



이음면 이격이 확장형 단부판 이음부 성능에 미치는 영향에 대한 실험적 연구

김철환¹ · 이명재² · 김희동^{3*} · 김사빈⁴

¹교수, 경북대학교, 건축토목공학부, ²교수, 중앙대학교, 건축학부,

³부교수, 인하공업전문대학, 건축과, ⁴석사과정, 경북대학교 대학원

Experimental Study of the End-plate Gap Effect on the Performance of Extended End-plate Type Splice

Kim, Cheol Hwan¹, Lee, Myung Jae², Kim, Hee Dong^{3*}, Kim, Sa Bin⁴

¹Professor, School of Architecture and Civil Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 41566, Korea

²Professor, School of architecture and building science, Chungang University, Seoul, 06974, Korea

³Associate Professor, Department of Architecture, Inha Technical College, Incheon, 22212, Korea

⁴Graduated student, School of architecture and civil engineering, Kyungpook National University, Daegu, 41566, Korea

Abstract - This study is experimental research for the effect of gap at the end plate on the performance of extended end-plate type splice. For this research, simple beam type specimens by using extended end-plate type splice are planned. Main variables are the initial gap between end-plates, the installation of finger shim plate before the installation of high tension bolts, the final gap between end-plates, and the installation of finger shim plate after the installation of high tension bolts. The static loading tests results show that the maximum bending strength of splice is not dependent on the gap, but the vertical displacement, initial stiffness and elastic stiffness are affected by the gap. In addition to that, the possibility of brittle fracture is increased when the torque of high tension bolt is used to control the gap. Thus, careful consideration is needed in this case.

Keywords - Extended End-Plate Connection, Gap, Splice performance, Pre-engineered metal building system

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 국내에서 발생한 상황들로 인하여 공업화박판강구조(P.E.B system)에 대한 관심과 우려가 동시에 높아져 있는 상황이다. 이와 관련하여 (사)한국강구조학회에서는 안전에 대한 우려 없이 공업화박판강구조를 효율적으로 설계

및 시공할 수 있도록 “공업화박판강구조 설계 및 시공 지침”^[1]을 제정하였다. 또한 실무적 차원에서도 공업화박판강구조가 특수구조물로 분류되어 설계 및 감리 단계에서 구조기술사의 확인이 필요하게 됨에 따라 설계 및 시공시 구조 안전성을 확보할 수 있는 다양한 방안이 규정되고 있는 상황이다. 따라서 향후 공업화박판강구조물의 설계 및 시공이 현재보다는 좀 더 긍정적인 방향으로 확대 되리라 기대가 되고 있다.

그러나 공업화박판강구조에서 일반적으로 부재의 접합 및 이음을 위해 적용되는 단부판 접합 및 이음방식(end plate type connection and splice)의 경우 시공의 용이성과 우수한 구조적 성능^{[2],[3]}으로 인하여 미국 및 유럽 등에서는 다양한 강구조 건축물의 설계 및 시공에 널리 사용되고 있으나 국내에서는 아직 그 사용이 일반적이지 않아 구조엔지니어와 강구조물의 제작 및 설치를 담당하는 업체 그리고 감리를 수행해야 하는 구조 전문가 모두에게 익숙하지 않은 방

Note.-Discussion open until June 30, 2017. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on May 13, 2016; revised September 28, 2016; approved on October 18, 2016.

Copyright © 2016 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-32-870-2251 Fax. +82-32-870-2512

E-mail. drkimhd@inhac.ac.kr

식이다. 더욱이 국내에는 구조물의 제작 및 설치시 발생할 수 있는 단부판의 오차가 접합 및 이음부 성능에 미치는 영향에 대한 명확한 규정이 없는 상황이다.

따라서 단부판 이음부의 양쪽 이음면이 특정 원인으로 완전 밀착되지 못하고 일부에서 이격(gap)이 발생하는 오차가 있을 경우 이에 대한 적절한 대응 방안 마련에 대한 명확한 지침이 없어 설계, 시공 및 감리 등의 실무에서는 큰 혼선이 발생할 우려가 있는 것이 현실이다.

현재 단부판 방식의 접합부 및 이음부 설계법 보급을 위하여 관련 설계 매뉴얼이 제작 중에 있으며, 이와 관련된 연구들^[4]도 국내에서 진행이 되고 있다. 그러므로 단부판 방식의 접합부 및 이음부 설계법은 공업화박판강구조에 국한된 것이 아니라 향후 국내에서 구조엔지니어들이 다양한 강구조물에 용이하게 사용할 수 있는 기반이 확립될 것으로 기대된다. 따라서 국내 단부판 방식의 접합부 및 이음부의 원활한 사용을 위해서는 제작 및 설치시 발생 가능한 단부판 이격이 접합 및 이음부 성능 저하에 미치는 영향과 그 대응방안에 대한 명확한 검증이 필요하게 된다.

이에 본 연구는 단부판 이음부 이음면에서 발생할 수 있는 시공 오차에 따른 이격의 영향과 이에 대한 대응 방안을 실험적으로 평가하여 향후 단부판 이음부의 시공 오차 관리에 기본 자료로 제공하고자 하는데 그 목적이 있다.

1.2 단부판 허용 오차 관련 기준

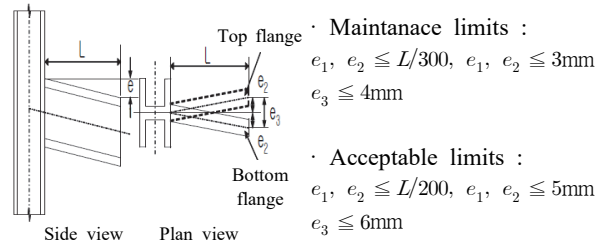
단부판 이음부에서 발생 가능한 오차 중 이음면의 이격은 많은 경우 지붕보(rafter) 제작시 발생하는 길이 및 수직도 오차로 인한 것과 단부판 용접시 발생하는 열변형으로 인한 것이다. 특히 단부판 용접시 발생하는 열변형에 의한 영향은 확장형 단부판(extended type end plate)에서 주로 발생하게 된다.

현재 국내 강구조물 제작 및 시공 오차와 관련된 기준은 건축공사표준시방서^[5]와 강구조공사 표준시방서^[6]가 있다. 이들 표준시방서에는 접합부와 관련된 보 부재의 길이 및 수직도 오차 한계와 관련하여 Fig. 1과 같은 사항들을 제한하고 있다.

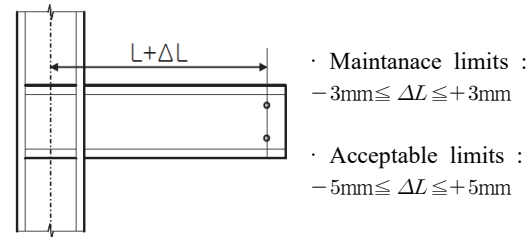
그러나 단부판 이음부에 대한 오차 한계를 명확하게 제한하고 있지는 않으며, 건축공사표준시방서 강구조공사편 부록에서는 확장형 단부판 이음부와 유사한 형상을 가진 베이스 플레이트의 경우 꺾임 및 요철에 대해서 Fig. 2와 같은 제한 사항을 두고 있으나 이를 역학적 거동이 다른 단부판 이음

부에 동일하게 적용하는 것은 무리가 있을 것으로 판단된다.

단부판 이음부의 사용이 일반화 되어 있는 미국의 경우 AISC design guide 4에서 단부판 이음면에서 발생하는 약

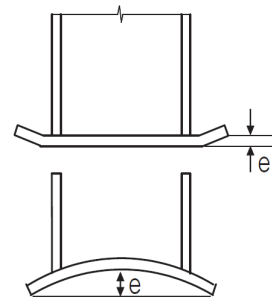


(a) The angle of connection



(b) The length of connection

Fig. 1. The limits of deformation (connection)



Maintenance limits : $e \leq 2 \text{ mm}$
Acceptable limits : $e \leq 3 \text{ mm}$

Fig. 2. The limits of deformation (Base plate)

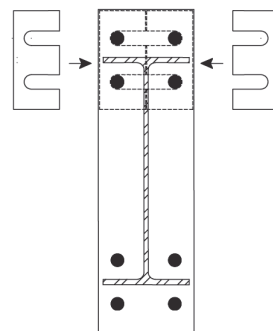


Fig. 3. Finger shim (AISC)

4.7mm(3/16 inch)에서 약 9.5mm(3/8 inch) 사이의 이격(gap)은 Fig. 3과 같은 끼움판(finger shim)을 이용하여 보정할 수 있도록 허용하고 있다. 따라서 시공 현장에서 발생한 오차에 대한 명확한 판단 기준이 되고 있으며 이에 준하여 현장 대응 또는 재제작을 결정하고 있다.

1.3 연구 추진 방법

공업화박판강구조에 적용되는 단부판 이음부의 이음면 이격이 이음부 성능에 미치는 영향을 평가하기 위해 본 연구에서는 실험적 방법을 적용하였다.

실험적 평가를 위한 단부판 이음 상세는 용접열에 의한 변형으로 현장에서 이음면 이격 발생 우려가 큰 확장형 단부판 이음부(extended end plate splice)를 적용하고, 이음면에 이격이 없는 경우(단부판 완전 밀착)와 인위적으로 이격(gap)을 발생시킨 경우, 그리고 이에 대한 조치(고력볼트 조임, 끼움판 설치 등)를 취한 경우를 대상으로 하여 정적 가력 실험을 수행하여 이음부의 성능을 정량적으로 평가하였다.

또한 실무에서 공업화박판강구조의 단부판 이음부 설계 시 적용하고 있는 설계 방식(AISC design guide 4, 16^{[2],[3]})에 따른 설계 내력과 실험 결과를 비교하여 이음면에 발생하는 이격이 설계 내력 감소에 어떤 영향을 미치는지도 평가를 하였다.

2. 단부판 이음부 가력 실험

2.1 실험 계획

2.1.1 실험체 계획

1) 실험체 및 이음부 계획

단부판 이음부의 성능에 이음면 이격이 미치는 영향을 실험적으로 평가하기 위해 Fig. 4와 같은 단순보 형태의 실험체를 계획하였다. 가력 형태는 이음면에 전단력과 휨모멘트의 영향을 동시에 발생시키기 위해 중앙집중가력을 선택하였다. 또한 신뢰성 있는 데이터 확보를 위하여 이음부를 가력점 양측에 설치하여 충분한 데이터를 확보할 수 있도록 하였다.

보형 실험체의 치수는 공업화박판강구조 실무에서 지붕보(rafter)부재로 많이 사용되는 단면의 비율을 고려하여 H-800×200×6×12(SM490A)를 용접조립하여 제작하였

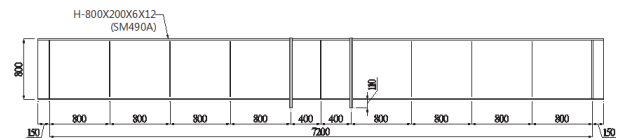


Fig. 4. Specimen type

다. 플랜지와 웨브는 공업화박판강구조 제작시 일반적으로 적용되는 방식인 일면 필렛용접으로 용접하였으며, 용접치수는 내력에 의해 요구되는 치수보다 필렛 용접의 최소 치수 제한이 커 이를 적용하였다.

부재의 지점간 거리는 7,200mm로 하였으며, 중앙부 이음판 중심간 간격은 보의 높이(800mm)로 하였다.

단부판은 확장부(extended)를 110mm로 하고 18mm 강판(SM490A)에 고력볼트 F10T M20을 적용하여 고력볼트 강도에 의해 설계강도가 결정되는 AISC design guide 16의 thick end-plate smaller diameter bolts type으로 설계하였으며, 구체적인 설계방법은 AISC design guide 16의 four bolt extended unstiffened moment end plate connection의 설계 방식을 동일하게 적용하였다. 설계에 적용된 주요 변수들은 Fig. 5에 나타내었다.

이음면의 이격을 구현하기 위해 먼저 이음면의 중앙부에

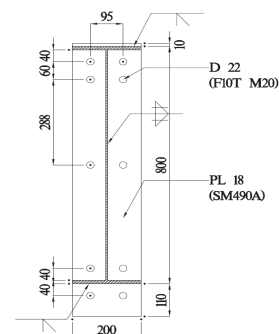


Fig. 5. End-plate detail

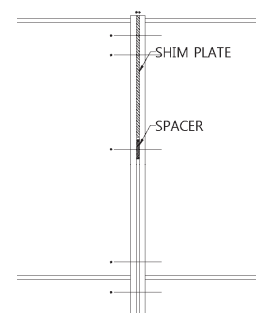


Fig. 6. Gap inducing

단부판과 동일 강종(SM490A)의 두께 10mm 간격재(spacer)를 삽입하고, 각 실험체 별로 고력볼트 체결 및 끼움판을 삽입하여 각 변수를 구현하였다(Fig. 6 참조). 이때 이격의 치수는 AISC design guide 4에서 끼움판을 이용한 보강을 허용하는 한계인 5~9mm를 기준으로 하여, 초기 이격은 이를 초과하는 범위로 설정(10mm)하고, 이후 고력볼트 조임으로 최종 이격이 5mm가 되는 경우와 8mm가 되는 경우로 나누어 변수를 설정하였다.

2) 주요 변수

실험체는 총 5개를 계획하였다. 모든 실험체의 이음방식은 확장형 단부판 이음부로 계획하였으며, 주요 변수는 실제 공업화박판강구조 이음부의 시공시 오차 발생에 따른 각 단계별 대응 방안을 감안하여 이음면 초기 이격(gap) 여부, 고력볼트 체결 전 끼움판(finger shim plate) 설치 유무, 고력볼트 체결 후 이음면 이격, 고력볼트 체결 후 끼움판 삽입 여부로 하였다.

각 실험체별 적용 변수를 간단히 요약하면 다음과 같으며, 관련 사항은 Table 1에 정리하였다.

·ET-G0 실험체 : 단부판 이음면에 간격재 및 끼움판 없이 이음면을 초기부터 완전히 밀착하여 볼트체결을 하였다.

·ET-G9-BN 실험체 : 단부판 이음면 중앙에 이격을 유지하기 위한 간격재(10mm)만 삽입하여 압축 및 인장측 양단을 완전 밀착될 때까지 고력볼트 장력을 도입 조임하였다.

·ET-G9-C5 실험체 : 단부판 이음면 중앙에 간격재(10mm) 및 인장측에 끼움판(10mm)을 삽입하여 볼트를 적정 토크치(588N·m)로 조임을 하였으며, 압축측은 이격 5mm를 남겨두고 고력볼트 장력을 이용 조임 하였다.

·ET-G9-C8S 실험체 : 단부판 이음면 중앙에 간격재(10mm) 및 인장측에 끼움판(10mm)을 삽입하여 볼트를 적정 토크치로 조임을 하고, 압축측은 이격 8mm를 남겨두고 고력볼트 장력을 이용 조임 하였으며, 남겨진 이격 8mm사이에 끼움판(5mm)을 설치하였다.

·ET-G9-C8 실험체 : 단부판 이음면 중앙에 간격재(10mm) 및 인장측에 끼움판(10mm)을 삽입하여 볼트를 적정 토크치로 조임을 하고, 압축측은 끼움판 없이 이격 8mm를 남겨두고 고력볼트 장력을 도입 조임하였다.

고력볼트의 장력도입과 관련하여 건축공사표준시방서에서는 마찰접합의 경우 목표 장력의 10%를 초과한 경우 재시공을 명시하고 있으며, 지압접합의 경우 별도의 명확한 지침은 없는 상황이다. 이에 단부판 접합의 경우 지압접합의 사용이 가능할 수도 있으며, 현장에서 수행되는 관행을 고려하여 표준볼트장력 이상을 도입 이격을 조정한 경우를 변수에 고려하였다.

2.1.2 가력 및 계측계획

1) 가력계획

실험체는 3,000kN 성능의 만능재료시험기를 이용하여 보의 중앙부에 집중하중 형태로 정적가력을 하였다. 가력시 축이 큰 부재의 특성상 횡비틀림좌굴이 초기에 발생할 경우 이음부에 충분한 하중이 도입되지 못하므로 이를 방지하기 위해 지점 부근과 가력점의 1/2 지점에 각각 횡비틀림좌굴 방지 가이드를 설치하여 이음부의 설계 내력에 도달하기 전까지 횡비틀림좌굴의 영향이 없도록 하였다. 가력의 진행은 변위제어로 진행하였으며, 가력속도는 0.1mm/sec으로 하였다. 실험체 가력 셋팅 상황은 Fig. 7과 같다.



Fig. 7. Setting for loading

Table 1. The list of test specimens

Specimen	Initial gap (mm)	Initial shim plate (mm)	Fianl gap (mm)	Insert shim plate (mm)
ET-G0	0	-	-	-
ET-G9-BN	10	-	0	-
ET-G9-C5	10	10 (tension side)	5 (compression side)	-
ET-G9-C8S	10	10 (tension side)	8 (compression side)	5 (compression side)
ET-G9-C8	10	10 (tension side)	8 (compression side)	-

2) 계측 계획

실험체에 발생하는 변위 및 변형률 등을 측정하기 위해 변위계(L.V.D.T 및 줄변위계)와 와이어스트레인게이지(W.S.G)를 설치하였다.

협체 중앙부 및 이음부의 처짐과 단부판 이격의 변화를 측정하기 위해 변위계를 설치하였다. 그리고 이음부에서 30mm 떨어진 지점의 실험체 플랜지 상, 하부 및 웹과 인장을 받는 영역(하부)의 단부판 볼트 설치 부위, 그리고 인장 및 압축측의 고력볼트의 변형율을 측정하기 위하여 고력볼트 머리에 직경 3mm로 천공하여 고력볼트 측부에 와이어스트레인게이지를 부착하였다(Fig. 8 참조). 실험체에 설치된 계측 장비의 위치는 Fig. 9에 나타내었다.

2.2 소재 실험

실험체 제작에 사용된 강재의 기계적 성능을 평가하기 위



Fig. 8. Strain gauge install on H.T.B

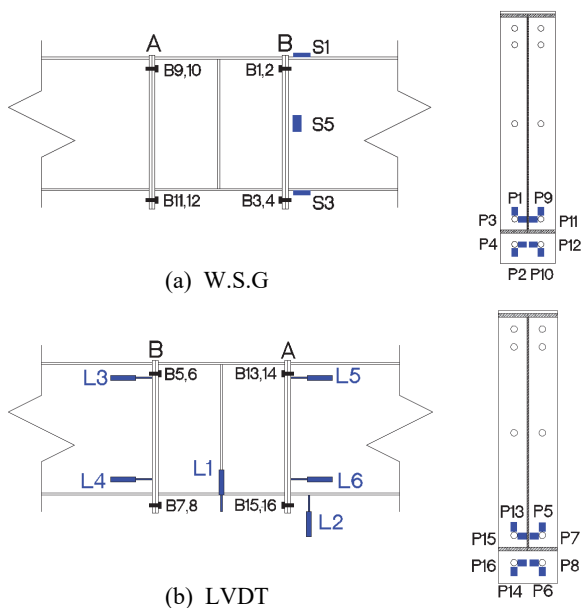


Fig. 9. Location of L.V.D.T and W.S.G

Table 2. Tensile strength test results

Coupon			σ_y (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)	$\frac{\sigma_y}{\sigma_u}$	El (%)
1	1	490T18-1	426	600	0.71	28
	2	490T18-2	441	601	0.73	27
	3	490T18-3	439	601	0.73	28
	Average		436	601	0.73	28
2	1	490T12-1	408	597	0.68	26
	2	490T12-2	396	599	0.66	25
	3	490T12-3	410	601	0.68	26
	Average		405	599	0.68	26
3	1	490T6-1	391	562	0.70	20
	2	490T6-2	390	559	0.70	22
	3	490T6-3	388	559	0.69	25
	Average		390	560	0.70	22

하여 6, 12, 18mm 강판을 대상으로 KS B 0802의 금속재료 인장시험편 규정에 따라 인장시험편을 제작하였고 KS B 0801의 금속재료 인장시험 방법에 따라 인장강도시험을 실시하였다. 인장강도시험의 결과는 Table 2에 나타내었으며, 시험 결과 기계적 특성의 평균값은 모든 항목에서 KS의 규정을 만족하는 결과를 나타내었다.

3. 단부판 이음부 가력실험 결과

3.1 하중 - 변위 관계 검토

실험체별 최대하중(P_{max})과 이음부 최대휨모멘트(M_{max}), 전축구조기준의 설계기준강도(F_y)를 기반으로 AISC design guide 16에서 제안한 설계식에 따라 산정된 이음부의 설계휨강도(ϕM_n) 그리고 최대휨모멘트와 설계휨강도의 비 및 최대하중시 중앙부 수직변위(D_{max}), 초기강성(I.S), 이격 변형 후 탄성강성(E.S), 최대하중시 이음판의 인장측 추가 이격량(E_d) 그리고 인장측 고력볼트 파단 여부를 Table 3에 나타내었으며, Fig. 10에 각 실험체별로 측정된 중앙부 가력 하중 - 중앙부 수직 변위관계 곡선을 나타내었다.

1) 이음부 최대휨모멘트

Table 3에 나타난 실험체 이음부의 최대휨모멘트와 설계휨강도 비를 보면 모든 실험체에서 실제 이음부의 강도가 설계휨강도를 최대 1.52배, 최소 1.38배 상회하는 결과를 나타

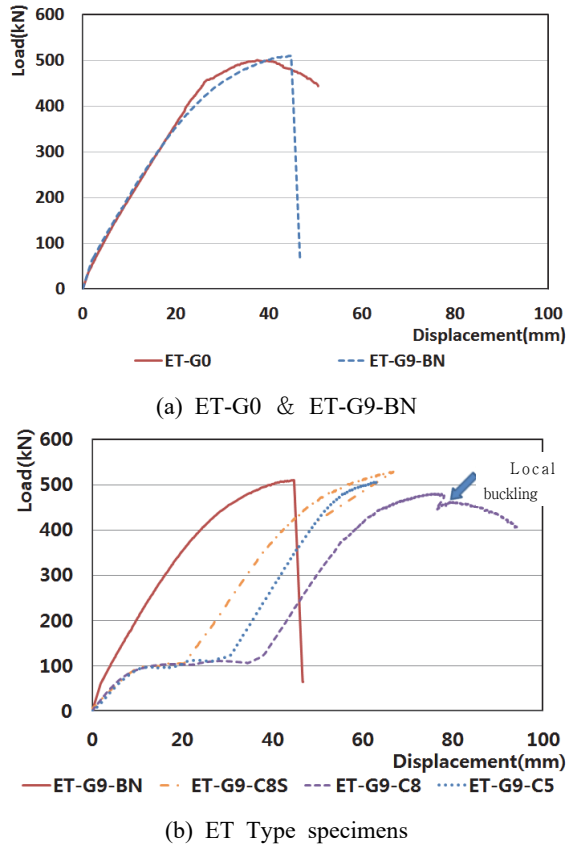


Fig. 10. Load-displacement relationships

내고 있다.

재료의 설계기준강도와 실제 강도의 차이 (이음판의 경우 $\sigma_y / F_y = 1.34$)를 고려하더라도 이음부의 강도가 설계휨강도를 상회하고 있다고 판단된다. 다만, 압축측의 잔존 이격량이 8mm이고 별도의 끼움판 설치가 없었던 ET-G9-C8 실험체의 경우 다른 실험체에 비하여 다소 낮은 이음부 휨강도를 나타내고 있는데 이는 압축측 최종 이격량이 8mm로 크고 타 실험체에서는 없었던 압축측 플랜지의 국부좌굴 발생 등에 따른 영향으로 판단된다.

따라서 고력볼트 조임이나 끼움판 설치 등으로 이격에 대

한 조치를 취한 경우 이음부 휨강도의 감소량은 크지 않을 것으로 판단되며, 현장에서 이음판에 잔존 이격량이 본 실험에 적용된 수준 이하로 발생할 경우 끼움판 설치 등으로 발생된 이격에 대한 적절한 조치를 취하여 설계휨강도 확보를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

2) 최대하중시 수직변위

최대하중시 수직변위 결과를 살펴보면 이음판 사이에 이격이 존재하는 실험체의 경우 수직변위가 증가하는 것으로 나타났다. 특히 압축측 최대이격량이 8mm로 큰 ET-G9-C8S와 ET-G9-C8 실험체의 경우 수직변위량이 완전밀착이 되었던 ET-G0 실험체 대비 각각 1.75배와 2.04배 크게 나타났다. 따라서 이음면의 이격이 최대휨내력의 발현에 미치는 영향은 그리 크지 않으나 처짐과 같은 사용성 측면에서는 영향을 다소 크게 미치는 것으로 나타났다.

실제로 압축측에 끼움판을 설치한 경우(ET-G9-C8S)가 동일 조건에서 끼움판을 설치하지 않은 경우(ET-G9-C8)에 비하여 수직변위 발생량이 14%(10.9mm) 정도 감소한 것으로 나타났다. 이는 실험체간의 압축측 최종 이격량 차이인 3mm를 이용하여 산정한 추가 처짐량(12mm)과 거의 유사한 결과이다.

이러한 처짐의 증가는 사용성의 문제뿐 아니라 지붕보(rafter)가 축력의 영향을 받는 공업화박판강구조의 경우 $P-\Delta$ 효과와 같은 2차 효과를 유발시킬 가능성도 있다. 또한, 지나친 처짐의 발생은 압축측 플랜지의 국부좌굴과 같은 불안정 현상을 유도할 우려가 있으므로 끼움판 설치 등의 적절한 조치가 필요할 것으로 판단이 된다.

3) 초기 강성

금번 실험의 경우 실험체의 특성상 이음면에 이격이 있는 실험체는 초기 하중 도입시의 초기강성(I, S)과 일정 하중 도입 이후 실험체가 탄성범위에 있는 가운데 압축측 이격 감소

Table 3. Tests results

Specimen	P_{max} (kN)	M_{max} (kN.m)	ϕM_n (kN.m)	$M_{max}/\phi M_n$	D_{max} (mm)	I.S (kN/mm)	E.S (kN/mm)	E_d (mm)	V_{max} (kN)	Bolt rupture
ET-G0	500.0	800.0	557.0	1.44	38.1	17.0	17.0	2.5	250.0	×
ET-G9-BN	510.0	816.0	557.0	1.46	44.4	17.5	17.5	2.6	255.0	○
ET-G9-C5	507.0	811.2	557.0	1.46	55.4	10.9	15.6	1.2	253.5	○
ET-G9-C8S	528.8	846.1	557.0	1.52	66.8	9.4	13.7	2.9	264.4	○
ET-G9-C8	479.8	767.7	557.0	1.38	77.7	11.8	15.1	1.9	239.9	×

로 인한 변위 증가 이후 하중의 재상승 구간에서의 탄성강성(E, S)의 2가지 초기강성이 발생한다.

이들 중 하중 도입 초기의 초기강성(I, S)을 비교해보면 이음면에 이격이 없는 실험체(ET-G0, ET-G9-BN)에 비하여 이격이 발생한 실험체의 초기강성(I, S)이 최소 54% 정도로 나타났다. 따라서 단부판 이음면의 이격발생이 있을 경우 이음부의 강성이 크게 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 구조물의 탄성거동에 큰 영향을 미칠 수도 있을 것으로 판단된다.

하지만 이음면의 거동으로 인하여 변위 증가 이후 하중 재상승 구간에서의 탄성강성(E, S)의 경우 이격이 없었던 실험체와 차이가 최대 21% 정도로 많이 감소한 것을 볼 수 있다. 하지만 이 경우에도 초기이격이 없었던 실험체에 비해서는 다소 낮은 강성값을 나타냈다. 따라서 초기에 단부판 이음면에 이격이 발생할 시 이를 완전히 제거하지 못하고 잔류 이격량이 발생할 경우 이음부의 초기강성과 탄성강성에 저하가 발생할 수 있으며, 이는 전체 구조물의 사용하중 하에서의 탄성 거동에 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.

특히 구조물의 안정성 확보가 중요한 공업화 박판 강구조물의 경우 이러한 구조물의 탄성 강성 감소는 궁극적으로 구조물의 내력저항 능력에도 영향을 미칠 수 있다고 판단된다.

4) 이음판 추가 이격량(E_d)

하중 도입 이후부터 최대하중 도달시까지 단부판 인장측

이격면의 변위량을 나타내는 추가 이격량(E_d)의 경우 압축측이 밀착되어 있거나(ET-G0, ET-G9-BN) 압축측에 별도의 끼움판이 설치된 경우(ET-G9-C8S)에는 인장측의 추가 이격량이 유사하게 나타났으나, 압축측에 잔존 이격이 큰 경우에는 인장측 추가 이격량은 그리 크지 않은 것으로 나타났다. 이는 단부판의 거동이 압축측 이격 감소로 좌우되어 나타난 현상이라 판단된다.

3.2 하중-변형률 관계

실험체의 플랜지와 웹, 고력볼트 및 단부판에 부착된 와이어 스트레인게이지의 측측 결과를 Fig. 11에 나타내었다.

1) 플랜지 및 웹 변형률

Fig. 11의 (a)에서 플랜지의 변형률의 경우 최종 이음면 이격이 0인 ET-G0 및 ET-G9-BN 실험체의 경우 하부 인장 플랜지의 인장 변형률이 다른 실험체에 비하여 크게 나타났다.

그리고 이음면에 이격이 있는 실험체 중 ET-G9-C5 실험체는 인장과 압축 플랜지의 변형률이 거의 유사하게 나타났으며, ET-G9-C8S, ET-G9-C8 실험체의 경우 최종 이격이 없는 실험체와 유사하게 인장 플랜지쪽의 변형률이 더 크게 나타났다. 이는 C5 실험체의 경우 초기 이격량 10mm에

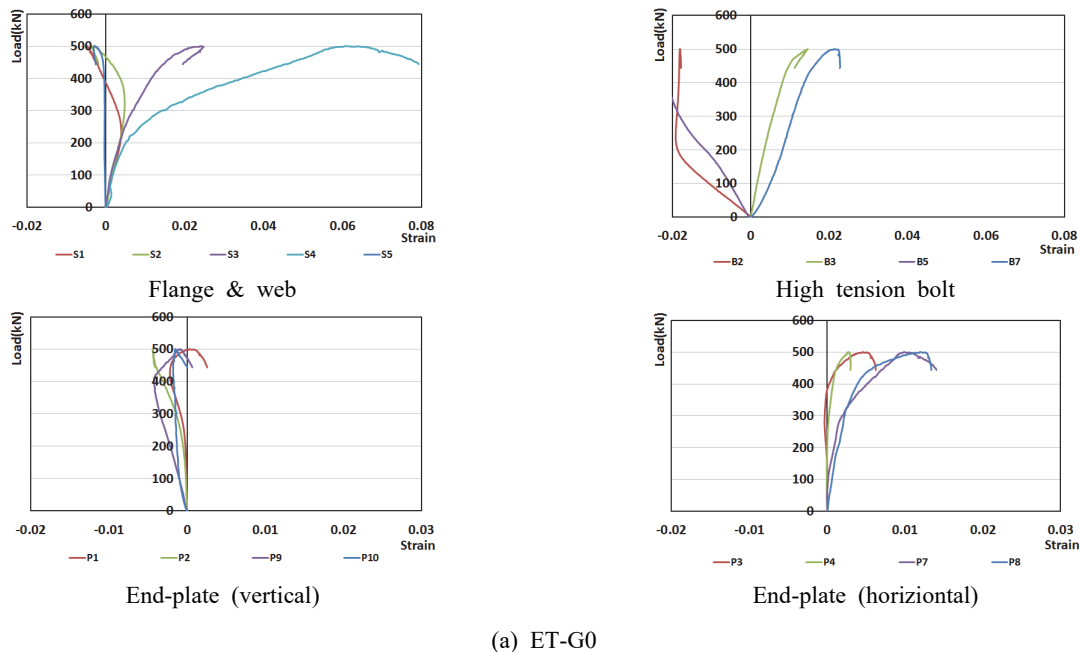


Fig. 11. Load-Strain relationships

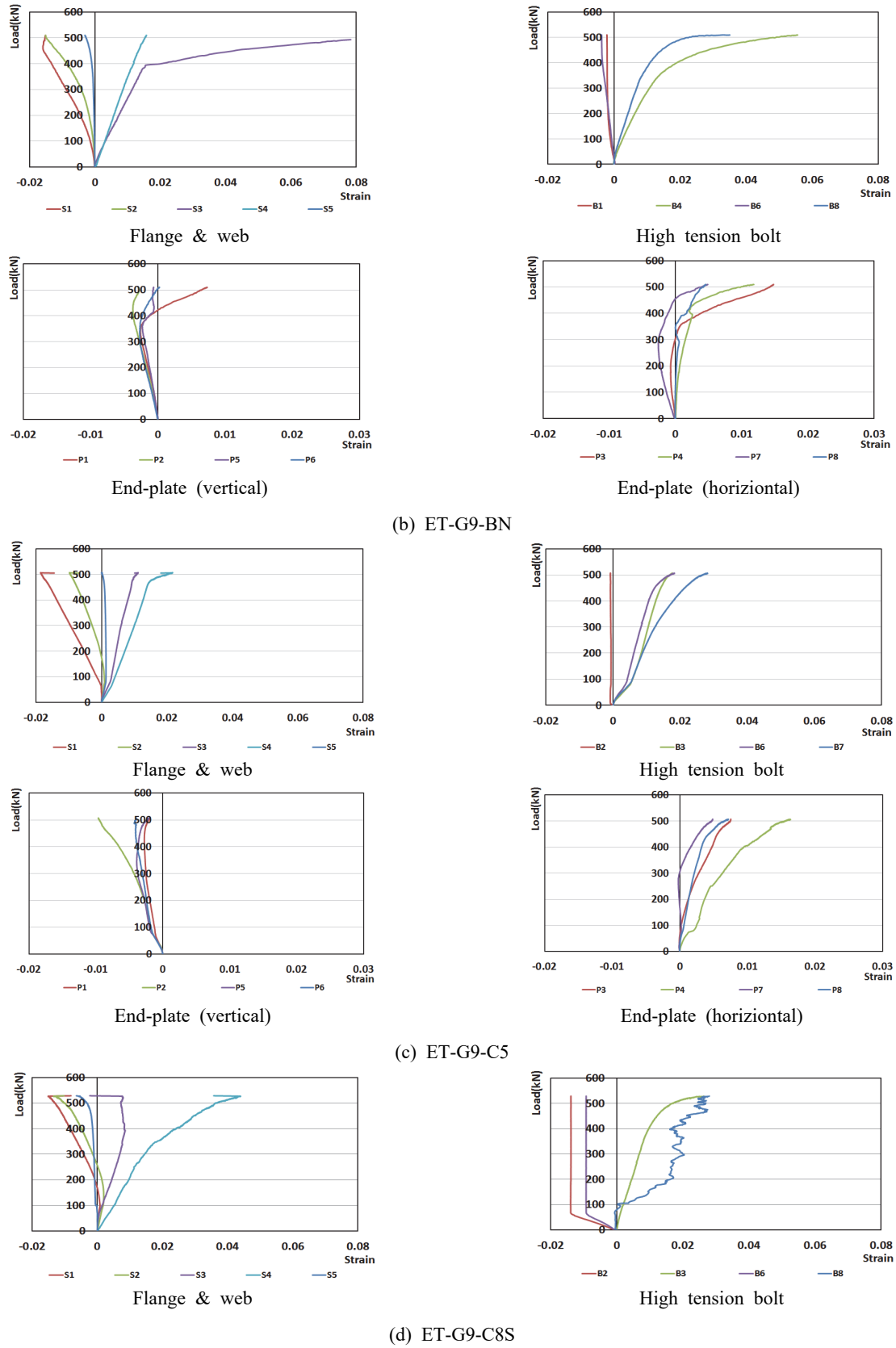


Fig. 11. Load-Strain relationships (Continued)

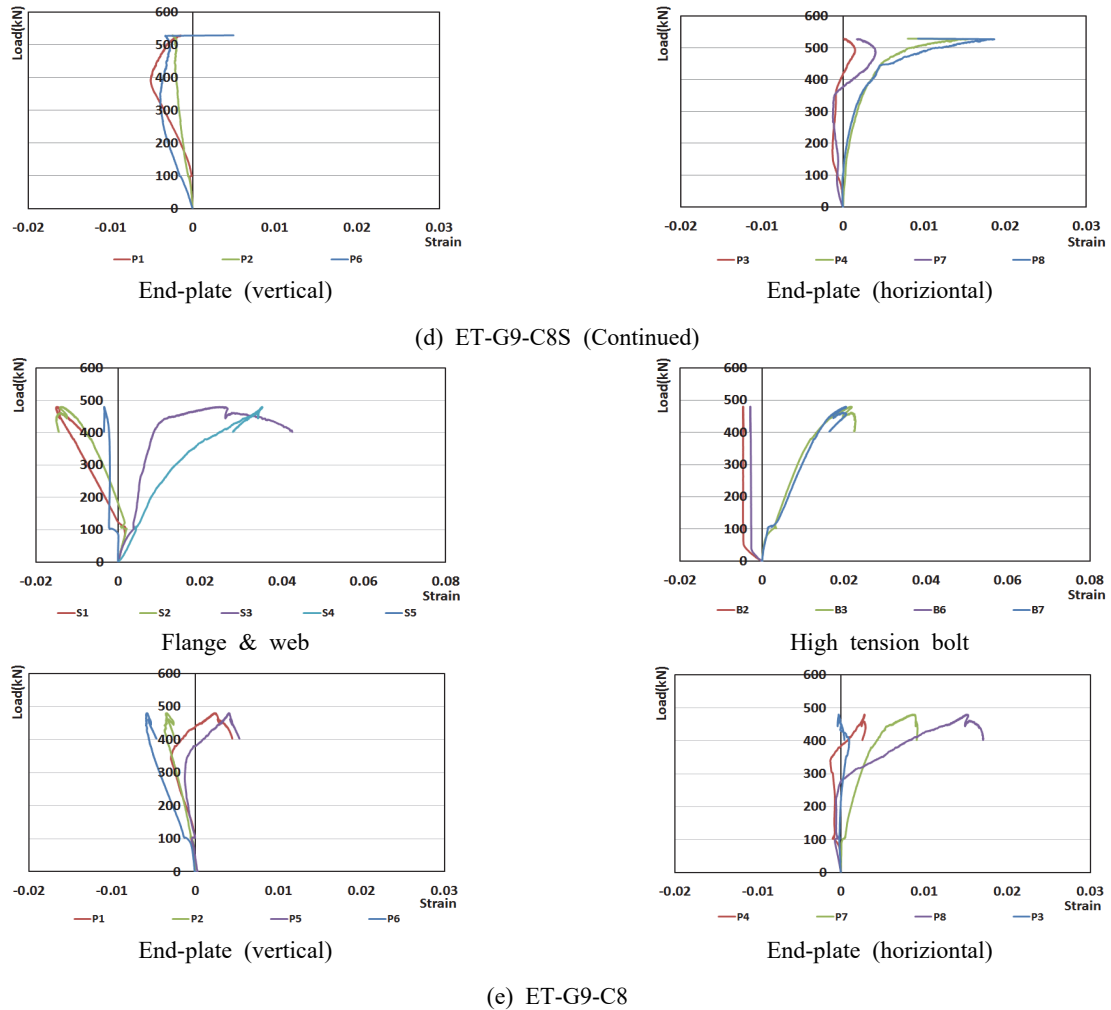


Fig. 11. Load-strain relationships (Continued)

서 고력볼트의 장력을 이용 최종 이격량 5mm까지 조정하는 과정에서 도입된 압축측의 장력에 의한 영향으로 발생한 차이로 판단된다.

전단력에 의해서 발생하는 웨브의 변형률은 실험체에 따른 차이 없이 거의 유사한 경향을 나타내고 있다. 따라서 실험체의 이격 발생이 전단력 전달 성능에 미치는 영향은 그리 크지 않은 것으로 판단된다.

2) 고력볼트 변형률

고력볼트의 경우 볼트 파단이 발생한 실험체 중 ET-G9-BN 실험체에서 고력볼트의 인장 변형률이 크게 나타났으며, 동일한 고력볼트 파단 현상이 발생한 ET-G9-C8S 실험체의 경우 인장변형률의 측정시 와이어스트레인게이지 측정값에 변동이 매우 크게 나타난 것으로 보아 게이지의 건전성에 다

소 문제가 발생한 것으로 판단된다. 나머지 실험체의 경우에는 고력볼트의 인장변형률 경향은 모두 유사하게 나타났다.

3) 단부판 변형률

단부판에 수직, 수평으로 부착한 와이어 스트레인 게이지의 경우 전체 실험체에서 공통적으로 수직 변형률보다 수평 변형률이 다소 크게 나타났으며, 실험체에 따른 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 이는 본 실험체의 경우 thick end-plate smaller diameter bolts type으로 설계가 되어 이음판의 내력이 고력볼트에 의해 결정되어 나타난 결과라 판단된다.

3.3 파괴성상

Table 3 및 Fig. 12에서도 알 수 있듯이 본 실험의 파괴 성상은 최대내력 도달 이후 부재의 불안정성으로 인하여 파괴

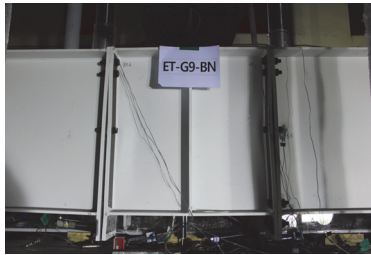


Gap of end-plate at tension side (end of loading)

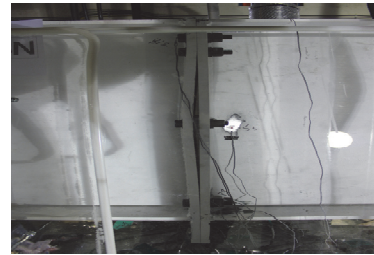


Final deformation of member

(a) ET-G0



Failutre of H.T.B

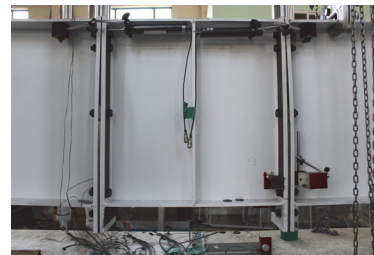


Deformation of end-plate

(b) ET-G9-BN

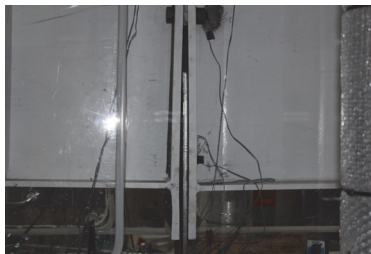


Failure of H.T.B



Deformation of end-plate

(c) ET-G9-C5



Failure of H.T.B

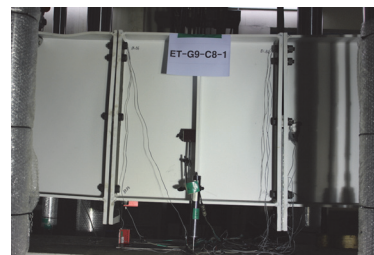


H.T.B

(d) ET-G9-C8S



Deformation of end-plate



Local buckling of upper flange

(e) ET-G9-C8

Fig. 12. Failure mode of specimens

에 도달한 경우(ET-G0, ET-G9-C8)와 인장측 고력볼트 파단에 의해 최대내력에 도달한 경우(ET-G9-BN, ET-G9-C5, ET-G9-C8S)로 나눌 수 있다. 이들 중 인장측 고력볼트 파단으로 파괴에 도달한 실험체의 경우 Fig. 10에서 나타나 듯이 급작스러운 파괴 성상을 나타내고 있다. 이러한 고력볼트 파단은 모두 이음판의 이격을 제어하기 위해 고력볼트의 장력을 이용한 실험체에서 나타났다.

이는 본 실험체의 이음부 설계시 단부판의 소성변형에 의한 지레작용(prying action)을 고려하지 않는 thick end-plate smaller diameter bolts type으로 설계가 되어 고력볼트에 의해 최종 설계강도가 결정되도록 되어 있는 조건에서 이격의 처리를 위해 설계볼트장력 이외에 추가적인 장력이 도입되어 나타난 결과라 판단된다.

현재 대부분의 공업화박판강구조 업체에서 단부판 이음부 설계시 사용성 등의 문제로 인하여 thick end-plate smaller diameter bolts type의 단부판 상세를 적용하는 현실을 고려할 때 현장에서 단부판 이음면의 이격을 고력볼트의 장력으로 제거할 경우 초기에 설정된 설계장력 이상으로 추가되어 고력볼트에 도입된 장력이 종국상태에서 고력볼트 파단이라는 취성적인 거동을 일으킬 수 있다는 것에 대한 적절한 고려가 반드시 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 공업화박판강구조의 접합, 이음부에 사용되는 확장형 단부판이음부에서 발생할 수 있는 이음면 이격이 이음부의 구조적 성능에 미치는 영향을 실험적으로 평가하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 본 실험 결과에서는 10mm 이내 단부판 이음부의 초기 이격이 있다 해도 인장측과 압축측에 끼움판 설치 또는 고력볼트 장력 추가 도입 등의 방법으로 초기 이격량을 감소(50% 정도) 시킬 수 있는 조치를 적절하게 시행한 경우 이음부 이격이 최대내력에 미치는 영향은 제한적인 것으로 나타났다.
- (2) 본 실험에서 이음부의 수직변위는 압축측에 잔류 이격량이 증가할수록 커지는 것으로 나타났으며, 초기강성 및 탄성강성의 경우는 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 변위 증가 및 강성 감소는 사용성 측면 뿐 아니라 2차

효과에 의한 추가하중 발생 등의 우려가 있으므로 가능한 잔류 이격량이 최소화가 될 수 있도록 적절한 조치가 되어야 할 것으로 판단된다.

- (3) 본 실험에서와 같이 단부판 이음부의 설계가 thick end-plate smaller diameter bolts type으로 이루어졌으며 이음판 초기 이격에 대한 조치를 위해 고력볼트에 추가 장력이 도입된 경우 인장측 고력볼트 파단 발생의 우려가 높은 것으로 나타났다. 따라서 현장에서 끼움판 없이 고력볼트의 장력을 활용한 이격 조정을 할 경우 취성파괴 가능성에 대한 충분한 검토가 필요할 것으로 판단된다.
- (4) 상기의 결론을 토대로 이음판의 이격에 대한 조치로 끼움판을 설치할 경우 압축측 잔류 이격량이 최소화 되도록 끼움판을 설치하는 것이 최대내력 및 초기강성 저하와 수직 변위 증가 등을 방지하는 데 도움이 될 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 동부제철(주), (주)동성중공업, 반석중공업(주), 서한개발주식회사의 지원으로 수행된 연구의 일부분입니다.

참고문헌(References)

- [1] 한국강구조학회(2015) 공업화박판강구조 설계 및 시공 지침(안), 한국강구조학회.
KSSC (2015) *Design and Construction Guide for Pre-Engineered Metal Building System (Draft)*, KSSC, Korea (in Korean).
- [2] Murray, T.M., and Sumner, E.A. (2003) *Design Guide 4: Extended End-Plate Moment Connections: Seismic and Wind Applications* (2nd Ed.), American Institute of Steel Construction, USA.
- [3] Murray, T.M., and Shoemaker, W.L. (2002) *Design Guide 16: Flush and Extended Multiple-Row Moment End-Plate Connections*, American Institute of Steel Construction, USA.
- [4] 김희동, 양재근, 이형동(2015) 비보강 확장단부판 접합부에 체결된 고장력볼트의 지레작용력 및 축방향 인장강성에 대한 해석적 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제27권, 제2호, pp.251-260.

Kim, H.D., Yang, J.G., and Lee, H.D. (2015) Analytical Study on the Prying Action Force and Axial Tensile Stiffness of High-Strength Bolts Used in an Unstiffened Extended End-Plate Connection, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.27, No.2, pp.251-260 (in Korean).

[5] 국토해양부(2013) 건축공사표준시방서.

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2013) *Standard Specification for Building Construction*, Korea (in Korean).

[6] 한국강구조학회(2012) 강구조공사 표준시방서, 구미서관.

KSSC (2012) *Standard Specification for Steel Construction*, Goomisergwan, Korea (in Korean).

요 약 : 두본 연구는 실험적인 방법을 통하여 단부판 이음부의 이음면에서 초기 오차로 발생하는 이격이 이음부의 내력 및 거동에 미치는 영향을 평가한 연구이다. 이를 위하여 총 5가지의 단순보형 실험체를 확장형 단부판 이음부를 이용 계획하였고 주요 변수로는 이음면 초기 이격(gap) 여부, 고력볼트 체결 전 끼움판(finger shim plate) 설치 유무, 고력볼트 체결 후 이음면 이격, 고력볼트 체결 후 끼움판 삽입 여부를 적용하였다. 정적가력실험 결과 이음판의 이격은 이음부의 최대휨강도에 미치는 영향은 제한적이나 수직변형과 초기 및 탄성강성에는 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이격을 제어하기 위해 고력볼트 장력을 이용할 경우 고력볼트의 취성파괴 우려도 있는 것으로 나타나서 이들에 대한 충분한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 확장형 단부판이음부, 이격, 이음부 성능, 공업화박판강구조
