

# 건축구조용 압연강재(SN)를 이용한 내진성능평가에 관한 연구 The Study for Seismic Performance Evaluation Using SN Steel

오상훈\*  
Oh, Sang Hoon

유홍식\*\*  
Ryu, Hong Sik

김영주\*\*\*  
Kim, Young Ju

장인화\*\*\*\*  
Chang, In Hwa

---

## ABSTRACT

By Testing tension coupon, deviation of yield strength & tensile strength of SS and SM is big but the that of SN is small relatively. So Designing weak beam type frame by using SN could be reflected well the original intention. As the strength ratios of beam and column becomes large, the absorption energy is large. The increase quantity was linear relationship, the  $y=0.46x+0.62$  ( $R^2=0.82$ )

---

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경

건물을 구조설계하는 경우 기둥 붕괴형이 되는 것은 되도록 피하고 보 붕괴형으로 설계하는 것이 바람직하다. 그림 1에 대표적인 붕괴형을 나타내었으나, 기둥붕괴형에서는 붕괴에 이르기까지 소성힌지의 수가 적고, 같은 에너지 흡수능력을 확보하기 위해서는 소성힌지 1개당 에너지흡수량이 크게 된다. 결국 소성힌지를 형성하는 부재에는 큰 전소성모멘트 혹은 큰 소성변형능력이 요구된다. 그리고 기둥은 연직하중 지지부재이기 때문에 기둥의 파괴에 의해 건물전체의 붕괴의 가능성이 높아지게 되므로 기둥 붕괴형을 피하는 것이 좋다.

기둥 붕괴형을 피하기 위해서는 기둥보 접합부에서 소성힌지가 기둥과 보부재 중에 어느 쪽에 발생하는가를 판별하여야 한다. 기둥의 내력을 크게 하여 보에 소성힌지가 발생하도록 설계하여도, 실제로 기둥에 사용한 강재의 항복점이 기준치에 가까운 것이고, 보의 항복점이 매우 높은 경우에는 보의 실제 강도는 높게 되어 기둥붕괴형이 되는 경우가 많다. 따라서 보붕괴형을 실현하기 위해서는 보부재에 사용하는 강재는 「항복점의 산포가 작은 강재」가 필요하다. 한편 기둥에 사용되는 강재는 항복점의 하한치가 보증되면, 이 분산이 다소 커도 보 붕괴형이 되는데는 그다지 문제는 되지 않는다.

\* 정회원.포항산업과학연구원 강구조연구소, 책임연구원

\*\* 학생회원.포항산업과학연구원 강구조연구소, 선임연구원

\*\*\* 정회원.포항산업과학연구원 강구조연구소, 연구원

\*\*\*\* 비회원.포항산업과학연구원 강구조연구소, 수석연구원

## 1.2 연구의 목적

강구조물에서 있어서 구조안정성을 바탕으로 한 내진성능향상은 설계, 가공, 시공을 적절히 실시함으로써 확보할 수 있다는 것은 당연하고, 그 재료의 선정도 설계조건에 적절하여야 한다. 그러나, 현재 국내의 철골조 건축물에 있어서 중소규모의 철골건축물을 제작하는 업자는 전국각지에 다수 산재해 있는 영세한 가공업자이고, 이들 업자가 건축물마다 품질특성을 정해서 강재를 입수하기는 매우 어려운 일이다. 현재까지는 건축물의 내진안전성을 확보하기 위하여 강구조에 요구되는 성능과 그를 만족하기 위한 강재의 요구 소재성능을 정확히 파악하지 못하였다. 기존에 사용되던 SS400, SM490강재는 항복내력은 만족하고 있으나, 표준편차가 크기 때문에 강도 및 항복비에 대한 표준편차를 비롯한 소재특성을 파악하여, SN강재의 표준편차와 비교한다. 이 경우 SN강재의 표준편차가 작기 때문에 부재의 변형능력 및 구조안전성과 품질을 확보하는데 얼마만큼 효과적인가를 정량적으로 제시한다.

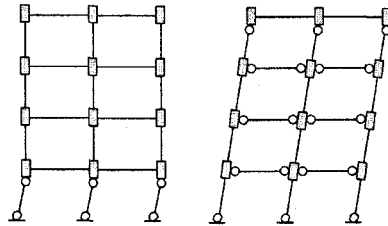


그림 1. 대표적인 붕괴 메커니즘

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험체 계획

본 연구에서는 국내 중저층 건축물중 철골 모멘트 저항골조 건축물을 실험체 계획을 위한 모델로 선정하여, 그림 2와 같이 1층 1경간 프레임을 실험체로 제작한다. 실험체의 순수 기둥 높이는 2.4m 이고, 스패는 5.8m(순스패 5.4m)와 5.2m(순스패 4.8m)로 계획하였다. 모든 실험체는 총 8개이고 표 1과 같이 기둥은 다 똑같이 SM490재를 사용하였으며, 보를 SN400으로 한 실험체가 4개이고 SS400재를 적용한 것이 3개, SM 재를 적용한 실험체는 1개이다. 한편 보기둥의 내력비( $cM_p/bM_p$ )는 0.8, 1.1, 1.2, 1.3로 설계하였다. 본 연구에서는 보와 기둥만의 순수한 거동을 평가하기 위하여 그림 2.3과 같이 판넬존에 스티프너를 보강하여 판넬존의 변형을 방지하였다.

실험체 계획시 고려된 변수를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 보에 적용된 강종(SS재, SM재, SN재)
- (2) 보기둥 내력비( $cM_p/bM_p = 0.8, 1.1, 1.2, 1.3$ )
- (3) 보 스패(4.8m, 5.2m)

### 2.2 가력방법

실험체 설치는 실험체를 중앙으로 철골프레임 4개를 세운 후 횡좌굴방지대를 설치하여 가력 중 발생할 수 있는 횡좌굴을 미연에 방지하였다. 또한 가력은 반력변에 부착된 300tonf용량의 정적 액츄에이터에 상부보를 연결하여 점중 반복가력한다. 기둥 아래쪽의 베이스 플레이트는 고정단으로 하였다. 가력은 예상항복변위( $\delta_y$ ) 20mm의  $\pm 1\delta_y, \pm 2\delta_y, \pm 4\delta_y, \pm 6\delta_y, \pm 8\delta_y, \dots$ 로 증가시켜 가력하였다.

실험종료시점은 각 사이클에서의 최대하중이 실험체 최대하중의 60%이하로 떨어져서 더 이상 성능을 발휘하지 못할 때까지 가력하였다.

표 1. 실험체 일람표 및 기동보 내력비

실험체 명	기동		보		cM <sub>o</sub> (tf.cm)	sM <sub>o</sub> (tf.cm)	cM <sub>p</sub> /bM <sub>p</sub>	Span (mm)		
	모델명	강종	모델명	강종					길이	
LNA	C1	SM490	A-N1	SN400B	2.4	7.227	6,570	1.1		
LSA			A-S1	SS400	2.4					
LMA			A-M1	SM490	3.3					
LNB			A-N2	SN400B	2.4					
LSB			A-S2	SS400	2.4					
LNC			A-N3	SN400B	2.4					
SNA			B-N1	SN400B	2.4				6,570	1.1
SSA			B-S1	SS400	2.4					

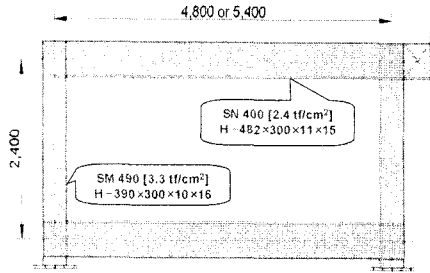


그림 2. 실험체 형상 및 치수

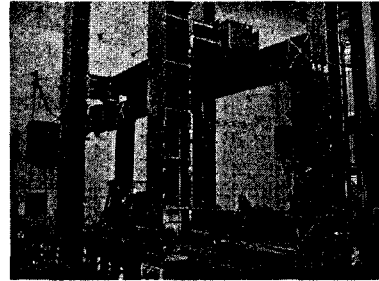


그림 3. 실험체 세팅상황

### 3. 실험 결과

#### 3.1 재료 시험

실험체 제작에 사용된 강재의 재료적 특성을 파악하기 위하여 KS B 0802의 금속재료 인장시험방법에 의해 얻어진 소재의 기계적 성질을 표 2에 나타내었다. SS400과 SM490강재는 3.08tf/cm<sup>2</sup>, 3.42tf/cm<sup>2</sup>의 항복강도를 나타내어 그림 4의 SS400 재와 SM490의 일반적인 항복강도 평균값 3.31tf/cm<sup>2</sup>, 3.93tf/cm<sup>2</sup>보다 다소 낮은 값을 나타내었다. 한편 SN400B의 경우 2.84tf/cm<sup>2</sup>의 항복강도를 나타냈으며, 일반적인 SN400재의 평균값에 7%정도 미달되는 값을 나타내었다. 본 실험에서 기동재로 SM490재를, 보 부재로 SS400 및 SN400B를 사용하였으나, 기동재가 보 부재로 사용된 강재보다 설계강도에 비해 실제강도의 상승율이 낮았기 때문에 기동보 내력비(cM<sub>p</sub>/bM<sub>p</sub>)는 설계에서 의도된 값보다 전반적으로 낮은 값을 나타내었다. 이에 따른 실험체의 실제 기동보 내력비의 변화된 값을 표 3에 나타내었다.

표 2. 재료 인장 시험 결과

강종	항복강도 (kN/cm <sup>2</sup> )	인장강도 (kN/cm <sup>2</sup> )	항복비	연신율 (%)
SS400	3.08	4.87	0.63	38.6
SM490	3.42	5.32	0.64	36.0
SN400B	2.84	4.41	0.64	35.1

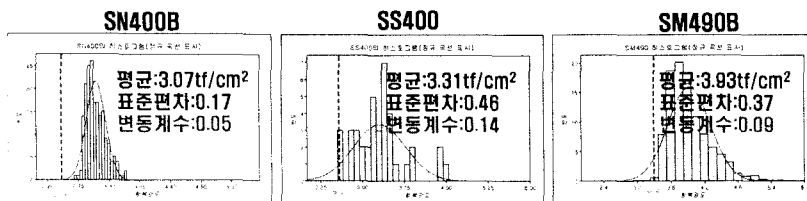


그림 4. 정규분포 곡선에서의 시험결과

표 3. 보기둥 내력비의 변화

실험체명	강종	설계하중 (kN/cm <sup>2</sup> )	실제하중 (kN/cm <sup>2</sup> )	설계 내력비 ( $cM_p/bM_p$ )	실제 내력비 ( $cM_p/bM_p$ )
LNA	SN	2.4	2.84	1.10	→ 0.97
LSA	SS	2.4	3.08	1.10	→ 0.89
LMA	SM	3.3	3.42	0.80	→ 0.80
LNB	SN	2.4	2.84	1.30	→ 1.14
LSB	SS	2.4	3.08	1.30	→ 1.05
LNC	SN	2.4	2.84	1.20	→ 1.06
SNA	SN	2.4	2.84	1.10	→ 0.97
SSA	SS	2.4	3.08	1.10	→ 0.89

### 3.2 하중 변형 관계

각 실험체에 대한 하중-변위 관계곡선을 그림 5에 나타내었다. 각 이력곡선에서 골격부를 분해하여 이력곡선과 함께 도식화하였다. 한편 1층 1경간의 골조에 대한 소성힌지를 이용한 이론적인 항복하중을 구하여 실험에서 얻어진 항복하중 값과 비교하여 항복하중을 표 4에 나타내었다. 실험에 의해서 구하여진 값과 계산에 의해서 구하여진 값의 비가 거의 1에 가까운 값을 나타내었다.

보에 사용된 강종만 SS, SM, SN으로 달리한 LNA, LSA, LMA 실험체의 경우 SN < SS < SM 실험체로 갈수록 항복내력이 높아지는 경향을 나타내었으나, 변형량은 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 기둥부재를 같은 강종으로 설계하고 보 부재의 내력이 증가하면 상대적으로 기둥의 내력이 보에 비해 약하게 되어 기둥붕괴형의 붕괴메커니즘을 나타내기 쉽기 때문으로 판단된다.

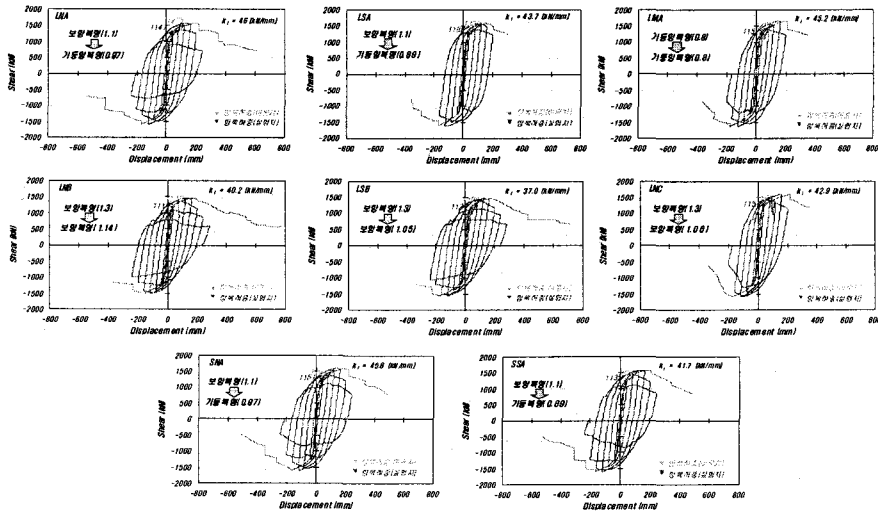


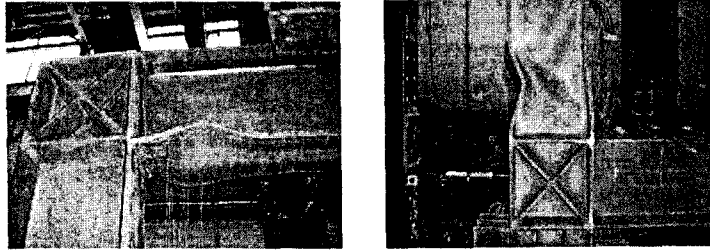
그림 5. 실험체별 하중-변형 관계곡선

표 4. 항복하중, 최대하중, 탄성강성

실험체명	항복 내력			최대 하중 [kN]	탄성 강성 [kN/mm]
	항복 내력 실험 [kN]	항복 내력 계산 [kN]	항복 내력 [값] /항복 내력 [계]		
LNA	1157	1225	0.94	1561	46.0
LSA	1164	1225	0.95	1592	46.2
LMA	1186	1225	0.97	1651	45.5
LNB	1116	1147	0.97	1446	40.2
LSB	1127	1196	0.94	1465	37.3
LNC	1133	1192	0.95	1191	42.9
SNA	1181	1225	0.95	1592	45.6
SSA	1135	1225	0.93	1565	41.7

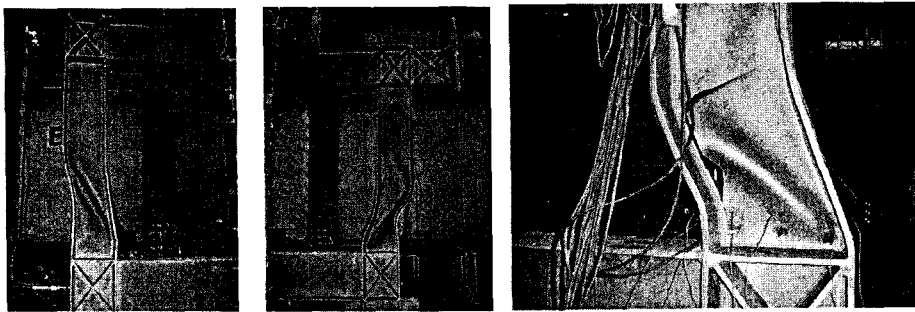
### 3.3 파단 상황

그림 6에 기동보 내력비( $cM_p/bM_p$ )가 1.0 이상의 값을 가지는 LNB 실험체(보 부재SN)의 종국상황을, 그림 7에 기동보 내력비( $cM_p/bM_p$ )가 0.8로서 가장 낮은 LMA 실험체의 종국상황을 나타내었다. 기동보 내력비가 1.0이상인 LNB의 경우는 보와 기동의 주각부에서 변형이 발생하고 있으나, 기동보 내력비가 0.8로서 보의 내력이 기동에 비해 상대적으로 강한 LMA 실험체에서는 보에는 거의 변형이 생기지 않고 기동이 심하게 변형되어 웨브가 파단되었다.



(a) 보 좌굴 (b) 기동 좌굴

그림 6. 각 부재별 파단상황(LNB)



(a) 좌측 기동의 좌굴 (b) 우측 기동의 좌굴 (c) 기동 웨브의 파단

그림 7. LMA 실험체의 기동 좌굴 상황

### 3.4 에너지 흡수능력

최대내력 이후 내력이 최대내력의 80%까지 저감되었을 때까지 각 실험체가 흡수한 에너지를 그림 8에 나타내고, 흡수에너지와 기동보 내력비( $cM_p/bM_p$ )와의 상관관계를 그림 9에 나타내었다. 그림 9에서 알 수 있듯이 강종에 상관없이 기동보 내력비( $cM_p/bM_p$ )가 클수록 에너지 흡수능력은 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

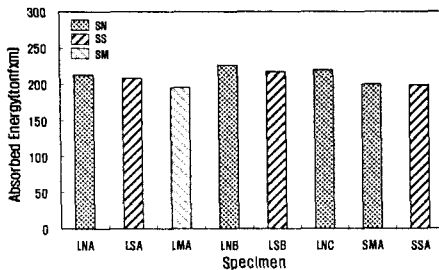


그림 8. 흡수에너지량의 비교

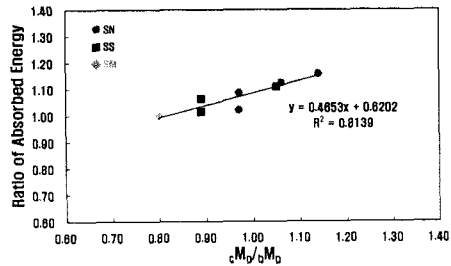


그림 9. 기동보 내력비와 흡수에너지의 관계

#### 4. 시설계 건물 해석을 통한 구조물의 내진성능 평가

##### 4.1 해석골조개요

그림 10 및 그림 11과 같이 해석골조 평면은 실제 적용할 건물의 평면을 단순화한 것으로 X 방향으로 4-BAY의 25.5m와 Y방향으로 3-BAY의 10.5m의 건축평면을 기본으로 한 각각 6층과 10층의 모델 A와 모델 B 그리고 X방향으로 4.4m(5-BAY)와 Y방향으로 38.1m(3-BAY)의 30층 구조물의 C 모델을 적용한다.

해석 모델 A와 B의 경우 지상 1층의 층고 4.0m를 제외한 상부의 모든 층은 3.6m로 가정하였으며, 해석 모델 C의 경우 1층의 층고는 5.0m, 그 외의 층에서는 3.8m로 가정하였다. 해석골조는 모두 모멘트 저항 골조로 하였다.

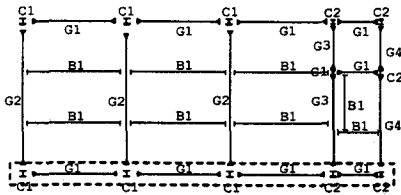


그림 10. 해석모델 A, B (6층, 10층)

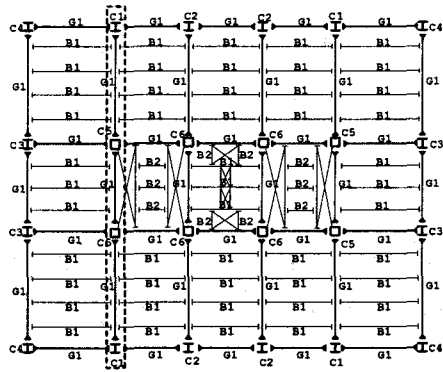



그림 11. 해석모델 C (30층)

보 붕괴형과 기둥 붕괴형의 붕괴 메커니즘 차이에 대한 거동을 분석하기 위해 해석모델 A와 B, 그리고 해석모델 C에서 기둥의 내력을 보의 내력보다 10~15%정도 증가 시킨 강기둥-약보(SCWB) 개념의 보 붕괴형 모델을 선정하여 이를 각각의 기본 모델 A1, B1, C1으로 한다. 이 기본모델에서 기둥의 내력을 독립변수로 하고 보의 내력을 의도적으로 증가시켜 보부재의 내력이 설계에서 고려한 내력보다 크게 나타난 경우에 골조의 내진성능에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

해석에서는 그림 10 및 그림 11에서 점선으로 표시한 부분의 평면골조를 이용하는 것으로 하였다.

해석에 사용한 모델의 명칭과 해석에서 사용한 기둥재와 보부재의 항복점의 값을 표 5에 나타내었다.

표 5. 해석 모델의 사용강종

해석모델 분류			보	기둥	보붕괴형
A1	B1	C1	2.4t/cm <sup>2</sup>	3.3t/cm <sup>2</sup>	 기둥붕괴형
A2	B2	C2	3.3t/cm <sup>2</sup>	3.3t/cm <sup>2</sup>	
A3	B3	C3	4.1t/cm <sup>2</sup>	3.3t/cm <sup>2</sup>	
A4	B4	C4	4.3t/cm <sup>2</sup>	3.3t/cm <sup>2</sup>	

#### 4.2 정적 비선형 해석 결과

##### 4.2.1 하중-변형 곡선

초기 하중으로 고정하중과 적재하중을 해석에서 모두 고려하였으며 변위증분 방법을 사용하여 P-Δ 효과를 고려하여 정적 비탄성 해석에서 얻어진 6층과 10층 모델의 하중-변형 관계곡선을 그림 12 및 그림 13에 나타내었다. 탄성상태에서는 같은 영계수로 인해 같은 기울기로 거동하나 종국 강도

가 다르기 때문에 최대 내력이 각기 다른 것을 확인 할 수 있다. 구조물의 항복 이후 최대내력의 20% 하한선까지를 내력의 한계 즉 붕괴점이라 할 때 이 붕괴점에 도달할 때까지의 변형능력은 각 해석모델 그룹에서 기본모델인 보 붕괴형 모델(각각 A1, B1)의 경우가 가장 우수하며 점차 기둥 붕괴형이 되어 갈수록 변형능력이 급속히 저하됨을 그래프를 통해 확인할 수 있다.

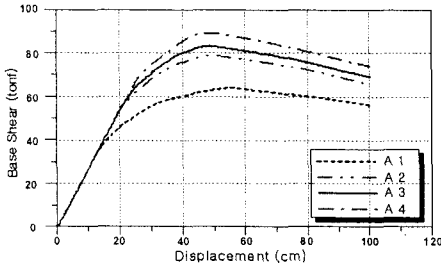


그림 12. 6층 건물의 하중-변형곡선

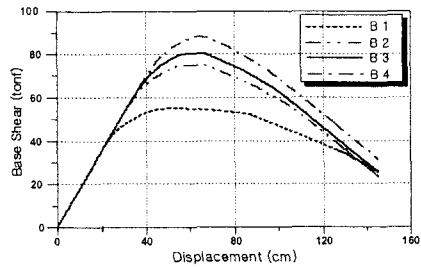
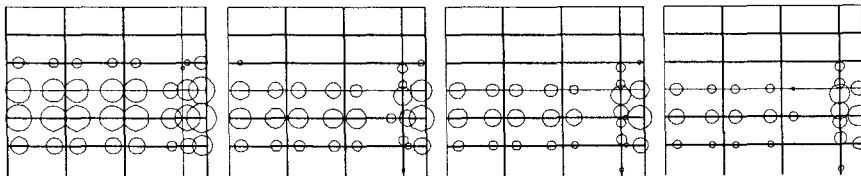


그림 13. 10층 건물의 하중-변형곡선

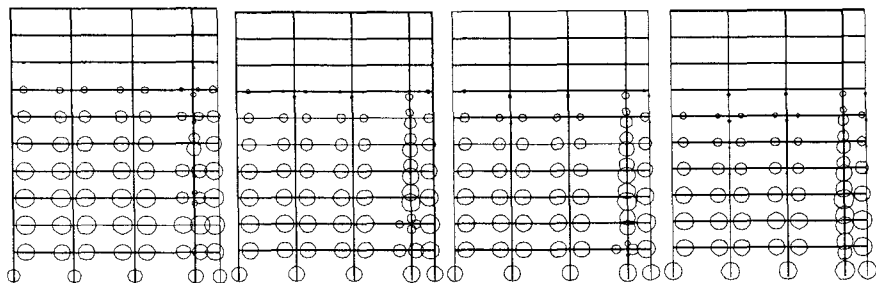
#### 4.2.2 소성힌지 분포

그림 14 및 그림 15는 비선형 정적해석의 중국 단계에서 소성힌지의 분포를 원으로 표현한 것으로 원의 크기가 소성화의 정도를 의미한다. 해석모델 A, B, C 그룹에서 보의 내력이 커질수록 기둥의 소성힌지 개수가 많아지며 보 붕괴형에서 기둥 붕괴형으로 변화하는 것을 그림을 통해 확인할 수 있다. 또한 각 해석모델에 따른 소성힌지 개수의 변화량을 그림 16에 나타내었다. 6층 및 10층 구조물 모두 보의 내력이 증가할수록 힌지의 분포 층수와 전체 소성힌지 개수가 감소하는 반면 기둥의 소성힌지의 개수는 증가함을 알 수 있다. 10층의 경우에는 보 붕괴형 모델인 B1의 경우 소성힌지의 개수가 67개로 가장 많았으며 B2, B3, B4의 경우 58~59개로 일정하였으나 전체 소성힌지에 대한 기둥의 소성힌지 분포가 점차 B2의 경우 27.6%, B3와 B4의 경우 각각 33.9%와 37.3%로 기둥 붕괴형의 불안정한 거동을 하고 있음을 알 수 있으며 에너지 흡수능력도 점차 감소함을 알 수 있다.



(a)해석모델 A1 (b)해석모델 A2 (c)해석모델 A3 (d)해석모델 A4

그림 14. 6층 모델의 소성힌지 분포



(a)해석모델 B1 (b)해석모델 B2 (c)해석모델 B3 (d)해석모델 B4

그림 15. 10층 모델의 소성힌지 분포

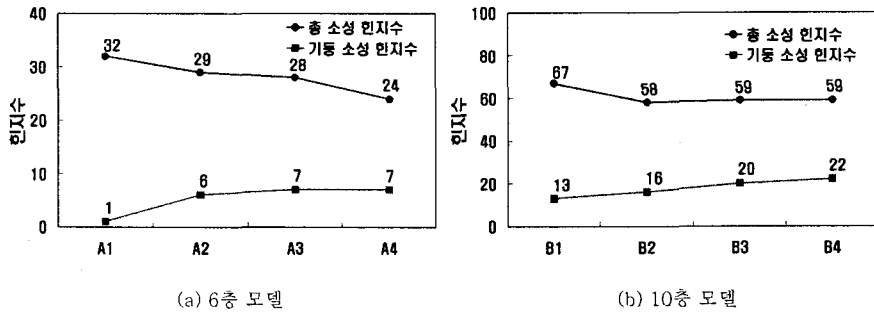


그림 16. 정적 비선형 해석에서의 소성힌지 발생수

## 5. 결론

건축구조용으로 사용하기 위해 강재에 요구되는 성능을 만족시키기 위한 SN강재의 특성을 검토하고, 그 특성이 붕괴메커니즘과 내진성능 등에 미치는 영향을 실험과 해석 등을 통해 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 소재 인장시험을 통하여 SS재, SM재는 항복점과 인장강도의 편차가 크지만 SN재는 그 편차가 상대적으로 작아 설계 시에 고려된 구조물의 거동을 그대로 재현할 수 있음을 확인하였다.
- 2) 구조물의 소성변형에 기대하여 내진성능을 발휘하려는 경우, 내진성능이 유리한 붕괴메커니즘을 설계단계에서 고려해야 한다. 이 때, SS재와 SM재의 실제 항복점의 변동계수를 고려하면 붕괴메커니즘의 제어가 곤란한 경우가 발생할 확률이 크게 되고, 그에 따라 약 20%정도의 내진성능 저감이 발생할 수 있음을 실험과 해석을 통해 검증하였다.
- 3) 설계단계의 의도된 거동을 재현하여 내진성능을 확보하기 위해서는 항복점의 하한치 규정뿐만 아니라 상한치 제한을 두어 항복점의 변동폭을 작게 할 필요가 있으며, 그에 따라 SN재에서의 항복점의 상한치 제한 규정은 구조물의 내진성능을 확보하기 위해 유효한 방법으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 2005년 POSCO의 연구비 지원으로 이루어진 것으로 본 연구를 가능케 한 POSCO에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 社団法人 鋼材俱樂部 建築専門委員會/建設用鋼材研究會, “新しい建築構造用 鋼材”鋼構造出版, 1999.1
2. 日本建築學會, “建築耐震設計における保有耐力と變形性能”, 1990
3. 日本規格協會, “JISハンドブック鐵鋼 I, II”
4. 社団法人 鋼材俱樂部, “建築構造用壓延鋼材(SN材)”, 1995.7
5. 김성은, 오영석, “건축구조용 압연강재(SN재)에 대하여”, 한국강구조학회지 특 집기사, 2000년 6월, 제 12권 2호
6. 오상훈 외 2명 : 지진입력에너지에 의한 에너지 등가 속도 스펙트럼의 제안, 대한 건축학회 논문집 Vol.16-4, No.138, 2000년 4월