

구조용 용접철망을 사용한 일방향 슬래브의 휨 거동에 관한 실험적 연구

(An Experimental Study on flexural behavior of One-Way Concrete Slabs using Structural Welded Wire-Fabric)

0 허 갑 수* 윤 영 호** 양 지 수*** 김 석 중**** 정 현 수*****
Hur, Gab-Soo Yoon, Young-Ho Yang, Ji-Soo Kim, Seck-Jung Chung, Heon-Soo

ABSTRACT

This research is undertaken to the flexural strength, failure mode and ductile capacity of one way concrete slabs, with and without splices, reinforced with Wire-Fabric.

Test results are as follows :

- (1) Crack of the simple slabs is occurred at a position of transverse wire and entirely crack interval of the fixed slabs is taken place about 20cm,
- (2) Maximum load of slab with splices has showed almost similar to that of slab without splices, but ductile capacity increased according to rising of splices,
- (3) Ductile capacity of slab with Deformed Bar is higher 1.44 times than that of slab with Wire-Fabric, and it is higher 3.74 times than that of slab with Loop-wire fabric, but that of specimens of using Wire-Fabric is average 4.6.

1. 서론

최근 주택건설은 극심한 건축자재 부족과 인력수급등의 많은 어려움을 겪고 있는데 이에 대한 문제의 해결방안중 하나로 철근 콘크리트 공사에서 철근의 가공 조립 공정을 보다 간소화하면서 그 기능의 효율성을 높이는 방안으로 구조용 용접철망을 이용한 공법이 제기되고 있다.

이미 구미 각국에서는 구조용 용접철망의 시공성과 경제성에서 그 장점이 충분히 입증된바 있으며, 많은 연구성과들의 발표와 함께 시방서가 규정되면서 콘크리트 보강용으로써 널리 사용되고 있다. 미국의 경우 용접철망의 생산이 150만-200만t/년으로 이중 30-50%가 건축용에 사용되고 있는 것으로 추정되고 있으며 영국, 오스트리아, 스위스등에서도 용접철망은 전체 콘크리트 보강재 총량의 30-45%를 차지하고 있다. 또한 일본에서도 용접철망에 대한 연구가

1960년 이후 소재, 바닥판, 이음, 접합등에 관하여 많이 진행되어 왔고, 용접철망의 배근 지침도 나와 있는 실정이다.

그러나 현재 우리나라에서 생산되는 용접철망에 대하여는 건설부제정 콘크리트 표준 시방서의 용접철망의 부착 및 정착, 겹이음 규정을 적용할때, 용접철망으로 제작된 콘크리트 부재가 효과적으로 요구되는 수준의 강도 및 시공성을 발휘하는지의 여부도 정확히 알수 없는 실정이다. 따라서 이에 대한 많은 연구의 필요성이 대두 되어진다.

그러므로 본 연구는 구조용 용접철망을 슬래브의 보강재로 이용한 실험적 연구를 통하여 슬래브에서의 적용성 및 구조적 특성에 대한 기초적 자료를 얻는 것을 연구의 목적으로 한다.

2. 실험

2.1 시험체 계획

시험체는 실물크기의 일방향 슬래브를 대상으로 하였으며, 구조용 용접철망의 휨 거동을 파악하기 위하여 다음과 같은 변수로 시험체를 제작했다. 루프형 용접철망과 용접철망을 사용

* 중앙대 대학원, 석사과정
** 대한주택공사 주택연구소 연구원
*** 대한주택공사 주택연구소 과장
**** 강원대학교, 공학박사
***** 중앙대학교, 공학박사

한 경우와 이형철근을 사용한 것으로 3가지 철근을 사용하였고, 주변지지 조건으로는 단순지지와 양단고정으로 하였으며, 철근비는 현행의 최소 철근비인 0.2%를 기준으로 하여 0.15%와 0.2%로 하였고, 또한 겹침을 하였을 때의 성능을 파악하기 위하여 동일한 철근비인 0.15%에서 겹침길이를 현행의 기준인 30D를 기준으로 하여 20D, 25D, 30D로 하여 총 21개의 시험체를 제작하였다. 이들에 대한 상세를 표1에 나타내었다.

표1. 시험체 계획

구분	시험체명	P _t (%)	규격 (mm)	겹침 길이
철근	용접철망 WF-15-F	0.15	8x8 - 300x300	-
	용접철망 WF-15-S			
	용접철망 WF-20-F	0.20	8x8 - 250x250	
	용접철망 WF-20-S			
비이형철근	이형철근 DB-15-F	0.15	10x10 - 300x300	
	이형철근 DB-15-S			
	이형철근 DB-22-F	0.22	10x10 - 250x250	
겹침	용접철망 WSL-20D-F	0.15	8x8 - 300x300	20D
	용접철망 WSL-20D-S			25D
	용접철망 WSL-25D-F			30D
	용접철망 WSL-25D-S			
	용접철망 WSL-30D-F			
칩이형철망	루프형철망 LSL-20D-F	0.15	6x6 - 150x150	20D
	루프형철망 LSL-20D-S			25D
	루프형철망 LSL-25D-F			30D
	루프형철망 LSL-25D-S			
음이형철근	이형철근 DSL-20D-F	0.15	10x10 - 300x300	20D
	이형철근 DSL-20D-S			25D
	이형철근 DSL-25D-F			
	이형철근 DSL-25D-S			

WF - 15 - F	LSL - 20D - S
Fixed	Simple
0.15%	겹침길이
Wire-Fabric	Loop-Wire Fabric
	Splice Length

2.2 사용재료

철근은 D8인 용접철망(Wire-Fabric), D6인 루프형 용접철망(Loop Wire-Fabric)과 D10인 이형철근을 각각의 시험체에 사용하였고, 그림1에 철근과 루프형 용접철망, 용접철망의 응력-

변형도 곡선을 나타내었고, 표2에 철근의 재료적 성질을 나타내었다.

콘크리트는 H레미콘회사에 주문하여 타설하였고, 표3에 콘크리트의 배합표를 나타내었다.

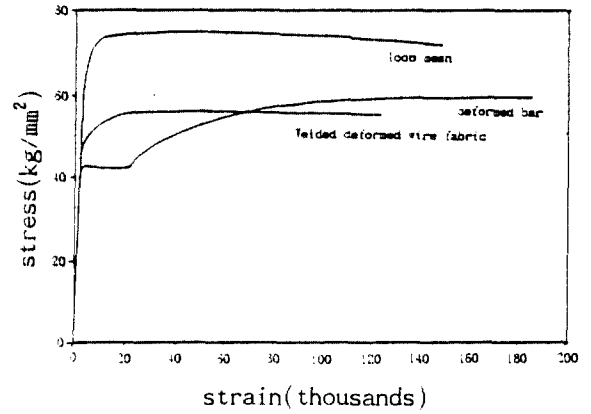


그림1. 철근의 응력-변형도 곡선

표2. 철근의 기계적 성질

철근	σ_y (kg/cm ²)	σ_t (kg/cm ²)	ϵ_y (x10 ⁻³)	E(x10 ⁶) (kg/cm ²)	연신율 (%)
D10	4119	5934	1952	2.11	19.74
D8 (용접철망)	4894	5695	2523	1.94	15.7
D6 (루프형 철망)	7021	7472	3420	2.05	9.16

철근의 연신율(8db), 루프형 용접철망, 용접철망의 연신율(5db) 루프형 용접철망, 용접철망의 항복강도는 0.2% 습셋법에 의해 구한 것임.

표3. 콘크리트 배합표

설계강도 (kg/cm ²)	W/C (%)	S/A (%)	콘크리트 배합표(kg/cm ³)				
			C	W	S	A	혼화제
210	55.5	41	342	190	725	1064	1.02

2.3 시험체 형상

시험체의 크기는 단순 슬래브가 200x80x12cm 이고, 양단고정 슬래브가 240x80x12cm으로 제작되었다.

그림2에 시험체의 형상 및 치수와 철근의 배근현황을 나타내었다.

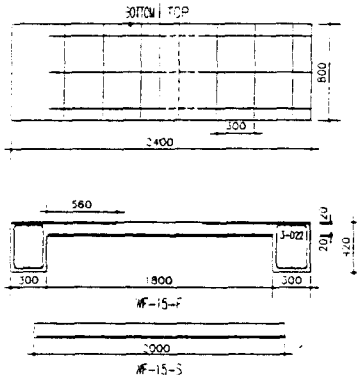


그림2. 시험체 형상 및 철근 배근 현황

3. 시험방법

3.1 시험체 설치

단순지지 슬래브 시험체는 양단에 롤러지지 점을 사용하였으며, 양단고정 시험체는 양단부에 설치된 보의 회전을 억제하기 위하여 보의 중앙부에 30mm크기의 구멍 4개를 뚫어 D25mm 피아노선으로 Bed위의 H형강과 일체가 되도록 하였으며, 보의 양옆에 단부고정용 철물을 제작하여 시험체가 완전고정이 되도록 하였다.

3.2 측정장치

각 시험체는 그림2에 나타낸 것과 같이 강원대 소재의 최대용량 200ton의 U.T.M Bed위에 50ton 용량의 로드셀을 부착하여 2점 집중재하를 하였고, 처짐은 부재의 중앙부 하부에 설치한 Dial Gage로 측정하였다.

또한 단순 슬래브는 중앙부에, 양단고정 슬래브는 양단부와 중앙부에 Wire-Strain Gage를 붙여 TDS-601A에 연결시켜 매 재하시마다 변형을 측정하였다. 그림 2는 가력장치를 나타내었다.

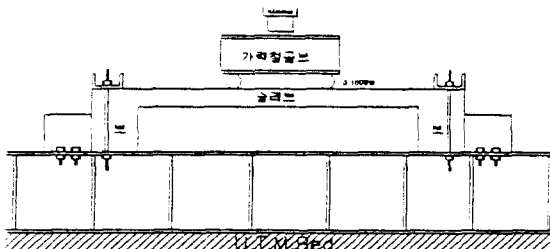


그림3. 가력 장치

4. 실험결과 및 고찰

4.1 슬래브의 파괴 현황

4.1.1 단순 슬래브의 파괴현황

그림 3에 단순 슬래브의 대표적인 시험체의 크랙현황을 나타내었다. 각 시험체에서의 크랙 상황을 보면 가로 철근의 배근 간격과 거의 같은 간격으로 크랙이 발생했고, 중앙부에서의 초기크랙이 발생한 후에 점차 양단으로 가로 철근이 위치한 곳에서 크랙이 발생하였다. 또한 겹침이음을 한 시험체에서도 같은 형상의 크랙이 발생하였고, 겹침이음이 된 중앙부의 가로철근의 위치에도 크랙의 발생이 보여졌다.

초기 휨크랙이 발생한 후 중앙부와 가력점위치에서 발생한 크랙에서 크랙폭이 크게 확대한 후에 최종파괴에 도달하였다.

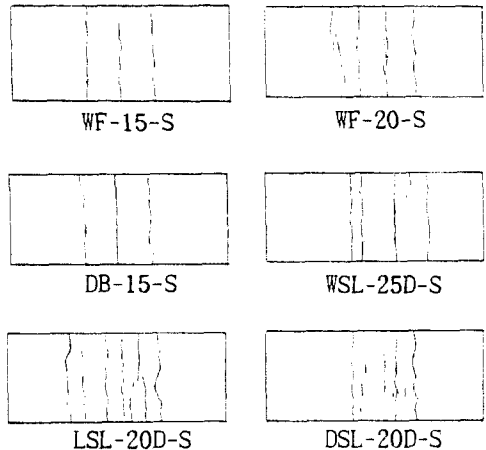


그림4. 단순슬래브의 크랙현황

4.1.2 양단고정 슬래브의 파괴현황

그림4에 양단고정 슬래브의 대표적인 시험체의 크랙현황을 나타내었다. 양단고정 시험체의 파괴현황은 단부에서 초기 휨크랙이 발생하였으며, 이후 초기크랙 발생하중의 거의 2배의 하중에서 중앙부에 크랙이 발생하였다. 계속적인 하중가력에 의하여 단부의 크랙폭이 확대되었고, 중앙부에는 크랙 발생하중의 거의 2배의 하중에서 중앙부에 크랙이 발생하였다.

특히, 크랙은 가로 철근의 위치에서가 아닌 평균 약 20cm정도로 크랙간격이 발생하여 전체적으로 균일한 크랙간격을 보여주었다. 그러나 겹침이음이 한 시험체에서는 겹침이음된 가로철근의 위치에서 크랙이 발생하였다.

표4. 실험결과 일람표

구분	실험체	Pcr(t)			Py(t)			Pu(t)			Sy (mm)	δ _u (mm)	μ (δ _u /Sy)
		cal.	exp.	exp./cal.	cal.	exp.	exp./cal.	cal.	exp.	exp./cal.			
철근비	WF-15-F	2.4	2.7	1.13	6.2	5.85	0.94	7.2	8.46	1.17	5.9	28.5	4.83
	WF-15-S	1.63	1.19	0.73	2.07	2.02	0.98	2.4	2.22	0.93	8.1	36.0	4.5
	DB-15-F	2.4	2.0	0.83	4.96	5.9	1.19	7.15	8.33	1.16	4.9	34.5	7.04
	DB-15-S	1.63	1.29	0.79	1.65	1.6	0.97	2.24	2.1	0.94	6.22	81.0	13.02
	WF-20-F	2.4	2.2	0.92	8.27	8.00	0.97	9.65	10.7	1.11	7.58	37.5	4.95
	WF-20-S	1.63	1.43	0.88	2.76	2.75	1.00	3.2	3.026	0.95	9.3	42.0	4.516
	DB-22-F	2.4	2.0	0.83	7.45	7.3	0.98	10.5	10.16	0.97	5.06	40.0	7.91
겹침	WSL-20D-F	2.4	2.1	0.88	6.2	6.5	1.05	7.2	8.8	1.22	5.78	26.0	4.5
	WSL-20D-S	1.63	1.3	0.80	2.07	2.01	0.97	2.4	2.29	0.95	7.6	32.7	4.3
	WSL-25D-F	2.4	1.9	0.79	6.2	6.3	1.02	7.2	8.36	1.16	5.4	25.1	4.65
	WSL-25D-S	1.63	1.4	0.86	2.07	2.01	0.97	2.4	2.29	0.95	6.56	31.0	4.73
	WSL-30D-F	2.4	2.0	0.84	6.2	6.01	0.97	7.2	7.0	0.97	6.66	32.5	4.87
	LSL-20D-F	2.65	3.2	1.2	8.9	8.3	0.93	9.52	10.3	1.08	8.3	22.0	2.65
	LSL-20D-S	1.31	1.4	1.07	2.98	2.75	0.92	3.17	2.95	0.93	11.3	21.0	1.86
	LSL-25D-F	2.65	3.45	1.3	8.9	8.3	0.93	9.52	10.45	1.1	6.2	18.0	2.9
	LSL-25D-S	1.31	1.56	1.2	2.98	2.75	0.92	3.17	3.05	0.96	10.3	19.5	1.89
	LSL-30D-F	2.65	2.7	1.02	8.9	7.95	0.89	9.52	10.8	1.13	6.8	22.06	3.1
	DSL-20D-F	2.4	1.9	0.77	4.96	6.5	1.3	7.15	8.13	1.14	4.7	27.1	5.77
	DSL-20D-S	1.63	1.52	0.93	1.65	2.05	1.24	2.24	2.58	1.15	8.02	52.08	10.08
	DSL-25D-F	2.4	2.1	0.88	4.96	5.8	1.17	7.15	7.26	1.02	5.5	32.1	5.84
	DSL-25D-S	1.63	1.54	0.95	1.65	2.0	1.21	2.24	2.53	1.13	9.06	93.13	10.11

$M_{cr} = 1.8\sqrt{f_c} \cdot Z$
 $M_y = a \cdot f_y \cdot j \cdot d$
 $M_u = a \cdot f_y \cdot j \cdot d$

또한 실험체의 처짐이 증가되면서 양단부에서의 크랙폭 확대에 따른 양단부의 인장파괴 및 중앙부에서의 콘크리트 압괴하고, 용접철망을 사용한 실험체에서는 최대하중이후 인장철근이 파단하여 최종파괴에 이르렀다.

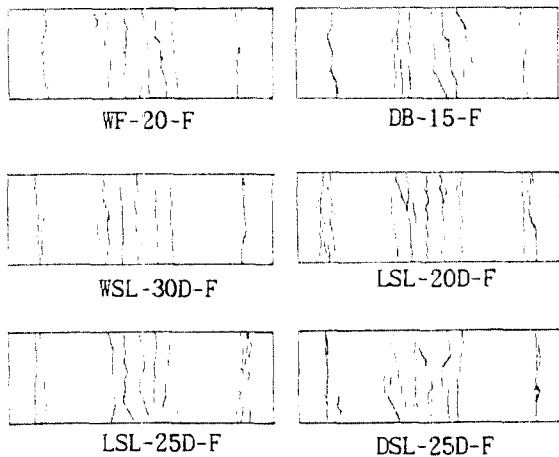


그림5. 양단고정 슬래브의 파괴현황

4.2 계산치와 실험치의 비교

표4에는 실험결과 일람표를 나타내었다. 시험체의 휨 크랙하중, 항복하중과 최대하중의 계산치와 실험치를 비교해 보면, 휨 크랙하중시는 0.73-1.3배로 다소 분산되었다. 그러나 항복하중시는 0.89-1.3배로, 최대하중시는 0.93-1.22배로 각각 그 값들이 잘 일치하였다.

그림 6는 항복하중과 최대하중의 계산치와 실험치를 비교한 것이다.

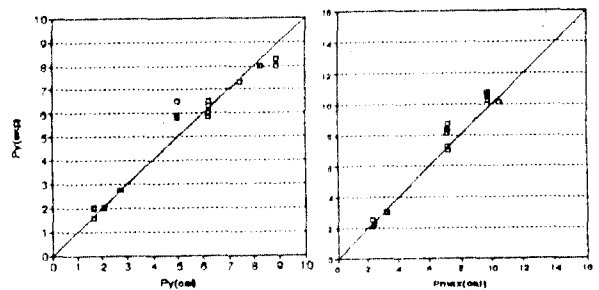


그림6. 항복하중과 최대하중의 비교

4.3 하중-처짐 곡선

4.3.1 단순 슬래브

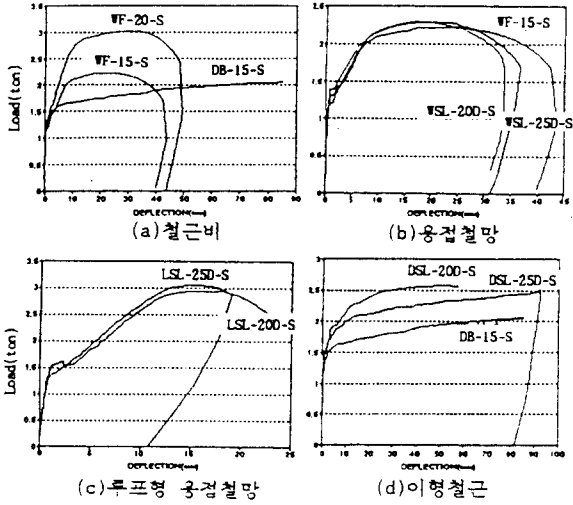


그림7. 단순 슬래브의 하중-처짐 곡선

4.3.1.1 철근비의 영향

그림7-(a)는 단순지지일때의 용접철망과 이형철근의 철근비가 0.15%와 0.2%인 시험체의 하중-처짐관계를 나타낸 것이다. 0.15%일때 이형철근을 사용한 시험체는 항복하중이 용접철망을 사용한 시험체보다 적으나 항복이후 하중은 계속 증가하여 최대하중은 거의 차이가 없다.

4.3.1.2 겹침길이의 영향

그림7-(b), (c), (d)는 용접철망, 루프형 용접철망과 이형철근을 사용한 시험체에서의 겹침길이 차이에 따른 하중-처짐관계를 나타낸 것이다. 그림7-(b), (c)는 겹침길이에 관계없이 초기강성과 최대하중은 거의 비슷하게 나타났고, 그림7-(d)는 겹침이 있는 시험체가 겹침이 없는 시험체보다 최대하중이 약간 크게 나타났다.

4.3.2 양단고정 슬래브

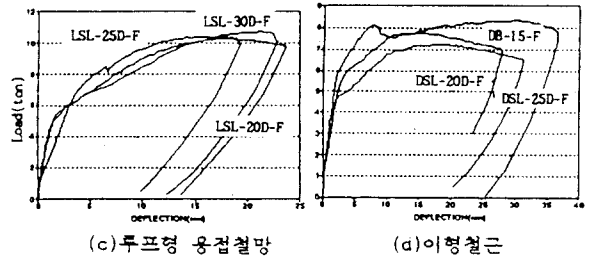
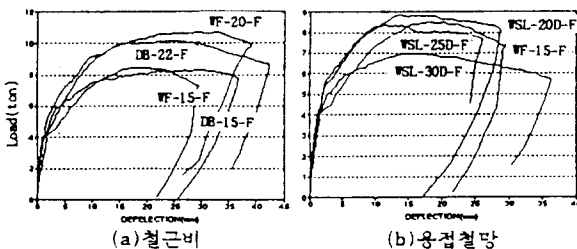


그림8. 양단고정 슬래브의 하중-처짐곡선

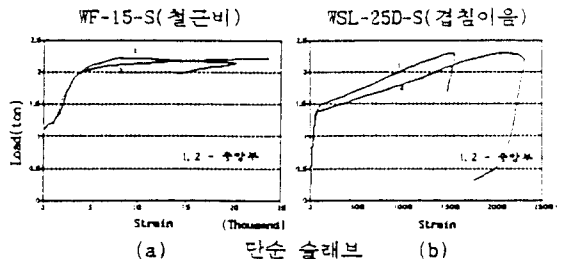
4.3.2.1 철근비의 영향

그림8-(a)는 양단고정일때의 용접철망과 이형철근의 철근비가 0.15%와 0.2%인 시험체의 하중-처짐관계를 나타낸 것이다. 0.15%일때 용접철망을 사용한 시험체는 이형철근을 사용한 시험체보다 크랙발생 이후 강성이 약간 떨어졌지만 최대하중은 거의 비슷하게 나타났고, 0.2%의 시험체는 용접철망을 사용한 시험체가 이형철근을 사용한 시험체보다 최대하중이 1.05배로 크게 나타났다.

4.3.2.2 겹침길이의 영향

그림 8-(b), (c), (d)는 용접철망, 루프형 용접철망과 이형철근을 사용한 시험체에서의 겹침길이 차이에 따른 하중-처짐관계를 나타낸 것이다. 그림8-(b)에서 초기강성과 최대하중은 겹침길이에 관계없이 거의 비슷하게 나타났고, 겹침길이가 25D, 30D인 시험체는 크랙발생이후 강성이 떨어지는 것이 나타났다. 그림8-(c)에서 겹침길이가 20D인 시험체가 초기강성이 약간 떨어지는 것이 보이지만, 최대하중은 거의 비슷하게 나타났다. 그림 8-(d)에서 초기강성은 거의 같게 나타났고, 겹침이 있는 시험체는 크랙발생 이후 강성이 떨어지는 것이 나타났다.

4.4 하중-변형도 곡선



(a) 단순 슬래브 (b)

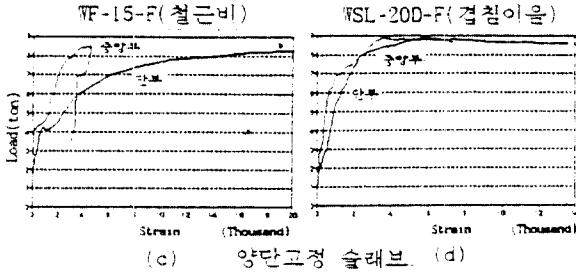
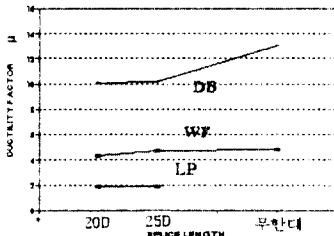


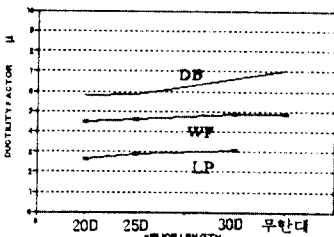
그림9. 하중-변형도 곡선

그림9-(a)와 (b)는 단순 슬래브에서의 하중-변형도 곡선을 나타낸 것이다. 철근비에 의한 시험체에서는 철근의 변형이 크게 나타났지만, 겹침이 있는 시험체는 철근의 변형이 작게 나타나 겹침이 있는 철근에서의 응력이 분배됨을 알수있다. 그림 9-(c), (d)는 양단고정 슬래브의 하중-변형도 곡선을 나타낸 것이다. 초기 크랙이 단부에서 발생이후 단부철근의 변형이 증가되면서 중앙부의 철근변형량과 약 2배를 이루며 변형이 진전되어지는 것이 보여 단부와 중앙부의 모멘트 분배가 약 2배가 되는 것을 알수 있다.

4.5 소성변형능력



(a) 단순 슬래브



(b) 양단고정 슬래브

그림10. 소성 변형능력

여기서 소성변형능력(μ)은 최대하중 이후 내력이 80%에 해당하는 때의 처짐(δ_u)을 부재항복시의 처짐(δ_y)으로 나눈 값이다.

그림 10-(a)는 단순 슬래브의 용접철망, 루프형 용접철망과 이형철근을 사용한 슬래브의 소성변형능력을 비교한 것이다. 겹침길이가 증가

할수록 소성변형능력은 증가하였고, 이형철근을 사용한 시험체에서의 소성변형능력은 용접철망을 사용한 시험체의 소성변형능력보다 2.14-2.9배로, 루프형 용접철망을 사용한 시험체의 소성변형능력보다 5.35-5.42배로 크게 나타났다. 이는 소재의 응력은 크나, 연신율이 작기때문인 것으로 사료된다.

그림 10-(b)는 양단고정 슬래브의 소성변형능력을 나타낸 것이다. 단순 슬래브와 마찬가지로 겹침길이가 증가할수록 이형철근을 사용한 시험체의 경우는 소성변형능력이 증가하였고, 용접철망을 사용한 시험체보다 소성변형능력이 1.26-1.46배로, 루프형 용접철망을 사용한 시험체보다 소성변형능력이 2.0-2.2배로 크게 나타났다.

5. 결론

본 실험연구의 범위에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 단순 슬래브에서의 크랙은 가로철근의 위치에서 발생하였고, 양단고정 슬래브에서의 크랙은 전체적으로 평균 20cm 간격으로 발생하였다.
2. 겹침이음을 한 시험체에서는 모두 최대하중이 거의 동일한 것으로 나타났으나, 소성변형능력은 겹침길이가 증가될수록 증가하였다.
3. 소성변형능력은 용접철망과 루프형 용접철망을 사용한 시험체에 비해 이형철근을 사용한 시험체에서 1.44배, 3.74배 가량 큰 것으로 나타났으나, 용접철망을 사용한 시험체에서의 소성변형능력은 평균 4.6 정도로 나타났다.

※ 참고 문헌

1. "구조용 용접철망의 설계 및 시방 지침서" 대한건축학회, 1992. 4
2. "철근 콘크리트 구조계산규준 및 해설" 대한건축학회, 1982
3. "溶接金網設計施工マニュアル<建築構造用>" 溶接金網設計施工技術研究會

본 실험연구는 대한주택공사의 지원비에 의해 수행된 것으로 감사드립니다.