

유한요소해석에 의한 장지간 바닥판의 정적파괴형태 예측

Prediction of Failure Mode Under Static Loading in Long Span Bridge Deck Slabs by FEM

박우진¹⁾ 황훈희^{2)*}
Park, Woo Jin Hwang, Hoon Hee

Abstract

An analytical model is presented to predict the static behavior of the long-span prestressed concrete bridge deck (the long-span PSC deck). The finite element analysis is performed and the results are compared with that of the previous experimental test. The load-deflection relationship curves by FEM are in good agreement with the results reported in the previous study. The failure mode of all test specimens is predicted by the punching shear in this study. It is also observed in the previous experimental test. The main objective of this paper is presenting supportive method to predict static behavior of the long-span PSC deck slab. It is not simulating the punching shear behavior graphically.

Keywords : Long-span bridge deck, PSC deck, Long span PSC deck, Finite element method, Punching shear

1. 서론

최근 들어 여러 가지 형태를 가지는 새로운 교량의 도입과 함께 다양한 형식의 교량 구성 요소들이 개발되어 현장에 적용되고 있다. 이 중 교량의 바닥판은 차량 하중을 직접적으로 지지하는 주요 부재로서 가장 빈번한 손상 위험에 노출되므로 충분한 내구성을 보장하면서도 상부 구조의 경량화를 실현하기 위한 노력이 시도되어 왔다(박성용 등, 2006; 정연주 등, 2006; 황윤국 등, 2006, 신현섭 등, 2011).

특히 소수거더교와 같이 거더간격이 넓은 교량형식은 고정하중의 증가 때문에 상대적으로 얇은 두께로 장지간을 지지할 수 있는 고성능 바닥판이 요구된다. 장지간의 기준은 명확히 정의되어 있지 않으나 도로교설계기준 해설(대한토목학회 등, 2008)에서는 유효지간 3.6m 이상 또는 거더 중심간격 4m 이상을 장지간 바닥판의 기준으로 제안하고 있다.

이와 같은 장지간 바닥판은 바닥판의 지간이 길어짐에 따라 지간 내에 채하될 수 있는 차량의 수가 늘어나므로 설계모멘트가 증가된다(정철현 등, 2004; 조창빈 등, 2007). 또한, 동일 크기의 윤하중에 대해 유발되는 휨모멘트의

크기도 증가되므로 상대적으로 휨에 취약해질 가능성이 있다. 따라서, 횡방향으로 프리스트레스가 도입된 장지간 바닥판(이하 장지간 PSC 바닥판)이 높은 경쟁력을 가질 수 있는 것으로 제안되었다.

국내 및 해외의 선행 연구 사례 중 장지간 PSC 바닥판의 손상 거동을 규명하기 위한 자료는 많지 않으며, 특히 3차원 유한요소해석에 의한 접근은 매우 희소하다. 실험적 접근도 대형 부재의 다량 제작에 따른 부담과 제반 여건을 고려하여 부분실험체 또는 축소모형실험에 의한 검증이 주류를 이루고 있는 실정이다(김영진 등, 2002; 정철현 등, 2003; 황훈희 등, 2007). 따라서, 장지간 PSC 바닥판의 거동을 예측하기 위한 3차원 유한요소해석이 시도되어 기존 실험결과와 비교된다면 보다 유효한 결론을 도출할 수 있을 것이다.

이 연구에서는 2거더교에 대한 선행 연구에서 수행된 실험모델을 대상으로 유한요소해석 모델을 구성하였으며, 이를 통하여 콘크리트 강도와 프리스트레스 크기의 영향이 복합적으로 작용하는 장지간 PSC 바닥판의 정적거동을 예측해 보았다. 또한, 이 연구는 장지간 PSC 바닥판의 정적거동을 예측하는 보조적 연구수단으로서 활용하는데 주된 목적을 가지므로 실험결과와도 비교해 보았다.

1) 정희원, 서울대학교 토목과 교수
2) 정희원, 서울대학교 토목과 겸임교수(한국도로교통협회 수석연구원), 교신저자

* Corresponding author : poonhee@krtta.co.kr 02-3490-1042
• 본 논문에 대한 토의를 2012년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 2012년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

2. 실험모델

2.1 실험체 구성

이 연구에서 대상으로 하는 실험모델은 선행 연구 사례 중에서 장지간 PSC 바닥판의 거동을 가장 합리적으로 묘사할 수 있을 것으로 판단되는 교량 형태의 실험체로 선정하였다(황훈희 등, 2007). 실험체의 외형은 교축직각 방향 4.3m, 교축방향 5m의 크기로 강재 거더가 부착된 교량 형태를 가지며, 주요제원은 거더간격 2.7m, 바닥판 두께 115mm이나 1/3 축척의 축소모형이므로 실제로는 거더간격 8.1m, 두께 345mm의 장지간 PSC 바닥판의 거동을 관찰하기 위해 계획되었다. 실험체의 제원과 특징을 Fig. 1과 Table 1에 요약하였다.

한편, 모든 실험체는 콘크리트 강도와 프리스트레스 크기 외의 다른 영향을 배제하기 위하여 동일한 단면 제원과 배근 상세를 가지도록 제작되었다. 각각의 실험체는 실험변수로서 4단계로 구분되는 프리스트레스가 도입되었으며, 양생기간과 환경에 따라 서로 다른 콘크리트 강도를 나타내었다. 실험체의 구성과 각각의 주요 특징을 Table 2에 요약하였다. 알파벳 대문자로 나타낸 실험체명의 첫 글자는 프리스트레스의 크기로서 F는 완전프리스트레스, P1, P2 및 M은 단계별 부분프리스트레스를 의미하며 프리스트레스를 도입하지 않은 실험체는 제외하

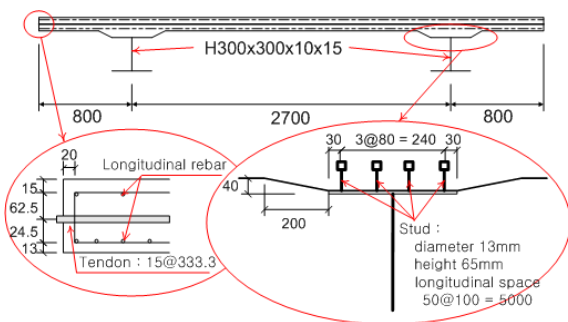


Fig. 1 Shape and Dimension of the test specimens

Table 1 Detail of reinforcement

	Transverse direction		Longitudinal rebar	Remarks
	rebar	tendon		
space(mm)	100	330	40	span : 2700mm cantilever : 800mm thickness : 115mm
effective depth (mm)	102	77.5	96	
reinforcement ratio	0.0069		0.0078	

였다. 뒷부분의 S는 정적하중(Static load) 실험체임을 표시한다.

2.2 실험결과 요약

선행연구에서 정적재하실험은 실험체의 중앙부에 대하여 먼저 수행하고, 보조적인 데이터를 얻기 위하여 교축 방향으로 각각 1m 떨어진 지점에 대하여 2차 실험을 실시하였으므로 실험체당 3개씩의 극한하중과 처짐값이 기록되었으나 여기서는 해석결과와의 비교시에 활용된 중앙부에 대하여 수행된 주실험의 결과만을 Table 3에 요약하였다. 모든 실험체는 편칭전단에 의한 파괴형상을 나

Table 2 Summary of the test specimens

Specimens	Prestress (MPa)		compressive strength of concrete (MPa)	Number of specimen (EA)	Remarks
	tendon	concrete section			
FS-1	1440	4.07	47.8	1	full prestressing
FS-2	1440	4.07	53.2	1	
P1S	1070	2.69	54.2	1	partial prestressing
P2S	670	1.32	52.0	1	
MS	480	0.67	49.8	1	
Total				5	

Table 3 Test results

Specimens	Ultimate load (kN)	Max. deflection (mm)	Remarks	
FS-1	257.3	13.65	Punching shear	
FS-2	325.4	19.97		
P1S	316.3	13.75		
P2S	320.0	21.14		
MS	216.2	15.34		



Fig. 2 Static loading test

타내었으며, 극한강도는 프리스트레스의 크기보다 콘크리트강도에 보다 민감한 영향을 받는 것으로 보고되었다. 정적재하실험 모습을 Fig. 2에 나타내었다.

3. 유한요소해석

3.1 모델 구성

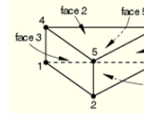
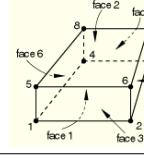
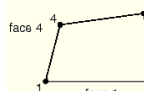
이 연구의 목적은 선행연구에서 관찰된 장시간 PSC 바닥판의 편칭전단파괴를 사실적으로 재현하는데 있지 않으며, 해석적 접근에 의하여 손상형태와 극한거동을 추정함으로써 실험결과에 대한 보정 또는 보완할 수 있는 보조적 수단으로 활용하는데 있다. 따라서 유한요소해석모델은 경계면 요소 등의 사용을 억제하고 연속된 요소를 사용하여 모델링 과정과 해석의 단순화를 시도하였다. 즉 요소 간 절점을 공유하게 되므로 철근과 콘크리트의 부착은 파괴시까지 유지되는 것으로 가정하며, 긴장재를 구속하는 그라우트의 파손이나 부착력 저하 등도 고려하지 않는다. 또한, 바닥판과 거더의 합성부에서도 전단연결재의 변형이나 슬립 등은 무시하여 완전합성 거동을 가정하였다.

이에 따라 바닥판의 해석모델은 8개의 적분점을 갖는 8절점 솔리드(solid) 요소, 현치부는 6절점의 솔리드 요소, 거더는 두께 방향으로 5개의 적분점을 갖는 4절점 셸(shell) 요소를 사용하여 구성하였다. 정적 재하 실험과 동일한 재하조건이 되도록 유한요소모델의 중앙에 정적 재하판과 동일한 접지면적을 가지는 등분포 하중을 재하할 수 있도록 분할하였다. 범용구조해석프로그램인 Abaqus를 활용하였으며, 상기 프로그램에서 제공하는 각 요소의 기본형상과 이를 활용하여 구축한 해석모델은 Table 4 및 Fig. 3과 같다.

비선형 유한요소해석을 통해 실험체의 극한거동을 정확히 예측하기 위해서는 적절한 응답을 얻을 수 있는 요소의 선정 및 분할과 함께 실험체를 구성하는 각각의 재료특성에 대한 명확한 정의가 요구된다. 그러나, 바닥판을 구성하는 주재료인 콘크리트는 재료적 특성상 동일한 재료를 사용하여 동일한 배합과 방법으로 제조하더라도 어느 정도의 품질변동은 피할 수 없다. 이러한 품질변동은 사실상 실험결과로써 유추할 수 있을 뿐 예측단계에서 고려하기에는 많은 어려움이 따른다. 따라서 실험체를 구성하는 각각의 재료이론에 대한 고찰을 통하여 재료특성을 정의함으로써 유한요소해석 모델을 완성하였다.

콘크리트의 응력과 변형률 관계는 일반적으로 압축강도의 30% 이하의 낮은 응력범위에서 선형으로 표시할 수 있다(Chen, 1982). 이후에 나타나는 응력과 변형률의 증가는 다음의 식 (1)과 같은 함수에 따라 계산된다. 이와 같은 콘크리트의 변형률 경화법칙은 Fig. 4에 나타낸 수정 Hognestad 응력-변형률 곡선으로 표현할 수 있다(Park 등, 1975).

Table 4 Shapes of element

Element	Type	Shape	Applied member
Solid	C3D6		slab hunch
	C3D8		deck slab
Shell	S4R		girder

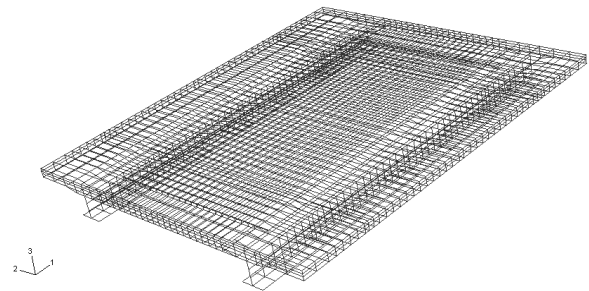


Fig. 3 Finite element analysis model

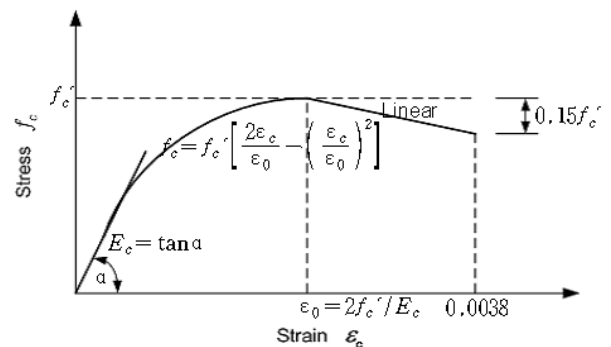


Fig. 4 Modified Hognested stress-strain curve of concrete

$$f_c = f'_c \left[\frac{2\epsilon_c}{\epsilon_0} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_0} \right)^2 \right] \quad (1)$$

$$\epsilon_0 = 2f'_c / E_c \quad (2)$$

여기서 f'_c = 콘크리트의 일축압축강도(MPa)

E_c = 콘크리트의 탄성계수(MPa)

한편 다축응력상태에서의 콘크리트는 횡구속효과에 의하여 강도의 증가 현상이 발생되는데 이를 고려하기 위해서는 다축응력상태에서 각 성분의 상호작용을 고려한 응력상태 함수의 도입이 필요하다. 여기서는 등압응력(Hydrostatic Stress) 성분과 편차응력(Deviatoric Stress) 성분의 조합에 의하여 표현되는 2변수 모델인 Drucker-Prager의 소성모델에 의한 파괴기준을 적용하였다(Lee 등, 1998).

콘크리트의 인장균열거동을 해석적으로 모사하기 위하여 분산균열모델(Smeared Crack Model)을 적용하였다. 이 모델에서는 균열이 발생되어도 콘크리트는 연속체를 유지하며 균열에 따른 손상을 요소의 인장변형률로서 고려하므로 각각의 균열을 개별적이며 형상학적으로 분리되도록 모델링하는 이산균열모델(Discrete Crack Model)에 비하여 유한요소해석시 보다 실용적으로 평가된다(박홍근 등, 2005). 인장균열의 방향은 고정각균열모델(Fixed Crack Model)에 의하여 계산된다. 콘크리트의 응력이 인장강도를 넘어서면 주응력 또는 주변형률 방향에 의하여 인장균열방향이 결정되며, 이후의 하중이력 동안에도 고정된다. 콘크리트에서 균열폭의 증가에 따른 전단강성의 감소는 전단보유계수를 통하여 반영한다.

한편 실제 균열면에서는 철근과 콘크리트의 부착거동에 의해 철근과 콘크리트가 함께 저항하게 되므로 인장강화(tension stiffening) 효과에 의하여 콘크리트의 응력은 균열 발생 후라도 곧바로 소멸되지 않고 다음의 식(3)에 따라 유효한 것으로 가정하였다. 이와 같은 관계는 Fig. 5에서와 같이 선형적으로 감소하는 것으로 나타낼 수 있다.

$$f_i = f_{t0} (1 - \epsilon_i / \epsilon_{tu}) \quad (3)$$

철근 및 긴장재는 Fig. 6과 같이 탄성거동 이후에 완전 소성 거동을 하는 것으로 가정하였다. 거더의 재료인 강재는 바닥판이 극한상태에 도달하여도 탄성 범위의 응력 상태에 머무를 것으로 판단되어 탄성재료로 가정하였다.

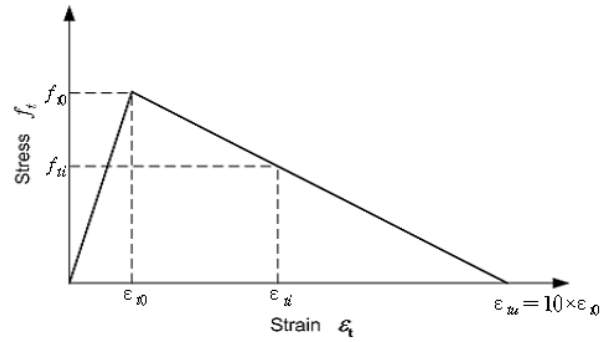


Fig. 5 Tension stiffening model of concrete

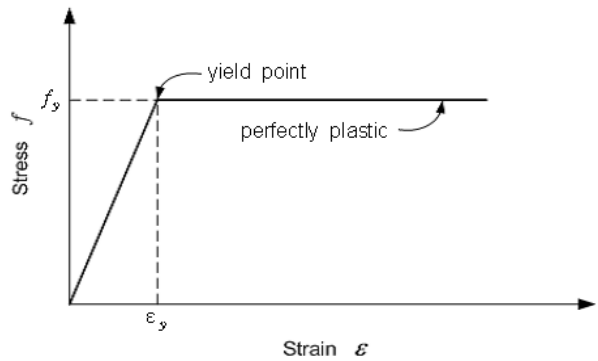


Fig. 6 Stress-strain relationship curve of rebar and tendon

각 재료별 특성값은 선행연구에서 제공된 정보와 도로 교설계기준에 제시된 값을 준용하였다. 콘크리트의 탄성계수는 압축강도의 함수로 주어진 도로교설계기준(한국도로교통협회, 2010)에 제시된 식을 준용하여 계산하였고, 인장강도는 압축강도의 5~8% 범위로 가정하였다(Chen, 1982). 포아송 비는 0.18을 적용하였다. 철근과 긴장재에 대하여 항복응력은 각각 400MPa과 1630MPa, 탄성계수는 200000MPa을 사용하였으며, 포아송 비는 0.3을 적용하였다.

3.2 해석결과 요약

유한요소해석은 2단계로 나누어 진행하였다. 첫 번째 단계는 예측단계로서 콘크리트의 압축강도는 각 실험체 별로 동일한 환경과 기간 동안 양생한 공시체의 일축압축강도 실험으로부터 구한 Table 2의 값을 준용하고, 인장강도는 압축강도의 6.5%로 가정하여 해석을 수행하였다(4장 참조). 두 번째는 이전 단계의 해석결과를 기준으로 콘크리트의 인장강도를 5~8% 범위에서 변화시켜 실험 결과에 보다 근접한 결과를 제공하였다. 이 절에서는 예

측단계의 결과만을 요약하였으며, 다음 장에서 모든 해석 결과를 실험값과 비교하였다.

각 실험체별 하중-처짐 관계곡선을 Fig. 7에 도시하였다. 콘크리트강도와 프리스트레스 크기가 복합적으로 작용한 결과로서 실험체 중 두 변수의 값이 모두 큰 FS-2가 가장 작은 값을 갖는 MS에 비하여 약 26% 정도 큰 극한강도를 갖는 것으로 예측되었다. 동일한 프리스트레스 크기가 도입되었으나 콘크리트 강도에서 11% 정도의 차이를 나타낸 FS실험체들의 극한강도는 약 7.9%의 차이를 나타내었다. 콘크리트 강도를 동일하게 가정하고 프리스트레스의 크기만을 변화시킨 해석결과로부터 완전프리스트레스를 도입한 경우에 대한 극한강도비와 프리스트레스크기의 비를 Fig. 8에 비교하였다. 프리스트레스 크기가 0.2배 이하로 감소하여도 극한강도의 감소비는 0.8 이상으로 유지되는 것으로부터 프리스트레스의 크기

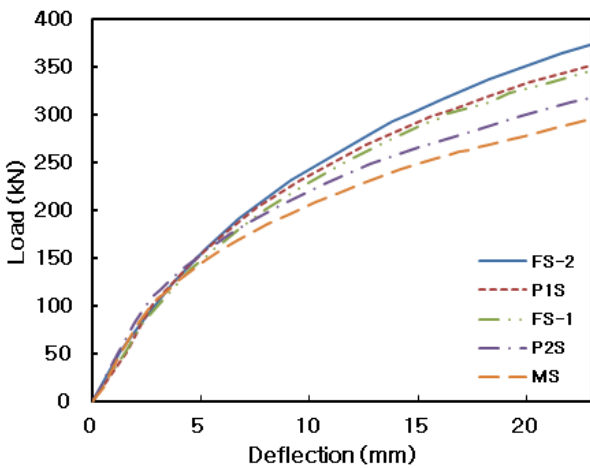


Fig. 7 Stress-strain relationship curve by FEM

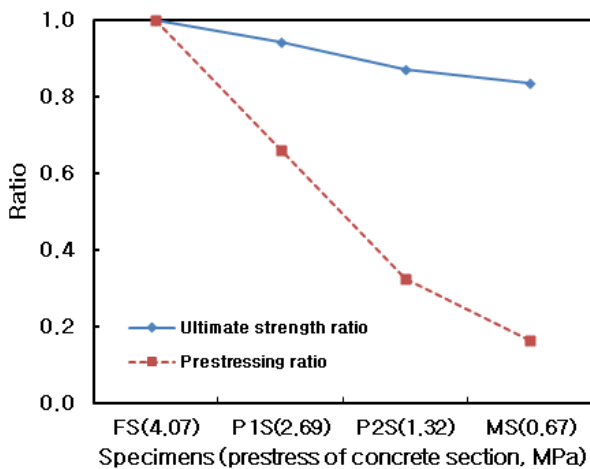


Fig. 8 Ultimate strength ratio and prestressing ratio

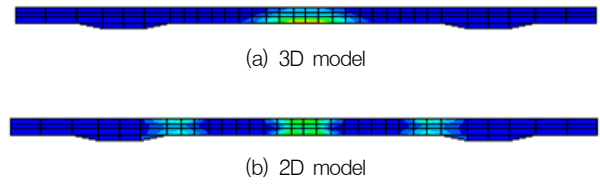


Fig. 9 Strain distribution

가 극한강도에 민감한 영향을 미치지 않을 것을 예상할 수 있으며, 2.2절에서 언급한 선행연구의 보고와도 일치함을 알 수 있다. 한편, 극한강도는 교량 축소모형 실험체에 대한 실험결과를 참고하여 최대처짐이 바닥판 두께의 20% 수준일 때의 하중값으로 결정하였다(Petrou 등, 1996).

변형률에 대한 관찰 결과는 Fig. 9에서 살펴볼 수 있다. 이 연구에서 사용된 3차원 모델의 재하면을 통과하는 교축직각방향과 나란한단면의 변형률 분포에서 편칭콘과 유사한 형태를 볼 수 있으며, 보거동과 같이 휨이 지배하는 경우에 대한 변형률 분포와의 비교를 위하여 판거동을 모사할 수 없는 2차원 모델의 해석결과를 함께 나타내었다.

4. 비교분석

서로 다른 콘크리트 강도와 프리스트레스 크기를 가지는 각각의 실험체에 대한 유한요소해석 결과와 실험결과로부터 얻어진 하중-처짐 관계 곡선을 실험체별로 비교하였다. 앞절에서도 언급한 바와 같이 콘크리트는 동일한 배합과 양생조건에서도 일정 범위의 강도분포 또는 품질 변동을 나타내는 재료적 특성을 가지는 것으로 알려져 있으므로 거동 예측을 위한 유한요소해석 단계에서 이러한 특성을 반영하는 것은 매우 어려운 문제이다. 그러나, 일반적으로 통용되는 콘크리트 재료 이론의 범위내에서 해석결과를 실험결과에 근접시키는 것은 가능하며 이는 해석모델의 객관성을 입증할 수 있는 방안이기도 하다. 따라서, 일반적인 콘크리트의 인장강도는 압축강도의 5%~8% 범위에 분포한다는 Chen 등(1982)의 제안에 따라 해당 범위내에서 반복해석을 통하여 실험값에 근접하는 결과를 구하였으며, 평균값인 6.5%를 적용한 1차 해석결과와 함께 Fig. 10에 도시하였다. 범례에서 해석모델명 끝의 숫자는 콘크리트 압축강도에 대한 인장강도의 비율을 의미한다. 즉, '065'는 6.5%, '05' 및 '08'은 각각 5%와 8%를 표시한다. 모든 실험체에 대한 비교에서 실험결과로부터 얻어진 하중-처짐 곡선에 근접한 거동을 예측

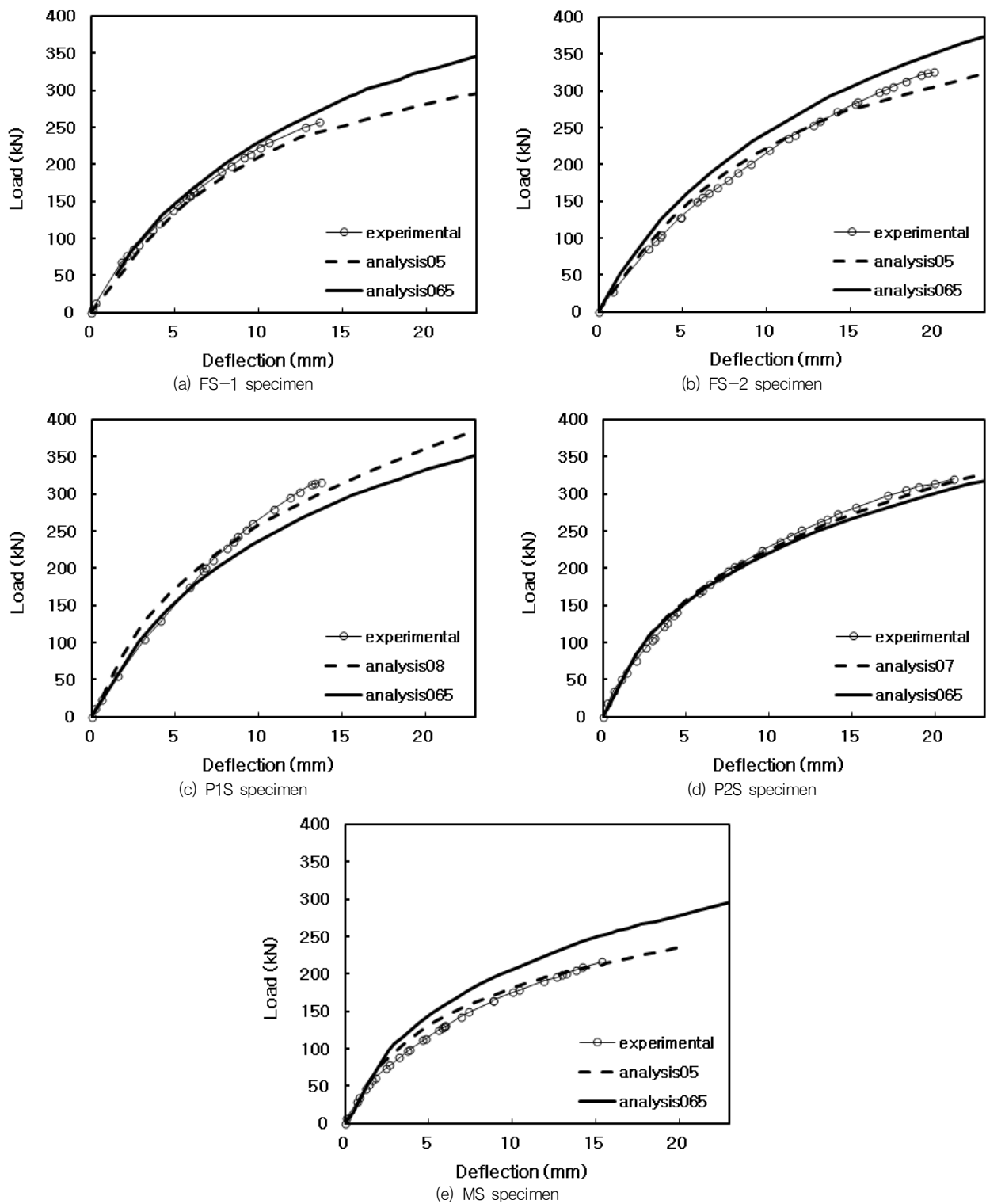


Fig. 10 Comparison of Stress-Strain relationship curve

할 수 있음을 확인할 수 있다. 완전프리스트레스가 도입된 실험체인 FS-1과 FS-2는 평균값인 6.5%보다 작은 5%를 적용하였을 때 실험값에 가장 근접하였으며, 부분

프리스트레스 실험체인 P1S와 P2S는 평균값보다 큰 범위인 7~8%에서 실험값과 잘 일치하였다. 다만, 매우 작은 프리스트레스 크기를 갖는 MS 실험체에서는 5%의 강

Table 5 Comparison of ultimate strength

Specimens	Ultimate strength			(2)/(1)	(3)/(1)
	Experimental (1)	Predicted (2)	Verified (3)		
FS-1	257.3	346.6	295.5	1.35	0.99
FS-2	325.4	375.2	323.5	1.15	1.15
P1S	316.3	352.3	352.3	1.11	1.11
P2S	320.0	317.6	327.3	0.99	1.02
MS	216.2	295.7	235.4	1.37	1.09

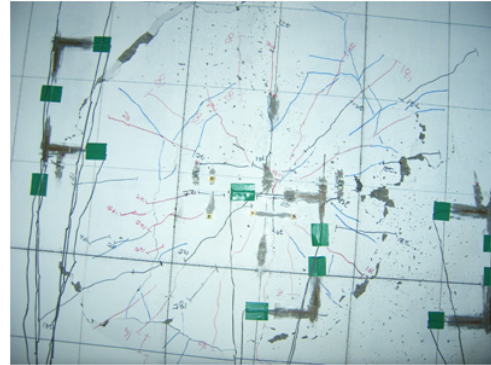
도비에서 근접한 결과를 나타내었고, 적은 수의 비교결과에 대한 고찰이므로 이러한 경향을 프리스트레스 크기에 의한 영향으로 일반화하기에는 보다 면밀한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

극한강도의 비교는 Table 5에 정리하였다. 예측단계에서의 비교값은 콘크리트의 인장강도가 압축강도의 6.5%로 가정한 결과를 사용하였고, 검증단계에서는 Fig. 10에서와 같이 실험값에 가장 근접한 결과를 이용하였다. 예측단계에서는 최대 37%의 오차율의 범위에서 19.4%의 평균오차를 나타내었고, 검증단계에서는 최대 15%의 오차율의 범위에서 7.2%의 평균오차를 보였다.

모든 경우에서 변형률의 분포는 Fig. 9(a)에서 보는 바와 같은 편칭콘 형태로 나타났으며, 실험체별 차이점은 구분할 수 없었다. 선행연구의 실험결과에서도 실험체별 편칭콘의 각도나 직경이 특정한 경향을 나타내지 않고 유사하게 형성된 점을 감안하면 이 연구의 변수범위에서는 손상범위에 대하여 특이한 차별성은 나타나지 않는 것으로 판단된다. 한편, 편칭콘의 직경은 약 1m로 예상되며, 실험에서 측정된 값과도 근접함을 Fig. 11에서 확인할 수 있다. 유한요소해석 모델 단면의 1/2만을 표현한 그림에서 바닥판 중앙부 요소의 폭은 100mm로서 약 5개의 요소에 걸쳐 변형률이 주로 분포함을 볼 수 있다. 이 분포는 요소의 주인장변형률의 일방향 성분을 도시한 것으로서, 유한요소해석모델에서 철근은 솔리드(Solid) 요소에 매립되어 미끄러짐(Slip) 등의 부착손상이 고려되지 못하므로 철근의 항복변형률인 0.002를 넘어선 값을 도시한 것이다. 실험결과에서는 편칭콘 내부의 철근이 항복 또는 항복점에 근접하였다. 실험체 하부의 파괴형태를 촬영한 사진의 그리드(grid) 간격은 250mm로서 약 4개의 그리드에 걸쳐 편칭콘이 나타나고 있음을 관찰할 수 있다.



(a) FEM



(b) Experimental Test (bottom)



(c) Experimental Test (side)

Fig. 11 Shape of failure surface(FS-2)

5. 결론

선행연구에서 수행된 장지간 PSC 바닥판의 실험모델을 대상으로 유한요소해석을 실시하여 정적거동을 예측하고, 실험결과와의 비교를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 유한요소해석에서 프리스트레스의 크기를 완전프리스트레스 상태에 비하여 0.2배 이하로 감소시켜도 극한강도는 80% 이상의 수준을 유지하였다. 그러나, 콘크리트 강도에 대해서는 11%의 변화량 대비 7.9%의 극한강도 변화를 보여 상대적으로 큰 폭의 변화를 나타내었다. 이로부터 장지간 PSC 바닥판의 극한강도는 프리스트레스 크기보다 콘크리트 강도에 보다 민감한 영향을 받을 것이라는 점과 휨보다는 전단에 의한 파괴를 예상할 수 있다.

- (2) 변형률 분포에 대한 관찰로부터 편칭콘과 유사한 경향을 나타냄을 확인할 수 있었고 특히, 바닥판 하면의 변형률 분포폭은 약 1m로서 실험체에서 측정된 편칭콘의 직경과 매우 유사하게 형성되었다.
- (3) 서로 다른 콘크리트 강도와 프리스트레스 크기가 도입된 실험체들의 하중-변위 관계 곡선은 콘크리트의 인장강도를 압축강도의 5~8% 범위에서 변화시킨 유한요소해석 결과의 범위에 매우 근접하였으며, 극한강도에 대한 예측값도 최대 15%의 범위 내에서 약 7%의 평균오차율로서 실험값을 유사하게 추정하는 것으로 나타났다.

이상의 결과는 선행연구의 실험조건에서 얻어진 것이며, 다양한 조건을 가지는 광범위한 실험결과와의 비교를 통하여 손상범위와 파괴형태 등에 대한 고찰이 수행된다면 보다 객관적인 모델의 제시가 가능할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 서일대학교 교내연구비의 지원으로 작성되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김영진, 주봉철, 이정우, 김병석, 박성용, "강합성 2거더교 PSC 바닥판의 정적 거동", 콘크리트학회논문집, 제14권 4호, 2002, pp.503-512.
2. 대한토목학회, 교량설계핵심기술연구단, 도로교설계기준해설, 2008.
3. 박성용, 김병석, 조근희, 조정래, 김성태, 황훈희, 이영호, 최은석, 진원중, 조창빈, 곽종원, 고상규, 강세훈, 장수명 합리화

바닥판 개발(무강재바닥판), 연구보고서, 건기연 2006-067, 한국건설기술연구원, 2006.

4. 신현섭, 이진형, 박기태, "격자형 강합성 바닥판의 휨거동에 대한 실험적 연구", 구조물진단학회지, 제15권 4호, 2011, pp.175-184.
5. 정연주, 김형렬, 김정호, 구현본, 장수명 합리화 바닥판 개발(강-콘크리트 합성바닥판), 연구보고서, 건기연 2006-058, 한국건설기술연구원, 2006.
6. 정철현, 이한주, "프리캐스트 장시간 바닥판의 정적 및 피로거동", 대한토목학회논문집, 제23권 4A호, 2003, pp.721-731.
7. 정철현, 이한주, 이용우, "장시간 바닥판의 파괴모드에 관한 연구", 대한토목학회논문집, 제24권 1A호, 2004, pp.101-106.
8. 조창빈, 윤혜진, 김병석, "2거더 강합성교를 위한 장시간 바닥판 설계 휨모멘트", 대한토목학회논문집, 제27권 1A호, 2007, pp.35-43.
9. 한국도로교통협회, 도로교설계기준, 2010.
10. 황윤국, 박기태, 이영호, 정진우, 장수명 합리화 바닥판 개발(복합재료 바닥판), 연구보고서, 건기연 2006-086, 한국건설기술연구원, 2006.
11. 황훈희, 조창빈, 김병석, 이용우, "강합성 2거더교 현장타설 PSC 바닥판의 정적거동", 대한토목학회논문집, 제27권 3A호, 2007, pp.291-301.
12. ABAQUS Theory Manual, v6.11, Dassault Systèmes S.A.
13. Chen, W. F., Plasticity in reinforced concrete, McGraw-Hill, 1982.
14. Lee, J. H. and Gregory, L. F., "Plastic-damage model for cyclic loading of concrete structures", Journal of Engineering Mechanics, ASCE, vol. 124, No. 8, 1998, pp.892-900.
15. Park, R. and Paulay T., Reinforced Concrete Structures. John Wiley & Sons, 1975, pp.11-30.
16. Petrou, M. F. and Perdikaris, P. C., "Punching shear failure in concrete decks as snap-through instability", Journal of Structural Engineering, ASCE vol. 122, No. 9, 1996, pp.998-1005.

(접수일자 : 2012년 2월 29일)

(수정일자 : 2012년 3월 26일)

(심사완료일자 : 2012년 5월 22일)

요 지

횡방향으로 프리스트레스가 도입된 장시간 PSC 바닥판의 정적 거동을 예측하기 위한 유한요소해석 모델을 구성하고, 해석결과를 선행연구에 의한 실험결과와 비교하였다. 유한요소해석에 의하여 서로 다른 콘크리트 강도와 프리스트레스 크기를 변수로 갖는 각각의 실험체에 대한 하중-처짐 관계 곡선을 비교적 근접하게 추정할 수 있었다. 또한, 변형률 분포와 변수에 따른 극한강도 변화로부터 편칭전단에 의한 파괴형태와 손상범위 등을 간접적으로 예측할 수 있었다. 이 연구에서 활용된 유한요소해석 모델은 편칭전단파괴에 의한 편칭콘의 분리를 사실적으로 재현하기 위한 목적이 아니며, 실험연구를 위한 보조적 수단으로서 정적거동에 측과 실험결과의 보완 등에 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심 용어 : 장시간 바닥판, 프리스트레스콘크리트 바닥판, 장시간 PSC 바닥판, 유한요소해석, 편칭전단