

오메가형 강판을 삽입한 철선일체형 중공 데크플레이트의 성능평가

Performance Evaluation for Steel Wire-integrated Void Deck Plate with Omega Type Plate

김 성 배* 박 준 용** 김 상 섭***
Kim, Sung-Bae Park, Jun-Yong Kim, Sang-Seup

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the flexural, vibrational, and fire resistance performance of void deck plate inserted omega type steel plate. Each of the series is composed of 1 existing steel wire integrated deck plate and 2 specimens which have variables about topping thickness. The result showed that there was not degradation of flexural performance by a void and vibration performance is equal or higher. Evaluation of fire resistance performance about 2 specimens which have same void is also satisfied with an appraisal standard. In conclusion, it is comprehended the void deck plate inserted omega type steel plate perform equal level with solid deck plate as well as reduce the amount of concrete effectively.

키워드 : 철선일체형 데크플레이트, 중공, 휨성능, 진동성능, 내화성능

Keywords : Steel Wire-integrated Deck Plate, Void, Flexural Performance, Vibration Performance, Fire Resistance Performance

1. 서 론

최근 국내·외적으로 가장 크게 관심을 받는 부분은 친환경, 녹색성장이다. 건축분야에서도 친환경 소재개발 및 이산화탄소 저감을 위한 노력이 진행되고 있다. 반면 건축분야에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 콘크리트는 생산 시 약 300kg/m³의 이산화탄소가 배출되고 있으며, 이를 저감하기 위해 다양한 시도가 진행되고 있다^{(1)~(2)}.

근대들어 도심지 인구집중현상으로 공동주택 및 오피스 수요가 지속적으로 증가하고 있다. 반면 인건비 상승과 3D산업기피로 외국인 근로자 증가와 국내 근로자들의 숙련도저하, 이로 인한 안전사고 증가 등 공사관리에 어려움을 겪고 있다. 이러한 변화는 선진국으로의 과도기적 과정에서 발생하는 산업시스템 변화를 촉발하며, 건축공사에서도 공장생산 및 건식공법 적용이 증가하고 있다.

건축공사에서 폭 넓게 사용되고 있는 공장생산, 건식공법 부재는 데크플레이트이다. 데크플레이트는 합성 슬래브 용과 거푸집용으로 구분되는데, 자재비 급등에 의해 강판 두께가 얇고 상대적으로 저렴한 철근을 사용하는 거푸집용 데크플레이트의 사용이 대세를 이루고 있다. 이러한 배경에 의해 거푸집용으로 사용되는 철선일체형 데크플레이트는 현장시공을 최소화하고, 가설지주 및 거푸집 공사 생

략, 시공성 향상을 기대 할 수 있다. 또한 최근 건축물은 경제적, 기능적 요구를 만족시키기 위해 고층화, 대형화되고 있으며, 건설기술의 발전에 따라 평면의 효율성을 고려하여 장스팬으로 이루어진 구조 시스템을 주로 채택한다. 그러나 이러한 시스템은 사용하중에 의해 바닥진동문제 및 층간소음을 유발시킨다^{(3)~(4)}.

이러한 문제로 인해 건축구조물에 대한 층간소음과 진동이 사회적인 문제로 대두되어 정부정책과 기준이 강화되고 있다. 따라서 강화된 기준을 만족하기 위하여 슬래브 두께를 증가시키는 방법으로 기준이 변경되었다. 그러나 표준바닥구조에서 슬래브 두께를 210mm이상으로 하여도 중량충격음의 차단성능이 크게 개선되지 못하며, 비경제적인 것으로 연구되었다. 또한 이러한 슬래브 두께의 증가는 기존의 구조시스템에 비해 슬래브 자중증가와 내진성능저하 등 건축물의 효율이 떨어지는 문제점을 갖는다^{(5)~(7)}.

따라서 슬래브 두께를 증가시키면서도 자중은 크게 증가하지 않는 바닥판 시스템으로 중공슬래브에 관한 관심이 커지고 있다. 기본적으로 중공슬래브는 슬래브 내부에 중공을 설치하여 슬래브 자중을 줄이는 시스템으로, 재축 방향으로 파이프형의 중공을 형성한 일방향 중공슬래브와 양방향으로 구 형태의 중공을 배치하는 이방향 중공슬래브 시스템이 있다.

본 연구에서는 기존의 철선 일체형 데크플레이트에 재축방향으로 오메가형의 강판을 삽입한 자중저감형 중공 데크플레이트의 휨성능 평가와 진동특성을 통한 사용성평가, 내화성능평가 등을 실시하였다. 당해 연구를 통해 기존 일방향 데크플레이트 내부에 중공을 삽입한 경우 어떤 성능차이를 보이는지 검토하였다.

* (주)센구조연구소 소장, 공학박사

** 한국기술교육대학교 건축공학부 석사과정

*** 한국기술교육대학교 건축공학부 교수, 공학박사

(교신저자, 이메일 : kimss@kut.ac.kr)

‘본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2010년도 산학연공동기술개발사업(No.00043608-1)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.’

표 1. 실험체 일람표

구분	실험체명	두께 (mm)	폭 (mm)	길이 (mm)	토평두께 (mm)	Ω형 강판의 단면적(mm ²)	실험체중공면적 (mm ²)	단면 결손율 (%)
A 시리즈	SLD-M-150-150	150	765	4,400	150	0	0	0.0
	SOD-M-150-75				75	330	18,000	15.7
	SOD-M-150-50				50	373	25,000	21.8
B 시리즈	SLD-M-200-200	200	765	4,400	200	0	0	0.0
	SOD-M-200-75				75	431	31,000	20.2
	SOD-M-200-50				50	452	34,000	22.2

2. 실험계획

2.1 실험 개요

표 1은 휨실험과 진동실험에 사용된 실험체 제원이다. 실험체는 거푸집용 강판과 철선 트러스로 구성된 거푸집용 데크플레이트이며, 중공부는 오메가형(Ω)의 강판으로 제작되었다. 오메가 형상은 데크플레이트에 사용된 하부강판과 동일한 0.5mm 두께의 아연도강판이다.

실험체는 슬래브 두께에 따른 휨성능을 비교하기 위해 150mm, 200mm 슬래브 실험체를 각각 A 및 B시리즈로 3개씩 제작하였다. 각 시리즈마다 기준실험체(이하 솔리드 실험체)를 제작하여, 강판을 삽입한 실험체(이하 중공실험체)와 비교하여 중공부형성에 따른 휨성능 및 진동성능을 평가하였다. 내화실험체는 솔리드 실험체와 비교 없이 중공부가 있는 동일한 실험체 2개를 제작하여 평가하였다. 그림 1은 실험체명에 대한 기호 명칭이며, 그림 2는 강판이 삽입된 철선일체형 데크플레이트 실험체의 형상이다.

실험체는 단위 폭 750mm(데크플레이트 이음부 15mm 제외), 길이 4,400mm이고, 중앙부에 삽입된 오메가형의 강판을 절곡하여 별도의 부착 방식 없이 데크플레이트와 레티스(Lattice)가 만나는 사이에 끼워 넣어 중공부를 형성하였다. 중공부 형성을 위하여 삽입된 강판의 단면적은 330mm²~452mm²이며, 하부 플레이트 단면적(382.5mm²)을 기준으로 하면 86.3~118.2(%)에 해당한다. 강판 삽입에 의한 단면결손율은 15.7~22.2% 이다.

그림 3은 슬래브 두께 150mm 실험체의 단면형상이고, 상부의 배력근은 10mm이다. 강판의 높이는 토평콘크리트 두께에 따라 변경된다. 예를 들면 슬래브두께가 200mm인 경우 콘크리트 토평두께가 50mm이면 강판높이는 150mm이고, 슬래브두께가 150mm의 경우 콘크리트 토평두께가 50mm이면 강판높이는 100mm이다.



그림 1. 실험체 기호 및 명칭

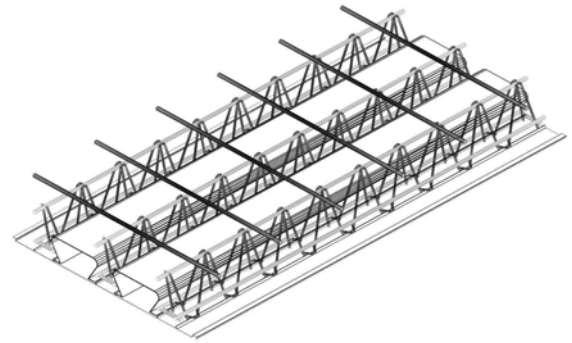
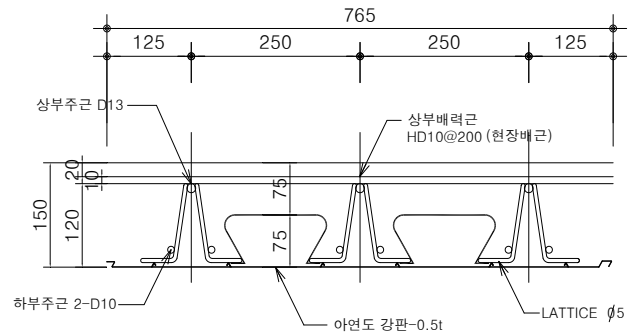
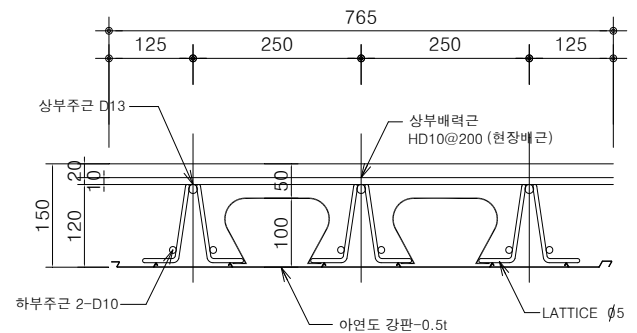


그림 2. 강판이 삽입된 철선일체형 데크플레이트의 형상



(a) SOD-M-150-75 단면형상



(b) SOD-M-150-50 단면형상

그림 3. 중공실험체 형상 (슬래브두께 150mm)

2.2 재료시험

실험체에 사용된 콘크리트 배합비는 표 2와 같다. KS F 2405 콘크리트 압축강도 시험방법에 의해 직경 100mm, 높이 200mm의 원주형 공시체를 수중에서 28일 양생한 후 만능시험기(Universal Testing Machine)로 매초 0.3N/mm²의 하중제어 방식으로 압축시험 하였다. 실험결과 콘크리트의 압축강도는 25.34MPa 이다.

실험체에 사용된 철선(SWM-P/R)은 KS D 3552(철선)에 적합한 선재로서 D13, D10, $\phi 5$ 로 구성되어 있으며, 소재의 시험결과는 표 3과 같다. 테크플레이트의 인장강도는 한국화학시험연구원의 소재시험결과이다.

표 2. 콘크리트 배합비

설계 강도 (MPa)	W/C (%)	S/a (%)	단위 재료 소요량(kg/m ³)				
			물	시멘트	잔골재	굵은 골재	혼화재
24	50.4	45.8	177	351	821	970	1.8

표 3. 소재의 인장강도 시험결과

구 분	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)
D13 철선	510.0	558.0	20.1
D10 철선	553.0	595.0	10.0
$\phi 5$ Lattice	-	607.3	16.4
0.5mm 테크플레이트	394.0	440.0	25.0

3. 휨실험

3.1 휨실험 및 측정

본 연구에서는 중공실험체의 휨 내력을 평가하기 위해 최대 용량이 2,000kN인 만능시험기를 이용하여 3mm/min 속도의 변위제어로 2점 가력하였다. 실험체 설치 및 가력 계획은 그림 4와 같다. 실험체의 지점간 길이는 4,000mm 이고, 양단부에서 중심으로 200mm 안으로 이동한 지점에 반력힌지를 설치하였다. 하중증가에 따른 실험체의 처짐을 측정하기 위해 중앙부와 가력지점이 놓인 위치에 바로 아랫부분에 3개의 변위계를 설치하였다. 또한 상부 콘크리트와 테크플레이트의 변형률을 파악하기 위해서 스트레인게이지를 콘크리트 상부면과 테크플레이트 밑면 중앙부에 채측방향으로 각각 1개씩 부착하였다.

3.2 실험체 파괴양상

본 연구의 실험결과는 표 4와 같다. 표에는 각 실험체의 초기균열하중과 초기균열하중 시 변위, 최대하중과 최대하중 시 변위 등을 정리하였다. 슬래브두께 150mm 실험체와 슬래브두께 200mm 실험체의 공통적인 파괴양상은 그림 5와 같이 중앙부에 초기 휨균열이 발생한 후 하중이 증가함에 따라 균열이 점차 확산되었다. 그리고 휨 항복이후 최대내력에 도달하면서 그림 6과 같이 콘크리트 상부가 압괴되면서 파괴되었다.

슬래브 두께가 200mm인 모든 실험체는 최대내력이후 처짐이 증가함에 따라 테크플레이트에 극한내력 이상의 인장력이 작용하여, 그림 7과 같이 테크플레이트가 국부적으로 횡방향의 파단이 발생하면서 내력이 급격하게 저하되며, 파괴되었다.

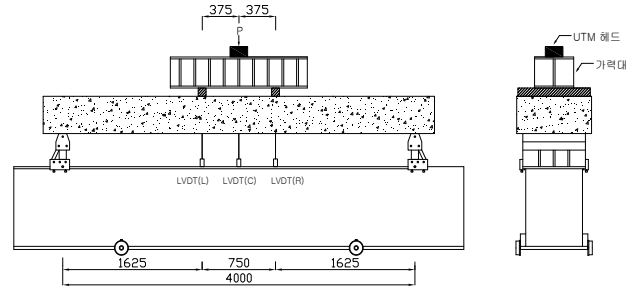


그림 4. 휨 실험체 설치전경

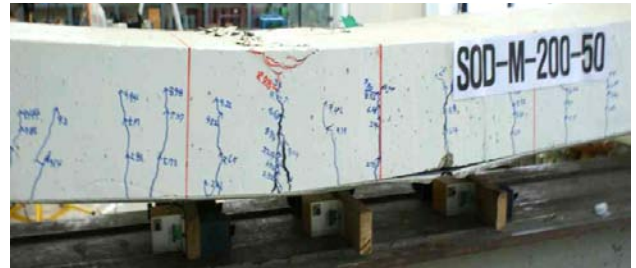


그림 5. 슬래브두께 200mm 실험체의 휨 파괴형상



그림 6. 상부 콘크리트 압괴 균열



그림 7. 테크플레이트 강판 파단

표 4. 실험결과

구분	실험체명	P_{cr} (kN)	δ_{cr} (mm)	P_{max} (kN)	δ_{max} (mm)
A	SLD-M-150-150	18.13	11.01	55.04	103.11
	SOD-M-150-75	22.34	11.11	63.12	111.32
	SOD-M-150-50	16.07	7.80	65.86	101.21
B	SLD-M-200-200	27.05	4.50	83.05	69.87
	SOD-M-200-75	28.32	4.91	100.24	79.19
	SOD-M-200-50	24.70	5.40	91.98	79.99

P_{cr} ; 초기균열 하중

δ_{cr} ; 초기균열하중 시 처짐량

P_{max} ; 최대하중

δ_{max} ; 최대하중 시 처짐량

3.3 실험체의 거동특성

그림 8은 슬래브두께 150mm 실험체의 하중-변위 곡선이다. A시리즈 실험체 3개 모두 소재시험을 통해 산정한 예상하중을 상회하였다. 토평콘크리트 두께가 50mm인 경우(강판 높이 100mm) 하중저하와 함께 변형이 지속되었으나, 시험조건 등을 고려하여 실험을 중단하였다. 강판이 삽입된 중공실험체의 최대하중은 솔리드실험체의 최대하중보다 14.7%~19.7% 가량 높으며, 구조특성도 중공실험체가 솔리드실험체 보다 연성적으로 거동하였다.

그림 9는 슬래브두께 200mm 실험체의 하중-변위 곡선이다. 강판이 삽입된 중공실험체의 최대하중이 솔리드실험체의 최대하중보다 9.9%~20.7% 가량 높게 나타났다. 또한 구조특성 역시 슬래브두께 150mm와 동일하게 중공실험체가 솔리드실험체 보다 연성적으로 거동하였다.

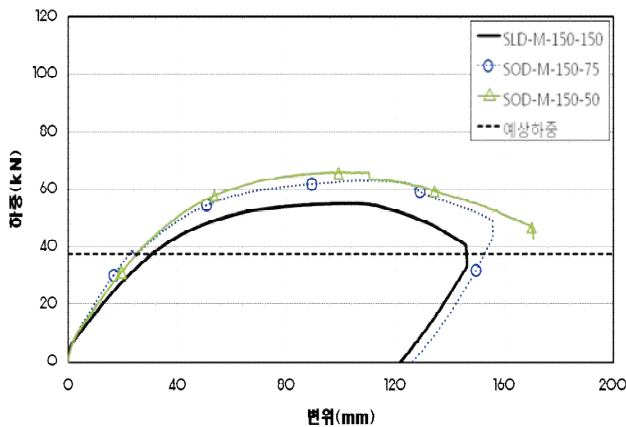


그림 8. 슬래브두께 150mm 실험체의 하중-변위곡선

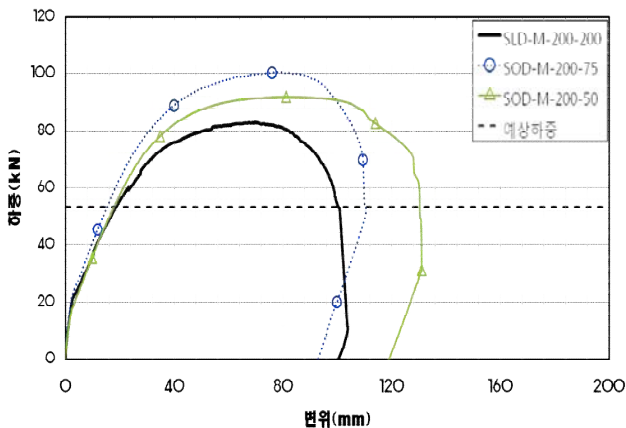


그림 9. 슬래브두께 200mm 실험체의 하중-변위곡선

3.4 실험결과 분석

표 5는 각 시리즈별 실험체에 대한 항복하중, 항복변위 및 휨강성, 휨내력비 등을 산정한 것이다. 공칭휨강도(M_{theory})는 소재시험을 통해서 측정된 값이며, 하부 데크플레이트와 오메가 강판의 내력은 반영하지 않았다. 항복하중 시 변형은 초기강성과 최대하중의 수평선이 만나는 점으로 산정하였고, 이 항복변위와 곡선이 만나는 점의 하중을 항복하중으로 정의하였다. 또한 강성은 탄성구간의

기울기로 정의하였다.

항복하중 및 최대하중은 각 시리즈별 실험체간의 편차가 나타났으며, 솔리드 실험체보다 중공실험체의 항복하중이 더 크게 나타나는 경향을 보였다. 실험결과에 의한 최대휨내력과 공칭휨강도를 비교하면, 약 47~87%가량 최대휨내력이 높게 나타났다. 이러한 현상은 실험체 내력산정에 포함되지 않았으나, 실험체 하부의 데크플레이트 강판과 오메가형으로 삽입된 강판(모두 판 두께 0.5mm)이 인장력을 부담하여 최대휨내력이 증가한 것으로 판단된다.

표 5. 실험결과분석

	실험체명	P_y (kN)	δ_y (mm)	$\frac{\delta_{max}}{\delta_y}$	K kN/mm	M_{theory} (kN·m)	M_{test} (kN·m)	$\frac{M_{test}}{M_{theory}}$
A	SLD-M-150-150	45.20	43.58	2.37	1.13	30.50	44.71	1.47
	SOD-M-150-75	48.00	38.46	2.89	1.49		51.29	1.68
	SOD-M-150-50	53.58	45.27	2.24	1.32		53.51	1.75
B	SLD-M-200-200	70.29	31.66	2.21	2.15	43.50	67.48	1.55
	SOD-M-200-75	84.12	34.43	2.30	2.43		81.45	1.87
	SOD-M-200-50	77.18	33.60	2.38	2.34		74.73	1.72

P_y ; 항복하중

δ_y ; 항복하중시 처짐량

K ; 휨 강성

δ_{max}/δ_y ; 연성비

3.5 오메가형 강판의 평가

본 실험결과 모든 실험체의 최대휨내력이 공칭강도에 비해 약 47%이상 높게 나타났다. 이러한 차이는 공칭강도를 산정하는 과정에서 실제 실험체의 내력작용을 나타낸 그림 10에서 T_2 , T_3 , T_4 의 내력을 무시하였기 때문으로 판단된다. 따라서 T_2 , T_3 에 해당하는 오메가형(Ω)강판의 경우, 콘크리트 속에 매입된 인장보강재로서의 작용을 하게 되므로 내력을 고려하였다. 그러나 T_4 에 해당하는 하부 데크플레이트는 솔리드 및 중공실험체에도 동일하게 적용되어 내력산정에 포함하지 않았다. 공칭휨강도 산정시 간편성을 위하여 오메가형 강판을 그림 11과 같이 상부 1개 평판과 2개의 Z형판으로 구분하여, 내력의 작용위치 및 강판의 단면적을 산정하였다. 실험체 전체의 높이는 h , 하부인장철선으로부터 상부면까지를 d , Z형판의 중앙부에서부터 상부면까지를 p , 평판에서 상부면까지를 t 로 정의하였다.

표 6은 오메가형(Ω)으로 삽입된 강판 1개의 총 길이를 곡선(Curve)으로 산정한 값이며, 직선형(1H-2Z)은 이를 단순화하여 산정 후 길이를 비교한 것이다. 비교결과 두 값의 오차는 약 3%정도로 공칭휨강도 산정시 영향은 거의 없을 것으로 판단된다. 내력산정시 강판의 단면적은 산정된 길이에 두께 0.5mm를 곱하였다.

식 (1)~(2)와 같이 실험체 내부에 삽입된 오메가형 강판의 내력을 고려한 중공실험체의 공칭휨강도를 다시 산정하기위해 T_2 , T_3 를 적용하였다. T_2 , T_3 에 의한 영향은 오메가형 강판을 평판과, Z형판으로 나누어서 인장력이 작용하는 지점을 각각 분리하여 고려하였으며, 이러한 결

과는 표 7과 같다. 공칭휨강도 산정 시 상부철선의 내력은 계산에서 제외하였으며, 이를 반영하여 검토하여도 큰 차이가 나지 않는다.

오메가형 강판의 영향을 고려하여 공칭휨강도를 산정한 경우, 기존의 공칭휨강도 산정식에 의해 산정된 값보다, A 시리즈는 34% 높게 나타났으며, B 시리즈는 36~39% 높게 나타났다. 이와 같이 상향된 공칭휨강도를 기준으로 평가한 휨내력비는 오메가형 강판이 들어간 4개 실험체의 경우 1.25~1.34가 되며, 각 시리즈별 기존실험체와 중공실험체를 비교하면 편차가 감소한다. 그림 12는 오메가형 강판을 내력산정에 반영한 경우와 반영하지 않은 경우인 표 5와 표 7에 의해 휨내력비를 산정한 그래프이다. 오메가형 강판의 영향을 내력에 반영하면 편차가 감소하고 일정한 내력비를 확인할 수 있다.

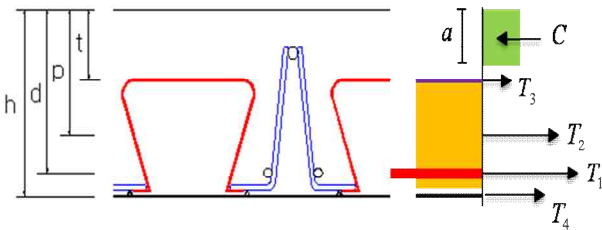


그림 10. 중공실험체의 단면과 내력작용

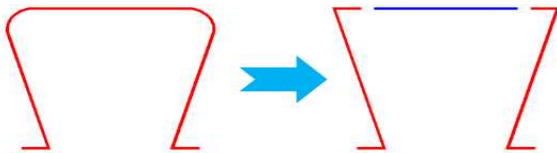


그림 11. 오메가형 강판의 단순화

표 6. 오메가형 강판의 길이

구분	실험체명	1 module의 길이(mm)				
		Curve #1	1H-2Z #2			오차(%)
			평판	Z형판	합계	
A	SOD-M-150-75	330	80	240	320	3.1
	SOD-M-150-50	373	70	300	370	0.8
B	SOD-M-200-75	431	90	330	420	2.6
	SOD-M-200-50	452	80	360	440	2.7

※1. Curve ; 곡선 1개의 총 길이

※2. 1H-2Z ; 직선형으로 단순화한 길이

내부에 삽입된 오메가형 강판은 슬래브두께에 비례하여 증가한다. 실험결과에 의한 슬래브두께가 150mm인 중공 실험체의 최대휨내력은 공칭휨강도보다 25, 31(%), 슬래브 두께가 200mm인 중공실험체의 경우 34, 26(%) 높게 나타났다. 그러므로 중공체로 강판을 삽입하는 경우, 강판의 위치와 양, 일체화 등을 정확하게 규정하여 성능확인이 되면 오메가형 강판에 의한 내력증가를 설계에 반영하여도 될 것으로 판단된다. 또한 실험결과를 통해 중공부형성에 의한 휨내력의 저하는 없는 것으로 확인되었다.

$$a = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{0.85f_{ck}b} = \frac{A_s f_{ys} + A_z f_{yp} + A_h f_{yp}}{0.85f_{ck}b} \quad (1)$$

$$M_n = T_1 \times (d - \frac{a}{2}) + T_2 \times (p - \frac{a}{2}) + T_3 \times (t - \frac{a}{2}) \quad (2)$$

여기서, A_s : 하부철선의 단면적 (mm^2)

A_z : Z형판의 단면적 (mm^2)

A_h : 평판의 단면적 (mm^2)

f_{ys} : 하부철선의 항복강도 (MPa)

f_{yp} : 강판의 항복강도 (MPa)

M_n : 슬래브의 공칭강도 ($\text{kN}\cdot\text{m}$)

표 7. 오메가형 강판을 고려한 공칭강도

	실험체명	내력작용거리			M_n (kN·m)		M_{est} (kN·m)	$\frac{M_{est}}{M_n}$
		d (mm)	p (mm)	t (mm)				
A	SLD-M-150-150	125	0	150	30.5	1.00	44.71	1.47
	SOD-M-150-75	125	112.5	75	41.0	1.34	51.29	1.25
	SOD-M-150-50	125	100.0	50	40.8	1.34	53.51	1.31
B	SLD-M-200-200	175	0	200	43.5	1.00	67.48	1.55
	SOD-M-200-75	175	137.5	75	60.6	1.39	81.45	1.34
	SOD-M-200-50	175	125.0	50	59.2	1.36	74.73	1.26

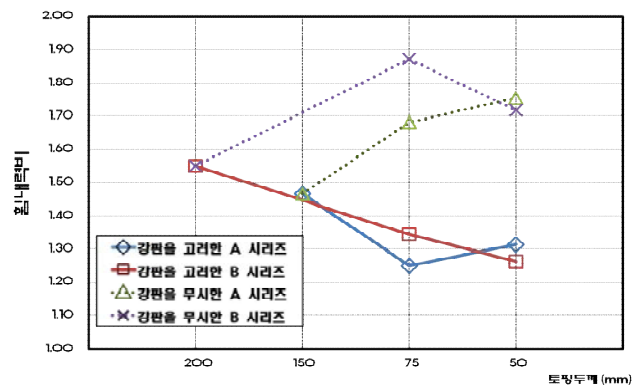


그림 12. 오메가형 강판 반영에 의한 휨내력비

4. 진동실험

4.1 실험 및 계측

기존 철선일체형 데크플레이트에 강판을 삽입함으로써 생성되는 중공부의 영향을 평가하기 위해 고유진동수를 계측하였다. 고유진동수 계측은 그림 13과 같이 슬래브 정 중앙에서 좌우로 10cm씩 이격하여 2개의 ICP(Integrated Circuit Piezoelectric) 가속도계 센서를 부착하였다. 각각의 가속도계 센서는 Ch. 01과 Ch. 02로 구분하였다. 측정방법은 고무망치에 의한 충격 가진을 통해 자유진동을 주었으며, 자유진동 파형에서 파워스펙트럼으로 고유진동수를 계측하였다. 고유진동수는 1초간의 확대된 자유진동 파형을 통하여 확인하였다. 또한 충격 가진에 의한 고유진동수는 상시진동에 의한 값과도 상호 비교하였다.



그림 13. 가속도센서의 부착위치

표 8. 고유진동수 비교

구분	실험체명	충격진동시 f (Hz)		상시진동시 f (Hz)	
		Ch. 01	Ch. 02	Ch. 01	Ch. 02
A	SLD-M-150-150	12.36	12.36	12.37	12.37
	SOD-M-150-75	12.66	12.66	12.78	12.70
	SOD-M-150-50	13.09	13.10	13.01	13.01
B	SLD-M-200-200	13.07	13.07	13.03	13.03
	SOD-M-200-75	13.63	13.63	13.67	13.67
	SOD-M-200-50	14.09	13.91	14.05	14.07

$$f = C_B \sqrt{\frac{EI}{mL^4}} \approx 0.18 \sqrt{g/\Delta} \quad (3)$$

f ; 고유진동수(Hz) EI/L ; 강성

m ; 질량(= W/g , W ; 중량, g ; 중력가속도)

C_B ; 단부 지지조건에 따른 상수(= $\alpha/2\pi$, α ; 단부지지조건)

단순지지 : $\alpha = 1.57$, 양단 고정지지 : $\alpha = 3.56$

4.2 고유진동수 평가기준 및 측정결과

일반적으로 고유진동수의 하한치는 각 기준마다 다소 상이하다. 국내기준에서도 고유진동수의 최소치로 3Hz에서 9Hz까지 다양하게 범위를 한정하고 있다. 이러한 편차는 점프로 인한 진동감지와 공진이 발생하는 경우 등 조건이 다소 상이하기 때문이며, 최대 제한치도 편차가 있다^{(8)~(10)}. 국내에서 생산되는 데크플레이트는 제조사별로 설계편람을 제시하고 있으며, 설계편람에는 계산에 의한 고유진동수 비교 시 15Hz 이상을 제안하고 있다^{(12)~(13)}. 15Hz 기준의 근거는 언급되어 있지 않으나, 보행진동 문제는 고유진동수가 4~15(Hz) 정도에서 합성보 또는 철제보에 진동문제를 유발한다는 설명이 제한치 근거로 판단된다⁽¹¹⁾.

식 (3)은 ANSI S3.29, LRFD, CAN/CSA S16.1, AISC steel design guide 11 및 강구조 한계상태설계기준 등에서 사용하고 있는 고유진동수 산정식이다. 고유진동수는 단부 지지조건에 따라 처짐에 대한 중력가속도의 제곱근으로 나타내며, 식 (3)은 단순지지인 경우이다. 등분포하중을 받는 단순지지보(또는 슬래브)로 고유진동수를 산정하는 이유는 해당스팬에 작용하는 충격에 의한 진동은 단순지지거동으로 평가될 수 있기 때문이다. 이때 진동으로 발생하는 동적하중은 정적하중에 비해 1.35배 증가한 탄성계

수비($n = E_s / 1.35E_c$)로 조정하며, 강성산정 시 단면이차모멘트는 슬래브와 보의 합으로 구한다⁽¹³⁾.

표 8은 고무망치를 이용하여 충격가진을 발생시켰을 때의 충격시 고유진동수와 아무런 충격을 주지 않았을 경우의 평상시 고유진동수를 측정하여 나타낸 것이다. 각 상황에 따라 두 개의 채널로부터 측정된 진동수를 비교하면, 충격진동과 상시진동 시 고유진동수 편차는 1%미만으로 나타났다. 슬래브 두께로 구분된 A와 B시리즈의 고유진동수는 12.4Hz~14.1Hz 범위이다. 합성데크 바닥구조 설계기준의⁽¹⁴⁾ 15Hz 보다는 낮으나, 콘크리트의 동적 탄성계수비 반영과 단면이차모멘트를 슬래브와 보의 합으로 산정하면 건축구조물에 적용 시 진동에 의한 사용성문제는 없을 것으로 판단된다.

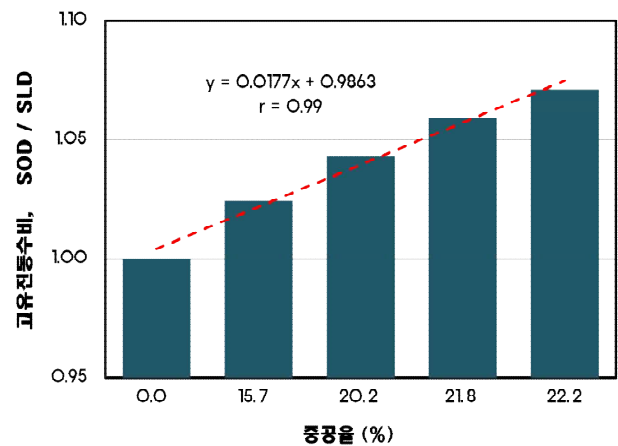


그림 14. 중공률에 따른 고유진동수비

4.3 중공률에 의한 고유진동수 변화

슬래브두께가 150mm인 A시리즈는 중공이 없는 경우보다 중공의 높이가 75mm, 100mm로 증가함에 따라서 고유진동수가 각각 2.4%~5.9%가량 증가하는 경향이 나타났다. 이러한 경향은 슬래브두께가 200mm인 B시리즈 실험체에서도 동일하며, 증가비율은 4.3%~7.8%로 유사하다.

그림 14는 표 8에 나타난 고유진동수를 기초로 세로축에는 기준실험체의 진동수에 대한 중공실험체의 진동수비로 정의하였으며, 가로축은 슬래브내부 중공에 의한 단면감소율을 중공률로 정의하였다. 전체적으로 중공부의 면적이 증가할수록 고유진동수가 증가하는 경향이 높은 상관관계로 나타났다. 슬래브 내부의 콘크리트 단면감소에도 불구하고 고유진동수가 증가한 원인은 식 (3)과 같이 중공부 형성으로 콘크리트 단면적 감소에 의한 강성저하가 발생하나, 중량감소와 내부에 삽입된 오메가형 강판에 의한 강성증가 등으로 고유진동수가 일부 상승하는 것으로 판단된다. 물론 실 구조체에 적용하는 경우 계산식 산정에서 하중은 고정하중과 적재하중의 50%를 반영하여 산정하면⁽¹⁶⁾, 중공에 의한 고정하중의 영향은 상대적으로 감소한다. 그러므로 슬래브내부에 오메가형 강판이 삽입된 중공 데크플레이트 슬래브의 경우, 중량(고정하중)감소로 인한 진동의 영향은 없을 것으로 판단된다.

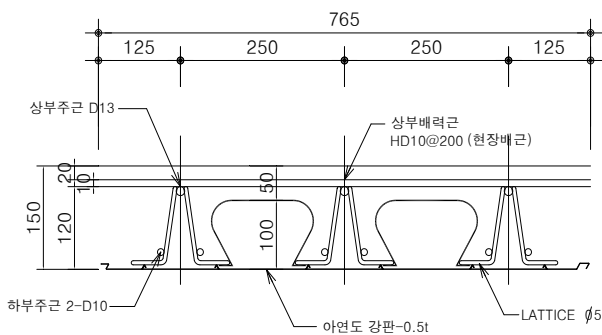
5. 내화실험

5.1 실험계획

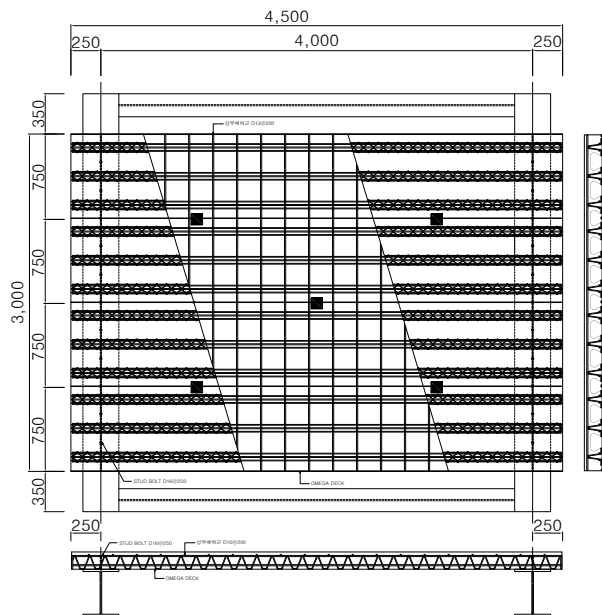
국토해양부령이 정하는 ‘내화구조’는 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙에 의하면 바닥은 철근콘크리트구조의 경우 10cm 이상이어야 하며, 이 경우 국토해양부령이 정하는 기준에 적합한 ‘내화구조’로 정의된다.⁽¹⁵⁾ 반면 본 실험에 적용한 오메가형 강판이 삽입된 테크플레이트 슬래브는 오메가형 강판이 삽입된 부위의 단면 두께가 50, 75(mm)이므로 법정내화구조 기준과 상이하다. 그러므로 오메가형 중공부의 두께가 100mm인 경우(토폭두께 50mm)를 기준으로 동일한 2개의 실험체를 제작하여 내화성능실험을 하였다.

표 9. 내화실험체 제원

판 두께 (mm)	철골보 간격(mm)	콘크리트		상부근	하부근	시험 하중 (kN/m ²)
		강도 (N/mm ²)	두께 (mm)			
0.5	4,000	21	50이상	D13	2-D10	6



(a) 실험체 단면도



■ ; 이번온도측정용 열전대 설치위치

(b) 실험체 형상

그림 15. 실험체 단면도 및 형상

5.2 실험체 형상 및 가력방법

테크플레이트 슬래브의 내화구조 성능기준 및 시험방법은 건축구조부재의 내화시험방법(KS F 2257-1)에 따르며, 성능기준은 하중지지력과 차열성, 차열성으로 구분된다.⁽¹⁶⁾ 테크플레이트 슬래브의 하중지지력은 철골보 간격과 상부근과 하부근, 콘크리트 강도, 시험하중 등에 관계되며 표 9와 같은 조건으로 실험하였다.

실험체 크기는 3,000×4,000(mm, 폭×길이)이며, 폭과 길이의 1/4지점과 중앙부에 각각 이번온도측정용 열전대를 슬래브 상부에 5개소 설치하였다. 재하는 등분포하중을 재현하기 위해 폭과 길이의 1/8지점에 각각 재하지점을 형성하여 총 64개소에 대해 균등하중이 작용하도록 하였다. 그림 15는 실험체 단면도 및 형상이다. 실험체 크기와 가력방법, 온도측정방법 등도 상기 한국산업규격에 준하였다.

표 10. 실험결과

성능기준		측정결과(실험체명)	
		Omega A	Omega B
변형	266.7mm	245.3	199.3
변형률	11.85mm/min	3.5	3.0
평균온도(℃)	140+초기온도	113	124
최고온도(℃)	180+초기온도	166	150



그림 16. 실험 전경

5.3 실험결과

실험결과는 표 10과 같고, 그림 16은 실험전경이다. 두 개의 실험체는 각각 오메가 A, 오메가 B로 구분되며, 실험결과는 변형량과 변형률, 온도에 대해 측정하였다. 두 실험체는 15분경부터 수증기가 발생하기 시작하였으며, 오메가 A 실험체는 30분, 오메가 B 실험체는 45분 경과시 중앙부 처짐량이 증가하였다.

테크플레이트 슬래브 내화실험의 성능기준은 변형의 경우 $L^2/400d$ (mm), 변형률은 $L^2/9000d$ (mm/min)이며, 온도는 평균온도와 최고온도로 구분하고 기준은 표 10과 같다. 실험결과 변형과 변형률, 온도 모두 성능기준을 만족하였으며, 두 실험체간의 실험편차도 크지 않은 것으로 확

인되었다. 그림 17은 두 실험체의 평균온도와 최고온도이고, 그림 18은 두 실험체의 하중재하 시 시간에 의한 변형 측정곡선이다. 오메가 A 실험체의 경우 약 85분 경과시점에서 변형이 순간적으로 저하되었으나, 전체적인 양상은 두 실험체간 편차가 크지 않으며, 안정적인 거동을 하는 것으로 확인되었다.

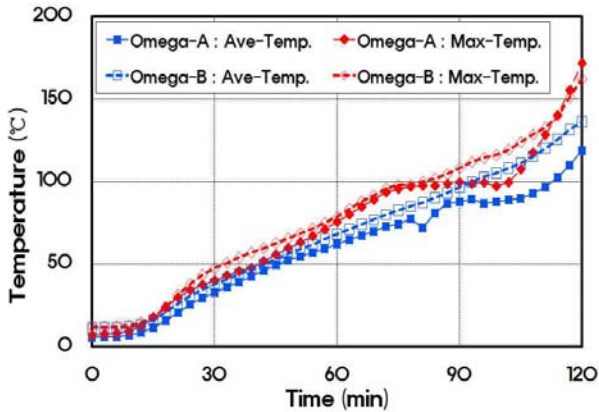


그림 17. 실험체의 시간-온도 곡선

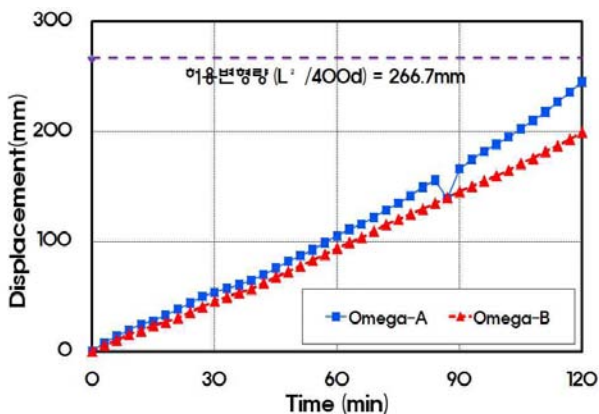


그림 18. 실험체의 시간-변형 곡선

6. 결 론

본 연구에서는 철선일체형 데크플레이트를 이용한 일방향 슬래브에서 오메가형(Ω) 강판을 삽입하여 중공부를 형성한 실험체를 제작 후 휨내력평가, 사용성평가, 내화성능평가 등을 실시하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 오메가형 강판을 삽입한 중공 데크플레이트 슬래브의 경우, 콘크리트가 전부 채워진 데크플레이트 슬래브(솔리드 실험체)와 구조특성을 비교한 결과 솔리드 실험체의 휨내력 및 변형성능 이상을 확보하였다. 그러므로 중공단면을 갖는 철선일체형 데크플레이트 슬래브는 부재성능에 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

2) 중공부 형성을 위해 삽입한 오메가형 강판은 최대휨

내력과 연성을 증진시키는 효과를 가지며, 중공부가 없는 동일부재 데크플레이트와 비교 시 공칭휨강도는 슬래브두께와 강판 삽입량에 따라 약 30% 이상 증가하였다. 향후 슬래브두께에 따른 오메가형 강판의 위치, 단면적, 일체성 확보 등을 규정하여, 오메가형 강판을 설계내력에 반영하여야 할 것으로 판단된다.

3) 오메가형 강판을 삽입한 단순지지 슬래브 실험체의 경우 고유진동수는 약 12~14(Hz)의 범위를 나타내었다. 실 구조체에서 보의 강성과 동적특성 등을 반영하면, 중공을 갖는 일방향 데크플레이트 슬래브의 사용성문제는 없는 것으로 판단된다.

4) 슬래브두께가 150mm이고, 토핑콘크리트가 50mm인 두 개의 실험체에 대해 내화성능시험을 수행한 결과 변형 및 변형률, 평균온도 및 최고온도 모두 내화성능을 만족하는 것으로 나타났다. 그러므로 철선일체형 중공 데크플레이트슬래브의 경우, 단면두께가 100mm 미만이라도 내화구조인정시험을 통해 성능이 확인되면 인정내화구조로 적용이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 현은미, 최용석, 김용식, '친환경건축물의 이산화탄소 배출 저감 연구', 대한건축학회 2009년도 학술발표대회논문집 계획계 제29권 제1호 2009. 10, pp. 657~660
- '이산화탄소 저감 및 처리기술 개발 사업단', 한국연소학회, 제31회 KOSCO SYMPOSIUM 논문집 2005. 1, pp. 339~343
- 건설교통부, '공동주택 바닥 충격음 차단구조 인정 및 관리기준', 건설교통부고시 제2004-71호, 2005.
- 홍진호, 박홍근, 황재승, 'Hollow core 슬래브의 중량충격음 성능에 대한 연구', 대한건축학회논문집 계획계, 제24권 제6호 (통권 236호) 2008. 6, pp. 355~362
- 이원열, 정상민, 신덕, '공동주택 슬래브 두께변화에 따른 공사비 증가 산정 평가', 한국건축시공학회지, 제5권 제2호 9통권 제16호) 2005. 6, pp. 161~166
- 전진용, 이병권, '바닥충격에 의한 공동주택의 바닥, 벽, 천정의 진동 및 소음방사 특성 연구', 대한건축학회논문집, 18권 6호, 2002. 6, pp. 191~197
- 김태호, 박지형, 김옥중, 이도범, 고현 '초고층 구조물의 지진해석을 위한 지진기록의 조정방법', 한국지진공학회 논문집, 제12권 제5호 (통권 제63호) 2008. 10, pp. 11~21
- 대한건축학회, '강구조한계상태 설계기준 및 해설', 1998. 10.
- 대한건축학회, '철골·철근콘크리트 구조계산규준 및 해설', 2000. 7
- 한국강구조학회, 'KBC2009 강구조설계', 2009. 2
- AISC, 'Steel Design Guide Series 11, Floor Vibrations Due to Human Activity', 2003. 10
- 한국건축구조기술사회, '슈퍼데크 설계편람', 2000. 7
- 한국건축구조기술사회, 'Seed Deck 설계편람', 2005. 11
- 대한건축학회, '합성데크 바닥구조 설계기준(안) 및 해설', 1998
- 국토해양부령 320호, '건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙', 2010. 12. 30
- 한국표준협회, '축구조부재의 내화시험방법(KS F 2257-1)'

(接受: 2011. 2. 9)