

철골·RC DBS 구조 성능 평가 최종 보고서

2014. 9. 26

공주대학교 산학협력단

제 출 문

(주)바로건설기술 사장 귀하

본 보고서를 귀사에서 연구용역으로 의뢰하신 “철골·RC DBS 구조 성능 평가”에 관한 연구용역의 보고서로 제출합니다.

공주대학교 공과대학 건축학부

연구용역책임자 김 길 

참여 연구원 김 상 우

김 형 국

김 영 식

김 민 준

이 용 준

정 찬 유

왕 찬 종

박 천 범

정 성 우

요 약 문

| | | | | |
|-------|-----------------------------|------------|-----|-------|
| 과 제 명 | 철골·RC DBS 구조 성능 평가 | | | |
| 연구 기관 | 공주대학교 건축학부 | | | |
| 연구 기간 | 2014년 7월 25일 - 2014년 9월 26일 | | | |
| 연구책임자 | 소 속 | 공주대학교 건축학부 | 성 명 | 김 길 희 |

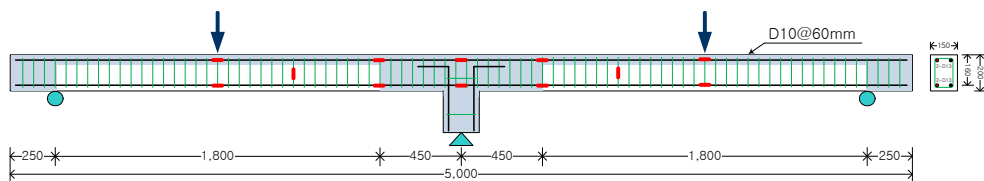
1. 연구 배경 및 목적

최근의 구조물은 초고층화 및 초대형화로 구조 부재의 장스팬화가 요구되고 있다. 장스팬 구조를 구현하기 위한 방법으로 철골-철근콘크리트 복합 구조 시스템 및 중공슬래브 구조 시스템 등이 있으나 높은 기술력의 요구 및 공사비의 증대로 인하여 합리적인 장스팬 구조의 개발이 필요하다. DBS 구조는 접합부를 이루는 철근콘크리트 드롭패널 내부에 기둥이 안치되는 구조 형식으로 구조 경간은 드롭패널의 높은 강성에 기인하여 부모멘트의 크기를 현저히 감소시키기 때문에 장스팬 구조에 유리하다. 또한, 현장타설 콘크리트의 사용으로 현장 적용이 용이하며, 공사비 절감으로 합리적인 장스팬 구조시스템이라 할 수 있다. 이에 이 연구에서는 드롭패널을 사용한 DBS 구조의 성능을 평가하기 위하여 휨 실험을 수행하였다.

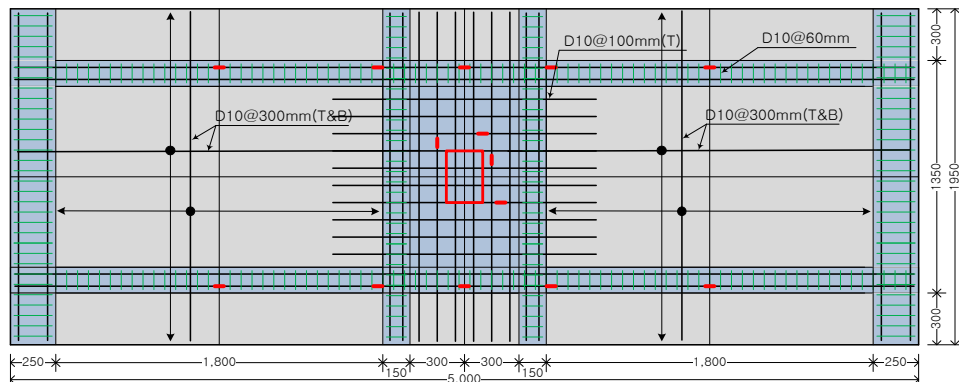
2. 연구 내용

이 연구에서는 드롭패널을 사용한 DBS 구조의 성능을 평가하기 위하여 휨 실험을 수행하였다.

- 드롭패널을 사용한 철근콘크리트 구조 부재의 성능 평가
- 드롭패널을 사용한 철골철근콘크리트 구조 부재의 성능 평가



(a) 배근단면



(b) 배근평면

< RC DBS 배근 상세 >

3. 결론

드롭패널을 사용한 철근콘크리트 구조 부재의 휨 성능을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 드롭패널의 철근비에 관계없이 RC DBS-1 실험체는 비교 실험체인 RC DBS-2 및 RC DBS-4와 유사한 휨 거동을 나타내었으며, 휨 강도 또한 유사하게 나타났다.
- 2) 사용하중상태에서의 휨 강성은 드롭패널의 철근비에 관계없이 유사하게 나타났으며, 드롭패널의 철근비가 약 40% 높은 RC DBS-2 실험체에 비하여 기본 실험체인 RC DBS-1에서 높은 연성능력을 나타내었다.
- 3) 현재 설계방법으로 제작된 기본 실험체인 RC DBS-1의 파괴양상과 연성적인 거동을 고려한다면 내진 거동과 같은 횡력저항시스템에서 강성이 급격히 변하는 연결부위의 파괴가 집중되는 측면에 있어 합리적인 설계가 되고 있다고 판단된다. 또한, RC DBS-4와 RC DBS-1의 휨 거동이 유사하게 나타나 적절한 철근비 산정을 위하여 보다 다양한 변수를 대상으로 한 사례연구가 필요하다 판단된다.
- 4) 해석적 검증을 위하여 유한요소해석 프로그램을 이용하여 드롭패널 강성 차이에 따른 휨 거동을 예측한 결과, 실험결과와 비교적 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

드롭패널을 사용한 철골철근콘크리트 구조 부재의 휨 성능을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 5) 드롭패널의 철근비에 관계없이 S DBS-1 실험체는 비교 실험체인 S DBS-2와 유사한 휨 거동을 나타내었으며, 파괴양상 또한 유사한 것으로 나타났다.
- 6) 드롭패널의 철근량이 약 30% 감소한 S DBS-2는 기본 실험체인 S DBS-1에 비하여 사용하중상태에서 하중은 2.5% 증가를, 처짐은 4% 감소하는 결과를 나타내었으나 드롭패널 강성에 따른 거동 차이는 나타나지 않았다.
- 7) S DBS-2는 기본 실험체인 S DBS-1과 유사한 처짐 분포 및 변형을 분포를 나타내어 드롭패널의 철근비를 약 30% 적게 배근한 실험체에서도 유사한 휨 성능을 나타내었으나, 보다 합리적인 철근비 산정을 위해서는 다양한 변수를 활용한 분석과 추가적인 실험 및 검토가 요구된다고 판단된다.
- 8) 실험체 계획 단계에서 수행한 해석결과와 비교하여 실험결과와 내력은 해석결과보다 약 2배에 가까운 수치를 보였는데 이는 드롭패널을 감싸고 있는 철골보의 상부 플랜지가 인장력 부담에 기여를 한 결과로 판단된다.

목 차

| | |
|---|----|
| 제 1 장 서론 | 1 |
| 제 2 장 드롭패널을 사용한 철근콘크리트 구조 부재의 성능 평가 ... | 2 |
| 2.1 실험체 계획 | 2 |
| 2.1.1 실험체 형상 계획 | 2 |
| 2.1.2 실험체 제작 계획 | 3 |
| 2.2 실험 계획 | 7 |
| 2.2.1 사용 재료 | 7 |
| 2.2.2 실험체 계획 | 10 |
| 2.2.3 실험 방법 | 15 |
| 2.3 실험결과 및 분석 | 16 |
| 2.3.1 하중-처짐 관계 | 16 |
| 2.3.2 균열 및 파괴양상 | 18 |
| 2.3.3 사용하중상태에서의 처짐 비교 | 20 |
| 2.3.4 처짐 분포 | 21 |
| 2.3.5 변형률 분포 | 23 |
| 2.3.6 유한요소 해석결과 비교 | 25 |
| 2.4 소결 | 27 |
| 제 3 장 드롭패널을 사용한 철골철근콘크리트 구조 부재의 성능 평가 ... | 28 |
| 3.1 실험체 계획 | 28 |
| 3.1.1 실험체 형상 계획 | 28 |
| 3.1.2 실험체 제작 계획 | 29 |
| 3.2 실험 계획 | 31 |
| 3.2.1 사용 재료 | 31 |
| 3.2.2 실험체 계획 | 34 |
| 3.2.3 실험 방법 | 36 |

| | |
|-----------------------------|--------|
| 3.3 실험결과 및 분석 | 37 |
| 3.3.1 하중-처짐 관계 | 37 |
| 3.3.2 균열 및 파괴양상 | 39 |
| 3.3.3 사용하중상태에서의 처짐 비교 | 40 |
| 3.3.4 처짐 분포 | 41 |
| 3.3.5 변형률 분포 | 42 |
| 3.4 소결 | 43 |
| 제 4 장 결론 | 44 |
| 참 고 문 헌 | 45 |

표 목차

| | |
|------------------------------------|----|
| 표 2.1 기본 모듈 계획(8.0m × 8.0m) | 2 |
| 표 2.2 1/3 크기 계획(2.7m × 2.7m) | 2 |
| 표 2.3 실험체 설계 계획 | 2 |
| 표 2.4 실험체 설계 | 3 |
| 표 2.5 콘크리트 배합설계표 | 7 |
| 표 2.6 철근 상세 및 역학적 특성 | 9 |
| 표 2.7 실험체 일람표 | 10 |
| 표 2.8 실험결과 | 17 |
| 표 3.1 기본 모듈 계획 | 28 |
| 표 3.2 1/3 크기 계획 | 28 |
| 표 3.3 실험체 설계 계획 | 28 |
| 표 3.4 실험체 설계 | 29 |
| 표 3.5 콘크리트 배합설계표 | 32 |
| 표 3.6 철근 상세 및 역학적 특성 | 34 |
| 표 3.7 실험체 일람표 | 34 |
| 표 3.8 실험결과 | 38 |

그림 목차

| | |
|---|----|
| 그림 2.1 RC DBS (8.0m×8.0m 일반설계) 해석결과 | 3 |
| 그림 2.2 RC DBS (2.7m×2.7m 스케일 다운) 해석결과 | 4 |
| 그림 2.3 RC DBS-1 실험체 해석결과 | 5 |
| 그림 2.4 실험체 타설 과정 | 8 |
| 그림 2.5 사용재료의 응력-변형률 관계 | 9 |
| 그림 2.6 RC DBS-1 배근 상세 | 11 |
| 그림 2.7 RC DBS-2 배근 상세 | 11 |
| 그림 2.8 RC DBS-3 배근 상세 | 12 |
| 그림 2.9 RC DBS-4 배근 상세 | 13 |
| 그림 2.10 실험체 제작 과정 | 14 |
| 그림 2.11 실험체 세팅 현황 | 15 |
| 그림 2.12 실험체 실험 전경 | 15 |
| 그림 2.13 실험체의 하중-처짐 관계 | 16 |
| 그림 2.14 실험체의 최종 균열 양상(단면) | 17 |
| 그림 2.15 실험체의 최종 균열 양상(평면) | 18 |
| 그림 2.16 사용하중상태에 따른 처짐 산정 기준 | 21 |
| 그림 2.17 각 실험체의 처짐 분포 | 22 |
| 그림 2.18 각 실험체의 주철근 변형률 분포 | 24 |
| 그림 2.19 유한요소해석 모델링 | 25 |
| 그림 2.20 유한요소 프로그램 해석결과 | 26 |
| 그림 3.1 철골 DBS (8.0m×12.0m 일반설계) 해석결과 | 29 |
| 그림 3.2 철골 DBS (8.0m×8.0m 일반설계) 해석결과 | 30 |
| 그림 3.3 철골 DBS (2.7m×2.7m 스케일 다운) 해석결과 | 30 |
| 그림 3.4 철골 DBS (실험체 설계) 해석결과 | 31 |
| 그림 3.5 실험체 타설 과정 | 32 |
| 그림 3.6 사용재료의 응력-변형률 관계 | 34 |

| | |
|---------------------------------|----|
| 그림 3.7 S DBS-1 배근 상세 | 35 |
| 그림 3.8 S DBS-2 배근 상세 | 35 |
| 그림 3.9 실험체 세팅 현황 | 37 |
| 그림 3.10 실험체 실험 전경 | 37 |
| 그림 3.11 실험체의 하중-처짐 관계 | 38 |
| 그림 3.12 실험체의 항복하중 산정 방법 | 39 |
| 그림 3.13 실험체의 최종 균열 양상(단면) | 39 |
| 그림 3.14 실험체의 최종 균열 양상(평면) | 40 |
| 그림 3.15 각 실험체의 처짐 분포 | 41 |
| 그림 3.16 각 실험체의 주철근 변형률 분포 | 42 |

제 1 장 서론

#형 접합부를 활용한 장스팬 철근콘크리트 구조는 접합부를 이루는 철근콘크리트 드롭패널 내부에 기둥이 안치되는 구조 형식으로 구조 경간은 #형 접합부 간의 거리로 기둥 주변에 발생하는 부모멘트의 크기를 현저히 감소시켜 처짐을 제어한다. 이를 통하여 부재의 치수를 감소시킬 수 있으며, 층고 절감뿐만 아니라 기둥의 간격을 13~15m 유지하게 되어 공간 활용을 극대화할 수 있다.

합리적인 장스팬 구조의 개발은 공사비 절감과 공간의 효율적인 활용을 위하여 건설 공법 개선을 위한 주요 분야의 하나가 될 것으로 전망되고 있다. (대한전문건설협회, 코스카저널, 2011년 11월) 또한, 구조물의 초고층화, 초대형화로 인하여 구조부재의 초장스팬화가 요망되며 이를 위한 신재료 개발 및 최첨단 구조 공학 기술의 응용이 요구되고 있다. (초고층건축물 : 기술의 발전과 사회적 의미, 대한건축학회지, 2008)

현재 장스팬 구조를 설계하기 위하여 철골-철근콘크리트 복합 구조 시스템, 중공슬래브 구조 시스템 등이 개발 및 사용되고 있으나 높은 기술력의 요구 및 공사비의 증대로 합리적인 장스팬 구조의 개발이 요구되고 있다. 이러한 필요성 및 문제점을 해결하고 수요자 및 공급자의 요구를 만족시키기 위하여 현장 적용의 용이 및 공사비를 줄일 수 있으며, 구조 설계 기술의 수입 대체 효과를 기대할 수 있는 #형 접합부를 개발 하였다.

드롭패널을 활용한 구조는 다른 일반적인 구조에 비하여 보와의 일체화가 중요하다. 이를 위한 방법으로 드롭패널의 적절한 철근비 산정 및 해석을 통하여 설계된 구조 부재에 대한 실험적 검증이 요구되고 있다. 이에 이 연구에서는 드롭패널의 철근비에 따른 철근콘크리트 구조 및 철골철근콘크리트 구조의 휨 거동을 평가하고자 하였다.

제 2 장 드롭패널을 사용한 철근콘크리트 구조 부재의 성능 평가

2.1 실험체 계획

2.1.1 실험체 형상 계획

실험체는 기본 모듈인 두방향 DBS 프레임(8.0m X 8.0m)으로 실무에서 적용이 되고 있는 크기를 이용하였으며, 가력장치 등의 실험실 여건을 고려하여 실제 크기보다 작은 1/3 스케일로 축소하여 2.7m X 2.7m 모듈로 설계하였다. 실험체 설계에 적용된 하중은 장스팬 효과를 극대화하기 위하여 고하중을 적용하여 실험을 계획하였다. 기본 모듈과 1/3 크기 계획에 따른 배근 및 하중 조건은 표 2.1과 표 2.2에 나타내었다. 1/3 크기 계획에 따른 실험체 형상은 표 2.3에 나타낸 바와 같다.

표 2.1 기본 모듈 계획(8.0m X 8.0m)

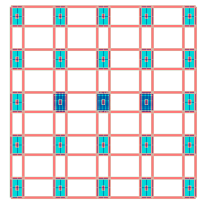
| | X방향 보 철근 | X방향 드롭패널 철근 | 하중 | (8.0 m X 8.0 m모듈) |
|---|-------------------------|---------------------------|--|---|
| 8.0m X 8.0m 모듈 | 7-D19 ($\rho=0.0084$) | D19@110 ($\rho=0.0049$) | DL=5.32 kN/m ² LL= 15 kN/m ² (참고) |  |
| * 일반적으로 LL=5.0 kN/m ² 이나 장스팬 고려하여 LL=15kN/m ² 로 검토 * 하중 LL=5.0 kN/m ² 를 장스팬 L=14m에 적용한 결과와 유사 | | | | |

표 2.2 1/3 크기 계획(2.7m X 2.7m)

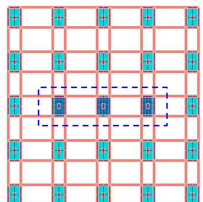
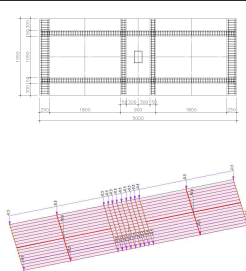
| | X방향 보 철근 | X방향 드롭패널 철근 | 하중 | (2.7 m X 2.7 m모듈 스케일다운) |
|----------------|-------------------------|---------------------------|--|---|
| 2.7m X 2.7m 모듈 | 2-D13 ($\rho=0.0097$) | D10@100 ($\rho=0.0041$) | DL=5.32 kN/m ² LL= 15 kN/m ² (참고) |  |

표 2.3 실험체 설계 계획

| | X방향 보 철근 | X방향 드롭패널 철근 | 하중 | |
|---|-------------------------|---------------------------|--|---|
| 1.95m X 4.75m | 2-D13 ($\rho=0.0097$) | D10@100 ($\rho=0.0041$) | P _D =자중 (27.69 kN) P _L =100 kN (도출된 집중하중은 적재하중으로 계산함.) |  |
| * 설계 순서 : RC보 배근 결정 → Pu결정 → 드롭패널의 배근 결정 * 실험체 하중 재하 조건을 고려하여 설계된 실험체의 집중하중 도출 | | | | |

2.1.2 실험체 제작 계획

실험체 형상은 표 2.3에 나타난 바와 같으며, 실험체 제작을 위하여 마이다스 구조 해석 프로그램을 이용하여 검토를 하였다. 해석 수행은 건축구조기준(KBC 2009)에 준하여 수행하였으며, 사용재료의 강도는 콘크리트와 철근 각각 27MPa과 300MPa을 적용하여 계획하였다. 실험체 제작계획에 따른 실험체 설계와 해석결과를 표 2.4와 그림 2.1~2.3에 나타내었다.

표 2.4 실험체 설계

| 실험체 설계 | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|------|---------|---------|-----|----|------------------------------|----------------------------|--|
| | 모듈 | DROP크기 | DROP | RC보 | 기둥 | 슬래브 | 피복 | 드롭배근 | RC보 배근 (인장측) | 하중 |
| 일반 설계 | 8.0X 8.0m | 2250X3600 | 600 | 450X600 | 600X900 | 180 | 60 | D19@110 ($\rho=0.0049$) | 7-D19 ($\rho=0.0084$) | (등분포하중) $D=5.32 \text{ kN/m}^2$ $LL=15.0 \text{ kN/m}^2$ |
| 스케일 다운 설계 | 2.7X 2.7m | 750X1200 | 200 | 150X200 | 200X300 | 60 | 20 | D10@100 ($\rho=0.0041$) | 2-D13 ($\rho=0.0097$) | (등분포하중) $D=5.32 \text{ kN/m}^2$ $LL=15.0 \text{ kN/m}^2$ |
| 실험체 설계 | RC DBS-1 | 750X1200 | 200 | 150X200 | 200X300 | 60 | 20 | D10@100 ($\rho=0.0041$) | 2-D13 ($\rho=0.0097$) | $P_b=27.69 \text{ kN}$ (자중) $P_L=100 \text{ kN}$ ($1.2P_b+1.6P_L=193 \text{ kN}$) $P_u=193 \text{ kN}$ *실제 실험체 하중과 동일하게 적용하기 위하여 슬래브에 가상보를 설치하여 집중하중으로 설계. |

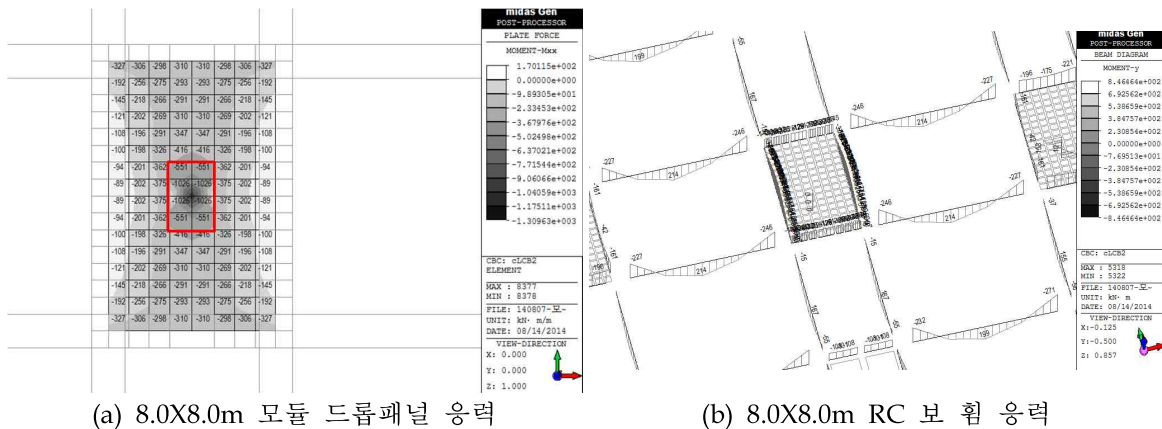


그림 2.1 RC DBS (8.0X8.0m 일반설계) 해석결과

1. Design Conditions

Design Code : KCI-USD07
 Material Data : $f_b = 27 \text{ MPa}$
 $f_t = 300 \text{ MPa}$ $f_s = 300 \text{ MPa}$
 Section Dim. : $400 \times 600 \text{ mm}$ ($c_c = 60 \text{ mm}$)

2. Resisting Moment Capacity

| A_s | A_t | e_i | ϕ | $\phi M_u (\text{kN.m}) d (\text{mm})$ | ρ | ρ' | Space (mm) |
|-------|-------|--------|--------|--|--------|--------------------|------------|
| 2-D19 | 2-D19 | 0.0275 | 0.850 | 84.1 | 518 | 0.0028 $A_{s,req}$ | 238 > 9mm |
| 3-D19 | 2-D19 | 0.0249 | 0.850 | 117.1 | 518 | 0.0042 $A_{s,req}$ | 118 |
| 4-D19 | 2-D19 | 0.0224 | 0.850 | 150.1 | 518 | 0.0055 | 79 |
| 5-D19 | 2-D19 | 0.0202 | 0.850 | 179.7 | 509 | 0.0070 | 79 |
| 6-D19 | 2-D19 | 0.0182 | 0.850 | 209.3 | 503 | 0.0085 | 79 |
| 7-D19 | 2-D19 | 0.0164 | 0.850 | 239.7 | 499 | 0.0101 | 79 |
| 8-D19 | 2-D19 | 0.0148 | 0.850 | 267.8 | 496 | 0.0116 | 79 |

$A_{s,req} = 966 \text{ mm}^2$, $A_{s,req} = 5771 \text{ mm}^2 (0.0279)$, Bar Space_{req} = 212 mm
 Torsional Effect is neglected if $T_u \leq 9.4 \text{ kN-m}$

3. Resisting Shear Capacity

| Stirrup | $\phi V_s (\text{kN})$ | $\phi V_c (\text{kN})$ | $\phi V_u (\text{kN})$ | $\phi V_{req} (\text{kN})$ |
|--------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|
| <d = 518> | | | | |
| 2- D13 @100 | 429.7 | 134.5 | 295.2 | 672.6 |
| 2- D13 @125 | 370.7 | 134.5 | 236.2 | 672.6 |
| 2- D13 @150 | 331.3 | 134.5 | 196.8 | 672.6 |
| 2- D13 @175 | 303.2 | 134.5 | 168.7 | 672.6 |
| 2- D13 @200 | 282.1 | 134.5 | 147.6 | 672.6 |
| 2- D13 @250 | 252.6 | 134.5 | 118.1 | 672.6 |
| 2- D13 @300 <= MAX | 232.9 | 134.5 | 98.4 | 672.6 |
| <d = 496> | | | | |
| 2- D13 @100 | 411.4 | 128.8 | 282.6 | 643.9 |
| 2- D13 @125 | 354.9 | 128.8 | 226.1 | 643.9 |
| 2- D13 @150 | 317.2 | 128.8 | 188.4 | 643.9 |
| 2- D13 @175 | 290.3 | 128.8 | 161.5 | 643.9 |
| 2- D13 @200 | 270.1 | 128.8 | 141.3 | 643.9 |
| 2- D13 @250 <= MAX | 241.8 | 128.8 | 113.0 | 643.9 |

(c) 보 배근 테이블

1. Design Conditions

Design Code : KCI-USD07
 Material Data : $f_b = 27 \text{ MPa}$
 $f_t = 300 \text{ MPa}$
 Concrete Clear Cover : 60 mm

2. Slab Thk : 600 mm

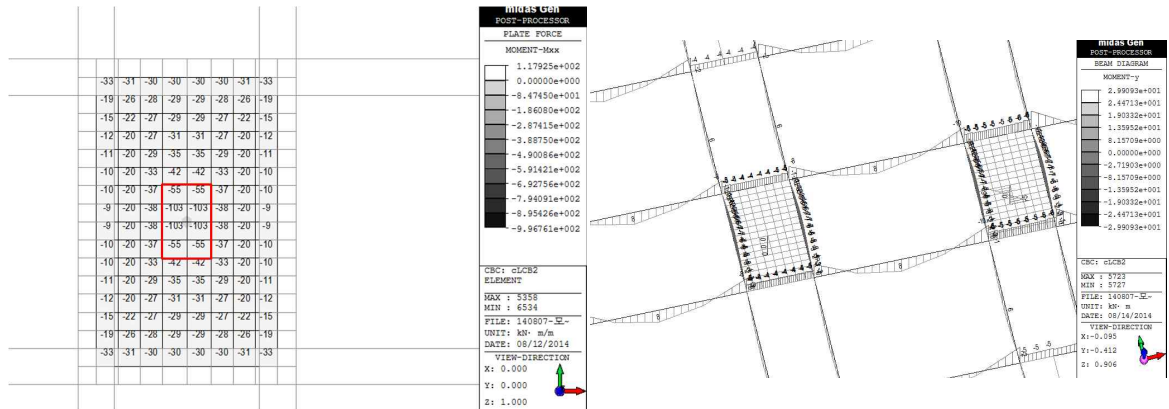
| Short Direction Moment | 100 | 110 | 120 | 130 | 135 | 140 | 150 | 200 |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| D19 | 373.8 | 341.0 | 313.4 | 290.0 | 279.5 | 269.8 | 252.3 | 190.3 |
| D19+D22 | 435.9 | 397.9 | 365.9 | 338.7 | 326.6 | 315.3 | 294.8 | 222.7 |
| D22 | 497.0 | 453.9 | 417.7 | 386.8 | 373.0 | 360.1 | 336.9 | 254.8 |
| D22+D25 | 568.4 | 519.5 | 478.3 | 443.2 | 427.5 | 412.8 | 386.4 | 292.6 |
| D25 | 638.4 | 583.9 | 538.0 | 498.7 | 481.1 | 464.8 | 435.1 | 329.9 |

| Long Direction Moment | 100 | 110 | 120 | 130 | 135 | 140 | 150 | 200 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| D19 | 358.7 | 327.2 | 300.8 | 278.4 | 268.4 | 259.0 | 242.2 | 182.8 |
| D19+D22 | 417.5 | 381.2 | 350.6 | 324.6 | 312.9 | 302.1 | 282.6 | 213.5 |
| D22 | 475.1 | 434.0 | 399.4 | 369.9 | 356.7 | 344.5 | 322.3 | 243.8 |
| D22+D25 | 542.2 | 495.7 | 455.5 | 423.0 | 408.1 | 394.1 | 368.9 | 279.5 |
| D25 | 607.6 | 556.0 | 512.3 | 475.0 | 458.4 | 442.8 | 414.6 | 314.6 |

$\phi V_c = 343.5 \text{ kN/m}$

(d) 드롭패널 배근 테이블

그림 2.1 RC DBS (8.0X8.0m 일반설계) 해석결과(계속)



(a) 2.7X2.7m 모듈 드롭패널 응력

(b) 2.7X2.7m RC 보 휨 응력

그림 2.2 RC DBS (2.7X2.7m 스케일 다운) 해석결과

1. Design Conditions

Design Code : KCI-USD07
 Material Data : $f_b = 27 \text{ MPa}$
 $f_s = 300 \text{ MPa}$ $f_s = 300 \text{ MPa}$
 Section Dim. : $150 \times 200 \text{ mm}$ ($c_s = 20 \text{ mm}$)

2. Resisting Moment Capacity

| A _s | A _s | c _s | ϕ | $M_r(\text{kN.m/d(mm)})$ | ρ | ρ' | Space(mm) |
|--|----------------|----------------|--------|--------------------------|--------|---------|-----------|
| 2-D13 | 2-D13 | 0.0120 | 0.850 | 10.1 | 164 | 0.0103 | 78 |
| 3-D13 | 2-D13 | 0.0099 | 0.850 | 13.1 | 152 | 0.0167 | 78 |
| 4-D13 | 2-D13 | 0.0081 | 0.850 | 16.0 | 145 | 0.0239 | 78 |
| A _{s,req} = 115 mm ² , A _{s,prov} = 686 mm ² (0.0279), Bar Space _{req} = 315 mm | | | | | | | |
| Torsional Effect is neglected if $T_u \leq 0.4 \text{ kN-m}$ | | | | | | | |

3. Resisting Shear Capacity

| Stirrup | $\phi V_s(\text{kN})$ | $\phi V_c(\text{kN})$ | $\phi V_s(\text{kN})$ | $\phi V_{s+V_c}(\text{kN})$ |
|------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|
| <d = 164> | | | | |
| 2- D10 @100<=MAX | 68.7 | 16.0 | 52.7 | 79.9 |
| <d = 145> | | | | |
| 2- D10 @100<=MAX | 60.8 | 14.2 | 46.6 | 70.8 |

1. Design Conditions

Design Code : KCI-USD07
 Material Data : $f_b = 27 \text{ MPa}$
 $f_s = 300 \text{ MPa}$
 Concrete Clear Cover : 20 mm

2. Slab Thk : 200 mm

Short Direction Moment (Unit : kN-m/m)

| | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| D10 | 34.4 | 31.0 | 28.3 | 26.0 | 24.0 | 22.3 | 20.9 | 19.5 |
| D10+D13 | 46.9 | 42.4 | 38.7 | 35.6 | 32.9 | 30.6 | 28.6 | 26.9 |
| D13 | 59.0 | 53.4 | 48.8 | 44.9 | 41.6 | 38.7 | 36.2 | 34.0 |
| D13+D16 | 74.2 | 67.3 | 61.5 | 56.7 | 52.5 | 49.0 | 45.9 | 43.1 |
| D16 | 88.7 | 80.5 | 73.8 | 68.0 | 63.1 | 59.9 | 55.2 | 51.9 |

Long Direction Moment

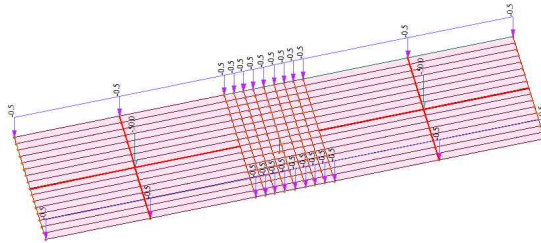
| | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| D10 | 32.1 | 29.0 | 26.4 | 24.3 | 22.5 | 20.9 | 19.5 | 18.3 |
| D10+D13 | 43.6 | 39.4 | 36.0 | 33.1 | 30.6 | 28.5 | 26.6 | 25.0 |
| D13 | 54.5 | 49.3 | 45.1 | 41.5 | 38.4 | 35.8 | 33.5 | 31.5 |
| D13+D16 | 68.0 | 61.7 | 56.4 | 52.0 | 48.2 | 45.0 | 42.1 | 39.6 |
| D16 | 80.6 | 73.3 | 67.2 | 62.0 | 57.6 | 53.7 | 50.3 | 47.4 |

$\phi V_c = 112.8 \text{ kN/m}$

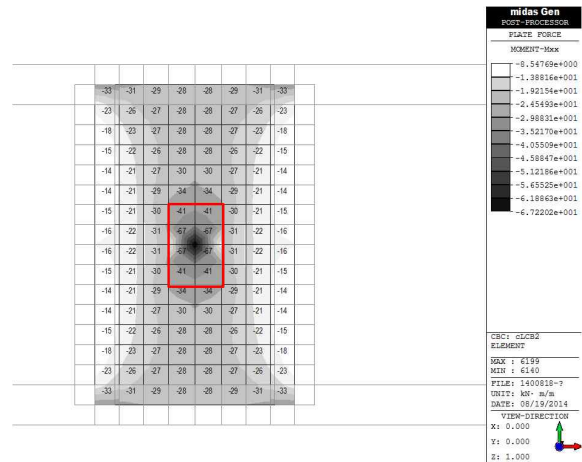
(c) 보 배근 테이블

(d) 드롭패널 배근 테이블

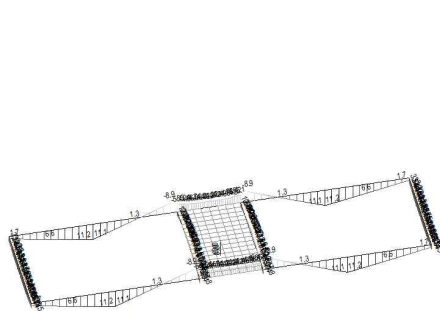
그림 2.2 RC DBS (2.7X2.7m 스케일 다운) 해석결과(계속)



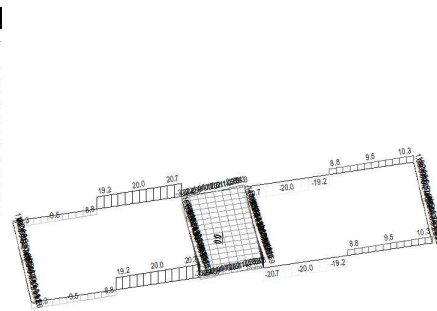
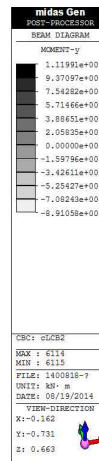
(a) 실험체 하중조건



(b) 드롭패널 응력



(c) 보의 휨응력

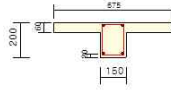


(d) 보의 전단응력

그림 2.3 RC DBS-1 실험체 해석결과

1. Geometry and Materials

Design Code : KCI-USD07
 Material Data : $f'_c = 27 \text{ MPa}$ ($\beta_1 = 0.850$)
 $f_y = 300$, $f_s = 300 \text{ MPa}$
 Section Dim. : $200 \times 150 \text{ mm}$ ($h_f=60$, $b_f=675 \text{ mm}$)
 Top Layer 1 : 2 - D13 ($d_t = 20 \text{ mm}$)
 Bot. Layer 1 : 2 - D13 ($d_b = 20 \text{ mm}$)
 Total Steel Area $A_s = 507 \text{ mm}^2$ ($\rho_s = 0.0082$)



2. Member Force and Moment

$M_u = 11.3 \text{ kN-m}$ $V_u = 20.9 \text{ tf}$
 $T_u = 0.0 \text{ kN-m}$

3. Check Reinforcement Ratio and Crack Control

Minimum Tension Reinf. $A_{s,req} = 126 < 253 \text{ mm}^2$ O.K.
 Maximum Tension Reinf. $A_{s,max} = 3639 > 253 \text{ mm}^2$ O.K.

Rebar Ratio corresponding to Allowable Minimum Strain (0.0040) = 0.6429 ps
 $s = \min(375 (\frac{210}{f_y}) - 2.5c; 300 (\frac{210}{f_y})) = 315.00 \text{ mm}$
 Space of main rebar = 110.00 < 315.00 mm. O.K.

4. Check Torsional Moment Capacity

Strength Reduction Factor $\phi = 0.750$

$T_{req} = \phi \sqrt{f'_c} (\frac{A_s}{P_g}) = 0.4 \text{ kN-m} > T_u$ (Torsional Reinf. Negligible)

5. Check Bending Moment Capacity

Strength Reduction Factor $\phi = 0.850$

Strain of outermost rebar = 0.04377 > 0.0040 O.K.

Provided Reinforcement

Tension Reinf. = 253, Comp. Reinf. = 253, Skin Reinf. = 0 mm²

Neutral Axis Depth $c = 12 \text{ mm}$

Balanced Axis Depth $c_b = 120 \text{ mm}$

Design Moment Strength $\phi M_u = 12.3 \text{ kN-m}$

Strength Ratio : Applied/Design = 0.920 < 1.000 O.K.

6. Check Shear Capacity

Strength Reduction Factor $\phi = 0.750$

$\phi V_u + \phi V_s = 17.5 + 3.4 = 20.9 \text{ kN}$

Stirrup Spacing : 2 - D10 @ 90 mm

1. Design Conditions

Design Code : KCI-USD07
 Material Data : $f'_c = 27 \text{ MPa}$
 $f_y = 300 \text{ MPa}$
 Concrete Clear Cover : 20 mm

2. Slab Thk : 200 mm

Short Direction Moment (Unit : kN-m/m)

| | 80 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 180 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| D10 | 38.5 | 31.0 | 28.3 | 26.0 | 24.0 | 22.3 | 20.9 | 17.4 |
| D10+D13 | 52.5 | 42.4 | 38.7 | 35.6 | 32.9 | 30.6 | 28.6 | 24.0 |
| D13 | 65.9 | 53.4 | 48.8 | 44.9 | 41.6 | 38.7 | 36.2 | 30.3 |
| D13+D16 | 82.7 | 67.3 | 61.5 | 56.7 | 52.5 | 49.0 | 45.8 | 38.5 |
| D16 | 98.6 | 80.5 | 73.8 | 68.0 | 63.1 | 58.9 | 55.2 | 46.4 |

Long Direction Moment

| | 80 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 180 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| D10 | 36.0 | 29.0 | 26.4 | 24.3 | 22.5 | 20.9 | 19.5 | 16.3 |
| D10+D13 | 48.7 | 39.4 | 36.0 | 33.1 | 30.6 | 28.5 | 26.6 | 22.3 |
| D13 | 60.8 | 49.3 | 45.1 | 41.5 | 38.4 | 35.8 | 33.5 | 28.1 |
| D13+D16 | 75.7 | 61.7 | 56.4 | 52.0 | 48.2 | 45.0 | 42.1 | 35.4 |
| D16 | 89.6 | 73.3 | 67.2 | 62.0 | 57.6 | 53.7 | 50.3 | 42.3 |

$\phi V_u = 112.8 \text{ kN/m}$

(e) 보 배근 테이블

(f) 드롭패널 배근 테이블

그림 2.3 RC DBS-1 실험체 해석결과(계속)

2.2 실험 계획

2.2.1 사용 재료

드롭패널의 철근비에 따른 철근콘크리트 구조 부재의 휨 성능을 평가하기 위하여 표 2.5에 나타난 바와 같이 콘크리트는 배합강도가 30MPa인 콘크리트를 사용하였다.

콘크리트 배합에 사용된 시멘트는 포틀랜드 시멘트 1종과 고로슬래그 시멘트 2종이며, 굵은 골재의 최대치수는 철근의 배근간격을 고려하여 20mm로 하였다. 콘크리트의 압축강도 특성을 알아보기 위하여 $\phi 100 \times 200 \text{mm}$ 크기의 원형 실린더형 공시체를 총 24개 제작하였으며, 공시체의 양생은 부재와 동일한 조건으로 하였다. 그림 2.4는 실험체의 타설 과정을 나타낸 것이다.

콘크리트의 압축강도 시험은 실험체 파괴 일에 맞추어 시험 전과 후에 압축강도 시험을 실시하였으며, 그 결과 RC DBS-1, 2, 3는 29.9MPa, RC DBS-4는 36.0MPa의 콘크리트 압축강도를 나타내었다. 그림 2.5(a)에 콘크리트의 응력-변형률 관계를 나타내었다. 콘크리트의 응력에 따른 변형률은 압축강도 테스트 시 콘크리트 공시체에 부착한 종방향과 횡방향의 스트레인 게이지로부터 계측된 결과를 나타낸 것이다.

실험에 사용된 철근으로 인장철근, 압축철근 및 전단보강근에는 SD300 등급의 D13, D10 철근을 사용하였다. 인장시험 결과 D13 철근은 항복강도 364.6~385.3MPa를 나타내었으며, D10 철근은 항복강도 353.2~373.3MPa를 나타내었다. 사용된 철근의 탄성계수는 D13의 경우 188~191GPa를, D10은 190~192GPa를 나타내었다. 사용된 철근의 응력-변형률 관계는 그림 2.5(b)에 나타내었으며, 역학적 특성은 표 2.6에 나타내었다.

표 2.5 콘크리트 배합설계표

| 배합강도 (MPa) | W/B (%) | S/a (%) | G_{\max} (mm) | Slump (mm) | 단위용적중량 (kg/m^3) | | | | | | |
|---------------|------------|------------|--------------------|---------------|----------------------------|--------|-----------|--------|------|-------|-------|
| | | | | | Water | Cement | Aggregate | | FA* | BFS** | AD*** |
| | | | | | | | Fine | Coarse | | | |
| 30 | 45.6 | 48.2 | 20 | 150 | 164 | 293 | 831 | 928 | 39.4 | 54 | 2.7 |

* 플라이애쉬

** 고로슬래그 미분말

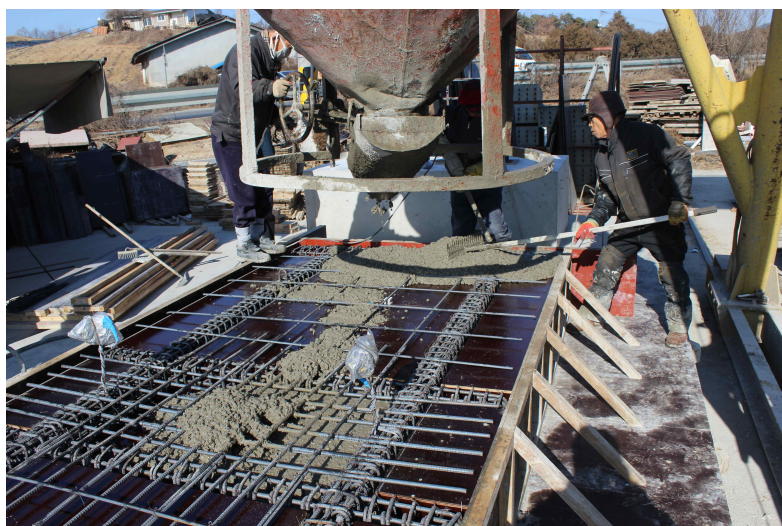
*** 고성능 감수제



(a) 거푸집 작업 완료



(b) 타설 준비



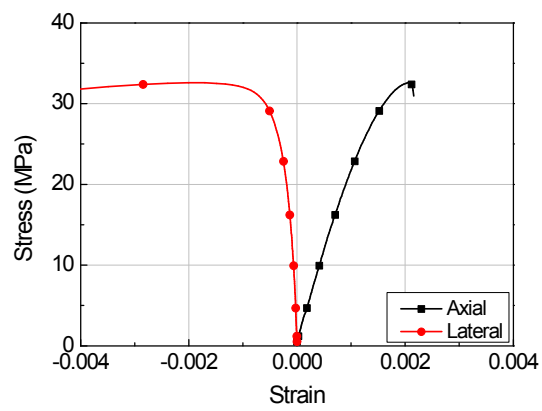
(c) 실험체 타설

그림 2.4 실험체 타설 과정

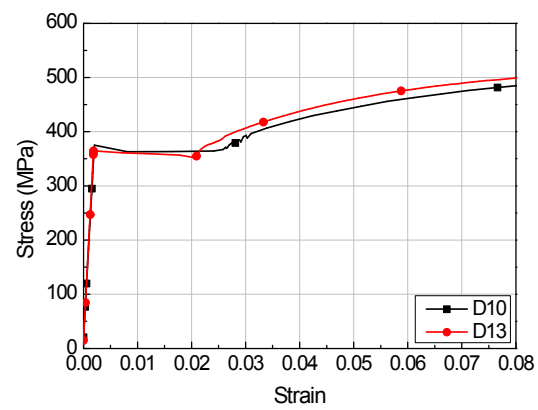


(d) 타설 완료

그림 2.4 실험체 타설 과정(계속)



(a) 콘크리트



(b) 철근

그림 2.5 사용재료의 응력-변형률 관계

표 2.6 철근 상세 및 역학적 특성

| 실험체 | 철근 종류 | 용 도 | 단면적 (mm ²) | 항복강도 (MPa) | 인장강도 (MPa) | 항복변형률 | 탄성계수 (GPa) |
|----------|----------|-----------|---------------------------|---------------|---------------|---------|---------------|
| RC | D13 | 인장 및 압축철근 | 126.7 | 364.6 | 523.6 | 0.00191 | 191 |
| DBS-1~3 | D10 | 전단보강근 | 71.3 | 373.3 | 517.0 | 0.00195 | 192 |
| RC DBS-4 | D13 | 인장 및 압축철근 | 126.7 | 385.3 | 601.1 | 0.00205 | 188 |
| | D10 | 전단보강근 | 71.3 | 353.2 | 536.6 | 0.00186 | 190 |

표 2.7 실험체 일람표

| 실험체 | 실험체 크기 (mm) | | | | | | | 실험체 배근 | | 비 고 |
|----------|-------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|----------------------------------|--------------------------------------|----------------|
| | 실험체 | | | 드롭패널 | | | | | | |
| | b | h | d | b | h | d | 길이 | 보 | #형 접합부 | |
| RC DBS-1 | 150 | 200 | 160 | 1350 | 200 | 160 | 900 | 2-D13 $f_y = 364.6\text{MPa}$ | D10@100mm $f_y = 373.3\text{MPa}$ | 기본 실험체 |
| RC DBS-2 | | | | | | | | 2-D13 $f_y = 364.6\text{MPa}$ | D13@100mm $f_y = 364.6\text{MPa}$ | 드롭패널 비교 실험체 |
| RC DBS-3 | | | | | | | | 3-D13 $f_y = 364.6\text{MPa}$ | D13@100mm $f_y = 364.6\text{MPa}$ | 보 배근 비교 실험체 |
| RC DBS-4 | | | | | | | | 2-D13 $f_y = 385.3\text{MPa}$ | D10@150mm $f_y = 353.2\text{MPa}$ | 드롭패널 비교 실험체 |

$f_{ck} = 30\text{MPa}$, 전단보강근 = D10@60mm

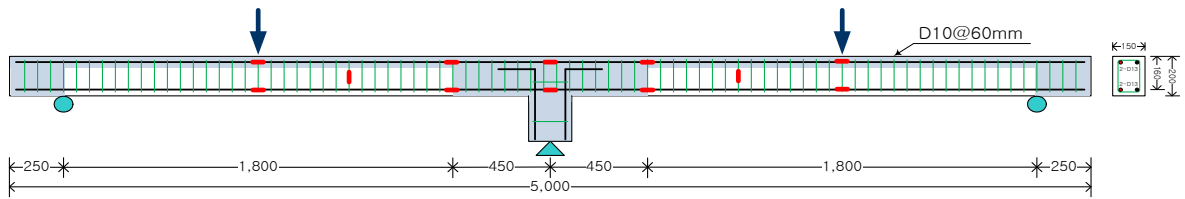
2.2.2 실험체 계획

드롭패널을 활용한 장스팬 철근콘크리트 보 실험체의 구조 성능을 평가하기 위하여 표 2.7에 나타난 바와 같이 총 4체의 실험체를 계획하였다. 실험변수는 #형 접합부와 보의 철근량으로 하였으며, 실험체 배근 상세를 그림 2.6~2.9에 나타내었다.

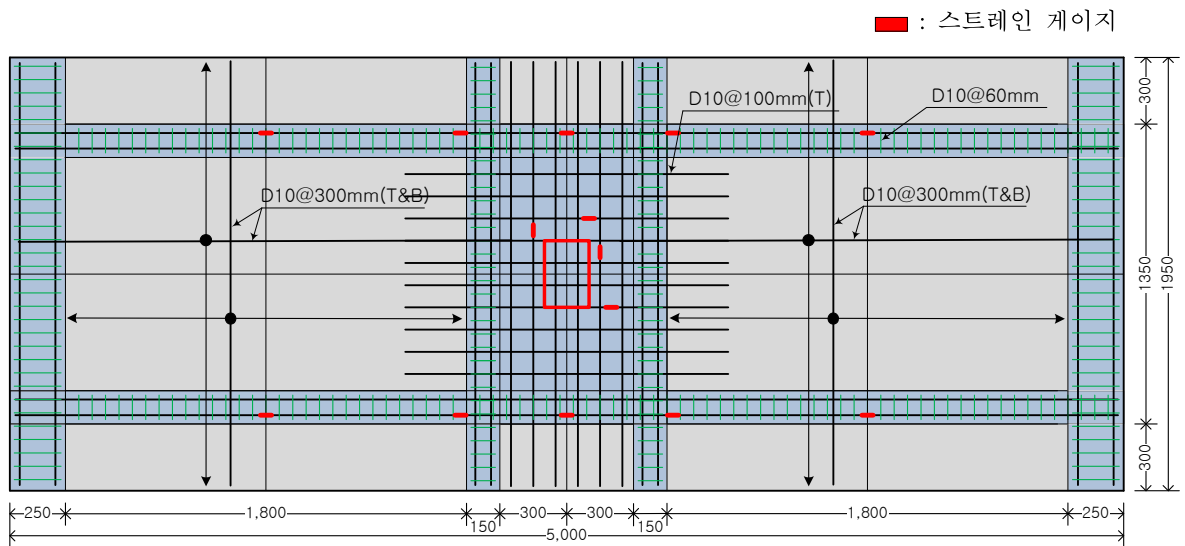
표 2.7의 실험체명에서 RC DBS-1은 기본 실험체를 의미하며 실제 크기(8x8m 모듈)와 배근되는 철근량은 동일하게 1/3 크기로 계획하였다. RC DBS-2는 드롭패널의 철근량에 따른 영향을 알아보기로 드롭패널의 철근량을 약 40% 증가시킨 실험체를 의미한다. RC DBS-3은 보의 내력에 따른 영향을 알아보기로 보의 철근량을 증가시킨 실험체를 의미한다. RC DBS-4는 추가적으로 제작한 실험체로 드롭패널의 철근량 감소에 따른 영향을 알아보기로 드롭패널의 철근량을 약 30% 감소시킨 실험체이다.

그림 2.6~2.9에 나타내었듯이 실험체는 2경간 연속보로 길이는 5,000mm이며, 보의 단면 150x200mm로 계획하였다. 실험체의 연속부인 기둥 주변에 1350x900x200mm 크

기의 드롭패널을 갖도록 하였다. 드롭패널의 인장철근비는 기본 실험체인 RC DBS-1이 인장철근비 0.0045를, 비교 실험체인 RC DBS-2와 RC DBS-3은 0.0079이며, D4는 0.0030을 갖는다. 실험체의 인장철근과 압축철근은 SD300 등급의 D13을 이용하여 배근하였다. RC DBS-1~2, RC DBS-4 실험체는 D13 철근을 2대 배근하였으며 RC DBS-3은 D13 철근을 3대 배근하였다. 모든 실험체는 휨 파괴 이전에 전단 파괴가 선행하는 것을 방지하기 위하여 전단보강근을 60mm 간격으로 배근하였다. 인장철근, 압축철근 및 전단보강근에는 하중에 따른 철근의 변형률을 계측하기 위하여 스트레인 게이지를 부착하였다. 실험체의 제작과정은 그림 2.4.10에 나타내었다.

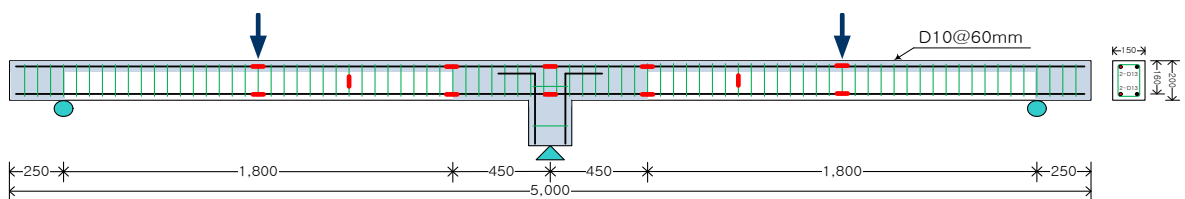


(a) 배근 단면



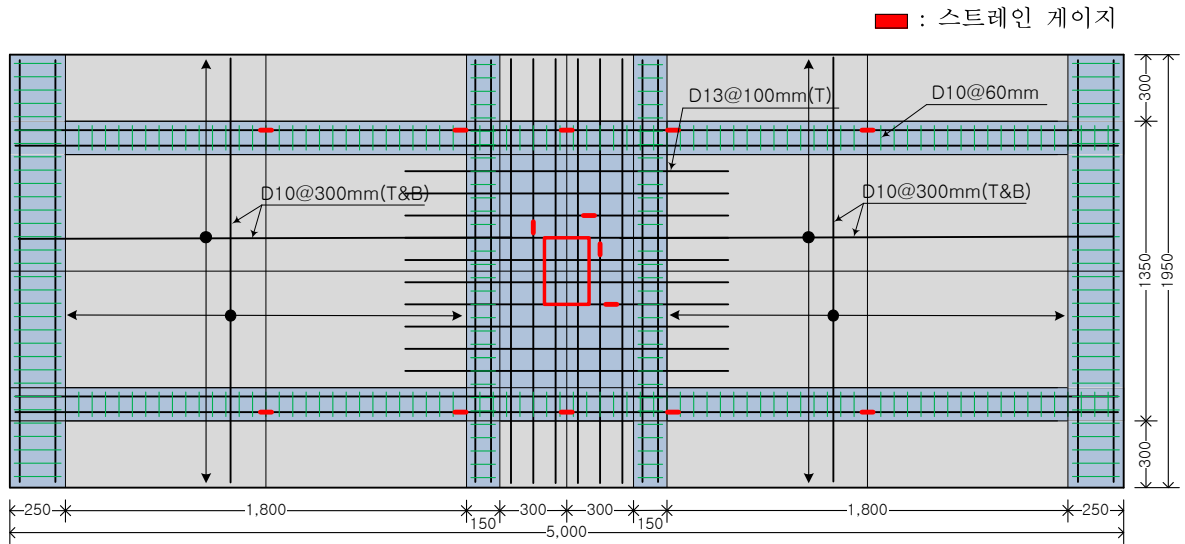
(b) 배근 평면

그림 2.6 RC DBS-1 배근 상세



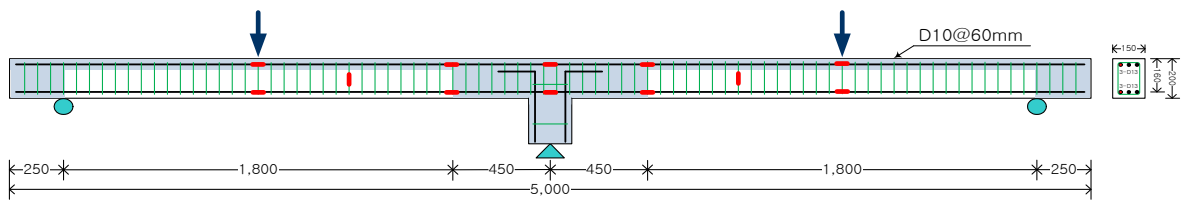
(a) 배근 단면

그림 2.7 RC DBS-2 배근 상세

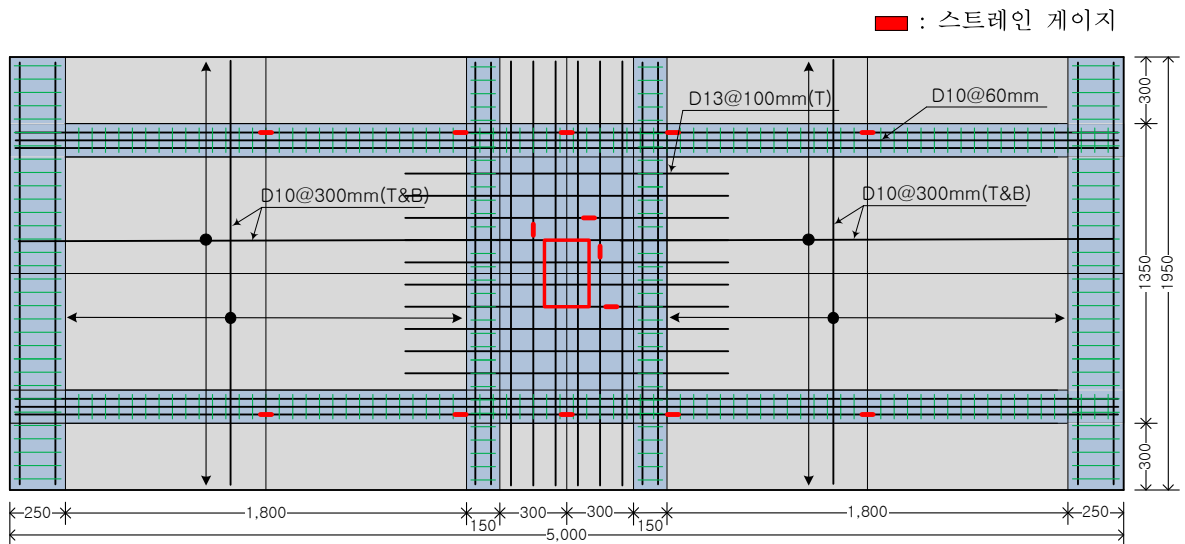


(b) 배근 평면

그림 2.7 RC DBS-2 배근 상세(계속)

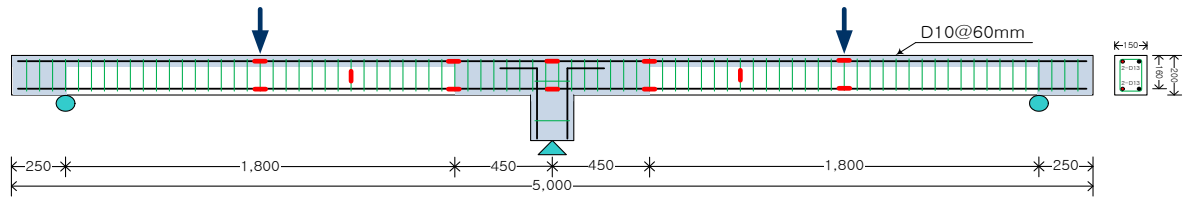


(a) 배근 단면



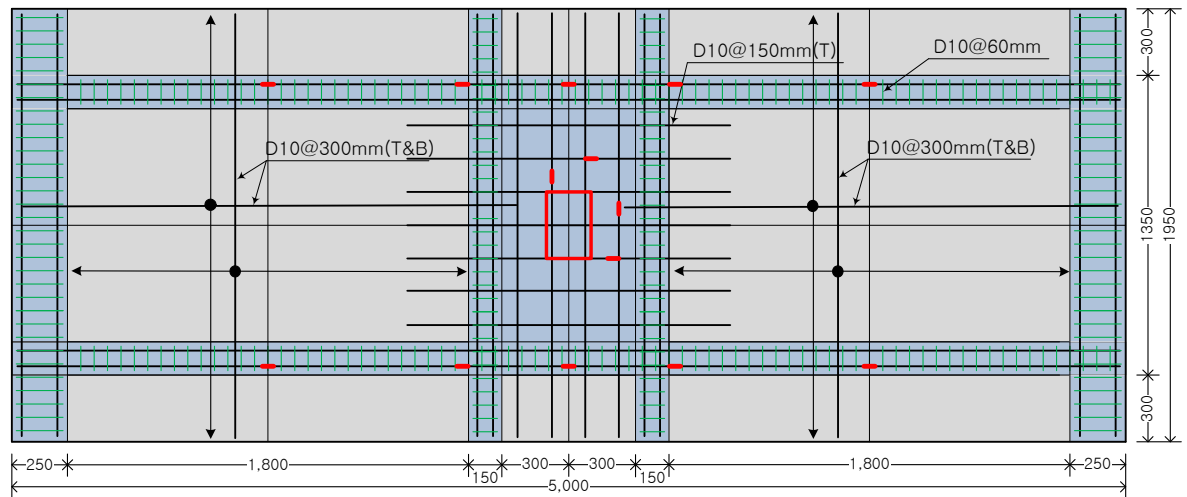
(b) 배근 평면

그림 2.8 RC DBS-3 배근 상세



(a) 배근 단면

■ : 스트레인 게이지



(b) 배근 평면

그림 2.9 RC DBS-4 배근 상세



(a) 실험체 배근



(b) 실험체 게이지 작업



(c) 실험체 배근 완료

그림 2.10 실험체 제작 과정

2.2.3 실험방법

실험체 가력방법은 그림 2.11과 그림 2.12에 나타난 바와 같이 1,000kN 용량의 유압 잭을 이용하여 가력하였다. 가력은 실험체 항복 시까지는 하중제어 방법으로 하였으며, 항복 이후에는 변위제어 방법으로 최대하중의 85% 이하로 내력이 감소할 때까지 지속적으로 가력하였다. 실험체의 최대 변형이 발생하는 위치인 실험체 중앙부 하단에 LVDT를 설치하여 하중에 따른 처짐량을 계측하였다. 또한, 모든 실험체에는 드롭패널의 강성의 차이에 따른 처짐을 계측하기 위하여 드롭패널 주위에 LVDT를 설치하였으며, 드롭패널의 영향에 기인한 보의 처짐을 비교하고자 1/4 지점에서도 그림 2.12와 같이 LVDT를 설치하였다.

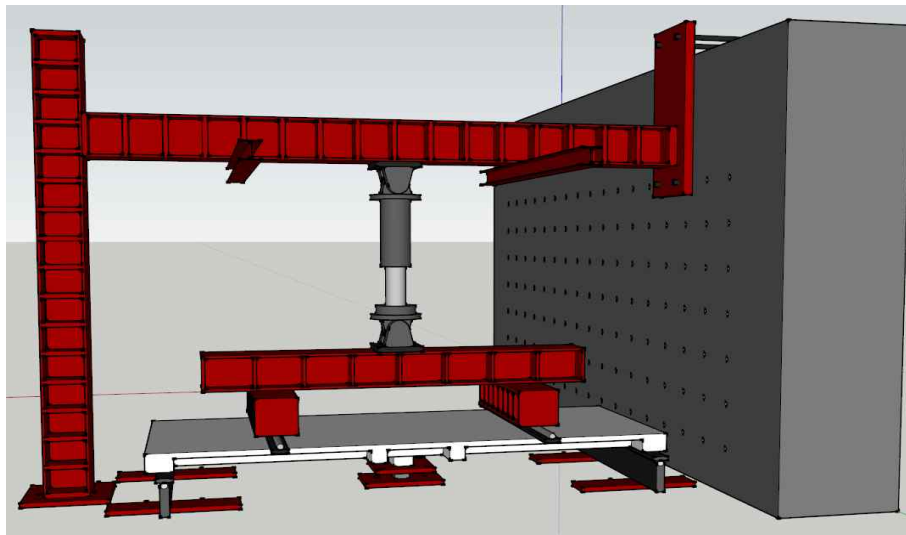


그림 2.11 실험체 세팅 현황



그림 2.12 실험체 실험 전경

2.3 실험결과 및 분석

2.3.1 하중-처짐 관계

그림 2.13은 각 실험체의 하중-처짐 관계를, 표 2.8에는 실험결과를 나타내었다. 하중-처짐 관계에서의 처짐은 최대 처짐이 발생한 경간의 중앙부 하단에 설치한 LVDT를 이용하여 나타내었다. 모든 실험체의 휨 거동은 그림 2.13과 같이 가력 초기에 실험체 보 중앙부 하단에서 초기 휨 균열이 발생하였으며 하중이 증가함에 따라 인장철근이 항복한 이후 연성적인 휨 거동을 나타내었다.

그림 2.13에 나타나듯이 기본 실험체인 RC DBS-1은 인장철근 항복시 하중과 처짐이 160.5kN과 4.35mm로 나타났다. 드롭패널의 철근비가 약 40% 높은 RC DBS-2 실험체는 인장철근 항복시 하중과 처짐이 159.5kN과 3.96mm로 나타나 기본 실험체인 RC DBS-1에 비하여 처짐이 약 10% 감소하였다. 하지만 인장철근 항복이후의 휨 거동에서는 기본 실험체인 RC DBS-1이 비교 실험체인 RC DBS-2에 비하여 약 2배에 가까운 연성 거동을 나타내었다.

RC DBS-3 실험체는 인장철근 항복시의 하중이 249.5kN을 보였으며, 그 때의 처짐은 5.66mm를 나타내었다. 이는 기본 실험체인 RC DBS-1과 비교하여 볼 때, 사용하중상태에서의 휨 거동은 유사하게 나타났으나 내력에서는 약 50% 증진되는 결과를 보였다. RC DBS-4는 인장철근 항복시 하중과 처짐이 170.5kN과 4.58mm로 나타나 기본 실험체인 RC DBS-1에 비하여 처짐은 약 5% 증가하였으나 유사한 휨 거동을 나타내었다.

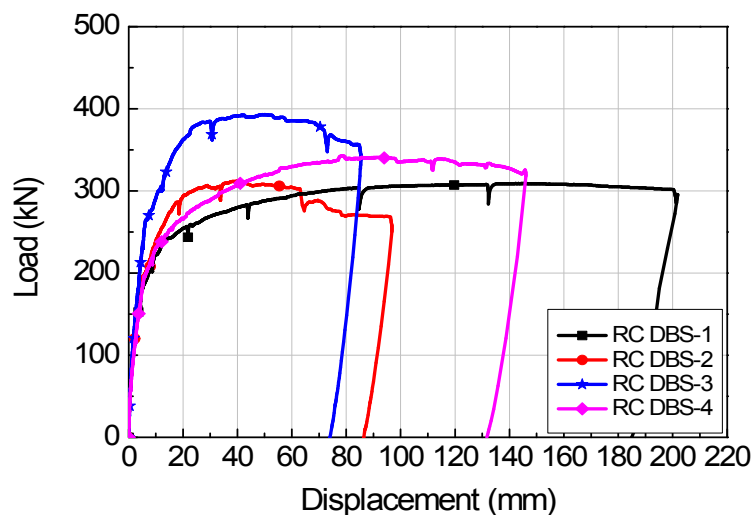


그림 2.13 실험체의 하중-처짐 관계

또한, RC DBS-1, RC DBS-4 실험체는 최대하중의 85%로 내력이 저하되기 전에 처짐 계측의 제약으로 실험을 종료하여 실제 처짐은 매우 클 것으로 판단된다.

표 2.8 실험결과

| 실험체명 | $0.6P_y$ (kN) | $0.6\Delta_y$ (mm) | P_y (kN) | Δ_y (mm) | P_{peak} (kN) | Δ_{peak} (mm) | $0.6\Delta_y$ / $0.6\Delta_{y,DBS-1}$ | Δ_y / $\Delta_{y,DBS-1}$ | Δ_{peak} / $\Delta_{peak,DBS-1}$ |
|---------------------|------------------|-----------------------|---------------|--------------------|--------------------|-------------------------|---|---------------------------------------|---|
| RC DBS-1 | 96.3 | 1.65 | 160.5 | 4.35 | 309.0 | 200.80 | - | - | - |
| RC DBS-2 | 95.7 | 1.54 | 159.5 | 3.96 | 312.0 | 39.72 | 0.93 | 0.91 | 0.20 |
| RC DBS-3 | 149.7 | 2.59 | 249.5 | 5.66 | 393.0 | 85.35 | 1.57 | 1.30 | 0.43 |
| RC DBS-4 | 102.3 | 1.97 | 170.5 | 4.58 | 342.5 | 78.30 | 1.19 | 1.05 | 0.39 |
| RC DBS-3 (동일하중시) | 96.0 | 1.25 | 160.0 | 2.87 | - | - | 0.76 | 0.66 | |



(a) RC DBS-1 실험체



(b) RC DBS-2 실험체



(c) RC DBS-3 실험체

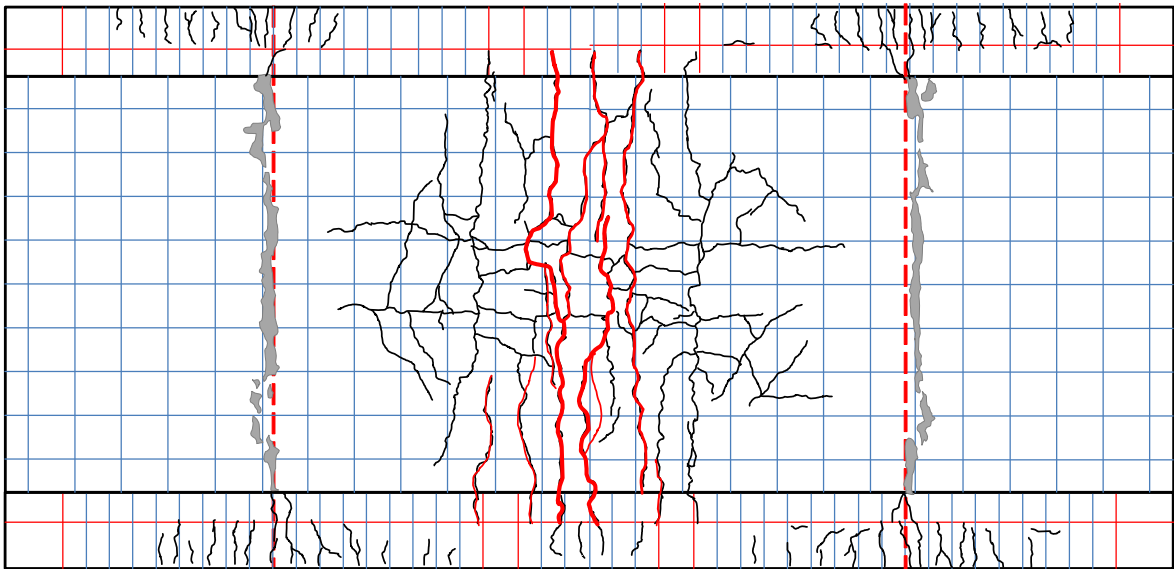


(d) RC DBS-4 실험체

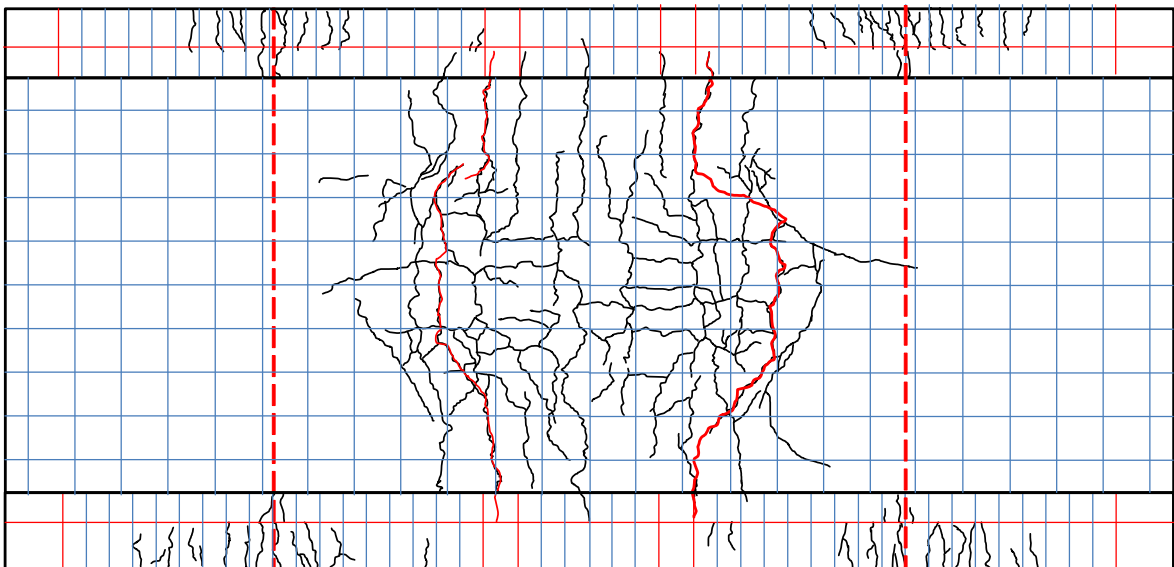
그림 2.14 실험체의 최종 균열 양상(단면)

2.3.2 균열 및 파괴양상

실험 종료 후의 균열 및 파괴 양상은 그림 2.14~2.15에 나타내었다. 모든 실험체는 보 중앙부에서 가력 초기 휨 균열이 발생하였으며, 하중이 증가함에 따라 균열은 지점으로 진전되면서 휨 경사 균열로 성장하였다. 균열은 인장철근이 항복함에 따라 크게 성장하였으며 최종적으로는 콘크리트의 압괴에 의하여 내력이 저하되는 양상을 보였다.

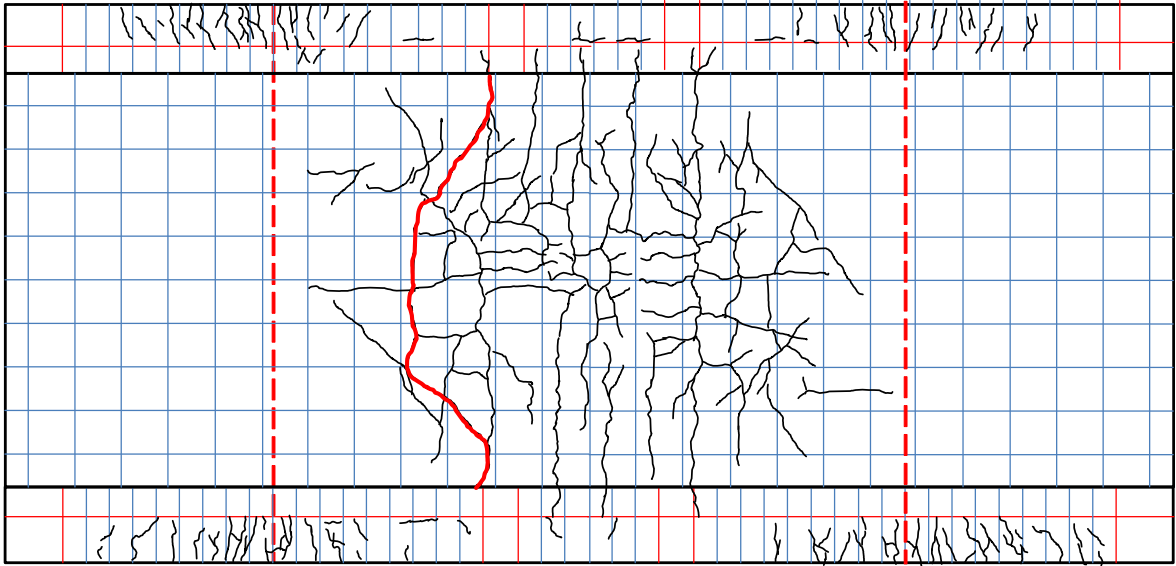


(a) RC DBS-1 실험체

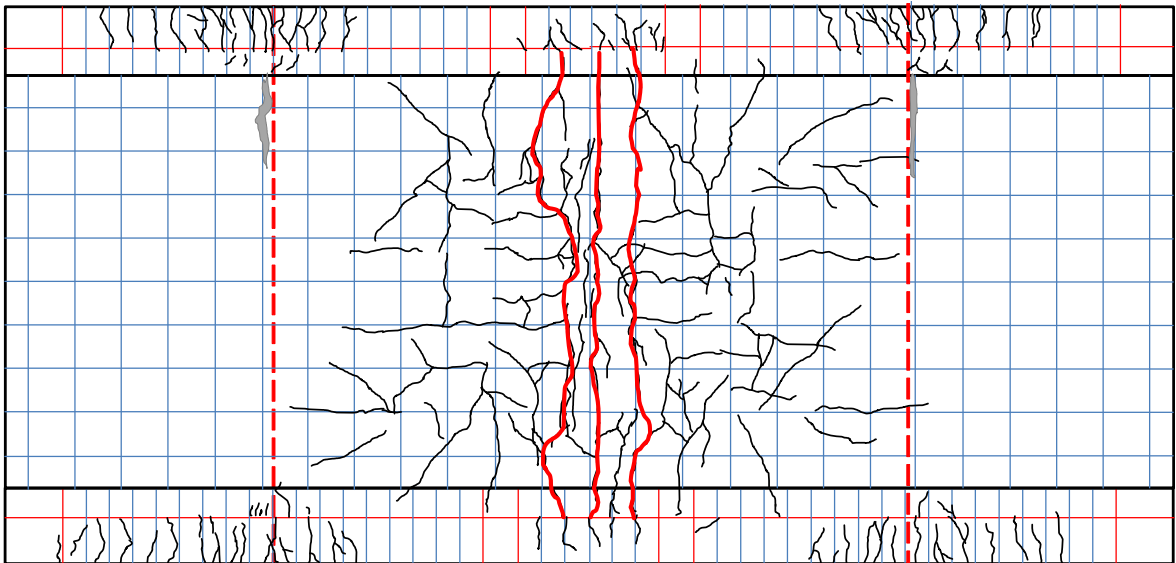


(b) RC DBS-2 실험체

그림 2.15 실험체의 최종 균열 양상(평면)



(c) RC DBS-3 실험체



(d) RC DBS-4 실험체

그림 2.15 실험체의 최종 균열 양상(평면)(계속)

드롭패널 내부의 균열은 그림 2.14와 2.15에서 볼 수 있듯이 하중이 증가함에 따라 중앙부 지점인 기둥의 면을 따라 방사 형태로 진전되는 형태를 나타내었다. 드롭패널의 강성이 높은 RC DBS-2와 RC DBS-3 실험체는 드롭패널 내에서 발생한 균열에 비하여 드롭패널과 보가 만나는 변단면 구간에서 발생한 균열의 폭이 크게 성장하였으며, 최종적으로는 드롭패널에 인접한 슬래브가 뜯기며 내력이 급격히 저하되는 파괴양상을 나타내었다. 반면에, 기본 실험체인 RC DBS-1과 RC DBS-4는 드롭패널 내에서 발생한 균열이 크게 성장하였으며, 드롭패널과 보 중앙부에서 발생한 콘크리트의 압괴

로 내력이 서서히 저하되는 파괴 양상을 보였다. 이는 드롭패널 강성의 차이에 기인한 결과로 RC DBS-2와 RC DBS-3 실험체는 기본실험체인 RC DBS-1에 비하여 드롭패널의 철근비가 약 40% 높은 실험체로 강성이 높아짐에 따라 파괴 양상은 취성적인 경향으로 나타났다.

2.3.3 사용하중상태에서의 처짐 비교

각 실험체의 사용하중상태에서의 처짐은 그림 2.13과 표 2.8에 나타내었다. 그림 2.16에 나타나듯이 사용하중상태의 하중은 각 실험체의 인장철근 항복시 하중의 60%를 사용하중으로 간주하여, 그 때의 처짐을 사용하중상태의 처짐으로 산정하였다. 처짐은 보 중앙부 하단에 설치한 LVDT의 계측값을 이용한 것으로 최대 처짐이 발생한 파괴면을 기준으로 나타내었다.

표 2.8에 나타낸 바와 같이 기본 실험체인 RC DBS-1은 사용하중상태의 하중과 처짐이 각각 96.3kN과 1.65mm를 나타내었다. 드롭패널의 철근량이 약 40% 증가한 RC DBS-2는 사용하중상태의 하중과 처짐이 95.7kN과 1.54mm로 나타나 기본 실험체인 RC DBS-1에 비하여 하중은 유사하게 나타났으나 처짐은 약 7% 감소하였다. RC DBS-3 실험체는 사용하중상태의 하중과 처짐을 각각 149.7kN과 2.59mm를 나타내었다. RC DBS-3 실험체는 다른 실험체들에 비하여 많은 처짐량과 높은 내력을 보였으나 동일 하중일 때의 하중과 처짐을 보면 96.0kN과 1.25mm를 나타내어 기본 실험체인 RC DBS-1에 비하여 약 20%의 처짐 감소를 나타내었다. 드롭패널의 철근량이 30% 감소한 RC DBS-4는 사용하중상태의 하중과 처짐이 각각 102.3kN과 1.97mm를 나타내어 RC DBS-1과 비교하여 볼 때 하중과 처짐 모두 각각 6%와 19%의 증가를 보였다.

표 2.8에서 알 수 있듯이 드롭패널의 강성 차이에 따른 사용하중상태에서의 처짐은 기본 실험체인 RC DBS-1에 비하여 RC DBS-2 실험체가 약 7% 감소를, RC DBS-4는 약 19% 증가를 나타내어 드롭패널의 강성이 증가함에 따라 처짐은 감소하는 경향을 나타내었으나 유사한 내력과 휨 강성을 나타내어 드롭패널의 강성에 따른 거동의 차이는 크게 나타나지 않았다. 하지만, 보의 철근량이 증대된 RC DBS-3 실험체와 비교에서는 약 20% 처짐 감소를 나타내어 처짐제어 측면에서는 드롭패널의 강성뿐만 아니라 보의 강성 또한 증대시키는 것이 유리한 것으로 나타났다.

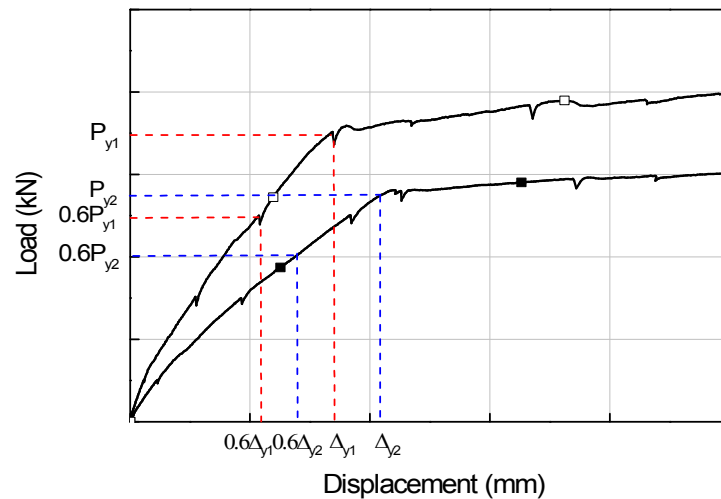


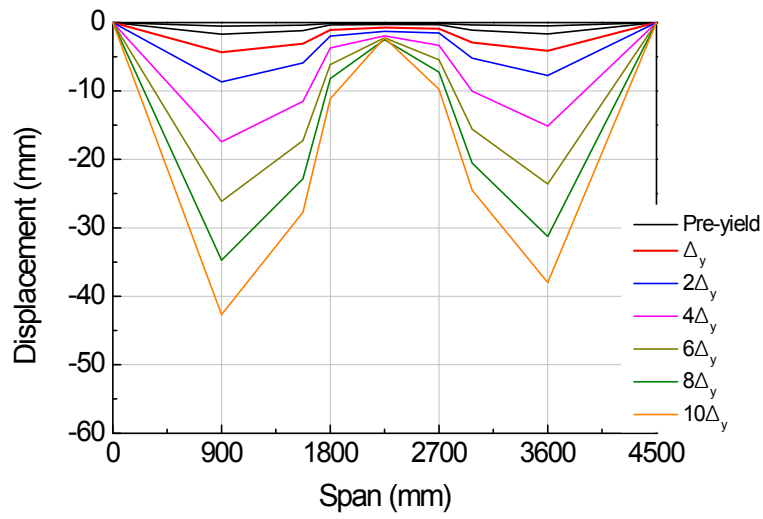
그림 2.16 사용하중상태에 따른 처짐 산정 기준

2.3.4 처짐 분포

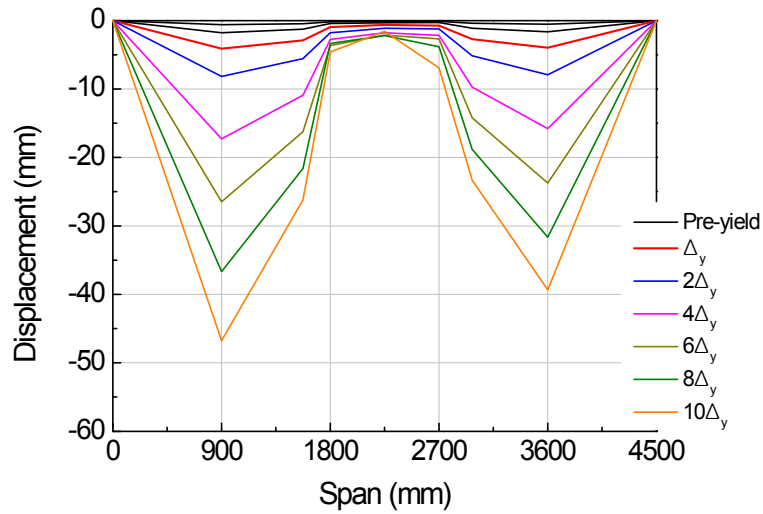
그림 2.17은 각 실험체의 처짐 분포를 나타낸 것이다. 그림 2.17에서 처짐은 보의 중앙부 하단과 보의 1/4 지점 및 드롭패널 지점 하단에 설치한 LVDT에 의하여 계측된 수치를 이용하여 나타내었다. 그림 2.17에서의 Δ_y 는 보 중앙부 위치에 부착한 인장철근의 항복시 변위를 의미하며, 인장철근 항복 이전과 항복시 및 항복 이후에는 $2\Delta_y$ 간격으로 나타내었다.

그림 2.17에 나타나듯이 보 중앙부의 위치에서 계측한 처짐은 하중이 증가함에 따라 증대되는 양상을 나타내었다. 드롭패널과 보가 만나는 변단면 위치에서의 처짐은 인장철근 항복시를 기준으로 항복 이전에는 소량의 증가 폭을 나타내었으나 항복 이후에는 증가의 폭이 크게 증대되는 결과를 나타내었다.

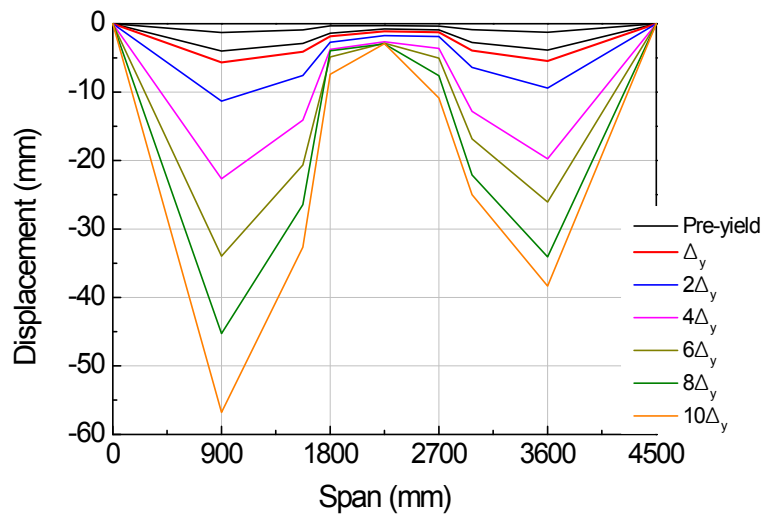
기본 실험체인 RC DBS-1은 인장철근 항복 이후의 처짐 증가비가 평균적으로 1.89를 나타내었다. RC DBS-2와 RC DBS-3는 인장철근 항복 이후의 처짐 증가비가 각각 1.69와 1.57를 나타내었다. RC DBS-4는 1.92를 나타내어 드롭패널의 강성이 증대됨에 따라 처짐의 증가비는 낮은 수치를 보였다. 드롭패널의 강성이 증대됨에 따라 처짐의 증가비는 낮은 수치를 나타내어 처짐 제어 측면에서는 유리할 수 있으나 휨 거동에서는 RC DBS-1과 RC DBS-4 실험체가 연성적인 거동을 나타내어 구조물의 안전성 확보에 유리하다고 판단된다.



(a) RC DBS-1 실험체

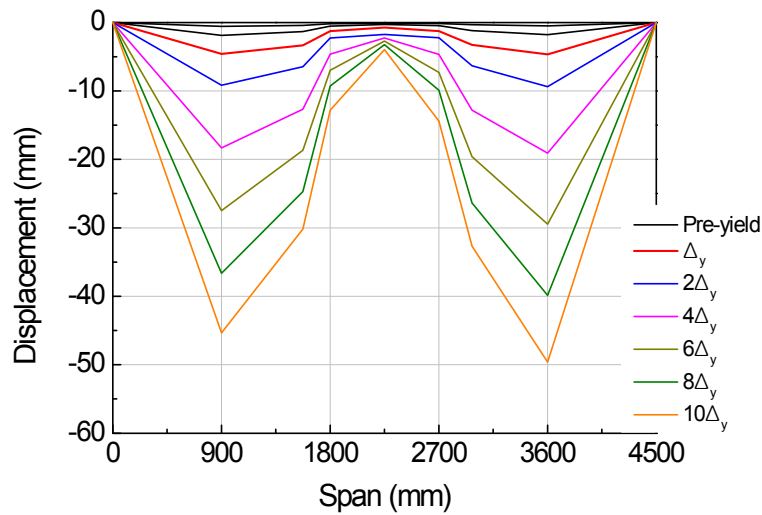


(b) RC DBS-2 실험체



(c) RC DBS-3 실험체

그림 2.17 각 실험체의 처짐 분포



(d) RC DBS-4 실험체

그림 2.17 각 실험체의 처짐 분포(계속)

2.3.5 변형률 분포

그림 2.18에 각 실험체의 주철근 변형률 분포를 나타내었다. 그림 2.18에서 주철근의 변형률은 보의 중앙부와 드롭패널의 중앙부 및 단면이 변하는 구간에 부착한 게이지를 이용하여 나타내었다. 그림 2.18에서 900mm와 3,600mm는 보의 중앙부를 의미하며, 드롭패널은 1,800~2,700mm 구간에 위치한다.

모든 실험체에서 공통적으로 가력지점에 위치한 보의 인장철근은 항복 변형률에 도달하였으며, 드롭패널 위치의 인장철근은 드롭패널의 강성 차이에 따라 변형률 분포 차이를 나타내었다. 드롭패널의 강성이 높은 실험체인 RC DBS-2와 RC DBS-3은 드롭패널 내부의 변형률 분포가 거의 완만한 경사를 보이며 유사한 변형률을 보였으나 드롭패널의 철근비가 낮은 RC DBS-1과 RC DBS-4 실험체는 드롭패널의 중앙부의 변형률이 양단부의 변형률보다 크게 증대되는 분포를 나타내었다. 이는 드롭패널의 강성 차이에 기인한 결과로 판단되며, 현재 설계되고 있는 방식과 유사한 기본 실험체인 RC DBS-1의 파괴양상과 거동 측면을 고려하면 합리적으로 드롭패널의 설계가 되고 있음을 실험적으로 확인하였다.

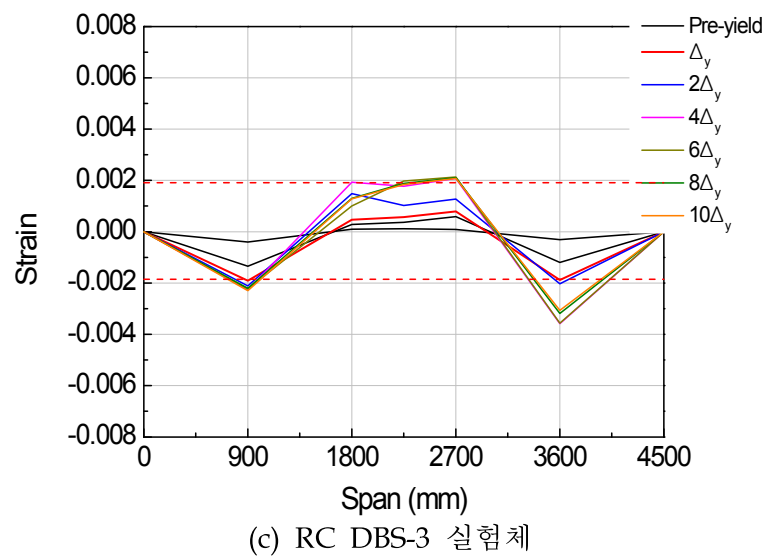
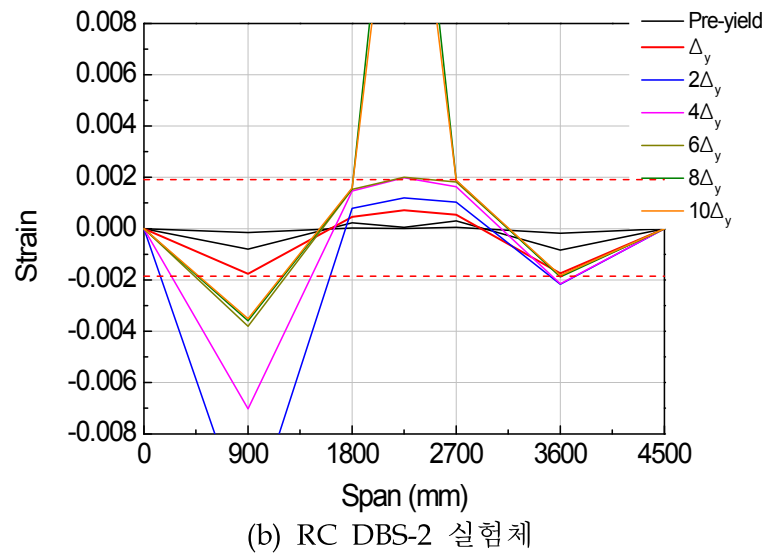
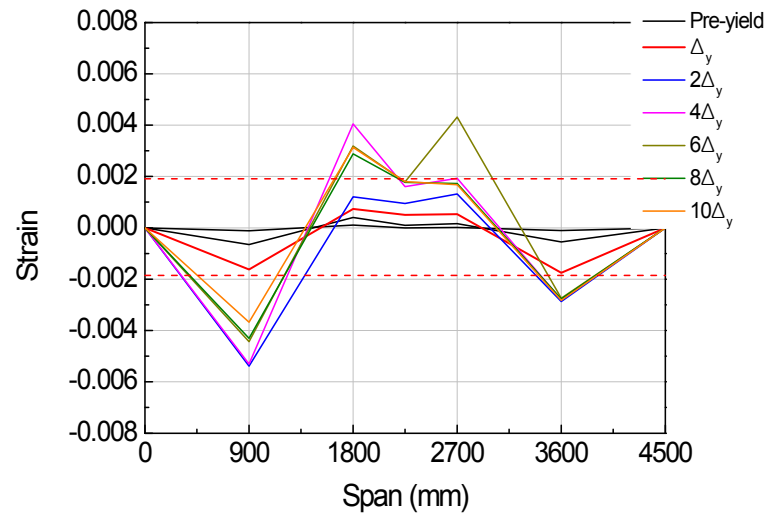
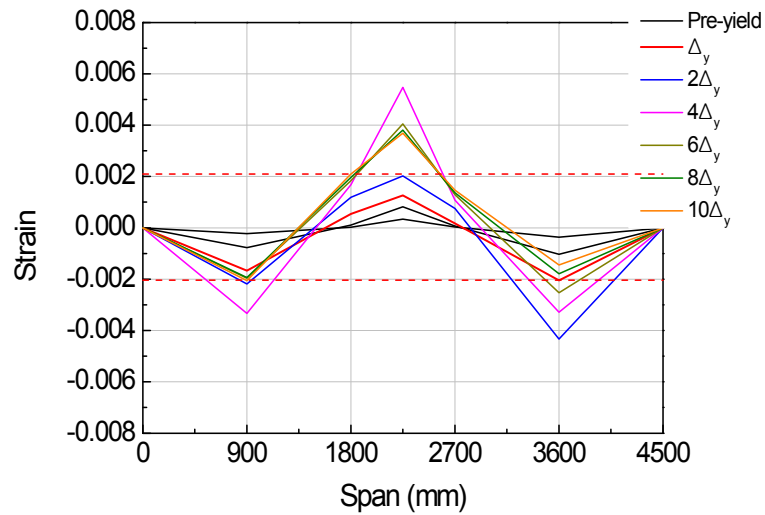


그림 2.18 각 실험체의 주철근 변형률 분포



(d) RC DBS-4 실험체

그림 2.18 각 실험체의 주철근 변형률 분포(계속)

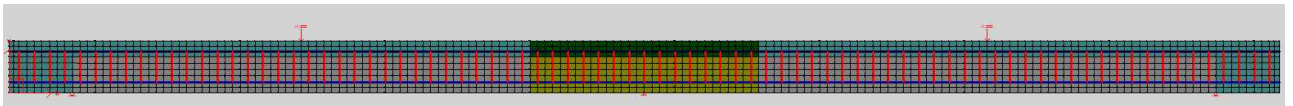


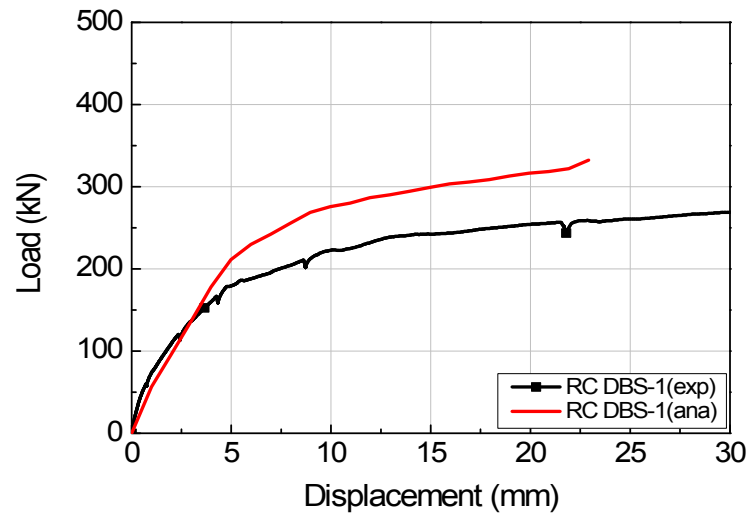
그림 2.19 유한요소해석 모델링

2.3.6 유한요소 해석결과 비교

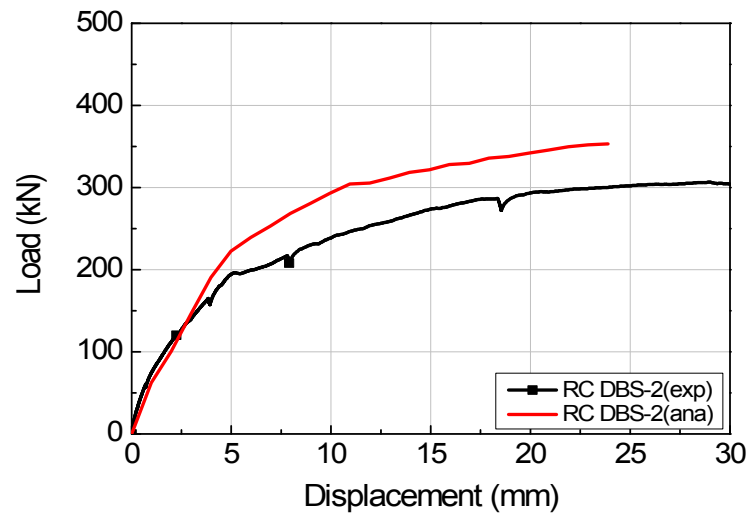
이 연구에서는 드롭패널을 사용한 철골철근콘크리트 구조 부재의 드롭패널 강성 차이에 따른 휨 거동 및 파괴 모드를 평가하기 위하여 VecTor2 유한요소해석 프로그램 (Vecchio, 2006)을 이용하였다. VecTor2 프로그램은 초기에 전단력이 지배하는 부재의 거동을 평가하기 위하여 개발되었으나 현재에는 휨 거동 및 복합체의 영향을 반영할 수 있게 되어 철근콘크리트 구조물의 거동 평가에 많이 이용되고 있다.

그림 2.19는 실험체의 유한요소해석 모델링을 나타낸 것으로 실험체의 콘크리트와 철근을 구현하기 위하여 각각 총 3,024개의 직사각형 요소와 84개의 트러스 요소가 사용되었다. 각 실험체의 유한요소해석 결과는 그림 2.20에 실험결과와 함께 나타내었다. 그림 2.20에서 exp는 실험결과를, ana는 해석결과를 의미한다.

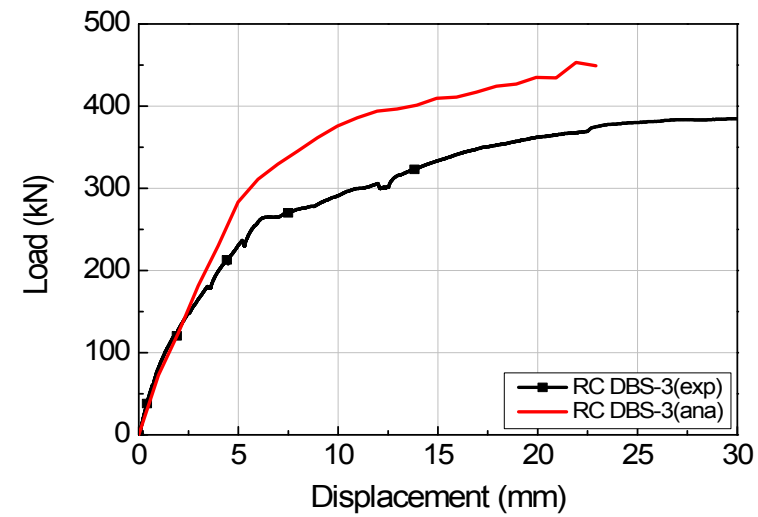
그림 2.20에 나타나듯이 해석결과는 인장철근 항복 이전까지의 강성과 처짐량에 대하여 실험결과와 비교적 잘 예측하고 있음을 알 수 있다. 비록 해석결과가 최대하중에 대한 실험결과를 약 20% 과소평가하는 것으로 나타났으나 인장철근 항복 이후에 연성적인 거동을 보이는 휨 거동 특성은 실험결과와 유사하였다.



(a) RC DBS-1 실험체

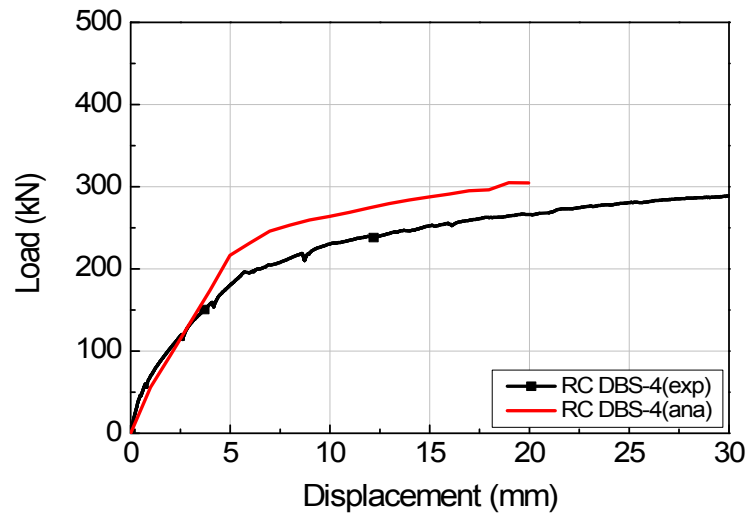


(b) RC DBS-2 실험체



(c) RC DBS-3 실험체

그림 2.20 유한요소 프로그램 해석결과



(d) RC DBS-4 실험체

그림 2.20 유한요소 프로그램 해석결과(계속)

2.4 소결

드롭패널의 철근비에 따른 철근콘크리트 구조 부재의 휨 성능을 평가하기 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 드롭패널의 철근비에 관계없이 RC DBS-1 실험체는 비교 실험체인 RC DBS-2 및 RC DBS-4와 유사한 휨 거동을 나타내었으며, 휨 강도 또한 유사하게 나타났다.
- (2) 사용하중상태에서의 휨 강성은 드롭패널의 철근비에 관계없이 유사하게 나타났으며, 드롭패널의 철근비가 약 40% 높은 RC DBS-2 실험체에 비하여 기본 실험체인 RC DBS-1에서 높은 연성능력을 나타내었다.
- (3) 현재 설계방법으로 제작된 기본 실험체인 RC DBS-1의 파괴양상과 연성적인 거동을 고려한다면 내진 거동과 같은 횡력저항시스템에서 강성이 급격히 변하는 연결부위의 파괴가 집중되는 측면에 있어 합리적인 설계가 되고 있다고 판단된다. 또한, RC DBS-4와 RC DBS-1의 휨 거동이 유사하게 나타나 적절한 철근비 산정을 위하여 보다 다양한 변수를 대상으로 한 사례연구가 필요하다 판단된다.
- (4) 해석적 검증을 위하여 유한요소해석 프로그램을 이용하여 드롭패널 강성 차이에 따른 휨 거동을 예측한 결과, 실험결과와 비교적 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

제 3 장 드롭패널을 사용한 철골철근콘크리트 구조 부재의 성능 평가

3.1 실험체 계획

3.1.1 실험체 형상 계획

실험체는 기본 모듈인 두방향 DBS 프레임(8.0m X 12.0m)으로 실무에서 적용이 되고 있는 크기를 이용하였으며, 실험에 따른 여건을 고려하여 1/3 크기로 계획하여 2.7m X 2.7m 모듈로 설계하였다. 실험체 설계에 적용된 하중은 장스팬 효과를 극대화 하기 위하여 고하중으로 실험 계획하였다. 기본 모듈과 1/3 크기 계획에 따른 배근 및 하중 조건은 표 3.1과 표 3.2에 나타내었다. 1/3 크기 계획에 따른 실험체 형상은 표 3.3에 나타낸 바와 같다.

표 3.1 기본 모듈 계획

| | 철골보 | X방향 드롭패널 철근 | 하중 | 비고 |
|-----------------|---------------------------|------------------------------|--|----|
| 8.0m X 12.0m 모듈 | H-450X200X9X14 (SM490) | D19@150 ($\rho=0.0035$) | DL= 4.6 kN/m ² LL= 5.0 kN/m ² (판매시설) | |
| 8.0m X 8.0m 모듈 | H-450X200X9X14 (SM490) | D19@90 ($\rho=0.0058$) | DL= 4.6 kN/m ² LL= 25.0 kN/m ² | |

표 3.2 1/3 크기 계획

| | 철골보 | X방향 드롭패널 철근 | 하중 | (2.7m X 2.7m 모듈 스케일다운) |
|----------------|-------------------------|------------------------------|---|------------------------|
| 2.7m X 2.7m 모듈 | H-150X75X5X7 (SM490) | D13@110 ($\rho=0.0066$) | DL=4.6 kN/m ² LL=25.0 kN/m ² | |

표 3.3 실험체 설계 계획

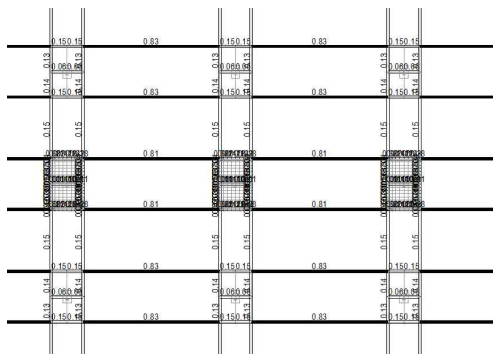
| | 철골보 | X방향 드롭패널 철근 | 하중 | |
|--|-------------------------|------------------------------|--|--|
| 1.95m X 4.65m | H-150X75X5X7 (SM490) | D13@130 ($\rho=0.0053$) | P _D =자중 (19.06 kN) P _L =140 kN (도출된 집중하중은 적재하중으로 계산함.) | |
| * 설계 순서 : 스케일 다운한 철골부재로 하중 결정 → 드롭패널의 배근 결정 * 실험체 하중 재하 조건을 고려하여 설계된 실험체의 집중하중 도출 | | | | |

3.1.2 실험체 제작 계획

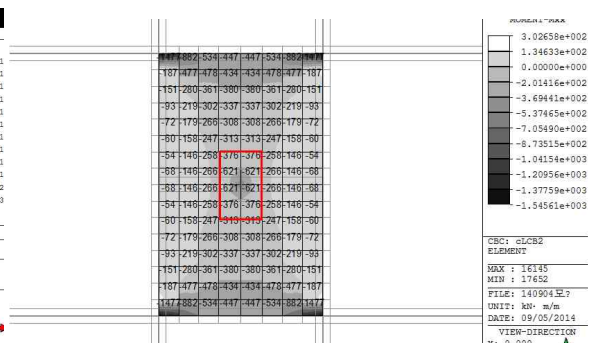
실험체 형상은 표 3.3에 나타난 바와 같으며, 실험체 제작을 위하여 마이다스 유한 요소 프로그램을 이용하여 검토를 하였다. 해석 수행은 건축구조기준(KBC 2009)에 준하여 수행하였으며, 사용재료의 강도는 콘크리트와 철근 각각 30MPa과 300MPa을 적용하였다. 철골보는 SM490 재질의 형강을 이용하였으며, 실험체 제작계획에 따른 실험체 설계와 해석결과를 표 3.4와 그림 3.1~3.4에 나타내었다.

표 3.4 실험체 설계

| 실험체 설계 | | | | | | | | | |
|-----------|------------|------------|---------|----------------|---------------------------|-----|----|---------------------------|--|
| | 모듈 | DROP 크기 | DROP 두께 | 철골보 (SM490) | 기둥(SRC) | 슬래브 | 피복 | 드롭배근 | 하중 |
| 일반 설계 | 8.0X 12.0m | 2250X 3600 | 600 | H-450X200X9X14 | 600X900 (H-450X225X15X21) | 150 | 40 | D19@150 ($\rho=0.0035$) | 1.2D+1.6L=13.52 KN/m ² D=4.6 KN/m ² LL=5.0 KN/m ² |
| | 8.0X 8.0m | 2250X 3600 | 600 | H-450X200X9X14 | 600X900 (H-450X225X15X21) | 150 | 40 | D19@90 ($\rho=0.0058$) | 1.2D+1.6L=45.52KN/m ² D=4.6 KN/m ² LL=25.0 KN/m ² (등분포하중) |
| 스케일 다운 설계 | S DBS-1 | 750X 1200 | 200 | H-150X75X5X7 | 200X300 (H-150X75X5X7) | 50 | 20 | D13@110 ($\rho=0.0066$) | DL=4.6 KN/m ² LL=25.0 KN/m ² (집중하중) |
| 실험체 설계 | S DBS-1 | 750X 1200 | 210 | H-150X75X5X7 | 200X300 (H-150X75X5X7) | 60 | 20 | D13@130 ($\rho=0.0053$) | P _D =19.06 KN P _L =140 KN (1.2P _D +1.6P _L =246.8 KN) |



(a) 8.0 X 12.0m 철골보의 응력



(b) 8.0 X 12.0m 드롭패널 응력

1. Design Conditions

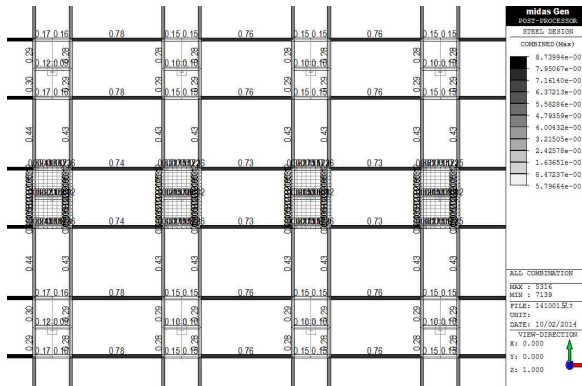
Design Code : KCI-USDO7
Material Data : $f_y = 30$ MPa
 : $f_t = 300$ MPa
Concrete Clear Cover : 40 mm

2. Slab Thk : 600 mm

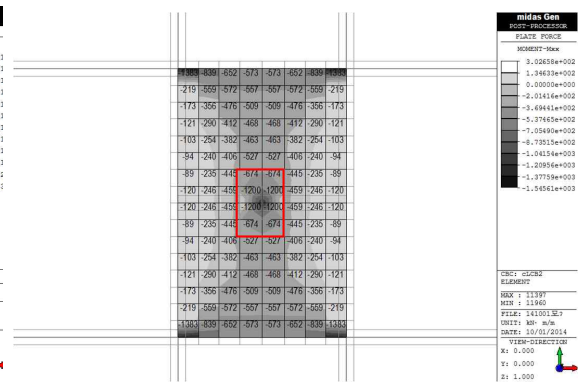
| Short Direction Moment | | (Unit : kN-m/m) | | | | | | | |
|------------------------|-------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| | 70 | 90 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 210 | |
| D13 | 250.6 | 219.8 | 160.6 | 147.4 | 136.2 | 126.5 | 118.2 | 84.6 | |
| D13+D16 | 319.4 | 280.4 | 205.2 | 188.3 | 174.0 | 161.8 | 151.1 | 108.3 | |
| D16 | 387.3 | 340.2 | 249.3 | 228.9 | 211.5 | 196.7 | 183.7 | 131.8 | |
| D16+D19 | 469.0 | 412.4 | 302.6 | 278.0 | 257.0 | 239.0 | 223.4 | 160.3 | |
| D19 | 549.3 | 493.4 | 355.4 | 326.5 | 302.0 | 280.9 | 262.6 | 198.7 | |

(c) 드롭패널 배근 테이블

그림 3.1 철골 DBS (8.0 X 12.0m 일반설계) 해석결과



(a) 8.0 X 8.0m 철골보의 응력



(b) 8.0 X 8.0m 드롭패널 응력

1. Design Conditions

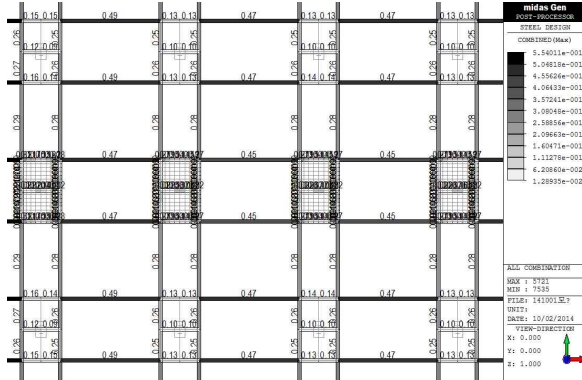
Design Code : KCI-USD07
Material Data : $f_{yk} = 30 \text{ MPa}$
 : $f_t = 300 \text{ MPa}$
Concrete Clear Cover : 40 mm

2. Slab Thk : 600 mm

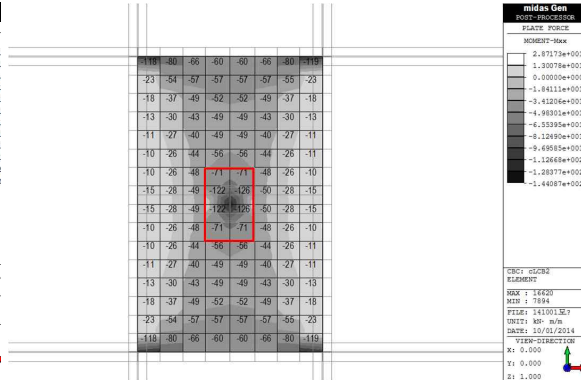
| Short Direction Moment | 70 | 80 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| D16 | 987.3 | 940.2 | 273.6 | 249.3 | 228.9 | 211.5 | 196.7 | 183.7 |
| D16+D19 | 469.0 | 412.4 | 332.1 | 302.6 | 279.0 | 257.0 | 239.0 | 223.4 |
| D19 | 549.3 | 493.4 | 399.8 | 355.4 | 326.5 | 302.0 | 280.9 | 262.6 |
| D19+D22 | 639.6 | 563.4 | 455.0 | 415.1 | 381.6 | 353.0 | 328.5 | 307.1 |
| D22 | 728.0 | 642.1 | 519.3 | 473.9 | 435.9 | 403.4 | 375.5 | 351.2 |

(c) 드롭패널 배근 테이블

그림 3.2 철골 DBS (8.0 X 8.0m 일반설계) 해석결과



(a) 2.7 X 2.7m 철골보의 응력



(b) 2.7 X 2.7m 드롭패널 응력

1. Design Conditions

Design Code : KCI-USD07
Material Data : $f_{yk} = 30 \text{ MPa}$
 : $f_t = 300 \text{ MPa}$
Concrete Clear Cover : 40 mm

2. Slab Thk : 200 mm

| Short Direction Moment | 70 | 80 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| D10 | 38.8 | 34.1 | 27.5 | 25.0 | 23.0 | 21.3 | 19.8 | 18.5 |
| D10+D13 | 52.7 | 46.4 | 37.5 | 34.2 | 31.5 | 29.1 | 27.1 | 25.3 |
| D13 | 65.0 | 58.3 | 47.2 | 43.1 | 39.7 | 36.9 | 34.2 | 32.0 |
| D13+D16 | 82.4 | 73.0 | 59.4 | 54.3 | 50.1 | 46.4 | 43.3 | 40.5 |
| D16 | 97.9 | 87.0 | 71.1 | 65.1 | 60.0 | 55.7 | 52.0 | 48.7 |

(c) 드롭패널 배근 테이블

그림 3.3 철골 DBS (2.7 X 2.7m 스케일 다운) 해석결과

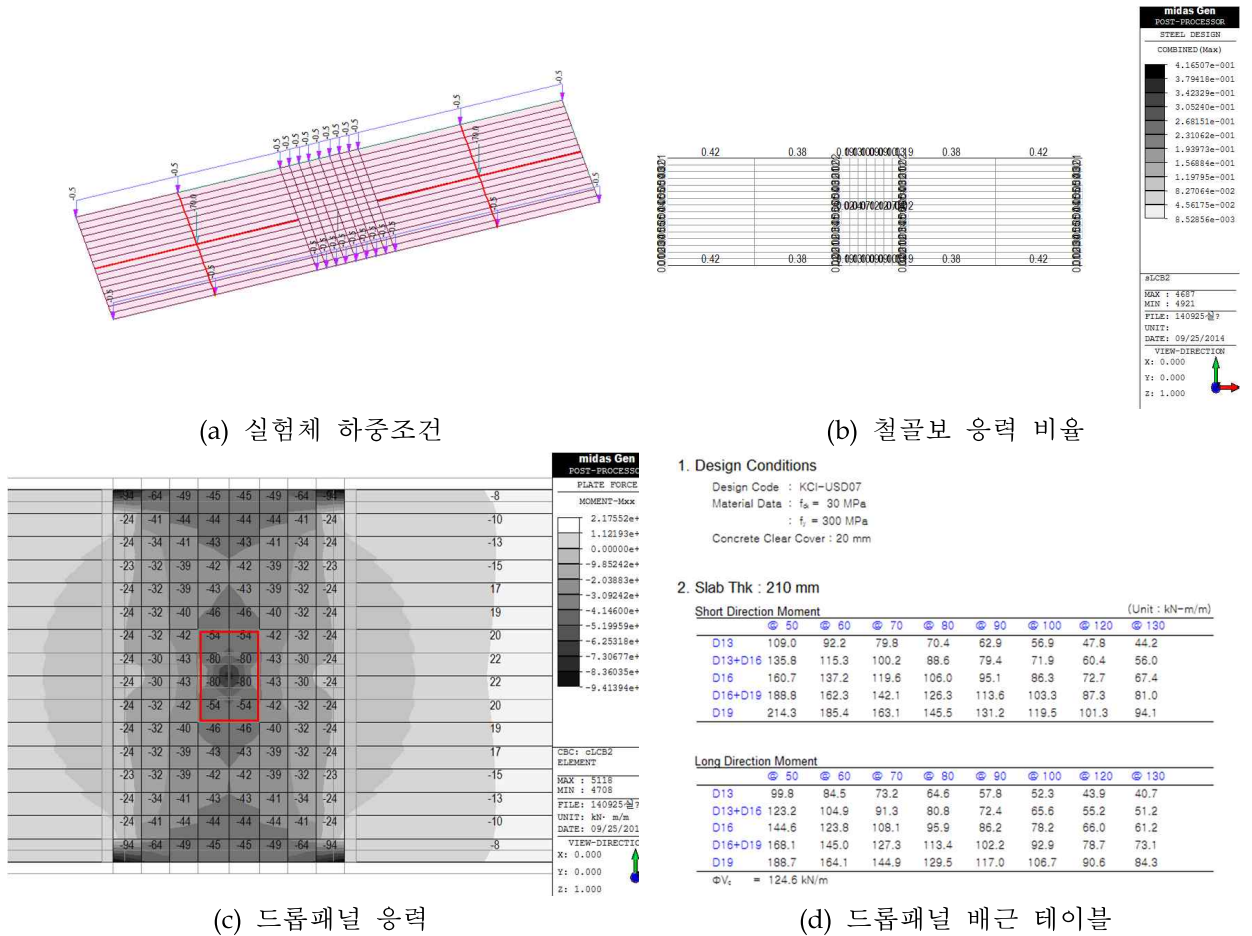


그림 3.4 철골 DBS (실험체 설계) 해석결과

3.2 실험 계획

3.2.1 사용 재료

드롭패널의 철근비에 따른 철골철근콘크리트 구조 부재의 휨 성능을 평가하기 위하여 표 3.5에 나타난 바와 같이 배합강도가 30MPa인 콘크리트를 사용하였다. 콘크리트 배합에 사용된 시멘트는 포틀랜드 시멘트 1종과 고로슬래그 시멘트 2종이며, 굵은 골재의 최대치수는 25mm이다. 콘크리트의 압축강도 특성을 알아보기 위하여 ϕ 100x200mm 크기의 원형 실린더형 공시체를 총 18개 제작하였으며, 공시체의 양생은 부재와 동일한 조건으로 하였다. 그림 3.5에 실험체의 타설 과정을 나타내었다.

콘크리트의 압축강도 시험은 실험체 파괴 일에 맞추어 실험 전과 후에 압축강도 시험을 실시하였으며, 그 결과 콘크리트의 압축강도는 31.5MPa를 나타내었다. 그림 3.6(a)에 콘크리트의 응력-변형률 관계를 나타내었다. 콘크리트의 응력에 따른 변형률

은 압축강도 테스트 시 콘크리트 공시체에 부착한 종방향과 횡방향의 스트레인 게이지로부터 측정한 결과를 나타낸 것이다.

실험에 사용된 철근으로 인장철근, 압축철근 및 전단보강근에는 SD300 등급의 D13, D10 철근을 사용하였다. 인장시험 결과 D13 철근은 항복강도 385.3MPa, 탄성계수 188GPa를 나타내었으며, D10 철근은 항복강도 353.2MPa, 190GPa를 나타내었다. 사용된 철근의 응력-변형률 관계는 그림 3.6(b)에 나타내었으며, 역학적 특성은 표 3.6에 나타내었다.

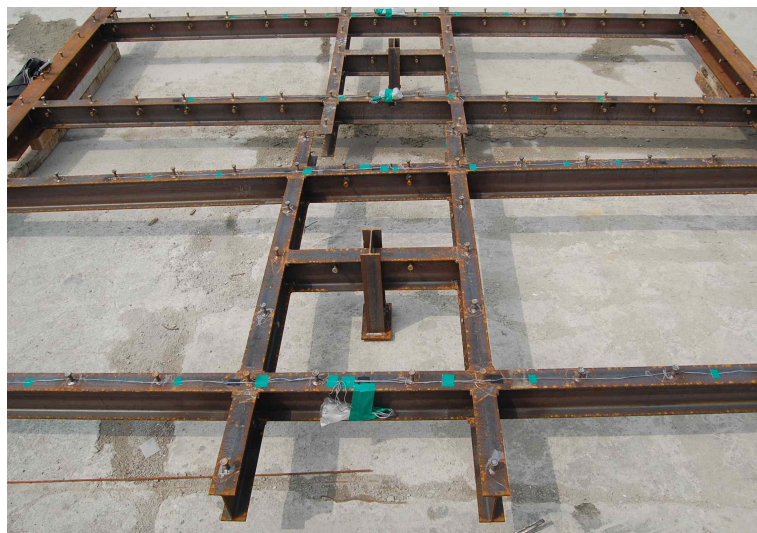
표 3.5 콘크리트 배합설계표

| 배합 강도 (MPa) | W/B (%) | S/a (%) | G_{max} (mm) | Slump (mm) | 단위용적중량 (kg/m^3) | | | | | | |
|-------------------|------------|------------|-------------------|---------------|---------------------|--------|-----------|--------|------|--------|--------|
| | | | | | Water | Cement | Aggregate | | FA * | BFS ** | AD *** |
| | | | | | | | Fine | Coarse | | | |
| 30 | 45.6 | 48.2 | 20 | 150 | 164 | 293 | 831 | 928 | 39.4 | 54 | 2.7 |

* 플라이애쉬

** 고로슬래그 미분말

*** 고성능 감수제



(a) 철골 보 게이지 작업

그림 3.5 실험체 타설 과정



(b) 공시체 제작



(c) 실험체 타설



(d) 타설 완료

그림 3.5 실험체 타설 과정(계속)

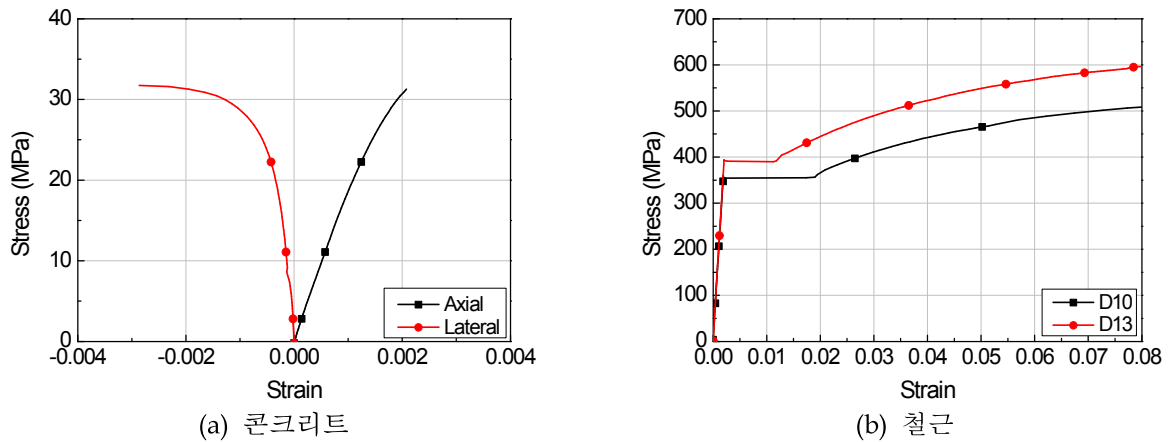


그림 3.6 사용재료의 응력-변형률 관계

표 3.6 철근 상세 및 역학적 특성

| 실험체 | 철근종류 | 용도 | 단면적 (mm ²) | 항복강도 (MPa) | 인장강도 (MPa) | 항복변형률 | 탄성계수 (GPa) |
|------------|------|-------------|---------------------------|---------------|---------------|---------|---------------|
| S DBS-1, 2 | D13 | 인장철근 | 126.7 | 385.3 | 601.1 | 0.00205 | 188 |
| | D10 | 압축 및 슬래브 철근 | 71.3 | 353.2 | 536.6 | 0.00186 | 190 |

표 3.7 실험체 일람표

| 실험체 | 실험체 크기 (mm) | | | | | 실험체 배근 | | 비 고 |
|---------|--------------|------|-----|-----|-----|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------|
| | 철골보 | 드롭패널 | | | | | | |
| | | b | h | d | 길이 | 드롭패널 | 슬래브 | |
| S DBS-1 | H-150×75×5×7 | 1200 | 210 | 170 | 750 | D13@130mm $f_y = 385.3\text{MPa}$ | D10@300mm $f_y = 353.2\text{MPa}$ | 기본 실험체 |
| S DBS-2 | | | | | | D13@190mm $f_y = 385.3\text{MPa}$ | D10@300mm $f_y = 353.2\text{MPa}$ | 드롭패널 비교 실험체 |

$$f_{ck} = 30\text{MPa}$$

3.2.2 실험체 계획

드롭패널을 활용한 장스팬 철골철근콘크리트 보 실험체의 구조 성능을 평가하기 위하여 표 3.7에 나타난 바와 같이 총 2체의 실험체를 계획하였다. 실험변수는 #형 접합 부의 철근비로 하였으며, 실험체 배근 상세를 그림 3.7~3.8에 나타내었다.

표 3.7의 실험체명에서 S DBS-1은 기본 실험체를 의미하며, S DBS-2는 드롭패널의 철근량 감소에 따른 영향을 알아보기로 드롭패널의 철근량을 약 30% 감소시킨 실험체를 의미한다. 그림 3.7~3.8에 나타내었듯이 실험체는 2경간 연속보로 길이는 4,800mm

이다. 철골보에는 SM490 재질의 H-150X75X5X7을 이용하여 계획하였으며, 실험체의 연속부인 기둥 주변에 1200x750x210mm 크기의 드롭패널을 갖도록 하였다. 실험체의 드롭패널 인장철근과 압축철근은 SD300 등급의 D13과 D10을 이용하여 배근하였다. 드롭패널의 인장철근비는 기본 실험체인 S DBS-1이 0.0057를, 비교 실험체인 S DBS-2는 0.0039를 갖는다. 모든 실험체는 휨 파괴가 선행하도록 계획하였으며, 하중에 따른 철근의 변형률을 계측하기 위하여 철골보의 상·하부 플랜지 및 드롭패널의 인장철근에 스트레인 게이지를 부착하였다.

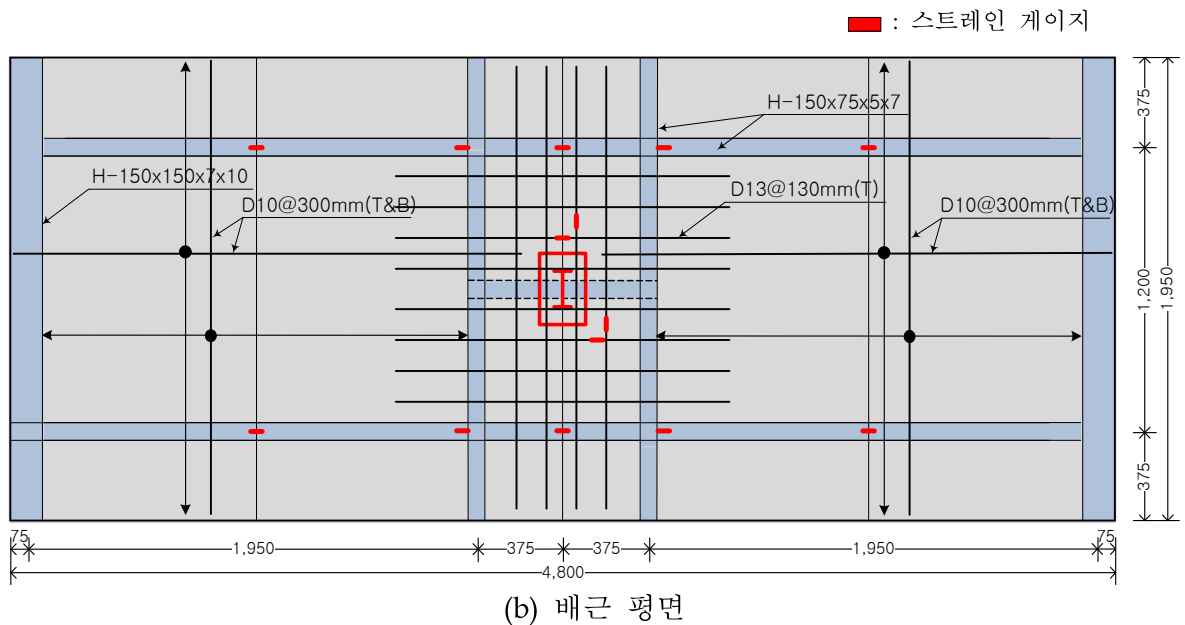
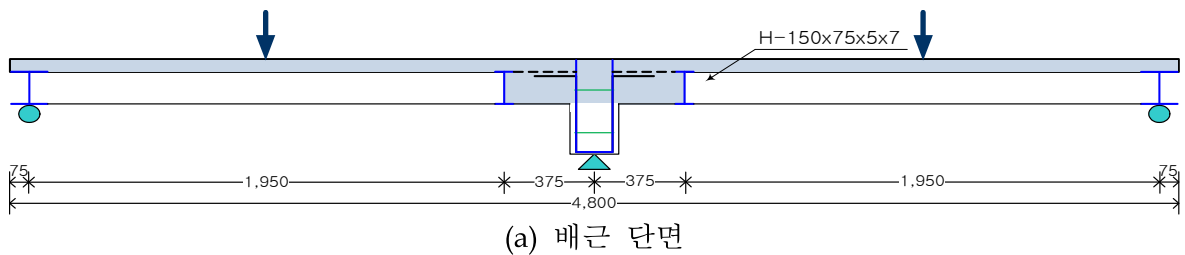


그림 3.7 S DBS-1 배근 상세

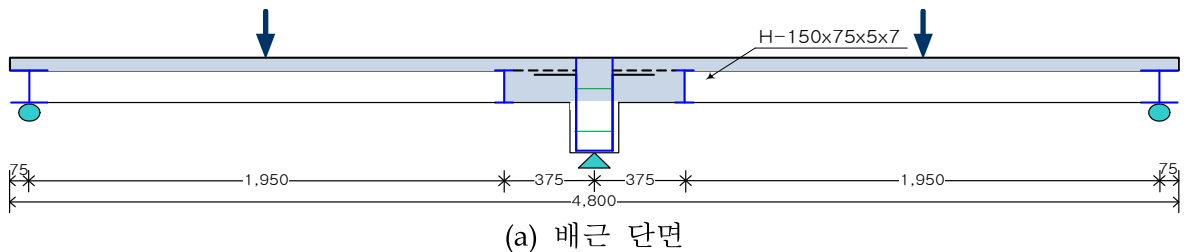


그림 3.8 S DBS-2 배근 상세

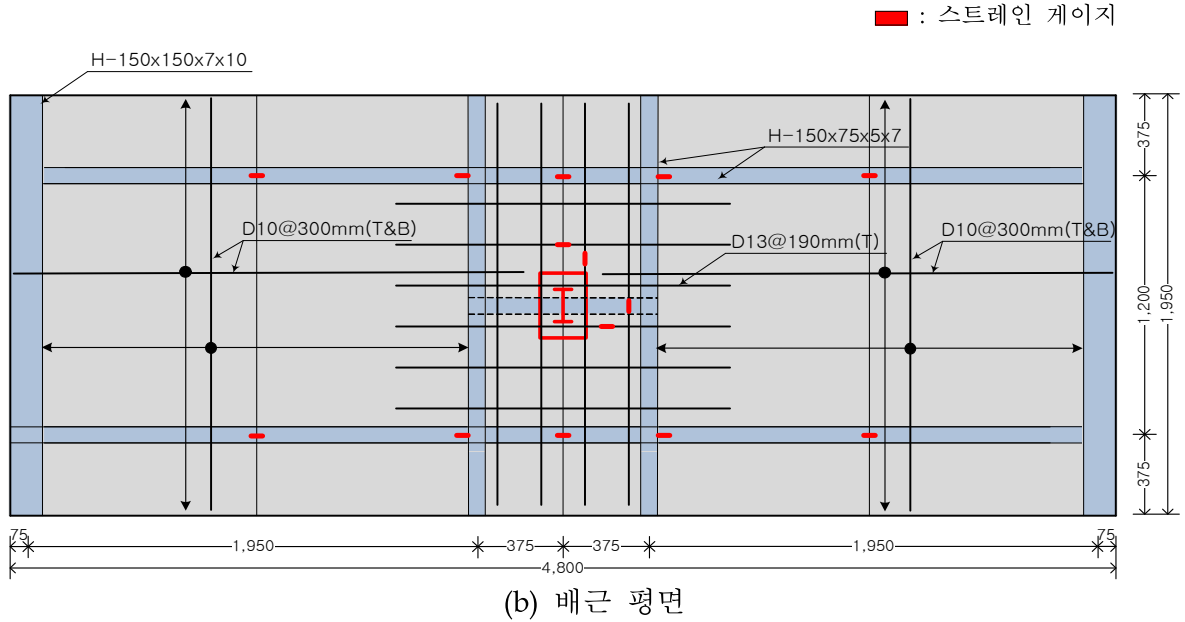


그림 3.8 S DBS-2 배근 상세(계속)

3.2.3 실험방법

실험체 가력방법은 그림 3.9와 그림 3.10에 나타낸 바와 같이 1,000kN 용량의 유압 잭을 이용하여 가력하였다. 가력은 실험체 항복 시까지는 하중제어 방법으로 하였으며, 항복 이후에는 변위제어 방법으로 최대하중의 85% 이하로 내력이 감소할 때까지 지속적으로 가력하였다. 실험체의 최대 변형이 발생하는 위치인 실험체 중앙부 하단에 LVDT를 설치하여 하중에 따른 처짐량을 계측하였다. 또한, 모든 실험체에는 드롭패널의 강성의 차이에 따른 처짐을 계측하기 위하여 드롭패널 주위에 LVDT를 설치하였으며, 드롭패널의 영향에 기인한 보의 처짐을 비교하고자 1/4 지점에서도 그림 3.10과 같이 LVDT를 설치하였다.

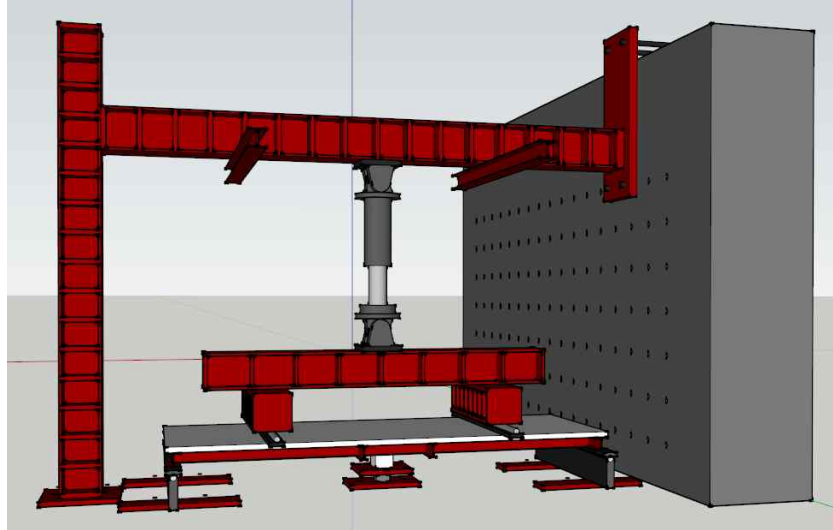


그림 3.9 실험체 세팅 현황



그림 3.10 실험체 실험 전경

3.3 실험결과 및 분석

3.3.1 하중-처짐 관계

그림 3.11은 각 실험체의 하중-처짐 관계를, 표 3.8에는 실험결과를 나타내었다. 하중-처짐 관계에서의 처짐은 최대 처짐이 발생한 경간의 중앙부 하단에 설치한 LVDT를 이용하여 나타내었다. 표 3.8에서 실험체의 항복하중은 연성의 정의에서 사용되는 방법을 이용하였다. 그림 3.12와 같은 방법으로 항복하중은 최대내력의 75%의 기울기와 최대내력 선을 교차시켜 만나는 점을 항복변위로 하였다. 모든 실험체는 그림 3.11과

같이 드롭패널의 철근량에 관계없이 철골 보의 휨 항복 이후 연성적인 휨 거동을 나타내었다.

그림 3.11에 나타나듯이 기본 실험체인 S DBS-1은 철골 보 하부 플랜지 항복 시 하중과 처짐은 370.5 kN과 5.6 mm로 나타났으며, 드롭패널의 철근비가 약 30% 감소한 S DBS-2는 각각 377.5 kN과 5.3 mm를 나타내었다. 실험체 항복시 하중과 변위는 S DBS-1이 691.5 kN과 18.21mm를 나타내었으며, S DBS-2는 각각 708.5kN과 18.35 mm를 나타내었다. 최대 내력 시에는 S DBS-1이 하중과 처짐을 각각 821.5 kN과 57.63 mm를, S DBS-2는 각각 863.0 kN과 67.9 mm를 나타내었다. 드롭패널의 철근비가 감소함에 따라 플랜지 항복시 처짐은 약 5% 감소를 나타내었으며, 실험체 항복시와 최대 내력 시에는 각각 1%와 18%의 변위 증가를 나타내었으나 이는 실험적 오차에 기인한 결과로 판단된다.

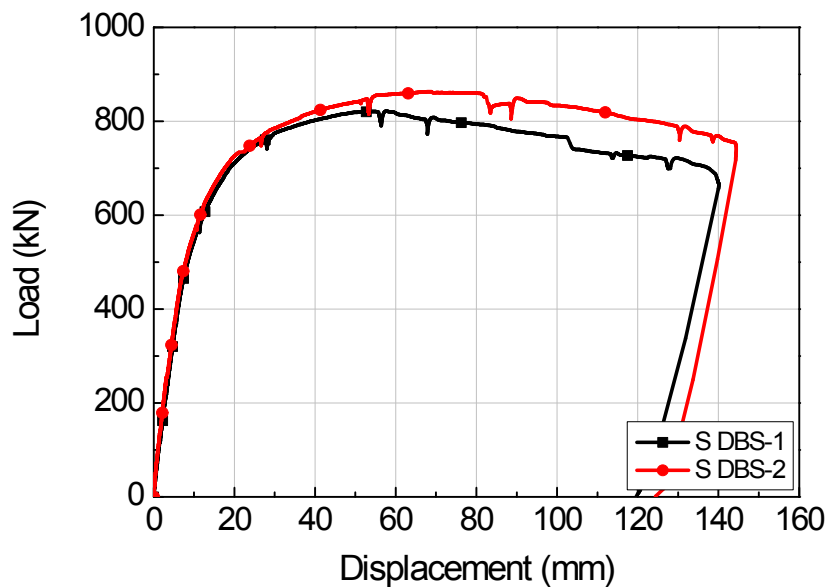


그림 3.11 실험체의 하중-처짐 관계

표 3.8 실험결과

| 실험체명 | P_f (kN) | Δ_f (mm) | $0.6P_y$ (kN) | $0.6\Delta_y$ (mm) | P_y (kN) | Δ_y (mm) | P_{peak} (kN) | Δ_{peak} (mm) | S DBS-2 / S DBS-1 | | | |
|---------|---------------|--------------------|------------------|-----------------------|---------------|--------------------|--------------------|-------------------------|-------------------|---------------|------------|-----------------|
| | | | | | | | | | Δ_f | $0.6\Delta_y$ | Δ_y | Δ_{peak} |
| S DBS-1 | 370.5 | 5.56 | 414.9 | 6.34 | 691.5 | 18.21 | 821.5 | 57.63 | - | - | - | - |
| S DBS-2 | 377.5 | 5.30 | 425.1 | 6.09 | 708.5 | 18.35 | 863.0 | 67.90 | 0.95 | 0.96 | 1.01 | 1.18 |

* P_f : 플랜지 항복변형률에 도달한 시점

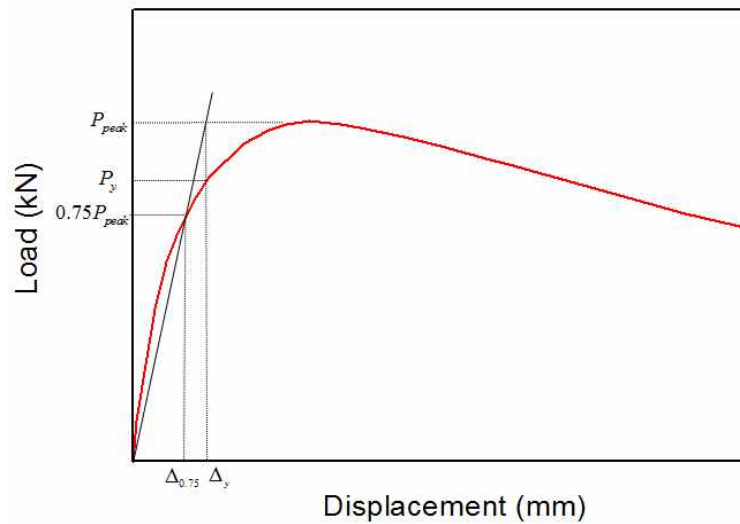


그림 3.12 실험체의 항복하중 산정방법



(a) S DBS-1 실험체

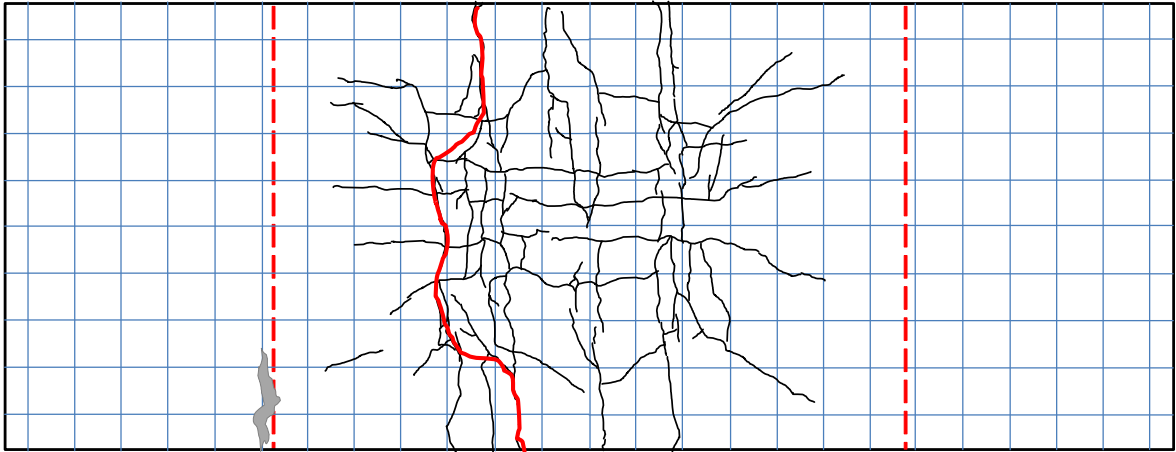


(b) S DBS-2 실험체

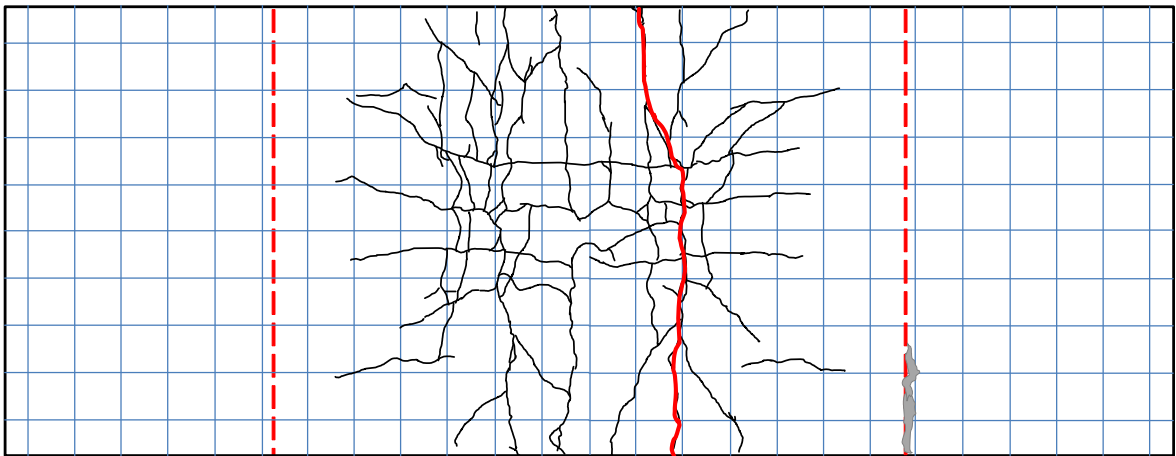
그림 3.13 실험체의 최종 균열 양상(단면)

3.3.2 균열 및 파괴양상

실험 종료 후의 균열 및 파괴 양상은 그림 3.13~3.14에 나타내었다. 모든 실험체는 가력 초기 슬래브 상부면에서 휨 균열이 발생하였으며, 하중이 증가함에 따라 균열은 가력 지점으로 진전되면서 성장하였다. 균열은 철골 보의 하부 플랜지가 항복함에 따라 크게 성장하였으며, 최종적으로는 철골 보의 좌굴과 함께 슬래브 콘크리트의 압괴가 나타나 내력이 저하되는 양상을 보였다. 드롭패널 내부의 균열은 그림 3.13와 3.14에서 볼 수 있듯이 드롭패널의 강성에 따른 차이는 발견되지 않았으며, 하중이 증가함에 따라 중앙부 지점인 기둥의 면을 따라 방사 형태로 진전되는 양상을 나타내었다.



(a) S DBS-1 실험체



(b) RC DBS-2 실험체

그림 3.14 실험체의 최종 균열 양상(평면)

3.3.3 사용하중상태에서의 처짐 비교

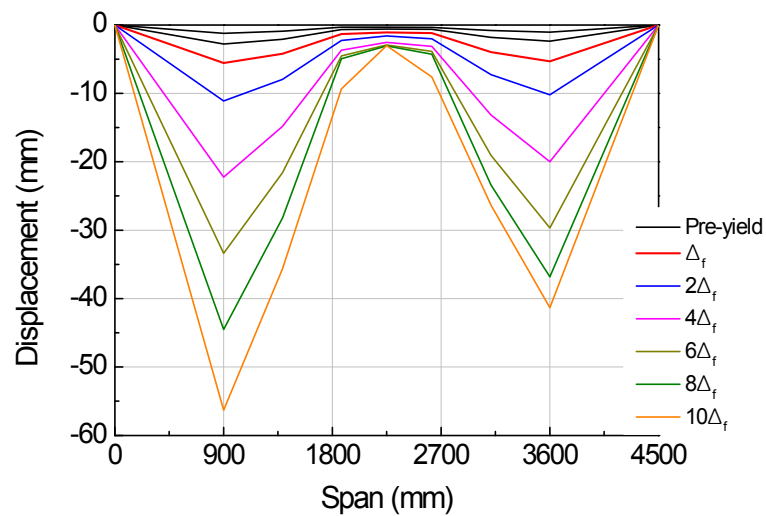
각 실험체의 사용하중상태에서의 처짐은 그림 3.11과 표 3.8에 나타내었다. 사용하중상태의 하중은 각 실험체의 항복시 하중의 60%를 사용하중으로 보았으며, 그 때의 처짐을 사용하중상태의 처짐으로 산정하였다. 처짐은 보 중앙부 하단에 설치한 LVDT의 계측값을 이용한 것으로 최대 처짐이 발생한 파괴면을 기준으로 하였다.

표 3.8에 나타낸 바와 같이 기본 실험체인 S DBS-1은 사용하중상태의 하중과 처짐이 각각 414.9kN과 6.34mm를 나타내었다. 드롭패널의 철근량이 약 30% 감소한 S DBS-2는 사용하중상태의 하중과 처짐이 425.1kN과 6.09mm로 나타나 기본 실험체인 S DBS-1에 비하여 하중은 2.5% 증가를, 처짐은 4% 감소하는 경향을 보였다. 하지만 그 차이는 미미하며 실험적 오차를 감안한다면 드롭패널의 강성 차이에 따른 사용하중상

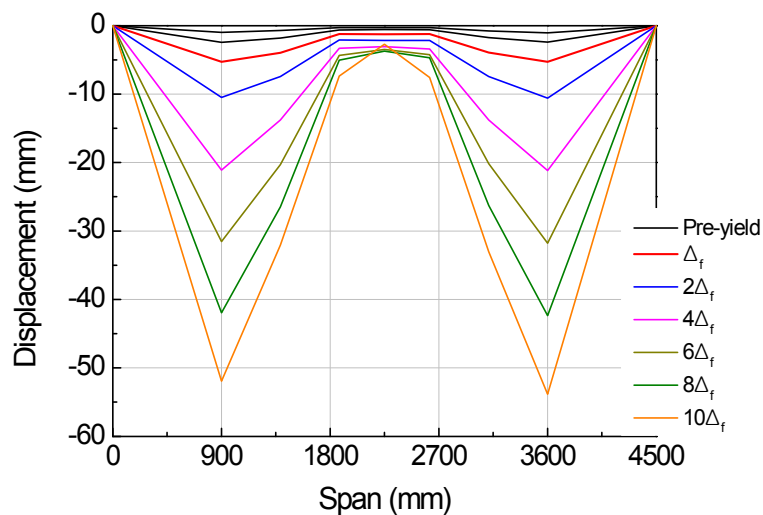
태에서의 처짐 차이는 나타나지 않았다.

3.3.4 처짐 분포

그림 3.15는 각 실험체의 처짐 분포를 나타낸 것이다. 그림 3.15에서 처짐은 철골 보의 중앙부 하단과 철골 보의 1/4 지점 및 드롭패널 지점 하단에 설치한 LVDT에 의하여 계측된 수치를 이용하여 나타내었다. 그림 3.15에서의 Δ_f 는 철골 보 중앙부 위치의 하부 플랜지 항복시 변위를 의미하며, 항복 이전과 항복 이후에는 $2\Delta_f$ 간격으로 나타내었다.



(a) S DBS-1 실험체



(b) S DBS-2 실험체

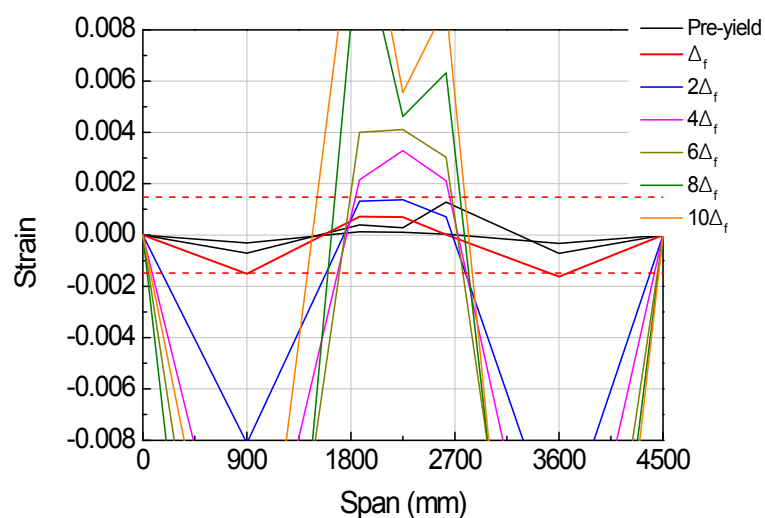
그림 3.15 각 실험체의 처짐 분포

그림 3.15에 나타나듯이 철골 보 중앙부의 위치에서 계측한 처짐은 하중이 증가함에 따라 증대되는 양상을 나타내었다. 드롭패널과 철골 보가 만나는 변단면 위치에서의 처짐은 플랜지의 항복시를 기준으로 항복 이전에는 증가 폭이 거의 미미하였으나 항복 이후에는 증가의 폭이 크게 증가하는 결과를 나타내었다. 기본 실험체인 S DBS-1은 하부 플랜지 항복 이후의 처짐 증가비가 평균적으로 1.64를 나타내었으며, S DBS-2는 1.65를 나타내어 거의 유사한 증가비를 보였다.

3.3.5 변형률 분포

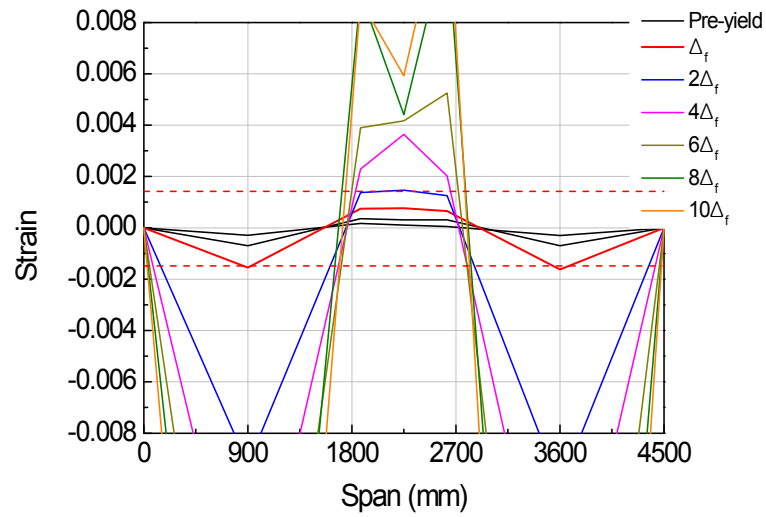
그림 3.16에 각 실험체의 변형률 분포를 나타내었다. 그림 3.16에서 주철근의 변형률은 철골 보의 중앙부와 드롭패널 중앙부 및 단면이 변하는 구간의 플랜지 상·하부에 부착한 게이지를 이용하여 나타내었다. 그림 3.16에서 900mm와 3,600mm는 보의 중앙부를 의미하며, 드롭패널은 1,875~2,625mm 구간에 위치한다.

모든 실험체에서 공통적으로 가력지점에 위치한 철골 보의 하부 플랜지는 항복 변형률에 도달하였으며, 드롭패널 위치의 상부 플랜지 또한, 항복 변형률에 도달하였다. 드롭패널의 강성 차이에 관계없이 S DBS-1과 S DBS-2 실험체 모두 철골 보의 하부 플랜지가 항복 변형률에 도달할 때에는 드롭패널의 내부 변형률 분포가 거의 완만한 경사를 보이는 분포를 나타내었으며, 항복 이후에는 유사한 형태의 변형률 분포를 보였다.



(a) S DBS-1 실험체

그림 3.16 각 실험체의 변형률 분포



(b) S DBS-2 실험체

그림 3.16 각 실험체의 변형률 분포(계속)

3.4 소결

드롭패널의 철근비에 따른 철골철근콘크리트 구조 부재의 휨 성능을 평가하기 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 드롭패널의 철근비에 관계없이 S DBS-1 실험체는 비교 실험체인 S DBS-2와 유사한 휨 거동을 나타내었으며, 파괴양상 또한 유사한 것으로 나타났다.
- (2) 드롭패널의 철근량이 약 30% 감소한 S DBS-2는 기본 실험체인 S DBS-1에 비하여 사용하중상태에서 하중은 2.5% 증가를, 처짐은 4% 감소하는 결과를 나타내었으나 드롭패널 강성에 따른 거동 차이는 나타나지 않았다.
- (3) S DBS-2는 기본 실험체인 S DBS-1와 유사한 처짐 분포 및 변형률 분포를 나타내어 드롭패널의 철근비를 약 30% 적게 배근한 실험체에서도 유사한 휨 성능을 나타내었으나, 보다 합리적인 철근비 산정을 위해서는 다양한 변수를 활용한 분석과 추가적인 실험 및 검토가 요구된다고 판단된다.

제 4 장 결론

드롭패널의 철근비에 따른 철근콘크리트 구조 부재의 휨 성능을 평가하기 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 드롭패널의 철근비에 관계없이 RC DBS-1 실험체는 비교 실험체인 RC DBS-2 및 RC DBS-4와 유사한 휨 거동을 나타내었으며, 휨 강도 또한 유사하게 나타났다.
- (2) 사용하중상태에서의 휨 강성은 드롭패널의 철근비에 관계없이 유사하게 나타났으며, 드롭패널의 철근비가 약 40% 높은 RC DBS-2 실험체에 비하여 기본 실험체인 RC DBS-1에서 높은 연성능력을 나타내었다.
- (3) 현재 설계방법으로 제작된 기본 실험체인 RC DBS-1의 파괴양상과 연성적인 거동을 고려한다면 내진 거동과 같은 횡력저항시스템에서 강성이 급격히 변하는 연결부위의 파괴가 집중되는 측면에 있어 합리적인 설계가 되고 있다고 판단된다. 또한, RC DBS-4와 RC DBS-1의 휨 거동이 유사하게 나타나 적절한 철근비 산정을 위하여 보다 다양한 변수를 대상으로 한 사례연구가 필요하다 판단된다.
- (4) 해석적 검증을 위하여 유한요소해석 프로그램을 이용하여 드롭패널 강성 차이에 따른 휨 거동을 예측한 결과, 실험결과와 비교적 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

드롭패널의 철근비에 따른 철골철근콘크리트 구조 부재의 휨 성능을 평가하기 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다

- (5) 드롭패널의 철근비에 관계없이 S DBS-1 실험체는 비교 실험체인 S DBS-2와 유사한 휨 거동을 나타내었으며, 파괴양상 또한 유사한 것으로 나타났다.
- (6) 드롭패널의 철근량이 약 30% 감소한 S DBS-2는 기본 실험체인 S DBS-1에 비하여 사용하중상태에서 하중은 2.5% 증가를, 처짐은 4% 감소하는 결과를 나타내었으나 드롭패널 강성에 따른 거동 차이는 나타나지 않았다.
- (7) S DBS-2는 기본 실험체인 S DBS-1과 유사한 처짐 분포 및 변형률 분포를 나타내

어 드롭패널의 철근비를 약 30% 적게 배근한 실험체에서도 유사한 휨 성능을 나타내었으나, 보다 합리적인 철근비 산정을 위해서는 다양한 변수를 활용한 분석과 추가적인 실험 및 검토가 요구된다고 판단된다.

- (8) 실험체 계획 단계에서 수행한 해석결과와 비교하여 실험결과의 내력은 해석결과보다 약 2배에 가까운 수치를 보였는데 이는 드롭패널을 감싸고 있는 철골보의 상부 플랜지가 인장력 부담에 기여를 한 결과로 판단된다.

참고문헌

1. 대한건축학회, “건축구조기준 및 해설”, 기문당, 2011, 1039pp.
2. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-11) and Commentary," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 2011, 503pp.
3. 한국콘크리트학회, “콘크리트구조설계기준”, 기문당, 2012, 599pp.
4. 한국강구조학회, “강구조설계(개정판)”, 구미서관, 2011, 356pp.
5. 이정운, “철근콘크리트구조”, 동화기술, 2011, 751pp.
6. 한국표준협회, “콘크리트 강도 시험용 공시체 제작 방법(KS F 2403)”, 한국표준협회, 2010, 8pp.
7. 한국표준협회, “콘크리트 압축 강도 시험방법(KS F 2405)”, 한국표준협회, 2010, 6pp.
8. 한국표준협회, “금속 재료 인장 시험편(KS B 0801)”, 한국표준협회, 2007, 13pp.
9. 한국표준협회, “금속 재료 인장 시험 방법(KS B 0802)”, 한국표준협회, 2003, 7pp.
10. 여영호, 정광양, “초고층 건축물 : 기술의 발전과 사회적 의미 : 특집을 기획하며”, 대한건축학회 학회지, 제50권, 제4호, 2006, pp. 11.