

# 용접철망 콘크리트 벽체의 면내 휨거동 연구

Inplane Flexural Behavior of Concrete Walls Reinforced by Welded Wire Fabric

김 대 중 \* 김 우\*\* 양 지 수 \*\*\* 윤 영 호\*\*\*\* 오 정 란\*\*\*\*\*  
 Kim, Dae-Joong Kim, Woo Yang, Ji-Soo Yoon, Young-Ho Chung, Lan

## ABSTRACT

8 Wall specimens (1/2 scaled) used welded wire fabric ( $\Phi=6\text{mm}$ ) and ordinary deformed reinforcement (D6) of which their ultimate tensile strength were almost same were tested to investigate the inplane-flexural behavior.

Test results show that :

1. The wall strength with welded wire fabric was 20% less than that with deformed bar.
2. The wall ductility ratio of welded wire fabric was 1/3 times than that of deformed bar, approximately.
3. It is recommended that lap splice of welded wire fabric should be avoided in critical fracture zone.

### 1. 서 론

철근콘크리트 내력벽 구조에 사용되는 철근으로는 이형철근, 용접철망등이 있다. 현장조립 이형철근 대신에 시공이 보다 편리한 구조용 용접철망을 벽체에 사용할 경우 불가피하게 겹침이음을 하게되는데, 이러한 연결부에 대한 현행 콘크리트 표준시방서의 규정이 용접철망으로 보강된 콘크리트 벽체에서도 적절하지 검토가 요구된다.

일반철근과 구조용 용접철망의 재료 자체를 직접 비교하면 다음과 같은 차이가 있다.

- 이형(Deformation)형상 및 제작방법의 차이
- 용력-변형을 곡선의 차이
- 용접점에 의한 유효단면적 감소 및 용력집중현상 발생 가능성의 차이

위와 같은 차이를 갖고 있는 용접철망을 콘크리트 벽체의 보강용으로 사용했을때, 동일한 조건에서 일반 이형철근으로 보강한 벽체와의 거동 차이에 대해서는 지금까지 잘 알려져 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 동일한 조건에서 이형철근으로 보강한 벽체와 용접철망을 사용한 겹침이음 길이에 대한 각각의 거동차이를 파악하여, 그 결과를 시방지침서(안)에 반영하려는 것이 본 실험의 주된 목적이다.

- \* 정회원, 전남대학교 대학원, 박사과정.
- \*\* 정회원, 전남대학교 토목공학과, 부교수.
- \*\*\* 정회원, 대한주택공사 주택연구소 과장.
- \*\*\*\* 정회원, 대한주택공사 주택연구소 연구원.
- \*\*\*\*\* 정회원, 단국대학교 건축공학과, 부교수.

### 2. 실 험

#### 2.1 시험체

시험체는 벽식구조 아파트의 각 층간의 시공이음부의 겹침이음 거동을 상사시키기 위해 건물의 층고가 260cm인 상·하층 벽체의 일부를 발채하여, 이를 1/2 크기로 축소시켜서 그림 1과 같은 시험체를 결정하였고, 주요 실험변수는 중간 시공이음부에서의 겹침이음길이(lap splice length)를 수직철근직경(D)을 기준으로 15D, 25D, 35D와 연결부 없이 일체로 연속시킨 것 4종류로 하여, 그림 1처럼 배근하였다. 연결부 없이 일체로 배근한 벽체는 다른 3종류(15D, 25D, 35D)의 결과와 직접 비교하였다. 위와 같은 4개의 서로 다른 연결에 대해 각각 일반 이형철근을 사용한 경우와 동일한 형태의 용접철망을 사용한 두가지 경우 거동차이를 파악하기 위해, 표 1과 같이 총 8개의 벽체를 제작하였다.

표 1. 겹침이음길이 연구를 위한 시험체

시험체호칭	보강철근TYPE	겹침이음길이
F C W		연결점 없음
F 15 W	이형 용접철망 6x6 - 100x100D	15D (9cm)
F 25 W		25D (15cm)
F 35 W		35D (21cm)
F C R		연결점 없음
F 15 R	일반 이형철근 D6 - 100x100	15D (9cm)
F 25 R		25D (15cm)
F 35 R		35D (21cm)

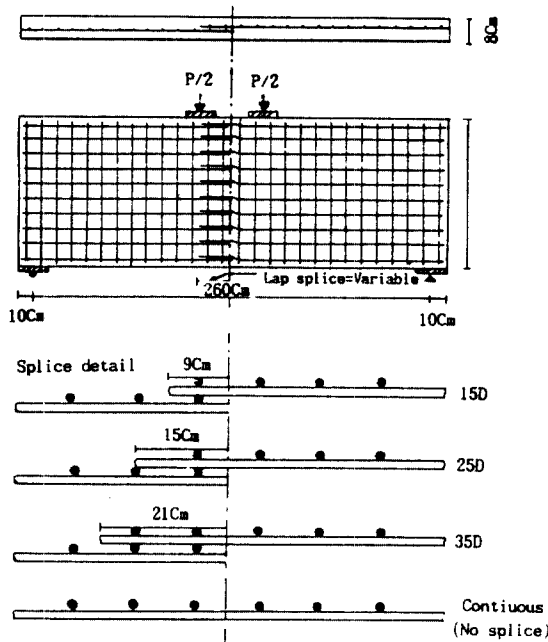


그림 1. Specimen Detail

## 2.2 재 료

### 가. 콘크리트

시험체 제작때 사용된 콘크리트는 1/2 scale 축소 모형콘크리트에 적합하도록 굵은골재 최대치수를 보통 사용크기의 1/2 로 줄여서 표 2와 같이 배합하였다. 시험체는 일반 현장과 동일하게, 벽체를 세워서 콘크리트를 타설하였다. 이때 모두 9 개의 15 cm x 30 cm의 표준공시체를 제작하여, 6 개는 압축강도시험, 3개는 조갠인장강도시험을 하였다(타설후 70일). 그 결과 평균압축강도는 294 kg/cm<sup>2</sup> 였으며, 조갠인장강도는 21 kg/cm<sup>2</sup> 이었다.

표 2. 사용 콘크리트 배합 및 결과

배	물-시멘트비 (W/C)	51 %
	C : S : G	1 : 1.8 : 2.8
	굵은골재 최대치수	12 mm
	굵은골재 최대치수	12 mm
합	시멘트	Type I 보통포틀랜드
	공기량	2.5 %
	슬럼프	10 cm
결 과	압축강도(재령 70일)	294 kg/cm <sup>2</sup>
	조갠인장강도(재령 70일)	21 kg/cm <sup>2</sup>

### 나. 철근과 용접철망

본 실험에 사용된 D6 철근은 상용의 일반 이형 철근으로 국내 I 회사에서 제작한 것을 구입하여 사용하였으며, 이형용접철망은 H社에 본 실험에 맞도록 주문 제작하여 사용하였다

물리적 성질을 조사하기 위해 10 ton 용량의 재료시험기(Instron)와 50mm Gage Length를 갖는 Extensometer를 이용하여 인장실험을 하였으며, 철근과 용접 철망의 응력-변형도 곡선은 그림 2와 같다. D6 철근과 6 mm 이형용접철선의 재료적 특성은 표 3과 같다.

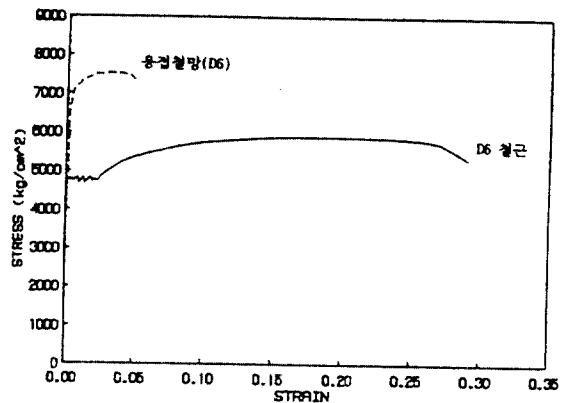


그림 2. 철근의 응력-변형율 곡선

표 3. 철근과 용접철선의 물리적 성질

	D6 철근	6 mm 용접철선
공칭직경	6.35 mm	5.56 mm
공칭단면적	0.3167 cm <sup>2</sup>	0.2428 cm <sup>2</sup>
항복강도	4750 kg/cm <sup>2</sup>	7150 kg/cm <sup>2</sup>
인장강도	5905 kg/cm <sup>2</sup>	7537 kg/cm <sup>2</sup>
극한(파괴)변형율 (연신율)	0.29 ( 29 % )	0.05 ( 5 % )
극한 인장내력 (인장강도×단면적)	1870 kg	1830 kg

## 2.3 실험장치 및 측정

### 가. 재하방법 및 장치

벽식구조가 횡하중을 받을때 중간 시공이음부의 단면력을 이상화시킬 수 있도록 그림 3와같이 시공이음부의 벽체 중앙부는 전단력이 발생하지 않고 순수 휨모멘트만 발생하도록 재하시켰다. 이는 본 실험이 철근 겹침이음길이에 대한 연구를

하기 위한 것으로서, 이때 거동을 지배하는 것이 주로 휨모멘트라는 관점과, 또한 각 실험결과를 직접 비교하기 위해서는 벽체 중앙부의 거동 또는 응력상태를 일정하게 하기 위해 1점재하 대신에 2점재하 방식을 선택하였다.

하중은 50 ton 용량의 Oil Jack을 사용하였으며, 실험부재의 양단지지는 25 mm 두께의 10 cm x 20 cm 철판을 사용하여 국부적인 지압파괴를 방지하였으며, 모서리에서 10 cm 떨어진 곳에 직경 50 mm 강봉으로 단순지지 하였다. 재하점은 벽체 중앙의 40 cm 구간이 순수 휨을 받도록 제작하였다.

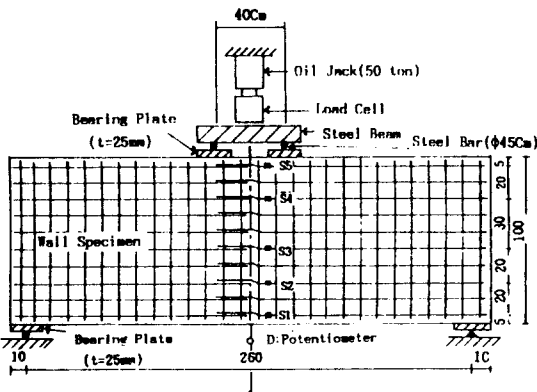


그림 3. 실험장치 및 측정위치

#### 나. 측 정

벽체의 거동을 파악하기 위해서 그림 3에 표시한 것처럼 하중(P)과 중앙처짐(Dc) 및 수평철근의 변형율(S1-S5)을 측정하였다.

재하시 7개의 Sensor에서 출력되는 Output는 Automatic Data Acquisition System에 의해 자동 판독 및 기록되게 하였다. 각 Sensor에서 출력되는 아날로그 신호는 Converter를 통하여 매 순간마다(중앙처짐량이 1/200 mm가 변하는 순간마다) 수치로 변환되어 컴퓨터 Memory와 Printer로 출력됨과 동시에 모니터에 P-△ Curve가 그려지도록 하여 시험상태를 연속적으로 기록되게 하였다. 실험자료는 위와 같이 연속적으로 자동처리되게 하면서 콘크리트의 균열상태는 관찰에 의해 시험체 위에 직접 표시하면서 기록하였다.

### 4. 실험 결과 및 분석

#### 4.1 일반거동 및 파괴 매커니즘

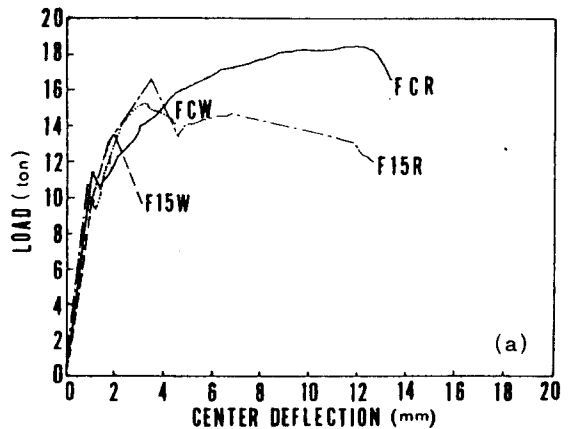
##### 가. 하중-처짐 곡선 및 균열현상

8개 벽체의 휨실험에서 얻어진 하중-중앙처짐곡선을 그림 4에 나타내었으며, 표 4에 각 시험체 별로 초기휨 균열하중(initial flexural cracking load), 최대하중(극한하중: ultimate load), 연성비(ductility ratio) 및 파괴 모드(failure mode)에 대하여 정리하였다.

그림 4의 p-△ Curve를 살펴보면, 모든 시험체에서 하중작용 시작점부터 최초의 휨균열이 발생하는 점까지는 비교적 선형거동을 나타내고 있다.

표 4. 벽체 면내 휨실험 결과

Specimen	Initial Flexural Cracking Load (ton)	Ultimate Load (ton)	Ductility Ratio	Failure Mode
FCR	11.57	18.44	13.2	인장철근 파괴
FCW	10.18	15.25	4.8	인장철근파괴
F15R	10.90	16.69	14.2	부착파괴 + 인장철근파괴
F15W	9.88	13.38	1.7	부착파괴
F25R	10.55	17.96	15.6	인장철근파괴
F25W	10.12	13.62	3.6	인장철근파괴
F35R	12.90	20.5	13.3	천단스판범위에서 인장철근파괴
F35W	8.68	14.83	4.9	인장철근파괴



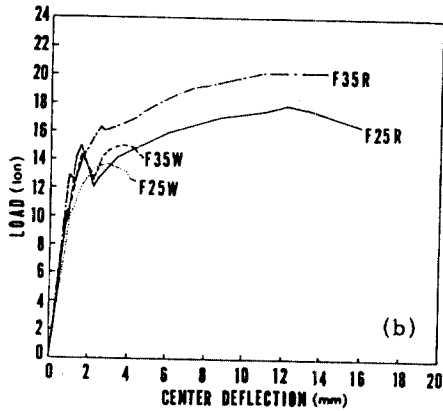


그림 4. 하중-중앙처짐곡  
 (a) 시험체 FCR, FCW, F15R, F15W.  
 (b) 시험체 F25R, F25W, F35R, F35W.

하중이 약 10 ton에 도달하면 벽체 중앙부 근처에 그림 5와 같이 갑자기 길이가 50 cm 이상의 큰 초기 휨 균열이 발생하였다. 약 10 ton 정도의 하중에서 최초 휨 균열이 발생하며, 휨 균열이 발생하기 전까지는 용접철망보강벽체와 철근보강 벽체 간 또는 겹침길이에 따른 거동의 차이는 전혀 나타나지 않고 모든 벽체가 동일한 거동을 보였다.

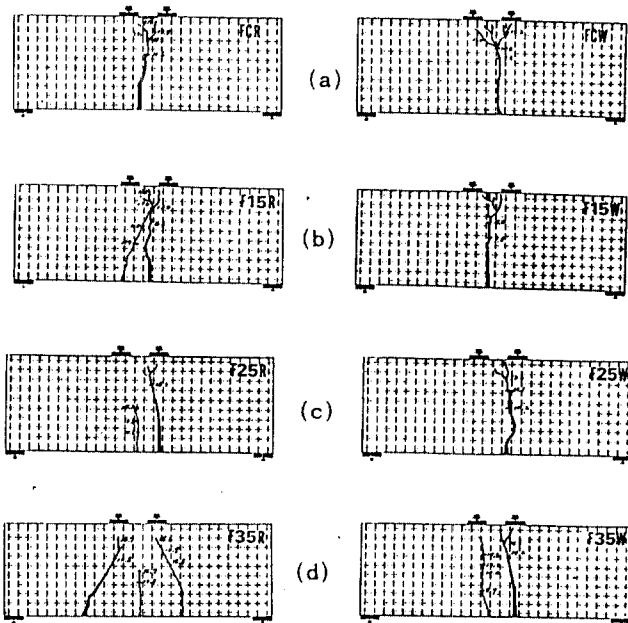


그림 5. Crack Configuration

- (a) 시험체 FCR, FCW. (c) 시험체 F25R, F25W.  
 (b) 시험체 F15R, F15W. (d) 시험체 F35R, F35W.

나. 휨균열 발생과 그직후의 거동

모든 벽체는 재하하중이 약 10 ton에 도달하면 그림 5 처럼 벽체 중앙부에 50 cm 정도의 큰 휨 균열이 발생하였다. 이 최초 휨균열이 발생하면 약 1-3 ton 정도의 하중이 순간적으로 떨어지는 현상이 모든 벽체에서 발생하였다. 그 후 다시 그림 4의 P-Δ Curve에 보인 것처럼 하중이 다시 증가하는 현상이 나타났다. 이러한 현상은 균열 직전의 비균열단면의 휨강도(flexural strength)가 휨 균열 발생후의 균열단면의 휨강도보다 크기때문에 그 차이 정도의 하중만큼 순간적으로 낮아졌기 때문이다.

다. 극한상태의 거동

휨균열이 발생하면 균열단면의 하단부 철근들은 순간적으로 항복응력에 도달하게 된다. 그림 6은 철근에 부착되어 있는 Strain Gage 값을 이용하여 하중단계별 변형률 및 응력분포를 나타낸 것으로 즉, S1과 S2 (그림3)의 Gage 값이 균열 발생전에는 200 microstrain 이내의 작은 값에서 변화하다가 균열이 발생하는 순간 2000-3000 microstrain 값으로 갑자기 증가되어졌다. 이것은 하단부 철근의 변형정도가 그림 6의 (c)와 (d)의 중간단계인 부분소성상태(partial plastic state)로 순간적으로 변화되었음을 보여주는 것이다.

하중을 계속 증가시키면 처짐이 증가함에 따라 균열단면의 회전량이 커져서 중립축 위치가 위로 올라가며, 동시에 인장철근의 변형이 증가하게 된다. 이때문에 맨 하단부 철근은 물론 그 위에 위치한 인장철근들(그림 6에서 Rebar ②, ③, ④ 등)이 항복응력에 차례로 도달되면서 부분소성상태가 확산되어 하중저항능력이 증가하게 된다.

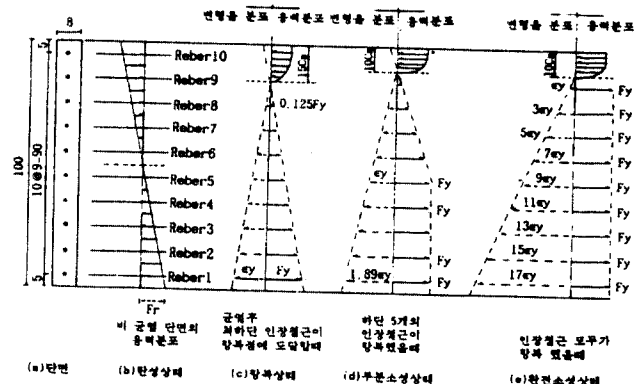


그림 6. 하중단계별 변형률 및 응력분포

## 4.2 철근보강 벽체와 용접철망보강 벽체와의 거동 비교

### 가. 강도(strength) 비교

힘균열강도는 표 4과 그림 4에 각각 동일조건을 갖는 벽체에서 철근과 용접철망의 차이를 직접 비교하였다. 최초 힘균열강도는 철근을 사용한 벽체가 용접철망을 사용한 벽체의 경우보다 약 0.3 - 1.4 ton 정도 컸다.

극한강도(최대강도)는 용접철망으로 된 벽체의 극한강도가 철근으로 된 벽체의 강도보다 각 조건(겹침이음길이)마다 약 3-4 ton 정도(약 20%) 적음을 알 수 있다. 이러한 현상은 용접철망은 연성이 크지 않아서 균열후 인장철근들이 완전소성상태(그림 6(e))에 도달하기 전에 하단부 철근이 파단되어 부분소성상태에서 최대강도가 발현되고, 반면에 철근은 그림 2에서 보인 것처럼 충분한 연성을 갖고 있어서 그림 6(e)와 같은 완전소성상태에 도달함으로써 최대강도가 나타나기 때문이다. 또한 용접철망은 수직 및 수평철근의 교차점을 용접한 것이기 때문에 불완전한 용접등에 의해 유효단면적의 감소가 발생되며, 완전용접일지라도 용접점이 Stress Raiser 역할을 함으로써 용접철근의 인장강도가 감소되기 때문이다.

### 나. 연성(ductility) 비교

그림 4에 나타난 하중-중앙처짐곡선을 살펴보면, 용접철망을 사용한 벽체는 최종 파괴될때의 중앙 처짐( $\Delta_c$ )이 3 - 5 mm 인데 반하여, 철근으로 보강된 벽체는 12 - 16 mm로 약 4 배의 연성 차이가 있음을 알 수 있다. 이것은 그림 2에서 보인 철근과 용접철망재료의 인장시험 결과로부터 쉽게 예상할 수 있는 결과라고 할 수 있다.

## 4.3 겹침이음길이의 영향

### 가. 용접철망으로 보강된 벽체

그림 7에 용접철망으로 보강된 벽체의 하중-처짐곡선을 비교하였다. 이 4개 벽체의 겹침이음길이에 따른 거동차이를 요약하면 다음과 같다.

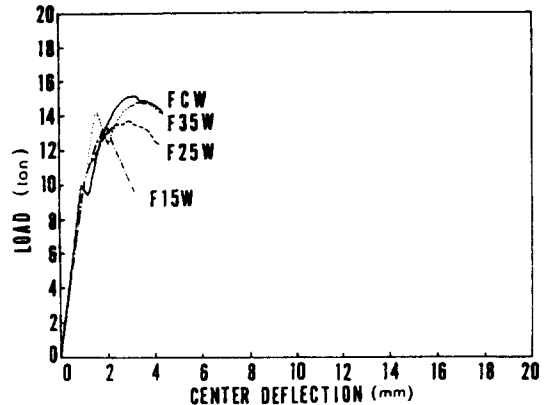


그림 7. 용접철망으로 보강된 벽체의 하중-중앙처짐곡선

겹침이음 길이	specimen	균열 Pattern 및 파괴 Mode
15D (9cm)	F15W	P=9.6ton에서 철근이음부를 가로지르는 수직철근을 따라 힘균열이 발생되어 P=13.4ton에서 균열양쪽의 인장철근이 인발되면서 파괴됨
25D (15cm)	F25W	P=10.2ton에서 이음부가 아닌 Zone에 힘균열이 발생되어 P=13.6ton에 도달할때 균열사이의 인장철근이 순차적으로 파단되면서 파괴됨
35D (21cm)	F35W	P=8.7ton에서 이음부 Zone에 1차 힘균열이 발생되어 P=14.2ton에서 이음부가 아닌 Zone에 큰 2차 힘균열이 발생되고 난후 P=14.8ton에서 인장철근이 파괴됨
No Splice	FCW	P=9.8ton에서 힘균열이 발생되어 P=15.3ton일때 최하단부 인장철근부터 순차적으로 파단되어 파괴됨

위 결과로 보아 6 mm 직경의 용접철망의 겹침이음길이가 15D 일때는 충분한 정착길이가 되지 못하여 인장철근이 뽑혀나옴으로써 파괴되었다. 그러나 겹침이음길이가 25D 와 35D의 경우는 정착길이가 충분하여 최종 파괴는 철근이 끊어짐으로써 파괴되었다. 결론적으로 본 실험 결과를 근거로 판단한다면, 6 mm 직경의 용접철망의 겹침이음길이는 25D 이상이어야 할 것으로 나타났다.

### 나. 철근으로 보강된 벽체

그림 8에 철근으로 보강된 4개의 벽체의 하중-처짐곡선을 비교하였으며, 겹침이음길이에 따른 균열 Pattern 및 파괴형태를 요약하면 다음과 같다.

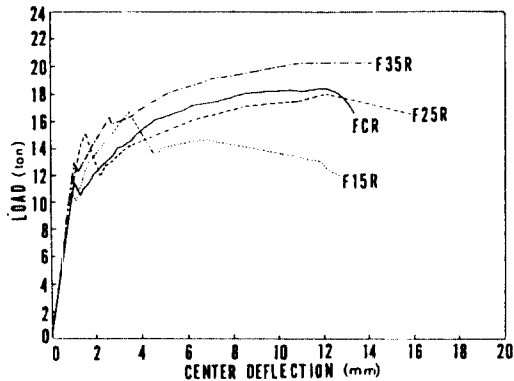


그림 8. 철근으로 보강된 벽체의 하중-중양처짐곡선

겹이음 길이	specimen	균열 Pattern 및 파괴 Mode
15D (9cm)	F15R	P=10.9ton에서 이음부 Zone에서 발생했고, P=16.6ton일때 중앙단면에 제2차 휨균열이 발생되면서 동시에 맨하단 인장철근이 일발되고난 후 다음 인장철근부터는 순차적으로 파괴됨
25D (15cm)	F25R	P=10.5ton에서 이음부 Zone에 제1차 휨균열이 나타났고 P=15.2ton에서 휨균열이 발생되었고, P=17.9ton이 지난후 인장철근이 파단됨
35D (21cm)	F35R	P=12.8ton에서 철근 이음부 Zone에 제1차 휨균열이 발생함과 동시에 중앙단면에서 60cm떨어진 전단구간에 제2차휨균열이 발생하고 P=15.8ton에서 반대편 전단구간에 제3차 휨균열사이의 인장철근이 파괴됨
No Splice	FCR	P=11.6ton에서 휨균열이 발생되고 P=18.4ton에서 균열사이의인장철근이 맨하단부터 순차적으로 파괴됨

위 결과를 살펴보면, 6 mm 직경 이형철근의 겹침이음길이가 25D 이상 일때는, 용접철망의 결과와 같게, 휨부착강도가 커서 겹침이음길이로 충분하다고 판단할 수 있다. 그러나 15D인 경우 맨 하단의 인장철근은 부착파괴 되고, 나머지 인장철근이 모두 파단된 것으로 보아서, D6 철근 겹침이음길이가 15D(9cm)는 어떤 한계 정착길이 또는 최소 겹침이음길이에 해당되는 것으로 판단된다.

위의 결과와 용접철망의 결과를 비교해 보면, 철근의 부착능력이 용접철망보다 우수하다는 것을 알 수 있다. 이것은 용접철망의 경우 15D에서 모두 부착파괴 되었는데 반해 철근의 경우는 부착과 인장파괴가 혼합된 파괴형태를 나타내 주기 때문이다.

## 5. 결론

용접철망을 사용한 벽체의 면내 휨거동에 관하여 이형철근을 사용한 시험체와 비교 실험한 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻게되었다.

(1) 동일조건을 갖는 구조에서 용접철망으로 보강한 벽체의 강도(strength)는 일반 철근으로 보강한 벽체의 강도보다 약 20% 작았다.

(2) 철근으로 보강한 벽체의 연성비(ductility ratio)는 13.2 - 15.2 범위 값을 갖는데 반해, 용접철망을 사용한 벽체는 3.6 - 4.9 범위의 값을 나타내어, 용접철망을 사용한 벽체의 연성은 철근 보강된 벽체의 연성의 약 25%에 불과했다. 따라서 큰 연성이 요구되는 내진 구조물의 접합부등에서는 용접철망의 사용에 주의가 요망된다.

(3) 휨모멘트를 받는 부재에서는 최초 균열이 가로철근을 따라 형성되어, 가로철근의 세로철근에 대한 구속효과가 감소되어 일반적으로 평가되는 용접철망의 이형철근에 대한 부착성능의 우위가 확보되지 못하였다. 따라서 균열이 집중될 것으로 예상되는 곳에서는 용접철망의 겹침이음을 피하거나 일반 이형철근보다 최소한 5D 정도 더 큰 겹침이음길이가 요구된다.

(4) 구조적 거동이 휨모멘트에 지배되는 벽체에는 용접철망의 사용에 극도의 주의 또는 사용처의 선정을 엄격하게 하여야 할 것으로 판단된다.

(5) 위 (1)번과 (2)번 결과는 겹침이음하는 구간의 폭에 따라(strain gradient) 결과가 다르리라 생각되며, 향후 이에 대한 연구가 더 있어야 할 것으로 사료된다.

## \* 참고 문헌 \*

- 대한건축학회, 구조용 용접철망의 설계 및 시방지침서, 1992. 4.
- 대한건축학회, 극한강도 설계법에 의한 철근 콘크리트 구조계산 규준 및 해설, 1988.

이 연구는 대한주택공사 연구의 일환으로 이루어진 것임.