

輕量콘크리트 슬래브와 鐵骨보의 合成보에서 쉬어 코넥터의 強度에 關한 研究

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

주 기 수 *
Ju, Gi-Su

박 성 무 **
Park, Sung-Moo

ABSTRACT

From the previous experimental test results, it has shown that shear strength in lightweight concrete beams was about 85% on that in normal concrete beams. It is speculated that shear connectors in composite beams of steel and lightweight concrete associated with the longitudinal shear strength decrease more in strength than those in normal concrete. So this paper, as a study on strength of shear connectors in composite beams of steel and lightweight concrete slabs, has a purpose to compare the strength formula resulted from the push-out test of thirteen solid slab and four Deck Plate slab with the established ones, and then to suggest a proper strength formula of the shear connectors. The established strength formula of the shear connectors is prescribed for $P_{pc} = 0.50 A_s \cdot \sqrt{f_c \cdot E_c}$ by AISC code. but from the experimental test results the strength values of the shear connectors in lightweight concrete slabs shows about 70% on those of the shear connectors in normal concrete slabs by AISC code. Therefore, as a strength formula this paper suggests to multiply the established strength formula by reduction factor ($\phi = 0.7$).

1. 서론

최근 건물이 고층화, 대형화 되면서 철근콘크리트 슬래브와 철골보를 일체화 시킨 합성구조가 많이 사용되고 있으며 더욱더 건물의 경량화로 인한 경량콘크리트 바닥 슬래브의 사용이 요구되어 지고 있다. 그러나 앞실험에서 경량 콘크리트 보의 전단강도는 일반콘크리트보의 전단강도에 비하여 약 85%로 나타나 경량콘크리트 슬래브와 철골보의 합성보에서 쉬어 코넥터의 내력은 일반 콘크리트에 비하여 감소하여 나타 날 것으로 예상된다.

그러나, 현재 경량콘크리트를 사용한 합성보에서 쉬어 코넥터의 연구가 많이 미비한 상태이고 쉬

어 코넥터의 강도식도 정확히 제시되어 있지 않다. 그러므로 경량콘크리트 속에 묻혀 있는 쉬어 코넥터의 역학적 특성과 거동을 규명하는 것이 경량콘크리트 슬래브를 철골조 바닥 재료로 사용하기 위한 선결요건이라 할 수 있다.

본 연구의 목적은 PUSH-OUT 실험을 통하여 다음과 같은 사항을 얻는데 있다.

- 1) 경량콘크리트 강도에 대한 쉬어 코넥터 강도변화
- 2) 동일한 경량콘크리트의 압축강도에서 쉬어 코넥터 축단면적에 대한 쉬어 코넥터 강도변화
- 3) 동일한 강도에서 경량과 보통콘크리트에 대한 쉬어 코넥터 강도비
- 4) 경량콘크리트에 대한 쉬어 코넥터의 설계식 유도
- 5) Deck Plate형 슬라브에서 Rib의 폭에 대한 쉬어 코넥터의 강도 변화

* 영남대학교 대학원 건축공학과 석사과정

** 정희원, 영남대학교 건축공학과 부교수

2. 실험

2-1. 시험체 계획 및 제작

시험체는 Solid형 경량콘크리트 2개 시리즈 10개, 보통콘크리트 3개, Deck Plate형 2개 시리즈 4개의 시험체를 실험크기의 단면으로 제작하였다. LSS시리즈는 경량콘크리트의 압축강도에 대해서, NSS시리즈는 보통콘크리트 압축강도, LSD시리즈는 쉬어 코넥터의 크기를 변수로 하여 계획하였다. 또 Deck Plate형 시험체인 LDU시리즈와 NDU시리즈는 Deck Plate의 Rib의 폭을 변수로 하여 각각 계획하였다. 시험체 일람표는 표 1과 같으며, 시험체의 형상 및 치수는 BS CODE의 CP 117규정에 의해서 그림 1과 같이 제작되었다.

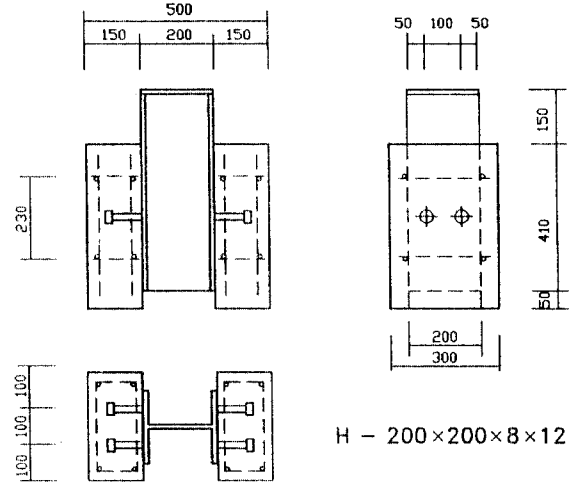


그림 1 시험체의 형상 및 치수

표 1 시험체 일람표

종류	시험체	콘크리트 압축강도 (kg/cm ²)	쉬어코넥터의 직경 (mm)	쉬어코넥터의 방향 간격 (mm)	쉬어코넥터의 열수	비고	
경량콘크리트	LSS-1	150	19	100	2		
	LSS-2	180					
	LSS-3A	210					
	LSS-3B	210					
	LSS-4	240					
	LSS-5	270					
	LSD-1A	210	D13 철근	100	2	D13철근을 사용	
	LSD-1B		16				
	LSD-2						19
	LSD-3						
LSD-4							
LDU-1	210	19	100	2	U형 DECK PLATE 바로 사용		
LDU-2						U형 DECK PLATE 뒤집어서 사용	
보통콘크리트	NSS-1	180	19	100	2		
	NSS-2	210					
	NSS-3	240					
	NDU-1	210	19	100	2	U형 DECK PLATE 바로 사용	
	NDU-2						U형 DECK PLATE 뒤집어서 사용

모든 시험체에서 사용한 철근은 재질이 SBD30인 이형철근으로, 쉬어 코넥터로 쓰인 철근은 D13, 슬라브 배근은 D10을 사용하였다. 쉬어 코넥터의 용접은 수동 가스 용접이며, H형강은 구조용 압연형강(H-200 x 200 x 8 x 12)을 사용하였다. 경량골재는 인공경량골재인 팽창접토를 사용하였다. 또 모래는 강모래를 사용하였고, 굵은 골재는 최대 직경 치수 20mm를 사용하였으며, 콘크리트 배합은 콘크리트 혼합기를 사용하였다.

2-2. 재료 시험

표 2 콘크리트의 재료시험 결과

종류	시험체명	슬랩프 (cm)	압축강도 (kg/cm ²)	인장강도 (kg/cm ²)	탄성계수 (kg/cm ²)
경량콘크리트	LSS - 1	17	140.6	15.85	1.30x10 ⁵
	LSS - 2	13	155.5	16.45	1.44x10 ⁵
	LSS - 3	8	173.2	16.25	1.50x10 ⁵
	LSS - 4	6	165.5	16.85	1.50x10 ⁵
	LSS - 5	-	-	-	-
	LSD	8	173.2	16.25	1.50x10 ⁵
	LDU	8	182.6	15.0	1.32x10 ⁵
보통콘크리트	NSS - 1	12	162.6	19.9	1.40x10 ⁵
	NSS - 2	10	177.8	25.3	1.38x10 ⁵
	NSS - 3	8	221.3	23.8	1.50x10 ⁵
	LDU	8	176.4	19.15	1.50x10 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 스톱의 상부 및 하부에 설치하였다. 또 횡방향 변위를 측정하기 위하여 양쪽 슬래브에 1/100mm 다이얼 게이지를 설치하였다.

3. 실험결과

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

LSS-1시험체는 압축강도 140.6 kg/cm²인 시험체로 하중 7.9ton에서 쉬어 코넥터에 근접한 슬래브에

서 초기 균열이 발생하였고 최대하중(20.37ton) 도달이후 11.7ton에서 하중이 급격히 떨어졌다. LSS-2시험체는 압축강도가 155.5kg/cm²인 시험체로 20.5ton에서 초기 균열이 발생하였으며 21ton 이후 일시 감소하였다가 다시 최대하중 21.95ton에 이르렀다. 최대하중이후 많은 균열을 발생시키면서 슬립이 증가하고 하중은 서서히 감소하여 5.35ton에서 쉬어 코넥터가 전단파괴 되었다. LSS-3, LSS-4, LSS-5, LSD-1, LSD 2는 LSS-1과 비슷한 양상으로 파괴 되었다.

LSD-4시험체는 압축강도 173.2kg/cm²쉬어 코넥터 Ø22을 사용한 시험체로서 21.95ton에서 초기 균열이 발생하였으며 초기균열 발생이후 하중이 일시 감소하였다가 다시 최대하중 26.58ton에 도달하였다. 이후 균열이 심하게 나타나면서 슬립이 점점 증가되었으며 결국 콘크리트의 파괴로 인하여 시험체가 붕괴 되었다.

LDU시험체는 Deck Plate을 사용한 시험체로서 하중이 증가하였다가 감소, 다시 증가하는 형태로 균열이 매우 많이 발생함에도 불구하고 내력을 상당히 보유하고 있는 것으로 나타났으며 슬립의 크기도 매우 크게 나타났다.

NSS시리즈에서는 보통콘크리트를 사용한 시험체로서 LSS시리즈와 비슷한 양상으로 파괴 되었다. 그러나 NSS 3시험체는 쉬어 코넥터의 용접부 파괴로 인하여 최대 내력에 도달하기 전에 실험이 중단되어 최대 내력을 구할수가 없었다.

표 3 실험결과 일람표

종류	시험체	최대하중 (t)	쉬어코넥터당최대 하중 (t/stud)	최대하중시의 슬립 δ (max) (mm)
경량콘크리트	LSS-1	20.37	5.093	3.6
	LSS-2	21.95	5.486	3.12
	LSS-3A	20.4	5.1	2.75
	LSS-3B	23.35	5.838	2.94
	LSS-4	21.85	5.463	3.34
	LSS-5	실패	실패	실패
	LSD-1A	12.0	3.0	2.82
	LSD-1B	12.6	3.15	3.19
	LSD-2	17.77	4.443	2.76
	LSD-3	20.4	5.1	2.94
보통콘크리트	LSD-4	26.58	6.645	2.37
	LDU-1	14.15	1.769	3.5
	LDU-2	27.12	3.39	3.26
	NSS-1	17.04	4.26	0.72
	NSS-2	26.9	6.725	2.51
	NSS-3	실패	실패	실패
	NDU-1	18.5	2.313	5.51
	NDU-2	30.95	3.869	3.33

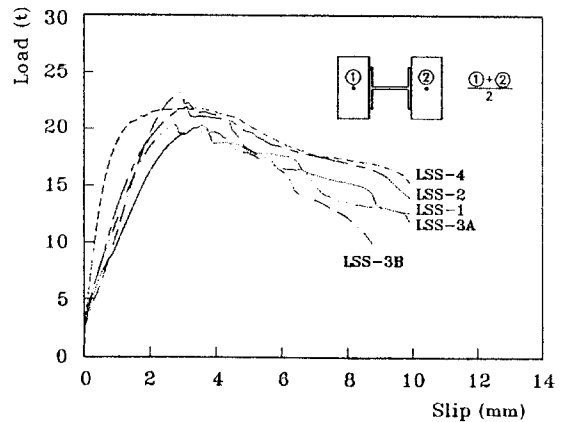


그림 2 LSS시리즈 시험체의 하중 - 슬립곡선

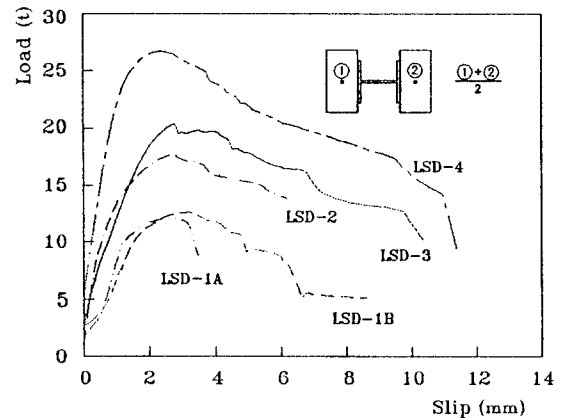


그림 3 LSD시리즈 시험체의 하중 - 슬립곡선

4. 실험결과와 비교·분석

4.1. 콘크리트 압축강도와 쉬어 코넥터 내력

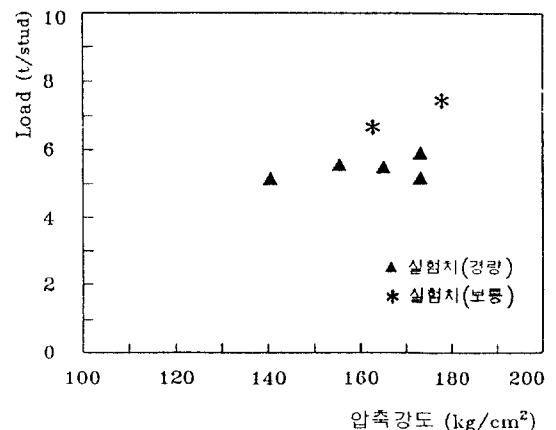


그림 4 콘크리트 압축강도와 쉬어코넥터 내력

실험을 통해 얻어진 압축강도와 쉬어 코넥터의 관계는 그림 4와 같으며 쉬어 코넥터의 내력은 콘크리트 압축강도의 평방근에 비례하고 있음을 알 수 있다.

4-2. 콘크리트 인장강도와 쉬어 코넥터 내력

그림 5와 같이 경량콘크리트의 인장강도도 쉬어 코넥터와의 강도관계에서 압축강도의 그래프와 비슷한 양상을 나타내고 있다.

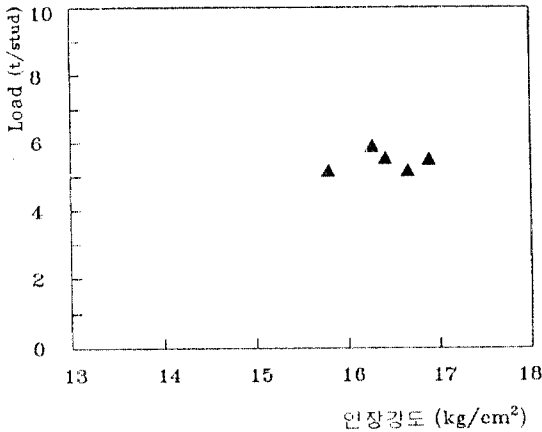


그림 5 콘크리트 인장강도와 쉬어코넥터 내력

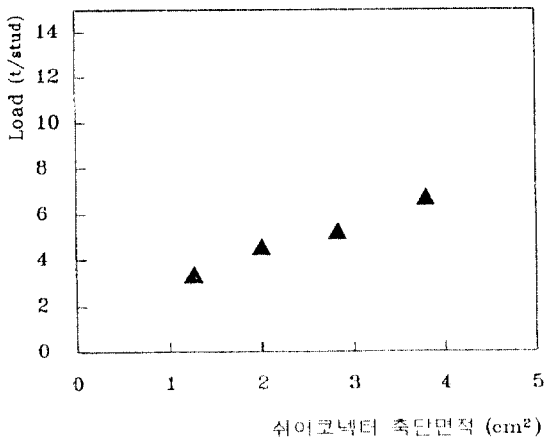


그림 6 쉬어 코넥터의 축단면적과

쉬어 코넥터의 내력

4-3. 쉬어 코넥터의 축단면적과 쉬어 코넥터의 내력

쉬어 코넥터의 내력은 쉬어 코넥터의 축단면적에 선형적으로 비례함을 알 수 있다. (그림 6참조)

4-4. Deck Plate의 Rib폭에 대한 쉬어 코넥터의 내력

Deck Plate의 폭이 좁을수록 큰 내력저하를 나타내고 있으며 또한 경량콘크리트도 일반콘크리트보다 내력이 저하되어 나타나고 있다.

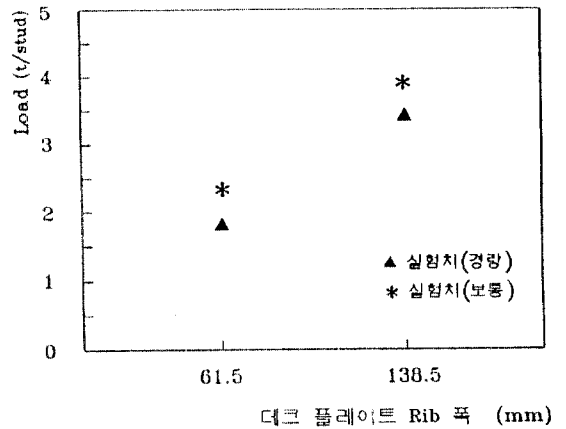


그림 7 Deck Plate형 슬래브에서 Rib의 폭에 대한 쉬어 코넥터의 강도

5. 기존의 제안 및 표준식

기존의 제안식들을 살펴보면 다음과 같다.

1) Ollgaard, Slutter, Fisher 제안식

$$P_{fc} = 1.83 A_s \cdot f_c^{0.5} E_c^{0.44} \quad \text{-----(1)}$$

여기서, E_c = 콘크리트의 탄성계수(N/mm²)

f_c = 콘크리트의 실린더 압축강도(N/mm²)

2) AISC 표준식

$$P_{fc} = 0.50 A_s \cdot \sqrt{f_c \cdot E_c} \quad \text{-----(2)}$$

단, $\sqrt{f_c \cdot E_c} \leq 900 \text{ N/mm}^2$

3) Oehlers, Johnson 제안식

$$P_{cb} = K \cdot f_c \cdot A_s \cdot \left\{ \frac{E_c}{E_s} \right\}^{0.4} \left\{ \frac{f_c}{f_s} \right\}^{0.35} \quad \text{--(3)}$$

단, $K = 4.3 - 1.1 / \sqrt{n_r}$

여기서, P_{cb} 는 길이방향 균열이 발생하지 않는 합성

보에서 쉬어 코넥터의 Dowel 강도(N)

n_r = Zero모멘트와 최대 모멘트 사이의

쉬어 코넥터의 갯수

E_s = 쉬어 코넥터의 탄성계수(N/mm²)

P_{ps} 는 $K = 5.3$ 일때 P_{cb} 의 값이다.

4) Grant, Fisher, Slutter가 제안한 Deck Plate

에 대한 각국의 설계기준식

$$P_{rib} = \frac{0.85}{\sqrt{n_r}} \frac{W_{rib}}{h_{rib}} \left[\frac{h_s}{h_{rib}} - 1 \right] P_{ps} \text{-----(4)}$$

단, P_{rib} = Ribbed슬래브에서 쉬어 코넥터의 Dowel 강도

P_{ps} = Solid 슬래브에서 쉬어 코넥터의 Dowel 강도

W_{rib} = Rib의 평균폭

h_{rib} = Rib의 춤

h_s = 쉬어 코넥터의 높이

n_r = Rib당 쉬어 코넥터의 수

6. 실험결과와 기준식의 비교·분석

실험으로 부터 구한 최대하중을 기준식들과 비교하면 표 4,5 및 그림 8,9,10과 같다.

표 4 실험결과와 기준식과의 비교(Solid형)

종류	시험체	최대하중 P_u (t/stud)	Ollgaard, Slutter, Fisher 제안식 P_{ps} (1)		AISC 기준식 P_{ps} (2)		Oehlers, Johnson 제안식 P_{ps} (3)	
			P_{ps}	$\frac{P_u}{P_{ps}}$	P_{ps}	$\frac{P_u}{P_{ps}}$	P_{ps}	$\frac{P_u}{P_{ps}}$
경량	LSS-1	5.093	7.448	0.68	6.064	0.84	7.004	0.73
	LSS-2	5.486	8.030	0.68	6.712	0.82	7.558	0.73
	LSS-3A	5.1	8.444	0.60	7.230	0.71	7.979	0.64
	LSS-3B	5.838	8.444	0.69	7.230	0.81	7.979	0.73
	LSS-4	5.463	8.330	0.66	7.067	0.77	7.852	0.70
	LSS-5	실패	-	-	-	-	-	-
량	LSD-1A	3.0	3.711	0.80	3.229	0.93	3.563	0.84
	LSD-1B	3.15	3.711	0.84	3.229	0.98	3.563	0.88
	LSD-2	4.443	5.990	0.74	5.129	0.87	5.659	0.79
	LSD-3	5.1	8.444	0.60	7.230	0.71	7.978	0.64
	LSD-4	6.645	11.321	0.59	9.694	0.69	10.696	0.62
	보통	NSS-1	6.725	8.038	0.84	6.768	0.99	7.591
NSS-2		7.4	8.018	0.92	6.846	1.08	7.627	0.97
NSS-3		실패	-	-	-	-	-	-

표 5 실험결과와 기준식과의 비교(Deck Plate형)

종류	시험체	쉬어 코넥터당 최대하중 P_u (t/stud)	Grant, Fisher, Slutter 제안식 P_{ps} (1)	
			P_{ps}	$\frac{P_u}{P_{ps}}$
경량	LDU-1	1.769	1.616	1.09
	LDU-2	3.39	3.641	0.93
보통	NDU-1	2.313	1.626	1.42
	NDU-2	3.869	3.662	1.06

경량콘크리트 강도가 140~180kg/cm² 사이에 있을 때 제안식들과 비교하면 다음과 같다.

Ollgaard, Slutter, Fisher 제안식과 경량콘크리트

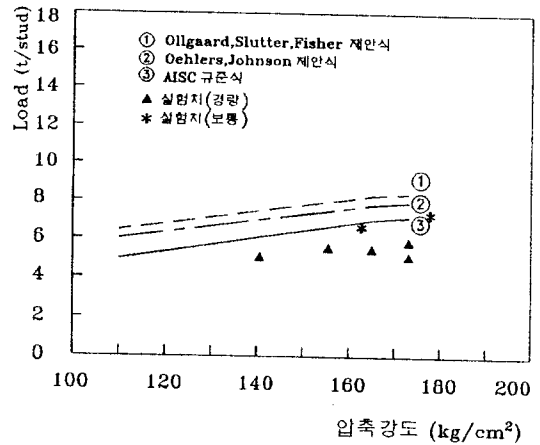


그림 8 실험결과와 기준식들과의 비교(압축강도)

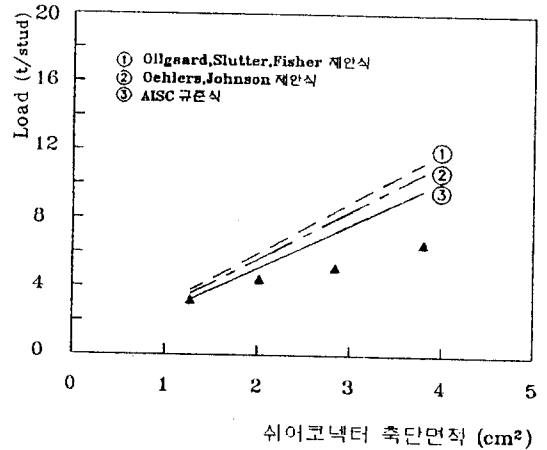


그림 9 실험결과와 기준식들과의 비교

(쉬어 코넥터 축단면적)

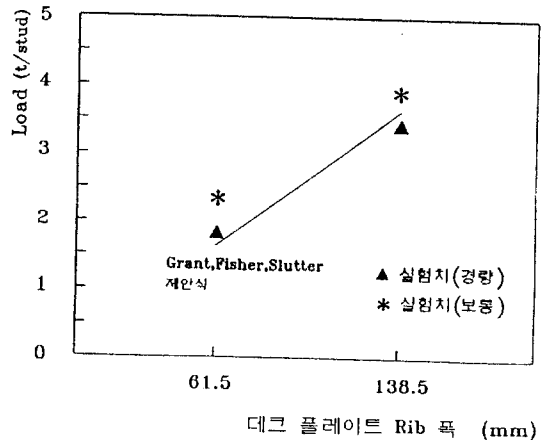


그림 10 실험결과와 기준식과의 비교

(Deck Plate의 Rib폭)

시험체의 실험치와 비교해 볼때 실험치가 59~84% 정도로 나타나 쉬어 코넥터의 내력을 상당히 과대 평가하고 있는 것으로 나타났다.

AISC 규준은 보통콘크리트에서는 쉬어 코넥터의 내력이 실험치와 근접하나 경량콘크리트에서는 실험치가 규준식의 69~98%정도로 나타나고 있음을 알수 있었다.

Oehlers, Johnson 제안식과 경량콘크리트 시험체의 실험치와 비교해 볼때 실험치가 제안식의 62~88% 정도로 나타났다.

Grant, Fisher, Slutter의 Deck Plate형 슬래브에 대한 제안식에서 P_{fs} 에 AISC 규준식의 값을 대입한 결과 본 실험치 보다 경량콘크리트에서는 93~109%, 보통콘크리트에서는 106~142% 정도로 매우 근접하게 나타났다.

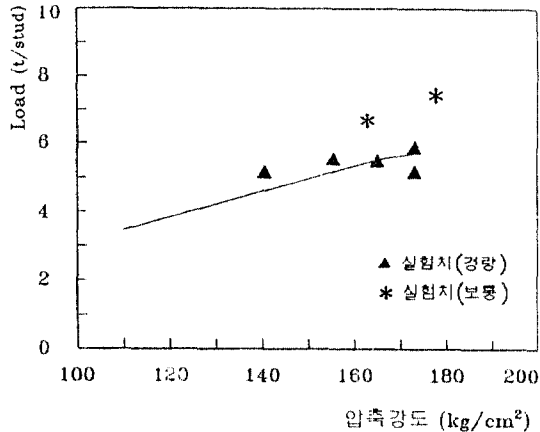


그림 11 본 제안식과 실험치의 비교

7. 결론

이상의 실험으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 경량 및 보통콘크리트에서 압축강도가 증가할수록 쉬어 코넥터의 내력은 대체로 압축강도의 평방근에 비례하고 있으며 콘크리트의 압축강도가 140 ~ 180 kg/cm² 범위에 있어서 경량골재를 사용한 콘크리트의 쉬어 코넥터의 강도는 동일강도의 일반콘크리트에 비해서 약 70% 정도로 나타났다.
- 2) 경량콘크리트의 인장강도에 대한 쉬어 코넥터의 내력은 인장강도가 13.0 ~ 16.5 kg/cm² 범위에서는 선형적으로 비례하고 있다.

3) 쉬어 코넥터의 측단면적에 대한 쉬어 코넥터의 내력은 측단면적에 선형적으로 비례하는 것으로 나타났다.

4) 경량콘크리트 슬래브에 대하여 기존 제안식과 실험치를 비교한 결과 대부분이 쉬어 코넥터의 강도를 상당히 과대 평가하고 있었다.

AISC 규준식이 경량콘크리트에 대한 본 실험의 결과치와 비교해 볼때 가장 접점하게 나타나 여기에 감소계수를 곱하여 경량콘크리트 슬래브에 대한 합성보 설계식으로 사용함이 바람직 할것으로 사료된다.

5) 이상의 실험으로 경량콘크리트에 대한 쉬어 코넥터의 내력식은 AISC 강도식의 70%인 다음과 같이 제안한다. (그림 11 참조)

본 실험에서의 제안식:

$$P_{fs} = \phi 0.50 A_s \cdot \sqrt{f_c \cdot E_c} \quad (\phi = 0.7)$$

6) Deck Plate형 슬래브에서 Rib의 폭에 대한 쉬어 코넥터의 강도는 Grant, Fisher, Slutter의 제안식에 매우 근접하고 있다. 그러나 Deck Plate를 사용한 시험체의 수가 적은 관계로 더 많은 시험체를 가지고 이에 대한 실험이 추후에 수행되어야 할것으로 생각된다.

참고문헌

1. Buttrey, K.E., "Behaviour of Stud Shear Connectors in Lightweight and Normal-weight Concrete," M.Sc. Thesis, University of Missouri, Columbia, Aug., 1965.
2. Oehlers, D.J., and Johnson, R.P., "The Strength of Stud Shear Connections in Composite Beams," The structural Engineer, Vol. 65B, No. 2, 1987, pp. 44-48.
3. 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.
4. 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.
5. 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.