

선설치앵커의 동적 전단하중에 대한 저항강도: 철근보강 앵커

박용명¹ · 강문기^{2*} · 노진경³ · 주호중⁴ · 강충현⁵

¹교수, 부산대학교, 토목공학과 ²박사과정, 부산대학교, 토목공학과 ³석사과정, 부산대학교, 토목공학과
⁴석사과정, 부산대학교, 토목공학과 ⁵연구원, 경북대학교, 건축토목공학부

Shear Resistance of CIP Anchors under Dynamic Loading: Reinforced Anchor

Park, Yong Myung¹, Kang, Moon Ki^{2*}, Roh, Jin Kyung³, Ju, Ho Jung⁴, Kang, Choong Hyun⁵

¹Professor, Dept. of Civil Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

²Ph.D. student, Dept. of Civil Engineering, Pusan National University, Busan, 609-735, Korea

³Ms.C. student, Dept. of Civil Engineering, Pusan National University, Busan, 609-735, Korea

⁴Ms.C. student, Dept. of Civil Engineering, Pusan National University, Busan, 609-735, Korea

⁵Researcher, School of Architectural and Civil Engineering, Kyungpook National University, Gyeongbuk 702-701, Korea

Abstract - In this study, an experimental study was performed to evaluate the shear resistance of cast-in-place(CIP) anchors reinforced with hairpin and stirrup bars under static and dynamic loads. The reinforcement was developed using D6 bars, and the anchors were installed with 20mm diameter and 120mm edge distance. Three tests were conducted for each type of reinforced anchor under static and dynamic shear load with a pulsating frequency of 1 Hz, respectively. It was found that the strength of hairpin-reinforced anchor was affected by the concrete cover and the dynamic tests showed no capacity reduction of anchors compared with static tests. The stirrup-reinforced anchor showed little increase of resistance compared with unreinforced anchor and the resistance under dynamic loading showed nearly same strength by static loading.

Keywords - Cast-in-place anchor, Hairpin reinforcement, Stirrup reinforcement, Dynamic shear loading, Anchor resistance

1. 서론

철근으로 보강하지 않은 강재앵커의 설계강도는 강재앵커 본체의 연성파괴(ductile failure)와 콘크리트 파열파괴(concrete breakout failure)의 소성파괴(plastic failure) 강도 중 작은 값으로 결정된다. 현재 국내 콘크리트구조기준해설^[1] 및 ACI 318-08^[2]에서는 지진 시 인장하중 및 전단하중에 대한 콘크리트 파열파괴강도를 정적 하중에 의한

파괴강도의 75%로 저감하도록 규정하고 있다. 이는 지진 시 강재앵커의 연성파괴를 유도하기 위해 콘크리트 파괴강도를 안전측으로 설정하고자 한 것이며^[2], 동적 하중에 대한 콘크리트 파괴강도 실험 데이터의 부족에 그 원인이 있다. 한편, 최근 ACI 318-11^[3]에서는 콘크리트의 동적 파열 파괴강도를 인장하중에 대해서는 여전히 정적 파괴강도의 75%로 제한한 반면, 전단에 대해서는 이러한 강도저감 규정이 삭제되었는데 이에 대한 근거는 제시하지 않았다.

한편, 지진 시 하중에 대해 콘크리트 소성파괴강도가 강재앵커의 연성파괴강도보다 작은 경우에는 철근으로 보강하도록 규정하고 있다. 앵커의 철근보강 기준은 ACI 318-08^[2]부터 채택되었으며, Fig. 1의 Hairpin 보강 및 Fig. 2의 Edge and Anchor reinforcement 방식(이후 스트럽 보강으로 명명)을 제시하고 있다. 이때 설계강도는 콘크리트 파열파괴강도에 철근의 저항강도를 더하는 것이 아니라,

Note.-Discussion open until August 31, 2014. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on September 13, 2013; revised December 6, 2013; approved on December 16, 2013.

Copyright © 2014 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-51-510-1460 Fax. +82-51-513-9596

E-mail. han4770@chol.com

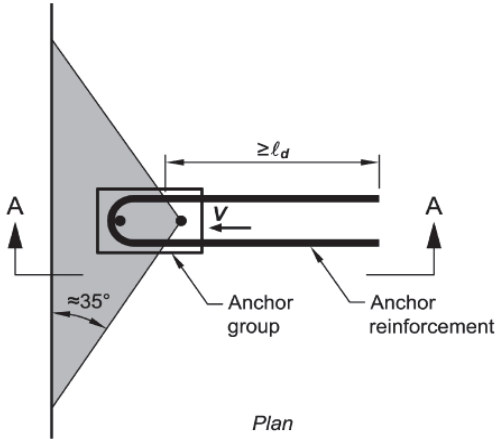


Fig. 1. Hairpin reinforcement^[3]

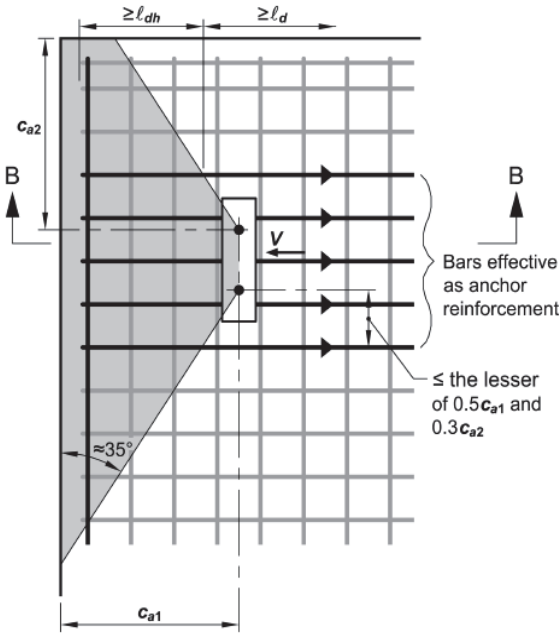


Fig. 2. Edge and anchor reinforcement^[3]

콘크리트 파괴강도를 대신하여 철근의 저항강도를 적용할 수 있다고 규정하고 있다.

본 연구에서는 헤어핀 보강 및 스트립 보강된 앵커의 동적 전단하중에 대한 저항강도를 평가하기 위한 실험 연구를 수행하였다. 실험에 사용한 앵커 직경은 M20이고 연단거리는 120mm로 하였으며 보강철근은 D6 이형철근을 사용하였다. 250kN 액츄에이터를 사용하여 철근보강 형식별로 정적 시험 3편과 동적 시험 3편을 각각 수행하고 철근보강 형식에 따른 정적하중과 동적 편진하중(pulsating loading)에 대한 앵커의 저항강도를 평가하였다.

2. 이론적 배경

2.1 앵커의 공칭 강도

현재 설계기준^{[1],[3]}에서 전단력을 받는 앵커의 공칭강도 V_n 은 강재의 전단강도(V_{sa})와 콘크리트 파열파괴강도(V_{cb}) 중 작은 값으로 결정되며, 철근보강 앵커의 경우에는 콘크리트 파열파괴강도를 철근의 저항강도로 대신하도록 규정하고 있다.

2.1.1 전단력을 받는 앵커 강재의 강도

단일 앵커강재의 공칭강도 V_{sa} 는 다음과 같다.

$$V_{sa} = A_{se,V} \times 0.6f_{uta} \quad (\text{N}) \quad (1)$$

여기서, $A_{se,V}$ 는 앵커의 유효전단면적(mm^2), f_{uta} 는 $1.9f_{ya}$ (f_{ya} : 앵커강재의 항복강도)와 860MPa 중 작은 값으로 하되 앵커 인장강도를 초과할 수는 없다.

2.1.2 전단력을 받는 앵커의 콘크리트 파열파괴강도

선행 논문^[4]에서 제시한 바와 같이 콘크리트 파열파괴강도는 2001년부터 CCD 방법이 적용되었으며 전단력을 받는 앵커의 평균 콘크리트 파열파괴강도(mean breakout capacity)는 다음 식과 같다.

$$V_{cn} = 1.0 \left(\frac{l_e}{d_o} \right)^{0.2} \sqrt{d_o} \sqrt{f_{ck}} c_{a1}^{1.5} \quad (\text{N}) \quad (2)$$

여기서, f_{ck} = 콘크리트 설계기준압축강도(MPa), c_{a1} =전단하중 방향의 연단거리(mm), d_o =앵커의 직경(mm), l_e =앵커의 지압길이= $\min(h_{ef}, 8d_o)$, h_{ef} =앵커의 유효매입깊이이다.

참고로 현재 설계기준^{[1],[3]}에서 제시된 콘크리트 파열파괴강도 V_{cb} 는 5% fractile 강도이며, 본 연구에서는 실험 결과의 분석을 식 (2)의 평균 파열파괴강도 V_{cn} 을 기준으로 하기로 한다.

2.1.3 전단력을 받는 철근보강 앵커의 저항강도

전술한 바와 같이 현재 기준에서는 철근보강 앵커는 콘크리트 파열파괴강도를 철근의 저항강도로 대신할 수 있다

록 규정하고 있다. 헤어핀 보강은 Fig. 1에 보인 바와 같이 헤어핀이 앵커에 밀착되도록 하고, 스트립 보강은 Fig. 2에 보인 바와 같이 앵커 중심에서 양측으로 $0.5c_{dl}$ 범위의 철근이 유효한 것으로 규정하고 있으며, 두 경우 모두 파괴단면으로부터 철근의 정착길이(l_d)를 확보하도록 규정하고 있다. 이때 철근의 설계저항강도는 다음과 같다.

$$\phi V_{Reinf} = \phi A_{se} f_y^{bar} \quad (3)$$

여기서, ϕ : 강도감소계수, A_{se} : 유효철근단면적(mm^2), f_y^{bar} : 철근의 항복강도(MPa)이다.

2.2 철근보강 앵커의 저항강도에 대한 기존 연구

2.2.1 정적 저항강도

철근보강 앵커의 저항강도에 대한 실험 연구는 Stuttgart 대학에서 수행된 사례들이 있으며 참고문헌^[5]에 그 내용이 정리되어 있다. 이 문헌에 제시된 결과를 Fig. 3에 인용하였다. 콘크리트 압축강도는 30MPa, 앵커 직경은 22mm, 그리고 철근 직경은 12mm가 사용되었다. Fig. 3에서 곡선-①은 연단거리 80mm의 무근콘크리트에 매입된 앵커의 하중-변위선도이고, 곡선-②는 연단거리 75mm, 스트립 보강(간격 150mm)한 경우이며, 곡선-③은 곡선-②의 경

우에 헤어핀이 추가로 설치된 경우이다. 곡선-④는 곡선-③의 경우와 유사하나 연단거리가 60mm이며, 곡선-③에서는 헤어핀과 앵커의 간격이 30mm 이격되었으나, 곡선-④는 헤어핀이 앵커줄기에 직접 접촉된 차이가 있다. 헤어핀 보강의 경우 곡선-③과 곡선-④의 차이로부터 알 수 있듯이 헤어핀과 앵커줄기가 이격된 경우에는 그 사이의 콘크리트 압축파괴로 인해 헤어핀과 앵커줄기가 직접 접촉된 경우에 비해 최대 강도가 크게 저하되는 것을 알 수 있다. 또한 본 문헌에서는 헤어핀 보강의 경우 덮개(cover)가 증가하면 헤어핀이 앵커를 구속하는 효과를 발휘하기 위해 앵커의 변형이 커져야 하므로 콘크리트 파괴강도가 크게 저감된다고 기술하였다.

헤어핀 보강 앵커에 대한 연구로서, Klingner 등^[6]은 4가지 형태의 보강상세에 따른 파괴강도 평가 실험을 수행하였는데, 헤어핀이 앵커줄기와 떨어진 경우보다 직접 접촉된 경우에 강도가 크게 발현되었으며 헤어핀이 표면에서 깊은 경우가 가까운 경우에 비해 파괴강도가 작은 결과를 얻었는데, 이는 앞의 참고문헌^[5]과 일치한다. 참고로 이들의 연구 중 연단거리가 2inch(51mm)로 동일하되 헤어핀의 덮개가 다른 경우의 실험 결과를 Table 1에 제시하였으며, 사용된 앵커의 직경은 3/4inch(19mm), 철근은 #5(D16), 콘크리트 압축강도는 6,200psi(43MPa)이다. 한편, Petersen 등^[7]은 정적 전단하중을 받는 앵커의 실험데이터를 수집하여 제시하였는데, 여기서 헤어핀 보강 실험 결과를 발췌하

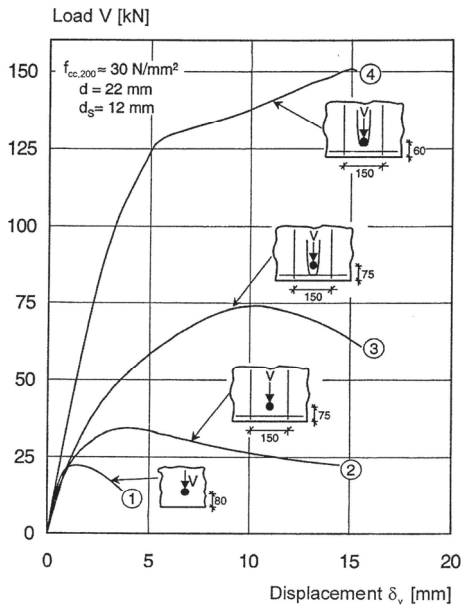


Fig. 3. Effect of reinforcement on the behavior of single anchor^[5]

Table 1. Test results of hairpin reinforced anchor^[6]

Reinforcement	Cover	Ultimate Load (kips)	Mean (kips)
Hairpin	3/4inch (19mm)	22.8	22.4
		22.0	
Hairpin	2inch (51mm)	18.5	34.0
		15.5	

note) 1kips=0.4482kN

Table 2. Test results of hairpin reinforced anchor^[7]

Reinforcement	Reinf. Ase (in ²)	Ultimate Load (kips)	Mean (kips)
Hairpin	0.40 (258mm ²)	26.3	25.5
		24.9	
		25.2	
None	-	16.5	13.6
		12.6	
		11.7	

여 Table 2에 제시하였다. 앵커 직경은 1inch(25mm), 매입깊이는 9.1inch(231mm), 연단거리 4 inch(102mm), 콘크리트의 압축강도는 4200psi(29MPa)이다. 헤어핀의 뒷개와 철근의 항복강도는 제시되지 않았는데, 헤어핀으로 보강한 경우 파괴강도는 무근콘크리트에 비해 크게 증가한 것을 알 수 있다.

스트립 보강 앵커에 대한 연구로서 Eligehausen 등^[5]은 스트립 간격이 좁을수록 파괴강도가 크게 발현되며, 또한 연단거리가 클수록 단부철근의 구속효과가 증대되어 최종 강도가 증대되는 결과를 보인다고 기술하고 있다. 한편, Petersen 등^[8]은 앵커직경, 연단거리, 스트립 개수에 따른 실험을 수행하였는데, 무근콘크리트 대비 스트립 보강 앵커의 초기 콘크리트파괴 하중과 이후 최대 하중까지의 하중-변위 거동은 이들 변수에 따라 크게 차이를 보인다는 결과를 제시하였다.

2.2.2 동적 저항강도

철근보강 앵커의 동적 전단력에 대한 저항강도 평가 연구 사례는 극히 제한적이다. Gross 등^[9]은 비균열콘크리트 블록에 매입된 헤어핀(D19) 보강 선설치앵커(직경 3/4in, M19급)에 대해 정적 실험 및 rise time 0.1초의 점증하중(ramp loading)으로 동적 실험을 수행하였다. 그 결과는 Fig. 4와 같으며 정적 하중에 대한 헤어핀 보강/비보강 앵커의 강도 비=12.6/8.8=1.43, 동적 하중에 대해서는 15.2/11.2=1.36 배의 보강 효과가 있었고, 헤어핀 보강 시 동적 강도/정적 강도 비=15.2/12.6=1.21 배의 강도 증가가 관측되었다. 이들은 동적 저항강도가 정적 강도에 비해 큰 결과는 변형률속도효과(strain-rate effect)에 의한 것으로 제

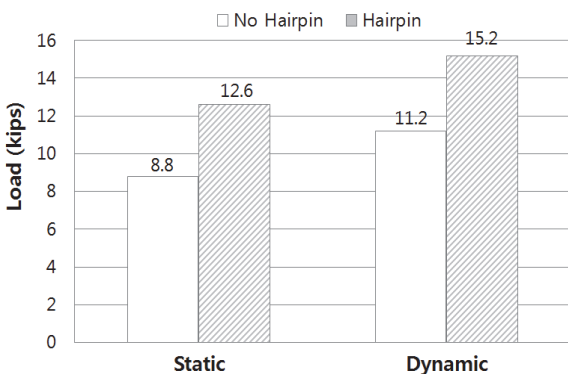


Fig. 4. Test results on hairpin reinforced anchor^[9](1kips=0.4482kN)

안하고 있다. 그러나, 이들이 채택한 ramp loading 방식은 1회성 충격 형태의 동적 하중으로서 지진 시 반복하중에 의한 동적 저항강도로 적용하기에는 문제가 있다고 판단된다.

한편, 최근 Petersen 등^[8]은 스트립 보강 앵커에 대해 단조하중과 반복하중으로 저항강도 평가 실험을 수행하였는데, 반복하중에 의한 강도의 저하는 없었다고 제시하였다. 단, 이들은 반복하중 실험을 유사정적하중으로 수행하였다.

3. 시험체 및 실험 방법

철근보강 앵커의 저항강도 평가를 위한 콘크리트 블록의 크기(800×800×660mm), 앵커 제원(M20-S45C), 유효매입깊이(h_{ef} =160mm) 및 연단거리(c_1 =120mm)는 선행 논문^[4]과 같다. 철근은 D6(A_s =31.67mm²) 이형철근을 사용하였으며, 항복강도는 인장시험으로부터 f_y^{bar} =339MPa로 측정되었다.

헤어핀 보강 시험체의 형상은 Fig. 5에 제시하였는데, 헤어핀의 구부림 내부반지름은 40mm, 뒷개는 30mm를 목표로 하였으며, 콘크리트 타설 전에 헤어핀과 앵커줄기는

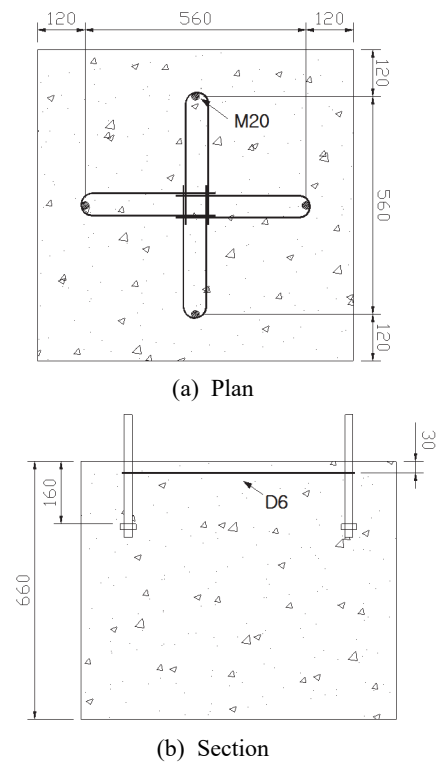


Fig. 5. Configuration of test block(hairpin reinforcement)

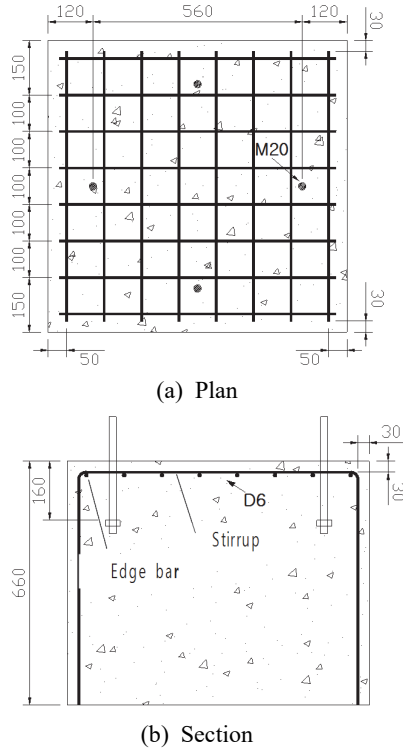


Fig. 6. Configuration of test block (edge and anchor reinforcement)

철사로 묶어서 접촉상태가 되도록 제작하였다. 스트립 보강 시험체의 형상은 Fig. 6과 같고 스트립의 간격은 100mm, 덮개는 30mm(스트립이 한 블록에서 상·하 직각으로 교차 설치되어 스트립이 위에 위치한 경우를 기준으로)를 목표로 하였다.

정적 및 동적 전단력에 대한 실험을 위해 헤어핀 보강 콘크리트 블록 2개(B3, B4로 명명함)와 스트립 보강 블록 2개(B5, B6로 명명함)를 제작하였다. 여건상 B3과 B4 블록은 제작 시점이 다르며, B5와 B6 블록은 동시에 제작되었다.

Table 4. Test Results and Normalized Breakout Capacity : Hairpin Reinforcement

Specimen	Load	Block	l_e (mm)	Cover (mm)	$V_{u, Test}$ (kN)	$V_{u, Test}^{norm}$ (kN)	Mean (kN)	$V_{u, No Reinf}^{norm}$ (kN)
HS-1	Static	B3	85	34	56.0	49.2	49.2	38.4
HS-2 ¹⁾		B4	-	56	59.6 (45.3) ²⁾	48.9	43.1	
HS-3			53	61	45.5	37.3		
HD-1	Dynamic	B3	82	34	53.4	46.9	52.3	38.3
HD-2			42	33	64.0	56.2		
HD-3			54	39	61.1	53.7		

¹⁾Anchor failure, ²⁾Initial concrete failure load

Table 3. Compressive strength of cylinder

Block	Reinforcement	Compressive strength(MPa)	Mean (MPa)
B3	Hairpin	31.1	31.1
		31.4	
		30.9	
B4		34.7	35.7
		36.6	
		35.8	
B5	Edge and anchor	25.2	26.4
B6		24.3	
29.6			

한편, 시험체의 설치 방법과 정·동적 하중의 가력 절차는 선행 논문^[4]과 동일하다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1 공시체 강도

실험 후 각 블록별 공시체 3개의 압축강도는 Table 3과 같고, 결과 분석에서는 각 블록별 평균 압축강도를 기준으로 하기로 한다.

4.2 앵커 저항강도 평가 실험 결과

헤어핀 보강 앵커의 정·동적 전단하중에 대한 실험 후 측정된 덮개와 앵커 저항강도를 Table 4에 제시하였다. 그리고, 정적 및 동적 실험에서 얻은 하중-변위 선도를 각각 Fig. 7과 Fig. 8에 제시하였다. 특히 정적 시험체 HS-2는

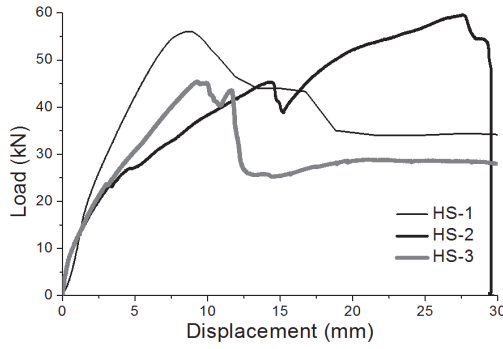
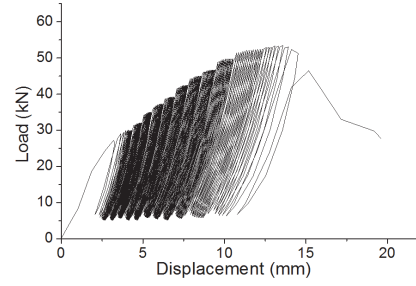


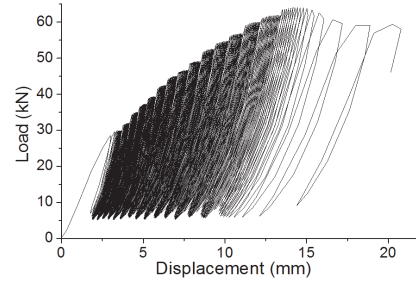
Fig. 7. Load-displacement curve of hairpin reinforced anchor (static test)

초기 콘크리트 파괴 이후에 헤어핀이 전단하중을 지지하다가 최종적으로는 앵커가 파단되었다.

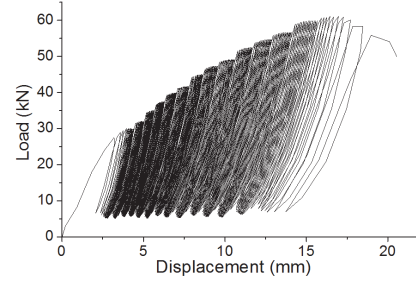
스트립 보강 앵커의 실험 후 측정된 좌우측 스트립의 간격 및 덮개, 단부철근의 덮개와 각 시험편의 콘크리트 파괴 강도를 Table 5에 제시하였다. 그리고, 정적 및 동적 실험에서 얻은 하중-변위 선도를 각각 Fig. 9와 Fig. 10에 제시하였다. 스트립 보강 정적 시험체는 모두 초기 콘크리트 파괴 이후 스트립 보강의 효과로 내하력이 다시 완만하게 증가하는 현상을 보였으며(Fig. 9 참조), 동적 실험에서도 SD-2와 SD-3 시험체에서 이러한 현상(Fig. 10 참조)이 관측되었다. 하지만, 정적 실험에서 최대변위가 40~50mm 까지만 가력하였는데, 이보다 큰 변위까지 가력을 할 필요가 있는 것으로 판단되었다.



(a) HD-1



(b) HD-2



(c) HD-3

Fig. 8. Load-displacement curve of hairpin reinforced anchor (dynamic test)

Table 5. Test results and normalized breakout capacity: edge and anchor reinforcement

Specimen	Load	Block	l_e (mm)	Stirrup Spacing ¹⁾ (mm)	Stirrup Cover ²⁾ (mm)	Edge bar Cover ³⁾ (mm)	$V_{u, Test}$ (kN)	$V_{u, Test}^{norm}$ (kN)	Mean (kN)	$V_{u, No Reinf}^{norm}$ (kN)
SS-1	Static	B5	46	55/38 (46.5)	39/41 (40.0)	53/58 (55.5)	41.3 (36.5) ⁴⁾	39.4	39.2	38.4
SS-2			55	55/57 (56.0)	40/42 (41.0)	49/50 (49.5)	39.7 (38.0) ⁴⁾	37.9		
SS-3			35	41/53 (47.0)	30/33 (31.5)	51/52 (51.5)	42.2 (38.6) ⁴⁾	40.3		
SD-1	Dyn.	B6	43	67/34 (50.5)	39/39 (39.0)	53/53 (53.0)	39.3	37.5	39.0	38.3
SD-2			48	46/57 (51.5)	46/45 (45.5)	55/54 (54.5)	40.9 (39.6) ⁴⁾	39.0		
SD-3			50	56/46 (51.0)	31/32 (31.5)	51/53 (52.0)	42.4 (38.9) ⁴⁾	40.4		

¹⁾Spacing of adjacent left/right stirrup(mean), ²⁾Cover of adjacent left/right stirrup(mean), ³⁾Cover of edge bar at adjacent left/right stirrup, ⁴⁾Initial concrete failure load

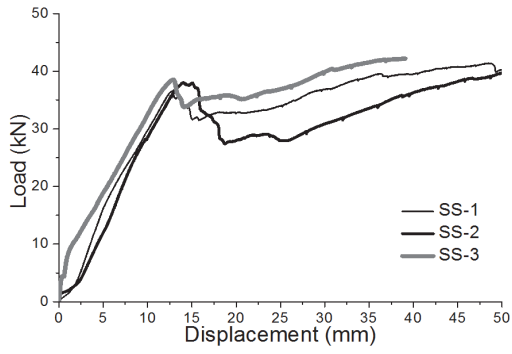
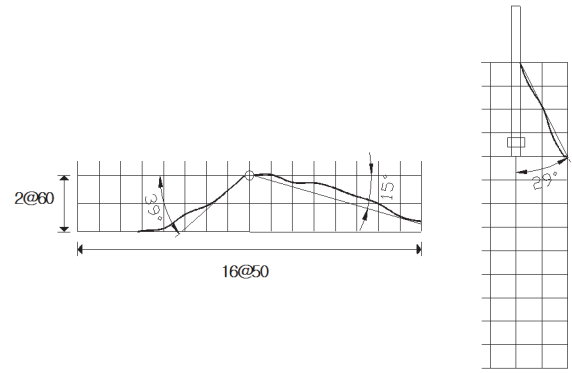
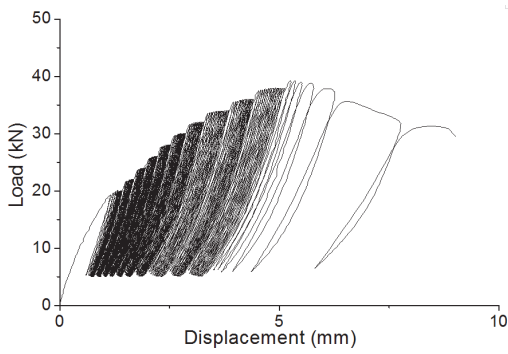


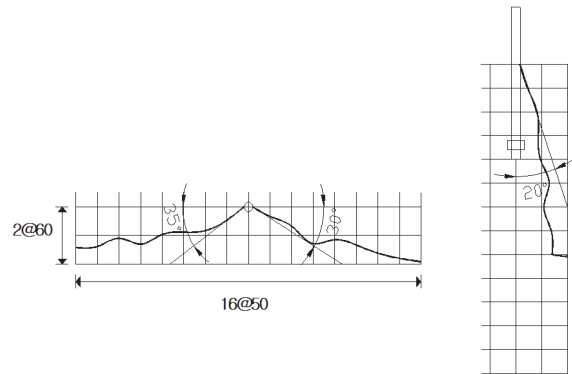
Fig. 9. Load-displacement curve of edge and anchor reinforced anchor(static test)



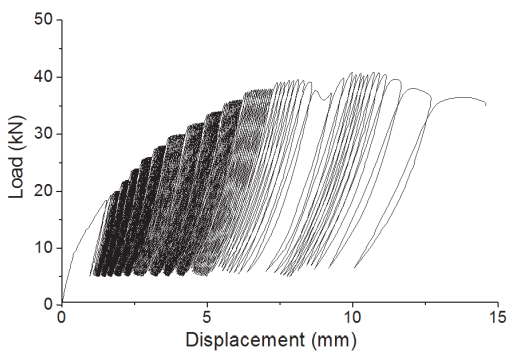
(a) HS-1



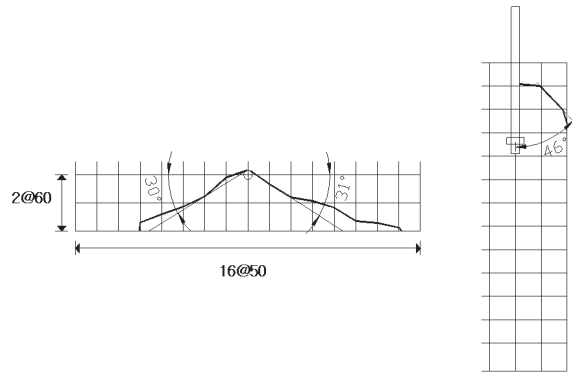
(a) SD-1



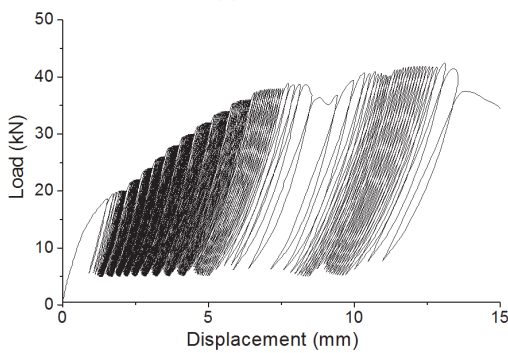
(b) HD-1



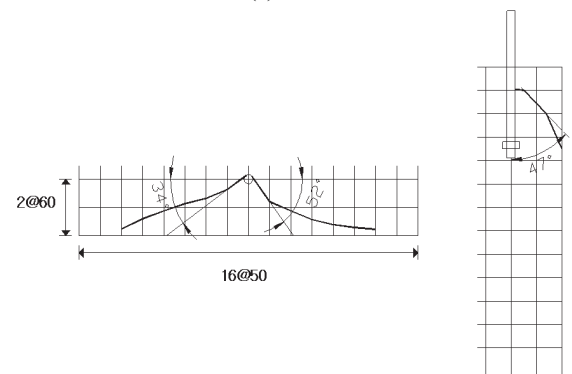
(b) SD-2



(c) SS-1



(c) SD-3



(d) SD-1

Fig. 10. Load-displacement curve of edge and anchor reinforced anchor(dynamic test)

Fig. 11. Shape of breakout failure

한편, 헤어핀 보강 및 스트립 보강 앵커 시험체의 파괴단면 측정 예를 Fig. 11에 제시하였다.

4.3 실험 결과 분석

4.3.1 헤어핀 보강 시험체

헤어핀 보강 앵커의 콘크리트 블록의 압축강도가 각기 다르기 때문에 당초 목표로 한 설계압축강도 24MPa로 정규화($\sqrt{24/f_{ck}}$ 배)한 파괴강도 $V_{u, Test}^{norm}$ 를 Table 4에 제시하였다. 본 표로부터 헤어핀의 덮개가 33~39mm인 HS-1, HD-1~HD-3 시험체에 비해 덮개가 56, 61mm인 HS-2와 HS-3 시험체의 초기 콘크리트 파괴강도가 감소되었음을 알 수 있다. 시험체 HS-2와 HS-3의 경우 제작오차로 인해 덮개가 타 시험체에 비해 20mm 가량 두껍게 제작되었는데, 헤어핀 보강 앵커의 경우 덮개가 두꺼워질수록 강도의 저하가 크게 발생한다는 기존의 연구 결과^{[5], [6]}와 동일한 결과를 보였다. 헤어핀 덮개와 정규화한 최종 저항강도 간의 관계를 Fig. 12에 제시하였는데, 결정계수(R^2)가 약 0.5로 비교적 밀접한 상관관계를 보이는 것으로 확인되었다.

한편, 선형 논문^[4]에서 제시한 무근콘크리트에 매입된 앵커의 전단하중에 의한 평균 콘크리트 파열파괴강도 $V_{u, No Reinf}^{norm}$ (24MPa로 정규화한 강도)를 Table 4에 제시하였다. 전술한 바와 같이 현재 설계기준^{[1], [3]}에서는 철근보강 앵커의 경우 콘크리트 파열파괴강도를 철근의 저항강도로 대체할 수 있도록 규정하고 있는데, 식 (3)에서 강도감소를 고려하지 않은 철근의 저항강도는 $V_{Reinf} = A_{se} f_y^{bar} = 2 \times 31.67\text{mm}^2 \times 339\text{MPa} = 21.5\text{kN}$ 이다. Table 4에서 평균 동적 저항강도가 52.3kN임을 감안하면 콘크리트 저항강도를 무시한 현재 규정은 덮개가 적절한 헤어핀 보강 앵커에 대

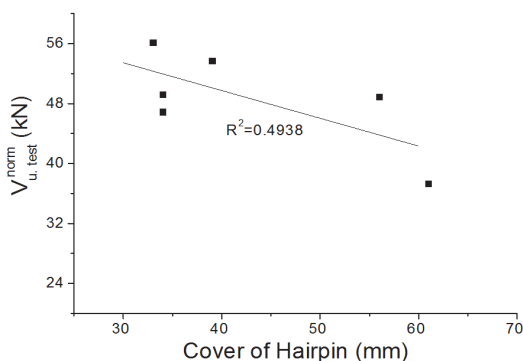


Fig. 12. Relationship between hairpin cover and concrete breakout capacity

해서는 상당히 안전측이 된다.

이에 Eligehausen 등^[5]은 헤어핀의 보강 효과를 다음 식으로 평가하였다.

$$V_{u, S} = \eta_1 2A_s f_y^{bar} \quad (4)$$

여기서, $V_{u, S}$ 는 헤어핀 철근의 저항효과, η_1 은 유효지수(effectiveness factor), A_s 는 철근 단면적이다. 헤어핀 덮개 차이로 정적 실험 결과는 분석에서 배제하고, 동적 시험편 HD-1~HD-3으로부터 보강효과를 평가하면 다음과 같다.

$$V_{u, S} = 52.3 - 38.3\text{kN} = 14.0\text{kN}$$

$A_s = 31.67\text{mm}^2$, $f_y^{bar} = 339\text{MPa}$ 을 고려하면 식 (4)로부터 유효지수 $\eta_1 = 0.65$ 로 산출된다. 따라서, 덮개가 적절한 헤어핀 보강 앵커의 저항강도 규정은 재고되어야 할 것으로 판단된다.

한편, 덮개가 깊은 HS-2와 HS-3를 제외하고 HS-1을 정적 하중의 대표 강도로 간주하고 HD-1~HD-3의 평균 동적 강도와 비교하면 동적 강도가 정적 강도에 비해 약 6% (=52.3/49.2) 크다. 정적 시험체 1편을 대푯값으로 고려하기에는 무리가 있어 앞으로 보완연구가 필요하다고 판단되나 잠정적으로 헤어핀 보강앵커의 정적 저항강도 대비 동적 저항강도의 저하는 없는 것으로 판단된다.

4.3.2 스트립 보강 시험체

스트립 보강 앵커의 시험을 위한 콘크리트 블록 2개의 압축강도는 같지만, 무근콘크리트 매입 앵커의 콘크리트 파괴강도와와의 비교를 위해 설계압축강도 24MPa로 정규화한 파괴강도 $V_{u, Test}^{norm}$ 를 Table 5에 제시하였다.

먼저, 스트립의 간격과 최종 파괴강도(정규화) 간의 관계를 Fig. 13에 제시하였는데, 결정계수(R^2)는 약 0.3으로 어느 정도 상관관계가 있는 것으로 판단된다. 또한, 스트립의 덮개와 최종 파괴강도 간의 관계를 Fig. 14에 제시하였는데, 결정계수(R^2)는 약 0.4로 상관관계가 존재하는 것으로 판단된다. 한편, Table 5로부터 단부철근의 덮개는 50~55mm 범위로서 분산 폭이 크지 않아 단부철근의 덮개가 파괴강도에 미치는 영향의 분석은 곤란하였다.

스트립 보강 앵커에서 특이한 사항은 Table 5로부터 정적 및 동적 하중 모두 무근콘크리트 매입 앵커에 비해 저항강도의 증가가 미미하였다는 점이다. Table 5에 파괴단면

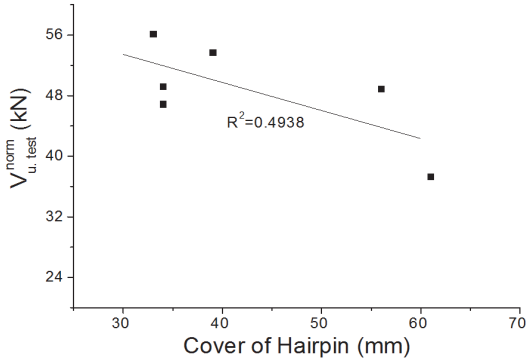


Fig. 13. Relationship between stirrup spacing and anchor resistance

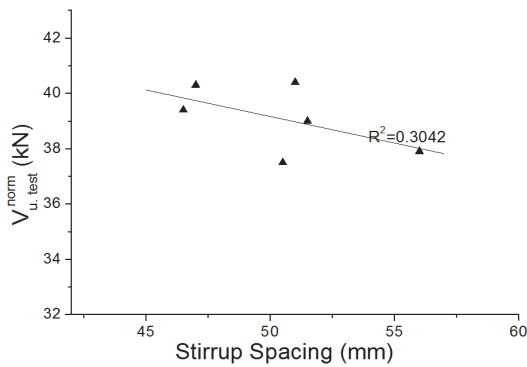


Fig. 14. Relationship between stirrup cover and anchor resistance

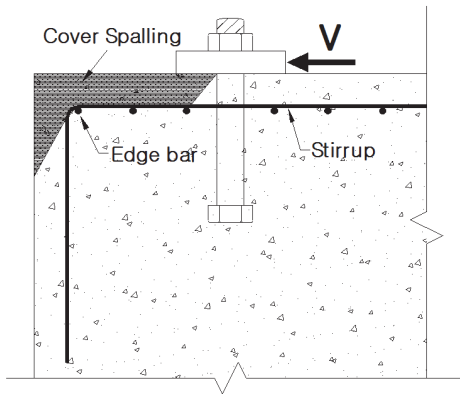


Fig. 15. Cover spalling of stirrup reinforced anchor^[8]

으로부터 측정된 지압길이(l_e)를 제시하였는데, 스테럽 보강 앵커에서 대체로 단부철근(edge bar)의 뒷개보다 지압 길이가 조금 짧은 현상을 보였다. 이는 헤어핀 보강에서와 마찬가지로 단부철근의 뒷개가 저항강도에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 즉, 뒷개가 작을수록 단부철근이 앵커의



Fig. 16. Typical concrete fracture of stirrup reinforced anchor

수평방향 변형을 구속하는 효과가 증가할 것이나, 뒷개가 두꺼울수록 Fig. 15 및 Fig. 16에 보인 바와 같이 철근 위의 콘크리트 표면부가 파괴되어 큰 폭의 강도 증가는 기대하기 어려울 것으로 판단된다. 이러한 현상은 Petersen 등^[8]의 논문에서도 제안되었다. 따라서, 스테럽 보강 앵커에서 스테럽 및 단부철근의 뒷개가 앵커의 저항강도에 미치는 영향에 대해서는 향후 보완연구가 필요하다.

철근의 저항강도 평가를 위해 Fig. 2로부터 유효한 스테럽은 $0.6c_{a1} = 60\text{mm}$ 이내 범위의 철근이므로 앵커의 양측 1개씩, 총 2개의 스테럽이 유효하다. 따라서, 식 (3)에서 철근의 최대 저항강도는 $V_{Reinf} = A_{se} f_y^{bar} = 21.5\text{kN}$ 이지만 Table 5에서 평균 동적 파괴강도가 39.0kN 임을 감안하면 콘크리트 저항강도를 무시한 현재 규정은 스테럽 보강 앵커에서도 재고되어야 할 것으로 판단된다. 단, 본 연구에서는 D6 철근을 사용하였는데 이보다 큰 단면의 스테럽 보강 철근에 대해서도 보완 연구가 필요하다.

한편, Table 5로부터 정적하중 대비 동적하중에 의한 스테럽 보강 앵커의 콘크리트 파괴강도 비는 $0.995 (=39.0/39.2)$ 로 거의 같게 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 정·동적 전단하중을 받는 헤어핀 및 스테럽 보강 선설치앵커의 저항강도를 평가하기 위한 실험 연구를 수행하였으며, 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 헤어핀 보강 앵커의 저항강도는 기존 연구에서 제시된 바와 같이 헤어핀의 뒷개가 증가할수록 앵커의 저항강

도가 감소하는 경향을 보였다.

- (2) 헤어핀 보강 HD-1~HD-3 시험체에서 헤어핀 철근은 철근항복강도의 64% 수준까지 하중을 지지하는 것으로 평가되었으며, 따라서 헤어핀 보강 앵커에서 콘크리트 저항강도를 무시하고 철근의 저항강도만을 인정하는 현재 규정은 덮개가 적절한 헤어핀 보강 앵커에서는 저항강도를 매우 안전측으로 평가하는 것으로 나타났다.
- (3) 본 연구의 조건에서 스트립 보강 앵커의 정·동적 저항강도는 무근콘크리트에 매입된 앵커의 강도에 비해 강도의 증가가 미미한 수준이었다. 이는 철근의 단면적 및 스트립 간격과 철근의 덮개와도 상관성이 있는 것으로 판단되며, 보완 연구가 필요할 것으로 판단된다.
- (4) 헤어핀 보강 앵커는 정적 시험체의 제작오차로 인한 덮개 차이 문제로 정적 하중 대비 동적 하중에 의한 파괴강도의 비를 평가하기가 곤란하였으나, 정적하중 대비 동적하중에 의한 앵커 저항강도의 저하는 없는 것으로 판단되었으며, 스트립 보강 앵커는 정·동적 하중에 의한 저항강도의 비가 거의 같은 값을 보였다.

감사의 글

본 연구는 '부산대학교 자유과제 학술연구비'의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌(References)

- [1] 한국콘크리트학회(2012) 콘크리트구조기준 해설, 부록 II: 콘크리트용 앵커, 기문당.
Korea Concrete Institute (2012) *Concrete Structure Design Code and Commentary*, Appendix II: Anchoring to Concrete, Kimoondang, Korea (in Korean).
- [2] American Concrete Institute (2008) *Building Code Requirements for Structural Concrete* (ACI 381-08) and *Commentary*, Appendix D: Anchoring to Concrete, USA.
- [3] American Concrete Institute (2011) *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary* (ACI 318-11), Appendix D: Anchoring to Concrete, USA.
- [4] 박용명, 강문기, 김동현, 이종한, 강충현(2014) 선설치앵커의 동적 전단하중에 대한 저항강도: 비보강 앵커, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제26권, 제1호, pp.11-20.
Park, Y.M., Kang, M.K., Kim, D.H., Lee, J.H., and Kang, C.H. (2014) Shear Resistance of CIP Anchors Under Dynamic Loading: Unreinforced Concrete, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.26, No.1, pp.11-20 (in Korean).
- [5] Eligehausen, R., Mallee, R., and Silva, J.F. (2006) *Anchorage in Concrete Construction*, Ernst & Sohn, Germany.
- [6] Klingner, R.E., Mendonca, J.A., and Malik, J.B. (1982) Effect of Reinforcing Details on the Shear Resistance of Anchor Bolts Under Reversed Cyclic Loading, *Journal of American Concrete Institute*, ACI, Vol.79, No.1, pp.3-12.
- [7] Petersen, D., Lin, Z., and Zhao, J. (2013) *Behavior and Design of Cast-in-Place Anchors Under Simulated Seismic Loading (Final Report), Vol. I: Cyclic Behavior of Single Headed Anchors*, University of Wisconsin, Milwaukee, USA.
- [8] Petersen, D., and Zhao, J. (2013) Design of Anchor Reinforcement for Seismic Shear Loads, *ACI Structural Journal*, American Concrete Institute, Vol.110, No.1, pp. 53-62.
- [9] Gross, J.H., Klingner, R.E., and Graves, H.L., III (2001) Dynamic Anchor Behavior of Single and Double Near-Edge Anchors Loaded in Shear, *Proceedings of International Symposium on Connections Between Steel and Concrete*, University of Stuttgart, Germany, pp.498-508.

요 약 : 본 연구에서는 헤어핀 보강 및 스트립 보강 선설치앵커의 정적 및 동적 전단하중에 대한 저항강도 평가를 위한 실험을 수행하였다. 보강철근은 D6 이형철근을 사용하였으며 연단거리 120mm의 직경 20mm 앵커에 대해 정적 하중과 1Hz의 편진하중으로 각각 3개의 시험체에 대해 실험을 수행하였다. 헤어핀 보강 앵커는 헤어핀의 덮개가 강도에 직접 영향을 미치는 것으로 확인되었으며, 정적 대비 동적하중에서 강도의 저하는 없는 것으로 평가되었다. 스트립 보강 앵커는 비보강 앵커에 비해 저항강도의 증가는 미소하였으며 동적하중에 의한 강도는 정적하중에 의한 강도와 거의 같은 값을 보였다.

핵심용어 : 선설치앵커, 헤어핀 보강, 스트립 보강, 동적 전단하중, 앵커 저항강도