

碩士學位論文

濟州道 玄武岩 碎石粗骨材를 使用한  
콘크리트의 強度에 관한 實驗的 研究

指導教授 徐 日 教



71.655

濟州大學校 產業大學院

建設環境工學科

梁 昌 熙

1 9 9 9

# 濟州道 玄武岩 碎石粗骨材를 使用한 콘크리트의 強度에 관한 實驗的 研究

指導教授 徐 日 教

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

1999 年 月 日

濟州大學校 產業大學院



建設環境工學科 도서관  
JEJU UNIVERSITY LIBRARY  
建築工學專攻

梁 昌 熙

梁昌熙의 工學 碩士學位論文을 認准함.

1999 年 月 日

委員長

---

委員

---

委員

---

# 목 차

List of tables .....	iii
List of Figures .....	iv
List of Photos .....	v
Summary .....	vi
I. 서 론 .....	1
1. 연구 배경 .....	1
2. 연구의 목적 .....	2
3. 연구 내용 .....	2
II. 콘크리트의 역학적 특성 .....	4
1. 골재의 성질 .....	4
2. 고강도 콘크리트의 역학적 특성 .....	8
가. 용력-변형률 특성 .....	8
나. 압축강도와 인장강도 .....	9
다. 압축강도와 휨 강도 .....	10
라. 압축강도와 탄성계수 .....	10
마. 압축강도와 푸아송비 .....	10
바. 건조수축과 크리프 .....	11
3. 혼화재료의 종류 및 성질 .....	12
가. 혼화제(混和劑) .....	12
나. 혼화재(混和材) .....	13
다. 고강도, 고성능 콘크리트용 혼화제(混和劑) .....	13
4. 재령에 따른 콘크리트 강도 변화 .....	14
III. 시험체 계획 및 실험 .....	16
1. 사용 재료의 성질 .....	16

가. 시멘트 .....	16
나. 세골재 .....	16
다. 제주도 현무암쇄석 조골재 .....	18
라. 용수 및 혼화제 .....	23
2. 시험체 계획 .....	23
3. 실험 방법 .....	26
가. 압축강도 측정 .....	26
나. 인장강도 측정 .....	26
다. 휨 강도 측정 .....	26
IV. 실험결과 및 분석.....	27
1. 슬럼프 실험 결과 .....	27
2. 재령에 따른 콘크리트 강도 .....	28
가. 압축 강도 .....	30
나. 인장 강도 .....	35
다. 휨 강도 .....	40
V. 결 론 .....	45
참고 문헌 .....	47
부 록 .....	49

제주대학교 중앙도서관  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

## List of Tables

Table 1. Variation of concrete slump according to hardening time ...	6
Table 2. Variation of concrete strength according to hardening tim	7
Table 3. Relative strength ratio with 28 days compressive strength	15
Table 4. Physical properties of cement .....	16
Table 5. Chemical components of cement .....	16
Table 6. Quality test of fine aggregate .....	17
Table 7. Sieve test of fine aggregate .....	17
Table 8. Quality test of coarse aggregate .....	21
Table 9. Sieve test of coarse aggregate from Sangga .....	22
Table 10. Sieve test of coarse aggregate from Sangchang .....	22
Table 11. Proportion for concrete mixture .....	24
Table 12. Summary of specimens .....	25
Table 13. Test results of slump value .....	27
Table 14. Test result of concrete strength .....	29

## List of Figures

Fig. 1. Variation of concrete slump according to hardening time and size of aggregate .....	7
Fig. 2. Variation of concrete strength according to hardening time and size of aggregate .....	7
Fig. 3. Stress-strain relationships for compressive concrete .....	9
Fig. 4. Sieve test curve of fine aggregate .....	18
Fig. 5. Locations gathering coarse aggregate .....	20
Fig. 6. Sieve test curve of coarse aggregate from Sangga .....	22
Fig. 7. Sieve test curve of coarse aggregate from Sangchang .....	23
Fig. 8. Relation between specimens and slump value .....	28
Fig. 9. Compressive strength according curing days .....	31
Fig. 10. Relationship of curing days and compressive strength with or without admixture .....	33
Fig. 11. Relationship of curing days and compressive strength according to gathering location of coarse aggregates .....	34
Fig. 12. Relationship of curing days and split strength of concrete .....	36
Fig. 13. Relationship of curing days and split strength of concrete with or without admixtures .....	37
Fig. 14. Relationship of curing days and split strength of concrete according gathering location of coarse aggregates .....	39
Fig. 15. Relationship of curing days and flexural strength of concrete .....	41
Fig. 16. Relationship of curing days and flexural strength of concrete with or without admixtures .....	43
Fig. 17. Relationship of curing days and flexural strength of concrete according gathering location of coarse aggregates .....	44

## List of Photos

Photo. 1. Gathering fine aggregates .....	50
Photo. 2. Gathering Sangga aggregates .....	50
Photo. 3. Gathering Sangchang aggregates .....	51
Photo. 4. Concrete placing for slump test .....	51
Photo. 5. Slump test .....	52
Photo. 6. Capping of specimens .....	52
Photo. 7. Concrete curing in water .....	53
Photo. 8. Before compressive test .....	53
Photo. 9. After compressive test .....	54
Photo. 10. Compressive failure shape.....	54
Photo. 11. Before tensile test .....	55
Photo. 12. After tensile test .....	55
Photo. 13. Tensile failure shape .....	56
Photo. 14. Before flexural test .....	56
Photo. 15. After flexural test .....	57
Photo. 16. Flexural failure shape .....	57

**An experimental study on concrete strength  
using crushed coarse aggregates from  
Cheju island**

**Yang, Chang-Hee**

***Department of Construction and Environmental Engineering  
Graduate School of Indestry  
Cheju National University  
Supervised by Professor Suh, Ill-Gyo***

**Summary**

The concrete of good quality may satisfy the physical properties of the workability and strength before and after hardening, respectively. there are many factors, the size and shape of aggregates, water-cement ratio, and the strength of cement, etc. to influence on the properties. Cheju island is regionally volcanic island. The coarse aggregates to be generally utilized for producing the concrete in Cheju island are the crushed ones of basalt. However, the aggregates are locally different chemical and physical properties and these differences show different properties of concrete. Accordingly, this study considered the properties of concrete by the utilization of crushed aggregates from two places, Sangchang and Sangga in Cheju island. Through the test of compressive, tensile, and flexural strength with curing time, we obtained the following reselts.

- 1) Under the same environmental and construcrional conditions, the compressive, tensile, and flexural strength of high-strength concrete revealed earlier than the normal-strength concrete.
- 2) The utilization of admixture to improve the workability of concrete



showed the abrupt hardening, and the placing time of admixture must be considered in site.

3) The utilization of admixture appeared the high increment of strength at the early stage, but after 14 days, the strength showed the slow increment.

4) The strength of concrete using the crushed aggregates from Sangchang is higher than the one from Sangga. From the comparison of the rate of water suction of two kinds of aggregates, we can expect that the Sangga aggregate has a similar property to lightweight aggregate.

5) There are three kinds of failure shapes, which are the failure of cement mortar, the bond failure of cement mortar and aggregates, and the aggregate failure in concrete. By this experiment, the failure shape was governed by the aggregate failure which is the failure shape of lightweight concrete. The utilization of crushed aggregates from Cheju island can lead to the deteriorated concrete strength in the production of high-strength concrete.

6) As mentioned the above, there are many problems to decide the proper mixture to obtain the prescribed concrete using the crushed aggregates from Cheju island. Accordingly, it is necessary to do more researches and experiments in the future.

# I. 서 론

## 1. 연구 배경

최근에 우리나라는 급속한 경제성장과 활발해진 건설공사의 증가 추세로 인하여 콘크리트의 수요가 급격히 증가하는 반면, 하천의 개수(改修), 댐건설 및 산림녹화 등 여러 가지 여건에 의해 하천에서 생산되는 자연산 골재의 자원이 감소되어 전국적으로 골재난이 심각한 실정이다. 특히 제주도는 지역적인 특성 때문에 콘크리트용 양질의 천연산 골재를 채취하기는 불가능할 뿐만아니라 내륙지방에서 운반 조달하기가 매우 곤란하다. 제주도 전역에 산재되어 있는 현무암은 매장량이 풍부하고 또한 채취가 용이하므로 조골재는 대부분 현지 현무암을 이용한 쇄석을 사용하고 있다. 콘크리트의 역학적 성질은 사용 골재에 의해 크게 영향을 받는다는 것을 고려한다면, 내륙지방과 달리 제주산 골재를 사용하였을 때의 콘크리트 성질을 파악할 필요가 있다. 즉, 타지방과 콘크리트의 배합 정도를 달리 하여야 할 것이다. 또한, 제주지역에 산재해 있는 현무암질의 쇄석은 용융 및 경화시의 온도에 의해 그 성질을 달리할 수 있다. 그러나 이와 같이 지역에 따라 그 성질이 다른 골재를 콘크리트의 재료로 사용할 경우 이에 따른 영향을 고려한 연구는 아직 보고된바 없다.

양질의 콘크리트란 시공성과 강도를 동시에 만족하여야 한다. 즉, 시공성에 우선권을 두면 강도 저하를, 강도를 염두에 두면 시공성이 저하될 우려가 있다. 그러나 제주지역 레미콘 제조회사나 기존의 연구 결과들은 콘크리트의 강도를 우선으로 하고 있으므로 시공성이 우려되고 있다. 특히 최근에는 대규모 개발에 따른 구조물의 대형화로 콘크리트의 강도가 고강도화의 추세에 있는 바, 물시멘트비의 감소로 쇄석을 사용할 때 시공성이 우려되고 있다. 따라서 제주산 쇄석골재가 콘크리트에 미치는 영향 및 사용골재와 콘크리트의 역학적인 성질을 규명하기 위한 기초적인 자료나 연구의 필요성이 대두되고 있다.

## 2. 연구의 목적

제주도 지역에서는 보편적으로 현무암 쇄석 조골재를 철근콘크리트 구조물에 가장 널리 사용하고 있다. 그러나 사용 골재가 콘크리트의 시공성과 강도 등에 미치는 영향에 대한 자료가 매우 미흡한 실정이다. 특히 최근에 들어서는 고강도 콘크리트의 사용이 증가하고 있는 추세에 있으므로, 골재가 콘크리트에 미치는 영향을 명확히 규명해야 할 필요가 있다. 이러한 재료의 성질 파악은 향후의 구조설계나 시공상에 큰 영향을 미치게 된다. 일반적으로 제시되고 있는 배합표는 제주산 골재와는 달리 양질의 골재 사용을 전제로 하고 도내에서 생산된 쇄석골재를 사용하는 경우 적절한 콘크리트 배합을 위한 자료를 확보할 필요성이 있다. 특히 고강도 콘크리트에서는 골재의 영향이 크나 제주산 쇄석골재에 의한 영향은 아직 파악되지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 제주도내 대표적인 2곳의 골재채취장에서 생산된 현무암 쇄석 조골재를 사용한 콘크리트의 역학적인 성질을 파악하기 위하여 주로 실험을 통하여 실시되며 골재의 채취 장소에 따른 콘크리트의 강도 변화 및 재령에 따른 강도 변화, 감수제 사용 유무에 따른 시공성 및 강도 등을 측정하고 비교, 분석하여 실무에 적용하기 위한 기초 자료를 제공하는 데 그 목적이 있다.

## 3. 연구 내용

제주도 전역에서 볼 때 현재 대규모 건축물은 대부분 제주시 신제주지역과 서귀포시 중문관광지구에서 시공되고 있다. 제주시 신제주지역에 주로 공급되고 있는 상가 생산 쇄석 조골재와 서귀포시 중문관광지구에 주로 공급되고 있는 상창 생산 쇄석 조골재를 실험용 골재로 사용하였다.

콘크리트의 설계강도는 일반적으로 철근 콘크리트 구조물에 사용하는 압축강도인  $210\text{kgf/cm}^2$  보통강도 콘크리트와  $400\text{kgf/cm}^2$ 인 고강도 콘크리트로 구분하여 콘크리트 경화전·후의 성질을 파악하고자 다음과 같은 실험 변

수를 고려하였다.

- 콘크리트 강도 - 압축강도, 인장강도 및 휨 강도
- 감수제의 사용 유무
- 재령에 따른 콘크리트 강도의 변화
- 골재의 채취 장소



## II. 콘크리트의 역학적 특성

### 1. 골재의 성질

콘크리트 중 골재가 차지하는 용적은 65~85%에 이르므로 그 양부(良否)가 콘크리트의 워커빌리티, 강도 및 내구성에 미치는 영향이 크고, 경제적으로도 그 선택의 적부가 중요한 문제이다. 또한 골재의 성질은 콘크리트의 경화전·후의 역학적 특성에 큰 영향을 미친다. 따라서 골재가 구비해야 되는 성질 및 성능은 콘크리트용 골재가 가지는 중요한 역할로서, 우선 경화전에 콘크리트의 시공성을 양호하게 하고, 경화후에는 시멘트 페이스트와 완전히 밀착하여 구조물의 강도와 내구성, 수밀성을 소정의 내구연한까지 보전시킴과 동시에 페이스트의 건조수축을 완화시키는 역할을 한다.

골재의 형상은 납작하거나 각이 지거나, 가늘고 긴 모양보다는 구형에 가까운 다면체 형상이 좋다. 입형이 나쁜 골재는 콘크리트의 유동성을 나쁘게 하여 단위수량과 시멘트량을 증가시키고 충전성을 나쁘게 하여 최종적으로는 경화 콘크리트의 품질을 저하시킨다. 그리고 콘크리트용 골재는 크고 작은 입자가 적당히 섞여 있어야 하며 입도가 적당하지 않으면 굳지 않은 콘크리트가 필요로 하는 유동성, 점착성, 혹은 충전성을 얻을 수 없고, 골재의 분리나 브리딩이 생기기 쉬워 경화 콘크리트의 품질을 나쁘게 한다.

골재의 강도는 일반적으로 그것을 사용한 콘크리트의 강도보다 높다. 콘크리트의 강도는 일반적으로 몰시멘트비에 의해 결정되지만 이것은 골재가 파괴되기 이전에 시멘트 페이스트가 먼저 파괴되어야 한다는 것을 전제로 하고 있으며 골재 강도가 경화 콘크리트 페이스트 보다 강해야 한다는 것을 의미하고 있다. 그러나 경량골재인 경우에는 역으로 골재의 강도가 오히려 시멘트 페이스트보다 작은 강도를 나타낸다.

골재의 입도(粒度)는 표준체를 통과하는 골재의 중량 백분율 혹은 체에 남은 것의 중량 백분율(체잔량)으로 나타낸다. 입도가 적당한 골재를 사용

하면 일반적으로 강도와 시공성이 양호한 콘크리트를 경제적으로 얻을 수 있다. 또한 콘크리트는 골재 입자간의 공극을 시멘트 페이스트로 채워서 만들어지므로 공극율이 적은(실적율이 큰) 골재를 사용하는 것이 시멘트 페이스트의 소요량을 적게 할 수 있다. 그리고 시멘트 페이스트의 양이 적다는 것은 일정량의 콘크리트를 만들기 위해 필요한 시멘트 및 물의 양이 적어도 된다는 의미이며, 경제적으로 유리한 콘크리트를 만들 수 있을 뿐만 아니라 품질면에 있어서도 콘크리트의 강도, 마모 저항, 수밀성, 내구성을 증진시키고 건조수축을 줄일 수 있으며 콘크리트의 온도 상승도 적게 할 수 있다.

골재의 입형(粒形)은 콘크리트의 강도 및 작업성 등의 품질에 큰 영향을 미칠 뿐만아니라 콘크리트의 경제성에도 직접 관계되며 입형이 나쁜 골재는 실적율이 낮아 시멘트를 많이 사용하게 되어 비경제적이다.

쇄석 조골재는 일반적으로 강자갈보다 입형이 나쁘고 동일 슬럼프를 얻기 위한 단위 수량도 많지만, 쇄석과 같이 표면 형상이 거친 것은 골재의 표면이 시멘트 페이스트의 부착을 좋게하므로 시멘트량을 증기시키지 않더라도 강자갈을 사용한 콘크리트와 동등 혹은 그 이상의 강도를 낼 수 있다. 즉 시공성은 강자갈보다 떨어지나 강도 측면에서는 유리하다.

콘크리트용 골재로서 갖추어야 될 성능을 요약하면,

첫째, 물리적으로 안정해야 한다. 골재는 열이나 기상작용에 대해 안정해야 된다. 예를 들면 기온의 변화에 따라 체적이 크게 변화하거나 변형되어서는 안되며 습윤, 건조의 반복에 대해서도 변형되어서는 안된다.

둘째, 화학적으로 안정해야 한다. 시멘트는 강알카리성 물질이므로 이것에 대해 불안정한 것은 사용할 수 없으며, 콘크리트에 작용할 수 있는 여러 가지 물질 즉 대기중의 탄산가스, 아황산가스, 이외의 각종의 지중, 지하의 화학적 물질에 대해 안정해야 한다.

셋째, 유해물질을 함유하지 않아야 한다. 시멘트의 경화 즉 수화반응에 유해한 물질(유기불순물, 특수한 염류 등)이 포함되지 않아야 하며, 또한 점토, 실트 등의 미세립자, 점토 덩어리, 약한 입자(연석, 사석)등을 일정량 이상 함유하면 콘크리트의 품질을 현저하게 저하시킨다. 그리고 염화물은 콘크리트중의 철근을 부식시키므로 일정량이상 함유해서는 안된다.

넷째, 치밀하고 단단해야 한다. 골재의 강도는 콘크리트의 강도에 큰 영

향을 미친다. 콘크리트의 강도는 기본적으로는 물시멘트비에 의해 좌우되지만 골재 자체의 강도가 약하면 어느 한도 이상의 콘크리트 강도를 얻을 수 없으며, 특히 고강도 콘크리트에서는 강도 발현에 상당한 어려움이 있다. 또한 마모에 대해서도 강한 것이 요구된다.

다섯째, 입형이 둥글고 입도가 적절해야 한다. 골재 입자의 형상(입형)은 납작하거나 각이 지거나, 가늘고 긴 모양보다는 구형에 가까운 다면체 형상이 좋다. 입형이 나쁜 골재는 콘크리트의 유동성을 나쁘게 하여 단위수량과 시멘트량을 증가시키고 충전성을 나쁘게 하여 최종적으로는 경화콘크리트의 품질을 저하시킨다. 그리고 콘크리트용 골재는 크고 작은 입자가 적당히 섞여 있어야 하며 입도가 적당하지 않으면 굳지 않은 콘크리트가 필요로 하는 유동성, 점착성 혹은 충전성을 얻을 수 없고, 골재의 분리나 브리딩이 생기기 쉬워 경화 콘크리트의 품질을 나쁘게 한다.

여섯째, 골재는 시멘트 페이스트와 부착력이 큰 표면조직을 가진 것이어야 하며, 같은 종류의 골재로서 가능한 한 품질의 편차가 적은 것이 좋다 (대한건축학회, 1996).

또한 골재 입경에 따른 콘크리트 품질변화로는 Table 1과 Fig. 1에서 나타난 바와같이 15mm골재를 사용한 콘크리트가 25mm골재를 사용한 콘크리트에 비해 경시변화가 빠른 경향이 있다. 이것은 유동화 성능이 양호하여 초기에 유동화가 이루어진 것으로 판단된다. Table 2와 Fig. 2에서 나타난 바와같이 15mm골재를 사용한 콘크리트는 25mm골재를 사용한 콘크리트에 비해 재령 28일 강도에서 20%이상 강도 증진 효과를 발휘한다(오동환, 1994).

Table 1. Variation of concrete slump according to hardening time

골재입경 (mm)	슬럼프의 경시 변화 (분, cm)						
	0	15	30	45	60	90	120
25	26.7	23.0	20.1	19.5	16.3	15.2	9.0
15	24.0	20.0	16.9	8.5	5.4	3.0	2.0
차	2.7	2.0	3.2	11.0	10.9	11.9	9.0

Table 2. Variation of concrete strength according to hardening time

골재입경 (mm)	슬럼프 (cm)	압축 강도(kgf/cm <sup>2</sup> )			
		1 주	4 주	8 주	12 주
25	26.5	276	374	427	506
15	24.0	331	507	513	617
차		55	133	86	111

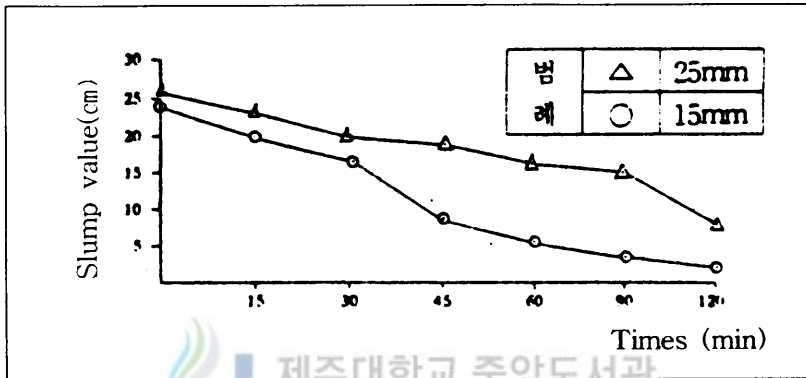


Fig. 1. Variation of concrete slump according to hardening time and size of aggregate

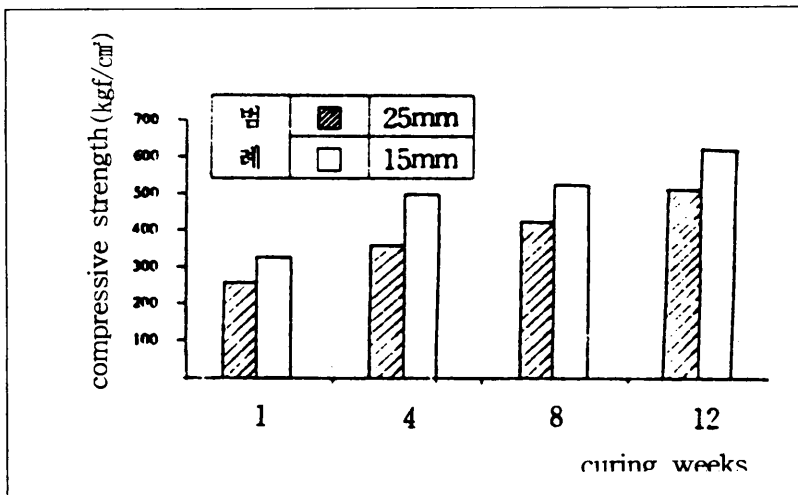


Fig. 2. Variation of concrete strength according to hardening time and size of aggregate



## 2. 고강도 콘크리트의 역학적 특성

현대 구조물이 초고층화, 대형화, 장스팬화 등으로 고강도 콘크리트 사용이 증가하고 있으며, 고강도 콘크리트는 보통강도 콘크리트에 비하여 단위면적당 높은 강도로 인한 부재단면의 축소로 사용공간이 커지며, 또한 단면축소로 인한 자재수량 감소와 하부단면의 일정화에 따른 거푸집 능률향상 이외에도 많은 이점이 있다.

### 가. 응력-변형률 특성

콘크리트의 응력-변형률 관계는 콘크리트 내부 균열형성에 따라 큰 영향을 받게 되는데 콘크리트 내부에는 외력을 받기 이전에 시멘트 페이스트의 체적변화가 발생하여 골재와 모르타르 사이에 응력이 발생하게 된다. 이러한 응력을 하중이 증가함에 따라서 함께 증가하게 되고 최종적으로 콘크리트의 파괴에 도달하게 된다. 보통강도 콘크리트는 균열면이 골재와 모르타르 사이를 통해 이루어지는 것에 비해 고강도 콘크리트는 보통강도 콘크리트에 비해 모르타르의 강도가 크기 때문에 골재와 시멘트 페이스트의 부착파괴가 아닌 골재를 관통하는 급격한 취성파괴(Brittle failure)로 이루어진다.

고강도 콘크리트의 이러한 특성으로 인해 Fig. 3과 같이 응력-변형률 곡선은 보통강도 콘크리트에 비해 초기에 매우 가파른 상향곡선을 나타내고 있으며, 최대강도 이후 급격한 취성파괴로 최대강도 이후의 하향곡선의 자료를 얻기가 매우 힘들게 된다. 또한 최고 응력점에서의 극한 압축 변형률이 기존의 보통강도 콘크리트 부재의 응력블럭(Stress block) 가정에 의해 검토되어, A.C.I.(American Concrete Institute)의 장방형 응력블럭이 콘크리트 압축강도  $400 \sim 1,500 \text{ kgf/cm}^2$ 까지 전 범위에 걸쳐 허용할 만한 결과를 나타내어 이의 적용이 가능한 것으로 나타났다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 콘크리트 강도가 증가하면 i) 탄성계수의 증가, ii) 최대 압축강도시의 변형률 증가, iii) 급격한 취성 파괴의 특성을 갖는다(대한건축학회,1996).

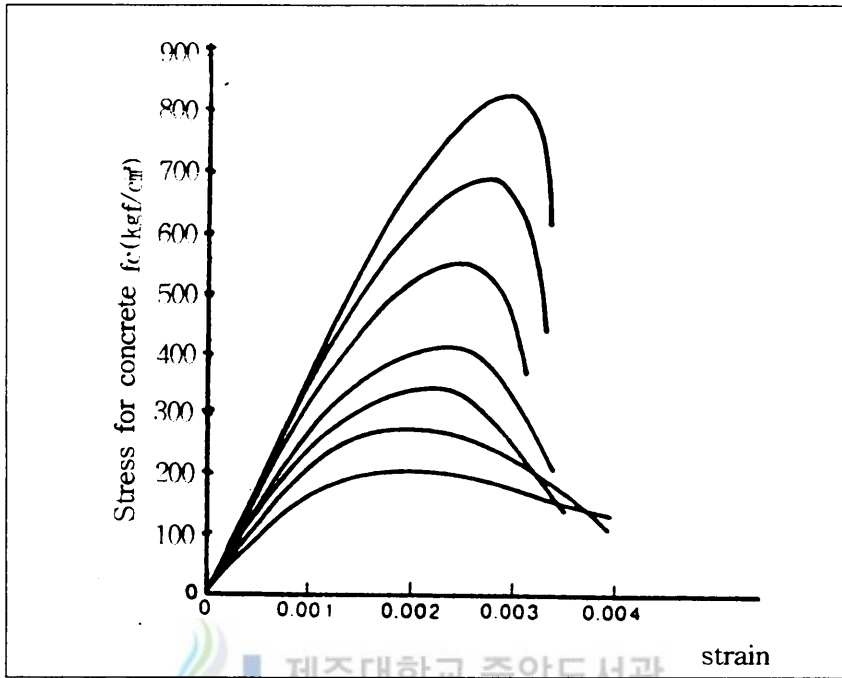


Fig. 3. Stress-strain relationships for compressive concrete

#### 나. 압축강도와 인장강도

콘크리트의 인장강도는 일반적으로 3가지 방법에 의하여 추정되고 있다. 즉, 휨인장강도, 할렬인장강도, 그리고 직접 인장강도이다. 사실상의 인장강도는 직접인장강도를 의미하나 실험상의 어려움으로 인해 보통 할렬인장강도로 사용하고 있다.

일반적으로 보통강도 콘크리트 인장강도는 압축강도의 약 1/10이나 콘크리트가 고강도화될수록 그 차이는 더욱 커지게 되며 약 1/15~1/20 정도의 범위로 나타낸다. 이와같이 압축강도 증가에 따른 인장강도 증가율이 적기 때문에 인장강도를 높이려는 방법으로는 철이나 유리 등 섬유 보강재를 콘크리트내에 혼합시키는 방법과 폴리머 함침 콘크리트 등을 들 수 있다 (대한건축학회,1996).

#### 다. 압축강도와 휨 강도

일반적으로 보통중량 콘크리트에서 휨 강도( $f_r$ )는 압축강도가 210kgf/cm<sup>2</sup> 정도의 보통강도 콘크리트인 경우에는  $f_{ck}/5$ , 또한 콘크리트 압축강도가 800kgf/cm<sup>2</sup> 정도의 고강도 콘크리트인 경우에는 약  $f_{ck}/10$ 가 된다. 여기서  $f_{ck}$ 는 콘크리트의 설계 기준 강도를 나타낸다.

또 경량콘크리트의 경우에는 압축강도에 대한 휨 강도비가 보통중량 콘크리트에 비하여 현저하게 낮게 된다. 현재 A.C.I.규준에 나타나 있는 휨강도에 대한 산정값은  $2\sqrt{f_{ck}}$  kgf/cm<sup>2</sup>로서 이는 콘크리트 압축강도가 420 kgf/cm<sup>2</sup>이하인 경우에 대해서 적용될 수 있다. 그 이상을 상회하는 고강도 콘크리트에 대하여 1984년 미국에서는 콘크리트 압축강도 840 kgf/cm<sup>2</sup>까지 휨강도를  $3.1\sqrt{f_{ck}}$  kgf/cm<sup>2</sup>로 사용하는 것이 합리적이라는 결론을 내렸다 (대한건축학회,1996).

#### 라. 압축강도와 탄성계수

콘크리트의 탄성계수는 압축강도가 증가함에 따라 상승하며 그 증가하는 정도는 인장강도나 휨강도 및 부착강도의 증가비율과 비슷하다. 일반적으로 콘크리트의 탄성계수는  $\sqrt{f_{ck}}$ 와 비례 관계에 있으므로 콘크리트가 고강도화됨에 따라 탄성계수는 완만하게 증가하게 된다.

탄성계수는 골재의 품질 및 양생 방법의 영향도 받는다. 예를 들면 경질 사암의 쇄사나 쇄석을 사용하면 압축강도는 증가하지만 탄성계수는 작아지게 되고, 연질의 쇄사나 쇄석을 사용하면 반대로 압축강도는 작아지지만 탄성계수는 크게 된다. 양생 방법에 의한 탄성계수에 미치는 영향은 촉진 양생을 행한 경우, 특히 오토클레이브 양생을 하면 낮아지는 것으로 보고되고 있다(대한건축학회,1996).

#### 마. 압축강도와 푸아송비

보통 콘크리트의 푸아송비는 0.16~0.20 정도에서 압축응력이 최대값에

이르면 0.3~0.6 정도로 증가된다. 그러나 고강도 콘크리트인 경우 그 파괴 양상이 매우 급격하게 나타나듯이 푸아송비 또한 거의 일정하게 유지되다가 최대하중 가까이 이르면 갑자기 증가되는 경향을 보이게 된다. 또한 고강도 콘크리트의 경우 최대강도에서 푸아송비가 보통강도 콘크리트보다 낮으므로 횡보강 효과는 낮게 나타난다.

#### 바. 건조수축과 크리프

보통 양생의 경우 건조수축은 고강도 콘크리트로 갈수록 적어지는 경향이 있고, 경량 콘크리트의 건조수축은 보통강도 콘크리트에 비해 적다. 물시멘트비가 적을수록 적고, 높은 물시멘트비일 때는 단위시멘트량이 많을수록 건조수축은 많이 일어나는 것이 일반적이다. 그리고 크리프의 특성 및 영향에 미치는 조건을 열거하면 다음과 같다.

첫째, 크리프-응력 관계에 있어 보통 콘크리트의 경우는 극한 강도의 50%까지, 고강도 콘크리트는 70%까지 응력과 크리프 변형률은 선형을 이룬다고 가정한다. 이것은 고강도 콘크리트일수록 크리프 변형이 본격적으로 시작되는 포인트가 지연되는 것으로 설명될 수 있고, 또한 그만큼 변형 억제에 있어 유리하다고 볼 수 있다.

둘째, 물시멘트비가 증가함에 따라 콘크리트의 압축강도는 감소하고 겉보기 크리프는 증가하는 경향이 있다.

셋째, 콘크리트에 하중이 재하될 때까지의 양생기간은 크리프양에 영향을 미친다. 즉, 양생기간이 짧을수록 콘크리트의 수화진행이 미약하고 시멘트풀의 공극현상이 상대적으로 커진다. 이에 따라 수반되는 크리프의 발생 정도 역시 커지는데 공극형성 정도와 강도발현이 시간에 따라 크게 변하지 않는 시멘트 모르타르의 경우에도 양생시간의 차이에 따라 크리프의 발생 정도는 달라진다.

넷째, 시멘트 성분도 크리프 발생 정도에 영향을 미치는 한 요인이 되는데 C<sub>3</sub>A의 양이 많을수록, 그리고 C<sub>3</sub>S양이 적을수록 크리프양은 증가한다 (대한건축학회, 1996).

### 3. 혼화재료의 종류 및 성질

건설공사가 기술적으로 고도화, 복잡화됨에 따라 콘크리트 자체의 내구성, 신뢰성을 향상시키기 위한 요구가 다양화되고, 골재 품질의 악화에 따른 콘크리트 물성 확보 등의 환경이 변화함에 따라 각종의 혼화재료들이 사용되고 있다.

특히 고강도 및 고성능 콘크리트의 제조에는 감수제, 유동화제, 고성능 감수제 혹은 고성능 AE감수제 등의 혼화제(混和劑) 사용이 필수적이다. 고성능 감수제는 종래의 일반적인 콘크리트용 혼화제와 그 화학 성분이 다르고 시멘트 입자에 대한 흡착성분과 분산성능이 우수하여 콘크리트의 단위수량을 대폭적으로 감소시킬 수 있다. 감수율은 AE제가 8%, 일반 감수제가 5~10%, 그리고 고성능 감수제는 10~20% 정도까지 감수시킬 수 있다. 최근에 시판되고 있는 고성능 AE감수제의 경우에는 고성능 감수제와 동등 혹은 그 이상의 높은 감수율과 함께 슬럼프 손실이 현저하게 줄어 고강도 콘크리트의 문제점이었던 시공상의 난점들이 개선되어 향후 많은 사용이 예상된다.

그리고 혼화제(混和材)로서는 플라이애쉬, 슬래그 미분말, 실리카폼, 무수 석고 등이 사용되고 있으며, 주로 수화열의 억제와 간극 충전효과 및 자체 반응성에 의한 강도 증진, 혹은 유동성 및 점착성 증대 등을 목적으로 사용되고 있다.

고강도, 고성능 콘크리트에 사용되는 주된 혼화재료는 다음과 같다(대한 건축학회,1996).

#### 가. 혼화제(混和劑)

- 1) 감수제 및 AE감수제 - 단위수량 및 단위시멘트량을 감소시킬 수 있고 동결융해 저항성능을 향상시킨다.
- 2) 고성능 감수제 - 강력한 감수효과와 강도의 대폭적인 증가가 가능하다.
- 3) 유동화제 - 강력한 감수효과를 이용한 유동성이 대폭적으로 개선된다.

4) 고성능 AE감수제 - 강력한 감수효과와 동결융해 저항성, 슬럼프의 손실을 억제한다.

5) 증점제 및 수중콘크리트용 혼화제 - 점성, 응집작용 등을 향상시켜 재료분리를 억제한다.

#### 나. 혼화제(混和材)

1) 플라이애쉬, 슬래그분말, 실리카퓌ם, 기타 규산질 미분말 등 - 포졸란 활성이나 잠재 수경성을 갖으며 주로 시멘트의 대체 재료로서 이용된다.

2) 팽창제 - 경화 과정에서 팽창을 일으켜 강도 증진 혹은 수축을 억제한다.

#### 다. 고강도, 고성능 콘크리트용 혼화제(混和劑)

고강도, 고성능 콘크리트용 혼화제로서 그 대표적으로는 감수제 및 AE 감수제를 들 수 있다. 감수제, AE감수제란 콘크리트 중의 시멘트 입자를 분산시켜서 단위수량을 감소시키거나, 콘크리트중에 미세한 기포를 연행시키면서 작업성을 향상시키는 한편, 분산효과에 의해 단위수량을 감소시킬 수 있는 혼화제이다. 감수제, AE감수제는 표면활성작용중 시멘트 입자에 대한 습윤, 분산작용이 특히 강한 것으로 기포성이 큰 AE제와는 구분되며, 콘크리트의 응결시간에 미치는 영향에 따라 표준형, 지연형, 촉진형으로 분류할 수 있다.

또한 AE제만을 첨가한 경우는 감수효과가 8% 내외인 것에 비해, 우수한 감수제와 병용하거나, AE감수제를 사용하면 10~15% 정도의 감수효과를 나타내며 공기량 증가에 따른 강도의 감소 현상이 없다. 감수제는 겨울이 있는 온대지방에서는 내동결융해성의 부여를 위해 단독으로 쓰이지 않고 AE제를 혼합 첨가하거나 감수제 자체에 공기연행성이 부여된 AE감수제의 형태로 사용되고 있으며, 최근에는 콘크리트의 강도 및 내구성 증대와 경제성 향상을 위해 거의 모든 레디믹스트 콘크리트 및 토목, 건축용 콘크리트에 광범위하게 사용되고 있다.

감수제 및 AE감수제의 작용과 그 효과에 대하여 알아 보면, 감수제는 배합에 필요한 물의 양이 줄어도 높은 반죽질기를 갖도록 하는 혼화제이다. 콘크리트의 배합시, 수중에서 기계적으로 시멘트를 배합시켜도 시멘트 입자는 분산되지 않고 입자가 서로 엉겨 응집작용이 일어나게 된다. 이것은 시멘트 입자간의 응집력이 수분에 의한 반발력보다 크기 때문이다. 이러한 입자의 응집작용을 억제하고, 수중에서 입자를 분산시키는 작용을 하는 것이 감수제 및 AE감수제이다.

감수제로 쓰이는 표면활성제에는 음이온형, 양이온형, 비이온형이 있는데, 양이온이나 음이온형 표면활성제의 경우, 시멘트 입자 표면에 흡착되어 전기적 확산 이중층이라는 이온 분포를 나타내 시멘트 입자 표면을 하전시켜 동일한 전하를 띠는 입자 상호간의 반발을 유도하는 작용으로 분산이 이루어지며, 비이온형 표면 활성제의 경우, 입자 표면의 전하에는 영향이 없지만, 분자단내에 존재하는 쌍극자가 물의 표면장력을 감소시키는 한편 입자 표면을 친수화시켜서 분산이 이루어 진다.

그리고 AE감수제는 콘크리트의 응결시간을 조절하기 위하여 주성분의 종류, 사용량을 변화시키고 무기염류, 그 밖의 2차 성분이 소량 첨가된다. 염화칼슘( $\text{CaCl}_2$ )이 소량 첨가되는 경우도 있으나 활성성분으로서 염화물을 첨가하지 않는 무염화물 감수제, AE감수제가 시판혼화제의 주류를 이루고 있다.

#### 4. 재령에 따른 콘크리트 강도 변화

대부분 콘크리트의 강도실험은 장기재령강도보다 낮은 강도를 내는 재령 28일에 시행하게 된다. 과거에는 재령 28일 후에 증가되는 강도는 구조의 안전을 여유있게 하는데 기여한다는 정도로만 여겨왔다. 그러나 1957년 이후 일부 국가의 철근콘크리트 및 프리스트레스트 콘크리트의 설계시방서에서는 무세골재(no-fines)콘크리트의 경량콘크리트인 경우를 제외한 모든 콘크리트에 대하여 28일 이후의 재령까지 하중을 받지 않을 경우에는 28일 이후의 강도증진을 고려하도록 규정하고 있는 경우도 있다.

콘크리트의 강도증진은 시멘트의 수화속도에 따라 달라지는데 현재 시판되고 있는 시멘트의 경화속도가 일정치 않고 변동이 심하고, 또한 재령 7일~14일까지의 강도증진이 가장 급격하고 그후 재령 1년까지도 강도는 상당히 증가하기 때문에 재령 7일 강도로부터 재령 28일 강도를 예측하는 것은 어렵다. 더욱이, 낮은 물시멘트비의 콘크리트는 높은 물시멘트비의 콘크리트에 비하여 강도 증진이 양호하다. 즉, 낮은 물시멘트비의 콘크리트에서는 시멘트 입자들이 서로 가까이 있으면서 젤의 형성이 매우 급격하게 형성되기 때문이다. 이 때문에 7일 강도로부터 28일 강도를 외삽법으로 예측하기가 쉽지 않은 것이다.

재령별 강도변화에 관한 국내의 실험결과가 충분치 않기 때문에, 외국의 문헌을 토대로 요약하여 제안하면 다음과 같다.

$$f_{ck} = f_{c7} + 8\sqrt{f_{c7}} \text{ kgf/cm}^2$$

여기서  $f_{ck}$ 는 28일 설계기준 압축강도(kgf/cm<sup>2</sup>)를,  $f_{c7}$ 은 7일 압축강도(kgf/cm<sup>2</sup>)를 나타낸다. 그리고 28일 강도에 대한 보통시멘트콘크리트의 재령별 상대강도로 다음 Table 3을 이용한다(대한건축학회,1996).

Table 3. Relative strength ratio with 28-day compressive strength

재령	7 일	14 일	28 일	3개월	6개월	1 년	2 년	3 년
강도비	0.67	0.86	1.00	1.17	1.23	1.27	1.31	1.35



### Ⅲ. 시험체 계획 및 실험

#### 1. 사용 재료의 성질

##### 가. 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 S회사의 보통 포틀랜드 시멘트로서 S회사 시험연구소에서 제공한 시멘트의 물리적 성질을 Table 4에, 화학적 성분을 Table 5에 각각 나타내고 있다.

Table 4. Physical properties of cement

구 분	분말도 (cm <sup>3</sup> /g)	안정도 (%)	용결 시간		압축 강도		
			초결(분)	종결(시간)	3 일	7 일	28 일
실험 결과	3,140	0.13	275	06:55	187	279	365
KS규격	2,800이상	0.8이하	60이상	10:00이하	130이상	200이상	290이상

Table 5. Chemical components of cement

구 분	SiO <sub>2</sub> (실리카)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (알루미나)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (산화철)	CaO (석회)	H. M. (수경율)	S. M. (규산율)	I. M. (철 율)
범위(%)	20~25	4~6	2~4	62~66	1.8~2.4	2.3~2.9	1.0~2.3

$$\text{註) H.M. (Hydraulic Modulus)} = \frac{\text{CaO} - 0.7 \times \text{SO}_3}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

$$\text{S.M. (Silica Modulus)} = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

$$\text{I.M. (Iron Modulus)} = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$$

나. 세골재

본 실험에 사용한 모래는 전라남도 진도군에서 채취한 자연산 바다 모래로서 염분량을 규준치 이하로 확보하기 위해 24시간 이상 스프링클러에 의한 표면 살수시킨 후 표면건조 포화상태로 만들어 사용하였으며, 모래의 물리적 실험결과 및 입도곡선은 Table 6, Table 7 및 Fig. 4와 같다. 실험결과, 사용한 세골재는 KS 규격과 표준 입도곡선을 만족하는 것으로 나타났다.

Table 6. Quality test of fine aggregate

구분	비중	흡수율 (%)	점토덩어리 (%)	염분함유량 (%)	유기불순물 (%)	조립율 (F.M.)
모래	2.59	1.53	0	0	표준색보다 연함	2.81
KS규격	2.5이상	3.0이하	3.0이하	0.04이하	표준색이하	2.3~3.1

Table 7. Sieve test of fine aggregate

구분	비중	흡수율 (%)	체 번호별 통과율(%)						조립율 (F.M.)
			No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No.100	
시험 성적	2.59	1.53	100	97	66	38	16	2	2.81
기준치	2.5 이상	3.0 이하	95~100	80~100	50~85	25~60	10~30	2~10	2.3~3.1

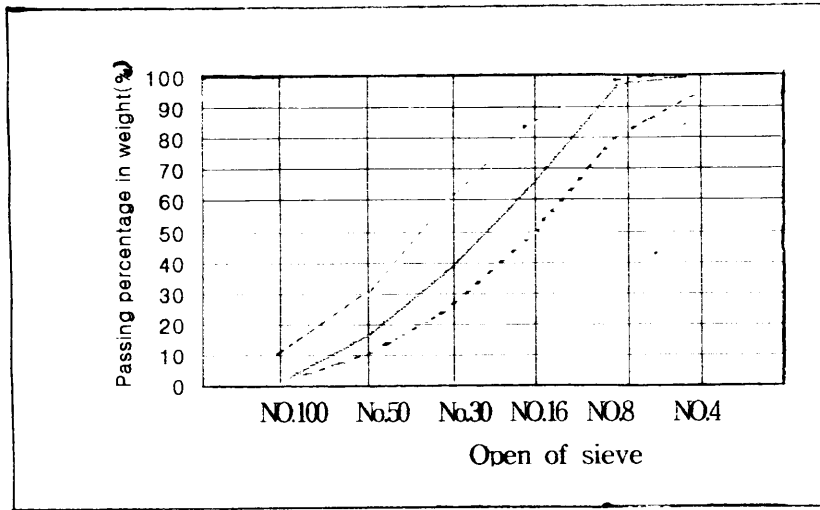


Fig. 4. Sieve test curve of fine aggregate

다. 제주도 현무암 쇄석 조골재

1) 제주도 현무암 지질 생성의 특성

제주도는 한반도에서 약 90km 떨어진 곳에 있는 섬 전체가 화산 활동에 의해서 만들어진 큰 화산섬이다. 섬의 크기는 장경 약 80km, 단경 약 40km 인 타원형으로 섬의 중앙부에는 높이 약 2,000m의 순상(楕狀)화산이 있다. 특히, 분석구에서의 기생화산(寄生火山)들은 높이 50 ~ 200m 정도로서 섬 전체에 산재되어 있으며, 외형상으로는 모양과 구성 물질이 같은 것 같지만 자세히 살펴보면 여러가지의 특징을 가지고 있다.

제주도의 기생화산 수는 360여개 이상이 되며, 원형을 그대로 간직하고 있는 것도 있으나, 어떤 것은 풍화되어 화산의 흔적만 남아 있는 것도 있다. 기생화산은 제주도의 장축 방향에 주로 많이 분포하고 있으며, 그 중 60%이상은 해발 200m이상 되는 곳에 위치하고 있다. 이는 지하의 마그마(magma)가 용암으로 지표에 분출할때 제주도의 지각(地殼)구조와 밀접한 관계를 갖고 있다.

기생화산(寄生火山)의 모양을 몇 가지로 구분해 보면, 화산의 윗 부분에

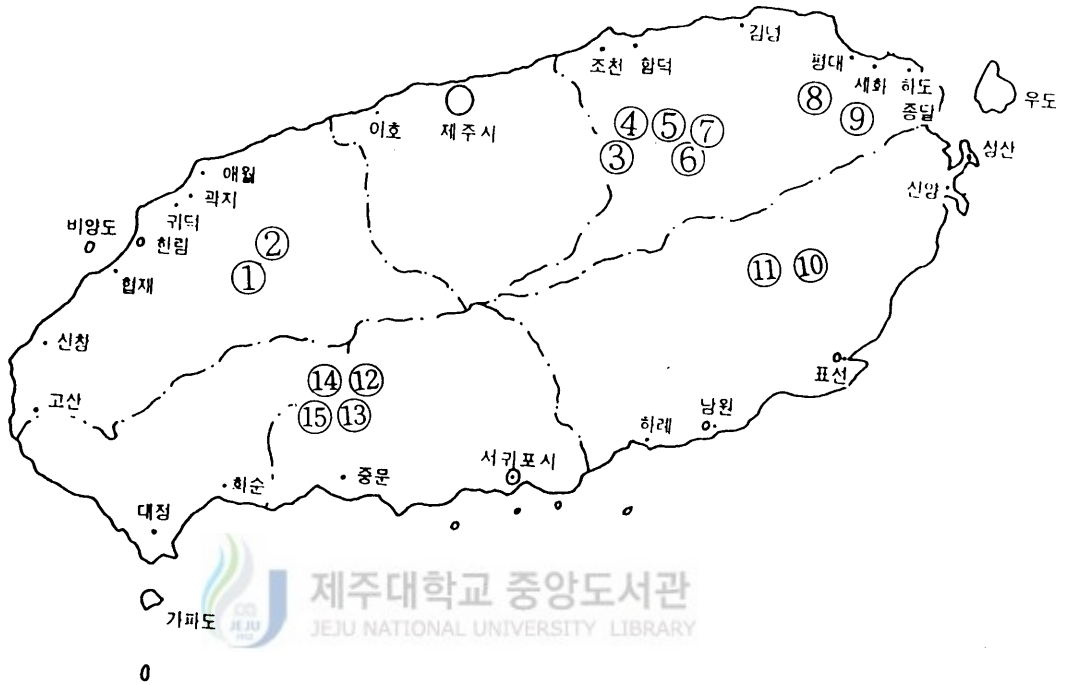
기생화산(寄生火山)의 모양을 몇 가지로 구분해 보면, 화산의 윗 부분에 화구(火口)가 없는 원추형(圓錐形), 화구(火口)가 있는 등근형, 한쪽 부분이 열린 U자형, 그리고 원형과 U자형이 같이 한 복합형이 있다.

제주도의 지질은 주로 조면암(粗面岩)과 조면안산암(粗面安山岩) 그리고 그 이후 250만~300만년 전인 신생대(新生代) 말기 홍적세(洪積世) 초기에 분출한 것으로 보이는 Olivine 질 현무암(玄武岩)과 쇄설물(碎屑物) 등에 의해 구성되었으며, Olivine 질 현무암(玄武岩)은 모두 다공질(多孔質) 또는 주상절리(柱狀節理)를 나타낸다. 그 후 화산치동(火山治動)에 의해 한라산과 360여개의 기생화산(寄生火山)들에서 분출된 화산암(火山岩)으로 현무암(玄武岩), 조면암류(粗面岩類), 조면질(粗面質) 안산암류(安山岩類), 기생화산(寄生火山) 분출물인 화성쇄설퇴적암류(火成碎屑堆積岩類)와 사구(砂丘)로 이루어졌다.

현무암류(玄武岩類)는 감람석, 휘석(輝石), 현무암(玄武岩)을 기저(基底)로 하여 침상장석(針狀長石) 감람석 현무암, 반상휘석현무암(斑狀輝石玄武岩)은 비현정질(非顯晶質) 현무암, 장암(長岩) 현무암 등이며, 전체 면적의 95%이상의 분포를 보이고 있다.(金尙武, 1985)

## 2) 쇄석 조골재의 채취

앞서 언급한 바와 같이 제주도내의 골재는 구성 물질이 다르다. 따라서 현재 제주도내에서 콘크리트용 쇄석조골재를 생산하고 있는 장소는 15곳이 있으며 그중에 가장 많이 생산 사용하는 상가 조골재와 상창 조골재를 선택하여 실험용 골재로 채취하였으며, 골재 생산지 위치는 Fig. 5와 같다. 각 골재의 채취 사진은 부록에서 볼 수 있다.



번호	골재 생산지
1	북제주군 애월읍 상가리
2	북제주군 애월읍 하가리
3	북제주군 조천읍 와흘리
4	북제주군 조천읍 북촌리
5	북제주군 구좌읍 동북리
6	북제주군 구좌읍 동북리
7	북제주군 구좌읍 동북리
8	북제주군 구좌읍 행원리
9	북제주군 구좌읍 한동리
10	남제주군 표선면 하천리
11	남제주군 표선면 세화리
12	남제주군 안덕면 서광리
13	남제주군 안덕면 상창리
14	남제주군 안덕면 서광리
15	남제주군 안덕면 서광리

Fig. 5. Locations gathering coarse aggregate

### 3) 쇄석 조골재의 품질

골재의 품질은 석질, 풍화의 정도, 입도, 표면형상 및 불순물의 함유량 등의 요인에 의해 종합적으로 판단되는 것이며, 골재특성간의 상관성에 대해서는 비중과 흡수율, 흡수율과 안정성, 안정성과 연석량(軟石量), 단위용적중량과 실적율, 비중과 단위용적중량이다(김무한,1994).

실험용 조골재는 골재의 크기는 25mm를 기준으로 하였으며, 본 연구에서 선정한 쇄석 조골재를 비중, 흡수율, 실적율, 조립율 및 체가름 시험을 하고 이를 수도권의 대표적인 쇄석단지 5곳에서 생산되는 조골재의 품질과 비교하면 Table 8, Table 9, Table 10 및 Fig. 6, Fig. 7과 같다.

일반적으로 비중이 크면 흡수율이 적고 내구성이 크며 콘크리트의 단위용적중량이 커진다. 또한 흡수율이 큰 골재는 콘크리트 비빔시 이미 흡수되어 있는 물의 일부가 모르타르로 흘러나와 단위수량이 증가하기 때문에 모르타르 자체의 강도를 저하시키며, 따라서 콘크리트 강도도 저하된다(대한건축학회, 1994). 실험 결과 사용 조골재의 비중, 흡수율 및 조립율 등이 KS규격에 적합한 것으로 나타났으나 상가조골재 및 상창조골재가 수도권의 대표적인 조골재에 비해 비중과 조립율은 적고 흡수율이 크게 나타나고 있어 강도의 저하가 예상되고 있음을 볼 수있다.

Table 8. Quality test of coarse aggregate

구 분	비 중	흡수율(%)	실적율(%)	조립율(F.M.)
상 가	2.68	1.87	63.9	6.46
상 창	2.68	1.60	61.0	6.54
안 양	2.61	0.84	58.9	7.13
공 영 사	2.64	0.78	59.3	7.09
곤 지 압	2.72	0.49	56.6	7.20
신 갈	2.74	0.67	59.2	6.79
용 원	2.60	1.02	57.4	7.13
KS 규격	2.5 이상	3.0 이하	60~65	

Table 9. Sieve test of coarse aggregate from Sangga

체의 호칭치수(mm)	2.5	5	13	25	40	조립율
각체의 통과율(%)	0	2	52	100	100	6.46
표준 입도	0~5	0~10	25~60	95~100	100	6.3~6.8

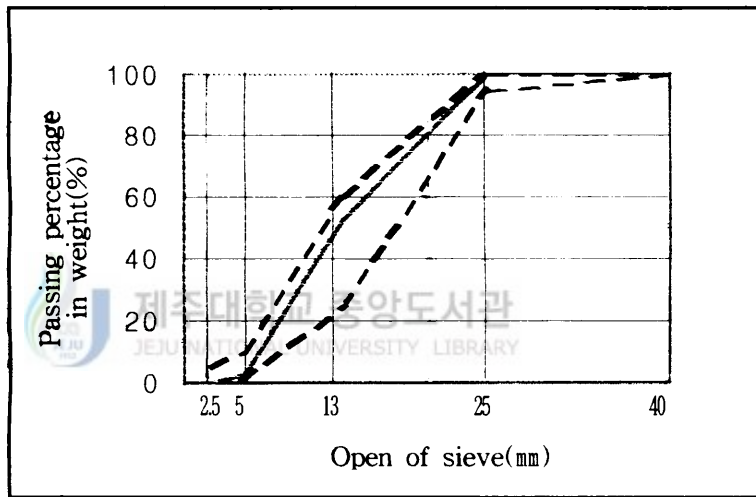


Fig. 6. Sieve test curve of coarse aggregate from Sangga

Table 10. Sieve test of coarse aggregate from Sangchang

체의 호칭치수(mm)	2.5	5	13	25	40	조립율
각체의 통과율(%)	0	2	44	100	100	6.54
표준 입도	0~5	0~10	25~60	95~100	100	6.3~6.8

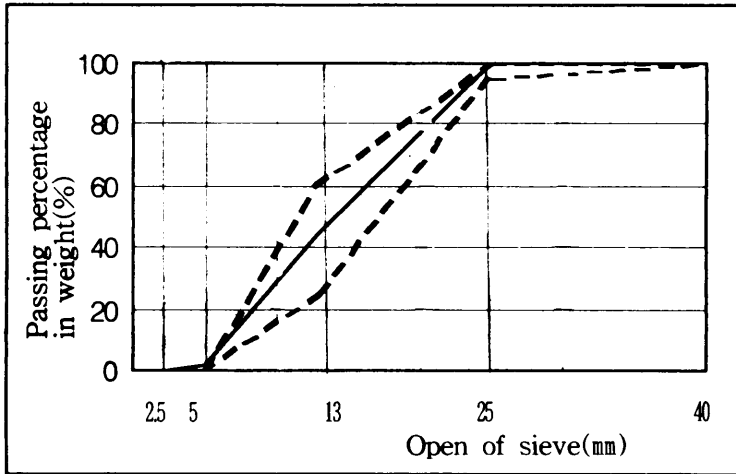


Fig. 7. Sieve test curve of coarse aggregate from Sangchang



라. 용수 및 혼화제

본 실험에 사용한 물은 건축공사 표준시방서에 따라 유해량의 기름, 산, 알칼리, 염류, 유해물 등을 포함하지 아니한 상수도수를 사용하였다. 그리고 혼화제는 E회사 제품인 상품명 ECONEX AD-R로서 AE 감수제를 사용하였다.

2. 시험체 계획

본 실험에서는 제주 현무암 쇄석 조골재를 사용하였을 경우 콘크리트의 경화전·후에 어떤 영향을 미치는가를 알아 보는 것이 주 목적이다. 또한 골재가 콘크리트에 미치는 영향 인자를 변수로 시험체를 제작하고 실험을 실시하였다.

실험 변수로서 먼저 제주도 지역의 골재로 대표되는 상가지역과 상창지



역의 골재가 콘크리트 성질에 미치는 영향을 고려하였다. 시공성을 고려하여 감수제의 사용 여부, 보통강도 콘크리트와 고강도 콘크리트의 강도변화 및 재령에 따른 변화를 실험 변수로 사용하였다.

콘크리트 배합은 제주대학교 구조실험실 소재의 0.1m<sup>3</sup> 용량의 간이 콘크리트 혼합기(일영정밀 제품)를 사용하여 실시하였다. 매회 콘크리트 혼합 후에는 슬럼프 실험을 하였으며, 강도 측정용 모듈드는 10cm × 20cm 표준공시체, 휨 강도 측정을 위해 15cm × 15cm × 50cm 강제 거푸집을 사용하여 혼합 후 즉시 타설되었다. 타설 후 24시간 뒤에 캡핑(Capping)을 하였으며 3일 후에 거푸집을 제거하고 수중 양생을 하였다.

사용 콘크리트의 배합표는 Table 11와 같으며 이와 같은 방법에 의해 총 128개의 시험체를 제작하였다. 시험체의 일람표는 Table 12에 나타내고 있다.

Table 11. Proportion for concrete mixture

설계강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	단위용적중량( kgf/m <sup>3</sup> )				
	물	시멘트	모래	자갈	혼화제
210	190	333	998	818	유, 무
400	184	514	991	691	유, 무

Table 12. Summary of specimens

시험체명	골재		물시멘트비(%)	단위시멘트량(kgf/m <sup>3</sup> )	AE 감수제	비고
	세골재	조골재				
SG-L-AE	자연산 모래	상가 조골재	57	333	사용	○. 압축강도, 인장강도 및 휨강도 별로 구분하고 ○. 재령은 3일, 7일, 14일 및 28일로 구분하여 실험했음
SG-L					미사용	
SG-H-AE			36	514	사용	
SG-II					미사용	
SC-L-AE		상창 조골재	57	333	사용	
SC-L					미사용	
SC-H-AE			36	514	사용	
SC-H					미사용	

C - SG - L - AE

혼화제 사용여부 :  
 AE제 사용의 경우에는 AE로 표시하고 그  
 사용량은 시멘트의 0.25%임

콘크리트 압축강도 :  
 L = 210 kgf/cm<sup>2</sup>  
 H = 400 kgf/cm<sup>2</sup>

조골재 사용 구분 :  
 SG = 상가 조골재  
 SC = 상창 조골재

강도 구분 :  
 C = 압축강도(Compressive strength)  
 T = 인장강도(Tensile strength)  
 F = 휨 강도(Flexural strength)

### 3. 실험 방법

#### 가. 압축강도 측정

압축강도 실험은 (주)대영정밀 제품으로 용량 100tf인 만능시험기 (Universal testing machine)로 실험하였으며, 각 시험체를 3개씩 측정하여 그 평균치로 압축강도를 나타내었다. 압축강도 실험 과정은 부록에서 사진으로 볼 수 있다.

#### 나. 인장강도 측정

인장강도 ( $f_{sp}$ )는 할렬강도(Split strength)로 측정하였다. 실험방법으로는 압축강도 실험용 표준 공시체를 다이스 사이에 끼우고 지름 방향으로 가력하였다. 공시체의 원통측 면적  $\pi D l$ 의 1/2에 대하여 약 5kgf/cm<sup>2</sup>의 속도로 하중을 가하여 할렬시에 다음에 의해 얻는다.

$$f_{sp} = \frac{2P}{\pi D l}$$

각 시험체를 3개씩 측정하고 그 평균치로 인장강도를 나타내었다. 인장강도 실험 과정은 부록에서 사진으로 볼 수 있다.

#### 다. 휨 강도 측정

콘크리트의 휨 강도 실험은 한국공업규격에 의해 일점재하법으로 단순보의 2등분점 하중에 의한 콘크리트의 휨 강도 시험 방법으로 측정하였다. 각 시험체는 2개씩 제작, 실험하여, 그 평균치로 휨 강도를 나타내었으며, 휨 강도 실험 과정은 부록에서 사진으로 볼 수 있다.

## IV. 실험결과 및 분석

### 1. 슬럼프 실험 결과

콘크리트 슬럼프 시험에 사용되는 용기는 상단내경 10cm, 하단내경 20cm, 높이 30cm의 철제 슬럼프 콘(Cone)으로서 용기의 1/3씩 채워서 직경16mm, 길이 60cm의 다짐봉으로 25회 다지면서 콘에 콘크리트를 채우고 나서 천천히 슬럼프 콘을 뺀 후 슬럼프값을 측정하였다.

슬럼프 실험 결과를 Table 13과 Fig. 8에 요약하였다. 물시멘트비가 57%이며 감수제를 사용하지 않는 시험체 SG-L, SG-H의 슬럼프는 7.1cm와 7.8cm로 나타나고 있으나, 동일 물시멘트비에서 감수제를 사용한 시험체 SG-L-AE, SG-H-AE의 슬럼프는 12.3cm, 13.5cm로서 감수제를 사용하지 않는 경우보다 크게 나타났다. 마찬가지로 물시멘트비가 36%인 시험체 SG-H-AE, SG-H, SC-H-AE, SC-H에서도 감수제의 사용으로 슬럼프가 증가되었다. 즉, 감수제의 사용으로 시공성이 증대됨을 볼 수있으며, 감수제의 사용 유무에 관계없이 물시멘트비가 57%인 SG-L-AE, SG-L, SC-L-AE, SC-L 시험체가 물시멘트비의 36%인 SG-H-AE, SG-H, SC-H-AE, SC-H 시험체보다 슬럼프가 크게 나타났다. 또한 동일 물시멘트비일 때 상창조골재를 사용하는 경우가 상가조골재를 사용하는 경우보다 감수제의 사용 유무에 관계없이 슬럼프 값이 크게 나타나고 있어 상창조골재를 사용하는 경우가 시공성이 증대됨을 보이고 있다. 이 결과로부터 감수제의 사용과 물시멘트비가 큰 경우에 시공성에서 양호함을 보이나, 강도의 저하가 우려되며 이를 다음 절에서 고려한다.

Table 13. Test results of slump value

시험체구분	SG-L -AE	SG-L	SG-H -AE	SG-H	SC-L -AE	SC-L	SC-H -AE	SC-H
슬럼프값(cm)	12.3	7.1	5.7	5.0	13.5	7.8	11.7	6.0

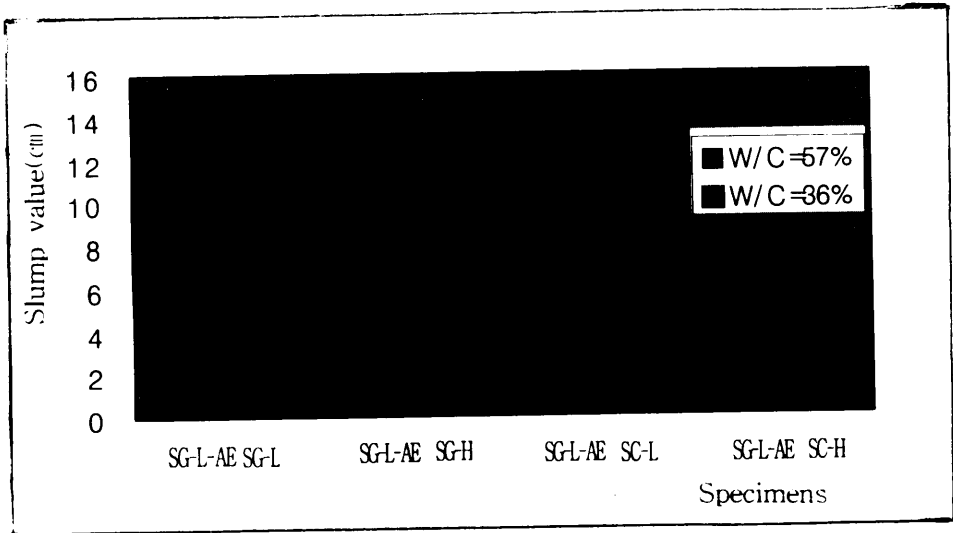


Fig. 8. Relation between specimens and slump value

2. 재령에 따른 콘크리트 강도

콘크리트는 타설후 경화기간 즉 재령에 따라 강도가 발현되며, 통상적으로 콘크리트의 설계기준강도라 함은 4주 압축강도를 의미한다. 본 실험에서는 3일, 7일, 14일, 28일의 재령에 따른 콘크리트의 압축강도, 할렬 인장강도, 휨강도에 대한 측정 결과를 Table 14에 요약하였다. 각 값은 매 실험시에 시험체 3개의 평균값을 나타내며, 재령과 각 실험 결과를 다음에 요약하였다.

Table 14. Test result of concrete strength

시험체구분	단위용적중량 (kgf/m <sup>3</sup> )				재령 (일)	평균압 축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	평균인 장강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	평균 휨강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	비 고
	물	시멘트	모래	자갈					
SG-L-AE	190	333	818	998	3	104.3	12.3	20.1	
					7	188.9	22.2	33.9	
					14	217.8	24.7	40.5	
					28	226.8	28.1	42.2	
SG-L					3	56.0	9.0	9.0	
					7	147.6	14.8	30.2	
					14	162.1	17.3	41.3	
					28	189.0	22.4	42.5	
SG-H-AE	184	514	691	991	3	68.1	12.7	8.9	
					7	162.1	19.6	29.3	
					14	287.3	27.7	53.7	
					28	322.4	32.0	63.2	
SG-H					3	168.9	19.6	32.7	
					7	231.5	26.7	42.6	
					14	307.8	29.0	57.0	
					28	327.5	29.6	63.1	
SC-L-AE	190	333	818	998	3	98.4	14.8	32.0	
					7	117.4	16.8	33.5	
					14	152.9	18.9	43.1	
					28	197.0	23.7	46.1	
SC-L					3	57.5	9.0	18.5	
					7	90.5	13.6	29.8	
					14	159.4	24.1	42.8	
					28	217.0	28.1	50.1	
SC-H-AE	184	514	691	991	3	157.2	17.9	47.3	
					7	294.3	29.8	55.0	
					14	325.9	36.3	59.3	
					28	348.6	39.1	70.8	
SC-H					3	180.4	22.9	34.9	
					7	242.5	30.5	41.5	
					14	304.9	32.9	60.9	
					28	369.0	33.5	64.7	

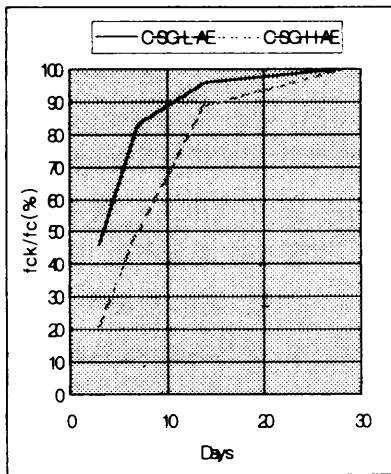
## 가. 압축강도

콘크리트의 설계기준강도는 28일 압축강도를 기준으로 삼고있으므로 재령을 3일, 7일, 14일 및 28일로 각각 구분하여 상가조골재와 상창조골재가 재령에 따른 압축강도의 변화, 그리고 보통 콘크리트와 고강도 콘크리트에 대해 재령에 따른 압축강도의 변화를 실험하였다. 또한 같은 조건에서 혼화제를 첨가 사용하였을 때와 사용하지 아니하였을 때의 강도 변화를 비교하였다.

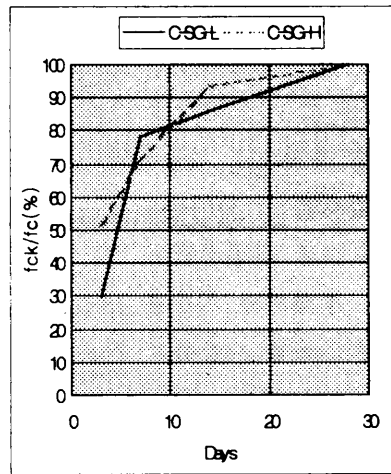
### 1) 재령에 따른 사용 콘크리트 압축강도 변화

일반적으로 콘크리트의 시험 재령은 28일을 기준으로 설계 기준 강도가 설정된다. 본 실험에서는 콘크리트 타설후 3일, 7일 및 14일의 압축강도를 측정하여 설계기준 강도 발현의 추이를 측정하였다. Table 14에서 보는 바와 같이 예상 설계강도가  $210\text{kgf/cm}^2$ 으로 배합 설계된 시험체에 대해서는  $\pm 10\%$ 범위 내의 오차 범위내에서 압축강도를 얻었다. 반면에 예상설계강도  $400\text{kgf/cm}^2$ 인 고강도 콘크리트에 대해서는 20%정도 예상강도에 못미침을 볼 수 있다. 이는 콘크리트의 비빔, 실험시의 오차를 들 수 있으나, 이 보다는 상가조골재와 상창조골재가 수도권에서 사용하는 대표적인 조골재에 비해 비중과 조립율이 적은 반면 흡수율이 크며 제주도 현무암 쇄석골재의 강도차와 콘크리트의 제작에서 25mm의 골재의 사용이 부적절한 것으로 그 원인을 들 수 있다.

Fig. 9는 보통 강도 콘크리트와 고강도 콘크리트의 강도 발현의 정도를 비교하였다. 이 그림에서 X축을 재령으로 하고, Y축은 재령 28일 압축강도( $f_{ck}$ )에 대한 각 재령별 압축강도( $f_c$ )의 비율(%)로 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 동일 조건의 보통강도 콘크리트에 비하여 고강도 콘크리트에서 조기에 강도가 발현됨을 볼 수 있다. 또한, 상가 골재나 상창 골재의 사용에 대해 그 강도 발현의 정도에는 그 다지 차이를 볼 수 없다. 단지, C-SG-H-AE 시험체에 대한 압축 강도의 측정 결과는 이 시험체들은 콘크리트 타설시에 부적절한 다짐에 의해 공보가 발생하여 강도 측정시 강도 발현이 안되었기 때문이라 사료된다.

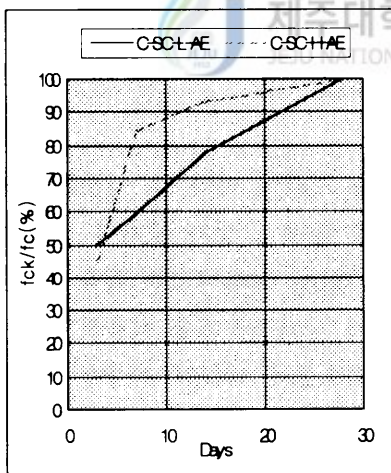


i) Concrete with admixture

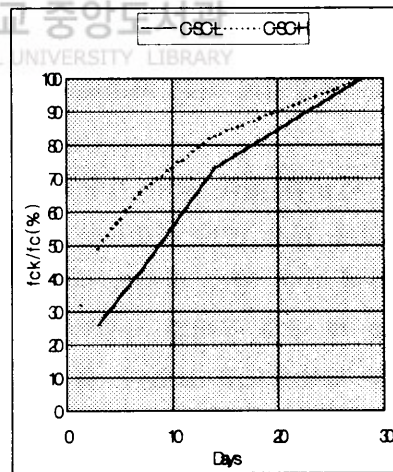


ii) Concrete without admixture

a) Concrete of coarse aggregate from Sangga



i) Concrete with admixture



ii) Concrete without admixture

b) Concrete of coarse aggregate from Sangchang

Fig. 9. Compressive strength according curing days



## 2) 혼화제 사용 유무에 따른 재령과 압축강도와의 관계

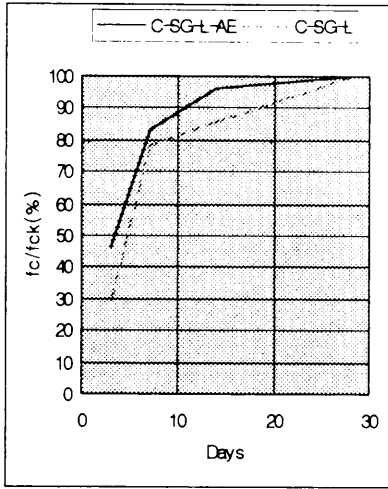
혼화제는 그 사용목적에 따라 그 용도를 달리 한다. 본 실험에서는 시공성 증대를 목적으로 사용하였다. 그러나 일반적으로 혼화제의 사용은 시공성은 증대시킬 수 있더라도 혼화제를 사용하지 않은 경우보다 급결되는 성질이 있으므로 비빔시간이 증가하면 오히려 시공성이 하락하는 경향이 있다. 또한, 혼화제의 사용은 단위 수량을 감소시키는 성질 때문에 강도의 발현은 혼화제를 사용하지 않은 경우보다 급격히 발현되는 성질을 지니고 있다.

Fig. 10은 혼화제 사용 여부에 따른 강도 발현을 나타내고 있다. 이 그림에서 X축을 재령으로 하고, Y축은 재령 28일 압축강도(fck)에 대한 각 재령별 압축강도(fc)의 비율(%)로 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 혼화제의 사용은 혼화제를 사용하지 않은 경우보다 조기에 강도가 급격히 발현되는 추세를 볼 수 있다. 즉, 혼화제의 사용은 동일 물시멘트비에 대해서도 조기 강도가 발현된다.

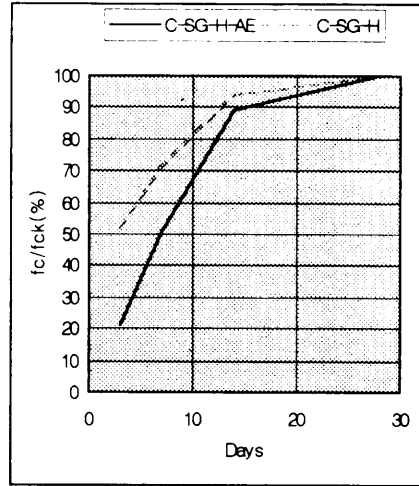
## 3) 사용 조골재에 따른 재령과 압축강도 관계

앞서 언급한 바와 같이 제주도의 골재는 지역에 따라 그 성분들이 다르다. 도내에 가장 많이 사용하는 콘크리트용 골재로 상가 골재와 상창 골재의 사용에 따른 강도 변화를 측정하였다. Table 14에서 4주 압축강도를 비교해 볼 때 상창 골재를 사용하였을 경우가 상가조골재를 사용하였을 경우보다 큰 압축강도를 보였다. 골재는 콘크리트중에 약65% 이상을 차지한다면 상창 골재가 상가 골재에 비하여 더 큰 강도를 지님을 알 수 있다.

Fig. 11은 재령에 따른 압축강도의 변화 추이를 나타내고 있다. 이 그림에서 X축을 재령으로 하고, Y축은 재령 28일 압축강도(fck)에 대한 각 재령별 압축강도(fc)의 비율(%)로 나타낸다. 그림에서 강도 발현 측면에서는 오히려 상가 골재가 조기 강도 발현에 유리함을 볼 수 있다.

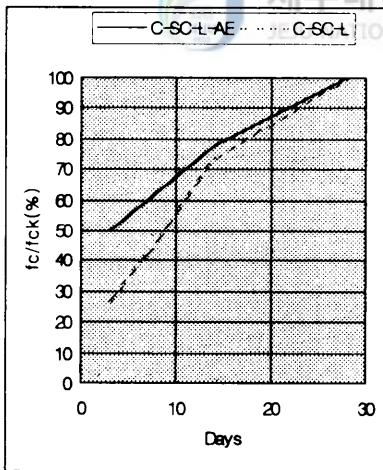


i) Normal strength concrete

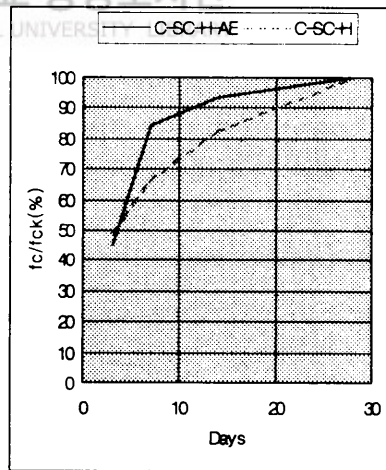


ii) High strength concrete

a) Concrete of coarse aggregate from Sangga



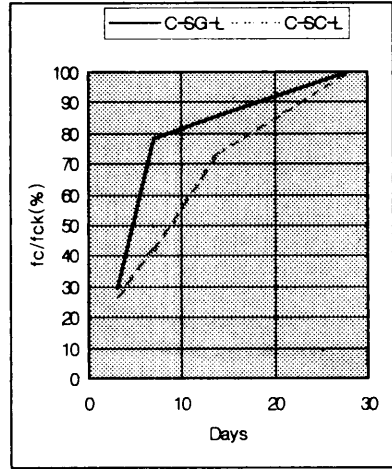
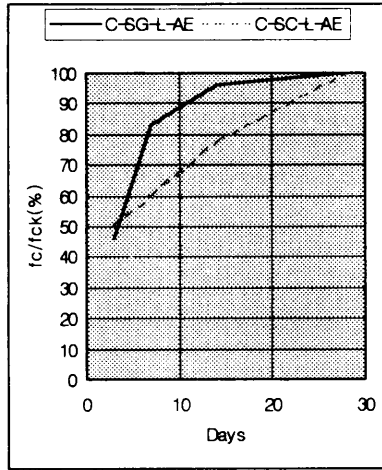
i) Normal strength concrete



ii) High strength concrete

b) Concrete of coarse aggregate from Sangchang

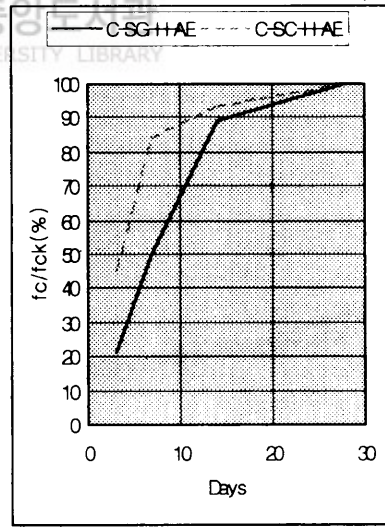
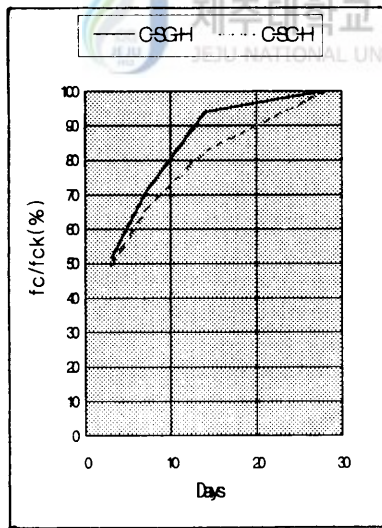
Fig. 10. Relationship of curing days and compressive strength with or without admixture



i) Concrete with admixture

ii) Concrete without admixture

a) Normal strength concrete



i) Concrete with admixture

ii) Concrete without admixture

b) High strength concrete

Fig. 11. Relationship of curing days and compressive strength according to gathering location of coarse aggregates

## 나. 인장강도

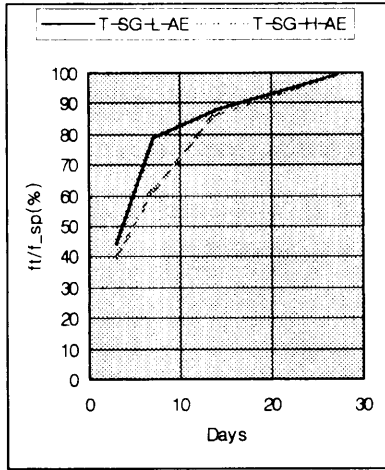
콘크리트의 인장강도는 할렬인장강도로 측정되었다. 콘크리트의 할렬강도는 일반적으로  $\sqrt{f_{ck}}$ 에 비례한다(대한건축학회,1996). 특히, 인장강도는 철근콘크리트 구조물에서 균열과 깊은 관련이 있다. 따라서 본 절에서는 각 변수에 따른 콘크리트의 인장강도의 변화를 파악하였다.

### 1) 재령에 따른 사용 콘크리트 인장강도 변화

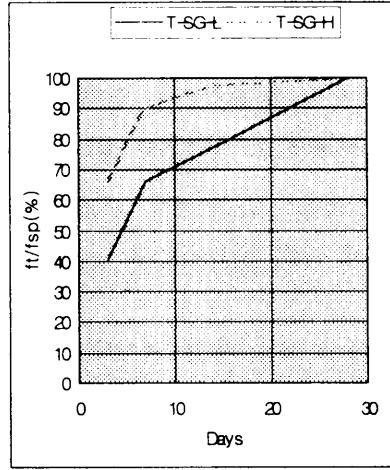
콘크리트의 인장강도는 압축강도와 유사한 경향을 보인다. Fig.12는 보통 강도의 콘크리트와 고강도 콘크리트의 인장 강도 발현의 정도를 비교하였다. 이 그림에서 X축을 재령으로 하고, Y축은 재령 28일 콘크리트의 할렬 인장강도( $f_{sp}$ )에 대한 각 재령별 인장강도( $f_t$ )의 비율(%)로 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 조기 양생 기간에 인장 강도가 급격히 발현되었으나, 시간이 흐름에 따라 발현의 정도가 완만함을 알 수 있다. 또한, 동일 조건의 보통강도 콘크리트에 비하여 고강도 콘크리트가 인장강도의 발현이 조기에 이루어짐을 볼 수 있다.

### 2) 혼화제 사용 유무에 따른 재령과 인장강도와의 관계

앞서 언급한 바와 같이 혼화제의 사용은 시공성의 증대를 목적으로 사용하였으며, 혼화제의 성질상 급격한 응결 및 조기 강도 발현을 보였다. Fig.13은 혼화제 사용 여부에 따른 강도 발현을 나타내고 있다. 이 그림에서 X축을 재령으로 하고, Y축은 재령 28일 콘크리트의 할렬 인장강도( $f_{sp}$ )에 대한 각 재령별 인장강도( $f_t$ )의 비율(%)로 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 혼화제의 사용은 혼화제를 사용하지 않은 경우보다 조기에 강도가 급격히 발현되는 추세를 볼 수 있다. 특히 혼화제를 사용한 경우에 약 7일후 약 70~80% 정도의 인장 강도를 보였다.

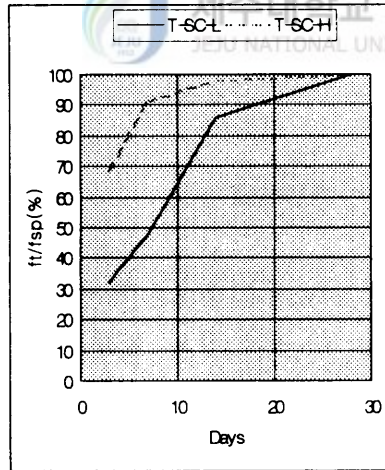


i) Concrete with admixture

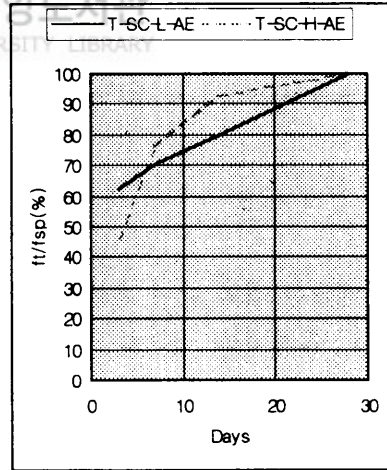


ii) Concrete without admixture

a) Concrete of coarse aggregate from Sangga



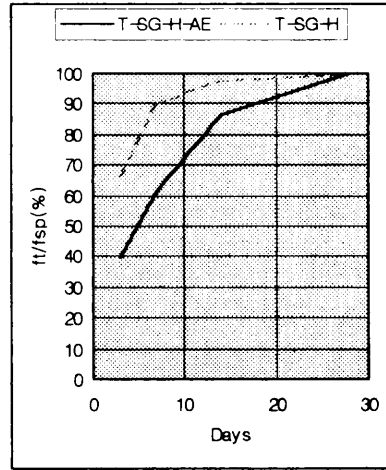
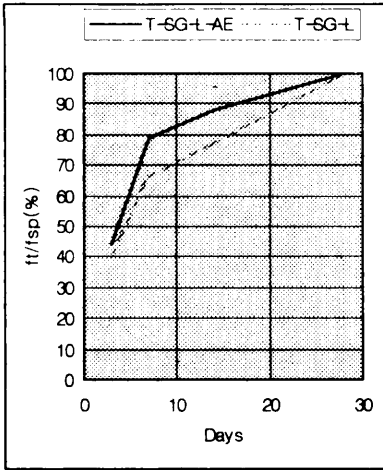
i) Concrete with admixture



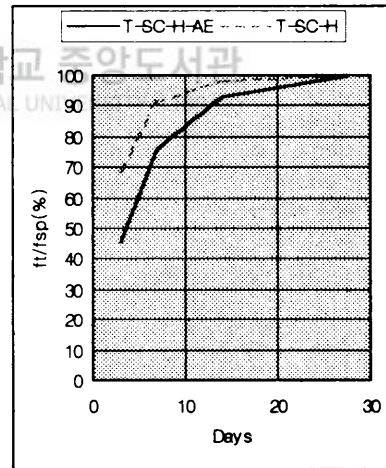
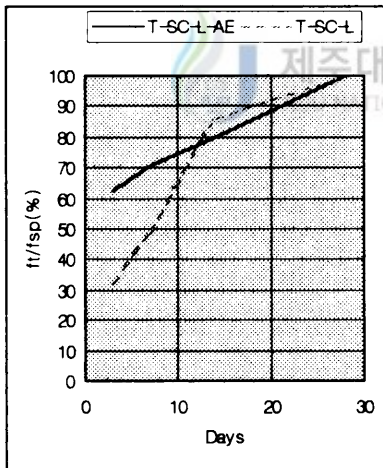
ii) Concrete without admixture

b) Concrete of coarse aggregate from Sangchang

Fig.12. Relationship of curing days and split strength of concrete



- i) Normal strength concrete      ii) High strength concrete  
 a) Concrete of coarse aggregate from Sangga



- i) Normal strength concrete      ii) High strength concrete  
 b) Concrete of coarse aggregate from Sangchang

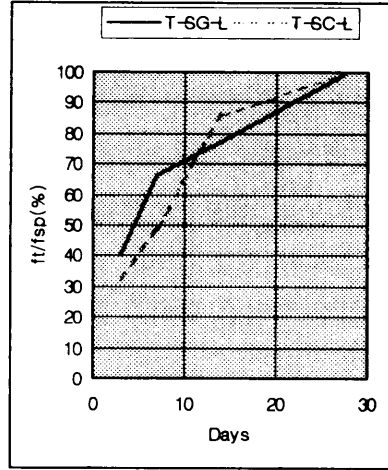
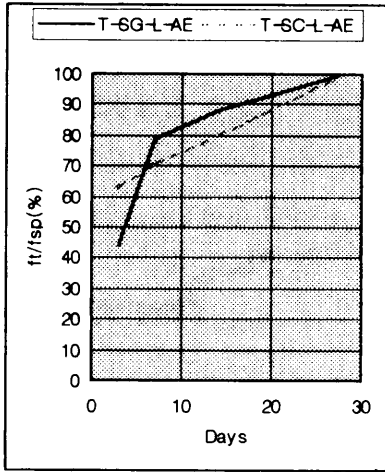
Fig.13. Relationship of curing days and split strength of concrete with or without admixtures

### 3) 사용 조골재에 따른 재령과 인장강도와의 관계

Table 14에서 4주 인장강도를 비교할 경우에 압축 강도와는 유사하게 상창 골재를 사용하였을 경우가 상가조골재를 사용하였을 경우보다 큰 인장강도를 보였다. 이는 콘크리트의 인장강도는  $\sqrt{f_{ck}}$ 와 비례관계에 있다는 기존의 결과와 유사함을 알 수 있다(대한건축학회,1996).

Fig.14는 재령에 따른 인장강도의 변화 추이를 나타내고 있다. 이 그림에서 X축을 재령으로 하고, Y축은 재령 28일 콘크리트의 활렬 인장강도 ( $f_{sp}$ )에 대한 각 재령별 인장강도( $f_t$ )의 비율(%)로 나타낸다. 이 그림에서 강도 발현 측면에서는 압축강도와는 달리 상가 골재나 상창 골재를 사용한 콘크리트에서 거의 유사하게 진행됨을 볼 수 있다.

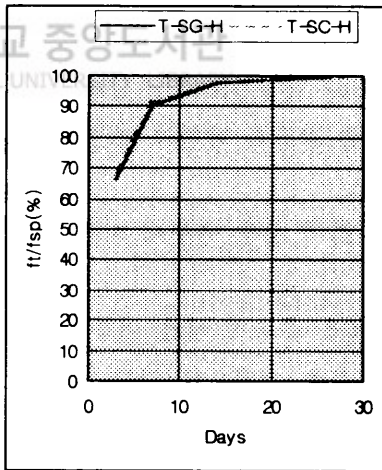
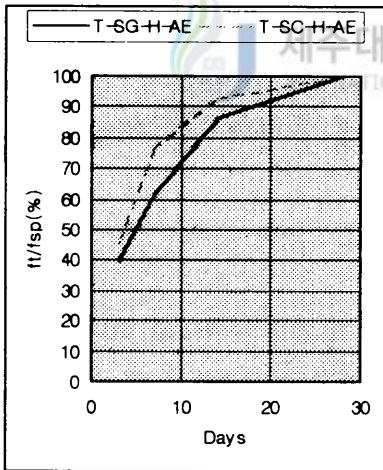




i) Concrete with admixture

ii) Concrete without admixture

a) Normal strength concrete



i) Concrete with admixture

ii) Concrete without admixture

b) High strength concrete

Fig.14. Relationship of curing days and split strength of concrete according to gathering location of coarse aggregates



#### 다. 휨 강도

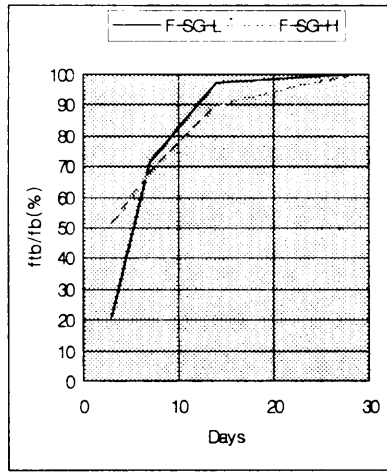
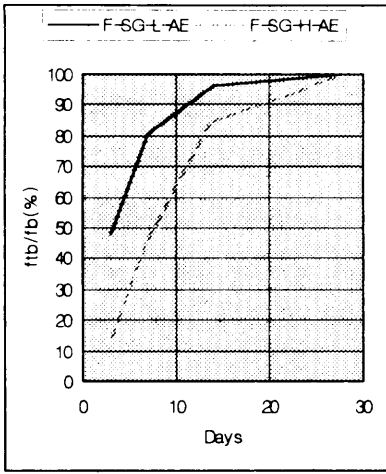
콘크리트의 휨 강도는 기존의 연구 결과들에 의하면 할렬강도와 유사하게  $\sqrt{f_{ck}}$ 에 비례관계에 있다(대한건축학회,1996). 따라서 본 실험에서의 휨 강도 실험은 휨 인장강도로 볼 수 있으며, 전절의 인장강도와 매우 유사하며, 콘크리트의 인장강도를 할렬 인장강도와 휨 강도로 대신하여 사용된다. 본 절에서는 주어진 변수에 따른 콘크리트의 휨 강도 변화를 파악하였다.

##### 1) 재령에 따른 사용 콘크리트 휨 강도 변화

Fig. 15는 보통 강도의 콘크리트와 고강도 콘크리트의 휨강도 발현의 정도를 비교하였다. 이 그림에서 X축을 재령으로 하고, Y축은 재령 28일 콘크리트의 휨 강도( $f_b$ )에 대한 각 재령별 휨 강도( $f_{tb}$ )의 비율(%)로 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 조기 양생 기간에 휨 강도가 급격히 발현되었으나, 시간이 흐름에 따라 발현의 정도가 완만함을 알 수 있다. 또한, 압축강도나 인장강도와는 달리 동일 조건의 보통 콘크리트와 고강도 콘크리트가 휨 강도의 발현의 정도는 유사함을 볼 수 있다.

##### 2) 혼화제 사용 유무에 따른 재령과 휨 강도와의 관계

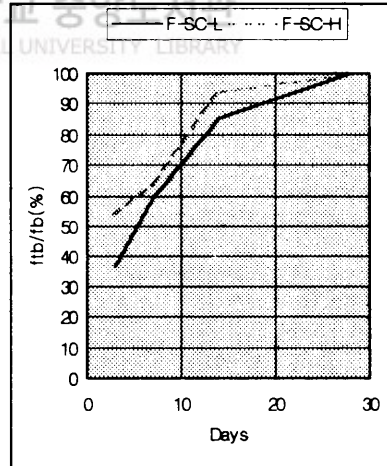
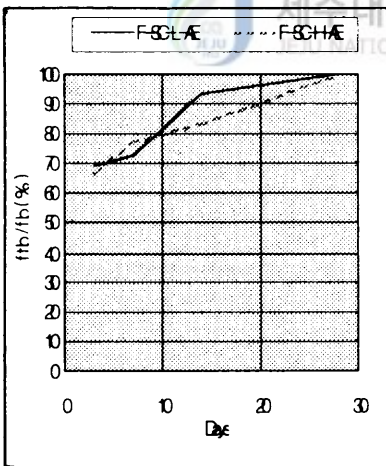
Fig.16은 혼화제 사용 여부에 따른 강도 발현을 나타내고 있다. 이 그림에서 X축을 재령으로 하고, Y축은 재령 28일 콘크리트의 휨 강도( $f_b$ )에 대한 각 재령별 휨 강도( $f_{tb}$ )의 비율(%)로 나타낸다. 그림에서는 앞선 압축강도나 인장강도와는 달리 혼화제를 사용하는 경우가 재령 초기에서 휨 강도가 크게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 이는 AE혼화제는 공기 연행제로써 콘크리트 내부에 공기 연행에 의해 시공성이 증대되어 휨 인장강도를 증진시키는 것으로 판단된다.



i) Concrete with admixture

ii) Concrete without admixture

a) Concrete of coarse aggregate from Sangga



i) Concrete with admixture

ii) Concrete without admixture

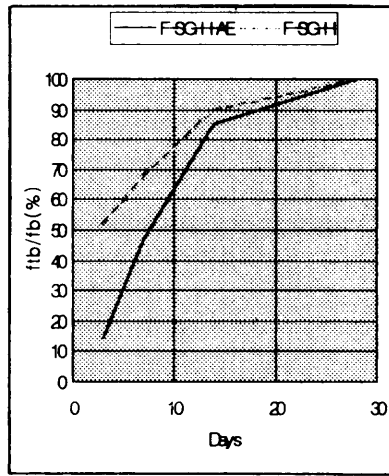
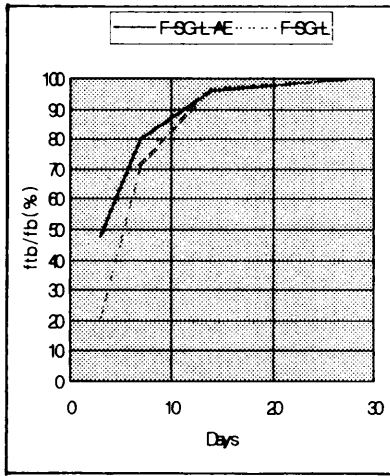
b) Concrete of coarse aggregate from Sangchang

Fig.15. Relationship of curing days and flexural strength of concrete

### 3) 사용 조골재에 따른 재령과 휨 강도와의 관계

Fig.17은 재령에 따른 휨 강도의 변화 추이를 나타내고 있다. 이 그림에서 X축을 재령으로 하고, Y축은 재령 28일 콘크리트의 휨 강도( $f_b$ )에 대한 각 재령별 휨 강도( $f_{tb}$ )의 비율(%)로 나타낸다. 그림에서 강도 발현 측면에서는 상창 골재를 사용한 콘크리트가 상가 골재를 사용한 콘크리트보다 조기에 휨 강도를 발현함을 알 수 있다. 그러나, 14일후에는 거의 유사한 경향을 볼 수 있다.

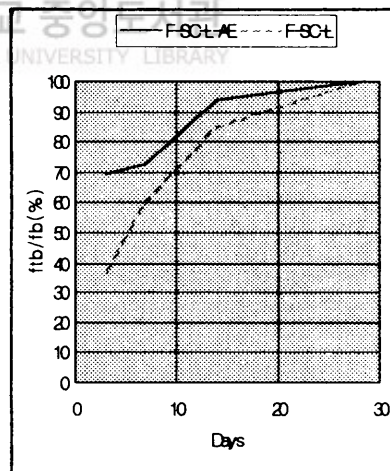
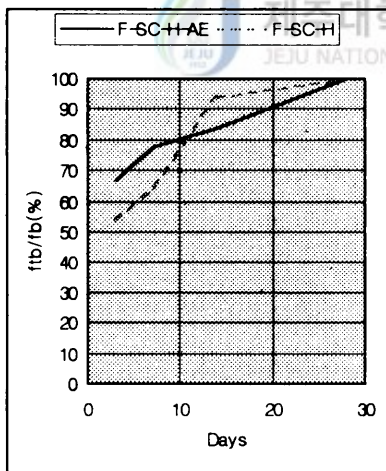




i) Normal strength concrete

ii) High strength concrete

a) Concrete of coarse aggregate from Sangga

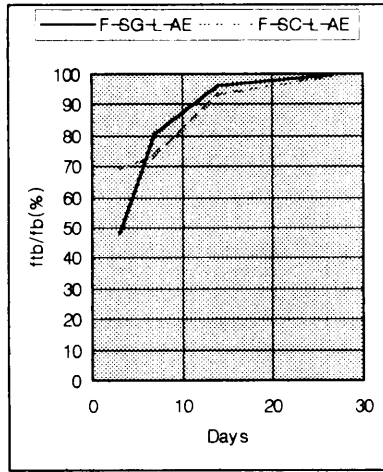


i) Normal strength concrete

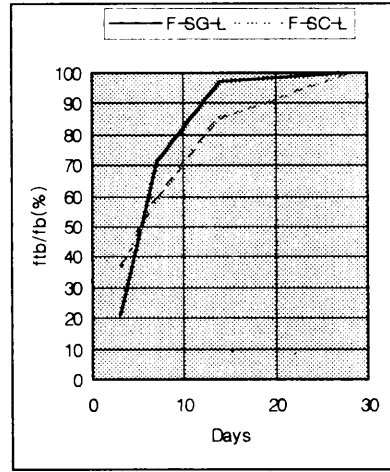
ii) High strength concrete

b) Concrete of coarse aggregate from Sangchang

Fig.16. Relationship of curing days and flexural strength of concrete with or without admixtures

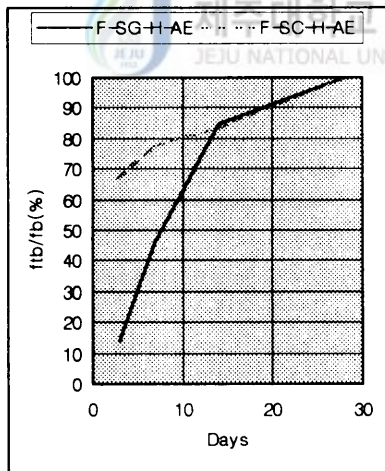


i) Concrete with admixture

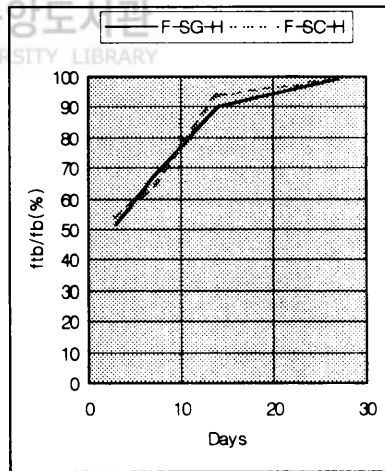


ii) Concrete without admixture

a) Normal strength concrete



i) Concrete with admixture



ii) Concrete without admixture

b) High strength concrete

Fig.17. Relationship of curing days and flexural strength of concrete according location of coarse aggregates

## V. 결 론

콘크리트는 경화전·후의 성질인 시공성 및 강도를 확보함으로써 품질면에서 우수한 재료가 될 수 있다. 콘크리트는 시멘트, 모래, 자갈 및 물 혹은 필요에 따라서는 혼화제로 구성되는 합성재료로 이 구성 성분이나 구성비에 따라 그 물리적인 성질을 달리 한다. 특히, 제주도는 조골재로서 현무암질의 쇄석을 사용하며, 화산의 작용에 의해 지역마다 골재의 구성 성분 및 성질을 달리 함으로 콘크리트의 성질에도 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 골재의 채취 장소, 혼화제의 사용 유무 및 재령에 따른 콘크리트의 강도 변화와 물리적인 성질인 압축, 인장 및 휨강도를 측정하여 다음과 같은 결론들을 얻었다.

(1) 재령에 따른 보통강도 콘크리트와 고강도 콘크리트의 압축, 인장 및 휨강도를 측정한 결과, 동일 조건의 보통 콘크리트에 비하여 고강도 콘크리트가 조기에 강도가 발현되었다.

(2) 혼화제는 시공성을 증대시킬 목적으로 사용하는 바, 혼화제 사용 유무에 따라 시공성에 차이를 보였다. 그러나 혼화제의 사용은 콘크리트의 급격한 경화 현상을 보임으로 실무에 있어서는 혼화제의 사용 시기를 적절히 고려하여야만 한다.

(3) 재령에 따른 혼화제의 사용 유무와 콘크리트의 압축, 인장 및 휨강도의 발현은 혼화제를 사용할 경우에 조기에 강도 발현이 이루어 졌으며 약 14일후에는 완만한 강도 증가를 보였다.

(4) 재령에 따른 조골재의 채취장소에 따른 콘크리트의 압축, 인장 및 휨강도의 발현 추이는 상창 골재를 사용한 콘크리트가 일반적으로 크게 나타났다. 즉, 상창 골재를 사용한 콘크리트가 상가 골재를 사용한 콘크리트에 비하여 강도가 크게 나타났는데, 본 실험에 의하여 상창 골재가 상가 골재보다 흡수율이 작다는 면에서 유추가 가능하다. 이외에 골재의 강도차에 기

인한다고 사료된다.

(5) 콘크리트 파괴의 양상으로는 ① 시멘트 페이스트의 파괴, ② 골재 표면에서의 부착 파괴, ③ 골재 파괴의 세 종류가 있는데 본 실험 결과 콘크리트 공시체 압축강도 실험에서 골재 파괴의 양상이 일어났다. 이러한 현상은 보통강도 콘크리트보다 고강도 콘크리트에서 더 심하게 나타났다. 이것은 경량 콘크리트에서나 볼 수 있는 양상이다. 콘크리트중에 골재가 차지하는 비율이 약 65%이상 임을 감안한다면 제주도지역의 현무암 조골재의 특성상 콘크리트의 사용 골재가 분담하는 하중이 증가하여 골재가 이를 충분히 견디지 못하였기 때문이라 사료되며, 특히 제주도 현무암 쇄석 조골재를 사용하여 고강도 콘크리트를 생산하기 위해서는 앞으로 많은 연구가 필요하다고 본다.

(6) 본 실험은 제주도에서 콘크리트용 쇄석 조골재를 생산하는 15곳 중 가장 많이 생산 공급하고 있는 상가골재와 상창골재인 두 곳에 대하여 제한된 수의 시험체로 고찰하였으나, 앞으로 제주도에 생산되고 있는 모든 골재를 대상으로 보다 폭넓은 연구의 필요성이 있을 것이다. 그러나 본 연구의 결과는 제주도 쇄석 조골재를 이용한 고강도 콘크리트에 대한 기초적인 자료가 될 뿐만 아니라 실무에도 충분히 반영될 수 있으리라 판단된다.

## 참고 문헌

- 姜丙國, 1980, “콘크리트의 역학적 성질에 미치는 잔골재율의 영향에 관한 연구”, 단국대 대학원.
- 공업진흥청 1994, “레디 믹스트 콘크리트 표시허가 심사기준”
- 김무한, 1994, “골재의 수습 및 품질현황과 콘크리트의 성능” 시멘트/콘크리트의 품질시험 및 품질관리, 한국콘크리트학회, pp. III-40~41.
- 김무한, 신현식, 김문한, 1994, 건축재료학, 문운당, pp. 118~217.
- 김경철, 1983, 쇄석조골재를 사용한 콘크리트강도에 관한 실험적 연구, 碩士學位 論文, 東亞大學校 大學院, pp. 26~49.
- 金尙武, 1985, “濟州道 火山滓를 콘크리트용 골재로 사용하기 위한 實驗的 研究” 碩士學位 論文, 漢陽大學校 産業大學院, pp. 2~6.
- 김생빈, 1996, “철근콘크리트 공학” 기문당.
- 金秀寧, 1981, “고성능 감수제를 사용한 콘크리트의 강도에 대한 연구”, 東亞大 大學院, 土木工學科.
- 金亨杰, 1973, “콘크리트 혼화제가 콘크리트 성질에 미치는 영향”, 대한건축학회지 제17권 제53호, pp. 3~9.
- 대한건축학회, 1994, “극한강도 설계법에 의한 철근 콘크리트 규준 및 해설”, 기문당.
- 대한건축학회, 1996, “고강도-고성능 콘크리트 제조, 시공 및 설계”, 기문당.
- 朴性裁, 1978, “碎石骨材를 사용한 콘크리트의 강도에 관한 연구”, 부산시정 연구보고서, pp. 315~323.
- 박철립, 1994, “고성능 콘크리트의 연구동향과 실용화 방안”, 레미콘(한국 레미콘 공업협회), pp. 27~35.
- 신성우, 김진근, 1987-1990, “고강도, 유동화 및 섬유콘크리트의 개발과 역학적 특성에 관한 연구”, 과학기술처. 보고서(I)(II)(III).
- 신현식, 김문한, 김무한, 신동우, 현창택, 이현수, 박찬식, 1998, “건축시공학” 문운당, pp. 202~264.
- 趙炳權, 1986, 골재의 특성이 콘크리트의 性質 및 配合에 미치는 影響에 관한 考察, 건설기술 연구.



- 安甲善, 1994, “고강도 콘크리트용 碎石의 品質에 관한 실험적 연구” 대한 건축학회 논문집.
- 吳昌熙, 徐致鎬, 1982, “碎石콘크리트 활용에 관한 실험적 연구”, 대한건축 학회지 제26권 제105호, pp. 59~64.
- 윤기원, 한천구, 최강순, 1995, 대한건축학회논문집 제11권제3호, pp. 165~172.
- 元永壽, 1980, “굵은 골재의 특성과 콘크리트 강도에 관한 연구”, 단국대대학원.
- 장동일, 구봉근, 1980, “건설 재료 실험” 야정문화사.
- 정일영, 1980, “콘크리트 強度의 초기추정에 관한 연구” 대한건축학회.
- 정일영, 1991, “각종 조골재 입경 및 혼합비율에 의한 콘크리트 강도의 영향에 관한 연구, 대한건축학회논문집 제7권 제3회 pp. 297~306.
- 정일영, 박희민, 1992, “하이퍼포먼스 콘크리트의 가능성”, 한국콘크리트 학회지 제4권 2호, pp. 45~51.
- 정일영, 한천구, 정상진, 건축재료 실험, 형설출판사, pp.150~251.
- 정헌수, 1987, 고강도 철근콘크리트 구조, 태림문화사.
- 한국콘크리트학회, 1991, “고강도 콘크리트 실용화 연구” KCI Report No. 91-01.
- 韓于求, 1980, “골재가 콘크리트 탄성계수에 미치는 영향에 관한 연구”, 단국대 대학원.
- 현대건설기술연구소, 1995, “고강도 콘크리트의 실용화를 위한 재료/구조 실험 및 해석기법 연구”, 91MTR01.
- 洪性基, 1979, “骨材量과 콘크리트 배합설계에 관한 연구” pp. 1~111.
- KS F 2402, “Testing Method for Slump of Portland Cement Concrete”.
- KS F 2421, “Testing Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method”.
- KS F 2405, “Testing Method for Compressive Strength of Method Concrete Cylinders”.

## 부 록



저실험해관련 사진도서관  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



Photo. 1. Gathering fine aggregates

JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY



Photo. 2. Gathering Sangga aggregates



Photo. 3. Gathering Sangchang aggregates



Photo. 4. Concrete placing for slump test

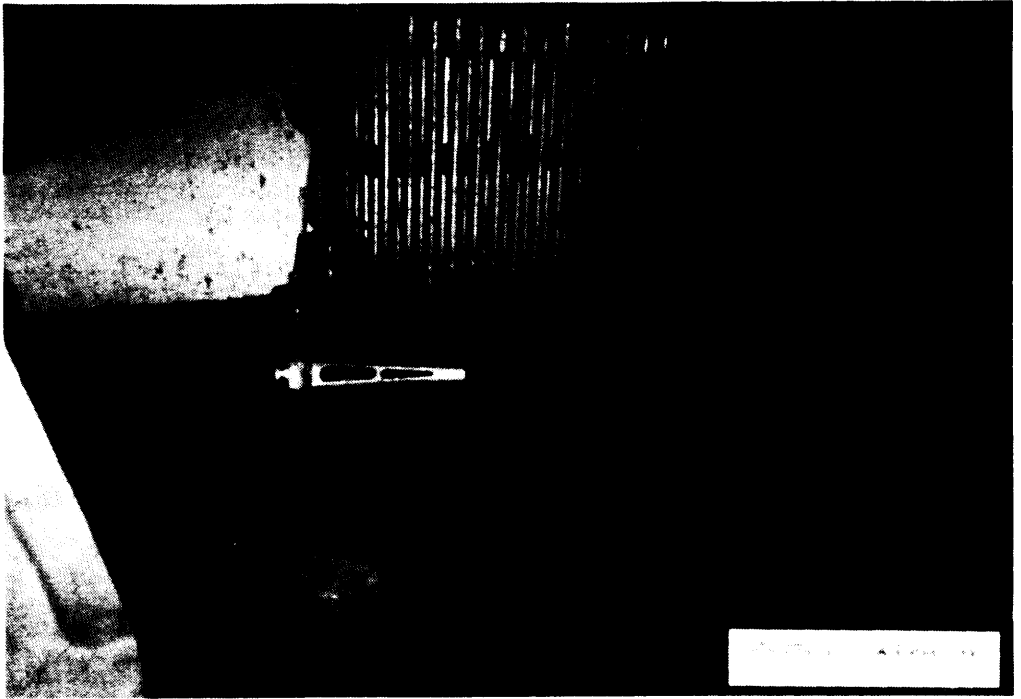


 Photo. 5. Slump test

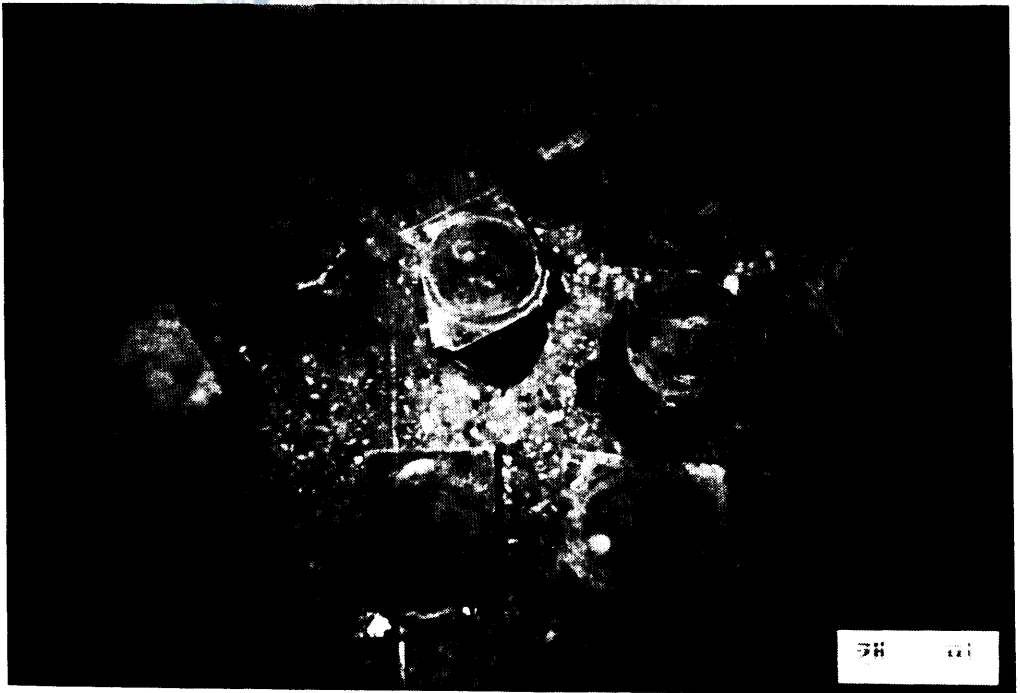


Photo. 6. Capping of specimens

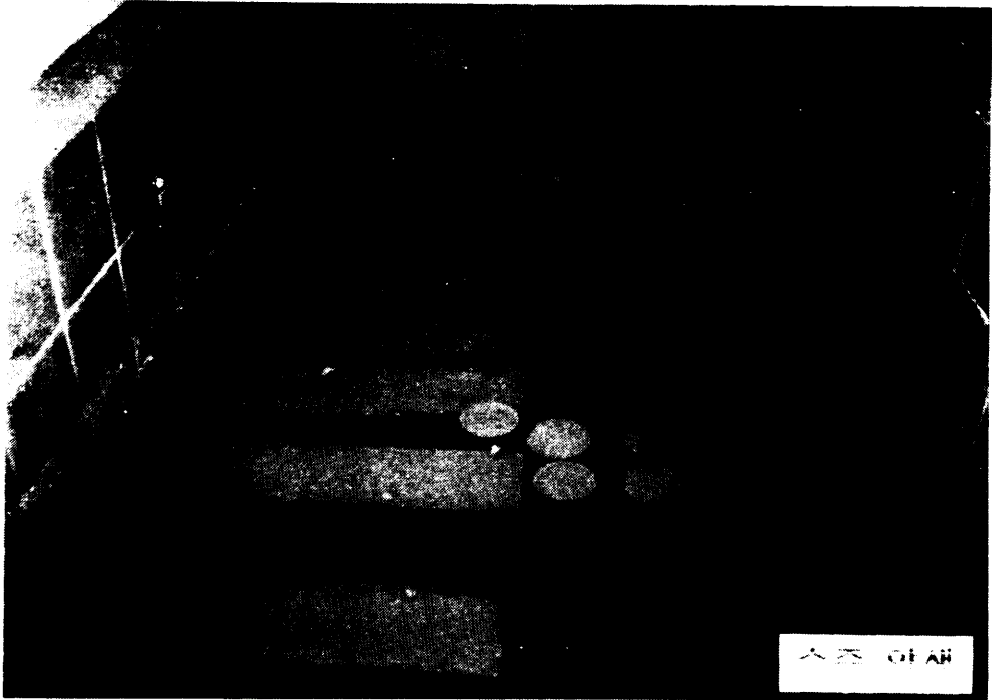


Photo. 7. Concrete curing in water

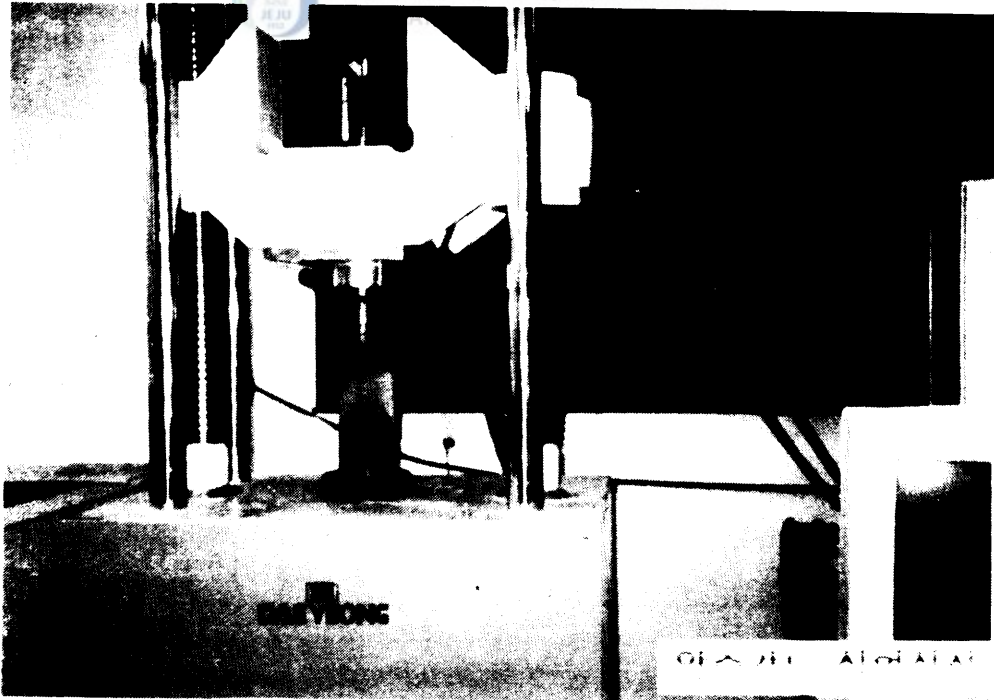


Photo. 8. Before compressive test

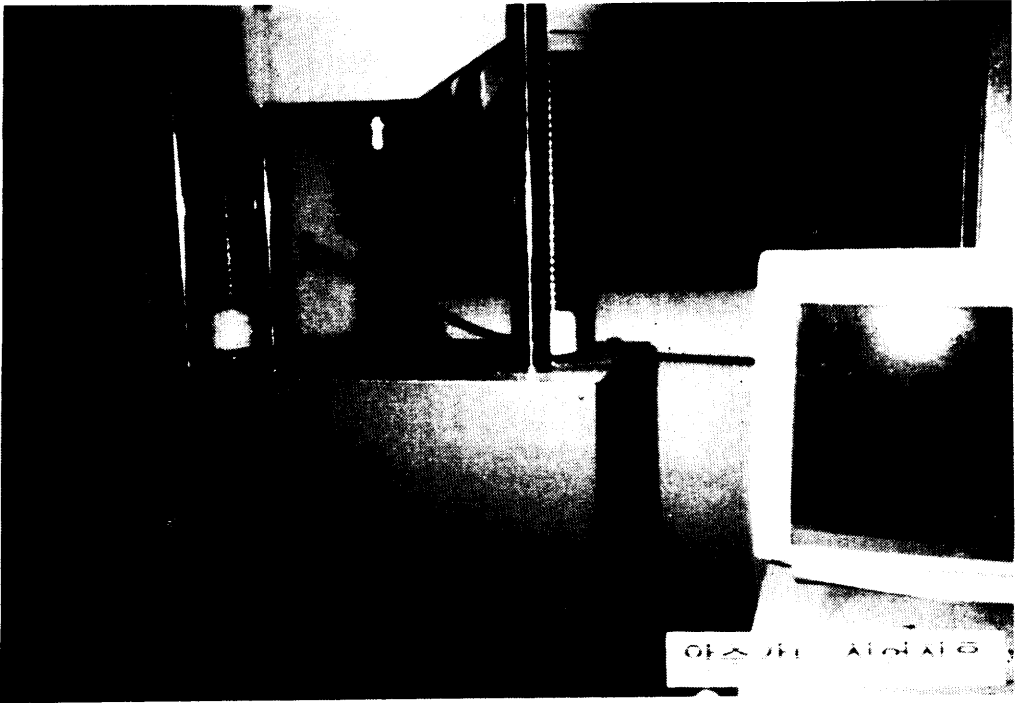


Photo. 9. After compressive test



Photo. 10. Compressive failure shape

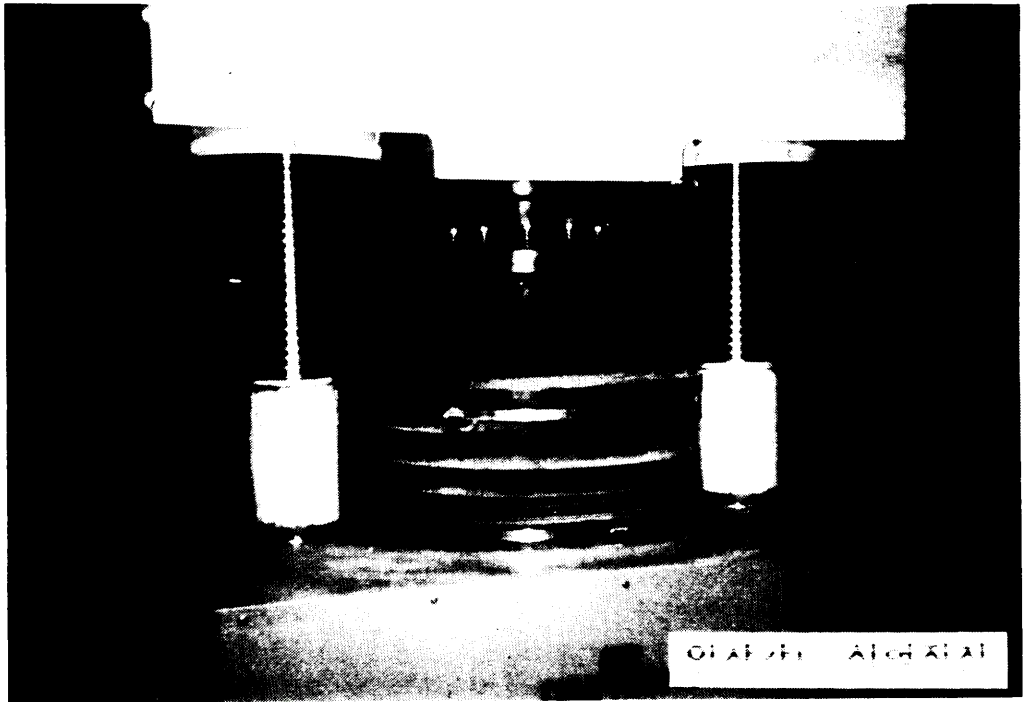


Photo. 11. Before tensile test



제주대학교 중앙도서관  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

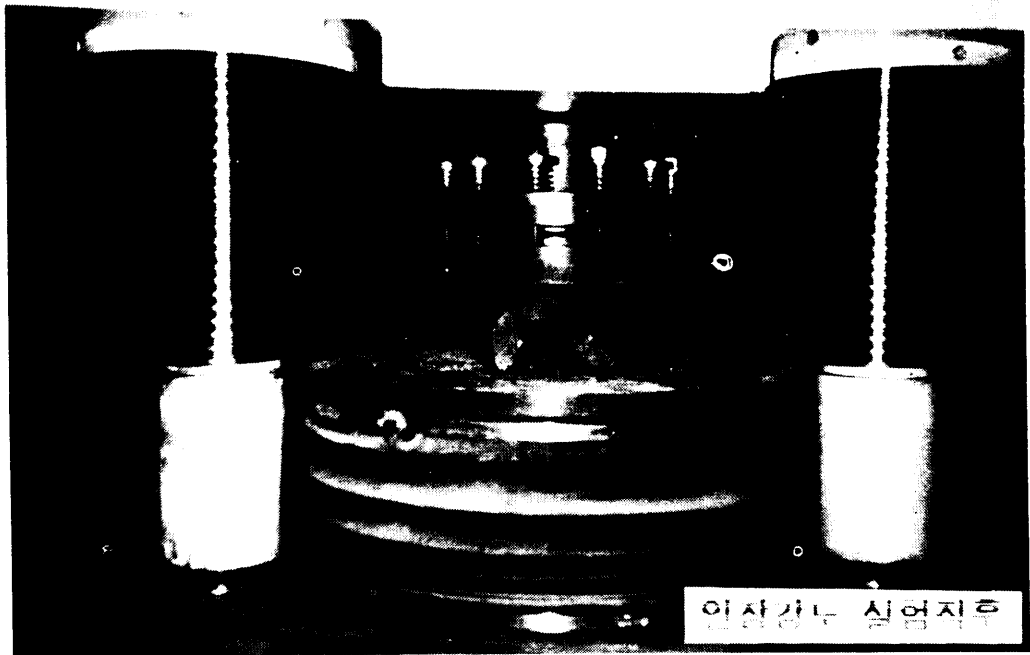


Photo. 12. After tensile test





Photo. 13. Tensile failure shape



Photo. 14. Before flexural test

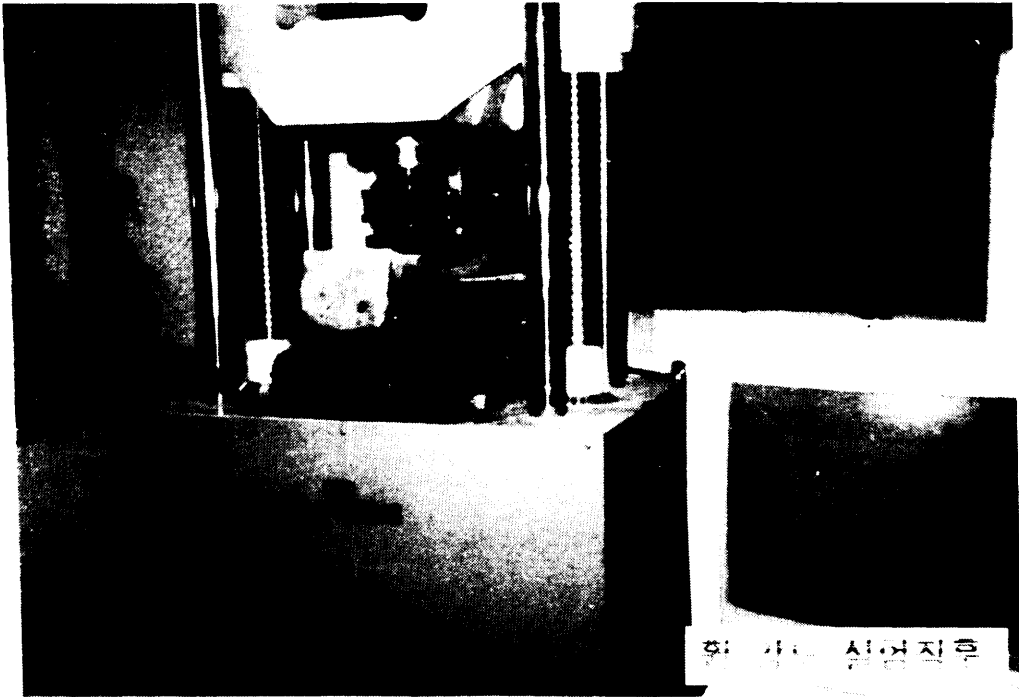


Photo. 15. After flexural test

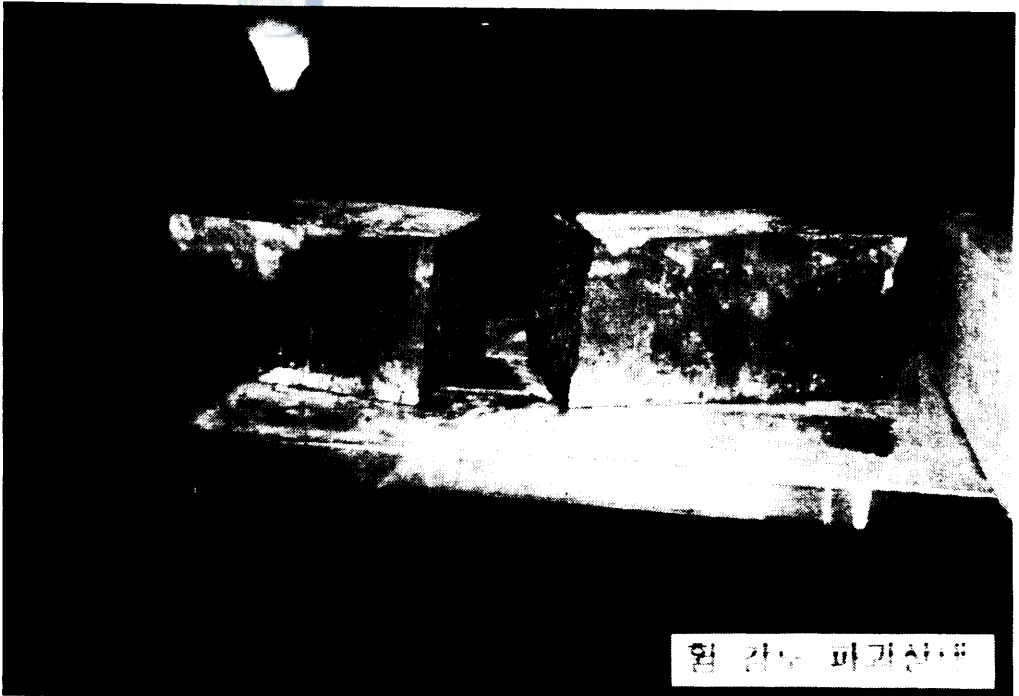


Photo. 16. Flexural failure shape