일반거푸집용 데크플레이트를 이용한 합성슬래브의 구조적 거동에 관한 연구

A Study on the Structural Behavior of the Composite Slabs using the Metal Form Deck Plate

By 권 용 근[1] · 강 도 안[2] · 최 성 모[3]
KWON, Yong Keun · KANG, Do An · CHOI, Sung Mo
엄 철 환[4] · 최 완 철[5] · 문 태 섭[6]
EOM, Chul Hwan · CHOI, Oan Chul · MOON, Tae Sup
김 규 석[7] · 김 덕 재[8] · 김 동 규[9]
KIM, Kyu Suk · KIM, Duck Jae and KIM, Dong Kyu

ABSTRACT : This paper provides the results of a study on the structural behavior of the composite slabs using the metal form deck plate. Cold-formed steel deck sections are used in many composite floor slab applications wherein the steel deck serves not only as the form for the concrete during construction but also as the principal tensile reinforcement for the bottom fiber of the composite slab.

A total of 16 specimens are tested to clarify the composite action between the concrete and metal deck plate and to find the method to increase the composite effect, whether or not non-slip bars are used. The test results are summarized for the shear-bond capacities, deformation capacities, and failure modes for the specimens.

1. 서 론

본 연구는 데크플레이트를 사용한 합성슬래브의 장점을 극대화 할 수 있는 구조성능이 우수한 데크플레이트를 개발하기 위하여 합성슬래브의 구조적 거동 및 콘크리트와 데크플레이트의 합성

1) 서울시립대학교 건축공학과 석사과정
2) 서울시립대학교 건축공학과 박사과정
3) 경민전문대 건축과 전임강사, 공학박사
4) 삼성건설 기술연구소 수석연구원, 공학박사
5) 숭실대학교 건축공학과 교수, 공학박사
6) 한양대학교 건축공학부 교수, 공학박사
7) 동국대학교 건축공학과 교수, 공학박사
8) 중앙대학교 건축학과 교수, 공학박사
9) 서울시립대학교 건축공학과 교수, 공학박사

효과를 증대시키기 위한 요소를 기존의 연구에 대한 문헌과의 비교 및 실험과 이론적 해석의 검증을 통하여 규명하고자 한다.

데크플레이트는 콘크리트 타설시에는 액성상태의 콘크리트 자중과 시공하중에 견디는 단일휨재로서의 역할을 하며, 콘크리트가 경화한 후에는 합성슬래브의 주인장재로서의 역할을 담당한다.

따라서, 본 연구는 콘크리트 경화전후로 나누어 데크플레이트의 거동을 각각 규명하고자 데크플레이트 자체실험과 합성슬래브실험으로 나누어 실험을 진행하였다.

실험체는 국내 데크제작업체에서 생산되는 기성제품에 대한 성능평가를 1차목표로 하였으며, 또한 일반 거푸집용 데크플레이트를 합성슬래브에 사용할 수 있는 방안을 고찰하였다

2. 실 험

2.1 실험체 계획

본 실험은 국내 생산되는 데크의 성능 및 현황을 파악하기 하기 위하여 거푸집용 일반 데크플레이트(JD600, JD690)와 합성용 데크플레이트(QL600)을 대상으로 휨실험(단순보형식)을 계획하였다. 실험에 사용된 데크플레이트는 총길이 3.4m, 두께 1.6mm, 춤높이 75mm, 2단위폭이다. 실험체 총 갯수는 데크플레이트 자체실험에 대하여 4종류×2개씩 = 8개이며, 합성슬래브실험에 대하여 8종류×2개씩 = 16개이다. 실험체의 배근상태는 압축측 슬래브 상부에 균열방지를 목적으로 와이어메쉬 ϕ6-100×100을 설치하였고 일부 실험체에는 콘크리트와의 합성효과를 높이기 위하여 보강한 미끄럼방지근을 ϕ6@200으로 사용하였으며 데크플레이트 상부플랜지에 단속모살용접으로 부착하였다. 본 연구에서 실험체 제작의 주요 변수는 다음과 같다.

① 미끄럼방지근의 유무
(JD600, JD690 각각 실험체)
② 데크플레이트의 중립축의 변화(JD600-A,B)
③ 데크플레이트의 형상(JD600, JD690)
④ 거푸집용과 합성용 데크플레이트(JD,QL계열)

표 2.1 데크플레이트 실험체의 종류 및 치수

실험체명	제품명	판두께 (mm)	춤 (mm)	단면적[1] (cm^2)	I[1] (cm^4)
D1	JD600-A	1.6	11.29	10.34	91.62
D2	JD600-B			10.34	91.62
D3	JD690			9.47	
D4	QL600			12.88	132.0

주1) 2단위폭당의 단면적과 단면2차모멘트

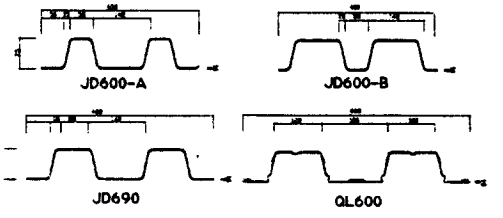


그림 2.1 데크플레이트 자체 실험체의 형상

표 2.2 합성슬래브 실험체의 종류 및 치수

실험체 Type No	제품명	미끄럼방지근유무	콘크리트두께 (mm)	판두께 (mm)	하중가력점
FD1	JD600-A	×	80	1.6	L/4
FD2	JD600-B	×			
FD3	JD690	×			
FD4	JD600-A	○			
FD5	JD600-B	○			
FD6	JD690	○			
QL1	QL600	×			
QL2	QL600	×	100		

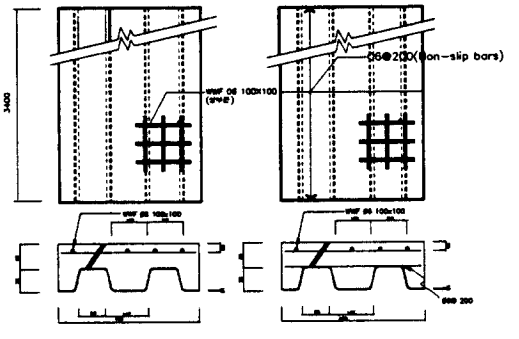


그림 2.2 합성슬래브 실험체의 형상

본 실험에 사용된 실험체의 형상과 치수는 표 2.1, 표 2.2와 그림 2.1, 그림 2.2에 나타내었다.

2.2 가력 및 측정방법

실험체는 그림 2.3에서 보는 바와 같이 3.2m 스팬의 단순보형식으로 지지하였으며 가력은 보실험 전용 100t급의 스트롱프레임을 사용하여 2점가력을 함으로써 등분포하중의 효과를 반영하였다.

L/4지점의 2점가력은 그림 2.4에서 보는 바와 같이 등분포하중시의 최대전단력(단부)과 최대모멘트(중앙부)값과 동일한 효과를 얻을 수 있다.

실험진행중에 발생한 변위와 변형의 측정은 그림 2.5에서 보는 바와 같이 변위계(LVDT)를 사용하여 중앙부와 가력점(L/4)의 처짐과 양단의 엔드슬립(End Slip)량을 측정하였다. 데크플레이트의 상·하부 플랜지와 웨브부분의 변형도 및 콘크리트 슬래브의 측면·상부표면의 변형도의 추이는 스트레인게이지를 이용하여 측정하였다.

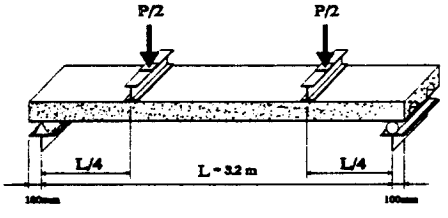


그림 2.3 실험체 설치 및 가력상황

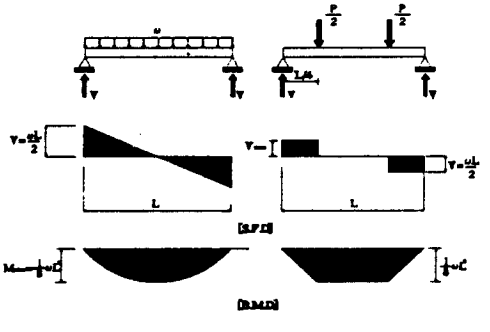


그림 2.4 하중 가력방법

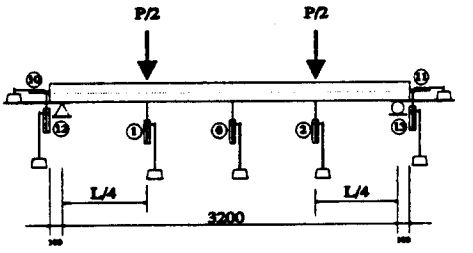


그림 2.5(a) 변위계 측정위치

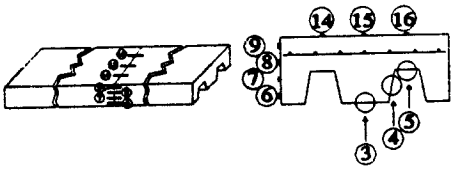


그림 2.5(b) 스트레인게이지 측정위치

3 콘크리트 및 데크플레이트의 재료시험

본 실험에서 사용된 강재의 기계적 성질을 파악하기 위하여 KS B 0801 규준에 따라 데크플레이트에서 인장시험편을 절취하여 소재의 인장강도 시험을 행하였으며 시험결과는 표 3.1에 나타내었다. 또한, 합성슬래브에 사용된 콘크리트는 레디믹스트 콘크리트를 주문하여 사용하였으며, 7일 및 28일 압축강도 실험결과는 표 3.2와 같다.

표 3.1 강재의 인장강도 시험결과

No.	재질	σ_y (t/cm²)	ε_y ($\times 10^{-6}$)	σ_u (t/cm²)	E (t/cm²)	Elo. (%)	σ_y/σ_u
PL-1	SPHT2	2.90	1475	3.88	2197	25.0	0.75
PL-2	SPHT2	2.66	2048	3.79	2269	25.7	0.70
평균값		2.78	1762	3.83	2233	25.4	0.73

주) SPHT2 : 강관용 열간압연 탄소강

표 3.2 콘크리트 압축강도 시험결과

No.	Slump (cm)	양생조건	7일 압축강도 F_7(kg/cm²)	28일 압축강도 F_{28}(kg/cm²)
1	18	수중	176	260
2	18	수중	167	293
3	18	수중	180	284
평균	18	수중	174	279

4 데크플레이트자체 휨실험

4.1 데크플레이트 유효폭의 범위

데크플레이트는 콘크리트 타설시 압축응력을 받는 상부플랜지와 웨브의 국부좌굴에 대한 영향을 고려하여 유효폭 개념이 도입되는데 데크플레이트 단면설계시, 유효폭을 고려한 단면의 허용휨모멘트 이하로 설계하여야 한다.

이때 압축응력을 받는 데크플레이트의 상부플랜지와 웨브(Stiffened Element)는 양쪽이 고정단과 단순지지의 중간정도의 경계조건을 가지고 있다.

$$Z_c = \frac{I_{eff}}{X_n}$$

$$Z_t = \frac{I_{eff}}{H - X_n}$$

$$M_{allow} = f_t \cdot Z$$

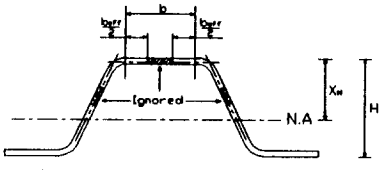


그림 4.1 데크플레이트의 유효폭

4.2 각국의 유효폭 코드 비교

데크플레이트의 유효폭 결정을 위하여 각국(미국, 캐나다, 영국, 일본)의 데크플레이트 규준집에서 유효폭 관련 항목을 비교하였다. 실험에 사용된 데크플레이트는 웨브 전길이에 대한 한계유효폭두께비를 만족하므로 국부좌굴에 가장 취약한 상부플랜지(Uniformly Compressed Stiffenned Element)에 대하여 고찰해 보았다.

(1) AISI(American Iron and Steel Institute)

$$\lambda = \frac{1.052}{\sqrt{k}}\left(\frac{\omega}{t}\right)\sqrt{\frac{f_{max}}{E}}$$

$\lambda > 0.673 \quad \rho = (1 - 0.22/\lambda)/\lambda$

$\lambda \le 0.673 \quad \rho = 1$

$b_{tf} = \rho\omega$

여기서, k=4

f_{max}=상부플랜지의 최대응력(f_y)

(2) CS(Canadian Standard)

$$W = \omega/t > W_{lim} = 290\sqrt{\frac{k}{f_{max}}}$$

$$B = b_{tf} = 428\sqrt{\frac{k}{f_{max}}}\left[1 - \frac{93.5}{W}\sqrt{\frac{k}{f_{max}}}\right]$$

$$W = \omega/t \le W_{lim} = 290\sqrt{\frac{k}{f_{max}}}$$

$B = b_{tf}/t$

여기서, k=4

f_{max}=상부플랜지의 최대응력(f_y)

(3) BS(Britsh Standard)

$$\omega/t > \frac{560}{\sqrt{\rho_y}}$$

$$b_{tf} = \frac{828t}{\sqrt{\rho_y}}\left(1 - \frac{181t}{\omega\sqrt{\rho_y}}\right)$$

$$\omega/t \le \frac{560}{\sqrt{\rho_y}}$$

$b_{tf} = \omega$

여기서, $\rho_y = 0.93\ R_y$

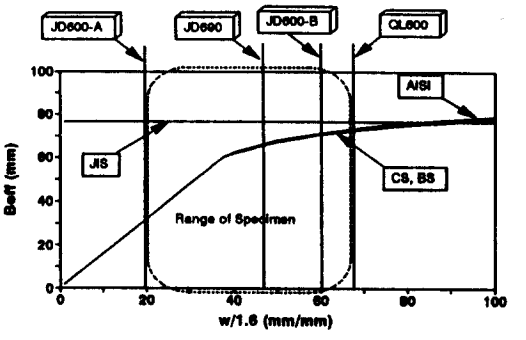


그림 4.2 폭두께비에 따른 유효폭의 변화
(E=2100t/ cm², F_y=2.4t/ cm²)

(4) JIS(Japanese Institute Standard)

$$b_e/t = \frac{74}{\sqrt{F_y}} = 50$$

상기 4개국의 규준식들을 비교하면 일본을 제외한 3개국은 한계유효폭을 기준으로 식이 분리되어 있고 JIS의 제안식에서는 유효폭(be)을 50t로 두께의 함수로서 단순화하고 있다. 또한 그림 4.2에서 보는 바와 같이 일반적으로 상용되고 있는 데크플레이트의 경우에는 일본규준(JIS)이 다른 규준(AISI, CS, BS)보다 보수적임을 알 수 있다.

4.3 데크플레이트 자체 휨실험 결과

데크플레이트 실험체는 가력초기에 탄성적 거동을 유지하다가 하중증가에 따라 가력점에서의 상부플랜지와 웨브에 지압파괴 및 국부좌굴이 확대되면서 최대내력점에 도달하였다. 표 4.1에서 보는 바와 같이 실험상 최대모멘트와 이론값을 비교한 결과는 상부플랜지의 너비가 좁은 JD600-A 실험체가 가장 성능이 우수한 것으로 나타났다.

표 4.1 데크플레이트 휨실험 결과

실험체명	제품명	b_{eff} (mm)	M_y (t·m)	M_{max} (t·m)	M_{max}/M_y
D1	JD600-A	45.20	0.59	0.69	1.17
D2	JD600-B	100.80	0.56	0.62	1.11
D3	JD690	65.28	0.62	0.62	1.00
D4	QL600	71.00	0.66	0.76	1.15

주) b_{eff} : 유효폭(AISI 규준)
M_y : 항복모멘트 M_{max} : 실험상 최대모멘트

QL600실험체의 경우에 상부플랜지 중앙에 설치되어 있는 중간스티프너(Intermediate Stiffener)가 규준에서의 소요강성에 미치지 못하므로 스티프너를 무시하고 유효폭을 산정하였다. 따라서 국내에서 생산되고 있는 합성용 데크플레이트의 압축측플랜지에서 중간스티프너(Intermediate Stiffener)는 기존형상에 보강이 필요한 상황이다.

데크형상별로 볼 때는 JD690실험체가 JD600실험체 보다 내력저하가 크게 나타났는데 이는 실험체의 이방향성으로 인하여 폭방향의 변형에 크게 영향을 받은 것으로 사료된다.

5 합성슬래브의 실험결과

5.1 합성슬래브의 파괴성상

모든 실험체가 최대휨내력에 도달하기 전에 엔드슬립(End Slip)으로 인한 수평전단파괴가 일어났다. 초기균열은 모멘트값이 최대지점인 중앙부에서 발생하였으며 하중이 증가함에 따라 균열발생개소 및 균열의 폭이 확대되었다. 실험이 진행됨에 따라 콘크리트와 데크플레이트와의 부착력의 상실은 스팬 양단부에서부터 스팬중앙부로 전이되었다. 데크플레이트와 콘크리트의 합성효과의 상실은 엔드슬립현상으로 구체화되어 내력감소가 극명하게 나타났다. 엔드슬립발생후의 데크플레이트의 국부좌굴은 전반적으로 미끄럼방지근이나 엠보싱(Embossing)과 같은 전단보강장치가 있는 실험체(FD4, FD5, FD6, QL1, QL2)에서 발생하였으며, 전단보강장치가 없는 실험체(FD1, FD2, FD3)는 수직분리현상이 심하게 발생하는 것이 관찰되었다. 특히 FD2-1 실험체의 경우에는 이러한 수직분리현상이 심하게 발생하였다.

5.2 내력과 변위량

미끄럼방지근이나 엠보싱등 전단보강장치가 없는 실험체는 초기엔드슬립 발생량이 컸으며 슬립후 최대하중이 초기엔드슬립시의 하중을 초과하지 못하고 하중저항능력을 상실하는 취성파괴를 나타내었다. 전단보강장치가 있는 일부 실험체에서는 초기슬립량이 작고 초기슬립후에도 상당한 하중저항능력을 발휘하여 최대하중이 초기엔드슬립시의 하중을 초과하는 연성파괴가 일어났다. 미

끄럼방지근의 설치에 따른 일관성 있는 내력 및 강성의 증가는 찾기 어려웠으나 미끄럼방지근이 있는 실험체는 초기슬립후 거동에서 내력상승률이 상대적으로 안정적이었다.

또한 초기엔드슬립시를 기준으로 중앙부 처짐량은 이론값과 비교해 본 결과 모두 이론치를 상회하였다. 이는 엔드슬립의 발생 전에도 합성효과가 일부 상실했기 때문인 것으로 판단할 수 있다. 여기서, 합성슬래브의 처짐을 계산하는 유효단면2차모멘트는 균열단면과 미균열단면의 단면2차모멘트의 평균값으로 구하였다.

각 실험체에 대한 하중과 변위 관계 곡선과 하중엔드슬립 관계 곡선은 다음의 그림 5.1과 그림 5.2와 같다.

표 5.1 합성슬래브의 휨실험 결과

실험체명	P_s (ton)	P_f (ton)	P_{max} (ton)	초기엔드슬립량 (mm)	δ/δ_e
FD1-1	3.96	2.96	3.96	1.83	1.28
FD1-2	4.14	2.84	4.14	0.75	1.37
FD2-1	3.36	2.5	3.36	1.24	1.96
FD3-1	3.3	2.54	3.3	0.52	1.4
FD3-2	4.1	2.56	4.1	0.89	1.32
FD4-1	3.8	3.06	3.8	0.71	1.13
FD4-2	4.3	3.46	4.3	0.31	1.5
FD5-1	3.4	2.58	3.4	1.12	1.81
FD5-2	2.84	2.76	2.84	0.64	1.68
FD6-1	3.8	2.76	3.8	0.37	1.04
QL1-1	3.7	4.86	4.86	0.22	1.48
QL2-1	3.9	4.82	4.82	0.27	1.18

주) P_s=초기엔드슬립시 하중
P_f=초기엔드슬립후 최대하중
P_{max}=최대 하중
δ_e=초기엔드슬립시 이론값 중앙부처짐
δ=초기엔드슬립시 실험값 중앙부처짐

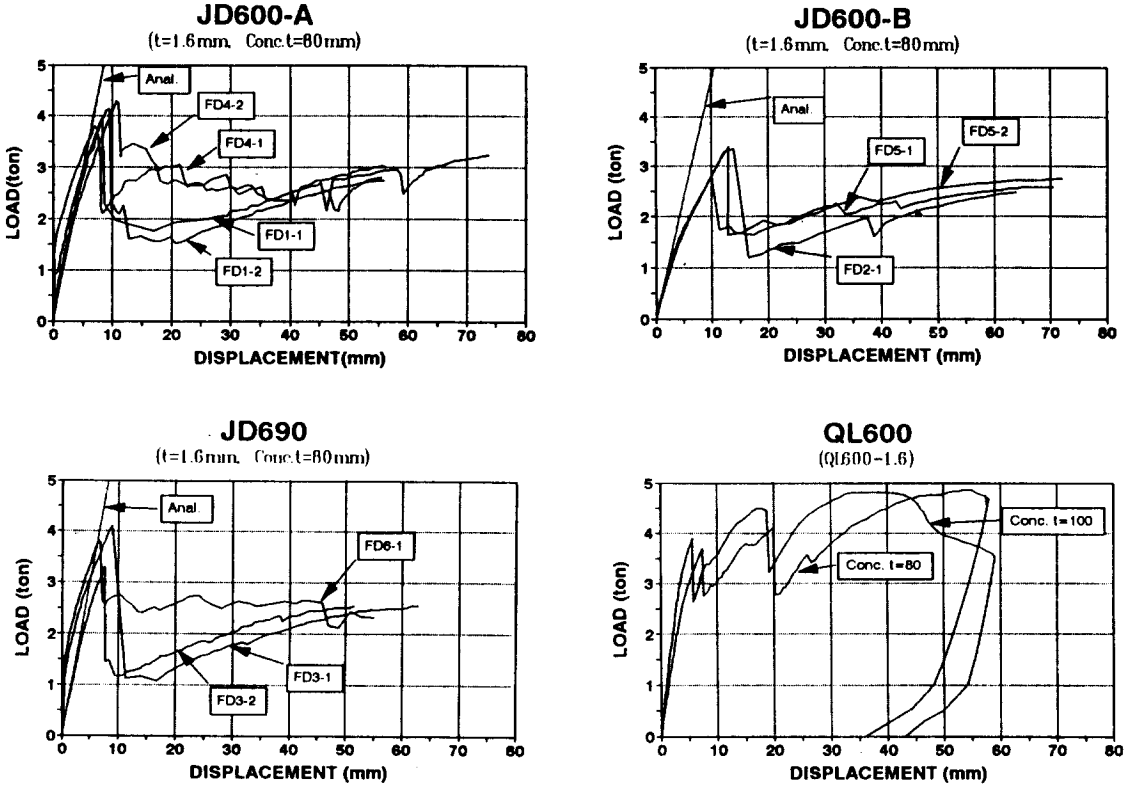


그림 5.1 각 실험체의 하중-변위 곡선

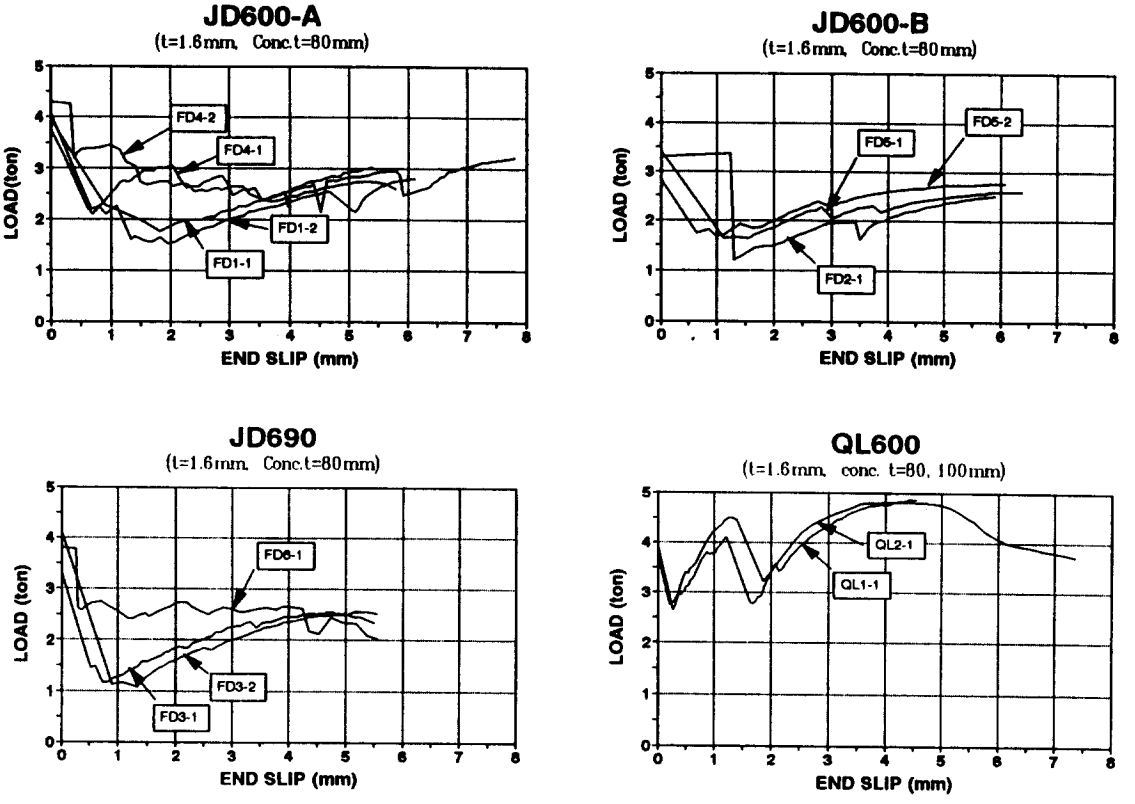


그림 5.2 각 실험체의 하중－엔드슬립 곡선

6 실험결과 분석 및 고찰

6.1 전단부착력에 대한 고찰

《엔드슬립 발생전 전단응력》

$$\tau = \frac{V\,S}{I_h\,b_s} = \frac{P y_h A_p}{2 I_h b_s}$$

여기서, $S = A_p\,y_h$, $V = \frac{P}{2}$

《엔드슬립 발생후 전단응력》

$$\tau = \frac{\sigma\,A_p}{b_s l_{sl}} = \frac{P l_s y_f A_p}{2 l_{sl} I_f b_s}$$

여기서, $\sigma = \frac{M_{max} y_f}{I_f}$

상기 식[8]은 초기엔드슬립시의 전단응력과 초기엔드슬립후의 최대전단응력을 콘크리트를 각각 미균열단면과 균열단면으로 보고 계산한 값이며 그 결과는 표 6.1에 나타내고 있다. 그림 6.1에서 보는 바와 같이 초기엔드슬립시의 전단응력의 비교에서 미끄럼방지근이나 엠보싱의 성능의 미비로 인하여 물리적 저항력(마찰저항력과 엠보싱이나 미끄럼방지근과 같은 기하학적 변화로 콘크리트와 데크플레이트의 맞물림작용으로 인한 저항력)보다는 화학적 저항력(데크플레이트에 시멘트 페이스트의 점착력이 작용하는 저항력)이 크게 작용하여 전단보강장치에 의한 큰 내력상승을 가져오지 못하였으나, 초기슬립후에는 미끄럼방지근이나 엠보싱이 물리적저항력에 의하여 상당한 슬립에 대한 저항을 하였음을 알 수 있다. 실험진행

중에 발생한 엔드슬립현상에 의하여 각 실험체의 합성효과에 대하여 아래와 같이 고찰하였다.

표 6.1 합성슬래브의 전단응력값

실험체명	P_s (ton)	P_f (ton)	τ_s (kg/cm²)	τ_f (kg/cm²)	τ_f/τ_s
FD1-1	3.96	2.96	0.137	0.121	0.88
FD1-2	4.14	2.84	0.143	0.117	0.82
FD2-1	3.36	2.5	0.125	0.111	0.89
FD3-1	3.3	2.54	0.095	0.115	1.21
FD3-2	4.1	2.56	0.118	0.115	0.97
FD4-1	3.8	3.06	0.131	0.126	0.96
FD4-2	4.3	3.46	0.149	0.142	0.95
FD5-1	3.4	2.58	0.126	0.114	0.90
FD5-2	2.84	2.76	0.106	0.122	1.15
FD6-1	3.8	2.76	0.109	0.125	1.15
QL1-1	3.7	4.86	0.095	0.159	1.67
QL2-1	3.9	4.82	0.089	0.139	1.56

주) P_s : 초기엔드슬립시 하중
P_f : 초기엔드슬립후 최대하중
τ_s : 초기엔드슬립시 전단응력
τ_f : 초기엔드슬립후 최대전단응력

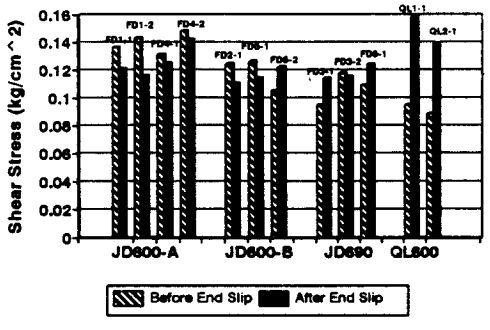


그림 6.1 엔드슬립 전후의 최대전단응력 비교

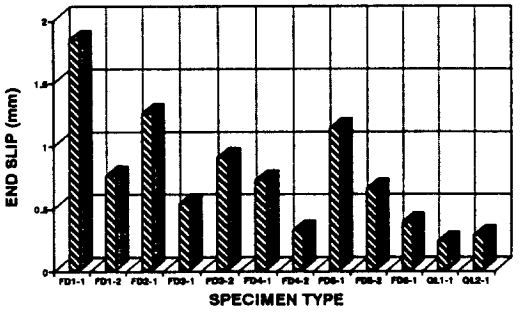


그림 6.2 각 실험체의 초기엔드슬립량

(1) 미끄럼방지근의 유무

그림 6.2에서 보는 바와 같이 미끄럼방지근이 보강된 실험체(FD4,FD5,FD6)는 미끄럼방지근이 없는 실험체(FD1,FD2,FD3)보다 초기슬립량이 대체로 작게 발생하였다. 또한 초기엔드슬립후의 최대전단응력은 초기엔드슬립시 전단응력에 대하여 FD4은 FD1에 비하여 1.07~1.17배, FD5은 FD2에 비하여 1.01~1.29배, FD6은 FD3에 비하여 0.95~1.19배 만큼 증가하였다. 따라서 미끄럼방지근이 데크플레이트와 콘크리트의 합성효과를 높이는데 어느 정도의 역할을 할 수 있음을 확인하였다.

(2) 거푸집용 데크(FD계열) 및 합성용 데크(QL계열)

그림 6.2와 같이 초기 엔드슬립량은 엠보싱이 있는 QL계 실험체가 일반거푸집용 FD계 실험체보다 작게 나타났으며 일부 실험체의 경우는 슬립후의 최대하중이 초기엔드슬립시의 하중을 초과하는 연성파괴현상이 나타났다.

한편 QL1(콘크리트두께 80mm)과 QL2(콘크리트두께100mm)실험체의 콘크리트의 두께에 따른 슬립량의 영향은 찾기 어려웠다.

6.2 휨 내력에 대한 고찰

실험체의 최대휨내력과 이론값은 표 6.2에 나타내었다.

합성슬래브실험체 상태는 평형철근비 (ρ_b) 이하이므로 미국의 ANSI/ASCE[2] 규준식을 사용하여 최대내력 이론값(M_u)을 구하였다.

$$M_u=\phi A_s F_y(d-\frac{a}{2}),\ a=\frac{A_s\cdot F_y}{0.85f'_c b},\ \phi=0.9$$

합성슬래브의 휨실험결과에 대해 실험체의 변수별로 고찰해 보면 다음과 같다.

표 6.2 휨내력에 대한 이론값과 실험값의 비교

실험체 Type No.	M_u (t·m)	M_{max} (t·m)	M_{max}/M_u
FD1-1	2.798	1.582	0.56
FD1-2	2.798	1.66	0.59
FD2-1	2.498	1.34	0.54
FD3-1	2.97	1.32	0.44
FD3-1	2.97	1.64	0.55
FD4-1	2.798	1.52	0.54
FD4-2	2.798	1.72	0.61
FD5-1	2.498	1.36	0.54
FD5-2	2.498	1.14	0.45
FD6-1	2.97	1.52	0.51
QL1-1	3.38	1.94	0.57
QL2-1	4.03	1.92	0.48

주) M_u : 이론상 최대휨모멘트
M_{max} : 실험상 최대휨모멘트
M_{max}/M_u : 합성효과 발휘율

(1) 미끄럼방지근의 유무

표 6.2와 그림 6.3에서 보는 바와 같이 미끄럼방지근이 없는 FD1, FD2, FD3실험체의 최대모멘트는 합성슬래브가 완전합성체로 가정한 경우의 이론상의 최대모멘트의 44%~59%를 나타내었고, 미끄럼방지근이 있는 FD4, FD5, FD6실험체의 최대모멘트는 이론값의 45%~61%를 나타내었다. 내력상승을 위한 미끄럼방지근의 보강에 따른 효과는 실험체 계획시의 기대만큼 얻지 못하였으며 따라서 미끄럼방지근의 유무에 따른 내력증가의 일정한 함수관계를 찾지 못하였다. 이에 대한 원인으로는 데크플레이트가 박판인 관계로 일정한 품질의 용접접합상태를 확보하지 못한 것으로 사료된다. 또한 파괴하중도달 이후의 거동을 보면 미끄럼방지근이 있는 실험체가 미끄럼방지근이 없는 실험체보다 내력상승면에서 우수함을 보였다. 따라서 미끄럼방지근, 엠보싱 등과 같은 전단보강장치는 그 형태 및 강성이 적절히 유지된다면 전단부착력을 강화시키는 면에서는 효율적일 것이다

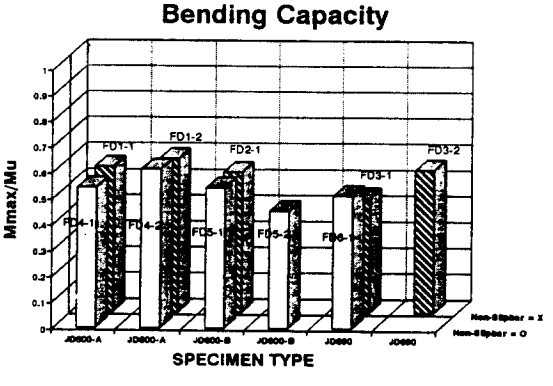
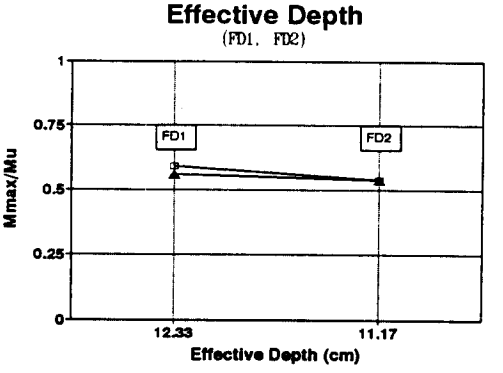


그림 6.3 미끄럼방지근의 유무에 따른 휨내력

(2) 중립축(유효깊이)의 변화

중립축의 변화에 따른 휨내력의 영향을 파악하기 위하여 일반데크 JD600으로 만든 FD1, FD4 실험체를 뒤집어서 FD2, FD5 실험체를 제작하였다. 그러므로 FD1과 FD4실험체가 FD2와 FD5실험체



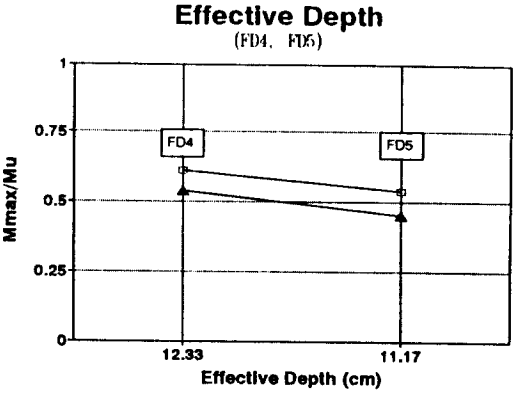


그림 6.4 유효깊이에 따른 휨내력 비교

에 비하여 합성슬래브의 유효두께 (슬래브의 최상단에서 데크플레이트의 중립축까지의 거리)가 11.6mm 더 크다. 각 실험체의 합성효과 발휘율 (M_{max}/M_u)을 비교하면 그림 6.4와 같이 미끄럼방지근이 없는 경우 실험체 FD1의 값이 FD2에 비하여 1.18~1.23배 높게 나타났으며 미끄럼방지근이 있는 경우 실험체 FD4의 값이 FD5에 비하여 1.12~1.51배로 크게 나타났다.

이와같은 결과로 볼때 합성효과는 마찰면적에 직접영향을 받는다고 간주할 수 있으므로 같은 두께를 가진 슬래브에 대하여 합성슬래브의 유효두께가 클수록 변형도가 큰 최하단부에 데크의 전단면적이 많이 있으므로 더 높은 전단부착력을 발휘한다. 따라서 데크플레이트를 사용한 슬래브의 합성효과를 높이기 위한 전단연결재 및 엠보싱의 위치는 하부플랜지에 가까이 설치하는 것이 바람직하다고 판단된다.

(3) 데크플레이트 형상(JD600, JD690)

데크의 종류, 종단면, 표면상태 등에 따라 전단부착력이 좌우되므로 일정한 함수관계를 가장 발견하기 어렵다. 실험상에서는 그림 6.5에서 보는 바와 같이 JD600실험체가 JD690실험체 보다 전단부착력이 비교적 높게 나타났다.

JD600계열 실험체의 휨내력은 이론값인 종국최대내력의 45%~61%를 나타냈으며, JD690계열의 휨내력은 종국최대내력의 44%~55%를 나타내었다. 상기 실험결과는 거푸집용 데크플레이트인 경우도 스터드 설치되지 않은 경우 약 50%의 합성슬래브의 내력을 보여주고 있다는 것을 알 수 있다.

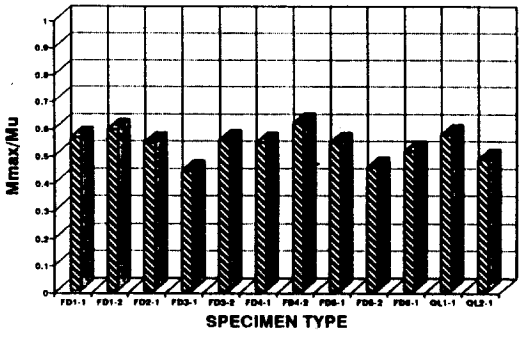


그림 6.5 각 실험체 형태별 휨능력

(4) 거푸집용 데크(FD계열) 및 합성용 데크(QL계열)

그림 6.5에서 보는 바와 같이 거푸집용 FD계열의 실험체는 이론값인 최대내력의 45%~61%의 휨내력을 유지하였으며 합성슬래브용 QL계열의 실험체는 최대내력의 48%~57%의 휨내력을 나타내어 FD계열의 실험체와 별 차이가 없었다. 이는 국내에서 사용되는 합성용 데크플레이트의 성능이 현저히 떨어짐을 지적하고 있으며 이러한 원인으로는 합성효과를 높이기 위해 설치된 엠보싱의 성능이 낮았기 때문으로 판단된다. 또한 QL계열 실험체 웨브의 각도(68.2°)가 FD계열 실험체 웨브의 각도(78.69°)에 비하여 낮으므로 데크상부플랜지에 가해진 연직하중이 하부플랜지에 전달되는 과정에서 발생하는 수평력이 상대적으로 커서 비틀림모멘트의 영향을 많이 받았다고 판단된다. 그러나 일부 QL계열의 실험체는 그림 5.1 하중-변위곡선과 같이 초기 엔드슬립 발생후에도 FD계열 실험체와는 달리 내력이 재상승하여 초기 엔드슬립 하중 이상의 내력을 발휘하였다.

6.3 변형도에 대한 고찰

(1) 데크플레이트의 변형도

데크플레이트의 상·하부플랜지와 웨브의 중앙부에서 변형도의 추이는 그림 6.6(a)에서 보는 바와 같이 합성시는 데크플레이트 모든 구간에서 인장측의 변형도를 나타내다가 엔드슬립발생과 동시에 상부 플랜지의 변형도가 압축측변형도로 바뀌었다. 그후 가력이 진행됨에 따라 동일한 분포를 유지하면서 변형도값이 증가하였다.

(2) 콘크리트의 변형도

콘크리트 옆면에서 측정된 콘크리트의 변형도

는 그림 6.6(b)에서 보는 바와 같이 일정 가력과 동시에 합성효과가 감소되면서 접착면에서의 마찰저항 및 화학적, 물리적 저항에 따라 미소하게 중립축이 위, 아래로 진동하며 점진적으로 증가하였다.

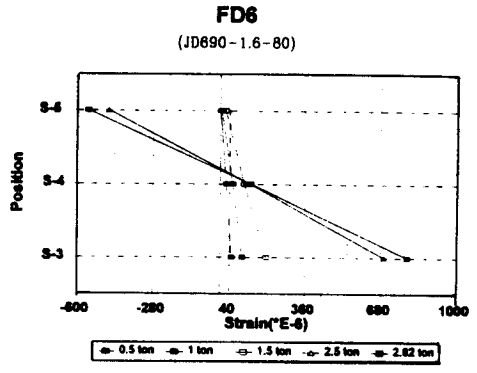


그림 6.6(a) 데크플레이트의 변형도

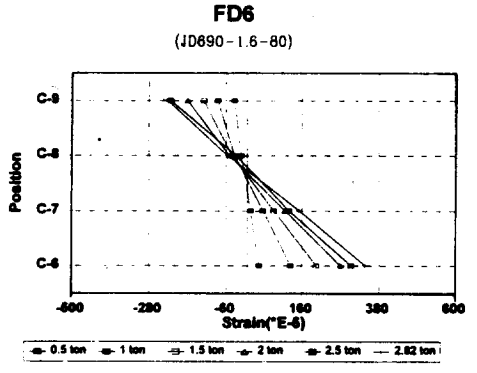


그림 6.6(b) 합성슬래브 측면의 변형도

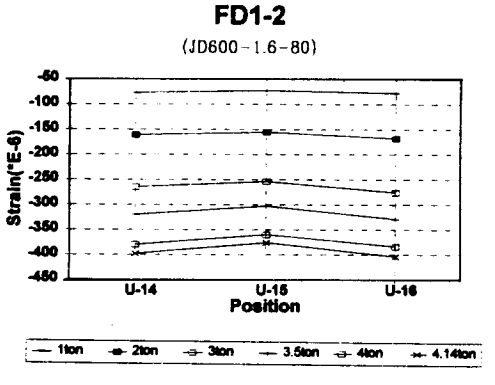


그림 6.6(c) 합성슬래브 상부의 변형도

합성슬래브 상부에 설치한 스트레인게이지의 분석 결과는 그림 6.6(c)에서 보는 바와 같이 변형도의 차이가 크지 않은 것으로 확인되었으며 쉬어래그(Shear Lag) 현상의 영향이 크게 작용하지 않았음을 알 수 있다.

7. 결 론

이상의 실험에 의한 결론은 다음과 같다.

① 스터드가 설치되지 않은 일반 거푸집용 FD 계열(JD600, JD690)실험체의 휨내력은 완전합성 슬래브로 가정한 최대휨내력의 44%~59% 정도로 나 타났다.

② 데크플레이트의 중립축이 낮게 위치한 실험체(FD1, FD4) 가 중립축이 상대적으로 높은 실험체(FD2, FD5)보다 합성효과 발휘율(M_{max}/M_u) 값이 1.12~1.51배로 크게 나타났다. 따라서 합성효과가 합성되는 두 개체의 마찰면적에 직접 영향을 받는다는 사실을 확인하였다.

③ 본 실험결과에서 미끄럼방지근의 보강에 따른 내력상승율은 일정한 함수관계로 나타나지 않았으나, 초기엔드슬립시 슬립량 및 슬립후의 거동에서는 미끄럼방지근이 없는 실험체보다 상대적으로 안정적인 거동을 나타내었다.

④ 초기엔드슬립후의 최대전단응력은 초기엔드슬립시 전단응력에 대하여 FD4은 FD1에 비하여 1.07~1.17배, FD5은 FD2에 비하여 1.01~1.29배, FD6은 FD3에 비하여 0.95~1.19배 만큼 증가하였다. 따라서 미끄럼방지근이 데크플레이트와 콘크리트의 합성효과를 높이는데 어느 정도의 역할을 할 수 있음을 확인하였다.

⑤ 스터드가 설치되지 않은 합성슬래브용 QL계

열의 실험체의 휨내력은 완전합성슬래브로 가정한 최대휨내력의 48~57% 정도로 나타났으며 이는 일반거푸집용 JD계열의 실험체와 유사한 것으로 볼 때 현재 국내에서 사용되고 있는 합성용 데크플레이트에 많은 개선이 필요하다고 본다.

참 고 문 헌

1. Composite Metal Deck Slab System 연구 중간보고서(서울시립대학교 산업기술연구소, 대한건축학회), 1995년 12월.
2. ANSI / ASCE 3-91, Standard for the Structural Design of Composite Slabs, 1992.
3. Eurocode No. 4, Design of Composite Steel and Concrete Structures, 1992.
4. BS 5950: Part 4, Structural Use of Steelwork in Building, 1982.
5. Journal of the Structural Division, "Shear-Bond Analysis of Steel-Deck-Reinforced Slabs", 1976.
6. Journal of the Structural Division, "Design Recommendations for Steel Deck Floor Slabs", 1976.
7. Design of Composite Steel-Concrete Structure, Edited by Yam.
8. Shear Bond Pull-Out Tests for Cold-Formed-Steel Composite Slabs, Byron J. DANIELS
9. 日本建築學會, 鋼構造設計施工指針, 同解說, 1992.