

면내 압축력을 받는 플랫 플레이트에 대한 적재하중 분포의 영향

Effect of Live Load Pattern on RC Flat Plate under In-Plane Compression

김 재 요* 박 홍 근**
Kim, Jae Yo Park, Hong Gun

ABSTRACT

This paper presents a numerical study on the effect of live load pattern on RC flat plate under in-plane compression. Through the numerical study on various live load pattern, the load condition that governs the strength of the flat plate is determined. Effects of L.L./D.L. and arrangement of reinforcement on the behavior of the flat plate are also studied. And the efficient arrangement of reinforcement regarding to live load pattern is proposed.

1. 서론

깊은 지하층의 바닥 슬래브에는 바닥하중뿐만 아니라 수압이나 토압에 의한 큰 규모의 면내 압축력이 작용한다. 이러한 바닥하중과 면내 압축력을 동시에 받는 플랫 플레이트 슬래브에 대한 수치해석 연구들이 이루어졌었다.^(2,3,4,5) 이러한 연구들은 연속되는 모든 슬래브가 동일한 바닥하중을 받는 경우

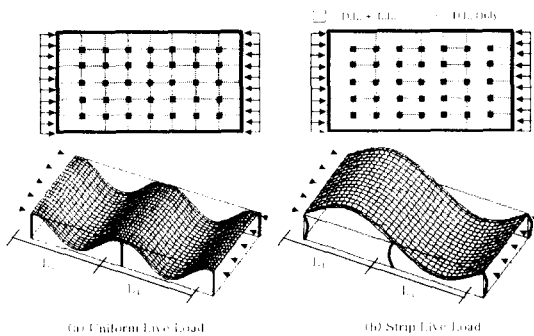


Fig. 1. Variations of Deformed Shapes with L.L. Pattern

(Fig. 1 (a))에 대한 것이다. 그러나, 적재하중이 모든 슬래브에 균등하게 작용하지 않는 경우(Fig. 1 (b)) 슬래브 변형 형상의 변화에 의하여 좌굴깊이가 깊어지게 되어 좌굴하중이 작아진다.

본 연구에서는 수치해석을 통하여 슬래브의 강도를 지배하는 적재하중의 분포양상을 규명하며, 이 지배하중조건에 대하여 여러 변수에 따른 슬래브의 거동과 강도의 변화를 연구한다. 수치해석연구를 위하여 재료 비선형과 기하학적 비선형을 적용한 유한요소해석 프로그램이 사용되었으며, 이 수치해석 프로그램에 대한 소개 및 검증은 이전의 연구논문^(2,4)에 수록되어 있다.

* 정회원, 서울대학교 건축학과 대학원

** 정회원, 서울대학교 건축학과 조교수

2. 하중조합의 영향

적재하중의 분포형태에 따른 슬래브의 거동 및 강도의 영향을 규명하고 슬래브의 강도를 결정하는 지배하중조건을 찾기 위하여 적재하중과 압축력의 4가지 하중조합을 연구대상으로 하였다(Fig. 2). 바닥하중과 압축력의 하중재하순서에 대해서는 이전의 연구^(2,4)에서 지배하중 재하순서로 밝혀진 바닥하중이 재하된 후 압축력이 작용하는 경우만을 연구대상으로 하였다.

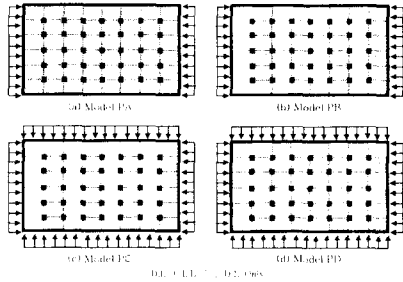


Fig. 2. Models with Different L.L. Pattern

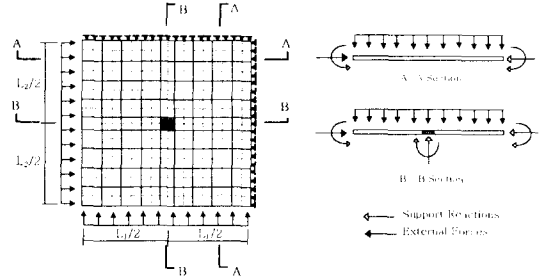


Fig. 3. Finite Element Model of Flat Plate

Table 1. Plate Dimension and Properties for Model PA, PB, PC and PD

L ₁ (cm)	L ₂ (cm)	f' _c (MPa)	F _y (MPa)	Reinforcement Ratio		Slab Thickness (cm)	LL/D.L.	(EI/L ₁) _c /(EI/L ₂) _s
				Top	Bottom			
600	600	24	400	0.01	0.01	17	2.0	0.25

하중 및 지지조건의 대칭성을 이용하여 Fig. 3과 같은 축소모델을 사용할 수 있으며, 이때 기둥은 수직방향의 이동은 구속하고 각 방향 회전 강성을 갖는 스프링 모델로 이상화하였다. 해석모델의 크기 및 재료의 성질은 Table 1에 나타나 있다. 각 하중조건에 따라 최대 휨모멘트의 위치 및 크기가 다르므로 상하단, 각방향 균등한 철근배근을 사용하였다.

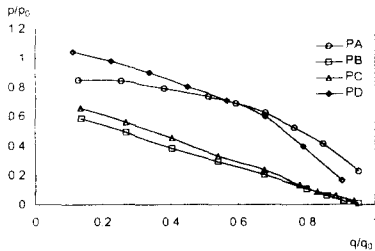
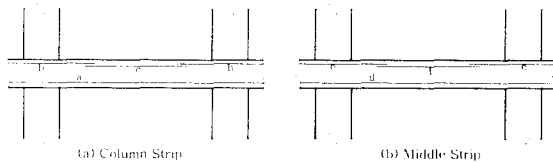


Fig. 4. Effect of Live Load Pattern

Fig. 4는 하중조합에 따른 p/p_0 - q/q_0 관계곡선을 보여주고 있다. p_0 는 단위길이당 압축재하능력으로서 $f'_c h$ 이며, q_0 는 단위면적당 수직하중 재하능력으로 수직하중만을 작용시킨 수치해석을 통하여 얻어진 값이다. 해석결과 PB의 강도가 가장 작게 나타났다. PA의 경우 압축력이 작용했을때의 좌굴형상이 복곡률 형태가 되어 양단이 고정되어 있는 압축재와 유사하게 된다. 그러나 PB, PC, PD의 경우 연속된 슬래브 사이에 수직하중의 차에 의하여 좌굴형상이 단곡률에 가까워짐에 따라 좌굴길이가 길어져 좌굴하중이 작아지게 된다. 2축압축력을 받는 PC의 경우 2축압축에 의한 콘크리트 강도의 증가에 의하여, 각 방향 단곡률의 변형 형상을 나타내는 PD의 경우 각 방향 인접한 슬래브가 좌굴에 대한 저항력을 발휘하여 한 방향 단곡률을 나타내는 PB보다 강도가 크게 나타났다.

3. 철근 배근 방법

본 연구에서는 지배하중조건으로 밝혀진 모델 PB에 대하여 철근배근방법의 영향을 연구하기 위한 수치해석연구를 실시하였다. 하중조건은 Fig. 2 (b)의 PB와 같으며 슬래브의 크기 및 기타 성질은



Model	Reinforcement Ratio (%)					
	a	b	c	d	e	f
RA	0.419	1.040	0	0.275	0.321	0
RB	0.419	1.040	0.419	0.275	0.321	0.275
RC	1.040	1.040	1.040	1.040	1.040	1.040

Fig. 5. Reinforcement Ratios for Model RA - RC

해 배근된 RA의 중앙부에는 하부근만이 배근되어 있기 때문에, 부모멘트에 의한 콘크리트의 균열이 발생하여 슬래브의 강도가 떨어지게 된다. 이것은 중앙 상부근을 증가시킨 RB와 RC에서 슬래브의 강도가 크게 증가했음을 통하여 알 수 있다.

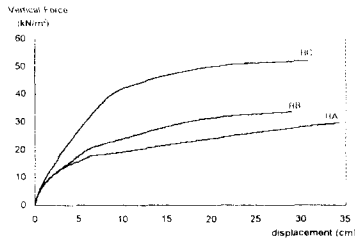


Fig. 6. Vertical Load-Displacement Curve for RA - RC

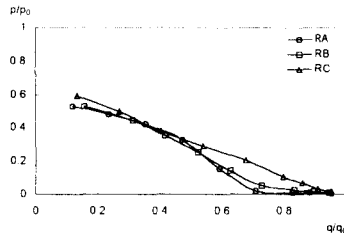


Fig. 7. Effect of Reinforcing Method

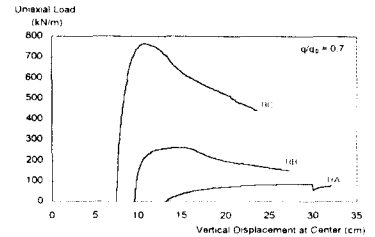


Fig. 8. Axial Load-Displacement Curve after $q/q_0 = 0.7$

Fig. 7은 슬래브의 배근 방법에 따른 p/p_0 - q/q_0 관계곡선을 비교하고 있다. q/q_0 가 증가하면서 즉 많은 수직하중이 작용한 후 면내압축력이 작용하게 되면 RA와 RB의 강도가 급격히 떨어진다. 이것은 수직하중만으로 이미 콘크리트의 균열에 의한 큰 수직처짐이 발생하여 면내압축력에 의한 추가적인 휨모멘트를 더 이상 지지할 수 없기 때문이다. 직접설계법에 의해 배근된 RA는 상부근이 배근되지 않은 중앙부의 부모멘트에 의하여, 상부근이 추가된 RB는 중앙부의 정모멘트에 의하여 슬래브 강도가 지배됨을 알 수 있다. 중앙부의 철근비를 높여 전체를 균등 배근한 RC의 경우 다른 배근방법과 비교하여 충분히 높은 강도를 나타내며 이는 중앙부의 철근양에 의하여 강도가 지배됨을 나타내고 있다.

Fig. 8은 $q/q_0=0.7$ 로 슬래브에 각각의 수직재하능력에 대한 동일한 비율로 수직하중을 재하한 후 압축력을 작용시켰을 때의 중앙부의 수직 처짐값과 압축력의 관계를 나타낸 것이다. 동일한 압축력이 작용하더라도 슬래브 중앙부의 처짐이 클수록 슬래브 중앙부에 발생하는 모멘트가 크게 되고, RA, RB의 경우 중앙부의 철근비가 낮기 때문에 압축력에 대한 강도가 크게 떨어지게 된 것이다.

4. 적재하중대 고정하중비

Fig. 9는 각 하중비에 따른 슬래브의 수직하중 재하능력의 비교를 보여주고 있다. 적재하중이 작용하는 슬래브 중앙부의 처짐값과 수직하중 분포의 관계를 비교하면, 하중비의 차이에 의한 슬래브의 강도 및 변형의 차는 거의 없다.

그러나 Fig. 10에 나타난 바와 같이 적재하중이 비가 클수록 면내압축력에 대한 슬래브의 강도가 낮

Table 1과 같다. 배근형태에 따른 각 해석모델의 철근비는 Fig. 5에 나타나 있다. 해석모델 RA는 바닥하중 22kN/m^2 에 대하여 국내 철근콘크리트설계기준⁽¹⁾의 직접설계법에 의해 배근된 슬래브이며, RB는 상부근을 추가하였고 RC는 전체를 균등하게 배근한 슬래브이다.

Fig. 6은 바닥하중만을 작용시킨 경우에 대한 철근배근방법에 따른 수직하중-수직변위 곡선을 나타내고 있다. 적재하중이 작용하는 슬래브와 작용하지 않는 슬래브의 하중차가 크기 때문에 적재하중이 작용하지 않는 슬래브의 중앙부에 부모멘트가 발생한다. 그러나 직접설계법에 의

은 것으로 나타났으며 수직하중만을 재하한 경우에 비해 하중비의 영향이 매우 크다. 고정하중만 작용하는 슬래브는 적재하중과 고정하중이 동시에 작용하는 슬래브의 좌굴을 막는 역할을 하며 고정하중의 비율이 작을수록 이 역할은 감소되어 좌굴하중은 감소하며 2차효과가 증대된다. Fig. 11에서 압축력이 작용하기 전 수직하중에 의한 슬래브의 처짐값은 비슷한 값이지만, 압축력의 재하능력의 차는 하중비에 따라 큰 차이를 보이는 것으로 나타난다. 이것은 L.L./D.L.비에 의한 초기변형 형상이 슬래브의 강도에 큰 영향을 미치고 있다는 것을 가리키고 있다.

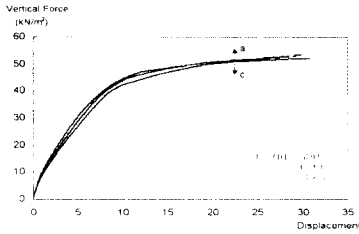


Fig. 9. Vertical Load-Displ. Curve Regarding to Ratio of L.L./D.L.

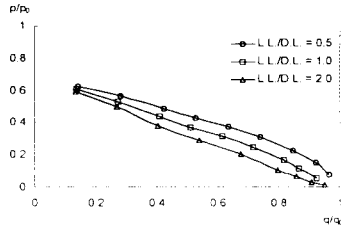


Fig. 10. Effect of Ratio of L.L./D.L.

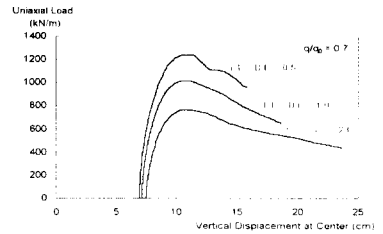


Fig. 11. Axial Load-Vertical Displ. Curve after $q/q_0=0.7$

5. 결론

바닥하중과 면내압축력을 동시에 받는 플랫 플레이트 슬래브에 대해서 적재하중의 분포에 따른 수치해석연구를 실시한 결과 다음과 같은 슬래브의 강도 및 거동특성이 밝혀졌다.

(1) 적재하중의 다양한 분포에 따른 연구 결과 적재하중이 작용하는 슬래브의 열과 작용하지 않는 열이 교대로 배치되도록 바닥하중이 작용한 후 이 열에 수직 방향으로 1축압축력이 작용하는 경우가 슬래브의 강도를 결정하는 지배하중조건임을 밝혔다.

(2) 적재하중이 일부 슬래브에만 분포되어 있는 하중조합의 경우 직접설계법에 의한 배근방법은 적절치 않은 것으로 판명되었으며 슬래브 중앙부의 모멘트에 대한 상하단 철근배근이 매우 중요하다. 적재하중의 다양한 분포상황에 대해서 충분한 슬래브의 강도를 확보하기 위해서는 단부와 중앙부가 동일한 철근비로 슬래브 전체가 균등하게 배근되는 배근방법이 효율적이다.

(3) 슬래브의 강도는 수직하중에 의한 초기변형 형태가 압축강도에 큰 영향을 미치며 이로 인하여 적재하중대 고정하중의 비가 클 경우 슬래브의 압축강도가 급격히 감소된다.

참고문헌

1. 대한건축학회, 극한강도설계법에 의한 철근콘크리트 구조계산규준 및 해설, 1994, pp. 125-139.2,
2. 박홍근, 면내 압축력 및 면외 바닥하중을 받는 플랫 플레이트 슬래브, 한국콘크리트학회지, 제11권, 1호, 1999.1
3. 박홍근, 면내 압축력을 받는 플랫 플레이트 슬래브에 대한 모멘트 증대법, 한국콘크리트학회지, 제 11권, 1호, 1999.1
4. 박홍근, Numerical Study on RC Flat Plates Subjected to Combined Axial and Transverse Load, Journal of STRUCTURAL ENGINEERING AND MECHANICS, An International Journal, Vol.7, No.8, 1999.8
5. 박홍근, 김희희, Reinforced Concrete Flat Plate Subjected to Combined In-Plane Compressive and Out-of-Plane Floor Loads, Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineers (ASCE), 1999.10