

콘크리트 BOX암거 구조물의 초기 균열제어 연구

Study on Controlling of Cracks of Concrete Box Culvert in Early Ages

이주호* 박경래** 배한욱** 박성규***
Lee, Joo-Ho Park, Kyoung-Lae Bae, Han-Ug Park, Sung-Kyu

ABSTRACT

In this thesis, the study on controlling of cracks of concrete box culvert in early ages is presented. The optimum construction method and economical analysis were proposed also through the experiment of the material and field test. As a result of the experiment of the material, using fly ash, CSA expansive agent and BELITE cement(type IV) showed good result in the control of cracks induced by heat of hydration and shrinkage. As a result of construction test analysis, the maintenance time of form system did not show a big difference in controlling of cracks. Control of distribution of reinforcement, spacing of expansion joint and use of BELITE cement showed big differences in the control of cracks in early ages. As a result of economical analysis, control of construction variables before construction can make it possible to reduce the repair expense.

1. 서 론

여러 콘크리트 구조물 중 BOX 암거 구조물은 거의 모든 도로건설현장에서 사용되는 구조물로서 도로를 횡단하는 통로나 수로로서 많이 사용된다. BOX암거 구조물은 설계와 시공이 모두 복잡하지 않기 때문에 시공시 크게 주의를 기울이지 않으며 관리를 소홀히 하는 경향이 있어서 시공초기에 균열이 자주 발생한다. BOX암거 구조물의 시공은 일반적으로 바닥 슬래브의 타설과 양생 후에 벽체와 상부 슬래브의 타설이 이루어지는데, 이때 바닥 슬래브와 벽체의 초기 재령차이는 외부구속 요인으로 작용한다. 따라서 양생초기의 수화열과 건조수축은 주로 외부구속에 의하여 벽체에 균열을 유발하게 된다. 이런 초기 균열들은 비구조적인 원인으로 발생한 균열들으로써 초기 사용성에는 문제가 없으나 장기적으로 내구성에 좋지 않은 영향을 미치고 이로 인해서 사용년수의 제한이나 추가적인 보강이 필요하게 되는 경우가 많다.

본 연구에서는 BOX 암거구조물에 발생하는 초기 균열의 제어 방법에 대해서 연구하였다. 균열의 제어 방법은 크게 재료적인 방법과 물리적인 방법으로 나누어서 검토하였다. 재료적인 방법에서는 일반적인 콘크리트와 비교하여 더 좋은 결과가 예상되는 콘크리트 배합에 대해서 실내시험을 실시하여 현장에 적용 가능한 배합을 선정 후 실제 시공을 실시하여 균열의 저감정도를 파악하였다. 물리적인 방법에서는 기존에 제안된 방법(균열 유발준의 간격과 단면감소율, 배력철근의 배근방법, 거푸집 탈

* 정회원, 롯데건설 기술연구소 수석연구원
** 정회원, 롯데건설 기술연구소 선임연구원
*** 정회원, 롯데건설 서해안고속도로 14공구 현장소장

형 시기, 양생방법 등)에 대해서 여러 조건으로 시험 시공을 실시하여 효과를 파악하였다. 모든 시험은 서해안고속도로 14공구 현장의 실제 BOX암거구조물에 대해서 실시되었으며 모든 구조물은 도로공사암거표준도에서 제시한 단면에 따라서 시공되어있는 경우이다. 시험결과는 거푸집 탈형 후부터 조사를 실시하여 파악하였으며 일부 구조물에서는 온도와 응력의 계측을 통해서 효과를 검증하였다. 시험결과를 이용하여 합리적인 균열제어 방법에 대한 특성 및 적용성을 검토하였으며, 경제성 분석을 통해서 실제 현장에 적용 가능한 방법을 제시하였다.

2. 연구방법

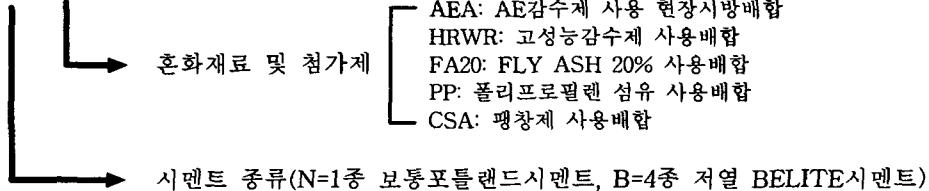
2.1 재료적인 접근

콘크리트의 배합을 변경하여 시공하는 경우의 효과를 확인하기 위하여 먼저 실내시험을 실시하였다. 본 실험을 수행함에 있어서 선정된 균열저감용 콘크리트 배합은 다음의 표 1.과 같이 총 6배합으로서 1종시멘트 및 4종저열 BELITE시멘트를 사용하고 설계기준강도 240kg/cm²을 만족하는 현장 시방배합과 여기에 고성능유동화제를 사용하여 단위수량을 약 10kg/m³ 정도 감소시키고 아울러 단위시멘트량도 약 20kg/m³ 저감시킨 배합과 시방배합에 FLY ASH, 폴리프로필렌 합성섬유, 팽창제를 각각 첨가한 배합에 대하여 검토하였다.

표 1. 콘크리트 배합표

TYPE	W/C (%)	s/a (%)	Unit Weight (kg/m ³)					Admixture(C*%)		Additions	
			W	C	FA	S	G	AEA	HRWR	PP	CSA
N(AEA)	51.3	44.5	183	357	-	762	990	0.3	-	-	-
N(HRWR)	51.3	45.5	172	335	-	800	999	0.3	0.6	-	-
N(FA20)	50.0	44.0	178	285	71	752	998	0.55	-	-	-
N(PP)	51.3	44.5	183	357	-	762	990	0.3	-	0.9kg/m ³	-
N(CSA)	51.3	44.5	183	357	-	762	990	0.3	-	-	C*10%
B(AEA)	48.0	42.0	185	385	-	716	1030	0.3	-	-	-

*배합명 : N(AEA)



(1) 콘크리트 역학특성에 대한 고찰

각 배합에 있어서 제작한 시편의 재령 3, 7, 28일의 압축강도를 그림으로 나타낸 것이 그림 1.이다. 전체적으로 압축강도 발현 특성을 비교해 볼 때 초기재령에서 다소 강도의 차이를 보이나 재령이 증가함에 따라 배합별 강도차이는 큰 차이를 나타내지 않는 것을 알 수 있다. 이것은 콘크리트 배합시 첨가되는 혼화재료의 영향으로 인하여 다소 강도발현이 낮은 초기재령에서는 큰 영향을 미칠 수 있으나 배합적인 측면에서 단위시멘트량과 물-시멘트비가 유사

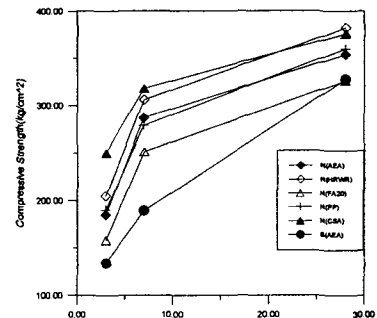


그림 1 재령별 압축강도

하기 때문에 모든 배합이 설계기준강도를 만족하며 강도편차도 크지 않았다.

(2) 콘크리트 길이변화에 대한 고찰

콘크리트의 길이변화 결과를 그림 2.에 나타내었다. 대체적으로 FLY ASH와 폴리프로필렌 섬유를 사용한 경우가 팽창이 다소 낮은 것으로 보이나 폴리프로필렌 합성섬유의 경우 수축량이 크고 시간의 경과에 따라 1종 시방배합과 거의 유사한 길이변화 특성을 보인다. 이에 반하여 FLY ASH를 혼합한 배합의 경우와 BELITE 시멘트를 사용한 경우에는 수축량도 상당히 양호한 것으로 판단된다. 전반적으로 콘크리트의 수축이 초기재령에서 활발한 것을 감안하면 재령 12 주까지의 결과로는 팽창재 및 FLY ASH, BELITE시멘트를 사용함으로써 콘크리트의 건조수축을 저감시킬 수 있는 것으로 판단된다.

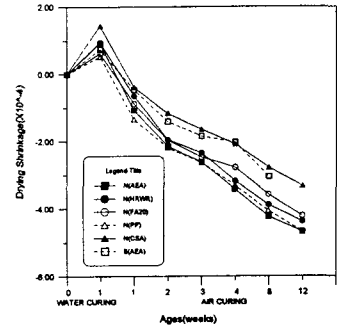


그림 2 콘크리트 길이변화

(3) 구속된 건조수축 균열

구속된 건조수축 균열에 대한 시험결과와 앞선 재령별 길이변화 시험결과와 유사한 양상을 보이고 있는데, 현장 시방배합의 경우가 시험편 제작 후 재령 12일에서 균열이 발생된 반면에 FLY ASH 20%의 경우와 팽창재를 사용한 경우에는 재령 91일까지 발생된 균열을 찾아볼 수가 없었다. 길이변화 시험으로 실험결과를 정량화 할 수는 있었지만 시험체의 수축량이 배합별로 크게 차이가 나지 않는 것에 비해 구속건조수축의 경우는 현장의 조건이 고려된 상태로 가정할 수 있으며, 시험결과를 실제 균열 발생 유무로 판단하므로 실제상황과 유사한 결과가 나타날 것으로 예상된다.

(4) 콘크리트 단열온도상승에 대한 고찰

그림 3.은 1종시멘트를 사용한 시방배합과 FLY ASH를 20% 혼합사용한 배합에 있어서의 단열온도상승 특성을 나타낸 그림이다. 그림에 나타난 바와 같이 FLY ASH를 첨가함으로써 초기 시멘트의 수화에 따른 최고 단열온도 상승은 현장시방배합에 비하여 약 4℃정도 저감시킬 수 있었으며 콘크리트 내·외부의 온도구배에 따른 내부구속 및 외부구속에 의한 온도응력을 저감시켜 초기 콘크리트의 균열발생을 저감시킬 수 있을 것으로 예상된다.

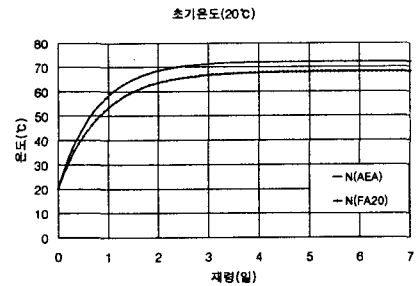


그림 3 콘크리트 단열온도상승 곡선

2.2 물리적 접근

(1) 철근량, 철근간격, 배근방법

시방서에 제시된 벽체 최소 수평철근량 및 온도철근량 이상의 철근량을 사용하여 철근의 종류 및 배근간격을 변수로 하여 최적의 철근배근방법을 도출하도록 하였다.

(2) 균열유발줄눈

균열유발 줄눈은 수평철근은 그대로 유지하되 단면을 감소시켜서 균열의 발생을 줄눈에 집중시키도록 하고, 유발된 줄눈의 균열에 대하여 지수판을 설치하여 방수가 되도록 한다. 이때 단면감소율을 변수로 하여 시험을 실시하였다.

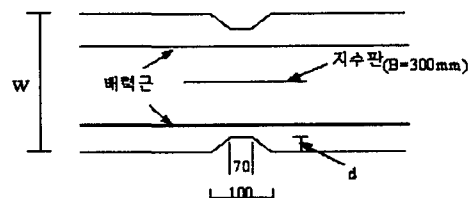


그림 4. 균열유발 줄눈

(3) 양생방법, 거푸집 탈형시기

현재 대부분의 현장에서는 벽체 거푸집의 탈형을 일반적으로 타설후 3~4일이 경과한 후에 실시하

며, 그 이후에는 수 일동안 양생포를 설치하고 살수하여 양생을 실시한다. 건조수축면에서는 거푸집의 존치기간을 늘리는 것이, 수화열 측면에서는 존치기간을 줄이는 것이 유리하므로 여러 조건을 고려하여 양생방법과 거푸집 탈형시기를 달리하여 적합한 방법을 찾도록 하였다.

3. 현장시험시공

3.1 시험방법

실내시험결과와 조사된 균열 제어방법을 이용하여 수로암거와 통로암거에 대해서 다음의 표 2와 3과 같이 시험방법을 선정한다. 통로 암거의 경우 BELITE 시멘트 사용시 수화열에 의한 온도와 응력의 저감을 확인하기 위해서 센서를 설치하여 온도와 응력을 계측하였다.

표 2. 수로암거 시험대상 구조물

번호	station #	형 식	연장	span	시 험 항 목
1	5+524	2.0×2.0	48.70m	4	균열유발 줄눈 설치 (15%, 20%, 25%, 30%)
2	10+433	2.0×2.0	52.10m	4	배근간격감소, 배근량 증가

표 3. 통로암거 시험대상 구조물

번호	station #	형 식	연장	span	시 험 항 목
1	6+140	4.5×4.5	28.80m	2	동일철근량, 배근간격 감소
2	9+0845	4.5×4.5	32.00m	2	거푸집 탈형시기 (기존방식, +7일)
3	0+662	4.0×4.0	33.20m	2	배력근량 증가
4	6+470	4.0×4.0	28.80m	2	동일 철근량, 배근간격 감소
5	7+245	4.5×4.5	34.90m	2	온도 계측
6	8+124.8	4.5×4.5	40.00m	2	균열유발 줄눈 설치 (15%, 25%)
7	8+511.3	4.5×4.5	33.30m	2	BELITE 시멘트 사용 온도 및 응력계측

3.2 시험시공결과

3.2.1 수로암거

수로암거 구조물에 시공조건을 달리하여 시공한 결과 전체적으로 특별한 균열이 발생하지 않았다.

본 시험에서 적용된 수로암거는 단면의 두께가 30cm정도이고 내공이 2.0m×2.0m로써 구조물의 크기가 비교적 작은 구조물이다. 이 경우 양생중 수화열의 소산이 비교적 빨리 일어나므로 내부구속에 의한 균열이 발생할 가능성이 작다. 또한 시공시 10~15m의 길이마다 조인트를 설치하여 시공하게 되므로 길이에 비해 단면의 두께가 작아서 외부구속에 의한 건조수축, 수화열에 의한 균열이 발생하지 않은 것으로 분석된다. 실제로 특별한 조치를 취하지 않은 경우에서도 시공관리가 잘 이루어진 경우에는 균열이 발생하는 경우는 거의 없었다. 따라서 본 시험에서와 같은 작은 단면의 수로암거 시공시에는 일반적인 시공수칙에 준해서 시공하면 초기 균열에 대한 문제는 발생하지 않을 것으로 사료된다.

3.2.2 통로암거

(1) 배력철근의 간격 및 철근량 조정

배력철근에 대한 시험결과 동일한 철근량을 사용하고 배근간격을 줄인 경우(철근 지름은 감소) 균열의 개수는 동일하였으나 균열의 폭이 감소하였다. 균열 깊이의 경우 기존의 도면대로 시공한 경우 1-2개 위치에서 관통균열이 발생하였으며 관통 위치 외에는 계측결과 모두 10cm 내외의 깊이인 것으로 조사되었다. 철근 간격을 유지한 채 철근량을 증가시키는 경우에는 균열의 양상이나 균열의 깊이에 있어서 큰 차이가 없었다. 이상의 결과에서, 암거구조물의 벽체 배근시 배력철근의 배근량과 배근 방법은 철근량이 많다고 하여 균열이 저감되는 것이 아니라 균열제어에 필요한 정도의 철근량을 사용하고 직경이 작은 철근을 여러 가닥 배치하는 것이 균열제어에 더 효율적일 것으로 판단된다.

(2) 균열유발줄눈

균열유발줄눈에 대한 설치결과 표면에는 균열이 발생하지 않았으며 균열은 모두 상대적 취약부위인

균열유발줄눈에 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 단면의 결손율을 달리해서 시공하였지만 각 경우에 모두 균열유발줄눈으로 균열이 유도되어 정량적인 평가를 할 수는 없었다. 균열유발줄눈은 균열의 개수나 폭을 통제하는 것은 아니지만 균열의 발생위치를 조절할 수 있으므로 시공 후 유지관리 차원에서 유리한 조건으로 작용할 것으로 판단된다.

(3) 거푸집 탈형시기

거푸집 탈형시기에 따른 균열발생의 영향을 파악하기 위하여 콘크리트 타설 후 거푸집 탈형시기를 5일 후와 12일 후로 나누어서 실시하였다. 균열은 거푸집 탈형시기와 관계없이 전 단면에 걸쳐서 균일하게 발생하였다. 따라서 본 시험에서 거푸집 탈형시기에 따른 균열발생의 영향은 그리 크지 않은 것으로 나타났다.

(4) BELITE 시멘트(4종 시멘트) 사용

BELITE시멘트의 저발열특성을 정량적으로 평가하기 위하여 BELITE시멘트 시공의 경우와 일반1종 시멘트로 시공한 경우로 나누어서 Thermo Couple를 매립하여 장기 온도계측을 실시한 결과 각 위치에서 그림 5.와 같이 온도가 변화한 것을 확인할 수 있었다. 벽체중앙부와 슬래브 중앙부에서의 계측 결과는 그림 6,과 그림 7.에 표시하였는데, 일반시멘트를 사용하는 경우와 비교하여 발생온도가 크게 저감된 것을 알 수 있었다. 따라서 수화열에 의한 균열 발생가능성은 크게 작아질 것으로 판단된다. 실제로 거푸집 탈형 후 균열을 조사한 결과 벽체 전면에 걸쳐서 균열이 발생하지 않았다.

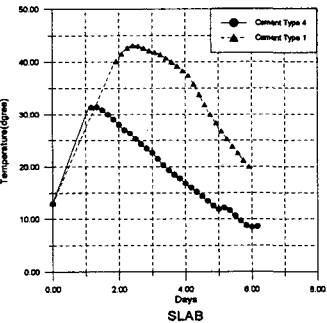
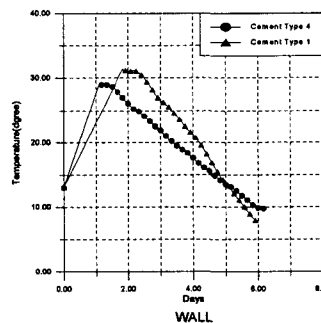
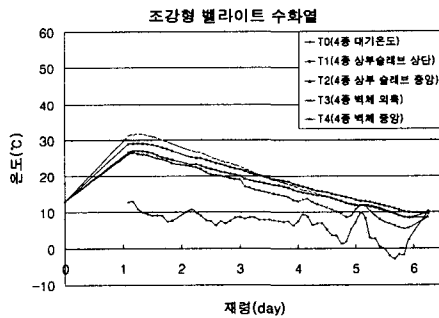


그림 5. BELITE시멘트 수화열현장계측 그림 6.벽체중앙부 수화열계측결과 그림 7.슬래브중앙부 수화열 계측결과

5) 기타 영향인자

전체 현장에서의 암거구조물에 대한 조사결과 관통균열은 거의 발견되지 않았으며 대부분 균열의 깊이는 10cm내외인 것으로 추정되었다. 수화열에 의한 균열이 발생할 경우 대부분 관통균열이 발생하는 것을 고려할 때 암거구조물에 생기는 균열은 대부분 수화열보다 건조수축의 영향이 큰 것으로 추정된다. 또한 본 현장의 암거구조물 시공시 몇 개의 구조물은 증기양생을 실시한 경우가 있었다. 이 경우 균열의 발생이 없거나 매우 적은 것을 확인할 수 있었다. 증기양생을 실시할 경우 수분이 벽체에 계속 공급되므로 양생초기에 가장 영향이 큰 건조수축이 발생할 가능성이 크게 줄어들게 된다. 이는 건조수축뿐 아니라 표면의 미세균열 방지에도 매우 효과적이다.

3.3 경제성 고찰

균열제어를 위해서 본 연구에서는 배력철근의 철근량과 배근간격의 변경, 신축이음의 설치, 거푸집 탈형시기 변경, BELITE시멘트의 사용 등을 적용하여 연구를 수행하였다. 이런 시공 방법을 적용하여 균열제어에 효과가 있더라도 시공 비용이 크다면 경제성이 없으므로 이에 대한 검토를 수행하였으며 표 4.는 이를 비교한 결과이다. 경제성비교를 위해서는 일반적으로 균열보수시 많이 적용하는 EPOXY

주입방법에 의한 보수와 비교하였다. 이때 1SPAN은 15m, 4.5m×4.5m BOX암거로 가정한 것이다.

표 4. 경제성 비교표

시공방법	개략시공비	단위	1SPAN당 시공비	비고
균열유발줄눈	1.0만원	1개소	1만원	지수판 설치포함, SPAN중앙에 1개소설치
배력철근 변경시공	D10	9.0만원	1m당	D13기준 7.5만원 증가
	D13	8.5만원		기준설계
	D16	8.0만원		D13기준 7.5만원 감소
BELITE 시멘트 사용	1.0만원	레미콘1m ³ 당	200만원(증액)	시멘트가격50%상승, 레미콘가격 5.0만원기준
EPOXY 보수	4.0만원	균열1m당	200만원	길이10m,5개균열발생시

이상의 결과에서 알 수 있듯이 균열제어를 위한 시공시 경제성을 고려하여 공법을 선택하는 경우 배력철근의 배근 방법 변경과 균열 유발 줄눈 1개소를 설치하는 것이 가장 좋을 것으로 판단된다. 배력철근의 경우 도로공사표준도에 나와 있는 D13@200의 배근 보다는 D10@110을 사용하는 것이 좋으며 균열유발줄눈 설치시에는 지수판을 설치하여 누수 등에 대비한다.

4. 결론

- (1) 콘크리트 양생 시 초기 수분건조에 따른 수축정도를 비교한 결과, FLY ASH를 20% 혼합한 경우와 팽창제를 일부 사용한 배합에 있어서 수축에 따른 균열을 저감시킬 수 있을 것으로 예상된다. 또한 단열온도상승시험 결과 현장시방배합과 비교할 때 FLY ASH를 20%를 사용한 경우와 BELITE시멘트를 사용한 경우에 발열량 감소가 현저하여 온도균열의 제어에 유용할 것으로 판단된다.
- (2) 2.0m×2.0m 크기의 수로암거구조물에 시공조건을 달리하여 시공한 결과 전체적으로 특별한 균열이 발생하지 않았다. 이는 수로암거의 경우 길이에 비해 단면의 두께가 작아서 건조수축, 수화열에 의한 균열이 발생하지 않은 것으로 판단된다. 따라서 작은 크기의 수로암거 시공시에는 일반적인 시공수칙에 준해서 시공하면 초기 균열에 대한 문제는 발생하지 않을 것으로 판단된다.
- (3) 통로암거구조물에 대한 검토결과 관통균열은 별로 발견되지 않았으며 대부분 균열의 깊이는 10cm 내외인 것으로 추정되었다. 수화열에 의한 균열이 발생할 경우 대부분 관통균열이 발생하는 것을 고려할 때 암거구조물에 생기는 균열은 대부분 수화열보다 건조수축의 영향이 큰 것으로 추정되며 건조수축에 효과적인 방법으로 균열을 제어하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- (4) 여러 시공 조건을 달리해서 현장 시험을 실시한 결과 배력 철근의 배근방법 변경과 균열유발줄눈을 설치한 경우가 매우 효과적이고 적용하기도 쉽다. 또한 이 방법은 경제성분석결과 일반적으로 시공 후 발생하는 보수비용과 비교할 때 매우 경제적인 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김진근 외, 콘크리트구조물의 균열제어 방안 지침에 관한 연구, 한국과학기술원, 1996. 2
2. 대우건설기술연구소, 콘크리트 구조물의 시공시 발생하는 균열 저감대책, 대우건설, 1997. 11
3. 오병환 외, 지하철 구조물 내구성 확보를 위한 연구용역, 서울시지하철건설본부, 1999. 6
4. 롯데건설기술연구소, 도로횡단 BOX암거 벽체의 초기균열 제어에 관한 연구, 롯데건설, 2001. 3