

고강도 콘크리트 휨 부재의 철근 겹이음에 대한 연구

Lapped Splices in High-Strength Concrete Flexural Members

김 우* 김준성** 김대중** 손영현****
Kim, Woo Kim, Jun Seong Kim, Dae Joong Son, Young Hyun

Abstract

An experimental study was conducted to evaluate the bond performance of reinforcing bars embedded in high-strength concrete. Ten beam splice Specimens using concrete with compressive strength of 240kg/cm^2 and 640kg/cm^2 were tested. The effect of several variables on basic development length is discussed. The test results showed that the current trend in concrete specification of making the splice length longer to compensate for having smaller cover and spacing may not be an effective approach.

1. 서 론

최근 콘크리트 구조물의 대형화 장대화 추세에 따라 고강도 콘크리트의 사용이 증가하고 있는 반면, 고강도 콘크리트에 대한 연구는 재료적인 측면에서 상당히 강조되었고 구조적 측면에 대한 연구는 아직까지 활성화 되지 않은 상태이다. 그러나 고강도 콘크리트를 구조물에 적용하기 위해서는 크게 재료적인 측면과 구조적인 측면에서 아직까지 해결하지 못하고 있는 문제가 지대하다.

본 연구는 이미 재료적 측면에서 경제성 및 시공성이 국내의 현실에서 충분히 확인되었다고 판단되는 650kg/cm^2 의 압축강도를 갖는 고강도 콘크리트의 기초적 구조거동에 대한 연구로서, 휨부재의 철근 겹이음에 영향을 주는 콘크리트 압축강도변화, 철근 겹이음 길이 변화, 철근간격 변화, 전단철근의 유무에 따른 역학적 특성, 파괴형태 및 시방서에서 제시하는 기존의 규준을 고강도 콘크리트에서 적용가능성을 검토하고자 한 것이다.

* 정희원, 전남대 토목공학과 부교수, 공학박사

** 정희원, 전남대 토목공학과 박사과정

*** 정희원, 전남대 토목공학과 전임연구원, 공학박사

**** 정희원, 현대건설 기술연구소 연구원

2. 실험

본 연구에서는 고강도 콘크리트 구조물중 철근 겹이음에 영향을 주는 몇가지 주요인자들을 변수로 하여 고강도 및 저강도 콘크리트 시험체를 각 1조씩 제작하였으며, 콘크리트 압축강도 변화에 따른 구조적 거동을 1대1 직접 비교 하였다.

시험체는 ACI 318규준을 기준으로하여 설계하였다. 겹이음에 영향을 주는 요인들을 줄이기 위해 순철근간격이 $3D_b$ 의 경우를 제외한 모든시험체의 철근비는 동일하게 하였으며, 표 2.1과 같이 총 10개의 시험체를 제작하여 실험 하였다. 시험체 제작시 순수휨구간의 길이는 고강도 및 저강도에서 모두 동일하게 하였는데, 순수휨구간은 철근의 겹이음길이보다 길게하여 다른 변수가 영향을 미치지 않도록 하였다. 이 때 사용된 철근에 대한 물리적성질은 표 2.2에 나타냈으며, 콘크리트 배합표와 압축강도는 표 2.3과 같다.

재하(在荷)시 하중은 유압잭을 사용하여 가력하고 측정시 Load Cell과 전기적 변위계를 사용하였다.

표 2.1 시험체 제원

시험체	f_c [kg/cm ²]	보 폭 [cm]	보높이 [cm]	겹이음길이 [cm]	Description
BN1	246	20.3	36.8	No Splice	• Control Beam • No splice
BH1	641	20.3	36.8	No Splice	
BN2	246	20.3	36.8	90.7	• Basic Development Length
BH2	641	20.3	36.8	55.2	
BN3	246	20.3	36.8	65.0	• 2d _b Clear Spacing
BH3	641	20.3	36.8	39.0	
BN4	246	20.3	36.8	65.0	• 30% Less of Basic Development with Stirrup
BH4	641	20.3	36.8	39.0	
BN5	246	22.8	34	65.0	• 2d _b Clear Spacing
BH5	641	22.8	34	39.0	

표 2.2 콘크리트 배합표

목표 압축 강도	W/C	S/A (%)	Slump (cm)	단위배합중량(kg/m ³)					
				C	W	S	G	S.F	M-150
650kg/cm ²	0.30	38	18-20	520	172	660	1076	52	10.4
240kg/cm ²	0.60	45	11-15	385	229	810	991	.	.

표 2.3 철근의 물리적 성질

철 근	공칭 직경	단면 적	항복 강도	극한 강도
	[mm]	[cm ²]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
D25	25.4	5.067	3335	5032

3. 실험결과 및 분석

3.1 콘크리트 강도의 영향

표 2.1에 나타낸 바와 같이 겹이음 상태가 다른 5종류의 보를 실험한 결과를 살펴보면, 각 종류마다 거의 유사한 콘크리트 강도의 영향을 발견할 수가 있으며, 그림 3.1부터 그림 3.5에 나타낸 P-Δ곡선을 분석 종합하면 다음과 같다.

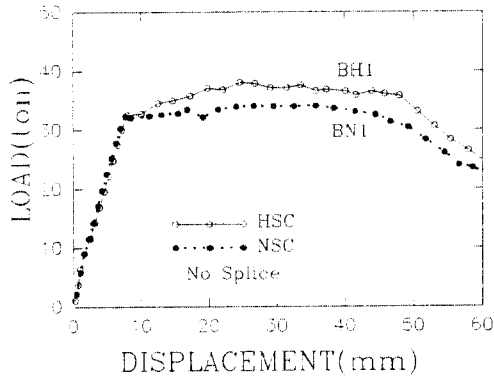


그림 3.1 BN1, BH1의 하중-처짐 곡선

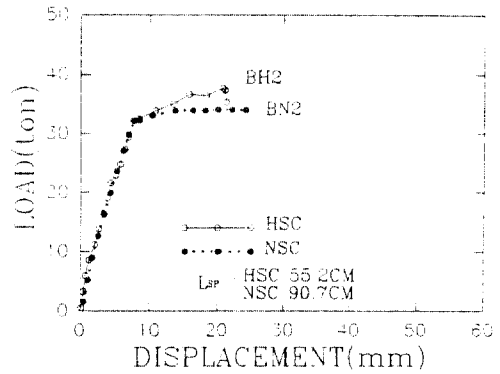


그림 3.2 BN2, BH2의 하중-처짐 곡선

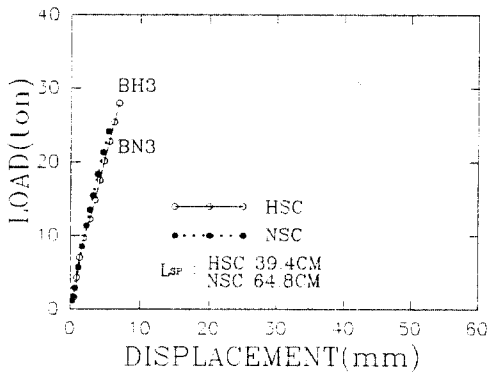


그림 3.3 BN3, BH3의 하중-처짐 곡선

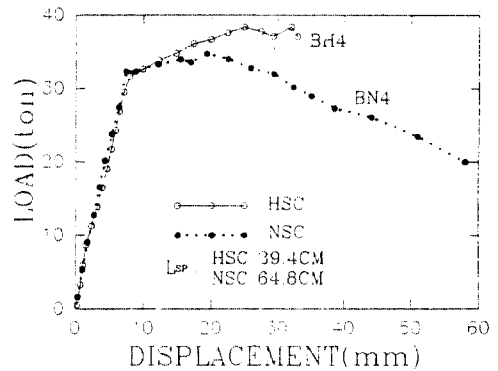


그림 3.4 BN4, BH4의 하중-처짐 곡선

(1) 재하초기부터 철근항복단계 까지의 휨강성(EI) 및 항복강도(Yield Strength)는 콘크리트 강도의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 비균열단면상태와 균열단면상태에서 같은 정도이다. 고전적 이론에 의하면 휨강성은 콘크리트 압축강도가 2.6배 증가하였으므로 상당히 증가되어야 하며, 항복강도역시 2.1ton정도 크게 산출되어야 한다. 그러나 본 실험에서는 차이를 거의 나타내지 않았다.

(2) 철근이 항복하고 난 후의 단계에서 변형증가에 따른 강도증가율은 고강도 콘크리트시험체가 보통강도 시험체보다 상당히 컸다. 그 결과로 항복강도가 동일함에도 불구하고 HSC의 극한강도가 NSC의 극한강도보다 약 10%정도 크게 나타났다.

(3) 동일종류의 결이음상태일 때 고강도 콘크리트 시험체의 취성이 크고 연성은 작다. 그림 3.5의 BN5와 BH5를 직접 비교하면 고강도시험체(BH5)의 연성이 보통강도시험체(BN5)에 비해 25%정도 작다. 이는 고강도 콘크리트일수록 극한상태에서의 부착응력이 하중단쪽에 집중되는 경향이 크기 때문에 이로 인한 콘크리트 덮개의 활렬파괴가 보통강도 시험체에 비해 빨리 발생된다.

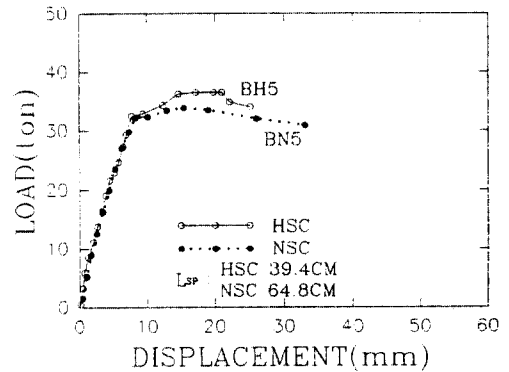


그림 3.5 BN5, BH5의 하중-처짐 곡선

3.2 겹이음 길이와 순철근 간격의 영향

- (1) ACI에서 제시하는 기본정착길이를 겹이음한 시험체(BN2, BH2)는 그림 3.2에 보인바와 같이 하중증가에 따라 항복강도에 도달 후 처짐이 항복처짐량의 약 3.6배에 도달하였을 때 겹이음 부분의 콘크리트 덮개가 활렬파괴되면서 급작스럽게 파괴되었다.
- (2) 기본 정착길이보다 30% 짧은 겹이음 길이를 갖는 시험체(BN3, BH3)의 거동은 그림 3.3에 나타낸 바와 같이 항복강도에 도달하기 전에 콘크리트 덮개의 활렬균열에 의한 부착파괴로 매우 급작스럽게 파괴되었다.
- (3) 순 철근 간격이 2d인 BN3, BH3과 동일한 겹이음 길이를 갖는 BN5, BH5는 순철근 간격이 3d이다. 그런데 BN3, BH3과는 매우 다른 거동을 보였으며, 그림 3.5와 같이 항복점을 지나서 상당한 연성을 확보하고 있다.

이상을 종합해 보면, ACI 318에서 제시하고 있는 겹이음 철근에 대한 최소요구조건은 휨부재의 연성확보 측면에서 극히 한계값 근처에 있는 기준으로서 충분한 안전율을 갖고있지 않다고 할 수 있다.

3.3 횡보강 철근의 영향

겹이음 휨부재의 연성을 확보하는 방법으로, 횡보강 철근을 배근한 시험체를 제작하여 실험을 수행하였다. 이때 횡보강철근은 U형 스티럽으로 하여 시방서의 최소 전단철근량과 간격으로 겹이음부에 배근하였다. ACI규준에서 제시하는 기본정착길이 보다 30% 짧은 겹이음을 갖는 보에 U형 최소전단 철근을 배근한 보(BN4, BH4)의 실험결과는 U형 스티럽을 배근하지 않은 보(BN3, BH3)의 결과와는 크게 달랐다.

앞 절에서 설명한 것과 같이 U형 스티럽이 없는 BN3 및 BH3는 항복점에도 이르지 못하고 활렬균열에 의한 급격한 취성파괴를 하였는데 반해 U형 스티럽으로 횡보강한 시험체(BN4, BH4)는 그림 3.4에 나타낸 P- Δ 곡선에서 볼 수 있듯이 항복점을 지난 후에 과소철근비를 갖는 보의 전형적인 연성파괴를 나타냈다. 이때의 연성지수는 BN4의 값이 8.0+, BH4의 값이 4.4 였다. 이 결과는 횡보강 철근이 부착에 의한 활렬파괴를 매우 효과적으로 방지하고 있다는 것을 알 수 있다.

3.4 Ductility

통상 부재의 연성을 평가하는수단으로서 연성지수(Ductility Index)라는 부재항복시의 처짐변형량(Δ_f)과 파괴시의 처짐량(Δ_u)의 비로 나타내지는 값을 사용하고 있으나, 어느상태를 부재의 항복으로 간주하고 어느 상태를 파괴상태로 간주하는가에 따라 그 값 자체는 달라지지만, 근본적으로 부재의 붕괴 위험성을 인지시키는 측면에서 보면 동일하다. ACI 위원회 363을 살펴보면 연성은 다음과 같이 표현하고 있다. $\mu_n = \Delta_u / \Delta_f$, 여기서 Δ_u 는 파괴시 부재의 처짐이고 Δ_f 는 인장철근의 항복시 부재의 처짐이다.

본 연구에서는 하중재하시 하중조정법을 이용 재하 하므로 겹이음 길이가 충분하지 못한 경우에는 급작스런 파괴를 일으키기 때문에 파괴시를 최대 처짐으로 보고 연성을 평가하였으며, 평가결과는 그림 3.6에 나타냈다.

ACI에서 제시하는 겹이음길이는 콘크리트 압축강도 평방근에 반비례하므로 고강도 콘크리트를 사용할 경우 그림 3.6에서 보는 바와 같이 취성이 증가한다.

휨 구간에서의 횡보강철근의 효과를 살펴보기 위한 시험체(BN4, BH4)의 연성을 살펴보면 기본정착길이보다 30% 부족한 겹이음 길이를 갖는 시험체임에도 불구하고 기본정착길이를 갖는 시험체보다

큰 연성을 갖는 것을 살펴볼 수 있다. 이는 휨 구간에도 횡보강근의 필요성을 보여주는 것이라고 할 수 있다. 그림 3.6에 나타난 연성비를 분석하면 결론적으로 고강도 콘크리트의 철근의 정착 및 이음에서 강도와 연성을 확보하기 위해서는 i) 철근덮개와 순철근 간격을 충분히 확보하든지, 또는 ii) 이음부 및 정착부에 소정의 횡보강 철근을 사용하는 것이 매우 효과적이라고 하겠다.

Description	f_c (kg/cm ²)	Ductility Index							
		1	2	3	4	5	6	7	8
· Control Beam	246	[Pattern]							
· No splice	641	[Pattern]							
· Basic Development Length	246	[Pattern]							
· 2d _b Clear Spacing	641	[Pattern]							
· 30% Less of Basic Development	246	[Pattern]							
· 2d _b Clear Spacing	641	[Pattern]							
· 30% Less of Basic Development with Stirrup	246	[Pattern]							
· 2d _b Clear Spacing	641	[Pattern]							
· 30% Less of Basic Development	246	[Pattern]							
· 3d _b Clear Spacing	641	[Pattern]							

그림 3.6 Comparison of Ductility Index

Table 4.5.1 Summary of test results

Test Specimens	P_u (ton)	M_u (t · m)	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	Ductility Index	Failure Mode	
NSC 246kg/cm ²	BN1	34.4	12.7	7.9	60+	8+	Yielding and Crushing(very Ductile)
	BN2	34.4	12.7	8.0	28.6	3.6	Yielding and Splitting(Brittle)
	BN3	24.5	9.1	-	5.5	0.7	Splitting before Yielding(very Brittle)
	BN4	35	12.9	7.9	60+	8+	Yielding and Crushing(Ductile)
	BN5	34.1	12.6	8.2	36	4.5	Yielding and Splitting(Less Brittle)
HSC 641kg/cm ²	BH1	38.6	14.2	8.0	60+	8+	Yielding and Crushing(very Ductile)
	BH2	37.7	13.9	8.0	21.4	2.7	Yielding and Splitting(Brittle)
	BH3	28.1	10.4	-	7.5	0.9	Splitting before Yielding(very Brittle)
	BH4	38.1	14.9	8.1	35.4	4.4	Yielding and Splitting(Brittle)
	BH5	36.9	13.7	8.1	27	3.4	Yielding and Splitting(Less Brittle)

4. 결 론

고강도 콘크리트와 보통강도 시험체를 1:1로 직접 비교한 결과를 종합하면 다음과 같다.

- (1) 본 연구 결과만을 볼 때 현행 국·내외 시방서에서 제시하고 있는 철근 겹이음에 대한 최소요구 조건을 650kg/cm² 이상의 압축강도를 갖는 콘크리트 구조물에 적용하면 휨부재의 연성확보 측면에서 극히 한계허용값에 근처에 있게 되거나 또는 미달되는 가능성이 매우 크게 나타났다. 따라서

충분한 연성과 강도를 확보하기 위해서는 현행시방서 규정에 대한 검토가 필요하다고 하겠다.

- (2) 고강도 콘크리트에서, 특히 얇은 덮개나 좁은 철근간격을 갖는 구조물에서 부착저항능력을 증가시키기 위해 현행시방서의 방법인 이음 또는 정착길이를 증가시키는 접근은 효과적이지 않는 것으로 나타났다. 현행시방서는 철근 간격이나 덮개가 충분하지 못할때 정착 또는 이음길이를 증가시키도록 되어 있지만 고강도일때는 연성이 25%정도 감소하므로 이 방법은 불안정한 결과가 나타날수 있는 가능성이 매우 크다고 할수 있다.
- (3) 얇은 덮개나 좁은 철근간격을 갖는 고강도 콘크리트 부재의 겹이음부에 스티럽 모양의 횡보강 철근을 사용하면 부재의 강도 및 연성 확보측면에서 매우 효과적인 것으로 나타났다. 따라서 650kg/cm^2 이상의 압축강도를 갖는 콘크리트로 부재를 설계할때의 철근의 정착 및 이음부에 i) 어떤 소정의 횡보강철근의 사용, 또는 ii) 충분한 콘크리트 덮개와 순간격의 확보가 필수적이라고 하겠다.

● 참고문헌 ●

1. Chinn, James ; Ferguson, Rhil, M. : and Thompson, J. Neils. "Lapped Splices in Reinforced Concrete Beams", ACI Journal Proceedings, V. 52, No. 2, oct. 1955
2. Goto, Yukimasa, "Cracks Formed in Concrete Around Deformed Tension Bars", ACI Journal, Proceedings V.68, No.4, Apr. 1971, pp. 244-251
3. Tel Rezansoff, Adeniyi Akanni, and Bruce Sparling. "Tensile Lap Splices under Static Loading: A Review of the Proposed ACI 318 Code Provisions", ACI Structural Journal, July-August. 1993, pp.374-384 34