

저열 포틀랜드 시멘트를 사용한 댐 콘크리트의 특성에 관한 연구

Study on the Properties of Dam Concrete Using Low Heat Portland Cement

손영준* 하재담** 엄태선*** 이종열**** 김태홍*****
Son, Young-Jun Ha, Jae-Dam Um, Tai-Sun Lee, Jong-Ryul Kim, Tae-Hong

ABSTRACT

In order to control the temperature crack of massive dam concrete, the selection of appropriate materials like binder, aggregates etc., is essential. To select the optimal mix proportion, ordinary portland cement(Type I) plus 25% of fly ash and low heat portland cement(Type IV) are used as binder, and 80mm of coarse aggregates are used to reduce the amount of binder and compare the compressive strength, hydration temperature and crack index.

The results of this study are as following.

1. The strength of Type IV cement is advantageous on the long-term age.
2. According to the temperature measured on mock-up(1.5m×1.5m×1.5m), and realized the thermal analysis, the Type IV cement carried out advantageous to control the thermal crack.

1. 서론

댐 콘크리트는 대형 매스콘크리트 구조물로 수밀성, 안전성, 내구성을 확보하여야 하는 것은 물론이며, 특히 매스콘크리트의 온도균열제어를 고려하여 선정하여야 한다.

대형 매스콘크리트의 온도균열제어를 위해서는 설계적, 재료적, 시공적 방법을 적용할 수 있으며 설계적인 방법으로는 설계기준재령 연장, 균열유발줄눈 설치 등이 있으며 재료적인 방법으로는 저발열형 결합재 사용, 굵은골재 최대치수 최대화 등이 있으며, 시공적인 방법으로는 1회 타설고 조절, 파이프쿨링 적용 등이 대표적이며 경제성, 시공성 등을 고려하여 최적의 방법을 선정하여야 한다.

본 연구에서는 댐 콘크리트의 온도균열제어를 위하여 재료적인 방법인 저발열형 결합재인 보통 포틀랜드 시멘트에 플라이 애쉬를 25% 치환한 2성분계(1종+FA25%)와 저열 포틀랜드 시멘트(4종)를 사용하고, 또한 단위결합재량을 최소화하기 위하여 굵은골재 최대치수를 80mm로 사용하여 배합설계를 수행하여 재령별 압축강도를 비교하였으며, Mock-up 시험을 통한 중심부 및 표면부와의 수화열 비교 및 수화열 해석을 통한 온도균열지수를 검토하여 최적의 재료를 선정하고자 하였다.

* 정희원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 연구원

** 정희원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 수석연구원(공학박사)

*** 정희원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 실장(공학박사)

**** 정희원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 소장

***** 정희원, 쌍용양회공업(주) 특수시멘트팀 대리

2. 사용재료 및 콘크리트 배합

2.1 사용재료

결합재로 보통 및 저열 포틀랜드 시멘트, 강열감량 3.2%, 분말도 3,500cm²/g의 삼천포산 플라이 애쉬를 사용하였으며 결합재의 화학적, 물리적 특성은 다음 표 1 및 표 2와 같다.

표 2 시멘트 및 혼화재 종류별 화학성분 및 광물조성

항목	화학성분(%)						광물조성(%)			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	R ₂ O	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
1종 시멘트	21.0	5.9	3.2	62.5	2.1	0.8	49	23	10	9
4종 시멘트	25.3	3.1	3.6	62.5	2.3	0.5	31	48	3	11
플라이 애쉬	62.4	23.6	6.1	3.9	0.4	1.5	-	-	-	-

표 3 시멘트 종류별 물리성능 및 수화열

시멘트	비중	Blaine (cm ² /g)	응결(h:m)		압축강도(kgf/cm ²)				수화열(cal/g)		
			초결	종결	3일	7일	28일	91일	7일	28일	91일
1종시멘트	3.15	3,200	4:30	6:50	195	290	376	414	81	92	99
4종시멘트	3.22	3,500	5:50	9:20	126	175	335	502	55	67	78

또한 본 실험에 사용된 잔 골재는 밀도가 2.60인 강사를 사용하였고 굵은 골재는 밀도가 2.81, 최대치수는 80mm인 쇄석을 사용하였으며 물리적 특성을 다음 표에 나타내었다.

표 3 골재의 물리적 특성

항목	밀도	흡수율 (%)	단위용적질량 (kg/m ³)	조립률	씻기 손실량 (%)
잔 골재	2.60	1.65	1,619	2.86	0.96
굵은 골재	2.81	0.60	1,641	7.32	0.45

2.2 콘크리트 배합

레미콘 규격은 80-18(91일)-4로 본 연구에서는 단위결합재량을 최소화하기 위하여 굵은골재 최대치수를 80mm로 정하고 또한 혼화제는 폴리카본산계 고성능 AE감수제를 0.7% 사용하여 다음 표에서 보는 바와 같이, 배합시험을 통하여 최종적으로 배합을 선정하였다.

표 5 결합재종류별 시방배합표

결합재 종류	W/B (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m ³)						Slump (mm)	Air (%)
			W	B		S	G	PC		
				C	FA					
1종+FA25%	56.8	35.5	126	166	56	709	1,393	1,554	35	3.6
4종	56.8	36.5	126	222	-	731	1,374	1,554	45	3.2

3. 시험 결과 및 고찰

3.1 압축강도 특성

압축강도 특성을 평가하기 위하여 사용된 공시체는 $\phi 150 \times 300\text{mm}$ 이며 Batch Plant에서 제조하여 40mm체로 체가름한 후 40mm 이하 분으로 제작하였으며 재령별 콘크리트의 압축강도 측정결과를 다음 그림에 나타내었다.

압축강도 특성은 재령 91일에 설계기준강도인 18MPa를 만족하였으며 4종시멘트 배합은 1종+FA25% 배합에 비하여 재령 7일 및 28일에서는 작게 발현되었으나 재령 91일에서는 크게 발현되어 매스콘크리트 측면에서의 강도발현 특성이 4종시멘트가 유리한 것을 알 수 있다.

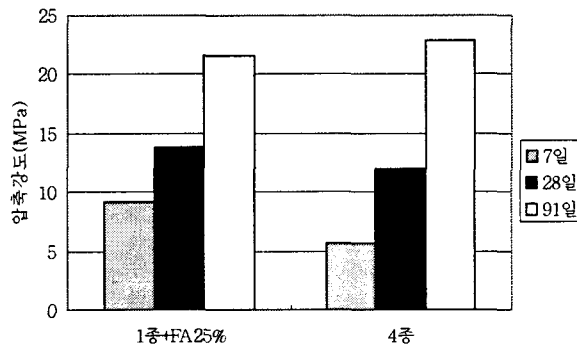


그림 1 결합재 종류에 따른 재령별 압축강도

3.2 수화열 특성

수화열의 상대 비교를 위하여 1.5m×1.5m×1.5m 모형부재를 제작하고 50mm 스티로폼을 거푸집 내부에 설치하여 외기온도의 영향을 최소화 하였다. 수화열을 계측하기 위하여 온도센서를 설치하고 Data Logger로 부위별 온도분포를 자동 측정하였으며 계측결과를 다음 그림에 나타내었다.

수화열 계측결과, 최고온도 도달시점의 중심부와 표면부의 온도차이는 1종+FA25%는 16.0°C, 4종시멘트는 5.0°C 정도로 나타나 4종시멘트가 온도균열 제어에 유리한 것을 알 수 있다.

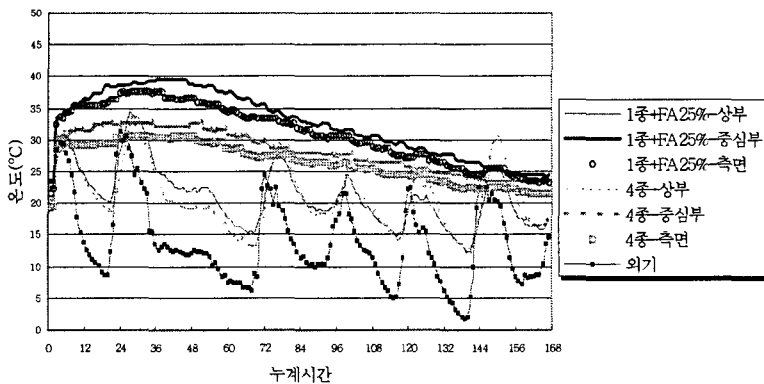


그림 2 수화열 계측결과

3.3 수화열 해석

1회 타설고 1.5m, 폭 15.0m, 길이 28.8m인 댐 구조물은 물을 저장하는 구조물의 특성상 미세한 균열이라도 발생하면 누수의 위험에 노출되기 때문에 설계 온도균열지수를 1.50으로 하였으며, 콘크리트 타설온도 (25°C), 외기온도(20°C) 등 모든 조건은 동일하며 단지 결합재 종류별 단열온도상승특성을 달리하여 MIDAS/Civil을 사용하여 하단 및 상단에 대하여 14일 타설간격을 고려하여 수화열 해석을 수행하였다.

수화열 해석결과 1종+FA25% 배합과 4종 배합에서 중심부 최대온도는 각각 46.8 및 35.9°C로 나타났으며 최소온도균열지수는 각각 0.78 및 1.50으로 나타나 4종 배합을 사용하면 파이프쿨링 등의 시공적 방법을 적용하지 않아도 온도균열을 제어할 수 있는 것으로 나타났다.

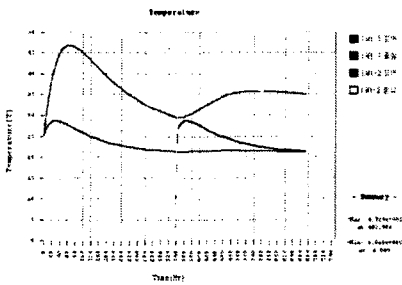


그림 3 (a) 수화열 - 1종+FA25%

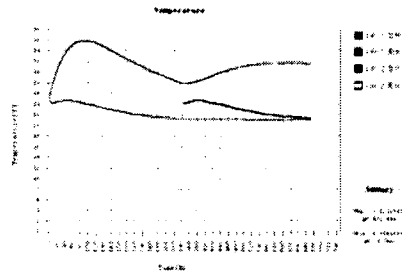


그림 3 (b) 수화열 - 4종

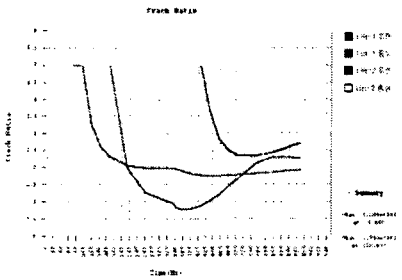


그림 4 (a) 온도균열지수 - 1종+FA25%

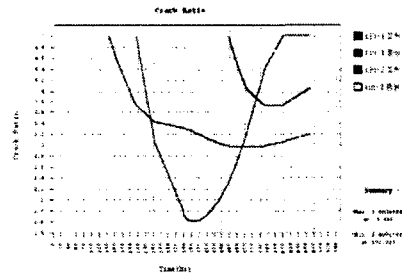


그림 4 (b) 온도균열지수 - 4종

4. 결론

댐 콘크리트의 최적배합을 선정하기 위하여 1종+FA25% 및 4종시멘트를 결합재로 하여 배합시험, Mock-up 시험 및 수화열 해석을 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 동일 단위결합재량 및 물-결합재비에서 4종 배합이 장기적인 강도 측면에서 유리하다.
- 2) 1.5m×1.5m×1.5m 모형부재에 대한 수화열 계측 결과, 4종 배합이 최고온도 도달시점의 중심부와 표면부의 온도차이가 5.0°C 정도로 나타나 온도균열 제어에 유리한 것을 알 수 있다.
- 3) 수화열 해석결과 4종 배합은 온도균열지수가 1.50 정도여서 파이프쿨링 등의 시공적 방법을 적용하지 않아도 온도균열을 제어할 수 있는 것으로 나타났다.

또한 건조수축, 동결융해 등 댐콘크리트에서 중요한 내구특성은 현재 평가 중에 있다.

참고문헌

1. 쌍용기술연구소, 강원랜드 수자원개발공(제설연못) 최적 사용재료 검토 보고서, 2005.