

잔골재율 변화에 따른 콘크리트 건조수축 모델링에 관한 연구

A Study on Modelling for Prediction of Concrete Drying Shrinkage according to Aggregate Ratio of Concrete

박도경* 윤여완* 김광서**
 Park, Do-kyong Yoon Yer-Wan Kim, Kwang-Seo

Abstract

Drying Shrinkage has much complexity as it has relations with both internal elements of concrete and external factors. Therefore, experiments on Concrete Drying Shrinkage are carried out in this study under simplified circumstances applying temperature & Humidity test chamber which enables constant temperature and humidity. Comparative analyses have been made respectively according to the consequences aiming at modelling for prediction of Concrete Drying Shrinkage and making out measures to reduce it.

Strain Rate of Drying Shrinkage of concrete under the condition of dry air appears to rise by about 20%~30% in proportion as the temperature rises 5°C when the humidity was held below 10% compared under the condition of dry temperature & Humidity test chamber. Strain Rate of Drying Shrinkage in pit sand concrete increased 20% higher than measured when in river sand under the condition of 90-day material age. A general formula with two variables is derived as follow : $\epsilon = \alpha_1 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_1^2 + \beta_4 x_1 x_2 + \beta_5 x_2^2$. and also graphed in 3 dimensions, enabling to apply to actual design and predict Strain Rate of Drying Shrinkage in concrete. The results of prediction of Rate of Drying Shrinkage by Response Surface Analysis are as follows. The coefficient of correlation of Drying Shrinkage in Concrete was over 90%.

키워드 : 건조수축 모델링, 잔골재율, 콘크리트 배합

Keywords : Modelling of Drying Shrinkage, Aggregate Ratio, Concrete Mixing

1. 서론

콘크리트 乾燥收縮은 수분의 증발로 인하여 체적이 줄어드는 현상으로, 크리프와 더불어 고유 특성 중의 하나이며, 강도 다음으로 중요한 물성으로 알려져 있다. 그리고 때에 따라서 乾燥收縮은 콘크리트 耐久性을 결정짓는 가장 중요한 요인이 되는 경우도 있다. 乾燥收縮은 콘크리트를 이루고 있는 內的要因과 外的要因에 모두 關係를 가지고 있어 매우 복잡한 舉動을 보이며, 이를 수치화하여 設計式으로 만드는 일은 각 나라의 지역적 특성과 施工 技術 등 여러가지를 반영하여야 하기 때문에 쉬운 일은 아니다. 우리나라는 특히 이 分野의 研究에 落後性을 보이고 있다. 따라서 乾燥收縮 특성에 대한 정량적 연구가 절실하게 요구되고 있다. 근래들어 우리나라에서는 철근 콘크리트 건축구조물의 설계법이 극한강도 설계법이 많이 적용되고 있다. 또한 국내에도 장대 철근 콘크리트 구조물이나 고층 철근 콘크리트 건축구조물, 특수 콘크리트 구조물등이 빈번히 건설되고 있다. 이로 인해 콘크리트 구조물에서의 乾燥收縮 연구에 대한 필요성은 날로 증대되고

있다. 따라서 콘크리트 구조물의 乾燥收縮에 의한 균열을 최소화할 수 있는 콘크리트 배합 및 설계규준의 제정이 시급하다. 현재 이 방법에 관한 理論 및 實驗의 근거와 그것을 糾明하기 위한 研究는 극히 制限的으로 진행되고 있는 실정이다. 콘크리트 乾燥收縮의 변형에 영향을 미치는 요인은 크게 溫度, 濕度, 물시멘트비, 骨材量, 混和劑, 混和材料 등이 있지만 무엇보다도 乾燥收縮 변형에 영향을 미치는 요소는 동일 물시멘트비에서 환경적 요인의 변화와 骨材量의 증감이다. 이 環境的 要因은 溫度, 濕度 등으로 구성되어 있는데 이들 個別的인 因子들은 콘크리트 건조에 미치는 영향이 복합적이기 때문에 이들의 影響을 個別的으로 평가하는 것은 큰 意義가 없다. 따라서 본 연구에서는 乾燥收縮에 영향을 미치는 환경적 요인을 통합하여 온도와 습도가 고정되는 항온항습 기기를 이용하여 콘크리트의 乾燥收縮 변형율에 대한 실험을 행한다. 그리하여 골재량 변화에 따른 콘크리트 乾燥收縮의 특성을 규명하기 위해 콘크리트의 굵은골재와 잔골재율 변화에 따른 항온항습과 대기건조 상태의 乾燥收縮 변형율을 측정하고, 비교 분석한다. 그리고 측정된 데이터를 SAS(통계처리 프로그램)를 이용하여 콘크리트의 재료학적인 측면에서 乾燥收縮 변형율의 모델을 구축하는데 그 目的이 있다.

* 정희원, 원광대 건축학부 강사, 공학박사

** 정희원, 원광대 건축학부 교수, 공학박사

2. 실험

2.1 실험계획

本 실험은 굵은골재의 종류와 잔골재율의 변화에 따른 콘크리트 건조수축 변형을 실험을 행하였다. 물시멘트비를 50%, 잔골재율을 43%, 47%, 51%의 4% 간격으로 配合 設定하고, 강자갈과 碎石을 사용한 供試체를 각각 제작하여 콘크리트 건조수축 변형을 측정 비교하였다. 콘크리트 供試체의 크기는 10cm×10cm×40cm로 하고 乾燥收縮의 測定器機는 1/1000mm의 콘택트 스트레인 게이지로 하였다. 건조조건은 항온항습과 대기상태 실험으로 하였다. 강자갈과 碎石을 사용한 콘크리트 공시체에 대해 乾燥收縮 變形率은 잔골재율 변화에 따라 항온항습과 대기조건으로 실험 비교한다. 또한 항온항습의 조건(온도 20±1℃ 습도 60±1%)에서 각각 잔골재율 변화에 따른 콘크리트의 乾燥收縮 변형을 비교 분석한다. 實驗計劃 및 配合 計劃은 다음 <표 2.1> ~ <표 2.2>와 같다. 본 실험에서는 콘크리트 硬化体 부재에 대한 실험방법은 KS F 2435, KS F 2424에 의해 콘크리트의 乾燥收縮 變形率을 90일 간 측정하였다.

<표 2.1> 잔골재율과 양생조건에 따른 실험계획표

배합사항			양생조건	굵은골재
W/C	슬럼프	잔골재율		
50%	12±2.5 cm	43%	항온항습	강자갈
		47%		
		51%	대기조건	쇄 석

<표 2.2> 잔골재율에 따른 배합표

시료	S/a (%)	용적배합(kg/ℓ)				중량배합(kg/m³)			
		W	C	S	G	W	C	S	G
강자갈	43	5.25	10.50	23.31	31.47	175	350	777	1049
	47	5.50	11.00	25.50	29.25	183	367	850	975
쇄 석	51	5.75	11.50	27.69	27.03	192	384	923	901
	43	5.52	11.04	23.31	31.47	184	368	777	1049
쇄 석	47	5.72	11.44	25.50	29.25	191	381	850	975
	51	5.92	11.84	27.69	27.03	197	395	923	901

2.2 실험방법

콘크리트 供試체는 배합당 3개씩, 10cm×10cm×40cm의 크기로 제작하였다. 또한 온도를 20±1℃, 습도를 60±1%로 정확히 유지하는 恒溫恒濕과, 大氣條件(온도 20~25℃ 습도 60~70%)으로 乾燥收縮 실험을 하였다. 대기실험은 온도와 습도의 변화를 줄이기 위해 벽면이 단열재로 된 크기 2.0m×2.0m×2.0m의 건조상자를 만들어 행하였다.

供試체의 건조수축 변형율은 공시체를 24시간 경화 후 탈형하고 Pfender(독)가 고안한 Contact Strain Gauge를 사용하여 1회 測定 하였다. 乾燥收縮 측정 재령은 24시간 경과한 시점을 기점으로 하여 1일, 3일, 7일, 14일, 28일, 50일, 70일, 90일로 하였다. 각 供試체 당 측정점은 3개소로 하여 총 9회의 측정값을 평균하고 표준편차 방법에 의거 상하 10% 이상 되는 측정값은 제거하였다. 표점거리 10cm에 대한 乾燥收縮 길이를 구하여 표점거리 10cm로 나누어 단위길이당 건조수축 길이를 구하였다. 이 단위길이당 건조수축 길이가 건조수축

변형율이 된다. 乾燥收縮 길이 변화는 다음 식에 의해 乾燥收縮 變形率을 산출하였다.

$$\Delta l = \{ (X_{01}-X_{02}) - (X_{11}-X_{12}) \} \times 10^{-3} \text{ (mm)}$$

$$\text{乾燥收縮 變形率} = \frac{\Delta l}{l}$$

여기서,

- X₀₁ : 基點에서의 供試체 측정값
- X₀₂ : 各 材齡에서의 供試체 측정값
- X₁₁ : 基點에서의 표준자 측정값
- X₁₂ : 各 材齡에서의 표준자 측정값

3. 실험결과 및 분석

3.1 恒溫恒濕 하의 乾燥收縮 變形率

<표 3.1>은 굵은골재를 강자갈, 쇄석으로 나누고, 잔골재율 43%, 47%, 51%로 구분하여 각 재령별로 90일간의 乾燥收縮 變形率을 측정한 결과를 나타낸 것이다.

<표 3.1> 항온항습 하의 건조수축 변형률

試料	S/a (%)	건조수축율 (10 ⁻⁵)						
		1일	7일	14일	28일	50일	70일	90일
강자갈	51	8.13	28.40	36.88	43.60	48.90	49.10	50.20
	47	6.56	21.70	24.60	31.00	31.90	33.70	36.40
	43	8.29	15.00	21.00	23.00	30.10	31.70	32.90
쇄 석	51	8.22	19.00	31.80	40.80	51.80	54.80	56.60
	47	8.29	18.90	27.60	36.30	42.10	44.60	48.00
	43	8.33	18.80	23.20	30.00	39.70	42.20	44.10

1) 콘크리트 乾燥收縮 變形率 변화

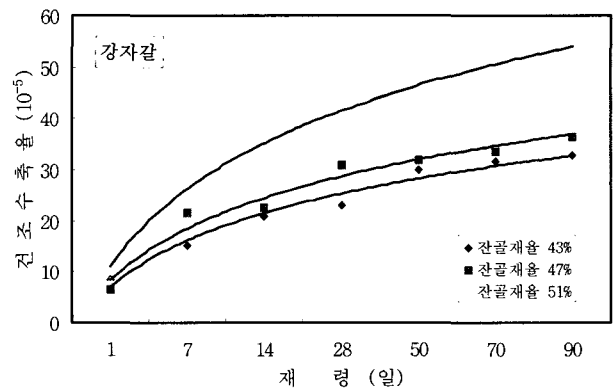


그림 3.1 강자갈 콘크리트의 건조수축 변화율

[그림3.1]은 굵은 골재를 강자갈로 사용한 콘크리트의 잔골재율이 각각 43%, 47%, 51%일 때 乾燥收縮 變形率을 나타낸 그림이다. 乾燥收縮 變形率은 잔골재율 51%일 때 재령에 따라 가장 큰 증가를 나타내고 있다. 건조개시 재령 90일 일 때 乾燥收縮 變形率은 잔골재율 51%일 때 50.2×10^{-5} , 잔골재율 47%일 때 36.4×10^{-5} , 잔골재율 43%일 때 32.9×10^{-5} 로 측정되었다. 또한 乾燥收縮 變形率은 초기에 급속하게 일어나고 있음을 볼 수 있으며, 초기 1주와 2주 사이에 일어나는 變形率은 건조개시 재령 90일의 50% 이상 됨을 알 수 있었다. 본 실험에서 보면 콘크리트의 잔골재율이 증가하면 乾燥收縮率의 증가가 크게 나타나고 있다. 이러한 이유는 배합 설정시 슬럼프를 고정하였기 때문에, 잔골재율이 커지면 슬럼프를 맞추기 위해 단위수량이 증가되고, 콘크리트 강도를 맞추기 위해서는 시멘트량이 증가되기 때문이라고 판단된다. 그리고 잔골재율이 증가할수록 자유수도 증가하게 되므로 乾燥收縮 變形率은 증가하는 것으로 판단된다.

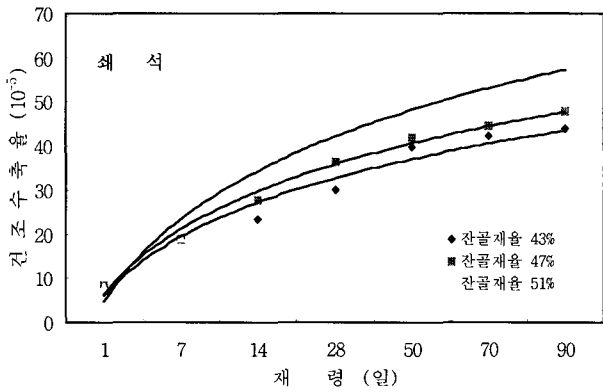


그림 3.2 쇠석 콘크리트 건조수축 변형율

[그림3.2]는 碎石을 굵은 골재로 이용한 콘크리트에 잔골재율 43%, 47%, 51%일 때 乾燥收縮 變形率을 나타낸 것이다. 乾燥收縮 變形率은 재령에 따라 마찬가지로 잔골재율 51%일 때 가장 큰 증가를 보인다. 측정결과를 보면 건조개시 재령 90일 일 때 건조 수축변형율은 잔골재율 51%일 때 56.6×10^{-5} , 잔골재율 47%일 때 48.0×10^{-5} , 잔골재율 43%일 때 44.1×10^{-5} 로 강자갈 콘크리트와 유사하게 나타나는 것으로 측정되었다. 이러한 이유는 잔골재율이 감소할수록 결합물질 내에 잔골재의 비표면적이 작게 되어 전반적인 시멘트 페이스트의 양이 줄어들게 되고 그만큼 건조수축 변형율이 작아지게 되는 것으로 판단된다. 이와같이 잔골재율이 콘크리트 乾燥收縮에 미치는 역할은 단순하지 않은 것이기 때문에 콘크리트 내 구성 관점에서 잔골재율의 선정 및 배합에 있어서 건물의 특성과 내구성을 고려한 신중한 배려가 필요하다고 판단된다.

2) 건조수축 변형율의 비교 분석

실험에서 보면 잔골재율이 높은 경우에는 강자갈 콘크리트와 碎石 콘크리트의 乾燥收縮 變形率은 낮은 것에 비교하여 변형율의 폭이 감소하는 것으로 측정되었다. 碎石을 사용한 경우에는 재령 90일 乾燥收縮 변형율이 44×10^{-5} 에서 56.6×10^{-5} 사이의 건조수축 변형율을 보여주고 있고, 강자갈인 경

우 32.9×10^{-5} 에서 50.2×10^{-5} 사이의 건조수축 변형율이 측정되었다. 이는 쇠석을 사용한 경우가 강자갈을 사용한 콘크리트 보다 더 큰 건조수축 변형율을 나타냄을 의미한다. 따라서 실험의 결과를 분석해 보면 乾燥收縮을 제어하는 역할을 담당하는 골재들 중에서 잔골재가 乾燥收縮 제어에 큰 역할을 하고 있다는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 유동성을 갖는 콘크리트의 경우 환경적인 요인과 사용재료의 성질과 상태에 따라 상당히 달라지고 있음을 보여주는 것이라고 판단된다. 또한 강자갈과 쇠석을 비교함으로써 사용 재료의 변화와 콘크리트 공극 구조, 사용골재의 강성, 염화물의 함유, 공극율, 흡수율 등의 차이에 따라 乾燥收縮이 달라지고 있다는 것을 알 수 있다.

실험의 결과를 보면 잔골재율이 낮을수록 강자갈과 쇠석 사용 콘크리트의 건조수축 변형율이 더 큰 차이를 나타내는 것을 알 수 있다. 이는 材料的 요인과 環境的 요인이 건조수축 변형율의 메카니즘에 크게 작용하고 있다는 것을 의미하는 것으로 판단된다. 이는 골재의 사용량, 표면적, 형상, 강성 등의 차이에 기인한 것으로 판단된다. 따라서 분석된 결과를 보면 골재 자체의 기본적 성질과 골재의 성상이 콘크리트 건조수축에 관여하기 때문에, 골재의 선택에 있어 성상에 매우 신중을 기해야 할 것으로 판단된다. 또한 골재 자체의 길이 변화 기구의 차이는 콘크리트 길이 변화의 거동에 직접 반영되기 때문에 골재 선택에 있어서 그 특성을 잘 파악해야 한다.

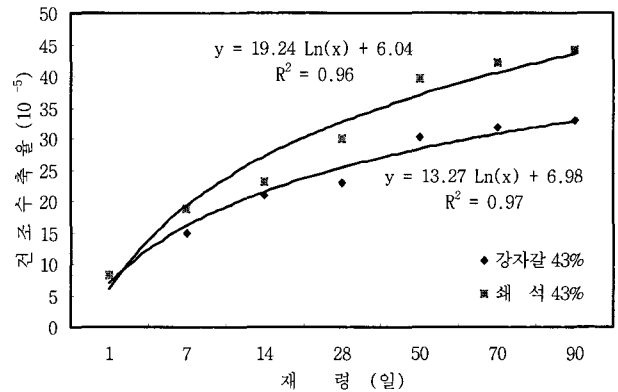


그림 3.3 잔골재율 43% 일 때 건조수축을 비교

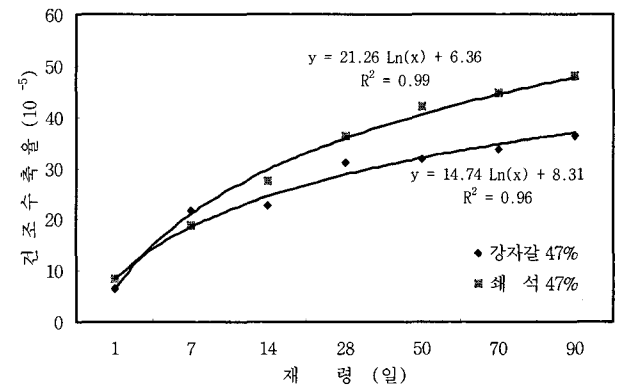


그림 3.4 잔골재율 47% 일 때 건조수축을 비교

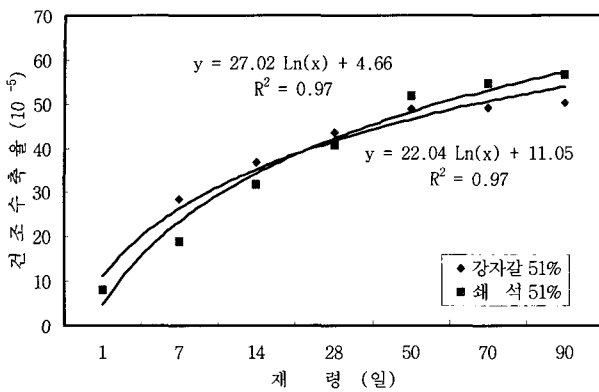


그림 3.5 잔골재율 51% 일 때 건조수축률 비교

3.2 大氣乾燥 하의 乾燥收縮 變形率

<표 3.2>은 굵은골재를 강자갈, 쇠석 2개 나누어서 잔골재율을 43%, 47%, 51% 3종류로 구분하여 온도와 습도가 고정되지 않고 유동적인(온도 20~25°C 습도 60~70%) 대기상태에서 콘크리트 乾燥收縮 變形率을 측정된 결과이다.

<표 3.2> 대기건조 하의 건조수축 변형률

試料	S/a (%)	건조수축률 (10 ⁻⁵)						
		1日	7日	14日	28日	50日	70日	90日
강자갈	51	9.70	19.00	24.50	49.20	57.70	61.20	64.70
	47	10.00	14.00	29.00	46.50	49.30	51.20	53.40
	43	10.17	13.70	20.50	42.80	44.50	46.70	49.20
쇠석	51	10.86	28.94	37.82	57.54	73.40	76.70	80.20
	47	10.56	15.40	31.40	41.70	62.70	71.20	73.20
	43	10.00	12.20	24.50	36.40	52.10	56.70	62.40

1) 콘크리트 乾燥收縮 變形率 변화

[그림3.6]은 굵은골재를 강자갈로 사용한 콘크리트의 잔골재율이 43%, 47%, 51%일 때 대기조건 실험의 乾燥收縮 變形率을 나타낸 것이다. 강자갈 콘크리트의 乾燥收縮 變形率은 잔골재율 51%일 때 재령에 따라 가장 급격한 증가를 보이고 있다. 건조개시 재령 90일 일 때 건조수축 변형률은 잔골재율 51%일 때 64.7×10⁻⁵, 잔골재율 47%일 때 53.4×10⁻⁵ 잔골재율 43% 일 때 49.2×10⁻⁵로 측정되었다.

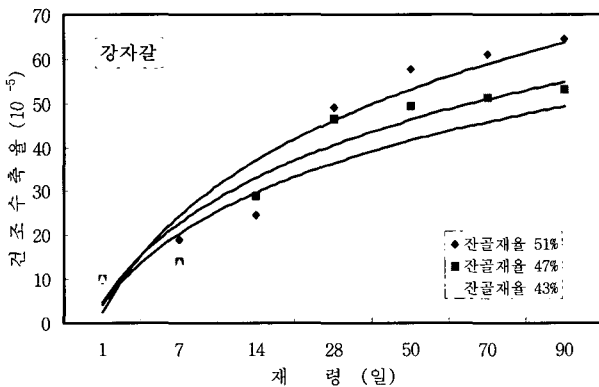


그림 3.6 강자갈 콘크리트 건조수축 변형률

이 측정결과는 잔골재율이 51%일 때 恒溫恒濕 조건의 실험 결과와 동일함을 알 수 있다. 또한 이 측정에 의하면 乾燥收縮은 초기에는 급속하게 일어나고 28일을 이후로는 완만하게 증가하는 로그 곡선의 형태를 띠고 있음을 알 수 있다. 따라서 乾燥收縮 변형률에 영향을 미치는 가장 주요한 외적요인은 온도와 습도의 변화임을 알 수 있었다. 대기상태에서 건조된 供試體의 乾燥收縮 變形率은 恒溫恒濕 기기에서 건조시킨 수축률 보다 90일 재령에서 잔골재율의 변화에 큰 증가를 보이고 있다.

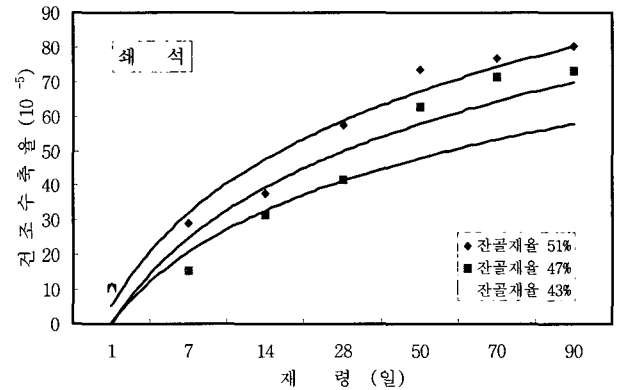


그림 3.7 碎石콘크리트 건조수축 변형률

[그림3.7]은 碎石 콘크리트의 잔골재율이 51%, 47%, 43%일 때 乾燥收縮 변형률을 나타낸 것이다. 乾燥收縮 變形率은 잔골재율이 51%일 때 가장 크게 나타났다. 건조수축 변형률은 잔골재율 51%일 때 80.2×10⁻⁵, 잔골재율 47%일 때 73.2×10⁻⁵, 잔골재율 43%일 때는 62.4×10⁻⁵로 측정되어 잔골재율 51%일 때 건조수축 변형률이 가장 크게 나타남을 알 수 있었다. 건조재령 90일의 乾燥收縮 變形率은 恒溫恒濕 기기에서 측정된 건조수축 변형률보다 대기상태의 조건에서 측정된 건조수축 변형률이 약 20~30% 크게 나타나고 있다. 측정결과 동일 재료의 배합에서도 콘크리트의 乾燥收縮 變形率은 온도와 습도에 따라 다르게 나타나고 있으므로 이 연구와 실험결과를 바탕으로 하여 乾燥收縮 변형률을 어느 정도 상관관계를 가지고 있고 乾燥收縮 변형률을 예측할 수 있을 것으로 판단되었다. 또한 항온항습의 조건에서 乾燥收縮 變形率을 측정 후 온도와 습도의 조건을 알면 대기조건의 乾燥收縮 變形率을 어느 정도 추정할 수 있음을 알 수 있었다.

2) 건조수축 변형률 비교분석

강자갈 사용 콘크리트에 비해 강자갈을 碎石으로 치환한 콘크리트의 경우 모든 잔골재율에 대해 재령에 따른 콘크리트의 乾燥收縮 變形率이 크게 나타남을 알 수 있었다.

따라서 실험의 결과를 종합해 보면 건조수축 변형률은 로그 곡선의 형태를 띠며, 잔골재율이 증가하면 변형률도 함께 증가하며, 특히 온도와 습도에 매우 민감하게 반응하는 것으로 측정되었다. 또한 골재의 形狀 및 成分에 따라 콘크리트 乾燥收縮 變形率은 크게 달라지는 것을 알 수 있었다. 그러므로 골재 선정에 있어서 세심한 주의를 요하여야 할 것으로 判斷된다. 따라서 건물의 특성을 고려할 때 내구성 차원에서

반드시 건조수축 변형율을 고려하여야 할 것으로 判斷된다.

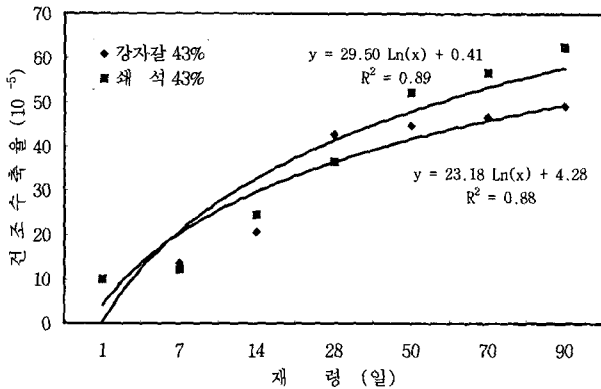


그림 3.8 잔골재용 43%의 건조수축 변형율 비교

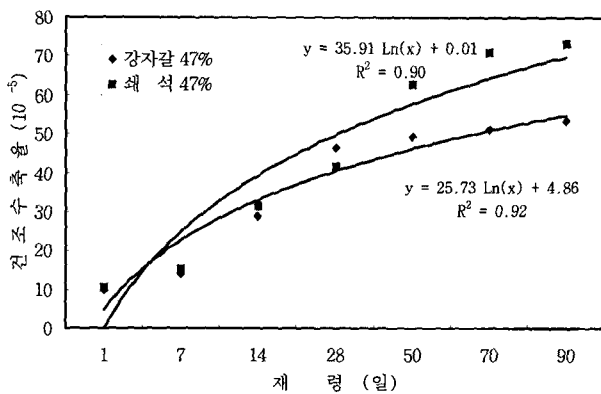


그림 3.9 잔골재용 47%의 건조수축 변형율 비교

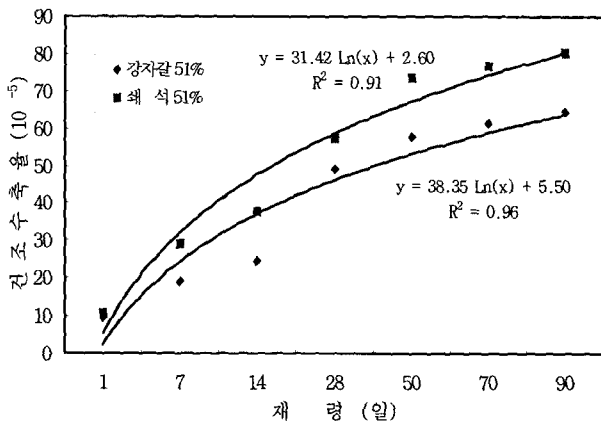


그림 3.10 잔골재용 51%의 건조수축 변형율 비교

4. 예측 모델링

모델링은 환경조건과 다양한 재료의 조건하에서 乾燥收縮의 거동을 예측하기 위해 분석을 실시하였다. 위의 실험으로 측정된 건조수축 변형율을 잔골재용, 굵은 골재종류 등을 인자로 반응표면 분석¹⁾(Response Surface Analysis)을 실시하였

1) 반응표면 분석(Response Surface Analysis)은 여러개의 설명변수 $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k$ 가 복합적인 작용을 함으로써 어떤 반응변수 η 에 영향

다. 건조수축 변형율의 변화는 비선형이므로 선형식으로 변환이 불가능하기 때문에 통계해석 프로그램인 SAS의 RSREG 프로그램을 이용하여 乾燥收縮 변형율을 예측하여 3차원 모델링을 하였다.

4.1 굵은골재 변화에 대한 건조수축 예측 모델링

[그림 4.1-2]은 굵은골재를 강자갈과 쇠석을 사용하여 콘크리트 건조수축 데이터를 반응표면 분석 방법을 사용하여 모델링 한 결과이다.

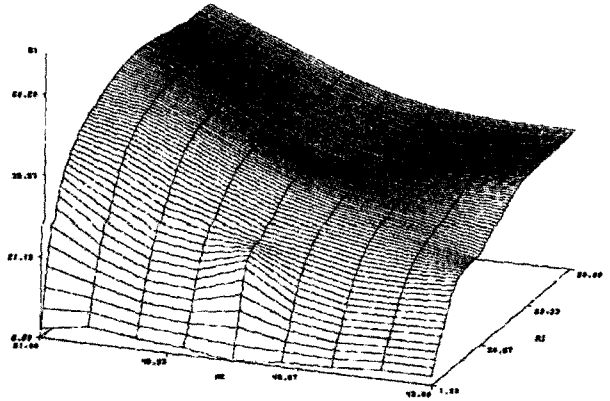


그림 4.1 강자갈 콘크리트 변형율 모델링

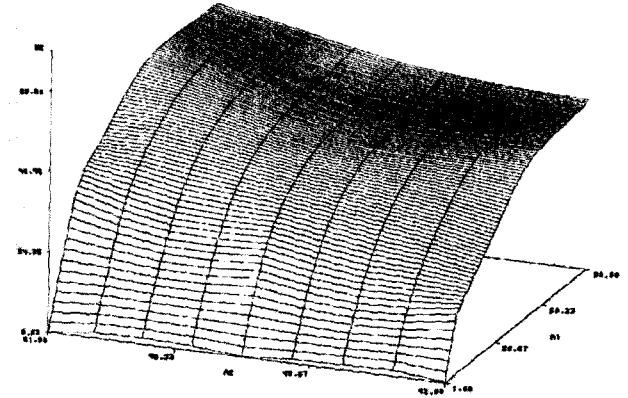


그림 4.2 쇠석 콘크리트 변형율 모델링

$$\epsilon_{y=\text{쇠석}} = 167.18 - 7.07x_1 + 0.257x_2 + 0.07x_1^2 - 0.016x_1x_2 - 0.0072x_2^2 \quad (R^2 = 96.7)$$

여기서 x_1 = 잔골재용
 x_2 = 재령

을 주고 있을 때, 이러한 반응의 변화를 이루는 반응표면에 대한 통계적인 분석방법을 말한다. 여기서 설명변수는 반응에 영향을 주는 독립변수 또는 인자를 말하고, 반응변수는 설명변수의 영향을 받아서 반응을 나타내는 종속변수를 말한다. 이러한 통계기법은 공업제품의 생산공정에서 인자들의 최적공정조건(Optimum Operation Condition)을 찾는 데 효과적으로 사용됨으로써 품질관리(Quality Control)에 유용하게 응용되고 있다. 반응표면 분석에 관한 연구는 1951년에 처음으로 Box와 Willson에 의하여 시작되어, 최근에는 많은 연구자들에 의하여 활발히 연구 발표되고 있다.

이 그림에서 보면 乾燥收縮 變形率은 재령 90일에서 30×10^{-5} 에서 60×10^{-5} 사이의 분포를 보이고 있다. 초기에는 불규칙적인 측정치도 보이나 재령이 증가하면서 환경적인 요인과 재료적인 요인으로 인해 정착 되어감을 알 수 있다.

$$\epsilon_y = \text{강자갈} = 495.25 - 21.96x_1 + 0.17x_2 + 0.24x_1^2 - 0.014x_1x_2 - 0.0062x_2^2 \quad (R^2 = 88.8)$$

여기서 x_1 = 잔골재율
 x_2 = 재령

상관관계를 나타내는 결정계수의 값은 강자갈인 경우 88.8%, 쇄석의 경우 96.7%의 높은 값을 나타내고 있다.

4.2 잔골재율 변화에 대한 건조수축 예측 모델링

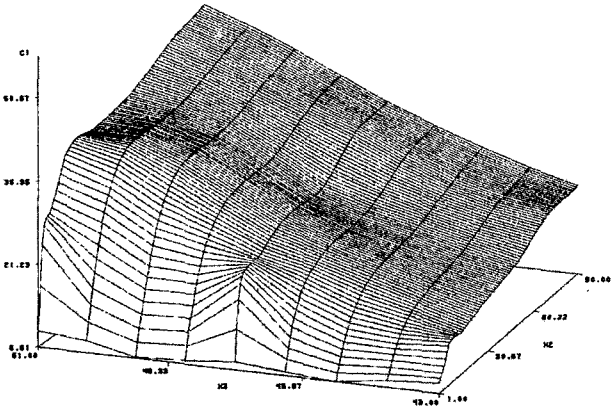


그림 4.3 잔골재율 변화에 따른 변형율 모델링

[그림 4.3]은 잔골재율의 변화에 따른 콘크리트 건조수축 변형율을 모델링한 것이다. 잔골재율에 따른 건조수축 변형율은 20×10^{-5} 에서 50×10^{-5} 사이의 분포를 이루고 있고 잔골재율의 변화에 따라 乾燥收縮 變形率이 큰 차이를 보임을 알 수 있다. 이러한 건조수축 변형율의 큰 변화폭의 이유로 잔골재율은 특정 건물 건축시 내구성 관점에서 골재의 비율이 충분히 검토되어야 할 것이다. 乾燥收縮 변형율 형태는 초기에서부터 일정한 형태를 이루며 증가를 보임을 알 수 있다. 잔골재율 변화에 따른 乾燥收縮에 대한 3차원 모델링을 보면 乾燥收縮의 형태가 2차원의 형태와 거의 비슷하게 이루어지고 있음을 알 수 있다. 또한 거의 일정한 변형의 형태를 보이고 있으며 상관관계를 나타내는 결정계수는 88.8% 아주 높게 나타나고 있다.

$$\epsilon_y = 30.23 - 2.32x_1 - 0.59x_2 + 0.042x_1^2 - 0.023x_1x_2 - 0.003x_2^2 \quad (R^2 = 88.8)$$

여기서 x_1 = 잔골재율
 x_2 = 재령

5. 결 론

本 연구에서 2종류의 굵은골재(강자갈, 쇄석)를 잔골재율 43%, 47%, 51%로 변화시키며 배합한 콘크리트에 항온항습 건

조조건과 대기상태 건조조건을 적용하여 乾燥收縮 變形率 실험을 행하였고, 분석된 데이터를 SAS의 RSREG 프로그램을 이용하여 모델링 하였고, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 동일한 물시멘트비의 조건하에서 콘크리트 乾燥收縮 變形率은 잔골재율이 클수록 커지는 것으로 측정되었다. 이러한 이유는 슬럼프를 맞추기 위해 단위수량을 증가시키고 또한 강도를 맞추기 위해 단위시멘트량을 증가시키게 되기 때문이다. 따라서 잔골재율이 콘크리트 乾燥收縮에 미치는 요인은 단순하지 않으므로 콘크리트 耐久性의 관점에서 볼 때 잔골재율의 選定 및 配合는 신중한 배려가 필요하다.

2) 大氣 乾燥狀態에서 쇄석 및 강자갈을 사용한 콘크리트 乾燥收縮 變形率은 각각 잔골재율 51%의 경우 80.2×10^{-5} , 64.7×10^{-5} , 잔골재율 47%의 경우 73.2×10^{-5} , 53.4×10^{-5} , 잔골재율 43%의 경우 62.4×10^{-5} , 49.2×10^{-5} 으로 나타났다. 항온항습 기기 조건하에 쇄석 및 강자갈을 사용한 콘크리트의 乾燥收縮 變形率은 잔골재율 51%의 경우 50.2×10^{-5} , 56.6×10^{-5} , 잔골재율 47%의 경우 36.4×10^{-5} , 48.0×10^{-5} , 잔골재율 43%의 경우 32.9×10^{-5} , 44.1×10^{-5} 으로 나타났다. 잔골재율 변화에 따라 대기에서 乾燥된 供試體의 乾燥收縮 變形率은 항온항습 기기에서 건조된 수축을 보다 약 20~30%의 증가를 보이고 있음을 알 수 있다.

3) 반응표면 분석(Response Surface Analysis)실험계획법을 통하여 잔골재율과 재령의 2가지 요인에 따른 콘크리트 乾燥收縮 예측식을 구축한 결과 90% 이상의 높은 상관관계를 나타냈다.

4) 시멘트 硬化體 乾燥收縮 변형 예측에 이용될 수 있는 식을 두 개 변수의 일반식 $\epsilon = \alpha_1 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_1^2 + \beta_4x_1x_2 + \beta_5x_2^2$ 로 표시하고 3차원의 그래프로 나타내어 이를 실제 적용하여 乾燥收縮 變形率의 豫測을 가능하게 하였다.

따라서 반응표면 분석 기법(Response Surface Analysis)은 제조업의 공정에서 불량품의 최소화와 품질의 반응에 대한 예측을 측정하는 방법으로서 콘크리트 品質 向上과 舉動에 반드시 필요한 品質管理 기법이므로 추후 콘크리트 品質 向上에 대한 연구에 이 기법을 適用하여야 할 것으로 思料된다. 이 연구는 정상상태에서의 측정조건으로 하였으나, 앞으로는 온도의 변화와 대기조건의 영향을 고려한 연구가 요구되어진다.

참 고 문 헌

1. 한만엽, 환경인자를 고려한 건조수축의 예측 모델 개발, 콘크리트 학회, 1996. 2.
2. 한만엽, 콘크리트 건조수축의 이론적 예측에 관한 연구, 콘크리트 학회, 1993. 3.

3. 김진근, 콘크리트 부등건조수축으로 인한 응력의 해석, 한국콘크리트 학회 논문집 제 6권 4호 1994. 8 pp 102~112.
4. 국립기술 품질원, 레미콘 배합설계 실태조사 결과, 연합회보 1998. 7.
5. 변근주, “염분이 콘크리트 제성질에 미치는 영향”, 한국레미콘 공업협회 기술 분과위원회, 1991.1.
6. 김형태, “해사가 콘크리트에 미치는 영향에 대한 소고”, 대우엔지니어링 기술보, 제 8권, 제 1호, 1991. 10 pp 38~50.
7. 박도경 외 1인, “잔골재 품질 변화가 건조수축에 미치는 영향에 관한 연구”, 대한건축학회연합논문집, 제 1권, 제 1호 1999. pp 245~254.
8. 박도경 외 2인, “잔골재가 건조수축에 미치는 영향에 관한 비교 연구”, 대한 건축학회 학술발표 논문집, 제 19권, 제 2호 1999. pp 631~636.
9. 박도경 외 2인, “레미콘 슬러지수 사용에 따른 콘크리트 건조수축에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 논문집, 제 15권 5호 1999. 5. pp 111~118
10. 藤原忠司, セメント 硬化體 の 乾燥收縮 におよぼす配合の 影響, セメント 콘크리트 報告集, 昭化 62.
12. 寺本尙夫外 3人, モルタルの 乾燥收縮 およびクリープ, セメント 콘크리트 報告集, 昭化 60.
13. 收角龍憲外 2人, モルタルの 乾燥收縮 におよびぼす 骨材の 影響, セメント 콘크리트 報告集, 昭化 56.