

碩士學位論文

초음파와 스코리아를 이용한
골프장 저류지의 조류제거



濟州大學校 大學院

環境工學科

康鳳權

2008 年 2月

초음파와 스코리아를 이용한 골프장 저류지의 조류제거

指導教授 李容斗

康鳳權

이 論文을 工學碩士學位論文으로 提出함

2008 年 2月

康鳳權의 工學碩士學位論文을 認准함

審査委員長 甘相奎

委 員 李起浩

委 員 李容斗



濟州大學校 大學院

2008 年 2月

**Removal of Algae in Pond Water of Golf
Course
by Ultrasound and Scoria**

Bong-Kwon Kang
(Supervised by professor Yong-Doo Lee)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement
for the degree of Master of Engineering

2008 . 2 .

This thesis has been examined and approved.

Thesis director, Sang-Kyu Kam, Prof. of Environmental engineering

Thesis director, Ki-Ho Lee, Prof. of Environmental engineering

Thesis director, Yong-Doo Lee, Prof. of Environmental engineering

February, 2008

Department of Environmental Engineering
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

Summary	vi
I. 서 론	1
1. 연구배경 및 목적	1
II. 이론적 고찰	4
1. 골프장 저류지의 특성	4
2. 조류(Algae)	5
1) 조류(Algae)의 특성	5
2) 현행의 조류(Algae) 통제를 위한 대책	11
3. 초음파(Ultrasound)	14
1) 초음파의 이론과 원리	14
2) 초음파의 조류제거 메커니즘	20
4. 송이(Scoria)	21
1) 제주도내 송이의 분포	21
2) Scoria의 물리적 특성	23
3) Scoria의 화학적 특성	24
4) Scoria 이용 현황	26
III. 재료 및 방법	27
1. 재료 및 실험장치	27
2. 실험방법	29
IV. 결과 및 고찰	32
1. 저류지 원수의 조류 특성	32
1) 조류 동정	32
2) Chlorophyll-a 농도 변화	34
2. 초음파를 이용한 조류제거	36
1) 주파수와 전력에 따른 제거특성	36
2) 조류(Algae)의 농도별 제거 특성	39
3) 초음파에서의 ON/OFF에 따른 조류제거효율	42
3. Scoria에 의한 chlorophyll-a 제거	45

4. 초음파와 스코리아에 의한 chlorophyll-a 제거	49
1) Chlorophyll-a 농도의 영향	49
2) 처리방법에 따른 chlorophyll-a의 제거능 비교	51
3) 노출시간에 따른 조류제거의 개체수 변화	53
V. 결 론	55
VI. 참고문헌	57



List of Figures

Fig. 2.1. Microphotographs of Diatoms(a: <i>Asterionella spp.</i> , b: <i>Aulacoseira spp.</i> , c: <i>Cyclotella spp.</i> , d: <i>Stephanodiscus spp.</i>).	6
Fig. 2.2. Microphotographs of Green algae(a: <i>Eudorina spp.</i> , b: <i>Micractinium spp.</i> , c: <i>Pediastrum spp.</i> , d: <i>Scenedesmus spp.</i>).	7
Fig. 2.3. Microphotographs of Cyanobacteria(a: <i>Anabaena spp.</i> , b: <i>Aphanizomenon spp.</i> , c: <i>Microcystis spp.</i>).	8
Fig. 2.4. Classified diagram of Cyanophyceae.	9
Fig. 2.5. Formation and collapse of cavitation bubbles.	17
Fig. 2.6. Wavelength of ultrasound.	20
Fig. 2.7. Colorific distribution of scoria in Cheju Island.	21
Fig. 2.8. The sampling location of scoria.	22
Fig. 2.9. Grain size distribution curve with scoria.	23
Fig. 2.10. Chemical composition of scoria.	24
Fig. 3.1. The sample colors of Cheju scoria.	27
Fig. 3.2. Schematic diagram of ultrasound system.	28
Fig. 3.3. Adsorption process of algae and scoria by jar-tester.	30
Fig. 4.1. Algae identification by a microscope of 200~400 magnifications.	33
Fig. 4.2. Variation of chlorophyll-a with algae(sampling was conducted every 2~3 days from August 24 to October).	35
Fig. 4.3. Relationship between rainfall and water temperature.	35
Fig. 4.4. Removal of chlorophyll-a with ultrasound power and it exposure time at 40 kHz(40W, 80W, 120W).	36
Fig. 4.5. Removal of chlorophyll-a with ultrasound power and it exposure time at 28 kHz(40W, 80W, 120W).	37
Fig. 4.6. Removal of chlorophyll-a with it concentration(ultrasound condition :40kHz, 120W; initial chlorophyll-a concentration:77 $\mu\text{g}/\ell$, 410 $\mu\text{g}/\ell$, 962 $\mu\text{g}/\ell$).	39
Fig. 4.7. Removal of chlorophyll-a with it concentration(ultrasound condition :28kHz, 120W; initial chlorophyll-a concentration:77 $\mu\text{g}/\ell$, 410 $\mu\text{g}/\ell$, 962 $\mu\text{g}/\ell$).	40
Fig. 4.8. Removal efficiency of chlorophyll-a with at ON/OFF of ultrasound (operating condition:(a)0-90min ON, (b)0-30min ON and 30-90min OFF 28kHz, 120W; initial chlorophyll-a concentration:77 $\mu\text{g}/\ell$, 410 $\mu\text{g}/\ell$, 962 $\mu\text{g}/\ell$).	42
Fig. 4.9. Removal efficiency of chlorophyll-a with at ON/OFF of ultrasound(operating condition:(c)0-30min ON, 30-60min OFF and	

60-90min OFF 28kHz, 120W; initial chlorophyll-a concentration:77µg/ℓ, 410µg/ℓ, 962µg/ℓ).	43
Fig. 4.10. Removal of chlorophyll-a for particle size and concentration.	45
Fig. 4.11. Removal of (a) chlorophyll-a and (b) efficiency for particle size and concentration at scoria(Jar-tester condition:200rpm, 30min.).	46
Fig. 4.12. Microphotographs of precipitated attached algae at scoria in 120min (jar-tester condition:200rpm, 120min).	48
Fig. 4.13. Removal of chlorophyll-a (a) and efficiency (b) by ultrasound(28kHz, 120W) and scoria(125µm, 2g/ℓ).	49
Fig. 4.14. Comparison of chlorophyll-a of by ultrasound, scoria and ultrasonic and scoria(initial chlorophyll-a concentration:(a) 77µg/ℓ, (b) 410µg/ℓ;ultrasound condition:28kHz, 120W; scoria condition:125g/ℓ, 125µm).	51
Fig. 4.15. Comparison of chlorophyll-a of by ultrasound, scoria and ultrasound and scoria(initial chlorophyll-a concentration:(c)962µg/ℓ;ultrasound condition:28kHz, 120W; scoria condition:125g/ℓ, 125µm).	52
Fig 4.16. Microphotographs of <i>Microcystis aeruginosa</i> with the exposure time of both ultrasound(28kHz, 120W) and scoria(2g/L 125µm).	53
Fig. 4.17. Microphotographs of <i>Anabaena spiroides</i> with the exposure time of both ultrasound(28kHz, 120W) and scoria(2g/L 125µm).	54

List of Tables

Table 2.1. Application and characteristics of ultrasound.	15
Table 2.2. Characteristics of oscillation frequency band.	18
Table 2.3. Samples gradation.	23
Table 2.4. Chemical composition of scoria.	24
Table 2.5. SEM results of each colors of scoria.	25



Summary

The specimen was taken from the pond artificially created at the golf course, the algae was controlled as move and fix, and the specimen was periodically taken over 2 months, and the concentration of Chlorophyll-a was analyzed. And based on the concentration result of Chlorophyll-a, the optimal conditions of algae removal using ultrasound through the power, frequency and ON/OFF test of the ultrasound were elicited. And to maximize the effectiveness of algae removal using ultrasound, the experiment was performed by adding dusting powder, which was scoria as environment-friendly natural material, widely distributed throughout Jeju-do, targeted for extracting the proper condition of scoria and ultrasound applicable to the field, and reaching the following findings.

- 1) The observation of Algae showed that Aug. 23 through Sept. 10, dominant species is Cyanobacteria containing toxic materials, *Anabaena spiroides*, and Chlorophyll-a is $106.82\mu\text{g}/\ell \sim 549.90\mu\text{g}/\ell$. Starting from Sept. 14, *Microcystis areuginosa* is dominant species, and the concentration is $61.17\mu\text{g}/\ell \sim 1628.84\mu\text{g}/\ell$. It is higher than Chlorophyll-a concentration in other lakes or reservoirs about 10~40 times.
- 2) The comparative experiment of ultrasound frequency(40kHz, 28kHz) and power(40W, 80W, 120W) showed that the frequency is low as the finding of existing studies, and with power in high condition, the removal efficacy of Chlorophyll-a was high. But in case of high-concentration Chlorophyll-a, it sustained a constant value without any change 30 minutes after exposure in spite of high power, 120W.
- 3) The ON/OFF experiment of ultrasound with power at 28kHz, 120W and exposure time between 30~120 minutes to explore the effect of ON/OFF during the exposure time of the ultrasound generator on the removal efficacy of algae showed that the removal efficacy was kept regardless of ON/OFF time. It can save 30-minute power and periodical exposure of ultrasound contributes to removal efficacy.
- 4) With jar-tester stirred for about 30 minutes at 200rpm, and precipitation time

at 30min, 60min, 90min, 120min, the maximum removal efficacy of Scoria was 49% at 2g/ℓ after 90 minutes, and the optimal condition was 125μm, 2g/ℓ.

5)The removal efficacy at concentration was 84%~93% at 30 minute exposure time of ultrasound using the optimal condition of ultrasound 28kHz, 120W, and that of Scoria, 125μm, 2g/ℓ. And the removal efficacy of Chlorophyll-a at exposure time of 120 minutes showed the value of 99% or more, which indicated the largest removal efficacy.



I. 서론

1. 연구배경 및 목적

최근 대도시 중심으로 사람들의 여가활동 및 친수공간에 대한 관심도의 증가로 소형연못 및 수변지역 내 휴식 공간 설치가 급증하고 있다. 이런 수경시설중 하나인 골프 코스의 연못은 코스 관리적, 경관적, 환경적 측면에서 그 기능이 다양하다 할 수 있고, 이러한 기능들을 유지하기 위해서는 수질을 깨끗하게 유지하는 것이 무엇보다도 중요하다. 그러나 대부분의 연못은 갈수기 부영양화의 대표적 현상인 조류 대발생(Algae Blooming)으로 연못의 기능을 상실하고 있다. 결국 연못의 부유성 조류의 번성으로 인해 물의 투명도를 저하시키고 경관을 크게 해칠 뿐만 아니라 수질악화에 따른 동·식물에 막대한 영향을 미치면서 기존 환경파괴를 초래하고 있고, 오염된 연못 수원을 조경수 및 잔디용 관개수로 이용할 경우 잔디에 병을 유발하고 관개시설의 기능저하를 초래하는 등 역효과를 나타낸다. 조류는 크게 남조류, 녹조류, 규조류, 와편모 조류 등으로 나뉘는데 그중 남조류는 독성물질을 생성하여 생태계에 악영향을 미치게 되는데,¹⁾ 남조류 중 약 25종의 남조류가 독소를 가지는 것으로 알려져 있다. 유독화합물을 생산한다는 사실은 남조류가 포함된 물을 섭취한 가축이나 야생동물이 사망하는 것으로 인해 확인된바 있고 인체피해 역시 보고 되었다.²⁾

부영양화와 cyanobacterial bloom을 제어하기 위한 방법으로는 크게 물리적, 화학적, 생물학적 처리방법이 있다. 골프장 대부분의 연못에 적용되고 있는 물리적 처리방법으로는 기계적인 장치 혹은 매체를 통하여 수질 개선을 촉진하는 방법으로 폭기(Aeration), 침전(Sedimentation), 여과(Filtration), 흡착(Adsorption) 장치로 나눌 수 있다. 화학적 처리방법으로는 응집 및 침전(Coagulation & Precipitation), 산화(Oxidation) 등이 있다. 생물학적 처리방법으로는 미생물 처리방법, 수생식물을 이용한 방법 등이 있다.

이 중 화학적 처리방법에서 살조제를 투여하는 방법은 조류(algae)를 제거함으로써 이들을 먹이로 하는 물고기에게까지 피해를 주는 동시에, 침전된 남조류(cyanobacteria)의 조류가 분해되면서 오염원으로 작용하게 되고, 살조제의 장기간 사용에 따른 내성이 커질 뿐 아니라, 살조제의 유해성분이 호수 내에 축적되어 생태계에 악영향과 2차 오염 문제가 발생하게 된다.^{3,4)}

초음파는 주로 산업용으로 개발되어 현장에서 사용되어지던 기술들로, 환경친화적이어서 2차 오염 문제가 없는 특성 때문에 조류제거 연구는 국내·외적으로 많은 연구가 수행되어 왔으며, 초음파를 이용 조류를 처리하는 연구는 Oswald 등⁵⁾이 조류처리방법으로 초음파 진동자를 이용하는 것에 대하여 언급하였다. Raman 등⁶⁾은 남조류에 초음파를 이용하면 조류가 제거된다는, 초음파 처리 방안을 제안 하였다. Tsukasa⁷⁾는 초음파를 이용하여 조류의 세포를 파괴 할 수 있다고 보고 하였다. Nagaraju⁸⁾는 녹조강인 *Cosmarium*을 대상으로 초음파처리를 하여 조류를 제거 하였다는 연구가 있다. 代田昭彦⁹⁾는 적조생물인 *Rhodomonas* 등을 가지고 초음파 처리 실험하였다. 최근 연구에서는 Nakano 등¹⁰⁾이 초음파를 이용하여 120W, 28kHz에서 3초간 노출하여도 기포가 파괴된다고 하였다. Bozhi 등¹¹⁾은 남조류(Cyanobacteria)의 독성물질인 Microcystins을 초음파 영역에서 분해됨을 입증하였다. 국내에서도 조류제거에 대한 연구는 심 등¹²⁾이 초음파의 조류제거의 효율증대를 위해서 원수 직접노출보다는, 수중 접촉배관 또는 접촉수조의 공간이 필요하다고 제시하였고, 기존 연구의 조류제거효율을 높이기 위한 여러 가지 방법을 강구하는 연구로 이어지게 되었다.

기존 연구에서는 상수의 목적인 호수, 저수지 등에서 실험을 하였다. 골프장내 조성된 저류지는 골프장 특성상 주기적으로 살포하는 농약 및 비료 등에 직접적으로 노출되어 있어 조류의 이상 번식으로 인한 수화(water bloom)현상이 빈번하게 발생하게 된다. 본 연구에서는 골프장의 저류지에서 조류의 번식 억제는 물론 제거를 위해 초음파를 이용한 조류제거 실험을 수행하였다. 이에 골프장내 인공으로 조성된 저류지를 대상으로 시료를 채수하여 조류동정을 하였고, 2달여 기간 동안 주기적으로 시료를 채수하여 Chlorophyll-a의 농도를 분석하였다. 분석한 Chlorophyll-a의 농도 결과를 기초로 초음파의 전력, 주파수 및 초음파 ON/OFF 실험 등을 통하여 초음파를 이용한 조류제거의 최적 조건을 산정하였다. 그리고 초음파를 이용한

조류제거의 효율을 극대화하기 위해 살포제를 첨가하여 실험을 수행하였으며, 살포제는 제주도에 널리 분포하고 있으며 친환경적 천연재료인 scoria를 사용하였으며, 본 연구에서는 초음파의 주파수 범위와 전력, 그리고 scoria의 입경, 투입농도 등에 따른 적정 처리 조건을 도출하는데 그 목적이 있다.



II. 이론적 고찰

1. 골프장 저류지의 특성

골프장 저류지의 기능은 관수를 위한 수원지로서의 기능과 수원이 부족한 지역의 관수용 또는 상수용수의 저류지로서의 기능¹³⁾을 가지고 있다. 아울러 우기시 물을 저류 및 방류할 수 있는 우배수지로서의 기능, 경관요소로서의 기능을 가지고 있다.

처리해야할 우수가 집중되는 경우는 그 양의 증가로 기존 수로의 용량을 초과하게 되어 주변 지역에 피해를 주기도 한다. 피해를 방지하기 위해 초과하는 유출량을 소화할 수 있는 저류지의 조성은 홍수 시 유출량 조절 및 유속을 감소시켜 급류의 에너지를 감소시키는 조정지로서의 역할을 한다.¹⁴⁾

살포된 비료 및 농약은 토양의 흡수능에 따라 차이는 있으나, 잔류성이 있어 대부분 토양 및 잔디의 뿌리주변에 흡수되어 있고 일부는 잔디표면 및 토양의 표면에 남아있게 되어 강우 시 초기 우수에 의해 씻겨 내려가게 되고, 이러한 농약 및 비료가 외부로 유출되게 되어 인근 농경지 및 지하수의 오염원이 될 수 있다. 그리고 오염된 저류지의 수원을 관개용수로 이용할 경우 오히려 잔디에 병을 유발하고 관개시설에 기능저하를 초래하는 등 역효과를 나타내는 경우가 있다.¹⁵⁾

2. 조류(Algae)

1) 조류(Algae)의 특성

조류(Algae)란 물속에서 생육하는 단세포 또는 다세포식물로서 광합성색소를 가지고 독립영양 생활을 하는 하등식물을 총칭하는 것이다. 엄밀하게는 광합성을 하는 생물 중 배(胚, embryo)를 형성하는 생물을 제외한 생물군을 가리킨다.

일반적으로 조류는 그 크기가 1 μ m의 미세한 것부터 60m에 이르는 대형에 이르기까지 극히 다양하다. 조류는 크기에 따라 20~200 μ m 범위의 *microplankton* 그리고 2~20 μ m의 *nanoplankton*, 2 μ m 이하의 *picoplankton*으로 나눌 수 있다.

또한 생태형에 따라 부유성(*planktonic*)과 저서성(*bentic*)으로 분류되며, 또 항상 부유성인 종류를 *holoplankton*, 그리고 저서 생활과 부유를 때로 번갈아 하는 종류를 *meloplankton*이라 한다.¹⁶⁾

조류는 물속에 사는 하등식물로 광합성을 하며 물과 빛이 있는 거의 모든 곳에 존재하는 자연계 먹이사슬의 하부구조로서 생태계에서 중요한 역할을 담당한다. 엽록소에 의한 광합성작용을 하는 호기성 단세포 또는 다세포 생물로서 조류는 부유성과 저서성을 띠며 자연계에 존재하는 것으로 알려진 조류는 약 2만여 종이 있다. 조류는 색소 및 그들이 갖는 독특한 형태에 따라 크게 녹조류, 남조류, 규조류, 편모조류 등으로 분류되며, 이중 chlorophyll-a는 조류의 종류를 간접적으로 계측하는 수단이다.¹⁷⁾ 호소에 유입되는 유기물과 영양염류는 자정작용에 의해 자연적으로 정화되지만 자정능력을 초과하면 영양물질이 증가하면서 부영양화 현상이 나타나게 되고, 부영양화가 활발한 상태에 이르면 조류에 의한 수화현상(Water Bloom)을 일으키게 된다.

(1) 규조류(Diatoms)

서식형태에 따라 부유성과 저서성으로 나뉘며, 저서성에는 수역의 바닥 침전물 등에 서식, 수생식물에 부착, 모래에 부착, 동물에 부착하는 것 등이 있다.

섬모나 편모가 없는 규조류는 종에 따라 단단한 표면의 활주운동에 의해 움직인다. 활주운동은 물리, 화학적 반응에 의해서 점액성 물질의 분비로 인해 일어나거나 변형된 아메바 운동에 의해 일어난다. 주로 체세포분열로 종분열이 일어나 번식한다. 호소의 플랑크톤, 하천의 부착규조, 완속 여과지 여과막을 구성하는 생물로 물의 정화에 중요한 역할을 하고 있으나, 대량 번식할 경우에는 여과지 폐쇄를 일으키거나, 물에서 비린내와 같은 이취미를 발생시킨다. 세포벽이 단단하여 쉽게 부서지지 않아 어류나 수서곤충 등의 위장에서도 세포 형태가 원형 그대로 존재하는 경우가 많다. Fig 2.1는 대표적인 규조류로 *Asterionella spp.*, *Aulacoseira spp.*, *Cyclotella spp.*, *Stephanodiscus spp.* 등이다.

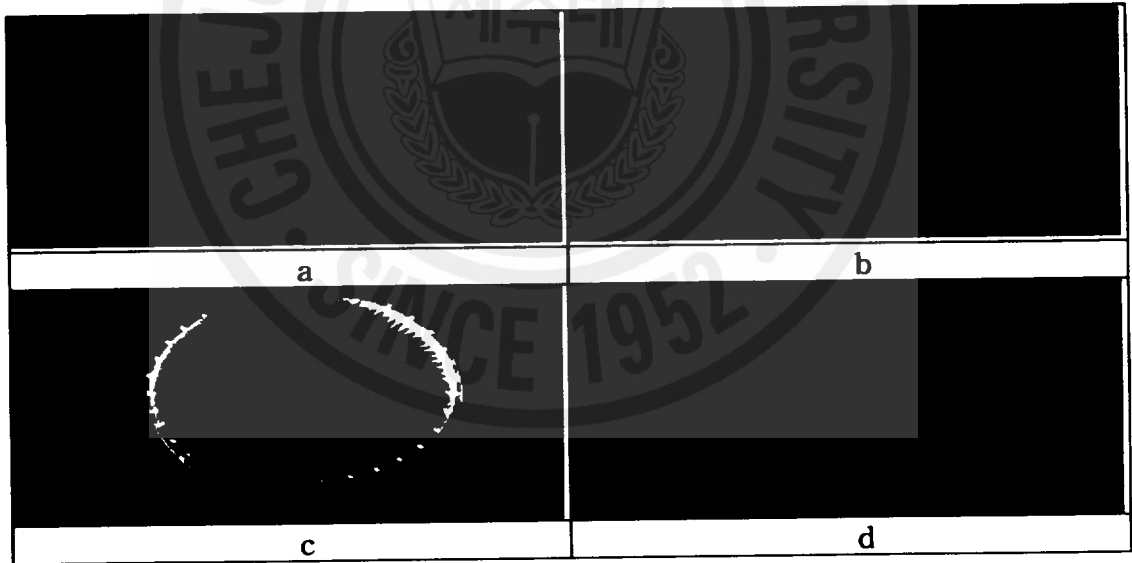


Fig. 2.1. Microphotographs of *Diatoms*(a: *Asterionella spp.*, b: *Aulacoseira spp.*, c: *Cyclotella spp.*, d: *Stephanodiscus spp.*).¹⁸⁾

(2) 녹조류(Green algae)

담수에서 가장 많이 발견되며, 습한 토양, 나무줄기의 녹색부분, 지의류나 원생동물과의 상호공생 등 다양한 환경에서 발견된다.

일반적으로 호소나 담수초기에 많은 종이 발견되고, 여름철에 활발한 번식이 이루어진다. 남조류나 규조류에 비해 대량 번식하는 우점율은 낮은 편이다. 그러나 대량번식하게 되면 풀냄새, 채소냄새 등의 냄새와 맛을 낸다.

번식은 단세포성 체분열에 의한 것도 있으나 편모로서 운동하는 포자에 의한 것이 많으며, 포자로 무성체와 유성체의 각각의 체제를 만들어 세대교번을 행하는 것이 많으나 유성포자만을 생산하여 세대교번의 과정이 없는 종류도 있다. Fig. 2.2는 대표적인 녹조류로서 *Eudorina* spp., *Micractinium* spp., *Pediastrum* spp., *Scenedesmus* spp. 이다.

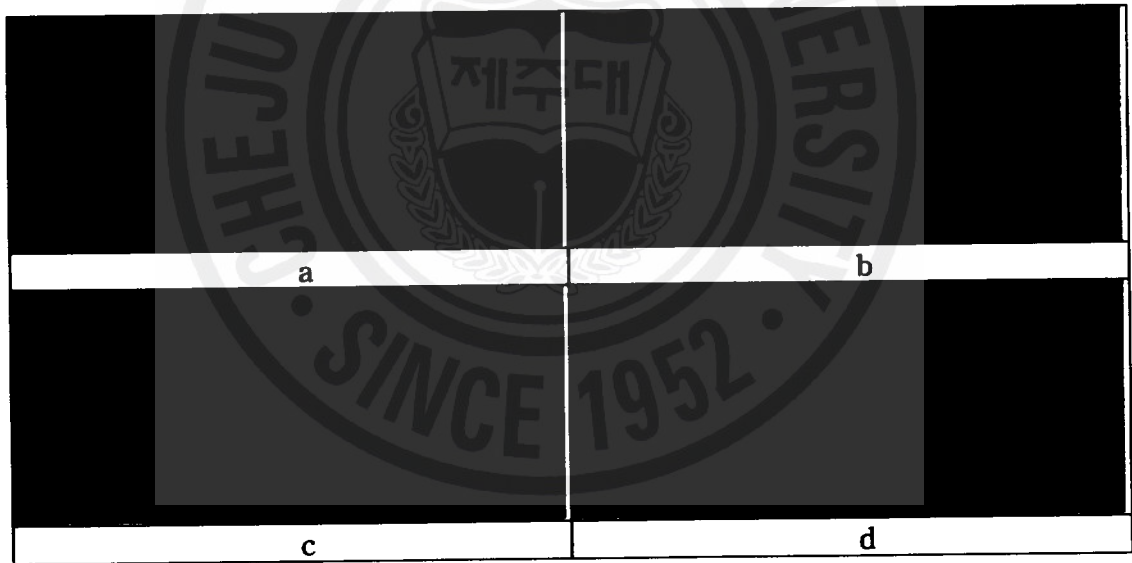


Fig. 2.2. Microphotographs of Green algae(a: *Eudorina* spp., b: *Micractinium* spp., c: *Pediastrum* spp., d: *Scenedesmus* spp.).¹⁸⁾

(3) 남조류(Cyanobacteria, cyanophyceae, blue-green algae)

조류는 크게 남조류, 녹조류, 규조류, 와편모조류 등으로 나뉠 수 있는데 그 중 남조류의 독소가 우리에게 나쁜 영향을 미친다고 한다. 남조류는 5가지 목(目)과 그 목에서 파생되는 속(屬)으로 분류될 수 있다. 5가지 목(目)으로는 *Choococales*, *Oscillatoriales*, *Nostocales*, *Stigonematales*, *Pleurocapsales*로 나뉜다. 유독화합물을 생산하는 것으로 알려진 남조류속은 *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermopsis*, *Microcystis*, *Nodularia*, *Nostoc*, *Oscillatoria* 와 *Umezakia* 등이다. 유독화합물은 일반적으로 화합물의 독성 차이에 따라 간장독과 신경독으로 분류된다.

일부의 남조류 중 약 25종의 남조류가 독소를 가지는 것으로 알려져 있다. 화합물을 생산한다는 사실은 남조류가 포함된 물을 섭취한 가축이나 야생동물이 사망하는 것으로 인해 확인된바 있고 인체피해 역시 보고 되었다. Fig. 2.3은 대표적인 남조류로 *Anabaena* spp., *Aphanizomenon* spp., *Microcystis* spp.이다.



Fig. 2.3. Microphotographs of Cyanobacteria(a: *Anabaena* spp., b: *Aphanizomenon* spp., c: *Microcystis* spp.).¹⁸⁾

Fig. 2.4는 생물학적인 관점에서 남조류의 분류를 한눈에 볼 수 있도록 도시해 놓았다.

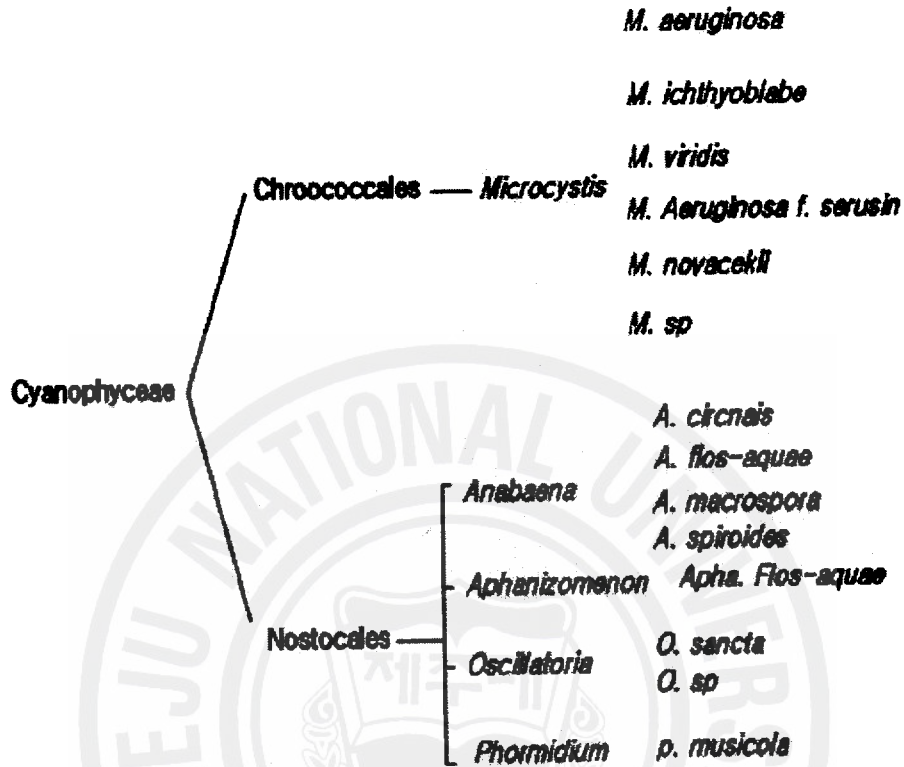


Fig. 2.4. Classified diagram of Cyanophyceae.¹⁹⁾

① *Microcystis* spp.

부영양화된 호소에서 녹조현상을 일으키는 대표 종으로서 형태는 구형의 세포가 구형, 부정형, 입방체를 형성하며 군체의 형태는 종 분류의 key로 사용된다. 군체를 둘러싼 한천질은 무색투명하거나, 현미경하에서 명료한 자루모양의 외곽부와 그것을 채운 점액상 부분으로 이루어진다(*M. wesenbergii*). 이분법으로 분열하며, 동물 플랑크톤에게 잘 섭식되지 않는다. 위공포를 가져 수표면에 부유하는 특성이 있고, 수온이 높은 여름, 가을철에 주로 출현하며 부영양 수역에서 대량 발생하여 녹조현상을 유발한다. 곰팡내를 일으키며 정수처리 시 응집 침전장해를 유발한다. 일부 종에서는 간장독인 microcystin을 생산하는 것이 알려져 있다.

② *Anabaena spp.*

온대지방의 호소 플랑크톤으로 널리 분포해 있다. 구형, 타원형의 세포가 길게 연결되어 직선 또는 나선형의 사상체를 형성하며, 분지는 하지 않고, 점질의 외곽을 가진다. 위공포를 가지고 있으며, 질소고정을 하는 특수세포인 heterocysti와 휴면포자(aknete)를 가지고 있으며 이들의 위치나 배열 방식은 종 분류의 key로 사용되고 있다. 수온이 높은 여름과 가을에 주로 발생하며, 부영양 수역에서 대량으로 발생하여 녹조현상을 유발한다. 위공포를 가져 수표면에 부유하는 특성이 있고, 곰팡내와 흙냄새를 유발한다. 정수처리에서는 응집침전을 저해하고, 일부 종은 신경독의 일종인 anatoxin을 생산하는 것으로 알려져 있다.

③ *Eudorina spp.*

호소의 플랑크톤으로 세계 각지에서 출현한다. 세포는 구형이며 2개의 편모를 가지고 있고, 군체는 32, 64개의 세포로 이루어지고 세포는 성글게 배열되어 구형 또는 타원형을 이룬다. 군체는 두꺼운 한천질상의 공동 피막을 가지고 표면은 매끄럽거나 유두상의 돌기를 갖는다. 수온이 높은 여름철에 주로 출현하며, 대량발생하면 비린내를 유발하며 정수처리 시 여과수로 누출된다.

2) 현행의 조류(Algae) 통제를 위한 대책

(1) 오염물질 유입 제한

조류를 통제하는 가장 직접적이며 최선의 방법은 영양분의 유입을 제한하는 것이다. 이를 위해서는 농촌이나 도시에서의 영양분(질소/인) 처분을 통제하기 위한 법규의 제정 및 적용이 필요하다. 그리고 경작지에 과도한 비료를 시비하는 것을 금지하여야 하며, 영양분의 유입을 통제할 수 있도록 처리 설비를 건설, 유지하는데 필요한 자금의 투입이 무엇보다도 중요하다. 도시에서는 질소와 인 등 영양염류를 제거하는데 필요한 고도폐수처리를 실시하여야 하고, 산업체에서는 영양원이 풍부한 오수 및 폐수를 배출하지 않도록 하여야 한다.²⁰⁾

(2) 차광막 처리

소규모 저수지의 경우 차광막을 설치하여 남조류의 광합성을 제한하는 방법도 있다.²¹⁾ 조류의 에너지 생성에는 절대적으로 빛이 필요하다. 따라서 근본적으로 이러한 에너지원을 차단하는 방법으로 이것은 선박이 작업하기 어려운 좁은 지역이나 한정된 작은 공간에 대해서 효과적일 수도 있다. 기본적 제어 대상은 조류 보다는 고등 수생생물이며, 광합성을 저해한다는 점에서 부유성 조류의 생육을 억제하는 부가적 효과도 가질 수 있다. 또한 수질에 대해서 어떠한 화학약품이나 물리적 교란을 일으키지 않으므로, 수계자체에 어떠한 독성효과를 주지 않는다는 장점이 있다. 그러나 차광막 처리는 설치비용이 많이 들며, 제거와 설치가 까다롭고, 파손의 위험과 특히 상대적으로 넓은 수역에서의 적용이 불가능한 단점이 있다.²²⁾

(3) 수생 생물을 통한 조류 제거

수생 생물을 통한 조류 제어는 세계적으로 거의 사용되지 않으며, 단지 중국에서 초어나 은붕어, 티라피아 등의 대형 초식 어류를 이용하는 방법만이 보고되고 있다.²¹⁾ 이들 초식어류는 대형 남조류 군집을 섭식하는데 반해 동물 플랑크톤의 먹이가 되는 단세포 조류들은 소비하지 않는 유리한 생태적 특성을 가지고 있다.

또한 부레옥잠은 1헥타르에 500명의 사람이 내 버리는 폐수를 깨끗한 물로 바꾸는 역할을 하며, 이러한 부레옥잠은 정수 역할 뿐만 아니라, 물고기의 은신처제공

역할도 한다.

(4) 저질토 처리(Sediment dredging)

호소바닥에 존재하는 침전물(sediment)은 일반적으로 호소 정화와 관리에 주요한 문제가 되는 것 중의 하나이다. 이러한 저질토에는 조류의 급성장을 유발할 수 있는 염류가 고농도로 녹아 있기 때문에, 사전에 이러한 저질토의 준설 처리를 통한 algae bloom 을 제어한다.

준설동안에 sediment에 가라앉아 있는 오염물질을 resuspension 시킴으로서 오히려 수계에 악영향을 줄 수 있다. 또한 준설 작업 이후 저질토에 대한 처리에 대해서도 감안해야 한다.²³⁾

(5) 살조제(Algicide) 통한 조류제거-황산동

호소나 댐과 같은 취수원에서의 대응책은 근본적으로 조류의 발생을 억제하는 방법이 현실적으로 어렵기 때문에 발생한 조류를 제어하는 방법을 주로 사용하게 된다. 수중의 조류를 제어하기 위하여 가장 일반적으로 사용하는 화학물질은 황산동으로써 조류 발생을 억제하는 목적으로 사용된다. 많은 양의 조류가 나타나기 전인 이른 봄철에 황산동을 투여하는 것이 바람직하나, 이미 발생한 조류의 경우는 황산동에 의한 처리가 독성물질을 오히려 수중으로 해리시키는 작용을 하게 되므로 조류의 수화현상이 이미 발생한 경우는 적용이 어려운 방법이다.²⁰⁾

(6) 석회(Lime)

황산동 외에 석회를 사용하는 방법도 제시되고 있는데, 석회는 인을 침강시켜서 제거하는 역할을 하므로 부영양화의 중요 영양염류인 인의 농도를 감소시킬 수 있다. 또한 인의 고갈 외에도 pH상승으로 인한 증식의 억제 효과를 나타내고, 조류세포 자체를 침강시킴으로서 조류제어의 역할을 하게 된다. 조류 세포를 파괴시키는 황산동과는 달리 세포 안의 독소가 수중으로 해리되지 않아 수화현상이 발생한 상수원을 처리하는데 적용이 가능할 것으로 보인다. 그러나 취수단계에서의 대응은 그 유역이 매우 넓어 처리비용이 매우 커서 실제적으로 적용하기에는 무리가 있을 것으로 판단된다.²⁴⁾

(7) 황토를 이용한 조류제거

주로 적조현상 발생 시 현장에 직접 사용되어지는 황토는 음이온 콜로이드 입자 (SiOH^- , SiO^-)가 해수중의 현탁 물질을 응집·흡착하여 침전시키는 작용으로 적조 생물을 제거한다. 황토입자가 작을수록 효율이 높은 것은 수중에서 입자가 침전되는 시간이 길고 표면적이 넓어 조류와 접촉하는 시간과 면적이 넓기 때문이다.²⁶⁾ 국내에서 황토를 이용한 Microcystis 제거실험은 나 등⁴³⁾에 의해 조사된 바 있으며, 이 보고에 의하면 메스실린더를 이용한 제거효율 조사에서도 입자의 크기가 작을수록 효율이 높았던 것으로 분석되었다.

(8) 초음파(Ultrasound) 이용한 조류제거

조류를 제거 저감하기 위한 염소·오존 등에 의한 산화제 처리는 소독 부산물 등의 2차 오염이 발생하고 있다. 이에 대한 대체 방법으로 2차 오염의 발생 가능성이 적고, 처리가 간단하며 효과적인 방법으로 초음파 처리 방법이 있다. 초음파의 살균 작용과 세척작용은 조류 세포조직을 단락 및 파괴시켜 조류를 제거 및 저감하는 방법이다.²⁵⁾

3. 초음파(Ultrasound)

1) 초음파의 이론과 원리

초음파란 인간의 가청 주파수(20Hz~20,000Hz) 대역을 벗어난 대역의 음을 말한다. 즉 20kHz 이상의 주파수 대역을 이용하며, 각 주파수 대역별 특성을 응용하여 적용하고 있다. 초음파는 기계적 진동파이며 필히 매체를 통하여 전파가 가능하다. 그 속도는 공기 중에서 340m/sec, 해수 중에서 1,500m/sec, 철물을 통하여 5,000m/sec로 물성이 단단할수록 속도가 빠르다. 초음파는 발진기를 통해 전기적인 신호를 발생시킨 후, 진동자로 보내지고 진동자는 전기적인 신호를 기계적인 신호로 변환을 한다.²⁷⁾ 이러한 초음파의 최초 응용은 1921년 프랑스의 랑지방(P. Langevin)에 의해 제작된 측심기(測深機)이고, 그 후 이 방면의 연구는 잠수함 추적 목적을 목적으로 한 군사기밀로서 자세한 연구 내용이 알려지지 않고 있다.²⁸⁾

(1) 초음파의 응용

초음파는 통신적 응용과 동력적 응용 및 특수목적 응용으로 크게 나누어진다.

통신적 응용은 초음파를 신호로서 이용한 것으로 수중소나(Sonar), 어군탐지기, 측심기, 탐상기 등으로서 대상체를 향해 초음파 펄스를 발사하여 그 반사파를 이용해 대상체의 위치 및 상태를 나타낼 수 있다. 이는 전파를 이용한 통신과 유사하다 할 수 있다.

동력적인 응용은 초음파를 에너지로 이용한 것으로 미세한 입자까지 제거하는 세정기, 서로 다른 성질의 액체를 섞는 유화기, 가슴이나 소독을 위한 액체의 무화기, 플라스틱을 서로 붙이는 용착기, 술이나 향료 등을 빠르게 숙성하는 숙성기, 굴뚝에서 나오는 연기에 포함된 오염물을 제거하는 집진기 등이 있다.

Table 2.1. Application and characteristics of ultrasound.²⁹⁾

Field	Ultrasonic	Appilcation example
Information application	reflection	location sensor, distance sensor, a fish finder , sounder, snowfall measuring instrument
	slow electronic wave velocity	distance and thickness measuring instrument, ultrasonic microscope
	ultrasonic	sonar, communication
	directivity	ultrasonic speaker, distance measuring instrument , remote control
	under water diminution	washing, processing
	diagnostic	unborn child, the kidney diagnosis fat, gall·stone, joint, nondestructive, endoscope
Power application	heater	welding machine, bonding machine , dryer, ultrasonic, soldering
	washing	washing, washing machine, toothbrush, rice washing machine
	processing	ultrasonic grainder, mess, cutter, jewel machine, aged liquor, ultrasonic mixer
The others	sterilization	sterilization, removal gall stone and cerebral thrombosis ultrasonic mess
	extermination	rat, mosquitos exterminate cockroaches

(2) 공동현상(Cavitation)

유체 중에서 초음파를 발생시키면, 액체 그 자체에서 생기는 압력과 초음파의 음압이 액체에 가해진다. 음압은 진동이므로 주기적으로 양·음의 압력이 생긴다. 액체가 팽창하면 액체 중에 진공이 되는 부분, 즉 진공이 생긴다. 이때 주위의 액체 중에 녹아 있는 공기 등의 가스가 팽창하여, 공동에 모여든다. 다음에 음압이 정압이 되면, 액체가 압축되어 공동에 심한 압축이 가하여져서 공동은 수축 되든지, 주위의 작은 기포가 모여서 큰 기포로 변하여 액면에 상승한다. 이 현상을 공동현상(cavitation)이라 한다.³⁰⁾

조류제거에 적용되는 초음파의 작용은 공동현상에 의하여 생기는 기포의 팽창, 압축 또는 음압의 급속한 변화에 의하여 기포가 미세하게 분쇄 되어 일어난다. 이러한 과정은 초음파 진동으로 인한 기포가 빠르게 움직임으로 액체 속에 공동이 만들어지는 것과 관계가 있어 공동(cavity)이 세포벽에 충돌하면서 발생하는 극도의 압력변화에 의하여 조류의 세포조직을 파괴하는 원리를 이용한 것이다.¹⁶⁾

(3) 캐비테이션(Cavitation)의 발생과정

초음파의 감압측의 반주기로 음의 압력이 발생하기 때문에 액체 속에 공동(cavity)이 발생, 증압측의 반주기에 밀려 일그러져서 그때에 발생하는 충격적인 큰 압력에 의해 수축과 팽창을 반복적으로 동작하고, 표면장력 이상의 압력에 의하여 수축 폭발이 일어나는 현상이다. 이 과정을 Fig. 2.5에 나타냈다.

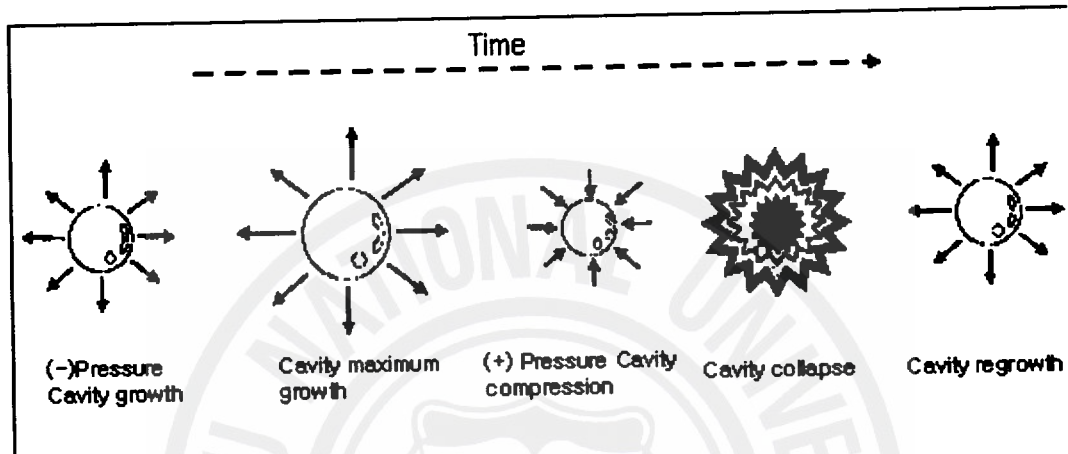


Fig. 2.5. Formation and collapse of cavitation bubbles.³¹⁾

- ① 압축, 팽창의 반복적인 과정에서 캐비테이션 버블 생성(nucleation)
- ② 생성된 캐비테이션 버블 성장(bubble growth)
- ③ 불안정한 상태로 성장된 캐비테이션 버블 붕괴(collapse)

초음파에 의한 음향 캐비테이션(acoustic cavitation)은 음파에너지로서 캐비테이션 버블이 생성, 성장, 붕괴되는 과정에서 열에너지로 전환되고, 버블 붕괴 시 수반되는 고온($\sim 5000\text{K}$), 고압($\sim 1000\text{atm}$)상태에서 물을 무화 상태로 만든다.^{32,33)}

(4) 캐비테이션(Cavitation)과 주변관계

① 초음파 주파수

주파수가 증가할수록 초음파의 캐비테이션의 충격력은 감소하나, 캐비테이션의 크기가 극소화 되므로 초정밀 세정 등에 이용된다. 초음파는 발진 주파수 대역별로 특징이 있다. 현재 산업현장에서 사용 중인 주파수 대역별 특징을 Table 2.2에 분류하였다. 초음파의 주파수가 낮으면 주파수의 파동은 회절이 강하게 되며, 캐비테이션의 원리를 이용하여 세척을 하게 된다. 그리고 주파수가 고주파 일수록 파동은 직진성이 증가하고 입자가 속도를 이용한 정밀 세척 및 가공에 이용되고 있다.³⁴⁾

Table 2.2. Characteristics of oscillation frequency band.³⁵⁾

Items	28kHz single wave	40kHz single wave	40~90kHz multiwave	60~200kHz middlewave	1MHz megawave
Washing principle	cavitation	cavitation	cavitation	cavitation acceleration	particle acceleration
Particle acceleration (G)	1500	2500	2500~5000	more 5000	100,000
Standing wave	very power	power	weak	weak	None
Wave	diffract power	diffract power	straght	straght	straght
Removal particle	more 3 μ m	more 2 μ m	more 1.5 μ m	more 1 μ m	more 0.1 μ m
Appilcation	washing	washing	precision washing	precision washing	ultra-precision washing

② 초음파 출력

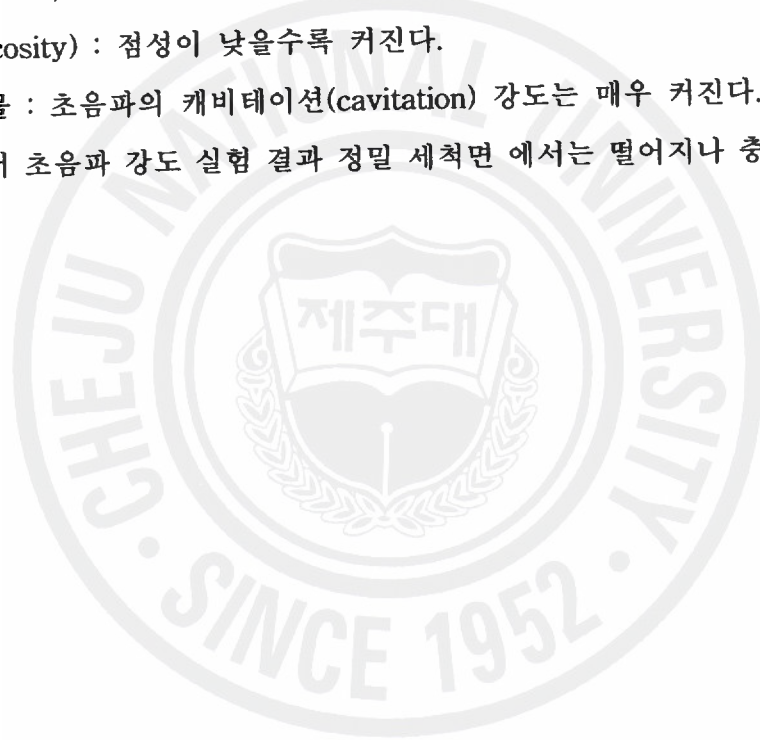
초음파 세기는 용도에 맞추어 선택하여야 한다. 너무 센 경우에는 피 세척물이 파괴되기 쉬우며 에너지가 낭비될 뿐만 아니라 진동부의 수명도 짧아지게 된다. 특히 파괴되기 쉬운 물체를 세척할 때는 출력 조정기 등을 이용하여 출력을 미조정하여야 한다.

③ 표면 장력 : 액체의 표면장력이 커지면 캐비테이션(cavitation) 강도는 커지 나 수는 줄어든다.

④ 수온 : 수온이 높을수록 캐비테이션 강도는 약해지고, 기포 수는 증가한다.

⑤ 점성(viscosity) : 점성이 낮을수록 커진다.

⑥ 탈기수 물 : 초음파의 캐비테이션(cavitation) 강도는 매우 커진다. 실제로 탈기수 된 물에서 초음파 강도 실험 결과 정밀 세척면 에서는 떨어지나 충격량은 매우 크다.



2) 초음파의 조류제거 메커니즘

초음파는 발전기로부터 생성된 전기적인 신호가 진동자로 보내지게 되면, 진동자를 통해 탄성과 관성에 따라 파동을 발생한다. 이러한 파동에너지를 이용한 기술 중 하나인 초음파 세정은 파동 전파에 따라 세정액이 저주파 진동 또는 고주파 진동을 하여, 발생하는 캐비테이션(cavitation) 현상과 큰 진동 가속도를 이용한다.³⁶⁾

수중에 초음파를 조사하면, 주파수에 상응하는 정재파가 발생하여, $\lambda/2$ 의 정수배만큼 압력이 분포를 하는 위치가 생겨나게 된다.³⁶⁾

λ 는 1파장이므로 $\lambda = f/v_0$ 반파장의 정수배에서 캐비테이션의 강도는 강하지만, 이것은 설계상의 이론과 세정조내에 정지된 물에 국한된 것이다. 즉 세정조의 수면의 높이에 따라 정재파의 수가 변화되며, 세정조내의 오버플로우(overflow)량과 물의 온도에 따라 cavitation 강도가 변화된다.

저주파 방식의 초음파 세정은 주로 캐비테이션 현상에 의해 이루어진다. 캐비테이션 현상은 초음파의 감압측의 반주기로 음의 압력이 발생하기 때문에 액체 속해 공동(cavity)이 발생하고 다음 증압측의 반주기에 의해 폭발하여 매우 큰 압력과 고온을 수반한다. 즉, 표면장력 이상의 압력에 의하여 수축 폭발이 일어나는 현상이다.³⁷⁾



Fig. 2.6. Wavelength of ultrasound.³⁷⁾

4. 송이(Scoria)

1) 제주도내 송이의 분포

송이는 색상에 있어서 검정색, 적색, 황색 등으로 크게 세 가지로 구별하고, 적갈색(Redish-Brown), 황갈색(Yellow-Brown), 흑색(Black) 및 암회색(Dark-Grey) 등으로 세분할 수 있으며 송이는 원 지반이 크고 많은 기공을 가지고 있는 연속체인 덩어리로 되어있어 채취 시 다양한 입도로 분해되므로 흙으로 분류되기에는 다소 문제를 내포하고 있으나 흙으로 간주하여 이에 대한 물리·화학적 특성 등에 대한 연구를 한다. 제주도내 송이의 분포는 문헌을 참고하였다. Fig. 2.7 은 북제주군 지역을 위주로 하였지만 일반적으로 적갈색 송이가 20개 지역으로 가장 많이 분포하는 것으로 나타났으며 이들은 특히 중산간 지역에 많이 있는 것으로 나타났다. 다음으로는 황갈색 송이가 9개 지역, 흑색 송이가 5개 지역 그리고 암회색 송이가 6개 지역에 분포하는 것으로 나타났으며 암회색 송이는 주로 해안 지역에서 분포하고 있는 것으로 나타나고 있다.

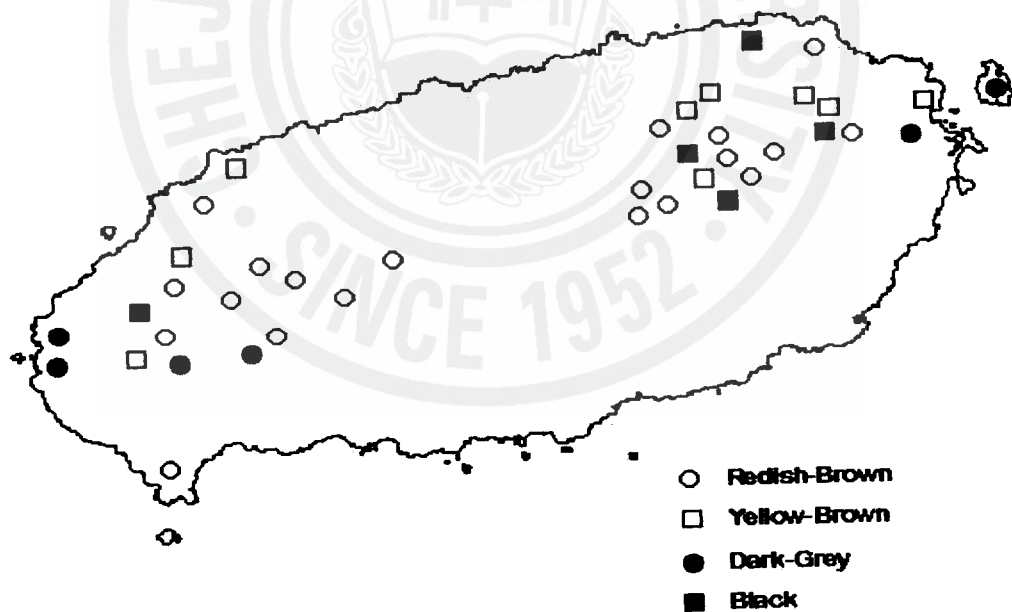


Fig. 2.7. Colorific distribution of scoria in Cheju Island.³⁰⁾

송이의 색상은 황갈색(Yellow-Brown), 검정색(Black), 암회색(Dark-Grey) 그리고 적갈색(Redish-Brown)이 있는데, 본 연구에서는 적갈색(Redish-Brown) 한 가지를 채취하여 사용하였으며 Fig. 2.8은 송이의 채취위치이다.

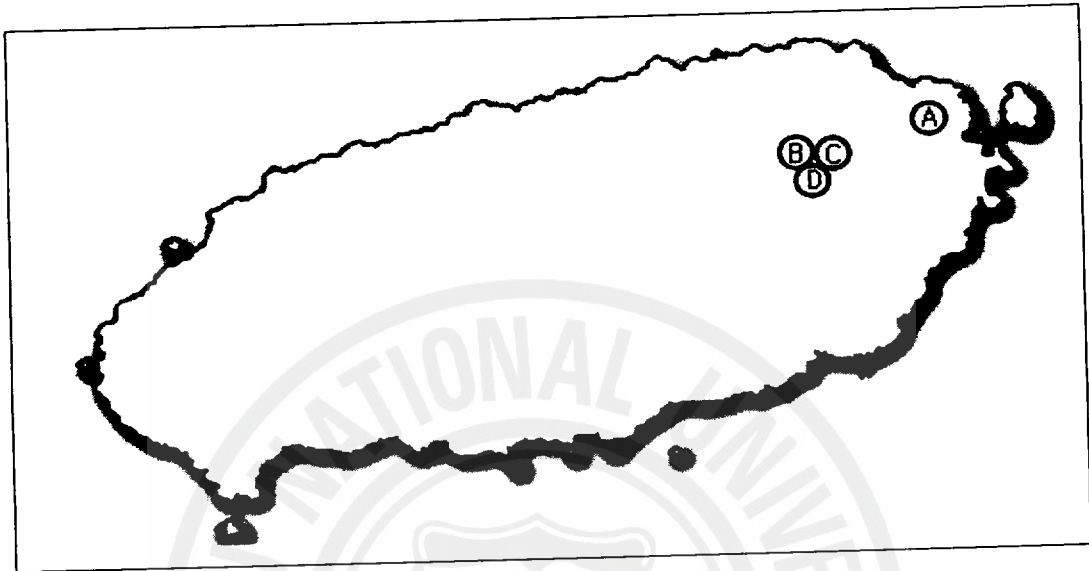


Fig. 2.8. The sampling location of scoria.

2) Scoria의 물리적 특성

입도분석결과는 시료가 원 지반에서 채취하는 순간부터 부서짐이 일어나기 때문에 자연 상태의 조건을 대표 한다고 보기는 어려우나, 전혀 현장의 조건과 무관하지는 않다. 따라서 분석결과는 시험에 사용한 시료의 조건을 보여주고 있는 것으로 보아야 할 것이다. Fig. 2.9은 본 연구에 사용된 시료는 채취 후 실내시험한 입도분포곡선이며 균등계수(Cu), 곡률계수(Cc) 그리고 비중값은 Table 2.3 에 나타내었다. 그리고 본 연구에서 예비실험 결과 유사한 제거율을 보여, 적갈색(Redish-Brown)의 시료만 분쇄하여 사용하였다.

Table 2.3. Samples gradation.^{m)}

Location	Color	Cu	Cc	Specific gravity
Jimi-oreum(A)	Dark-Grey	4.74	1.40	2.70
Darangshi-oreum(B)	Black	5.05	1.56	2.65
Darangshi-oreum(C)	Redish-Brown	15.5	1.61	2.77
Darangshi-oreum(D)	Yellow-Brown	4.92	1.31	2.75

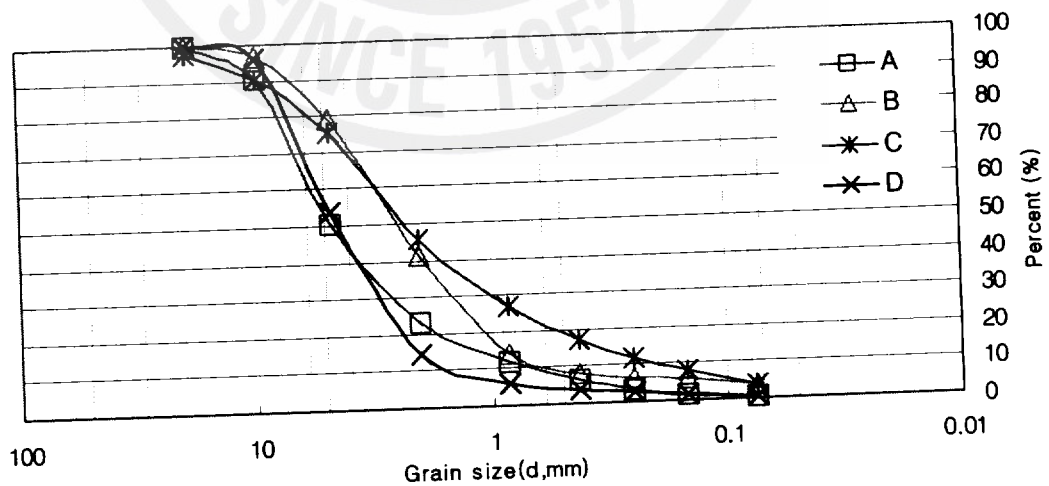


Fig. 2.9. Grain size distribution curve with scoria.^{m)}

3) Scoria의 화학적 특성

Table 2.4 은 X선 형광분석기(X-Ray Fluorescence, XRF)를 이용해 화학분석을 실시한 결과이다. 여기서 단위는 무게의 비(Ratio of Weight)이며, LOI(Loss of Ignition)는 950℃의 온도에서 시료를 태운 후의 무게를 측정하여 950℃의 온도에서 태우기 전의 무게의 비이다. 주성분은 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 로 함량이 약 75%에 달한다. Table 2.5는 SEM분석 결과로 송이의 표면은 매우 거칠며 일부분에서 아주 조밀한 기공들을 가지고 있다.

Table 2.4. Chemical composition of scoria.⁴⁷⁾

Place name	SiO ₂ wt%	Al ₂ O ₃ wt%	TiO ₂ wt%	Fe ₂ O ₃ wt%	MgO wt%	CaO wt%	Na ₂ O wt%	K ₂ O wt%	MnO wt%	P ₂ O ₅ wt%	LOI wt%	Total wt%
Jimi-oreum(A)	43.51	20.82	2.87	12.61	4.06	5.32	2.12	1.68	0.19	0.48	6.24	99.90
Darangs hi-oreum(B)	48.99	14.53	2.42	12.27	7.93	8.73	2.67	1.33	0.15	0.45	0.14	99.62
Darangs hi-oreum(C)	48.60	14.28	2.38	12.30	7.46	8.21	3.02	1.63	0.15	0.52	0.83	99.37
Darangs hi-oreum(D)	43.45	15.63	2.79	14.62	8.25	6.99	1.42	0.58	0.18	0.49	5.82	100.22

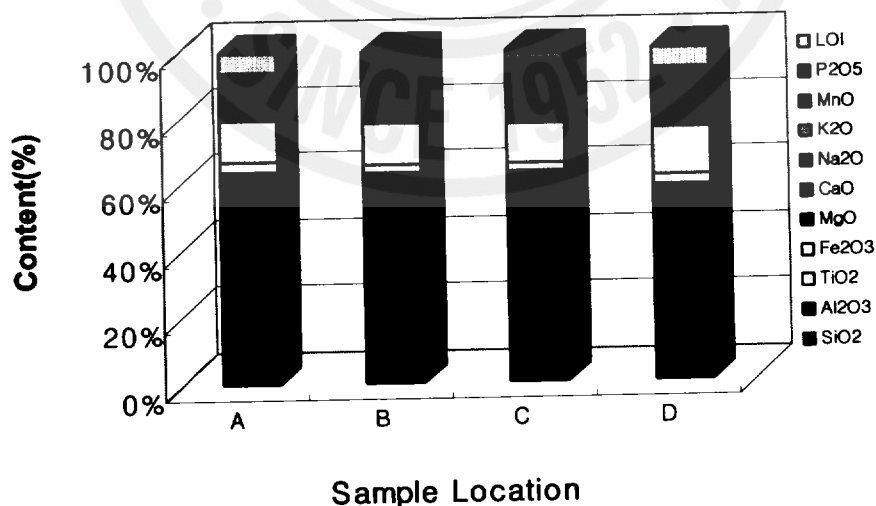






Fig. 2.10. Chemical composition of scoria.⁴⁷⁾

Table 2.5. SEM results of each colors of scoria.⁴⁷⁾

Jimi-Oreum (A)	Dark-Grey	
Darangshi-Oreum(B)	Black	
Darangshi-Oreum(C)	Redish-Brown	
Darangshi-Oreum(D)	Yellow-Brown	

4) Scoria 이용 현황

제주도 오름 전역에 걸쳐 널리 산재되어 있는 Scoria는 다공질의 화산암, 화산모래, 기타 화산회 등이 혼합되어 있는 것으로 가볍고³⁹⁾, 쉽게 파괴되지 않을 정도의 강도를 지니고 있으며, 또한 가격이 저렴한 장점을 가지고 있다.⁴⁰⁾ 또한, Scoria는 우수한 흡착능을 지니고 있는 것으로 많은 연구자들이 보고하였다.⁴¹⁾ Scoria는 주변 환경이 수분이 많으면 수분을 흡수하고 건조하면 수분을 발산하는 친환경적 기능을 가지고 있다.



III. 재료 및 방법

1. 재료 및 실험장치

본 실험에서 사용된 조류는 제주도내 A 골프장의 저류지에서 2007. 8. 24-10. 29 기간 동안 2-3회에 걸쳐 시료를 채수하였으며, 이때의 실험시료의 수온은 16~28℃ 이고, 이때 현미경으로 확인한 결과 실험조류는 남조류 *Microcystis*, *Anabaena* 였다.

Ultrasound와 함께, 조류제거 매질로 사용된 Scoria는 다랑쉬 오름에서 채취했으며 이는 체(#20~40, #40~60, #100~200) 이용하여 입경별(500 μ m:0.85~0.425 mm, 250 μ m:0.425~0.250 mm, 125 μ m:0.150~0.075 mm), 농도별(1g/l, 2g/l, 4g/l), 색상별(Redish-Brown, Yellow-Brown, Black, Dark-Grey)로 분류 하였으며, 사용된 스코리아는 Redish-Brown를 dry oven에서 110℃ 24시간 동안 건조시켜 준비하였다.



Fig. 3.1. The sample colors of Cheju scoria.

초음파에 사용한 초음파 발생장치의 모식도는 Fig. 3.1에 나타내었다. Ultrasound 발생장치(Hansonic Ace, UG-600ST)는 주파수가 28kHz, 40kHz 인 단주파이고, 초음파를 발생하는 진동판의 크기는 300 mm (L) × 200 mm (L) × 70 mm (H)이다. 초음파 발생기의 출력은 40, 80, 120W 까지 liner하게 변화 가능하였고, 주파수는 각각 설치하여 실험하였다. 초음파 발생장치는 Generator, Power Meter, Transducer 으로 구성되어 있고, 반응조의 크기는 38cm×38cm×40cm로 부피는 5.77 L이다. 반응조의 재질은 stainless steel이며 수조의 두께는 11 cm 이다.

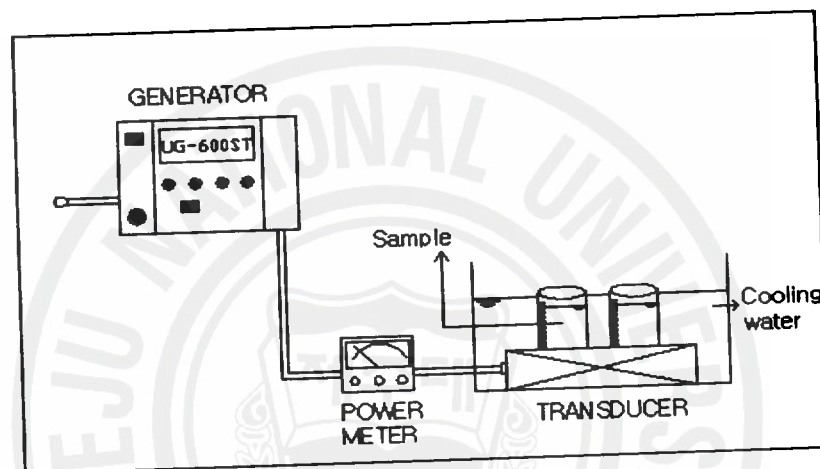


Fig. 3.2. Schematic diagram of ultrasound system.

2. 실험방법

조류 동정은 부유조류 1ℓ를 채수하여 Lugol's 용액으로 고정한 후 24시간 암소에 정치하여 디지털이미지위차상현미경(Axiolab, Zeiss) 100~400배의 배율로 한국담수조류도감과 팔당호 생물상 사진집 등을 참고하여 분리·동정하였다.

초음파의 발생 조건인 주파수(28kHz, 40kHz), 전력(40, 80, 120W), 노출시간(2, 4, 6, 8, 10, 30, 60, 90, 120min)을 조절하여 실험을 하였다.

Scoria의 적절한 입경 및 살포농도를 선정하기 위하여, 저류지 시료 1ℓ를 beaker에 넣은 후 채 분석한 scoria를 입경별, 농도별로 구분하여 beaker에 넣고 Fig. 3.3.에 jar-tester(Chang shin science, C-JT)를 이용하여 200rpm에서 30분간 교반시킨 후, 30min, 60min, 90min, 120min 정체 후 상등액을 채취하여 chlorophyll-a($\mu\text{g}/\ell$)의 농도를 측정하였다.⁴³⁾

본 실험에 사용한 시료는 골프장 저류지에서 채수하여 잘 섞은 후 25~50ml를 취하여 GF/C filter($\varnothing 47$ mm)를 이용하여 여과하고 90% 아세톤을 넣어 색소추출하여 24시간 후, 수질오염공정시험법에 따라 원수 chlorophyll-a를 분석하였다.

그리고 저류지에서 채수한 원수 1ℓ를 beaker에 넣은 후 scoria를 입경별, 농도별로 혼합하여 Fig. 3.2의 transducer에 올려놓고 노출시간에 따른 주파수, 전력 등을 조절하여 실험 후, 수질오염공정시험법에 따라 실험하였다.

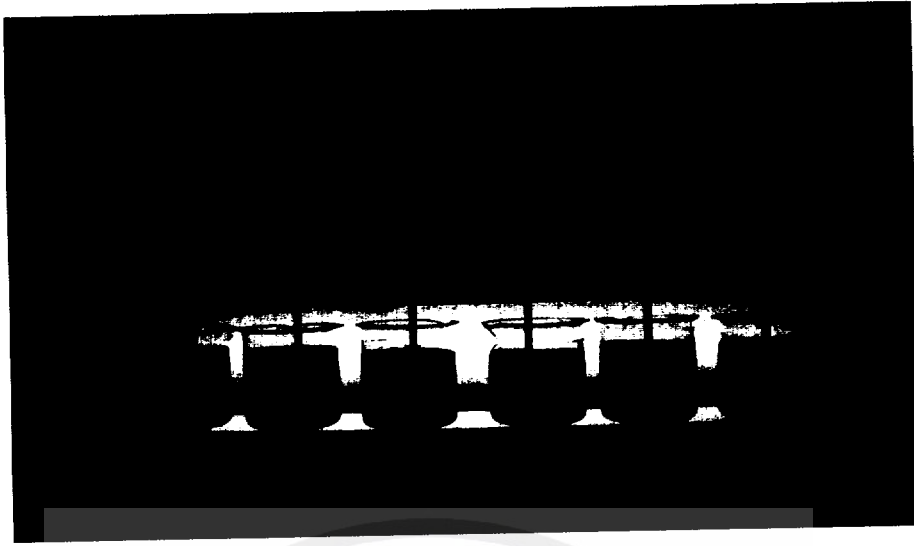


Fig. 3.3. Adsorption process of algae and scoria by jar-tester.

수질오염공정시험방법⁴²⁾으로 아세톤 용액으로 클로로필 색소를 추출하여 추출액의 흡광도를 663nm, 645nm, 630nm, 750nm에서 측정하여 chlorophyll-a($\mu\text{g}/\ell$)량을 계산하는 방법이다. 흡광광도계(HUMAS, HS-3300 UV/Visible Spectrophotometer)로 흡광도를 측정하였다.

따로 바탕시험액으로 아세톤(9+1)용액을 취하여 대조액으로 하여 663nm, 645nm, 750nm, 630nm에서 검액의 흡광도를 측정하고 다음의 계산식에 따라 chlorophyll-a량을 계산하였다.

$$\text{Chlorophyll} - a (\text{mg}/\text{m}^3) = Y \times \frac{\text{supernatant (ml)}}{\text{filtering sample (L)}}$$

$$Y=11.64X1 - 2.16X2 \times 0.10X3$$

$$X1=OD_{663} - OD_{750}$$

$$X2=OD_{645} - OD_{750}$$

$$X3=OD_{630} - OD_{750}$$

여기서 OD는 흡광도(Optical Density)이다.

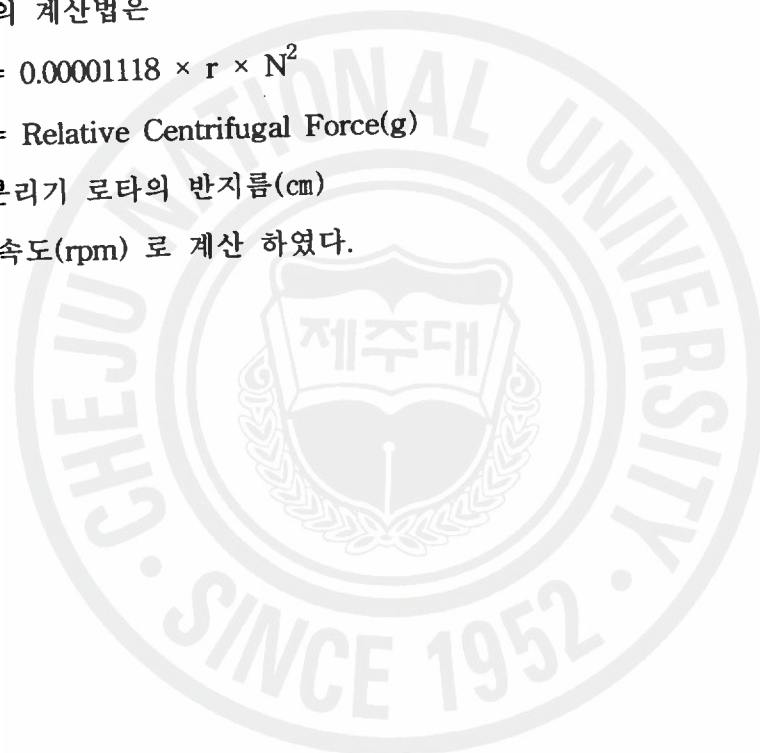
원심력 g의 계산법은

$$R. C. F = 0.00001118 \times r \times N^2$$

R. C. F = Relative Centrifugal Force(g)

r : 원심분리기 로타의 반지름(cm)

N : 회전속도(rpm) 로 계산 하였다.



IV. 결과 및 고찰

1. 저류지 원수의 조류 특성

1) 조류 동정

도내 A 골프장내 인공으로 조성된 저류지에서 2007. 8. 24-10. 29 기간 동안 2-3 회에 걸쳐 시료를 채수하여 조류의 동정을 하였다. Fig. 4.1은 디지털이미지위상차 현미경(Axiolab, Zeiss)으로 200배의 배율에서 조류를 관찰한 것이다. 채수한 시료의 조류를 관찰한 결과, *Microcystis aeruginosa*(좌), *Anabaena spiroides*(우) 등의 남조류가 우점종으로 존재하는 것을 관찰할 수 있었다. 우점종으로 존재하는 *Microcystis aeruginosa*와 *Anabaena spiroides*는 *Oscillatoria*, *Aphanizomenon*, *Cylindrospermopsis*, *Nodulari*, 및 *Nostoc* 등과 더불어 독성을 생성하는 남조류로 알려져 있다. 특히, *Microcystis aeruginosa*는 간장독인 *microcystin*을, *Anabaena spiroides*는 신경독의 일종인 *anatoxin*을 생성하여 수생 생태계와 인간에게 직·간접적으로 피해를 준다고 보고하고 있다. 다른 조류로는 *Ceratium sp.*(*Dinoflagellata*), *Cryptomonas sp.*(*Cryptophyceae*), *Asterionella sp.*(*Diatoms*), *Scenedesmus sp.*(*Green algae*) 등이 관찰 되었다.

시료에 우점종으로 존재하는 남조류의 개체수를 측정은, chlorophyll-a($\mu\text{g}/\ell$)로 대신하였다.

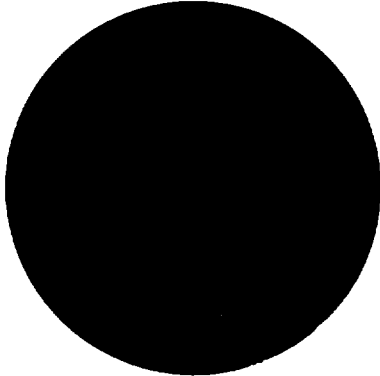
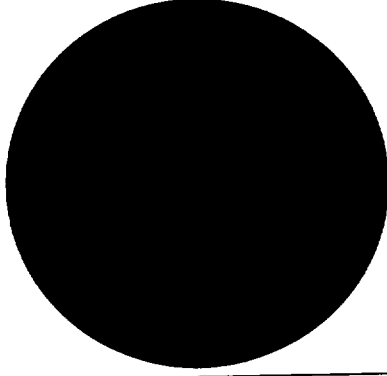

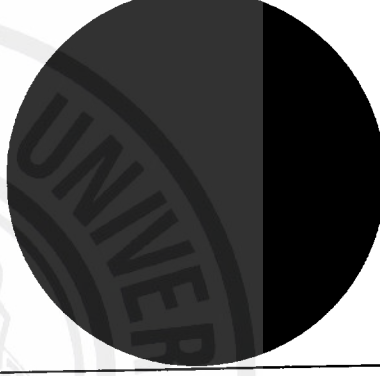

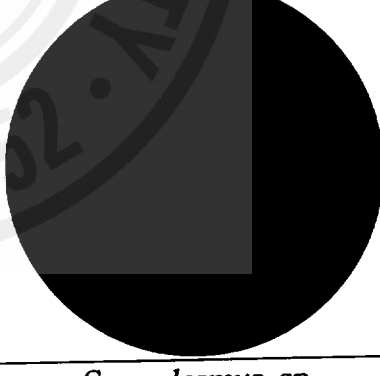
	
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Cyanobacteria)	<i>Anabaena spiroides</i> (Cyanobacteria)
	
<i>Ceratium sp.</i> (Dinoflagellata)	<i>Cryptomonas sp.</i> (Cryptophyceae)
	
<i>Asterionella sp.</i> (Diatoms)	<i>Scenedesmus sp.</i> (Green algae)

Fig. 4.1. Algae identification by a microscope of 200~400 magnifications.

2) Chlorophyll-a($\mu\text{g}/\ell$) 농도 변화.

도내 골프장내 저류지를 대상으로 2007. 8. 24-10. 29 기간 동안 2-3일 간격으로 시료를 채수하여 chlorophyll-a의 농도 분석 결과를 Fig. 4.2에 나타내었다. 결과에서 보듯이, chlorophyll-a의 농도는 최저 $68 \mu\text{g}/\ell$ 에서 최고 $1,628 \mu\text{g}/\ell$ 까지 큰 변화폭을 보였고, 이러한 결과는 일반적인 호소수에서의 chlorophyll-a의 농도와 비교하여 매우 높은 값을 보이는 것으로, 김 등⁴⁴⁾은 호소수의 chlorophyll-a의 최대치 농도는 $65.88 \mu\text{g}/\ell$ 에 비해, 10~40배정도 높게 나타났다. 이처럼 골프장내 저류지의 chlorophyll-a의 농도가 높은 이유는 골프장의 특성상 주기적으로 살포하는 농약 및 비료 등이 저류지로 유입되어 남조류 등의 번성으로 chlorophyll-a의 농도가 높게 나타나는 것으로 사료된다. 이처럼 골프장내 저류지의 남조류의 번성으로 chlorophyll-a의 농도가 증가하게 되면 수질악화를 초래할 뿐 만 아니라 악취를 발생하여 저류지로서의 경관적 기능과 수자원의 재활용을 위한 오존처리 등, 안정화 기능에 효율저하를 가져오게 된다.

그리고 chlorophyll-a의 농도 변화는 Fig. 4.2의 채수기간에 강수량에 따른 chlorophyll-a의 농도변화를 나타냈고, Fig 4.3은 채수기간의 수온과 강수량의 변화를 나타낸 그림이다. Fig. 4.2에서 보듯이 시료의 채수 기간 동안 내린 강우량과 밀접한 관계를 보이고 있었다. 8월 24일-10월 5일 기간 동안 200 mm 이상의 집중 강우가 3-4회 발생하여 정체된 저류지에서의 chlorophyll-a의 농도를 크게 떨어뜨리는 것으로 나타났다. 그러나 비가 내리지 않은 10월 5일-23일 동안에는 chlorophyll-a의 농도가 급격히 증가하면서 최고 $1,628 \mu\text{g}/\ell$ 까지 증가하였다. 또한 이는 10월 초순부터 시비를 행한 시점이며, 시비 후 강우에 의한 비료의 유출에 의한 것으로 추정된다.

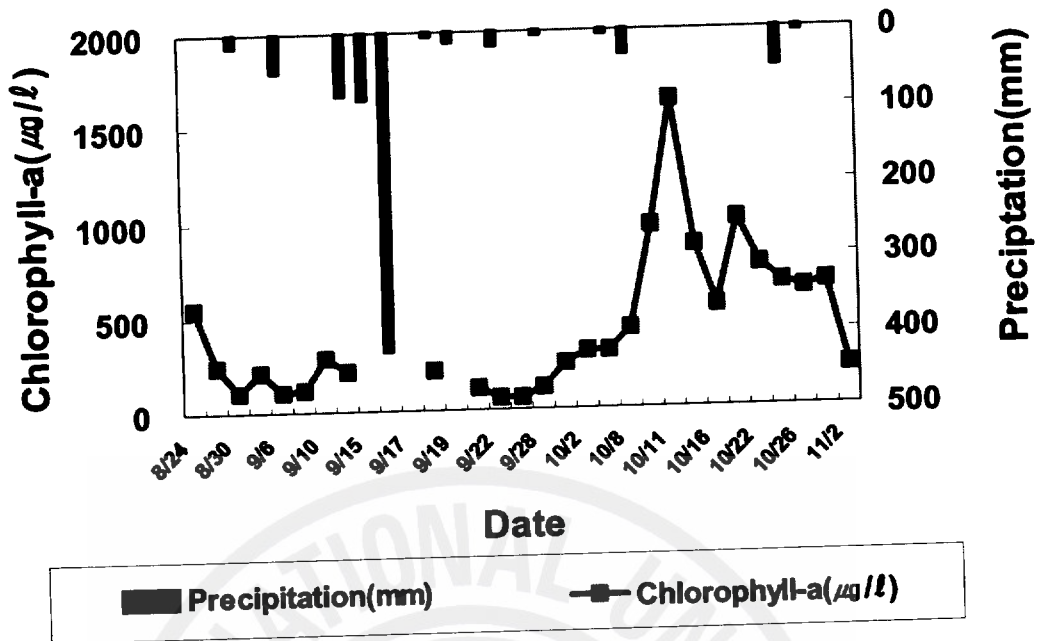


Fig. 4.2. Variation of chlorophyll-a with algae(sampling was conducted every 2~3 days from August 24 to October 29).

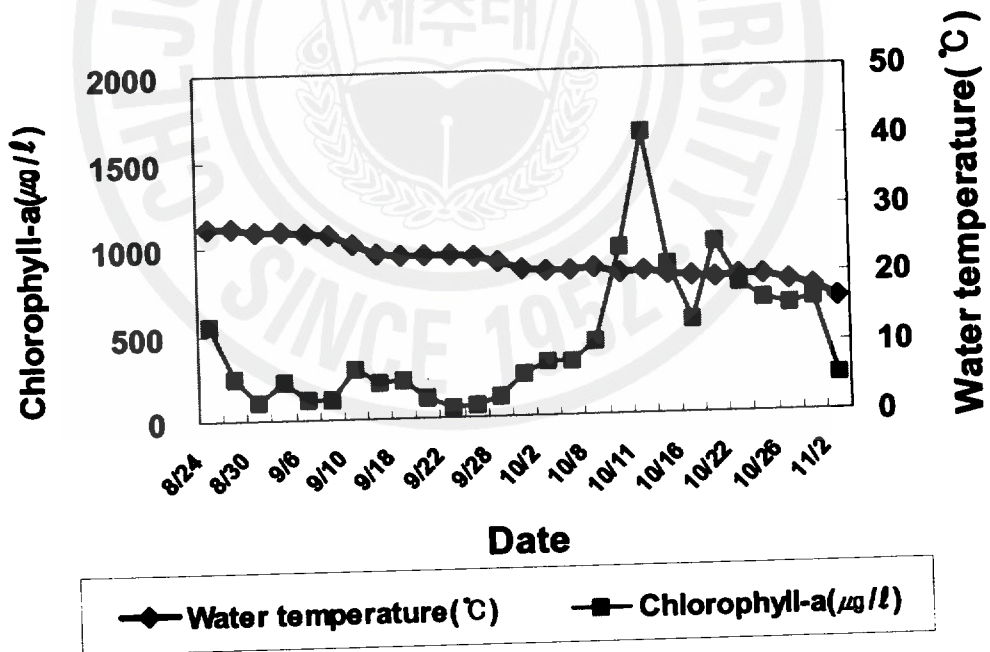


Fig. 4.3. Relationship between rainfall and water temperature.

2. 초음파를 이용한 조류제거

초음파를 이용한 조류제거로서 주파수 선정은 매우 중요하다. 저주파와 고주파의 선정은 제거대상의 크기, 용도 등의 조건에 따라 다르다. 본 실험의 제거대상은 남조류(cyanobacteria)이고, 크기는 3~10 μm 이며, 가장 문제가 되는 조류로서, 본 실험에 적절한 28kHz와 40kHz의 비교실험을 하였다.

1) 주파수와 전력에 따른 제거특성

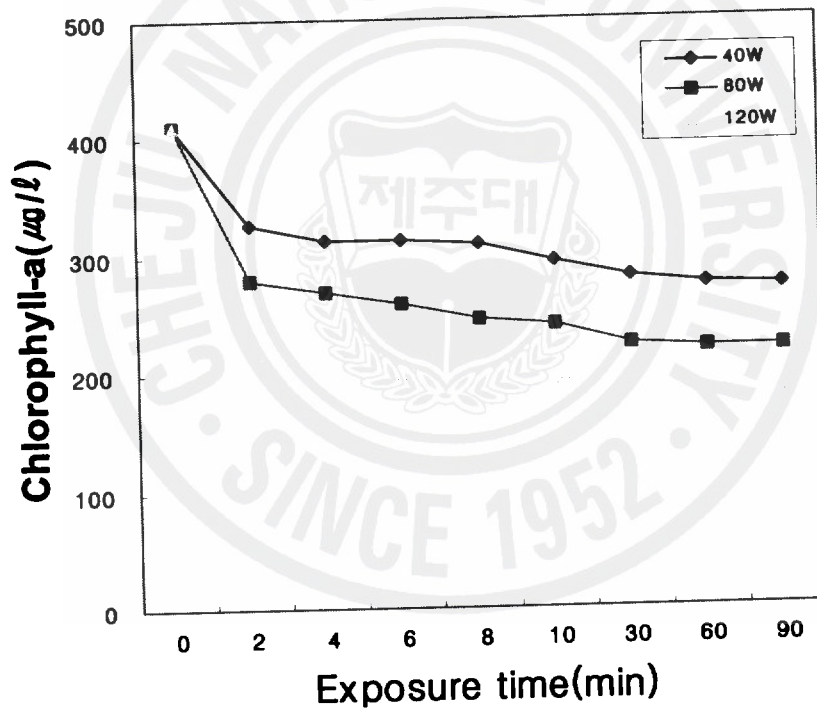


Fig. 4.4. Removal of chlorophyll-a with ultrasound power and its exposure time at 40 kHz(40W, 80W, 120W).

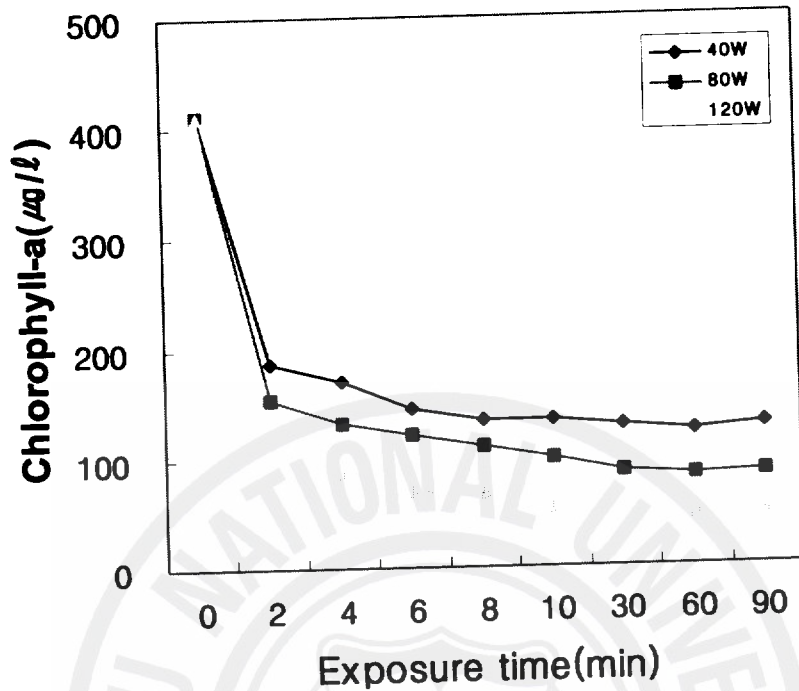


Fig. 45. Removal of chlorophyll-a with ultrasound power and its exposure time at 28 kHz(40W, 80W, 120W).

Fig 4.4는 최적 주파수 선정을 위한 비교실험을 위해, 현장 샘플 중 Chlorophyll-a 의 농도가 $410 \mu\text{g}/\text{l}$ 인 원수를 이용하여, 초음파 40kHz에서 출력과 노출시간 변화에 따른 chlorophyll-a 제거량을 나타낸 그래프 이다. 실험결과, 초음파 출력이 40, 80, 120W의 상태에서 노출시간이 짧은 2분일 때 $326 \mu\text{g}/\text{l}$, $279 \mu\text{g}/\text{l}$, $222 \mu\text{g}/\text{l}$ 로 큰 변화폭을 보였고, 이후에 농도가 감소하지만, 90분까지 큰 변동은 없었다. 40W, 80W, 120W는 각각 34%, 46%, 55%로 전력이 높을수록 Chlorophyll-a 제거가 증가 하였지만, 제거율은 최대 55%로, 높은 결과 값을 얻을 수 없었다. Fig 4.5는 28 kHz, chlorophyll-a $410 \mu\text{g}/\text{l}$ 원수에서 초음파 출력과 노출시간 변화에 따른 chlorophyll-a 제거량을 나타낸 것이다. 실험결과, 초음파 출력이 40, 80, 120W에서 노출시간이 2 분일 때 $187 \mu\text{g}/\text{l}$, $154 \mu\text{g}/\text{l}$, $105 \mu\text{g}/\text{l}$ 으로 전력이 높을수록 chlorophyll-a 제거가 54%, 62%, 74%까지 증가하였고, 전력이 높을수록 노출시간

에 따른 chlorophyll-a 제거량 또한 증가함을 알 수 있다.

Fig 4.4~4.5를 종합해보면 초음파는 출력과 주파수에 비례하여 효율이 증대하는 것으로 나타났고, Lzumi 등³⁶⁾ 에서도 비슷한 값을 보였다. 하지만 노출시간 60분 이후로는 감소 없이 일정하였다. Guangming 등⁴⁵⁾에 의하면 chlorophyll-a 농도는 초음파 노출 초반에 크게 감소하였고, 일정 시간이 지나면 안정화 되어 chlorophyll-a 는 감소하지 않았다고 보고하였다.

조류성장은 4단계로 나눌 수 있다: 초기 성장단계, 급격한 성장단계, 안정단계, 노후단계. 초기 성장단계와 노후단계에서는 초음파 처리후의 조류 농도는 측정하기에는 매우 낮은 농도이다. 급격한 성장에서의 조류는 더 활동적이고 안정한 단계에서 보다 더 빠른 성장을 보인다.⁴⁶⁾ 그래서 일정 시간에 노출시간에도 조류는 사멸하지 않고, 일정 농도를 유지하는 것으로 보인다. 그리고 Lee 등⁴⁶⁾에 의하면 같은 조건에서 초음파를 노출했을 경우 조류 종마다 다른 제거효율을 나타냈다. 이는 조류 종에 따른 처리 조건을 다르게 해야 한다. 이로 인해 60분 이후 chlorophyll-a의 농도가 일정해지는 이유로 사료된다.

2) 조류(Algae)의 농도별 제거 특성

Fig.4.4~Fig.4.5 에서는 chlorophyll-a 농도인 $410 \mu\text{g}/\ell$ 에서 주파수와 전력을 비교 실험하여, 적정 전력인 120W를 이용하여 주파수별, 농도별로 실험을 하였다.

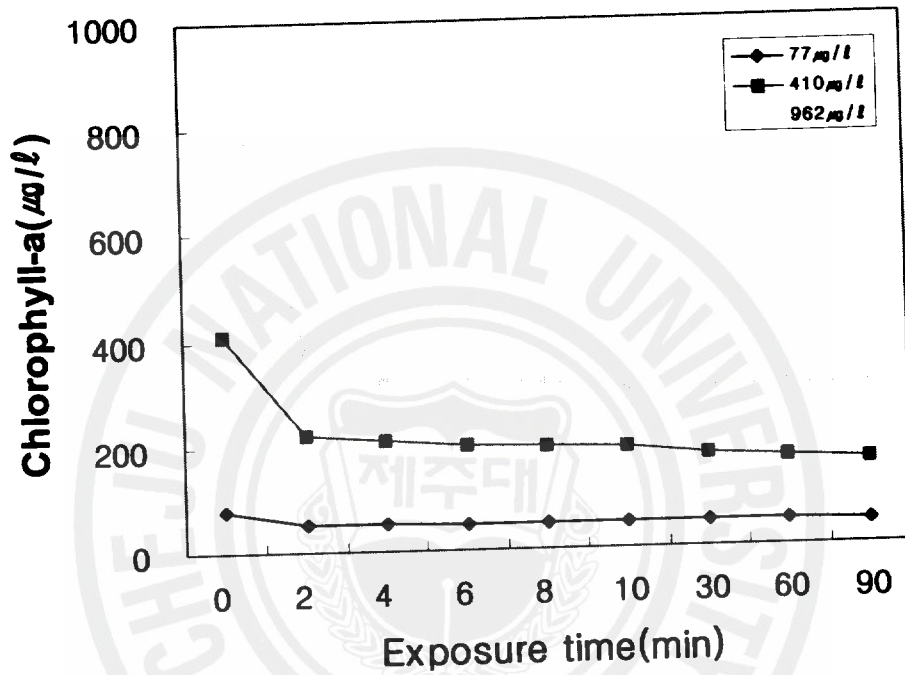


Fig. 4.6. Removal of chlorophyll-a with it concentration(ultrasound condition : 40kHz, 120W; initial chlorophyll-a concentration : $77 \mu\text{g}/\ell$, $410 \mu\text{g}/\ell$, $962 \mu\text{g}/\ell$).

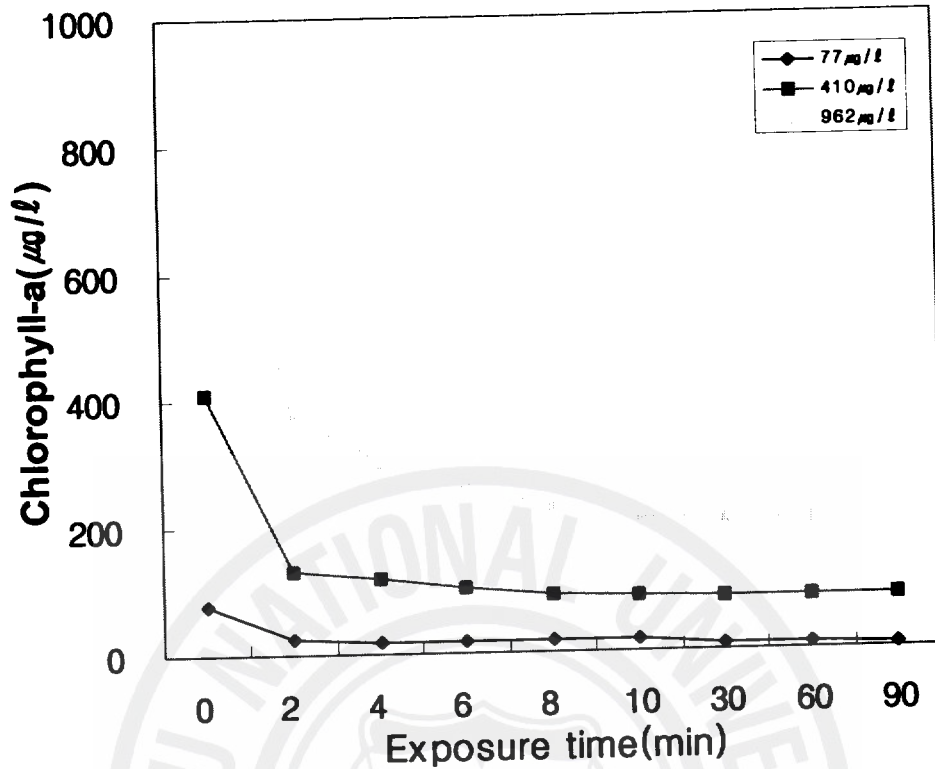


Fig. 4.7. Removal of chlorophyll-a with it concentration(ultrasound condition : 28kHz, 120W; initial chlorophyll-a concentration : 77µg/l, 410µg/l, 962µg/l).

Fig. 4.6은 초음파 조건인 40kHz, 120W에서 노출시간(2, 4, 6, 8, 10, 30, 60, 90min) 변화에 따른 농도별 chlorophyll-a 제거를 나타낸 것이다. 원수 클로로필 농도는 77µg/l, 410µg/l, 962µg/l에서 농도에 따른 클로로필 제거실험을 하였다. 초음파 노출 2분에 각각의 클로로필 농도가 급격히 감소되고 2분 이후에 소폭 감소하였으나 큰 변화는 없었다. 2분에서 클로로필 농도는 각각 54µg/l, 223µg/l, 385µg/l로 제거효율은 30~60% 나타났고, 90분에 클로로필농도는 45µg/l, 162µg/l, 304µg/l로 최대 제거율은 68%였다.

Fig. 4.7은 Fig 4.6와 비교하여 28kHz, 120W에서 노출시간(2, 4, 6, 8, 10, 30, 60, 90min)에 농도별 chlorophyll-a 제거를 나타낸 것이다. 원수 클로로필 농도는 77µg/l, 450µg/l, 962µg/l이다.

초음파 노출시간이 Fig 4.6과 같이 노출시간이 짧은 2분에 클로로필 농도가 급격히 변화 이후에 큰 변화 폭이 없었다. 2분에 클로로필 변화 농도는 각각 $26\mu\text{g}/\ell$, $133\mu\text{g}/\ell$, $285\mu\text{g}/\ell$ 로 제거효율은 66%, 68%, 70% 이다.

Fig. 4.6.~Fig. 4.7을 종합해보면 저농도에서 고농도의 chlorophyll-a 일 경우 노출시간이 2분에 급격히 감소하고, 60분까지는 소폭으로 감소하였다. 고농도의 원수일수록 60분 이후로의 농도 변화는 거의 없었다. 28kHz 와 40kHz 일때 고농도의 chlorophyll-a는 초음파 노출 후 일정 시간이 되면, 농도 또한 일정한 값을 유지하여 제거량의 한계가 있었다.



3) 초음파에서의 ON/OFF에 따른 조류제거효율

본 실험은 초음파를 지속적으로 노출했을 경우와 간헐적으로 노출 했을 때의 비교 실험이다. 이로 인하여, 전력사용 감량과 현장적용여부를 파악할 수 있다.

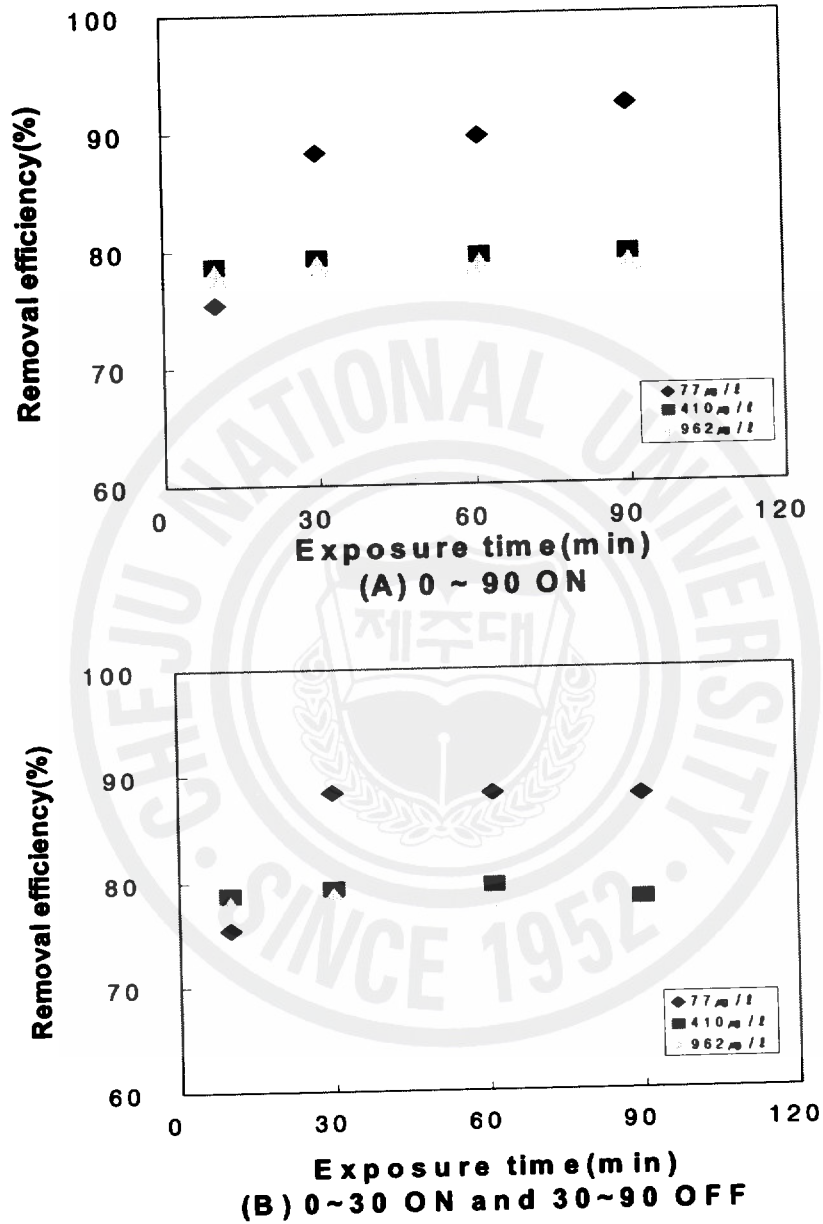
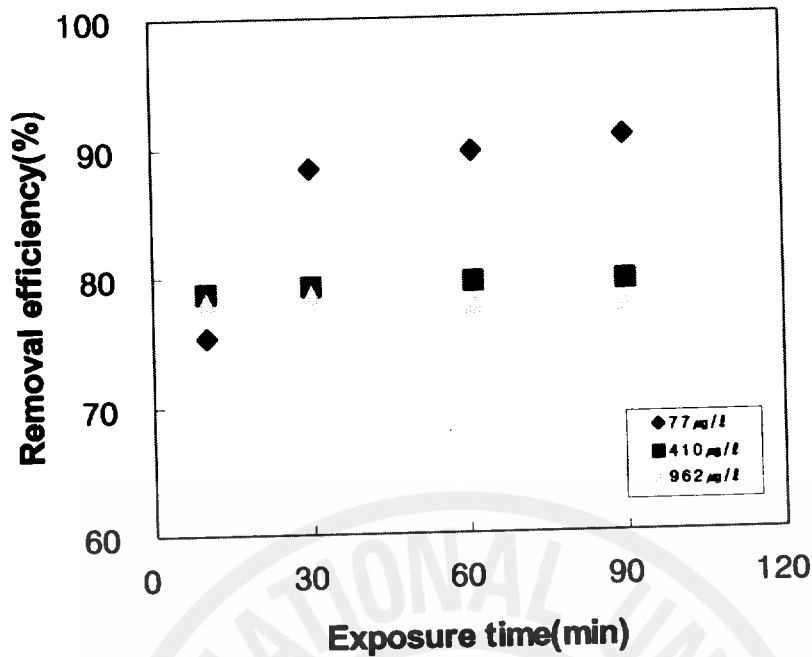


Fig. 4.8. Removal efficiency of chlorophyll-a with at ON/OFF of ultrasound(operating condition : (a)0-90min ON, (b)0-30min ON and 30-90min OFF 28kHz, 120W; initial chlorophyll-a concentration : 77µg/l, 410µg/l, 962µg/l).



(C) 0~30 ON ,30~60 OFF and 60~90 ON

Fig. 4.9. Removal efficiency of chlorophyll-a with at ON/OFF of ultrasound(operating condition : (c)0-30min ON, 30-60min OFF and 60-90min ON 28kHz, 120W; initial chlorophyll-a concentration : 77µg/l, 410µg/l, 962µg/l).

본 실험은 초음파 운전조건을 28kHz, 120W에서 노출시간을 30~90분 사이에 초음파 ON and OFF 실험을 하였다.

Fig. 4.8~Fig. 4.9의 운전 조건은 (a)0~90min ON, (b)0~30min ON and 30~90min OFF, (c)0~30min ON, 30~60min OFF and 60~90min ON 으로 chlorophyll-a농도는 77µg/l, 410µg/l, 962µg/l 각각 비교 실험 하였다. Fig. 4.8 (a)는 0~90분간 초음파 발생장치를 ON 실험을 한 것이다. 77µg/l 일 때는 제거효율은 75%, 88%, 89%, 92%로 증가하였고, 고농도인 962µg/l 는 거의 변화가 없었다. (b)는 0~30min ON and 30~90min OFF인 경우에는 77µg/l 일 때 30분까지는 증가하다가, 30~90min OFF 기간에는 제거율이 88%정도로 일정하게 나타났다. 고농도 제거율 일 경우 제거효율이 OFF기간에 더 감소하였다. Fig. 4.9 (c)는 0~30min ON, 30~

60min OFF and 60~90min ON는 $77\mu\text{g}/\ell$ 일 때 제거효율변화는 75%, 88%, 89%, 91%로 중간 OFF 시간에 관계없이 제거효율이 유지 되었다. 고농도의 $410\mu\text{g}/\ell$, $962\mu\text{g}/\ell$ 또한 큰 변화폭 없이 일정하게 제거효율을 나타냈다. 이 결과는 초음파 운전을 간헐적으로 노출하여도 제거효율은 감소하지 않고, 유지 되었다. 이로 인해 30~60min OFF 운전시간을 단축할 수 있었다.



3. Scoria에 의한 chlorophyll-a 제거

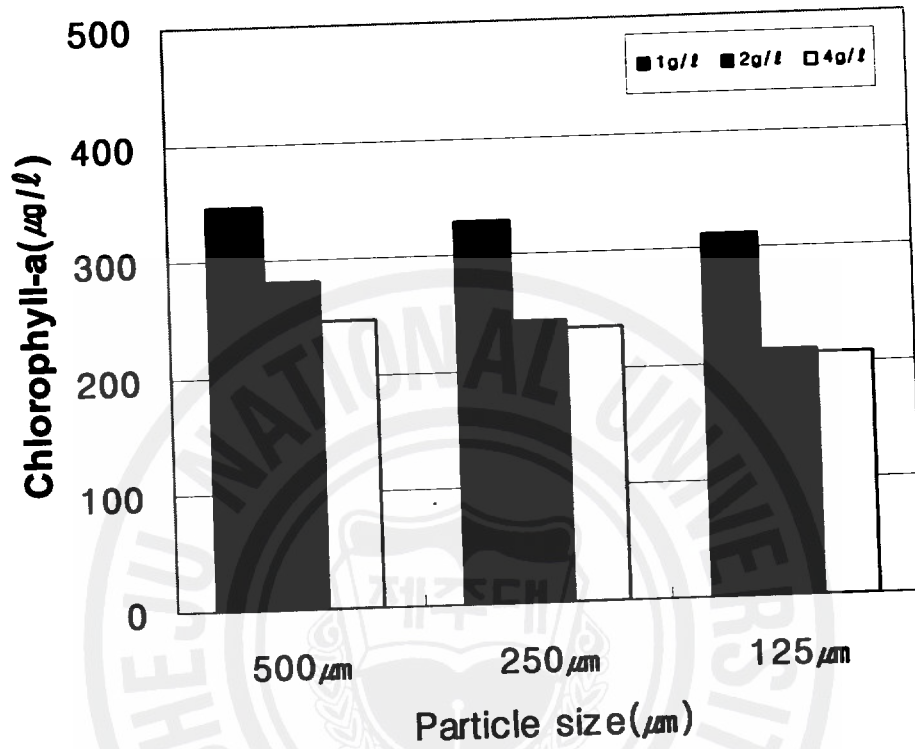


Fig. 4.10. Removal of chlorophyll-a for particle size and concentration at scoria (Jar-tester condition : 200rpm, 30min).

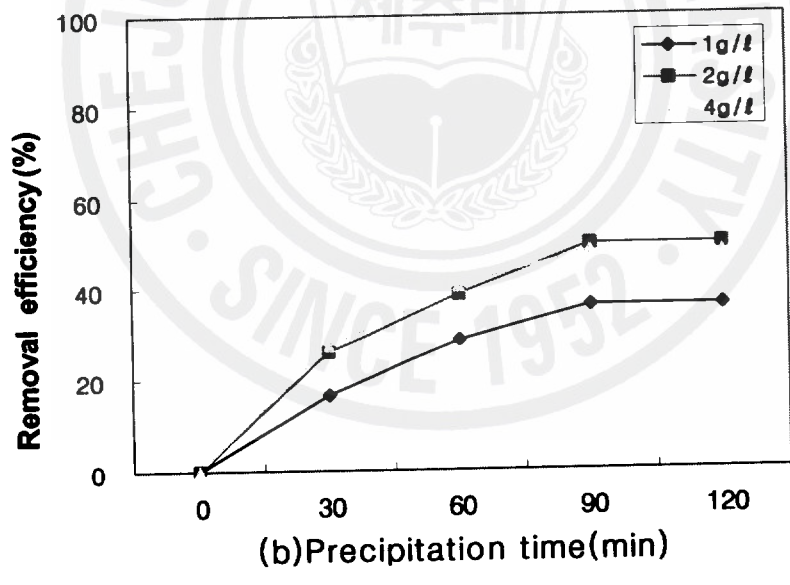
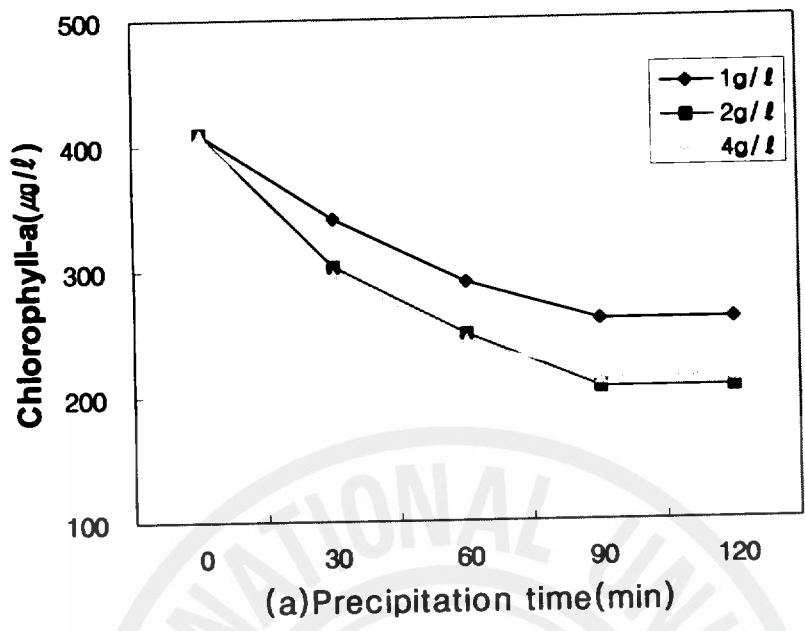


Fig. 4.11. Removal of (a) chlorophyll-a and (b) efficiency for particle size and concentration at scoria. (Jar-tester condition : 200rpm, 30min).

Scoria의 입경별(500 μ m, 250 μ m, 125 μ m), 농도별(1g/l, 2g/l, 4g/l) 이용하여 chlorophyll-a를 제거하는 방법이다. scoria를 각각 농도별로 jar-tester를 200rpm, 30분간 교반, 30분 정채 후 상등액을 채취하여 분석한 결과 Fig. 4.10 와 같다. chlorophyll-a는 250 μ m 일 때 2g/l, 4g/l의 제거율은 41%, 42% 125 μ m 일 때 2g/l, 4g/l의 제거율은 48.5%, 49.2%로서 125 μ m일 때 제거효율이 7%정도 높고, 2g/l, 4g/l 농도차에서 발생하는 효율은 거의 비슷하여, scoria에 의한 조류제거에 가장 적절한 입경 및 농도는 125 μ m, 2g/l으로 조사되었고, scoria를 이용한 조류제거 사례는 없었고, 가장 비슷하고 현재 많이 사용하고 있는 황토를 이용한 조류제거에 관한 연구 결과 또한 125 μ m, 2g/l이 적정조건이라고 제시 하였다.²⁶⁾

이 결과 Scoria 역시 chlorophyll-a를 50%정도 제거율을 나타냈고, 초음파의 chlorophyll-a 최대 제거효율이 68% 으로, 효율을 극대화하기 위해 살포제의 역할로 가능성을 나타냈다.

Fig. 4.11은 Fig. 4.10의 jar-tester를 200rpm에서 30분간 교반 후 침전시간(30min, 60min, 90min, 120min)에 따른 Chlorophyll-a 농도변화 실험하였다.

교반 후 30분 까지 제거율은 농도별 1g/l, 2g/l, 4g/l일때 17%, 26%, 28%로 2g/l, 4g/l의 제거율이 비슷했고, 60분까지는 완만하게 감소하다가, 90분 이후로는 변화 폭이 없었다. 90분일 때 Scoria 농도 1g/l, 2g/l, 4g/l일때 36%, 49%, 48%로 2g/l과 4g/l은 큰 차이가 없었다.



Fig. 4.12. Microphotographs of precipitated attached algae at scoria in 120min(jar-tester condition : 200rpm, 120min).

Fig. 4.12는 Fig. 4.11에서 125 μ m입경에서 200rpm, 30min 교반하고, 120min 후에 침전된 scoria를 현미경으로 관찰한 그림이다. scoria가 *Microcystis aeruginosa*을 흡착하여 침전된 것으로 사료 된다.

4. 초음파와 스킨리아에 의한 chlorophyll-a 제거

1) Chlorophyll-a 농도의 영향

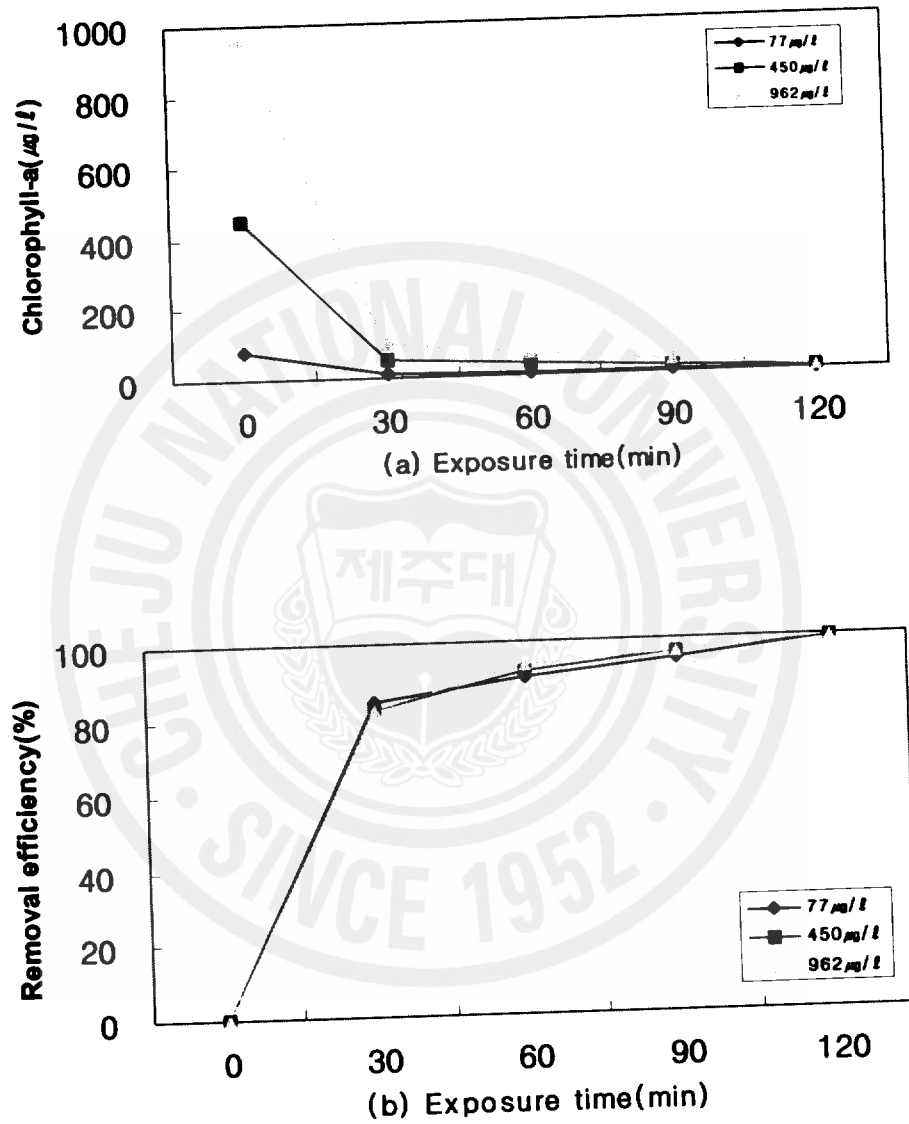


Fig. 4.13. Removal of chlorophyll-a (a) and efficiency (b) by ultrasound(28kHz, 120W) and scoria(125 μm , 2g/l).

Fig. 4.13은 초음파의 최적 조건인 28kHz, 120W에 scoria의 125 μ m, 2g/l를 원수의 농도별로 실험을 하였다. 초음파 노출 시간이 30분일 때 급격히 감소하는 것을 알 수 있다. 각각의 농도 77 μ g/l, 410 μ g/l, 962 μ g/l에서 12 μ g/l, 50 μ g/l, 98 μ g/l로서 84%, 89%, 90%까지 제거 되었다. 노출 시간이 120분일 때는 99.4%, 99.2%, 99.3%로 100%에 가까운 값을 나타내었다.

고농도의 chlorophyll-a 경우에, 초음파만 조사했을 경우에는 90분 후 일정한 값을 나타내었는데, scoria를 넣었을 때는 노출시간에 따라 감소되는 것을 알 수 있다.



2) 처리방법에 따른 chlorophyll-a의 제거능 비교

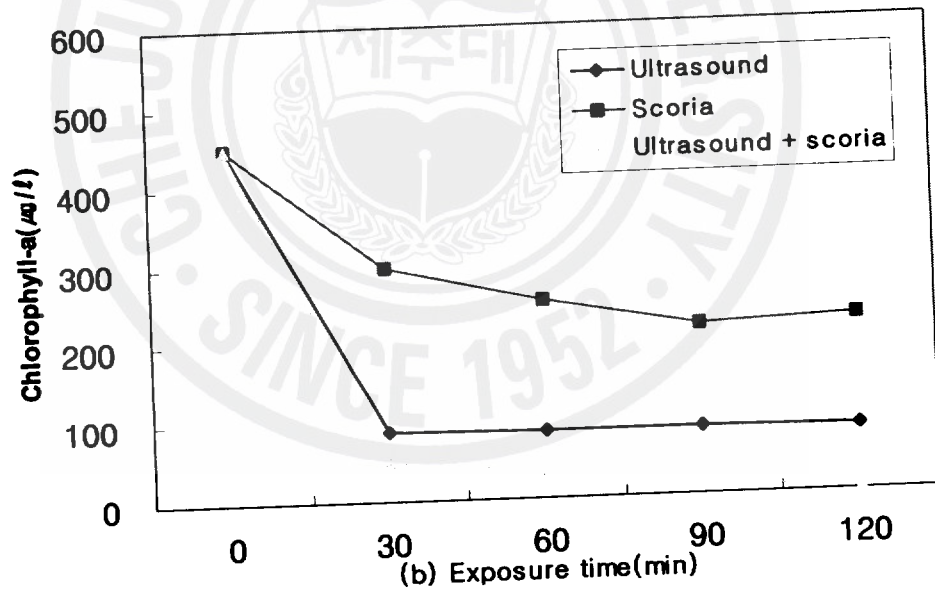
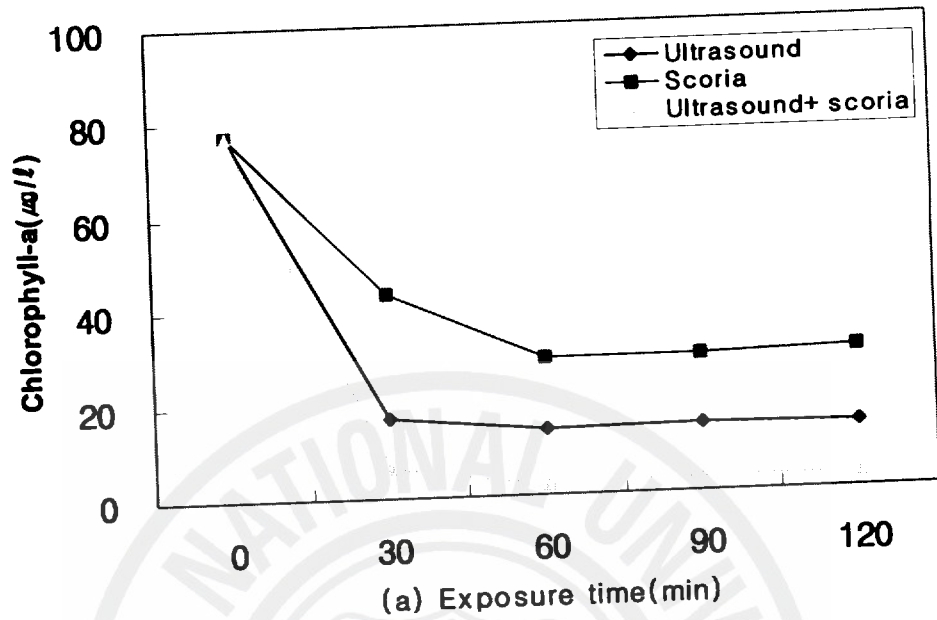


Fig. 4.14. Comparison of chlorophyll-a of by ultrasound, scoria and ultrasonic and scoria(initial chlorophyll-a concentration : (a) $77\mu\text{g}/\ell$, (b) $410\mu\text{g}/\ell$;ultrasound condition : 28kHz, 120W; scoria condition : $125\text{g}/\ell$, $125\mu\text{m}$).

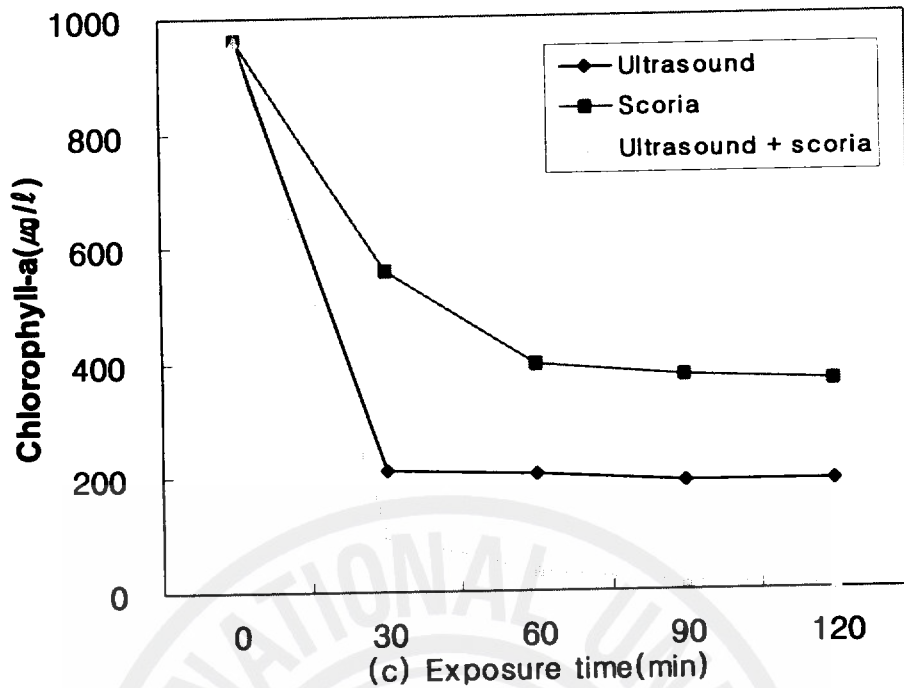


Fig. 4.15. Comparison of chlorophyll-a of by ultrasound, scoria and ultrasonic and scoria(initial chlorophyll-a concentration : (c)962 $\mu\text{g}/\ell$; ultrasound condition : 28kHz, 120W; scoria condition : 125g/ ℓ , 125 μm).

Fig. 4.14~4.15.은 a)ultrasound, b)scoria, c)ultrasound and scoria 실험으로 농도 별 비교 실험이다. 초음파의 최적조건 28kHz, 120W 와 scoria의 최적조건 125 μm , 2g/ ℓ 을 사용하여 chlorophyll-a의 노출시간에 따른 농도별 비교실험과 실험과 제거효율을 그래프에 나타내었다.

ultrasound, scoria를 초음파 노출 30분 후 실험한 결과, chlorophyll-a 는 77 $\mu\text{g}/\ell$, 450 $\mu\text{g}/\ell$, 962 $\mu\text{g}/\ell$ 으로 제거효율이 84%, 92%, 93%로 높은 결과를 나타냈다. 노출시간이 경과할수록 비례하여 제거효율을 얻을 수 있었다.

노출시간이 120분일 때 chlorophyll-a 제거효율은 모두 99%이상의 결과 값을 나타내었다.

3) 노출시간에 따른 조류제거의 개체수 변화

(1) *Microcystis aeruginosa*

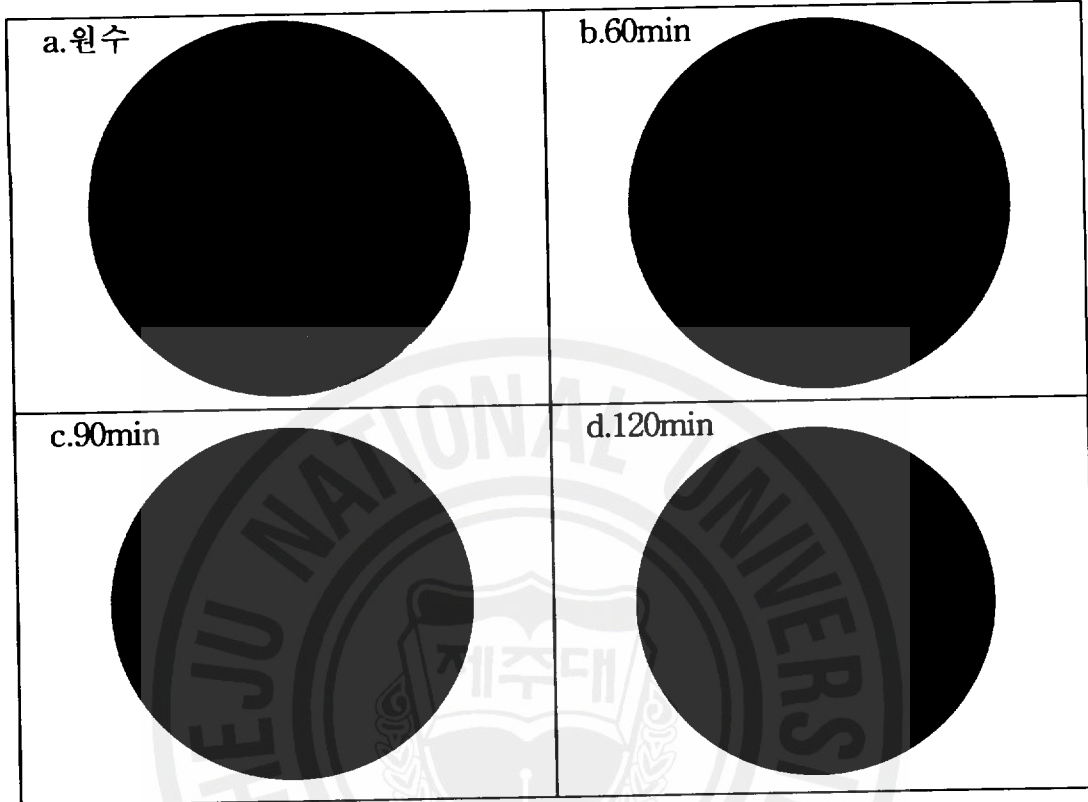


Fig 4.16. Microphotographs of *Microcystis aeruginosa* with the exposure time of both ultrasound(28kHz, 120W) and scoria(2g/L, 125 μ m).

Fig 4.16은 초음파 조건인 28kHz, 120W와 스코리아의 2g/L 125 μ m에서 초음파를 노출하여 노출시간에 따른 조류제거를 현미경하에서 관찰한 그림이다.

*Microcystis aeruginosa*의 원수는 구형의 세포가 구형, 부정형, 입방체를 형성하며 군체의 형태로 형성하여있다. 이들은 위공포를 갖고 있어, 자유롭게 수면 위를 떠다닌다. 초음파를 60min 노출 후, 군체를 형성하던 조류가 초음파에 의해 군체가 해체되고, 일부 조류들은 위공포가 파괴되어 침전 되거나, 사멸되는 것으로 사료된다. 90min 후에는 조류의 수가 감소하고, 남아있는 조류들이 군체를 형성해 있는 것으로 보인다. 초음파 노출 120min 후에는 직접 counting이 될 만큼 조류가 감소하였다.

(2) *Anabaena spiroide*

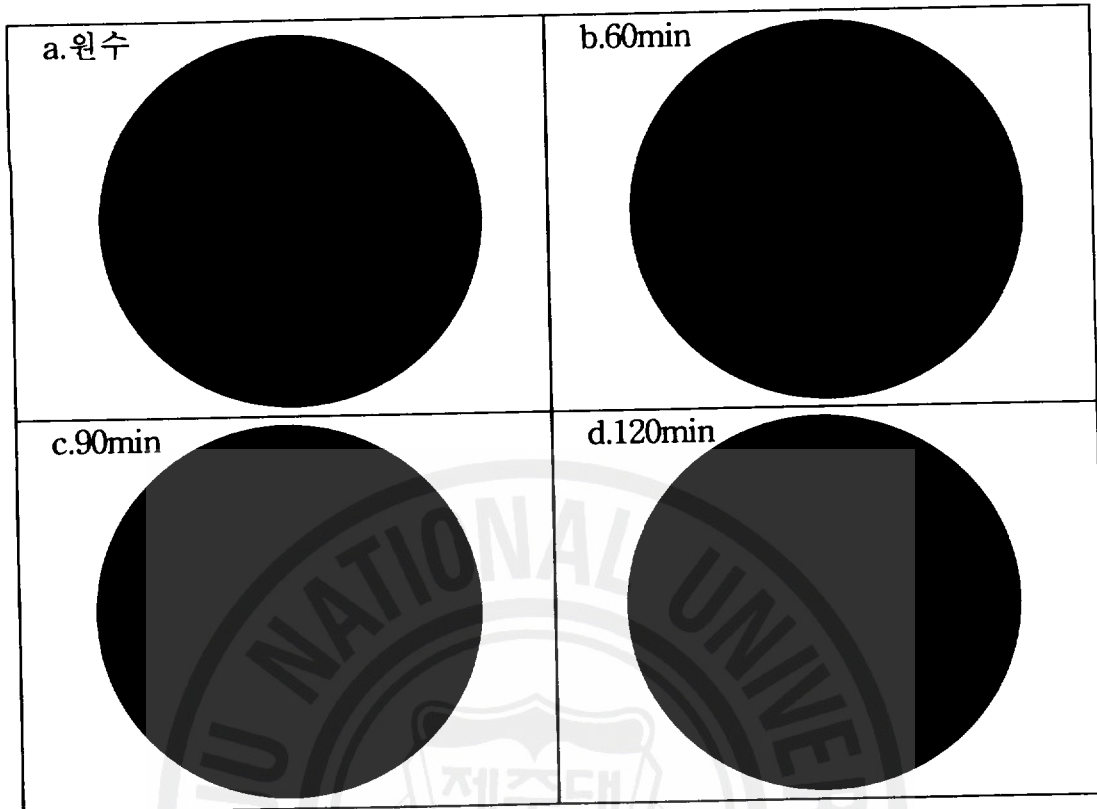


Fig. 4.17. Microphotographs of *Anabaena spiroides* with the exposure time of both ultrasound(28kHz, 120W) and scoria(2g/L, 125 μ m).

Fig 4.17은 ultrasound 조건인 28kHz, 120W와 scoria의 2g/L 125 μ m에서 ultrasound를 노출하여 노출시간에 따른 조류제거를 현미경하에서 관찰한 그림이다. *Anabaena spiroides*의 원수는 구형, 타원형의 세포가 길게 연결되어 직선 또는 나선형의 사상체를 형성되어 있고, 염주모양으로 세포하나하나 연결되어 있다. *Anabaena spiroides* 또한 남조류로서 위공포를 갖고 있어 자유롭게 수면 위를 떠다니는 특징이 있다. 초음파를 60min 노출 후, 염주모양으로 형성하던 조류가 초음파에 의해 세포가 분리되고, 개체수가 감소하고 120min 후에는 직접 counting이 될 만큼 조류가 감소하였다.

V. 결론

도내 A 골프장내 인공으로 조성된 저류지를 대상으로 시료를 채수하여 우점종인 조류를 관찰하였고, 2개월 동안 주기적으로 시료를 채수하여 chlorophyll-a의 농도를 분석하였다. 분석한 chlorophyll-a의 농도 결과를 기초로 초음파의 전력, 주파수 및 초음파 ON/OFF 실험 등을 통하여 초음파를 이용한 조류제거의 최적 조건을 도출하였다. 그리고 초음파를 이용한 조류제거의 효율을 극대화하기 위해 살포제를 첨가하여 실험을 수행하였으며, 살포제는 제주도에 널리 분포하고 있으며 친환경적 천연재료인 scoria를 사용하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 2개월 동안 주기적으로 채수하여 시료의 조류(Algae)를 관찰한 결과, 8월 23일부터 9월10일까지 우점종은 독성물질을 내포하는 남조류로서 *Anabaena spiroides*이고 chlorophyll-a는 $106.82\mu\text{g}/\ell \sim 549.90\mu\text{g}/\ell$ 이다. 9월14일부터는 *Microcystis areuginosa*가 우점종이고, 농도는 $61.17\mu\text{g}/\ell \sim 1628.84\mu\text{g}/\ell$ 이다. 다른 호소나 저수지의 chlorophyll-a 농도보다 10~40배 높다.
- 2) 초음파의 주파수(40kHz, 28kHz)와 전력(40W, 80W, 120W)의 비교실험에서는 같은 주파수가 낮고, 전력이 높은 조건에서 chlorophyll-a의 제거효율이 높았다. 하지만 고농도의 chlorophyll-a 일 경우 높은 전력(120W) 임에도 불구하고, 노출시간이 30분 이후로는 큰 변화 없이 일정한 값을 유지 하였다.
- 3) 초음파 발생장치의 노출시간 중 작동(ON/OFF)여부로 인한 조류제거효율에 영향을 알아보기 위해 28kHz, 120W에서 노출시간을 30~120분 사이에 초음파 ON and OFF 실험 결과:
 - (a) 0~90분간 초음파 발생장치를 ON 실험을 한 결과, 저농도의 Chlorophyll-a 일때는 90%까지 제거되었다. 고농도인 $962\mu\text{g}/\ell$ 는 30분 이후 거의 변화가

없었다.

(b) 0~30min ON and 30~90min OFF 실험인 경우에는 고농도의 $96\mu\text{g}/\ell$ 일 경우 노출시간 60분 이 후로 제거효율이 더 감소하였다.

(c) 0~30min ON, 30~60min OFF and 60~90min ON 실험을 하였다. 그 결과 OFF 시간에 관계없이 제거효율이 유지 되었다. 30분의 전력을 절약할 수 있고, 간헐적인 초음파 노출도 제거효율에 기여하는 결과를 나타내었다.

4) Jar-tester를 200rpm에서 30분간 교반 후 침전시간(30min, 60min, 90min, 120min)에 따른 Chlorophyll-a 농도변화 실험하였다.

교반 후 30분 까지 제거율은 scoria 투입 농도별 $1\text{g}/\ell$, $2\text{g}/\ell$, $4\text{g}/\ell$ 일때 17%, 26%, 28%로 $2\text{g}/\ell$, $4\text{g}/\ell$ 의 제거율이 비슷했고, 60분까지는 완만하게 감소하다가, 90분 이후로는 변화 폭이 없었다. 90분일 때 scoria 농도 $1\text{g}/\ell$, $2\text{g}/\ell$, $4\text{g}/\ell$ 일때 36%, 49%, 48%로 $2\text{g}/\ell$ 과 $4\text{g}/\ell$ 은 큰 차이가 없었다.

scoria의 최대제거효율은 90분 후, $2\text{g}/\ell$ 일 때 49%로 최적 조건은 scoria 입경이 $125\mu\text{m}$, 투입농도가 $2\text{g}/\ell$ 으로 나타났다.

5) 초음파의 최적조건 28kHz, 120W 와 scoria의 최적조건 scoria 입경이 $125\mu\text{m}$, 투입한 농도 $2\text{g}/\ell$ 을 사용하여 chlorophyll-a 노출시간이 30분 일 때 농도에서 제거효율이 84%~93%로 나타났다. 그리고 노출 120분일 때는 chlorophyll-a 제거효율은 모두 99%이상의 결과 값을 나타내어 최대의 제거효율을 나타냈다.

VI. 참고문헌

1. 日本水道協會, “上水試驗方法 解説編.” (1993).
2. W. W. Carmichael, S.M Azevedo, J.S. An, R.J. Molica, E.M. Jochimsen, S. Lau, K.L. Rinehart, G. R. Shaw, G.K. Eaglesham, *Environ. Toxicol.*, 18, 137 (2003).
3. 과기처, “호소만입부에서의 조류 대량증식 제어기술 개발.” (1993).
4. 국립환경연구원, “호소부영양화방지에 관한 연구.” (1994).
5. Oswald H. W. J. & Golueke, C.G., “Eutrophication trends in the unites states-A problem.”, *Jour. WPCF*, vol.38, No.6, pp. 964 (1966).
6. Raman K. Raman. “Controlling algae in water supply impoundments.” *J. AWWA*, pp. 41~43 (1985).
7. Tsukasa sakurada, “Sterilization of microorganisms by photo-semi-conductor cloth” *surface tech.*, Vol.41, No.10, pp. 1008-1011. (1990).
8. Nagaraju B., “Ultrasound induced Effects on *Cosmarium laeve rabenh*”, *J. Pure and Appl. ultrason.(India)*, Vol.6, No.4, pp. 71-74. (1984).
9. 代田昭彦, 赤潮發生機構의對策, 恒星社厚生閣, pp. 105-108. (1980).
10. K. Nakano, Lee, T. J. and Matsumura, M. “ultrasonic irradiation for blue green algae bloom control.” (2001).
11. Bozhi Ma, Yifang Chen, Hongwei Hao, Minsheng Wu, Bo wang. “Influence of ultrasonic field on microcystins produced by bloom-forming algae.” (2005).
12. 심주현. 서현준. 권병대. “Study of algae removal method through ultrasonic waves.” *대한환경공학회*, pp. 1026-1030. (2006).
13. James B. Beard. “Turf management for golf courses.”, Burgess Publishing Company.” pp 145. (1982).
14. 민권식. “골프장내 연못의 수질개선에 관한 연구.” *한양대학교 환경대학원*. (1998).
15. James B. Beard. “Turf Management for Golf Courses, Burgess.”, Publishing Company. pp 345. (1982).
16. 장부규, “충격 및 초음파에 의한 조류제거.”, *동아대학교 대학원 박사학위논문*.(1992).

17. 수도수질반 한국수자원공사 연수원, pp. 543~561. (1997).
18. 국립환경연구원. 팔당 댐 생태 사진집. (2007).
19. 홍종욱, "남조류독소 마이크로시스틴의 검출, 생성 및 분해 연구.", 강원대학교 대학원. (2006).
20. 이부규. "팔당 원수의 조류 상생 정수처리공정에서의 조류제거에 관한 연구.", 인하대학교 학위논문. (2000).
21. Hruday, S.E. and T.W. Lambert, "Overview of treatment/management of cyanobacteria within raw water.", Proceedings of international workshop Adelaide, Australia. pp. 103-110. (1994).
22. USEPA., "Lake and reservoir restoration guidance manual.", USEPA, EPA440/4-90-006, pp. 1326 (1990).
23. T.P. Murphy, A. Lawson, M. Kumagai, J. Babin. "Review of emerging issues in sediment treatment." Aquatic ecosystem health and management, vol2. pp. 419-434. (1999).
24. 백경희. "상수원수의 조류 이취미 및 독성물질 발생과 처리에 관한 연구." 서울 시립대학교 박사학위논문. (2000).
25. 권병대, "초음파에 의한 조류제거 방법 연구." 인하대학교 공학대학원. (2006).
26. 정원화. "팔당호에서 cyanobacteria 와 식물플랑크톤의 발생특성 및 제어." 단국대학교 대학원 미생물생태학전공. (2001).
27. Dale Ensminger, "Ultrasonics Marcel Dekker.", first edition, pp. 273-358. (1988).
28. Poulter, L.N.J, "Signal processing methode applied in the ultrasonic inspection of PWR inlet nozzles.", NDT Intern, Vol.19, pp.147-144.(1986).
29. 고재석, "초음파 압전 분사노즐의 시스템 설계 및 응용.", 아주대학교 박사학위 논문. (2005).
30. 전자기술연구회편, 초음파응용, 기문사, pp. 70 (1989).
31. 이재영. "초음파 세정의 원리 및 효율적인 운전방법.", 미래초음파기술. (2000).
32. 조승인, "샤워형 초음파세척기 개발에 관한 연구.", 명지대학교 석사학위논문. (2003).
33. 임봉빈, 塚本育子, 前田泰昭, "Cryptosporidium parvum 불활성화를 위한 고출력 초음파의 적용.", (주)엔버스 부설기술연구소, 오사카부립대학공학연구과.(2004).
34. 이재영, "초음파 미래초음파기술 초음파 세정 시스템의 최적 운전과 국내외 현황 및 전망.", 산업세정연구회 제 7차 세미나. (2000).
35. 전성건, "미세 초음파 가공기의 개발에 관한 연구.", 강원대학교 석사학위논문.

- (2004).
36. O. Izumi, K. Oyama, and Y. Suzuki, trans. Jpn. inst. Met., 7(3), pp. 162-167. (1996).
 37. I. Iwami, T. Matsunaga, and K. Yoneyama, West German Pat. 1, pp. 934-349. (1970).
 38. 윤정수. “북제주군 지역 기생화산(오름)에 관한 학술조사 보고서.”, 북제주군, pp. 84 (1991).
 39. 현성수, “제주 스코리아로부터 합성된 제올라이트를 이용한 폐수 중 중금속 제거에 관한 연구.”, 제주대학교 석사학위 논문. (1999).
 40. 감상규, 김덕수, 이민규, “천연 및 전처리 제올라이트에 의한 2가 중금속 이온 제거능의 비교·검토.”, 한국환경과학회지, 8(3), (1999).
 41. 이민규, 서근학, “제주 스코리아를 이용한 중금속 흡착에 관한 연구.”, 한국환경과학회지, 5(2), pp. 195~210. (1996).
 42. 환경부. 수질오염공정시험법. pp. 279. (2007).
 43. 나기환, 남정배, 박경대, 이진애, “황토현탁액에 의한 남조류 *Microcystis* sp.의 제거실험.”, 한국물환경학회지, 14(4):pp. 399-404. (1998).
 44. 김철호. 이정호. 김도한. 최영길. “대청호에서 cyanobacteria 수화와 *Anabaena cylindrica* 생장억제미생물 분포도의 상관관계.”, Korean J. Limnol.31(3). pp. 173-180. (1998).
 45. Guangming Zhang, P. Z., B. W., H., “Ultrasound frequency effects on the removal of *Microcystis aeruginosa*.” Ultrasonics sonochemistry. 13:pp. 446-450. (2006).
 46. T. J. LEE, K. NAKANO and M. MATSUMARA. “Ultrasonic irradiation for blue-green algae bloom control.” Environmental Technology, vol.22 pp. 383-390. (2001).
 47. 김승현, “투수성 탄성포장재의 투수성 향상 및 친환경적 개발에 관한 연구” 제주대학교 토목해양공학과 대학원 석사학위논문. (2008).

감사의 글

이 논문의 처음 연구계획에서부터 완성에 이르기까지 학문적 기쁨을 잡아 주시고 친절하고 소상한 가르침을 베풀어 주셨던 이용두 교수님께 깊은 감사드리며, 또한 논문심사과정을 통하여 아낌없는 격려와 지도를 하여 주신 허목 교수님, 허철구 교수님, 마지막까지 논문 수정에 머리 아파하시던 감상규 교수님, 이기호 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 그 분들의 충고와 조언을 통해 많은 지식을 쌓을 수가 있었고 환경공학에 대한 넓은 안목을 갖게 되었습니다.

10년간 학교를 다니면서 뒤쳐지지 않고 무사히 학위를 마칠 수 있었던 것은 그 동안 저를 도와준 많은 고마운 분들이 있었기 때문입니다.

특히 상하수도 실험실의 선배님들의 협조가 가장 큰 힘이 되었던 것 같습니다. 지금 일본에서 박사과정을 밟고 있는 우석 선배님, 먼저 졸업한 친구 성민, 결혼은 앞둔 득영, 조교 닭살 커플 동명, 경연, 실험실 금고 선영, 공부 열심히 할 경봉, 항상 공부 열심히 하는 세미, 엘리트 대학원생 성운, 묵묵히 열심히 실험하는 상훈, 유학파 정훈. 그리고 토목공학과에 엘리트 MC 몽 김도형, 4일에 결혼하는 승현, 전자 종합, 이 모두에게 고맙고 즐거운 시간이었습니다. 제가 대학원을 다닐 수 있게 도와주신 보건환경연구원에 김영주 과장님, 친형 같은 길성 선생님, 친누나 같은 세라 선생님, 마음이 따뜻한 태권 선생님, 형이라 부르고 싶은 수미누나, 언변술사 시범 형, 친구이자 연구원 동기 정하, 수질보전과 사수 인철 형에게 깊은 감사를 드립니다.

대학원 과정에서 정신적 지주인 승혁이 형, 대준 선배, 기봉 선배, 그리고 후배들은 생각하는 진영 선배, 바쁜 와중에도 마지막까지 논문은 검토해준 경호선배 그리고 수미 졸업 동기 혜영 등 에게도 고맙다는 말 전하고 싶습니다.

그리고 항상 옆에 있어줬던 영우회 친구들, 벌써 아들이 된 병철, 엘리트 일식 박사 주방장 재원, 엘리트 일식 석사 주방장 형일, 내 생명 덤프라 함께 태운, 언젠간 성공할 경진 등 모두 고맙게 생각한다. 얼짱 해경 근포, 하루 빨리 결혼 했으면 하는 내 친구 영석이, KCTV 석익, 착한 경림이, AIG 동호에게도 고맙다고 전하고 싶습니다.

그리고 우리집안에 만형 공권, 내 삶에 가장 큰 획을 그어준 작은형 남권 그리고 형수 1/2(희실, 태범), 조카(혜지, 현지, 현우 그리고 주희)

결혼해서 용돈한번 드리지 못해 죄송한 마음이 가득한 장인.장모님, 그리고 형님/23(승환, 봉성, 정석), 처형/23(미숙, 숙경, 숙희), 조카(한나, 미송, 유리, 영진, 미래, 지우, 예주), 모두에게 감사할 마음 전하고 싶습니다.

그리고 마지막으로 사랑하는 내 동생 태권이와 학교를 너무 오래 다녀 죄송한 아버지, 어머니께 사랑하고, 고맙다는 말하고 싶습니다.

끝으로 석사 과정을 무사히 마칠 수 있도록 배려해 주고 늘 곁에서 따뜻하게 도와 준 사랑하는 아내 숙향이라 아빠노릇 제대로 못해 늘 미안한 아들 기훈이에게 가득한 존경과 사랑을 드리며 이 작은 결실의 기쁨을 함께 하고자 합니다.

본 실험에 협조하여 주신 제피로스 골프장 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.