

산업부산물을 혼합하여 제작한 3성분계 시멘트 콘크리트의 성능 평가

김춘호 · *김남욱*

중부대학교 공과대학 토목공학과
*전북대학교 공과대학 토목공학과

Evaluation on the Properties of Ternary blended Cement Concrete using Industrial Byproducts

Chun ho Kim and *Nam wook Kim*

Department of Civil Engineering, Joongbu University
*Department of Civil Engineering, Chonbuk National University

요 약

현재 산업 및 토목기술의 발전으로 인한 콘크리트 구조물의 대형화 및 다양화가 시도되고 있으나 대형 구조물의 시공 시 발생하는 수화열은 온도균열을 유발하여 콘크리트 구조물의 내구성능을 저하시키는 문제를 발생한다. 본 논문은 시멘트의 종류에 따른 콘크리트의 내구성능 및 수화열 저감 특성을 고찰하기 위하여 보통포틀랜드시멘트, 플라이애쉬를 혼합한 2성분계 시멘트, 플라이애쉬와 고로슬래그를 혼합한 3성분계 시멘트 및 저발열 시멘트를 각 각 사용하여 제작한 콘크리트의 물성, 내구성능 및 수화특성 등의 결과를 비교 분석한 결과, 3성분계 혼합 시멘트가 내구성능 및 수화열 저감 효과에 가장 우수한 것으로 나타나 매스 콘크리트 및 내구성능이 요구되는 구조물 축조에 적합하다고 판단되었다.

주제어 : 3성분계 시멘트, 저발열 시멘트, 수화특성, 내구성능, 매스 콘크리트

Abstract

Nowadays, due to the development of industrial and civil engineering technology, enlargement and diversification of concrete structures are being tried. At the same time, the hydration heat generated during the construction of large structures lead to thermal crack, which is occurs causing a problem that durability degradation. In this paper, in order to study the durability and reducing hydration heat of concrete according to the types of cement, that is ordinary portland cement, fly ash cement mixed with a two-component, ternary blend cement mixed with fly ash and blast furnace slag and low heat cement concrete are produced, and compare and analyze the results using property, durability and hydration characteristics, ternary blend cement is appeared to be the most excellent in durability and reduction of hydration heat, and it was determined suitable for construction of mass concrete and requiring durability.

Key words : Ternary blend cement, Low heat cement, Hydration property, Durability, Mass concrete

· Received : December 24, 2013 · Revised : February 17, 2014 · Accepted : April 4, 2014

*Corresponding Author : Nam Wook Kim (E-mail : asahi00@jbnu.ac.kr)

Department of Civil Engineering, College of Engineering, Chonbuk National University, 664-14 Iga, Duck-jin dong, Deokjin-ku, Jeon-Ju city, Jeonbuk 561-756, Korea

Tel : +82-63-270-4665 / Fax : +82-63-270-2421

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

시멘트와 물이 만나면 수화반응에 의해 각종 수화물이 생성되고 또한 수화열이 발생하게 된다. 콘크리트 타설 초기에 수화열이 지나치게 높으면 집중적으로 균열이 발생하여 콘크리트에 나쁜 영향을 미치는 것이다¹⁾. 또한, 수화열에 의해 발생한 인장응력은 경화 후에도 잔류응력으로 남기 때문에 구속조건으로 작용하게 되어 구조물의 균열, 안전성, 내구성 및 방수성에 영향을 미치게 된다. 따라서 온도균열제어를 위한 콘크리트의 수화열 발생속도를 억제하고 발열량을 최소화 할 수 있는 대책이 절실히 요구되고 있어 다양한 방법들이 시도되고 있으나 가장 기초적이며 효율적인 방법은 콘크리트 제조 시 수화열이 적게 발생하는 시멘트의 사용으로 들 수 있다²⁾.

한편, 1960년대 초 철근콘크리트 교량의 철근부식으로 인한 성능저하 원인이 확인된 이후로, 염화물에 접하는 환경에서 구조물의 내구성을 향상시키기 위한 다양한 방법들이 개발되어 왔다. 또한 최근에는 구조물의 사용수명을 연장시키기 위하여 내구성 향상에 관한 관심이 국내외적으로 더욱 높아지는 추세이며, 특히 철근콘크리트 구조물의 내구성을 저하시키는 열화에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다³⁾. 철근콘크리트 구조물의 여러 가지 열화요인 중 가장 주요한 것은 염화물이온의 침투에 의한 철근부식이며, 이로 인해 철근단면적의 감소와 체적팽창에 따라 유발되는 콘크리트의 균열은 철근콘크리트 구조물의 내구성 및 안전성에 치명적인 악영향을 미치게 되기 때문에 염화물이온 침투로 인한 철근부식을 감소시키기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다⁴⁾. 기존의 연구결과들을 분석한 결과, 콘크리트 자체의 염화물이온 침투저항성을 효과적으로 향상시키는 방법은 적정 시멘트의 사용이라고 판단되었으며 본 연구에서는 염화물이온 침투저항성이 우수하다고 알려진 3성분계 시멘트를 적용하고자 한다. 따라서 본 논문은 시멘트의 종류에 따른 콘크리트의 수화열 저감효과 및 염화물이온 침투저항성 등을 고려하여 콘크리트의 내구성능에 효과적인 결합재를 도출하기 위하여 보통포틀랜드 시멘트와 산업부산물인 플라이애쉬를 25% 혼합한 2성분계 시멘트, 보통포틀랜드 시멘트에 플라이애쉬와 역시 산업부산물인 고로슬래그를 혼합한 3성분계 시멘트 그리고 저열포틀랜드 시멘트를 단독으로 사용하여 제작한 콘크리트의 기초물성, 압축강도, 염화물이온 침투저항성 및 수화특성 등의 결과를 비교 고찰 하였다.

2. 시 험

본 연구에서는 시멘트의 종류에 따라 제작된 콘크리트의 수화 및 염화물이온 침투저항성 특성을 평가하기 위하여 보통포틀랜드 시멘트(Ordinary Portland Cement 이하 OPC), OPC 40%에 고로슬래그(BFS) 40%, 플라이애쉬(FA) 20%를 혼합한 3성분계 시멘트(Ternary Blended Cement 이하 TBC), 저발열 시멘트(Low Heat Cement : LHC) 및 OPC에 플라이애쉬 25%를 혼합한 2성분계 혼합시멘트인 플라이애쉬 시멘트(이하 FA25)의 총 4 종류의 시멘트를 사용한 콘크리트 시험체를 제작하였다. 그리고 굳지 않은 콘크리트 상태에서는 슬럼프 경시변화 및 공기량 시험을 실시하였고 굳은 콘크리트 상태에서는 재령 7일, 28일, 56 및 90일에서 압축강도 시험, 염화물 침투 저항성시험 및 건조수축 길이변화시험으로 콘크리트의 성능을 평가하였으며, 단일온도 상승시험으로 수화발열 특성을 고찰하였다.

2.1. 사용 재료

2.1.1. 3성분계 시멘트(TBC)

일반적으로 혼합 시멘트는 보통포틀랜드시멘트 및 광물질 혼화재료 종류와 양 또는 분말도와의 조합에 의해 여러 가지 성능을 가지는 제품의 설계가 가능하며 최근에는 광물질 혼화재료의 고유특성을 활용하여 콘크리트 내염성능 확보 및 특히 저열화의 목적으로 3성분계 시멘트의 현장 적용 및 용도 확대가 진행되고 있다. 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬를 모두 함유한 3성분계 시멘트 콘크리트는 고로슬래그시멘트 콘크리트의 장점인 치밀한 조직 구조와 플라이애쉬시멘트 콘크리트의 장점인 작업성 개선과 이에 따른 단위 수량을 감소, 염화물에 대한 고경화 효과 등의 장점을 가지게 된다. 본 연구에서는 일반적으로 3성분계 시멘트의 적정조합으로 알려진 보통포틀랜드시멘트 40%, 고로슬래그 미분말 40% 및 플라이애쉬 20% 배합을 사용하였다.⁵⁾

2.1.2. 고로슬래그

본 연구에서 3성분계 시멘트에 사용된 고로슬래그는 KS F 2563 콘크리트용 고로슬래그 규정을 만족하는 범용 3종 고로슬래그 미분말을 사용하였는데 분말도는 5,300 cm²/g, 밀도는 2.85로 나타났다. 사용된 고로슬래그의 화학적 성분은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical composition of blast furnace slag

Chemical composition(%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
	35	15	0.35	40	6.5	2.8

Table 2. Chemical composition of fly ash

Chemical composition(%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
	52	26	8	5	1.5	0.3

Table 3. Chemical composition of LHC

Chemical components(%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
	26.7	3.2	3.6	63.5	1.6	1.8

Table 4. Chemical composition of LHC

Chemical components(%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
	20.5	5.9	3.2	62.6	2.8	1.9

2.1.3. 플라이애쉬

본 연구에서 3성분계 시멘트 및 플라이애쉬 25% 함유 2성분계 시멘트에 사용된 플라이애쉬는 KS F 5405 플라이애쉬의 품질 규정에 의거 밀도 2.15 g/cm³, 강열감량 3.3%, 및 분말도 3,400 cm²/g 인 제품을 사용하였으며 화학적 성분은 Table 2와 같다.

2.1.4. 저열 시멘트(LHC)

저열 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트보다 시멘트제조시의 소성온도가 낮아 에너지절감의 관점에서 1980년대 초부터 연구가 진행되었다.⁴⁾ 또한, 저열 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트보다 고유동성 및 특히 CO₂ 배출량이

적은 관계로 환경부담 절감형 시멘트로서도 각광을 받고 있다. 본 연구에서 사용한 저열시멘트는 밀도 3.2 g/cm³, 분말도 3,400 cm²/g인 제품이며 화학적 성분은 다음의 Table 3과 같다.

2.1.5. 보통포틀랜드 시멘트(OPC)

본 연구에서 가장 기본적인 시멘트인 보통포틀랜드 시멘트는 1종 시멘트로서 밀도 3.15, 분말도 3,200 cm²/g 인 제품이며 화학적 성분은 다음의 Table 4와 같다.

2.1.6 골재

본 연구에 사용된 굵은골재는 비중 2.62의 쇄석을 사용하였으며 잔골재는 비중 2.61의 강모래를 사용하였는데 각 골재의 물리적 특성은 Table 5와 같다.

2.2. 배합

본 연구에서는 시멘트 종류에 따라 제작된 각종 콘크리트의 기본 성능, 염화물이온 침투저항성 및 수화열 특성을 평가하기 위하여 설계강도 $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$, 물-결합재비는 39.0%, 잔골재율 47%, 목표 슬럼프 $16 \pm 2 \text{ cm}$, 목표 공기량 $4.5 \pm 1.5\%$ 를 만족하는 콘크리트를 제조하고자 하였다. 또한 목표 슬럼프를 도출하기 위하여 폴리카르본산계 고성능감수제(SP)를 첨가하였으며 이에 대한 배합표는 Table 6과 같으며 Table 7에 각 시험체의 재료 혼합비율을 나타내었다.

2.3. 주요 시험

2.3.1. 단일온도 상승시험

현재 콘크리트의 내부 발열량을 측정하는 표준방법은

Table 5. Physical properties of aggregates

Kinds	Gravity	Absorption (%)	Unit weight (kg/m ³)	F.M	Remark
Fine aggregate	2.61	0.86	1,585	2.65	River sand
Coarse aggregate	2.65	0.64	1,632	6.76	Crushed stone

Table 6. Mix design of concrete

Specimen	Slump (cm)	Air (%)	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)				
					Binder	W	S	G	SP
OPC	16±2	4.5±1.5	39.0	47.0	415	162	814	953	1.5
FA25							797	933	0.6
LHC							794	930	0.9
TBC							817	956	0.7

Table 7. Material mixing ratio of specimens

Specimen	OPC	BFS	FA	LHC
OPC	100%	-	-	-
FA25	75%	-	25%	-
LHC	-	-	-	100%
TBC	40%	40%	20%	-



Fig. 1. View of adiabatic temperature rise tester.

아직 없는 관계로 일반적으로 미소수화열량계를 이용한 시멘트 수화열 측정법 및 콘크리트 단열온도상승 시험법이 이용되고 있는 실정이다.⁵⁾ 그러나 시멘트 수화열 측정법은 소량의 시료로써 시멘트의 수화발열 특성을 측정하는 기기로서 시멘트와 물을 일정한 온도에서 반응시켜 발생하는 열량을 측정하므로, 시료의 온도역이 무시되고 실제 콘크리트의 배합조건이 고려되지 않는 단점이 있는 것으로 알려져 콘크리트의 수화반응에 의한 내부 발열량은 단열상승 시험방법을 이용하는 것이 보편적이다. 본 연구에서는 이를 고려하여 Fig. 1과 같은 일본 T사의 단열용기 장치에 온도측정용 Thermocouple을 매립하여 단열온도상승 시험을 실시하여 시멘트의 종류에 따라 제작된 각종 콘크리트의 수화열을 비교하고자 하였다.

2.3.2. 염화물이온침투저항성 시험

염화물이온 침투저항성시험은 KS F 2711 전기전도도에 의한 콘크리트의 염화물이온 침투저항성 시험방법에 의해 실시되었으며 이 시험방법은 Fig. 2와 같은 확산셀의 양극에 0.3 M의 수산화나트륨(NaOH) 용액, 음극에는 3%의 염화나트륨(NaCl) 용액을 사용하며, 셀의 양단에 60 V의 직류전압을 6시간 동안 인가한다. 이때

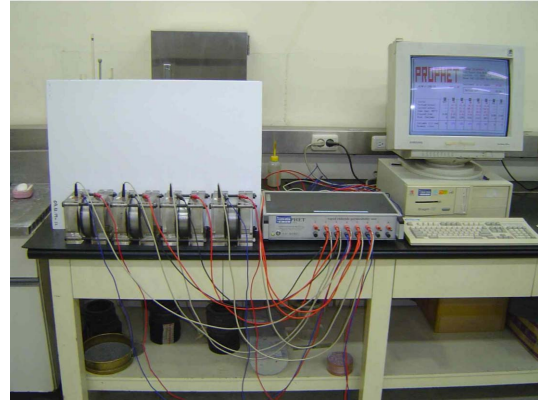


Fig. 2. View of resistance test of chloride ion penetration into concrete.

시편에 흐르는 전류를 측정하여 총통과전하량(Coulomb)으로부터 염화물이온의 침투저항성(투과성)을 비교하는 방법이다. 통과전하량은 측정된 전류값을 식 (1)에 의하여 6시간 동안의 총통과전하량을 산정한다.

$$Q_{total} = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{300} + 2I_{330} + 2I_{360}) \quad (1)$$

여기서, Q_{total} : 총통과전하량(Coulomb)

I_t : 분에서의 전류값(A)

2.3.3. 건조수축 길이변화시험

건조수축 길이변화 시험은 KS F 2424 모르타르 및 콘크리트 길이 변화 시험방법의 규정에 의거 다이얼 게이지(최소눈금 0.01 mm)를 이용한 방법으로 재령 1주, 4주 및 8주에서의 길이 변화율을 측정하여 다음의 식 (2)로부터 길이 변화율(%)을 구하여 평가하였다.

제작된 시험체는 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 습도 60%가 유지된 상태에서 항상 시험체 받침대의 동일위치에 놓도록 세심한 주의를 기울여 측정하였다. 측정방법은 시험체를 받침대 위에 올려놓고 시험체 윗면의 플러그에 측정틀의 접점과 접촉시켜 놓은 후 수직 조정핸들 및 수평 조정핸들을 조작하여 다이얼게이지의 스프링 선단이 시험체 축에 일치시켜 움직이도록 하였다.

$$\text{길이변화율(\%)} = \frac{X_i - X_0}{L_0} \times 100 \quad (2)$$

여기서, L_0 : 기준길이

X_0 : 기준으로 한 시점에서의 측정치

X_i : 계획재령 시점 i에서의 측정치



Fig. 3. View of drying shrinkage test.

Table 8. Results of slump and air test

Kinds		OPC	FA25	LHC	TBC
Slump (cm)	0 min	18.0	17.5	18.0	17.0
	60 min	16.0	16.5	17.0	16.0
	90 min	14.5	15.5	16.5	15.0
Air (%)	0 min	5.3	5.8	5.6	5.8
	60 min	4.7	5.1	4.5	5.0
	90 min	4.1	4.6	3.9	4.5
SP (%)		1.5	0.6	0.9	0.7

3. 시험결과 및 고찰

3.1. 슬럼프 및 공기량의 경시변화

본 연구에서 측정된 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 및 공기량 시험 결과는 Table 8과 같다. 시멘트 종류에 따라 제작된 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 경시변화를 보면 60분에서는 슬럼프 로스율이 OPC가 가장 크고 나머지 시험체는 유사하였으나 90분에서는 LHC의 경시변화율이 비교적 낮았다. 이러한 이유는 초기 60분에서는 각 시멘트의 화학성분, 석고의 형태 및 불순물 등에 따라서 시멘트와 고성능감수제의 상호작용에 의한 슬럼프의 특성이 확연히 나타나지 않았지만, 90분에서는 LHC가 상대적으로 시멘트의 성분중 C₃A성분이 적어 비교적 슬럼프 로스율이 적게 나타났다. 제작 시 각 종 콘크리트에 대하여 동일한 유동성을 얻기 위해 사용된 고성능감수제의 사용량은 LHC에서 상대적으로 적은 양이 사용되었고 OPC에서 가장 많은 양을 사용되었는데

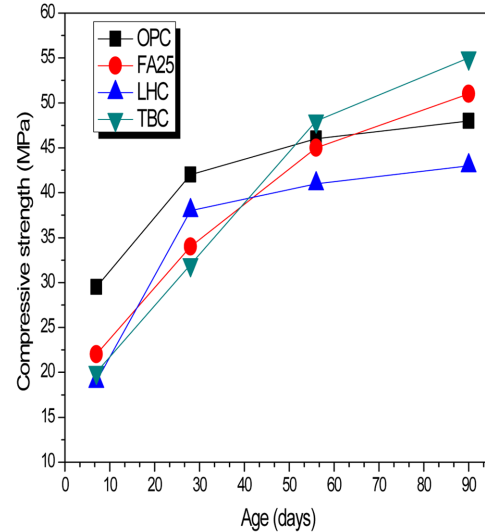


Fig. 4. Results of compressive test according to ages.

이는 OPC에서 상대적으로 유동성이 부족하여 많은 양의 고성능감수제를 첨가 하여야만 동일한 유동성을 확보할 수가 있었기 때문이다. 한편, 공기량 시험결과, 경시변화 60분에서는 시험체의 종류에 따른 감소량의 변화율은 유사하였으나 90분에서는 혼합시멘트인 FA25 및 TBC가 OPC 및 LHC에 비해서 감소량이 줄어들었다. 이는 FA25 및 TBC의 경우 결합재내에 플라이애쉬가 함유되어 상대적으로 공기량의 로스율이 증가되지 않은 것으로 판단된다. 한편, 모든 시험체에서 슬럼프 및 공기량은 목표 범위를 만족하여 기본 물성 측면에서 시멘트의 종류에 따른 문제점은 특별히 없는 것으로 판단된다.

3.2. 압축강도

본 연구에서 실시한 재령 7일, 28일 56일 및 90일에서의 압축강도 시험 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 결과로부터, 초기재령 7일에서는 2, 3성분계 혼합시멘트 및 저발열 시멘트 콘크리트의 강도발현이 비슷하여 OPC보다 훨씬 낮았는데 이는 초기 수화반응이 느린 이유 때문으로 판단된다. 재령 28일 이후부터는 시험체에 따라 강도 발현율이 달라짐을 알 수 있었다. 이는 다음에 언급되는 단열온도 상승곡선 결과와도 유사한 경향을 나타냄을 알 수 있는데 LHC는 초기에 수화열이 저감되어 초기 재령에서는 압축강도가 저하되나 재령 28일에서 강도가 증진되며 이는 수화에 의한 칼슘실리케이트 겔의 생성이 많아졌기 때문으로 판단된다. 2, 3성분

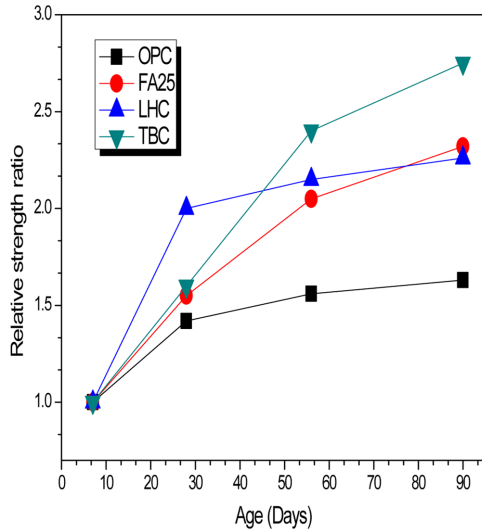


Fig. 5. Relative strength ratio according to ages by the strength of 7-day.

계 혼합 시멘트인 FA25 및 TBC의 경우, 플라이애쉬 및 고로슬래그 등의 포졸란계 물질의 함유로 인한 포졸란 작용으로 초기재령에서의 강도는 낮았으나 재령 28일 이후 강도가 증진되어 재령 90일에서는 OPC보다 훨씬 높은 강도를 나타내고 있다. 한편, Fig. 5에 초기재령 7일 대비 각 재령별 강도증진율을 나타내었다. OPC 시험체의 경우는 초기 재령에서 빠른 수화반응으로 인해 강도가 높이 측정되었으나, 재령의 경과에 따른 강도 증진율은 다른 시험체에 비해 낮게 나타났다. 3성분계 시멘트인 TBC의 경우, 재령 90일에서의 강도 증진율이 약 2.6배 이상으로 나타나 초기 수화열의 저감 및 내구성 측면에서의 장기강도 증진의 효과가 나타날 것으로 판단된다.

3.3. 건조수축 길이변화 시험

건조수축 길이변화 시험 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 결과에서 나타난 바와 같이, 각 시험체의 건조수축 변화율은 압축강도 및 수화반응과 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다. 초기 및 표준재령에서 수화반응이 가장 활발한 OPC의 경우 건조수축 변화율이 가장 높았으며 혼합 시멘트 및 저발열 시멘트의 경우는 동 시기에 수화반응이 느려 상대적으로 건조수축 변화율이 적었다. 건조수축 변화율은 적을수록 상대적으로 건조수축에 의한 균열의 발생 가능성이 적어지므로 OPC 보다 혼합시멘트 및 저발열 시멘트로 축조된 구조물의 경우가 건조수

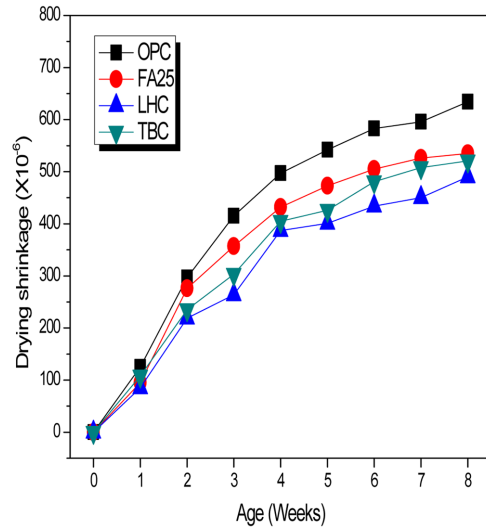


Fig. 6. Results of drying shrinkage test.

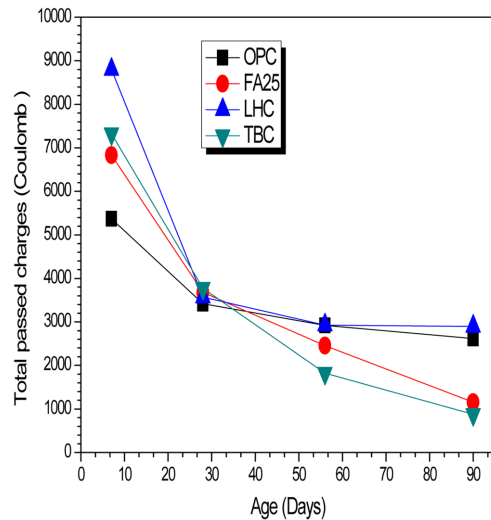


Fig. 7. Results of chloride ion resistance test.

축으로 인한 균열 저감 효과가 높음을 알 수 있었다.

3.4. 염화물이온 침투저항성 시험

KS F 2711에 의한 염화물이온의 침투저항성 측정결과를 Fig. 7에 나타내었다. 결과에서 나타나듯이 2성분 및 3성분계의 혼합 시멘트를 사용한 콘크리트는 광물질 혼화재료의 첨가로 인하여 초기 수화반응이 지연되어 보통포틀랜드시멘트 및 저발열 시멘트 콘크리트에 비하여 초기 통과전하량은 높았으나 재령의 경과에 따라 크

Table 9. Criterion for ASTM C 1202 (KS F 2711)

Total passed charge (Coulomb)	Criterion
Over 4,000	High
2,000~4,000	Midium
1,000~2,000	Low
100~1,000	Very low
Under 100	Negligible

계 감소하여 염화물이온 투과성의 지표가 되는 총통과전하량이 현저히 낮아 장기재령에서 우수한 특성을 나타냈다.

Table 9는 염화물 총통과량에 따른 ASTM C 1202의 일반적인 판정기준을 나타내고 있다. 본 시험체에 나타난 결과를 상기의 판정기준에 따라 분류하면 초기 재령 7일에서는 모든 시험체가 총통과전하량이 4,000 coulomb 이상으로 매우 높았으나 표준재령 28일에서는 2000 ~ 4000 정도로 보통을 나타내었다. 이 후 재령이 증가할수록 총통과전하량은 감소하였는데 특히 3성분계 시멘트인 TBC에서 감소량이 컸다. 한편, 저발열 시멘트인 LHC의 경우 수화열의 저감효과는 있었으나 염화물이온 저항성 측면에서는 큰 효과가 없는 것으로 나타나 내구성능 측면에서는 크게 유효하지 않은 것으로 판단된다.

3.5. 단열온도 상승 시험

본 연구에서 실시한 단열온도 상승 시험 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 결과로부터, OPC 시험체의 경우 최고온도 및 최고온도 도달시간이 60°C 및 60 시간 정도로 수화열 저감효과가 가장 열악함을 알 수 있었다. 2성분 및 3성분계 혼합 시멘트는 OPC에 비해 최고 온도 및 도달시간이 늦어 온도 저감에 보다 효과적임을 알 수 있었다. 한편, 온도저감에 가장 효과적인 시험체는 저발열 시멘트인 LHC로 최고온도는 3성분계 시멘트인 TBC와 큰 차이가 없었으나 OPC나 혼합 시멘트에 비해 최고온도 도달시간이 늦어져 온도 저감이 우수함을 나타내었다. 이와 같이 저발열 시멘트의 온도제어 효과가 뛰어난 이유는 규산칼슘 화합물의 구성비율의 최적화와 간극질의 저감에 의해 시멘트의 수화에 따른 발열량이 현저히 저감되는 것으로부터 기인되며 최종적인 단열온도 상승량은 3성분계 혼합시멘트와 거의 동등한 수준이 되지만 초기 재령에서의 발열속도가 느리므로 콘크리트의 온도균열 저감측면에서 유리하다.⁵⁾

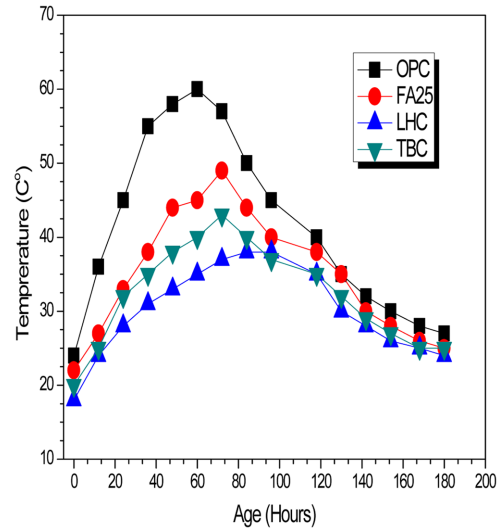


Fig. 8. Results of adiabatic temperature rise test.

4. 결 론

산업 및 토목기술의 발전으로 인한 콘크리트 구조물의 대형화 및 다양화가 시도되고 있는데 특히 대형 구조물의 시공시 수화열로 인한 온도균열 발생으로 콘크리트 구조물의 내구성능의 저하 문제가 발생하고 있다. 본 논문은 시멘트의 종류에 따라 제작된 콘크리트의 내구성능 및 수화열 저감 특성을 고찰하기 위하여 보통포틀랜드 시멘트, 플라이애쉬를 혼합한 2성분계 시멘트, 플라이애쉬와 고로슬래그를 혼합한 3성분계 시멘트 및 저발열 시멘트를 각각 사용하여 제작한 콘크리트의 물성, 내구성능 및 수화특성 등을 비교 분석하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 모든 시험체에서 슬럼프 및 공기량은 목표 범위를 만족하여 기본 물성 측면에서 시멘트의 종류에 따른 문제점은 특별히 없는 것으로 판단된다.
2. 압축강도 시험 결과, 초기재령 7일에서는 2, 3성분의 혼합시멘트 콘크리트의 강도가 OPC 보다 훨씬 낮았으나 재령 28일 이후부터는 플라이애쉬 및 고로슬래그 등의 포졸란계 물질의 함유로 인한 포졸란 작용으로 강도가 증진되어 재령 90일에서는 OPC보다 훨씬 높은 강도를 나타내어 장기강도 증진에 효과적이었다.
3. 건조수축 길이변화 시험 결과, OPC에 비해 혼합시멘트 및 저발열 시멘트 콘크리트의 건조수축 변화율이 적었다. 건조수축 변화율은 적을수록 상대적으로 건

조수축에 의한 균열의 발생 가능성이 적어지므로 OPC 보다 혼합시멘트 및 저발열 시멘트가 경우가 건조수축으로 인한 균열 저감 효과가 높음을 알 수 있었다.

4. 단열온도 상승 시험 결과, OPC의 경우 수화열 저감효과가 가장 열악하였으며 2성분 및 3성분계 혼합시멘트는 OPC에 비해 최고 온도 및 도달시간이 늦어 온도 저감에 보다 효과적임을 알 수 있었다. 한편, 온도저감에 가장 효과적인 시험체는 저발열 시멘트 콘크리트인 LHC로 최고온도는 3성분계 시멘트 콘크리트인 TBC와 큰 차이가 없었으나 OPC나 혼합시멘트에 비해 최고온도 도달 시간이 늦어져 온도 저감 효과가 우수함을 알았다.

5. 이상의 연구결과로부터, 3성분계 혼합시멘트인 TBC가 내구성 및 수화열 저감 효과에 가장 우수하여 매스 콘크리트 및 내구성이 요구되는 구조물 축조에 적합하다고 판단된다.

References

1. Yon-dong Park, Jae-ho Noh, Chung-ho Han and Hoon Kim, 1996 : Production and Statistical Quality Control of Low-Heat High Strength Ready-Mixed Concrete, Proceedings of Korean Concrete Institute, Vol. 8, No.1, pp.376-381
2. Han-young Moon, Dae-joong Moon, Jin-cheol Kim and Sang-wook Ha, 1997 : A Study on the Workability of using Belite Rich Cement, Proceedings of Korean Society of Civil Engineers, Vol.19, No.1, pp.323-326
3. Sung-woo, Choi, Sung Kim, Hyun-tae, Cho and Joon-young Chun, 2007 : The Experimental Study on the Durability of Low Heat Concrete for the Kinds of Binder, Proceedings of Korean Concrete Institute, Vol.8, No.1, pp.709-712
4. Hae-moon, Cheong, Tae-song, Ahn and Kwang-myung Lee, 2004 : Improved Technologies of Durability of Concrete Bridge for Chloride Attack, Journal of Korean Concrete Institute, Vol.16, No.2, pp. 31-39
5. Hyung-hoon Kim, 2010 : A Study on the Reduction Effect of Hydration Heat according to the Binders, Master's Thesis, Chonbuk National University
6. Nam-wook Kim and Chun-ho Kim, 2012 : Mechanical Properties of Concrete using Metakaolin and Silicon Dioxide, Journal of KIRR, Vol. 21, No. 2, pp. 47-52
7. Nam-wook Kim and Young-zoo Ko, 2012 : A Research on the Manufacture of Eco-Friendly Weed-Proof Mortar using Industrial Byproducts, Journal of KIRR, Vol. 21, No.6, pp. 23-31



김 춘 호

- 경희대학교 대학원 토목공학과 공학박사
- 구조기술사
- 현재 중부대학교 공과대학 토목공학과 교수



김 남 욱

- 일본 북해도대학 대학원 토목공학과 공학박사
- 전북대학교 박사후 연구원
- 청주대학교 토목공학과 전임강사
- 현재 전북대학교 공과대학 토목공학과 연구부교수