

# 인공경량골재를 사용한 콘크리트의 물성에 미치는 배합요인의 영향

## Influence of the Mixing Factor on the Properties of Concrete Used Artificial Lightweight Aggregates

신재경\*      최진만\*\*      정용\*\*\*  
Shin, Jae-Kyung      Choi, Jin-Man      Jeong, Yong

### Abstract

Structural lightweight concrete will reduced total loads of supporting sections and foundations in architectural and civil structures. So, the lightweight concrete can be used widely for various purpose in the architectural and civil structures. This paper were examined the influence of the mixing factor on the fresh and hardened properties of lightweight concrete that are used 2types of the differences properties of lightweight aggregates. According to types of lightweight aggregates, the case of synthetic lightweight aggregate are have need higher s/a; 2~4% on mixing proportion. Lightweight concrete was somewhat exhibit lower compressive strength than ordinary concrete. However it was not showed a marked difference. According to types of lightweight aggregates, the case of synthetic the lightweight aggregate are highest performance in fresh and hardened concrete.

키워드 : 경량골재, 단위수량, 잔골재율, 입도  
Keywords : Lightweight Aggregates, Unit Water Content, Sand Percentage, Grade

### 1. 서론

현대 건축토목구조물은 급속한 경제성장과 건축기술의 발달로 고층화, 대형화 되어 가고 있는 반면에 주요 구조재료로 사용되는 콘크리트는 고성능·고강도화로 인해 강도에 비해 비중이 크게 증가되고 있다. 따라서 콘크리트 구조물의 설계 및 시공에 있어서도 콘크리트 자중감소의 필요성이 절실히 요구되고 있어 최근 고강도 경량콘크리트의 사용성에 대한 제고가 높아지고 있다.

그러나 과거 인공경량골재를 사용한 경량콘크리트는 경량골재의 낮은 강도와 다공성으로 인한 과도한 흡수율 특성으로 인해 다양한 요구성능 확보의 어려움에 직면하고 있는 실정이었으나 다양한 혼화제의 사용기술, 요구성능에 맞는 혼화제의 개발, 구조용 경량골재의 품질개선 및 개발 등으로 경량골재를 사용한 콘크리트의 경우에도 고성능 경량콘크리트 제조가 가능하게 되었다. 경량골재를 사용한 콘크리트는 일반콘크리트와 달리 배합설계에 어려움이 있을 뿐만 아니라 경량콘크리트의 제조생산생산부터 시공까지의 배합설계 및 품질관리 방안의 확립이 명확히 마련되어 있지 않아 단열성능 및 방음 등

간접효과를 통한 비구조용 경량콘크리트만 소량 이용될 뿐 구조물의 자중감소를 위한 구조용 경량콘크리트의 실용화는 아직 이루어지지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 경량골재 종류 및 품질에 따른 경량콘크리트의 최적배합비 도출을 위한 일련의 단계로 현재 국내 외에서 제조 생산되고 있는 구조용 인공경량골재의 대표적인 종류를 선별 사용하여 보통강도 및 고강도 영역의 배합설계를 통하여 강도수준별 경량콘크리트의 기준배합을 마련하고, 기준배합을 기준으로 배합요인중 단위수량 및 잔골재율 변화에 따른 경량콘크리트의 물리적 특성의 검토를 통하여 경량골재를 사용한 콘크리트의 배합 및 제조를 위한 기초적 자료를 제시하고자 한다.

### 2. 실험계획 및 방법

#### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 콘크리트의 배합사항은 표 2와 같다. 먼저 물결합재비(W/B) 40, 60%의 2수준에 대하여 단위수량을 170, 175, 180kg/m<sup>3</sup>의 3수준으로 변화시켜 1차 실험을 한 결과를 토대로 최적의 단위수량 1수준을 결정 한 후 잔골재율 변화 47, 49, 52, 54%의 4수준으로 변화시켜 프레스 및 경화물성을 평가, 검토하였다.

\* 정희원, (주)삼표 기술연구소 연구원  
\*\* 정희원, (주)삼표 기술연구소 책임연구원  
\*\*\* 정희원, (주)삼표 기술연구소 수석연구원

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
실험요인	W/B (%)	2	• 40, 60
	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	3	• 170, 175, 180
	잔골재율(%)	4	• 47, 49, 52, 54
실험사항	굵은골재	3	• 부순골재-CG • 비조립형(단일입도)경량골재-SLG • 비조립형(연속입도)경량골재-CLG
	굳지않은 콘크리트	3	• 슬럼프 • 공기량 • 단위용적질량
실험사항	경화 콘크리트	4	• 압축강도 (3, 7, 28일) • 겉보기밀도 (28일) • 정탄성계수 (28일) • 흡수율(28일)

표 3. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,482	0.16	210	300	22.0	28.8	38.7

표 4. 플라이애시의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	강열감량 (%)	압축 강도비(%)	SiO <sub>2</sub> (%)	습분 (%)	단위 수량비(%)
2.21	3,362	3.8	91	63.3	0.14	100

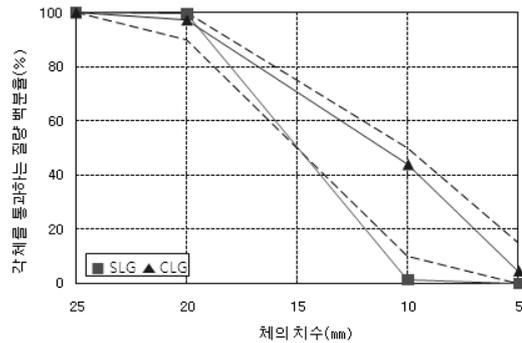


그림 1. 경량골재 입도분포 곡선

실험 측정항목은 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프, 공기량, 단위용적질량을 측정하였고, 경화 콘크리트에 대해서는 계획된 재령에서 압축강도, 겉보기밀도, 정탄성계수, 흡수율을 측정하였다.

2.2 사용재료

실험에 사용한 결합재는 국내산 H사의 보통포틀랜드시멘트와 충남 당진산의 플라이애쉬를 사용하였으며 그 물리적 성질은 표 3 및 4와 같다. 사용된 골재는 인천산 바다모래를 잔골재로 사용하였으며 굵은골재는 보통콘크리트는 남양산의 부순골재(CG)와 단일입도의 비조립형 경량골재(SLG) 및 연속입도의 비조립형 경량골재(CLG) 2종류의 국내외산 경량골재를 사용하였다. 한편 프레쉬콘크리트의 요구성능 확보를 위하여 국내산 폴리칼본산계 고성능감수제와 빈줄계 AE제를사용하였다.

표 5. 사용된 굵은골재의 물리적 성질

종류		주요물성				
기호	산지	조립률	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	단위용적 질량 (kg/m <sup>3</sup> )	흡수율(%)	골재 파쇄 값(%)
잔골재	바다모래	2.68	2.56	-	1.47	-
CG	부순골재	6.67	2.63	1,490	0.72	18.4
SLG	경량골재 (비조립형)	6.98	1.59	806	4.20	20.9
CLG	경량골재 (비조립형)	6.46	1.77	945	5.99	35.8

표 2. 배합사항

W/B (%)	골재 종류	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	S/a (%)	SP/C (%)	AE/C (%)	단위용적질량(kg/m <sup>3</sup> )			W/B (%)	골재 종류	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	S/a (%)	SP/C (%)	AE/C (%)	단위용적질량(kg/m <sup>3</sup> )		
						B	S	G							C	S	G
60	CG	170	49	0.50	0.003	283	892	960	40	CG	170	49	0.50	0.003	425	831	898
		175	47			292	843	987			175	47			438	789	920
		175	49			292	882	950			175	49			438	822	885
		175	52			292	932	894			175	52			438	873	833
		175	54			292	968	856			175	54			438	906	798
		180	49			300	872	939			180	52			450	808	873
	SLG	170	52			283	947	567		SLG	170	52			425	882	530
		175	47			292	846	619			175	47			438	786	577
		175	49			292	882	596			175	49			438	819	555
		175	52			292	936	561			175	52			438	869	523
		175	54			292	972	537			175	54			438	903	501
		180	52			300	926	554			180	52			450	857	515
	CLG	170	52			283	947	594		CLG	170	52			425	882	555
		175	47			292	846	648			175	47			438	786	604
		175	49			292	882	624			175	49			438	819	581
		175	52			292	936	587			175	52			438	869	547
		175	54			292	972	563			175	54			438	903	524
		180	52			300	926	581			180	52			450	857	540

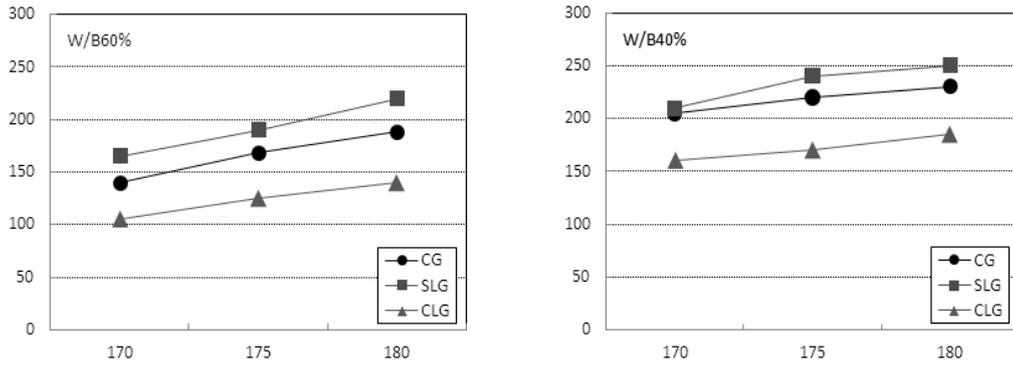


그림 2. 단위수량 변화에 따른 슬럼프

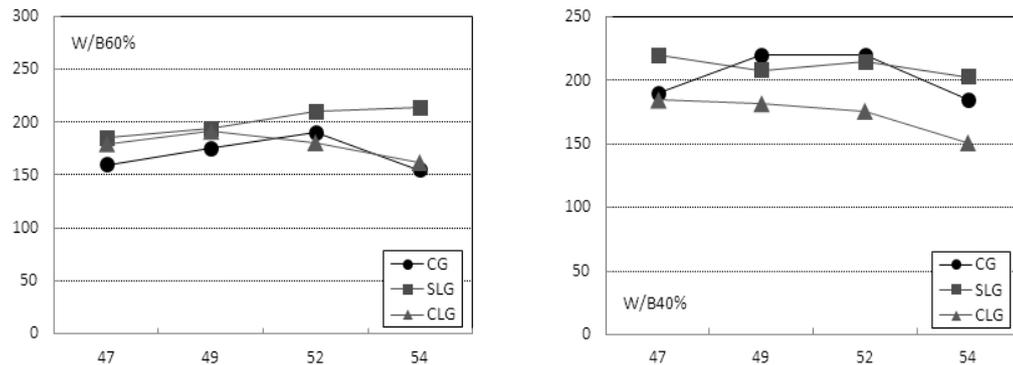


그림 3. 잔골재율 변화에 따른 슬럼프

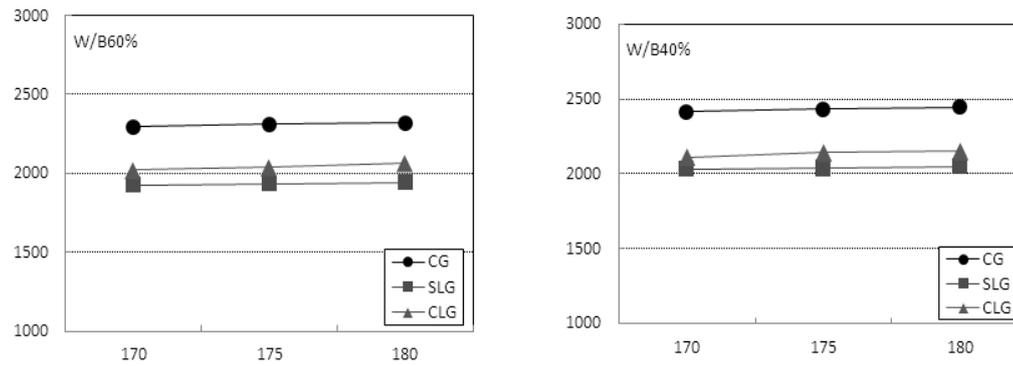


그림 4. 단위수량 변화에 따른 단위용적질량

### 2.3 실험방법

콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합하였으며 측정항목은 굳지않은 콘크리트에 대해서는 KS F 2402 및 KS F 2421의 시험규격에 의거하여 슬럼프 및 공기량 시험을 실시하였고, KS F 2409의 시험규격에 의해 단위용적질량을 측정하였다.

한편 경화콘크리트에 대해서는 KS F 2403의 규격에 의해  $\phi 100 \times 200\text{mm}$  공시체를 제작하여 소정의 재령별로 압축강도를 측정하였으며 동시에 KS F 2438의 규격에 따라 컴프레소미터를 이용하여 정탄성계수 산정을 위한 공시체 변형값을 측정하였다. 겉보기밀도 및 흡수율은 KS F 2459의 규격에 따라 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

그림 2 및 3은 단위수량 및 잔골재율 변화에 따른 굳지않은 콘크리트의 슬럼프를 나타낸 것으로서 단위수량이 증가할수록 모든 경우에서 유동성이 증가하는 결과를 나타냈다. 한편 경량 굵은골재의 종류에 따라서는 단일입도의 경량골재인 SLG에 비해 연속입도인 CLG의 슬럼프 값이 다소 크게 떨어지는 결과를 나타낸 것을 알 수 있는데 이는 연속입도인 CLG의 입도분포상 잔입자의 분포에 의한 영향으로 콘크리트의 유동성을 감소시킨 결과로 판단되며 굵은 부순골재를 사용한 CG와 거의 동등한 잔골재율로 동등한 수준의 콘크리트 유동

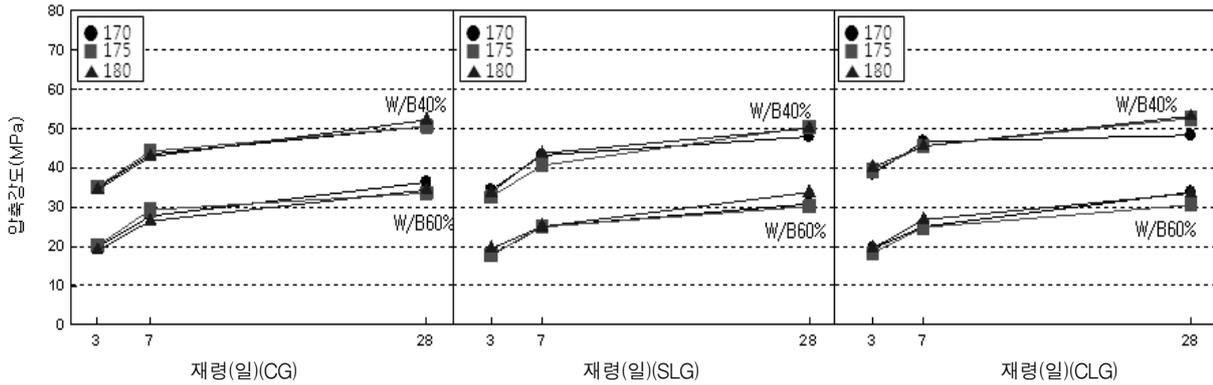


그림 5. 단위수량별 재령경과에 따른 압축강도

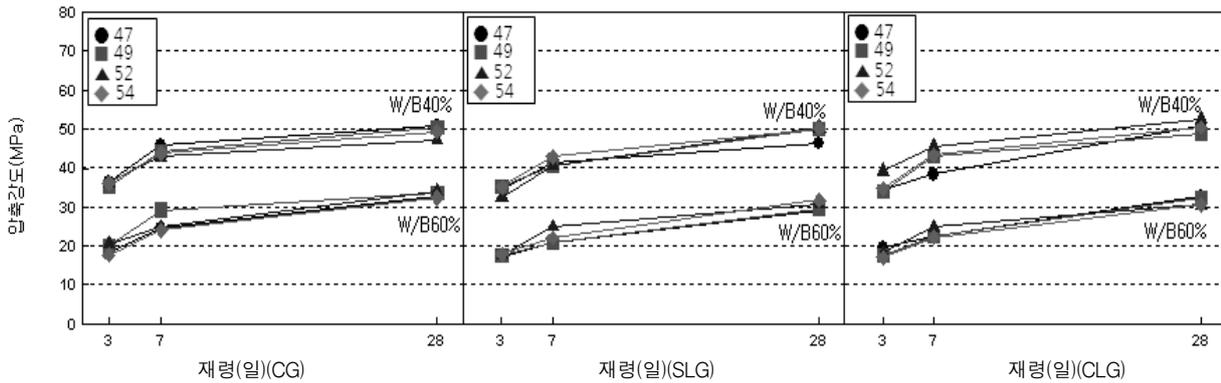


그림 6. 잔골재율별 재령경과에 따른 압축강도

성을 확보할 수 있는 것으로 판단된다. 잔골재율을 변화에 따른 유동성은골재 밀도가 낮고 단일입도인 SLG의 경우에 잔골재율 변화에 관계없이 거의 동등한 슬럼프의 결과를 나타내고 있으나 잔골재율이 49% 이하에서는 재료분리 경향을 보이고 있어 잔골재율을 52% 이상으로 높여 배합조정하는 것이 양호한 물성확보를 할 수 있는 것으로 판단되었다. 반면에 상대적으로 골재 밀도가 높고 연속입도인 CLG의 경우는 잔골재율이 증가함에 따라 유동성 감소의 결과를 나타냈으며 부순골재를 사용한 CG의 결과와는 물결합재비 60%의 경우에는 거의 동등한 슬럼프를 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 결합재 사용량이 많은 물결합재비 40%의 경우에는 잔골재율 증가에 따라 슬럼프 값이 감소되는 결과를 보이고 있는데 이는 이은 굵은골재의 밀도가 부순골재보다 낮은 경량골재의 특성에 의한 것으로 고려될 수 있다.

그림 4는 단위수량 변화에 따른 단위용적질량을 나타낸 것으로서 단위수량 변화와 잔골재율 변화에 따른 단위용적질량은 부순골재인 CG, 연속입도인 CLG, 단일입도인 SLG순으로 단위용적질량이 크게 나타나고 있어 사용된 굵은골재의 밀도의 차이와 비례하는 결과임을 알 수 있다. 한편 그림 4에 나타난 단위수량 변화에 따른 콘크리트의 단위용적질량은 단위수량이 증가함에 따라 미소하게 증가하는 결과를 확인할 수는 있으나 그 차이가 큰 것으로는 나타나고 있지 않아 경량콘크리트의 경량화 조건에서는 배합요인에 의한 것보다 사용된 경량골재의 밀도차에 의한 경량화가 효과적임을 알 수 있다. 한편 굳지 않은 콘크리트의 공기량은 경량골재를 사용한 경우가 부순골재를 사용한 콘크리트에 비해 동일 AE제를 혼입한 경우에 약 1.0~1.5% 정도 증가되는 것으로 나타났으며 잔골재율 증가에 따라서도 공기량도 다소 크게 나타났는데 이는 골재내의 공극조직 및흡수특성으로 인하여 콘크리트내 갇힌 공기가 증가하기 때문 인 것으로 분석된다. 따라서 경량콘크리트의 경우에는 공기량 허용값에 대한 범위를 일반콘크리트와 달리 허용값을 다소 넓게 관리할 필요가 있는 것으로 사료된다.

리트의 경량화 조건에서는 배합요인에 의한 것보다 사용된 경량골재의 밀도차에 의한 경량화가 효과적임을 알 수 있다. 한편 굳지 않은 콘크리트의 공기량은 경량골재를 사용한 경우가 부순골재를 사용한 콘크리트에 비해 동일 AE제를 혼입한 경우에 약 1.0~1.5% 정도 증가되는 것으로 나타났으며 잔골재율 증가에 따라서도 공기량도 다소 크게 나타났는데 이는 골재내의 공극조직 및흡수특성으로 인하여 콘크리트내 갇힌 공기가 증가하기 때문 인 것으로 분석된다. 따라서 경량콘크리트의 경우에는 공기량 허용값에 대한 범위를 일반콘크리트와 달리 허용값을 다소 넓게 관리할 필요가 있는 것으로 사료된다.

### 3.2 경화 콘크리트의 특성

그림 5 및 그림 6은 단위수량 및 잔골재율 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 압축강도는 단위수량과 잔골재율 변화에 따라서는 뚜렷한 경향없이 비슷한 양상을 나타내었다. 골재변수에 따라서 W/B 60%에서는 골재종류와 상관없이 압축강도가 비슷한 수준으로 나타났으나 W/B 40%에서는 부순골재를 사용한 경우가 가장 크게 나타났고, 연속입도인 CLG의 경우 낮게 나타났다. 이는 강도가 낮을수록 하중재하시 시험체의 파괴가 골재와 모르타르간의 계면에서 형성되지만, 고강도 일수록 골재자체의 강도도 크게 작용되기 때문인 것으로 분석된다. 이에 골재파쇄값이 현저히 낮은 SLG의 경우 고강도

로 올라갈수록 강도발현이 떨어질 것으로 판단된다. 기진상태의 겔보기밀도는 단위용적질량과 비슷한 경향을 나타내었는데 경량골재를 사용한 콘크리트의 경우 골재밀도 차이에 따라 SLG는 약  $0.4t/m^3$ , CLG는 약  $0.3t/m^3$  정도의 자중감소 효과가 있는 것으로 나타났다.

흡수율은 부순골재를 사용한 콘크리트에 비해 경량콘크리트는 경량골재가 다공질의 재료이기 때문에 크게 나타났는데, 경량골재의 흡수율이 가장 높은 CLG가 약 4~5%정도 높게 나타났고, SLG의 경우에는 약 2~3% 정도 높게 나타났다. 또한 정탄성계수는 경량골재를 사용한 콘크리트의 경우 보통 콘크리트에 비해 다소 작게 나타났으나, 큰 무리가 없는 범위의 결과로 나타나 구조부재 사용을 위한 검토가 진행중에 있다.

#### 4. 결 론

보통강도 및 고강도 영역에서 구조용 인공경량골재의 종류에 따른 물결합재비별 단위수량 및 잔골재율 변화에 따른 경량콘크리트의 기초적 특성을 검토한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 경량골재의 입도분포에 따른 굳지않은 콘크리트의 유동성은 단일입도인 경우에 연속입도에 비해 잔골재율을 2~4%정도 높여 배합조정이 이루어져야 할 것으로 판단되며 연속입도의 경우는 부순골재를 사용한 보통콘크리트의 경우와 거의 동등한 수준으로 잔골재율 결정이 이루어질수 있는 것으로 판단된다.
- 2) 굳지않은 콘크리트의 단위용적질량은 CG, 연속입도인 CLG, 단일입도인 SLG순으로 큰 것으로 나타났으며 배합상의 단위수량이나 잔골재율 변화에 의한 콘크리트의 경량화 차이는 크지 않은 것을 알 수 있어 배합요인 조정에 의한 경량화 보다는 사용된 경량골재의 밀도에 의한 것이 큰 것을 알 수 있었다.
- 3) 경화 콘크리트 특성으로 압축강도는 가장 큰 강도발현을 보인 부순골재를 사용한 경우에 비해 거의 동등한 수준의 경량콘크리트 강도발현을 확인하였으며 겔보기밀도는 보통 콘크리트에 비해 SLG는 약  $0.4t/m^3$ , CLG는 약  $0.3t/m^3$  정도의 자중감소 효과가 있는 것으로 나타났다.

#### 감사의 글

이 논문은 에너지관리공단에서 지원한 2007년도 에너지·자원 기술개발사업의 연구비에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. R. Wassermann and A. Bentur ; Effect of lightweight aggregate microstructure on the strength of concrete, Cement and Concrete, 1997