



콘크리트 단열온도 상승량에 미치는 시험체 용적의 영향

배준영¹⁾ · 조성현²⁾ · 신경준¹⁾ · 김윤용^{1)*}

¹⁾충남대학교 토목공학과 ²⁾한일시멘트 테크니컬센터

The Influence of Specimen Volume on the Adiabatic Temperature Rise of Concrete

Jun-Young Bae,¹⁾ Sung-Hyun Cho,¹⁾ Kyung-Joon Shin,²⁾ and Yun-Yong Kim^{2)*}

¹⁾Hanil Cement Technical Center, Daejeon 306-802, Korea

²⁾Dept. of Civil Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

ABSTRACT To secure the thermal crack resistance of mass concrete, researches and the field applications of low heat portland cement (LPC), ternary blended cement (TBC) which is produced by blending ordinary portland cement with blast furnace slag and fly ash, and early strength low heat blended cement (EBC) increased in recent years. Although the model for adiabatic temperature rise is necessary for estimating the risk of thermal cracking of concrete structures, sufficient data have not been accumulated for these mixtures. In addition, the differences in adiabatic test results have been reported for the volume of test specimens. Therefore, the present study evaluated the characteristics of adiabatic temperature rise based on the type of binder and the volume of the adiabatic test specimen. Test results indicated that the maximum temperature rise (Q_{∞}) and the reaction factor (r) of TBC were the lowest. Test results also showed that Q_{∞} and r changed with respect to the volume of test specimen. Q_{∞} and r obtained from 6l equipment were lower than those of 50l equipment. Therefore, corrections with respect to this phenomenon was confirmed and the corrections factors are presented.

Keywords : adiabatic temperature rise, blended cement, maximum rise temperature, reaction factor

1. 서 론

매스콘크리트 구조물은 콘크리트 타설 후 양생초기에 발생하는 내·외부 온도차 또는 온도하강에 의해 유발된 외부구축이 온도응력을 야기하므로 구조물에 유해한 균열을 발생시킬 수 있다.^{1,4)} 온도응력에 의한 균열은 매스콘크리트의 설계 및 타설 계획단계에서 수화열 해석에 의해 사전에 검토할 수 있다. 수화열 해석 결과에 영향을 미치는 요인으로는 콘크리트의 단열온도 상승량, 열전달률, 비열, 대류계수, 콘크리트 온도, 외기온도 등이 있다.⁵⁾ 특히 콘크리트 단열온도 상승량은 수화열 해석 결과에 현저한 영향을 미친다.

현행 콘크리트 표준시방서 제18장 매스콘크리트 편에는 보통, 중용열, 조강, 고로슬래그 및 플라이애쉬 시멘트 배합의 단열온도 상승량을 추정할 수 있도록 표준값이 제시되어 있다.²⁾ 그러나 최근 대형 토목구조물의 경우

부재가 크고 1회 타설되는 콘크리트 양이 많기 때문에 시방서에 제시되어 있는 결합재만을 사용하여 수화열에 의한 온도균열을 제어하기에 한계가 있다. 이에 대한 대책의 일환으로 4종 저열포틀랜드시멘트(low heat portland cement: LPC)를 결합재로 사용하는 연구와 현장 적용이 활발히 이루어지고 있다.⁶⁻⁸⁾ 또한 콘크리트 구조물 건설시 환경부하를 줄이기 위해 1종 보통포틀랜드시멘트(ordinary portland cement: OPC)에 산업부산물인 고로슬래그미분말(blast furnace slag: BFS)과 플라이애쉬(fly ash: FA)를 일정비율로 혼합한 삼성분계 저발열시멘트(ternary blended cement: TBC)도 적극적으로 사용되고 있다.^{9,10)} 이와 더불어 TBC에 고분말 BFS와 무수석고 및 알칼리자극제 등을 혼합하여 조기강도 발현 성능을 보완한 형태의 조강형 저발열시멘트(early strength low heat blended cement: EBC)의 사용도 증가하고 있다.^{11,12)} 이와 같이 콘크리트 표준시방서에 회귀식이 제시되어 있지 않은 결합재는 단열온도 상승시험을 통해 단열온도 상승량을 도출해야 한다.

국내외 단열온도 상승시험 관련 규격 및 지침 등은 마련되어 있지 않은 실정이며, 2009년도 개정된 콘크리트 표준시방서 해설편에서 단열 시험체 용적을 50l 이상으

*Corresponding author E-mail : yunkim@cnu.ac.kr

Received March 22, 2012, Revised July 10, 2012,

Accepted August 20, 2012

©2012 by Korea Concrete Institute

로 하도록 명기하고 있을 뿐이다.¹³⁾ 한편 국내에서 사용되고 있는 콘크리트용 단열온도 상승시험 장비는 대부분 일본 등에서 수입되고 있으며, 단열 시험체 용적에 따라 6 및 50 l 장비가 주종을 이루고 있다. 특히 6 l 장비는 비빔 콘크리트의 양이 적어 사용이 편리하므로 50 l 장비에 비해 연구단계 또는 현장 품질관리에서 많이 사용되고 있다. 그러나 50 l 장비에 비해 단열온도 상승양이 상대적으로 적게 측정될 수도 있다고 알려져 있어¹⁴⁾ 단열 시험체 용적에 따른 검토가 필요하다.

따라서 이 연구에서는 결합재 종류 및 단열 시험체 용적이 콘크리트 단열온도 상승양에 미치는 영향을 검토하여 향후 매스콘크리트 연구단계 또는 현장 품질관리에서 기초자료로 제시하고자 하였다.

2. 콘크리트의 발열량 측정

시멘트의 수화발열과정을 통한 콘크리트 단면 내의 온도분포는 콘크리트의 초기 성능을 평가하는데 중요한 역할을 하며, 다음 식 (1)과 같이 편미분 방정식을 이용하여 수치적으로 결정할 수 있다.

$$k\nabla^2 T + q = \rho C \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

여기서,

k : thermal conductive (W/m·K)

C : specific heat (kJ/kg·K)

ρ : density (kg/m³)

T : $T(x, y, z, t)$ temperature of concrete (°C)

q : $q(x, y, z, t, T)$ rate of heat generated inside the body (kJ/m³·h)

콘크리트의 내부 발열량인 q 를 결정하기 위한 방법에는 용해열법이나 전도형 미소열량계를 이용하여 시멘트의 수화열을 측정해 이것으로부터 콘크리트의 발열량을

환산하는 방법과 단열온도 상승시험 장비를 이용하여 콘크리트의 발열상태를 직접 측정하는 방법이 있다. 전자는 일정 온도 하에서 시멘트 수화열을 측정하기 때문에 측정치에 대한 여러가지 보정을 통해 콘크리트의 발열상태를 추정해야 하고 최대 단열온도 상승양 및 반응계수를 과소평가하고 있다는 문제점이 지적되고 있는 반면, 후자는 측정이 간단하고 측정치를 그대로 매스콘크리트의 온도해석에 적용할 수 있다는 장점을 가지고 있다.¹⁵⁾

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획

Table 1은 결합재 종류 및 단열 시험체 용적에 따른 콘크리트 단열온도 상승양을 검토하기 위한 실험계획이다.

결합재 종류는 OPC, LPC, TBC, EBC를 사용하였으며, 콘크리트의 단위결합재량은 300, 400, 500 kg/m³로 3수준으로 하였다. 또한 배합수를 포함한 각각의 원재료는 20°C 항온실에 보관하여 콘크리트의 타설온도를 일정하게 맞추어 실험을 실시하였다. 목표 슬럼프는 150±25 mm, 목표 공기량은 4.5±1.5%로 각각 설정하였으며, 이를 만족하는 범위에서 화학혼화제의 양을 조절하여 투입하였다.

실험항목으로는 6 l 및 50 l 단열 시험체 용적에 따른 콘크리트 단열온도 상승시험을 실시하여 최대 단열온도 상승양(Q_{∞}) 및 반응계수(r)를 구하였다. 이를 통하여 배합별 단열 시험체 용적에 따른 결과값의 상관관계를 검토하였다.

3.2 사용재료

Table 2는 이 연구에 사용된 각 재료의 물리·화학적 특성이다. LPC는 국내 S사 제품을, OPC, TBC, EBC는 국내 H사의 제품을 사용하였다. 잔골재는 표준밀도 2.59,

Table 1 Experimental plan and mix proportion

Binder type	Adiabatic specimen volume (l)	W/B (%)	Slump (mm)	Air (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)				Test items
						W	B	S	G	
OPC	6 50	53.3	150±25	4.5±1.5	47	160	300	870	1011	Adiabatic temperature rise (Q_{∞} , r)
		40.0			46	160	400	814	985	
		32.0			45	160	500	759	956	
53.3		47			160	300	873	1014	Correlation between 6 l and 50 l adiabatic temperature rise test	
40.0		46			160	400	817	989		
32.0		45			160	500	763	961		
TBC		53.3			47	160	300	858		997
		40.0			46	160	400	798		966
		32.0			45	160	500	740		932
EBC		53.3			47	160	300	858	997	
		40.0			46	160	400	798	966	
		32.0			45	160	500	740	932	

Table 2 Properties of materials

Material	Properties
Ordinary portland cement	Specific gravity : 3.15 Blaine : 3475 cm ³ /g Ignition loss : 2.15
Low heat portland cement	Specific gravity : 3.22 Blaine : 3500 cm ³ /g Ignition loss : 1.90
Ternary blended cement	Specific gravity : 2.88 Blaine : 3810 cm ³ /g Ignition loss : 1.20
Early strength low heat blended cement	Specific gravity : 2.89 Blaine : 3802 cm ³ /g Ignition loss : 0.07
Fine aggregate	River sand, 5.0 mm F.M : 3.06, SG : 2.59
Coarse aggregate	Crushed stone, 25 mm F.M : 7.06, SG : 2.67
Admixture 1	Polynaphthalene sulfonates based pH : 6.0, SG : 1.20
Admixture 2	Polycarboxylic acid based pH : 6.5, SG : 1.05

흡수율 1.57%인 강모래를 사용하였고, 굵은골재는 조립을 7.06, 흡수율 0.40%인 25 mm 부순골재를 사용하였다. OPC 배합은 비중 1.20인 나프탈렌계 표준형 AE감수제를 사용하였으며, LPC, TBC, EBC 배합은 비중 1.05인 폴리카르본산계 고성능 감수제를 사용하였다.

3.3 실험 방법

콘크리트 배합은 Fig. 1과 같은 two-shaft twin mixer를 사용하였으며, 결합재와 골재를 투입하고 30초간 건비빔을 실시한 후, 물과 화학혼화제를 투입하고 90초간 비빔을 실시하였다.

콘크리트의 단열온도 상승시험은 Fig. 2와 같은 일본의 T사 장비를 사용하여 실시하였다. 콘크리트가 단열 상태를 유지할 수 있도록 열량을 공급하는 장비 본체는 Fig. 2(a)와 같으며, 단열 시험체의 용적을 달리하기 위해 사용된 각기 다른 용적의 시험체 용기는 Fig. 2(b)와



Fig. 1 Two-shaft twin mixer

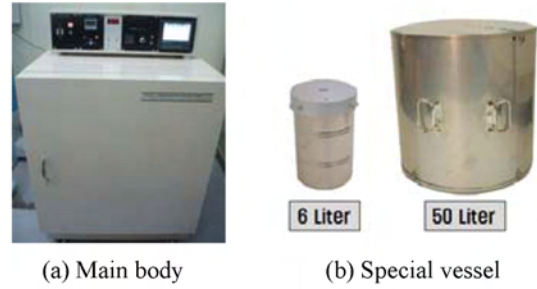


Fig. 2 Adiabatic temperature rise apparatus

같다. 실험 결과는 식 (2)와 같은 지수함수 형태로 나타낼 수 있으며, 콘크리트의 Q_{∞} 과 r 를 각각 구하였다.

$$Q(t) = Q_{\infty}(1 - e^{-rt}) \tag{2}$$

여기서,

- T : temperature rise at time t , °C
- K : maximum temperature rise, °C
- α : reaction factor, °C/Hr
- t : time, day

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 결합재 종류에 따른 단열온도 상승량

Fig. 3은 단위결합재량별 결합재 종류에 따른 50 l 단열 온도 상승시험 결과 및 콘크리트 표준시방서(Korea concrete standard specification: KCSS)에 준한 회귀곡선을 나타낸 것이다. Table 3은 실험 결과를 이용하여 식 (2)에서의 Q_{∞} 및 r 를 추정하기 위한 결합재별 계수값을 제시한 것이다. 이 계수값은 이 연구에서 수행한 한정된 실험 데이터를 기반으로 얻은 것이다. Fig. 4는 단위결합재량별 결합재 종류에 따른 Q_{∞} 및 r 결과를 나타낸 것이다.

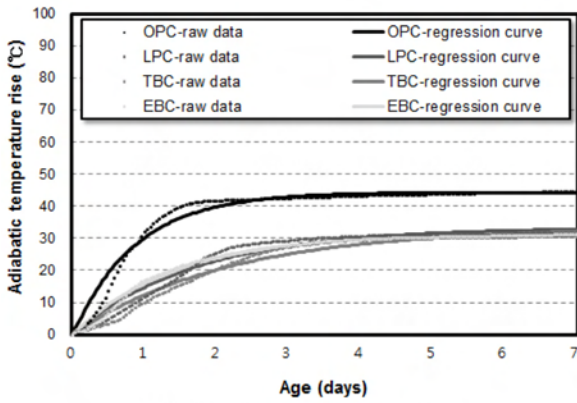
모든 단위결합재량에서 OPC, LPC, TBC, EBC 배합 순으로 Q_{∞} 가 큰 것으로 나타났다. 그러나 TBC와 EBC 배합은 모든 단위결합재량에서 Q_{∞} 의 차이가 5.7~5.9%로 미미하게 나타났다.

r 의 경우 모든 단위결합재량에서 OPC, EBC, LPC, TBC 배합 순으로 크게 나타나, 콘크리트의 단열온도 상승 반응계수는 TBC 배합이 가장 작은 것으로 나타났다. 특히 이 가장 작게 나타난 EBC 배합은 TBC 배합보다

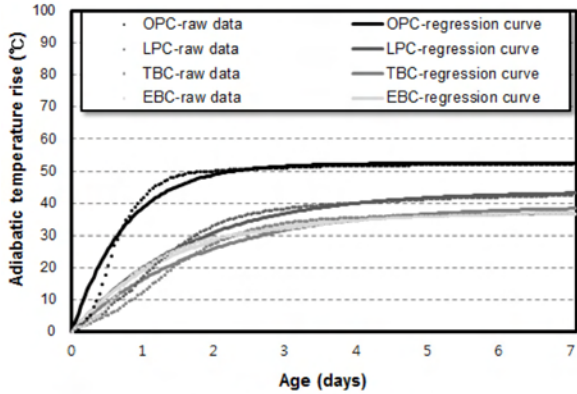
Table 3 Coefficients for estimating adiabatic temperature

Binder type	Concreting temperature (°C)	$Q(t) = Q_{\infty}(1 - e^{-rt})$			
		$Q_{\infty}(C) = aC^* + b$		$r(C) = gC^* + h$	
		a	b	g	h
OPC	20	0.0765	21.500	0.0022	0.481
LPC		0.1085	0.567	0.0005	0.440
TBC		0.0720	11.233	0.0010	0.164
EBC		0.0675	10.700	0.0005	0.561

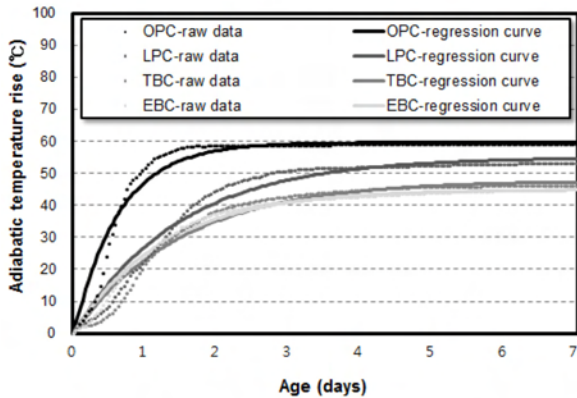
*C is binder content per unit volume of concrete, kg/cm³



(a) Unit weight of binder: 300kg/m³



(b) Unit weight of binder: 400kg/m³



(c) Unit weight of binder: 500kg/m³

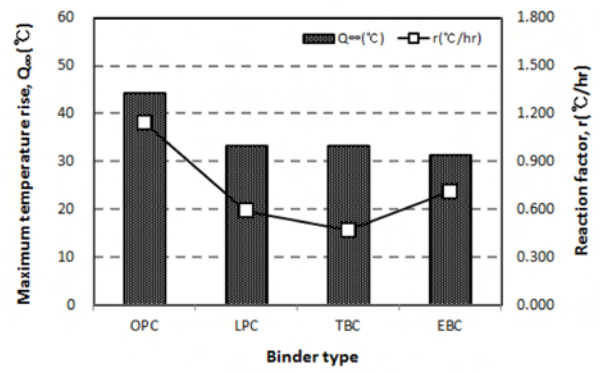
Fig. 3 Results of 50 l adiabatic temperature rise test by binder types

r 가 20.7~51.8% 크게 측정되었다. 최근 건설현장에서 공기단축을 목적으로 EBC를 결합재로 사용하여 조기강도를 확보하는 사례가 빈번한데, TBC에 비해 r 가 크기 때문에 사전에 충분한 검토를 통한 결합재 선택이 필요할 것으로 판단된다.

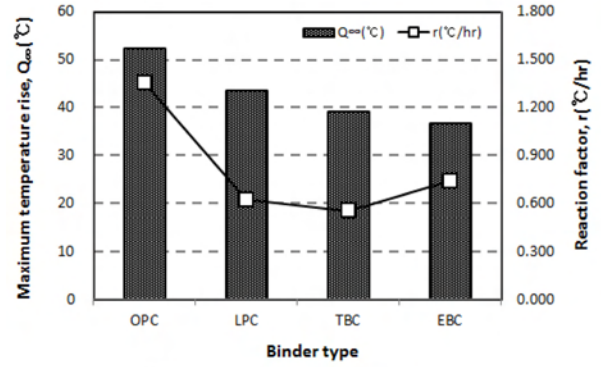
4.2 단위결합재량에 따른 단열온도 상승량

Fig. 5는 결합재 종류에 따른 50 l 단열온도 상승시험 결과를 단위결합재량에 따라 나타낸 것이다.

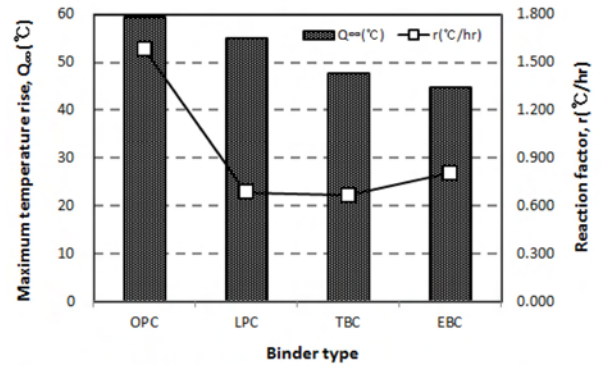
모든 결합재별 배합에서 단위결합재량이 증가함에 따라 Q_{∞} 도 커지는 경향으로 나타났다. 특히 LPC 배합은



(a) Unit weight of binder: 300kg/m³



(b) Unit weight of binder: 400kg/m³



(c) Unit weight of binder: 500kg/m³

Fig. 4 Adiabatic temperature rise test results

단위결합재량 증가에 따른 Q_{∞} 증가량이 상대적으로 크게 나타났지만, OPC, TBC, EBC는 단위결합재량이 증가함에 따른 Q_{∞} 증가량이 비교적 일정하게 나타났다.

r 의 경우도 모든 결합재별 배합에서 단위결합재량이 증가할수록 커지는 경향으로 나타났다. 특히 OPC 배합은 단위결합재량 증가에 따른 r 상승이 상대적으로 가파르게 나타났다. 이는 메스콘크리트 적용시 내외부 온도차 발생을 크게 유발할 수 있으므로 사용에 주의가 필요할 것으로 판단된다. LPC, TBC, EBC 배합은 단위결합재량 상승에 따른 r 상승 기울기가 유사하지만, TBC 배합의 r 가 가장 작은 것으로 나타났다.

4.3 시험체 용적에 따른 단열온도 상승량

Fig. 6은 결합재 종류 및 단위결합재량에 따른 6 l 단열

온도 상승시험 결과이며, Fig. 7은 단열 시험체 용적에 따른 Q_{∞} , Fig. 8은 단열 시험체 용적에 따른 r 를 각각 나타낸 것이다. Table 4는 단열온도 상승시험 결과를 종합하여 정리한 것이다.

Fig. 7과 8을 살펴보면 모든 결합재에서 단위결합재량

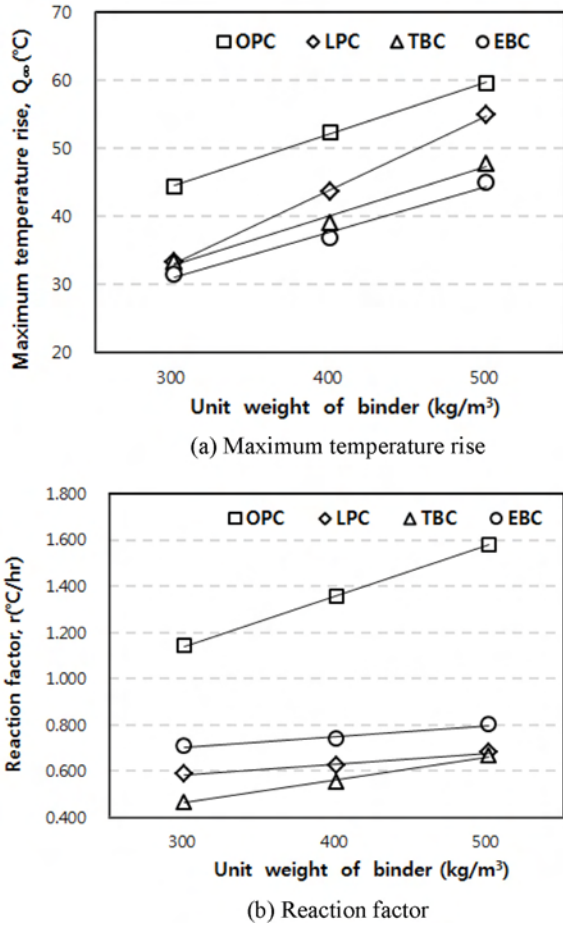


Fig. 5 Adiabatic temperature rise test results

Table 4 Maximum temperature rise and reaction factor obtained from tests

Binder type	Unit weight of binder (kg/m ³)	Maximum temperature rise, Q_{∞} (°C)		Reaction factor, r (°C/hr)	
		① 6 l	② 50 l	① 6 l	② 50 l
OPC	300	37.1	44.3	1.069	1.143
	400	43.1	52.4	1.210	1.357
	500	49.7	59.6	1.406	1.583
LPC	300	27.1	33.3	0.482	0.588
	400	36.9	43.6	0.519	0.623
	500	45.2	55.0	0.560	0.684
TBC	300	26.7	33.3	0.362	0.467
	400	32.2	39.1	0.462	0.553
	500	39.3	47.7	0.559	0.666
EBC	300	25.9	31.4	0.582	0.709
	400	30.7	36.8	0.662	0.740
	500	36.2	44.9	0.689	0.804

이 증가할수록 Q_{∞} 과 r 가 커지는 경향으로 나타났다. 특히 50 l 시험체의 Q_{∞} 과 r 가 6 l 시험체의 경우보다 큰 것으로 나타났다. 이와 같이 단열 시험체 용적이 클수록 Q_{∞} 과 r 가 크게 나타난 것은 단열온도 상승시험 장비의 특징에 기인한 것이라 판단된다.

Fig. 9와 같이 단열온도 상승시험 장비는 콘크리트 중심부의 온도상승을 센서에 의해 계측하고 외측용기를 가열함으로써 단열 조건을 모사한다. 콘크리트 내부에 결합재와 골재가 균일하게 혼합되어 있다고 가정하고, 단열 제어가 완벽하다면 콘크리트의 온도는 전 체적에 걸

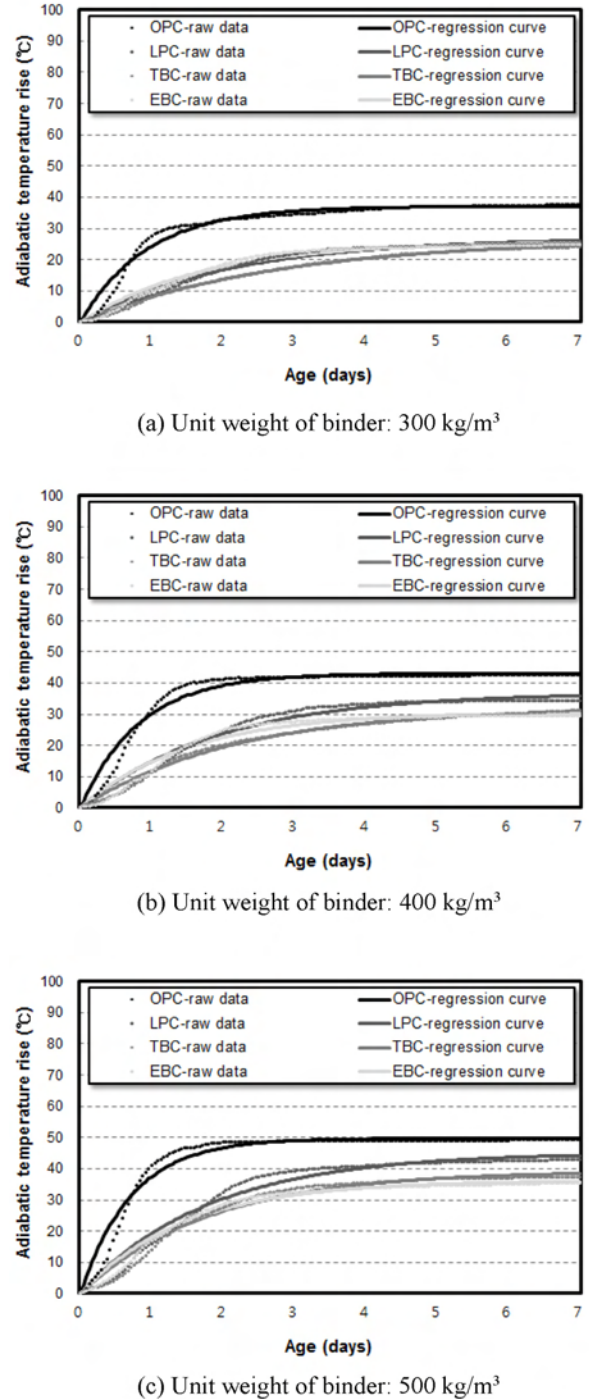
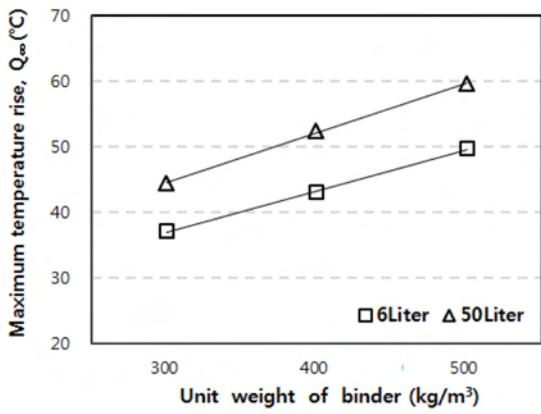
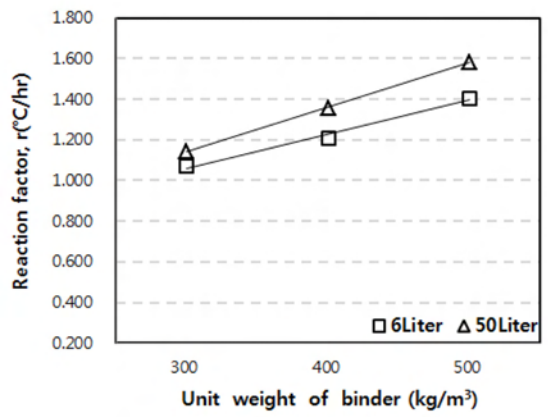


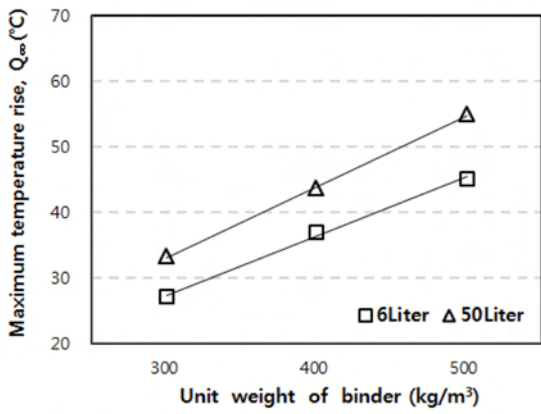
Fig. 6 Results of 6 l adiabatic temperature rise test by binder types



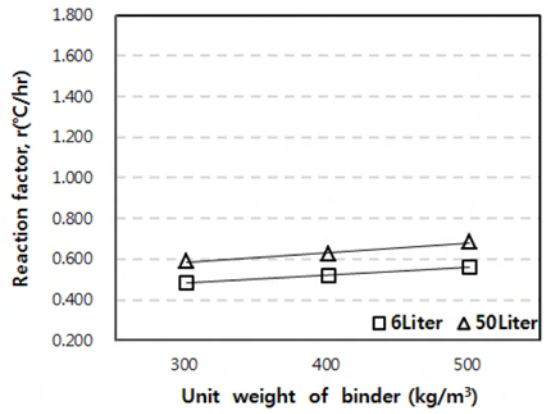
(a) OPC



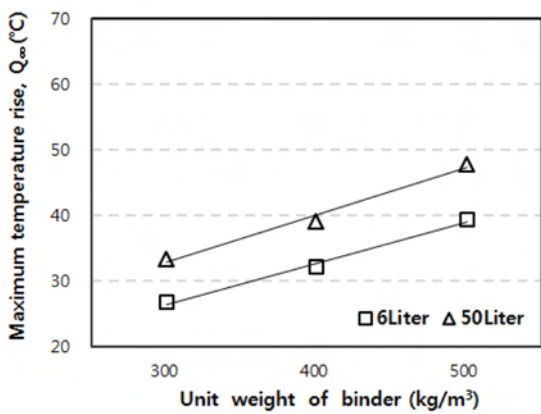
(a) OPC



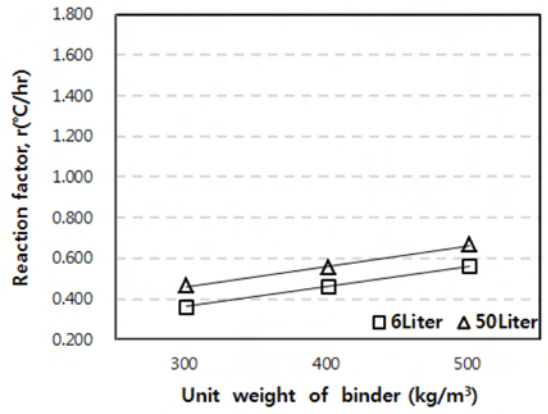
(b) LPC



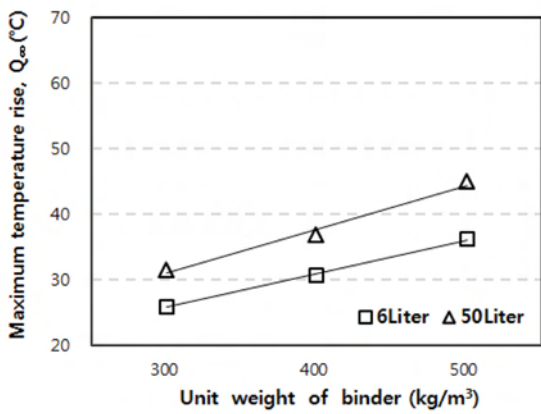
(b) LPC



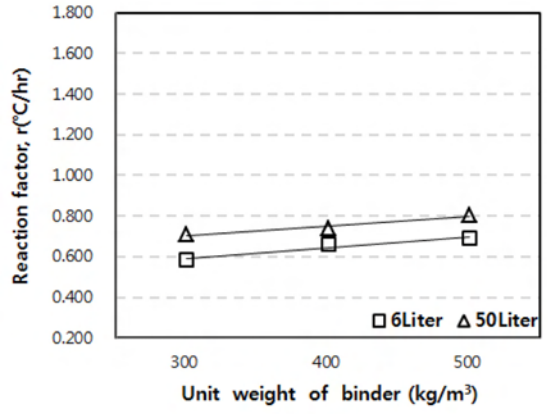
(c) TBC



(c) TBC



(d) EBC



(d) EBC

Fig. 7 Maximum temperature rise obtained from 6 / and 50 / specimens tests

Fig. 8 Reaction factor obtained from 6 / and 50 / specimens tests

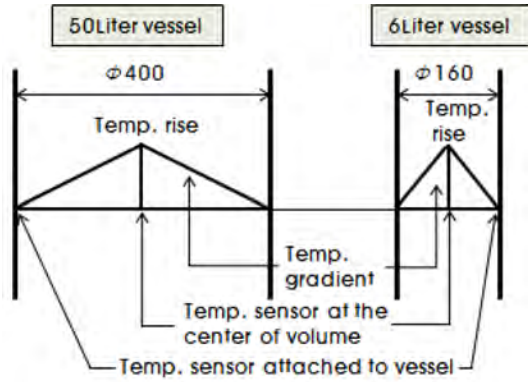


Fig. 9 Comparison of temperature gradients assumed to be linear

쳐 균일하게 나타날 것이다. 그러나 단열기기 외측 용기의 온도를 중앙부와 실시간으로 동일하게 제어한다는 것은 온도 측정 및 제어 오차로 인하여 불가능하다.¹⁴⁾ 따라서 장비는 외측 용기 온도를 중앙부 온도보다 약간 낮게 제어하여 단열상황을 모사한다. 50 l 용기의 치수는 $\phi 400 \times h 400$ mm이며, 6 l 용기의 치수는 $\phi 160 \times h 230$ mm이기 때문에 동일한 온도차가 발생한다고 가정하면 용적이 작은 시험체일수록 중심부 콘크리트와 외측 용기와의 온도 기울기가 크게 나타난다. 따라서 6 l 시험체에 더 큰 열손실이 발생하고 Q_{∞} 과 r 가 낮게 측정된 것으로 판단된다.

4.4 시험체 용적에 따른 단열온도 상승량의 상관관계

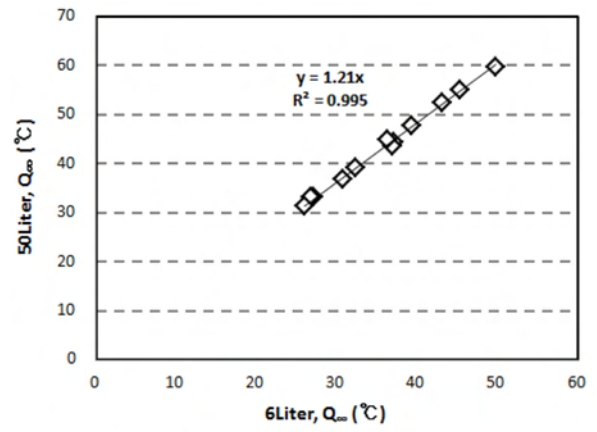
Fig. 10은 결합재 종류 및 단위결합재량에 따른 콘크리트 단열온도 상승량을 단열 시험체 용적에 따라 상관관계로 나타낸 것이다. Fig. 10(a)에서 절편값을 0으로 취하여 추세선을 그리면 $y = 1.21x$ 의 추세식이 도출되며, R-제곱값은 0.995로 상관관계가 매우 높다. 따라서 50 l 시험체에 의한 Q_{∞} 이 6 l에 비해 약 21% 정도 큰 것을 확인할 수 있다. 또한 Fig. 10(b)에서 절편값을 0으로 추세선을 그리면 추세식은 $y = 1.14x$ 로 나타나며, R-제곱값은 0.986으로 Q_{∞} 의 경우와 같이 상관관계가 매우 높은 것을 확인할 수 있다. 따라서 50 l 시험체가 6 l에 의한 보다 약 14% 정도 큰 것을 확인할 수 있다.

이상의 상관관계를 이용하면, 50 l와 6 l 시험체를 혼용하여 품질관리를 하는 경우 혹은 기초 연구단계에서, 비교적 시험이 간편한 6 l 시험체에 의한 결과로 단열온도 상승량을 예측하는 참고자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

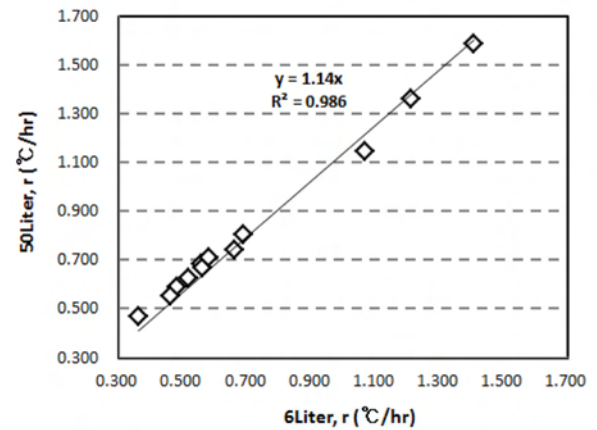
5. 결 론

결합재 종류 및 단열 시험체 용적에 따른 단열온도 상승량을 검토한 결과는 다음과 같다.

- 1) 결합재 종류에 따른 단열온도 상승시험 결과, Q_{∞} 은 EBC 배합이, r 는 TBC 배합이 가장 작은 것으로 나타났다.



(a) Maximum temperature rise



(b) Reaction factor

Fig. 10 Correlation between 6 l and 50 l adiabatic temperature rise test results

- 2) 모든 배합에서 Q_{∞} 은 단위결합재량에 비례하여 증가하였으며, LPC 배합을 제외한 모든 배합이 유사한 기울기를 나타내었다. 한편 r 도 단위결합재량에 비례하여 증가하는 경향을 확인하였다.
- 3) 모든 배합에서 6 l 시험체가 50 l 시험체에 비해 Q_{∞} 과 r 가 작은 것으로 나타났다.
- 4) 50 l 시험체는 6 l 시험체에 비해 상대적으로 Q_{∞} 은 약 21%, r 는 약 14% 높은 결과를 보였다. 이러한 경향은 단열온도 상승시험 기기의 온도제어 특징에 기인하는 것으로 판단된다.
- 5) 이상의 단열 시험체 용적에 따른 상관관계를 이용하면, 6 l 시험체에 의한 결과로 50 l 시험체의 단열온도 상승량을 예측할 수 있어, 현장 콘크리트 품질관리 및 기초 연구단계에서 참고자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.
- 6) 향후 단열 시험체 용적에 따른 열손실을 이론적으로 추정하는 연구 및 다양한 결합재에 대한 단열온도 상승식을 제시하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가

원(KETEP)의 지원을 받아 수행된 연구과제(201016101004J)로 지원에 감사드립니다. 또한 이 연구의 일부는 나라셀렉주식회사의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Kang, S. H., Jeong, H. J., and Park, C. L., "Evaluation on the External Restraint Stress in Mass Concrete," *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 8, No. 5, 1996, pp. 111-122.
2. Korea Concrete Institute, *Standard Concrete Specification—Chapter 18 Mass Concrete*, Kimoonang Publishing Company, Seoul, Korea, 2009, pp. 202-216.
3. Baek, D. L. and Kim, M. S., "Application of Heat Pipe for Hydration Heat Control of Mass Concrete," *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 20, No. 2, 2008, pp. 157-164.
4. Cha, S. W. and Jang, B. S., "Thermal Stresses of Roller Compacted Concrete Dam Considering Construction Sequence and Seasonal Temperature," *Journal of the Korean Society of Civil Engineering*, Vol. 28, No. 6A, 2008, pp. 881-891.
5. Yoon, D. Y., Yang, O. B., and Min, C. S., "Finite Element Analysis on Heat of Hydration with Reinforcing Steel Bars," *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 17, No. 1, 2005, pp. 43-49.
6. Lee, K. C., Cho, J. W., Jung, S. H., and Kim, J. J. H., "Study on Hydration Heat of Blended Belite Binder," *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 23, No. 2, 2011, pp. 145-150. (doi: <http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2011.23.2.145>)
7. Kwon, Y. H., "Optimum Mix Proportion of the High Strength and Self Compacting Concrete Used Above-Ground LNG Storage Tank," *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 23, No. 1, 2011, pp. 99-107. (doi: <http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2011.23.1.099>)
8. Park, C., Kim, D. S., Um, T. S., and Lee, J. R., "Manufacture standardization of High Strength Concrete to Use Moderate Heat Portland Cement," *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, Vol. 20, No. 1, 2008, pp. 665-668.
9. Song, H. W., Lee, C. H., Lee, K. C., Kim, J. H., and Ann, K. Y., "Chloride Penetration Resistance of Ternary Blended Concrete and Discussion for Durability," *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 20, No. 4, 2008, pp. 439-449.
10. Lim, C. K., Cho, Y. G., Ha, J. H., Hyun, T. Y., and Kim, J. H., "An Experimental Study on The Resistance to Chloride Ion Penetration in High Durability Ternary Blended Concrete," *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, Vol. 23, No. 2, 2011, pp. 193-194.
11. Shin, I. G., Ha, S. W., Kim, D. S., Kim, J. B., Cho, S. H., and Choi, Y. M., "Field Application of Concrete Using Low Heat Cement of High Early Strength," *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, Vol. 23, No. 2, 2011, pp. 373-374.
12. Kim, M. W., Son, H. J., Kim, K. M., Park, S. J., Han, M. C., and Han, C. G., "The Effect of Composition Change of Binder on High Early Strength Low," *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, Vol. 23, No. 1, 2011, pp. 325-326.
13. Korea Concrete Institute, *Standard Concrete Specification and Commentary—Chapter 18 Mass Concrete*, Kimoonang Publishing Company, Seoul, Korea, 2010, 362 pp.
14. Hagiwara, S., *Development of High Performance Adiabatic Temperature Rise Measuring System for Long Term Measurement*, Tokyo Riko Co., Ltd., 2008, pp. 21-26.
15. Hyun, J. Y., "Development of Experimental Equipment for Thermal Stress in Mass Concrete," M. S. Thesis, Korea Advanced Institute of Science and Technology, 2000, 60 pp.

요 약 최근 대형 매스콘크리트 구조물의 온도균열 저감을 위해 저열 포틀랜드시멘트(LPC), 삼성분계 저발열시멘트(TBC) 및 조강형저발열시멘트(EBC)에 대한 다양한 연구와 현장적용이 이루어지고 있다. 콘크리트 구조물의 온도균열 검토를 위해서는 단일온도 예측모델이 필수적이지만, 아직 많은 종류의 배합에 대한 자료가 축적되어 있지 않으며, 단일온도 상승 시험체의 용적에 따른 결과 차이가 보고되고 있다. 따라서 이 연구에서는 결합재 종류 및 단일 시험체 용적에 따른 단일온도 상승시험을 수행하고 배합별 최대 단일온도 상승량과 반응계수를 분석 제시하였다. 실험 결과, TBC 배합의 최대 단일온도 상승량(Q_{∞}) 및 반응계수(r)가 가장 작은 것으로 나타났다. 또한 단일 시험체 용적에 따라 Q_{∞} 과 r 가 다르게 나타났으며, 50 l 시험체에 의한 측정 결과가 6 l보다 일정하게 높은 상관관계를 나타냈다. 이상의 상관관계를 이용하면, 6 l 시험체에 의한 결과로 50 l 시험체의 단일온도 상승량을 예측할 수 있어 현장 콘크리트 품질관리 및 기초 연구단계에서 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 단일온도 상승, 혼합시멘트, 최대 단일온도 상승량, 반응계수