

인장력을 받는 γ 형강의 블록전단 파단에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Block Shear Rupture of Angle Tension Members

김 보 영¹⁾ · 이 규 광²⁾ · 최 문 식³⁾

Kim, Bo Young · Lee, Kyu Kwong · Choi, Mun Sik

요 약 : 강 구조물의 접합부는 구조물이 안전에 큰 영향을 미치는 부분으로서 이에 대한 연구는 많이 이루어지고 있으나 순수 인장력을 받는 접합부의 블록전단 파단에 대한 연구는 외국에서도 근래에 시작되었으며 현재 국내에서는 연구실적이 없는 상태이다. 본 연구는 최근 우리나라에서 제정된 강구조 한계상태설계기준에 따른 블록전단 산정식의 타당성을 인장력을 받는 γ 형강 접합부의 실험에 의하여 규명하고자 한다. 연구방법은 기존의 연구결과와 블록전단 파단형상 및 극한내력을 본 연구와 비교분석하고 기준 산정식의 합당성을 평가하였다. 실험결과 접합부는 2가지 형상, 인장항복 전단파단과 전단항복 인장파단이 일어났으며 실험 파단하중이 기준식에 의한 내력보다 약 15% 크게 나타나고 있어 앞으로 보다 많은 연구에 의해 강구조 한계상태 설계법의 블록전단 산정식에 대한 평가가 필요하다고 사료된다.

ABSTRACT : In this paper, an experimental study have been many studies on the joints of steel structure, for it has great influences on the safety of structures. Research on block shear rupture of the joint receiving pure tension have been done in foreign countries, but not in Korea. This study focuses on the propriety of block shear design code, according to limited state design criteria of steel structures recently established in Korea, by an experiment on the joint of angle tension members. The methods of this study were to compare other study results on block shear rupture mode and ultimate capacity, and to evaluate the propriety of the criteria design code. The result is that tension yield shear ruptures and shear yield tension ruptures happened at the joint, and the experimental rupture load was 15% higher than the capacity entered in the criteria design code. We conclude that it is necessary to reevaluate the block shear design code presented by many studies on the limited state design criteria of steel structures.

핵 심 용 어 : 블록전단, 하중저항계수 설계법, 인장항복 전단파단, 전단항복 인장파단, 전문계수, 전단극한강도계수

KEYWORDS : block shear, load and resistance factor design(LRFD), tension yield shear rupture, shear yield tension rupture, professional factor, shear ultimate strength factor

1) 정희원, 단국대학교 건축공학과 박사과정
2) 정희원, 단국대학교 석사과정 졸업
3) 정희원, 단국대학교 건축공학과 교수, 공학박사

본 논문에 대한 토의를 1999년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

강구조물의 접합부는 구조물의 안전에 큰 영향을 미치는 부분으로서 이에 대한 연구는 많이 이루어지고 있으나, 순수 인장력을 받는 접합부의 블록전단파단에 대한 연구는 거의 없는 상태이다. 블록전단(block shear)은 단순보나 인장재의 거셋플레이트 접합부에서 발생하는 파괴형태로써 하중방향에 수직인 인장면과 나란한 전단면이 찢어지는 현상으로 인장항복 전단파단과 전단항복 인장파단이 있으며 개략적인 연구 동향을 살펴보면 다음과 같다.

1978년 Birkemoe와 Gilmore⁽¹⁾는 절취한 보(coped beam)의 웹 접합부에 대한 실험을 하였으며 1983년 Ricles 와 Yura⁽³⁾는 절취한 것과 절취하지 않는 웹접합부에 대한 블록전단 실험을 하였다. 그리고 1985년 Hardash 와 Bjorhovde⁽⁴⁾는 거셋플레이트, 1990년 Adidam⁽⁷⁾은 ㄱ형강, 1996년 Epstein⁽¹²⁾은 T형강에 대한 블록전단 실험을 하였다.

이와같은 블록전단에 대한 실험을 통하여 표1

표 1. 기존 연구결과에서 제안된 블록전단 산정식

연구자	제안식	비고
Birkemoe & Gilmore (1978)	1. 극한하중 : $P_{ult} = \text{전단저항} + \text{인장저항}$ $= 0.6A_{nv}F_u + A_{nt}F_u$ 2. 모든면적(인장면+전단면)을 전단면으로 고려할 때: $P_{ult} = 0.6(A_{nv} + A_{nt})F_u$	F_y : 강재의항복강도 F_u : 강재의인장강도 e_n : end distance e_s : edge distance s : 피치
Ricles & Yura (1983)	$R_f = F_u \left[(g + e_n) 0.5t_w - \frac{g + \frac{d_h}{2}}{g + e_n} t_w d_h \right] + 0.6F_y(e_g + \Sigma s)t_w$ · 단순화된 식 $R_f = 0.5F_u[(g + e_n)t_w - 1.5d_h t_w] + 0.6F_y(e_g + \Sigma s)t_w$	g : 게이지 t_w : 판의 두께 d_h : 구멍 직경
Hardash & Bjorhovde (1985)	$P = 0.6F_y A_{gv} + F_u A_{nt}$ $P = 0.6F_u A_{nv} + F_y A_{gt}$	A_{nv} : 순 전단면적 A_{nt} : 순 인장면적 A_{gv} : 총 전단면적 A_{gt} : 총 인장면적
Adidam (1990) & Epstein (1992)	· ASD식 $P = 0.3A_{nv}F_u + 0.5F_u U A_{nt}$ · LRFD식 : 두 식중 큰값 $\phi P_n = 0.75(0.6F_y A_{gv} + F_u U A_{nt})$ $\phi P_n = 0.75(0.6F_u A_{nv} + F_y U A_{gt})$	U : 감소계수 R_f : 블록전단내력 P : 블록전단내력 ϕ : 강도저감계수

표 2. 각 설계기준의 블록전단 산정식

규 준	블록전단 산정식	비고
AISC LRFD 제1판 (1986)	$\phi R_n = \phi(0.6F_y A_{gv} + F_u A_{nt})$ $\phi R_n = \phi(0.6F_u A_{nv} + F_y A_{gt})$ 두 식중 큰 값을 사용	A_{nt} : 인장을받는 순단면적 A_{nv} : 전단을받는 순단면적 A_{gv} : 전단을받는 총단면적
AISC ASD(1989)	$R_n = 0.3F_u A_{nt} + 0.5F_u A_{nv}$	A_{gt} : 인장을받는 총단면적
AISC LRFD 제2판 (1993)	$A_{nt} F_u \geq 0.6A_{nv} F_u$ 일때 $\phi R_n = \phi(0.6F_y A_{gv} + F_u A_{nt})$	F_u : 강재의 인장강도 F_y : 강재의 항복강도
한국 강구조 한계상태설계법 (1997)	$A_{nt} F_u < 0.6A_{nv} F_u$ 일때 $\phi R_n = \phi(0.6F_u A_{nv} + F_y A_{gt})$	R_n : 공칭 블록전단 내력 ϕ : 강도저감계수(0.75)

과 같은 설계식을 제시하였으며 이를 근거로 하여 표2와 같은 설계식이 제정되어 사용되고 있다. 따라서 우리나라에서도 강구조 한계상태설계법에서 AISC LRFD(1993)를 근거로 하여 블록전단에 대한 설계식을 제시하였다.

본 연구에서는 기존의 연구 결과^(7,8,10)를 참고하여 인장력을 받는 ㄱ형강의 접합부 실험을 통하여 블록전단 파단형상 및 극한내력을 비교 분석하여 새로 제정된 강구조 한계상태 설계법에 있어서 블록전단 설계기준식의 타당성을 규명하고자 한다. 아울러 외국설계기준과 비교 검토하고자 한다.

2. 실험계획

2.1 시험체 계획 및 제작

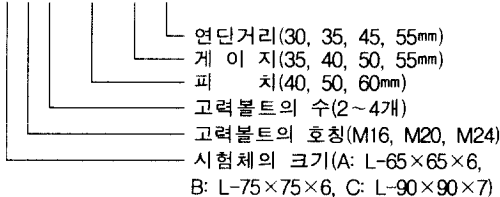
기존 연구결과를 참고로 블록전단 내력에 영향을 주는 여러 변수 가운데, 시험체의 크기, 고력볼트의 직경 및 수, 피치, 게이지, 연단거리등을 변수로 하여 블록전단 파단이 일어나도록 표3과 같이 시험체를 계획하였다.

시험체는 K산업에서 강재 SS400인 ㄱ형강(L-65×65×6 11개, L-75×75×6 11개, L-90×90×7 21개) 총 43개를 제작하였다. 이들 ㄱ형강은 재료적인 특성이 변수로 작용하지 않도록

표 3. 시험체 일람표

시험체	일련 번호	시험체 명	시험 체수	예상파괴 형상
L-65×65×6 (A계열)	A-1	A16(2)-P40-G35-E30	2	TY-SR
	A-2	A16(3)-P40-G35-E30	2	TY-SR
	A-3	A16(2)-P50-G35-E35	2	TY-SR
	A-4	A20(2)-P50-G35-E35	2	TY-SR
	A-5	A16(2)-P60-G35-E35	2	TY-SR
	A-6	A20(2)-P60-G35-E35	1	TY-SR
	소 계		11개	
L-75×75×6 (B계열)	B-1	B16(2)-P40-G40-E30	1	SY-TR
	B-2	B16(3)-P40-G40-E30	1	TY-SR
	B-3	B16(2)-P50-G40-E35	2	TY-SR
	B-4	B20(2)-P50-G40-E35	1	TY-SR
	B-5	B20(3)-P50-G40-E35	1	TY-SR
	B-6	B16(2)-P50-G35-E35	2	TY-SR
	B-7	B20(2)-P50-G35-E35	1	TY-SR
	B-8	B20(3)-P50-G35-E35	2	TY-SR
	소 계		11개	
L-90×90×7 (C계열)	C-1	C20(2)-P50-G50-E35	1	TY-SR
	C-2	C20(3)-P50-G50-E35	1	TY-SR
	C-3	C20(4)-P50-G50-E35	1	TY-SR
	C-4	C20(2)-P50-G40-E35	1	SY-TR
	C-5	C20(3)-P50-G40-E35	1	TY-SR
	C-6	C20(2)-P60-G50-E35	1	TY-SR
	C-7	C20(3)-P60-G50-E35	1	TY-SR
	C-8	C24(2)-P60-G50-E35	2	TY-SR
	C-9	C24(3)-P60-G50-E35	1	TY-SR
	C-10	C20(2)-P60-G40-E35	1	SY-TR
	C-11	C24(2)-P60-G40-E35	1	TY-SR
	C-12	C24(3)-P60-G40-E35	1	TY-SR
	C-13	C20(2)-P50-G50-E45	1	TY-SR
	C-14	C20(3)-P50-G50-E45	1	TY-SR
	C-15	C20(2)-P50-G55-E55	1	TY-SR
	C-16	C20(3)-P50-G55-E55	1	TY-SR
	C-17	C20(2)-P50-G45-E35	1	SY-TR
	C-18	C20(2)-P60-G35-E35	1	SY-TR
	C-19	C16(2)-P50-G40-E35	1	SY-TR
	C-20	C16(2)-P60-G40-E35	1	SY-TR
	소 계		21개	
총 시험체 수			43개	

주: TY-SR ; 인장항복 전단파단
SY-TR ; 전단항복 인장파단
A16(2)-P40-G35-E30



각각 동일 γ 형강을 50cm로 절단하여 제작하였으며, 시험체의 접합플레이트는 γ 형강 블록전단의

발생에 영향을 미치지 않도록 고강도 강 SM490을 사용하였다. 고력볼트 구멍은 개정 표준시방서에 따라 볼트직경보다 2mm크게 드릴로 제작하였으며 천공과정에서 발생한 오차는 예상블록파괴하중 계산시에 반영하였다.

본 실험에 사용된 시험체의 형상 및 치수는 그림1과 같다.

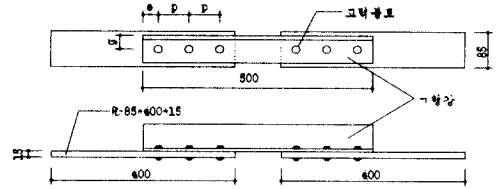


그림 1. 시험체의 형상(단위: mm)
주 p : 피치 e : 연단거리 g : 게이지

2.2 재료 시험

강재의 기계적 성질을 파악하기 위하여 시험체의 인장강으로 사용된 γ 형강의 시험편을 KS B 0801에 따라 L-65×65×6, L-75×75×6은 13호 시험편, L-90×90×7은 5호 시험편으로 각각 2개씩 총 6개의 시험편을 제작하여 KS B 0802에 의해 인장강도시험을 실시하였으며 결과는 표4와 같다.

표 4. 강재의 기계적 성질

시험체 명	항복강도 σ_y (t/cm ²)	인장강도 σ_u (t/cm ²)	항복비 σ_y/σ_u	연신율 Elong(%)
L-65×65×6	3.06	4.41	0.69	34.5
L-75×75×6	3.72	5.38	0.69	27.0
L-90×90×7	3.00	4.60	0.65	35.5

2.3 실험방법

실험은 50ton용량의 만능시험기를 사용하였으며 시험체는 하중 재하시 편심을 억제하기 위하여 시험체의 볼트선과 그림의 중앙선이 일치하도록 하였고, 시험체의 미끄러짐을 방지하기 위하여 접

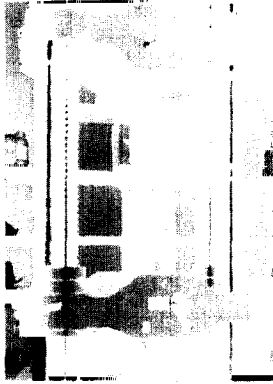


그림 2. 시험체 설치

합플레이트를 그림 전 길이에 밀착되도록 설치하였다.(그림2) 하중 가력속도는 기존 연구결과를 참고하여 3.5t/분 정도로 가하였다. 실험을 진행하면서 면내변형과 면외변형 발생시의 작용하중과 블록전단 파단이 일어나는 최대하중을 측정하였다. 그리고 인장면 파단이 먼저 일어나는 시험체의 경우 전단극한강도계수를 구하기 위하여 인장면 파단후 전단면에 의해 저항되는 하중을 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 실험결과

인장력을 받는 γ 형강의 접합부에 대한 각 시험체의 블록전단 실험결과는 표5와 같다. 그리고 각 설계기준에 따른 예상블록 전단파단하중에 대한 실험파단하중의 비인 전문계수는 표 6과 같다.

3.2 블록전단 파단형상

블록전단 파단이 발생하도록 계획한 43개의 시험체를 실험한 결과 파단형상은 인장항복 전단파단에 의한 블록전단과 전단항복 인장파단에 의한 블록전단의 두가지 형상으로 나타났다.

3.2.1 인장항복 전단파단

인장항복 전단파단이 일어나도록 계획한 36개 시험체의 실험결과 B-6시험체를 제외한 모든 시험체가 인장항복 전단파단이 발생하였는데 접합부에 사용된 볼트의 수(접합부의 길이)에 따라 상이한 파단형상을 보여주었다.

고력볼트 2개를 사용한 비교적 짧은 접합부의 블록전단 파단형상은 공통적으로 면외휨이 발생한 후 면내휨이 나타났다. 그리고 안쪽 볼트에서 초기 미끄러짐이 발생한 후 인장면 단부에서 넥킹이 발생하고 인장면이 먼저 항복되어 파단 되었다.

표 5. 시험체 실험결과

일련 번호	실험 파단하중 (ton)	예상 파단하중 (ton)			예상 블록전단 파단형상	실험 블록전단 파단형상
		ASD	LRFD (1986)	한계상태 설계법		
A-1	15.30	12.17	13.09	12.16	TY-SR	TY-SR
A-2	19.95	15.98	17.78	15.90	TY-SR	TY-SR
A-3	17.75	14.78	14.93	14.73	TY-SR	TY-SR
A-4	16.90	13.41	14.52	13.85	TY-SR	TY-SR
A-5	18.25	16.44	16.31	16.31	TY-SR	TY-SR
A-6	17.70	14.69	15.31	15.22	TY-SR	TY-SR
B-1	21.10	16.65	17.74	17.74	SY-TR	SY-TR
B-2	26.00	21.25	23.37	20.61	TY-SR	TY-SR
B-3	22.40	19.73	19.85	19.15	TY-SR	TY-SR
B-4	21.30	17.62	18.97	17.70	TY-SR	TY-SR
B-5	26.90	23.18	25.79	23.25	TY-SR	TY-SR
B-6	23.75	20.91	21.09	19.89	TY-SR	SY-TR
B-7	24.70	19.27	20.64	18.83	TY-SR	TY-SR
B-8	26.85	24.99	27.57	24.52	TY-SR	TY-SR
C-1	22.30	19.27	19.97	18.33	TY-SR	TY-SR
C-2	27.60	24.83	26.45	23.81	TY-SR	TY-SR
C-3	30.00	30.07	32.63	29.06	TY-SR	TY-SR
C-4	25.00	22.54	23.24	23.24	SY-TR	SY-TR
C-5	31.00	27.82	29.44	25.76	TY-SR	TY-SR
C-6	22.50	21.22	21.25	20.28	TY-SR	TY-SR
C-7	28.20	28.48	28.75	27.55	TY-SR	TY-SR
C-8	24.50	19.52	20.69	19.21	TY-SR	TY-SR
C-9	29.00	25.89	28.10	25.59	TY-SR	TY-SR
C-10	25.50	24.56	24.57	24.57	SY-TR	SY-TR
C-11	27.00	22.47	23.70	21.07	TY-SR	TY-SR
C-12	33.50	28.77	30.98	27.47	TY-SR	TY-SR
C-13	24.00	21.16	21.21	20.21	TY-SR	TY-SR
C-14	28.00	26.69	27.65	25.68	TY-SR	TY-SR
C-15	20.90	21.57	21.17	21.17	TY-SR	TY-SR
C-16	25.70	26.70	27.03	26.32	TY-SR	TY-SR
C-17	23.70	21.41	22.01	22.01	SY-TR	TY-SR
C-18	26.80	26.15	26.21	26.21	SY-TR	SY-TR
C-19	24.10	24.14	23.63	23.63	SY-TR	SY-TR
C-20	24.80	26.42	25.29	23.65	SY-TR	SY-TR

표 6. 시험체 전문계수

시험체	실험파단하중 (ton)	전문계수		
		ASD	L.RFD (1986)	한계상태 설계법
A-1	15.30	1.26	1.17	1.26
A-2	19.95	1.25	1.12	1.25
A-3	17.75	1.20	1.19	1.21
A-4	16.90	1.26	1.16	1.22
A-5	18.25	1.11	1.12	1.12
A-6	17.70	1.20	1.16	1.16
B-1	21.10	1.27	1.19	1.19
B-2	26.00	1.22	1.11	1.26
B-3	22.40	1.14	1.13	1.17
B-4	21.30	1.21	1.12	1.20
B-5	26.90	1.16	1.04	1.16
B-6	23.75	1.14	1.13	1.19
B-7	24.70	1.28	1.20	1.31
B-8	26.85	1.07	0.97	1.10
C-1	22.30	1.16	1.12	1.22
C-2	27.60	1.11	1.04	1.16
C-3	30.00	1.00	0.92	1.03
C-4	25.00	1.11	1.08	1.08
C-5	31.00	1.11	1.05	1.20
C-6	22.50	1.06	1.06	1.11
C-7	28.20	0.99	0.98	1.02
C-8	24.50	1.26	1.18	1.28
C-9	29.00	1.12	1.03	1.13
C-10	25.50	1.04	1.04	1.04
C-11	27.00	1.20	1.14	1.28
C-12	33.50	1.16	1.08	1.22
C-13	24.00	1.13	1.13	1.19
C-14	28.00	1.05	1.01	1.09
C-15	20.90	0.97	0.99	0.99
C-16	25.70	0.96	0.95	0.98
C-17	23.70	1.11	1.08	1.08
C-18	26.80	1.02	1.02	1.02
C-19	24.10	1.00	1.02	1.02
C-20	24.80	0.94	0.98	1.05
평균	A계열 시험체	1.21	1.15	1.20
	B계열 시험체	1.19	1.11	1.20
	C계열 시험체	1.08	1.05	1.11
	모든 시험체	1.13	1.08	1.15

이후 전단면이 파단되었는데 대부분의 시험체는 그림3(a)와 같이 면내휨변형에 의해 파단진행이 이론상의 파단선인 볼트구멍의 중심선이 아닌 볼트선과 γ 형강 돌출부 사이의 슬리드부분으로 진행하였다.

볼트 직경에 관계없이 고력볼트 3, 4개를 사용한 접합부 길이가 비교적 긴 시험체는 그림3(b)

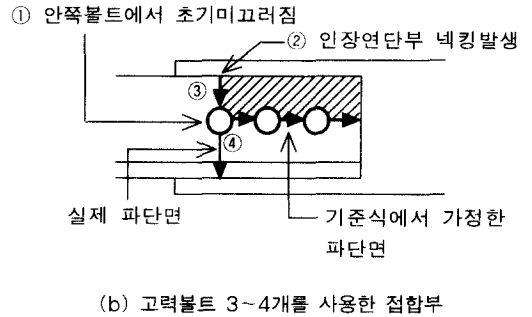
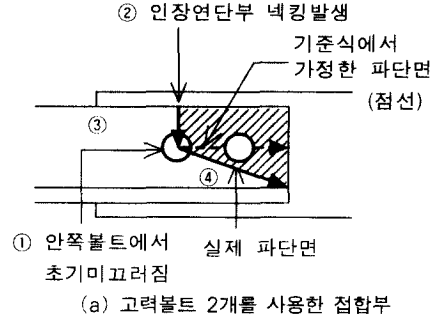
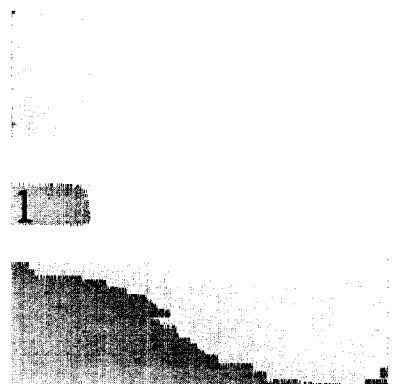


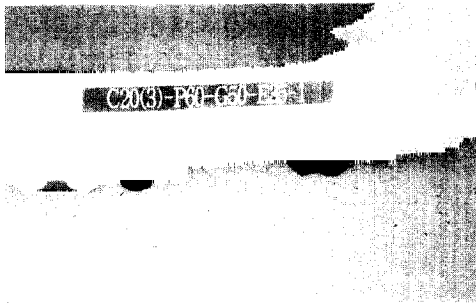
그림 3. 인장항복 전단파단의 시험체 파단순서
주: 숫자는 파단진행순서

와 같이 인장면 파단후에 급격한 면내휨이 발생하여 전단면으로 파단진행을 보이지 않고 순단면파단과 같은 현상이 나타났다. 이것은 인장력을 받는 γ 형강은 편심에 의해 휨이 발생한다는 Epstein의 연구결과⁽⁸⁾와 일치하고 있다.

실제 블록전단 파단형상은 그림4와 같다.



(a) 고력볼트 2개를 사용한 접합부



(b) 고력볼트 3~4개를 사용한 접합부

그림 4. 인장항복 전단파단의 시험체 파단형상

3.2.2 전단항복 인장파단

큰 인장면과 작은 전단면에 의한 전단항복 인장파단의 블록전단 파단이 일어나도록 계획한 7개의 시험체를 실험한 결과 6개의 시험체가 전단항복 인장파단의 블록전단파단이 일어났다.

시험체의 파단과정은 인장항복 전단파단과 같이 면외휨과 면내휨이 발생하였으나 그림5와 같이 전단면 단부가 블록하게 변형되면서 먼저 바깥쪽 볼트중심에서 연단부 방향으로 파단되고 이후 안쪽 볼트중심에서 바깥쪽 볼트중심으로 전단면이 파단되면서 전단면의 파단이 발생하였다. 그리고

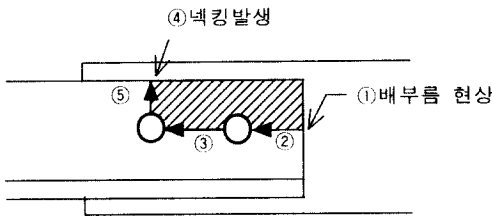


그림 5. 전단항복 인장파단의 시험체 파단형상

주: 숫자는 파단진행순서

볼트의 지속적인 미끄러짐에 의해 안쪽 볼트중심에서 볼트선에 직각방향으로 인장면 단부의 넥킹 현상이 나타나면서 인장면이 파단되었다.

그러나 전단항복 인장파단의 블록전단파단현상은 인장항복 전단파단과는 상이하게 이론상의 볼트 중심선을 통과하여 전단면 파단 및 인장면 파단이 발생하였다.

3.3 전단극한강도계수(C_v)

인장항복 전단파단의 블록전단인 경우 인장면의 파단후에 시험체가 지지하는 하중은 감소하며 일정한 시간동안 전단면이 하중을 지지하게 되는데, 이때의 하중값을 $F_v A_{nv}$ 로 나눈 값을 전단극한강도계수라 한다. R_v 는 전단면에 의해 지지되는 하중이다.

$$C_v = \frac{R_v}{F_u A_{nv}}$$

본 실험의 전단극한강도계수는 표7과 같이 평균 0.80으로 강구조 한계상태설계기준의 전단강도계수 0.60보다 훨씬 크게 나타나고 있다.

이와 같은 결과는 그림6과 같이 전단면에서의 파단면이 이론적인 볼트중심선(a선)을 통과하지 않고 슬리드 부분인 충단면부분(c선)으로 발생하여 전단면적이 크게 증가하였기 때문인 것으로 사

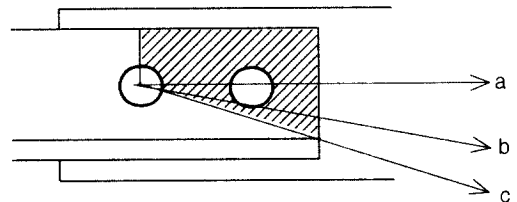


그림 6. 인장항복 전단파단의 블록전단 파단선

- 주 a: 이론 파단선
b: Ziemian 실험 파단선
c: 본 실험 파단선

료된다. 이와 같은 현상은 Zieman⁽¹⁰⁾의 실험에서도 전단파단이 볼트구멍의 순단면을 통과하지 않고 그림6의 파단선 b와 같이 구멍의 끝을 따라 발생하여 전단극한강도계수가 0.71로 나타났다.

따라서 고력볼트 2개를 사용한 시험체에서 위험단면을 총단면으로 가정하여 구멍 1개를 공제하지 않은 A_m 값을 전단면적으로 사용하면 강구조 한계상태설계기준 및 AISC LRFD 와 ASD 기준에서 가정한 0.60에 거의 근접한 0.59의 값이 산출된다(볼트수가 3~4개인 경우에 전단면 파단현상이 발생하여 제외시킴) 따라서 인장항복 전단파단의 경우 파단선이 볼트선이 아닌 총단면으로 발생함을 고려하여 설계기준에서 전단극한강도 값인 $0.6F_uA_m$ 를 재평가함이 필요하며 이에 대한 보다 많은 연구가 필요하다고 사료된다

3.4 접합길이에 따른 영향

A,B,C계열 모두 접합부길이의 증가에 따라 최대극한내력이 증가하였다. 이것은 접합부길이(전단면길이)의 증가로 전단을 받는 순단면적(A_m)이 증가하여 최대내력을 증가시켰기 때문이다. 그러나 전문계수는 표 8에서와 같이 접합부길이가 증가할 수록 전문계수는 작아 진다는 Hardash⁽⁴⁾의 연구결과와 같이 접합부의 전단면이 증가함에 따라 극한내력 증가율은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 파단과정에서 나타난 것과 같이 접합길이가 긴 경우에는 면내 휨모멘트 영향을 크게 받으며 볼트수 증가에 따른 접합부길이가 긴 경우에는 면내휨 영향으로 최대내력에 도달하기 전에 순단면 파단형상의 파괴가 발생되었기 때문인 것으로 사료되며 Epstein의 연구에서도 같은 현상이 나타나고 있다.

3.5 시험체 크기에 따른 영향

같은 재질의 A계열(L-65×65×6), C계열(L-90×90×7) 시험체의 전문계수가 AISC ASD 및 LRFD (1986)와 현행 한계상태설계법에 대해 표 6에서와 같이 A계열은 1.21,

표 7. 인장항복 전단파단 시험체의 전단면 극한강도 및 계수

시험체	최대하중 (ton)	전단면 하중 (ton)	C_r	수정한 A_m 에 의한 C_v
A-1	14.7	10.1	0.88	0.62
A-2'	20.0	15.7	0.91	0.59
A-3	18.2	13.2	0.86	0.66
A-4	16.9	12.5	0.91	0.64
A-5	18.3	14.3	0.81	0.64
A-6	17.7	14.2	0.86	0.64
B-2'	26.0	18.5	0.88	0.45
B-3	22.4	14.3	0.75	0.58
B-4	21.3	14.7	0.89	0.62
B-5'	26.9	20.5	0.80	0.42
B-6	23.6	13.0	0.70	0.53
B-7	24.7	15.3	0.93	0.65
B-8'	25.0	18.7	0.73	0.47
C-2'	27.6	21.5	0.85	0.54
C-5'	31.0	21.3	0.84	0.54
C-6	22.5	15.8	0.80	0.59
C-7'	28.2	21.9	0.69	0.48
C-8	24.5	16.5	0.92	0.63
C-9'	29.0	22.7	0.79	0.50
C-11	27.0	11.0	0.62	0.42
C-12'	33.5	23.3	0.81	0.51
C-13	24.0	14.8	0.75	0.55
C-14'	28.0	21.6	0.76	0.51
C-15	20.9	14.4	0.63	0.48
C-16'	25.7	21.3	0.67	0.47
C-17	23.7	13.2	0.77	0.55
고력볼트 2개를 사용한 시험체			0.81	0.59
고력볼트 3, 4개를 사용한 시험체			0.79	0.50

주: *는 3,4개의 고력볼트를 사용한 시험체

표 8. 접합부길이에 따른 전문계수

시험체	전단면길이(mm)	전문계수	전문계수의 증감
A-1	43	1.26	
A-3	58	1.21	- 0.05
A-5	68	1.12	- 0.09
A-4	56	1.22	
A-6	62	1.16	- 0.06
B-4	52	1.20	
B-5	80	1.16	- 0.04
B-7	52	1.31	
B-8	80	1.10	- 0.21
C-1	52	1.22	
C-2	80	1.16	- 0.06
C-3	108	1.03	- 0.13
C-13	62	1.19	
C-14	90	1.09	- 0.10
C-7	100	1.02	- 0.07
C-15	72	0.99	
C-16	100	0.98	- 0.01

1.15, 1.20 그리고 C계열은 1.08, 1.05, 1.11로 나타나고 있어 모든 기준에서 공히 감소됨을 보여주고 있다(B계열은 재료시험 결과 고강도 강 임으로 제외시킴) 따라서 인장재의 단면적이 증가할수록 실제 극한내력 증가율이 감소됨을 알 수 있으며 이는 단면크기에 따른 영향이 있음을 보여준다.

3.6 설계기준의 비교

1997년 제정된 강구조 한계상태설계법에 있어서 블록전단 산정식 [AISC LFRD기준(1993)과 동일함]과 AISC ASD기준 및 LFRD기준(1986)의 블록전단 산정식을 비교 검토하여 현행 설계식의 합당성을 규명하고자 한다.

각 기준 블록전단 산정식에 의한 표6의 예상 파단하중에 대한 실험파단하중의 비인 전문계수 값을 비교 분석하였다. 우리나라 한계상태설계기준에 대한 전문계수 값은 0.98~1.31범위로 평균 1.15로 나타났으며, AISC ASD기준에 대해서는 0.94~1.28범위로 평균 1.13, AISC LFRD(1986) 기준에 대해서는 0.92~1.20범위로 평균 1.08의 값이 나타났다.

따라서 모든 기준에 대해 몇몇의 예외적인 시험체를 제외하고 대부분 1.0보다 크게 나타나 기준식으로 구한 파단하중 보다 실제파단하중이 큰 것으로 나타나고 있어 각 기준이 합당한 것으로 사료되며 그 가운데 LFRD(1986) 기준이 전문계수가 1.0에 가장 근접하여 가장 합리적인 것으로 나타났다. 각 기준의 예상 블록전단하중과 실험파괴하중 상관관계도인 그림 7~9에서도 상관관계 분포점이 대각선 아래부분에 분포하고 있어 이와 같은 관계를 잘 나타내 주고 있다. 그러나 본 연구결과에서는 우리나라 한계상태설계기준 [AISC LFRD(1993)]이 LFRD(1986) 기준이 과대 평가되었다는 Ziemian의 연구와 개정 LFRD(1993) 기준이 더 정확하다는

Esptein의 연구결과와는 달리 너무 안전측으로 나타나고 있어 이에 대한 보다 지속적이고 많은 연구가 있어야 할 것으로 사료된다.

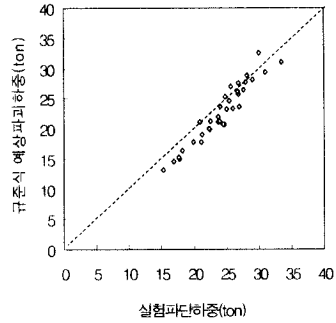


그림 7. AISC LFRD기준(1986)의 예상블록전단하중과 실험파단하중의 비교

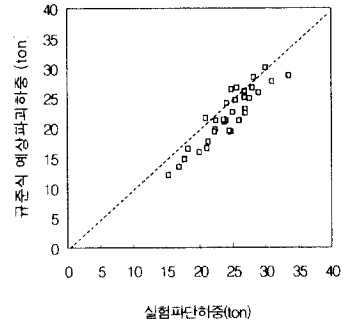


그림 8. AISC ASD기준의 예상블록전단하중과 실험파단하중의 비교

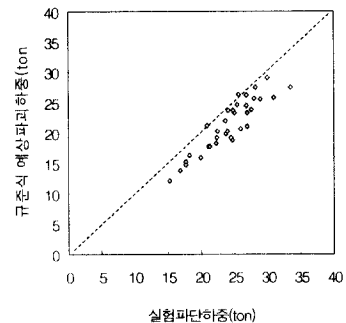


그림 9. 한계상태설계기준의 예상블록전단하중과 실험파단하중의 비교

4. 결 론

강구조 설계기준으로 채택된 한계상태설계법에 의한 γ 형강의 블록전단파단에 관한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 인장항복 전단파단의 시험체는 인장면 파단후에 전단면 파단이 기준식에서 가정한 것과 상이하게 볼트구멍의 중심선이 아닌 볼트선과 γ 형강의 돌출부 사이의 솔리드 부분으로 진행하였고, 접합부 길이가 긴 시험체에서는 면내 휨에 의해 전단면으로 파단진행을 보이지 않고 순단면파단과 비슷한 파단형상이 나타났다. 따라서 전단면 파단선에 대한 재평가가 필요하다.

(2) 전단항복 인장파단이 시험체 블록전단은 기준에서 가정한 것과 같이 전단면파단이 볼트선으로 발생한 후에 인장 순단면 파단이 발생하였다.

(3) 전단극한강도계수는 기준식에서 가정한 0.60보다 큰 0.80으로 나타나고 있어 전단면 파단선이 재평가가 필요하다고 사료된다.

(4) 접합부길이가 증가함에 따라 최대 내력은 증가하지만 상대적으로 블록전단 극한내력의 증가율은 감소하였다.

(5) 인장재의 단면적이 증가할수록 전문계수의 증가율은 감소하고 있어 블록전단 내력은 단면크기에 따라 영향을 받는 것으로 나타났다.

(6) 현행 강구조 한계상태설계기준의 전문계수는 평균 1.15로 예상 블록전단내력보다 약 15% 크게 나타나고있어 앞으로 보다 많은 연구에 의해 블록전단 산정식의 평가가 필요하다고 사료된다.

감사의 말

본 연구는 1998년도 단국대학교 교내연구비 지원에 의해 연구되었으며 아울러 시험체 제작을 지원하여준 강원산업주식회사에 감사드립니다.

참 고 문 헌

(1) Birkemoe, P. C., and Gilmor, M. I.,

"Behavior of Bearing Critical Double Angle Beam Connections," AISC Engineering Journal, Vol. 15, 4th Qtr., 1978, pp. 109-115.

(2) American Institute of Steel Construction, "Allowable Stress Design Specification for Structural Steel Buildings", 8th Ed., Chicago, 1980.

(3) Ricles, J. M. and Yura, J. A., "Strength of Double Row Bolted Web Connection," Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 109, No. ST1, January 1983, pp. 126-142.

(4) Hardash, S. G. and Bjorhovde, R., "New Design Criteria for Gusset Plates in Tension." AISC Engineering Journal, Vol. 22, 2nd Qtr., 1985, pp. 77-94.

(5) American Institute of Steel Construction, Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings, 1st Ed., Chicago, 1986.

(6) American Institute of Steel Construction, Allowable Stress Design Specification for Structural Steel Buildings, 9th Ed., Chicago, 1989.

(7) Adidam, N. S., "Analysis of Block Shear Experiments for Structural Steel Angle in Tension," M.S. Thesis, University of Connecticut, 1990.

(8) Haward I. Epstein., "An Experimental Study of Block Shear Failure of Angles in Tension," AISC Engineering Journal, 2nd Qtr., 1992, pp. 75-84.

(9) American Institute of Steel Construction, "Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings", 2nd Ed., Chicago, 1994.

(10) Jeremy M. G. James G. O. and Ronald D. Z., "Block Shear Tests in High-Strength Steel Angles," AISC Engineering Journal, 3rd Qtr., 1995, pp. 117-122.

(11) Haward I. Epstein., "Effect of the Latest LRFD Block Shear Code Change,"

AISC Engineering Journal, 1st Qtr.,
1996, pp. 30-33.

- (12) Haward I. Epstein., "Block Shear of
Structural Tees in Tension-Alternate

Paths." AISC Engineering Journal, 4th
Qtr., 1996, pp. 147-152.

(접수일자 : 1998년 10월 10일)