

BESTOBEAM 전단연결재의 길이에 따른 전단 내력 평가

안형준¹ · 정인용^{2*} · 김영주³ · 황재선⁴

¹교수, 건국대학교 건축학부, ²선임연구원, DRB동일, ³수석연구원, DRB동일, ⁴소장, 일구조

Shear Resistance of BESTOBEAM Shear Connector According to the Length

Ahn, Hyung Joon¹, Jung, In Yong^{2*}, Kim, Young Ju³, Hwang, Jae Sun⁴

¹Professor, Dept. College of Architecture, Konkuk University, Seoul, 143-701, Korea

²Researcher, DRB Holding Co., Ltd., Seoul, 150-903, Korea

³Senior Researcher, DRB Holding Co., Ltd., Seoul, 150-903, Korea

⁴Head manager, Il Structure Co., Ltd., Seoul, 150-903, Korea

Abstract - Shear resistance of BESTOBEAM, which has angle as shear connector and was developed with purpose of easy construction, was tested. With the test results shear resistance design equation was proposed. Unlike angle connector of Eurocode 4, BESTO BEMA shear connector behaves like fixed-end beam. Therefore longer span of the shear connector the lower shear resistance it has. As a result, shear resistance of BESTOBEAM shear connector according to its length tends to decrease as its length gets longer. The authors proposed design equation of angle shear connector sased on the test results. The results from the test and the proposed equation match within 10% error range. Therefore the proposed equation can be used for designing shear connector of BESTOBEAM.

Keywords - Composite beam, Push-out test, Angle shear connector, Shear resistance, Design equation

1. 서론

이종 재료간의 장점을 조합하여 높은 성능을 이끌어내는 합성부재는 건설 현장에서 널리 사용되고 있다. 합성부재의 개발에 있어서 가장 중요한 것이 이종 재료간의 합성 효과를 어떻게 이끌어 내는가에 관한 것이다. 이와 더불어 제작과 시공의 편리성이 실제 현장에서 합성부재의 사용을 결정짓는 요소라고 할 수 있다. 합성부재에 가장 널리 사용되는 재료는 콘크리트와 강재이다. 경제적이며 사용성이 좋은 콘크리트의 장점과 고강도이며 시공성이 좋은 강재의 장점을 조

합하여 합성보와 합성기둥을 제작한다. 콘크리트-강재 합성부재는 이종 재료간의 합성효과를 어떻게 이끌어 내느냐에 따라 매우 다양한 상재가 개발되어 있다^{[1],[2],[3]}. 이종 재료간의 힘을 전달하는 전단연결재의 효율적인 형태 및 구성 방식에 대한 연구가 주를 이루고 있으며 경량화, 내화 성능에 대한 연구도 진행되고 있다^{[4],[5],[6],[7],[8],[9]}. 한편, 복잡한 접합부를 간소화 시킬 수 있는 접합부 디테일의 개발도 주된 이슈 중에 하나다^{[10],[11],[12]}.

최근 사용자 중심의 합성보(BESTOBEAM)가 개발되었고 그 성능을 입증^{[11],[12],[13]}하고 여러 현장에 적용해 오고 있다. BESTOBEAM은 단면형상이 간단명료하여 제작이 편하며 기존 철골 구조와 동일한 방식의 접합부 시공 방법으로 주목을 끌고 있다. BESTOBEAM은 Fig. 1과 같이 U형 단면(U-beam) 내부에 콘크리트가 충전되며 상부에 앵글을 용접하여 콘크리트와의 합성 성능을 이끌어낸다. U-beam은 콘크리트의 거푸집 역할을 함과 동시에 인장 철근의 역할도 함으로써 보 춤을 기존의 H-section 대비 30% 이상 줄일 수 있다.

Note.-Discussion open until April 30, 2016. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on June 24, 2015; revised August 25, 2015; approved on October 6, 2015.

Copyright © 2015 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-2-2168-9742 Fax. +82-2-2672-6423

E-mail. jung.in.yong@drbworld.com

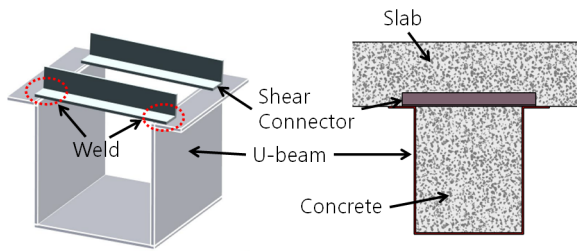


Fig. 1. BESTOBEAM section

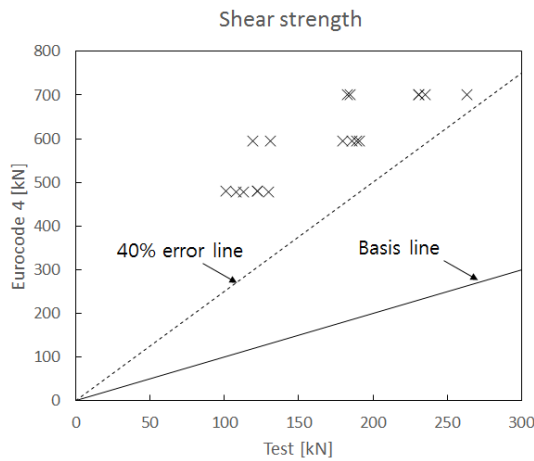


Fig. 2. Comparison of Eurocode 4 and test result

Eurocode 4^[14]에서는 H형강 상부 플랜지에 앵글을 용접하여 전단연결재로 사용하는 합성보의 설계 상세와 강도식을 제시하고 있다. 하지만 BESTOBEAM은 앵글의 양단만 U-beam 상부 플랜지에 용접되어 있으므로 Eurocode 4의 설계식을 그대로 적용하기에는 무리가 있다. 김영주^[13]의 연구에 의하면 BESTOBEAM의 전단 성능은 Eurocode 4가 제시하는 설계식과는 큰 차이가 있음을 보여주었다. Fig. 2는 Eurocode 4와 김영주^[13]의 실험결과를 비교한 그래프이다. 실험값보다 설계식으로 예측된 값이 2~4배까지 차이가 나는 것을 알 수 있다. 이러한 결과를 바탕으로 김영주^[13]은 BESTOBEAM 전단 연결재의 전단 성능에 관한 설계식을 식 (1)과 같이 제안하였다. 식 (1)은 앵글의 높이와 용접 길이 및 콘크리트의 강도를 변수로 하였다.

$$Q_{Pr_o} = \frac{10h^{\frac{2}{3}} f_{ck}^{\frac{2}{3}}}{(0.0012l_w^2 - 0.057l_w + 1.9)^{\frac{2}{3}}} \quad (1)$$



Fig. 3. Deformed shape of BESTOBEAM shear connector

여기서, l_w : 용접의 길이(mm)

h : 앵글의 높이

f_{ck} : 콘크리트의 압축강도 (MPa)

하지만 BESTOBEAM의 전단연결재는 Fig. 3과 같이 양단이 고정된 보와 같은 거동을 보였으며 전단연결재의 길이에 따른 성능의 변화도 고려되어야 할 것으로 판단되었다. 한편, 용접길이 30mm 이상에서는 뚜렷한 강도의 증가가 보이지 않았다. 따라서 본 연구에서는 용접길이를 40mm이상 확보한 조건으로 전단연결재의 길이에 따른 전단성능을 실험적으로 검증하고 BESTOBEAM의 전단 강도 설계식을 개선하여 제시하였다.

2. 실험프로그램

2.1 실험체

BESTOBEAM 전단연결재의 전단성능을 평가하기 위하여 Push-out 실험을 수행하였다. 실험체 형상은 Fig. 4에 나타내었다. 콘크리트와 강재의 마찰력을 최소화하기 위해 U-Beam의 깊이를 30mm로 낮춘 형태의 코어에 전단연결재를 용접하여 부착하고 콘크리트로 슬래브를 만들었다. 편

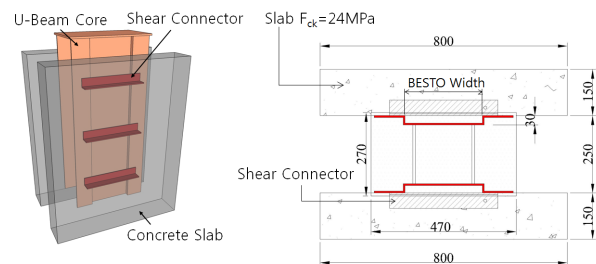


Fig. 4. Specimen detail

Table 1. Test parameter

No.	Specimen name	BESTO width [mm]	Conc. strength [MPa]
1	Be01-250-24	250	24
2	Be02-250-24	250	24
3	Be03-250-24	250	24
4	Be04-300-24	300	24
5	Be05-300-24	300	24
6	Be06-300-24	300	24
7	Be07-350-24	350	24
8	Be08-350-24	350	24
9	Be09-350-24	350	24
10	Be10-400-24	400	24
11	Be11-400-24	400	24
12	Be12-400-24	400	24
13	Be13-400-30	400	30
14	Be14-400-30	400	30
15	Be15-400-30	400	30
16	St01-200-24	300	24
17	St02-200-24	300	24
18	St03-200-24	300	24

※ Be: Besto, St: Stud

심을 방지하기 위해 대칭 형태로 제작하였다. 전단연결재의 간격은 300mm이며 코어 한 면에 세 개씩 총 여섯 개가 설치되었다.

실험 변수는 앵글 전단연결재의 길이와 콘크리트의 강도이다. 양 측 50mm씩 용접된 부분을 제외하고 순수한 경간으로 길이를 측정하였고 BESTO Width라고 명명 하였다. BESTO Width는 250mm, 300mm, 350mm, 400mm 이며 콘크리트 강도는 24MPa와 30MPa를 사용하였다. 전단연결재로 Stud를 사용한 실험체도 제작하여 성능을 비교하였다. Stud는 지름 16mm이며 200mm 간격으로 총 16개가 설치되었다. Stud 실험체의 경우 U-Beam 코어의 너비는 300mm로 제작하였다. 같은 변수의 실험체를 세 개씩 제작하여 총 18개의 실험체에 대해 실험을 수행하였으며 Table 1에 실험체와 변수에 대해 정리하였다.

2.2 실험체 셋업

실험 셋팅 모습을 Fig. 5에 나타내었다. 3000kN UTM을 이용하여 실험체에 수직 하중을 가하였다. U-Beam 코어는 콘크리트 슬래브 보다 상부로 100mm 돌출되어 있으며 이

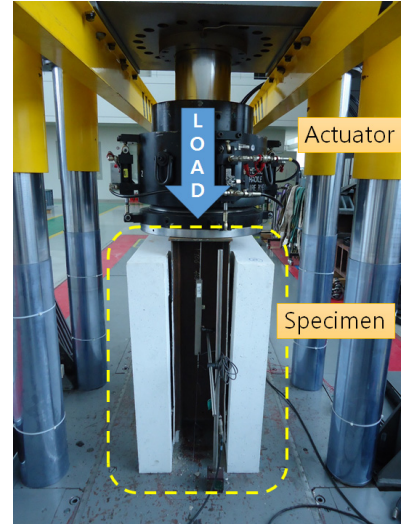


Fig. 5. Test setup

Table 2. Material test

Specimen		Y.S. [MPa]	T.S. [MPa]	Ratio	Elo. [%]
PL-6T	SM490	399	527	0.76	22
PL-5T	SS400	310	448	0.69	36
D10	SD400	526	661	0.80	18
Conc.	24MPa	f _{ck} = 31.8			
	30MPa	f _{ck} = 36.8			

코어에 하중을 가력하고 LVDT를 이용해 변위를 측정하였다.

U-Beam 코어에는 6mm, 전단연결재에는 5mm 두께의 강판이 사용되었으며 콘크리트 슬래브에는 D10 철근이 사용되었다. 각 재료의 물성치는 Table 2에 정리하였다.

3. 실험결과 및 분석

이번 연구에 사용된 Push-out 실험체의 형상은 일반적으로 사용되는 실험체와 형상이 다르다. 따라서 스티드를 전단연결재로 사용한 실험체의 결과값과 강구조 설계기준에서 제시하는 강도식으로 산정한 값의 비교를 통해 실험의 적절성을 평가하였다. 강구조 설계기준에서는 전단스티드의 강도를 다음과 같은 식으로 산정하도록 규정하고 있다.

$$Q_n = 0.5A_{sc} \sqrt{f_{ck} E_c} \leq R_g R_p A_{sc} F_u \quad (2)$$

여기서, A_{sc} : 스티드커빅터의 단면적(mm²)
 E_c : 콘크리트의 탄성계수(MPa)
 F_u : 스티드커빅터의 인장강도(MPa)
 R_g, R_p : 데크방향과 스티드 개수에 따른 계수

위 식으로 계산한 값(77.1kN)과 실험값은 10% 이내의 오차로 실험값을 예측하였다. 따라서 본 Push-out 실험체는 기존의 실험체처럼 전단연결재의 전단강도를 측정하는데 적절한 것으로 판단된다.

모든 실험체는 콘크리트 슬래브와 U-beam 코어의 사이에 슬립이 발생하여 하중이 감소되었으며 콘크리트 슬래브의 뚜렷한 균열은 관측되지 않았다. 최대하중의 70% 이하로 떨어졌을 때 실험을 중지하였으며, 가력기에서 측정된 하중을 전단연결재의 개수로 나눠 전단연결재 한 개의 강도를 비교하였다.

Eurocode 4에서는 같은 변수의 실험체를 최소 세 개 이상을 사용하도록 정하고 있으며 실험체군의 표준편차가 10% 이하가 되도록 규정하고 있다. 실험체군을 대표하는 전단연결재의 내력을 Characteristic resistance(P_{Rk})라고 하며

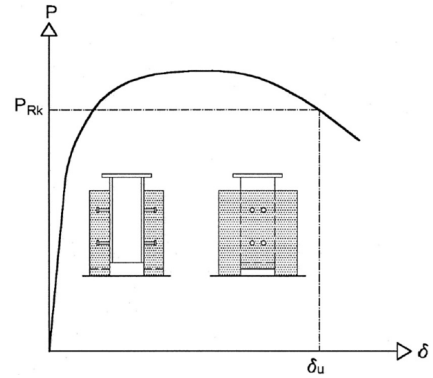


Fig. 6. Determination of slip capacity δ_u

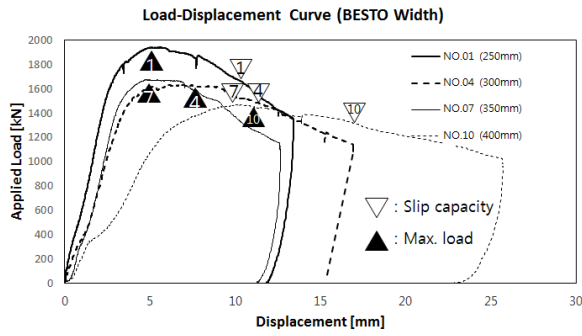
실험체군 최소 파괴하중의 90%로 정의하고 있다. 전단연결재의 연성능력(slip capacity, δ_u)은 연성 거동 구간에서 P_{Rk} 에 상응하는 하중에서의 변위로 정의하며 Fig. 6에 그 평가 방법을 나타내었다. 실험체군 대표 연성능력(Characteristic slip capacity, δ_{uk})은 실험체군 최소 연성능력의 90%로 정의하며 δ_{uk} 가 6mm이상이면 연성적인 전단연결재로 평가한다.

Table 3은 각 실험체 별 실험 결과를 정리한 것이다. 각 변수 별로 세 개 실험체의 성능이 측정되었으며 각 실험체군

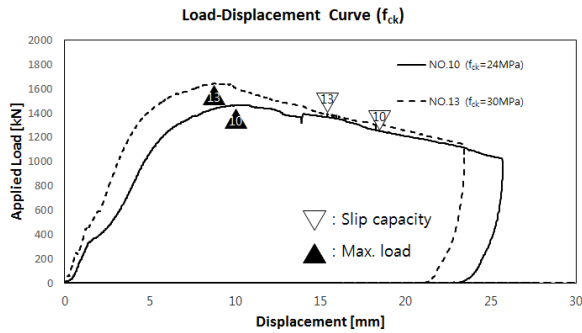
Table 3. Test results

No.	Specimen	BESTO Width [mm]	Conc. Strength [MPa]	Shear Strength [kN]	P_{Rk} [kN]	Ductility(δ_u) [mm]	δ_{uk} [mm]
1	Be01-250-24	250	24	323.6	265.5	10.7	9.1
2	Be02-250-24	250	24	295.0		10.1	
3	Be03-250-24	250	24	319.0		10.8	
4	Be04-300-24	300	24	272.1	244.9	11.7	10.5
5	Be05-300-24	300	24	279.0		13.5	
6	Be06-300-24	300	24	290.6		12.5	
7	Be07-350-24	350	24	279.8	220.7	10.0	7.2
8	Be08-350-24	350	24	259.2		8.0	
9	Be09-350-24	350	24	245.2		10.0	
10	Be10-400-24	400	24	244.6	206.3	18.9	17.0
11	Be11-400-24	400	24	232.8		21.3	
12	Be12-400-24	400	24	229.3		19.0	
13	Be13-400-30	400	30	274.0	231.6	15.6	13.5
14	Be14-400-30	400	30	257.4		16.7	
15	Be15-400-30	400	30	261.3		15.0	
16	St01-200-24	300	24	76.1	61.5	19.7	15.6
17	St02-200-24	300	24	68.3		17.3	
18	St03-200-24	300	24	69.4		17.6	

※ Be: Besto, St: Stud



(a) BESTO width



(b) Concrete strength

Fig. 7. Load-Displacement according to parameters

의 표준편차는 10% 이내로 Eurocode 4에서 정하는 제한을 만족한다. 각 실험체군의 대표 성능을 Eurocode 4에서 정의한 방법으로 계산하여 P_{Rk} 와 δ_{uk} 로 나타내었다. 16~18번 실험체는 전단연결재로 16개의 stud를 사용한 실험체이며 stud 한 개의 강도를 나타내었다.

Fig. 7에 각 실험 변수에 따른 실험체의 거동을 그래프로 비교 하였다. 각 실험체 군에서 첫 번째 실험체의 거동을 비교하였다. Fig. 7(a)는 BESTO Width에 따른 거동을 비교한 그래프이다. 약 2mm정도의 초기 변형 이후 콘크리트 슬래브와 U-beam 코어가 미끄러지면서 앵글 전단연결재의 거동을 확인할 수 있다. BESTO Width의 길이가 길어질수록 강성과 강도가 감소하는 경향을 확인할 수 있으며 연성은 증가하는 경향을 보인다.

Fig. 7(b)는 콘크리트 강도에 따른 거동을 비교한 그래프이다. 콘크리트 강도가 증가하면 내력도 증가하나 연성은 감소하는 경향을 보인다. Eurocode 4에 따라 각 실험체군의 대표 전단강도(Characteristic resistance, P_{Rk})를 구하고 BESTO width에 따른 전단연결재의 성능을 비교해 보면 Fig. 8과 같다. 이전 연구^[9]에서 앵글 전단연결재는 양단고

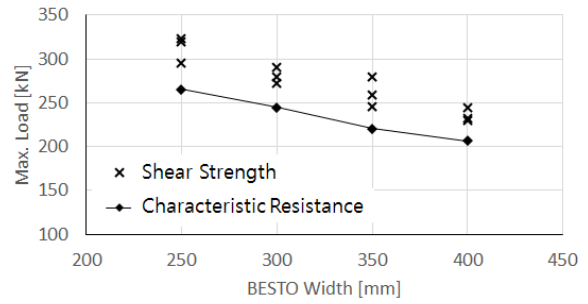


Fig. 8. Shear strength according to BESTO width

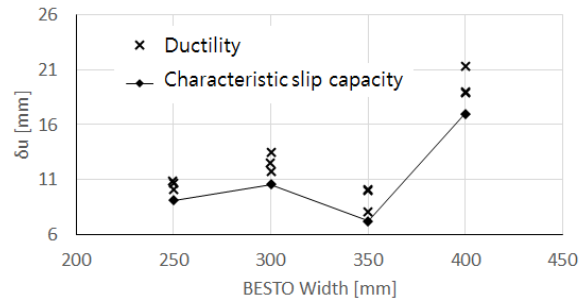


Fig. 9. Ductility according to BESTO width

정 보와 같은 변형 형상을 보였다. 그러므로 전단연결재의 길이가 길어질수록 전단성능은 감소될 것으로 예측되었고 실험결과도 이와 같았다.

BESTO width에 따른 전단연결재 연성능력의 변화를 보면 Fig. 9와 같다. BESTO width가 350mm일 때 연성능력이 상대적으로 감소한 것을 제외하면 대체적으로 BESTO width가 커질수록 연성능력도 증가하는 경향을 나타낸다.

콘크리트 강도에 따른 성능의 변화를 비교해 보면 Table 4와 같다. 콘크리트 강도가 증가할수록 전단연결재의 대표 전단강도는 증가하며 연성능력은 감소하는 경향을 보인다.

stud를 사용한 16~18번 실험체의 경우 전단연결재 한 개 당 강도는 앵글 전단연결재에 비해 1/4 수준이며 연성능력은 비슷하였다.

Table 4. Performance of Shear Connector According to Concrete Strength

Conc. strength [MPa]	Shear strength (P_{Rk}) [kN]	ductility (δ_{uk}) [mm]
24	206.3 (100%)	17.0 (100%)
30	231.6 (112%)	13.5 (79%)

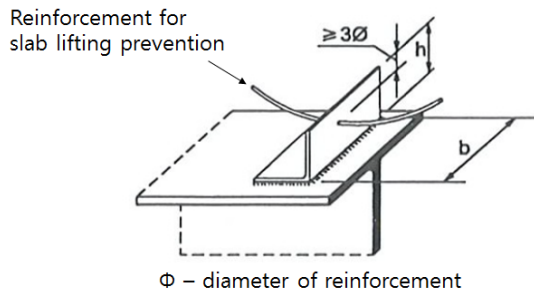


Fig. 10. Reinforcement for slab lifting prevention

한편, Eurocode 4에서는 앵글 전단연결재의 강도식을 다음과 같이 제시하고 있다.

$$R_{Rd} = 10bh^{\frac{3}{4}}f_{ck}^{\frac{3}{4}}/\gamma_v \quad (3)$$

여기서, b : 앵글의 길이 (mm)

h : 앵글의 높이 (mm)

f_{ck} : 콘크리트 강도 (MPa)

γ_v : 부분안전계수 (mm^2)

Fig. 10에서 보듯이 Eurocode 4에서 정의하는 앵글 전단연결재는 플랜지에 앵글 하부가 용접이 되고 앵글 상부의 휨 내력으로 전단력에 저항을 한다. Eurocode 4의 설계식에 따르면 전단연결재의 강도는 콘크리트와 접하는 앵글의 면적에 비례하며, 앵글의 높이가 일정하면 길이(b)에 비례하는 강도를 가지게 된다.

하지만 BESTOBEAM에 사용된 앵글 전단연결재는 양 쪽 끝단만 플랜지에 용접되어 있어 분포 하중을 받는 보와 같은 거동을 나타낸다. 따라서 앵글의 길이가 길어질수록 강도가 저감되며 강도식에도 이를 반영하여야 한다. 분포하중을 받는 보의 휨 강도는 길이의 제곱에 반비례한다.

식 (3)에서 앵글의 길이에 따른 강도저감을 고려하여 다음과 같은 식을 제안하였다.

$$R_{BESTO} = \frac{31000h^{\frac{3}{4}}f_{ck}^{\frac{3}{4}}}{\sqrt{b}} \quad (4)$$

여기서, b : 앵글의 길이 (mm)

h : 앵글의 높이 (mm)

f_{ck} : 콘크리트 강도 (MPa)

Table 5. Comparison of test result and proposed equation

No.	f_{ck} [MPa]	BESTO width [mm]	Angle height [mm]	R_{test} [kN]	R_{BESTO} [kN]	R_{test} / R_{BESTO}
1	24	250	50	323.6	306.7	1.06
2	24	250	50	295.0	306.7	0.96
3	24	250	50	319.0	306.7	1.04
4	24	300	50	272.1	280.0	0.97
5	24	300	50	279.0	280.0	1.00
6	24	300	50	290.6	280.0	1.04
7	24	350	50	279.8	259.2	1.08
8	24	350	50	259.2	259.2	1.00
9	24	350	50	245.2	259.2	0.95
10	24	400	50	244.6	242.5	1.01
11	24	400	50	232.8	242.5	0.96
12	24	400	50	229.3	242.5	0.95
13	30	400	50	274.0	281.4	0.97
14	30	400	50	257.4	281.4	0.91
15	30	400	50	261.3	281.4	0.93
P10	24	400	30	130.1	165.3	0.79
P16	24	400	40	189.2	205.1	0.92
P22	24	400	50	262.7	242.5	1.08

제안식을 통해 계산된 전단연결재의 강도와 실험에서 측정된 강도를 비교하여 Table 5에 정리하였다. P10, P16, P22 실험체는 이전 연구^[13]에서 사용된 실험체이며 앵글의 크기에 따른 강도를 알아보기 위해 비교되었다.

각 변수별 실험값과 식 (4)를 통해 계산된 값을 비교하면 다음과 같다. Fig. 11은 BESTO Width에 따른 전단연결재의 강도를 비교기 위해 실험체 1~12번의 결과를 그래프로 나타내었다. 식 (4)를 통해 계산된 값은 실험값의 평균과 3% 오차범위 이내로 일치하였으며 실험체군 대표 전단강도 대비 16%정도 일정하게 높은 값을 예측하였다.

Fig. 12는 콘크리트의 강도에 따른 전단강도를 나타내었

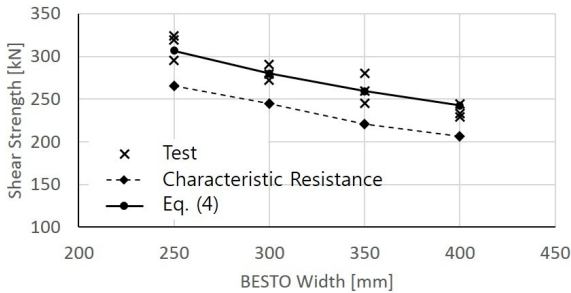


Fig. 11. Shear strength according to length

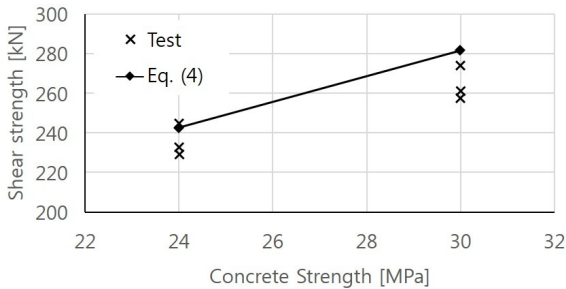


Fig. 12. Shear strength according to concrete strength

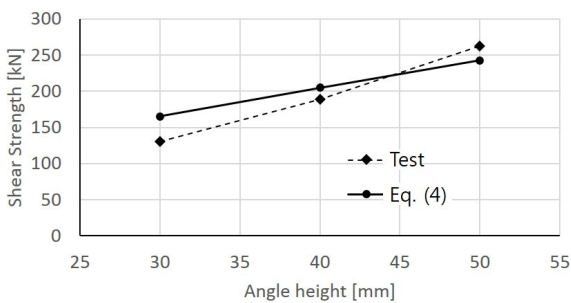


Fig. 13. Shear strength according to angle height

으며 실험체 10~15번의 결과를 비교하였다. 식 (4)로 계산된 값은 최대 7% 범위 내에서 실험값과 일치하였다. 각 실험체군의 평균보다는 3~7% 정도 높은 값을 예측하였다.

Fig. 13은 전단연결재의 높이에 따른 전단강도의 비교 그래프이다. P10, P16, P22의 실험값과 식 (4)를 통해 얻은 값을 비교하였다. Angle Height가 30mm인 P10의 경우 콘크리트 슬래브와 U-beam의 이격현상이 심하여 충분한 강도 발휘를 못 하였다. 그 외 P16과 P22 실험체의 결과값은 식 (4)의 값과 8% 오차로 일치하였다. Fig. 14는 실험값과 제안된 설계식으로 계산된 값의 비교를 그래프를 통해 나타낸 것이다. 가운데 실선은 식 (4)와 실험값이 정확히 일치하는 것을 의미하며, 점선은 10% error range를 나타낸 것이다. 대부분의 값이 10% 오차범위 이내에 있어 제안식이 실험값을 잘 예측한다는 것을 알 수 있다. P10 실험체만 21%의 오차를 보였다. P10 실험체는 앵글의 높이가 30mm인 실험체로 실험 시 콘크리트 슬래브와 U-beam 코어와의 간격이 벌어져

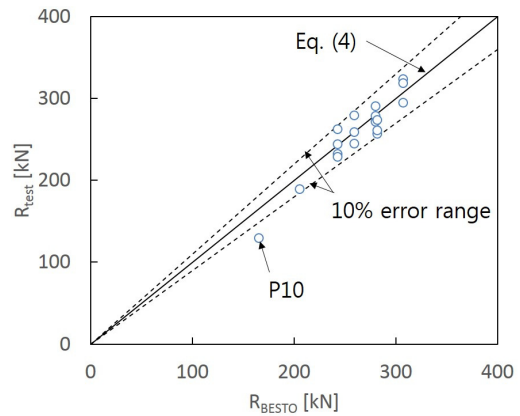


Fig. 14. Comparison of test result and proposed equation

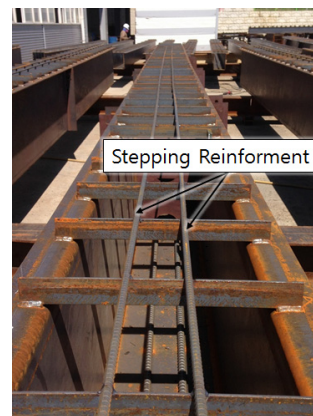


Fig. 15. Stepping reinforcement

서 조기에 강도가 저감되는 모습을 보였다. 김영주^[13]의 연구에서는 비대칭 단면으로 실험이 진행되었으며 슬래브와 U-beam의 간격이 벌어지는 현상이 더욱 심하게 발생했다. 하지만 앵글의 높이가 40mm 이상인 경우 간격 벌어짐에 의한 강도 저감 현상은 거의 발생하지 않았다. 이와 같은 슬래브의 이격을 방지하기 위해서 Eurocode 4에서는 Fig. 10에서 처럼 슬래브 이격 방지용 보강재를 부착한다. BESTOBEAM의 경우 시공 시 편의성을 위해 Fig. 15에서 보는 바와 같이 앵글 전단연결재 상부에 D13 발디딤 철근

두 개를 용접하여 부착한다. 이는 전단연결재의 강도 보강을 위해 부착되는 것은 아니지만 슬래브의 이격을 방지하여 전단연결재가 충분한 강도를 발휘할 수 있게 도와준다. 따라서 실제 시공된 BESTOBEAM은 충분한 전단강도를 발휘할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

BESTOBEAM의 전단연결재 길이와 콘크리트 강도에 따른 전단 성능에 대해 실험적으로 측정하고 설계식을 제안하였으며 결론은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- (1) 전단연결재의 길이가 길어질수록 전단 강도는 낮아졌다. BESTOBEAM의 전단연결재는 양단이 고정된 보와 같은 거동을 보이므로 길이가 길어질수록 강도는 저감된다. BESTO Width가 50mm 길어질수록 전단연결재의 강도는 약 8%씩 줄어들었다.
- (2) 전단연결재의 길이가 길어질수록 연성능력은 향상되었다. 이번 연구에서는 BESTO width가 350mm인 실험체의 경우 연성능력이 저하되는 경향성을 보였는데, 이는 추가적인 연구를 통해 입증할 필요가 있다. Eurocode 4에서는 연성능력이 6mm이상이면 연성적인 전단연결재로 규정하고 있다. 본 연구에서 사용된 실험체는 모두가 규정을 만족한다.
- (3) 콘크리트 강도가 24MPa에서 30MPa로 증가할 경우 전단강도는 약 12% 증가하였고 연성능력은 21%정도 감소하였다. 전단강도 설계식에도 콘크리트의 강도가 고려되어 있으며 두 가지 콘크리트 강도에 대해 계산된 값과 실제 값이 최대 7% 오차범위 이내에서 잘 맞는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 제한된 실험을 통해 확인할 결

과이므로 추가적인 연구가 필요하다.

- (4) Eurocode 4에서는 앵글을 전단연결재로 사용한 경우의 전단 강도 설계식을 제시하고 있다. BESTOBEAM의 실험결과를 반영하여 Eurocode 4의 설계식을 수정하였고 수정된 설계식을 이용해 계산된 전단강도는 실험값과 10% 오차 범위 이내에서 잘 맞는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 제안된 설계식을 BESTOBEAM의 전단연결재 설계에 활용할 수 있을것으로 판단된다.

참고문헌(References)

- [1] 허병욱, 배규용, 문태섭(2004) 매입형(슬림플로어) 합성보의 휨성능 평가-춤이 깊은 데크 플레이트와 비대칭 H형강 철골보, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제16권, 제2호, pp.235-246.
Heo, B.W., Bae, K.W., and Moon, T.S. (2004) Flexural Capacity of the Encased(Slim Floor) Composite Beam with Deep Deck Plate, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.16, No.2, pp.236-245 (in Korean).
- [2] 채홍석, 류재용, 정경수, 문영민, 최성모(2010) 단부 보강한 합성보(에코거더)시스템의 구조성능에 관한 실험적 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제22권, 제6호, pp.533-541.
Chae, H.S., Ryoo, J., Chung, K.S., Moon, Y.M., and Choi, S.M. (2010) Experimental Study on Structural Performance of End-reinforced Steel-beam system (Eco-girder), *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.22, No.6, pp.533-541 (in Korean).
- [3] Park, K.S., Heo, B.W., Kwak, M.G., and Bae, K.W. (2008) Experimental study on the flexural behavior of encased composite beams for residential buildings, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure and Construction*, Vol.24, No.12, pp.91-98.
- [4] 신현섭(2005) 합성보 전단연결부의 구조거동에 대한 비교 분석, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제17권, 제6호, pp.737-747.
Shin, H.S. (2005) Analysis of a load carrying behavior of shear connection at the interface of the steel-concrete composite beam, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.17, No.6, pp.737-747 (in Korean).
- [5] Ciutina, A.L. and Stratan, A. (2008) Cyclic performances of shear connectors, *Composite Construction in Steel and Concrete VI*, ASCE, SEI, Devil Thumb Ranch, Colorado, USA.

- [6] Amit, P. (2006) *Behavior of Channel Shear Connectors: Push-out Tests*, M.S. Thesis, University of Saskatchewan, Canada.
- [7] 김성배, 김상섭(2006) T형 합성보의 시어 커넥터 형상에 따른 전단내력 평가에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제18권, 제2호, pp.279-288.
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).
- [8] 김성배, 김상섭, 유덕수(2013) 신형상 U형 하이브리드 합성보와 기둥 접합부의 내진성능에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제25권, 제1호, pp.47-59.
Kim, S.B, Kim, S.S., and Ryu, D.S. (2013) Study on the Cyclic Seismic Testing of U-shape Hybrid Composite Beam-to-Composite Column Connections, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.25, No.1, pp.47-59 (in Korean).
- [9] 안재권, 이철호(2015) 무피복 합성보의 내화성능에 대한 실험 및 해석적 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제27권, 제2호, pp.143-153.
Ahn, J.K. and Lee, C.H. (2015) Experimental and Numerical Study of Fire Resistance of Composite Beams, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.27, No.2, pp.143-153 (in Korean).
- [10] 황현중, 엄태성, 박홍근, 이창남, 김형섭(2013) TSC 합성보-PSRC 합성기둥 접합부에 대한 주기하중 실험, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제25권, 제6호, pp.601-612.
Hwang, H.J., Eom, T.S., Park, H.K., Lee, C.N., and Kim, H.S. (2013) Cyclic Loading Test for TSC Beam - PSRC Column Connections, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.25, No.6, pp.601-612 (in Korean).
- [11] 김영주, 배재훈, 안태상, 김진원, 유홍식(2014) SRC기둥-H형단면과 U형단면으로 구성된 합성보 접합부의 반복가력 실험, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제26권, 제4호, pp.263-275.
Kim, Y.J., Bae, J.H., Ahn, T.S., Kim, J.W., and Ryu, H.S. (2014) Cyclic Loading Test on Connection of SRC Column-Composite Beam Consisting of H-Section and U-Section Members, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.26, No.4, pp.263-275 (in Korean).
- [12] 김영주, 배재훈, 안태상, 장성훈(2014) 중력하중을 받는 SRC기둥-합성보 접합부 실험, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제26권, 제5호, pp.441-452.
Kim, Y.J., Bae, J.H., Ahn, T.S., and Jang, S.H. (2014) Test of SRC Column-to-Composite Beam Connection under Gravity Loading, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.26, No.5, pp.441-452 (in Korean).
- [13] 김영주, 배재훈, 안태상, 장동운(2014) 합성보에 적용된 앵글 전단연결재의 Push-out 실험, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제26권, 제3호, pp.155-167.
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 Beam, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.26, No.3, pp.155-167 (in Korean).
- [14] CEN (2004) prEN 1994-1-1:2004: Final Version of Editorial Group; Eurocode 4, Design of Composite Steel and Concrete Structures Part 1.1: General Rules and Rules for Buildings, Comite Europeen de Normalisation (CEN), Brussels, Belgium.

요 약 : 앵글을 전단연결재로 사용한 시공개선형 합성보(BESTOBEAM)의 전단연결재 길이에 따른 전단 내력을 실험적으로 평가하고 전단내력 설계식을 제안하였다. Eurocode 4의 경우와 달리 BESTOBEAM의 전단연결재는 등분포 하중을 받는 보의 거동과 유사하며 그 순경간(BESTO Width)에 따라 전단 내력이 달라진다. BESTO Width와 콘크리트의 강도에 따른 전단 내력을 Push-out 실험을 통해 측정하고 결과 BESTO Width가 길어질수록 내력이 감소하고 연성능력은 증가하는 경향을 보였다. 실험결과를 반영하여 Eurocode 4의 설계식을 수정하여 새로운 설계식을 제안하였다. 제안된 설계식을 통해 예측된 전단연결재의 강도는 10% 오차 범위 이내로 잘 맞는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 앵글을 전단연결재로 사용한 BESTOBEAM의 전단 강도 설계에 제안된 식을 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 합성보, Push-out 실험, 앵글 전단연결재, 전단성능, 설계식