

Headed Reinforcement 인발실험

Pullout Test of Headed Reinforcement

박명기* 신인용* 최동욱**
Park, Myung Ki Shin, In Yong Choi, Dong Uk

Abstract

Objectives of this study included design of head and evaluation of the pullout performance of the headed reinforcement that can be used to replace standard hooks in the building exterior beam-column joints. Results of 36 pullout tests are presented. Test variables included reinforcing bar diameters (16-25mm), embedment depth (6-7db), transverse reinforcement, and single-vs.-group pullout behavior. The square head designed had gross area of $4A_b$ and thickness of db. The headed reinforcement made of D16 bars developed pullout strengths close to the bar yield strength, but larger bars developed strengths smaller than the yield strengths. The pullout resistance increased with decreasing spacing of the transverse reinforcement. Use of column ties with 6.0-db spacing improved the pullout performance of the headed bars without causing difficulties in fabricating the specimens. The comparison of the pullout performances between the headed bars and the standard hooks revealed that strengths, stiffnesses, and ductile behaviors are about the same.

1. 서론

철근콘크리트구조 외부 보-기둥 접합부에 사용되는 표준갈고리는 설계기준에 의하여 적절히 제작 및 시공되는 경우, 보의 주철근을 정착에 의하여 인장파괴시킬 수 있는 효과적인 방법이다. 그러나 갈고리는 현장 가공 및 설치 과정에서 인력집중 등 시공성과 경제성을 감소시키는 경향이 있다. 최근 외부 보-기둥 접합부의 표준갈고리를 대체할 수 있는 "headed reinforcement" 연구결과가 국제학술지에 발표되고 있다.^{1,2} Headed reinforcement는 향후 기존 갈고리 정착을 단부철물(head)을 포함한 직선 정착으로 완전히 대체할 수 있는 기계적 정착기구가 될 것으로 사료된다. 본고에서는 건축공사에서 많이 사용되는 D16-D25 이형철근과 비교적 작은 매립깊이(철근직경의 6-7배)를 이용 수행된 headed reinforcement 인발실험 결과를 요약하였다.

* 정희원, 한경대학교 건축공학과 석사과정

** 정희원, 한경대학교 건축공학과 조교수

2. 실험준비

2.1. Head 설계

본 연구에서 headed reinforcement는 건축구조물 외부 보-기둥 접합부에 적용되는 것으로 가정하였으므로 head 형상은 접합부 철근의 고밀화 경향을 감안 정사각형 형태로 결정하였다. 설계는 head 단면적을 이형철근 단면적의 4배(4Ab)로 하고, 두께는 철근항복 시 힘에 의한 head의 항복변형이 발생하지 않도록 결정하였다. 탄성유한요소해석의 결과 필요한 head 두께는 이형철근 공칭직경(db)과 일치하였다. Head와 철근의 연결방법은 현장용접의 품질관리가 어려운 점을 감안하여 볼팅(Upset-end type)으로 결정하였다. 표1, 그림1에 head 제원, SD40 등급 D19 이형철근 및 head를 각각 나타내었다.

표1 이형철근 별 Head 제원

철근	Head 단면, mm x mm	Head 두께, mm
D16	28.5 x 28.5	16.3
D19	32.0 x 32.0	19.1
D22	38.0 x 38.0	22.0
D25	45.0 x 45.0	25.4

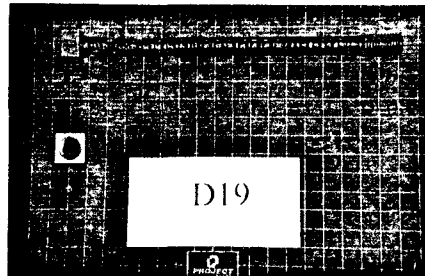


그림1 Head 및 D19 이형철근

2.2. 인발실험 계획

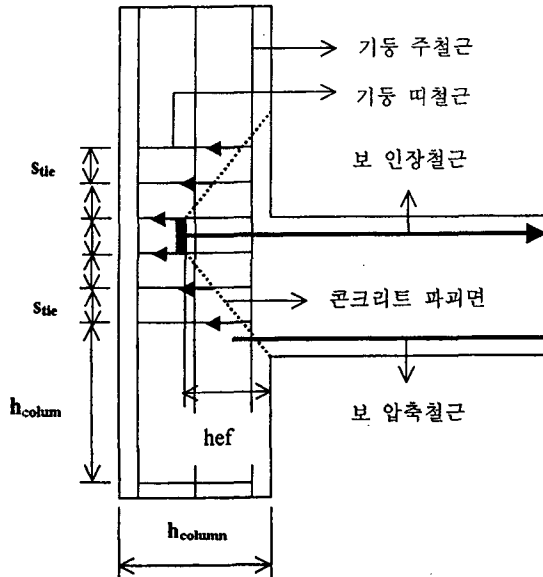


그림2 인발실험 개념도

무근콘크리트부재 내부에 작은 매립깊이(hef)를 사용하여 시공된 headed anchor에 인발하중이 가려지는 경우 원추형 콘크리트 파괴면의 형성과 동시에 취성파괴를 나타내게 된다. 그러나 실제로 철근콘크리트기둥 내부에 설치된 headed bar에 인발하중이 가려지는 경우, 그림2의 보-기둥 접합부에서 나타낸 것과 같이 콘크리트 및 콘크리트 파괴면에 걸친 기둥 횡보강근(띠철근, tie)이 동시에 인발저항을 하므로 띠철근이 없는 경우에 비교하여 인발저항이 증가하며 연성파괴 양상을 나타낼 것으로 예상되었다. 따라서, 본 연구에서 인발실험은 무근콘크리트 슬래브 시험체를 이용한 단순인발실험, 철근콘크리트기둥을 사용한 표준갈고리와 headed reinforcement 비교 실험, 철근콘크리트기둥을 사용하면서 띠철근 간격(Stie)을 주요 변수로 한 인발실험으로 구성되었다.

2.2.1. 무근콘크리트 슬래브 인발실험

1.8m x 1.8m x 0.4m 무근콘크리트 슬래브를

사용 D16, D25 이형철근의 단순인발실험이 수행되었다. 단순인발이란 인접철근, 슬래브 단부조건에 영향을 받지 않도록 슬래브 중앙부에 설치된 headed bar 인발실험으로 정의하였으며 모든 단순인발실험에서 매립깊이는 철근직경의 7배($hef=7db$)이었다.

2.2.2. 표준갈고리와 headed reinforcement 비교

표준갈고리와 headed reinforcement의 인발거동 비교 실험은 240mm x 400mm 단면을 갖는 철근콘크리트기둥과 D19 이형철근을 사용하여 수행되었다. 이때 실험변수는 매립깊이($hef=10db, 16db$), 띠철근 간격($Stie, A=3db, C=6db$)이었다.

2.2.3. 띠철근 간격을 변수로 한 실험

철근콘크리트기둥 띠철근 간격을 주요 변수로 한 인발실험에서 실험변수는 이형철근 종류(D16, D22), 띠철근 간격($Stie, A=3db, B=4.5db, C=6db, D=9db$), 개별 및 그룹 인발거동이었다. 그림3에 D22 이형철근을 사용한 경우, 시험체 단면과 띠철근 배치를 나타내었다. 단면은 headed reinforcement의 항복하중 가력 시 균열 모멘트-항복모멘트 사이가 되도록 기둥 주철근(철근비=1.2-2.6%)을 설계하였다. $hef=6db$ 이었으며 개별인발실험과 2-4개의 그룹인발실험이 동시에 수행되었다. 그림4에서 실험 시 동시 가력되는 headed bar의 수 및 띠철근 간격을 변화시켰음을 알 수 있다.

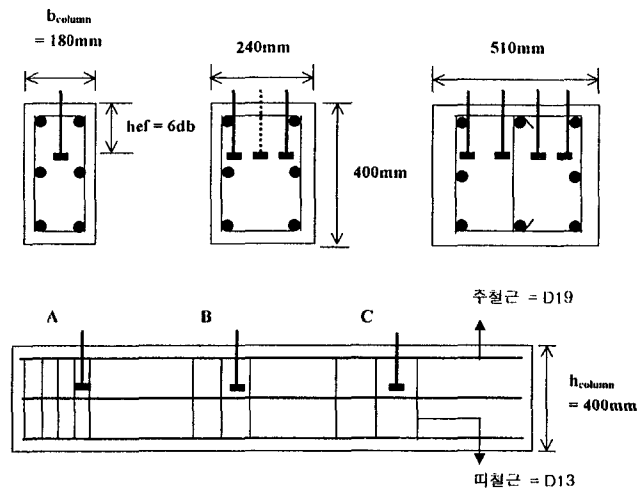


그림3 시험체 단면 및 띠철근 배치



그림4 콘크리트 타설 전 시험체 및 제작과정

2.3. 사용 재료

이형철근은 SD40등급(항복강도 = 420MPa)이었으며, 콘크리트 압축강도는 표2에 나타내었다.

표2 재령별 콘크리트 압축강도, f_c

타설일	28일, MPa	56일, MPa	비고
010319	36.3	39.1	D16, D22, D25 인발실험
010718	24.1	27.1	D19 인발실험

2.4. 실험장치 및 계측방법

인발실험장치를 그림5에 나타내었다. 파괴면을 간섭하지 않도록 headed bar 좌우 각 $1.5h_{ef}$ 이상 떨어진 위치의 지점 상부에 형강 보, load cell, 유압실린더를 설치하였다. 이후 load cell과 유압실린더를 관통시킨 고강도 봉강을 사용 시험체와 연직방향으로 연결시켰다. 변위는 headed bar 상부에 50-mm LVDT(정밀도=0.01mm)를 설치하여 계측하였다. 동시에 실험되는 headed reinforcement가 2개 이상인 경우, 2개의 LVDT가 사용되었다. 데이터는 1초당 힘과 변위를 각 10세트씩 계측하였다.

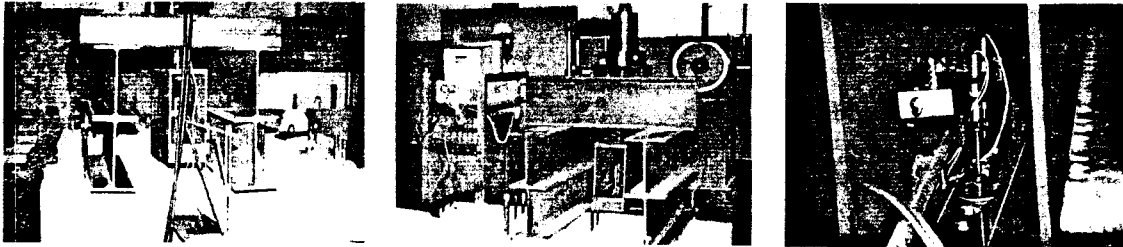


그림5 인발실험장치 및 변위계측

3. 실험결과

3.1. 단순인발실험 결과

무근콘크리트 슬래브에서 실험된 D16, D25 headed bar의 실험결과를 표3과 그림6에 나타내었다. 매립깊이 $7d_b$ (112mm)에서 D16 및 D25의 인발강도(P_n)는 각각 항복강도(F_y)의 91.7%, 73.2%이었다. 그러므로 D16과 같이 작은 직경의 경우, 비교적 작은 매립깊이에서 항복강도의 90% 이상을 발현하는 반면 D25와 같이 큰 직경의 철근일수록 보다 큰 매립깊이가 필요하였다. 두 가지 직경의 철근 모두 정착에 필요한 항복강도 125%의 인발강도 발현에는 미치지 못하였으므로 고강도 콘크리트를 사용하더라도($f_c=39\text{MPa}$) 정착을 위하여 보다 큰 매립깊이의 사용이 필요한 것으로 나타났다.

3.2. 표준갈고리와 headed reinforcement의 비교 실험결과

표준갈고리와 headed reinforcement의 인발거동 비교 실험결과는 표4, 그림7에 나타내었다. 매립깊이 $10d_b$ 의 경우, 표준갈고리와 headed reinforcement 모두 항복강도의 125% 수준에 근접하여 보통강도 콘크리트 사용 시($f_c=27\text{MPa}$) 매립깊이 $10d_b$ 이상을 사용하면 정착을 만족시킬 수 있는 것으로 나타났다. 매립깊이 $16d_b$ 를 사용 실험한 갈고리의 경우, 인발강도는 항복강도의 125%를 상회하였다. 그림7의 인발하중 대 변위곡선에서 인발강도, 초기강성, 연성거동이 유사함을 알 수 있다.

표3 단순인발실험 결과(각 2개 시험체 평균값)

철근	매립깊이, mm	인발강도(Pn), kN	항복강도(Fy), kN	Pn/Fy, %	Pn/(1.25Fy), %
D16	112	76.5	83.4	91.7	73.6
D25	175	156	213	73.2	58.6

표4 표준갈고리 및 Headed Reinforcement 비교 인발실험 결과(2-D19)

시험체명	매립깊이, mm	Pn, kN	Pn/(1.25Fy), %
HR-10db-A	190	296	98.4
HR-10db-C	190	286	95.0
Hook-10db-A	190	285	94.7
Hook-10db-C	190	270	89.7
Hook-16db-A	304	311	103
Hook-16db-C	304	320	106

(주1) 시험체명 : HR=headed reinf.,
Hook=갈고리; 10db, 16db=매립깊이;
A=띠철근간격 3db, C=띠철근간격 6db
(주2) 갈고리정착길이, Ldh=387mm
(주3) 1.25Fy (2-D19)=301kN
(주4) headed reinf.는 2개 실험 평균값

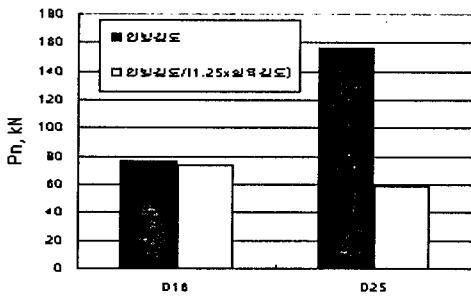


그림6 D16, D25 단순인발실험

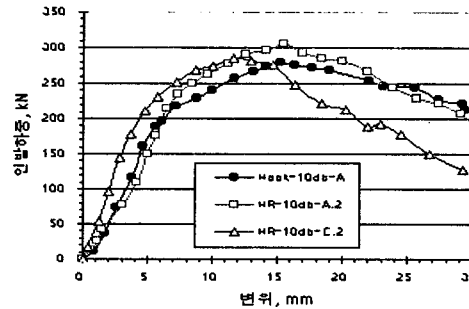


그림7 표준갈고리 대 Headed Reinforcement (2-D19)

3.3. 기둥 띠철근 간격을 변수로 한 실험결과

철근콘크리트기둥을 사용하고 띠철근 간격을 중요 실험변수로 하여 수행된 D16 및 D22 headed bar의 실험결과를 표5에 나타내었다. 매립깊이는 모두 6db, 띠철근 간격은 3db, 4.5db, 6db, 9db의 4가지 이었다. 인발강도와 항복강도의 비는 1개의 D16을 4가지 띠철근 간격으로 실험한 경우 98-106%이었다. 동시에 2개의 D16을 실험한 경우와 동시에 3개의 D16을 실험한 경우, 인발강도와 항복강도의 비는 각각 53-103% 및 37-77%이었다. 표5의 D22 이형철근 실험결과에서 1개의 D22를 3가지 띠철근 간격으로 실험한 경우, 인발강도와 항복강도의 비는 93-103%이었다. 동시에 3개의 D22를 띠철근 간격 3db, 4.5db로 실험한 경우, 인발강도와 항복강도의 비는 71.1, 49.5%이었고 동시에 4개의 D22를 띠철근 간격 3db, 4.5db로 실험한 경우는 63.8, 69.4%이었다. 인발강도는 띠철근 간격이 감소할수록 증가하였다. 동시에 2개 이상의 headed reinforcement가 사용되는 경우, 개별철근의 인발저항은 사용되는 철근의 수가 많을수록 감소하였으므로 큰 매립깊이와 작은 띠철근 간격이 사용될 필요가 있었다.

표5 D16, D22 Headed Reinforcement 철근콘크리트기둥 사용 인발실험 결과

시험체명	Shead, mm	Pn, kN	Pn/Fy, %	시험체명	Shead, mm	Pn, kN	Pn/Fy, %
C16-6db-1A	--	84	106	C22-6db-1A	--	160	103
C16-6db-1B	--	--	--	C22-6db-1B	--	155	100
C16-6db-1C	--	80	101	C22-6db-1C	--	144	93.0
C16-6db-1D	--	78	98.2	C22-6db-2A	132	301	99.1
C16-6db-2A	96	164	103	C22-6db-2B	132	205	67.5
C16-6db-2B	96	148	93.1	C22-6db-2C	132	--	--
C16-6db-2C	96	126	79.2	C22-6db-3A	66	330	71.1
C16-6db-2D	96	84	52.8	C22-6db-3B	66	230	49.5
C16-6db-3A	48	164	68.9	C22-6db-3C	66	--	--
C16-6db-3B	48	184	77.3	C22-6db-4A	132	395	63.8
C16-6db-3C	48	136	57.1	C22-6db-4B	132	430	69.4
C16-6db-3D	48	88	37.0	C22-6db-4C	132	--	--

(주1) 매립깊이=6db, (주2) 시편명 : C=Column; 16, 22=D16, D22; 6db=hef; 1, 2, 3=동시 가력 headed bar 수; A, B, C, D = 기둥 띠철근 간격(A=3db, B=4.5db, C=6db, D=9db)

4. 결론

- (1) Head는 접합부 철근이 고밀화 경향을 감안 최소의 단면적(4Ab)을 갖도록 설계될 수 있다.
- (2) SD40 등급 D16과 같이 작은 직경 headed bar의 경우, $f_c=40\text{MPa}$ 의 무근콘크리트 사용 시 hef=7db에서 항복강도 90% 이상을 발현할 수 있다. 큰 직경 철근일수록 큰 매립깊이가 필요하다.
- (3) 콘크리트 압축강도, 이형철근 직경에 따라서 hef=10db-15db에서 SD40 등급 이형철근 항복강도 125% 이상을 발현하여 정착이 만족될 것으로 예상된다.
- (4) 횡보강근 간격은 인발강도에 큰 영향을 미쳤다. 인발강도는 띠철근 간격이 감소할수록 증가하였다. 동시에 2개 이상의 headed reinforcement가 사용되는 경우, 개별철근의 인발저항은 사용되는 철근의 수가 많을수록 감소하는 경향이었으므로 큰 매립깊이와 작은 띠철근 간격이 사용될 필요가 있다.
- (5) Stie=6db는 시공성에 지장을 주지 않으면서 인발강도를 증진시키는데 기여하였다.
- (6) 표준갈고리와 headed reinforcement 비교실험에서 인발강도, 초기강성, 연성거동이 유사하였다.

감사의 글

본 연구는 과학재단 목적기초연구사업의 일환으로 수행되었기에 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Wallace, J.W.; McConnell, S.W.; Gupta, P.; and Cote, P.A. "Use of Headed Reinforcement in Beam-Column Joints Subjected to Earthquake Loads," ACI Struc. J., V.95, No.5, Sep.-Oct. 1998, pp.590-606.
2. DeVries, R.A.; Jirsa, J.O.; and Bashandy, T. "Anchorage Capacity in Concrete of Headed Reinforcement with Shallow Embedments," ACI Struc. J., V.96, No.5, Sep.-Oct. 1999, pp.728-736.