

조합하중을 받는 무량판 구조의 강성 감소 계수에 관한 고찰

Stiffness Reduction Factor for Flat-Plate Structures under Combined
Load

○ 송 진 규* 최 정 육** 윤 정 배***
Song Jin-Gyu Choi Jung-Wook Jung Bae-Yoon

Abstract

Cracking of slabs will be caused by applied load and volume changes during the life of a structure and thus it reduces flexural stiffness of slabs. The effect of slab cracking must be considered for appropriate modeling of the flexural stiffness for frame members used in structural analysis. Analytical and experimental study was undertaken to estimate the stiffness reduction of slabs. In the analytical approach, the trend of slab stiffness reduction related to gravity and lateral loads is found and the stiffness reduction factor ranged from a half to a quarter in ACI building code is reasonable when defining range. Analyzing results of the test by Hwang and Moehle for 0.5% drift show that the differences of rotational stiffness on the connection types is found and good results of lateral stiffness using the value of one-third is obtained.

키워드 : 무량판 구조, 강성 감소 계수, 유효보폭모델

Keywords : Flat Plate Structure, Stiffness Reduction Factor, Effective Beam Width Model

1. 서 론

철근 콘크리트 무량판 구조는 슬래브를 기둥이 직접 지지하는 시스템으로 층고가 낮기 때문에 골조 및 설비 공사비를 절감할 수 있고 단순한 거푸집 공사 및 공기 단축으로 인하여 매우 경제적인 시스템이다. 또한 내부 공간구성이 자유로우므로 건축 계획에 있어 용통성을 확보할 수 있고 추후 리노베이션에 대한 제약이 적기 때문에 주거용 또는 교육용 건물에 매우 효과적인 구조시스템이다.

콘크리트 무량판 건물의 구조설계는 전형적으로 강도 및 처짐 등에 대하여 구조 해석을 수행하여야 하는데, 이와 같은 요구를 충족시키기 위해서는 구조체의 내력과 변위를 합리적으로 예측할 수 있는 해석모델이 필요하다.

콘크리트 건물을 합리적으로 해석하기 위해서는 모델링에 있어 슬래브의 강성을 적절히 반영하여야 한다. 그런데 슬래브는 작용하는 하중과 건조수축 및 온도변화 등으로 균열이 발생하고, 발생한 균열로 인하여 슬래브의 강성은 감소된다. 해석에서 슬래브의 강성 감소는 부재에 작용하는 모멘트와 건물의 횡변위 예측에 큰 영향을 주므로 균열에 의하여 감소되는 슬래브의 강성을 정확히 평가하는 것은

* 전남대학교 건축학부, 조교수

** 전남대학교 건축학부, 공학박사

*** 경상대학교 건축공학과, 교수

매우 중요하다. 특히, 무량판 구조의 경우 프리스트레스트 또는 보-기둥 구조에 비하여 건물 횡강성에 대한 슬래브 강성의 영향이 매우 크기 때문에 이에 대하여 더욱 신중하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 기존 연구에 의한 고찰, 해석에 의한 고찰, 실험에 의한 고찰을 통하여 최종적으로 분석한 후 조합하중을 받는 무량판 구조의 합리적인 강성 감소 계수를 제안하였다.

2. 기존 연구에 의한 고찰

2.1 강성 감소 계수의 정의

기존 연구에서는 일반적으로 균열에 의한 슬래브의 강성감소 효과를 강성감소 계수를 통하여 설명한다. 여기서, 강성 감소 계수 β 는 균열을 고려치 않은 슬래브 강성에 대한 균열을 고려한 슬래브 강성의 비이다.

ACI Building Code는 해석 모델에 균열에 의한 슬래브의 휨 강성 감소 현상을 반영하기 위하여 식(2.1)을 이용하여 슬래브의 유효강성을 결정하고 식(2.2)을 이용하여 강성 감소 계수를 산정하도록 하였다.

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_s + [1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3] I_{cr} \quad \text{식(2.1)}$$

여기서, I_e 는 유효 단면 2차 모멘트, M_{cr} 은 균열 모멘트, M_a 는 사용하중에 대한 최대 모멘트, I_{cr} 은 균열 단면 2차 모멘트 그리고 I_s 는 전 단면 2차 모멘트이다.

$$\beta = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 + [1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3] \frac{I_{cr}}{I_s} \quad \text{식(2.2)}$$

여기서, β : 강성감소 계수, M_{cr} 은 균열 모멘트, M_a 는 사용하중에 대한 최대 모멘트, I_{cr} 은 균열 단면 2차 모멘트 그리고 I_s 는 전 단면 2차 모멘트이다.

2.2 기존 연구 분석

기존 연구에 의한 고찰은 기존에 행해진 실험 결과와 해석 결과를 분석한 것으로 Table 2는 기존 연구에 대한 대략적인 개요를 나타낸 것이다.

Table 2.1 Stiffness reduction factor studies

연구자	실험년도	요약
Vanderbilt와 Corley	1984	2개의 무량판 구조의 해석적 연구; 강성 감소 계수를 1/3로 제안
Zee와 Moehle	1984	2개의 slab-column 접합부의 실험적 연구; 내외부 접합부에 대한 30% 축소 모델 사용
Moehle와 Diebold	1984	무량판 끝조의 실험적 연구; 3x1경간을 갖는 2층 구조의 30% 축소 모델; El Centro 지진 하중 작용
Pan과 Moehle	1988	4개의 slab-column 접합부의 실험적 연구; 중력 하중 효과, 2축 및 1축 횡하중 작용
Hwang과 Moehle	1993	무량판 구조의 실험적 연구; 3x3경간을 갖는 단층 구조의 40% 축소 모델

강성 감소 계수에 관한 기존 연구는 횡하중의 크기를 횡강도의 40%, 횡변위비 1/500 제한 그리고

총간변위비 1/200 제한에 의하여 정의하고 유효보폭 모델과 등가골조 모델에 강성 감소 계수 1/3을 적용할 경우 모두 안전측의 결과를 제공하는 것으로 결론지었다. 단, Pan과 Moehle의 실험 결과와 Pecknold의 유효보폭 모델의 비교에서 강성 감소 계수는 약 0.31정도로 1/3의 수치에 미치지 못하였으나 설계에 있어 풍하중 또는 지진하중은 동시에 2축으로 작용하는 하중을 고려하지 않는 것이 일반적 [32]이라고 가정할 때, 2축 가력 실험 결과만을 평균한 0.31의 수치는 슬래브의 강성 감소를 과대 평가한 것이다.

강성 감소 계수 1/2~1/4 적용에 대한 ACI 318-99의 제시는 강성 감소 계수의 적용 범위를 설정하는데 있어서는 합리적이나 실제적인 적용에 있어서 어떠한 수치를 이용하여야 하는지가 명확치 않다. 그리고 최소 철근비를 갖는 슬래브의 완전 균열 단면을 가정하여 제시한 감소계수 1/4은 해석에 있어 안전측의 횡변위를 제공하는 것에는 의심할 바 없으나 강성 감소계수 적용이 일반적으로 횡변위 예측에 지배적으로 공헌한다고 볼 때, 사용성에 대한 평가에 대하여 과도하게 안전측에 결과를 확보하려는 노력인 것으로 판단된다.

이에 비하여 기존 연구에서 주장하는 강성 감소 계수 1/3의 수치는 상당한 의미가 있다. 단, 여기서 기존 연구에 있어 몇 가지 문제점을 지적하였다.

- ① 일반적으로 슬래브는 중력하중에 의한 강성 감소가 먼저 일어나고 차후 횡하중에 의한 추가적인 강성 감소 경향을 보인다. 기존 연구에서는 중력하중과 횡하중에 의한 슬래브의 상대적인 강성 감소 경향에 대한 분석이 부족하다.
- ② 또한 슬래브 시스템을 구성하는 각각의 접합부 타입에 따른 강성 감소 경향에 관한 분석이 부족하다.
- ③ Moehle 그룹의 실험에서 횡변위비 1/500 또는 1/400 기준을 적용하여 해석 모델을 평가한다는 것은 논리가 다소 부족한 것으로 판단된다. 그 이유는 건물 최상층의 횡변위는 각 층의 층간변위의 합으로 나타나는데, 이때의 층간변위의 크기는 매 층마다 각각 다르기 때문이다. Moehle 그룹의 실험이 단일 슬래브-기둥 접합부, 1층 또는 2층 실험체인 것을 감안할 때 횡변위비는 층간변위비와 동일한 의미를 갖는 것으로, 횡변위비 1/500 기준은 슬래브의 강성 감소를 과소 평가 할 수 있다.
- ④ 슬래브의 강성 감소에 있어 중력하중의 크기가 가장 중요한 변수일 것으로 판단되는데, 이에 관한 실험적 연구가 부족하다.

3. 해석에 의한 고찰

해석적 접근을 위한 과정은 다음과 같다.

- ① 설계를 위한 기본 가정의 수립으로 기둥 단면은 1₁/10, 슬래브 두께는 1_n/30으로 하였다.
- ② 자중을 포함한 중력하중의 크기는 고정하중 ($200 \text{ kgf}/\text{m}^2$)과 변수로 작용하는 활하중의 합으로 결정하였다. 그리고 중력하중 해석 모멘트의 계산은 ACI318-02에서 제시한 직접설계법을 이용하였다.
- ③ 횡하중 해석은 Choi & Song(2001)^{9~11)}이 제안한 유효보폭 모델을 이용하였고 횡하중 해석에 의한 모멘트는 구조물 높이의 0.2% 변위에서 구하였다. 0.2% 변위는 풍하중 설계에서의 규준으로 사용되어진다.
- ④ 철근 콘크리트 구조 설계는 ACI318-02에서 제시된 계수모멘트를 이용하였다.
- ⑤ 해석과 설계의 결과로부터 M_a , M_{cr} , I_g 와 I_{cr} 을 계산하였고 최종적으로 이를 식(2.2)에 적용하여 강성 감소 계수를 계산하였다.

3.1 중력하중에 의한 강성 감소

Fig. 3.1은 중력하중에 의한 해석결과를 강성 감소 계수에 대하여 나타낸 것이다. 여기서, 고정하중은 Table 3.1과 같이 경간의 변화를 고려하여 가정하였고 변수 활하중의 범위는 $0\sim500 \text{ kgf}/\text{m}^2$ 으로

정하였다. 해석 대상 무량판 구조의 경간은 일반적인 경우를 감안하여 5~9m 까지로 정하였다.

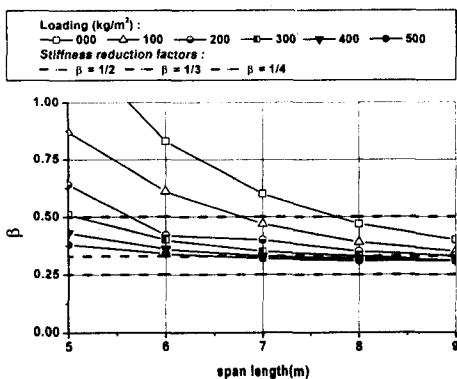


Fig. 3.1 Stiffness reduction for gravity loads

Table 3.1 Applied loads for analysis

경간(m)	슬래브 두께 (cm)	고정 하중		활하중 (kg/m ²)	사용 하중 (kg/m ²)	계수 하중 (kg/m ²)
		슬래브 하중 (kg/m ²)	마감 하중 (kg/m ²)			
5	15	360	200	0~500	560~1,060	784~1,634
6	18	432	200	0~500	632~1,132	885~1,735
7	21	504	200	0~500	704~1,204	986~1,836
8	24	576	200	0~500	776~1,276	1,086~1,936
9	27	648	200	0~500	848~1,348	1,187~2,037

Fig. 3.1은 중력하중의 크기가 증가할수록 그리고 기둥의 경간이 길어질 수록 슬래브의 강성이 크게 감소하는 현상을 보여주고 있다. 강성 감소 계수는 경간의 길이가 짧을 경우 중력하중의 크기에 영향을 많이 받고 경간 길이가 길어질수록 상대적으로 하중 크기에 따른 영향은 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 실제적으로 슬래브의 회전을 유발시키는 모멘트가 하중 변화에 대해서는 비례 관계지만 경간의 길이에 대해서는 자승에 대하여 비례하므로 경간이 길어질 수록 상대적으로 하중의 크기에 따른 영향은 감소하는 것으로 판단된다.

중력하중에 대한 강성 감소 계수의 경향으로 볼 때 활하중의 크기가 600kg/m² 이상일 경우 경간 길이 변화에 따른 슬래브 강성 감소의 효과는 거의 없을 것으로 판단된다.

상기 결과에서 주거시설의 일반적인 경우를 예로 들면, 경간 6~7m를 갖고 활하중이 300kgf/m²일 경우의 강성 감소 계수는 약 0.4정도로 나타났다.

3.2 조합하중에 의한 강성 감소 계수

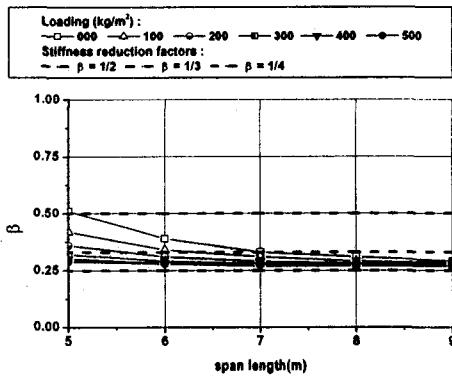


Fig. 3.2 Stiffness reduction for combined loads

콘크리트 무량판 구조의 슬래브 강성 감소는 먼저 중력하중에 의하여 발생될 것이고 이것은 차후에 작용하는 횡하중에 대하여 추가적인 강성 감소 현상을 보일 것이다. 이와 같은 과정을 그대로 묘사하여 조합하중에 의한 강성 감소 계수를 구하였다.

Fig. 3.2는 조합하중에 의한 슬래브의 강성 감소 현상을 분석한 것이다. Fig. 3.1과 Fig. 3.2를 상대적으로 비교하면 중력하중에 의한 슬래브 강성 감소 이후 횡하중에 의하여 추가적으로 발생된 강성 감소 현상을 잘 보여주고 있다. 특히 경간 길이가 짧은 구간에서 상대적인 계수의 감소가 큰 것으로 나타났다. 이것은 슬래브의 강성 감소에 있어 중력하중의 영향은 주로 긴 경간을 갖는 구조물에 지배적인데 반해 횡하중은 짧은 경간을 갖는 구조물에 더욱 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

일반적인 주거시설의 상황을 고려하여 6~7m 경간에 300kg/m²의 활하중이 작용하는 것으로 가정한다면 강성감소 계수의 크기가 약 0.3 정도인 것으로 나타났다. 중력하중에 의한 슬래브 강성감소 계수가 약 0.4 정도이므로 횡 하중으로 인한 추가적인 강성감소는 슬래브 단면에 대하여 약 10% 정도이다.

해석적 연구를 통하여 구한 강성감소 계수의 하한치는 0.27로써 ACI Building Code에서 제시하는 강성감소 계수 1/2~1/4에서 1/4에 근접한 수치이다. 이것은 강성감소 계수를 구하는데 있어 경간, 슬래브두께, 철근비 그리고 횡하중 크기 등의 가정이 모두 안전측으로 정하였기 때문에 나타나는 현상이라 판단된다. 그러나 실제적인 건물은 설계에 있어서 기준보다 다소 여유강도를 갖도록 설계하는 것이 일반적이다. 그러므로 실용적인 관점에서 보다 실제적인 상황에 근접한 계수 추론이 필요할 것이다.

4. 실험에 의한 고찰

4.1 실험체 형상

본 무량판 구조 실험에서는 Fig. 4.1에서와 같이 2×2경간을 갖는 3차원 실험체를 제작하였다.

슬래브의 크기는 275×165×9 cm이며 기둥의 크기는 25×25×140 cm이다. 사용되어진 콘크리트의 압축 강도는 270 kgf/cm², 철근의 인장 강도는 4000 kgf/cm²이다.

실험체의 슬래브는 주근 D10을 사용하여 배근하고 기둥은 주근 D16과 띠철근 D10을 이용하였다. 여기서 기둥을 실제보다 강하게 보강한 이유는 접합부의 파괴를 슬래브로 자연스럽게 유도하기 위한 것이다.

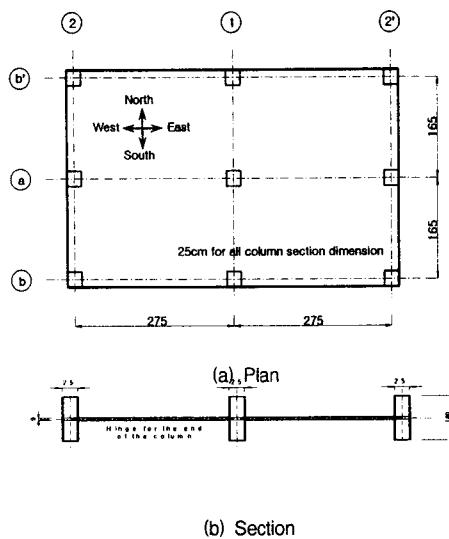


Fig. 4.1 Layout of test slab

4.2 실험 조건

Fig. 4.2와 Fig. 4.3은 실험체 설치에 관한 장면과 단면 방향의 입면도를 나타낸 것이다.

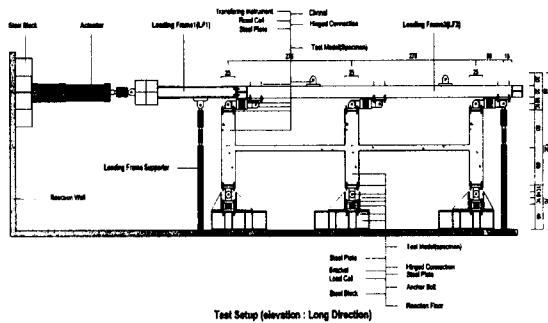


Fig. 4.2 Test model setup : elevation for long side direction

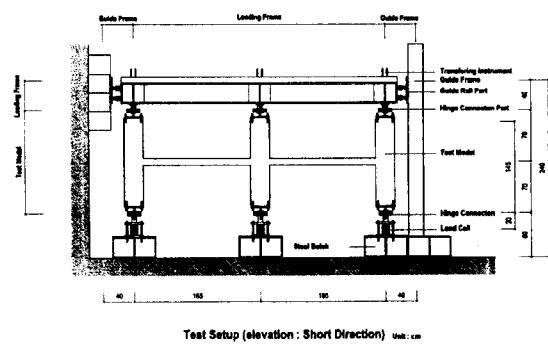


Fig. 4.3 Test model setup : elevation for short side direction

4.3 계측 방법

Fig. 4.5는 수직으로 작용하는 하중에 대한 반력과 변위의 계측점을 나타낸 것이다. 실험체는 5개의

로드셀을 기둥 하부에 배치하여 기둥의 축하중을 계측하고 4개의 변위계를 슬래브 중앙에 위치하여 슬래브의 치짐을 측정하였다.

Fig. 4.6은 횡하중에 대한 반력과 변위의 계측 위치를 표기한 것이다. 실험체에 작용하는 모든 하중은 액튜에이터에 의하여 조절되고 측정된다. 총 6개의 로드셀을 기둥 상부에 부착하여 각각의 기둥에 작용하는 횡하중 계측하였다. 총 3개의 변위계를 이용하여 실험체의 전체 변위를 측정하고 총 18개의 변위계를 접합부 주변에 배치하여 슬래브의 미세한 변위차를 계측하였다.

여기서, 액튜에이터에 부착된 로드셀과 3개의 변위계는 실험체의 하중-변위 관계에 대한 것이고 6개의 로드셀과 18개의 변위계는 접합부의 모멘트-회전 관계에 대한 정보를 얻기 위한 것이다.

강성 감소 현상을 고찰하기 위하여 내부 접합부 2방향 전단강도의 30%에 해당하는 중력하중을 가력한 상태에서 횡변위 하중을 점진적으로 가력하였다.

5. 분석

강성 감소 계수에 관한 본 연구에서의 접근 방법은 간편 해석을 위한 유효보폭 계수만을 고려한 해석 모델과 실험결과를 상호 비교하여 강성 감소 계수를 추론하는 방법이다. 따라서 실험 결과는 물론 해석모델에서 사용하는 유효보폭 계수 또한 정확한 신뢰성이 바탕 되어야 한다. 이를 위한 선행과정으로 실험체에 대한 해석을 수행하였으며 이를 통하여 유효보폭 모델의 정확성을 유한요소 모델을 기준으로 비교하였다. 여기서, 유효보폭 모델은 Choi & Song이 제안한 것으로 식 5.1와 5.2에서 제시한 계수 산정법을 이용하였다. 해석모델은 모든 실험 조건을 반영하여 모델링하였는데, ss상태적인 휨강성 비교를 위하여 각 해석모델에 0.5%의 변위하중을 가력하고 이때의 횡방향 반력을 비교하여 Table 4.1에 기술하였다.

$$\alpha_i = \frac{\gamma_i}{l_2} (4.5 c_1 + 0.14 l_1 + 0.12 l_2) \quad \alpha \leq 1 \quad \text{식(5.1)}$$

$$\alpha_e = \frac{\gamma_e}{l_2} (3.0 c_1 + 0.07 l_1 + 0.06 l_2) \quad \alpha \leq 1/2 \quad \text{식(5.2)}$$

여기서, γ_i 와 γ_e 는 변수 c_2/c_1 따른 보정계수를 나타내는 것으로 내부골조의 보정계수는 $\gamma_i = 0.85 + 0.15 c_2/c_1$ 그리고 외부골조는 $\gamma_e = 0.70 + 0.30 c_2/c_1$ 이다.

Table 5.1 Comparison of the horizontal reactions between analysis models

해석모델	Interior	PAR-Edge	PER-Edge	Corner
유한요소모델(FEM)	3.2613	2.0008	1.6799	1.0219
유효보폭모델(EBWM)	3.2663	2.0826	1.6749	1.0498
EBWM/FEM	1.002	1.041	0.997	1.027

Table 5.1을 볼 때, 본 연구에서 제시한 유효보폭 모델은 유한요소 모델과 5% 이내의 차이를 나타냈으며 특히, 내부골조에 대해서는 거의 일치하였다. 상기 결과를 볼 때, 유효보폭 모델을 이용하여 실험체의 강성 감소 계수를 추론하는 것이 타당한 것으로 판단된다. 이 때, 강성 감소 계수 β 는 전체 유효보에 대하여 앞절에서 언급한 1, 1/2, 1/3 그리고 1/4를 각각 적용하고 3차원 모델링을 수행하여 실험 결과와 비교하였다.

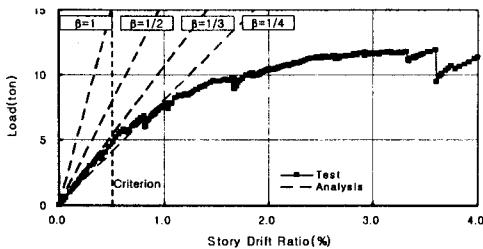


Fig. 5.1 Lateral stiffness of specimen

Fig. 5.1은 내부 접합부의 2방향 전단강도 30%에 해당하는 중력하중에서 횡하중을 점진적으로 증가시켜 구한 곡선이다. 이것은 횡하중 증가에 따른 슬래브의 강성 감소를 매우 잘 나타내고 있다. 그리고 Fig. 5.1의 점선은 강성 감소 계수를 임의로 적용한 해석 모델의 횡강성을 나타낸 것이다. 여기서 $\beta=1$ 일 때의 유효보폭 모델의 결과는 유한요소 해석 결과와 거의 일치하였다. 그리고 강성 감소 계수 β 를 1/2, 1/3 그리고 1/4로 적용할수록 유효보폭 모델에서의 강성은 점점 작아졌다.

Fig. 5.1에서 주 관심 영역은 충간변위비 0.5% 이내인데, 실험 결과는 강성 감소 1/3을 적용한 해석 결과와 거의 근접하였다. 결론적으로 콘크리트 무량판 구조의 횡하중 해석 모델에서 강성 감소 계수는 1/3을 적용하는 것이 가장 합리적인 것이다.

6. 결 론

조합하중을 받는 무량판 구조의 강성 감소 계수에 관한 연구는 기존 연구에 의한 고찰, 해석에 의한 고찰 그리고 실험에 의한 고찰을 통하여 수행하였다.

해석에 의한 고찰 방법은 콘크리트 구조설계 기준에서 제시하는 유효강성 계산식을 이용하여 슬래브 강성이 감소되는 경향을 분석하였다. 여기서, 긴 경간을 갖는 슬래브는 주로 중력하중에 대한 영향이 크고 짧은 경간을 갖는 슬래브는 횡하중 영향이 상대적으로 크게 나타났다. ACI Building Code에서 제시하는 강성 감소 계수(1/2~1/4)는 해석적 방법에 의한 결과를 기준으로 볼 때, 적용 범위의 정의에 있어 적합한 것으로 판단된다.

유효보폭 계수에 관한 제안 식을 이용하여 3x3 경간을 갖는 Hwang과 Moehle의 실험체를 해석하고 충간변위비 0.5% 제한을 기준으로 슬래브의 강성 감소 계수를 추론하였다. 분석 결과, 접합부의 상대적인 비교에서 코너 및 단부 접합부의 슬래브 강성 감소는 내부 접합부에 비하여 상대적으로 크게 나타났다. 그리고 실험체에 강성 감소 계수 1/3을 적용할 경우 안전측의 해석 결과를 제공하는 것으로 나타났다.

우리나라 주거용 건물을 대상으로 상기 강성 감소 계수 1/3 적용의 타당성을 검증하기 위하여 2x2 경간을 갖는 무량판 골조의 구조 실험을 수행하였다. 실험 결과, 충간변위비 0.5% 범위에서 실험체의 횡강성은 강성 감소 계수 1/3을 적용한 해석결과와 가장 근접하였다.

강성 감소 계수에 대한 해석적 방법, 기존 실험 결과 분석 그리고 구조 실험을 수행한 결과, 콘크리트 무량판 구조의 횡하중 해석모델에 있어 강성 감소 계수는 1/3을 적용하는 것이 가장 합리적이다.

참고문헌

- ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318-02) and Commentary(ACI 318R-02)," American Concrete Institute, 2002.

2. 한국콘크리트학회 · 대한건축학회, "건설교통부 제정 콘크리트 구조설계 기준," 건설교통부, 1999.
3. Moehle, J. P., and Diebold, J. W., "Experimental Study of the Seismic Response of a Two Story Flat Plate Structure," Report No. UCB/EERC-84/08, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Aug. 1984.
4. Moehle, J. P., and Diebold, J. W., "Lateral Load Response of Flat Plate Frame," ASCE, Vol. 111, No. 10, Oct. 1985, pp 2149~2164.
5. Pan, A. P., and Moehle, J. P., "Reinforced Concrete Flat Plates under Lateral Loading : An Experimental Study Including Biaxial Effects," Report No. UCB/EERC-88/16, Earthquake Engineering Research Center, University of California at Berkeley, Oct. 1988.
6. Pan, A. P., and Moehle, J. P., "An Experimental Study of Slab-Column Connections," ACI Structural Journal, Vol. 89, No. 6, Nov.-Dec. 1992, pp. 626~638.
7. Hwang, S. J., and Moehle, J. P., "Vertical and Lateral Load Tests of Nine-Panel Flat-Plate Frame," ACI Structural Journal, Vol. 97, No. 1, Jan.-Feb. 2000, pp. 193~203.
8. Luo, Y. H., and Durrani, A. J., and Conte, J. P., "Equivalent Frame Analysis of Flat Plate Building for Seismic Loading," ASCE, Vol. 120, No. 7, July, 1994, pp. 2137-2155.
9. 최정옥, 김철수, 송진규, 이수곤, "횡하중을 받는 Flat-Plate 구조의 유효보폭 계수," 대한건축학회 논문집, 제 17권, 제6호, 2001, pp. 77-86.
10. Choi, J. W., Kim, C. S., Song, J. G., Lee, S. G., "Effective Beam Width Coefficients for Lateral Stiffness in Flat-Plate Structures," KCI Concrete Journal, Vol. 13, No. 2, July 2001, pp. 49-57.
11. 김철수, 최정옥, 송진규, 윤정배, 이수곤, "횡하중을 받는 벽-슬래브 접합부의 유효보폭 계수," 대한건축학회 학술발표회 논문집, 제21권, 제2호, 2001. 10., p 27-30.
12. 최정옥, 송진규, 윤정배, 이수곤, "횡하중을 받는 RC 무량판 구조의 골조해석 모델," 대한건축학회 논문집, 2002, 3.
13. Islam, S., and Park, R., "Tests on Slab-Column Connection with Shear and Unbalanced Flexure," ASCE, Vol. 102, No. ST3, March, 1976, pp. 549-568.
14. Morrison, D. G., Hirasawa, I., and Sozen, M. A., "Lateral-Load Tests of R/C Slab-Column Connections," ASCE, Vol. 109, No. 11, November, 1983, pp. 2698-2714.