산학연협력 기업부설연구소 지원사업
최종보고서

2014. 9 . .

㈜바로건설기술

『산학연협력 기업부설연구소 지원사업』
최 종 보 고 서

과 제 명	#형 접합부를 활용한 장스팬 철근콘크리트 보 개발		
주 관 기 관	㈜바로건설기술	대 표 자	김 광 만
		과 제 책 임 자	김 광 만
공 동 개 발 기 관	성균관대학교산학협력단		
총 개 발 기 간	2012. 6. 1. ~ 2014. 5. 31 (24 개월)		
해 당 연 도 개 발 기 간	2013. 6. 1. ~ 2014. 5. 31 (12 개월)		

산학연협력 기업부설연구소 지원사업 관리지침에 의하여 최종보고서를 제출합니다.

2014 년 6월 30일

주관기관명 : ㈜바로건설기술
과제책임자 : 김 광 만 (인)

공동개발기관명 : 성균관대학교산학협력단
공동책임자 : 이 정 윤 (인)

서울지방중소기업청장 귀하
(사)한국산학연협회장 귀하

목 차

제 1 장 서론

제 1 절 기술개발의 개요

1.1 기술개발의 개요 및 필요성

1.1.1 기술개발의 개요

□ #형 접합부를 활용한 장스팬 철근콘크리트 보

: #형 접합부를 이루는 철근콘크리트 내부에 기둥이 안치되는 구조형식으로 구조경간은 #형 접합부 간의 거리로 기중주변에 발생되는 부모멘트의 크기를 현저히 감소시켜 처짐을 현저하게 제어하여 부재치수를 획기적으로 감소시켜 층고절감은 물론 기둥간격을 13~15m 유지하게 하여 공간의 활용 극대화

1.1.2 기술개발의 필요성

□ 기술적 중요성 및 필요성

• 건설 시장의 다변화

: 기존 공법의 합리화를 위해서는 건설 공기의 단축, 시공 기술의 합리화 등이 있으며 이 중에서 "합리적인 장스팬(long-span) 구조의 개발"은 공비 절감과 공간의 효율적인 활용을 위하여 건설 공법 개선을 위한 주요 분야의 하나가 될 것으로 전망됨(대한전문건설협회, 코스카저널, 2011년 11월)

• 장스팬 구조물의 요구 증대

: 구조물의 초고층화, 초대형화로 인하여 구조부재의 초장스팬화가 요망되며 이를 위한 신재료 개발 및 최첨단 구조공학기술의 응용이 요구됨(초고층건축물 : 기술의 발전과 사회적 의미, 대한건축학회지, 2008)

: 근래 전시시설, 다중 판매시설, 일반 오피스 건물들도 13m 정도의 장스팬에 대한 요구가 늘어나고 있음(매일경제, 2011년 2월)

: 공기단축 및 장스팬 구조의 실현을 위해 PC 복합화 공법, 강-콘크리트 복합구조시스템 개발이 본격적으로 추진(대림기술정보, 2009)되고 있으나 공사비 증가로 장스팬에 대한 요구에 비해 실제 이루어지는 경우는 많지 않은 실정

표 1.1.1 장스팬 구조의 특성 및 문제점

부재	철골조, 포스트 텐션닝(post tensioning), 또는 PC 합성보	철근콘크리트조
특성	- 13~15m의 장스팬이 가능함. - 단면의 크기가 작고 효율적인 시공이 가능함.	- 적정 스팬은 7~9m 정도임. - 현장타설 콘크리트를 사용하므로 경제적임
문제점	- 비경제적이어서 많이 활용되고 있지 않음. - 포스트 텐션닝의 경우는 기술력이 필요함	- 13~15m의 장스팬을 위해서는 단면의 크기가 커저 현실적으로 공사가 어려움. - 현실화를 위한 특수 공법 개발 요구

□ 경제, 산업적 중요성 및 필요성

- 기존 국내 건설산업의 해외진출은 단순시공 분야를 중심으로 이루어지고 있으며, 기술집약적 고수익 분야인 핵심엔지니어링 해외진출은 거의 전무한 상태에서 국내 시장마저 해외기술에 의존하고 있는 실정(조선일보, 이커너미 플러스, 2011년 11월)

  : 대학의 연구환경과 연구인프라를 활용한 구조성능 평가설계 기술확보

  : 이를 통한 구조설계 핵심기술 개발 및 핵심 요소기술 수축을 통한 건설시장 경쟁력 강화

- 국내 ○○ 초고층 프로젝트에 소요된 분야별 용역비 내역을 살펴보면, 총 용역비의 약 83%에 해당하는 기술료를 해외에 지불하고 있을 만큼 기술 자립이 취약한 분야(건설기술쌍용, 2011 WINTER)

  : 기업의 취약 부분인 설계 및 구조분야의 경쟁력 강화를 위한 대학과의 공동연구를 통해 초고층, 장경간 핵심기술 개발

표 1.1.2 △△초고층, 장스팬 프로젝트 건설공사 분야별 용역비 내용(건설기술쌍용, 2011 WINTER)

구분	용역분야 및 항목수(건)					금액 (억원)
	설계/구조	재료/시공	기계/설비	에너지/친환경	계	
해외	8	4	5	4	21	350
국내	5	6	2	2	15	74
총계	13	10	7	6	36	424

- 우리나라 건설산업이 고수익을 창출하는 국가주력산업으로 발전하기 위해서는 기술집약적 고수익 엔지니어링 분야로의 패러다임 전환이 필수적이며, 친환경 저에너지의 지속가능형 초고층 건축물 설계시 건축물의 안전성, 사용성, 경제성 등을 최적화 할 수 있는 엔지니어링 기술 및 프로세스 개발이 시급(한국건설산업연구원, 건설산업의 환경변화와 수요전망, 2009)

- 기존의 장스팬 건축구조는 복합부재 공법으로 기둥은 RC 형식에 보를 철골조로 구성하여 일체화한 방식으로 시공 및 공사비의 증가로 이어져 시공실적이 저조하기에 철근콘크리트 골조에 바로 적용 가능한 구조시스템 개발을 통한 경제적 구조형식 제안이 시급

1.2 기술개발의 예상효과 및 활용방안

1.2.1 장스팬 구조물에 적용

□ 전시시설, 다중 판매시설, 일반 오피스 건물, 창고 시설 등과 같이 13m 이상의 장스팬 구조물에 개발된 "#형 접합부를 활용한 장스팬 철근콘크리트 보"를 적용할 수 있음.

□ 개발된 제품은 현장타설 콘크리트를 이용하므로 기존의 철골조, 포스트 테션잉 부재, PC합성보와 같은 장스팬 구조보다 경제적으로 시공이 가능함.

□ 지하수평부재와 같은 수평 하중이 크게 작용하는 구조물에 적용 가능함. 제안된 공법은 부재의 수평 강성을 #형 접합부를 이용하여 향상시킨 구조로써 지하수평부재와 같이 토압에 의한 수평하중이 크게 작용하는 구조물에 적용이 가능함.

1.2.2 기술적 예상 효과 및 활용

□ 장스팬 구조물의 구조설계 기술의 향상 : 현재 일반적으로 사용되고 있는 장스팬 부재 설계 공법은 기술력이 요구되거나 공사비가 높은 단점이 있음. 개발된 공법에서는 수평부재의 강성을 증대시켜 수직부재 간의 간격을 넓게함으로써 장스팬 부재 설계 기술을 향상시킬 것임.

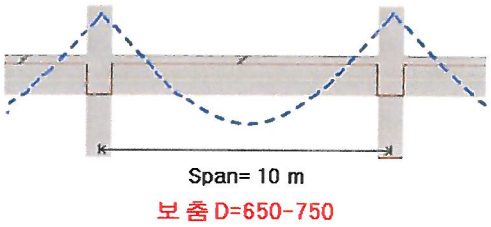
□ 장스팬 구조물의 최적 구조설계 : 해석과 실험을 통한 구조안전성을 평가하여 장스팬

부재 설계 공법의 최적 구조 설계가 가능함.

□ 효율적인 부재단면 활용으로 재료비용 절감 : 장스팬 부재를 복합재료로 제작하며 단면의 형상을 횡하중에 강하도록 설계함으로써 기존공법에 비하여 재료비용을 대폭 절감할 수 있음.

1.2.3 경제적 예상 효과 및 활용

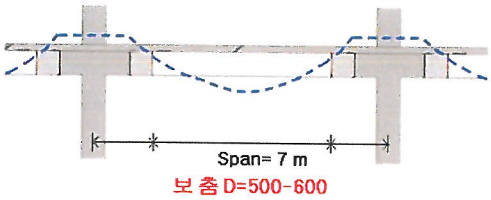
□ 공사비용 절감 : 현장타설 콘크리트를 사용함으로써 공사비용 절감 (설계비에 대한 비교에 의하면 개발 예정인 "#형 접합부를 활용한 장스팬 철근콘크리트 보"는 기존 장스팬 구조에 비하여 약 20% 정도의 비용 절감이 예상)



<기존 철골 장경간 구조시스템>

- 30%의 보 춤 절감 및 물량 감소
- 층고 감소에 따른 층수 증가
  =>분양면적증가(20개층 당 1개층)
- 지하공사시 흙막이 및 터파기 감소
- 구조부재 슬림화에 따른 중량 감소로 설계하중 저감 => 구조 물량 감소

⇒ **기존 구조 대비 20% 비용절감**



<제안 #형 접합부의 장스팬 구조>

그림 1.1.1 보 춤 절감효과 및 구조형식 변경을 통한 비용절감

□ 건물의 유지관리 비용 절감 : #형 접합 부위의 연속성 및 일체화 성능이 우수하여 내구성이 향상되고 이로 인하여 건물의 유지관리 비용 절감

□ 장스팬 부재 구조설계기술의 수입 대체효과 : 장스팬 부재 구조설계기술의 확보로 외국으로 지불되는 기술도입료에 대한 대체효과는 물론이고 우리나라 구조설계 기술력의 제고로 해외수주에도 많은 효과가 기대됨.

제 2 절 관련기술 현황

2.1 국내 관련기술 현황

2.1.1 장스팬 복합구조시스템 : 철골조의 문제점을 보완한 복합구조 시스템

□ S-SRC Bar

: 철골보의 깊이를 줄이기 위해 철골보 상부 플랜지에 슬래브 중간에 위치한 철골보를 보완한 공법

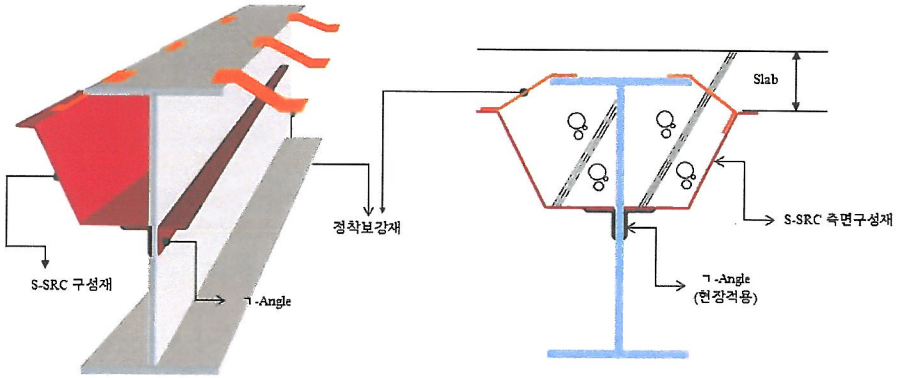
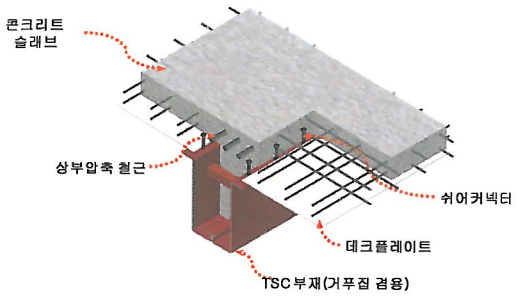


그림 1.2.1 S-SRC Bar (출처 : 한국건설신기술협회자료집, 2011)

□ TSC 공법

: 상부개방형(ㅗ) 강판 내부를 콘크리트로 채우고 슬래브와 일체화시킨 중력하중 저항 T형 합성보 공법

: 철골의 가장 큰 문제인 휨강성 문제를 콘크리트와 합성구조로 풀어서 해결한 공법



<TSC 공법의 개념>

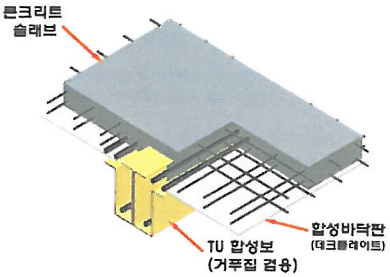
<TSC 공법 적용 예>

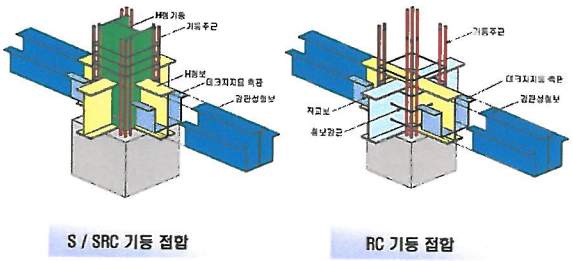
그림 1.2.2 TSC 공법 (출처 : 한국건설신기술협회자료집, 2011)

□ 층고절감형 TU 합성보 공법

: 거더의 중안부만 강판의 합성보를 이용하여 보 춤을 절감

: 슬래브 데크를 옆 플랜지에 위치하게 하여 보의 깊이를 줄인 공법





<TU 합성보의 개념> <TU 합성보의 적용 예>

그림 1.2.3 층고절감형 TU 합성보 (출처 : 한국건설기술연구원 기술자료집, 2011)

□ EPC (ECO-Prestressed PC Beam)공법

: 콘크리트 보에는 프리스트레스를 도입하여 균열이 없는 PC 보

: 보의 양 단부만 철골기둥과의 접합을 위해 철골로 구성한 공법

<EPC 공법의 개념> <EPC 공법의 개념>

그림 1.2.4 EPC 공법 (출처 : 한국건설신기술협회자료집, 2011)

2.1.2 중공슬래브 구조시스템 : 장스팬 바닥구조 시스템

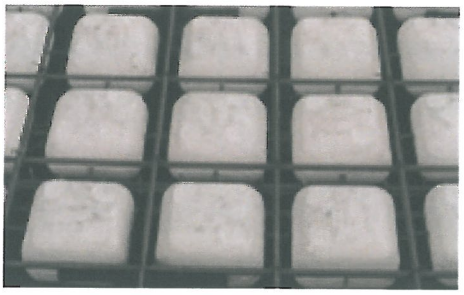
□ I-슬래브

: 경량체 형상이 직육면체로 공장에서 경량체 일부와 부분 프리캐스트 콘크리트 슬래브를 일체화

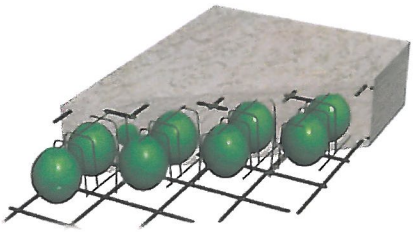
: 건물형상에 따른 모듈화가 제한적

□ SLAF

: 구조적 기능보다 바닥 충격음 차단성능에 집중하여 개발



<I-슬래브>



<SLAF>

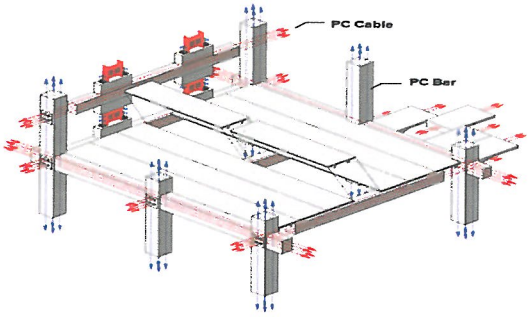
그림 1.2.5 국내개발 중공슬래브

2.2 국외 관련기술 현황

□ PCaPC 구조시스템 : 장스팬 기둥-보 프레임 구조

: 일본을 중심으로 RC 구조의 취약점인 장스팬을 극복하기 위하여 긴장재를 활용하여 단위부재에 압축력을 사전에 도입하는 PSC(Prestressed Concrete)구조 시스템을 기둥-보 프레임 구조에 도입하여 20m 이상 장스팬 구조에 적용

: 모듈러 구조시스템의 도입을 통한 시공성 및 단위부재 품질확보



<PSC 구조 개념>

<PCS 구조 현장 적용 예>

그림 1.2.6 PSC 구조 (출처 : Nikken Sek kei LTD 설계자료집, 2010)

□ 중공슬래브 구조시스템 : 장스팬 바닥구조 시스템

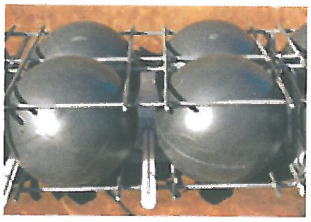
: 슬래브에 중공부를 설치하여 스래브 자중을 저감 시키면서 슬래브 자중을 경감시키면서 슬래브 두께를 크게하여 휨강성을 향상시켜 장스팬 구조에 적합한 구조시스템으로 발전

: 모듈러 구조시스템의 도입을 통한 시공성 및 단위부재 품질확보

: 슬래브 중공률 25~30% 수준, 휨강도는 일반슬래브와 동등수준, 전단강도는 50%감소

<KASIER Void Slab System(일본)>

<Dausun Cubic (일본)>



<Cobiax Deck (스위스)>

<Bubble Deck (덴마크)>

그림 1.2.7 해외개발 중공 슬래브 (출처 : SH공사 도시연구소 연구보고서, 2010)

표 1.2.1 중공슬래브 해외기술 현황 (SH공사 도시연구소 연구보고서, 2010)

국가	중공슬래브 명칭	중공체			성능		
		재료	중량	형상	중량저감	휨	전단
Europe	Cobiax	Plastic	1,400 (kg/cm^3)	구/타원구	30%	100%	50%감소
	U-Boot System			직육면체	35%	100%	55%감소
USA	Filigree wide slab system	Plastic	1,400 (kg/cm^3)	직육면체	25%	100%	35%감소
Japan	Momslab	Styro-form	1,600 (kg/cm^3)	직육면체/타원구	30%	100%	50%감소
	EJ Void				30%	100%	50%감소

제 2 장 과제개발 내용 및 방법

제 1 절 기술개발의 목표

1.1 개발목표

: 경제적이며 시공이 용이한 "#형 접합부를 활용한 장스팬 철근콘크리트 보"의 기술 개발

1.2 개발내용 및 방법

: 현장타설 콘크리트를 활용하여 시공성이 뛰어난 장스팬 보의 개발

: 기존 공법 대비 20% 이상의 비용을 절감할 수 있는 장스팬 보의 개발

: #형 접합부를 이용하여 부재의 강성이 증대되고 처짐이 억제된 보의 개발

: 개발된 "#형 접합부를 활용한 장스팬 철근콘크리트 보"의 구조 성능에 대한 실험 및 해석적 검토

: 개발 제품의 구조 설계 메뉴얼 및 시공 메뉴얼 작성

: 개발 제품의 현장 적용 및 사업화 추진

□ 장스팬 기술 개발의 필요성

: 건축물의 장스팬(long-span)은 공간의 효율적 활용, 공사 기간의 단축, 전체 공사비의 절감 등을 위하여 필요한 분야의 하나임.

: 일반적으로 말하는 철근콘크리트 구조의 적정 스팬은 7~9m 정도이며, '日'자 형태의 프레임으로 구성된 경우가 많음.

: 근래 전시시설, 다중 판매시설, 일반 오피스 건물들도 13m 정도의 장스팬에 대한 요구가 늘어나고 있음.

: 이런 장스팬에 대한 요구는 일반적인 철근콘크리트 구조로는 해결하기 어렵기 때문에 보의 깊이가 너무 커지는 등 무리한 구조가 될 수밖에 없음.

: 따라서 비용이 더 소요되더라도 철골조, 포스트 텐션닝(post tensioning), 또는 PC 합성보 등을 이용하여 장스팬 구조를 만들지만 이들 공법은 공사비가 매우 커져 장스팬에 대한 요구에 비해 실제 이루어지는 경우는 많지 않은 실정임 ([표 4] 참조).

□ 기존 공법의 분석 및 개발 제품의 특성:

: 현재 국-내외에 사용되고 있는 장스팬 보의 특성을 분석하면 다음과 같이 크게 3가지로 구분할 수 있음.

철골조 : 가장 일반적인 방법으로 철근콘크리트 보를 상용하지 않고 강성이 큰 철골보로 대체하는 방법

합성보 : 철판과 콘크리트를 합성한 구조물로써 강성을 크게 하여 장스팬화가 가능함

프리스트레스트 콘크리트 : PS긴장력을 이용하여 부재의 처짐을 억제하고 경간을 길게 함

중공슬래브 : 슬래브 내부에 중공부를 두고 부재의 강성을 증대시켜 장스팬화 한 구조

□ 개발 공법의 주요 특성

① 개발된 제품은 [그림 36]와 같이 #형 접합부를 이루는 철근콘크리트 내부에 기둥이 안치되는 구조 형식임.

② "#형 접합부는 현장타설 콘크리트 보"와 연결되며, 부재와 부재 간의 거리는 기둥과 기둥간의 거리가 아니라 #형 접합부 간의 거리가 되므로 기둥 주변에 발생하는 부모멘트의 크기를 현저하게 감소시킬 수 있음([표 36]의 휨모멘트 분포 참조).

③ 부재와 부재간의 거리가 짧아짐으로써 처짐이 현저하게 감소하고 이로 인하여 부재의 크기를 줄일 수 있음.

④ 공간 활용적인 측면에서는 기둥과 기둥의 간격은 13~15m를 유지하게 됨으로써 일반 장스팬 구조와 동일하게 효율적으로 공간을 활용할 수 있음.

⑤ #형 접합부에 연결되는 현장타설 콘크리트 보는 부재간의 거리가 짧아 단면적이 작은 작은 보를 활용할 수 있으므로 경제적임. 또한 현장타설 콘크리트를 활용함으로써 기존에 사용되어 왔던 철골조, 포스트 테션잉 부재, PC합성보 등의 경제성을 개선할 수 있음.

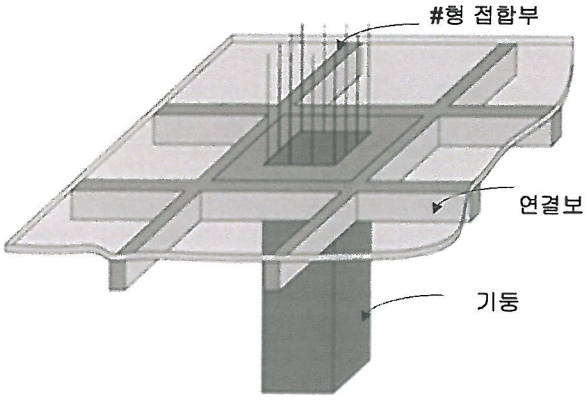
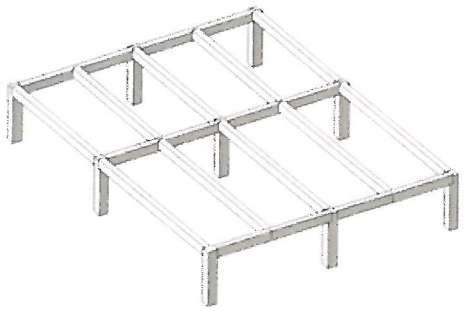
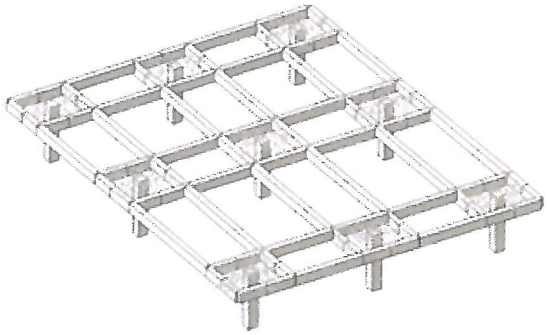
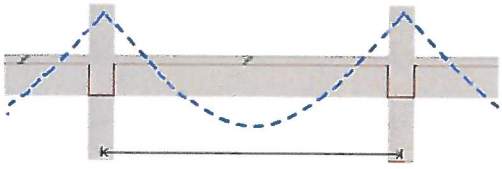
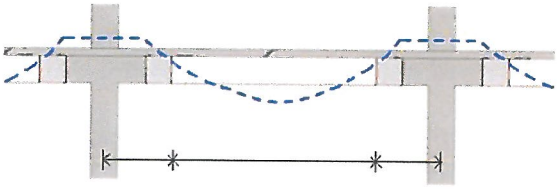


그림 2.1.1 구조시스템의 구성

표 2.1.1 개발 기술의 특성

부재	기존 공법	제안 공법 (#형 접합부를 활용한 장스팬 철근콘크리트 보)
특성		
휨모멘트 분포	 - 부재간의 거리는 기둥간의 거리가 되어 경간 길이가 길고 처짐이 증가함.	 - 부재간의 거리는 #형 접합부간의 거리가 되어 경간 길이가 짧고 처짐이 감소함.
특성 및 문제점	- 기둥과 보가 日자형으로 교차함. - 기둥과 보가 수직으로 교차하는 연속보에서 부모멘트가 크게 발생하게 되며 이로 인하여 부재의 크기가 증가하며 처짐이 증가함. - 일반적인 RC보의 경우에는 부재의 길이가 8m이상이 되기가 어려움 - 장스팬화 하기 위해서는 강성이 큰 재료를 사용해야 하지만 이 경우에 비경제적인 시공이 될 수 있음.	- 기둥과 보가 #자형으로 교차함. - #형을 이루는 보의 내부에 기둥이 놓이게 됨으로써 기둥 주변에서 발생하는 부모멘트의 크기가 현저하게 감소함. - 부재간의 거리는 #형 접합부 간의 거리가 되므로 처짐이 크게 줄어들고 공간활용은 기둥간의 거리를 13~15m까지 가능하게 함. - 현장타설 콘크리트를 사용함으로써 기존 장스팬 구조보다 경제적임.

□ 이 과제에서 개발하고자 하는 "#형 접합부를 활용한 장스팬 철근콘크리트 보"의 기술 개발의 필요성 및 개발 내용은 [그림 2.1.2]와 같음.

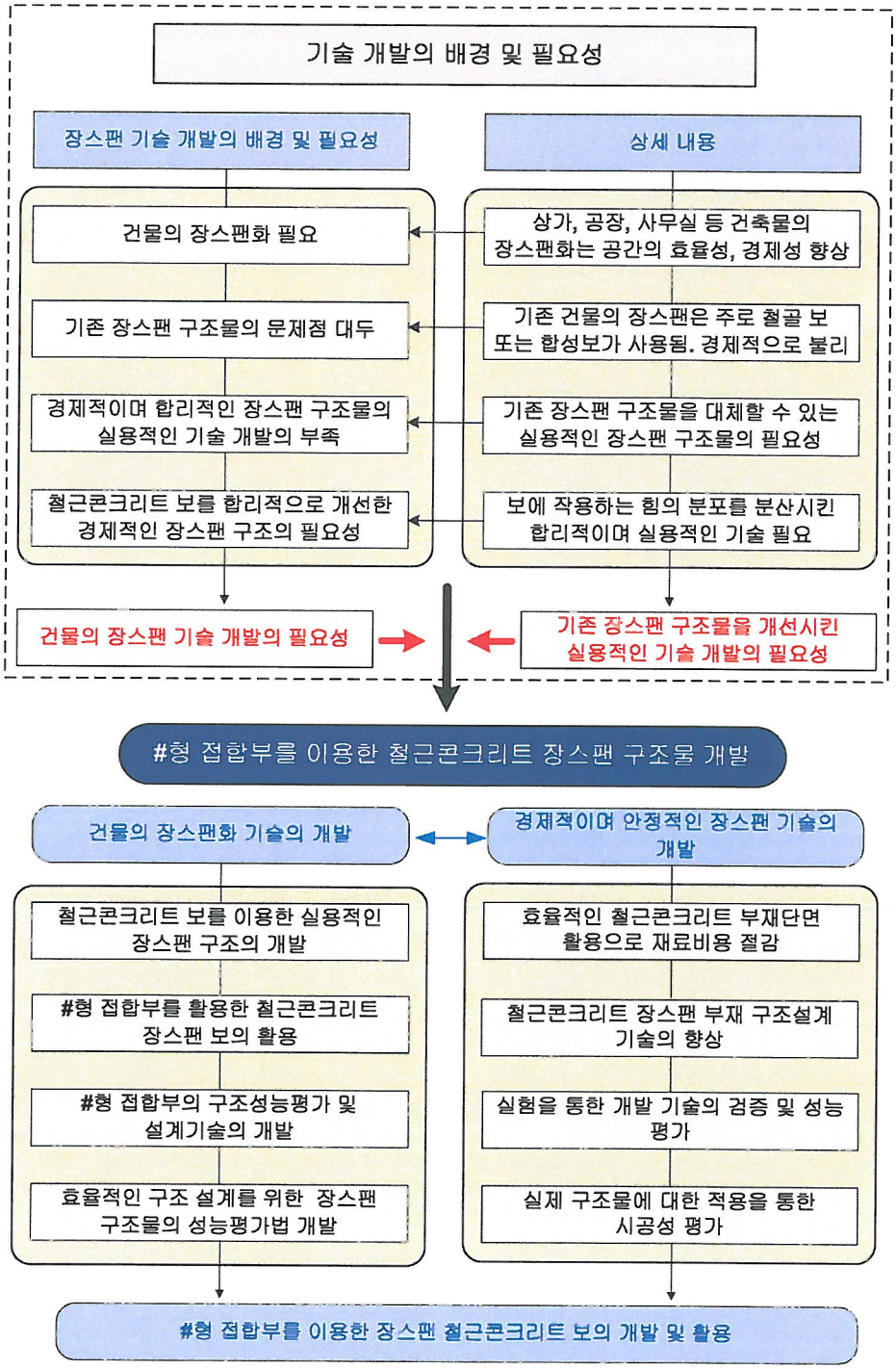


그림 2.1.2 기술 개발의 배경과 목표

□ 1차년도 기술 개발 목표 : #형 접합부 장스팬 보의 개발 및 성능 검토

① #형 접합부를 활용한 장스팬 철근콘크리트 보의 개발

: 기존 공법의 문제점(구조해석적, 경제성, 시공성, 작업성의 측면)을 분석하고 이를 개선할 수 있는 신공법의 제안

: 기존 공법의 문제점을 개선한 효율적인 #형 접합부 장스팬 보의 개발

: 일반 철근콘크리트 보와 동일하게 현장타설이 가능하며 경제적인 #형 접합부를 활용한 장스팬 철근콘크리트 보를 개발함.

: 개발된 제품은 기존의 철골조, 포스트 테션잉 부재, PC합성보와 같은 13~15m의 장스팬이 가능함. 다만 현장타설 콘크리트를 이용하여 경제적임

: 개발된 제품은 기둥의 양 옆으로 한 쌍의 보를 형성하여 보가 x, y 방향으로 교차되어 #형태를 이루게 되며 지상구조물뿐만 아니라 지하 구조물에도 적용이 가능함.

② 개발된 재품의 구조 성능 확인 및 평가법 제안

: #형 접합부를 활용한 장스팬 철근콘크리트 보는 연속보에서 부모멘트가 작용하는 부분을 확대하여 부모멘트의 크기를 상대적으로 작게한 부재임.

: 이 부재를 활용하기 위해서는 부재의 구조 성능을 확인하고 구조 성능을 평가할 수 있은 평가법을 제안해야 함.

: 이 과제에서는 실험과 해석적인 방법을 이용하여 개발 제품의 구조 성능을 확인하고 구조 성능 평가법을 제안함.

: 제안한 공법의 구조성능검토를 위한 실험 실시(#형 접합부 부위와 연속보 개념의 중앙지점 부위에 대한 실험 실시)

: 제안한 공법의 구조성능평가법의 제안 (실용성을 고려한 평가법의 제안, 실험 결과와 FEM해석을 통한 다양한 변수에 대한 시뮬레이션 분석을 통한 합리적인 구조 성능 평가법의 제안)

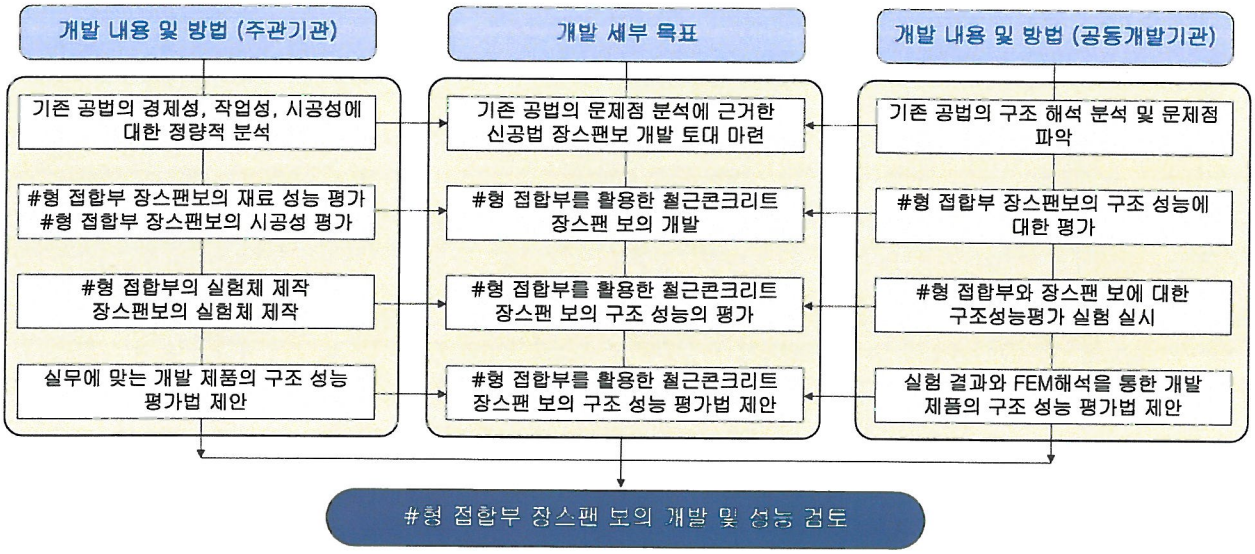


그림 2.1.3 1차년도 기술 개발의 목표, 내용 및 방법

: 제안 평가법에는 기존 연구자에 의하여 제안된 접합부와 보의 연결 성능 평가법을 #형 부재에 적용할 수 있도록 변환하고 이를 활용하여 개발 제품의 구조 성능을 평가함.

: 제안 평가법에서는 #형 접합부 내부의 콘크리트의 유효압축강도의 저감을 고려하여 콘크리트압축대의 내력을 평가하고, 인장경화효과에 의한 종방향철근 및 횡방향철근의 응력을 계산함.

□ 2차년도 기술 개발 목표 : #형 접합부 장스팬 보의 실용화

: 1차년도에 개발한 공법을 현장 적용하고 작업성, 시공성, 구조 안전성 등을 재검토함.

: 현장 적용시에 문제점이 발생할 경우에 개발된 제품에 대한 보완 실험이나 해석을 실시하여 문제점을 개선함.

: 현장 적용을 통해 제안한 장스팬 보의 문제점을 분석한 후에 실무에 맞는 구조성능평가법 매뉴얼을 제시함.

: 작업성, 시공성, 구조 안전성 등을 고려하여 제안한 장스팬 보의 문제점을 분석한 후에 실무에 맞는 시공지침서 매뉴얼을 제시함.

: 특허 등록, 신기술 등록을 추진하고 제안한 공법을 실제 구조물에 적용하여 실용화를 추진함.

: 개발된 제품의 기술적 가치와 경제적 가치를 재검토 한 후에 이를 상품화함.

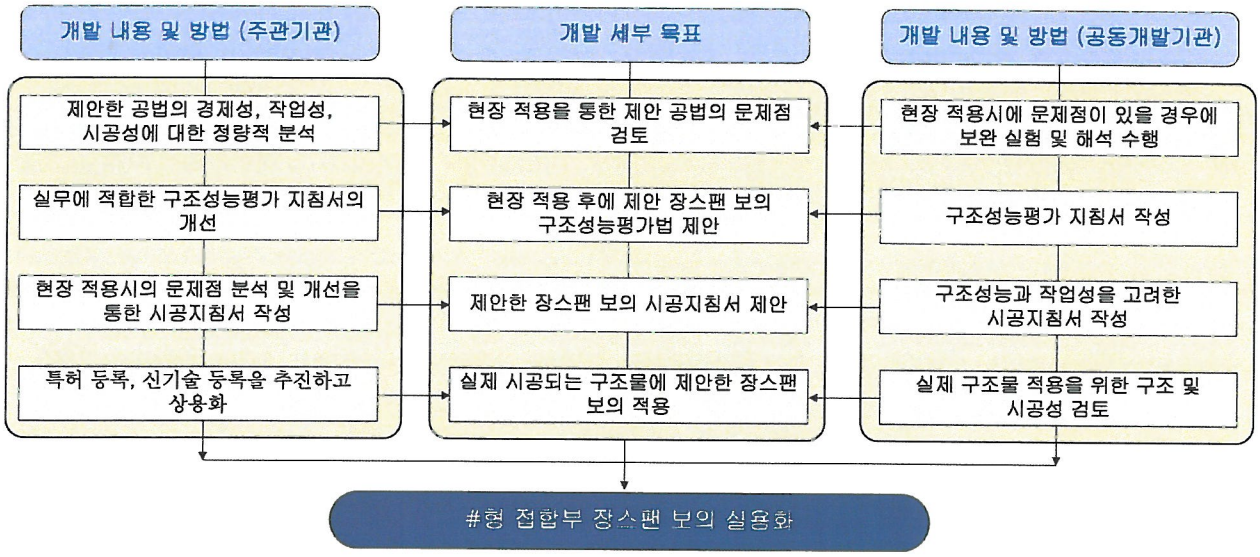


그림 2.1.4 2차년도 기술 개발의 목표, 내용 및 방법

제 2 절 단일보 실험체의 구조 성능 평가

이 절에서는 드롭패널의 강성 및 적용 길이가 철근콘크리트 연속보의 휨 거동에 미치는 영향을 평가하기 위하여 드롭패널을 활용한 철근콘크리트 연속보 부재의 휨 성능 실험을 수행하였다.

2.1 실험 계획

2.1.1 사용 재료

드롭패널 적용방식의 차이에 따른 철근콘크리트 단일 연속보 부재의 휨 성능을 평가하기 위하여 표 2.2.1에 나타낸 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 ϕ100x200mm 크기의 원형 실린더형 공시체를 총 21개 제작하였다. 공시체의 양생은 부재와 동일한 조건으로 하였다.

콘크리트의 압축강도 시험은 연속보 실험체 파괴 일에 맞추어 KS F 2405[1)]에 준하여 실시하였으며, 그 결과 콘크리트의 압축강도는 29.7MPa를 나타내었다. 그림 2.2.1(a)는 콘크리트의 응력-변형률 관계를 나타낸 것으로 콘크리트 공시체에 부착한 종방향과 횡방향 스트레인 게이지로부터 계측한 결과이다.

실험에 사용된 철근의 인장시험 결과는 표 2.2.2와 그림 2.2.1(b)에 나타내었다. 인장 및 압축 철근은 항복강도 468.6MPa인 D16 철근을 사용하였으며, 전단보강근으로는 항복강도가 453.4MPa인 D10 철근을 사용하였다. 사용된 철근의 탄성계수는 표 2.2.2에 나타나듯이 D16의 경우 180GPa를, D10은 166GPa를 나타내었다.

표 2.2.1 콘크리트 배합설계표

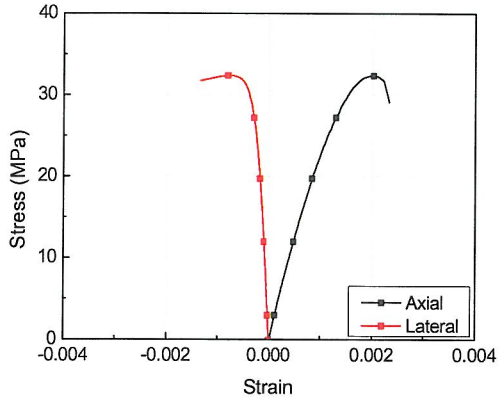
배합강도 (MPa)	W/B (%)	S/a (%)	G_{max} (mm)	Slump (mm)	단위용적중량 (kg/m^3)					
					Water	Cement	Aggregate		FA*	AD**
							Fine	Coarse		
30	41.5	48.7	25	150	163	326	850	945	67	2.95

* 플라이애쉬

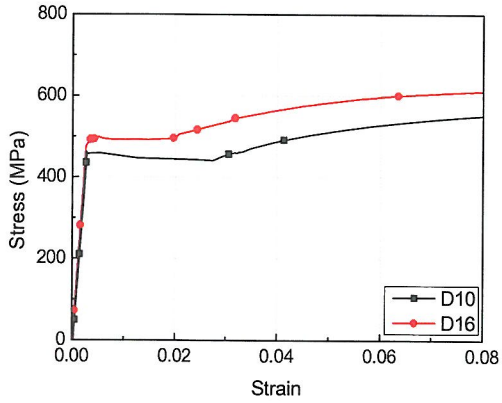
** 고성능 감수제

표 2.2.2 철근 상세 및 역학적 특성

철근종류	용 도	단면적 (mm^2)	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	항복변형률	탄성계수 (GPa)
D16	인장 및 압축철근	198.6	468.6	605.9	0.00260	180
D10	전단보강근	71.3	453.4	569.4	0.00273	166



(a) 콘크리트



(b) 철근

그림 2.2.1 사용재료의 응력-변형률 관계

2.1.2 실험체 계획

드롭패널을 적용한 철근콘크리트 단일 연속보 부재의 휨 성능을 평가하기 위하여 표 2.2.3에 나타낸 바와 같이 총 9체의 실험체를 제작하였다. 실험변수는 드롭패널의 강성과 적용 길이로 하였으며, 실험체 상세는 그림 2.2.2~2.2.8에 나타내었다.

DBS-1은 기본 실험체를 의미한다. DBS-2와 DBS-3은 실험체 중앙부의 0.1L 구간에 드롭패널을 적용한 것으로 드롭패널의 폭은 각각 보 폭에 2배와 4배를 증가시킨 실험체이다. DBS-4와 DBS-5는 실험체 중앙부의 0.2L 구간에 드롭패널을 적용한 것으로, DBS-2와 DBS-3과 동일한 방법으로 드롭패널의 강성을 증가시켰다. DBS-6과 DBS-7은 실험체 중앙부의 0.2L 구간에 드롭패널을 적용한 것으로 강성을 2배와 4배로 증가시켰으나 DBS-2 ~ DBS-5 실험체와 다르게 보의 높이에 대하여 강성을 증가시켰다. 또한, 드롭패널의 적용에 따른 휨 거동 차이를 비교하기 위하여 실험체 길이를 각각 0.1L과 0.2L을 감소시켜 DBS-8과 DBS-9를 계획하였다.

그림 2.2.2~2.2.8에서 알 수 있듯이 실험체는 2경간 연속보로 길이 4,600mm, 단면 200x300mm, 순 경간은 2,100mm로 계획하였다. 실험체의 전단경간비는 휨 항복이 선행하도록

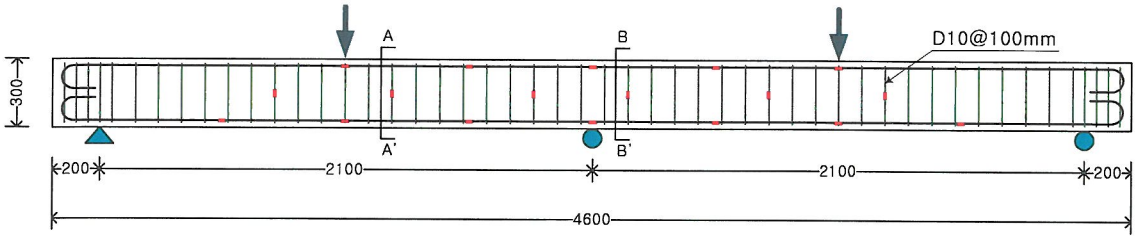
4.0으로 계획하였다. 비교 실험체인 DBS-8과 DBS-9의 전단경간비는 드롭패널의 적용 길이만큼 실험체의 순경간이 줄어들어 각각 3.6과 3.2를 갖는다. 실험체의 인장철근비는 0.0076이며, 드롭패널의 인장철근비는 현장에서 시공되는 배근을 고려하여 동일하게 0.0076으로 계획하였다. 모든 실험체는 휨 파괴 이전에 전단 파괴가 선행하는 것을 방지하기 위하여 전단보강근을 100mm 간격으로 배근하였다.

인장철근, 압축철근 및 전단보강근에는 하중에 따른 철근의 변형률을 계측하기 위하여 그림 2.2.2~2.2.8과 같이 스트레인 게이지를 부착하였다. 또한, 모멘트-곡률 관계를 평가하기 위하여 그림 2.2.9에 나타낸 바와 같이 콘크리트 표면에 가력지점에서 아래로 20mm와 40mm 떨어진 위치에 콘크리트용 스트레인 게이지를 부착하였다.

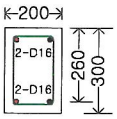
표 2.2.3 실험체 일람표

<table>
<tr><th rowspan="2">실험체</th><th colspan="3">실험체</th><th colspan="4">드롭패널</th><th rowspan="2">비 고</th></tr>
<tr><th>b
(mm)</th><th>h
(mm)</th><th>d
(mm)</th><th>b
(mm)</th><th>h
(mm)</th><th>d
(mm)</th><th>길이</th></tr>
<tr><td>DBS-1</td><td rowspan="9">200</td><td rowspan="9">300</td><td rowspan="9">260</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>기본 실험체</td></tr>
<tr><td>DBS-2</td><td>400</td><td rowspan="4">300</td><td rowspan="4">260</td><td rowspan="2">0.1L</td><td>강성 2배(폭)</td></tr>
<tr><td>DBS-3</td><td>800</td><td>강성 4배(폭)</td></tr>
<tr><td>DBS-4</td><td>400</td><td rowspan="4">0.2L</td><td>강성 2배(폭)</td></tr>
<tr><td>DBS-5</td><td>800</td><td>강성 4배(폭)</td></tr>
<tr><td>DBS-6</td><td>200</td><td>380</td><td>340</td><td>강성 2배(높이)</td></tr>
<tr><td>DBS-7</td><td>200</td><td>480</td><td>440</td><td>강성 4배(높이)</td></tr>
<tr><td>DBS-8</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>0.1L 비교 실험체</td></tr>
<tr><td>DBS-9</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>0.2L 비교 실험체</td></tr>
</table>

f_c' = 29.7MPa, 인장철근 = 2-D16, 압축철근 = 2-D16, 전단보강근 = D10@100mm

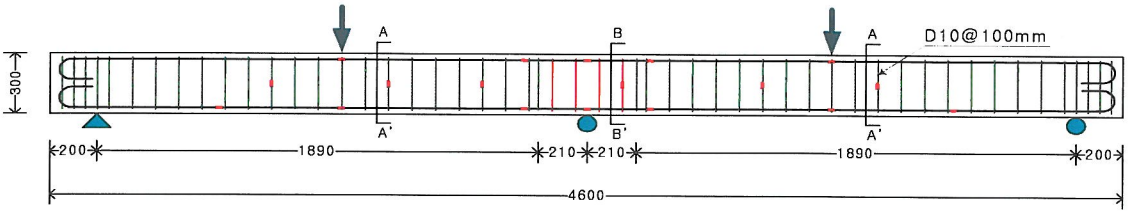


(a) 배근 상세

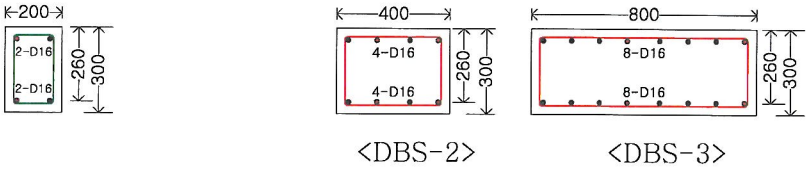


(b) 단면 A-A′와 B-B′

그림 2.2.2 DBS-1 배근 상세

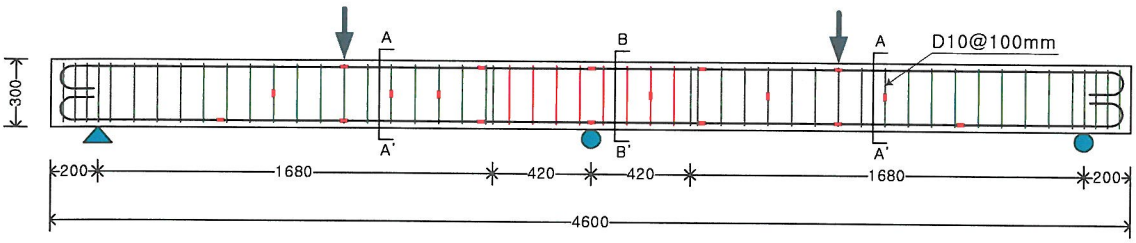


(a) 배근 상세

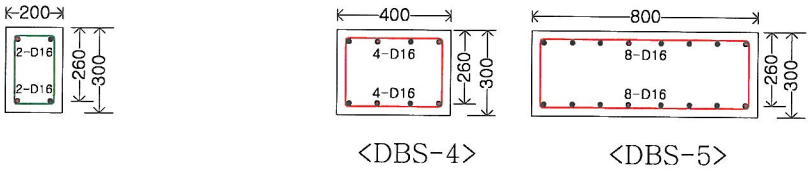


(b) 단면 A-A′ (c) 단면 B-B′

그림 2.2.3 DBS-2, DBS-3 배근 상세

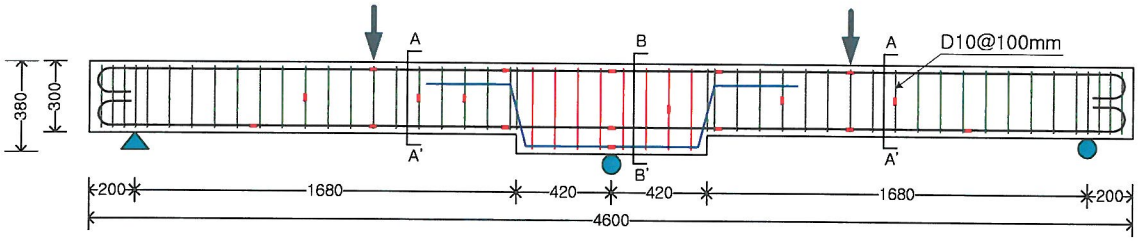


(a) 배근 상세



(b) 단면 A-A′ (c) 단면 B-B′

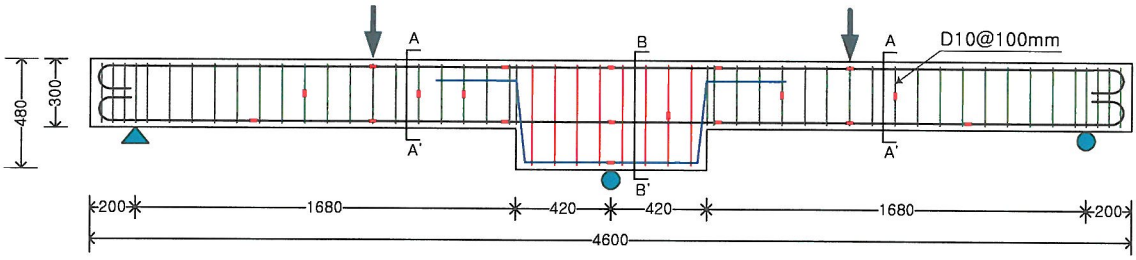
그림 2.2.4 DBS-4, DBS-5 배근 상세



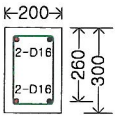
(a) 배근 상세

(b) 단면 A-A′ (c) 단면 B-B′

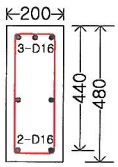
그림 2.2.5 DBS-6 배근 상세



(a) 배근 상세

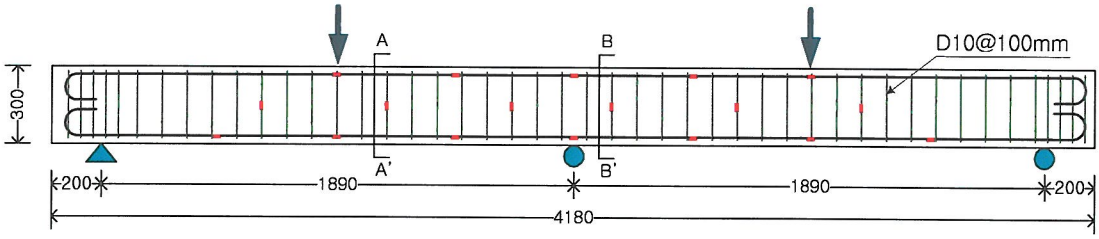


(b) 단면 A-A′

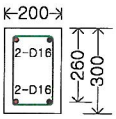


(c) 단면 B-B′

그림 2.2.6 DBS-7 배근 상세

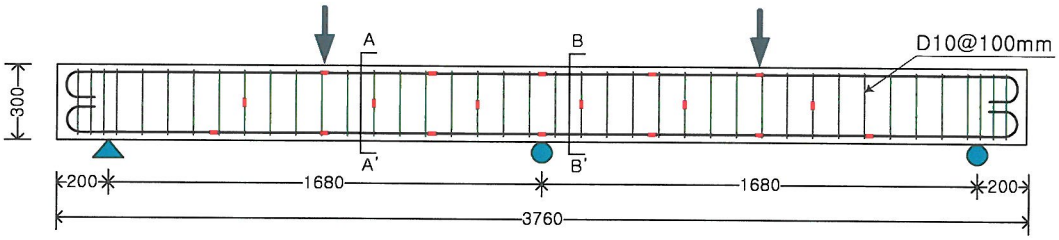


(a) 배근 상세

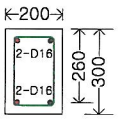


(b) 단면 A-A′와 B-B′

그림 2.2.7 DBS-8 배근 상세



(a) 배근 상세



(b) 단면 A-A′와 B-B′

그림 2.2.8 DBS-9 배근 상세

그림 2.2.9 실험체 세팅 현황

2.1.3 실험방법

실험체 가력방법은 그림 2.2.9에 나타낸 바와 같이 2,000kN 용량의 만능시험기(UTM)를 이용하여 5점 가력을 하였다. 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 하단에는 LVDT를 설치하여 하중에 따른 처짐량을 계측하였다. 또한, 모든 실험체에는 드롭패널 유·무에 따른 처짐량을 비교하기 위하여 드롭패널이 위치한 0.1L과 0.2L 위치에 그림 2.2.9, 그림 2.2.10과 같이 LVDT를 설치하였다.

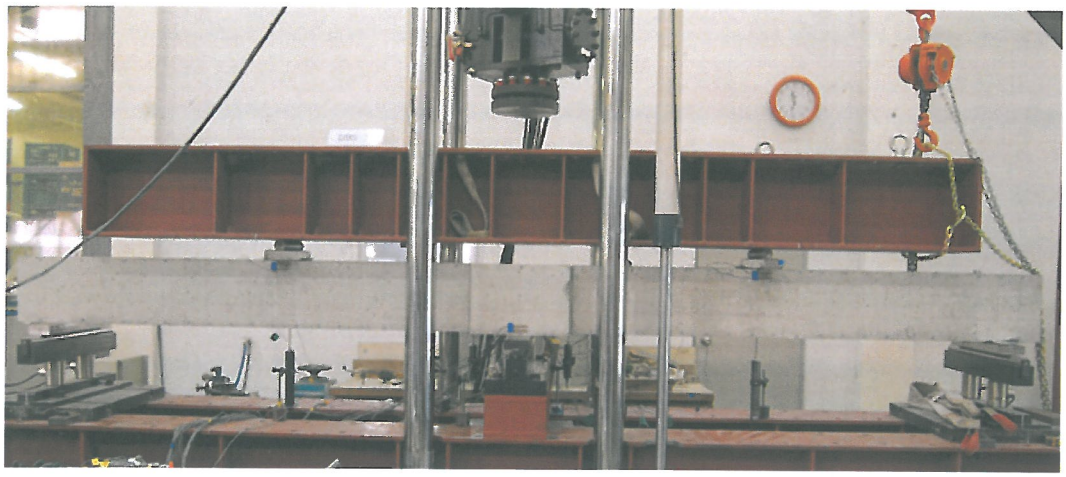


그림 2.2.10 실험체 실험 전경

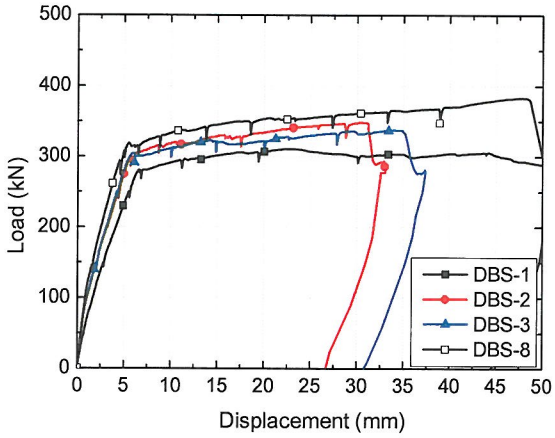
2.2 실험결과

2.2.1 하중-처짐 관계

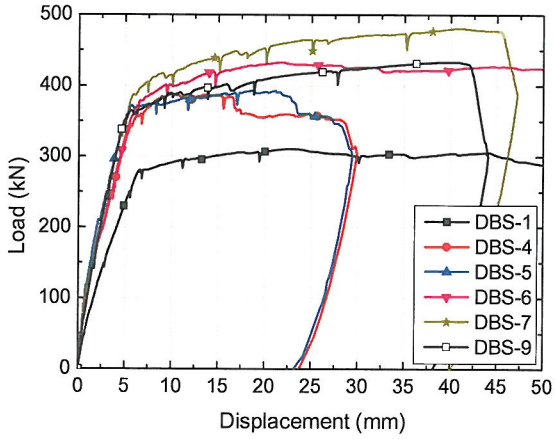
그림 2.2.11에 각 실험체의 하중-처짐 관계를 나타내었다. 하중-처짐 관계에서의 처짐은 파괴가 발생한 경간의 중앙부 하단에 설치한 LVDT를 이용하여 나타낸 것이다. 단계별 하중에 따른 처짐을 비교하고자 그림 2.2.12에 나타낸 방법을 이용하여 표 2.2.4에 인장철근 항복시와 사용하중상태의 처짐을 비교하여 나타내었다. 모든 실험체의 휨 거동은 그림 2.2.11에 나타낸 것과 같이 유사하게 나타났으며, 드롭패널이 적용된 실험체의 경우 기본 실험체에 비하여 높은 내력과 강성을 나타내었다.

그림 2.2.11(a)와 표 2.2.4에 나타낸 바와 같이 기본 실험체인 DBS-1의 인장철근 항복시 하중과 처짐은 각각 258.3kN과 6.24mm를 나타내었다. 드롭패널의을 0.1L 적용한 DBS-2와 DBS-3은 드롭패널의 강성을 2배와 4배로 증가시킨 실험체로 인장철근 항복시 하중은 각각 274.4kN과 278.8kN을 나타내었으며, 이 때의 처짐은 4.87mm와 4.84mm로 계측되었다. 드롭패널을 0.1L 적용한 실험체에서는 드롭패널의 강성 차이에 따른 휨 거동의 차이는 거의 나타나지 않았으나 기본 실험체인 DBS-1과 비교하여 볼 때 6~8%의 내력 증진이 있었으며, 처짐에서는 22%의 감소 효과를 나타내었다. 드롭패널을 0.1L 적용한 실험체와 비교하기 위하여 제작한 DBS-8은 인장철근 항복시 하중과 처짐이 각각 313.4kN과 5.60mm로 나타나 드롭패널을 적용한 실험체와 비교하여 볼 때 하중에서는 12% 정도 내력의 차이가 발생하였다. 반면에 처짐에서는 13% 정도 높은 수치를 나타내어 처짐제어 측면에서 드롭패널을 적용하는 것이 보다 효율적인 것으로 판단된다.

그림 2.2.11(b)는 드롭패널이 0.2L 적용된 실험체를 비교하여 나타낸 것으로 보 폭을 이용하여 드롭패널의 강성을 2배 증가시킨 DBS-4 실험체의 인장철근 항복시 하중과 처짐은 각각 322.7kN과 5.10mm를 나타내었으며, 강성을 4배 증가시킨 DBS-5 실험체는 각각 339.0kN과 5.15mm를 나타내었다. DBS-6 실험체는 보의 높이를 이용하여 드롭패널의 강성을 2배 증가시킨 것으로 인장철근 항복시 하중과 처짐은 각각 334.8kN과 5.03mm를 나타내었으며, 강성을 4배 증가시킨 DBS-7 실험체는 358.9kN과 4.65mm를 나타내었다. 기본 실험체인 DBS-1과 비교하여 볼 때 드롭패널을 0.2L 적용한 실험체에서 내력은 평균 약 30%의 높은 수치를 보였으며, 처짐에서는 평균 약 20%의 감소 효과를 나타내었다. 드롭패널을 0.2L 적용한 실험체와 비교하기 위하여 제작한 DBS-9의 인장철근 항복시 하중은 드롭패널을 0.2L 적용한 실험체와 유사한 325.7kN을 보였으며, 처짐은 드롭패널을 0.2L 적용한 실험체보다 낮은 4.46mm를 나타내었다.



(a) 드롭패널 0.1L



(b) 드롭패널 0.2L

그림 2.2.11 실험체의 하중-처짐 관계

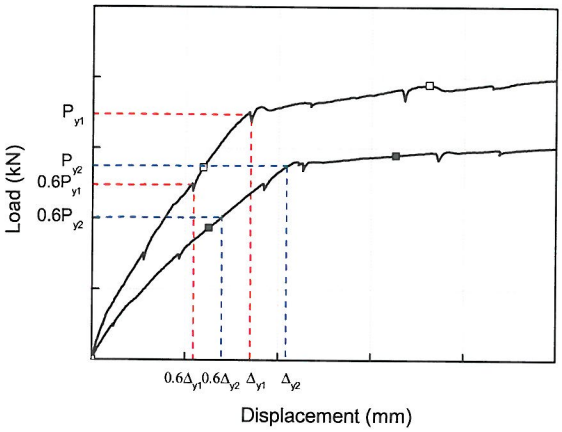


그림 2.2.12 사용하중상태에 따른 처짐 산정 기준

표 2.2.4 실험결과

드롭 패널	실험체	P_y (kN)	Δ_y (mm)	$0.6P_y$ (kN)	$0.6\Delta_y$ (mm)	$\Delta_y/\Delta_{y,DBS-1}$	$\Delta_y/\Delta_{y,DBS-8}$	$\Delta_y/\Delta_{y,DBS-9}$	$0.6\Delta_y/0.6\Delta_{y,DBS-1}$	$0.6\Delta_y/0.6\Delta_{y,DBS-8}$	$0.6\Delta_y/0.6\Delta_{y,DBS-9}$
0.1L	DBS-1	258.3	6.24	155.0	2.96	-	-	-	-	-	-
	DBS-2	274.4	4.87	164.6	2.38	0.78	0.87	-	0.80	1.04	-
	DBS-3	278.8	4.84	167.3	2.37	0.78	0.86	-	0.80	1.03	-
	DBS-8	313.4	5.60	188.0	2.29	-	-	-	-	-	-
0.2L	DBS-4	322.7	5.10	193.6	2.53	0.82	-	1.14	0.85	-	1.10
	DBS-5	339.0	5.15	203.4	2.05	0.83	-	1.15	0.69	-	0.89
	DBS-6	334.8	5.03	200.9	2.64	0.81	-	1.13	0.89	-	1.15
	DBS-7	358.9	4.65	215.3	2.57	0.75	-	1.04	0.87	-	1.12
	DBS-9	325.7	4.46	195.4	2.30	-	-	-	-	-	-

표 2.2.4에서 확인할 수 있듯이 사용하중상태의 처짐을 비교하며 드롭패널을 0.1L 적용한 DBS-2와 DBS-3은 기본 실험체인 DBS-1의 처짐에 비하여 약 20% 정도 낮은 처짐을 나타내었다. 드롭패널을 0.2L 적용한 실험체에서는 보의 폭을 이용하여 강성을 4배 증가시킨 DBS-5에서 31%의 가장 높은 처짐제어 효과를 나타내었다. 반면에 보의 높이를 이용하여 드롭패널의

강성을 2배 증가시킨 DBS-6에서는 가장 낮은 11%의 처짐 제어를 나타낸 것을 알 수 있다.

2.2.2 균열 및 파괴 양상

그림 2.2.13는 가력 종료 후의 각 실험체 균열양상을 나타낸 것이다. 모든 실험체는 가력 초기에 가력지점 하단 및 중앙 지점 상단 인장측에서 휨 균열이 최초로 발생하였다. 이후 하중이 증가함에 따라 균열은 크게 성장하였으며 실험구간 양단부로 진전되는 양상을 나타내었다. 모든 실험체에서 하중이 증대됨에 따라 균열 수는 최대 25개까지 증가하였으며, 균열 폭 또한 0.2mm까지 크게 성장하였다. 인장철근이 항복한 이후 실험구간에 발생한 균열은 가력점과 반력점을 향하여 최대 4mm까지 크게 성장하였으며, 최대내력 이후 연속보에서 하중을 많이 부담하는 중앙 지점에 발생한 콘크리트 압괴로 최종 파괴하였다.

드롭패널이 적용된 실험체의 경우 드롭패널의 강성에 의하여 변단면 구간에서 파괴가 발생하는 양상을 나타내었다. 드롭패널 안에서의 균열은 강성을 2배 증가한 실험체에 비하여 강성을 4배 증가시킨 실험체에서 적은 수의 균열이 발생하였다. 또한, 최종 파괴에 도달할 때까지의 균열 폭은 각각 최대 0.4mm와 0.3mm 이하로 유지되어 낮은 수치를 나타내었다.

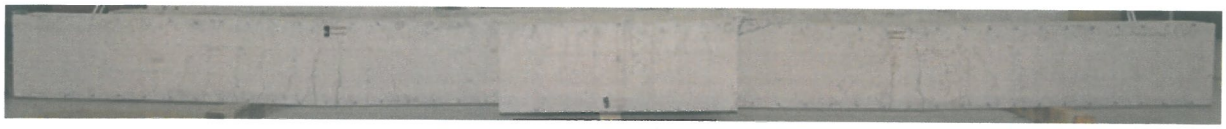
(a) DBS-1 실험체

(b) DBS-2 실험체

(c) DBS-3 실험체

(d) DBS-4 실험체

그림 2.2.13 실험체의 최종 균열양상



(e) DBS-5 실험체

(f) DBS-6 실험체

(g) DBS-7 실험체

(h) DBS-8 실험체

(i) DBS-9 실험체

그림 2.2.13 실험체의 최종 균열양상(계속)

2.3 소결

이 연구에서는 철근콘크리트 연속보 부재에서 드롭패널의 적용에 따른 휨 성능을 평가하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 드롭패널을 적용한 실험체는 기본 실험체와 유사한 연성적인 휨 거동을 나타내었으며, 기본 실험체인 DBS-1에 비하여 평균 약 20%의 처짐제어 효과와 높은 강성을 나타내었다.

(2) 드롭패널을 적용한 실험체는 드롭패널의 길이만큼 경간을 줄인 비교 실험체 와 비교해 동등이상의 휨 성능을 발휘하였으며, 유사한 처짐제어 효과를 나타내었다.

(3) 드롭패널을 0.2L 적용한 실험체는 0.1L 적용한 실험체와 비교해 처짐제어 효과는 유사하게 나타났으나 내력에서는 약 20%의 증진 효과가 나타났으며, 강성 또한 크게 증대되는 결과를 나타내었다.

제 3 절 이중보 실험체의 구조 성능 평가

본 절에서는 실제 시공되는 형상을 실험에 반영하기 위하여 드롭패널과 이중보로 구성된 실험체에 대한 실험을 수행하고 그에 대한 내용을 기술하였다. 실험체는 총 5가지의 2경간 연속보를 제작하였으며, 변수는 드롭패널의 길이 및 너비로 하였다. 실험을 통해 드롭패널의 크기에 따른 처짐 감소 효과를 평가하였다.

3.1 실험계획

#형 접합부의 처짐 감소 효과를 평가하기 위하여 드롭패널의 길이와 너비를 변수로 하는 총 5개의 2경간 연속보 실험체를 제작하고 처짐 평가 실험을 수행하였다. 이중 보 실험에서는 실제 시공되는 형상을 실험에 반영하여 드롭패널 양쪽에 보를 두 개씩 둔 실험체를 제작하였다.

3.1.1 사용재료

#형 접합부 이중 보 실험체를 제작하기 위하여 배합강도 30MPa, 슬럼프치 150mm의 콘크리트를 사용하였다. 콘크리트에 사용된 시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트와 고로슬래그 시멘트 2종이며, 굵은 골재 최대치수는 25mm이였다. 콘크리트의 역학적 특성을 알아보기 위하여 ϕ 100x200mm 실린더형 공시체를 총 9개 제작하여 실험체 파괴 일에 압축강도시험을 수행하였다. 압축강도 시험 결과 30.21MPa의 압축강도를 얻었다. 콘크리트 배합설계 표는 표 2.3.1과 같다.

실험에 사용된 철근의 물리적 성질은 표 2.3.2에 나타내었다. 인장 및 압축철근으로 D16, 전단보강철근으로 D10 철근을 사용하였으며, 항복강도는 각각 468.6MPa 과 453.4MPa 이였다.

표 2.3.1 보에 사용된 콘크리트 배합설계표

배합강도 (MPa)	W/C (%)	$S/(a+S)$ (%)	a_{max} (mm)	Slump (mm)	단위용적중량 (kg/m^3)				
					W	S	a	혼화재	혼화제
30	41.5	48.7	25	150	163	850	945	67	2.95

표 2.3.2 철근 상세

철근종류	용 도	단면적 (mm^2)	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	항복변형률	탄성계수 (MPa)
D16	인장 및 압축철근	198.6	468.6	605.9	0.00260	1.80×10^5
D10	전단보강철근	71.3	453.4	569.4	0.00273	1.66×10^5

3.1.2 이중보 실험체 계획

#형 접합부의 드롭패널에 따른 처짐 감소효과 성능을 평가하기 위하여 총 5개의 이중 보 실험체를 제작하였다. 실험 변수는 드롭패널의 길이와 드롭패널의 너비 두 가지로 하였으며, 실험체의 상세는 표 2.3.3에 나타내었다. 이 실험에서 사용된 드롭패널의 크기는 표 2.3.3에 나타낸 것과 같이 총 4종류이며, 비교를 위해 드롭패널이 없는 실험체를 1개 계획하였다.

실험체 명은 DBSS-1부터 DBSS-5로 계획하였다. 각 실험체의 형상 및 철근 상세는 표 2.3.4에 나타내었다. DBSS-1 실험체는 드롭패널이 없는 실험체로, 두 개의 보가 합쳐진 단면인 폭 300mm의 형상으로 휨 철근비가 다른 실험체들과 동일하도록 제작하였다. 또한 DBSS-2부터 DBSS-5 실험체는 드롭패널의 길이와 너비에 변화를 주어 드롭패널의 길이와 너비에 따른 처짐 감소효과를 분석할 수 있도록 계획 하였다. 이 때, 드롭패널의 철근비는 모든 실험체에서 같도록 계획 하였다. 철근 변형률을 분석하기 위한 스트레인 게이지는 보의 인장철근, 압축철근, 그리고 드롭패널의 인장철근 및 압축철근, 마지막으로 보의 전단보강철근에 각각 부착하였으며, 이는 그림 2.3.1부터 그림 2.3.5까지 나타내었다.

DBSS-1 실험체는 D16철근을 인장측과 압축측에 각각 4대 씩 배근하였다. 전단보강철근은 60mm 간격으로 D10 철근을 부재축에 직각인 방향으로 배근하였다. DBSS-2부터 DBSS-5 실험체는 이중 보 실험체이므로 각 보의 인장측과 압축측에 D16철근을 각각 2대씩 배근하였으며 전단 보강철근을 60mm 간격으로 배근하였다. 이중 보 실험체의 드롭패널 부위에는 보의 주철근 방향으로 보의 철근비와 같은 양의 D16 철근을 배근하였으며, 부재 축과 직각 방향으로 D10 철근을 60mm 간격으로 배근하였다. 또한 강성이 급격하게 변화하는 부위이므로 45° 각도의 보강철근을 인장측에 배근하였다.

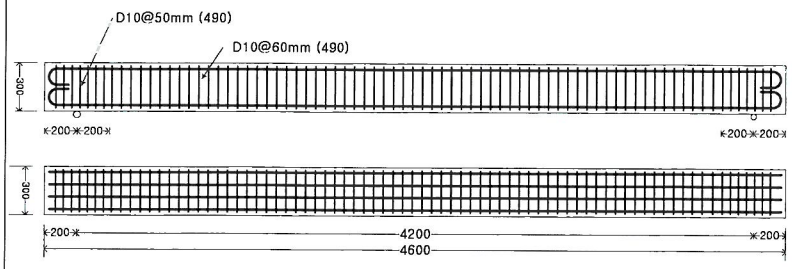
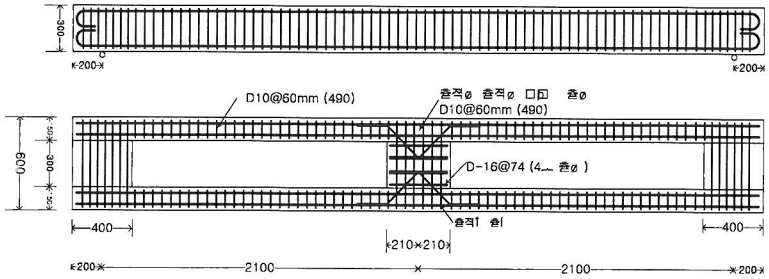
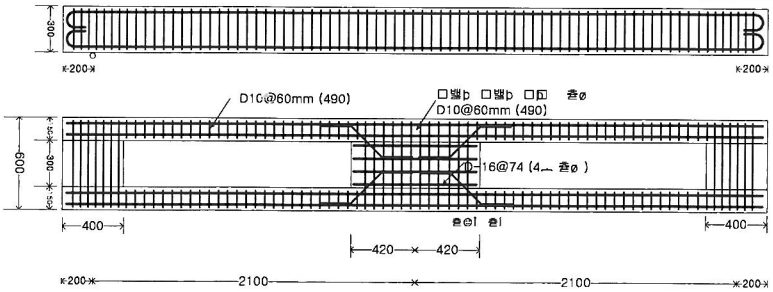
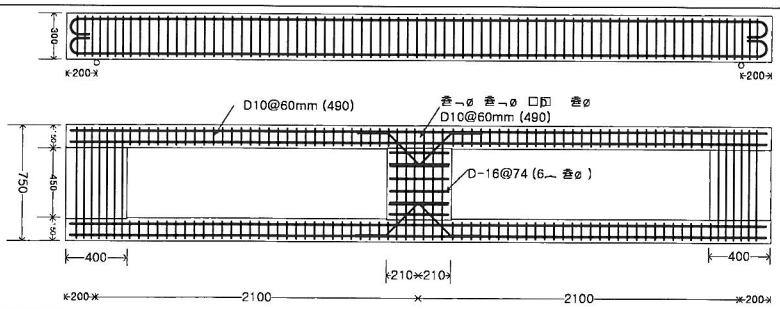
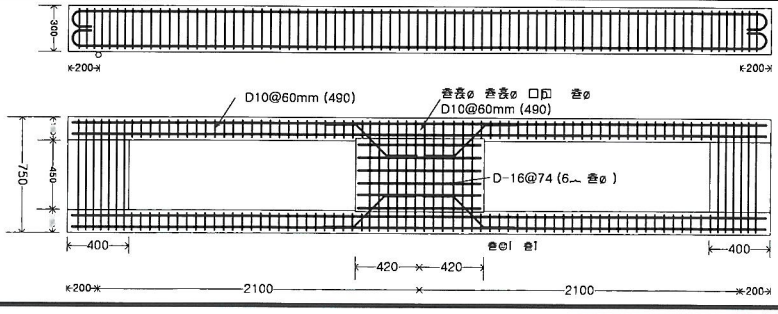
모든 실험체의 피복 두께는 20mm로 하였으며, 철근의 가공 상세는 콘크리트 구조 설계기준을 따랐다. D16 압축철근 및 인장철근의 구부림 지름은 100mm, 여장길이는 70mm로 가공하였으며 D10 전단보강 철근은 구부림 지름 60mm, 여장길이 60mm를 적용하였다.

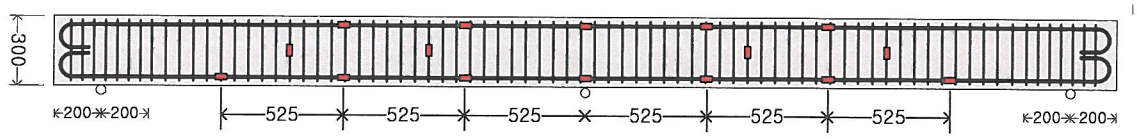
표 2.3.3 실험체 상세

실험체 명	드롭패널 너비(mm)	드롭패널 길이(mm)	보폭 (mm)	보 깊이 (mm)	비고
DBSS-1	0	0	300	300	비교 실험체
DBSS-2	300	410	150	300	드롭패널 강성: 2배 -너비 2b=300, -길이 0.1l=410
DBSS-3	300	820	150	300	드롭패널 강성: 2배 -너비 2b=300, -길이 0.2l=820
DBSS-4	450	410	150	300	드롭패널 강성: 3배 -너비 3b=450, -길이 0.1l=410
DBSS-5	450	820	150	300	드롭패널 강성: 3배 -너비 3b=450, -길이 0.2l=820

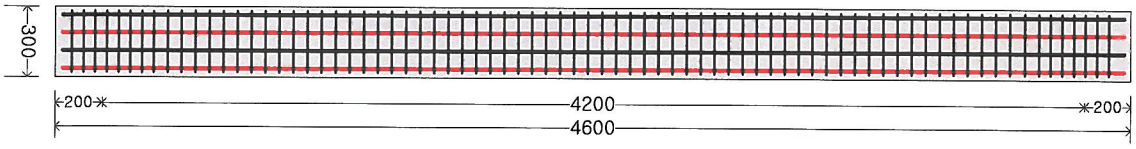
$f'_c = 30.21\text{MPa},\ f_y(D16) = 468.6\text{MPa},\ f_y(D10) = 453.4\text{MPa}$

표 2.3.4 이중보 실험체 형상 및 철근 배근 상세

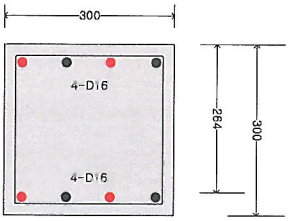
실험체 명	형상 및 철근 배근 상세	비고
DBSS-1		비교 실험체
DBSS-2		드롭패널치수 -너비 : 2B -길이 : 0.1L
DBSS-3		드롭패널치수 -너비 : 2B -길이 : 0.2L
DBSS-4		드롭패널치수 -너비 : 3B -길이 : 0.1L
DBSS-5		드롭패널치수 -너비 : 3B -길이 : 0.2L



(a) 측면도



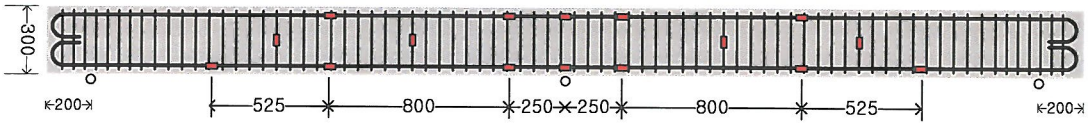
(b) 평면도



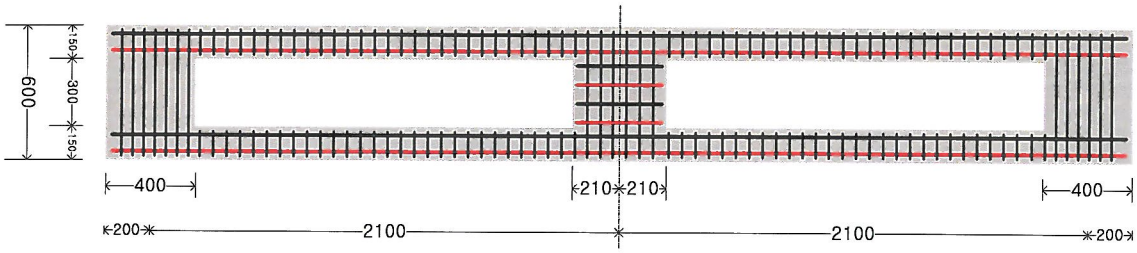
(c) 단면도

Unit: mm

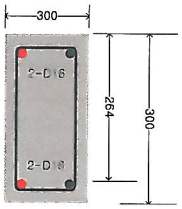
그림 2.3.1 DBSS-1 실험체의 스트레인 게이지 부착 상세도



(a) 측면도



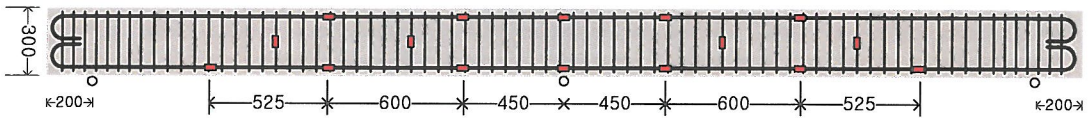
(b) 평면도



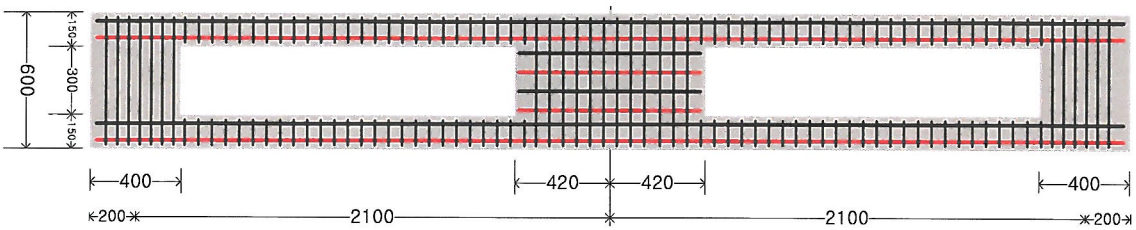
(c) 단면도

Unit: mm

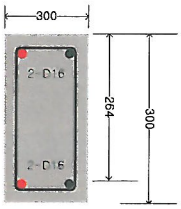
그림 2.3.2 DBSS-2 실험체의 스트레인 게이지 부착 상세도



(a) 측면도



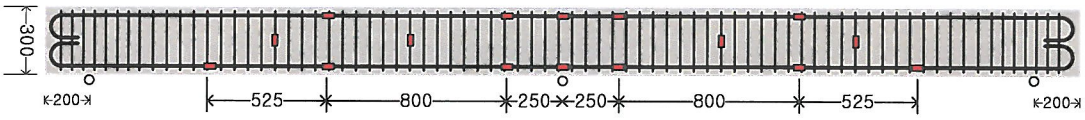
(b) 평면도



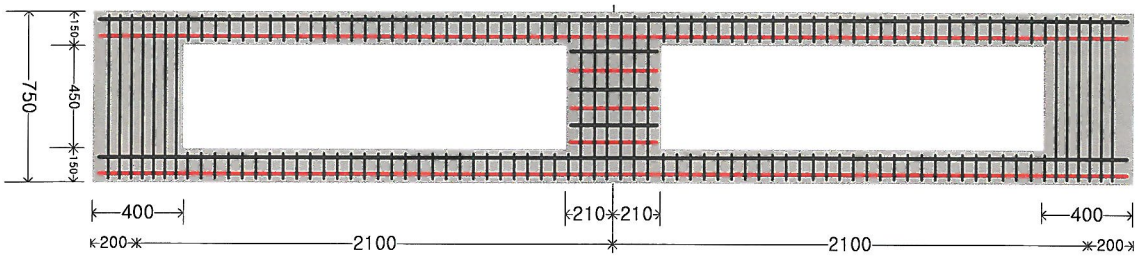
(c) 단면도

Unit: mm

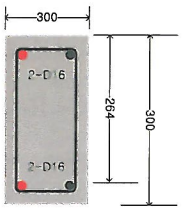
그림 2.3.3 DBSS-3 실험체의 스트레인 게이지 부착 상세도



(a) 측면도



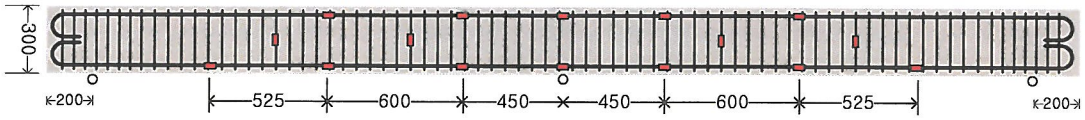
(b) 평면도



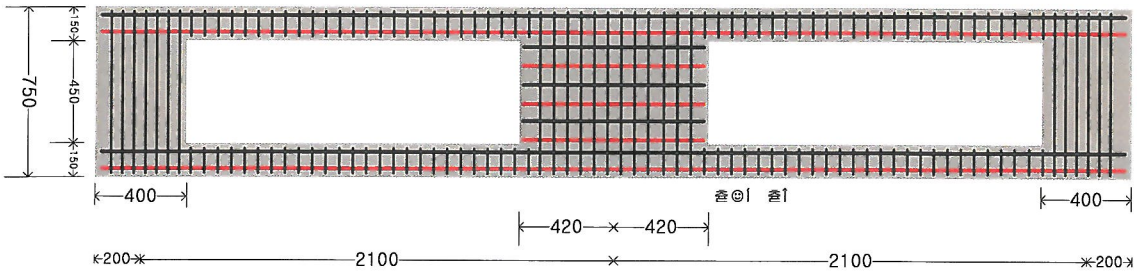
(c) 단면도

Unit: mm

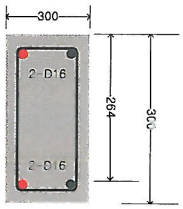
그림 2.3.4 DBSS-4 실험체의 스트레인 게이지 부착 상세도



(a) 측면도



(b) 평면도



(c) 단면도

Unit: mm

그림 2.3.5 DBSS-5 실험체의 스트레인 게이지 부착 상세도

3.1.3 실험체 제작

전체 철근을 배근한 후 스트레인 게이지를 부착하였으며, 철근의 피복이 20mm가 되도록 간격재를 배치하여 철재 및 목재 거푸집에 고정하였다. 콘크리트 타설 시 스트레인 게이지가 손상 되는 것을 방지하기 위하여 케이블 타이로 게이지를 철근에 고정시켰다.

콘크리트 타설 시에는 충진이 잘 되도록 바이브레이터를 사용하여 충분히 진동 다짐하였다. 콘크리트 타설은 레미콘으로 제작된 콘크리트가 응결되기 이전이 종료되었으며 타설 시점이 겨울 이였으므로 타설 직후 피복을 덮고 증기양생 하였다. 콘크리트 공시체는 실험체 바로 옆에서 양생하여 같은 조건에서 양생할 수 있도록 하였다. 실험체는 3일간 습윤 양생을 실시한 후 대기 양생을 실시하였다.

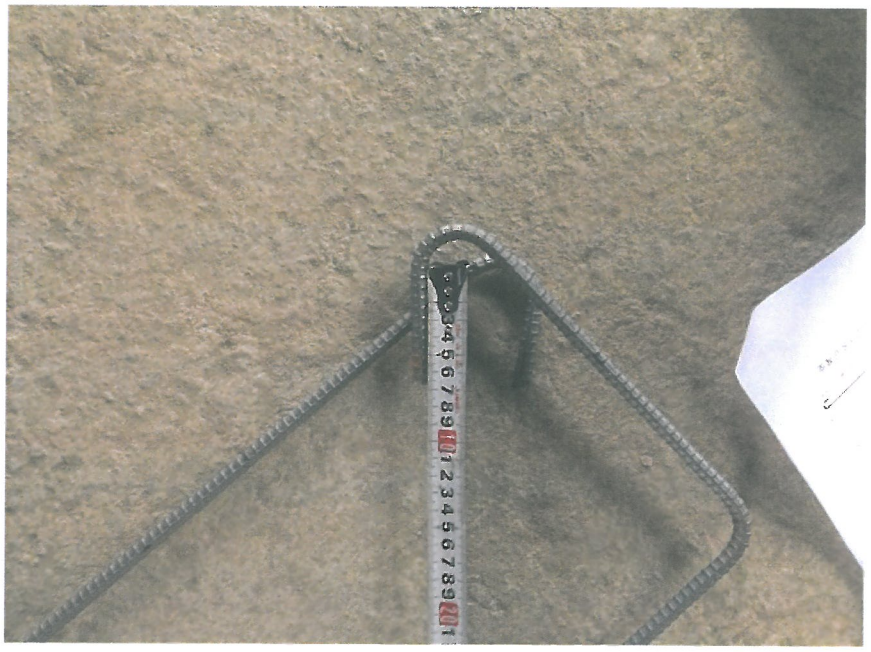


그림 2.3.6 철근 가공 치수 확인

그림 2.3.7 이중보 실험체 철근 배근 현황

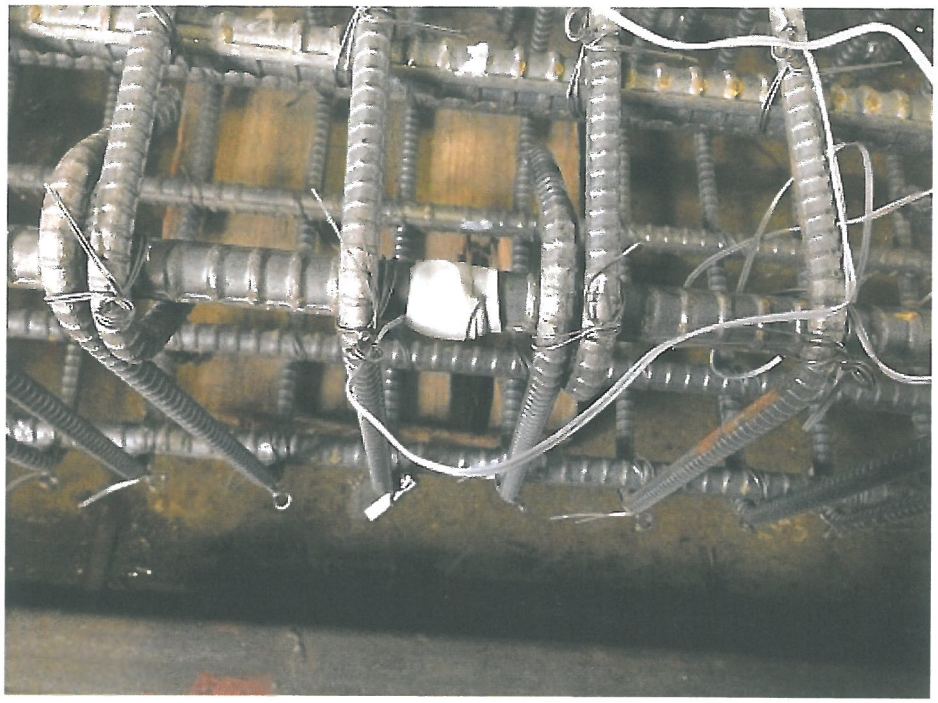


그림 2.3.8 스트레인 게이지 부착

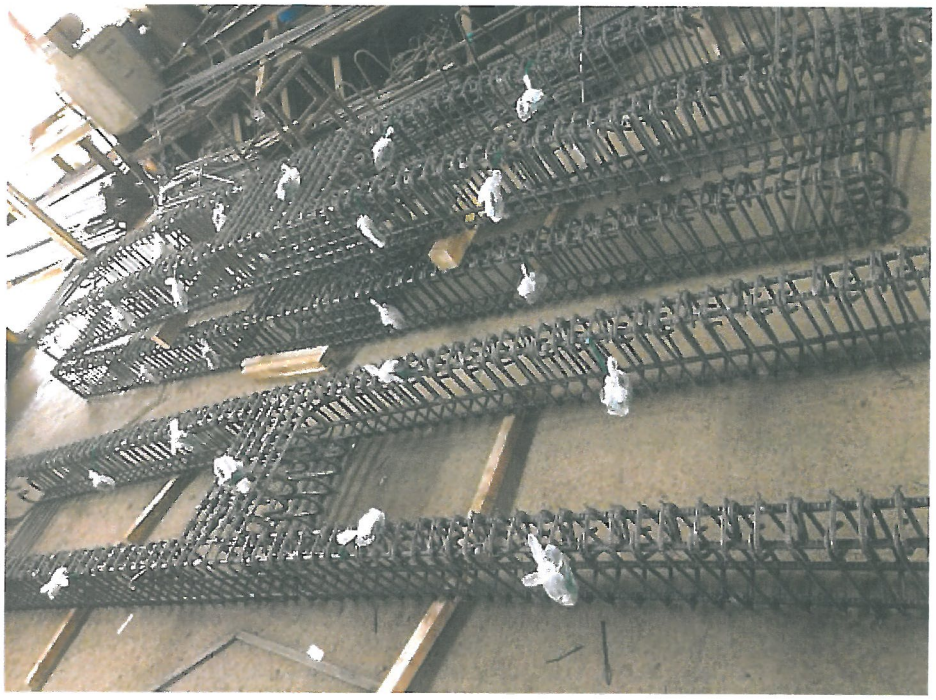


그림 2.3.9 전체 실험체 스트레인 게이지 부착 및 정리

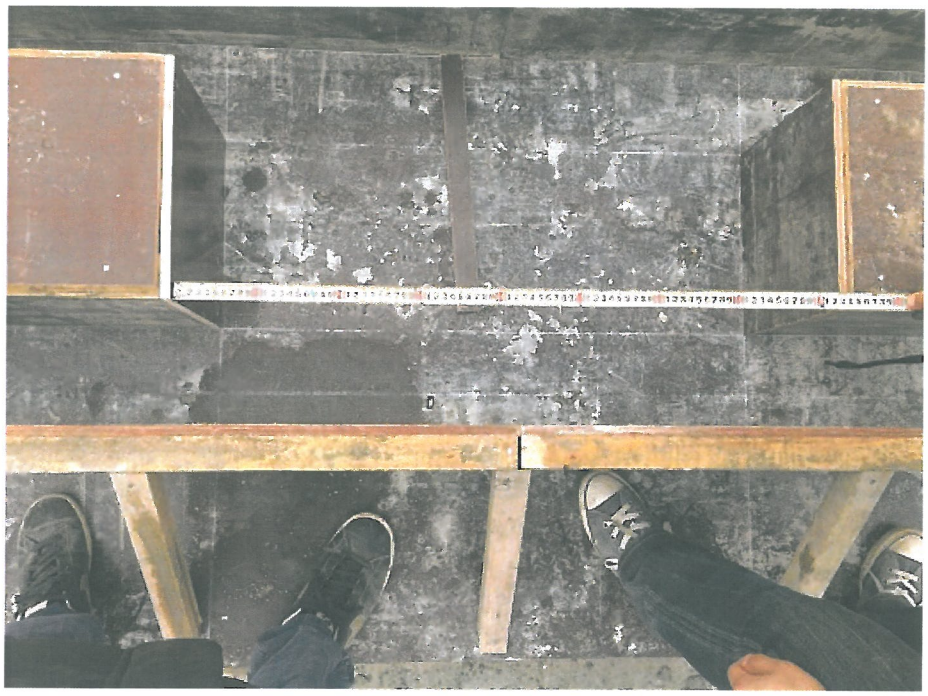


그림 2.3.10 거푸집 설치 및 치수 확인

그림 2.3.11 철근 설치

그림 2.3.12 피복 두께 확보 확인

그림 2.3.13 레미콘 반입

그림 2.3.14 콘크리트 타설

그림 2.3.15 진동 다짐

그림 2.3.16 공시체 제작

그림 2.3.17 인양용 철물 삽입

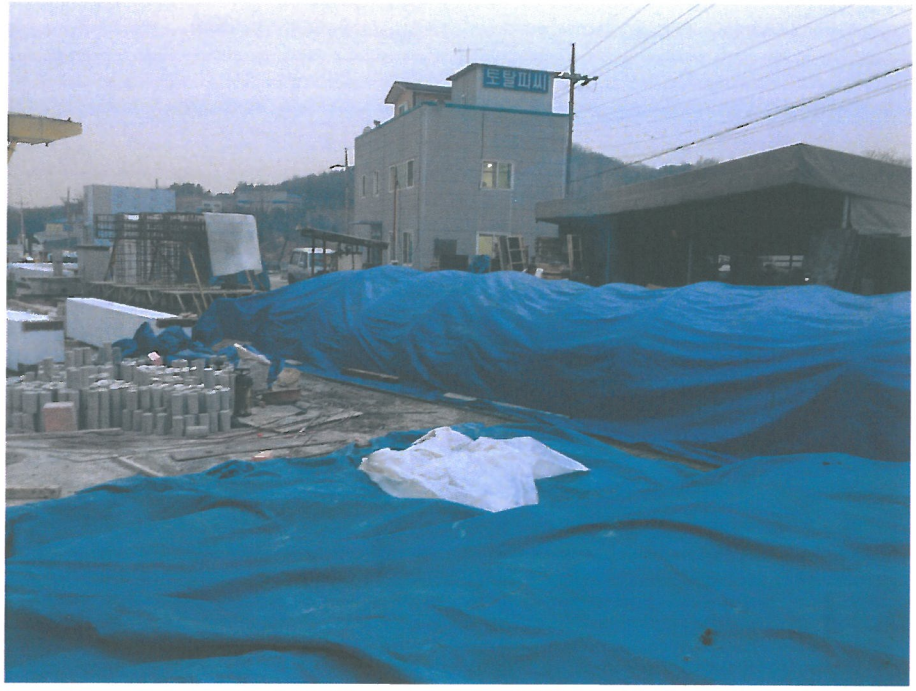


그림 2.3.18 피복 증기양생

3.1.4 실험방법

3.1.4.1 실험 기기 및 설치 방법

이중보의 처짐 감소 효과 성능평가 실험을 위하여 사용된 실험 기기는 다음과 같다.

① UTM(Universal Testing Machine) : 2000kN 용량의 일축 하중 가력기로서, 하중 제어방식으로는 변위법과 하중법이 있다.

② UCAM-500A : 정적 데이터 수집기로 최대 50Hz까지 데이터를 수집할 수 있다.

③ 변위변환기(LVDT) : 정적 변위 측정기 이며 25mm 까지 측정 가능한 모델과 50mm까지 측정 가능한 모델 두 가지를 사용 하였다.

④ 철근 스트레인 게이지 : 철근의 변형률을 측정하기 위하여 사용한 스트레인 게이지의 길이는 5mm이며, 측정범위는 5%까지 가능하다.

이중보 실험은 연속 보 실험으로써 양 경간에 동일한 하중을 가력하기 위하여 지그를 제작하여 실험하였다. 한 개의 철골 보와 두 개의 철물을 이용하여 양 경간의 총 네 개의 보에 동일한 하중이 가해지도록 실험체를 세팅 하였다. 세 개의 지점은 지점 파괴를 방지하기 위하여 폭 200mm의 철판을 두어 응력 집중을 피할 수 있도록 계획하였다.

3.1.4.2 가력 및 측정 방법

이중보 실험체는 모두 그림2.3.19와 같이 중앙부 집중 하중으로 가력되었으며, 가력 속도는 초당 0.02mm가 되도록 변위 제어 방식으로 가력 하였다. 실험체의 처짐을 측정하기 위하여 중앙에서 210mm(0.1l), 420mm(0.2l), 1050mm(0.5l) 떨어진 부위에 양쪽에 3개씩 총 6개의 LVDT를 설치하였다.

변위 제어 방식으로 가력점의 처짐이 20mm 가 될 때까지 가력 하였으며, 이 때 모든 실험체의 인장 철근은 처짐 5mm 전후에서 항복하였다. 따라서 약 4△ 까지를 실험 범위로 하였다.

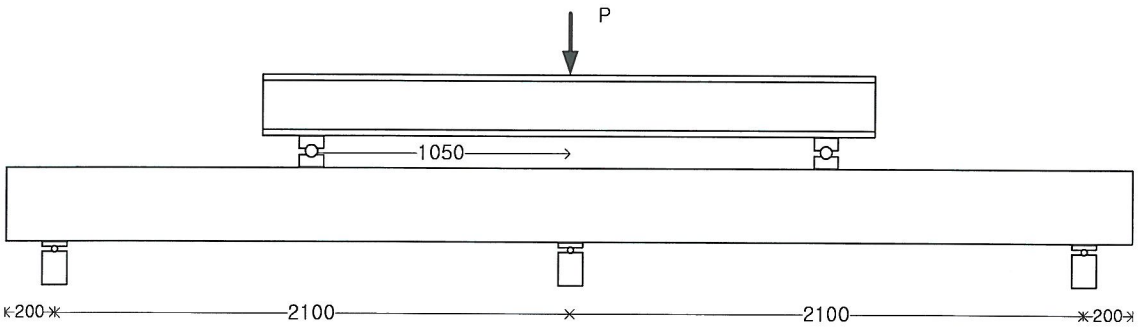


그림 2.3.19 실험체 설치 모식도

그림 2.3.20 실험체 세팅 사진 (DBSS-1)

3.2 실험결과 및 분석

3.2.1 하중-처짐 관계

총 5개의 실험체에 대한 하중-처짐 관계는 그림 2.3.21에 나타내었으며, 항복시 하중과 모멘트 및 실험 종료 시까지 최대 하중과 최대 모멘트를 표 2.3.5에 기술하였다. 모든 실험체는 그림 2.3.22에서 보는 바와 같이 인장 철근의 휨 항복후에 파괴하는 휨 거동을 보였다. 이는 전단파괴를 방지하고 휨 파괴를 유도한 실험계획과 동일한 결과이다.

DBSS-1(비교실험체)의 경우 하중이 약 622kN 부근에서 그래프의 기울기가 급격히 감소하였다. 이때의 처짐 값은 우측 6.51mm 좌측 6.39mm로 평균 6.45mm로 측정되었다. 모두 콘크리트의 인장측에 휨 균열이 발생하였으며 이 균열은 하중이 증가함에 따라 숫자가 늘어나는 결과를 보였다.

DBSS-2(0.1l, 2b) 실험체의 경우 약 677kN에서 철근이 항복하였고 이때의 처짐 값은 우측 6.32mm 좌측 6.66mm로 평균 처짐 값은 6.49mm 이였다. 철근 항복 시의 처짐은 유사하지만 그 때의 하중이 큰 결과를 보았을 때, 휨에 대한 강성이 비교실험체에 비하여 크다는 것을 알 수 있다.

DBSS-3(0.2l, 2b) 실험체 에서는 철근 항복 하중이 약 727kN으로 측정되었다. 이 때의 우측 처짐은 5.70mm 좌측 처짐은 6.73mm로 평균 처짐은 6.21mm 이였다. 이 결과는 DBSS-2 보다 큰 기울기를 가진다는 것을 보여준다.

DBSS-4(0.1l, 3b) 실험체의 경우 항복시 하중 약 617kN, 그때의 우측 처짐 6.15mm, 좌측처짐 5.44mm 평균 처짐 5.80mm 의 결과값을 얻었다. 비교를 위한 그림 2.3.23에서 드롭패널의 길이가 동일하게 0.1l인 실험체 DBSS-2와 유사한 하중-처짐 그래프를 나타내는 것을 볼 수 있다.

DBSS-5(0.2l, 3b) 실험체에서 항복하중은 약 733kN으로 측정되었다. 이때의 우측 처짐은 6.39mm 이였으며 좌측 처짐은 6.14mm로 평균처짐은 6.27mm 이였다. 그림 2.3.23을 보면 이는 DBSS-3과 유사한 하중-처짐 그래프를 보인다.

표 2.3.4는 하중-처짐 실험데이터를 이용하여 이중 보 실험체의 처짐 저감 효과를 분석한 표이다. 비교는 두 가지 방식으로 이루어졌다. 첫 번째로 각 실험체의 인장 철근 항복하중에 대한 처짐을 비교하였다. 각 실험체는 기울기가 증가하는 동시에 내력이 증가하였으므로 처짐 감소 효과는 나타나지 않았다. 두 번째로 비교 실험체의 항복하중의 60%에 해당하는 사용하중에 대하여 모든 실험체의 처짐을 비교 하였다. 한 가지 하중에 대한 비교에서는 비교적 눈에 띄는 처짐의 감소를 볼 수 있다.

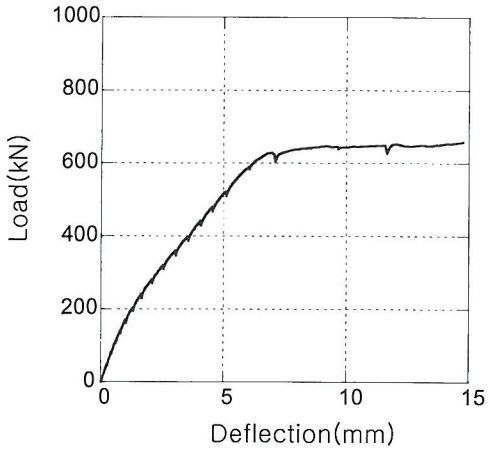
표 2.3.4 처짐 감소 효과 비교

		DBSS-1	DBSS-2	DBSS-3	DBSS-4	DBSS-5
최대 하중시 처짐 비교	처짐 (mm)	6.45	6.49	6.21	5.80	6.27
	감소율 (%)	-	-0.6 (증가)	3.7	10.1	2.8
비교실험체의 사용하중 시 처짐 비교	처짐 (mm)	3.615	2.956	2.728	3.114	2.801
	감소율 (%)	-	18.2	24.5	13.9	22.5

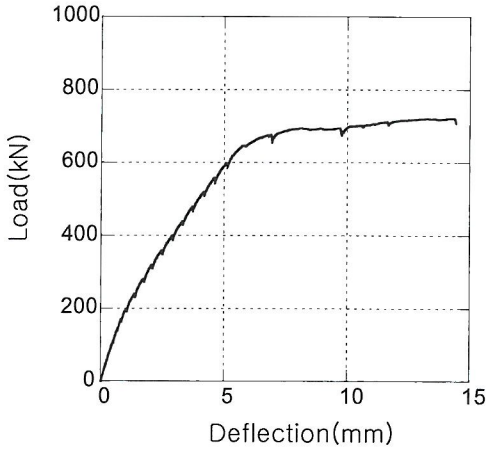
3.2.2 균열 형상 분석

모든 실험체의 전 구간에 대한 균열 형상을 그림 2.3.24에 나타내었다. 모든 실험체에서 비슷한 양상의 균열을 관찰할 수 있었다.

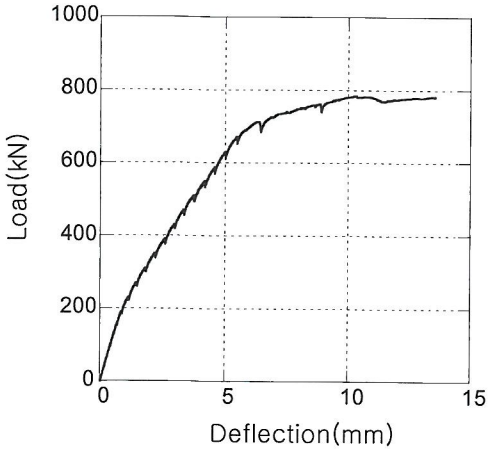
먼저 중앙 지점부의 경우 휨 균열로 시작하여 하중을 가력할수록 경사가 있는 휨 전단 균열로 나아가는 것을 볼 수 있었다. 그리고 힘을 받은 부위인 경간의 중심에선 아래쪽에서 올라오는 균열을 볼 수 있다. 하지만 가력 부위의 경우 하중이 올라가도 전단 균열로 변하지 않고 거의 부재 축과 직각 방향으로 균열이 올라가는 것을 볼 수 있었다.



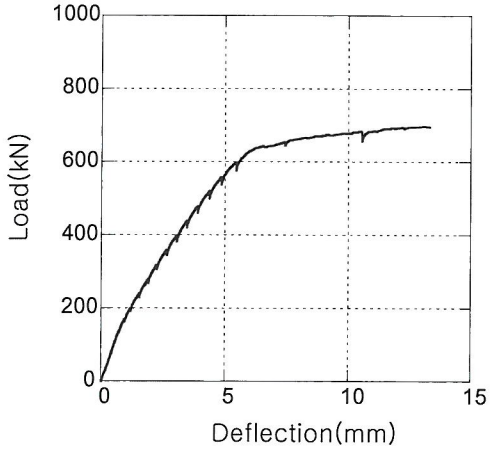
(a) DBSS-1



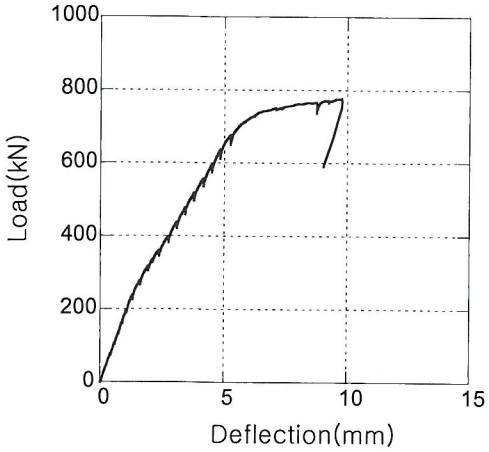
(b) DBSS-2



(c) DBSS-3

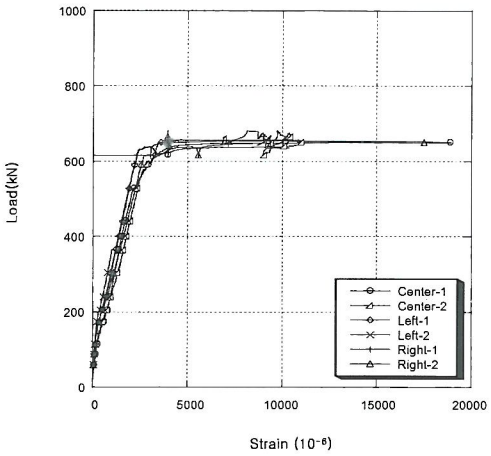


(d) DBSS-4

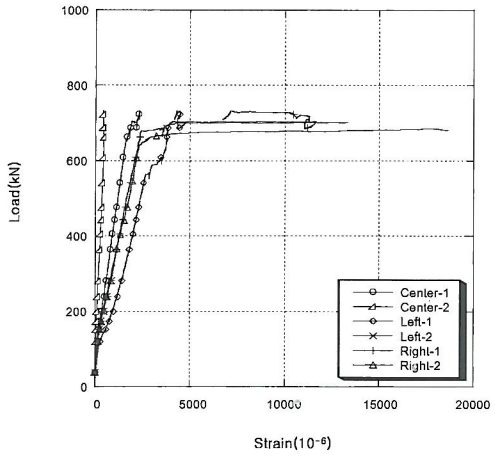


(e) DBSS-5

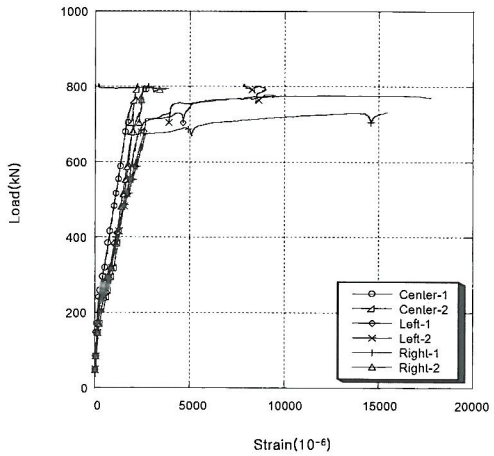
그림 2.3.21 하중-처짐 관계



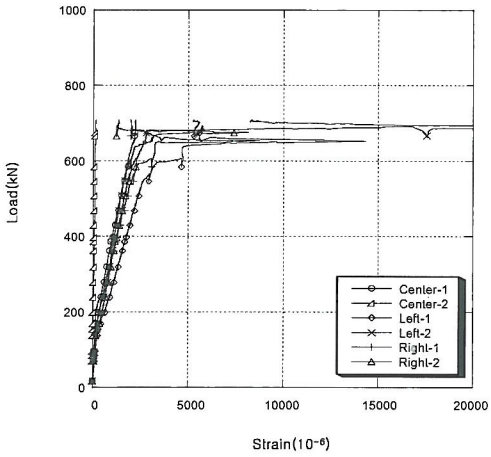
(a) DBSS-1



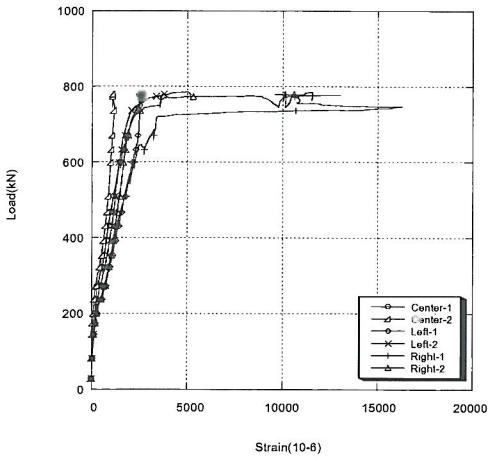
(b) DBSS-2



(c) DBSS-3

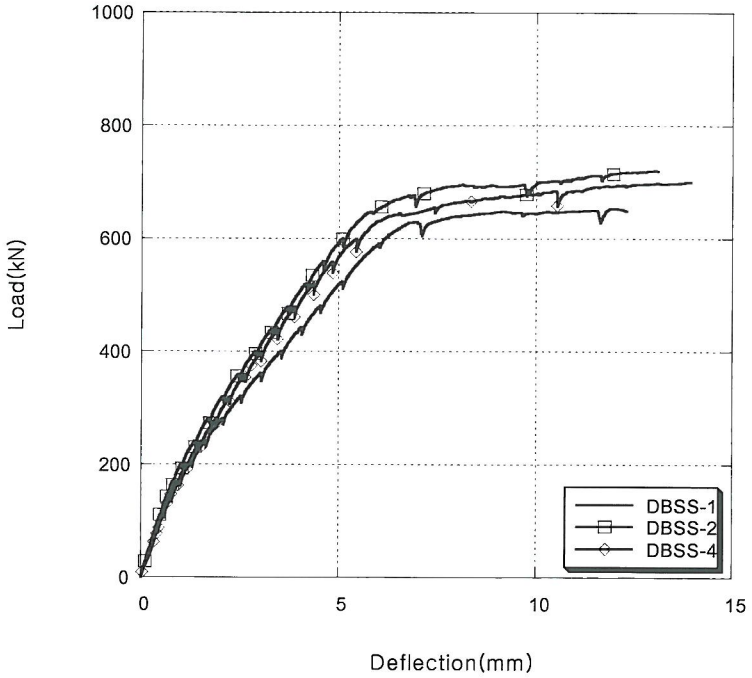


(d) DBSS-4

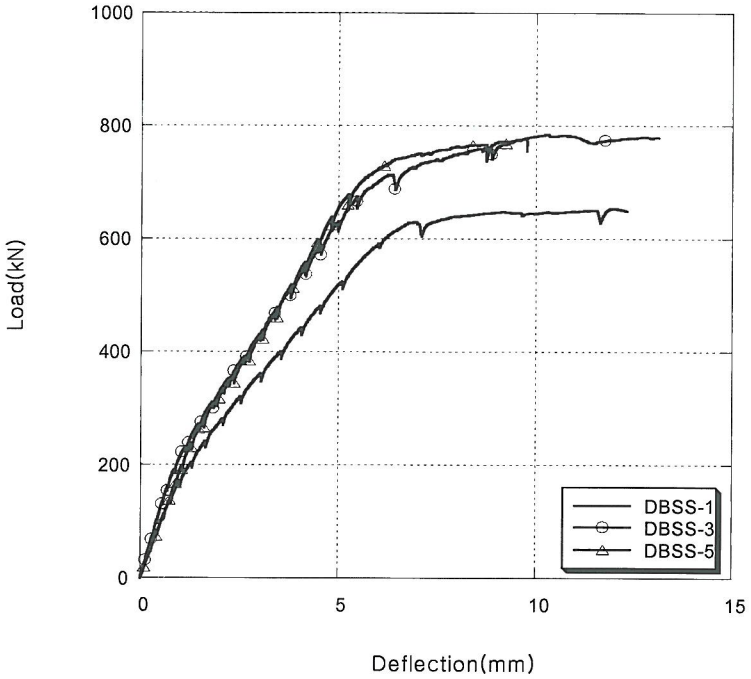


(e) DBSS-5

그림 2.3.22 하중-변형률 관계

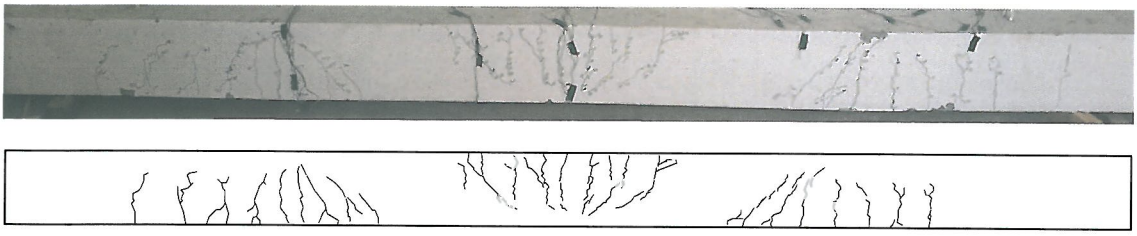


(a) 0.1l 실험체의 하중 처짐 관계 비교

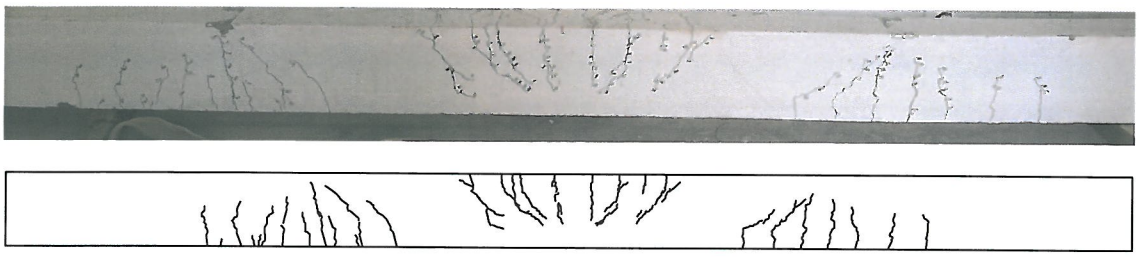


(b) 0.2l 실험체의 하중 처짐 관계 비교

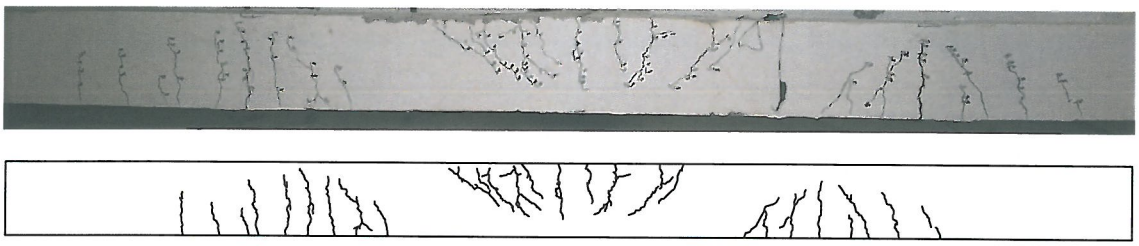
그림 2.3.23 하중-처짐 관계 비교



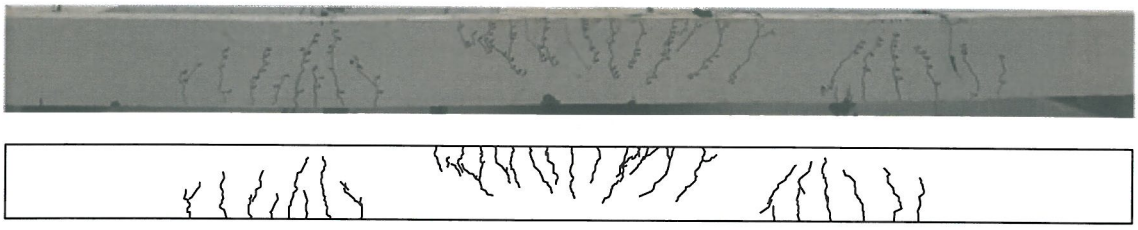
(a) DBSS-1 균열형상



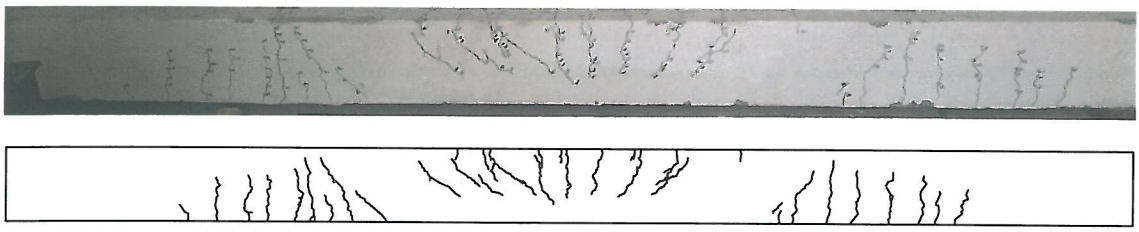
(b) DBSS-2 균열형상



(c) DBSS-3 균열 형상



(d) DBSS-4 균열형상



(e) DBSS-5 균열형상

그림 2.3.24 균열 형상 사진 및 모식도

3.3 소결

드롭패널의 너비와 길이를 변수로 한 이중 보 실험체의 처짐 감소 효과를 실험적으로 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 드롭패널의 길이가 길수록 처짐 감소 효과가 큰 것으로 나타났다. 하지 만 드롭패널의 너비에 따라서는 큰 효과가 없는 것으로 나타났다.

(2) 그 효과는 드롭패널의 길이가 420mm(=0.1l) 인 실험체군의 경우 DBSS-2 에서 18.2%, DBSS-4에서 13.9%의 처짐 감소 효과를 보였다.

(3) 드롭패널의 길이가 840mm(=0.2l) 인 실험체군의 경우 DBSS-3에서 24.5%, DBSS-5에서 22.5%의 처짐 감소 효과를 보였다.

제 4 절 드롭패널을 사용한 철근콘크리트 구조 부재의 성능 평가

4.1 실험체 계획

4.1.1 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 2.4.1과 표 2.4.2에 나타내었다. 1/3 크기 계획에 따른 실험체 형상은 표 2.4.3에 나타낸 바와 같다.

표 2.4.1 기본 모듈 계획(8.0m X 8.0m)

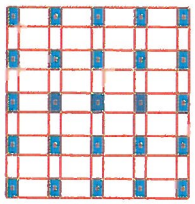
	X방향 보 철근	X방향 드롭패널 철근	하중	(8.0 m X 8.0 m모듈)
8.0m X 8.0 m 모듈	7-D19 (ρ=0.0084)	D19@110 (ρ=0.0049)	DL=5.32 kN/m^2 LL= 15 kN/m^2 (창고)	
* 일반적으로 LL=5.0 kN/m^2 이나 장스팬 고려하여 LL=15kN/m^{2}로 검토 * 하중 LL=5.0 kN/m^{2}를 장스팬 L=14m에 적용한 결과와 유사				

표 2.4.2 1/3 크기 계획(2.7m X 2.7m)

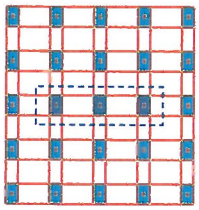
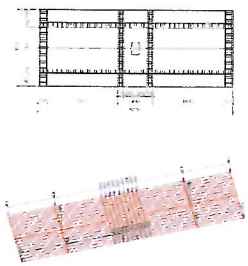
	X방향 보 철근	X방향 드롭패널 철근	하중	(2.7 m X 2.7 m모듈 스케일다운)
2.7m X 2.7 m 모듈	2-D13 (ρ=0.0097)	D10@100 (ρ=0.0041)	DL=5.32 kN/m^2 LL= 15 kN/m^2 (창고)	

표 2.4.3 실험체 설계

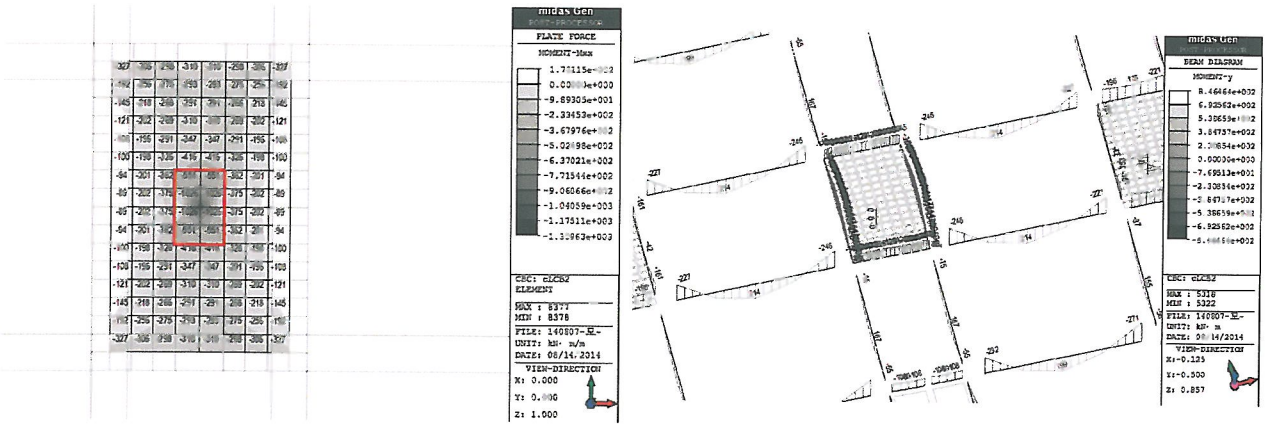
	X방향 보 철근	X방향 드롭패널 철근	하중	
폭 1.95m X 4.75 m	2-D13 (ρ=0.0097)	D10@100 (ρ=0.0041)	P_D=자중 (27.69 kN) P_L=100 kN (도출된 집중하중은 적재하중으로 계산함.)	
* 설계 순서 : RC보 배근 결정 → Pu결정 → 드롭패널의 배근 결정 * 실험체 하중 재하 조건을 고려하여 설계된 실험체의 집중하중 도출				

4.1.2 실험체 제작 계획

실험체 형상은 표 2.4.3에 나타낸 바와 같으며, 실험체 제작을 위하여 마이다스 구조해석 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 2.4.4와 그림 2.4.1~2.4.3에 나타내었다.

표 2.4.4 실험체 설계

실험체 설계										
	모듈	DROP크기	DROP	RC보	기둥	슬래브	피복	드롭배근	RC보 배근 (인장측)	하중
일반 설계	8.0X8.0 m	2250X3600	600	450X600	600X900	180	60	D19@110 (ρ=0.0049)	7-D19 (ρ=0.0084)	(등분포하중) D=5.32 kN/m^2 LL=15.0 kN/m^2
스케일 다운 설계	2.7X2.7m	750X1200	200	150X200	200X300	60	20	D10@100 (ρ=0.0041)	2-D13 (ρ=0.0097)	(등분포하중) D=5.32 kN/m^2 LL=15.0 kN/m^2
실험체 설계	RC DBS-1	750X1200	200	150X200	200X300	60	20	D10@100 (ρ=0.0041)	2-D13 (ρ=0.0097)	P_D=27.69 kN (자중) P_L=100 kN (1.2P_D+1.6P_L=193 kN) P_u=193 kN *실재 실험체 하중과 동일하게 적용하기 위하여 슬래브에 가상보를 설치하여 집중하중으로 설계.



(a) 8.0X8.0 m 모듈 드롭패널 응력 (b) 8.0X8.0 m RC 보 휨 응력

그림 2.4.1 RC DBS (8.0X8.0m 일반설계) 해석결과

1. Design Conditions

Design Code : KCI-USD07

Material Data : f_{ck} = 27 MPa

: f_y = 300 MPa f_{yt} = 300 MPa

Section Dim. : 400 * 600 mm (c_c = 60 mm)

2. Resisting Moment Capacity

A_s	A'_s	ε_t	Φ	ΦM_n(kN.m)	d(mm)	ρ	ρ	Space(mm)
2-D19	2-D19	0.0275	0.850	84.1	518	0.0028 $A_{s,min}$	0.0028	236>s_{min}
3-D19	2-D19	0.0249	0.850	117.1	518	0.0042 $A_{s,min}$	0.0028	118
4-D19	2-D19	0.0224	0.850	150.1	518	0.0055	0.0028	79
5-D19	2-D19	0.0202	0.850	179.7	509	0.0070	0.0028	79
6-D19	2-D19	0.0182	0.850	209.3	503	0.0085	0.0028	79
7-D19	2-D19	0.0164	0.850	238.7	499	0.0101	0.0028	79
8-D19	2-D19	0.0148	0.850	267.8	496	0.0116	0.0028	79

$A_{s,min}$ = 966 mm², $A_{s,max}$ = 5771 mm² (0.0279), Bar Space$_{min}$ = 212 mm

Torsional Effect is neglected if $T_u \le$ 9.4 kN-m

3. Resisting Shear Capacity

Stirrup	ΦV_c(kN)	ΦV_s(kN)	ΦV_n(kN)	ΦV_{max}(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_{ck} = 27 MPa

: f_y = 300 MPa

Concrete Clear Cover : 60 mm

2. Slab Thk : 600 mm

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

	@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

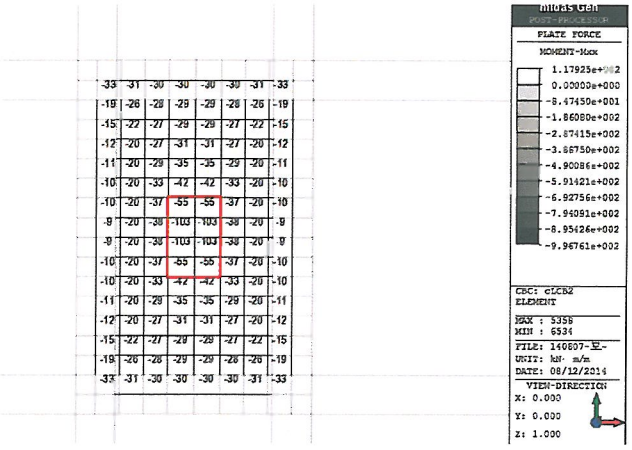
Long Direction Moment

	@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	369.5	356.7	344.5	322.3	243.8
D22+D25	542.2	495.7	456.5	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

ΦV_c = 343.5 kN/m

(d) 드롭패널 배근 테이블

그림 2.4.1 RC DBS (8.0X8.0m 일반설계) 해석결과(계속)



(a) 2.7X2.7 m 모듈 드롭패널 응력

(b) 2.7X2.7 m RC 보 휨 응력

그림 2.4.2 RC DBS (2.7X2.7m 스케일 다운) 해석결과

1. Design Conditions

Design Code : KCI-USD07
Material Data : f_{ck} = 27 MPa
: f_y = 300 MPa f_{ys} = 300 MPa
Section Dim. : 150 × 200 mm (c_c = 20 mm)

2. Resisting Moment Capacity

A_s	A'_s	ε_t	ϕ	ϕM_n(kN.m)	d(mm)	ρ	ρ	Space(mm)
2-D13	2-D13	0.0120	0.850	10.1	164	0.0103	0.0103	78
3-D13	2-D13	0.0099	0.850	13.1	152	0.0167	0.0103	78
4-D13	2-D13	0.0081	0.850	16.0	145	0.0233	0.0103	78

$A_{s,min}$ = 115 mm², $A_{s,max}$ = 686 mm² (0.0279), Bar Space$_{max}$ = 315 mm
Torsional Effect is neglected if $T_u \le 0.4$ kN-m

3. Resisting Shear Capacity

Stirrup	ϕV_c(kN)	ϕV_s(kN)	ϕV_n(kN)	ϕV_{max}(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

(c) 보 배근 테이블

1. Design Conditions

Design Code : KCI-USD07
Material Data : f_{ck} = 27 MPa
: f_y = 300 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	19.6
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	45.8	43.1
D16	88.7	80.5	73.8	68.0	63.1	58.9	55.2	51.9

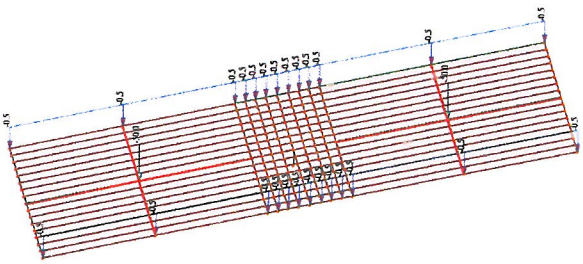
Long Direction Moment

	@ 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

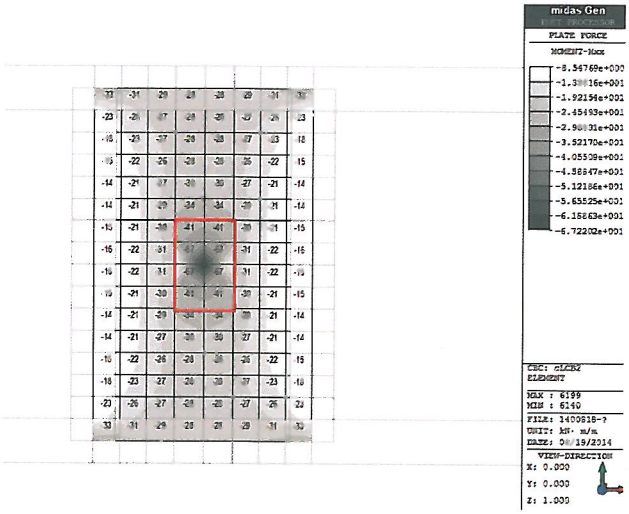
ϕV_c = 112.8 kN/m

(d) 드롭패널 배근 테이블

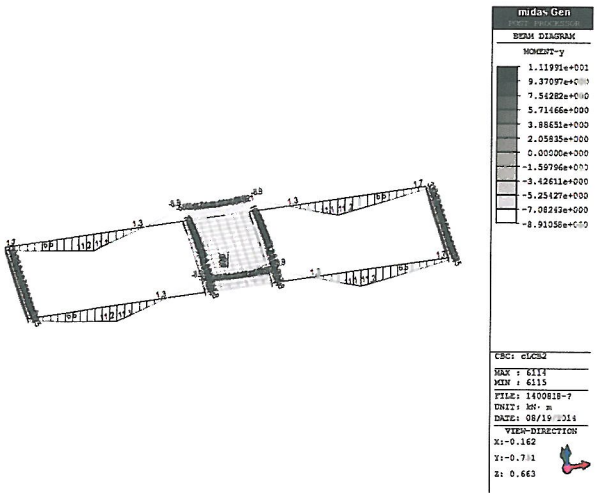
그림 2.4.2 RC DBS (2.7X2.7m 스케일 다운) 해석결과(계속)



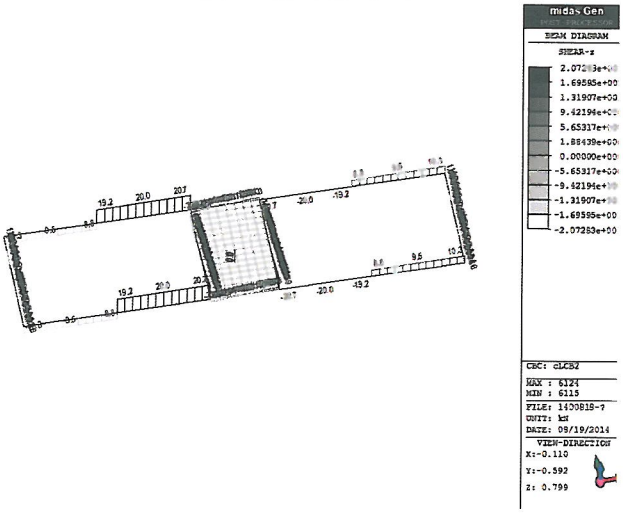
(a) 실험체 하중조건



(b) 드롭패널 응력



(c) 보의 휨응력



(d) 보의 전단응력

그림 2.4.3 RC DBS-1 실험체 해석결과

1. Geometry and Materials

Design Code : KCI-USD07

Material Data : f_{ck} = 27 MPa (β_1 = 0.850)

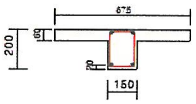
f_y = 300, f_{yt} = 300 MPa

Section Dim. : 200 × 150 mm (hf=60, bf=675 mm)

Top Layer 1 : 2 - D13 (d_t = 20 mm)

Bot. Layer 1 : 2 - D13 (d_b = 20 mm)

Total Steel Area A_{st} = 507 mm² (ρ_{st} = 0.0082)



2. Member Force and Moment

M_u = 11.3 kN-m V_u = 20.9 tf

T_u = 0.0 kN-m

3. Check Reinforcement Ratio and Crack Control

Minimum Tension Reinf. $A_{s,min}$ = 126 < 253 mm² ..... O.K.

Maximum Tension Reinf. $A_{s,max}$ = 3639 > 253 mm² ..... O.K.

Rebar Ratio corresponding to Allowable Minimum Strain (0.0040) = 0.6429 ρ_b

$s = \min(375(\frac{210}{f_s}) - 2.5c_c, 300(\frac{210}{f_s}))$ = 315.00 mm

Space of main rebar = 110.00 < 315.00 mm, ... O.K.

4. Check Torsional Moment Capacity

Strength Reduction Factor Φ = 0.750

$T_{nc} = \Phi\sqrt{f_{ck}}\left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$ = 0.4 kN-m > T_u (Torsional Reinf. Negligible)

5. Check Bending Moment Capacity

Strength Reduction Factor Φ = 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 mm

Balanced Axis Depth c_b = 120 mm

Design Moment Strength ΦM_n = 12.3 kN-m

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

6. Check Shear Capacity

Strength Reduction Factor Φ = 0.750

$\Phi V_c + \Phi V_s$ = 17.5 + 3.4 = 20.9 kN

Stirrup Spacing : 2 - D10 @ 90 mm

(e) 보 배근 테이블

1. Design Conditions

Design Code : KCI-USD07

Material Data : f_{ck} = 27 MPa

: f_y = 300 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

ΦV_c = 112.8 kN/m

(f) 드롭패널 배근 테이블

그림 2.4.3 RC DBS-1 실험체 해석결과(계속)

4.2 실험 계획

4.2.1 사용 재료

드롭패널의 철근비에 따른 철근콘크리트 구조 부재의 휨 성능을 평가하기 위하여 표 2.4.5에 나타낸 바와 같이 콘크리트는 배합강도가 24MPa인 콘크리트를 계획하였으나 겨울철 타설을 고려하여 강도 발현에 문제가 발생하지 않도록 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 ϕ100x200mm 크기의 원형 실린더형 공시체를 총 24개 제작하였으며, 공시체의 양생은 부재와 동일한 조건으로 하였다. 그림 2.4.4는 실험체의 타설 과정을 나타낸 것이다.

콘크리트의 압축강도 시험은 실험체 파괴 일에 맞추어 실험 전과 후에 압축강도 시험을 실시하였으며, 그 결과 RC DBS-1, 2, 3는 29.9MPa, RC DBS-4는 36.0MPa의 콘크리트 압축강도를 나타내었다. 그림 2.4.5(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 2.4.5(b)에 나타내었으며, 역학적 특성은 표 2.4.6에 나타내었다.

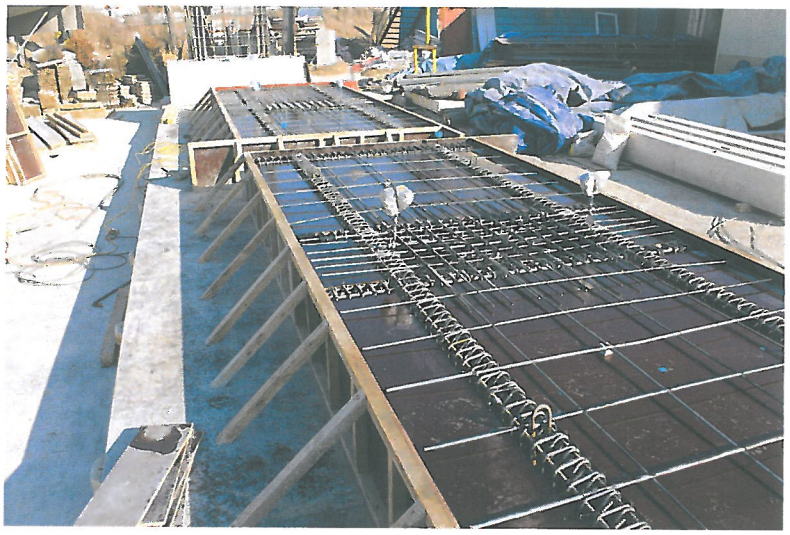
표 2.4.5 콘크리트 배합설계표

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

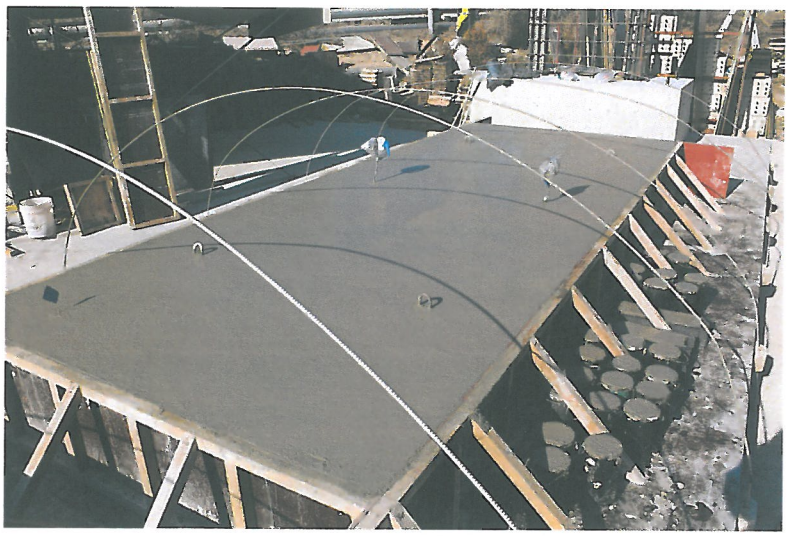


(a) 거푸집 작업 완료

(b) 타설 준비

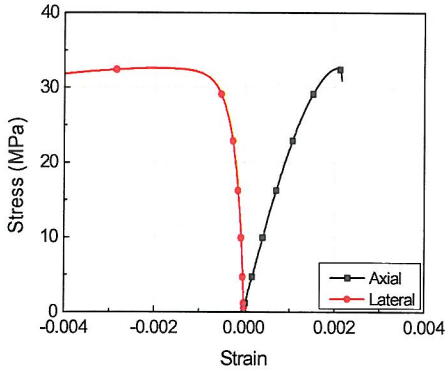
(c) 실험체 타설

그림 2.4.4 실험체 타설 과정

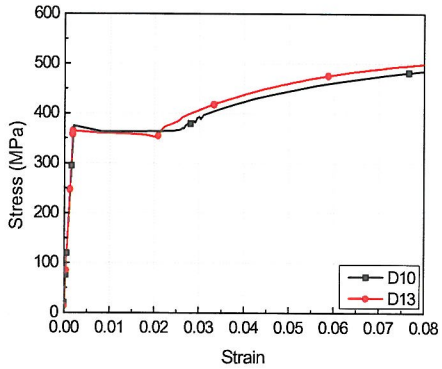


(d) 타설 완료

그림 2.4.4 실험체 타설 과정(계속)



(a) 콘크리트



(b) 철근

그림 2.4.5 사용재료의 응력-변형률 관계

표 2.4.6 철근 상세 및 역학적 특성

실험체	철근종류	용 도	단면적 (mm^2)	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	항복변형률	탄성계수 (GPa)
RC DBS-1~3	D13	인장 및 압축철근	126.7	364.6	523.6	0.00191	191
	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 2.4.7 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= 364.6MPa	D10@100mm f_y= 373.3MPa	기본 실험체
RC DBS-2								2-D13 f_y= 364.6MPa	D13@100mm f_y= 364.6MPa	드롭패널 비교 실험체
RC DBS-3								3-D13 f_y= 364.6MPa	D13@100mm f_y= 364.6MPa	보 배근 비교 실험체
RC DBS-4								2-D13 f_y= 385.3MPa	D10@150mm f_y= 353.2MPa	드롭패널 비교 실험체

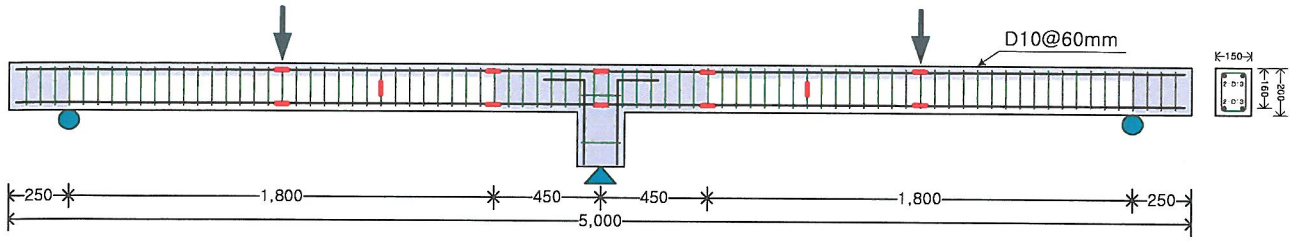
f_{ck} = 30MPa, 전단보강근 = D10@60mm

4.2.2 실험체 계획

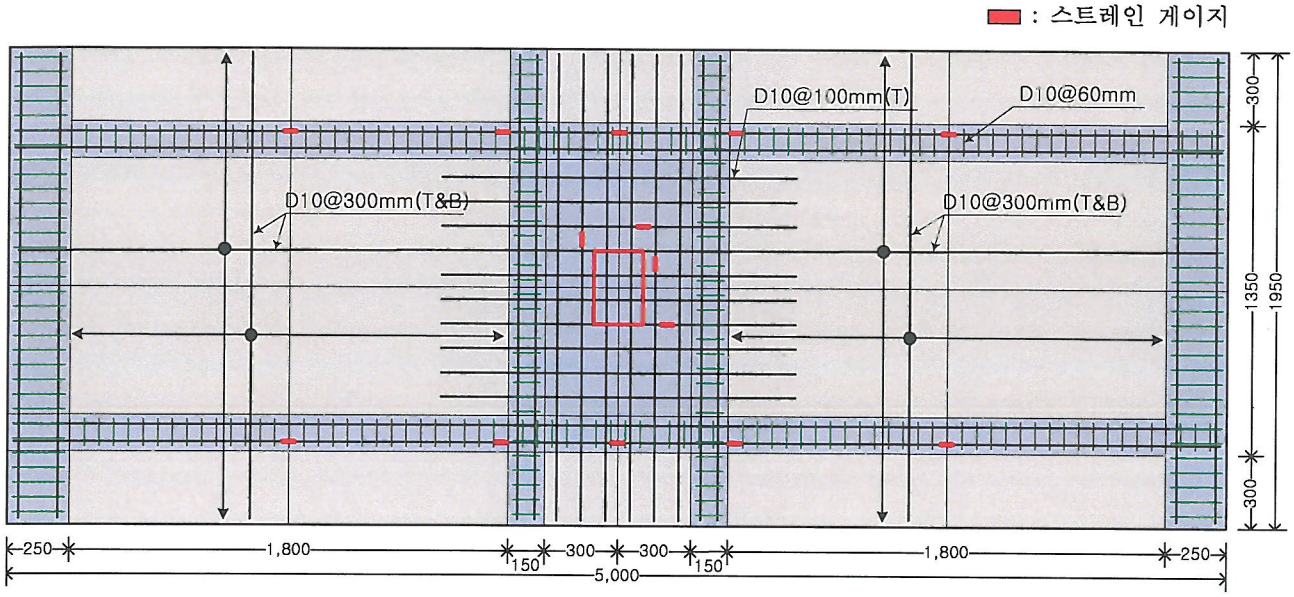
드롭패널을 활용한 장스팬 철근콘크리트 보 실험체의 구조 성능을 평가하기 위하여 표 2.4.7에 나타낸 바와 같이 총 4체의 실험체를 계획하였다. 실험변수는 #형 접합부와 보의 철근량으로 하였으며, 실험체 배근 상세를 그림 2.4.6~2.4.9에 나타내었다.

표 2.4.7의 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 알아보고자 드롭패널의 철근량을 약 40% 증가시킨 실험체를 의미한다. RC DBS-3은 보의 내력에 따른 영향을 알아보고자 보의 철근량을 증가시킨 실험체를 의미한다. RC DBS-4는 추가적으로 제작한 실험체로 드롭패널의 철근량 감소에 따른 영향을 알아보고자 드롭패널의 철근량을 약 30% 감소시킨 실험체이다.

그림 2.4.6~2.4.9에 나타내었듯이 실험체는 2경간 연속보로 길이는 5,000mm이며, 보는 단면 150x200mm로 계획하였다. 실험체의 연속부인 기둥 주변에 1350x900x200mm 크기의 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.

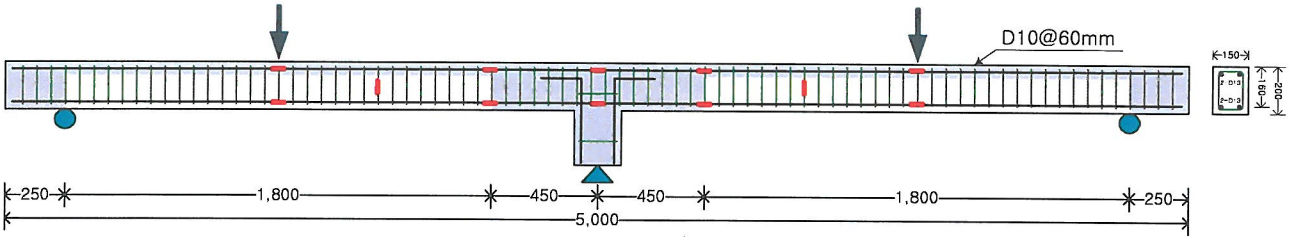


(a) 배근 단면



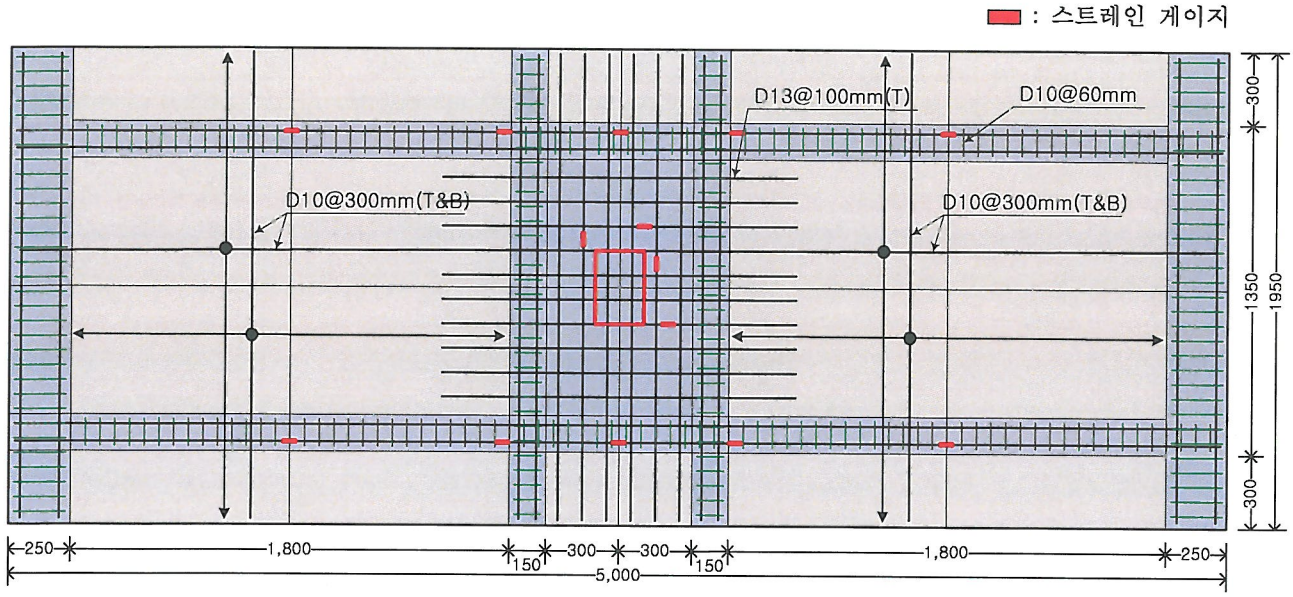
(b) 배근 평면

그림 2.4.6 RC DBS-1 배근 상세



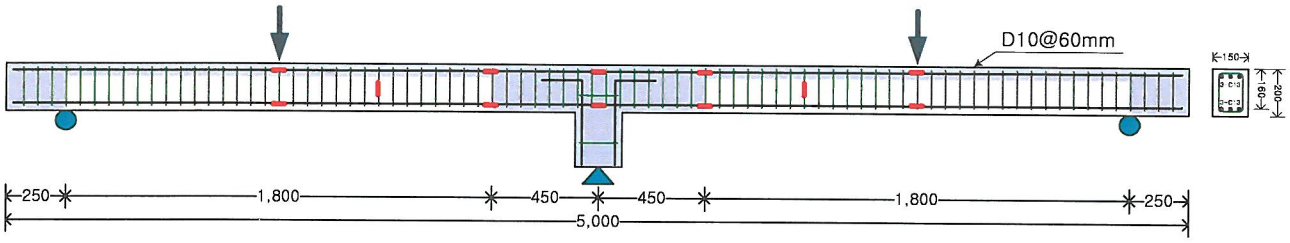
(a) 배근 단면

그림 2.4.7 RC DBS-2 배근 상세

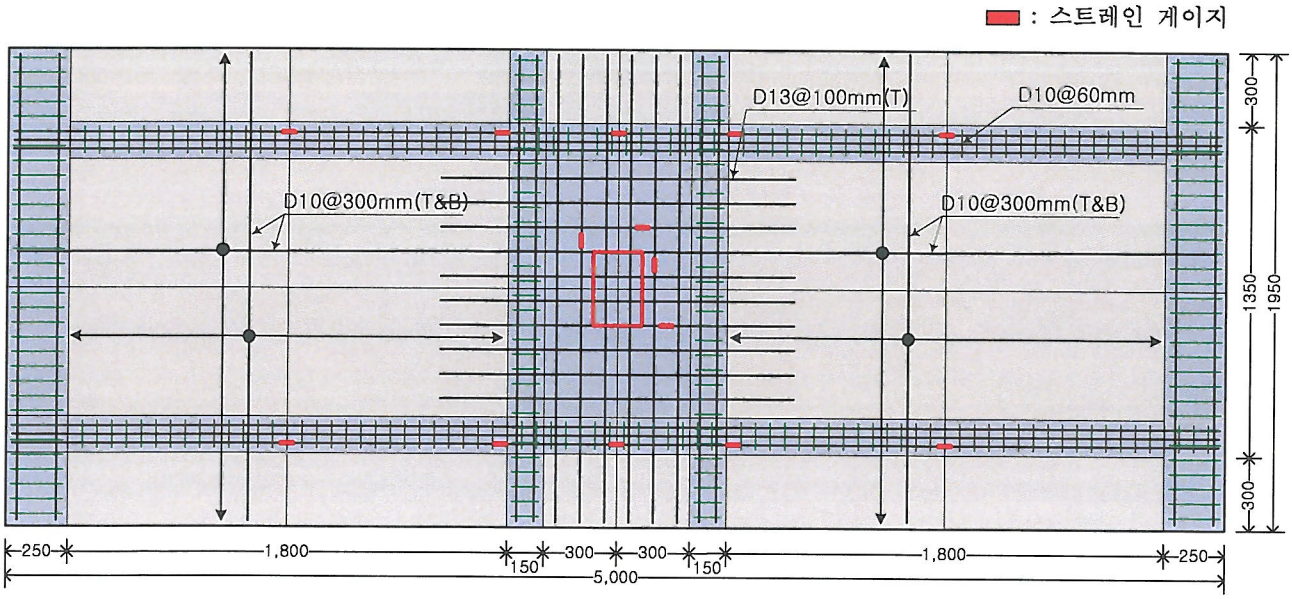


(b) 배근 평면

그림 2.4.7 RC DBS-2 배근 상세(계속)

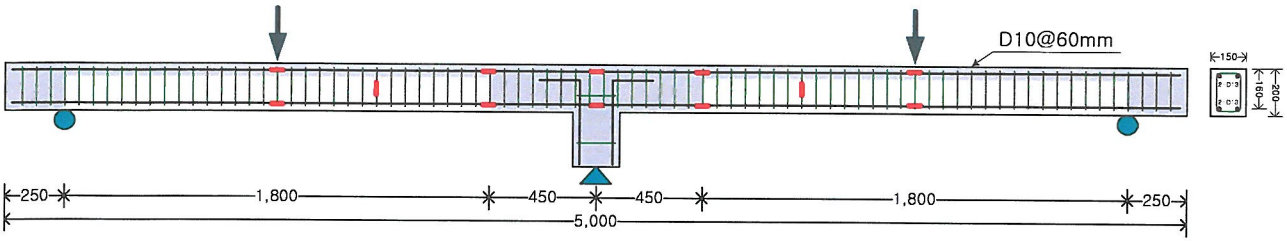


(a) 배근 단면

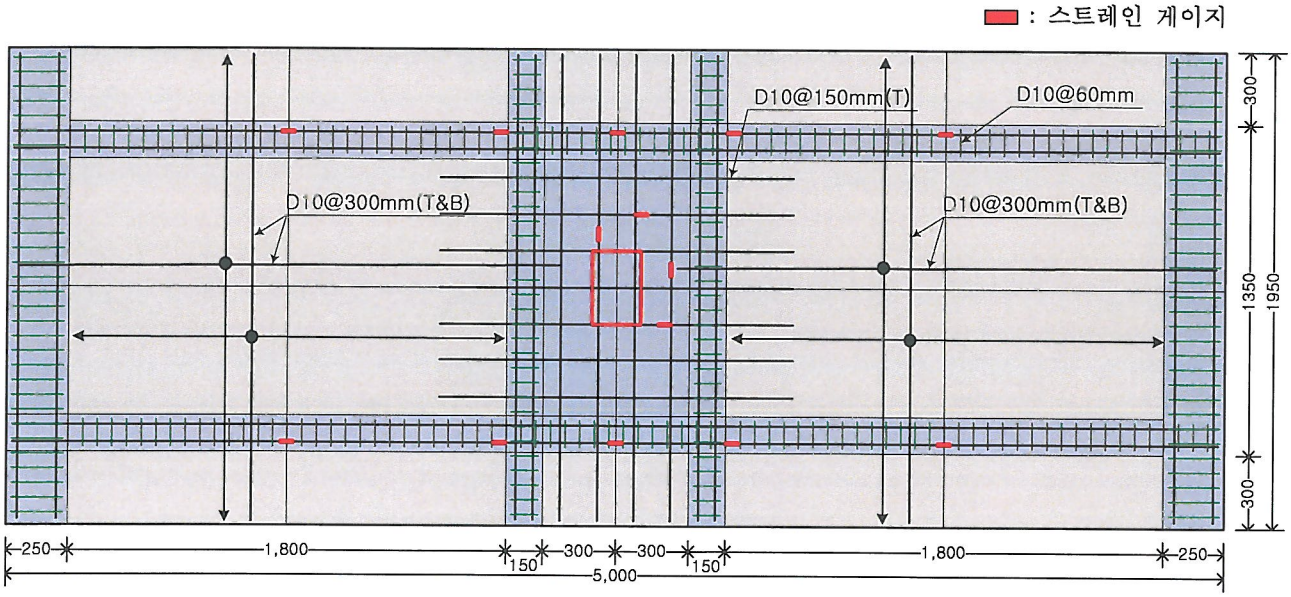


(b) 배근 평면

그림 2.4.8 RC DBS-3 배근 상세



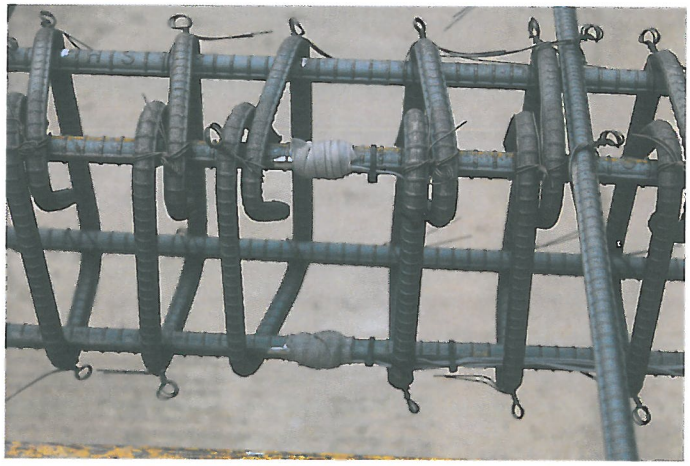
(a) 배근 단면



(b) 배근 평면

그림 2.4.9 RC DBS-4 배근 상세

(a) 실험체 배근



(b) 실험체 게이지 작업

(c) 실험체 배근 완료

그림 2.4.10 실험체 제작 과정

4.2.3 실험방법

실험체 가력방법은 그림 2.4.11과 그림 2.4.12에 나타낸 바와 같이 1,000kN 용량의 유압잭을 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 2.4.10과 같이 LVDT를 설치하였다.

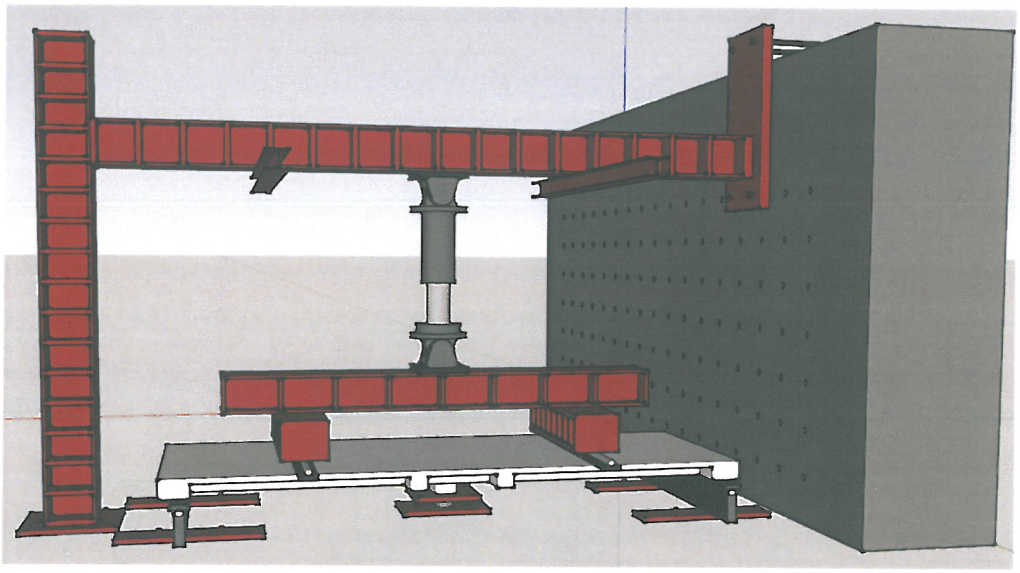


그림 2.4.11 실험체 세팅 현황

그림 2.4.12 실험체 실험 전경

4.3 실험결과 및 분석

4.3.1 하중-처짐 관계

그림 2.4.13은 각 실험체의 하중-처짐 관계를, 표 2.4.8에는 실험결과를 나타내었다. 하중-처짐 관계에서의 처짐은 최대 처짐이 발생한 경간의 중앙부 하단에 설치한 LVDT를 이용하여 나타내었다. 모든 실험체의 휨 거동은 그림 2.4.13과 같이 가력 초기에 실험체 보 중앙부 하단에서 초기 휨 균열이 발생하였으며 하중이 증가함에 따라 인장철근이 항복한 이후 연성적인 휨 거동을 나타내었다.

그림 2.4.13에 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. 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.

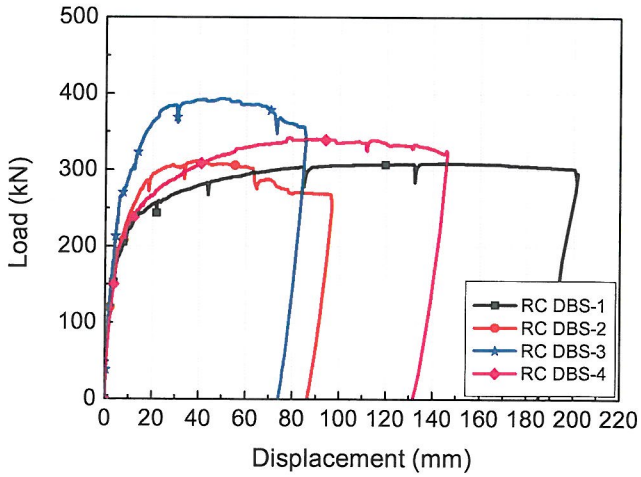
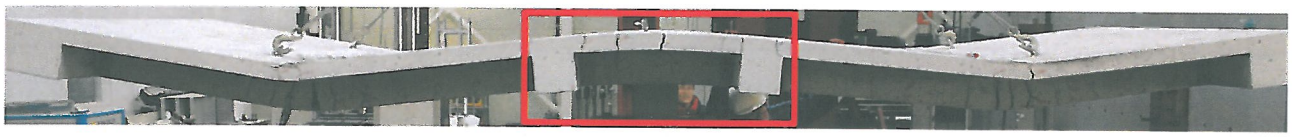


그림 2.4.13 실험체의 하중-처짐 관계

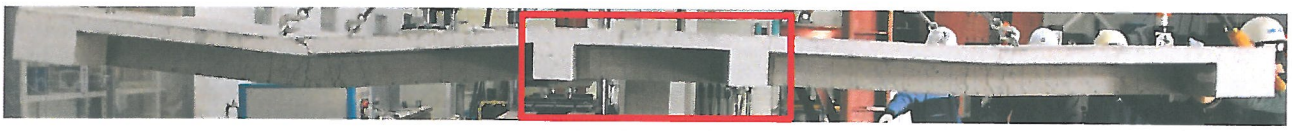
표 2.4.8 실험결과

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



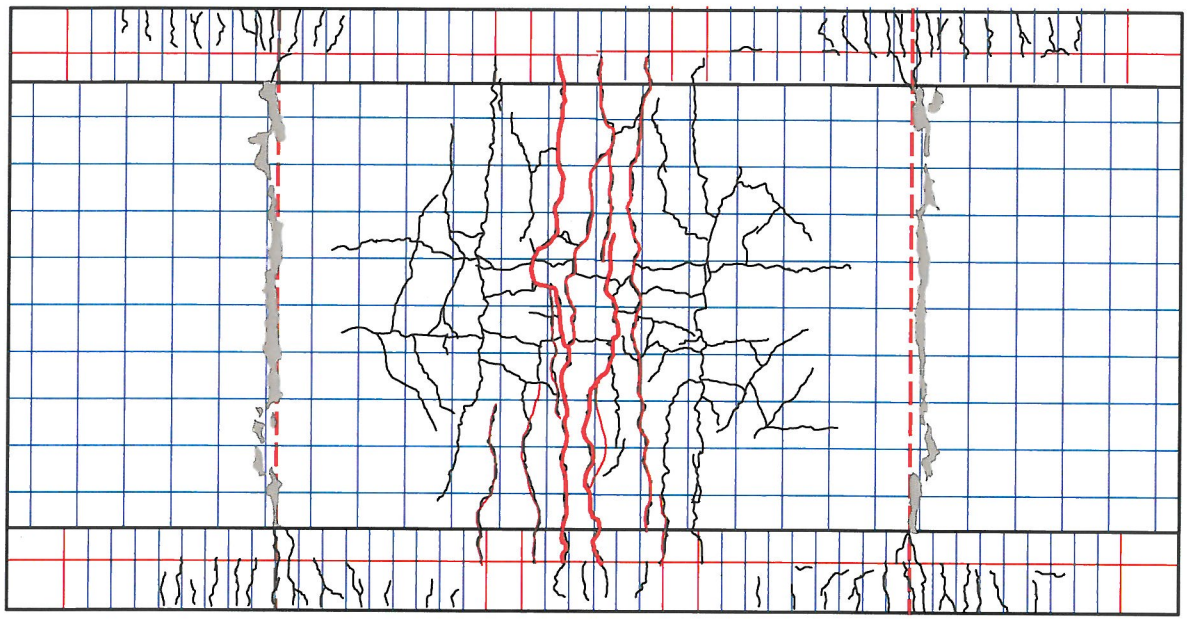
(c) RC DBS-3 실험체

(d) RC DBS-4 실험체

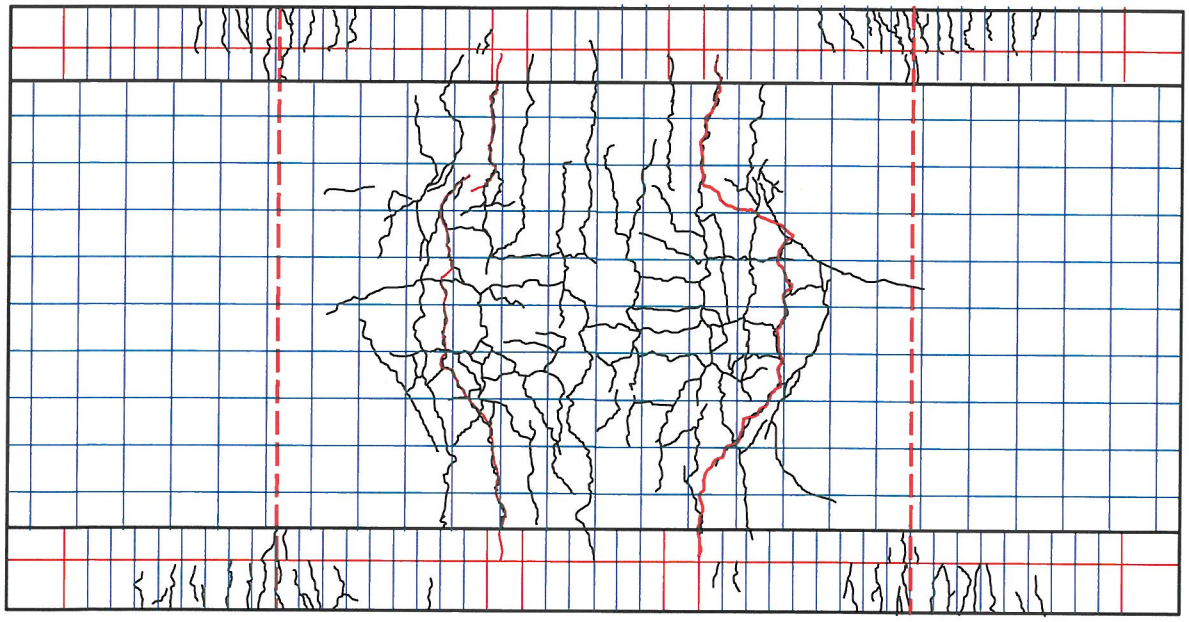
그림 2.4.14 실험체의 최종 균열 양상(단면)

4.3.2 균열 및 파괴양상

실험 종료 후의 균열 및 파괴 양상은 그림 2.4.14~2.4.15에 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.

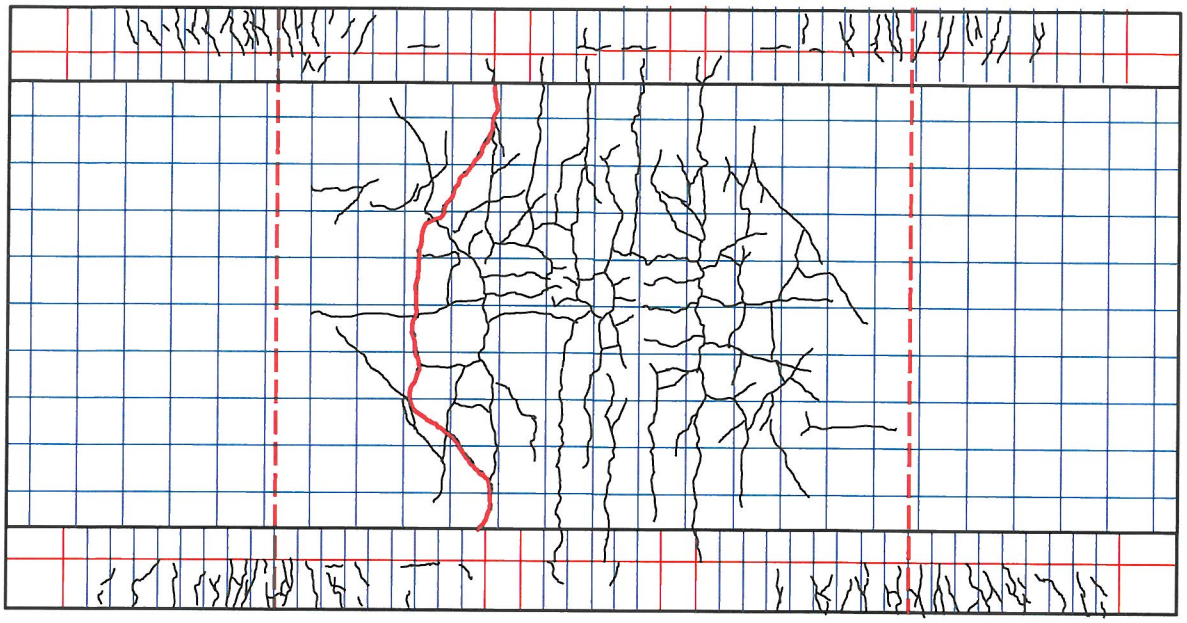


(a) RC DBS-1 실험체

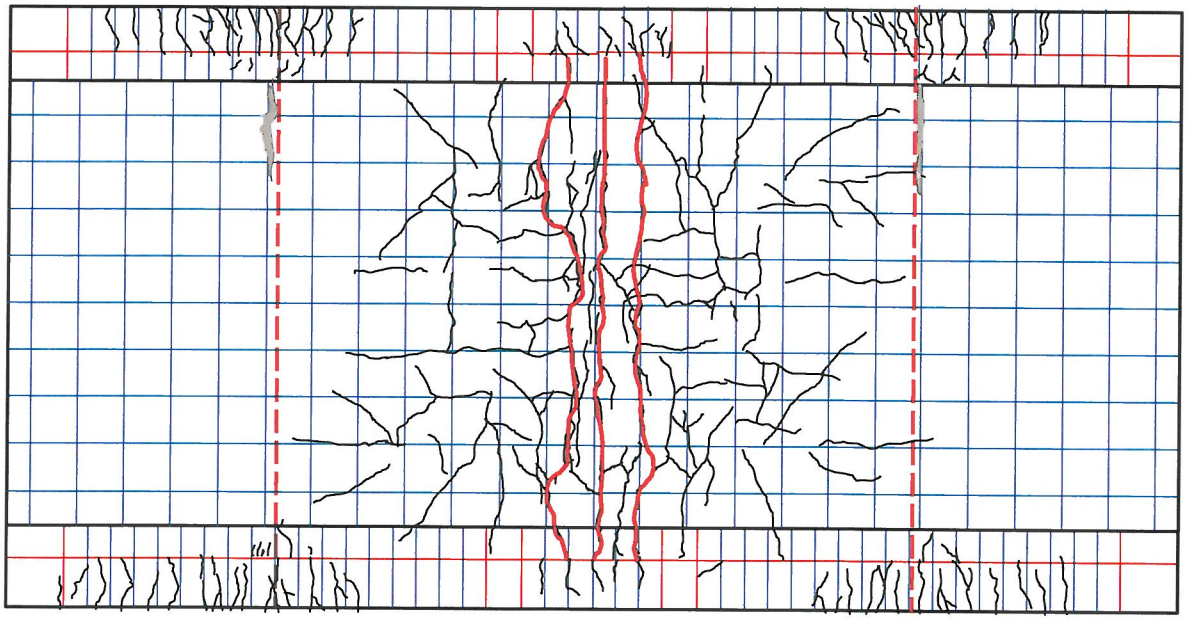


(b) RC DBS-2 실험체

그림 2.4.15 실험체의 최종 균열 양상(평면)



(c) RC DBS-3 실험체



(d) RC DBS-4 실험체

그림 2.4.15 실험체의 최종 균열 양상(평면)(계속)

드롭패널 내부의 균열은 그림 2.4.14와 2.4.15에서 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 급격이 저하되는 파괴 양상을 나타내었다. 반면에, 기본 실험체인 RC DBS-1과 RC DBS-4는 드롭패널 내에서 발생한 균열이 크게 성장하였으며, 드롭패널과

보 중앙부에서 발생한 콘크리트의 압괴로 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.

4.3.3 사용하중상태에서의 처짐 비교

각 실험체의 사용하중상태에서의 처짐은 그림 2.4.13과 표2.4.8에 나타내었다. 그림 2.4.16에 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 2.4.8에 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 2.4.8에서 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 처짐 제어 측면에서는 드롭패널의 강성뿐만 아니라 보의 강성 또한 증대시키는 것이 유리한 것으로 나타났다.

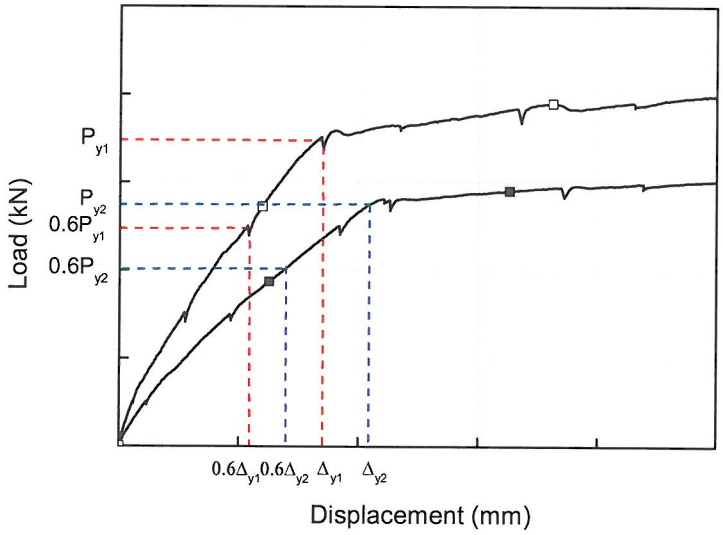


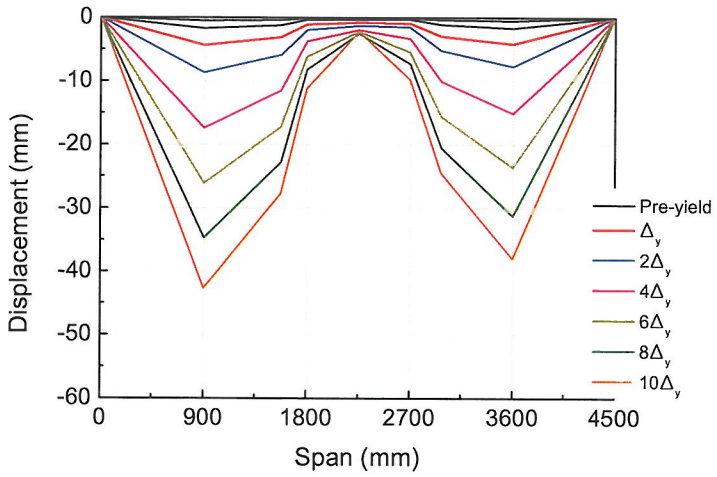
그림 2.4.18 사용하중상태에 따른 처짐 산정 기준

4.3.4 처짐 분포

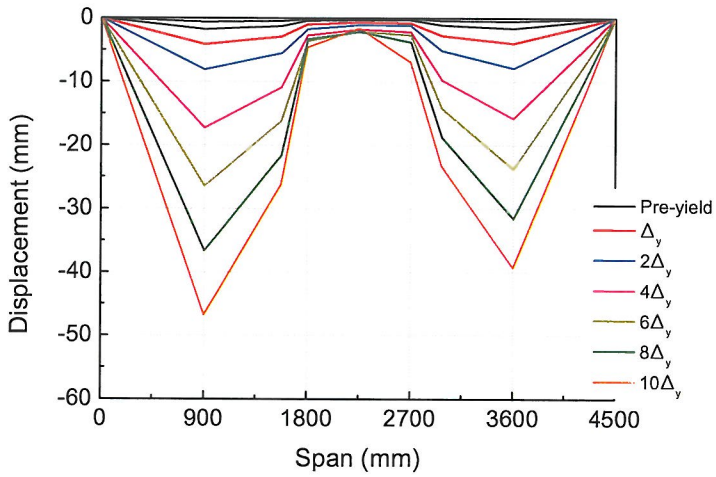
그림 2.4.17은 각 실험체의 처짐 분포를 나타낸 것이다. 그림 2.4.17에서 처짐은 보의 중앙부 하단과 보의 1/4 지점 및 드롭패널 지점 하단에 설치한 LVDT에 의하여 계측된 수치를 이용하여 나타내었다. 그림 2.4.17에서의 Δ_y는 보 중앙부 위치에 부착한 인장철근의 항복시 변위를 의미하며, 인장철근 항복 이전과 항복시 및 항복 이후에는 $2\Delta_y$ 간격으로 나타내었다.

그림 2.4.17에 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.

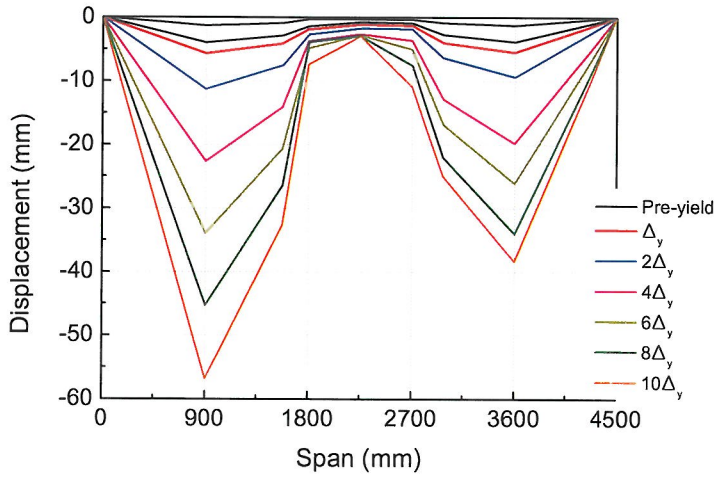
기본 실험체인 RC DBS-1은 인장철근 항복 이후의 처짐 증가비가 평균적으로 1.89를 나타내었다. RC DBS-2와 RC DBS-3는 인장철근 항복 이후의 처짐 증가비가 각각 1.69와 1.57를 나타내었다. RC DBS-4는 1.92를 나타내어 드롭패널의 강성이 증대됨에 따라 처짐의 증가비는 낮은 수치를 보였다. 드롭패널의 강성이 증대됨에 따라 처짐의 증가비는 낮은 수치를 나타내어 처짐 제어 측면에서는 유리할 수 있으나 휨 거동에서는 RC DBS-1과 RC DBS-4 실험체가 연성적인 거동을 나타내어 구조물의 안전성 확보에 유리하다고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



(a) RC DBS-1 실험체

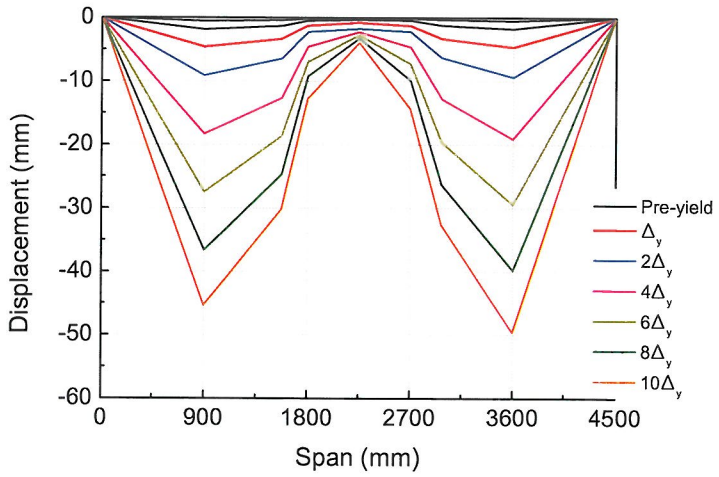


(b) RC DBS-2 실험체



(c) RC DBS-3 실험체

그림 2.4.17 각 실험체의 처짐 분포



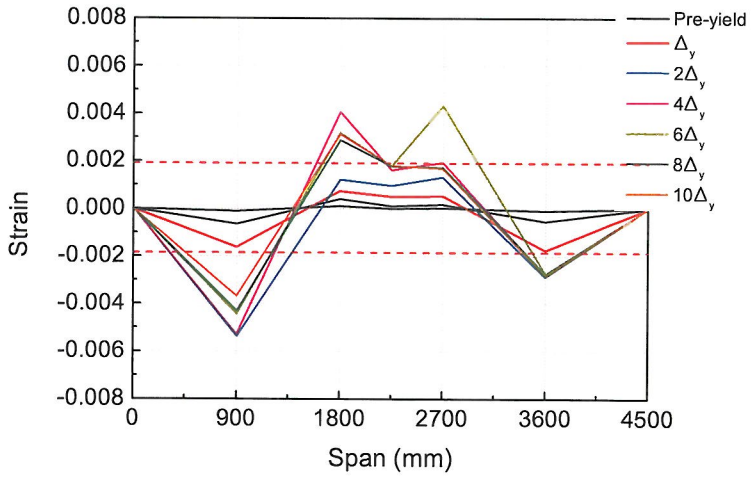
(d) RC DBS-4 실험체

그림 2.4.17 각 실험체의 처짐 분포(계속)

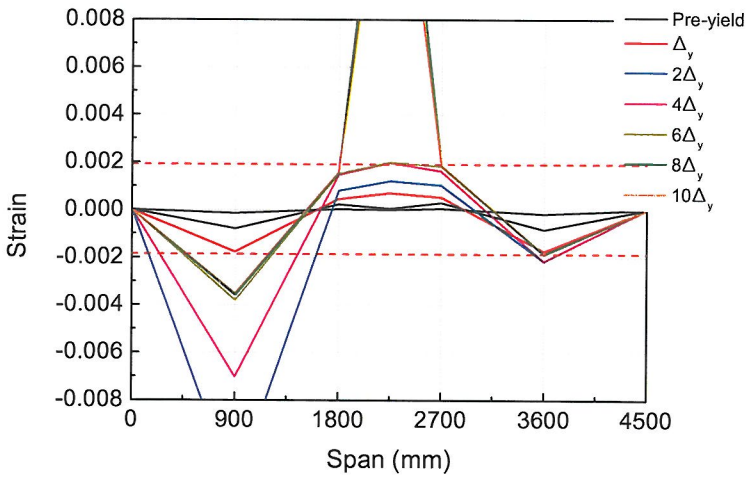
4.3.5 주철근 변형률 분포

그림 2.4.18에 각 실험체의 주철근 변형률 분포를 나타내었다. 그림 2.4.18에서 주철근의 변형률은 보의 중앙부와 드롭패널의 중앙부 및 단면이 변하는 구간에 부착한 게이지를 이용하여 나타내었다. 그림 2.4.18에서 900mm와 3,600mm는 보의 중앙부를 의미하며, 드롭패널은 1,800~2,700mm 구간에 위치한다.

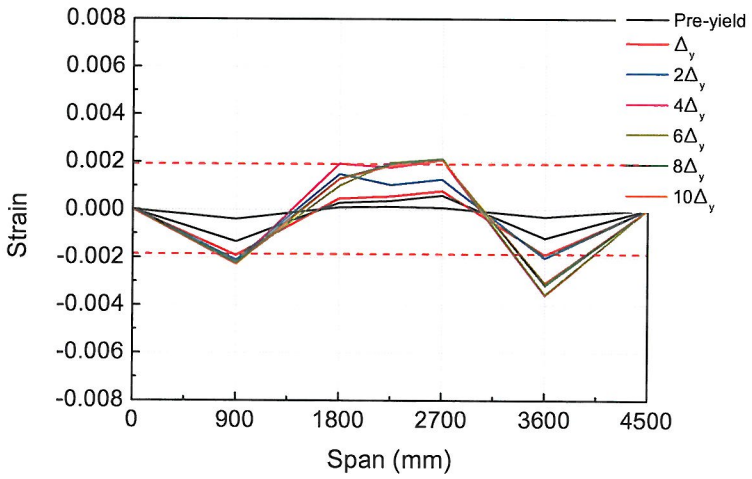
모든 실험체에서 공통적으로 가력지점에 위치한 보의 인장철근은 항복 변형률에 도달하였으며, 드롭패널 위치의 인장철근은 드롭패널의 강성 차이에 따라 변형률 분포 차이를 나타내었다. 드롭패널의 강성이 높은 실험체인 RC DBS-2와 RC DBS-3은 드롭패널 내부의 변형률 분포가 거의 완만한 경사를 보이며 유사한 변형률을 보였으나 드롭패널의 철근비가 낮은 RC DBS-1과 RC DBS-4 실험체는 드롭패널의 중앙부의 변형률이 양단부의 변형률보다 크게 증대되는 분포를 나타내었다. 이는 드롭패널의 강성 차이에 기인한 결과로 판단되며, 현재 설계되고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



(a) RC DBS-1 실험체

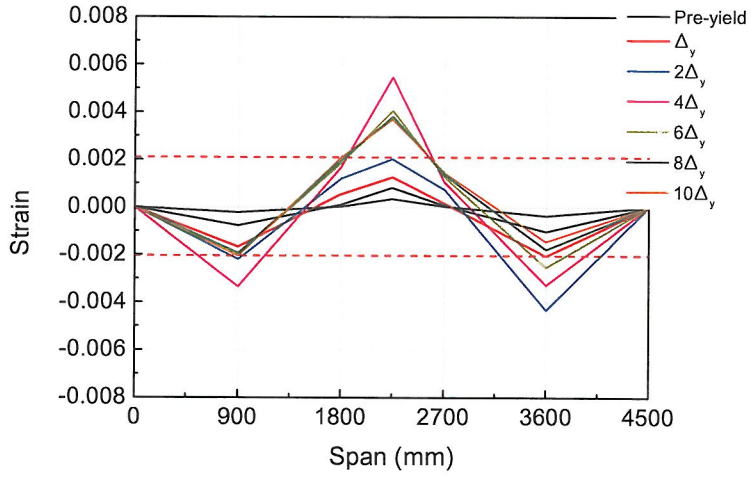


(b) RC DBS-2 실험체



(c) RC DBS-3 실험체

그림 2.4.18 각 실험체의 주철근 변형률 분포



(d) RC DBS-4 실험체

그림 2.4.18 각 실험체의 주철근 변형률 분포(계속)

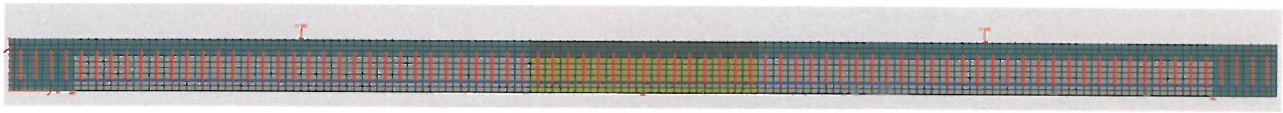


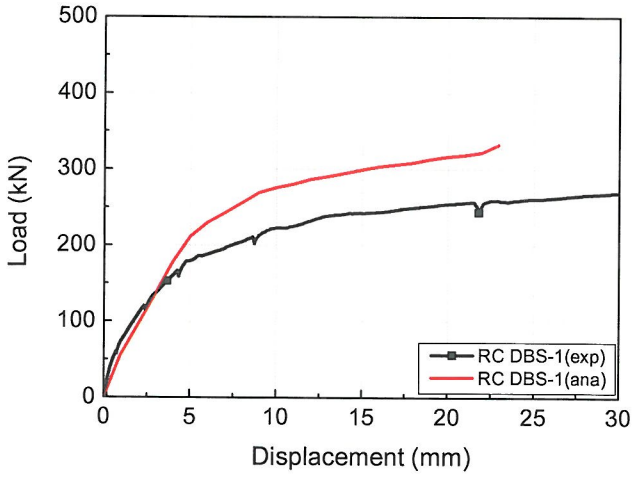
그림 2.4.19 유한요소해석 모델링

4.3.6 유한요소 해석결과 비교

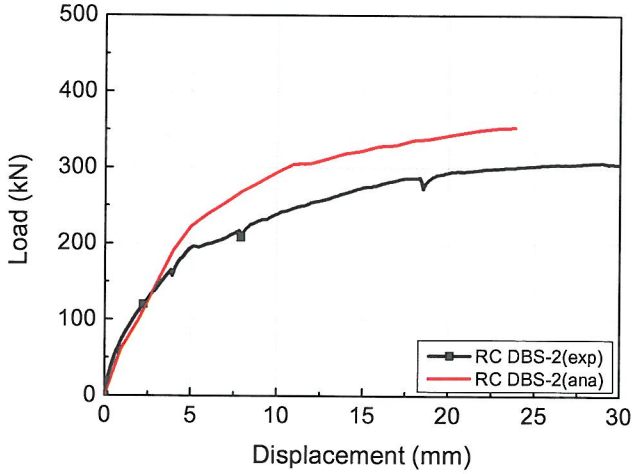
이 연구에서는 드롭패널을 사용한 철골철근콘크리트 구조 부재의 드롭패널 강성 차이에 따른 휨 거동 및 파괴 모드를 평가하기 위하여 VecTor2 유한요소해석 프로그램(Vecchio, 2006)을 이용하였다. VecTor2 프로그램은 초기에 전단력이 지배하는 부재의 거동을 평가하기 위하여 개발되었으나 현재에는 휨 거동 및 복합체의 영향을 반영할 수 있게 되어 철근콘크리트 구조물의 거동 평가에 많이 이용되고 있다.

그림 2.4.19는 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 2.4.20에 실험결과와 함께 나타내었다. 그림 2.4.20에서 exp는 실험결과를, ana는 해석결과를 의미한다.

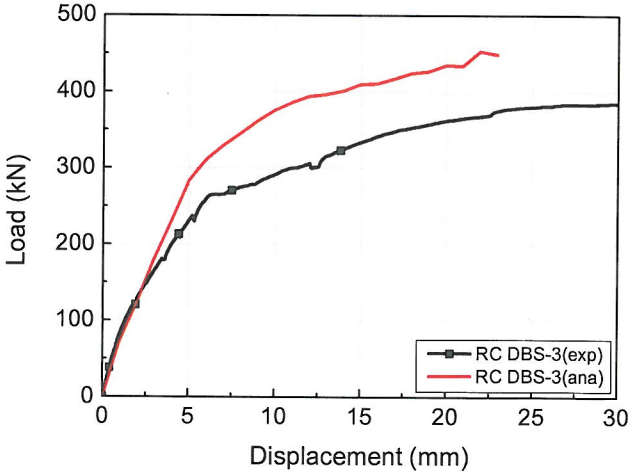
그림 2.4.20에 나타나듯이 해석결과는 인장철근 항복 이전까지의 강성과 처짐량에 대하여 실험결과와 비교적 잘 예측하고 있음을 알 수 있다. 비록 해석결과가 최대하중에 대한 실험결과를 약 20% 과소평가하는 것으로 나타났으나 인장철근 항복 이후에 연성적인 거동을 보이는 거동 특성은 실험결과와 유사하였다.



(a) RC DBS-1 실험체

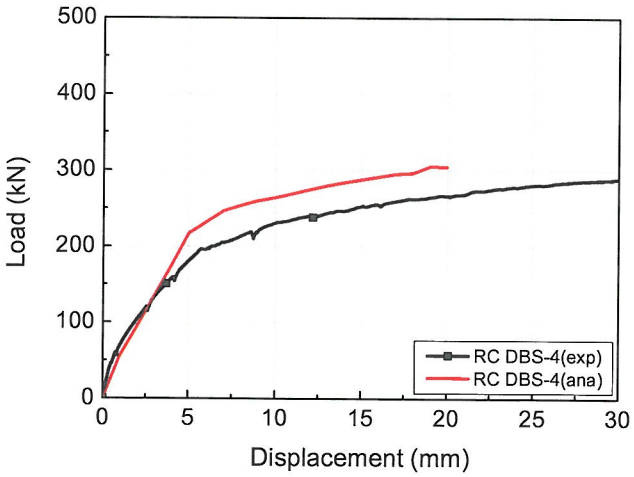


(b) RC DBS-2 실험체



(c) RC DBS-3 실험체

그림 2.4.20 유한요소 프로그램 해석결과



(d) RC DBS-4 실험체

그림 2.4.20 유한요소 프로그램 해석결과(계속)

4.4 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 적정한 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 사업성과

제 1 절 기술적 성과

1.1 #형 접합부를 활용한 장스팬 철근콘크리트 보 개발

□ 장스팬 구조물의 구조설계 기술의 향상 : 현재 일반적으로 사용되고 있는 장스팬 부재 설계 공법은 기술력이 요구되거나 공사비가 높은 단점이 있으나 개발된 공법에서는 수평 부재의 강성을 증대시켜 수직 부재간의 간격을 넓혀주어 장스팬 부재 설계 기술을 향상시킴

□ 장스팬 구조물의 최적 구조설계 : 해석과 실험을 통한 구조안전성을 평가하여 장스팬 부재 설계 공법의 최적 구조 설계가 가능해짐

□ 그림 3.1.1은 실제 구조물에 적용되고 있는 동일한 방법으로 1/3 축소 실험체를 제작하여 구조 성능을 평가한 결과, RC DBS-1은 기본 실험체로써 드롭패널의 철근량이 증대된 RC DBS-2와 비교해 사용하중상태에서의 거동은 거의 유사한 휨 강성을 나타내었으나 처짐은 RC DBS-2보다 2배에 가까운 변형을 보여 높은 연성능력를 나타내었다. 이에 합리적인 설계가 되고 있음을 확인하였으며, RC DBS-4와 RC DBS-1의 휨 거동이 유사하게 나타나 합리적인 철근비 산정을 위하여 보다 다양한 사례연구와 변수에 대한 검토를 하고 있음

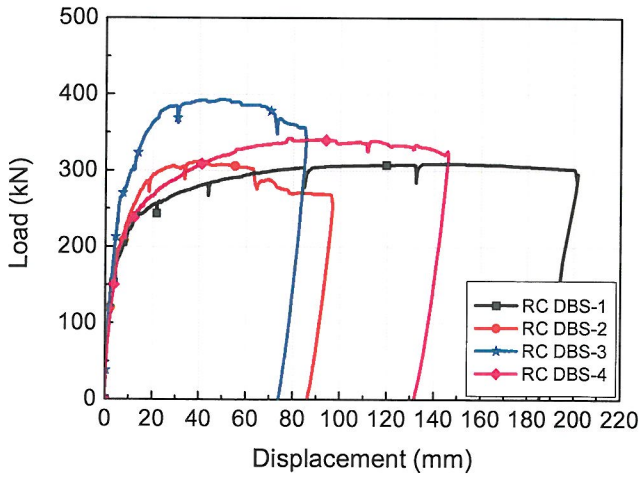


그림 3.1.1 실험체의 하중-처짐 관계

1.2 장스팬 구조 설계기술 확보를 통한 기술 자립화

□ 작업성, 시공성, 구조 안전성 등을 고려하여 제안한 장스팬 보의 문제점을 분석한 후에 구조설계 프로세스 및 설계지침서 작성

□ 현장 적용을 통해 제안한 장스팬 보의 문제점을 분석한 후에 처짐 제어에 효과적인 RC-DBS와 S-DBS 구조시스템 개발

□ 접합부에서의 힘 전달 메커니즘 및 효과적인 횡력저항시스템 제시

□ 장스팬 부재 구조설계기술의 수입 대체효과 : 장스팬 부재 구조설계기술의 확보로 외국으로 지불되는 기술도입료에 대한 대체효과는 물론이고 우리나라 구조설계 기술력의 제고로 해외수주에도 많은 효과 기대

제 2 절 경제적 성과

2.1 현장타설 콘크리트를 사용함으로써 공사비 절감효과

□ 기존의 철골조, 포트스 텐션 부재, PC 합성보와 같은 장스팬 구조보다 기존 공법에 비하여 현장타설 콘크리트를 사용함으로써 시공 및 공사비 절감효과가 큼 (20% 공사비 절감)

2.2 효율적인 부재단면 활용으로 재료비용 절감

□ 장스팬 부재를 철근콘크리트 구조로 제작하며 단면의 형상을 횡하중에 강하도록 설계함으로써 기존의 공법에 비하여 재료비용을 대폭 절감

□ 보의 춤이 작아짐으로써 층고가 줄어들며 지하구조물인 경우 가설 흙막이, 터파기, 토압벽체, 코어벽체의 물량이 감소됨

제 4 장 결론

제 1 절 단일보 및 이중보 구조 성능 평가

1.1 단일보 구조 성능 평가

철근콘크리트 연속보 부재에서 드롭패널의 적용에 따른 휨 성능을 평가한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 드롭패널을 적용한 실험체는 기본 실험체와 유사한 연성적인 휨 거동을 나타내었으며, 기본 실험체인 DBS-1에 비하여 평균 약 20%의 처짐제어 효과와 높은 강성을 나타내었다.

(2) 드롭패널을 적용한 실험체는 드롭패널의 길이만큼 경간을 줄인 비교 실험체 와 비교해 동등이상의 휨 성능을 발휘하였으며, 유사한 처짐제어 효과를 나타내었다.

(3) 드롭패널을 0.2L 적용한 실험체는 0.1L 적용한 실험체와 비교해 처짐제어 효과는 유사하게 나타났으나 내력에서는 약 20%의 증진 효과가 나타났으며, 강성 또한 크게 증대되는 결과를 나타내었다.

1.2 이중보 구조 성능 평가

드롭패널의 너비와 길이를 변수로 한 이중보 실험체의 처짐 감소 효과를 실험적으로 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 드롭패널의 길이가 길수록 처짐 감소 효과가 큰 것으로 나타났다. 하지 만 드롭패널의 너비에 따라서는 큰 효과가 없는 것으로 나타났다.

(2) 그 효과는 드롭패널의 길이가 420mm(=0.1l) 인 실험체군의 경우 DBSS-2 에서 18.2%, DBSS-4에서 13.9%의 처짐 감소 효과를 보였다.

(3) 드롭패널의 길이가 840mm(=0.2l) 인 실험체군의 경우 DBSS-3에서 24.5%, DBSS-5에서 22.5%의 처짐 감소 효과를 보였다.

제 2 절 드롭패널을 사용한 철근콘크리트 구조 부재의 성능 평가

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 적정한 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 절 향후 계획

3.1 추가 실험을 통한 신기술 인증 신청

□ 철골 DBS 공법

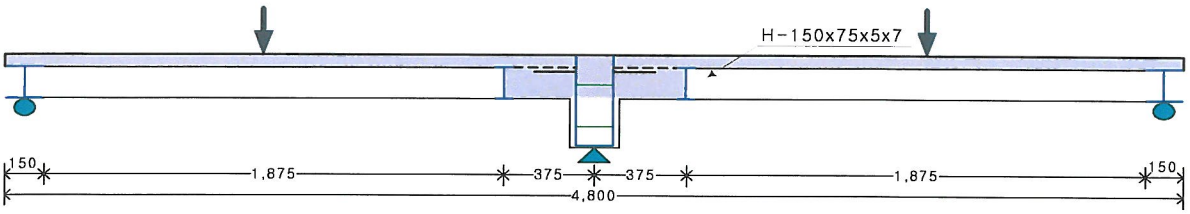
철골 DBS 공법은 철골 보로 이루어진 구조로 실험을 통하여 구조적 성능을 평가하고자 한다. RC DBS 공법과 동일하게 현재 설계되고 있는 부분의 방법을 이용한 축소 실험체를 계획하여 휨 성능을 평가할 것이며, 비교 실험체를 제작하여 비교·분석을 통한 최적의 구조설계를 도출하고자 한다.

철골 DBS 공법의 구조 성능을 평가하기 위하여 실험체는 표 4.3.1과 그림 4.3.1에 나타낸 바와 같이 계획하였다.

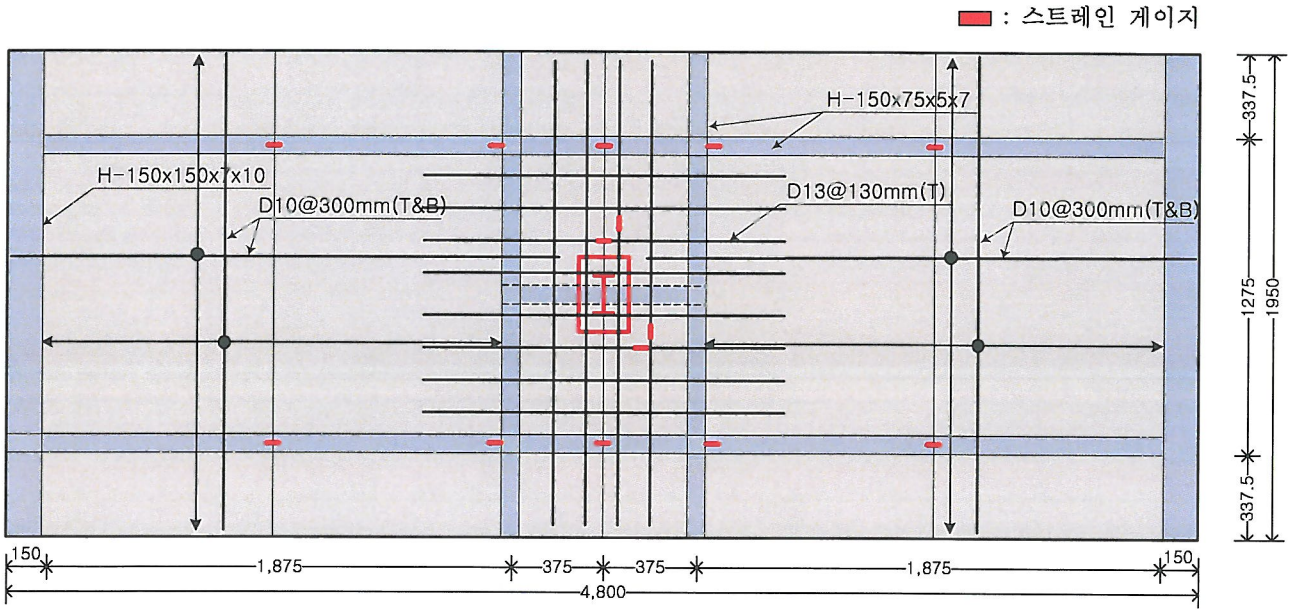
표 4.3.1 실험체 일람표

실험체	실험체 크기 (mm)					실험체 배근		비 고
	철골보	드롭패널						
		b	h	d	길이	드롭패널	슬래브	
S DBS-1	H-150 X 75 X 5 X 7	1200	210	170	750	D13@130mm	D10@300mm	기본 실험체
S DBS-2						D13@190mm	D10@300mm	드롭패널 비교 실험체

f_{ck} = 30MPa



(a) 배근 단면



(b) 배근 평면

그림 4.3.1 S DBS-1 배근 상세