

비보강 조적조 건물의 반응 수정 계수에 관한 연구 A Study on the Response Modification Factor of Unreinforced Masonry Buildings

정 상 훈 * 김 관 중 * 김 회 철**
Chung, Sang-Hoon Kim, Kwan-Joong Kim, Hee-Cheul

ABSTRACT

There is no earthquake resistant design code for the unreinforced masonry(URM) buildings in Korea. But it does not mean that all URM buildings in Korea is safe under the possible extent of an earthquake. The purpose of this study is in the inelastic analysis of unreinforced masonry walls with many different types of openings, and carry out their ductilities and strengths. Response modification factor of each wall has been compared, and the most appropriate response modification factor for URM building in Korea has been proposed.

1. 서론

우리 나라의 건축 기준에서는 1988년에 내진 설계의 개념을 도입한 이후 그 범위를 점차로 확대시켜 나가고 있다. 그러나, 내진 설계에 대한 규준이 제정되기 이전에 지어진 건물 및 내진 설계에 대한 이해가 부족한 현장 기술자들에 의하여 임의로 축조된 많은 건물들은 지진에 의한 보호를 받지 못하고 있는 실정이다. 그 중 우리 나라 단독 주택 건물의 대다수를 차지하는 비보강 조적조 건물은 거의 전부가 3층 이하이므로 현재의 내진 설계에 대한 기준조차 적용되지 않고 있다. 이와 더불어 그나마 제정되어 있는 일반적인 규준마저도 현장 기술자들의 경험에만 의존한 축조 때문에 제대로 시행되지 않고 있는 실정이다. 이러한 경우, 비록 저층의 건물이라 할 지라도 조적조를 구성하고 있는 재료의 성질이 매우 취성적이므로 지진 하중에 매우 취약한 단점을 가지게 된다. 이러한 점으로 보아 저층 비보강 조적조 건물이 지진발생 시에 어떻게 거동하는 지에 대하여 좀 더 실제적이고 정확한 예측을 하는 것은 필수적으로 수행되어야 할 것이다.

해외의 경우는 조적조 건물에 목조 또는 데탈데크의 바닥판을 사용하고 있으며 벽체와 바닥판의 접합에 연결재를 사용하고 있다. 반면에 우리 나라의 조적조 건물은 벽체 상부에 테두리보를 설치한 후 철근콘크리트의 슬래브를 사용하고 있으나 벽체와 바닥판의 연결에는 아무런 연결재가 없는 상황으로서 지진하중과 같은 횡방향의 하중에는 더욱 취약한 구조

* 경희대학교 건축공학과 대학원 석사과정
** 정회원, 경희대학교 건축공학과 부교수

를 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 우리 나라에서 일반적으로 볼 수 있는 조적조 건물의 전산해석을 위한 모델링 및 push-over analysis를 통하여 비선형 거동을 조사하였다. 따라서 비선형 거동의 결과를 이용한 반응 수정계수를 제안하여 비보강 조적조 건물의 내진 설계기준 확립에 도움을 주고자 하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 반응 수정 계수 산정

2.1 반응 수정 계수

반응 수정 계수는 설계강도를 초과한 수평하중이 작용하더라도 건물이 붕괴하지 않고 연성적으로 비탄성 변형을 할 수 있다는 것을 이용하여 설계시 지진하중에 대응하는 밀면 전단력을 산출함에 있어서 그 크기를 낮추어 주는 역할을 한다. 전 세계에서 사용되고 있는 내진구조물의 설계에서 반응 수정 계수는 다음의 식에 의해서 구해진다.

$$R = R_{\mu} \times R_S \times R_R$$

윗 식에서,

$$R_S = \text{강도 계수}$$

$$R_{\mu} = \text{연성 계수}$$

$$R_R = \text{잉여도 계수를 말한다.}$$

본 연구에서는 Freeman의 제안식인 강도 계수와 연성 계수의 곱으로 반응 수정계수를 산정하였다. 현재 우리의 비보강 조적조는 내진 기준이 없어 반응 수정계수가 규정되어 있지 않으나, ATC에서는 비보강 조적조 건물에 대한 반응 수정 계수를 1.25로 규정하고 있다.

2.2 매개 변수

비보강 조적조 건물의 반응 수정계수를 구하는 데 있어서 고려 할 수 있는 매개변수로는 건물의 폭-높이 비, 개구부의 비율, 개구부와 개구부 사이의 간격등 여러 가지가 있을 수 있다. 그러나 건물의 높이는 건물의 주기를 산출할 때 반영되어 밀면 전단력에 포함되므로 여기서는 조적조의 벽의 면적에 대한 개구부의 비율만을 고려하여 모델링을 실시하였다.

2.3 모델링

범용 유한 요소 해석 프로그램인 ANSYS 5.3을 이용하여 지반과의 경계조건은 수직/수평 자유도가 완전 고정되어 있다고 보았다. 사용된 재료의 특성은 국내에서 재료 실험한 결과를 이용한 탄성계수를 사용하였으며 참고문헌 4를 참고하여 표 1과 같이 적용하였다. 재료

표 1. 해석 모델의 재료적 특성

재료	탄성계수 (kg/cm ²)	단위 중량 (kg/cm ³)	프와송 비	압축강도 (kg/cm ²)	인장강도 (kg/cm ²)
조적체 (벽돌+몰탈)	93567.25	2.05e-3	0.250	80	2.7
콘크리트	210000	2.4e-3	0.176	210	고려하지 않음

적인 비선형문제를 고려하기 위해 압축 항복 강도와 인장 항복 강도를 다르게 고려할 수 있으며 x, y, z 방향의 세 개의 자유도를 가지는 콘크리트 요소인 solid 65를 사용하여 mesh 하였다. 사용된 모델은 $460 \times 560(cm)$ 의 조적벽으로 두께는 $20cm(1.0B)$ 이다. 그림 1에서 그림 4에 보인 바와 같이 개구부의 비에 따라 개구부가 전혀 없는 경우를 포함하여, 1층에만 개구부가 5%, 10%, 15%가 있는 경우와 2층에만 개구부가 5%, 10%, 15% 있는 경우, 1

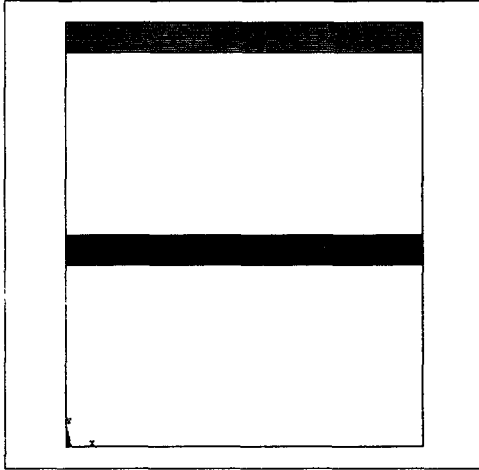


그림 1. 개구부가 없는 경우

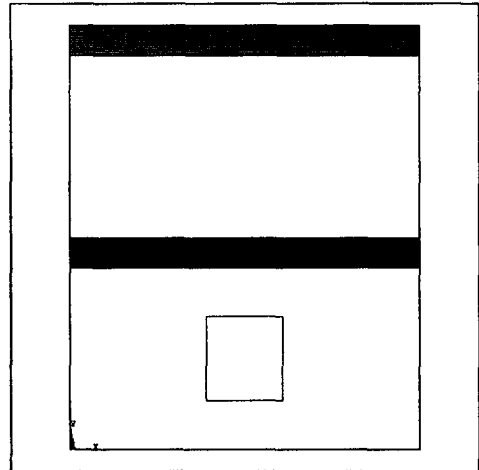


그림 2. 1층에 5%의 개구부를 갖는 경우

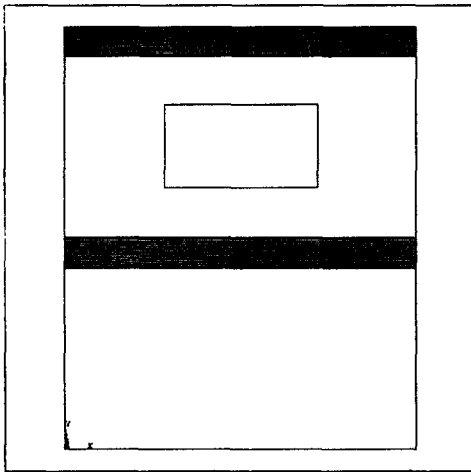


그림 3. 2층에 10%의 개구부를 갖는 경우

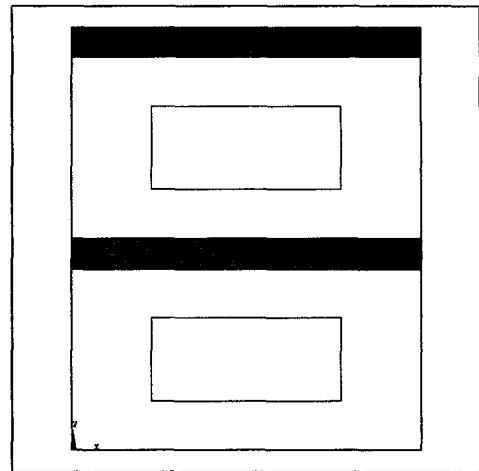


그림 4. 전층에 25%의 개구부를 갖는 경우

층과 2층에 모두 개구부가 10%, 20%, 25%, 30% 있는 경우와 같이 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.

2.4 Push-over analysis

조적조 건물의 반응 수정계수를 구하기 위하여 위의 모델링 단계를 거쳐 1층과 2층 슬래

브에 고정 하중을 작용시키 뒤에 1층과 2층의 수평하중의 비를 1:2로 하여 0kg에서부터 점차로 하중을 증가하면서 해석을 실시하였다. 하중이 증가함에 따라 재료의 항복이 일어나고 비선형 거동이 나타나는 것을 알 수 있다.

2.5 해석 결과

각 경우의 수평 하중과 최상층의 수평 변위와의 관계를 그래프로 나타내면 그림 5에서 그림 7과 같다.

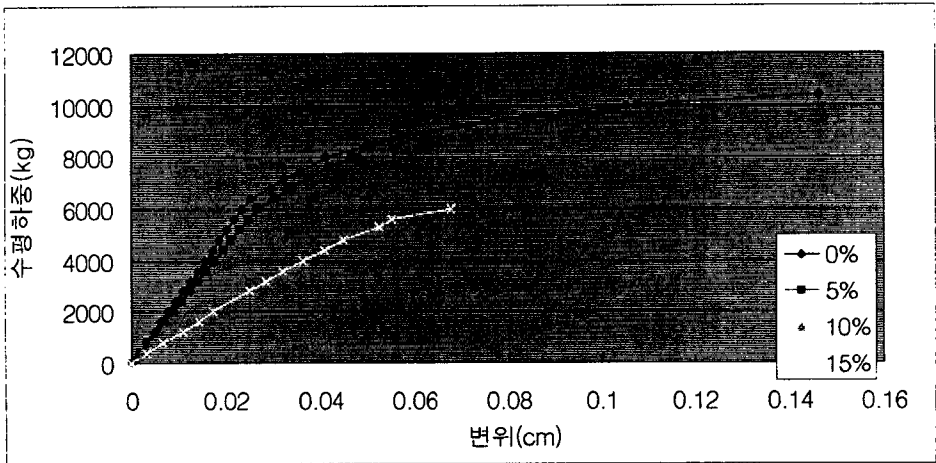


그림 5. 1층에만 개구부가 있을 때

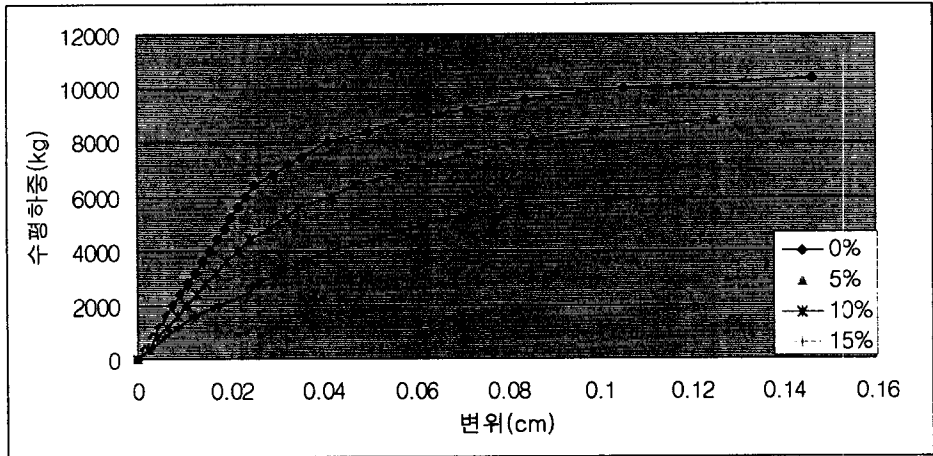


그림 6. 2층에만 개구부가 있을 때

개구부가 전혀 없을 때에는 비선형 거동이 잘 나타나며 연성도 어느 정도 있는 것으로 보이나 개구부의 증가에 따라 취성적으로 바뀌어 30%의 개구부를 가질 때는 거의 선형으로 거동하다가 붕괴하는 것을 알 수 있다. 전체적으로 항복 후에도 탄소성 거동을 하지 않으므로 그래프가 변위축(x축)과 이루는 면적인 에너지 소산능력을 동일하게 하는 탄소성 거동

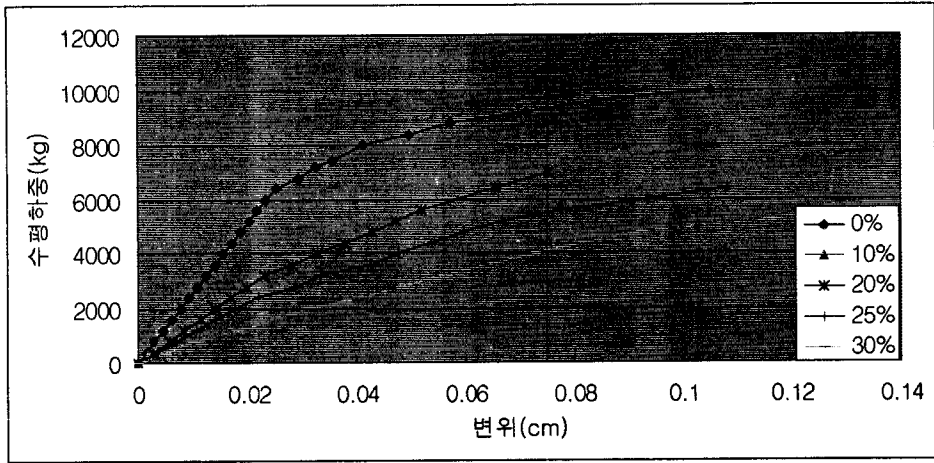


그림 7. 1,2층 모두에 개구부가 있을 때

으로 치환하여 탄성범위에서의 변형도 한계(elastic strain limit)와 소성 범위에서의 변형도 한계(inelastic strain limit), 그리고 붕괴시 수평하중과 중량의 비(base shear coefficient ratio)를 구하면 표 2와 같다.

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

	개구부 %	elastic strain limit	inelastic strain limit	base shear coefficient ratio
1층에 개구부가 있는 경우	0%	0.00010899	0.000260937	0.422
	5%	0.00010298	0.000192573	0.413
	10%	0.00010868	0.00017587	0.387
	15%	0.000099776	0.000121383	0.258
2층에 개구부가 있는 경우	5%	0.000094458	0.000199855	0.390
	10%	0.000123242	0.0002233	0.371
	15%	0.000124157	0.000202285	0.258
전층에 개구부가 있는 경우	10%	0.00011351	0.000186928	0.387
	20%	0.00010283	0.00013491	0.306
	25%	0.00014138	0.000193362	0.286
	30%	0.000185495	0.000233578	0.255

표 2에서 보는 바와 같이 개구부의 비가 커짐에 따라서 base shear coefficient ratio는 작아지며 1층의 개구부가 2층의 개구부보다 구조물의 안전에 더 중요한 영향을 끼침을 알 수 있다. 일반적인 건물의 개구부가 약 25~28% 정도인 것을 감안할 때 탄성 변형도 한계는

0.0001 정도이며 비선형 한계는 0.00012정도가 적합할 것으로 사료되며 이와 같은 결과를 바탕으로 반응 수정 계수를 구하면 그림 8과 같이 나타난다. 개구부가 전혀 없는 경우의 반응 수정 계수는 2.796으로 나타났으며 이는 상당한 양의 연성능력을 포함하는 값이다. 그러나 그림 8에 나타난 바와 같이 개구부의 비가 증가함에 따라 그 값은 지속적으로 감소하여 1에 가까운 값이 된다. 전 층에 개구부가 있는 경우 중 20%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 1.299로 1층에 개구부가 집중해 있을 때 나타난다. 이로 보아 우리 나라 비보강 조적조 건물의 경우에서도 반응 수정계수의 값이 ATC와 마찬가지로 1.25 정도가 적합할 것으로 사료된다.

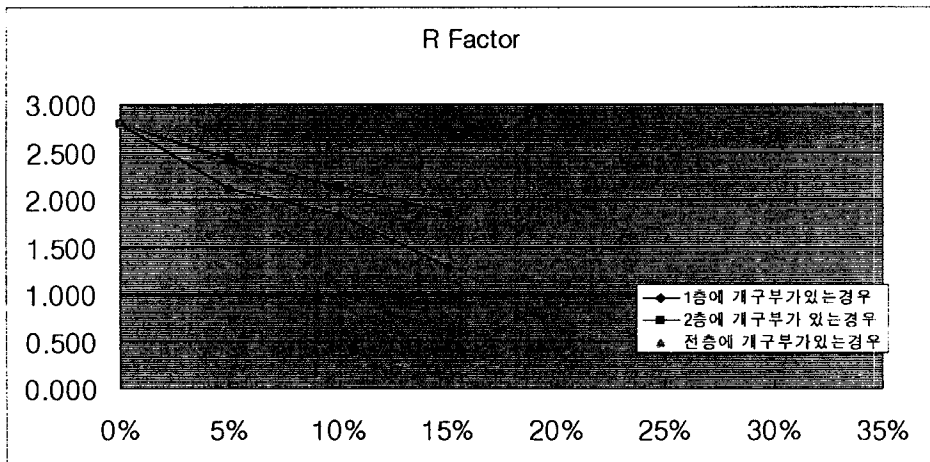


그림 8. 경우별 반응 수정 계수

3. 예제 해석

위에서 도출된 결과를 검증하기 위하여 1층에만 개구부가 15%있는 경우와 일반적인 개구부가 있는 두 가지 경우에 대한 고유치 해석을 통하여 주기를 구하였다. 또한, 1940년 EI Centro에서 발생한 지진의 최대 가속도를 0.12g로 조절하여 하중으로 작용시켜 시간 이력 해석을 수행한 결과와 그 크기를 비교하여 보았다.

3.1 해석 모델 1

해석 결과 주기는 0.3546초이며 시간 이력 해석 결과 최대 밀면 전단력은 2.14초에서 2591.00kg이 발생하였으며, 이에 따른 설계밀면 전단력은 UBC97에 의해서,

$$V = \frac{AICS}{R} W$$

위 식에서, 지역계수 A = 0.12, 중요도계수 I = 1.0, 동적계수 C = 1.4, 지반계수 S = 1.0, 중량 W = 22673.4kg을 적용하면 밀면전단력 V = 3047.3 kg이 산출된다.

3.2 해석 모델 2

해석 결과 주기는 0.274초이며 시간 이력해석 결과 최대 밀면 전단력은 2.14초에서

2918.7kg이 나왔으며, 해석모델 1과 같은 조건을 적용하여 산출한 밀면 전단력 $V = 3204.3$ kg으로 산출되었다.

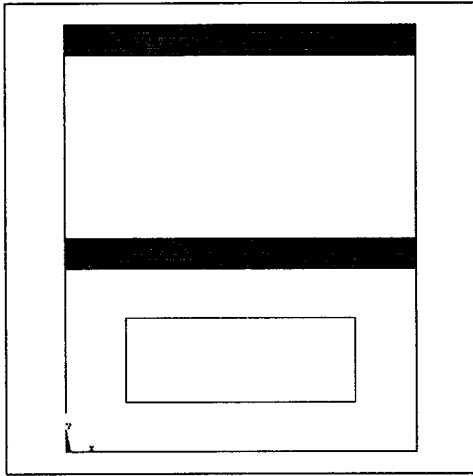


그림 9. 해석 모델 1

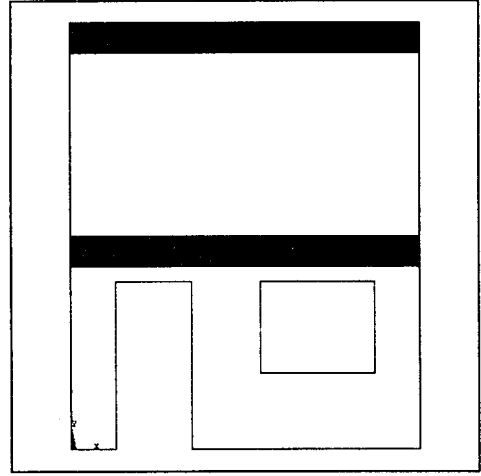


그림 10. 해석 모델 2

위의 예제에서 보는 바와 같이 반응 수정계수 1.25를 사용한 설계 밀면 전단력의 값이 시 간이력해석을 통하여 얻은 결과보다 약 8-15%정도 상회하는 값으로 산출되고 있음을 알 수 있다. 이러한 값은 약 8-15%의 잉여도를 감안하면 매우 적합한 계수라고 할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 비보강 조적조 건물의 내진 기준에 사용될 수 있는 반응 수정계수에 대하여 조적조 전체 벽에 대한 개구부의 비율을 매개 변수로 하여 그 결과를 비교하여 보았다. 실제적으로 지진의 방향은 전혀 예측할 수 없고 조적조 건물의 대다수는 한 방향으로의 개구부가 거의 없으나 다른 방향으로는 25~28%의 개구부를 가지는 경우가 많다. 따라서 본 연구에서 제안한 1.25라는 반응 수정계수는 결코 작지 않으며 또한 조적조 건물이 전혀 연성적인 거동을 하지 않는 것이 아니므로 1.0이라는 반응 수정계수는 너무 작은 값을 알 수 있다. 지속적인 조적조의 지진거동의 연구를 통해 다른 매개 변수에 대한 연구와 우리나라 조적조의 취약부인 테두리보와 조적조의 결합부위에 대한 상세를 개발함으로써 반응 수정계수를 상향 조절할 수 있는 내진 성능이 강한 건물의 개발과 기존 건물의 보강책에 대한 연구가 시급하다고 할 수 있다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 김희철, 이경훈(1998), "2층 조적조의 지진하중에 의한 거동 해석 및 균열평가", 한국 지진

공학회 논문집, 제2권 제 4호.

2. International Conference of Building officials(1997), "UBC", vol2, pp.214~235.
3. NEHRP(1997), "Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Building"
4. A.C. Costley, D.P Abrams, "Dynamic Response of Unreinforced Masonry Buildings with Flexible Diaphragms",NCEER-96-0001,pp.11~153
5. 대한주택공사 주택연구소(1998), 초대형구조시스템연구센터, "벽식구조 아파트 건물의 반응 수정 계수 검증에 관한 연구"
6. D.P. Abrams(1994),"Proceedings of U.S.-Italy Workshop on Guidelines for Seismic Evaluation and Rehabilitation of Reinforced Masonry Buildings,
7. ANSYS(1994), Inc,"Ansys 5.3 User's Manual"
8. 한국 전산구조 공학회(1997),"구조물의 내진 설계",pp3-234
9. A.K. Chopra(1995), "Dynamics of Structures", Prentice Hall
10. A.W.Hendy.(198),"Structural brickwork",John Wiley & sons