

고속도로 영업소 광장부의 포스트텐션 콘크리트 포장 설계 방안

Design Methodology of Post-Tensioned Concrete Pavement for Expressway Toll Plaza Pavement

박희범* · 김성민** · 김동호***

Park, Hee Beom · Kim, Seong-Min · Kim, Dong Ho

1. 서 론

우리나라의 고속도로 영업소 광장부 포장에 폭넓게 사용되고 있는 줄눈콘크리트 포장(JCP: Jointed Concrete Pavement)은 줄눈에서의 스펙링과 벌어짐 현상으로 인한 잦은 보수를 초래함으로써 예산낭비와 함께 사용자의 불편을 가중시키고 있다. 이러한 문제를 해결할 수 있는 대안의 하나로 포스트텐션 콘크리트 포장(PTCP: Post-Tensioned Concrete Pavement)을 들 수 있다. PTCP는 그림 1에 나타낸 바와 같이 하중에 의해 콘크리트 포장 슬래브에 발생하는 인장응력을 강선의 긴장을 통해 압축력을 가하여 감소시키는 방식으로 줄눈 간격이 6m인 줄눈콘크리트 포장과는 달리 줄눈 간격이 100m 이상이므로 줄눈에서 발생하는 파손을 억제하고 장기간 유지보수 없는 고내구성 및 고품질의 서비스를 제공할 수 있다는 장점이 있다.

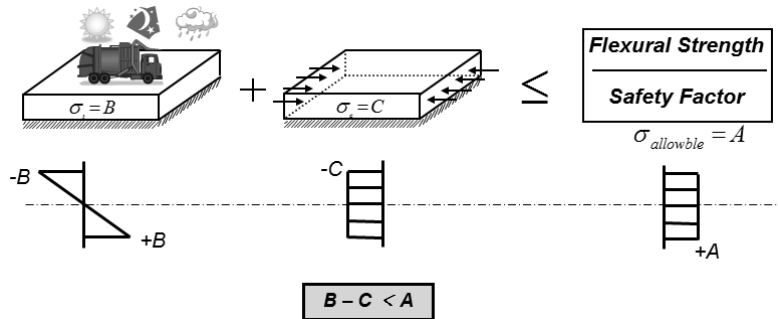


그림 1. PTCP 설계 개념

본 논문에서는 전주-남원 고속도로 구간 임실영업소 광장부에 적용한 종방향 길이 54m, 횡방향 폭 15.5m, 슬래브 두께 15cm의 포장을 단일 슬래브의 PTCP로 시공하기 위한 종방향 및 횡방향 긴장 간격설계 방안에 대하여 기술하였다.

2. PTCP 설계 개요

영업소 포장 PTCP의 설계는 응력 기준 포장 설계와 피로파손에 의한 포장 설계로 이루어진다. 먼저 응력기준 설계는 슬래브에 작용하는 극한의 하중조건을 고려하여 발생할 수 있는 최대 인장응력을 산정한다.

* 학생회원 · 경희대학교 공과대학 토목공학과 박사과정(E-mail:bambams@khu.ac.kr) - 발표자

** 정희원 · 경희대학교 공과대학 토목공학과 교수 · 공학박사 · 교신저자(E-mail:seongmin@khu.ac.kr)

*** 정희원 · (주)삼우아이엠씨 기술연구소 수석연구원 · 공학박사(E-mail:dhkim@hotmail.com)

뒤, 강선의 제원과 하중 조합 경우를 결정하고 하부층과의 마찰로 인한 손실 등 각종 손실량을 구하여 실제 슬래브가 받을 압축응력 및 텐던의 개수와 긴장 간격을 구함으로써 수행할 수 있다.

피로파손에 의한 설계는 AASHTO 피로 파손 공식을 기준으로 긴장력을 산정하여 설계하는 방법으로 PTCP가 어떠한 두께의 콘크리트 포장을 대신하여 건설되어질 것인지를 결정하고 이러한 포장에 차륜하중에 의해 발생하는 인장응력을 예측 한 뒤 PTCP 슬래브의 두께를 결정하여 이러한 슬래브에 하중이 작용할 때의 응력을 구하고 이 응력을 감소시켜서 대체될 콘크리트 포장에 발생하는 응력과 같아질 수 있는 크기의 응력을 구해 긴장량을 산정한다. 그림 2에 나타난 바와 같이 영업소 PTCP는 두 가지 설계 방법을 이용하여 설계를 수행 한 뒤 더 큰 인장응력이 발생하는 설계 방법에 대하여 실제 긴장 간격을 결정한다.

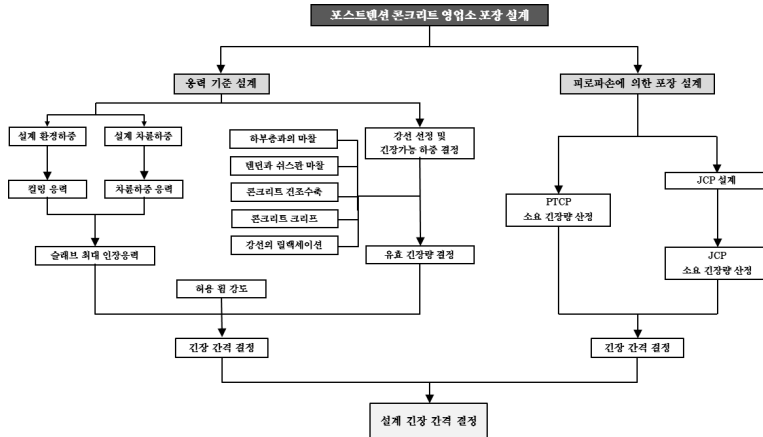


그림 2. PTCP 종방향 및 횡방향 긴장 설계

3. 응력 기준 설계

PTCP 영업소 포장 슬래브에 차륜하중 및 환경하중에 의한 발생응력을 분석하기 위해 유한요소 프로그램을 사용하여 극한의 하중 조건으로 슬래브에 발생 가능한 최대 인장응력을 산출하였다(ABAQUS, 2007). 환경하중에 의한 발생응력은 수직 온도구배(Temperature Gradient)를 0.5°C/cm로 하여 Curl Up과 Curl Down을 모두 고려하였다. 실제 하부지지층을 모사할 수 있도록 무인장(Tensionless)스프링을 사용하여 하부층을 모델링 하였다. 차륜하중에 의한 발생응력은 단축 및 복축하중(82kN/Axle)을 사용하여 슬래브 중앙, 단부에 축 하중을 제하 하여 최대 응력을 산정하였다. 환경 하중 및 차륜하중에 의한 종방향 발생응력을 슬래브 각 위치별로 구하여 표 1에 나타내었다.

표 1. PTCP 영업소 포장 슬래브 종방향 발생응력

종방향 응력	응력 발생 위치	Max. Stress(kPa) Single Axle	Max. Stress(kPa) Tandem Axle
Environmental	Top of Slab(Curl Up)	1038	
	Bottom of Slab(Curl Down)	1041	
Vehicle	Bottom of Slab(Center)	1401	1200
	Bottom of Slab(Edge)	2369	1930
Total Max. Stress	Top of Slab	3070	
	Bottom of Slab	3410	

긴장 설계에서 중요한 요소 중 하나인 콘크리트의 허용 휨강도는 콘크리트의 휨강도 4.5MPa의 절반인 2.25MPa를 사용한다. 허용 휨강도를 휨강도의 절반 이하로 할 경우 피로에 의한 파손이 일어나지 않는다고 보기 때문에 이러한 값을 사용한다. PTCP 영업소 포장 슬래브에 발생하는 인장응력 및 각종 손실을 구하고

콘크리트의 허용 휨강도를 적용하여 세부적인 종방향 설계 수식을 다음 식(1)과 (2)에 나타내었다.

$$\frac{\{강선인장하중(208.7kN) - \sum \text{손실량}\} \times \text{강선의 개수}(n)}{\text{슬래브 긴장 단면적}(\text{폭}(15.5m) \times \text{두께}(0.15m))} \geq \text{하중에 의한 최대 인장응력} - \text{콘크리트 허용 휨강도} \quad (1)$$

$$\text{긴장 간격}(s) = \frac{\text{강선의 인장하중}(208.7kN) - \sum \text{손실량}}{(\text{하중에 의한 최대 인장응력} - \text{콘크리트 허용 휨강도}) \times \text{슬래브 두께}(0.15m)} \quad (2)$$

PTCP 영업소 포장 설계를 위해서 각종 인자들을 적용하여 실제 설계 결과를 아래에 나타내었다.

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{긴장 간격}(s) &= \frac{208.7kN - (20.87 + 16.2 + 6.24 + 12.6)}{(3410kPa - 2250) \times 0.15} = 0.878m \\ \text{강선의 개수}(n) &= \frac{\text{슬래브 폭}(15.5m)}{\text{긴장 간격}(0.878m)} = 17.66 \text{ 개} \end{aligned}$$

종방향 설계와 유사하게 PTCP 영업소 포장의 횡방향 설계를 수행하였다. 모든 조건은 종방향 설계와 동일하며 분석 결과를 표 2에 나타내었다. 표 2에 나타낸 바와 같이 차륜하중 및 환경하중에 의한 횡방향 최대 인장응력이 콘크리트의 허용 휨강도보다 작기 때문에 응력 기준 설계에서는 횡방향 긴장이 필요없는 것으로 산정되었다.

표 2. PTCP 영업소 포장 슬래브 횡방향 발생응력

횡방향 응력	응력 발생 위치	Max. Stress(kPa) Single Axle	Max. Stress(kPa) Tandem Axle
Environmental	Top of Slab(Curl Up)	1038	
	Bottom of Slab(Curl Down)	1041	
Vehicle	Bottom of Slab(Center)	993	1012
	Bottom of Slab(Edge)	939.5	942.4
Total Max. Stress	Top of Slab	2031	
	Bottom of Slab	2053	

응력 기준 설계에 의해 산정된 종방향 및 횡방향 긴장 간격 설계 결과를 표 3에 나타내었다. 표에 나타낸 바와 같이 응력 기준 설계에서는 종방향은 0.8m 간격으로 20개의 강선을 사용하고 횡방향은 긴장력 도입이 필요 없는 것으로 산정되었다.

표 3. 응력 기준 설계 결과

	PTCP 긴장 설계 결과		
	긴장 간격(s)	강선의 개수(n)	긴장응력(σ _p)
종방향 긴장	0.8m	20개	1.314MPa
횡방향 긴장	긴장력 도입 필요없음		

4. 피로 파손에 의한 설계

피로 파손에 의한 설계에서는 우선 영업소 포장 구간을 JCP 포장으로 가정하였을 때의 설계 결과를 구한다. JCP는 ASHTTO 공용방정식에 의해 설계 두께를 구하고 ASHTTO 공용방정식에 의한 결과와 단축하중 환산 교통량의 설계수명이 20년, 40년 일 때의 값으로 영업소 포장 슬래브의 두께를 산정한다(ASHTTO, 1993). 영업소 포장을 JCP로 가정했을 때의 두께 산정이 끝나면 영업소 포장을 PTCP로 설계할 경우의 긴장량을 산정한다. JCP 설계에 의한 두께를 가지는 JCP 슬래브 단부에 차륜하중이 재하 될 경우의 응력을 유한요소 프로그램을 사용하여 분석하였다. 이러한 방법으로 설계수명 20년과 40년의 JCP 슬래브의 단축하중에 의한 종방향 및 횡방향 발생응력을 산출하여 표 4에 나타내었다.



표 4. 피로 파손에 의한 PTCP 영업소 포장의 소요 긴장량

종방향 응력	JCP		PTCP	횡방향 응력	JCP		PTCP
	20년 수명 $\sigma_{30.3cm}$	40년 수명 $\sigma_{34.1cm}$	σ_{15cm}		20년 수명 $\sigma_{30.3cm}$	40년 수명 $\sigma_{34.1cm}$	σ_{15cm}
Vehicle	0.843MPa	0.702MPa	2.369MPa	Vehicle	0.843MPa	0.702MPa	1.012MPa
소요 긴장량	1.526MPa	1.667MPa	-	소요 긴장량	0.169MPa	0.31MPa	

※ 소요 긴장량 = $\sigma_{15cm} - (\sigma_{30.3cm} \text{ or } \sigma_{34.1cm})$

표 5에서는 표 4에서 산정된 피로 파손에 의한 PTCP 영업소 포장의 소요 긴장량에 의한 종방향 및 횡방향 긴장 간격 설계 결과를 나타내었다. 표에 나타난 바와 같이 피로 파손에 의한 설계에서는 종방향은 0.6m 간격으로 26개의 강선을 사용하고 횡방향은 긴장 간격에 따른 횡방향 긴장 응력 손실을 검토하여 2.5m 간격으로 22개의 강선을 사용하도록 산정되었다(윤동주 외, 2009).

표 5. 피로 파손에 의한 설계 결과

	PTCP 긴장 설계 결과		
	긴장 간격(s)	강선의 개수(n)	긴장응력(σ_p)
종방향 긴장	0.6m	26개	1.708MPa
횡방향 긴장	2.5m	22개	0.341MPa

임실 영업소 PTCP를 응력 기준과 피로 파손기준에 의한 설계를 수행 한 결과 피로 파손에 의한 설계에서 더 큰 인장응력이 발생하였기 때문에 설계 긴장 간격을 피로 파손에 의한 설계 결과로 결정하였다.

5. 결론

본 연구는 고속도로 영업소 포장을 단일 슬래브의 PTCP로 시공하기 위하여 종방향 및 횡방향 긴장 간격 설계를 위하여 수행되었다. 본 연구를 수행함으로써 도출한 결론은 다음과 같다.

- 영업소 포장에서 대부분의 파손유형은 줄눈에서의 파손이다. 따라서 영업소 포장에 PTCP를 적용하여 줄눈의 수를 줄임으로써 영업소 포장의 고성능 고내구성을 가져올 수 있을 것이다.
- PTCP 영업소 광장부 포장 설계는 응력 기준 설계와 피로 파손에 의한 설계를 이용하여 더 큰 인장응력이 발생하는 설계 방법을 통해 긴장 간격을 산정한다.
- 응력 기준 설계에서는 종방향은 0.8m 간격으로 20개의 강선을 사용하고 횡방향은 긴장력 도입이 필요없는 것으로 산정되었다.
- 피로 파손에 의한 설계에서는 종방향은 0.6m 간격으로 26개의 강선을 사용하고 횡방향은 2.5m 간격으로 22개의 강선을 사용하도록 산정되었다.
- 임실 영업소 광장부 포장에서는 피로 파손에 의한 설계에서 더 큰 인장응력이 발생하였기 때문에 설계 긴장 간격을 피로 파손에 의한 설계 결과로 결정하였다.

감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원 기술사업화 지원사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- AASHTO (1993). Guide for Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials.
- ABAQUS (2007). User's Manual Version 6.7, Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc., Pawtucket, R. I.
- 윤동주, 김성민, 배종오 (2009). "포스트 텐션드 콘크리트 포장의 횡방향 긴장 설계법 개발," 2009년도 봄 학술대회 논문집, 한국도로학회, 서울, pp. 15~20.