

경량 굵은골재 비중 및 혼합비에 따른 콘크리트의 자기충진성

The self-compacting property of concrete as to specific gravity and mixing proportion of lightweight coarse aggregate

최연왕* 김용직** 최욱*** 이상호**** 조선규*****
Choi, Yun Wang Kim, Yong Jic Choi, Wook Lee, Sang Ho Cho, Sun Kyu

ABSTRACT

Lightweight concrete is known for its advantage of reducing the self-weight of the structures, reducing the areas of sectional members as well as making the construction convenient. Thus the construction cost can be saved when applied to structures such as long-span bridge and high rise buildings.

However, the lightweight concrete requires specific design mix method that is quite different from the typical concrete, since using the typical mix method would give rise the material segregation as well as lower the strength by the reduced weight of the aggregate. In order to avoid such problems, it is recommended to apply the design mix method of high performance self-compacting concrete for the lightweight concrete.

Therefore, this study introduces a production of self-compacting concrete, PF-modified and improved version of Nan-Su's design mix method of self-compacting concrete.

Through a series of test mixes conducted during the study, the quality of the concrete at its fresh condition has been evaluated per the 2nd class rating standards of self-compacting concrete published by JSCE, especially focused in its fluidity, segregation resistance ability, and filling ability.

1. 서론

경량콘크리트는 구조물의 자중을 줄일 수 있는 장점 때문에 부재단면의 축소 및 시공의 간편화를 이룰 수 있다. 따라서 장경간 교량 및 초고층 건물등에 적용하여 시공비용을 절감할 수 있는 효과가 있다. 그러나 경량콘크리트(Lightweight concrete)는 재료 자체의 특수성으로 인하여 일반콘크리트와는 다른 배합설계방법이 필요하다. 일반콘크리트의 배합설계방법으로 경량콘크리트를 제조할 경우 골재의 경량화에 따른 재료분리 및 강도 저하현상이 발생한다.

따라서, 경량콘크리트 제조시 발생하는 재료분리 및 강도저하 현상을 해결하기 위한 방안중 하나로 본 연구에서는 기존의 자기충진콘크리트 배합설계방법^{1,2)}을 개선시킨 간편 배합설계방법^{3,4)}을 이용하였다. 경량골재를 혼합한 콘크리트의 자기충진성을 평가하기 위하여 비중이 다른 두 종류의 경량골재를 혼합하여 굳지 않은 콘크리트의 유동성, 재료분리저항성 및 충전성을 평가하고, 경량콘크리트의 재령별 압축강도 및 자중감소율에 대하여 검토하였다.

*정회원, 세명대학교 토목공학과 부교수

**정회원, 한양대학교 토목공학과 박사수료

***정회원, 한국시설안전기술공단 차장

****정회원, 대림산업(주) 용인기술연구소, 한양대학교 토목공학과 박사과정

*****정회원, 서울산업대학교 토목공학과 교수

2. 실험개요

2.1 사용재료

시멘트는 비중이 3.15, 비표면적 $3,539\text{cm}^2/\text{g}$ 인 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC)를 사용하였다. 굵은골재는 최대치수가 20mm, 비중 2.72인 부순골재(이하 NG)를 사용하였다. 경량 굵은골재는 부순골재와 동일한 최대치수를 가진 경량골재로 유문암계 미분말을 주원료하여 제조한 것을 사용하였으며, 비중은 1.58(이하 LG₁)이다. 또한 폐기물인 석분오니 등을 이용하여 제조한 비중 2.07(이하 LG₂)인 소성 경량 굵은골재를 사용하였다. 한편, 잔골재(이하 NS)는 비중이 2.55인 예천산 강모래를 사용하였으며, 사용골재들의 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 골재의 물리적 성질

Types	Items	G _{max} (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	F.M.	Organic impurities	Unit weight (kg/m ³)	Percentage of solids(%)	Crushing Ratio(%)
NG		20	2.72	0.80	6.72	-	1,695	62.3	14.6
LG ₁		20	1.58	28.09	6.37	-	793	50.2	23.8
LG ₂		20	2.07	8.8	5.77	-	1,119	54.1	22.6
NS		-	2.55	2.43	2.81	O.K	1,596	62.6	-

표 2 콘크리트 배합

Types	Mix No.	S/a (%)	W/C (%)	LG ₁ / (LG ₁ +NG)(%)	LG ₂ / (LG ₂ +NS)(%)	Unit Weight(kg/m ³)					
						W	C	NS	NG	LG1	LG2
Plain	1	0.53	0.38	0	-	175	460	861	810	-	-
	2	0.53	0.38	25	-	175	460	861	608	117	-
	3	0.53	0.38	50	-	175	460	861	405	234	-
	4	0.53	0.38	75	-	175	460	861	203	352	-
	5	0.53	0.38	100	-	175	460	861	0	469	-
Group 2	6	0.53	0.38	-	25	175	460	861	604	-	154
	7	0.53	0.38	-	50	175	460	861	402	-	308
	8	0.53	0.38	-	75	175	460	861	201	-	463
	9	0.53	0.38	-	100	175	460	861	0	-	617

2.2 시험방법

콘크리트의 자기충전성 평가는 일본토목학회(JSCE)의 “자기충전형 고유동 콘크리트의 시험방법⁵⁾(안)”에 의해 Slump-flow, Slump-flow 500mm 도달시간, V-lot 유하시간 및 U-box 충전실험을 실시하였다. 한편, 본 연구 논문에서는 일반적인 철근 콘크리트 구조물의 조건인 2등급 기준으로 평가하였다.

2.3 콘크리트 배합

비중이 다른 두 종류의 경량골재를 이용하여 혼합률을 0, 25, 50, 75 및 100%로 달리하여 총 9배합의 콘크리트를 제조하였으며, 배합표는 표 2와 같다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1, 2 및 3에 비중이 다른 경량골재의 혼합률을 달리하여 제조한 굳지 않은 콘크리트의 유동성, 재료분리저항성 및 충전성을 정리하였다.

그림 1의 유동성 측정결과 모든 배합에서 자기충전 성능평가 기준인 600~700mm를 만족하는 것으로 나타났다. 그림 1의 결과 Group 1의 Slump-flow 값 평균은 683mm, Group 2의 Slump-flow 값 평균은 608mm로 측정되었다.

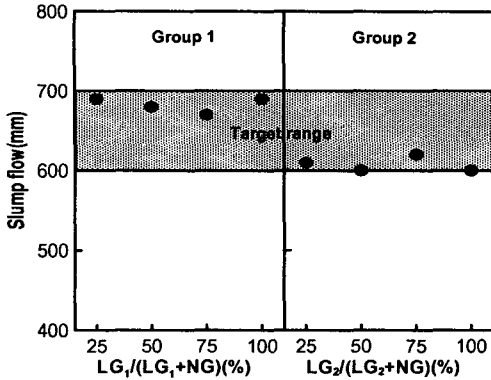


그림 1 경량콘크리트의 유동성 평가

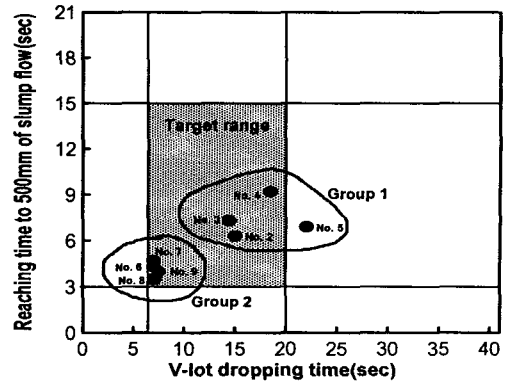


그림 2 경량콘크리트의 재료분리저항성 평가

이러한 결과의 원인은 비중 1.58인 경량골재를 사용한 Group 1의 콘크리트가 비중 2.07을 사용한 Group 2의 콘크리트 보다 자중이 감소하여 보다 양호한 유동성을 확보하였기 때문인 것으로 판단된다. 그림 2는 굳지 않은 콘크리트의 재료분리저항성을 평가하기 위하여 V-lot 유하시간과 Slump-flow 500mm 도달시간을 정리한 그림이다. 그림 2의 결과 Slump-flow 500mm 도달시간은 모든 배합에서 자기충전콘크리트 성능 기준 범위내에 들었지만 V-lot 유하시간의 경우 LG₁의 혼합률 100%(Mix No. 5)를 제외한 배합에서 소요의 기준값을 만족하는 것으로 나타났다. 이는 Group 1의 경우 Group 2의 경우 보다 전체 적으로 Slump-flow 500mm 도달시간과 V-lot 유하시간이 점진적으로 지연되는 현상을 보이고 있어 LG₁의 골재를 100% 혼합하여 콘크리트를 제조할 경우 콘크리트의 자중감소로 인하여 콘크리트의 자중만으로 V-lot를 통과하는데 시간이 지연되는 것으로 판단된다.

그림 3은 자기충전콘크리트의 충전성 평가인 U-box level를 정리한 것이다. 그림 3의 결과 모든 배합(Group 1 및 2)에서 자기충전콘크리트의 충전성 평가 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

그림 4는 비중이 다른 경량골재를 혼합하여 제조한 자기충전 콘크리트의 압축강도를 재령에 따라 정리한 것이다. 그림 4의 결과 LG₁을 혼합한 콘크리트의 경우 혼합률 75%(Mix No. 2, 3 및 4)까지 경량골재를 혼합하지 않은 콘크리트(Mix No. 1)와 비교하여 8% 이내의 압축강도 감소율을 보였으나, 100% 혼합(Mix No. 5)하여 콘크리트를 제조한 경우 30%의 압축강도 저하현상이 나타났다. 한편, LG₂의 혼합률이 증가(Mix No. 6, 7, 8 및 9) 할수록 경량골재를 혼합하지 않은 콘크리트와 비교해서 최소 22%, 최대 32%의 압축강도 저하율을 보이고 있었다. 이러한 경향은 경량골재(LG₁ 및 LG₂)를 제조할 때 사용되는 원재료의 영향으로 판단된다. 즉, 천연 재료인 유문암계 미분말을 이용하여 제조한 경량골재가 폐기물을 원료로 하여 제조한 경량골재 보다 골재 자체의 강도가 우수하기 때문으로 판단된다.

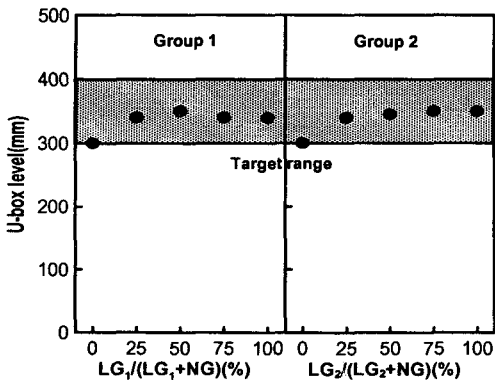


그림 3 경량콘크리트의 충전성 평가

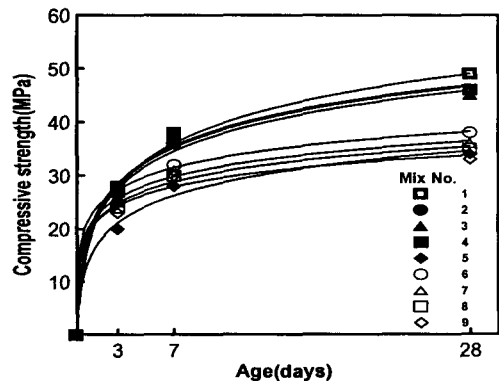


그림 4 경량콘크리트의 재령별 압축강도

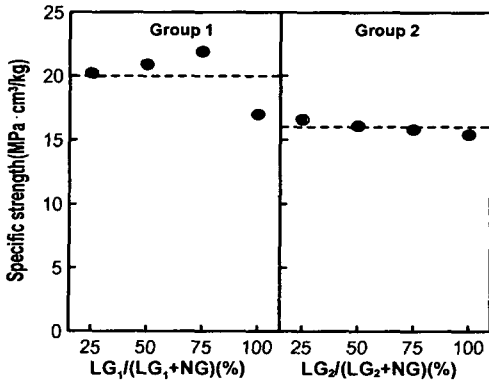


그림 5 경량콘크리트의 자중감소율

그림 5는 비중이 다른 경량골재를 혼합하여 제조한 자기충전콘크리트의 구조적 효과를 비강도(Specific strength)로서 정리한 것이다. 그 결과 LG₁(Group 1)을 혼합하여 제조한 콘크리트의 경우 비강도는 평균 20MPa · cm³/kg, LG₂를 혼합하여 제조한 콘크리트의 경우는 평균 16MPa · cm³/kg 으로 나타나 LG₁을 사용한 콘크리트가 구조적인 효과가 우수한 것으로 판단된다. 이러한 결과의 원인은 LG₁의 골재가 LG₂의 골재보다 비중이 31% 정도 적기 때문에 콘크리트 제조시 자중이 LG₂ 사용 콘크리트 보다 감소율이 크며 압축강도 또한 크기 때문으로 판단된다.

4. 결론

- 1) 비중이 1.58 및 2.07인 경량 굵은골재를 혼합하여 제조한 자기충전콘크리트의 유동성 분석 결과 각각의 Slump-flow는 평균 683mm와 608mm로 비중 1.58의 경량골재를 사용한 콘크리트의 Slump-flow 값이 약 12% 정도 큰 경향이 있으며, 이러한 결과는 콘크리트의 자중이 적을수록 유동성 향상에 도움을 주는 것으로 판단된다.
- 2) 재료분리저항성을 평가한 결과 비중이 1.58인 경량골재를 사용한 콘크리트가 비중 2.07의 경량골재를 혼합하여 제조한 콘크리트 보다 Slump-flow 500mm 도달시간 및 V-lot 유하시간이 지연되는 경향이 있으며, 이는 콘크리트의 자중감소로 인하여 지연되는 것으로 판단된다.
- 3) 경량 굵은골재의 혼합률을 달리하여 제조한 콘크리트의 재령 28일의 압축강도를 분석한 결과 비중 1.58인 경량골재를 사용한 콘크리트는 기준콘크리트와 비교하여 평균 12.5%, 비중 2.07인 경량골재를 사용한 콘크리트의 경우 평균 27%의 압축강도 감소 현상이 발생하였으며, 이는 천연암석을 주원료로 하여 제조한 경량골재의 강도가 폐기물을 이용하여 제조한 경량골재 보다 골재자체의 강도가 높기 때문으로 판단된다.
- 4) 경량 굵은골재의 혼합률을 달리하여 제조한 자기충전 콘크리트의 비강도 분석 결과 비중 1.58인 경량골재를 사용한 콘크리트의 비강도는 비중 2.07인 경량골재를 사용한 콘크리트의 비강도 보다 평균 20% 큰 값을 나타냈으며, 이는 콘크리트의 자중 및 압축강도와 관계가 있는 것으로 판단된다.

감사의글

본 연구는 건설교통부 2002년도 산·학·연 과제(C102A1000017-03A0200-01520) 「ET 신기술 경량골재를 이용한 고강도 경량 프리캐스트 바닥판 시공시스템 개발」에 관한 일련의 연구로 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. 岡村甫 外 3人, 하이퍼퍼포먼스콘크리트, 技報堂出版, 1993.
2. Nan Su, K. C. Hsu, H. W. Chai, "A Simple Mix Design Method for Self-Compacting Concrete," Cement and Concrete Research 31, 2001, 1799-1807.
3. 최연왕 외 4인, "골재 채움율과 잔골재 용적비를 고려한 자기충전형 콘크리트의 최적배합," 한국 콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 제 14권 2호, 2002, pp. 549-554.
4. 최연왕 외 4인, "간편 배합설계방법을 통한 중간강도 자기충전 콘크리트의 특성," 한국 콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 제 15권 1호, 2003 pp. 83-88.
5. Japanese Society of Civil Engineering Guide to Construction of high Flowing Concrete, Gihoudou Pub., Tokyo, 1998.