

기존 실험 자료를 통한 압축 철골가새의 반복 이력거동에 관한 고찰

Hysteretic Behavior of Compressive Braces upon Repeated Cyclic Loading Based on the Review of Existing Data

이 강 민¹⁾
Lee, Kangmin

요 약: 철골가새골조는 골조 내 가새 부재의 인장 및 압축의 반복 이력 거동을 통하여 지진하중 작용 시 발생하는 에너지를 흡수하게 된다. 최근 미국 내의 중심가새골조 (CBF) 관련 내진 설계 규준은 큰 세장비(KL/r)의 가새 부재를 CBF에 허용하고 있는데, 이는 큰 유효세장비(KL/r)를 갖는 가새 부재가 우수한 내진 성능을 발휘한다는 전제를 기초로 하고 있으나, 최근 연구들 중 가새 부재의 에너지 소산 능력이나 부재의 좌굴 이후 강도저하 등과 관련한 반복 이력 거동 대한 연구를 거의 찾아볼 수 없다. 본 논문에서는, 기존 가새 관련 실험 자료들을 수집하고 이를 바탕으로 부재들의 압축 에너지 소산 능력과 부재의 좌굴 이후 강도저하 등 반복하중 하의 가새 부재들의 반복 이력 거동을 가새 부재의 세장비와 관련하여 검토하였다. 가새 관련 기존 실험 자료들의 분석을 통하여, 가새 부재의 일정 단계의 일반화 된 압축 변위(δ/δ_B)에서의 일반화 된 압축 에너지 소산(E_c/E_T)은 변위가 증가할수록 작아짐을 알 수 있었다. 또한 가새 부재의 좌굴 이후 강도저하는 부재의 세장비와 많은 관련이 있었으며, 특히 H형강 부재들이 상대적으로 심한 강도 저하를 보여주고 있다.

ABSTRACT: Design and detailing requirements of seismic provisions for Concentrically Braced Frames (CBF) were specified based on the premise that bracing members with large KL/r and low b/t have superior seismic performance. However, relatively few tests have been done to investigate the cyclic behavior of CBF. Therefore, the question lies on whether the compression member of CBF plays as significant a role as what has been typically assumed by design providers. In this paper, existing experimental data were reviewed to quantify the extent of hysteretic energy achieved by bracing members in past compression tests as well as the extent of degradation of the compression force given repeated cycling loading.

핵심용어: 철골가새골조, 유효세장비, 에너지 소산, 압축 가새 부재, 강도 저하

KEYWORDS: Concentrically Braced Frame, Effective Slenderness Ratio, Energy Dissipation, Compressive Brace, Strength Degradation

1. 개 요

철골가새골조는 바람 및 지진하중의 횡하중에 저항하도록 설계되는데, 지진하중을 받는 동안 철골가새골조 내 가새 부재의 인장 및 압축의 반복 이력 거동을 통하여 발생하는 에너지를 흡수하게 된다. 1970년대에 들어, 철골가새골조의 구조 해석 및 설계를 위한 내진 설계 규정이 미국 캘리포니아 주에 소개되었고(SEAOC, 1978), 1990년대는 미국 전역으로 그 범위가 점차 확장되었다(AISC, 1992). 이 규정들은 큰 세장비(KL/r) 및 작은 폭-두께 비(b/t)를 갖는 가새 부재의 에너지 소산 능력을 통해 우수한 내진 성능을 발휘한다는 전제 하

에 만들어 졌다. 이는 큰 세장비를 갖는 가새 부재의 좌굴 이후 최대 모멘트를 받는 부재의 경간 중앙에 소성 힌지가 형성되고 이를 통하여 지진 하중 작용 시 발생하는 에너지를 소산시킨다는 것이다. 또한, 이들 규준에서는 폭-두께비 한계를 작게 규정함으로써, 국부 좌굴에 의한 취성 파괴를 방지하려고 하였다.

1994년 Northridge지진 이후, 모멘트골조(Moment Resisting Frames, MRF)에 관련하여 많은 실험 연구가 이루어져온 반면, 반복하중을 받는 철골가새골조의 이력 거동에 관한 연구는 상대적으로 많이 이루어지지 않았다. 하지만, 현행 미국 규준들은 충분하지 않은 실험 자료에도 불구하고,

1) 정회원, 뉴욕주립대학교 토목공학과 대학원 박사과정
(Tel. +1-716-645-2114, Fax. +1-716-645-3733, E-mail:kl10@acsu.buffalo.edu)

본 논문에 대한 토의를 2004년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

압축 가새가 반복하중 하의 큰 에너지 소산 능력을 갖는다는 전제 하에 철골가새골조의 연성계수를 비교적 크게 규정하고 있다. 하지만, 좌굴 이후 가새 부재 중앙의 일정한 소성 모멘트 성능하의 좌굴 변형의 증가는 부재력 감소를 초래하며 결과적으로 소산 에너지는 작아지게 된다. 따라서 철골가새골조 내 가새 부재가 반복 하중 아래서 과연 이들 규정들이 가정하는 이력 특성을 보이는데에 대한 재고가 필요하다.

따라서 본 연구에서는, 기존에 수행된 가새 부재 관련 실험 결과 자료를 수집하고 반복하중 하에서의 압축 에너지 소산 및 좌굴 이후의 강도저하 등의 이력 특성에 대하여 고찰하려고 한다.

2. 기존 관련 문헌

2.1 현행 미국 중심가새골조(Concentrically Braced Frames, CBF) 관련 기준

현재 SEAOC(1999), NEHRP(1997) 그리고 AISC(1997) 등에서 철골가새골조와 관련한 내진 설계설계 규정을 찾아볼 수 있다. 이들 규정에서 가새 부재에 작용하는 하중은 구조물의 탄성 응답 스펙트럼에 상응하는 횡하중을 구조물의 반응 수정 계수(Structural Response Modification Factor), R로 나누어서 구하는데, 여기서 반응 수정 계수 R은 지진 하중시의 구조시스템이 보유한 에너지 소산 및 연성 능력에 따라 규정된 상대적인 지표이다. 일반적으로 모멘트골조는 보-기둥 접합부 등을 통한 우수한 에너지 소산을 통해 가장 큰 R값이 적용되고, 철골가새골조는 대략 모멘트골조의 75% 정도의 R값이 적용되는데, 이는 철골가새골조 내 압축 가새 부재가 좌굴 이후 급격한 강도 저하로 인해 모멘트골조에 비해 비교적 작은 에너지 소산 능력을 갖고 있기 때문이다.

일반적으로 R값은 다음과 같이 정의 된다.

$$R = R_d \cdot \Omega_0 \tag{1}$$

여기서 R_d 는 구조시스템의 연성 능력과 관련한 비탄성을 고려한 감소 계수이고, Ω_0 는 구조물 고유의 초과강도를 고려한 감소 계수이다. 표 1에 AISC(1997)에서 규정하고 있는 철골가새골조 및 모멘트골조의 R값을 정리하였다.

큰 에너지 소산 능력을 갖고 있는 구조시스템은 상대적으로 큰 R값을 갖게 되므로 작은 에너지 소산 능력을 가지고 있는 시스템보다 작은 하중으로 설계된다. 반응 수정 계수 R은 구조물의 에너지 소산과 강도 저하 등 구조 시스템의 비탄성 특

성과 관련되어 결정되는데, 만일 구조시스템이 큰 R값으로 설계되었는데 반해 작은 에너지 소산 능력을 갖고 있다면 지진하중 시 큰 연성을 보이지 못하고 조기에 파괴될 수 있다. 따라서 R값은 이러한 특성들을 잘 반영할 수 있도록 고려되어야 한다.

표 1. 철골가새골조 및 모멘트골조의 R값 (AISC, 1997)

Structural System	R
Braced Frame Systems:	
Special Concentrically Braced Frames (SCBF)	6
Ordinary Concentrically Braced Frames (OCBF)	5
Eccentrically Braced Frames (EBF)	
with moment connections at columns away from link	8
without moment connections at columns away from link	7
Moment Frame Systems:	
Special Moment Frames (SMF)	8
Intermediate Moment Frames (IMF)	6
Ordinary Moment Frames (OMF)	4
Special Truss Moment Frames (STMF)	7

1992년부터 최근 2000년까지 CBF에 관한 AISC 내진 규정이 개정되어 왔지만 이들 변화는 철골가새골조의 이력 특성과 관련한 최근의 연구 자료들이 부족한 상황에서 이루어졌다.

2.1.1 1992년 AISC 내진규정

1992년 AISC 내진규정은 철골가새골조의 R값을 5로 규정하고 있으며 가새 부재의 폭-두께 비 및 세장비에 관한 규정도 포함하고 있는데, 주요 사항을 다음과 같이 요약할 수 있다.

- (1) 가새 부재 세장비, $KL/r \leq 720\sqrt{F_y}$
- (2) 원형강관 및 각형강관 가새 부재에 관해 좀 더 엄격한 규정을 하고 있다.
각각, $b/t \leq 1300/F_y$ 및 $b/t \leq 110\sqrt{F_y}$
- (3) 가새 부재의 설계하중은 반복하중에 의한 부재의 강도 저하를 고려하여 공칭하중(ΦP_n)에 0.8의 강도저하 계수를 적용하고 있다. 여기서 강도저하 계수 0.8은 SEAOC(1990)에서 규정하고 있는 가새 부재의 저하된 압축강도(C_r')의 평균과 유사함을 알 수 있다.

$$C_r' = \frac{C_r}{1 + 0.5\left(\sqrt{\frac{0.5F_y}{E}}\right)} = \frac{C_r}{1 + 0.5\left(\frac{KL/r}{C_r}\right)} \tag{2}$$

여기서 C_r 은 가새 부재의 좌굴 강도이고 F_y 는 항복인장 강도, E 는 탄성계수이다. 몇몇 규준에서 규정하고 있는 가새

부재의 좌굴 설계식들을 그림 1에 나타내었다.

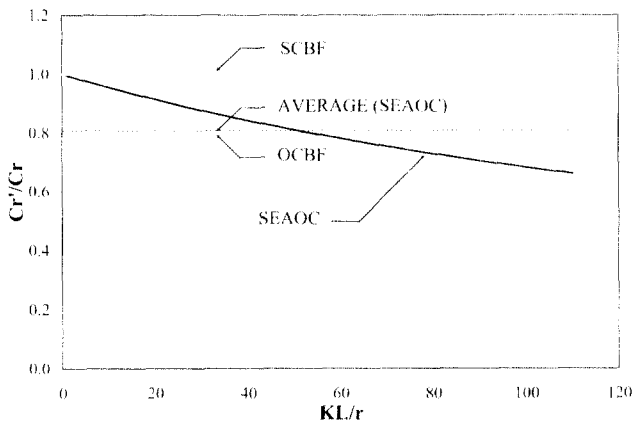


그림 1. 가새 부재 압축좌굴 관련 설계식

- (4) V와 Inverted-V 형식의 가새골조는 가새 부재가 설계하중의 1.5배의 하중으로 설계되었을 경우에만 사용 가능하다. K 형식의 가새골조의 가새는 V 및 Inverted-V 형식의 설계 개념을 따른다.
- (5) 위의 규정들은 특별한 조건 하에 2층 이하의 건물에서는 적용하지 않을 수도 있다.

2.1.2 1997년 AISC 내진규정

1997년 AISC 내진규정은 철골가새골조 내 가새 부재의 국부 좌굴 및 접합부 파괴에 의한 취성 파괴를 방지한다면 부재의 좌굴 이후 효과적으로 지진으로부터의 에너지를 효과적으로 흡수한다는 가정 하에, Special Concentrically Braced Frames (SCBF)를 도입하였다. 또한 기존 규정에서의 철골가새골조는 Ordinary Concentrically Braced Frames (OCBF) 범주 안에 남겨두었다. 이 규정에서의 주요 변경 사항은 다음과 같다.

- (1) SCBF에는 R값을 6을 적용하였고, OCBF에는 기존의 5를 그대로 적용하였다.
- (2) SCBF의 세장비에 관한 규정을 $KL/r \leq 1000\sqrt{F_y}$ 로 증가 시켰고 OCBF는 기존의 $KL/r \leq 720\sqrt{F_y}$ 를 그대로 적용하였다.
- (3) 0.8의 가새 강도저하 계수를 OCBF 설계규정에서 제외하였다.
- (4) 폭-두께비와 관련한 규정은 L형강 가새 부재에 관련하여 조금 엄격해진 것 외에는 기존 규준을 그대로 유지하였다.
- (5) K 형식 가새골조는 SCBF 범주에서 제외하였다.
- (6) V 및 Inverted-V 형식 가새골조는 1992년 설계 규

정을 그대로 따른다. 하지만, SCBF 적용 시 기존에 적용된 1.5배 설계하중 조항이 삭제되었다.

2.1.3 2001년 AISC 내진규정

최근에 1997년 AISC 내진규정이 개정되었는데, 개정판에서는 철골가새골조 규정에서 OCBF를 제외시켜 규정이 간략해졌다. 이는 강진 지역에서의 OCBF가 지진 발생 시 바람직한 이력거동을 보여주지 않기 때문이다. 개정판에서 변화된 내용은 다음과 같이 요약 될 수 있다.

- (1) 이 개정판에서는 OCBF 규정이 2층 이하 저층 건물에의 적용 규정 이외에는 실질적으로 삭제되었다. 따라서 SCBF 설계규정이 연성 거동을 요구하는 모든 건물들에 적용된다.
- (2) 모든 V 및 Inverted-V 형식의 가새골조는 기존 1997년 규준의 SCBF 설계범주를 따르며, 이들 형식에서 가새 부재의 세장비는 $KL/r \leq 720\sqrt{F_y}$ 로 제한한다.

2.2 가새 부재관련 기존 실험자료 분석

위에서 본 바와 같이, 1997년 이후 AISC의 철골가새골조 내진 설계 규정에서 가새 부재의 유효세장비를 증가시켰는데, 이는 세장한 가새 부재가 압축하중 작용 시에, 부재의 손상 없이 탄성 좌굴함으로써 우수한 에너지 소산 능력을 갖는다는 이론적인 배경을 근거로 하고 있다. 하지만, 이는 세장한 가새 부재의 최초 좌굴 이후 강도 저하를 고려하고 있지 않으며 또한 그 배경을 뒷받침하는 충분한 자료들, 즉 가새 부재의 세장비와 관련한 에너지 소산능력 및 강도저하 등과 관련한 최근 연구가 거의 없는 상태에서 이루어졌다. 따라서 본 연구에서는 기존의 실험결과들을 바탕으로 가새 부재의 에너지 소산능력 및 강도저하 등의 이력 특성에 대하여 고찰하였다.

이를 위해, Jain, Goel, and Hanson (1978), Black, Wenger, and Popov(1980), Zayas, Popov, and Mahin (1980), Astaneh-Asl, Goel, and Hanson (1982), Archambault, Tremblay, and Filiatrault (1995), Leowardi and Walpole (1996), 그리고 Walpole (1996)의 실험 자료들을 수집하였다. 자료수집 과정에서 세장비 정의가 어려운 X형 가새골조의 가새 부재 및 일반 가새 부재들과는 상이한 거동 및 파괴 특성을 갖는 콘크리트 충전 각형강관 가새 부재들은 조사대상에서 제외되었다. 본 연구에서 조사한 실험자료들을 표 2에 요약하였다.

표 2. 가새 부재관련 대상 실험 자료

Reference	부재 형상 ¹⁾							총
	W	A	DA	DC	T	P	WT	
Black et al. (1980)	9	-	4	1	3	5	2	24
Zayas et al. (1980)	-	-	-	-	-	6	-	6
Lee and Goel (1987)	-	-	-	-	7 ¹⁾	-	-	7
Jain et al. (1978)	-	3	-	-	6	-	-	9
Astaneh-Asl et al. (1982)	-	-	14	-	-	-	-	14
Archambault et al. (1995)	-	-	-	-	7	-	-	7
Leowardi (1996)	3	-	-	-	-	-	-	3
Walpole (1996)	-	-	-	-	3	-	-	3
총계	12	3	18	1	26	11	2	73

1) Lee and Goel (1987)의 실험자료는 일반적인 반복하중 실험 과정을 따르지 않아 그 결과를 비교 다른 결과들과 비교하기 어려워 에너지 소산을 계산하지 않았다.

2) 부재 형상

W: H형강, A: 단일 L형강, T: 각형강관(콘크리트 비충진), P: 원형강관, WT: T형강, TC: 각형강관(콘크리트 충전), DA: 2L형강, DC: 2C형강

본 연구에서의 모든 상세한 조사결과들을 향후 철골가새 골조 관련 연구의 자료로 활용될 수 있도록 world wide web(<http://civil.eng.buffalo.edu/un/kangmin>)에 올려 놓았다.

본 연구에서 조사 및 계산된 모든 정보는 기존의 실험결과로부터의 가새 부재들의 압축 하중-변위 상관도를 근거로 하고 있다.

2.2.1 가새 부재의 압축 에너지 소산

가새 부재의 압축 에너지 소산 E_c 는 부재에 가해진 압축하중과 이로 인한 압축 변위 δ 의 곱으로 계산될 수 있고 또한, 그림 2에서와 같이 가새 부재의 하중-변위 상관도의 이력곡선으로 둘러싸여진 면적을 직접 읽음으로써 구할 수 있다.

본 연구에서 수집한 자료들은 모두 서로 다른 연구자들로부터의 실험 결과들을 토대로 조사하였기 때문에, 각각의 결과들을 비교 분석하기 위해서 결과들의 일반화 과정을 거쳤다. 우선 부재의 압축 에너지 소산은 상응하는 인장 에너지, E_T 로 나눔으로써 일반화하였는데, 여기서 E_T 는 그림 2에서 개념적으로 보여주는 바와 같이, 각 압축 사이클의 최대 변위(그림 3)와 이에 상응하는 인장 항복 하중 T_y 의 곱으로부터 계산되었다.

$$T_y = AF_y \quad (3)$$

여기서, A는 가새 부재의 단면적, F_y 는 재료의 항복강도

이다.

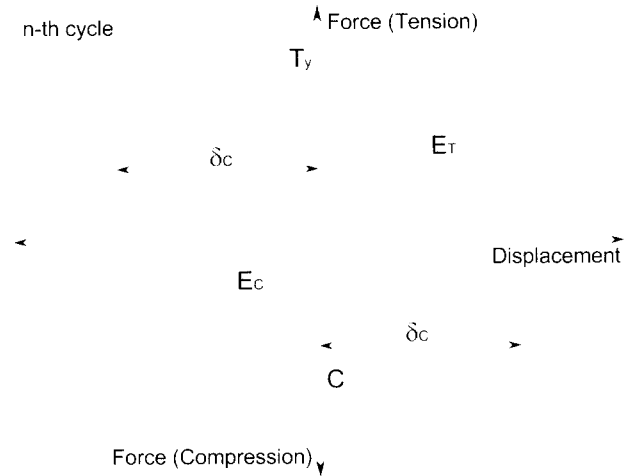


그림 2. 가새 부재의 인장 및 압축 에너지 소산, E_c , E_T

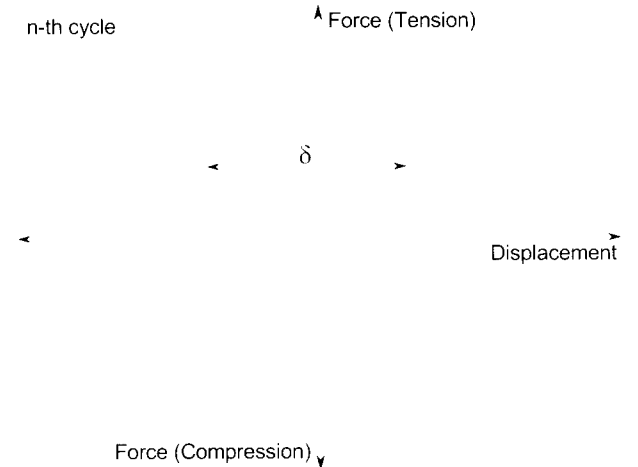


그림 3. 가새 부재의 압축 변위, δ

가새 부재의 압축 변위 δ 또한 탄성 좌굴 하중에 상응하는 좌굴 변위 δ_b 로써 일반화하였다.

$$\delta_b = \frac{C_1 L}{AE} \quad (4)$$

여기서, L은 가새 부재의 길이, A는 부재의 단면적, E는 탄성계수이다.

그림 4는 가새 부재의 일반화된 압축 변위의 함수로 표현된 일반화된 압축 에너지 조사 결과의 한 예를 보여준다.

본 연구에서 조사된 모든 실험 자료들은 각각의 이력곡선으로부터의 압축 에너지 소산(이력곡선의 압축측 면적)을 상응하는 인장 에너지로 나누어서 일반화 시켰고 이들 각각의 결과들은 위에서 언급한 world wide web에 올려놓았다.

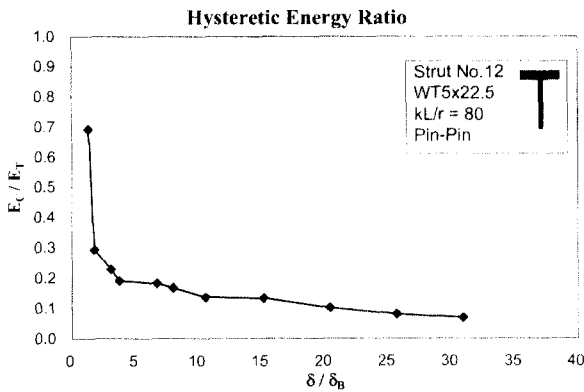


그림 4. 가새 부재의 압축 에너지 소산, E_c/E_T

2.2.2 가새 부재의 압축 좌굴 후 강도저하

반복하중을 받는 가새 부재의 하중저하는 다음과 같은 단계를 거쳐 조사되었다.

- (1) 각각의 실험 결과로부터의 하중-변위 이력곡선에서 각 사이클을 비교할 수 있도록 그림 5와 같이 각 압축 사이클의 시작이 원점($\delta=0$, $C_r=0$)이 되도록 하였다.

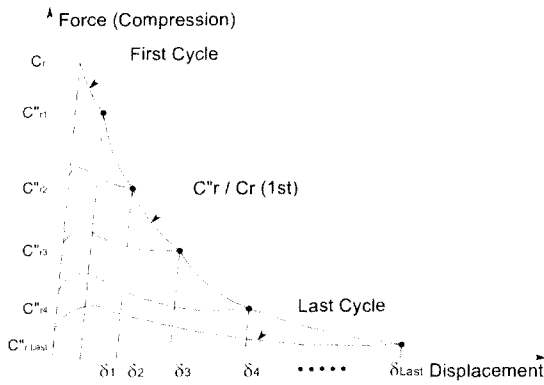


그림 5. 가새 부재의 일반화된 강도 $C_r/C_r(1st)$

그림에서 개념적으로 설명되는 바와 같이 본 연구에서 다루고 있는 모든 실험 자료들의 이력곡선은 사이클이 진행되면서 압축 변위가 전 단계의 사이클에서 보다 증가된다.

- (2) 가새 부재의 한 사이클에서 좌굴(C_r) 이후 가새 부재의 압축 하중은 점차 감소하게 된다. 여기서 각 압축 사이클에서의 최대변위 δ_n 에 이르렀을 때, 상응하는 압축 하중을 C_r^n 으로 정의하며, 첨자 "n"은 "n"번째 사이클을 의미한다.
- (3) 첫 단계로부터의 C_r^n 은 C_r 로 나누어 일반화하였다. 일반화된 가새 압축력은 $C_r^n/C_r^n(1st)$ 로 정의하였는데, 여기서 "1st"는 가새 부재가 처음으로 경험하는

변위에 상응하는 저하된 부재 압축력을 의미한다.

그림 6은 위의 과정으로부터의 결과의 한 예를 보여준다.

가새 부재의 압축 하중 저하는 그림 5에서와 같이 부재의 최대 변위 사이클(마지막 사이클)에서도 볼 수 있다. 따라서 마지막 사이클에서의 부재 압축력 저하 또한 고려되었다 ($C_r^n/C_r^n(Last)$). 이 결과를 얻기 위한 과정을 그림 7에 나타내었고 그 결과의 한 예를 그림 8에 나타내었다. 또한 그림 9에서와 같이 $C_r^n/C_r^n(1st)$ 과 $C_r^n/C_r^n(Last)$ 의 비 ($C_r^n/C_r^n(1st/Last)$)에 관해서도 검토하였다.

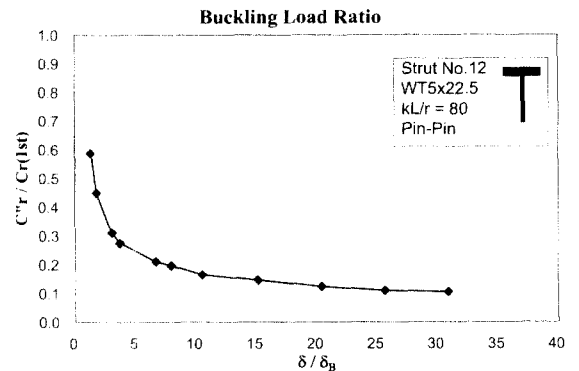


그림 6. 가새 부재의 압축 강도 저하 (1st)

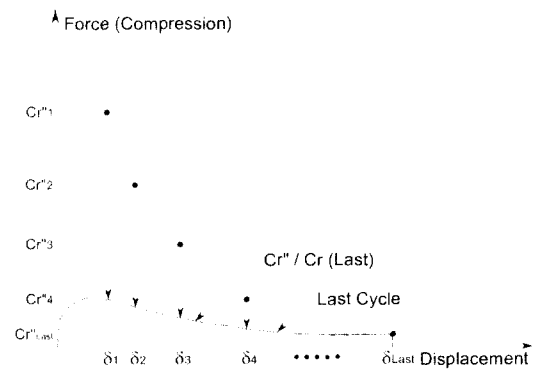


그림 7. 가새 부재의 일반화된 강도 $C_r/C_r(Last)$

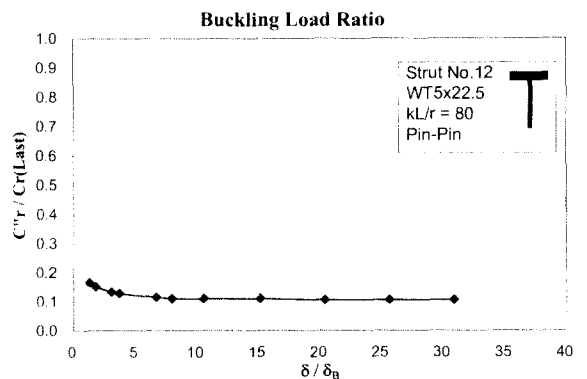


그림 8. 가새 부재의 압축 강도 저하 (1st/Last)

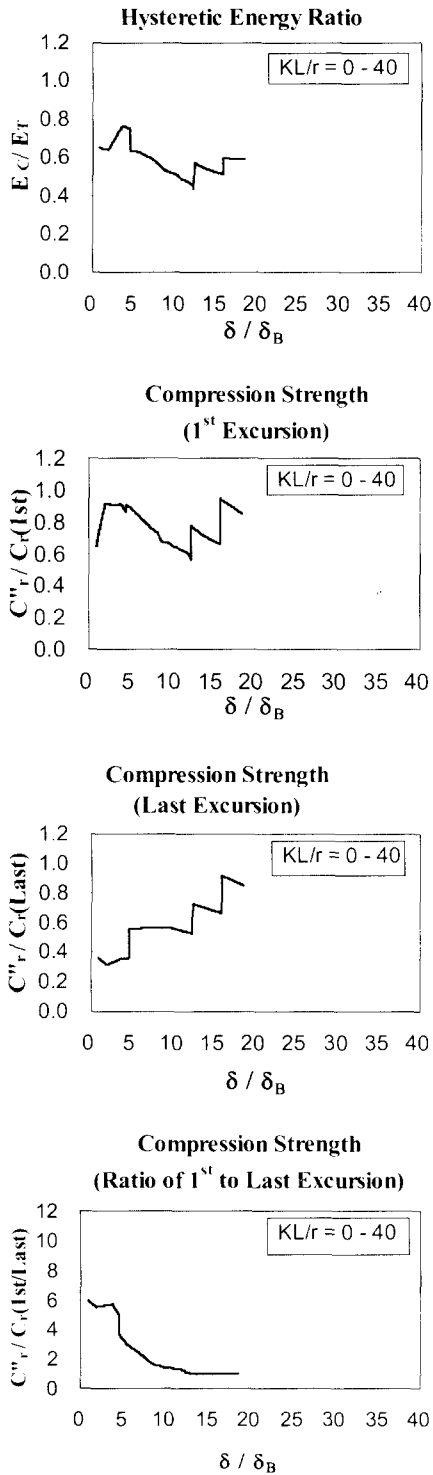


그림 10. All structural shapes with $KL/r = 0$ to 40

$C_m''/C_m''(1st/Last)$ 의 값이 크다는 것은 압축력 저하 폭이 크다는 것을 의미하고 그 값이 작다는 것은 첫 사이클과 마지막 사이클에서의 압축력 감소가 비교적 안정적으로 저하됨을 의미한다. 위에서 설명된 결과들(그림 4, 6, 8, 9)은 각각의 실험 자료에 대하여 그림 10과 같은 구성으로 하나의

그림으로 묶었으며 또한 이들은 세장비 및 단면 형상의 변수 별로 그룹 지었다. 그림 10에서 굵은 선은 평균을 나타낸다. 이들 자료는 2.2절에 언급된 world wide web에 각각의 경우 별로 정리되어있다.

3. 조사된 자료들에 대한 고찰

각각의 실험들의 세장비의 영역에 따른 평균은 그림 11에, 실험 자료들의 단면 형상별(각형강관, H형강, 2L형강) 세장비의 영역에 따른 평균은 그림 12, 13, 14에 나타내었다.

이 자료들로부터, 가새 부재의 압축 에너지 소산 및 좌굴 이후 강도저하에 대하여 고찰하였다.

첫째, 가새 부재의 일반화된 에너지 소산 E_c/E_T 는 부재의 일반화된 변위 δ/δ_B 가 커질수록 감소하는 경향을 보였고, 세장비가 클수록 작은 일반화된 에너지 소산을 보여주었다. 이는 일반적으로 작은 세장비를 갖는 부재가 큰 단면 이차 모멘트를 갖기 때문에 결과적으로 큰 소성 모멘트 및 에너지를 갖는다. 하지만 여기서 세장비 영역이 80~120인 부재들과 세장비 120 이상의 세장한 부재들을 비교할 경우 그 차이는 아주 미미함을 알 수 있는데, 일반적으로 많은 가새 부재들이 대략 100 정도의 세장비로 설계되고 건설된다는 점을 고려하면 이 결과는 중요한 의미를 갖는다. 세장비가 80 이상인 가새 부재들의 일반화된 에너지 소산은 일반화된 압축 변위 δ/δ_B 가 대략 3을 넘으면 심각하게 감소함을 보였다. 예를 들어 세장비가 80 이상인 부재들의 일반화된 에너지 소산은 대략 0.3 정도로 감소함을 알 수 있다. 이는 세장비가 작은 부재들이 에너지를 효율적으로 흡수함을 의미하며, 따라서 세장한 부재들에 대하여 기준들이 에너지 소산 능력에 대해 과대평가하고 있음을 보여준다.

H형강 가새 부재가 좌굴 이후 심각한 일반화된 부재력 감소 $C_m''/C_m''(1st)$ 를 보였는데, 특히 세장비가 80 이상인 H형강 가새는 일반화된 변위, δ/δ_B 가 5 정도에 이르면 일반화된 부재력이 대략 0.2 정도로 감소함을 보였다. 하지만 세장비가 120 이상인 부재들의 부재력 감소는 세장비 80 정도의 부재의 부재력 감소에 비해 그리 나쁜 편은 아님을 알 수 있다. 일반화된 부재력 감소 $C_m''/C_m''(1st)$ 를 기준으로 부재형상들 간의 성능을 비교한 결과 각형강관 가새 부재들이 세장비 영역에 상관없이 가장 우수한 성능을 보여주었다.

$C_m''/C_m''(Last)$ 와 $C_m''/C_m''(1st/Last)$ 의 값들을 비교한 결과 비교적 작은 변위에서도 부재력이 감소가 심하게 나타남을 알 수 있었다. 일반화된 변위 δ/δ_B 가 3 이상인 경우 $C_m''/C_m''(1st/Last)$ 의 결과들이 $C_m''/C_m''(1st)$ 의 결과들과 비슷한 양상을 보이고 있음을 알 수 있다.

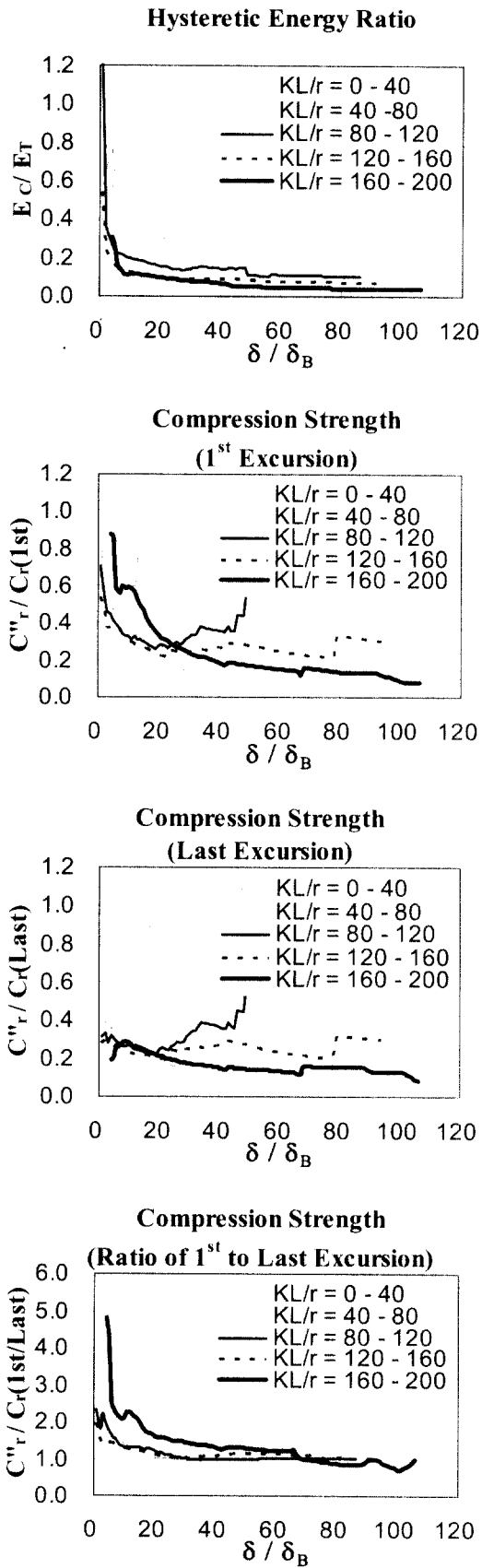


그림 11. 세장비 (KL/r)에 따른 평균자료

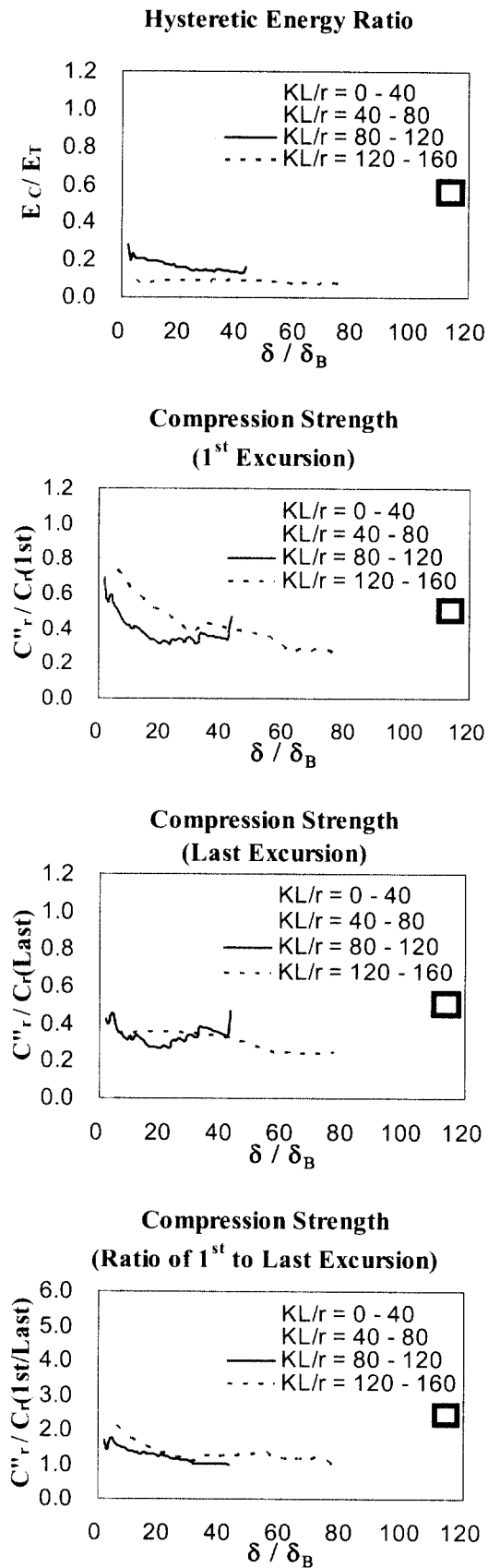


그림 12. 세장비 (KL/r)에 따른 평균 자료 (각형강관)

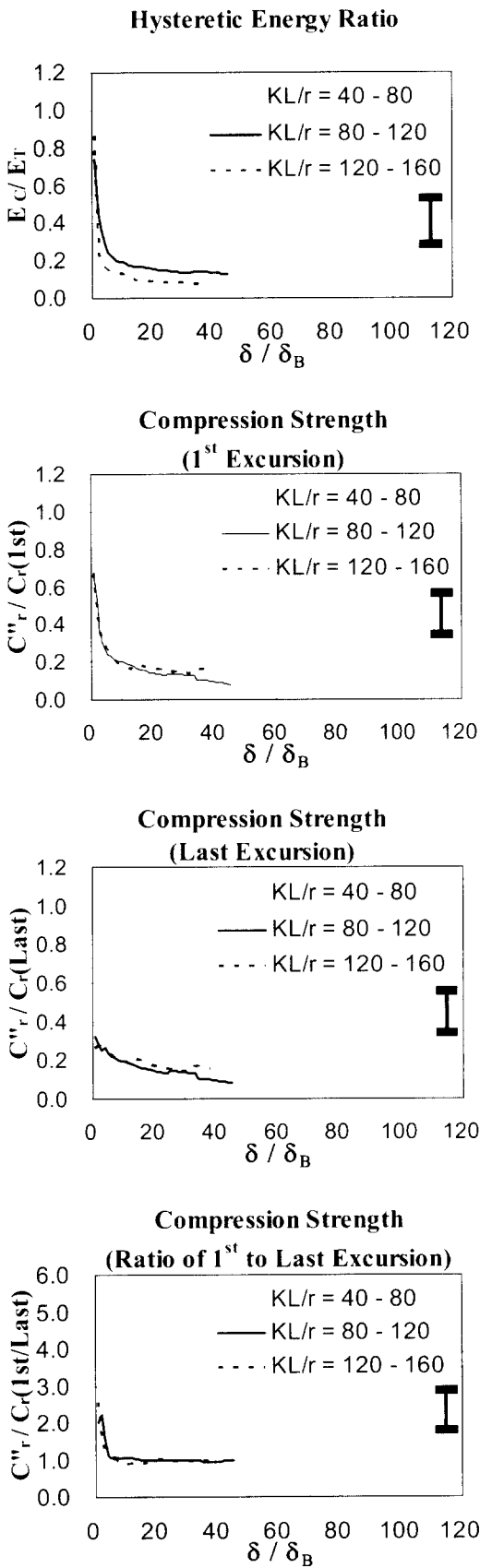


그림 13. 세장비 (KL/r)에 따른 평균 자료 (H형강)

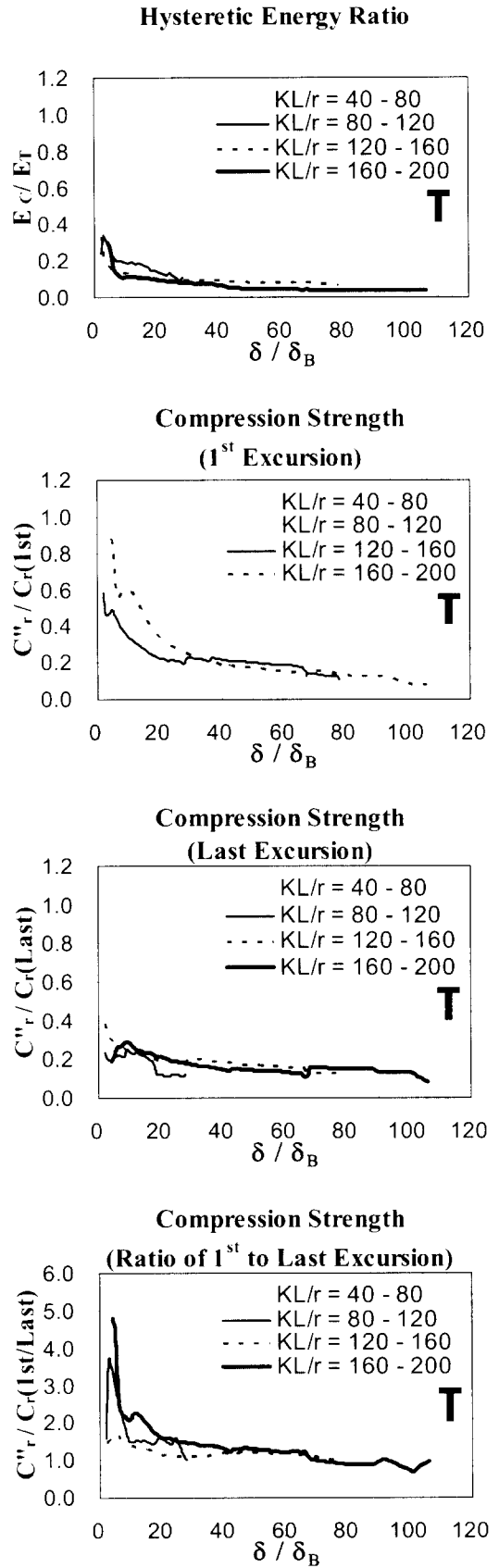


그림 14. 세장비 (KL/r)에 따른 평균 자료 (2L형강)

4. 결 론

이상에서와 같이 본 논문에서는 기존 실험 결과들을 바탕으로 철골가새골조 내의 가새 부재들이 반복 하중을 받을 때, 다양한 압축 변위에서의 에너지 소산 및 좌굴 이후 부재의 강도 저하에 관하여 조사하여 이를 정량화 하였다. 또한, 이들 조사 결과를 가새 부재의 세장비(KL/r) 및 단면 형상에 따라 비교, 분석하였고 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

부재의 단면 형상에 따라 약간의 차이는 있지만, 기존 실험 자료 조사 결과 인장 및 압축의 반복하중아래서 가새 부재의 일반화된 에너지 소산(E_u/E_y) 능력은 부재의 세장비가 80 이상인 경우 부재의 첫 좌굴 이후 일반화된 압축 변위 δ/δ_n 가 3.0에 이르렀을 때 60%~70% 정도로 크게 감소하였다. 가새 부재의 좌굴 이후 부재력 또한 부재의 세장비가 80 이상인 경우 부재의 첫 좌굴 이후 일반화된 압축 변위 δ/δ_n 가 3.0에 이르렀을 때 40%~50% 정도로 크게 감소하였다. 이는 현행 미국 내 내진 관련 규준이 규정하고 있는 세장비(KL/r)의 한계를 근래에 완화시킨 이유가 에너지 소산 능력이나 부재력 감소 등의 효율성에 근거하지 않고 있음을 단적으로 보여준다.

본 연구에서 조사한 자료들의 부재 형상에 따른 반복하중 아래서 가새 부재의 좌굴 이후, 에너지 소산 능력 및 부재력 감소를 같은 변위 수준 (δ/δ_n 가 3.0에 이르렀을 때)에서 비교한 결과 각형강관 가새 부재가 에너지 소산 및 부재력 감소가 첫 좌굴 이후 각각 60% 및 30% 정도 감소하여 가장 우수한 성능을 보임을 알 수 있었고, H형강 가새 부재의 에너지 소산 및 부재력 감소가 각각 70% 및 50%로 가장 심하게 감소함을 알 수 있었다.

비록 본 연구에서 철골가새골조와 관련하여 대부분 미국 내의 규준과 실험 자료들을 다루었지만, 향후 국내의 철골가새골조 관련 규정 개정 및 연구에 기초 자료로 활용되기를 기대한다. 또한 현재 본 연구자에 의해 수행되고 있는 실험 자료들을 포함 국내 및 일본 등지의 자료들을 추가 수집 및 정리하여 2.2절에 언급된 world wide web(<http://civil.eng.buffalo.edu/un/kangmin>)을 보완 할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 미국 뉴욕주립대학교(State University of New York at Buffalo) 내, 지진연구센터(Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, MCEER)의 지원으로 수행되었으며, 자료 수집 및 연구 과정에 많은 도움을 준 동 대학교 Michel Bruneau 교수께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- American Institute of Steel Constructions, Inc. (1992), Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, AISC, Chicago, Illinois.
- American Institute of Steel Constructions, Inc. (1997), Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, AISC, Chicago, Illinois.
- American Institute of Steel Constructions, Inc. (2000), Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (1997) Supplement No. 2, AISC, Chicago, Illinois.
- Archambault, Marie-Helene, Tremblay, Robert and Filiatrault, Andre (1995), Etude du Comportement Seismique des Contreventements Ductiles en X Avec Profiles Tubulaires en Acier, Rapport No. EPM/GCS-1995-09, Departement de Genie Civil Section Structures, Ecole Polytechnique, Montreal, Quebec, Canada (in French).
- Astaneh-Asl, A., Goel, S. C. and Hanson, R. D. (1982), Cycle Behavior of Double Angle Bracing Members with End Gusset Plates, Report No. UMEE 82R7, August, Department of Civil Engineering, The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan.
- Black, R. G., Wenger, W. A. and Popov, E. P. (1980), Inelastic Buckling of Steel Struts under Cyclic Load and Reversal, Report No. UCB/EERC-80/40, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California.
- BSSC (1997), NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings, Report No. FEMA-302-303, Building Seismic Safety Council, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- Jain, A. K., Goel, S. C. and Hanson, R. D. (1978), Hysteresis Behavior of Bracing Members and Seismic Response of Braced Frames with Different Proportions, Report No. UMEE 78R3, July, Department of Civil Engineering, The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan.
- Leowardi, L. Sukendro and Walpole, Warren R.

- (1996). Performance of Steel Brace Members, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- SEAOC (1999), Tentative Lateral Force Requirement, Seismology Committee, Structural Engineers Association of California, Sacramento /San Francisco/Los Angeles, California.
- Walpole, Warren R. (1996). Behaviour of Cold-Formed Steel RHS Members under Cyclic Loading, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- Zayas, Victor A., Popop, Egor P. and Mahin, Stephen A. (1980). Cyclic Inelastic Buckling of Tubular Steel Braces, Report No. UCB/EERC-80/16, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California.
- (접수일자 : 2003. 5. 7 / 심사일 2003. 5. 20 /
심사완료일 2003. 7. 9)