

저열 포틀랜드 시멘트 적용을 통한 SRC 교각 온도균열 제어

Thermal Crack Control of SRC Pier Using Low-Heat Portland Cement

김태홍^{*} 하재담^{**} 유재상^{***} 이종열^{****}
Kim, Tae Hong Ha, Jae Dam Ryu, Jae Sang Lee, Jong Ryul

ABSTRACT

SRC pier at KTE 6-1 construction area is a very important structure. Precise control of quality is needed. This pier has 3.50m×3.73m section and 38.20m length. So this structure must be treated as mass concrete and thermal crack caused by hydration heat should be controlled.

In this project belite cement concrete is used to control the thermal crack. As a result of adapting belite cement concrete perfect control is achieved.

Finally, hydration heat FEM analysis of horizontal element is executed for Ordinary Portland Cement concrete and belite cement concrete. In comparison of two results, it is confirmed that using low heat portland cement concrete is necessary.

1. 서론

1.1 배경

한국고속철도 6-1공구 SRC(Steel Reinforced Concrete)교각은 회덕분기점 남쪽, 한국고속철도와 대전천변고속도로가 교차하는 지점에 위치하고 있다. 고속철도와 고속도로가 약 30도 정도의 각으로 교차하면서 고속철도가 4차선 고속도로 위를 6개의 라멘형상의 SRC교각을 위를 지나게 된다.

고속철도와 고속도로의 사회적, 경제적 중요성을 고려할 때 본 SRC교각은 충분한 안전성 및 내구성의 확보가 필요하였다. 특히, 라멘형상의 교각에서 수평부재에 해당하는 부분은 단면의 크기가 3.50m×3.73m이며 길이가 38.20m로 총 체적이 500m³/개에 해당하는 매스콘크리트 구조물로 이에 따른 온도균열제어 대책이 필요하였다.

1.2 내용

SRC교각의 수평부재 온도균열제어를 목표로 교각의 수평부재에 한국고속철도 6-1공구의 1종 보통 포틀

-
- * 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 연구원
 - ** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 책임연구원
 - *** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 실장
 - **** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 소장

랜드 시멘트를 사용한 보통배합 콘크리트를 적용하여 수화열 해석을 실시하여 그 적합성을 검토하였다. 해석결과, 교각의 수평부재에 1종 보통배합 콘크리트를 적용할 경우, 온도균열이 발생할 것으로 예상되었다.

온도균열제어 대책으로 4종 저열 포틀랜드 시멘트를 사용한 저열배합 콘크리트를 적용하였으며 시공결과, 육안으로 전혀 균열을 발견할 수 없는 만족스러운 온도균열제어 효과를 얻을 수 있었다.

끝으로, 현장의 시공조건 및 계측결과를 바탕으로 1종 보통배합 및 4종 저열배합 콘크리트에 대하여 수화열 해석을 실시하여 본 공사에 적용된 4종 저열배합 콘크리트의 타당성을 입증하였다.

이상의 진행 과정을 그림으로 도시하면 다음 그림 1과 같다.

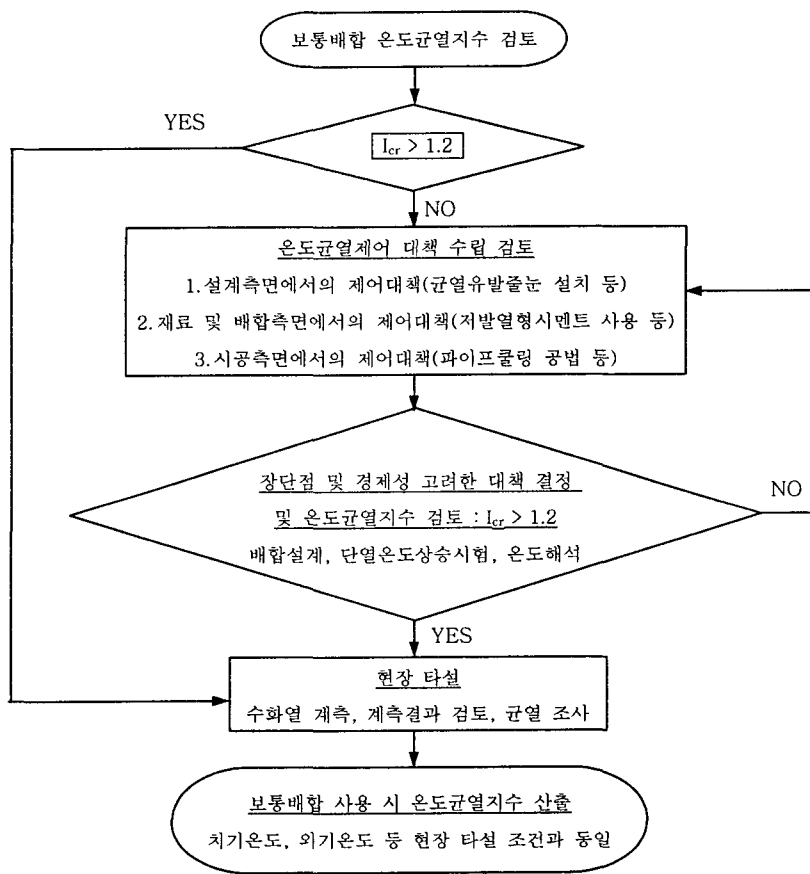


그림 1 온도균열제어 대책 flow

2. 본론

2.1 시공전 해석

한국고속철도 6-1공구에서 기본적으로 사용하는 1종 보통배합 콘크리트를 사용하여 교각을 시공하

는 경우에 대하여 유한요소법을 이용하여 수화열해석을 실시하였다. 해석에 적용된 배합조건은 다음 표 1과 같다.

표 1 경부고속철도 6-1공구 보통배합 시방배합표(25-300-12)

배합종류	W/C (%)	s/a (%)	Unit Weight(kg/m ³)						단열온도상승 특성치	
			W	C	S	G	AD1	AD2	K(°C)	α
1종 보통배합	45.0	45.0	171	380	770	992	1.14	2.28	54.8	1.408

콘크리트의 타설온도 및 외기온도는 25°C로 가정하였으며 표 1의 단열온도상승 특성치는 콘크리트 표준시방서를 근거로 타설온도를 고려하여 계산한 값이다.

해석에 적용된 콘크리트 재료 특성값은 다음 표 2와 같다.

표 2 콘크리트의 재료 특성값

구분	재료 특성값	
열적 특성	비열	0.25kcal/kg °C
	열전도율	2.2kcal/mhr °C
	밀도	2,350kg/m ³
역학적 특성	열팽창계수	10×10 ⁻⁶ /°C
	프아송 비	0.167

28일 및 91일 압축강도는 각각 380kgf/cm² 및 418kgf/cm²로 가정하였다. 기타 시간 의존적 물성치인 재령별 탄성계수 및 인장강도는 콘크리트표준시방서를 근거로 추정하였다.

해석결과 온도균열 지수는 다음 그림 4와 같이 나타났다. 그림 4에 나타난 바와 같이 1종 보통배합 콘크리트를 적용한 수평부재의 최소온도균열지수는 0.84로서 콘크리트표준시방서에 제시된 균열방지를 위한 최소온도균열지수(1.20)에 크게 못 미치고 있다. 따라서 이에 대한 대책이 필요하게 되었다.

2.2 시공

온도균열제어 대책 여러 가지 중 본 공사에는 재료적 측면에서 4종 저열배합 콘크리트 적용을 채택하였다. 시공중에 다음 그림과 같이 부재 내에 4점 및 외기온도를 측정하여 수화열 저감 효과 확인 및 이후의 시공후 해석에 활용하였다.



그림 2 콘크리트 타설전 수평부재

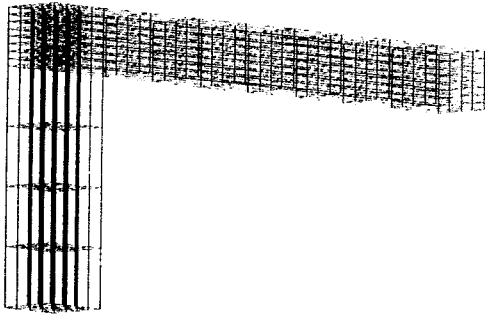


그림 3 해석에 사용된 FEM mesh

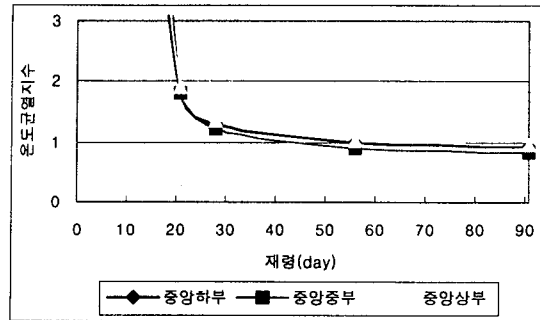


그림 4 온도균열지수(1종 보통배합, 시공전)

시공결과 육안으로는 균열을 전혀 발견할 수 없을 정도의 매우 만족스러운 온도균열 제어효과를 얻을 수 있었다. 그림 5는 부재 내 수화열 계측 지점을 나타내고 그림 6은 수화열 계측결과를 나타낸다.

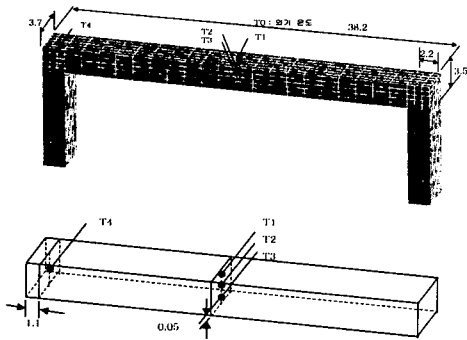


그림 5 수화열 계측 지점

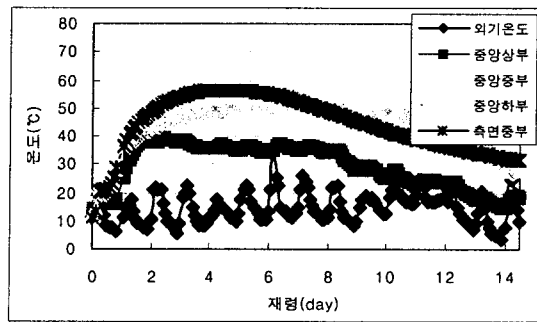


그림 6 수화열 현장계측 결과

2.3 시공후 해석

시공후 시공조건과 현장계측 결과를 바탕으로 1종 보통배합 및 4종 저열배합 콘크리트에 대하여 비교 해석을 실시하였다. 해석에 사용된 1종 보통배합은 앞의 표 1과 같고, 4종 저열배합은 다음 표 3과 같다.

표 3 4종 저열배합 시방배합표(25-300-12)

배합종류	W/C (%)	s/a (%)	Unit Weight(kg/m ³)					단열온도상승특성치		
			W	C	F/A	S	G	AD ¹⁾	K(℃)	α
4종 저열배합	39.7	45.2	172	412	22	763	975	3.472	45.3	0.356

1) AD : 나프탈렌계 고성능 유동화제

여기서, 단열온도상승특성치는 건설교통부보고서를 바탕으로 타설온도 20℃를 고려하여 구해진 값이다. 양생조건은 실제 시공에 적용된 것과 같은 조건으로 고려하였으며 이는 다음 표 4와 같다.

표 4 양생조건 및 대류계수

재령	상부		측면		하부	
	양생조건	대류계수 (Kcal/m ² h℃)	양생조건	대류계수 (Kcal/m ² h℃)	양생조건	대류계수 (Kcal/m ² h℃)
7일 까지	양생포	5.0	합판+스티로폼	1.5	합판+스티로폼	1.5
7일 이후	-	12.0	-	12.0	-	12.0

또한, 외기온도는 현장에서 계측된 외기온도로 1일씩 평균값으로 해석에 입력되었으며 그 값은 다음 표 5와 같다.

표 5 재령별 평균 외기 온도

재령(day)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
외기온도(℃)	10.05	11.12	13.66	13.52	13.22	15.44	17.34	16.27	14.20	15.97	19.03	18.68	13.31	9.57

수화열 해석결과를 현장의 1종 보통배합, 4종 저열배합, 그리고, 계측결과를 비교하여 나타내면 다음 그림 7과 같다. 그림 7에 나타난 바와 같이 해석결과와 계측결과는 서로 잘 일치하고 있다. 따라서, 여기서 사용된 해석방법 및 해석결과는 충분한 타당성을 갖는다고 볼 수 있다. 또한, 1종 보통배합 및 4종 저열배합이 큰 수화열의 차이를 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

그림 8은 4종 저열배합을 적용한 경우의 온도균열지수를, 그림 9는 1종 보통배합을 적용한 경우의 온도균열지수를 각각 나타낸다. 그림 8 및 그림 9에 나타난 바와 같이 4종 저열배합 콘크리트는 최소 온도균열지수가 1.20으로 콘크리트표준시방서의 온도균열방지 조건을 만족시키는 반면 1종 보통배합 콘크리트는 시공전 실시한 해석결과와 마찬가지로 기준값에 크게 미달한다.

이상의 결과에서 보듯이, 본 공사에는 온도균열발생을 방지하기위해 4종 저열배합 콘크리트의 적용은 반드시 필요한 조치였다고 판단된다.

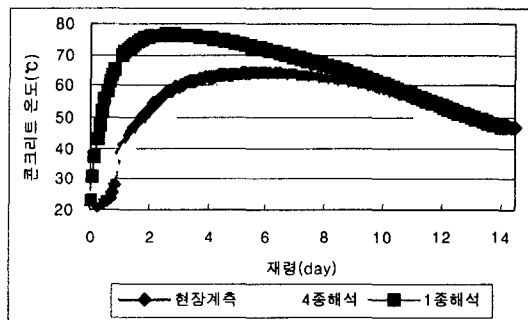


그림 7 수화열 해석 및 계측결과 비교

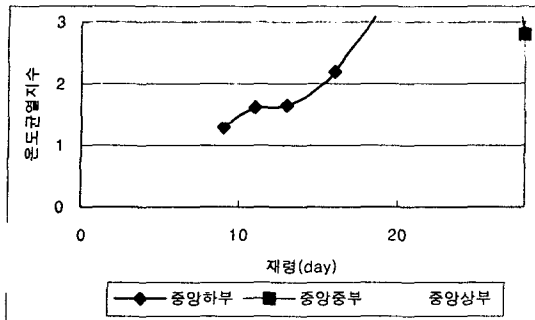


그림 8 온도균열지수(4종 저열배합)

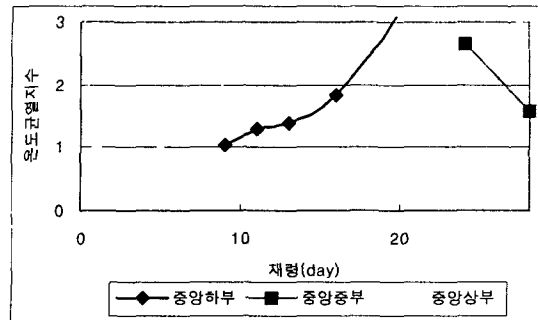


그림 9 온도균열지수(1종 보통배합)

그림 10은 시공이 거푸집 탈영후 SRC교각 모습이다.

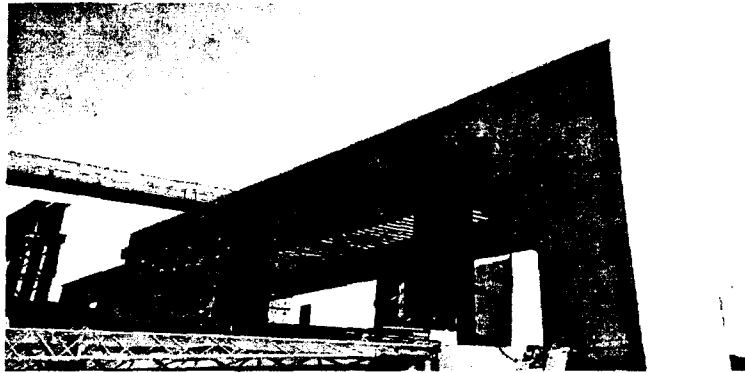


그림 10 거푸집 탈영후 교각

3. 결론

한국고속철도 6-1공구의 SRC교각은 라멘형상으로 수평부재가 매스콘크리트에 해당하며 온도균열 발생이 우려되는 구조물이었다. 온도균열제어를 위해 재료적 측면에서 4종 저열배합 콘크리트를 적용하였다. 적용 결과, 균열을 발견할 수 없을 정도의 만족스러운 결과를 얻을 수 있었다.

또한, 현장에서 계측된 결과와 시공조건을 바탕으로 1종 보통배합과 4종 저열배합 콘크리트의 비교 해석을 실시하여 4종 저열배합 콘크리트 적용의 타당성을 입증하였다.

참 고 문 헌

1. 김태홍 외 3인, "오피tm텔 대형 기초매트의 온도해석을 통한 온도균열제어", KCI 가을 학술발표회 논문집, 2000,
2. 김태홍 외 3인, "조강형벨라이트 시멘트 적용을 통한 Box-Culvert의 온도균열 제어", KCI 봄 학술발표회 논문집, 2001,
3. 하재담 외 5인, "저열 포틀랜드(벨라이트)시멘트 콘크리트의 특성", KCI 가을 학술발표회, 1998.