



Push-out 실험을 통한 앵글형 전단연결재의 내력 평가

이민기¹ · 신경재^{2*} · 이준섭³ · 채일수⁴

¹석사과정, 경북대학교, 건설환경에너지공학부, ²교수, 경북대학교, 건설환경에너지공학부,
³박사과정, 경북대학교, 건설환경에너지공학부, ⁴대표이사, (주)아이에스 중공업

Push-out Test on Evaluation of Shear Strength Using Angle Shear Connectors

Lee, Min-Ki¹, Shin, Kyung-Jae^{2*}, Lee, Jun-Seop³, Chae, Il-Soo⁴

¹Master's course, School of Architectural Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 41566, Korea

²Professor, School of Architectural Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 41566, Korea

³Doctor's course, School of Architectural Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 41566, Korea

⁴President, Innovation&Smart Heavy Industry Co. Ltd, Gyeongsan, 38449, Korea

Abstract - Recently, as the amount of composite members used for economical use of materials has increased, researches on shear connectors that connect steel and concrete have been actively conducted. In general, stud anchors are used, and many researches on them are ongoing. However, there are not many studies on specimens using different shear connectors. In this study, the strength and performance of angle shear connectors are evaluated. Therefore, in this experiment, the experiment was carried out using the height and thickness of the shear connectors as variables. In addition, the height of the anchor will affect the test results. So this study suggest the need to consider the height by reviewing the design formula.

Keywords - Composite beam, Shear connector, Stud, Angle, Design formula

1. 서론

이전부터 강재와 콘크리트를 혼합 사용하여 각 재료의 성능을 최대화시키는 방법이 꾸준히 사용되어 왔으며, 최근에는 기둥과 보에서 강재 내부에 콘크리트를 채워 넣어 사용하는 합성기둥과 콘크리트 슬래브와 강재보를 합성한 합성보 등 합성부재의 사용이 증가하고 있다. 이러한 합성 구조를 사용할 때 중요한 것은 두 재료간의 수평 및 수직 분리를 막고 두 재료를 일체화시키는 것이다. 따라서 두 재료의 일체화와 효과적인 응력전달을 위해 전단연결재가 사용되며, 이는 합성구조에서 중요한 부분을 차지한다. 이에 따라 강

재와 콘크리트의 일체화를 위한 전단연결재에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 기본적으로 사용되는 스티드 앵커(headed studs) 외에도 ㄷ형강, H형강, 이형철근 등 여러 가지 형태의 전단연결재를 사용하여 강도를 평가하는 연구가 이루어지고 있다^{[1]-[3]}. 그중에서도 앵글형과 채널형 전단연결재를 사용한 연구가 주를 이루고 있으며^{[4],[5]}, Pashan^[6]과 Ahn *et al.*^[7]의 논문에서는 새로운 설계식도 제안하고 있다. 하지만 상대적으로 실험적인 연구에 비해 전단연결재에 대한 설계식이나 이론적인 연구는 부족하며, 국내외 설계기준의 경우 각각의 형태와 고려하는 변수 등이 상이하여 부족한 점이 많다고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 충전형 합성보^[8]와 앵글을 사용한 합성보^{[9],[10]}에 대한 선행 연구들을 참고하여, 충전형 합성보에 사용을 목적으로 하는 앵글형 전단연결재의 강도 및 성능 평가를 진행하고자 한다. 국내외 설계식을 참고하여 앵글형 전단연결재에 대해 설계식을 검토하고자 한다. 전단연결재의 강도 및 성능 평가를 위해 4개의 실험체가 제작되었으며, 연결재의 높이 및 두께를 변수로 하여 실험을 진행하

Note.-Discussion open until June 30, 2020. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on August 14, 2019; revised November 05, 2019; approved on November 21, 2019.

Copyright © 2019 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-53-950-5591 Fax. +82-53-950-5591

E-mail. shin@knu.ac.kr

였다. 높이를 변수로 함으로써, 현재 국내 설계기준에서 고려되지 않는 연결재의 높이에 대한 부분을 실험을 통해 검증하고자 하였다. 실험결과를 통해 연결재의 높이에 대한 고려의 필요성을 제시하고자 하며, 필요시 추가적인 연구를 통해 새로운 설계식을 제시하고자 한다.

2. 실험체 계획

실험은 앵글형 전단연결재의 성능평가를 위해 push-out 실험을 통해 진행하였다. 실험에 사용된 앵글형 전단연결재는 충전형 합성보에 사용을 목적으로 제작되었기 때문에, 일반적으로 H형강의 플랜지에 전단연결재가 용접되어 사용되는 push-out 실험체와는 다르게 제작되었다. 실험체의 형상은 Fig. 1과 같이 두 개의 ㄷ형강에 전단연결재를 용접한 형태로 제작되었으며, ㄷ형강 사이에도 콘크리트를 충전하여 제작하였다. 전단연결재의 간격은 400 mm로 한 면에 두 개씩 총 네 개가 설치되었다. 콘크리트 슬래브의 경우 성능확보를 위해 D10 철근을 수평 및 수직으로 배근하였다.

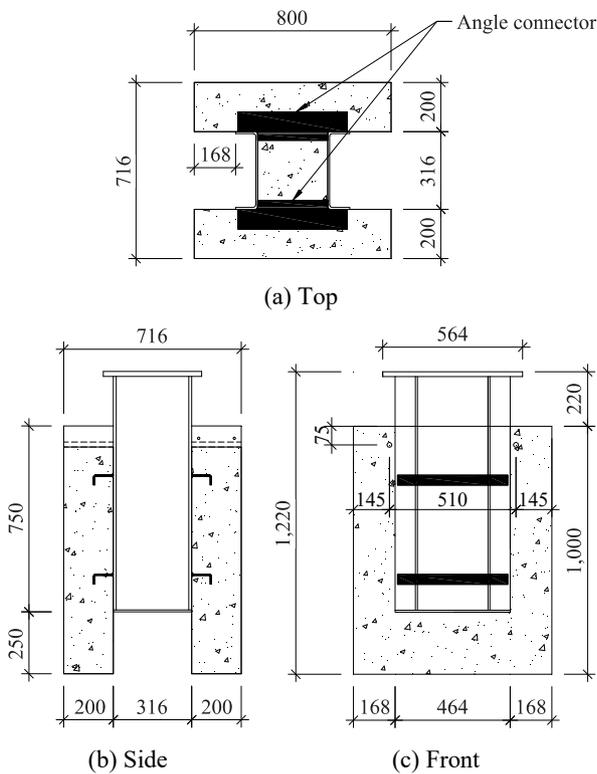
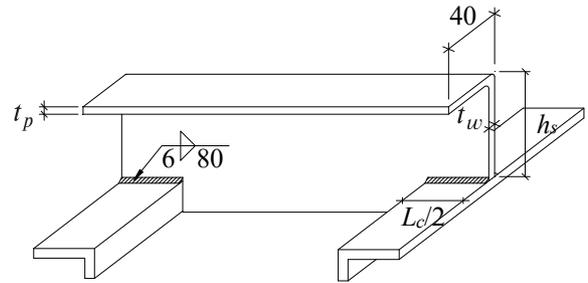


Fig. 1. Push-out test specimen

타낸다. 실험체는 연결재의 두께($t_p = t_w$)와 연결재의 높이를 (h_s) 변수로 총 4개의 실험체가 제작되었다. 연결재의 길이 (L_c)는 연결재의 용접 길이를 나타내며, 160 mm로 동일하게 제작하였다. 연결재의 높이에서는 각각 60 mm, 80 mm로 차이를 두었고, 두께에서는 4.5 mm, 6 mm로 차이를 두어 제작하였다. Fig. 2(b)는 실제 합성보에 설치된 앵글형 전단연결재를 나타낸다.



(a) Details of angle shear connector



(b) Application examples of composite beams

Fig. 2. Angle shear connector

Table 1은 실험체의 일람표이며 각 치수의 상세를 나타낸다. 실험체 명에서 AN은 angle형 전단연결재라는 뜻이며 뒤의 숫자들은 각 부위별 치수를 AN- L_c - h_s - $t_p (= t_w)$ 순으로 나타낸 것이다.

Table 1. Summary of test specimen

No.	Specimen	L_c (mm)	h_s (mm)	$t_p = t_w$ (mm)
1	AN-160-60-4.5	160	60	4.5
2	AN-160-60-6			6
3	AN-160-80-4.5		80	4.5
4	AN-160-80-6			6

L_c = Length of connector, h_s = Height of connector, $t_p (= t_w)$ = Thickness of connector

3. 실험

3.1 재료시험

실험체에 사용된 강재 및 콘크리트에 대해서 재료시험을 수행하였다. 강재의 재료시험은 한국공업규격의 금속재료 인장시험편(KS B 0801)에서 판모양 정형 시험편 5호를 따라 제작하였으며^[11], 금속재료 인장시험방법(KS B 0802)에서 제시한 시험방법에 준하여 실험을 진행하였다^[12]. Fig. 3은 제작된 시험편과 설치 모습을 나타낸다.



Fig. 3. Steel material test

전단연결재에 사용된 강재는 SS275이며, Fig. 4와 Table 2는 재료시험 결과를 나타낸다. 평균 항복강도는 341.7 MPa이며 평균 인장강도는 485.4 MPa이다.

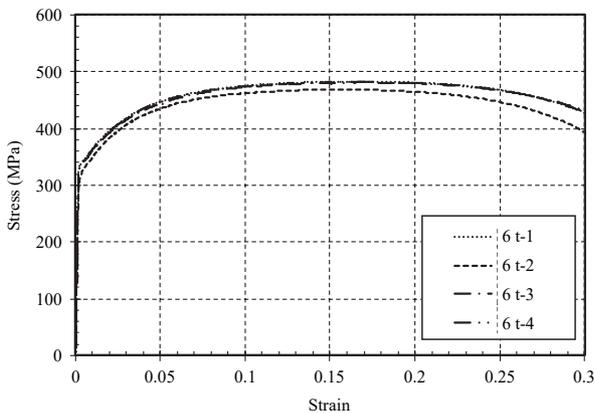


Fig. 4. Stress-strain curve of material test

콘크리트의 경우 한국공업규격의 콘크리트 강도 시험용 공시체를 제작하여, 콘크리트 압축 강도 시험방법(KS F 2405)에서 제시하는 방법에 준하여 진행하였다^[13]. Fig. 5는 제작된 시험편과 설치 모습을 나타내며, 압축강도 실험 결과는 Table 2에 함께 나타내었다. 콘크리트의 평균 압축 강도는 29.2 MPa이다.



Fig. 5. Concrete material test

Table 2. Result of material test

Coupon	No.	t (mm)	F_y (MPa)	F_u (MPa)	Elongation (%)
SS275	1	4.5	355.6	494.8	33.0
	2		350.3	492.2	34.4
	3		356.8	491.6	31.4
	4		359.5	491.6	33.1
	1	6.0	331.4	482.4	34.1
	2		330.0	467.8	30.3
	3		339.3	480.9	31.9
	4		331.0	481.5	32.3
Concrete	$f_{ck} = 29.2$ MPa				

t = Thickness, F_y = Yield strength, F_u = Tensile strength, f_{ck} = Compressive strength

3.2 실험 방법

실험을 수행하기 위해 용량 3,000 kN의 만능재료시험기(UTM) 위에 설치하였다. Fig. 6(a)는 실제 실험체 설치 모습을 나타내며, Fig. 6(b)는 콘크리트와 강재의 상대변위를 측정하기 위해 설치한 LVDT의 설치 위치를 나타낸다. 실험은 변위제어로 진행하였으며, 속도는 1.5 mm/min이다.

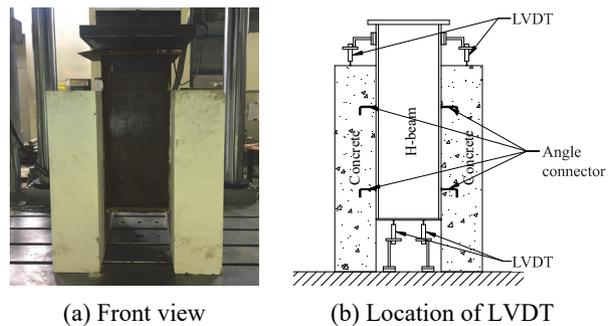


Fig. 6. Test set-up

4. 실험결과 및 설계식 검토

4.1 실험결과

다음은 실험종료 후 실험체의 모습이다. 파괴형상은 주로 콘크리트 슬래브 부분의 파괴가 일어났으며, 모든 실험체에서 콘크리트 슬래브와 강재 단면사이의 횡단분리를 확인할 수 있었다. 콘크리트 슬래브의 균열은 전단연결재의 설치 위치에서 발생하였으며, 전단연결재의 저항으로 발생했다고 판단된다. 추가로 강재 단면과 콘크리트 슬래브 사이의 전단에 의해 상부 콘크리트에서의 균열도 확인할 수 있었다.

먼저, Fig. 7은 AN-160-60-4.5 실험체의 실험결과 사진이다. 전단연결재 부근 콘크리트에서 파괴가 일어났으며, 콘크리트 슬래브와 강재단면 사이의 횡단분리와 콘크리트 상부에서 전단에 의한 균열도 나타났다.



Fig. 7. Failure mode (AN-160-60-4.5)

다음으로 Fig. 8은 위 실험체와 연결재의 높이가 동일한 AN-160-60-6 실험체의 실험결과 사진이다. 앞선 실험체보다 콘크리트 슬래브 부분의 파괴가 심하게 나타났으며 슬래브와 강재단면 사이의 횡단 분리도 눈에 띄는 것을 확인할 수 있다.



Fig. 8. Failure mode (AN-160-60-6)

Fig. 9는 AN-160-80-4.5 실험체의 실험결과 사진으로 높이가 60 mm의 실험체에 비해 전체적으로 균열 및 횡단분리가 눈에 띄지 않으나, 전단연결재 근처 콘크리트 부분에서의 파괴 및 균열을 확인할 수 있었다.



Fig. 9. Failure mode (AN-160-80-4.5)

Fig. 10은 AN-160-80-6 실험체의 실험결과 사진이다. 4.5 t 실험체에 비해 콘크리트 슬래브 부분 균열 및 횡단분리가 눈에 띄게 나타났으며 전체적으로 4.5 t 실험체보다 6 t 실험체에서 콘크리트 슬래브 부분의 파괴가 심하게 나타났다.



Fig. 10. Failure mode (AN-160-80-6)

4.2 강도 및 성능 평가

앵글형 전단연결재의 높이와 두께에 따른 강도 및 성능 평가를 위해 각 변수를 통일하여 비교하였다.

먼저, Fig. 11은 연결재의 높이는 60 mm로 동일하며 두께가 각각 6 t, 4.5 t인 경우 두께에 따른 결과 그래프를 나타낸 것이다. 초기 강성은 유사하게 나타났으나 하중이 가해짐에 따라 6 t의 경우가 최대강도 및 변형 능력이 뛰어난 것을 알 수 있다. 수치상으로는 6 t의 경우 최대강도가 1,877 kN으로 4.5 t의 1,561 kN에 비해 약 21 % 정도 증가하였으며, 항

복 후 연결재의 변형 능력에 대해서도 4.5 t의 경우 약 8 mm 정도의 변형 능력을 보이는 것에 비해 6 t의 경우 약 11 mm 정도로 변형 능력도 증가하였다.

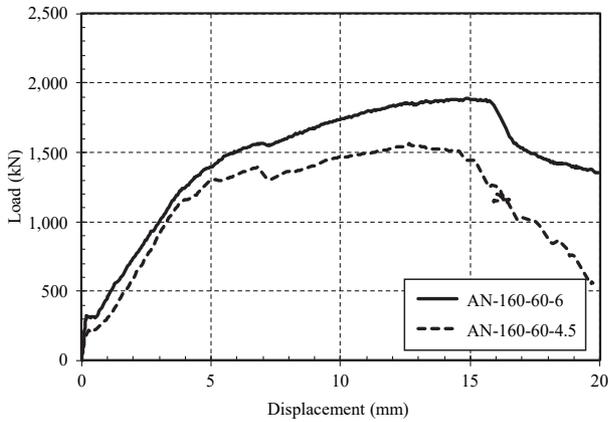


Fig. 11. Load-displacement curve about thickness (60 mm)

Fig. 12는 연결재의 높이를 80 mm로 동일하게 했을 경우 두께에 따른 결과 그래프를 나타낸 것이다. 연결재의 높이가 60 mm인 경우와 유사하게 6 t의 경우 최대강도 및 변형 능력이 증가하였으며, 최대강도가 1,996 kN으로 4.5 t의 1,670 kN에 비해 약 20 % 정도 증가한 것을 확인할 수 있다. 항복 후 연결재의 변형 능력에 대해서도 약 7 mm에서 약 10 mm로 증가하였다.

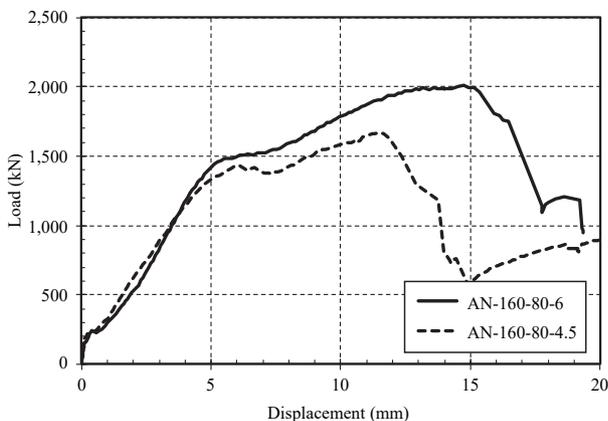


Fig. 12. Load-displacement curve about thickness (80 mm)

전체적으로 연결재의 두께가 증가함에 따라 최대강도 및 변형 능력이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 최대강도의 경우 평균적으로 20 % 정도 증가하였으며 항복 후 변형 능력 부분에서도 약 3 mm - 4 mm 정도 증가한 것을 확인할 수 있었다.

다음은 실험결과를 전단연결재의 높이(h_s)에 따라 나타낸 것이다. Fig. 13은 연결재의 두께는 4.5 t로 동일하게 하였으며 높이가 각각 80 mm, 60 mm인 경우 높이에 따른 결과 그래프를 나타낸 것이다, 초기강성은 유사했으며, 최대강도 부분에서 수치상으로 높이가 80 mm인 실험체의 최대강도가 1,670.6 kN으로 1,561.6 kN에 비해 크게 나타났다. 변형 능력 부분에서는 오히려 높이가 낮은 실험체가 더 뛰어난 변형 능력을 보여주었다.

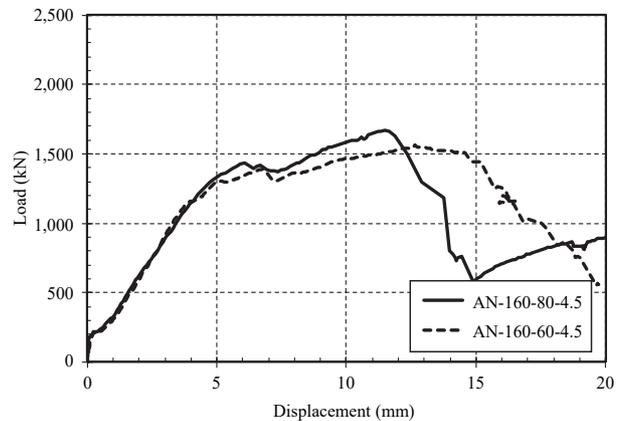


Fig. 13. Load-displacement curve about height (4.5 t)

Fig. 14의 경우 연결재의 두께가 6 t인 경우를 동일하게 나타낸 것이다. 두 실험체가 거의 유사한 실험결과를 보여주었으나 최대강도 부분에서 높이가 60 mm인 실험체의 최대강도가 1,996.4 kN으로 1,877.5 kN에 비해 크게 나타났다.

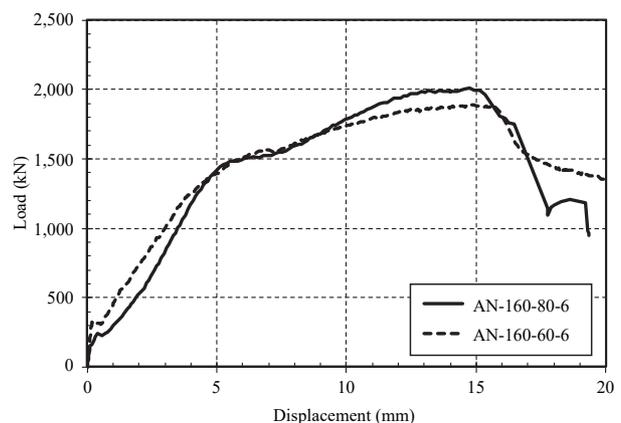


Fig. 14. Load-displacement curve about height (6 t)

두 가지 경우 모두 두께를 변수로 하는 경우에 비해 뚜렷한 차이는 확인할 수 없었지만 높이가 증가함에 따라 최대강도가 증가한다고 판단하였다. 하지만 신뢰성 부분에서 실

험에 사용된 네 개의 실험체만으로 결과를 판단하기 어려우며 연결재의 높이에 대해 추가적인 실험을 진행할 필요가 있다. 연결재의 변형 능력 부분에서는 큰 차이를 보이지 않았으며 변형 능력은 연결재의 두께에 많은 영향을 받는 것으로 판단된다.

실험결과에 따른 앵글형 전단연결재의 강도 및 성능은 Table 3에 나타냈다. Q_y 는 초기 기울기에서 기울기가 갑작스럽게 변화하는 지점으로 산정하였고, Q_u 는 최대강도로 산정하였다. Fig. 15에서 두께 및 높이가 증가함에 따라 전단연결재의 최대강도가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

Table 3. Results of push-out test

No.	Q_y (kN)	Q_u (kN)	$P_{Rk}(=0.9Q_u)$ (kN)	δ_u (mm)
1	1,168.8	1,561.6	1,405.4	15.0
2	1,441.3	1,877.5	1,689.7	16.0
3	1,342.0	1,670.6	1,503.6	12.5
4	1,464.6	1,996.4	1,796.7	15.5

δ_u = Displacement of $0.9Q_u$

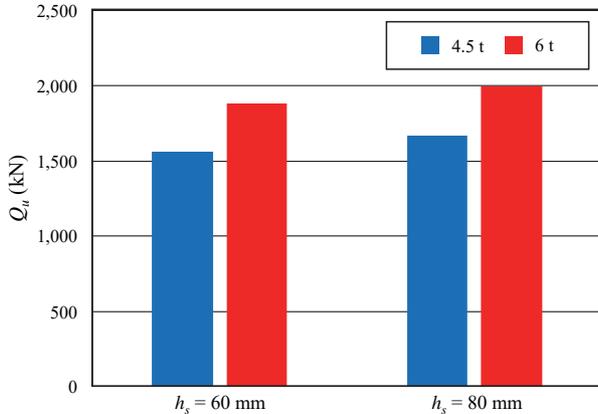


Fig. 15. Bar chart of push-out test result

일반적으로 합성부재에서 전단연결재의 역할은 콘크리트와 강재를 일체화시키는 것이지만, 동시에 연성적인 거동을 하는 것을 목표로 한다. 따라서 본 연구에서는 앵글형 전단연결재의 연성능력을 평가하기 위해 EN 1994-1-1^[14]에서 제시하는 전단연결재의 연성능력(slip capacity, δ_u) 평가 방법을 통해 실험에 사용된 앵글형 전단연결재의 연성능력을 평가하였다. 연결재의 연성능력(δ_u)은 최대하중의 90%에 해당하는 하중(P_{Rk})에 대한 변위로 측정되며, Fig. 16은 Eurocode에서 제시하는 δ_u 의 측정 방법을 나타낸다. 연결재의 연성능

력(δ_u)이 6 mm 이상이면 연성적인 연결재로 평가되며, 본 실험에 사용된 4개의 실험체 모두 6 mm를 상회하여 연성 연결재로 판단되었다. 연성능력 평가를 위해 참고한 EN 1994-1-1에서는 push-out 실험방법에 대해서도 제시하고 있으며, 제시하는 실험방법에 따르면 예상 파괴하중의 5% - 40% 사이에서 25회 반복가력을 하게 되어 있다. 그 과정은 콘크리트와 강재를 분리하는 과정으로 최대강도 및 변형 능력에 영향을 미치지 않는다고 판단하여 본 실험에서는 진행하지 않았다.

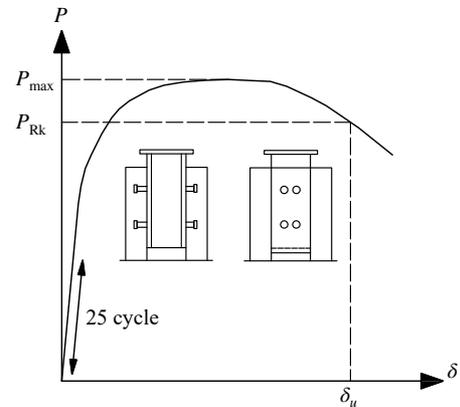


Fig. 16. Determination of P_{Rk} and δ_u of Eurocode

4.3 이론 검토

실험결과에서 알 수 있듯이 앵글형 전단연결재는 두께에 비례하여 강도 및 변형 능력이 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 실험결과를 통해서 연결재의 두께가 설계식에 반영되어야 한다. 연결재의 높이의 경우 높이가 높아짐에 따라 강도가 약간 증가하였다. 본 실험에서는 눈에 띄는 큰 차이가 나지 않았지만 연결재의 높이가 더 높아질 경우 강도가 증가할 것으로 예상된다. 따라서 연결재의 높이가 강도에 영향을 미친다고 판단하여 설계식에서 연결재의 높이에 대한 고려도 필요하다고 판단된다.

본 연구에 사용된 앵글형 전단연결재에 적합한 설계식을 찾기 위해서 유사한 형태의 전단연결재에 대한 설계식과 다양한 연구 및 제안식들을 통하여 설계식 검토를 진행하였다.

Fig. 17은 국내 구조 설계기준인 건축구조기준^[15]에서 제시하는 ㄷ형 전단연결재의 상세이며, 식 (1)은 ㄷ형 전단연결재의 설계식이다. ㄷ형 전단연결재는 본 실험에 사용된 앵글형 전단연결재와 비슷한 형상을 하고 있지만 설계식에서 전단연결재의 높이를 고려하지 않고 있다.

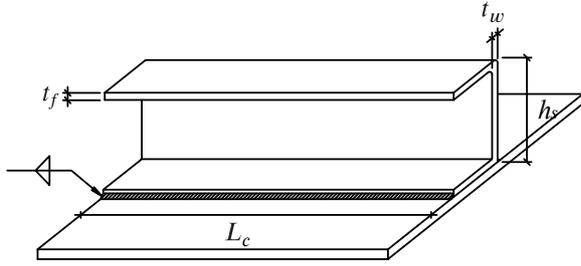


Fig. 17. C channel shear connector as used in KBC 2016

$$Q_{n,KBC2016} = 0.3(t_f + 0.5t_w)L_c\sqrt{f_{ck}E_c} \quad (1)$$

여기서, Q_n : 전단연결재의 공칭강도(kN)

t_f : 전단연결재의 플랜지 두께(mm)

t_w : 전단연결재의 웨브 두께(mm)

L_c : 전단연결재의 용접길이(mm)

f_{ck} : 콘크리트의 강도(MPa)

E_c : 콘크리트의 탄성계수(MPa)

다음으로 식(2)는 캐나다의 설계기준인 CAN/CSA a16^[16]이며 식(3)은 그것을 참고하여 Pashan^[6]이 제안한 설계식이다. ㄷ형 전단연결재와 같은 형태의 연결재를 사용하여 실험 및 설계식을 제안하였으며, Pashan이 제안한 설계식은 전단연결재의 높이까지 고려하고 있다.

$$Q_{n,CAN/CSA} = 36.5(t_f + 0.5t_w)L_c\sqrt{f_{ck}} \quad (2)$$

$$Q_{n,Pashan} = (336t_w^2 + 5.24L_cH_c)\sqrt{f_{ck}} \quad (3)$$

여기서, H_c : 전단연결재의 높이(mm)

마지막으로 식(4)는 Eurocode^[17]에서 제시하는 앵글을 전

단연결재로 사용했을 경우에 대한 설계식이며, Fig. 18은 앵글의 형태를 나타낸다. 본 설계식에서는 앵글의 두께를 고려하고 있지 않지만 높이를 고려하고 있다.

$$Q_{n,Eurocode} = 10bh^{\frac{3}{4}}f_{ck}^{\frac{2}{3}}/\gamma_v \quad (4)$$

여기서, b : 전단연결재의 길이(= L_c)(mm)

h : 전단연결재의 높이(mm)

γ_v : 부분안전계수(= 1.25)

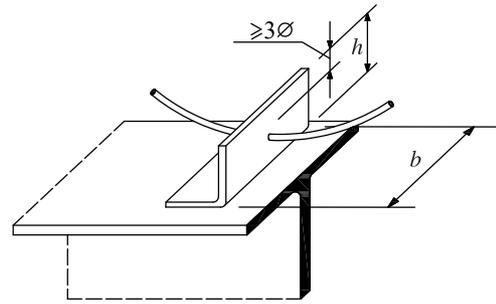


Fig. 18. Angle shear connector as used in Eurocode

따라서, 본 논문에서는 세 가지 설계식을 비교하여 앵글형 전단연결재에 가장 적합한 설계식을 찾고자 한다. Table 4는 각 설계식에 의한 강도를 계산한 것이며, 실제 실험결과와 비교한 것이다. 건축구조기준의 경우 연결재의 높이에 대한 변수를 반영하지 못하고, Eurocode의 경우 연결재의 두께에 대한 변수를 고려하지 못하고 있다.

Fig. 19는 위의 Table 4를 그래프로 나타낸 것이다. 실제 실험에서 연결재의 두께에 따라 실험결과가 큰 차이를 보였던 만큼 두께를 고려하지 않는 Eurocode의 설계식의 경우 실제 실험결과와 큰 차이가 나는 것을 확인할 수 있다. 이에

Table 4. Comparison of test value and theoretical result

No.	Specimen	Q_u (kN)	$Q_{n,KBC}$ (kN)	$\frac{Q_u}{Q_{n,KBC}}$	$Q_{n,Euro}$ (kN)	$\frac{Q_u}{Q_{n,Euro}}$	$Q_{n,Pashan}$ (kN)	$\frac{Q_u}{Q_{n,Pashan}}$
1	AN-160-60-4.5	1,561.6	964.6	1.62	866.6	1.80	1,199.1	1.30
2	AN-160-60-6	1,877.5	1,286.2	1.46	866.6	2.17	1,397.7	1.34
3	AN-160-80-4.5	1,670.6	964.6	1.73	1,075.3	1.55	1,513.7	1.10
4	AN-160-80-6	1,996.4	1,286.2	1.55	1,075.3	1.86	1,712.3	1.17

Q_y = Yield strength of connector, Q_u = Ultimate strength of connector, $Q_{n,KBC}$ = Nominal strength by KBC 2016, $Q_{n,Euro}$ = Nominal strength by Eurocode, $Q_{n,Pashan}$ = Nominal strength by Pashan's proposed equation

비해 두께를 고려한 건축구조기준과 Pashan이 제안한 설계식의 경우 비교적 유사한 값이 나온 것을 확인할 수 있다. 건축구조기준의 경우 연결재의 높이를 고려하지 않기 때문에 두께에 따른 강도변화를 따라가지 못하며, 전단연결재의 높이를 고려하는 Pashan의 제안식의 경우 높이 변화를 고려하기 때문에 실험값과 가장 유사한 경향을 보여주었다.

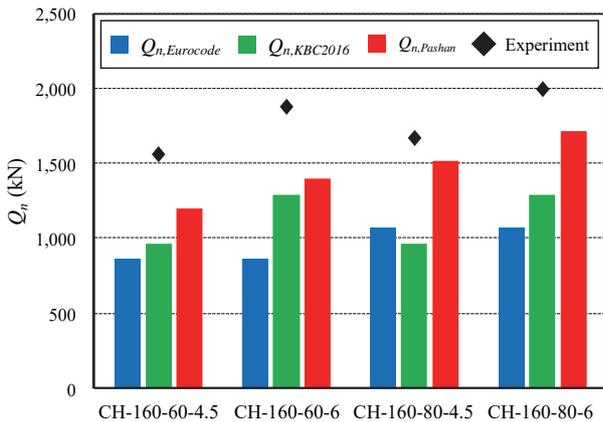


Fig. 19. Comparison of theoretical and experimental values

그림에도 전단연결재의 강도가 저평가되는 이유는 전단연결재 사이의 콘크리트가 추가적으로 전단에 저항하기 때문이라고 판단된다. 본 실험에 사용된 앵글형 전단연결재는 충전형 합성보에 사용을 목적으로 하고 있으며 전단연결재 사이에 콘크리트가 채워진 형태를 가지게 된다. 따라서 콘크리트가 가지는 전단내력을 고려해야하며 이에 대해서는 추후에 추가적인 연구를 진행할 예정이다.

5. 결론

본 연구는 push-out 실험을 통하여 충전형 합성보에 사용되는 앵글형 전단연결재의 강도 및 성능평가를 진행하였으며, 국내외 설계기준과 연구들을 참고하여 앵글형 전단연결재에 사용가능한 설계식을 찾고자 하였다. 또한, 기존의 설계식에서 고려되지 않던 연결재의 높이에 대한 고려의 필요성을 판단하였으며 결과적으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 앵글형 전단연결재의 최대강도 및 변형 능력은 연결재의 두께에 많은 영향을 받으며 연결재의 두께에 비례하여 증가한다고 판단했다. 두께를 변수로 하였을

경우 최대강도가 평균적으로 20% 정도 증가하였으며, 변형 능력에서도 3 mm - 4 mm 정도 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

- (2) 연결재의 높이를 변수로 하였을 경우 최대강도가 증가하는 것을 확인할 수 있지만, 변형 능력에 대해서는 연결재의 높이가 영향을 끼치지 않는다고 판단된다.
- (3) EN 1994-1-1에서 제시하는 연성능력 평가방법으로 연성능력을 평가한 결과 실험에 사용된 앵글형 전단연결재의 연성능력이 충분하다고 판단되었다.
- (4) 실험결과 연결재의 높이에 따라 최대강도가 증가함에 따라 연결재의 높이를 고려한 새로운 설계식의 제안이 필요하다고 판단된다. 하지만 증가량이 크지 않고 실험체가 제한적이므로 추가적으로 연결재의 높이를 변수로 한 실험을 진행해야 한다.
- (5) 다양한 전단연결재의 설계식을 통해 실험에 사용된 앵글형 전단연결재의 실험결과와 비교한 결과 연결재의 두께와 높이를 모두 고려한 Pashan의 제안식이 가장 신뢰성이 있다고 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2018년 IS 중공업과 한국강구조학회의 엠보싱 웹브를 가지는 T형 합성보의 내력평가에 관한 연구의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌(References)

- [1] Kim, S.B., and Kim, S.S. (2006) An Evaluation on the Shear Strength for Different Forms of Shear Connector in T-Type Composite Beam, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.18, No.2, pp.279-288 (in Korean).
- [2] Mazoz, A., Benanane, A., and Titoum, M. (2013) Push-out Tests on a New Shear Connector of I-Shape, *International Journal of Steel Structures*, KSSC, Vol.13, No.3, pp.519-528.
- [3] Titoum, M., Mazoz, A., Benanane, A., and Ouinas, D. (2016) Experimental Study and Finite Element Modelling of Push-out Tests on a New Shear Connector of I-Shape, *Advanced Steel Construction*, The Hong Kong

- Institute of Steel Construction, Vol.12, No.4, pp.487-506.
- [4] Kim, Y.J., Bae, J.H., Ahn, T.S., and Jang, D.W. (2014) Push-out Test on Welded Angle Shear Connectors Used in Composite Beams, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.26, No.3, pp.155-167 (in Korean).
- [5] Shariati, M., Ramli Sulong, N.H., Arabnejad Kh, M.M., and Mahoutian, M. (2011) Shear Resistance of Channel Shear Connectors in Plain, Reinforced and Lightweight Concrete, *Scientific Research and Essays*, Academic Journals, Vol.6, No.4, pp.977-983.
- [6] Pashan, A. (2006) *Behavior of Channel Shear Connectors: Push-out Tests*, Master's Thesis, University of Saskatchewan, Canada.
- [7] Ahn, H.J., Jung, I.Y., Kim, Y.J., and Hwang, J.S. (2015) Shear Resistance of BESTOBEAM Shear Connector According to the Length, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.27, No.5, pp.483-491 (in Korean).
- [8] Lim, H.T., and Choi, B.J. (2017) Shear Capacity Evaluation of Steel Plate Anchors Using Folded Steel Plate in AU-Composite Beam, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.29, No.5, pp.389-400 (in Korean).
- [9] Lee, J.S., Shin, K.J., Lee, H.D., and Kim, S.Y. (2019) Flexural Strength of Filled Composite Beams with Embossing Webs, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.31, No.3, pp.187-197 (in Korean).
- [10] Choi, I.R., Kim, Y.H., Jung, S.J., and Lee, J.H. (2019) Flexural Performance Tests for Steel and Composite U-Tube Flange H-Beam Structure, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.31, No.3, pp.199-209 (in Korean).
- [11] Korean Agency for Technology and Standards (2017) *Test Pieces for Tensile Test for Metallic Materials* (KS B 0801: 2007), Korea (in Korean).
- [12] Korean Agency for Technology and Standards (2018) *Method of Tensile Test for Metallic Materials* (KS B 0802: 2003), Korea (in Korean).
- [13] Korean Agency for Technology and Standards (2017) *Standard Test Method for Compressive Strength of Concrete* (KS F 2405: 2010), Korea (in Korean).
- [14] European Committee for Standardization (2004) *Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1-1: General Rules and Rules for Building* (EN 1994-1-1: 2004), Belgium.
- [15] Architectural Institute of Korea (2016) *Korea Building Code (KBC 2016) and Commentary*, Kimoondang, Korea (in Korean).
- [16] Canada Standards Association (2001) *Limit States Design of Steel Structures* (CAN/CSA-S16-01), Canada.
- [17] European Committee for Standardization (2001) *Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1-1: General Rules and Rules for Building, Draft No. 2* (prEN 1994-1-1: 2001), Belgium.

요약: 최근에 재료의 경제적인 사용을 위해 합성부재의 사용이 증가함에 따라 강재와 콘크리트를 연결하는 전단연결재에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 일반적으로는 스티드 앵커가 사용되며, 다양한 형태의 전단연결재에 대한 연구가 진행 중이다. 본 연구에서는 앵글형 전단연결재의 높기와 두께를 변수로 실험을 진행하였다. 전단연결재의 높이가 실험결과에 영향을 미칠 것으로 예상되며, 현재 설계식에서 고려되지 않는 앵글의 높이에 대한 고려의 필요성을 판단하였다. 실험에 사용된 앵글형 전단연결재는 두께에 많은 영향을 받으며 높이에 대해서도 어느정도 영향을 받는 것으로 판단하였다.

핵심용어: 합성보, 전단연결재, 스티드, 앵글, 설계식
