

고성능 콘크리트 교면포장의 최적 두께 평가

Evaluation of Optimum Thickness of High Performance Concrete Bridge Deck Pavement

박 해 균* 김 지 원** 전 상 은*** 이 명 섭**** 원 종 필****
Park, Hae Geun Kim, Ji Won Jeon, Sang Eun Lee, Myeong Sub Won, Jong Phil

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the optimum thickness of High Performance Concrete bridge deck pavement. The application of High Performance Concrete bridge deck pavement with micro-silica was introduced to north America in the early 1980's. In order to decide the optimum thickness of High Performance Concrete bridge deck pavement, we conducted Finite Element Method analysis with Incheon Grand Bridge constructed by SAMSUNG E&C. From the FEM results, a thickness of five centimeters of High Performance Concrete bridge deck pavement with micro-silica is considered as a reasonable value compared with the conventional asphalt bridge deck pavement.

1. 서론

교면포장의 두께는 시공적인 측면과 역학적인 측면의 검토가 동시에 필요하다. 시공적인 측면에서는 재료에 사용되는 최대골재의 치수 및 포설 방법과 관련이 많다. 그러므로 두께 결정 방법론에 있어서 경험적인 요소가 지배하는 편이다. 국내에서는 고성능 콘크리트(HPC) 교면포장의 시공사례가 아직 많지 않으므로 경험적인 방법에 의하여 두께는 결정하기는 어렵다. 그러나 외국에서 시공한 사례를 검토하면 5cm의 포장 두께가 타당하다 사료된다. 본 연구에서는 고성능 콘크리트(HPC) 교면포장의 최적 포설 두께를 결정하기 위하여 경험적인 요소를 배제하고 역학적인 검토를 수행하기 위하여 현재 당사에서 시공 중인 인천대교의 사례를 토대로 유한요소해석을 수행하였으며, 이를 근거로 고성능 콘크리트(HPC) 교면포장이 시공된 이후 공용 중에 발생하는 교통하중의 영향에서 파손이 발생할 우려는 없는지 검토하였다.

2. 고성능 콘크리트(HPC) 교면포장 구조해석

구조해석은 3차원 비선형 유한요소해석이 가능한 ABAQUS를 사용하였으며, 상세한 구조해석을 위

* 정희원, 삼성물산(주)건설부문 토목사업본부 토목기술팀 과장, 공학박사

** 정희원, (주)토타페이브시스템 대표이사, 공학박사

*** 정희원, 삼성물산(주)건설부문 토목사업본부, 토목기술팀 과장, 공학박사

**** 정희원, 삼성물산(주)건설부문 토목사업본부 토목기술팀 부장, 토목구조기술사

***** 정희원, 건국대학교 교수

하여 연속체요소(continuum solid element)를 사용하였다. 인천대교 접속교량의 형태는 콘크리트 박스의 단면이 변화하는 부분을 모두 고려하여 모사하였으며, 5지간 연속교의 형상을 그대로 반영하였다. 교면포장 부분에서 최대 인장응력이 발생할 수 있도록 50.0m 지간의 절반을 대칭성(symmetry)을 고려하여 모델링하였고, 부모멘트가 발생할 수 있는 교각 윗 부분에 대한 검토를 포함하였다. 8.2ton 등가단축하중을 재하하여 집중하중 및 제동하중에 대한 파손 가능성을 검토하였고 구조설계에서 적용하는 등분포 하중인 DL하중을 적용하여 파손 가능성을 검토하였다.

한편, 본 공법으로 변화할 수 있는 구조적인 거동을 확인하고자 SMA 아스팔트 교면포장이 적용된 유한요소 모델을 동시에 비교하였다. 유한요소 모델의 개요는 아래 그림과 같다. 구조해석에 적용한 물성치는 아래 표와 같으며 아스팔트 포장의 물성치는 “한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구”에서 수행한 시험결과를 적용하였으며, 고성능 콘크리트(HPC)와 일반 구조물용 콘크리트의 탄성계수는 28일 설계기준강도(HPC 교면포장: 350kgf/cm², 바닥판 콘크리트: 240kgf/cm²) 적용하였다.

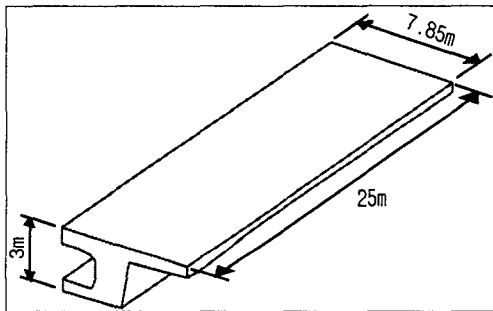


그림 1. 해석단면 (인천대교 접속교)

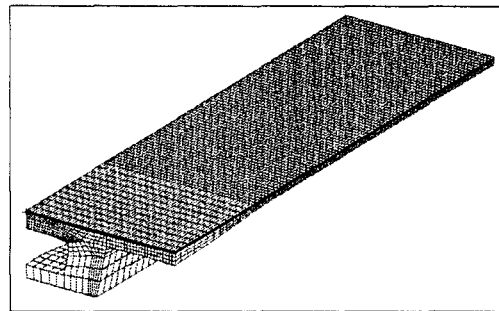


그림 2. 유한요소 모델

표 1. 구조해석 적용 물성치

구 분	아스팔트				HPC 교면포장	바닥판 콘크리트
	겨울	봄/가을	여름	평균		
탄성계수 (kgf/cm ²)	107,570	50,208	7,420	53,852	280,600	232,000

구조해석에서 적용하는 검토 방법은 다음과 같다.

(1) 부착응력 검토

수직방향의 차량하중이 수평방향의 제동하중과 동시에 작용할 경우 발생하는 전단응력에 의한 부착면 파손 가능성 검토

(2) 수평 인장응력 검토

교량의 최대 처짐 발생시 부모멘트가 발생하는 교각 상부 지점에서 교면포장에 발생하는 최대 수평응력에 의한 균열(top-down) 발생 가능성과 교통하중에 의하여 포장 하부에서 발생하는 최대 수평응력에 의한 균열(bottom-up) 발생 가능성 검토

3. 구조해석결과

(1) 부착응력 검토 결과

차량의 제동하중에 의해 발생할 수 있는 교면포장과 교량바닥판 사이 부착면의 파손 가능성을 검토하기 위하여 8.2ton 단축 차량하중의 10%와 20% 수준의 제동하중이 수평으로 교면포장의 상부면에 가해지는 상태로 가정하여 해석을 수행하였다. 다음 그림은 고성능 콘크리트 교면포장에 대한 해석 결과 중 교면포장과 콘크리트 교량바닥판 사이 부착면에 가해지는 전단응력의 분포를 보여주는 사례이다.

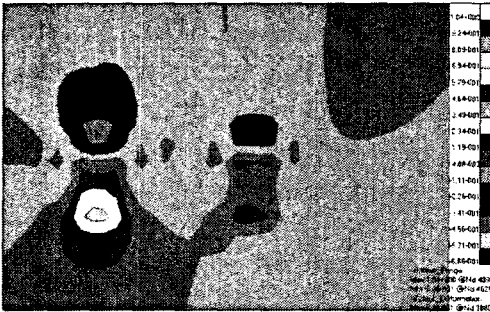


그림 3 HPC 부착응력 (수직하중의 10% 제동하중)

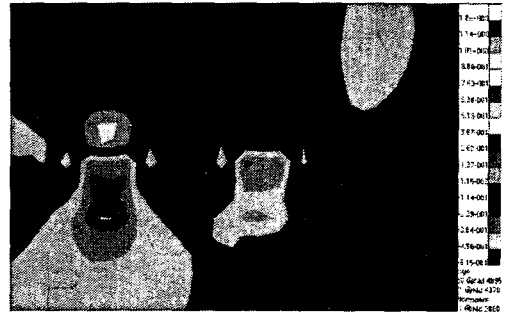


그림 4. HPC 부착응력 (수직하중의 20% 제동하중)

HPC 교면포장의 부착강도는 시험결과 약 15kgf/cm²인데 반해 HPC 교면포장의 전단응력 발생량은 2kgf/cm² 정도로 강도대비 13%수준이기 때문에 매우 안전한 것으로 판단된다. 아스팔트 포장의 경우에는 탄성계수가 전반적으로 콘크리트보다 낮아 전단응력 발생량이 작았고, 방수재의 전단강도 대비 23%수준으로 HPC 교면포장보다는 낮지만 안전한 것으로 파악되었다. 구조해석 결과는 다음 표에 요약되어 나타난다.

표 2. 전단응력/강도 결과

구 분	HPC 교면포장 (하중 10%)	HPC 교면포장 (하중 20%)	아스팔트 교면포장 (하중 10%)	아스팔트 교면포장 (하중 20%)
전단응력 (kgf/cm ²)	1.988	2.037	1.634	1.687
강도대비 응력수준(%)	13.25	13.58	23.01	23.76

(2) 수평 인장응력 검토

(가) 교각 상부의 균열(top-down) 가능성

교량의 최대 처짐 발생시 부모멘트가 발생하는 교각 상부 지점에서 교면포장에 발생하는 최대 수평응력 수준을 검토하여 균열 발생 가능성 검토한다. 최대 수평응력 발생량이 콘크리트의 경우 휨강도 기준인 4kgf/cm² 이상, 아스팔트의 경우 14kgf/cm² 이상 발생하면 포장 상부에서 하부로 전이되는 균열(Top-down)이 발생한다. 이에 같은 균열은 수분 침투 가능성을 높게 하기 때문에 공용성에 큰 영향을 미친다. 아래 그림은 8.2톤 등가단축하중이 집중하중의 형태로 가해졌을 경우에 발생하는 횡방향응력의 분포도이다. 집중하중이 가해진 경우 교각의 포장 상부에서 발생하는 인장응력이 HPC 교면포장일 때 0.55kgf/cm²로 휨 강도 대비 1.2% 수준으로 HPC 교면포장이 단일 집중하중에 의하여 발생하는 부모멘트로 균열을 유발할 가능성은 매우 낮은 것으로 분석되었다.

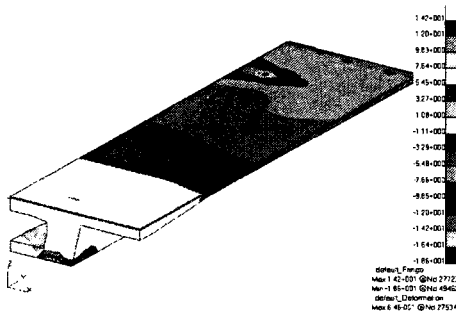


그림 5. 횡방향 인장응력 (집중하중)

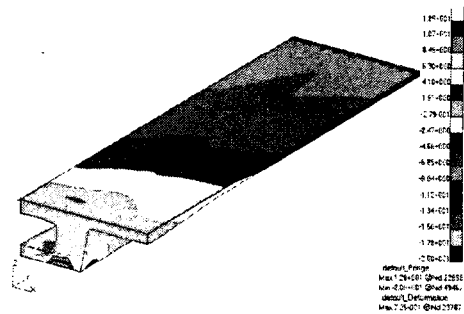


그림 6. 횡방향 인장응력 (차선하중+사하중)

교량의 최대 처짐 상태에서의 거동을 명확히 모사하기 위해 1등급 기준인 DL-24 차선 하중(1.27 ton/m)과 교량의 사하중을 동시에 각 차선별로 재하 하여 유한요소해석을 수행하였다. 이 경우 교각의 포장 상부에서 발생하는 인장응력이 HPC 교면포장일 때 2.23kgf/cm² 로 휨강도대비 4.9%에 해당하는 수준으로 파손에 대한 우려는 크지 않다. 아래 표는 교각 상부의 균열(top-down) 가능성에 대한 해석 결과를 보여준다.

표 3. 교각부 포장 심부의 응력/변형률

구 분	집중하중 재하시		DL24 차선 하중+사하중 재하시	
	HPC 교면포장	아스팔트 포장	HPC 교면포장	아스팔트 포장
인장응력 (kgf/cm ²)	0.552	0.136	2.23	0.64
인장변형률 (×10 ⁻⁶)	2.064	2.373	7.14	8.33

(나) 교통하중 재하 지점의 균열(Bottom-up) 가능성

교통하중 재하 지점 하부에서 상부로 균열이 발생할 가능성을 검토하기 위하여 8.2톤 집중하중을 재하 하였다. 등분포하중은 하부에 응력집중 현상을 초래하지 않기 때문이다. 응력 상태를 좀 더 보수적으로 관찰하기 위하여 수평 방향의 제동하중을 10%와 20%를 추가하여 해석을 수행하였다. 이 경우에 HPC 교면포장의 경우 최대 수평 인장응력이 4.9kg/cm², 인장변형률이 21.9×10⁻⁶만큼 발생하였다. 여기서 인장 응력은 포장용 콘크리트 휨강도의 기준인 45kg/cm²의 11%선으로 포장 하부에서 상부로 균열이 발생하는 피로 파손 가능성이 매우 적을 것으로 판단되었다. 인장변형률 측면에서 아스팔트 교면포장에 비해 상대적으로 적은 값이 나타나 더 안정적인 것으로 분석되었다.

표 4. 교면포장 하부의 최대 수평 인장응력/변형률

구 분	HPC 교면포장 (하중 10%)	HPC 교면포장 (하중 20%)	아스팔트 포장 (하중 10%)	아스팔트 포장 (하중 20%)
인장응력 (kgf/cm ²)	4.909	4.915	1.397	1.399
인장변형률 (× 10 ⁻⁶)	21.85	21.92	34.51	34.53

4. 결론

FEM 해석을 통한 검증 결과, 5cm로 설정된 고성능 콘크리트(HPC) 교면포장은 8cm로 시공되는 아스팔트 교면포장 보다 전단응력, 수평응력의 모든 측면에서 만족할만한 수준의 성능을 확보할 수 있을 것으로 확인 되었다.