

고강도 경량 자기충전콘크리트의 건조수축 및 중성화 특성

Drying Shrinkage and Carbonation of High Strength Lightweight Self-Compacting Concrete

최 욱* 최연왕** 김용직*** 강현진**** 조선규*****
Choi, Wook Choi, Yun Wang Kim, Yong Jic Kang, Hyun Jin 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 mix design 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 mix design method of self-compacting concrete for the lightweight concrete. Experimental tests were performed as such compressive strength, dry shrinkage and carbonation of high strength lightweight self-compacting concrete.

1. 서론

최근 들어 토목 시공기술의 발전과 더불어 콘크리트 구조물이 고층화, 대형화 및 특수화됨에 따라 부재의 형상이 다양하고 복잡해지고 있어 신기술 및 신공법에 의한 건설공사의 합리화가 요구되고 있다. 또한, 국내에서는 3D 현상으로 인해 건설 인력 확보가 어려워 건설 현장 작업자의 고령화 현상과 숙련공의 부족 현상이 뚜렷히 나타나고 있는 실정이다. 이러한 건설환경의 전반적인 여건에 따라 시공의 효율성과 품질향상을 고려한 자기충전콘크리트^{1,2)}의 개발 및 콘크리트의 자중 감소와 단면 축소를 위한 고강도 경량 콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

그러나 기존의 고강도 경량 콘크리트는 일반 콘크리트의 배합설계 방법으로 제조되므로 골재의 경량화에 따른 재료분리에 의한 콘크리트의 품질저하 현상 등이 발생한다. 또한, 경량 골재는 천연골재와 비교하여 낮은 강도, 탄성계수 및 stiffness와 골재 내부의 다공성 등의 영향으로 일반 콘크리트와 비교하여 건조수축 및 중성화에 대한 내구성이 저하되는 문제점이 있는 것으로 알려져 있다.

그러므로, 본 연구에서는 고강도 경량 자기충전콘크리트를 제조하기 위하여 골재의 특성을 반영한 자기충전콘크리트의 배합설계 방법³⁾을 이용하였으며, 아울러 고강도 경량 자기충전콘크리트의 압축강도와 건조수축 및 중성화 특성에 대한 검토를 하였다.

* 정회원, 한국시설안전기술공단 차장

** 정회원, 세명대학교 토목공학과 부교수

*** 정회원, 한양대학교 토목공학과 박사수료

**** 정회원, 세명대학교 토목공학과 석사과정

***** 정회원, 서울산업대학교 토목공학과 교수

2. 실험개요

2.1 사용재료

시멘트는 밀도 3.15g/cm^3 인 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 인공 경량 굵은골재(LC) 및 경량 잔골재(LS)는 유문암계 미분말을 주원료로 제조한 것을 사용하였다. 천연 굵은골재(NC)는 최대치수가 20mm인 부순골재를 사용하였고 천연 잔골재는 밀도 2.55g/cm^3 인 강모래(RS)를 사용하였다. 표 1은 사용골재의 물리적 성질을 정리한 것이다.

표 1 골재의 물리적 성질

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

콘크리트 시험용 공시체는 다짐작업 없이 $\varnothing 100 \times 200\text{mm}$ 로 제조하였으며, 제작된 공시체는 KS F 2403에 준하여 24시간 후 몰드를 탈영한 다음 시험 전 까지 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 에서 수중 양생을 실시하였다. 콘크리트의 압축강도는 KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험방법에 의해 측정하였고, 촉진중성화 시험은 압축강도용 공시체를 이용하여 재령 28일 후의 공시체를 탄산가스농도 $10 \pm 1\%$, 습도 $60 \pm 5\%$ 및 온도 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 의 조건으로 실시하였다. 또한, 콘크리트의 건조수축을 측정하기 위하여 KS F 2424에 준하여 $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ 의 각주형 공시체를 다짐작업 없이 제작 하였다. 제작된 공시체는 7일간 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 에서 수중 양생을 실시하고, 그 이후 온도 $20 \pm 1^\circ\text{C}$, 습도 $60 \pm 5\%$ 로 유지할 수 있는 항온·항습실에 공시체를 보관하여 건조수축률 시험을 실시하였다. 표 2는 고강도 경량 자기충전콘크리트의 배합표를 정리한 것이다.

표 2 콘크리트 배합표

No.	PF	S/a (%)	W/C (%)	LC/(NC+LC) (Vol, %)	LS/(RS+LS) (Vol, %)	Unit Weight(kg/m^3)					
						W	C	RS	NC	LS	LC
1	1.18	53	38	0	0	175	460	861	810	0	0
2	1.18	53	38	50	0	175	460	861	405	0	234
3	1.18	53	38	100	0	175	460	861	0	0	469
4	1.18	53	38	0	50	175	460	430	810	316	0
5	1.18	53	38	0	100	175	460	0	810	631	0
6	1.18	53	38	100	50	175	460	430	0	316	469
7	1.18	53	38	50	100	175	460	0	405	631	234
8	1.18	53	38	100	100	175	460	0	0	631	469

3. 실험결과 및 고찰

3.1 고강도 경량 자기충전콘크리트의 압축강도

그림 1은 경량 골재 혼합율에 따른 고강도 경량 자기충전콘크리트의 재령 28일 압축강도를 정리한 것이다. 그림 1의 결과 Group 1은 경량 굵은골재의 혼합율 50(Mix No. 2) 및 100%(Mix No. 3)로 증가함에 따라 재령 28일 압축강도는 기준(Mix No. 1)과 비교하여 각각 11% 및 32% 감소하는 경향을 보였으며, Group 2는 경량 잔골재의 혼합율 50(Mix No. 4) 및 100%(Mix No. 5)로 증가함에 따라 재령 28일 압축강도는 기준(Mix No. 1)과 비교하여 6% 감소 및 29% 증가하는 경향을 보였다. 또한 Group 3의 경우 LC 100%를 사용하고 LS 50(Mix No. 6) 및 100%(Mix No. 8) 혼합하여 자기충전콘크리트를 제조한 경우 재령 28일 압축강도는 기준(Mix No. 1)과 비교하여 34 및 20% 감소하는 경향

을 보였으며, Group 4는 LS 100% 혼합하고 LC 50(Mix No. 7) 및 100%(Mix No. 8) 사용한 자기충전 콘크리트의 경우 재령 28일 압축강도는 기준(Mix No. 1)과 비교하여 19% 및 20% 감소하는 현상을 보였다. 따라서, 고강도 경량 자기충전콘크리트에 있어서 LC 및 LS의 사용은 압축강도에 서로 상반되는 경향을 나타내고 있었다. 즉, LC 혼합을 증가에 따라 재령 28일 압축강도는 감소하는 경향을 나타내고 있었으나, 반대로 LS 혼합을 증가에 따라서는 압축강도가 증가하는 경향을 나타내고 있었다. 이러한 경향은 경량 골재들이 가지고 있는 물리적 특성에 기인한 것으로 LC의 파쇄율이 NC 보다 약 60% 높아 골재 자체의 강도가 낮기 때문이고, 다른 이유는 LC 자체의 흡수율이 28.09%로서 NC의 흡수율에 비하여 상당히 높아 실험전에 사전 흡수에 의한 전체 콘크리트의 배합수량이 증가되었기 때문으로 판단된다. 그러나 LS의 혼합율이 증가할수록 압축강도가 증가하는 원인은 LS의 미립분의 양이 5%로써 혼합율이 증가할수록 미립분의 양도 비례적으로 많아져 콘크리트의 내부 공극을 채워주는 filler 역할을 한 것으로 판단된다. 그러나 기존의 연구결과와 자기충전성을 만족하는 자기충전콘크리트를 제조하기 위해서는 LS의 혼합율을 적절히 조절하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

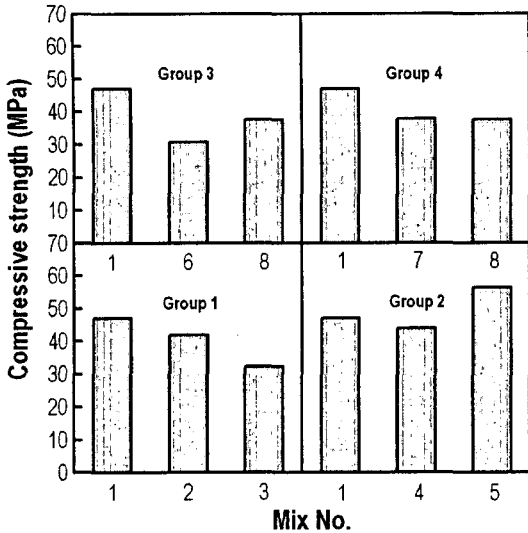


그림 1 고강도 경량 자기충전콘크리트의 압축강도

3.2 고강도 경량 자기충전콘크리트의 건조수축

그림 2는 고강도 경량 자기충전콘크리트의 건조수축률을 검토하기 위하여 16주까지 항온·항습실에 보관하여 재령 별로 측정된 것을 정리한 것이다. 그림 2의 결과 Group 1의 경우 LC의 혼합율 50(Mix No. 2) 및 100%(Mix No. 3)의 경우 기준(Mix No. 1)과 비교하여 건조수축률은 14 및 43% 증가하였고, Group 2의 LS 50(Mix No. 4) 및 100%(Mix No. 5) 혼합한 경우 기준(Mix No. 1)과 비교하여 건조수축률은 14% 증가 및 22% 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 Group 3은 LC 100% 와 LS 50(Mix No. 6) 및 100%(Mix No. 8) 혼합하여 자기충전콘크리트를 제조한 경우 기준(Mix No. 1)과 비교하여 건조수축률은 61% 및 16% 증가하였고, Group 4는 LS 100%와 LC 50(Mix No. 7) 및 100%(Mix No. 8) 혼합한 경우 기준(Mix No. 1)과 비교하여 건조수축률은 18% 감소 및 16% 증가하는 경향을 나타냈다. 따라서 고강도 경량 자기충전콘크리트에 있어서 LC의 혼합률이 증가할수록 건조수축률은 증가하는 경향을 보였고 반대로 LS의 혼합률이 증가함에 따라서는 건조수축률이 감소하는 경향을 보였다.

이러한 결과의 원인은 NC 보다 낮은 LC 자체의 강도, 탄성계수 및 stiffness의 영향으로 시간 경과에 따라서 건조수축률이 커진 것으로 판단된다. 그러나 LS의 혼합율이 증가 할수록 건조수축률이 작아진 이유는 LS에 포함된 미립분의 증가로 인하여 콘크리트 내부의 미세공극을 채워주어 조직이 치밀해졌기 때문으로 판단된다.

3.3 고강도 경량 자기충전콘크리트의 중성화

그림 3은 고강도 경량 자기충전콘크리트의 중성화를 8주까지 촉진시켜 실험한 것을 정리한 것이다. 일반적으로 경량골재를 사용할 경우 골재내부가 다공성으로 이루어져 있어 투기성이 증대되어 이산화탄소가 골재를 통하여 내부로 침입함에 따라 중성화 정도가 높은 것으로 보고 되고 있다. 그러나 그림 3의 결과 모든 콘크리트에서 촉진중성화 재령 4주까지는 육안관찰시 중성화의 정도를 식별할 수 없었으며, 촉진중성화 재령 6주부터 아주 미세한 정도의 중성화가 시작됨을 알 수 있다. 이러한 경향은 콘크리트의 압축강도와 중성화 관계에 있어서 압축강도가 높을수록 중성화 정도가 낮아진다는 기존의 연구결과와 일치하는 것으로 본 실험에 사용된 기준 자기충전콘크리트를 포함한 모든 경량 자기충전콘크리트가 배합강도 30MPa 이상이기 때문으로 판단된다⁴⁾. 그림 3에서 나타난 콘크리트 재령 8주의 중성화 깊이 측정 결과 Group 1의 LC 혼합율 50(Mix No. 2) 및 100%(Mix No. 3)의 경우 중

성화 깊이는 기준(Mix No. 1)과 비교하여 13 및 30% 증가하였고, Group 2의 LS의 혼합물 50(Mix No. 4) 및 100%(Mix No. 5)는 기준(Mix No. 1)과 비교하여 중성화 깊이는 8% 증가 및 26%로 감소하는 경향을 보였다. 또한 Group 3의 LC 100%와 LS 50(Mix No. 6) 및 100%(Mix No. 8)로 혼합하여 자기충전콘크리트를 제조한 경우 기준(Mix No. 1)과 비교하여 중성화 깊이는 8% 및 4%로 감소하였고, Group 4의 LS 100%와 LC 50(Mix No. 7) 및 100%(Mix No. 8)로 제조한 경우 중성화 깊이는 기준과 비교하여 최대 4% 감소하는 경향을 보였다.

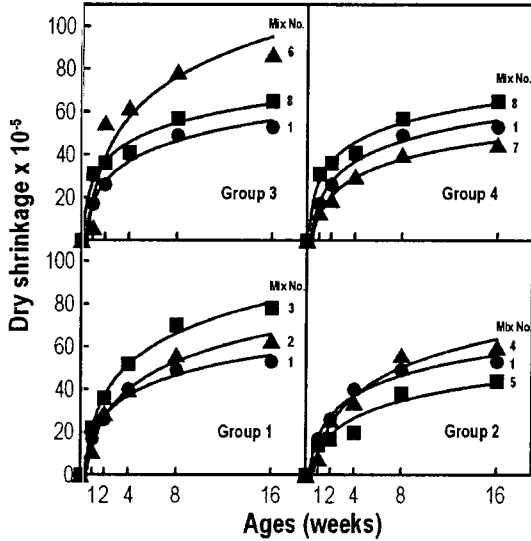


그림 2 고강도 경량 자기충전콘크리트의 건조수축

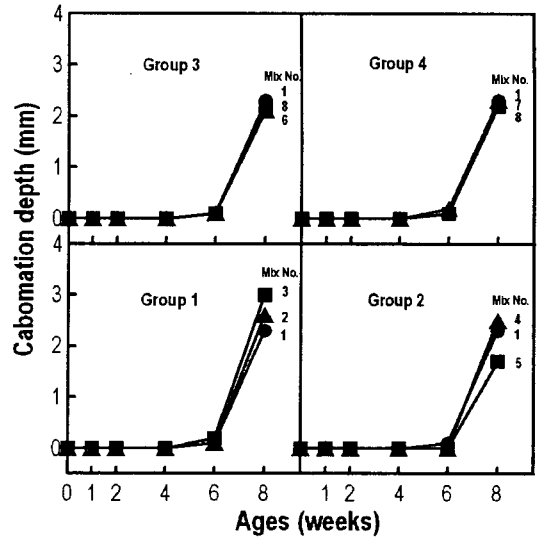


그림 3 고강도 경량 자기충전콘크리트의 중성화

4. 결론

- 1) 고강도 경량 자기충전콘크리트의 재령 28일 압축강도는 30MPa 이상의 고강도를 발현하였고, 특히 천연 굵은골재와 경량 잔골재를 100% 혼합한 경우 50MPa 이상으로 기준 자기충전콘크리트 보다 29% 강도 증진 효과가 있었다.
- 2) 고강도 경량 자기충전콘크리트의 건조수축률은 경량 골재에 의해 전반적인 영향을 받으며, 특히 경량 굵은골재 혼합율이 증가할수록 건조수축률은 증가 하였으나 경량 잔골재 혼합율 100%인 경우 기준 자기충전콘크리트 보다 건조수축이 감소하는 효과가 있었다.
- 3) 축진중성화 시험결과 중성화 깊이는 기준 자기충전콘크리트와 비슷한 결과를 얻었으며, 천연 굵은골재와 경량 잔골재 100% 혼합한 경우 재령 8주의 중성화 깊이는 기준 자기충전콘크리트 보다 22% 작아지는 효과가 있었다.

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, ハイパフォーマンスコンクリート, 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, "경량 굵은골재 비중 및 혼합률에 따른 콘크리트의 자기충전성," 한국 콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 제 16권 2호, 2004, pp. 747-750.
4. 長瀧重義, 大賀宗行, 荒非俊晴, "高處スラグ微粉末を混和したコンクリートの中性化," 高處スラグ微粉末の適用に関するシンポジウム, 土木學會, 1987(3), pp.142-150.