

고강도 콘크리트를 사용한 R.C 보 부재의 부착할렬성상에 관한 실험적 연구

(An Expeirmental Study on the Bond Splitting Behavior
of R.C Beams using High-Strength Concrete)

○곽 노 현* 정 현 수**

Kwak No-Hyoun Chung Heon-soo

ABSTRACT

In order to quantify the effect of transverse reinforcement on the bond splitting behavior of reinforcement monotonic loading tests of 8 simply beams were carried out. The reinforcing details and material properties were so determined that the bond splitting failure proceded the shear and flexural failure.

A bond splitting strength derived from the experimental data and it accounts for following parameters:

- | | |
|--------------------------------|---|
| 1) Concrete Strength | 2) Transverse reinforcement ratio and shape |
| 3) Thickness of concrete cover | 4) Deformation of reinforcement |

1. 서 론

최근 콘크리트에 대한 제조기술의 향상으로 압축강도 1000kg/cm² 이상의 콘크리트를 생산하여 실용화하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있으며 고강도콘크리트를 사용한 철근콘크리트부재의 실용화를 위하여 부착성상을 규명하는 것은 중요한 과제이다.

철근콘크리트 구조는 철근과 콘크리트가 일체가 되어 하중에 저항하는 역학적 기능을 가진 것으로 철근과 콘크리트가 일체화 되는것을 전제한 복합구조이며 따라서 철근콘크리트 구조물에 있어서 일체성 확보는 철근과 콘크리트의 부착작용에 의존하게 된다. 특히 구조공학 분야에서 재료의 고강도화와 직경이 큰 이형철근을 사용에 따라 세장하고 경량인 구조재료의 이용이 증가하고 있고 이에 따라 단면의 축소가 가속화 되고 있으며 철근의 과밀배근에 의한 부착할렬파괴의 위험이 커지고 있다.

부착할렬파괴는 단면내의 주근갯수, 피복두께, 주근직경, 횡보강근의 양과 배치상태, 콘크리트 압축강도 등의 요인이 복잡하게 상호작용한다.

허용응력 설계법을 사용하는 국내 규준은 콘크리트 압축강도만으로 허용부착응력을 결정하며 부착에 영향을 주는 여러 요인에 관한것이 무시되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 고강도 철근콘크리트 구조부재에서 콘크리트 압축강도, 횡보강근 양과 배치상태, 철근의 이형형상등이 부착할렬성상에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

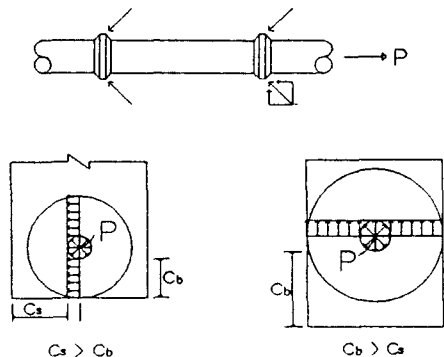
2. 부착할렬파괴

부착파괴는 콘크리트 피복두께방향의 할렬파괴와 철근과 콘크리트 사이의 재료파괴에 의한 인발파괴로 대별된다. 부착작용(Bond Mechanisms)은 이형철근 표면의 마디에 의한 췌기작용(Weding Action)에 의한 것이며, 이 횡마디에 의해 형성되는 지압력은 방사성분으로 주위 콘크리트에 인장력을 유발시켜 콘크리트에 할렬균열을 발생시키며 결과적으로 부착저항을 잃게하여 부재의 파괴를 일으킨다.<그림.1> 또한 부착구간내에 횡보강근을 배근함에 따라 부착할렬강도가 증대되는데 그 효과는, 첫째 횡보강근의 인장력과 콘크리트 압축역이 트러스를 형성하여 부착력을 감당하는 효과, 둘째 횡보강근에 의한 주근주위의 콘크리트가 구속되어 부착강도를 향상시키는

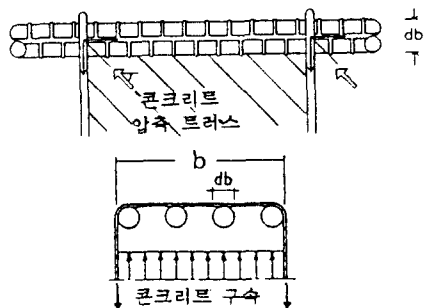
* 중앙대 대학원 석사과정

** 중앙대 교수, 공학박사

작용, 세재 횡보강근과 주근의 교차부에서의 기계적인 마찰작용으로 생각할수 있다.<그림.2>

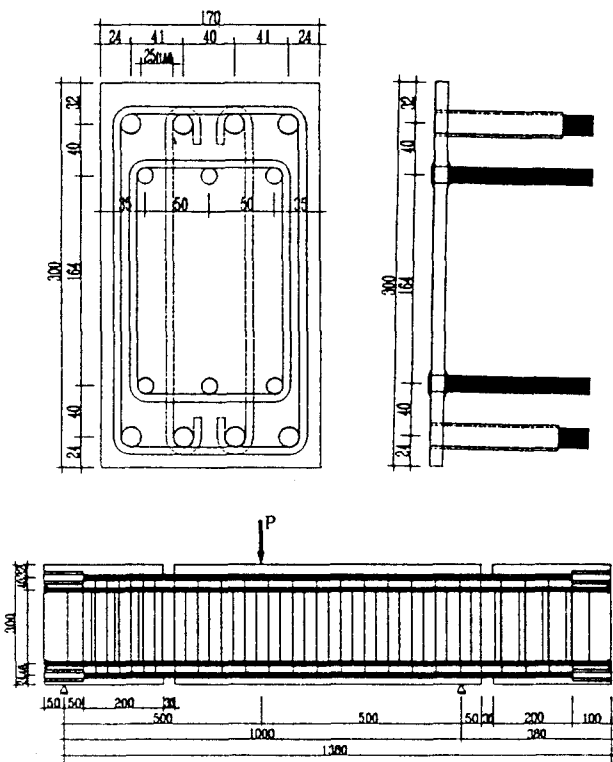


<그림.1> 철근 마디주위의 응력성분



<그림.2> 횡보강근의 효과

트 배합은 0.5M³ 강제식 믹서를 사용하였고 (표.1)에 콘크리트 배합표를, (표.2)에 철근의 기계적 성질을, (표.3)에 시험체 일람 및 실험결과를 나타냈다.



<그림.3> 시험체 형상 및 치수

3. 실험

3.1 시험체 제작

본 실험은 부착파괴를 유도하기 위하여 단면저항모멘트와 단면전단내력을 검토하여, 부착할렬파괴가 선행되도록 계획한 8개의 시험체를 제작하였다. 각 시험체는 4개의 실험구간을 가지며 시험체 형상 및 치수는 <그림.3>에 나타내었다. 시험체 단면(bxD)은 17(cm)×30(cm), 밑면 피복두께는 1.5d, 2.5d (d:주근 직경), 부착길이는 12.5d (20cm)이며 균열의 유도하고 시험철근의 단면손실없이 변형을 측정하기 위하여 부착시험구간 끝단에 3cm의 Slit을 설치하였고 지점반력에 의한 구속을 방지하기 위하여 20φ 강관으로 Unbond구간을 설치하였다. 또한 부착파괴 이전의 휨, 전단파괴를 방지하고 부착파괴후 급격한 내력저하를 방지하기 위하여 배근된 D13 부수철근은 6φ-@60으로 전단보강근을 배치하였으며 그 끝단은 용접하여 정착을 확실히 하였다. 콘크리

(표.1) 콘크리트 배합표

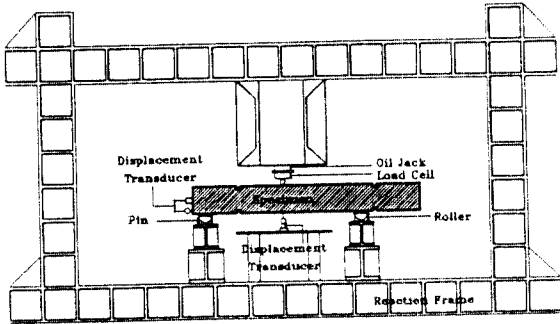
설계강도 (kg/cm ²)	W/C (%)	S/A (%)	콘크리트배합량 (kg/m ³)					MT 150
			W	C	S	A		
200	65	50	182	280	953	953		
400	38	40	190	500	680	1020	Cx 0.002	

(표.2) 철근의 기계적 성질

철근	용도	σ_y kg/cm ²	σ_u kg/cm ²	E_s kg/cm ²	ϵ_y (μ)	연신율 (%)
D16	주근	9095	9673	1.92×10^6	4725	8.9
D13	보조근	4010	6850	1.83×10^6	2500	19
6φ	보강근	8035	8892	2.1×10^6	3814	10
D6	보강근	4100	5400	1.86×10^6	2200	25

3.2 실험방법

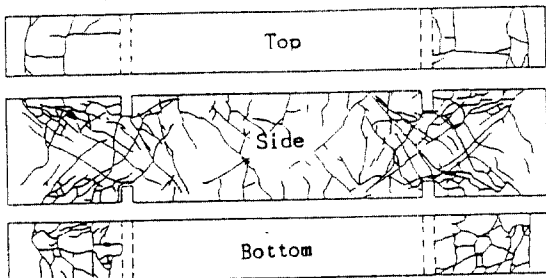
가력은 중앙대학교 소재 100(ton) 용량의 Strong Frame의 Oil Jack 선단에 부착시킨 100(ton) Load Cell을 사용하여 단순보 1점 집중재하 하였다. 철근 변형도는 각 Slit 부분의 주근과 횡보강근, 부수철근에 부착한 Wire Strain Gauge를 TDS-302에 연결하여 측정하였다. 또한 전기식 변위게이지로 중앙부 처짐과 주근의 미끄럼을 측정하였다. 가력및 측정장치는 <그림.4>에 나타냈다.



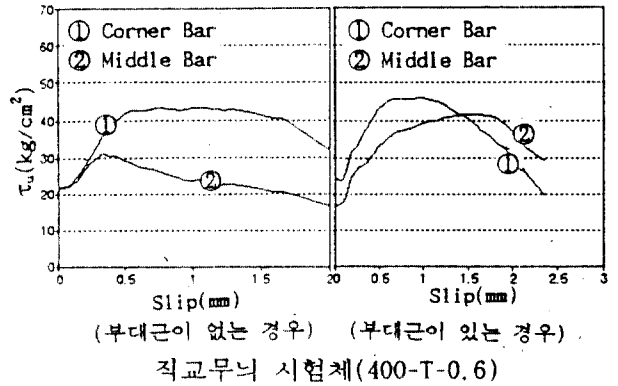
<그림.4> 가력 및 측정장치

4. 실험결과 및 고찰

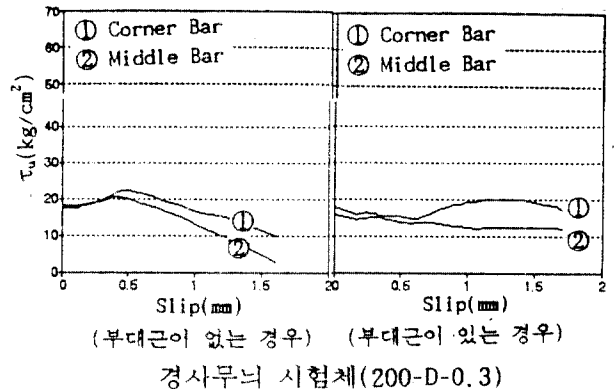
모든 시험체는 휨, 전단파괴 이전에 side-split-mode로 부착할렬파괴 하였고 또한 휨, 전단파괴를 방지하기 위하여 배근한 부수 철근과 횡보강근은 탄성 범위내에 있었다. $f'c$ 가 400 series에서는 최대내력 이후 급격한 파괴를 일으켰다. 하중이 증가되며 Slit 부분에 실크랙이 발생한 후 균열의 폭이 넓어지고 시험구간에서 주근의 미끄럼짐에 의해 다수의 경사균열이 발생하며 종국상태에 이른다. Middle Bar와 Corner Bar의 상관없이 미끄럼 발생 이전에는 같은 부착응력을 부담하고 미끄럼이 시작되면 각 주근에 따라 부착응력의 차이가 생기며 최대내력에 도달한다.



<그림.5> 균열 상황도(400-T-0.6)

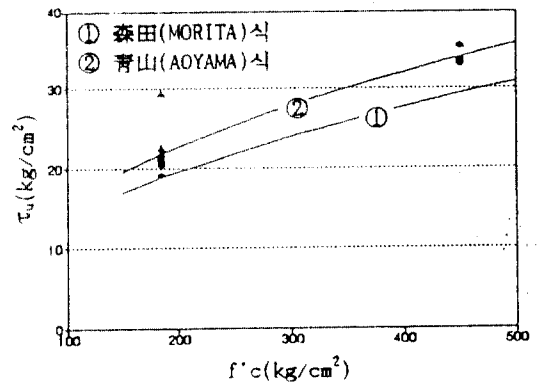


직교무늬 시험체(400-T-0.6)



<그림.6> 최대부착할렬강도와 Slip 관계

4.1 최대부착할렬강도와 콘크리트압축강도



<그림.7> 최대부착할렬강도와 $f'c$ 관계

$f'c$ 가 최대부착할렬강도에 미치는 영향을 조사하기 위하여 $f'c$ 200시리즈와 400 시리즈를 비교한 결과 최대부착할렬강도는 콘크리트 압축강도의 제곱근에 비례하여 변화하며 기존의 제안식과 양호한 적합성을 나타냈다.

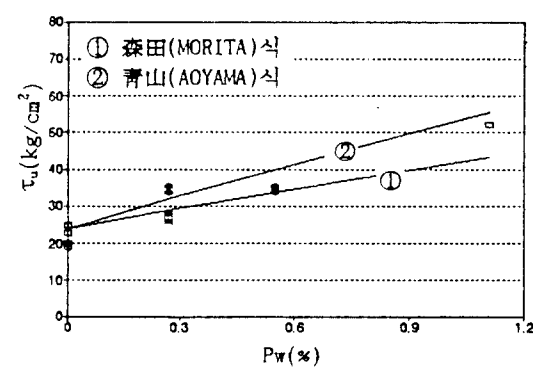
(표.3) 시험체 일람 및 실험결과

시험체						실험 결과 일람										
구분	f'c (kg/cm ²)	Pw (%)	보강근 간격 (cm)	밀면파복 두께	부대근 유무	τ _{u.1} (kg/cm ²)	τ _{u.2} (kg/cm ²)	τ _{u.av} (kg/cm ²)	τ _{u.EXP} /τ _{u.CAL}							
									공식1	공식2	공식3	공식4	공식5	공식6		
400	T	A	450	0.3	12.0	1.5d	무	34.8	32.6	33.7	0.72	1.02	1.16	1.15	1.26	1.05
						2.5d	무	38.3	36.0	35.4	0.76	1.07	1.22	1.24	1.33	1.10
					24.0	1.5d	유	26.9	33.4	33.0	0.71	1.00	1.14	1.16	1.20	0.96
						2.5d	유	34.2	37.2	35.6	0.76	1.08	1.23	1.25	1.29	1.03
400	T	A	450	0.6	6.0	1.5d	무	50.9	24.7	33.6	0.67	0.98	1.01	1.00	1.00	0.85
						2.5d	무	43.3	31.0	35.5	0.70	1.04	1.07	1.06	1.06	0.90
					12.0	2.5d	유	46.0	41.6	42.6	0.85	1.25	1.26	1.33	1.15	0.96
200	T	A	185	0.3	12.0	1.5d	무	35.1	17.5	20.4	0.68	0.94	1.10	1.08	1.19	0.87
						2.5d	무	28.1	17.3	20.8	0.70	0.96	1.12	1.11	1.22	0.89
					24.0	1.5d	유	22.6	19.6	19.2	0.58	0.82	0.89	0.88	0.88	0.61
						2.5d	유	18.2	27.6	21.1	0.64	0.90	0.98	0.97	0.97	0.68
200	T	A	185	0.6	6.0	1.5d	무	20.4	24.6	21.8	0.48	0.67	0.76	0.76	0.84	0.69
						2.5d	무	21.2	22.2	22.6	0.49	0.69	0.79	0.81	0.83	0.66
					12.0	1.5d	유	21.8	38.3	29.4	0.64	0.90	1.03	1.05	1.10	0.86
						2.5d	유	31.1	22.0	25.8	0.56	0.79	0.91	0.89	0.98	0.81
400	D	A	450	0.3	12.0	1.5d	무	38.1	28.4	32.7	0.71	1.00	1.15	1.13	1.25	1.03
						2.5d	유	29.3	26.0	27.8	0.61	0.85	0.98	0.99	1.02	0.82
					24.0	1.5d	유	30.1	39.2	35.5	0.78	1.08	1.25	1.26	1.31	1.04
						2.5d	유	46.5	23.5	34.8	0.69	1.02	1.05	1.04	1.04	0.88
400	D	A	450	0.6	6.0	1.5d	무	37.8	34.2	34.1	0.68	1.00	1.03	1.08	0.92	0.77
						2.5d	유	17.6	13.3	15.1	0.46	0.64	0.74	0.73	0.81	0.61
					12.0	1.5d	유	22.2	20.6	21.2	0.65	0.90	1.04	1.03	1.13	0.85
200	D	A	210	0.3	12.0	1.5d	무	20.5	18.1	19.3	0.59	0.82	0.95	0.96	1.00	0.71
						2.5d	유	19.3	17.8	18.6	0.57	0.79	0.92	0.93	0.96	0.68
					24.0	1.5d	유	32.4	15.1	17.4	0.53	0.69	0.74	0.73	0.73	0.53
						2.5d	유	17.6	26.6	20.3	0.56	0.80	0.86	0.89	0.77	0.54
200	D	B	210	0.6	6.0	1.5d	무	33.7	34.5	33.0	0.92	1.31	1.40	1.45	1.25	0.88
						2.5d	유	33.7	34.5	33.0	0.92	1.31	1.40	1.45	1.25	0.88
					12.0	2.5d	유	33.7	34.5	33.0	0.92	1.31	1.40	1.45	1.25	0.88

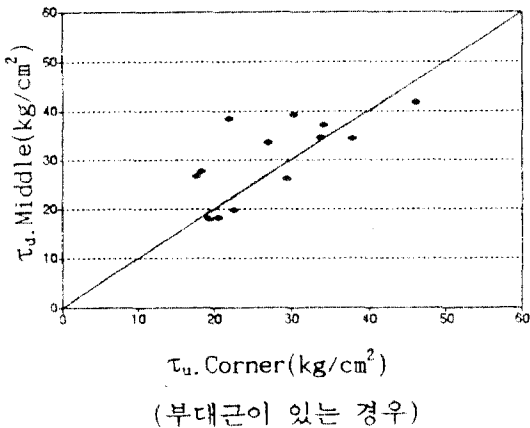
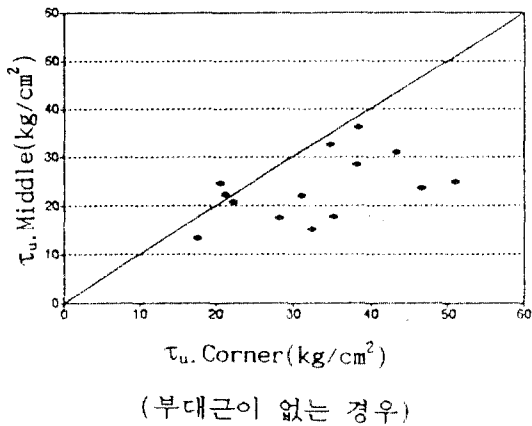
400-T-0.3
 ○ 황보강근비(0.3, 0.6%)
 △ 주근의 이형형상(T: 직교마디, D: 경사마디)
 □ 예상콘크리트압축강도
 τ_{u.1} : Corner bar의 최대부착 응력도
 τ_{u.2} : Middle bar의 최대부착 응력도
 τ_{u.av} : 전 주근 평균부착응력도 최대치

공식 1. O, J, B τ_{u.CAL} = (1.2 + 3 × C/d_b + 50d_w/L + A_{1t} × f_{yt} / (35.2 × S × d_b)) × 0.265 √(f'c)
 공식 2. J, W, G τ_{u.CAL} = 1/4 (C × √(f'c)) / (0.105d_w - 0.0017L) + 0.573d_w × f_{yt}
 공식 3. 森田, 藤井 τ_{u.CAL} = ((0.307b₁ - 0.427 + 24.9 × K × A_{st} / (s × N_t × d_b)) × √(f'c)) × 1.22
 공식 4. AIJ τ_{u.CAL} = (0.4b₁ - 0.5 + ((20/N_t + 5N₁/N_t + 15N₂/N_t) × P' × w × b / d_b) × √(f'c)
 공식 5. 角, 山田 τ_{u.CAL} = τ_{co} + τ_{st} + τ_{st} × τ<sub>cm} = 1.22(0.307 × (b - N_t × d_b) / (N_t × d_b) + 0.427) × √(f'c)
 공식 6. 青山, 前田 τ_{u.CAL} = (0.85(n₁ × A_w × j_d) / (S × d_b)) × √(f'c) τ_{st} = (7.4(n₂ × A_w × j_d) / (S × b_w)) × √(f'c)
 τ_{u.CAL} = (0.375b₁ + 0.521) × √(f'c) + (1.12 + 0.98 × n / N) × b × P_w / (N × j_t) × 10⁴</sub>

4.2 최대부착할렬강도와 황보강근 효과
 황보강근비 0.3%, 0.6% 범위에서 부대근 유무가 부착할렬강도에 미치는 영향을 검토하였다. <그림.9>와 같이 부대근의 유무에 따라 Middle Bar와 Corner Bar는 내력의 차이를 나타내는데, 부대근이 없는 경우 황보강근이 직접 걸리지 않은 Middle Bar는 Corner Bar에 비하여 부착내력이 저하하여 부재의 최대부착할렬강도 또한 저하하나, 부대근이 배근된 경우 Middle Bar는 Corner Bar에 비하여 부착내력이 상승하거나 동등한 내력을 나타내 부재의 최대부착할렬강도의 상승을 가져온다.



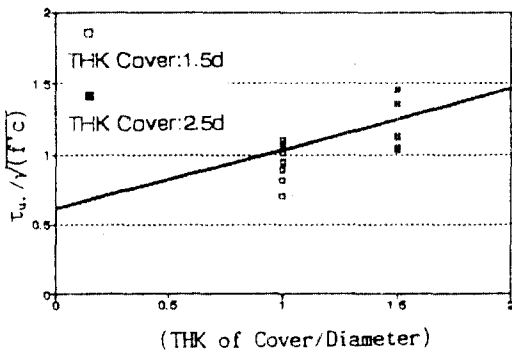
<그림.8> 최대부착할렬강도와 황보강근량 관계



<그림.9> Corner Bar와 Middle Bar의 비교

4.3 부착할렬강도와 피복두께

밀면피복두께를 1.5d와 2.5d로 하여 피복두께가 부착할렬강도에 미치는 영향을 검토하였다.

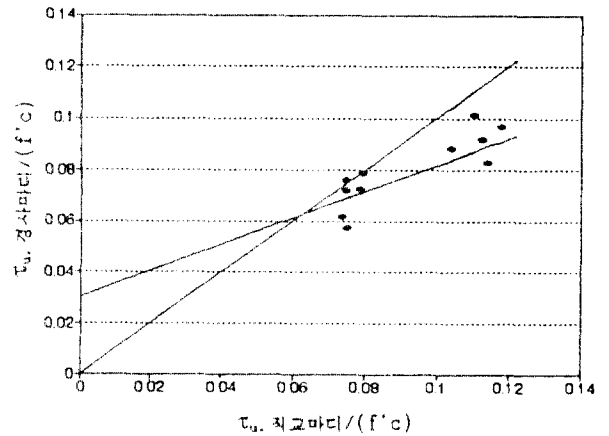


<그림.10> 최대부착할렬강도와 피복두께 관계

밀면피복두께가 2.5d인 시험체는 τ_{u-Slip} 강성이 높고 종국상태에서 밀면의 균열도 적으며, 최대부착할렬강도를 $\sqrt{f'c}$ 로 나누어 무차원 시킨 값은 철근직경에 대한 피복두께비 (Cover/Diameter)가 증가함에 따라 선형적인 증가를 보인다. 충분히 피복된 2.5d 시험체는 1.5d에 비하여 약10%의 내력상승을 보인다.

4.4 최대부착할렬강도와 철근의 이형형상

마디의 각도가 90°, 45°인 두 종류의 철근을 사용하여 동일한 조건에서 실험을 행하였다.

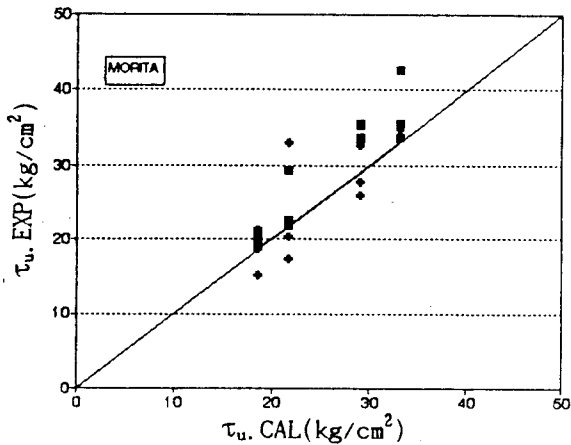


<그림.11> 철근의 이형형상에 따른 내력 비교

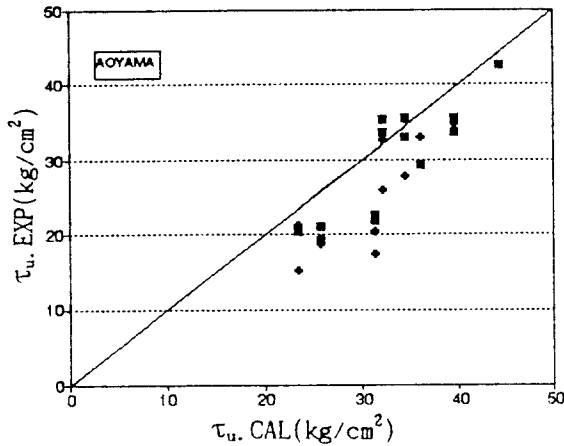
<그림.11>은 이형철근의 마디가 부착할렬강도에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 시험에 사용한 두 종류 철근은 ASTM-A615 규정에 만족하는 것으로 미끄럼에 전단으로 저항하는 면적 (Shearing Area=S)과 지압으로 저항하는 면적 (Bearing Area=B)과의 비 ($r=S/B$)가 작을수록 부착할렬강도가 증가되는 것으로 알려져 있는데 역시 r값이 상대적으로 큰 경사마디 시험체의 부착할렬강도가 저하한다. 즉 마디의 각도가 경사지게 되면, 부착성능의 저하를 가져오게 됨을 알수있다.

4.5 실험결과와 기존 제안식과 비교

본 실험결과는 기존의 제안식과 유사한 경향을 나타낸다. 부대근 효과가 고려되지 않은 森田, 藤井식은 최대부착할렬강도를 과소평가하는 경향이 있으며, 부대근 효과가 고려된 青山, 前田식은 경사마디인 시험체를 제외하고는 양호한 적합을 나타낸다.



<森田(MORITA)式과의 비교>



<青山(AOYAMA)式과의 비교>

<그림.12> 제안식과 적합성 검토

5. 결론

콘크리트 압축강도 200-400kg/cm² 범위에서 횡보강근비, 배근형상, 피복두께, 주근의 이형형상을 매개변수로 수행한 실험에서 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 최대부착할렬강도는 콘크리트 압축강도의 제곱근에 근사하여 비례한다.
2. 부착구간에 배치된 횡보강근은 최대부착할렬강도의 상승과 최대내력 이후 내력보존에 유효하다.

3. 피복두께가 2.5d인 시험체는 1.5d인 시험체에 비하여 약 10% 정도의 부착내력이 증진된다.

4. 주근 이형형상에 따라 부착할렬강도의 차이가 발생하며 경사마디 철근을 사용한 시험체는 직교마디를 사용한 시험체에 비하여 약 15% 정도의 부착내력이 저하한다.

감사의 글

본 실험연구는 아산재단의 연구비 지원에 의해 수행된 것으로 재단의 지원에 감사드립니다.

* 참고문헌

1. 정 현수, "고강도 철근콘크리트구조", 태림문화사, 1989
2. 최 완철, 정 일영, "부착할렬파괴에 대한 콘크리트의 횡구속에 관한 연구", 한국콘크리트학회논문집, 제4권1호(통권 제6집), 1992
3. C.O. ORANGUN, et al, "A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices", ACI Journal, Proc. Mar. 1977
4. R. Jimenez, et al, "Bond and Dowel Capacities of Reinforced Concrete" ACI Journal, Proc. Jan. 1979
5. 角 徹三外 2人, "鐵筋コンクリート部材の附着割裂強度算定式提案", 日本建築學會構造系論文報告集, 1990
6. 青山 博之外 2人, "鐵筋コンクリート部材の附着割裂強度算定式提案", 構造工學論文集, Vol. 38B., 1992
7. E.L. Kemp et al, "Investigation of the Parameter Influencing Bond Cracking", ACI Journal, Proc. Jan. 1979
8. 藤井 榮, 森田 司郎, "異形鐵筋の附着割裂強度に關する研究", 日本建築學會論文報告集, 第324號, 1983