

행거로 보강된 스테드 접합부의 인장거동에 관한 실험적 연구

Experimental Study on the Tensile Behaviors of Stud Connection with Hanger

김 승 훈*

Kim, Seung-Hun

Abstract

This paper presents the tensile behavior of the stud connection between reinforced concrete(RC) and steel members. Hanger reinforcements are placed around the studs to transfer the tensile and flexural loads to the opposite side of the concrete member. Eight specimens for the tensile tests are tested with variables, which are the arrangement details of hanger reinforcements, the reinforcing bars, and the embedment length of stud. The results of the tensile tests show that hanger reinforcements are effective to increase tensile strength for stud connections. Hangers and reinforcing bars near stud bolts contributed to the reduction of brittle failure. From the evaluation on the tensile strength by previous design guidelines, it was shown that CCD (Concrete Capacity Design) method was more suitable for estimation of test strength.

요 지

본 논문은 스테드를 사용한 철근콘크리트 부재와 철골 부재의 접합부의 인장거동에 관한 연구를 나타내었다. 스테드 접합부의 인장 및 휨 성능을 향상시키기 위하여 행거를 스테드 주위에 설치하였다. 행거로 보강된 스테드 접합부의 인장 성능을 평가하기 위하여 철근비, 행거 상세, 문힘길이 등을 변수로 한 8 개의 실험체를 계획하였다. 인장실험을 통하여 행거 보강이 접합부의 인장강도를 증가시키는데 매우 효과적인 것을 알 수 있었다. 기준식에 의한 인장강도 평가로부터 CCD식이 강도 산정에 보다 적합한 것으로 나타났다.

Keywords : Stud Connection, Hanger Reinforcement, Tensile Behavior

핵심 용어 : 스테드 접합부, 행거, 인장거동

* 정회원, LG건설(주) 기술본부 연구개발팀 과장

E-mail : kimseunghun@empal.com 02-2005-9237

•본 논문에 대한 토의를 2004년 12월 31일까지 학회로 보내주
시면 2005년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서론

철골 보와 슬래브의 접합, 철근콘크리트(RC) 벽체 또는 기둥과 철골 보의 접합, 철근콘크리트 보와 철골 보의 접합 등과 같이 RC 부재와 철골 부재의 접합에 있어 연결재로 스테드(stud)가 시공의 편리성으로 인하여 많이 이용되고 있다. 이러한 스테드 접합부가 인장력을 받을 시 나타나는 대표적인 파괴양상은 스테드의 인장파괴(steel failure)와 Fig. 1과 같이 스테드의 인발에 의한 파괴(pull-out failure), 콘크리트의 할렬파괴(concrete splitting failure), 콘크리트가 콘형 또는 피라미드형으로 파괴되는 콘크리트 브레이크아웃 파괴(concrete breakout failure) 등 콘크리트의 파괴가 있다.

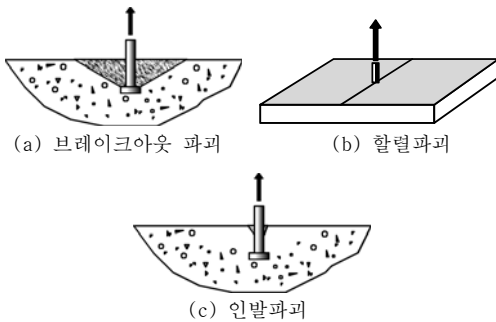


Fig. 1 스테드 접합부의 콘크리트 파괴형상

기존 연구결과⁽¹⁾를 살펴보면 콘크리트의 브레이크아웃 파괴는 매우 취성적인 파괴형태를 낸다. 따라서 이러한 콘크리트 파괴가 발생하지 않고 스테드가 파괴되도록 문힘길이를 산정하게 된다. 하지만 두께가 비교적 적은 벽체나 슬래브, 폭이나 두께가 제한된 보 및 기둥 등에서는 충분한 문힘길이를 확보하기 어려울 수 있다. 따라서 스테드 접합부 인장내력을 향상시키기 위하여 스테드 주위를 구속하는 보강상세 개발에 대한 연구의 중요성이 커지고 있다. 하지만 이러한 보강상세에 관한 설계방법 및 내력 및 변형성능향상에 대한 기여도에 대해 연구가 미비한 실정이다.

이에 본 연구에서는 스테드 문힘길이가 적어 콘크리트 브레이크아웃 파괴되는 철근콘크리트 보와 철골 보의 스테드 접합부를 대상으로 행거(hanger reinforcements)를

이용한 보강상세를 개발하고, 행거와 함께 스테드 주위에 배근되는 주근 및 전단보강근이 접합부의 인장성능에 미치는 영향을 파악하고자 한다. 이를 위하여 행거의 유무, 스테드의 문힘길이, 주근 및 전단보강근의 배근 형태 등을 주요 변수로 한 접합부 인장 실험을 실시하고 내력 및 변형 성능을 비교하였다.

2. 기존 연구 및 기준식

2.1 기존 연구동향

스테드를 포함하는 앵커의 인장내력에 관한 대표적인 연구로 1990~1991년 독일의 Stuttgart 대학의 W. Fuchs가 박사후 연구과정으로 미국 텍사스 대학에서 진행한 연구결과⁽²⁾를 들 수 있다. 그는 미국과 유럽 등 서로 다른 설계방식을 가지는 전 매립형 앵커 및 후 매립형 앵커에 대한 자료를 수집하고 비교 연구를 실시하였다. 이를 통하여 콘크리트 성능(concrete capacity)에 기초한 κ -설계방법에 ACI 349⁽³⁾의 콘(cone) 모델과 유사한 사각뿔 형태의 콘크리트 파괴면(35°)을 적용함으로써 보다 명확하고 상호보완적인 CCD(Concrete Capacity Design) 설계방법⁽²⁾이 개발되었다. 이러한 CCD 설계방법이 NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Program)의 “Fastening to Concrete” 위원회에서 채택된 후, 콘크리트 브레이크아웃파괴에 관한 식이 없었던 ACI 318 기준에도 2002년⁽⁴⁾에 적용되었다.

2000년 이후 진행되고 있는 앵커에 관한 연구경향을 살펴보면 CCD 식을 기초로 앵커의 종류에 따른 계수를 평가하기 위한 연구와 콘크리트 취성파괴를 방지하기 위한 보강상세 개발에 관한 연구가 국외에서 많이 진행되고 있다. 국내에서도 2003년 김성용⁽⁵⁾이 팽창식 앵커에 관한 인발실험을 통하여 CCD 방법에 근거한 비균열 콘크리트에 매립된 팽창식 앵커의 브레이크아웃 파괴 강도를 제안하고 있다.

콘크리트 취성파괴 방지를 위한 상세에 대하여 CEB Bulletin No. 226⁽⁶⁾에서 인장력을 받는 앵커 주위에 U형 행거를 사용한 접합 상세를 제시하고 있다. 이러한 U형 행거는 부재의 두께가 작을 경우, 보강효과가 크

지 않을 수 있다. 이러한 경우 패쇄형 행거를 사용하는 것이 보다 효과적일 수 있다. 또한 스테르트가 매립되는 콘크리트 부재의 크기가 작고, 스테르트 주위에 주근과 전단보강근이 배근될 경우 행거에 의한 보강성능은 크게 향상될 수 있을 것으로 기대되므로 이에 관한 연구가 필요하다.

2.2 기준식

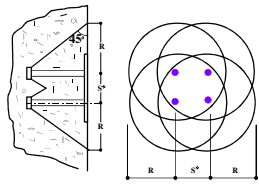
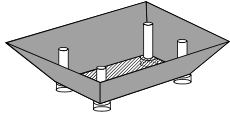
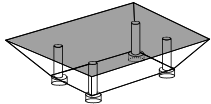
콘크리트 브레이크아웃 파괴에 대한 기준식인 ACI 349-99 식⁽³⁾, ACI 318-02의 CCD 식⁽⁴⁾, PCI 1999 식⁽⁷⁾ 등을 Table 4에 나타내었다. 이들 공칭강도식을 사용하여 이론내력을 평가하고 이를 Table 1에 나타내었다. 이러한 식들은 무근콘크리트에 대한 실험결과를 근거로 하고 있다.

3. 실험

3.1 실험체 계획

RC 보-철골 보 접합부를 대상으로 Table 2와 같이 행거의 유무, 스테르트의 묻힘길이, 주근 및 전단보강근의 배근 형태 등을 변수로 총 8개의 실험체를 계획하였다. Fig. 2에 실험체 형상 및 배근 상황을 나타내었다. Table 2 및 Fig. 2에서 TN1-P 실험체는 기준 실험체로 접합면에 4개의 스테르트가 행거로 보강되어 있다. 기준실험체에 비해 TN1-L1 및 TN1-L2 실험체는 스테르트 묻힘 길이가 각각 90, 120 mm이다. TN1-R1 실험체는 주근, 전단근과 행거가 없는 무근 실험체이고 TN1-R2 실험체는 행거만 설치되지 않았다. TN1-R3 실험체는 전단근의 배근간격이 50mm로 기준실험체에 비해 50%

Table 1 콘크리트 브레이크아웃 파괴에 관한 기준식

기준	인장내력	강도감소계수	파괴 형상
ACI 349-99	$\phi P_{ACI349} = \phi 4A_p \sqrt{f_{ck}}$	$\phi = 0.85$ ($\phi = 0.65$)	 45° 콘 파괴
PCI 1999 5th edition	$\phi P_{PCI} = \phi \lambda \left(\frac{2}{3}\right) \sqrt{f_{ck}} \times (2.8A_p' + 4A_t)$	$\phi = 0.85$	 45° 피라미드형 파괴
CCD	$\phi P_{CCD} = \phi \frac{A_n}{A_{n0}} \cdot \Psi_1 \cdot \Psi_2 \cdot \Psi_3 \cdot N_b$	$\phi = 0.85$ ($\phi = 0.75$)	 35° 피라미드형 파괴

A_p' : (45°) | 과단 면적
 A_t : 앵커의 머리 부분으로 이루어진 사각형 면적
 A_p : (45°) | 투영면적
 A_n : (35°) | 대한 실제 투영면적
 A_{n0} : 단일 스테르트에 대한 콘크리트 과단면의 투영면적
 c_1 : 전단거리
 e_n' : 앵커의 중심에서 작용력의 합력까지의 거리
 f_{ck} : 콘크리트 설계기준강도
 h_{ef} : 앵커의 묻힘길이
 k_{RC} : (: 17, : 24)
 N_b : 단일 스테르트의 공칭인장강도
 $= k_{RC} \sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{1.5}$

λ : (= 1.0)
 Ψ_1 : 합력의 편심계수
 $\Psi_1 = \frac{1}{1 + 2e_n' / (3h_{ef})} \leq 1$
 Ψ_2 : 전단거리 계수
 i $c_1 \geq 1.5h_{ef}$, $\Psi_2 = 1$
 ii $c_1 \leq 1.5h_{ef}$,
 $\Psi_2 = 0.7 + 0.3 \frac{c_1}{1.5h_{ef}}$
 Ψ_3 : = 1.25,
 후 매립 앵커 = 1.4, = 1

Table 2 실험체 일람

실험체명	스터드 묻힘길이 (mm)	상단 및 하단 주철근	접합면 철근 (side bar)	전단보강근 배근	행거
TN1-P	70	5-D16@75	-	D10@100	2-D10
TN1-L1	90	5-D16@75	-	D10@100	2-D10
TN1-L2	120	5-D16@75	-	D10@100	2-D10
TN1-R1	70	-	-	-	-
TN1-R2	70	5-D16@75	-	D10@100	-
TN1-R3	70	5-D16@75	-	D10@50	2-D10
TN1-R4	70	3-D16@150	5-D16@85	D10@100	2-D10
TN1-R5	70	3-D16@150	5-D16@85	D10@100	-

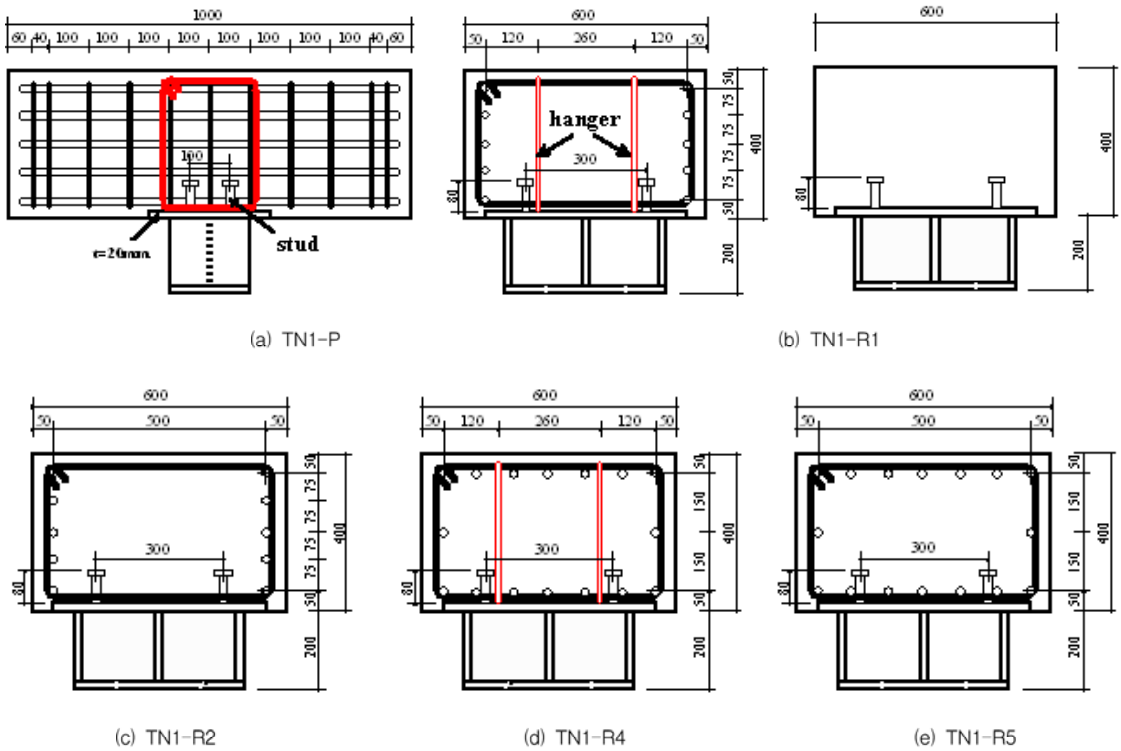


Fig. 2 실험체 형상 및 배근상황

감소한 실험체이다. TN1-R4와 TN1-R5 실험체는 주근의 배근형태가 일반보의 형태가 아니라 토압에 의한 횡력이 작용하여 접합면에 철근이 많이 배근되는 띠장의 형태로 행거의 유무를 변수로 하였다.

RC 보 부재 단면은 40cm×60cm이며 길이는 콘크리트 브레이크아웃 파괴면적을 고려하여 100cm로 계획하였

다. 스테드가 용접되는 엔드 플레이트로 사용된 강판은 두께 만큼 콘크리트에 매립하였으며, 인장력에 의한 휨변형을 줄이기 위하여 두께 20 mm로 계획하였다. 사용된 스테드의 몸통 직경은 16 mm이며 머리두께는 10 mm이다.

3.2 재료 시험

인장 실험시에 실험체에 사용된 콘크리트에 대한 공시체 압축강도 시험을 한 결과, 32.8 MPa로 나타났다. Table 3은 실험체에 사용된 철근 및 스테드의 인장 시험결과를 나타낸 것이다.

Table 3 철근 및 스테드의 인장강도 시험결과

종류 \ 구분	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)
D16 ()	434.8	649.2	2.02×10^5
D10 (,)	350.9	461.7	1.79×10^5
$\phi 16 \times 80$ ()	414.1	551.3	2.07×10^5

3.3 실험체 설치상황 및 가력방법

실험체 설치 상황을 Fig. 3에 나타내었다. RC 보의 끝단에 지지점을 두고 오일잭 (oil jack)을 이용하여 철골부재에 인장력을 가하여 접합부가 인장파괴 되도록 하였다. 엔드 플레이트의 4면에 변위계(LVDI)를 설치하여 변위를 측정하여 이들 평균한 값을 인장변위로 산정하였다.

RC 보의 변형을 측정하기 위하여 RC 보의 외측면에도 변위계를 설치하였으며, RC 부재 내 스테드 주위의 철근과 연결재에 작용하는 인장력에 의한 변형을 측정하기 위하여 철근 게이지를 부착하였다.

4. 실험 결과 및 분석

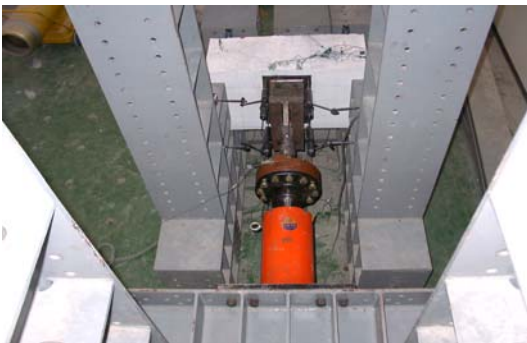


Fig. 3 실험체 설치상황

4.1 실험체 파괴상황

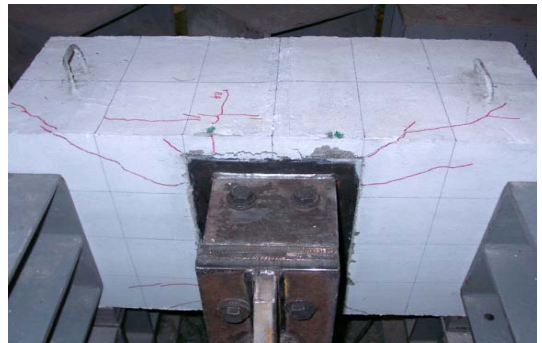
Fig. 4에 TN1-P, TN1-R1, TN1-R2 실험체의 최종 파괴상황을 나타내었다. Fig. 4에서 철근 및 행거가 모두 배근되어있지 않은 TN1-R1 실험체가 가장 취성적인 파괴형태를 보였다. 행거가 보강된 기준 실험체의 경



(a) TN1-P



(b) TN1-R1



(c) TN1-R2

Fig. 4 실험체 최종 파괴상황

우 행거가 스테드 머리 하단에 작용하는 지압응력에 저항함으로써 행거가 보강되지 않은 다른 실험체들에 비하여 행거의 균열 수 및 범위가 적게 나타났다. 그리고 TN1-R1 실험체의 경우 파괴면의 각도가 28°로 기존의 문헌에서 보고되고 있는 35° 또는 45° 보다 크게 나타났다.

4.2 실험 내력 및 하중-변위곡선

Table 4에 각 실험체의 최대내력과 최대내력 시 변위, 기준실험체와의 내력비 등을 나타내었다.

실험체 변수별 최대내력 및 하중-변위곡선을 비교, 분석하면 다음과 같다.

(1) 행거

Table 4 실험결과

실험체명	최대내력 P_{test} (kN)	최대내력시 변위 (mm)	기준실험체와의 내력비 ($=P_{test}/P_1$)
TN1-P	145.33(= P_1)	1.22	1.00
TN1-R1	118.27	0.55	0.81
TN1-R2	131.01	1.32	0.90
TN1-R3	158.97	3.21	1.09
TN1-R4	184.76	2.74	1.27
TN1-R5	137.88	1.13	0.95
TN1-L1	228.49	5.21	1.57
TN1-L2	242.32	6.81	1.67

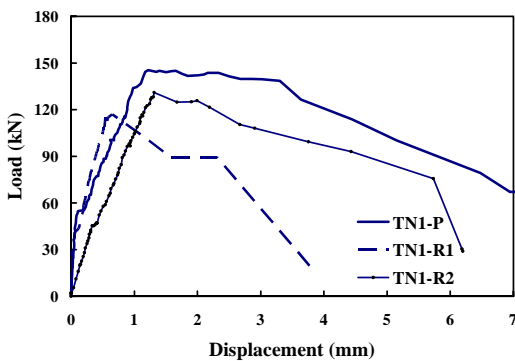


Fig. 5

- | 위곡선

행거의 유무에 따른 접합부의 인장거동을 비교하기 위하여 Fig. 5에 TN1-P, TN1-R1, TN1-R2 등의 실험체들에 대하여 하중-변위 곡선을 나타내었다.

Table 4와 Fig. 5에서 행거로 보강된 TN1-P 실험체가 무근 실험체인 TN1-R1 실험체에 비하여 최대 인장내력이 23% 증가하였으며, 최대내력 이후 약 3.5mm의 인장변위가 발생할 때까지 강도가 유지하면서 보다 연성적인 거동을 보였다. 그리고 주근 및 전단보강근은 배근되어 있고 행거가 없는 TN1-R2 실험체는 기준실험체에 비해 10% 정도 최대내력이 감소하는 것으로 나타났다. 이를 볼 때, 행거가 스테드 머리 하단에 작용하는 지압응력에 효과적으로 저항함으로써 인장내력 및 변형성능 향상에 큰 기여를 함을 알 수 있다.

(2) 스테드 문힘길이

스테드 길이를 변수로 하는 실험체인 TN1-P, TN1-L1, TN1-L2 등의 실험체들에 대한 하중-변위 곡선을 Fig. 6에 나타내었다.

Table 4와 Fig. 6에서 스테드 문힘길이가 기준실험체에 비하여 25% 더 증가하는 TN1-L1 실험체가 기준실험체에 비해 57.2%의 최대내력 증가가 있었다. TN1-L2 실험체는 TN1-L1 실험체에 비해 30%의 스테드 문힘길이 증가에 대해서 6.1%의 내력증가만이 있었다. 이것을 볼 때 스테드 문힘길이가 길수록 최대내력은 증가하지만 그 증가량은 길이에 비례하지 않음을 알 수 있다. 최대내력에서의 변위는 스테드 문힘길이가 길수록 증가하는 것으로 나타났다.

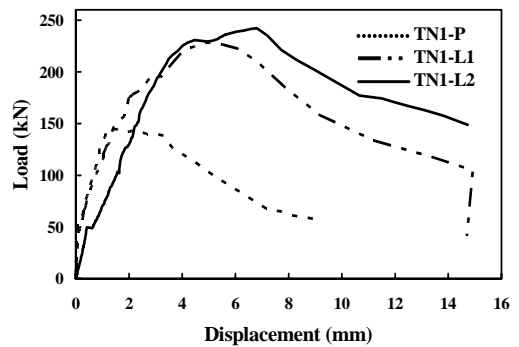


Fig. 6

- | 위곡선

(3) 전단보강근

전단보강근의 간격이 50mm로 기준실험체에 비해 전단보강근량이 두 배로 증가하는 TN1-R3 실험체의 하중-변위 곡선을 기준실험체와 비교하여 Fig. 7에 나타내었다. Table 4와 Fig. 7에서 전단보강근이 두배로 증가함에 따라 최대내력은 9.3% 증가하는 것으로 나타났다.

(4) 주근

보의 상하단에 주근이 배근되는 일반적인 보와 접합면에 주근이 배근되는 띠장형태의 보에 대하여 스테드 인장거동을 비교하였다. Fig. 8(a)의 하중-변위곡선은 행거가 보강되었을 경우에 대하여 주근 배치에 따른 영향을 비교한 것으로, 접합면에 주근이 많이 배근된 TN1-R4 실험체가 기준실험체에 비해 27.1%의 내력 증가가 있었다. Fig. 8(b)에서와 같이 행거가 보강되지 않았을 경우에는 띠장 형태의 TN1-R5 실험체가 일반 보 형태의 TN1-R2 실험체에 비해 5.2%의 내력 증가를 보여 그 증가량이 크지 않았다. 이것을 볼 때 스테드 주위에 주근이 배근된 상태에서 행거를 보강하는 것이 스테드 주위의 콘크리트 구속력을 증가시키는데 매우 효과적임을 알 수 있다.

4.3 기존 내력식과의 비교

콘크리트 브레이크아웃 파괴에 대한 대표적인 기준식인 ACI 349식, PCI식, CCD식 등에 의하여 평가된 공칭내력과 실험내력을 비교하여 Table 5에 나타내었다. 이러한 기준식들은 무근콘크리트 실험체의 실험결과를 대상으로 하고 있어 본 실험체와 같이 부재내 배근된 철근의 영향을 잘 고려하지 못하고 있다. Table 5의 실험결과와의 비교에서도 나타나듯이 주근 및 행거가 콘크리트 브레이크아웃파괴 내력 증가에 큰 영향을 미침으로서 결과적으로 기준식들이 실험내력을 과소평가하여 이론값과 실험값의 차이가 크게 나타났다. 따라서, 행거 및 철근 효과를 고려한 신뢰성있는 설계식 개발을 위하여 보다 많은 실험 및 해석 연구가 필요한 것으로 사료된다.

무근 실험체인 TN1-R1 실험체의 경우, CCD 식이 다

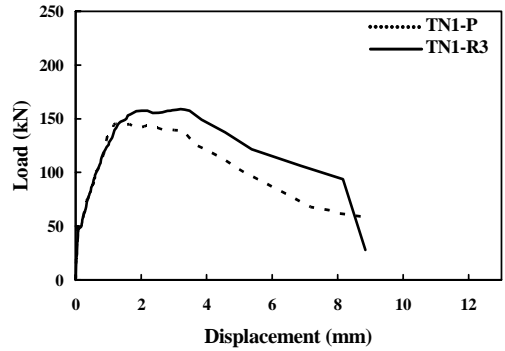
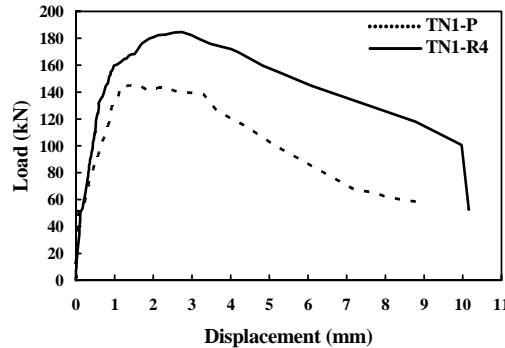
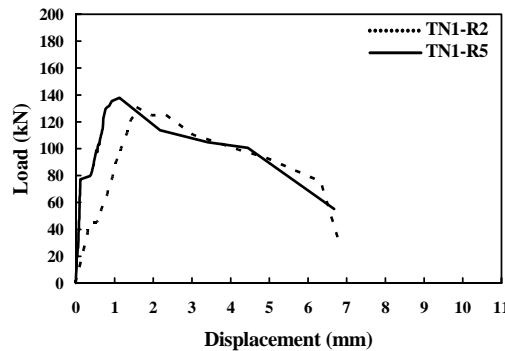


Fig. 7 - !위곡선



(a) 행거 보강



(b) 행거 무보강

Fig. 8 - !위곡선

른 기준식들에 비해 내력을 가장 근접하게 평가하고 있어, 기존의 연구결과와 같이 무근 실험체에 대해서 CCD 식이 적합한 것으로 나타났다.

Table 5 기준식에 의한 평가내력과 실험내력의 비교

실험체명	실험값 F_{test} (kN)	ACI 349 P_{ACI349} (kN)	PCI P_{PCI} (kN)	CCD P_{CCD} (kN)	$\frac{P_{test}}{P_{ACI349}}$	$\frac{P_{test}}{P_{PCI}}$	$\frac{P_{test}}{P_{CCD}}$
TN1-P	145.34	140.63	84.34	124.35	1.03	1.72	1.17
TN1-L1	228.50	205.55	126.51	168.29	1.11	1.81	1.36
TN1-L2	242.33	288.03	204.86	191.43	0.84	1.18	1.27
TN1-R1	118.27	140.63	84.34	124.35	0.84	1.40	0.95
TN1-R2	131.02	140.63	84.34	124.35	0.93	1.55	1.05
TN1-R3	158.97	140.63	84.34	124.35	1.13	1.88	1.28
TN1-R4	184.76	140.63	84.34	124.35	1.31	2.19	1.49
TN1-R5	137.88	140.63	84.34	124.35	0.98	1.63	1.11

5. 결 론

참고문헌

이상과 같은 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 행거를 설치한 실험체들의 최대인장내력이 무근 실험체에 비해 23% 이상 증가하는 것으로 나타나 행거가 인장내력 향상에 크게 기여함을 알 수 있었다. 특히, 접합면 주위에 주근이 배근될 경우 행거에 의해 구속된 주근이 함께 스티드의 인장력에 저항함으로써 인장저항성능을 크게 향상시킬 수 있는 것으로 나타났다.
- 2) 행거가 최대내력 시의 변위와 최대내력 이후의 접합부 취성파괴방지에 큰 영향을 미치는 것으로 나타나, 콘크리트 브레이트아웃파괴에 의해 접합부 내력이 결정될 경우에 행거가 접합부의 변형성능 향상에 효과적일 것으로 사료된다.
- 3) 기준식이 무근실험체의 실험결과를 토대로 하고 있어, 행거로 보강된 실험체에 대하여 기준식에 의한 평가내력이 실험내력을 과소평가하고 있는 것으로 나타났다. 무근 실험체의 경우 ACI 349 식 및 PCI 식에 비하여 CCD 식이 실험내력을 가장 근접하게 평가하였다.

1. 초대형구조시스템연구센터, 삼성중공업(주), "SPS 공법의 개발 및 성능평가에 관한 연구", 2001.3.
2. W. Fuchs, R. Eligehausen and J. E. Breen, "Concrete Capacity Design(CCD) Approach for Fastening to Concrete", ACI Structural Journal, Vol. 92, No.1 Jan.-Feb., 1995, pp. 73-94.
3. ACI Committee 349, "Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures", American Concrete Institute, 1999.
4. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete," American Concrete Institute, 2002.
5. 김성용, 서성연, 김규석, "비균열 무근콘크리트에 매입된 익스팬션 앵커의 인발내력", 대한건축학회, Vol. 19, No. 11, 2003, pp. 83-92.
6. CEB No. 226, "CEB-FIP Model Code for Concrete Structures", CEB, Paris, 1990.
7. PCI, "PCI Design Handbook / 5th Edition," Precast Concrete Institute, 1999.

(접수일자 : 2004년 9월 16일) (급행)