

# 신형상의 합성용 데크플레이트를 사용한 합성슬래브의 구조적 거동에 관한 해석적 연구

## An Analytical Study on the Structural Behavior of the Composite Slab with New-Shaped Deckplate

문 태 섭<sup>1)</sup> · 배 종 우<sup>2)</sup>

*Moon, Tae Sup      Bae, Jong Woo*

요 약 : 본 논문은 신형상의 합성용 데크플레이트 개발에 따른 합성슬래브의 구조적 거동에 관하여 연구한 것이다. 신형상의 데크플레이트가 구조재로서 사용이 되어질 수 있도록 합성슬래브의 실험결과를 국제적인 규준식에 의한 계산결과와 비교·검증하였으며 또한 회귀분석을 통해 합성슬래브의 유효단면2차모멘트식을 제안하였다. 또한 데크플레이트 단면요소의 구조적인 특성에 대한 고찰을 위하여 이것을 변수로 하여 유한요소해석을 실시하였다. 합성슬래브 실험은 새롭게 개발한 두 type의 데크플레이트를 사용하여 36개의 시험체를 제작·실험하였으며, 유한요소해석은 3차원 Solid 모델링이 가능한 ABAQUS 프로그램을 사용하여 해석모델링을 개발, 해석을 실시하여 그 결과를 분석하였다.

ABSTRACT : The objective of this study is to investigate the structural behavior of the composite slabs with the new-shaped deckplate. In order to examine the deckplate as structural members, the composite slabs with new-shaped deckplate are compared and verified with the international design codes, and the simple inertia-moment equation of the composite slabs is suggested from the regression analysis of the results of the experiments. Besides, the finite element analysis was added on the purpose of the observation of structural behavior of the section items such as the Locking rib and the Dovetail. 36 experiments of composite slabs were performed with two new-type deckplates. And the finite-element analysis was performed by ABAQUS package with the function of the 3-dimension solid modeling.

핵심용어 : 합성용 데크플레이트, 유한요소해석, 회귀분석, 단면요소

KEYWORDS : Composite deckplate, FEM, Regression Analysis, Section Items

1) 정희원, 한양대 건축공학과 교수, 공학박사  
2) 한양대 건축공학과, 석사과정

본 논문에 대한 토의를 1999년 10월 31일까지 학회로 보내어 주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

최근 건물들의 고층화에 따라 내구성과 내진성이 우수한 철골구조 및 철골철근콘크리트구조가 널리 사용되고 있으며 이들 고층건물의 바닥슬래브 구조로는 공사 노무비의 절감과 공기단축의 필요성에 따라 데크플레이트의 사용이 보편화되고 있다. 국내 데크플레이트 사용은 주로 거푸집용으로 사용되며 기존의 합성용 데크플레이트의 경우에서도 실험 결과 대부분 슬립하중이 최대하중으로 결정되는 취성적 거동을 나타내었다.

본 논문에서는 새로운 형상의 구조용 데크플레이트를 제시하여 이러한 단점을 보완할 수 있는 합성슬래브 시스템을 개발하였다. 실험을 통하여 합성슬래브의 변수가 구조적 성능에 미치는 영향을 분석하며 또한 합성슬래브가 거의 완전한 합성거동을 하는 것을 규준과 비교 검증한다.

또한 합성슬래브에 보다 쉽게 적용될 수 있는 처짐 예측식을 회귀분석을 통하여 제시하였으며 기존의 문헌이나 연구에서 명확하게 규명되지 않고 있는 데크플레이트의 단면요소에 관한 해석적 접근을 위하여 유한요소 해석을 하여 단면 요소의 구조적 특성 연구에 기본적인 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 신형상의 합성용 데크플레이트를 이용한 합성슬래브 실험<sup>1)</sup>

### 2.1 시험체 계획

지금까지 사용되어온 합성용 데크플레이트는 실험을 통하여 대부분의 합성슬래브에서 엔드슬립발생으로 콘크리트와 데크플레이트간에 부착력이 상실되어 초기 엔드슬립하중이 합성슬래브의 최대내력으로 결정되었으며 매우 취성적인 거동을 보이고 있는 것으로 확인되었다. 이에 따라 이러한 콘크리트와 데크플레이트 사이의 엔드슬립발생을 억제하고, 내화적인 측면에서도 만족할

수 있는 신형상의 합성용 데크플레이트를 개발하였으며 그 단면 형상은 그림1과 같다. 이 데크플레이트를 사용한 합성슬래브 시험체는 표1과 같다.

표 1. 합성슬래브 시험체일람표(mm)

시험체 Type	데크출	두께	Topping 콘크리트	순 스펠	시험체 일련 No.	Stud
SPI50	50	1.2	85	2700	1	유
				3000	3	유
				3300	5	유
		1.6	90	3600	7,8,9	유
					10,11,12	무
				3600	14,15,16	유
SPI75	75	1.2	90	3300	17	무
					19	유
				3600	21,22,23	유
		1.6	95		24,25,26	무
				3900	28	유
				3600	30,31,32	유
			33	무		
			3900	35	유	

주)스터드 보강 :  $\phi 16 @ 150$

전단스팬이 L/3인 시험체 : SPI-7,10,14,30

전단스팬이 L/7인 시험체 : SPI-8,11,15,21,24,31

기타 실험체는 전단스팬 L/4 임

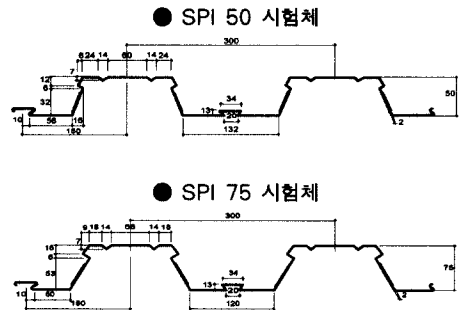


그림 1. 데크플레이트 단면형상

### 2.2 실험으로부터 얻은 결과

#### 2.2.1 스텐드 보강 유무에 따른 휨강성 비교

모든 시험체에서 스텐드 보강이 초기강성에 큰 영향이 없으며 최대내력에서는 스텐드 무보강시험체가 SPI50 계열에서는 최대 20.2%, SPI75 계열에서는 22.4%~37.1%정도 낮게 나타나 춤이 큰 경우가 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

이러한 경향은 이론하중( $P_n$ )과 최대하중( $P_{max}$ )

의 비교에 있어서도 나타나는데 SPI50계열 시험체는 스티드 보강 유무에 관계없이 1.12~1.26의 범위로 실험 최대하중이 높지만 SPI75계열에서는 스티드를 보강하지 않은 시험체는 0.94~0.97, 보강한 시험체는 1.08 ~1.23로  $P_{max}/P_n$ 이 나타났다.

표 2. 스티드 유무에 따른 휨내력에 관한 비교

계열	시험체	$P_{max}$ (ton)	$P_n$ (ton)	$P_{max}/P_n$	스티드
SPI 50	SPI9	7.36	5.88	1.25	보강
	SPI12	7.40	5.88	1.26	무보강
	SPI16	9.75	8.69	1.12	보강
	SPI17	9.72	8.69	1.12	무보강
	SPI22	9.1	7.38	1.23	보강
SPI 75	SPI23	8.93	7.38	1.21	보강
	SPI25	7.06	7.38	0.96	무보강
	SPI26	6.95	7.38	0.94	무보강
	SPI32	11.88	10.96	1.08	보강
	SPI33	10.67	10.96	0.97	무보강

$P_{max}$  : 실험 최대 하중  $P_n$  : 이론 최대 하중

$P_n$  : 합성슬래브의 전단면을 고려하여구한 단면2차모멘트를 적용하여 탄성보 이론식으로부터 구한 합성슬래브의 하중

### 2.2.2 테크플레이트 두께에 따른 휨강성 비교

표 3. 테크플레이트 두께에 따른 비교

계열	시험체	두께 (mm)	$P_{max}$ (ton)	$P_n$ (ton)	비교	$P_{max}/P_n$
SPI50	SPI12	1.2	7.40	5.88	0.76	1.26
	SPI17	1.6	9.72	8.69	1.00	1.12
	SPI7	1.2	5.64	4.41	0.77	1.28
	SPI14	1.6	7.33	6.52	1.00	1.12
	SPI9	1.2	7.36	5.88	0.75	1.26
SPI75	SPI16	1.6	9.75	8.69	1.00	1.12
	SPI25	1.2	7.06	7.38	0.66	0.96
	SPI33	1.6	10.67	10.96	1.00	0.94
	SPI22	1.2	9.10	7.38	0.77	1.23
	SPI32	1.6	11.88	10.96	1.00	0.97
	SPI21	1.2	17.10	12.92	0.84	1.32
SPI31	1.6	20.36	19.18	1.00	1.06	

모든 계열에서 테크플레이트 두께 1.2mm인 경우가 1.6mm인 경우보다 최대내력이 16~34%(SPI75)정도 낮게 나타났다.  $P_{max}/P_n$ 에 있어서 SPI50 계열은 두께 1.2mm는 1.25~1.26, 1.6mm는 1.12로 나타났으며 SPI 75 계열에서는 스티드 보강된 시험체에서는 두께 1.2mm는 1.21~1.23, 1.6mm는 1.04~1.08로 높게 나타났다나 무보강인 경우에는 두께 1.2mm는 0.9

4~0.96, 1.6mm는 0.97로 낮게 나타났다. 따라서 합성슬래브에 스티드볼트로 전단 보강이 된 경우에 두께가 1.2mm인 시험체가 1.6mm시험체보다  $P_{max}/P_n$ 비가 높음을 알 수 있다.

### 2.2.3 처짐예측식에 관한 고찰

#### ◆ Branson의 제안식(ACI)

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

여기서,  $M_a \leq M_{cr}$  이면  $I_e = I_g$

$M_{cr}$  : 콘크리트의 균열모멘트(t·cm)

$M_a$  : 처짐이 계산되어진 상태에서의 최대 휨모멘트(t·cm)

$I_g$  : 중심축에서의 전단면을 고려한 단면 2차모멘트 (cm<sup>4</sup>)

$I_{cr}$  : 균열단면에서의 단면 2차모멘트(cm<sup>4</sup>)

#### ◆ Porter의 제안식(ASCE)

$$I_d = \frac{I_u + I_{cr}}{2} \quad (2)$$

$I_u$  : 비균열단면 2차 모멘트

이 식을 이용하여 합성슬래브의 처짐 발생 경향을 분석, 고찰하였다. ACI와 ASCE에서 제안하고있는 유효단면2차모멘트를 적용한 처짐 예측과 실험에서 하중에 따른 처짐 및 단면 2차모멘트 ( $I_{exp}$ )를 구하여 비교, 정리하였다.

표 4. 처짐예측식과의 비교

시험체 명	$M_{cr}$	$I_e$	$I_d$	$I_{exp}$	$\delta_{cr}$ (예측/실험)	
					ACI	ASCE
SPI1	60.98	12448.7	9469.0	7904.7	0.63	1.67
SPI5	60.98	11452.9	9469.0	8327.8	0.73	1.76
SPI8	65.4	14017.7	10505.6	10636.2	0.76	2.02
SPI11	65.4	13865.5	10505.6	12111.3	0.87	2.18
SPI14	69.08	14737.8	11106.3	13358.8	0.91	1.95
SPI16	69.08	14668.9	11106.3	12845.8	0.88	2.31
SPI19	83.93	16996.6	15149.4	19762.5	1.16	1.54
SPI26	88.91	22185.7	16508.5	17145.7	0.77	2.08
SPI28	88.91	22114.9	16508.6	18781.9	0.85	2.28
SPI31	94.64	23751.1	17548.9	19637.2	0.83	2.23
SPI35	94.64	23751.1	17548.9	20531.0	0.86	2.34

ACI 처짐식과 본 실험을 통하여 얻은 처짐량을 비교해보면 균열발생전에서는 대체적으로 실험에서 처짐이 많이 발생하는 것으로 나타났으며 ASCE규준에서는 반대경향을 보이고 있다.

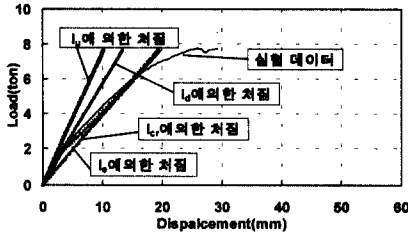


그림 2. SPI3 시험체 비교

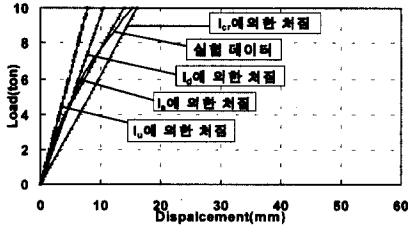


그림 3. SPI21 시험체 비교

또한 실험의 처짐 그래프에서 보듯이 합성슬래브의 슬립발생경향이 없는 것을 알 수 있다.

### 3. 유효단면 2차모멘트의 제안

#### 3.1 제안식의 배경

철근 콘크리트 보 또는 데크플레이트를 사용한 합성 슬래브와 같이 서로 다른 재료로 구성된 부재는 각각의 재료의 특성과 거동에 따라 휨강성 (EI)이 변하게 된다. 즉 콘크리트의 균열발생 여부에 따라 휨강성을 고려하여야 한다. 콘크리트가 받고 있는 모멘트가 균열모멘트( $M_{cr}$ )이하인 경우 콘크리트의 휨균열은 발생하지 않으며 따라서 비균열단면인 전체단면으로 응력에 저항하며, 휨강성 역시 전체단면에 대해 산출해야 한다.

그러나 하중이 증가하여 콘크리트에 휨균열이 발생하는 경우에는 슬립발생과 더불어 비합성거동을 보이므로 전단면을 고려할 수 없기에 많은 실험연구와 이를 통해 얻은 데이터의 통계처리 과정을 거쳐 구한 유효단면 2차모멘트를 사용하여야 한다. 이러한 식중에 ACI 318-83 경우 철근콘크리트 구조에 대한 처짐량을 아래 식으로

제시하고 있다.

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left(1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right) I_{cr} \leq I_g \quad (식3)$$

$$M_a \leq M_{cr} \text{ 이면 } I_e = I_g$$

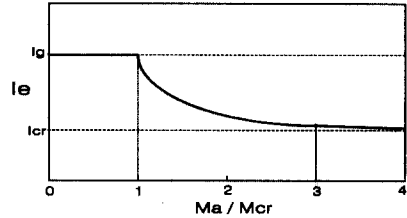


그림 4. 유효단면 2차모멘트(ACI 기준)

위 그림과 같이 ACI기준에서는  $M_a$ 가  $M_{cr}$ 보다 작은 경우는 균열에 의한 단면의 손실은 없는 것으로 보아 유효단면 2차모멘트를 전단면에 대한 단면 2차모멘트( $I_g$ )를 사용하고 있으며  $M_a/M_{cr}$ 이 3 이상 되는 부분에서는 유효단면 2차모멘트를 균열단면 2차모멘트( $I_{cr}$ )로 간주하여도 무방하다고 할 수 있다. 그리고  $M_a/M_{cr}$ 이 1~3의 범위 내에서는 단면 2차모멘트의 감소를  $M_a/M_{cr}$ 의 3제곱에 반비례하는 것으로 산정하고 있음을 알 수 있다.

#### 3.2 제안식의 유도

Lamport의 처짐 제안식은 ACI의 기준식에 근거하여 균열모멘트보다 작은 범위에서도 강성의 감소는 일어난다고 보아 Topping콘크리트의 두께와 데크플레이트 춤을 변수로 회귀분석을 통해 강성의 감소를 1차식으로 유도해 균열모멘트의 경계에 관계없이 전체단면의 단면 2차모멘트에 곱하여 사용하고 있다<sup>1)</sup>.

#### ◆ Lamport의 제안식

$$M_a < M_{cr} \quad I_e = k I_u \quad (식4)$$

$$M_a \geq M_{cr}$$

$$d_d \leq 2in$$

$$I_e = k I_u (M_{cr}/M_a)^{0.55} + [1 - (M_{cr}/M_a)^{0.55}] I_D \leq k I_u \quad (식5)$$

$$d_a = 3in$$

$$I_e = k I_u (M_{cr} / M_a)^{1.3} + [1 - 1 (M_{cr} / M_a)^{1.3}] I_D \leq k I_u \quad (식6)$$

표 5. Lamport의 강도저감계수

Topping 콘크리트 두께 ( $t_c$ ) (in)	데크플레이트의 층 ( $d_d$ ) (in)	초기강도저감계수 ( $k$ )
$t_c \leq 3.4$ (86.36mm)	관계없음	$k = 1.0$
$3.4 \leq t_c \leq 5.1$ (86.36mm $\leq t_c \leq 129.54$ mm)	$d_d = 1\frac{1}{2}$ (38.1mm)	$k = 1.0$
	$d_d = 2in$ (50.8mm)	$k = 2.0 - 0.293t_c \leq 1.0$
	$d_d = 3$ (76.2mm)	$k = 1.536 - 0.185t_c \leq 1.0$

그러나 Lamport의 처짐식을 본 연구의 실험상 합성슬래브 실험과 비교한 결과 약간의 오차를 보이고 있으며, Lamport식에서 강도저감계수( $k$ )의 산정에 있어 다소 복잡한 과정을 거쳐야 한다는 단점을 지니고 있다고 사료된다. 따라서 보다 간단하게 적용을 할 수 있으며 본 연구에서 개발한 실험상의 합성용데크플레이트를 적용한 합성슬래브에 보다 정확하게 적용할 수 있는 식을 실험결과로부터 다음과 같은 과정을 거쳐 구한 식을 제안하고자 한다.

① 우선 모멘트가 균열모멘트 이하에서는 휨강성의 저하는 없는 것으로 가정하여 유효단면 2차모멘트를 전체 단면적에 대한 단면 2차모멘트로 산정한다.

② 균열모멘트 후 강성을 전체 단면적에 대한 단면 2차모멘트에서 데크플레이트의 단면 2차모멘트를 제외시키고  $M_{cr}/M_a$ 에 대해 전 시험체에 대해 회귀분석을 실시하여 균열모멘트 후 콘크리트 부분의 단면 2차모멘트의 감소 추세를 파악한다.

③ 강성의 저감계수는 데크플레이트 층에 따라 균열모멘트 이후 콘크리트 부분의 단면 2차모멘트의 감소 추세를 반영할 수 있도록 ②번 과정에서 얻은 회귀식에서 계수만을 가지고 다시 분석을 실시하여 산출한다.

이 과정을 통해 얻은 식은 다음과 같다.

$$i) M_a < M_{cr} \quad I_e = I_u \quad (식7)$$

$$ii) M_a \geq M_{cr}$$

$$I_e = k(I_u - I_D)(M_{cr}/M_a)^{0.5} + I_D \leq I_u \quad (식8)$$

$$SPI 50 \text{ 계열 } k = 0.87(t_c + t)$$

$$SPI 75 \text{ 계열 } k = 0.7(t_c + t)$$

$t_c$  : Topping concrete 두께 ( $cm \times 10^{-1}$ )

$t$  : 데크플레이트 두께 ( $cm$ )

$I_D$  : 합성단면 중심축에 대한 데크플레이트의 단면 2차모멘트 ( $cm^4$ )

제안된 상기의 식으로 각 시험체의 하중-처짐곡선을 비교하여 아래 그림 5, 6에 나타내었다. SPI 50 및 SPI 75 계열에서는 대부분 제안식과 실험의 하중-처짐곡선이 ACI 및 Lamport의 제안식보다 잘 일치하고 있다고 판단되나 SPI19와 같은 경우 다소 오차를 보이고 있다. 따라서 상기의 제안식은 데크플레이트의 층이 50mm인 SPI 50계열에서 충분히 적용 가능하다고 판단되며, 데크플레이트의 층이 75mm인 SPI 75계열에서는 표본 수를 늘려 강도저감계수를 회귀분석에 대한 검토가 필요하다고 판단된다.

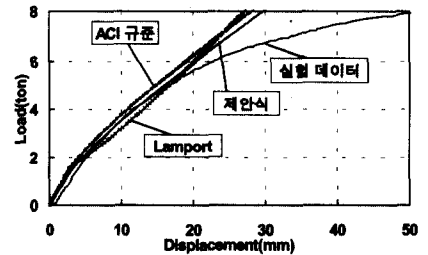


그림 5. 제안식과의 하중-처짐곡선 비교(SPI5)

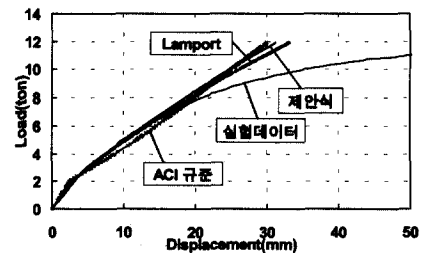


그림 6. 제안식과의 하중-처짐곡선 비교(SPI32)

## 4. 유한요소해석

### 4.1 유한요소해석의 목적

지금까지 ACI규준이나 ASCE 규준 및 기타 기존의 연구에서 데크플레이트의 세부적인 단면 요소에 따른 합성슬래브의 거동에 대해 이론적으로 명확하게 정립되어 있지 않으며 이에 따라 Locking rib나 Dovetail등은 이론식에서 단면2차모멘트에 영향을 미치지 않는다. 이러한 단면의 세부적인 요소의 구조적 특성에 관하여 해석적인 고찰을 위하여 Locking rib와 Dovetail을 변수로 하여 유한요소 해석을 실시한다.

### 4.2 개요

본 연구에 사용된 해석프로그램은 3차원의 Solid 요소를 사용하여 해석을 수행할 수 있는 UNIX SYSTEM환경 프로그램인 ABAQUS 패키지를 사용한다. 해석모델링 개발은 본 연구의 실험상의 합성용 데크플레이트를 사용한 합성슬래브의 실험에 근거를 두고 모델링을 한다.

### 4.3 적용한 ABAQUS의 요소

#### 4.3.1 콘크리트 모델링

이 프로그램은 Solid요소로서 HEX8요소나 WEDGE6 요소를 제공하고 있는데 콘크리트 부분은 HEX8 요소로 분할, 모델링을 하였다.

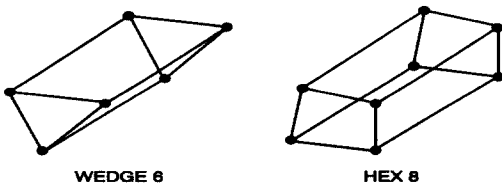


그림 7. Finite Element(Solid 요소)

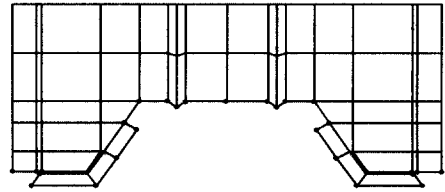


그림 8. 콘크리트 부분의 Element 분할 단면

#### 4.3.2 데크플레이트 모델링

데크플레이트는 쉘 요소인 QUAD4 element로서 모델링을 하였다. 따라서 데크플레이트는 3D-Interface의 하부면에 일치하게 되며 형태는 선이지만 해석시에는 1.2mm의 단면을 가진 재료로서 해석이 이루어진다. 데크플레이트의 단면에서의 검은 점은 분할되는 절점을 나타낸다.



그림 9. Shell Element 그림10. 데크플레이트 요소 분할

#### 4.3.3 콘크리트와 데크플레이트의 Interface

콘크리트와 데크플레이트간의 contact 모델링을 위해 해석에 3D-Interface element를 적용하였다. 3D-Interface 요소도 HEX8요소로 두께 1.2mm로 모델링 하였으며 그림11과 같은 형상을 가지며 검은 점의 절점은 콘크리트의 절점과 연결되는 절점을 나타내며 단면의 굽은 실선의 하부 면은 쉘 요소인 데크플레이트가 위치하는 면을 나타내는 것이다.



그림 11. 3D-Interface 요소의 분할(SPC 모델)

#### 4.4 3D-Interface 요소의 거동 특성

3D-Interface 요소는 두 절점간에 전달되는 힘을 세 요소로 나누어 전달시키는데 그림12와

같은 절점간 힘전달 체계를 가지는데 이 힘은 Integration point를 기준으로 하여 두 절점간 압축력을 전달하며 상하 두 면에 중립적으로 평행하게 마찰력이 전달된다. 이 마찰력은 등방성 및 비등방성 형태로 설정을 할 수가 있다.

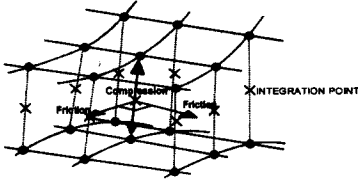


그림 12. 3D-Interface 절점간의 힘 전달

여기서 마찰력은 마찰계수를 통하여 설정되어지며 3방향으로 비등방성으로 적용할 수 있지만 본 해석에서는 등방성의 마찰계수를 적용하였다.

#### 4.5 각 요소의 재료특성

유한요소 해석시의 콘크리트와 강재의 거동 특성은 다음과 같다.

- ①강재는 압축에서 인장과 같은 거동.
- ②콘크리트의 인장응력은 압축응력의 10%.

이와 같은 거동 특성에서 각 Element의 재료 특성은 본 연구에서 수행한 테크플레이트 강재 및 콘크리트의 재료 시험결과를 적용하였다.

#### 4.6 해석모델

합성용테크플레이트를 사용한 합성슬래브의 단면요소의 구조적 거동을 규명하기 위하여 SPC Type의 테크플레이트(두께1.2mm)를 사용한 합성슬래브에 대하여 다음과 같은 6 Type의 모델을 설정하였다.

SPI19L과 SPI10L은 SPI19와 SPI10에서 Locking Rib의 구조적인 특성을 파악하기 위하여 모델에서 Locking Rib를 생략한 단면이며 SPI19D와 SPI10D는 Dove Tail의 구조적인 특성을 파악하기 위한 것이다.

표 6. 해석 모델의 개요(mm)

해석 모델명	모델의 변수				
	순스팬	전단스팬	두께	Topping 콘크리트	스터드
SPI19	3300	82.5	1.2	900	유
SPI19L	3300	82.5	1.2	900	유
SPI19D	3300	82.5	1.2	900	유
SPI10	3600	120	1.2	900	무
SPI10L	3600	120	1.2	900	무
SPI10D	3600	120	1.2	900	무

그림 13은 이러한 해석모델의 테크플레이트의 단면을 나타낸다.

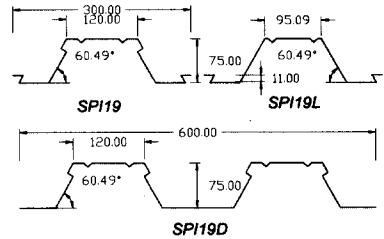


그림 13. SPL19 계열의 해석 모델(테크플레이트)

#### 4.7 해석결과분석

ABAQUS 프로그램의 이와 같은 설정으로 해석을 수행하여 얻은 결과를 다음과 같다.

##### 4.7.1 휨강성의 분석

1) SPI19 시험체의 해석(시험체와 동일 모델)  
SPI19 해석의 해석결과는 그림 14와 같이 합성슬래브의 항복 후 거동이 잘 일치하며 탄성구간은 재료의 입력 형태와 같이 해석이 되어 선형으로 나타났다. 실험에 따른 제안식과 Lamport의 이론식, ACI 규준식에 비하여 안정적인 측면으로 휨강성이 나타났으며 실험에 비해 최대강도가 5%정도 낮게 나타났다.

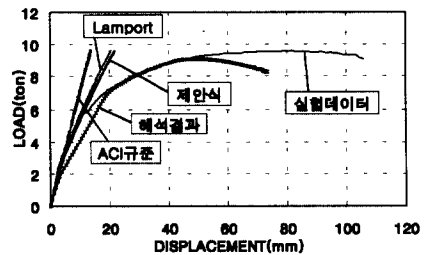


그림 14. SPI19 시험체의 해석 결과

2) SPI19와 SPI19L, SPI19D의 해석 비교

Locking rib와 Dove tail을 변수로 둔 유한요소 해석결과는 그림 15와 같다. 이 결과를 보면 기존의 이론식에 의해서는 합성슬래브의 단면 2차모멘트가 각 해석모델에서 같지만 유한요소해석은 단면에 따른 합성슬래브의 최대강도에 차이가 발생하였다. 여기서 SPI19 해석모델이 가장 큰 최대강도를 나타내고 있으며 그 다음 SPI19L이 5%, SPI19D가 10%정도로 떨어지는 결과를 보여주고 있다. 초기 강성에서는 별 차이가 나지 않는 것으로 결과가 나왔다. 또한 해석결과 SPI19L이 합성슬래브의 최대강도에서 더 크게 나타났다. 이것은 데크플레이트 웹부분의 Dovetail 생략이 SPI19L의 Locking rib의 생략에 비하여 합성슬래브의 휨강성저하에 상대적으로 더 크게 영향을 미치는 것으로 판단된다.

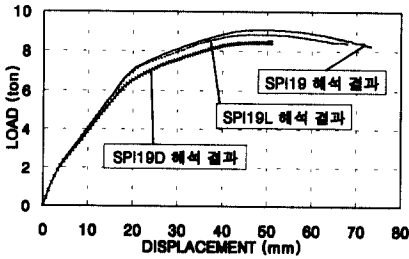


그림 15. SPI19와 SPI19L, SPI19D의 해석 비교

3) SPI10 시험체의 해석(시험체와 동일 모델)

SPI10 해석의 해석결과는 그림 16과 같다.

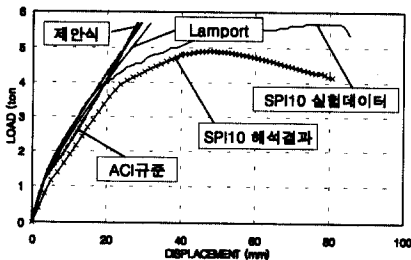


그림 16. SPI10 시험체의 해석 결과

이 그림에서 ACI규준 및 기존의 이론식, 실험에 따른 제안식에 비하여 초기 강성이 다소 낮게 나타났으며 최대강도에 있어서도 실험결과와 거

동 경향은 일치하지만 다소 낮은 해석 결과를 보여주고 있다. 또한 SPI10의 실험은 합성슬래브의 항복 후 내력의 상승을 나타내고 있으나 해석에서는 4.9ton에서 종국 강도를 보여주고 있다.

4) SPI10과 SPI10L, SPI10D의 해석 비교

SPI10 type에서의 데크플레이트 단면요소의 영향에 대한 유한요소 해석결과는 그림 17과 같으며 단면요소의 영향이 SPI19 type에 비해 상대적으로 크게 나타나고 있다. 이는 데크플레이트 층의 차이에서 비롯되는 것으로 사료된다.

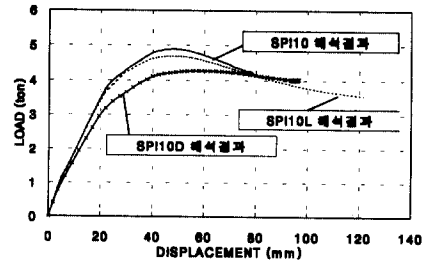


그림 17. SPI10과 SPI10L, SPI10D의 해석결과 비교

이 결과에서도 SPI19 type에서와 마찬가지로 Dove tail의 생략에 따른 최대강도저하가 크므로 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 SPI10 type에서는 Dovetail의 생략에 따른 휨강성의 저하정도가 SPI19 type에 비해 상대적으로 크게 나타나고 있다. 이것은 SPI10 type의 데크층이 SPI19 type에 비하여 낮은 관계로 Dovetail의 영향이 상대적으로 크게 나타나는 것으로 사료된다.

이와 같이 SPI19 type 및 SPI10 type의 해석 결과에서 보듯이 Dovetail에 의한 휨강성의 영향이 Locking rib에 따른 휨강성의 영향보다 상대적으로 큰 것으로 사료된다.

4.7.2 END SLIP 발생경향 분석

합성슬래브의 단면 요소가 콘크리트와 데크플레이트의 전단 부착에 미치는 영향을 파악하기 위하여 각 해석모델 끝단의 콘크리트 절점과 데



크플레이트 절점간의 Slip을 검토하였다

유한 요소 해석에서의 End Slip 효과는 실험체의 End Slip만큼의 가시적인 크기로 발생하지는 않았으나 하중에 따른 Slip 양으로 전단 부착거동의 경향은 파악할 수가 있었다.

1) SPI19와 SPI19L, SPI19D의 해석 비교

SPI19의 Endsliip 경향은 하중재하의 초기부터 선형적으로 증가하여 최대 강도에 이르렀을 때 급격히 증가하는 추세를 보이고 있으며 SPI19L의 경우 SPI19와 크게 차이가 나지 않지만 중간단계(4-6ton)에서 Slip 발생이 정지하는 현상을 보여주고 있으며 SPI19D는 초기의 Endsliip은 가장 낮게 나타나지만 합성슬래브의 파괴 현상에 있어서 가장 취성적인 거동을 보여주고 있음을 알 수 있다.

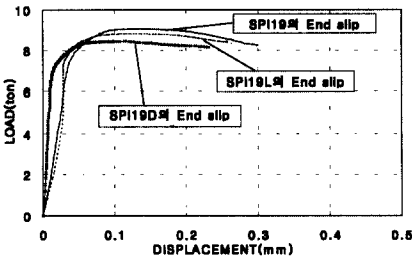


그림 18. SPI19 Type의 End Slip 해석 비교

2) SPI10과 SPI10L, SPI10의 해석 비교

SPI10 type의 Endsliip의 휨강성에서와 마찬가지로 변수로 설정한 단면요소의 영향이 SPI19 type에 비해 상대적으로 크게 나타나고 있다.

단면요소에 따른 Endsliip 발생경향은 SPI19 type과 거의 일치하는 결과를 보여주고 있다.

SPI19 type의 결과와 마찬가지로 SPI10과 SPI10L의 Endsliip 발생경향은 거의 일치하며 단지 합성슬래브의 휨강성의 차이에서 따라 합성슬래브의 항복이후의 Endsliip이 약간 차이가 난다.

동일한 하중 상태에서는 SPI10보다 SPI10L이 Slip이 더 크게 나타났다. SPI10D는 SPI19

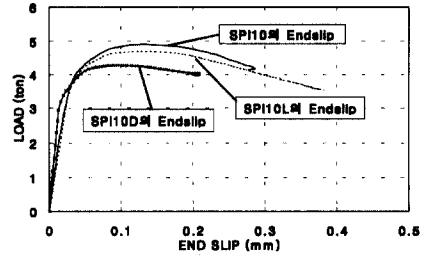


그림 19. SPI10 Type의 End Slip해석 비교

type의 결과와 유사하게 초기 Endsliip은 다소 낮게 나타나며 이것은 합성슬래브의 파괴가 가장 취성적인 거동을 할 것으로 사료된다.

5. 결 론

5.1 합성슬래브 실험

본 연구에서 개발된 신형상의 합성용 데크플레이트를 사용한 합성슬래브는 그 단면의 효율적인 설계에 의하여 거의 완전한 합성거동(슬립에 따른 취성거동을 보이지 않음)을 보이는 것으로 검증되었다. 또한 실험을 통하여 합성슬래브의 거동에 영향을 미치는 요소를 검토한 결과 초기강성은 스티드 보강 유무에 관계없이 전 계열에서 유사하게 나타났으며, 데크플레이트 두께가 1.2mm 인 시험체가 1.6mm인 시험체보다 다소 낮게 나타났다. 최대내력의 경우 데크플레이트의 춤인 50인 경우는 스티드 보강유무에 영향을 크지 않으나 75인 경우는 무보강한 시험체가 보강한 시험체보다 22%~37%정도 낮게 나타나 비교적 큰 영향을 받는 것으로 사료된다. 또한 데크플레이트 두께에 따라 1.2mm 시험체가 1.6mm시험체보다 8% -25%(SPI50), 16%-34%(SPI75) 낮게 나타났다. 처짐예측식에 있어서는 균열 모멘트 이전 단계에서 ASCE에 의한 예측처짐량보다 전 계열에서 작게 나타나 ASCE 제안식이 상한치로 충분한 적용 가능성이 있다고 판단된다.

본 연구에서 제안한 유효단면 2차모멘트식은 대부분 제안식과 실험의 하중-처짐 곡선이 ACI 및 Lamport의 제안식보다 잘 일치하고 있으나

SPI 75계열의 Topping concrete 90mm에 대한 시험체(SPI19시험체)에 있어서 다소 오차가 발생하였다. 따라서 신뢰성을 가지기 위해서는 보다 많은 실험이 필요한 것으로 사료된다.

## 5.2 유한요소해석에 관한 결론

유한요소해석결과에서 데크플레이트의 Locking rib와 Dovetail은 합성슬래브의 최대강도에 각각 5%-10%정도의 영향을 미치는 것으로 결과가 나왔다. 또한 Locking rib를 생략한 해석모델이 Dovetail이 없는 해석모델보다 최대강도가 크게 나타났다. 이러한 결과는 데크플레이트의 면적의 감소폭이 상대적으로 크기에 이러한 최대강도의 차가 발생하는 것으로 사료된다. 해석 데크플레이트의 단면 변화를 표 7에 나타내었다.

표 7. 해석 데크플레이트의 단면성능 변화

해석 모델명	중립축 (cm)	단면적 (cm <sup>2</sup> )	중립축 이동	단면적 감소	중립축이하 단면적 감소(cm <sup>2</sup> )
SPI19L	3.44	10.62 (5.82)	0.27	0.79	2.529%(0.151)
SPI19D	3.36	9.01 (4.73)	0.35	2.4	20.73%(1.238)
SPI10L	2.165	10.0 (5.37)	0.365	0.5	3.536%(0.197)
SPI10D	2.635	9.47 (4.58)	0.105	1.03	17.75%(0.989)

또한 단면 요소에 따른 엔드슬립 발생경향을 보면 Locking rib에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료되며 미소하게 증가하는 경향을 보였다. 상대적으로 Dovetail은 합성슬래브의 Slip 발생경향에 Locking rib에 비해 비교적 더 많은 영향을 미치는 것으로 사료된다.

데크플레이트의 단면요소가 합성슬래브의 구조적인 거동 특성에 미치는 영향은 데크플레이트의 춤이 작을수록 더 크게 나타났다.

데크플레이트의 춤이 75mm인 경우 Locking rib와 Dovetail은 합성 슬래브의 최대강도에서 각각 4%와 10%의 강도저하가 발생하였지만 데크플레이트의 춤이 50mm인 경우에는 7%와 13%로 최대 강도가 낮아졌다. 따라서 춤이 낮은 데크플레이트를 사용하는 합성슬래브에 있어서 Locking rib나 Dovetail 같은 굴곡요소가 큰 영향을 미치는 것으로 사료된다. 그러나 이러한 결과는 본 연구에서 개발한 신형상의 합성용데크플레이트를 대상으로 한 유한요소해석 결과이기 에 보다 폭넓은 적용을 위해서는 다양한 형태의 합성슬래브에 대하여 고찰을 하여야 하며 또한 실험을 통하여 검증이 되어야 할 것으로 사료된다.

## 감사의 말

본 연구는 포항제철(주)의 석좌교수 기금과 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터(STRESS)의 지원으로 수행한 연구입니다.

## 참 고 문 헌

- (1) 허 충 "데크플레이트를 사용한 합성슬래브의 구조적 거동 및 내력에 관한 연구" 한양대학교 박사학위논문, 1997
- (2) ASCE STANDARD, ANSI/ASCE3-91 Standard for the structural design of composite slab,
- (3) EUROCODE No.4 Design of Composite Steel and Concrete Structures, 1992.
- (4) BS5950 Part4 "Structural Use of Steelwork in Building", 1982.
- (5) "Standard for composite steel deck", CSSBI 12M-84, Canadian Sheet Steel Building Institute, Willowdale, Canada, 1988.
- (6) "Standard for the Structural Design of Composite Slabs", ANSI/ASCE 3-91, American Society of Civil Engineers, New York, 1992.

(접수일자 : 1999년 2월 5일)