

경량골재 콘크리트 실용화를 위한 레미콘 제조 및 펌프 압송성 평가

Production of Ready Mixed Concrete and Evaluation of Pumpability for Practical Use of Lightweight Aggregate Concrete



박조범 Cho-Bum Park
유진기업 기술연구소 차장
E-mail :
etranger@dreamwiz.com



김재홍 Jae-Hong Kim
한국과학기술원 건설환경공학과 교수
E-mail : jae.kim@kaist.ac.kr



김용혁 Yong-Hyok Kim
한국남동발전 자원순환연구센터 선임연구원
E-mail : yhkim@koenergy.kr



류득현 Deug-Hyun Ryu
유진기업 기술연구소 소장
E-mail :
lionyu@eugenec.com

1. 서론

콘크리트 구조물의 자중을 줄이기 위하여 사용하는 경량콘크리트는 천연골재 대신에 주로 경량골재(Lightweight Aggregate, LWA)를 사용하여 자중을 감소시킨다. 이러한 경량골재는 천연골재에 비하여 내부에 공극이 많아 밀도와 단위용적질량이 낮고, 흡수율이 높아 다른 특성을 나타내기 때문에 경량골재를 사용한 콘크리트의 품질관리도 보통콘크리트와는 달리 하여야 한다. 또한 건설기준코드 경량콘크리트 편에서는 콘크리트를 제조하기 전에 골재에 충분한 살수(撒水)를 하는 사전흡수 작업인 프리웨팅(pre wetting) 공정을 갖도록 하고 있으나, 실제 현장에서는 이를 위한 설비나, 인력에 의해 살수를 하더라도 경량골재 전체에 균일한 함수율을 유지하는 것은 어려운 실정이다.

따라서 경량골재를 사용한 콘크리트의 수요를 증진하기 위해서는 이러한 프리웨팅 작업을 생략하여 제조공정을 줄이는 것이 중요하며, 공정을 감소하는 대신에 경량골재와 이를 사용한 콘크리트에 대한 보다 철저한 품질관리가 필요할 것으로 분석된다. 이와 같은 배경을 근거로 본 논문에서는 경량골재 콘크리트의 수요증진을 위하여 프리웨팅을 하지 않은 기건상태의 경량골재를 사용한 콘크리트를 제조하고 그 특성을 분석함으로써 향후 경량골재 콘크리트의 기초자료로 활용하고자 한다. 또한 경량골재 콘크리트의 실용화를 위하여 실험결과를 바탕으로 레미콘을 제조하고, 실제 구조물에 적용을 위한 펌프 압송성을 평가하여 기건상태 경량골재를 사용한 콘크리트의 현장적용성을 평가하고, 수요증진에 기여하고자 한다.

2. 경량골재 레미콘 생산 및 실험계획

경량골재를 사용한 콘크리트의 실험실에서는 결과를 바탕으로 레미콘을 제조하였다. 경량골재는 제조, 운반, 보관

과정에서 자연적 또는 인위적으로 물을 흡수하기 때문에 천연 골재보다 많은 수량을 가지고 있으나, 경량골재의 흡수율보다는 적어 수량을 더욱 흡수할 것을 예상하여 보통콘크리트보다 많은 양의 배합수를 설정하였다. 또한 상용범위의 레미콘을 제조하고자 호칭강도를 27, 24, 21 MPa로 설정하였고, 결합재는 유동성과 장기강도 증진을 목적으로 시멘트 75%와

플라이애시 25%로 구성하였다. 또한 경량골재는 전체 골재량의 60%(s/a 40%)를 대체하여 경량화를 목적으로 하였으나, 첫 배치에서 펌프압송에 어려움이 있어 경량골재 사용량을 50%로 줄이고, 잔골재를 50%로 증가시켜 펌프압송을 원활하게 하도록 하였다. 레미콘 제조배합은 [표 1]과 같다.

[표 1] 경량골재 레미콘 배합

호칭 강도	w/b	LWA(%) (s/a)	단위 재료량(kg/m ³)						합계	펌프 압송
			물	시멘트	플라이애시	모래	경량 골재	혼화제		
27 MPa	0.450	60 (0.40)	180	300	100	679	609	2.80	1,868	실패
27 MPa	0.475	50 (0.50)	190	300	100	836	500	2.80	1,926	성공
24 MPa	0.528	50 (0.50)	190	270	90.0	854	511	2.52	1,915	성공
21 MPa	0.581	50 (0.50)	190	245	81.8	869	520	2.39	1,906	미실시
24 MPa (천연)	0.486	(0.48)	168	294	52	878	954 (천연)	2.42	2,346	성공



(a) 경량골재 투입



(b) 경량골재 레미콘 제조



(c) 경량골재 레미콘 샘플 채취



(d) 경량골재 레미콘 시험

그림 1. 경량골재 레미콘 생산 및 시험

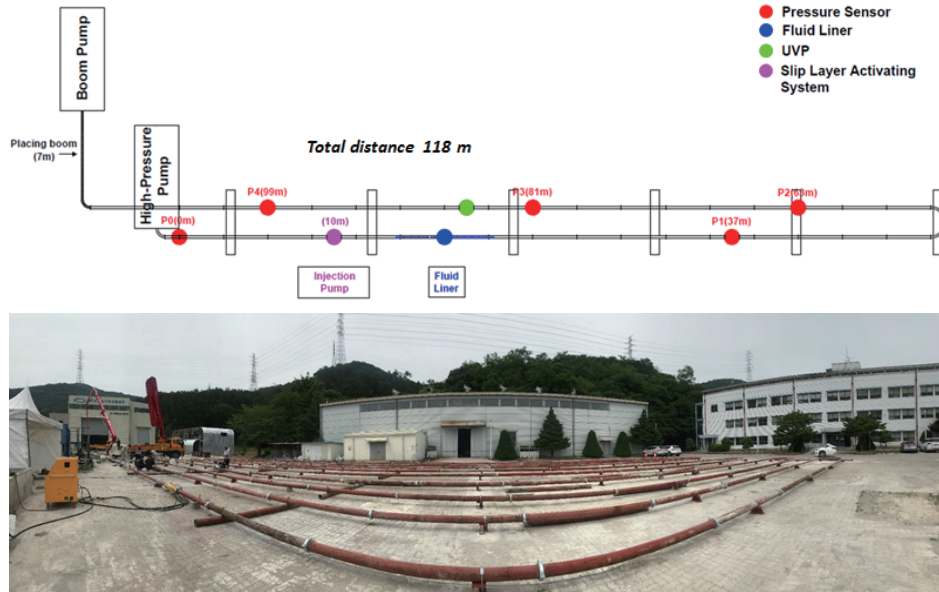


그림 2. 펌프압송을 위한 배관 및 전경

레미콘 제조 후에는 공장에서 슬럼프와 공기량, 그리고 단위용적질량을 측정하여 경량골재 콘크리트의 균질성을 평가하였고, 1시간이 경과한 후에도 슬럼프, 공기량과 단위용적질량을 측정하여 시간경과에 따른 유동성 손실정도를 평가하였다. 이후 경량골재 레미콘을 약 1시간 거리의 현장으로 운반하여 펌프압송을 실시하였다. 따라서 현장 도착 후에는 공장에서와 동일하게 슬럼프와 공기량을 측정하였으며, 현장에서는 펌프압송 전후에 실시하여 펌프압송에 따른 유동성 손실정도를 평가하였다. <그림 1>은 레미콘 제조와 시험장면을 나타낸 것이며, <그림 2>와 같이 펌프압송은 수평배관 100m를 실시하였고, 배관중간에는 5개의 압력센서를 설치하여 펌프압송에 따른 배관의 압력을 측정하였다.

3. 실험결과

3.1 콘크리트 특성

3.1.1 슬럼프

균질성이 낮은 콘크리트에서의 유동성은 균질한 콘크리트의 특성에도 영향을 미치며, 특히 펌프압송에 큰 영향을 미치므로, 흡

수율이 높은 경량골재 사용에 따른 유동성 손실을 최소화하고, 펌프 압송이 원활하도록 배합직후의 슬럼프를 220mm 정도로 발현하도록 레미콘을 제조하였다. 그 결과 호칭강도에 관계없이 배합직후에는 모두 220mm로 측정되었으며, 60분이 경과한 후에는 110~160mm로 측정되었다. 결합재가 많은 27MPa의 슬럼프 손실이 가장 적었으며, 21MPa 배합의 슬럼프 손실이 컸다. 이러한 원인은 경량골재를 기건 상태를 사용함에 따라 골재내부의 흡수량이 부족하여 골재에서 흡수될만큼 수량을 더욱 흡수함에 따라 경량골재 사용량이 많은 21MPa 배합의 슬럼프 손실이 가장 크게 나타난 것으로 분석된다.

특히 실험실에서의 60분 경과 후의 슬럼프 손실은 크게 발생하였으나, 경량골재 레미콘의 펌프압송을 위하여 차량으로 운반한 콘크리트의 슬럼프는 190~210mm로 배합직후에 비하여 크게 감소하지 않았다. 또한, 펌프 압송 100m를 실시한 이후에도 슬럼프는 185~190mm로 유지되어 압력에 의한 펌핑에도 슬럼프 손실이 크지 않아, 적절한 결합재와 콘크리트의 배합을 설정함에 따라 유동성 손실이 크지 않았으며, 펌프 압송에도 큰 문제가 없어 경량골재 콘크리트의 현장 적용에도 어려움이 없을 것으로 판단된다.

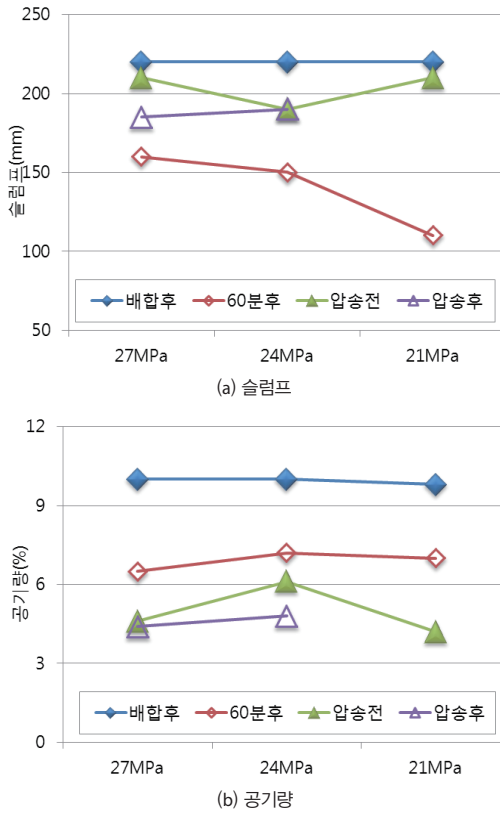


그림 3. 경량골재 레미콘의 유동성

3.1.2 공기량

슬럼프 결과와 유사하게 전체적으로 공기량도 높은 값을 나타냈으며, 제조공장에서 측정된 결과보다 현장도착 후의 펌프 압송 전후의 결과가 소폭 감소하였다.

제조직후에 측정된 공기량은 호칭강도에 관계없이 모두 10.0% 정도의 높은 값을 나타냈다. 레미콘의 유동성 확보를 위하여 플라이애시를 결합재의 25%를 사용하였으나, 레미콘 제조시 사용한 혼화제에 고성능 감수제와 AE제가 함께 포함되어 있어, AE제의 공기연행으로 공기량이 발현이 높았던 것으로 분석된다. 또한 60분 후에는 시간경과에 따라 결합재의 반응으로 인하여 공기량이 6.5~7.2%로 크게 감소하였으며, 배합에 따른 공기량의 차이는 뚜렷하지 않았고, 배합직후와 비교하면 약 2.6~3.5% 정도 손실되었다.

펌프압송 전에는 4.6~6.1%의 범위로 측정되었으며, 펌프

압송 후에는 4.4~4.8%의 범위로 현장도착 후에는 이미 시간 경과에 따라 공기량이 크게 손실된 상태라 압력에 의한 펌프 압송 전후의 공기량은 큰 변화는 나타나지 않은 것으로 분석된다. 따라서 경량골재 레미콘은 제조 후에 공기량이 높은 값으로 측정되었으나, 레미콘의 운반과정에서 유동성 손실에 따라 공기량도 함께 손실되었으며, 펌프 압송 전후에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

3.1.3 압축강도

압축강도는 레미콘 제조 후와 60분 후에 굳지 않은 특성을 측정함과 동시에 시간경과에 따른 시험체를 만들었고, 펌프 압송전후에도 함께 시험체를 제작하여 호칭강도별로 모두 4가지의 시험체를 제작하여 압축강도 시험을 재령별로 실시하였다.

재령 3일의 압축강도는 9.77~14.3MPa의 범위로 측정되었다. 레미콘 제조 후의 공장에서 채취한 샘플의 압축강도가 가장 큰 값이었으며, 60분 후에 제작한 시험체가 가장 적은 값으로 측정되었으나, 현장 도착 후에 제조한 샘플의 압축강도와 펌프 압송 후에 채취한 샘플에서 큰 차이는 없었다. 펌프 압송 후에는 펌프압력에 의한 콘크리트의 공기량 감소로 압축강도가 증가할 것으로 예상하였으나, 압축강도는 뚜렷한 변화없이 유사하였다.

재령 7일에는 3일의 압축강도와 비교하면 전체적으로 수치만 증가하였을 뿐 강도발현 경향은 동일하였다. 공장에서 제조 직후에 제작한 시험체의 압축강도가 가장 큰 값인 15.0~20.7MPa의 범위로 측정되었다. 특히 펌프 압송전후에는 경량콘크리트의 압축강도 변화가 거의 없었으며, 현장도착 후에도 압축강도는 유사한 경향을 나타내어 콘크리트 제조 직후의 압축강도가 가장 큰 값을 나타냈으며, 현장에서 제작한 시험체는 시간경과에 따라 반응이 진행되어 안정적인 강도발현이 이루어지지 않은 것으로 분석된다.

재령 28일에는 초기재령에 비하여 압축강도가 더욱 증진하였으며, 압축강도 발현 경향은 초기재령과 동일한 경향을 나타냈으나, 호칭강도와 콘크리트 채취시점에 따른 강도발현 경향은 유사하였다. 초기재령과 동일하게 콘크리트 제조 후에 제작한 시험체의 압축강도가 22.1~27.8MPa의 범위로 가장

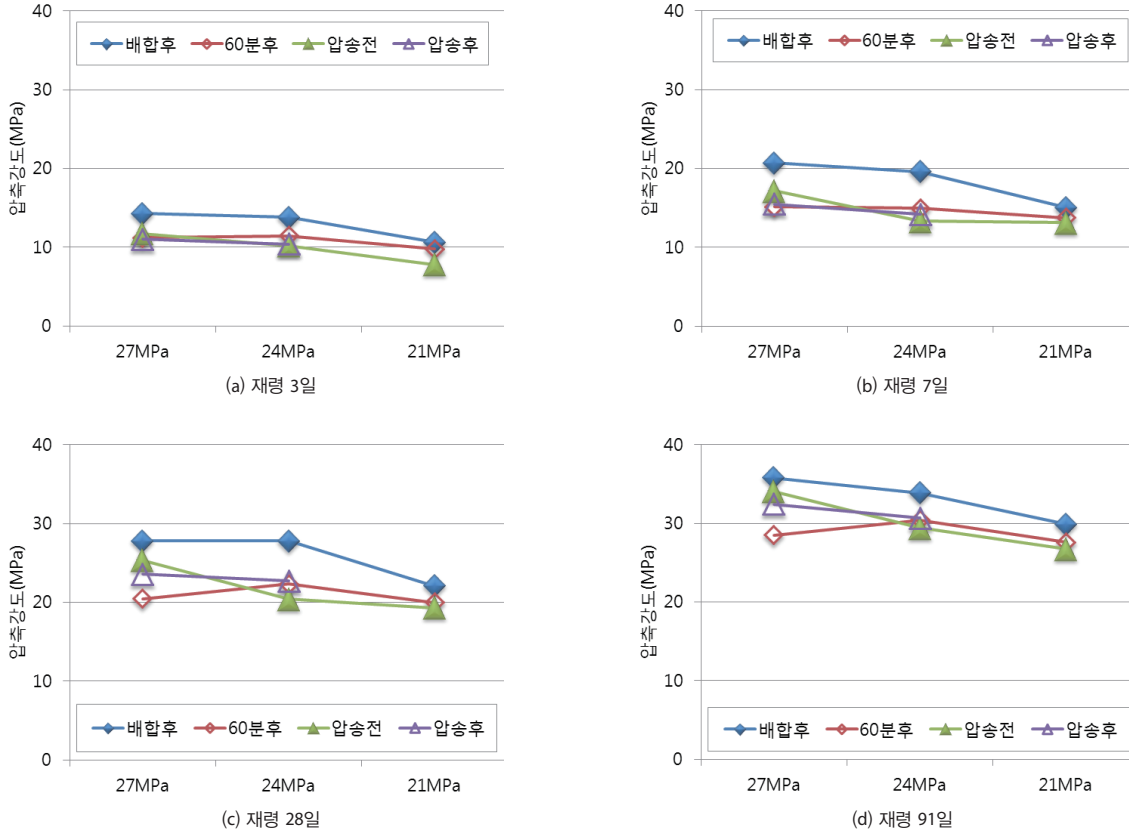


그림 4. 재령별 압축강도

큰 값이었으며, 그 외의 시험체는 19.3~25.3 MPa로 시험체 제조시점에 관계없이 유사한 값으로 측정되었다. 특히 펌프 압송 후에 제작한 시험체는 재령이 경과하여도 압축강도 증진은 크지 않았으며, 공장에서 제작한 시험체의 압축강도가 더욱 큰 값으로 발현하였다. 다만, 펌프압송 전에 제작한 시험체는 재령 28일에도 목표로 설정하였던 호칭강도에는 다소 부족하였다.

재령 91일에 측정된 압축강도는 26.7~35.8 MPa의 범위로 나타남에 따라 장기재령에서 압축강도 발현이 큰 값이었다. 유동성 확보를 목적으로 플라이애시를 결합재의 25% 사용으로 재령 28일에서 일부 배합의 압축강도 발현이 부족하였으나, 91일에는 플라이애시에 의한 장기강도 활성화로 압축강도가 더욱 증진한 것으로 분석되며, 경량골재를 사용한 레미콘의 강도발현은 콘크리트 배합에서 적절한 결합재의 조합과

경량골재의 대체율을 설정함으로써 강도발현은 큰 문제가 없을 것으로 분석된다. 다만, 원활한 펌프압송을 위해서는 다양한 배합에 대한 검토가 필요하며, 경량골재의 대체율과 함수율 관리가 매우 중요한 항목인 것으로 판단된다.

3.2 경량골재 레미콘 펌프압송

경량골재를 사용한 콘크리트는 적절한 결합재와 경량골재 대체율을 설정함으로써 경량골재 콘크리트의 레미콘 생산과 강도발현 특성을 분석하였으며, 현장적용을 위해서는 콘크리트의 원활한 펌프압송이 이루어져야 한다. 경량골재 레미콘의 호칭강도별로 펌프압송성을 평가한 결과는 다음과 같다.

실험계획과 같이, 최초 설정한 단위수량 180 kg/m³의 레미콘 배합은 펌프 압송을 위해 압력을 가함에 따라 콘크리트 배



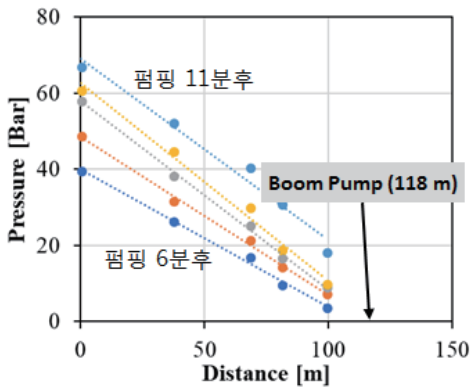
그림 5. 배관막힘 현상

관을 통과하면서 경량골재가 배합수를 흡수하여 약 50m지점에서 압력전달이 전혀 이루어지지 않는 배관막힘 현상이 <그림 5>와 같이 발생하면서 콘크리트 압송이 불가능하였다.

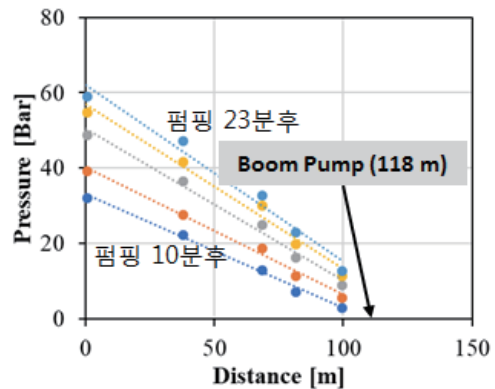
따라서 펌핑시 경량골재가 배합수를 흡수하더라도 배합 내 자유수가 남아있도록 단위수량을 높였고, 경량골재 사용량도

전체 골재량의 50% 정도로 낮추어 펌프압송이 원활하도록 하였다. 그리고 단위수량을 190 kg/m^3 으로 증가시켰으로써, 펌프압송에 따라 경량골재가 배합수를 일부 흡수하고도 자유수로 남아 있어 펌프압송은 큰 무리가 없이 진행하였다.

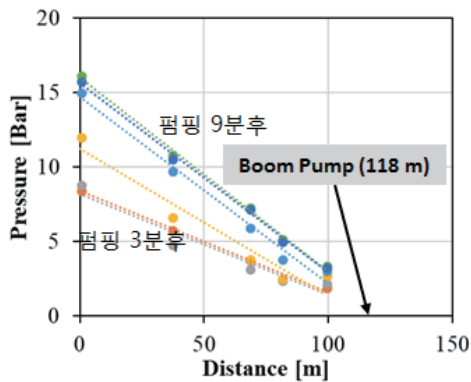
또한 경량골재 레미콘의 펌프압송에 따른 배관압력의 변화를 천연골재를 사용한 레미콘과 비교를 한 결과, 경량골재 레미콘은 100m 압송 시 최대 압력이 60~65 bar가 필요하였으며, 배관막힘이 발생하였던 단위수량 180 kg/m^3 배합은 최대 120 bar까지 측정되었으나, 천연골재를 사용한 레미콘의 배관압력은 최대압력이 15 bar 정도만 발생하여 경량골재 레미콘에 비하여 요구되는 펌핑압력이 낮았다. 경량골재 콘크리트의 펌핑압력이 상대적으로 높은 원인은, 경량골재 내부의 공극에 의한 것으로 압력을 가함에 따라 배합수가 골재 내부로 침투



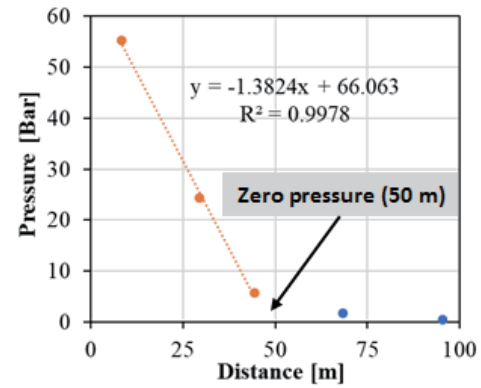
(a) 27 MPa



(b) 24 MPa



(c) 천연골재 콘크리트



(d) 27 MPa(압송불가)

그림 6. 배관거리별 압력 변화

하여 배합의 점도가 크게 높아져 발생하는 것으로 분석된다.

[표 2]는 압송전후의 레미콘의 특성변화를 측정한 것으로 천연골재를 사용한 레미콘은 슬럼프가 약 25 mm가 손실되었으나, 천연골재의 흡수율이 낮기 때문에 모르타르 수량이나 배합수 비율은 거의 차이가 없었다. 그러나 경량골재 레미콘은 호칭강도 27 MPa와 24 MPa 모두 모르타르 수량과 배합수의 비율이 펌프압송 후에 경량골재가 배합수의 일부를 골재 흡수율만큼 흡수를 하기 때문에 감소하는 것으로 나타났다. 또한 펌프압송이 불가능하였던 단위수량 180 kg/m³ 배합은 압력증가에 따라 경량골재 사용량에 비하여 단위수량이 적었

기 때문에 배합수를 경량골재가 모두 흡수하여 펌프압송을 위한 자유수 부족으로 50 m 지점의 배관에서 압력이 미치지 못하여 막힘현상이 발생한 것으로 분석된다.

4. 결론

경량골재 콘크리트의 실용화를 위해서는 경량골재를 사용한 레미콘 제조기술도 중요하지만, 이를 건설현장에 적용하기 위해서는 원활한 펌프압송이 이루어져야 하므로, 펌프압력에 의한 골재 내부에 배합수가 흡수되는 것을 감안하여 보통콘크리트보다 높은 배합수량이 필요하다.

또한 경량골재 콘크리트의 가장 중요한 항목인 단위용적질량을 줄이기 위해서는 경량골재의 사용량을 증가시켜야 하지만, 배합수량을 흡수하기 때문에 경량골재 콘크리트의 배합설계는 단위용적질량과 압축강도, 그리고 펌프압송성 등의 다양한 특성을 고려한 배합설계가 이루어져야 할 것으로 분석된다.

이러한 과정을 통하여 현재 건설공사에서 수요가 매우 적은 경량골재 콘크리트의 활성화를 위해서는 콘크리트 제조 전에 경량골재에 프리웨팅 공정이 필요없는 기건상태의 경량골재를 사용한 콘크리트의 현장적용이 가능할 것으로 기대되며, 보다 다양한 조건에서의 콘크리트에 대한 여러 가지의 성능평가가 이루어져야 경량골재 콘크리트의 수요가 증가할 것으로 전망된다.

담당 편집위원 : 김용로(대림산업)

[표 2] 호칭강도별 펌프압송 전후의 물성변화

호칭강도	항목	압송 전	압송 후
27 MPa (180kg/m ³)	슬럼프	180 mm	90 mm
	모르타르 수량	16.79 %	15.30 %
	배합수 비율	100 %	91.1 %
27 MPa	슬럼프	210 mm	185 mm
	모르타르 수량	16.45%	16.04%
	배합수 비율	100 %	97.5 %
24 MPa	슬럼프	190 mm	190 mm
	모르타르 수량	17.09 %	15.42 %
	배합수 비율	100 %	90.2 %
24 MPa (천연골재)	슬럼프	155 mm	130 mm
	모르타르 수량	15.49 %	15.39 %
	배합수 비율	100 %	99.4 %