

보 고 서

철골 DBS 횡력 저항
구조 성능 평가

2014년 10 월

공주대학교 산학협력단

제 출 문

바로건설기술 대표 귀하

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

공주대학교 공과대학 건축학부

연구용역책임자	김 길 
참여 연구원	김 상 우
	김 형 국
	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 DBS 횡력저항 구조 성능 평가			
연구 기관	공주대학교 건축학부			
연구 기간	2014년 9월 1일 - 2014년 10월 31일			
연구책임자	소 속	공주대학교 건축학부	성 명	김 길 희

1. 연구 배경 및 목적

DBS 구조는 접합부를 이루는 철근콘크리트 드롭패널 내부에 기둥이 안치되는 구조 형식으로 구조 공간은 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. 그러나 기존 DBS 공법의 연구결과는 연속보 타입의 실험결과로 축 방향 하중의 검토만 이루어져 실제 구조체 상층부 횡 하중 적용에 대한 검토가 필요하다. 실제 구조체 상층부는 축 하중과 더불어 지진하중 및 풍하중 등 횡 하중이 함께 복합적으로 작용하여 기둥-슬래브 접합부에 불균형 모멘트가 작용하게 된다. 따라서 DBS 공법의 접합부는 횡 하중과 축 하중이 복합적으로 작용하는 경우를 산정한 구조 성능평가가 필요하다. 따라서 이 연구에서는 실제 구조체 상층부의 하중조건을 반영한 DBS 공법의 축 하중과 횡 하중에 저항하는 구조 성능평가를 실시하고자 기둥-슬래브 접합부 DBS 실험체를 제작하여 실험을 수행하였다.

2. 연구 내용

이 연구에서는 철골조 보-기둥 프레임 접합부 실험체와 철골조 DBS 프레임 접합부 실험체를 제작하여 실험을 수행하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 철골조 보-기둥 프레임 접합부 구조 부재의 횡 하중 저항 성능평가
- 드롭패널을 사용한 철골조 DBS 프레임 접합부 구조 부재의 횡 하중 저항 성능 평가

3. 결론

이 연구에서는 철골조 보-기둥 프레임 접합부 실험체와 철골조 DBS 프레임 접합부 실험체를 제작하여 실험을 수행하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 실험결과, 철골조 보-기둥 실험체 및 DBS 실험체는 구조설계기준에서 안전측으로 권고하고 있는 부재변위각 1.5%에서 실험체의 급격한 하중저하는 나타나지 않았다. 그러나 철골조 보-기둥 실험체는 부재변위각 1.0%~1.5%에서 실험체의 강성이 저하하는 것을 확인하였으며, 이에 반하여 DBS 실험체는 부재변위각 2.5%까지 실험체의 강성이 증가하는 것을 확인 하였다. 모든 실험체의 하부기둥에서 가력플레이트에 용접한 주철근의 용접부위 파단에 의하여 실험이 종료되었다. 실험종료시의 부재변위각 2.5%에서 실험체의 최대전단력은 DBS 실험체가 철골조 보-기둥 실험체에 비하여 약 36% 높은 것으로 나타났다.

(2) 실험체의 균열현황을 살펴본 결과, 철골조 보-기둥 실험체는 기둥 주변의 철골 보 근처에서만 균열이 발생한 것으로 나타났으며, 이에 반하여 DBS 실험체는 기둥 주변의 드롭패널을 따라 균열이 실험체 슬래브 전체에 고르게 분포한 것을 확인하였다. 따라서 드롭패널을 적용한 DBS 실험체는 철골조 보-기둥 실험체에 비하여 횡 하중에 의하여 기둥주변에 집중되는 전단력 및 중력하중을 실험체에 고르게 분산시킨 것을 알 수 있었다. 이는 횡하중에 저항하는 내력이 철골조 보-기둥 실험체에 비하여 DBS 실험체가 우수하게 나타났다 할 수 있다.

(3) 철골조 보-기둥 실험체의 철골 보에 부착된 스트레인게이지의 분포를 살펴본 결과, 실험체의 슬래브가 인장력을 부담하는 구간이 기둥중심에서 약 600mm 까지임을 알 수 있었으며, 특히 철골조 보-기둥 실험체의 기둥에 작용되는 전단력은 기둥주변의 슬래브의 철골 보로 전이되어 기둥주변의 철골 보가 항복하였음을 알 수 있다. 이는 기둥에 작용되는 전단력 및 중력하중이 슬래브 전체로 전이되지 못하고 기둥주변에 집중되었음을 의미한다.

(4) DBS 실험체의 드롭패널 주위의 철골 보와 드롭패널의 주철근의 변형률 분포를 살펴본 결과, 실험체의 슬래브가 인장력을 부담하는 구간이 기둥중심에서 약 700mm 까지 임을 알 수 있었다. 또한 드롭패널 주위의 철골 보의 변형률 분포는 드롭패널 주철근의 변형률 분포와 유사함을 확인 할 수 있었다. 따라서 DBS 실험체는 철골 보-기둥 실험체에 비하여 드롭패널을 적용함에 따라 실험체의 슬래브가 횡 하중으로 인한 인장력에 저항하는 구간이 증가하였음을 확인 할 수 있었으며, 드롭패널과 철골 보가 일체화되어 기둥에 작용되는 전단력에 저항하는 것을 확인 할 수 있었다.

(5) 결론적으로, DBS 실험체는 동일한 하중조건하에서 드롭패널 효과로 기둥주변에 집중되는 전단력 및 중력하중을 고르게 분산시키고 있어 보-기둥 실험체에 비하여 횡 하중 저항능력이 우수한 것으로 나타났음을 확인 할 수 있었다.

목 차

제 1 장 서론	1
제 2 장 DBS 횡력저항 구조 성능 평가 실험	3
2.1 실험대상 선정	3
2.2 실험체 사용 재료 및 실험체 계획	3
2.2.1 사용 재료	3
2.2.2 실험체 계획	8
2.2.3 실험체 제작	13
2.2.4 실험 방법	15
제 3 장 DBS 횡력저항 구조 성능 평가 실험 결과	18
3.1 실험결과	18
3.1.1 실험체 전단력-부재변위각 관계	18
3.1.2 실험체의 균열 및 파괴양상	21
3.2 실험체의 철골 보 및 슬래브 주철근의 변형률 특성	24
3.2.1 철골조 보-기둥 실험체	24
3.2.2 DBS 실험체	26
제 4 장 결론	31
참 고 문 헌	34

제 1 장 서론

현재 구조물의 초고층화, 초대형화로 인하여 합리적인 장스팬 구조의 개발은 공사비 절감과 공간의 효율적인 활용을 위하여 건설 공법 개선을 위한 주요 분야의 하나로 각광받고 있다. 따라서 이를 위한 새로운 건축재료의 개발 및 최첨단 구조 공학 기술의 응용이 요구되고 있다.¹⁾

현행 장스팬 구조의 설계는 기존의 철골구조, 철골-철근콘크리트 복합 구조 시스템, 중공슬래브 구조 시스템 등이 개발 및 사용되어지고 있다. 하지만 현재 사용되고 있는 장스팬 부재 설계 공법은 높은 기술력이 요구되거나 공사비가 높다는 단점이 있다. 이러한 필요성 및 문제점을 해결하고 수요자 및 공급자의 요구를 만족시키기 위해서는 저렴한 공사비를 유지하며, 현장 적용이 쉽고, 구조 설계 기술의 수입 대체 효과를 기대할 수 있는 장스팬 공법개발이 필요하다.

DBS(Double Beam System) 공법은 #형 철근콘크리트 드롭패널 내부에 기둥이 배치되는 구조 형식으로, DBS 구조의 경간은 #형 접합부 간의 거리로 이루어지며, 이에 따라 기둥주변의 접합부에 발생하는 부모멘트의 크기를 현저히 감소시켜 구조 부재의 처짐을 제어한다. 이를 통하여 보의 부재치수를 감소시켜 건물의 층고절감을 기대할 수 있다. 기존 연구결과를 비추어 볼 때 DBS 공법은 #형 드롭패널을 기둥 주변에 형성하여 기존 구조시스템에 비하여 높은 강성으로 보의 실제 경간이 짧아지는 효과를 나타내는 것을 확인하였으며, 구조체 처짐제어에 효과적인 것을 확인 할 수

있었다. 그러나 기존 DBS 공법의 연구결과는 연속보 타입의 실험결과로 축 방향 하중의 검토만 이루어져 실제 풍 하중 또는 지진하중 등 횡 하중이 작용하는 구조체 상층부 적용에 대한 검토가 필요하다. 실제 구조체 상층부는 축 하중과 더불어 횡 하중이 함께 복합적으로 작용하여 기둥·슬래브 접합부에 불균형 모멘트가 작용하게 된다. 따라서 DBS 공법의 접합부는 횡 하중과 축 하중이 복합적으로 작용하는 경우를 산정한 구조 성능평가가 필요하다. 따라서 이 연구에서는 실제 구조체 상층부의 하중조건을 반영한 DBS 공법의 구조 성능평가를 실시하고자 DBS 기둥 접합부 실험체를 제작하여 실험을 수행하였으며, 철골조 보-기둥 프레임 접합부 실험체와 비교 검토 하였다.

제 2 장 DBS 횡력저항 구조 성능 평가 실험

2.1 실험 대상 선정

이 연구에서는 실험대상을 표 2.1과 같이 2방향 DBS 프레임과 일반 철골조 프레임 장스팬 8.0m×12m 모듈로 접근하였다. 실험체는 표 2.1에 나타난 바와 같이 실제 실험실 스케일에 맞추어 1/3 스케일 다운하여 2.7m×4.0m 모듈로 실험체를 해석하였다. 실험체 하부기둥에 작용하는 중력하중은 일반적인 판매 시설 하중을 적용(D.L=4.6kN/m², L.L=5.0kN/m²)하였다. 최종 실험체 설계는 표 2.2에 나타난 바와 같이 2.7m×2.8m 로 설계하였으며, 실험체의 지점 및 하중조건은 표 2.3과 같다. 실험체 제작을 위하여 마이다스 해석 프로그램을 이용하여 구조 성능 검토를 하였으며, 해석수행은 건축구조기준(KBC 2009)에 준하여 실시하였다.²⁾

2.1 실험체 사용 재료 및 실험체 계획

2.2.1 사용 재료

이 연구에서는 드롭패널의 적용에 따른 DBS 프레임 접합부의 구조 성능을 평가하기 위하여 표 2.4와 같이 배합강도가 35MPa인 콘크리트를 사용하였다. 실험에 사용된 콘크리트는 레미콘으로 제작하여 실험체 슬래브와 상부기둥을 각각 2회에 걸쳐 타설하였다. 콘크리트의 재료물성을 측정하기 위하여 KS F 2403의 기준에 따라 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 크기의 실린더형 공시체를 제작하였다.³⁾ 콘크리트

공시체의 압축강도 시험은 실험일시에 맞추어 KS F 2405에 준하여 실시하였으며, 콘크리트의 압축강도는 35.0MPa를 나타내었다.⁴⁾

표 2.1 실험 대상 선정

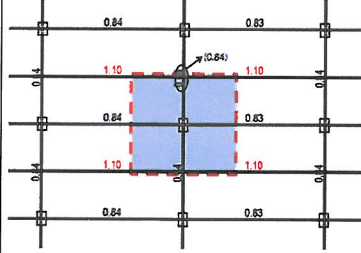
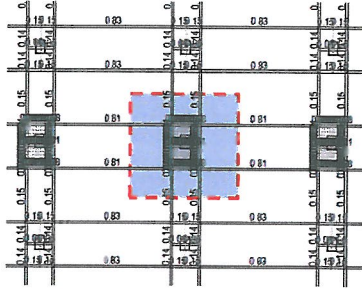
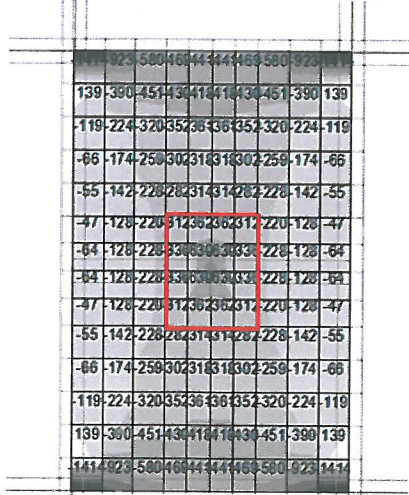
	보-기둥 실험체	DBS 실험체
철골보	H-600×200×11×17 (SM490)	H-450×200×9×14 (SM490)
8.0m × 12.0m	 *NG 부재는 합성보로 검토하였을 때 문제없음	
X-방향 드롭패널 철근	-	D=600mm D16@110 (ρ=0.0033)
드롭패널 응력분포	-	

표 2.1 실험 대상 선정 (계속)

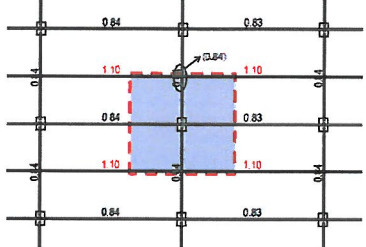
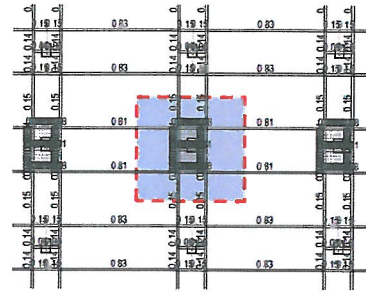
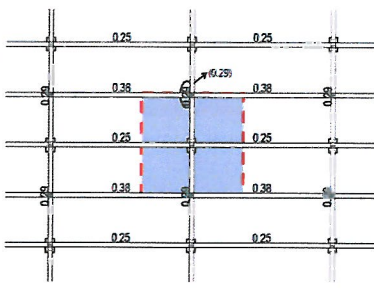
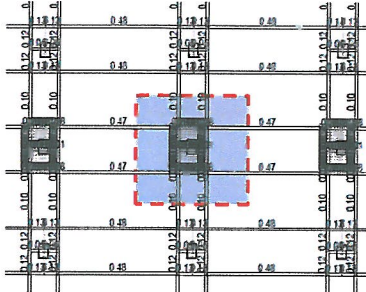
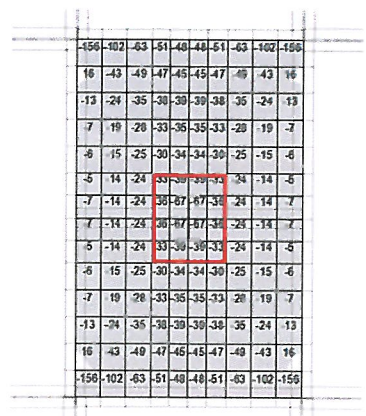
	보-기둥 실험체 BH-200×66×3.6×5.6 (SM490)	DBS 실험체 BH-150×66×3×4.6 (SM490)
2.7m × 4.0m	 *NG 부재는 합성보로 검토하였을 때 문제없음	
* 1/3 스케일 다운 (Built-up부재) 일반형강으로 검토함.	H-248×124×5×8 (SM490) 	H-150×75×5×7 (SM490) 
X-방향 드롭패널 철근	-	D=200mm D13@210 (ρ=0.0035)
드롭패널 응력분포	-	

표 2.2 실험체 설계

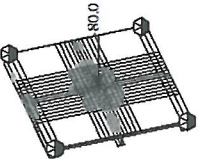
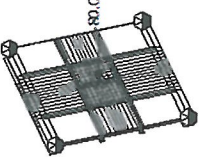
크기	실험체 명	철골 보	드롭패널 철근	하중	
2.7m × 2.8m	보-기둥	H-248×124×5×8 (SM490)		P.D=자중 (19.06 kN)	 
	DBS	H-150×75×5×7 (SM490)	D13@130 ($\rho=0.0053$)	P.L=80 kN (도출된 집중하중은 적재하중으로 계산함.)	
* 설계 순서 : 철골보 결정→ P_u결정 → 드롭패널의 배근 결정 * 실험체 하중 재하 조건을 고려하여 집중하중으로 설계함.					

표 2.3 실험체 지점 및 하중조건

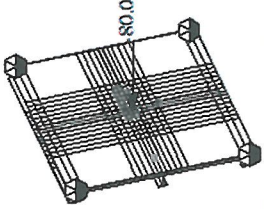
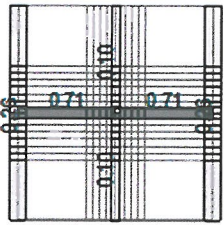
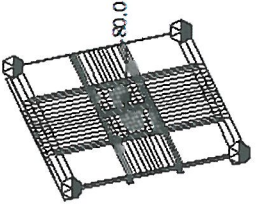
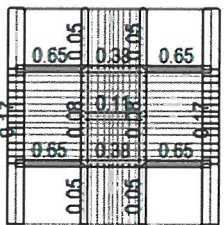
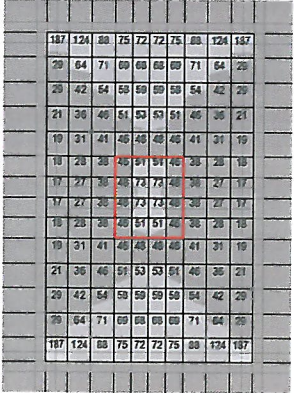
실험체명	지점 및 하중조건	철골 Ratio	드롭패널
보-기둥			-
DBS			 X-방향 DROP 패널 : D13@130

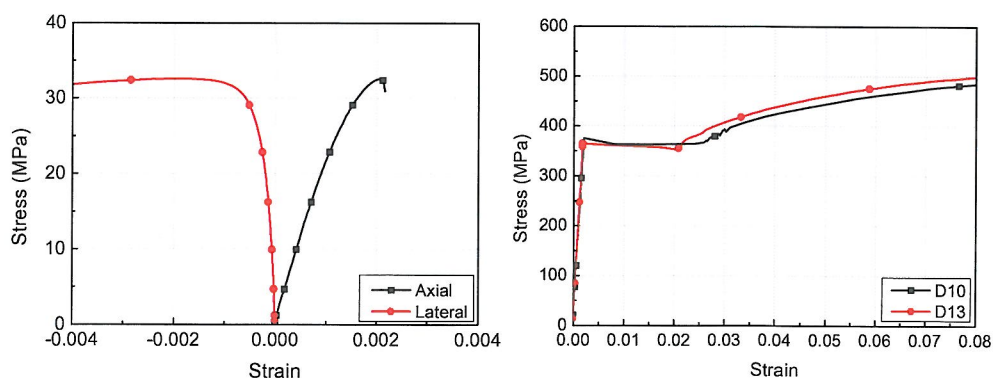
그림 2.1(a)에는 콘크리트의 응력-변형률 관계를 나타내었다. 콘크리트의 응력에 따른 변형률은 압축강도 테스트 시 콘크리트 공시체에 부착한 종방향과 횡방향의 스트레인 게이지로부터 측정된 결과를 나타낸 것이다. 실험체의 드롭패널에 배근된 철근은 SD300 등급의 D13을 사용하였다. 인장시험 결과 항복강도 380.0MPa로 측정되었으며, 철근의 탄성계수는 191GPa 측정되었다. 사용된 철근의 응력-변형률 관계는 그림 2.1(b)에 나타내었으며, 역학적 특성은 표 2.5에 나타내었다.

표 2.4 콘크리트 배합설계표

배합 강도 (MPa)	W/B (%)	S/a (%)	굵은골재 최대치수 (mm)	슬럼프 (mm)	단위용적중량 (kg/m ³)				
					물	시멘트	골재		혼화제
							잔골재	굵은골재	
35	38.5	39.0	25	150	170	442	689	1099	3.49

표 2.5 철근 상세 및 역학적 특성

철근종류	용도	단면적 (mm ²)	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	항복변형률	탄성계수 (GPa)
D13	인장 및 압축철근	126.7	380.0	523.6	0.00199	191
D10	전단보강근	71.3	373.3	517.0	0.00195	192



(a) 콘크리트

(b) 철근

그림 2.1 사용재료의 응력-변형률 관계

2.2.2 실험체 계획

보-기둥 실험체 및 DBS 실험체는 그림 2.2와 2.3에 나타낸바와 같이 보-기둥 접합부를 모사하여 제작하였다.⁵⁻⁶⁾ 표 2.6과 같이 보-기둥 및 DBS 실험체의 슬래브는 $2,700 \times 2,800\text{mm}$, 슬래브 순경간은 $2,500 \times 2,500\text{mm}$ 로 계획하였다. 실험체 콘크리트 슬래브 두께는 60mm로 계획하였다. 실험체 전체 높이는 상·하부 기둥 포함 1660mm로 계획하였다. 실험체의 기둥은 실험 종료이전에 기둥이 파괴되지 않도록 모든 실험체에서 동일하게 철골·철근콘크리트 구조로 계획하였으며, 실험체의 기둥은 슬래브 중앙부 위치에 상·하부로 계획하여 상부기둥은 $1250 \times 300 \times 250\text{mm}$, 하부기둥은 $200 \times 300 \times 250\text{mm}$ 로 계획하였다.

실험체의 기둥제작에 사용된 철골은 H-150 $\times$ 75 $\times$ 5 $\times$ 7을 사용하였으며, 기둥의 주철근은 D22 철근 8대를 배근하였다. 기둥은 철골과 콘크리트의 부착력 증대 및 전단력에 저항하기 위하여 길이 40mm의 스테드 볼트를 100mm 간격으로 용접하였으며 전단보강근은 D10 철근을 50mm 간격으로 배치하였다.

그림 2.2와 같이 보-기둥 실험체는 기둥을 중심으로 가력방향(X-방향) 및 가력의 수직(Y-방향) 방향으로 +자형으로 실험체 슬래브의 철골 보를 배치하였으며, DBS 실험체는 기둥을 중심으로 #자 형태로 철골 보를 배치하였다. 보-기둥 실험체에 사용된 철골 보는 H-248 $\times$ 124 $\times$ 5 $\times$ 8로 계획하였으며, DBS 실험체는 H-150 $\times$ 75 $\times$ 5 $\times$ 7로 계획하였다. 또한 보-기둥 실험체는 슬래브 면에서 60mm 깊이까지 철근콘크리트 슬래브를 계획하였다.

DBS 실험체는 실험체 기둥 주변에 #형 모양으로

1,200×750×210mm 크기의 철근콘크리트 드롭패널을 배치하였으며, 드롭패널 이외의 슬래브는 보-기둥 실험체와 동일하게 슬래브 면에서 60mm 깊이까지 철근콘크리트 슬래브를 계획하였다.

보-기둥 실험체의 철근콘크리트 슬래브는 D10 철근을 X-방향 및 Y-방향으로 각각 300mm 간격으로 배근하였다. DBS 실험체의 철근콘크리트 드롭패널의 상부 주철근은 X-방향 및 Y-방향으로 D13 철근을 각각 130mm 간격으로 배근하였으며, 하부 주철근은 D10 철근을 각각 300mm 간격으로 배근하였다. 또한 드롭패널 이외의 철근콘크리트 슬래브는 보-기둥 실험체와 동일하게 D10 철근을 X-방향 및 Y-방향으로 각각 300mm 간격으로 배근하였다. 이를 그림 2.3에 나타내었다.

실험체의 슬래브 철골 보와 슬래브 주철근의 응력과 변형을 측정하기 위하여 보-기둥 실험체 X-방향을 슬래브 철골 보는 기둥의 중심에서 양쪽으로 기둥면에서 300mm 간격으로 상·하부 플랜지에 스트레인 게이지를 부착하였으며, Y-방향을 슬래브 철골 보는 기둥의 중심에서 양쪽으로 기둥면에서 400mm 간격으로 상·하부 플랜지에 스트레인게이지를 부착하였다.

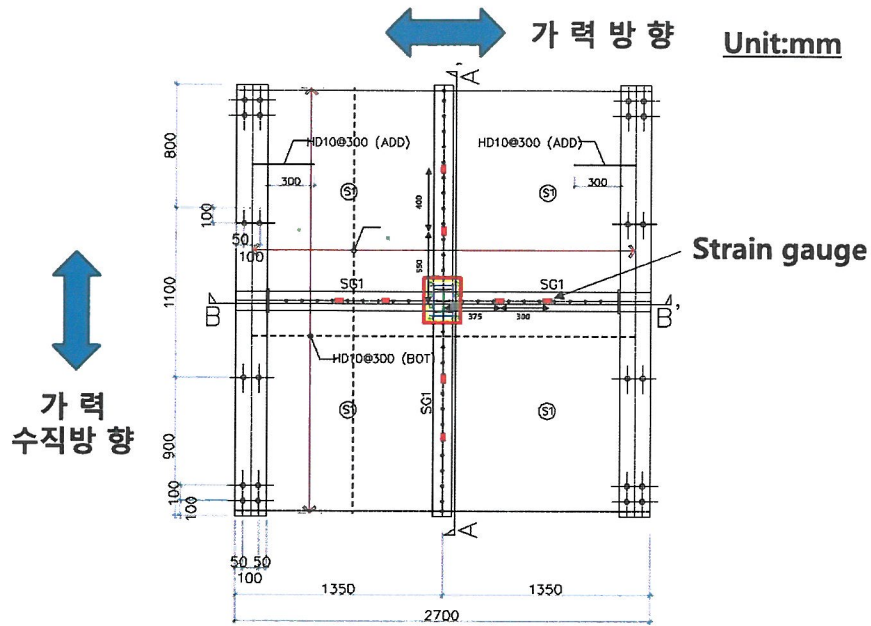
DBS 실험체의 X-방향을 슬래브 철골 보는 드롭패널 주변의 철골 보 1번과 철골 보 2번으로 나누어 기둥의 중심 위치와 기둥 중심에서 양쪽으로 기둥면에서 300mm 간격으로 상·하부 플랜지에 스트레인 게이지를 부착하였으며, 슬래브의 X-방향 및 Y-방향을 주철근은 기둥의 중심에서 양쪽으로 기둥면에서 150mm 간격으로 스트레인게이지를 부착하였다.

표 2.6 실험체 일람표

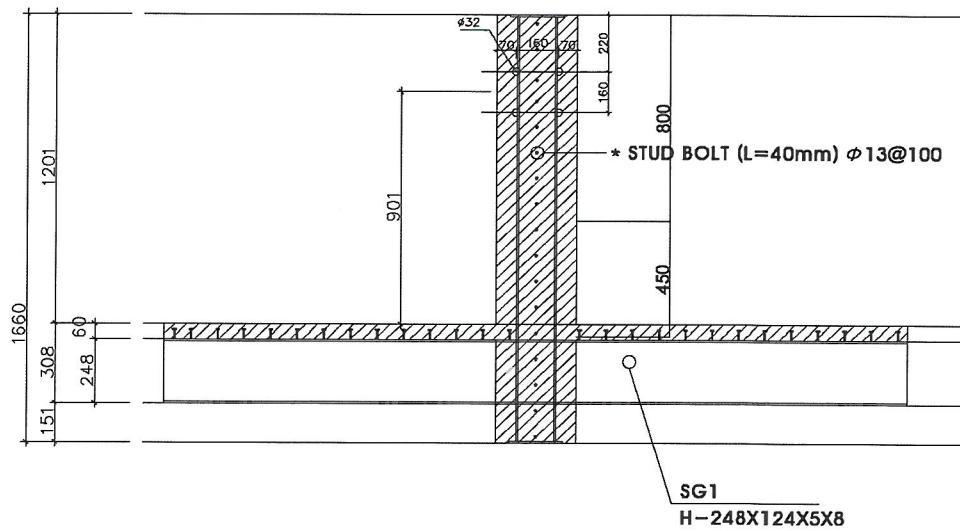
실험체	f_{ck} (MPa)	실험체 크기		실험체 배근			비 고
		슬래브 크기 (mm)	기둥 크기 (mm)	철골 보	드롭패널 접합부 철근배근		
보-기둥*	35.0	2,700 ×	250 ×	H-248×124×5×8	-		슬래브 콘크리트 깊이 60mm
DBS**		2,800 (슬래브 순경간		H-150×75×5×7	상부 철근	D13@ 130mm	
		2,500 ×			하부 철근	D10@ 300mm	
		2,500)					

* 철골·철근콘크리트 기둥-슬래브 접합부 실험체

** 철골 DBS 공법 접합부 실험체

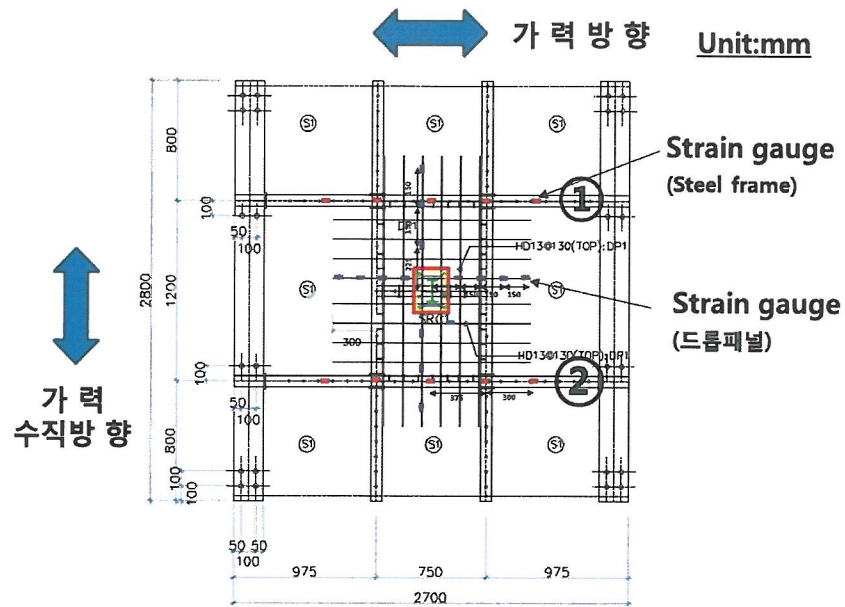


(a) 보-기둥 실험체 평면도 및 게이지 위치

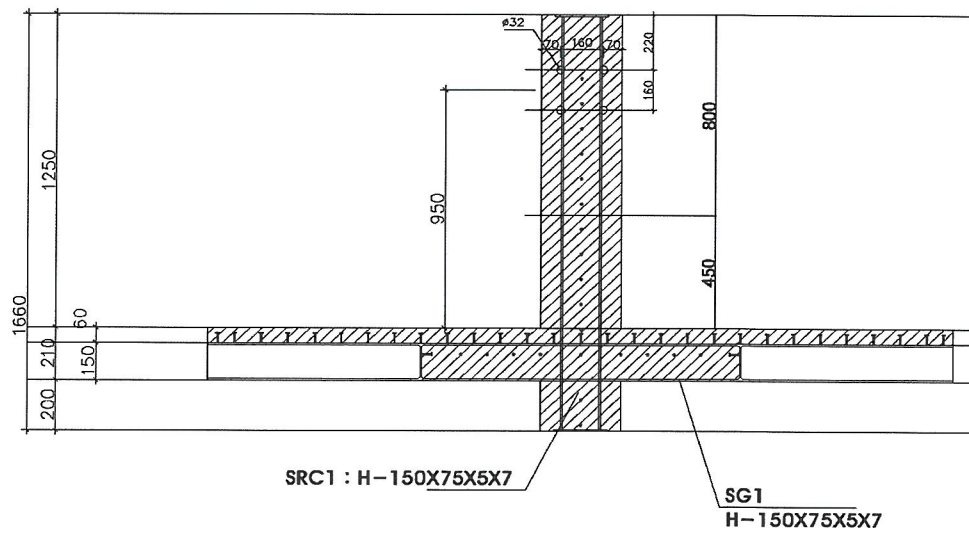


(b) 보-기둥 실험체 단면도

그림 2.2 보-기둥 실험체 배근 및 게이지 계획



(a) DBS 실험체 평면도 및 게이지 위치



(b) DBS 실험체 단면도

그림 2.3 DBS 실험체 배근 및 게이지 계획

2.2.3 실험체 제작

실험체에 사용된 슬래브와 기둥은 모두 이음 없이 공장에서 선조립 하였으며 현장의 시공단계에 부합하게 하부기둥과 슬래브 배근을 완료한 후 스트레인 게이지 위치 등을 최종 확인한 후 1차 콘크리트를 타설하였다. 이후 상부기둥의 전단보강근을 배근한 후 2차 콘크리트를 타설하였다.

거푸집은 먼저 기둥 하부면에 연결되는 힌지연결 플레이트를 바닥에 설치하여 수평을 조절하고 기둥과 슬래브 부분을 형상에 따라 제작하였으며, 지지와 하중의 가력을 위한 홀(hole)의 위치를 확보하고 박리제를 도포하여 탈형 시 박리가 원활하게 이루어지도록 하였다. 실험체 제작에 사용된 콘크리트는 배합강도가 35MPa인 레미콘을 사용하였으며, 콘크리트 타설 이전에 슬럼프 테스트를 실시하였다. 콘크리트 타설은 레미콘이 도착한 지 1시간 내에 완료하였으며, 진동 다짐기를 사용하여 충분히 다짐을 하였다. 그림 2.4에 이러한 일련의 실험체 제작과정을 나타내고 있다.



(a) 보-기둥 실험체 설치



(b) DBS 실험체 설치



(c) 실험체 슬래브 타설



(d) 슬래브 타설 완료



(e) 실험체 상부기둥 타설

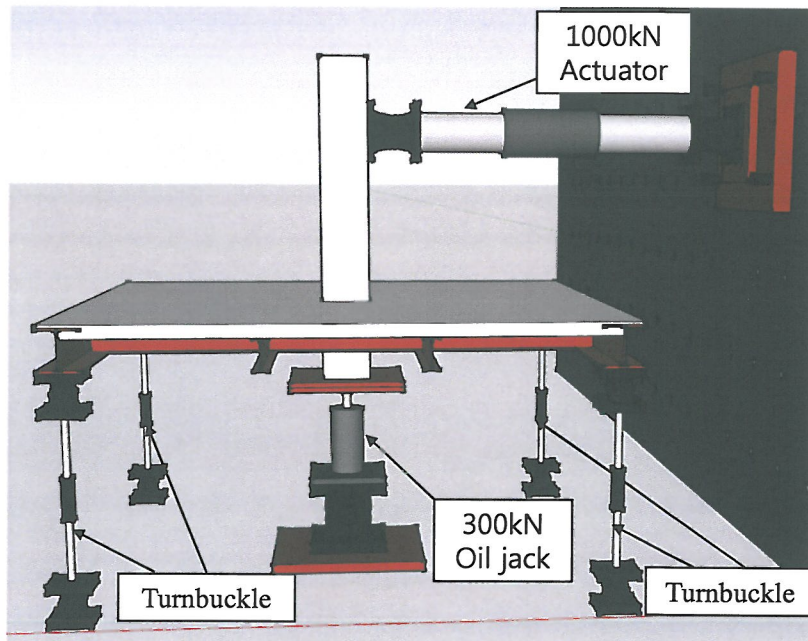


(f) 실험체 상부기둥 완료

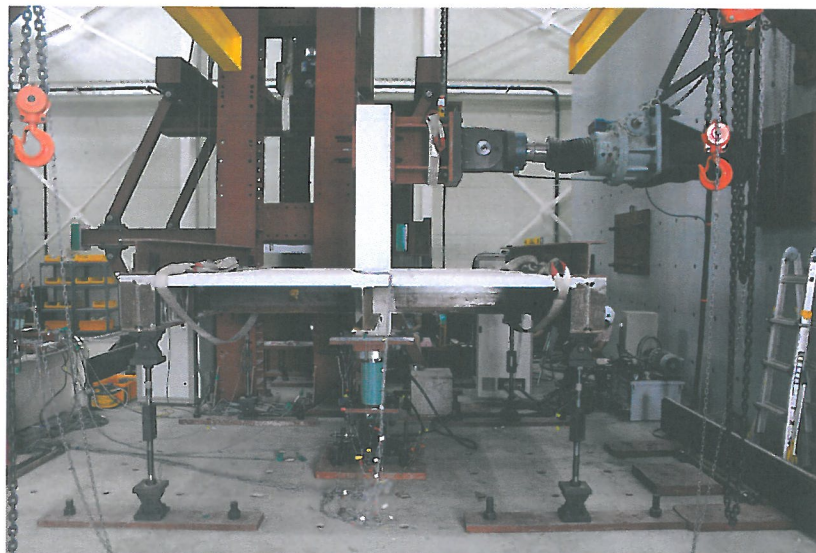
그림 2.4 실험체 제작과정

2.2.4 실험 방법

그림 2.5는 보-기둥 접합부와 DBS 접합부 성능실험의 실험체 설치현황을 나타내었다. 그림 2.5에 나타낸 바와 같이 기둥과 철골 보가 결합된 +자형 접합부의 역학적인 거동을 재현하기 위하여 슬래브 양 단부와 상·하부 기둥 단부를 힌지로 계획하였다. 기둥에 작용되는 횡하중이 실험체의 철골 보와 슬래브에 전달되었을 때 철골 보의 중앙부에서 모멘트 변곡점이 형성되도록 구현하기 위하여 실험체 양단부를 $200 \times 200 \times 8 \times 12\text{mm}$ 의 H형강을 이용하여 고정하였다. 또한 중력하중이 철골 보와 실험체 슬래브에 고르게 분포시키기 위하여 그림 2.5와 같이 턴버클을 사용하여 실험체 고정용 H형강과 긴결하여 실험체를 동일한 높이로 조절하였다. 실험체 가력은 그림 2.5에 나타낸 바와 같이 300kN 용량의 유압잭을 이용하여 표 2.2와 같은 중력하중 80kN을 가력한 후 1000kN의 액추에이터를 이용하여 횡력을 가력하였다. 실험체의 횡력은 그림 2.6과 같이 부재변위각 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 3.0%를 기준으로 두사이클씩 반복가력 하였다. 모든 실험체의 부재변위각은 그림 2.7과 같이 실험체 상부기둥의 액추에이터 도심위치에 설치된 LVDT 1의 변위와 실험체 슬래브 측면 중앙부에 설치된 LVDT 2의 상대변위를 이용하여 구하였다.



(a) 실험체 가력장치 현황



(b) 실험체 설치 전경

그림 2.5 실험체 세팅

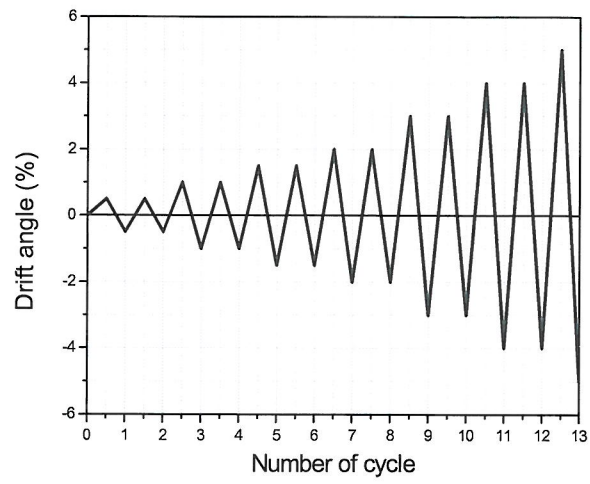


그림 2.6 실험체 하중 이력곡선

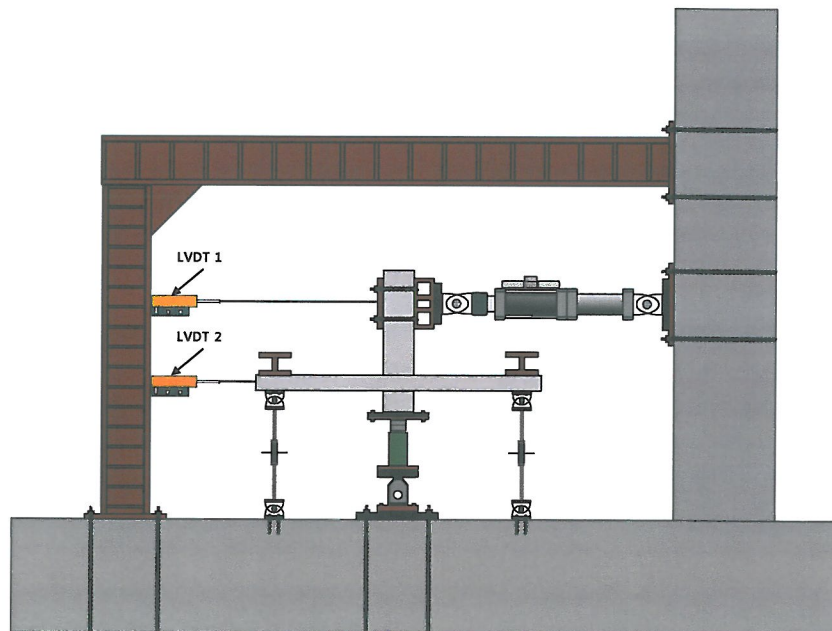


그림 2.7 LVDT 설치 현황

제 3 장 DBS 횡력저항 구조 성능 평가 실험 결과

3.1 실험 결과

3.1.1 실험체의 전단력-부재변위각 관계

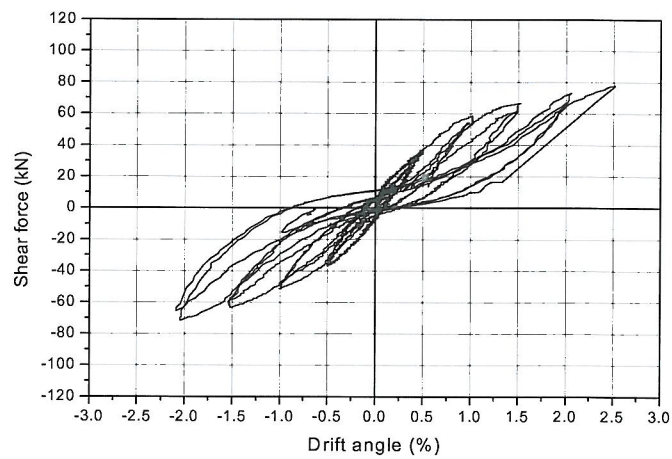
그림 3.1은 각 실험체의 전단력-부재변위각 관계를, 표 3.1에는 실험결과를 나타내었다. 모든 실험체는 그림 3.1에 나타낸 바와 같이 부재변위각이 증가함에 따라 전단력이 증가하는 것을 확인 할 수 있었으며, 구조설계기준에서 안전측으로 권고하고 있는 부재변위각 1.5%에서 실험체의 급격한 하중저하는 나타나지 않았다. 모든 실험체는 부재변위각 2.5%에서 그림 3.2와 같이 기둥의 주철근과 가력장치접합용 철판과의 용접 부분이 파단되어 추가적인 횡력 가력이 어려워 실험을 종료하였다.

보-기둥 실험체는 부재변위각 2.5%인 횡변위 26.6mm에서 최대전단력 77.9kN을 나타내었으며, DBS 실험체는 부재변위각 2.5%인 27.6mm에서 최대전단력 105.9kN을 나타내었다. 그림 3.1과 같이 보-기둥 실험체는 부재변위각 1.0%~1.5% 사이에서 실험체의 강성이 저하되는 것을 확인 할 수 있었으나, 이에 반하여 DBS 실험체는 부재변위각 2.5%까지 실험체의 강성이 유지되는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 부재변위각 2.5%에서 DBS 실험체의 최대전단력은 보-기둥 실험체에 비하여 약 36%이상 증가하는 것으로 나타났다.

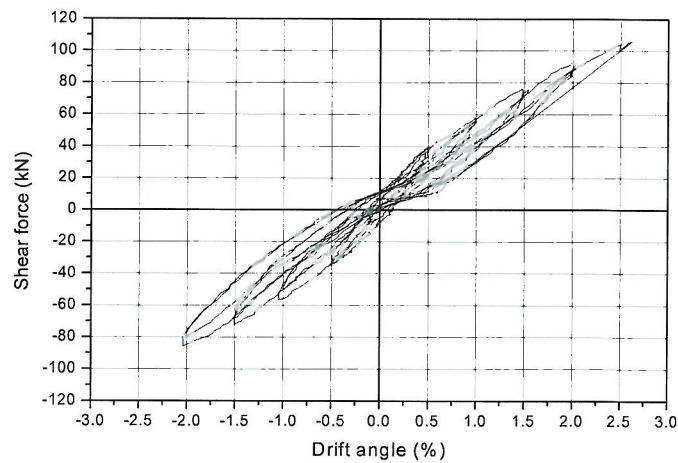
표 3.1 실험결과

실험체명	부재각 1.5%하중				최대전단력							
	하중 (kN)		변위 (mm)		하중 (kN)		최대하중시 변위 (mm)		최대 모멘트 (kN·m)		부재 변형각 (%)	
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
보-기둥	66.7	63.1	16.1	16.1	77.9	71.6	26.6	21.6	163.3	150.2	2.5	2.5
DBS	75.1	72.3	15.7	15.9	105.9	85.6	27.6	21.5	222.1	179.5	2.5	2.5

(+) 정방향 가력, (-) 부방향 가력



(a) 보-기둥 실험체



(b) DBS 실험체

그림 3.1 실험체의 전단력-부재변위각 관계



(a) 보-기둥 실험체

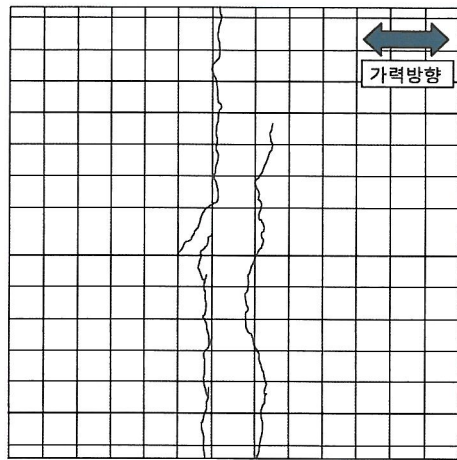


(b) DBS 실험체

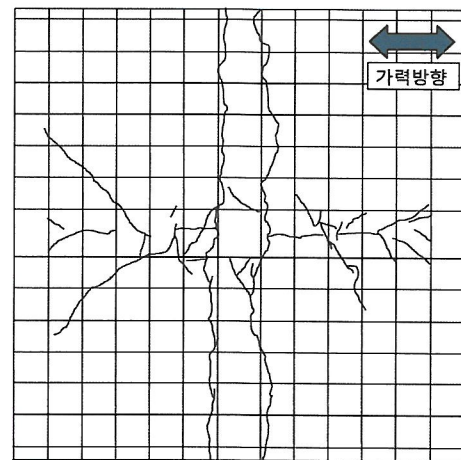
그림 3.2 가력종료시의 실험체의 하부기둥 현황

3.1.2 실험체의 균열 및 파괴양상

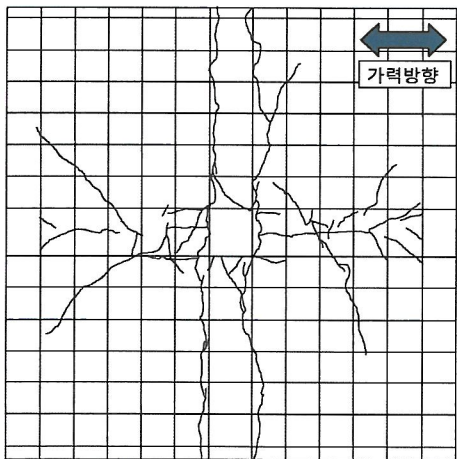
실험 종료 후의 실험체 슬래브 상부의 균열 및 파괴 양상은 그림 3.3과 그림 3.4에 나타내었다. 그림 3.3과 같이 보-기둥 실험체는 부재변위각 0.5%에서 가력의 수직방향(Y-방향)의 철골 보를 따라 균열이 나타났으며, 이후 실험체의 부재변위각의 증가와 함께 가력방향(X-방향)의 철골 보를 따라 균열이 진전되는 양상을 나타내었다. 최종파괴는 +자 모양으로 배치된 철골 보를 따라 균열이 나타난 것을 확인 할 수 있었다. DBS 실험체는 그림 3.4와 같이 부재변위각 0.5%에서 가력의 수직방향(Y-방향)의 드롭패널 외곽의 철골 보에서 균열이 발생하였으며, 이후 실험체의 부재변위각이 증가하면서 슬래브 전체로 균열이 확장한 것을 확인 할 수 있었다. 특히 기둥 주변의 드롭패널 부분의 슬래브를 따라 균열이 고르게 분포한 것을 확인하였다. 따라서 드롭패널을 적용한 DBS 실험체는 보-기둥 실험체에 비하여 기둥주변에 집중되는 전단력 및 중력하중을 실험체에 고르게 분산시킨 것을 알 수 있었다. 또한 그림 3.2와 같이 보-기둥 실험체의 경우 하부기둥에 균열이 많이 발생하여 기둥에 가해지는 횡하중이 철골 보 및 슬래브에 효과적으로 전달되지 않았음을 알 수 있다. 반면에 DBS 실험체는 하부기둥에 균열이 발견되지 않아 실험체 상부기둥에 가해진 횡하중이 드롭패널에 효과적으로 전달되어 철골 보와 슬래브가 일체로 횡하중에 저항하였음을 알 수 있다.



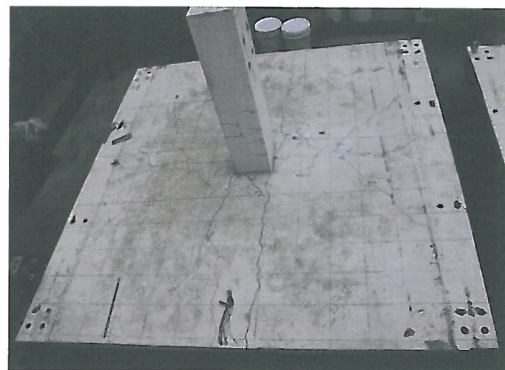
(a) 0.5 %



(b) 1.5 %

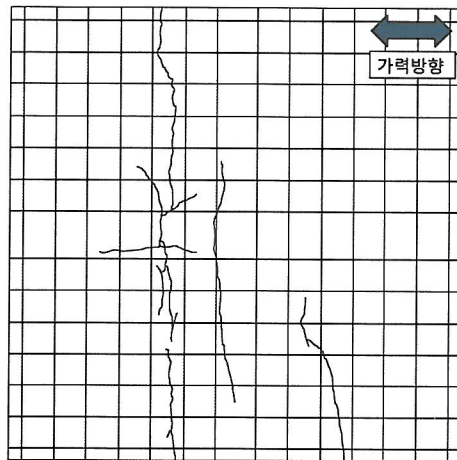


(c) 최종균열

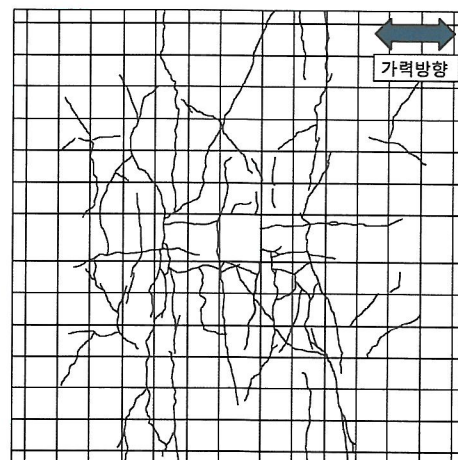


(d) 최종 파괴 사진

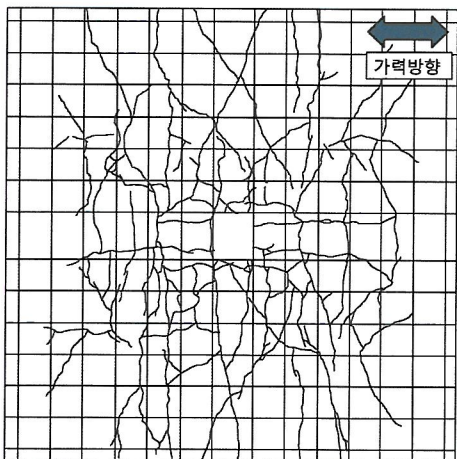
그림 3.3 보-기둥 실험체의 부재변위각에 따른 슬래브 균열 현황



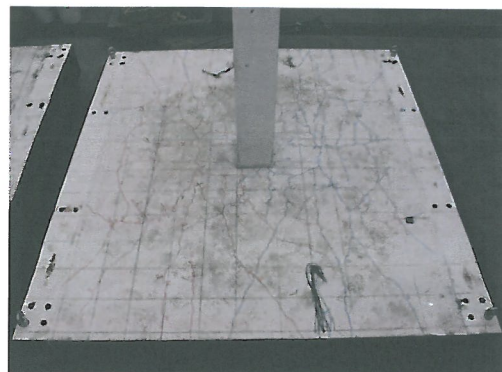
(a) 0.5 %



(b) 1.5 %



(c) 2.0 %



(d) 최종 파괴 사진

그림 3.4 DBS 실험체의 부재변위각에 따른 슬래브 균열 현황

3.2 실험체의 철골 보 및 슬래브 주철근의 변형률 특성

3.2.1 보-기둥 실험체

그림 3.5에 보-기둥 실험체의 철골 보의 변형률 분포를 나타내었다. 실험체의 변형률 분포는 2.2.2절에 기술한 바와 같이 철골 보에 부착된 스트레인 게이지로부터 얻었다. 그림 3.5로부터 알 수 있듯이 보-기둥 실험체의 X-방향 철골 보의 변형률은 정가력(+)과 부가력(-) 모두 기둥중심에서 양쪽으로 각각 약 600mm 부근 까지 부재변위각이 증가함에 따라 변형률 분포가 증가하고 있음을 알 수 있었다. 또한 실험체의 X-방향 철골 보의 변형률은 정가력(+)의 경우 부재변위각 약 1.0% 이후 기둥중심에서 약 375mm 떨어진 철골 보 플랜지에 부착한 스트레인 게이지가 항복변형률에 도달한 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 보-기둥 실험체는 슬래브가 인장력을 부담하는 구간이 기둥면에서 약 600mm 까지임을 알 수 있었으며, 특히 보-기둥 실험체의 기둥에 작용되는 전단력은 기둥주변의 슬래브의 철골 보로 전이되어 기둥주변의 철골 보가 항복하였음을 알 수 있다. 이는 기둥에 작용되는 전단력 및 중력하중이 슬래브 전체로 전이되지 못하고 기둥주변에 집중되었음을 의미한다. 그림 3.6에 나타낸 바와 같이 Y-방향 철골 보의 변형률은 정가력(+)과 부가력(-)에 관계없이 철골 보에 부착된 스트레인게이지의 변형률이 고르게 낮은 값을 나타낸 것을 확인 할 수 있었다.

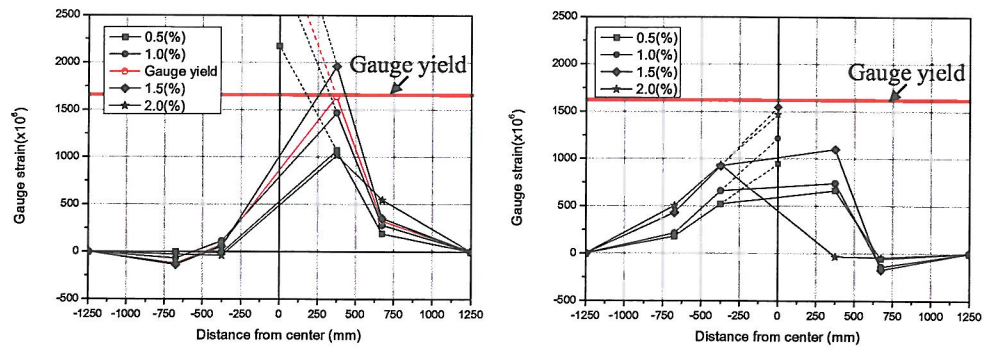


그림 3.5 보-기둥 실험체의 X-방향 철골 보 변형률 분포

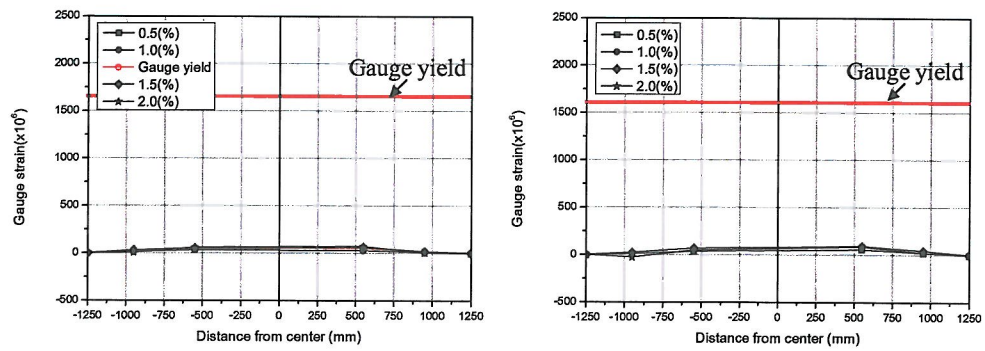


그림 3.6 보-기둥 실험체의 Y-방향 철골 보 변형률 분포

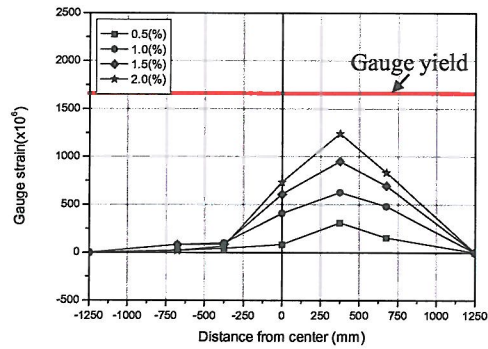
3.2.2 DBS 실험체

그림 3.7에 DBS 실험체의 드롭패널 주변의 #자형 철골 보에 부착된 스트레인게이지의 변형률 분포를 나타내었다. DBS 실험체의 철골 보의 변형률은 X-방향 철골 보 1번과 2번으로 나누어 측정하였다. 그림 3.7로부터 알 수 있듯이 X-방향 철골 보의 변형률은 철골 보 1번과 2번 모두 정 가력(+)과 부 가력(-) 모두 기둥중심에서 양쪽으로 약 700mm 부근까지 실험체의 부재변위각이 증가함에 따라 변형률 분포가 증가하고 있음을 알 수 있었다. 또한 X-방향 철골 보 2번은 부 가력(+)의 경우 부재변위각 약 1.0% 이후 기둥중심에서 700mm 떨어진 철골 보 플랜지에 부착한 스트레인게이지가 항복변형률에 도달한 것을 확인 할 수 있었다. 특히 스트레인게이지가 항복한 부재변위각 약 1.0% 이후 드롭패널의 철골 보에 부착된 스트레인게이지의 변형률 분포가 증가하였음을 알 수 있었다. 따라서 DBS 실험체는 슬래브가 인장력을 부담하는 구간이 기둥 중심에서 양쪽으로 약 700mm 까지임을 알 수 있었으며, DBS 실험체의 기둥에 작용되는 전단력이 기둥 주변의 드롭패널에 전이된 것을 철골 보의 변형률 분포를 통하여 알 수 있었다.

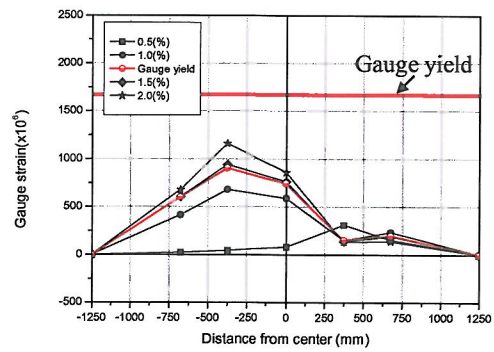
그림 3.8은 DBS 실험체 드롭패널의 상부의 주철근에 부착된 스트레인게이지의 변형률 분포를 나타낸 그래프이다. 드롭패널 상부의 X-방향 주철근의 변형률 분포는 정가력(+)과 부가력(-) 모두 기둥중심에서 양쪽으로 약 700mm 부근까지 실험체의 부재변위각이 증가함에 따라 증가하고 있음을 알 수 있다. 따라서

드롭패널의 주철근이 인장력을 부담하는 구간은 철골 보와 유사하게 기둥 중심으로부터 양쪽으로 약 700mm 구간임을 알 수 있었다. 따라서 드롭패널을 적용함에 따라 슬래브가 인장력에 저항하는 구간이 증가하였음을 확인 할 수 있었다. 이에 비하여 그림 3.8에 나타낸 바와 같이 드롭패널 Y-방향 주철근의 변형률 분포는 실험체의 부재변위각 및 가력방향에 관계없이 낮은 값을 나타낸 것을 확인 할 수 있었다.

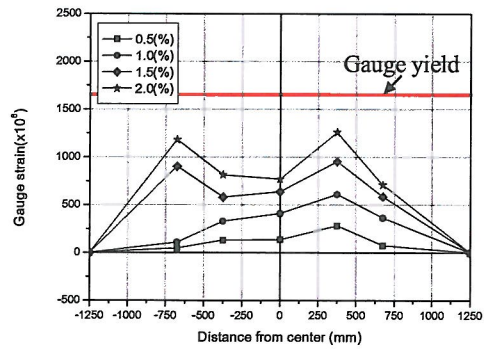
그림 3.9는 DBS 실험체 철골 보의 변형률 분포와 드롭패널의 X-방향 주철근에 부착된 스트레인게이지의 변형률 분포를 합성하여 나타낸 그래프이다. 이 연구에서는 실험체의 부재변위각에 따른 드롭패널 주위의 철골 보와 드롭패널의 일체화 거동을 확인하기 위하여 드롭패널 주위의 철골 보와 드롭패널의 주철근의 동일한 위치에 스트레인게이지를 부착하였다. 그래프에서 나타낸 바와 같이 정가력(+) 및 부가력(-)에서 철골 보 1번과 2번 변형률 분포는 드롭패널 주철근의 변형률 분포와 유사함을 확인 할 수 있었다. 따라서 DBS 실험체는 드롭패널과 철골 보가 일체화하여 기둥에 작용되는 전단력에 저항하는 것을 확인 할 수 있었다.



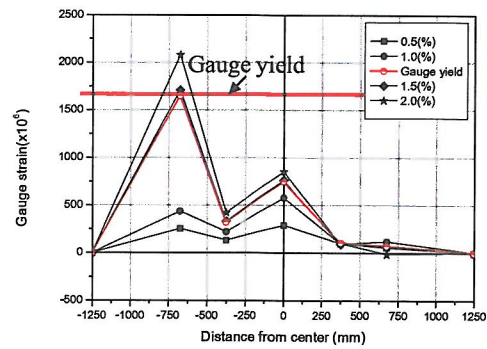
(a) 철팔 보 1번 정가력



(b) 철팔 보 1번 부가력

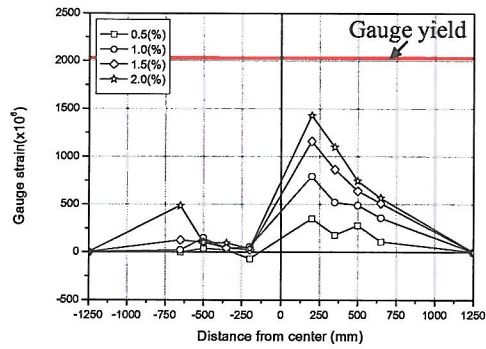


(c) 철팔 보 1번 정가력

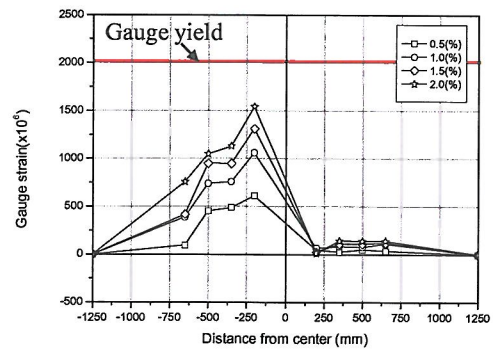


(d) 철팔 보 1번 부가력

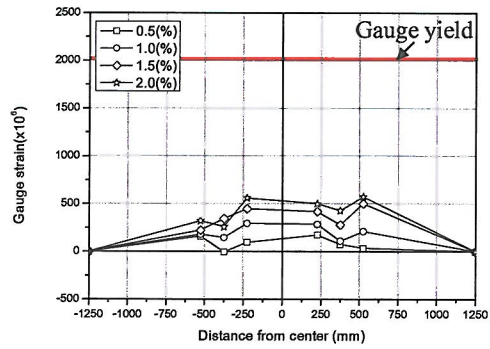
그림 3.7 DBS 실험체의 X-방향 철팔 보 변형률 분포



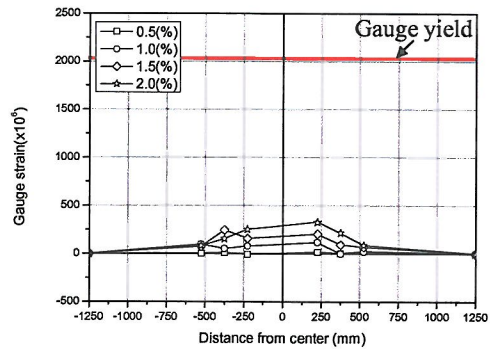
(a) X-방향 정가력



(b) X-방향 부가력

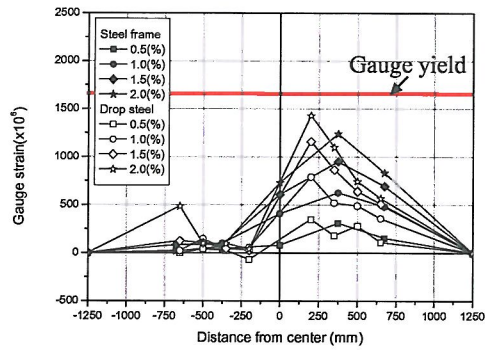


(c) Y-방향 정가력

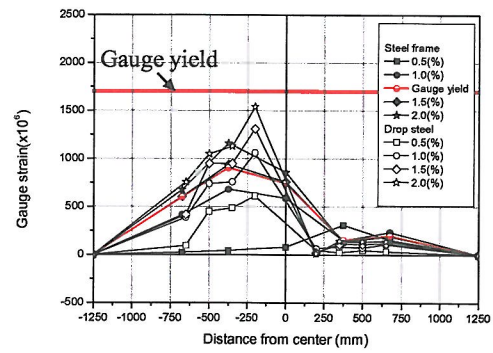


(d) Y-방향 부가력

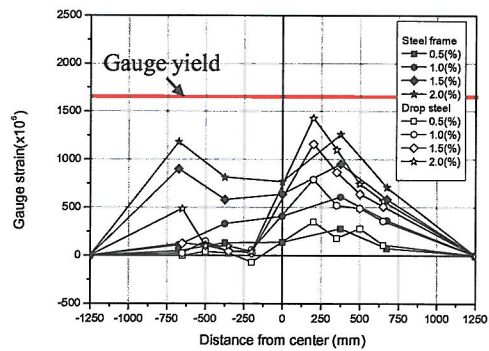
그림 3.8 DBS 실험체의 드롭패널 주철근 변형률 분포



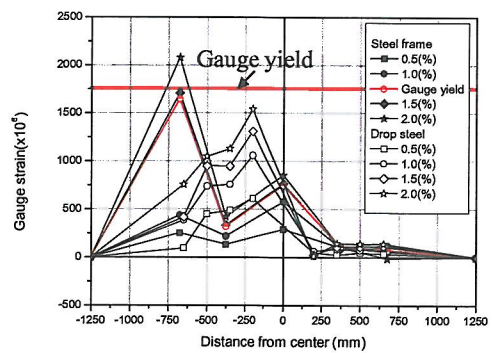
(a) 철팔 보 1번 정가력



(b) 철팔 보 1번 부가력



(c) 철팔 보 2번 정가력



(d) 철팔 보 2번 부가력

그림 3.9 DBS 실험체의 드롭패널 및 철팔 보 변형률 분포

제 4 장 결론

이 연구에서는 실제 구조체 상층부의 하중조건인 축 하중과 횡 하중이 조합된 하중조건을 반영한 DBS 공법의 구조 성능평가를 실시하고자 철골 보-기둥 접합부 실험체와 DBS 접합부 실험체를 제작하여 실험을 수행하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 실험결과, 보-기둥 실험체 및 DBS 실험체는 구조설계기준에서 안전측으로 권고하고 있는 부재변위각 1.5%에서 실험체의 급격한 하중저하는 나타나지 않았다. 그러나 보-기둥 실험체는 부재변위각 1.0%~1.5%에서 실험체의 강성이 저하하는 것을 확인하였으며, DBS 실험체는 실험종료시까지 실험체의 강성이 증가하는 것을 확인하였다. 모든 실험체의 하부기둥에서 가력플레이트에 용접한 주철근의 용접부위 파단에 의하여 실험이 종료되었다. 실험종료시의 최대전단력은 DBS 실험체가 보-기둥 실험체에 비하여 약 36% 높은 것으로 나타났다.

(2) 실험체의 균열현황을 살펴본 결과, 보-기둥 실험체는 기둥 주변의 철골 보 근처에서만 균열이 발생한 것으로 나타났으며, 이에 반하여 DBS 실험체는 기둥 주변의 드롭패널을 따라 균열이 실험체 슬래브 전체에 고르게 분포한 것을 확인하였다. 따라서 드롭패널을 적용한 DBS 실험체는 보-기둥 실험체에 비하여 기둥주변에 집중되는 전단력 및 중력하중을 실험체에 고르게 분산시킨 것을 알 수 있었다. 이는 횡하중에 저항하는 내력이 철골조 보-기둥 실험체에 비하여 DBS 실험체가 우수하게 나타났다고 할 수 있다.

(3) 보-기둥 실험체의 철골 보에 부착된 스트레인게이지의 분포를 살펴본 결과, 실험체의 슬래브가 인장력을 부담하는 구간이 기둥중심에서 약 600mm 까지 임을 알 수 있었으며, 특히 보-기둥 실험체의 기둥에 작용되는 전단력은 기둥주변의 슬래브의 철골 보로 전이되어 기둥주변의 철골 보가 항복하였음을 알 수 있다. 이는 기둥에 작용되는 전단력 및 중력하중이 슬래브 전체로 전이되지 못하고 기둥주변에 집중되었음을 의미한다.

(4) DBS 실험체의 드롭패널 주위의 철골 보와 드롭패널의 주철근의 변형률 분포를 살펴본 결과, 실험체의 슬래브가 인장력을 부담하는 구간이 기둥중심에서 약 700mm 까지 임을 알 수 있었다. 또한 드롭패널 주위의 철골 보의 변형률 분포는 드롭패널 주철근의 변형률 분포와 유사함을 확인 할 수 있었다. 따라서 DBS 실험체는 보-기둥 실험체에 비하여 드롭패널을 적용함에 따라 실험체의 슬래브가 인장력에 저항하는 구간이 증가하였음을 확인 할 수 있었으며, 드롭패널과 철골 보가 일체화되어 기둥에 작용되는 전단력에 저항하는 것을 확인 할 수 있었다.

(5) 결론적으로, DBS 실험체는 동일한 하중조건하에서 드롭패널 효과로 기둥주변에 집중되는 전단력 및 중력하중을 고르게 분산시키고 있어 보-기둥 실험체에 비하여 횡 하중 저항능력이 우수한 것으로 나타났음을 확인 할 수 있었다.

DBS 실험결과 일반 보-기둥 접합부 시스템에 비하여 드롭패널을 적용한 기둥-슬래브 접합부 시스템의 구조성능이 우수할 것으로 판단된다. 특히 드롭패널을 적용한 기둥-슬래브 접합부 시스템은

철골 보와 드롭패널이 일체화 거동을 한 것으로 나타나 슬래브의 인장력 저항 길이가 커질 것으로 예측되며, 이는 장스팬 구조물의 처짐제어에 유리할 것으로 판단된다. 추후 다양한 변수(축력비, 기둥의 형상비, 콘크리트 강도 등)에 대한 연구를 통하여 DBS 시스템의 구조성능을 평가하여야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 여영호, 정광양, “초고층 건축물 : 기술의 발전과 사회적 의미 : 특집을 기획하며”, 대한건축학회 학회지, 제50권, 제4호, 2006, pp. 11.
2. 대한건축학회, “건축구조기준 및 해설”, 기문당, 2011, 1039pp.
3. 한국표준협회, “콘크리트 강도 시험용 공시체 제작 방법(KS F 2403)”, 한국표준협회, 2010, 8pp.
4. 한국표준협회, “콘크리트 압축 강도 시험방법(KS F 2405)”, 한국표준협회, 2010, 6pp.
5. 박홍근, 김유니, 송진규, 김선규, 이철우, “불균형 모멘트를 받는 슬래브-기둥 집합부를 위한 래티스 전단 보강”, Vol.19, No.3, 2007, pp.301~312.
6. Jin-Kyu Song, Ju-bum Kim, Ho-Bum Song, and Jeong-Won Song, "Effective Punching Shear and Moment Capacity of Flat Plate-Column Connection with Shear Reinforcements for Lateral Loading", International Journal of Concrete Structures and Materials, Vol.6, No.1, pp.19~29.