

Push-Out Test에 의한 스티드와 고장력 볼트의 역학적 거동

Mechanical Behaviors of Studs and High-Tensile Bolts by Push-Out Test

김용희*

이명동***

문태경**

Kim, Yong-Hee Lee, Myung-Dong Moon, Tae-Gyeong

Abstract

Shear connectors are completely important to composite each other in steel-concrete composite structures. Therefore a strength of shear connectors and relation of a load-slip have been carried out experimentally and analytically by the Push-Out test for this study. In this paper, eleven specimens were tested and the behavior of shear connectors in steel-concrete composite structures are investigated

Key words :

1. 서 론

강·콘크리트 합성구조물은 두 개의 서로 다른 재료 즉 콘크리트와 강재를 합성하여 만든 것으로 전단력이 작용할 경우 분리될 우려가 있어 양쪽 부재를 접합하여 외력에 저항하도록 하기 위해 전단연결재를 사용해야 한다. 전단연결재는 합성작용의 기본적인 역할을 담당하고, 수평전단력을 전달할 수 있어야 하며, 또 좌굴이나 기타의 원인으로 콘크리트가 강형 플랜지나 강관으로부터 분리되어 떠오르는 것을 방지할 수 있어야 한다.¹⁾ 이러한 전단연결재중 가장 실용화 되어있는

스티드는 1950년대 초 미국 일리노이 대학의 Viest등²⁾의 실험으로부터 합성구조의 전단연결재로서 그 사용성이 확인되었고, 그 후 많은 연구결과로부터 스티드의 역학적 거동이 밝혀져 현재에는 스티드가 합성구조의 전단연결재로 전세계적으로 독점적으로 사용되고 있다.³⁾

스티드에 관한 기존의 연구는 스티드의 내하력과 피로강도로 나누어진다. 스티드의 내하력 실험은 Push-Out Test가 많이 이용되어지고 있으며, 스티드의 피로강도는 스티드의 근원부의 영향을 많이 받는다.⁴⁾ 그런데 스티드의 근원부는 아아크 용접을 사용함으로써, 응력집중을 유발시킨다. 이러

* 경남대학교 토목공학과 교수

** 남흥건설 (주) 기획실장

*** 경남대학교 토목공학과 석사과정

•본 논문에 대한 토의를 1999년 9월 30일까지 학회로 보내 주시면 1999년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

한 응력집중을 완화시키기 위하여 스티드의 용접 방법을 여러 가지로 개량하여 실시하고 있지만 근원부의 응력집중은 피할 수 없는 상태이다.⁵⁾ 이런 단점을 보완할 수 있는 스티드 전단연결재 대응으로 고장력 볼트를 사용할 수 있다. 본 연구에서는 전단연결재의 거동과 역학적 특성을 조사하기 위하여 H형강에 스티드와 고장력 볼트를 체결한 Push-Out Test 공시체로 정적 재하 시험을 수행하여 스티드와 고장력 볼트의 역학적 거동을 분석하여 고장력 볼트의 사용성을 파악하고 향후 전단연결재 연구에 대한 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

2. 정적 Push-Out Test

2.1 공시체

본 실험에서는 스티드와 고장력 볼트의 정적 내하력과 하중-slip거동을 비교·분석하기 위하여 $\phi 19\text{mm}$ 스티드(S19시리즈) 공시체 6개와 $\phi 20\text{mm}$ 고장력 볼트(B20시리즈) 공시체 5개를 사용하였다. Push-Out Test의 파괴모드는 스티드의 높이(H)와 줄기의 지름(d)의 비로 국내 도로교 시방서에는 5.5를 기준으로 하고 있어⁵⁾, H/d를 변수

로 하여 높이 8cm와 13cm의 공시체를 제작하였다. B20시리즈도 스티드를 사용한 공시체와 동일하게 볼트의 높이와 직경의 비인 H/d비를 변수로 하여 높이 8cm와 13cm의 공시체를 제작하였다. 나머지 조건은 국내 도로교 시방서의 기준과 기존의 실험을 참조하여 가능한 균일하게 제작하였다. Table 1은 공시체의 종류를 나타낸다. Table 2, 3은 콘크리트 재료 시험결과 스티드·볼트의 기계적 성질을 나타낸다.

Table 3. 스티드와 고장력볼트의 기계적 성질

종류	구분	인장강도(kg/cm ²)	신장율(%)
스티드		5710	25
고장력볼트		5570	25

공시체의 개요도는 Fig 1, 2에 나타낸다.

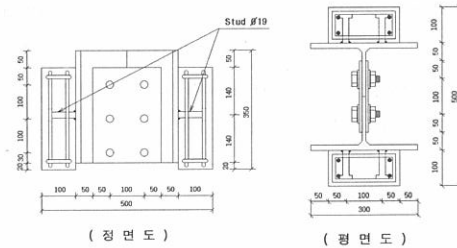


Fig. 1 공시체의 개요도 (S19-8시리즈)

Table 1. 공시체의 종류

공시체명	전단연결재지름(mm)	전단연결재전체높이(cm)	H/d비	설계기준강도 σ_{ck} (kg/cm ²)	전단연결재종류	콘크리트높이(cm)	수량
S19-8	19	8	4.21	300	stud	10	3
S19-13	19	13	6.84	300	stud	15	3
B20-8	20	8	4.00	300	bolt	10	2
B20-13	20	13	6.50	300	bolt	15	3

Table 2. 콘크리트의 재료시험 결과

공시체	압축강도(kg/cm ²)	활렬인장강도(kg/cm ²)	탄성계수(kg/cm ²)
1	342	32.2	2.42×10^9
2	268	24.9	2.22×10^9
3	387	38.4	2.45×10^9
평균	332	31.8	2.36×10^9

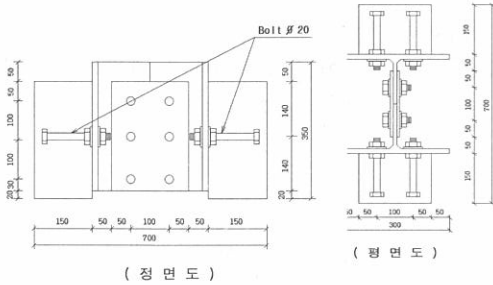


Fig. 2 공시체의 개요도(B20-13시리즈)

2.2 재하방법

하중재하장치로는 100톤 만능시험기(UTM)를 사용하였다. 재하방법은 정적 반복재하 하중법으로 전단연결재 1분당 작용하중이 250kg에 상당하는 하중단계(스티드 4본×250kg=1ton)로 1분당 하중이 2,500kg까지 재하한 뒤, 다시 1,250kg의 간격으로 하중을 제거하였다. 이상과 같은 방법으로 5,000kg, 7,500kg, 10,000kg까지 반복한 뒤 마지막 단계에서는 파괴시까지 하중을 가하여 실험을 종료하였다. 하중치는 만능시험기에서 직접 측정하였고, slip치는 각 하중단계별로 측정하였다.

2.3 측정항목

측정항목은 각 하중단계별 상대·잔류slip 와

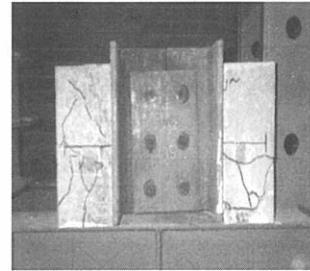


Fig. 3 공시체 파괴형상

콘크리트 균열상황이며, 균열상황은 정밀한 육안 조사로서 실시하였다.

상대slip은 H형강과 콘크리트 슬래브의 상대적인 slip량을 측정하기 위하여 H형강의 웨브에 마그네틱 스탠드를 부착하고 콘크리트 슬래브의 측면 전단연결재의 위치에 변위계(1/200mm)를 설치하였다. 잔류slip은 상한하중에서 하중을 완전히 제거했을 때의 slip량을 의미한다.

3. 결과 및 고찰

실험결과, 전 공시체의 파괴진행과정을 고찰해 보면, 전단연결재가 전단파괴에 이르기 전(국부적인 소성변형상태) 전단연결재에 의해 지압되는 콘크리트 슬래브 속의 국부적인 압축파괴가 슬래브 측면의 균열로 이어져 압축파괴한 것으로 판단된다. 공시체의 파괴형상은 Fig 3에 나타낸다.

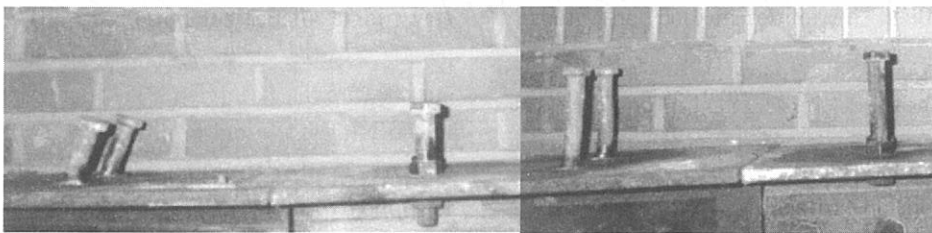


Fig. 4 전단연결재의 변형성상

Table 4. 공시체의 파괴하중

공시체명	S19-8			S19-13			B20-8		B20-13		
	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	3
파괴하중(ton)	35.8	46.0	47.0	47.0	45.0	47.0	42.0	49.0	39.5	48.0	50.0
평균하중(ton)	42.9			46.3			45.5		45.8		

전단연결재의 변형성상은 Fig 4에 나타낸다. 실험결과인 파괴 하중을 Table 4에 나타낸다. 그리고 각 하중단계별 공시체의 하중-slip거동을 Fig 5과 Fig 6에 나타내었다.

하중-잔류slip곡선에서 잔류slip이 급변하는 점에 대응하는 작용하중(임계하중)을 구한뒤, 다시 하중-상대slip곡선에서 임계하중에 대응하는 상대slip을 구하여 원점과 그 교점을 연결한 직선의

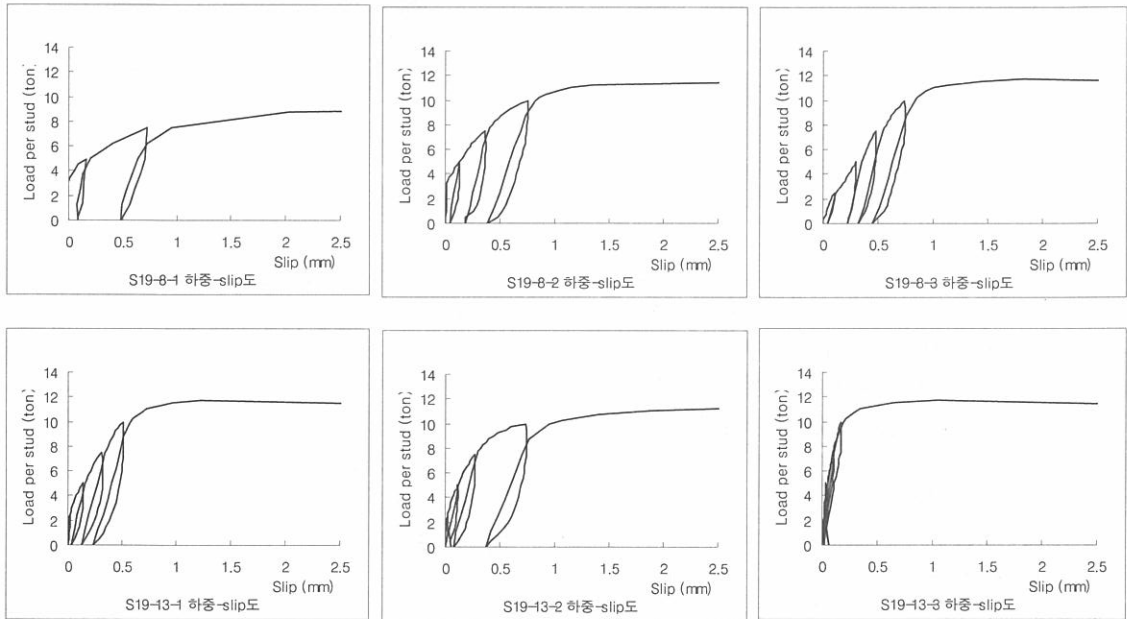


Fig. 5 각 공시체의 하중-slip도 (스터드)

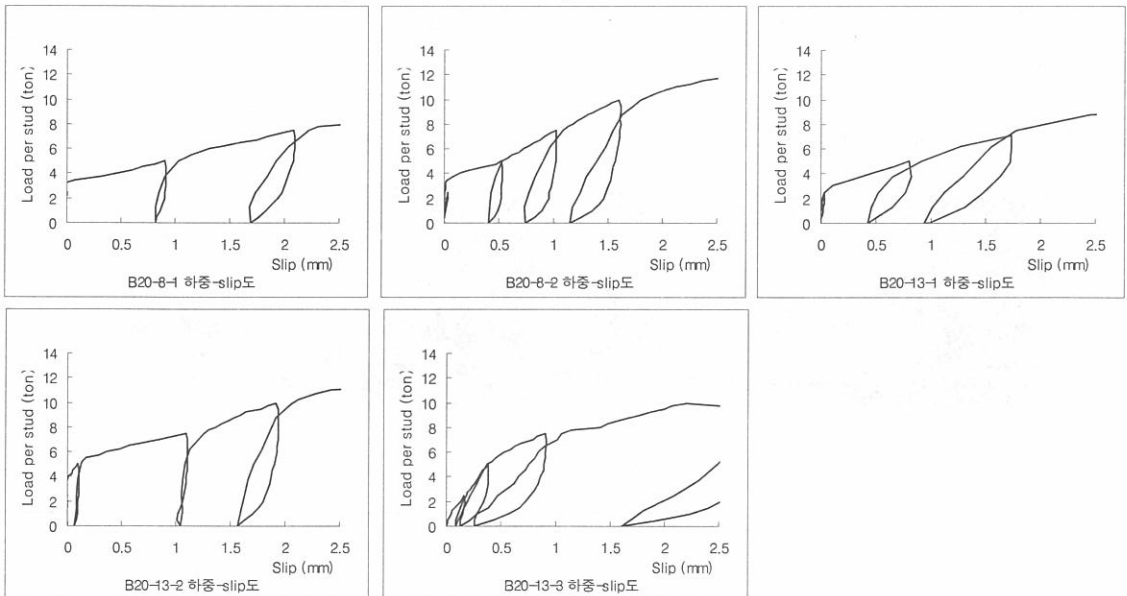


Fig. 6 각 공시체의 하중-slip도 (고장력볼트)

구배 (Q_s/δ) 를 스테드·볼트의 slip계수라 하고 그 값은 Table 5에 나타낸다. 실험결과에 의하면 Slip계수는 S19시리즈 공시체에 비해 B20시리즈가 약 2배정도 큰 값을 나타낸다.

기존 연구에 의한 기존식은 Table 6에 나타낸다.^(6),7),8),9),10),11) 파괴하중과 기존의 제안식을 비교하여 Table 7에 나타낸다.

Table 5. 공시체 시리즈별 slip계수

공시체 시리즈	상대slip당 내하력 (ton/분)		임계하중(1분당)			극한하중(1분당)		slip계수 (ton/cm)
	0.05mm	0.075mm	하중(ton)	상대slip (mm)	잔류slip (mm)	하중 (ton)	상대slip (mm)	
S19-8	4.0	4.46	4.96	0.157	0.083	10.73	2.95	315.9
S19-13	3.39	3.98	5.0	0.140	0.037	11.58	1.62	357.1
B20-8	3.45	3.75	2.5	0.031	0	11.38	3.66	806.5
B20-13	2.66	3.02	2.5	0.036	0	11.46	4.66	694.4

Table 6. 기존식

	제안식	비고
도로교 시방서	$Q_a = 30d^2\sqrt{\sigma}$ ($H/d \geq 5.5$) $Q_a = 5.5dH\sqrt{\sigma}$ ($H/d < 5.5$)	Q_a : 전단연결계의 허용전단력(kg) H : 스테드의 높이(cm) d : 스테드의 직경(cm) σ_{ck} : 콘크리트의 강도(kg/cm ²)
AASHTO (1996)	$Q_u = 0.4d^2\sqrt{\sigma_{ck}E_c}$ ($H/d > 4$)	Q_u : 스테드의 극한강도(kg) E_c : 콘크리트의 탄성계수(kg/cm ²)
Viest	$Q_{cr} = 87.5d^2\sqrt{\sigma_{ck}}$ ($H/d \geq 4.2$) $Q_{cr} = 21.2dH\sqrt{\sigma_{ck}}$ ($H/d < 4.2$)	Q_{cr} : 스테드 1분당 임계하중(kg)
Slutter	$Q_u = 246.6d_s^2\sqrt{\sigma_{ck}}$ ($4.2 \leq h_s/d_s < 5.5$) $Q_u = 58.3d_s h_s \sqrt{\sigma_{ck}}$ ($h_s/d_s < 4.2$)	
Fisher	$Q_u = 0.5A_s\sqrt{\sigma_{ck}E_c}$ ($H/d \geq 4$)	A_s : 스테드의 횡단면적(cm ²)
赤尾	$Q_u = 40dH\sqrt{\sigma_{ck}}$ ($3.0 \leq H/d \leq 5.3$)	

Table 7. 실측치와 기존 제안식의 비교 (1분당)

공시체	출전	실측치	도로교	AASHTO	Viest	Slutter	Fisher	赤尾
			시방서	(1996)				
S19-8	하중(kg)	10730	1523	12782	5756(4960)	16221	12548	11078
	대비	1	7.05	0.84	0.86	0.66	0.86	0.97
S19-13	하중(kg)	11580	1973	12782	5756(5000)	-	12548	18002
	대비	1	5.87	0.91	0.87	-	0.92	0.64
B20-8	하중(kg)	11380	1603	14163	6180(2500)	16996	13904	11661
	대비	1	7.10	0.80	0.40	0.67	0.82	0.98
B20-13	하중(kg)	11460	2186	14163	6377(2500)	-	13904	18950
	대비	1	5.24	0.81	0.39	-	0.82	0.60

위의 표에서 대비는 실험에 의한 파괴하중과 제안식에 의한 계산값의 비를 말하는데 단, 도로교 시방서의 제안식은 허용하중을 나타내므로 이것의 대비는 안전율을 의미한다. Viest의 제안식은 자신이 정의한 임계하중을 나타내므로 임계하중에 대한 대비를 나타내기 위하여 실측임계하중을 ()속에 나타내었다. Slutter의 제안식은 H/d비의 한계를 5.5미만으로 한정하는데 반해 S19-13시리즈 공시체와 B20-13시리즈 공시체의 H/d비는 각각 6.84, 6.5로 이 범위를 벗어나기 때문에 공란으로 처리하였다.

Table 7의 도로교 시방서에서 제시하고 있는 허용하중은 파괴에 대하여 평균 6.32의 안전율을 보이고 있다. 그러나 실측파괴하중과 제안식의 극한하중의 비를 살펴보면 S19시리즈는 평균 0.84, B20시리즈는 평균 0.67 정도로 실측파괴하중이 제안식의 극한하중을 크게 밀돌고 있다. 특히 고장력볼트를 사용한 B20시리즈 공시체의 대비값이 스티드를 사용한 S19시리즈 공시체보다 훨씬 작은 값을 보였다. 공시체 시리즈별 상대slip도와 잔류slip도를 Fig 7와 Fig 8에 나타낸다.

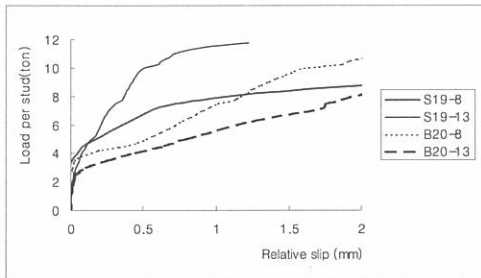


Fig. 7 공시체 시리즈별 하중-상대slip도

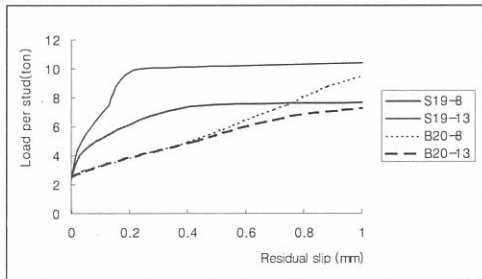


Fig. 8 공시체 시리즈별 하중-잔류slip도

그림에서 보는바와 같이 재하초기의 공시체 시리즈별 slip거동은 큰 차이가 없으나 임계하중 이후부터는 차이를 나타내고 있다. 특히 S19시리즈 공시체에 비해 B20시리즈 공시체의 slip거동이 임계하중 이후에 급격히 커진다는 사실은 주목할만하다. B20시리즈 공시체의 slip거동이 위와같이 나타나는 원인은 각 공시체별 콘크리트 슬래브의 형상치수와 콘크리트 압축강도는 일정한 반면 전단연결재의 형상치수, 특히 전단연결재 근원부(용접부 또는 체결부)의 단면적 차이에 의한 것으로 생각된다.

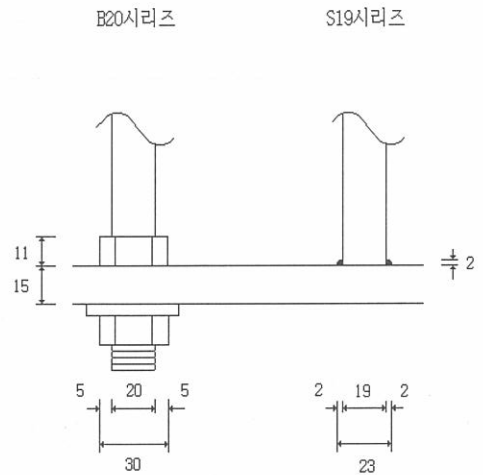


Fig. 9 전단연결재의 근원부 상세도(단위:mm)

Fig 9은 S19시리즈와 B20시리즈 공시체에 사용된 전단연결재의 근원부 상세도를 나타내었다. 이 그림에서 보는바와 같이 S19시리즈에 사용된 스티드의 근원부(용접부) 직경은 23mm인데 반해 B20시리즈에 사용된 고장력볼트의 근원부(체결부)에는 와셔와 너트로 보강되어 직경이 30mm에 달한다. 따라서 S19시리즈 공시체는 임계하중 이후에도 스티드의 변형에 의해 연성적인 slip거동을 보이는 반면, B20시리즈 공시체는 전단연결재 근원부의 구속력이 S19시리즈 공시체에 비해 훨씬 크므로 임계하중 이후에는 콘크리트의 국부적인 취성파괴에 의해 slip량이 급증하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

전단연결재로서 스티드와 고장력 볼트를 사용하여 정적 Push-Out Test를 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 국내 도로교 시방서의 허용전단력은 실험결과 파괴하중에 대하여 S19시리즈는 평균 6.32, B20시리즈는 평균 6.17의 안전율을 보였다.

2) 전단연결재로서 고장력볼트를 사용한 B20시리즈 공시체가 스티드를 사용한 S19시리 공시체에 비해 임계하중 이전에는 slip계수가 2배이상을 가지지만 임계하중 이후에는 크게 증가하는 것은 볼트주변 콘크리트의 국부적인 파괴의한 것으로 판단된다.

3) 전단연결재 높이와 직경비(H/d)가 5.5이하인 경우에는 볼트를 사용하는 것에 비하여 스티드를 사용하는 것이 정적내하력이 증가한다. 그 이유는 스티드의 slip계수가 볼트보다 작아, 콘크리트의 국부적인 집중응력이 분산되기 때문이라 판단된다. 그러나 전단연결재의 파괴가 발생하는 경우에는 전단연결재의 근원부에 발생하는 집중응력과 slip계수가 작을수록 휨응력이 증가함으로 스티드의 정적내하력이 볼트보다 감소할 것으로 판단된다.

4) 전단연결재의 기초적인 역학거동을 연구하기 위하여 전단연결재의 종류(ϕ 19mm 스티드와 ϕ 20mm 고장력볼트)와 전단연결재의 높이만으로 분류하여 공시체를 제작했지만, 이후에는 전단연결재의 역학거동에 영향을 미치는 여러 인자, 특히 스티드의 직경, 콘크리트 압축강도에 따른 역학적 거동과 피로거동, 수치해석 등에 대해서도 연구가 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. 黄鶴周 : 最新橋梁工學, 東明社, 1996, pp.230-247.
2. I.M.Viest : Tests of Stud Shear Connectors, Part I ~ IV, Nelson Engineering Test Data, 1954-1957.
3. 平城弘一 : 頭付きスタッドの靜적および疲勞強度と設計法に關する研究, 1992, pp.1-14.
4. 文兌景 : 鋼板·콘크리트合成床版의疲勞特性と疲勞設計に關する基礎的研究, 大阪大學學位論文, 1992, pp.208-210.
5. 鋼構造便覽 (鋼構造의 接合), 韓國鋼構造學會, 1995, pp.8-10.
6. 도로교 시방서, 대한토목학회, 1996, pp.250-257.
7. I.M.Viest : Investigation of Stud Shear Connectors for Composite Concrete and Steel T-Beam, Journal of ACI. V.27. No.8, 1956. pp.875-891.
8. R.G.Slutter, G.C.Driscoll : Flexural Strength of Steel-Concrete Composite Beams, Journal of the Structural Division, ASCE. V.91. No.ST2, 1965, pp.71-99.
9. J.G.Ollgaard, R.G.Slutter and J.W.Fisher : The Strength of Stud Shear Connectors in Lightweight and Normal-Weight Concrete, AISC. Engineering Journal, V.8. No.2, 1971, pp.55-64.
10. 山本·中村 : Stud Shear Connector의試驗報告, 日本建設省土木研究所報告 109號, 1961, pp.1-24.
11. 赤尾·栗田·平城 : 頭付きスタッド의押抜き舉動に及ぼす콘크리트의打込み方向の影響, 日本土木學會論文集 第380號/I-7, 1987, pp.311-320.

(접수일자 : 1999. 3. 5)