한다. 이에 대해 건축 전문가들은 소재 비용이 저렴하고 유지비도 거의 들지 않기 때문에 주로 열대 지방의 저개발 국가들이 짓는 건물에 활용할 수 있다고 한다.

참고자료:

<https://www.sciencetimes.co.kr/news/%ED%99%98%EA%B2%BD%EA%B3%BC-%EB%94%94%EC%9E%90%EC%9D%B8-%EB%8B%A4-%EC%9E%A1%EC%9D%80-%EB%8C%80%EB%82%98%EB%AC%B4-%EA%B1%B4%EB%AC%BC/>

20년 전 대부분의 집 앞에는 쓰레기통이 있었다. 1995년 1월 1일부터 전국에 확대 실시된 쓰레기 종량제로 인하여 집 앞 쓰레기통은 모두 사라졌다. 쓰레기 종량제의 실시로 3년 동안 국가적으로 약 1조 2천억원의 경제적 효과를 보았고, 1994년 하루 49,191t에 이르렀던 매립, 소각 쓰레기는 종량제 실시 직후인 1995년 36,468t으로 감소했고, 2004년에는 25,419t까지 줄었다고 한다. 단순히 “쓰레기를 줄이자”는 메시지 전달보다는 직접 피부에 와 닿는 방법으로 쓰레기를 효과적으로 줄일 수 있었다. 그리고 이제 단순히 쓰레기를 줄이기만 하는 것에서 끝나지 않고 “쓰레기=더럽다”는 인식을 걷어내기 위한 아이디어가 나타나고 있다. 한 예로 뉴질랜드에서 선보인 길거리를 아름답게 만드는 쓰레기봉투를 들 수 있다. ‘아름다운 쓰레기’라고 불리는 이 쓰레기봉투는 광고 에이전트인 코렌소 비비도(Colenso BBDO)에서 제작해 뉴질랜드에서 출시되었다.



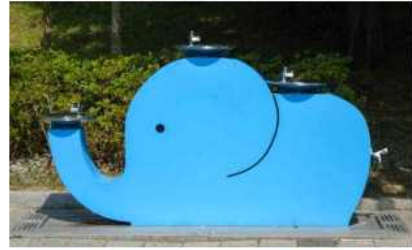
[그림 31] 뉴질랜드 쓰레기봉투

뉴질랜드에서 진행한 ‘아름다운 도시 캠페인’의 일환으로 쓰레기봉투를 녹색의 잎사귀 무늬로 디자인하여 멀리서 보면 수풀처럼 보이도록 하여 거리 환경을 아름답게 바꾸었다. 이 쓰레기봉투는 마치 작은 가로수 조경나무나 풀더미처럼 생겨서 길거리에 전혀 어색해 보이지 않고 오히려 잘 정비된 거리처럼 보이도록 한다. 일반적으로 가장 하찮게 생각하는 쓰레기봉투조차도 아름답게 만들고자 하는 뉴질랜드식 디자인의 발상이다.

참고자료: <https://blog.naver.com/bakain/70153945916>

□ 모두를 위한 디자인 (유니버설 디자인)

어린이나 노약자, 장애인, 소외 계층, 빈곤한 국가의 국민들은 많은 사람들이 편리하게 사용하고 있는 다양한 디자인의 혜택을 누리지 못하는 경우가 있다. 이러한 문제점을 극복하여 **모든 사람이 평등하고 불편함 없이 사용할 수 있도록 고려한 디자인을 유니버설 디자인이라고 한다.** 장애의 유무와 상관없이 모든 사람이 무리 없이 이용할 수 있도록 도구, 시설, 설비를 설계하는 것을 유니버설 디자인(공용화 설계)이라고 한다. 최근에는 노약자와 장애인만을 위한 것이 아니라 사용자 중심의 디자인이 강조되면서 그 범위가 확대되고 있다. **노스캐롤라이나 주립 대학교의 유니버설 디자인 센터는 미국 교육부의 국립장애재활연구소 후원을 받아 다음과 같은 유니버설 디자인의 7대 원칙을 마련했다.**



[그림 32] 코끼리 음수대

- 1) **공평한 사용:** 장애나 능력과 관련 없이 다양한 사람들에게 유용하도록 디자인한다.
 - ① 모든 사용자가 같은 방법으로 사용할 수 있게 한다.
 - ② 어떤 사용자 집단을 다른 집단과 구분하거나, 낙인을 찍지 않는다.
 - ③ 모든 사용자에게 프라이버시, 보안, 안전이 동등하게 제공되도록 한다.
 - ④ 모든 사용자의 마음에 들도록 한다.

- 2) **사용 상 유연성:** 개인 선호나 장애, 능력과 관련하여 넓은 범위에 맞추도록 디자인한다.
 - ① 사용자가 여러 사용 방법들 중에서 선택할 수 있도록 한다.
 - ② 사용자가 왼손잡이든 오른손잡이든 접근해서 사용할 수 있도록 한다.
 - ③ 사용자가 정확성과 정밀성을 기할 수 있도록 돕는다.
 - ④ 사용자의 보폭이나 속도에 맞출 수 있도록 한다.

- 3) **간단하고 직관적인 사용:** 사용자의 경험이나 지식, 언어, 집중도와 무관하게 이해하기 쉽도록 디자인한다.
 - ① 필요 이상으로 복잡하지 않게 한다.
 - ② 사용자의 기대와 직관에 부합하게 한다.
 - ③ 사용자의 읽기 능력이나 언어 종류와 관련하여 넓은 범위에 맞출 수 있게 한다.
 - ④ 중요한 정보부터 먼저 알아챌 수 있게 배치한다.
 - ⑤ 처리를 하는 도중과 처리한 후에는 그것을 알 수 있게 표시하고 피드백을 제공한다.

- 4) **알아챌 만큼 충분한 정보:** 사용자의 감각 능력이나 환경 조건과 무관하게 사용자에게 충분한 정보를 효과적으로 전달할 수 있게 디자인한다.
 - ① 필수 정보를 충분히 나타내도록 소리로 알려주거나 만지는 등 여러 방식을 사용한다.
 - ② 필수 정보와 부가 정보가 적절히 대비되도록 한다.
 - ③ 필수 정보에 대해 판독 가능성을 극대화한다.
 - ④ 묘사할 수 있는 다양한 방법으로 여러 요소들을 차별화한다.
 - ⑤ 감각에 제약이 있는 사람들이 사용하는 다양한 장치나 도구에 상응하도록 한다.

- 5) **실수를 감안:** 사용자가 잘못 쓰거나 예상하지 못한 행동을 하더라도 위험이나 역효과가 최소가 되도록 디자인한다.

- ① 가장 많이 쓰는 요소는 가장 접근하기 쉽도록 하고, 위험한 요소는 제거하거나 분리하거나 감싸는 방식으로 위험과 실수가 최소가 되도록 요소를 배치한다.
- ② 위험이나 실수에 관해 경고한다.
- ③ 실패하더라도 안전하게 한다.
- ④ 주의를 요구하는 일에서는 무의식적으로 행동하지 못하게 한다.

6) 적은 물리적 노력: 사용하기 편하고 피로가 줄이도록 디자인한다.

- ① 균형잡힌 자세로 사용할 수 있게 한다.
- ② 필요할 때 저절로 작동하도록 한다.
- ③ 반복하는 동작을 최소로 한다.
- ④ 자세를 유지하기 위해 드는 힘을 최소로 한다.

7) 접근하고 사용하기에 적절한 크기와 공간: 사용자의 체구, 자세, 이동성과 무관하게 사용하기 편하도록 크기와 공간을 디자인한다.

- ① 사용자가 앉아 있든 서 있든 중요한 요소들이 잘 보이게 한다.
- ② 사용자가 앉아 있든 서 있든 모든 구성 요소에 손이 닿도록 한다.
- ③ 다양한 크기의 손이나 손아귀에 맞춘다.
- ④ 보조 기기나 개인별 보조 장치를 사용할 수 있도록 적절한 공간을 제공한다.

참고자료:

https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%9C%A0%EB%8B%88%EB%B2%84%EC%84%A4_%EB%94%94%EC%9E%90%EC%9D%B8

빅터 파파넥(Victor Papanek, 1925~1998)은 외관만 변형시켜 시장에 나오는 새로운 이미지의 상품들과 이러한 상품들은 일정기간이 지나면 제품의 기능과 무관하게 형태적으로 폐기된다는 사실에 반기를 들었다. 그는 “**사물을 그저 아름답게 만드는 것에 모든 노력을 기울인다면 인류에 대한 죄악이다.**”라고 하였다.

파파넥은 안전하지 않고 보기에만 좋은 제품, 사용하기에 부적합한 제품, 필요 없이 생산되는 제품의 생산을 비판했다. 그의 모든 흥미와 디자인의 관심은 ‘사람과 환경에 어떤 영향을 주는가’였다. 빅터는 산업사회를 거처며 급격하게 늘어난 쓰레기들이 환경을 무너뜨리고 있으며 **디자이너는 재료의 선택과 제조, 제품의 유통과 포장, 폐기에 직접적으로 관여할 수 있기 때문에 생태적 문제 해결의 주도권을 가질 수 있다고 강조했다.**

국제적인 지역분쟁이 발생하여 유엔(UN)에서 평화유지군을 파병하면 현지에 파병된 군의 가장 우선적인 임무 중 하나는 그 지역에 라디오 방송 시스템을 구축하는 것이다. 라디오는 접근성과 사용편리성이 가장 강력한 커뮤니케이션 도구이기 때문에 지역의 주민들에게 분쟁에 대한 올바른 정보와 관점의 전달 매체로 사용되는 것이다. 하지만 방송 시스템이 구축된다고 하더라도 **칭취자인 주민들은 라디오와 같은 장비가 부족하기 때문에 라디오 보급에 대한 문제가 생긴다.** 이와 마찬가지로 관광객들에게는 그저 아름다운 피서지인 발리에서 재난 경보를 들을 수 있는 간단한 기계조차 없는 가난한 원주민들은 예고 없는 재난에 속수무책으로 다치고 살 곳을 잃어갔다. 이를 해결하기 위해 파파넥은 원주민들과 함께 광통 라디오를 디자인했다. **주재료는 관광객들이 버린 광통 쓰레기였고 왁스, 종이, 소동 등 연소할**



[그림 33] 광통 라디오

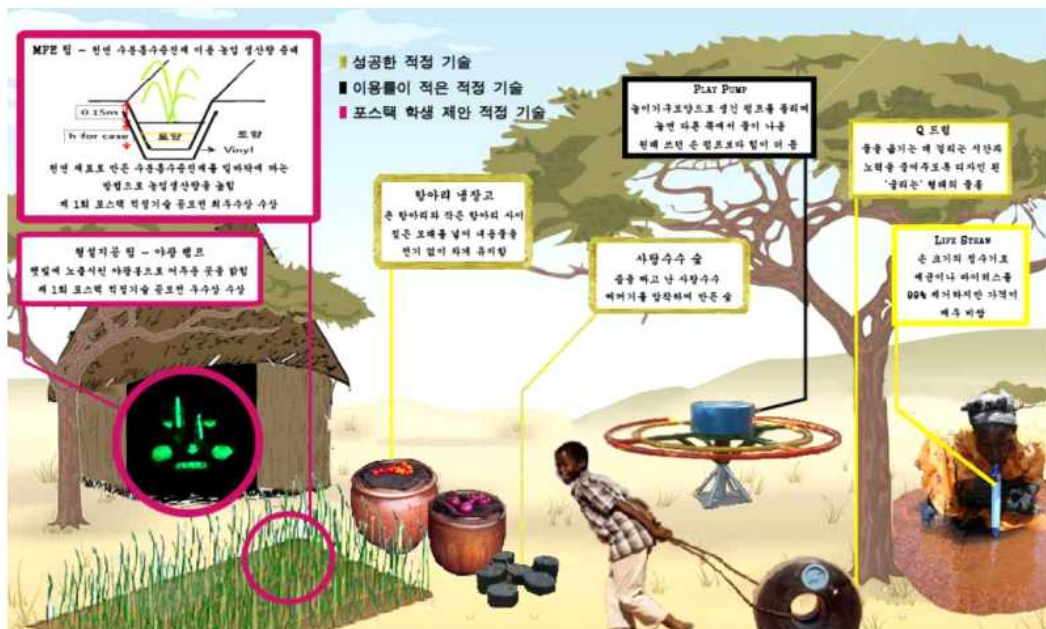
6. 적정 기술

□ 적정 기술이란?

유니버설 디자인이 만연해도 여전히 해결되지 않은 소외 계층을 위한 새로운 기술이 나타났다. 세계 곳곳에는 아직도 이러한 기술의 혜택을 누리지 못하는 사람들이 있는데, 이런 사람들에게 도움을 주는 기술을 적정 기술이라고 한다. **적정 기술은 지역 사회의 인프라 수준을 고려하여 만드는 기술이다. 즉, 지역 사회의 문제를 사회적, 문화적, 환경적 조건을 고려하여 해결하는 기술로써 인간의 삶의 질을 향상하는 인간 중심 기술이다.** 적정 기술은 어려운 환경에 처해 있거나 기술 이용에 소외된 사람들의 삶의 질을 개선하는 데에 실질적인 도움을 준다.

적정 기술을 개발하기 위해서는 개발자가 기술이 사용되는 사회, 문화, 환경과 사용하는 사람의 지적 수준, 경제적 수준, 생활 환경을 먼저 알고 있어야 사용하는 사람들에게 꼭 필요하고 도움을 줄 수 있는 기술을 개발할 수 있다. 또한 사용하는 사람에게 해당 기술을 적절한 방법으로 보급하는 것도 중요하다. 따라서 적정 기술을 개발할 때는 적정 기술을 사용하는 사람에게 어떻게 전달할 것인지, 현지에서 적정 기술을 계속 사용하기 위해서는 어떤 체계가 필요할지도 함께 고려해야 한다. 적정 기술의 특징은 다음과 같다.

- 1) **저렴한 비용과 뚜렷한 지역성:** 적정 기술은 해당 지역에서 쉽게 얻을 수 있는 재료와 자원을 활용하여 저렴한 비용으로 개발한다.
- 2) **현지의 기술과 노동력 활용:** 적정 기술은 해당 지역의 기술과 현지인의 노동력을 활용하여 일자리를 창출하는 등의 지역 사회 발전에 공헌한다.
- 3) **손쉬운 사용 및 유지 관리:** 적정 기술은 누구나 쉽게 사용할 수 있도록 제품의 사용 방법을 간단하게 만들고, 유지 관리가 쉽게 한다.
- 4) **공유와 나눔을 실천:** 적정 기술은 공유와 나눔의 맥락에서 지적 재산권, 컨설팅 비용이나 관세 등이 포함되지 않는다.



[그림 35] 적정 기술 사용의 예

아직도 전 세계에는 국제적으로 또는 지형적으로 수자원 확보가 어렵거나 깨끗한 수자원을 유지하기 어려워 고통을 겪고 있는 곳이 많다. 즉, 전 세계의 많은 사람들이 콜레라, 이질, 피부병 등의 수인성 질병에 걸려 건강과 생명의 위협을 받고 있다. 이런 지역의 식수 문제를 해결하기 위해 개발된 적정 기술에는 큐 드럼, 라이프 스트로, 와카 워터 등이 있다.

이 외에도 'Easy Laundry'라는 부제를 가지고 있는 'Swirl'은 공놀이 세탁기가 있다. 이는 물 공급에 있어 많은 어려움과 수고가 따르는 개발도상국을 위해 간단한 세척 방법을 고안해 만든 인간 중심 디자인의 세탁기이다.

'Swirl'은 아주 간단한 구조로 만들어져 있는데, 전체적인 디자인은 구체 모양의 바구니와 나사로 조이는 뚜껑, 그리고 강철로 된 관이 손잡이로 연결되어 있다.



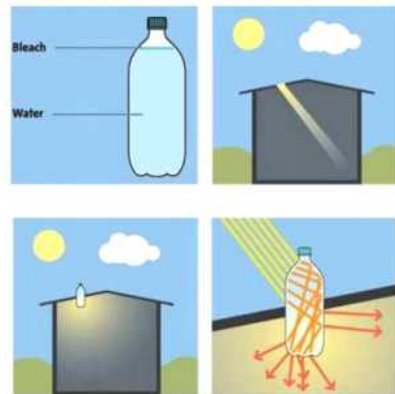
[그림 36] 공놀이 세탁기

둥근 공 모양의 세탁조 뚜껑을 열어 세탁할 옷과 물을 넣고 뚜껑을 닫은 후 핸들을 연결해서 그저 끌고 다니거나, 핸들을 제거하여 아이들이 발로 차며 공놀이를 하면 공의 회전에 의해 자연스럽게 세탁이 되는 원리이다. 'Swirl'은 물 부족 문제가 심각한 개발도상국을 위해 개발된 만큼 세탁 외에 다른 기능이 있다. 물 공급이 어려운 사람들은 먼 곳으로 나가 물을 길어와야 하는데 물을 떠오는 시간과 방법이 매우 힘들다고 한다. 그런 개발도상국 국민들이 조금이나마 손쉽게 물을 길어올 수 있도록 수레처럼 끌고 다닐 수 있게 배려한 디자인이다.

참고자료: <https://m.blog.naver.com/karcherblog/40187187546>

살아가기 위한 필수 자원인 물 이외에도 에너지 자원의 확보는 중요한 인간의 삶에 필수적이며, 이것은 그 지역 또는 국가의 번영과 직결된다. 하지만 아직도 전 세계 많은 사람들은 전기를 공급받지 못하고, 가정 내에서 주로 나무, 동물 배설물, 석탄과 같은 연료를 에너지로 사용하고 있다. 또 매년 많은 사람들이 실내에서 태워 발생하는 연기로 인해 호흡기 및 폐 질환으로 고통을 겪고 있다. 이러한 에너지 문제를 해결하기 위해 개발된 적정 기술에는 페트병 전구, 바이오매스 숲, 지세이버 등이 있다.

페트병 전구는 2002년에 브라질의 기술자 알프레도 모제(Alfredo Moser)가 고안했는데, 전기가 제대로 공급되지 않고 창문이 없어 한낮에도 캄캄한 집안에서 불을 밝히기 위한 전구이다. 페트병 전구는 전기가 매우 부족한 나라인 필리핀 사람들을 위해 만들어졌다. 필리핀에는 만들어진 발전소도 부족한데다 정부는 새로운 발전소 건설 계획조차 없는 실정이다. 심지어는 건설된 발전소들이 오래되어 유지보수가 필요한 경우가 많고 고장도 잦아 정전이 자주 발생한다. 이렇게 전력량이 절대적으로 부족하다 보니, 자연히 전기세는 오를 수밖에 없다. 필리핀의 전기료는 kWh당 평균 가정용 0.18센트, 산업용 0.13센트로, 일본, 싱가포르와 함께 아시아 최고 수준이라 할 수 있다. 그런만큼 빈민가의 경우에는 전기세를 감당하기 어려워 전기를 거의 사용하지 못한다. 게



[그림 37] 페트병 전구 동작 원리

다가 빈민가는 낮조차 채광이 되지 않을 만큼 집들이 붙어있어 늘 실내가 어둡다. 또한 낮은 기술력으로 인해 잘못된 배선이 많아 화재의 위험이 있다. 배선문제와 더불어 전기의 대체재로 사용되는 촛불 역시도 화재의 원인이 되어 인명피해와 재산피해를 낳고 있다.

페트병 전구는 페트병에 세제나 표백제를 탄 물을 채운 후, 지봉에 구멍을 뚫고 페트병을 꽂으면 햇빛이 세제나 표백제 성분과 만나 흩어지면서 55W 정도의 전등을 켜 것과 같은 밝기의 빛을 낸다. 이는 전기세가 들지 않아 보급이 쉽고, 어려운 기술을 요하지 않아 누구나 쉽게 따라할 수도 있다. 이에 현지 트레이닝 센터를 만들어 페트병 전구 제조법 워크숍을 통해 현지인이 스스로 제조할 수도 있도록 하였다. 페트병 전구가 개발된 뒤 필리핀 20개 도시에 15,000개의 페트병 전구가 설치되었다. 이후 다른 나라(동남아, 중동, 중남미, 아프리카, 유럽: 스위스, 스페인 등)로 퍼져 나가 시작한 지 1년 만에 28,000가구 이상, 70,000여 명에게 빛을 전달해 주었다. 페트병 전구 사용은 월평균 부과되는 \$6의 전기세를 아낄 수 있도록 돕는다. 이는 저축이나 생활의 질 향상을 위한 식비, 등록금 등에 사용될 수 있다.

참고자료:

https://m.blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=smpairstory&logNo=110178749941&proxyReferer=http%3A%2F%2Fwww.google.com%2Furl%3Fsa%3Dl%26rct%3Dj%26q%3D%26escr%3Ds%26source%3Dweb%26cd%3D23%26ved%3D2ahUKewi447rj5KPpAhXdxlsBHUj1Bq8QFJAWegQIAxAB%26url%3Dhttp%253A%252F%252Fm.blog.naver.com%252F%252F%252F110178749941%26usq%3DAOvVaw0WF1W5LVJFhHML7q0el_uC

□ 수증기의 응결 현상을 이용해 아프리카의 식수를 얻을 수 있는 적정 기술을 생각해 봅시다.

아프리카에서만 매일 10억 명의 사람들이 마실 물을 얻기 어려워 고통을 받고 있습니다. 에티오피아의 어느 마을에서는 매일 6시간 넘게 걸어 겨우 물을 얻지만, 그렇게 힘들게 구한 물이 흠탕물이거나 오염되어 오히려 건강에 위협을 주고 있습니다. **아프리카는 낮과 밤의 기온 차가 큰 곳이 많아서 응결 현상이 잘 일어납니다.** 응결이란 욕실의 천장에 물방울이 맺히거나, 유리창에 입김을 불면 뿌옇게 김이 서리는 것처럼 공기 중의 수증기가 차가운 물체의 표면에서 식으면서 물이 되어 맺힌 것이랍니다. 이를 이용해 식수를 얻을 수 있을까요?

참고자료:

http://www.edunet.net/nedu/contsvc/viewWkstCont.do?class_id=CLSS000000363&menu_id=82&contents_id=d652b722-ecc8-4e6d-8e77-51239ce962c6&svc_class_id=CLSS0000072432&contents_openapi=naverdic

7. 지속 가능한 발전

□ 지속 가능한 발전이란?

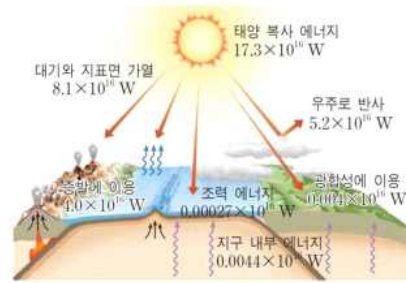
기술의 개발과 발전은 인간의 삶의 풍요와 번영 등의 긍정적인 영향뿐만 아니라 자원 고갈, 환경 파괴 등의 부정적인 영향도 가져왔다. 이에 미래 세대에서도 풍족한 자원을 쓸 수 있게 하면서, 현재 살고 있는 우리도 지속적으로 발전하면서 살 수 있는 방법에 대해 생각하게 되었다. 지속 가능한 발전은 이러한 인류가 지구상에서 지속적으로 살아갈 수 있는 방법을 찾는 시도에서 출발하였다.

지속 가능한 발전이란 미래 세대가 그들의 필요를 충족시킬 능력을 저해하지 않으면서 현재 세대의 필요를 충족시키는 발전을 말한다. 지속해서 살아갈 수 있도록 발전의 방향을 재정립하는 지속 가능한 발전을 하기 위해서는 기술을 개발하거나 발전할 때 환경 보호, 사회 정의, 경제 성장을 균형 있게 고려해야 한다.

8. 태양 에너지

□ 재생 가능 에너지란?

재생 가능 에너지는 재생 가능한 자원, 즉 햇빛(태양), 바람(풍력), 비, 조수(조력), 파도, 지열과 같이 시간이 지남에 따라 자연적으로 보충되는, 재생 가능한 자원으로부터 수집된 에너지이다. **재생 가능 에너지의 종류는 여러 가지가 있지만, 이것들의 대부분(99.98%)은 태양으로부터 온 것이다.**



[그림 38] 지구의 에너지원

바람은 공기가 태양 에너지를 받아서 움직이기 때문에 생기고 물의 흐름도 햇빛을 받아 증발한 수증기가 비가 되어서 내려오기 때문에 생긴다. 파도나 해류도 바닷물이 햇빛을 받아 온도차가 일어나기 때문에 생긴다. 나무의 화합물(탄수화물)도 광합성을 통해서 만들어지는 것으로 태양 에너지가 변형된 것이다.

재생 가능 에너지 중에서 태양 에너지와 크게 상관없는 것은 조력과 지열이다. 조력은 조수를 이용하는 것인데, 조수는 달이 지구를 잡아당기는 힘에 의해서 생긴다. 지열은 지구 내부의 열로 인해서 생긴다. 기후변화 문제의 심화와 화석연료의 고갈 등으로 재생가능 에너지의 중요성과 비중은 점차 증가하고 있다. **지구 상에 존재하는 재생 가능 에너지의 대부분이 태양 에너지의 변형이기 때문에 그 양도 한정되어 있다.** 우리가 하루에 사용할 수 있는 재생 가능 에너지의 양은 하루 동안 지구로 들어오는 태양 에너지의 양을 넘지 못한다. 그러므로 재생 가능 에너지를 적극적으로 개발해도 우리가 무한한 에너지를 얻을 수 있는 것은 아니다.

□ 태양 에너지란?

태양 에너지는 지구의 모든 에너지의 근원이 되는 에너지이다. 인류는 오래전부터 태양 에너지를 생활에 이용하여 왔으며 그 방식 중 가장 오래된 것은 바로 집을 남향으로 짓는 것을 들 수 있다. 그 후 보다 직접적으로 태양 에너지를 사용할 수 있는 방법을 찾아내었는데, 바로 태양열 가열 장치이다. 이 장치는 태양열 가열기를 통해 물을 가열하여 온수를 만들어내는 장치로, 온수 생산뿐만 아니라 난방에까지 활용이 가능하다. 이 기술이 발전하여 태



[그림 39] 태양광 발전

양열을 이용하여 물을 끓이고 이때 발생하는 증기를 통해 전기를 생산하기에 이르렀다. 이는 태양 에너지를 활용하여 직접적으로 화석에너지를 대체할 수 있는 방법이다.

태양 에너지를 직접 전기에너지로 전환하는 방법도 사용되고 있다. 이른바 태양 전지라고 불리는 실리콘 셀을 이용하는 방식인데, 태양 에너지가 실리콘 셀에 부딪히면 셀 내부에서 전자가 방출되어 전류를 만들어 낸다. 이 직류 에너지를 인버터를 통과시켜 교류로 바꾸어 줌으로써 우리가 실생활에 활용할 수 있는 교류 전기를 생산해 낸다. 최근에는 전기 사용량이 많은 기업에서부터 일반 가정, 우주에 쏘아 보내는 인공위성에 이르기까지 그 활용이 점점 늘어나고 있는 추세이다.

이러한 태양 에너지를 활용한 장비들은 한번 시설을 마련하면 유지 보수비용이 거의 들지 않으며, 공해가 없고, 시설의 수명이 매우 길다는 장점이 있다. 물론 단점도 존재한다. 초기 시설비용이 기존전기 생산 시설에 비해 월등히 비싸다는 단점으로 지금까지 그 활용이 제한되어 왔다. 하지만 계속된 기술개발로 시설비용을 낮추려는 노력이 계속되고 있다.

□ 풍력 에너지란?

현재 사용되고 있는 바람 에너지를 활용하여 전력을 생산하는 **풍력 발전의 원리는, 바람의 운동에너지가 프로펠러에 닿을 때 그 양력이 발생시키는 회전력으로 발전기를 가동시켜 전기를 만들어 내는 원리를 사용한다.** 이러한 풍력발전은 태양 발전과 마찬가지로 유지 보수가 쉽고 그 비용이 저렴하며 매우 친환경적이라는 장점이 있다. 물론 풍력 발전에도 단점이 존재하는데, 바람



[그림 40] 풍력 발전

이란 존재가 항상 일정하게 부는 것이 아니며 언제, 어디서, 얼마만큼 불어올지 예측하기 힘들다는 점이다. 그러나 발전기 컨트롤 기술의 발전으로, 일정한 바람을 가지고 만들어 낼 수 있는 전기 에너지의 양이 점점 많아지고 있다. 하지만 풍력 단독으로는 안정적인 전력 공급이 어려우며 다른 에너지원이나 에너지의 저장 자체도 새로운 비용을 발생시키기 때문에 경제적이라고 볼 수 없다. 따라서 풍력 에너지에 다소 회의적인 주장을 하는 사람들은 결국 풍력 에너지가 기존의 전력 생산을 보조할 뿐이지 완전히 대체하기는 어려울 것으로 보는 것이다.

□ 지열 에너지란?

대부분의 지열 자원은 화산활동지역에 분포하는데, 이 중에서 온천, 간헐천, 끓는 진흙탕, 분기공(화산 가스와 뜨거운 지하수의 분출구멍) 등은 쉽게 개발할 수 있는 지열 자원이다. 고대로마인들은 온천을 온수욕과 가정 난방에 이용했으며, 지금도 아이슬란드·터키·일본과 같이 세계의 지열대에 위치한 나라에서는 비슷한 방법으로 지열을 이용하고 있다. 지열 에너지의 가장 큰 잠재력은 전기발전에 이용하는 것인데, 여러 나라에서 지열 발전소가 설치되어 있다.

지열 자원 중 가장 유용한 것은 온도범위가 80~180℃가 되며 지표 아래의 층이나 저장고에 있는 열수와 증기이다. 이들 **발전소에서는 열수를 증기로 바꾸어 터빈을 돌리고, 여기서 생긴 기계적 에너지는 발전기에 의해 전기 에너지로 바뀌게 된다.** 지표 아래의 뜨겁고 건조한 지층들도, 물을 층 내로 주입시켜 뜨겁게 만든 다음 증기로 전환시키는 문제만 완전히 해결된다면 지열 에너지의 자원으로 광범하게 이용될 수 있다. 지열 에너지는 공해가 없고, 또 석유가격이 상승함에 따라 지열자원개발에 대한 관심이 점차 높아지고 있다.

참고자료:

https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%9E%AC%EC%83%9D_%EA%B0%80%EB%8A%A5_%EC%97%90%E B%84%88%EC%A7%80

에너지와 미래 기술 - 태양 에너지를 활용한 적정 기술 -

() 중학교 () 학년 이 름 : ()

1. 이제까지 배운 것은?

□ 식물의 광합성과 호흡

식물은 물과 이산화탄소를 이용해 광합성을 한다. 물과 이산화탄소가 만나서 햇빛을 받으면 광합성이 일어난다. 이 두 물질이 반응하면 산소, 물, 포도당이 생긴다. 여기서 생기는 포도당(양분)이 바로 식물이 살아가는 데 필요한 에너지의 원천이다. 사람은 밥을 먹음으로써 에너지를 얻지만, 식물은 먹을 수 있는 입이 없으므로 잎을 통한 광합성 작용으로 얻는 것이다. 식물이 광합성을 통해 얻은 양분(포도당)은 호흡 과정에서 산소와 결합하여 물과 이산화탄소를 만든다. 이 과정에서 에너지가 발생하여 식물이 살아갈 수 있는 것이다.

□ 프랙탈 구조

광합성을 하기 위해 햇빛을 받거나 땅으로부터 양분을 흡수하는 점에 있어서 효율성을 극대화하기 위한 나무의 뿌리와 주기는 프랙탈 구조를 하고 있다. 프랙탈이란 부분과 전체가 똑같은 모양을 하고 있다는 자기 유사성을 기하학적으로 풀어낸 구조를 말한다. 프랙탈은 단순한 구조가 끊임없이 반복되면서 복잡하고 묘한 전체 구조를 만드는 것으로, 즉 '자기 유사성'과 '순환성'이라는 특징을 가지고 있다. 자연계의 리아스식 해안선, 동물혈관 분포형태, 나뭇가지 모양, 창문에 성애가 자라는 모습, 산맥의 모습에서 프랙탈을 찾아볼 수 있다.

□ 프랙탈 조형의 원리

자기유사성, 무작위성, 불규칙성 등으로 요약되는 프랙탈의 기하학적 특성은 자연의 비규칙적 패턴을 분석하는 데에 기여하고 있으며 창조적 조형 원리로서의 가능성을 지니고 있다. 그리하여 조형에서 프랙탈의 원리를 적용하여 사용하고 있는 많은 부분들을 찾아볼 수 있다. 조형에서 사용하고 있는 프랙탈의 원리는 크게 4가지로 살펴볼 수 있다. 이는 중첩, 반복, 왜곡, 스케일링의 변화이다.

□ 유니버설 디자인

모든 사람이 평등하고 불편함 없이 사용할 수 있도록 고려한 디자인을 유니버설 디자인이라고 한다. 장애의 유무와 상관없이 모든 사람이 무리 없이 이용할 수 있도록 도구, 시설, 설비를 설계하는 것을 유니버설 디자인(공용화 설계)이라고 한다. 노스캐롤라이나 주립 대학교의 유니버설 디자인 센터는 미국 교육부의 국립장애재활연구소 후원을 받아 마련한 유니버설 디자인의 7대 원칙으로는 '공평한 사용', '사용 상 유연성', '간단하고 직관적인 사용', '알아챌 만큼 충분한 정보', '실수를 감안', '적은 물리적 노력', '접근하고 사용하기에 적절한 크기와 공간'이 있다.

□ 적정 기술

적정 기술은 지역 사회의 문제를 사회적, 문화적, 환경적 조건을 고려하여 해결하는 기술로써 인간의 삶의 질을 향상하는 인간 중심 기술이다. 적정 기술은 어려운 환경에 처해 있거나 기술 이용에 소외된 사람들의 삶의 질을 개선하는 데에 실질적인 도움을 준다. 적정 기술의 특징으로는 '저렴한 비용과 뚜렷한 지역성', '현지의 기술과 노동력 활용', '손쉬운 사용 및 유지 관리', '공유와 나눔을 실천'을 들 수 있다.

□ 지속 가능한 발전

지속 가능한 발전이란 미래 세대가 그들의 필요를 충족시킬 능력을 저해하지 않으면서 현재 세대의 필요를 충족시키는 발전을 말한다. 지속해서 살아갈 수 있도록 발전의 방향을 재정립하는 지속 가능한 발전을 하기 위해서는 기술을 개발하거나 발전할 때 환경 보호, 사회 정의, 경제 성장을 균형 있게 고려해야 한다. 따라서 우리는 미래 세대도 잘 살 수 있게 보장하는 범위 안에서 주어진 다양한 자원을 이용하여 각종 재화를 생산하고 소비해야 한다.

□ 태양 에너지

재생 가능 에너지는 시간이 지남에 따라 자연적으로 보충되는, 재생 가능한 자원으로부터 수집된 에너지이다. 재생 가능 에너지의 종류는 여러 가지가 있지만, 이것들의 대부분은 (99.98%) 태양으로부터 온 것이다. 태양 에너지는 지구의 모든 에너지의 근원이 되는 에너지이다. 태양 에너지 중 우리가 주로 사용하는 것은 태양광 에너지와 태양열 에너지가 있다.

□ 다른 사람의 도움 없이는 열악하게 살아야 하는 특정 지역의 어려운 상황을 제시해 봅시다.

□ 프랙탈을 사용해서 태양 에너지를 효율적으로 이용해 앞에서 제시한 상황을 지원할 수 있는 적정 기술의 아이디어를 구상해 봅시다.

□ 태양 에너지를 이용해 앞에서 제시한 상황을 지원할 수 있는 적정 기술을 디자인해 봅시다.

--

적정 기술에서 사용된 태양 에너지의 쓰임과 그 원리 :

--

태양 에너지의 효율적인 활용을 위해 쓰인 프랙탈의 원리 :

--

적정 기술로 인해 기대되는 효과와 미래의 모습 :

--

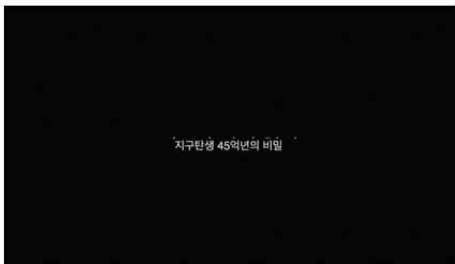
9. STEAM 수업 PPT

1-3차시.
광합성과 프랙탈
 생명의 근원
 아라중학교 영재학급



지구에만 생명이 사는 이유는?

생명 지구에 사는 생명



지구의 탄생 과정

생명 지구에 사는 생명

태양계의 순환	원시 대기의 형성	태그타의 바다 형성	행들과 핵의 분리	원시 지각의 형성	원시 바다의 형성 및 원시 대기의 진화
태양계의 순환이 일어나면서 태양계 내의 물과 가스가 모여 원시 지구가 생겼다.	수증기의 양이 급격히 늘어나 원시 대기를 형성했다.	태그타의 바다 형성 후, 지구는 점차 냉각되어 핵과 맨틀이 분리되었다.	우거운 토, 니켈은 가벼운 규산염과 철을 함유하고, 가벼운 규산염은 원시 지각을 형성했다.	태그타의 바다 형성 후, 지구는 점차 냉각되어 핵과 맨틀이 분리되었다.	우중계가 표결되어 베르 내리면서 원시 바다를 형성하였고, 원시 바다에 대기의 일부 성분이 녹았다.

지구에 공기가 생겨난 과정

생명 지구에 사는 생명



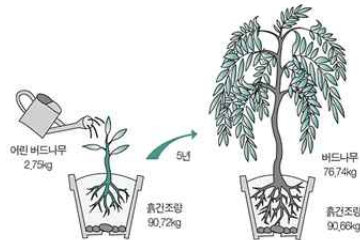
산소는 어떻게 생겨났을까?

생명 지구에 사는 생명



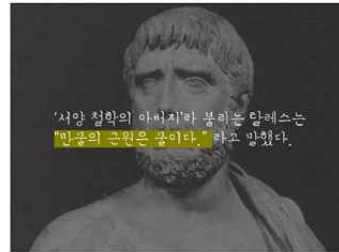
식물은 무엇을 먹고 자랄까?

광합성 식물의 성장



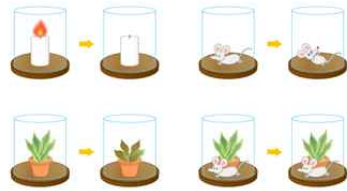
식물은 무엇을 먹고 자랄까?

광합성 식물의 성장



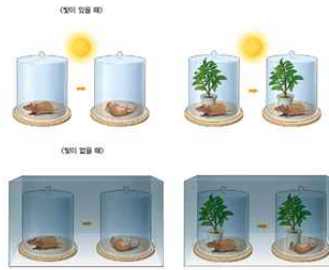
식물은 물만 먹고 자랄 수 있을까?

광합성 식물의 성장



식물은 어떤 공기를 바꿀까?

광합성 식물의 심장



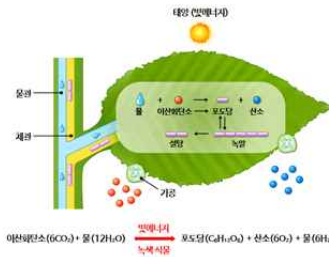
식물이 산소를 만드는 조건은?

광합성 식물의 심장



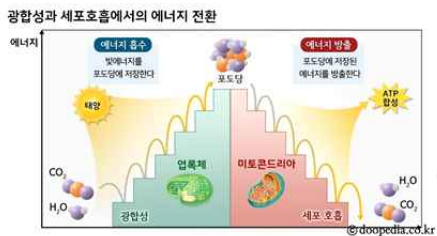
식물은 무엇을 먹고 자랄까?

광합성 식물의 심장



광합성이란?

광합성 식물의 심장



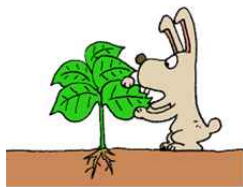
호흡을 통해 에너지 발생

에너지 식물의 에너지



동물은 어떻게 에너지를 얻을까?

에너지 동물의 에너지



동물이 식물을 먹는 이유는?

에너지 동물의 에너지



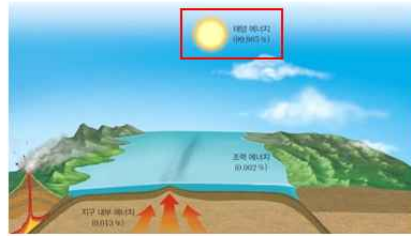
에너지는 어디서 생산되는가?

에너지 지구의 에너지



에너지의 근원은 무엇일까?

에너지 지구의 에너지



지구상에 존재하는 에너지의 근원

에너지 지구의 에너지



광합성에 영향을 미치는 요인은?

광합성 광합성이 잘 일어나는 조건



외적인 요소가 같을 때, 광합성이 잘 일어나기 위해서는?

광합성 광합성이 잘 일어나는 조건

광합성을 잘 하기 위한 조건은?



같은 재료 (부피) 일 때
앞의 표면적을 최대한

광합성 광합성이 잘 일어나는 조건

같은 부피에서
앞의 표면적 (넓이) 을 최대한



같은 넓이에서
둘레의 길이를 최대한

광합성 광합성이 잘 일어나는 조건



햇빛을 잘 받기 위한 잎의 구조는?

광합성 광합성이 잘 일어나는 조건



줄기와 뿌리의 구조는?

광합성 광합성이 잘 일어나는 조건

프랙탈 : 작은 구조가 전체 구조와 비슷한 형태로 끊임없이 되풀이되는 구조



프랙탈 프랙탈의 뜻



영국 해안선의 길이는 얼마일까?

프랙탈 프랙탈의 기원



자의 눈금의 크기가 계속 작아지면 영국 해안선의 길이는 얼마일까?

프랙탈 프랙탈의 기원



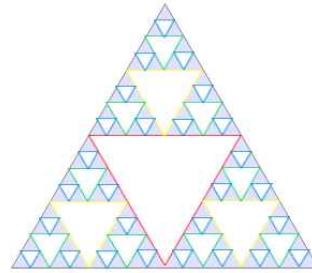
자연에서 볼 수 있는 프랙탈은?

프랙탈 자연 속 프랙탈

자기유사성 : 세부 구조가 전체 구조와 비슷한 형태를 띠는 성질
순환성 : 끊임없이 되풀이 되는 성질



프랙탈 프랙탈의 성질



전체와 같은 부분이 반복되게 하려면?

프랙탈 시에르핀스키 삼각형



단계가 늘어날 때마다 변하는 것은?

넓이 $\Rightarrow \frac{3}{4}$ 배 $\Rightarrow 0$
길이 $\Rightarrow \frac{3}{2}$ 배 증가 \Rightarrow 무한

무한 번 반복하면?

프랙탈 시에르핀스키 삼각형

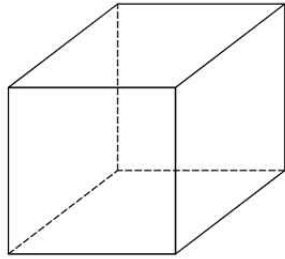


단계가 늘어날 때마다 변하는 것은?

넓이 $\Rightarrow \frac{8}{9}$ 배 $\Rightarrow 0$
길이 $\Rightarrow \frac{8}{3}$ 배 증가 \Rightarrow 무한

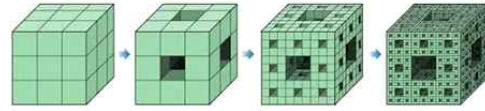
무한 번 반복하면?

프랙탈 시에르핀스키 카펫



정육면체를 이용한 프랙탈 도형은?

프랙탈 땡겨 스먼지



단계가 늘어날 때마다 변하는 것은?

부피 ⇨ 0

겉넓이 ⇨ 무한

프랙탈 땡겨 스먼지

END

Q & A

4-7차시,
디자인과 적정 기술

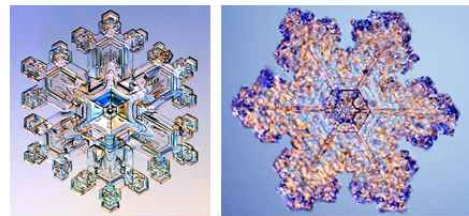
프랙탈 디자인과 유니버설 디자인

아라중학교 영재학급



눈은 어떤 모양일까?

프랙탈 코호 눈송이



눈의 결정체는 어떤 성질을 가질까?

프랙탈 코호 눈송이

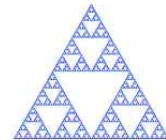


눈의 결정체를 프랙탈로 만든다면?

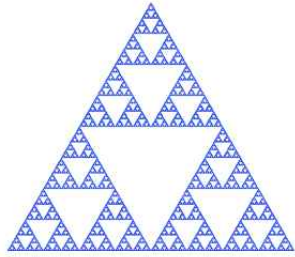
프랙탈 코호 눈송이

시초자 : 프랙탈 도형을 만들기 위한
최초의 직선이나 도형

생성자 : 프랙탈 도형을 만드는 규칙이
주어졌을 때 생긴 도형

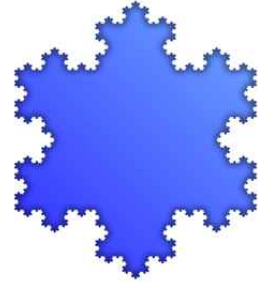


프랙탈 코호 눈송이



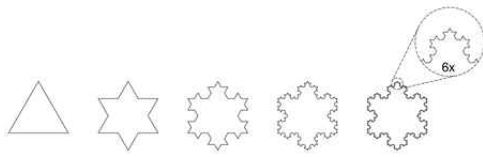
생성자와 시초자는 무엇일까요?

프랙탈 코호 눈송이



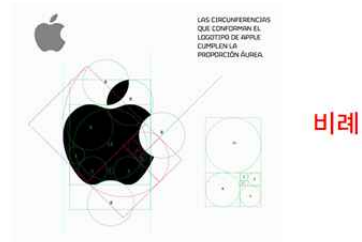
코호 눈송이를 만드는 규칙은?

프랙탈 코호 눈송이



생성자와 시초자는 무엇일까요?

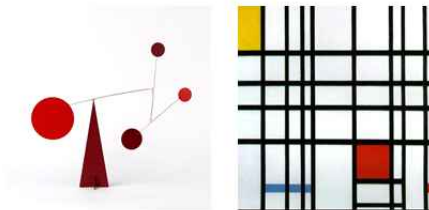
프랙탈 코호 눈송이



비례

이 디자인의 조형 원리는?

디자인 조형의 원리



균형

조화

이 디자인의 조형 원리는?

디자인 조형의 원리



강조

변화

이 디자인의 조형 원리는?

디자인 조형의 원리



반복

운동

이 디자인의 조형 원리는?

디자인 조형의 원리



통일

점이

이 디자인의 조형 원리는?

디자인 조형의 원리



대비



대칭

이 디자인의 조형 원리는?

디자인 조형의 원리



이 디자인의 조형 원리는?

디자인 프랙탈 아트

프랙탈 아트의 조형 원리

- ① 중첩 ② 반복
- ③ 왜곡 ④ 스케일링 변환



프랙탈 조형에서 중첩의 원리

디자인 프랙탈 아트

디자인 프랙탈 아트



프랙탈 조형에서 반복의 원리

디자인 프랙탈 아트



프랙탈 조형에서 왜곡의 원리

디자인 프랙탈 아트



주얼리에서의 조형 원리는?

➔ 중첩, 반복, 스케일링

디자인 프랙탈을 활용한 주얼리 디자인



주얼리에서의 조형 원리는?

➔ 반복, 스케일링

디자인 프랙탈을 활용한 주얼리 디자인



주얼리에서의 조형 원리는?

⇒ 반복, 중첩, 왜곡

디자인 프레임워크를 활용한 주얼리 디자인



주얼리에서의 조형 원리는?

⇒ 왜곡

디자인 프레임워크를 활용한 주얼리 디자인



건축에서의 조형 원리는?

⇒ 반복, 왜곡

디자인 프레임워크를 활용한 건축 디자인



건축에서의 조형 원리는?

⇒ 중첩, 왜곡

디자인 프레임워크를 활용한 건축 디자인



디자인이란?

디자인 삶 속의 디자인

디자인의 조건

- ① 합목적성 ② 심미성
- ③ 경제성 ④ 독창성
- ⑤ 질서성

디자인 삶 속의 디자인



이 제품의 용도는?

디자인 삶 속의 디자인



손목 보호를 위한 디자인

디자인 삶 속의 디자인



이 디자인의 의도는?

디자인 맥도날드 옥외 광고 디자인



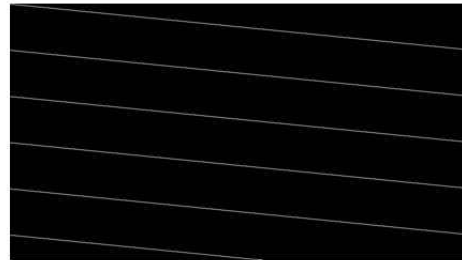
이 디자인의 의도는?

디자인 맥도날드 옥외 광고 디자인



이 디자인의 의도는?

디자인 맥도날드 옥외 광고 디자인



디자인을 하는 과정은?

디자인 실 속의 디자인

디자인의 탄생 과정

제품기획 / 아이디어 구상

⇨ 아이디어 스케치 ⇨ 렌더링

⇨ 모형 제작 ⇨ 수정 및 보완

⇨ 작품 제작



도로에서의 광고를 디자인 해봅시다.

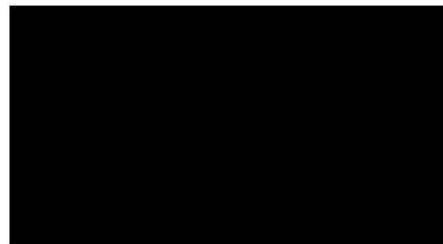
디자인 실 속의 디자인

디자인 도로에서의 광고 디자인



환경 디자인이란?

디자인 공간을 바꾸는 디자인



피아노 계단의 의도는?

디자인 공간을 바꾸는 디자인



꿈을 담은 교실의 의도는?

디자인 공간을 바꾸는 디자인



주변 환경에 의미를 넣어 디자인 해봅시다.

디자인 공간을 바꾸는 디자인



그린 디자인이란?

디자인 환경을 살리는 디자인



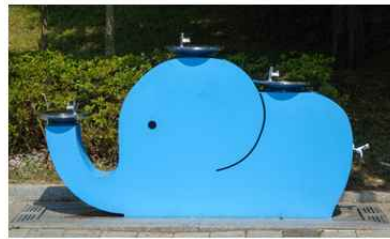
대나무 체육관의 의도는?

디자인 환경을 살리는 디자인



아름다운 쓰레기 봉투의 의도는?

디자인 환경을 살리는 디자인



유니버설 디자인이란?

디자인 모두를 위한 디자인

유니버설 디자인의 7대 원칙

- ① 공평한 사용 ② 사용 상 유연성
- ③ 간단 · 직관적 사용 ④ 알아채기 충분한 정보
- ⑤ 실수를 감안 ⑥ 적은 물리적 노력
- ⑦ 접근하고 사용하기 적절한 크기와 공간

디자인 모두를 위한 디자인



강통 라디오의 의도는?

디자인 모두를 위한 디자인



발잡이의 의도는?

디자인 모두를 위한 디자인



불편한 것을 편하게 디자인 해봅시다.

디자인 모두를 위한 디자인



적정 기술이란?

적정 기술 누군가를 위한 기술

적정 기술의 특징

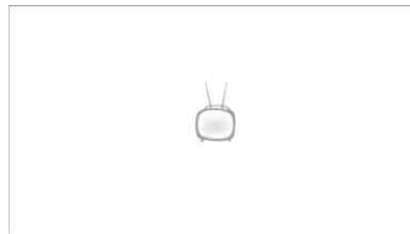
- ① 저렴한 비용과 뚜렷한 지역성
- ② 현지의 기술과 노동력 활용
- ③ 손쉬운 사용 및 유지 관리
- ④ 공유와 나눔을 실천

적정 기술 지역 사회의 문제를 해결하는 기술



공놀이 세탁기의 의도는?

적정 기술 지역 사회의 문제를 해결하는 기술



페트병 전구의 의도는?

적정 기술 지역 사회의 문제를 해결하는 기술



아프리카에서 식수를 확보하려면?

적정 기술 지역 사회의 문제를 해결하는 기술



수증기의 응결을 이용한 기술

적정 기술 지역 사회의 문제를 해결하는 기술



와카 워터

적정 기술 지역 사회의 문제를 해결하는 기술



적정 기술이 지속 가능하려면?

적정 기술 지속 가능한 발전



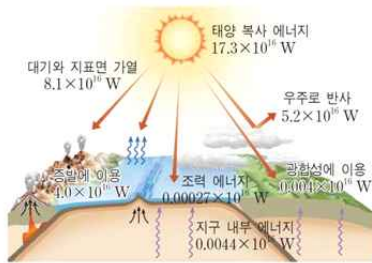
지속 가능하기 위한 에너지는?

태양광 에너지 지속 가능한 발전



재생 가능한 에너지

태양광 에너지 지속 가능한 위한 에너지



적정 기술이 지속 가능하려면?

태양광 에너지 지속 가능한 위한 에너지



태양광을 이용한 가로등

태양광 에너지 지속 가능한 위한 에너지



태양광 물레방아를 만들어 볼까요?

태양광 에너지 지속 가능한 위한 에너지

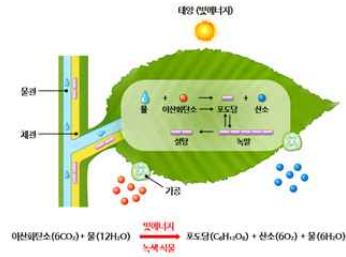
END

Q & A

3차시. 에너지와 미래 기술

태양 에너지를 활용한 적정 기술

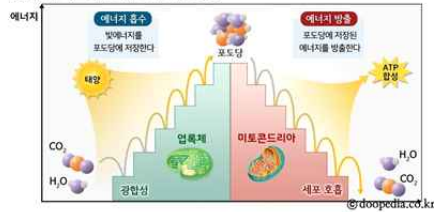
아라중학교 영재학급



광합성을 통해 양분 합성

광합성과 호흡 식물의 광합성

광합성과 세포호흡에서의 에너지 전환



호흡을 통해 에너지 발생

광합성과 호흡 식물의 호흡

프랙탈 : 작은 구조가 전체 구조와 비슷한 형태로 끊임없이 되풀이되는 구조



프랙탈 프랙탈의 뜻

프랙탈 아트 of 조형 원리

- ① 중첩
- ② 반복
- ③ 왜곡
- ④ 스케일링 변환

디자인 프랙탈 아트의 조형 원리



줄기와 뿌리의 구조는?

광합성과 호흡 광합성이 잘 일어나기 위한 조건

자기유사성 : 세부 구조가 전체 구조와 비슷한 형태를 띠는 성질

순환성 : 끊임없이 되풀이 되는 성질



프랙탈 프랙탈의 성질



디자인이란?

디자인 삶 속의 디자인

유니버설 디자인의 7대 원칙

- ① 공평한 사용 ② 사용 상 유연성
- ③ 간단 · 직관적 사용 ④ 알아채기 충분한 정보
- ⑤ 실수를 감안 ⑥ 적은 물리적 노력
- ⑦ 접근하고 사용하기 적절한 크기와 공간

디자인 모두를 위한 디자인

적정 기술의 특징

- ① 저렴한 비용과 뚜렷한 지역성
- ② 현지의 기술과 노동력 활용
- ③ 손쉬운 사용 및 유지 관리
- ④ 공유와 나눔을 실천

적정 기술 지역 사회의 문제를 해결하는 기술



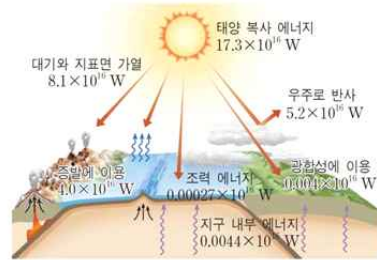
상상한 **어려운 상황**과 이를 해결할 **적정 기술**

창의적 산출물 태양 에너지를 활용한 적정 기술



적정 기술이란?

적정 기술 누군가를 위한 기술



적정 기술이 지속 가능하려면?

태양광 에너지 지속 가능을 위한 에너지

END

Q & A