



프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 포장의 긴장에 의한 거동 해석

Behavior of Precast Prestressed Concrete Pavements under Post-Tensioning

김성민*

조병휘**

Kim, Seong-Min

Cho, Byoung Hooi

Abstract

The pavement system constructed by tying a number of precast concrete slabs employing prestressing techniques is called the precast prestressed concrete pavement. The behavior of this type of pavement system under post-tensioning was analyzed using a finite element model. First, the optimal number of anchors was determined by investigating the distribution of compressive stresses in the pavement system due to post-tensioning. Then, the effects of the parameters such as the horizontal resistance of underlying layers, the pavement length, the slab thickness, and the bearing area of the anchorage on the distribution of compressive stresses were analyzed. The horizontal resistance of underlying layers induced the loss of compressive stresses, and the loss increased in the middle of the pavement. As the pavement length increased or the slab thickness decreased, the stress loss due to the horizontal resistance of underlying layers became larger. However, the bearing area of the anchorage where the compressive forces were applied did not much affect the distribution of compressive stresses.

Keywords : *precast slab, concrete pavement, prestressing, finite element, compressive stress, horizontal resistance*

요 지

공장에서 제작한 콘크리트 슬래브를 나열한 후 프리스트레싱 기법을 도입하여 일체화시켜 건설하는 프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 포장의 강선 긴장에 의한 압축력 재하 시 포장체의 거동을 유한요소해석 모델을 개발하여 분석하였다. 먼저 정착구의 개수가 긴장 시 포장체의 압축응력 분포에 미치는 영향을 분석하여 적절한 정착구의 개수를 선정하였다. 그리고 하부층의 수평저항, 포장체의 길이, 슬래브의 두께, 정착단의 전단면적 등의 변수가 포장체의 압축응력 분포에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 분석하였다. 하부층의 수평저항은 압축응력의 손실을 가져오며 이러한 손실은 포장체의 중앙부로 갈수록 증가하게 된다. 또한 포장체의 길이가 길어질수록 하부층 수평저항에 의한 압축응력의 감소가 커지게 된다. 슬래브의 두께는 얇아질수록 하부층 수평저항에 의한 압축응력의 손실이 커지게 된다. 하지만 압축력을 가하는 면적인 정착단의 전단면적은 압축응력의 분포에 크게 영향을 미치지 않는다.

핵심용어 : 프리캐스트 슬래브, 콘크리트 포장, 프리스트레싱, 유한요소, 압축응력, 수평저항

* 정회원 · 경희대학교 토목건축대학 토목공학전공 교수

** 경희대학교 토목공학과 석사과정



1. 서론

도로 포장의 보수를 신속히 수행하거나 신설 도로를 급속히 건설하기 위해 사용되는 프리캐스트 도로 포장 공법은 콘크리트 슬래브를 공장에서 제작함으로써 인장 고성능 고내구성의 재료특성 및 급속한 시공 가능성으로 인해 국외에서는 오래전부터 사용되어 왔으며 최근에는 프리캐스트 포장의 시공 빈도가 매우 높아지고 있는 실정이다 (Bull, 1991; Hargett, 1970; Kumakura et al., 1994; Meyer and McCullough, 1983; Merritt et al., 2002). 특히 교통량이 많은 도로에서 교통차단을 최소화 시키며 급속하게 도로의 보수 및 건설이 필요한 대도시의 경우에는 프리캐스트 포장의 적용이 늘고 있는 실정이다.

프리캐스트 콘크리트 포장은 크게 두 가지의 형태로 구분할 수 있다. 첫 번째는 도로를 보수 및 신설할 경우에 콘크리트 슬래브를 나열하고 슬래브 간의 연결을 줄눈콘크리트 포장에서와 같이 다웰바를 이용하여 하는 방식이다 (Elkins et al., 1979). 또 다른 방식은 그림 1에 보인 바와 같이 슬래브를 나열한 후 프리스트레싱 기법을 이용하여 슬래브 간의 체결을 유도하는 것이다 (Merritt et al., 2000, 2001).

한국도로공사에서는 이러한 프리캐스트 콘크리트 포장을 국내에 도입하기 위하여 연구를 수행 중에 있으며 다웰바를 이용하여 슬래브를 체결하는 방식의 프리캐스트 포장 공법은 설계와 시험시공을 통해 적용 가능성을 분석하였으며 (김성민 외, 2007) 다른 방식인 프리스트레싱 기법을 이용한 프리캐스트 포장 공법도 기본 설계를 통해 적용성을 분석 중에

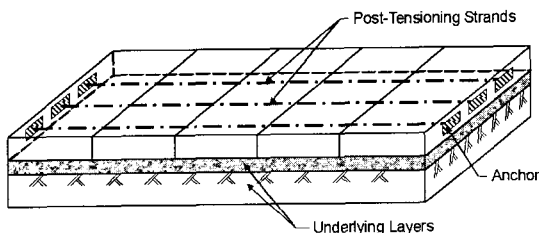


그림 1. 프리캐스트 프리스트레스트 포장의 개념도

있다.

이에 본 논문에서는 프리스트레싱 기법을 도입한 프리캐스트 포장인 프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 포장의 기본설계를 위해 슬래브 체결 후 긴장을 가할 때 포장체의 거동을 구조해석을 통해 분석한 연구에 대하여 기술하였다. 우선 긴장을 가하는 위치인 정착구(anchor)의 개수에 따른 포장체의 응력 분포를 분석하여 횡방향으로 적절한 정착구 간의 거리를 파악하였다. 프리캐스트 프리스트레스트 포장은 제작된 슬래브를 상당히 많이 연결하여 일체로 만들기 때문에 조인트 간의 거리가 일반적으로 수십 미터에서부터 일백 미터가 넘게 된다. 이에 따라 하부층과 슬래브 간의 마찰저항은 긴장을 하여 프리스트레싱을 가할 때 응력의 손실을 가져오게 된다. 따라서 이러한 하부층과 슬래브 간의 마찰이 포장체의 거동에 미치는 영향을 분석하였다. 그 외에 포장체의 길이, 슬래브의 두께, 정착구의 전단면적(bearing area) 등 프리캐스트 프리스트레스트 포장의 설계 변수가 포장체를 긴장할 때 포장체의 거동에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 면밀하게 분석하였다.

2. 구조해석 모델

프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 포장의 긴장에 의한 거동을 분석하기 위하여 구조해석 모델을 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS(ABAQUS, 2005)를 사용하여 개발하였다. 그림 2에 보인 바와 같이 콘크리트 슬래브는 3차원 고체요소를 사용하여 모델링 하였으며 요소의 크기는 횡방향과 수직방향으로 0.04m, 종방향으로 0.2m로 하였다. 하부층의 수직방향 강성은 수직방향의 스프링 요소를 사용하여 모델링 하였다. 슬래브와 하부층과의 마찰저항 및 하부층의 전단저항은 수평방향의 스프링 요소를 이용하여 구축하였다. 실제의 프리캐스트 프리스트레스트 포장은 종방향으로 여러 개의 슬래브가 연결되어 일체의 포장체를 형성하는데 종방향 긴장에 의



해 압축 응력을 포장체에 가할 때는 이러한 종방향의 여러 개의 슬래브를 각각 모델링할 필요가 없기 때문에 종방향으로는 하나의 긴 슬래브로 모델링 하였다. 긴장은 포장체의 중앙부에서 슬래브의 중립축인 중간 깊이를 따라 수행하며 긴장에 의한 압축력은 포장체 양단 정착단의 전단면적에 등분포 하중으로 작용하는 것으로 모델링 하였다. 이러한 포장의 모델을 개발할 때 포장체의 거동이 횡방향과 종방향으로 모두 대칭이 되므로 포장체의 1/4 만 고려하여 해석 모델을 개발하였다. 이러한 대칭을 이용한 해석을 수행할 때는 경계조건을 적합하게 만들어야 한다. 대칭이 되는 면에서는 대칭면과 수직인 방향으로의 자유도를 구속하였다. 해석에 사용된 재료특성 및 설계 변

수의 입력값은 표 1에 나타내었다. 표에서 괄호 안의 값은 기본값이며 논문에서 변수의 값에 대한 특별한 언급이 없으면 이러한 기본값을 사용한 것이다.

3. 정착구 개수의 영향

여러 개의 프리캐스트 슬래브를 종방향으로 나열한 후 긴장을 가하여 서로를 묶을 때 슬래브에 긴장을 가하게 되는 위치인 정착단 또는 정착구의 개수를 적절하게 선정하여야 한다. 정착구의 개수가 적으면 정착구 하나당 긴장력의 크기가 커져야 하며 정착구 간의 거리가 멀기 때문에 정착구의 주변에 응력 집중 현상이 커질 수 있으며 또한 응력을 고르게 슬래브에 전달하기가 어렵게 된다. 반대로 정착구의 개수가 많으면 응력을 골고루 분포시키고 정착구 당 재하하는 긴장력의 크기가 크지 않아서 효과적이기는 하지만 정착단과 정착구의 개수 증가에 의한 건설비용이 크게 증가하게 되며 시공 용이성도 떨어지게 된다. 따라서 정착단의 개수를 적절히 선정하여 경제적이며 효과적으로 응력을 분포시키는 것이 필요시 된다.

정착구의 개수에 따른 영향을 분석하기 위하여 우선 정착구의 개수가 다를 때의 응력 분포를 조사하였다. 그림 3은 정착구의 개수가 각각 1, 2, 3, 4, 6, 10개일 경우에 정착구 근처에 발생하는 슬래브 상하

표 1. 해석에 사용된 입력값

변 수	입 력 값
콘크리트 탄성계수 (GPa)	30
콘크리트 포아송 비	0.15
슬래브 폭 (m)	4
슬래브 두께 (m)	12, (20), 28
포장체 길이 (m)	40, 60, 80, (100)
하부층 수평저항 (MN/m ²)	0, 6.8, (13.5), 27, 40.5, 54
하부층 수직저항 (MN/m ²)	135
총 긴장력 (MN)	0.288
정착구 수 (개)	1, 2, 3, 4, 5, (6), 7, 8, 9, 10
정착단 면적(긴장력 재하면적) (m×m)	0.08×0.12, (0.24×0.12), 0.48×0.12

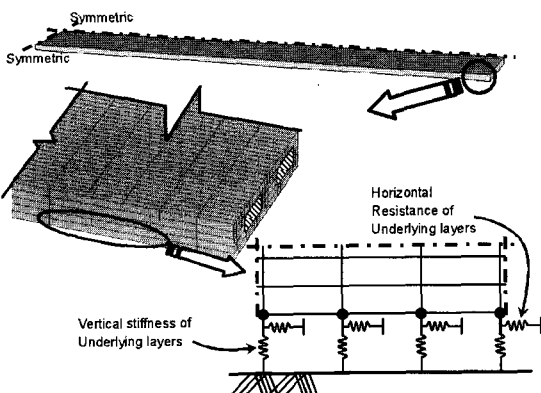


그림 2. 프리캐스트 프리스트레스트 포장 구조해석 모델

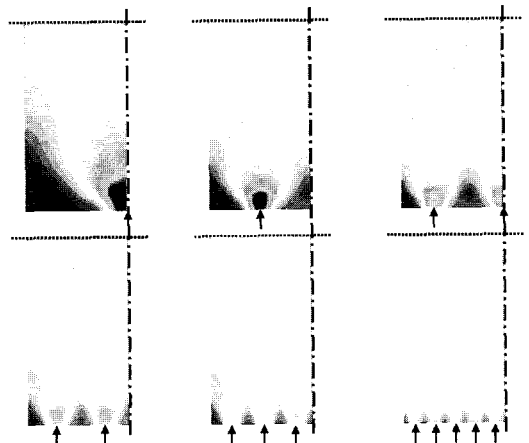


그림 3. 정착구 수에 따른 종방향 응력 분포

모서리를 따라 분석하여 그림 6에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 정착구의 수가 적을 때는 압축 응력의 수렴값을 보이는 종방향 거리가 정착구로부터 멀어지게 되며 정착구가 있는 조인트 부분에서는 오히려 인장응력이 발생하게 된다. 정착구의 수가 증가할수록 이러한 현상이 감소하며 결국 4개 이상의 정착구를 가질 때는 응력 분포가 거의 일치하게 됨을 알 수 있다.

정착구의 개수에 따른 프리캐스트 프리스트레스트 포장의 긴장 시 응력 분포 및 변형에 대한 구조해석 결과를 살펴보면 정착구 근처에서의 응력손실이 작으며 경제성 및 시공 용이성을 가만했을 경우에 6개의 정착구를 두는 것이 바람직한 것으로 분석된다. 또한 정착구가 놓이는 조인트 부분의 양단은 긴장 시 압축응력이 제대로 가해지지 않을 수 있으므로 철근 등을 이용한 보강설계가 필요시 된다.

4. 하부층 수평저항의 영향

프리캐스트 슬래브 여러 개를 연결하여 긴장을 가할 때 슬래브를 묶어서 일체로 만드는 포장체의 길이가 길며 슬래브가 하부층(또는 지반) 위에 놓여 있기 때문에 슬래브 하부면과 하부 지지층 사이의 수평저항이 긴장에 의한 압축응력의 손실을 야기할 수 있다. 이러한 수평저항은 슬래브 하부와 하부 지지층과의 접촉면에서의 마찰저항 뿐만 아니라 하부층의 전단저항을 포함한다. 그림 7은 하부층 수평저항의 크기가 다를 때 슬래브의 하부에 발생한 응력 분포를 보여준다. 그림에서 왼쪽이 정착단이며 오른쪽 끝은 포장체의 중앙부이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 하부층의 수평저항이 없을 경우에는 정착구 부근의 응력변화를 제외하고는 긴장에 의한 압축응력이 종방향을 따라 일정한 것을 알 수 있다. 하지만 하부층의 수평저항이 커질수록 종방향을 따라 압축응력의 변화가 뚜렷이 나타나는 것을 알 수 있다. 즉, 하부층의 수평저항이 존재하면 긴장에 의한 압축응력

의 값이 포장체의 중앙부로 갈수록 작아지게 된다. 다시 말해 압축응력의 손실이 생기게 되는 것이다.

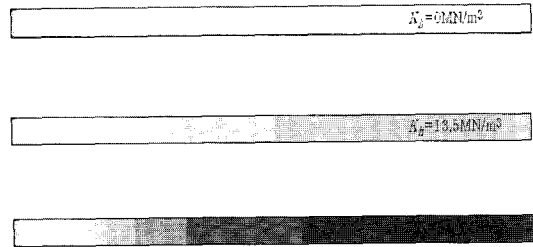


그림 7. 하부층 수평저항(K_h)에 따른 종방향 응력 분포

정착단에서 긴장에 의한 압축력을 포장체에 가할 때 하부층 수평저항에 의한 압축응력의 손실은 포장체의 중앙부에서 가장 커지기 때문에 하부층 수평저항과 포장체 중앙부에서의 압축응력과의 관계를 분석하여 그림 8에 나타내었다. 하부층 수평저항의 증가는 포장체 중앙부의 압축응력을 감소시키게 된다. 즉, 포장체 중앙부에서의 압축응력의 손실은 하부층 수평저항이 커지면 심각하게 증가하는 것을 알 수 있다.

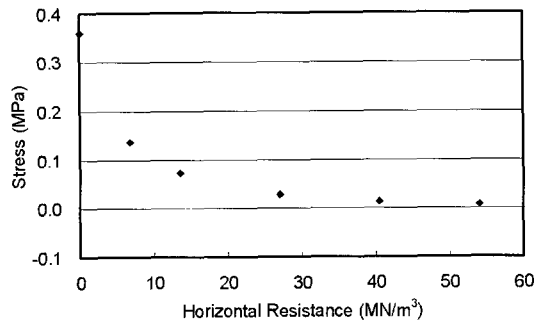


그림 8. 하부층 수평저항에 따른 포장체 중앙부에서의 응력변화

하부층 수평저항이 다를 때 포장체의 하부 모서리를 따라 변화하는 응력의 분포를 그림 9에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 정착구의 근처에서는 하부층 수평저항에 관계없이 응력이 급격히 증가하며 응력의 변화가 거의 같은 것을 알 수 있지만, 수평저항이 증가할수록 종방향을 따라 응력의 감소가 커지는 것을 알 수 있다. 따라서 이러한 응력의 손

실을 최소화하기 위해서는 슬래브 하부와 하부 지지층 사이에 생길 수 있는 수평저항을 줄여야 한다. 슬래브와 하부층과의 마찰저항을 줄일 수 있는 방법으로는 접촉면에 비닐 등을 까는 방법을 생각할 수 있으며, 하부층의 전단저항을 줄이는 방법으로는 전단저항이 작은 재료를 하부층으로 사용하는 것이다.

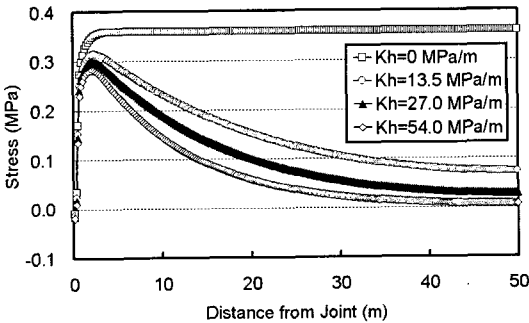


그림 9. 하부층 수평저항(K_h)에 따른 슬래브 하부 모서리를 따라 발생한 응력 분포

5. 포장체 길이의 영향

여러 개의 프리캐스트 슬래브를 연결한 후 긴장을 가해 하나의 포장체로 형성할 때 연결하는 슬래브의 개수 또는 포장체의 길이는 하부층의 수평저항 때문에 긴장에 의한 압축응력의 손실을 야기할 수 있는 요소이다. 따라서 이러한 포장체의 길이가 압축응력의 손실에 미치는 영향에 대해 분석하였다. 그림 10은 하부층 수평저항이 13.5MPa/m일 때 포장체의

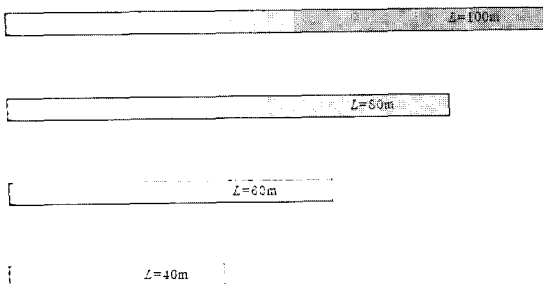


그림 10. 포장체 길이(L)에 따른 종방향 응력 분포

길이에 따른 응력 분포를 보여주며 그림에서 왼쪽은 정착구 부분이며 오른쪽은 포장체의 중앙부이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 포장체의 길이가 짧으면 응력의 감소가 크지 않으나 포장체의 길이가 길어지면 포장체의 중앙부로 갈수록 응력이 감소하는 것을 뚜렷이 볼 수 있다.

포장체의 길이에 따라 포장체 중앙부에서의 압축응력 손실이 어떠한지를 그림 11에서 살펴볼 수 있다. 우선 하부층의 수평저항이 없을 경우에는 포장체의 길이에 상관없이 포장체 중앙부에서 같은 크기의 압축응력을 가지는 것을 알 수 있다. 이 경우에 압축응력의 크기는 포장체를 단순한 일차원의 압축부재로 가정하여 구한 값과 일치하게 된다. 즉, 총 하중의 크기는 0.288MN이며 슬래브의 단면적은 $0.8m^2$ (폭 $4m \times$ 두께 $0.2m$)이므로 압축응력은 $0.288/0.8=0.36(MPa)$ 이 된다. 이렇게 계산하여 구한 응력값은 본 해석을 통해 얻은 응력값과 정확히 일치하게 된다. 하부층의 수평저항이 증가하게 되면 모든 포장체의 길이에서 포장체 중앙부의 압축응력이 감소하게 된다. 하부층의 수평저항이 일정한 값일 때에는 포장체의 길이가 짧을수록 포장체 중앙부의 압축응력이 커지는 것을 알 수 있다. 다시 말해, 포장체 중앙부에서의 압축응력의 손실은 포장체의 길이가 길어질수록 현저하게 나타나게 된다.

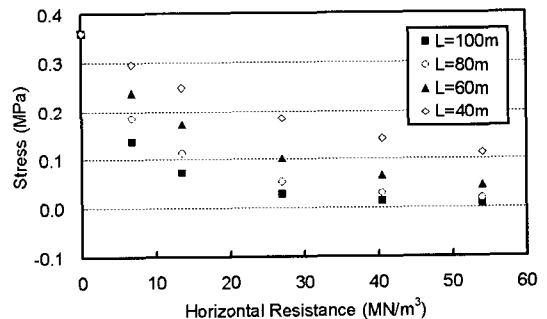


그림 11. 포장체 길이(L)에 따른 하부층 수평 저항과 포장체 중앙부에서의 응력과의 관계

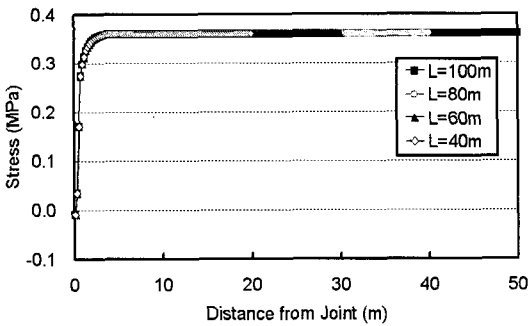
포장체 길이에 따른 압축응력의 변화를 종방향으로 슬래브 하부 모서리를 따라 분석하여 그림 12에 나타



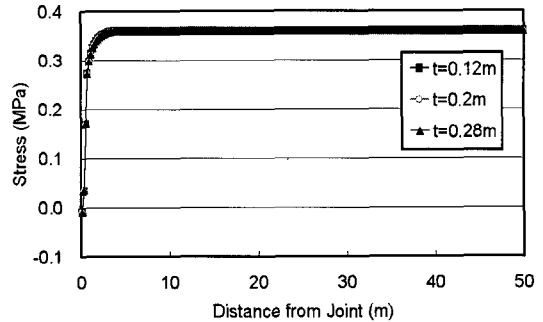
내었다. 하부층 수평저항이 없을 경우에는(그림 12(a)) 포장체 길이에 관계없이 압축응력의 수렴값이 일치하게 되며 정착구로부터의 응력분포도 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 하지만 하부층의 수평저항이 있을 경우에는 그림 12(b)에 나타난 바와 같이 정착구 근처에서의 응력 분포는 포장체 길이에 관계없이 거의 일치하지만 최대 압축응력 값을 보인 후에는 정착구에서 멀어지며 중앙부로 다가갈수록 압축응력의 감소정도가 포장체의 길이에 따라 달라지는 것을 볼 수 있다. 포장체의 길이가 짧으면 응력의 감소가 상대적으로 작으며 포장체의 길이가 길수록 응력의 감소가 더 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 따라서 하부층의 수평저항을 극소화시키기가 쉽지 않아서 상당한 크기의 하부층 수평저항이 예상될 때에는 포장체의 길이를 가급적 줄이는 설계를 하여 압축응력의 손실이 크게 발생하지 않도록 하는 것이 바람직하다.

6. 기타 영향

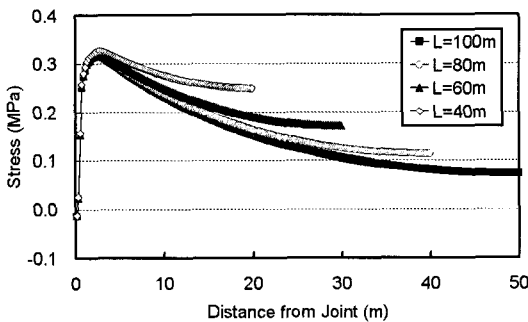
앞에서 고려한 여러 가지 변수 이외에 슬래브의 두께 및 정착단의 면적이 긴장에 의한 압축응력의 분포에 미치는 영향에 대해서도 분석을 하였다. 그림 13은 슬래브의 두께가 다를 때 슬래브의 하부 모서리를 따라 응력의 분포가 변화하는 양상을 보여준다. 슬래브의 두께를 다르게 하더라도 포장체에 걸리는 압축응력은 일정하게 유지시키기 위하여 슬래브의 두께에 비례하여 총 재하하중의 크기를 변화시켰다. 그림 13(a)에 나타난 바와 같이 하부층의 수평저항이 없을 경우에는 응력의 분포가 슬래브의 두께에 무관한 것을 알 수 있다. 하지만 하부층의 수평저항이 있을 때에는 그림 13(b)에 보인 바와 같이 정착구 근처에서의 응력분포는 슬래브 두께에 관계없이 매우 유사하나 포장체의 중앙부에 가까워질수록



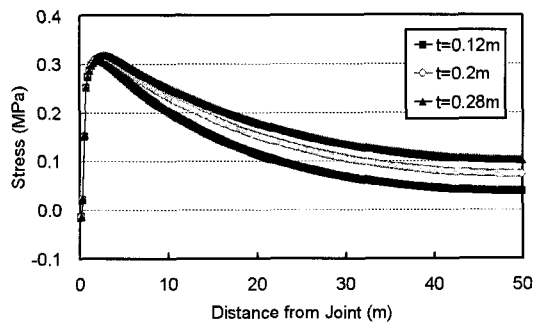
(a) 수평저항=0



(a) 수평저항=0



(b) 수평저항=13.5MPa/m



(b) 수평저항=13.5MPa/m

그림 12. 포장체 길이(L)에 따른 슬래브 하부 모서리를 따라 발생한 응력 분포

그림 13. 슬래브 두께(t)에 따른 슬래브 하부 모서리를 따라 발생한 응력 분포

록 슬래브 두께가 얇은 포장체의 압축응력이 더 작아지는 것을 관찰할 수 있다. 즉, 압축응력의 손실은 슬래브의 두께가 얇을 경우에 더 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

스트랜드를 이용하여 긴장을 함으로써 포장체에 압축력을 가할 때 압축력은 정착단의 전단면적에 분포하므로 작용하게 된다. 따라서 이러한 정착단의 면적이 포장체의 압축응력에 어떠한 영향을 미치는지를 분석하여 그림 14에 나타내었다. 그림에서 전단면적은 가로와 세로의 크기로 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 정착단의 면적은 슬래브 하부의 모서리를 따라 발생하는 압축응력에는 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다.

참고로 본 연구에서 슬래브 하부의 응력을 분석한 이유는 하부층의 수평저항이 있을 경우에는 슬래브 상부보다 하부에서의 응력감소가 더 크기 때문에 설계를 위한 기준면을 슬래브 하부 표면으로 선정하였기 때문이다. 또한 종방향으로 모서리를 따라 응력을 분석한 이유는 정착구가 있는 슬래브의 안쪽 보다는 모서리 부분의 압축응력이 작을 수 있기 때문이다. 하지만 이전에 살펴본 바와 같이 이러한 횡방향을 따라 발생하는 종방향 응력의 차이는 정착구 근처에서는 뚜렷하지만 정착구에서 조금만 떨어져도 거의 무시할 수 있음을 알 수 있다.

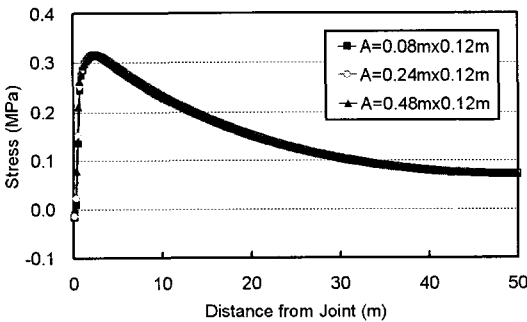


그림 14. 정착단 면적(A)에 따른 슬래브 하부 모서리를 따라 발생한 응력 분포

7. 결론

공장에서 제작한 콘크리트 슬래브를 연결한 후 프리스트레싱 기법을 도입하여 일체화시켜 건설하는 프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 포장의 강선 긴장에 의한 압축력 재하 시 포장체의 거동에 대하여 수치해석 모델을 개발하여 분석하였다. 수치해석 모델은 3차원 유한요소와 스프링 요소를 혼합하여 개발하였다. 설계변수로서는 정착구의 개수, 하부층의 수평저항, 포장체의 길이, 슬래브의 두께, 정착단의 전단면적 등을 고려하여 이의 영향을 분석하였다. 이러한 연구결과 다음과 같은 결론을 유출할 수 있었다.

- 포장체에 압축력을 가하는 정착구의 개수가 늘어날수록 또는 정착구 간의 거리가 줄어들수록 긴장력과 슬래브 단면적에 의해 결정되는 압축응력에 수렴하게 되는 정착구로부터의 종방향 거리가 짧아지게 되며 횡방향으로도 고른 응력분포를 보이게 된다.
- 경제성과 시공용이성을 고려할 경우에 4m 폭의 슬래브 기준으로 6개 정도의 정착구가 적절한 것으로 분석된다.
- 하부층 수평저항이 존재할 경우 포장체의 중앙부로 갈수록 압축응력의 손실이 증가하게 되며 이러한 압축응력의 손실은 하부층 수평저항이 커질수록 증가하게 된다.
- 압축응력의 손실을 야기하는 하부층 수평저항을 줄이기 위하여 슬래브와 하부층 간의 마찰을 줄일 수 있는 방법을 선정하고, 슬래브의 밑면과 접촉하는 하부층의 상단 재료를 전단저항이 작은 재료로 선택하여 사용하는 것이 필요시 된다.
- 포장체의 길이가 길어질수록 또는 연결하는 슬래브의 개수가 증가할수록 하부층의 수평저항에 의해 발생하는 압축응력의 손실이 증가하게 된다. 따라서 하부층 수평저항을 줄이기 힘들 경우에는 포장체의 길이를 줄이는 방향으로 설계함이 바람직하다.



- 슬래브의 두께가 얇아질수록 하부층 수평저항에 의한 압축응력의 손실이 커지게 된다.
- 압축력을 가하는 정착단의 전단면적은 포장체의 압축응력 분포에 크게 영향을 미치지 않는다.

감사의 글

본 연구는 한국도로공사 도로교통기술원의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

또한, 본 연구를 위해 도움을 주신 양성철 교수, 한승환 박사, 유태석 박사에게도 감사드립니다.

참고문헌

ABAQUS (2005). *User's Manual Version 6.5*, Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc., Pawtucket, R.I.

Bull, J. W. (1991). "Precast concrete raft units," *Van Nostrand Reinhold, New York, NY*, 193 pp.

Elkins, G. E., McCullough, B. F., and Hudson, R. W. (1979). "Precast repair of continuously reinforced concrete pavement," *Report 177-15*, Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin, 90 pp.

Hargett, E. R. (1970). "Prestressed concrete panels for pavement construction," *PCI Journal*, Precast/Prestressed Concrete Institute, pp. 43-49.

Kumakura, M., Kondo, S., Kai, K., Abe, Y., and Sato, R. (1994). "Development of a prestressing method for joints of precast prestressed concrete pavement slabs,"

International Symposium on Concrete Roads, Vienna, pp. 83-88.

Merritt, D. K., McCullough, B. F., Burns, N. H., and Schindler, A. K. (2000). "The feasibility of using precast concrete panels to expedite highway pavement construction," *Report 1517-1*, Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin, 168 pp.

Merritt, D. K., McCullough, B. F., Burns, N. H., and Schindler, A. K. (2001). "Feasibility of precast prestressed concrete panels for expediting PCC pavement construction," *Report 1517-S*, Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin, 4 pp.

Merritt, D. K., McCullough, B. F., and Burns, N. H. (2002). "Construction and preliminary monitoring of the Georgetown, Texas precast prestressed concrete pavement," *Report 5-1517-1*, Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin, 168 pp.

Meyer, A. H. and McCullough, B. F. (1983). "Precast repair of CRCP Pavements," *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 109, No. 5, ASCE, pp. 615-631.

김성민, 박희범, 한승환, 양성철, 유태석, 계상범. (2007). "프리캐스트 콘크리트 포장 설계 및 시험시공," 2007년도 봄학술대회 논문집, 한국도로학회, 서울, pp. 151-155.

접 수 일 : 2007. 8. 8
 심 사 일 : 2007. 8. 23
 심사완료일 : 2007. 8. 28