

경량골재 혼합물에 따른 자기충전콘크리트의 역학 및 내구 특성

The mechanical properties and durability of self-compacting concrete according to the substitution ratio of lightweight aggregate

최연왕* 김용직** 정재권*** 최 욱**** 조선규*****
Choi, Yun Wang Kim, Yong Jic Jung, Jea Guane Choi, Wook Cho, Sun Kyu

ABSTRACT

Concrete structure is recognized as the universal structuring material for its outstanding formability, economic efficiency, and strength development. However, as the ageing of field workers and the deficiency of skilled workers due to evasions from 3D business have recently become the major issues of the industry in Korea and as the materials are becoming more diversified and complicated for today's concrete structures are becoming higher, larger, and specialized, the need for practicality of construction work based on new technology and new method has greatly increased. In other words, the overall condition of today's construction business requires researches and developments on the self-compacting concrete for higher construction efficiency and quality improvements and the high-strength lightweight concrete for concrete weight reduction and reduction of area. Therefore experimental tests were performed as such compressive strength, dry shrinkage and carbonation of self-compacting concrete.

1. 서론

콘크리트는 성형성 및 경제성 등이 탁월하며 우수한 강도발현으로 인해 보편화된 구조재료로 인정받고 있다. 그러나 최근 들어 국내에서는 3D 기피 현상으로 인한 건설인력 확보가 어려워 건설 현장 작업자의 고령화 및 숙련공의 부족 현상이 뚜렷히 발생하고 있는 실정이며, 또한 콘크리트 구조물이 점차 고층화, 대형화 및 특수화 됨에 따라 부재의 형상이 다양하고 복잡해지고 있어 신기술·신공법에 의한 건설공사의 합리화가 요구되고 있다. 이와 같은 건설 환경의 전반적인 여건에 따라 시공의 효율성 및 품질향상을 고려한 자기충전콘크리트 및 콘크리트의 자중 감소와 단면 축소를 위한 구조용 경량콘크리트에 대한 연구 및 개발이 필요할 것으로 판단된다¹⁾. 따라서 본 연구에서는 경량골재를 혼합한 자기충전콘크리트의 강도 특성 및 자중감소 효과를 검토하여 구조적 효율성을 평가 하였으며, 기초적인 내구성을 건조수축율 및 촉진탄산화 시험을 통하여 검토하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

시멘트는 밀도 3.15g/cm³인 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 천연골재는 최대 치수 20mm, 밀도 2.72인 부순골재(NC)와 밀도 2.55인 강모래(RS)를 사용하였다. 경량골재는 밀도 1.58g/cm³인 경량골은

* 정회원, 세명대학교 토목공학과 부교수

** 정회원, 세명대학교 토목공학과 강사, 공학박사

*** 정회원, 세명대학교 토목공학과 석사과정

**** 정회원, 한국시설안전기술공단 차장

***** 정회원, 서울산업대학교 토목공학과 교수

골재(LC)와 밀도 1.87g/cm³인 경량 잔골재(LS)를 사용하였으며, Table 1은 사용골재의 물리적 성질을 정리한 것이다.

Table 1. Physical properties of aggregates

Items Types	G _{max} (mm)	Density (g/cm ³)	Absorption (%)	F.M.	Bulk Density (kg/m ³)	Percentage of solids(%)	Crushing value(%)
RS	-	2.55	2.43	2.81	1,677	62.6	-
NC	20	2.72	0.80	6.72	1,695	62.3	15
LS	-	1.87	13.71	2.64	1,127	60.3	-
LC	20	1.58	28.09	6.40	793	50.2	24

2.2 실험방법 및 콘크리트 배합

콘크리트의 압축강도용 공시체는 다짐작업 없이 Ø100×200mm로 제조하였으며, 제작된 공시체는 KS F 2403에 준하여 24시간 후 물드를 탈영한 다음 시험 전 까지 20±3℃에서 수중 양생을 실시하였다.

콘크리트의 압축강도는 KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험방법에 의해 측정하였고, 기건 단위용 적질량은 재령 28일의 압축강도용 공시체를 1일간 기건 상태로 방치한 후, KS F 2462의 구조용 경량 콘크리트의 단위용적질량 시험방법에 따라 경화상태의 단위용적 질량을 측정하여 자중감소를 및 비강도를 계산하였다. 또한, 축진탄산화 시험은 압축강도용 공시체를 이용하여 재령 28일 후의 공시체를 탄산가스농도 10±1%, 습도 60±5% 및 온도 20±1℃의 조건으로 실시하였으며, 콘크리트의 건조수축율은 KS F 2424에 준하여 100×100×400mm의 각주형 공시체를 다짐작업 없이 제작 하여 재령 7일간 20±3℃에서 수중 양생을 실시한 후 습도 60±5%, 온도 20±1℃로 유지할 수 있는 항온·항습실에 공시체를 보관하여 건조수축율 시험을 실시하였다. Table 2는 경량 자기충전콘크리트의 배합표를 정리한 것이다.

Table 2. Mixture proportions of concrete

No.	S/a (%)	W/C (%)	LC/(NC+LC) (Vol, %)	LS/(RS+LS) (Vol, %)	Unit Mass(kg/m ³)					
					W	C	RS	NC	LS	LC
1	53	38	0	0	175	460	861	810	0	0
2	53	38	50	0	175	460	861	405	0	234
3	53	38	100	0	175	460	861	0	0	469
4	53	38	0	50	175	460	430	810	316	0
5	53	38	0	100	175	460	0	810	631	0
6	53	38	100	25	175	460	645	0	158	469
7	53	38	100	50	175	460	430	0	316	469
8	53	38	100	75	175	460	215	0	473	469
9	53	38	100	100	175	460	0	0	631	469

3. 실험결과 및 고찰

3.1 경량골재 혼합률에 따른 자기충전콘크리트의 역학적 특성

Fig. 1은 경량골재 혼합률에 따른 자기충전콘크리트의 압축강도 특성을 재령에 따라 정리한 것이다. Fig. 1의 결과 경량 굵은골재의 혼합률을 50, 100%로 증가함에 따라 재령 28일 압축강도는 기준 콘크리트(Mix No. 1)와 비교하여 최대 32% 감소하는 경향을 보였으나 경량 잔골재를 혼합한 경우에는 오히려 기준과 비교하여 최대 29% 증가하는 상이한 경향을 보였다. 또한 경량굵은골재를 100% 사용하고 경량잔골재의 혼합률을 25%씩 증가하여 제조한 자기충전콘크리트는 기준과 비교하여 최대 약 37%의 강도 저하 현상을 보이고 있으나 경량잔골재의 혼합률이 증가함에 따라 다소 압축강도가 회복되는 경향이 있었다. 이러한 원인은 경량잔골재 내부의 미립분의 영향으로 경량잔골재의 혼합률이 증가함에 따라서 비례적으로 미립분의 양도 많아져 콘크리트의 내부를 채워주는 filler 역할을 한 것으로 판단된다²⁾.

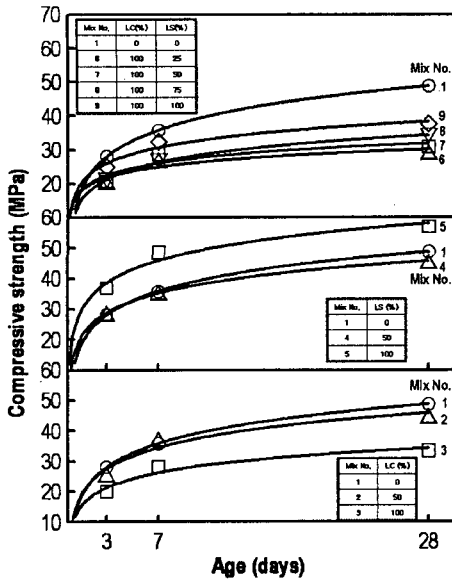


Fig. 3 Compressive strength at days

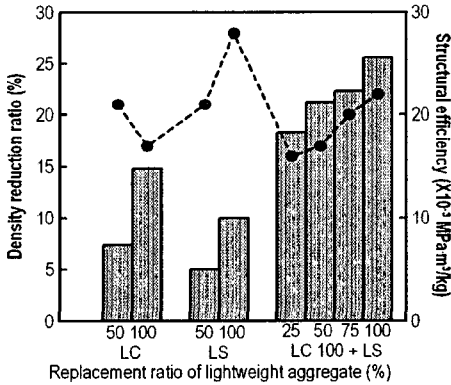


Fig. 4 Density reduction and structural efficiency of concrete

$$Y = C(t-t_0)^{0.5} \quad (1)$$

여기서, Y = Carbonation depth (mm)
t = Time (days)
t₀ = Carbonation initial Time (days)
C = Carbonation rate constant (mm/time)

Table 3의 결과 탄산화 속도 계수는 경량굵은골재 혼합률 100%의 경우 기준과 비교하여 47% 증가하였으며, 경량잔골재 100% 혼합한 경우는 37% 증가하는 경향을 보였다. 또한 경량굵은골재 및 경량잔골재를 동시에 혼합한 경우 최대 2배 이상 증가하는 경향을 보였다. 이러한 경량굵은골재 및 경량잔골재를 사용한 자기충전콘크리트의 경우 기준과 비교하여 탄산화 속도계수가 증가하는 것은 경량골재 내부가 다공성으로 이루어져 있어 투기성이 증대되어 이산화 탄소가 골재를 통하여 내부로 침투함에 따라 탄산화 정도가 높아졌기 때문으로 판단된다.

Fig. 2는 경량골재 혼합률에 따른 자기충전콘크리트의 구조적 효율성을 검토하기 위하여 기건 상태의 단위질량을 측정하여 자중감소율과 비강도를 계산하여 정리한 그림이다. Fig. 2의 결과 경량굵은골재의 혼합률 100%의 경우 최대 15%, 경량잔골재 100% 혼합한 경우 최대 10%의 자중감소 효과 보였으며, 이러한 결과 자중 감소 효과는 경량굵은골재를 사용한 경우 우수한 것으로 나타났다. 따라서 경량굵은골재 100%와 경량잔골재의 혼합률을 25%씩 증가시켜 제조한 자기충전콘크리트의 경우 최소 18% 최대 29%의 자중감소 효과가 있었다. 이러한 경향은 경량굵은골재의 밀도가 부순골재에 비하여 42% 작기 때문으로 판단된다. 또한, 경량콘크리트의 구조적 효율성 평가 방법 중 하나인 비강도는 경량잔골재의 혼합률 100%에서 최대의 비강도를 나타내고 있다. 그러나 이러한 원인은 비강도 계산에서 사용되는 압축강도가 크게 발현된 결과로서 자중감소 효과를 고려할 경우 경량굵은골재 100%와 경량잔골재 75% 및 100%의 경우 기준콘크리트와 동등 이상의 비강도가 발현되어 우수할 것으로 판단된다.

3.2 경량골재 혼합률에 따른 자기충전콘크리트의 내구특성

Fig. 3 및 4는 경량골재 혼합률에 따른 자기충전콘크리트의 건조수축율을 검토하기 위하여 재령 16주까지 항온·항습실에 보관하여 재령 별로 측정된 것을 정리한 것이다. Fig. 3의 결과 경량굵은골재 및 경량잔골재를 각각 혼합하여 제조한 경우 경량굵은골재의 혼합률 100%의 경우 기준과 비교하여 최대 78% 증가하였으나 경량잔골재 100%의 경우에는 오히려 17% 감소하는 경향을 보이고 있다. Fig. 4는 경량굵은골재 100%와 경량잔골재를 25%씩 증가하여 제조한 자기충전콘크리트의 건조수축율을 정리한 것이다. 그 결과 기준과 비교하여 최대 55% 증가하는 경향을 나타내고 있으나 경량잔골재의 혼합률이 증가할수록 건조수축율은 감소하는 경향을 나타내고 있었다. 이러한 원인은 강도와 밀접한 관계를 가지는 것으로 판단된다.

표 3은 축진 탄산화 재령과 탄산화 깊이와의 관계를 정리한 것이다. 표 3은 일반적인 보통 콘크리트에 적용되는 식을 본 연구 결과에 적합하게 변형시켜 정리한 것이며, 이용된 식은 다음과 같다.

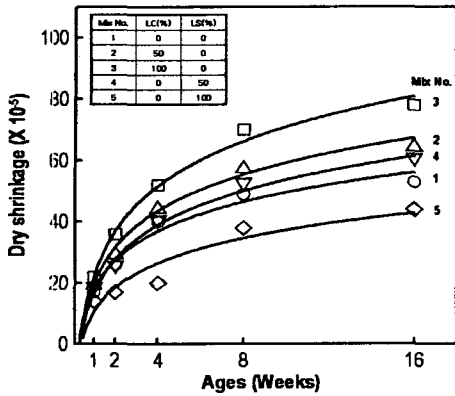


Fig. 5 Dry shrinkage(Mix No. 1-5)

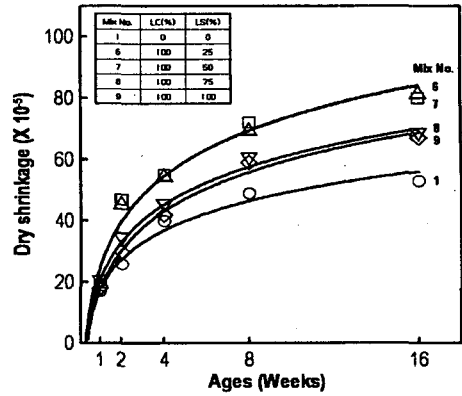


Fig. 6 Dry shrinkage(Mix No. 6-9)

Table 3. Relationship of carbonation time and depth ($Y = C(t-t_0)^{0.5}$)

Mix No.	LC/(NC+LC) (Vol, %)	LS/(RS+LS) (Vol, %)	Regression equation	Coefficient of determination (R^2)
1	0	0	$Y = 0.336(t-t_0)^{0.5}$	0.97
2	50	0	$Y = 0.414(t-t_0)^{0.5}$	0.96
3	100	0	$Y = 0.495(t-t_0)^{0.5}$	0.95
4	0	50	$Y = 0.378(t-t_0)^{0.5}$	0.97
5	0	100	$Y = 0.454(t-t_0)^{0.5}$	0.96
6	100	25	$Y = 0.485(t-t_0)^{0.5}$	0.99
7	100	50	$Y = 0.537(t-t_0)^{0.5}$	0.97
8	100	75	$Y = 0.591(t-t_0)^{0.5}$	0.97
9	100	100	$Y = 0.706(t-t_0)^{0.5}$	0.98

4. 결론

- 1) 경량골재의 혼합률을 달리하여 제조한 자기충전콘크리트의 압축강도는 경량굵은골재 및 경량잔골재의 혼합률에 따라 서로 상이한 결과를 나타내고 있었으나 모든 배합에서 재령 28일 압축강도는 30MPa 이상의 고강도를 발현하였다.
- 2) 자기충전콘크리트의 자중감소율은 경량굵은골재의 혼합률이 증가 할수록 우수하였으며, 비강도는 경량잔골재의 혼합률이 증가할 수록 커지는 경향을 나타내고 있어 자중감소 효과와 비강도를 고려하여 경량굵은골재 100%와 경량잔골재 75 및 100%를 동시에 혼합하여 자기충전콘크리트를 제조하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.
- 3) 경량골재를 혼합한 자기충전콘크리트의 건조수축율 및 탄산화 깊이는 경량골재에 의해 전반적인 영향을 받으며, 특히 건조수축율의 경우 경량 굵은골재 혼합률이 증가할수록 건조수축율은 최대 47% 증가하는 경향이 있고 탄산화 속도 계수는 경량굵은골재 및 경량잔골재를 동시에 혼합한 경우 최대 약 2배 크게 나타났다.

감사의글

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

참고문헌

1. 岡村甫 外 3人, 하이パフォーマンス콘크리트, 技報堂出版, 1993.
2. 최연왕 외 4인, “경량 굵은골재 비중 및 혼합률에 따른 콘크리트의 자기충전성,” 한국 콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 제 16권 2호, 2004, pp. 747-750.