

# 高强度 스테드 볼트의 역학적 특성에 관한 연구

## Mechanical Properties of High Strength Shear Connector

엄 철 환\*

Eom, Chul Hwan

### Abstract

The headed studs those are used extensively for steel-composite construction is specified as SS400 at 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 300kg/cm<sup>2</sup>. However, it is expected that the high strengthening and precast 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 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.

키워드 : 시어커넥트, 고강도 스테드 볼트, Push-Out 시험, 역학적 성능 시험, 용접성 시험

Keywords : shear connector, high strength headed stud, Push-Out test, mechanical capacity test, welding test

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

강과 콘크리트로 이루어지는 합성구조에 있어, 시어커넥터로서 스테드 볼트(이하, 스테드라 한다)가 일반적으로 사용되어지고 있다. 그러나 현재 스테드의 재질은 KS B 1037에 있어 SS400급 상당의 것만이 규정되어있고, 또한 학회의 「건축구조설계기준 및 해설(2006)」에 있어 스테드커넥터의 강도 즉 스테드의 전단내력 산정식은 콘크리트 설계기준강도 26.5N/mm<sup>2</sup>의 제한값을 정하여 주로 30MPa정도 이하의 압축강도의 콘크리트가 대상으로 되어있다. 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 SS400급의 스테드만으로는 대응할 수 없게 되어 고강도 스테드의 개발이 필요하게 된다. 또한 단순히 스테드 재료를 고강도화하여도 강재의 Young 계수가 일정하기 때문에 고강도 스테드를 사용한 합성구조에 있어 미끄럼(slip)의 영향이 현저화할 가능성이 있다. 이러한 미끄럼의 영향을 최소화하기 위한 스테드의 강성을 증대시키기 위해서는 그 자체 단면적을 크게하고, 스테드

주변의 콘크리트의 응력을 온화시키는 것이 유효할 것으로 생각되어진다. 이와 같은 관점으로부터 강관을 이용한 시어커넥트도 함께 고안하였다. 본 논문에서는 고강도 스테드의 용접성, 역학적 특성 및 역학적 특성에 관한 실험적 검토와 동시에 고강도 스테드의 강성·내력을 종래의 스테드 볼트와의 비교실험을 하여 스테드의 유효성을 검증한다.

## 2. 고강도 스테드의 역학적 특성

### 2.1 스테드의 강재와 시험항목

고강도화는 고강도강을 사용함으로써 가능하다. 본 논문에서는 고강도 스테드의 강재로서 700N/mm<sup>2</sup>급과 800N/mm<sup>2</sup> 급의 2종류를 대상으로 하고, 비교를 위해 종래의 SS400급의 스테드에 대해서도 시험을 하였다(이하, 이들 각자에 대해 S700, S800, S400이라 함). 스테드의 軸徑은 모두 16mm이고, 길이는 100mm이다. 스테드가 용접되는 모재는 SM490A, SM570Q의 2종류를 사용하였고 판두께는 19mm이다. 스테드재와 모재의 화학성분을 표 1에 나타낸다. 시험은 역학적 성능 시험, 용접성 시험, Push-Out 시험의 3종류이고, 각각의 시험항목 및 시험체는 표 2~표 4에 정리하였다. 표 2에 있어 제품인장 시험 및 표 3의 용접성 시험은 日本建築學會의 JASS鐵骨工事的 付則5 「스테드의 용접과 품질 시험」에 따라 실시하였다.

\* 위덕대학교 건축소방안전학과 부교수, 공학박사  
(cheom@uu.ac.kr)

Push-Out 시험체의 콘크리트는 압축강도가 60, 70, 80MPa급(이하, F60, F70, F80이라 한다)의 고강도콘크리트이고, 콘크리트의 기계적 성질을 표 5.에 나타낸다. 제품인장시험의 방법과 Push-Out 시험체의 형상 및 치수를 각각 그림 1., 그림 3.에 나타낸다. 또한 Push-Out 시험체의 콘크리트는 그림 2.에 나타낸 것과 같이 횡방향으로 타설하였다.

표 1. 강재의 화학성분(%)

강재		C	Si	Mn	P	S
스테드	S400	0.15	0.18	0.44	0.014	0.007
	S700	0.11	0.23	1.31	0.009	0.007
	S800	0.14	0.04	1.52	0.014	0.005
모재	SM490A	0.13	0.34	1.28	0.012	0.006
	SM570Q	0.17	0.29	1.31	0.020	0.006

강재		Cu	Ni	Cr	Mo	V
스테드	S400	0.01	0.02	0.01	0.00	0.002
	S700	0.03	0.03	0.01	0.01	0.040
	S800	0.03	0.03	0.01	0.11	0.027
모재	SM490A	0.01	0.01	0.01	0.03	-
	SM570Q	0.02	0.02	0.01	0.01	-

강재		Nb	Ceq	Pcm
스테드	S400	0.002	0.252	0.185
	S700	0.040	0.348	0.188
	S800	0.027	0.436	0.239
모재	SM490A	-	0.366	0.211
	SM570Q	-	0.410	0.250

표 2. 역학적 시험체

시험항목	스테드-모재	수량
재료인장시험	S400	5
	S700	5
	S800	5
제품인장시험	S400-SM490A	10
	S700-SM490A	10
	S700-SM570Q	10
	S800-SM490A	10
	S800-SM570Q	10
타격휨시험	S400-SM490A	10
	S700-SM490A	10
	S700-SM570Q	10
	S800-SM490A	10
	S800-SM570Q	10
전단시험	S400-SM490A	5
	S700-SM490A	5
	S700-SM570Q	5
	S800-SM490A	5
	S800-SM570Q	5

표 3. 용접성 시험체

시험항목	스테드-모재	수량
비커스 경도시험	S400-SM490A	5
	S700-SM490A	5
	S700-SM570Q	5
	S800-SM490A	5
	S800-SM570Q	5
성분 분석	S400	3
	S700	3
	S800	3
	SM490A	3
	SM570Q	3

표 4. Push-Out 시험

No.	콘크리트	스테드	모재	갯수
1	F60	S400	SM490A	3
2		S700		3
3		S800		3
4	F70	S400	SM490A	3
5		S700		3
6		S800		3
7	F80	S400	SM490A	3
8		S700		3
9		S800		3
10		S700	SM570Q	3
11		S800		3

표 5. 콘크리트의 기계적 성질

콘크리트	$f_{ck}$ (MPa)	$E_c$ (MPa)
F60	62.9	40,180
F70	68.9	41,522
F80	79.7	38,318

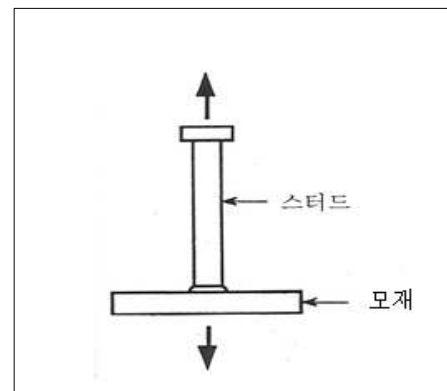


그림 1. 제품인장시험

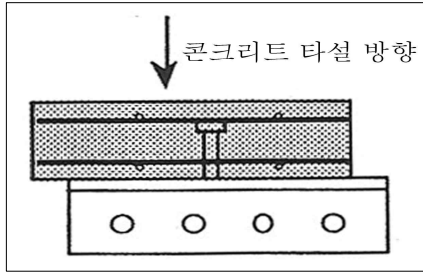


그림 2. 콘크리트 타설 방향

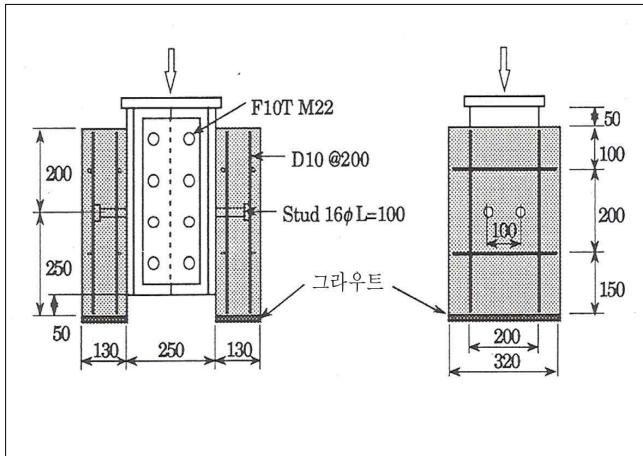


그림 3. Push-Out 시험체의 형상 · 치수

2.2 시험 결과 및 고찰

2.2.1 역학성능 시험

스테드 및 모재의 기계적 성질을 표 6.에 나타낸다. 제품인장시험의 결과는 표 7.에 정리하였다. 제품인장시험에서는 스테드-모재의 조합이 S700-SM490A의 시험체인 경우 10개중 3개가 용접부(열영향부)에서 파단되었다. 그러나 용접부에서 파단된 시험체에 있어서도 축부에서 파단된 시험체와 같은 정도의 인장강도에 도달하여, 용접조건 개선에 의해서는 축부파단의 상태로의 유도도 가능할 것으로 생각되어진다. 다른 조합을 포함한 나머지 시험체의 경우, 거의 모두 스테드의 축부가 파단하였다. 30° 타격 휨시험, 전단시험에서는 용접부위에 균열 등의 발생은 관찰되지 않았다. 제품전단시험결과를 표 8.에 나타낸다.

표 6. 강재의 기계적 성질

강재		$\sigma_f$ (MPa)	$\sigma_B$ (MPa)	연신율(%)
스테드	S400	-	490.00	-
	S700	692.86	762.44	10
	S800	763.42	854.56	10
모재	SM490A	326.34	543.90	22
	SM570Q	567.42	642.88	18

표 7. 제품인장시험 결과

스테드-모재	No.	인장시험(MPa)	파단부
S400-SM490A	1	477.26	스테드 축부
	2	472.36	"
	3	467.46	"
	4	472.36	"
	5	477.26	"
	6	477.26	"
	7	482.16	"
	8	482.16	"
	9	482.16	"
	10	477.26	"
	평균	477.26	
S700-SM490A	1	696.78	용접 열영향부
	2	711.48	스테드 축부
	3	716.38	"
	4	716.38	"
	5	711.48	"
	6	711.48	"
	7	716.38	"
	8	706.58	용접 열영향부
	9	701.68	스테드 축부
	10	701.68	용접 열영향부
	평균	709.52	
S700-SM570Q	1	696.78	스테드 축부
	2	706.58	"
	3	706.58	"
	4	711.48	"
	5	711.48	"
	6	711.48	"
	7	706.58	"
	8	711.48	"
	9	711.48	"
	10	721.28	"
	평균	709.52	
S800-SM490A	1	803.60	스테드 축부
	2	794.78	"
	3	808.50	"
	4	833.00	"
	5	818.30	"
	6	837.90	"
	7	828.10	"
	8	799.68	"
	9	789.88	"
	10	799.68	"
	평균	811.44	
S800-SM570Q	1	842.80	용접 열영향부
	2	818.30	스테드 축부
	3	847.70	"
	4	823.20	"
	5	813.40	"
	6	842.80	"
	7	838.88	"
	8	813.40	"
	9	828.10	"
	10	794.78	"
	평균	826.14	

표 8. 제품전단시험 결과

스테드-모재	전단강도 (MPa)	파단개소
S400-SM490A	434.14	용접부 바로위의 측부
S700-SM490A	588.98	"
S700-SM570Q	590.94	"
S800-SM490A	603.68	"
S800-SM570Q	676.20	"

2.2.2 용접성시험

마크로 조직시험은 초음파탐상시험만으로 인지될 수 없는 용접부의 용합상황, 용입상황, 내부결함, 균열, 블로우홀의 유무 등을 검사하기 위해 스테드와 모재의 접합부를 절단하여 절단면을 연마 및 에칭을 실시한 후 육안 및 확대경으로 관찰하는 것이다. 본 연구에서 사용한 각 스테드의 용접부에 대해 5개마다 마크로시험을 실시한 결과, SS400급의 스테드의 경우와 같이 S700, S800 스테드에 대하여서도 충분한 용입상황이 전개되어 용접결합은 관찰되지 않았다. 마크로시험의 일례를 사진 1.에 나타내었다. 비커스 경도시험을 그림 5.에 나타낸 위치에서 측정하였다. 결과는 그림 6.에 정리하여 나타내었다. 대부분의 시험편에서 160HV~350HV의 범위에 분포하고 있고, 최대 400HV 정도이었다. 스테드콘택트의 용접은 순식간에 대전류를 흘려보내 강재를 용접·응고시키기 때문에 용접조건에 따라서는 그 경도가 400HV를 넘는 경우도 있다. 경도는 그 수치가 클수록 강도가 증가하지만, 인성은 저하시키기 때문에 특히 인장피로를 받기쉬운 부분이 국부적으로 큰 경도치를 가지게 되면 취성파괴의 위험에 노출될 우려가 있다. II.W(국제용접학회)에서는 본드부의 최고경도치를 HV350이하로 억제할 것을 권장하고 있지만, 이 수치는 용접조건을 선정하기 위한 기준이 될 수도 있다고 생각되어진다. 이상의 시험 결과로부터 700~800N/mm<sup>2</sup>급의 고강도스테드에 대하여서도 용접성에 관한 문제는 없는 것으로 판단된다

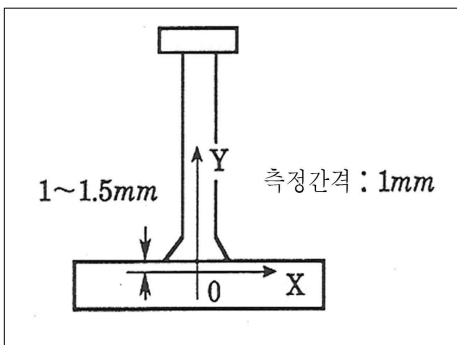
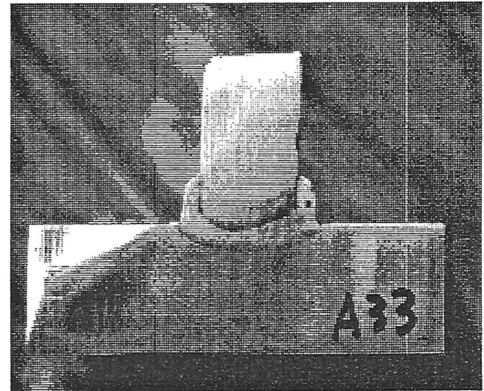
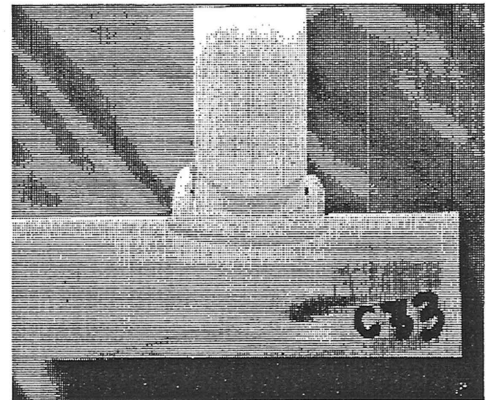


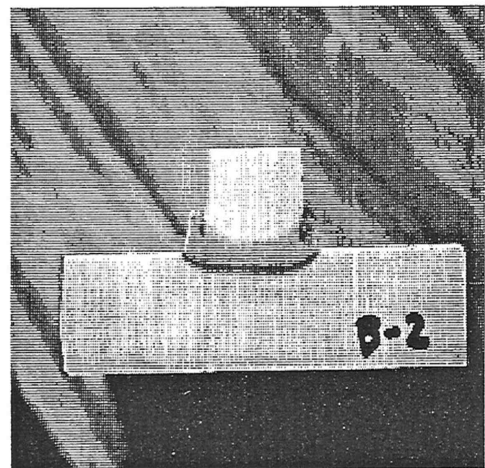
그림 5. 비커스 경도시험



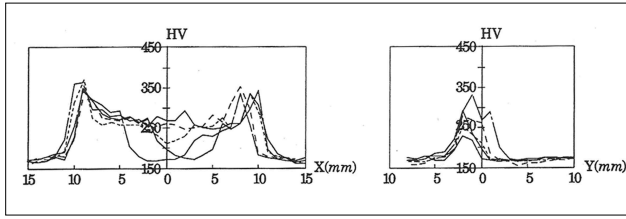
(a) S400-SM490A



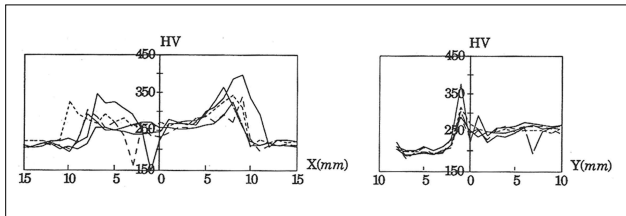
(b) S700-SM570Q



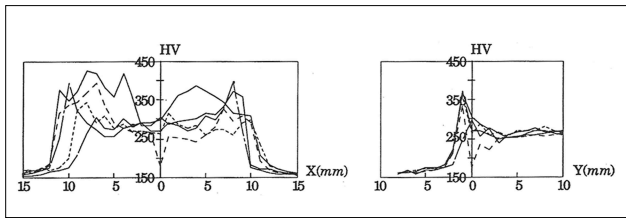
(c) S800-SM490A  
사진 1. 마크로 조직시험



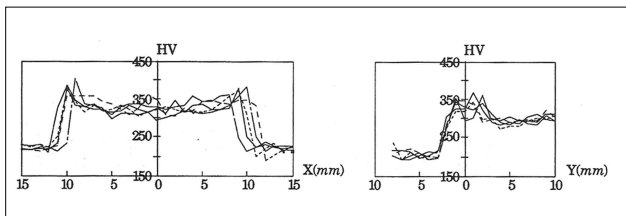
(a) S400-SM490A



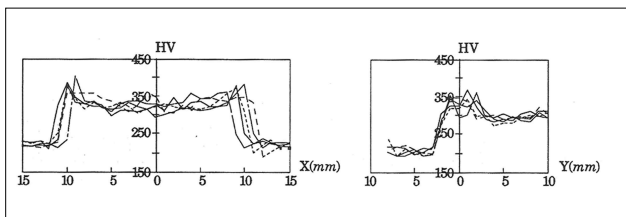
(b) S700-SM490A



(c) S700-SM570Q



(d) S800-SM490A



(e) S800-SM570Q

그림 6. 비커스 경도시험 결과

2.2.3 Push-out 시험

시험결과는 표 9.에 정리하여 나타내었다. 표중에서 Qmax는 스테드 1개당의 최대전단내력이고, Δmax은 최대전단내력시의 미끄럼 변형량이다. 시험체의 거의 전부에서 스테드가 용접부 바로위의 축부에서 파단하였다. 그

림 7.은 콘크리트 슬래브에 매입된 스테드커넥터 한 개의 공칭강도 즉 전단내력을 현행 기준과 지침에 맞게 플로트한 것이다. 지침의 내력식 및 문헌에 의한 내력식은 다음과 같은 식으로 주어질 수 있다.

$$\text{대한건축학회 기준} : V_{sn}=0.5A_{sc}\sqrt{f_{ck}E_c}\leq A_{sc}F_u \quad (1)$$

$$\text{AISC 지침} : Q_n=0.5A_{sc}\sqrt{f'_c E_c} < A_{sc}F_u \quad (2)$$

위 식에서  $f_{ck}$ 는 콘크리트의 압축강도,  $E_c$ 는 콘크리트의 영계수,  $A_{sc}$ 는 스테드의 축부 단면적,  $F_u$ 는 스테드의 인장강도이다. 위 (1), (2)식에 의하면 스테드가 파단하는 경우의 전단내력은 축부의 파단강도( $A_{sc}F_u$ )로 가정할 수가 있을 것이다. 이것을 검증할 목적으로  $Q_n-A_{sc}F_u$  관계를 플로트한 것이 그림 7.이다. S400, S700 스테드에 대해서는 거의 축부의 파단강도와 동등한 전단내력이 발휘되지만, S800의 경우에는 약간 밀도는 경향이 있다. 각 시험체의 전단내력-미끄럼 변형관계는 그림 8.에 나타내고 있다. 고강도 스테드에 있어서 최대내력시의 평균 미끄럼 변형량은 종래의 SS400급의 스테드에 비해 작지만, 가장 작은 경우에 있어서도 1.84mm이고(SS400급의 스테드의 경우 2.30mm), 고강도 스테드의 변형능력에는 특별히 문제가 없는 것으로 생각되어진다.

표 9. Push-out 시험결과

스테드-모재	콘크리트	$Q_{max}(kN)$	$\Delta_{max}(mm)$
S400-SM490A	F60	106.82,100.94,111.72 (100.82)	4.03,4.07,2.57 (3.56)
	F70	119.56,109.76,102.90 (110.74)	1.87,4.07,1.02 (2.30)
	F80	133.28,131.32,122.5 (129.36)	2.48,4.06,2.98 (3.17)
S700-SM490A	F60	150.92,142.10,141.12 (145.04)	2.58,2.46,2.46 (2.50)
	F70	142.10,143.08,153.86 (146.02)	1.63,2.55,3.46 (2.55)
	F80	162.68,153.86,152.88 (156.8)	3.03,3.16,2.07 (2.75)
S700-SM570Q	F80	147.98,175.42,168.56 (163.66)	2.08,4.04,2.04 (2.72)
S800-SM490A	F60	149.94,153.86,146.02 (149.94)	1.52,1.55,2.46 (1.84)
	F70	149.94,153.86,159.74 (154.84)	1.52,1.52,2.54 (1.86)
	F80	170.52,158.76,163.66 (164.64)	1.51,2.98,2.62 (2.37)
S80-SM570Q	F80	174.44,182.28,167.58 (174.44)	2.09,2.02,2.02 (2.04)

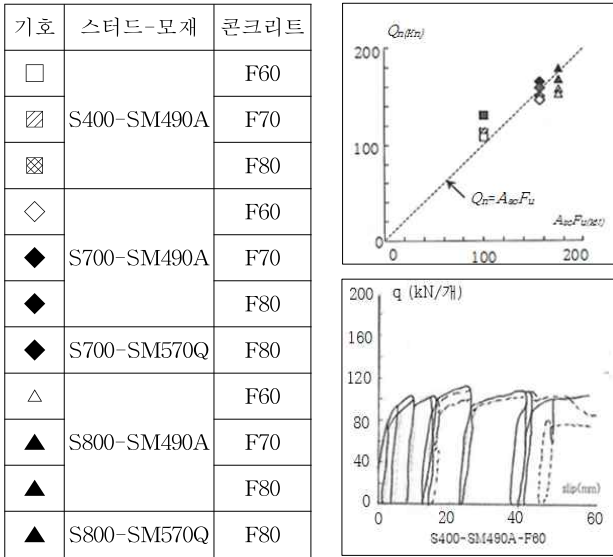


그림 7. 스티드의 전단내력

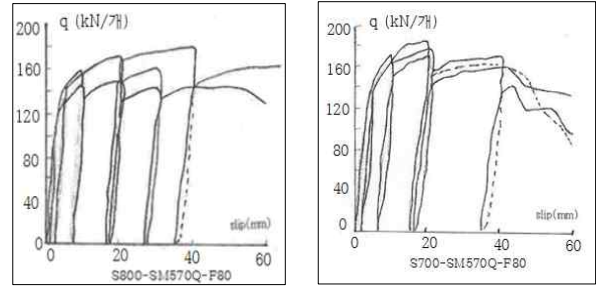


그림 8. 전단내력-미끄럼 변형관계

### 3. 결론

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) Push-Out 시험에 있어 콘크리트 강도가 크고, 스티드의 파단으로 전단력이 결정되는 경우는 스티드 재축부의 파단강도에 도달한다.
- (2) 모재가 SM490A, SM570Q의 경우, 역학적 성능시험에 있어서도 용접부나 모재에서의 파단은 발생되지 않고 스티드의 내력이 발휘되기 때문에 고강도 스티드의 용접성에는 별다른 문제가 없는 것으로 판단된다.
- (3) 제품인장시험에 있어 일부 시험체의 경우 용접부에서 파단이 발생하였지만, 축부에서 파단이 일어난 시험체와 거의 동일한 인장강도에 도달하고 있어 용접조건을 개선함으로써 축부파단의 달성이 가능할 것으로 사료된다.
- (4) 고강도 스티드의 전단내력은 보통의 스티드보다 1.5 배 정도 증대하였고, 스티드의 파단에 의해 스티드의 전단내력이 결정되는 50MPa 이상의 고강도 콘크리트에 대해 스티드 수의 저감 등의 효과가 기대된다.

### 참고문헌

1. 대한건축학회, 건설교통부 고시 건축구조설계기준 및 해설, 2006.
2. 日本建築學會, 各種合成構造設計指針同解説, 1985.
3. AISC, MANUAL OF STEEL CONSTRUCTION-LOAD&RESISTANCE FACTOR DESIGN Volume 1, Second Edition, 1998.
4. 井上一郎, 金 喆煥, 嚴 喆煥, 宇野場芳, 富樫 洋, “高强度·高刚性 스태드의開發研究(パイプ스태드의豫備實驗)”, 日本建築學會 近畿支部研究報告集, 1990년5월.

투고(접수)일자: 2012년 4월 27일  
 수정일자: (1차) 2012년 8월 19일  
 (2차) 2012년 10월 22일  
 게재 확정일자: 2012년 10월 25일