

박스형 철골빔이 적용된 프리스트레스 할로우-코어 합성슬래브의 해석연구

An Analytic Study of Composite Hollow Core Slab Subjected with Box Type Beams

홍성걸* 서도원**

Hong, Sung Gul Seo, Do Won

ABSTRACT

This research aims to analyze of prestressed composite hollow-core slab and box type steel beam. The smeared crack model used in abaqus for the modeling of hollow core reinforced concrete, including cracking of the concrete, rebar and concrete interaction using the tension stiffening concept, and rebar yield. The structure modeled is a simply supported hollow core spancrete slab subjected spa-h beams and prestressed in one direction. The hollow core spancrete slab is subjected to four-point bending. The concrete-rebar interaction that occur as the concrete begins to crack are of major importance in determining the spancrete slab's response between its initial, deformation and its collapse. This smeared crack model used in analysis involved non-liner concrete analysis concept.

1. 서론

근래 프리스트레스 할로우-코어 스판크리트 슬래브(이하 PHC슬래브)가 적용된 모듈러 바닥판에 대한 연구가 진행되고 있다. 기존의 실험연구는 슬래브 두께 100mm의 슬래브의 전단 및 처짐 거동 해석에 대해서 연구되었으며, 슬래브와 보와의 합성시에 대한 연구도 근래 발전적으로 진척되고 있다. 본 연구에서는 두께 100mm의 프리스트레스된 할로우-코어 슬래브에 대해, ABAQUS를 이용한 구조 해석에 주안점을 두었으며, 이질체의 접합 및 할로우-코어 콘크리트 슬래브의 비선형 해석에 연구의 목표를 두었다. 해석의 목적은 할로우-코어 슬래브의 기존이론을 실제 유한요소 구조해석 프로그램을 적용하여 상세하고 세밀하게 구조해석하고 이론과의 적합성을 검증하는데 있으며, 구조체 각부의 응력 및 변형 그리고 정밀한 거동상태를 알고자 하기 위함이다. 본 연구가 일반적인 PHC슬래브와 다른 점은 전단연결재에 의하여 전단실험이 이루어졌으며 이의 검증 및 해석을 위해 Smeard Cracking Model을 기준으로 해석해 보았다. Smeard Cracking Model의 주요한 점은 슬래브 내의 철근 전면적을 rebar 영역으로 치환하여 평균값의 분포개념으로 슬래브의 응력 및 거동을 해석한다는 점이다. 기존 연구에서 PHC슬래브의 전단 강도값에 대한 연구가 선행되었고 이의 실험적 증명이 명백하게 완료되었기에 이 데이터를 근거로 복잡한 전단 연결 부분을 간략하게 가정하여 비교 평가했음을 밝힌다.

*정회원, 서울대학교 건축학과 부교수

**정회원, 서울대학교 건축학과 석사과정

기존 전단 연결재에 따른 합성 거동은 5가지 시험체 모두가 완전합성 거동의 형태를 띠므로 모델링 및 접합과정은 모두가 완전 bond로 구조적으로 동일한 것으로 가정하였다. Smeard Cracking Model을 선택하였고 이 모델링의 근간은 Jain and Kennedy (1974)와 Gilbert and Warner(1978), Crisfield(1982)의 선구적 연구가 바탕이 되어있음을 밝힌다. 마지막으로 해석연구의 목적은 기존의 실험적 연구를 실제 구조해석 모델링을 통해 검증해보고 PHC 슬래브의 응력 및 처짐 이론과 실제 거동을 명확히 규명하고자 하는데 있다.

2. 해석대상의 분석

일단 해석의 기본 조건을 명확하기 위해서 기존 연구의 대상이 된 슬래브 중에서 처짐을 제어한 시험체를 대상으로 하였고, 슬래브의 조건은 폭1000mm, 두께 100mm, 길이2470mm이며 슬래브 전면의 박스형 beam은 길이가 3m 뒤편의 beam길이는 1m로 한다. 이 슬래브를 해석하여 전체 Full Scale슬래브의 처짐도 예측하였다. 더불어 슬래브의 설계 기준강도 $400\text{kgf}/\text{cm}^2$ 로 하였다. 전단연결재는 스테드형 전단강도인 5.4ton을 기준으로 하였으며 휨모멘트는 $1,406\text{kg}\cdot\text{m}$ 단위중량은 $174\text{kg}/\text{m}^2$ 를 사용하였다. 밑에는 실제 해석대상체의 모습을 나타내었다..



그림1. 해석의 대상이 되는 스테드형 합성 바닥판의 실제 각부의 모습

3. 구조체 모델링 및 초기조건 지정

Concrete Smeard Cracking Model은 ABAQUS/CAE를 이용하여 해석이 이루어졌으며 구체적인 치수와 전단연결재의 형상에 맞게끔 모델링되었으며 assembly를 이용하여 각각의 part들을 한 개의 구조해석체로 합산하였다. 더불어 해석에 장시간이 소요되는 것을 줄여보기 위해서 전체 바닥판 중에 가장 큰 처짐을 받는 할로우-코어 스파크리트 가운데 판을 집중적으로 해석하였다. 대략 8만개의 요소로 Node 분

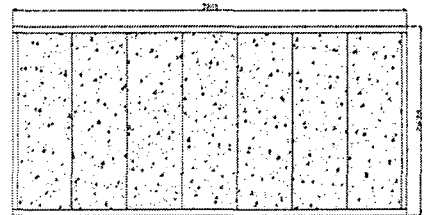


그림2. 실제 실험체

할하여 이것을 토대로 전체 슬래브에서의 응력분포 및 처짐 및 거동을 해석해보았다. 또한 프리스트레싱력을 Rebar Area 요소로 변환하여 고려해주었고 Concrete Interaction과 Tension stiffening 개념을 반영하였으며 Rebar 항복을 기본 전제조건으로 삼아 전체슬래브를 해석하고자 하였다. 마지막으로 슬래브 전체로는 4점 휨의 상태가 되도록 초기조건을 주었다. 또한 세부적으로 박스형 철골보의 실제 단면치수에 맞게 모델링하였다..박스형 철골보는 모듈러 건축시스템의 기둥 최대 폭인 125mm를 넘지 않는 범위 내에서 철골보 폭을 정해야 하므로, 철골보 폭을 100mm로 결정하고, 높이는 합성보 설계기준에 접합하도록 300mm로 결정하였으며, 두께는 각각 12mm, 6mm로 결정하였다. 세부적인 각 Part는 동일한 재료적 특성을 갖는 각각의 3가지 부분들로 나누었다. 스파크리트 슬래브 및 SS400강재를 이용한 전후면 철골보로 이루어져있으며 동일한 재료적 특성을 갖는 전후면 박스형 철골보는 같은 물성치를 주었다.

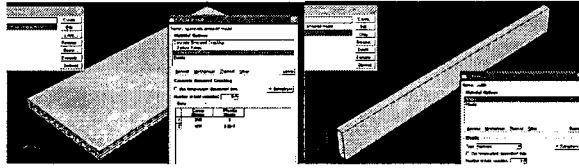


그림3. 할로우-코어슬래브의 물성치 및 박스형SS400강재의 물성치지정

4 단계별 Step 및 하중재하조건과 요소의 분할

Step은 Riks method를 응용한 Nonliner 해석 방법을 사용하였다. 또한 슬래브의 단면에 할로우-코어 천공이 여러개 있는 점을 감안하여 Nlgeom 조건을 활성화함으로써 기하학적 비선형 해석을 수행하였다. 더불어 하중은 슬래브 끝단에서의 Side Effect 효과를 반영하여 Point Load의 형태로 적절하게 배분하였으며 해석에 있어서 변위제어 방법을 사용하였다. 또한 유한 요소는 실제적인 해석시간의 단축과 검증의 용이성을 위해서 길이방향으로는 요소를 길게 잡았으며 반대로 슬래브의 두께가 100mm에 불과한 점을 고려하여 슬래브의 두께 방향으로는 10단계의 element 요소들이 조밀하게 자리잡을 수 있도록 하였다. 또 할로우-코어 슬래브와 철골보의 접합은 슬래브의 전단연결제의 전단력이 건축법상의 완전 합성 거동을 나타내었으므로 Tie접합을 이용하여 Constraint를 체결하였다. 박스형 철골보의 전면부의 지점조건은 힌지조건이 되도록 했으며 후면부는 롤러 조건을 만족시켜 단순지지조건이 되도록 설계하였다.

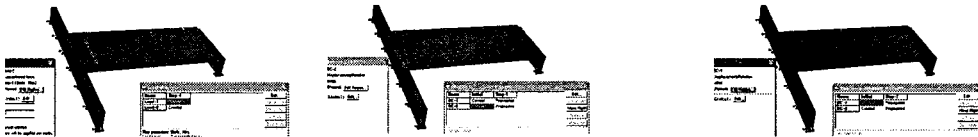


그림4 슬래브의 지점조건과 하중조건의 상태를 나타낸 모습.

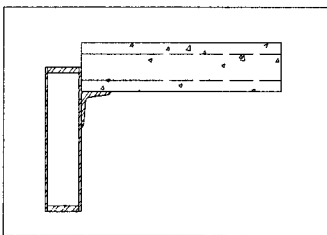


그림5. 철골보의 단면형상

단면적($A_s: cm^2$)	57.17
단면1차 모멘트($G_s: cm^3$)	856.8
도심 $d_s(cm)$	15
단면2차모멘트($I_s: cm^4$)	7081.9
단면계수, $Z_s: cm^3$	472.1

표1. 박스형 철골보의 상세제원

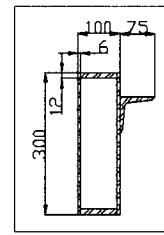


그림6. 철골보 단면크기

5. 구조해석 및 변형과 거동분석

해석결과의 신뢰성을 측정하는 비교평가 항목으로는 실제 실험에서의 처짐 및 응력분포 형상이 주가 되었다. 해석결과 처짐 형상 및 변형된 모습은 그림6과 같이 나타났으며, 아바쿠스를 이용한 합성 슬래브의 해석이 기존 Pajari의 이론적 해석내용과도 일치함을 보여준다. 실제 시험체에서 파괴의 진행상태는 처음 프리스트레스 할로우-코어 슬래브 밀면 중공사이와 와이어에서 나타났으며, 두번째로 균열은 그 길이가 길어져 슬래브 옆 단면의 지지점 가까이에서 사선균열로 나타났으며, 프리스트레스 할로우-코어 슬래브 상단으로 퍼져 전체 슬래브가 일제히 동시에 균열이 가는 형상을 보였다. 슬래브

의 균열이 증가함에 따라 보 길이방향 전단변형(transverse shear deformation)이 계속 증가하였으며 처짐이 발생하도록 설계된 보(flexible beam)위에 합성된 프리스트레스 할로우-코어 슬래브의 균열과 처짐이 거의 발생하지 않도록 설치된 보(nonflexible beam)위의 프리스트레스 할로우-코어 슬래브의 균열은 동일한 형태를 보였다. 해석된 내용이 기존 실험 연구와 일치함을 응력의 분포상태를 통해 검증할 수 있다.

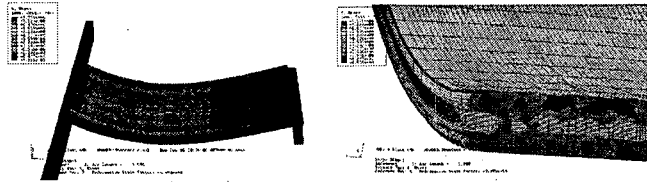


그림6. 폰 미세스를 이용한 응력분포와 주응력 분포 모습

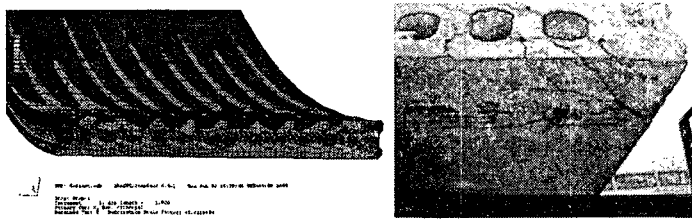


그림7. 모서리부근의 사인장파괴를 유발하는 응력분포 및 실제파괴 형상

더불어 실제 대상 슬래브의 실험적 처짐이 7.2m 전체바닥판의 크기로 환산시 1.65mm이며 해석된 슬래브의 중앙 처짐값이 1.54312mm로 해석되어 매우 유사한 처짐값을 얻을 수 있었으며 응력의 분포와 처짐에 있어서 정확도가 높은 구조해석이 이루어졌다고 판단된다. 오차의 발생원인은 실험의 경우 선하중을 주더라도 실제적으로 슬래브의 표면이 균일하지 않음으로 인해서 힘의 편중이 미세하지만 발생하며 실험적 조건이 해석적 조건보다 불확실성을 내포하기에 오차요인이 발생한다. 그러나 본 연구의 의의는 이론 및 실험으로 해석되어왔던 내용을 구조해석적 방법으로 입증하고 분석함으로써 향후 이와 같은 실험적 연구의 거동을 미리 예견하고 파악할 수 있다는 데 보다 큰 의의가 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 2004년 포항산업과학연구원(RIST)의 지원이 토대가 되었으며 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. Park Kyung Uhn "Shear Strength of Prestressed Hollow- Core Slab on Steel Beams", 2004
2. D. L. Mullett, "Composite Floor Systems", 1998
3. SJ Hicks and RM lawson, "Design of Composite Beams using Precast Concrete Slabs", SCI Publication.
4. Grisfield MA, "Variable Step-Lengths for Nonliner Structural Analysis" Report 1049, Transport and Road Research Lab, Crowthorne, England, 1982
5. Gilbert R.J. and R.F. Warner, "Tension Stiffening in Reinforced Concrete Slabs," Journal of Structural Division , American Society of Civil Engineering, vol 104,ST12,pp 1880-1910, 1978