

R/C 조인트에 매입된 이형철근과 콘크리트 사이의 부착에 관한 실험적 연구

— 콘크리트 압축강도와 보강철근의 영향에 관하여 —

최 기 봉

<경원대학교 토목공학과 조교수>

I. 서 론

지진과 같은 치명적인 하중상태하에서 R/C 구조물의 안전성을 확보하기 위해서는 구조물의 외측 보-기둥 접합부와 같은 위험영역에 배근된 보강철근의 활동을 방지하는 것이 중요하다(그림 1)¹. 조인트의 콘파인드 코어(confined core)에서의 부착특성은 보-기둥 접합부에서 보강근의 정착을 설계하는데 도움을 준다.^{2~4}

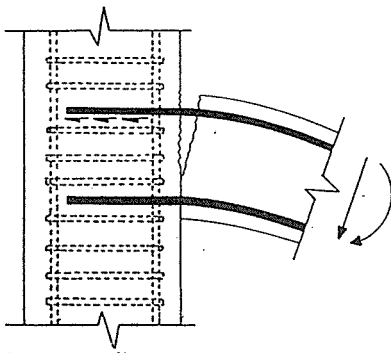


그림 1. 외측조인트에 묻힌 보-보강철근의 정착

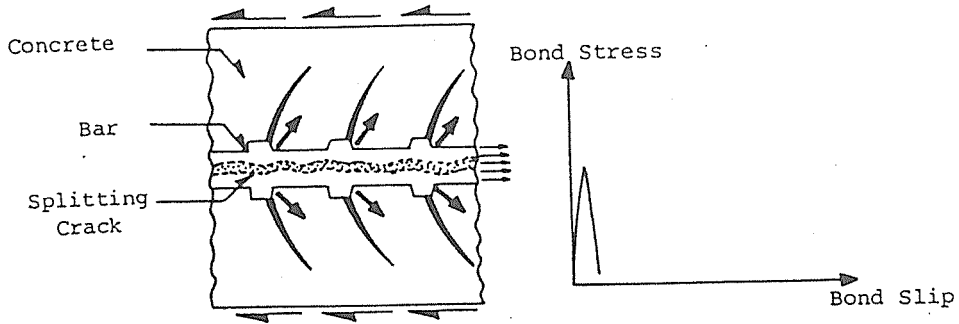
본 연구는 R/C 조인트에서 이형철근의 국부부착특성에 대한 횡보강철근의 간격 및 콘

크리트 압축강도의 영향에 대해 고려하였다. 조인트에서의 콘크리트의 콘파인먼트(confinement)는 촘촘히 배근된 보강철근에 의해 이루어지며 조인트의 인성을 개선하기 위해 필수적인 것으로 사료되므로 본 연구에서는 콘파인먼트의 측정을 위해 횡보강철근의 간격이 채택되어 국부부착거동에 관한 영향을 평가하였다. 또한, 본 실험연구는 고층건물의 저층부에서 고강도 콘크리트의 사용이 증가하는 추세에 있으므로 실제조인트 상태를 시뮬레이션하여 국부부착거동에 관한 콘크리트 압축강도의 영향에 대해 고려하였다.

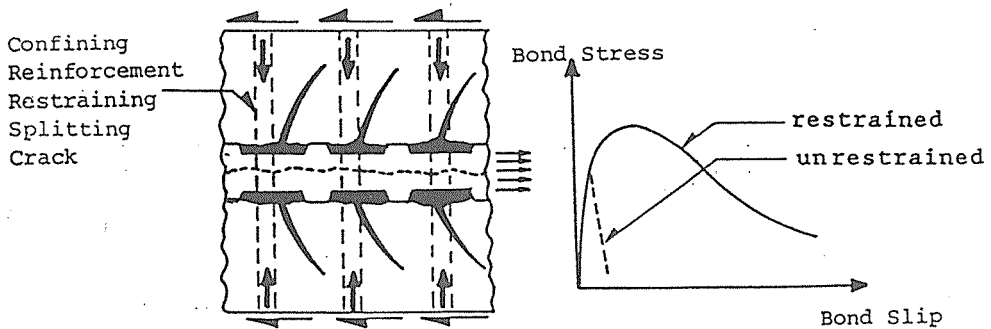
II. 본 론

1. 배경

부착응력은 이형철근의 경우 철근마디(lug)와 그 주변을 싸고 있는 콘크리트사이의 기계적 맞물림(mechanical interlocking)에 의해 대부분 발생한다. 콘크리트에 대한 철근마디의 작용은 상대적으로 낮은 부착응력하에서 경사균열(inclined crack)을 발생시킨다(그림 2a). 경사균열의 발생후에 철근의 응력은 압축경사면을 따라 콘크리트에 전달되며, 이 힘계의 방사성분(radial component)은 콘크리트



(a) 할렬균열(보강근이 없을 때)



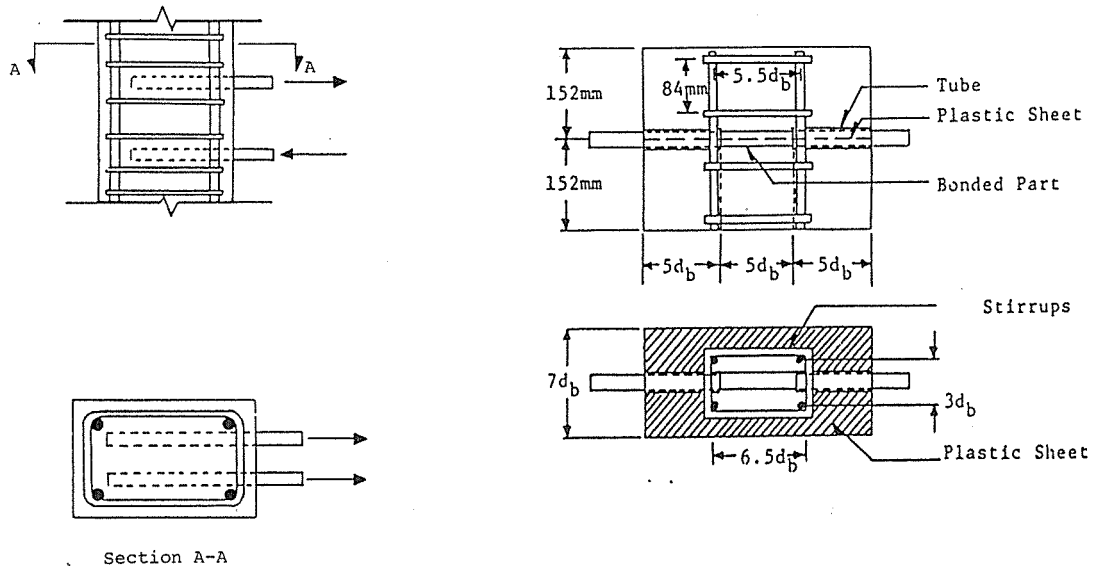
(b) 인발(보강근이 있을 때)

그림 2. 부착파괴의 형태

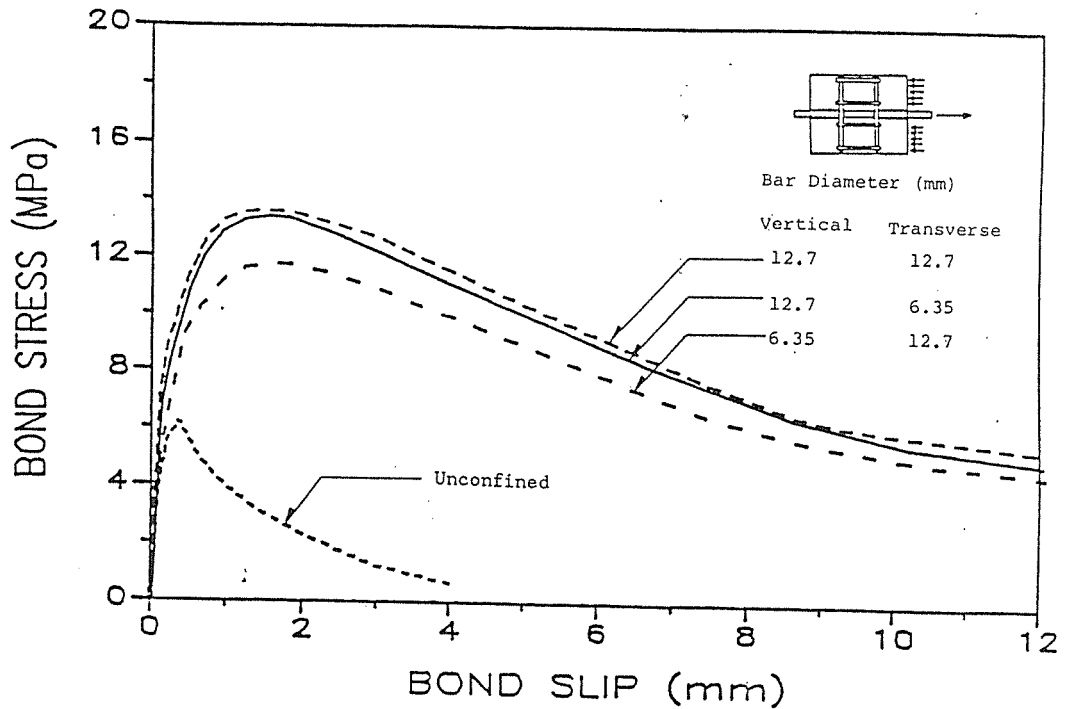
트 내부의 내압을 형성하여 할렬균열(splitting crack)을 유도한다. 이를 방지하기 위해 콘크리트에 삽입하는 철근의 보강은 이러한 균열의 진행 뿐만 아니라 철근인발(steel pull-out)에 의한 극한 파괴(ultimate failure)를 제어할 수 있다(그림 2b).

보-기둥 접합부에 있어서 횡 및 종방향의 보강철근은 할렬균열을 방지할 수 있다(그림 3a). 참고문헌(5)는 보-기둥 접합부에서의 국부부착상태를 나타내기 위해 부분적으로 이형철근이 부착된 콘크리트 블록 시험체를 사용했다(그림 3b). 이 시험체들의 실험 결과를 살펴볼 때 보강철근이 배근된 시험체들은 철

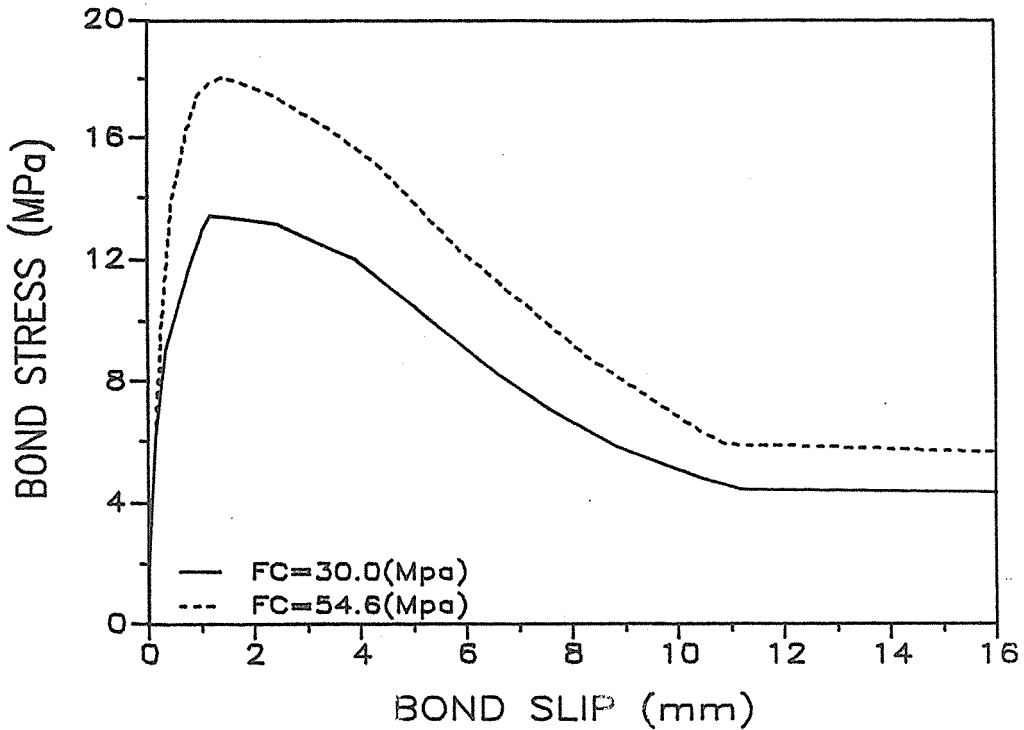
근의 인발에 의한 국부부착거동(local bond behavior)을 나타내어 보강되지 않은 시험체에서의 할렬균열에 의한 파괴와 비교할 때 아주 다르다는 것을 알 수 있다. 하지만 할렬균열을 방지하기 위해 요구되는 보강철근의 최소단면 이상에서의 증가는 국부부착응력-활동 특성을 현저히 증가시키지 않는다.(그림 4a). 참고문헌(5)에 발표된 실험결과는 횡방향철근 간격에 대한 중요성을 등외시한채 단지 횡방향철근단면의 효과만을 고려하였다. 콘크리트 보강재의 상태를 결정함에 있어서 횡방향 철근간격을 함께 고찰하는 것은 각각 다른 간격의 횡방향철근으로 보강되어진 접합



(a) (b)
 그림 3. (a) 실제 조인트 상태 및 (b) 참고문헌(5)의 실험모델



(a) 보강철근의 단면적
 그림 4. 국부부착파괴에 대한 (a) 보강철근 단면적 및 (b) 콘크리트 압축 강도의 영향



(b) 콘크리트 압축강도

그림 4. 국부부착파괴에 대한 (a) 보강철근의 단면적 및 (b) 콘크리트 압축 강도의 영향

부의 국부부착거동을 평가하는데 매우 중요하다.

또한, 참고문헌(5)는 보강된 콘크리트에 있어서의 국부부착거동에 대한 콘크리트 압축 강도의 영향에 대한 실험을 함에 있어서 극히 제한된 소수의 실험결과에 의존하여 콘크리트 압축강도가 높을수록 부착강성(bond stiffness), 강도 및 정점 후의 부착저항(post-peak bond resistance)이 더 높게 나타난다고 발표하였다(그림 4b). 그러나, 이 결론은 단지 두개의 수준(level)에 대한 압축강도에 바탕을 두고 있을 따름이다. 부착특성에 대한 콘크리트 강도의 영향을 정확히 판정하기 위해서는 다양한 압축강도를 갖는 더 많은 실험을 통해서만이 가능하다.

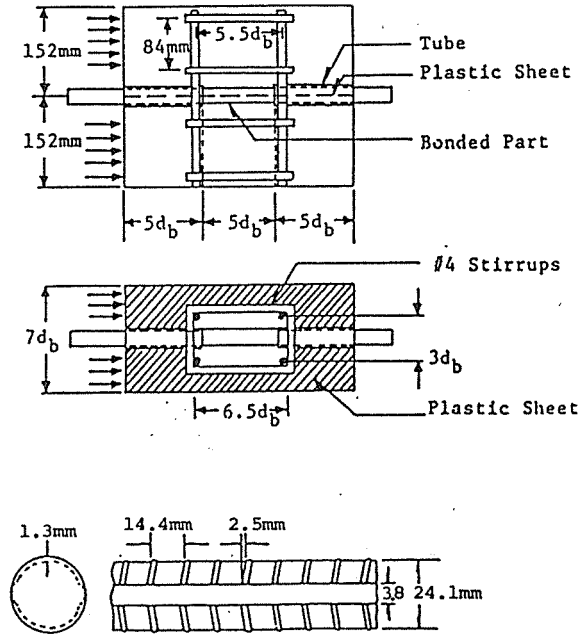
본 연구에서는 보-기둥 접합부의 상태에서 콘크리트의 강도와 횡보강철근의 보강효과에 따른 이형철근의 부착거동에 대해 다각적인

실험결과를 수집 및 정리하여 이에 대한 실험식을 공식화하는 것을 궁극적인 목적으로 삼고 있다.

2. 실험계획

본 실험에서 제작된 시험체는 콘크리트 블럭 내부에 부분적으로 부착된 D25 철근을 사용하였다(그림 5a). 철근의 부착길이는 실험 data의 분산을 충분히 줄일 수 있도록 길며 균일한 부착응력과 슬립을 산출하도록 짧은 최적길이(5db)를 사용하였다(5). 시험체에는 정착철근과 같은 높이의 면에 인접하고 있는 철근에 의해 생성될 수 있는 할렬균열을 인위적으로 만들기 위해 플라스틱 슈트를 삽입하였고, 철근직경의 4배인 철근 순간격(bar clear spacing)을 갖는 정착철근의 상태를 만들었다.

본 연구에서는 국부부착거동에 관한 콘크리



(a) 시험공시체

그림 5. (a) 시험공시체 및 (b) 실험장치

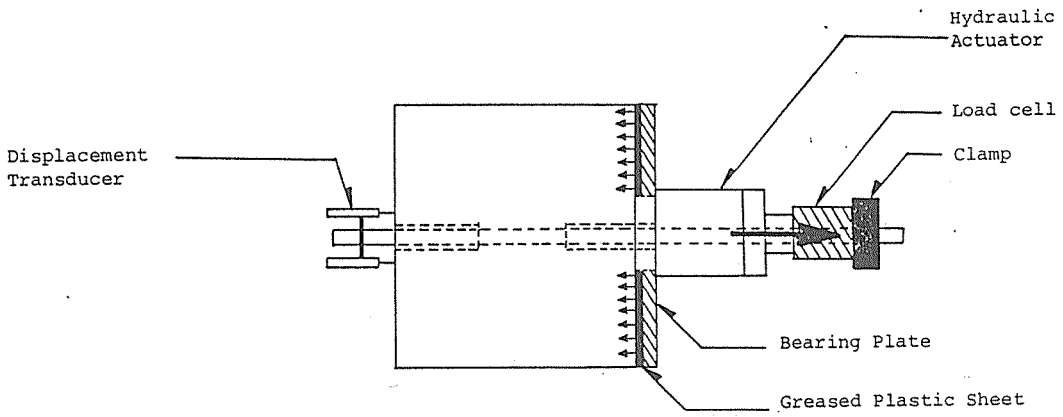
트의 압축강도 및 컨파인먼트의 영향에 관한 평가에 목표를 두고 있으므로 표준시험체의 기준값을 변경하여 이 두 변수 중의 하나를 평가하기 위해 실험되었다. 실험된 시험체의 변수가 표1에 나타나 있으며 이 표에서 주어진 변수를 제외한 모든 변수는 그림 5a에 나타난 표준값을 갖는다.

표 1. 시험체의 변수와 갯수

변 수	시험체 의 갯 수	부착철근 의 종류	횡방향보 강철근의 갯수	축방향 철근의 갯 수	콘크리트 압축강도 (MPa)
보강철근	2	D25	2-D13	4-D25	27
	2	D25	6-D13	4-D25	27
	2	D25	4-D25	27
	2	D25	27
콘크리트 압축강도	2	D25	4-D13	4-D25	24
	2	D25	4-D13	4-D25	29
	2	D25	4-D13	4-D25	34
	2	D25	4-D13	4-D25	54

철근의 항복강도는 414MPa(60ksi)이며 표준시험체에 사용된 정착철근의 직경은 25mm(1.0in)이다. 그림 5a는 본 실험에서 사용한 정착철근의 마디모양(deformation)을 보여준다. 표준시험체에서 사용된 콘크리트의 압축강도는 약 30MPa(4350psi), 최대골재 크기는 19mm(0.75in)이며 콘크리트 타설방향은 정착철근에 수직하게 하였다. 시험체들은 나무로 제작된 거푸집 안에서 7일 동안 습윤양생된 후 탈형하여 실험실 안에서 28일 후의 실험시까지 공기중에서 양생되었다.

매입길이를 따라 부착응력과 활동이 균일하다는 가정(5)하에 인발하중이 유압식 actuator를 사용해 정착철근의 한쪽 끝에 주어지고 다른쪽 끝에서 활동을 측정하였다(그림 5b). 본 실험에서의 하중은 변위제어 및 정적(quasi-static)으로 수행되었으며 로드셀 1개 및 LVDT 2개가 각각 하중 및 변위를 측정하기 위해 사용되었고 허용오차는 1%였다.



(b) 실험장치
그림 5. (a) 시험공시체 및 (b) 실험장치

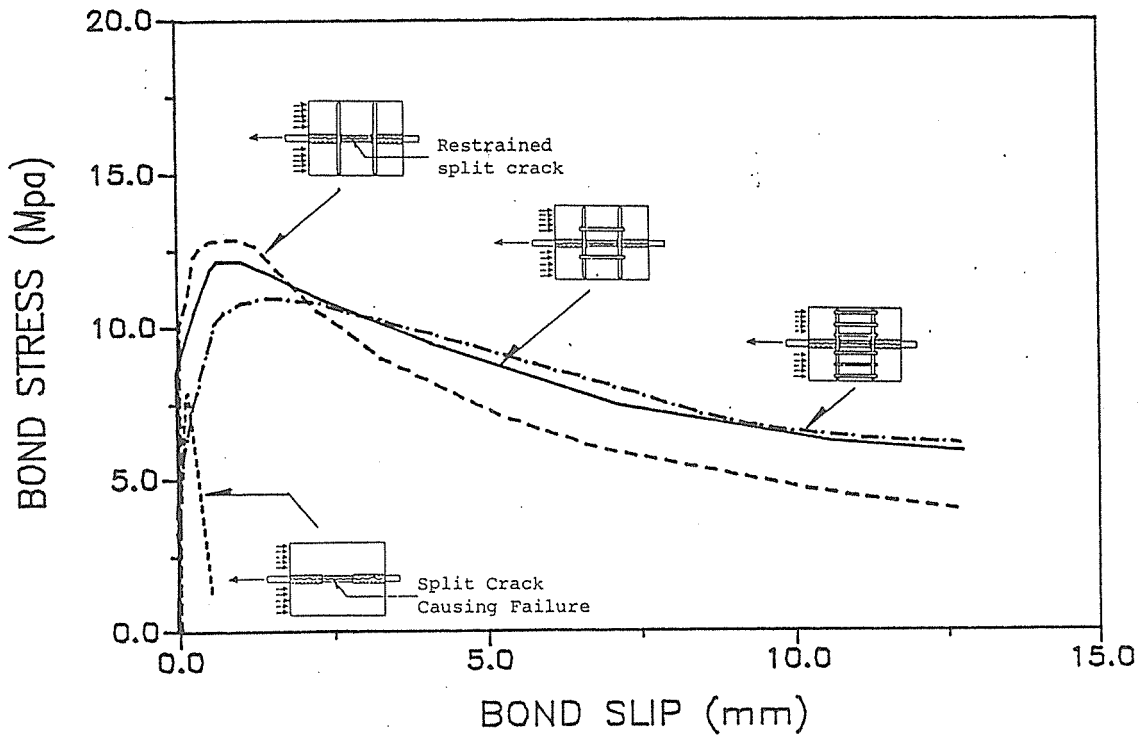


그림 6. 이형철근의 국부부착응력 - 활동 상관관계에 관한 보강철근의 영향

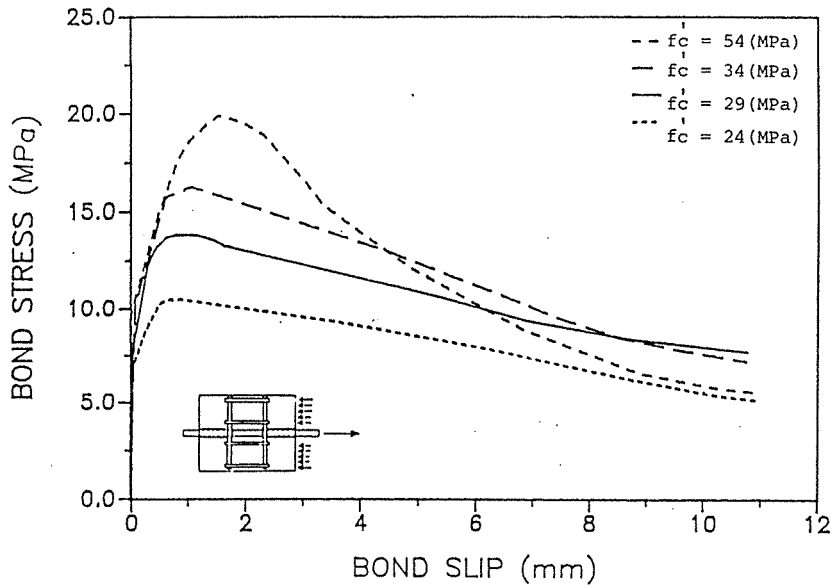


그림 7. 보강된 콘크리트 안에 묻힌 이형철근의 국부부착응력-활동특성에 대한 콘크리트 압축강도의 영향

3. 실험결과

3. 1 횡보강철근의 효과

그림 6은 횡보강철근의 간격이 서로 다른 시험체의 부착응력-활동 상관관계를 보여준다. 이 그림에서의 각각의 곡선은 시험체 2개의 실험결과를 평균한 값을 나타낸다. 보강철근이 없는 시험체의 파괴는 할렬균열에 기인하며 취성이 강한 경향이 있다. 종방향철근은 할렬균열의 확장을 제어하며 파괴형태(failure mode)를 인발파괴로 전환시키는 역할을 한다. 종방향철근이 있는 시험체는 횡방향철근의 유무에 불구하고 부착응력-활동 특성에 있어서 상이점이 거의 없다. 이 시험체들에 있어서(실제 보-기둥 접합부의 경우에서처럼) 할렬균열이 횡방향철근의 면에 평행하게 발생하여 이들 횡보강철근은 할렬균열을 제어

할 수 없으므로 국부부착거동에 관한 횡방향 보강철근의 영향이 무시될 수 있다고 사료된다. 하나 실제 조인트에 있어서 횡보강철근은 조인트지역의 전단균열을 방지하는데 효과적이어서 부착능력을 위해 더 나은 환경을 제공한다는 사실에 유념하여야 한다.

3. 2 콘크리트 압축강도의 효과

각기 다른 콘크리트 압축강도를 갖는 컨파인드 시험체의 국부부착응력-활동 상관관계가 그림 7에 나타나 있으며 각각의 곡선은 동일한 시험체를 실험하여 얻은 두개의 비슷한 곡선의 평균값이다. 그림 7로부터 국부부착강도는 콘크리트 압축강도가 증가함에 따라 증가함을 알 수 있으며 부착응력-활동 상관관계의 다른 응력-활동 특성값들이 콘크리트 강도의 변화에 의해 지속적으로 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

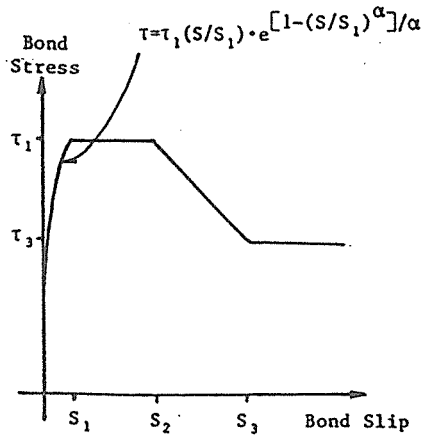


그림 8. 국부부착응력-활동모델의 일반적 형태

3. 3 국부부착거동의 실험모델 개발

그림 8은 해석적으로 실험결과를 재산출할

수 있는 국부부착응력-활동 상관관계의 일반적인 형태를 보여준다. 이 그림 속의 곡선은 만족된 오르막부분, 부착응력 최고점에서의 평평한 부분, 선형의 내리막부분 및 마찰에 의한 부착력을 나타내는 평평한 꼬리부분으로 구성되어 있다. 2개의 부착응력 특성값(τ_1, τ_3) 및 3개의 부착활동 특성값(s_1, s_2, s_3)이 제안된 해석모델에 의해 부착응력-활동 상관관계를 정의하기 위해 실험 결과를 바탕으로 유도되었다. 본 연구 및 참고문헌(6)의 결과에서 볼때 부착활동 특성값 s_1, s_2, s_3 뿐만아니라 마찰력에 의한 부착응력 τ_3 는 철근직경, 횡보강철근 및 콘크리트 압축강도에 큰 영향을 미치지 않으나 이들 특성값들과는 달리 극한부착응력(τ_1)은 철근직경 및 콘크리트 압축강도에 따라 변화한다. 극한부착응력과 콘크리트 압축강도 사이의 선형상관관계가 회귀분석법을 사용하여 유도되었으며(그림 9) 이로부터

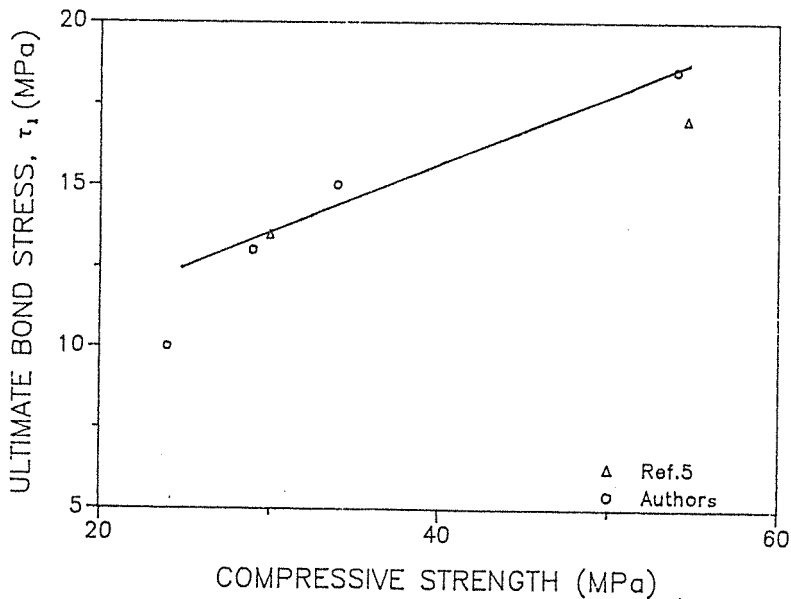


그림 9. 국부부착강도에 대한 콘크리트 압축강도의 영향

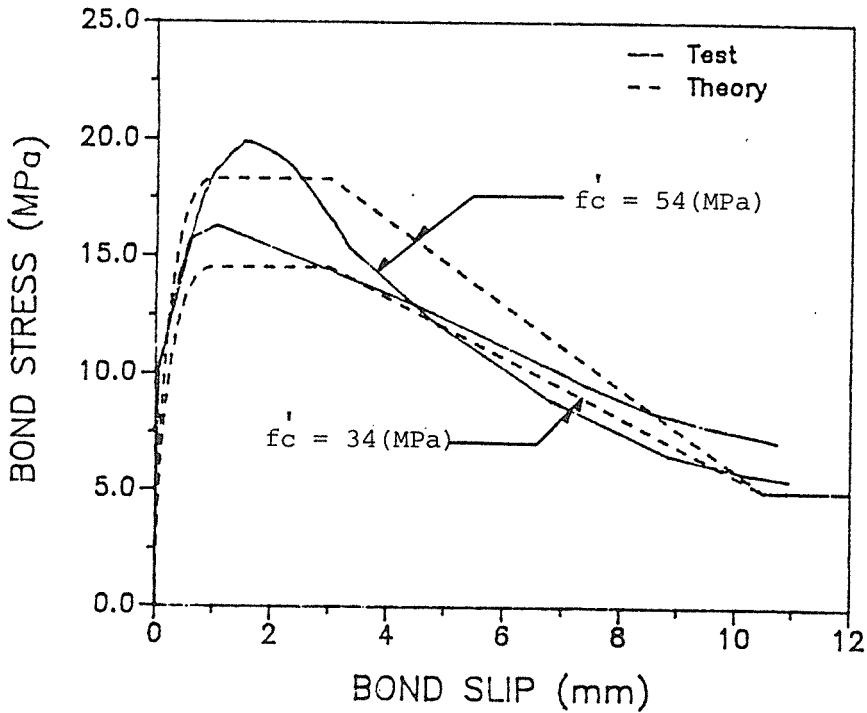


그림 10. 부착응력-활동 상관관계에 대한 실험 및 해석적 비교

극한국부부착강도는 콘크리트 압축강도의 제곱근에 비례하여 증가함을 알 수 있다. 표 2에 나타난 특성값들은 이 연구에서 생성된 실험결과 및 참고문헌(6)에서 발표된 실험결과를 곡선의 적합에 의한 최소자승법을 사용하여 구하였다. 그림 10은 제안된 국부부착모델과 전형적인 실험결과를 비교한 것인데 제안된 모델이 거의 정확하게 실험결과와 일치하는 것을 볼 수 있다.

표 2. 국부부착 응력 및 활동 특성값에 대한 실험값 및 실험식

τ_1 (MPa)	τ_3 (MPa)	s_1 (mm)	s_2 (mm)	s_3 (mm)
$(20 - db/4) \cdot \sqrt{f'_c/30}$	5.0	1.0	3.0	10.5

III. 결 론

이형철근의 국부부착응력-활동 특성에 대

한 횡보강근의 컨파인먼트 및 콘크리트 압축강도의 영향에 대한 보-기둥 접합부에서의 보-보강철근의 국부부착상태를 시뮬레이션하여 실험을 통해 평가하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 횡보강근에 의한 콘크리트의 컨파인먼트는 종방향 기둥철근이 부착할렬균열의 확장을 충분히 억제하는 조인트 상태에서 이형철근의 국부부착거동에 직접적인 영향을 주지 않는다.
2. 극한부착강도는 거의 콘크리트 압축강도의 제곱근에 비례하여 증가하며 국부부착응력-활동 상관관계에서 부착응력 및 활동에 대한 다른 특성값들은 콘크리트 압축강도의 변화에 크게 영향을 받지 않는다.

또한, 압축강도 및 컨파인드 콘크리트 안의 철근직경의 변화에 따른 이형철근의 국부부착응력-활동 상관관계를 예측할 수 있는 실험모델이 개발되었다.

감사의 글

본 논문은 한국과학재단의 연구비지원에 의해 연구되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. Filippou, F. C.; Popov, E. P.; and Bertero, V. V., "Effects of Bond Deterioration on Hysteretic behavior of Reinforced Concrete Joints," Report No. UCB/EERC-83/19, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Aug. 1983, 184pp.
2. Viwathanatepa, S.; Popov, E. P.; and Bertero V. V., "Effects of Generalized Loadings on Bond of Reinforcing Bars Embedded in Confined Concrete Blocks," Report No. UCB/EERC-79/22, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Aug. 1970, 293pp.
3. Ciampi, V.; Eligehausen, R.; Bertero, V. V.; and Popov, E. P., "Analytical Model for Concrete Anchorages of Reinforcing bars under Generalized Excitations," Report No. UCB/EERC-83/23, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Nov. 1982, 103pp.
4. Kienuwa, O., "Cyclic Dowel Action and Pull-Out Behavior of Beam Reinforcement at Reinforced Concrete Joints," PhD dissertation, Dept. of Civil Engineering, Michigan State University, E. Lansing, Dec. 1985, 208pp.
5. Eligehausen, R.; Popov, E. P.; and Bertero, V. V., "Local Bond Stress-Slip Relationship of Deformed bars Under Generalized Excitations," Report No. UCB/EERC-83/23, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Oct. 1983, 162pp.
6. Soroushian, Parviz; and Choi, Ki-Bong, "Local Bond of Deformed Bars with Different Diameters in Confined Concrete," ACI Structural Journal, V. 86, No. 2, Mar.-Apr. 1989, pp. 217-222.