

## 횡하중을 받는 RC 무량판 구조의 슬래브 모델링 기법

최정욱<sup>1)\*</sup> · 송진규<sup>1)</sup> · 이수곤<sup>1)</sup> · 김진상<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 전남대학교 건축학부 <sup>2)</sup> 인제대학교 건축학과

(2002년 4월 10일 원고접수, 2002년 6월 24일 심사완료)

### Modeling Method of Slabs in RC Flat-Plate Structures Under Lateral Loading

Jung-Wook Choi<sup>1)\*</sup>, Jin-Gyu Song<sup>1)</sup>, Soo-Gon Lee<sup>1)</sup>, and Jin-Sang Kim<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Div. of Architecture, Chonnam University, Gwangju, 500-757, Korea

<sup>2)</sup> Dept. of Architecture, Inje University, Kimhae, 621-749, Korea

(Received April 10, 2002, Accepted June 24, 2002)

#### ABSTRACT

To reasonably predict the behaviors for RC flat-plate structures, analysis model considering the flexural stiffness of slabs is required. FEMA 273 and ACI 318-99 refer to theoretical analysis models of two-way slab systems under lateral loading but the actual application method is not suggested. In this study, the modeling and application methods of the flat-plates using effective beam concept are suggested. The results of this study are as follows. 1) The effective beam width model suggested in this study is very useful to model flat-plate structures subjected to seismic loading for three dimensional analysis 2) The result of analysis for idealized flat-plate example using the effective beam widths considering the effect of the slab crack is shown upper value for displacements. Whereas the model considering effective beam width coefficients only is shown upper value for unbalanced moments

**Keywords :** modeling method, flat-plate structure, slab, effective beam width model

#### 1. 서 론

구조설계는 전형적으로 강도 및 처짐 등의 몇가지 극한 상태를 충족시켜야 한다. 이러한 요구조건 들을 충족시키기 위해서는 구조체의 내력과 변위를 예측할 수 있는 적절한 해석모델이 필요하다. 철근콘크리트 슬래브의 모델링은 축 방향의 강막효과 만을 고려하고 휨 강성에 대한 영향은 무시하는 것이 일반적이다. 이로 인한 건물 거동의 예측 결과는 횡변위를 과대평가하고 안전 축의 밀면 전단력을 제공하지 못한다는 결점을 가지고 있다. 특히 보가 없는 무량판 구조의 슬래브는 프리스트레스트 또는 보 지지 슬래브에 비해 슬래브의 휨 강성에 대한 영향이 매우 크므로 이에 대한 충분한 고려가 있어야 할 것이다.

FEMA 273<sup>1)</sup>과 ACI 318-99<sup>2)</sup>는 슬래브의 휨 강성 영향을 고려하는 골조해석 모델을 제시하고 있으나 실제적인 적용 방법론은 언급하고 있지 않다. 또한 해석모델에 관한 기존연구는 모두 2차원 평면골조 모델로써 각각의 평면골조에 작용하는 횡하중을 적절히 분배하기 어렵고 이를 통한 완전한 건물의 해석은 반복적인 모델링 수행이

요구되는 단점을 지니고 있다.

본 연구에서는 철근콘크리트 무량판 구조의 횡하중에 대한 모델링 방법론을 제시하였다. 그리고 판상형 무량판 아파트의 3차원 골조해석을 통하여 부재의 내력과 건물의 변위 예측을 위한 합리적인 계수 적용 방법에 관하여 연구를 수행하였다.

#### 2. 슬래브 모델에 관한 기존 이론

골조해석 모델에 관한 기존 연구에서 유효보폭 모델은 횡하중에 대한 거동 예측이 정확하고 실용적인 관점에서 적용이 쉽기 때문에 구조 전문가들이 선호하는 모델이다. 유효보폭 모델(effective beam width model)은 기둥의 불균형 모멘트가 슬래브에 직접 전달된다고 가정하고 슬래브를 유효폭을 갖는 보 요소로 모델링한 것이다. 슬래브를 하나의 유효보로 모델링할 때, 유효보의 깊이는 슬래브의 두께를 그대로 사용하므로 유효보의 폭이 모델링의 정확도를 결정하는 중요한 요소라 할 수 있다.

##### 2.1 유효보폭 계수

유효보폭 모델에 관한 대부분의 연구는 유효보의 폭을

\* Corresponding author

Tel : 02-3415-8794 Fax : 02-3415-8790

E-mail : knujuni@hanmail.net

식(1)과 같이 정의하고 유효보폭 계수  $\alpha$ 에 관한 연구를 집중적으로 수행하였다.

$$l_2' = \alpha \times l_2 \quad (1)$$

여기서,  $\alpha$  : 유효보폭 계수

$l_2', l_2$  : 유효보와 슬래브의 폭이다.

유효보폭 계수  $\alpha$ 의 개념은 슬래브를 구성하는 콘크리트가 완전히 선형 거동한다는 가정에 기초하고 있다. 접합부에서 실제 슬래브의 회전은 Fig. 1(a)와 같이 기둥 근처에서 가장 크고 기둥에서 멀어질수록 점점 작아지는 현상을 보인다. 이러한 슬래브의 거동을 Fig. 1(b)와 같이 전체폭에 대하여 접합부 중심과 동일한 회전각을 가지며 실제 슬래브 모멘트와 등가의 모멘트를 전달하는 것으로 가정한 가상의 부재를 유효보라 하며 이때의 폭을 유효보폭이라 한다.

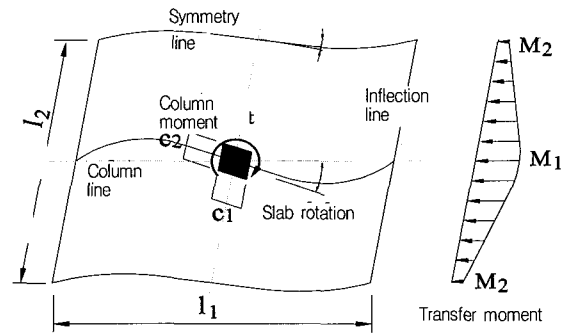
유효보폭 계수  $\alpha$ 는 균열에 의한 슬래브의 강성감소 효과를 전혀 고려하지 않은 것으로 식(2)와 같이 슬래브 폭에 대한 유효보 폭의 비로 나타낼 수 있다.

$$\alpha = \frac{l_2'}{l_2} \quad (2)$$

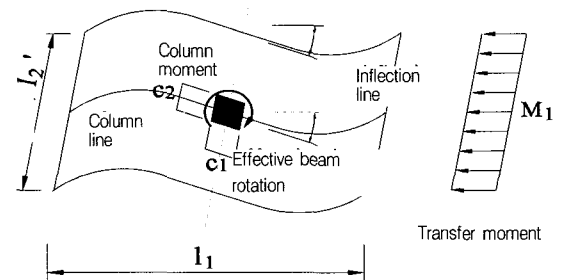
Table 1은 유효보폭 계수에 관한 기존 연구를 요약한 것으로 이들의 공통적인 특징은 다음과 같다.

- 1) 슬래브의 변곡선과 대칭선은 슬래브 중심선을 따라 생기는 것으로 가정하고 연속된 슬래브의 일부분을 분리하여 연구를 수행하였다.
- 2) 모든 접합부는 슬래브와 기둥으로 구성되고 기둥은 슬래브 중심에 위치하는 것으로 가정하였다.

- 3) 슬래브-기둥 접합부는 전달모멘트의 하중 분배에 따라 크게 "rigid column"과 "flexible column"으로 나눌 수 있다. 이는 접합부 강성의 상한치와 하한치를 제공하는데, 이중 실제적인 접합부의 탄성거동은 "rigid column"에 매우 근접하였다.
- 4) 접합부의 회전을 구하기 위하여 수치적인 기법을 이용하였다.



(a) Behavior of slab-column connection



(b) Behavior of effective beam-column connection

Fig. 1 Concept of effective beam width

Table 1 Effective beam width coefficient studies

Investigator	Date	Type of study	Geometrical parameter		
			Connection	Column	Slab
Aalami <sup>3)</sup>	1972	Finite difference	INT	S	R
Mehrain & Aalami <sup>4)</sup>	1974	Finite element	INT	S	R
Pecknold <sup>5)</sup>	1975	Levy analysis	INT	R	R
Allen & Darvall <sup>6)</sup>	1977	Levy analysis	INT	R	R
Fraser <sup>7)</sup>	1983	Finite element	ALL	R	R
Milija & Steven <sup>8)</sup>	1985	Levy analysis	INT	R	R
Banchik <sup>9)</sup>	1987	Finite element	ALL	S	R
Fariborz & Rainer & Mehrdad <sup>10)</sup>	1991	Finite element	PER	S	R
Luo & Durrani <sup>11,12)</sup>	1995	Modified equation	INT PER	R	R
Choi & Song <sup>13-16)</sup>	2001	Finite element	ALL	R	R

S/R : Square/rectangle

PER : Edge connection with bending perpendicular to the edge

Where, the study by banchik is referenced in the report by hwang and moehle

INT : Interior connection

ALL : All connection

## 2.2 강성감소 계수

유효보폭 모델에 관한 상기 연구는 균열에 의한 슬래브의 강성감소 효과를 고려치 않은 것으로 건물의 횡변위를 과소평가하는 경향이 있다. 이에 Moehle<sup>17-19)</sup>는 균열로 인한 슬래브의 휨 강성저하를 나타내는 강성감소 계수  $\beta$  를 제시하여 유효보폭의 폭을 식(3)과 같이 정의하였다.

$$l_2' = \beta \times \alpha \times l_2 \quad (3)$$

여기서,  $\beta$  : 강성감소 계수,  $\alpha$  : 유효보폭 계수  
 $l_2'$ ,  $l_2$  : 유효보폭과 슬래브의 폭이다.

강성감소 계수  $\beta$ 는 콘크리트의 비선형 거동을 기초한 개념으로 식(4)와 같이 균열을 고려치 않은 유효보폭에 대한 균열을 고려한 유효보폭의 비로 나타낼 수 있다.

$$\beta = \frac{l_2' (crack)}{l_2' (non-crack)} \quad (4)$$

여기서,  $l_2' (non-crack)$  : 균열을 고려치 않은 유효보폭  
 $l_2' (crack)$  : 균열을 고려한 유효보폭이다.

Table 2는 슬래브의 강성감소 계수에 관한 기존 연구를 요약한 것으로 계수를 결정하는 평가기준은 대부분 층간 변위비 0.5 %로 정하였다. 이것은 철근 콘크리트 건물의 탄성해석에서 UBC Code(UBC 1994)<sup>20)</sup>의 사용하중에 대한 층간변위비 규정과 Hwang과 Moehle의 UCB 실험 결과<sup>9,19)</sup>를 고려할 때 적합한 기준이라 할 수 있다. 상기 강성감소 계수에는 산정식을 이용하여 계수를 구하는 복수치예측 방법(multiple-valued prediction)과 1/3 또는 1/4 등의 일정수치를 사용하여 강성의 하한치를 제공하는 단수치예측 방법(single-valued prediction)으로 구분할 수 있는데, RC 무량판 구조 설계에 이를 반영하기 위해서는 적용에 있어 편리한 단수치예측 방법(single-valued prediction)이 더욱 효율적일 것이다.

## 3. RC 무량판 구조의 모델링

### 3.1 3차원 골조 모델링

기존의 모든 골조해석 모델들은 3차원 건물을 2차원 평면골조로 모델링하였다. 이것을 3차원 입체 골조로 모델링할 경우 다음과 같은 장점을 갖는다.

- 1) 건물에 작용하는 횡하중을 각각의 평면골조에 적절히 분배할 수 있다. 특히 전단벽 또는 가새 등의 횡저항 요소와 조합될 경우 더욱 효과적이다.
- 2) 완전한 건물의 해석을 위하여 2차원 평면골조를 반복적으로 모델링할 필요가 없으므로 실용적이다.
- 3) 골조 상호간의 관계가 고려되어 상대적으로 더욱 정확한 거동 예측이 가능하다. 특히 RC 무량판 건물의 비틀림 현상과 같은 3차원 거동 예측이 가능하다.

따라서, 본 연구진은 2차원 평면골조 모델의 공학적인 개념을 바탕으로 RC 무량판 건물을 Fig. 2와 같이 3차원으로 모델링할 것을 제안하였다. 이것은 기존의 평면골조 모델을 확장한 것으로 슬래브의 축 강성과 휨 강성의 고려가 모두 가능하며 범용 프로그램에 적용하기가 쉽다. Fig. 2에서, 기둥과 전단벽은 실제 강성을 그대로 사용하며, 슬래브의 휨 강성은 유효보 개념(일정한 유효폭을 갖는 보요소)을 이용하고 축 강성은 강막효과를 이용하여 모델링 한다.

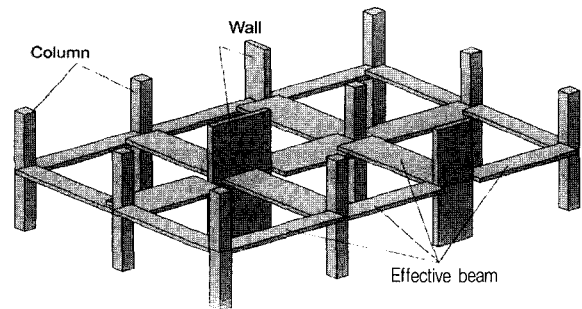


Fig. 2 Three dimensional modeling of effective beam width model

Table 2 Stiffness reduction factor studies

Investigator	Date	Model	Test type		Proposed value	
			Load	Connection	Criterion	Value
Moehle & Diebold <sup>17)</sup>	1984	EBWM	One way	INT PER	Lateral strength ratio 40 %, Drift ratio 0.5 %	1/3~1/2, ①*
Pan & Moehle <sup>18)</sup>	1988	EBWM	Two way	INT	Displacement ratio 0.2 %	1/3
Hwang & Moehle <sup>9,19)</sup>	1993	EBWM	Two way	ALL	Drift ratio 0.5 %	②*, 1/3
Choi & Song <sup>16)</sup>	2001	EBWM	Two way	ALL	Drift ratio 0.5 %	1/3, 1/4

Note : ①\*  $\beta = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] \frac{I_{cr}}{I_g}$

②\*  $\beta = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^{0.75} + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^{0.75}\right] \frac{I_{cr}}{I_g}$

### 3.2 모델링 방법론

RC 무량판 건물의 3차원 모델링 절차는 다음과 같다.

#### 3.2.1 RC 무량판 슬래브의 분할

Fig. 3과 같이 대칭선(symmetry line)을 따라 무량판 슬래브를 분할하고 슬래브 중심간 거리를 슬래브 폭  $l_2$ 로 정의한다. 분할된 내·외부골조의 변곡선(inflexion line)을 따라 슬래브를 재 분할하여 슬래브의 길이  $l_1$ 을 결정한다.

#### 3.2.2 접합부의 유효보폭 결정

접합부의 유효보폭은 식(1)과 식(3)의 2가지 적용 방법이 있다. 식(1)은 균열을 고려치 않은 유효보폭으로 슬래브 강성의 상한치를 나타내는 것이고 식(3)은 균열에 의한 강성감소 효과를 반영한 것으로 슬래브 강성의 하한치를 제공하는 것이다. 실제적인 무량판 건물의 슬래브 강성은 상한치와 하한치 사이의 하나의 특정한 값을 가질 것이나 이를 명확히 정의하기는 매우 어려운 문제이다. 단, 슬래브 휨 강성의 상·하한치를 일반적인 RC 무량판 구조(슬래브-기둥 접합부와 슬래브-전단벽 접합부로 구성되어 있는 무량판 구조)에 적용하였을 경우 해석 결과의 경향에 대해서는 4장을 통하여 언급하기로 한다.

접합부의 유효보폭 결정에 있어 유효보폭 계수  $\alpha$ 와 강성감소계수  $\beta$ 에 관한 본 연구진의 기존 연구결과는 Table 3 그리고 Table 4와 같다. 여기서  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_w$ ,  $t_w$ 는 기둥, 슬래브 그리고 전단벽의 기하학적 형상을 나타내는 변수로써 Fig. 3과 같고  $\gamma_i$ 와  $\gamma_e$ 는 기둥의 변장비에 따른 보정 계수로써  $\gamma_i = 0.85 + 0.15 c_2/c_1$ ,  $\gamma_e = 0.70 + 0.30 c_2/c_1$ 이다.  $C$ 는 골조의 종류에 따른 상수로써 내부골조일 경우 1, 외부골조일 경우 2를 적용하고 배치타입 I과 II는 하중방향과 벽 배치에 따른 구분으로 배치타입 I은 하중방향과 벽 길이방향이 수직일 때 그리고 배치타입 II는 수평일 때를 의미한다.

#### 3.2.3 경간의 유효보폭 결정

상기 언급한 접합부의 유효보폭은 대부분 하나의 경간에 있어 일정한 강성을 갖지 않기 때문에 이를 범용 프로그램에 그대로 적용하는 것은 매우 번거로운 일이다. 그러므로 본 연구에서는 Hwang과 Meohle<sup>9)</sup>의 연구에 기초하여 접합부 유효보폭을 경간의 유효보폭으로 변환하였다. 여기에서 코너 접합부와 연결되지 않은 경간의 유효보폭은 식(5)와 같이 경간을 이루는 각 접합부 유효보폭을 산술 평균하고, 코너 접합부와 연결되는 경간의 유효보폭은 식(6)과 같이 코너 접합부 유효보폭의 60% 그리고 하중방향과 수평인 단부 접합부 유효보폭의 40%를 취하여 구한다.

$$l_{2(span)'} = \frac{l_{2(left)'} + l_{2(right)'}}{2} \quad (5)$$

$$l_{2(span)'} = \frac{3l_{2(cor)'} + 2l_{2(par)'}}{5} \quad (6)$$

여기서,  $l_{2(left)'}$ ,  $l_{2(right)'}$ 는 경간 양쪽의 접합부 유효보폭이고  $l_{2(cor)'}$ ,  $l_{2(par)'}$ 은 코너 접합부와 하중방향과 수평인 단부 접합부의 유효보폭이며  $l_{2(span)'}$ 은 경간의 유효보폭이다.

#### 3.2.4 3차원 모델링 수행

실제 기둥 및 전단벽의 강성과 유효보의 강성을 이용하여 3차원 모델링을 수행한다. 만약, 횡방향 성능의 증진을 위하여 가새 또는 아웃트리거 및 벨 트러스를 사용할 경우 이들의 실제 부재 성능을 그대로 모델링 한다. 3차원 골조 모델에 슬래브의 강막효과를 부여하고 범용 프로그램을 이용하여 해석을 수행한다.

## 4. 예제 무량판 건물 해석

철근콘크리트 무량판 구조를 갖는 판상형 아파트를 모

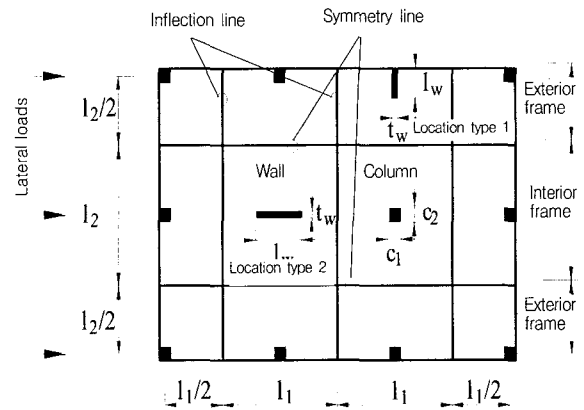


Fig. 3 Division of flat-plate slabs

Table 3 Formulas by authors for effective beam width coefficients

Connection type		Effective beam width coefficients
Slab	Interior	$\alpha = \frac{\gamma_i}{l_2} (4.5 c_1 + 0.14 l_1 + 0.12 l_2)$ <sup>16)</sup>
	Exterior	$\alpha = \frac{\gamma_e}{l_2} (3.0 c_1 + 0.07 l_1 + 0.06 l_2)$ <sup>16)</sup>
Slab	Location type I	$\alpha = \frac{1}{C l_2} (1.2 l_w + 6 t_w)$ <sup>15)</sup>
Wall	Location type II	$\alpha = \frac{1}{C l_2} (4 l_w + 2 t_w)$ <sup>15)</sup>

Table 4 Stiffness reduction factors by authors

Connection type	Stiffness reduction factors
Edge and corner	$\beta = 1/4$ <sup>16)</sup>
Interior	$\beta = 1/3$ <sup>16)</sup>

모델링하고 이를 가상의 지진하중에 대하여 해석하였다. 예제 아파트의 구조계획은 세대 내부 전단벽을 기둥으로 대체하여 평면계획의 유연성을 확보하고 전단벽을 코어 부분에 집중 배치하여 횡지향 성능을 증진시켰다. 또한 기둥의 배치 간격은 지하층의 주차공간 활용을 고려하여 계획하였다.

#### 4.1 대상 건물의 형상

대상 건물은 총 길이 75m×22m×42m(가로×세로×높이)를 갖는 15층 아파트로 총 84세대를 위한 주거용 건물이다. 평면 계획시 아파트의 지하층은 주차시설, 지상 1층은 복지시설 그리고 지상 2층부터 15층까지를 주거시설로 계획하였다. 무량판 아파트의 주거시설에 관한 단위 평면계획은 Fig. 4와 같고 단위 구조계획은 Fig. 5와 같다.

예제 아파트에 적용한 지진하중은 등가정적해석법에서 사용하는 설계용 응답스펙트럼을 이용하였는데, 이때 지역계수 A=0.11, 중요도계수 I=1.5, 지반계수 S=1.2 그리고 반응수정계수 R=3으로 가정하였다. 슬래브의 바닥하중은 아파트의 일반적인 하중크기를 고려하여 700 kg/m<sup>2</sup>으로 그리고 재료의 강도 및 부재의 단면 크기는 Table 5와 같이 가정하고 MIDAS-GENw를 이용하여 해석을 수행하였다.

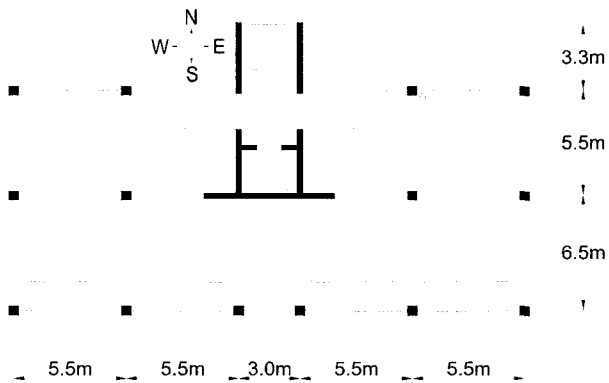


Fig. 4 Unit plan of idealized flat-plate example

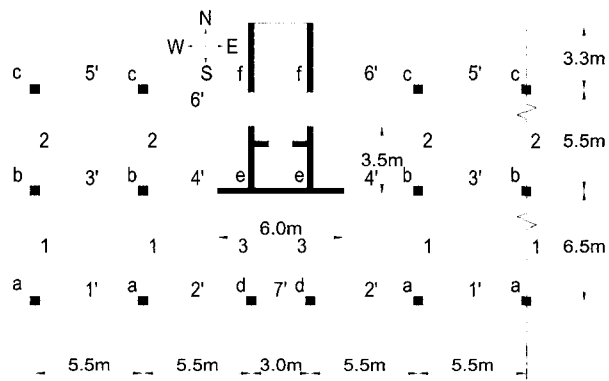


Fig. 5 Structural plan of idealized flat-plate example

#### 4.2 대상 건물의 모델링

RC 무량판 구조에서 슬래브 휨 강성이 건물의 거동에 미치는 영향을 알아보기 위하여 3가지 타입의 모델링을 실시하였다. Table 6의 타입 1은 슬래브의 균열 효과를 고려치 않은 모델로써 식(1)을 기초하여 접합부 유효보폭을 산정하였고 타입 2는 균열에 의한 슬래브의 강성감소 효과를 반영한 것으로 식(3)에 의하여 접합부 유효보폭을 결정하였다. 그리고 타입 3은 슬래브의 휨 강성을 무시하고 해석하는 일반적인 모델링 방법을 나타낸 것이다.

3장 “RC 무량판 구조의 모델링”에 기초하여 대상 건물의 접합부 및 경간 유효보폭을 Table 7 그리고 Table 8과 같이 산정 하였고 이에 관한 타입별 모델링 평면을 Fig. 6에 나타냈다.

Table 5 Strength of material & size of elements

Strength of material ( $f_{ck}$ )	Section size(cm)			
	Column	Slab thick.	Beam	Wall thick.
300 kg/cm <sup>2</sup>	50×50	20	25×45	25

Table 6 Modeling types of effective beam

Model type	Flexural stiffness(Effective beam)		Axial stiffness
	Width	Depth	
Type 1	$l_2' = \alpha \times l_2$ Eq.(1)	Slab thickness	Diaphragm
Type 2	$l_2' = \beta \times \alpha \times l_2$ Eq.(3)	Slab thickness	Diaphragm
Type 3	x	x	Diaphragm

Table 7 Connection Effective beam widths of idealized flat-plate example

Direction	Connection	Slab geometry		Coefficient		Connection effective beam width	
		$l_1$	$l_2$	$\alpha$	$\beta$	Type1	Type2
N-S	a	6.5	5.5	0.69	0.25	382	96
	b	6.0	5.5	0.68	0.33	375	125
	c	5.5	5.5	0.67	0.25	368	92
	d	6.5	4.25	0.86	0.25	367	92
	e	6.0	4.25	1.00	0.33	425	142
	Ⓐ	6.5	5.5	0.42	0.25	229	57
	Ⓑ	6.0	5.5	0.41	0.25	225	56
	Ⓒ	5.5	5.5	0.40	0.25	222	55
	E-W	a	5.5	6.5	0.35	0.25	228
b		5.5	6.0	0.62	0.33	374	125
c		5.5	5.5	0.40	0.25	222	55
d		4.25	6.5	0.34	0.25	219	55
e		4.25	6.0	1.00	0.33	600	198
f		4.25	5.5	0.50	0.25	275	69
Ⓐ		5.5	6.5	0.35	0.25	228	57
Ⓑ		5.5	6.0	0.62	0.25	374	93
Ⓒ		5.5	5.5	0.40	0.25	222	55

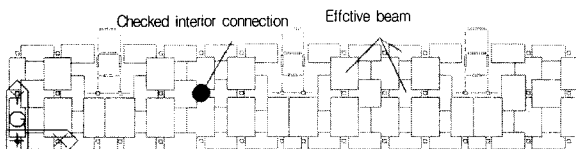
### 4.3 해석 결과 분석

#### 4.3.1 기본 진동주기 분석

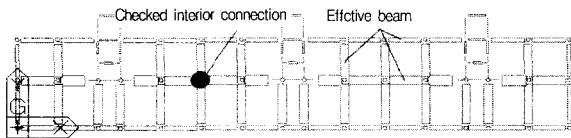
Table 9는 고유치 해석에 의한 예제 아파트의 기본 진동주기를 나타낸 것으로 타입 1과 타입 2는 건물 횡강성의 상한치와 하한치를 제공하고 있다. Table 10은 건축물 하중기준<sup>21)</sup>에서 제시하는 기본 진동주기를 구조 형식에 따라 나타낸 것이다. 고유치해석을 통한 동-서 방향 진동 주기는 규준1(모멘트 골조)과 유사한 결과를 나타냈고 남-북 방향 진동 주기는 규준1(모멘트 골조)과 규준2(전단벽 구조)의 사이 값을 보였다. 여기에서 대상 무량판 건물의 남-북 방향 강성은 모멘트 골조에 비하여 크고 전단벽 구조에 비하여 작음을 알 수 있다.

Table 8 Span Effective beam widths of idealized flat-plate example

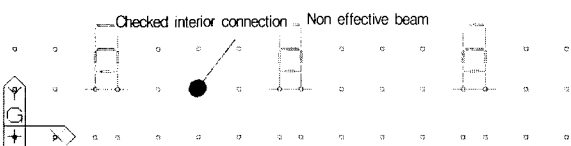
Direction	Number			Span effective beam width			Depth
	Span	1'st Joint	2'nd Joint	Type1	Type2	Type3	
N-S	1	a	b	379	110	0	20
	2	b	c	372	109	0	20
	3	d	e	396	117	0	20
	①	Ⓐ	Ⓑ	227	57	0	20
	②	Ⓑ	Ⓒ	223	56	0	20
E-W	1'	a	a/Ⓐ	228	57	0	20
	2'	a	d/Ⓑ	223	56	0	20
	3'	b	b/Ⓒ	374	125	0	20
	4'	b	e	487	162	0	20
	5'	c	c	222	55	0	20
	6'	c	f	248	62	0	20
	7'	d	d	219	55	0	20



(b) Effective beam width of type 1



(b) Effective beam width of type 2



(c) Effective beam width of type 3

Fig. 6 Modeling of effective beam

#### 4.3.2 시스템 변위 분석

Fig. 7은 적용 지진하중에 대한 대상 건물의 횡변위를 그리고 Fig. 8은 층간변위를 타입별로 분석한 것이다. 여기서 타입 2와 타입 1은 대상 건물 변위의 상한값과 하한값을 나타내는 것으로 실제적인 변위는 상·하한값 사이의 특정한 값을 가질 것이다. 타입 2는 균열에 의한 영향을 고려하여 강성감소 계수가 포함된 식(3)을 적용한 것으로 이를 이용한 모델링의 해석결과가 변위의 상한값을 보이는 것은 당연한 결과라 할 수 있다.

하중 방향에 따른 각 타입의 상대적인 변위비는 동-서 방향에 비하여 남-북 방향이 작게 나타났는데 이것은 모델링된 유효보에 비하여 전단벽의 남-북 방향 강성이 상대적으로 크기 때문에 나타나는 경향이라 할 수 있다.

#### 4.3.3 접합부 강도 분석

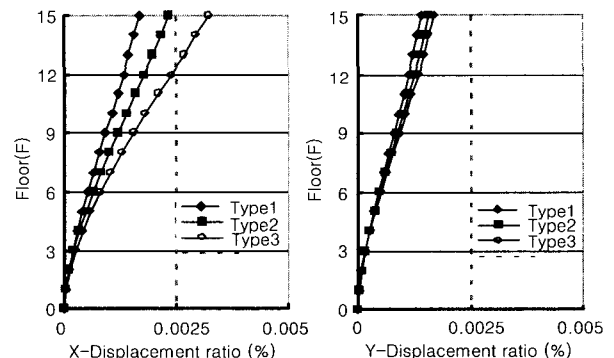
RC 무량판 구조에 있어서 접합부에 작용하는 불균형 모멘트의 크기를 결정하는 것은 슬래브와 기둥사이의 모멘트 전달에 있어 매우 중요한 사안이다. 특히 무량판 구조는 슬래브의 뚫림 전단에 의한 취성 파괴가 발생하기 쉬우므로 편심 전단에 의하여 전달되는 불균형 모멘트의 크기는 건물의 안전성과 직접적인 관련을 갖는다. ACI

Table 9 Period according to eigenvalue analysis

	Direction	Type1	Type2	Type3
Natural period (Eigen analysis)	N-S	1.007	1.086	1.138
	E-W	1.118	1.384	1.708

Table 10 Period according to provision

Provision	Formulas for period	Natural period
Provision 1 (Moment frame)	$T = 0.0731 (h_n)^{3/4}$	1.206
Provision 2 (Shear-Wall)	$T = 0.0743 (h_n)^{3/4} / \sqrt{A_c}$	0.845(N-S)
		1.111(E-W)
Provision 3 (Etc.)	$T = 0.0488 (h_n)^{3/4}$	0.805



(a) E-W Direction

(b) N-S Direction

Fig. 7 Lateral displacements of idealized flat-plate example

318-99<sup>2)</sup>에서는 접합부에 작용하는 불균형 모멘트가 휨과 편심 전단에 의해 전달되는 것으로 규정하고 있는데, 여기서 휨에 의하여 전달되는 불균형 모멘트 부분은 식(7)과 같고 편심 전단에 의하여 전달되는 부분은 식(8)과 같다.

$$\gamma_f = \frac{1}{1 + \left(\frac{2}{3}\right)\sqrt{\frac{b_1}{b_2}}} \quad (7)$$

$$\gamma_v = 1 - \gamma_f \quad (8)$$

여기서,  $b_1, b_2$  : 임계 전단 단면의 측면 길이

$\gamma_v$  : 편심 전단에 의해 전달되는 불균형 모멘트 부분

$\gamma_f$  : 휨에 의해 전달되는 불균형 모멘트 부분이다.

Fig. 9는 가상의 지진하중에 대한 내부 접합부의 불균형 모멘트를 나타낸 것으로 대상 접합부의 위치는 Fig. 6에 표기하였다. Fig. 9에서 균열의 영향을 고려하지 않은 타입 1이 변위 분석과는 달리 접합부 불균형 모멘트의 상한값을 나타냈다. 이것은 건물의 횡변위와 모델링된 유효보 강성 모두 접합부의 불균형 모멘트 결정에 관련되기 때문이다. 예제 아파트의 경우, 전단벽을 이용하여 건물 횡변위를 제어하였으므로 불균형 모멘트 크기 결정에 있어 횡변위의 영향은 줄고 유효보 강성의 효과가 크게 나타난 것이다. 일반적인 무량판 구조가 대부분 전단벽 또는 횡저항 요소와 조합된 형태로 시공되므로 횡하중을 받는 RC 무량판 구조의 접합부 불균형 모멘트의 상한값은 타입 1에 의하여 결정된다고 할 수 있다.

타입 3을 이용한 해석에서는 접합부의 불균형 모멘트를 전혀 예측할 수 없었는데, 이것은 대상 건물이 마치 캔틸레버처럼 해석되었기 때문이다. 결국 RC 무량판 구조 해석에서 슬래브의 휨 강성을 고려치 않는다면 접합부 설계에 있어 불안전축의 해석결과를 제공할 수 있다는 것이다. Fig. 9의 점선은 ACI 318-99<sup>2)</sup>에서 규정하는 편심 전단응력 모델에 기초하여 허용 가능한 최대 불균형 모멘트 ( $15.96 t \cdot m$ )를 표시한 것이다.

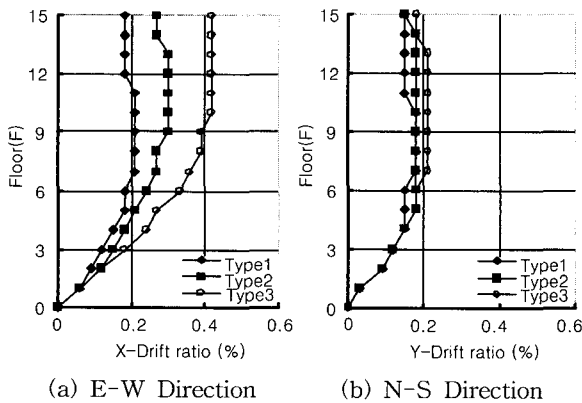


Fig. 8 Story drifts of idealized flat-plate example

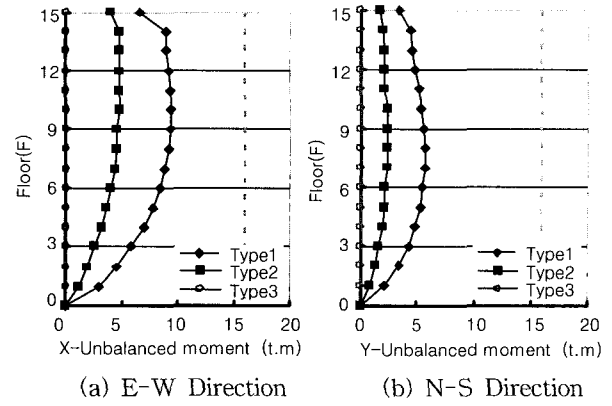


Fig. 9 Unbalanced moments of idealized flat-plate example

## 5. 결 론

1) 횡하중을 받는 RC 무량판 구조의 3차원 해석시 슬래브의 휨 강성을 적절히 고려하기 위해서는 유효보폭 모델을 적용하는 것이 바람직하다. 이때, 유효보의 폭을 산정하기 위한 유효보폭 계수와 강성감소 계수는 Table 3과 4를 이용함이 적합할 것이다.

2) 실제 RC 무량판 건물의 슬래브 강성은 상한치(타입1 :  $l_2' = \alpha \times l_2$ )와 하한치(타입2 :  $l_2' = \beta \times \alpha \times l_2$ ) 사이의 특정한 값을 가질 것이다.

3) 예제 무량판 건물의 해석을 통하여 타입 1은 접합부 불균형 모멘트에 대하여 상한값의 결과를 보이고 타입 2는 횡변위에 대하여 상한값의 결과를 나타냈다. RC 무량판 건물을 설계할 경우 상기 결과를 고려하여 해석을 수행하여야 할 것이다.

4) 예제 해석에서 슬래브의 휨강성을 고려치 않은 타입 3은 대상 건물 접합부의 불균형 모멘트를 예측할 수 없었다. 결국 슬래브의 휨 강성을 무시한 해석은 접합부 설계에 있어 불안전축의 해석결과를 제공할 수 있다.

## 감사의 글

본 논문은 2001년도 건설교통부 연구(과제번호 : 자유 A00-02)의 연구비 지원과 MIDAS IT의 프로그램 지원에 의해 수행된 것으로 이에 깊이 감사 드립니다.

## 참고문헌

1. ATC, "NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings," FEMA Report 273, Applied Technology Council for the Building Seismic Safety Council, Washington, D. C, 1997.
2. ACI Commite 318, "Building Code Requirements

- for Structural Concrete (ACI 318-99)," Portland Cement Association, 1999.
3. Aalami, B., "Moment-Rotation Relation Between Column and Slab," *ACI Structural Journal*, Vol. 69, No. 5, May 1972, pp.263~269.
  4. Mehraïn, M. and Aalami, B., "Rotational Stiffness of Concrete Slabs," *ACI Structural Journal*, September 1974, pp.429~435.
  5. Pecknold, D. A., "Slab Effective Width for Equivalent Frame Analysis," *ACI Structural Journal*, April 1975, pp.135~137.
  6. Allen, F. H. and Darvall, P. LeP., "Lateral Load Equivalent Frame," *ACI Structural Journal*, July 1977, pp.294-299.
  7. Fraser, D. J., "Elastic Analysis of Laterally Loaded Frames," *Journal of the Structural Engineering*, Vol.109, No.6, June. 1983, pp.1479~1489.
  8. Milija, N. P. and Steven M. P., "On the Computation of Slab Effective Widths," *Journal of the Structural Engineering*, Vol.111, No.2, Feb. 1985, pp.363~377.
  9. Hwang, S. J. and Moehle, J. P., "An Experimental Study of Flat-plate Structures Under Vertical and Lateral Loads," No. UCB/EERC-93/03, University of California, Berkeley, Feb, 1993.
  10. Fariborz, B., Rainer, E., and Mehrdad, F., "Moment Transfer and Slab Effective Widths in Laterally Loaded Edge Connections," *ACI Structural Journal*, Sep.-Oct., 1991, pp.615~623.
  11. Luo, Y. H. and Durrani, A. J., "Equivalent Beam Model for Flat-Slab Buildings - Part I : Interior Connections," *ACI Structural Journal*, Jan-Feb, 1995, pp.115~124.
  12. Luo, Y. H. and Durrani, A. J., "Equivalent Beam Model for Flat-Slab Buildings - Part II : Exterior Connections," *ACI Structural Journal*, Mar-Apr, 1995, pp.250~257.
  13. 최정욱, 김철수, 송진규, 이수곤, "횡하중을 받는 Flat-Plate 구조의 유효보폭 계수," 대한건축학회 논문집 구조계, 제17권, 6호, 2001, pp.77~86.
  14. Choi, J. W., Kim, C. S., Song, J. G., and 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.
  15. 김철수, 최정욱, 송진규, 윤정배, 이수곤, "횡하중을 받는 벽-슬래브 접합부의 유효보폭 계수," 대한건축학회 학술발표논문집, 제21권, 2호, 2001, pp.27~30.
  16. 최정욱, 송진규, 윤정배, 이수곤, "횡하중을 받는 RC 무량판 구조의 골조해석 모델," 대한건축학회 논문집 구조계, 제18권, 3호, 2002, pp.37~46.
  17. 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.
  18. 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.
  19. 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.
  20. "Uniform Building Code," International Conference of Building Officials, Whittier, California, 1997.
  21. 건축물 하중기준 및 해석, 대한건축학회, 2000.

## 요 약

철근콘크리트 무량판 구조의 내력 및 변위를 합리적으로 예측하기 위해서는 슬래브의 휨 강성을 고려한 해석모델이 필요하다. FEMA 273과 ACI 318-99에서는 횡 하중에 대한 슬래브의 해석모델들을 제시하고 있으나 실제적인 적용 방법론은 언급하고 있지 않다. 본 연구에서는 무량판 슬래브의 모델링 방법론을 정립하고 이를 내진설계에 어떻게 적용할 것인가에 대하여 연구하였다. 연구결과는 다음과 같다. 1) 무량판 구조의 3차원 해석시 슬래브의 휨 강성을 적절히 고려하기 위해서는 본 연구진이 제시하는 유효보폭 모델을 적용하는 것이 바람직하다. 2) 예제 무량판 건물 해석에서 슬래브의 균열효과를 고려한 유효보폭을 이용할 경우 해석결과는 횡변위에 대하여 상한값을 나타낸 반면 유효보폭 계수만을 고려한 모델은 접합부 불균형 모멘트에 대하여 상한값의 결과를 나타냈다.

**핵심용어** : 모델링 기법, 무량판 구조, 슬래브, 유효보폭모델