

# 조강형벨라이트 시멘트 적용을 통한 Box-Culvert의 온도균열 제어

## Thermal Crack Control of Box-Culvert by Using Rapid-Strength Belite Cement

김태홍\* 하재담\*\* 김동석\*\*\* 이종열\*\*\*\* 박경래\*\*\*\*\* 이주호\*\*\*\*\*  
Kim, Tae-Hong Ha, Jae-Dam Kim, Dong-Seuk Lee, Jong-Ryul Park, Kyung-Lae Lee, Joo-Ho

### ABSTRACT

Box-culvert is very important structure used almost every road construction. However this is treated very simple structure in design and construction. So many crack such as nonstructural crack has been occurred. This crack is very harmful on durability of concrete.

In this study, thermal crack, one of the nonstructural crack, of box-culvert controled by using rapid-strength belite cement concrete. In this process, not only heat of hydration and thermal stress but also material mechanics properties and characteristics of durability were tested. and same model box-culvert using OPC concrete is constructed in same condition for comparison.

### 1. 서론

#### 1.1 연구배경

Box-culvert 구조물은 거의 모든 도로건설현장에서 사용되는 주요 구조물이다. 설계시에는 구조물의 폭에 비해서 길이가 긴 구조물이기 때문에 평면변형률 거동을 하는 것으로 가정하여 해석한다. 구조물의 형상은 슬래브와 벽체가 접합되어 있는 형태로 시공도 비교적 간단하다. 이렇게 box-culvert는 설계와 시공이 간단하기 때문에 크게 주의를 기울이지 않는 경향이 있다. 그러나 이러한 부주의로 인하여 시공초기에 균열이 발생하는 경우가 자주 있다. 이런 초기 균열들은 비구조적인 원인으로 발생하는 균열들이 대부분으로써 초기 사용성에는 문제가 없으나 장기적으로는 내구성에 좋지 않은 영향을 미치고 이로 인하여 사용연수의 제한이나 추가적인 보강이 필요하게 되는 경우가 많다.

#### 1.2 연구내용

- \* 정회원, 쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 연구원
- \*\* 정회원, 쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 선임연구원, 공학박사
- \*\*\* 정회원, 쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 주임연구원
- \*\*\*\* 정회원, 쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 수석연구원, 실장
- \*\*\*\*\* 정회원, 롯데건설(주) 기술연구소 선임연구원
- \*\*\*\*\* 정회원, 롯데건설(주) 기술연구소 수석연구원

수화열 저감 효과가 우수함과 동시에 강도 발현이 빠른 조강형벨라이트 시멘트를 적용한 저열배합 콘크리트를 사용하여 실제 box-culvert를 시험시공하여 수화열 및 온도응력을 계측하고 현장에 타설된 콘크리트에 대하여 강도발현을 포함한 재료역학적 특성 및 장기내구 특성 등을 각종 실험을 통하여 파악하였으며 시공이 끝난 후에는 균열 유무 및 폭을 정밀하게 관찰하였다. 또한, 구조 형상 및 기타 환경조건이 동일한 box-culvert에 1종 보통배합 콘크리트를 사용하여 같은 계측 및 실험을 실시하여 그 결과를 비교하였다.

## 2. 시험시공

### 2.1 대상구조물

본 시험시공은 실제 건설중인 고속도로의 box-culvert를 대상으로 하였으며 동일한 환경조건과 동일한 구조형상을 갖는 두 구조물을 각각 조강형벨라이트 배합 및 1종 보통배합 콘크리트를 사용하여 시공하였다.

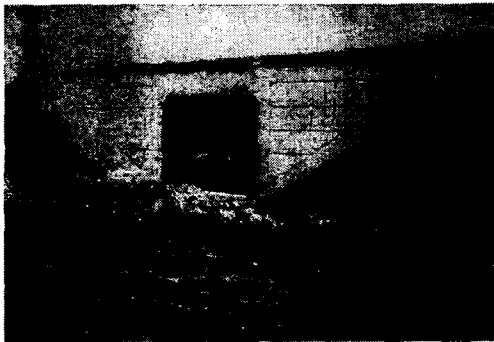


그림 1 시험시공된 Box-culvert



그림 2 시험시공된 Box-culvert 내부

### 2.2 시험시공 배합

현장골재를 사용하여 25-240-15 규격에 부합하는 최적 배합설계를 수행·적용하였으며 그 배합은 다음과 같다.

표 1 조강형 벨라이트 및 1종 시방배합

배합명 (25-240-15)	$\frac{W}{C}$ (%)	$\frac{s}{a}$ (%)	단위재료량 ( $kg/m^3$ )				
			W	C	S	G	AD <sup>1)</sup>
조강형벨라이트	48.0	42.0	185	385	716	1030	1.160
1종	51.3	44.5	183	357	762	990	1.160

AD<sup>1)</sup> : AE감수제

### 3. 콘크리트의 물성평가

#### 3.1 실험항목

재료역학적 특성 및 내구성 등 종합적인 특성 평가를 위하여, 현장에서 배합별로 공시체를 제작하여 표 2에 나타난 바와 같이 각 시험방법에 준한 비교시험을 수행하였다.

표 2 실험항목 및 내용

실험항목		실험조건	공시체 종류	공시체 수량(EA)
재료역학적 특성	압축강도	KS F 2405	Ø10×20cm	12(7,28,56,91일)
	탄성계수	KS F 2438	Ø10×20cm	8(7,28,56,91일)
	할렬인장강도	KS F 2421	Ø10×20cm	12(7,28,56,91일)
장기 내구성	건조수축	KS F 2424	10×10×40cm	2(12주)
	중성화	온도: 40℃, RH: 60%, CO <sub>2</sub> : 5%	Ø10×20cm	4(4주)
	동결융해	KS F 2437	10×10×40cm	2(300cycles)

#### 3.2 실험결과

위의 실험결과를 항목별로 비교 정리하면 다음 그림 3 ~ 8과 같다.

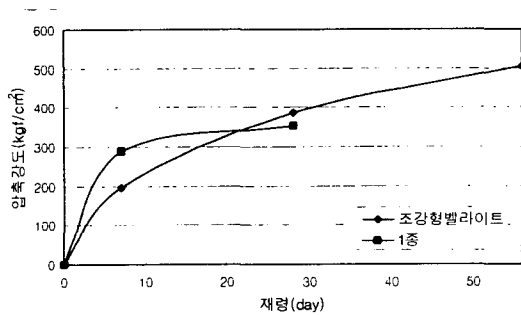


그림 3 압축강도 발현특성 비교

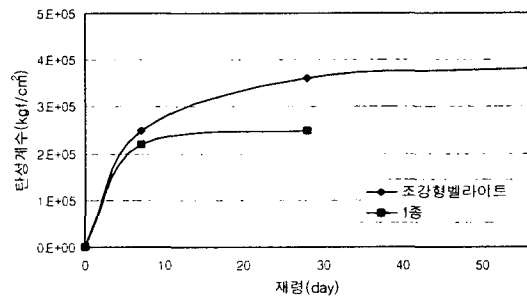


그림 4 탄성계수 발현특성 비교

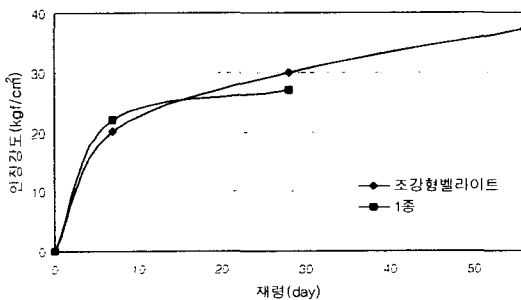


그림 5 인장강도 발현특성 비교

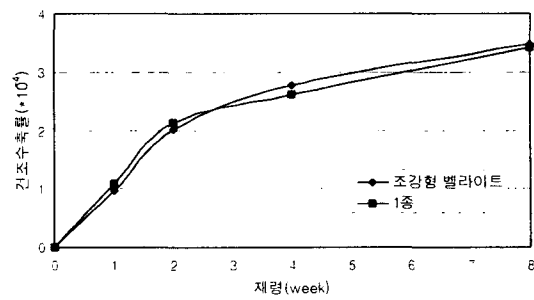


그림 6 건조수축 특성 비교

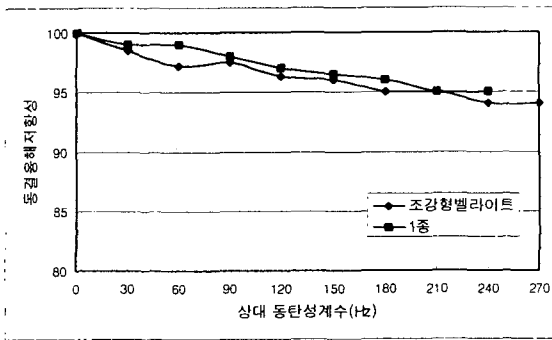


그림 7 동결응해 저항성 비교

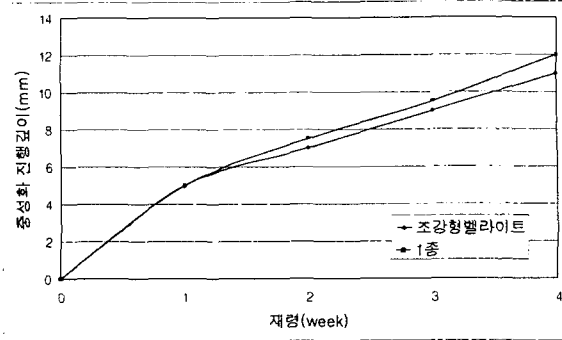


그림 8 중성화 특성 비교

#### 4. 수화열 및 온도응력 현장계측

##### 4.1 현장계측 위치 및 측정개수

시험시공에 따른 현장 수화열 및 온도응력 계측부위는 그림 9에 나타내었다. 수화열의 경우 상부 슬래브와 벽체를 대상으로 4개 부위를 현장 계측하였으며, 온도응력의 경우 벽체에만 유효응력계를 1점 길이방향으로 설치하여 온도응력을 측정하였다.

계측장비로는 data logger : UCAM-70A-20(KYOWA) 및 열전대 : K-type 그리고 유효응력계 : GK-100-505(ELMES)가 사용되었다.

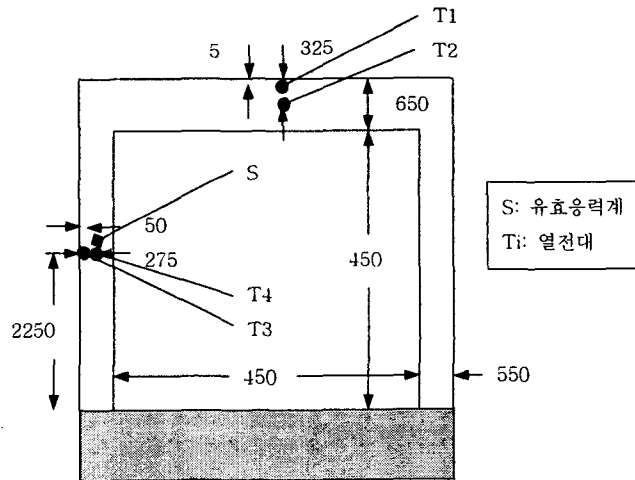


그림 9 유효응력계 및 열전대 매설 위치

##### 4.2 현장계측 결과

배합별 수화열 현장계측 결과를 그림 10 및 11에 나타내었다. 조강형벨라이트 배합의 경우 최고온도가 31.6°C로 계측되었고, 최고온도 도달시간은 약 30시간으로 계측되었으며 1종 보통배합의 경우 최고

온도가 43.1℃로 계측되었고, 최고온도 도달시간은 약 58 ~ 60시간으로 계측되었다.

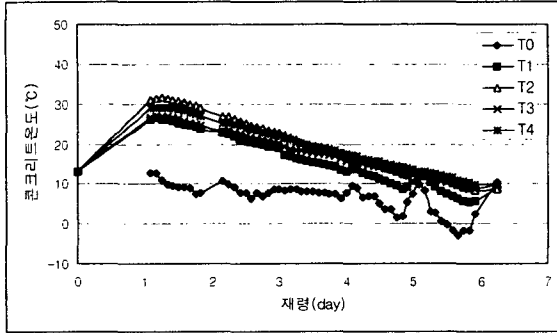


그림 10 조강형 벨라이트배합 수화열 현장계측 결과

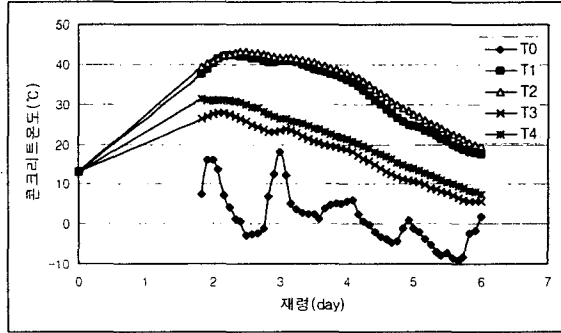


그림 11 1종 보통배합 수화열 현장계측결과

위의 그림 10 및 11에서 재령 초기부터 재령 약 1일 ~ 1.5일 까지는 현장 사정상 실제 계측 data가 없어 일반적인 수화열 곡선을 근거로 예측하여 도시한 것이다.

유효응력계는 조강형벨라이트 배합에 한하여 벽체 부위 중 수화열에 의한 온도응력이 가장 클 것으로 예상되는 중심부에 길이방향으로 설치하여 수화열 및 기타 요인에 의해 발생하는 단면응력을 현장 계측하였으며 계측된 온도응력 및 온도균열지수는 다음 그림 12 및 13 그리고 표 3 및 4와 같다.

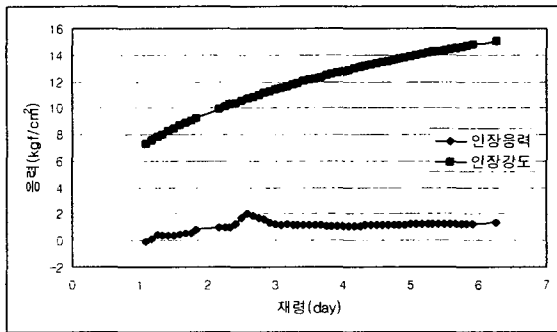


그림 12 조강형 벨라이트배합 온도응력 현장계측 결과

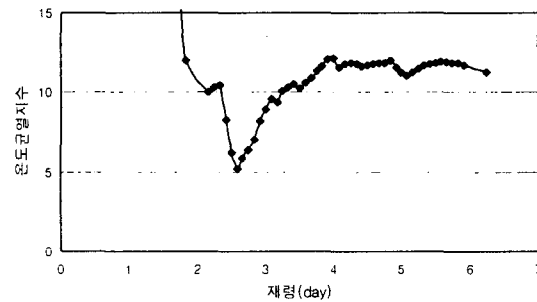


그림 13 조강형 벨라이트배합 온도균열지수

위의 그림 12에서 인장강도는 실험결과 얻어진 압축강도로부터 콘크리트시방서의 추정식을 근거로 예측한 값이며, 그림 13의 온도균열지수는 그림 12의 두 값으로부터 계산한 결과이다.

표 3 조강형 벨라이트배합 온도응력 현장계측 결과

재령(시간)	온도응력( kgf/cm <sup>2</sup> )
58	1.26
60	1.69
62	2.07
64	1.86
66	1.73

표 4 조강형 벨라이트배합 온도균열지수

재령(시간)	온도균열지수
58	8.27
60	6.25
62	5.18
64	5.84
66	6.36

## 5. 결론

Box-culvert의 온도균열을 제어하기 위하여 수화열을 크게 낮추면서도 초기 역학적 특성이 우수한 조강형벨라이트 배합 콘크리트를 사용하여 구조물을 시험시공하였다. 또한, 결과 비교를 위해 동일한 환경조건과 구조형상을 갖는 1종 보통배합 콘크리트를 적용한 구조물을 시공하였다. 이 과정에서 수화열 및 온도응력 현장계측 그리고 콘크리트의 역학적 특성 및 장기 내구특성 실험을 통하여 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 조강형벨라이트 배합 콘크리트의 경우 1종 보통배합 콘크리트에 비해 수화열이 크게(11.5℃) 감소하였다.
- 2) 조강형벨라이트 배합의 경우, 실제 계측한 응력으로부터 구한 최소온도균열지수가 5.15로 나타나 수화열에 의한 온도균열은 발생하지 않을 것으로 판단된다.
- 3) 조강형벨라이트 배합을 사용할 경우 특별한 시공방법의 변경이나 조치를 시행하지 않아도 균열발생을 제어할 수 있으므로 균열제어 측면과 더불어 시공성 측면에서도 유리할 것으로 판단된다.
- 4) 콘크리트의 역학적 특성을 비교 분석한 결과, 조강형 벨라이트 시멘트는 장기적인 특성이 우수할 뿐만 아니라 초기의 특성(7일 압축강도: 약  $200 \text{ kgf/cm}^2$ )도 매우 우수한 것으로 나타났다.

## 참 고 문 헌

1. 하재담 외 4인, “저열 포틀랜드(4종)시멘트를 사용한 고유동·고강도콘크리트에 관한연구”, KCI 가을 학술발표회, 1997.
2. 하재담 외 5인, “저열 포틀랜드(벨라이트)시멘트 콘크리트의 특성”, KCI 가을 학술발표회, 1998.
3. 하재담 외 4인, “석회석미분말을 혼입한 초저발열 매스콘크리트의 특성에 관한 연구”, KCI 가을 학술발표회, 2000.