

FBP가 설치된 철골 커플링보 접합부의 거동 및 파괴모드

송한범¹⁾·이원호¹⁾

¹⁾ 광운대학교 건축학부

(2005년 7월 4일 원고접수, 2005년 11월 30일 심사완료)

Behavior and Failure Mode of Steel Coupling Beams Joint with FBP

Han-Beom Song¹⁾ and Waon-Ho Yi¹⁾

¹⁾ Architecture Div. Kwang-Woon University, Seoul, 139-701 Korea

(Received July 4, 2005, Accepted November 30, 2005)

ABSTRACT

The usefulness of walls in the structural planning of multistory buildings has long been recognized. When walls are situated in advantageous positions in a buildings, they can be very efficient in resisting lateral load. Specially, coupled shear wall system is the primary lateral load resisting system of buildings. It is customary to refer to such walls as being "coupled" by coupling beams. The coupling beams must exhibit excellent strength, stiffness, ductility and energy dissipation capacity. To achieve these demands for steel coupling beam, steel coupling beam with Face Bearing Plate(FBP) embedded in the reinforced concrete walls is proposed. A comprehensive experimental test involving 2 steel coupling beam with and without FBP has been performed. Through experimental study, the evaluation of the advantage of that was establish and proposed the failure mode.

Keywords : coupled shear wall system, coupling beam, ductility, face bearing plate

1. 서 론

고층 건물의 구조계획에서 벽체의 장점은 오래전부터 인식되어왔다. 구조물에서 적절한 위치에 벽체를 배치하면, 벽체는 구조물에 작용하는 풍하중이나 지진하중 같은 횡하중에 매우 효과적으로 저항할 수 있다. 이러한 벽체를 적용하는 예로서 고층건물에서 횡하중에 의해 발생하는 수평 전단력에 저항하는 구조인 철근콘크리트 전단벽 시스템이 대표적이다. 전단벽은 기본적으로 철근콘크리트 캔틸레버 보로 거동하며, 매우 큰 캔틸레버 보 형태로서의 전단벽은 휨모멘트와 횡하중에 의해 발생하는 전단력, 그리고 중력에 의한 축력의 영향을 받는다.

많은 전단벽은 수직방향으로 하나 또는 그 이상의 개구부를 포함한다. 이로 인하여 벽체 개구부의 각 면은 길이가 짧고 춤이 큰 보에 의해 연결된다. 이러한 벽체는 관습적으로 보에 의해 "연결(coupled)"되었다고 하며, 이와 같이 보에 의해 연결된 전단벽 시스템을 병렬 전단벽 시

스템(coupled shear wall system)이라 한다. 병렬 전단벽 시스템의 거동은 Fig. 1과 같다. 그림에 나타난 바와 같이 벽체와 벽체를 연결하는 보를 커플링보(coupling beam)라 하고 커플링보는 휨과 전단의 영향을 받으며, 하나의 벽체에서 다른 벽체로 전단력을 전달한다. 병렬 전단벽 시스템에서 커플링보의 강도 및 강성은 병렬 전단벽 시스템의 거동에 큰 영향을 미치고 있으며, 기존의 철근콘크리트 커플링보를 철골 커플링보로 대체하기 위한 연구가 진행되고 있다. 본 연구자는 철골 커플링보로 대체할 경우 접합부가 충분한 강도, 강성 및 에너지 소산능력을 확보할 수 있는 방안으로 Face Bearing Plate(지압판, 이하 FBP)의 사용을 제안하였으며, FBP를 적용한 철골 커플링보 접합부 거동의 우수성을 입증하였다^{1,2)}.

따라서 본 연구에서는 FBP를 설치한 철골 커플링보 접합부의 설계법 개발을 위한 기초자료를 제시하기 위하여 FBP의 보강 여부를 주요 변수로 하는 2개의 시험체를 제작하여 FBP의 적용 여부에 따른 접합부 거동을 파악하고자 한다. 또한 이에 근거하여 철골 커플링보 접합부의 파괴모드를 정의하고 파괴모드별 특징을 제시하고자 한다.

* Corresponding author

E-mail : shb0323@kw.ac.kr

©2005 by Korea Concrete Institute

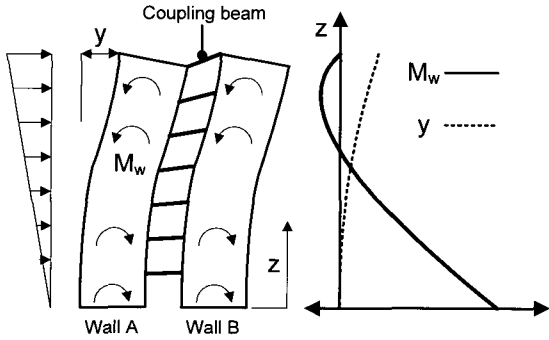


Fig. 1 Coupled shear wall system

2. 병렬 전단벽 시스템의 거동

Fig. 2는 기초를 고정단으로 가정하였을 경우, 커플링보 접합부 조건에 따른 병렬 전단벽 시스템의 거동을 나타낸다. Fig. 2(a)와 같이 벽체(wall A)와 벽체(wall B)가 핀(pin connection)으로 연결되어 있다면, 각각의 벽체는 캔틸레버 거동을 하면서 외부 모멘트에 저항할 것이다. 따라서 벽체의 응력은 각각의 벽체에서 선형으로 분포하고, 응력의 중립축은 각 벽체의 중심에 위치한다. 이와 대조적으로 Fig. 2(b)와 같이 벽체와 벽체의 단부가 강접(fixed connection)으로 연결되어 있다면, 시스템 전체가 하나의 캔틸레버 거동을 하면서 외부모멘트에 저항할 것이다. 이러한 경우에 응력은 전체병렬전단벽시스템에서 선형으로 분포하고, 각 벽체는 “인장벽(tension wall)”과 “압축벽(compression wall)”로 거동하며 우력을 형성한다. 실제 병렬 전단벽 시스템의 거동은 Fig. 2(c)와 같이 전술한 두 가지 극단적인 경우 사이에서 거동할 것이다³⁾. 이러한 거동의 차이는 철근콘크리트 벽체와 벽체를 연결하는 커플링보 접합부 조건에 의한 접합부 강성에 의존하며, 커플링보를 철골 부재로 대체하는 경우에 접합부의 강성은 병렬 전단벽 시스템의 거동에서 매우 중요한 요소이다.

병렬전단벽시스템에서 커플링보에 발생하는 변형성분은 Fig. 3과 같다. Fig. 3(a)는 벽체의 회전으로 인하여 발생하는 커플링보의 변위이고, Fig. 3(b)는 휨력에 의해 커플링보에서 발생하는 전단력에 의한 커플링보의 휨변형 및 전단변형을 나타내고, Fig. 3(c)는 전단벽 자중과 휨력에 의해 발생하는 축력인 인장과 압축에 의해 발생하는 커플링보의 변위이다. 이러한 변위를 계산하는데 있어서 벽체와 커플링보의 접합부는 고정단으로 가정한다.

3. FBP 접합부의 거동 및 설계 방법

본래 FBP는 합성구조(composite framed structure)의 하나인 철근콘크리트 기둥과 철골보를 포함하는 모멘트-저항 프레임(moment-resisting frame)에 사용하기 위하여

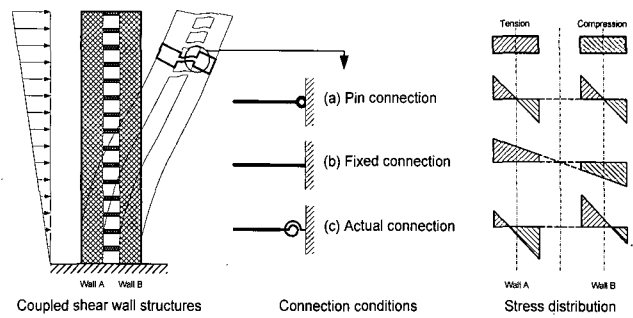


Fig. 2 Behavior of coupled shear wall system

Sheikh⁴⁾에 의해 개발된 것으로서, ASCE의 기준으로 사용되고 있으며, 본 연구자에 의해 철골 커플링보에 사용하는 것이 제안되었다. Sheikh의 연구 및 ASCE의 기준에 근거하여 FBP의 거동 특성을 설명하면 다음과 같다.

3.1 파괴모드

FBP를 적용한 접합부의 파괴모드는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 패널전단파괴(panel shear failure)와 지압파괴(bearing failure)로 구분할 수 있다. Fig. 4(a)의 패널전단파괴는 철골접합부 또는 철근콘크리트 접합부에서와 비슷하지만, 합성구조의 경우에는 철골부재와 철근콘크리트 부재 모두가 관여한다. Fig. 4(b)의 지압파괴는 높은 압축응력이 작용하는 경우에 발생하며 철근콘크리트 기둥 내부에서 상대적으로 강성이 큰 철골보의 강체회전에 의해 발생한다. 이러한 파괴가 예상되는 경우에는 수직보강 철근을 보강하는 등의 방법으로 지압파괴에 대한 보강을 한다.

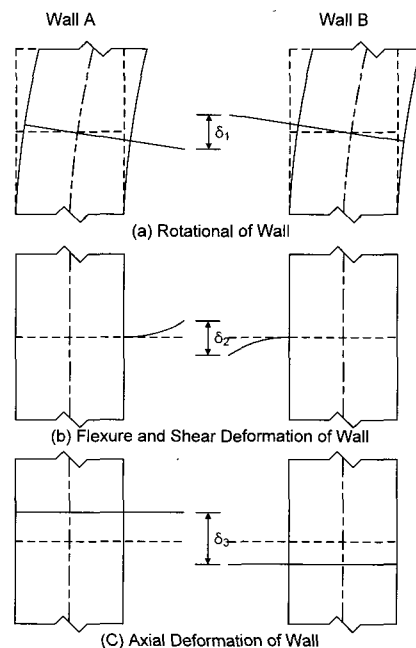


Fig. 3 Relative displacements of coupling beam

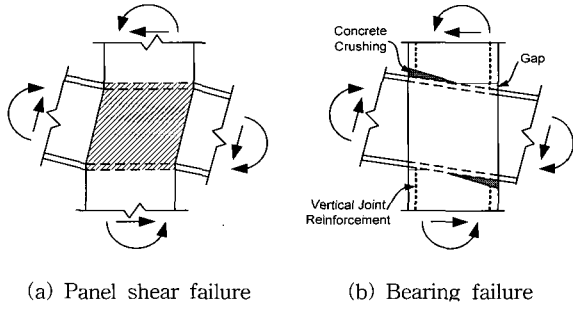


Fig. 4 Failure mode of FBP joint

3.2 전단저항메커니즘

접합부 전단 저항에 대한 메커니즘은 Fig. 5와 같이 3개의 저항메커니즘으로 구분할 수 있다.

첫 번째는 Fig. 5(a)와 같이 철골 복부(web)의 전단저항에 의한 철골 복부 패널(steel web panel) 저항 메커니즘이다. 복부는 유효패널길이(jh)에 대해서 순수 전단응력을 감당하는 것으로 이상화되고, 유효패널길이는 수직 지압응력의 분포에 따라 결정된다. 철골 복부 패널에 의해 저항하는 전단력(V_{sn})은 다음과 같다.

$$V_{sn} = 0.6F_{ysp}t_{sp}jh \quad (1)$$

여기서, F_{ysp} = 접합부 패널 철골의 항복강도
 t_{sp} = 접합부 패널 철골의 두께
 jh = 지압응력 사이의 수평거리

두 번째는 Fig. 5(b)와 같이 보에 부착한 FBP에 의해 결집되는 콘크리트에 의한 콘크리트 압축 지주(concrete compression strut) 저항메커니즘이다. FBP의 구성요소인 수직 스티프너의 위치와 폭은 콘크리트 지주가 접합부의 전단력에 얼마나 효과적으로 저항하느냐에 의해 결정된다. 콘크리트 압축 지주에 의해 저항하는 전단력(V_{csn})은 다음과 같다.

$$V_{csn} = 1.7\sqrt{f_{ck}}b_p h \leq 0.5f_{ck}b_p d_w \quad (2)$$

여기서, f_{ck} = 콘크리트의 압축강도
 b_p = FBP의 폭
 h = 보에 수평한 콘크리트 기둥의 총 높이
 d_w = 보 플랜지 사이의 거리 (복부의 높이)

세 번째는 Fig. 5(c)와 같이 수평 보강근에 의해 작용하는 트러스메커니즘 형태의 여러 개의 압축지주로 구성되는 콘크리트 압축 영역(concrete compression field)이다. 압축영역은 철골보 외부에서 발생한다. 콘크리트 압축 영역에 의해 저항하는 전단력(V_{cfn})은 다음과 같다.

$$V_{cfn} = V'_c + V'_s \leq 1.7\sqrt{f_{ck}}b_o h \quad (3)$$

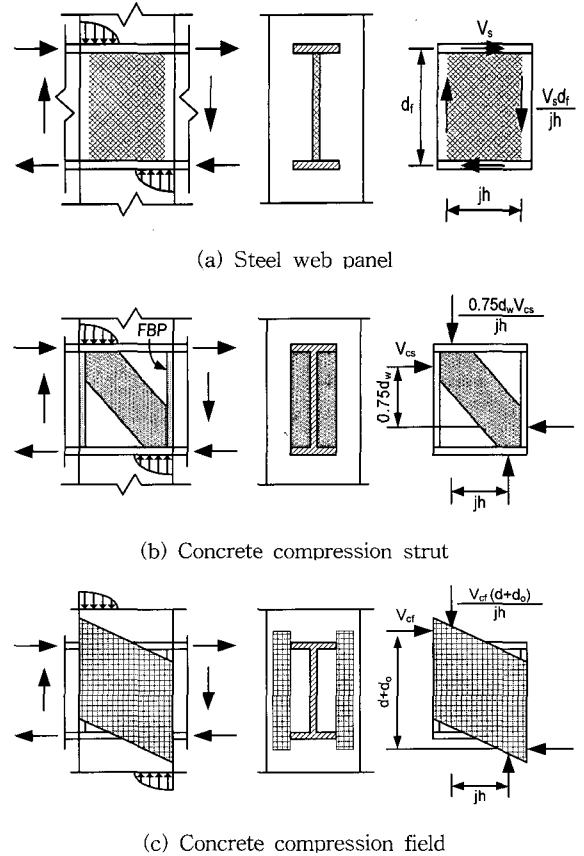


Fig. 5 Shear mechanism of joint

여기서, $V'_c = 0.4\sqrt{f_{ck}}b_o h$
 $V'_s = A_{sh}F_{ysp}0.9h/s_h$ 단, A_{sh} = 보 축 내부 타이의 간격(s_h) 각 층 철근의 단면적
 b_o = 외부 콘크리트 패널의 유효폭

4. 실험

4.1 시험체 계획

시험체 설계시 고려된 변수는 철근콘크리트 벽체와 철골 커플링보 접합부의 보강방법이며, 이를 적용하여 총 2개의 시험체를 계획한다. 이를 통하여 FBP의 적용 여부에 따른 철골 커플링보 접합부의 거동을 규명하고, 이에 근거하여 철골 커플링보 접합부의 파괴모드 평가를 주목적으로 한다. 이를 위해 커플링보 상·하부 플랜지에 설치한 스티드볼트, 커플링보 매립부 벽체부분에 국부적으로 보강한 수직철근 및 커플링보가 매립된 벽체부분에 커플링보의 상하 플랜지 하부로부터 높은 지압응력이 작용되는 부위에 구속철근을 보강한 SCB-SBVRT 시험체와 매립부 철골 커플링보에 FBP로 보강한 SCB-SBVRTF 시험체를 포함하는 총 2개의 시험체를 계획하고 제작한다. 본 실험연구에서 계획된 시험체 특성 및 상세는 Table 1 및 Fig. 6과 같다.

Table 1 List of specimen

Specimens	Stud bolt (SB)			Vertical reinforcement (VR)		Ties (T)	FBP(F) Thickness (mm)
	Quantity (EA)	Diameter (mm)	Length (mm)	General	Joint		
SCB-SBVRT	12	19	125	HD13@230	HD19@100	HD10×4	-
SCB-SBVRTF	12	19	125	HD13@230	HD19@100	HD10×4	12

· Wall dimension : 300 mm × 1000 mm
 · Steel beam : H-350×175×7×11 (SS400)

4.2 재료 시험

본 실험에 사용된 철근, 강재 및 콘크리트의 재료 실험은 KS B 0801의 라호 규정 및 KS F 2404에 따라 시험편을 제작하여, KS B 0802 및 KS F 2404 규정에 따라 실시하며 재료실험 결과는 Tables 2 및 3과 같다.

4.3 실험 방법

시험체 설치상황은 Fig. 7과 같고, 벽체에 축하중을 도입하기 위하여 2000 kN 용량의 오일잭(oil jack)과 로드셀(load cell)을 사용하며 철골 커플링보에 반복하중을 도입하기 위하여 1000 kN 용량의 오일잭과 로드셀을 각각 사용한다. 도입된 하중에 따라 철근콘크리트 벽체에 매립된 철골 커플링보의 하중-변위 관계를 파악하기 위하여 벽체

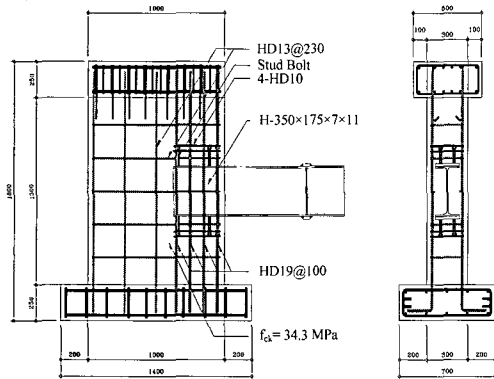
Table 2 Property of concrete

Type	Compressive strength (MPa)	Cross sectional area(cm ²)	Modulus of elasticity (MPa)	Slump (cm)
$f_{ck} = 34.3 \text{ MPa}$	34.7	78.6	27360	12.5

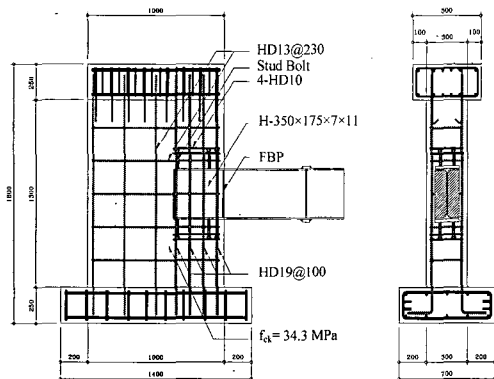
Table 3 Property of rebar and steel

Type	Yield strength (MPa)	Modulus of elasticity (MPa)	Tensile strength (MPa)
HD 13	398	171,224	566
HD 19	400	157,887	555
Flange	226	134,047	295
Web	220	120,230	275

면에서 600 mm 위치에 하중을 가력하였으며, 재하점에서 270 mm 위치인 철골 커플링보 단부에 설치한 변위계로 도입된 하중별 변위를 측정하면서 각 사이클별로 계획된 변위이력에 따라 반복 가력한다. 벽체에 매립된 철골 커플링보의 상·하부 플랜지의 변형률을 참고하며, 하중-변위 관계곡선에서 급격하게 강성이 변화되는 시점으로 정의된 부재항복시 변위(δ_y)의 배율로 점증되는 변위이력에 준하여 시험체에 하중을 도입한다. 동일변위의 반복시 강도저하를 평가하기 위하여 동일변위에서 3사이클씩 반복



(a) Specimen SCB-SBVRT



(b) Specimen SCB-SBVRTF

Fig. 6 Specimen details

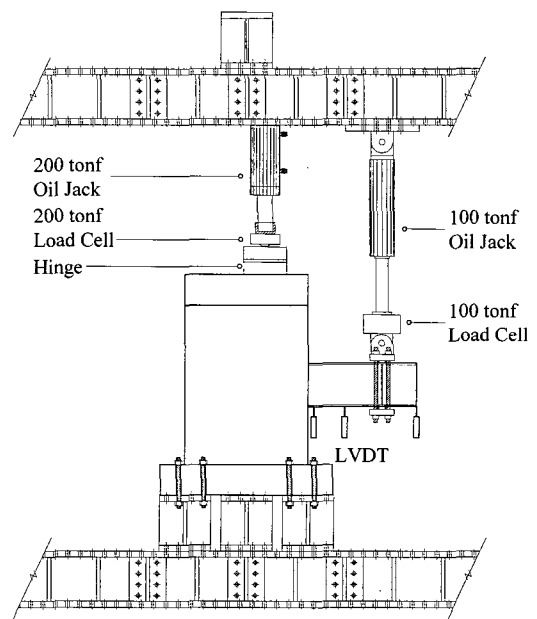


Fig. 7 Test setup

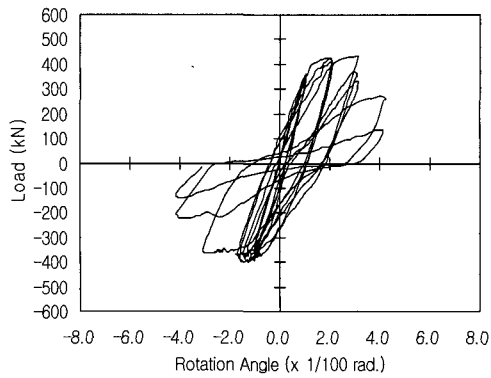


Fig. 8 SCB-SBVRT Specimen

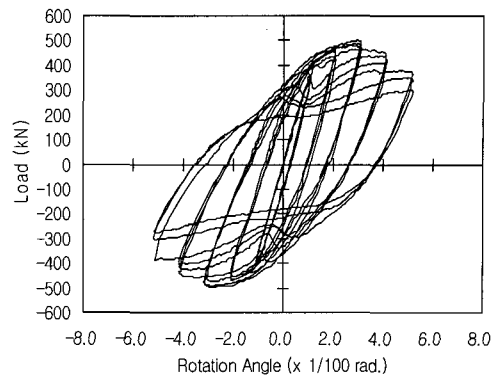


Fig. 9 SCB-SBVRTF Specimen

가력하며, 사이클별 최대강도가 항복하중의 50% 이하로 저하되었을 때 실험을 종료한다.

5. 실험 결과 분석

5.1 하중-부재각 관계

Figs. 8 및 9는 각 시험체별 하중-부재각 관계를 나타낸 것으로 대상 건축물의 복합 병렬 전단벽에서 철골 커플링보의 변곡점은 커플링보의 중앙부로 가정하고 있으므로 시험체의 부재각은 시험체 끝단부에서의 처짐량을 보 길이로 나누어 구하였다.

Fig. 8에 나타난 바와 같이 SCB-SBVRT 시험체는 부재각 0.02 rad.에서 최대내력에 도달한 후 급격하게 내력이 저하되는 취성적인 경향을 보이고 있다. 이는 철골 커플링보의 상·하부 플랜지에서 반복적이며 국부적으로 전달된 지압력에 의해 커플링보 매립부 벽체 콘크리트에 발생된 균열, 압괴 및 피복 콘크리트의 탈락 등에 기인한 접합부의 회전강성 저하에 따른 것으로 나타났다.

Fig. 9는 SCB-SBVRT 시험체에 추가로 FBP를 보강한 SCB-SBVRTF 시험체의 하중-부재각 관계를 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 벽체에 매립되는 커플링보 단부에 보강한 FBP는 Fig. 5에 나타낸 전단 저항 메커니

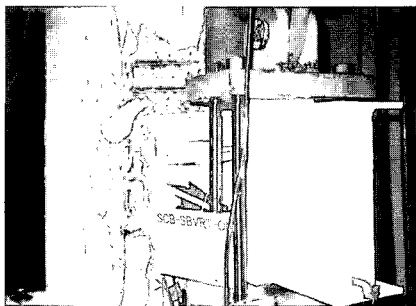


Fig. 10 Failure shape of SCB-SBVRT

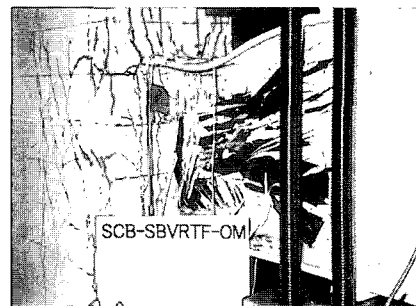


Fig. 12 Failure shape of SCB-SBVRTF

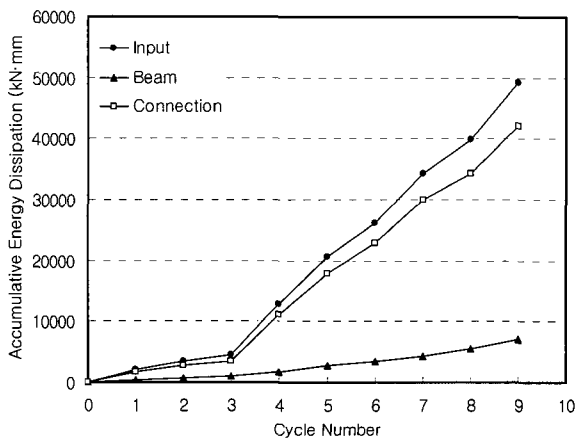


Fig. 11 Energy dissipation of SCB-SBVRT

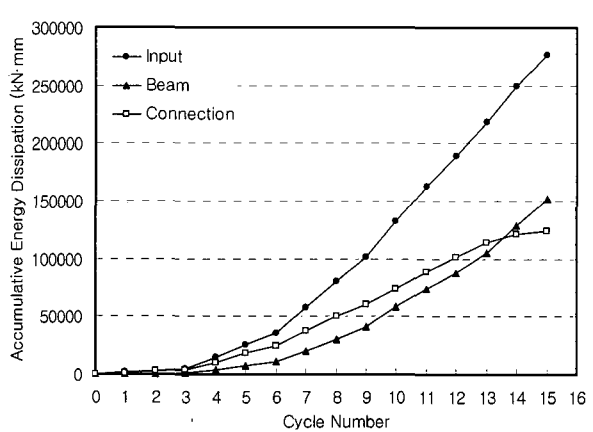


Fig. 13 Energy dissipation of SCB-SBVRTF

증에 의해 접합부 강도를 증진시킴으로써 전술한 시험체에 비하여 최대강도 증진 및 부재각 0.05 rad.에 이를 때까지 연성적인 거동을 확보 할 수 있었던 것으로 판단된다.

5.2 파괴상황 및 에너지소산 특성

FBP를 보강하지 않은 SCB-SBVRT 시험체의 파괴상황은 Fig. 10과 같고 에너지소산 특성은 Fig. 11과 같다. Fig. 10에서 보는 바와 같이 최종파괴 상황은 철골 커플링보의 상·하부 플랜지로부터 작용된 높은 지압응력에 의한 철근콘크리트 벽체의 균열이 증가하면서 최종파괴되는 현상을 보였다. 이러한 파괴현상은 에너지 소산능력의 분포에 영향을 주는 것으로 나타났다.

철골 커플링보의 변형성분은 철골 커플링보의 변형과 접합부의 변형으로 구분할 수 있으며²⁾, 이에 근거하여 변형 성분별로 하중-변위 곡선의 면적인 에너지소산량을 산정하면 시험체별 총 소산에너지(Input)는 철골 커플링보의 소성현지에서 소산된 에너지(Beam)와 접합부의 비탄성 변형에 의해 소산된 에너지(Connection)로 구분할 수 있다. Fig. 11은 이와 같은 방법에 의해 산정한 에너지 소산능력을 나타내며, 입력된 에너지의 대부분이 접합부에서 흡수되고 있음을 알 수 있다.

FBP를 추가로 보강한 SCB-SBVRTF 시험체의 파괴상황은 Fig. 12와 같고, 에너지소산 특성은 Fig. 13과 같다. Fig. 12에서 보는 바와 같이 최종파괴 상황은 철근콘크리트 벽체의 피해보다는 철골 커플링보의 휨 및 전단변형이 크게 증가하면서 최종파괴 되는 현상을 보였다. 이는 전술한 바와 같이 Fig. 5에 나타난 FBP의 전단저항 메커니즘에 의해 접합부 성능의 증가로 인한 결과이다. 이러한 파괴현상은 Fig. 13에 나타난 에너지 소산능력의 분포에서 입력된 에너지를 접합부와 철골 커플링보가 대등하게 흡수하는 결과를 보였다.

5.3 철골 커플링보의 변형

철근콘크리트 벽체와 철골 커플링보 접합부에서 철골 커플링보의 거동은 병렬 전단벽 시스템의 거동에 중요한 영향을 미치고 있다. 이러한 철골 커플링보의 변형을 및 변형을 측정하기 위한 측정 장치인 와이어 스트레인 게이지(wire strain gauge, 이하 WSG)의 부착위치 및 변위계(linear variable differential transducer, 이하 LVDT)의 측정위치는 Fig. 14와 같다.

WSG의 부착위치는 접합부 상세에 따른 접합부 강성에 대한 커플링보의 플랜지 및 복부의 각 위치별 변형률을 파악하기 위해 상부 플랜지(UF1~UF5) 및 복부(W1~W5)에 각각 5개씩 부착하였다. 또한 LVDT 1 및 LVDT

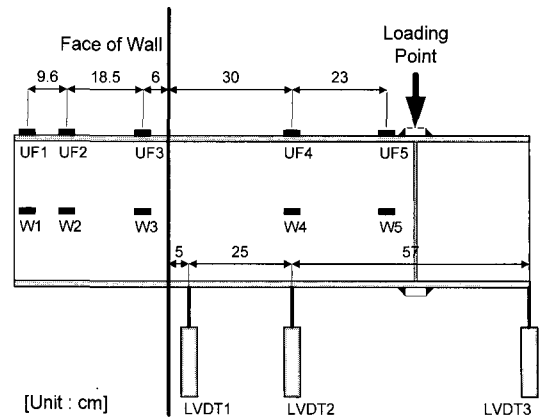
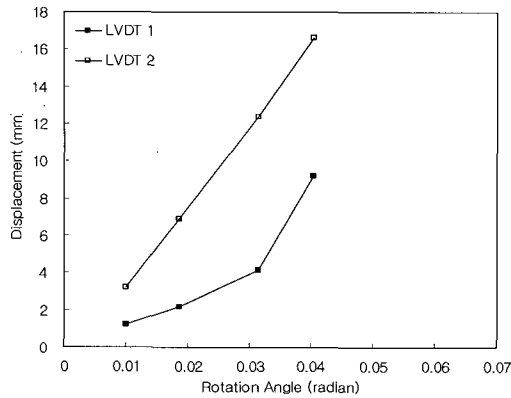


Fig. 14 Measurement position of WSG and LVDT

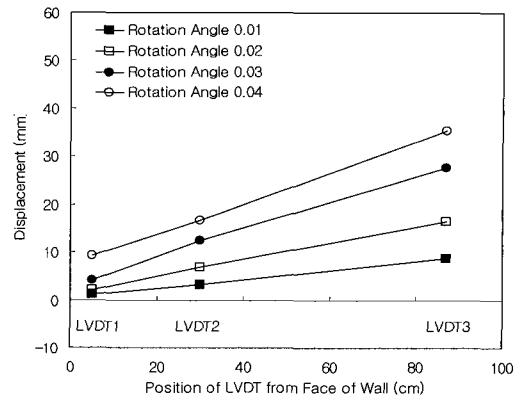
2는 접합부 보강상세에 따른 철근콘크리트 벽체 및 커플링보의 변형을 측정하기 위하여 설치하였으며, LVDT 3은 반복가력을 위한 변위제어를 위하여 설치하였다. 각 항복배율 변위 가력에서 각 시험체의 정가력시 부재 회전각별 측정 장치의 측정값은 Figs. 15~18과 같다.

Fig. 15는 각 항복배율 변위 가력에서 각 시험체의 정가력시 첫 번째 사이클에서 부재 회전각별 LVDT 1 및 LVDT 2에서 측정된 변위를 각 시험체별로 나타낸 것이다. Fig. 15(a)에서 보는 바와 같이 접합부에 철골 커플링보를 매립하고 스테드볼트 및 구속철근으로 보강한 SCB-SBVRT 시험체의 변형은 실험이 종료된 시점인 부재각 0.04 rad.에 이를 때까지 LVDT 1 및 LVDT 2 모두 변형이 증가하고 있다. Fig. 15(b)에서 보는 바와 같이 전술한 시험체와 비교하여 FBP를 추가로 보강한 시험체인 SCB-SBVRTF 시험체의 변형은 부재각 0.03 rad. 이후에 변위의 증가폭이 매우 작았으며 부재각 0.04 rad. 이후에는 측정된 변위가 감소하고 있다. 또한 벽체면에 5 cm 위치에 근접하여 있는 LVDT 1에서 부재각 0.04 rad.일 때 변위는 SCB-SBVRT 시험체는 9.21 mm, SCB-SBVRTF 시험체는 3.07 mm로 나타났으며, 이는 SCB-SBVRT 시험체가 SCB-SBVRTF 시험체에 비하여 3배 큰 값이다. 이러한 현상은 LVDT 2에서도 비슷한 경향을 보이고 있다. 이는 철골 커플링보가 매립된 철근콘크리트 벽체에서 매립된 철골 커플링보 상·하부에서 발생하는 지압응력으로 인한 철근콘크리트 벽체의 변형이 증가하였기 때문이다.

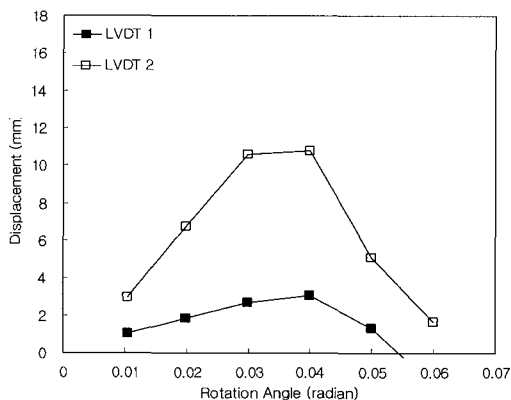
또한, Fig. 16은 벽체면에서 각각 50 mm, 300 mm 및 870 mm 거리에 위치한 LVDT 1, LVDT 2 및 LVDT 3에서 측정된 철골 커플링보의 변위 분포이다. Fig. 16(a)의 SCB-SBVRT 시험체는 실험 종료시점이 부재각 0.04 rad.에 도달할 때까지 커플링보의 변위 분포는 벽체면에서 거리에 비례하여 증가하는 경향을 보이고 있다. 이와 대조적으로 Fig. 16(b)의 SCB-SBVRTF 시험체는 부재각 0.03 rad.까지는 이러한 비례관계를 보이고 있지만, 커플링보의



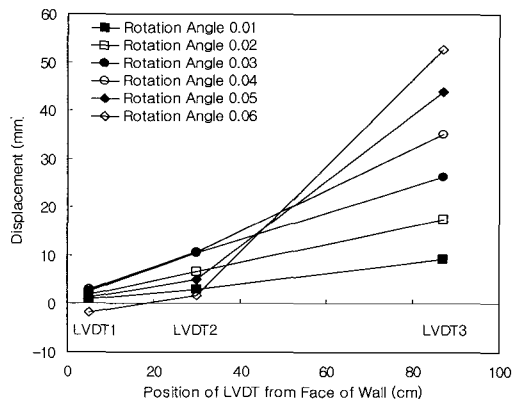
(a) SCB-SBVRT



(a) SCB-SBVRT



(b) SCB-SBVRT



(b) SCB-SBVRT

Fig. 15 Deflection of coupling beam at rotation angle

Fig. 16 Deflection of coupling beam at position

변형이 증가하여 항복하는 부재각 0.04 rad. 이후에는 벽체 면에서 거리가 가장 먼 LVDT 3의 변위만 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이는 FBP를 보강함으로써 그림 5에서 설명한 메커니즘에 의해 철골 커플링보를 매립한 접합부의 강도가 증가하여 철근콘크리트 벽체의 피해가 감소하고, 반면에 철골 커플링보의 휨 및 전단 변형이 증가하였기 때문이다.

Figs. 15 및 16에서 나타난 철골커플링보 변형의 차이는 접합부 보강 상재에 의한 철골 커플링보를 매립한 접합부의 강성 차이로 인한 결과로 판단된다. 즉, 스티드볼트, 벽체 수직철근 및 구속철근으로 보강한 SCB-SBVRT 시험체의 접합부가 보유하고 있는 성능이 철골 커플링보가 보유하고 있는 성능과 비교하여 “약한” 경우이다. 이러한 경우에 철골 커플링보 접합부의 파괴형태는 다음과 같다.

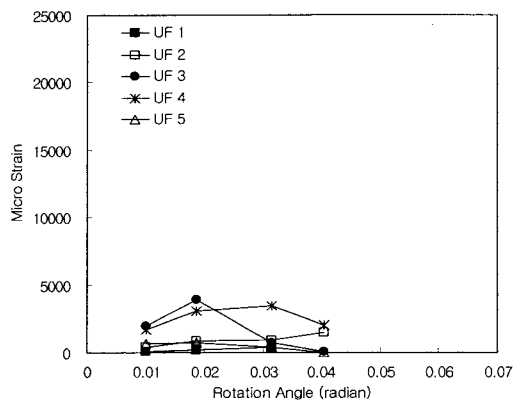
① 철골 커플링보의 강제 회전은 허용되고, ② 커플링보 플랜지 하부면 콘크리트가 지압파괴 되며, ③ 접합부에서 소성힌지가 발생하며 최종파괴 된다.

반면에 SCB-SBVRT 시험체와 비교하여 FBP를 추가로 보강한 SCB-SBVRTF 시험체의 접합부가 보유하고 있는 성능은 철골 커플링보가 보유하고 있는 성능과 비교하여

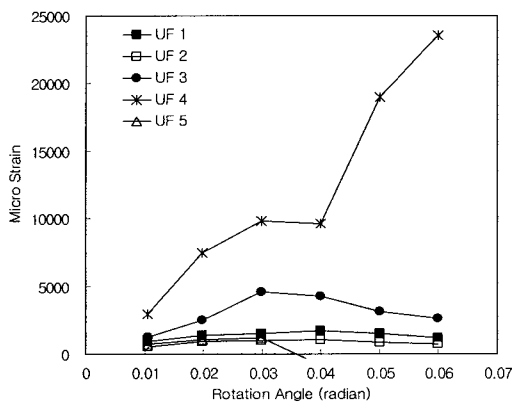
“강한” 경우이다. 이러한 경우에 철골 커플링보 접합부의 파괴형태는 다음과 같다.

① 재하초기에는 접합부 및 철골 커플링보에서 탄성한도내의 변형이 발생하고, ② 부재각 0.03 rad. 이후에 철골 커플링보의 플랜지 및 복부의 변형이 증가하고 항복하며, ③ 항복한 이후에 철골 커플링보에서 소성힌지가 발생하며 최종 파괴된다. 이러한 최종파괴형태의 차이는 두 시험체의 강도에 큰 영향을 주고 있으며, 최종파괴시의 부재 회전각 차이를 통하여 접합부의 변형능력 및 에너지소산 능력의 차이에도 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

Fig. 17은 철골 커플링보 상부 플랜지에 부착한 WSG의 부재회전각별 변형률을 나타낸 것이다. Fig. 17(a)의 SCB-SBVRT 시험체의 철근콘크리트 벽체 내부에 부착한 UF1~UF3은 부재각 0.02일 경우의 UF3을 제외한 모든 경우에서 탄성범위 이내의 변형률을 보이고 있다. 철근콘크리트 벽체 외부에 부착한 UF4는 부재각 0.02에서 항복 변형률 이상 변형하였지만, 부재각 0.03 이후에 벽체의 변형증가와 이에 따른 소성힌지의 발생 이후에는 오히려 변형률이 감소하고 있다. Fig. 17(b)의 SCB-SBVRTF 시험체의 UF1~UF3의 변형률은 SCB-SBVRT 시험체와 비슷

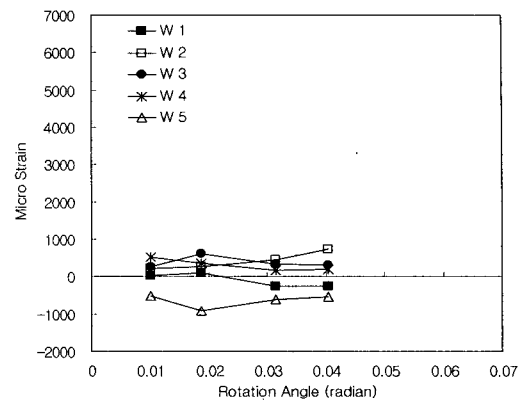


(a) SCB-SBVRT

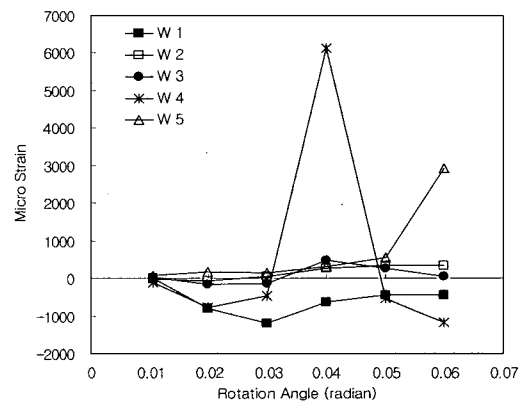


(b) SCB-SBVRTF

Fig. 17 Strain distribution of flange at rotation angle



(a) SCB-SBVRT



(b) SCB-SBVRTF

Fig. 18 Strain distribution of web at rotation angle

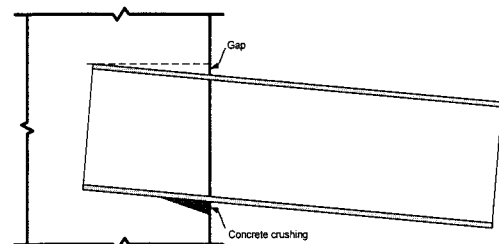
한 경향으로 나타났지만, 벽체 외부에 부착한 UF4의 변형률은 SCB-SBVRT 시험체에 비하여 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이는 FBP에 의해 접합부 콘크리트가 구속되어 접합부 회전강성이 증가하고, 이로 인하여 철골 커플링보에 소성힌지가 발생하였기 때문이다. Fig. 18에 나타난 북부의 변형을 변화에서도 이러한 현상이 나타났다.

이상과 같은 철골 커플링보의 변형에 대한 결과로부터, FBP를 적용하는 경우에 접합부 회전강성은 증가하게 되며, FBP를 적용한 철골 커플링보 접합부는 이렇게 증가한 접합부 회전강성으로 인하여 FBP를 적용하지 않은 접합부에서 발생한 소성힌지를 철골 커플링보로 이동시키는 접합부 상세로 나타났다.

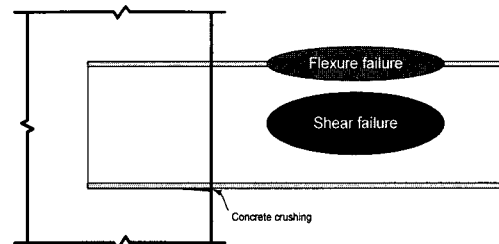
이와 같이 철골 커플링보에서 최종 파괴되는 파괴형태는 병렬 전단벽 시스템의 커플링보 접합부에서 요구하는 강도, 강성 및 에너지 소산능력 등의 요구조건을 만족시킬 수 있을 것으로 기대된다.

6. 철골 커플링보 접합부의 파괴형태

FBP를 적용한 철근콘크리트 기둥과 철골보 접합부의



(a) Bearing failure



(b) Coupling beam failure

Fig. 19 Failure mode of RC wall and steel coupling beam joint

파괴모드는 Fig. 4에 나타낸 바와 같다. 그러나 FBP를 적용한 철근콘크리트 벽체와 철골 커플링보 접합부는 기둥-보 접합부와 비교하여 철근콘크리트 벽체의 폭이 충분히 큰 구조이기 때문에 철골보가 벽체를 관통하는 형태가 아니다. 이와 같은 이유로 인하여 기둥-보 접합부에서 적용하는 Fig. 4와 같은 파괴형태를 철골 커플링보 접합부에 적용하는 것은 적당하지 않다.

예를 들면, 철골 커플링보 접합부에서 Fig. 4(a)와 같은 패널전단 파괴는 발생하지 않는다. 따라서 본 연구자는 전 절에서 논의한 실험 결과에 근거하여 철골 커플링보 접합부 파괴형태를 Fig. 19와 같이 1) 철골 커플링보 매립부의 철근콘크리트 벽체에서 발생하는 지압파괴와 2) 철골 커플링보의 파괴로 제안한다.

지압파괴의 일반적인 형태는 Fig. 19(a)와 같고, 이러한 파괴는 철골 커플링보의 성능이 접합부 성능과 비교하여 상대적으로 “강한” 경우에 플랜지 하부 콘크리트에 큰 압축응력이 작용하여 발생하는 파괴형태로서 본 연구에서 SCB-SBVRT 시험체의 파괴형태가 이러한 지압파괴의 형태에 해당한다.

그리고 커플링보 파괴의 일반적인 형태는 Fig. 19(b)와 같고, 커플링보 파괴는 휨파괴와 전단파괴로 구분할 수 있다. 이러한 파괴는 철골 커플링보의 성능이 접합부 성능과 비교하여 상대적으로 “약한” 경우에 발생하며 본 연구에서 SCB-SBVRTF 시험체의 파괴형태가 이러한 커플링보 파괴의 형태에 해당한다. 접합부 설계에 있어서 이러한 파괴형태는 접합부 및 철골 커플링보의 성능에 의존하므로, 접합부 구성요소 각각의 내력을 산정하고, 접합부 성능과 철골 커플링보 성능의 사이의 상대적인 “강함”과 “약함”의 구분을 명확하게 해야 하며, 이러한 결과에 근거한 체계적인 접합부 설계방법에 대한 연구가 필요하다.

7. 결 론

동일한 조건에서 FBP를 적용한 시험체의 최대내력은 FBP를 적용하지 않은 시험체에 비하여 15.3% 증가하는 것으로 나타났다. 이는 FBP에 의한 접합부 콘크리트의 구속으로 인해 접합부 성능이 증가하였기 때문이다. 이와 같이 FBP에 의한 접합부 성능 증가는 FBP를 적용하지 않았을 경우에 철근콘크리트 벽체에서 발생한 최종파괴를 철골 커플링보로 이동시키는 것으로 나타났다. 이와 같은 실험결과 분석에 근거하여 철근콘크리트 벽체와 철골 커플링보 접합부의 파괴모드를 Fig. 19와 같이 제시한다.

참고문헌

1. 이원호 외, “철골 커플링보의 파괴 및 변형특성,” 대한건축학회 논문집, 19권 3호, 2003, pp.75~82.
2. 이원호 외, “접합부 상부에 따른 철골 커플링보의 내진 거동,” 대한건축학회 논문집, 21권 3호, 2005, pp.3~10.
3. Chaallal, O., Gauthier, D., and Malenfant, P., “Classification Methodology for Coupled Shear Walls”, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol.122, No.12, 1995, pp.1453~1458.
4. Sheikh, T., M., Deierlein, G. G., Tura, J. A., and Jirsa, J. O., “Beam-Column Moment Conceptions for Composite Frames : Part 1, and Part 2”, *Journal of the Structural Division*, ASCE, Vol.115, No.5, 1989, pp.2858~2896.
5. Shahrooz B. M., “Seismic Design and Performance of Composite Coupled Walls”, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol.119, No.11, 1993, pp.3291~3309.

요 약

고층 건물의 구조계획에서 벽체의 유용성은 오래전부터 인식되어 왔다. 구조물에서 적절한 위치에 벽체를 배치하며, 벽체는 구조물에 작용하는 횡하중에 매우 효과적으로 저항할 수 있다. 특히 병렬 전단벽 시스템의 구조물의 횡력저항 시스템으로서 가장 선호되는 구조이고 이러한 구조는 커플링보에 의해 벽체가 연결되게 된다. 커플링보는 강도, 강성, 연성 및 에너지 소산능력이 충분한 부재이어야 한다. 이러한 요구들을 만족시키기 위해 FBP를 적용한 철골 커플링보를 제안한다. FBP의 적용 여부를 변수로 하여 총 2개의 시험체를 계획하고 실험을 실시하였다. 이러한 실험 연구를 통하여 FBP를 적용한 철골 커플링보의 장점에 대해 서술하였고, 파괴모드를 제안하였다.

핵심용어 : 병렬 전단벽 시스템, 커플링보, 연성, 지압판