고강성 스티드볼트의 역학적 특성에 관한 연구

엄 철 환^{1*}

¹위덕대학교 건축소방안전학과

Mechanical Properties of High Stiffness Shear Connector

Chul-Hwan Eom^{1*}

¹Department of Architecture and Fire protection, UiDuk Univ., Gyeongju, 38004, Korea

Abstract

The headed studs used extensively for steel-composite construction are specified as SS400 in the current Korean Standard specification considering the welding condition. And the corresponding equation for the shear force calculation is limited for the use of compression strength of concrete below 300kgf/cm². However, it is expected that the high strengthening and precasting of both steel and concrete due to the necessity of shear connector or other connecting material for the combination of steel and concrete. Therefore, the experimental results obtained during the development process of high strength stud for the connection of high strength concrete and the steel member are reported in this paper. Also the effectiveness of newly developed shear connector using pipe(pipe stud) to increase the stiffness of a stud is verified by comparing both the stiffness and the strength with common stud bolt through the welding ability, mechanical characteristics and experimental investigation.

Keywords : shear connector, high stiffness stud bolt, pipe stud, push-out test, mechanical capacity test, welding test

1. 서 론

강과 콘크리트로 이루어지는 합성구조에 있어, 전단연결재로서 스티드볼트(이하, 스티드라 한다)가 일반적으로 사용되고 있다. 그러나 현재 스티드의 재질은 KS B 1037에 있어 SS400급(41kg/mm²)상당의 것만이 규정되어 있고, 또한 대한건축학회의 「건축구조기준(KBC2009)」에 있어 스티드커넥터의 강도 즉, 스티드의 전단내력 산정식은 콘크리트 설계기준강도 26.5N/mm²의 제한값을 정하여 주로 30MPa정도 이하의 압축강도의 콘크리트가 대상으로 되어 있다.

공장 생산되는 프리캐스트 콘크리트의 경우에는 특수한 재료·제법을 사용하지 않아도 $f_{ck}=100\text{MPa}$ 에 가까운 압축강도가 비교적 쉽게 발현된다. 이와 같은 고강도 콘크리트는 강부재와의 복합화·합성화를 도입하고자 할 때, 종래의 SS400

급의 스티드만으로는 대응할 수 없게 되어 고강도 스티드의 개발이 필요하게 된다. 또한 고강도 콘크리트와 강재를 결합하기 위해서는 스티드의 재질을 고강도화한 고강도 스티드를 사용함으로써 대체가능할 것이다. 그러나 단순히 스티드 재료를 고강도화하여도 강재의 Young계수가 일정하기 때문에 고강도 스티드를 사용한 합성구조에 있어 미끄럼(slip)의 현상이 현저하게 나타날 가능성이 있다. 이러한 미끄럼의 영향을 최소화하기 위한 스티드의 강성을 증대시키기 위해서는 스티드 그 자체의 단면적을 크게하고, 스티드 주변의 콘크리트의 응력집중을 완화시키는 것이 유효할 것으로 생각된다. 이와 같은 관점에서 강관을 이용한 쉬어콘넥트(이하, 파이프 스티드라고 한다)도 함께 고안하여 역학적 특성을 알아보았다.

본 논문에서는 고강성 스티드인 파이프 스티드의 강성·내력을 종래의 스티드볼트와의 비교실험을 하여 파이프 스티드의 유효성을 검증하고자 한다.

* Corresponding author:

Tel: +82-54-760-1671; E-mail: cheom@uu.ac.kr

Received April 25 2015; Revised June 17 2015;

Accepted June 18 2015

©2015 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

2. 본 론

대상으로 하는 파이프 스테드의 형상을 Fig. 1에 나타낸다. 이것은 프리캐스트 콘크리트판(이하, PCa판이라 함)과 강부재와의 결합의 경우를 상정한 것으로서 파이프 스테드의 주변 및 내부에 고강도 모르타르를 충전함으로써 종래의 스테드(headed stud)보다 고강도·고강성의 역학특성을 가질 것으로 기대 되어진다. PCa판과 강재 간의 박리작용에 대해서는 Fig. 1에 나타낸 것과 같이 머리부분을 성형하므로써 대처할 수 있을 것으로 예상된다.

본 논문에서는 다음과 같은 2종류의 파이프 스테드에 관한 Push-Out 시험을 실시하였다.

실험(I) : 종래의 스테드와 같은 단면적으로 축경이 1.5배와 2.0배의 파이프 스테드

실험(II) : 실험(I)의 경우보다 큰 단면적의 강관을 이용한 파이프 스테드

Fig. 1 Concept of pipe stud

2.1 실험(I) 시험체 및 실험결과

시험용 스테드의 일람을 Table 1에 나타낸다. 스테드는 SS400급의 16D, 19D의 2종류를 사용하였고, 각 스테드와 동일한 단면적으로 축경이 1.5배, 2.0배의 파이프 스테드를 대상으로 한다. 파이프 스테드는 기준이 되는 스테드와 단면적이 동일하도록 하기 위한 판두께에 봉강용강재(SGD3M)를 절삭가공하여 제작한 것이다. Table 1에서 A_{sc} 는 파이프 스테드의 단면적, A_c 는 파이프 스테드의 내부의 충전모르타르 단면적이다.

파이프 스테드의 재료에는 그 기계적 성질이 스테드와 거의 동일한 것으로 선정하였다. 각 시험체의 기계적 성질, 및 파이프 스테드의 화학성분을 각각 Table 2, Table 3에 나타낸다. 또한 실험용 파이프 스테드의 형상을 Fig. 2에 나타내었다. 본 실험에서는 파이프 스테드의 박리방지 조치로서 머리부분에 판두께 6mm의 링을 모살용접하였다.

Push-Out 시험체의 형상, 치수를 Fig. 3에 나타낸다. 파

이프 스테드는 다리부분을 개선가공하여 각형강관에 맞댄용접의 위에 모살 마무리를 하였다. 콘크리트판은 PCa판이고, 스테드 주변의 PCa판의 구멍 및 파이프 스테드의 내부에는 고강도·무수축 모르타르를 충전하였다. PCa판과 충전모르타르의 기계적 성질은 Table 5에 나타내고 있다. Table 1의 각 스테드에 대해 2개씩의 Push-Out 시험체를 제작하여 단조, 반복 가력시험을 실시하였다.

Table 1 List of specimen

Stud	L (mm)	t (mm)	D (mm)	A_{sc} (cm ²)	A_c (cm ²)
16D Headed Stud	80	-	16	2.01	-
24D Pipe Stud	80	3.1	24	20.4	2.49
32D Pipe Stud	80	2.1	32	1.97	6.07
19D Headed Stud	80	-	19	2.84	-
28.5D Pipe Stud	80	3.6	28.5	2.82	3.56
38D Pipe Stud	80	2.6	38	2.89	8.45

Table 2 Mechanical properties of studs

Stud	Grade	σ_y (t/cm ²)	σ_B (t/cm ²)	Elongation (%)
16 Headed Stud	SS400	3.02	4.87	31
19 Headed Stud	SS400	2.95	4.86	33
Pipe Stud	SGD3M	2.92	4.78	38

σ_y : .2% offset

Table 3 A chemical ingredient of pipe stud(%)

C ×100	Si ×100	Mn ×100	P ×1000	S ×1000
17	21	66	15	17

Table 4 Mechanical properties of PCa board and mortar

	F_c (kg/cm ²)	F_t (kg/cm ²)	E_c (kg/cm ²)
PCa Board	788	54.5	414
Mortar	860	24.0	316

Fig. 2 Shape of a pipe stud

Fig. 3 Push-out test specimen

Push-Out시험 결과는 Table 6에 정리하여 나타내었다. 이 표에서 q_{max} 는 스티드 1개당의 최대전단내력이고, Δ_{max} 는 q_{max} 에 도달했을 때의 미끄럼 변형이다. K_{st} 는 $q_{max}/3$ 의 하중레벨에 대응하는 할선계수이고, q_y 는 스티드의 평균 전단변형도가 1/100off-set치를 나타낸다. 이 실험의 경우에는 스티드의 길이가 80mm이고, 미끄럼 변형이 0.8mm의 off-set치에 상당한다.

Fig. 4, Fig. 5에 각각의 시험체의 단조 및 반복시험의 결과를 비교해서 나타낸다. 종축은 스티드 1개당의 전단내력, 횡축은 미끄럼량이다. 그림 중에서 수평선은 각 스티드의 q_y 레벨을 나타내고 있다.

Fig. 6은, Fig. 4의 전단력-미끄럼 관계의 횡축을 확대한 초기의 관계를 나타낸다. Fig. 4, Fig. 5에 의해 알 수 있듯이 스티드의 단면적이 동일함에도 불구하고 스티드의 축경이

Fig. 4 The results of monotonic loading

Fig. 5 The results of cyclic loading

Table 6 Results of push-out test

Stud	q_{max} (ton)	Δ_{max} (mm)	q_y (ton)	K_{st} (t/mm)
16D Headed Stud	11.20,	5.4,	9.49,	15.1,
	11.95	6.3	9.29	17.1
	(11.58)	(5.9)	(9.39)	(16.1)
24D Pipe Stud	12.62,	2.6,	11.83,	31.2,
	13.28	3.7	12.09	23.2
	(12.95)	(3.2)	(11.96)	(27.2)
32D Pipe Stud	14.20,	2.7,	13.48,	31.8,
	13.92	1.9	13.19	26.6
	(14.06)	(2.3)	(13.34)	(29.2)
19D Headed Stud	15.43,	6.5,	11.54,	19.8,
	16.15	8.3	12.04	20.5
	(15.79)	(7.4)	(11.79)	(20.2)
28.5D Pipe Stud	17.08,	3.2,	15.48,	37.0,
	17.13	3.0	15.33	33.0
	(17.11)	(3.1)	(15.41)	(35.0)
38D Pipe Stud	19.10,	3.2,	17.60,	35.6,
	19.60	2.4	18.83	34.9
	(19.35)	(2.8)	(18.22)	(35.3)

클수록 q_{max} 는 증대하고 있고, 미끄럼강성도 일반 스티드에 비해 1.7배 정도 대폭 증대하고 있다. 그러나 축경이 커질수록 q_{max} 시의 미끄럼변형 Δ_{max} 는 감소하고, Δ_{max} 이후의 내력저하도 급격하게 일어나고 있다. 단, Δ_{max} 에 대응하는 스티드의 평균 전단변형은 가장 작은 경우에도 0.03rad. 정도 이상이고, 변형능력에 문제가 있을 정도는 아니라고 생각

된다.

모든 시험체에 있어 최대내력은 스테드의 파단으로 결정되어지고 있다. 즉, 스테드의 파단위치는 용접부위의 직상부이다. 실험종료 후의 스테드의 종단면의 일례를 Fig. 7에 나타

Fig. 6 The initial stiffness

19D Headed Stud

38D Pipe Stud

Fig. 7 Cross section of studs after the test

낸다. 스테드의 변형은 대부분이 다리부분에 집중되고 있고, PCa판은 거의 손상되지 않았다.

2.2 실험(II) 시험체 및 실험결과

시험용 스테드의 일람은 Table 7에 정리하여 나타냈다(표 중의 각 기호에 대해서는 Fig. 2를 참고). 비교용의 스테드는 SS400급으로 축경이 22D이고, 파이프 스테드는 42.7D×4.9의 강관으로 그 단면적은 22D 스테드의 1.53배이다. 또한 파이프 스테드에는 내부에 모르타르를 충전한 경우와 충전하지 않은 경우의 2종류로 한다.

파이프 스테드의 형상 및 시험체의 형상은 실험(I)과 동일한 형상(Fig. 2, Fig. 3 참고)이고, 파이프 스테드는 다리부분을 개선가공하여 각형강관에 맞댄용접을 한 후에 모살보강을 실시하였다.

스테드 및 PCa판과 충전모르타르의 기계적 성질을 각각 Table 8, Table 9에 나타낸다. Table 7에 나타낸 각 스테드에 대해 Push-Out 시험체를 3개씩 제작하여 단조 1회, 반복 2회의 가력시험을 하였다.

Push-Out 시험결과를 Table 10에 정리하여 나타내었고, Fig. 8에는 각 시험체의 스테드 1개당 전단내력과 미끄럼 관계의 시험결과를 비교해서 나타낸다. Fig. 9는 Fig. 8의 횡축을 확대한 초기의 관계를 나타낸다. Fig. 8, Fig. 9에서 알 수 있듯이 파이프 스테드의 내력 및 강성은 보통의 스테드에 비해 대폭 증대하고 있다. 파이프 스테드와 스테드의 최대내력비는 대략 스테드의 단면적비(1.53배)에 상당하지만, 강성비는 2배정도 되고 있다. 이것은 축경의 증대에 의

Table 7 List of studs

Stud	L (mm)	D (mm)	t (mm)	A_{sc} (cm^2)
Headed Stud	70	22.0	-	3.80
Pipe Stud	70	42.7	4.9	5.82
Pipe Stud	710	42.7	4.9	5.82

Table 8 Mechanical properties of studs

Stud	Grade	σ_y	σ_B	Elongation (%)
Headed Stud	SGD3M	2.36	4.79	26.5
Pipe Stud	KEH17	4.28	5.12	61.5

Table 9 Mechanical properties of PCa board and mortar

Stud	F_c (kg/cm^2)	F_t (kg/cm^2)	E_c (t/cm^2)
PCavks	861	60.3	357
Mortar	600	25.4	273

Table 10 Test results

Stud	q_{max} (ton)	Δ_{max} (mm)	q_y (ton)	K_{st} (t/mm)
Headed Stud	17.7, 17.8 (17.7)	7.7, 8.5 (8.1)	12.9, 13.4 (13.2)	17.9, 19.6 (18.8)
Pipe Stud	30.2, 29.6 (29.9)	5.2, 6.4 (5.8)	27.4, 26.0 (26.7)	34.8, 41.8 (38.3)
Pipe Stud	28.4, 27.7 (28.1)	5.8, 5.9 (5.9)	23.7, 22.6 (23.1)	35.4, 39.3 (37.3)

Fig. 8 The results of loading

Fig. 9 The initial stiffness

한 콘크리트의 응력집중 완화의 효과라고 생각된다.

파이프 스타드에 있어 강관내부의 모르타르 충전유무는 내력의 경우에는 1할 정도의 차이가 발생하였지만, 강성에는 거의 영향을 주지 않는 것으로 판단된다. 또한 각 스타드의 대부분이 최종적으로는 용접부위 직상부에서 파단 또는 크게 전단변형하고, 충전모르타르 및 PCa판 모두에 약간의 손상

이 발생하였다. 일례로서 시험종료 후의 파괴상황을 Fig. 12에 나타낸다.

3.3 시험결과의 고찰

시험결과의 q_{max} 와 $A_{sc}\sigma_B$ 의 관계를 도표로 나타낸 것을 Fig. 10에 정리하였다. 이 그림에서 분명하게 나타난 것과

Fig. 10 Relations of $q_{max} - A_{sc}\sigma_B$

Fig. 11 Relations of the stiffness-the diameter of studs

Fig. 12 Push-out test specimen after test

같이 스티드에 파단이 생길 경우의 스티드의 전단내력은

$$AISC \text{ 지침} : Q_n = 0.5A_{sc}\sqrt{f_c E_c} < A_{sc}F_u$$

식으로 평가가 가능하다. Fig. 11은 미끄럼강성과 스티드의 축부의 직경과의 관계를 도표화한 것으로 미끄럼강성과 축경과의 긴밀한 상관관계가 인정된다. 이 그림으로 미끄럼강성의 향상에 대해서는 지름이 큰 파이프 스티드가 유효하다고 생각된다.

3. 결 론

이 연구는 고강도 콘크리트와 강부재를 결합하기 위해 스티드의 고강도화 및 고강도·고강성화를 목적으로 스티드에 대하여 그 역학특성 및 용접성에 관한 일련의 실험을 하였다. 이 연구에서 얻은 주요 결과를 요약해 보면 다음과 같다.

- (1) 파이프 스티드의 전단내력은 축경이 클수록 보통의 스티드에 비해 증대하지만, 변형능력은 감소한다. 단, 최대내력시에 대응하는 스티드의 평균 전단변형은 가장 작은 경우에도 0.03rad. 이상이고, 변형능력에는 문제가 없다.
- (2) 스티드의 미끄럼강성은 축경에 비례해 크게되는 것으로 나타났다.
- (3) 파이프 스티드 내부의 모르타르 충전유무는 스티드의 미끄럼강성에는 별다른 영향이 없는 것으로 생각된다.

- (4) 앞으로 고강도·고강성 스티드(파이프 스티드)를 실용화하기 위해서는 용접방법의 확립이 중요한 개발과제임을 밝혀둔다.

References

- Architectural Institute of Korea** (2009) Korean Building Code and Commentary.
- AISC** (1998) Manual of Steel Construction-Load & Resistance Factor Design Second Edition, pp.5~8.
- Architectural Institute of Japan** (1985) Design Recommendations for Composite Constructions.
- Lloyd, C.P.Y.** (1981) Design of Composite Steel-Concrete Structures, Surrey University Press.
- Fisher, J.W., Ollgaard, J.G., Slutter, R.G.** (1971) Shear Strength of Stud Connection in Light-Weight and Normal-Weight Concrete, *AISC Eng. J.*
- Huang, J.S., Fielding, B.Y., D.J.** (1971) Shear in Steel Beam-to-Column Connections, *Welding Research Supplement*, pp.313~326.
- PCI Industry Handbook Committee** (1999) *PCI Design Handbook Precast and Prestressed Concrete Fifth Edition*, Precast/Prestressed Concrete Institute, U.S.A., p.632.

요 지

합성보의 쉬어코넥트로 널리 사용되고 있는 스티드볼트는 현재 학회기준에 강재의 재질은 용접성을 고려한 SS400이 규정되어 있으며, 그 전단내력의 산정식은 압축강도 300kgf/cm^2 이하의 콘크리트를 대상으로 하고 있다. 한편 합성구조의 보급에 따라 합성보 뿐만 아니라 다른 구조부분에서도 강재와 콘크리트를 결합하는 쉬어코넥트 혹은 다른 용도의 접합재의 필요성과 함께 강재와 콘크리트의 고강도화, 프리캐스트화가 예상된다. 따라서 본 연구에서는 고강도 콘크리트와 강부재를 결합하기 위한 고강도 스티드의 개발을 목적으로 행하여진 일련의 실험결과를 보고하였다. 또한 스티드의 강성을 증대시키기 위한 강관을 이용한 쉬어코넥트(이하, 파이프 스티드라고 한다)를 고안하였다. 본 논문에서는 고강도 스티드의 용접성, 역학특성에 관한 실험적 검토와 동시에 고강도·고강성 스티드인 파이프 스티드의 강성·내력을 종래의 스티드 볼트와의 비교실험을 하여 파이프 스티드의 유효성을 검증한다.

핵심용어 : 쉬어코넥트, 고강성 스티드, 파이프 스티드, Push-Out 시험, 역학성능 시험, 용접성 시험