

저발열형 Premixed Cement를 사용한 콘크리트의 기초물성 평가 및 수화열 해석에 관한 연구

Fundamental Evaluation and Hydration Heat Analysis of Low Heat Concrete with Premixed Cement

윤지현¹ · 전중규^{1*} · 전찬기² · 김기형³

Ji-Hyun Yoon¹ · Joong-Kyu Jeon^{1*} · Chan-Ki Jeon² · Ki-Hyung Kim³

(Received February 11, 2014 / Revised March 19, 2014 / Accepted March 24, 2014)

This study carried out to evaluate the hydration heat analysis and fundamental characteristics such as air content, slump, compressive strength and dry shrinkage according to concrete with premixed cement, ternary concrete and OPC concrete for using concrete with premixed cement. The results of experiment are founded that concrete with premixed cement have sufficient performances such as workability, compressive strength and dry shrinkage. Also, the results of hydration heat analysis are founded that concrete with premixed cement have more performance than ternary concrete and OPC concrete at a point of view for the quality control such as thermal crack reducing and economic benefit. Therefore, it is desirable that concrete with premixed cement should be used to rise durability performance and convenience of maintenance.

키워드 : 혼합 시멘트, 기초물성, 수화열 해석, 현장적용

Keywords : Premixed cement, Fundamental characteristics, Hydration heat analysis, Field application

1. 서론

최근 국내의 건설 현황을 살펴보면 구조물들은 초고층화 및 대형화되는 추세이며, 또한 특수 환경에 있는 구조물들의 건설도 증가하는 추세이다. 이와 함께 이들 각 구조물에 요구되는 콘크리트 성능도 기존 일반 콘크리트와 달리 고강도, 저발열, 고내구성 등 다양할 뿐만 아니라 시공에 있어 보다 경제적인 시공이 요구되기도 한다.

이러한 다양한 요구 성능에 대응하는 콘크리트를 시공하기 위해서는 보통포틀랜드시멘트만 사용한 콘크리트를 가지고는 해결하기 힘들며, 산업부산물인 플라이애쉬, 고로슬래그미분말, 실리카퓌름 등과 같은 광물질혼화재들을 적절한 비율로 혼합한 콘크리트의 사용이 필요하다.

광물질혼화제이자 산업부산물인 플라이애쉬, 고로슬래그미분말 등을 콘크리트에 혼입하면 장기강도의 증진, 수밀성 향상, 수화발열속도의 저감 및 내구성 향상에 효과가 있어(Lee et al., 2007, Choi et al., 2000), 건설현장에서는 Fig. 1과 같은 높은 수화열에 의한 온도균열의 발생 저감을 위하여 기초 매스콘크리트 구조물, 해양구조물 등에 많이 활용하고 있다(Jeon et al., 2013).

하지만 이러한 광물질혼화재 및 시멘트를 각각 투입하여 콘크리트를 생산할 경우 재료들이 충분히 분산되지 않아 균질하지 못한 콘크리트가 생산되고 이로 인하여 강도 및 내구성의 저하,

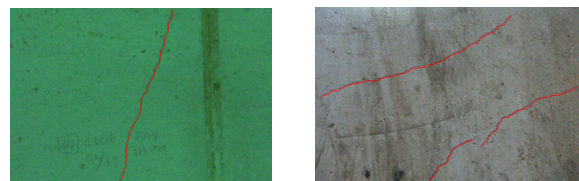


Fig. 1. Examples of thermal cracks due to hydration heat

* Corresponding author E-mail: jkjeon31@kolon.com

¹코오롱글로벌 R&BD Center (R&BD Center, KOLON GLOBAL CORP., Gyeonggi-do, 449-815, Korea)

²인천대학교 도시건설공학과 (Urban and Environmental Engineering Department, University of Incheon, Incheon, 406-772, Korea)

³여주대학교 토목과 (Department of Civil Engineering, Yeosu Institute of Technology, Gyeonggi-do, 469-705, Korea)

Table 1. Mix proportion of concrete

Type	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)								AD (B×%)
			W	C	PreC	BFS	FA	S	CS	G	
OPC	46.0	49.0	174	378	-	-	-	258	603	903	0.8
OSFR	44.8	49.0	165	184	-	110	74	258	602	902	0.8
PreC	44.8	49.0	165	-	368	-	-	257	601	900	0.8

OPC : Ordinary Portland Cement 100%

OSFR : OPC 50% + BFS(Ground Granulated Blast Furnace Slag) 30% + FA(Fly Ash) 20% (with SR(Shrinkage Reducing Agent) 1.0%)

PreC : Premixed Cement 100%

품질편차 발생 등이 문제점으로 나타날 수 있다(Bae et al., 2008). 또한, 낮은 W/B와 높은 단위결합재 양으로 인한 콘크리트의 점성이 증가하여 혼화재 및 시멘트들이 균질하게 분산되지 않을 수 있다(Kim et al., 2008).

이러한 문제들을 해결하기 위해서 콘크리트에 요구되는 성능에 따라 보통포틀랜드시멘트에 각각의 무기질 혼화재들을 일정 비율로 미리 혼합한 Premixed Cement를 사용한 콘크리트가 대안으로 적용될 수 있지만, 이것이 어떠한 측면에서 유리한가에 대한 연구는 많이 부족한 실정이며, 실제 현장에서도 활성화가 된 사례가 부족하다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 시멘트와 광물질혼화재인 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬 등을 미리 혼합한 Premixed Cement를 사용한 콘크리트와 보통포틀랜드시멘트 100%를 사용한 콘크리트, 수축저감제가 혼합된 3성분계 콘크리트에 대하여 기초물성 평가와 수화열 해석을 수행하여 Premixed Cement를 사용한 콘크리트의 현장 적용성을 검토하고자 한다.

2. 기초물성 평가

본 연구에서는 저발열형 Premixed Cement를 사용한 콘크리트의 현장적용을 위한 기초물성 평가로 굳지 않은 콘크리트의 물성 및 경화된 콘크리트의 물성을 평가하고자 한다. 이러한 기초물성 평가는 적용하고자 하는 현장 콘크리트 구조물의 고품질 및 원활한 시공을 위하여 수행하였으며, 이를 통하여 적용하고자 하는 현장의 결합재 종류 및 혼입률에 대한 최적배합을 도출하고자 한다.

2.1 콘크리트 배합 및 사용재료

저발열형 Premixed Cement를 사용한 콘크리트의 기초물성 평가를 위한 콘크리트 배합은 Table 1의 PreC에 나타난 바와 같으며, 현장적용 타당성 검증을 위한 비교군으로 Table 1과 같이

보통포틀랜드시멘트 100%의 배합(OPC)과 3성분계(보통포틀랜드시멘트 50%, 고로슬래그미분말 30%, 플라이애쉬 20%) 배합(OSFR)을 선정하여 기초물성을 비교평가 하였다.

3성분계 배합의 경우, 콘크리트의 건조수축 및 이에 의한 균열 저감 및 억제에 위하여 수축저감제(SR) 1.0%를 혼입하도록 배합을 설정하였다. 또한, Table 1과 같이 선정된 콘크리트 배합의 재령 28일 설계기준강도(f_{ck})는 모두 27.0MPa로 설정하였다.

실험에 사용된 시멘트는 밀도 3.15g/cm³의 시멘트를 사용하였으며, 고로슬래그미분말 및 플라이애쉬는 각각 밀도 2.2, 2.9g/cm³의 제품을 사용하였다. 잔골재는 밀도 2.58g/cm³의 자연사와 밀도 2.6g/cm³의 부순모래를 3:7 비율로 혼합하여 사용하였으며, 굵은골재는 밀도 2.61g/cm³의 부순자갈을 사용하였다.

2.2 실험 방법

기초물성 평가를 위한 굳지 않은 콘크리트의 물성으로 공기량 및 슬럼프 시험은 Fig. 2, 3과 같이 KS F 2421 “압력법에 의



Fig. 2. Slump test



Fig. 3. Air content test



Fig. 4. Compressive strength test



Fig. 5. Dry shrinkage test

한 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험 방법” 및 KS F 2402 “콘크리트의 슬럼프 시험 방법”에 준하여 수행하였으며, 경화한 콘크리트의 물성으로 압축강도 시험은 Fig. 4와 같이 KS F 2405 “콘크리트 압축강도 시험 방법”에 준하여 수행하였다.

또한, 경화한 콘크리트의 건조수축 시험은 KS F 2424 “모르타르 및 콘크리트의 길이 변화 시험 방법”을 참고하여 100×100×400mm의 각주형 시험체를 제작하고, Fig. 5와 같이 시험체 내부에 매립형 스트레인게이지와 데이터 로거를 통해 길이변화를 측정하였다.

2.3 실험 결과 및 분석

2.3.1 슬럼프 및 공기량

Fig. 6, 7은 Table 1에 제시된 콘크리트 배합에 대한 공기량과 슬럼프 측정 결과이다. 모든 배합의 목표 공기량은 4.5±1.5%로 설정하였으며, Fig. 6에서 확인할 수 있듯이, PreC를 포함한 OPC, OSFR 배합 모두 목표 공기량의 오차 범위 내에 만족하는 것으로 나타났다.

Fig. 7에서도 확인할 수 있듯이, 3개의 모든 배합은 목표 슬럼프 150±25mm의 오차범위 내에 만족하는 것으로 나타났다. 이

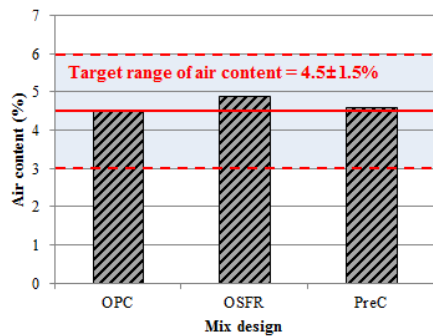


Fig. 6. Results of air content test

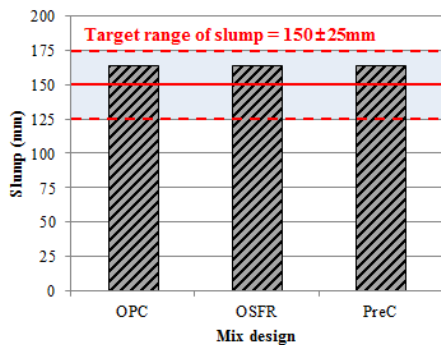


Fig. 7. Results of slump test

상과 같이 Table 1에 제시된 모든 배합은 현장 작업성을 확보하기 위한 분산성 및 유동성을 확보한 것으로 판단된다.

2.3.2 압축강도

광물질혼화재인 고로슬래그미분말과 플라이애쉬가 혼입된 콘크리트는 일반콘크리트에 비해 초기강도는 다소 낮게 나타나지만, 장기재령에서는 잠재수경성 및 포졸란 반응에 의해 강도가 회복된다는 점이 기존의 연구 및 문헌(Yoon et al., 2013)에서 검토된 바 있으며, 본 연구에서는 이를 검토하여 현장적용 타당성을 검증하기 위해 OPC, OSFR 및 PreC 배합에 대하여 3, 7, 28 및 56일 압축강도를 측정하였다.

재령 28일의 콘크리트 설계기준강도(f_{ck})는 27.0MPa이며, 압축강도 측정 결과는 Fig. 8 및 Table 2에 나타난 바와 같다. Fig. 8 및 Table 2에서 확인할 수 있듯이, 재령 3일, 7일 압축강도는 OPC 배합이 가장 우수한 결과를 나타내었으나, 재령 28일 압축강도는 OPC, OSFR 및 PreC 배합이 비교적 동등한 수준을 나타내었으며, 재령 56일 압축강도는 OSFR 배합이 가장 우수한 결과를 나타내었다.

모든 콘크리트의 재령 28일 및 56일 압축강도는 각각 설계기준강도 27.0MPa를 상회하는 결과를 나타내었으며, 본 연구에서

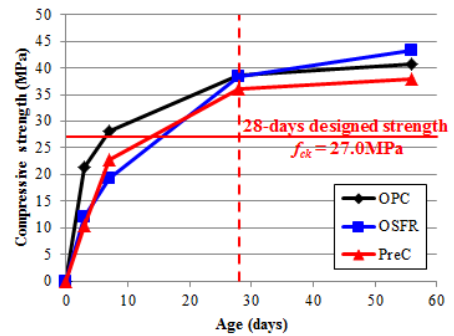


Fig. 8. Results of compressive strength test

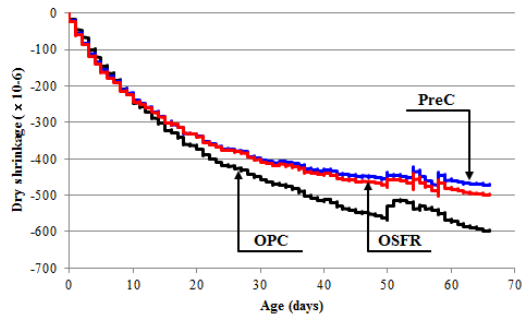


Fig. 9. Results of dry shrinkage test

Table 2. Results of compressive strength

Type	Designed strength (MPa)	Compressive strength							
		3-Days		7-Days		28-Days		56-Days	
		(MPa)	(%)	(MPa)	(%)	(MPa)	(%)	(MPa)	(%)
OPC	27.0	21.3	78.9	28.1	104.1	38.6	143.0	40.6	150.4
OSFR	27.0	12.1	44.8	19.4	71.9	38.4	142.2	43.2	160.0
PreC	27.0	10.8	40.0	22.7	84.1	35.9	133.0	37.9	140.4

현장적용 타당성을 검증하고자 하는 PreC 배합은 재령 28일 및 56일에서 설계기준강도 대비 강도 발현율이 각각 133.0%, 140.4%를 나타내어 현장적용시 구조물의 장기강도 발현 및 강도증진에 충분히 문제가 없을 것으로 판단된다.

광물질혼화재인 고로슬래그미분말 및 플라이애쉬가 혼입된 OSFR, PreC 배합은 OPC 배합에 비해 초기 재령에서 발생하는 강도저하 현상이 확인되었으며, 장기 재령에서는 잠재수경성 및 포졸란 반응에 의해 강도가 회복되는 기존의 연구 결과(Yoon et al., 2013)와 유사한 경향을 나타내었다.

2.3.3 건조수축

Fig. 9은 재령경과에 따른 콘크리트의 건조수축 측정 결과를 나타낸 것이다. OPC 배합은 최종 계측 재령일인 66일에서 -597.0×10^{-6} 의 건조수축 결과를 나타냈으며, OSFR 및 PreC 배합은 각각 -471.5×10^{-6} , -497.8×10^{-6} 의 유사한 건조수축 특성을 나타내었다. 광물질혼화재를 혼입하는 경우 혼화재의 품질, 분말도, 분쇄방법에 따라 건조수축 경향에 차이가 있지만, 보통 포틀랜드시멘트에 비해 건조수축이 높은 것으로 알려져 있다 (Ssanyong Technology Research Center, 2005).

하지만, 이상의 결과에서 확인할 수 있듯이 콘크리트의 건조수축을 저감시킬 수 있는 방안으로 수축저감제 또는 수축저감 효과가 고려된 저발열형 Premixed Cement를 사용한 콘크리트는 현장적용시 메스콘크리트 구조물 시공에 있어서 일괄타설은 물론 타설길이를 증가시킬 수 있는 방안이라고 사료된다.

3. 수화열 해석

이상의 기초물성 평가 결과들을 바탕으로 저발열형 Premixed Cement를 사용한 콘크리트의 현장적용성을 실제 시공중인 고속철도 현장의 정거장 구조물을 대상으로 수화열 해석을 통해 검토하고자 한다. 이를 통하여 대상 현장의 정거장 구조물 시공에 있어 시공성 및 품질 확보, 공사기간 등 여러 조건들을 충족시키기 위하여 최적배합을 도출하고자 한다.

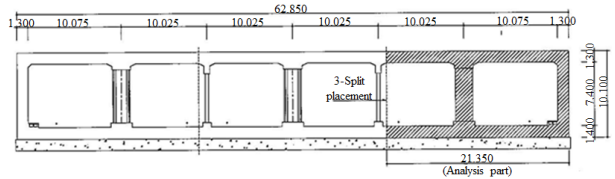


Fig. 10. Shape of station structure

3.1 해석 대상 구조물

수화열 해석 대상인 고속철도 현장의 정거장 구조물 시공은 당초 횡방향 및 종방향 분할타설로 설계되었으며, 특히 구조물 횡방향의 경우는 횡방향 철근 조립 등으로 거푸집 설치가 어려운 상황이며, 구조물 시공이음으로 품질관리 및 유지관리에 불리한 실정이다. 따라서 현장의 시공여건 및 구조물 유지관리 등을 개선하기 위하여 당초 설계된 OPC 100%의 콘크리트 배합을 재설계 할 필요가 있다.

더불어, 구조물 종방향의 경우도 “개착식 박스구조물은 일반적으로 신축이음 없는 연속한 구조물로 하는 것을 원칙으로 한다.”의 설계기준에 준하여 당초 18m로 설계된 부분을 현장 시공여건에 따라 일부 구간은 18~30m로 시공하는 방안도 수화열해석을 통해 검토하고자 한다. 대상 구조물의 형상은 Fig. 10과 같으며, 당초 설계된 콘크리트 배합은 Table 1의 OPC 배합과 같다.

3.2 해석 개요

수화열 해석 대상인 정거장 구조물의 중요도를 고려하여 콘크리트 표준시방서 상에서 정하는 “유해한 균열발생을 제한”을 위해 온도균열지수 0.7이상 확보를 목표로 하였다(균열을 방지할 경우 온도균열지수 1.5 이상, 균열 발생을 제한할 경우 온도균열지수 1.2 이상 및 1.5 미만). 온도균열 발생 여부에 대한 판정은 콘크리트 표준시방서에 제시된 다음 식의 온도균열지수에 따르게 되며, 온도균열지수에 따른 균열 발생 확률은 Fig. 11과 같다.

$$I_{cr}(t) = \frac{f_{sp}(t)}{f_t(t)} \quad (1)$$

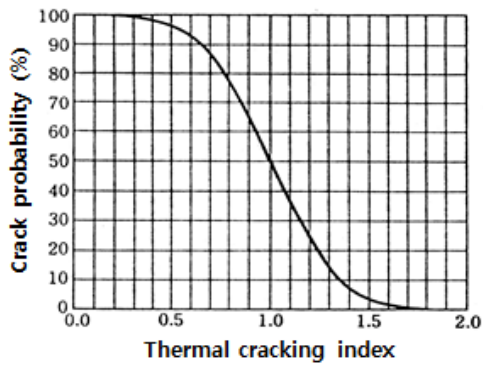
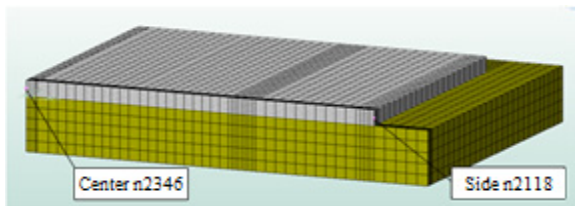
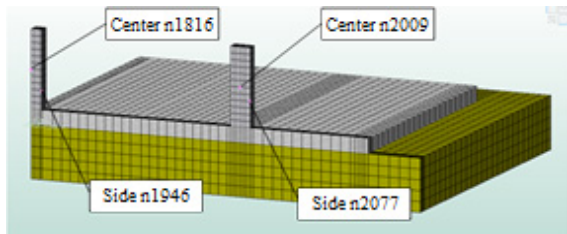


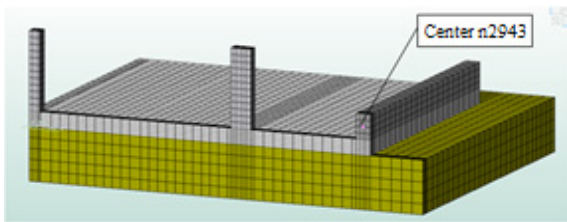
Fig. 11. Thermal cracking index and crack probability



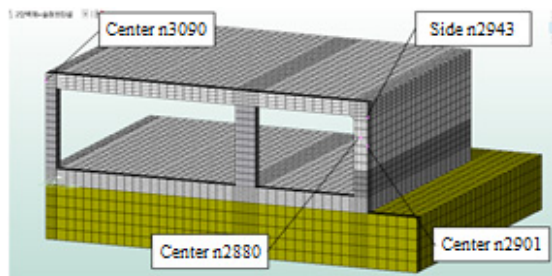
(a) Stage 1: Foundation (Casting height = 1.4m)



(b) Stage 2: Column (Casting height = 7.4m)



(c) Stage 3: 1st wall (Casting height = 2.5m)



(d) Stage 4: 2nd wall and slab (Casting height = 4.9, 1.3m)

Fig. 12. Mesh, stage and target resulting point of hydration heat analysis

여기서, $I_{cr}(t)$ 는 재령 t 일에서의 온도균열지수이며, $f_{sp}(t)$ 는 재령 t 일에서의 최대 온도응력 값(MPa)이며, $f_t(t)$ 는 재령 t 일에서의 콘크리트 인장강도(MPa)이다.

3.3 해석 조건

본 연구에서는 범용 유한요소해석 프로그램인 MIDAS Civil을 사용하여 수화열 해석을 수행하였으며, 해석시 mesh는 구조물 형상 및 거동을 반영할 수 있는 3D로 대칭조건이 고려되도록 경계조건을 설정하였다. 수화열 해석에 사용된 mesh 및 고려된 시공단계, 각 시공단계별 결과 산출지점 및 1회 타설높이는 Fig. 12와 같으며, 콘크리트 배합은 기초물성 평가에 사용된 Table 1의 배합과 같다.

각각의 재료와 경계면에 적용된 열특성 계수는 콘크리트 표준시방서를 근거로 Table 3에 나타난 값을 적용하였으며, 발열 특성값(단열온도상승 특성값)은 일반적으로 콘크리트 표준시방서에 제시된 다음의 식을 따르게 된다.

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

여기서, $Q(t)$ 는 재령 t 일에서 단열온도 상승량($^{\circ}\text{C}$)이며, Q_{∞} 는 최종단열온도 상승량($^{\circ}\text{C}$)으로서 시험에 의해 정해지는 계수이며, r 은 온도상승 속도로서 시험에 의해 정해지는 계수이며, t 는 재령일(일)이다.

본 연구의 수화열 해석에 사용된 발열 특성값은 콘크리트 표준시방서를 근거로 추정하였으며, 산출된 값은 Table 4와 같다. 이때, 단열온도 상승량(Q_{∞}) 및 온도상승 속도 계수(r)는 단열온

Table 3. Thermal properties for hydration heat analysis

Thermal properties		Specification value	Using value
Heat Conductivity (W/m $^{\circ}\text{C}$)	Concrete	2.6~2.8	2.68 (2.3kcal/mhr $^{\circ}\text{C}$)
	Ground(soil)	-	1.98 (1.7kcal/mhr $^{\circ}\text{C}$)
Specific Heat (J/kg $^{\circ}\text{C}$)	Concrete	1,050~1,260	1,050 (0.25kcal/kg $^{\circ}\text{C}$)
	Ground(soil)	-	838 (0.20kcal/kg $^{\circ}\text{C}$)
Density (kg/m 3)	Concrete	2,300	2,300
	Ground(soil)	-	1,800
Coefficient of expansion ($1/^{\circ}\text{C}$)	Concrete	1×10^{-5}	1×10^{-5}
	Ground(soil)	-	1×10^{-5}

Table 4. Hydration heat characteristic values of concrete for hydration heat analysis

Mix design	B (kg/m ³)	Q_{∞} (°C)	r	Placing temperature (°C)
OPC	378	55.5	1.051	15.0
OSFR	368	42.7	0.390	15.0
PreC	368	38.4	0.379	15.0

Table 5. Curing conditions of concrete for hydration heat analysis

Surface	Curing condition	Coefficient of heat convection		Ambient temperature (°C)
		(W/m ² °C)	(kcal/m ² hr°C)	
Upper	Vinyl	12	14	15.0
Side	Form	7	8	15.0

Table 6. Coefficient of compressive strength development of concrete for hydration heat analysis

Mix design	a	b	$d_i = 28$
OPC	4.5	0.95	1.11
OSFR	8.0	0.95	1.30
PreC	5.2	0.97	1.20

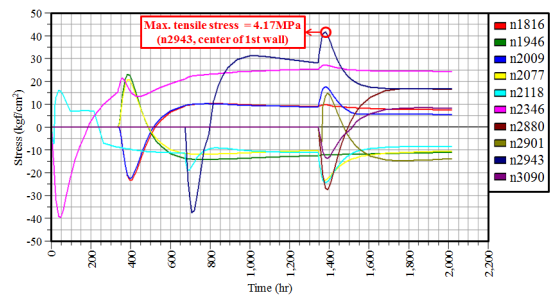
도상승 실험을 근거로 도출된 값이며, 콘크리트의 초기 타설온도와 단위결합재량(B)에 의해 결정 된다.

본 연구의 수화열 해석에 적용된 콘크리트의 양생조건은 현장여건을 고려하여 콘크리트 표준시방서상에 제시된 값을 적용하였으며, 이에 따른 열대류계수는 Table 5와 같다. 또한, 콘크리트의 압축강도 및 인장강도는 콘크리트 표준시방서에 제시된 다음의 식을 근거로 Table 6에 나타내 값을 해석에 적용하였다.

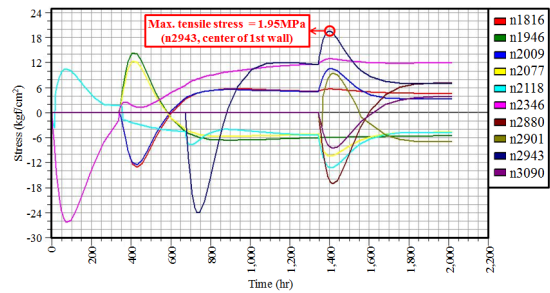
$$f_{cu}(t) = \frac{t}{a+bt} d_i f_{ck} \tag{3}$$

$$f_{sp}(t) = c \sqrt{f_{cu}(t)} \tag{4}$$

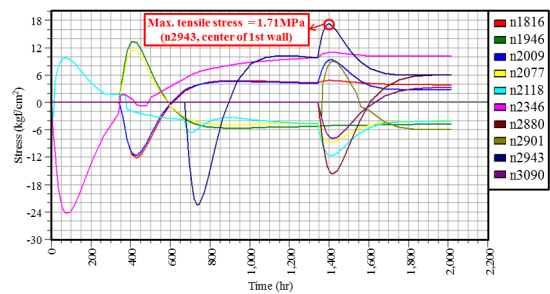
여기서, $f_{cu}(t)$ 는 재령 t 일의 콘크리트 압축강도(MPa)이며, t 는 재령일(일)이며, a, b 는 시멘트 종류에 따른 상수이며, d_i 는 재령 28일 및 91일의 콘크리트 강도 보정계수이며, f_{ck} 는 재령 28일의 설계기준압축강도(MPa)이며, $f_{sp}(t)$ 는 재령 t 일의 콘크리트 쪼갬인장강도(MPa)이며, c 는 콘크리트의 건조에 따른 상수(콘크리트 건조의 정도에 따라 다르지만 0.44를 표준으로 한다.)이다.



(a) OPC



(b) OSFR



(c) PreC

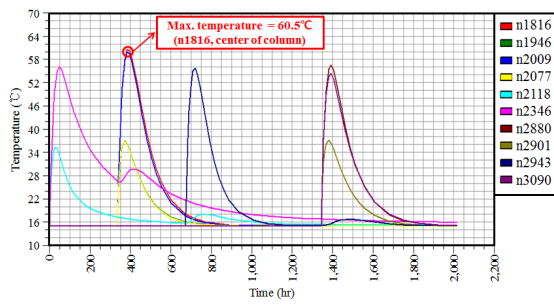
Fig. 13. Stress results of hydration heat analysis

3.4 해석 결과

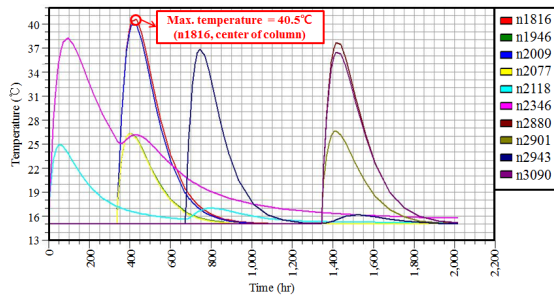
Fig. 13~15은 대상 정거장 구조물의 수화열 해석 결과 도출된 결과 산출지점(Fig. 12 참고)의 재령시간에 따른 응력, 온도 및 온도균열지수를 나타낸 것이며, Table 7은 Fig. 13~15의 결과를 정리하여 나타낸 수화열 해석 결과이다.

최소 온도균열지수 검토 결과, 당초 설계된 OPC 배합으로 시공이 진행될 경우, Fig. 15 및 Table 7에 나타낸 바와 같이 정거장 구조물은 높은 수화열에 의해 온도균열 발생확률이 높은 것으로 나타났으며, 이러한 온도균열을 방지하기 위하여 광물질혼화재가 혼합된 OSFR 및 PreC 배합으로 변경하여 적용할 필요가 있다.

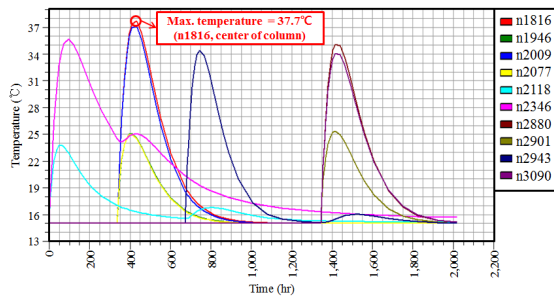
이와 같이 배합을 변경할 경우 목표 온도균열지수 “유해한 균열 발생을 제한”을 위한 0.70이상을 충분히 확보할 것으로 판단된다.



(a) OPC



(b) OSFR



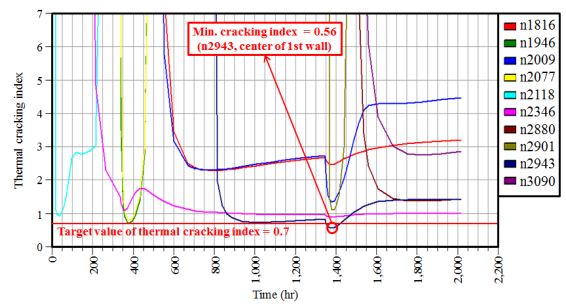
(c) PreC

Fig. 14. Temperature results of hydration heat analysis

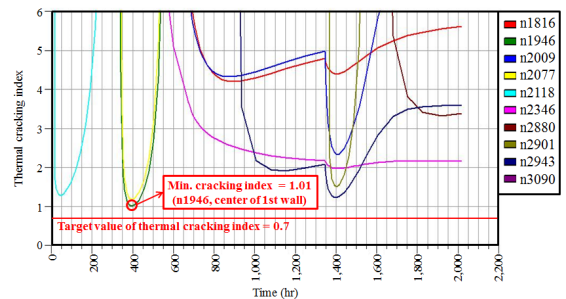
Table 7. Results of hydration heat analysis

Mix design	Maximum stress (MPa)	Maximum temperature		Minimum thermal cracking index	
		(°C)	(hr)	I_{cr}	Location
OPC	4.17	60.5	384	0.56	Center of 1st wall
OSFR	1.95	40.5	432	1.01	Side of column
PreC	1.71	37.7	432	1.20	Side of column

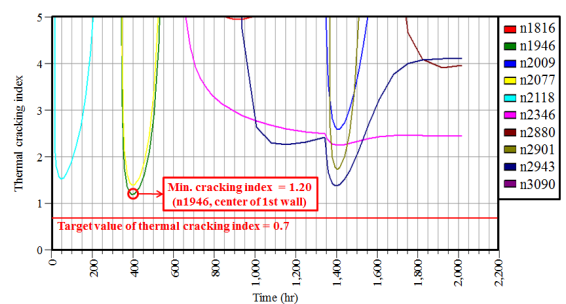
또한, 대상 구조물의 중요도를 고려하여 완공 후 구조물의 재료적 성능 일체성을 감안하여 시공 단계에 동일한 조건의 콘크리트 배합으로 시공하는 것이 바람직하며, 시공적인 측면에서



(a) OPC



(b) OSFR



(c) PreC

Fig. 15. Thermal cracking index results of hydration heat analysis

양생관리를 철저히 하여 건조수축 균열에도 대비하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

4. 현장적용

이상의 기초물성 평가 및 수화열 해석 결과들을 분석한 결과, 대상 정거장 구조물의 현장 시공여건 및 구조물 유지관리 등을 개선하기 위하여 당초 설계된 OPC 100%의 콘크리트 배합을 재설계할 필요가 있으며, 그 결과 수축저감제를 혼입한 3성분계 콘크리트 배합(OSFR) 또는 저발열형 Premixed Cement를 사용한 콘크리트 배합(PreC)의 사용이 필수적인 것으로 사료된다.

수축저감제가 혼입된 3성분계 배합으로 시공할 경우, 수축저



Fig. 16. Field applications of concrete with Premixed Cement

감제를 1.0%로 투입하여야 하며, 이는 콘크리트 생산 단계에 혼합제 비용이 추가로 필요할 수 있다. 또한, 저발열형 Premixed Cement를 사용한 배합으로 시공할 경우, 콘크리트 생산업체에 별도의 시멘트 저장 사이로가 확보된다면 시공상에 있어 충분히 문제가 없을 것으로 판단된다.

따라서, 대상 고속철도 현장의 시공성 및 경제성 등 종합적인 분석 결과 저발열형 Premixed Cement를 사용한 콘크리트 배합을 정거장 구조물의 최적배합으로 선정하였으며, 완공 후 정거장 구조물의 재료적 성능 일체성을 고려하여 시공 전단계에 동일한 조건의 콘크리트를 Fig. 16과 같이 현장타설하였다.

5. 결론

본 연구에서는 저발열형 Premixed 시멘트를 사용한 콘크리트의 현장적용을 위하여 기초물성 평가 및 수화열 해석 결과를 OPC 100% 및 3성분계 배합 콘크리트와 비교하여 검토하였으며, 이를 바탕으로 실제 건설현장에 저발열형 Premixed 시멘트를 사용한 콘크리트의 현장적용을 수행하였다. 이를 통하여 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1. 매스콘크리트구조물의 현장 시공여건 및 구조물 유지관리 등

- 을 개선하기 위해 본 연구에서 기초물성 평가 및 수화열 해석을 수행한 결과, 수축저감제를 혼합한 3성분계 배합 또는 저발열형 Premixed Cement를 사용한 배합의 적용이 일괄타설은 물론 타설길이를 증가시킬 수 있는 방안이라고 사료된다.
2. OPC 100% 배합, 3성분계 배합 및 Premixed Cement를 사용한 배합에 대하여 기초물성 평가를 수행한 결과, 본 연구에서 현장적용을 검토하고자 하는 배합인 PreC 배합은 목표 공기량($4.5 \pm 1.5\%$) 및 슬럼프($150 \pm 25\text{mm}$)를 만족하며, 압축강도도 설계기준강도(27MPa)을 상회하는 결과를 나타내었다. 또한, 건조수축 시험을 수행한 결과, 수축저감 효과가 고려된 결합재의 사용은 매스콘크리트구조물 시공의 수축저감 효과 측면에서 효과적일 것으로 판단된다.
3. 현장적용 대상 구조물의 수화열 해석 결과, OSFR 및 PreC 배합은 목표 온도균열지수 “유해한 균열발생을 제한”을 위한 0.7 이상을 충분히 확보하는 결과를 나타내었으며, 구조물의 중요도 측면에서 콘크리트 타설 후 양생관리를 철저히 하여 건조수축 균열에도 대비하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.
4. 구조물의 수축 및 시공성, 경제성 측면에서 수축저감제가 혼합된 3성분계 배합은 콘크리트 생산시 수축저감제를 투입하여야 하며, 이는 콘크리트 생산 단계에 영향을 미칠 수 있어, 콘크리트 생산업체에 별도의 시멘트 저장 사이로가 확보될 수 있다면 저발열형 Premixed Cement를 사용한 콘크리트의 현장적용이 보다 합리적일 것으로 판단된다.
5. 향후 본 연구를 바탕으로 매스콘크리트구조물 시공에 저발열형 Premixed Cement를 사용한 콘크리트를 적용한다면 수화열에 의한 균열 및 건조수축 저감 등 콘크리트의 내구성능, 유지관리 편의성 등을 충분히 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

References

- Bae, J.Y., Kim, J.B., Cho, S.H., Roh, H.S., Kim, J.H., and Park, S.B. (2008). An experimental study on the quality deviation of concrete using premixed cement and non-premixed cement. Conference paper on Korea Concrete Institute, 569-572.
- Choi, H., Lee, S.S., Won, C., Kim, D.S., and Jung, H.W. (2000). A study on economical impact and properties of concrete using blast-furnace slag powder. Daewoo E&C, 22, 61-73.

- Choi, H.K., Son, H.J., Kim, K.M., Park, S.J., Han, M.C., and Han, C.G. (2011). Properties of low heat concrete using modified ternary blended cement. Conference paper on Korean Recycled Construction Resources Institute, **11(1)**, 77–78.
- Jeon, C.K. and Jeon, J.K. (2013). A experimental study on the field application of concrete with CO₂ reduction materials. Journal of the Korean Society of Disaster Information, **9(2)**, 128–136.
- Jeon, J.K. and Yoon, J.H. (2013). A case study analysis for enhancing application of slag in concrete. Journal of Korean Recycled Construction Resources Institute, **8(1)**, 11–14.
- Kim, G.Y., Shin, K.S., Lim, C.H., Nam, J.S., and Kim, M.H. (2010). Properties of engineering and durability concrete with fly-ash and blast furnace slag in normal strength level. Journal of Korean Recycled Construction Resources Institute, **5(1)**, 103–110.
- Kim, J.H. and Lee, K.I. (2008). Necessity of blended cement. Journal of Korea Concrete Institute, **20(3)**, 10–12.
- Korea Concrete Institute. (2007). Standard specification for concrete.
- Korea Iron and Steel Association. (2012). Concrete & slag green solution.
- Lee, S.S. and Song, H.Y. (2007). An experimental study on the durability and mechanical properties of high performance concrete using blast-furnace slag powder. Journal of Architectural Institute of Korea, **23(11)**, 119–126.
- Ssangyong Technology Research Center. (2005). Causes and Preventions of Cracks in Concrete.
- Yoon, J.H., Jeon, J.K., Jeon, C.K., Ryou, J.S., and Kim, K.H. (2013). Fundamental evaluation and field application of slag concrete. Conference paper on Korean Recycled Construction Resources Institute, **13(1)**, 5–6.
- Yoon, J.H., Jeon, J.K., Jeon, C.K., Yoon, K.H., and Lee, S.C. (2013). Hydration heat analysis and field application of mass concrete using ternary blended cement. Conference paper on Korean Recycled Construction Resources Institute, **13(2)**, 43–44.
- Yoon, S., Song, Y.W., Jeong, Y., Gong, M.H., and Chung, G.T. (2013). Investigation on the properties of concrete using ternary blended cement. Conference paper on Korea Concrete Institute, 165–166.

저발열형 Premixed Cement를 사용한 콘크리트의 기초물성 평가 및 수화열 해석에 관한 연구

본 연구에서는 시멘트와 광물질혼화재인 고로슬래그미분말과 플라이애쉬를 미리 혼합한 Premixed Cement를 사용한 콘크리트와 수축저감제가 혼합된 3성분계 콘크리트, OPC 100%의 콘크리트에 대하여 기초물성 평가로 공기량, 슬럼프, 압축강도 및 건조수축 시험을 수행하고, 수화열 해석을 수행하여 Premixed Cement를 사용한 콘크리트의 현장 적용성을 검토하였다. 검토 결과 Premixed Cement를 사용한 콘크리트는 목표 작업성 및 설계기준압축강도를 충분히 만족하며, 건조수축 측면에서도 수축저감제를 혼합한 3성분계 콘크리트와 유사한 건조수축 특성을 나타내었다. 또한, 수화열 해석 결과 Premixed Cement를 사용한 콘크리트는 목표 온도균열지수를 충분히 확보할 뿐만 아니라, 수축저감제를 혼합한 3성분계 콘크리트보다 경제성을 확보할 수 있는 방안으로 도출되었다. 향후 매스콘크리트구조물 시공에 있어 구조물의 내구성능 및 유지관리 편의성 향상을 위해 Premixed Cement를 사용한 콘크리트의 현장적용은 바람직한 것으로 판단된다.