

Fundamental characteristics of high early strength low heat concrete according to mineral binder and high early strength material combination

Kyoungmin Kim and Hojung Son^{*,†}

Architectural Technology Research Team, Suwon 440-210, Korea

*Korea Concrete Testing Laboratory, Ansan 426-220, Korea

(Received December 9, 2013)

(Revised December 23, 2013)

(Accepted January 10, 2014)

Abstract This study analyzed the fundamental characteristics of concrete according to a ternary system mixing in order to reduce hydration heat of mass concrete and to improve early age strength. The results are as follows. The fluidity of unconsolidated concrete satisfied the target scope regardless of the binder conditions. When the replacement ratio between FA and BS increased, the slump of low heat-A mix and low heat-B mix increased, and air content was not affected by the change of binders. As for setting time, low heat cement mix had the fastest regardless of W/B, and high early strength low heat mix achieved 6 hours' reduction compared with low heat-B mix at initial set, and 12 hours' reduction at the final set respectively. As for the simple hydration heat, the low mix peak temperature was the highest and low heat-B mix had the lowest temperature. And high early strength low heat mix was similar with that of low heat-B. The compressive strength of hardened concrete had similar strength scope in all mixes except for low heat-B mix at early ages, and had unexceptionally similar one without huge differences at long-term ages.

Key words Early age strength, Low heat cement, Heat of hydration, Mass concrete

광물질 결합재 및 조강형 재료 조합에 따른 조강형 저발열 콘크리트의 기초적 특성

김경민, 손호정^{*,†}

대우건설기술연구원, 수원, 440-210

*한국콘크리트시험원, 안산, 426-220

(2013년 12월 9일 접수)

(2013년 12월 23일 심사완료)

(2014년 1월 10일 게재확정)

요약 본 연구에서는 매스콘크리트의 수화열 저감 및 초기강도 향상을 목적으로 3성분계 배합에 따른 콘크리트의 기초적 특성을 분석하였는데 결과를 요약하면 다음과 같다. 굳지 않은 콘크리트의 물성은 목표범위를 모두 만족하는 것으로 나타났다. 응결시간은 W/B와 관계없이 저열 시멘트 배합이 가장 빠른 것으로 나타났고, 간이 수화열은 저열 배합의 피크 온도가 가장 높은 것으로 나타났고, 저발열-B 배합이 가장 낮은 온도를 나타내었으며, 조강형 저발열 배합은 저발열-B와 유사한 것으로 나타났다. 경화 콘크리트의 압축강도는 초기재령에서 저발열-B 배합을 제외한 모든 배합이 유사한 강도 범위를 나타내었고, 장기 재령에서는 큰 차이 없이 유사한 강도 범위를 나타내었다.

1. 서론

도심지의 건축물은 지가 상승과 건설기술의 발달 등으

로 말미암아 대형화, 고층화 및 고심도화가 진행되고 있다. 이에 따라 건축물의 기초 공사는 직접기초 및 말뚝 기초 등으로 활용되어 오던 것이 부채 단면이 큰 매스 콘크리트를 활용한 매트기초로 시공하는 사례가 일반화 되고 있다. 그러나 매스 콘크리트를 사용하는 매트 기초 공사에서는 콘크리트 구조물 중심부와 표면부의 온도차에 의하여 균열이 발생하고, 또한, 수화 발열 시 팽창된

[†]Corresponding author

Tel: +82-31-283-1892

Fax: +82-31-419-1893

E-mail: sonmr50@daum.net

구조체가 냉각되는 과정에서 외부 구속에 의한 관통 균열이 발생하는 문제점을 가지고 있다[1].

매스콘크리트의 수화열에 의한 균열을 저감하기 위한 방법으로는 콘크리트의 온도저감방법, 온도응력을 완화시키는 방법 및 온도응력에 대한 저항력을 증대시키는 방법 등이 주를 이루고 있고[5], 최근에는 별도의 추가공정 없이 수화열에 의한 균열 문제를 해결하기 위한 방법으로 재료적 차원에서 혼화재를 활용한 연구가 주를 이루고 있다[3]. 그러나 이러한 방법들 중 일부는 고가의 공사비와 별도의 전문적인 관리가 요구되어 지고, 다량의 혼화재를 혼합함에 따라 초기강도 저하 및 중성화에 취약하여 사용에 있어 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 다량의 혼화재를 사용한 콘크리트의 초기강도 저하 문제점을 해결하기 위한 기초 연구로 초기강도 발현을 위한 기능성 혼화재를 조합한 콘크리트 기초적 특성을 분석하여 실무공사현장에서 수화열 저감 및 초기강도 향상을 기대할 수 있는 조강형 저발열 콘크리트를 개발하고자 한다[4, 6].

2. 실험계획 및 방법

2.1. 실험계획

본 연구의 실험 계획은 Table 1과 같고, Table 2는 실험에 적용한 배합사항을 나타낸 것이다. 즉, 실험 요인으로 W/B 35, 45, 55 % 3수준에 대하여, 최근 실무에서 주로 적용되고 있는 저발열 배합으로 시멘트(이하 OPC), 고로슬래그 미분말(이하 BS), 플라이애시(이하 FA)를 조합 사용한 저발열-A, 저발열-B 2수준, 특수 목적 구조물에 적용되는 저열 시멘트와 FA를 사용한 배합 1수준 및 기존 저발열 배합에 초기강도 발현 성능이 추가된 조강형 저발열 배합 1수준으로 총 12수준을 실험계획하였고, 슬럼프는 150 ± 25 mm, 공기량은 4.5 ± 1.5 %의 범위를 만족하도록 배합 설계하여 실험 변수 별로 동일하게 적용하였다.

이때, 조강형 저발열 콘크리트 배합은 미분시멘트(이하 FC)와 조강형 결합재(이하 Ma) 및 석회석 고미분말(이하 FLP)을 사용하였고, 각 재료들을 사전에 프리믹스

Table 1
Experiment plan

Factors		Levels
Experiment factors	W/B (%)	35, 45, 55
	Slump (mm)	150 ± 25
	Air contents (%)	4.5 ± 1.5
	Binder	<ul style="list-style-type: none"> · Low heat-A (OPC : BS : FA = 50 : 30 : 20) · Low heat-B (OPC : BS : FA = 30 : 40 : 30) · Low heat cement (Low heat cement : FA = 85 : 15) · High early strength low heat (OPC + FC : BS + Ma : FA + FLP = 30 : 40 : 30)
Test items	Fresh concrete	<ul style="list-style-type: none"> · Slump · Air content · Setting time · Hydration heat
	Hardened concrete	<ul style="list-style-type: none"> · Compressive strength

Table 2
Mix proportions

W/B (%)	Kind of binder	Binder ratio (%)			S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)					
		C	BS	FA		W	C	BS	FA	S	G
35	Low heat-A	50	30	20	45	165	235	141	94	723	873
	Low heat-B	30	40	30			141	188	141	723	873
	Low heat cement	85	-	15			400	-	70	723	873
	High early strength low heat	30	40	30			141	188	141	723	873
45	Low heat-A	50	30	20	47	175	183	110	73	775	937
	Low heat-B	30	40	30			110	110	146	775	937
	Low heat Cement	85	-	15			311	-	55	775	937
	High early strength low heat	30	40	30			110	110	146	775	937
55	Low heat-A	50	30	20	47	175	159	95	63	819	912
	Low heat-B	30	40	30			95	127	95	819	912
	Low heat cement	85	-	15			270	-	47	819	912
	High early strength low heat	30	40	30			95	127	95	819	912

Table 3
Physical properties of OPC

Kind of cement	Density (g/cm ³)	Blaine (cm ³ /g)	Soundness (%)	Setting time (Min)		Compressive strength (MPa)		
				Ini.	Fin.	3d.	7d.	28d.
OPC	3.15	3 302	0.18	260	315	20.4	29.4	41.3
Low heat cement	3.20	3 543	0.08	265	5:07	14.9	23.7	51.3

* Blast furnace slag cement

Table 4
Chemical properties of BS

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Chemical Ingredient (%)							
		LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O
2.90	4 063	-1.37	32.32	16.43	1.70	38.17	9.01	3.48	0.25

하여 사용하였다.

실험 사항으로는 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프, 공기량, 응결시간 및 수화열을 측정하였고, 경화 콘크리트에서는 재령 별 압축강도를 측정하는 것으로 실험 계획하였다.

2.2. 실험재료

본 실험에서 사용한 재료로 시멘트는 국내 A사의 보통 포틀랜드 시멘트와 저열 시멘트를 사용하였고 물리적 성질은 Table 3과 같다, 결합재로서 BS, FA, FC, Ma, FLP

Table 5
Chemical properties of FA

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	LOI	SiO ₂ (%)	습분 (%)
2.20	3 538	0.23	5.26	1.95

Table 6
Chemical properties of FC

Blaine (cm ² /g)	Chemical ingredient (%)								
	LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	
7 530	1.39	20.13	4.73	4.45	60.90	1.88	4.54	1.83	

Table 7
Chemical properties of Ma

Blaine (cm ² /g)	Chemical ingredient (%)								
	LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	
5 684	10.77	25.92	12.03	1.25	41.30	4.58	3.40	0.63	

Table 8
Chemical properties of FLP

Blaine (cm ² /g)	Chemical Ingredient (%)								
	LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	
9 069	36.14	9.92	3.71	2.60	44.01	1.58	0.76	1.20	

는 모두 국내 S사 및 A사의 제품을 사용하였고, 물리·화학적 성질은 Table 4~Table 8과 같다. 골재로 잔골재는 충북 옥산산 강모래와 충북 진천에서 생산되는 부순 모래를 6:4의 비율로 혼합하여 사용하였고, 굵은 골재는 화성에서 생산되는 굵은 골재를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 9와 같다. 화학 혼화제로 감수제는 PC계를 사용하였고, AE제는 국내 음이온계를 사용하였다.

2.3. 실험방법

본 연구의 실험 방법으로 콘크리트의 혼합은 트윈샤프트 믹서를 사용하였고, 굳지 않은 콘크리트의 시험으로

Table 9
Physical properties of aggregate

Aggregate	Density (g/cm ³)	Fineness modulus (%)	Absorption (%)	Unit volume weight (kg/m ³)
Fine Wash sand	2.56	2.85	1.02	1518
agg. Crushed sand	2.70	2.95	1.02	1684
Coarse agg.	2.68	6.55	0.95	1564



Fig. 1. Examination image.

슬럼프는 KS F 2402, 공기량 및 단위용적질량은 KS F 2421 및 2409, 응결시간은 KS F 2436 및 간이수화열시험은 Fig. 2와 같이 직접시험법으로 각 배합 조건에 따라 배합한 콘크리트 시험체를 제작하고, 열전대선을 시험체 중앙에 매설한 후 두께 100 mm의 단열재로 6면을 밀봉하여 온도이력계에 의해 7일간의 온도변화를 측정하였다. Fig. 1은 수화열 시험 모습을 나타낸 것이다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1. 굳지 않은 콘크리트의 특성

3.1.1. 유동성

Fig. 2는 결합재 조합에 따른 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프를 나타낸 것이다. 먼저, 결합재 조건에 관계 없이 모든 배합에서 목표 범위를 만족하였고, FA 및 BS 치환율이 높을수록 저발열-A와 저발열-B의 슬럼프치가 큰 것으로 나타났는데, 이는 결합재 중 FA의 불베어링 작용과 BS의 입자표면이 시멘트입자표면에 비하여 치밀하고 매끈함에 따라 페이스트와 골재 계면과의 마찰이 작아지는 복합 작용에 기인한 것으로 사료된다. 한편, 조강

형 저발열 배합의 경우는 W/B에 관계없이 여타의 배합에 비하여 유동성이 다소 저하하는 것으로 나타났는데, 이는 FC와 FLP의 높은 분말도에 의한 영향으로 인하여 유동성이 상대적으로 작아지는 것으로 사료된다.

3.1.2. 공기량

Fig. 3은 결합재 조합 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 공기량을 나타낸 것이다. 결합재 조합 변화에 따른 공기량은 배합에 따라 다소 차이를 보였으나 그 차이가 미미하여 결합재 변화에 따른 영향은 없는 것으로 판단되며 모두 목표 범위인 4.5 ± 1.5 %의 범위를 만족하여 실무 적용에 있어 큰 문제가 없을 것으로 사료된다.

3.1.3. 응결시간

Fig. 4는 W/B 및 결합재 종류 별 경과시간에 따른 관입 저항치를 나타낸 것이다.

전반적으로 W/B가 증가할수록 응결시간은 지연되는 것으로 나타내는데, 배합에 따른 응결시간은 W/B와 상관없이 저열 시멘트의 경우가 초결시간 6~12시간, 종결시간 12~13시간으로 가장 빠른 것으로 확인되었고, 조강형 저발열 배합은 중전 저발열-B 배합에 비해 초결은 약 6시간, 종결은 약 12시간 이상 단축되는 것으로 나타났다.

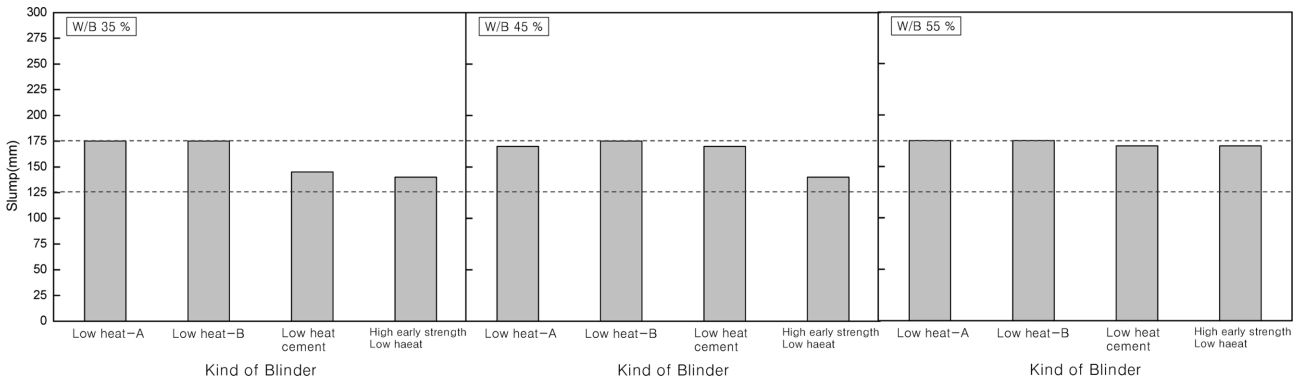


Fig. 2. Slump with kind of binder and W/B.

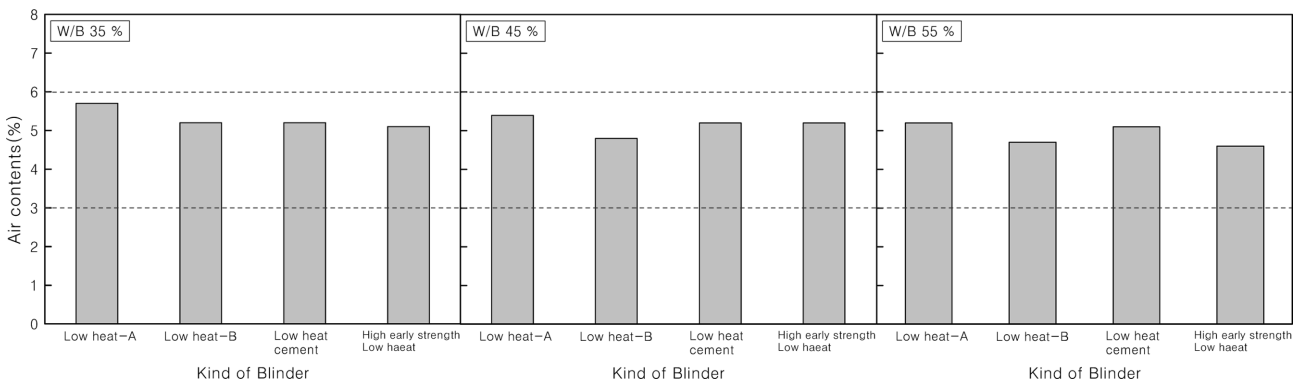


Fig. 3. Air content with kind of binder and W/B.

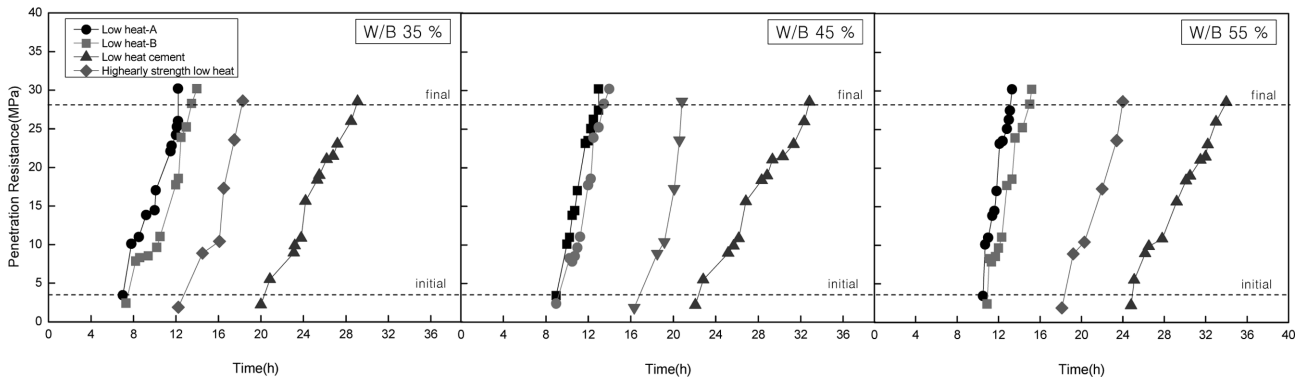


Fig. 4. Penetration resistance according to time binder and W/B.

이는 조강형 저발열 배합의 결합재 조성 종류인 FC 및 Ma의 고분말도에 의한 수화반응 활성화 및 알칼리 자극 등의 영향으로 수화 반응이 촉진됨에 기인한 것으로 사료된다.

3.1.4. 간이수화열

Fig. 5는 W/B 및 결합재 종류 별 경과시간에 따른 간이수화열을 나타낸 것이다.

콘크리트의 수화열은 시멘트 사용량이 비교적 많은 저발열-A 및 저열 시멘트 배합에서 높은 온도 범위를 나타내었고, 시멘트 사용량 및 결합재 비율이 동일한 저발

열-B 및 조강형 저발열 배합의 경우는 유사한 온도 범위를 나타내었다. 즉, W/B 35%에서 콘크리트의 온도는 저열 시멘트 배합의 경우는 53.1°C로 수화열이 가장 높은 것으로 나타났고, 저발열-A 배합의 경우는 43.1°C로 다소 높은 온도를 나타낸 반면, 결합재 비율이 동일한 저발열-B의 경우는 37°C, 조강형 저발열 배합의 경우는 36.2°C로 유사한 온도범위를 나타내었는데 이는 결합재 비율 중 시멘트량 차이에 따른 초기 수화반응에 기인한 것으로 사료된다.

한편, W/B에 따른 간이수화열은 W/B가 커질수록 수화온도가 감소하였고, 전반적인 경향은 W/B 35%와 유

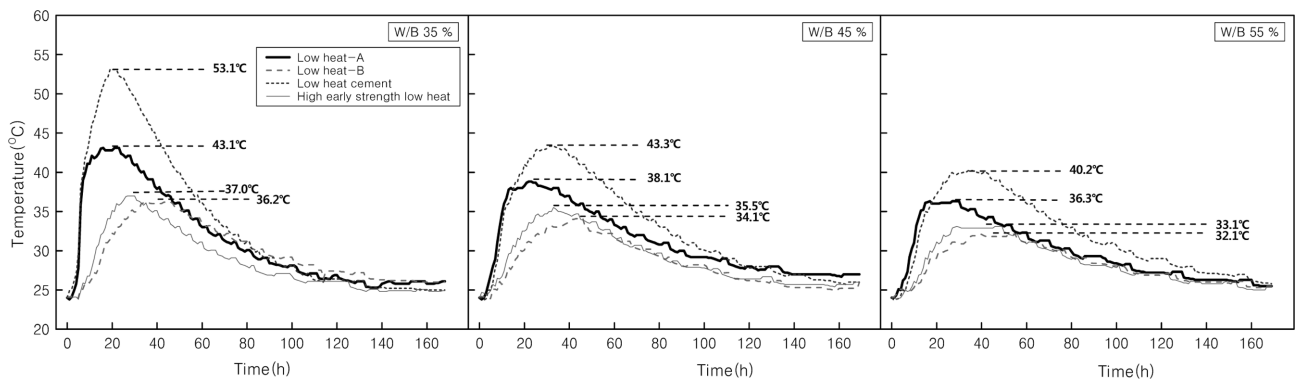


Fig. 5. Temperature according to time binder and W/B.

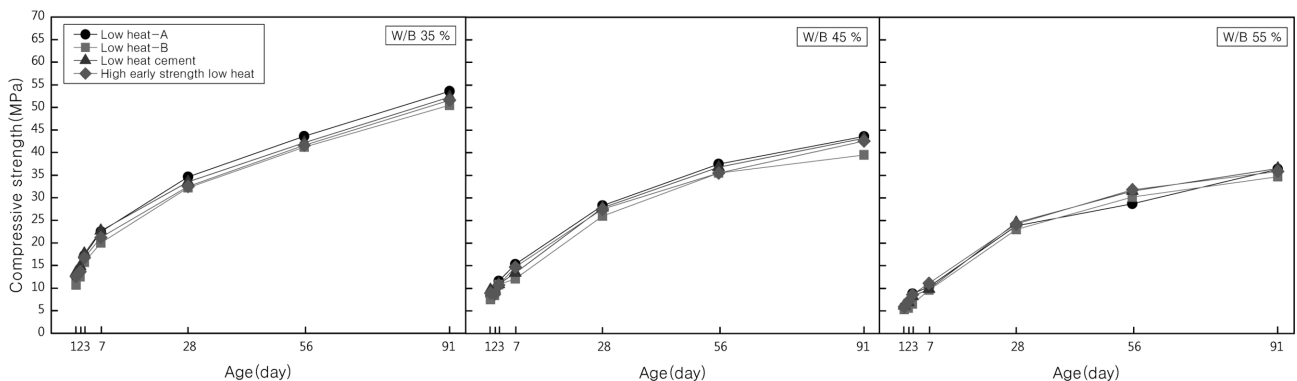


Fig. 6. Compressive strength according to kind of binder and W/B.

사한 것으로 나타났다.

3.2. 경화 콘크리트의 특성

3.2.1. 압축강도

Fig. 6은 W/B 및 결합재 종류 변화에 따른 재령 별 압축강도를 나타낸 것이다. Fig. 7은 재령 1일 압축강도를 비교하여 나타낸 것이다.

먼저 W/B 35%의 압축강도는 초기재령에서 저발열-B를 제외한 저발열-A, 저열 시멘트 배합 및 조강형 저발열 배합 모두 유사한 강도 범위를 나타내었고, 장기재령에서는 모든 배합에서 큰 차이 없이 50 MPa 이상의 강도 범위를 나타내었다. 즉, W/B 35%의 재령 1일 압축강도는 저발열-A가 12.5 MPa, 저열 시멘트 배합이 13.4 MPa, 조강형 저발열 배합이 12.6 MPa를 나타낸 반면, 저발열-B의 경우는 10.7 MPa로 가장 낮은 범위를 나타내었고, 재령 91일 압축강도는 모두 50 MPa 이상으로 유사한 강도 범위를 나타내었는데 이는, 시멘트 사용량이 비교적 많은 저발열-A 및 저열 시멘트 배합에서 초기 강도 발현에 미친 것으로 사료되며, 조강형 저발열 배합의 경우는 FC, Ma 및 FLP를 혼합 사용함에 따라 수화반응 촉진 및 알칼리 자극에 하여 초기 강도 증진에 효과를 보인 것으로 사료된다.

한편 W/B 45% 및 W/B 55%의 압축강도는 W/B가 커짐에 따라 압축강도가 감소하는 것으로 나타났고 결합재 변화에 따른 압축강도는 W/B 35%와 유사한 것을 알 수 있었다.

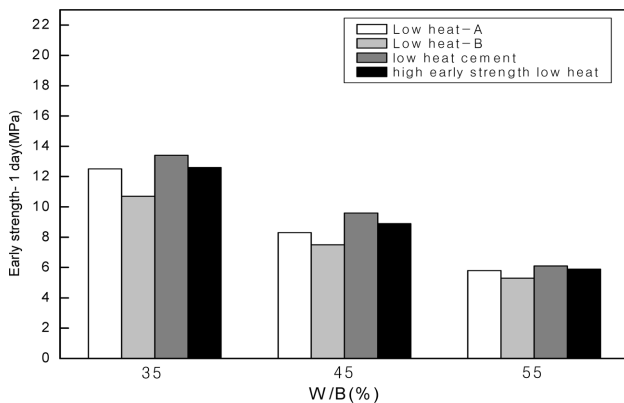


Fig. 7. Early strength according to W/B.

Table 10
Comprehensive analysis

Division	Low heat-A	Low heat-B	Low heat cement	High early strength low heat
Hydration heat	△	◎	△	◎
Early strength	◎	△	○	◎

△ Usually, ○ Good, ◎ Very Good

4. 결 론

본 연구에서는 매스콘크리트의 수화열 저감 및 초기강도 향상을 목적으로 광물질 결합재 조합에 따른 콘크리트의 기초적 특성을 분석하였는데 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 굳지 않은 콘크리트의 유동성 및 공기량은 먼저 슬럼프의 경우 결합재 조건에 관계없이 모두 목표 범위를 만족하였고, FA와 BS 치환율이 높을수록 저발열-A배합과 저발열-B 배합의 슬럼프가 증가하는 것으로 나타났다. 한편, 공기량의 경우는 결합재 변화에 따라 큰 영향 없이 모두 목표 범위를 만족하였다.

2) 콘크리트의 응결시간은 W/B와 관계없이 저열 시멘트를 사용한 배합이 가장 빠른 것으로 나타났고, 조강형 저발열 배합은 저발열-B 배합에 비하여 초결이 약 6시간, 종결이 약 12시간 이상 단축되는 것으로 나타났다.

3) 간이수화열의 경우는 W/B 35%에서 저열 배합의 피크 온도가 53.1°C를, 저발열-A 배합의 경우는 43.1°C로 다소 높은 온도를 나타낸 반면, 결합재 비율이 동일한 저발열-B의 경우는 37.0°C, 조강형 저발열 배합의 경우는 36.2°C로 가장 낮은 온도를 나타내었고, W/B 45% 및 W/B 55%에서 전반적인 경향은 유사하였으며, W/B가 커질수록 적은 분체량으로 인해 수화온도는 감소하는 것으로 나타났다.

4) 경화 콘크리트의 압축강도는 초기재령에서 저발열-B 배합을 제외한 저발열-A, 저열 시멘트 및 조강형 저발열 배합이 모두 유사한 강도 범위를 나타내었고, 장기 재령에서는 큰 차이 없이 유사한 강도 범위를 나타내었다.

참 고 문 헌

- [1] C.H. Chung, S.H. Kang, H.J. Jeong, C.L. Park and B.H. Oh, "A study on the effects of variables in temperature", J. Korea Concrete Institute 6(5) (1994) 203.
- [2] Y.S. Song, C.H. Han, S.H. Kang and S.C. Kim, "A study on the basic properties of concrete and characteristics of blended low heat cement", J. Korea Concrete Institute 10(5) (1998) 177.
- [3] S. Jo and S. Kang, "A study on the properties of artificial aggregates containing bottom ash from the power plant and waste catalyst slag", J. Korean Cryst. Growth Cryst. Technol. 22(4) (2012) 200.
- [4] K.N. Kim, D.M. Woo and H. Park, "The sintering characteristics of fly ash-clay system with mine tailing", J. Korean Cryst. Growth Cryst. Technol. 21(6) (2011) 259.
- [5] C.G. Han, D.B. Jang and C.S. Lee, "Field application on mass concrete of combined coarse particle cement and fly-ash in mat foundation", J. Korea Institute of Building Construction 10 (2010) 11.
- [6] D.B. Jang, "Field application on mass concrete utilized improvement binary blended low heat cement by combined coarse particle cement in mat foundation", J. Architectural Institute of Korea 27 (2011) 197.