

고강도 콘크리트 구조물의 철근 부착 및 이음에 대한 연구

Bond & Lapped Splices in High-Strength Concrete Structures

김 준 성
Kim Jun Seong

Summary

An experimental study was conducted to evaluate the bond performance of reinforcing bars embedded in high-strength concrete. Four bond specimens and ten beam splice specimens using concrete with compressive strength of 246kgf/cm² and 641kgf/cm² were tested. The effect of several variables on basic development length and compressive strength of concrete is discussed in splice specimens. 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.

I. 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.

현재 사용되고 있는 국내외 콘크리트에 관한 시방서 대부분의 규정들은 압축강도가 대략 400kgf/cm²미만의 보통강도 콘크리트부재를 실험하여 구한 자료를 기준으로 추출한 것

이므로 고강도 콘크리트의 거동 및 현상을 예측 또는 유추하는데 많은 제약이 있다고 하겠다.

본 연구는 이미 재료적 측면에서 경제성 및 시공성이 국내의 현실에서 충분히 확인되었다고 판단되는 650kgf/cm²의 압축강도를 갖는 고강도 콘크리트의 기초적 구조거동에 대한 연구로서, 철근과 콘크리트의 부착거동을 지배하는 많은 변수들 중 콘크리트강도 및 철근 인장응력의 변화만을 변수로한 인장시험과 휨부재의 철근 겹이음에 영향을 주는 콘크리트 압축강도변화, 철근 겹이음 길이 변화, 철근간격 변화, 전단철근의 유무에 따른 역학적 특성, 파괴형태를 파악하여 시방서에서 제시하는 기존의 규준을 고강도 콘크리트에서 적용가능성을 검토하고자 한 것이다.

II. 실 험

R/C 구조물에 고강도 콘크리트를 사용함에 따른 균열하중의 감소, 균열폭의 증대, 사용하중상태에서 처짐의 증대 및 극한상태에서 연성비의 감소현상등 때문에 고강도 콘크리트를 구조물에 활용하고자 할 때는 반듯이 사용성을 검토해야한다.

본 연구에서는 부착시험의 경우 부착거동의 변수중 콘크리트강도와 철근응력변화를 변수로 하였으며, 접이음 시험의 경우 고강도 콘크리트 구조물중 철근 접이음에 영향을 주는 주요인자들중 접이음구간에서 전단횡보강근의 유무, 순철근간격, 접이음길이등을 변수로하여 고강도 및 저강도 콘크리트 시험체를 각 1조씩 제작하였다. 부착시험 및 휨시험체의 제원은 Fig. 1과 같다.

인장시험체는 실제휨을 받는 보의 중립축 아래의 균열과 균열 사이부분을 모형화한 양단인장시험을 수행하였으며, 콘크리트 덮개의 영향을 받지 않도록 단면이 20cm×20cm인 정사각형으로 제작하였다. 이때 부착길이는 D25철근의 이형마디를 기준으로 11개 마디가 매입되는 17.2cm로 하였으며, 시험체는 Table 1에 나타났다. 하중은 일정변형을 제어 방식으로 가하였으며, 로드셀(load cell)을 정착하여 하중을 측정하였다.

휨시험체는 ACI 318규준을 기준으로하여 설계하였으며, 콘크리트 압축강도 변화에 따른 구조적 거동을 1대1 직접 비교 하였다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 접이음에 영향을 주는 요인들을 줄이기 위해 순철근간격이 3db의 경우를 제외한 모든시험체의 철근비는 동일하게 하였으며, Table 2와 같이 총 10개의 시험체를 제작하여 실험 하였다. 시험체 제작시 순수휨구간의 길이는 고강도 및 저강도에서 모두 동일하게 하였는데, 순수휨구간은 철근의 접이음길이보다 길게하여 다른 변수가

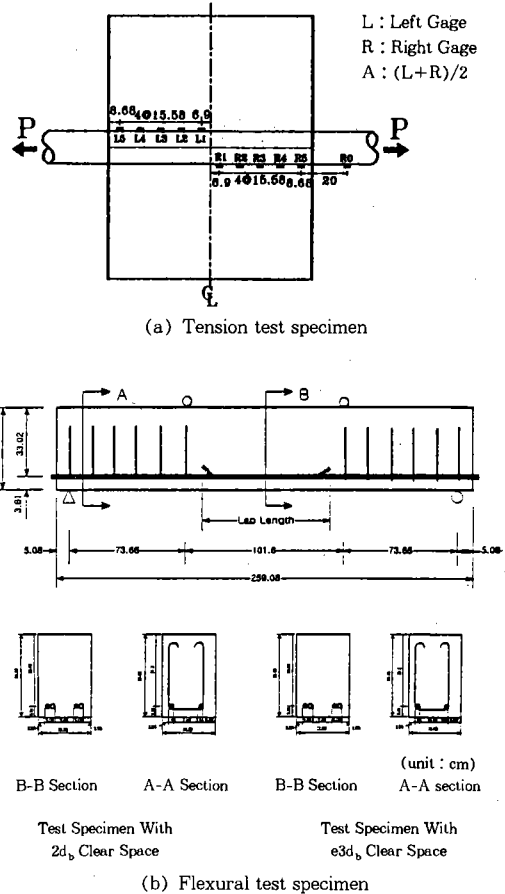


Fig. 1. Specimn details

Table 1. Tension test specimens

Specimen	Details (cm)	(mm)	f'_c [kgf/cm ²]
TN1	20×20×20	D25	246
TN2			
TH1	20×20×20	D25	641
TH2			

영향을 미치지 않도록 하였다. 이 때 사용된 철근에 대한 물리적성질은 Table 3에 나타난 바와 같다. 콘크리트는 시험배합을 통하여 배합표를 작성하였으며, 콘크리트배합표와 압축강도는 Table 4와 같다. 재하(載荷)시 하중은 유압잭을 사용하여 가력하고 측정시 Load

Table 2. Flexural test specimens

Specimen	f_c' kgf/cm ²	With cm	Depth cm	Splice length cm	Description
BN1	246	20.3	36.8	No Splice	• Control beam
BH1	641	20.3	36.8	No Splice	• No splice
BN2	246	20.3	36.8	90.7	• Basic development length
BH2	641	20.3	36.8	55.2	• $2d_b$ clear spacing
BN3	246	20.3	36.8	65.0	• 30% Less of basic development
BH3	641	20.3	36.8	39.0	• $2d_b$ Clear spacing
BN4	246	20.3	36.8	65.0	• 30% Less of basic development with stirrup
BH4	641	20.3	36.8	39.0	• $2d_b$ Clear spacing
BN5	246	22.8	34	65.0	• 30% Less of basic development
BH5	641	22.8	34	39.0	• $3d_b$ clear spacing

Note) Use the reinforcement(D25, $f_y=3335$) in all specimen.

Table 3. Properties of reinforcing bars

Steel	Niminal diameter mm	Area cm ²	Yield strength kgf/cm ²	Ultimate strength kgf/cm ²
D25	25.4	5.067	3335	5032

Table 4. Concrete mix design

Compressive strength	W/C	S/A %	Slump cm	Unit weight(kgf/m ³)					
				C	W	S	G	S.F	M-150
650kgf/cm ²	0.30	38	19	520	172	660	1076	52	10.4
240kgf/cm ²	0.60	45	13	385	229	810	991	.	.

Note) 1. There are not increment coefficient because we've got the concrete mix design by trial and error.

Cell과 전기적 변위계를 사용하였다.

III. 실험결과 및 분석

1. 콘크리트 강도의 영향

Table 5와 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 실험 결과 중앙단면에서의 철근응력이 고강도콘크리트 시험체가 보통강도시험체보다 훨씬 크게 나타났다. 즉, 중앙단면에서 콘크리트가 분담하는 인장력이 고강도시험체에서 훨씬 크다는 것이며, 결국 이것은 고강도콘크리트 일수록 부착성능이 크다는 의미임을 나타낸다.

높은 하중단계일수록 부착응력의 분포는 차이를 나타냈으며, 다음 두가지로 요약할 수

있다.

첫째, 작용하중이 낮은 상태에서는 부착응력의 분포가 거의 동일했으며, 작용하중이 높아질수록 최대부착응력의 위치가 고강도시험체의 경우 하중단쪽에 가까운 반면 보통강도시험체의 경우 중앙단면 쪽에 위치하고 있다. 이것은 보통강도시험체의 경우 하중단쪽에 부착이 부분적으로 손상되어지고 있음을 의미한다고 하겠다.

둘째, 하중이 증가할수록 고강도 콘크리트 시험체의 전반적인 부착응력이 큰데 반해 보통강도 콘크리트시험체의 부착응력은 상당히 작게 나타나고 있다. 이것은 철근인장응력이 부착을 통해 콘크리트로 전달된다는 관점에서 볼 때 고강도 콘크리트일수록 부착성능이 우수하기 때문이다. 이러한 현상은 보통강도 시험체의 하중단쪽 이형철근 각 마디에 작용되는 지압력에 의해 이곳의 콘크리트가 상당히 압괴(over burden failure)되었거나 또는 방사선 방향의 인장력성분에 의해 할렬균열이 발생됨으로써 이미 극한 상태를 초과한 것이라 볼 수 있다. 반면에 고강도시험체에서는 이형철근의 마디 주변의 콘크리트가 아직 극한상태에 도달하지 않기 때문에 중앙단면에서의 철근의 인장력이 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 훨씬 작게 나타났다.

Table 5. Bond stress in tension test

Measuring location(cm)		0	0.434	1.213	3.205	4.763	6.321	7.79	
Bond area $\sum O \cdot i(\text{cm}^2)$		0	5.426	12.432	12.432	12.432	12.432	0	
Mean bond stress $\frac{\Delta T}{\sum O \cdot i}$	TH1	2t	0	75	47	21	11	4	0
		4t	0	64	51	48	37	20	0
		6t	0	34	70	69	67	31	0
	TH2	2t	0	42	27	29	12	9	0
		4t	0	33	29	44	34	13	0
		6t	0	19	79	48	49	17	0
	TN1	2t	0	44.8	24	23	12	9	0
		4t	0	25	23	32	31	22	0
		6t	0	4	9	32	37	26	0
	TN2	2t	0	78	33	17	7	6	0
		4t	0	15	28	34	30	19	0
		6t	0	0	22	38	42	30	0

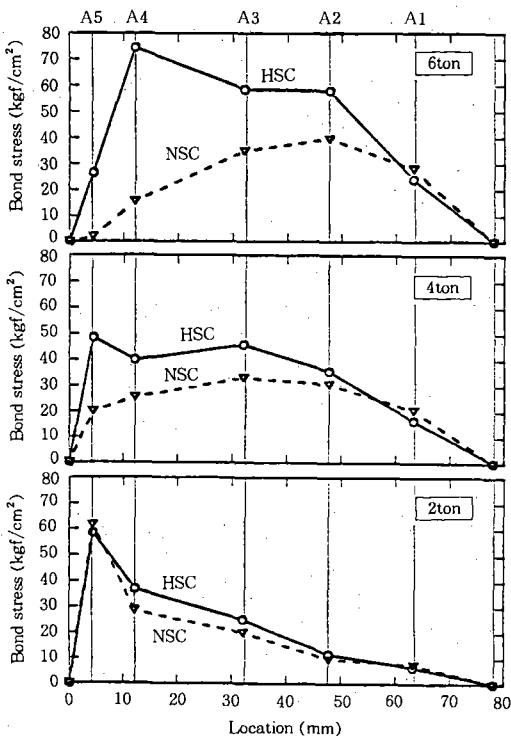


Fig. 2. Comparison of average bond stress distribution between high- and normal-strength concrete

Table 6에 나타난 바와 같이 접이음 상태가 다른 5종류의 보를 실험한 결과를 직접 비교

하면, 각 종류마다 거의 유사한 콘크리트 강도의 영향을 발견할 수가 있으며, Fig. 3에 나타난 P- Δ 곡선을 분석 종합하면 다음과 같다.

(1) 재하초기부터 철근항복단계까지의 휨강성(EI) 및 항복강도(yield strength)는 콘크리트 강도의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 비균열단면상태와 균열 단면상태에서 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 콘크리트 시험체가 보통강도 시험체보다 상당히 컸다. 그 결과로 항복강도가 동일함에도 불구하고 HSC의 극한강도가 NSC의 극한강도보다 약 10%정도 크게 나타났다.

(3) 동일종류의 접이음상태일 때 고강도 콘크리트 시험체의 취성이 크고 연성은 작다. Fig. 3의 기본정착길이를 갖는 BN2, BH2의 P- Δ 곡선과 Fig. 3의 BN5, BH5의 P- Δ 곡선을 직접 비교하면 고강도 시험체(BH5)의 연성이

Table 6. Lap splice test results

Test specimens		P_u (ton)	M_u (t·m)	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	Ductility Index	Failure mode
NSC 246 (kgf/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 641 (kgf/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 Crushing(Ductile)
	BH5	36.9	13.7	8.1	27	3.4	Yielding and Splitting(Less Brittle)

* Estimated Δ_y is 8.0 in calculating Ductility Index

+ A test was finished when Δ had reached 60mm

보통강도 시험체(BN5)에 비해 25%정도 작다. 이는 고강도 콘크리트일수록 극한상태에서의 부착응력이 하중단쪽에 집중되는 경향이 크기 때문에 이로 인한 콘크리트 덮개의 할렬 파괴가 보통강도 시험체에 비해 급격히 발생한다.

2. 겹이음 길이와 순철근 간격의 영향

(1) ACI에서 제시하는 기본정착길이로 겹이음한 시험체(BN2, BH2)는 하중증가에 따라 항복강도에 도달 후 처짐이 복처짐량의 약 3.6배에 도달하였을 때 겹이음 부분의 콘크리트 덮개가 할렬파괴되면서 급작스럽게 파괴되었다.

(2) 기본 정착길이보다 30% 짧은 겹이음 길이를 갖는 시험체(BN3, BH3)의 거동은 항복강도에 도달하기 전에 콘크리트 덮개의 할렬균열에 의한 부착파괴로 매우 급작스럽게 파괴되었다.

(3) 순 철근 간격이 $2d_b$ 인 BN3, BH3과 동일한 겹이음 길이를 갖는 BN5, BH5는 순철근 간격이 $3d_b$ 이다. 그런데 BN3, BH3과는 매우 다른 거동을 보였으며, Fig. 3과 같이 항복점을 지나서 상당한 연성을 확보하고 있다.

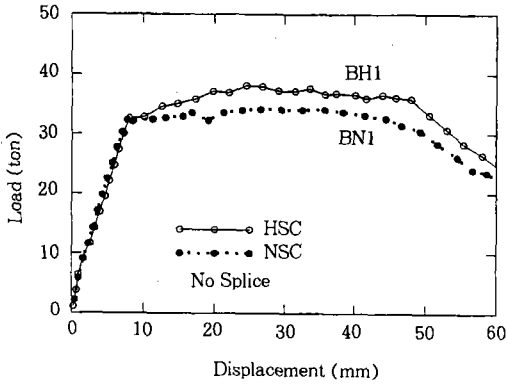
이것은 철근간격을 크게 하면 강도와 연성이 효과적으로 증가하고 있음을 보여주고 있다.

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

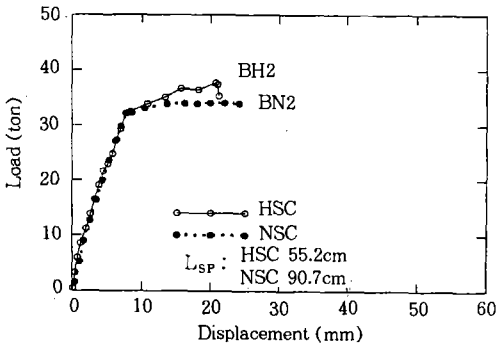
3. 횡보강 철근의 영향

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 기본정착길이가 보다 30% 짧은 겹이음을 갖는 보에 스티럽 형태의 U형 최소전단철근을 배근한 보(BN4, BH4)의 실험결과는 U형 전단철근을 배근하지 않은 보(BN3, BH3)의 결과와는 크게 달랐다.

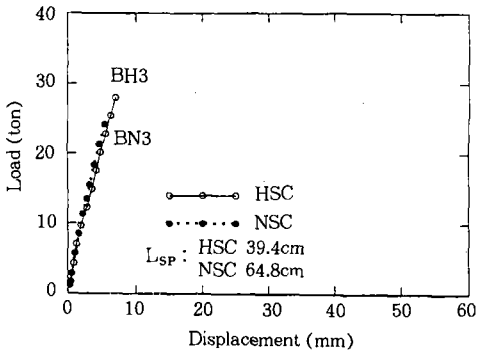
앞 절에서 설명한 것과 같이 스티럽형태의 U형 전단철근이 없는 BN3 및 BH3는 항복점에도 이르지 못하고 할렬균열에 의한 급격한 취성파괴를 하였는데 반해 U형 전단철근으로 횡보강한 시험체(BN4, BH4)는 P- Δ 곡선에서



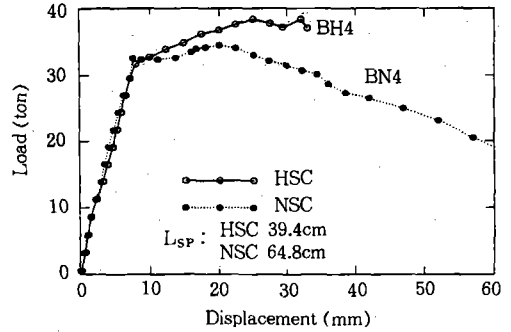
(a) Load-deflection diagrams of BN1, BH1



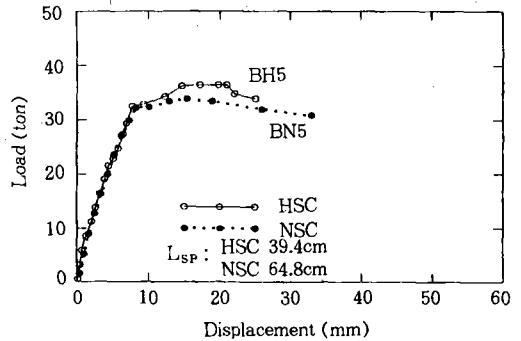
(b) Load-deflection diagrams of BN2, BH2



(c) Load-deflection diagrams of BN3, BH3



(d) Load-deflection diagrams of BN4, BH4



(e) Load-deflection diagrams of BN5, BH5

Fig. 3. Load-deflection diagrams of lap splice test specimens

지하고 있다는 것을 알 수 있다.

4. 연성(ductility)

일반적으로 휨부재의 연성은 해당부재 자체의 강도관점에서는 크게 문제를 일으키지 않을 수도 있지만 부재와 부재들의 조합된 전체 구조물에서는 응력재분배 작용에 가장 중요한 인자이기 때문에 구조물 전체의 안전을 확보 측면에서 보면 휨부재의 연성은 매우 중요한 변수이다.

연성(ductility)이란 어떠한 부재가 외력을 받았을 때 어느 정도의 변형이 일어난 후에 파괴에 이르는가를 판단하는 부재의 변형성능을 나타내는 용어로서, 부재 파괴시 붕괴의 징후를 인지시키는데 기준이 되는 값으로 사용되고 있다.

볼 수 있듯이 항복점을 지난 후에 과소철근비를 갖는 보의 전형적인 연성파괴를 나타냈다. 이때의 연성지수는 BN4의 값이 8.0+ , BH4의 값이 4.4 었다. 이 결과는 횡보강 철근이 부착에 의한 할렬파괴를 매우 효과적으로 방

Description	f_c' kgf/cm ²	Ductility index							
		1	2	3	4	5	6	7	8
• Control beam	246	[Bar chart showing ductility index for control beam]							
• No splice	641	[Bar chart showing ductility index for no splice]							
• Basic development length	246	[Bar chart showing ductility index for basic development length]							
• 2b _s Clear spacing	641	[Bar chart showing ductility index for 2b _s clear spacing]							
• 30% Less of basic development	246	[Bar chart showing ductility index for 30% less of basic development]							
• 2b _s Clear spacing	641	[Bar chart showing ductility index for 2b _s clear spacing]							
• 30% Less of basic development with Stirrup	246	[Bar chart showing ductility index for 30% less of basic development with stirrup]							
• 2b _s clear spacing	641	[Bar chart showing ductility index for 2b _s clear spacing]							
• 30% Less of basic development	246	[Bar chart showing ductility index for 30% less of basic development]							
• 3b _s Clear spacing	641	[Bar chart showing ductility index for 3b _s clear spacing]							

Fig. 4. Comparison of ductility index

처짐항은 부재의 연성을 표현하는 가장 좋은 방법으로서, 통상 부재의 연성을 평가하는 수단으로서 연성지수(ductility index)라는 부재항복시의 처짐변형량(Δ_y)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 붕괴위험성을 인지시키는 측면에서 보면 동일하다. ACI 위원회 363을 살펴보면 연성은 다음과 같이 표현하고 있다. $\mu_{cu} = \Delta_u / \Delta_y$ 여기서 Δ_u 는 파괴시 부재의 처짐이고, Δ_y 는 인장철근의 항복시 부재의 처짐이다.

본 연구에서는 하중재하시 하중조정법(force control test)을 이용 재하 하므로 겹이음 길이가 충분하지 못한 경우에는 급작스런 파괴를 일으키기 때문에 파괴시를 최대 처짐으로 보고 연성을 평가하였으며, 평가결과는 Fig. 4에 나타났다. ACI에서 제시하는 겹이음 길이는 다음 식과 같이 콘크리트 압축강도 평방근에 반비례하므로 고강도 콘크리트를 사용할 경우 Fig. 4에서 보는 바와 같이 취성이 증가한다.

$$l_s = \alpha \cdot 0.04 A_b \frac{f_y}{f_c}$$

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. Fig. 4에 나타난 연성비를 분석하면 결론적으로 고강도 콘크리트의 철근의 정착 및 이음에서 강도와 연성을 확보하기 위해서는 i) 철근 덮개와 순철근 간격을 충분히 확보하든지, 또는 ii) 이음부 및 정착부에 소정의 횡보강 철근을 사용하는 것이 매우 효과적이라고 하겠다.

IV. 결 론

고강도 콘크리트(641kgf/cm²) 시험체와 보통강도 콘크리트(246kgf/cm²) 시험체를 부착 및 겹이음 시험하여, 1:1로 직접 비교한 결과를 종합하면 다음과 같다.

(1) 철근의 정착과 부착에 대한 현행시방서의 이론적 근거는 극한상태에서 매입된 철근의 부착응력분포가 등분포한다는 가정이다. 그러나 본 연구의 실험결과는 고강도 콘크리트에서의 부착응력의 분포는 균등하지 않고

참 고 문 헌

하중단쪽에 집중되는 경향이 크게 증가하여 불균등(nonuniform)분포를 하고 있다. 이러한 경향은 접이음길이가 길수록 또 순간격이 작을수록 더 커진다. 이 때문에 고강도 콘크리트에서 철근의 정착거동은 덮개 콘크리트의 할열파괴(splitting failure)가 쉽게 발생되어 취성이 크게 증가하므로써 25%정도의 연성이 감소되었다.

(2) 본 연구 결과만을 볼 때 현행 국·내외 시방서에서 제시하고 있는 철근 접이음에 대한 최소요구조건을 650kgf/cm^2 이상의 압축강도를 갖는 콘크리트 구조물에 적용하면 휨부재의 연성확보측면에서 극히 한계허용값 근처에 있게 되거나 또는 미달되는 가능성이 매우 크게 나타났다. 따라서 충분한 연성과 강도를 확보하기 위해서는 현행시방서 규정에 대한 검토가 필요하다고 하겠다.

(3) 고강도 콘크리트에서, 특히 얇은 덮개나 좁은 철근간격을 갖는 구조물에서 부착저항능력을 증가시키기위해 현행시방서의 방법인 이음 또는 정착길이를 증가시키는 접근은 효과적이지 않은 것으로 나타났다. 현행 시방서는 철근 간격이나 덮개가 충분하지 못할 때 정착 또는 이음길이를 증가시키도록 되어 있지만 고강도일때는 연성이 25%정도 감소하므로 이 방법은 불안정한 결과가 나타날수 있는 가능성이 매우 크다고 할수 있다.

(4) 얇은 덮개나 좁은 철근간격을 갖는 고강도 콘크리트 부재의 접이음부에 스티럽 모양의 횡보강철근을 사용하면 부재의 강도 및 연성 확보측면에서 매우 효과적인 것으로 나타났다. 따라서 650kgf/cm^2 이상의 압축강도를 갖는 콘크리트로 부재를 설계할 때 철근의 정착 및 이음부에 i) 어떤 소정의 횡보강철근의 사용, 또는 ii) 충분한 콘크리트 덮개와 순간격의 확보가 필수적이라고 하겠다.

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. "Tensil Lap Splices under Static Loading: A Review of the Proposed ACI 318 Code Provisions", ACI Structural Journal, July-August. 1933, pp.374-384.
4. A. Samen Ezeldin and P. N. Balaguru. (1989). "Bond Behavior of Normal and High-Strength Fiber Reinforced Concrete", ACI Materials Journal, September-October, pp. 515-524.
5. Atorod Azizinamini, Mark Stark, John J. Roller, and S. K. Ghosh. (1991). "Bond Performance of Reinforcing Bars Embedded in High-Strength Concrete", ACI Structural Journal, September-October, pp.554-561.
6. Atorod Azizinamini. (1995). "Can High-Strength Concrete Be Used in a Ductile Way?", Concrete International, March
7. Atorod Azizinamini, Mark Stark, John J. Roller, and S. K. Ghosh. "Bond Performance of Reinforcing Bars Embedded in High-Strength Concrete" ACI Structural Journal, V. 90, No. 5 September-October, 1993, pp. 554-561.
8. David, M. F. Orr. (1976). "Lap Splicing of Deformed Reinforcing Bars", ACI

- Journal No. 73-53, November, pp.622-627.
9. Gyorgy L. Balazs. (1993). "Cracking Analysis Based on Slip and Bond Stresses" ACI Materials Journal, July-August. pp. 340-348.
 10. Homayoun H. Abrishami and Denis Mitchell. (1992). "Simulation of Uniform Bond Stress" ACI Materials Journal, March-April. pp. 161-168.
 11. Leroy A. Lutz, S. Ali Mirza, and Narendra K. Gosain. (1993). "Changes to and Applications of Development and Lap Splice Length Provision for Bars in Tension(ACI318-89)", ACI Structural Journal, July-August pp.393-406.
 12. Siripong Hungspreug. (1981). "LOCAL BOND BETWEEN A REINFORCED BAR AND CONCRETE UNDER HIGH INTENSITY CYCLIC LOAD" A Research Project Sponsored by the National Science Foundation Grant No. PFR-7900711, January,
 13. Tel Rezansoff, Adeniyi Akanni, and Bruce Sparling. (1993). "Tensile Lap Splices under Static Loading : A Review of the Proposed ACI 318 Code Provisions", ACI Structural Journal, July-August pp.374-384.
 14. 오병환, 강영진, 이성로, 방기성. (1990) "철근콘크리트 부재의 부착특성에 관한 실험적 연구", 콘크리트학회지 제2권 4호, pp. 99-107.
 15. 오병환. (1991). "철근콘크리트 부재의 부착거동에 관한 해석모델", 콘크리트학회 논문집 제3권 2호, pp. 77-86.