

# 간편배합설계 방법을 이용한 고강도경량 자기충전콘크리트의 역학적 특성

## Mechanical properties of high strength lightweight self-compacting concrete using simple mixed design

최연왕\*      신화철\*\*      김용직\*\*\*      최 욱\*\*\*\*      조선규\*\*\*\*\*  
Choi, Yun Wang    Shin, Hwa Cheol    Kim, Yong Jic    Choi, Wook    Cho, Sun Kyu

### ABSTRACT

In this paper, mechanical properties of the high strength lightweight self-compacting concrete with simple mixed design method was investigated. Experimental tests were performed as such compressive strength, splitting tensile strength, modulus of elasticity and density of high strength lightweight self-compacting concrete. The 28 days compressive strength of high strength lightweight self-compacting concrete with the LC replacement ratio of 100% reduces about 31% but LF replacement ratio of 100% increase about 20% compared that of the control concrete. The structural efficiency of high strength lightweight self-compacting concrete increase with proportional to the replacement into of LF. The relationship between the splitting tensile strength and 28 days compressive strength can be represented by the equation  $f_s=0.076f_{ck}+0.5582$ . The modulus of elasticity was found to be lower than that of normal weight concrete, ranging from 24 to 33 GPa.

### 1. 서 론

최근 콘크리트 구조물은 대형화 및 특수화됨에 따라 다양하고 복잡한 부재형상 및 내진설계의 강화에 따른 과밀 철근의 영향으로 콘크리트 타설시 충전성의 저하, 재료분리 현상 및 다짐 불량 등으로 콘크리트 품질이 저하되는 문제점이 있다.

이러한 콘크리트 품질 저하의 문제점 및 콘크리트의 시공성능을 개선시키기 위한 방법의 일환으로 자기충전콘크리트(Self-Compacting Concrete)에 대한 연구가 국내·외에서 활발히 진행되고 있다<sup>1,2)</sup>. 또한, 일부 선진국에서는 콘크리트의 중량을 감소시키기 위해 천연 및 인공경량골재를 이용한 경량콘크리트에 대한 연구를 지속적으로 진행시켜 왔으며, 국내에서도 콘크리트의 자중 감소의 필요성으로 일반 구조물이나 프리캐스트 구조물 등과 같은 구조용으로 사용될 수 있는 경량골재 및 경량콘크리트에 대한 연구 및 성과가 보고 되고 있다<sup>3)</sup>. 그러나 일반콘크리트의 배합설계방법으로 경량콘크리트를 제조할 경우 골재의 경량화에 따른 재료분리 및 강도 저하현상이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 경량콘크리트의 배합설계방법으로 자기충전콘크리트의 배합설계방법을 적용시켜야 할 것으로 판단된다.

\* 정회원, 세명대학교 토목공학과 부교수

\*\* 정회원, (주)대신구조엔지니어링 기술연구소 소장, 공학박사

\*\*\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 박사수료

\*\*\*\* 정회원, 한국시설안전기술공단 차장

\*\*\*\*\* 정회원, 서울산업대학교 토목공학과 교수

따라서, 본 연구에서는 기존의 SCC 배합설계 방법<sup>45)</sup>을 개선시킨 간편 배합설계방법으로 경량 잔골재 및 경량 굵은골재를 혼합하여 굳지 않은 콘크리트의 자기충진 성능평가를 실시한<sup>6)</sup> 고강도경량 자기충진 콘크리트의 역학적 특성중 압축강도, 인장강도, 탄성계수 및 비강도를 검토하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1. 사용재료

시멘트는 비중이 3.15인 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC로 약함)를 사용하였고 인공 경량골재(Artificial Lightweight Aggregate : ALA)는 유문암계 미분말을 주원료로 하여 제조한 것을 사용하였다. OPC 및 ALA의 화학성분을 표 1에 정리하였다.

표 1 OPC 및 ALA의 화학성분 (wt.%)

Types	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
OPC	21.60	6.00	3.10	61.41	3.40	2.50
ALA	74.20	13.20	1.00	1.00	0.10	91.70

굵은골재(NC로 약함)는 최대치수가 20mm인 부순 골재를 사용하였고, 경량 굵은골재(LC로 약함)는 최대치수 20mm 단위용적중량이 793kg/m<sup>3</sup>인 것을 사용하였다. 잔골재(NF로 약함)는 비중이 2.55인 강모래를 사용하였고, 경량잔골재(LF로 약함)는 비중이 1.87(절건비중 1.61)인 것을 사용하였으며, 사용골재에 대한 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2 골재의 물리적 성질

Materials	G <sub>max</sub> (mm)	Specific Gravity	Absorption (%)	F.M.	Unit Weight (kg/m <sup>3</sup> )	Percentage of Solids (%)	Crushing Value (%)
NF	-	2.55	2.43	2.81	1,677	62.6	-
NC	20	2.72	0.80	6.72	1,695	62.3	15
LF	-	1.87(1.61)*	13.71	2.64	1,127	60.3	-
LC	20	1.58(1.23)*	28.09	6.4	793	50.2	24

(\*) dry Specific Gravity

### 2.2 콘크리트배합

경량골재의 혼합률을 각각 0, 25, 50, 75 및 100%로 달리한 총 9배합의 콘크리트에 대한 배합표를 표 3에 나타내었다.

표 3 콘크리트 배합표

Mix No.	PF	S/a (%)	W/C (%)	LC/(NC+LC) (%)	LF/(NF+LF) (%)	Unit Weight(kg/m <sup>3</sup> )					
						W	C	NF	NC	LF	LC
1	1.18	53	38	0	0	175	460	861	810	0	0
2	1.18	53	38	25	0	175	460	861	608	0	117
3	1.18	53	38	50	0	175	460	861	405	0	234
4	1.18	53	38	75	0	175	460	861	203	0	352
5	1.18	53	38	100	0	175	460	861	608	0	469
6	1.18	53	38	0	25	175	460	645	810	158	0
7	1.18	53	38	0	50	175	460	430	810	316	0
8	1.18	53	38	0	75	175	460	215	810	473	0
9	1.18	53	38	0	100	175	460	0	810	631	0

### 3. 실험결과 및 고찰

고강도경량 자기충전콘크리트를 경량골재 혼합물에 따라 재령별로 압축강도를 정리 한 것이 그림 1이다. 그림 1에서 콘크리트의 압축강도는 경량골재의 혼합률에 따라 상이한 결과를 보이고 있었다. 즉 LC 혼합률이 75%까지(Mix No. 4)는 기준콘크리트(Mix No. 1)에 비하여 평균 약 6% 정도의 압축강도 감소 효과를 보이고 있지만 경량굵은골재의 혼합률이 100%인 경우(Mix No. 5)는 31% 정도로 큰 압축강도의 감소를 나타냈다. 그러나 LF를 혼합한 콘크리트의 경우는 혼합률이 50%까지(Mix No. 6, 7) 기준콘크리트에 비하여 평균 약 6%의 압축강도 감소가 있었으나 그 이상 혼합할 경우는 오히려 8% 및 20%의 강도 증진 효과가 있는 것으로 나타났다. 이러한 실험결과에 대한 원인은 경량골재들이 가지고 있는 물리적 특성에 기인한 것으로 LC의 파쇄율이 NC 보다 약 63%정도 높아 골재 자체의 강도가 낮기 때문이고, 또한, LC 자체의 흡수율이 28.09%로 NC의 흡수율에 비하여 상당히 크다. 따라서 실험전에 사전 흡수에 의한 전체 콘크리트의 배합수량이 증가되었기 때문으로 판단된다. 그러나, LF의 혼합률이 증가할수록 압축강도가 증가하는 원인은 LF의 혼합률이 증가할수록 미립분이 많아져 콘크리트의 내부의 공극을 채워주는 filler 역할을 한 것으로 판단된다.

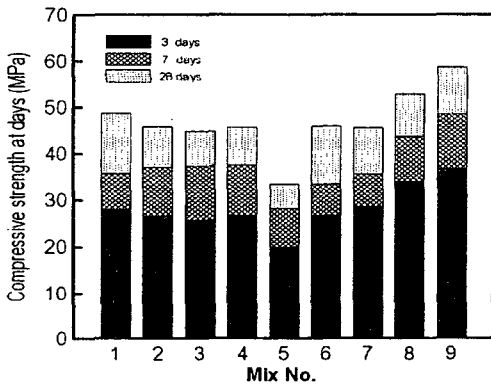


그림 1 재령별 콘크리트의 압축강도 (MPa)

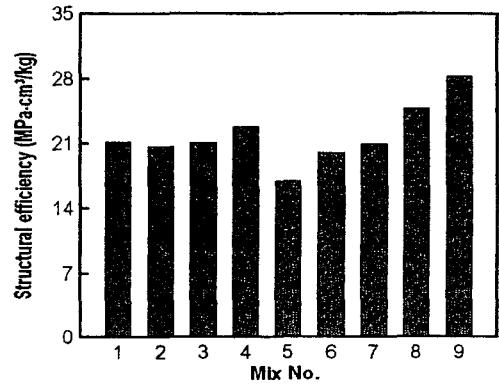


그림 2 콘크리트의 비강도 (MPa·cm³/kg)

고강도경량 자기충전콘크리트를 경량골재 혼합물에 따라 배합별로 비강도를 정리한 것이 그림 2이다. 그림 2의 결과 LC만을 혼합한 경우 혼합률 75%에서(Mix No. 4) 기준콘크리트(Mix No. 1)에 비하여 비강도 계산결과 약 7%의 증가를 나타냈지만 100%(Mix No. 5) 혼합한 경우 비강도가 약 20% 감소되는 결과를 나타내었다. 이는 LC 혼합률이 100%(Mix No. 5)일 경우 압축강도가 기준콘크리트(Mix No. 1)와 비교하여 볼 때 31% 감소한 결과에 기인한 것으로 판단할 수 있다. 한편 LF만을 혼합한 콘크리트는 혼합률이 증가할수록 비강도가 비례적으로 증가하는 결과를 나타내었으며 LF 75%(Mix No. 8) 혼합한 경우 약 17%, 100%(Mix No. 9) 혼합한 경우에는 33% 비강도가 증가하는 결과를 나타내었다. 이러한 이유는 압축강도가 크게 발현되었기 때문으로 판단된다.

고강도경량 자기충전콘크리트의 재령 28일 압축강도와 인장강도 관계를 경량골재 혼합률에 따라 회귀분석을 실시하여 90%의 신뢰구간을 나타낸 것이 그림 3이다. 그림 3의 결과 인장강도와 압축강도의 선형회귀분석 결과 상관계수가 92%로 나타나 압축강도와 인장강도의 상관성이 비교적 높게 나타났다. 한편 재령 28일에서의 콘크리트 압축강도와 탄성계수와의 관계를 경량골재 혼합률에 따라 정리한 것이 그림 4이다. 그림 4에서 상·하한선은 콘크리트의 단위용적증량에 따른 ACI 318/318R의 기준을 나타낸 것이다. 그림 4의 결과 LC 및 LF를 혼합한 고강도경량 자기충전콘크리트의 압축강도와 탄성계수의 관계는 ACI기준의 상·하한선의 범위를 만족하고 있다.

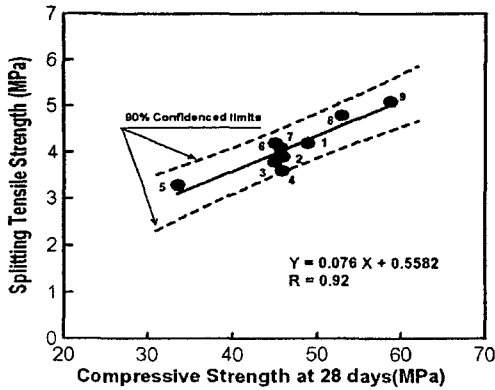


그림 3 압축강도와 인장강도의 관계

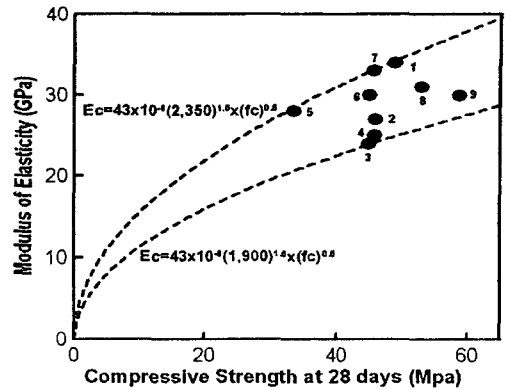


그림 4 압축강도와 탄성계수의 관계

#### 4. 결론

- 1) LF를 사용한 경우 혼합률이 증가할수록 압축강도가 최대 20% 증가하였으며, LC를 사용한 경우 혼합률이 증가할수록 압축강도는 기준콘크리트에 비하여 최대 약 31%정도 압축강도가 감소되는 경향을 보였으나, LC 100%의 경우를 제외한 모든 배합에서 40MPa 이상의 고강도를 나타냈다.
- 2) 경량콘크리트의 역학적 성능평가중 하나인 비강도 측정 결과 LC를 혼합하여 사용한 콘크리트의 경우 혼합률 75%에서 기준콘크리트에 비해 약 7% 정도의 증가를 나타내고 있었으며, LF를 혼합한 경우 혼합률이 증가할수록 비강도가 증가하여 기준콘크리트에 비해 최대 약 33% 증가하였다.
- 3) LC 및 LF를 혼합한 고강도경량 자기충전콘크리트의 재령 28일 압축강도와 인장강도와의 관계는 선형회귀분석 결과 상관계수가 92%로 나타나 압축강도와 인장강도의 상관성이 비교적 높은 것으로 나타났다.
- 4) LC 및 LF를 혼합한 고강도경량 자기충전콘크리트의 재령 28일 압축강도와 탄성계수의 관계를 ACI 318/318R의 기준으로 상·하한선을 적용시킨 결과 상·하한선의 범위를 만족하는 것으로 나타났다.

#### 감사의 글

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

#### 참고문헌

1. 최연왕 외 3인, “중탄산칼슘을 이용한 자기충전형 콘크리트의 특성에 관한 연구,” 한국 콘크리트 학회 봄 학술발표회 논문집, 제 14권 1호, 2002, pp. 73~78.
2. Violeta Bokan Bosiljkov, “SCC mixies with poorly graded aggregate and high volume of limestone filler,” Cement and Concrete Research 2292, 2003.1, pp. 1~8.
3. P.H. Laamamen, “High Strength LWA Concrete for Bridge Construction the New Sundbru Bridge in Eidsvoil, Norway,” Pceedings of High-Strength Concrete, 1993, pp.517~526.
4. 岡村甫外 3人, ハイパフォーマンスコンクリート, 技報堂出版, 1993.
5. Nan Su, Buquan Miao, “A new Method for the Mix Design of Medium Strength Flowing Concrete with Low Cement Content,” Cement and Concrete Composite 25, 2003.
6. 최연왕 외 4인, “경량골재 혼합률에 따른 경량 자기충전 콘크리트의 물성변화에 관한 연구,” 2003 대한토목학회 정기학술발표회 논문집.