

철근 기계적 정착장치의 설계 고려사항과 인발특성

천성철^{1)*} · 김대영¹⁾

¹⁾대우건설기술연구소

(2001년 5월 29일 원고접수, 2001년 11월 13일 심사완료)

Design Considerations and Pull-Out Behavior of Mechanical Anchor of Reinforcement

Sung-Chul Chun^{1)*}, and Dae-Young Kim¹⁾

¹⁾Daewoo Institute of Construction Technology, Suwon, 440-210, Korea

(Received on May 29, 2001, Revised on November 13, 2001)

ABSTRACT

In RC structure, sufficient anchorage of reinforcement is necessary for the member to produce the full strength. Generally, conventional standard hook is used for the reinforcement's anchorage. However, the use of standard hook results in steel congestion, making fabrication and construction difficult. Mechanical anchor offers a potential solution to these problems and may also ease fabrication, construction and concrete placement.

In this paper, the required characteristics and the design considerations of mechanical anchor were studied. Also, the mechanical anchor was designed according to the requirements.

To investigate the pull-out behavior and properness of mechanical anchorage, pull-out tests were performed. The parameters of tests were embedment length, diameter of reinforcement, concrete compressive strength, and spacing of reinforcements. The strengths of mechanical anchor were consistent with the predictions by CCD method. The slip between mechanical anchor and concrete could be controlled under 0.2mm. Therefore, the mechanical anchor with adequate embedment could be used for reinforcement's anchorage. However, it was observed that the strength of mechanical anchors with short spacing of reinforcements was greatly reduced. To apply the mechanical anchor in practice (e.g. anchorage of the beams reinforcements in beam-column joint), other effects that affect the mechanical anchor mechanism, such as confinement effect of adjacent member from frame action or effects of shear reinforcement, should be considered.

Keywords : mechanical anchor, pull-out test, anchorage, CCD method

1. 서 론

철근콘크리트구조에서 철근의 인장력이 발휘되기 위해서는 적절한 정착길이(development length) 또는 갈고리(hook)가 필요하다. 철근으로부터 콘크리트로의 힘의 전달은 철근표면의 이형돌기(rib)에 의한 부착력에 의해서 확보되거나, 갈고리의 국부 지압력의 도움으로 이루어진다.

현행 설계기준^{1,2)}에서는 재료물성(철근강도, 콘크리트강도, 철근코팅여부)과 철근의 위치(철근순간격, 피복두께, 철근위치)에 따라 소요 정착길이를 확보하도록 하고 있다. 그런데, 접합부와 같이 배근이 집중되는 곳이나 대구경 고강도철근이 필요한 경우 정착길이나 갈고리의 제작 및 배근작업이 어려우며 콘크리트의 충전성도 저하될 수 있다.

또한 갈고리부분의 과도한 응력집중으로 국부적인 지압

파괴나 slip이 발생할 우려도 있다³⁾. 향후 재료가 고강도 화됨에 따라, 정착길이는 길어지고 부재의 치수는 작아져서 정착부 배근에 많은 어려움이 있을 것으로 전망된다.

이러한 문제점을 해결할 수 있는 방안으로 Fig. 1과 같이 정착판을 철근 단부에 부착한 기계적 정착공법(mechanical anchorage)이 제안되고 있다^{3~9)}.

기계적 정착을 통해 갈고리를 없앨 수 있으며, 정착길이의 축소도 가능하므로 철근과말배근을 해소할 수 있다. 또한 배근작업이 간소화되며, PC공법이나 철근선조립공법(pre-fabrication)에서 접합부 배근을 합리적으로 해결할 수 있다. 기계적 정착에 대한 연구는 90년대부터 많은 연구가 진행 중에 있으며 접합부에서 주근, 슬래브 전단보강근, 벽의 cross-tie 등 각 구조물의 특성에 맞는 성능과 형상으로 개발 및 적용되고 있다^{6~9)}. 국내에서는 그 개발이 아직 초보적인 수준으로 LNG저장탱크, 원자력발전소 등 일부 특수 구조물에 적용된 사례가 있다.

* Corresponding author

Tel : 031-250-1184 Fax : 031-250-1131

E-mail : bluebird@mail.dwoonst.co.kr

본 연구는 보-기둥 접합부의 보 주근용 기계적 정착장치 개발을 목표로 하여, 기계적 정착공법의 기초가 되는 정착장치의 요구성능과 정착설계법을 고찰하고, 이에 따른 최적의 정착장치를 설계한 후, 인발실험(pull-out test)을 통해 정착장치의 앵커기능을 확인하고자 한다.

2. 정착내력 평가

2.1 정착메커니즘

기계적 정착의 정착메커니즘은 Fig. 2와 같다. 사용하중(service load state)상에서는 철근의 표면 부착력(f_{sb})과 단부 정착판의 지압력(f_b)에 의해 철근의 설계내력(T)이 확보된다. 콘크리트가 파괴되는 극한 상태(ultimate state)에서는 철근에서부터 전달된 지압력과 부착력이 원추형 파괴면에서 지지된다. 다음은 콘크리트 파괴(concrete breakout failure)에 근거한 정착내력 평가에 사용되는 이론식들 이다.

2.2 ACI 349¹⁰⁾

ACI 349에서는 정착판에서부터 45°의 파괴면, 즉 원추형 파괴를 가정한다. 계산의 편의를 위해 원추형 파괴면의 수평투영면적을 기본으로 내력을 평가한다. 수평투영면적의 산정은 Fig. 3 (a)와 같다.

$$P_n = 1.064\sqrt{f_{ck}}A_c \quad (1)$$

여기서, $A_c = \pi h(h + d_u)$: 콘크리트 파괴면의 수평 투영면적
 h : 매립깊이, d_u : 정착장치의 외경

2.3 CCD(Concrete Capacity Design) Method¹¹⁾

최근에 제시된 설계법으로 향후 ACI 318, 349 code에 반영될 예정이다. ACI 349 설계법과 다른 점은 계산의 편의를 위해 파괴면을 원추형이 아닌 사각뿔 형태로 가정하고, (Fig. 3(b)) 매립깊이에 따른 치수효과(size effect)를 고려하였다.

$$P_n = k_{nc}\sqrt{f_{ck}}h^{1.5} \quad (2)$$

여기서, $k_{nc} = 17.0$: CIP(case in place) 앵커의 경우
 $k_{nc} = 14.8$: 콘크리트 경화후 설치된 앵커, 또는 지압응력이 큰 경우

3. 기존 기계적 정착장치

현재 주근용으로 개발된 제품으로는 미국 HRC (T-Headed Bars), ERICO(Terminator), 일본 東京鐵鋼(プレートナット, Platenat), 神戸製鋼(ネジコン定着, 네지콘정착) 등이 있다. 정착판을 형성하는 방법은 매우 다양한데, 일본 제품들은 굵은 나사마디 철근(thread deformed reinforcement)에 너트와 정착판을 부착하는 방법으로 필요에 따라 너트와 철근사이를 에폭시로 충전하여 철근과 정착장치의 slip을 방지한다. HRC사는 정착판을 마찰용접

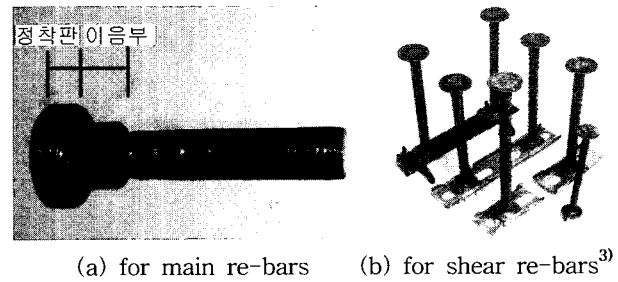


Fig. 1 Mechanical Anchor

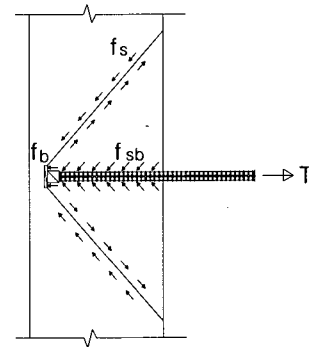


Fig. 2 Mechanism of mechanical anchorage

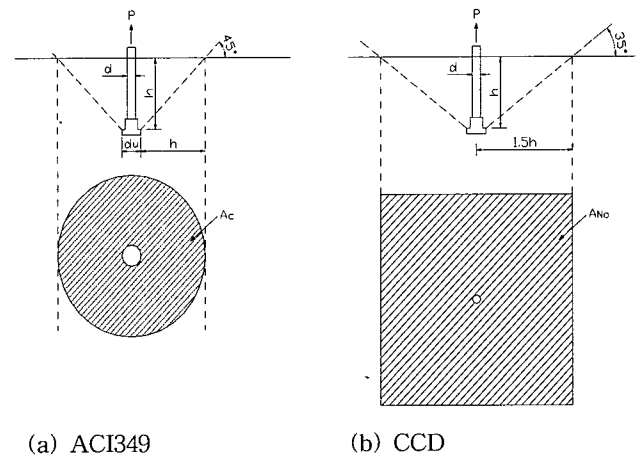


Fig. 3 Concrete breakout failure

(friction welding)으로 제작하였고, ERICO사는 테이퍼나사를 통해 정착판을 부착한다.

각 제품의 형상은 Fig. 4와 같으며, Table 1에 제품별 특징을 정리하였다. 제품별로 정착판 면적과 두께가 매우 다양함을 알 수 있다. 일부 연구에서 정착판의 설계개념을 밝힌 경우도 있으나¹²⁾, 대부분 실험을 통해 정착판의 성능을 검증하였다. 정착판의 형상과 성능은 기계적 정착을 위한 가장 중요한 요소인데, 정착판이 넓을수록 정착 성능이 우수할 것이다. 그러나, 실제 현장 적용을 위해서는 면적이 작을수록 시공성이 편리하다. 또한 경제성을 고려할 때 정착판의 두께 또한 최소화할 필요가 있다.

기존 제품들은 여러 연구를 통해 그 성능이 대부분 검증되었으나, 정착판이 너무 크고 두꺼워서 과밀배근의 해소에는 도움이 되지 않거나 제작상의 어려움으로 경제성이 떨어지는 제품도 있다. 따라서, 기계적 정착의 실용화를 위해서는 구조적 성능을 충족하면서 시공성과 경제성이

뛰어난 새로운 제품의 개발이 필요한 실정이다.

4. 기계적 정착장치의 설계

사용하중상태(service load state)에서는 철근의 인장력이 매립부의 부착력과 정착판의 지압력에 의해 저항되지만, 철근이 항복한 극한상태(ultimate load state)와 반복하중을 받는 경우에는 정착 시작부에서 부착력이 상실되어 상당부분의 하중이 정착장치의 지압력에 의해서 지지된다. 따라서, 기계적 정착장치는 작용되는 전인장력에 저항할 수 있도록 설계되어야 한다. 또한 실제 구조물에서 재료의 초과강도(over strength)를 고려해야 되는데, 일반적으로 철근 항복강도의 125 %를 기준으로 설계가 이루어진다^{9,13)}. 다음은 본 연구에 사용된 정착장치의 설계기준 및 방법을 정리한 것이다.

4.1 철근과 정착 장치와의 이음

철근의 인장력이 정착판에 원활히 전달되기 위해서는 정착장치가 철근과 일체로 거동할 수 있어야 한다. 즉, 이음부는 철근이상의 강도를 확보하고, 슬립이 발생되지 않아야 하며, 모재 이상의 축강성을 확보해야 한다. 또한 반복하중에 대한 충분한 저항능력을 갖춰야 한다. 시험체 제작에 사용된 이음부는 기계적 이음에 사용되는 냉간 스웨이징 나사¹⁴⁾ 방식을 채택하였으며, 일본 건축센터 철근 이음성능판정기준에¹⁵⁾ 따른 단체(單體)실험에서 A급 이상으로 평가되었다. 이음 외경과 높이는 기존 제품의 형상을 따랐으며, 강종은 STKM14 (KS D3517)을 사용하였다.

4.2 정착판의 요구성능

정착판이 앵커로써의 기능을 수행하기 위해서는 최소한의 단면적을 지녀야 하는데, 일본 New RC식에서는 철근 단면적의 2.7배 이상의 지압면적을 확보하도록 규정하고 있다¹⁶⁾. 본 연구에서는, 시공성을 고려하여, Fig. 1(a)와 같은 원형의 정착판으로 직경을 철근 호칭직径의 2배(지압면적비=3)로 결정하였다.

정착판의 두께 결정을 위한 기준은 첫째, 철근의 항복하중 125 %에 대하여 정착판이 파괴되어서는 안되며, 둘째, 정착판의 변형이 콘크리트에 구조적으로 유해한 균열을 유발하지 않아야 한다. 본 연구에서는 정착판의 직경을 최소화하였기 때문에 정착판의 변형에 따른 콘크리트의 손상은 발생되지 않는 것으로 평가되었다.

정착판의 변형제어와 더불어, 정착판과 주변 콘크리트의 상대 slip의 제어 또한 중요한 설계요소가 된다. 즉 정착판과 맞닿는 콘크리트의 국부적인 지압파괴에 의해 정착판과 콘크리트 사이에 과도한 slip이 발생할 경우 요구되는 단면에서 철근의 인장력이 확보되지 않거나³⁾, 보기

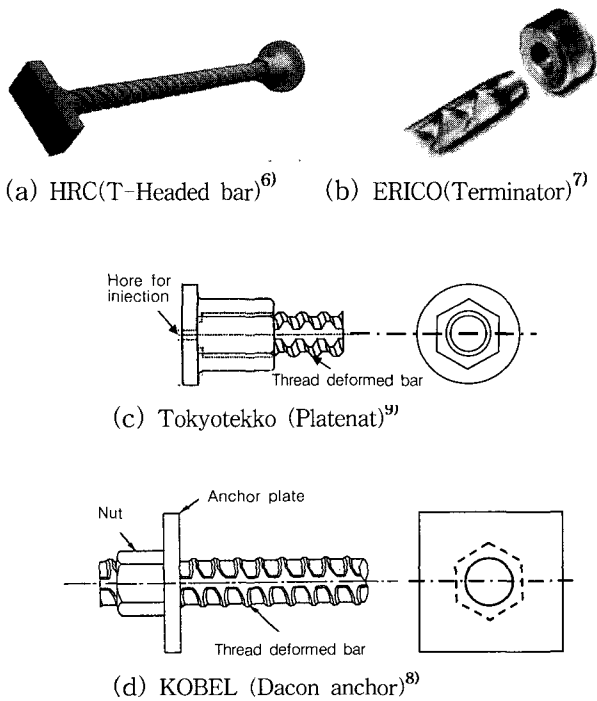


Fig. 4 Existing mechanical anchors

Table 1 Details of existing mechanical anchors

Maker	Splice method	Anchor plate shape*	A_p/A_r **	t/D **
HRC	Friction welding	R, S, C, E	7.9~12.0	0.60~1.00
ERICO	Taper thread	C	2.6~4.6	1.19~1.40
Tokyotekko	Deformed thread	C	5.3~6.2	0.34~0.44
KOBEL	+injection	S	8.4~9.0	0.37~0.44

* R=Rectangular, S=Square, C=Circular, E=Elliptical

** A_p =Anchor plate area, A_r =rebar area

*** T=anchor palte thickness, D=Diameter of rebar

동접합부에서는 과도한 핀칭(pinching)현상의 발생 및 접합부 전단내력의 저하가 발생될 수 있다.

ACI421¹⁷⁾에서는 슬래브 전단보강근에 기계적 정착을 적용하는 경우 정착부에서 slip이 발생되지 않을 정도의 지압면적을 확보하도록 요구하고 있다. 이것은 전단보강근에서 최대인장력이 요구되는 위치가 철근 전구간으로 정착부에서 모든 정착내력을 발휘해야 하기 때문이다. 그러나, 보기둥 접합부에서 보주근의 경우 최대인장력이 요구되는 위치는 기둥면으로, 정착부의 slip이 정착내력에 직접적인 영향을 주지는 않을 것으로 판단된다.

4.3 기계적 정착장치의 형상

4.1, 4.2의 요구사항을 고려하여 본 연구에서 선정한 기계적 정착장치의 형상 및 실험에 사용된 철근직경별 치수는 Fig. 5와 같다. 정착판은 일반구조용강 SS400으로 제작하였으며, 이음부와 정착판은 FCAW(Flux Cored Arc Welding, CO₂ 용접)으로 연결하였다.

5. 인발실험

인발실험을 통해 4장에서 설계된 정착장치의 앵커 기능을 평가하고, 인발거동특성을 분석하고자한다.

5.1 시험체 설계

정착내력에 영향을 주는 매립깊이(h), 철근직경(d_b), 콘크리트강도(f_{ck}), 철근간 간격을 실험변수로 구성하였으며 Table 2는 시험체별 변수내용을 정리한 것이다.

시험체는 1,300 mm×1,300 mm×500 mm 콘크리트 베이스 중앙부에 기계적으로 정착된 철근을 설계 깊이로 매립하여 제작하였다. Fig. 6은 각 시험체 Series별 대표 시험체를 나타낸 것이다. 기존 기계적 정착장치 및 앵커의 인발실험에서는 콘크리트 면적이 좁아 콘크리트의 순수한 파괴가 발생되지 못하고, 지점부 반력의 영향을 받거나 측면파괴가 발생하는 경우가 있었다. 본 실험에서는 연단거리와 지점반력의 영향을 배제한 순수한 콘크리트의 정착내력을 산정하기 위하여, CCD설계법에 의한 가상 파괴면

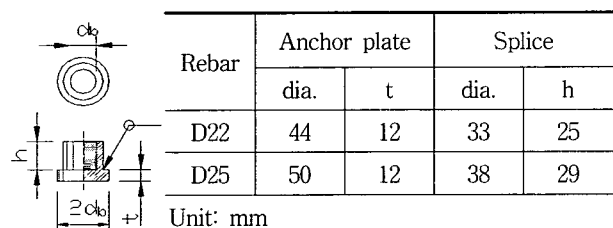


Fig. 5 Mechanical anchor information

(1:1.5)을 포함하는 충분한 크기로 콘크리트 면적을 결정하였다. 높이는 최대내력시까지 콘크리트의 휨균열이 발생되지 않도록 설계하였으며, 외주부에는 D10철근으로 보강하여 제작 및 양생과정 균열이 발생되지 않도록 하였다.

콘크리트 설계강도는 일반적으로 많이 사용되는 $f_{ck} = 240$, 300 kgf/cm^2 2종류이며, 철근 직경은 보 주근에 많이 사용되는 D22, D25 (SD40)로 결정하였다.

D25F240-Series와 D22F300-Series는 정착장치의 앵커 기능을 평가하기 위한 시험체로 매립깊이를 변수로 각각 6개씩 제작하였다. 철근간 간격을 설계 변수로 하는 D25F240-M-Series는 매립 깊이를 15cm로 일정하게 유지하고 단일 시험체 한 개(D25F240-H15와 동일시험체)와 철근의 간격을 달리한 시험체 3개를 제작하였다.

5.2 가력 및 측정

가력 장치도는 Fig. 7과 같다. 콘크리트를 반력상(reaction floor)에 고정하고 200 tonf 용량의 actuator를 이용하여 철근을 인발하였다. 하중은 actuator에 내장된 load cell을 이용하여 측정하였고, 기계적 정착장치 후미에 6 mm전산볼트를 부착하여 콘크리트와의 상대변위량을 계측하였다. 철근을 정확한 매립깊이에 설치하고 정착부 변위 측정용 전산볼트를 매립하기 위하여 Fig. 8과 같이 강관으로 기계적 정착부를 지지하였다.

가력방법은 초기에는 하중제어(load control)하였으며, CCD 예상파괴하중 또는 철근 항복 이후에는 안정적 실험을 위해 변위제어(displacement control)로 가력하였다.

Table 2 Test matrix

Specimen*	Rebar	f_{ck} **	Embedment depth (cm)	No. of rebar	Spacing of rebars (cm)
D25F240-H12	D25	240	12	1	-
D25F240-H15***			15		
D25F240-H18			18		
D25F240-H21			21		
D25F240-H24			24		
D25F240-H27			27		
D22F300-H9	D22	300	9	1	-
D22F300-H12			12		
D22F300-H15			15		
D22F300-H18			18		
D22F300-H21			21		
D22F300-H24			24		
D25F240-H15***	D25	240	15	1	-
D25F240-3M-10				3	10
D25F240-3M-20				3	20
D25F240-2M-40				2	40

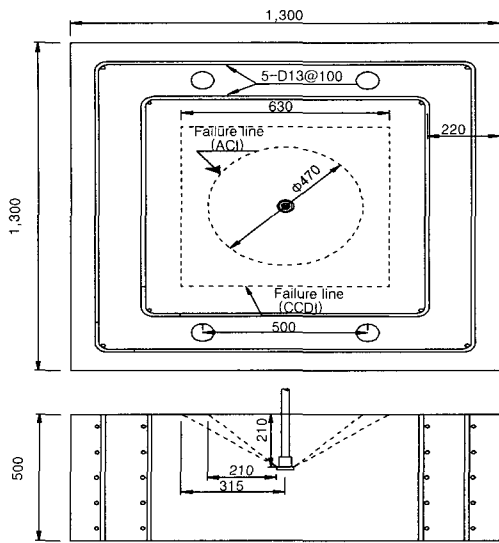
* D①F②-H③, D①F②-M-⑤

①: Diameter of rebar ②: Concrete strength

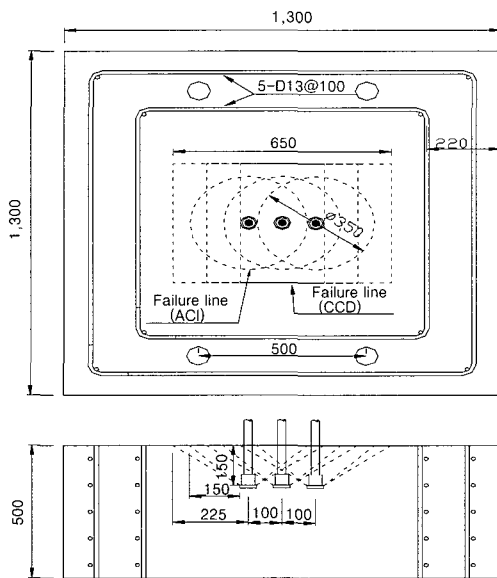
③: Embedment depth ④: No. of rebars ⑤: Spacing of rebars

** Unit: kgf/cm^2

*** Same specimen



(a) D25F240-H21



(b) D25F240-3M10

Fig. 6 Details of specimen

6. 실험결과 분석

6.1 재료시험결과

D25F240-Series와 D25F240-M-Series의 28일 콘크리트 강도는 261 kgf/cm^2 , D22F300-Series의 28일 강도는 317 kgf/cm^2 로 나타났다. D22 철근의 항복강도는 $4,250 \text{ kgf/cm}^2$, 인장강도 $6,408 \text{ kgf/cm}^2$ 이며, D25 철근은 항복강도 $4,250 \text{ kgf/cm}^2$, 인장강도 $6,918 \text{ kgf/cm}^2$ 였다. Table 3 은 실험결과를 정리한 것이다.

6.2 D25F240-Series 실험결과

매립 깊이 12, 15, 18 cm에서는 철근이 항복하기 전에 콘크리트의 파괴(concrete breakout)가 발생하였으나, 매립 깊이가 21, 24 cm에서는 철근이 항복할 수 있는 충분한 정착 내력을 발휘한 후 콘크리트의 파괴가 발생하였다. 매립 깊이가 27 cm에서는 콘크리트 파괴가 발생하기 전에 철근이 파단되어 실험이 종료되었다.

Fig. 9는 실험값을 매립깊이별로 비교한 그래프이다. 여기서, ACI는 식(1), CCD1은 식(2)에서 $k_{nc} = 14.8$ 로

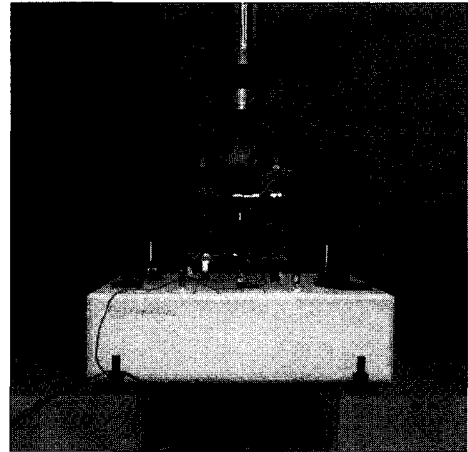


Fig. 7 Test setup

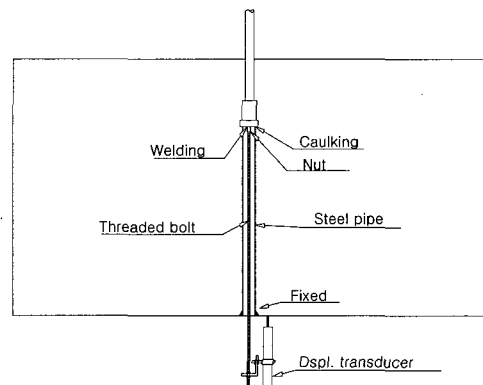


Fig. 8 Embedment details

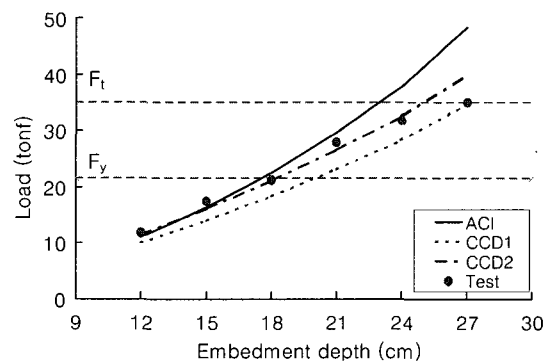


Fig. 9 Test results and predictions (D25F240-Series)

Table 3 Test results

Specimen	P _e , Experimental strength*	P _p , Predicted strength*			P _e /P _p			Rebar strength (f _v / f _u)	Slip at ultimate load, [mm]	Failure mode
		ACI	CCD1	CCD2	ACI	CCD1	CCD2			
D25F240-H12	11,920	11,096	10,011	11,500	1.07	1.19	1.04	21,548/ 35,074	N.A.	Concrete breakout failure
D25F240-H15	17,510	16,318	13,991	16,071	1.07	1.25	1.09		N.A.	
D25F240-H18	21,180	22,519	18,392	21,126	0.94	1.15	1.00		N.A.	
D25F240-H21	27,990	29,699	23,177	26,622	0.94	1.21	1.05		N.A.	Concrete breakout failure**
D25F240-H24	31,900	37,858	28,316	32,526	0.84	1.13	0.98		N.A.	
D25F240-H27	35,070	48,430	34,819	39,995	-	-	-		N.A.	Bar fracture
r ²		78.0%	68.9%	97.7%						
D22F300-H9	9,030	7,182	7,119	8,177	1.26	1.27	1.10	16,448/ 24,800	0.232	Concrete breakout failure
D22F300-H12	12,230	11,720	10,961	12,590	1.04	1.12	0.97		0.366	
D22F300-H15	16,260	17,330	15,318	17,595	0.94	1.06	0.92		0.337	
D22F300-H18	23,560	24,011	20,136	23,129	0.98	1.17	1.02		0.213	Concrete breakout failure**
D22F300-H21	24,830	31,765	25,374	29,146	-	-	-		0.094	
D22F300-H24	24,710	38,206	29,180	33,518	-	-	-		0.072	Bar fracture
r ²		93.6%	77.3%	96.4%						
D25F240-H15	17,510	16,318	13,991	16,071	1.07	1.25	1.09	21,548/ 35,074	N.A.	Concrete breakout failure
D25F240-3M-10	20,930	26,207	19,196	22,049	0.80	1.09	0.95		0.339	
D25F240-3M-20	24,690	36,554	25,102	28,834	0.68	0.98	0.86		0.340	
D25F240-2M-40	25,800	30,999	25,102	28,834	0.83	1.03	0.89		0.468	

* Unit: kgf

** Concrete breakout failure occurred after bar yielding

둔 값이며, CCD2는 $k_{nc} = 17.0$ 로 산정된 내력이다. CCD2식은 CIP(cast in place) 앵커에 적용되는 식으로 시험체 내력을 매우 정확하게 예측하는 것으로 나타났다(상관계수 $r^2=97.7\%$). 매립깊이 18cm(철근 직경의 7.2배)에서 철근 항복강도의 정착내력이 발휘되었다.

파괴 양상은 콘크리트 파괴가 발생한 경우 최대내력에 이르기 전까지는 아무런 균열이 발생되지 않았고, 최대내력에 이르러 표면에 원형으로 균열이 발생되면서 원추형 파괴가 발생되었다. 철근이 파단된 시험체에서는 철근이 항복 후 소성변형을 겪는 동안 매립 초입부의 콘크리트가 일부 박락 되었다.

6.3 D22F300-Series 실험결과

매립깊이 9, 12, 15 cm에서는 콘크리트의 원추형 파괴가 발생했으며, 매립깊이 18 cm에서는 철근이 항복한 후 콘크리트의 원추형 파괴가 발생하였다. 매립깊이가 21, 24 cm 인 시험체는 철근이 파단되었다. D25F240과 같이 정착내력은 CCD2식과 매우 근사하며, 매립깊이가 철근 직경의 7배(15 cm)에서 철근 항복하중의 정착내력을 발휘함을 알 수 있었다. (Fig. 10참조)

Fig. 11은 정착장치 후미에 Fig. 8과 같이 부착된 전산 볼트를 통해 정착장치와 콘크리트의 상대변위를 계측한 그림이다. 철근이 항복하지 않고 콘크리트 원추형 파괴가 발생한 경우, 0.3 mm 변위 정도에서 최대내력이 발휘되었다. 철근의 항복하중 이상의 정착내력을 확보하는 경우에는

철근 항복 하중에서의 변위가 0.2 mm이하로 나타났다.

파괴양상은 D25F240와 유사하며, 콘크리트 원추형 파괴와 철근 파단이 발생한 대표적인 시험체 파괴모습은 Fig. 12와 같다. Fig.12 (a)는 콘크리트 원추형 파괴가 발생한 경우로 매립깊이에 따라 파괴각도가 크게 변화됨을 알 수 있다. 심(深)부의 파괴각에 비해 천(淺)부의 파괴각이 매우 완만하며, 이에 따라 전체 수평투영면적은 매우 넓어지게 된다. 그러나, 실제 정착내력에 큰 영향을 미치는 영역은 기계적 정착장치 주변인 심(深)부이며, 매우 완만한 파괴각을 지니는 천(淺)부는 정착내력에 크게 기여하지 않을 것으로 사료된다.

철근 항복강도 이상의 내력을 발휘한 시험체의 경우, 항복하중 이전에는 아무런 손상이 관찰되지 않았으며, 항복 이후 매립초입부에서 철근 소성변형에 의해 깊이 2 cm

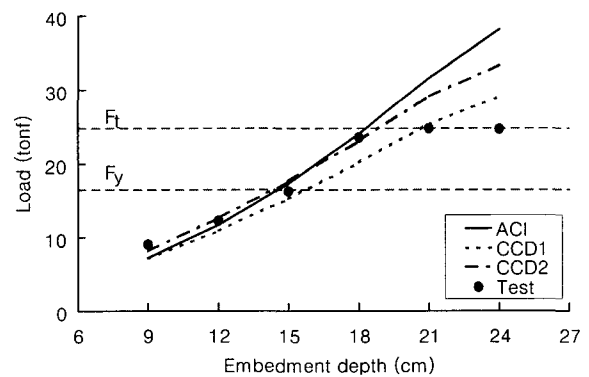


Fig. 10 Test results and predictions (D22F300-Series)

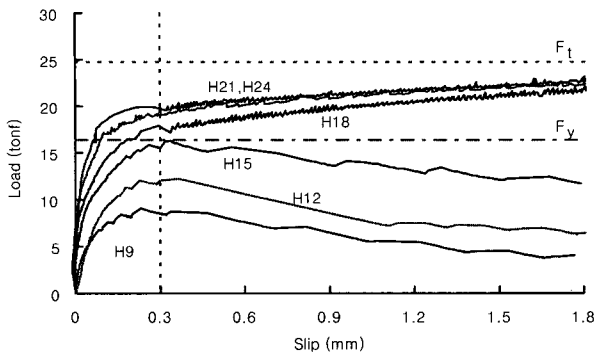
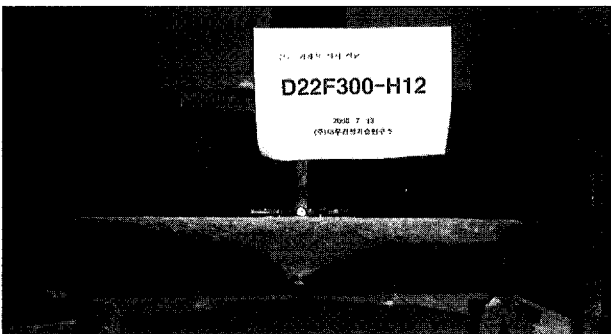
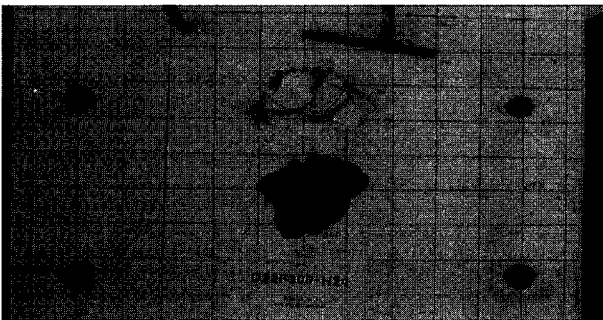


Fig. 11 Slip between mechanical anchor and concrete (D22F300-Series)



(a) Concrete breakout failure (D22F300-H12)



(b) Reinforcement failure (D22F300-H24)

Fig. 12 Failure for D22F3000-series

반경 10~15 cm (Fig. 12(b)참조) 가량의 콘크리트가 부분 탈락되었고 그 외 부분은 매우 건전하였다.

인발실험결과 시공성과 경제성 확보를 위해 정착판의 치수를 최적화한 경우에도 철근의 정착내력을 충분히 확보할 수 있는 것으로 평가된다. 또한 적절한 매립을 통해 철근의 항복하중 이상의 정착내력을 확보하는 경우, 철근 항복하중까지 콘크리트에 특별한 손상을 유발하지 않으며, 정착판의 slip량을 0.2mm이하로 제어가 가능하기에 기계적 정착에 따른 구조물의 거동 저하는 발생하지 않을 것으로 판단된다.

6.4 D25F240-M-Series 실험결과

기계적 정착을 보 주근 정착에 적용할 경우, 철근 간격이 매우 좁기 때문에 개별철근의 파괴면(failure surface)이 중첩되어 정착내력이 저하된다. 이러한 철근간 간섭효과를 알아보기 위해 철근간의 간격을 변수로 하여 인발 실험을 수행하였다. 철근간 간격은 10, 20, 40 cm로 설정하였으며, 철근은 D25(SD40), 콘크리트는 $f_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$ 를 사용하였고 매립 깊이는 15 cm로 일정하다.

Fig. 13은 시험체 내력을 평가한 그림이다. H15 (D25F240 -H15와 동일) 내력은 이론값에 비해 다소 높게 나타났으며, 3M-10, 3M-20, 2M-40 시험체의 정착 내력은 CCD1 식과 비슷하며 ACI설계식의 75%정도의 값을 가진다. 단일 철근을 인발한 경우에는 CCD2식이 내력을 가장 정확히 예측하였는데, D25F240-M-series에서는 이보다 낮은 CCD1식에 근접한 실험결과가 나타났다.

CCD1, 2의 구분은 앵커의 매립방법 또는 정착판의 지압력 크기에 따라 구분되는데, D25F240-M 정착판의 지압력이 D25F240, D22F300 시험체들보다 낮기 때문에 이러한 구분에는 맞지 않는다. 내력이 낮게 나온 이유는 가력중 모든 철근의 하중이 균일하지 않아서 콘크리트의 파괴가 순차적으로 발생되었기 때문인 것으로 판단된다.

균열 발생 양상은 단일 철근 시험체와 달리 개별철근에서 방사선으로(또는 철근간 균열) 균열이 발생한 후 각 철근을 중심으로 파괴면이 중첩되어 전체적인 파괴면을 형성하였다.(Fig. 14참조) 일반적인 철근 부착/정착 실험에서 연단거리가 짧은 경우 발생하는 splitting 균열과 유사한 양상임을 알 수 있다. 철근과 콘크리트의 상대변위는 Fig. 15와 같고, 0.3 mm 정도에서 최대내력을 발휘하였다.

철근간 간섭효과 없는 단일철근(H15)의 내력을 기준으로 각 시험체별 철근 1본의 정착내력비를 산정하면, 40% (3M-10), 47% (3M-20), 74% (2M-40) 이다. 철근간 간격이 좁을수록 철근 1본의 정착내력이 크게 저하됨을 알 수

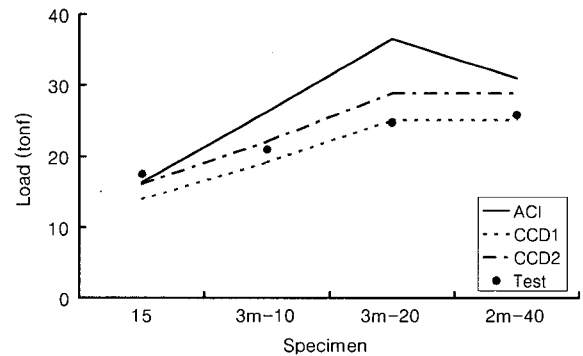
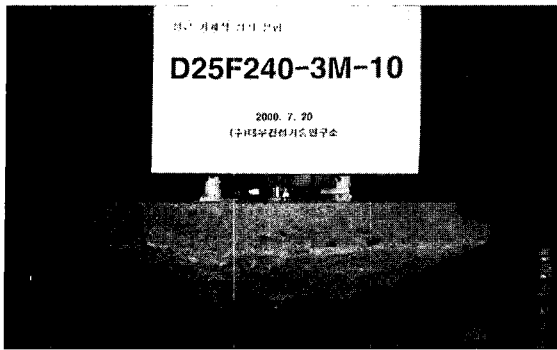
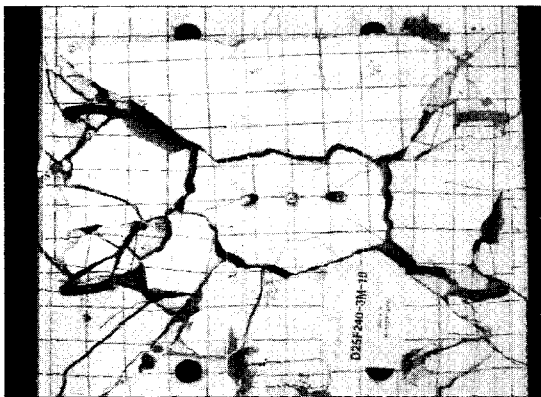


Fig. 13 Test results and predictions (D25F240-M)



(a) Concrete breakout failure (side view)



(b) Concrete breakout failure (Top view)

Fig. 14 Failure for D25F240-3M-10

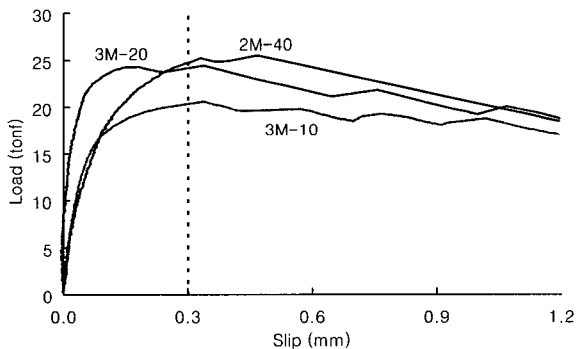


Fig. 15 Slip between mechanical anchor and concrete (D25F240-M-series)

있다. 일반적인 보 주근의 간격은 철근 직경의 3~5배이므로 순수한 콘크리트 원추형 파괴 내력으로 정착설계가 이루어지기 위해서는 상당한 매립깊이를 요구하게 된다. 실제 보기둥접합부에서 효과적인 기계적 정착설계를 위해서는 인접부재의 골조거동(frame action)에 따른 구속효과와 전단보강근의 영향을 고려할 필요가 있다.

5. 결 론

기계적 정착은 기존 갈고리 정착의 대안으로 시공의 편

의성 및 과밀배근 해소를 목적으로 개발되고 있다. 본 연구는 기계적 정착의 기본이 되는 정착장치의 요구성능과 그에 따른 설계과정을 살펴보았다. 또한 설계된 정착장치의 앵커기능 확인을 위하여 인발실험을 수행하였다.

정착장치가 앵커로써의 기능을 수행하기 위해서 일정한 값 이상의 지압면적을 가져야하나, 현장 시공성을 고려해서는 면적을 최소화할 필요가 있다. 또한 철근이 필요한 내력을 발휘하기까지 정착판이 파괴되지 않고 변형에 따른 콘크리트의 손상을 방지하기 위해서는 적절한 두께가 필요하다. 본 연구에서는 시공성과 경제성을 고려하여 원형의 정착판으로 직경을 철근 직경의 2배로 결정하였고, 두께는 철근 설계 항복강도의 125%에 대하여 파괴되지 않도록 설계하였다.

인발실험 결과, 본 연구에서 설계된 정착장치는 앵커로써의 기능을 적절히 발휘하여 기존 CCD 이론식과 매우 근접한 내력을 발휘하였다. 철근항복하중 이상의 정착내력을 지니는 경우, 항복하중까지 콘크리트에 아무런 손상이 발생되지 않았으며, 정착판 후미에서 콘크리트와의 상대변위는 0.2mm이하로 콘크리트에 손상을 유발시키지 않을 것으로 판단되었다. 따라서, 본 연구의 설계과정으로 제작된 기계적 정착장치를 통해 콘크리트에 유해한 손상 없이 필요한 정착내력을 확보할 수 있다.

그러나, 철근간 간격이 좁아 파괴면이 중첩되는 경우에는 정착내력이 크게 저하되어, 순수한 콘크리트 내력만으로 기계적 정착설계가 이루어지기 위해서는 상당한 매립깊이가 요구된다. 따라서, 실제 구조물의 정착설계를 위해서는 인접부재와의 골조거동(frame action)에 따른 구속효과와 전단보강근의 영향을 고려할 필요가 있다. 향후 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

기계적 정착장치 제작 및 공동연구에 참여해주신 (주)부원BMS에 감사드립니다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, "콘크리트 구조설계기준," 1999.
2. ACI 318-99, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete"
3. Amin, G., and Walter, H. D., "Anchoring with Double-Head Studs," *Concrete International*, Nov. 1998, pp.21~24.
4. Dale E. berner, Ben C. Gerwick, Jr., and George C. Hoff, "T-Headed Stirrup Bars," *Concrete International*, May, 1991.
5. 천성철, 정석창, 김대영, 김상구, "철근의 기계적 정착," 콘크리트학회지 제13권, 1호, 2001년 1월, pp.26~30.

6. HRC, T-Headed Bars, <http://www.hrc-usa.com/>
7. Erico, LENTON Terminator, <http://www.erico.com/>
8. 神戸製鋼, ネジコン定着工法の設計・施工要領
9. 東京鐵鋼株式會社, “プレートナット工法 設計施工指針,” 日本建築センター 一般評價 BCJ-C2280, 1999年
10. ACI 349-97 “Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures” Appendix B-Steel Embedments
11. Werner, F., Rolf, E., and John E. B, “Concrete Capacity Design(CCD) Approach for Fastening to Concrete,” *ACI Structural Journal*, Vol. 92, No. 1, Jan.-Feb. 1995. pp.73~94.
12. DeVries, R, A., Jirsa, J, O., and Bashandy, T., “Anchorage Capacity in Concrete of Headed Reinforcement with shallow Embedments,” *ACI Structural Journal*, Vol. 96, No. 5, Sep.-Oct. 1999. pp.728~736.
13. ACI-ASCE Committee 352, “Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures”.
14. NT신기술 1999-46호 “스웨이징에 의한 나사이음철근”
15. 日本建築センター, “鐵筋繼手性能判定基準,” 1982
16. 附着・定着WG研究成果報告書, New RC 高強度分科會, 1993.
17. ACI 421.1-99, “Shear Reinforcement for Slabs”

요 약

철근콘크리트구조에서 철근의 인장력이 발휘되기 위해서는 적절한 정착길이 또는 갈고리가 필요하다. 그런데, 접합부와 같이 배근이 집중되는 곳이나 대구경 고강도철근이 필요한 경우 정착을 위한 정착길이나 갈고리의 제작 및 배근작업이 어려우며 콘크리트의 충전성도 저하될 수 있다. 또한 갈고리부분의 과도한 응력집중으로 국부적인 지압파괴나 slip이 발생될 우려도 있다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 방안으로 정착판을 철근 단부에 부착한 기계적 정착공법이 제안되고 있다.

본 연구는 기계적 정착공법의 기초가 되는 정착장치의 요구성능과 정착설계법을 고찰하고 인발실험을 통해 정착장치의 앵커 기능을 확인하고자 한다. 인발실험 결과, 본 연구에서 설계된 정착장치는 앵커로써의 기능을 적절히 발휘하여 기존 CCD 이론식과 매우 근접한 내력을 발휘하였다. 철근항복내력 이상의 정착내력을 지니는 경우, 항복하중까지 콘크리트에 아무런 손상이 발생되지 않았으며, 정착판 후미에서 콘크리트와의 상대변위는 0.2 mm이하로 콘크리트에 손상을 유발시키지 않을 것으로 판단되었다. 따라서, 본 연구의 설계과정으로 제작된 기계적 정착장치를 통해 콘크리트에 유해한 손상 없이 필요한 정착내력을 확보할 수 있다.

그러나, 철근간 간격이 좁아 파괴면이 중첩되는 경우에는 정착내력이 크게 저하되어, 순수한 콘크리트 내력만으로 기계적 정착설계가 이루어지는 경우 상당한 매립깊이가 요구된다. 따라서, 실제 구조물의 정착설계를 위해서는 인접부재와의 골조거동(frame action)에 따른 구속효과와 전단보강근의 영향을 고려할 필요가 있다. 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

핵심용어 : 기계적 정착, 인발실험, 정착, CCD