

# 결속선이 R/C보의 거동에 미치는 영향에 대한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Effect of Tie-wire on R/C Beam Behaviors

변 환 룡*	공 귀 옥*	김 준 성**	이 수 곤***
Byun, Hang-Ryong	Kong, Kuy-Ok	Kim, Jun-Sung	Lee, Soo-Gon

### ABSTRACT

In this paper the effect of tie wire in lap spliced bars is investigated by experiment. The variables considered in the beam behaviors are beam dimension, lapped splice length and numbers of tie wire. 3 test pieces having the same variables consist one series and a total of 6 series are tested.

The test results show the beam behavior is not affected by numbers of tie wire but by the manner of tie. It was revealed that the load bearing capacity of the beam is increased when the tie wire is extended to top bar.

#### 1. 서론

1990년대에 접어들면서 주택 200만호건설 등으로 인한 사회의 급격한 변동은 건설 원자재의 부족은 물론 노동력의 절대적 부족 및 빈번한 이동, 3D기피현상등을 초래하였다. 특히 철근 기능공의 부족 및 수준저하는 R/C구조물의 배근에 대한 심각성을 일깨웠다. 배근관련 사항중 결속선은 R/C구조물에서 스페이서와 함께 철근위치고정 및 겹이음, 철근교차지점등의 철근간의 결속에 매우 중요한 요소이다. 그럼에도 불구하고 결속선에 대한 시방서의 규준은 설정되어 있지 않고, 결속선의 시공은 관례대로 시공되어 지고있는 실정이다.

따라서 본 실험에서는 철근콘크리트 구조물에서 겹이음 또는 철근과 철근이 교차되는 부분에서의 결속선의 효과를 파악한후 이런 결과를 바탕으로 현장 시공에 활용할 수 있는 기초자료를 마련하는데 그 목적이 있다.

#### 2. 실험

##### 2.1 실험계획 및 시험체

\* 정희원, 전남대학교 산업대학원 건축학과 석사과정

\*\* 정희원, 전남대학교 토목공학과 박사과정

\*\*\* 정희원, 전남대학교 건축공학과 교수, 공학박사

결속선(tie wire)은 철근의 위치고정 역할 뿐 아니라 구조적 효과도 있을 것으로 예측하고 이들 효과를 알아보기 위해 R/C 단순보의 휨시험을 실시하였다. 이때, 주인장철근은 휨구간에서 겹이음 하였으며, 겹이음 장소에 결속선의 주요변수를 변화시켜 가면서 각 시험체의 거동 변화를 살펴보았다. 주요변수는 결속선의 효과에 직접적으로 영향을 미칠 수 있는 겹이음길이(lap splice length) 및 결속횟수(number of tie), 결속방법(manner of tie)으로 하였다.

시방서에서는 기본 겹이음길이(Ldb)에 수정계수를 곱하여 겹이음길이를 산정하도록 규정되어 있으나, 이번 실험의 목적은 결속선의 효과를 알아보기 위한 것이므로 수정계수를 곱하지 않은 기본 겹이음길이와 계수를 곱한 설계 겹이음길이를 갖는 시험체를 제작하였다. 또한 겹이음 단부에 각 series별로 두겹의 결속선을 1회, 2회, 4회씩 결속하여 결속횟수와 결속방법에 따른 R/C 보의 구조적 거동 변화를 살펴보았다.

모든 시험체는 동일한 철근비를 갖도록 하였으며, 표1에 나타난 바와 같은 제원을 갖는 총 18개의 시험체를 제작하였다. 시험체 제작시에는 휨파괴(flexure failure) 만을 보장하기 위하여 전단지간(sheer span) 내에는 전단보강을 하여 전단파손(shear failure)을 방지하였다. 주철근으로는 D25를 사용하였고 스티럽으로는 D10을 10cm간격으로 배근하였다. 철근의 피복두께는 모두 2Db 즉 5cm로 하였고, 순철근 간격은 B-series에서 5cm, W-series에서 7cm로 하였다. 시험체에 사용한 콘크리트는 설계기준강도가 210kg/cm<sup>2</sup>인 공장제품 레미콘을 사용하였으며, 철근은 SBD30인 D25, D10을 사용하였다. 각 사용재료의 물리적 성질은 표2 및 표3과 같다.

표1에서 보는 바와 같이 B-series와 W-series의 차이는 시방서에서 제시하는 겹이음길이 및 순철근 간격에 있으며, 유효높이에 차이를 두어 철근비는 동일하게 유지하였다. B-series는 시방서에서 제시

표 1 시험체 일람표

시험체명	보폭(b)	유효높이(d)	겹이음길이(Ldb)	결속횟수	결속위치	비 고	
B65 series	25cm	27cm	65cm	1회	단부	Fy=3000kg/cm <sup>2</sup> Fc=210kg/cm <sup>2</sup> 레미콘 25-210-15	
				2회			
				4회			
1회							
B90 series			90cm	2회			
				4회			
				1회			상부결속
BR series			90cm	2회			
				4회			
				1회	단부		
W65 series			27cm	65cm			2회
							4회
	1회						
W90 series	90cm	2회					
		4회					
		1회		상부결속			
WR series	80cm	2회					
		4회					

표2 콘크리트 물리적성질

목표압축 강도(kg/cm <sup>2</sup> )	W/C	S/A	SIUMP	단위배합중량			
				C	W	S	G
210	51.4%	46.7%	15cm	370	190	825	945

표3 철근의 물리적성질

철근	공칭직경 mm	단면적 cm <sup>2</sup>	항복강도 kg/cm <sup>2</sup>	극한강도 kg/cm <sup>2</sup>
D25	25.4	5.067	3275	4941

시하는 겹이음길이보다 짧은 겹이음길이를 갖는 시험체이다. W-series 시험체중 W90-series 즉 겹이음길이가 90cm인 시험체가 시방서에서 제시하는 조건을 만족시키는 시험체이다. 결속방법면에서 볼 때 B, W-series는 기존의 방법대로 결속선을 묶는 방법이며, BR, WR-series는 결속선을 겹이음 장소에서 묶지 않고, 겹이음된 곳의 상부철근등 상부에 묶는 방법으로서 이는 철근겹이음 파괴의 거동 특성을 고려할 때 쪼개짐파괴(splitting failure)를 일으키는 수직력에 결속선이 갖는 효과를 알아보기 위함이다.

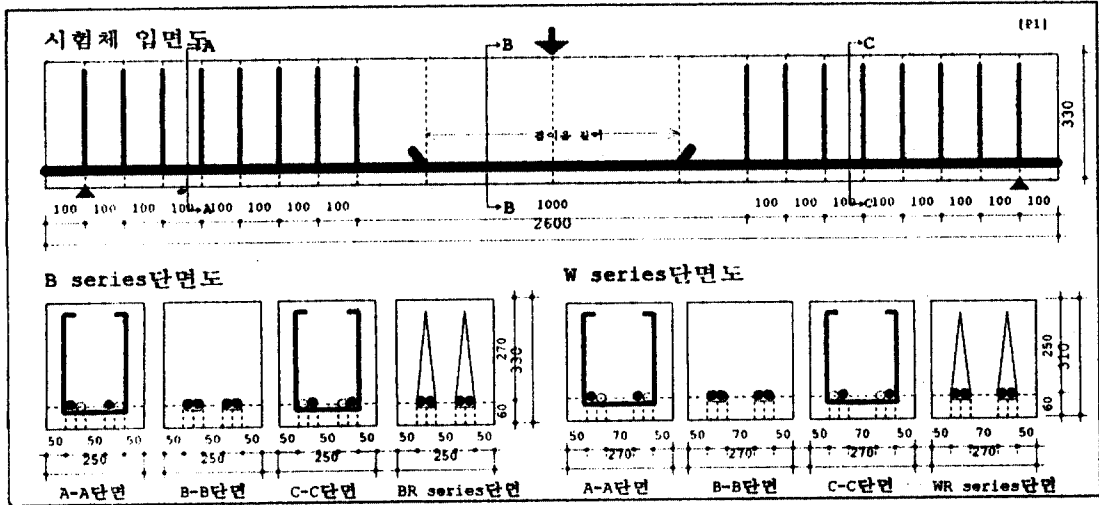


그림1 시험체 입면 및 단면도

## 2.2 실험방법

모든 시험체는 그림1과 같이 단순지지된 상태에서 하중은 중앙 1점재하 하였다. 각 시험체는 하중재하점 및 지지점에서의 변화형상을 기록하기 위하여 실험하기 전에 10cm간격으로 선을 그렸고, 균열의 발생 및 그 전과, 처짐등 파괴에 이르기까지의 전과정을 관찰하였다. 또한 이를 각각의 균열하중(Pcr)값, 항복하중(Pu)값과 비교 하였다. 실험은 변위제어방법으로서 하중은 유압잭(oil jack)을 사용하여 가력하고 하중의 측정은 jack 선단에 부착시킨 20ton load cell(Kyowa electronic instruments co. ltd)을 사용하였다. 처짐은 중앙점에서 50mm potention meter를 사용하여 측정하였다. 모든 자료의 수집은 유압잭을 사용하여 변위를 일정하도록 재하(載荷)하는 상태에서 변위제하시 각 센서에서 출력되는 값들을 자동 처리시스템(automatic data equisition system)에서 자동관독 및 ploting하게 되며, 이들을 저장한 후 값의 분석에 이용하였다. 초기 균열하중의 기록은 매우 중요한 값이므로 초기 균열발생시 균열과 그 때의 하중값을 시험체에 기록하였으며, 균열의 발생 및 진전을 하중의 증가에 따라 변화하는 성상 및 그 때의 하중값도 기록하였다.

## 3. 결과 및 분석

### 3.1 일반적인 거동

각 시험체의 실험결과는 표4에 나타냈다. 표4에서 보는 바와 같이 같은 겹이음길이를 갖는 시험체에서 결속선의 묶음 횟수의 증가에 따른 시험 결과가 시험체에 따라 큰 변화를 보이지 않는다. 즉 결속선의 묶음 횟수가 최대강도에 영향을 크게 미치지 않고 있음을 알 수 있다. 그러나 겹이음 방법면에

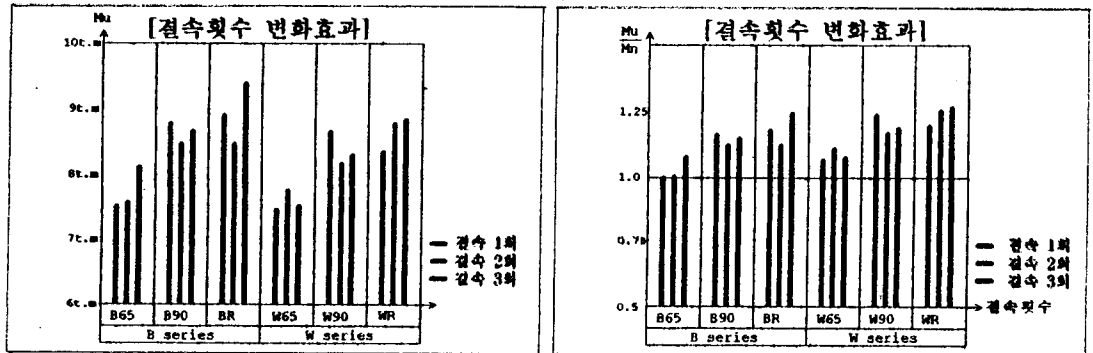
서 볼 때 기존 결속방법으로 시공된 B, W-series와 스티럽형태로 시공된 BR, WR-series는 극한하중은 물론 파괴형태에 있어서도 서로 상이한 결과를 나타냈다.

표4 실험결과

시험체명	규격 (b×d)	접침길이 (Ldb)	묶음 갯수	묶음 위치	균열하중 (Pcr/t)		최대하중 (Pu/t)	변형 (mm)	Mn (t)	Mu (t.m)	Mu/Mn				
					계산	측정									
B65 series	B651	25×27	65cm	1EA	단부	2.2	4.0	12.5	8.3	7.58	7.50	0.989			
	B652			2EA			3.8	12.6	8.7		7.56	0.997			
	B654			4EA			4.9	13.5	8.1		8.10	1.069			
B90 series	B901		90cm	1EA	단부		4.2	14.6	9.7		8.76	1.156			
	B902			2EA			4.5	14.1	14.0		8.46	1.116			
	B904			4EA			5.0	14.4	8.9		8.64	1.140			
BR series	BR901		90cm	1EA	상부		4.8	14.8	11.3		8.88	1.172			
	BR902			2EA			3.4	14.1	11.4		8.46	1.116			
	BR904			4EA			4.1	15.6	18.2		9.36	1.235			
W65 series	C651		27×25	65cm	1EA		단부	2.1	5.0		12.4	8.3	7.02	7.44	1.060
	C652				2EA				3.6		12.9	11.9		7.74	1.103
	C654				4EA				3.3		12.5	11.1		7.50	1.068
W90 series	C901	90cm		1EA	단부	3.9	14.4		12.5	8.64	1.231				
	C902			2EA		4.5	13.6		11.4	8.16	1.162				
	C904			4EA		4.2	13.8		11.6	8.28	1.179				
WR series	CR801	80cm		1EA	상부	3.7	13.9		13.2	8.34	1.188				
	CR802			2EA		3.8	14.6		10.1	8.76	1.248				
	CR804			4EA		3.9	14.7		17.2	8.82	1.256				

3.2 결속횟수에 따른 영향

결속선의 결속횟수는 각각 1, 2, 4회로서 표4와 접이음길이가 65cm인 B65-series의 경우 그림2 에나 타낸 바와 같이 1, 2, 4회의 결속결과 계수모멘트값은 7.5t.m, 7.56t.m, 8.1t.m로 결속횟수에 따른 극한 하중의 증가는 거의 없었다. 비슷한 양상으로 접이음 길이가 90cm인 B90-series에서도 1, 2, 4회의 결 속에 따라 각각 8.76t.m, 8.46t.m, 8.64t.m로서 결속횟수에 따른 효과가 전혀 나타나지 않았고, 이때의 팔길이(arm length)는 1.2m이었다. 또한 시방서 규정을 충족시키는 접이음길이를 갖는 시험체인 W90-series의 경우 역시 1, 2, 4회 결속에 따른 시험 결과값도 각각 8.64t.m, 8.16t.m, 8.28t.m로 결속 선의 묶음 횟수에 따른 효과는 없는 것으로 나타났다.



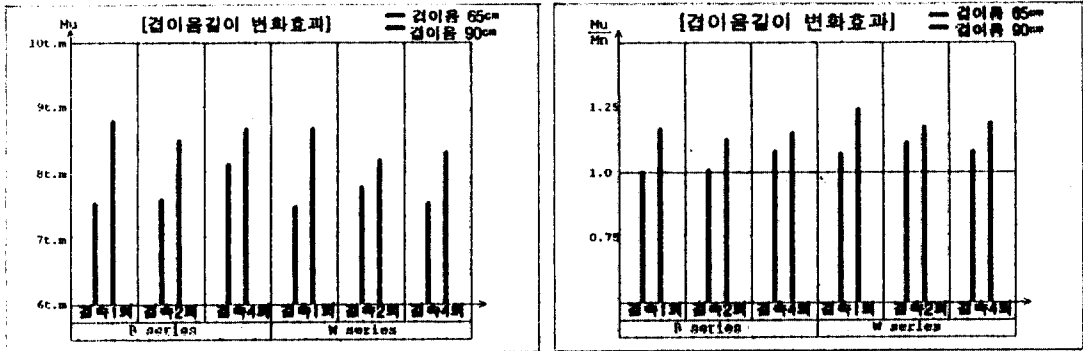
a) 계수모멘트에 의한 결속횟수 변화효과

b) 계수비에 의한 결속횟수 변화효과

그림2 결속선의 결속횟수에 따른 변화

### 3.3 겹이음 길이에 따른 변화

그림 3에 나타난 바와 같이 겹이음의 길이가 65cm, 90cm로 변화함에 따라 B-series에서는 1회 결속 시에 각각 7.5t.m, 8.76t.m로, 2회 결속시 7.56t.m, 8.46t.m로, 4회 결속시에는 8.1t.m, 8.64t.m로 나타났다. 또한 W-series에서는 1회 결속시에 7.44t.m, 8.64t.m, 2회 결속시에 7.74t.m, 8.16t.m, 4회 결속시에 7.5t.m, 8.28t.m으로 조사되어 겹이음의 길이가 65cm에서 90cm로 변화함에 따라 평균 11%의 항복하중이 증가되었음을 알 수 있었다. 이는 시방서에서 제시하는 겹이음길이보다 짧은 겹이음길이를 갖는 시험체에서 겹이음 길이증가에 따른 파괴강도의 증진효과는 있으나 결속선의 결속효과에 따른 강도증진 효과는 없는 것으로 나타났다.



a) 계수모멘트에 의한 겹이음길이 변화효과

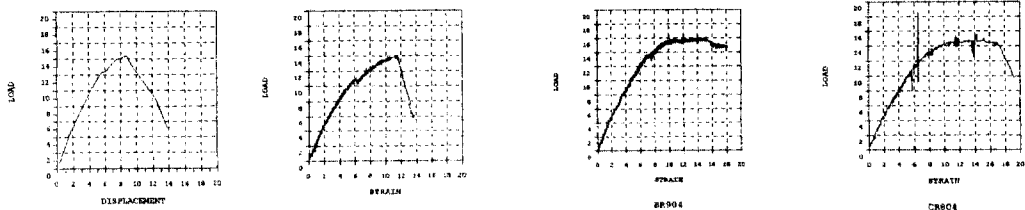
b) 계수비에 의한 겹이음길이 변화효과

그림 3 겹이음 길이에 따른 변화

### 3-4. 결속방법에 따른 변화

겹이음 방법면에서 볼 때 기존 결속방법으로 시공된 B, W-series는 파괴시 철근의 뒤틀림이 발생하여 콘크리트 피복이 탈락되는 현상을 보였다. 반면, BR, WR-series는 파단시까지 철근의 뒤틀림현상이 발생하지 않았는데, 이는 결속선이 스티럽형태의 횡보강 철근효과를 갖기 때문으로 판단된다. 그림 4-1의 B, W-series는 겹이음 위치에서 초기균열이 발생되어 하중이 증가함에 따라 새로운 경사균열이 산발적으로 발생하여 진행되어 가는 상황을 보였다. 그러나 그림 4-2에서 알 수 있듯이 BR, WR-series는 B, W-series와는 다소 상이한 거동을 보여준다.

그림 4-3에 나타난 바와 같이 같은 90cm의 겹이음 길이를 갖는 시험체에서 BR-series는 B90-series에 비하여 극한하중이 증가하였다. 또한 겹이음길이가 80cm인 WR-series와 겹이음길이가 90cm인 W90-series를 비교해 보면 WR-series의 겹이음 길이가 짧았음에도 W90-series에 비하여 WR-series의 극한하중이 증가하였음을 보여준다. 이는 결속방법에 따른 하중의 증대효과가 상당히 있음을 알 수 있었다.



a) B904 시험체

b) C904 시험체

a) BR904 시험체

b) CR804 시험체

그림 4-1 B-W 시험체 에너지 흡수 효과

그림 4-2 BR-WR 시험체 에너지 흡수 효과

#### 4. 결론

##### 1. 겹이음 장소 또는 중요부분에서의 결속선은 상부철근과 결속함이 바람직하다.

본 실험의 결과만으로 볼 때 기존의 방법으로 결속한 것과 상부철근에 결속한 시험체는 극한강도, 연성측면에서 상부철근에 결속한 시험체의 값이 현저히 크게 나타나고 있다. 이 값은 기존의 방법으로 결속횟수를 증가시킨 효과보다 훨씬 크게 나타나는 점이 주목된다. 특히 본 실험의 방법이 겹이음 시험체이므로 기존의 방법으로 결속을

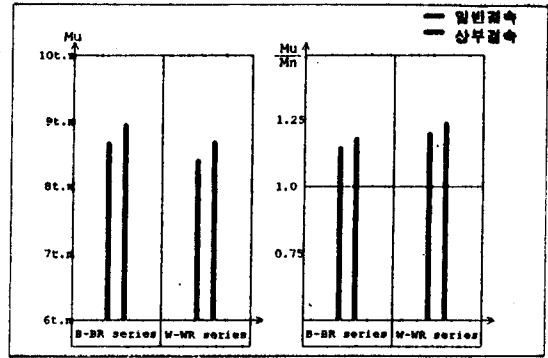


그림4-3 결속방법에 따른 변화

할 경우 겹이음파괴의 주요모드인 콘크리트의 파복이 탈락하는 형태를 나타냈다. 이는 철근과 콘크리트에 발생하는 부착력이 콘크리트 피복을 밀어내는 수직력으로 대별할 수 있는 기존의 이론과 부합하는 것이며, 기존의 방법으로 결속할 경우 철근에 뒤를림현상이 발생하여 결속의 효과가 크게 나타나지 못하였으나 상부철근에 결속할 경우 이러한 수직력에 효과적으로 작용한 때문으로 사료된다.

##### 2. 결속횟수는 강도 또는 연성면에서 볼 때 한 장소에 1회만으로 충분하다

결속횟수를 1회, 2회, 4회를 실시한 각각의 시험체를 비교해본 결과 결속횟수 증가에 따른 강도 또는 연성증가 효과는 미미하였다. 이것은 결속시 장력이 동일하게 작용하지 않기 때문에 장력이 큰것부터 차례로 파단이 일어나 버리기 때문이다. 또한 B65, WR시험체의 경우 결속횟수의 증가에 따라 일정하게 극한강도와 연성이 증가하였으나, 그외의 시험체의 경우 일정한 경향을 보이지 않았으며, 이는 실험시 정밀도가 떨어져 발생한 현상으로 보인다.

##### 3. 기존 시방서규준 및 감리규준과 비교해 볼 때 규준의 추가 필요성이 있다.

기존의 시방서에서는 결속에 관한 규정은 없으며, 건축공사 감리요령에 의하면 “결속에 관한 항은 교차되는 부분으로 경미한 부분은 하나 또는 둘 겹첩으로 결속”토록 기술 되어 있다. 본 실험결과 현재의 규준에 중요부분 또는 겹이음 같은 장소에서는 1항에서 지적한 바와 같이 상부철근에 결속시 그 효과가 크게 나타나기 때문에 이에 관한 항을 충분한 실험을 거친 후 추가할 필요가 있다.

#### 참고문헌

1. China, James, Ferguson, Rhil, M, and Thompson, J. Neils, "Lapped Splices in Reinforced Concrete Beams", ACI Journal, Proceedings Vol. 52, No.2, Oct. 1955
2. 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
3. David, M. F. Orr. (1976). "Lap Splicing of Deformed Reinforcing Bars", ACI Structural Journal No. 73-53, November, pp.622-627
4. Tel Rezansoff, Adeniyi Akanni, and Bruce Sparling. (1993). "Tensile Lap Splices under Static Loading": A Review of the Proposed Journal, July-August pp.374-384
5. 조준현편저 건축공사 감리요령 기문당 1996.7
6. 건설교통부제정 콘크리트표준시방서 대한토목학회 1996.