

전단보강에 따른 일방향 중공슬래브의 휨 성능 평가

Evaluation on Flexural Performance of One-Way Hollow Slabs according to the Shear Reinforcement

유 유 진*
Yu, Yu-Jin

석 근 영**
Seok, Keun-Young

김 기 철***
Kim, Gee-Cheol

강 주 원****
Kang, Joo-Won

Abstract

The purpose of this study is intended to determine the validity of shear reinforcement by evaluating flexural performance in the hollow slab. The hollow slab is relatively light and second moment of inertia is large. Due to these characteristics, it can be used to slab system efficiently. Therefore the prediction of the structural behaviors is very important because of decrease of shear and flexural strength which is caused by hollow section of slab interior. In this study, the flexural test were performed to analyze the flexural capacity of the hollow slab w/ or w/o shear reinforcement. A total of six full scale specimens were tested. These specimens have three cases of reinforcing bar ratio, 0.009, 0.018 and 0.024. To verify the flexural behavior such as ultimate load, load-deflection and crack pattern, the flexural experiment were tested by using loading frame. Experimental results have shown that the flexural behavior are depend on the reinforcing bar ratio. Also the hollow slab with shear reinforcement have shown flexural behavior. Therefore, it is appropriate that the hollow slab is reinforced by shear reinforcement to improve the flexural performance of the hollow slab.

Keywords : Flexural performance, Hollow slab, Shear reinforcement, Neutral axis

1. 서 론

최근에 층간소음 규제 강화 등 주거환경에 대한 관심이 높아짐에 따라 슬래브의 두께가 증가하고 있는 추세이다. 슬래브의 두께 증가는 슬래브 자중 증가로 이어지게 되고 이는 기둥, 벽, 기초 등과 같은 수직 부재의 크기 및 수량을 증가시키게 되므로 건축물 전체의 중량 및 소요 물량을 크게 높이는 요인으로 지적되고 있다.¹⁾ 이러한 슬래브 두께 증가로 인한 문제를 해결하고자 슬래브의 자중을 경감시킬 목적으로 중공슬래브가 개발되고 있으며 중공슬래브란 슬래브 상·하부근 사이에 중공을 삽입하여 슬래브의 복부에

중공을 형성하는 바닥 구조 시스템이다.

국내의 관련 업체에서 프리캐스트 콘크리트 패널에 폴리스틸렌 재질의 중공관을 삽입하여 콘크리트 양을 감소시키는 I-슬래브 시스템을 개발하였으며 중공 하프 슬래브의 중공관에 대하여 3가지 형상을 연구하여 제안하였다. 또한 속이 빈 타원구를 삽입하여 슬래브의 자중을 저감시키는 방안이 제시되기도 하였다.^{2),3),4)}

국외의 관련 시스템을 살펴보면, 일본의 경우에 Daisun사의 Dausun Cubic 시스템, Momvoid사의 momslab 시스템, KAISER사의 KASIER Void Slab 시스템 등이 있다. Kitao NITTA은 L-Shaped Void 시스템을 개발하였고 Hideki Ikeda은 도리브 보이도 시스템을 개발하였다. 또한 스위스의 Hanson사는 완전구형 플라스틱 구를 슬래브 내에 삽입하는 Cobiax Technologies AG공법을 개발하였고, 덴마크의 Bubble Deck사는 Bubble deck 시스템을 개발하였다. 또한 이탈리아의 Daliform사에서는 U-boot 시스템을 개발하였다.⁵⁾

중공슬래브는 부재의 중량이 적고 단면 2차모멘트

* 학생회원, 영남대학교 건축학과 석사과정
Dept. of Architecture, Yeungnam University

** 정회원, 영남대학교 공업기술연구소 연구교수, 공학박사
Institute of Industrial Technology, Yeungnam University

*** 정회원, 서일대학교 건축과 교수, 공학박사
Dept. of Architecture, Seoil University

**** 교신저자, 영남대학교 건축학부 교수, 공학박사
School of Architecture, Yeungnam University

Tel: 053-810-2429 Fax: 053-810-4625
E-mail : kangj@ynu.ac.kr

가 크다는 단면특성으로 인하여 부재를 효율적으로 사용할 수 있다. 하지만 중공부의 존재로 인한 불연속적인 단면 특성을 고려할 때, 탄소성거동과 균열을 포함하는 전단 거동을 명확히 평가한다는 것은 이론적으로나 실험적으로도 상당히 어려운 일이다. 철근 콘크리트 구조부재의 파괴 양상이 크게 휨 파괴와 전단 파괴로 대별된다. 구조설계의 기본적인 개념은 구조물의 연성적 거동을 통한 안전한 구조물의 구현이다.⁶⁾ 중공슬래브는 내부의 중공부로 인하여 휨 및 전단강도가 감소하기 때문에 구조적 거동의 예측은 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 일방향 중공슬래브의 전단철근 유무에 따른 중공슬래브의 휨 성능을 비교 분석하여 전단철근이 일방향 중공슬래브에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

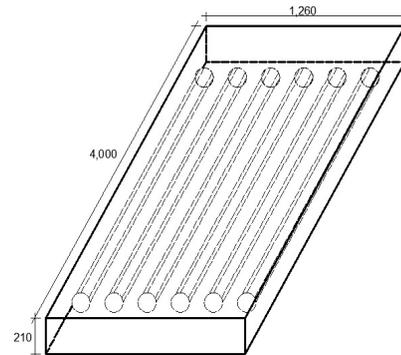
2. 실험 계획

2.1 실험체 제작

전단보강이 일방향 중공슬래브의 휨성능에 미치는 영향을 파악하기 위하여 <Fig. 1>과 같은 단일 중공체를 형성한 크기 4,000mm×1,260mm의 일방향 중공 슬래브를 제작하였다. 전단보강이 없는 중공슬래브, 전단보강이 있는 중공슬래브 각 3개씩 총 6개를 제작하였다. 슬래브의 두께는 210mm로 동일하며 중공관은 THP주름관(배수관)으로 직경은 115mm, 중공관 간격은 95mm, 중공관 중심간 거리는 210mm이며 상부 배력근 및 하부 배력근은 D10@250, 전단보강이 없는 중공슬래브의 상부근은 와이어 메쉬 #4@180이며 전단보강이 있는 중공슬래브의 상부근은 와이어 메쉬 #6@250이다. 전단보강철근은 시험체에 중공관을 감싸는 형태로 수직으로 D10@150으로 배근하였다.

<Table 1>은 제작한 일방향 중공슬래브의 주근과 전단보강 유무를 나타낸 것이다. 여기서 VSR0은 전단보강이 없는 중공슬래브이고 실험체의 하부철근은 VSR0-13A는 D13@105로 배근하였고 VSR0-35B는 D13-D10@35로 배근하였으며 VSR0-25C는 D13@52.5로 배근되었다. 실험체명 VSR6은 전단보강이 된 중

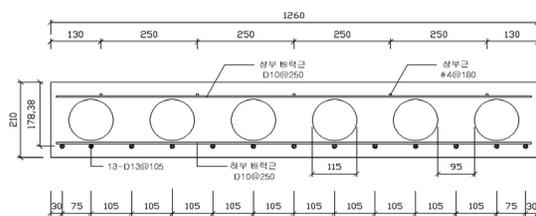
공슬래브이며 각 실험체의 하부철근은 VSR6-12D는 D13@110으로 배근하였고 VSR6-23E는 D13@55로 배근하였으며 VSR6-31F는 D13@40으로 배근하여 실험체를 제작하였다. <Fig. 2>와 <Fig. 3>은 일방향 중공슬래브의 실험체에 대한 형상을 나타내고 있다. 하부주근은 중립축의 위치를 고려하여 배근하였다.



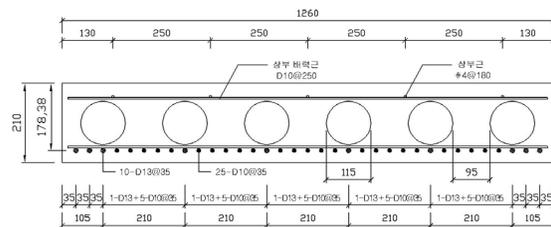
<Fig. 1> Size of hollow slab

<Table 1> Specification of hollow slabs

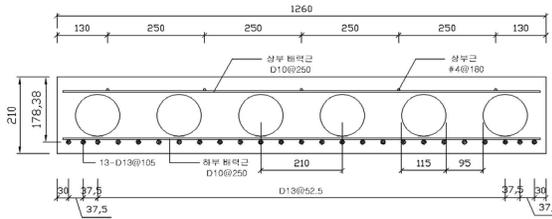
Specimen	Rebar	Shear reinforcement	Specimen	Rebar	Shear reinforcement
VSR0-13A	13-D13	-	VSR6-12D	12-D13	6-D10
VSR0-35B	25-D10 10-D13		VSR6-23E	23-D13	
VSR0-25C	25-D13		VSR6-31F	31-D13	



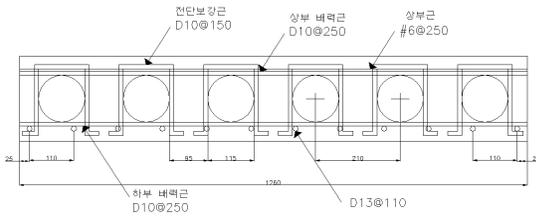
(a) VSR0-13A



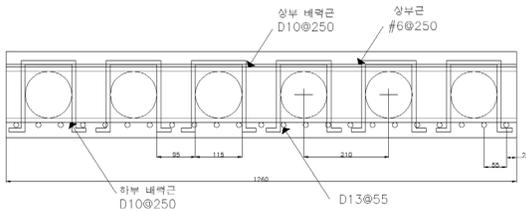
(b) VSR0-35B



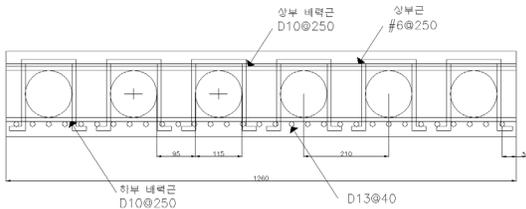
(c) VSR0-25C
 <Fig. 2> VSR0 cross sections



(a) VSR6-12D



(b) VSR6-23E



(c) VSR6-31F

<Fig. 3> VSR6 cross sections

제작된 중공슬래브의 콘크리트 설계기준강도는 24MPa이며 철근은 설계기준강도는 500MPa를 사용하였다. 재료 실험의 결과는 <Table 2>와 <Table 3>과 같다. 콘크리트는 KS F 2405에 따라 지름 100mm, 높이 200mm의 원통형 공시체 6개를 실험체와 동일한 조건에서 양생하였다. 콘크리트의 평균압축강도는 29.3MPa이다. 철근은 KS B 0802에 따라 실험하였으며 평균항복강도는 515MPa로 나타났다.

<Table 2> Concrete mixture proportion and compressive strength of specimens

Design strength(MPa)	24	
W/C(%)	47.8	
S/a(%)	47.5	
Unit material requirements (kg/m ³)	Water	170
	Cement	356
	Fine aggregate	848
	Coarse aggregate	956
	Admixture	1.78
Slump(cm)	15	
Amount of air(%)	4.5	
Average of compressive strength(MPa)	29.3	

<Table 3> Yield strength and tensile strength of rebar

Rebar	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)
D10	519.26	651.03
D13	510.58	623.07

2.2 실험 방법

<Fig. 4>와 같이 실험체를 설치하고 단순지지 2점 가력하였다. 휨 실험체의 양 단부 끝에 250mm씩 떨어진 곳에 반력힌지를 위치시키고 상부의 중앙에서 양쪽으로 600mm씩 떨어진 곳에 가력힌지를 위치시켰다. 가력은 최대 용량 2,000kN의 액추에이터를 사용하여 1mm/min의 속도로 변위제어를 실시하였다.

실험체의 항복강도를 측정하기 위하여 인장철근 중앙부에 스트레인게이지를 부착하고 실험체 중앙부의 처짐을 측정하기 위하여 중앙 측면 하부에 선형 변위계를 설치하여 측정하였다.



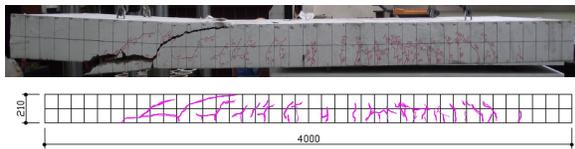
<Fig. 4> Specimen installation

3. 실험결과 및 분석

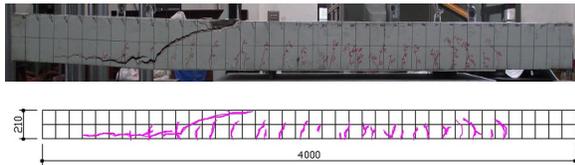
3.1 실험체 파괴양상 비교

<Fig. 5>와 같이 전단보강이 없는 중공슬래브 VSR0-13A, VSR0-35B, VSR0-25C는 중앙부에 초기균열이 발생하였으나 하중이 증가하면서 점차 사인장균열이 발생하여 사인장균열에 의한 파괴가 나타났다.

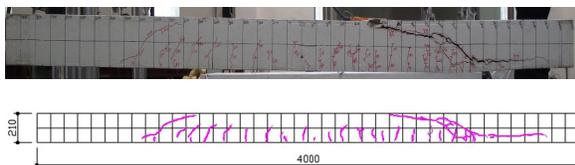
전단보강이 된 중공슬래브 VSR6-12D, VSR6-23E, VSR6-31F의 실험체는 초기균열이 중앙부에서 발생하였고 하중이 증가할수록 양단으로 휨균열이 확산되었다. 균열은 점차 실험체 하부에서 상부까지 확산되었다. 전단보강이 된 슬래브는 전형적인 휨균열에 의한 파괴가 나타났다.



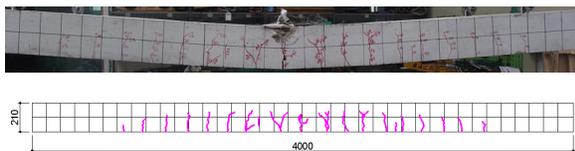
(a) VSR0-13A



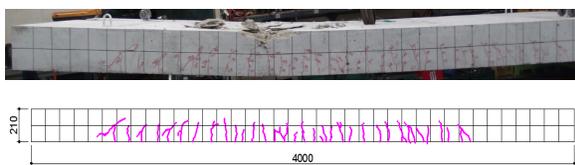
(b) VSR0-35B



(c) VSR0-25C



(d) VSR6-12D



(e) VSR6-23E



(f) VSR6-31F
<Fig. 5> Failure mode

3.2 초기균열 하중과 최대하중 분석

각 실험체의 초기균열 하중과 최대 하중에서 변위 값은 <Table 4>와 같다. 중립축이 중공부 상부에 있는 VSR0-13A, VSR6-12D의 경우에 초기균열하중은 휨철근량이 적은 VSR6-12D가 더 크게 나타났다. 또한 중립축이 중공부 내부에 있는 VSR0-35B, VSR0-25C, VSR6-23E도 전단보강이 되어 있는 VSR6-23E가 휨철근량이 적지만 더 큰 하중에서 초기균열이 발생하였다. 모든 실험체의 중립축 위치에 관계없이 중공슬래브에 전단보강을 하면 전단보강이 없는 중공슬래브보다 더 높은 하중에서 초기균열이 발생하므로 중공슬래브의 사용성에 효율적일 것으로 판단된다.

<Table 4> Initial crack and maximum load

	Initial crack		Maximum load	
	P_{cr} (kN)	δ_{cr} (mm)	P_{max} (kN)	δ_{max} (mm)
VSR0-13A	23	1.8	271.15	44.11
VSR0-35B	30	1.5	337.77	30.54
VSR0-25C	35	1.7	356.57	31.64
VSR6-12D	40	2.4	238.27	78.04
VSR6-23E	82	5.1	455.26	65.87
VSR6-31F	95	6.4	519.44	39.55

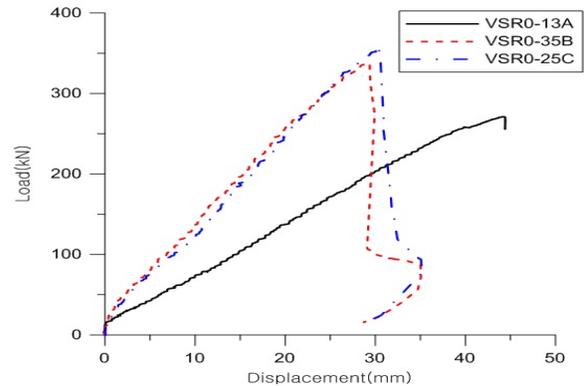
중립축이 중공부 상부에 있는 VSR0-13A와 VSR6-12D를 보았을 때 철근량이 많은 VSR0-13A가 최대하중이 더 크게 나타났다. 그러나 중립축이 중공부 내부에 있는 실험체 VSR0-35B, VSR0-25C, VSR6-23E는 전단보강이 된 VSR6-23E가 전단보강이 되지 않은 VSR0-35B, VSR0-25C에 비해 휨철근량이 적음에도 최대하중은 더 크게 나타났다. 따라서 중립축이 중공부 내부에 있을 경우 전단보강을 하면 전단보강 되지 않은 슬래브보다 적은 철근량을 배근하여도 휨 강도의 감소하지 않을 것으로 판단된다.

3.3 하중-변위 관계

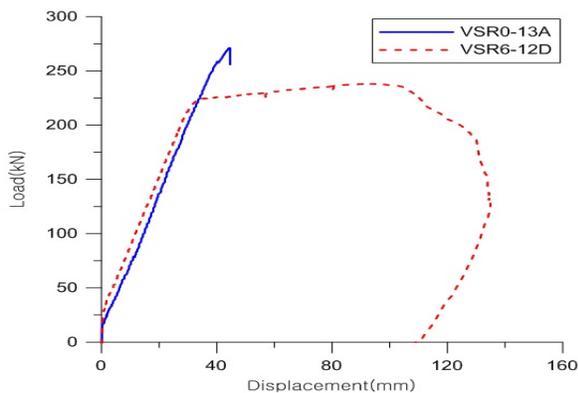
<Fig. 6>과 <Fig. 7>은 하중-변위 관계 그래프로 실험체에 대해 전단보강이 되어 있는 슬래브의 경우 전단보강이 되어 있지 않은 슬래브보다 같은 하중하에서 변위가 적게 나타나는 것을 확인 할 수 있다.

중립축 위치가 중공부 상부에 존재할 때 전단보강이 없는 VSR0-13A의 경우 작은 변형에너지를 가지며 취성파괴가 일어난다. 하지만 전단보강이 있는 VSR6-12D의 경우 VSR0-13A보다 더 큰 변형에너지를 가지며 연성거동 하는 것을 알 수 있다. 중립축이 중공부 내부에 있는 경우도 전단보강이 없는 VSR0-35B, VSR0-25C는 변형에너지가 작으며 취성파괴가 나타난다. 그러나 전단보강이 된 VSR6-23E는 VSR0-35B, VSR0-25C보다 철근량이 적음에도 큰 하중의 값에서 파괴가 일어났으며 많은 변형에너지를 가지고 연성거동을 한다.

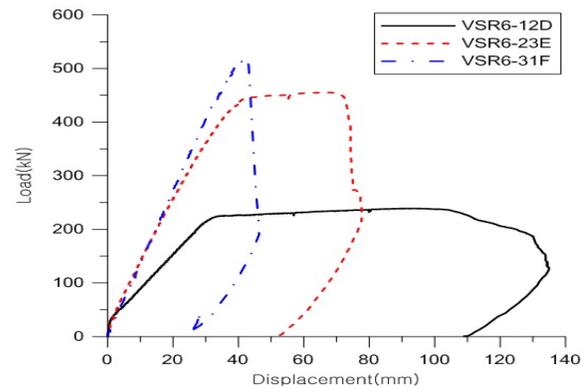
<Fig. 8>은 전단보강이 없는 중공슬래브의 하중-변위 관계그래프이다. 중립축이 중공부 상부에 있는 VSR0-13A가 가장 큰 변위값을 나타낸다. 그러나 중립축에 관계없이 VSR0-13A, VSR0-35B, VSR0-25C가 연성거동을 하지 못하고 취성파괴가 일어난다.



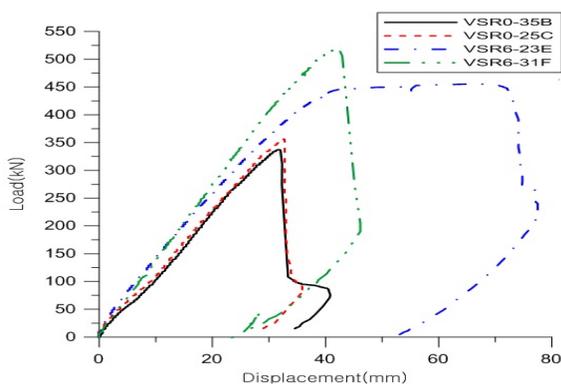
<Fig. 8> VSR0 Load-Displacement



<Fig. 6> Load-Displacement ($c < t_f$)



<Fig. 9> VSR6 Load-Displacement



<Fig. 7> Load-Displacement ($c > t_f$)

<Fig. 9>는 전단보강이 있는 중공슬래브의 하중-변위 관계그래프이다. 중립축이 중공부 상부에 있는 슬래브 VSR6-12D가 중립축이 중공부 내부에 있는 VSR6-23E, VSR6-31F보다 큰 변위를 나타내면서 연성거동을 한다. 중립축이 중공부 내부에 있는 VSR6-23E는 연성거동을 하지만 VSR6-12D보다 연성거동하는 구간이 짧게 나타난다. 또한 하중은 VSR6-12D보다 더 크게 나타난다. VSR6-31F는 전단보강이 되었음에도 연성거동형태를 나타내지 못하고 취성파괴가 나타난다. VSR6-31F는 슬래브의 균형철근비 0.0189이상인 0.0241의 철근비로 배근되었기 때문이다. 전단보강이 된 슬래브는 중립축이 중공부 상

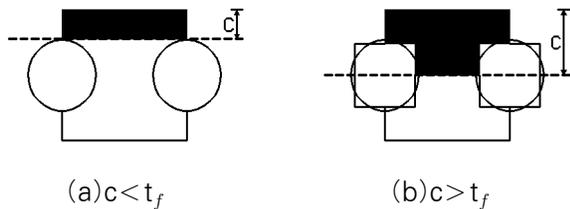
부에 있는 경우 변위는 크게 나타나고 하중은 작게 나타난다. 중립축이 중공부 내부에 있는 경우 변위는 작게 나타나고 하중은 크게 나타난다. 중공슬래브의 하중과 연성거동하는 구간을 결정하는데 중립축의 위치가 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

4. 휨강도 산정

4.1 휨강도 산정방법

<Fig. 10>과 같이 휨강도 단면 산정시 중립축 위치가 중공부 상부에 있을 때는 중공부 상부영역의 콘크리트만 압축력을 받는 것으로 휨 강도를 산정하였다. 그러나 중립축의 위치가 중공부에 걸쳐 있을 때 슬래브 내의 중공부를 등가면적의 정사각형으로 치환한 압축영역으로 T형 단면을 갖는 것으로 중공슬래브의 휨강도를 산정하였다.

중립축이 중공부 상부에 있는 경우 중공부 상부까지만 등가압축응력 깊이를 고려할 때 콘크리트 면적이 직사각형 단면과 같으므로 휨강도 계산은 식 (3)과 같이 콘크리트가 받는 압축력의 합(C)과 철근의 인장력(T)의 힘의 평형식을 사용하여 식 (1), 식 (2)에 의해 계산된다.



<Fig. 10> Compression zone in cross section

$$C = 0.85f_{ck}ab \quad (1)$$

$$T = A_s f_y \quad (2)$$

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (3)$$

여기서,

f_{ck} : 콘크리트 압축강도(MPa)

f_y : 철근 인장강도(MPa)

A_s : 인장철근의 단면적(mm²)

b : 단면의 폭(mm)

d : 보의 유효깊이(mm)

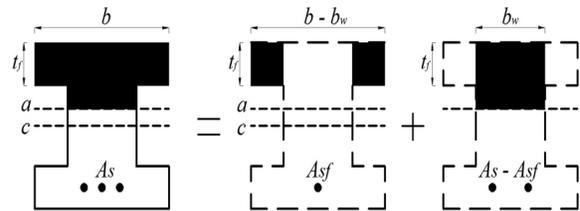
a : 등가응력블록깊이(mm)

C : 콘크리트의 압축력(kN)

T : 철근의 인장력(kN)

M_n : 휨강도(kN · m)

중립축이 중공부 내부에 위치하는 경우에는 <Fig. 11>과 같이 T형보의 휨계산과 같으므로 인장철근을 플랜지부분과 웨브부분을 나누어 계산하여 휨강도를 산정한다. 플랜지부분에 해당되는 휨강도는 식 (4)와 식(5)에 의해 계산되고 웨브분에 해당되는 휨강도는 식 (6)과 식(7)의 의해 계산된다. 전체 휨강도 M_n 은 식 (5)의 M_1 과 식(7)의 M_2 합이므로 식 (8)에 의해 얻게 된다.



<Fig. 11> Alternative cross-section for calculation of flexural strength

$$C_1 = 0.85f_{ck}t_f(b - b_w) \quad (4)$$

$$M_{n1} = A_{sf}f_y \left(d - \frac{t_f}{2} \right) \quad (5)$$

$$C_2 = 0.85f_{ck}ab_w \quad (6)$$

$$M_{n2} = (A_s - A_{sf})f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (7)$$

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \quad (8)$$

여기서,

A_s : 복부부분의 철근단면적(mm²)

A_{sf} : 플랜지부분의 철근단면적(mm²)

t_f : 플랜지의 두께(mm)

b_w : 단면복부의 폭(mm)

C_1 : 플랜지부분의 압축력(mm)

C_2 : 웨브부분의 압축력(mm)

4.2 휨강도 산정

등가면적으로 치환함에 따라 중립축의 깊이가 중공관 상부콘크리트 두께인 54.04mm보다 더 크게 나타나는지 검토하였다. <Table 5>는 슬래브의 중립축의 깊이를 나타낸 것이다.

<Table 5> Position of neutral axis

	VSR0-13A	VSR0-35B	VSR0-25C	VSR6-12D	VSR6-23E	VSR6-31F
Neutral axis (mm)	37.69	75.68	81.39	34.79	69.62	114.69
Equivalent stress block (mm)	32.04	64.33	69.18	29.58	59.18	97.49
t_f (mm)	54.04					

<Table 6> Calculation of flexural strength

	VSR0-13A	VSR0-35B	VSR0-25C	VSR6-12D	VSR6-23E	VSR6-31F
A_s (mm ²)	1647.1	3050.3	3167.5	1520.4	2914.1	3927.7
ρ	0.0101	0.0188	0.0195	0.0093	0.0179	0.0241
ρ_b	0.0189					
M_n (kN · m)	133.7	226.5	233.6	124.83	219.43	270.45

VSR0-13A, VSR6-12D의 경우 중립축의 위치가 중공관 상부콘크리트 두께 54.04mm내에 위치함으로 상부영역의 콘크리트만을 고려하여 휨강도를 산정하였다. VSR0-35B, VSR0-25C, VSR6-23E, VSR6-31F는 중립축이 중공부 내부에 위치하므로 T형보와 같이 휨강도를 산정하였다. 휨강도 산정방법에 따른 각 슬래브의 휨강도의 결과는 <Table 6>과 같다. 철근량이 많은 순서대로 휨강도가 크게 산정되었다. 이론식에 의한 휨강도는 전단보강에 관계없이 인장축의 철근량으로 계산되어지기 때문에 이론식으로는 전단보강이 휨성능에 미치는 영향을 파악하기는 어려울 것으로 판단된다.

4.3 휨강도 비교

<Table 7>은 실험휨강도와 이론식에 의한 휨강도를 비교한 것이다. 중립축이 중공부 상부에 있는 VSR0-13A와 VSR6-12D의 경우 이론식 휨강도 보다 실험에 의한 휨강도가 각각 1.16배, 1.10배 더 높게 나타난다. 그러나 휨강도가 중립축이 중공부 내부에 있는 경우 전단보강이 없는 VSR0-35B와 VSR0-25C는 이론식에 의한 휨강도가 실험에 대한 휨강도보다 0.86배, 0.88배로 낮게 나타났다. 전단보강이 있는 VSR6-23E는 이론식에 의한 휨강도 보다 1.19배 더 높은 실험휨강도가 나타났고 VSR6-31F의 휨강도는 이론식보다 1.1배 더 크게 나타났다.

<Table 7> Comparison of flexural strength

Specimen	M_n	Theory equation (kN · m)	Result of experiment (kN · m)
VSR0-13A		133.7	155.9
VSR0-35B		226.5	194.2
VSR0-25C		233.6	205
VSR6-12D		124.83	137.01
VSR6-23E		219.43	261.79
VSR6-31F		270.45	298.68

따라서 중립축이 중공부 상부에 있는 경우 이론식에 의한 강도보다 더 높게 나타나지만 연성거동이 아닌 취성파괴를 일으킴으로 전단보강을 통해 연성거동을 유도하도록 하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 또한 중립축이 중공부 내부에 위치하는 경우 전단보강을 하지 않으면 이론식에 의한 강도에 미치지 못하고 사인장균열에 의해 취성파괴를 하게 되므로 전단보강을 통해 연성거동을 유도할 뿐만 아니라 이론에 의한 휨강도만큼 발휘할 것으로 판단된다.

균형철근비보다 많은 철근량으로 설계된 VSR6-31F는 이론식에 의한 휨강도보다 실험값이 높게 나타났다하더라도 취성파괴의 형태를 보이기 때문에 사용성에 적합하지 않을 것으로 판단된다. 또한 이론식과 실험값의 오차를 보이는 것은 기존 중공슬래브의 휨강도 산정방법에서는 중공부가 휨강도에 미치는 영향을 고려하지 않고 계산이 되어 중공슬래브에 대한 실험

질적인 휨강도 산정방법이 제시되고 있지 않기 때문이다. 이론식과 실험데이터 비교에 있어서 정확한 휨강도 이론식이 제시되어야함으로 중공슬래브의 휨강도산정에 관한 많은 연구가 필요할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 전단보강에 의한 중공슬래브의 휨성능을 비교 분석하고자 하였다. 슬래브의 중립축 위치에 따라 휨강도를 다르게 선정하여 비교하여 이론과 실험값에 의한 휨강도를 비교분석하였다. 실험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1) 중립축 위치에 관계없이 전단보강이 있는 중공슬래브가 전단보강이 없는 슬래브보다 같은 하중하에서 작은 값의 변위를 나타낸다.

2) 중립축이 중공부 내부에 존재할 경우 유사한 철근비를 가진 슬래브의 경우 전단보강이 되지 않은 슬래브보다 전단보강이 된 슬래브의 휨강도가 더 크게 나타나며 이론값에 의한 휨강도 이상을 발휘한다.

3) 전단보강 유무에 관계없이 중립축이 중공부 상부에 위치하는 경우는 중립축이 중공부 내부에 위치하는 슬래브보다 파괴시점에서의 변위값이 더 크게 나타났다.

4) 중공슬래브의 사용에 있어 전단보강을 하는 경우 사인장균열에 의한 취성파괴가 아닌 연성거동 유도할 수 있기 때문에 전단보강을 하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

본 논문에서는 중공슬래브의 중공률을 고려하지 않고 전단보강에 대한 휨성능을 판단하였다. 중공슬래브의 적용에 있어서 중공률을 결정하는 것이 중요하다. 따라서 중공률에 따른 전단보강이 휨성능에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 전단보강된 중공슬래브의 중공률을 다르게 적용한 실험이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2013071615)

References

1. J.H. Jung, "An analytical study on the impact of hollow sphere shapes in biaxial hollow slabs in order to develop the optimal hollow sphere shape", Hanyang University Graduate school, 2010
2. S.H. Kim, I.S. Kang, H.S. Lee, "Experimental Study on the Flexural Behavior of I-Slab", Proceedings of the Korea Concrete Institute Conference, Vol.19, No.2, pp5-8, 2007
3. H.B. Hwang, S.W. Kim, H.S. Hwang, K.J. Lee, J.Y. Lee, "Structural Performance Evaluation of Hollow Reinforced Concrete Half Slabs", Proceedings of the Korea Concrete Institute Conference, Vol.20, No.1, pp45-48, 2008
4. W.S. Lee, S.H. Cho, S.H. Lee, S.G. Cho, L. Chung, "Flexural Strength and Stiffness of Hollow-core Slabs", JOURNAL OF THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA Structure & Construction, Vol.25, No.1, pp49-56, 2009
5. J.H. Han, S.D. Kim, S.M. Kim, Y.K. Ju, "Evaluation of Shear Behaviour of Void Slabs with Deck", Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, Korean Society of Hazard Mitigation, Vol.11, No.4, pp.1-7, 2011
6. S.W. Sin, J.I. Moon, H.M. Pack, S.H. Lee, J. G. Oh, N.J. Lim,, "An Experimental Study on Shear Capacity of High-Strength Concrete Beams With Shear Span-Depth Ratio Between 1.5 and 2.5", Journal of Korea Concrete Institute, Vol.4, No.4, pp171-179, 1992

(접 수 일 자 : 2014년 05월 12일)

(심사완료일자 : 2014년 05월 21일)

(게재확정일자 : 2014년 05월 29일)