접합부 형식에 따른 큰보-작은보의 내력에 관한 연구

Allowable Resistance of Girder to Beam Connection with Variable Connection Types

손홍걸* 최병정**

Son, Hong-Geol Choi, Byong Jeong

ABSTRACT

The aim of this paper is to evaluate the connection resistance for the rigid connection, semi-rigid connection and simple connection by LRFD and ASD codes. This paper found the resistable stress for various connections with eccentricity. The paper suggested a amended connection pattern to get rid of deficits caused from the eccentricity.

1. 서 론

20세기에 들어서면서 건축물의 대형화, 고층화, 다양화가 요구되고, 철강 산업이 비약적으로 발전하기 시작하면서 많은 건물에서 철골 구조를 사용하게 되었다. 이와 동시에 철골건물은 충분한 안전성과 사용성을 확보하면서, 시공성과 경제성까지 고려하는 합리적이고 효율적인 설계와 시공이 요구되었다.

철골구조물에 있어서 접합부는 구조체의 거동 및 응력전달과 같은 구조적인 문제와 부재 제작 및 설치 등과 같은 시공적인 문제에 큰 영향을 미치는 중요한 구조요소이다. 그러므로 구조계획단계에서 응력전달 방법, 건축물의 형태와 규모, 시공성 및 경제성 등을 고려하여 접합방법을 결정하여야 한다.

국내의 경우, 강구조의 접합부는 대부분 단순접합(simple connection)과 강접합(rigid connection)으로 설계되며, 특히 큰보-작은보의 접합은 시공상의 편의성 때문에 큰보에서 외부로 돌출 시킨 플레이트를 이음판로 사용하고 작은보와 플레이트를 볼트로 연결하는 돌출형 단일플레이트에 의한 단순접합을 가장 많이 볼 수 있다.

돌출형 단일플레이트에 의한 단순접합은 볼트가 큰보의 중심에서 보통 10~20cm정도 떨어져서 체결되기 때문에 작은보의 하중이 큰보의 전단중심(shear center)에 작용하지 않게 되고 편심거리만큼 편심모멘트가 생기게 된다. 그러므로 발생하는 편심모멘트도 함께 고려하여 접합부 설계를

* 학생회원 · 경기대학교 대학원, 대우건설(주) 차장
** 정회원 · 경기대학교 건축학부, 조교수

하여야 하지만 대부분 편심모멘트를 무시하고 전단력만으로 설계하는 경향이 있다. 그러나 편심모멘트를 무시하고 설계하는 경우 접합부의 허용내력이 과대하게 평가되어 접합부에 최대 하중이 작용할 때 접합부에서 심각한 문제를 초래하게 된다.

특히 근래에 일본 니가타 현에서 발생한 대규모 지진을 비롯하여 인접 국가에서 지진이 자주 발생하는 시점에서 국내도 지진에 대한 안전성을 과신할 수 없게 되었고, 철골구조물이 많은 국내에서 이러한 접합부 설계는 다각적으로 재검토되어야 할 시점이라고 생각된다.

그러므로 본 논문에서는 실제 구조물에 사용되는 접합방식에 대하여 적정성을 검증하고 허용내력을 구하여, 주어진 하중에 가장 바람직한 접합 방법을 제시하는 것을 목적으로 한다.

2. 접합부의 개요

접합부은 일반적으로 세가지 타입으로 구분될수 있다. 모멘트접합(강접합, FR, Fully Restrained), 반강접합(PR, Partially Restrained), 및 단순접합(Shear Connection)으로 분류할수 있다.[1] 일반적으로 실제의 접합에서는 회전강성, $K_\theta = \infty$인 경우는 거의 존재하지 않는다. 또한 $K_\theta = 0$인 경우도 존재하지 않기 때문에 대부분의 접합은 반강접합에 해당한다. 접합부의 형식은 완전강성 또는 완전모멘트저항이 발휘할 수 있는 고정도에 따라서 단순접합은 0~20%, 반강접합은 20~90%, 강접합은 90~100%의 고정도를 갖는 것으로 보기도 하지만, 보다 정확한 표현을 쓰자면 보와 접합부의 상관강성도, R (Relative Stiffness)를 이용하고 있다.

$$R = \frac{K_\theta}{\frac{EI}{L}} \tag{1}$$

식(1)에서 K_θ는 접합부의 회전강성이고 보의 강성은 EI/L 이다. 접합부에서의 모멘트는 접합부 회전강성과 회전각의 크기에 비례한다.

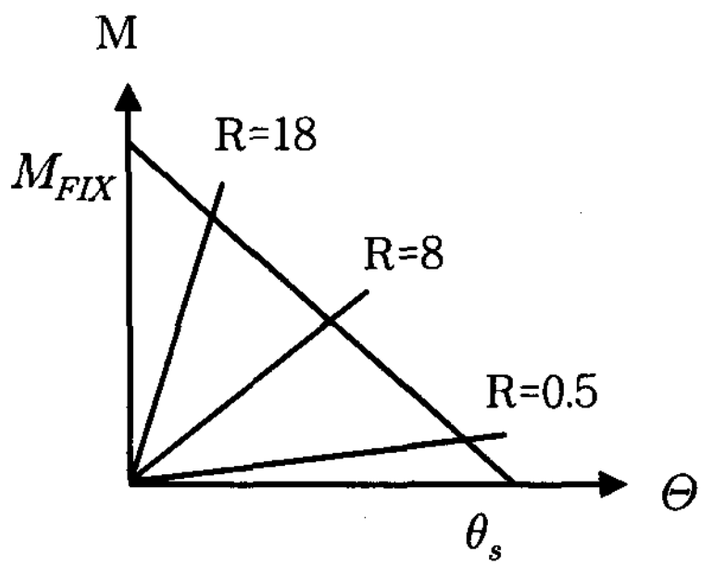


그림 3. 접합의 종류의 분류

$$\frac{M}{M_{FIX}} + \frac{\theta_c}{\theta_s} = 1 \tag{2}$$

식(2)에서 알 수 있듯이 Beam Line 곡선의 상관관계식은 항상 1이 되어야 함을 알 수 있다. 본 연구에서는 앵글과 플레이트로 접합된 단순접합부의 내력을 현행 허용응력도와 한계상태 기준에 근거하여 분석하여 보고 문제점을 보완하는 것을 목적으로 한다.

3. 접합합부의 설계내력산정 및 분석

3.1 한계상태설계법

철골구조 접합부의 한계상태 설계에서는 접합부의 설계강도를 접합부의 소요강도 이상이 되도록 설계하여야 하는데, 이 조건을 식으로 표현하면 식(3)과 같다.

$$\phi \ R_n \geqq S_u \tag{3}$$

여기서, ϕ : 강도감소계수, R_n : 접합부의 공칭강도, S_u : 종국 한계상태에서의 접합부의 소요강도이다. 각각의 설계요소를 분석은 다음식에 의해서 내력을 산정하였다.(식(4)~식(8))

고력볼트 전단강도

$$\phi \ S_s = \phi \ n \ A_b \ F_{ss} \tag{4}$$

여기서, ϕ : 강도감소계수 (= 0.9)

S_s : 볼트의 전단강도 (tf/cm^2)

n : 전단면수, A_b : 고력볼트의 축부 공칭단면도 (cm^2)

F_{ss} : 고력볼트의 미끄럼강도 (tf/cm^2)

2) 지압강도 검토

$$\phi \ R_n = \phi \ 2.4 \ F_u \ A_{pb} \tag{5}$$

여기서, ϕ : 강도감소계수 (= 0.75)

F_u : 강재의 인장강도 (tf/cm^2)

A_{pb} : 투영된 지압면적 (cm^2)

3) 이음판의 전단파단강도

$$\phi \ R_n = \phi \ 0.6 \ F_u \ A_{nv} \tag{6}$$

여기서, ϕ : 강도감소계수 (= 0.75)

F_u : 강재의 인장강도 (tf/cm^2)

A_{nv}: 전단저항 순단면적 (cm^2)

4) 이음판의 전단항복강도

$$\phi \ R_n = \phi \ F_y \ A_{gv} \tag{7}$$

여기서, ϕ : 강도감소계수 (= 0.9)

F_y : 강재의 인장강도 (tf/cm^2)

A_{gv}: 전단저항 총단면적 (cm^2)

5) 블록전단 검토

- $F_u \ A_{nt} \geqq 0.6 \ F_u \ A_{nv}$ 인 경우 (8)

$$\phi \ R_n = \phi \ [0.6 \ F_y \ A_{gv} + F_u \ A_{nt}]$$

- $F_u \ A_{nt} < 0.6 \ F_u \ A_{nv}$ 인 경우

$$\phi \ R_n = \phi \ [F_y \ A_{gt} + 0.6 \ F_u \ A_{nv}]$$

여기서, ϕ : 강도감소계수 (= 0.75)

6) 용접강도

$$\Phi P_w = \phi \ F_w \ A_w \tag{9}$$

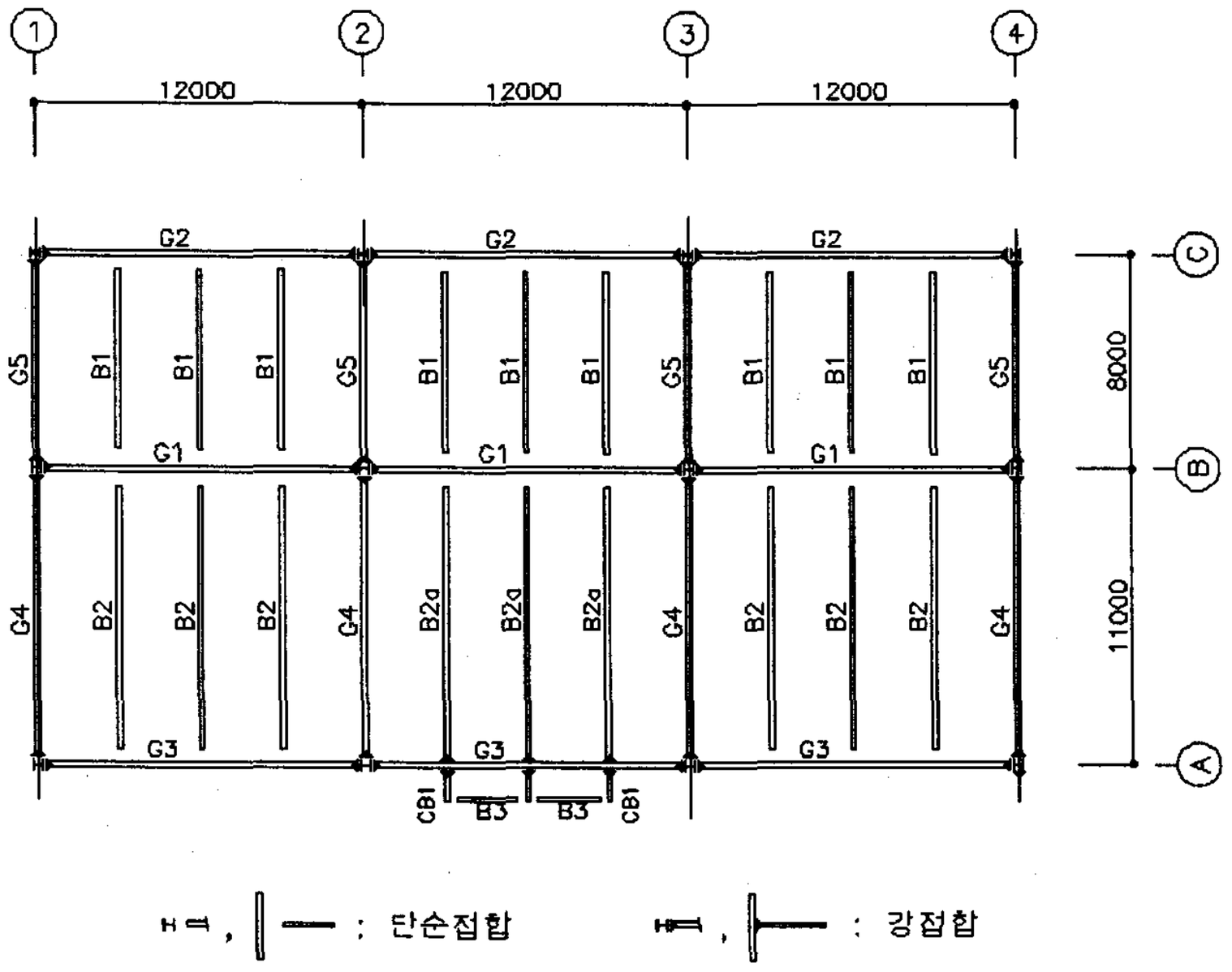
여기서, $\phi = 0.9$

$F_w = 0.6F_y$ (용접의 공칭강도로 모살용접의 전단인 경우)

A_w : 유효면적

3.2 한계상태설계법에 의한 설계내력 모델

일반적인 철골건물의 구조평면(그림 4)에 고정하중 440kg/m^2, 활하중 500kg/m^{2}이 작용하고 강재 및 접합재는 SS400을 사용하며, 고력볼트는 F10T로 접합 할 때, 한계상태 설계법에 따른 큰보-작은보의 접합형식별 설계내력을 산정한다. 허용응력도에 의한 공식은 여기서는 생략하기로 한다.



주요 철골부재

B1, G5 : H-450x200x9x14 G1 : H-800x300x14x26

B2, B2a,G4 : H-488x300x11x18 G2 : H-600x200x11x17

G3 : H-588x300x12x20

그림 4 일반적인 철골건물의 구조평면과 부재목록

4. 비교분석 및 개선안 제안

4.1 설계내력

표와 그림에서 돌출형 단일플레이트에 의한 접합은 SPO로, 삽입형 단일플레이트에 의한 접합은 SPI로, 이중플레이트에 의한 접합은 DP로, 볼트를 사용한 복앵글에 의한 접합은 DABB로, 그리고 볼트와 용접을 사용한 복앵글에 의한 접합은 DAWB로 표현하였다, 또한 볼트 전단력 효율은 편심이 없을 때 전체 볼트가 받을 수 있는 전단력에 대한 편심을 고려한 전체 볼트가 받을 수 있는 전단력의 비를 백분율로 표현하였다.

표 4-1 G3과 B2의 접합형식별 한계상태설계법에 의한 설계강도

		강도 (tf)	결정요소	편심 거리 (cm)	안전성 판정	편심이 없을 때 볼트전단력	볼트전단력 효율(%)
소요강도		21.91	-	-	-	-	-
설계강도	SPO	12.89	볼트전단(6-M20)	19.5	N.G	38.16	33.8
	SPI	20.48	볼트전단(6-M20)	11	N.G	38.16	53.7
	DP	25.79	볼트전단(6-M20)	19.5	O.K	76.32	33.8
	DABB	47.06	보 웨브 블록전단	-	O.K	-	-
	DAWB	50.88	볼트전단(4-M20)	-	O.K	-	-

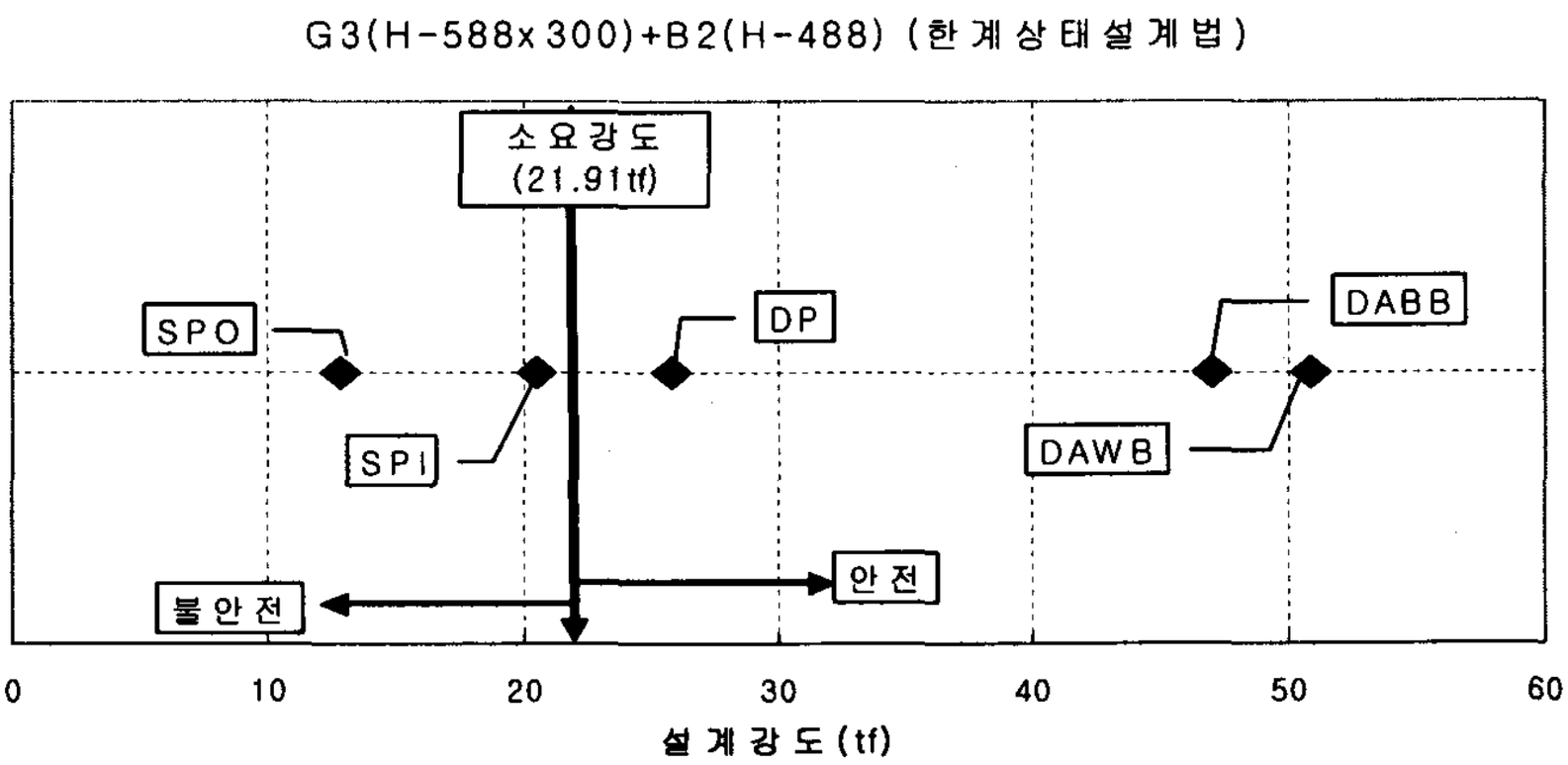


그림 5 한계상태설계법에 의한 강도 비교(G3+B2)

표 4-2 G2와 B1의 접합형식별 한계상태설계법에 의한 설계강도

		강도 (tf)	결정요소	편심거리 (cm)	안전성 판정	편심이 없을 때 볼트전단력	볼트전단력 효율(%)
소요강도		15.94	-	-	-	-	-
설계강도	SPO	12.16	볼트전단(5-M20)	14.5	N.G	31.8	38.2
	SPI	22.49	볼트전단(5-M20)	6	O.K	31.8	70.7
	DP	24.31	볼트전단(5-M20)	14.5	O.K	63.6	38.2
	DABB	29.93	보 웨브 블록전단	-	O.K	-	-
	DAWB	38.16	볼트전단(3-M20)	-	O.K	38.16	100

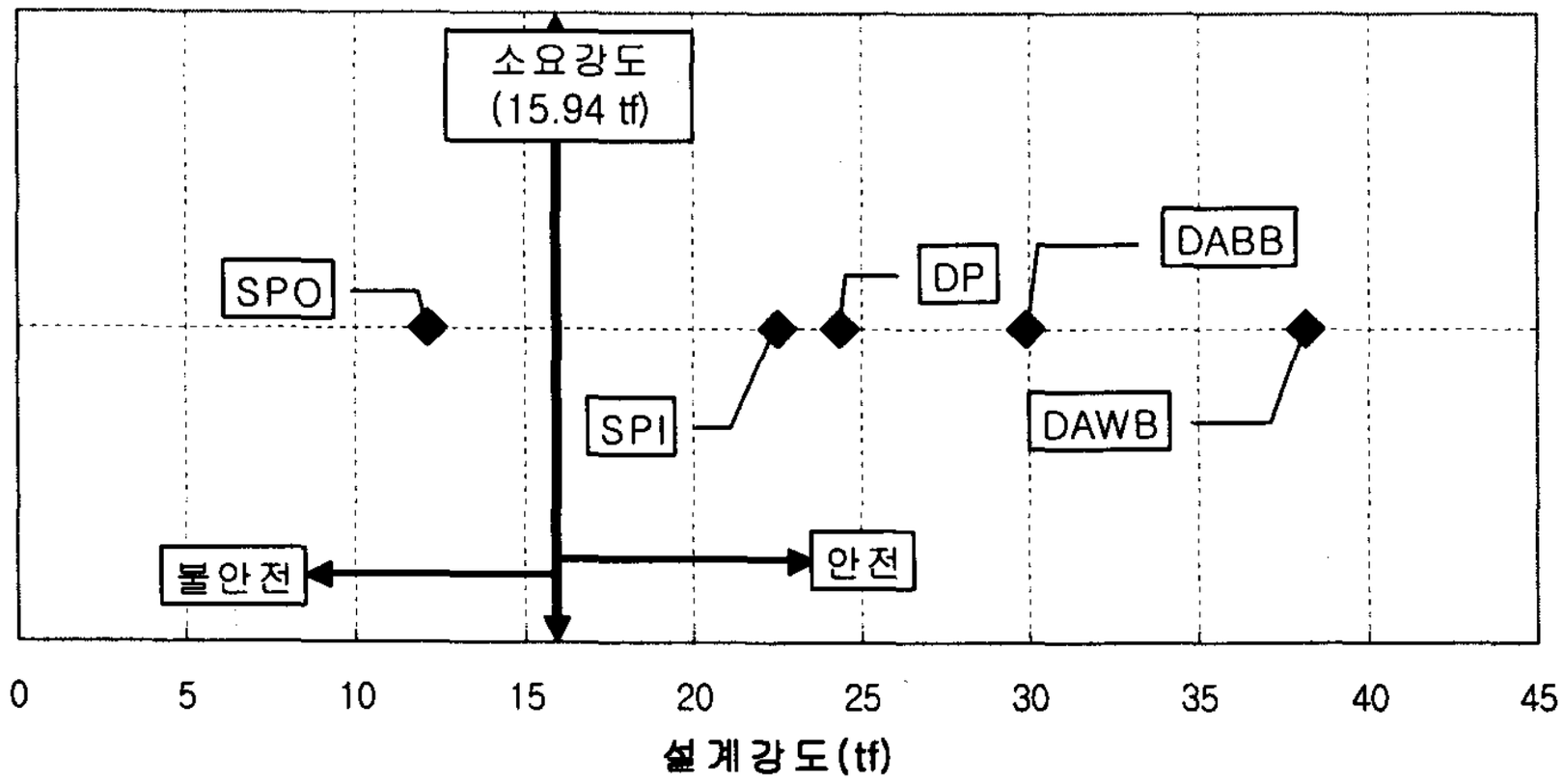


그림 6 한계상태설계법에 의한 강도 비교(G2+B1)

4.2. 비교분석 및 개선안 제안

1) 돌출형 단일 플레이트에 의한 접합

볼트의 체결 등의 시공성이 우수하여 국내현장에 가장 많이 사용하고 있는 접합방법으로, 단순히 수직전단력에 대한 볼트전단력 등을 검토하면 모두 안전한 것으로 판정된다. 하지만 수직전단력과 편심에 의한 수평전단력에 의한 합력으로 계산하면, 소요강도가 설계강도보다 크므로 불안전한 접합이 된다. 이는 한계상태의 경우, G2와 B1의 접합에서 편심이 없을 때의 볼트전단강도와 비교할 때 33.8%의 효율만을 나타내고 있어 편심에 의해 66.2%의 강도가 저하되었다고 할 수 있다. 결과적으로 돌출형 단일플레이트에 의한 접합은 편심에 의하여 내력이 크게 저하되어 가급적 사용하지 않는 것이 바람직하며, 소부재 등에 사용하더라도 반드시 구조검토 후 사용하여야 한다.

2) 삽입형 단일 플레이트에 의한 접합

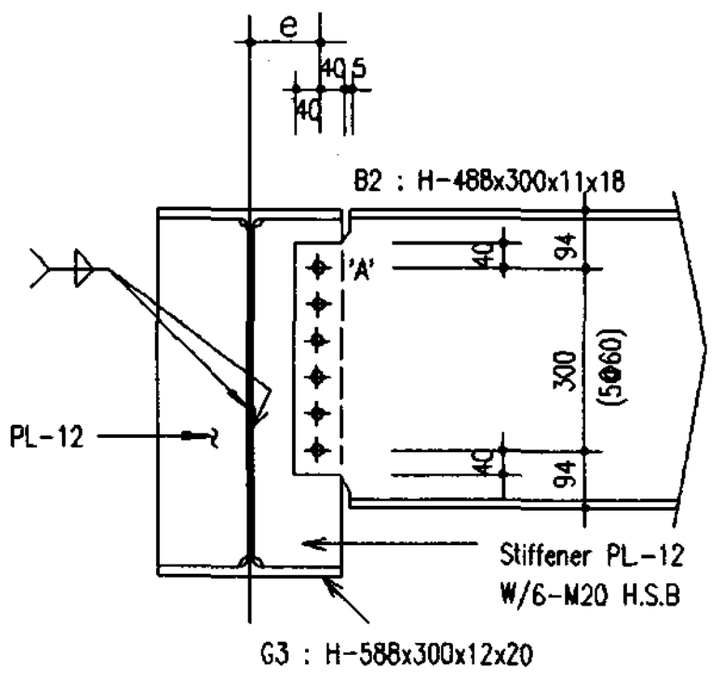
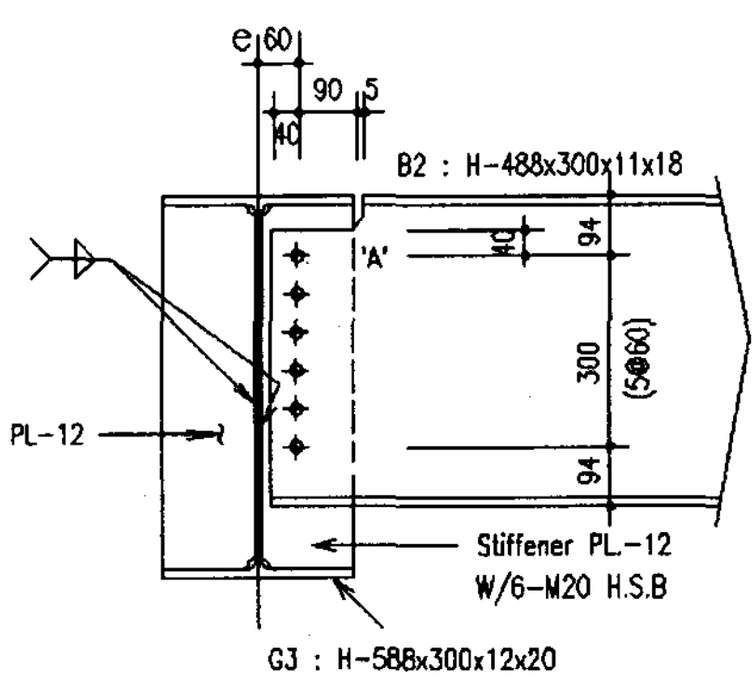
큰보-작은보 접합의 중심을 큰보 내부쪽으로 유도함으로써 편심거리를 줄여 접합부의 설계내력을 돌출형 단일 플레이트의 설계내력보다 크게 증가 시킬 수 있다. 특히 큰보의 폭이 200mm일 경우, 편심을 최소화하여 볼트 전단력의 효율이 70.7%로 증가되었다. 전단력이 크지 않은 일반적인 건물에서, 휨모멘트에 의하여 결정된 작은보는 특별한 구조검토 없이 삽입형 단일 플레이트에 의한 접합을 사용하여도 안전하다고 판단된다. 그러나 큰보의 폭이 250mm, 300mm일 경우, 현재 일반적으로 적용되는 삽입형 단일플레이트 같은 접합은 편심에 의한 영향으로 볼트전단력의 효율이 53.7%로 설계내력이 부족할 수도 있으므로 반드시 구조검토 후 사용하여야 한다. 제안하는 있는 접합부의 특징은 큰보의 폭에 관계없이, 큰보의 전단중심에서 볼트군의 중심까지의 편심거리를 일정하게 한다는 것이다. 즉 편심거리를 60mm으로 고정하여 일정하게 유지함으로 편심으로 인한 설계내력 손실을 최소화 하는 것이다. 이때 단순히 볼트 접합에 필요한 만큼 작은보의 웨브를 큰보 안으로 끌어 들인다면, 편심에 의한 휨과 전단에 의한 조합응력에서 접합내력의 손실이 클 수 있음으로 하부 플랜지의 절반은 절단하지 않고 접합부까지 인입시키도록 한다.

3) 이중플레이트에 의한 접합

이중 플레이트(Double Plate)에 의한 접합은 1항의 결과 값과 같이 볼트의 전단효율은 외부 돌출형 단일 플레이트에 의한 접합의 내력과 같지만, 이중 플레이트에 의한 2면 전단으로 접합부 내력을 증가시켜 안전하다. 표 4-3은 기존의 표준도와 개선안을 한계상태설계법에 의한 설계강도 등

을 비교분석한 것이다.

표 4-3 표준도와 개선안의 비교

	표준도	개선안
형 상		
특 성	-작은보를 기준으로 볼트위치 결정 -편심거리가 크고, 큰보의 폭에 따라 변화 -상하 플랜지 절단	-큰보를 기준으로 볼트위치 결정 -편심거리가 작고, 60mm로 일정 -상부플랜지 절단, 하부플랜지 절반만 절단
설계강도 (한계상태)	20.48tf	28.97tf
볼트의 전단력 효율	53.7%	75.9%
개선효과	-설계강도와 볼트전단력의 효율이 편심거리가 축소된 만큼 증가 한다 -전단력이 크지 않는 일반적인 건물에서, 휨에 의하여 결정된 작은보는 특별한 구조검토 없이 개선안을 사용하여도 안전하다	

큰보의 폭에 의한 편심거리에 따라 볼트의 내력에 차이가 있으나, 특이하게 전단력이 크게 않는 일반적인 건물에서, 휨에 의하여 결정된 작은보는 특별한 구조검토 없이 이중 플레이트에 의한 접합을 사용하여도 안전하다고 판단된다.

발전소 등의 플랜트 구조물에서 큰 전단력을 받을 경우, 큰 보의 폭이 300mm이고 이중플레이트에 의한 표준접합 상세를 사용하였으나 전단력이 부족한 경우에는 볼트의 크기를 M22로 키우거나, 표준접합 상세를 응용하여 특기 상세를 사용한다면, 큰 접합내력을 확보 할 수 있다.

4) 볼트를 사용한 복앵글에 의한 접합

복앵글에 볼트만을 사용한 접합방법은 AISC의 기준과 같이 편심의 영향을 무시 할 수 있고 복앵글에 의한 볼트의 2면 전단이 가능하여 플레이트에 의한 접합보다 볼트개수를 줄일 수 있다. G3와 B2 접합과 G2와 B1의 접합에서도 각각 볼트의 개수를 플레이트에 의한 접합보다 2개씩 줄여서 사용하여도 볼트의 내력은 부족하지 않았다.

이 접합방법에서의 설계강도의 결정요소는 다른 방법과 달리 보의 웨브의 블록전단에 의한 파

괴이며, 이는 볼트개소의 축소로 보 웨브와 복앵글의 접합면적이 줄어들었기 때문이다. 하지만 플레이트의 접합방법에 비해 큰 설계내력을 갖고 있다.

5. 결 론

이 때 사용된 접합재와 하중은 실제 건물의 평면을 바탕으로 실무에서 가장 많이 사용되거나 앞으로 사용 권장 할 수 있는 기존의 표준접합부 5가지를 대상으로 설계내력을 산정하였으며, 이를 비교분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 사례조사에 의하면, 국내에서 큰보-작은보의 설계시, 큰보의 중심에서 접합볼트의 중심까지의 편심거리에 의한 내력저하를 고려하지 않은 경향이 있으나, 설계내력이 크게 저하가 되므로 반드시 고려해야 한다.
2. 외부 돌출형 단일플레이트에 의한 접합은 편심으로 인한 강도저하가 크므로 가급적 사용하지 않는 것이 바람직하며, 사용한다면 반드시 구조검토가 이루어져야 한다.
3. 내부 삽입형 단일플레이트에 의한 접합은 큰보의 폭이 200mm이하 경우, 일반구조물에서 휨에 의하여 결정된 작은보는 특별한 구조검토 없이 표준도에 의하여 사용하여도 안전하다고 판단된다. 하지만 폭이 250mm이상인 경우에는 편심에 대한 영향을 피하기 위하여 개선안을 제안한다.
4. 이중플레이트에 의한 접합은 일반적인 구조물에서 표준도에 의하여 사용하여도 안전하다. 큰 전단력이 요구될 때에는 그림 4-17과 같은 방법으로 응용하여 사용 할 수 있다.
5. 복앵글에 의한 접합은 편심의 영향을 무시 할 수 있어, 플레이트에 의한 접합보다 큰 설계내력을 얻을 수 있다. 현재 국내 현장에서는 익숙하지 않아, 시공성 등을 이유로 많이 사용하고 있지 않지만, 앞으로 구조적인 장점으로 사용빈도가 높을 것으로 사료된다.
6. 국내 현장작업자 등이 복앵글 접합보다는 플레이트 접합에 익숙하다는 시공성을 고려한다면, 큰보-작은보의 접합은 삽입형 단일플레이트(개선안)에 의한 접합과 이중 플레이트에 의한 접합이 현실적으로 바람직한 접합이라고 할 수 있다.

현재 큰보와 작은보의 접합은 강구조에서 가장 많이 사용하고 있는 접합방법 중의 하나라고 할 수 있으나, 보와 기둥의 접합과 비교하여 실험 데이터나 연구논문이 많지 않다. 그러나 편심에 의한 접합부와 큰보의 거동, 편심 발생시 상부 콘크리트 슬라브의 영향 등은 향후 계속 활발한 연구가 이루어져야 할 것이다. 상부 구조를 통한 지진하중에의 저항가능성에 대한 후속연구가 있을 예정이다.

참고문헌

1. LRFD, AISC, Chapter A, A2, p. 16.1.1
2. 김석중, 전단접합부의 거동과 실제, 강구조학회지, 제11권 3호, 1999년
3. 김상식, 윤성기, “철골구조설계”, 문운당, 2000
4. 강구조학회, 전면개정 강구조의 설계, 구미서관, 2004
5. Charles G. Salmon & John E. Johnson, Steel Structures Design and Behavior, Fourth Edition, 1996