

합성기포제 및 경량골재를 활용한 하이브리드형 경량기포콘크리트 개발

An Evaluation of the Performance of Lightweight Foamed Concrete by Using Foaming Agent with Lightweight Aggregate



정성민 Seong-Min Jeong
삼성물산 빌딩사업부 선임
E-mail: sminn.jeong@samsung.com



장현오 Hyun-O Jang
(재)한국건설생활환경시험연구원
산업융합센터 연구원/공학박사
E-mail: san1312@kcl.re.kr

1. 서론

지난 몇 년 동안 경량의 소재들은 점점 더 많은 역할을 담당하고 있으며 더 이상 틈새 제품으로 간주되어 지고 있지 않다. 경량 재료들은 모든 재료의 분야에서 찾을 수 있으며, 특히 자연적으로 생성된 혹은 산업적으로 제조된 경량골재는 콘크리트와 같은 무기결합 재료의 밀도를 감소시키는 역할을 한다¹⁾.

이에 경량기포콘크리트에 대한 연구가 지속적으로 진행되어 오고 있으며, 현재의 과제는 저밀도 및 중량뿐만 아니라 역학적 성질, 예를 들어 압축 강도에 대한 밀도의 비율이다²⁾. 또한 공극 구조는 구배 형성을 피하기 위해 공극 크기에 대해 균질해야한다³⁾. 따라서 결합 물질 및 혼입된 기포의 안정성이 고려되어야한다. 또한 사용된 결합 물질 및 응집체의 입자 크기는 침하를 감소시키고 기포의 효과를 불안정하게 하지 않도록 충분히 작아야한다. 이러한 효과는 재료적인 특성에 크게 영향을 받는다⁴⁾.

현재 국내에서 경량기포콘크리트는 주로 공동주택의 단열용 및 채움용으로 활발히 사용되어지고 있다. 하지만 공동주택의 층간소음이 사회적 문제로 대두되면서, 충격음 저감을 위해 경량기포콘크리트까지 그 역할이 확대되고 있는 실정이다⁵⁾. 충격음 저감을 위해서는 고중량 및 고강성으로 배합하여 면밀도를 높게 하여 완충재 층에서의 공진현상을 제어해야 한다⁶⁾. 그러나 필요한 경량기포콘크리트의 요구 성능에 따른 최적 배합에 대한 연구 부족으로 현장 적용 시에 작업자가 눈대중으로 시공을 하는 실정이다. 또한, 불안정한 기포로 인해 소포 현상으로 발생하는 체적 감소 및 균열, 낮은 강도 발현 등의 문제가 일어나고 있다. 이러한 문제점을 개선하고 경량기포콘크리트의 장점을 최대한 활용하기 위해서는 기포제 및 경량골재의 종류와 혼입률 변화가 경량기포콘크리트의 개발 특성에 미치는 영향을 이해하는 것이 매우 중요하다.

따라서 본 논문에서는 합성기포제와 2종의 경량골재를 혼입하여 경량골재에 따른 경량기포콘크리트의 물리적 성능 변화를 파악함으로써, 경량기포콘크리트의 개발에 기여하고자 한다.

2. 실험계획

2.1 실험변수

기존의 경량기포콘크리트의 문제점 해결 및 충격음 저감을 위한 연구의 일환으로 경량골재 종류 및 혼입율에 따른 경량기포콘크리트의 성능평가를 수행하기 위해 [표 1]과 같이 실험변수를 설정하였다.

물-결합재비(W/B) 0.50을 대상으로 2종류의 인공경량골재 A(LWA_A), B(LWA_B)를 각각 기포 용적에 내할로 계산하여 20%, 30%를 치환하였으며, 합성기포제를 사용한 기포 대체율은 65%로 설정하였다.

주요평가 항목으로는 플로우 및 양생 전후의 밀도 변화, 압축강도와 재료분리 변화를 수행하였다.

2.2 사용재료

본 연구에서 사용한 경량골재는 국내 N사에서 개발한 것으로 점토계의 두 가지 종류를 사용하여 제조한 인공경량골재이다. 각 경량골재의 물리적 특성은 [표 2]와 같으며, <그림 1>은 크기 및 형상을 나타내었다. LWA_B의 경우 LWA_A보다 상대적으로 밀도가 낮고 구형의 강자갈 형태로 매끄러운

[표 1] 실험 변수

Conditions		Variables
W/B 0.50	Fundamental test	OPC, LWA_A, LWA_B
Concentration of foaming agent ratio(%)		5
Foam ratio(%)		65
Specimen size	Oven-dried Density, Compressive Strength and Material Segregation test	Ø100×200(mm)
	Slurry Density	1000(mL)
	Flow test	Ø80×80(mm)
Curing duration (day)	Compressive and flexural strength test	7, 28
Curing condition		Water curing(20±3℃)

[표 2] 경량골재의 물리적 특성

Type	Size(mm)	SSD(g/cm ³)	Water Absorption Ratio (%)
LWA_A	≤ 5	1.77	8.71
LWA_B	5~20	1.43	8.08



그림 1. 인공경량골재

[표 3] 콘크리트 배합

(단위 : kg/m³)

Type	W/C (%)	W	C	LWA_A	LWA_B	Foam volume(L)
OPC	-	-	-	-	-	650
LWA_A_20	50	214	428	230	-	520
LWA_A_30				345	-	455
LWA_B_20				-	186	520
LWA_B_30				-	279	455
LWA_AB_20				115	93	520
LWA_AB_30				173	139	455

* LWA_AB : LWA_A+LWA_B 동일 비율 혼입

형상을 나타낸다.

기포제 및 경량골재를 사용한 경량기포콘크리트 시험체 제작에는 밀도 3.15 g/m³, 분말도 3,200 cm²/g의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 이에 따른 콘크리트 배합은 [표 3]과 같다.

3. 실험결과

3.1 플로우 변화

경량기포콘크리트의 유동성 파악을 위해 KS F 4039⁷⁾에 의거하여 채취된 슬러리를 80 mm × 80 mm의 아크릴 원통에

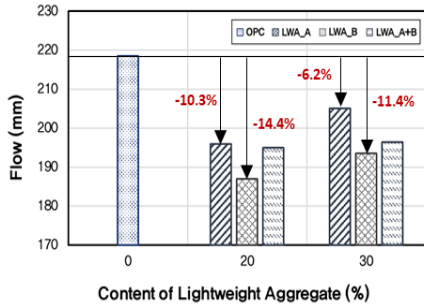


그림 2. 플로우 측정결과

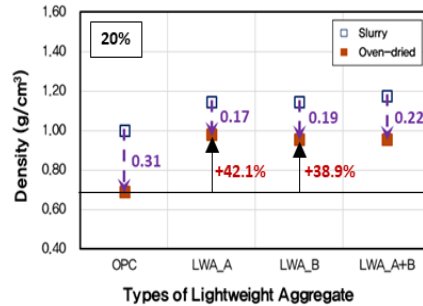


그림 3. 밀도 측정결과

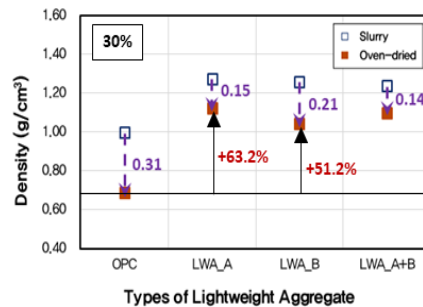


그림 4. 밀도 측정결과

붓고 살며시 들어올려 1분 후에 시료가 퍼진 4방향에 대해 등 간격으로 측정하여 평균값을 구하였다.

<그림 2>는 2종류의 경량골재를 사용하여 혼입률에 따른 경량기포콘크리트의 플로우를 나타낸다.

경량기포콘크리트의 플로우는 경량골재의 종류와 관계없이 경량골재의 혼입률이 증가하면 높은 값을 나타내는 것을 알 수 있었다.

이는 경량골재가 구형의 입형으로 인하여 운동에너지가 증가하므로 사료된다. 경량골재를 사용한 실험체의 경우 기포만을 사용한 실험체보다 낮은 플로우 값이 측정되었는데, 이는 골재가 높은 흡수율을 가지고 있기 때문에 사전에 경량골재의 프리웨팅을 통한 수분 보유량 및 취급과정에서 발생하는 수분 손실에 의한 것으로 사료된다. 또한 경량골재는 시멘트 슬러리와 비슷한 밀도를 가지고 있어 골재 자중에 의한 침하 및 분산 효과를 발휘하지 못하였기 때문으로 판단된다⁸⁾.

3.2 비중(밀도) 변화

KS F 4039에 의거하여 비빔 직후 채취된 슬러리를 1000 ml 용기를 이용해 기포 슬러리 비중을 측정하였고, 재령 28일 양생된 실험체를 100±5 °C의 온도에서 건조시킨 후에 겉보기 비중을 측정하였다. 기포 슬러리 비중과 겉보기 비중을 구하는 식은 Eq. 1, Eq. 2와 같다.

$$\text{Slurry density} = \frac{W_s}{1000} \quad \text{Eq. 1}$$

$$\text{Oven-dried density} = \frac{w_0}{V} \times \rho_w \quad \text{Eq. 2}$$

여기서, W_s 는 용기 중량을 뺀 시료의 질량(g)이며, w_0 는 절건 상태의 공시체 질량(g), V 는 공시체의 체적(cm^3) 그리고 ρ_w 는 물의 밀도(g/cm^3)를 나타낸다.

<그림 3>과 <그림 4>는 경량골재 혼입률에 따른 경량기포콘크리트의 기포 슬러리 비중과 겉보기 비중을 나타낸다.

경량골재 혼입률이 증가함에 따라 밀도가 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 기포의 혼입되는 양이 줄어들고 상대적으로 무거운 경량골재의 혼입률이 많아지기 때문으로 판단된다⁹⁾. LWA_A 경량골재는 LWA_B 경량골재와 비교하여 동일 투입비율에서 상대적으로 높은 밀도를 나타내었으며, 이는 [표 2]에서 나타낸 바와 같이 경량골재 자체의 밀도에 기인하는 것으로 사료된다.

3.3 압축강도 변화

압축강도는 KS F 2459¹⁰⁾에 의거하여 지름 100 mm, 높이 200 mm의 원형 실린더 공시체를 제작하여 수행하였다.

〈그림 5〉와 〈그림 6〉은 인공경량골재를 20%, 30% 혼입하였을 경우 각각 7일, 28일의 압축강도를 나타낸 그래프이다.

경량골재를 혼입한 실험체의 경우, 기포만을 혼입한 실험체보다 상대적으로 다소 높은 압축강도를 나타내었다. 또한 경량골재의 종류와 상관없이 혼입률이 증가할수록 높은 강도를 발현하는 것을 알 수 있었다. 이는 기포 용적을 기준으로 경량골재 혼입률을 용적 치환하는 방법을 사용하여, 경량골재 혼입률이 증가할수록 기포 혼입률은 낮아지기 때문이다¹¹⁾. 기포 혼입률이 낮아지게 되면 강도를 발현하는 시멘트 매트릭스의 밀도가 높아짐으로서 강도 증가가 나타나는 것으로 판단된다. 또한, 경량골재를 혼입하는 경우에 비빔 시 경량골재에 의한 영향으로 기포가 소멸되어, 이는 공극의 감소로 인해 압축강도가 높아진다고 사료된다¹²⁾.

경량골재를 20% 혼입한 LWA_A, LWA_B, LWA_A+B 실험체의 재령 7일 압축강도는 3.60 MPa, 4.03 MPa, 4.18 MPa, 30% 혼입한 실험체에서는 5.17 MPa, 4.92 MPa, 5.03 MPa로 초기 우수한 강도발현을 보였다. 재령 28일의 20%

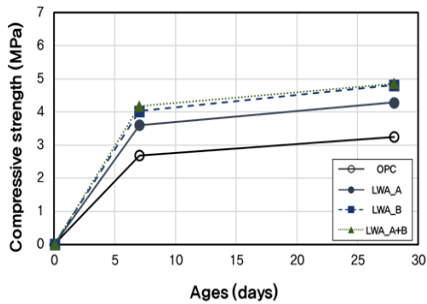


그림 5. 압축강도 측정결과(경량골재 20% 혼입)

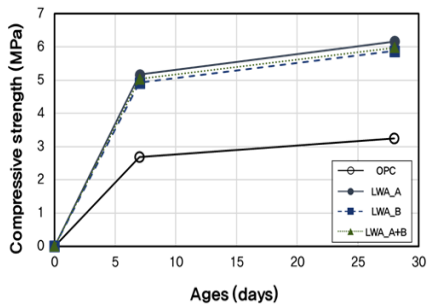


그림 6. 압축강도 측정결과(경량골재 30% 혼입)

경량골재 혼입 실험체에서는 각각 4.29 MPa, 4.81 MPa, 4.86 MPa, 30%를 혼입한 실험체에서는 6.16 MPa, 5.88 MPa, 5.98 MPa의 강도 값을 나타냈다. 기포만을 혼입한 실험체와 재령 28일 압축강도 값을 비교하면, 경량골재 20%를 치환한 실험체는 1.04~1.61 MPa, 30%를 치환한 실험체에서는 2.63~2.91 MPa의 강도 차이를 확인할 수 있었다.

모든 배합에서 KS F 4039 0.6품 성능기준인 2.0 MPa를 충족하는 것을 확인하였고, 초기 높은 강도 발현으로 공동주막의 표준바닥구조 공사 시 빠른 후속작업으로 공기를 단축할 수 있다고 판단된다.

3.4 재료분리

재료분리 측정은 배합에 따른 각 시편에 해당하는 원형 실린더 형태의 실험체를 3등분하여 중앙을 기준으로 하여 상부와 하부의 단위질량 측정을 통해 단위질량차를 파악하였다.

〈그림 7〉은 인공경량골재 혼입율에 따른 경량기포콘크리트의 재료분리에 대하여 검토한 결과 그래프이다.

골재의 재료분리의 원인은 크게 골재와 슬러리의 밀도차, 골재와 슬러리의 유동특성차 등으로 나누어질 수 있다. 측정결과 LWA_A와 LWA_A+B의 실험체는 상하부 질량차가 10% 이하로 낮은 재료분리가 이루어진 상태를 나타내었다. 그러나 LWA_B의 실험체는 상대적으로 하부에 가라앉은 골재가 많아서 질량차가 10%를 초과하는 결과를 보였다. 이는 보다 크기가 크고 구형의 입형을 가진 LWA_B의 골재가 침하 시 슬

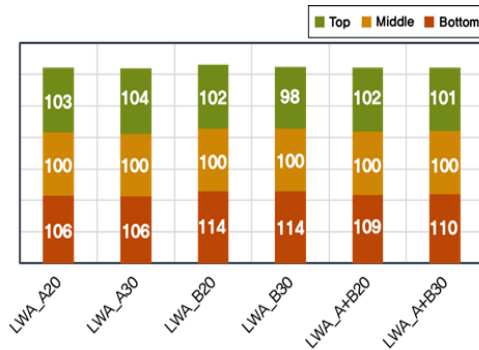


그림 7. 재료분리 측정결과

러리의 저항을 적게 받기 때문에 판단된다. 추후 경량골재 LWA_B를 사용할 경우에 침하 및 부립을 방지하기 위해 물 시멘트비와 혼입률을 검토해야할 것으로 사료된다.

4. 맺음말

경량골재 종류와 상관없이 혼입률이 증가할수록, 플로우와 밀도, 압축강도 값이 높아지는 경향을 나타냈다. 이는 경량골재의 자체 밀도가 기포의 밀도보다 높기 때문에 판단된다. 또한, LWA_A가 LWA_B보다 플로우, 밀도, 압축강도 특성에서 더 높은 값을 보였는데, 이는 경량골재의 형상과 밀도에 기

인하는 것으로 판단된다. 2종의 경량골재 모두 플로우와 압축강도는 KS F 4039 0.6품 성능 기준보다 우수한 값을 보였으나, 밀도 측면에서 다소 높게 측정되었다.

이를 기반으로 경량골재 혼입량에 따른 물리적 성능의 증감을 확인하여 목적에 맞는 배합 산출이 가능할 것으로 사료되며, 현장 적용 시 초기 강도 증가로 인해 후속작업에 대한 진행속도가 향상될 것이라고 판단된다. 또한, 경량골재 혼입으로 인해 면밀도 상승에 따른 강도 증진과 공진현상 제어, 충격음을 저감 할 수 있다고 판단된다.

담당 편집위원 : 장현오(재)한국건설생활환경시험연구원

참고문헌

1. Chandra, S., and L. Berntsson (2002). Chapter 1 Historical Background of Lightweight Aggregate Concrete, Noyes publications + William Andrew Publishing, Norwich, 5-19.
2. Kramer, C., Schauerte, M., Kowald, T. L., and Trettin, R. H. F. (2015). Three-phase-foams for foam concrete application, *Materials Characterization*, 102, 173-179.
3. JIANG, J., and Jun, L. (2015). Effect of composite set-accelerator on the properties of ultra-lightweight foamed concrete, *J. Funct. Mater.*, 46, 12116-12121.
4. Kunhanandan Nambiar, E. K., and Ramamurthy, K. (2007). Air-void characterisation of foam concrete, *Cement and Concrete Research*, 37(2), 221-230.
5. National Noise Information System (2016). <http://www.noiseinfo.or.kr/index.jsp/>
6. Ministry of environment (2007). Development of Floor impact Noise Insulation System in Apartment Buildings.
7. KS F 4039 (2004). Foamed concrete for cast-in-site, Korean Standards Association, Seoul.
8. Kim, H. K., Jeon, J. H., and Lee, H. K. (2012). Workability, and mechanical, acoustic and thermal properties of lightweight aggregate concrete with a high volume of entrained air, *Construction and Building Materials*, 29, 193-200.
9. Shafiqh, P., Nomeli, M. A., Alengaram, U. J., Mahmud, H. B., and Jumaat, M. Z. (2016). Engineering properties of lightweight aggregate concrete containing limestone powder and high volume fly ash, *Journal of Cleaner Production*, 135, 148-157.
10. KS F 2459 (2002). Standard test method for bulk specific gravity, water content, absorption and compressive strength of cellular concrete, Korean Standards Association, Seoul.
11. Holm, T. A., and Bremner, T. W. (2000). High-Durability Structural Low-Density Concrete for Application in Severe Marine Environments, *Engineer Research and Development Center*, 1-95.
12. Youm, K. S., Moon, J. H., Cho, J. Y., and Kim, J. J. (2016). Experimental study on strength and durability of lightweight aggregate concrete containing silica fume, *Construction and Building Materials*, 114, 517-527.