

스터드 볼트 접합부의 인장 거동에 관한 연구

이태석¹⁾ · 김승훈^{2)*} · 서수연³⁾ · 이리형²⁾ · 홍원기⁴⁾

¹⁾(주)건양구조 ²⁾한양대학교 건축공학과 ³⁾한양대학교 초대형구조시스템연구소 ⁴⁾삼성중공업(주)

(2000년 1월 18일 원고접수, 2001년 6월 7일 심사완료)

Tensile Behavior of Stud Bolt Connections

Tae-Seok Lee¹⁾, Seung-Hun Kim²⁾, Soo-Yeon Seo³⁾, Li-Hyung Lee²⁾, and Won-Kee Hong⁴⁾

¹⁾ Khunyang Engineering & Consulting Co., Ltd., Seoul, 138-170, Korea

²⁾ Dept. of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791, Korea

³⁾ STRESS, Hanyang University, Seoul, 133-791, Korea

⁴⁾ Samsung Heavy Industries Co., Ltd., Seoul, 135-080, Korea

(Received on January 18, 2001, Revised on June 7, 2001)

ABSTRACT

This paper presents the tensile behavior of stud connections installed between reinforced concrete and steel members. Eight specimens are tested to verify the factors influencing the tensile behavior of the connection. Major variables considered in the test are the reinforcement ratios of concrete member and connection details.

Test results indicate that the reinforcing bars near stud bolts contribute to the increase of the tensile strength of the member as well as to the reduction of brittle failure. It is shown that C-type or U-type connection has relatively high ductility. From the evaluation on the tensile strength of test results including those of performed by previous researchers, it was shown CCD (Concrete Capacity Design) method overestimated the strength. In this paper, the reduction factor of 0.75ϕ instead of ϕ is suggested for design purpose of the stud connection.

Keywords : stud connection, reinforcement ratio, tensile strength, connection detail, strength reduction factor

1. 서 론

철근콘크리트 부재와 철골 부재의 접합에 있어 연결재로 스테드 볼트(stud bolt, cast-in-place headed anchor bolt)가 많이 이용되고 있다. 이러한 스테드 볼트 접합에 관한 인장내력에 대해 많은 연구^{1~7)}가 수행되었으며, 그 결과 여러 가지 설계식^{7~11)}들이 제시되었다.

기존의 스테드 볼트 접합부의 인장 거동에 관한 연구는 주로 콘크리트 강도와 스테드 볼트의 문힘길이를 주요 변수로 하였으며, 철근이 없는 무근콘크리트 실험체를 대상으로 연구가 진행되었다. 하지만 실제로 스테드 볼트가 적용되는 접합부에서 스테드 볼트의 인장파괴 영역 안에 철근이 배근되어 있는 경우가 대부분이다.

무근콘크리트의 스테드 볼트 인장실험에서 콘크리트 파괴에 의해 실험체 내력이 결정될 때, 콘크리트는 작용하중에 의해 최대내력에 도달한 이후 급속히 내력이 저하되는 취성적인 콘 파괴(cone failure)를 보인다. 스테드 볼트접합부의 이러한 취성적인 거동은 응력이 집중되어 많은

변형능력이 요구되는 접합부에서는 바람직하지 않은 파괴 형태이다. 철근콘크리트 부재에서는 스테드 주위에 철근이 배근되어 이러한 취성적인 파괴를 방지할 수 있다. 따라서, 스테드 볼트 주위에 배근된 철근이 접합부의 변형능력 특히, 취성파괴 방지에 미치는 영향을 구체적으로 구명할 필요가 있다.

그리고 기존 규준식이 일반볼트, 흑크볼트, 철근, 나사 선을 가진 봉, 스테드 볼트 등 여러 형태의 앵커들에 대한 실험결과를 기반으로 규준식의 강도감소계수를 산정하고 있어 보다 경제적이고 안전한 설계를 위해 스테드 볼트만으로 이루어진 접합부의 강도감소계수 산정을 위한 분석이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 스테드 볼트로 접합된 철근콘크리트 보와 철골의 접합부에 있어, 주근비와 전단보강근비, 스테드 볼트 접합을 보완할 이형철근을 이용한 접합상세 등이 접합부 인장내력과 변형능력에 미치는 영향을 파악하고, 기존 연구결과와 함께 CCD식⁷⁾에 사용되는 강도감소계수 적용에 대한 안전성 평가를 연구의 목적으로 한다.

* Corresponding author

Tel : 02-2290-1723 Fax : 02-2281-2557

E-mail : seunghun@hanbox.com

2. 스테드 볼트 접합부의 인장파괴

2.1 콘크리트에 의한 파괴형태

인장력을 받는 스테드 볼트 접합부의 콘크리트 파괴형태는 크게 콘크리트 콘 파괴(cone failure), 콘크리트 할열 파괴(splitting failure), 볼트의 인발에 의한 파괴(pull-out failure) 등이 있다. 무근콘크리트에 묻혀있는 스테드 볼트의 인장실험에 있어서, 일반적인 콘크리트의 파괴형태는 Fig. 1(a)와 같은 콘크리트 콘 파괴이다. 콘크리트 할열 파괴는 콘크리트 두께가 너무 작을 경우, 정착된 스테드 볼트 사이의 간격이 충분치 못한 경우, 연단 거리가 가까울 경우 등에 의해 발생하는 파괴 형태이다. 볼트의 인발에 의한 파괴의 경우는 주로 앵커 볼트를 사용한 접합부에서 나타나는 파괴 형태로서 익스팬션 앵커의 볼트 타입에서 슬리브의 팽창이 극히 작은 경우에 나타난다.

2.2 연구 동향

스테드 볼트를 이용한 접합이 합성보 외에 부재간의 접합에 널리 이용됨에 따라 이에 관한 연구가 접합부의 인장내력을 중심으로 진행되어왔다. 하지만 접합부에서 중요시 되는 변형에 관한 연구는 극히 드문 상황이다. 국내의 경우 최문식¹⁾은 조합하중시 스테드 볼트 접합부 주위의 보강근에 대한 내력을 평가하였다. 실험체 3개중 1개의 값으로 판단하였으며 강성 및 내력 증가에 약 10% 정도의 영향이 있다고 보고하였다.

국외에서의 스테드 볼트 접합부 인장거동에 관한 연구는 인장 내력평가를 중심으로 활발히 이루어지고 있다. Shaikh와 1인³⁾은 스테드 볼트 접합부의 인장내력에 있어서 파괴투영면적을 3 가지 방법으로 제시하였다. 각도를 45° 로 가정한 투영면적과 경사면적 그리고 원형의 실린더 형태로 가정한 면적 등을 제시하였다. 연구자들에 의해 제안된 식은 주근과 전단보강근의 영향에 대하여는 평가하지 않았다.

이와 같이 스테드 볼트 접합부에 관한 기존 연구들은 스테드 볼트 주위에 배근된 주근 및 전단보강근이 접합부

변형에 미치는 영향을 고려하고 있지 않음을 알 수 있다.

2.3 기존 내력식 검토

국내의 경우 스테드 볼트 인장내력식에 관한 구체적인 기준이 정해져 있지 않으며, 스테드 볼트의 인장내력을 평가할 때 국외에서 제시된 내력식을 적용하고 있는 실정이다.

Table 1은 그룹 스테드 볼트의 인장내력 평가에 관한 기존 내력식을 정리한 것이다. 그룹 스테드 볼트의 경우, 최근 내력식의 경향은 과거에 제시된 내력식보다 낮게 평가하고 있는 경향이 있다. PCI 5th edition¹⁰⁾은 그룹 스테드 볼트의 경우 PCI 4th edition¹¹⁾의 그룹 스테드 볼트 내력식보다 2/3배 정도의 내력을 감소하여 계산하도록 제시하고 있다. CCD 방법의 인장내력식은 다른 기준식과는 달리 문힘길이에 따른 크기효과(size effect)를 고려하고 있으며 향후 ACI 318, 349 규준에 반영될 예정이다.

3. 실험

3.1 실험체 계획

주근비와 전단보강근비에 따른 접합부의 인장거동에 따른 영향을 검토하기 위해 기준실험체(CF-A)를 중심으로 5개의 실험체, 접합부에서의 변형능력 증진 또는 내력 증진을 위하여 3개의 실험체를 제작하였다. 변형능력 또는 내력증진을 위한 보강상세는 C형(개방형, 폐쇄형) 및 U형이며, 실험체의 일람은 Table 2와 같다.

스테드 볼트가 용접된 H형강의 규격은 H-300×150×6.5×9로서 직경 22 mm의 머리부분을 가지며, 나사선이 없는 $\phi 13 \times 80$ 의 스테드 볼트 4개가 용접되어있다. 콘크리트 부재의 단면은 30 cm×40 cm, 길이는 70 cm이며 스테드 볼트의 문힘 깊이는 머리부분을 포함하여 8 cm이다. C형 철근을 이용한 실험체는 이형철근 D13을 C형 모양으로 제작하여 스테드 볼트 대신 H형강에 용접을 하였다. U형 실험체는 파괴부위를 확산하기 위해 기존의 스테드 볼트 주위에 U형의 D13 철근을 보강하여 제작하였다.

주요 실험체 형상 및 배근상황은 Fig. 2와 같다.

3.2 재료 시험

실험체 제작시 사용된 콘크리트 및 철근과 스테드 볼트의 재료적인 특성을 파악하기 위해 공시체와 시편을 제작하여 재료시험을 실시하였다. 콘크리트 공시체는 직경 10 cm, 높이 20 cm의 실린더형 공시체를 사용하였다. 재료시험 측정결과를 Table 3에 나타냈으며, 콘크리트 평균압축강도가 361 kgf/cm²으로 나타났다. 철근 및 스테드 볼트의 인장재료 시험 결과는 Table 4와 같다

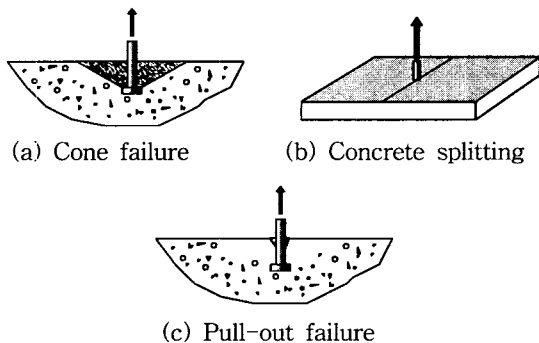
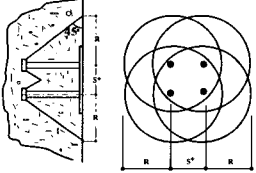

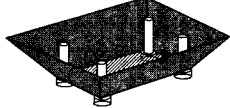
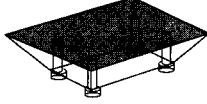


Fig. 1 Concrete failure types of stud connection

Table 1 Design tensile strength of stud groups

Code	Design tensile strength (All units are USCS)	Strength reduction factor	Failure area	Effective area
ACI 349-97 ⁸⁾	$\phi P_c = \phi 4 A_p \sqrt{f_{ck}}$	$\phi = 0.85$ (anchored beyond the member far face reinforcement) $\phi = 0.65$		Projection area of stress cones radiating at a 45-degree slope
UBC 97 ⁹⁾	$\phi P_c = \phi 4 A_p \lambda \sqrt{f_{ck}}$	$\phi = 0.65$ ($\phi = 0.85$: attached or hooked around reinforcing steel)		Projection area of a truncated pyramid radiating at a 45-degree slope
PCI 5th edition ¹⁰⁾	$\phi P_c = \phi \lambda \left(\frac{2}{3}\right) \sqrt{f_{ck}} \times (2.8 A_p' + 4 A_t)$	$\phi = 0.85$		Failure surface area along a truncated pyramid
CCD ¹¹⁾	$\phi P_c = \phi \frac{A_{nc}}{A_{no}} \cdot \psi_1 \cdot \psi_2 \cdot P_{co}$	$\phi = 0.85$ (ACI) ¹³⁾ $\phi = 0.75$ (ASCE)		Projection area of concrete surface idealizing the failure cone as a pyramid with a base length(3h _{ef})

A_p' : sum of the areas of the sloping sides
 A_t : area of the flat bottom of the truncated pyramid
 A_p : effective area
 A_{nc} : actual projected area at the failure surface by stud groups
 A_{no} : projected area at the failure surface by one stud
 c_1 : edge distance to the closest edge
 e_N' : distance between the resultant tensile force and centroid of tensioned fasteners
 f_{ck} : compressive strength of concrete
 h_{ef} : actual embedment length of stud
 k_{nc} : calibration factor
 i) post-installed fasteners : 35
 ii) cast-in situ headed studs and headed anchor bolts : 40
 P_c : nominal tensile strength of stud groups

P_{co} : nominal tensile strength of a single stud
 $= k_{nc} \sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{1.5}$

λ : coefficient for use with lightweight concrete

- i) normal weight concrete = 1.0
- ii) sand-lightweight concrete = 0.85
- iii) all-lightweight concrete = 0.75

ψ_1 : tuning factor to consider the eccentricity of the resultant tensile force

$$\psi_1 = \frac{1}{1 + 2e_N' / (3h_{ef})} \leq 1$$

ψ_2 : tuning factor to consider effect by edge

i) $c_1 \geq 1.5h_{ef}$, $\psi_2 = 1$

ii) $c_1 \leq 1.5h_{ef}$, $\psi_2 = 0.7 + 0.3 \frac{c_1}{1.5h_{ef}}$

Table 2 Description of specimens

Specimen	Longitudinal bar (L.B.)	Stirrup	Reinforcement	Number of stud bolts (13 mm)
CF-A	5-D13	$\phi 6@125$	-	4
CF-B1	-	-	-	4
CF-B2	10-D13	$\phi 6@125$	-	4
CF-C1	5-D13	$\phi 6@75$	-	4
CF-C2	5-D13	$\phi 6@175$	-	4
CF-D1	5-D13	$\phi 6@125$	Two-Closed C type bar	-
CF-D2	5-D13	$\phi 6@125$	Two-Open C type bar	-
CF-D2a	5-D13	$\phi 6@125$	Four-U type Bar	4

Table 3 Physical properties of concrete

Compressive strength (kgf/cm ²)	Revised compressive strength (kgf/cm ²)	Young's modulus (tonf/cm ²)
372	361	259

3.3 가력 및 측정방법

실험체의 하중 가력 개념은 Fig. 3과 같고, 설치상황은 Fig. 4와 같다. 스트롱 프레임(strong frame)에 고정시킨 100 tonf의 액츄에이터(actuator)를 이용하여 H형강에 압축력을 가하여 접합부에 인장력이 발생하도록 하였다.

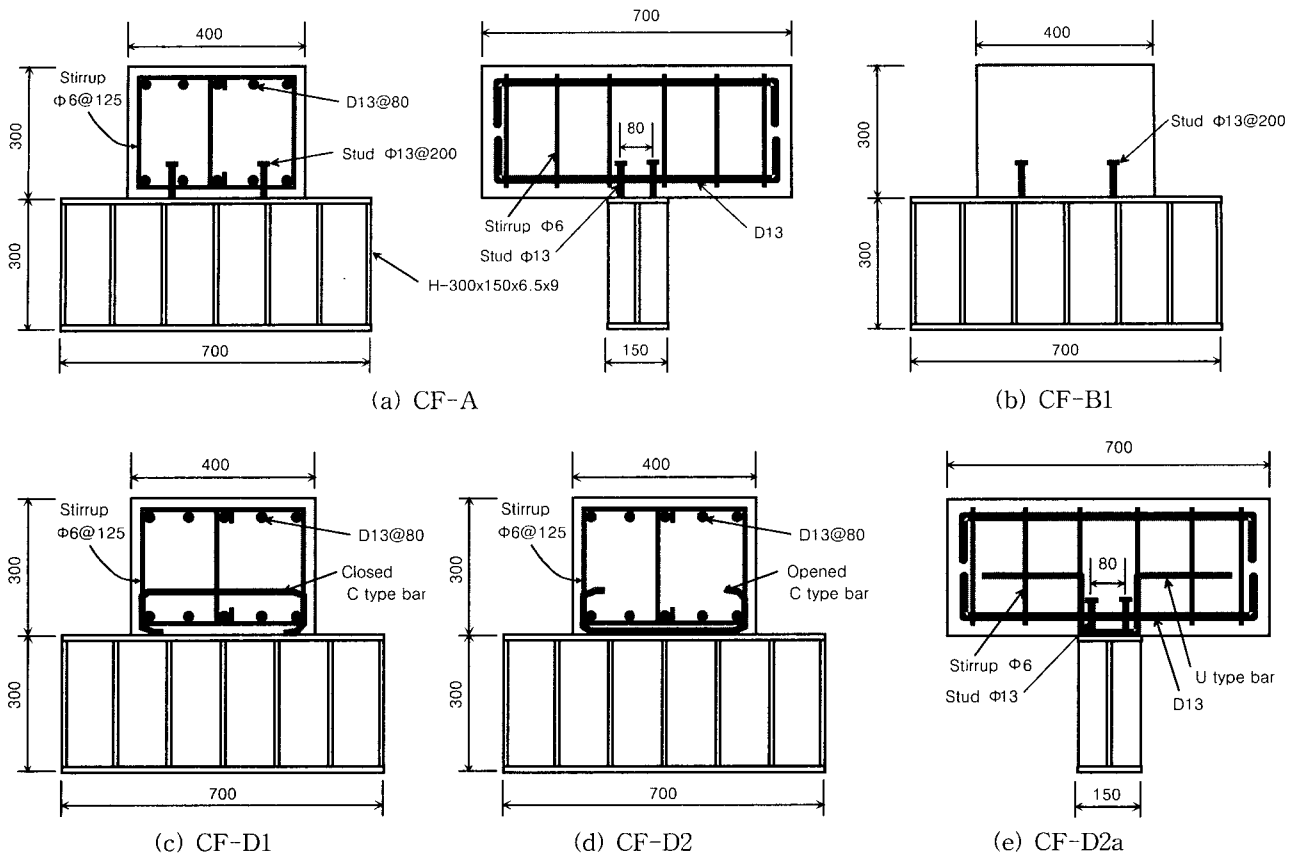


Fig. 2 Detail of specimens (Unit : mm)

Table 4 Tensile strengths of reinforcement and stud bolt

Type	Yield strength (kgf/cm ²)	Tensile strength (kgf/cm ²)	Young's modulus (kgf/cm ²)
Stirrup- $\phi 6$	7460	8918	2.11×10^6
L.B.-D13	4977	6321	2.06×10^6
Stud bolt - $\phi 13 \times 80$	4078	5132	2.12×10^6

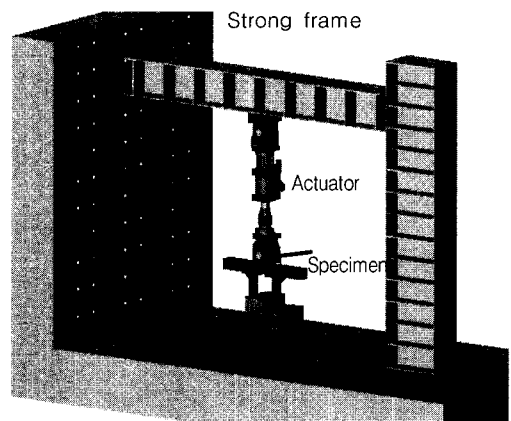


Fig. 4 Test setup

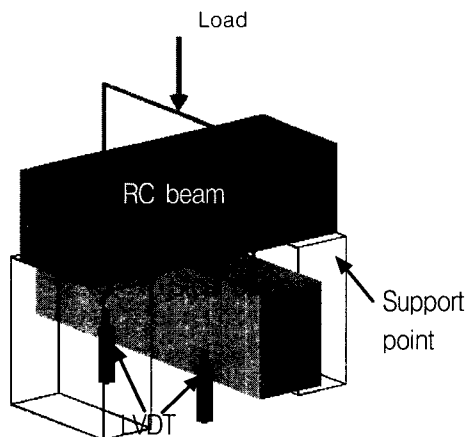


Fig. 3 Loading concept

실험은 콘크리트 부재와 철골이 접합된 부분에서 완전 분리되어 파단될 때까지 하중을 가력하였다. 접합부의 인장변위를 측정하기 위하여 철근콘크리트와 철골의 접합면에 2개의 LVDT를 설치하고 이의 평균값을 이용하였다. 스티드 볼트의 콘 파괴에 의한 콘크리트 변형을 파악하기 위하여 스티드 볼트 사이에 콘크리트 매립게이지 2개를 설치하였다.

4. 실험 결과

스터드 볼트 접합부의 인장실험에 의한 결과를 Table 5에 나타내었다.

4.1 주근비의 변화에 따른 영향

Fig. 5(a)의 그래프를 보면 주근 및 전단보강근이 배근되어 있지 않은 무근실험체인 CF-B1 실험체보다 주근이 배근이 되어있는 실험체가 최대내력이 6~8% 이상 크다는 것을 알 수 있다. 기준실험체 보다 주근비가 두배인 CF-B2 실험체를 비교하면, 최대 내력시의 변형값은 0.02 mm 차이를 보이는 유사한 값을 보였으며, 최대 내력 값의 차이는 2%로 유사한 값을 나타내었다. 따라서, 스테드 볼트 주위에 배근된 주근은 내력상승에 중요한 요인이 되지만 일정 이상의 주근비에서는 인장내력의 증가에 영향이 없는 것으로 보인다.

Fig. 5(b)에서 콘크리트가 파괴되는 최대하중 이후에 주근의 변형률이 크게 증가하는 것을 볼 때 주근이 접합부의 변형능력 향상에 기여함을 알 수 있다.

4.2 전단보강근비 변화에 따른 영향

Fig. 6(a)에 나타낸 바와 같이 전단보강근비를 변수로 한 실험체에서는 최대 내력의 값은 무근 실험체와 비교하였을 때 큰 차이가 없었다. 다만, 전단보강근의 변형율은 최대내력 이후에 더욱 증가됨을 보이고 있다. 특히, CF-C1의 경우는 전단보강근에 의한 콘크리트 구속효과가 가장 큰 실험체로써 최대내력 이후 내력의 감소 없이 전단보강근의 변형이 증대되었음을 보여주고 있다. 이러한 거동은 전단보강근이 내력의 상승보다는 최대내력 이후에 실험체의 급격한 취성파괴 방지에 기여함을 보여주고 있다.

Fig. 6(b)는 전단보강근량이 많을수록 콘크리트와 주근

에 대한 구속효과가 커져 주근이 많은 응력을 받게 되고 이에 따라 최대하중이후의 변형능력을 향상시킬 수 있다.

4.3 접합상세 변화에 따른 영향

Fig. 7에서, 폐쇄형 C형 철근을 사용한 CF-D1 실험체가 기준실험체와 비슷한 내력을 보였지만 연성면에서는 기준실험체에 비해 우수하다는 것을 알 수 있었다. 개방형 보다는 콘크리트 구속력이 더 큰 폐쇄형 C형 철근을 사용한 실험체의 내력이 더 크게 나타났으며, U형보강근을 사용한 CF-D2a 실험체는 접합부가 받는 응력을 U형 보강근에 의해 콘크리트로 효과적으로 분산시켜 내력이나 연성면에서 가장 우수한 거동을 보였다.

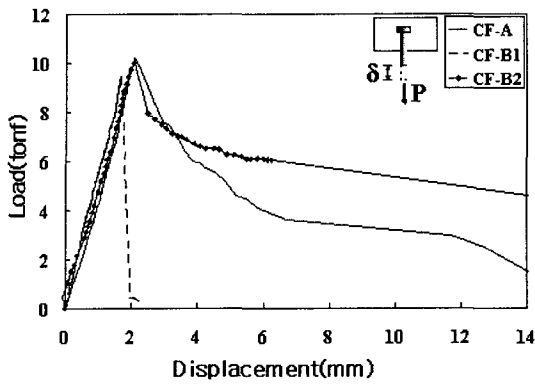
Fig. 8에 주요 실험체의 파괴 형상을 나타내었다. 무근 실험체인 CF-B1 실험체는 콘크리트 파괴면적이 작으며, 콘 파괴 형상을 보였다. CF-A의 경우는 주근과 전단보강근의 영향으로 파괴 면적이 확산되는 파괴 형상을 보였으며, 스테드 볼트 접합부에 C형 및 U형 보강근을 사용한 경우에는 무근 실험체에 비하여 콘크리트 파괴 면적이 확산되어 최종파괴에 도달한 것으로 나타났다.

4.4 기준 내력식과의 비교

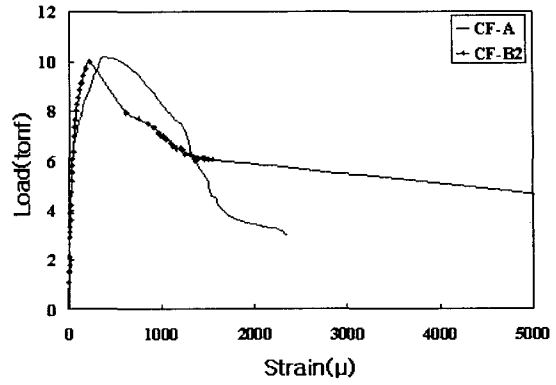
본 연구의 실험결과와 기존 인장내력식으로 제시된 ACI 349-97, CCD 방법, PCI에 의한 이론내력을 Table 6과 Fig. 9에 비교하여 나타내었다. 이러한 이론내력은 각 기준에 의한 강도감소계수를 적용하지 않은 것이다. ACI, CCD식에 비해 PCI식이 대부분 실험내력과 설계내력을 유사하게 나타내 스테드 볼트의 콘파괴에 관한 내력을 잘 평가하고 있는 것으로 보여진다. 여기서, C형 및 U형 보강근이 사용된 실험체의 내력식 적용은 C형 및 U형 보강근의 높이를 스테드 볼트의 유효높이와 동일하게 적용하여 내력을 산정하였다.

Table 5 Test result

Specimen	Reinforcement ratio		Maximum load, P_{max} (tonf)	Displacement at maximum load (mm)	P_{max}/P_a
	L.B. (%)	Stirrup (%)			
CF-A	0.53	0.15	10.2 (=P _a)	2.10	1.00
CF-B1	0	0	9.4	1.68	0.92
CF-B2	1.06	0.15	10.0	2.07	0.98
CF-C1	0.53	0.25	9.2	2.54	0.90
CF-C2	0.53	0.11	9.8	2.11	0.96
CF-D1	0.53	0.15	10.2	7.68	1.00
CF-D2	0.53	0.15	8.8	3.79	0.86
CF-D2a	0.53	0.15	23.4	9.38	2.29

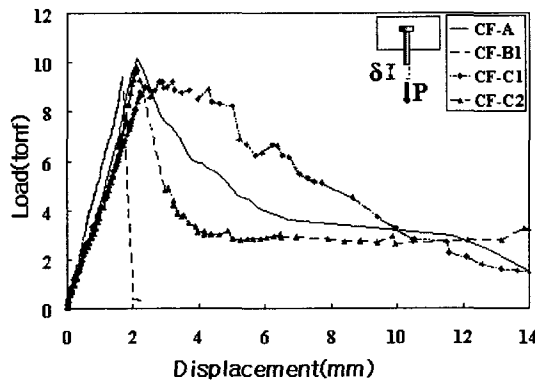


(a) Load-displacement curve

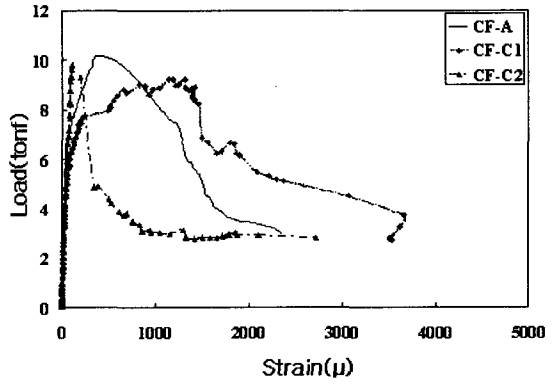


(b) Load-strain curve of L.B.

Fig. 5 Effect of longitudinal bars

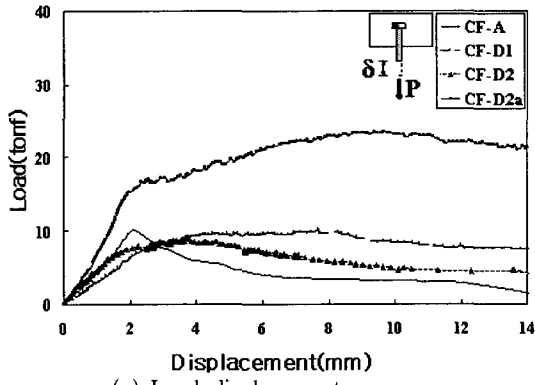


(a) Load-displacement curve

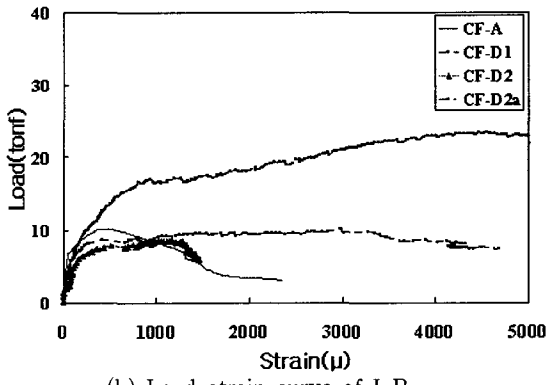


(b) Load-strain curve of L.B.

Fig. 6 Effect of stirrups



(a) Load-displacement curve

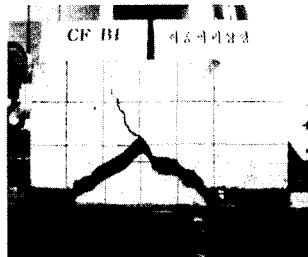


(b) Load-strain curve of L.B.

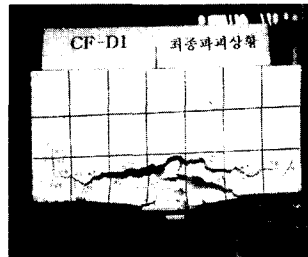
Fig. 7 Effect of connection details



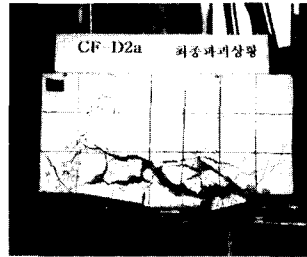
(a) CF-A



(b) CF-B1



(c) CF-D1



(d) CF-D2a

Fig. 8 Fail mode of specimens

5. 강도감소계수

향후 ACI 318, 349 규준에 반영될 예정이지만 본 실험 결과와 많은 차이가 난 CCD식에 대해, 기존연구자들의 실험결과 분석을 통하여 강도감소계수 적용에 따른 안전성을 평가하고자한다. Table 7은 콘크리트 파괴에 의해 최대내력이 결정된 국내·외 416개 인장 실험 자료에 대한 연구자와 실험체 수를 나타낸 것이다.

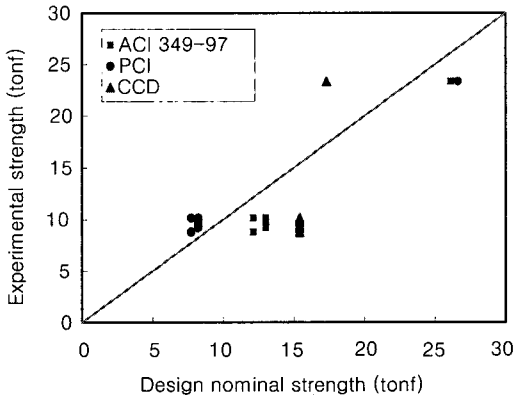


Fig. 9 Comparison with predicted and experimental result

Table 7 Previous tension test of anchor

Researcher	Anchor	
	Stud	Bolts
Seong-Ung K _{ANG} ²⁾	14	24
Se-Woong O _H ³⁾	24	.
Eric J. Primavera ⁵⁾	.	50
R. E. Klingner ⁶⁾	7	4
Werner Fuchs ⁷⁾	56	145
AJ ¹²⁾	61	31
Total (416)	162	254

Table 6 Comparison with predicted and experimental result

Specimen	Test result P_{test} (tonf)	ACI 349 P_{ACI} (tonf)	CCD P_{CCD} (tonf)	PCI P_{PCI} (tonf)	$\frac{P_{test}}{P_{ACI}}$	$\frac{P_{test}}{P_{CCD}}$	$\frac{P_{test}}{P_{PCI}}$
CF-A	10.2	13	15.4	8.2	0.78	0.66	1.24
CF-B1	9.4	13	15.4	8.2	0.72	0.61	1.15
CF-B2	10.0	13	15.4	8.2	0.77	0.64	1.22
CF-C1	9.2	13	15.4	8.2	0.70	0.59	1.12
CF-C2	9.8	13	15.4	8.2	0.75	0.64	1.20
CF-D1	10.2	12.1	15.4	7.7	0.84	0.66	1.32
CF-D2	8.8	12.1	15.4	7.7	0.72	0.57	1.14
CF-D2a	23.4	26.1	17.3	26.6	0.90	1.32	0.88

기존실험결과와 본 연구의 실험결과를 CCD식에 의한 계산값과 비교하여, 스티드 볼트를 제외한 일반볼트들에 대한 비교결과를 Fig. 10에, 스티드 볼트에 대한 비교결과를 Fig. 11에 나타내었다.

그림에서 스티드 볼트를 제외한 일반 앵커들에 대한 평균값(m)과 표준편차(σ)가 0.922로 CCD에서 강도감소계수 0.85에 비해 크게 나타나 비교적 안전하게 내력을 평가

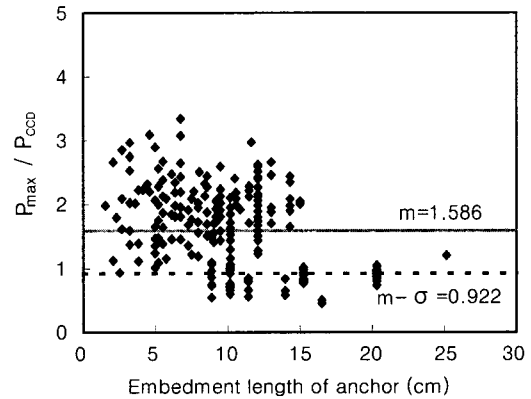


Fig. 10 Comparison with test and CCD tensile strength for anchor bolts

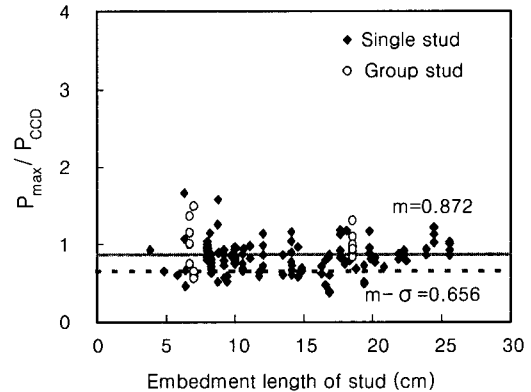


Fig. 11 Comparison with test and CCD tensile strength for stud bolts

하고 있음을 알 수 있지만, 스테드 볼트에 대해서는 평균값이 0.872, 평균값과 표준편차의 차가 0.656으로 내력값이 실험값을 과대평가하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 스테드 볼트에 대해 CCD식을 사용할 시 일반 앵커볼트와는 달리 추가의 안전율을 고려한 강도감소계수로 0.75 ϕ 를 사용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

6. 결 론

주근과 전단보강근의 변화 및 접합상세 변화에 따른 스테드 볼트 접합부의 인장거동에 관한 실험적 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1) 스테드 볼트 주위에 배근된 주근은 스테드 볼트 접합부의 6~8%의 인장내력 상승에 대한 효과뿐 아니라 최대내력 이후의 급격한 취성파괴의 방지에도 효과가 있음을 나타내었다.

2) 전단보강근의 양이 많은 실험체일수록 스테드 볼트 접합부의 최대내력 이후 내력 감소가 적게 나타나 스테드 볼트 접합부의 급격한 취성파괴방지에 효과가 있는 것으로 나타났다.

3) C형(폐쇄형, 개방형) 및 U형 보강 철근을 이용한 실험체 모두 스테드 볼트에 의한 실험체에 비해 우수한 연성거동을 나타내었으며 특히 U형 철근을 이용한 실험체는 콘크리트에 작용하는 응력을 효과적으로 분산시켜 내력을 상승시키는 것으로 나타났다.

4) 본 실험체들에 대해 ACI, CCD식보다 PCI식이 실험 내력을 잘 평가하고 있는 것으로 나타났다.

5) CCD식에 의해 인장을 받은 스테드 볼트 접합부를 설계시, 추가의 안전율을 고려한 강도감소계수로 0.75 ϕ 를 사용하는 것이 바람직할 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 삼성중공업(주)과 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터의 연구비 지원으로 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 최문식, "합성구조 접합부의 무리스테드와 스테드길이에 따른 극한내력에 관한 실험적 연구," 대한건축학회 논문집, 제13권 6호, 2000, pp.267~276.
2. 강성웅, "접합부에 사용되는 스테드 볼트의 극한 인장내력에 관한 실험적 연구," 단국대 석사학위논문, 1991. 2.
3. 오세웅, "콘크리트에 매립된 단순인장을 받는 스테드볼트의 극한 내력에 관한 실험적 연구," 단국대학교 석사학위논문, 1994. 2.
4. Shaikh and Whayong Y., "In Place Strength of Welded Headed Studs," *PCI Journal*, 1985.
5. Primavera, E. J., Pinelli, J. P. and Kalajian, E. H., "Tensile Behavior of Cast-in-Place and Undercut Anchors in High-Strength Concrete," *ACI Structural Journal*, Sep.-Oct. 1997, pp.583~594.
6. Klingner, R. E. and Mendonca, J. A., "Tensile Capacity of Short Anchor Bolts and Welded Studs : A Literature Review," *ACI Structural Journal*, July-Aug. 1982, pp.270~279.
7. Fuchs, W., Eligehausen, R. and Breen, J. E., "Concrete Capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete," *ACI Structural Journal*, Jan.-Feb. 1995, pp.73~94
8. ACI Committee 349, "Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures," *American Concrete Institute*, 1997, pp.78~80.
9. UBC, "Structural Engineering Design Provisions," Vol. 2 Section 1923. 3, 1997.
10. PCI, "PCI Design Handbook / 5th Edition," Precast Concrete Institute, 1999.
11. PCI, "PCI Design Handbook / 4th Edition," Precast Concrete Institute, 1992.
12. 日本建築學會, "各種合成構造設計指針同解説", 1985.
13. BSSC, "Proposals for Change to the 1997 NE-HRP Recommended Provisions for Issuance as the 2000 Provisions," 2000. 4.

요 약

본 연구는 인장력을 받는 스테드 볼트 접합부에서 주근과 전단보강근이 스테드 볼트의 인장거동에 미치는 영향을 내력과 변형 면에서 검토한 것이다. 주근과 전단보강근이 스테드 볼트 접합부에 미치는 영향을 검토하기 위하여 8개의 실험체를 제작하여 연구하였다. 실험은 주근과 전단보강근량의 각기 다른 5개의 실험체와 접합상세 개발을 위한 3개의 실험체로 구성되었다.

실험결과를 통해서 주근은 스테드 볼트 접합부의 인장내력 상승에 효과가 있는 것으로 나타났으며, 전단보강근의 증가는 최대내력 이후 급격한 취성파괴방지에 효과가 있음을 보여주었다. C형(폐쇄형, 개방형)보강근, U형 보강근을 사용한 접합부는 스테드 볼트 접합부의 연성거동에 효과가 있음을 보여주었다. 기존실험결과 분석으로부터 CCD식에 의해 인장을 받는 접합부를 설계시, 강도감소계수를 0.75 ϕ 로 사용할 것을 제시한다.

핵심용어 : 스테드 볼트, 보강근비, 인장강도, 접합상세, 강도감소계수