

# 프리캐스트 바닥판의 전단포켓 형상에 관한 해석 연구

## Analysis on Shapes of Shear Pocket for the Full-Depth Precast Slab

한상윤\* · 이만섭\*\* · 이승록\*\*\* · 강영종\*\*\*\*

Han, Sang Yun · Lee, Man Seop · Lee, Seung Rok · Kang, Young Jong

### Abstract

Post-tensioning the full-depth precast slab longitudinally is to eliminate the tensile stresses in the transverse joints and to prevent any leakage through the joints. When the prestressing is applied to full-depth precast slab which does not composite steel girder, stress concentration occurs at the corners of shear pocket, and compressive stress is not uniformly distributed in the section of precast slab. In this paper, full-depth precast slabs using four different shapes of shear pockets are analyzed by commercial finite element program. Round type of shear pockets is superior to reduction in stress concentration.

**Keywords** : precast slab, shear pocket, prestress, stress concentration

### 요 지

프리캐스트 바닥판들의 이음부에 발생하는 교축방향 인장응력을 제어하고, 이음부의 누수 등을 방지하기 위하여 교축 방향으로 프리스트레스를 도입한다. 효과적인 압축력 도입을 위하여 합성 전에 프리캐스트 바닥판에 압축력을 도입한다. 이때 프리캐스트 바닥판에 존재하는 전단포켓으로 인하여 바닥판에 균일한 압축력 도입이 어렵고, 전단포켓의 주변 콘크리트에 국부적인 응력집중이 발생한다. 따라서 본 연구에서는 상용 구조해석 프로그램을 이용하여 서로 다른 4가지 형상의 전단포켓을 갖는 프리캐스트 바닥판에 대하여 유한요소해석을 수행하였다. 그 결과 전단포켓의 모서리 부분이 원형인 전단포켓이 응력집중이 가장 작은 것으로 나타났다.

**핵심용어**: 프리캐스트 바닥판, 전단포켓, 프리스트레스, 응력집중

### 1. 서 론

프리캐스트(precast) 바닥판은 공기단축, 우수한 품질관리, 시공의 편의성, 그리고 이미 건설된 교량의 손상된 바닥판의 교체가 필요 시에 단기간에 시공할 수 있는 장점으로 인하여 이미 미국, 일본, 유럽과 같은 외국에서는 많은 시공사례가 있고, 국내에서는 서해대교에 처음으로 시공되었으며, 최근에는 경전철 교량에도 도입하기 위한 연구가 수행 중에 있다. 프리캐스트 바닥판은 크게 두 가지 구조적 특징을 가지고 있다. 하나는 프리캐스트 바닥판들 사이에 존재하는 이음부이고, 나머지 하나는 프리캐스트 바닥판과 강주형을 합성시켜주는 전단포켓이다. 이러한 특징들 중 바닥판과 강주형의 합성은 그림1과 같이 프리캐스트 바닥판 제작 시 미리 전단연결재(stud)용 전단포켓(shear pocket)을 두고, 전단연결재가 배치된 강거더에 거치한 후 전단포켓에 무수축 모르타르를 이용하여 그라우트를 함으로써 강거더와 콘크리트 바닥판을 합성시키고 있다.

또한, 프리캐스트 바닥판에 텐던(tendon)을 이용하여 교축 및 교축 직각 방향으로 압축력을 도입하는데, 효과적인 압축력 도입을 위해서 강거더와 합성 전, 즉 전단포켓에 무수축 모르타르(mortar)가 채워져 있지 않을 때 압축력을 가하게 된다. 교축 방향 압축력은 프리캐스트 바닥판간의 이음부에 발생할 수 있는 균열을 억제하고, 연속교량의 경우 부모멘트로 인하여 발생하는 콘크리트의 인장응력을 제어하기 위하여 도입한다. 교축 직각 방향으로서는 바닥판의 폭이 7m가 넘는 경우에 이동과 가설 시 균열을 방지하기 위하여 압축력을 도입한다(장승필 등, 1996). 그러나, 전단포켓이 비어있는 상태에서 교축 및 교축 직각 방향으로 압축력을 가할 때 일반적으로 사용하고 있는 사각형 전단포켓의 주변에 국부적으로 응력집중 현상이 발생되고(Mohsen, 1995), 바닥판 전반에 압축력이 일정하게 도입되지 않는 단점이 있다.

프리캐스트 바닥판에 대한 연구는 국내 외에서 활발히 진행되고 있으나(Shim 등, 2003; Issa 등, 1995), 전단포켓의 형상에 대한 연구는 단지 사각형이 아닌 원형 등의 다른 형

\*정회원 · 고려대학교 공과대학 강구조공학협동과정 박사과정(E-mail : hansangyun@hanmail.net)  
\*\*정회원 · COWI Korea 대표이사(E-mail : mslee@cowi.co.kr)  
\*\*\* (주)포스코건설 차장(E-mail : srlee@poscoenc.com)  
\*\*\*\*정회원 · 교신저자 · 고려대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 교수(E-mail : yjkang@korea.ac.kr)

상이 좋을 것(Shim 등, 2003)이라는 언급만이 있을 뿐, 정성적이고 정량적인 연구는 수행되지 않았으며, 시방규정 또한 미진한 실정이다. 따라서 현재 시공중인 프리캐스트 바닥판은 전단연결재의 간격기준을 고려하여 전단포켓의 위치만을 결정할 뿐이며, 전단포켓의 형상은 구조해석을 통한 상세설계를 수행하지 않고 있다.

따라서, 본 연구에서는 교축 및 교축 직각 방향으로 압축력이 도입된 4가지 형상의 전단포켓을 사용한 프리캐스트 바닥판들에 대하여 유한요소해석을 수행하였고, 해석결과를 이용한 정성적, 정량적인 분석을 통하여 사각형 전단포켓의 주변에 생기는 응력집중 현상을 감소 시키고, 바닥판에 효과적인 압축력을 도입시킬 수 있는 전단포켓의 형상을 제시하여 프리캐스트 바닥판의 안전성 확보를 도모하고자 한다.

## 2. 유한요소해석

### 2.1 해석모델의 형상 및 제반 조건

유한요소해석은 범용해석 프로그램인 LUSAS를 사용하였다. 프리캐스트 바닥판의 대상모델은 그림 2와 같으며, 해석대상 모델은 기 시공된 프리캐스트 바닥판들을 고려하여 가정하였다. 유한요소해석 모델의 형상과 하중은 그림 3과 같이 모든 모델에 종 방향 및 횡 방향 압축력을 각각 작용시켰고 하중의 크기는 10kN/cm이다. 본 연구에서는 프리캐스트 바닥판에 수직하중이 없고, 면에 수직하중을 무시할 수 있으므로 프리캐스트 바닥판은 Plain stress 요소를 사용하였으며, 철근은 고려하지 않았다. 경계조건은 변위가 발생하지 않는 모델의 정 중앙에는 프로그램상의 오류를 방지하기 위하여 x, y, z축 변위를 구속하였고, 바닥판의 모서리 4곳은 z축의 변위만을 구속하였다.

콘크리트의 탄성계수는  $2.6 \times 10^4$ MPa이고 포아송비는 0.17로 가정하였다. 콘크리트의 탄성계수는 도로교설계기준(2000)의 콘크리트의 압축강도가 30 MPa인 경우에 해당하

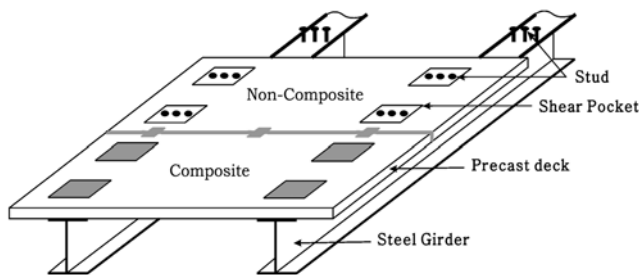


그림 1. 프리캐스트 바닥판과 강거더의 합성

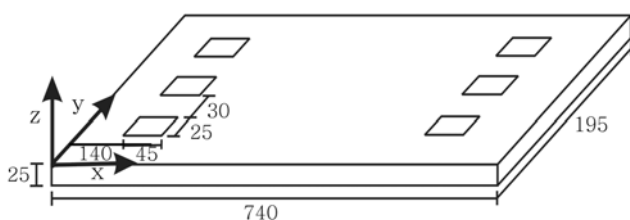
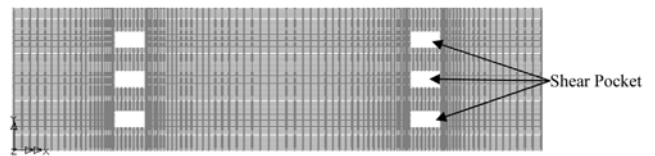
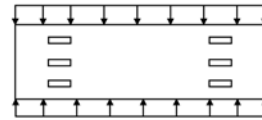


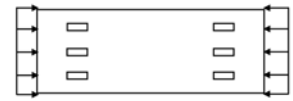
그림 2. 해석대상 모델 (단위:cm)



(a) 유한요소모델의 메쉬형상



(b) 종 방향 하중



(c) 횡 방향 하중

그림 3. 유한요소 모델의 형상 및 하중조건

는 값이다.

### 2.2 전단포켓의 형상 및 변수

전단포켓의 형상은 일반적으로 사각형을 많이 사용하고 있으나, 압축력의 도입으로 인하여 생기는 바닥판의 응력의 흐름을 전단포켓이 차단하여 프리캐스트 바닥판에 일정한 압축력의 도입이 어렵고, 사각형 전단포켓의 모서리 부근에서 응력집중이 발생하게 된다. 그러므로 그림 4와 같이 위에서 언급한 단점들을 보완할 수 있는 3가지 형상의 모델(SP-2, SP-3, SP-4)을 본 연구에서는 선정하였다.

이러한 4가지 형상의 전단포켓을 사용한 프리캐스트 바닥판의 모델을 전단포켓에 모르타르를 채우지 않은 경우, 즉 합성전 프리캐스트 바닥판에 종 방향 및 횡 방향 압축력이 도입된 경우에 대하여 분석하였다. 이때 전단포켓의 형상이 최적이라도 4가지 형상의 전단포켓 면적이 다르다면 서로 다른 형상들의 비교가 무의미하기 때문에 4가지 형상의 전단포켓의 면적은 동일하게 하였으며, 종 방향(y) 압축력이 도입된 경우에는 종 방향 응력의 흐름에 영향을 미칠 수 있는 전단포켓의 폭(b)를 일정하게 한 모델들(SP-1, SPL-2, SPL-3, SPL-4)을 비교하고, 횡 방향(x) 압축력의 경우에는 전단포켓의 세로(h)의 길이를 일정하게 고정시킨 모델들(SP-1, SPT-2, SPT-3, SPT-4)을 검토하였다.

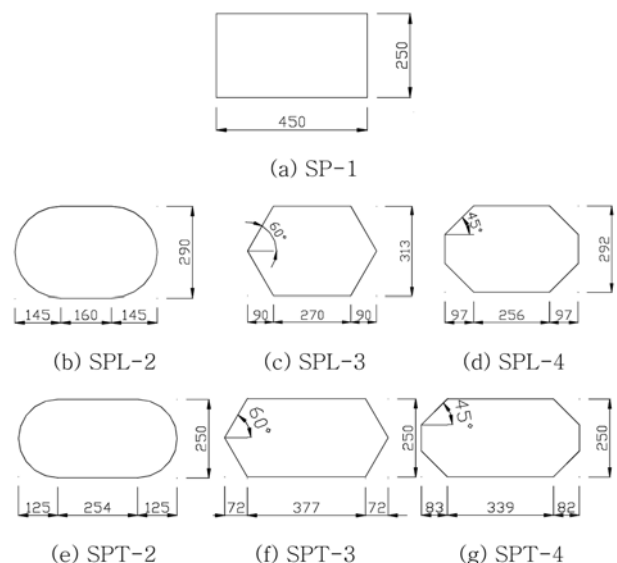


그림 4. 전단포켓의 형상

### 3. 해석 결과

프리캐스트 바닥판에 프리스트레스를 도입하는 방법은 크게 두 가지로 구분할 수 있는데 그 중 하나는 전단포켓에 모르타르를 채우지 않은 경우(합성전)이고, 나머지 하나는 전단포켓에 모르타르를 채운 경우(합성후)이다. 이때 합성 후에 압축력이 도입되는 경우, 즉 전단포켓에 무수축 모르타르가 채워져 있는 경우는 국부적인 응력집중현상이나 전체적인 압축력의 도입이 크게 문제시 되지 않고, 무수축 모르타르의 탄성계수가 콘크리트의 것과 비슷할수록 위의 두가지 문제점이 발생하지 않는다. 그러므로 본 연구에서는 합성전에 프리캐스트 바닥판에 종 방향 및 횡 방향 압축력이 가해졌을 때 전단포켓 주변의 응력집중현상과 압축력의 도입 효과에

대하여 4가지 모델들의 유한요소해석 결과들을 분석하였다.

#### 3.1 종 방향 압축력 도입

종 방향으로 압축력이 도입된 경우는 그림 3(b)에 해당하는 것이고, 교량의 교축 방향과 같은 방향을 의미한다. 종 방향 하중의 경우에는 전단포켓의 형상의 폭(b)을 고정시킨 모델들을 비교하였다.

우선 종 방향 압축력 도입 시 전단포켓의 주변 콘크리트에 생기는 응력집중 현상을 알아 보기 위하여 그림 5는 4가지 모델의 전단포켓에서 각각 종 방향으로 1cm 떨어진 부분(그림 5 모델그림의 점선부)의 프리캐스트 바닥판에 분포하는 종 방향 법선응력을 보여주고있다. SPL-2, SPL-3, SPL-4와는 달리 사각형 형상(SP-1)의 전단포켓의 경우는 응

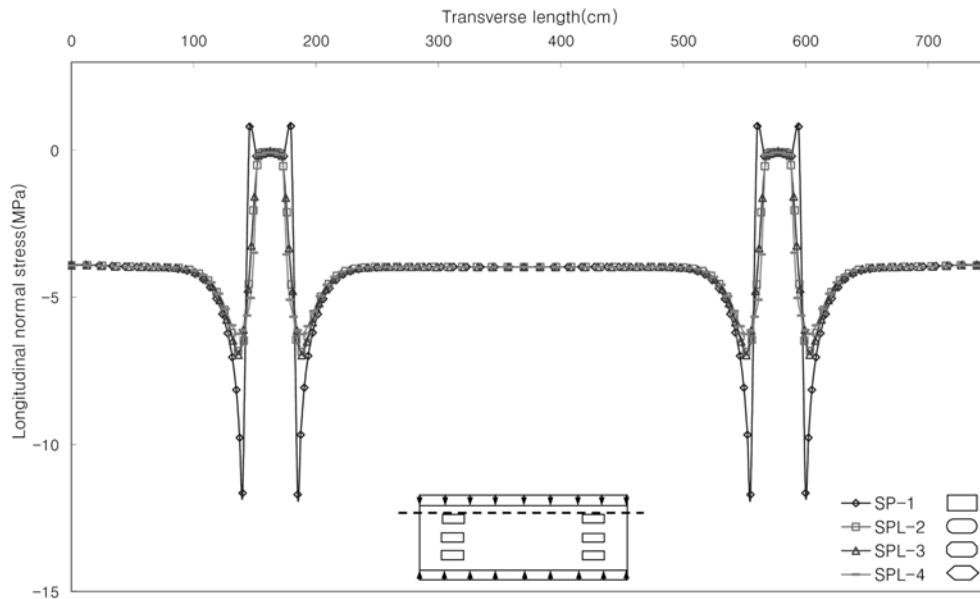


그림 5. 전단포켓에서 1cm 떨어진 부분의 종 방향 법선응력

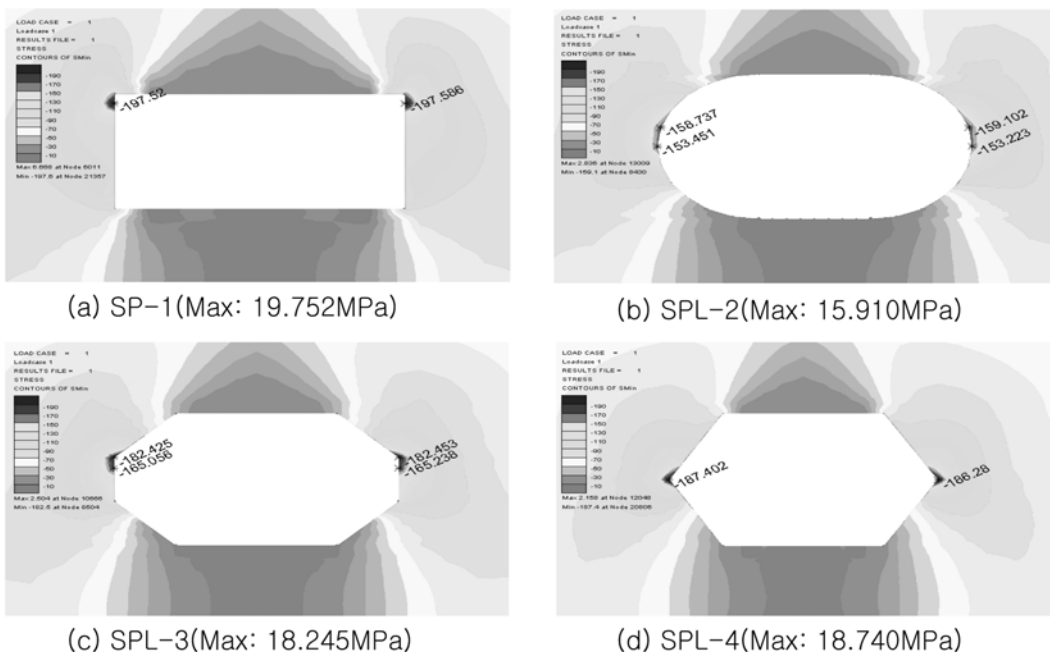


그림 6. 전단포켓의 주 압축응력의 응력분포

력집중으로 인하여 과도한 압축응력이 발생하고, 인장응력까지도 발생하는 것을 알 수 있다.

보다 정확한 응력집중 현상은 전단포켓 주변의 주 압축응력을 나타낸 그림 6을 보면 잘 알 수 있는데, SP-1, SPL-2, SPL-3, SPL-4모두 전단포켓의 외측 모서리 부근에서 최대 주 압축응력이 발생함을 볼 수 있다. 응력집중이 가장 큰 SP-1의 경우 최대 주 압축응력 값은 19.752MPa이고, 4가지 모델 중 최대 주 압축응력이 가장 작은 SPL-2는 15.910MPa로서 SP-1보다 약 20%의 응력집중저감 효과가 있음을 알 수 있었다.

종 방향 압축력 도입 시 전단포켓의 형상에 따른 프리캐스트 바닥판의 압축력 도입효과를 알아보기 위하여 응력 집중현상이 나타나지 않는 부분(바닥판의 아래에서 130cm떨어진 부분)의 종 방향 법선응력을 그림 7에 보여주고 있다. 그림 7에서 보는 바와 같이 4가지 모델 모두 동일한 종 방향 법선응력을 보이고 있다. 따라서 전단포켓의 형상에 따른

종 방향 압축응력의 도입효과는 거의 차이가 없음을 알 수 있다.

### 3.2 횡 방향 압축력 도입

횡 방향 압축력의 도입은 그림 3(c)에 해당하고 교량의 교축직각 방향과 같은 방향을 의미한다. 횡 방향 하중의 경우에는 횡 방향 응력흐름에 영향을 줄 수 있는 전단포켓의 높이(h)를 고정시켜서 4가지 모델들을 비교하였다.

횡 방향으로 압축력을 도입한 경우, 전단포켓 주변에서 발생하는 응력집중을 알아보기 위하여 4가지 모델의 전단포켓에서 횡 방향으로 각각 1cm떨어진 부근(그림 8 모델그림의 점선부)의 횡 방향 법선응력을 그림 8에 나타내었다. 그림 8에서 보는 바와 같이 SP-1은 전단포켓 부근에서 과도한 응력이 발생하는 것을 볼 수 있다. 반면 SPT-2, SPT-3, SPT-4는 SP-1에 비하여 응력 집중이 비교적 적은 것으로 나타났고, 그 중에서도 SPT-2가 응력집중을 저감시키는 데에는 가

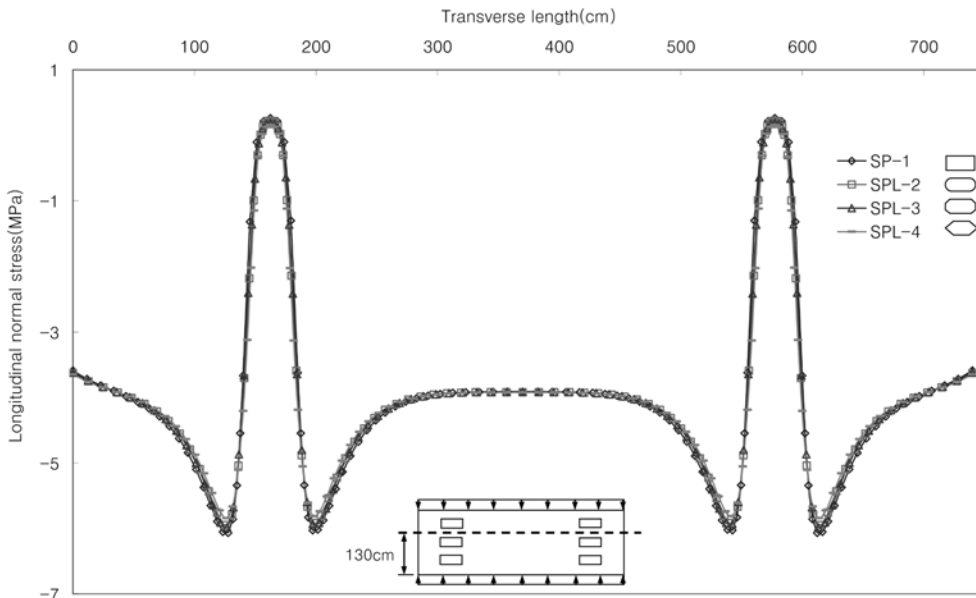


그림 7. 종 방향 130 cm 부근의 종 방향 법선응력

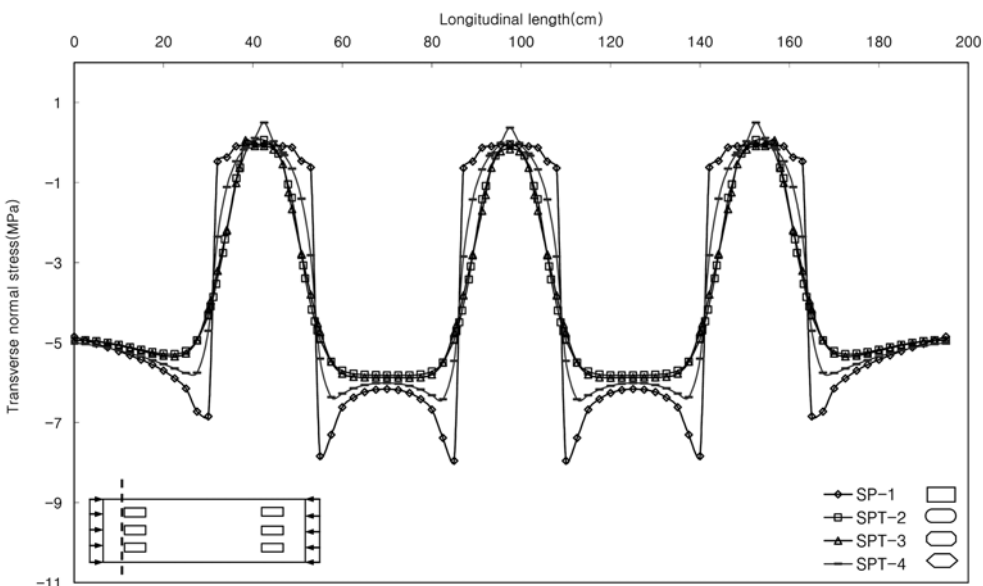


그림 8. 전단포켓에서 1 cm 떨어진 부분의 횡 방향 법선응력

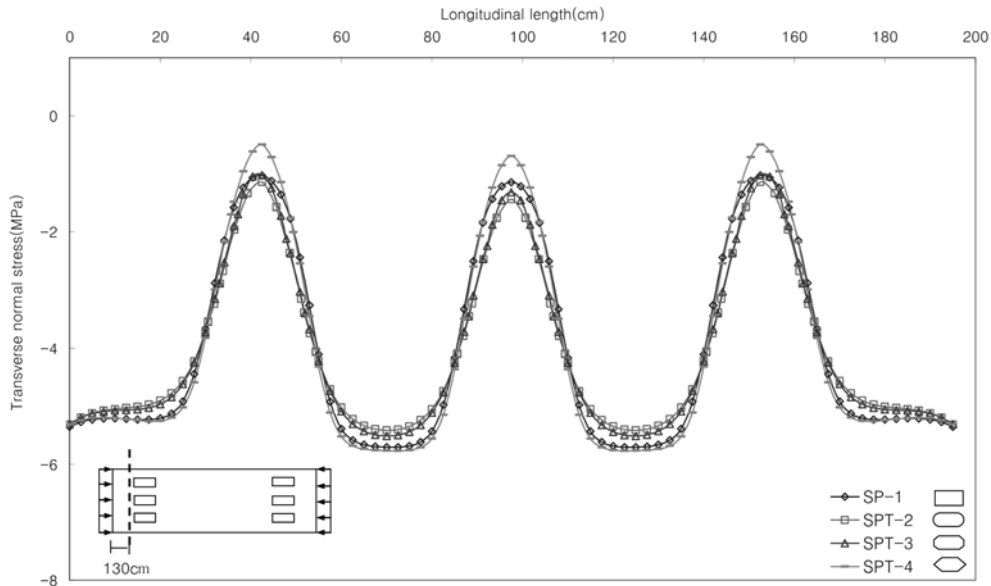


그림 9. 횡 방향 130 cm 부근의 횡 방향 법선응력

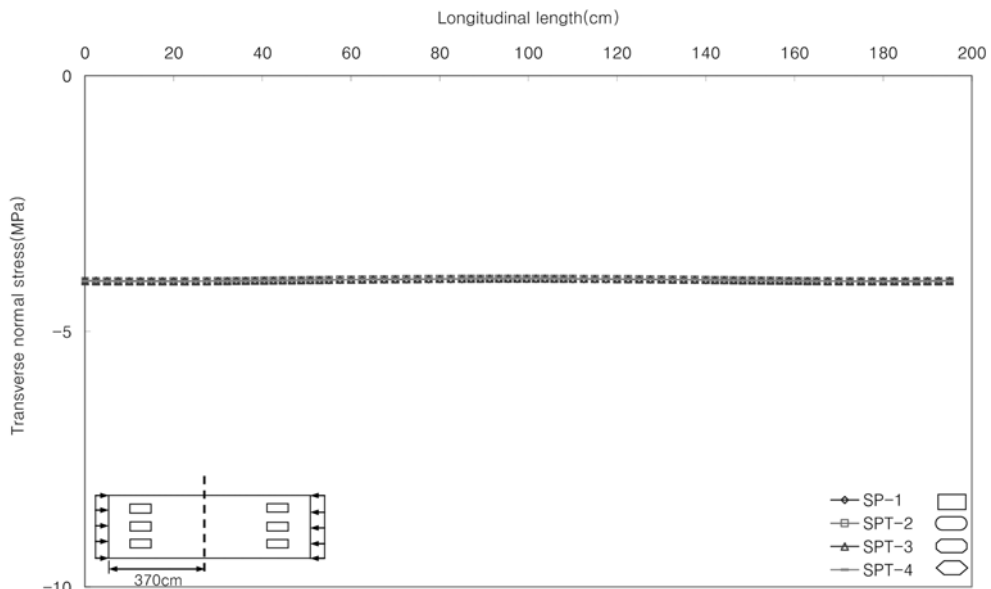


그림 10. 횡 방향 370 cm 부근의 횡 방향 법선응력

장 적절하다는 것을 알 수 있다.

횡방향 압축력 도입 시 프리캐스트 바닥판의 압축력 도입 효과에 대하여 알아보기 위하여 응력집중현상이 나타나지 않는 프리캐스트 바닥판의 왼쪽 끝에서 횡 방향 130 cm 떨어진 곳의 횡 방향 법선응력을 그림 9에서 보여주고 있다. 압축력 도입효과가 좋고 나쁨의 판단 기준은 그림 10와 같이 단면에 고르게 압축응력이 분포하는 것이 효과적인 것이다. 그러므로 그림 9를 보면 SPT-2의 경우가 SP-1, SPT-3, SPT-4에 비하여 압축력 도입효과가 좋은 것을 알 수 있다. 그림 10은 전단포켓의 영향을 거의 받지 않는 프리캐스트 바닥판 왼쪽 끝에서 370 cm 떨어진 곳의 횡 방향 법선응력을 나타내고 있는데, 모든 모델의 횡 방향 법선응력이 동일하게 4MPa로서 차이가 없음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 프리캐스트 바닥판에 합성전 측, 전단포켓

에 모르타르가 채워지지 않은 경우에 교축 방향 및 교축 직각 방향으로 압축력을 도입할 때, 전단포켓의 주변 콘크리트에 생기는 응력집중현상을 저감시키고, 압축력 도입에 효과적인 전단포켓의 형상을 규명하고자, 4가지 형상의 전단포켓을 갖는 프리캐스트 바닥판에 대하여 유한요소해석을 통하여 다음과 같은 정성적 및 정량적인 결과를 알 수 있었다.

1. 종 방향 압축력을 도입한 경우, 국부적인 응력집중현상은 SPT-2가 가장 작게 나타났고, SP-1의 경우 최대 주 압축 응력 값은 19.752 MPa이고, SPT-2는 15.910 MPa로서 SP-1보다 약 20%의 응력집중저감 효과가 있음을 알 수 있었다. 또한, 응력집중이 일어나지 않는 곳에서는 압축력 도입 효과에 대해서는 4가지 모델 모두 차이를 나타내지 않았다.
2. 횡 방향 압축력을 도입한 경우, 전단포켓에서 1 cm 떨어진 부분의 횡 방향 법선응력을 살펴보면 응력집중이 가장 큰 SP-1은 전단포켓의 모서리 부근에서 횡방향 법선응력이 7.84 MPa인 반면 같은 위치의 SPT-2는 4.91 MPa로서

SPT-2가 응력집중이 약 40% 저감되는 것을 알 수 있다. 또한, 압축력 도입 효과에 대해서도 SPT-2가 좋은 것으로 나타났다.

3. 종방향 및 횡방향 압축력이 도입된 모든 경우에 대하여 양쪽 면이 원형인 전단포켓(SPL-2, SPT-2)이 응력집중을 저감시키는데 효과적인 것으로 나타났으며, 압축력 도입효과는 횡방향 압축력 도입의 경우에 SPT-2가 다소 효과적이지만 전단포켓의 형상은 압축력 도입효과에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

전단포켓 주변 콘크리트의 응력집중현상에 가장 지배적인 인자는 전단포켓의 형상이지만, 종 방향 및 횡 방향의 압축력 도입효과에는 전단포켓의 간격 또한 큰 영향을 미칠 수 있으므로 전단포켓의 간격에 대해서도 향후 연구가 필요할 것으로 사료된다.

### 감사의 글

이 논문은 2005년 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(국가지정연구실사업.미래형 철도 구조 시스템 기술 구축).

### 참고문헌

건설교통부(2000) 도로교설계기준.  
건설교통부(1998) 프리캐스트 콘크리트 교량 바닥판의 개발 및 실용화, pp. 100.  
장승필, 김영진, 김종희, 심창수(1996) 프리캐스트 콘크리트 바닥판의 구조 특성에 관한 사례 연구. 1996년도 학술발표대회 논문집(1), 대한토목학회, pp. 169-172.  
Shim, C.-S. and Chang, S.-P (2003) Cracking of continuous composite beams with precast decks. *Journal of constructional steel research*, Vol. 59, pp. 201-214.  
Issa, M.A., Idriss, A.T., Kaspar, I.I., and Khayyat, S.Y. (1995) Full depth precast and prestressed concrete bridge deck panels. *PCI Journal*, Vol. 40, No. 1, January/February, pp. 59-80.  
Issa, M.A., Yousif, A.A., Kaspar, I.I., and Khayyat, S.Y. (1995) Field performance of full depth precast panels in bridge deck reconstruction. *PCI Journal*, Vol. 40, No. 1, May/June, pp. 82-108.  
Mohsen, A.I., Alfred, A.Y., and Mahmoud, A.I. (1995) Construction procedures for rapid replacement of bridge deck. *Concrete Internation*, Vol. 17, No. 2, pp. 40-52.

(접수일: 2004.11.18/심사일: 2005.3.11/심사완료일: 2006.5.12)