

호주의 비보강 조적조에 대한 내진기준

Australian Seismic Code for Unreinforced Masonry

이 한 선*

Lee, Han-Seon

유 은 진**

Yoo, Eun-Jin

ABSTRACT

This paper provides an overview of the unreinforced masonry in Australian Standard, especially places the focus on a seismic code. Australia, like Korea, is a country of lower seismicity, and strengthens the code of unreinforced masonry since Newcastle earthquake of magnitude 5.6 in 1989.

It is useful in establishing Korean code for unreinforced masonry to compare Australian Standard to Korean.

1. 서 언

현재 우리나라의 주택에서 비보강 조적조가 차지하는 비율은 크다. 서울시립대학교부설 지진·방재연구소의 조사¹⁾에 따르면 서울시의 경우 조적조가 주거용 건축물에서 차지하는 비율은 47%에 이르고 있다. 그러나 이렇게 단독주택 혹은 연립주택으로 이용되는 건물의 경우 대체로 5층 미만의 소규모 건축물이므로 건축물 하중기준 및 해설²⁾의 내진관련 기준이 적용되지 않은 채로 지어진다.

2000년 10월 건설교통부와 대한건축학회에서 제정한 조적조 기준(안)³⁾은 UBC 97의 조적조 관련 기준을 바탕으로 한다. 그러나 UBC 97이 사용되는 지역이 미국의 강진지역이란 것을 생각해보면 지진에 약한 비보강 조적에 대한 사용 비율이 낮을 것으로 추측할 수 있다. 이런 점에서 UBC 97의 비보강 조적에 대한 기준은 우리나라의 실정에 적절치 않을 것으로 판단된다.

여기서는 우리나라와 사정이 비슷한 국가로서 호주의 기준^{4), 5)}을 살펴보기로 하였다. 호주 기준을 살펴보는 이유는 다음과 같다.

- ① 호주의 설계에 이용하는 지진가속도는 0.05g~0.11g이다. 이는 우리나라에서 사용하는 값 0.11g와 유사하다. 특히 조적 기준 개정과 관련된 Newcastle 지역의 설계 지진가속도는 0.11g로서 우리나라의 기준과 동일한 값이다.
- ② 중·약진 지역인 호주의 경우 강진 지역과는 달리 비보강 조적조의 사용이 비교적 많다.

* 정회원, 고려대학교 건축공학과 교수

** 정회원, 고려대학교 건축공학과 석사과정

③ 1989년의 Newcastle 지진에서 조적에 발생한 피해의 대다수가 기준 개정시 반영되었다⁶⁾. 호주의 경우 이렇게 중·약진지역에서의 조적 파괴 사례를 고려하여 내진설계 기준이 대체로 잘 정립되어 있다고 보여진다.

2. 호주기준과 우리나라 내진기준의 비교

호주의 하중기준은 AS1170 SAA Loading Code이며, 이 중 지진에 관한 기준은 AS1170.4 Part 4 : Earthquake Load이다. AS1170.4와 우리나라 하중기준의 지진 관련 기준을 비교하면 아래와 같다.

표 1 호주 AS1170.4와 우리나라 하중 기준의 비교

	우리나라 하중기준 (2000년) ²⁾	호주 AS1170.4 ⁴⁾
밀면전단력	$V = \left(\frac{AI_E C}{R} \right) W$ <p> I_E : 중요도계수 C : 동적계수, $C = \frac{S}{1.2\sqrt{T}}$ S : 지반계수 R : 반응수정계수 W : 건축물의 전중량 A : 지역계수 </p>	<p>주거 구조물의 경우 (유형 H3에 대해) $V = 0.15G_g$</p> <p>일반 구조물의 경우 $V = I \left(\frac{CS}{R_f} \right) G_g$ <p> I : 중요도계수 C : 동적계수, $C = \frac{1.25a}{T^{2/3}}$ S : 지반계수 R_f : 반응수정계수 G_g : 건축물의 전중량 a : 가속도계수 </p> </p>
지역계수 (가속도계수)	A : 강원도 북부, 전라남도남서부, 제주도의 경우 0.07 기타 0.11	a : 0.05~0.11
중요도계수	0.8~1.5의 값	1.00, 1.25
동적계수	$C = \frac{S}{1.2\sqrt{T}}$ <p>지반계수 및 구조물의 고유주기 관련</p>	$C = \frac{1.25a}{T^{2/3}}$ <p>가속도계수 및 구조물의 고유주기 관련</p>
지반계수 S	4단계로 구분. 1.0 ~ 2.0의 값을 가짐	주거 건축물의 경우 2단계, 일반 건축물의 경우 5단계로 구분
반응수정계수	구조물의 연성을 나타냄 모멘트골조방식-연성의 경우 6.0	구조물의 연성을 나타냄 모멘트골조방식-연성의 경우 8.0 우리나라 기준보다 세분화됨

AS1170.4는 주거 구조물에 대해 일반 구조물과 별도의 기준을 적용한다. 일반 구조물의 경우 지반

계수, 반응수정계수 등이 우리나라 기준보다 더욱 세분화되어 있지만, 주거 구조물의 경우 밀면전단력에 대한 식을 적용하지 않거나(유형 H1, H2) 간단하게 구조물의 전 하중의 15%를 밀면전단력으로 가정하여 설계한다(유형 H3).

AS1170.4의 또 다른 큰 특징은 건물이 위치한 지역에 따른 가속도계수와 지반계수의 곱 aS 의 값에 따라 구조물의 범주를 정한 후, 설계유형에 따라 적용되는 요구조건을 강화하거나 완화한다는 것이다. 표 2는 가속도계수와 지반계수의 곱을 이용한 구조물의 지진설계 유형 분류를 나타낸 것이다. 여기서 구조적인 분류는 구조물의 중요도와 연관되는데, 일반적인 구조물의 유형 I, II, III은 다음과 같이 구분된다.

- 유형 III : 지진 후 복구에 필수적이거나, 위험한 설비와 관련된 구조물
- 유형 II : 다수의 인원, 혹은 이동이 불편한 사람들을 수용하기 위해 설계된 구조물
- 유형 I : 유형 II 또는 유형 III에 속하지 않는 구조물

참고로 중요도계수(I)는 유형 III의 경우 1.25의 값을, II, I의 경우는 1.00의 값을 적용한다.

표 2 지진설계 범주 (AS1170.4 Table 2.6)

가속도계수와 지반계수의 곱 (aS)	설계 유형			
	구조적인 분류			
	주거 구조물	일반적인 구조물		
		유형 III	유형 II	유형 I
$aS \geq 0.2$	H3	E	D	C
$0.1 \leq aS \leq 0.2$	H2	D	C	B
$aS \leq 0.1$	H1	C	B	A

지진설계 범주는 주거 구조물의 유형과 일반 구조물을 각각 나누어 고려한다. 지반계수는 일반적인 구조물의 경우 다섯 단계로 나누어지지만($S = 0.67, 1.0, 1.25, 1.5, 2.0$) 주거 구조물의 경우 간략하게 두 단계로 나뉜다($S = 1.0, 2.0$).

우리나라의 비보강 조적조의 경우 대체로 5층 미만의 주거 구조물이다. 우리나라의 대다수 지역에서 지반가속도는 $0.11g$ 이므로, 일반 지반에서 $aS = 0.11$, 지반 조건이 나쁜 경우 $aS = 0.22$ 의 값을 가진다. 이는 AS1170.4의 설계유형 H2 및 H3에 해당하는 조건이다.

3. 호주의 조적조 관련 기준

호주는 50년에 10% 발생확률을 가진 지진가속도가 $0.05g \sim 0.11g$ 인, 우리나라와 유사한 조건의 중·약진 지역이다. 1989년 호주의 Newcastle 지역에 진도 5.6 정도의 중진이 발생하였는데, 이 지역은 이전에는 지진발생확률 0으로 분류되었던 지역이다. 지진의 규모 자체는 크지 않았으나 이 지진으로 인해 상당수의 사망자 및 부상자가 발생하였으며 금전적인 피해 또한 컸는데, 이러한 피해의 상당 부분

이 비보강 조적에서 발생하였다. 이러한 피해 유형의 대부분이 기준의 개정에서 반영되었다.

호주에서 비보강 조적조의 내진설계에 적용되는 기준은 하중기준 AS1170.4⁴⁾ 및 조적조 기준 AS3700⁵⁾이다. 지진하중에 대한 기준 AS1170.4는 유형에 따른 구조물의 내진설계 요구조건을 나타내며, AS3700은 주어진 하중조건에 대한 조적조 설계 상세를 다루고 있다.

표 3은 비보강 조적조에 대한 호주의 현 기준과 우리나라의 기준을 간략하게 비교한 것이다. 비교 항목은 Newcastle 지진 피해를 위주로 했으며 기타 특기할 만한 사항을 첨가하였다. 주목할 만한 사항은 다음과 같다.

표 3 호주와 우리나라의 조적 관련 기준 비교

비교항목	AS1170.4 ⁴⁾ / AS3700 ⁵⁾	우리나라의 기준 ⁶⁾
지진하중 및 지반에 대한 고려	AS1170.4의 적용을 통해 지진하중 및 지반 고려	5층 미만의 건물은 지진 관련기준이 적용되지 않음. 대부분 소규모 주거 건축물인 비보강 조적조의 경우 내진설계가 이루어지지 않고 있음
압축력에 대한 고려	세장비, 벽체의 단면적, 편심, 조적의 압축강도에 대해 고려하며, 세장비를 고려할 때 벽체의 높이 및 벽체 두께, 벽체의 상하부지지 조건 고려하여 결정	세장비, 조적의 압축강도를 고려하며, 세장비 고려할 때 벽체의 높이 및 벽체 두께로 결정. 단부지지 관련 조건은 없음
면외하중에 대한 고려	AS3700의 7.4의 면외하중에 대한 조적 설계	면외하중에 대한 검토가 이루어지지 않음
파라펫, 굴뚝 등에 대한 고려	구조물의 무게 및 지진가속도, 지반의 영향을 고려한 기준 제시	조적난간벽의 경우 두께 20cm 이상, 높이는 두께의 3배 이하로 규정됨
도막방수의 미끄러짐	벽체와 바닥의 연결부에서 전달해야 하는 최소 하중 정의 접합부에서 도막방수의 마찰계수 고려	관련 기준 없음
면내 사인장 균열	전단파괴 관련 기준에서 고려	벽체의 허용전단응력 정의
직교하는 벽체의 유효플랜지	I, T, L형 벽체의 경우 압축부의 유효플랜지 폭 정의	관련 기준 없음

(1) 호주의 기준은 벽체 지지조건, I, T, L형 벽체의 플랜지 유효폭, 개구부의 영향 등의 반영이 상세하게 규정되어 있다. 조적 벽체가 받는 압축력에 대한 설계기준에서, 우리나라의 경우 벽체 두께 및 높이, 조적체의 압축강도를 고려한다. 호주의 경우 벽체의 두께 및 높이, 조적체의 압축강도 및 편심을 고려하며 벽체의 세장비에 대해 단부의 지지조건에 의한 벽체의 유효 높이를 계산하여 결정하며 벽체에 작용하는 편심 또한 고려된다. 벽체의 수직단부가 지지되어 있는 경우 그에 의한 영향을 압축력의 설계에 반영한다.

(2) 난간벽 및 굴뚝과 같은 부재는 비구조재이지만 안전성을 확보해야 한다는 점에서 고려할 필요가 있다. 우리나라의 조적조 구조설계 기준(안)은 조적 난간벽에 대해 두께 20cm 이상, 높이는 두께의

3배 이하로 규정하였으나, 기타 비구조재에 대한 기준은 미비하다. 건축물 하중기준은 비구조부재의 횡지진하중에 대한 식을 제공하나 대부분 5층 미만의 주거 건축물인 비보강 조적조의 경우 이러한 지진 관련 기준이 적용되지 않는다. 호주 기준 AS1170.4는 H1, H2, H3의 주거 구조물에 대해, 비보강 조적, 박공, 굴뚝 및 난간벽과 같은 비연성의 요소는 $1.8(aS)G_c$ 의 최소한의 힘에 저항할 수 있도록 구속되어야 한다 규정하였다 (a : 가속도계수, S : 지반계수, G_c : 구성요소의 무게).

(3) 비보강 조적과 같은 비연성의 구조물의 경우, 면외하중 못지 않게 면외하중이 중요하다. 우리나라의 조적조 구조설계기준(안)의 경우 면외하중에 대한 규정은 없다. 호주의 AS3700은 조적조에서 바람 및 지진에 의한 면외하중에 대한 설계를 요구한다. 벽체 단부의 지지조건에 따라 적용이 요구되는 규정에 약간의 차이가 있을 수 있다.

AS3700은 면외하중에 의한 수직휨에 대한 능력을 조적의 단면계수 및 단면의 설계압축응력을 사용한 간단한 식으로 나타내었으며, 수직 단부가 지지된 경우 면외하중에 대한 수평 방향의 휨 및 2방향 휨에 대한 검토 또한 고려한다. 2방향 휨의 경우 수직 단부가 만나는 지점에서 발생하는 경사 균열 및 개구부의 효과를 고려한다.

4. 결 언

우리나라 기준과 비교하여 호주의 비보강 조적조에 적용되는 내진 관련 기준을 살펴보았다. 다음과 같은 사항은 주목할 만 하다.

- (1) 우리나라 기준의 경우 5층 미만의 구조물은 내진설계가 적용되지 않으므로, 지진 발생시 규모가 작은 건물에서의 인명 및 재산 피해의 위험이 있다. 주거 건물에 대해 완화된 조건을 적용하여 설계하는 호주의 기준은 이런 면에서 합리적이라고 생각된다.
- (2) 면외하중은 비보강 조적조의 주요 파괴 원인 중 하나이며, 호주의 비보강 조적 기준에서도 주요하게 다루는 사안인 반면 우리나라 조적 기준에서는 면외하중에 대한 별도의 검토가 이루어지지 않고 있다.
- (3) 우리나라 조적기준은 조적 강도, 벽체 두께 및 벽체의 높이를 고려하여 벽체의 허용응력을 결정한다. 호주의 기준은 우리나라 기준에서 고려하는 요소 이외에도 접합부, 개구부 및 단부 지지조건 등을 고려하여 허용강도를 결정하며, 파라펫, 굴뚝 등의 비구조재에 대해서도 명확한 설계지침을 제시한다.

호주의 비보강 조적 기준에 대한 이해 및 현재 우리나라 기준과의 비교를 통해, 우리나라의 실정에 보다 적합하고 합리적인 조적조의 내진기준을 정립할 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 서울시의 조적조 건축물에 대한 내진보강 방안 연구의 일부로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 서울시립대학교부설 지진·방재연구소, 2000. “조적조 건물에 대한 내진 보강방안”
2. 사단법인 대한건축학회 (2000), “건축물 하중기준 및 해설”
3. 사단법인 대한건축학회, 건설교통부, 2000. “조적조 구조설계 기준(안)”
4. AS1170.4 - 1993 Minimum design loads on structures Part 4 : Earthquake load
5. AS3700 - 1998 Masonry structures
6. A.W. Page, 1996. “Unreinforced Masonry Structures - An Australian Overview”, Bulletin of New Zealand Society for Earthquake Engineering, 29(4) : 242 - 255