

고강도 경량콘크리트의 실용화를 위한  
기초적 실험연구  
(Fundamental Tests for General Use of High-Strength Lightweight Concrete)

○ 김형태\*, 김원근\*  
Kim, Hyung Tae Kim, Won Keun

ABSTRACT

This experimental study is performed by using artificial lightweight aggregate manufactured in laboratory, and the test results of it are compared with those using foreign materials in respect of design compressive strength, unit weight.

The tests on strength characteristics such as bending, splitting tensile strength and on mechanical characteristics including  $\sigma - \epsilon$  curve, elastic modulus, poisson's ratio are performed to provide the fundamental data required for the design.

From this study, it is possible to obtain the high-strength concrete having compressive strength of 500 kg/cm<sup>2</sup> and unit weight of 1.85 - 2.0 t/m<sup>3</sup>. And also it is recommended that sandlightweight concrete having high specific strength is more practical for general use.

1. 머릿말

콘크리트 재료의 최적화를 이룬 새로운 건설재료로서 육상 및 해상구조물에 많은 적용이 예상되는 고강도경량콘크리트를 개발하기 위하여 본 시험에서는 그동안 조사연구된 국내 골재원으로 구조용 조세골재를 직접 제작한 후 목표강도 500 kg/cm<sup>2</sup>, 단위중량 1.85 - 2.0 t/m<sup>3</sup>의 설계요구조건을 만족시킬 수 있는지를 실험적으로 검토하였으며, 나아가 고강도경량콘크리트 제작시의 생산단가를 절감할 수 있는 방안검토에 필요한 기초적 기술자료확보를 목적으로 하였다.

2. 고강도 경량콘크리트의 특성

2.1 재료생산

구조용으로 사용되는 경량골재는 가공원석에 따라 철암, 점토, 점판암 등 천연원석으로 만들어지는 천연가공 경량골재와 슬래그, 플라이 애쉬 등 산업부산물로 만들어지는 산업부산물 경량골재로 대별된다. 또한 원석을 가공하여 제조하는 형태에 따라 조립형(Pelletized Type)과 비조립형(Non-Pelletized Type)으로 구분되며, 다시 비조립형은 표면처리 유무에 따라 피막처리형(Coated Type)과 파쇄형(Crushed Type)으로 구분된다. 표1은 이러한 경량골재의 종류 및 가공방법을 나타내고 있다.

경량골재의 제조방법은 원석의 성질에 따라 조금씩 다르지만 공통적으로 원석을 회전로속에 넣고, 1100°C 이상의 고온의 열을 가하게 되면 원석재의 광물질이 용해되면서 가스가 형성되고 시간이 지남에 따라 이 가스가 부풀고 팽창하면서 점착력을 가진 고체에 붙거나 물이나 증기와 혼합되어 연질의 고체속에 남아 있도록 하는 방법으로 만든다. 이때 가연성 물질은 회전로속에서 거의 연소되기 때문에 질열성과 내화성을 띤

재료가 만들어 지는데 일반적인 제조공정은 그림 1과 같으며, 본 시험에서 사용한 경량골재는 충북 진천군 초평읍에 소재하고 있는 약 275 ha의 대규모 혈암광산에서 채취한 가공원석을 파쇄시킨후 조골재 5-20MM, 세골재 1-5MM의 입도로 각각 세가름 하였다. 이를 충북 청원군 소재 U시멘트사로 운반한 후 Rotary Kiln(회전로)에 넣고 1200-1300°C로 가열하였는데 원석은 처음 건조되는 과정을 거치면서 서서히 발포되기 시작하여 약 1-2시간 후에는 인공경량골재를 얻을 수 있었다(사진 1 참조). 원석의 품질과 적절한 발포제의 사용여부에 따라 발포되는 비율의 차이는 있으나 본 재료는 생산시 발포제를 사용하지 않고 약 60-70%의 발포율을 보였으며 세골재보다 조골재의 비율이 높았다.

2.2 사용재료

가. 시멘트

본 실험에서는 조기강도, 수밀성 등을 만족할 수 있는 포틀랜드 시멘트 Type III를 사용하였다.

나. 골재

골재의 품질시험은 ASTM 시험규정에 의거하였으며, 시험결과와 각각 그림 2,3, 표 2와 같다.

다. 혼화재료

혼화재료로서는 콘크리트의 시공성과 강도증진을 위해 고성능 감수제와 실리카흄을 사용하였다.

2.3 배합설계

배합설계는 사전 최적 배합비 결정시험을 거쳐 표 3과 같이 결정하였다.

2.4 콘크리트 시험

슬럼프치 10±1cm를 기준으로 Ø 10x20cm 공시체를 재령 3,7,28일 별로 각각 3조씩 제작하여 수중온도 20±2°C에서 강도시험 24시간 전 까지 항온양생하였다. 강도시험은 200 Ton Capacity 유압식 시험기를 이용하여 Calibration 한후 하중재하율 800 kg/sec으로 실시하였다.

\* 정희원, (주)대우엔지니어링 기술연구소 대리

### 2.4.1 단위중량

공시체의 재령법 습윤단위중량은 표 4와 같다. 이 결과로부터 ASTM C567 방법에 의한 기건단위중량을 식(1)을 이용하여 구해보면 표 5와 같다.

$$D = G + S + 1.2C + (F - G - S - 1.2C) R \dots (1)$$

여기서, G : 단위조골재량 (kg/m<sup>3</sup>)  
 S : 단위세골재량 (kg/m<sup>3</sup>)  
 C : 단위시멘트량 (kg/m<sup>3</sup>)  
 F : 습윤단위중량 (kg/m<sup>3</sup>)  
 R : 잔류수분율로서 0.25-0.75

### 2.4.2 압축강도

그림 4에서와 같이 국산 경량골재를 사용한 경우 목표 압축강도 500 kg/cm<sup>2</sup> 를 넘어 양호한 강도 발현을 나타냈으며, 외국산 경량골재를 사용한 경우보다 5-15% 정도 큰 값을 나타냈다. 특히 재령에 따른 강도발현율은 재령 7일인 경우 28일 강도의 80-87%를 나타내 보통 콘크리트의 경우보다 높은 편이었다.

### 2.4.3 비강도(Specific Strength)

콘크리트의 단위중량에 대한 압축강도 발현율로 나타내는 비강도는 표 6과 같이 Sand Light-weight가 더 효율적이었다.

## 2.5 강도 및 역학적 특성시험

### 2.5.1 역학적 특성시험

응력-변형도 측정시험은 ASTM C469에 따라 수행되었으며, 특히 시험초기에 공시체에 순간적인 충격하중이 작용하는 것을 막기 위해 Moving Head를 1.25 mm/min의 속도로 천천히 공시체에 담게한 후 일정 속도로 재하하였다. 그리고 일정하중이 작용할 때 마다 변형도를 측정하면서 공시체가 파괴될 때까지 그림 5와 같이 재하하중과 변형도를 기록하였다.

탄성계수, 동탄성계수, 포아송비는 표 7과 같다. 정탄성계수  $E_c$ 는 같은 강도의 보통콘크리트값의 65-75% 정도로 작은 값을 나타냈다. 비파괴시험을 통하여 얻은 동탄성계수는 정탄성계수보다 10-15% 큰 값을 나타냈으며 이들  $E_c$ 와  $E_d$ 의 관계는 1975년 R.N. Swamy 등이 단위시멘트량 500 kg/m<sup>3</sup> 이상의 경량콘크리트인 경우 제안한 이론식(2)와 상당히 근사한 결과를 보였다.

$$E_c = 1.04 E_d - 4.1 \text{ (GPa)} \dots (2)$$

포아송비의 범위는 0.11-0.21로 알려진데 비해 본 시험에서는 0.12로 비교적 Low Range의 값을 나타냈다.

### 2.5.2 강도특성

휨 및 할렬강도 특성은 표 7과 같다. 휨강도는  $6.7\sqrt{f'_{c}}$ 로서 ACI 318-83의 규정치  $5.6\sqrt{f'_{c}}$ 와 F.O. Slate에 의해 제안된 수정치  $6.5\sqrt{f'_{c}}$ 보다 약간 큰 값을 나타냈고 할렬강도는  $6.1\sqrt{f'_{c}}$ 로서 ACI 318-83과 Slate의 규정치  $5\sqrt{f'_{c}}$ 보다 약간 큰 경향을 나타낸 반면 High Strength Concrete의 규정치보다 작은 값을 나타냈다.

## 3. 결 론

(1) 국산 경량골재 사용시 기건 단위중량 1.85-2.0 t/m<sup>3</sup> 범위내에 들어 만족할 만한 결과를 얻었으며, 압축강도는 경량 및 준경량 콘크리트 모두 목표 강도 500 kg/cm<sup>2</sup>을 넘었을 뿐만 아니라 외국산의 것보다 5-15% 정도 큰 값을 나타냈다.

(2) 비조립형 팽창혈암인 국산 경량골재가 사용될 경우 경량 및 준경량 콘크리트의 단위중량의 차이가 크지 않고 준경량 콘크리트의 경우가 비강도가 크므로 국산재료를 이용한 고강도 경량 콘크리트는 준경량 콘크리트를 사용하는 것이 추천된다.

(3) 정탄성계수는 고강도 콘크리트 값의 65-75%, 포아송비는 0.12로 비교적 작은 값을 나타냈다.

(4) 휨강도 및 할렬강도는 ACI 318과 Slate의 규정치  $5.6\sqrt{f'_{c}}$ ,  $5\sqrt{f'_{c}}$ 보다 크고 고강도 콘크리트의 각각 규정치  $7.5\sqrt{f'_{c}}$ ,  $6.5\sqrt{f'_{c}}$ 보다 작은 값을 나타냈다.

## 4. 감사의 글

본 연구는 1987년도 과학기술처의 연구비 지원하에 수행완료된 특정연구개발사업(기업주도) 연구결과 의 일부임을 밝히며 이에 당국에 감사드립니다.

## References

1. Brice F. Bender, "Economics and Use of Lightweight Concrete in Prestressed Structures," PCI Journal, 1980, pp.62-67.
2. ACI Committee 363, "State-of-the-Art Report on High Strength Concrete," ACI Journal 1984, July-Aug.
3. Neville, A.M., "Properties of Concrete," Pitman, 1981.
4. 오창희, "인공경량골재를 이용한 경량콘크리트의 활용에 관한 연구," 대한건축학회지, 1979.
5. 홍사천, "개흙과 점토를 원료로한 소성경량골재의 특성에 관한 실험적 연구," 대한건축학회 창립 30주년 기념논문집, 1975.
6. 서치효, "경량콘크리트 성장에 관한 실험적 연구," 한양대학교, 대학원, 1985.
7. 건설부, "경량골재콘크리트 (기술지도서 25)," 1986.
8. 한국표준공업협회, "구조용 경량골재(KS F2534)," 1980.

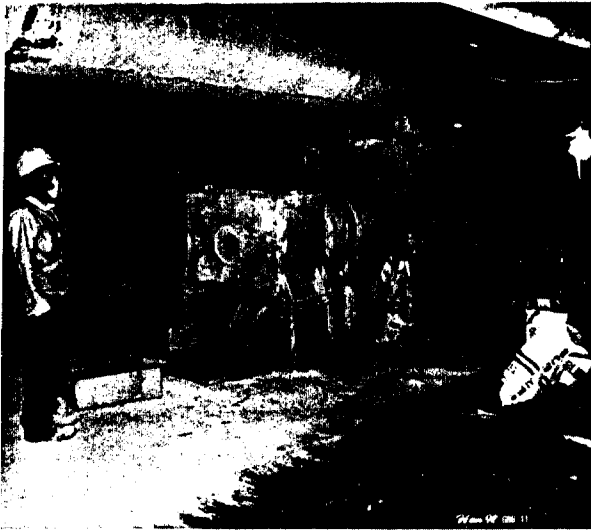


사진 1 경량골재 제조

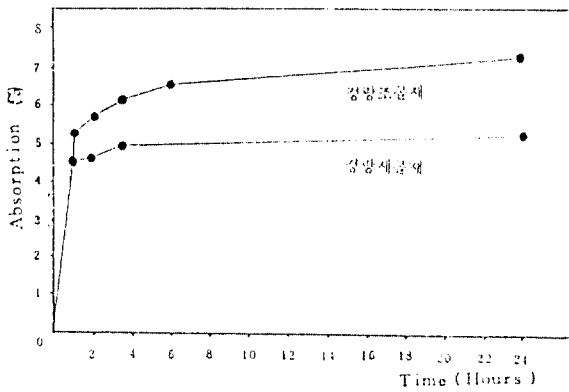


그림 3. 경량골재의 흡수율 시복성

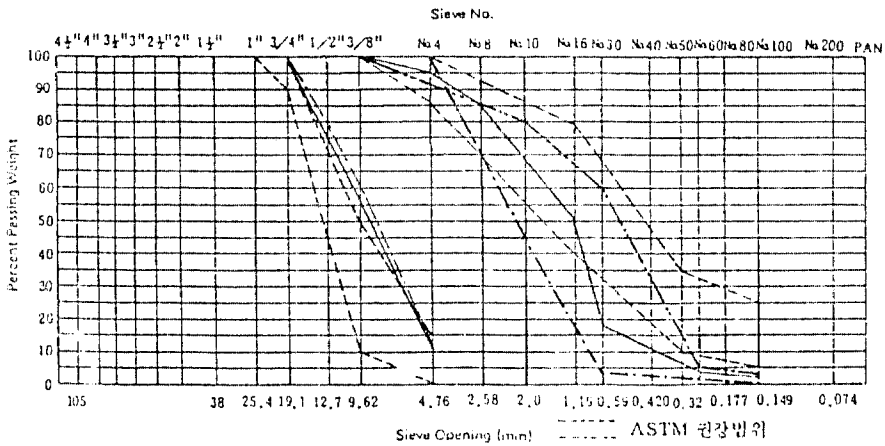


그림 2. 체분석 시험

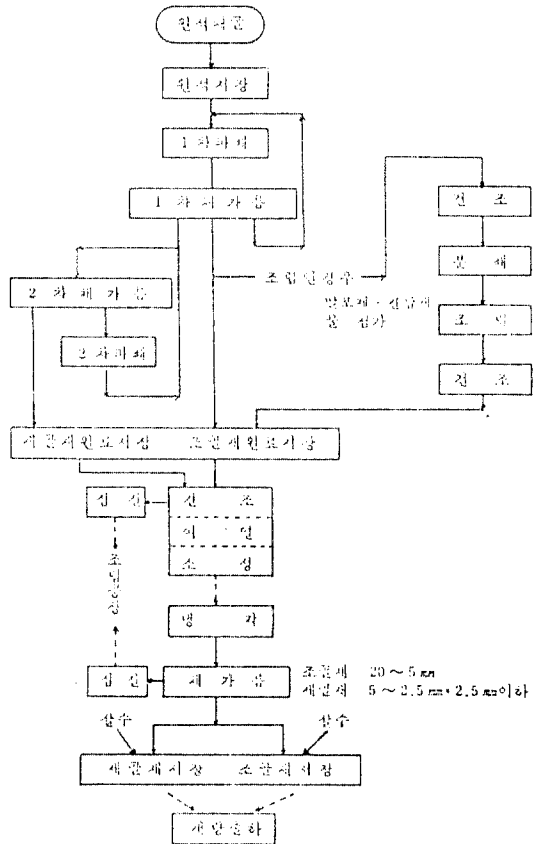


그림 1. 경량골재의 제조공정

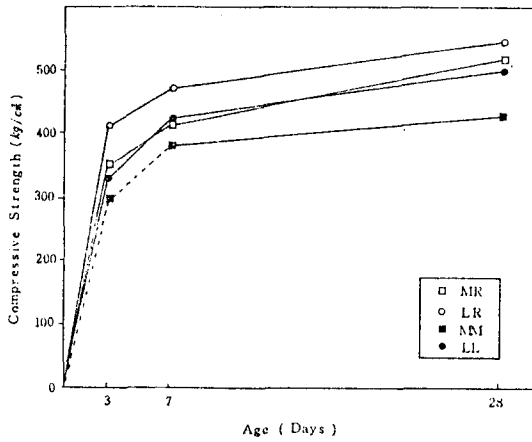


그림 4. 고강도 경량콘크리트의 재령강도

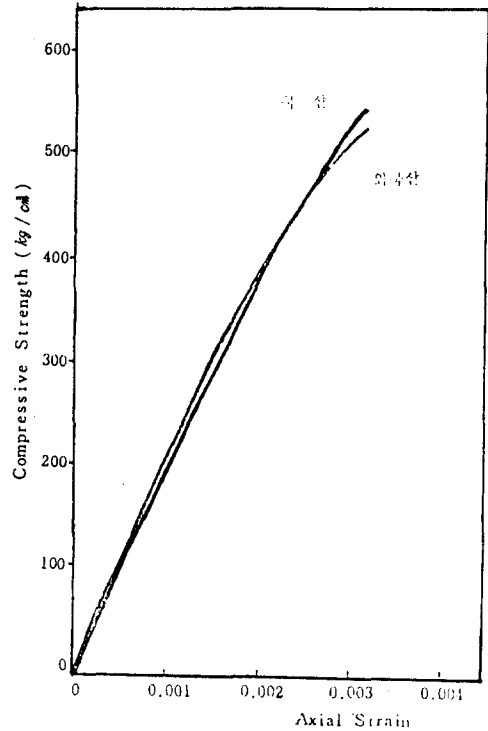


그림 5. Stress-Strain Curve

표 1. 경량골재의 종류

구분	원석	형태	가공 방법	비고	
천연가공 경량골재	혈암 (Shale)	조립형	원석을 미분쇄하여 조립하여 소성		
		비조립형	피막처리형	원석을 파쇄하여 입도별로 구분하여 소성	
			파쇄형	원석을 소성시킨후 파쇄하여 입도별로 구분	
경량골재	점토 (Clay)	조립형	조립하여 소성		
	점판암 (Slate)	파쇄형	파쇄한 파편등 소성시킨후 다시 파쇄		
산업 부산물 경량골재	슬래그 (Slag)	파쇄형	급냉시켜 팽창시킨후 파쇄		
	플라이 애쉬 (Fly ash)	조립형	집착제로 조립하여 소성		

표 2. 골재품질시험

종 류	경량조골재	경량세골재	보통세골재
표 건 비 중	1.9	2.12	2.71
*흡 수 율	6.8	5.39	0.82
*조 립 율	6.0	4.2	2.37
*마 모 율	10.14	-	-

\* 단위 : %

표 3. 배합설계표 (kg/m<sup>3</sup>)

*시료	시멘트	실리카흙	단위수량	조골재	세골재	혼화재(%)	비 고
LL LR	495	55	165	492	(268 +481)	0.6	국산
					682	0.5	
MM MR				530	404	0.45	외국산
					681	0.4	

\* LL, MM : All Lightweight  
LR, MR : Sand Lightweight

표 4. 국산재료 시험결과 재령별 습윤단위 중량(kg/m<sup>3</sup>)

재 령 (일)	LL	LR	MM	MR	비 고
배 합 시	1,815	1,889	1,649	1,926	
3	1,958	2,036	-	1,978	
7	2,039	1,965	1,767	1,989	
28	1,998	2,027	1,779	1,973	

표 5. 기건단위중량 추정치 (kg/m<sup>3</sup>)

시료번호 \ 추정식	ASTM		Wet Unit Weight	비 고
	R = 0.25	R = 0.75		
LL	1,820	1,939	1,998	
LR	1,876	1,962	2,004	
MM	1,639	1,728	1,773	
MR	1,898	1,953	1,980	

표 6. 비 강 도

비강도	LL	LR	MM	MR	보통콘크리트
(fc' /rd)	266.5	283.9	257.1	271.4	87.5

표 7. 강도 및 역학적 특성시험 결과

특성		배합	국 산	외 국 산
역학적 특성	* 정탄성계수(Ec)		271,943	229,962
	* 동탄성계수(E dyn)		307,624	258,095
	포아송비(ν)		0.12	0.20
강도 특성	* 압축강도 (f'c)		544.6	518.0
	* 휨강도 (f'r)		-	40.3
	* 할열강도 (f'sp)		-	36.7
비 고	기건단위중량 (t/m <sup>3</sup> )		1.94	1.92
	배 합	S.F/(G+S.F) = 10 % Cement 량 = 550 kg/m <sup>3</sup>		

\* 단위 : kg/cm<sup>2</sup>

