

# 커튼월 프레임의 구조설계를 위한 내진설계기준 분석

## Seismic design criteria analysis for structural design of curtain wall frame

하 정 상\*                      하 성 진\*\*  
Ha, Jeong Sang\*            Ha, Seong Jin\*\*

### Abstract

The purpose of this study is to compare the seismic stability of Mullion and Transom by material when designing the curtain wall system as seismic. Through the structural analysis program Midas Gen, frame with large reaction force is limited through structure modeling. ABAQUS/CAE, a finite element analysis program, evaluates adequacy using the frame of the curtain wall system through analysis evaluation when receiving seismic waves. The results obtained through the evaluation are compared with the domestic and international seismic design standards to confirm whether they fall within the design scope. If the results are in accordance with the design scope, it will be determined that it is safe, but if not, deformation and destruction of the curtain wall system, and glass fall and destruction will occur.

키워드 : 커튼월 시스템, 비구조요소, 내진설계, 구조해석, 변위, 반력  
Keywords : Curtain Wall System, Non-Structural Element, Seismic Design, Structural Analysis, displacement, reaction force

### 1. 서    론

근래 지진 사례들은 전 세계적으로 건축물의 내진성능의 중요성을 증명하고 있으며, 국내에서는 2020년 1월부터 2023년 6월까지 총 457회의 지진이 기록되었다. 현대 건축물은 고층화와 도시화의 추세에 따라 지진으로부터 내진설계의 필요성이 대두되고 있다.

반면, 건축물의 초고층화, 경량화가 많아지는 추세에 따라 커튼월 시스템의 수요가 증가하며, 중요한 요소가 되고 있다. 커튼월 프레임은 건물의 외부 벽체를 지탱하고, 동시에 외관을 디자인하는 주요 구성요소 중 하나이다. 커튼월 프레임은 주로 알루미늄, PC, 금속을 사용한다. 그러나 잘못된 설계나 부적절한 재료 선택으로 인해 건물의 안전성이 저하될 수 있으며, 비상사태에서의 대비능력이 감소하면 2차 피해까지 생기게 된다.

커튼월 시스템은 하중을 부담하지 않는 비내력 외피, 비구조 요소이지만 건축물의 외벽 역할을 수행한다. 일반적인 비구조요소는 건축물의 영향을 크게 미치지 않지만, 커튼월은 외벽 역할을 하는 외장재로 풍하중, 지진하중 같은 외적 영향을 받게 된다. 국내 내진설계 기준에서 비구조요소는 하나의 통합적인 큰 기준으로써 다루어지며,

비교적 세세하게 규정되어 있지 않은 실정이다.

따라서 본 연구에서는 커튼월 시스템 혹은 비 구조요소에 대한 국내외 내진설계 기준을 비교 및 분석하고, 커튼월 프레임의 종류에 따른 구조해석을 통해 내진성능을 평가한다. 또한, 해당 결과와 설계기준에서 제시하는 값을 비교하여 커튼월 시스템의 내진설계 기준의 적합성을 평가한다. 연구 절차는 커튼월 시스템에 적합한 국내외 내진설계 기준을 비교하고, Midas Gen으로 구조체를 모델링한 후, 최대하중 및 층간 변위가 가장 큰 부분을 선정한다. Abaqus CAE를 이용하여 커튼월 프레임 종류별 내진성능 및 상대변위를 비교, 분석하였다.

정다운(2019)의 연구는 알루미늄 유리 커튼월의 내진설계 절차 및 시공 관행을 분석, 지진에 의한 층간 변위에 대한 유리의 탈락 및 파괴를 방지하는 검토, 층간변위 흡수 검토를 중심으로 내진설계 기준을 정립으로 상대변위 흡수가 설계대로 작동하지 못할 경우, 커튼월 프레임 설계 시 고려해야 할 사항 들을 추가하여 보완 및 개선된 알루미늄 커튼월의 내진설계 결과를 도출하였다.

조봉호 외(2010)의 연구에서는 스틸과 알루미늄 커튼월을 비교함으로써 커튼월의 시장조사를 통한 사전 전망을 하여 유닛 시스템을 고층화와 초고층에 적용할 방법을 제시한다. 그 결과로 50~70 %의 공사비는 커튼월에 사용이 되지만 알루미늄과 스틸을 비교하였을 때 재료값 포함, 모든 공사비의 절감을 통해 공기 또한 절감한다 판단하여, 유닛의 3가지 대안을 제시하였다.

임현창 외(2010)의 연구에서는 스틸, 알루미늄 커튼월의 최적의 단면을 개발하여 구조성능을 평가하였다.

\* (전)한국교통대 건축학과 학부생

\*\* 한국교통대학교 건축학과 부교수, 공학박사

(Corresponding author : Architectural Engineering, Korea National University of Transportation, sjha@ut.ac.kr).

이 연구는 한국연구재단의 지원(NRF-2020R1F1A1076867)을 받아 수행된 결과이며, 이에 감사드립니다.

Midas Gen을 사용하여, FEM 해석을 진행하였다. 해석할 부분은 알루미늄과 스틸이 결합할 부분의 스크류이며, 예시를 두고 해석을 진행했다. 그 결과 설계기준의 규정을 만족하였지만, 앵커 지지부 중앙과 하부의 일부 허용응력이 초과하였다. 이에 대한 최대응력 허용치 이하로 저감하기 위해 강재 전체의 두께 증가와 앵커 주변부의 국부적 보강을 제시하였다.

최인섭 외(2019)의 연구에서는 UBC와 IBC를 중심으로 시대별 등가정적하중을 조사하여 변화를 보여주고, 현재의 ASCE/SEI 7와 NEHRP와의 시대적 등가정적하중을 비교한다. 시대별로 내진설계대상 비구조요소가 확대되어 왔으면서도 비구조요소는 설계하중에는 큰영향을 미치지 못한다. 하지만 건축물과 비구조요소의 주기에 따른 상호작용은 설계하중에 큰 영향을 미침에도 충분한 고려를 하지 않는다고 보고하였다.

장극관 외(2013)의 연구에서는 국내외 비구조요소의 설계지진하중 비교를 통해 지진하중 산정을 위한 변수, 설계지진력 비교와 해석결과로 적절성을 검토하였다. 접합부에 대한 설계, 건물의 동적특성에 영향을 미치므로, 더 명확한 설계기준의 정의와 중요도가 높은 건물에서 내진설계 적용 의무화의 필요성을 제시하였다.

이현석 외(2021)의 연구에서는 중요도(특)에 해당되는 병원 건물이나 주요건물에 설치되는 창호 및 커튼월의 동적 내진성능을 평가하였다. 지진파를 통해 변위량을 산정하였을 때 변위식에 따른 상대변위의 변화에 따라 탈락하지 않게 설계하며, 커튼월의 4개의 종류로 실험하여 유리 파손 시점을 측정하였다. 결과적으로 유리의 탈락에 중점을 두었으며, 층고 대비 백분율 3.75 %과 동적 지진파와 40 Hz, 변위량 ±150 mm일 때 유리에 크랙이나 탈락 및 파괴되지 않았다.

Amadio and Bedon(2012)의 연구에서는 커튼월 시스템의 유리 패널의 프레임 제작 시 외부하중을 보내 압축응력과 전단응력을 확인하여 거동을 수치적으로 조사했다. 탄성 모델(M01)과 탄소성 취성-탄성 모델(M02)을 산정하여 증분 동적해석을 진행한다. 대략적 거동만 할 수 있는 M01과 달리, M02는 현실적인 시뮬레이션이 가능하였다. 이때, 유리 라이트와 구조용 실리콘 비드업을 통해 안전성을 유지해야 하며, 지지할 수 있는 높은 반력을 가져가야 한다. 제안된 VE 장치는 처짐 및 전달되는 최대 반응을 감소시키고, 추가적인 변형 가능성이 있어, 에너지 일부를 소산시켜 구조물의 심각한 손상을 방지하였다.

2. 비구조요소의 국내외 내진설계기준 비교

커튼월 시스템의 내진설계 기준을 비교하기 위해, 국내외 비구조요소에 대한 등가정적하중을 비교하였으며, 설계하고자 하는 모델에 대해 설계기준 만족 여부를 판별하였다. KDS 41 17 00의 경우,

$$F_p = \frac{0.4 \times a_p \times S_{DS} \times W_p}{(R_p/I_p)} (1 + 2 \frac{z}{h}) \tag{1}$$

여기서,

- $a_p$ : 1.0 ~ 2.5 사이의 값을 갖는 증폭계수
- $R_p$ : 1.0 ~ 3.5 사이의 값을 갖는 비구조요소의 반응수정계수
- $I_p$ : 1.0 또는 1.5의 값을 갖는 비구조요소의 중요도계수
- $h$ : 구조물의 밑면으로부터 지붕 층까지의 평균높이
- $S_{DS}$ : 단주기에서의 설계스펙트럼가속도
- $W_p$ : 비구조요소의 가동중량
- $z$ : 구조물의 밑면으로부터 비구조요소가 부착된 높이

ASCE/SEI 17-6의 경우,

$$F_p = \frac{0.4 \times a_p \times S_{XS} \times W_p}{(R_p/I_p)} (1 + 2 \frac{z}{h}) \tag{2}$$

여기서,

- $a_p$ : 1.0 ~ 2.5 사이의 값을 갖는 증폭계수
- $R_p$ : 1.0 ~ 12.0 사이의 값을 갖는 비구조요소의 반응수정계수
- $I_p$ : 1.0 또는 1.5의 값을 갖는 비구조요소의 중요도계수
- $h$ : 구조물의 밑면으로부터 지붕 층까지의 평균높이
- $S_{XS}$ : 단주기에서의 설계스펙트럼가속도
- $W_p$ : 비구조요소의 가동중량
- $z$ : 구조물의 밑면으로부터 비구조요소가 부착된 높이

Eurocode-8의 경우,

$$F_a = (S_a \cdot W_a \cdot \gamma_a) / q_a \tag{3}$$

여기서,

- $W_a$ : 비구조요소의 무게
- $S_a$ : 비구조요소의 지진계수
- $\gamma_a$ : 중요도계수
- $q_a$ : 비구조요소의 거동계수

Table 1은 설계기준에 따른 등가정적하중 계수 비교를 나타내며, 비교 전, 단주기 설계스펙트럼가속도( $S_{DS}$ )을 먼저 산정한다.

$$S_{DS} = S \times 2.5 \times (F_a = 1.46) \times 2/3 = 0.22 \times 2.5 \times 1.46 \times 2/3 = 0.535 \tag{4}$$

KDS 41 17 00과 ASCE/SEI 17-6의 등가정적하중 산정식은 동일하나, 반응수정계수( $R_p$ ) 범위의 차이만 존재하는 것으로 판단된다.

Table 1. 설계기준에 따른 계수 비교

	KDS 41	ASCE 17	Eurocode-8
증폭계수	$a_p = 1$	$a_p = 1$	$\frac{3}{1 + (1 - T_a/T_1)^2} = 1.5$
반응수정계수	$R_p = 2.5$	$R_p = 2.5$	$q_a = 2$
비구조요소 설치 관련식	$1 + 2(z/h) = 3$	$1 + 2(z/h) = 3$	$1 + z/h = 2$
중요도계수	$I_p = 1.5$	$I_p = 1.5$	$\gamma_a = 1.5$

Eurocode-8에서는 등가정적하중만 산정하고, 동적해석 산정식은 반영하지 않는다. 일반적으로 비구조요소는 구조체보다 매우 약하기 때문에  $T_a/T_1 \approx 0$ 이며, 보정계수는 0.5이다. Eurocode-8은 고장이 난 경우 사람에게 위험을 초래하거나 건물의 주요 구조 또는 주요 시설의 서비스는 지지대와 함께 설계 지진작용에 저항할 수 있는지 검증되어야 함을 명시하고 있다.

따라서, 등가정적하중에 기초한 수직설계지진력( $F_{pV}$ )은 수평방향의 지진에 안전하므로 수직방향의 지진으로부터 안전하도록 수직하중과 동시에 고려하기에 다음 식 (5)와 같이 나타낸다.

$$F_{pV} = \pm 0.2S_{DS} W_p = 0.1623kN/m^2 \quad (5)$$

### 3. 커튼월 시스템 모델링

#### 3.1 Midas Gen 모델링

정다운 (2019)의 연구를 참고로 하여 KDS 41 17 00 의 설계요구조건을 만족하는 18층 철근콘크리트 구조물을 Midas Gen으로 모델링하였으며, 설계 변수는 Table 2에 제시되어 있다.

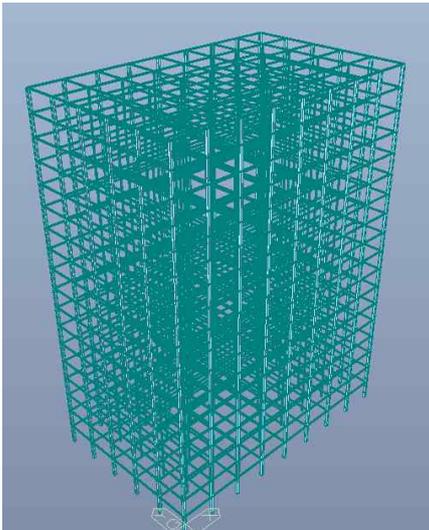


Figure 1. Midas Gen을 이용한 구조체 모델링

Fig. 1과 Table 2.를 참조하여 고정하중과 활하중의 최대반력을 확인하고 사용성 평가를 통한 X, Y축의 최대변위를 산출한다. 최대반력은 Midas Gen의 Reaction Force/Moment를 토대로 산출했으며, 다음 Table 3을 통해 알 수 있다. 최대변위는 Deformations Shape를 사용하여 산출하고, Table 4.와 같이 나타낸다. 이때의 최대변위는 5층에서 일어난다 판별된다. 이를 통해 커튼월 프레임 모델링을 만들 시 5층 이상에서의 반력과 변위를 확인하기 위해 6층까지 모델링한다.

Table 2. 구조체 모델링 설계조건

대지위치	경기도 (지진구역 I)
건물용도	업무시설
건축물의 층수	지상 18층 (층고 4.3m, 77.4m)
건축물의 폭	B:56m, d:35m
구조형식	철골철근콘크리트
적용기준	건축구조기준 (KDS 41 00 00)
중요도 분류	1.5 / 중요도 (특)
지진지역계수	2.0
유효지반 가속도	위험도계수 × 2.0 = 0.11 × 2.0 = 0.22g

Table 3. 고정하중과 활하중의 최대반력

	DL	LL
최대반력	14874.156235 kN	2339.056876 kN

Table 4. X축 방향과 Y축 방향의 최대변위

	X-dir	Y-dir
최대변위	7.616	1.452

상대변위 검토의 경우, 상대변위는 안전연결부 및 패널 조인트는 KDS 18.2.3에서 결정된 상대 지진 변위( $D_{pI}$ ) 또는 13mm 중 큰 값에 해당하는 변형을 수용하여야 한다. 본 연구에서 Midas Gen을 통한 비구조체의 Seismic Load를 확인할 수 없기에 다음  $D_p$ 의 식을 통한 최대 허용 상대변위를 적용한다.

비구조요소가 수용해야 할 지진에 의한 상대변위  $D_{pI}$ 는 다음과 같이 계산한다.

$$D_{pI} = D_p I_E \quad (6)$$

여기서,

$I_E$  : 2.2의 중요도계수

$D_p$  : 밀의 규정에 의해 산정되는 상대변위

동일한 구조물 또는 구조시스템상의 수직 위치가 x와 y인 두 연결점에 대하여  $D_p$ 는 다음과 같이 계산한다.

$$D_p = (X - Y) \frac{\Delta_{aA}}{h_{sx}} \quad (7)$$

$D_p$ 는 KDS 41 17 00의 7.3.3의 응답스펙트럼해석법 혹은 7.3.4.2의 선형시간이력해석에 의해 구해진 값을 사용하며,  $D_p$ 는 위의 값을 초과할 필요는 없다.  $\Delta_{aA}$ 를 산정하기 위한 근거는 Table 5와 같다.

Table 5. 내진등급에 따른 허용층간변위 비교

	내진등급		
	특	I	II
허용층간변위 $\Delta$	$0.01h_{sx}$	$0.015h_{sx}$	$0.02h_{sx}$

$h_{sx}$  : x층 층고

X, Y의 값은 Midas Gen의 구조체의 최대변위가 일어난 5층의 상부 및 하부부착지점을 넣어 사용하였다. X는 21.5m, Y는 17.2m,  $\Delta_{aA}$ 는 내진등급 (특)의 허용층간변위에  $h_{sx}$ 가 4.3m이므로  $\Delta_{aA}$ 는  $4300 \times 0.01 = 43mm$ 이다.

유리 안정성의 경우, 커튼월, 상점 앞면, 칸막이벽에 끼워진 유리는 식의 상대변위 요구조건 및 다음을 만족하여야 한다.

$$\Delta_{fallout} \geq 1.25 D_{pl}$$

$\Delta_{fallout}$  : 커튼월, 상점 앞면, 칸막이벽에서 유리 탈락이 발생하는 상대변위로 해석 혹은 실험을 통해 산정하되 13mm보다 커야함

$D_{pl}$  : 식에 의해 산정되는 구조물의 상대변위

$$\Delta_{fallout} = 1.25 \times 64.5 = 80.625 mm > 13mm \rightarrow OK$$

위의 식을 통해 커튼월의 유리 안정성은 안전하다 판별된다. 식을 검토하지 않고 유리를 설치한다면 그 사이의 공간을 통해 커튼월 시스템과의 수밀성과 기밀성이 떨어지며, 시간의 경과에 따라 유리의 탈락 혹은 파괴가 일어났을 것이다. 지진으로 인해 비구조요소의 2차 피해를 방지하기 위해선 상대변위와 유리의 안정성 또한 필히 산정하는 것이 중요하다.

### 3.2 ABAQUS CAE 모델링

ABAQUS CAE에서 Y, Z축의 방향으로 이동을 제한하고, X축에서 만의 이동을 허용한 Fig. 2 지진파를 활용하여 Fig. 3와 같이 모델링하였다.

지반부터의 최대반력과 최대변위가 일어난 5층에서 지반에서 떨어진 모델링만으로는 해석이 불가하여 5층의 해석 확인을 간단히 할 수 있게 6층까지의 모델링을 만들어 해석하였다.

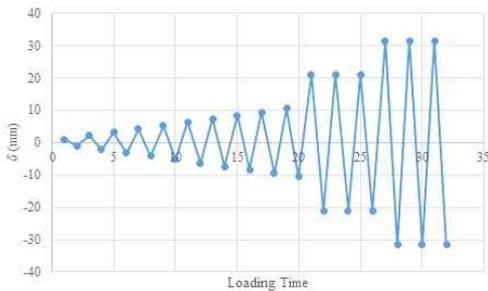


Figure 2. 모델링 해석에 사용한 지진파

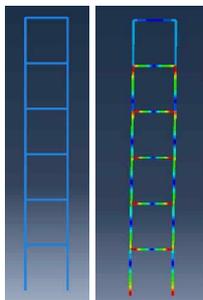


Figure 3. ABAQUS CAE를 이용한 비구조체 모델링 및 결과

Figure 3에서 커튼월 프레임이 지진파에 대한 반력과 변위를 눈으로 먼저 확인할 수 있다. 지진파의 움직임은 지반에서부터 시작하여 커튼월 시스템의 수직부재 멀리온으로 올라와 수평부재 트랜섬이 있는 X축 방향의 좌우 끝으로 지진파의 변위를 넘겨주고 간다. 이때, 트랜섬과 일체로 있는 멀리온은 트랜섬의 변위를 같이 부담하며 변형과 파괴가 일어나지 않게 이동한다.

### 4. 해석결과 비교분석

ABAQUS CAE에서의 해석결과 확인을 위해서 비구조체 모델링에서 ‘History Output’을 통한 시간별 하중의 변화가 일어날 곳을 지정하고, ‘Boundary Condition’을 통해 비구조체의 경계조건 및 X, Y, Z 축방향의 하중을 넣어 해석을 할 수 있다. 경계조건이 여러 곳이라면 반력과 변위가 산출된 부분의 값을 ‘Combine’하여 ‘Hysteresis curve’를 통한 반력-변위 그래프를 도출할 수 있다.

#### 4.1 커튼월 프레임 재료별 해석결과 비교

-알루미늄 프레임의 해석결과

알루미늄은 비중 2.7이며 해석결과로 Fig. 4(a)가 나타난다. 최대반력과 최대변위는 절댓값으로 이루어져 있어, 알루미늄의 최대 반력과 최대 변위는 다음 Table 6와 같이 나타난다. 알루미늄 같은 경우 반력에 큰 변화를 주지 않지만 변위가 크게 일어나 커튼월 시스템의 파괴가 일어날 수 있다.

Table 6. 알루미늄의 최대 반력 및 변위

최대반력	17,4288 N
최대변위	57,968 mm

-PC 프레임의 해석결과

PC의 비중은 2.5이며 해석결과로 Fig. 4(b)와 같이 나타난다. PC의 최대반력과 최대 변위는 다음 Table 7과 같이 나타난다. PC에서의 최대반력은 알루미늄보다 작지만 작은 반력으로도 근사값의 변위를 도출했다. PC의 커튼월 시스템도 변위로 인한 파괴가 일어날 수 있다.

Table 7. PC의 최대 반력 및 변위

최대반력	8.38203 N
최대변위	56,8223 mm

-금속 프레임의 해석결과

금속의 비중은 7.85이며 해석결과로 Fig. 4(c)와 같이 나타난다. 금속의 최대반력과 최대변위는 Table 8과 같이 나타난다. 알루미늄과 PC의 최대반력과는 매우 차이가 나는 것을 확인할 수 있지만, 최대변위와는 근사값을 보여준다. 금속 커튼월 프레임도 시간이 파괴가 일어날 수 있으나, 반력과 변위의 차이가 크지 않아 알루미늄, PC보다 적은 파괴가 일어난다.

Table 8. 금속의 최대 반력 및 변위

최대반력	53.9803 N
최대변위	58,0104 mm

모든 재료의 평가를 비교한 결과, 알루미늄, PC, 금속의 'Hysteresis curve' 와 위의 해석결과를 통해 분석한다. 변위는 PC < 알루미늄 < 금속 순으로 나타나며, 반력은 PC < 알루미늄 < 금속 순으로 나타난다.

4.2 국내외 내진설계기준과 해석결과 비교

한국, 미국, 영국의 내진 설계기준을 앞서 계산한 값을 제시한다. 내진 설계기준을 통해 제시된 값 내에 들어가면 비구조체의 내진설계가 가능하지만, 값 내에 들어가지 못한다면 내진설계가 실패하게 된다. 실패한 내진설계는 지진 시 변형, 붕괴가 일어나며 2차 피해가 즉각적으로 나타나게 될 것이다. 내진설계 기준은 다음 Table 9, Table 10을 통해 나타난다.

Table 9. KDS 41 17 00, ASCE/SEI 17-6의 결과 비교

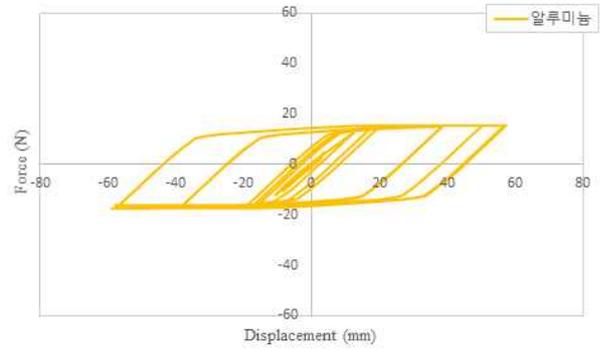
	KDS 41 17 00, ASCE/SEI 17-6
	$0.366 \leq F_p \approx 0.5857 \leq 1.9521$
알루미늄	0.0051866967 Pa < 0.366
PC	0.00259604127 Pa < 0.366
금속	0.0160407095 Pa < 0.366

Table 10. Eurocode-8의 결과 비교

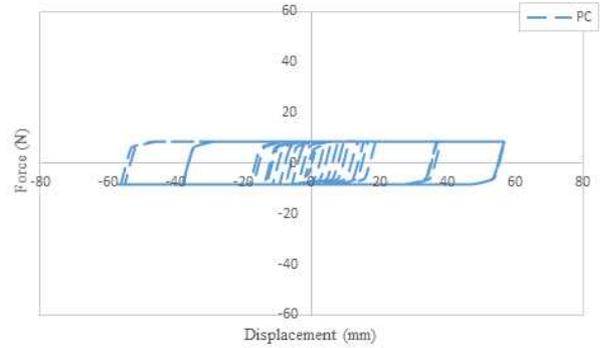
	Eurocode-8
	$F_a = 0.00959$
알루미늄	0.0051866967 Pa < 0.00959
PC	0.00259604127 Pa < 0.00959
금속	0.0160407095 Pa > 0.00959

KDS 41 17 00과 ASCE/SEI 17-6에서의 등가정적하중은 범위 내의 명확한 기준이 있는 반면에 Eurocode-8의 등가정적하중은 범위가 없고, 등가정적하중보다 크거나 작거나 할 때 사용여부가 명확하지 않다.

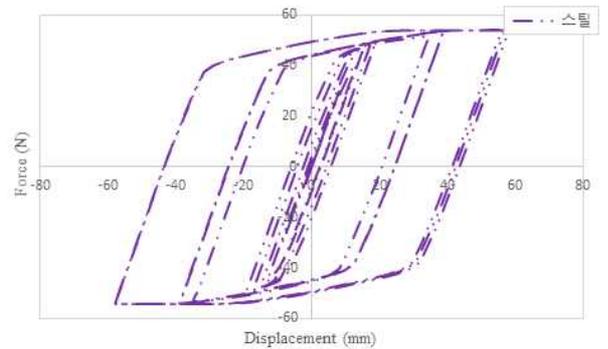
KDS 41 17 00과 ASCE/SEI 17-6의 등가정적 내에 세 개의 결과가 만족하지 않아 내진설계가 적절하지 않다는 결론을 도출한다.



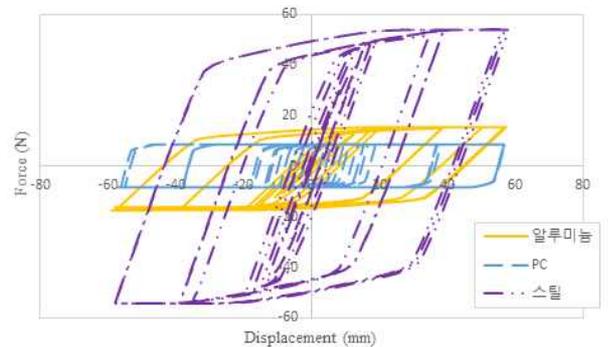
(a) 알루미늄



(b) PC



(c) 금속



(d) 모든 재료

Figure 4. 커튼월 프레임의 재료별 해석결과 비교

5. 결론

커튼월 시스템의 재료별 프레임 내진성능 비교를 위해 국내외 내진설계기준과 구조체, 비구조체의 모델링의 비교를 통해 제시하였다.

본 연구에서는 재료별 커튼월 프레임의 내진성능 비교를 목적으로 커튼월을 넣을 구조체는 Midas Gen을 사용하며, 커튼월 프레임의 재료별 지진하중의 비교는 ABAQUS CAE를 통해 재료별 내진성능 비교와 국내외 내진설계기준에 따른 결과의 적절성을 판별하기 위한 연구로서 모델링을 통한 해석이 필요함을 알 수 있었다.

1) 커튼월 시스템의 내진설계 기준에서 비구조체의 지반, 높이, 위험도 계수, 단주기 스펙트럼처럼 값이 주어진다면 비구조체의 내진설계가 필요하지 않다. Table 1에서 보여지는 바와 같이 비구조요소의 내진설계기준이지만 그 내용이 현저히 작다.

2) 3.1의 구조체 모델링을 설계하여 반력과 변위가 큰 부분을 확인하고 3.2 모델링을 설계한다. 지진파를 사용한 모델링을 재료별로 Table 7, Table 8, Fig. 4를 통해 나타낸다.

3) 재료별로 비교한 값은 Table 9, Table 10을 통해 내진설계기준과 비교하여 적절성을 판별한다. Table 9에서의 적절성은 내진설계가 이루어지지 않으며, Table 10은 적절성을 파악하기 어렵다.

내진설계기준과 모델링 해석의 비교는 부적합하다 알 수 있지만, 비구조요소가 명확히 들어가지 않은 내진설계 기준에 대해 설계된 커튼월 시스템이 안정성을 확보하기 어렵다는 것을 확인하며 비구조요소 마다의 내진설계기준이 명확히 증명되어야 할 필요가 있다.

REFERENCES

1. 조봉호, 윤경조, 임현창, 김진호, 신성호. (2010). 스틸 커튼월 시장동향 및 초고층 커튼월 적용성 평가. 한국강구조학회지, 22(2), 27-33.
2. 임현창, 윤경조, 김진호, 박지훈. (2010). 초고층 대응형 스틸-알루미늄 유닛 커튼월 구조성능평가. 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 30(1), 109-110.
3. 장극관, 임영철, 서대원. (2013). 비구조요소의 내진설계 기준 비교. 대한건축학회 논문집 - 구조계, 29(1), 23-30.
4. Amadio, C., & Bedon, C. (2012). Blast analysis of laminated glass curtain walls equipped by viscoelastic dissipative devices. Buildings, 2(3), 359-383.
5. 정다운. (2019). 알루미늄 유리 커튼월의 면내방향 지진하중을 고려한 내진설계 절차에 관한 연구 (Doctoral dissertation, 한양대학교).
6. 최인섭, 이주희, 손정훈, & 김준희. (2019). 건축 비구조체의 내진설계요소 및 내진설계하중에 관한 고찰. 대한건축학회 논문집-구조계, 35(5), 117-124.
7. 이현석, 오명환, 김우석. (2021). 동적 지진파 대응 가능한 실대형 내진커튼월의 동적 내진성능평가. 복합신소재구조학회논문집, 12(1), 25-31.