

벨라이트시멘트 콘크리트의 기초적 성질에 대한 연구

A study on the Fundamental Properties of Concrete with Belite Cement

문 한 영* 문 대 중** 하 상 옥*** 김 기 수****
Moon, Han Young Moon, Dae Joong Ha, Sang Wook Kim, Ki Soo

ABSTRACT

As construction technology advances, most of concrete structures are becoming larger and taller. Therefore, high strength and high quality concrete is necessary for them. Nowadays, the proposal of using belite rich cement is investigated to satisfy high flowing, low heat, and high strength.

In this study, the height difference, the falling time and the maximum temperature of concrete using BRC were lower than that of concrete using OPC. Furthermore the compressive strength of concrete using BRC with and without compacting was not different. And the compressive strength of core specimens was higher than that of specimens in water curing. Compared to OPC, there was a good relationship between the curing temperature and the development of strength in BRC.

1. 서 론

최근 건설되고 있는 콘크리트 구조물이 점차 대형화, 경량화 하는 추세에 따라 이들 요구에 부응하기 위하여 벨라이트시멘트를 사용한 고강도, 고유동, 저발열콘크리트 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다.

주지하는 바와 같이 벨라이트시멘트는 보통포틀랜드시멘트에 비하여 시멘트 조성광물 중 C_2S 성분이 많고 분말도가 크기 때문에 굳지않은 콘크리트의 유동성이 개선되며, 시멘트 수화발열량이 감소되어 콘크리트의 온도상승을 억제할 수 있을 뿐만 아니라 장기강도발현이 매우 우수한 특성이 있다.

본 연구에서는 벨라이트시멘트를 사용한 콘크리트의 충전성 및 콘크리트 온도상승량 및 강도 등에 대하여 보통포틀랜드시멘트 콘크리트와 비교하여 검토하기 위하여 실시한 실험결과에 대하여 고찰하였다.

* 한양대학교 공과대학 지구환경건설공학부 교수

** 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정 수료

*** 쌍용중앙연구소 환경자원연구실 연구원

**** 쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 실장

2. 실험 개요

2.1 사용재료

- (1) 시멘트 : 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC)와 S사의 벨라이트시멘트(이하 BRC)를 사용하였으며, 화학성분과 조성광물은 표 1과 같다.

표 1. 시멘트의 화학성분 및 조성광물

Items Type	Oxide Compositions (%)							Compound Compositions (%)			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig.loss	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
OPC	21.95	6.59	2.81	60.1	3.32	2.11	2.58	50	21	10	10
BRC	24.5	3.7	3.6	62.0	1.3	2.5	1.8	37	45	3	9

- (2) 골재 : 잔골재는 비중 2.61인 강모래를 사용하였으며, 굵은 골재는 최대치수 20mm, 비중 2.63인 부순자갈을 사용하였다.
- (3) 화학 혼화제 : 주성분이 폴리카복실에테르 고축합물이며, 비중 1.05 ± 0.01 인 고성능 AE감수제를 사용하였다.

2.2 실험 방법

- (1) 굳지않은 콘크리트의 충전높이 시험 : 철근을 종방향으로 배근한 박스를 제작하여 한쪽의 윗면까지 콘크리트를 채운후, 칸막이를 열어 콘크리트가 철근을 통과하여 채워진 뒤, 양쪽 콘크리트의 높이차를 측정하였다.
- (2) 굳지않은 콘크리트의 유하시험 : 정방향 용기의 밑부분을 한방향 또는 양방향으로 철근을 배근한 시험장치를 제작하여 다짐을 하지 않고 콘크리트를 채운 다음 유하시간을 측정하였다.
- (3) 콘크리트의 온도측정 시험 : 30×30×30cm 입방체 스티로폴 용기로 단열장치를 만들어 콘크리트를 채운 다음 콘크리트 중심부에 온도센서(thermocouples)를 묻고 경과시간에 따른 콘크리트의 최대온도와 하강온도가 막상직후 콘크리트 온도와 동일할 때까지 측정하였다.
- (4) 강도 시험 : Ø 10×20cm 원주형 공시체를 제조한 후, 20±1℃의 수중에서 양생한 재령 3, 7 및 28일의 압축강도와 콘크리트의 온도측정 시험을 실시한 후 재령 28일에서 채취한 코아 공시체의 압축강도를 KS F 2405에 의하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 굳지않은 콘크리트의 유동성에 대한 고찰

굳지않은 벨라이트시멘트 콘크리트의 유동특성을 보통포틀랜드시멘트 콘크리트와 비교, 검토하기 위하여 단위시멘트량을 350, 450 및 550kg/m³의 3단계로 변화시켜 보통포틀랜드시멘트와 벨라이트시멘트 콘크리트의 충전 높이차와 한방향 또는 양방향으로 철근을 배근한 박스내의 유하시간을 측정하여 정리한 것이 그림 1 및 그림 2이다.

그림 1에서 단위시멘트량 증가함에 따라 충전 높이차가 작아지고 있으며, 특히 벨라이트시멘트를 사용한 콘크리트의 경우 단위시멘트량 450 및 550kg/m³에서 충전 높이차가 '0'으로써 벨라이트시멘트 콘크리트의 유동성이 좋음을 알 수 있다.

그림 2에서 벨라이트시멘트 콘크리트의 경우 단위시멘트량 350kg/m^3 에서 철근배근 상태와 관계없이 폐색현상이 나타났으나, 단위시멘트량 450 및 550kg/m^3 에서는 보통포틀랜드시멘트 콘크리트에 비하여 유하시간이 크게 짧아지는 좋은 결과로서 벨라이트시멘트 콘크리트의 시공성이 좋음을 알 수 있었다.

이는 벨라이트시멘트는 C_2S 성분이 많으며, 분말도가 클 뿐만 아니라 고성능 AE감수제에 의한 분산효과가 우수하여 유동성이 좋아진다고 생각된다.

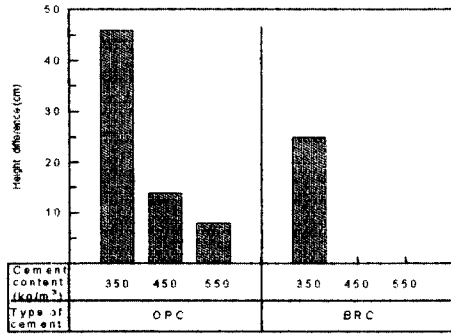


그림 1. 굳지않은 콘크리트의 시멘트 종류 및 단위시멘트량에 따른 충전 높이차

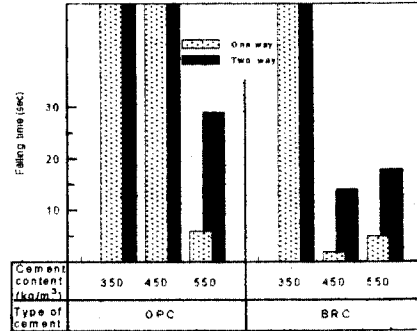


그림 2. 굳지않은 콘크리트의 시멘트 종류 및 단위시멘트량에 따른 유하시간

3.2 시멘트의 수화발열에 따른 콘크리트의 온도변화

시멘트의 수화반응에 따른 콘크리트의 온도변화를 알아보기 위하여 보통포틀랜드시멘트와 벨라이트시멘트의 단위시멘트량을 4단계로 변화시켜 콘크리트를 제조한 후 경과시간에 따른 온도변화를 측정하여 정리한 것이 그림 3 및 그림 4이다.

그림 3에서 단위시멘트량의 증가함에 따라 콘크리트의 최대온도가 10°C 정도 비례적으로 증가하여 단위시멘트량 600kg/m^3 의 경우에는 믹싱 후 경과시간 29시간에서 최대온도가 79°C 로서 매우 높게 나타났다. 반면에 그림 4에서 벨라이트시멘트 콘크리트는 단위시멘트량이 600kg/m^3 인 경우 최대온도가 66°C 로서 보통콘크리트의 최대온도에 비해 약 13°C 정도 온도상승을 저감시키는 효과가 있었다. 이는 벨라이트시멘트의 조성광물 중 C_3S 를 크게 줄인 반면, C_2S 성분을 크게 늘리므로써 시멘트수화발열량이 감소되어 콘크리트의 온도상승량을 줄이는 효과가 있었다.

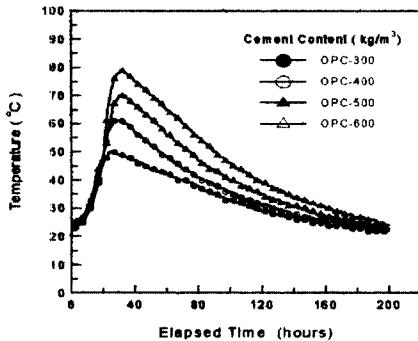


그림 3. 보통포틀랜드시멘트 콘크리트의 경과시간에 따른 온도변화

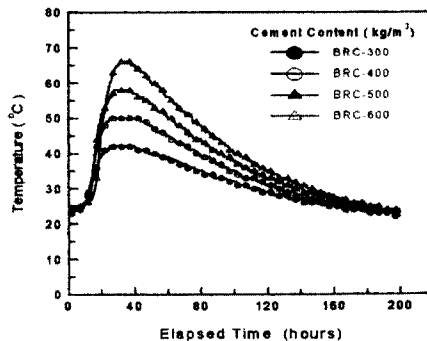


그림 4. 벨라이트시멘트 콘크리트의 경과시간에 따른 온도변화

3.3 경화한 콘크리트의 압축강도에 대한 고찰

굳지않은 콘크리트의 충전성 및 유하시간을 측정된 배합으로 진동다짐과 다짐을 하지 않은 콘크리트의 재령 3, 7 및 28일의 압축강도를 측정하여 정리한 것이 그림 5로서, 보통포틀랜드시멘트 콘크리트는 다짐을 하지 않은 경우 진동다짐 한 콘크리트에 비하여 압축강도가 떨어지는 반면 벨라이트시멘트 콘크리트의 경우 다짐여부 및 재령에 관계없이 압축강도의 차이가 거의 없었다.

다음은 콘크리트의 온도변화를 측정된 배합으로 콘크리트를 제조하여 수중양생과 온도측정을 실시한 코아 공시체의 재령 28일 압축강도를 비교하여 정리한 것이 그림 6으로서 단위시멘트량이 증가함에 따라 강도가 증가하였으며, 벨라이트시멘트의 경우 단위시멘트량 $600\text{kg}/\text{m}^3$ 에서 코아 공시체의 압축강도가 약 $764\text{kg}/\text{cm}^2$ 정도로 수중양생에 비하여 약 12% 정도 증가되었음을 알 수 있었다.

이번에는 양생온도를 20, 40 및 80°C 로 수중에서 양생한 콘크리트의 재령 3, 7 및 28일의 압축강도를 비교하여 정리한 것이 그림 7로서, 보통포틀랜드시멘트 콘크리트는 단위시멘트량에 관계없이 재령 7 및 28일의 압축강도가 양생온도 40°C 에서 최대값이 나타났으며, 벨라이트시멘트 콘크리트는 양생온도와 압축강도와와의 사이에는 좋은 상관관계를 나타내었으나, 단위시멘트량 450 및 $550\text{kg}/\text{m}^3$ 의 경우 재령 28일의 압축강도가 양생온도 40°C 에서 최대값이 나타났으나, 80°C 에서는 압축강도가 오히려 감소되는 결과를 나타내었다.

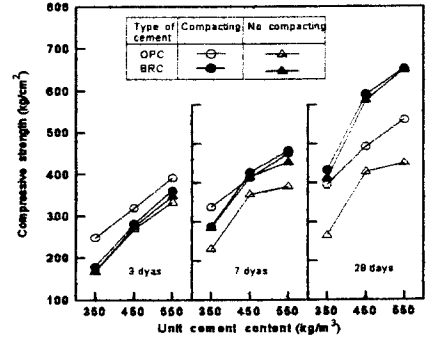


그림 5. 콘크리트의 다짐방법별 압축강도

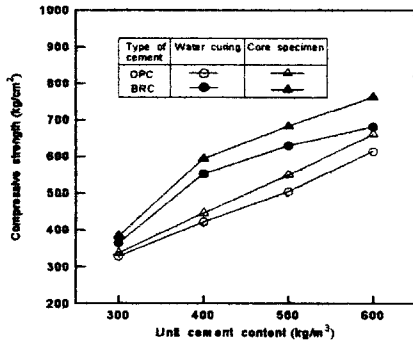


그림 6. 시멘트 수화발열에 따른 압축강도

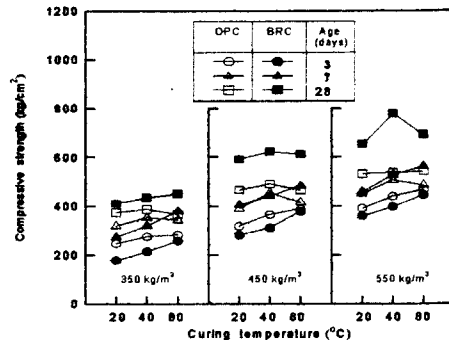


그림 7. 양생온도에 따른 압축강도

4. 결 론

- 1) 굳지않은 벨라이트시멘트 콘크리트의 충전높이차 및 유하시간이 보통포틀랜드시멘트 콘크리트보다 작게 나타나는 결과로서 벨라이트시멘트의 유동성이 우수함을 알 수 있었다.
- 2) 벨라이트시멘트 콘크리트의 최대온도는 단위시멘트량 $600\text{kg}/\text{m}^3$ 인 경우 66°C 로서 보통포틀랜드시멘트 콘크리트에 비하여 약 13°C 정도 온도상승을 억제하는 효과가 있었다.
- 3) 벨라이트시멘트 콘크리트는 다짐방법에 관계없이 압축강도가 거의 차이가 없었으며, 시멘트 수화반응에 의한 코아 공시체의 압축강도는 수중양생에 비하여 얼마간 증가함을 알 수 있었다.
- 4) 벨라이트시멘트 콘크리트는 양생온도와 압축강도는 좋은 상관성이 있었으나, 단위시멘트량 450 및 $550\text{kg}/\text{m}^3$ 에서 재령 28일 압축강도는 양생온도 40°C 에서 가장 크며, 80°C 에서는 오히려 감소하였다.