

# 반복 횡하중을 받는 철근콘크리트 전단벽의 비선형 해석

## Nonlinear Analysis of Cyclic Lateral Forced RC Shear Wall

김 건 우<sup>1)</sup>\*

Kim, Geon Woo

---

### Abstract

Practicing engineers and researchers need computational tools that estimate accurately the cyclic response of RC walls, and in particular, force and deformation capacities and their materials strains. So this paper describes a nonlinear truss modeling approach for reinforced concrete walls, or in general, for plane stress reinforced concrete elements subjected to cyclic reversals. Nonlinear vertical, horizontal, and diagonal truss elements are used to represent concrete and steel reinforcement. The wall having aspect ratio of 1.2 was chosen to be compared with the experimental results. Here, four types of main diagonal member models and three types of diagonal members models were applied to find out more accurate results of analysis.

**Keywords** : nonlinear analysis, truss model, shear wall, diagonal member

---

### 1. 서론

지진이 발생하였을 때 구조물의 안전성을 확보하기 위해서는 구조물의 비선형 거동에 대한 평가가 필요하다. 또한 정확한 평가를 위해서는 각 구조부재의 거동에 대한 정확한 평가가 선행되어야 한다. 하지만 반복 횡하중을 받는 철근콘크리트 부재는 강도 및 강성 저감 그리고 펀칭 등의 여러 가지 변수에 의해 비선형 거동을 나타내므로 이를 예측하기가 어렵다. 이러한 반복 횡하중을 받는 철근콘크리트 부재의 해석을 위해서 재료적 비탄성 응력-변형률의 관계를 이용한 유한요소 해석 프로그램이 개발되어 발전해 오고 있다. 이러한 유한요소 해석 프로그램은 하나의 요소가 작을수록 정확도가 높은 결과를 얻을 수 있다.

특히 최근 공동주택의 구조시스템으로는 철근콘크리트 내력벽 구조시스템이 주로 사용되고 있다. 이러한 벽식 구조시스템의 설계를 위한 구조해석에는 여러 가지의 범용 프로그램들이 이용되고 있다. 하지만 이러한 범용 해석 프로그램의 벽체 해석은 보요소와 스프링요소가 조합된 하나의 부재로 해석이 이루어지므로 단일 벽체의 정확한 거동과 응답을 평가하기에는 다소 어려움이 있다. 이

러한 이유로 철근콘크리트 전단벽체의 비선형 지진 응답을 예측하기 위한 연구는 연구자뿐만 아니라 실무에서도 매우 높은 관심을 갖고 있다(Panagiotou et al 2007).

실제 국내에서도 비선형 트러스 모델을 이용하여 철근콘크리트 보의 거동 및 강도를 예측하거나(김상우 외 2001), 다양한 부재에 트러스 모델을 적용하여 이를 실험과 비교한 연구(박홍근 외 2006)가 꾸준히 진행되고 있다. 특히, 박홍근 등(2006)의 연구에서는 벽체에 대한 연구가 포함되어 있다. 하지만 변장비가 큰 벽체는 휨의 지배를 받아 보의 거동과 유사하므로 비선형 거동의 예측이 어렵지 않지만 전단벽과 같이 휨과 전단력을 동시에 받는 벽체의 비선형 거동 예측은 쉽지 않다. 이러한 이유로 FEMA 274(ASCE 1997)와 FEMA 356(ASCE 2000)과 같은 지침서에서는 부재의 하중-변위를 측정하기 위하여 하중이력에 의한 백본(backbone) 곡선을 제안하고 있다. 또한 기둥(Pujol et al 2000)과 벽체(Oesterle et al 1976)에 대한 실험은 전단강도와 강도 저감의 발생이 작용 하중의 이력에 상당히 의존적임을 알 수 있다.

따라서 본 논문에서는 트러스 모델을 적용하여 벽체를

---

1) 정회원, 전남대학교 바이오하우징연구단, 연구원 공학박사

\* Corresponding author : qwkim7210@lycos.co.kr 010-8868-0412

• 본 논문에 대한 토의를 2010년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 2010년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

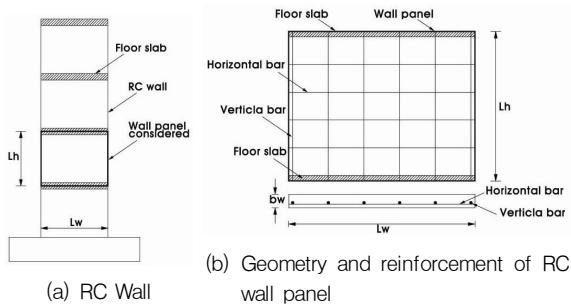


Fig. 1 RC wall building panel

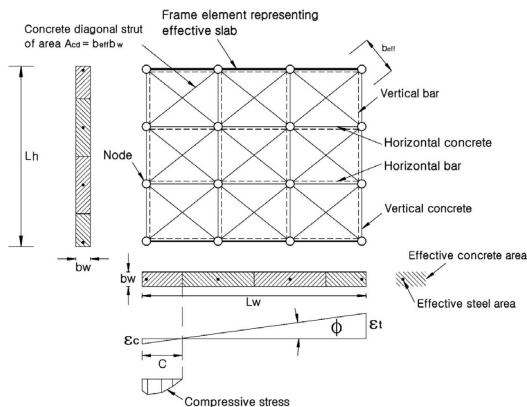


Fig. 2 Truss model of a RC wall panel

유한요소 해석을 실시하고 실제 벽체의 비선형 거동을 좀 더 정확하게 예측할 수 있는 모델링의 방법을 모색하고자 한다. 더 나아가 이 모델링을 차츰 개선하여 실무에서도 쉽게 적용이 가능한 벽체의 모델링에 접근하고자 반복 횡하중을 받는 철근콘크리트 전단벽의 비선형 거동을 평가한 후 이를 실험 데이터와 비교하였다.

## 2. 벽체해석을 위한 트러스 모델

본 논문에서는 벽체의 전체 시스템의 실제 응답과 유사한 해석결과를 얻고자 비선형 트러스 모델을 이용하였다.

일반적으로 벽체의 형상은 Fig. 1(a)와 같이 길이  $L_w$ 와 높이  $L_h$ 로 이루어진 형상을 나타내며 벽체의 상하부에는 슬래브와 접합되어 있다. Fig. 1(b)는 일반적인 벽체의 배근 및 단면 형상으로 두께  $b_w$ 와 내부 수직 및 수평 철근이 배근되어 있다.

### 2.1 모델링을 위한 일반사항

본 논문에서는 일반적인 벽체의 형상을 트러스 모델을 이용하여 아래의 Fig. 2와 같이 모델링을 하였다. 그림에

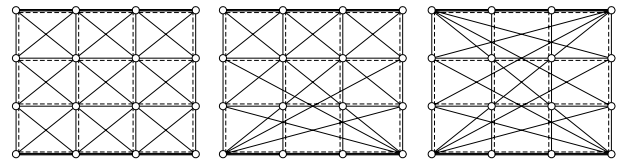


Fig. 3 Different types of diagonal members

서 보는 바와 같이 벽체 트러스 모델은 수직, 수평 그리고 대각선 트러스부재로 이루어져 있다. 수직과 수평 트러스 부재는 각각 요소의 개수에 따라 분할되는 콘크리트와 철근의 실제 단면적 및 특성을 입력하였다. 그리고 대각선 트러스부재는 콘크리트만 입력이 되는데 대각선부재의 경우는 유효단면적을 적용하였다. 벽체의 두께는  $b_w$ 를 그대로 사용하고 요소의 폭은 전체 벽의 대각선의 길이를 전체 대각선요소의 개수로 나눈 후 이의 75%를 취하였다. 이는 본 모델링의 반복된 해석 결과 얻어졌다. 콘크리트와 철근의 수직, 수평 트러스부재는 동일 위치에 겹쳐지게 모델링을 하며 철근과 콘크리트는 완전 접합되어 있다고 가정한다. 수직, 수평 그리고 대각선 트러스부재는 각 절점에서 연결시키며 이 절점들의 회전은 구속한다.

본 연구에서 제시한 트러스 모델을 이용하여 벽체를 해석할 시에 대각선 부재 중 가장 주가 될 수 있는 서로 대각선에 위치한 모서리와 모서리를 연결하는 부재의 형상이나 경로에 따라서 그 결과가 민감하게 변화된다. 따라서 이러한 주대각선 부재의 형상에 따른 몇 가지의 해석을 수행하여 가장 실험결과에 근사한 결과를 나타내는 주대각선 부재의 형태를 먼저 결정한다. 그리고 횡하중을 받는 철근콘크리트 벽체에서는 국부적으로 모서리 부분에서 응력집중현상이나 균열의 패턴이 관찰된다. 따라서 각기 다른 대각선 부재의 형태를 갖는 벽체를 모델링 하고 비선형 해석을 실시하였다. 벽체의 설계 상체에 따라 절점이나 부재배치의 형상이 다소 달라질 수는 있지만 대각선 부재배치에 따른 그 일반적인 형태는 아래의 그림과 같다.

그림에서 보는 바와 같이 각 모델링의 수직과 수평 요소는 모두 동일한 형태로 배치되어 있고 대각선 요소의 배치만 서로 상이하다. 먼저 Fig. 3(a)는 모든 대각선 요소가 순수하게 수평·수직 요소로 이루어진 사각형의 내부 대각선을 연결하도록 되어 부재의 양 끝 모서리를 연결하는 대각선 요소와 나란하게 배열되어있는 형태이다. Fig. 3(b)는 부재의 좌·우 모서리의 절점으로 연결이 되는 대각선 요소들이 상부를 향하는 요소는 (a)와 동일한

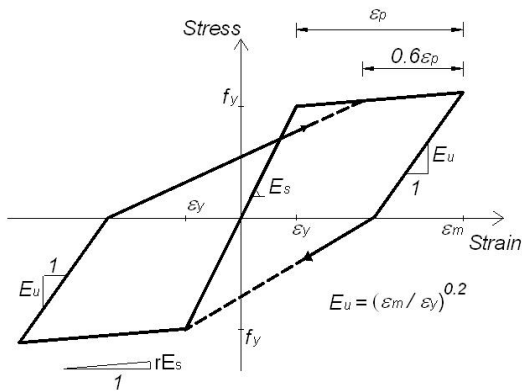


Fig. 4 Hysteresis rule of reinforcing steel

형태이지만 하부로 향하는 요소는 모든 대각선 요소가 아래 쪽 꼭지점의 절점으로 집중되어있는 형태이다. 그리고 Fig. 3(c)는 부재의 좌·우 모서리의 절점으로 연결되는 대각선 요소가 상부부로 향하는 요소는 윗 쪽의 꼭지점의 절점으로 그리고 하부는 아래 쪽 꼭지점의 절점으로 집중되어있는 형태이다. 본 논문에서는 Fig. 3(a), (b) 그리고 (c)를 각각 Parallel Angle(이후 PA), Variable Angle 1(이후 VA 1) 그리고 Variable Angle 2(이후 VA 2)로 명칭하였다.

## 2.2 재료적 특성

본 논문의 벽체 모델링에 사용된 철근과 콘크리트의 응력-변형률의 거동은 2선형 혹은 3선형 곡선을 적용하여 비선형 해석을 수행하였다. 철근과 콘크리트 그 각각의 특성은 다음과 같다.

### 2.2.1 철근의 재료적 특성

철근의 응력-변형률의 관계는 Fig. 4에서와 같이 항복 후 강성비  $r$ 를 갖고 제하 시에는 제하 시의 변형률( $\epsilon_m$ )과 초기 항복이 발생한 변형률( $\epsilon_y$ )의 관계에 따라 강성이 변하는 타케다 이력곡선(Takeda hysteretic rules) (Carr 2009)을 따른다. 여기서,  $E_s$ 는 철근의 탄성계수,  $f_y$ 는 철근의 항복강도이다. 본 요소모델의 이력곡선에는 바우싱거 효과(Bauschinger effect)와 철근의 좌굴과 같은 비선형 응답(Restrepo 1994)은 고려되어있지 않다. 하지만 철근의 이력을 단순화할 수 있다는 장점을 지니고 있다.

### 2.2.2 콘크리트의 재료적 특성

본 논문에서는 Fig. 2에서와 같이 유효면적에 따라 콘

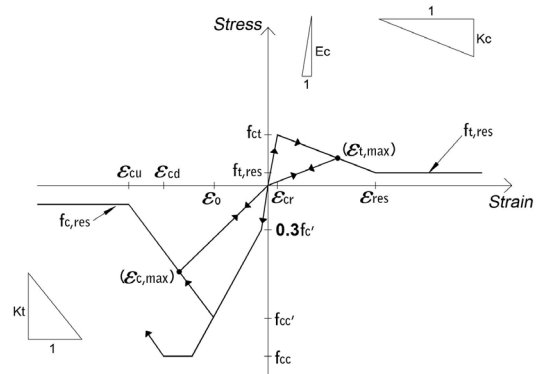


Fig. 5 Hysteresis rule of concrete

크리트를 수평, 수직 그리고 대각선 부재로 모델링을 한다. 콘크리트의 이력곡선은 Mansour 등이 2001년에 막 부재에 대해 제안한 모델을 본 해석 프로그램의 적용을 위하여 약간 변형 후 모두 Fig. 5에서와 같이 이력규칙을 따랐다. 인장 측에서 콘크리트의 초기 탄성계수는 압축 측의 탄성계수 산정 시에 ACI 318-05(ACI 2005)5)에 따라 보통 중량골재를 사용한 콘크리트의 탄성계수를 산정하는 간략식인 아래와 같은 식 (1)을 사용하였다.

$$E_c = 4,700 \sqrt{f_{ck}} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

여기서,  $f_{ck}$ 는 콘크리트의 압축강도이다.

인장강도도 또한 보통 중량콘크리트에 적용되는 0.5~0.6의 계수 중에서 아래의 식 (2)를 사용하였다.

$$f_{ct} = 0.5 \sqrt{f_{ck}} \quad (2)$$

또한 그림에서 보는 바와 같이 응력과 변형률이 각각  $f_{ct}$ 와  $\epsilon_{cr}$ 에 도달하면 응력은 변형율이  $\epsilon_{res}$  ( $15\epsilon_{cr}$ ) 그리고  $f_{t,res} = 0.01f_{ct}$ 에 도달할 때까지 감소하게 된다. 변형율이  $\epsilon_{res}$ 에 도달한 이 후에는 강도는  $f_{t,res}$ 에서 전혀 변화하지 않는 완전 소성상태를 유지한다.

인장이나 압축 후 제하 시에는 그림에서 보는 바와 같이 원점으로 회귀하는 곡선을 채택하였다. 또한 다시 압축력이 가해지면 탄성계수( $E_c$ )에 따라 응력이  $f_{ck}$ 에 도달할 때까지 계속 증가를 하다 응력이  $f_{ck}$ 에 도달하고 변형률이  $\epsilon_0$ 에 도달한 후에는 인장 측에서와 마찬가지로 응력은  $0.01f_{ck}$ 에 도달하고 변형률은  $15\epsilon_0$ 에 도달할 때까지 감소하고 그 후에는 완전 소성상태를 유지한다. 그리고 압축 후 제하하고 인장이 가해지거나 인장 후 제하하고 압축이 가해

Table 1 Information of example RC wall

Elastic Modulus	Conc' ( $E_c$ )	4,700 $\sqrt{f_{ck}}$ MPa	
	Steel ( $E_s$ )	2.8 $\times 10^3$ MPa (4,000ksi)	
Strength	$f_{ck}$	31MPa (4.5ksi)	
	$F_y$	424MPa (61.5ksi)	
Applied vertical load		$N/f_{ck}A_g=0.08$ , $N=517.2\text{kN}$	
Reinforcing	vertical	outside	No. 4 bar 2EA
		inside	No. 4 bar
	horizontal	No. 4 bar	

질 경우는 그림에서 보는 바와 같이 바로 그 전단계의 인장력이나 압축력을 다시 찾아가는 궤적을 그린다.

### 3. 예제 벽체의 모델링

지진하중을 받는 전단벽체의 거동을 평가하기 위해 본 논문에서는 UCLA에서 실험이 수행된 벽체를 선택하였다 (Sarah et al. 2007). 본 벽체의 폭과 높이의 비,  $L_h/L_w$ 는 1.2이고, 수평 반복하중에 의해 실험이 이루어졌다. 본 벽체를 앞 장에서 언급한 방법에 따라 모델링을 하고 비선형 해석을 수행한 후 그 결과를 실험 데이터와 비교하였다. 본 논문에서는 비선형 해석을 위해 RUAUMOKO 2-D(Carr 2009)를 사용하였다.

#### 3.1 예제 벽체의 일반사항

예제벽체는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 벽체의 높이 ( $L_h$ )는 1219mm(48in)이고, 벽체의 너비는 1372mm(52in)이며, 벽체의 두께는 254mm(10in)이다. 수직철근비(transverse reinforcement ratio,  $\rho_t$ )는 0.43%로 #4 철근이 330.2mm(13in)의 간격이며 양 바깥쪽의 철근은 이중으로 배근되어 있다. 그리고 수평철근비(longitudinal reinforcement ratio,  $\rho_l$ )는 0.28%로 수직철근과 같은 #4가 304.8mm(12in)의 간격으로 모두 단근으로 배근되어 있다. 또한 벽체의 상부와 하부에는 강체 빔이 설치되어 있고 횡변위는 이 빔에 작용되었으며 본 예제벽체에는  $N/(f_{ck} \times A_g)=0.08$  즉,  $N=517.2\text{kN}$ 의 수직하중이 작용된 상태에서 실험이 실시되었다. 본 벽체에 대한 내용은 Table 1과 같다.

선택된 벽체의 형태 및 치수 그리고 배근형태는 Fig. 6과 같다. 본 벽체는 상부에 회전이 구속된 상태에서 횡변위가 재하되었다.

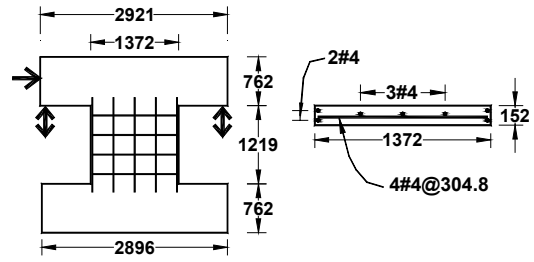


Fig. 6 Geometry and reinforcing details

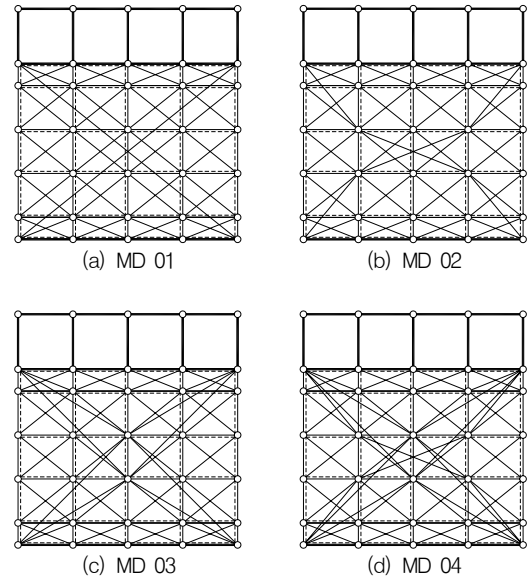


Fig. 7 Main diagonal member of example RC wall

#### 3.2 예제 벽체의 모델 상세

우선 예제벽체를 앞에서 설계정보에 따라서 모델링을 하였다. 그리고 앞에서 언급한 바와 같이 모서리와 모서리를 연결하는 주대각선 부재의 형태에 따라 해석 결과에 큰 영향을 미친다. 따라서 우선 각 부재들의 배치에 따른 몇 가지의 형상으로 모델링을 하고 이를 해석하고 실험 결과와 비교하였다. 그 모델링 형상은 아래의 그림과 같다.

Fig. 7에서 보는 바와 같이 주대각선 부재(main diagonal member, MD)는 서로 다른 네 가지의 형상으로 모델링을 하였다. 첫 번째(MD01)는 서로 대각선에 위치한 절점을 하나의 부재로 연결한 형태이고, 두 번째(MD02)는 대각선에 위치한 두 절점을 하나의 부재로 연결하지 않고 대각선에 유사한 형태를 유지하도록 2개의 절점을 지나는 3개의 부재로 주대각선 부재가 이루어지도록 모델링을 하였다. 세 번째(MD03)는 너비방향의 중앙에 위치하고 높이가 서로 다른 위치에 있는 두 절점을 각각 서로 다른 경로를 통해 두 부재가 지나며 대각선 절점을 연결하도록 모델링 하였

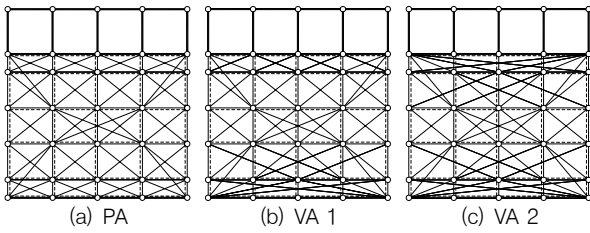


Fig. 8 Modelings of example RC wall

다. 그리고 마지막 네 번째(MD04)는 MD02와 MD03의 조합으로 각기 다른 세 가지의 경로를 통해 대각선에 위치한 두 절점이 연결되도록 모델링하였다.

그리고 2장에서 언급한 바와 같이 모서리 부분에 국부적으로 발생할 수 있는 응력집중 현상이나 균열의 패턴에 따른 모델링 방법에 따라 모델링을 실시하였다. PA, VA 1 그리고 VA 2의 형태는 Fig. 8과 같다. 주대각선 부재의 형상은 앞의 Fig. 7에 모델링 된 MD01~MD04까지의 해석 결과에 따라 가장 실험 결과와 유사한 결과를 나타낸 형상을 채택하여 적용하였다.

모델링된 벽체의 최하부와 최상부 그리고 강체 빔은 모두 콘크리트 탄성체로 가정하였다.

#### 4. 반복 횡하중을 받는 전단벽체의 평가

##### 4.1 입력 횡변위

3.1에서 설명된 바와 같이 모델링된 벽체의 상부에 설치된 강체 보가 회전이 생기지 않도록 구속한 상태에서 Fig. 9와 같은 횡변위를 강체 보에 작용시켰다. 본 횡변위는 실험에서 실제 적용되었던 변위로 계산된 임계 변위(약 5mm)의 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 2.0 그리고 3.0으로 점차 증가시키며 재하하였다(Sarah T. L. 2007).

##### 4.2 실험 결과

Fig. 10은 입력 횡변위에 따른 실험체의 이력곡선이다. 이 그림에 표시된 바와 같이 횡변위가 1.8mm 즉, 횡변위비(drift ratio,  $\theta_r$ )가 0.15%에 이르렀을 때 최초의 대각선 방향 균열이 발생을 하고, 횡변위가 9.8mm, 횡변위비,  $\theta_r=0.8\%$ 에서 모서리 부분의 응력집중현상에 의한 균열의 발생과 함께 수직하중에 대한 저항 성능의 상실이 관찰 되었다. 모서리 부분의 응력집중현상에 의해 균열이 발생된 직 후에 밀면전단력이 급격히 감소하는 현상이나

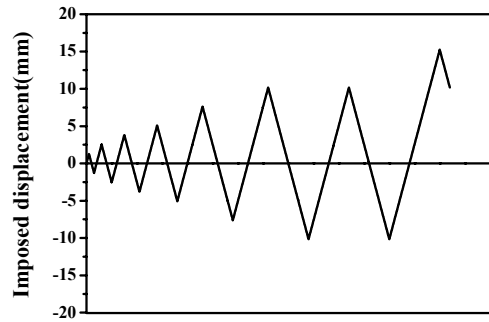


Fig. 9 Imposed displacement

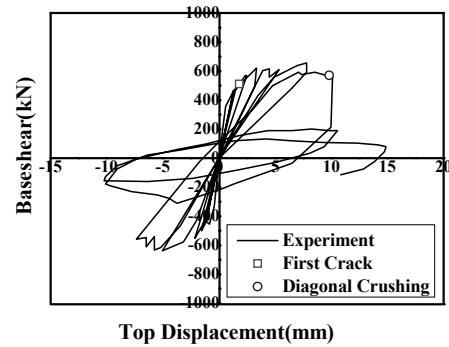


Fig. 10 Experimental result

타나고 있다.

##### 4.3 주대각선부재의 형태에 따른 해석결과

적용된 횡변위에 의해 각 모델의 해석 결과를 실험 결과와 비교하면 다음과 같다.

Fig. 11의 (a)는 MD01의 해석결과로 횡변위가 세 번째 주기에서 3.2mm,  $\theta_r = 0.263\%$ 에 이르러 주대각선 부재가 항복 후 강도가 감소되어감에 따라 양의 방향이냐 음의 방향 모두 시스템의 응답 곡선은 밀면전단력이 일정한 비율로 감소되어가는 형태를 보여주고 있다. 또한 다른 부재의 추가적인 항복이 발생하지 않으므로 재하 후 다시 재하하는 경우 재하 시의 궤적을 그대로 따라서 시스템이 응답을 한다. (b)는 MD02의 결과로 MD02는 실험 결과에 비해서 재하 시의 초기의 강성과 강도는 약 60%이상 크게 평가되나 세 번째 주기 양의 방향에서 횡변위가 2.87mm,  $\theta_r = 0.235\%$ 에 도달했을 때 양 모서리에 연결된 두 부재가 항복상태에 도달한 이 후부터 하중이 반복됨에 따라 점차 강성과 밀면전단력이 비슷해짐을 알 수 있다. 또한 이 모델의 경우는 재하뿐만 아니라 재하 시의 강성도 실험과 비슷한 결과를 나타내고 있다. (c)는

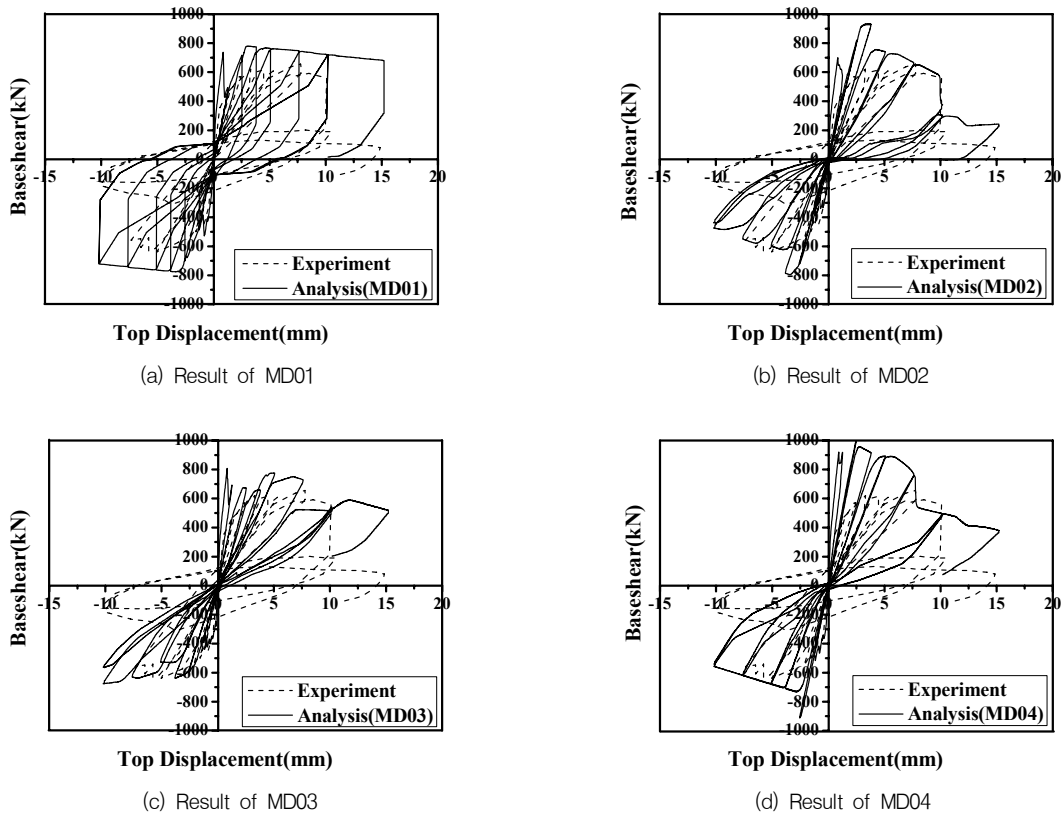


Fig. 11 Result of main diagonal member shape

MD03에 대한 결과로 MD02가 3개의 부재로 주대각선 부재가 이루어진 반면 세 번째 형태인 MD03는 중앙부에 위치한 2개의 절점을 각기 다른 경로를 지나는 4개의 부재들로 이루어져 있어 초기 강성은 MD01이나 MD02보다 크다. 또한 제하 시의 강성이 실험 결과에 비해 다소 크게 평가되고 있다. MD03은 두 번째 주기 양의 방향에서 횡변위 2.16mm,  $\theta_r = 0.177\%$ 에서 주대각선 부재중의 하나가 항복되면서 결과가 실험값과 유사해진다. 특히 첫 번째 주기를 제외한 나머지 주기에서의 강성은 다른 모델에 비해 실험과 가장 유사한 결과를 나타내고 있다. 하지만 음의 방향에서는 밀면전단력이 감소하지 않아 실험 결과와는 다소 다른 형상으로 그래프가 진행되어간다.

마지막으로 (d)는 네 번째 형태인 MD04에 대한 결과로 MD02와 MD03을 혼합하여 사용한 형태로 서로 대각선에 위치한 두 절점이 MD02와 MD03에서 사용된 3개의 주 대각선부재로 연결이 되어있다. 예제 모델 중에서 주 대각선부재가 가장 많은 연결이 되어있으므로 초기강성과 낮은 초기단계의 주기에서의 밀면전단력이 실험에 비해 높게 평가되고 있다. 횡변위가 2.79mm,  $\theta_r = 0.229\%$  이 후에 밀면전단력이 감소를 시작한다. 그리고

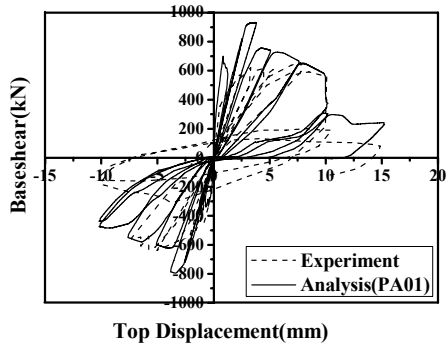
여섯 번째 주기에서 변위가 7.62mm,  $\theta_r = 0.625\%$  이 후에 급격하게 밀면전단력이 감소를 하며 MD03과 마찬가지로 실험 결과의 밀면전단력보다 낮게 평가되었다.

해석결과를 실험과 비교하여 살펴본 결과 주대각선 부재의 형태에 따른 비교는 서로 마주보는 대각선에 위치한 두 절점을 대각선과 유사한 형상의 3개의 부재로 연결한 모델인 MD02가 가장 유사하였다. 따라서 대각선 부재들의 형상에 따른 비교에는 MD02에 사용된 주대각선 부재를 적용하여 해석을 수행하였다.

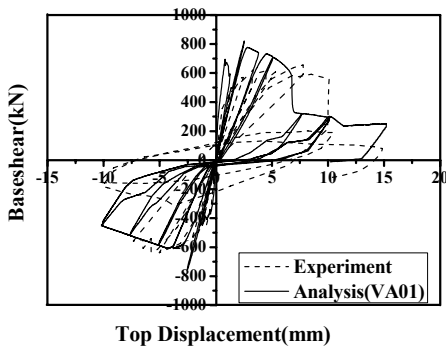
#### 4.4 대각선부재의 형상에 의한 해석 결과

Fig. 12는 서로 각기 다른 형태의 대각선부재들로 이루어진 세 가지의 형태의 결과를 나타낸 그림이다.

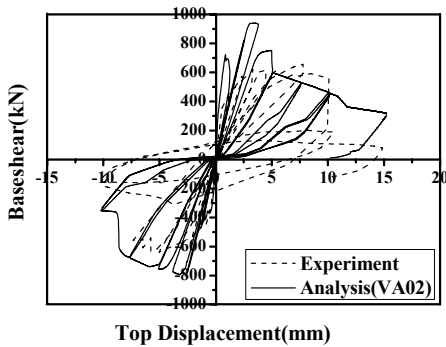
(a)는 PA01의 결과로 이는 MD02와 동일한 형상으로 모델링 되어 그 결과가 동일하다. (b)는 VA01에 대한 결과로 세 번째 주기에서 횡변위가 약 2.6mm 즉,  $\theta_r = 0.21\%$ 에 이르렀을 때부터 밀면전단력이 감소하기 시작한다. 그리고 마지막으로 VA02의 결과에서는 Fig 12의 (c)에서와 같이 세 번째 주기까지의 결과는 PA01과 거



(a) Result of PA01



(b) Result of VA01



(c) Result of VA02

Fig. 12 Result of diagonal member shape

의 유사하게 나타난다. 하지만 네 번째 주기에서 밀면전단력이 급격히 감소하면서 실험에서의 값보다 낮은 해석 결과가 나타난다.

## 5. 결론

본 논문에서는 비선형 트러스 모델을 이용하여 반복 하중을 받는 전단벽을 모델링하고 이를 해석하여 그 결과를 실험값과 비교하여 실무에서 실제 벽체에 대한 해석 시에 편리하게 적용 가능한 방법을 제시하고자 하였다.

이를 위하여 벽체의 해석에 있어서 결과에 영향을 미칠 수 있는 주대각선 부재의 경로에 따라 MD01~04 네 가지 형태의 모델과 대각선 부재들의 배치에 따라 PA01, VA01 그리고 VA02 세 가지의 모델링을 적용하여 그 해석결과를 실험결과와 비교하였다.

주대각선부재의 경로에 따른 결과로는 서로 외부 모서리에 위치한 두 절점을 하나의 부재로 연결한 MD01은 주대각선 부재가 항복한 후에 선형으로 전체 밀면전단력이 감소하는 결과를 나타내었다. MD02는 주대각선 부재가 2개의 절점을 지나며 3개의 부재로 이루어져 있는 형태로 주대각선 부재 중 하나가 첫 번째로 항복을 일으킨 후에 밀면전단력이 감소하면서 점차 실험결과와 유사한 결과를 나타내었다. MD03은 주대각선 부재가 벽체의 수평, 수직 방향의 중앙부에 위치한 두 절점을 서로 다른 경로로 지나는 4개로 이루어진 형태이다. 이 모델에서는 강성은 다른 모델에 비해 유사하나 벽체의 모서리부분의 응력집중현상으로 인한 밀면전단력의 급격한 감소현상을 반영하지 못하고 있다. 주대각선 경로의 마지막 형상인 MD04는 MD02와 MD03을 조합한 형상으로 초기에는 MD02와 유사한 형상으로 진행되다 밀면전단력의 급감 현상이 좀 더 빠른 시점에서 발생한다.

대각선부재들의 형상에 따른 평가에서는 PA01은 MD02와 같은 형상이므로 동일한 결과이다. 그리고 VA01과 VA02는 모두 실험에 비해서 밀면전단력의 급감 현상이 일찍 발견되어 실제 실험의 결과보다 낮게 평가되어졌다.

이와 같은 모든 결과를 종합해보면 본 논문에서는 MD02, 즉 PA01이 실제의 실험 결과와 가장 근사한 것으로 판단된다.

하지만 초기 강성 및 제하 시의 강성에 대하여 좀 더 근사한 결과가 요구되며 본 논문에서는 부재의 배치에 대하여 고려를 하였으나 모델링의 편리함을 위해 부재의 크기에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 다양한 형상의 벽체를 통한 추가적인 검증 또한 요구되는 것으로 판단된다.

감사의 글

“이 논문 또는 저서는 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임”(KRF-2006- 352 -D00197)

---

## 참고문헌

1. 김상우, 이정윤, “변환각 트러스 모델에 의한 철근콘크리트 보의 전단거동 예측에 관한연구”, 한국콘크리트학회논문집 Vol. 13, No. 1, pp. 130-138, Apr. 2001
2. 엄태성, 박홍근, “트러스 모델을 이용한 철근콘크리트 부재의 비선형”, 한국콘크리트학회논문집 Vol. 18, No. 2, pp. 177-188, Apr. 2006
3. American Concrete Institute(ACI), “Building Code Requirements for Structural Concrete,” ACI 318-05, Farmington Hills, Mich, 2005.
4. Carr, A. J., “Ruaumoko - A Program for Inelastic Time-History Analysis,” Department of Civil Engineering, University of Canterbury, New Zealand. 2008.
5. FEMA. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 273, and NEHRP Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 274. Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 1997.
6. FEMA. Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 356. Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 2000.
7. Mansour, M., Lee, J. and Hsu, T. T. C., “Cyclic Stress-Strain Curves of Concrete and Steel Bar in membrane Elements,” *J. Struct. Eng.*, 127(12), pp 1402-1411, 2001
8. Massone, L. M., Orakcal, K., Wallace, J.W., “Modeling of Squat Structural Walls Controlled by Shear” *ACI Structural Journal*, Vol. 106, No. 5, pp. 645-655. 2009.
9. Oesterle, R. G., Fiorato, A. E., Johal, L. S., Carpenter, L. S., Ressel, H. G. and Corley, W. G., “Earthquake-Resistant Structural Walls - Tests of Isolated Walls,” Report to the National Science Foundation, Construction Technology Laboratories, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 1976.
10. Panagiotou, M., “Seismic Design, Testing and Analysis of Reinforced Concrete Wall Buildings,” Ph.D. Thesis, Department of Structural Engineering, University of California, San Diego, 2008
11. Panagiotou, M., Restrepo, J. I. and Conte, J. P., “Shake table test of a 7-story full scale reinforced concrete structural wall building slice - Phase I:Rectangular wall”, Report No SSRP-07/07, University of California San Diego. 2007
12. Panagiotou, M., Restrepo, J. I. and Conte, J. P., “Shake table test of a 7-story full scale reinforced concrete structural wall building slice - Phase II:T-wall”, Report No SSRP-07/07, University of California San Diego. 2007
13. Park, H. and Eom, T., “Truss Model for Nonlinear Analysis of RC Members Subject to Cyclic Loading,” *J. Struct. Eng.*, Vol. 133, pp. 1351-1363. 2007
14. Pujol, S., Sozen M. and Ramirez, J., “Transverse Reinforcement for Columns of RC Frames to Resist Earthquakes,” *J. Struct. Eng.*, Vol. 126, 2000, pp. 461-466
15. Sarah T. L., Alberto S., John W., Kutay O., John G., Aaron R, and Luis T., Roger Y., Mostafa S., Ron H., “Seismic Rehabilitation - Benefits of Component Testing,” SEAOC Convention, Sep. 2007, LA, California.

(접수일자 : 2010년 3월 25일)

(1차수정일자 : 2010년 7월 1일)

(심사완료일자 : 2010년 7월 16일)

---

## 요 지

실무 및 연구에 있어서 반복하중을 받는 콘크리트 벽체의 변형 및 저항능력 그리고 재료의 변형율 등을 정확하게 평가할 수 있는 방법이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 비선형 트러스 부재를 이용하여 반복 횡하중을 받는 철근콘크리트 벽체 또는 철근콘크리트 면부재를 모델링하였다. 콘크리트와 배근된 철근은 각각 수직, 수평 그리고 대각선 비선형 부재를 이용해 모델링되었다. 본 논문에서는 높이/폭 비가 1.2인 벽체를 예제로 선택하여 실험의 결과와 비교하였다. 비교를 위하여 주대각선 부재의 경로에 따른 4가지의 형상과 대각선 부재들의 배열에 따른 3가지 형상이 채택되어 실험 결과와 가장 근사한 모델링의 선택을 위해 평가를 실시하였다.

**핵심 용어** : 비선형 해석, 트러스 모델, 전단벽, 대각선 부재