

# 인공경량골재 혼합비율에 따른 경량 콘크리트의 물성 및 강도특성에 관한 연구

## The Study on the Physical and Strength Properties of Lightweight Concrete by Replacement Ratio of Artificial Lightweight Aggregate

최 세 진<sup>1\*</sup>      김 도 빈<sup>2</sup>      이 경 수<sup>2</sup>      김 영 욱<sup>2</sup>

Choi, Se-Jin<sup>1\*</sup>      Kim, Do-Bin<sup>2</sup>      Lee, Kyung-Su<sup>2</sup>      Kim, Young-Uk<sup>2</sup>

*Professor, Department of Architectural Engineering, Wonkwang University, Iksan-Si, Iksan, 54538, Korea <sup>1</sup>*

*Graduate Student, Department of Architectural Engineering, Wonkwang University, Iksan-Si, Iksan, 54538, Korea <sup>2</sup>*

### Abstract

This study is to compare and analyze the physical and strength properties of lightweight concrete using domestic lightweight aggregate by replacement ratio of artificial lightweight fine and coarse aggregate after considering low cement mixture and pre-wetting time. The slump, unit weight, compressive strength and split tensile strength of lightweight concrete with domestic lightweight aggregate were measured. As test results, the slump of lightweight concrete by replacement ratio of lightweight fine aggregate increased as the replacement ratio of lightweight fine aggregate increased. The unit weight of lightweight concrete using 100% of lightweight fine aggregate was about 10.4% lower than that of the lightweight concrete with natural sand. In addition, the unit weight of lightweight concrete by replacement ratio of lightweight coarse aggregate increased with the increase of the ratio of LWG10(5~10mm). The compressive strength of lightweight concrete with lightweight fine and coarse aggregate increased as the replacement ratio of lightweight fine aggregate increased. The compressive strength of lightweight concrete with natural sand and LWG10 was 30 to 31MPa regardless of the replacement ratio of the lightweight coarse aggregate after 7 days.

Keywords : low cement, artificial lightweight aggregate, lightweight concrete, unit weight, compressive strength

## 1. 서 론

최근 건설 기술의 발달에 따라 초고층, 장대형 및 대규모 콘크리트구조물의 시공이 점차 증가하고 있으며 이에 따라 구조물의 자중을 경감시킬 수 있는 경량골재콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-4]. 국내 콘크리트 표준시방서[5]에서 제시하고 있는 경량콘크리트의 종류로는

굵은골재로 경량골재를 사용하고 잔골재는 천연모래를 이용한 경량콘크리트 1종과 굵은골재는 경량골재를 사용하고 잔골재의 일부 또는 전체를 경량잔골재로 사용한 경량콘크리트 2종으로 구분되고 있으며 또한 미국콘크리트학회 ACI 213[6] 기준에 따른 경량콘크리트(Lightweight concrete, LWC)의 종류로는 잔골재로 천연모래를 이용한 모래경량콘크리트(Sand lightweight concrete, SLWC)와 잔골재의 일부 또는 전체를 경량잔골재로 사용한 전경량콘크리트(All lightweight concrete, ALWC)로 구분되고 있다. 일반적으로 인공경량골재는 다결정질의 소성체를 주 구성으로 하여 골재 내부에 다량의 공극이 일정 비율로 형성되는 것이 특징이며 조직 구조의 특성상 외부환경의 변화

Received : April 20, 2019

Revision received : June 10, 2019

Accepted : July 4, 2019

\* Corresponding author : Choi, Se-Jin

[Tel: 82-63-850-6789, E-mail: csj2378@wku.ac.kr]

©2019 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

에 의해 수분이 비정상적으로 이동하는 경향을 나타내게 됨으로서 경량골재 사용 전에 프리웨팅 작업을 거치게 된다 [7]. 따라서 사용되는 인공경량골재에 적합한 프리웨팅 과정을 선정하고 인공경량골재 콘크리트의 배합설계를 진행하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 기존에 보고된 인공경량골재 콘크리트와 관련한 문헌들은 주로 천연잔골재와 인공경량 굵은골재를 사용한 경량콘크리트 1종에 대한 연구로서 [8-10] 경량콘크리트 2종에 대한 연구는 상대적으로 미미하며 특히 최근에는 국내인부 업체에서도 자체 기술로서 인공경량골재를 개발생산함으로써 기존의 수입산 인공경량골재에 비해 상대적으로 낮은 가격으로 경량골재를 이용할 수 있는 시장 환경이 조성되고 관련 연구결과도 보고되고 있다 [11].

본 연구는 최근 시멘트·콘크리트 산업에서의 친환경 측면을 증대시키기 위하여 연구가 활발히 진행되고 있는 저시멘트 콘크리트 [12-14]를 대상으로 국내생산 인공경량잔골재 및 굵은골재의 혼합비율에 따른 경량콘크리트의 단위질량 및 강도특성 등을 비교·검토함으로써 향후 국내 건설생산현장에서의 경량콘크리트 활용증대를 위한 참고자료를 제시하고자 하였다. 또한 본 연구수준에서는 콘크리트 2차 제품적용을 우선적으로 고려하여 높지 않은 수준의 유동성을 설정하였으며 향후 경량콘크리트의 상용화를 위해서는 펌프압송성을 고려한 고유동성의 경량 콘크리트에 대한 다양한 변수에서의 실험이 필요할 것으로 판단된다.

## 2. 실험 계획



Figure 1. Lightweight aggregate

Table 1. Chemical composition of cementitious materials

Components	Unit	Cement	Blast furnace slag powder (BFS)
SiO <sub>2</sub>	%	17.43	60.61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	6.50	13.98
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	3.57	0.32
CaO	%	64.40	40.71
MgO	%	2.55	6.43
K <sub>2</sub> O	%	1.17	0.60
Blaine	cm <sup>2</sup> /g	3 500	4 210

Table 2. Physical properties of aggregate

Type	FM	Surface dry density (g/cm <sup>3</sup> )	Oven dry density (g/cm <sup>3</sup> )	Water absorption ratio (%)	Unit weight (kg/ℓ)	
NS (Natural sand)	2.89	2.60		1.00	1 427	
Lightweight aggregate	LS(5mm)	4.61	1.77	1.63	8.71	1 010
	LWG**10(5~10mm)	5.96	1.43	1.32	8.08	974
	LWG**20(10~20mm)	6.94	1.43	1.32	8.08	862

\* LS : Lightweight sand \*\* LWG : Lightweight gravel

Table 3. Sieve analysis of aggregate

Type	Sieve size (mm)	40	20~40	10~20	5~10	2.5~5	1.2~2.5	0.6~1.2	0.3~0.6	0.15~0.3
Coarse aggregate	Standard	100	90~100	20~55	0~10	0~5	-	-	-	-
	LWG10	100	100	94.15	9.55	0	-	-	-	-
	LWG20	100	88.85	16.70	0.20	0	-	-	-	-
Fine aggregate	Standard	-	-	100	95~100	80~100	50~85	25~60	10~30	2~10
	NS	-	-	100	99.60	88.40	66.00	39.60	15.60	2.00
	LS	-	-	100	98.80	38.00	2.00	0.40	0	0

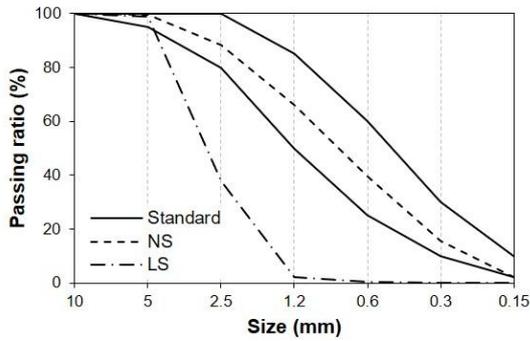


Figure 2. Particle size distribution of NS and LS

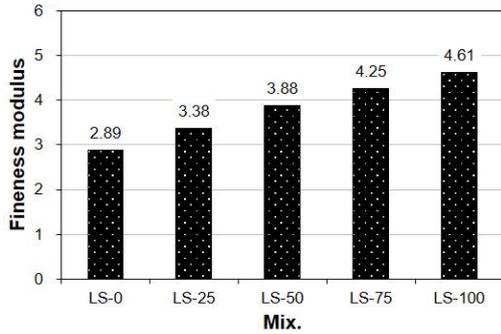


Figure 3. Fineness modulus of fine aggregate by LS replacement ratio

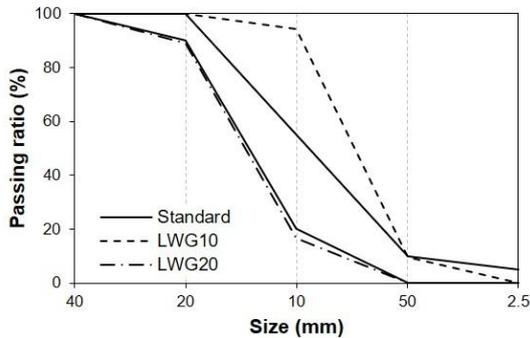


Figure 4. Particle size distribution of lightweight coarse aggregate (Series III)

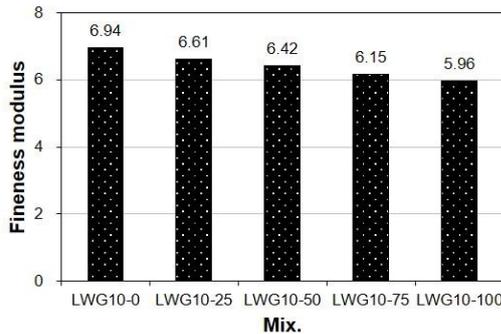


Figure 5. Fineness modulus of lightweight coarse aggregate (Series III)

## 2.1 사용재료

본 연구에 사용된 결합재는 국내 A사 보통포틀랜드시멘트(OPC) 및 국내 D사에서 생산된 고로슬래그 미분말 3종(BFS)이 사용되었으며 인공경량골재는 입도에 따라 경량잔골재(LS)와 5~10mm 크기의 경량굵은골재(LWG10) 및 10~20mm 크기의 경량굵은골재(LWG20)를 사용하였다. 인공경량골재는 석탄회, 준설토 등을 약 1100~1200°C로 소성하여 제조한 국내 N사 제품으로서 Figure 1은 인공경량골재의 성상을 나타낸 것이다. 일반적으로 인공경량골재는 소성과정에서 표면이 먼저 높은 온도에 이르게 되어 표면부분이 먼저 액상화 되고 미세기공이 채워짐과 동시에 액상소결을 유도하여 표피부분이 내부보다 더 치밀한 셸(shell)구조를 나타내게 되는데[15] 본 연구에서 사용된 인공경량골재의 경우에도 이와 유사한 경향을 확인할 수 있다. 시멘트, 고로슬래그미분말 및 골재의 물리·화학적 특성은 Table 1 및 Table 2에 나타내었으며 Table 3은 골재의 체가름분석 시험결과를 나타낸 것이다.

Figure 2는 본 실험에 사용된 천연잔골재(NS) 및 경량잔골재(LS)의 입도분포곡선을 나타낸 것으로 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 천연잔골재의 경우 표준입도분포곡선 범위를 만족하고 있으나 경량잔골재의 경우 표준입도분포곡선을 벗어나고 있음을 알 수 있다. 특히 본 연구에서 사용된 잔골재의 체가름 분석결과를 나타낸 Table 3에서 알 수 있는 바와 같이 경량잔골재의 2.5mm 체 통과율이 38%로서 2.5mm 이상 크기의 입자가 일반 잔골재에 비해 상대적으로 많이 분포되어 있는 것을 알 수 있다. Figure 3은 경량잔골재의 혼합비율에 따른 혼합잔골재의 조립률의 변화를 나타낸 것으로 그림에서 볼 수 있듯이 입도가 큰 경량잔골재(FM 4.61)의 혼합비율이 증가할수록 조립률이 2.89에서 4.61로 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있다.

또한 LWG10 및 LWG20 경량굵은골재의 입도분포곡선 및 각 체의 통과율을 나타낸 Figure 4 및 Table 3에 나타낸 바와 같이 LWG10 골재의 경우 약 84.5% 정도가 5~10mm 사이의 입도로 이루어져 있으며 LWG20 골재의 경우 약 72% 정도가 10~20mm 사이의 경량골재로 이루어진 것을 알 수 있다. Figure 5는 경량굵은골재 혼합비율에 따른 조립률의 변화를 나타낸 것으로 LWG10 골재의 혼합비율이 증가할수록 조립률이 감소하고 있는데 이는 LWG10의 조립률(FM 5.96)에 비해 LWG20의 조립률(FM 6.94)이 상대적으로 크기 때문에 나타난 현상으로서

Table 4. Mix proportions and test plan

Series	Mix	W/B (%)	S/a (%)	Pre-wetting time (hr)	BFS (%)	Replacement ratio (%)				Test item
						NS	LS	LWG10	LWG20	
I	LS80-24h	40	-	24	60	20	80	-	-	[Mortar] · Flow (mm) · Compressive strength (MPa)
	LS80-48h			48		20	80			
	LS80-72h			72		20	80			
	LS100-24h			24		-	100			
	LS100-48h			48		-	100			
	LS100-72h			72		-	100			
II	LS-0	40	42	48	60	100	0	50	50	[Concrete] · Slump (mm) · Unit weight (kg/ℓ) · Compressive strength (MPa) · Split tensile strength (MPa)
	LS-25					75	25			
	LS-50					50	50			
	LS-75					25	75			
	LS-100					0	100			
III	LWG10-0	40	42	48	60	100	-	0	100	
	LWG10-25							25	75	
	LWG10-50							50	50	
	LWG10-75							75	25	
	LWG10-100							100	0	

경량굵은골재를 사용한 경량콘크리트의 배합 설계 시 경량 굽은골재의 크기를 고려한 적절한 혼합이 필요할 것으로 판단된다.

### 2.2 실험배합

Table 4는 본 연구의 실험배합 및 측정항목을 나타낸 것으로 본 연구에서는 세 개의 Series로 구분하여 실험을 진행하였으며 모든 배합에 대하여 예비실험 및 저시멘트 콘크리트 관련 문헌 등[12-14]을 참고로 고로슬래그 미분말의 대체율을 60%로 고정하였다. Series I의 경우 본 연구에서 사용된 인공경량골재의 적정 프리웨팅 시간을 검토하기 위하여 경량골재를 각각 80% 및 100% 혼합한 모르타르 배합에 대하여 인공경량골재의 프리웨팅 시간을 24, 48 및 72시간으로 변화시킨 후 각 배합의 유동성 및 강도특성을 평가하였다. Series II는 잔골재 및 굽은골재를 모두 인공경량골재로 사용한 경량콘크리트 2종에 해당되는 배합으로서 경량굵은골재의 경우 수차례의 예비실험을 통하여 LWG10 및 LWG20 골재의 혼합비율을 5:5로 고정시킨 후 경량잔골재를 0, 25, 50, 75, 100% 혼합한 배합에 대하여 유동성, 단위질량 및 강도특성 등을 비교·검토하였다. Series III의 경우 잔골재는 천연잔골재를 사용하고 굽은골재로서 LWG10 및 LWG20의 혼합비율을 각각 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 및 100:0의 비율로 선정하여 실험을 진행하였다. 물-결합재비(W/B)는 0.4로 고정하였으며

양생방법은 Series I 및 Series II의 경우 저시멘트 콘크리트 배합 특성 및 PC제품에서의 적용성을 고려하여 40℃ 고온양생, Series III의 경우 표준양생 조건하에서의 강도 특성을 검토하기 위하여 20℃ 수중양생으로 실험을 진행하였다.

### 2.3 실험방법

본 연구에서는 인공경량골재의 기본특성을 파악하기 위하여 KS F 2529[16] 및 2502[17] 규정에 준하여 경량골재의 흡수율 및 경량골재 혼합비율에 따른 조립률을 측정하였다. 모르타르 실험의 경우 KS L 5105[18] 규정에 준하여 모르타르의 유동성 및 압축강도를 측정하였으며 굳지않은 콘크리트 및 경화콘크리트의 슬럼프, 기건단위질량, 압축강도 및 쪼갬인장강도는 KS F 2402[19], 2462[20], 2405[21] 및 2423[22] 규정에 준하여 시험을 실시하였다 (Table 5).

Table 5. Measurement items

Mixture	Items	Standard
Mortar	Flow	KS L 5105
	Compressive strength	KS L 5105
	Slump	KS F 2402
Concrete	Unit weight	KS F 2462
	Compressive strength	KS F 2405
	Split tensile strength	KS F 2423

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 경량잔골재의 혼합비율에 따른 모르타르 실험결과 (Series I)

##### 3.1.1 유동성

Figure 6은 프리웨팅 시간에 따른 모르타르의 플로우 변화를 나타낸 것으로 그림에서 볼 수 있듯이 프리웨팅 시간이 증가할수록 플로우값이 상대적으로 감소하고 있음을 알 수 있다. 본 연구에서는 인공경량골재의 흡수율에 상당하는 수량과 배합수를 혼합한 후 여기에 인공경량골재를 침지시키는 방법으로 프리웨팅 작업을 수행하였으며, 본 실험에서는 프리웨팅 시간에 따라 프리웨팅 시간이 24시간 증가할 경우 모르타르 플로우값이 약 3~5% 감소하는 것으로 나타났다. 이는 기존 문헌[7]에 보고된 결과와 유사한 경향으로 경량골재의 프리웨팅 시간이 길어질수록 경량골재 내부에서 지속적으로 수분을 흡수함으로써 상대적으로 배합수량이 감소하여 나타난 현상으로 사료된다. 또한 LS80배합에 비해 LS100배합에서 플로우값이 상대적으로 높게 나타나고 있는데 이는 프리웨팅을 시킨 경량잔골재의 양이 LS100배합에서 상대적으로 많기 때문에 프리웨팅 수의 일부가 유동성 향상에 기여한 것으로 판단된다.

##### 3.1.2 압축강도

경량잔골재의 프리웨팅 시간에 따른 모르타르의 압축강도 변화를 나타낸 Figure 7에서 볼 수 있는 바와 같이 경량잔골재를 80% 사용한 LS80배합의 경우 프리웨팅 시간에 관계없이 약 60MPa 수준의 유사한 압축강도를 발현하고 있으며 경량잔골재를 100% 사용한 LS100배합의 경우 프리웨팅을 24시간 진행시킨 LS100-24h배합에 비해 프리웨팅을 48시간 이상 진행시킨 LS100-48h, LS100-72h 배합에서 약 9~10% 정도 압축강도가 높게 발현되고 있음을 알 수 있다. 기존 연구문헌[7]의 경우 24시간 이상 프리웨팅을 시킬 경우 경량골재의 충분한 수분흡수가 이루어진다고 제시하고 있으며 본 연구의 경우 프리웨팅 24시간 배합에서 경량잔골재 혼합비율에 따른 압축강도 편차가 상대적으로 크게 나타나 콘크리트 배합에서의 경량잔골재 프리웨팅 시간을 48시간으로 선정하였다. 향후 경량잔골재를 사용한 배합에서 프리웨팅 시간과 경량잔골재의 사용량 등에 따른 역학적 특성, 미세구조분석 및 내구특성 등에 관한

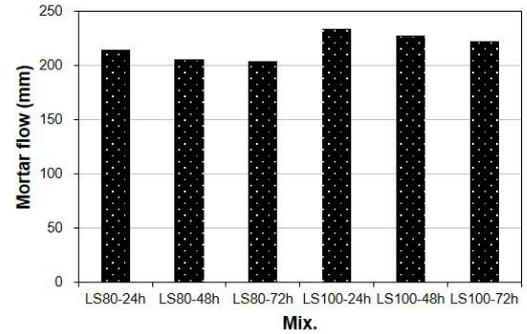


Figure 6. Mortar flow (Series I)

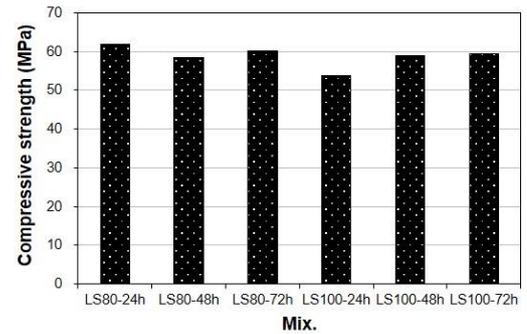


Figure 7. Compressive strength of mortar (Series I)

후속연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### 3.2 경량잔골재의 혼합비율에 따른 경량콘크리트 실험결과 (Series II)

##### 3.2.1 유동성

Figure 8은 경량잔골재의 혼합비율에 따른 경량콘크리트의 슬럼프 변화를 나타낸 것으로 경량잔골재의 혼합비율이 증가할수록 슬럼프값이 상대적으로 증가하고 있으며 특히 경량잔골재를 75% 이상 혼합한 LS-75 및 LS-100 배합에서 상대적으로 슬럼프값이 높게 나타나고 있는데 이는 경량잔골재의 둥근 입형에 의한 볼베어링현상과 함께 경량잔골재의 프리웨팅 과정에서 흡수된 배합수가 믹싱과정에서 일부 배출되어 잉여수로 작용하게 되어 슬럼프값이 증가한 것으로 사료된다.

Figure 9는 경량잔골재를 0, 50 및 100% 혼합한 배합의 콘크리트 슬럼프 성상을 나타낸 것으로 그림에서 볼 수 있듯이 LS-100 배합의 경우 슬럼프가 일부 무너지는 현상을 보이고 있는데 이는 경량잔골재의 입도구성이 1.2~5mm의 입도가 대부분으로 구성되어 미립분

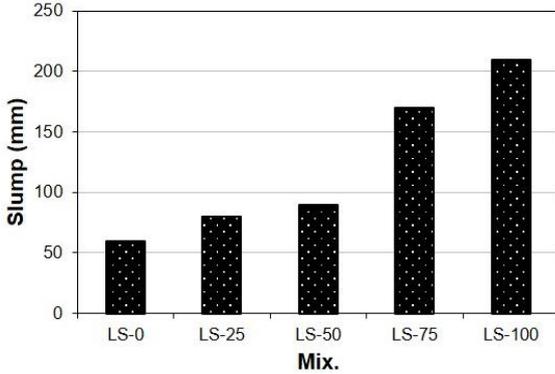


Figure 8. Concrete slump (Series II)

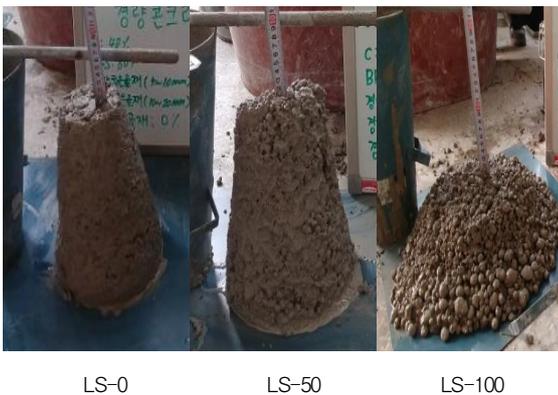


Figure 9. Slump test of lightweight concrete (Series II)

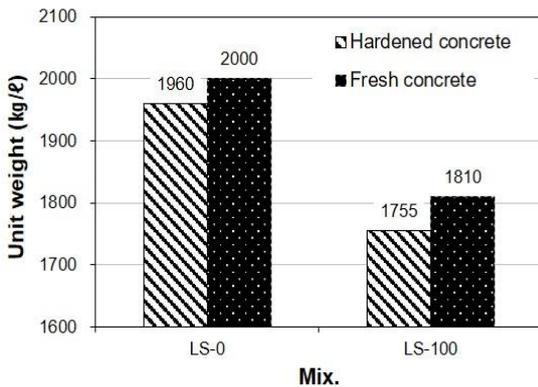


Figure 10. Unit weight (Series II)

이 부족한 데 기인한 현상으로 판단되며 따라서 경량잔골재의 대량 사용 시 잔골재의 미립분 부족으로 인한 콘크리트의 점성저하와 이로 인한 작업성 저하 문제를 야기할 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구 수준에서 경량콘크리트의 점성 및 성형성 등을 고려할 경우 경량잔골재의 혼합비율은 50% 이하로 설정하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

### 3.2.2 기건단위질량

Figure 10은 경량잔골재의 혼합비율에 따른 경량콘크리트의 기건단위질량을 나타낸 것이다. 경화 후의 기건단위질량을 살펴보면 LS-0배합의 경우 약 1,960kg/l 수준, LS-100 배합에서는 약 1,755kg/l 수준의 기건단위질량을 나타내어 경량잔골재 사용에 의해 약 10.4%정도의 기건단위질량 감소효과를 나타내었다. 또한 굳지 않은 콘크리트의 경우 경량잔골재를 100% 사용한 LS-100배합의 단위질량이 1,810kg/l 로 경량잔골재를 사용하지 않은 배합에 비해 약 9.5% 낮게 나타나고 있다. 경화 콘크리트 및 굳지않은 콘크리트의 단위질량을 비교할 경우 재령 28일 후의 기건단위질량값이 약 2~3% 정도 낮게 나타나고 있는데 이는 경량잔골재의 프리웨팅 과정에서 흡수된 단위수량의 증발 및 수화과정의 진행에 기인한 것으로 판단된다.

### 3.2.3 압축강도 및 쪼갬인장강도

Figure 11은 경량잔골재의 혼합비율에 따른 경량콘크리트의 압축강도 변화를 나타낸 것으로 재령 7일의 경우 경량잔골재 혼합비율이 증가할수록 압축강도가 상대적으로 증가하고 있으며 경량잔골재를 100% 혼합한 LS-100배합의 경우 약 32MPa 수준으로 LS-0배합(27MPa)에 비해 약 18% 높은 압축강도를 발현하고 있다. 재령 14일의 경우 경량잔골재를 25, 50% 사용한 LS-25, LS-50배합에서 약 34MPa 로서 상대적으로 높은 압축강도를 발현하고 있는데 이는 경량잔골재의 프리웨팅 과정에서 흡수된 수량이 콘크리트의 양생과정에서 일부 배출됨으로서 수화 및 경화 과정에 긍정적인 영향을 주었기 때문에 나타난 현상으로 사료되나 공극율 및 미세구조 분석 등의 후속연구를 통하여 이에 대한 검증이 필요할 것으로 판단된다. 또한 LS-75 및 LS-100배합에서는 LS-25 및 LS-50배합보다 상대적으로 낮은 압축강도를 나타내고 있는데 이는 Figure 9의 나타난 슬럼프 성상에서 보는 바와 같이 경량잔골재의 다량 혼입에 따른 콘크리트의 점성 부족 및 성형성 부족으로 인하여 강도발현에 한계가 있었던 것으로 판단된다.

경량잔골재의 혼합비율에 따른 재령 14일에서의 경량콘크리트의 쪼갬인장강도의 경우 Figure 12에 나타난 바와 같이 경량잔골재의 혼합비율에 관계없이 약 3.1~3.2MPa 로 유사하게 나타나고 있어 경량잔골재의 혼합유무에 따른 쪼갬인장강도의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

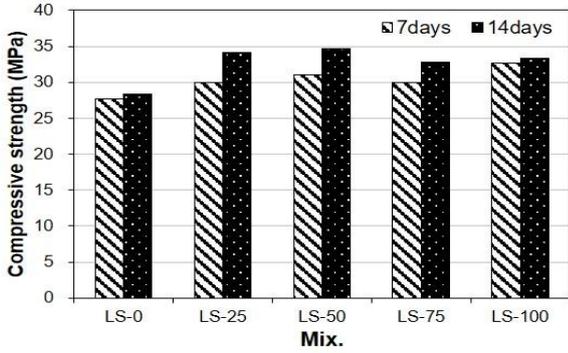


Figure 11. Compressive strength (Series II)

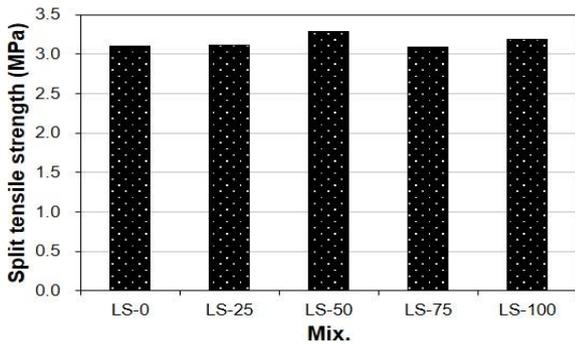


Figure 12. Split tensile strength (Series II)

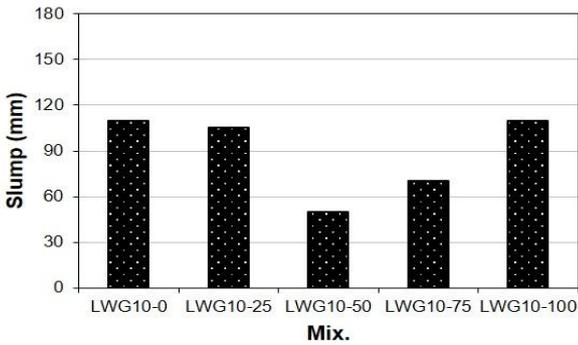


Figure 13. Concrete slump (Series III)

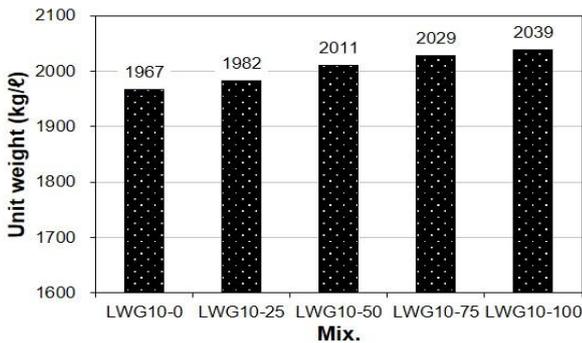


Figure 14. Unit weight (Series III)

### 3.3 경량굵은골재의 혼합비율에 따른 경량콘크리트 실험결과 (Series III)

#### 3.3.1 유동성

Figure 13은 경량굵은골재 혼합비율에 따른 경량콘크리트의 슬럼프 변화를 나타낸 것으로 LWG20 골재만을 사용한 LWG10-0배합의 경우 110mm 수준의 슬럼프 값을 보이고 있으며 LWG10 골재를 혼합한 배합의 경우 LWG10-50 및 LWG10-75배합의 슬럼프가 상대적으로 낮게 나타났다. 이는 콘크리트의 점성부족으로 인한 슬럼프의 일부 무너짐 현상에 기인한 것으로 본 연구수준에서는 콘크리트 2차 제품적용을 우선적으로 고려하여 슬럼프 값이 50~110mm 수준의 다소 낮은 값을 보이고 있으나 인공경량골재의 적용확대를 위해서는 인공경량골재를 사용한 경량콘크리트의 적용대상 및 용도에 적합한 경량콘크리트의 배합설계와 함께 이에 적합한 감수제 및 적정 첨가량 수준 등에 대한 추가연구가 필요할 것으로 판단된다.

#### 3.3.2 기건단위질량

경량굵은골재의 혼합비율에 따른 경량콘크리트의 기건단위질량을 나타낸 Figure 14에서 볼 수 있는바와 같이 LWG10 경량굵은골재의 혼합비율이 높아질수록 경량콘크리트의 기건단위질량이 1,967~2,039kg/ℓ로 선형적으로 증가하고 있는데 이는 경량골재의 단위용적질량을 나타낸 Table 2에서 볼 수 있는 바와 같이 LWG10의 단위용적질량이(974kg/ℓ)이 LWG20(862kg/ℓ)에 비해 상대적으로 높기 때문에 나타난 현상으로 판단된다. 본 실험의 경우 LWG20만을 사용할 경우 LWG10을 사용한 배합에 비해 경량콘크리트의 기건단위질량이 약 4% 낮게 나타났다.

#### 3.3.3 압축강도 및 쪼갬인장강도

경량굵은골재의 혼합비율에 따른 압축강도 시험결과는 Figure 15에 나타낸 바와 같이 LWG20을 단독으로 사용한 LWG10-0배합의 경우 재령 7일에 약 27MPa의 압축강도를 발현하였으며 LWG10 경량굵은골재를 혼합한 배합의 경우 LWG10 혼합비율에 관계없이 약 30~31 MPa 수준의 유사한 압축강도를 발현하고 있다. 또한 재령 28일의 경우에도 LWG10-0배합이 상대적으로 낮은 압축강도 수준을 보이고 있는데 이는 LWG20 골재의 상대적으로 낮은 단위질량과 불연속 입도 등에 기인한 것으로 판단되며

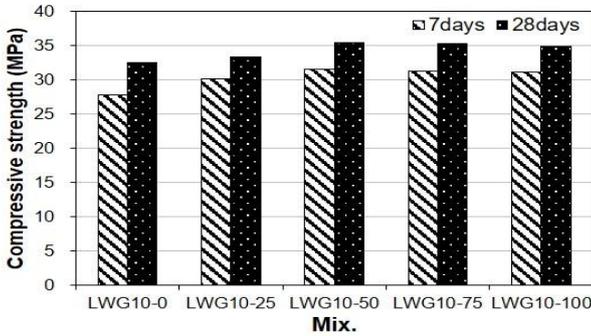


Figure 15. Compressive strength (Series III)

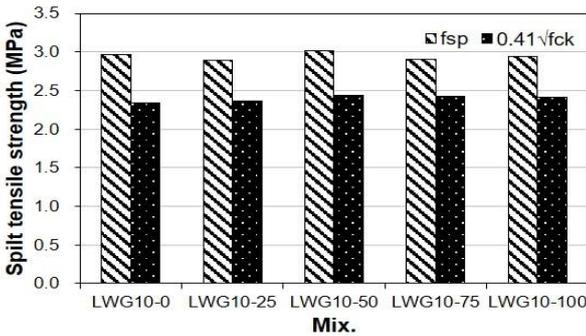


Figure 16.  $f_{sp}/\sqrt{f_{ck}}$  (Series III)

LWG10을 혼합한 배합의 경우 LWG10의 혼합비율이 50% 이상인 배합에서 약 35MPa 수준의 유사한 압축강도를 발현하였다.

Figure 16은 경량굵은골재의 혼합비율에 따른 재령 28일에서의 쪼갬인장강도( $f_{sp}$ )를 나타낸 것으로 그림에서 알 수 있듯이 경량굵은골재 혼합비율에 관계없이 압축강도의 8.5~9.3% 수준으로 유사하게 나타나고 있다. Slate et al.[23]등은 모래 경량 콘크리트의 회귀분석을 통해 경량골재 콘크리트의 쪼갬인장강도를  $0.41\sqrt{f_{ck}}$  수준으로 제시하였으며 본 연구 수준에서는 Slate 등이 제안한 값에 비해 약 16~21% 높은 값을 보이고 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 최근 사용량이 증대하고 있는 저시멘트 배합에 대하여 국내에서 생산된 인공경량 잔·굵은골재의 혼합비율에 따른 경량콘크리트의 물성 및 강도특성 등을 비교·검토하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 프리웨팅 시간에 따른 모르타르의 플로우 변화는 프리

웨팅 시간이 증가할수록 플로우값이 상대적으로 감소하였으며 본 연구의 경우 프리웨팅 시간에 따라 프리웨팅 시간이 24시간 증가할 경우 모르타르 플로우값이 약 3~5% 감소하는 것으로 나타났다. 또한 압축강도의 경우 경량잔골재를 100% 사용한 LS100배합에서 프리웨팅을 24시간 진행시킨 배합에 비해 프리웨팅을 48시간 이상 진행시킨 배합에서 약 9~10% 높은 압축강도를 발현하였다.

- 2) 경량잔골재의 혼합비율에 따른 경량콘크리트의 유동성은 경량잔골재의 혼합비율이 증가할수록 슬럼프값이 상대적으로 증가하였으며 경량잔골재의 혼합비율에 따른 경량콘크리트의 기건단위질량의 경우 LS-0 배합의 경우 약 1,960kg/l 수준, LS-100 배합에서는 약 1,755kg/l 수준으로 나타나 경량잔골재 사용에 의해 약 10.4%의 경량효과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다.
- 3) 경량굵은골재의 혼합비율에 따른 경량콘크리트의 기건단위질량은 LWG10 경량굵은골재의 혼합비율이 높아질수록 경량콘크리트의 기건단위질량이 1,967~2,039kg/l 로 선형적으로 증가하는 것으로 나타났는데 이는 LWG10의 단위용적질량(974kg/l)이 LWG20(862kg/l)에 비해 상대적으로 높기 때문에 나타난 현상으로 본 실험의 경우 LWG20만을 사용할 경우 LWG10을 사용한 배합에 비해 경량콘크리트의 기건단위질량이 약 4% 낮게 나타났다.
- 4) 경량굵은골재의 혼합비율에 따른 압축강도는 LWG20을 단독으로 사용한 LWG10-0배합의 경우 재령 7일에 약 27MPa의 압축강도를 발현하였으며 LWG10 경량굵은골재를 혼합한 배합의 경우 LWG10 혼합비율에 관계없이 약 30~31 MPa 수준의 유사한 압축강도를 발현하였다. 또한 경량굵은골재의 혼합비율에 따른 재령 28일에서의 쪼갬인장강도( $f_{sp}$ )는 경량굵은골재 혼합비율에 관계없이 압축강도의 8.5~9.3% 수준으로 유사하게 나타났다.

#### 요 약

본 연구는 최근 사용량이 증대하고 있는 저시멘트 배합을 대상으로 국내생산 인공경량 잔·굵은골재의 혼합비율

에 따른 경량콘크리트의 물성 및 강도특성을 비교·검토한 것으로서 실험결과, 프리웨팅 시간이 24시간 증가할 경우 모르타르 플로우값이 약 3~5% 감소하는 것으로 나타났으며 경량잔골재 사용에 의해 모르타르 배합에서 약 10.4%의 기건단위질량 감소효과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 또한 경량굵은골재의 혼합비율에 따른 경량콘크리트의 기건단위질량은 5~10mm 크기인 LWG10 경량굵은골재의 혼합비율이 높아질수록 선형적으로 기건단위질량이 증가하였으며 LWG10 경량굵은골재를 혼합할 경우 LWG10 혼합비율에 관계없이 재령 7일에 약 30~31MPa 수준의 유사한 압축강도를 발현하였다.

**키워드** : 저시멘트, 인공경량골재, 경량콘크리트, 기건단위질량, 압축강도

## Acknowledgement

This paper was supported by Wonkwang University in 2018

## ORCID

Se-Jin Choi, <http://orcid.org/0000-0002-2142-3745>

Do-Bin Kim, <http://orcid.org/0000-0001-5245-4934>

Kyung-Su Lee, <http://orcid.org/0000-0003-2661-9736>

Young-Uk Kim, <http://orcid.org/0000-0002-8969-1703>

## References

1. Kohno K, Okamoto T, Isikawa Y, Sibata T, Mori H. Effect of artificial lightweight aggregate on autogenous shrinkage of concrete. *Cement and Concrete Research*, 1999 Apr;29(4): 611-4. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(98\)00202-6](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00202-6)
2. Sim JI, Yang KH. Influence of specimen geometries on the compressive strength of lightweight aggregate concrete. *Journal of the Korea Concrete Institute*. 2012 Jun;24(3):333-40. <https://doi.org/10.4334/JKCI.2012.24.3.333>
3. Sim JI, Yang KH. Effect of the maximum aggregate size on the workability and mechanical properties of lightweight concrete. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 2012 May;28(5):61-8.
4. Kim YJ, Choi YW. The quality properties of self consolidating concrete using lightweight aggregate. *Journal of the Korean society of civil engineers A*. 2010 Nov;30(6):573-80.
5. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Seoul (Korea): Ministry of Land; 2009. chapter 5, lightweight aggregate concrete of concrete standard specification, p. 96-102.
6. ACI Committee 213, 213R-14 Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete. Farmington Hills, MI 48331: American Concrete Institute; 2014. 53 p.
7. Kim YT, Jang CS, Ryu YG. Water absorption characteristics of artificial lightweight aggregates prepared by pre-wetting. *Journal of The Korean Crystal Growth and Crystal Technology*. 2011 Mar;21(2):82-6. <https://doi.org/10.6111/JKCGCT.2011.21.2.082>
8. Jeon HK, Hong SJ, Seo CH. A study of the characteristics of the high-flowable lightweight aggregate concrete. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*. 2001 Apr;17(4):71-8.
9. Lee CS, Park JH, Jung BJ, Cho YJ. Relation between shrinkage and humidity on lightweight concrete and normal concrete by water-cement ratio. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers A*, 2009 Jul;29(4):385-93.
10. Song H. Relation between water content ratio and fire performance of class 1 structural light weight aggregate concrete. *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*. 2014 Dec;2(4):321-7. <https://doi.org/10.14190/JRCR.2014.2.4.321>
11. Jeon HJ, Kim YT. A study on the ecological lightweight aggregates made of bottom ashes and dredged soils. *Journal of the Korean Crystal Growth and Crystal Technology*. 2007 Jun;17(3):133-7.
12. Ryu DW, Kim WJ, Yang WH, Park DC. An experimental study on the carbonation and drying shrinkage of concrete using high volumes of ground granulated blast-furnace slag. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2012 Aug 12(4):393-400. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2012.12.4.393>
13. Jang SY, Ryu HS, Yoon YS, Kwon SJ. Characteristics of drying and autogeneous shrinkage in HPC with 65% replacement of GGBFS. *Journal of Korea Institute for Structural Maintenance Inspection*. 2017 Mar 21(3):54-9. <https://doi.org/10.11112/jksmi.2017.21.3.054>
14. Kim TW, Hahm HG. The effects of Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> on Early Strength of High Volume Slag Cement. *Journal of the Korea Concrete Institute*. 2016 Jun 28(3):349-56. <https://doi.org/10.4334/JKCI.2016.28.3.349>

15. Kang SG. Effect of shell structure of artificial lightweight aggregates on the emission rate of absorbed water. *Journal of The Korean Ceramic Society*. 2008 Nov;45(11):750–4. <https://doi.org/10.4191/KCERS.2008.45.1.750>
16. KS F 2529. Standard test method for density and water absorption of lightweight fine aggregates for structural concrete. Korea Industrial Standards, Seoul (Korea): Korean Standards & Certification Information Center; 2017. 7 p.
17. KS F 2502. Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates. Korea Industrial Standards, Seoul (Korea): Korean Standards & Certification Information Center; 2014. 4 p.
18. KS L 5105. Testing method for compressive strength of hydraulic cement mortars. Korea Industrial Standards, Seoul (Korea): Korean Standards & Certification Information Center; 2007. 5 p.
19. KS F 2402. Standard test method for concrete slump. Korea Industrial Standards, Seoul (Korea): Korean Standards & Certification Information Center; 2017. 5 p.
20. KS F 2462. Standard test method for unit weight of structural light weight concrete. Korea Industrial Standards, Seoul (Korea): Korean Standards & Certification Information Center; 2016. 4 p.
21. KS F 2405. Standard test method for compressive strength of concrete. Korea Industrial Standards, Seoul (Korea): Korean Standards & Certification Information Center; 2016. 7 p.
22. KS F 2423. Standard test method for tensile splitting strength of concrete. Korea Industrial Standards, Seoul (Korea): Korean Standards & Certification Information Center; 2016. 12 p.
23. Slate FO, Nilson AH, Martinez S. Mechanical properties of high-strength lightweight concrete. *ACI Journal*. 1986 Jul;83(4):606–13.