

부착 안된 부분 P-C 슬래브의 해석

Analysis of Partially Prestressed
Concrete Slab without bond

박 홍 용 * () 최 익 창 ** 연 준 희 ***
Park Hong Yong Choi Ik chang Yon Jun Hui

ABSTRACT

This paper introduced truss model and one-way slab elastic Model to analyse flexure of unbonded prestressed concrete member.

After cracking, We could determine concrete membrane depth, deflection and stress. In order to do that, an numerical example of simply supported one way slab which has non-external membrane support($s = 0$) is analysed.

The analytical results using the analytical model were compared with several experimental results and were generally satisfied

1. 연구 목적 및 내용

슬래브의 프리스트레싱은 기술적 및 경제적인 장점이 두드러 진다. 프리스트레스된 연선이나 강선을 부착시키거나 또는 부착 안시킨채 추가의 비긴장 철근이 함께 사용되고있다. 휨에 대한 전달 거동을 부착 있는 것과 없는 프리스트레싱 간에는 거동에 있어서 본질적으로 차이가 있음이 알려져 있다.

부착 안된 PS 슬래브의 균열 거동을 파악하기 가 어렵고, 기껏해야 균질 단면으로 가정하여 1 차이론으로 결정된 단면력으로 콘크리트 인장 응력을 결정하는 것이 고작이다. 이것은 어느 고정된 값에 대해서 제한된다. 그러나 멤브랜으로 지지된 슬래브에서 균열 후 바로 뚜렷한 면내력이 발생할 수 있는 것을 고려하면, 사용 상태의 세밀한 판단을 위해서 2차 이론을 고려할 필요성이 있으며 이론적인 파괴 하중의 크기는 1차 또는 2차 이론을 적용하는 것에 따라 외부 멤브랜 지점에 있는 슬래브에서는 심하게 변화된다.

부착 안된 PS 슬래브와 PS 슬래브를 비교할 때 사용상태에서 뿐만 아니라 파괴 상태에서도 다른 거동을 보인다. 부착안된 슬래브에서 인장축 콘

크리트가 균열된 후 하중은 더 이상 휨부재에 의해서가 아니라 콘크리트 및 강제멤브랜에 의해서 전달된다. 그러므로 부착 안된 PS 슬래브에서 멤브랜거동은 상당히 중요하다.

외측 멤브랜 지점은 그림 1 a와 같이 수평 스프링으로 표시되며, 균열 하중을 초과할 때, 작은 처짐하에서, 사용상태의 균열 거동에 중대한 영향을 주는 면내력(Membrane Force)이 형성된다. 외측 멤브랜지점은 슬래브 중앙면의 평면에 슬래브 연단의 변위를 저항하는 것을 나타낸다. 외측 멤브랜지점은 스프링이 부착된 슬래브 시스템(테두리 보)로 또는 전개될 수 없는 처짐 평면에서 쉘을 형성시킬 슬래브 평면내에서 형성되는 인장 또는 압축 ring으로 될 수 있다(그림 1 b).

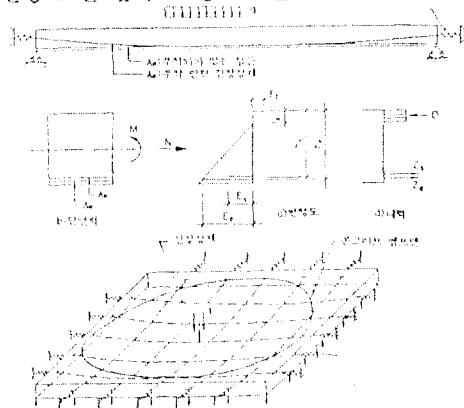


그림 1 프리스트레스된 슬래브 帶

* 경희원 명지대학교 토목공학과 부교수
** 명지대학교 토목공학과 석사과정
*** 명지대학교 토목공학과 석사과정

긴장강재 내에 인장력은 단면 평면 보존 법칙과 단면의 평형 조건만으로 결정 될 수 없으며 2차 이론(평형은 변형된 系에서 형성된다.)을 고려해야 한다.

본 연구에서는 부착 안된 PS 와 추가의 비긴장 철근이 있는 슬래브의 하중 전달 거동을 사용 상태 및 파괴 상태에서 조사하고, 기하학적 조건, 경계조건에 관해서 상세한 해석이 가능했다.

본 연구 모델에서 다음과 같은 문제에 대해서 언급했다.

- 사용 하중 및 파괴 상태에서 부착 안된 긴장 강재의 응력 증가
- 콘크리트의 유효 막 압축력
- 비긴장 철근의 영향
- 하중-처짐 관계
- 슬래브 系에서 경계조건의 영향

이론적인 조사와 함께 4개의 일방향 슬래브의 실험을 행하여 이 실험 결과를 통해서 이론적인 모델을 실험적으로 검토 할 수 있었으며, 실험 성과와 함께 일반적인 변수를 조정하고자 한다.

본 연구에서는 간단한 트러스 모델을 이용하여 콘크리트 및 강재 멤브랜의 하중전달 거동을 논하고, 각각의 系의 기하학적 형상, 및 외부 멤브랜 지점, 콘크리트 및 강재 멤브랜의 제원에 의해서 하중 전달의 영향을 조사 하고, 콘크리트 및 강재의 여러 가지 응력 변형도 관계를 근거로 하여 3개의 일방향 판 모델로 발전 시킬 수 있다.

- 첫번째 일방향 모델인 "탄성 모델"
- 두번째 일방향 모델인 "완전 소성 모델"
- 세번째 일방향 모델인 "외부 및 내부 스프링을 갖는 모델"

이 논문에서는 첫번째 모델인 "탄성 모델"에 대해서만 논했다.

2. 트러스 모델

그림 2와 같은 트러스 모델에서 부착 안된 PS 일방향 슬래브의 원칙적인 작용양식을 조사한다.

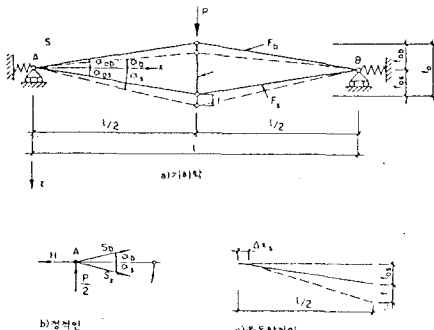


그림 2 트러스 모델

2.1 기본 가정

- 콘크리트와 강재는 활절 연결된 트러스 부재처럼 일정한 단면을 가지고 작용한다.
- 휨 영향은 무시한다.
- 강재 변형도 및 콘크리트 파쇄는 고려되지 않는다.
- 외부 스프링은 선형 탄성 거동을 한다. 스프링 강성도 S는 0 - ∞사이의 값을 갖을 수 있다
- 콘크리트 및 강재의 변위는 외부 스프링 처럼 점 A 및 B 에서 같은 크기의 변위를 갖는다.

2.2 하중 - 처짐 관계

절점 A에서 변형된 系(그림 4.1C)에서 구성되는 평형 조건은 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$\sum X=0: H=S_c+S_a \quad (\because \cos \alpha_c \approx 1, \cos \alpha_a \approx 1) \quad (2.1)$$

$$\sum X=0: P/2 = S_c \cdot \sin \alpha_c + S_a \cdot \sin \alpha_a \quad (2.2)$$

식(2.1)에서는 α_c 와 α_a 가 얇은 보와 판에서는 작은 각이라는 것을 고려했다. 변형 안 된 강재 부재(그림 2.C)에서는 다음과 같은 기하학적 조건이 이루어 진다.

$$\left(\frac{1}{2}\right)^2 + (f_{os})^2 = \left(\frac{1}{2} - \Delta X_a\right)^2 + (f_{os} + f)^2$$

2.2.1 콘크리트 및 강재의 탄성 재료 거동

콘크리트와 강재의 응력-변형도 관계를 탄성적인 것으로 가정하여, 강재 부재와 콘크리트 부재 각각의 변형을 $\Delta l_c/2$ 와 $\Delta l_a/2$ 로 표시하면, 콘크리트 부재에 대해서 2차의 작은 값을 무시하면 절점A에서의 수평 변위는 다음과 같다.

$$\Delta X_c = \frac{2 \cdot f_{oc} \cdot f}{1} + \frac{f^2}{1} - \frac{\sigma_c}{E_c} \times \frac{1}{2} \quad (2.3)$$

$$\Delta X_a = \frac{2 \cdot f_{oa} \cdot f}{1} + \frac{f^2}{1} - \frac{\sigma_a}{E_a} \times \frac{1}{2} \quad (2.4)$$

$$\Delta X_F = \frac{H}{S} \quad (2.5)$$

콘크리트 및 강재 부재의 점 A에서 형성된 적합 조건은 외부 스프링과 같게 된다.

$$\Delta X_c = \Delta X_a = \Delta X_F \quad (2.6)$$

식(2.1)-(2.6)는 채택된 재료의 성분과는 무관하며, 식(2.1)과 식(2.6)를 이용하여 식(2.6)-식(2.8)로부터 σ_c, σ_a 및 H를 처짐 f의 함수로 표시 할 수 있다. σ_a 와 H를 소거하면, 응력 및 외적 멤브랜 Force는 다음과 같이 계산된다.

$$\sigma_c = 4 \cdot E_c \cdot \frac{\xi^2/2 + \xi(\xi_{oc} - 1/v_s \cdot \xi)}{k} \quad (2.7)$$

$$\sigma_a = 4 \cdot E_a \cdot \frac{\xi^2/2 + \xi(\xi_{oa} + 1/v_s \cdot \xi)}{k} \quad (2.8)$$

$$H = \frac{4}{k} \cdot [A_c \cdot E_c \{ \frac{\xi^2}{2} + \xi(\xi_{oc} - \frac{1}{v_s} \xi) \} + A_a \cdot E_a \{ \frac{\xi^2}{2} + \xi(\xi_{oa} - \frac{1}{v_c} \xi) \}] \quad (2.9)$$

여기서

$$n = E_a / E_c, \quad \xi = f / l, \quad \xi_{oc} = f_{oc} / l, \quad \xi_{os} = f_{os} / l, \\ \xi_o = f_o / l, \quad f_o = f_{oc} + f_{os} \\ V_c = \frac{1/2 \cdot S}{A_c \cdot E_c}, \quad V_s = \frac{1/2 \cdot S}{A_s \cdot E_s}, \quad k = 1 + \frac{1}{V_c} + \frac{1}{V_s}$$

식(2.7)과 식(2.8)에서 $\sin \alpha_c = 2 \cdot (f_{oc} + f) / l$ 과 $\sin \alpha_s = 2 \cdot (f_{os} + f) / l$ 을 대입하면 하중을 처짐의 방향으로 표시할 수 있다.

$$P = \frac{16 \cdot A_c \cdot E_c}{k} \times \left[\frac{\xi^3}{2} + \xi^2 \left(-\frac{3}{2} \xi_{oc} - \frac{1}{V_c} \xi_o \right) + \xi \left(\xi_{oc}^2 - \frac{\xi_o \xi_{oc}}{V_c} \right) \right] \\ + \frac{16 \cdot A_s \cdot E_s}{k} \times \left[\frac{\xi^3}{2} + \xi^2 \left(-\frac{3}{2} \xi_{os} - \frac{1}{V_c} \xi_o \right) + \xi \left(\xi_{os}^2 - \frac{\xi_o \xi_{os}}{V_c} \right) \right] \quad (2.10)$$

극단적인 경우 $S=0$ 이면 단순보의 거동처럼 되어, 식(2.7)~식(2.10)는 다음과 같이 간단히 된다.

$$\sigma_c = - \frac{4 \cdot A_s \cdot E_s \cdot \xi_o}{A_c + n \cdot A_s} \xi \quad (2.7a)$$

$$\sigma_s = \frac{4 \cdot A_c \cdot E_c \cdot \xi_o}{A_c + n \cdot A_s} \xi \quad (2.8a)$$

$$H = 0 \quad (2.9a)$$

$$P = \frac{16 \cdot A_c \cdot A_s \cdot E_s \cdot \xi_o^2}{A_c + n \cdot A_s} \xi \quad (2.10a)$$

응력과 하중은 처짐과 선형관계에 있다(그림). 이 경우에 대해서 변형 안된 계에 평형 조건을 세우면 같은 결과를 얻는다. 즉 2차 이론으로서 는 외부 멤브랜 지점이 없는 얇은 보에서는 아무런 영향을 주지 못한다.

$S=\infty$ 인 경우, 즉 강체의 외부 멤브랜 지지이면,

$$\sigma_c = 4 \cdot E_c \cdot \left(\frac{\xi^2}{2} + \xi \cdot \xi_{oc} \right) \quad (2.7b)$$

$$\sigma_s = 4 \cdot E_s \cdot \left(\frac{\xi^2}{2} + \xi \cdot \xi_{os} \right) \quad (2.8b)$$

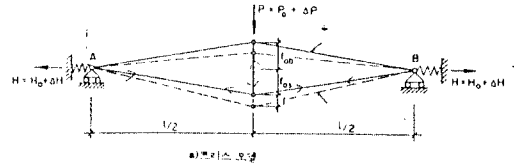
$$H = 4 \cdot \left[A_c \cdot E_c \left(\frac{\xi^2}{2} + \xi \cdot \xi_{oc} \right) + A_s \cdot E_s \left(\frac{\xi^2}{2} + \xi \cdot \xi_{os} \right) \right] \quad (2.9b)$$

$$P = 16 \cdot A_c \cdot E_c \left(\frac{\xi^3}{2} + \frac{3}{2} \xi^2 \cdot \xi_{oc} + \xi \cdot \xi_{oc}^2 \right) \\ + 16 \cdot A_s \cdot E_s \left(\frac{\xi^3}{2} + \frac{3}{2} \xi^2 \cdot \xi_{os} + \xi \cdot \xi_{os}^2 \right) \quad (2.10b)$$

강력한 외부 멤브랜 지지일 경우 강재와 콘크리트는 서로 영향을 주지 않는다.

2.3 PS Force

강재내의 긴장력 V_o 는 콘크리트 부재내에 S_{co} , 외적 멤브랜 Force H_o 와 연직하중 P_o 와 평형상태에 있다(그림 4.5). 변형전 계에서 작용하는 긴장력을 V_o 로 표시한다.



비변형된 부재의 힘

이탈당한 단면의 길이 지점에서 상향력의 변화

그림 3 PS 보를 받는 보의 모델

콘크리트와 강재가 탄성적으로 거동할 때 간단한 부정정 문제의 해법으로서 부재력을 구한다.

$$S_{co} = -V_o \frac{1}{1 + V_c} \quad (2.11)$$

$$H_o = V_o \frac{V_c}{1 + V_c} \quad (2.12)$$

$$P_o = -4 \frac{1}{1 + V_c} V_o \cdot \xi_{oc} + 4 \cdot V_o \cdot \xi_{os} \quad (2.13)$$

변형된 후의 부재력은 다음과 같다.

$$S_c = V_o + \Delta S_o \quad (2.14)$$

$$S_s = S_{co} + \Delta S_c \quad (2.15)$$

연직력 P 는 평형상태에서 콘크리트 및 강재부재의 상향력과 평형을 이루며 다음과 같이 구분된다:

$$P = P_{co} + P_{so} + \Delta P_{co} + \Delta P_{so} + \Delta P_c' + \Delta P_s' \quad (2.16)$$

ΔP_o 는 부재력 V_o 및 S_{co} 의 상향력 변화량이다. $\Delta P'$ 는 식(2.10)로 계산될 수 있는 하중을 나타내며, 부재력의 변화량 ΔS_c 와 ΔS_s 로부터 얻어진다. ΔP_o 는 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta P_o = \Delta P_{co} + \Delta P_{so} = -4 \frac{1}{1 + V_c} V_o \cdot \xi_{oc} + 4 \cdot V_o \cdot \xi_{os} \\ = 4 \frac{1}{1 + V_c} V_o \cdot \xi \quad (2.17)$$

V_o 에 의한 상향력에 해당하는 연직하중은 처짐의 함수로서 식(2.13)와 (2.17)로부터 얻어진다.

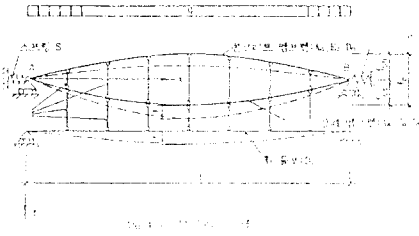
$$P_o + \Delta P_o = -4 \frac{1}{1 + V_c} V_o (\xi_{oc} + \xi) + 4 \cdot V_o (\xi_{os} + \xi) \quad (2.18)$$

단시간 보에서 처짐은 PS에 의한 상향력에 아무런 영향을 주지 못한다. 강한 외부 스프링 ($S=\infty$)인 경우에 강재만이 기여를 하고 있다.

3. 일방향 슬래브 - 탄성 모델

일방향 판 모델에 적용시키기 위해서는 다음과 같은 전제조건이 성립되어야 한다 ;

- 콘크리트 및 강재 멤브랜의 치수 및 형상은 휨 들보와같이 알려지고있다.
- 콘크리트 및 강재 멤브랜은 전 길이에 걸쳐 일정한 두께를 갖는다.



콘크리트 및 강재 멤브랜의 초기 처짐과 멤브랜과 휨 들보의 처짐에 대해서 다음과 같은 변위함수를 가정한다 ;

$$w_{oc} = f_{oc} \cdot \sin \frac{\pi \cdot x}{l}$$

$$w_{os} = f_{os} \cdot \sin \frac{\pi \cdot x}{l}$$

$$w = f \cdot \sin \frac{\pi \cdot x}{l} \quad (3.1)$$

콘크리트 멤브랜, 강재 멤브랜 및 휨 들보에 대해 일반적인 해법을 적용하면 ;

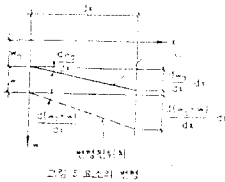
$$q_t = D_T \cdot (\pi^5 / 4 \cdot 14^4) \cdot f \quad (3.2)$$

여기서 ; $D_T = D_b + D_s + D_t$

$$\sigma_c \cdot F_c \cdot \frac{\pi^3}{4 \cdot 12} \cdot (f + f_{ob}) + \sigma_s \cdot A_s \cdot \frac{\pi^3}{4 \cdot 12} \cdot (f + f_{os})$$

$$= q_b + q_s = q \quad (3.3)$$

D_b 및 D_s 의 분담량은 대부분 무시된다. D_t 또는 D_T 는 주로 비긴장 강재에 따라 결정된다. 콘크리트 멤브랜, 강재 멤브랜 및 외부 멤브랜 지점을 나타내는 스프링은 각각의 경계조건에 의해서 서로 합해진다. 식(3.3)은 멤브랜 뿐만 고려한 것이다.



처짐 w 에 의한 요소의 변형도는 그림 5로부터 결정된다 ;

$$\epsilon = \frac{\Delta dx}{dx} = \left[\sqrt{\left(\frac{d(w_0+w)}{dx} \cdot dx \right)^2 + dx^2} - \sqrt{\left(\frac{dw_0}{dx} \cdot dx \right)^2 + dx^2} \right] / dx \quad (3.4)$$

트러스 모델처럼 절점 A에서의 수평변위를 구하고 강재응력 및 콘크리트 멤브랜의 응력을 구하면 ;

$$\sigma_c = \frac{\pi^2}{2} \cdot E_c \cdot \frac{(\epsilon^2/2) + \epsilon(\epsilon_{oc} - \epsilon_0/V_0)}{k} \quad (3.5)$$

$$\sigma_s = \frac{\pi^2}{2} \cdot E_s \cdot \frac{(\epsilon^2/2) + \epsilon(\epsilon_{os} - \epsilon_0/V_0)}{k} \quad (3.6)$$

$$H = \frac{\pi^2}{2} \cdot \frac{1}{k} \cdot \frac{[A_c \cdot E_c \cdot ((\epsilon^2/2) + \epsilon(\epsilon_{oc} - \epsilon_0/V_0)) + A_s \cdot E_s \cdot ((\epsilon^2/2) + \epsilon(\epsilon_{os} - \epsilon_0/V_0))]}{\quad} \quad (3.7)$$

식(3.3)에 응력 σ_c 와 σ_s 를 대입하면 연직하중은

$$q = \frac{\pi^2 A_c E_c}{8 k l} \cdot [(\epsilon^2/2) + \epsilon^2(\frac{3}{2} \epsilon_{oc} - \epsilon_0/V_0) + \epsilon(\epsilon_{oc}^2 - \epsilon_0 \epsilon_{oc}/V_0)]$$

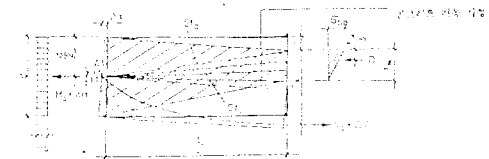
$$+ \frac{\pi^2 A_s E_s}{8 k l} \cdot [(\epsilon^2/2) + \epsilon^2(\frac{3}{2} \epsilon_{os} - \epsilon_0/V_0) + \epsilon(\epsilon_{os}^2 - \epsilon_0 \epsilon_{os}/V_0)] \quad (3.8)$$

트러스모델과 일방향 슬래브모델의 식들을 비교하면 응력, 외부 멤브랜 Force와 연직 하중에 대한 식은 단지 계수만이 다를 뿐이다.

3.1 유효 콘크리트 멤브랜의 크기

유효 콘크리트 멤브랜은 다음과 같은 가정을 두고, 처짐, 외부 멤브랜 지점의 강성 및 긴장 강재량의 함수로 결정하였다.

- 콘크리트는 탄성 거동을 하며 압축 응력을 부담할 수 있다.
- 콘크리트 압축응력은 지간 중간에서 미지의 높이 X_m 만큼에 걸쳐 삼각형 분포이고, 축지점에서는 전체 높이 d에 걸쳐 직사각형 분포이다.
- 콘크리트 멤브랜의 초기 굽힘은 처짐과 마찬가지로 삼각형 분포 형태이다.
- 비긴장 철근은 없다고 본다.



긴장력 V_0 가 도입되면 A점의 위치는 수평 변위에 대해서 다음과 정의 된다.

$$\Sigma X=0: H_0 + \Delta H = 1/2 \cdot \sigma_{ca} \cdot X_m \cdot b + V_0 + \Delta V \quad (3.9)$$

콘크리트의 응력분포 가정에 따라 점A의 수평 변위는 두개의 가장자리 압축에 S_{ta} 와 S_{ti} 로 주어진다. ;

$$\Delta X_{ca} = \frac{2 \cdot f_{obmax} \cdot f}{1} + \frac{f^2}{1} - \frac{\sigma_{ca} \cdot l}{4 \cdot E_c} \left(1 + \frac{X_M}{2 \cdot d}\right) + \frac{S_{co} \cdot l}{2 \cdot d \cdot b \cdot E_c} \quad (3.10)$$

$$\Delta X_{ci} = \frac{2 \cdot (f_{obmax} + X_M) \cdot f}{1} + \frac{f^2}{1} + \frac{\sigma_{ca} \cdot l \cdot X_M}{8 \cdot d \cdot E_c} + \frac{S_{co} \cdot l}{2 \cdot b \cdot d \cdot E_c} \quad (3.11)$$

중앙점에서 최대 콘크리트 응력과 멤브랜의 두께와의 관계는 다음과 같다.

$$\sigma_{ca} = -8 \cdot \frac{E_c \cdot X_M \cdot f}{l^2} \quad (3.12)$$

점 A에서의 수평변위는 외측 멤브랜 지점과 비슷한 스프링과 강재멤브랜에 대하여 나타낼 수 있다.

$$\Delta X_a = \frac{2 \cdot f_{os} \cdot f}{1} + \frac{f^2}{1} - \frac{\Delta \sigma_a \cdot l / 2}{4 \cdot E_c} \quad (3.13)$$

$$\Delta X_F = \frac{\Delta H}{S} \quad (3.14)$$

ΔX_{ca} 와 ΔX_a 를 등치하면 긴장강재의 응력증가량이 계산될 수 있다:

$$\Delta \sigma_a = 4 \cdot E_c \cdot \frac{l \cdot S}{12} \cdot \frac{1}{2} \cdot \sigma_{ca} \cdot \left(1 + \frac{X_M}{2 \cdot d}\right) - \frac{S_{co} \cdot E_c}{d \cdot b \cdot E_c} \quad (3.15)$$

여기서 $f_{os} = f_{ocmax} = h_a$ 로 가정했다.

ΔX_{ca} 와 ΔX_F 를 등치하고 식 (3.9), (3.12)와 (3.15)를 고려하면 중앙부에서 멤브랜 두께는 다음과 같은 2차 방정식이 된다:

$$X_M^2 - \frac{2f}{l} \left[\frac{1}{12} \left(1 + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{b \cdot l^3}{V_a} \right] \cdot X_M + \frac{2f}{12} \left(1 + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{f^2}{V_a} + \frac{2f}{12} \cdot \frac{(f_{obmax} \cdot l)}{V_a} = 0 \quad (3.16)$$

위의 해는 중앙부에서 콘크리트 멤브랜의 유효 두께는 기지의 기하학적 크기, 강재와 콘크리트의 E-계수, 외측 멤브랜 지점의 강성과 긴장력으로 부터 결정될 수 있다.

4. 비교 및 고찰

본 연구에서 제안된 일방향 슬래브 탄성 모델을 이용하여 휨 거동을 예측하기 위하여 균열 전의 상태는 일반적인 해석법을 이용하였으며, 균열 후 콘크리트 및 강재 멤브랜과 휨돌보가 합성이 된 부재로서 휨 거동을 해석 하였다.

그림 7은 본 연구에서 제안한 해석 모델에서 균열 전의 경우인 외부 멤브랜 거동이 없는 경우를 실험 결과에 적용한 예이다. 그림 (a)는 비가압 철근을 D19를 사용하였고 그림 (b)는 D16 그림 (c)는 D13을 사용하였으며, 그림 (d)는 부착된 긴장 강재와 D16을 사용한 경우이다. 제안된 일방향 슬래브 탄성 모델은 균열 후 실험 결과와 비교적 일치함을 알 수 있었다.

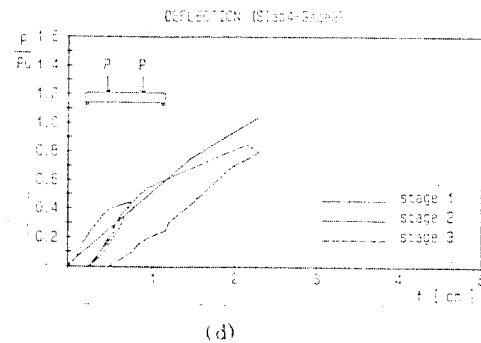
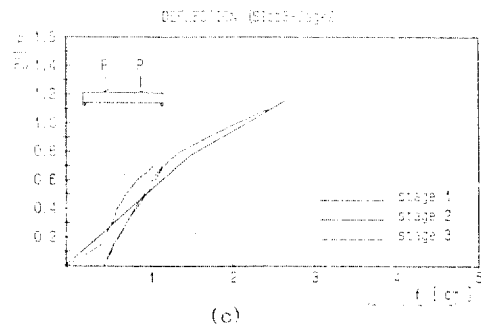
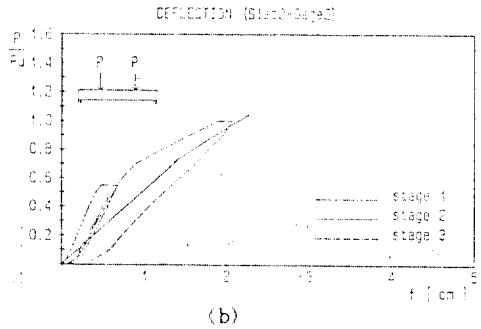
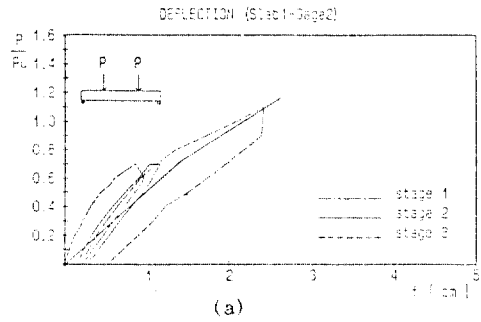


그림 7

5. 결론

이 논문은 부착 안된 부분 PS 슬래브의 해석 모델로서 지점 변위에 따른 부재의 휨 거동 및 콘크리트 멤브랜의 크기 및 응력을 예측할 수 있었으며, 이를 이용한 예측치는 실험치와 비교 결과는 균열 후 비교적 만족스러웠다.

본 논문은 탄성 모델에 제한 되어 있으며, 앞으로 연구 범위를 더욱 확장하여야 하며, 이러한 연구는 부착 안된 부분 PS 슬래브의 해석에 이용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Dr.sc.techn.Peter Ritz, "Biegeverhalten von Platten mit Vorspannung ohne Verbund"
2. Rudolph Szilard, "Theory and Analysis of Plates"
3. Joel H.Ferziger, "Numerical Methods for Engineering Application"
4. N.Cooke and R.Park and P.Yong, "Flexural Strength of Prestressed Concrete Members with Unbonded Tendons"
5. 박홍용, "부분 프리스트레스트 콘크리트 슬래브의 휨 균열 거동에 관한 실험적 연구"