

# 박스 암거가 통과하는 콘크리트 포장의 줄눈 위치에 관한 연구

## A Study on Joint Position at Concrete Pavement with Box Culverts

박주영	Park, Joo Young	정회원 · 인하대학교 토목공학과 박사과정 · 공학석사 (E-mail : pjy0704@naver.com)
손덕수	Sohn, Dueck Su	정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원 · 공학석사 (E-mail : mgsds@ex.co.kr)
이재훈	Lee, Jae Hoon	정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원 · 공학석사 (E-mail : ranian74@ex.co.kr)
정진훈	Jeong, Jin Hoon	정회원 · 인하대학교 토목공학과 부교수 · 공학박사 · 교신저자 (E-mail : jhj@inha.ac.kr)

### ABSTRACT

Hollows are easily made and bearing capacity is lowered near underground structures of concrete pavement because of poor compaction and long term settlement of the ground. Distresses occur and lifespan is shortened because of larger stress induced by external loadings expected than that in the design. In this paper, the distresses of the concrete pavement slab over box culverts were investigated at the Korea Expressway Corporation(KEC) test road. The transverse cracking of the slabs over the culverts was compared between up and down lines with different soil cover depth. The box culvert without soil cover and concrete pavement were modeled and analyzed by the finite element method(FEM) to verify the transverse cracking at the test road. Wheel loading was applied after self weight of the pavement and temperature gradient of the concrete slab at Yeojoo, Gyeonggi where the test road is located were considered. Positions of maximum tensile stress and corresponding positions of the wheel loading were found for each loading combination. Joint position minimizing the maximum tensile stress was found and optimal slab length over the culverts with diverse size were suggested.

### KEYWORDS

concrete pavement, box culvert, joint, transverse cracking, finite element analysis

### 요지

지중구조물 주위는 다짐이 잘 되지 않아 지반이 장기 침하하므로 콘크리트 포장 하부에 공동이 발생하기 쉬우며, 이로 인해 지지력이 저하되기 쉽다. 여기에 하중이 가해지면 설계 시 기대한 것보다 큰 응력이 도입되어 포장에 파손이 발생하고 수명이 감소하게 된다. 본 논문에서는 한국도로공사 시험도로의 박스형 암거 상부 콘크리트 포장 슬래브의 파손을 조사하였다. 토피고가 다른 상행선과 하행선의 암거 위치에 발생한 슬래브의 횡방향 균열을 비교하였다. 시험도로의 횡방향 균열을 검증하기 위해 토피고가 없는 박스형 암거와 콘크리트 포장을 유한요소 방법으로 모형화하고 해석하였다. 포장의 자중을 고려하고 시험도로가 위치한 경기도 여주 지역 콘크리트 슬래브의 온도구배를 적용한 후 윤하중을 재하하였다. 각 하중조합에 대해 최대인장 응력이 발생하는 위치와 이때의 윤하중 위치를 찾아냈다. 이를 통해 최대인장응력을 감소시킬 수 있는 줄눈 위치를 찾아내고 암거 크기 별로 상부에 위치하는 슬래브의 적정 길이를 제안하였다.

### 핵심용어

콘크리트 포장, 박스형 암거, 줄눈, 횡방향 균열, 유한요소해석

## 1. 서론

건설 당시의 엄격한 다짐관리로 얻어진 노상과 보조

기층의 품질은 공용기간이 경과함에 따라 저하되어 도로포장의 공용성에 영향을 미친다. 지반에 변형이 생기

면 강성체인 콘크리트 슬래브와 지반 사이에 이격이 생기기 때문에 콘크리트 포장이 받는 영향은 더욱 크다(정중홍 등, 2005). 슬래브와 지반이 이격된 상태에서 하중이 가해지면 설계 당시 기대한 것보다 더 큰 응력이 발생하여 슬래브에 균열 등이 발생하고 결과적으로 포장의 수명이 감소할 수 있다.

지중구조물 주위는 시공 여건상 다짐에 어려움이 있어 장기침하로 인한 공동이 발생하기 쉽고, 하중이 재하되면 더욱 불리한 조건이 되어 박스암거 상부의 콘크리트 포장에는 균열, 단차, 용기, 줄눈의 벌어짐, 부등침하 등 공용성을 저하시키는 다양한 문제가 발생한다(한승환 등, 2000). 이러한 현상들은 콘크리트 포장의 유지관리에 비용을 발생시킬 뿐 아니라 주행성과 안전성에도 영향을 미친다. 콘크리트 포장에서 줄눈은 환경하중 또는 교통하중에 의한 슬래브 내부의 인장응력을 낮추어 무작위 균열의 발생을 억제하는 역할을 한다. 따라서 지중구조물로 인해 하부의 강성이 변화하는 곳에 위치하는 슬래브에 적절한 위치와 간격으로 줄눈을 설치하는 것은 포장 공용성 증가에 도움을 줄 것이다.

본 논문에서는 한국도로공사 시험도로에 위치한 박스형 통로 암거 상부 콘크리트 슬래브의 파손을 조사하고 고속도로 건설공사 표준도(한국도로공사, 2009)를 참고로 현장의 상황을 모사하는 유한요소 모형을 제작하였다. 줄눈의 위치와 박스 암거의 크기를 변화시키며 해석하여 최적의 줄눈 위치를 찾았다.

## 2. 현장 조사

중부내륙고속도로 상행선에 위치한 2차로의 한국도로공사 시험도로에서 지중구조물 상부 콘크리트 포장 슬래브의 파손 현황을 조사하였다. 위치는 그림 1과 같이 내부의 크기가 4.5m×4.5m(두께 0.5m)인 박스형 통로 암거가 위치한 261.90km(충주-102), 262.14km(충주-103), 262.36km(충주-104), 그리고, 262.56km(충주-106)의 4곳이었다. 262.46km(충주-105)에 위치한 수로 암거는 토피고가 크고 육안으로 관찰이 어려워 조사대상에서 제외하였다. 위 박스형 통로 암거 4개 위치의 상행선과 하행선 양쪽에서 수준측량으로 토피고를 측정하여 토피고에 따른 슬래브 균열 여부를 표 1과 같이 얻었다. 본 연구에서는 길어깨 끝단과 암거 입구 상단 간의 높이 차이를 토피고라고 칭하기로 하였다.

표 1. 토피고 측량 결과

	상행선 (시험도로)				하행선 (시험도로 맞은편)			
	충주-102	충주-103	충주-104	충주-106	충주-102	충주-103	충주-104	충주-106
토피고 (m)	0.876	1.621	1.597	0.537	4.095	5.233	5.803	3.863
횡방향 균열	0	0	0	X	X	X	X	X

표 1에서 보듯이 상행선인 시험도로의 토피고는 맞은편 하행선보다 작았으며, 4곳 중 3곳의 슬래브에서 횡

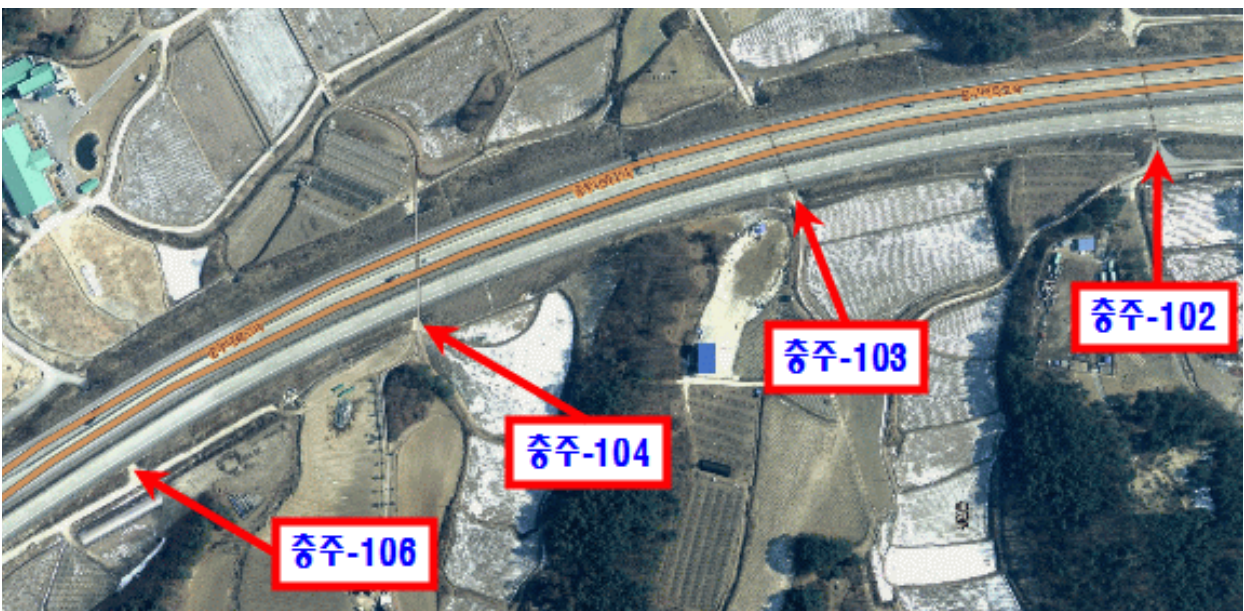


그림 1. 조사 구간 내 박스형 통로 암거 위치



방향 균열이 발견되었다. 상행선 261.90km(충주-102)와 262.14km(충주-103)에서는 그림 2(a) 및 그림 2(b)와 같이 외측 차로인 2차로에 균열이 발생되었으며, 상행선 262.36km(충주-104)에서는 그림 2(c)와 같이 심각한 수준의 횡방향 균열이 1차로와 2차로 모두에서 발견되었다. 3곳 모두 차량이 다가오는 방향 즉, 그림 2(d)와 같이 도로의 측면을 바라보았을 때 조사원이 손을 들고 있는 암거 좌측면 상부의 콘크리트 슬래브에 횡방향 균열이 발생하였다. 이때 슬래브 줄눈은 암거 좌측면에서 우측으로 약 1.0m~2.0m 떨어진 암거 바로 위에 위치하여, 마치 슬래브의 일부는 강성인 암거 위에 나머지는 연성인 지반 위에 올려놓은 것과 같아 구조적

으로 가장 취약한 경계부에서 균열이 발생된 것으로 추정되었다. 이와는 달리, 토피고가 훨씬 큰 시험도로 맞은편의 하행선에서는 균열이 발견되지 않았다.

### 3. 유한요소 해석

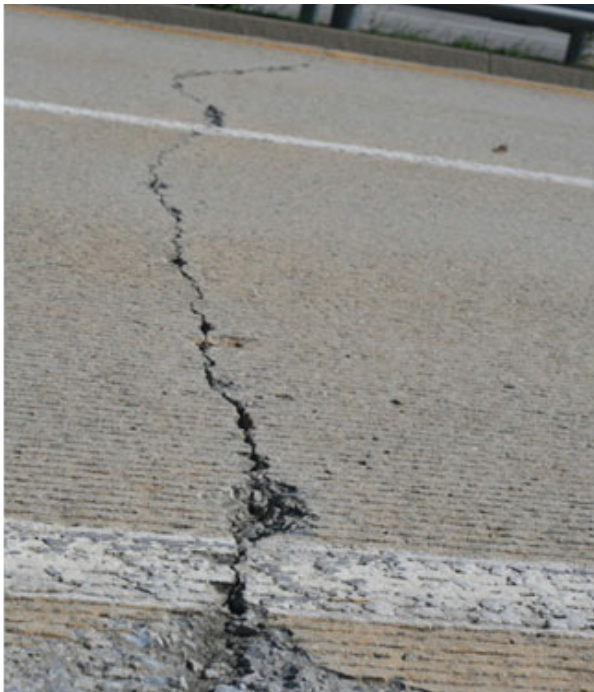
범용 유한요소 해석 프로그램인 ABAQUS(2007)의 2차원 4절점 plain strain 요소인 CPE4R를 사용하여 그림 3 및 표 2와 같이 포장체를 콘크리트 슬래브, 린콘 콘크리트 보조기층, 박스형 암거, 보강 슬래브, 터파기 구간, 노상으로 구분하고 모형화하였다. 고속도로 건설공사 표준도(한국도로공사, 2009)를 참고하여 박스형 암



(a) 261.90km(충주-102)의 횡방향 균열



(b) 중부내륙 262.14km(충주-103)의 횡방향 균열



(c) 262.36km(충주-104)의 횡방향 균열



(d) 262.36km(충주-104)의 균열발생 위치

그림 2. 암거 상부의 슬래브에 발생한 횡방향 균열

거와 보강 슬래브 사이는 D25×L500의 다웰바로, 콘크리트 슬래브 간은 D32×L500의 다웰바로 각각 연결하고, 보강슬래브가 얹히는 브라켓의 내민 길이는 30cm로 모형화하였다. 양방향을 합해서 박스 암거 내부 폭의 14배를 초과하면 지반과 구조물 간의 상호 작용이나 흙의 유효밀도에 변화가 없다는 Kim(2000)의 연구에 따라 시험도로에 실제 시공된 4.5m×4.5m(두께 0.5m)의 암거를 기준으로 전체 모형의 폭을 66m로 정하였다. 토피고가 작은 위치에서 균열이 많이 발생된 시험도로를 참고하여 암거가 린콘크리트 보조기층 하단면에 접하여 위치하는 토피고가 없는 경우를 모형화하였다.

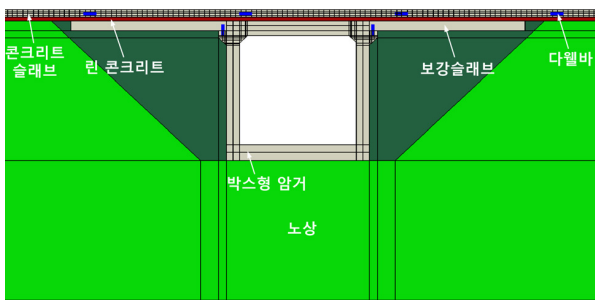


그림 3. 유한요소 모형

표 2. 모형 구성요소의 크기와 수량

콘크리트 슬래브	6m×0.3m(11개)
린콘크리트 보조기층	60m×0.15m
노상	60m×15m
박스형 암거	4.5m×4.5m(두께 0.5m)
보강 슬래브	6m×0.4m(2개)
다웰바	D32×L500(9개) D25×L500(2개)

콘크리트 슬래브와 린콘크리트 보조기층 사이는 분리막을 사용하여 미끄러짐을 허용하므로 Contact 방법으로 모형화하였다. 암거와 접촉하는 흙은 암거에 완전히 부착되지 않고 마찰거동을 하지만 깊은 곳에서는 흙이 마찰거동하려는 힘에 비해 토압이 압도적으로 크므로 접촉면에서의 마찰은 고려하지 않아도 된다고 알려져 있다(Kim 등, 2002). 본 연구의 박스 암거는 린콘크리트 보조기층 바로 아래의 얇은 곳에 위치하므로 암거와의 경계면에서 노상의 흙이 마찰거동하도록 Contact 방법으로 모형화하였다. 이와 마찬가지로 린콘크리트와 노상 사이도 Contact 방법으로 모형화하였다. 콘크리트 슬래브와 린콘크리트 보조기층 사이는 0.1의 작은 마찰계수를 사용하였으며, 린콘크리트 보조기층과 노상

사이에는 0.45, 노상과 암거 사이는 0.4의 마찰계수를 사용하였다(한국지반공학회, 2009). 노상과 뒷채움 재료는 Mohr Culomb Plasticity 특성을 적용하여 비선형으로 모형화하고 정양규(2004)와 Pimentel 등(2009)이 제시한 물성을 사용하였다. 표 3은 해석에 사용된 각 재료의 성질을 나타낸 것이다. 간단한 해석을 위해 콘크리트 재료의 시간 의존적 특성을 배제하고 노상토는 압밀이 완료된 상태로 가정하였다.

표 3. 모형 구성요소의 물성

콘크리트 슬래브	탄성계수(MPa)	28,000
	포아송비	0.18
	밀도(t/m <sup>3</sup> )	2.5
	열팽창계수(/°C)	10×10 <sup>-6</sup>
린콘크리트 보조기층	탄성계수(MPa)	15,000
	포아송비	0.2
	밀도(t/m <sup>3</sup> )	2.3
다웰바	탄성계수(MPa)	200,000
	포아송비	0.3
암거	탄성계수(MPa)	31,000
	포아송비	0.15
	밀도(t/m <sup>3</sup> )	2.5
뒷채움 (정양규, 2004)	탄성계수(MPa)	110
	포아송비	0.25
	밀도(t/m <sup>3</sup> )	2.0
	마찰각(degree)	40
	팽창각(degree)	0.1
노상 (Pimentel 등, 2009)	점착력 (MPa)	0
	탄성계수(MPa)	70
	포아송비	0.3
	밀도(t/m <sup>3</sup> )	1.9
	마찰각(degree)	35
	팽창각(degree)	0.1
	점착력 (MPa)	0.01

이상과 같이 모형을 구성하고 콘크리트 슬래브, 린콘크리트 보조기층, 박스형 암거, 노상의 자중을 고려한 후 시험도로가 위치한 경기도 여주 지역 두께 30cm 콘크리트 슬래브의 최대 양과 흙의 온도구배를 한국형 포장설계법의 온도예측 프로그램(국토해양부, 2011)으로 구하여 온도하중으로 재하하였다. 설계에 일반적으로 사용되는 윤하중 40kN을 0.5m 간격으로 진행시키면서 콘크리트 슬래브에 발생하는 최대인장응력의 위치와 크기를 찾고 포장의 거동을 분석하였다.

#### 4. 최대인장응력 위치

시험도로에 횡방향 균열이 발생된 곳들과 유사하게 암거 좌측면에서 우측으로 1.5m 떨어진 곳에 슬래브의 줄눈을 위치하도록 하여 유한요소 해석을 수행하였다. 그 결과, 노상의 흠이 마찰저항하며 암거로부터 미끄러져 암거 측면과 보강슬래브 하단에 공동이 발생하였고, 노상과 암거 측면이 최대 0.5mm까지 벌어졌다. 포장체 전체에 자중이 작용할 때 주위의 흠은 그림 4(a)와 같이 항복되어 지지력에 취약해졌고, 그림 4(b)와 같이 부등침하가 발생하면서 암거 좌측면 끝단 위의 콘크리트 슬

래브 상부에 1.92MPa의 최대인장응력이 발생했다. 자중이 작용하는 상태에서 양의 최대온도구배 +0.17℃/cm를 온도하중으로 재하하여 하향킬링을 모사한 결과, 그림 4(c)와 같이 암거 위의 줄눈으로부터는 0.87m, 암거 측면으로부터는 0.12m 좌측으로 떨어진 위치의 슬래브 상부에서 1.40MPa의 최대인장응력이 발생하였다. 음의 최대온도구배 -0.57℃/cm를 재하하여 상향킬링을 모사했을 때에는 그림 4(d)와 같이 암거 위의 줄눈으로부터는 1.0m, 암거 측면으로부터는 0.25m 좌측으로 떨어진 위치의 슬래브 상부에서 3.79MPa의 최대인

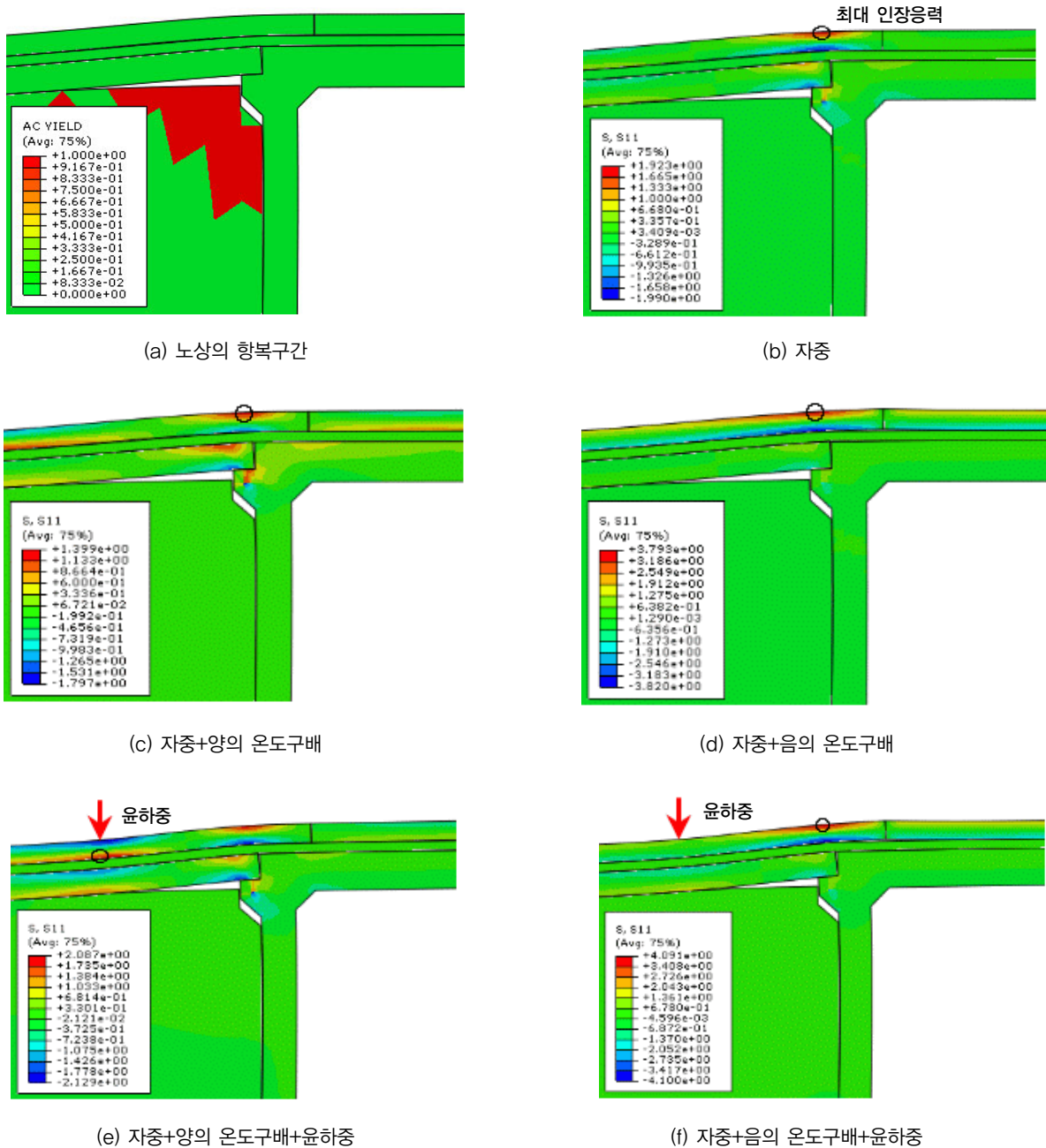


그림 4. 유한요소 해석 결과



장응력이 발생하였다. 자중과 환경하중을 재하한 후 포장설계에 일반적으로 사용되는 윤하중 40kN의 위치를 0.5m 간격으로 바뀌기며 재하하여 포장체의 응답을 구하였다. 양의 최대온도구배 +0.17°C/cm가 재하된 상태에서 그림 4(e)의 화살표 위치에 윤하중이 재하되었을 때에는 암거 위의 줄눈으로부터는 3.0m, 암거 측면으로부터는 2.25m 좌측으로 떨어진 위치의 슬래브 하부에서 2.09MPa의 최대인장응력이 발생하였다. 음의 최대온도구배 -0.57°C/cm를 재하하고 그림 4(f)의 화살표 위치에 윤하중을 재하했을 때에는 암거 위의 줄눈으로부터는 1.0m, 암거 측면으로부터는 0.25m 좌측으로 떨어진 위치의 슬래브 상부에서 4.09MPa의 최대인장응력이 발생하였다. 이상의 결과를 종합할 때 암거 측면 바로 위의 슬래브 상부가 구조적으로 가장 취약한 것으로 판단되었으며, 이 위치에서 횡방향 균열이 발생한 시험도로의 조사결과와 일치하였다.

## 5. 줄눈 위치와 암거 크기에 따른 포장거동

본 논문에서는 박스형 암거 상부의 콘크리트 슬래브에 발생하는 인장응력을 최소화하기 위해 줄눈의 위치와 암거의 크기를 변화시키며 유한요소 해석을 수행하였다.

### 5.1. 적정 줄눈 위치

박스형 암거 상부의 콘크리트 슬래브에 응력을 최소로 발생시키는 줄눈 위치를 결정하기 위하여, 암거 중앙 바로 위에 길이 6m 슬래브의 중앙을 위치시킨 CASE 1부터 암거 중앙 바로 위에 줄눈이 위치한 CASE 7까지, 슬래브의 위치를 우측으로 0.5m씩 이동시키며 7개의 유한요소 모형을 제작하여 각각의 최대인장응력을 비교하였다. 암거의 크기는 시험도로에 시공된 것과 동일한 4.5m×4.5m(두께 0.5m)로써 외측의 폭은 5.5m이고 30cm의 브라켓 내민 길이까지 합하면 6.1m였다. 그림 5(a)는 암거 중앙 바로 위에 슬래브의 중앙이 위치하는 CASE 1 이고, 그림 5(b)는 암거 중앙 바로 위에 줄눈이 위치하는 CASE 7로 이들 사이에 CASE 2부터 CASE 6이 위치하게 된다.

본 논문의 3가지 하중조건 중 먼저 포장체의 자중이 작용할 때 부등침하와 함께 콘크리트 슬래브에 발생하는 최대인장응력을 계산하였다. 그 결과 7개 CASE 모두에서 암거 측면 바로 위 슬래브 상부에서 최대인장응력이 발생되었다. 그림 6(a)에서 보듯이 암거 중앙 바로 위에 길이 6m 슬래브의 중앙을 위치시켜 암거 브라켓

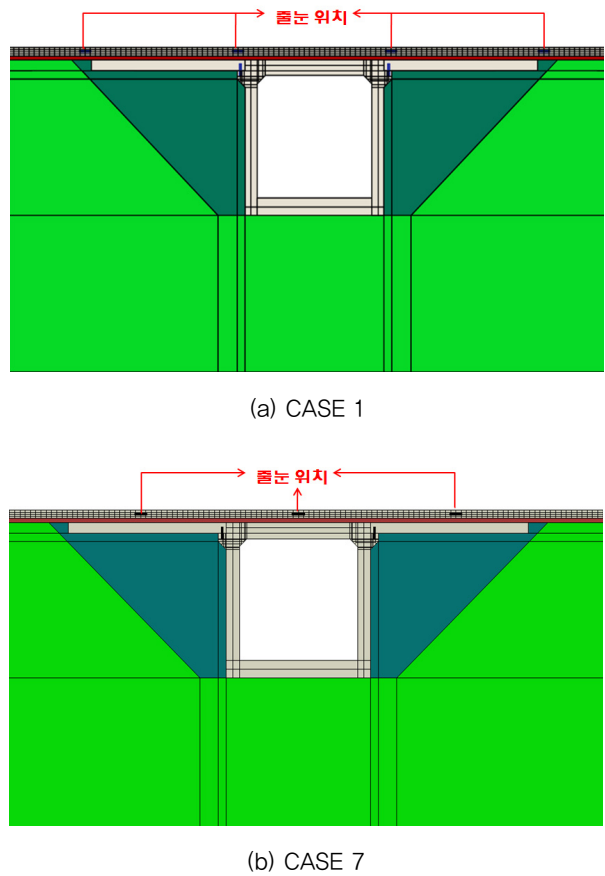


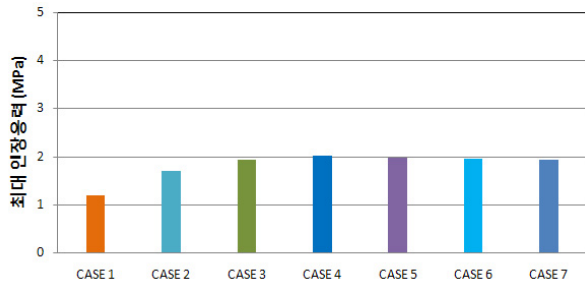
그림 5. 적정 줄눈 위치 결정을 위한 유한요소 모형

의 측면 상부에 줄눈이 위치한 CASE 1의 최대인장응력이 가장 작았고 줄눈이 암거 위에 위치한 CASE 3부터 CASE 7까지 크게 나타났다.

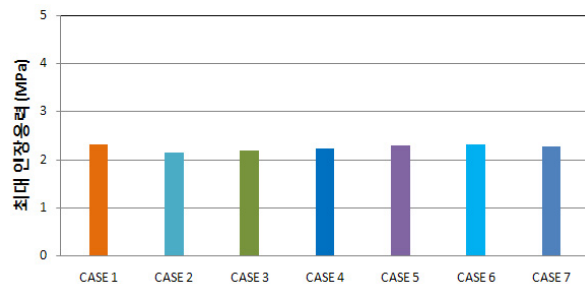
두 번째로 자중이 고려되고 양의 온도구배가 발생한 상태에서 윤하중이 재하된 경우를 해석하였다. 시험도로가 위치한 경기도 여주 지역 두께 30cm 콘크리트 슬래브의 양의 최대온도구배인 +0.17°C/cm를 온도하중으로 재하하여 하향컬링을 모사하였다. 이어서, 0.5m 간격으로 윤하중 40kN을 진행시키면서 슬래브에 발생하는 최대인장응력의 위치 및 크기와 이때의 하중 위치를 찾고 포장거동을 분석하였다. 그 결과, 그림 7(a)와 같이 암거 측면으로부터 멀리 떨어진 슬래브 좌측에 윤하중이 재하될 때 그 근처의 슬래브 하부에서 최대인장응력이 발생되었다. CASE 1의 경우에는 보강 슬래브 끝단 위의 슬래브 좌측 끝에 윤하중이 재하될 때 그 위치의 하부에서 최대인장응력이 발생되었고, CASE 2부터 슬래브가 암거 위에 얹히는 구조로 바뀌면서 최대인장응력과 하중의 위치가 슬래브 중앙 쪽으로 바뀌었다가 다시 좌측으로 돌아가는 경향을 보였다. 이러한 경향은 보강 슬래브의 지지력보다 암거의 지지력이 훨씬 크기 때문으로 판단되었다. 최대인장응력은 그림 6(b)에서 보듯

이 자중만 고려하였을 때의 최대인장응력보다 대체로 커졌으며 모든 CASE에 걸쳐 크기가 비슷했다.

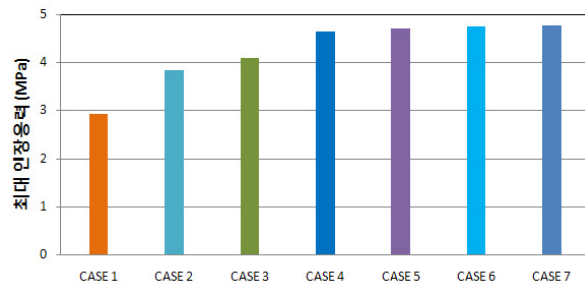
다음으로 자중과 음의 온도구배가 고려된 상태에서 윤하중이 재하된 경우를 해석하였다. 음의 최대온도구배  $-0.57^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ 를 온도하중으로 재하하여 상향컬링을 모사한 후 앞과 동일한 방법으로 윤하중을 재하하고 포장거동을 분석하였다. 그 결과, 그림 7(b)와 같이 7개 CASE 모두 암거 측면에서 어느 정도 떨어진 위치에 윤하중이 재하될 때 암거 측면 바로 위 슬래브 상부에서 최대인장응력이 발생되었다. 그림 6(c)에서 보듯이 암거 측면 바로 위에 줄눈이 위치한 CASE 1의 최대인장응력이 가장 작았으나 점점 커져서 줄눈이 박스 암거 위에 위치한 CASE 4부터 CASE 7까지 비슷한 정도로 가장 커졌다. 자중만 고려한 경우나 자중과 양의 온도차이를 고려한 경우보다 최대인장응력이 훨씬 커서 CASE 4부터 CASE 7까지는 콘크리트 슬래브의 설계 휨강도



(a) 자중



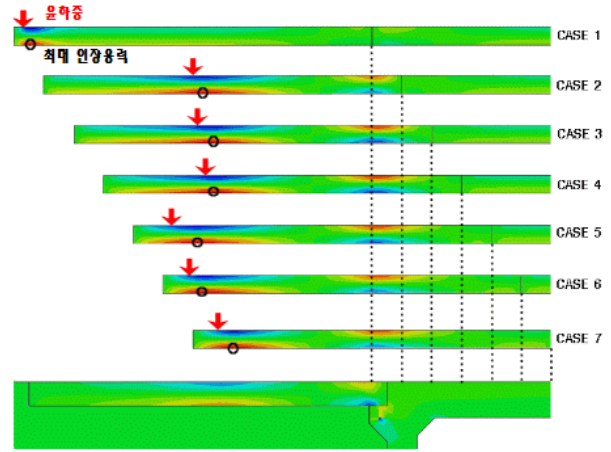
(b) 자중+양의 온도구배+윤하중



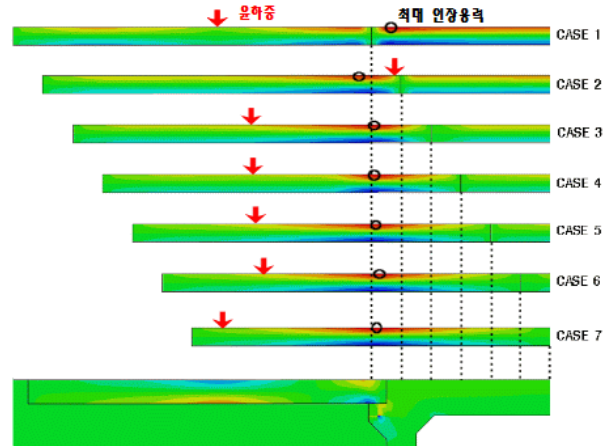
(c) 자중+음의 온도구배+윤하중

그림 6. 줄눈 위치에 따른 콘크리트 슬래브의 최대인장응력

4.5MPa를 초과하였으나 이는 실제를 재현하지 못하는 유한요소 해석의 한계로써 본 연구의 결론 도출에는 영향을 미치지 않았다.



(a) 자중+양의 온도구배+윤하중



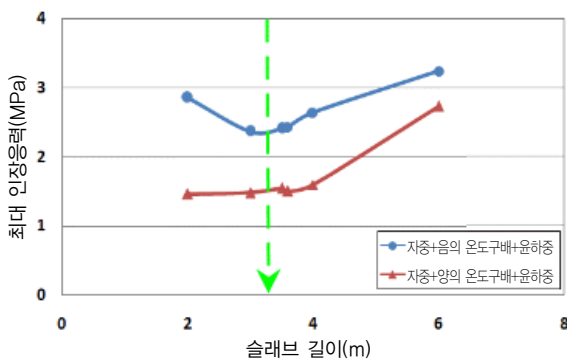
(b) 자중+음의 온도구배+윤하중

그림 7. 줄눈 위치에 따른 최대인장응력과 윤하중의 위치

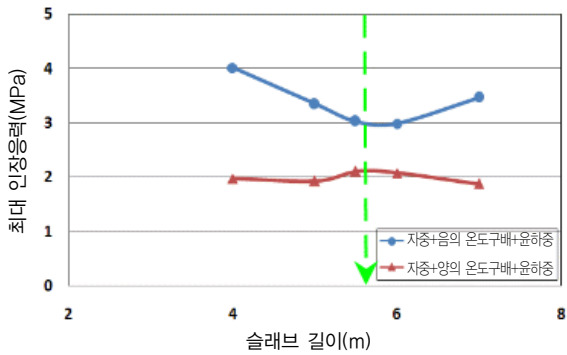
## 5.2. 암거 크기에 따른 적정 슬래브 길이

국토해양부 도로 암거 표준도(국토해양부, 2008)에는 크기에 따라 암거의 종류를 소형( $3.0\text{m} \times 2.5\text{m}$ , 두께  $0.3\text{m}$ ), 일반형( $4.5\text{m} \times 4.5\text{m}$ , 두께  $0.5\text{m}$ ), 그리고 대형( $6.0\text{m} \times 4.5\text{m}$ , 두께  $0.6\text{m}$ )의 3가지로 정하고 있다. 최대인장응력이 가장 작게 계산된 CASE 1과 같이 이들 3가지 박스형 암거의 중앙이 콘크리트 슬래브의 중앙에 연직방향으로 일치하도록 맞춘 후 콘크리트 슬래브의 길이를 변화시키며 유한요소해석을 수행하였다. 자중, 양의 온도구배, 윤하중을 재하하는 방법과 자중, 음의 온도구배, 윤하중을 재하하는 방법의 2가지로 하중을 재하하였다.

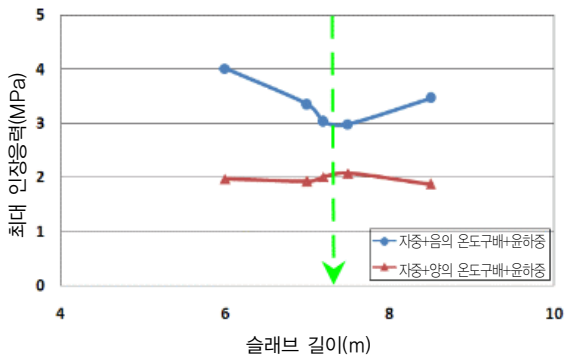
양의 온도구배에 의한 하향컬링 시 소형 암거 위 콘크리트 슬래브의 길이를 2m에서 6m까지 변화시키며 해석한 경우, 그림 8(a)와 같이 슬래브 길이 2m에서 4m까지는 최대인장응력의 변화가 거의 없었으나 이후로 점점 커져 슬래브의 길이가 6m가 되었을 때 가장 커졌다. 음의 온도구배에 의한 상향컬링 시는 하향컬링 시보다 최대인장응력의 크기가 전반적으로 컸다. 슬래브 길이가 2m로 짧을 때 암거 측면 바로 위에 위치한 인접 슬래브의 상부에서 최대인장응력이 컸으나 슬래브 길이가 암거의 외측 폭과 유사한 3.5m 내외가 되면서 가장 작아졌다. 하지만 슬래브가 길어지면서 다시 커져 암거의 폭보다 훨씬 길어진 6m에서 가장 커졌다.



(a) 소형 암거



(b) 일반형 암거



(c) 대형 암거

그림 8. 슬래브 길이에 따른 최대 인장응력

일반형 암거 위에 놓인 콘크리트 슬래브의 길이를 4m에서 7m까지 증가시키며 해석을 수행하였다. 하향컬링 시에는 그림 8(b)와 같이 슬래브 길이에 따른 최대인장응력의 변화가 매우 작았다. 하지만 상향컬링 시에는 슬래브의 길이가 4m로 짧을 때 암거 측면 바로 위에 놓인 인접 슬래브 상부에서 최대인장응력이 가장 컸고 길이가 5.5m와 6m 사이까지 길어져 암거 측면 근처에 줄눈이 위치할 때 가장 작아졌다. 하지만 슬래브의 길이가 더 길어져 줄눈의 위치가 암거에서 멀어지면서 최대인장응력이 다시 커졌다.

대형 암거 위의 슬래브 길이를 6m에서 9m까지 변화시키며 해석을 수행한 결과, 하향컬링 시에는 그림 8(c)와 같이 슬래브 길이에 따른 최대인장응력은 변화가 거의 없었다. 상향컬링 시에는 슬래브의 길이가 6m로 짧을 때 암거 측면 바로 위에 놓인 인접 슬래브 상부에서 최대장응력이 가장 크게 나타났고 슬래브가 길어져 암거 측면 근처에 줄눈이 위치하게 된 7.5m에서 가장 작아졌다. 하지만 슬래브의 길이가 더 길어져 줄눈의 위치가 암거에서 멀어지자 최대인장응력은 다시 커졌다.

## 6. 결론

지중구조물 상부에 위치한 콘크리트 포장 슬래브의 파손현황을 파악하기 위해 중부내륙고속도로의 한국도로공사 시험도로에서 현장조사를 실시하였다. 토피고가 작은 상행선에서는 박스형 암거가 위치한 4곳 중 3곳에서 횡방향 균열이 발견된 반면, 토피고가 큰 하행선에서는 발견되지 않았다. 암거의 측면을 따라 바로 위에서 슬래브에 균열이 발생한 것으로 보아 강성인 암거와 연성인 지반의 지지력 차이로 인해 균열이 발생하였고 토피고가 작을수록 그 영향이 큰 것으로 판단되었다.

박스형 암거를 포함하는 콘크리트 포장 구간을 유한요소 방법으로 해석하였다. 콘크리트 포장의 자중을 고려한 후 시험도로가 위치한 경기도 여주 지역 콘크리트 슬래브의 양과 음의 최대 온도구배를 온도하중으로 적용하고 윤하중을 재하하였다. 포장체의 자중만 작용했을 때에는 부등침하가 생기면서 암거 측면 바로 위의 슬래브 상부에서 최대인장응력이 발생했고, 자중, 음의 온도구배, 윤하중이 재하된 경우에도 동일한 위치에서 최대인장응력이 발생했다. 또한 보강 슬래브와 암거 측면이 만나는 위치에서 노상이 항복하고 공동이 발생하는 것으로 해석되어 암거 측면에서 슬래브가 가장 취약할



수 있다는 사실을 확인하였다. 이에 따라 슬래브의 줄눈을 압거 측면 가까이 설치하는 방법으로 횡방향 균열을 최소화할 수 있다고 판단되었다. 크기가 다른 박스 압거들에 대한 유한요소 해석에서도 슬래브의 크기를 압거에 맞게 조절하여 압거 양 측면에 줄눈을 위치하는 것이 가장 적합한 것으로 나타났다.

향후에는 3차원 유한요소 해석 등을 통하여 토피고가 변하는 경우와 압거가 도로에 사각으로 설치된 경우 등 현장의 변수를 고려하는 포장 파손 저감 방안을 제시할 계획이다.

### 감사의 글

본 연구는 한국도로공사의 지중구조물 상부 콘크리트 포장 보강설계 및 유지관리 기술개발 1차년도 연구비 지원에 의해 수행되어 이에 감사드립니다.

### 참고 문헌

국토해양부(2008) "도로압거 표준도(개정안)", 전문시방서.  
 국토해양부(2011) "2011 도로포장 구조 설계 프로그램 사용자 매뉴얼", 한국형 포장 설계법 최종보고서

정양규(2004). 국내 다층지반의 지반 물성치 및 토압에 관한 고찰, 석사학위논문, 한경대학교  
 정종홍, 조성민, 김홍중, 정경자, 박중규, 김동승(2005), 연약지반 구간 고속도로의 개통 후 침하평가 및 관리방안 연구, 2005년도 연구보고서, 한국도로공사 도로교통기술원  
 한국도로공사(2009), 고속도로 건설공사 표준도, 한국도로공사  
 한국지반공학회(2009), 구조물 기초 설계기준 해설, 구미서관  
 한승환, 권순민, 엄인섭(2000), 박스압거상부 콘크리트 포장체의 보강방안 개선 연구, 2000년도 연구보고서, 한국도로공사 도로연구소  
 ABAQUS (2007). *Theory Manual Version 6.7*, Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc., Pawtucket, RI  
 Kim, K., and Yoo, C.H. (2002) "Design loading for deeply buried box culvert". IR-02-03, Highway Research Center, Auburn University, Auburn, AL.  
 Kim, J. W. (2000) "Three-dimensional finite element analysis of multilayered systems". Ph.D. Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, IL.  
 Pimentel, M., Costa, P., Carlos, F. and Figueiras, J. (2009) "Behavior of Reinforced Concrete Box Culverts under High Embankments", *Journal of Structural Engineering*, Volume 135, Issue 4, pp. 366-375  
 (접수일 : 2012. 2. 2 / 심사일 : 2012. 2. 7 / 심사완료일 : 2012. 3. 20)