

# 철근격자망을 사용한 슬래브-벽체 접합부의 구조성능

## Structural Performance of RC Slab-Wall Joints Reinforced by Welded Deformed Steel Bar Mats

박성식<sup>1</sup> · 윤영호<sup>2</sup> · 이범식<sup>3</sup>

Seong-Sik Park<sup>1</sup>, Young-Ho Yoon<sup>2</sup>, and Bum-Sik Lee<sup>3</sup>

(Received January 6, 2011 / Revised January 24, 2011 / Accepted January 25, 2011)

### 요 약

본 연구는 벽식구조 아파트의 슬래브와 벽체를 철근격자망으로 배근할 경우 접합부의 구조성능을 검증하기 위해 수행되었다. 이를 위해 벽체와 연결된 불연속단의 캔틸레버형 슬래브 시험체를 사용하여 철근격자망 상부근의 정착길이와, 철근격자망의 정착부에 일반 구부림 철근을 사용하여 정착한 경우의 정착방법 및 길이를 변수로 실험을 수행하였다. 결과는 다음과 같다.

- (1) 슬래브-벽체 외부접합부의 철근망 시공에서 슬래브 철근망은 벽체의 철근 선까지 배근하고 이음길이를 확보한 별도의 철근을 90° 표준갈고리로 정착하는 경우, 정착길이와 단면적이 확보되면 강도 발현에 문제가 없는 것으로 나타났다.
- (2) 슬래브 철근망을 접합부에서 이음할 때 철근망의 철근을 벽체 속으로 매입하면 강도는 더욱 증가한다. 그러나 최고강도에 도달한 이후의 연성은 이음이 없는 것과 동일한 것으로 나타났다.
- (3) 슬래브-벽체 외부접합부에서 단부 모멘트에 대한 슬래브 하부 압축콘크리트의 파괴시 변형률은 일반 콘크리트 보와 비교할 때 훨씬 큰 것으로 나타났다. 이는 슬래브-벽체 접합부가 90°를 이루고 있어 이에 따른 구속효과가 있기 때문인 것으로 판단된다.

**주제어** 철근격자망, 정착성능, 표준갈고리

### ABSTRACT

In order to clarify the structural performances of Welded Deformed Steel Bar Mats (WDSBM), the research stated includes the tests for standard hook of top bars of slab in concrete slab-wall joints, the tests for embedment length of top bar of slab, and the development strength tests for standard hook. The test results are as follows;

- (1) For slab-wall joints using WDSBM as reinforcement in slab, if the top bars of WDSBM are spliced by ordinary bars with sufficient development length and size, it is enough for the strength and crack control.
- (2) When WDSBM of slab is spliced in joint, the strength is increased with the embedment of bars of this WDSBM into wall. Beyond peak strength, however, ductility is diminished to that as no splice due to pull-out failure.
- (3) For slab-wall system, ultimate strain of concrete for flexural compression zone in lower surface of slab seems much greater than that of normal concrete beam. The reason is that normal concrete beam has the joint with 180°, however slab-wall joint has the 90° of which concrete can be confined.

**Key words** Welded Deformed Steel Bar Mats, Development Performance, Standard Hook

## 1. 서 론

최근 벽식구조 아파트의 골조공사를 효율적으로 수행하기

위하여 다양한 형상의 선조립철근이 활용되고 있다. 선조립 철근의 대표적인 것은 용접철망이며, 이외에도 트러스형 선조립철근과 데크 플레이트를 일체화시킨 철근트러스상판, 그

본 논문은 ‘프리캐브철근 활용기술연구(I) 1995’ 및 ‘철근격자망을 사용한 건축물의 구조설계·시공 실무편람 작성연구 1995’ 연구를 바탕으로 정리한 것임.

1) 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원(spark72@lh.or.kr)

2) 한국토지주택공사 토지주택연구원 선임연구위원(교신저자: yhyoon@lh.or.kr)

3) 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원

리고 철근격자망 등 다양한 제품이 개발되어 있다.

철근격자망은 철근을 서로 직교시키고 그 교차점을 전기 저항점용접(Electric resistance spot welding)으로 결속시킨 선 조립철근이다. 외형이나 제작방법은 용접철망과 유사하지만 용접철망은 철선(steel wire)으로 철근격자망은 철근(steel bar)으로 구성된다는 점이 크게 다르다.

철근격자망(Welded deformed steel bar mat, 이하, ‘철근망’)은 철근콘크리트 구조부재에 일반적으로 사용되는 철근으로 제작되므로 원소재의 성능에 차이가 없고 설계방법의 차이도 크지 않다는 장점이 있다. 그러나 철근망에서는 철근이 정방형이나 장방형으로 조립되므로 겹침이음의 위치가 집중되고, 슬래브 단부의 정착부에서 배근작업이 어렵다는 문제도 있어 (김석중, 1994) 이에 대한 검토가 선행되어야 한다.

한편, 슬래브 단부에서의 상부철근은 휨모멘트에 의한 인장력을 받기 때문에 철근망 배근 시 상부철근의 정착은 슬래브의 내력과 변형능력을 결정하는 중요한 요소이다. 또한 철근망의 정착성능은 정착방향에 직각으로 접합된 철근으로 인해 일반 철근에 비해 우수하다고 볼 수 있다. 그러나 현장시공 시 철근망 단부 정착부의 구부림과 배근작업이 까다롭기 때문에 철근망의 배근은 벽체의 철근 선까지만 하고 이음길이를 확보한 일반 철근을 사용하여 구부림 정착을 해야 하므로 이에 대한 정착성능 검토도 필요하다.

본 연구는 벽식구조 아파트에 철근망을 적용하는 데 필요한 가이드 라인을 제공하기 위하여 슬래브-벽체 접합부에서의 구조성능을 평가하였다. 벽체와 연결된 불연속단의 캔틸레버형 슬래브 실험체를 사용하여 철근망 상부근의 정착길이와 일반 철근을 사용하여 철근망 단부를 정착할 경우의 정착방법을 실험을 통해 검증하였다.

## 2. 일반 철근의 정착실험

### 2.1 실험계획

#### 2.1.1 표준갈고리에 의한 정착실험

슬래브-벽체 접합부에 대한 실험에 앞서 표준갈고리(standard hook)의 정착길이( $l_{dh}$ ) 변화에 따른 강도실험을 수행하였다. 현 규준에 의하면 표준갈고리의 최소 정착길이는 150mm이므로(ACI318, 2008) 벽체 두께는 최소 200mm가 필요하다. 그러나 벽식구조 아파트의 경우 정착길이를 충분히 확보할 수 없는 상황이 있을 수 있으므로 이에 대비한 정착강도의 변화를 검토하였다.

실험체의 크기는 500×300×200mm이고 제작에 사용된 콘크리트는 압축강도가 27MPa이며 그 배합은 표 1과 같다. 실험체에 사용된 철근은 D10(SD300)과 D13(SD400)이고 각각의 기계적 성질은 표 2와 같다.

표 1. 콘크리트의 배합설계

W/C (%)	S/A (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )				Admixture (C×%)	$f'_c$ (MPa)
		W	C	S	G		
55	42	185	336	749	1034	-	27

표 2. 철근의 기계적 성질

	Nominal Dia.(mm)	Nominal Area(mm <sup>2</sup> )	Strength(MPa)	
			Yield	Tensile
D10(SD300)	9.53	71.33	382.0	550.0
D13(SD400)	12.7	126.7	399.1	595.7

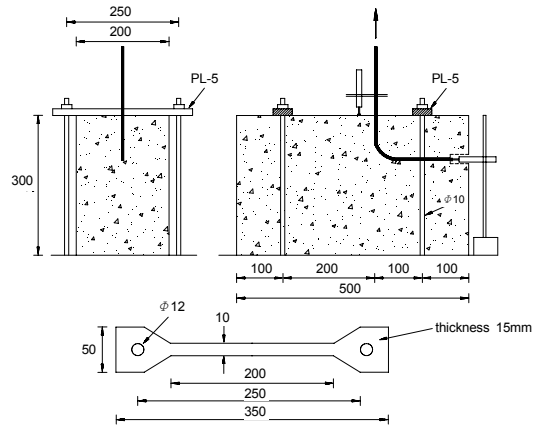


그림 1. 정착실험 (표준갈고리)

정착길이에 따른 강도의 변화를 검토하기 위하여 규준에 의한 최소 정착길이인 150mm를 기준으로 D10(SD300)의  $l_{dh}$ 는 50, 75, 100, 150, 200mm로, D13(SD400)의  $l_{dh}$ 는 50, 75, 100, 125, 150mm로 변화시켰다.

가력장치는 250톤 용량의 Closed-loop Servo-Hydraulic Dynamic Materials Testing System을 사용하였다. 실험체는 15mm 두께의 강판과  $\phi 10$ mm의 강봉을 사용하여 만능재료시험기에 고정하였다. 실험체를 설치한 후 철근에 일방향 인장력을 가하였으며 변위제어방식으로 실험을 수행하였다. 하중은 Load cell을 이용하여 측정하였고 표준갈고리의 거동을 측정하기 위하여 재하단 철근부위와 갈고리의 끝단에 LVDT를 설치하였다(그림 1).

#### 2.1.2 물림길이에 따른 인발실험

전술한 바와 같이 슬래브-벽체 접합부에 철근망을 배근할 경우 상부근의 직접 정착시공은 매우 어려운 상황이다. 따라서 실제 배근 시에는 철근망의 주근은 벽체의 철근 선까지만 배근하고 이음길이를 확보한 이형철근을 사용하여 벽체에 정착하는 방법이 효과적이다. 이러한 경우 슬래브 철근망의 단부가 벽체의 내부로 매입되므로 그 영향을 검토하였다.

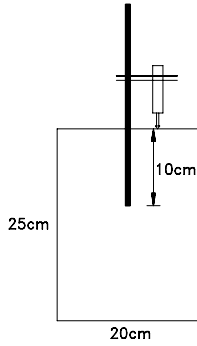


그림 2. 인발시험(문힘길이)

시험체에는 항복강도 382MPa인 D10(SD300) 철근과 압축강도 27MPa의 콘크리트를 사용하였다. 이형철근의 문힘길이는 슬래브-벽체 접합부 시험체에 사용된 100mm로 하였으며 인발시험(Pull-out test)을 통하여 정착강도를 측정하였다. 변위측정을 위한 LVDT는 철근으로부터 35mm 위치에 설치하였다(그림 2).

## 2.2 실험 결과

### 2.2.1 표준갈고리에 의한 정착실험

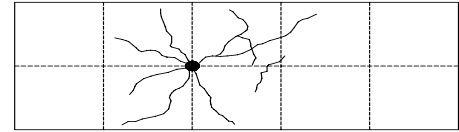
일반적으로 인발시험체의 파괴형태는 피복에 균열이 발생하는 쪼개짐 파괴(splitting failure), 철근이 뽑혀 나오는 파괴(pull-out failure), 철근의 항복파괴(bar failure)로 나눌 수 있다. 본 실험에서는 정착길이에 따라 쪼개짐 파괴와 철근의 항복파괴의 두가지 형태로 나타났다.

D10(SD300) 철근은  $l_{dh}$ 가 75mm인 경우를 기준으로 파괴형태가 변하였다. 50mm에서는 콘크리트의 쪼개짐 파괴가 75mm에서는 철근의 항복파괴가 발생하였다. D13(SD400) 철근은  $l_{dh}$ 가 125mm인 경우를 기준으로 파괴형태가 변하였다.

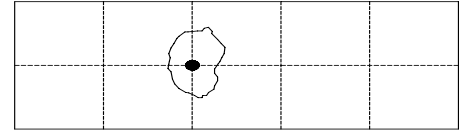
그림 3에서 보는 바와 같이 쪼개짐 파괴에서는 철근을 중심으로 주변 콘크리트에 균열이 많이 발생하였다. D10(SD300) 철근의 경우  $l_{dh}$ 가 50mm, D13(SD400)의 경우 50mm, 75mm, 100mm가 이에 해당한다.

철근의 항복파괴에서는 철근 주변의 콘크리트에 원형 균열이 발생하였고 철근의 항복 이후 극한강도에 도달할 때까지 철근은 뽑혀 나오지 않았다. D10(SD300) 철근을 사용한 경우에는  $l_{dh}$ 가 75mm, 100mm, 150mm, 200mm, D13(SD400)의 경우에는 125mm, 150mm가 철근의 항복파괴에 해당한다.

그림 4와 같이 D10(SD300) 철근을 사용한 경우에는  $l_{dh}$  75mm를 중심으로 하중-변위곡선의 형태가 변화하는 것을 알 수 있다. 또한 D13(SD400)의 경우에는  $l_{dh}$ 가 125mm 이상인 경우 철근이 항복하는 것을 알 수 있다. 그리고 파괴형태가 변하게 되면 정착강도가 증가하여도 그 증가량은 작은 것

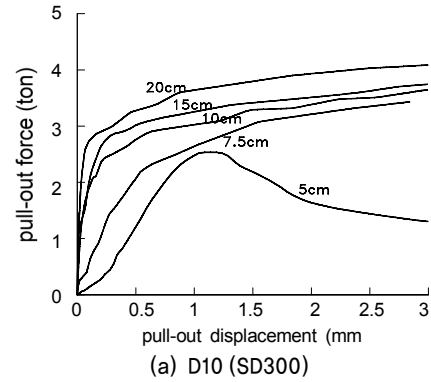


(a) Splitting failure

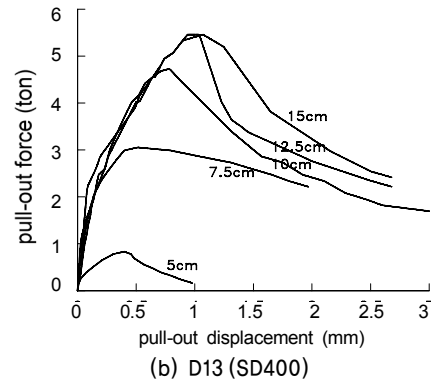


(b) Bar Failure

그림 3. 정착길이에 따른 파괴형태



(a) D10 (SD300)



(b) D13 (SD400)

그림 4. 정착길이에 따른 하중-변위 곡선

으로 나타났다. D13(SD400) 철근에서  $l_{dh}$ 가 50mm인 표준갈고리의 정착실험은 인장그립에 이상이 발생하여 실험이 중단되었다.

한편, 파괴형태가 변하는 정착길이는 철근의 항복강도와 지름의 함수로 나타낼 수 있다. 즉, 철근의 항복강도와 지름이 증가하면 파괴형태가 변하는 정착길이도 거의 유사한 비율로 증가하는 것을 알 수 있다.

그림 5는 D10(SD300) 철근이 항복응력에 도달할 때의 뽑힘변위(pull-out displacement)의 변화이다. 정착길이가 75mm인 경우의 뽑힘변위는 1.62mm, 100mm에서는 0.47mm, 150mm에서는 0.25mm, 200mm에서는 0.12mm로 정착길이의 증가에 따라 뽑힘변위는 큰 폭으로 감소하는 것으로 나타났다. 한

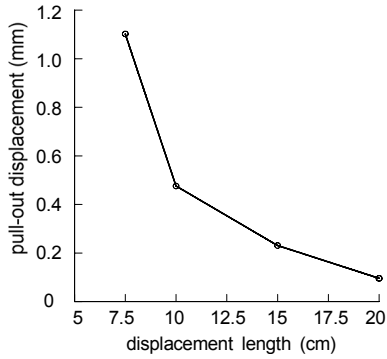


그림 5. D10 (SD300) 철근이 항복응력에 도달할 때의 뿔침변위

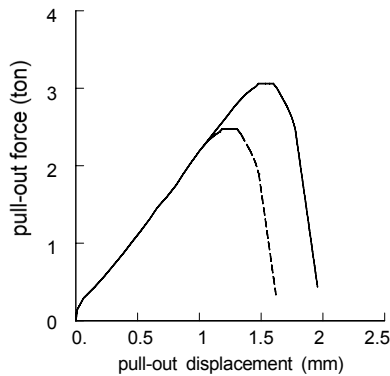


그림 6. D10 (SD300) 철근의 문힘에 의한 정착실험의 하중-변위 곡선

편 그림 4에서 보는 바와 같이 정착길이가 일정수준 이상이 되면 정착길이가 증가에 따른 강도의 증가폭은 작아진다. 따라서 비록 철근의 응력이 항복강도에 도달한다 하여도 실제 구조물에서 부모멘트의 재분배 등 부재의 연성을 요구할 경우에는 더 긴 정착길이가 필요함을 알 수 있다.

2.2.2 문힘길이에 의한 정착실험

그림 6은 철근의 문힘길이를 100mm로 하였을 경우 인발 실험(그림 2 참조)을 통해 얻은 하중-변위 곡선이다. 그림 내의 실선은 실험결과에 따른 것이며 철근이 항복한다는 것을 알 수 있다.

이와 같이 철근만을 매입하여 정착을 한 경우에는 실선과 같이 거동한다. 그러나 철근을 겹쳐서 이음한 경우에는 철근 주위에 콘크리트가 충분히 부착하지 못하여 문힘길이가 100mm 이면 그림의 점선과 같이 나타날 것이다. 즉, 철근을 직접 매립하고 정착길이를 확보하여 정착할 경우에는 철근이 항복을 할 때까지 저항하지만 철근을 겹침이음할 경우 철근이 항복에 도달하기 위해서는 더 긴 정착길이가 필요하다.

그림 6의 실험결과를 나타내는 실선을 보면 직선으로 100mm 깊이만 정착해도 철근은 항복강도에 도달함을 알 수 있다. 그러나 이 경우 곧 뿔치게 되어 연성확보에는 문제가 있다는 것 또한 알 수 있다.

표 3. 슬래브-벽체 접합부 실험체 개요 및 변수

실험변수	실험체명	슬래브배근	정착방법	비고		
철근망 종류	DCN-1	일 반 이형철근	슬래브 철근 직접 정착	정착길이 150mm		
	DCN-2					
	DCN-3					
	WCA-1	철근+철선망 (D10+Ø6)				
	WCA-2					
	WCA-3					
	DCA-1	철근망			이형철근 사용 정착	주근 전부이음
	DCA-2					
	DCA-3					
DCB-1	정착길이 변화		정착길이 100mm			
DCB-2						
DCB-3						
DCC-1	정착이음 방법	이형철근 사용 정착	주근 한개 건너 이음			
DCC-2						
DCC-3						
DCD-1						
DCD-2						
DCD-3						

배근간격 : 주근 @150, 배력근 @200

3. 슬래브-벽체 접합부 정착실험

3.1 실험계획

슬래브-벽체 접합부 실험의 변수와 실험개요는 표 3에 제시된 바와 같다. 주근과 배력근의 간격이 각각 150mm, 200mm인 D10 철근망(DCA Series)을 기준으로, 일반 이형철근으로 배근한 경우(DCN Series), 주근 D10, 배력근 Ø6인 철근철선망(WCA Series)을 배근한 경우를 비교하였다.

2장의 실험에서 일반 이형철근의 정착길이 변화에 대한 강도실험을 수행하였으므로 여기서는 실제 크기에서의 거동과 비교하기 위하여 정착길이 150mm(DCA Series)와 100mm(DCB Series)에 대하여 실험을 수행하였다.

정착방법에 따른 실험변수로는 철근망의 단부를 90° 표준갈고리로 가공하여 벽체에 직접 정착하는 방법(DCA Series)과 철근망은 벽체의 철근 선까지만 배근하고 90° 표준갈고리를 가공한 일반 이형철근을 겹쳐서 정착하는 방법(DCC 및 DCD Series)에 대하여 비교하였다. 일반 철근으로 정착할 경우에는 주철근 전부이음(DCC Series, D10 사용)과 한개 건너이음(DCD Series, D13 사용)으로 구분하여 실험을 수행하였다.

3.2 실험체 및 실험방법

실험체 제작에는 기건양생한 Ø100×200mm 실린더의 재령 28일 압축강도가 22.4MPa인 콘크리트와 항복강도가 369.3MPa인 D10(SD300) 철근을 사용하였다. 실험체에서 슬래브는 1,250×



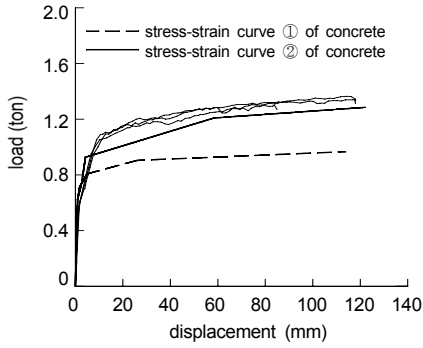


그림 12. DCA Series

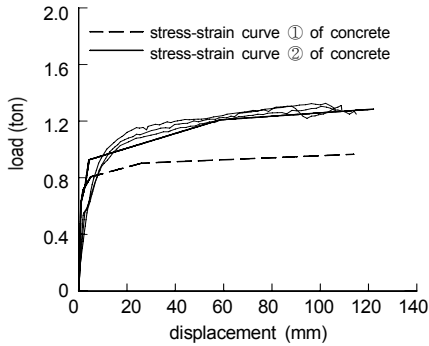


그림 13. DCB Series

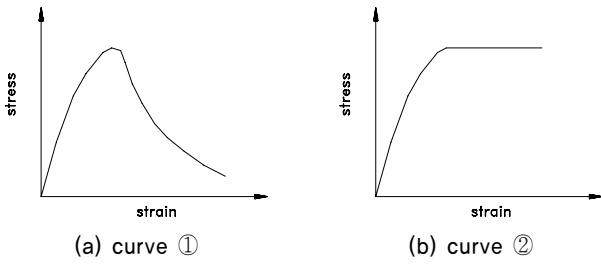


그림 14. 콘크리트의 응력-변형도 곡선

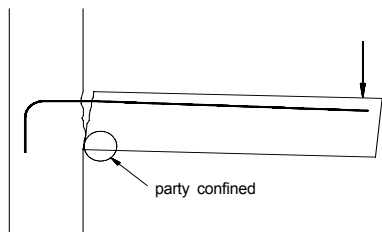


그림 15. 극한내력 상태에서 슬래브-벽체 접합부의 예상파괴 형상

최대하중 상태에서 하중과 변위는 표 4에 제시하였다. 슬래브-벽체 접합부의 구조해석은 철근콘크리트 부재의 비선형 구조해석 프로그램으로 널리 사용되는 IDARC를 활용하여 수행하였고, 해석결과를 실험결과와 비교하였다.

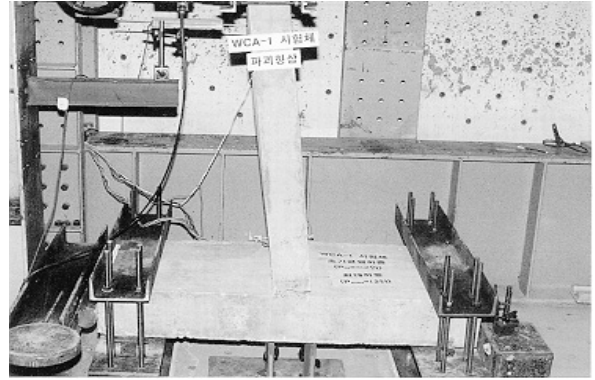


그림 16. 극한내력 상태에서의 파괴 전경

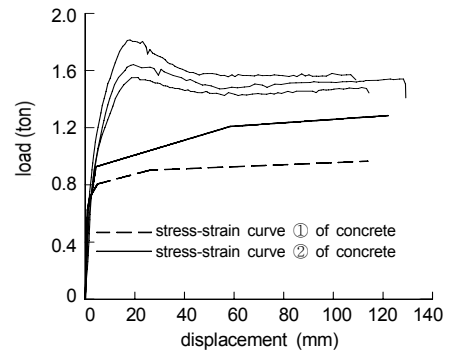


그림 17. DCC Series

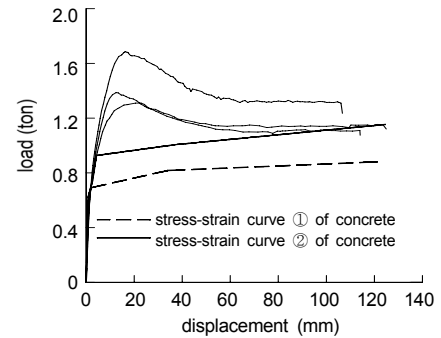


그림 18. DCD Series

### 3.3.1 접합부에서 이음이 없는 경우

접합부에서 겹침이음이 없이 슬래브 철근을 벽체에 직접 정착한 DCN, WCA, DCA 및 DCB Series 실험체의 경우, 이론적인 모멘트 강도는 동일하다. 따라서 그림 10~13에서 해석결과와 실험결과를 비교하였다.

각 그림에서 일반적인 응력-변형도 곡선(그림 14(a))을 이용하여 구한 하중-처짐 관계 곡선은 실험결과보다 20% 이상 낮은 값을 나타내고 있다. 그러나 실험 중 관찰한 바에 의하면 그림 15와 같이 위험단면에서 슬래브 하부의 콘크리트는 파쇄가 전혀 발생하지 않았는데, 이는 일반 보에서의 휨파괴

와는 달리 슬래브-벽체 접합부에서는 접합부가 직각을 이루어 슬래브 하부의 콘크리트가 벽체로 인해 상당히 구속되기 때문인 것으로 판단하였다. 따라서 그림 14(b)와 같은 콘크리트가 구속되었을 경우의 응력-변형도 곡선을 가정하여 해석하였고 그 결과를 그림 10~13에 실선으로 나타냈다. 이 결과는 실험결과와 유사한 값을 보여주고 있음을 알 수 있다.

### 3.3.2 접합부에서 이음이 있는 경우

접합부에 겹침이음이 있는 DCC 및 DCD Series 실험체에 서도 그림 14(b)의 응력-변형도 곡선을 것을 사용했을 때가 실험결과와 더 잘 일치한다(그림 17, 18). 그러나 이들 실험체의 경우 하중 저항능력이 항복 모멘트 근방에서 최고가 되었다가 급격하게 떨어진 후 다시 연성변형을 하는 특징을 보이고 있다. 일반적으로 위험단면에서의 극한능력은 철근의 겹침이음 길이에 따라  $A_s f_y$ 에서  $2A_s f_y$ 까지 커지는 것으로 알려져 있는데, 이러한 효과에 의한 것으로 판단된다.

따라서 DCC와 DCD Series 실험체에 D10 주철근 4개가 벽체 내부로 100mm만큼 매입된 효과, 즉 문힌 철근은  $0.5f_y$ 만큼 받는다 가정함으로써 결국 단면적이 D10의 0.5배 만큼 늘어난 것으로 가정하여(그림 21 참조) 해석한 결과를 그림 19와 그림 20에 나타내었다.

물론 철근 효과는 그림 21에서 보듯이 항복 근처에서 연성

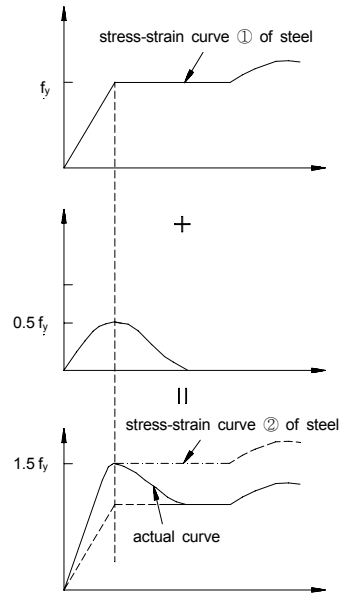


그림 21. 위험단면에서 겹침이음이 있는 경우 철근의 응력-변형도 관계식

이 없으므로 그림 19와 그림 20에 표시된 두 직선 중 항복까지의 위 실선을 따른 후 항복점을 지나서 급격하게 떨어져 아래 점선으로 따라갈 것으로 예상할 수 있다.

## 4. 결론

1. 슬래브-벽체 외부접합부에서 D10(SD300) 철근을 90° 표준갈고리로 가공하여 정착하는 경우, 정착길이는 100mm 정도 필요하며 D13(SD400) 철근의 경우에는 150mm 이상의 정착길이를 확보해야 할 것으로 판단된다.
2. 슬래브-벽체 외부접합부에서 D10(SD300) 철근을 벽체의 내부로 100mm정도 매입할 경우 접합부의 강도 증진에 효과가 있는 것으로 나타났다.
3. 슬래브-벽체 외부접합부의 철근망 시공에서 슬래브 철근망은 벽체의 철근 선까지 배근하고 이음길이를 확보한 별도의 철근을 90° 표준갈고리로 정착하는 경우, 정착길이와 단면적이 확보되면 강도 발현에 문제가 없는 것으로 나타났다.
4. 슬래브 철근망을 접합부에서 이음할 때 철근망의 철근을 벽체 속으로 매입하면 강도는 더욱 증가한다. 그러나 최고강도에 도달한 이후의 연성은 이음이 없는 것과 동일한 것으로 나타났다.
5. 슬래브-벽체 외부접합부에서 단부 모멘트에 대한 슬래브 하부 압축콘크리트의 파괴시 변형률은 일반 콘크리트 보와 비교할 때 훨씬 큰 것으로 나타났다. 이는 슬래브-벽체 접합부가 90°를 이루고 있어 이에 따른 구속효과가 있기 때문인 것으로 판단된다.

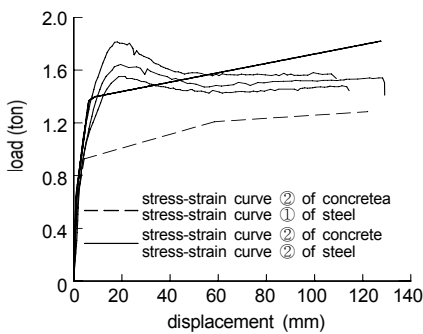


그림 19. 실험 및 해석결과 비교 (DCC Series)

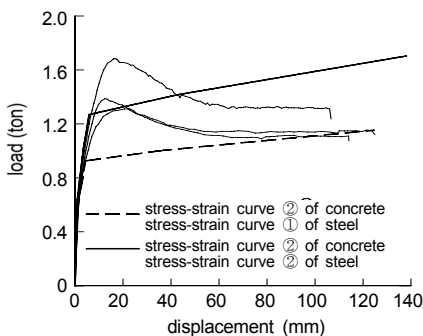


그림 20. 실험 및 해석결과 비교 (DCD Series)

## 참고문헌

1. 국토해양부(2007), 「콘크리트 구조설계기준」, 국콘크리트학회.
2. 김석중(1994), “용접철망을 사용한 슬래브 접합부의 구조성능에 관한 실험적 연구” 「대한건축학회 발표논문집」, 6(2): 291-300.
3. American Concrete Institute(1995), *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-95)*.
4. American Concrete Institute(2008), *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08)*.
5. Kunnath, Sa Shik(1989), *Inelastic Three Dimensional Response Analysis of Reinforced Concrete Building Structure(IDARC-3D)*, NCEER 89-0011, Buffalo State Univ. of New York.