

시멘트특성에 따른 콘크리트의 물리적성질에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Physical Properties of Concrete using all kinds of Cements

김 상 철* 노 재 호** 강 승 희*** 최 수 흥****
Kim, Sang-Chel Noh, Jae Ho Kang, Seung-Hee Choi, Soo-Hong

ABSTRACT

The selection of Cement types is greatly dependent on the structural requirement and construction location associated with control of hydration heat, acquisition of early strength, existence of sulfate attacks and so on. Based on this, this study addresses the comparison of physical properties of concrete according to the use of different cement types.

As a result of testing with OPC, blast furnace slag and low heat cement, it is found that concrete made with low heat cement is much better in term of hydration heat and permeability. It is also recommended to select a proper cement type depending on structural characteristics.

1. 서 론

경제의 발달과 함께 사회 간접자본에 대한 건설도 점차 대형화, 특성화 되므로써 새로운 공법 및 요구조건을 만족시키는 신개념의 콘크리트 개발이 필요하게 되었으며, 이에 따라 각 조건에 부응하는 시멘트의 사용이 최근 들어 더욱 필요시 된다. 특히 대형공사인 경우에는 전제 공정상 특정 타설시기가 없이 연속적으로 콘크리트를 타설하여야 하는 경우가 많이 발생하고, 구조형식 및 중요도, 시공위치에 따라서 요구되는 재령별 강도 발현, 염해에 따른 침해여부 및 수화열의 의존도가 각기 다르게 된다.

본 논문은 이러한 새로운 개념의 콘크리트에 대한 연구를 위한 준비단계로서 현재 국내에서 사용되고 있는 대표적인 세가지 종류의 시멘트를 이용한 콘크리트의 물성을 비교 하므로써 매스콘크리트에 대한 적용성 및 현장별 특성에 따른 콘크리트의 사용상의 중요성에 그 목적을 두었다.

2. 실험개요 및 방법

본 실험은 국내에서 생산되는 보통 포틀랜드 시멘트, 내황산염 시멘트, 저발열 시멘트 등 3종의 시멘트에 대한 강도, 수화열 및 투수시험을 통하여 시멘트 종류에 따른 콘크리트의 특성을 비교하였다.

* 동아건설 기술연구소 책임연구원, 공박
** 동양중앙연구소 선임연구원
*** 동아건설 기술연구소 선임연구원
**** 동아건설 기술연구소 연구원

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트 및 혼화제

국내 D사와 S사에서 생산되고 있는 3종류의 시멘트를 사용하였고, 각 시멘트별 화학

조성 및 물리적 성질은 각각 표 1과 2에 나타내었다. 혼화제로는 나프탈렌 설폰산계 고성능 공기 연행 감수제를 사용하였다.

표 1. 시멘트의 화학성분

항목 종류	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Ig. loss (%)
1종	20.80	5.88	3.33	62.71	2.76	2.23	0.41
5종	22.69	3.43	4.43	63.02	3.14	1.92	1.21
저발열	33.59	12.62	2.52	41.22	4.87	1.55	1.48

표 2. 사용시멘트의 물성

재료명	물성
1종 시멘트	비중 3.15, 비표면적 3,150cm ² /g
5종 시멘트	비중 3.17, 비표면적 3,190cm ² /g
저발열 시멘트	비중 2.80, 비표면적 4,080cm ² /g

2.1.2 골재

본 실험에 사용한 잔골재는 경주 모화리에서 채취한 골재이고, 굵은 골재는 최대치수가 25mm인 쇄석으로서 그 물리적 성질은 표 3과 같다.

표 3. 골재의 물리적 성질

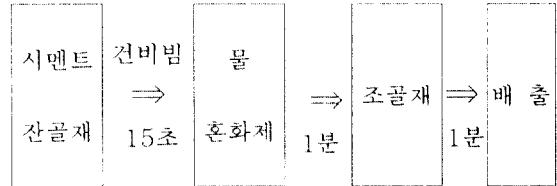
항목	비중	조립율	흡수율	편평지수	세장지수
모래	2.68	6.72	1.696	-	-
자갈	2.68	2.80	1.534	32	38

2.2 실험방법

2.2.1 배합

각 시멘트별 콘크리트의 특성을 비교하기

위하여 단위 시멘트량은 360kg을 사용하였고 고 물시멘트비 45%, S/A는 48%로 하였다. 배합후 슬럼프 15cm이상, 공기량 4±1%가 되도록 혼화제의 첨가량을 조절하였다. 콘크리트의 믹싱순서와 방법은 다음과 같다.



2.2.2 강도

강도는 구조물의 특성을 측정할 수 있는 중요한 지수로서 동일한 골재를 사용하였을 시 골재와 골재간을 연결하는 결합력과 시멘트의 경화시간 및 속도에 따라서 강도상의 차이가 발생할 수 있다. 따라서 시멘트의 종류별로 서로 다른 강도상의 효과가 기대된다.

본 연구에서의 압축강도 실험은 예비실험 단계에서 슬럼프와 공기량등의 조건을 만족시키는 작업성이 우수한 콘크리트를 선별하여 Ø10×20공시체를 제작하여 항온항습조에서 3일간 양생시킨후 재령 3일의 압축강도를 측정하였으며, 재령 7일이후의 압축강도시험에 사용될 공시체는 항온항습조에서 3일간 양생시킨후 탈형하여 항온수조에서 수중양생하여 재령에 따라 KS규정에 준하여 강도실험을 실시하였다.

2.2.3 수화열측정 및 단열온도상승시험

대형구조물이나 댐, 기초등의 매크콘크리트 공사에 있어서 시공기간, 1회타설고 결정 및 콘크리트의 품질등을 좌우하는 가장 중요한 요소는 콘크리트중의 시멘트의 수화열에 의하여 발생하는 콘크리트 내외부의 온도차로서, 내외부의 온도차에 따른 온도응력이 어느 이상이 되면 균열이 발생하게 된다.

이와 같이 콘크리트의 수화발열특성에 가

장 큰 영향을 미치는 요소는 단위시멘트량과 시멘트의 수화발열 특성이라 할 수 있으며, 수화발열량과 수화발열속도의 측정을 위하여 미소수화열량계를 이용하였다.

미소수화열량계는 시멘트와 물을 혼합하여 수화반응이 진행되는 동안 수화반응 환경을 일정한 온도로 유지하면서 발생하는 수화열을 감지하여 각 시각에서의 발생 수화열 및 누적발생 열량을 표시하는 장치로서, 본 실험에서는 물시멘트비를 50%로 하여 물40g과 시멘트 20g을 혼합하고 23℃ 환경에서 72시간까지의 수화발생량을 측정하였다.

단열온도상승시험은 콘크리트 수화열 시험기를 이용하여 외부와의 반응온도를 차단하고 수화열에 의한 콘크리트의 온도상승량을 측정하는 시험으로써 차후 온도에 따른 구조물의 타설고를 결정하기 위한 모델 해석에 이용된다. 이 때, 산출되는 계수는 최고상승 온도 K 와 반응속도 α 인데 시멘트의 종류에 따라 고유한 특성치를 지닌다. 본 실험에서는 일반시멘트와 저발열시멘트를 이용하여 콘크리트를 제조하여 용량 50리터의 강제 원통용기에 시료를 넣고, 용기의 주위 온도를 콘크리트 내부온도와 같도록 변화시켜 콘크리트가 완전 단열 상태에서 수화반응을 일으키도록 하고, 그 수화열에 의한 콘크리트의 온도가 변화하도록 실험하였다.

2.2.4 투수실험

콘크리트의 투수성은 해상구조물의 경우 철근의 부식 및 염해물의 침입에 따른 구조물의 내구성에 직접적인 영향을 미치는 인자로서, 콘크리트가 유해한 환경에 노출될 경우 투수성이 높은 콘크리트는 염이나 이온의 침투가 수월하게되므로 콘크리트의 성능저하가 촉진되어 결과적으로 구조물의 수명 및 사용성이 저하된다.

콘크리트의 투수시험은 높은 압력으로 물을 강제 투수시켜 Darcy의 법칙에 의하여 투수계수를 결정하는 방법이 있지만 투수량

의 측정이 콘크리트의 특성에 따라 매우 불균일하며 실험에 장시간이 요구되는 결점이 있어, 본 실험에서는 수압에 의한 촉진시험보다는 효율적인 염소이온의 투과를 전압차에 의하여 촉진하는 시험법을 이용하였다.

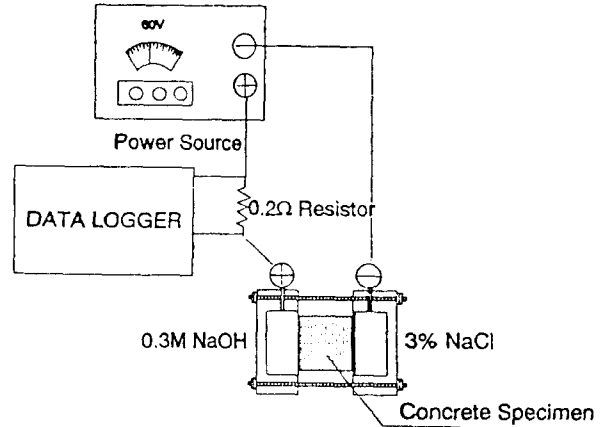


그림 1. 염소이온 투과시험 장치도

표 4. 통과전하량에 따른 염소이온 투과성

ASTM 규정	
통과 전하량(Columbs)	염소이온 투과성
4,000 이상	높음
2,000~4,000	보통
1,000~2,000	낮음
100~1,000	매우 낮음
100 이하	무시할만함

염소이온 투과법은 콘크리트 시편의 염소이온의 침투에 대한 저항성을 측정함으로써 각 시편의 투수성을 간접 조명하고자 하는데 그 목적이 있으며, 기존의 투수시험에 비해서 전위차에 따른 염소이온의 침투를 이용한 방법을 사용하므로써 특성 파악이 수월하고,

조기에 콘크리트의 투수성에 대한 상대값을 얻을 수 있다는 장점이 있다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압축강도

재령별 압축강도는 표 5와 같으며, 저발열 시멘트의 경우 조기 재령에서의 강도 발현율이 보통 포틀랜드 시멘트 및 내황산염 시멘트를 사용한 경우와 비교하여 상대적으로 낮은 값을 보였다. 하지만 장기 재령에 있어서는 거의 동등한 값을 나타내었다.

표 5. 재령에 따른 압축강도

분류	압축강도		
	재 령		
	3일	7일	28일
1종 시멘트	222	304	390
5종 시멘트	240	317	372
저발열 시멘트	65	171	364

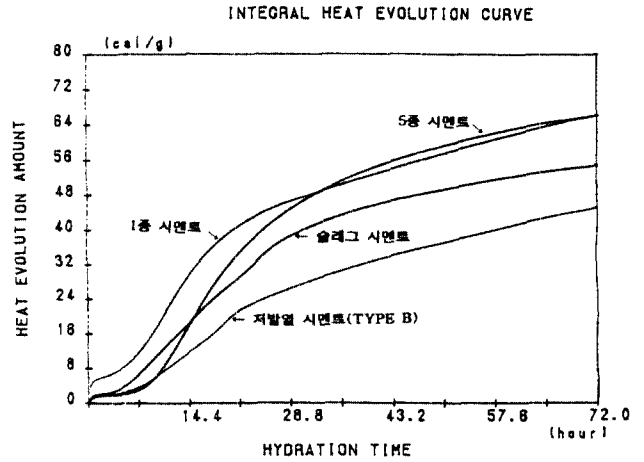
3.2 수화열 특성

시멘트의 수화발열 특성을 알아 보기 위하여 미소수화열량계로 측정된 수화발열 특성은 아래 그림 2와 같다. 72시간까지 추정된 보통 포틀랜드 시멘트와 내황산염 시멘트의 수화발열량은 거의 동일한 것으로 나타났으며 저발열 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트 및 내황산염 시멘트 수화발열량의 약 1/2 ~ 1/3 정도의 낮은 값을 보였다.

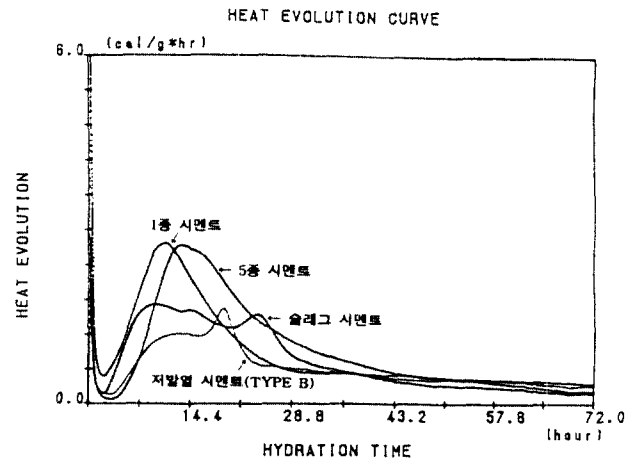
표 6. 시멘트에 따른 수화발열량

시멘트의 종류	누적수화발열량 (cal/g/72hour)	비 고
1종 시멘트	66	23℃ 환경
5종 시멘트	66	
저발열 시멘트	45	

따라서 대량의 콘크리트가 요구되는 매스 콘크리트의 수화열감소나 1회 타설고 증진을 위해서는 저발열시멘트를 사용하는 것이 잇점이 있을것으로 사료된다.



(a) 누적수화발열량



(b) 수화발열량

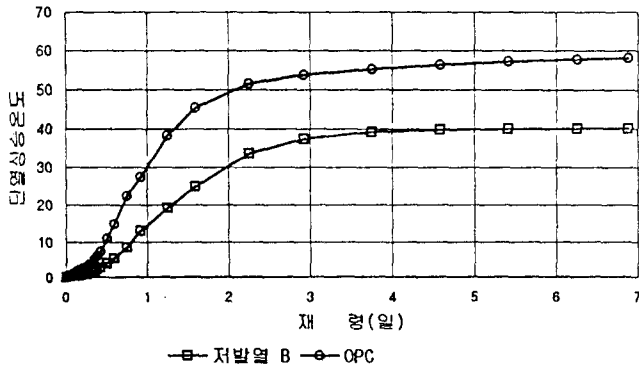
그림 2. 미소수화열량계에 의한 수화발열량

단열온도 상승시험에 따른 시험결과는 표 7과 그림 3에 나타내었다. 저발열시멘트를 이용한 콘크리트의 재령별 단열온도와 1종시멘트의 경우를 비교하여 보면 저발열시멘트에서는 1종시멘트보다 10℃ ~ 20℃정도 온도가 낮춰짐을 알 수 있다. 또한 단열온도 상승계수에 있어서도 저발열시멘트의 경우 1종

시멘트에 대해 K값은 76.5%, α 값은 32.4% 정도 낮은 값을 나타내었다.

표 7. 시멘트종류별 콘크리트 단열온도 상승계수

시멘트 종류	K	α
1종 시멘트	51.5	1.05
저발열 시멘트	39.4	0.34



(단위시멘트량 400kg/m³, 초기 온도 20°C)

그림 3. 시멘트종류에 따른 콘크리트 단열온도 시험결과

3.3 투수시험

시험시편의 투수거리는 50cm를 기준으로 시험을 수행하였으나, 시편 절단시에 생긴 오차로 인하여 길이에 약간의 차이가 있으며, 실험결과는 표 8과 같다.

실험 결과에서 보는 바와 같이 분말도가 상대적으로 높은 저발열시멘트가 다른 2종의 시멘트와 비교하여 투수성이 우수한 결과를 보였으며, 보통 포틀랜드 시멘트 및 내황산염 시멘트를 이용한 경우에도 혼화재로서 분말도가 시멘트보다 우수한 고로슬래그나 실리카흙을 첨가한 경우에는 시멘트만 단독으

로 사용한 경우와 비교하여 내투수성이 향상되는 것을 알 수 있었다.

표 8. 투수시험 결과표

종류	항 목 시편의 두께 (mm)	투과 전하량 (Coulomb)
1종 시멘트	48.08	2624
5종 시멘트	50.6	3469
저발열 시멘트	50.4	1966

4. 결 론

각 시멘트의 성상과 관련된 인자들에 대하여 연구 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 조기 압축강도 발현율은 보통 포틀랜드 시멘트 및 내황산염 시멘트가 우수하였으나 장기 압축강도 발현율은 저발열 시멘트가 우수하여 시공여건에 따른 시멘트의 선택과 콘크리트의 제조에 주의가 요망된다.
- 2) 수화열 특성은 저발열 시멘트가 우수하여 매스콘크리트 제조시에 많은 효과가 기대되며, 1종이나 5종시멘트의 사용시에는 고로슬래그나 플라이애쉬와 같은 혼화재와의 병용이 필요할 것으로 판단된다.
- 3) 내투수성은 타시멘트에 비해 분체량이 높은 저발열 시멘트가 가장 우수하였으며, 상대적으로 보통 포틀랜드 시멘트와 내황산염 시멘트는 내투수성이 저발열 시멘트에 비하여 떨어졌으나, 적정량의 혼화재를 첨가하는 경우 투수성이 현저히 감소하는 결과를 얻었다.

- 4) 위와 같은 결과를 볼 때 구조물의 특성과 주변환경을 고려하여 적절한 시멘트와 혼화재를 선정하여 콘크리트를 제조할 경우 많은 효과가 기대된다.

참고문헌

- (1) 윤재환 외, “고로슬래그 시멘트를 사용한 콘크리트 배합설계에 관한 연구”, 한국콘크리트학회논문, 제7권2호, pp.113-120, 1995
- (2) 오병환 외, “고내구성콘크리트의 개발 및 실용화 연구” 한국콘크리트학회논문, 제7권2호, pp.155-158, 1995
- (3) T. C. Powers, The Properties of Fresh Concrete