

# 신형상의 합성용 평데크플레이트(ACE-DECK)의 휨성능에 대한 실험적 연구

An Experimental Study on the Flexible Capacity of New Shape Flat Deck Plate(ACE-DECK) for Using Composite Slabs System.

오 상 훈<sup>1)</sup> · 장 인 화<sup>2)</sup> · 배 규 웅<sup>3)</sup> · 허 병 옥<sup>4)</sup> · 양 명 숙<sup>5)</sup>

Oh, Sang-hoon Jang, In-wha Bae, Kyu-woong Heo, Byung-wook Yang, Myung-sook

**요 약 :** 본 논문은 새롭게 개발된 신형상의 평데크플레이트를 사용한 합성슬래브의 휨 성능에 대한 실험적 연구이다. 실험은 데크의 두께, 스패, 토핑두께 및 단면형상 등을 변수로 하여 총 48개의 합성슬래브 단순휨 실험을 수행하여 휨성능을 평가하였으며 기존형의 절곡형 데크와 비교하였다. 실험결과, 신형상의 평데크플레이트가 기존의 절곡형에 비해서 강도, 초기강성, 변형능력 등에서 매우 우수한 성능을 나타냈으며 휨 강성을 나타내는 유효단면2차 모멘트값은 기존의 ACI 규준식보다 ASCE 규준식에 보다 일치하는 것으로 나타났다. 실험결과를 내력, 강성 및 변형능력 등으로 구분하여 정리하여 나타냈다.

**ABSTRACT :** This paper present a study on the flexural behavior of composite slabs using the flat-type profiled(ACE-DECK) steel deck plate which are developed recently. Forty eight composite slabs with different thickness, span, shear span and deck profile were tested to evaluate the flexural capacity and compared to the existing trapezoidal deck profiles (KEM, ALPHA-DECK) According to the experiment results, flat-type profiled steel deck plate indicates more excellent capacity than existing trapezoidal deck profiles in strength, stiffness, and ductility. The equation proposed by ASCE code for the effective moment of inertia are more acceptable than the equation proposed by ACI code. Thus, in this paper, test results are summarized by strength, stiffness, and deformation capacity for the specimens.

**핵 심 용 어 :** 평데크, 절곡형데크, 합성용 슬래브, 바닥시스템, 휨성능

**KEYWORDS :** Flat Deck Plate, Trapezoidal Deck Plate, Composite Slabs, Composite Floor System, Flexible Capacity

- 1) 정회원, 포항산업과학연구원 선임연구원, 공학박사
- 2) 정회원, 포항산업과학연구원 수석연구원, 공학박사
- 3) 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원, 공학박사
- 4) 정회원, 한국건설기술연구원 연구원, 공학석사
- 5) 한국건설기술연구원 연구원, 공학석사

본 논문에 대한 토의를 2001년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

## 1. 서론

오늘날, 철골조로 건축된 고층건물의 거의 대부분의 바닥시스템은 철골데크를 사용한 합성슬래브를 사용하고 있다. 이와 같이 철골데크를 사용한 합성슬래브 공법이 광범위하게 사용되고 있는 이유는 시공성, 구조적 안정성 및 경제성 등에서 매우 우수한 성능을 발휘하기 때문이며 특히, 구조적으로 강과 콘크리트의 장점을 최대한 활용한 합리적인 시스템이기 때문이다.

최근 국내에서는 고층아파트구조에 철근콘크리트 구조에 대한 대안으로 철골조 아파트에 대한 관심이 높아짐에 따라 각 건설회사를 중심으로 초고층 철골조 아파트 건설 계획이 잇따라 발표되고 있다. 이러한 철골조 아파트는 기존의 벽식 콘크리트 아파트에 비하여 공간의 가변성과 구조의 안정성 및 내구성에서 뛰어난 장점을 가지고 있다. 그러나, 철골조 아파트는 철골보와 그 위 슬래브의 절대층으로 인한 층고가 기존의 RC조 전단벽식 아파트의 층고보다 높아지는 단점이 있다<sup>[3]</sup>.

이에 본 연구에서는 층고절감형 평데크를 개발하여 구조성능 실험을 수행하였으며 실험을 통해 얻은 결과를 근거로 기존에 개발되어 있는 합성데크와의 비교·검토를 통해 현장적용시의 그 가능성 및 안전성을 검토하였다.

## 2. 실험

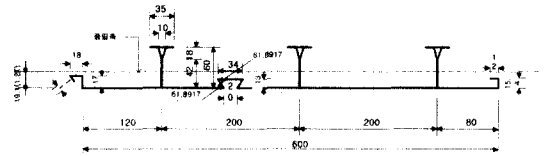
### 2.1 실험체 개요

본 연구에서 새롭게 개발한 신형상의 평데크인 ACE-DECK 실험체 28개, 기존의 절곡형 합성데크인 (주)제일 데크노스의 KEM-DECK 및 (주)원스틸의 ALPHA-DECK 실험체 각각 10개 등 총 48개의 실험체를 제작하여 단순보형식의 휨 실험을 수행하였다. 실험에 사용한 데크플레이트의 단면특성을 표 1에 합성데크의 실험체 일람 및 단면

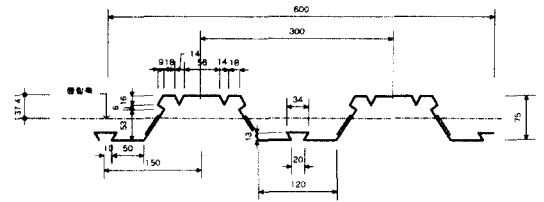
형상을 각각 표 2 및 그림 1에 나타내었다. 표에서 전단스팬비  $L/3$  및  $L/7$ 은 ASCE규준에서 제시하고 있는 전단부착강도 계산시 전단스팬의 상한 및 하한값을 나타내는 값을 기준으로 정한 것이다.

표 1. 데크플레이트의 단면특성

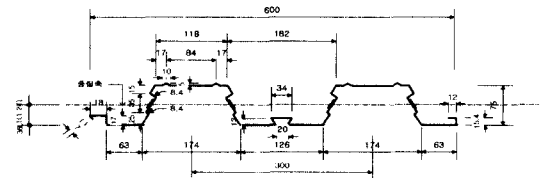
제품명	판두께 (mm)	제품 중량 (kg/m <sup>2</sup> )	단면성능(1m 폭당)		
			단면적 (cm <sup>2</sup> /m)	중립축 (cm)	단면2차모멘트 (cm <sup>4</sup> /m)
ACE60	1.0	16.97	20.63	1.90	106.75
	1.2	20.14	24.66	1.91	126.62
	1.6	26.37	32.63	1.93	165.77
KEM75	1.2	14.54	17.80	3.74	168.75
	1.6	19.14	23.67	3.74	222.45
ALPHA75	1.2	14.80	18.12	3.61	176.33
	1.6	19.70	24.36	3.63	235.18



(a) ACE-DECK의 형상 및 치수



(b) KEM-DECK의 형상 및 치수



(c) ALPHA-DECK의 형상 및 치수

그림 1. 데크플레이트 단면형상

표 2. 휨실험체 일람

실험체명	두께 (mm)	토팅 (mm)	순스팬 (m)	전단스팬 (m)	스터드 볼트 (Ø16-90)	철근보강	
A1.0-B1A,B	1.0	75	3.2	L/4	유	무	
A1.0-B4			2.8				
A1.0-B5			3.0				
A1.2-B1A,B	1.2	75	3.2	L/4	무	유	
A1.2-B2			3.2				
A1.2-B3			3.2				
A1.2-B4			2.8				
A1.2-B5			3.0				
A1.2-B6			3.4				
A1.2-B7			3.2				L/3
A1.2-B8			3.2				L/7
A1.2-B9A,B			3.2				L/4
A1.2-B10			3.6				
A1.6-B1A,B	1.6	75	3.2	L/4	무	유	
A1.6-B2			3.2				
A1.6-B3			3.2				
A1.6-B4			2.8				
A1.6-B5			3.0				
A1.6-B6			3.4				
A1.6-B7			3.2				L/3
A1.6-B8			3.2				L/7
A1.6-B9A,B			3.2				L/4
A1.6-B10			3.6				

A 1.0 - B 1 A, B

- : 동일시험체 A, B
- : 휨실험체
- : 데크두께
- A : ACE, α : ALPHA, K : KEM
- wire mesh : φ6-100×100를 상부근으로 사용
- spacer(간격재) : φ6-@300
- stud : 1열 3개 (ACE: φ16-90, α 및 K: φ16-105)
- 철근보강 : 하부인장근 HD-10 3개

### 2.2 가력 및 측정 방법

실험은 포항산업과학연구원 강구조 연구소의 구조실험실에서 실시하였다. 가력장치는 그림 2와 같이 300tf 급 유압식 만능시험기(U.T.M)을 사용하였으며 가력보를 사용하여 L/3, L/4 및 L/7의 전단스팬을 이용한 2점 선형가력하였다.

가력지점과 중앙부 처짐을 측정하기 위해 그림 2와 같이 3개의 변위계 (LVDT 200mm: D1, D2, D3)를 설치하였으며 데크플레이트와 콘크리트 사이에서 발생하는 엔드슬립(End-Slip)의 양을 측

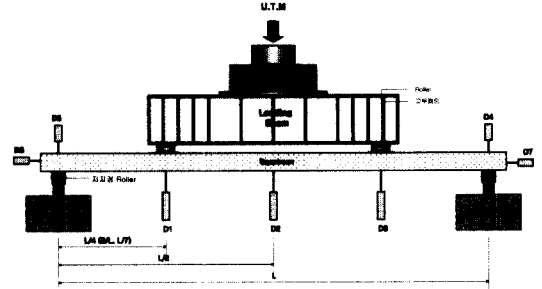


그림 2. 실험체 설치 및 가력상황

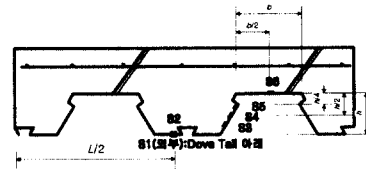
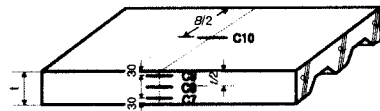


그림 3. ALPHA, KEM-DECK계열 실험체 변형측정상황

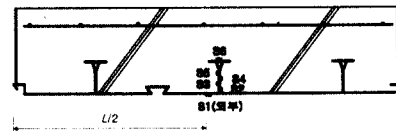
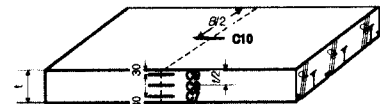


그림 4. ACE-DECK계열 실험체 변형측정상황

정하기 위해 양단부에 2개의 변위계(D6, D7)를 설치하였다. 실험체 양단부의 회전 및 중앙부의 처짐을 보정하기 위해 2개의 변위계(D4, D5)를 양쪽 단부에 각각 설치하였다.

또한, 실험체 변형도를 측정하기 위하여 그림 3 및 그림 4와 같이 데크플레이트 및 콘크리트에 W.S.G(Wire Strain Gauge)를 부착하여 실험시 하중에 따른 변형을 측정하였다.

### 3. 재료시험

합성슬래브 실험체 제작에 사용된 데크플레이트

표 3. 강재 인장강도 시험결과

시험체명	$\sigma_y$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_u$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_y/\sigma_u$	$E_{lo}$ (%)
DCT-1.0	2,530	3,680	0.69	31
DCT-1.2	2,460	3,690	0.67	34
DCT-1.6	2,370	3,670	0.65	33

DCT - 1.0

데크두께 (1.0mm, 1.2mm, 1.6mm)  
Deck-Plate Coupon Test

$\sigma_y$  : 항복강도       $\sigma_u$  : 인장강도  
 $\sigma_y/\sigma_u$  : 항복비       $E_{lo}$  : 연신율

의 재료특성을 파악하기 위해 KS B 0801 금속재료 인장 시험편 규정에 따라 본 실험에서 사용된 ACE-DECK, KEM-DECK, ALPHA-DECK를 대상으로 각 두께별로 인장강도 시험을 실시하였으며, 시험결과는 표 3과 같다. 또한, 합성슬래브 실험체 제작에 사용된 콘크리트의 공시체 압축강도의 시험결과는 표 4와 같다.

표 4. 콘크리트 압축강도 시험결과

종류	압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )							
	재령 7일				재령 28일			
	1	2	3	평균	1	2	3	평균
시험체	187	190	181	186	387	352	336	358.3

표 5. 휨 실험결과 - (a) ACE-DECK계열

시험체명	초기 강성 (tf/mm)	$P_y$ (tf)	$P_{max}$ (tf)	$\delta_y$ (mm)	$\delta_{max}$ (mm)	$\frac{P_{max}}{P_y}$	$\frac{\delta_{max} - \delta_y}{\delta_y}$
A1.0-B1A	0.43	7.04	8.97	16.95	59.81	1.27	2.53
A1.0-B1B	0.39	7.37	9.6	16.53	93.81	1.30	4.68
A1.0-B4	0.41	9.74	10.79	14.60	65.79	1.11	3.51
A1.0-B5	0.50	8.46	10.14	18.13	57.21	1.20	2.16
A1.2-B1A	0.45	8.61	12.57	20.65	190.60	1.46	8.23
A1.2-B1B	0.57	9.91	12.21	21.20	89.86	1.23	3.24
A1.2-B2	0.54	8.98	12.17	19.39	129.90	1.36	5.70
A1.2-B3	0.57	11.09	13.86	20.35	109.46	1.25	4.38
A1.2-B4	0.77	10.84	14.16	14.60	97.51	1.31	5.68
A1.2-B5	0.52	9.26	11.97	15.85	135.52	1.29	7.55
A1.2-B6	0.40	7.59	11.61	20.48	198.68	1.53	8.70
A1.2-B7	0.51	8.17	11.00	15.86	153.07	1.35	8.65
A1.2-B8	1.00	19.98	25.28	15.83	156.96	1.27	8.92
A1.2-B9A	0.60	9.92	12.85	14.98	135.90	1.30	8.07
A1.2-B9B	0.69	10.28	13.82	15.75	160.62	1.34	9.20
A1.2-B10	0.41	7.99	12.20	17.61	234.02	1.53	12.29
A1.6-B1A	0.69	12.90	14.62	27.71	60.87	1.13	1.20
A1.6-B1B	0.53	13.90	15.59	28.82	64.53	1.12	1.24
A1.6-B2	0.63	13.10	14.89	27.85	63.59	1.14	1.28
A1.6-B3	0.63	14.21	15.58	27.06	54.82	1.10	1.03
A1.6-B4	0.77	14.36	16.18	19.03	60.82	1.13	2.20
A1.6-B5	0.85	14.76	16.30	25.83	53.76	1.10	1.08
A1.6-B6	0.51	11.77	13.58	30.91	72.72	1.15	1.35
A1.6-B7	0.68	11.04	12.99	20.50	83.80	1.18	3.09
A1.6-B8	1.13	27.21	30.24	22.61	86.81	1.11	2.84
A1.6-B9A	0.82	16.17	18.15	24.44	66.53	1.12	1.72
A1.6-B9B	0.73	14.89	17.30	21.71	92.83	1.16	3.28
A1.6-B10	0.59	13.72	15.87	29.69	73.83	1.16	1.49

$P_y$  : 실험 항복하중  
 $\delta_y$  : 항복하중시 중앙부 처짐량

$P_{max}$  : 실험 최대하중  
 $\delta_{max}$  : 최대하중시 중앙부 처짐량

(b) KEM, ALPHA-DECK계열

시험체명	초기 강성 (tf/mm)	$P_y$ (tf)	$P_{max}$ (tf)	$\delta_y$ (mm)	$\delta_{max}$ (mm)	$\frac{P_{max}}{P_y}$	$\frac{\delta_{max} - \delta_y}{\delta_y}$
K1.2-B1	0.40	7.08	10.37	25.98	157.67	1.46	5.07
K1.2-B4	0.71	8.79	11.23	20.71	78.62	1.28	2.80
K1.2-B5	0.47	7.84	11.24	23.47	134.49	1.43	4.73
K1.2-B6	0.43	7.22	9.27	33.11	95.33	1.28	1.94
K1.2-B9	0.69	8.55	11.42	21.60	136.53	1.34	5.32
K1.6-B1	0.40	9.37	11.55	33.21	93.67	1.23	1.82
K1.6-B5	0.64	10.19	12.47	28.39	100.42	1.22	2.53
K1.6-B6	0.42	8.82	11.40	37.25	107.41	1.29	1.88
K1.6-B9	0.60	10.24	12.51	23.94	106.53	1.22	3.45
K1.6-B10	0.36	9.87	12.29	33.17	90.90	1.25	1.74
$\alpha$ 1.2-B1	0.46	7.05	9.12	24.41	80.69	1.29	2.31
$\alpha$ 1.2-B4	0.60	8.38	10.01	19.07	64.30	1.19	2.21
$\alpha$ 1.2-B5	0.54	7.85	9.46	22.80	57.96	1.21	1.54
$\alpha$ 1.2-B6	0.37	6.33	8.58	27.87	126.59	1.36	3.54
$\alpha$ 1.2-B9	0.44	7.92	9.43	17.85	52.13	1.19	1.92
$\alpha$ 1.6-B1	0.46	8.35	10.19	28.28	95.07	1.22	2.36
$\alpha$ 1.6-B5	0.56	9.81	11.66	26.14	67.87	1.19	1.60
$\alpha$ 1.6-B6	0.51	8.81	10.40	36.85	58.98	1.18	0.60
$\alpha$ 1.6-B9	0.68	10.24	12.23	23.88	87.43	1.19	2.66
$\alpha$ 1.6-B10	0.34	9.18	10.65	29.34	73.60	1.16	1.51

## 4. 실험결과

### 4.1 파괴양상

합성슬래브의 휨실험결과는 표 5와 같고 표에서 항복하중  $P_y$ 는 원점과 최대내력의 1/3되는 점을 연결한 선분을 초기접선강성으로 하고 이 선분이 변위축과 이루는 각의 1/3되는 선분을 원점에서 긋는다. 이 선분을 실험값과 외접하도록 평행이동시킨 후, 초기접선강성 선분과 만나는 접점을 평가하여 항복하중  $P_y$ 로 정의 하였다. 실험결과, 초기균열은 가력점 부근에서 사인장 방향의 전단휨균열이 발생한 후 하중의 증가와 함께 중앙부와 가력점 사이에서 일정한 간격으로 수직휨균열이 발생하였다. 이후 하중의 증가와 함께 가력점 혹은 중앙부에서 휨균열이 진전되고 최종적으로 상부 콘크리트의 압괴로 가력이 종료되었다.

특히, 항복하중 이후에도 균열폭의 증가가 거의 없이 최대내력에 도달하였으며 최대내력 이후에도 가력점 혹은 중앙부에서의 균열폭은 크게 진전되지 않고 최대내력에 도달하였다. 이는 단부에서의 데크와 콘크리트와의 완전한 합성작용으로 인한 결과로 균열의 진전이 억제되었기 때문으로 판단된다. 일부 실험체는 이와 같은 합성력의 영향으로 최대내력 이후에 콘크리트의 압괴로 인한 하중감소의 폭이 비교적 크게 나타난 경우도 발생하고 있다.

모든 실험체는 가력점 부근의 상부 압축측 콘크리트의 압괴로 최종파괴에 이르렀으며 최종파괴 이후에도 급격한 하중의 감소없이 완만하게 내력이 감소하는 경향을 나타내어 데크플레이트를 이용한 합성슬래브는 뛰어난 변형능력을 보유하고 있는 것을 알 수 있었다.

절곡형인 KEM, ALPHA-DECK계열 실험체의 경우, 균열 및 파괴양상은 ACE-DECK계열 실험

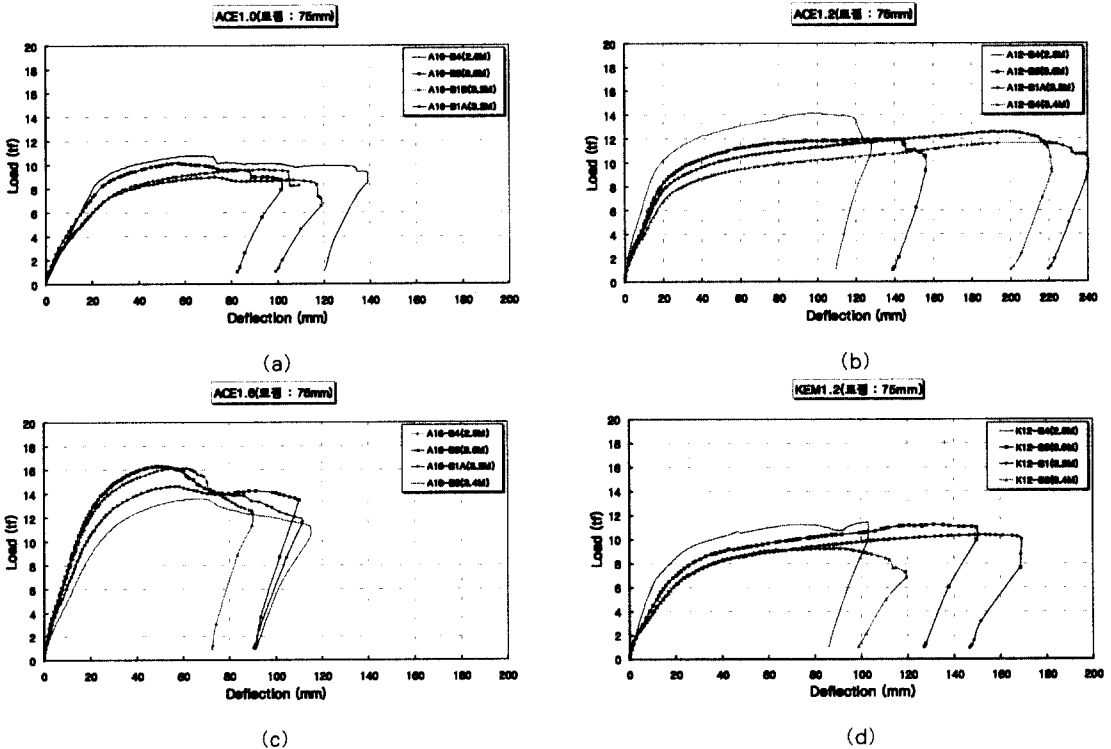
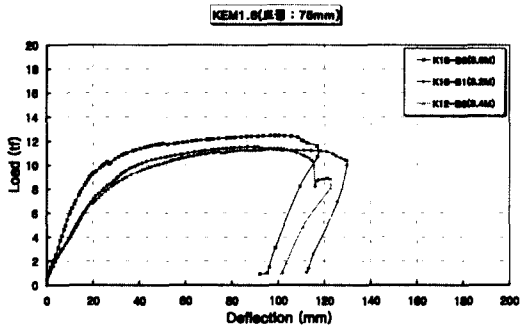
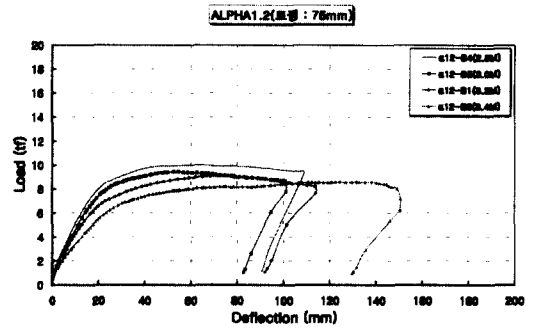


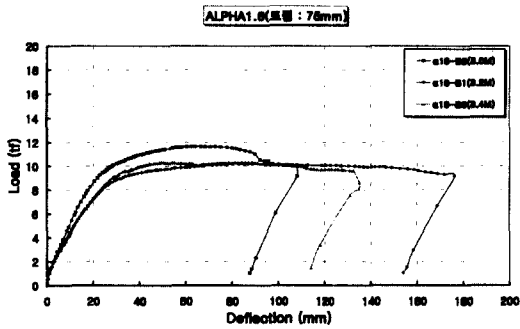
그림 5. 실험체별 하중-변위관계(계속)



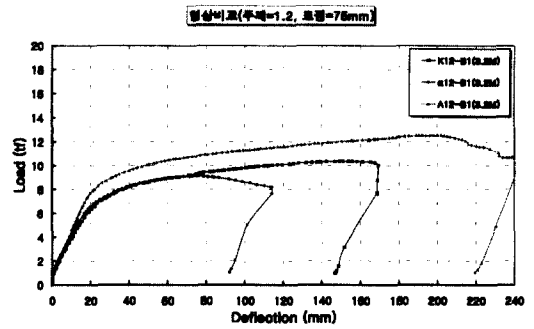
(e)



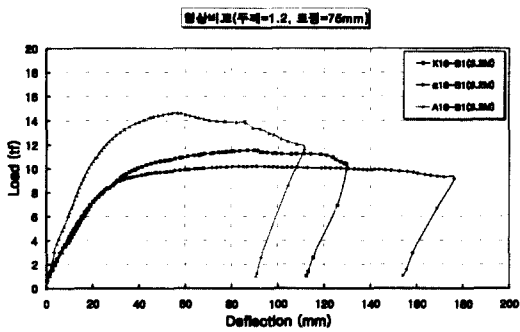
(f)



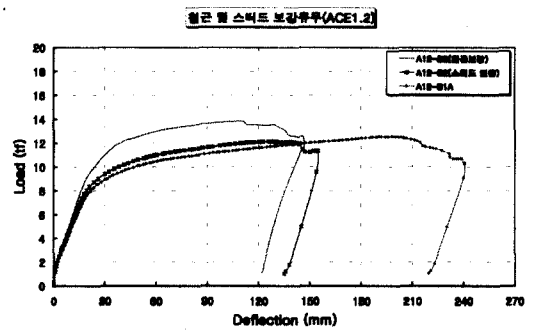
(g)



(h)



(i)



(j)

그림 5. 실험체별 하중-변위관계

현체와 유사하게 나타났으나 초기균열 발생이후 하중의 증가와 함께 콘크리트와 데크플레이트의 분리현상이 발생하기 시작하면서 점차 가력점의 주인장 휨균열의 균열폭이 진전되어 최종적으로 상부콘크리트의 압괴로 최대내력에 도달하였다. 균열폭은 ACE-DECK 실험체에 비해서 상대적으로 크게 나타났는데 이는 단부의 슬립효과로 인해

균열폭이 크게 증가한 것으로 판단된다.

#### 4.2 하중-변위 관계

합성슬래브의 단순 휨가력 실험으로 얻은 각 실험체의 하중-변위관계를 그림 5에 나타내었다.

스티드 및 철근의 보강 유무에 따른 하중-변위 관계를 나타낸 그림 5의 (j)의 경우 스티드의 유무

에 따른 강성 및 내력의 차이는 거의 나타나지 않았다. 이는 파괴상황에서도 알 수 있듯이 데크플레이트와 콘크리트의 완전한 합성작용에 기인하기 때문으로 판단된다. 철근의 보강유무에 따른 내력 및 강성의 증가는 ACE-DECK에서 데크두께 12mm 실험체의 경우는 비교적 크게 나타났으나, 16mm 실험체는 내력 및 강성에서 크게 차이가 나지 않음을 알 수 있다. 그림 5의 (h), (i)는 데크의 형상별 하중-변위 관계를 비교하여 나타낸 것으로서, 동일한 데크두께 및 스펠의 경우 ACE-DECK 실험체가 KEM, ALPHA-DECK 실험체에 비해서 내력 및 변형능력 등에서 매우 우수한 성능을 나타내고 있음을 알 수 있다

### 4.3 항복 및 최대내력

#### 4.3.1 데크 두께에 따른 비교

데크두께에 따른 내력의 비교결과를 표 6에 각 실험체 별로 나타냈다. ACE-DECK 계열의 경우, 데크 두께가 1.0mm에서 1.2mm로 증가할 때 항복내력은 1.27배, 최대내력은 1.33배 증가하였고, 데크두께가 1.0mm에서 1.6mm로 증가할 경우 항복내력은 1.84배, 최대내력은 1.46배로 계산에서 구한 증가율 1.52보다 낮게 나타났다.

또한, KEM-DECK 계열의 경우, 데크두께가 1.2mm에서 1.6mm로 증가할 때 항복내력은 1.32배, 최대내력은 1.11배 상승하였고, ALPHA-DECK 계열의 경우, 데크두께가 1.2mm에서 1.6

표 6. 데크 두께에 따른 내력비교

종류	두께 (mm)	$P_y$ (tf)		$P_{max}$ (tf)		
		평균	비교	평균	비교	계산값
A1.0-B1	1.0	7.29	1.00	9.29	1.00	1.00
A1.2-B1	1.2	9.26	1.27	12.39	1.33	1.16
A1.6-B1	1.6	13.40	1.84	15.11	1.46	1.52
K1.2-B1	1.2	7.08	1.00	10.37	1.00	1.00
K1.6-B1	1.6	9.37	1.32	11.55	1.11	1.26
$\alpha$ 1.2-B1	1.2	7.05	1.00	9.12	1.00	1.00
$\alpha$ 1.6-B1	1.6	8.35	1.18	10.19	1.12	1.27

mm로 증가할 때 항복내력은 1.18배, 최대내력은 1.12배 상승하여 계산에 의한 증가율 1.27보다 낮게 나타났다.

#### 4.3.2 철근보강 및 스테드 유무에 따른 비교

ACE-DECK의 경우, 철근보강 및 스테드의 유무에 대한 내력의 비교결과를 표 7에 나타냈다. 스테드 유무에 따른 내력의 비교결과, 데크두께에 관계없이 전단스테드의 유무에 따라 항복내력은 1.03배, 최대내력은 1.02배 증가하여 전단스테드가 내력에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

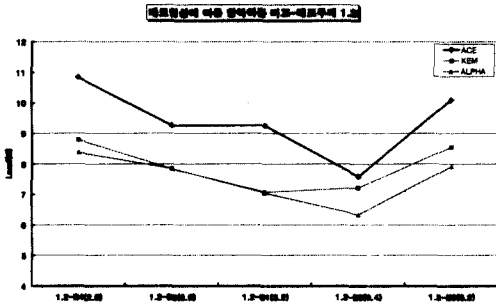
철근보강의 유무에 따른 내력의 비교결과, 데크두께가 1.2mm일 때 철근보강을 한 경우는 철근보강을 하지 않을 경우에 비해서 항복내력은 1.2배, 최대내력은 1.12배 증가하였고, 데크두께가 1.6mm일 경우, 철근보강을 한 실험체가 철근보강을 하지 않은 실험체에 비하여 항복내력은 1.06배, 최대내력은 1.03배 증가하는 것으로 나타나 데크의 두께가 적을수록 철근보강의 효과는 크게 나타남을 알 수 있다.

표 7. 철근 및 스테드 유무에 따른 영향

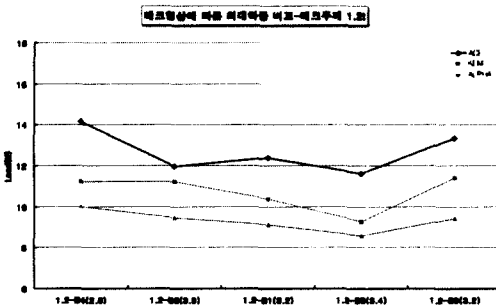
종류	데크 두께	스테드 볼트	철근 보강	$P_y$ (tf)	비교		$P_{max}$ (tf)	비교	
					스테드	철근		스테드	철근
A1.2-B1	1.2	○	×	9.26	1.03	1.00	12.39	1.02	1.00
A1.2-B2		×	×	8.98	1.00		12.17	1.00	
A1.2-B3		○	○	11.09		1.20	13.86		1.12
A1.6-B1	1.6	○	×	13.4	1.03	1.00	15.11	1.02	1.00
A1.6-B2		×	×	10.19			15.55		1.03
A1.6-B3		○	○	10.19		1.06	15.55		1.03

표 8. 데크의 단면형상에 따른 비교

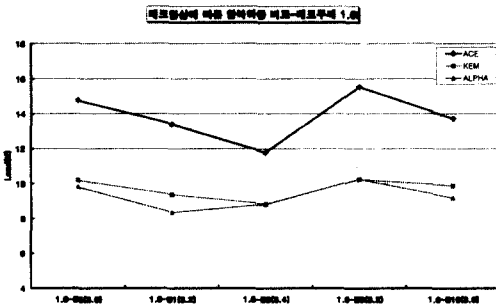
데크종류	데크 두께 (mm)	실험 $P_y$			실험 $P_{max}$			계산 $P_{max}$	
		평균	비교	비교	평균	비교	비교	계산값 비교	
A1.2-B1	1.2	9.26	1.30	1.31	12.39	1.19	1.36	1.16	1.13
K1.2-B1		7.08	1.0		10.37	1.0		1.0	
$\alpha$ 1.2-B1		7.05		1.0	9.12		1.0		1.0
A1.6-B1	1.6	13.4	1.43	1.60	15.11	1.30	1.48	1.34	1.30
K1.6-B1		9.37	1.0		11.55	1.0		1.0	
$\alpha$ 1.6-B1		8.35		1.0	10.19		1.0		1.0



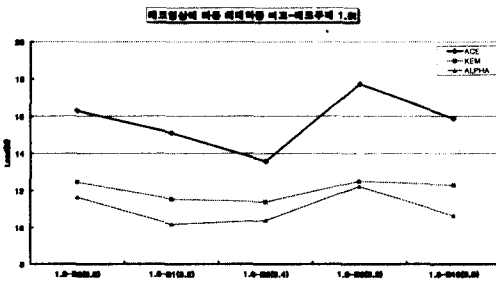
(a) 데크형상에 따른 항복하중 비교-1.2mm



(b) 데크형상에 따른 최대하중 비교-1.2mm



(c) 데크형상에 따른 항복하중 비교-1.6mm



(d) 데크형상에 따른 최대하중 비교-1.6mm

그림 6. 단면형상에 따른 내력 비교

### 4.3.3 데크 단면형상에 따른 비교

그림 6 및 표 8은 데크의 단면형상에 따른 항복 및 최대내력을 비교한 것으로, 스펠이 3.2m인 실험체를 비교하면, 데크두께가 1.2mm일 경우, ACE-DECK 실험체가 기존의 합성데크인 KEM, ALPHA-DECK 실험체보다 항복내력은 1.30~1.31배, 최대내력은 1.19~1.36배 증가하였고, 데크두께가 1.6mm일 경우, 항복내력은 1.43~1.60배, 최대내력은 1.30배~1.48배 각각 증가하여 데크의 두께가 두꺼울수록 내력의 증가율이 크게 나타났다. 계산값과의 비교결과, 실제의 ACE-DECK의 내력증가를 20~40%와 유사한 증가율을 나타냈다. 또한, 그림 6에서도 알 수 있듯이 스펠이 다른 경우에도 이와 유사한 거동을 나타내고 있음을 알 수 있다.

## 5. 분석 및 고찰

### 5.1 휨강성에 대한 고찰

합성슬래브의 휨강성을 평가하기 위하여 ACI규준에서 제시하고 있는 비균열 단면2차모멘트  $I_g$  값 및 균열 단면2차모멘트  $I_{cr}$ 을 사용하여 실험체의 휨강성과 비교하여 표 9에 나타났다. 보의 처짐을 결정하는 단면2차모멘트는 부재내에 발생하는 균열의 양에 의존하게 되는데 균열발생 후 중립축의 이동으로 전체 단면 2차모멘트가  $I_g$ 에서  $I_{cr}$ 로 감소하기 때문에 처짐의 계산이 복잡하게 된다. 따라서, 균열 이후의 단면의 강성에 대한 평가를 하기 위해서 여러 가지 제안식들이 제시되고 있다. 이러한 균열 이후의 단면에 대한 유효강성  $I_e$ 에 대한 대표적인 것이 ACI 규준에서는 Branson이 유도한 식(1)을 사용하고 있으며, ASCE규준에서는 Porter가 제안한 (2)식을 사용하여 유효강성을 평가하고 있다<sup>[4]</sup>.

본 연구에서는 이러한 기존의 균열 이후의 단면에 대한 유효단면2차모멘트  $I_e$ 에 대한 비교검토를 함께 나타냈다.



$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left\{1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right\} I_{cr} \leq I_g \quad (1)$$

$$I_e = \frac{I_g + I_{cr}}{2} \quad (2)$$

분석결과, 기존의 ACI규준에서 제시하고 있는 균열모멘트  $M_{cr}$ 시의 균열하중  $P_{cr}$ 값은 실제의 합성슬래브의 실험시의 초기강성 한계하중인  $P_{cr}$ 값에 비해 상당히 저평가 되어 있음을 알 수 있다. 이는 본 실험에서 사용한 합성슬래브의 경우 항복하중시에도 상당한 합성력을 유지하여 실제적으로 콘크리트의 균열이 데크플레이트 하부면의 항복이후에 강성이 감소함을 간접적으로 파악할 수 있다. 그림 7에서 알 수 있듯이 대부분의 실험체의 초기탄성 한계하중 이후의 강성은 ACI규준에서 제시하고 있는 유효강성값 보다는 ASCE에서 제시하고 있는 유효강성값에 보다 잘 일치하고 있음을 알

표 9. 실험값과 예측값의 휨강성의 비교

실험체명	$eK_i$	$iK_i$	$K_{ACI}$	$K_{ASCE}$	$eK_i / iK_i$	$eK_i / K_{ACI}$	$eK_i / K_{ASCE}$
1.0-B1A	0.43	0.42	0.21	0.31	1.02	2.03	1.37
1.2-B1A	0.45	0.43	0.23	0.33	1.04	1.94	1.36
1.2-B6	0.40	0.36	0.19	0.28	1.11	2.07	1.45
1.6-B1A	0.69	0.45	0.27	0.36	1.54	2.52	1.91
1.6-B6	0.51	0.37	0.23	0.30	1.36	2.23	1.70
K1.2-B1	0.40	0.28	0.17	0.22	1.45	2.34	1.79
K1.6-B1	0.40	0.29	0.21	0.25	1.36	1.93	1.60
$\alpha$ 1.2-B1	0.46	0.29	0.18	0.23	1.60	2.57	1.98
$\alpha$ 1.6-B1	0.46	0.31	0.22	0.26	1.50	2.12	1.76

$eK_i$  : 실험 초기강성,  $iK_i$  : 계산 초기강성  
 $K_{ACI}$  : ACI 규준 초기강성,  
 $K_{ASCE}$  : ASCE 규준 초기강성

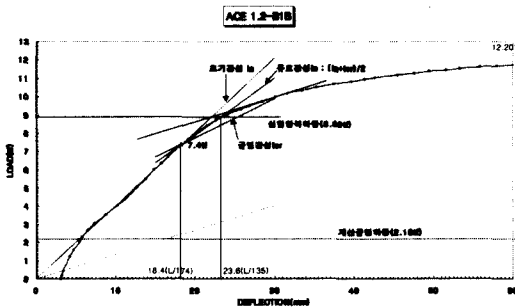


그림 7. 각 규준식에 따른 강성비교

수 있다.

## 5.2 휨내력에 대한 고찰

합성슬래브의 휨내력을 평가하기 위해서 식 (3)으로 ASCE 규준에서 제시하고 있는 공칭 휨모멘트인  $M_n$ 과 이론 공칭하중  $P_n$ 을 계산하여 실험최대 하중인  $eP_{max}$ 와 비교하여 표 10에 나타내었으며, 단면의 변형도 적합조건으로부터 구한 중립축을 사용하여 데크플레이트 하부플레이트면의 항복시의 항복하중값을 구하고, 실험에 의한항복하중값과 비교하여 표 11에 나타내었다.

비교결과, 평데크형인 ACE계열은 공칭하중에 대한 실험최대하중의 비( $eP_{max}/P_n$ )가 0.97~2.40 사이에 분포하는 것으로 나타났고, 절곡형인 KEM계열의 경우 공칭하중에 대한 실험최대하중의 비( $eP_{max}/P_n$ )가 1.15~1.52 사이에 분포하는 것으로 나타났으며, ALPHA계열의 경우 공칭하중에 대한 실험최대하중의 비( $eP_{max}/P_n$ )가 1.12~1.28 사이에 분포하는 것으로 나타났다.

이와 같이 실험최대값( $eP_{max}$ )이 실험시의 자중을 고려한 공칭최대하중( $P_n$ )보다 높게 나타나 식 (3)에 의해 합성데크슬래브를 설계한다면 충분한 안전한 것을 알 수 있다. 이처럼 계산식에 의한 공칭 최대하중값보다 실험값이 높은 것은 강재의 변형경화 현상으로 최대내력이 상승한 것으로 판단된다.

이는 실제 완전소성단면으로 공칭최대하중을 계산하지만 다음절의 변형도 분포에서도 나타나듯이 실제 최대하중 작용시 데크플레이트의 상부부분은 여전히 탄성범위내에 있음을 감안할 때 데크플레이트 하부면은 국부좌굴의 발생없이 항복이후에도 상당한 기여를 하고 있음을 알 수 있다<sup>(6)</sup>.

$$P_n = \frac{8(M_n + M_d)}{L} \quad (3)$$

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right), \quad M_d = \frac{P_d l}{4}, \quad a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 f_{ck} \cdot b}$$

표 10. 실험 및 해석 최대하중 비교

실험체명	순스팬 (m)	$eK_i/K_i$	$eP_y/P_y$	$eP_{max}/P_n$
A1.0-B1A	3.2	1.02	1.02	1.11
A1.0-B1B	3.2	0.92	0.91	1.19
A1.0-B4	2.8	0.65	0.87	1.19
A1.0-B5	3.0	0.97	1.07	1.19
A1.2-B1A	3.2	1.04	1.11	1.34
A1.2-B1B	3.2	1.32	1.24	1.30
A1.2-B2	3.2	1.25	1.10	1.36
A1.2-B3	3.2	1.30	1.17	1.48
A1.2-B4	2.8	1.19	1.08	1.34
A1.2-B5	3.0	0.99	1.00	1.21
A1.2-B6	3.4	1.11	1.03	1.31
A1.2-B7	3.2	1.07	0.85	1.05
A1.2-B8	3.2	1.03	1.74	2.40
A1.2-B9A	3.2	1.01	0.97	1.22
A1.2-B9B	3.2	1.17	1.03	1.31
A1.2-B10	3.6	0.99	0.93	1.29
A1.6-B1A	3.2	1.54	1.27	1.24
A1.6-B1B	3.2	1.18	1.32	1.32
A1.6-B2	3.2	1.40	1.29	1.26
A1.6-B3	3.2	1.38	1.24	1.32
A1.6-B4	2.8	1.15	1.12	1.22
A1.6-B5	3.0	1.56	1.36	1.30
A1.6-B6	3.4	1.36	1.26	1.49
A1.6-B7	3.2	1.37	0.90	0.97
A1.6-B8	3.2	1.11	1.95	2.27
A1.6-B9A	3.2	1.33	1.32	1.36
A1.6-B9B	3.2	1.19	1.16	1.30
A1.6-B10	3.6	1.37	1.27	1.33
K1.2-B1	3.2	1.45	1.34	1.49
K1.2-B4	2.8	1.72	1.39	1.43
K1.2-B5	3.0	1.40	1.34	1.52
K1.2-B6	3.4	1.87	1.54	1.40
K1.2-B9	3.2	1.76	1.39	1.46
K1.6-B1	3.2	1.36	1.42	1.32
K1.6-B5	3.0	1.79	1.46	1.34
K1.6-B6	3.4	1.71	1.47	1.37
K1.6-B9	3.2	1.44	1.27	1.15
K1.6-B10	3.6	1.23	1.37	1.38
$\alpha$ 1.2-B1	3.2	1.60	1.35	1.28
$\alpha$ 1.2-B4	2.8	1.40	1.34	1.25
$\alpha$ 1.2-B5	3.0	1.55	1.44	1.25
$\alpha$ 1.2-B6	3.4	1.54	1.35	1.26
$\alpha$ 1.2-B9	3.2	1.08	1.16	1.18
$\alpha$ 1.6-B1	3.2	1.50	1.35	1.12
$\alpha$ 1.6-B5	3.0	1.51	1.44	1.21
$\alpha$ 1.6-B6	3.4	2.00	1.62	1.20
$\alpha$ 1.6-B9	3.2	1.58	1.41	1.19
$\alpha$ 1.6-B10	3.6	1.12	1.35	1.16

$eP_y$ : 실험 항복하중,  $P_y$ : 이론 항복하중  
 $eP_{max}$ : 실험 최대하중,  $P_n$ : 이론 최대하중

$A_s$ : 데크의 단면적,  $f_y$ : 데크의 항복응력,  $L$ : 스패,  
 $f_{ck}$ : 콘크리트의 설계기준강도,  $b$ : 슬래브의 단위폭,  
 $M_d$ : 자중에 의한 모멘트,  $M_n$ : 이론 공칭휨모멘트,  
 $P_d$ : 자중,  $P_n$ : 이론 공칭하중

### 5.3 변형도에 관한 고찰

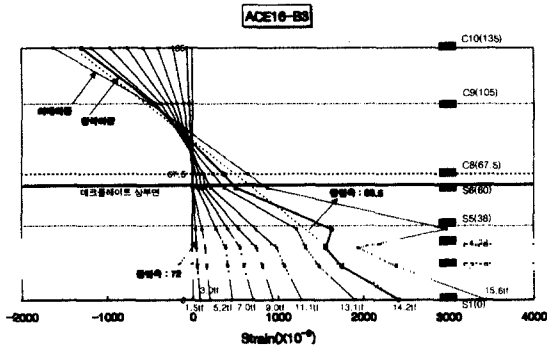
그림 8(a)~(h)는 데크의 형상별 휨 실험체에 대한 하중단계별 변형도의 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 종축은 합성데크 단면의 변형계이지의 부착위치를 데크의 하부플랜지면을 기준으로 하여 나타낸 것이고 횡축은 각 하중단계별 변형도의 분포를 나타낸 것이다.

표 11은 실험결과와 변형도 분포로부터 구한 중립축과 합성단면의 형상으로부터 계산한 중립축과의 비교를 나타낸 것이다. 비교결과, ACE-DECK 계열 실험체는 계산값에 대한 실험값의 비가 두께 1.0mm의 경우는 1.77, 1.2mm의 경우는 1.74~2.03, 1.6mm의 경우는 1.52~1.60로 실험시의 중립축의 비가 높게 나타났다. ALPHA 및 KEM-DECK계열 실험체는 계산값에 대한 실험값의 비가 1.2mm의 경우는 2.30~2.34, 1.6mm의 경우는 2.10~2.19으로 나타났다.

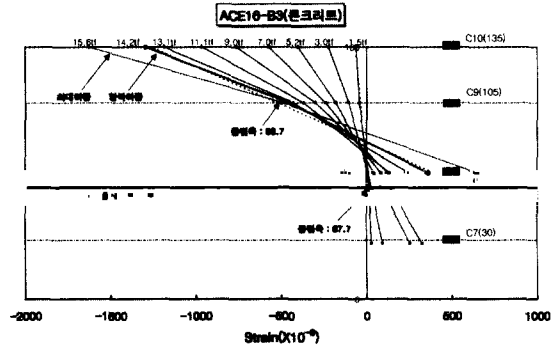
또한, ACE-DECK계열의 실험체는 데크와 콘크리트 각각의 하중에 따른 변형도의 분포로부터 구한 중립축의 값이 항복하중시에도 비교적 잘 일치하고 있는 반면, ALPHA 및 KEM-DECK계열 실험체는 데크가 콘크리트의 중립축이 탄성변형구간에서는 비교적 잘 일치하고 있으나 항복하중시에는 중립축이 큰 차이를 보이고 있다. 이는 기존의 합성데크의 단면이 항복하중 이전에는 완전합성으로 거동하다가 항복하중을 전후하여 데크와 콘크리트의 전단부착력 상실로 인한 슬립이 발생함을 변형도 분포로부터 간접적으로 파악할 수 있다.

그림 8(a)~(e)와 같이 ACE-DECK계열 실험체의 변형도는 항복이전에는 중립축이 데크플레이트 상부면 콘크리트 내에서 일정하게 위치하다가 항복하중 이후 급격하게 중립축이 콘크리트의 상

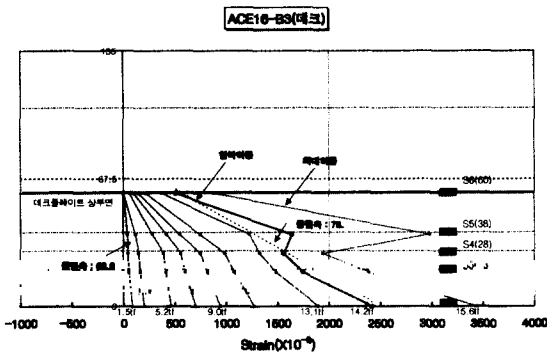




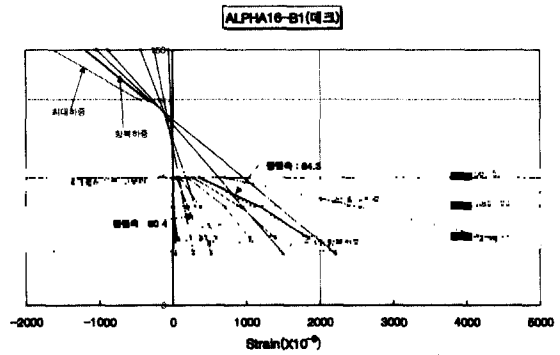
(c)



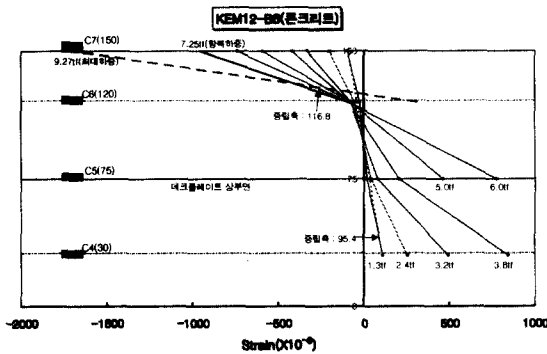
(d)



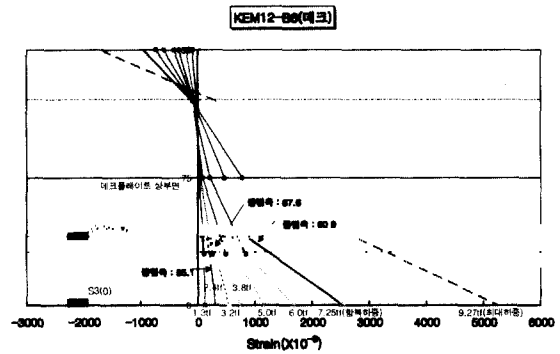
(e)



(f)



(g)



(h)

그림 8. 데크형상별 변형도 분포도

또한, ACE-DECK계열의 실험체와 마찬가지로 콘크리트의 변형도 분포는 항복하중 이후 최대하중에 도달하여도 여전히 탄성영역에 머물러 있는 반면, 데크플레이트는 항복하중시 데크의 하부플랜지면의 항복영역이 점차 중립축으로 진전됨을 알

수 있다. 항복하중 이후의 변형도 분포를 살펴보면, 콘크리트와 데크플레이트의 변형도의 적합조건이 데크플레이트 상부면을 경계로 하여 서로 분리되는 불완전합성 거동을 변형도 분포로부터 간접적으로 알 수 있다.

## 6. 결론

절곡형인 KEM-DECK, ALPHA-DECK와 평판형인 ACE-DECK를 사용한 합성바닥판의 구조 성능 실험결과로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 모든 실험체는 실험종료시까지 내력이 완만히 계속 상승하는 연성적 거동을 나타내었고 특히 ACE-DECK계열의 경우는 콘트리트와 데크플레이트의 분리현상이 발생하지 않아 합성효과가 뛰어난을 알 수 있다.
- (2) 각 변수별 내력의 분석결과 계산식으로부터 구한 이론값과 실제의 실험값의 내력증가율이 일부의 실험체를 제외하고 대체적으로 일정한 증가율을 나타냈다.
- (3) 휨강성에 대한 평가결과, 초기 탄성한계하중 구간이 ACI식에서 제시하고 있는 하중보다 상당히 높은 값으로 나타났으며, 균열 이후의 강성감소에 대한 평가는 기존의 ASCE에서 제시하고 있는 유효강성  $I_e$  값과 유사한 경향을 보였다.

## 참고 문헌

1. "합성데크 바닥구조 설계기준(안) 및 해설", 대한건축학회, 1998.5.
2. "데크플레이트를 이용한 합성바닥판의 구조 성능 평가 연구", 한국건설기술연구원, 2000.1.
3. "철골조 아파트 국제 기술세미나", 포항산업과학연구원, 1999.9.
4. 김규동, "합성용 데크플레이트를 이용한 합성슬래브의 구조적 거동에 관한 연구", 한양대학교 석사학위논문, 1996.12.
5. "철근콘크리트 구조설계기준", 대한건축학회·한국콘크리트학회, 1997.
6. "Standard for the Structural Design of Composite Slabs", ANSI/ASCE 3-91, 1992.
7. "Structural Use of Steelwork in Building Part4-Code of Practice for Design of Floors with Profiled Steel Sheeting", BS 5950, British Standard Institution, London, 1982.

(접수일자 : 2000년 10월 27일)