

## 무량판 구조의 구조해석 기법 소개



정석재  
(주)쓰리디구조 실장

### 1. 무량판 구조의 특징 및 적용 현황

무량판 구조는 과거에 일부 일반 사무실 창고나 백화점 등 주로 저층 구조물에서 주로 사용되어 왔으나, 삼풍백화점 붕괴사고 이후 그 붕괴사고의 원인 중 하나로 부적절하게 부각되면서 무량판 구조의 선택이 배제되어 왔다. 그러나 현재는 공동주택의 구조형식으로서 무량판 구조의 장점이 부각되고 있고, 이와 관련된 설계 및 시공기술에 대한 연구 성과가 축적되었으며, 시공사례도 점차 증가함에 따라 무량판 구조에 대한 인식이 점차 바뀌어 가고 있다.

해외의 경우 시공성, 경제성, 공간 활용성 면에서 주거형식에 적합하다는 이유로 미국을 중심으로 대도시의 상업용 건물이나 공동주택의 구조형식으로 오래 전부터 사용되어 왔다. 최근에는 접합부 설계 방법의 개선 및 전단보강 시스템의 개발, 포스트텐션닝 공법 도입 관련 연구 및 시공이 이루어지고 있다.

국내의 경우 삼성동 아이파크를 효시로 주상복합건물의 구조형식으로 서서히 자리 잡아 가고 있으며, 무량판 구조에 대한 다양한 연구가 각 대학연구소 및 시공사를 중심으로 활발히 진행되고 있다.

무량판 구조형식은 벽식구조에 비해 공간활용도가 높고 용도변경에 유리하며, 보-기둥 라멘조에 비해 층고절감의 효과가 뛰어나 건축 계획적 측면뿐만 아니라 사업성 측면에서 매우 효과적인 구조시스템임에 분명하지만, 기둥-슬래브 접합부가 라멘조에 비하여 취약하므로 이에 대한 해석기법 및 접합부 배근방법 등 시공기법에 관한 충분한 고려가 필요하며, 무량판구조의 경제성에 큰 영향을 미치는 공기 단축에 대한 기술축적이 선행되어야 한다.

이 글에서는 무량판 구조의 구조설계 시 중요한 부분을 차지하고 있는 해석기법에 대하여 현재까지 진행된 여러 연구 성과와 각 기법들

에 대한 특징들을 간략하게 소개하고자 한다.

### 2. 해석기법

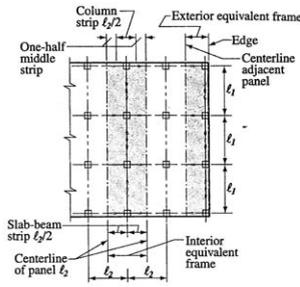
무량판 구조의 구조해석 방법은 1차원의 기둥요소에 연결되는 2차원의 슬래브 요소를 1차원의 등가보로 변환하는 방법에 따라 크게 등가골조해석법과 유효보폭법으로 구분된다. 또한 현재 전산처리능력과 해석기법의 발달로 해석시간이 획기적으로 단축됨에 따라 유한요소(FEM)를 이용하는 방법도 점차 증가하고 있다.

#### 2.1 등가골조법(Equivalent Frame Method)<sup>1)</sup>

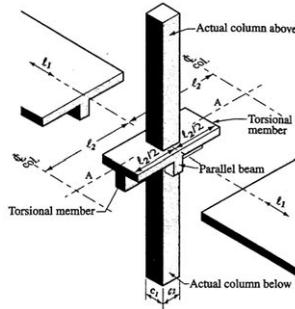
##### (1) 설계기준(ACI)상의 등가골조 모델

ACI에서 사용되는 등가골조모델은 기둥 측면에 접하는 슬래브를 비틀림 부재로 정의한 Corley와 Jirsa의 연구<sup>2)</sup>를 바탕으로 슬래브와 기둥사이의 모멘트가 비틀림 부재에 의하여 간접적으로 전달된다고 가정하는 것이다.

등가골조는 골조방향의 보(보가 있는 경우)들을 포함한 수평 슬래브대와 슬래브 상하로 연결된 기둥, 그리고 수평부재와 수직 사이의 휨모멘트를 전달하는 구조요소인 비틀림 부재 등 세부부분으로 구성되며, 인접한 슬래브 판의 중심선에 의하여 구획되는 중형 및 내외부 등가골조들을 해석함으로써 전체 슬래브 시스템에 대한 완전한 해석이 이루어진다.



〈그림1〉 등가골조의 정의



〈그림2〉 등가기둥

즉, 비틀림 부재의 비틀림 강성을 고려한 기둥의 등가강성과 전체 폭에 대한 강성을 가지는 슬래브의 2차원골조로 모델링하여 해석이 이루어진다. 이때 등가기둥의 강성은 다음과 같다.

$$\frac{1}{K_{ec}} = \frac{1}{\sum K_c} + \frac{1}{K_t} \quad \text{식(1)}$$

여기서,  $K_{ec}$  = 기둥의 등가강성,  $K_c$  = 기둥의 강성

$$K_t = \text{슬래브의 비틀림 강성} \quad K_t = \sum \frac{9E_c C}{l_2 (1 - c_2/l_2)^3} \quad \text{식(2)}$$

여기서,  $C$  = 비틀림상수

결국 등가골조 모델에서 접합부 회전강성은 비틀림 부재의 비틀림 강성  $K_t$ 와 실제 기둥의 휨강성  $K_c$  그리고 전체 폭을 갖는 슬래브의 휨강성  $K_s$ 에 관한 함수로 정의할 수 있다.

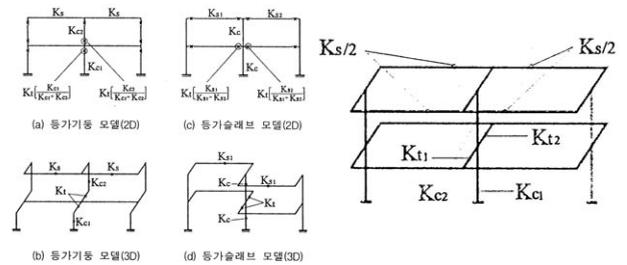
(2) Vanderbilt의 모델

1979년 Vanderbilt<sup>3),4)</sup>는 황해석에 대한 ACI 등가골조법의 단점을 보완하여 수정된 등가골조 모델을 제안하였다. 식(2)의 비틀림 부재를 하나의 스프링으로 모델링하고 기둥 또는 슬래브-보 요소 단부에 연결한 것인데, 비틀림 강성을 갖는 스프링의 위치에 따라 등가 기둥 모델과 등가 슬래브 모델로 구분하였다. 기둥은 실제 강성을 사용하고, 슬래브는 전체 폭을 슬래브-보 강성을 사용하였다.

Vanderbilt의 등가골조모델은 기존의 ACI 등가골조법에 비하여 부재의 강성조합이 없기 때문에 상대적으로 단순하고 건물 전 층에 대한 모델링이 제공되므로 횡력에 대한 적용이 가능하다.

(3) Cano & Klingner의 모델

Cano<sup>5)</sup>는 식(1)의 기둥의 강성과 식(2)의 슬래브의 비틀림 강성을 병렬로 연결하는 모델을 제안하였으며, 이를 근거로 실용해석 프로그램인 ADOSS를 개발하였다.



〈그림3〉 Vanderbilt 해석모델    〈그림4〉 Cano & Klingner 해석모델

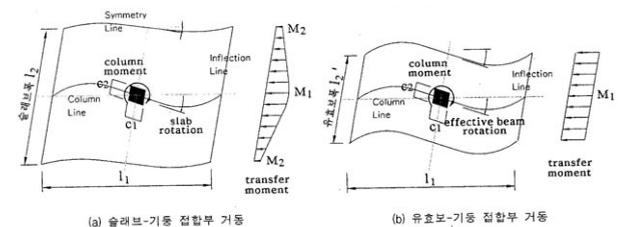
(4) 등가골조모델의 제한성

등가골조 모델은 슬래브의 비틀림 강성이 포함되어야 하므로 많은 제한이 따른다. 일반 해석프로그램에서 식(1)에 따른 기둥의 등가강성을 구하여 단면의 계수를 대입하는 것은 번거로운 일이다. Vanderbilt나 Cano & Klingner의 모델을 사용하는 경우에는 스프링 모델을 사용하므로 스프링에 비틀림 강성을 대입하여야 하는 번거로움이 있다.

2.2 유효보폭법 (Equivalent Beam Width Method)<sup>1),6),15)</sup>

유효보폭의 모델은 1960년대부터 슬래브 유효폭 연구를 시초로 많은 연구자들에 의하여 발전하였다. 이 모델은 기둥의 전달 모멘트가 슬래브에 직접 전달되는 것을 가정하고 유효폭을 갖는 슬래브와 기둥으로 구성된 2차원 골조를 모델링하는 것으로 등가골조와 유사한 개념이다.

RC 무량판 슬래브의 회전은 〈그림5〉(a)와 같이 기둥 근처에서 가장 크고 기둥에서 멀어질수록 점점 작아지는 현상을 보인다. 여기서 그림 5(b)와 같이 접합부 중심의 회전각을 가지며 실제 슬래브의 모멘트와 등가의 모멘트를 전달하는 폭을 유효보폭이라 정의하였다. 결국 유효보폭 모델에서의 접합부 회전 강성은 실제 기둥의 휨 강성  $K_c$ 와 유효보폭을 갖는 슬래브의 휨강성  $K_s'$ 에 관한 함수로 정의할 수 있다.



〈그림5〉 유효보폭모델 개념

## (1) 유효보폭계수 $\alpha$

유효보폭계수란 전체 폭을 갖는 슬래브의 강성  $K_s$ 에 대한 유효보의 강성  $K_s'$ 의 비를 말한다. 유효보폭법에 관한 대부분의 기존 연구는 수치적인 기법을 이용한 유효보폭 계수의 산정에 집중되어 있다.

$$\alpha = \frac{K_s'}{K_s} = \frac{l_2'}{l_2} \quad \text{식(3)}$$

여기서,  $l_2$  = 슬래브 폭,  $l_2'$  = 유효보의 폭

## (2) 강성감소계수 $\beta$

슬래브의 균열을 발생시키는 원인은 시공하중, 상시하중 등의 작용 하중 그리고 건조수축 및 온도변화에 따른 체적변화 등으로 볼 수 있다. 이로 인하여 발생한 균열은 슬래브의 강성을 감소시켜 횡하중에 대한 건물의 변위를 증가시킨다. 이때 횡변위의 크기는 접합부 모멘트 변화에 큰 영향을 주며 건물의 안정성 및 거동에 있어서도 매우 중요하다. 그러므로 균열에 의한 슬래브의 강성감소를 고려하는 것은 매우 중요한 사안이다.

강성감소는 식(4)와 같이 탄성 상태의 슬래브 강성에 대한 균열슬래브 강성  $K_s''$ 의 비로 정의내릴 수 있는데,

$$\beta = \frac{K_s''}{K_s'} = \frac{l_2''}{l_2'} \quad \text{식(4)}$$

여기서,  $l_2''$  = 균열을 고려한 슬래브의 유효폭

슬래브 강성감소 계수에 관한 기존 연구는 크게 계수 산정식을 이용하여 감소된 강성을 구하는 방법(Multiple-valued prediction)과 계수 1/3 또는 1/4 등의 일정 수치를 사용하여 강성의 하한치를 제공하는 방법(Single-valued prediction)으로 구분할 수 있다. 전자의 경우, 작용하중 및 횡변위 크기에 따른 건물의 거동 분석이 가능하나 적용에 있어 매우 번거롭다. 이에 반해 후자는 하중의 크기에 따른 건물의 횡강성 변화를 설명하기는 어렵지만 실용적인 면에서 매우 편리한 방법이다.

## (3) 유효보의 횡강성 및 3차원 유효보폭모델

유효보폭 모델에 있어서 가장 중요한 것은 유효보의 횡강성을 결정하는 것인데, 이것은 결국 유효보폭 계수  $\alpha$ 와 강성감소계수  $\beta$ 에 달려 있다.

유효보폭법을 이용한 유효보폭의 3차원 모델 시 기동은 실제 기동의 횡 강성  $K_s$ 를 그대로 사용하고 유효보의 강성  $K_s''$ 는 유효보폭 계수  $\alpha$ 와 슬래브의 비탄성 효과를 나타내는 강성감소 계수  $\beta$ 가 조합되어 식(5)와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 유효보의 깊이는 슬래브의 두께를 그대로 사용하므로 유효보의 폭  $l_2''$ 는 식(6)과 같이 정의할 수 있다.

$$K_s'' = \beta \times \alpha \times K_s, \quad \text{식(5)}$$

$$K_s'' = \beta \times \alpha \times K_s, \quad \text{식(6)}$$

## (4) 유효보폭 제안식

### ① Levy의 기법을 이용한 연구

Pecknold(1975)<sup>7)</sup>는 기동에서 슬래브로 전달되는 하중분배를 Fourier 급수로 확장하고 Levy기법을 이용하여 슬래브의 유효보폭을 유도하였다. Allen과 Davall<sup>8)</sup>도 Levy의 기법을 이용하여 하중타입에 따른 해를 산정하였다.

### ② Durrani와 Luo<sup>9)</sup>

실험 자료를 바탕으로 하여 Pecknold의 수식을 변경하여 내부접합부에 대한 유효보폭을 제안하였다.

$$l_2' = \chi \times \alpha \times l_2, \quad \text{식(7)}$$

여기서  $\chi = (1 - 0.4 \frac{V_g}{4A_c \sqrt{f_{ck}}})$  (수직하중에 의한 감소계수) 식(8)

$$\alpha_i = \frac{1.02 \frac{c_1}{c_2}}{0.05 + 0.002 (\frac{l_1}{l_2})^4 - 2 (\frac{c_1}{l_1})^3 - 2.8 (\frac{c_1}{l_1})^2 + 1.1 (\frac{c_1}{l_1})} \quad \text{(내부 유효보폭계수) 식(9)}$$

$$\alpha_e = \frac{K_t}{(K_t + K_s)} \quad \text{(외부 유효보폭계수) 식(10)}$$

### ③ Moehle의 연구<sup>10)</sup>

Moehle은 유효보폭계수에 강성저감계수를 곱하는 수식을 제안하였다.

$$l_2' = \beta \times \alpha \times l_2 \quad \text{식(11)}$$

여기서,  $\beta$  = 강성저감계수 (1/3)

### ④ 송진규의 연구<sup>1)</sup>

Moehle의 식(11)과 동일한 형태의 수식을 사용하였으며, 유한요소 해석을 근거하여 유효보폭을 설정하였다. 벽체에 대하여서도 유효보폭의 계산식에 있어 실무에 사용하기에 편리하다. Durrani<sup>11),12)</sup>의 모델은 유효보폭이 내부와 외부가 다르므로 부재가 Taper의 형태이나, 이 모델은 동일한 단면의 폭을 가정한다.

제안된 유효보폭계수는 다음과 같다.

$$\alpha_i = \frac{\gamma_i}{l_2} (4.5c_1 + 0.14l_1 + 0.12l_2) \quad \text{(내부 유효보폭계수) 식(12)}$$

$$\alpha_e = \frac{\gamma_e}{l_2} (3.0c_1 + 0.07l_1 + 0.06l_2) \quad \text{(외부 유효보폭계수) 식(13)}$$

여기서,  $\gamma_i, \gamma_e$  = 기동 변장비에 따른 보정계수

$$\gamma_i = 0.85 + 0.15 \frac{c_2}{c_1} \text{ (내부골조)}, \gamma_e = 0.70 + 0.30 \frac{c_2}{c_1} \text{ (외부골조)},$$

$$\beta_i = 1/3 \text{ (내부강성저감계수)}, \beta_e = 1/4 \text{ (외부강성저감계수)},$$

⑤ Grossman의 연구<sup>13)</sup>

Grossman(1997)은 Vanderbilt의 연구 결과 및 다른 연구자의 실험 결과를 고찰하여 다음과 같은 수식을 제안하였으며, 이를 Hwang과 Moehle<sup>10)</sup>의 실험결과를 통하여 검증하였다.

$$\alpha l_2 = K_d [0.3l_1 + c_1 (l_2/l_1) + (c_2 - c_1)/2] (d/0.9h) K_{FP} \text{ 식(14)}$$

단,  $(0.2)(K_d)(K_{FP})l_2 \leq \alpha l_2 \leq (0.5)(K_d)(K_{FP})l_2$ ,

- 여기서,  $K_d$  1.1 수평변위 제한이 1/800일 경우
- 1.0 수평변위 제한이 1/400일 경우
- 0.8 수평변위 제한이 1/200일 경우
- 0.5 수평변위 제한이 1/100일 경우

$K_{FP}$  =1.0 내부기둥의 경우

0.8 외단부 기둥의 경우

0.6 모서리 기둥의 경우

⑥ 박홍근, 이영욱의 연구<sup>9),16)</sup> (단순등가보)

기둥의 단면이 정방형 및 장방형인 경우에 대한 유효보폭으로 다음의 값을 제안하였다. 비정형인 경우 유효보폭은 기둥 두면의 평균값을 사용하였다.

$$\text{정방형인 경우 유효보폭} = c_2 + 3h \text{ 식(15)}$$

$$\text{장방형인 경우 유효보폭} = \frac{c_1 + c_2}{2} + 3h \text{ 식(16)}$$

여기서,  $c_1$ 은 슬래브 스패에 평행한 기둥면의 폭

$c_2$ 는 슬래브 스패에 직교하는 기둥면의 폭,  $h$ =슬래브 두께

(5) 강성저감계수를 고려한 유효보폭계수 비교

Moehle의 모델<sup>10)</sup>과 송진규<sup>11)</sup>의 모델은 유사하므로 송진규의 모델과 Grossman의 모델, 단순등가보 모델(박홍근, 이영욱의 연구)을 서로 비교한 결과는 <표1>과 같다.

<표1>에서 (1)열의 값은  $\beta=1.0$ 인 경우이므로 균열이 발생하지 않은 구조체로 볼 수 있다. 따라서 풍하중에 대한 무량판 구조의 수평변위 검토를 위한 한계 변위비 1/400에서는 단순등가보의 모델이 가장 안전측의 설계를 하는 것으로 나타났으며, 강성저감계수( $\beta=1/3$ )를 고려한 송진규의 유효보폭모델, Grossman의 제안식 순으로 나타났다.

<표1> 강성저감계수에 따른 유효보폭계수 계산에 (내부스팬의 경우)

l/h	l(m)	h(m)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
			송진규 ( $\beta=1.0$ )	Grossman (Drit=1/400)	송진규 ( $\beta=1/3$ )	Grossman (Drit=1/200)	단순등가보
0.67	4	6	0.588	0.307(156%)	0.196(100%)	0.246	0.183(93%)
0.83	5	6	0.612	0.331(162%)	0.204(100%)	0.264	0.183(89%)
1.0	6	6	0.635	0.362(170%)	0.212(100%)	0.290	0.183(86%)
1.2	6	5	0.738	0.419(170%)	0.246(100%)	0.335	0.220(89%)
1.5	6	4	0.893	0.504(169%)	0.298(100%)	0.403	0.275(92%)

주기: ①  $c=0.5m$ ,  $c_2=0.5m$ ,  $t$  or  $h=0.2m$ ,  $d=0.17m$ 인 경우 계산예임.

② 팔호안은 강성저감계수( $\beta=1/3$ )를 고려한 송진규식에 대한 Grossman 및 단순 등가보 식에 대한 유효보폭계수비의 백분율임.

(6) 유효보폭법의 제한성

유효보폭법에서는 유효보폭을 계산함으로 범용해석프로그램에 쉽게 적용할 수 있는 장점이 있다. 그러나 각각의 제안식의 편차가 크고, 각 제안식들이 갖고 있는 제한성이 있으므로 적용 시 세심한 주의를 요한다.

2.3 유한요소(FEM)을 이용하는 방법

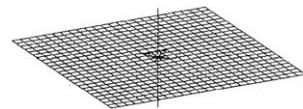
(1) 판(Plate) 요소를 이용한 모델링<sup>6)</sup>

무량판 슬래브를 판요소를 사용하여 모델링하게 되면 기둥과 만나는 절점에서 문제점이 발생하게 된다. 즉, 평면 위에서 선형부재인 기둥과 면부재인 슬래브가 만나는 부위는 하나의 점이 아니라 기둥의 면적이다. 그러나 해석 모델에서는 하나의 점에서 만나게 됨으로써 실제의 기하학적인 형상이 고려되지 못하게 되어 접합부위의 강성이 과소평가된다.

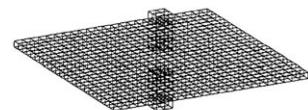
이러한 문제를 해결하기 위해서는 기둥의 크기에 따라 판요소가 분할되도록 하고, 기둥 내부에 해당하는 판요소 들이 중앙부의 절점과 강체거동(Rigid body motion)을 하도록 하는 방안이 있다. 만약 접합부위에 변형을 유도하고자 한다면 일체거동 모델 대신 적절한 강성을 부여하여야 한다.

(2) 입체(Solid)요소를 이용한 모델링<sup>6)</sup>

입체 요소를 사용하여 모델링하면 무량판 슬래브의 거동을 정확하게 예측할 수 있다. 그러나 이러한 모델은 모델링과 해석에 많은 시간이 필요하므로 건물과 같이 절점의 수가 많은 경우에는 부적절하다.



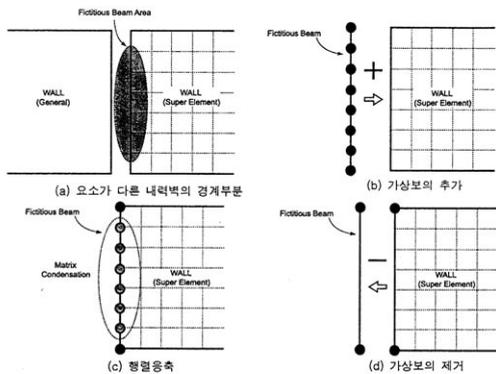
<그림6> 판요소를 이용한 유한요소모델



<그림7> 입체요소를 이용한 유한요소모델

### (3) 슈퍼요소(Super Element)를 이용한 해석<sup>14),15)</sup>

슈퍼요소란 여러 개의 유한요소로 구성된 바닥판이나 벽체를 하나의 요소로 처리하고 행렬응축기법을 적용하여 전체요소를 구성하는 자유도 수를 대폭 줄이되, 가상보의 원리를 이용하여 슈퍼요소를 구성하고 있는 요소들의 유한요소적인 특성은 그대로 유지하면서 자유도 응축에 의하여 해석시간을 획기적으로 단축시킨 방법이다. 이와 같은 슈퍼요소를 이용하여 유한요소해석을 수행하면 해석시간이 획기적으로 단축되어 일반 개인용 PC에서도 해석이 가능하며, 그에 따라 바닥판 판요소의 응력 뿐만 아니라 횡력에 대한 변위 및 동적거동 등을 정확히 파악할 수 있게 되어 향후 널리 사용될 것으로 예상된다.



〈그림8〉 슈퍼요소에서 적용되는 가상보의 원리

### 3 맺음말

등가골조 모델의 접합부 회전강성은 비틀림 부재의 비틀림 강성, 실제 기둥의 휨강성, 그리고 전체 폭을 갖는 슬래브의 휨 강성에 의하여 결정되는 함수로서 각각의 기둥에 대한 접합부 회전강성을 구해야 한다는 번거로움이 있으며, Vanderbilt나 Cano & Klingner의 스프링 모델도 스프링에 비틀림 강성을 대입하여야 하는 등 등가골조 모델을 실무에 적용하기에는 많은 어려움이 따른다.

그에 비해 유효보폭법은 유효보폭계수  $\alpha$ 와 슬래브의 비탄성 효과를 나타내는 강성감소계수  $\beta$ 를 고려하여 산정한 등가의 유효보를 이용함으로써 범용해석프로그램에 쉽게 적용할 수 있다는 장점이 있으나, 여러 연구자들에 의하여 제안된 식들에 다소 차이가 있다. Grossman이 제안한 식은 국내외의 여러 제안식에 비해 유효보폭이 커서 횡하중에 대한 변위가 작게 나타나는 반면, 송진규의 식( $\beta=1/3$  적용시)이나 단순등가보 식 등은 다소 안전 측으로 설계하는 것으로 나타났다. 이와 같이 제안된 각각의 식들이 다소 편차를 보이기는 하나, 유효보폭법에 의한 무량판 구조 해석방법은 초기설계 시 구조물의 거동을 예측하고, 부재 단면크기를 결정하기 위해서는 매우 효

과적인 방법임에는 분명하다.

무량판 구조의 실제 거동을 가장 정확하게 예측할 수 있는 방법인 유한요소를 이용하는 방법은 유효보폭법의 검증 수단으로 주로 사용되고 있는데, 유한요소법과 유효보폭법을 비교, 검증하는 다양한 연구 사례들을 분석해 보면 두 방법의 해석결과가 거의 일치하는 것으로 나타난다.

최근에는 전산처리능력과 해석기법의 발달로 해석시간이 획기적으로 단축됨에 따라 50~60층 규모의 무량판 구조를 유한요소를 이용하여 해석하는데 별다른 무리가 따르지 않으므로 유한요소를 이용하여 실제 거동을 파악하고 설계에 반영하는 사례가 증가하는 추세이다.

### 4. 참고문헌

- 1) 최정욱, 송진규, 윤정배, 이수근, "횡하중을 받는 RC 무량판 구조의 골조해석 모델", 대한건축학회논문집 구조계 18권 3호 (통권161호) 2002년 3월
- 2) Corley, W.G., and Jirsa, J. O., "Equivalent Frame Analysis for Slab Design", ACI Journal, November 1970, pp.875-884.
- 3) Vanderbilt, M.D., "Equivalent Frame Analysis for Lateral Loads", Proceedings, ASCE, V.105, ST10, Oct. 1979, pp.1981-1998.
- 4) Vanderbilt, M.D., and Corley, W.G., "Frame Analysis of Concrete Buildings", Concrete International : Design & Construction, V.5, No. 12, Dec. 1983, pp.33-43.
- 5) Cano, M.T., and Klingner, R.E., "Comparison of Analysis Procedures for Two-Way Slabs", ACI Structural Journal, Nov./Dec. 1988, pp.597-608.
- 6) 이영욱, 김정웅, "단순등가보 모델에 의한 플랫 플레이트 구조물의 해석", 대한건축학회 논문집 구조계 19권 11호 통권181호 2003년 11월
- 7) Pecknold D.A., "Slab Effective Width for Equivalent Frame Analysis", ACI Structural Journal, April, 1975
- 8) Allen, F.H. and Darvall "Lateral load Equivalent Frame", ACI Journal, July 1977, pp 294-299
- 9) Durrani A.J., Du Y., Luo Y.H., "Seismic Resistance of Nonductile Slab Column Connections in Existing Flat-Slab Buildings", ACI Structural Journal, V.92, No.4, July-August, 1995
- 10) Moehle J.P., Diebold J.W., "Lateral Load Response of Flat Plate Frame", Journal of Structural Engineering, Vol. 111, No. 10 October, 1985
- 11) Robertson I.N., Durrani A.J., "Gravity Load Effects on Seismic Behavior of Exterior Slab-Column Connections", ACI Structural Journal, V.88, No.3, May-June, 1991
- 12) Robertson I.N., Durrani A.J., "Gravity Load Effects on Seismic Behavior of Interior Slab-Column Connections", ACI Structural Journal, V.89, No.1, Jan.-Feb. 1992
- 13) Grossman J.S., "Verification of Proposed Design Methodologies for Effective Width of Slabs Slab-Column Frames", ACI Structural Journal, V.94, No.2, March-April 1997
- 14) 박진호, "Midas/ADS 주요특징 및 개정내용 소개", 제11회 Midas 구조기술 세미나 (건축분야) 자료집, 2004.6.
- 15) 이동근, "슈퍼요소를 이용한 전단벽식 아파트의 효율적인 해석", 제6회 Midas 구조기술세미나 (건축분야) 자료집, 2002.12.
- 16) "미래형아파트구조시스템개발에 관한 연구", 동부건설 2003.11.