비보강 조적조 건물의 등가 정적 해석에 관한 연구

A Study on the Equivalent Static Analysis of Unreinforced Masonry Buildings

정 상 훈* 김 관 중* 김 희 철**
Chung, Sang Hoon Kim, Kwan Jung Kim, Hee Cheul

국문요약

우리 나라의 주거 건물의 많은 부분을 차지하는 조적조 건물은 저층이므로 내진 설계에 대한 지침이 마련되어 있지 않다. 그러나 조적조 건물의 경우 저층이라 하더라도 구조특성상 수평하중에 대한 저항능력이 매우 약하므로 내진 설계에 대한 기준이 요구된다. 일반적으로 내진설계 시 동적해석을 수행하면 많은 시간이 소모되므로 실무자들에게 등가정적해석법을 제시하여 내진설계 시 편의를 제공하고 있다. 그러나 저층 조적조 건물은 일반적인 건물과는 거동 특성이 다르므로 저층 조적조 건물에 적용할 수 있는 해석법을 제시하고자 한다 본 논문에서는 개구부의 비율에 따른 조적벽의 연성도, 강도 및 고유주기를 구하여 반응수정계수와 고유주기를 비교하여 우리 나라의 조적조 건물에 적합한 반응수정계수와 고유주기 산정식을 제안하였다.

주요어 조적조, 등가 정적 해석, 주기 산정식, 반응 수정 계수

ABSTRACT

There is no earthquake resistant design code for the unreinforced masonry(URM) buildings in Korea since most of URM structures are low-rise. However, it does not mean that all URM buildings in Korea is safe under the possible earthquake load. Therefore, it is required to establish the earthquake resistant design code even though the usual height of a URM building is not tall. It would be more convenient for the field engineers to use the equivalent static analysis method than to use the dynamic analysis method which takes long analysis time. The purpose of this study is in the analysis of unreinforced masonry walls with many different types of openings, and carry out their ductilities, strengths, and natural frequencies. Response modification factor and natural frequency of each wall have been compared. The most appropriate response modification factor and natural period calculation equations for URM buildings in Korea have been proposed.

Key words *: masonry, equivalent static analysis, natural period, response modification factor*

1. 서 론

1988년에 내진 설계의 개념을 도입한 이래 꾸준한 수정을 통하여 우리 실정에 보다 근사한 결과를 얻기 위하여 노력하고 있다. 그러나, 내진 설계에 대한 규준이 제정되기 이전에 지어진 건물 및 내진 설계에 대한 이해가 부족한 현장 기술자들에 의하여 임의로 축조된 많은 건물들은 지진에 대한 보호를 받지 못하고 있는 실정이다. 우리 나라 단독 주택 건물의 대다수를 차지하고 있는 비보강 조적조 건물은 3층 이하이므로 현재의 내진 설계의 적용범위에서 벗어나 있다. 또한 그나마 제정되어 있는 건축법상의 일반 조적조에 대한 규준마저도 현장 기술자들의 경험에 의한 축조로 인하여 제대로 시행되지 못하는 실정이다. 그러므로 비보강 조적조 건물이 저층이라 할 지라도 그 재료적 특징을 고려해 볼 때 지진 하중에 취약한 단점을

* 경희대학교 건축공학과 대학원 석사과정
** 정회원 · 경희대학교 건축공학과 부교수
본 논문에 대한 토의를 2000년 12월 30일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다.

가지게 된다. 이러한 면에서 저층 비보강 조적조 건물이 지진발생 시에 어떻게 거동할지에 대하여 좀 더 실제적이고 정확하게 예측을 하는 연구는 필수적으로 수행되어야 할 것이다.

본 연구는 실험적 연구의 이전 단계로서 전산해석을 통하여 실험 시에 나타날 조적조 건물의 거동특성을 파악하고자 한다. 따라서 본 연구의 목적은 일반적인 우리나라 조적조 건물의 비선형 거동과 주기를 판단하여, 이 형식의 건물에 적용할 수 있는 등가정적 해석법에 접근하고자 하는 것이다. 연구방법은 비선형 거동의 파악을 위하여 2차원 조적벽체의 능력을 push-over analysis를 이용하며, 주기 산정을 위해서는 2차원 벽체에 대한 모드해석을 수행하여 주기를 산출하고, 이를 회기 분석하여 주기 산정식을 제안하는 방식을 택하였다.

2. 등가 정적 해석

현재 우리나라의 내진설계에 관한 규준[10]에는 식 (1)과 같은 등가정적 하중계산식을 사용하고 있다. 여기서 지역계수, 중요도계수 및 지반계수는 구조물이 건설되는 지역과 건물의 용도에 따라 결정되어지며, 건물의 하중은 일반적으로 구조설계 시에 계산되어진다. 그러나 동적계수는 건물의 주기에 따라 결정되어 지는 값으로 건물의 주기를 구하기 위해서는 모드해석을 수행하여야 하지만, 해석 시에 많은 시간이 소요되고 동적해석에 관한 지식이 있어야 한다. 따라서 일반적으로 건물의 구조 형태와 높이, 폭을 이용한 약산식을 이용하고 있다. 그리고, 반응수정계수는 구조재료 및 구조형식에 따라 결정되는 값이다. 또한, 설계강도를 초과한 수평하중이 작용하더라도 건물이 붕괴하지 않고 에너지를 흡수하면서 연성적인 비선형 거동을 할 수 있다는 개념 하에서 산출 밑면전단력을 감소시켜주어 재료의 낭비를 막아준다.

$$V = \frac{AICS}{R} W \qquad (1)$$

여기서, V는 밑면 전단력, A는 지역 계수, I는 중요도 계수, C는 동적 계수, S는 지반 계수, R은 반응 수정 계수를 말하며, W는 건물의 하중을 말한다. 식 (1)은 일반적인 RC나 철골로 지어진 중층이상의 건물에 적용할 수 있으나, 동적거동의 특성이 근본적으로 다른 조적조와 같은 저층건에는 적용할 수 없다. 현재 일본물에서는 저층건물의 내진 취약성을 고려하여 5층 이하의 건물에 관한 별도의 식을 제시하고 있다.

3. 반응수정계수의 산출

내진 구조물의 설계에서 반응수정계수는 다음의 식에 의해서 결정된다.

$$R = R_{\mu} \times R_S \times R_R \qquad (2)$$

여기서,
R_S : 강도 계수
R_{μ} : 연성 계수,
R_R : 잉여도 계수

본 연구는 벽식 건물에 한정하기 때문에 잉여도 계수는 고려하지 않는다. 또한 기둥의 위험단면의 회전연성도에 대한 평가가 아닌 벽체의 횡방향 저항능력에 대한 평가로서 연성계수와 강도계수를 구하도록 할 것이다.[7]

3.1 매개 변수

조적조 건물의 벽체의 성능을 판단하기 위하여 고려할 수 있는 매개변수로 건물의 폭-높이비, 개구부의 비율, 개구부와 개구부 사이의 간격 등 여러 가지가 있을 수 있다. 그러나 건물의 높이, 폭은 건물의 주기를 산출할 때 반영되어 동적계수에 포함되므로 여기서는 조적조의 벽의 면적에 대한 개구부의 비율만을 고려하였다.

3.2 모델링

전산해석 시 벽체의 비선형 거동을 파악하기

위하여 범용 유한요소 프로그램인 ANSYS 5.3 사용하였다. 지반과의 경계조건은 수직/수평 자유도가 완전 고정으로 고려하였다. 재료특성은 표 1과 같이 고려대에서 재료 실험한 결과를 이용하였으며, 조적체 실험은 벽돌 3단 시험체를 사용하였다. 해석시 적용된 요소는 재료적인 비선형문제를 고려하기 위하여 solid 65요소를 사용하였다. 이 요소는 압축항복강도와 인장항복강도를 따로 고려할 수 있으며, 3차원에 대하여 자유도를 갖는 요소이다. 조적조 건물의 전산해석 시, 해석의 편의를 위하여 몰탈과 벽돌의 개체를 분리하지 않고 하나의 연속체로 보고 해석을 수행한다. 이는 UBC97[4]의 'masonry'부분에서 자세히 제공하고 있다. 조적벽체와 테두리보는 절점만 공유하였으며, 이들 사이의 접착력에 대한 소성거동은 고려하지 않았다. 사용된 모델은 460×560(cm)의 조적벽으로 두께는 20cm(1.0B)이다

그림 1에서 그림 4는 개구부의 비율에 따른 거동을 조사하기 위한 모델로서 그림에 보인 바와 같이 개구부의 비에 따라 개구부가 전혀 없는 경우와, 1층에만 개구부가 5%, 10%, 15%가 있는 경우와 2층에만 개구부가 5%, 10%, 15% 있는 경우를 구분하였다. 또한 1층과 2층에 모두 개구부가 10%, 20%, 25%, 30% 있는 경우를 포함한 11 종류로 나누어 각각 해석을 수행하였다. 이 모델링에 사용된 총 절점 수는 각각의 경우마다 다소 차이는 있으나 800개 정도이며 요소 수는 약 2000개 정도가 된다.

3.3 Push-over analysis

조적조 건물의 반응수정계수를 구하기 위하여 위의 모델링 단계를 거쳐 1층과 2층 슬래브에 고정 하중을 작용시킨 뒤에 1층과 2층의 수평하중의 비를 1: 2로 하여 0kg에서부터 점차로 증가하면서 해석을 실시하였다. 하중이 증가함에 따라 재료의 항복이 발생하고 비선형 거동이 나타나는 것을 알 수 있다.

3.4 해석 결과

각 경우의 수평 하중과 최상층의 수평 변위와의 관계를 그래프로 나타내면 그림 5에서 그림 7과 같다. 개구부가 전혀 없을 때에는 비선형 저항을 가장 많이 하지만, 개구부가 증가함에 따라 저항능력이 현저히 떨어지는 것을 알 수 있다. 조적조의 거동의 특성상 항복 후에 탄소성 거동을 거의 하지 않으므로, 그래프에서의 에너지 소산능력을 동일하게 하는 탄소성 거동으로 치환하여 탄성범위에서의 변형도 한계(elastic strain limit)와 소성 범위에서의 변형도 한계(inelastic strain limit), 그리고 붕괴시 수평하중과 중량의 비(base shear coefficientratio)를 표 2와 같이 구하였다.

표 2에서 보는 바와 같이 개구부의 비가 커짐에 따라서 base shear coefficient ratio는 작아지며 1층의 개구부가 2층의 개구부보다 구조물의 안전에 더 큰 영향을 미침을 알 수 있다. 일반적인 조적조 건물의 개구부가 약 25% - 28% 정도인 것을 감안할 때 탄성 변형도 한계는 0.0001 정도이며 비선형 한계는 0.00012 정도가 적합할 것으로 사료되며, 이와 같은 결과를 바탕으로 ATC19[8]를 참조하여 반응수정계수를 구하면 그림 8과 같이 나타난다.

그림 8에서 보면 개구부가 전혀 없는 경우의 반응 수정 계수는 2.796으로 상당한 저항 능력을 나타낸다. 그러나, 개구부의 비가 증가함에 따라 그 값은 지속적으로 감소하여 1에 가까운 값이 된다. 전 층에 개구부가 있는 경우 중 20%

표 1 해석 모델의 재료적 특성

재료	탄성계수(kg/cm²)	단위 중량(kg/cm²)	포와송 비	압축강도(kg/cm²)	인장강도(kg/cm²)
조적체(벽돌+몰탈)	93567	2.05e-3	0.250	80	2.7
콘크리트	210000	2.4e-3	0.176	210	고려하지 않음

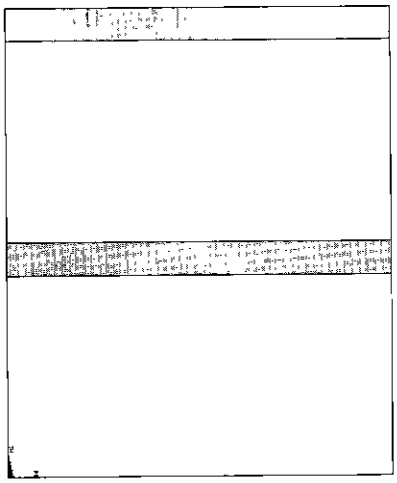

그림 1 개구부가 없는 경우

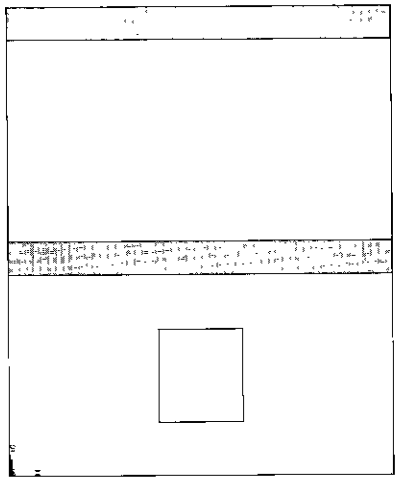

그림 2 1층에 5%의 개구부

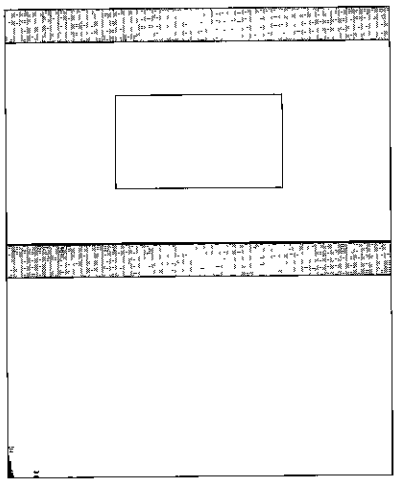

그림 3 2층에 10%의 개구부

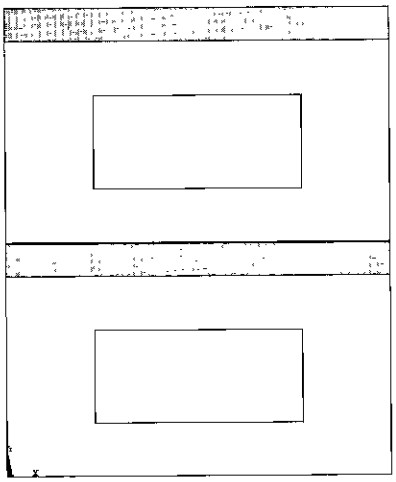

그림 4 전층에 25%의 개구부

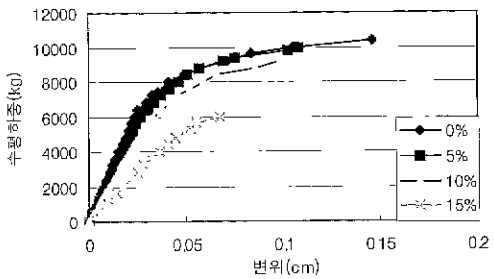

그림 5 1층에만 개구부가 있을 때

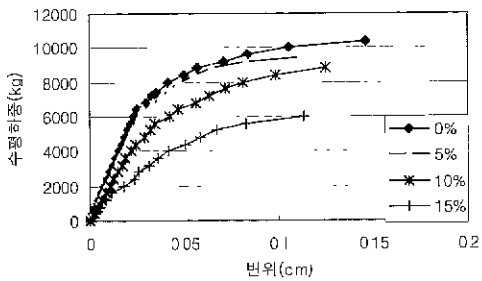

그림 6 2층에만 개구부가 있을 때

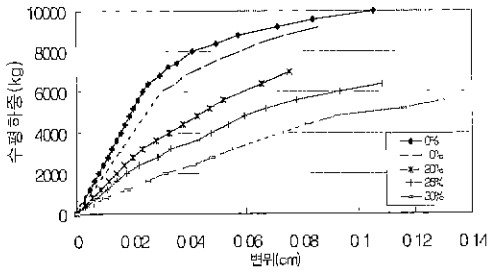

그림 7 1,2층 모두에 개구부가 있을 때

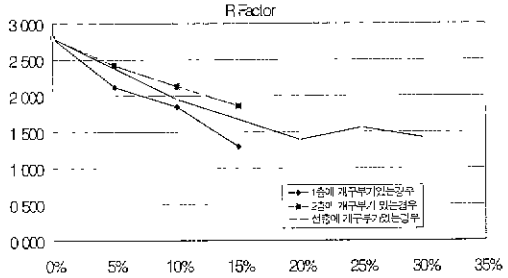

그림 8 경우별 반응 수정 계수

표 2 각 case별 탄성, 비탄성 변형도 한계 및 base shear coefficient ratio

	개구부 %	Elastic strain limit	Inelastic strain limit	Base shear coefficient ratio
1층에만 개구부가 있는 경우	0%	0.00010899	0.000260937	0.422
	5%	0.00010298	0.000192573	0.413
	10%	0.00010868	0.000175870	0.387
	15%	0.000099776	**0.000121383**	0.258
2층에만 개구부가 있는 경우	5%	**0.000094458**	0.000199855	0.390
	10%	0.000123242	0.000223300	0.371
	15%	0.000124157	0.000202285	0.258
전층에 개구부가 있는 경우	10%	0.000113510	0.000186928	0.387
	20%	0.000102830	0.000134910	0.306
	25%	0.000141380	0.000193362	0.286
	30%	0.000185495	0.000233578	0.255

에서 30%의 값을 보면 1.387에서 1.412의 값을 나타내는데 실제적으로는 하중-변위 관계가 거의 직선으로 나타나는 것을 알 수 있다. 그 중 최소값은 1.299로서 1층에 개구부가 집중해 있을 때 나타난다. 이로 보아 우리 나라 비보강 조적조 건물의 경우에서도 반응 수정계수의 값이 ATC 3-06[6]과 같이 1.25정도가 적합할 것으로 사료된다.

4. 주기의 산정

4.1 동적 계수 및 기본 진동 주기

동적 계수는 식 (3)에 의해 산정되며, 1.75를 초과 할 때는 1.75를 적용한다.

$$C=\frac{1}{1.2\sqrt{T}} \tag{3}$$

여기서,

C : 동적 계수

T : 기본 진동 주기(초)

$$T=0.85h_n^{3/4}$$

(모멘트 골조인 경우의 철골구조) (4)

$$T=0.06h_n^{3/4}$$

(모멘트 골조인 경우의 철근콘크리트구조) (5)

$$T=\frac{0.09h_n}{\sqrt{B}}\ \text{(기타구조)} \tag{6}$$

여기서,

h_n : 밑면으로부터 최상층까지 건축물의 높이

B : 지진하중이 작용하는 방향의 밑면에서의 건축물의 평면 치수

저층건물의 동적거동 특성은 고층건물의 특성과 근본적으로 다르게 진동주기가 매우 짧게 나타난다. 기본진동주기는 식 (4)부터 식 (6)까지의 약산식으로 구해지나, 조적조 건물의 주기 산정에 있어 기타구조물의 적용을 받기에는 무리가 있다.

4.2 매개 변수

주기를 결정짓는 요소에는 여러 가지가 있으나 그 많은 요소들을 전부 고려 대상으로 삼기에는 시간적, 경제적 여건이 허락되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 URM 건물의 주기에 많은 영향을 미치는 건물의 높이, 폭, 개구부의 비 및 개구부의 간격만을 고려의 대상으로 선정하였다.

4.3 모델링

모드 해석단계에서는 비탄성 영역을 고려할 필요가 없기 때문에 탄성 범위에 한정하여 실시하였다. 또한 구조물의 3차원 거동을 표현하기 위하여 구조물 전체를 모델링하고 매개변수를 고려하기 위해 일정한 모듈을 놀리며 사용하였다. 그 모듈은 일반적인 조적조 건물의 형태를 파악하여 폭:높이:깊이의 비를 4.5:2.8:6으로 하였다. 즉 1bay-1story의 기본모듈에 1bay-2story, 2bay-1story, 2bay-2story로 모델링하고 각각 개구부가 있는 경우(그림 10, 그림 12)와 없는 경우를 모델링(그림 9, 그림 11)하였다.

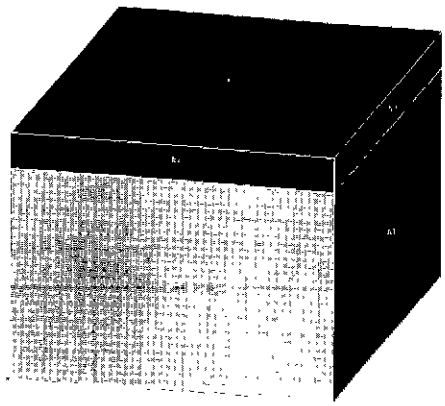

그림 9 개구부가 없는 형태의 기본모듈

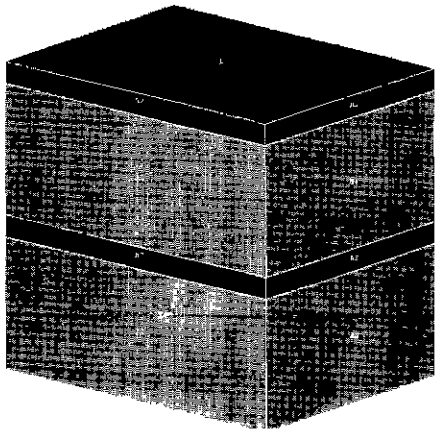

그림 11 개구부 비율에 따른 주기에 사용된 기본 모델

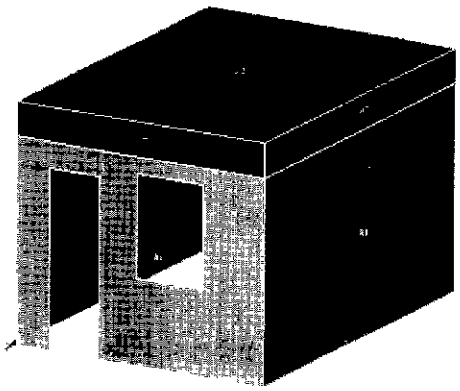

그림 10 전면에 개구부를 가진 모듈

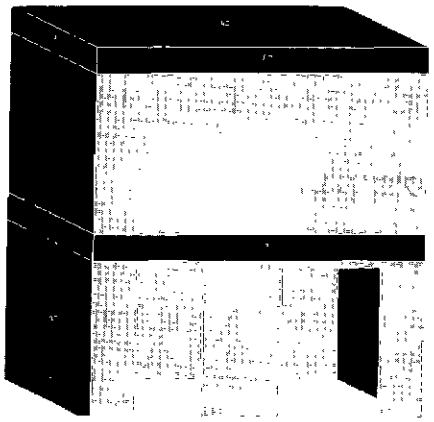

그림 12 개구부의 간격에 의한 진동수 (145cm떨어져 있을 때)

4.4 매개 변수에 따른 해석 결과

4.4.1 개구부의 비율

하나의 모듈에 2층 높이의 모델(그림 11)에 층별로 각각 5%, 10%, 15%, 20%, 25%의 개구부가 있다고 가정하였다. 각각의 모델에 대하여 모드 해석한 결과는 표 3과 같다.

표 3 개구부 사이의 간격에 따른 진동수

개구부간 간격(cm)	45	65	85	105	125	145
진동수(Hz)	21.607	21.185	20.901	20.951	21.182	21.616

해석을 수행한 결과, 개구부의 비율이 증가함에 따라 진동수가 감소하며, 같은 비율의 개구부를 가질 때 1층에만 개구부를 갖는 경우가 미소한 값이긴 하나 가장 진동수가 적게 나오는 것을 알 수 있다. 따라서 주기 산정식을 구성하는 데 있어서는 가장 불리한 경우를 고려하여 전체 개구부의 비율이 1층에 집중하는 것으로 가정하고 식을 산출하였다.

4.4.2 개구부의 간격

우리나라 건축법 상의 조적조 규준에는 개구부의 폭이 전체 벽의 ½을 넘지 않도록 되어 있으며, 그 사이의 수평 간격은 벽두께의 두 배 이상을 띄우며, 수직 간격은 60cm를 띄우도록 규정하고 있다. 따라서 본 연구에서는 규준에 명시된 간격을 유지하면서 그림 13과 같이 2층의 구조물에 아래층에 두 개의 개구부를 만들고 그 사이의 간격을 45cm, 65cm, 85cm, 105cm, 125cm, 145cm하여 해석을 실시하였다.

해석 결과는 표 4에 나타난 바와 같이 최대 진동수 21.616Hz와 최소 진동수 20.901Hz와의 차이가 3.3%로써 개구부의 사이의 간격이 진동수에 미치는 영향은 매우 미소한 것을 알 수 있다. 따라서 약산식의 산정에 있어 개구부 사이의 간격은 무시하기로 한다.

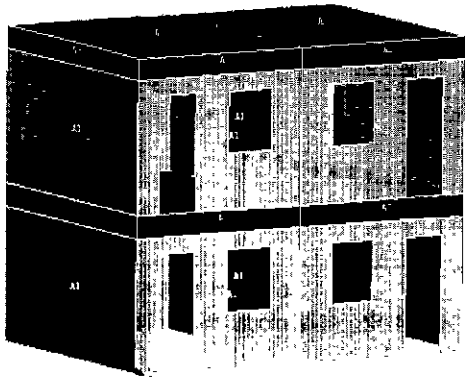

그림 13 전,후면 모두에 개구부를 가지는 2층의 모델

표 4 개구부의 비율에 따른 진동수(Hz)

개구부의 비율	1층 개구부	2층 개구부	1,2층 개구부
5%	27.405	28.731	27.562
10%	26.016	28.313	26.778
15%	24.748	27.249	26.000
20%	23.700	26.970	25.273
25%	21.884	26.498	24.603

4.4.3 약산식

해석결과 산출된 자료들을 위에서 고려한 매개변수인 높이, 폭, 1층에 집중하는 개구부의 비율을 변수로 하는 주기 산출식을 유도하였다. 산출된 자료의 통계처리에는 통계 프로그램인 SPSS 8.0을 이용하였다. 제안된 주기산출을 위한 약산식은 다음과 같다.

$$Freq = 63.427 - 6.501H + 0.620B - 24.749 \quad (7)$$

여기서,

Freq : 건물의 진동수(Hz)
H : 건물의 높이(m)
B : 건물의 폭(m)
Or : 개구부의 비

위의 진동수 산정식을 통하여 얻어진 진동수와 모드 해석을 통하여 얻어진 진동수는 그림 14와 같이 나타났다. 그림에서 보는 바와 같이 두 결과는 매우 잘 수렴하는 것을 알 수 있다.

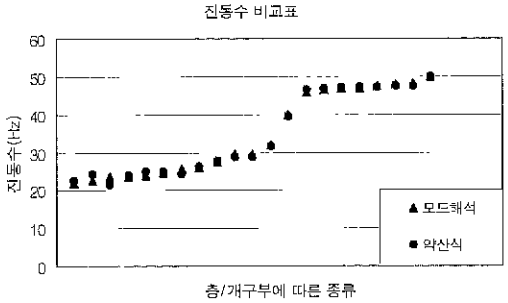

그림 14 약산식과 modal 해석결과 진동수 비교

우리나라 규준에서는 식 (4)를 이용하여 동적 계수를 산출하고 있으나 그 값이 1.75를 넘을 때는 1.75로 사용할 것을 규정하고 있다. 그러나 조적조 구조물과 같이 그 주기가 매우 짧은 건물의 경우 1.75를 초과하므로 항상 1.75를 사용하여야 한다. 그러나 1.75를 사용할 경우 시간이력 해석결과보다 등가 정적 해석을 사용한 값이 상대적으로 아주 작게 산출되므로 매우 위험하리라 판단된다. 따라서 향후 이에 대한 상향 조정이 반드시 필요하리라 생각된다.

5. 사례연구

본 연구에 의하여 제안된 반응 수정 계수와 약산식을 이용하여 조적조 건물의 등가정적해석을 수행한 결과를 시간이력 해석을 수행한 결과와 비교해보았다. 그림 15와 같은 2층의 1경간 건물과 그림 16과 같이 2층의 2경간 건물에 대한 검증을 수행하였다.

모델 1의 모드 해석을 통하여 구한 주기는 0.0425초이며 시간 이력 해석을 통하여 구한 최대 밑면 전단력은 7.699tonf이다. 또한 제안된 약산식을 이용한 주기는 0.0466초로 오차가 9.5%이며 반응 수정계수 1.25를 이용하여 등가

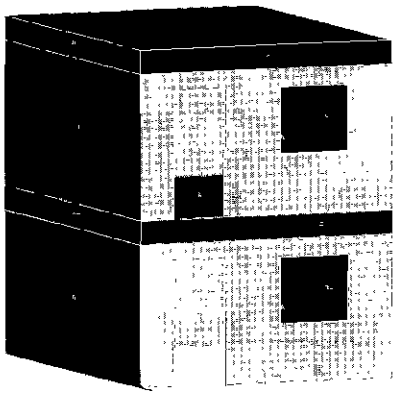

그림 15 예제 1의 모델 (1경간-2층)

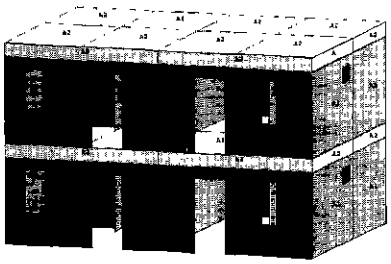

그림 16 예제 2의 모델 (2경간-2층)

정적해석을 수행하면 밑면 전단력이 8.316tonf으로 오차가 8%정도 상회하는 값을 얻게되었다.

모델 2의 모드 해석을 통하여 구한 주기는 0.0392초이며, 1940년 El Centro지진의 남북성분을 0.12로 정형화한 지진자료를 이용한 시간이력해석을 통하여 구한 최대 밑면 전단력은 17.34tonf이다. 또한 제안된 약산식을 이용한 주기는 0.0388초로 오차가 1.0%이며 반응 수정 계수 1.25를 이용하여 등가 정적 해석을 수행하면 밑면 전단력이 22.74tonf으로 오차가 31.14%정도 상회하게 나타났다. 이는 비정형 건물에 등가정적해석법을 적용하기에 한계가 있다는 것을 보여준다. 앞의 결과를 표 5와 같이 정리하였다.

표 5 예제 해석 결과 비교

	예제 1			예제 2		
	동적해석	등가정적해석	오차(%)	동적해석	등가정적해석	오차(%)
주기(sec)	0.0425	0.0466	9.5	0.0392	0.0388	1.02
밑면 전단력(tonf)	7.699	8.316	8.01	17.34	22.74	31.14

6. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 아직 우리나라 내진규준에 포함되어있지 않은 저층 조적조 건물에 대한 반응수정계수와 주기산정식을 제시하였다. 비록 본 연구가 전체 벽에 대한 개구부의 비율, 건물의 높이, 폭등의 매개 변수에 한정되어 실시되었으나, 조적조 건물의 동적특성은 충분히 파악할 수 있었다.

반응수정계수는 건물의 비탄성 거동을 나타내는 계수로서 주로 골조건물의 기둥 위험 단면에 대한 회전 변형을 고려한다. 그러나 벽식구조물에 대한 회전변형을 고려할 수 없으므로 벽체의 형태나 개구부의 간격 등을 고려하여 영향을 파악하였다. 실제적으로 지진의 방향은 전혀 예측할 수 없으며 조적조 건물의 대다수는 한 방향으로는 개구부가 거의 없으나 다른 방향으로는 25~28%의 개구부를 가지는 경우가 많으므로 안전율을 고려할 때 우리나라 조적조에 대한 적합한 반응수정계수는 여러 종류의 조적조 건물에 대한 전산 해석 결과로 산출된 1.25가 적합한 것으로 사료된다.

주기 산정식은 10% 내외의 오차를 가지는 비교적 정확한 식이라고 할 수 있다. 그러나 본 연구에서 사용된 건물은 정형화된 모델만을 그 대상으로 하였으므로 차후에 보다 다양한 형태의 조적조 건물을 해석하여 보다 다양한 형태에 대한 주기를 예측할 수 있는 산정식을 작성하여야 할 것으로 사료된다. 또한 동적계수의 1.75이라는 한계는 조적조 건물과 같은 5층 이하의 저층벽식건물에는 적용하기 어려운 한계치이므로 향후 수정을 하여야 할 것이다.

등가정적해석은 예제 해석결과로 보아 시간이력해석에 비해 8~30%정도 상회하는 결과를 얻었으나 해석시간을 단축할 수 있고 경제적이라는 측면에서 볼 때 많은 공학적 장점을 가지고 있다. 그러나 보다 실제에 가까운 해석을 위해서는 좀 더 다양한 주기산정식과 반응수정계수에 관한 연구가 요구된다.

본 연구는 조적조 건물의 해석에 한정하여 실시되었으나, 향후에는 조적벽체에 대한 push-over실험과 3차원 시험체에 대한 동적실험이 실시되어 해석적 연구에 대한 검증이 수행되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 서울대학교 지진공학연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원에 의한 것입니다. 연구비 지원에 대하여 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 김희철, 정상훈, 김관중, "비보강 조적조 건물의 반응 수정 계수에 관한 연구", 한국지진공학회 추계 학술발표회 논문집, 제3권, 제2호, 1999, pp. 265-272.
2. 김희철, 박기수, "상부 벽식-하부 골조를 가진 복합 구조물의 고유 주기 산정에 관한 연구", 한국지진공학회 추계 학술발표회 논문집, 제3권, 제2호, 1999, pp. 170-177.
3. 김희철, 이경훈, "2층 조적조의 지진하중에 의한 거동 해석 및 균열평가", 한국지진공학회 논문집, 제2권, 제4호, 1998, pp. 179-190.
4. "UBC-97," *International Conference of Building Officials*, Vol. 2, 1997, pp. 214-235.
5. "Recommended provisions for the development of seismic regulations for new building," *NEHRP*, 1997.
6. ATC(Applied Technology Council), "Tentative provisions for the development of seismic regulations for buildings," ATC3-06, 1978.
7. "벽식구조 아파트 건물의 반응 수정 계수 검증에 관한 연구", 대한주택공사 주택연구소, 1998.
8. ATC(Applied Technology Council), "A critical review of current approaches to

earthquake-resistant design," ATC-19, 1995.
9. *ANSYS 5.3 User's Manual*, ANSYS Inc, 1994.
10. 구조물의 내진 설계, 한국 전산구조공학회, 1997, pp. 3-234.
11. Chopra, A. K., *Dynamics of Structures*, Prentice Hall, 1995.
12. Hendy, A. W., *Structural Brickwork*, John Wiley & sons, 1998.