

# 응결지연제를 사용한 고강도 매스 콘크리트의 열팽창계수 및 자기수축 특성 평가

## Evaluation of Thermal Expansion Coefficient and Autogenous Shrinkage Properties of High Strength Mass Concrete Using Retarder Agent

신 경 수\*      구 경 모\*\*      이 의 배\*\*      김 영 선\*\*      김 영 덕\*\*\*      김 규 용\*\*\*\*  
Shin, Kyoung-Su    Koo, Kyung-Mo    Lee, Eui-Bae    Kim, Young-Sun    Kim, Young-Duck    Kim, Gyu-Yong

### Abstract

Autogenous shrinkage of high-strength mass concrete is affected high temperature history. So to evaluate autogenous shrinkage of high-strength mass concrete accurately, thermal expansion in it should be removed. In this study, compensated autogenous shrinkage was calculated after gathering thermal expansion coefficient at early age experimentally.

As a result of the study, Autogenous shrinkage of mass specimen (300×300×300mm) was remarkably higher than it of standard specimen (100×100×400mm). So it was found that compensation on thermal expansion should in evaluating autogenous shrinkage of high-strength mass concrete. And this study shows results on ope and similar own contraction, if used retarder.

키 워 드 : 응결지연제, 고강도 매스 콘크리트, 열팽창계수, 자기수축

Keywords : Retarder, High-Strength Mass Concrete, Thermal Expansion Coefficient, Autogenous Shrinkage

## 1. 서 론

최근 초고층 및 대형화 구조물의 수요가 증가함에 따라 고강도 매스 콘크리트의 사용이 증대되고 있다. 고강도 콘크리트의 경우 낮은 물시멘트비(W/C) 또는 물바인더비(W/B), 그리고 높은 단위결합재량의 배합 특성을 갖게 되며, 이로 인해 발생하는 높은 자기수축은 고강도 콘크리트 부재의 변위 및 수축균열에 대한 안전성을 확보하기 위해 반드시 해결해야 할 문제점으로 제기되고 있다<sup>1,2)</sup>. 또한 부재가 매스화 될 경우 콘크리트의 자체적인 수화열과 콘크리트의 낮은 열전도율에 따른 단열효과로 인해 고강도 매스 콘크리트 부재의 내부는 초기재령시 고온상태가 된다. 즉, 고강도 매스 콘크리트 부재의 내부에서 발생하는 자기수축은 수화열에 의한 고온의 영향을 받게 된다.

일반적으로 콘크리트의 자기수축 평가는 KS F 2586「시멘트풀, 모르타르, 콘크리트의 자기수축 및 자기팽창 시험방법」

에 제시된 100×100×400mm 시험체를 대상으로 실시되고 있으며, 이 경우 준등온이라는 가정하에 시험체 내부온도 변화에 따른 열팽창을 배제하고 자기수축을 측정하는 것이 가능하다. 그러나 초기재령시 고온이력을 받는 고강도 매스 콘크리트의 자기수축을 보다 정확하게 평가하기 위해서는 온도변화에 따른 열팽창을 고려해야 한다.

한편 매스콘크리트의 온도균열 제어를 위한 재료적 방안으로서, 응결지연 효과와 이에 따른 내부의 온도상승 저감을 도모하기 위해 응결지연제가 사용되기도 한다.

본 연구에서는 초기재령 고온이력에 의한 열팽창을 보정한 매스콘크리트의 자기수축을 평가하였으며, 특히 응결지연제가 사용된 매스콘크리트의 수화발열 특성과 자기수축 특성을 정량적으로 검토하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

표 1은 본 연구를 위해 제작된 시험체의 조건을 나타낸 것이다. 매스 콘크리트의 조건, 즉 초기재령시 시험체 내부의 고

\* 충남대학교 대학원 건축공학과, 석사과정  
\*\* 충남대학교 대학원 건축공학과, 박사과정  
\*\*\* 충남대학교 건축공학과, 공학박사  
\*\*\*\* 충남대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

온이력을 유도하기 위해 두께 100mm 발포폴리스티렌으로 간 이단열 처리한 300×300×300mm 시험체를 기본으로 하여, 응결지연제 혼입 유무에 따른 시험체를 제작하였다. 또한 시험체의 매스화에 따른 수화발열 및 자기수축 특성의 변화를 검토하기 위해 KS F 2586에 제시된 100×100×400mm 시험체도 제작하였다.

**2.2 사용재료 및 배합**

표 2는 본 연구에 사용된 콘크리트 재료의 종류 및 특성

표 1. 시험체의 조건

기호	W/C (%)	시멘트량 (kg/m <sup>3</sup> )	사이즈 (mm)	양생조건	지연제
100 <sup>2</sup> ×400-OPC <sup>1)</sup>	20	800	100×100×400	기중양생 (20℃)	0.3% 혼입
300 <sup>2</sup> ×300-OPC			300×300×300	간 이 단 열 양 생	
300 <sup>2</sup> ×300-RTD <sup>2)</sup> (0.3)					

1) OPC : 보통포틀랜드시멘트, 2) RTD : 응결지연제

표 2. 사용재료의 종류 및 특성

재료의 종류	물리적·화학적 성질
시멘트	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 보통 포틀랜드시멘트</li> <li>• 밀도: 3.15g/cm<sup>3</sup>    • 분말도: 3,770cm<sup>2</sup>/g</li> </ul>
잔골재	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해사</li> <li>• 최대크기: 5mm    • 밀도: 2.54g/cm<sup>3</sup></li> <li>• 조립율: 3.05    • 흡수율: 1.01</li> </ul>
굵은골재	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 부순골재</li> <li>• 최대크기: 20mm    • 밀도: 2.65g/cm<sup>3</sup></li> <li>• 조립율: 6.02    • 흡수율: 1.39</li> </ul>
응결지연제	• 글루콘산계
고성능감수제	• 폴리카르본산계

표 3. 콘크리트의 배합

기호	W/C (%)	Slump-flow (mm)	S/a	단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )				혼화제 (B×%)	
				W	C	G	S	RTD	HRWR <sup>1)</sup>
100 <sup>2</sup> ×400-OPC	20	650±50	0.47	160	800	781	664	0	1.0
300 <sup>2</sup> ×300-OPC								0.3	1.1
300 <sup>2</sup> ×300-RTD(0.3)									

1) HRWR : 고성능감수제

을 나타낸 것이며, 표 3은 콘크리트의 배합을 나타낸 것이다. 본 연구에서 설정한 고강도 콘크리트의 배합으로는 물시멘트비 20%와 단위시멘트량 800kg/m<sup>3</sup>을 설정하였다. 또한 수화 지연 효과에 따른 초기재령 수화발열 및 자기수축 특성 평가를 위한 시험체의 배합은 기본 배합에서 응결지연제를 시멘트 질량대비 0.3%를 혼입하였다.

**2.3 시험체 제작 및 시험방법**

수화온도 및 자기수축 특성을 위한 시험체의 제작 및 시험 모식도는 그림 1에 나타난 바와 같다. 300×300×300mm

간이단열 시험체는 거푸집 탈형없이 지속적으로 내부온도와 자기수축을 측정하였다. 100×100×400mm 시험체는 비빔 후 24시간 경과한 후에 몰드를 탈형하였으며, PE필름과 알루미늄접착테이프를 사용하여 밀봉하였다. 시험체의 내부온도와 자기수축은 열전대와 매립형 게이지를 사용하여 측정하였으며, 측정시간은 10분 간격으로 설정하였다.

초기재령시 고온이력을 받는 고강도 매스 콘크리트의 자기수축을 보다 정확하게 평가하기 위해서는 온도변화에 따른

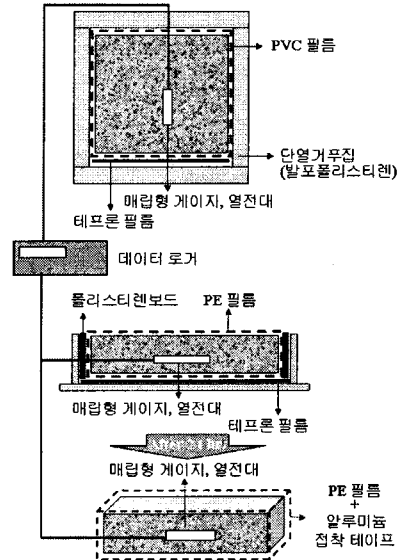


그림 1. 수화온도 및 자기수축 측정 모식도

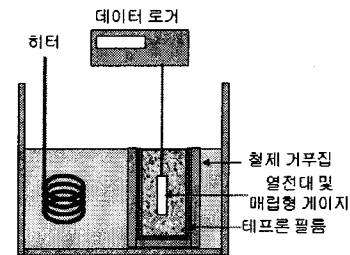


그림 2. 콘크리트의 열팽창계수 시험 모식도

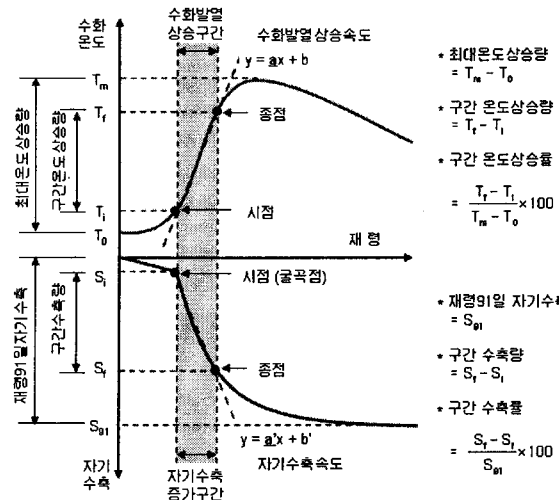


그림 3. 초기재령 수화온도 및 자기수축 거동특성 분석방법

열팽창을 고려해야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 다음 식 (1)

을 사용하여 자기수축에 대한 열팽창 보정을 실시하였다.

$$\varepsilon_f = \varepsilon_i \times C_\varepsilon + (C_\beta - \gamma) \times \Delta t \quad (1)$$

- 여기서,  $\varepsilon_i$  : 열팽창을 보정한 자기수축 ( $\times 10^{-6}$ )
- $\varepsilon_1$  : 초기 측정 변형 ( $\times 10^{-6}$ )
- $C_\varepsilon$  : 게이지의 교정계수 ( $\times 10^{-6}/1 \times 10^{-6}$ )
- $C_\beta$  : 게이지의 온도보정 계수 ( $\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ )
- $\gamma$  : 시험체의 열팽창계수 ( $\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ )
- $\Delta t$  : 온도변화( $^\circ\text{C}$ )

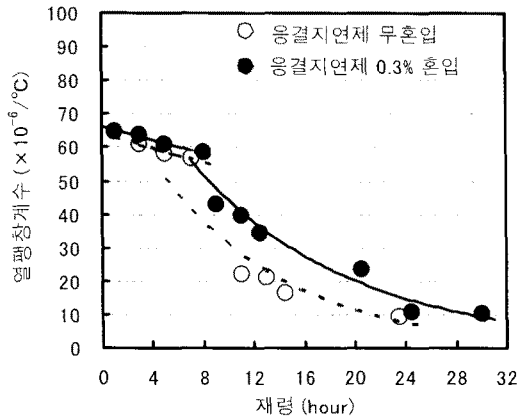


그림 4. 응결지연제 혼입 유무에 따른 초기재령 콘크리트의 열팽창계수 측정결과

표 4. 경과시간에 따른 콘크리트의 열팽창계수 산정결과

기호	시간	열팽창계수 ( $\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ )
OPC	7시간 이전	$y^{(1)} = -1.06x + 64.1$
	7시간 ~ 24시간	$y = 83.23e^{-0.039x}$
	24시간 이후	9.5
RTD(0.3)	8시간 이전	$y = -1.03x + 66.4$
	8시간 ~ 30시간	$y = 93.55e^{-0.0768x}$
	30시간 이후	10.2

1)  $y$ : 열팽창계수 ( $\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ),  $x$ : 시간 (hr.)

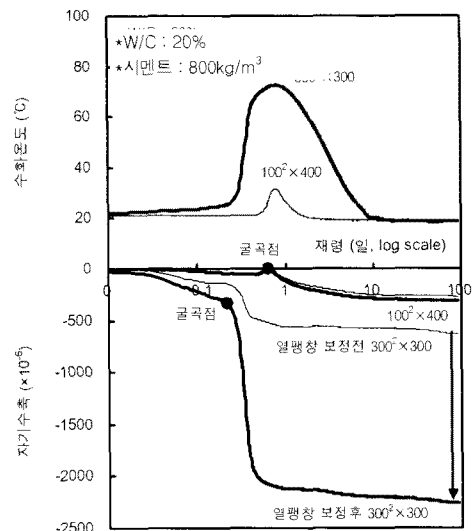
콘크리트의 열팽창계수(TEC,  $\gamma$ )는 배합 및 골재 특성에 따라 달라지기 때문에 실측값을 대입해야 한다. 특히, 초기재령 콘크리트의 경우 수화반응이 진행되고 있는 상태이기 때문에 그 값은 시간에 따라 변한다.

본 연구에서는 콘크리트의 온도를 일시적으로 급상승 시키면 온도에 의한 변형을 구할 수 있다고 가정한 후 초기재령 열팽창계수를 도출한 기존연구를 기초로, 그림 2와 같이 열전대와 매립형 게이지를 매입한  $\varnothing 100 \times 200\text{mm}$  시험체를 제작한 후, 수조 안의 물의 온도를 10분간  $15^\circ\text{C}$  상승시켜 타설 후 시간에 따른 초기재령 콘크리트의 열팽창계수를 도출하였다. 그림 3은 초기재령 수화온도와 자기수축의 거동특성을 수치적으로 평가하기 위한 분석방법을 나타낸 것이다. 즉, 수화온도 및 자기수축이 급속히 상승하는 구간(수화발열상승구간 및 자기수축증가구간)을 분석구간으로 설정하고, 구간의 기울기인 수화발열상승속도와 자기수축속도를 중심으로 분석을 실시하였다<sup>3)</sup>.

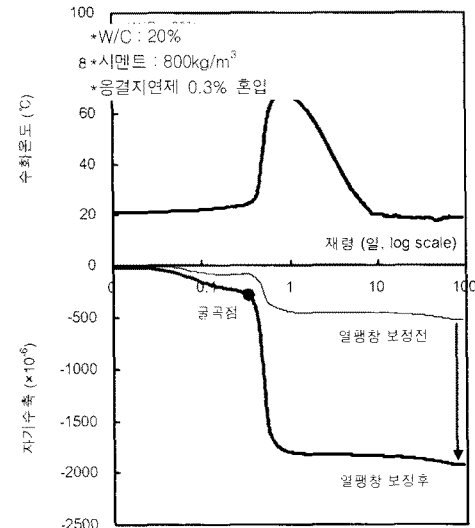
### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 콘크리트의 배합에 따른 열팽창계수

그림 4는 콘크리트 배합에 따른 초기재령 열팽창계수 측정 결과를 나타낸 것이다. 혼화재료를 사용하지 않은 콘크리트(OPC) 시험체의 열팽창계수는 시험체 제작 후 서서히 저하하다가 약 7시간부터는 급속히 저하하여 약 24시간 이후부터는  $9.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 로 수렴하는 형태를 보였다. 응결지연제를 혼입한 콘크리트(RTD(0.3)) 시험체도 이와 유사한 경향을 보였으며, 약 30시간 이후부터는 약  $10.2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 로 수렴하는 것으로 나타났다.



(a) 1002×400-OPC / 3002×300-OPC



(b) 3002×300-RTD(0.3)

그림 5. 수화온도 이력과 열팽창 보정 전·후의 자기수축 이력

본 연구에서는 실측값에 의해 유추된 추세를 활용하여 경과시

간에 따른 열팽창계수를 산출하였으며, 그 결과는 표 4에 나타난 바와 같다. 이와 같이 산출된 열팽창계수를 활용하여 초기에 측정된 자기수축에 대한 열팽창 보정을 실시하였다.

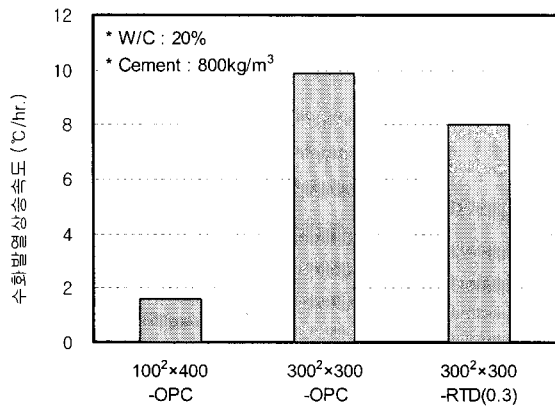


그림 6. 수화발열상승속도

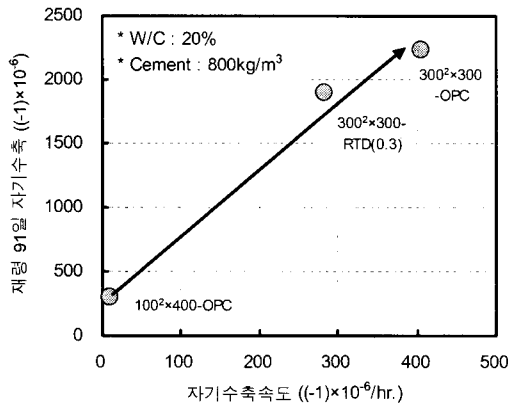


그림 7. 자기수축속도와 재령 91일 자기수축

### 3.2 열팽창 보정한 자기수축 및 수화발열 특성

그림 5는 측정된 수화온도 이력과 열팽창 보정 전·후의 자기수축을 나타낸 것이다.

최고 수화온도의 경우 300<sup>2</sup>×300-OPC 시험체는 최고온도가 73°C로 측정되었으며, 100<sup>2</sup>×400-OPC 시험체의 최고온도가 32°C에 비해 약 2.3배 증가하였다. 300<sup>2</sup>×300-RTD(0.3) 시험체의 최고수화온도는 67.7°C로 측정되었으며, 300<sup>2</sup>×300-OPC에 비해 약 5°C 감소하였다.

그림 6은 수화발열상승속도 산정결과를 나타낸 것으로, 100<sup>2</sup>×400-OPC 시험체는 1.59°C/hr.인 반면 300<sup>2</sup>×300-OPC 시험체는 약 6배 증가한 9.90°C/hr.로 산정되었다. 300<sup>2</sup>×300-RTD(0.3) 시험체의 수화발열상승속도는 8.01°C/hr.로 산정되었으며, 수화지연효과에 의해 300<sup>2</sup>×300-OPC 시험체의 약 81% 수준으로 감소하였다.

열팽창 보정 전·후의 자기수축을 살펴보면, 100<sup>2</sup>×400-OPC 시험체의 경우 보정 후 자기수축은 보정전의 자기수축의 약 1.1배 값을 나타내었다. 반면 매스부재를 고려한 300<sup>2</sup>×300-OPC, 300<sup>2</sup>×300-RTD(0.3) 시험체의 보정

후 자기수축은 보정 전에 비해 각각 약 3.6배, 3.7배 증가하는 것으로 나타났다.

그림 7은 자기수축속도와 재령 91일 자기수축량을 나타낸 것이다. 열팽창 보정 후 재령 91일 자기수축의 경우, 100<sup>2</sup>×400-OPC 시험체는 -312×10<sup>-6</sup>인 반면 300<sup>2</sup>×300-OPC 시험체는 -2,260×10<sup>-6</sup>으로 약 7.2배 정도 증가하는 것으로 나타났다. 300<sup>2</sup>×300-RTD(0.3) 시험체의 경우 -1,928×10<sup>-6</sup>로 300<sup>2</sup>×300-OPC 시험체에 비해 약 15% 감소하였다.

자기수축속도의 경우 100<sup>2</sup>×400-OPC 시험체는 -9.4×10<sup>-6</sup>/hr.로 산정된 반면, 300<sup>2</sup>×300-OPC 시험체는 약 43배 증가한 -405×10<sup>-6</sup>/hr.로 산정되었다. 300<sup>2</sup>×300-RTD(0.3) 시험체의 자기수축속도는 -283×10<sup>-6</sup>/hr.로 300<sup>2</sup>×300-OPC 시험체의 약 70% 수준으로 감소하였다.

## 4. 결 론

본 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 고강도 매스 콘크리트의 경우 초기 수화열을 고려한 열팽창 보정 후의 자기수축은 보정 전에 비해 약 3~4배 증가하였다.
- (2) 300<sup>2</sup>×300-OPC 시험체의 종국자기수축은 표준 시험체인 100<sup>2</sup>×400-OPC 시험체에 비해 약 7배 증가하는 것으로 나타나, 향후 매스콘크리트의 자기수축을 평가할 시에는 초기 고온이력에 대한 보정이 필요할 것으로 사료된다.
- (3) 응결지연제를 사용할 경우, 고강도 매스콘크리트의 수화발열상승속도 및 최고수화온도, 자기수축속도 및 종국자기수축이 저감하는 것으로 나타났다.

### 감사의 글

이 논문은 2007년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구(R01-2007-000-11142-0)이며, 연구자의 일부는 2단계 BK21 사업의 지원비를 받은 바, 이에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

1. 김규용, 이의배, 구경모, 최형길, 「초기재령 고강도콘크리트의 수화발열과 자기수축 특성의 상관관계에 관한 기초적 연구」, 콘크리트학회 논문집 Vol.20, No.5, pp. 593-600, 2008
2. 한천구, 강수태, 고정택, 한창평, 「공시체 크기 변화 및 철근구속에 따른 고성능콘크리트의 수축특성」, 한국콘크리트학회 논문집, 제18권 1호, 13-19, 2006
3. 日本コンクリート工学協会, 「自己収縮研究委員会報告書」, 1996