

시험체 형상에 따른 고강도 콘크리트의 수화열 및 자기수축 초기특성 분석

Effects of Specimen Shape on Hydration Heat and Autogenous shrinkage at an early

이 의 배** 구 경 모* 김 영 선** 김 영 덕** 김 규 용*** 김 무 한****

Lee, Eui Bae Koo, Kyung Mo Kim, Young Sun Kim, Young Duck Kim, Gyu Yong Kim, Moo Han

ABSTRACT

Hydration heat and autogenous shrinkage are generated essentially by the same hydration. Many researchers have studied the close relationship between hydration temperature and autogenous shrinkage but hardly any research has been undertaken to explain the specific numerical relation. In this study, early age properties of hydration heat and autogenous shrinkage of specimen whose section size was changed were analyzed, and relationship between hydration heat and autogenous shrinkage was investigated.

In the results of the study, inner temperature and autogenous shrinkage increased as the section size increased. And rise and rise ratio of hydration temperature and autogenous shrinkage in hydration heating section and autogenous shrinking section are increased too. Temperature rise and autogenous shrinkage rise increased respectively, as hydration heating velocity and autogenous shrinking velocity increased. And autogenous shrinkage rise and autogenous shrinking velocity increased as hydration heating velocity increased.

요 약

수화열 및 자기수축은 동일한 수화반응에 의해 필연적으로 발생하는 현상으로서 여러 연구자들에 의해 수화온도와 자기수축의 깊은 상관성은 언급되어 왔으나, 아직까지 수화온도와 자기수축의 구체적인 관계에 대한 연구보고는 거의 없는 실정이다. 이에 본 연구에서는 시험체의 단면크기를 달리하여 초기 수화발열 및 자기수축의 특성을 구체적으로 분석한 후, 내부 수화온도와 자기수축의 상관성을 검토하였다.

그 결과, 시험체 단면이 증가할수록 전체적인 내부온도와 자기수축은 증가하였으며, 수화발열상승구간 및 자기수축증가구간에서 발생하는 수화온도 상승량 및 상승률, 자기수축 증가량 및 증가율은 증가하였다. 수화발열상승속도 및 자기수축증가속도가 증가할수록 구간에서 발생하는 수화온도상승량과 자기수축증가량은 증가한 반면, 수화온도상승률과 자기수축증가율은 유사하게 나타났으며, 수화발열상승속도가 증가할수록 자기수축증가구간의 자기수축증가량과 자기수축증가속도는 증가하였다.

* 정회원, 충남대학교, 건설재료·시공학연구실, 석사과정

** 정회원, 충남대학교, 건설재료·시공학연구실, 박사과정

*** 정회원, 충남대학교, 건축학부, 조교수

**** 정회원, 충남대학교, 건축학부, 명예교수

1. 서 론

수화열 및 자기수축은 콘크리트의 초기 특성을 나타내는 기본적인 성질인 동시에 동일한 수화반응에 의해 필연적으로 발생하는 현상으로서 서로 밀접한 상관성이 존재한다.

이미 Bjøntegaard Ø.¹⁾는 자기수축의 크기와 증가율은 콘크리트 결합재의 구성과 온도이력에 의해 크게 영향을 받는다고 보고하였으며, T. HORITA²⁾는 시멘트페이스트의 초기수축 및 팽창은 내부온도의 상승과 매우 유사한 경향을 보이는 것으로 보고하였다. 또한, A. Loukili³⁾는 상면을 제외한 모든 면을 간이단열 처리한 모르타르 시험체를 대상으로 위치에 따른 내부온도와 자기수축을 측정하였으며, 그 결과 표면부에 비해 중앙부는 수화온도뿐만 아니라 자기수축도 크게 증가함을 보였다. T. SHIMA⁴⁾는 콘크리트의 최고온도가 높을수록 자기수축은 크게 발생하며, 이에 근거하여 실제구조물에서는 수화열 등에 의한 부재 내부 온도차로 인해 부재 내외부에 큰 자기수축의 차가 발생할 것으로 예상된다고 보고하였다.

이와 같이 여러 연구자들에 의해 수화온도와 자기수축의 깊은 상관성은 언급되어 왔으나, 아직까지 수화온도와 자기수축의 구체적인 관계에 대한 연구보고는 거의 없는 실정이다. 이에 본 연구에서는 시험체의 단면크기를 달리하여 초기 수화발열 및 자기수축의 특성을 구체적으로 분석한 후, 내부 수화온도와 자기수축의 상관성을 검토하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

표 1은 본 연구의 실험계획을 나타낸 것으로, 우선 시험체 크기는 10×10×40cm, 15×15×40cm, 30×30×30cm의 3수준을 설정하였으며, 15×15×40cm 시험체의 경우 콘크리트와 모르타르의 2종류를 제작하였다. 시험체 제작 후 양생은 온도 20±2℃ 및 습도 60±5%의 조건하에서 실시하였으며, 30×30×30cm 시험체는 매스부재를 상정하여 10cm 두께의 발포폴리스티렌보드로 간이단열처리하였다.

2.2 사용재료 및 배합

표 2는 본 실험에 사용된 배합을 나타낸 것이며, 실험에 사용된 재료의 특성을 표 3에 나타낸 바와 같다.

2.3 시험체 제작 및 측정방법

시험체는 KS F 2586에 준하여 제작하였으며, 온도 및 자기수축의 측정을 위해 매립형 게이지(KM-100BT)를 매립하여 제작하였다. 측정은 시험체 제작 후 실시하였으며, 측정간격은 10분으로 설정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1은 재령 3일까지 측정된 수화온도와 자기수축 이력곡선을 나타낸 것이다. 전반적으로 수화온도가 높을수록 자기수축 또한 높게 발현되고 있으며, 수화온도가 급격히 증가하는 구간과 변곡점 이후 자기수축이 급격히 증가하는 구간의 시점이 유사하게 나타났다.

표 1. 실험계획

Size (cm)	Type	Curing condition
10×10×40	Concrete	Temperature : 20±2℃ Humidity : 60±5%
15×15×40	Concrete	
	Mortar	
30×30×30	Concrete	Semi-adiabatic

표 2. 배합

W/C (%)	Slump-flow (mm)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)			
			W	C	S	G
20	650±50	0.47	160	800	664	781

표 3. 사용재료

Materials	Physical and chemical properties
Cement	<ul style="list-style-type: none"> Ordinary portland cement Density : 3.15g/cm³, Fineness : 3,770cm²/g
Fine aggregate	<ul style="list-style-type: none"> Desalting sand Max size : 5mm, Density : 2.54g/cm³, F.M. : 3.05, Absorption ratio : 1.01
Coarse aggregate	<ul style="list-style-type: none"> Crushed aggregate Max size : 20mm, Density : 2.65g/cm³, F.M. : 6.02, Absorption ratio : 1.39
Admixture	<ul style="list-style-type: none"> Polycarboxylic acid type

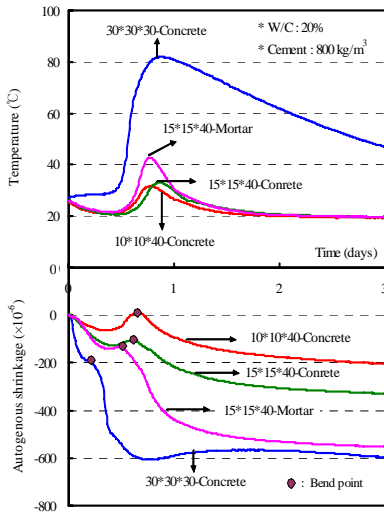


그림 1. 수화온도 및 자기수축

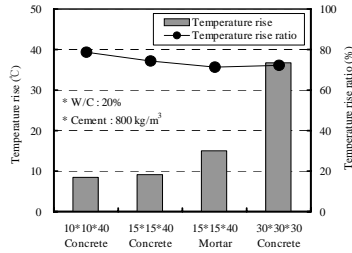


그림 2. 수화온도 상승량 및 상승률

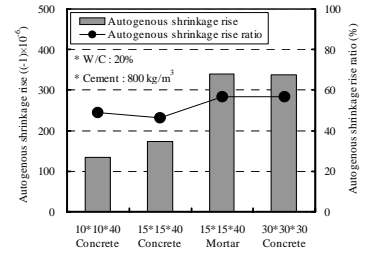


그림 3. 자기수축 증가량 및 증가율

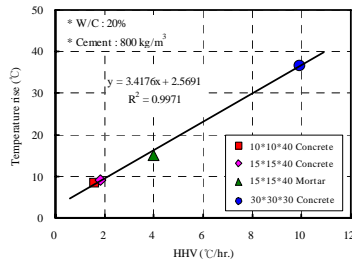


그림 4. 수화발열상승속도와 수화온도 상승량

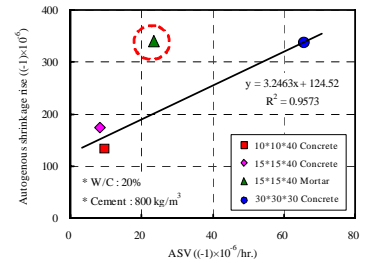


그림 5. 자기수축증가속도와 자기수축 증가량

표 3. 분석결과

	Hydration heating section						Autogenous shrinking section					
	Initial point		Last point		Regression analysis		Initial point		Last point		Regression analysis	
	Time (hr.)	Temp. (°C)	Time (hr.)	Temp. (°C)	Regression equation	HHV ¹⁾ (°C/hr.)	Time (hr.)	Shrink-age (x10 ⁻⁶)	Time (hr.)	Shrink-age (x10 ⁻⁶)	Regression equation	ASV ²⁾ (x10 ⁻⁶ /hr.)
10×10×40 Concrete	11.50	21.3	16.67	29.7	y=1.91+1.59x	1.59	16.67	7	29.67	-126	y=147-9.69x	-9.69
15×15×40 Concrete	13.50	21.4	18.50	30.6	y=-4.47+1.83x	1.83	15.00	-107	36.17	-281	y=-1.32-8.33x	-8.33
15×15×40 Mortar	13.00	23.4	16.83	38.5	y=-30.3+3.98x	3.98	12.17	-133	28.33	-473	y=140-23.5x	-23.5
30×30×30 Concrete	5.5	25.8	9.7	62.5	y=-34.7+9.90x	9.90	5.0	-137	11.3	-475	y=210-65.7x	-65.7

1) HHV : Hydration heating velocity, 2) ASS : Autogenous shrinking velocity

본 연구에서는 이 구간의 특성을 보다 구체적으로 검토하기 위해 선행연구⁵⁾에서 제안한 방법으로서 분석을 실시하였으며, 그 결과는 표 3에 나타난 바와 같다.

그림 2는 수화발열상승구간에서 발생하는 수화온도 상승량 및 최대온도상승량에 대한 상승률을 나타낸 것이며, 그림 3은 자기수축증가구간에서 발생하는 자기수축 증가량 및 28일 자기수축에 대한 증가율을 나타낸 것이다. 수화온도상승량 및 자기수축증가량은 단면이 클수록 증가하며, 모르타르가 콘크리트에 비해 크게 나타났다. 수화온도상승률과 자기수축증가율도 이와 비슷한 경향을 보였으나 그 범위는 각각 약 71~78%, 46~56%로 비교적 작게 나타났다.

그림 4는 수화발열상승속도와 수화온도상승량의 관계를 나타낸 것이며 그림 5는 자기수축증가속도와 자기수축증가량의 관계를 나타낸 것으로, 전반적으로 수화발열상승속도와 자기수축증가속도가 증가할수록 수화온도상승량과 자기수축증가량은 증가하는 경향을 보였다.

그림 6은 수화발열상승속도와 수화온도상승률, 그림 7은 자기수축증가속도와 자기수축증가율의 관계를 나타낸 것으로 속도와 상관없이 증가율은 유사한 수준을 보였다.

그림 8 및 그림 9는 각각 수화발열상승속도와 자기수축증가량, 수화발열상승속도와 자기수축증가속

도의 관계를 나타낸 것으로, 서로 비례적인 관계를 보이고 있으며 매우 높은 상관성을 나타내었다.

4. 결론

1) 시험체 단면이 증가할수록 전체적인 내부온도와 자기수축은 증가하였으며, 수화발열 상승구간 및 자기수축증가구간에서 발생하는 수화온도 상승량 및 상승률, 자기수축 증가량 및 증가율은 증가하였다.

2) 수화발열상승속도 및 자기수축증가속도가 증가할수록 구간에서 발생하는 수화온도상승량과 자기수축증가량은 증가한 반면, 수화온도상승률과 자기수축증가율은 유사하게 나타났다.

3) 수화발열상승속도가 증가할수록 자기수축증가구간의 자기수축증가량과 자기수축증가속도는 증가하는 것으로 나타났다.

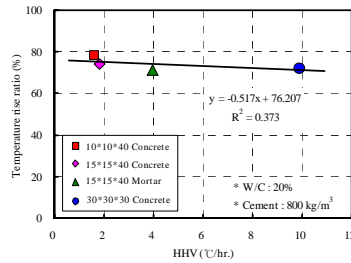


그림 6. 수화발열상승속도와 수화온도 상승률

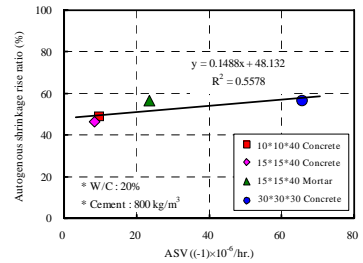


그림 7. 자기수축증가속도와 자기수축 증가율

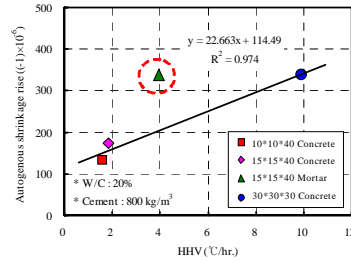


그림 8. 수화발열상승속도와 자기수축증가량

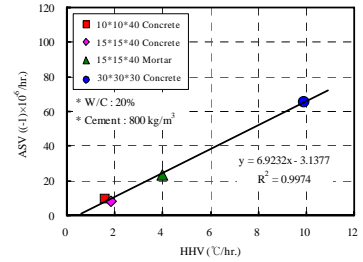


그림 9. 수화발열상승속도와 자기수축증가속도

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.

참고문헌

1. Bjøntegaard Ø., Sellevold E.J. and Hammer T.A., High Performance Concrete at Early Ages: Selfgenerated Stresses Due to Autogenous Shrinkage and Temperature, In the Int. Semina : Self-desiccation and its Importance in Concrete Technology, Lund, Sweden, 1997, pp. 1-7
2. T. HORITA and T. NAWA, A Study on Autogenous Shrinkage of Cement Mixes, J. Struct. Constr. Eng., AIJ 542, 2001, pp. 9-15
3. A. Loukili, D. Chopin, A. Khelidj and J. L. Touzo, A new approach to determine autogenous shrinkage of mortar at an early age considering temperature history, Cement and Concrete Research 30, 2000, pp. 915-922
4. SHIMA Tsuyosi, MATSUDA Taku, KOIDE Takao, KAWAKAMI Hiroshi, SUZUKI Yasunori and NISHIMOTO Yoshikatsu, Autogenous Shrinkage Characteristic of Ultra High-Strength Concrete Cured under High Temperature (Part1. Experimental Result and Shrinkage Decrease Effect by Expansive Admixture), Proceeding of the architectural research meetings of AIJ (2006) 69-70
5. 이의배, 이형준, 구경모, 나철성, 김규용, 김무한, 콘크리트 수화발열 및 자기수축 특성의 정량적 분석을 위한 통계적 방법, 한국콘크리트학회 2008년도 봄 학술발표회 논문집, 2008, pp. 645-648