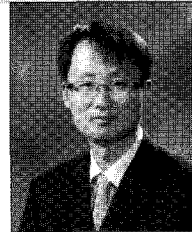
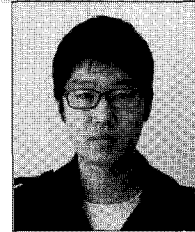


MIDAS GEN을 이용한 조적조 건물의 비선형정적해석 방안

A Method of Nonlinear Static Analysis for Unreinforced
Masonry Buildings by Using the MIDAS GEN



김 태 완*



민 찬 기**

* 강원대학교 건축학부 조교수
** 강원대학교 건축학부 석사과정

1. 머리말

현재 국내 건축물에서 비보강 조적조 건물이 차지하는 비율은 대략 50%이며, 그 중 3층 이하가 90%정도를 차지하고 있다(방재연구소, 2008). 그런데 국내의 내진규정은 1988년에 도입되어 그 이전 비보강 조적조 건물들은 내진설계가 적용될 수 없었으며, 그 이후에 건설되었다라도 3층 이하의 건물은 구조기술사의 설계검토 대상에서 제외되어 대부분의 조적조 건물은 내진설계가 적용되지 않은 상태로 건설되었다. 따라서 이러한 조적조 건물은 지진에 매우 취약할 것으로 예상된다. 최근 전 세계적으로 지진이 매우 빈번히 발생하여 국내에서도 지진에 대한 건물의 안정성에 대한 관심이 증대되고 있는 가운데 높은 비율을 차지하고 있는 조적조, 특히 비보강 조적조 건물이 주 관심대상이 되고 있다.

비보강 조적조 건물뿐만 아니라 다른 모든 구조물도 내진성능을 평가하기 위해서는 구조해석을 수행해야 한다. 비보강 조적조 건물의 경우 재료특성 및 요소 모델링에 있어 불확실성이 매우 높아 해석 모델 작성에 어려움이 있으며, 이를 구현하는 해석 프로그램을 선택하는 것도 쉽지 않다. 국내 구조실무를 담당하는 구조설계사무소에서 주로 사용하는 MIDAS GEN(2006)에서는 조적조에 관한 사항이

없어 방재연구소(2008)에서는 MIDAS GEN(해외판)을 사용하여 조적조 건물에 대한 비선형해석을 수행하였다. 하지만 방재연구소(2008)의 결과에서 비보강 조적조의 연성능력이 매우 좋게 나타나 MIDAS GEN(해외판)은 시공이 불량하고 노후화되어 있는 국내 비보강 조적조 건물의 해석에는 적절하지 않은 것으로 판단된다.

따라서 국내 구조설계사무소에서 일반적으로 사용되는 MIDAS GEN(2006)을 사용하여 내진성능평가를 위한 비보강 조적조 건물의 비선형해석 방법을 소개하고자 한다. 이 내용은 김태완, 민찬기(2010)에서 소개되었으나 본 기사에서는 모델링 관련 사항을 보다 자세하게 나타내었다. 이 방법은 국내 비보강 조적조 건물의 해석이 필요한 구조 실무자들에게 유용한 정보가 될 것이다.

2. 조적조 건물

예제 건물은 2층 조적조 건물이며, 평면도 및 입면도는 그림 1과 그림 2에 각각 나타나 있다. 이 예제는 방재연구소(2008)에서 사용한 No.2 건물로서 일반 주거용 건물이다. 조적조 건물의 내진설계 기본 변수로는 지역계수 0.11, 지반조건 S_d , 중요도계수 1.0이다. KBC(대한건축학회, 2009) 기준에 따른 단주기 설계스펙트럼 가속도(S_{bs})는 0.499g, 1

초 설계스펙트럼가속도(S_{Di})는 0.287g이나 설계를 수행하지는 않았다. 다만 이 변수들은 비선형정적 푸시오버해석의 입력 횡하중 계산 및 역랑스펙트럼법에서 요구스펙트럼을 구하는데 사용하였다. 조적조 건물의 재료 특성은 한국시설안전공단(2008)을 참조하여 표 1과 같이 사용하였다.

표 1 조적조 재료의 특성

단위(MPa)				
모르타르 압축강도	모르타르 전단강도	벽돌 압축강도	프리즘 압축강도	프리즘 탄성계수
10.4	0.1	10	3.6	318.9

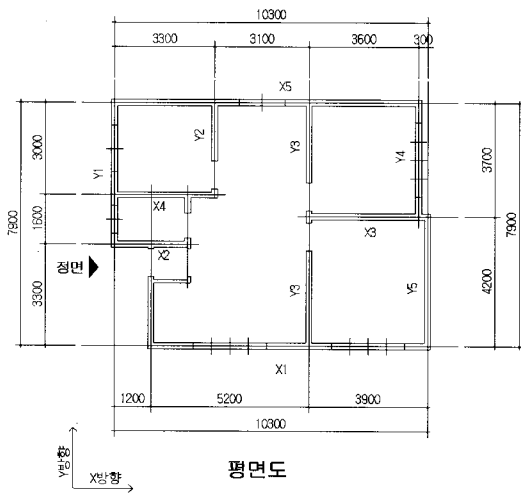


그림 1 평면도

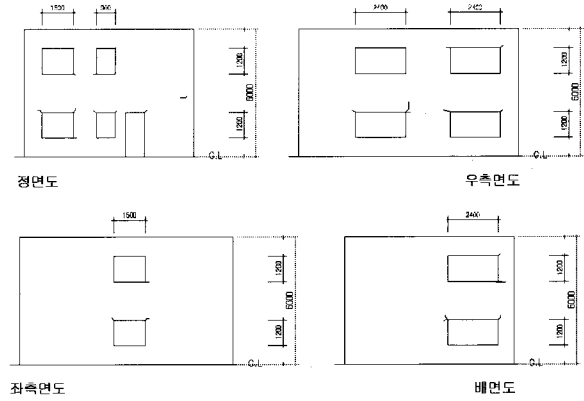
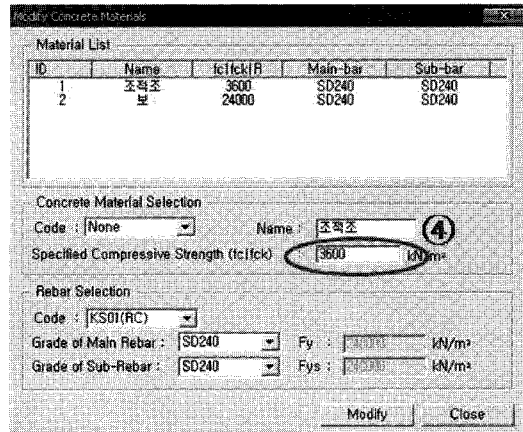
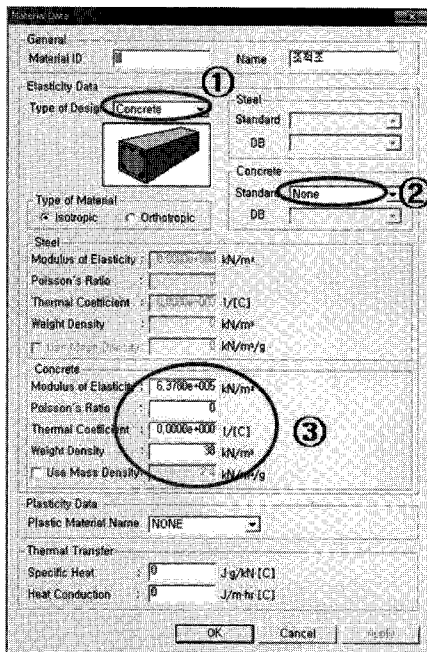


그림 2 입면도

3. MIDAS 모델링

MIDAS GEN(2006)으로 구조물을 모델링할 경우 먼저 재료 특성을 입력해야 한다. 그런데 MIDAS에는 재료 형식이 콘크리트, 철골, SRC 만이 지정되어 있어 조적조를 입력할 수가 없다. 따라서 조적조의 재료 특성을 입력할 수 있는 다른 방안이 필요하다. 그 순서는 다음과 같다.

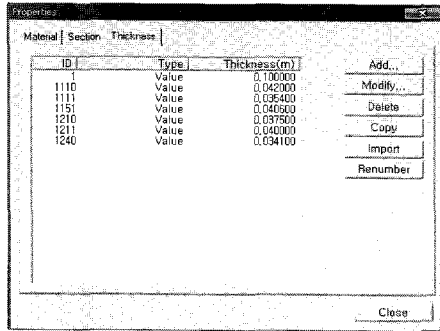
- (1) 'Material Data' 메뉴로 들어간다.
- (2) 'Type of Design'에 'Concrete'를 지정한다(그림 3의 ①).
- (3) 'Concrete Standard'에서 'None'을 지정한다(그림 3의 ②).
- (4) 'Concrete Modulus of Elasticity'에 조적조의 탄성계수와



재료모델 변수 (Concrete 지정 후 None으로 입력)

탄성계수	637.8	MPa
압축강도	3.6	MPa

그림 3 조적조 재료특성 입력 방법



: PCE & QUD 계산을 마이다스 입력값

Dimension	Value	Unit
벽 두께	0.042 m	기본 벽두께 0.1m (0.5-개구부율(0.1))
너비	5.2 m	
높이	3 m	

그림 4 벽체 두께 입력

자중을 입력한다(그림 3의 ③).

- (5) 'Concrete Design Parameter' 메뉴에서 'Modify Concrete Materials' 메뉴로 들어간다.
- (4) 'Concrete Material Selection'에서 조적조의 압축강도를 입력한다(그림 3의 ④).

여기서 탄성계수와 자중은 실제 값의 두 배를 입력한다. 그 이유는 다음의 조적조의 벽두께 입력 시 실제 두께인 1.0B 0.19m의 1/2인 0.1m을 사용했기 때문이다. 이렇게 입력한 이유는 MIDAS가 0.1m이상인 벽체에는 철근을 자동으로 배근하기 때문에 이를 배제하기 위해서다. 그리고 조적조의 압축강도는 본 조적조 비선형해석에서 직접적으로 사용하지 않아 MIDAS 모델링 상으로는 필요가 없으나 이 값을 지정하지 않으면 해석이 불가능하였기 때문에 입력하였다. 이 값은 원래 MIDAS에서 'Material Data'에서 'Concrete'

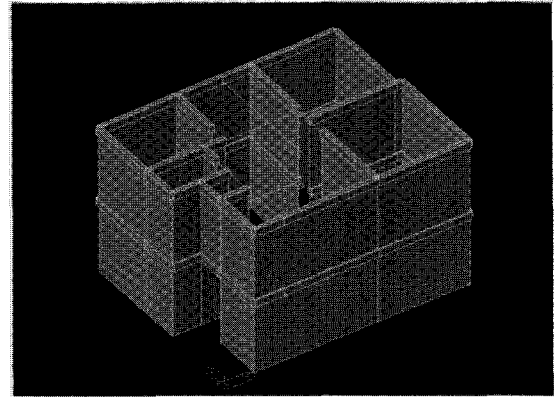


그림 5 보 입력

의 'Standard'를 지정하고 DB에서 선택하면 자동적으로 입력이 되나 여기서는 'Standard'가 'None'으로 지정되었기 때문에 이와 같은 편법을 사용하였다.

조적조 벽체는 MIDAS에서 'Wall' 형식으로 입력하였다. 조적조 벽체의 두께는 앞서 언급한대로 기본적으로 0.1m로 입력하였으나 개구부가 있는 경우에는 벽체의 강성을 축소하기 위해 (0.6-개구부면적비)의 배율로 두께를 축소하여 입력하였다. 그림 4에서와 같이 개구부가 있을 경우 개구부면적비에 따라 벽체 두께가 0.1m이하로 지정된다. 이 배율은 저자가 한국시설안전공단(2008)의 실험결과를 참조하여 대략적으로 정한 값이다. 따라서 이 배율은 명확한 근거가 없음을 밝혀둔다. 개별 조적벽체의 상부에는 슬래브를 나타내기 위해 강성이 매우 큰 보를 사용하였다. 문으로 인해 벽체가 없는 곳은 더미보(dummy beam)를 양단 힌지로 입력하였다.

마지막으로 개별 조적 벽체의 비선형거동을 나타내기 위

기본 정보 입력

벽 ID	X1	1 개구부(O)=1, 개구부(X)=-1
벽 치수		
너비(L)	5.2 m	
높이(H)	3 m	
두께(t)	0.19 m	
개구부율 I	0.46 개구부수/평길이/벽체수/평길이, 개구부(X)=0	
개구부율 II	0.18 개구부면적/벽체면적, 개구부(X)=0	

조적조 재료 특성

모르타르 압축강도	10.4 MPa	배합비 (1:3)	3
모르타르 전단강도	0.1 MPa	양호: 0.2, 보통: 0.15, 불량: 0.1 Mpa	
벽돌 압축강도	10 MPa		
프리즘 압축강도	3.6 MPa		
프리즘 탄성계수	318.9 MPa		

강도계산을 위한 변수

P _{cse}	102.0 kN	벽체 수직하중	
alpha	1	0.5 (fix-free), 1.0 (fix-fix)	
beta	1		
fa	0.10 MPa		

강도계산을 위한 변수

P _{cse}	102.0 kN	벽체 수직하중	
alpha	1	0.5 (fix-free), 1.0 (fix-fix)	
beta	1		
fa	0.10 MPa		

조적벽 전단강도

1. 강체화전파괴			
W	329.6 kN		
2. 가로줄눈파괴			
v _{me}	0.127 MPa	An	0.988 m ²
V _{bis}	125.1 kN		

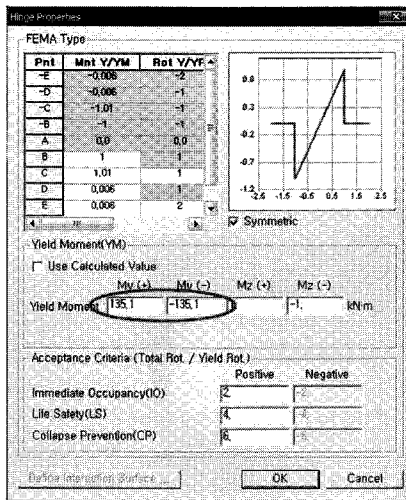
최종 전단강도

V	125.1 kN	파괴모드	
V _{final}	67.6 kN	2 가로줄눈파괴	

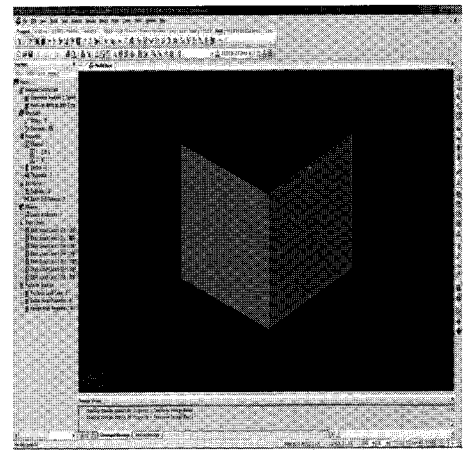
그림 6 전단강도 계산시트 (엑셀)

힌지 특성		
단면2차모멘트	0.49	m ⁴
전단계수: 0.2E	127.6	MPa
k1: 12EI/h ³	139507	kN/m
k2: GA/h	9287	kN/m
k=k1k2/(k1+k2)	8707	kN/m
항복변위	0.007759	m
항복회전각	0.002586	
FEMA		
d	0.002	
e	0.004	
C	1.01	1.00
D	0.006	1.00
E	0.006	2.00
모멘트강도	135.1	kN-m

(a) 계산 시트



(b) 힌지속성 입력



(c) 개별 벽체 소성힌지 입력

그림 7 소성힌지특성 입력

한 소성힌지를 입력해야 한다. 소성힌지 속성은 개별 벽체마다 따로 일일이 계산하여 입력하였다. 조적벽체의 강도는 일반적으로 전단강도로 표현되나 MIDAS에서 전단소성힌지를 사용하여 비선형해석을 수행하는데 어려움이 있어 이를 모멘트강도로 치환하여 모멘트소성힌지를 사용하였다. 조적벽체의 전단강도는 그림 6과 같이 계산시트를 작성하여 구했다. 이를 모멘트강도로 치환하기 위해 벽체 높이의 2/3를 곱하였다. 높이 2/3는 명확한 근거에 의해 사용한 값이 아니며, 여러 번 시도 결과 가장 근접한 값을 찾은 것이다. 모멘트소성힌지는 '모멘트 I&J'로 입력하였다.

조적벽체의 변형 능력은 FEMA356(2000)을 참조하였으나 국내 조적조 건물의 취약함을 반영하여 1/2로 축소하여 사용하였다. 이를 MIDAS 힌지 특성에 입력하기 위해서는 개별 조적벽체의 항복회전각이 있어야 하는데, 계산은 FEMA356(2000)의 방법을 따랐다. 이 항복회전각을 이용하여 MIDAS 소성힌지 입력에 필요한 C, D, E 값을 구하였다(그림 7 참조).

4. 비선형정적 푸시오버해석 결과

비선형정적 푸시오버해석 결과를 그림 8에서 그림 11에 나타내었다. 그림 8과 그림 9는 각각 X방향 성능곡선과 ADRS(Acceleration-Displacement Response Spectrum)을 나타내고 있으며, 그림 10과 그림 11은 Y방향에 대한 동일한 결과를 나타내고 있다. 성능곡선을 보면 최대 강도에 도달할 때까지 거의 선형으로 거동하다가 하중이 급격히 감소함을 알 수 있다. 그림 7(a)에서 알 수 있듯이 FEMA에서 최대강도 시점에서의 회전각을 0.2%로 지정하고 있으나 조적벽체의 강성이 매우 낮아 계산된 항복회전각은 0.26%이

다. 따라서 이 벽체는 항복 후 거동을 보이지 못하고 0.2% 회전각 지점에서 강도가 수직으로 떨어지는 거동으로 입력되었다. 대부분의 조적벽체가 이와 같이 입력되어 전체 건물의 성능곡선은 그림 8과 그림 10과 같이 나타나게 되었다. 그림 8에서 그림 11의 모든 그림에 나타나 있는 붉은색 수평선은 그림 6의 전단강도 계산시트로 구한 개별벽체의 전단강도 총합이다. 즉, 개별 벽체의 전단강도를 단순히 더한 값인데 MIDAS 해석에 의한 전단강도의 최대값과 일치하지 않는다. 이에 대한 원인은 찾지 못하였으며, 이러한 이유로 MIDAS 해석결과와 개별 조적벽체 전단강도의 합과 반드시 비교할 필요가 있다.

각 방향 ADRS를 보면 최대 전단강도가 요구스펙트럼에 미치지 못함을 알 수 있다. 따라서 예제 건물은 지진이 발생했을 때 붕괴로 이어질 수밖에 없다. 하지만 그림 9의 X방향과 같이 개별 전단강도의 합이 요구스펙트럼을 초과한다면 역량스펙트럼법에 의해 성능점을 찾을 수 있을 것이다. 여기서 한 가지 언급해야 할 사항은 ADRS에서 성능곡선과 요구곡선이 서로 교차하여 역량스펙트럼법에 의해 성능점을 찾더라도 과연 조적조의 에너지소산 능력을 반영하여 유효감쇠를 증가할 수 있는가 하는 문제다. 국내 문헌의 조적조 실험 결과를 보면 비보강 조적조라도 일정 수준의 에너지소산 능력을 지니고 있다. 하지만 이것은 실험실에서 조적조 벽체를 제작한 결과이며, 실제 현장의 시공 환경 및 관습을 고려하고 면외 방향의 성능을 고려한다면 에너지소산 능력 반영을 통한 유효감쇠의 증가는 현실적이지 않다. 따라서 만약 ADRS에서 성능곡선과 요구곡선이 교차한다면 유효감쇠에 의해 요구곡선을 감소하지 않고 바로 그 교차점을 성능점으로 하는 것이다. 이 방법이 불확실성

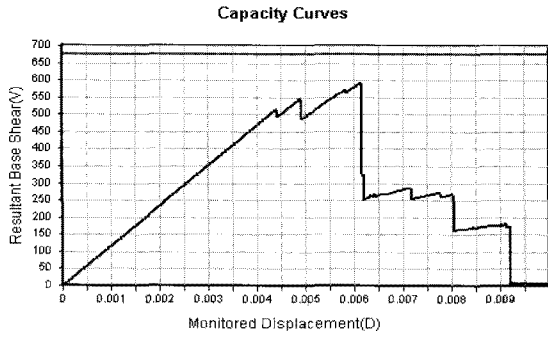


그림 8 X방향 성능곡선

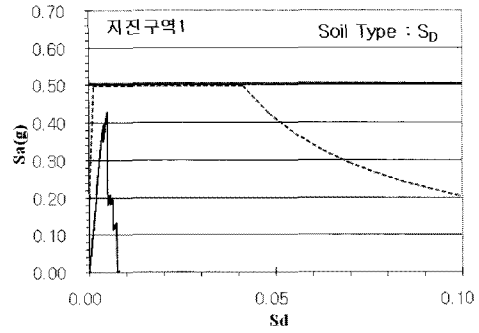


그림 9 X방향 ADRS

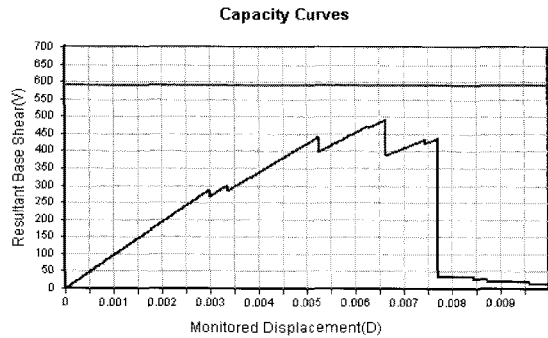


그림 10 Y방향 성능곡선

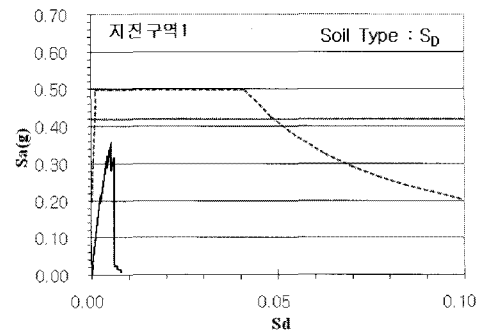


그림 11 Y방향 ADRS


이 큰 비보강 조적조 건물의 성능 결정에 있어 현실적이고 보수적이 결과를 얻을 수 있을 것이다.

로 필요성을 느끼고 있는 현장 실무자들이 참고할 만한 것으로 생각된다.

5. 맺음말

현재 국내용 MIDAS GEN에서 조적조 재료 입력 항목을 기본적으로 제공하고 있지 않아 이를 해결하여 비선형정적 해석을 수행하는 방법을 소개하였다. 여기서 소개한 방법과 같이 조적조의 탄성계수와 강도, 기타 특성을 입력시키면 조적조 건물을 해석을 할 수 있다. 하지만 이 과정에서 조적조 자체의 재료 특성뿐만 아니라 개구부가 있는 조적조 벽체의 강도 및 강성 산정에 있어 기본적으로 불확실성이 크며, MIDAS 모델링에도 소성힌지 지정이나 소성힌지 이력곡선 변수 결정 등과 같은 불확실성이 크다는 것을 알 수 있었다. 따라서 여기서 소개한 방법은 국내용 MIDAS GEN을 이용한 비보강 조적조 건물의 비선형정적해석을 위한 하나의 방안이며 여전히 해결해야 하는 문제점이 많은 것을 인식해야 한다. 하지만 여기서 제시된 방법은 실제

참 고 문 헌

1. 방재연구소, “비보강 조적조 건축물의 지진취약도 함수개발”, 2008.
2. MIDAS GEN, “MIDAS GEN User’s Manual, ver 7.1.1”, 마이다스 아이티, 2006.
3. 김태완, 민찬기, “MIDAS GEN을 이용한 조적조 건물의 비정형 정적 해석”, 한국지진공학회 학술발표회, 521-524, 2010.
4. 대한건축학회, “건축구조설계기준”, 2009.
5. 한국시설안전공단, “국내 실정에 맞는 취성파괴형 및 삼중수평저항 시스템 건축물의 내진성능평가기법 개발”, 2008.
6. FEMA356, “Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings”, Federal Emergency Management Agency, 2000. 

[담당 : 유은중, 편집위원]