

## 볼트이음방식의 블록전단파괴에 미치는 영향에 대한 실험적 연구

이진옥<sup>1</sup>, 박경현<sup>1</sup>, 문지호<sup>2</sup>, 이학은<sup>2</sup>, 임남형<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>충남대학교 토목공학과, <sup>2</sup>고려대학교 건축사회환경공학부

## An Experimental Study on the Effects of Bolted Connection Type on the Block Shear Failure

Chin-Ok Lee<sup>1</sup>, Gyung-Hyeon Park<sup>1</sup>, Jiho Moon<sup>2</sup>, Hak-Eun Lee<sup>2</sup>  
and Nam-Hyoung Lim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Chungnam National University

<sup>2</sup>School of Civil, Environmental & Architectural Engineering, Korea University

**요 약** 블록전단파괴는 인장부재의 한계상태에 해당하는 것으로 강구조물의 인장부재 또는 연결부 설계 시 주의를 요한다. 많은 연구 결과와 설계기준에서는 블록전단파괴에 대한 볼트 이음 방식의 영향을 고려하지 않고 있다. 본 연구에서는 볼트 이음 방식(지압이음과 마찰이음)이 블록전단파괴의 파괴모드와 파괴강도에 미치는 영향을 분석하고 자 인장실험을 실시하였다. 실험결과와 분석으로부터 설계기준, 지압이음, 마찰이음에 따른 파괴모드의 차이를 제시 하였으며 마찰이음에서 발생하는 마찰력으로 인한 블록전단파괴강도의 변화를 고찰하였다.

**Abstract** Block shear failure is one of limit states, and demands great caution in designing the tension member or connection joint of steel structures. From many studies and design specification, it is shown that the effect of the bolted connection type on the block shear failure was not considered. In order to investigate the effect of the bolted connection type(bearing type connection and slip critical connection) on the mode/strength of the block shear failure, tensile experiment is conducted in this study. Differences about the failure mode according to the design specification, bearing type connection, and slip critical connection are proposed from the analysis of test results. The variation of the block shear failure strength due to the frictional force in the slip critical connection is also investigated.

**Key Words** : Block shear, Bolted connection, Tension member

### 1. 서론

강구조는 철근콘크리트 구조에 비하여 다양한 형상과 치수를 가진 구조로 만들 수 있으며, 재료의 균질성, 내구성성이 우수하고 안정성과 강성이 큰 구조로써 기존 철근 콘크리트 구조물에서 강구조물로의 대체가 이뤄지고 있다. 또한 고성능, 고강도 강재의 품질과 기술, 생산성 향상 등의 재료적인 개발 및 발전으로 활용 폭이 넓어지고,

그 사용이 날로 증가하고 있는 실정이다. 강구조물은 부재와 부재를 연결(connection)하는 구조로서 종종 연결(접합)부의 취약으로 인하여 구조물이 파괴되는 경우가 발생한다.

국내 도로교 설계기준에서는 볼트 이음을 적용한 인장 부재의 한계상태(Limit State)를 순단면 항복(Yield on Net Section)만으로 상정하여 허용인장강도를 산정하도록 규정하고 있다.[1] 그러나 미국 AISC와 유럽의 Eurocode에

이 연구는 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었음.

\*Corresponding Author : Nam-Hyoung Lim

Tel: +82-11-9402-1417 email: nhrim@cnu.ac.kr

접수일 12년 10월 15일

수정일 12년 10월 29일

게재확정일 12년 11월 08일

서는 볼트 이음을 적용한 인장부재의 한계상태는 종단면 항복(Yield on Gross Section), 순단면 파괴(Fracture on Net Section), 그리고 블록전단파괴(Block Shear Failure)로 상정하여 설계 및 허용인장강도를 산정하도록 규정하고 있다.[2-3] 국내 도로교 설계법도 기존의 허용응력설계법에서 하중저항계수설계법(LRFD)으로 변경되고 있는 시점이므로 교량 설계 시 블록전단파괴에 해당하는 한계상태를 검토할 필요가 대두되고 있다.

블록전단파괴는 인장재, 단순보나 트러스 구조 그리고 거сет 플레이트 등 볼트를 이용한 접합부에서 볼트구멍으로 인한 단면감소 때문에 하중방향에 직각인 인장면과 평행한 전단면이 한계상태에 도달했을 때 인장재의 연결 부분이나 보의 끝단 접합부에서 블록모양으로 찢어지는 현상으로, 인장파괴와 전단파괴의 상호작용 때문에 연결부의 거동은 대단히 복잡하다.

1978년 Birkemoe와 Gilmer[4]가 고장력볼트를 사용한 절취한 보(coped beam)의 웹 접합부에 대한 실험을 통하여 웹의 지압파괴강도에 도달하기 전에, 하중방향에 수평인 전단면의 볼트 열과 수직인 인장면의 볼트 열을 따라서 파괴 되는 현상을 발견하고 이것을 “블록전단파괴”라 명명한 후에 많은 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. Ricles과 Yura[5], Hardash와 Bjorhovd e[6], Epstein[7], Kulak과 Grondin[8], 그리고 Driver 등 [9]은 실험 또는 해석적 방법을 적용해 블록전단 파괴강도 식을 제안하였다.

블록전단파괴에 대한 최근의 국내 연구 결과 중에서 이은택[10]은 앵글부재의 블록전단파괴 형상에서 전단항복-인장파단 모드의 전단면 파단선은 볼트 중심선을 따라 파단 되었으나 인장항복-전단파단 모드의 전단면 파단선은 볼트구멍 중심선이 아닌 접촉되어있지 않는 돌출다리 쪽으로 치우쳐서 발생함을 실험적으로 제안하였다. 김태수[11]는 냉간성형강 볼트접합부 실험을 통해 인장면 파단 후 전단면 파단과 지압파단의 발생여부를 구분할 수 있는 연단거리 조건을 제시하였으며 지압파단에 의해 동반되는 국부좌굴이나 면의 변형이 발생하는 접합부에 대한 블록전단파괴강도의 수정된 내력식을 제안하였다.

이상의 문헌과 설계기준(미국 AISC[2], Euro code[3], 강구조설계기준[12], 건축구조설계기준[13], 캐나다 CSA[14])을 분석한 결과, 볼트 이음 방식(지압이음과 마찰이음)의 차이에 따른 블록전단파괴의 파괴모드와 파괴강도에 관한 연구는 이루어지지 않았음을 알 수 있다. 본 연구에서는 볼트 이음 방식이 블록전단파괴에 미치는 영향을 분석하기 위한 실험을 수행하였다.

## 2. 실험 계획 및 방법

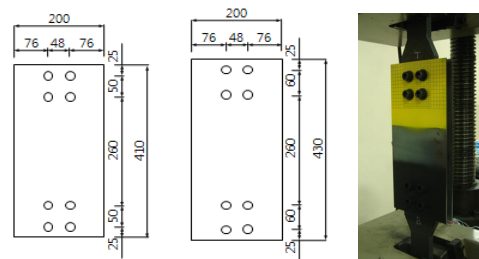
시험편은 본 실험에서 사용한 만능시험기(UTM UH-100A: 인장능력 100tf)의 용량과 최대 인장길이, 시험편을 고정하는 그립(grip)의 폭과 길이를 고려하여 설계하였다. 시험편 치수는 표 1과 같으며 시험편 형상과 시험기 거치 모습은 그림 1과 같다.

[표 1] 시험편 치수(mm)

[Table 1] Specimen Size(mm)

Specimen	1_BT	2_BT	3_FT	4_FT
판 두께	4.5	4.5	4.5	4.5
연단거리	25	25	25	25
측단거리	76	76	76	76
피치	50	60	50	60
게이지	48	48	48	48

Note; BT : 지압이음, FT : 마찰이음



[그림 1] 시험편 형상과 시험대 거치

[Fig. 1] Geometry and Set-up of Specimen

볼트는 F13T-M16 4개를 2열로 배치하였으며 시험편은 일반구조용 압연강재(SS400, 탄성계수는 210,000MPa, 전단탄성계수는 81,000MPa)를 사용하였으며 물성치에 대한 POSCO Mill Test 결과는 표 2와 같다. 지압이음의 경우 스너그 타이트(Snug Tight)하게 조임을 하였으며, 마찰이음의 경우는 기준에서 제시한 F13T M16 고장력볼트의 설계볼트 장력 135KN을 적용한 토크관리법에 따라 토크렌치를 이용하여 324N/m의 토크로 조임 하였다.

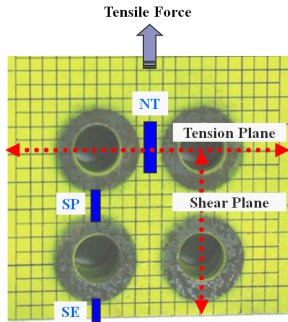
[표 2] 시험편 물성치

[Table 2] Material Properties of Specimen

Specimen	시험편수	항복강도(MPa)	인장강도(MPa)
SS400	2	300	385

만능시험기는 KS B 0802[15]와 문헌[4-9]을 적용하여 29.4kN/min 정도의 속도로 가력 하였다. 변위와 변형률

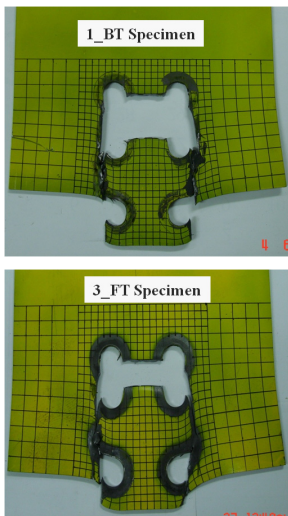
을 측정하기 위해 LVDT와 1축(NT) 및 3축 로켓 게이지(SP, SE)를 그림 2와 같은 위치에 설치하였다.



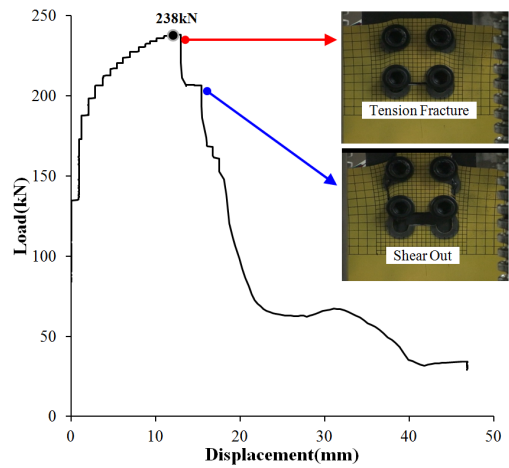
[그림 2] 변형률 게이지 위치  
[Fig. 2] Position of Strain Gauge

### 3. 실험 결과 및 분석

볼트 이음 방식의 영향을 분석하기 위한 4개의 시험편 모두 그림 3과 같이 인장면의 파단선은 볼트 구멍의 중심선을 따라 발생하고 전단면의 파단선은 구멍의 외측선을 따라 발생하였다. 그림 4는 1\_BT 시험편의 하중과 수직 방향 변위 관계를 나타낸 것이다. 블록전단파괴강도는 약 238kN임을 알 수 있으며 인장면이 먼저 파단된 후 전단면에서 추가적인 파단이 진전되어 블록전단파괴가 발생됨을 알 수 있다. 3개의 타 시험체도 그림 4와 유사한 하중-변위 관계로 블록전단파괴가 발생되었다.

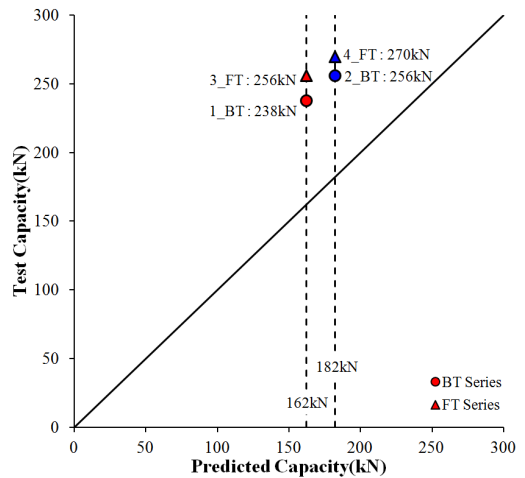


[그림 3] 블록전단 파괴모드  
[Fig. 3] Mode of Block Shear Failure



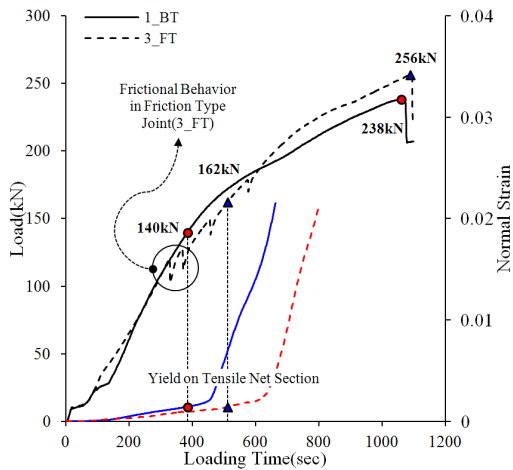
[그림 4] 하중과 변위 관계(1\_BT)  
[Fig. 4] Load .vs Displacement(1\_BT)

4개 시험편에 대한 실험에 의한 블록전단파괴 강도 (Test Capacity)와 미국 AISC기준[2]에 의거한 예상강도 (Predicted Capacity)의 관계는 그림 5와 같다. 전문계수 (Professional Factor)는 약 1.41~1.58로, 시험강도가 설계 기준에 의한 예상강도보다 크게 나타났다. 또한 동일한 볼트 연결부 제원임에도 마찰이음(FT Series)이 지압이음 (BT Series)보다 큰 강도를 나타냄을 알 수 있다.



[그림 5] 예상강도 대 실험강도  
[Fig. 5] Predicted Capacity .vs Test Capacity

그림 6은 시험편 1\_BT와 3\_FT에서 인장 파단면의 수직 변형률(그림 2의 NT)과 인장하중을 가압 시간에 따라 나타낸 것이다.



[그림 6] 가압시간 대 인장하중과 변형률  
[Fig. 6] Loading Time vs Load & Normal Strain

가압시간과 인장하중과의 관계 곡선을 보면, 마찰이음을 적용한 3\_FT 시험편에서는 마찰력발생(그림 6의 원)으로 인해 인장 파단면의 항복 하중(162kN)이 지압이음을 적용한 1\_BT 시험편(140kN)보다 크게 나타남을 알 수 있다. 또한 이러한 마찰력의 발생으로 인해 마찰이음을 적용하면 지압이음을 적용한 경우보다 블록전단강도가 증가함을 알 수 있다.

[표 3] 블록전단파괴강도와 인장/전단면에서의 항복하중(kN)

[Table 3] Block-shear Capacity & Yield Load in Tension/Shear Plane(kN)

Specimen	1_BT	3_FT	2_BT	4_FT
Block-Shear	238	256	256	270
Tension Yield(NT)	140	162	~*	167
Shear Yield(SP)	200	210	201	215
Shear Yield(SE)	234	233	248	256

\* ; 일축 변형률 게이지 오류

표 3은 각 시험편의 블록전단파괴강도(하중), 인장면(그림 2의 NT)과 피치부의 전단면(그림 2의 SP) 그리고 연단부의 전단면(그림 2의 SE)이 각각 인장 및 전단항복에 도달할 때의 하중을 나타낸 것이다. 지압이음을 적용한 1\_BT와 2\_BT 시험편은 블록전단파괴 발생 시, 피치부의 전단면(SP)은 항복 이후의 상태이나 연단부의 전단면(SE)는 항복에 도달한 상태임을 알 수 있다. 그러나 마

찰이음을 적용한 3\_FT와 4\_FT 시험편은 SP와 SE 모두 항복 이후의 상태임을 알 수 있다. 이것은 마찰력의 존재 유무와 함께 마찰이음(FT)의 블록전단파괴강도가 지압이음(BT)보다 큰 사유 중 하나라 할 수 있다. 또한 인장면에서 파단이 발생된 후, 전단면 전체(SP와SE)가 항복상태에 동시에 도달하면서 블록전단파괴가 발생되지 않고 순차적으로 SP가 항복하고 그 후 SE가 항복하는 것을 알 수 있다.

### 3. 결론

본 연구에서는 볼트 이음 방식(지압이음과 마찰이음)이 블록전단파괴의 파괴모드와 파괴강도에 미치는 영향을 분석하고자 4개 시험편에 대한 인장실험을 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 4개의 시험편 모두 인장면이 먼저 파단된 후 전단면에서 추가적인 파단이 진전되어 블록전단파괴가 발생되었으며 인장면의 파단선은 볼트 구멍의 중심선을 따라 발생하였으나 전단면의 파단선은 구멍의 외측선을 따라 발생하였다.(미국 AISC[2]에서는 전단면의 파단선은 볼트 구멍의 중심선을 따라 발생하는 것으로 가정함.) 그러므로 설계기준에 의한 예상강도보다 시험강도가 크게 평가됨을 알 수 있다.
2. 동일한 볼트 연결부 제원임에도 마찰이음(FT)의 블록전단파괴강도가 지압이음(BT)보다 크게 나타났다. 이는 마찰이음의 경우에는 발생된 마찰력으로 인하여 인장면과 전단면의 항복하중이 증가하기 때문이다.
3. 본 시험에서 발생한 파괴모드에 해당하는 설계기준에서는 인장면 파단 후 전단면이 항복에 도달하면서 블록전단파괴가 발생하는 것으로 가정하도록 되어 있다. 그러나 지압이음의 1\_BT와 2\_BT 시험편은 블록전단파괴 발생 시, SP는 항복 이후의 상태이며 SE는 항복에 도달한 상태였다. 그러나 마찰이음의 3\_FT와 4\_FT 시험편은 SP와 SE 모두 항복 이후의 상태였다. 이로부터 설계기준에 의한 예상강도보다 시험강도가 크게 평가됨을 알 수 있으며 또한 마찰이음의 시험강도가 지압이음보다 크게 평가됨을 알 수 있다.

### References

[1] Korea Road & Transportation Association, "Bridge Design Specification", Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010.

[2] American Institute of Steel Construction(AISC), "Specification for structural steel buildings", AISC, 2005.

[3] European Committee for Standardization(ECS). "Eurocode 3: Design of Steel Structures (EN 1993 - 1 - 8)", ECS, 2005.

[4] Birkemoe, P.C. and Gilmor, M.I., "Behavior of Bearing Critical Double-Angle Beam Connections", Engineering Journal, Vol. 15, No. 4, pp. 109-115, 1978.

[5] Ricles, J.M. and Yura, J.A., "Strength of Double-Row Bolted-Web Connections", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 109, No. 1, pp. 126-142, 1983.

[6] Hardash, S.G. and Bjorhovde, R., "Gusset plate design utilizing block-shear concepts", M.S. Thesis, The University of Arizona, 1984.

[7] Epstein, H.I., "An Experimental Study of Block Shear Failure of Angles in Tension", Engineering Journal, AISC, Vol. 29, No. 2, pp. 75-84, 1992.

[8] Kulak, G.L. and Grondin, G.Y., "Block Shear Failure in Steel Members - A Review of Design Practice", Engineering Journal, AISC, Vol. 38, No. 4, pp. 199-203, 2001.

[9] Driver, R.G., et. al., "A unified approach to design for block shear", Proc., Connections in Steel Structures V: Innovative Steel Connections, June 3-4, Amsterdam, The Netherlands, 2004.

[10] Lee Eun-Taik, et. al., "Block Shear Rupture and Shear Lag of Single Angle in Tension Joint -Single angle with two bolt connection-", Architectural Institute of Korea, Vol. 20, No. 11, p.p 19-26, 2004.

[11] Kim Tae-Soo, "A Study on Failure Mode and Ultimate Strength of Shear Bolted Connections in Cold-formed Steel", Architectural Institute of Korea, Vol. 23, No. 61, p.p 11-19, 2007.

[12] Korean Society of Steel Construction, "Design Specification of Steel Structure-LRFD", Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009.

[13] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, "Korean Building Code", MLTM, 2009.

[14] Canadian Standards Association, "Limit States Design of Steel Structures (CSA-S16 -01)", CSA, Canada, 2001.

[15] Korean Standards Association, "Method of tensile test for metallic materials (KS B 0802)", KSA, 2003.

**이진옥(Chin-Ok Lee)**

[정회원]



- 1980년 2월 : 충남대학교 토목공학과(공학사)
- 1982년 2월 : 충남대학교 대학원 토목공학과(공학석사)
- 1993년 8월 : 고려대학교 대학원 토목공학과(공학박사)
- 1994년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

구조공학, 내진공학, 강구조

**박경현(Gyung-Hyeon Park)**

[정회원]



- 1999년 2월 : 한밭대학교 대학원 토목공학과(공학석사)
- 2009년 2월 : 충남대학교 대학원 토목공학과(공학박사)
- 2001년 3월 ~ 2009년 2월 : 한밭대학교 겸임교수
- 2007년 7월 ~ 현재 : (주)옥토이앤씨 기술이사

<관심분야>

구조공학, 강구조

**문지호(Jiho Moon)**

[정회원]



- 2004년 2월 : 고려대학교 대학원 토목환경공학과(공학석사)
- 2009년 2월 : 고려대학교 대학원 토목환경공학과(공학박사)
- 2009년 3월 ~ 2009년 8월 : 고려대학교 건축사회환경시스템공학과 박사후 연구원

- 2009년 9월 ~ 2012년 8월 : University of Washington 박사후 연구원

- 2012년 9월 ~ 현재 : 고려대학교 건축사회환경시스템공학과 연구교수

<관심분야>

강구조, 합성구조, 구조해석

---

**이 학 은(Hak-Eum Lee)**

[정회원]



- 1982년 7월 : University of Pittsburgh(공학석사)
- 1987년 10월 : University of Pittsburgh(공학박사)
- 1988년 4월 ~ 1989년 2월 : Pittsburgh Engineering Consultant Senior Engineer

- 1989년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 건축사회환경시스템 공학과 교수

<관심분야>

내진해석, 내풍구조, 강구조

---

**임 남 형(Nam-Hyoung Lim)**

[정회원]



- 1996년 2월 : 고려대학교 대학원 토목환경공학과(공학석사)
- 2001년 8월 : 고려대학교 대학원 토목환경공학과(공학박사)
- 2003년 7월 ~ 2005년 3월 : 한국철도기술연구원 선임연구원
- 2005년 4월 ~ 현재 : 충남대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

구조공학, 궤도공학, 강구조