

Head 플레이트 상세에 따른 Headed Bars의 인발거동에 관한 연구

Pull-out Behaviors of Headed Bars with Different Details of Head Plates

박 현 규* / 윤 영 수** / 류 영 섭*** / 이 만 섭****

Park, Hyun-Gyoo* / Yoon, Young-Soo** / Ryoo, Young Sup*** / Lee, Man Seop****

Abstract

This paper presents the pull-out failure mode on Headed Bars and prediction of tensile capacity, as governed by concrete cone failure. 17 different plate types, three different concrete strengths and three different welding types of specimens were simulated. Test variables are the reinforcing bar diameters connected to headed plate (e.g., 16mm, 19mm and 22mm), the head plate shapes (e.g., circular, square, rectangular), the dimensions of head plates (e.g., area and thickness), the types of welding scheme for connection of reinforcing bars and head plates (e.g., general welding and friction welding). Headed Bars were manufactured in different areas, which shape and thickness are based on ASTM 970-98. Calculation of Embedment length in concrete is based on CSA 23.3-94, and static tensile load was applied. Pullout capacities tested were compared to the values determined using current design methods such as ACI-349 and CCD method. If compare experiment results and existings, Headed bar expressed high strength and bigger breakdown radius than standard by wide plate area and anomaly reinforcing rod unlike anchor.

Key words : Headed Bars, plate types, pull-out behaviors, ASTM 970-98, CSA 23.3-94, ACI 349, CCD method

요 지

이 논문은 콘크리트 콘 파괴에 의해 지배될 때의 인장력의 예측과 Headed bar의 인발 파괴 양상을 보여준다. 1개의 다른 플레이트 형상과 세가지의 서로 다른 용접 방법에 따라 시험이 이루어졌다. 시험의 변수는 Headed plate에 연결된 철근의 직경(16mm, 19mm, 22mm), 형상(원형, 직사각형, 정사각형)과 head plate의 차원(면적, 두께), 철근과 head plate와의 연결을 위한 용접 방법(일반용접, 마찰용접)이다. Headed bar는 ASTM 970-98에 기초한 모양과 두께를 가진 다른 단면적으로 제조되었으며 콘크리트의 부착 길이는 CSA 23.3-94에 의거하여 산정되었다. 정적 인장하중이 적용되었으며 시험 인발 성능은 ACI-349와 CCD 방법과 같은 현재의 설계방법에 의해 산출된 값과 비교하였다. 실험결과와 기존식을 비교하면 Headed bar가 앵커와 달리 넓은 플레이트 면적과 이형철근으로 인해 기존식에 비해 높은 강도와 큰 파괴 반경을 나타내었다.

핵심용어 : Headed Bars, 플레이트 형상, 인발 거동, ASTM 970-98, CSA 23.3-94, ACI 349, CCD method

* 정희원, 고려대학교 방재과학기술연구소 연구원
** 정희원, 고려대학교 토목환경공학과 교수
*** 정희원, 브리에스엘코리아(주) 기술연구소 이사
**** 정희원, 브리에스엘코리아(주) 기술연구소 전무이사

1. 서 론

Headed bar는 처음에 해양 석유 플랫폼의 시공을 위해 유럽에서 개발되었다. 지난 십여년동안 캐나다, 미국 등지에서 Headed bar의 실제 적용이 이루어졌고 Headed bar의 사용은 미국의 토목 회사들, 건설 업자들에게 일반적이고, 지진 하중에 대한 교량의 설계와 건축 구조에 사용하기 위해 연구되고 있다. 또한, 한국에서도 Headed bar의 적용에 대하여 연구가 진행되고 있다. Headed bar는 용접 혹은 주조과정에 의해서 제조된다. 또한 헤드플레이트와 철근사이의 결합강도를 엄격하게 관리 하고, 세부 플레이트 치수의 결정은 헤드 아래의 콘크리트에서의 힘의 전달을 고려하여 ASTM A970-98에 맞춰서 결정한다. 기존의 연구를 통해서 밝혀진 Headed bar를 사용해서 얻을 수 있는 이점은 다음과 같다. 1) 기존의 철근보다 작은 정착 길이 2) 철근 밀집현상 감소 효과 3) 전단 변형량 최소화 4) 콘크리트 구속효과 5) 구조의 응력 흐름의 명확화를 통한 스트럿 타이 모델의 해석적 용이

성 확보 6) 부재의 크기 감소 7) 부재의 연성 효과 극대화 8) 시공중 콘크리트 타설 및 철근 배근의 용이성 확보 9) 설계상 소요되는 철근 개수 감소 및 대체 효과 10) 절곡근, 갈고리근의 국부적인 지압으로 인한 파괴 위험 최소화 11) 프리캐스트 콘크리트 산업발전에 기여 12) 고성능 콘크리트의 활용성 증대 14) 고강도철근의 연성 거동 보장과 같은 이점을 갖고 있다. 더하여 화재 혹은 지진으로 인해 콘크리트 커버가 떨어져 나간다면 Headed bar의 헤드 플레이트 부분이 커버없이 정착성능을 발휘한다는 것이다.^{(1),(2)}

2. 배 경

2.1 Headed bar의 제작

Headed bar 제작을 위해 ASTM 970-98을 기준으로 삼아 사용되는 철근과 헤드 플레이트에 사용되는 강재는 ASTM A706을 만족하는 것을 선택하였다. 이는 유럽과 북미에서 이루어졌던 실험을 근간으로 해서 만들어진 기준이다. 이 계산은 4,286kgf/cm²의 철근 항복강도와 306kgf/cm²의 콘크리트 압

Table 1. Nominal Head Dimensions

Standard Bar Designation Number	Nominal Head Dimensions		
	Minimum Thickness (mm)	Minimum Cross Sectional Area (mm ²)	Minimum Width (mm)
10	10	710	19
13	11	1,290	22
16	12	2,000	25
19	14	2,840	35
22	16	3,870	37
25	16	5,100	40
29	18	6,450	43
32	20	8,200	51
36	22	9,700	55
43	32	14,500	65
57	40	25,800	80

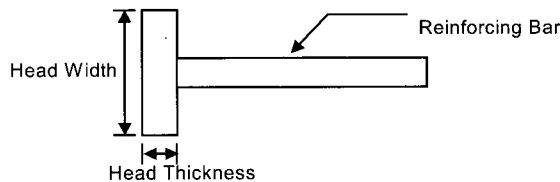


Fig. 1 Headed bar

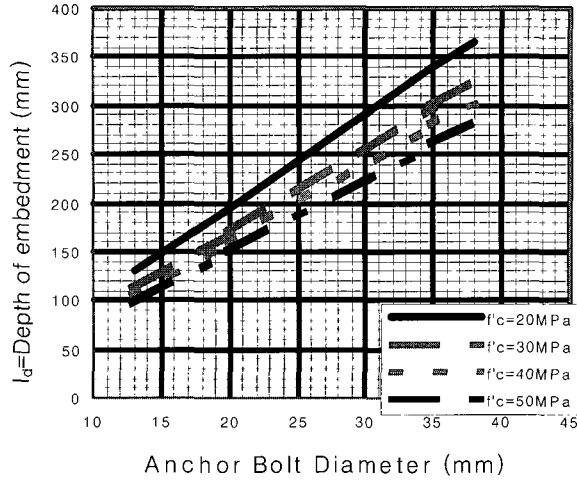


Fig. 2 Threaded of Embedment Depth

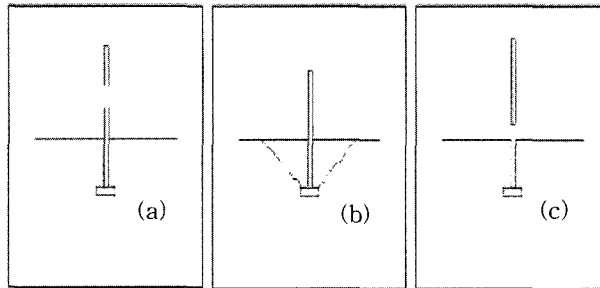


Fig. 3 Fracture Behavior of Single Headed Bar

축 강도를 기준으로 만들어 졌다.⁽¹⁾

헤드 두께는 철근 축선의 수직으로 측정되고, 헤드의 횡단면 영역은 철근의 축선에 수직으로 봤을 때의 투영 면적이다. 이를 바탕으로 해서 대략 철근 면적 10 배의 헤드 면적, 또는 철근 직경 3 배의 헤드 직경이 헤드와 철근을 부착시키기 위해 필요한 것을 알 수 있다.

2.2 문힘길이의 산정

현재 Headed bar의 효율적인 문힘길이가 산정에 관한 시방기준은 없다. 따라서 본 연구에서는 그 문힘길이가 Headed bar 거동이 앵커의 거동과 유사하기 때문에 CSA 23.3-94를 이용하여 그 길이를 산정했다. 이와 관련된 사항은 Fig. 2를 보면 알 수 있다.

2.3 콘크리트 내에서의 Headed bar의 거동

1개의 Headed bar가 콘크리트에서 일어날 수 있는 거동은 Headed bar의 철근 부분에서 파단(Fig. 3(a)), Head의 상부에서의 콘크리트의 파괴(Fig. 3(b)), 철근과 Head의 접합부가 떨어지는 파괴(Fig. 3(c))등이 일어날 수 있다.⁽³⁾

3. 실험

3.1 개요

콘크리트 내에서의 Headed bar의 영향을 평가하기 위하여 인장실험을 수행하였으며 다양한 모양과 크기의 플레이트를 사용하였고, 하중-변위 곡선, 파괴형상, 파괴강도를 측정하였다.

3.2 실험변수

Headed bar의 인장실험에 있어서 하중재하방식,

Table 2. Test Group

Group	Welding types	Diameter	Variables
1	Friction Welding	D16	area, thickness
2	General Welding 1	D16,D19,D22	-
		D16,D19,D22	Aspect Ratio
		D16,D19,D22	-
3	General Welding 2	D16,D19,D22	area, thickness
		D16	-
		D16	Aspect Ratio
		D16	-

Table 3. Test Variables

Test variables	Details
Concrete strength	280kgf/cm ² , 360kgf/cm ²
Reinforcing Bar Diameter	16mm, 19mm, 22mm
Plate types	Circular, Square, Rectangular, Elliptical
Plate area	Aspect ratio, area, thickness
Welding Type	Friction welding, General welding 1&2

문합길이, 연단거리, 플레이트 형상, Headed bar의 개수, bar에 쓰인 철근과 보강철근의 강도, 콘크리트의 강도, 보강철근과 Headed bar의 거리등 많은 변수들이 고려될 수 있다. 이 실험에서는 Headed bar의 플레이트 형상과 철근의 이음방법을 주 변수로 잡고 수행하였다.⁽³⁾

그 실험시편은 4개의 Type A(220cm×220cm×30cm, 280kgf/cm² 콘크리트 강도의 실험군 1)과 13개의 Type B(140cm×80cm×30cm; 360kgf/cm² 콘크리트 강도 실험군 2) 및 280kgf/cm² 콘크리트 강도의 실험군 3)로 나누어서 하였고, table 2와 table 3에 이 변수들을 정리하였다. 그리고, 각각의 변수에 대하여 2회씩의 실험을 행하였다.

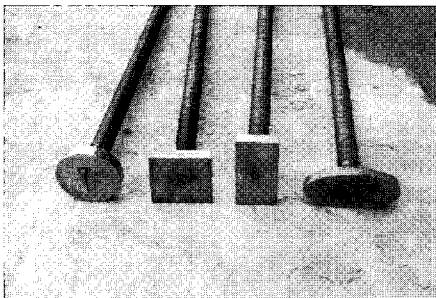
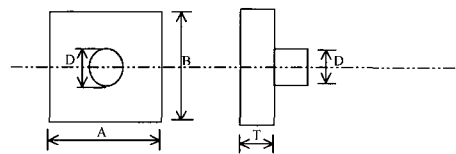


Fig. 4 Headed Bars in Test

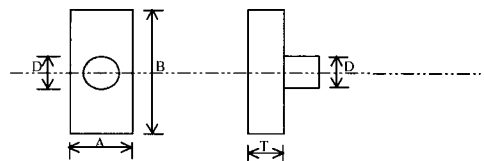
3.3 실험 재료

3.3.1 Headed Bar

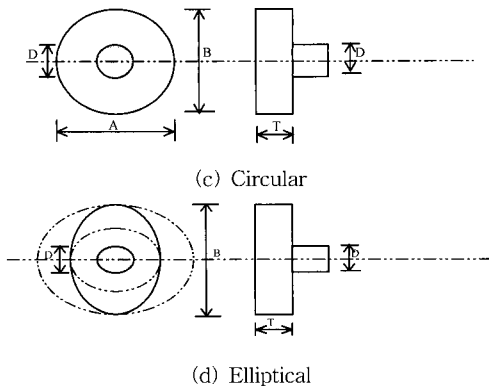
Headed bar에 사용된 철근의 직경은 16mm, 19mm, 22mm이고 항복강도는 모두 4,000kgf/cm²이다.⁽⁴⁾ 자세한 헤드 플레이트 형상은 Fig. 4와 Fig. 5에 잘 나타나 있다. 실험에 사용된 헤드 플레이트와 철근의 이음을 위해서 용접을 사용하였는데 마찰용접과 일반 가스용접을 사용하였다. 용접 면적과 방법은 Fig. 6 ~ Fig. 8을 보면 알 수 있다.



(a) Square



(b) Rectangular



플레이트의 세부사항에 대한 내용은 Table 4 ~ Table 7을 보면 알 수 있다.⁽³⁾

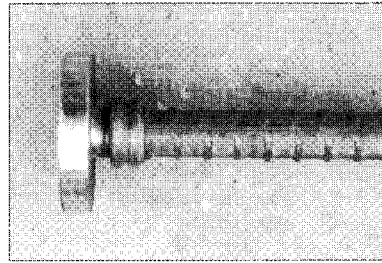


Fig. 5 Design of Headed Bar Each Sape

Fig. 6 Friction Welding

Table 4. C(Circular) Series Details

specimen	Diameter	A(mm)	B(mm)	Thickness (mm)	Area (mm ²)
C1	D16	51	51	10	2,042.82
C2	D16	51	51	12	2,042.82
C3	D16	51	51	15	2,042.82
C4	D16	41	41	12	1,320.25
C5	D16	61	61	12	2,922.47
C6	D19	61	61	14	2,922.47
C7	D22	71	71	16	3,959.19

Table 5. S(Square) Series Details

specimen	Diameter	A(mm)	B(mm)	Thickness (mm)	Area (mm ²)
S1	D16	45	45	12	2,025
S2	D19	55	55	14	3,025
S3	D22	65	65	16	4,225

Table 6. R(Rectangular) Series Details

specimen	Diameter	A(mm)	B(mm)	Thickness (mm)	Area (mm ²)
R1	D16	32	64	12	2,048
R2	D16	37	55	12	2,035
R3	D19	38	76	14	2,888
R4	D22	44	88	16	3,872

Table 7. E(Elliptical) Series Details

specimen	Diameter	A(mm)	B(mm)	Thickness (mm)	Area (mm ²)
E1	D16	36	72	12	2,035.75
E2	D19	44	88	14	3,041.06
E3	D22	50	100	16	3,926.99

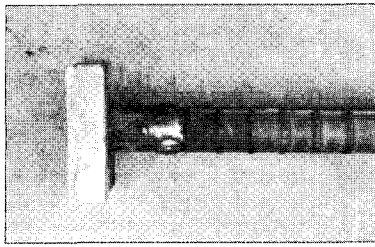


Fig. 7 General Welding Type 1



Fig. 8 General Welding Type 2

3.3.2 콘크리트와 철근

국내에서는 보통 210kgf/cm^2 와 400kgf/cm^2 범위의 콘크리트를 사용하고 있으므로 280kgf/cm^2 레디믹스트 콘크리트와 360kgf/cm^2 현장배합 콘크리트가 실험에 사용되었다. Table 8은 콘크리트 실린더 시험결과이다.

보강철근은 D13, $4,000\text{kgf/cm}^2$ 항복강도의 철근을 사용하였고, 0.45의 철근비를 실험체 하부를 보강하였다. 실험체의 크기와 Headed bar의 배치는 Fig. 9과 Fig. 10에 상세히 나와 있다.

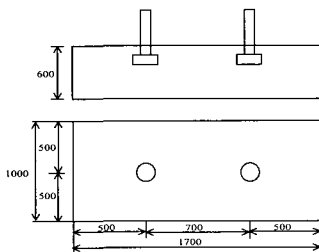


Fig. 9 Headed Bar Placing Type A

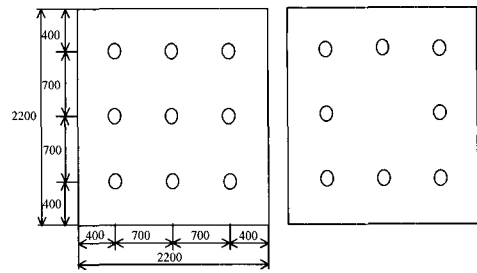


Fig. 10 Headed Bar Placing Type B

3.4 실험장비와 과정

하중에 관한 모든 실험 장비는 Fig. 11에서 보는 바와 같으며, steel beam, load cell, oil jack, sleeve, steel plate로 이루어져 있다. Headed bar는 슬리브(Sleeve)를 오일 잭(Oil Jack)에 물리는 이른바 Center hall jacking이라는 형태로 고정되었다.

하중은 오일 잭(Oil Jack)에 의해 가해졌으며, 로드 셀(Load Cell)을 통해 기록되었다. 또한 Headed bar의 변위는 LVDT에 의해 헤드 플레이트의 바닥에서 측정되었다.(Fig. 12) 그런 다음, 하중과 처짐의 수치적 자료는 U-CAM(the data logger)으로 옮겨진다.

콘크리트의 파괴를 제어하기 위해서 적절한 위치에 철근을 배근해야만 했으며, 철근은 콘크리트 큰 파괴영역의 외부에 배근하였다.

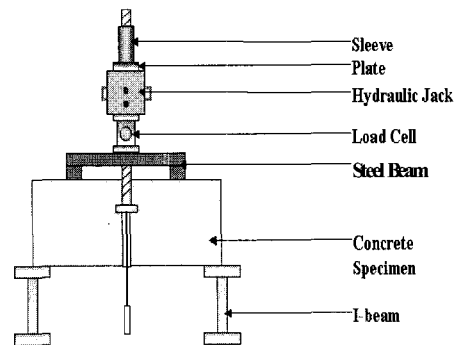


Fig. 11 Test Setup

Table 8. E(Elliptical) Series Details

Strength	28 days compressive strength(kgf/cm ²)	28 days splitting tensile strength(kgf/cm ²)
280	278.6	25.6
360	357.9	31.6

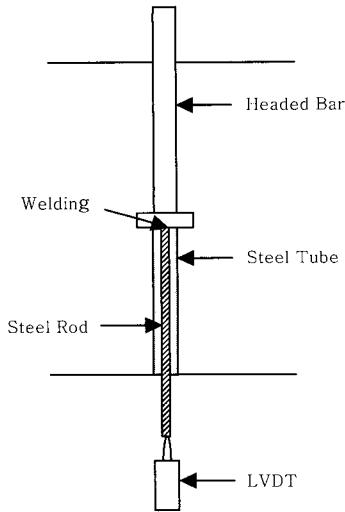


Fig. 12 Details of Measurement

4. 파괴 성능 예측

국내에는 아직까지도 콘크리트 앵커(Anchor)에 관한 정확한 설계 기준이 없는 상황이다. 따라서 실험의 결과는 ACI 349-97과 ACI 349-97의 수정식, 그리고 CCD방법에 근거한 CEB-FIP의 결과와 비교하였다.^{(5),(6),(7)}

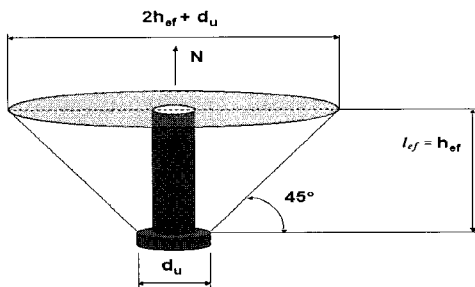


Fig. 13 Concrete Tensile Breakout

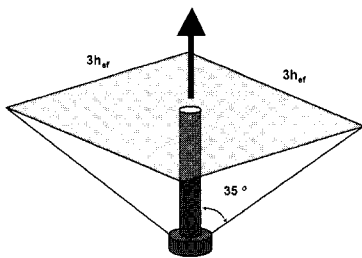


Fig. 14 Concrete Tensile Breakout Cone in CCD Method

4.1 ACI 349-97

인장력을 받는 상태에서, ACI 349-97은 연성과 파괴를 유도하기 위해서 앵커(Anchor)의 항복 강도를 콘크리트의 인장강도보다 낮게 제한한다. 즉, 콘크리트의 강도가 앵커(Anchor)의 인장 강도보다 낮다면, 철근을 배근해야 한다는 것을 말한다.

Fig. 13에서 볼 수 있는 45°의 원뿔 모양은, $4\sqrt{f_{ck}}$ 의 일정한 콘크리트 인장강도가 앵커의 접지부에서부터 자유단까지의 이르는 표면에 작용하고 있다는 가정이다. 다시 말해, Fig. 13은 ACI 349-97에서 이상화한 콘크리트의 콘 파괴(cone breakout)를 보여준다고 할 수 있다.⁽⁵⁾

4.2 ACI 349-97 Revision

개정된 ACI 349-97에서는 콘 파괴 모델과 CCD 방법의 개념을 따르고 있다. 인장하중하에서, 콘크리트 콘의 파괴강도는 파괴면과 약 35°의 콘크리트 부재면 사이의 경사각은 약 35°라는 가정하에 계산된다.⁽⁶⁾

4.3 CCD Method

CCD Method는 콘크리트의 인장응력과 파괴면적, 콘크리트 크기의 효과를 고려한다. 이것은 인장하중하에서 콘크리트 콘의 파괴강도는 파괴면과 콘크리트 부재면 사이의 경사각은 약 35°라는 가정하에 계산된다. Fig. 14는 CCD방법에 의해 이상화된 피라미드 모양의 콘크리트 파괴를 나타내고 있다.⁽⁷⁾

5. 실험결과

Fig. 15는 실험군 3에서의 하중-변위 관계곡선이며, Fig. 16은 실험군 3에서의 D16 원형 플레이트 모양을 갖는 실험체들의 하중-변위 곡선이다. 대부분의 실험체가 비슷한 경향을 보이지만, 플레이트의 두께가 다른 실험체들(C1, C2, C3)을 비교할 때, 두께가 기준(ASTM 970-98)에 적합한 시험체인 C2가 가장 큰 변위량을 나타냈다.⁽⁸⁾

실험군 1의 경우, 철근 파괴와 콘크리트 파괴가 일어났으며, 이는 문힘길이 산정이 앵커의 식을 이용하였지만 안전한 결과를 나타낸다고 볼 수 있었다. 실험군 2의 경우, 모두 용접부위가 끊어지는 결과를 나타냈는데 이는 작은 용접 부위로 인해 충분

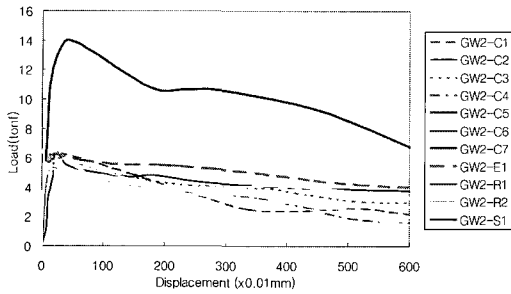


Fig. 15 Load-Displacement Response of Test 3

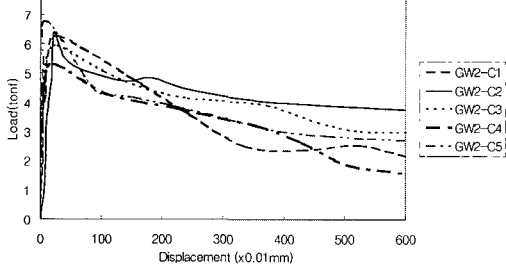


Fig. 16 Load-Displacement Response of Test 3 (D16 circular plate)

한 용접강도를 유지할 못했다고 생각이 들수도 있지만, 파괴강도는 철근 항복강도의 125%를 넘는 결과를 나타냈다. 실험군 3의 경우는 실험군 1과 2보다 물힘길이는 낮게 잡고, 실험군 2보다 넓은 용접면적을 갖는 가스용접을 사용한 결과 값이다. 시편의 파괴 양상은 Fig. 17 ~ Fig. 20에서 세부적으로 보여준다. 파괴반경은 기준식에서 물힘길이의 3배를 예측하고 있으나 본 실험의 결과에서는 1.5~2배인 40~50cm의 파괴반경이 나타났다.

실험군 3에서의 파괴 면적은 기준식에서 예측한 값보다 큰 크기를 보이고 있는데 이 차이는 기준식에서 35도에서 45도까지 보고 있는 파괴각도와 관련이 있다. ACI 규정은 앵커에 관한 ACI의 경우는 플레이트의 폭과 물힘깊이를 고려하고, CCD Method의 경우는 물힘깊이를 기준으로 파괴면적을 추정하였는데 실험결과는 이보다 큰 크기로 나왔다. Headed bar와 가까운 영역의 파괴각도를 보면 기준식에서 예측하고 있는 각도와 비슷한 각을 보이고 있지만, 콘크리트 상부로 올라 갈수록 그 각이 작아져서 큰 파괴 면적을 보이고 있으며 이는 실제 설계시 고려되어야 한다. ACI 규정은 앵커에 관한 파괴각을 예측하고 있으며 헤디드 바에 대한 기준식이 없는 현실에서 ACI 규준을 기준으로 비교한 것이

큰 파괴각과 반경이 나온 원인은 앵커보다 큰 면적의 정착관과 이형철근을 사용해서 그로 인한 매커니즘이 포함되어 이러한 결과를 얻을 수 있는 것으로 판단된다. Fig. 21은 모든 시험 시편의 평균 파괴 반경이 비교적 크게 측정되는 전형적인 모습을 보여주며, Fig. 22는 시험 파괴와 코드에 의한 것과의 비교를 보여준다.

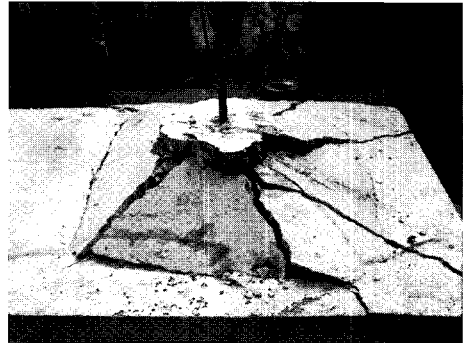


Fig. 17 Concrete Cone Breakout (F-C2)

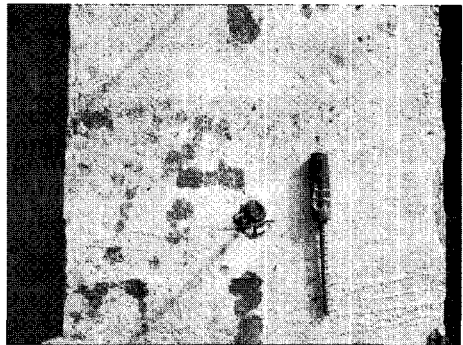


Fig. 18 Steel Failure (F-C2-369)

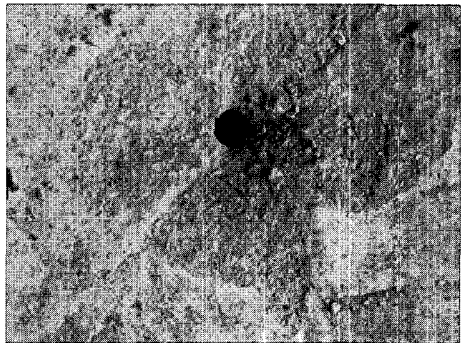


Fig. 19 Pull-through Failure (Test 2 series)

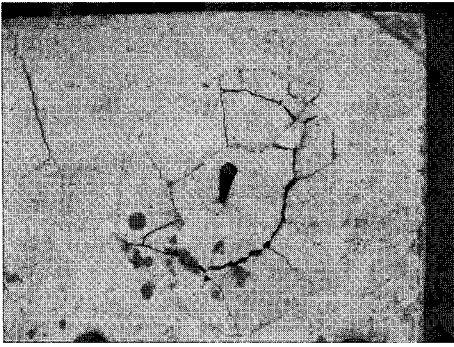


Fig. 20 Concrete Cone Breakout(GW2-E1)

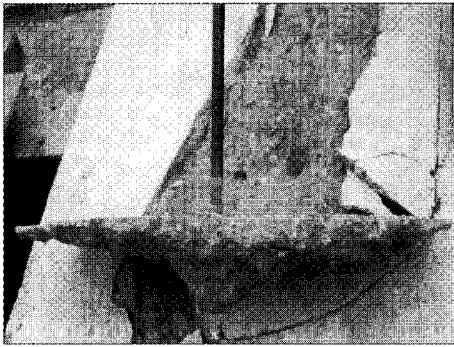


Fig. 21 Failure Area(GW2-R1)

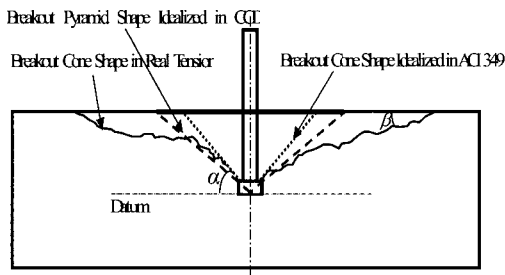


Fig. 22 Comparison Failure Area Test and Prediction

6. 결 론

이 연구는 콘크리트에 Headed bar의 안전하고 경제적인 적용에 관한 기본적인 자료와 설계 방향을 제시하기 위해 수행되었으며, 플레이트의 형상과 용접방법을 달리하면서 기준식들과의 비교를 통해 다음과 같은 결론을 내렸다.

- 1) 콘크리트 파괴의 가장 큰 영향요소는 문힘질 이와 Headed bar의 철근과 플레이트 이음

였으며, 넓은 면적의 용접부위를 갖는 일반용접(General welding type 2)이 경제적 측면과 실용적 측면에서 우수한 성능을 보였다.

- 2) 철근의 직경에 따른 Headed bar의 정착 내력은 직경이 커질수록 기준식에 접근하는 경향을 보인다.
- 3) 플레이트 면적의 영향은 플레이트의 두께가 강도에 미치는 영향보다는 크다. 그러나 플레이트의 두께는 하중-변위 관계에 영향을 주고 있다.
- 4) 이 논문에서 쓰인 기준식은 앵커에 관련된 식이며, 기존 앵커와 달리 이형철근이 사용되고 더 큰 플레이트 크기가 사용된 Headed bar의 결과도 모두 기준식에 만족하는 결과를 보이고 있다.

참 고 문 헌

- 1) ASTM, "Standard Specification for Welded or Forged headed bars for Concrete Reinforcement", A 970/A 970M-98.
- 2) John W. Wallace, Scott W. McConnell, Pius Gupta, and Paul A. Cote, Use of Headed Reinforcement in Beam-Column Joints Subjected to Earthquake Loads, ACI Structural Journal, Vol. 95, No. 5, September-October, 1998.
- 3) Dale E. Berner, T. Dahlgren, and K. Dahl, Design and Detailing with Headed Reinforcement for Seismically Resistant Concrete Bridge Structures, ACI International, SP-184.
- 4) CPCA Concrete Design Handbook, CSA Standard A23.3-94.
- 5) ACI 349 Appendix B Draft, Fastening to Concrete, June, 1999.
- 6) ACI 349 Proposed Revisions to Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures and Commentary, New Appendix B, Fastening to Concrete.
- 7) Werner Fuchs, Rolf Eligehausen, and John E. Breen, Concrete Capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete, ACI Structural Journal, Vol.92, No. 1, January-February, 1995.

8) Dale E. Berner and George C. Hoff, Headed
Reinforcement in Disturbed Strain Regions of

Concrete Members, Concrete International,
January, 1994.