

# 반복하중을 받는 RC 기둥보강부재의 내력특성실험

## Load-resisting Characteristics for RC Retrofitting Columns under Cyclic Loads

김 종 임\*    홍 남 표\*\*    윤 정 배\*\*\*    정 일 영\*\*\*\*  
Kim, JongIm    Hong, NamPyo    Yoon, JeongBae    Chung, IlYoung

### ABSTRACT

Experimental studies are investigated for RC column retrofitting under cyclic load. Design considerations are jacketing of steel plate or carbon fiber with epoxy bonding, use of unbonded plate, additional concrete grouting, ratio of additional longitudinal steel reinforcement and longitudinal configuration of additional ties. Investigated results are 1) jacketing and additional reinforcements are effective for strengthening, 2) use of additional grouting is less effective with respect to increased section. Future studies are needed to evaluate the requirements about additional reinforcements for member stress level, 3) bond between original and additional grout concrete.

Keywords : RC column, Retrofitting, Behavior, Cyclic test, Jacketing, Longitudinal Steel, Lateral confinement, Additional concrete grouting

### 1. 서 론

#### 1.1 연구의 목적

철근콘크리트는 철근의 인장강도와 콘크리트의 압축강도 및 거의 모든 형상을 가능토록 하는 일체성 등 두 재료의 장점을 결합시킨 구조재료로서 현대건축에 많이 사용되고 있다. 그러나 철근콘크리트 구조물은 소요단면의 부족과 같은 設計上的 오류, 시공과정에서의 품질관리 부실로 인한 施工不良, 그리고 구조물의 사용기간 동안에 발생하는 콘크리트의 중성화, 건조수축, 크리프 등 材料自體가 갖는 缺陷과, 지진, 충격, 진동 등의 過多荷重에 의한 피해와 용도변경과 같은 設計時에 고려되지 않았던 荷重의 增加要因이 발생하여 補修 또는 補強을 해야 하는 경우가 많다.

이러한 補修 또는 補強을 필요하는 철근콘크리트 구조물을 별도의 조치없이 방치할 경우에는 과

\* 경상대 대학원 석사과정  
\*\* 서울대 대학원, 공박  
\*\*\* 정회원, 경상대 건축과 교수, 공박  
\*\*\*\* 정회원, 서울대 건축과 명예교수, 공박

표 2. 모재 및 보강 시험체의 단면

보강 시험체명	단면 (cm×cm)	피복 cm	주철근	띠철근	$\rho^{1)}$	$\rho_s^{2)}$	비고
O S (모재)	15×15	2	4-D10	D6 @100	0.0127	0.0122	-
SP-N N-N	15×15	2	4-D10	D6 @100	0.0127	0.0599 (0.0540 (92%))**	강판 2mm
CF-N N-N	15×15	2	4-D10	D6 @100	0.0127	0.0088	Carbon fiber 2겹
SP-N N-C	25×25	2	4-D10	D6 @100	0.0046	0.0340 (0.0320 (93%))**	강판 2mm
SP-LS <sub>4</sub> -C	25×25	2	4-D10 4-D13	D6 @100	0.027	0.0380 (0.0041 (10%))* (0.0320 (84%))**	강판 2mm
SP-LS <sub>8</sub> -C	25×25	2	4-D10 8-D13	D6 @100	0.0208	"	강판 2mm

주)  $\rho^{1)}$  : 철근비 ( $A_{st}/A_g$ )  
 $\rho_s^{2)}$  : 코아 콘크리트에 대한 띠철근의 체적비 ( $A_{sh}/B*H*s$ )  
 \* : 보강 띠철근의 체적비  
 \*\* : 보강강판의 체적비

표 3. 보강시험체명 및 실험변수

보강 시험체명	實驗 變數				비 고	
	①	②		⑤	補強斷面形	보강유형
		③	④			
SP-NN-N	SP	None	None	None	[Diagram]	외부단순 접착보강 (접착제 사용)
CF-NN-N	CF	"	"	"		
SP-NN-C	SP	"	"	"	[Diagram]	강판거푸짐 설치후 콘크리트 증타보강
SP-LS <sub>4</sub> -C	SP	4-D13	m	"	[Diagram]	보강철근 배근 및 강판 거푸짐 설치 후 콘크리트 증타보강
SP-LS <sub>8</sub> -C	"	8-D13	m	"		

주) ① 강판 또는 탄소섬유 접착여부  
 - 未使用(None) - 강판(SP) = 탄소섬유(CF)  
 ② 補強主鐵筋(longitudinal steel:LS)量 및 보강띠철(Hoop Steel:HS)의 配置位置  
 ③ 보강주철근량  
 - None - 4-D13 - 8-D13  
 ④ 배치위치  
 - 모재띠철근 사이(m)  
 ⑤ 콘크리트 增打 與否  
 = None - 증타 (C)

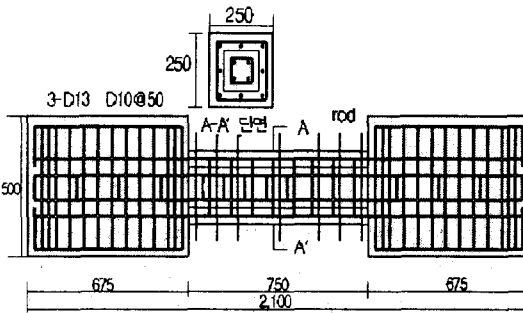


그림 1 반복하중 시험체 일례

耐震性能을 실험하기 위하여 시험체의 양단 부에 보강 시험체를 제작하였다.

그림 1은 보강시험체 SP-LS<sub>8</sub>-C 시험체를 나타내고 있다. SP-NN-N 및 CF-NN-N 보강시험체는 엔드블럭과 엔드블럭사이의 기둥을 同時에 製作한 후, 鋼板과 炭素纖維를 接着하여 보강시험체를 제작하였으며, SP-NN-C, SP-LS<sub>4</sub>-C 및 SP-LS<sub>8</sub>-C 보강시험체는 母材(길이 : 2,100)를 製作하여 이를 한 쪽의 엔드블럭 거푸짐에 매설하여 엔드블록을 먼저 제작하였고, 완성된 엔드블록을 하단으로 하여 시

加力時 應力集中으로 인한 국부 파괴를 방지하기 위해 가력용 강판갓(steel plate cap, t=16mm)을 부착하여 시험체의 양단부를 보강하였고, 이때 단부에서의 主鐵筋 移動을 防止하기 위해 강판갓은 주철근과 銲接하였다. 시험체가 最終的인 파괴에 이르기까지의 변위를 측정하기 위해 강봉(φ6)을 사전에 매립하였으며, 파괴진행 과정에서의 시험체의 부분적인 表面 破碎로 인한 측정오차를 줄이기 위하여 母材의 코아 콘크리트로부터 외부 쪽은 콘크리트 타설 전에 고무로 패킹(packing)하였다. 또한 철근에는 스트레인 게이지(strain gauge)를 부착하였으며 수분의 침투를 막기 위하여 실리콘으로 방수처리하였다. 반복하중에 의해 발생하는 기둥 단부의 모멘트 변화에 대한 엔드블록(end block)을 설치하였으며 엔드블록사이

다한 변형에 따른 구조물로서의 使用性 低下와, 심할 경우 균열 발생 및 구조물의 붕괴로 이어져 심각한 安全上의 문제까지 야기할 수 있다. 철근콘크리트 기둥을 보강하기 위해 기존 기둥에 콘크리트를 増打하는 단면확대 방법이 보강시공에 많이 적용되고 있음에도 불구하고, 현재까지의 철근콘크리트 기둥에 대한 보강연구는 주로 탄소섬유와 유리섬유를 기둥 외곽에 接着하는 방법에 국한되어 왔으며, 콘크리트의 중타와 増打時에 부수될 수 있는 추가적인 주철근 및 띠철근 등이 보강에 미치는 영향을 분석하는 연구는 거의 없는 실정이다.

이 논문에서는 종전의 탄소섬유를 接着하여 보강하는 방법 이외에 콘크리트를 増打하여 보강하는 방법을 포함하여, 탄소섬유 및 강판 등을 에폭시로 접착하는 경우와 강판을 콘크리트 중타를 위한 거푸집 대용으로 사용하는 경우 등 강판이나 탄소섬유의 접착정도, 콘크리트 増打에 따른 증가된 철근 보강콘크리트 기둥의 단면적, 보강 주철근의 량 및 띠철근의 배근위치 등 철근콘크리트 기둥의 補強要素들이 기둥의 強度 및 연성과 내진성능 향상에 미치는 영향을 고려하여, 철근콘크리트 기둥에 대한 합리적인 보강방법을 강구하는데 목적이 있다.


## 2. 보강구조 실험

### 2.1 내진보강을 위한 RC 기둥실험

#### 2.1.1 실험변수 및 보강 시험체

실제 구조물의 1/2~1/3 규모로 축소한 기둥(母材)에 대해 外部 單純接着 補強과 콘크리트 増打 補強을 실시하였다. 강도 및 연성 등 철근콘크리트 기둥의 내력을 개선하기 위해, 강판 및 탄소섬유의 접착보강과 거푸집 대용 보강재로의 강판 사용 등 보강재와 모재의 접착정도, 콘크리트의 増打(두께 : 5cm)여부, 補強 主鐵筋 量(無 보강, 4-D13, 8-D13) 그리고 기둥의 길이방향에서 모재 띠철근의 배근 위치를 부재제작에 고려하였다. 본 실험에 사용된 母材의 단면과 실험변수 및 그 조합에 의한 보강 시험체는 각각 표1, 2 와 같다.

표1. 母材(OS)의 斷面諸元

형 태	주 요 제 원	비 고 (모재명)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 단면 : 15cm×15cm</li> <li>- f'c = 210kg/cm<sup>2</sup></li> <li>- fy = 4,000kg/cm<sup>2</sup></li> <li>- 주철근= 4-D10 (철근비 : 0.0127)</li> <li>- 띠근 : D6@100</li> <li>- 피복두께 : 2cm</li> </ul>	OS(Original Specimen)

28일 경과 후 실험변수들의 조합에 의한 보강 시험체를 제작하였다. 母材 및 보강시험체의 주철근은 각각 D10(SD40)과 D13(SD24)을, 그리고 띠철근은 D6(SD24)을 사용하였다. 콘크리트는 母材를 공통적으로 設計基準強度가 210Kg/cm<sup>2</sup>으로, 母材인 경우 골재의 최대직경이 25mm, 슬럼프 치가 15cm, 그리고 보강 시험체인 경우 최대직경이 7mm, 슬럼프치가 18cm인 레미콘을 사용하였다. 接着 또는 거푸집 代用 보강재인 강판은 두께가 2mm인 연철을 사용하였다. 강판접착 보강시에는 먼저 모재를 표면처리한 후, 접착제인

에폭시(제품명 : FR-E3PW, 주재 : 경화제 = 2 : 1 겨울용)를 사용하여 강판을 부착시공하였다. 이때, 에폭시가 강판외부로 누출되지 않고 기포 발생 없이 긴밀히 充填되도록 하기 위해, 시험체 하단부에서 모재와 강판 사이 간극을 실리콘으로 밀봉한 후 고무망치로 두드리면서 注入하였다.

접착 보강제인 탄소섬유는 FTS - C1 - 20인 제품을 사용하였다. 탄소섬유의 接着 보강 시에도 탄소섬유의 파손을 방지하기 위해 母材의 모서리 부분을 타원형으로 그라인딩 하는 등 먼저 母材를 표면 처리한 후 플라이머(제품명 : FP-ASW, 겨울용)를 도포하였으며, 레진을 사용하여 탄소섬유를 附着시공하였다. 본 실험에서의 탄소섬유 접착 보강시험체는 시험체의 橫方向으로 1겹(접침 이음 길이 : 10cm), 6시간 경과 후 縱方向으로 1겹 등 총 2겹의 탄소섬유를 부착하여 제작하였으며, 탄소섬유의 외부표면은 레진을 사용하여 마감하였다.

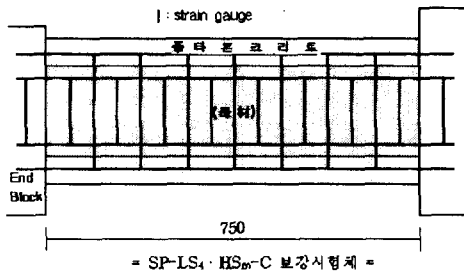
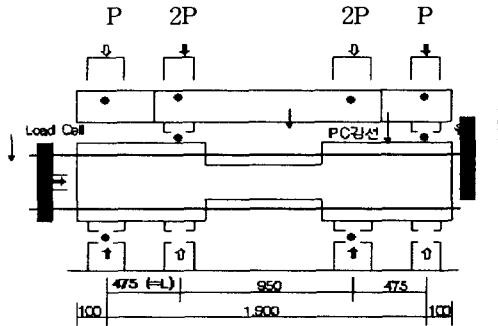


그림 2. 반복하중시험체의 스트레인게이지 부착  
례는 그림2와 같다.

### 2.1.2 반복하중 실험

#### 가. 시험체의 설치 및 측정장치의 부착

시험체에 축력 加力 및 하중 측정을 위해 양단부에 유압작키와 로드셀을 설치하였고, 엔드블럭에서의 반복하중 가력을 위해 Actuator를 설치 사용 하였다(그림 3). OS(母材) 및 SP-NN-N시험체의 경우에는

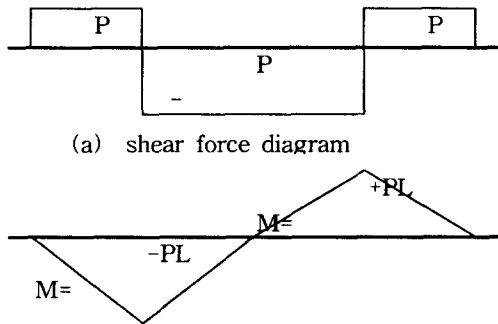


— 正 싸이클(+cycle)인 경우의 가력  
— 負 싸이클(-cycle)인 경우의 가력  
그림 3 반복하중 시험체와 설치

힘체를 세워 엔드블럭 사이의 기둥을 보강한 후, 최종적으로 나머지 한쪽의 엔드블럭을 제작하여 보강시험체 제작을 완료하였다.

또한, 그림 2와 같이 反復荷重으로 인한 회전각 등의 변위를 측정하기 위하여 엔드블럭상의 加力方向으로 기둥부재에 강봉을 설치하였으며, 이 때 기둥의 塑性힌지(plastic hinge) 발생위치 등을 고려하여 엔드블럭단부에서부터 기둥 단면 크기의 1/2D, 3/2D에 해당하는 7.5cm, 12.5cm, 22.5cm, 37.5cm되는 각 위치에 설치하였다.

여기서 반복하중에 의한 각 시험체의 철근 변형도를 측정하기 위한 스트레인 게이지의 부착위치의 일



(a) shear force diagram  
(b) bending moment diagram

그림 4. 正 싸이클(+cycle)인 경우의 하중조건

1 개의 Actuator로 加力하였으나 변위에 의한 荷重制御가 효과적이지 못하여, 그 이외의 시험체의 경우에는 2 개를 설치하여 하중을 제어하였다. 그리고 엔드블럭과 강봉, 강봉간의 변위를 측정하기 위해 포텐시όμε터를 설치하였으며, 母材의 主鐵筋이 최초로 降伏할 때의 변위 (연성변위 :  $\delta_y$ )를 기준으로 액튜에이터 하중을 제어하기 위하여 엔드블럭과 중앙부 강봉간에는 변위계를 설치하였다.

#### 나. 가력방법

먼저 유압작키로 OS(母材)시험체의 理論上 最大荷重의 25%인 축력을 加하고, 시험체를 좌우로 이동해 가면서 액튜에이터로 加力하였다. OS(母材)시험체에 延性變位가 발생하는 액튜에이터 하중의 크기는 엔드블럭과 중앙부 강봉간의 변위를 기준으로 이론에 근거하여 산정하였다.

延性比가 4에서 8로 증가되게 가력하였을 때 脆性破壞가 발생함에 따라, OS시험체 이외의 試

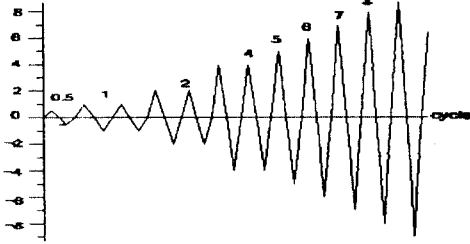


그림 5. 반복하중 가력을 위한 각 사이클별 연성비

驗體는 연성비가 4, 5, 6, 7, 8 등 점진적으로 증가되도록 가력하였다.

### 2.1.3 시험체의 破壞樣相과 이력특성

#### (1) OS(母材)시험체

延性비가 2인 (-4) 사이클에서 actuator의 加力荷重이 7.06t일 때 엔드블럭으로부터 7.5cm정도 떨어진 위치에서 초기 휨 균열이 발생하였으며, 이러한 균열은 연성비 증가에 따른 反復荷重에

대해 對角線 方向으로 진전되었고, 연성비가 8인

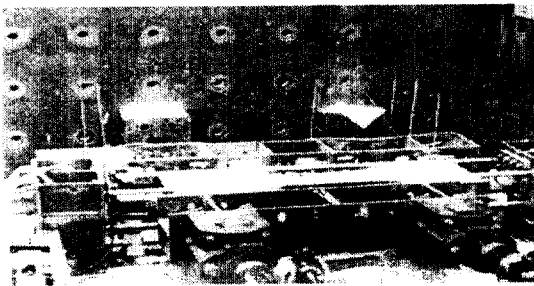
(-8) 사이클에서 콘크리트의 壓壞로 中心軸力에 의해 脆性破壞되었다. 破壞된 기둥 試驗體 端部에서의 띠철근과 띠철근 사이 주철근은, 횡보강 부족으로 길이가 비교적 긴 座屈이 발생하였다. 기둥길이에 대한 層間 橫變形率(drift ratio)이 2~4%에서 핀칭(pinching)現狀이 발생하였고, 연성비 증가에 따라 하중제하시 剛性低下(unloading stiffness degradation)가 발생하였다.

#### (2) SP-NN-N(강판 접착) 보강시험체

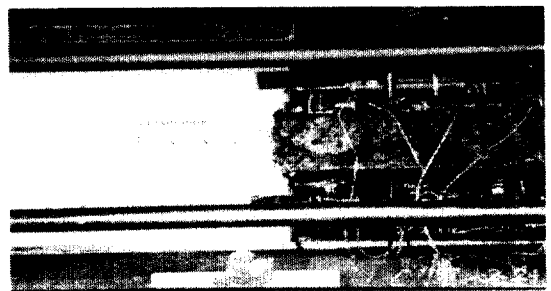
엔드블럭과 기둥 端部에서의 引張에 의한 應力集中으로 기둥 시험체의 콘크리트 破壞 및 主鐵筋의 슬립(slip)현상이 발생하였으며, 주철근은 항복한 후 引張破壞되었다.

#### (3) CF-NN-N(탄소섬유 접착) 보강시험체

기둥 시험체 端部에서 主鐵筋의 座屈이 발생하였으나, 그 길이는 탄소섬유의 횡구속 효과에 의해 OS(母材)시험체의 경우에 비하여 짧았다. 그리고 엔드블럭 단부에서 기둥시험체 主鐵筋의 슬립현상이 微細하게 발생하였다. 에너지 흡수(energy absorption)능력이 우수하였으며, 완만한 強度低下(strength degradation) 및 기둥의 層間 橫變形率이 2~4%에서 핀칭현상이 발생하지 않는 등 耐震에 바람직한 履歴曲線 형태를 보여주고 있다. 이는 강하게 接着된 탄소섬유가 母材 試驗體를 효과적으로 橫拘束하기 때문으로 판단된다.



(a) 시험체 가력 사진



(b) CF-NN-N 시험체

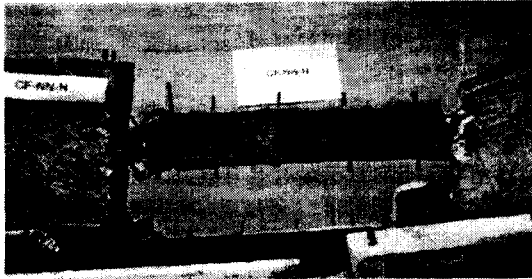
그림 6. 시험체가력 및 측정

#### (4) SP-NN-C보강시험체

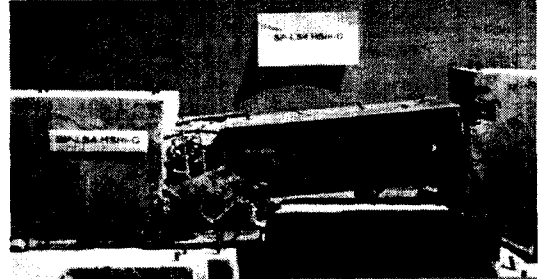
端部에서의 母材내 주철근과 보강 강판은 部分的인 座屈이 발생하였으며, 주철근의 슬립현상이 발생하였다. 연성비가 증가함에 따라 強度는 증가한 반면, 부분적으로 剛性低下가 발생하였으며, 심한 핀칭현상을 보이는 등 履歴舉動이 耐震에 바람직하지 못했다.

#### (5) SP-LS<sub>4</sub>-C보강시험체

増打 콘크리트 및 母材 콘크리트의 壓壞와, 보강 주철근 및 거푸집 代用 보강강판의 座屈이 발생하였으며, 엔드블럭으로부터의 보강주철근의 슬립현상이 발생하였다. 초기 연성비에서는 보강주철근과 増打 콘크리트에 의하여 강도가 급격하게 증가하였으나, 그 이후에는 反復荷重에 의해 端部에서의 定着破壞 및 슬립현상이 발생하여 심한 引張현상이 발생하였다. 또한, 定着破壞의 진행과 더불어 연성비가 증가함에 따라 強度低下가 발생하였다.



(a) CF-NN-N 시험체



(b) SP-LS4-C 시험체

그림 7. 시험체 파괴 형태

#### (6) SP-LS<sub>8</sub>-C보강시험체

増打 콘크리트 및 母材 콘크리트의 壓壞와, 보강주철근의 슬립이 발생하였으며, 엔드블럭에서는 콘크리트의 壓壞와 주철근의 座屈이 발생하였다. 最大荷重以後에는 強度低下가 급격하게 발생하여 耐震에 바람직한 履歴特性을 보여주지 못했다. 이와 같은 급격한 強度低下는 적은 연성비에서는 주철근량이 初期 強度增加에 영향을 주지만, 最大強度以後에는 반복하중과 축력에 의해 増打 콘크리트 및 母材 콘크리트의 壓壞가 진행되며 이에 따라 부담하중이 주철근으로 移轉되는데 기인하고 있다.

### 2.1.5 각 실험변수에 의한 耐震特性 비교분석

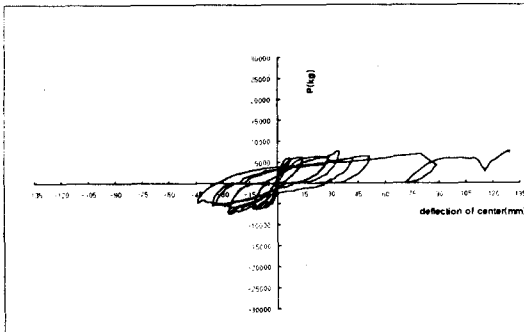


그림 8 OS(母材)시험체의 하중 - 변위 이력곡선

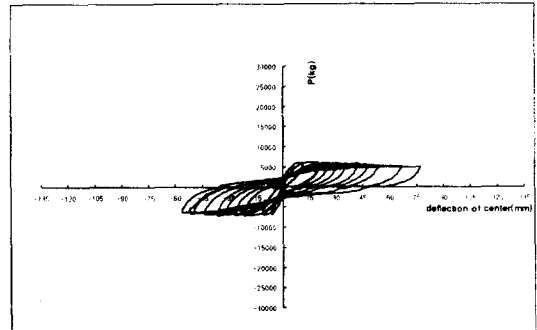


그림 9 CF-NN-N보강시험체의 하중 - 변위 이력곡선

#### 1) 탄소섬유 등의 接着程度에 따른 내진특성 비교분석

CF-NN-N 보강시험체와 SP-NN-C 보강시험체 등의 反復荷重 實驗結果를 비교하였다. 母材와 강력하게 接合된 탄소섬유의 경우, 콘크리트를 효과적으로 橫拘束하므로써 主鐵筋의 定着破壞나 슬립현상을 유발치 않아 8%의 層間 橫變形率까지는 引張현상이 발생하지 않았으며, 에너지 소산능력과 관련된 履歴曲線도 양호하였다.

거푸집 대용 補強材로 강판을 사용한 경우, 鋼板에 의한 콘크리트의 蟻구속 부족과 反復荷重에 의

한 應力集中으로 主鐵筋의 定着破壞와 슬립현상을 가속화시켜 SP-NN-C보강시험체의 경우 4% 이내의 層間 橫變形率에서 편칭현상이 발생하는 등 이력곡선이 相對的으로 耐震性能 향상에 不利하였다.

### 2) 増打 콘크리트의 내진특성

콘크리트 増打는, 기둥부재 단면적 증가에 따른 強度增加에는 기여 하지만, 엔드블럭(실구조물에서는 보-기둥 접합부에 해당)과 一體性 부족으로 기둥시험체사이의 경계면에서 應力集中을 야기시켜 延性比 增加에 따른 슬립과 편칭현상의 주요원인으로 작용하였다.

### 3) 補强 主鐵筋量에 의한 내진특성 비교분석

SP-NN-C, SP-LS<sub>4</sub>-C 및 SP-LS<sub>8</sub>-C 보강시험체의 반복하중 실험결과를 비교하였다. 즉, 보강 주철근량이 많을수록 강도는 증가되나, 연성측면에서는 보강 주철근량이 상대적으로 많은 SP-LS<sub>8</sub>-C보강 시험체가 SP-LS<sub>4</sub>-C 보강시험체보다 不利하였다. 강판 및 주철근 보강시험체의 破壞는, 휨 모멘트가 증가함에 따라 補强主鐵筋의 항복, 부착된 増打콘크리트의 균열 발생, 反復荷重에 의한 龜裂의 擴大 및 増打콘크리트의 유효구속면적 감소 순으로, 진행된 것으로 추정되었다. 여기서 보강 주철근량이 상대적으로 많은 경우(예 : SP-LS<sub>8</sub>-C 보강시험체)는, 강판의 橫拘束 不足으로 増打콘크리트의 균열발생 이후 補强主鐵筋에 대한 増打콘크리트의 應力分擔率이 급격히 저하되어 이것이 強度低下 및 延性不利에 영향을 미친 것으로 판단된다.

따라서, 補强主鐵筋에 의한 延性側面的 耐震性能을 개선하기 위해서는, 増打콘크리트 등 기둥의 구성재료별 應力수준을 고려한 적절한 재료별 보강량을 산정하는 추가적인 연구가 있어야 할 것으로 생각된다. 한편, 보강주철근량이 적을수록 엔드블럭방향으로 소성힌지가 移動되고 있는 바, 이는 보강주철근량이 적을 경우 엔드블럭(실구조물에서는 보-기둥 접합부에 해당)단부에서 應力集中이 심하게 발생하기 때문인 것으로 판단된다.

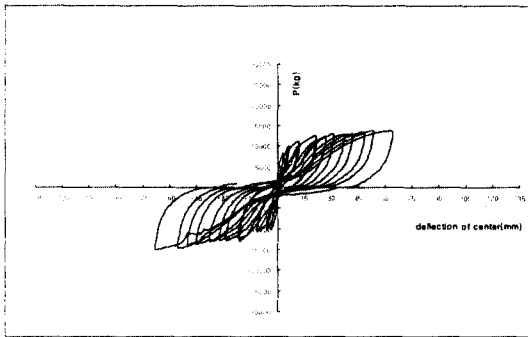


그림 10 SP-NN-C보강시험체의 하중 - 변위 이력곡선

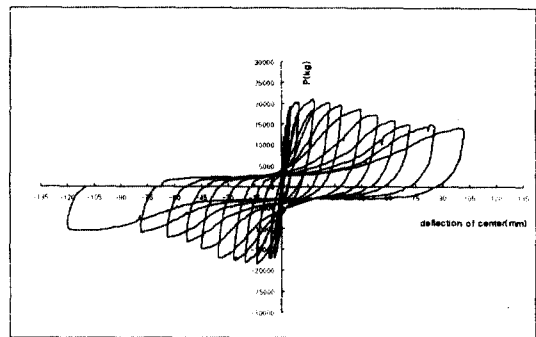


그림 11 SP-LS4-HSm-C보강시험체의 하중-변위 이력곡선

### 3. 결 론

(1) 강판 및 탄소섬유 등은 에폭시의 강력한 접착으로 인하여 최대내력까지 거동이 모재와 거의 일치하여 모재를 효과적으로 휨구속하였고, 이로 인해 최대내력 및 연성증대 등 모재의 구조내력을 향상시킬 수 있었다. 탄소섬유로 보강한 경우에는 탄소섬유의 재료특성상 최대하중이후 취성파괴가 발생하였다.

(2) 콘크리트 증타 보강을 위해 강판을 거푸집으로 사용한 경우, 강판은 최대내력시 변형도의 약 20%이 내에서 증타 콘크리트와 분리되는 등 최대내력까지 거동의 일체성을 유지할 수 없었으나, 분리 이후에도 내부 증타콘크리트의 횡변형을 구속함으로써 기둥의 구조내력을 향상시켰다.

(3) 보강 주철근량은 중타콘크리트의 횡구속에 영향을 미쳐 보강 주철근량이 많을수록 콘크리트의 횡구속 효과가 커 기둥의 구조내력을 향상시켰다.

(4) 강판을 거푸집으로 사용한 보강체는 강판과 중타 콘크리트와의 거동이 상이하여 pinching 현상이 발생하는데 비해, 탄소섬유를 접착 보강한 보강체는 이력거동이 안정적이었고 에너지소산 능력도 비교적 양호하였다. 내진성능 개선을 위해 보강재료를 포함한 보강기둥의 제반구성재료의 응력수준을 고려한 적절한 재료별 보강량을 산정하는 추가적인 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

#### 참 고 문 헌

1. Chai, Y. H., Priestley, M.J.N., and Seible, F., "Analytical Model for Steel-Jacketed RC Circular Bridge Columns," *Journal of Structural Engineering*, V.120, No.8 Aug 1994.
2. Gill, W. D., Park, R., and Priestly, M.J.N., "Ductility of Rectangular Reinforced Concrete Columns With Axial Loads," *Reseach Report No.UCB/EE RC-77/13*, Earth -quake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Aug.1977
3. Jin, L., Saadatmanesh, H., and Ehsani, M. R., "Seismic retrofit of existing reinforced concrete columns by glassfiber composites," *ASCE Struct. Div. Oct* 1994
4. Mander, J.R., Priestley, M.J.N., and Park, R., "Theoretical stress-strain model for confined concrete," *ASCE Journal*, 114(8), 1804-1826, August 1988.
5. Park, R., and Paulay. T., "Reinforced Concrete Structures," John Willey and Sons. Inc., New York. N.Y. 1975
6. Priestley, M.J.N., and Seible, F., "Column Seismic Retrofit using Fibergrass/ Epoxy Jackets," Research report, California Department of Transportation(Caltrans), 1994
7. Priestley, M.J.N., Seible, F., Xiao, Y., and Verma, R., "Steel jacket retrofitting of Reinforced concrete bridge columns for enhanced shear strength, part 1," *ACI Struct. J*, July- August 1994 4. Park, R., Priestley, M.J.N, and Gill, W.D., "Ductility of Square-confined Concrete Columns," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V108, No.ST8, Apr.1982

#### 감사의 글

본 연구의 실험을 위하여 도와주신 한국기계연구원 구조시스템실과 강원대학교 농공학과 재료연구실 관계원 여러분께 깊이 감사드립니다.