

# 지진피해를 받은 철근콘크리트 건물의 잔존내진성능평가

## Evaluation of Post-earthquake Seismic Capacity of Reinforced Concrete Buildings suffering from earthquakes

강 대 언\*      이 원 호\*\*  
Kang, Dae Eon      Yi, Waon Ho

### ABSTRACT

In damage investigation of building structures suffering from earthquake, estimation of residual seismic capacity is essential in order to access the safety of the building against aftershocks and to judge the necessity of repair and restoration. It has been proposed that an evaluation method for post-earthquake seismic capacity of reinforced concrete buildings based on the residual energy dissipation capacity (the residual seismic capacity ratio) in lateral force-displacement curve of structural members. The proposed method was adopted in the Japanese "Damage Level Classification Standard" revised in 2001.

To evaluate the residual seismic capacity of RC column, experimental tests with positive and negative cyclic loading was carried out using RC building column specimen. Parameters used by the experiment are deformability and member proportion. From the test results, it is appropriated that the residual seismic capacity of RC buildings damaged by earthquakes is evaluated using the method in the Guideline.

### 1. 서론

지진피해를 받은 건축물에 대해서도 그 안전성이 어느 정도 확보하고 있는지와 여진 등에 대해서는 충분한 강도를 확보하고 있는지에 대한 조사를 하여 거주가능성을 평가·판단하고 있다. 이런 지진피해를 받은 건축물이 본 지진이후 여진에 대한 안전성의 판정이나 복구계획 시 피해를 입은 후의 구조물에 남아있는 내진성능(이하, 잔존내진성능)을 정확하게 평가하는 것이 중요하다. Bunno, Maeda<sup>1),2)</sup> 등은 철근콘크리트조(이하, RC조) 건물의 피해도를 피해후의 잔존내진성능에 근거하여 평가하는 것을 제안하였고, 부재의 정적실험으로부터 부재에 남아 있는 균열폭(이하, 잔존균열폭(손상도))과 잔존에너지 흡수능력의 관계를 정량화하였다. 또한 그 제안은 일본건축방재협회의 "震災建築物の被災度判定基準および復旧技術指針"<sup>3)</sup> (이하, 일본피해도판정기준)에 채용되었다. 그러나 휨부재에 대해서는 많은 실험결과로부터 제안값에 대해 검증이 되었으나 전단에 지배를 받는 부재에 대해서는 주근에 따른 부착할렬균열이 탁월하게 진행하여 파괴에 이르렀기 때문에 전단균열에 의한 손상과 내진성능저하의 상관을 검증하는 것이 곤란하였다.

따라서, 본 연구에서는 최종적으로 전단파괴하는 기동부재를 상정한 시험체를 제작하여 정적 점증재하 실험을 하여 부재의 휨과 전단균열폭과 잔존내진성능의 관계를 평가하려고 한다.

\*정회원, 광운대학교 에센스 구조연구센터 연구교수, 공학박사

\*\*정회원, 광운대학교 건축공학과 교수, 공학박사

## 2. 실험개요

### 2.1 시험체

정적 점층 재하 실험에 이용한 실험체는 RC조 건물의 기둥부재를 상정한 '실물사이드로 단면치수는 모든 시험체 공통으로 400 mm×400 mm으로 하였고 전단보강근비( $p_w$ )와 부재의 순스팬높이( $L$ )를 변수로 한 4종류의 시험체를 제작하였다. 시험체의 일람을 표 1에 나타내었다. 또한 사용한 콘크리트와 철근의 역학적 특성을 각각 표 2 및 3에 나타내었다.

표 1 시험체 일람

	b×D (mm)	L (mm)	주근	pt(%)	전단 보강근	pw(%)
S2-1	400 ×400	1600	10-D16	0.50	2-D6@160	0.10
S2-2		1600	10-D16	0.50	2-D6@80	0.20
S2-4		1600	10-D16	0.50	4-D6@80	0.40
S1-4		800	10-D16	0.50	4-D6@80	0.40

표 2 콘크리트의 역학적 특성

시험체명	$\sigma_B$ (MPa)	$\epsilon_{cu}$ (%)	$E_c$ (GPa)
S2-2	28.7	0.21	27.4
S2-1, S2-4, S1-4	30.4	0.20	29.6

표 3 철근의 역학적 특성

주근	$\sigma_y$ (MPa)	$\epsilon_y$ (%)
주근(D16)	389.5	0.21
전단보강근(D6)	420.3	0.25

### 2.2 재하방법

가력에는 그림 1에 나타난 것과 같은 가력장치를 사용했다. 연직자키로부터 상스터브의 회전을 제어하면서 일정 축력 900(kN)을 재하함과 동시에 수평자키에 의해 전단력을 재하하였다.

전단력의 재하는 변위제어에 의해 하였고 부재각  $\pm 1/400$ 을 1사이클,  $\pm 1/200$ ,  $\pm 1/100$ ,  $\pm 67$ ,  $\pm 1/50$ ,  $\pm 1/33$ ,  $\pm 1/25$ 를 2사이클씩으로 하여 전단파괴에 의한 급격한 내력저하가 인정되는 시점 또는 내력이 최대내력의 50% 정도로 저하한 시점에서 가력을 종료하였다. 재하이력을 그림 2에 나타내었다.

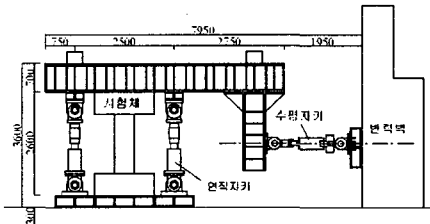


그림 1 가력장치

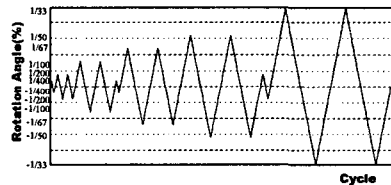


그림 2 재하이력

## 3. 실험결과

### 3.1 하중변형관계

하중변형관계를 그림 3에 나타내었다. S2-1, S2-2 및 S2-4 시험체는  $R=\pm 1/400$ 사이클에서 휨균열과 전단균열이 발생하여  $R=\pm 1/100$ 사이클 도중 변위가  $\pm 10$ mm 정도에 달한 부근에서 주근의 항복이 보였다. 주근이 항복한 후 S2-1, S2-2는  $\pm 1/100$ 사이클에서, S2-4는  $\pm 1/67$ 사이클에서 최대내력에 도달하였다. 각 시험체 모두  $\pm 1/100$ 이후와 위험단면 부근에서 콘크리트의 압축파괴가 서서히 진행하였다. S2-1 실험체는  $-1/50$ 의 두번째 사이클에서 부재각이  $-1/50$ 에 달하기 직전에 부재의 대각선상에 폭 1.5mm 정도의 전단균열이 갑자기 생겨 급격하게 내력이 저하하여 전단파괴하였다. S2-2 실험체는  $\pm 1/33$ 의 첫번째 사이클에서 부재각이  $-2.5\%$ 부근에서 주두힌지영역의 전단보강근이 파단하여 전단균열이 급격하게 확대되어 부재내력이 급격하게 저하하여 전단파괴하였다. S2-4 실험체는  $+1/25$  첫번째 사이클에서 내력이 최대내력의 80% 정도까지 저하하여  $-1/25$  첫번째 사이클에서 변위 최고점부근에서 주두힌지영역의 전단균열이 갑자기 확대되어 그 후 그 부근의 주근이 좌굴하여 내력이 갑자기 저하하여 파괴하였다. S1-4 실험체는  $\pm 1/400$  사이클에서 0.4mm 정도의 전단균열이 확인되었다(같은 사이클에서 다른 3개의 균열의 폭은 0.1mm 이내). 부재각 0.5%부근에서 전단보강근이 차근차근 항복하였다.  $+1/100$  첫번째 사이클에서 부재각 0.8%부근에서 최대내력에 달한 시점에서 전단내력에 달한 시점에서 전단균

열이 확대되어 손상이 급격하게 진행하여 내력이 저하하였다.  $\pm 1/67$  첫번째 사이클에서 내력이 최대내력의 50%정도로 저하되는 것을 확인하였고 정방향으로 가력시 전단파괴하였다. 또한 가력종료까지 주근이 항복되지 않았다. 그림 3 중에는 일본 철근콘크리트조 규준에 의한 휨항복시 전단력  $Q_y$ (파선)과  $0.8Q_{max}$  (일점쇄선)을 함께 나타내었다. 또한 전단력  $Q_y$ 산정은 재료실험값을 이용하였다.

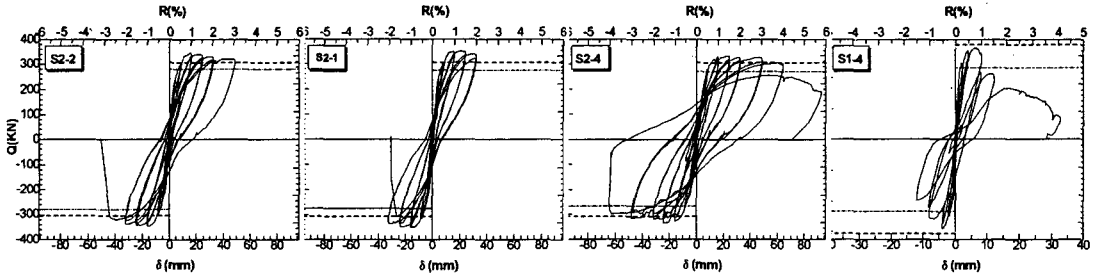


그림 3 하중-변형관계

### 3.3 최대 잔존 균열폭의 추이

각 사이클의 최고시과 제하시(전단력=0인 시점)에 부재측면에 발생한 균열폭을 크랙스케일을 이용하여 눈으로 계측하였다. 횡균열폭은 균열의 최연단의 폭을, 전단균열은 그 균열의 최대폭을 계측하였다. 그림 4에 각 시험체의 제하시의 최대 잔존균열폭과 경험최대부재각(최고시의 부재각)의 관계를 나타내었다. 주근이 항복후 부재각에 거의 비례하여 휨 및 전단균열폭이 증가하고 있으며, 최종적으로 전단파괴가 발생하는 시점에서 급격하게 커지는 경향을 보이고 있다.

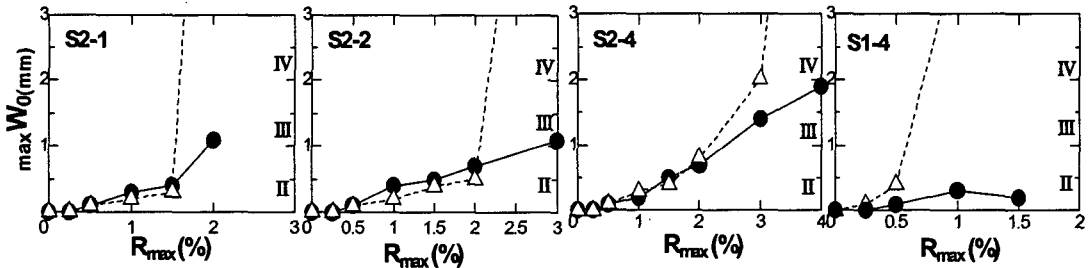


그림 4 최대 잔존균열폭의 추이

## 4. 일본 피해도판정기준에 의한 $\eta$ 의 검증

일본 피해도 판정기준에는 보부재의 정적 점중재하 실험을 하여 그림 5에 나타난 것과 같이 하중-변형도판계의 포락선에 근거하여 부재의 전체 에너지 흡수능력에 대한 손상 시에 잔존하는 에너지 흡수능력의 비율을 내진성능계수  $\eta$ 라고 정의하고 있으며, 휨부재와 전단부재에 대해 각각 표 4와 같이 제시하고 있다.

그림 6에 일본 피해도구분판정기준의 정의(그림 5)에 따라 본 실험의 하중-변형곡선의 포락선으로부터 구한 각 손상도에 있어 내진성능저감계수  $\eta$ 를 나타내었다. 또한 그림에는 일본 피해도 판정기준에서 제시하고 있는 전단, 휨 부재의 각 손상도에 대한  $\eta$ (표 4)의 값을 함께 나타내었다.

그림 5.4에 나타난 바와 같이 항복전에 전단파괴한 시험체 S1-4과 항복후 비교적 빨리 전단파괴한 S2-1, S2-2는 일본 피해도구분판정기준의 전단부재의 내진성능 저감계수 값에, S2-4는 휨부재의 내진성능 저감계수 값과 대략 일치하고 있다. 다만 실험값이 일본 피해도 판정기준의 내진성능 저감계수

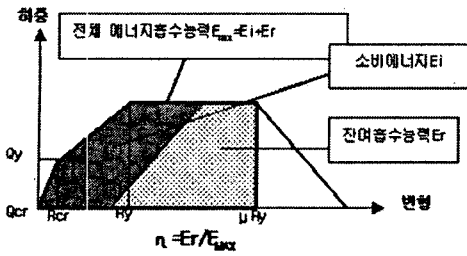


그림 5 일본 피해도 판정기준의  $\eta$

값보다 적은 경우가 있으므로 피해도구분판정기준에 의한 지진피해를 경험한 RC건물의 잔존내진성능평가는 위험측에 판정이 되는 경우도 있는 것에 주의할 필요가 있으며 그 적용성에 관해서는 본 실험과 동시에 장래에 검토가 필요하다고 사료된다.

표 4 전단과 휨부재의  $\eta$ 값

손상도	균열폭 등의 손상	전단부재	휨부재
0	없음	0.95	0.95
I	0.2mm 이하	0.95	0.95
II	0.2~1mm	0.6	0.75
III	1~2mm	0.3	0.5
IV	2mm를 초과	0.0	0.1
V	철근파단, 좌굴	0	0

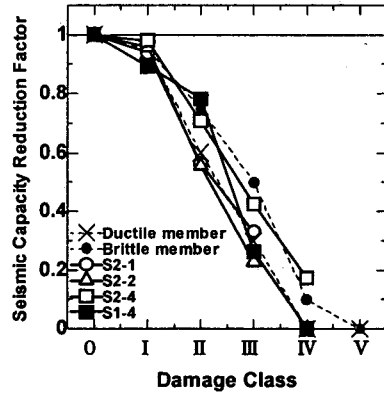


그림 6 내진성능 저감계수  $\eta$ 의 실험치와 피해도구분판정기준의 비교

## 5. 결론

부재의 소성변형능력을 변수로 한 기둥부재 시험체 4개의 정적반복가력실험결과로부터 잔존내진성능을 검토하였다. 각 시험체의 제하시의 최대 잔존균열폭과 경험최대부재각(최고시의 부재각)의 관계는 주근이 항복후 부재각에 거의 비례하여 휨 및 전단균열폭이 증가하고 있으며, 최종적으로 전단파괴가 발생하는 시점에서 급격하게 커지는 경향을 보이고 있다. 또한, 일본 피해도 판정기준에서 제안하고 있는 부재의 내진성능 저감계수  $\eta$ 는 위험측의 평가도 있지만 거의 실험값과 일치하고 있다고 판단된다.

## 참고문헌

1. 文野正裕, 前田匡樹, 長田正至: 部材の残余耐震性能に基づいた震災RC建造物の被災度評価法に関する研究, 콘크리트工学年次論文集, 第22卷, 第3号, pp1447-1452, 2000년
2. 文野正裕, 永山憲二, 前田匡樹, 田才晃: RC柱の損傷状態に基づく残余耐震性能評, 콘크리트工学年次論文集, 第22卷, 第3号, pp259-264, 2001년
3. (財) 日本建築防災協會: 震災建築物の被災度判定基準および復旧技術指針, 2000년
4. 日本建築學會: 鐵筋コンクリート構造計算規準・同解説, 1991년
5. (財) 日本建築防災協會 (1977年 [1990年改訂]): 既存鐵筋コンクリート造建築物の耐震診斷基準・付解説
6. Takeda.T et al: Reinforced Concrete Response to Simulated Earthquakes, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.96, No.ST12, pp2557-2573, Dec.1970