경량골재를 사용한 자기충전 콘크리트의 건조수축률 예측

The prediction for drying shrinkage of self-consolidating concrete using lightweight aggregate

김 용 직* 최 연 왕** 김 영 진***
Kim, Yong Jic Choi, Yun Wang Kim Young Jin

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 building. 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-consolidating concrete for the lightweight concrete. Therefore experimental tests were performed as such mechanical properties(compressive strength, dry density and structural efficiency) of concrete and dry shrinkage according to ACI committee 209.

요 약

경량콘크리트는 구조물의 자중을 줄일 수 있는 장점 때문에 부재단면의 축소 및 시공의 간편화를 이룰 수 있어 장경간 교량 및 초고층 건물 등에 적용하여 시공비용을 절감할 수 있는 효과가 있다. 그러나 경량콘크리트는 재료 자체의 특수성으로 인하여 일반콘크리트와는 다른 배합설계 방법이 필요하다. 경량콘크리트를 일반콘크리트의 배합설계 방법으로 제조할 경우 골재의 경량화에 따른 재료분리 및 강도저하 현상이 우려된다. 경량콘크리트 제조시 발생하는 재료분리 및 강도저하 현상 등을 해결하기 위한 방안 중 하나로 본 연구에서는 자기충전콘크리트의 배합설계 방법을 이용하였다. 경량골재를 사용한 자기충전콘크리트의 역학적 특성인 압축강도, 기건 밀도 및 비강도를 계산하여 검토하였으며, 건조수축률예측은 ACI committee 209에서 제시된 식을 이용하였다.

* 정회원, (주) 대우건설 토목연구팀 전임연구원
** 정회원, 세명대학교 토목공학과 교수
*** 정화원, (주) 대우건설 토목연구팀 수석연구원

1. 서 론

콘크리트는 성형성 및 경제성 등이 탁월하며 우수한 강도발현으로 인하여 보편화된 구조재료로 인정받고 있다. 최근에는 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 어렵고 건설 현장 작업자의 고령화 및 숙련공의 부족 현상이 뚜렷히 나타나고 있는 실정이다. 이러한 건설환경의 전반적인 여건에 따라 시공의 효율성 및 품질향상을 고려한 고성능 콘크리트의 개발 및 콘크리트의 자중 감소와 단면 축소를 위한 구조용 경량콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1,2]. 그러나 기존의 경량콘크리트에 관한 연구 및 시공은 일반 콘크리트의 배합설계 방법을 적용하고 있어 골재의 경량화에 따른 재료분리 현상으로 인한 콘크리트의 품질 저하가 우려된다. 또한 경량골재는 천연골재와 비교하여 낮은 강도, 탄성계수 및 stiffness와 골재 내부의 다공성 등의 영향으로 콘크리트 제조시 일반콘크리트와 비교하여 역학적 성능 및 건조수축과 같은 내구성이 저하되는 문제점이 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 경량콘크리트의 품질을 향상시키기 위한 방안중 하나로 배합설계를 자기충전콘크리트의 배합설계방법을 적용하였으며[3], 콘크리트의 압축강도, 밀도 및 구조적 효율성을 검토한 후 ACI committee 209에서 제시된 식을 이용하여 건조수축률을 검토하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

시멘트는 밀도 3.15g/cm^{3}인 S사의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 경량 굵은골재(LC) 및 잔골재(LS)는 유문암계 미분말을 주원료로 제조한 것을 이용 하였다. 천연굵은골재(NC)는 최대치수 20mm인 부순골재를 사용하였고, 잔골재(NS)는 밀도 2.55g/cm^{3}인 강모래를 사용하였다. 표 1은 사용골재의 물리적 성질을 정리한 것이다.

표 1 골재의 물리적 성질

Items / Types	C_{max} (mm)	Density (g/cm^3)	Absorption (%)	F.M.	Bulk density (kg/m^3)	Percentage of solids (%)	Crushing value (%)
NS	-	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

표 2 콘크리트 배합표

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

2.2 실험방법 및 콘크리트 배합

콘크리트 압축강도용 공시체는 다짐작업 없이 Ø100×200mm로 제조하였으며, 제작된 공시체는 KS F 2403에 준하여 24시간 후 몰드를 탈형한 다음 시험 전 까지 20±3℃에서 수중 양생을 실시하였다. 콘크리트의 압축강도는 KS F 2405 콘크리트 압축강도 시험방법에 의해 재령별로 측정하였다. 콘크리트

의 건조수축용 몰드는 KS F 2424에 준하여 100×100×400mm의 각주형 공시체를 다짐작업 없이 제작하였다. 제작된 공시체는 7일간 20±3℃에서 수중 양생을 실시하고, 그 이 후에 20±1℃, 습도 60±5%로 유지할 수 있는 항온·항습실에 공시체를 보관하여 재령에 따라 건조수축률 시험을 실시하였다. 표 2는 경량골재를 혼합한 자기충전콘크리트의 배합표를 정리한 것이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 역학적 특성

표 3은 경량골재를 사용한 자기충전콘크리트의 재령 28일 압축강도, 밀도 및 비강도를 정리한 것이다. 표 3의 결과 재령 28일의 압축강도는 경량굵은골재 50 및 100% 혼합한 경우(No. 2, 3) 기준 콘크리트와 비교하여 11 및 32% 저하 되었으나, 경량 잔골재를 100% 사용한 경우(No. 5)에는 오히려 20% 증가하는 경향을 보이고 있다. 경량굵은골재를 100% 혼합하고 경량잔골재를 25% 씩 증가시킨 경우(No. 6~9)에도 경량 잔골재의 혼합률이 증가함에 따라서 기준콘크리트와의 강도 감소율이 감소하는 경향을 보였다. 이러한 현상은 경량잔골재 내부의 미립분의 영향으로 경량잔골재의 혼입률이 증가함에 따라서 비례적으로 미립분의 양도 많아져 콘크리트 내부를 채워주는 filler 역할을 한 것으로 판단된다[4]. 경량골재를 사용한 자기충전콘크리트의 재령 28일 기건 밀도는 최대 25%의 감소효과가 있었다. 경량콘크리트는 사용되는 경량골재자체의 품질이 천연골재와 비교하여 강도, 탄성계수 및 stiffness가 낮고 골재 내부의 다공성 등으로 인하여 콘크리트 제조시 일반콘크리트와 비교하여 역학적 특성이 저하된다. 따라서 경량콘크리트의 평가는 압축강도와 밀도와의 비인 비강도로서 구조적 효율성을 평가하기도 한다. 비강도 계산결과 경량잔골재의 혼합률 100%에서(No. 5) 최대의 비강도를 나타내고 있다. 이러한 원인은 비강도 계산에서 사용되는 압축강도가 크게 발현된 결과로서 자중감소 효과를 고려할 경우 경량굵은골재의 혼합률 100%와 경량잔골재의 혼합률 75% 및 100%의 경우(No. 8, 9)가 기준콘크리트와 동등 이상의 구조적 효율성을 나타내고 있었다.

표 3 재령 28일 콘크리트의 역학적 특성

No.	Compressive strength at 28 days (MPa)	Dry density at 28 days (MPa)	Structural efficiency ($\times10^{-3}$MPa·m^3/kg)
1	47.1	2,306	20.4
2	41.9	2,135	19.6
3	32.2	1,983	16.2
4	44.0	2,191	20.1
5	56.3	2,075	27.1
6	31.2	1,930	16.2
7	35.5	1,861	19.1
8	37.5	1,808	20.7
9	37.1	1,730	21.4

3.2 건조수축률 예측

장기 재령에서의 건조수축률 예축은 ACI Committees 209에서 제시한 식 (1)에 따라 계산하였다. 그림 1 및 2는 식 (1)을 이용하기 위하여 실제 실험에 의해 측정된 재령에 따른 건조 수축률을 시간의 역수 1/t와 건조수축률의 역수 $1/\varepsilon_{sh}$ 에 관하여 선형 식으로 나타낸 것이다. 그림 1 및 2에서 식 (1)에 대입할 계수 a는 기울기 이며, 계수 b는 y절편이다.

$$\varepsilon_{sh} = \frac{t}{a + bt} \quad (1)$$

여기서, ε_{sh} : 건조주축율($\times10^{-5}$)
t : 시간(주)
a, b : 계수

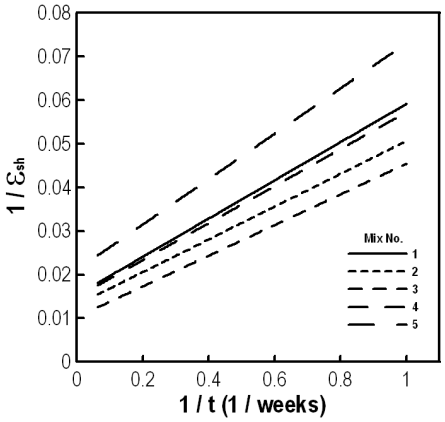

그림 1 1/t 와 ε_{sh}의 관계(No. 1-5)

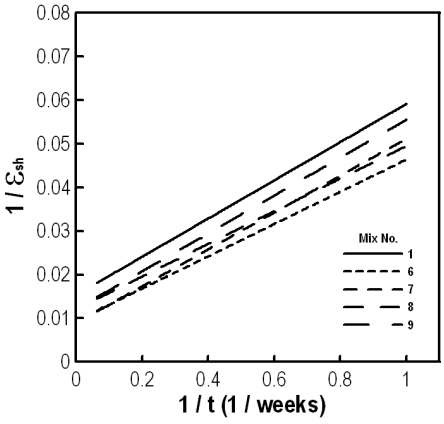

그림 2 1/t 와 ε_{sh}의 관계(No. 6-9)

표 4 건조수축률의 실측값과 예측값

Mix No.	Tested result ($\times 10^{-5}$, A)	Estimated result($\times 10^{-5}$, B)	A/B
1	53	55	0.96
2	65	64	1.02
3	78	80	0.98
4	60	57	1.05
5	44	41	1.07
6	79	85	0.93
7	75	86	0.87
8	68	69	0.99
9	67	68	0.99

표 4는 재령 16주에서 실측값과 식 (1)에 의해서 계산된 건조수축률을 비교한 것이다. 표 4의 결과 실측값과 예측값의 비는 0.87~1.07의 범위를 나타내고 있었다. 이상의 결과를 통하여 보다 신뢰성 있는 건조수축률의 예측값을 얻기 위해서는 보다 많은 실험배합이 필요할 것으로 판단되지만, 본 연구 결과 ACI Committees 209의 식을 이용하여 어느 정도는 건조수축률을 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

1. 경량골재를 혼합한 자기충전콘크리트는 기준콘크리트와 비교하여 경량잔골재 100%를 혼합한 경우를 제외하고는 감소하는 경향을 보였으나 모든 배합에서 30MPa 이상의 강도가 발현되었다.
2. 압축강도와 밀도의 관계인 비강도는 굳지 않은 상태에서의 성능평가를 고려할 경우 경량굵은골재와 경량잔골재를 동시에 혼합하여 제조한 콘크리트가 기준콘크리트와 비교하여 크게 나타났다.
3. ACI Committe 209의 식을 이용하여 경량골재를 혼합한 자기충전콘크리트의 건조수축률 예측 결과는 실측값과 예측값의 비가 0.87~1.07의 범위를 나타내고 있었다.

참고문헌

1. T. Y, Lo and H. Z. Cui, "Effect of porous lightweight aggregate on strength of concrete," Materials Letters, Vol. 58, Issue 6, pp. 916~919, 2004.
2. Y. W. Choi, Y. J. Kim, H. C. Shin and H. Y. Moon, "An experimental research on the fluidity and mechanical properties of high-strength lightweight self-compacting concrete," Cement and Concrete Research, 36, pp. 1595~1602, 2006.
3. N. Su, K. C. Hsb and H. W. Chai, "A simple mix design method for Self-compacting concrete," Cement and Concrete Research Vol. 31, Issue 12, pp.1799~1807, 2001.
4. 최연왕, 김용직, 문한영, "고강도경량 자기충전콘크리트에 관한 실험적 연구," 한국콘크리트학회 논문집, Vol. 17, No. 6, pp. 923~930, 2005.