

철근 선조립형 복합 데크플레이트의 하부근 선경축소에 따른 구조적 거동 평가

A Study on Structural Behavior of Composite Deck Plate using a
Pre-assembled Re-bar Truss

유 병 역*

Yoo, Byung-Uk

Abstract

Composite deck plate using a pre-assembled re-bar truss for slab with corrugated zinc galvanized sheet iron at manufactory, is given the improvement on design, manufacture, and performance for construction work of cast-in-place reinforced concrete slab by enabling to cast concrete directly without the form work. There are two methods in analyzing composite deck : Simplified 2D analysis and 3D analysis. Although simplified 2D analysis is being used up to date, the use of 3D analysis, allowing for the viereendeel behavior of composite deck by real configuration correlating to bar reducing, is demanded. To compare the simplified 2D analysis applied to allowable stress design with 3D analysis applied to limit state design, 8 specimen are manufactured. Main variables include the depth of slab, the length of span, the diameter of bottom bar and lattice bar, and the presence of corrugated zinc galvanized sheet iron. The comparison from the experimental result and analytical result indicates that applying of simplified 2D analysis is possible for the use of D10 with bottom bar. However, it is more reasonable to apply 3D analysis which allows to indicate viereendeel behavior considered the real configuration.

요 지

철근 선조립형 복합 데크플레이트는 거푸집 작업을 없앨 수 있기 때문에 건설현장에서의 발전을 가져왔다. 복합데크 시스템의 해석에는 2D해석법과 3D해석법이 있다. 지금까지 2D해석법을 사용하였으나, 선경축소에 따른 비렌달 거동을 보다 정확히 표현할 수 있는 3D 해석법의 사용이 요구되어진다. 본 연구에서는 하부근의 선경축소, 아연도 강판의 유무, 경간, 슬래브 두께 등을 변수로 8개의 실험체를 제작하여 거동을 파악하였고, 2D해석법 및 3D해석법을 사용하여 결과를 비교 분석하였다. 2D해석법은 D10의 하부근을 사용하는 경우에만 적용하는 것이 타당하고, 비렌달 거동을 포함한 상세한 거동을 표현하기 위해서는 3D해석법을 사용하는 것이 타당하다.

Keywords : Bar Reducing, Composite deck, Structural Safety Evaluation, Viereendeel Behavior

핵심 용어 : 선경축소, 복합데크, 구조안전성 평가, 비렌달거동

* 정희원, 강남대 도시건축공학부 부교수

E-mail : yoobe@kangnam.ac.kr 031-280-3800

• 본 논문에 대한 토의를 2006년 10월 31일까지 학회로 보내 주시면 2007년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서론

도심지 건축물은 다양한 요구를 만족시키기 위해 데크플레이트의 사용이 보편화되어 있다. 최근 데크플레이트에 철근을 선조립하여 사용하는 슬래브시스템이 신기술로 각광받고 있으며, 현장 시공의 용이성, 고품질 확보, 공기단축, 공사비 절감 등의 장점으로 인해 많은 건축물에 활용되고 있는 실정이다. 데크플레이트의 가장 큰 장점은 콘크리트 타설시의 거푸집 역할과 콘크리트 경화 후 합성슬래브의 효과를 발휘한 구조재로서의 역할이다. 현재 국내에서는 이러한 역할을 가장 효율적으로 발휘하기 위한 시스템의 개발이 활발히 이루어지고 있고, 현장적용을 위한 실용성 확보에 노력하고 있다.

데크플레이트에 다양한 상세를 개발하여 응용한 시스템은 하이테크, 페로테크, 파워 테크, 트러스테크, 복합 메탈 데크 등 각각의 특징을 가지고 사용되고 있다.

이러한 일환의 하나로 개발된 철근 선조립형 복합 데크 플레이트(이하 '복합데크'라 한다.) 시스템은 트러스 조이스트와 아연도 강판으로 구성된다. 트러스 조이스트는 상·하부 이형철선과 래티스를 전기저항 용접으로 일체화한 부분으로 시공시의 하중을 지지하는 역할을 한다. 아연도 강판부분은 거푸집의 역할을 하면서 엠보싱처리를 하여 트러스 조이스트 사이 강판의 강성을 보완하고 콘크리트 타설시 강판의 처짐에 대응하도록 한 시스템이다. 이러한 시스템은 강구조, 철근콘크리트조 및 철골철근콘크리트조에 모두 사용할 수 있고, 처짐이 적어 9m의 장스판에까지 적용가능하며, 카이저 트러스를 사용함으로써 고품질의 배근이 가능하도록 하였다.

건설현장에서의 많은 장점으로 인해 이러한 복합데크 시스템은 그 수요가 점차 증가하고 있다. 그러나 복합 데크 시스템의 현행 설계법에서는 시공하중에 의한 처짐을 이용하여 경간을 결정하는데, 이 때 하부근의 영향이 고려되지 않기 때문에 건물의 특성을 제대로 반영한 효율적인 제품선정이 어려운 실정이다. 이에 복합데크 시스템의 효율적인 설계방법의 개발이 매우 시급한 상황이다.

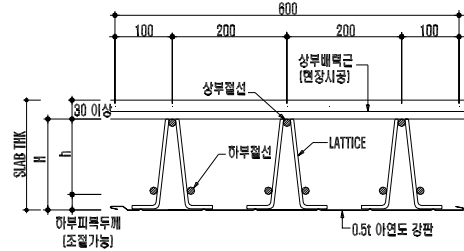


Fig. 1 철근 선조립형 복합 데크 플레이트 시스템

콘크리트 타설·경화 후에는 합성슬래브로 작용하므로 큰 문제가 없으나, 콘크리트 타설 시에는 콘크리트의 자중뿐만 아니라 작업하중 등이 트러스 조이스트에 그대로 전달되기 때문에 시공하중에 의해 복합데크의 처짐 및 응력을 정확히 산정하여 안전성을 검토하여야 한다. 그런데 현행 설계법은 시공하중에 대한 검토시 하부철선의 영향을 전혀 고려하지 않고 있다. 그러므로 하부철선의 선경이 축소되었을 때 콘크리트 타설시 발생하는 시공하중이 복합 데크 시스템에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구가 필요하며, 시공하중에 대한 실제 처짐 관계 및 극한 하중에 대한 응력에 대하여 실험 및 해석적 연구를 통한 정확한 분석이 필요하다.

본 연구에서는 콘크리트 타설 이전 단계인 철근 선조립 상태의 복합 데크 플레이트 위에 하중을 가하여 각 부분의 응력변화를 관찰하였다. 현행 설계시 무시되고 있는 하부 철선의 직경을 주변수로 하였고, 이에 따른 구조적 성능을 검토하고자 경간, 슬래브 두께, 래티스근 등을 변수로 한 실험체를 각각 제작하여, 실험에서 얻어진 결과를 기존의 설계방법 및 3D 해석법과 비교·분석하였다.

이를 통해 복합 데크 시스템의 하부근 선경축소에 따른 시공하중시의 처짐, 한계하중 상태 등에 대한 구조 성능을 검토하고자 각 하중 단계별 슬래브의 처짐 및 최종파괴 상황을 분석하고 지지 가설대의 사용여부를 확인하여 현장적용시의 안전성을 점검하였다. 또한 하부근 선경축소에 따른 해석적 연구를 통해 경제적이고 효율적인 복합 데크 시스템의 설계방법을 제안하기 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 기존 연구

데크플레이트를 사용하여 합성 슬래브를 만드는 방법은 여러 가지 종류가 있으나 초기에는 면내 전단력을 저항하기 위해 데크 플레이트 상부에 용접되어 전단연결재의 역할을 하는 미끄럼 방지근이 채택되었다. 이후 데크플레이트의 요각형상의 절곡에 의하여 데크 플레이트와 콘크리트 사이의 구속효과를 향상시켜 합성효과를 유발하는 상호작용을 제공하였다. 1960년대 들어 콘크리트와 데크플레이트 사이에 기계적인 상호작용을 유발하는 데크플레이트의 웨브와 플랜지에 간강성형된 엔보싱 및 변형을 만드는 형태가 등장하였고, 이후 미국, 유럽, 일본 등지에서 다양한 형태의 요철을 사용하는 데크플레이트가 제작되었으며, 특히 일본에서 바닥판의 상부면이 평평한 플랫폼데크(Flat deck)를 사용하여 콘크리트 경화 후 콘크리트와 일체로 작용하여 슬래브에 발생하는 인장력을 저항할 수 있는 합성데크를 사용하였다. 현재 합성 슬래브의 처짐에 관한 규준은 ACI 규준에 의해,

$$\delta_{\max} = \frac{nPL'}{24E_s I_e} (3L^2 - 4L'^2)$$
이 사용되어지고 있으며, 이 식에서의 주요변수인 부재의 유효단면2차 모멘트는 Branson, Porter, Lampert, Luttrell & Prassanan 등 많은 연구자들이 실험을 통해 균열의 효과를 고려할 수 있는 유효단면 2차 모멘트를 산정하는 식을 제안하였다.

복합 데크 시스템은 시공 시에는 강구조로, 시공 후에는 콘크리트와의 합성구조로 거동을 하기 때문에 초기 시공시에는 허용응력 설계법을 사용한 2D 약산법에 의해 처짐 및 응력을 검토한다.

부재 해석방법은 2차원 트러스 해석 방법을 적용함으로써 계산식은 비교적 간단하나, 실제 하부철선과 래티스의 접합점이 일치되지 못하는 부분에 대한 고려를 하지 못하는 단점이 있으며 하부 철관을 고려하지 않고 있다.

부재의 설계방법은 허용응력도 설계방법을 채택하고 있으며, 압축부재의 경우 철골의 허용응력도설계법을 적용하여 항복강도(f_y)로 490 MPa를 적용하고, 하부철선의 경우에는 철근 콘크리트 허용응력도설계법을

적용하여 항복강도(f_y)가 490 MPa이나, 최대 허용인장응력도를 215.6 MPa로 제한하여 사용하며, 응력도의 검토는 모두 단기로 한다. 사용시의 경우는 극한강도설계법을 적용하고 있으며, 부재력의 산정은 실용해법(모멘트 계수)이 적용된다.

본 연구에서는 시공 시 하중에 대한 검토를 실시하므로 이에 대하여만 정리하면 다음과 같다. 복합 데크 시스템의 시공 시 하중은 트러스 조이스트 부분에서 부담하도록 설계되어지는데, 트러스 조이스트는 상부근, 하부근 그리고 래티스 부분으로 구분할 수 있다.

1) 설계 시공하중 산정

- 응력용 : 도달하중(슬래브 자중의 25%) + 작업하중(1,471 Pa) ($\geq 2,452$ Pa) + 자중
- 처짐용 : 자중 + 981 Pa

2) 시공 시 설계

- 처짐량

$$\delta = \frac{5wl^4}{384EI} - \delta_c \text{ (단, } \delta_c = \text{처음림(camber)량)}$$

- 상부철선의 응력 검토

$$\sigma_c = \frac{M}{Z} = \frac{M}{Z_c \times f_c \times 1.5} < 1.0$$

- 하부철선의 응력

$$\sigma_t = \frac{M}{Z} = \frac{M}{Z_t \times f_t \times 1.5} < 1.0$$

- 래티스근의 검토

$$N_c = \frac{V}{\sin \theta}, \quad \sigma_c = \frac{N_c}{a_t}, \quad \frac{\sigma_c}{f_c \times 1.5} < 1.0$$

3. 실험적 연구

3.1 실험체 계획

시공시 하중은 복합 데크 자체가 지지하는 것으로 하며, 선경축소에 따른 복합 데크 트러스근 방향의 정·부 모멘트 및 처짐에 영향을 미치는 요인을 변수로 채택하여 총 8개의 실험체를 실험크기로 제작한다.

주요 실험 변수로는 슬래브 두께, 하부근의 선경, 래티스 철선, 경간 및 아연도 강판의 유무로 계획하며, 실험체 일람은 Table 1과 같다.

Table 1 실험체 일람표

실험체 명	슬래브 두께 (mm)	경간 (mm)	트러스 조이스트		
			상부철선	하부철선	래티스근
150-10-3.2	150	320	D10	D10	φ5
150-8-3.2	150	320	D10	D8	φ5
150-7-3.2	150	320	D10	D7	φ5
150-6-3.2-A	150	320	D10	D6	φ5
150-6-3.2-B	150	320	D10	D6	φ5
150-6-3.2-C	150	320	D10	D6	φ5
150-6-1.8	150	180	D10	D6	φ5
200-6-3.4	200	340	D10	D6	φ6

150-6-3.2-A

- 동일 실험체 구분 (A:1번 실험체, B:2번 실험체, C: 아연도 강판 없는 실험체)
- 경간 (3.4 m: 3.2 m: 1.8 m)
- 하부철선 직경 (D10: D8: D7: D6)
- 슬래브 두께 (200 mm: 150 mm)

3.2 재료시험

재료시험은 KS B 0801 (금속재료 인장시험편)의 '라' 호의 규정에 따라 실시하였고, 그 결과는 Table 2와 같다.

Table 2 인장시험 결과

시편 크기 (mm)	단면적 (mm ²)	표점 (mm)	최대 하중 (N)	인장강도 (MPa)	항복점 (MPa)	연신율 (%)	최대 변위 (mm)
φ5	19.63	25	9,219	469.51	434.64	24.07	6.018
φ6	28.27	30	15,965	564.66	504.41	22.68	6.803
D6	28.27	30	14,002	495.23	458.86	14.58	4.375
D7	38.48	35	22,516	585.09	517.25	13.10	4.586
D8	50.26	40	27,641	549.95	529.01	13.09	5.237
D10	78.54	50	50,756	646.27	594.36	12.39	6.193

3.3 실험 방법

실험을 하기 전에 실시한 사전 예비실험에서 실험체 단부를 가설대에 고정하여 실험한 변형도는 미소하여 고정부위는 구조적으로 영향을 거의 미치지 않은 것으로 판단되었다. 따라서 모든 실험체 공히 실험체 단부를 가설대에 핀접합으로 하여 실험을 실시하였다. 처짐의 측정은 Fig. 2와 같이 4등분 지점의 위치에

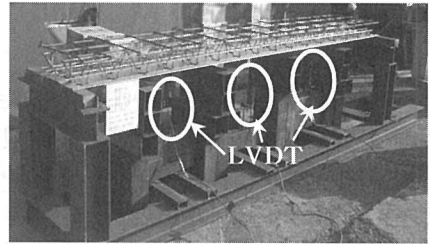


Fig. 2 실험체 세팅 전경

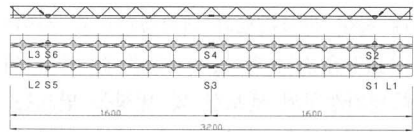


Fig. 3 WSG 부착위치

LVDT를 설치하며, 철선의 변형도 측정을 위하여 그림 3과 같이 WSG (wire strain gauge)를 부착하고, 측정기기는 TDS601을 사용하여 측정한다.

실제 복합 데크 시스템의 시공 시 작업하중은 데크, 철근콘크리트 등의 고정하중 이외에 시공기계, 각종 자재, 작업원 등의 하중이 포함되므로 시공실정에 따른 고정하중을 고려하여야 하나, 미국(ANSI/ASCE), 영국(BS), 유럽(EUROCODE), 일본 등의 규준에 의하면 약 981~1,961 Pa로 정하고 있으며, 우리나라의 대한건축학회에서도 일반적으로 1,481 Pa로 고려하도록 하고 있다. 여기에 콘크리트 타설시 집중 충격 하중에 대해서는 타설 콘크리트의 10%를 증가해서 고려할 수도 있다. 실험은 현장 시공조건과 가능한 유사한 조건으로 하중을 재하하기 위하여 시공 설계하중을 단계별로 나누어 등분포 하중이 되도록 재하하며, 초기 탄성범위 내에서의 잔류변형을 검토하기 위하여 2,940N의 하중까지 가력한 후, 재하하여 복원특성을 파악하며, 다시 재하하여 최대 처짐을 측정하였다.

3.4 실험 결과

복합 데크 시스템의 슬래브 두께 및 경간, 하부철선의 직경, 래티스의 직경을 변수로 실시한 실험에 대한 결과는 Table 3과 같다.

Table 3 실험결과 일람표

실험체 명	고정하중			최대 시공하중			파괴 하중 (Pa)
	하중 (Pa)	처짐 (mm)	잔류 변형 (mm)	하중 (Pa)	처짐 (mm)	잔류 변형 (mm)	
150-10-3.2	3,697	18.46	0.67	7,904	44.81	-	8,287
150-8-3.2	3,697	22.78	0.30	7,139	41.55	-	7,522
150-7-3.2	3,697	22.2	0.31	7,139	49.57	-	7,139
150-6-3.2-A	3,697	27.97	8.40	5,992	54.27	-	6,374
150-6-3.2-B	3,697	27.01	0.80	7,139	67.28	-	7,139
150-6-3.2-C	3,697	64.30	3.94	3,697	64.30	-	3,697
150-6-1.8	4,335	11.41	0.74	8,414	42.47	17.74	-
200-6-3.4	4,933	26.92	0.69	7,453	45.09	11.26	-

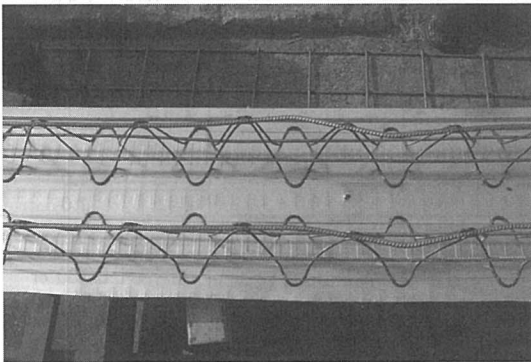


Fig. 4 실험체 최종 파괴 상황

슬래브 두께 150 mm, 경간 3.2 m 실험체들의 처짐에 있어서 D10 하부철선을 사용한 150-10-3.2 실험체가 고정하중(슬래브 두께 150mm 기준, 3,626N)에 대한 처짐이 가장 적게 나타났으며, 최대시공하중은 7,904Pa로 나타났으며, 8,287Pa 에서 파괴되었다. 이에 반해 D6 하부철선을 사용한 150-6-3.2 실험체의 경우, 고정하중에 대한 처짐이 가장 크게 나타났으며, 6,374 Pa 에서 파괴되었다.

Fig. 5에서 볼 수 있듯이 슬래브 두께 150mm, 경간 3.2m의 경우는 하부철선의 직경을 D10, D8, D7까지는 구조적 성능에 큰 문제가 없으나 D6을 사용할 경우는 안전상 문제가 발생하였다. 또한 Fig. 6에서 보면 아연도 강판을 사용하지 않으면 매우 큰 처짐이 발생하며, 강도도 현저히 떨어지는 것을 알 수 있는데, 이는 아연도 강판을 강도에 기여할 뿐만 아니라 트러스 조이스트를 구속하는 효과를 가지기 때문이다. Fig. 7에서 보듯이 하부근의 선경을 축소할시(D6 사

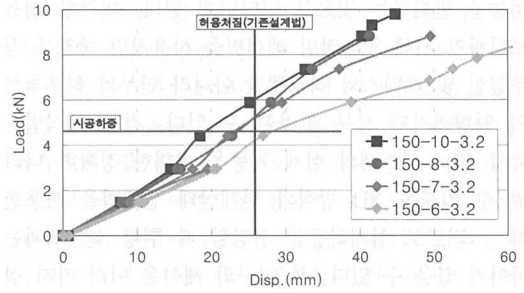


Fig. 5 하부근 선경축소에 따른 하중-변위 곡선

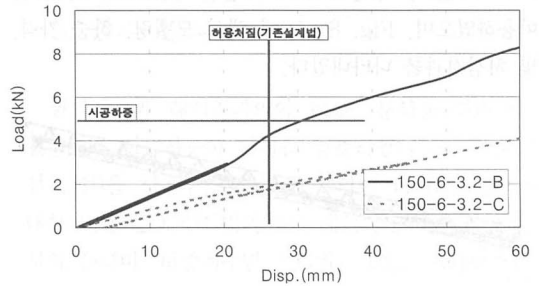


Fig. 6 아연도강판 유무에 따른 하중-변위곡선

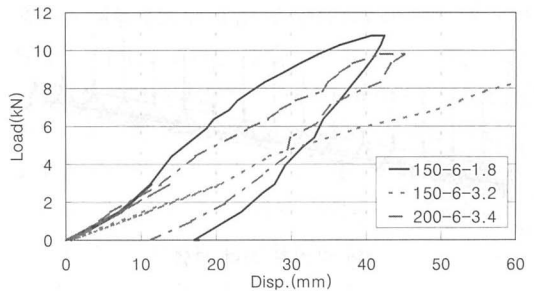


Fig. 7 슬래브두께 및 스판 변화에 따른 하중-변위관계

용시) 경간을 줄이거나 슬래브 두께를 늘려서 성능을 회복할 수 있음을 알 수 있다. 즉 현행 설계법에서 무시되고 있는 하부근의 직경, 슬래브 두께, 경간 등의 관계를 고려할 수 있는 새로운 설계법이 개발되어야 한다.

4. 해석적 연구

기존의 2D 해석법을 사용하는 경우, 슬래브 두께 및 부재 규격에 상관없이 상부철선과 단부 래티스의 직경에 의해서 경간이 결정된다. 즉 하부철선의 직경을 줄여도 상부철선의 직경이 같으면 유사한 구조적인

성능을 발휘하는 것으로 나타나게 된다. 이러한 점을 보완하기 위해 3D 정밀 해석법을 사용하면 중앙부 상부철선 및 래티스의 직경뿐만 아니라 단부의 하부철선의 영향까지도 모두 고려할 수 있다. 정밀 해석법은 복합 데크 시스템의 실제 거동을 최대한 정확히 나타낼 수 있도록 3D 방식의 한계상태 설계법을 사용한다. 그러므로 설계하중을 선정할 때 현행 설계법과는 차이가 있을 수 있다. 본 연구의 해석은 여러 가지 실험체 변수 중 하부근의 선경 축소된 실험체만을 대상으로 하였고, 범용해석프로그램인 MIDAS/Genw를 이용하였으며, Fig. 8~10에 해석 모델링, 하중 가력, 및 처짐결과를 나타내었다.



Fig. 8 해석 모델링

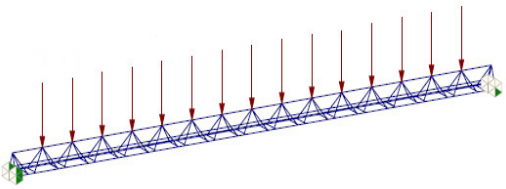


Fig. 9 하중 가력 모델

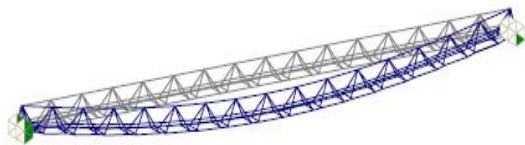


Fig. 10 해석결과 처짐

4.1 해석 방법

시공시 응력 검토용 작업 하중으로 1,471 Pa를 적용하며, 처짐 검토시의 경우 작업하중에 대한 처짐은 순간적이며 타설 후 복원되는 것으로 보고 고려하지 않는다. 2D 해석법과 3D해석법은 Table 4에 상세히 비교하였다.

Table 4 설계법의 비교

검토 항목		약산 2D 해석 + 허용응력도설계법	3D 해석 + 한계상태설계법		
시공시 적용 하중	응력용	도달하중; 슬래브 자중의 25% 작업하중; 1,471 Pa	1,471 Pa		
	처짐용	981 Pa	고려하지 않음		
시공적용경간		단 경간	단 경간		
해석 방법	해석 방법	2차원 트러스 약산식 적용	비편달 거동을 영향을 고려하여 3차원 해석		
	하부 데크	고려하지 않음	56 t (28mm) 고려		
재료 강도		$f_y = 490 \text{ MPa}$	$f_y = 490 \text{ MPa}$		
설계 방법	설계법	허용응력도설계법 $f_t = 215.6 \text{ MPa}$	한계상태설계법		
	장·단 기	단기	하중 계수	응력	1.4D 1.2D + 1.3Lc
				처짐	1.0D
			강도 저감 계수	인장 휨 압축	$\phi = 0.9$ $\phi = 0.85$
압축계 k값	1.0	상부근	1.0		
			래티스	1.0	
캠버의 적용		1cm, 2cm, L/250, L/200	L/250, L/200		
처짐 제한		캠버 제외 1.0cm	캠버 제외 L/180 or 2.0cm		

4.2 해석 결과

슬래브 두께별 선경축소에 따른 가능 경간의 결정 및 적절한 설계법의 적용을 위하여 실제 실험체 제작 시 사용된 재료의 재료시험 결과를 입력하여 기존의 2D 약산법과 3D 정밀 해석을 수행하여 그 결과를 비교하였다. Table 5에서 보는 바와 같이 기존의 2D 약산법으로 계산했을 때, 응력 검토시 하중(5,943 Pa)에 대해 하부철선의 크기와 관계없이 상부철선의 응력비는 1.0 근처에 있으며, 하부철선의 경우 부재력은 일정하나 단면적의 변화에 따라 응력비가 변화하고 있음을 알 수 있다. 래티스의 경우 상·하부 철선의 크기에 관계없이 일정한 값을 나타내고 있다.

Table 6의 3D 해석결과를 보면 슬래브 두께 150 mm, 경간 3.2m 실험체들에 대하여 1.2D+1.3Lc의 계수하중 적용시 중앙 상부철선은 대략 1.0 값으로 비슷한 결과를 나타내었으나, 단부 하부철선의 응력비의 경우 하부철선으로 6mm를 사용한 150-6-3.2 실험체는 1.743을, 하부철선으로 7mm를 사용한 15-7-3.2 실험체는 1.123을 나타내어 응력비가 1.0

Table 5 기존의 2D 약산법에 의한 응력비

실험체		1.0D + 1.0Lc = 5,943 Pa		최대하중작용시			
				최대하중 (1.0D+1.0Lc)×1.44		실험시 파괴하중	
		단부	중앙	단부	중앙	단부	중앙
150-6-3.2	상부근	-	1.01	-	1.47	-	1.21
	하부근	-	0.95	-	1.39	-	1.14
	래티스	0.55	-	0.80	-	0.66	-
	하중			8,561 Pa		7,139Pa	
150-7-3.2	상부근	-	1.03	-	1.48	-	1.22
	하부근	-	0.77	-	1.03	-	0.85
	래티스	0.54	-	0.80	-	0.66	-
	하중			8,561 Pa		7,139Pa	
150-8-3.2	상부근	-	1.02	-	1.50	-	1.36
	하부근	-	0.54	-	0.79	-	0.72
	래티스	0.54	-	0.79	-	0.72	-
	하중			8,561 Pa		7,904Pa	
150-10-3.2	상부근	-	1.03	-	1.52	-	1.44
	하부근	-	0.35	-	0.51	-	0.49
	래티스	0.54	-	0.79	-	0.76	-
	하중			8,561 Pa		8,287Pa	

Table 6 3D 해석법에 의한 응력비

실험체		1.2D+1.3Lc = 639 Pa		최대하중 작용시			
				최대하중 (1.2D+1.3Lc) /0.85		실험시 파괴하중	
		단부	중앙	단부	중앙	단부	중앙
150-6-3.2	상부근	0.273	0.988	0.344	1.325	0.325	1.218
	하부근	1.743	0.418	2.160	0.518	2.046	0.490
	래티스	1.517	0.097	2.024	0.121	1.877	0.114
	(상+하)/2	1.008	-	1.252	-	1.186	-
				7,365 Pa		7,139 Pa	
150-7-3.2	상부근	0.208	0.992	0.261	1.326	0.247	1.219
	하부근	1.123	0.315	1.392	0.390	1.319	0.370
	래티스	1.28	0.08	1.709	0.100	1.584	0.094
	(상+하)/2	0.666	-	0.8265	-	0.783	-
				7,365 Pa		7,139Pa	
150-8-3.2	상부근	0.164	0.997	0.206	1.329	0.218	1.465
	하부근	0.805	0.266	0.998	0.329	1.050	0.332
	래티스	1.069	0.066	1.448	0.082	1.557	0.068
	(상+하)/2	0.485	-	0.602	-	0.634	-
				7,365 Pa		7,904 Pa	
150-10-3.2	상부근	0.116	1.006	0.146	1.336	0.162	1.73
	하부근	0.413	0.110	0.512	0.137	0.565	0.151
	래티스	0.845	0.048	1.11	0.06	1.273	0.066
	(상+하)/2	0.265	-	0.329	-	0.364	-
				7,365 Pa		8,287Pa	

을 상회하는 값을 보였다. 하부근의 선경 변화에 따른 결과를 살펴보면 선경이 축소됨에 따라 응력비의 변화가 상당히 크게 나타남을 알 수 있는데, 이는 하부근이 주근역할을 할 때 선경변화에 따른 단면적이 전체

응력에 미치는 영향이 크기 때문으로 사료된다. 이러한 하부근의 선경변화를 무시한다면 큰 오류를 범할 수 있을 것이다. 즉 허용 경간의 결정에 대한 주된 요인은 비렌달 거동 등의 실제 형상 고려로 인하여 단부 하부철선 및 래티스 철선의 직경이 중요 설계변수가 되므로 적정치 이상으로 철선의 직경을 줄일 경우 허용 경간의 길이가 급격히 줄어들게 된다. 또한 슬래브 두께가 두꺼워 질수록 하부철선 뿐만 아니라, 래티스 철선에 의한 영향이 나타나게 됨을 알 수 있었다.

5. 결과 분석

실험결과와 해석결과와의 비교, 분석을 위하여 각 실험체별 시공하중시 처짐을 검토하였다. 또한 하부철선 D10을 사용한 실험체를 제외한 나머지 실험체에 대한 기존 2D 약산법과 3D 해석법에 따른 시공하중시의 응력비, 하중계수별 응력비, 그리고 파괴하중시의 응력비를 비교하여 Fig 11~Fig. 13에 나타내었다.

이상과 같은 실험 및 해석결과로부터 하부근의 선경 축소는 실험체들의 처짐 및 한계하중에 대해 매우 큰 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있다. 기존의 2D 약산법을 적용하였을 때 적용되는 하중은 5,943 Pa이며, 이때 복합 데크의 성능을 결정하는 것은 상부철선으로 이론적인 파괴하중은 8,558Pa에 해당된다.

하중 재하시의 충격효과와 복합데크 시스템의 횡방향 지지의 불완전으로 인한 하중의 부분적 편심효과 및 해석시 하중적용과 실험시 하중적용 방법의 차이 등에 대한 실험오차 10%를 감안한 각 실험체의 실험시 파괴하중은 150-6-3.2는 7,855Pa, 150-7-3.2는

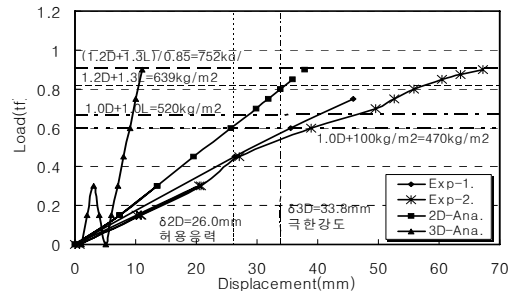


Fig. 11 150-6-3.2 실험체

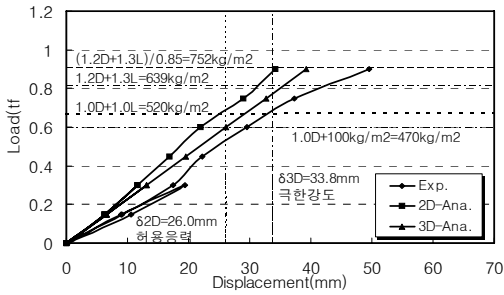


Fig. 12 150-7-3.2 실험체

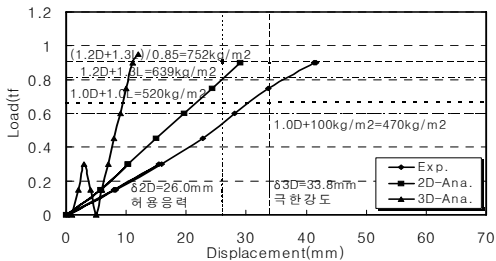


Fig. 13 150-8-3.2 실험체

7,855Pa, 150-8-3.2는 8,698Pa, 150-10-3.2는 9,120Pa로, 하부근에 D10을 사용한 실험체를 제외하고는 2D해석법이 과대평가한다. 따라서 약산 2D 해석법은 하부근 D10 이상 시 적용 가능한 것으로 판단된다. 반면 3D 한계상태 설계 해석법에서 적용되는 하중은 6,266 Pa이며, 이때 하부근의 선경변화에 따른 실험시 파괴하중과 해석시 파괴하중을 비교할 때 각 실험체별 이론적인 파괴하중은 7,365Pa에 해당되며, 실험오차 10%를 감안한 각 실험체의 파괴하중은 위에서 기술한 바와 같이 7,855Pa 이상으로 나타나므로 이 설계법의 적용이 가능한 것으로 사료된다. 즉 3D해석은 비렌달 거동 등의 실제 형상에 대한 고려가 적용되므로 단부 하부철선 및 래티스 철선의 응력증가 효과를 고려할 수 있는 것으로 사료된다. 계수하중은 1.2D+1.3Lc, 이때의 안전율은 0.85가 적절한 것으로 판단되며, D10 미만의 하부철선을 사용하는 경우 비렌달 거동 등의 실제 형상을 고려할 수 있는 3D 해석법을 적용하여야 하부철선의 선경축소에 따른 설계 오류 및 구조적 안전성 등에 대한 검토할 수 있을 것으로 사료된다.

6. 결론

- 1) 하부근의 선경 변화는 처짐 및 한계하중에 큰 영향을 미치며, 선경축소에 따라 경간을 줄이거나 슬래브 두께를 늘리는 것이 타당한 것으로 사료된다.
- 2) 각 실험체별 최종 파괴모드는 중앙부 상부철선의 압축좌굴에 의해 발생하였으며, 경간 3.2m이고 하부근 D8 미만을 사용한 경우는 기존의 2D 해석법에 의한 압축한계를 지지하지 못하므로 새로운 설계법의 적용이 필요하다.
- 3) 하부철선으로 D10을 사용하는 경우에는 기존 약산 2D 해석법의 적용이 가능하지만, D10 미만의 하부철선을 사용하는 경우에는 실제 형상을 고려한 비렌달 거동을 나타낼 수 있는, 즉 하부철선과 래티스 철선의 영향을 고려할 수 있는 3D 해석법을 적용하는 것이 타당하다고 판단되며, 이때 설계법으로는 한계상태설계법을 사용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.
- 4) 안전율을 고려한 강도저감계수는 한계상태설계법에서 제시하는 바와 같이 압축재는 0.85, 인장재 및 휨재는 0.9의 사용이 적정하며, 좌굴계수 k는 압축응력을 받는 래티스와 상부철선 모두 최소값 1.0의 사용이 바람직한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 이원호, 이용재, 조중현, "슈퍼테크 슬래브의 구조적 거동", 대한건축학회 학술발표논문집, 1998.4, pp.767-774
2. 한국건축구조기술사회, "해동 슈퍼테크 SD300 설계편람", 2000.
3. "各種合成構造設計指針・同解説", 日本建築學會, 1985
4. "Standard for the Structural Design of Composite Slabs", ANSI/ASCE 3-91, American Society of Civil Engineers, New York, 1992.
5. "Building Code Requirements for Reinforced Concrete", ACI 318-95, American Concrete Institute, Farmington hills, Mich., 1995.
6. "Structural Use of Steel work in Building Part 4- Code of Practice for Design of Floors with Profiled Steel Sheetting", BS 5950, British Standard Institution, London, 1982.
8. H.Lambotte and L.R.Taerwe, "Deflection and Cracking of High-Strength Concrete Beams & Slab", ACI, SP-121, 1990, pp.109-128

(접수일자 : 2006년 2월 28일)