

덱크 플레이트를 사용한 輕量콘크리트 슬래브와 鐵骨보의 合成보에서 쉬어 코넥터의 耐力에 關한 研究

A Study on Strength of Shear Connectors in Composite Beams of
Steel and Lightweight Concrete Slabs with Deck Plate

김 종 식 *
Kim, Jong-Sik

박 성 무 **
Park, Sung-Moo

ABSTRACT

The strength of shear connectors embedded in lightweight concrete slab with deck plate is influenced by various factors of deck plate, shear connector and concrete.

Generally, it is reported that the strength of shear connector in lightweight concrete decreases in comparison with that in normal concrete.

So this paper is to use compressive strength of lightweight concrete, width-height ratio of deck plate, and cross sectional area of shear connector as variables, to evaluate the strength of shear connectors in composite beam of steel and lightweight concrete slabs with deck plate, and then to suggest the reasonable strength equation by comparing the Push-out test results with established strength formula. As the result of 24 specimens test, in case of lightweight concrete slab with deck plate, it has showed that in the same strength, the strength of shear connector decreased about 10~20% in comparison with that in normal concrete. In spite of lightweight concrete, the test results were closely approached the established strength formula of shear connector using Fisher's reduction coefficient.

1. 서 론

오늘날 고층 철골 구조물에서 대부분 사용되는 바닥구조는 철골보와 바닥 거푸집을 겸한 덱크 플레이트를 이용한 철근콘크리트 슬래브가 일체가 되도록 쉬어 코넥터라는 매개체를 철골보에 용접함으로써 결합되는 구조시스템이 이용되고 있다.

너우기 슬래브를 경량 콘크리트로 할 경우 고정하중, 연직하중 및 지진하중의 감소로 강재의 절감효과가 있으나, 경량 콘크리트를 합성보에 이용할 경우 코넥터의 내력이 떨어지는 문제점이 있다. 또한, 덱크 플레이트를 사용하는 합성구조에서 쉬어 코넥터에 대한 전단내력에 대해 각 나라마다 조금씩 다

르게 표현하고 있을 뿐 아니라, 경량콘크리트 사용시의 쉬어 코넥터에 대한 연구가 불충분하고, 쉬어 코넥터에 대한 내력식이 미비함을 감안하여 본 연구에서는 덱크 플레이트의 단면형상비, 콘크리트 압축강도, 쉬어 코넥터의 측단면적 등을 변수로 한 Push-out Test를 통해 기존의 제안식과 비교, 검토한다.

- 1) 보통 및 경량 콘크리트 강도에 대한 쉬어 코넥터 강도 변화
- 2) 동일한 경량콘크리트의 압축강도에서 쉬어 코넥터 측단면적에 대한 쉬어 코넥터 강도 변화
- 3) 동일한 강도에서 Solid형과 Deck plate형에 대한 쉬어 코넥터 강도 변화
- 4) Deck Plate형 슬라브에서 Rib의 폭에 대한 쉬어 코넥터의 강도 변화
- 5) Deck Plate형 슬라브에서 Rib의 높이에 대한

* 영남대학교 대학원 건축공학과 석사과정

** 정회원, 영남대학교 건축공학과 부교수

쉬어 코넥터의 강도 변화

6) 경량콘크리트에 대한 쉬어 코넥터의 설계식 유도

2. 실험

2-1. 시험체 계획 및 제작

시험체는 Deck plate형 경량콘크리트 4개 시리즈 16개, 보통콘크리트 4개, Solid형 경량콘크리트 4개의 시험체를 실험크기의 단면으로 제작하였다. LDC시리즈는 경량콘크리트의 압축강도에, NDC시리즈는 보통콘크리트 압축강도에, LDW시리즈는 덱의 폭의 크기, LDH는 덱의 높이, LDD는 코넥터의 축 단면적을 변수로 하여 계획하였다. 또 Solid형 시험체인 LSC시리즈는 압축강도를 변수로 하여 각각 계획하였다. 시험체에 대한 기준이 없어 현재 현장에서 시공되는 기준의 근거해 일람표를 표1과 같이 제작하였다.

표 1. 실험체 일람표

종류	압축강도 (kg/cm ²)	Deck plate			Shear connector			비고
		W _{rib} (1)	H _{rib} (2)	W _{rib} /H _{rib} (3)	D (4)	S (5)	R (6)	
LDC-1	180							
LDC-2	210	61.5	75	0.82	19	-	1	2
LDC-3	240							
LDC-4	270							
LSC-1	180							
LSC-2	210				19	-	1	2
LSC-3	240							
LSC-4	270							
LDW-1		138.5		1.82				
LDW-2		119		1.59				
LDW-3		100	75	1.33	19	-	1	2
LDW-4		81		1.08				
LDW-5		61.5		0.82				LDC-2와 동일
LDH-1		0		0				LSC-2와 동일
LDH-2		38		1.62				
LDH-3	210	50	1.23	19	-	1	2	
LDH-4		62		1.08				
LDH-5		75		0.82				LDC-2와 동일
LDD-1					13			
LDD-2					16			
LDD-3		61.5	75	0.82	19	-	1	2
LDD-4					22			
LDA-1		61.5	75	0.82	19	100	2	4
NDC-1	180							
NDC-2	210	61.5	75	0.82	19	-	1	2
NDC-3	240							
NDC-4	270							

* (1) 리브의 폭(mm) (2) 리브의 유효높이(mm)
 (3) 형상비 (4) 쉬어코넥터의 직경(mm)
 (5) 쉬어코넥터의 횡방향 간격(mm) (6) 쉬어코넥터의 열수(개)
 (7) 쉬어코넥터의 갯수(개: 한쪽 슬래브당)
 슬래브 두께 150mm 슬래브 폭 450mm 슬래브 길이 750mm

I D C - 1
 rib Height or Width, Comp. strength of conc.
 Diameter of connector, Arrangement of connector.
 Deck plate, Solid
 Lightweight or Normal concrete

모든 시험체에서 사용한 철근은 재질이 SBD30인 이형철근으로, 슬래브 배근은 D10을 사용하였다.

쉬어 코넥터의 용접은 수동 가스 용접이며, H형강은 구조용 압연형강(H-200 x 150 x 6 x 9)을 사용하였다. 경량골재는 인공경량골재인 팽창점토를 사용하였다. 또 모래는 강모래를 사용하였고, 굵은 골재는 최대 직경 치수 20mm를 사용하였으며, 콘크리트 비빔은 손비빔을 한 후 진동기를 사용해 다지기를 하였다.

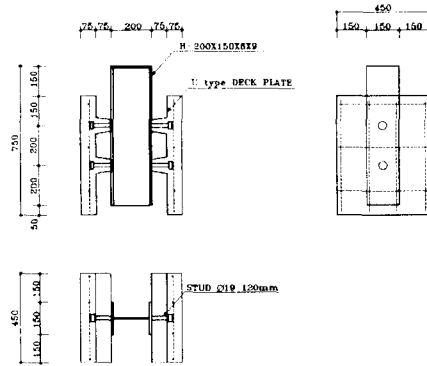


그림 1 시험체의 형상 및 치수

2-2. 재료 시험

표 2. 콘크리트의 강도시험 결과

종류	시험체명	공시체 높이 (mm)	공시체 단면적 (cm ²)	압축강도 (kg/cm ²)	인장강도 (kg/cm ²)	탄성계수 (kg/cm ²)
경량	LDC-1	20.09	78.5	188.08	19.03	1.45 × 10 ⁵
	LDC-2	20.1	78.5	201.84	19.4	1.43 × 10 ⁵
	LDC-3	19.8	78.5	217.82	22.4	1.50 × 10 ⁵
	LDC-4	20.1	78.5	183	19.23	1.47 × 10 ⁵
보통	LSC-1	20.0	78.5	188.08	19.03	1.45 × 10 ⁵
	LSC-2	19.98	78.5	201.84	19.4	1.43 × 10 ⁵
	LSC-3	19.94	78.5	217.82	22.4	1.50 × 10 ⁵
	LSC-4	20.0	78.5	183	19.23	1.47 × 10 ⁵
리	LDW시리즈	20.0	78.5	214.38	18.94	1.42 × 10 ⁵
	LDH시리즈	19.89	78.5	206.9	21.43	1.42 × 10 ⁵
	LDD시리즈	19.82	78.5	202.7	22.23	1.50 × 10 ⁵
	LDA	20.04	78.5	202.7	22.23	1.50 × 10 ⁵
트	NDC-1	20.0	78.5	148.34	18.7	1.43 × 10 ⁵
	NDC-2	20.1	78.5	191.09	25.7	1.40 × 10 ⁵
	NDC-3	19.97	78.5	214.37	24.72	1.50 × 10 ⁵
	NDC-4	20.04	78.5	233.62	24.65	1.50 × 10 ⁵

2-3. 가력 및 측정방법

각 시험체는 U.T.M Bed위에 시멘트 몰탈을 놓고 그위에 시험체를 설치하였으며 H형강의 상부에 가력장치를 설치하여 하중이 직접 슬래브로 전달 되도록 하였다.

각 시험체에서 슬래브와 형강사이의 슬립량을 측정하기 위하여 변위 측정기를 양측 슬래브의 상부 및 하부에 설치하였다. 또 횡방향 변위를 측정하기 위하여 양쪽 슬래브에 1/100mm 다이얼 게이지를 설치하였다.

3. 실험결과

각 시험체에서 슬래브의 균열은 초기에 리브 상단에 전단균열이 발생하였으며 이후 하중이 가중되어 짐에 따라 수평방향, 횡방향 균열이 발생하였고 대부분의 시험체에서 한열은 상기균열이후에 발생하였다. 횡방향 균열과 한열은 시험체의 내력에는 큰 영향을 미치지 못하였으며, 대체로 리브의 전단균열에 의해 최대내력이 결정되었다.

시험체에 대한 실험결과는 표 3과 같으며 하중-변위곡선은 그림 2,3에 나타 내었다.

LDC시리즈 시험체는 압축강도별로 측정한 시험체로서 강도가 증가할 수록 쉬어 코넥터의 내력이 증가하였으며, 초기균열은 플레이트 리브내의 전단 균열이었으며, 이후 슬래브내의 수평방향 균열이 발생하였으며, 최대하중 도달이후 텍크 플레이트와 콘크리트가 분리되며, 쉬어 코넥터의 다운웰 파괴후 하중이 급격히 떨어졌다.

LDW시리즈 시험체는 텍크 플레이트의 폭 변화에 따른 시험체로 리브의 폭이 증대될 수록 쉬어 코넥터의 내력이 증가하였으며, 균열은 LDC시리즈의 균열 양상과 유사한 양상을 보였다.

LDH시리즈 또한 LDC시리즈와 유사한 균열 양상을 보였으며, 쉬어 코넥터의 내력은 리브의 높이가 감소할수록 상당히 증가하는 양상을 보였다.

LDD시리즈 시험체는 쉬어 코넥터의 축 단면적의 크기의 변화에 따른 시험체로 축 단면적이 증가할 수록 쉬어 코넥터의 내력 또한 증가하였으며, 균열 양상은 상기 시험체와 유사한 양상을 나타내었다.

따라서, 실험결과에서 보는 바와 같이 텍크 플레이트의 폭이 증가할수록, 높이가 감소할수록(즉, 단면형상비가 증대할 수록) 쉬어 코넥터의 내력이 상당히 증가하는 것을 알 수 있다.

표 3. 각 시험체 별 실험결과

종류	시험체	최대하중 (ton)	쉬어코넥터당 최대하중 (ton/stud)	최대하중시의 슬립 δ (mm)	최대하중시의 횡방향변위 (mm)	
경량 콘크리트	LDC-1	13.85	3.46	0.987	1.11	
	LDC-2	14.769	3.69	2.5	1.5	
	LDC-3	15.253	3.81	0.677	0.97	
	LDC-4	16.307	4.07	1.157	1.82	
	LSC-1	33.081	8.27	3.547	-	
	LSC-2	33.630	8.40	3.432	-	
	LSC-3	34.870	8.72	3.634	-	
	LSC-4	29.639(분실)	7.41	4.917	-	
	LHW-1	34.204	8.55	2.43	1.885	
	LHW-2	33.275	8.32	2.072	2.26	
	LHW-3	30.756	7.66	3.549	2.31	
	LHW-4	22.671	5.67	1.57	2.74	
	LHW-5	14.796	3.69	2.15	1.5	
	LHH-1	33.630	8.40	3.492	-	
	LHH-2	48.856	9.71	1.835	0.61	
	LHH-3	27.728	6.93	1.645	0.85	
	LHH-4	17.487	4.37	1.755	1.58	
	LHH-5	14.769	3.69	2.15	1.5	
	보통 콘크리트	LDD-1	8.87	2.22	1.033	1.22
		LDD-2	12.085	3.02	0.817	0.73
LDD-3		14.769	3.69	2.15	1.5	
LDD-4		15.381	3.85	2.374	0.89	
LDA		24.52	3.97	2.735	1.655	
NDC-1		11.325	2.83	1.119	1.77	
NDC-2		14.796	3.70	1.942	0.775	
NDC-3		15.209	3.82	2.3	1.96	
NDC-4		17.138	4.28	2.219	1.425	

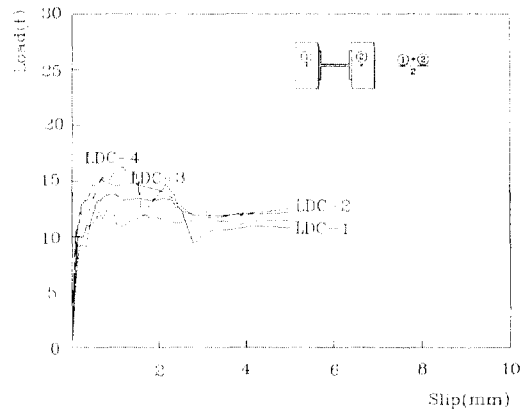


그림 2 LDC시리즈 시험체의 하중 - 슬립곡선

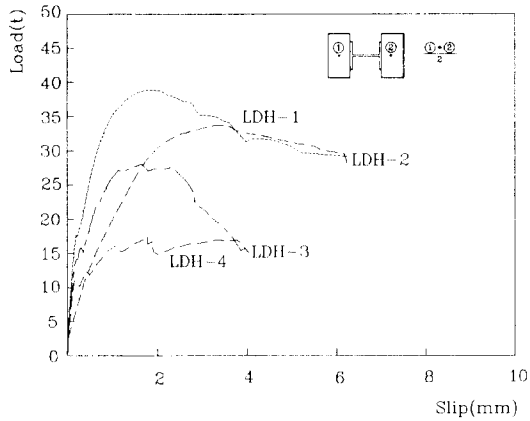


그림 3 LDH시리즈 시험체의 하중 - 슬립곡선

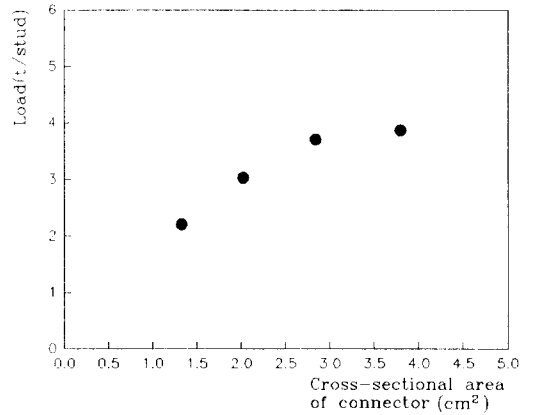


그림 5 쉬어코넥터의 축단면적과 쉬어코넥터의 내력

4. 실험결과와 비교·분석

4-1. 콘크리트 압축강도와 쉬어 코넥터 내력

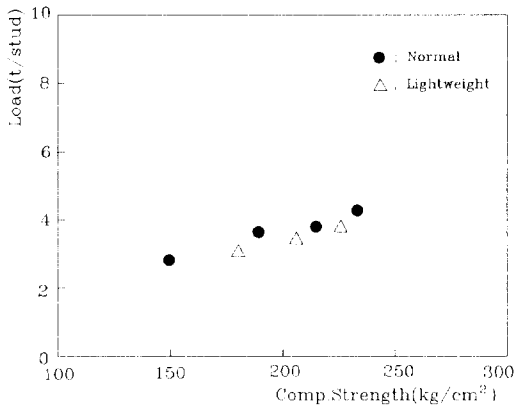


그림 4 콘크리트 압축강도와 쉬어코넥터 내력

쉬어 코넥터의 내력은 콘크리트 압축강도의 평방근에 비례하고 있으며, 압축강도 180kg/cm^2 ~ 210kg/cm^2 에서 데크 플레이트를 사용한 경량 콘크리트의 경우 보통 콘크리트에 비해 쉬어 코넥터의 내력이 15%정도 떨어짐을 알 수 있다.

4-2. 쉬어 코넥터의 축단면적과 쉬어코넥터의 내력
그림 5에서 보는 바와 같이 쉬어 코넥터의 내력은 쉬어 코넥터의 축단면적에 선형적으로 비례함을 알 수 있다.

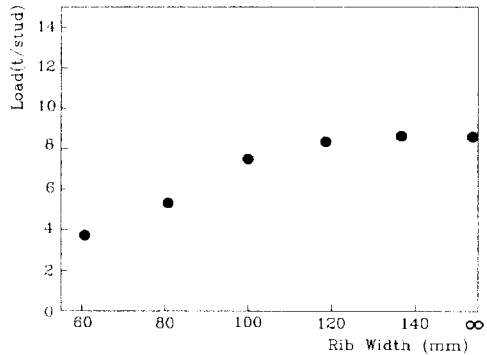


그림 6 데크 플레이트 리브 폭 변화에 따른 쉬어코넥터의 내력

4-3. 데크 플레이트 리브 폭 변화에 따른 쉬어 코넥터의 내력

그림 6의 그림과 같이 쉬어 코넥터의 내력은 데크 플레이트의 폭이 증대할 수록 상당히 증가하는 것으로 나타났다.

4-4. 데크 플레이트 리브 높이 변화에 따른 쉬어 코넥터의 내력

Deck Plate의 높이가 감소할수록 쉬어 코넥터의 내력이 증대되고 있음을 알 수 있다.

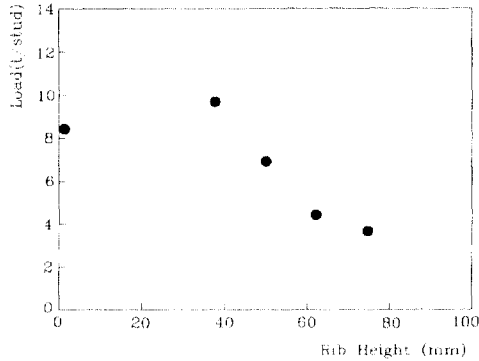


그림 7 데크 플레이트 리브 높이 변화에 따른 쉬어 코넥터의 내력

5. 기존의 제안식 및 표준식

기존의 제안식들을 살펴보면 아래와 같다.

$$P_{rib} = \phi_{rib} \cdot P_{ps}$$

여기서,

P_{rib} = 리브형 슬래브에서 쉬어코넥터의 다운웰 강도

P_{ps} = 솔리드형 슬래브에서 쉬어코넥터의 다운웰 강도

여기서

$$P_{ps} = 0.5 \cdot A_s \cdot \sqrt{f_c \cdot E_c} \quad (AISC \text{ 규준식})$$

ϕ_{rib} = 리브형 슬래브에서 강도감소계수

1) Grant, Fisher, Slutter 에 의한 감소계수

$$\phi_{rib} = \frac{0.85}{\sqrt{n_r}} \frac{W_{rib}}{h_{rib}} \left[\frac{h_s}{h_{rib}} - 1 \right] \leq 1.0$$

여기서, W_{rib} : 리브의 폭 (mm)

h_{rib} : Rib의 높이 (mm)

h_s : 쉬어코넥터의 높이 (mm)

n_r : Rib당 쉬어코넥터의 수(개)

2) Lawson 에 의한 감소계수

$$\phi_{rib} = \frac{0.75}{\sqrt{n_r}} \frac{W_{rib}}{h_{rib}} \left[\frac{h_s}{h_{rib} + h_s} \right] \leq 1.0$$

3) Lungershausen 에 의한 감소계수

$$\phi_{rib} = \frac{0.38}{\sqrt{n_r} \left[0.66 \left[\frac{h_{rib}}{W_{rib}} \right]^2 + 0.6 \right]} \leq 1.0$$

6. 실험결과와 기존식의 비교·분석

실험으로 부터 구한 최대하중을 기존식들과 비교하면 표 4, 5 및 그림 8, 9와 같다.

표 4. 실험결과와 기존식과의 비교(Deck Plat형)

시험체	W_{rib}/h_{rib}	실험결과						Fisher		Lawson		Lunger.	
		$P_u(t)$	$P_{ps}(t)$	P_u/P_{ps}	$P_{ps}(t)$	P_u/P_{ps}	$P_{ps}(t)$	P_u/P_{ps}	$P_{ps}(t)$	P_u/P_{ps}			
LDC-1	0.82	3.46	7.39	0.47	3.09	1.12	2.79	1.24	1.78	1.94			
LDC-2	0.82	3.69	7.61	0.49	3.16	1.16	2.87	1.29	1.83	2.02			
LDC-3	0.82	3.81	8.1	0.47	3.40	1.12	3.06	1.25	1.94	1.96			
LDC-4	0.82	4.07	-	-	-	-	-	-	-	-			
LDM-1	1.85	8.55	7.82	1.09	7.36	1.16	6.67	1.26	3.74	2.28			
LDM-2	1.59	8.32	7.82	1.07	6.34	1.31	5.74	1.45	3.45	2.41			
LDM-3	1.33	7.66	7.82	0.98	5.31	1.44	4.80	1.60	3.06	2.50			
LDM-4	1.08	5.67	7.82	0.73	4.31	1.32	3.90	1.45	2.54	2.23			
LDM-5	0.82	3.69	7.82	0.47	3.27	1.13	2.96	1.25	1.88	1.96			
LIM-1	∞	8.40	7.68	1.09	-	-	-	-	-	-			
LIM-2	1.62	9.71	7.68	1.26	7.68	1.26	7.07	1.08	3.42	2.84			
LIM-3	1.23	6.93	7.68	0.9	7.68	0.90	5.03	1.36	2.81	2.46			
LIM-4	1.08	4.37	7.68	0.57	6.59	0.60	4.1	1.07	2.30	1.9			
LIM-5	0.82	3.69	7.68	0.48	3.21	1.15	2.91	1.27	1.85	2.0			
LDO-1	0.82	2.22	3.67	0.6	1.54	1.44	1.39	1.60	0.88	2.52			
LDO-2	0.82	3.02	5.51	0.55	2.30	1.31	2.06	1.45	1.33	2.27			
LDO-3	0.82	3.69	7.81	0.47	3.26	1.13	2.95	1.25	1.88	1.96			
LDO-4	0.82	3.85	10.48	0.37	4.38	0.88	3.96	0.97	2.52	1.53			
LDA	0.82	3.07	15.636	0.2	4.62	0.66	4.16	0.73	2.64	1.16			
NDC-1	0.82	2.83	6.53	0.43	2.73	1.04	2.47	1.15	1.57	1.8			
NDC-2	0.82	3.70	7.33	0.51	3.07	1.21	2.77	1.34	1.77	2.09			
NDC-3	0.82	3.82	8.04	0.48	3.36	1.14	3.04	1.27	1.93	1.9			
NDC-4	0.82	4.28	8.39	0.51	3.51	1.22	3.17	1.35	2.02	2.12			

표 5 실험결과와 기존식과의 비교(Solid형)

시험체	실험결과 $P_u(t)$	AISC 규준식	
		$P_{ps}(t)$	P_u/P_{ps}
LSC-1	8.27	7.39	1.12
LSC-2	8.40	7.61	1.1
LSC-3	8.72	3.10	1.08
LSC-4	실패(편심)	-	-

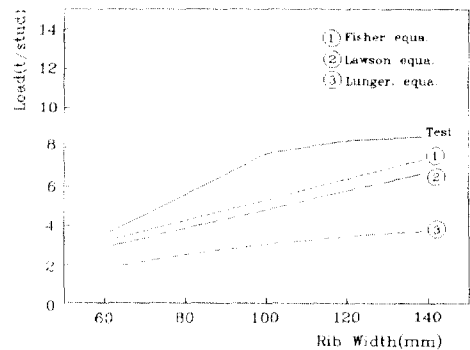


그림 8 실험결과와 기존식과의 비교 (Deck Plate의 Rib 폭)

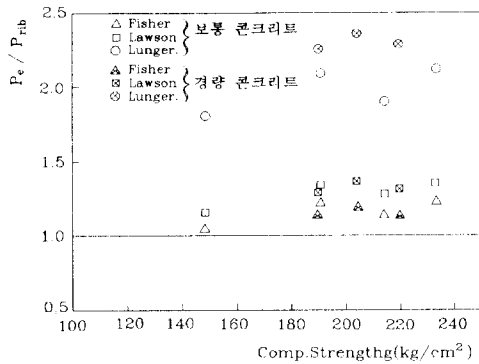


그림 9 실험결과와 기존식들과의 비교

본 실험의 결과를 기존의 제안식과 비교해본 결과는 다음과 같다. 즉, 덱 플레이트 경량 콘크리트 슬래브내의 쉬어 코넥터가 다우웰 파괴되는 것으로 가정한 Fisher, Lawson 및 Lungershausen의 제안식으로 부터 얻어진 쉬어 코넥터의 다우웰 강도(P_{rib})에 대한 실험 결과(P_e)의 비는

- 1) Fisher 식에서는 $0.88 \leq P_e/P_{rib} \leq 1.31$
- 2) Lawson 식에서는 $0.97 \leq P_e/P_{rib} \leq 1.60$
- 3) Lungershausen 식에서는 $1.8 \leq P_e/P_{rib} \leq 2.84$

나타났다. 결과적으로 Fisher식이 실험치에 가장 근접한 값을 나타냈으며, Lawson의 제안식과 Lungershausen 식은 쉬어 코넥터의 내력을 지나치게 과소 평가하는 것으로 나타났다.

또한, 보통 콘크리트의 경우에 있어서의 쉬어 코넥터의 다우웰 강도 (P_{rib})에 대한 실험 결과(P_e)의 비는

- 1) Fisher 식에서는 $1.04 \leq P_e/P_{rib} \leq 1.22$
- 2) Lawson 식에서는 $1.15 \leq P_e/P_{rib} \leq 1.35$
- 3) Lungershausen 식에서는 $1.8 \leq P_e/P_{rib} \leq 2.1$

로, 역시 Fisher식이 실험치에 가장 근접하였으며, Lawson식과 Lungershausen 식은 쉬어 코넥터의 내력을 과소 평가하는 것으로 나타났다.

7. 결론

이상의 실험으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 리브의 폭이 증대할수록, 리브의 높이가 감소할수록 리브당 쉬어 코넥터의 내력이 증가하였다. 따라서 리브 폭에 대한 높이의 비, 즉 단면형상비가 증가할수록 쉬어 코넥터의 내력이 증가하는 것을

알 수 있다.

- 2) 콘크리트의 압축강도가 180kg/cm^2 - 210kg/cm^2 일 때, 덱 플레이트 사용한 경량 콘크리트 슬래브의 쉬어 코넥터의 내력은 보통 콘크리트 슬래브의 경우에 비해, 같은 강도에서 쉬어 코넥터의 내력의 약 85~90%정도 나타났으며, 또한 압축강도가 증가할수록 쉬어 코넥터의 내력은 대체로 압축강도의 평방근에 비례함을 나타내었다.

- 3) 쉬어 코넥터의 단면적이 증가할수록 쉬어 코넥터의 내력 또한 선형적으로 비례증가 됨을 알 수 있다.

- 4) 경량 콘크리트 덱 플레이트 슬래브에 대해 기존 제안식과 실험치를 비교한 결과 대부분의 식이 쉬어 코넥터의 내력을 과소평가하고 있었다. 그러나 학회 기준식에 사용한 Fisher 제안식이 본 실험의 결과치와 비교해 볼때 가장 근접하게 나타남을 알 수 있다.

참고문헌

1. Lungershausen, H., "Zur Schubtragfähigkeit von Kopfbolzen dubeln," Research Report No.88-7, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Ruhr-Universität Bochum, Oct., 1988.
2. Fisher, J.W., Galambos, T.V., Kulak G.L., and Ravindra, M.K., "Load and Resistance Factor Design Criteria for Connectors," Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.104, No.ST9, Sep., 1978.
3. Buttrey, K.E., "Behaviour of Stud Shear Connectors in Lightweight and Normal-weight Concrete," M.Sc. Thesis, University of Missouri, Columbia, Aug., 1965.
4. Ollgaard, J.G., Slutter, R.G., and Fisher, J.W. "Shear Strength of Stud Connectors in Lightweight and Normal-Weight Concrete," AISC Engineering Journal, April, 1971, pp. 55-64.
5. 金圭石, 金弼中, 朴商喆, "Stud-Connector의 耐力에 관한 實驗的 研究(2)," 大韓建築學會誌, 116 號, 1984.2.
6. 張克寬, "合成보에서 Shear Connector의 耐力에 관한 研究," 漢陽大學 大學院, 碩士學位論文, 1982.12.