

# 재보수-보강된 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 구조특성

## Structural Characteristics of Reinforced Concrete Beam-Column Joints Repaired and Restrengthening

조 창 호\*                      김 정 섭\*\*  
Cho, Chang-Ho                Kim, Jeong-Sup

### Abstract

Reinforced concrete buildings damaged by earthquake which can be reused can ensure the stability in its structure by repair-restrengthening, but when such a repair-restrengthening is conducted inappropriately or its structural strength is greatly reduced by earthquake again, it should have repair-restrengthening. This study selects beam-column joints which are vulnerable to earthquake as the object of experiment, performs repair-restrengthening after applying the first and the second dynamic loading to the objects of experiment, examines the capacity of restrengthening according to structural characteristics and loading velocity and verifys the validity of repair-restrengthening.

### 요 지

지진에 의해 피해를 입은 철근콘크리트 건축물을 재사용이 가능하도록 보수-보강을 실시하여 구조적으로 안전성을 확보하게 되는데 이러한 보수-보강이 부적절하게 시공되었거나, 재지진을 받아 구조내력이 크게 감소된다면 다시 보수-보강을 할 수 밖에 없다. 본 연구에서는 지진 발생시 가장 우려되는 보-기둥 접합부를 실험 대상으로 선정하여, 시험체에 1차 동적하중과 2차 동적하중을 작용시킨 후 각각 보수-보강을 실시한 다음 구조특성 및 하중속도에 따른 보강성능을 검토하여 재보수-보강의 타당성을 규명하였다.

**Keywords** : Repair-Restrengthening, Beam-Column Joint, Earthquake Type of Loading, Carbon Fiber Sheet

**핵심용어** : 재보수-보강, 보-기둥 접합부, 동적하중, 탄소섬유시트

\* 정회원, 담양대학 건축·실내디자인과 교수

\*\* 정회원, 조선대학교 건축공학과 교수

E-mail : chcho@damyang.damyang.ac.kr 061-380-8682

• 본 논문에 대한 토의를 2003년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 2003년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서론

철근콘크리트 건축물이 지진과 같은 수평력을 받아 구조적으로 불안정한 상태에 있을 경우 보수-보강을 하여 구조적으로 안전성을 확보하게 한다. 이러한 보수-보강이 부적절하게 시공되었거나, 재지진을 받아 구조내력이 크게 감소된다면 재사용이 가능한 건축물에 있어서 다시 보수-보강을 할 수밖에 없다. 또한 시간의 경과에 따른 구조내력의 부족으로 사용성이 저하되어 보수 및 보강을 필요로 하는 경우가 점차적으로 증가되고 있는 추세이다.

한편 지진은 어떤 특정 지역에 한 번만이 발생하는 것이 아니고 또 다시 발생하는 경우도 있을 것이다. 따라서 재지진하중을 받는 철근콘크리트 건축물의 구조 성능 및 안전성 확보, 재보수-보강의 기술개발 측면, 그리고 지진 발생시 가장 우려되는 보-기둥 접합부에 대한 보강설계법의 검토와 연구가 시급히 요구되고 있다. 하지만 국내의 보수-보강에 대한 연구에서는 기둥, 보 등의 부재요소에 국한된 연구만이 진행되고 있다.

본 연구는 보수-보강 공법에 따라 제작된 철근콘크리트 보-기둥 접합부 시험체의 구조적 특성을 파악하고자 하였다. 이를 위하여 1차 동적하중과 2차 동적하중을 작용시킨 후 각각 보수-보강을 실시하여 지진과 재지진을 받은 보수-보강시험체의 구조특성 및 하중속도에 따른 보강성능을 검토함으로써 보강공사에 활용할 수 있는 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

## 2. 실험

### 2.1 개요

철근콘크리트 보-기둥 접합부의 재보수-보강에 따른 구조적 특성을 파악하기 위해 1차 실험에서는 보-기둥 접합부에 보의 주근이 최초로 항복했을 때의 변위( $\Delta_y$ )에 대하여 0.5 $\Delta_y$ (1단계)~2.0 $\Delta_y$ (4단계)까지 시험체를 재하시켜 균열을 발생시킨 후 구조적 특성을 파악하였다. 그리고 2차 실험에서는 1차실험에서 2.0 $\Delta_y$ 까지 재하시킨 보-기둥 접합부 시험체에 대하여 보수-

보강, 즉 에폭시주입, 탄소섬유시트로 보강을 실시한 다음 0.5 $\Delta_y$ (1단계)~3.0 $\Delta_y$ (5단계)까지 시험체에 1.0 Hz 및 2.5Hz의 속도로 동적 반복하중을 작용시켰다. 3차 실험에서는 2차 실험과 동일한 보수-보강재료와 재하방법을 적용시켜 재보수-보강된 접합부의 철근의 변형, 전단변형, 강성, 에너지 소산능력 등 보수 또는 보강에 따른 구조적 특성을 파악하였다.

### 2.2 실험계획

재보수-보강된 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 구조적 특성을 파악하기 위하여 보강횟수, 재하속도를 실험변수로 하여 Table 1의 시험체의 분류와 같이 시험체를 제작하였다. Table 1에 나타난 ○○-XR, ○○-RR 시리즈 시험체는 ○○-TR, ○○-IR 시험체를 2차 보수-보강한 후 재시험한 시험체를 나타낸다. P1-TN과 ○○-ND 시리즈 시험체는 보수-보강한 시험체와 비교하기 위한 시험체로서 정적하중 또는 동적하중으로 재하하였다.

### 2.3 사용재료의 특성

#### 2.3.1 콘크리트

콘크리트의 배합은 요구되는 강도와 시공성 및 선정된 재료의 최적 설계비에 따라 설계되었으며, 그 배합표는 Table 2와 같다. 콘크리트 압축강도 시험용 원주형 공시체는  $\phi 100 \times 200$ mm 몰드를 사용하여 KS F 2405에 따라 제작하였다.

Table 1 시험체의 분류

시험체	하중재하속도 (Hz)	비고
P1-ND	0.005	예비실험
P1-TN	0.005	
P2-ND	1.0	무보강
P3-ND	2.5	
P2-TR	1.0	
P3-TR	2.5	1차보강
P3-IR	2.5	
P2-XR	1.0	
P3-XR	2.5	2차보강
P3-RR	2.5	

Table 2 시험체의 콘크리트 배합표

물시멘트비 (%)	잔골재율 (%)	콘크리트 배합량(kg/m <sup>3</sup> )				
		시멘트	물	잔골재	굵은골재	AD
47.8	46.5	393	188	768	902	0.59

Table 3 콘크리트 압축강도

공시체크기	재 령		비 고
	7일(kgf/cm <sup>2</sup> )	28일(kgf/cm <sup>2</sup> )	
∅10×20cm	200	315	
∅15×30cm	188	296	강도환산

공시체는 제작 즉시 비닐을 덮어 수분 증발을 방지 하였으며, 시험체와 동일한 조건에서 양생하였고 압축 강도 실험결과는 Table 3과 같다.

### 2.3.2 철근

보-기둥 접합부에 사용된 주근 및 보강근은 SD 35의 고강도 철근이 사용되었으며, 기둥의 경우 주근은 D22, 보는 D19, 띠철근 및 스테럽은 D10을 각각 사용하였다. 그리고 본 실험에 사용된 철근은 KS B 0801(금속재료 인장시험편 규격)에 따라 시험편을 제작하였으며 KS B 0802의 금속재료 인장시험 방법에 따라 실험을 실시하였다. 시험체에 사용된 철근의 인장실험 결과는 다음 Table 4와 같다.

### 2.3.3 보강재료

보강 시험체에 사용된 탄소섬유시트는 ASTM D 3039에 의하여 제작되었으며 실험결과는 Table 5와 같다.

## 2.4 시험체 설계 및 제작

본 연구에서 사용된 시험체는 「강한 기둥-약한 보」의 설계 개념에 의한 접합부 및 보의 파괴, 기둥의 파괴를 고려하여 소성힌지가 기둥보다는 보에서 발생하도록 휨강성비를 1.5로 하였으며 가능한 실제 조건과 일치하도록 설계하였다. 시험체의 보 단면은 20cm×30cm, 기둥 단면은 30cm×30cm이며, 철근의 배근은 Fig. 1과 같이 배근하였다.

Table 4 철근의 재료특성

호 칭	항복강도 (tonf/cm <sup>2</sup> )	인장강도 (tonf/cm <sup>2</sup> )	연신율 (%)
D10	3.812	5.718	26
D19	3.907	5.878	23
D22	4.507	6.229	24

Table 5 보수·보강재의 역학적 성질 (kgf/cm<sup>2</sup>)

재 료	두께	압축 강도	인장 강도	인장탄성계수	탄성 계수
에폭시	-	960	380	-	-
탄소 섬유	0.11mm	-	40,000	270	-

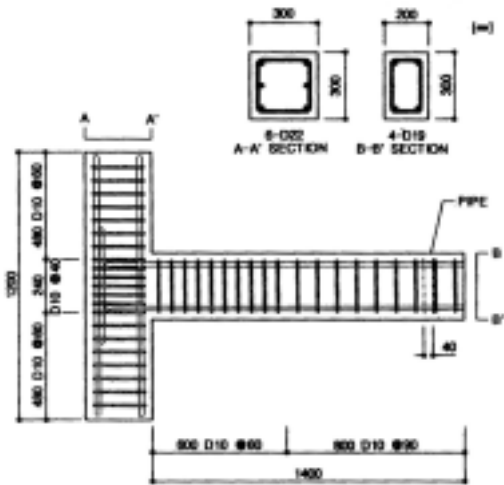


Fig. 1 시험체의 배근 상세도

## 2.5 보수-보강 시험체의 제작

1차 실험에서는 시험체에 2.0My까지 정적 및 동적 반복하중을 작용시켜 균열을 발생시킨 후 ○○-○R 시리즈 시험체에 보수-보강을 실시하였다. 방법은 먼저 모체의 균열을 에폭시로 보수한 다음 표면을 평활하게 하여 보강재료가 모체에 완전히 부착되게 하였고, 보강부위는 시험체에 2.0My까지 가력하였을 때의 균열 발생 분포 부위를 고려하여 균일하게 전 시험체에 걸쳐서 기둥은 길이의 중앙에서 좌우로 40cm씩, 보는 접합부의 기둥면에서 보의 단부방향으로 80cm를

범위로 하여 각각 부재의 길이방향으로 4면을 탄소섬유시트로 보강하였다.

건축구조물의 보 부재에 실제 적용시 3면의 보강가능한 경우와 다소 차이가 있지만 실험의 목적 즉, 어느 한 방향이 보강되지 않을 경우, 그 부위가 응력집중현상으로 취약하게 되어 보수-보강효과를 평가하는데 적절하지 않다고 판단하여 4면을 보강하였으며, 재보수-보강 시험체는 1차 보수-보강 실험 후 시트를 제거한 다음 1차 보수-보강방법과 동일하게 실시하였다.

## 2.6 실험방법

시험체 설치상황은 Fig. 2와 같이 실험을 위해 기둥부분을 수평으로 눕혀서 기둥 양단부에서 수평축 회전이 가능하도록 4개의 힌지를 이용하여 고정시켰다.

기둥의 축력 도입을 위해서 시험체는 25tonf인 가력기(actuator)를 이용, 기둥 한쪽 단부에 체결시켜 기둥의 평형하중의 약 40% 정도인 30kgf/cm<sup>2</sup>의 압축력을 작용시켰다. 보의 반복하중은 반력벽(reaction wall)에 부착된 용량 25tonf인 가력기를 켈틸레버 보끝부분에 연결시켜 가력하였으며 가력점도 회전을 고려하여 힌지로 처리하였다. 정적하중 시험체는 재하주기 0.005Hz속도로, 동적하중을 받는 시험체는 1차 실험과 2차 실험을 동일하게 시험체에 따라 재하주기 1.0Hz 및 2.5Hz로 작용시켰으며, 시험체에 작용시킨 가력단계는 Table 6과 같다.



Fig. 2 Test Setup

Table 6 하중속도 및 가력단계

하중단계	1st	2nd	3rd	4th	5th
사이클	1	2~4	5~7	8~10	11~13
연성비	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
하중속도	0.005Hz~2.5Hz				

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 보강효과

Table 7은 시험체의 항복하중과 최대하중을 나타낸 것이다. 탄소섬유시트로 보강한 시험체인 P2-XR의 항복하중은 1.0Hz일 때 5.76tonf, P3-XR 시험체는 2.5Hz일 때 5.84tonf, 2.5Hz의 속도로 재하된 에폭시로 보수한 시험체 P3-RR의 항복하중은 3.71tonf으로 나타나 보수한 시험체는 낮은 연성비에서 쉽게 항복하는 것을 알 수 있으며, 최대하중은 1.0Hz의 속도로 재하된 P2-XR 시험체의 경우 6.27tonf, 2.5Hz로 재하된 P3-XR 시험체는 6.31tonf, 에폭시로 보수한 시험체 P3-RR의 최대하중은 5.87tonf으로 나타나, 하중속도가 빠를수록 항복하중이 높다는 것을 알 수 있다. 또한 재보수-보강한 시험체에 대한 결과를 무보강 시험체인 P2-ND, P3-ND와 비교하면 P2-XR, P3-XR, P3-RR 시험체의 항복하중은 130%, 113%, 72%이고, 최대하중은 117%, 113%, 105%로 무보강 시험체에 비하여 각각 증가를 나타냈다.

Table 7 실험 결과의 비교

시험체	항복하중 (tonf)	최대하중 (tonf)	비 고
P1-ND	4.24	5.32	fy
P1-TN	4.63	5.29	
P2-ND	4.41	5.35	
P3-ND	5.17	5.57	무보강
P2-TR	5.27	6.04	
P3-TR	5.41	6.31	
P3-IR	5.37	5.96	1차보강
P2-XR	5.76	6.27	
P3-XR	5.84	6.31	
P3-RR	3.71	5.87	2차보강

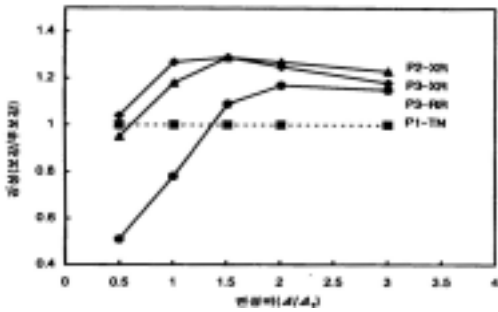


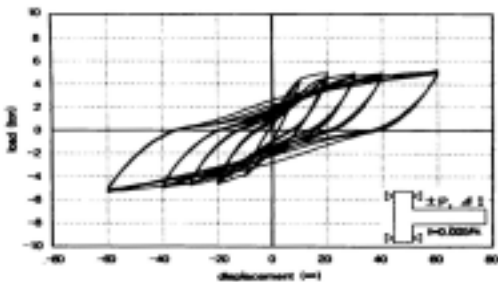
Fig. 3 강성비교

Fig. 3은 정적하중을 받는 무보강 시험체를 연성비별로 재보수-보강한 시험체의 강성을 비교한 것이다. 재보수-보강된 시험체의 초기 강성은 낮게 나타났으며, 특히 재보수한 시험체인 P3-RR 시험체는 현격히 낮았는데 그 원인은 보수재료인 에폭시의 취성적인 특성에 의해 기인한 결과라고 판단된다.

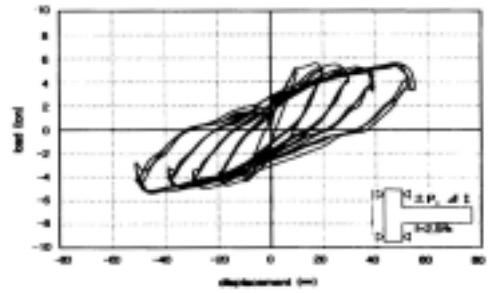
이와 같은 결과를 종합하면 에폭시 주입으로 2차 보수한 시험체는 다른 시험체와 달리 낮은 강도에서 쉽게 항복하는 반면 강도 면에서 보수하기 전의 상태로 회복되어 보수재료로서 적당하다고 판단되며, 2차 보강한 시험체는 약 5%~17% 증가를 보여 재보강에 대한 타당성이 있다고 사료된다.

### 3.2 하중-변위 곡선

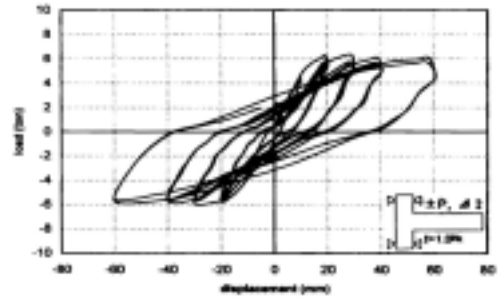
시험체에 작용된 하중과 보 단부의 변위관계는 Fig. 4에 나타난 바와 같다.



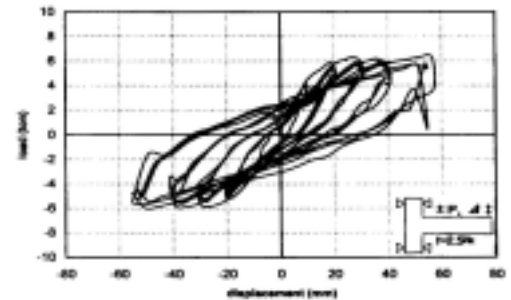
(a) P1-TN



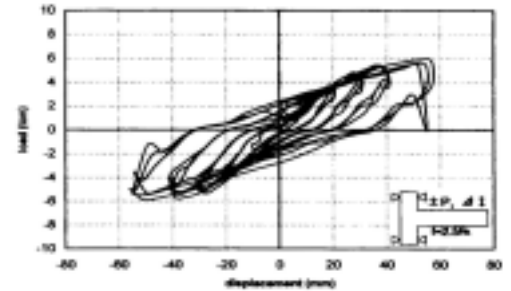
(b) P3-ND



(c) P2-XR



(d) P3-XR



(e) P3-RR

Fig. 4 시험체의 하중-변위 곡선

0.005Hz의 속도로 정적하중을 작용시킨 P1-TN 시험체의 경우 5단계까지 강도저하 없이 거의 비슷한 최대하중 값을 나타냈으며, 정적하중 시험체의 핀칭 현상은 가장 뚜렷하게 나타났다. 재보수-보강한 시험체인 P2-XR의 경우 2단계까지 강도가 증가하다가 3단계에서부터 감소하게 되었으며, 각 단계별 첫 번째 사이클보다 두 번째와 세 번째 사이클에서 균열의 발생과 더불어 초기 강성이 저하되고 하중이 반복될수록 강도가 급격히 저하되었다. 또한 연성비가 3.0인 5단계에서 강도는 증가 없이 변위만 증가하여 최종적으로 파괴에 도달하였다.

재보수된 P3-RR 시험체는 다른 보강시험체와 달리 강성이 크게 저하되어 연성비가 1.0에서 현저히 강도가 저하되었으나 반복되는 연성비 증가와 더불어 연성비 3.0에서는 보강 시험체의 최대강도에 근접하게 나타났다. 이러한 것들은 구조체가 외력에 의해 수반되는 큰 연성에 대한 저항능력을 감소시키며, 구조체 에너지 소산능력의 저하에 따른 불규칙하고 불안정한 이력 거동을 하게 됨으로써 구조체의 내진성능을 크게 감소 시키게 된다.

### 3.3 균열 및 파괴 현상

보강 시험체의 경우에 있어서 보강재의 표면과 모서리 부분을 토대로 관찰한 결과, P2-XR 시험체는 연성비 0.5인 1단계에서는 균열이 전혀 나타나지 않았으나, 2단계에서 휨균열이 나타나기 시작하여 재하 방향에 인장부위의 균열이 크게 열리기 시작함에 따라서 접합부 임계면에 균열이 나타났으며, 3단계에서는 압축부위에도 균열이 발생하였고 최대강도에 이르렀다.

2.5Hz로 재하된 P3-XR 시험체의 경우 1단계에서는 균열이 전혀 발생되지 않았고 4단계에서 보 면에 균열이 발생하였으며, 기둥에 접촉된 탄소섬유시트를 잡아 당겨 찢어져 최대강도에 도달하였다.

P3-RR 시험체는 연성비 0.5인 1단계에서부터 접합부내 기둥 측면 부위에 초기균열이 발생하기 시작하였다. 보에서의 균열은 연성비 1.0인 2단계에서 급격하게 진전되었고, 연성비 1.5에서는 보 단부의 가력점



Fig. 5 P3-RR 시험체의 균열

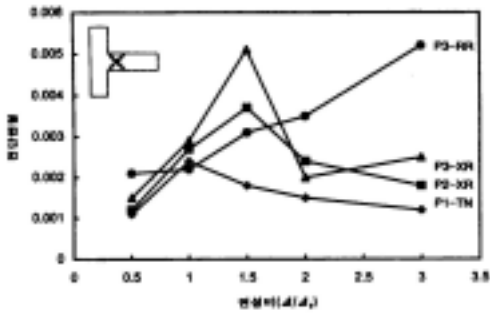
의 처짐이 현저하게 나타나기 시작하면서 보 전체에 걸쳐 발생한 미세한 균열들이 폭이 넓은 균열형태로 되었으며, 하중반전에 따라서 상하부 균열들이 교차하였다. Fig. 5에 보듯이 접합부 부근에 걸쳐서 휨에 의한 사인장 균열들이 형성되었으며, 접합부내의 균열 진전상황은 심하게 진전되어 접합부 패널 영역을 벗어나 기둥의 상하부분으로 진전되었다. 이후 연성비 2.0인 4단계에서 접합부내 사인장 대각선 균열의 폭이 열리면서 균열이 집중됨에 따라 피복콘크리트가 박리되어 파괴되었다.

탄소섬유로 보강한 시험체는 보 단부에서 균열현상이 거의 발견되지 않아 최종적으로 취성파괴에 도달한 것을 알 수 있다.

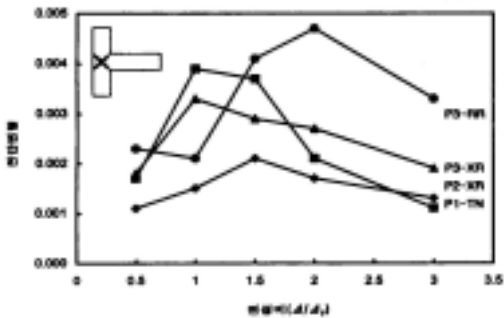
### 3.4 전단변형률

Fig. 6은 재보수-보강 시험체와 무보강 시험체의 전단 변형률을 비교한 것이다. 보의 전단 변형은 예폭시를 주입한 시험체인 P3-RR이 가장 큰 변형을 나타내었고, 탄소섬유시트로 보강한 시험체 가운데 P3-XR 시험체는 연성비 1.5인 3단계부터 급격히 감소하였으며, 이후 다른 시험체와 유사하게 나타났다.

또한 보강시험체는 무보강 시험체에 비하여 연성비 3단계에서부터 빠르게 변형을 시작하여 다른 양상을 보였다. 결국 전단변형값은 재하속도가 빠를수록 높았으며, 같은 재하속도에서도 예폭시로 보수한 시험체가 탄소섬유시트로 보강한 시험체보다 변형값이 훨씬 높게 나타났다.



(a) 보 변형



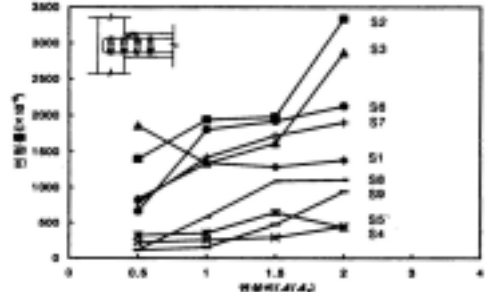
(b) 기둥 변형

Fig. 6 전단변형률 비교

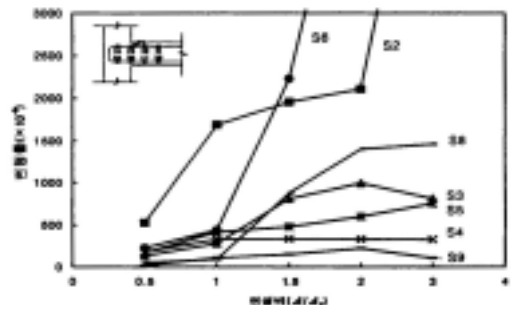
그리고 연성비가 1.0에서부터 커질수록 큰 변형값에 이르는데 이것은 부재가 탄성한계를 벗어나 반복하중이 계속되면 철근콘크리트 부재의 변위량은 휨변형량 뿐만 아니라 전단변형량에 지배되고, 전단변형에 의한 이력거동 영향은 강성저하 현상이 심하게 나타나는 것을 알 수 있다.

### 3.5 철근변형률

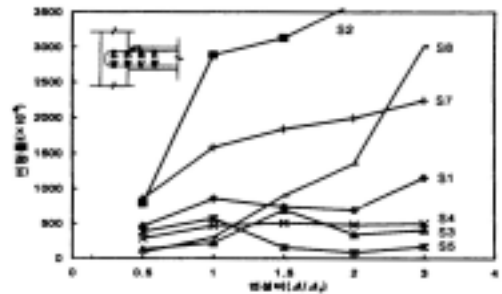
Fig. 7은 주근에 부착된 변형게이지에 의한 변형값을 나타낸 것으로 무보강 시험체와 보강시험체의 철근의 변형은 연성비에 따라 각각 다른 양상을 보여주고 있다. P3-XR 시험체의 경우 보-기둥 경계면에 부착된 와이어 스트레인게이지 SG.3은 연성비1.5일 때, SG.5는 연성비가 1.0일 때 최대변형 상태에 도달하였고, 보-기둥 접합부에서 d만큼 떨어진 SG.2와 SG.6의 변형값은 기둥 단면 중앙부에 위치한 SG.4



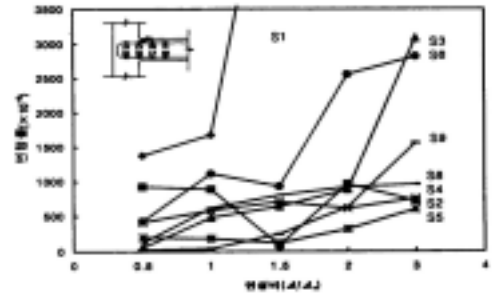
(a) P1-TN



(b) P2-XR



(c) P3-XR



(d) P3-RR

Fig. 7 시험체의 철근변형률 곡선

보다 더 높은 값을 나타냈다. 이것은 기둥 접합면에 변형이 집중되면서 기둥보다 보면으로 응력이 전달된 것으로 판단된다. 또한 소성힌지가 보에 발생하여 파괴가 보에 집중되는 것을 확인할 수 있었다.

### 3.6 에너지 소산능력의 비교

에너지 소산 능력은 구조체가 지니고 있는 고유한 에너지 흡수 능력을 파악하여 구조체가 지진과 같은 외력으로 인해 큰 변형을 수반할 때 비탄성 변형에 저항하는 능력을 평가하는데 적용하는 것으로 Fig. 8에 에너지 소산 능력을 비교하였다.

연성비 1.0까지는 에너지 소산량이 보강 시험체가 무보강 시험체보다 높았으나 그 이후 단계부터는 감소하게 되었다. 이것은 연성비 증가와 더불어 강성이 크게 저하되어 나타난 결과라고 판단된다. 또한 재하속도 2.5Hz를 받는 시험체보다 1.0Hz를 받는 시험체가 훨씬 높은 에너지 소산량을 나타내고 있다. 이는 하중-변위 곡선에서 재하속도가 빠를수록 편칭으로 인하여 이력곡선의 중앙부분이 오목한 형태로 나타난 반면 재하속도가 느릴수록 볼록한 형태로 나타나 더 많은 에너지가 소산됨을 알 수 있다.

## 4. 결 론

철근콘크리트 보-기둥 접합부의 재보수 및 재보강 설계시에 기초적인 자료를 제공하는 목적으로 10개의 시험체로 수행된 정적 및 동적실험에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 에폭시로 재보수된 시험체를 제외한 보수-보강 및 재보수-보강된 시험체는 무보강 시험체에 비하여 항복하중은 14%~26%, 최대하중은 11%~19%의 증가를 보였으며, 재하속도 1.0Hz보다 2.5Hz에서 높게 나타나 하중속도가 빠를수록 항복하중 및 최대하중이 증가된다는 것을 알 수 있고, 또한 재하속도가 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다.
- 2) 재보수 후의 균열상황은 무보강 시험체의 균열보다 심각하게 나타나 에폭시의 균열 억제효과가 상당히 우수하였으나 초기 강성이 낮아 쉽게 항복된다는

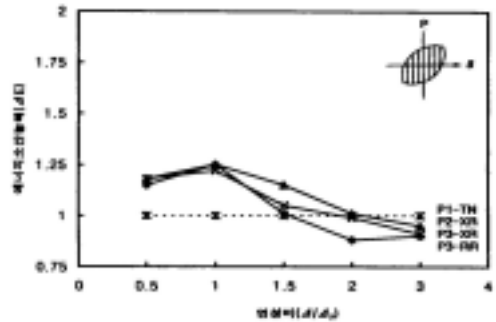


Fig. 8 에너지 소산능력 비교

점을 고려, 보수재료의 취성적인 특성이 보완되어야 한다고 사료된다.

- 3) 재보수-보강된 시험체의 보강효과 및 구조특성은 1차 보수-보강 시험체와 비교하여 거의 동일하게 나타나 재보수-보강에 있어서 구조적으로 보강에 따른 타당성이 있다고 사료된다.

### 참고문헌

1. 하기주, "고강도 철근콘크리트 보-기둥 접합부 이력거동 및 내진성능 개선," 한국과학기술원 박사학위논문, 1994.12.
2. 조창호, 김정섭, "동적하중을 받는 철근콘크리트 기둥-보 접합부의 보수-보강에 따른 구조적 거동에 관한 연구," 대한건축학회논문집, 제14 권 3호, 통권 113호, 1998, pp.287~298.
3. T. Paulay, R. Park, and M. J. N. Priestley, "Reinforced Concrete Beam-Column Joints under Seismic Actions," ACI Journal, Nov. 1978, pp.585~593.
4. Filippou, F.C., E.P. Popov and V.V. Bertero, "Modelling of R/C Joints under Cyclic Excitations," Journal of Structural Division ASCE, V. 109, No. 11, Nov.,1983, pp.2666~2684.
5. French, C. W., Thorp, G. A., Tsai, W. J., "Epoxy repair Techniques for Moderate Earthquake Damage," ACI Structural Journal, V.87, No.4, July-Aug. 1990, pp. 416~424.

(접수일자 : 2002년 11월 11일)