고강도 철근콘크리트 보의 부착특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Bond Property of Reinforced High Strength Concrete Beam

조 상 섭* 김 상 우** 이 시 학*** 김 용 부****
Cho, Sang Seop Kim, Sang Woo Lee, Si Hak Kim, Yong Boo

ABSTRACT

The objective of this research is to examine whether the determination of development length for high strength concrete by the ACI Building Code 318-95 could be applied and the upper limit of compressive strength, 700kg/cm^2 is suitable.

Eight beam specimens were tested. Each beam was designed to include two bars in tension, spliced at the center of the span. The beams were loaded in positive bending with the splice in a constant moment region. The variables used here were compressive strength and the space of stirrup within splice length. The results indicated that for $(c+K_{tr})/d_b$ of the range of 1.5-2.0 compressive strength up to 800kg/cm^2 is acceptable with regard to bond strength and ductility, thus the limit of compressive strength in ACI 318-95 may be extended to 800kg/cm^2.

1. 서론

고강도 콘크리트 개발에 따라 부착성능에 대하여 많은 연구가 있어왔다. 그러나 기존의 설계식과 부착강도 제안식은 압축강도 420kg/cm^{2}범위의 실험결과에 근거하고 있어 이를 초과하는 고강도 콘크리트에 대해서는 여러 가지 압축강도의 제한치를 두고 있다.[1] ACI 318-95 규준의 정착 및 이음길이 설계식은 압축강도 700kgf/cm^{2}까지만 적용하고 그 이상 강도는 무시하고 있으나 이 제한을 초과하여 적용하는 경우, 부착강도에서는 만족하지만 부착파괴시 매우 취성적인 거동이 발생하는 것으로 알려져 있다. 최근의 연구결과들은 고강도 콘크리트 부재의 부착강도 뿐만 아니라 부착거동에서 요구되는 연성에 대하여 연구의 필요성을 강조하고 있다.[4,5] 이것은 부착파괴를 유도하기 위해 규준에서 요구하는 매립길이보다 짧게 설계된 실험체를 통해 얻어진 결과이다.

본 논문에서는 공장 생산되는 철근길이의 제한으로 구조부재에서 필연적으로 발생하는 철근 이음부의 부착특성을 연구대상으로 한다. 연구의 목적은 철근 겹이음(ACI규준에 의해 설계함, 압축강도제한 무시)을 가진 보 부재를 제작하여 콘크리트 압축강도와 스터럽 간격에 따른 부착성능을 알아보고, 고강도 콘크리트 사용시 규준에서 제시한 압축강도 제한의 타당성을 검토하고자 한다.

* 정회원, 성균관대학교 건축공학과 석사과정
** 정회원, 성균관대학교 건축공학과 박사과정
*** 정회원, 수원과학대학교 건축학과 조교수
**** 정회원, 성균관대학교 건축공학과 명예교수

2. 실험

2.1 재료실험

본 실험에서는 1종 보통 포틀랜드 시멘트와 최대직경 13mm의 화강암 쇄석을 굵은 골재로 사용하였고, 잔골재는 강모래를 사용하였다. 고강도 콘크리트를 제조하기 위해 실리카흄과 시공성 저하를 막고 유동성을 확보하기 위하여 고성능 감수제를 사용하였다. 고강도 콘크리트의 배합설계표는 표 1에 나타내었다. 본 실험에 사용된 공시체는 ϕ 10×20cm 실린더형 몰드로 제작하였다. 압축강도와 인장강도(쪼갬 강도), 탄성계수는 KS F 2405 규정에 의하여 측정하였으며 고강도 콘크리트의 역학적 특성은 표 2에 나타내었다. 철근은 SD40 (이형철근)이며 철근의 인장강도 실험은 KS B 0802 규정에 의하여 실시하였다. 실험결과는 표 3에 나타내었다.

2.2 실험계획 및 실시

실험변수는 압축강도와 스터럽 간격이고, 보는 총 8개를 제작하였다. D19를 주근으로 사용하였으며 압축강도 600, 800kg/cm^{2}을 대상으로 ACI 318-95 규준에 의해 $(c+K_{tr})/d_b$=2.0일 때 B급 이음길이를 가지는 보 600S15와 800S15를 제작하였다. 이때 피복두께 c는 $1d_b$로 모든 실험체에서 동일하게 하였고, 동일 강도내에서는 이 이음길이를 사용하여 스터럽 간격만을 조절하였다. 횡보강 지수 K_{tr}은 스터럽 간격의 영향을 나타낸다. 모든 보는 전단지간에서 전단파괴가 발생하지 않도록 보강하였으며 배근상세는 그림 1에 나타내었다. 하중재하형태는 2점가력으로 부착성능에 영향을 미치지 않도록 가력점 사이가 이음길이보다 길게 설계하였고, 보의 중앙에서 LVDT로 처짐을 측정하였다. 보의 설치 현황 및 가력방법은 그림 2에 나타내었다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 파괴형상

스터럽 없이 제작된 600N과 800N은 선명한 항복현상이 나타난 후 바로 취성적인 할열파괴로 이어졌다. 뚜렷하게 항복현상이 관찰된 것은 고강도 콘크리트의 가력단에서 나타나는 응력집중 현상에 의한 것으로 판단된다. 실험체 800S28은 휨 파괴 되었으나 이음길이 내의 밑면과 측면에 할열균열과 휨 균열이 풍부하게 발생하였다.

표 1 고강도 콘크리트 배합설계표

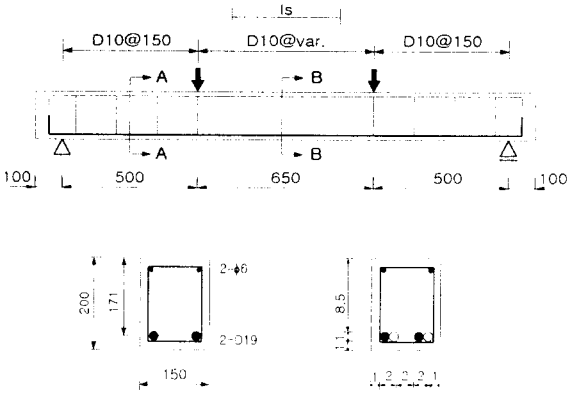
배합강도 (kg/cm^2)	물결합재비 W/(C+S)	잔골재율 (S/A)	단위 용적 중량(kg/m^3)				혼화재(%)	
			물	시멘트	모래	자갈	S.F제	S.P제
600	30	38	167	530	629	1026	5	4
800	27	38	169.3	570	629	1026	10	4

표 2 고강도 콘크리트의 역학적 특성

배합 강도 (kg/cm^2)	압축강도 (kg/cm^2)	인장강도 (kg/cm^2)	탄성계수 (kg/cm^2)	슬럼프 (cm)
600	583	35	3.79×10^5	24
800	802	44	3.65×10^5	23

표 3 철근의 역학적 특성

종류	항복강도 (kg/cm^2)	인장강도 (kg/cm^2)	연신율 (%)	탄성계수 (kg/cm^2)
D10	4140.8	6197.2	18.6	1.63×10^6
D19	4277.0	6271.8	17.8	1.77×10^6



(a)단면 A-A unit:mm (b)단면 B-B unit: d_b

그림 1 실험체 배근상세

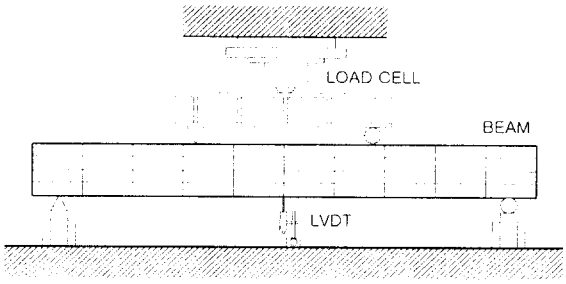


그림 2 실험체 설치현황

표 4 각 실험체 특성 및 실험결과

실험체 명*	압축강도 (kg/cm²)	$(c+K_{tr})/d_b$	l_s(cm)	$l_s/req.l_s$ (%)**	스터럽 간격(cm)	Δ_y(cm)	Δ_u(cm)	Δ_u/Δ_y	파괴 형상***
600N	583	1.0	44	65	-	6.0	7.9	1.3	Y, S
600S28		1.5		75	28	6.3	32.9	5.2	Y, C
600S15		2.0		100	15	6.6	36.3	5.5	Y, C
600S10		2.5		125	10	6.5	41.4	6.3	Y, C
800N	802	1.0	40	65	-	5.9	8.3	1.4	Y, S
800S28		1.5		75	28	7.1	31.9	4.5	Y, C
800S15		2.0		100	15	6.3	36.7	5.8	Y, C
800S10		2.5		125	10	7.0	48.4	6.9	Y, C

* S: 이음길이 내 스터럽 보강 N: 스터럽 보강 없음

** l_s : 실제 이음길이 $req.l_s$: ACI 318-95 규준에 의한 이음길이

*** Y: yielding S: splitting C: crushing

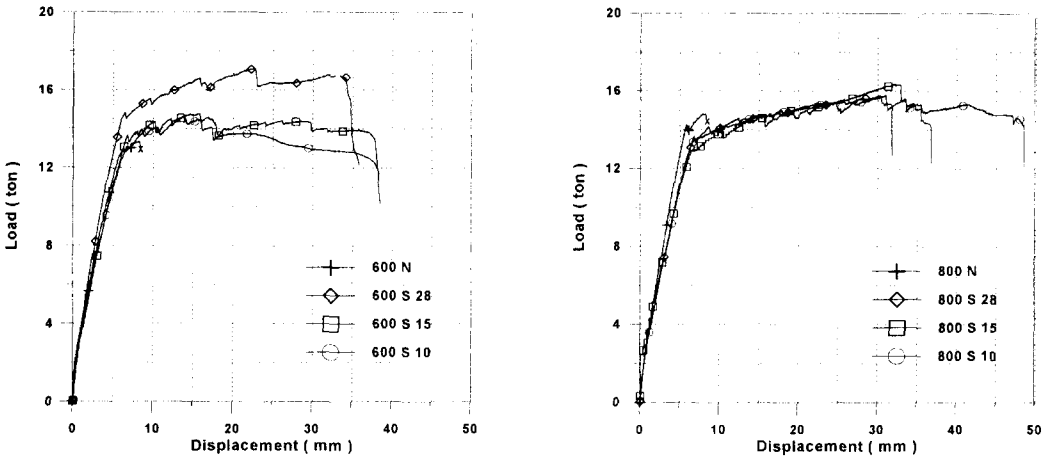
이것은 횡보강근에 의해 취성적인 할열파괴가 억제되고 이음길이 내의 응력 재분배가 발생한 것으로 판단된다.[2,3] 나머지 모든 실험체는 항복점을 지난 후 과소철근비를 갖는 보의 전형적인 연성파괴를 보였으며 이음길이 내에서는 휨 균열이 전혀 나타나지 않았다.

3.2 횡보강근의 효과

본 연구에서 부착강도와 겹이음 부재의 연성을 확보하는 방법으로 이음길이 내에 횡보강근을 사용하였다. 부착강도 측면에서 600N과 800N을 제외한 모든 보에서 부착파괴가 발생하지 않았다. 연성 측면에서는 $(c+K_{tr})/d_b$=1.5가 되도록 횡보강되고 ACI 규준에서 요구하는 이음길이의 75%를 갖는 600S28과 800S28에서 각각 변위 연성지수 5.2와 4.5를 얻었다. $(c+K_{tr})/d_b$=2.0이고 ACI 규준과 동일하게 설계된 600S15와 800S15에서는 5.5와 5.8을 얻었다. 동일한 이음길이를 가지나 횡보강 되지 않은 600N과 800N이 각각 1.3과 1.4인 것으로 보아 횡보강 철근이 부착에 의한 할열파괴를 효과적으로 방지하고 있다는 것을 알 수 있다.

3.3 ACI 318-95 규준에 대한 고찰

위의 실험결과로 보아, $(c+K_{tr})/d_b$ 값이 1.5에서 2.0사이인 경우 ACI 318-95의 이음길이 설계식은 부착강도와 연성면에서 압축강도 800kg/cm^{2}까지는 안전측이라고 판단된다. 압축강도 제한치 역시 800kg/cm^{2}까지 확장될 수 있다고 사료된다.



(a) f'_c = 600kg/cm^2 (b) f'_c = 800kg/cm^2

그림 3 하중-변위 곡선

4. 결론

고강도 콘크리트에 대한 기존의 연구는 부착파괴 거동과 강도를 알아보기 위해 ACI 요구 부착길이보다 짧게 한 실험체를 사용하였으며, 그 결과 압축강도 제한치에 접근할수록 부착파괴 양상은 취성적이 되므로 강도는 만족하지만 연성면에서는 압축강도 700kg/cm^{2}이 한계로 인정되는 추세다. 본 연구는 이 한계를 실험적으로 검증함으로써 다음과 같은 결론을 도출했다.

(1) ACI318-95 규준에 의한 이음길이 설계식은 $(c+K_{tr})/d_b$가 1.5에서 2.0 사이를 만족시킨다면 압축강도 800kg/cm^{2}까지 부착강도는 안전측이다.

(2) 연성면에서도 위의 조건을 만족하는 경우 800kg/cm^{2}까지의 범위에서는 일반강도 콘크리트와 비교해서 부족하지 않으며, 압축강도 제한치를 800kg/cm^{2}이상으로 수정하는 것이 가능하다고 사료된다.

참고문헌

1. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary (ACI318-95/ACI318R-95)," *American Concrete Institute*, Detroit. 1995.

2. Azizinamini, A., Stark, M., Roller, J. J. and Ghosh, S. K., "Bond Performance of Reinforcing Bars Embedded in High-Strength Concrete," *ACI Structural Journal*, Vol. 90, No. 5, 1993, pp. 554-561.

3. Esfahani, M. R., and Rangan, B. V., "Local Bond Strength of Reinforcing Bars in Normal Strength and High-Strength Concrete(HSC)," *ACI Structural Journal*, Vol. 95, No. 2, 1998, pp. 96-106.

4. Hamad, B. S. and Itani, M. S., "Bond Strength of Reinforcement in HPC: The Role of Silica Fume, Casting Position, and Superplasticizer Dosage," *ACI Materials Journal*, Vol. 95, No.5, 1998, pp. 499-511.

5. Hwang, S. J., Lee, Y. Y. and Lee, C. S., "Effect of Silica Fume on the Splice Strength of Deformed Bars of High-Performance Concrete," *ACI Structural Journal*, Vol. 91, No. 3, 1994, pp. 294-302.