

# 비보강 콘크리트 조적조의 휨인장강도

## Flexural Tensile Strength of Concrete Block Masonry

김 영 상\*

Kim, Young-Sang

### Abstract

The objective of this paper is to evaluate the flexural tensile strength of unreinforced concrete masonry wall to ensure the structural safety in out-of-plane behaviors under the wind or earthquake loads. Flexural tensile strength of unreinforced concrete masonry wall has been obtained from the full scale tests of total 327 specimens and the statistical analysis are performed for each of the cases. The flexural tensile strength derived from experiments is classified as 13 groups according to masonry units, mortar ingredients, and the direction of tensile stresses and the mean tensile strength and the variable coefficient are obtained for each case. The uniform and concentrated transverse loads have been applied over the face of the wall specimens. The ultimate mean flexural tensile strengths are distributed from 1,564 kPa to 363 kPa according to masonry units, mortar ingredients, and other factors. The allowable flexural tension stress criteria will be established based on the mean flexural tensile strengths in the future.

### 요 지

본 연구의 목적은 풍하중 또는 지진하중 작용시 면외거동을 하는 구조물의 안전성을 확보하기 위하여 비보강 콘크리트 조적조 벽체의 휨인장강도를 평가·분석하는 것이다. 비보강 콘크리트 조적조 벽체의 휨인장강도는 실험 크기의 시험체에 대한 총 327개의 결과를 이용하였으며, 각각의 경우에 대한 휨인장강도의 통계값을 얻었다. 휨인장강도는 콘크리트 조적조 형태, 모르타르 형태 및 등급, 인장응력 방향에 따라 13개 그룹으로 분류하였으며, 각각에 대한 평균휨인장강도와 변동계수를 구하였다. 휨인장강도를 구하기 위하여 벽체에 적용된 하중은 균일분포하중 및 집중하중 형태이며, 벽체가 균열될 때의 최대하중을 측정하여 휨응력공식으로 극한휨인장강도가 계산되었다. 평균휨인장강도는 콘크리트 조적조의 형태, 모르타르의 형태 및 등급 등에 따라 1,564 kPa~363 kPa 범위로 분포한다. 이에 비하여 국내의 콘크리트블록 조적조 구조기준에서 허용휨인장응력은 모르타르 등급 및 인장응력방향에 따라 294 kPa~74 kPa로 낮은 값을 고시하고 있다. 본 연구에서 평가·분석한 휨인장강도값은 국내 구조기준에서 고시한 값 보다 약 5배 정도 큰 값이므로 국내의 기준값은 상향 조정되어야 할 것이다. 본 연구에서 도출한 휨인장강도값을 토대로 국내에서 비보강 콘크리트 조적조 구조물에 적용할 수 있는 허용기준치를 모르타르 등급 및 인장응력방향에 따라 추후 세부적으로 설정할 수 있을 것이다.

**Keywords :** Masonry, Flexural Strength, Tension, Specimens

**핵심 용어 :** 조적조, 휨강도, 인장, 시편

\* 정회원, 안동대학교 토목공학과 부교수

E-mail: kimys@anu.ac.kr, 054-820-5666

• 본 논문에 대한 토의를 2005년 12월 31일까지 학회로 보내 주시면 2006년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

콘크리트 조적조를 이용한 구조물은 시공의 편리성은 물론 다양한 모양을 구축할 수 있는 미관적 측면에서도 많은 장점을 가지고 있기 때문에 아주 오래 전부터 현재까지 널리 이용되고 있으나, 국내에서 건설되는 대부분의 비보강 콘크리트 조적조 건물은 일반적으로 경험에 의하여 이루어지고 있으며, 설계 또는 시공 관련 세부 기준이나 지침이 미약한 상태이다. 최근 들어 우리나라에서도 지진 또는 태풍과 같은 자연재해가 빈번하게 발생되고 있으며, 그 규모 또한 매우 커지고 있는 상황이다. 특히 얼마 전에는 구조물 설계에 적용된 설계풍속을 초과하는 태풍이 발생하여 그 피해가 매우 심하였다. 풍하중이 비보강 콘크리트 조적조 벽체에 수직방향으로 작용하게 되면 벽체는 면의 휨거동을 하게 되므로 풍하중에 대한 비보강 콘크리트 조적조 벽체의 설계에서는 콘크리트 조적조의 휨인장강도가 고려되어야한다. 조적조벽체 구조물의 휨인장강도는 모르터의 종류 및 등급과 콘크리트 조적조의 건조형태에 따라 다르며, 돌출부 외부편심 축하중 또는 면외 하중을 받는 비보강 콘크리트 조적조 벽체의 설계는 종종 휨인장강도에 의하여 지배된다.

국내에서도 90년대 후반부터 조적조 구조물의 균열 형태 분석, 구조성능 열화 분석등의 연구가 행해지고, 그에 대한 방지 및 보강 대책등도 연구 되어지고 있다. 2000년대 이후에는 조적조 건물의 내진 설계에 대한 연구(모의 진동대 실험<sup>(1),(4)</sup>, 유리섬유 보강 재료에 대한 내진성능<sup>(2)</sup>, 비보강조적벽의 내진성능실험<sup>(3)</sup>, 지진하중에 대한 조적조건물의 해석 및 거동평가<sup>(5),(6)</sup>)가 수행되고 있으나 아직은 미비한 상황이다. 근래에 들어서는 조적조 구조물에 철근 등을 매입하여 보강하는 방법의 연구가 수행되고 있다.<sup>(2)</sup> 국내 기술기준<sup>(7)</sup>에서 콘크리트블록 조적조에 대한 허용휨인장응력은 모르터 등급 및 응력방향에 따라 294 kPa~74 kPa 범위로 규정하고 있다. 세계 각 국에서 사용하고 있는 조적조구조물 관련 기술기준은 다양하며, 그 허용값도 서로 차이가 있다. 현재 미국에서 조적조 구조물의 설계에 일반적으로 사용되는 코드는 Masonry Standards Joint Committee Code<sup>(8)</sup>(MSJC)와 International

Building Code<sup>(9)</sup>(IBC) 두 종류가 있다. MSJC 코드는 주로 허용응력설계법을 채택하고 있었으나, 2002년도 개정판에서는 강도설계규정이 반영되었다. 허용응력은 사하중 + 활하중 + 풍하중 또는 지진하중, 사하중 + 풍하중 또는 0.9(사하중) + 지진하중의 하중조합에 대해서는 1/3 배 증가 된다. MSJC 코드의 강도규정에서의 면외파괴값은 허용응력설계값의 2.5배이다. 부착면에 수직방향 인장인 경우, 전체가 그라우팅된 구조물은 이 규정에 적용되지 않고 있다.

휨, 축방향하중 또는 이들의 조합하중을 받는 조적조구조물에 대한 MSJC 강도규정에서 저항계수는 0.6이 사용된다. 이것은 벽체에서와 같이 순수 풍하중 작용시 논리적으로 입증될 수 있다. 저항계수는 허용응력값의  $0.6(2.5) = 1.5$ 배이다. 풍하중에 대한 하중계수는 1.6<sup>(10)</sup>이다. 하중이 1.6배 증가하는 반면 저항계수는 단지 1.5배 증가하므로 MSJC 강도설계규정은 순수풍하중 작용시 계산된 성능의 6% 감소효과를 유발한다.

IBC 강도설계시 파괴계수는 MSJC코드의 허용휨인장응력의 2배이다. IBC에서의 벽체의 휨에 대한 저항계수는 0.8이므로 MSJC코드 허용응력저항값의  $0.8(2)=1.6$ 배이다. 하중과 저항은 둘다 강도설계에서 단지 계수 1.6으로 조절된다.

본 논문에서는 면외풍하중을 받는 비보강 콘크리트 조적조 벽체의 안전성을 평가하기 위하여 총 327개 실물 크기의 시험결과에 대한 콘크리트 조적조의 휨인장강도에 대한 통계치를 분석하였다. 비보강 콘크리트 조적조의 휨인장강도값을 토대로 국내에서 사용할 수 있는 허용기준치를 모르터의 등급, 조적조의 형태 및 인장응력의 방향에 따라 세부적으로 설정할 수 있을 것이다.

## 2. 휨 인장 시험 자료

비보강 콘크리트 조적조 구조물의 휨인장강도를 평가하기 위하여 시험 대상 구조물의 크기, 시험방법, 모르터 형태 및 등급 등이 서로 상이한 총 327개의 시험결과를 분석하였다.

면외 휨 인장응력을 결정하는 시험방법에는 bond

Table 1 휨인장응력 시험자료

인용자료	시험수							
	Hollow Units				Solid Units			
	Portland Cement / Lime		Masonry Cement		Portland Cement / Lime		Masonry Cement	
	M 또는 S	N	M 또는 S	N	M 또는 S	N	M 또는 S	N
	가로줄눈에 수직방향 인장력							
Copeland and Saxer <sup>(17)</sup>	6							
Hedstrom <sup>(18)</sup>		7						
Fishburn <sup>(19)</sup>			13	14				
Fishburn <sup>(19)</sup>			3	3			12	12
Whittemore et al <sup>(20)</sup>		6				6	3	
Unpublished, NCMA <sup>(16)</sup>	5						1	
Richart et al. <sup>(21)</sup>	3	18						
Hamid and Hakam <sup>(12)</sup>					6			
Grimm and Tucker <sup>(11)</sup>					23			
Drysdale and Essawy <sup>(22)</sup>	3							
Matthys <sup>(13)</sup>	3		3					
Monk <sup>(23)</sup>					22	14		
NCMA, 1997 <sup>(15)</sup>			30					
NCMA, 1994 <sup>(24)</sup>	60	30						
	세로줄눈에 수직방향 인장력							
Hedstrom <sup>(18)</sup>		6						
Fishburn <sup>(19)</sup>			3	3				
Drysdale and Essawy <sup>(22)</sup>	3							
Cox and Ennenga <sup>(25)</sup>	6							

wrench 시험, 소규모 벽체(폭 : 1.2 m 이하) 시험, 실물크기(폭 : 2.4 m) 시험 등이 있다. 비보강콘크리트 조적조 구조물에서 벽체의 강도가 주요 요소이며, 이 강도는 실물 크기의 시험체에서 결정되는 것이 가장 이상적이다. 실물 크기의 시험체를 이용한 시험 값과 bond wrench 시험 또는 작은 벽체 구조물시험을 통한 값의 상관성에 대한 여러 방법이 제안되었지만<sup>(11),(12),(13),(14),(15)</sup>, 이들 상관 관계는 일관성이 그리 높지 않다. 따라서 본 연구에서는 1.2m × 2.4m 크기의 벽체에 대한 시험결과만을 고려하였으며, 이 방법은 미국에서 사용되고 있는 관련 코드의 개발 과정<sup>(16)</sup>에서도 사용된 방법이다. 벽체는 단순지지 및 일방

향 벽체로 고려되었다.

본 연구에서 평가·분석한 시험자료는 조적조의 형태, 모르터의 종류 및 등급, 인장응력의 방향에 따라 상세하게 분류되었으며, Table 1에 기술하며, 인용된 시험자료의 출처는 참고문헌으로 기술한다. Hamid와 Hakam<sup>(12)</sup>의 모르터로 그라우팅된 여섯 개의 콘크리트 조적벽에 대한 데이터를 제외하고는 모든 데이터는 그라우팅되지 않은 것에 대한 것이다. 모르터 형태는 미국의 시방서<sup>(26)</sup>에 근거하여 분류하였으며, 모르터 등급 O와 K는 본 연구에서 포함시키지 않았다.

실물 크기의 벽체 시험장치는 Fig. 1과 같은 균일 에어백하중 및 Fig. 2와 같은 집중하중을 적용하는 방

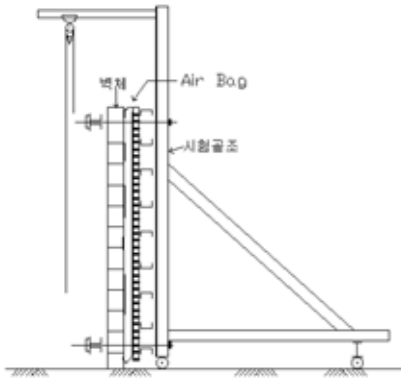


Fig. 1 벽체시험장치(등분포하중)

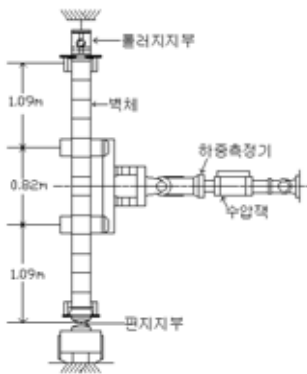


Fig. 2 벽체시험장치(집중하중)

법이다. Monk<sup>(23)</sup>는 균일 분포하중을 적용하여 구한 평균강도는 집중하중을 적용하여 구한 강도 보다 1.97배 크다는 것을 규명하였으나, 후에 National Concrete Masonry Association<sup>(16)</sup>(NCMA)에서 시험을 근거로 이 계수를 1.99로 확정하였다. 이 강도 차이는 집중하중에 사용된 롤러 밑의 응력집중현상에 기인할 것이며, 또한 균일 분포하중에서 보다 집중하중에서 벽체의 많은 부분이 최대 모멘트를 받기 때문일 것이다. 과거의 해석<sup>(16)</sup>에서는 집중하중을 사용한 시험결과에 1.97을 곱하였다. 조사된 327개의 시험 중 118개가 집중하중에 의해 수행되었다.

극한휨인장강도는 벽체시험장치를 이용하여 벽체에 하중을 단계적으로 가한 후 벽체가 균열될 때의 최대 하중을 측정한다. 측정된 하중을 다음과 같은 식으로 극한휨인장강도를 계산한다.

$$f_r = \frac{M_{\max}}{S} - \sigma_A$$

$$\text{여기서 } M_{\max} = \frac{\omega L^2}{8}$$

$S$  : 단면계수

$L$  : 벽체의 길이

$\omega$  : 최대하중

$\sigma_A$  : 자중에 의한 압축응력

Table 2 극한휨인장강도 평균값

조적조 분류	시편 크기	평균값 (kPa)	COV	미국기술기준 허용응력 (kPa)
Solid, M/S, PCL, Normal	45	1564	0.512	276
Hollow, M/S, PCL, Normal	80	1286	0.475	172
Grout, S, PCL, Normal	6	1997	0.110	469
Solid, N, PCL, Normal	20	687	0.315	207
Hollow, N, PCL, Normal	61	693	0.449	131
Solid, M/S, MC, Normal	16	724	0.298	166
Hollow, S, MC, Normal	49	678	0.449	103
Solid, N, MC, Normal	12	501	0.306	103
Hollow, N, MC, Normal	17	363	0.448	62
Hollow, M/S, PCL, Parallel	9	1372	0.099	345
Hollow, N, PCL, Parallel	6	933	0.347	262
Hollow, S, MC, Parallel	3	1049	0.231	207
Hollow, N, MC, Parallel	3	734	0.239	131

실물 크기의 시험체를 이용한 극한휨인장강도값에 대한 요약은 Table 2에 제시하며, 각 데이터 집단의 시험체 개수, 평균값 및 변동계수를 포함한다. 또한 현재 미국에서 사용되고 있는 기술기준의 허용값도 기술한다. Table 2에 제시된 모든 휨 인장강도값은 순면적에 근거하며, 전 면적에 대하여 구한 휨인장강도값은 순 면적으로 변환 시켜 재계산하였다.

### 3. 휨인장강도의 분석

Ellingwood 등<sup>(27)</sup>이 발표한 변동계수 0.24 및 Stewart와 Lawrence<sup>(28)</sup>가 발표한 변동계수 0.30은 미국의 비보강조적조에 대한 코드개발 과정에서 사용한 값 보다 낮은 값이다. 이에 반하여 Table 2에 제시한 변동계수는 최대 0.50 정도로 큰 값이다. 변동계수 0.24-0.30 정도의 작은 값은 단일시험(동일한 연구자, 형태, 모르터 배합방법, 모르터 성분 및 기타 인자)으로부터 얻은 휨인장에 대한 것이어서 COV가 작다. 상이한 여러 시험의 조합으로부터 구한 결과의 변동성은 일반적으로 크게 나타난다. 기술기준은 일반적으로 다양한 건설방법에 적용되기 때문에 상이한 실험결과를 조합한 값이 대표성을 갖는다.

Table 2에 제시한 결과는 한 종류의 시험과 여러 종류의 시험결과를 조합한 것과의 변동계수 사이의 상이성이 고려되어야한다. 비록 중공형태의 조적조 보다 중실형태의 콘크리트 조적조에 대한 변동성이 작게 나타날 수도 있지만, 중실형태 콘크리트 조적조에서 구한 대부분의 결과는 한 종류의 실험에서 구한 것이다. 이와 유사하게 비록 접착면의 세로 줄눈에 수직방향의

인장에 대한 결과가 가로 줄눈에 수직한 방향에 대한 것 보다 변동계수가 낮게 나타나지만 세로 줄눈에 수직 방향인 것에서 구한 결과는 한 종류의 실험에서 구한 값이기 때문이다.

포틀랜드 시멘트(PCL) 모르터에 대한 평균 COV는 표본 크기가 10 이상인 것에 대하여 0.44이며, 콘크리트 조적조 시멘트(MC) 모르터에 대한 평균 COV는 표본 크기가 10 이상인 것에 대하여 0.38이다. 따라서 한 종류의 모르터 형태에 대한 값은 다른 형태의 모르터에 대한 결과와 일치되지는 않는다.

평균극한휨인장응력은 콘크리트 조적조의 형태, 모르터의 형태 및 등급 등에 따라 Fig. 3 및 Table 2에 제시한 것과 같이 1564 kPa-363 kPa까지 분포한다. 국내 기술기준에서 콘크리트블록 조적조에 대한 허용휨인장응력은 모르터 등급 및 응력방향에 따라 294 kPa~74 kPa 범위로 규정하고 있으며, 이 값은 본 연구에서 도출한 값의 약 1/5로 훨씬 작은 값이다.

가로줄눈에 수직방향의 허용응력과 실제응력의 비는 세로줄눈에 수직방향인 값의 비 보다 훨씬 크다. 여러 가지 인자 중 모르터 형태 및 모르터 등급에 따라 휨인장강도는 차이가 많으나 콘크리트 조적조의 형상에 따라서 휨인장강도는 상대적으로 작다. Fig. 4에서 대표적인 모르터의 종류 및 등급, 조적조 형태에 따른 휨인장강도를 비교하였다. 포틀랜드시멘트 모르터와 콘크리트 조적조시멘트 모르터의 휨인장강도 비와 모르터 등급 M 또는 S와 N 등급의 휨인장강도비는 약 2.15로 서로 유사하다.

Table 3에 제시한 휨인장응력은 조적조의 두께가

Table 3 M/S PCL 모르터, 중공 조적조의 휨인장강도에 대한 NCMA 데이터

모르터 등급	공칭두께 in(mm)	시험 개수	평균응력 (kPa)	COV
M	4 (102)	10	1989	0.112
	8 (203)	10	1488	0.248
	12 (305)	10	1710	0.170
S	4 (102)	10	1961	0.119
	8 (203)	10	1119	0.338
	12 (305)	10	924	0.275

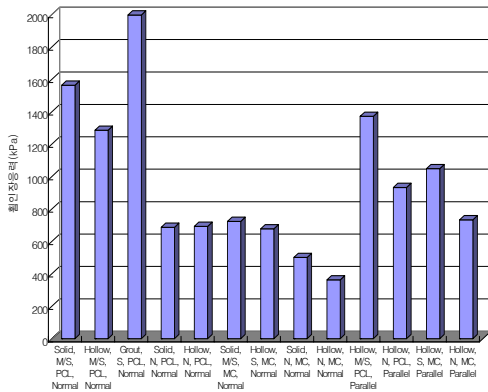


Fig. 3 평균휨인장강도

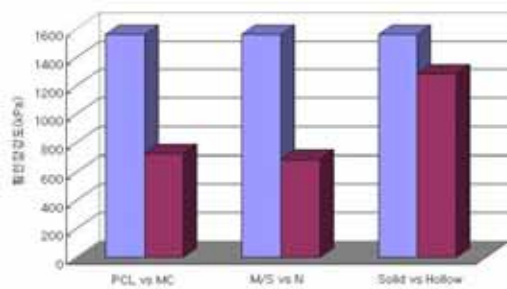


Fig. 4 인자별 휨인장강도 비교

얇으면 얇을수록 휨인장강도가 큰 것과 같이 이들 데이터는 조적조 두께의 함수임을 나타낸다. 그러나 현존하는 코드에서는 조적조의 두께를 고려하지는 않는다. NCMA 데이터는 Table 3에 보인 바와 같이 세 개의 상이한 두께와 두 개의 모르터 등급에 따른 여섯 개의 데이터 집합으로 구분된다.

극한휨인장응력은 풍하중 작용시 설계값을 제시하는 강도설계에 대한 파괴계수를 얻는데 조정될 수 있다. 실물 크기의 시험으로부터 얻은 평균극한휨인장응력의 25%를 풍하중에 대한 허용응력값으로 산정할 수 있다. 이 방법은 축방향 압축에 대해 사용되는 안전율 4와도 일치한다.

시험에서 구한 극한휨인장강도의 25%를 허용응력으로 계산하여도 현존하는 국내의 기술기준에서 고시하고 있는 값 보다 더 큰 값이다. 본 연구에서 구한 평균 극한휨인장강도를 상세하게 평가·분석하여 국내에서도 여러 형태의 조적조 구조물에 균일한 안전성을

확보할 수 있는 허용응력값을 추후 제시할 수 있을 것이다.

#### 4. 결론

본 연구의 목적은 풍하중과 같은 면외하중 작용시 비보강콘크리트조적조의 안전성을 평가하기 위하여 실물 크기의 시험체에 대한 시험자료를 근거로 비보강콘크리트 조적조의 형태, 모르터의 형태 및 등급, 인장응력의 방향 등에 따라 극한휨인장강도를 평가분석하는 것이다.

비보강콘크리트조적조의 극한휨인장강도를 구하기 위하여 실물 크기의 시험체에 대한 총 327개의 다양한 시험값을 이용하였다. 하중을 시험체에 단계적으로 가하여 시험벽체가 균열될 때의 하중을 휨공식에 적용하여 극한휨인장강도가 계산되었다.

비보강콘크리트조적조의 극한휨인장강도는 조적조의 형태, 모르터의 종류 및 등급에 따라 1564 kPa~363 kPa 범위로 분포한다. 본 연구에서 채택한 시험값은 여러 인자들이 서로 상이한 것의 조합으로 되어 있어 변동계수는 최대 0.5로 단일 시험결과로부터 구한 변동계수 보다 크다. 분석결과로부터 계산된 극한휨인장강도는 국내 관련 기술기준에서 고시하고 있는 허용휨인장응력값 294 kPa~74 kPa 보다 약 5배 정도 큰 값이다.

국내 콘크리트블록 조적조 구조기준에서 고시하고 있는 허용휨인장응력값도 조적조의 형태, 모르터의 등급, 인장응력의 방향 등에 따라 세부적으로 구분되어야 하며, 또한 고시하고 있는 허용휨인장응력값도 약 20% 정도 증가되어도 타당할 것이다. 이 값은 단지 극한휨인장강도값의 25%를 허용휨인장응력으로 제시한 값이지만, 추후 통계적인 분석은 물론 외국의 기술기준과 비교·평가방법에 의해 확정되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2003년도 안동대학교 특별학술연구비에 의하여 수행된 것으로 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 노현섭, 최성모, 권기혁 “2층 조적조 건축물에 대한 모의 진동대 실험” 대한건축학회 학술 발표논문집, 2001. 10. 27, pp.193~196.
2. 권기혁, 최성모, 이수철, 조성민 “지진피해를 입은 조적조 건축물의 유리섬유 보강에 따른 내진성능” 한국 구조물 진단학회 제8권 제1호, 2004. 1, pp.231~237.
3. 김장훈, 장태희 김재관, 류혁, 채운병 “비보강 시멘트 벽돌건물의 내진성능 실험연구” 한국 지진공학회 춘계 학술대회 논문집, 2000, pp.298~307.
4. 김관중, 김희철 “건물의 탄성거동을 고려한 비보강 조적조의 유사동적해석법” 한국건축학회논문집 조적조 16권2호, 2002. 2, pp.17~22.
5. 이경훈, 김희철 “지진하중에 의한 지층 조적조 건물의 해석모델 및 거동평가” 대한건축학회 학술 발표논문집, 1998. 10. 31, pp.87~92.
6. 유소영, 윤경배 “유동학적 모델을 이용한 돌 조적조의 해석”, 대한건축학회 학술 발표논문집, 2002. 4. 27, pp.43~46.
7. 건설교통부, “콘크리트블록 조적조 구조기준”, 건설부 고시 제1992-565호, 1992.
8. Masonry Standards Joint Committee (1999). Building Code Requirements for Masonry Structures, ACI 530-99/ASCE 5-9/TMS 402-99.
9. International Code Council, International Building Code, 2000
10. ASCE7(1998), "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures," American Society of Civil Engineers, Reston, VA.
11. Grimm, C. T., and Tucker, R. L. (1985). Flexural Strength of Masonry Prisms versus Wall Panels. J. Struct. Engrg., ASCE, 111(9), 2021~2032.
12. Hamid, A. A., and Hakam, H. R. (1988). Modulus of Rupture of Concrete Masonry Using Full Scale Wall Tests and Bond Wrench: a Comparison Study. Proc., 8th Canadian Masonry Symposium, Jasper, Alberta, Canada, 29~39.
13. Matthys, J. H. (1990). Concrete Masonry Flexural Bond Strength Prisms versus Wall Tests. Proc. 5th North American Masonry Conf., University of Illinois at Urbana-Champaign, 677~685.
14. Melander, J. M., and Thomas, R. D. (1988). Flexural Tensile Strength of Concrete Masonry Constructed with Type S Masonry Cement Mortar. Proc. 8th Canadian Masonry Symposium, Jasper, Alberta, Canada, 447~458.
15. National Concrete Masonry Association (1997). Research Evaluation of the Flexural Tensile Strength of Concrete Masonry Constructed with Type S Masonry Cement Mortar. A Report to Portland Cement Association Proj. No. 93~255.
16. National Concrete Masonry Association (1967). Research data and comments in support of recommended building code requirements for engineered concrete masonry. Prepared for American Standards Association, Sectional Committee on Building Code Requirements and Good Practice Recommendations for Masonry A41.
17. Copeland, R. E. and Saxer, E. L. (1964). Tests of Structural Bond of Masonry to Concrete Block. J. American Concrete Institute, ACI, 61(11), 1411-1451.
18. Hedstrom, R. O. (1961). Load Tests of Patterned Concrete Masonry Walls, J. American Concrete Institute, 57(10), 1265-1286.
19. Fishburn, C. C. (1961). Effect of Mortar Properties on Strength of Masonry. NBS Monograph 36, National Bureau of Standards.
20. Whittemore, H. L. and Stang, A. H. and Parson, D. E. (1938). Structural Properties of Six Masonry Wall Construction. Building Materials and Structures, Report BMS 5, National Bureau of Standards.
21. Richart, F. E. and Moorman, R. B. and Woodworth, P. M. (1932). Strength and Stability of Concrete Masonry Walls. Bulletin No. 251, Engineering Experiment Station, University of Illinois.
22. Drysdale, R. G., and Essawy, A. S. (1988). Out-of-Plane Bending of Concrete Block Walls. J. Struct. Engrg., ASCE, 114(1), 121-133.
23. Monk, C. B. (1954). Transverse Strength of Masonry Walls, Special Technical Publication 166, Symposium on Methods of Testing Building Constructions, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.
24. National Concrete Masonry Association (1994). Research Evaluation of the Flexural Tensile Strength of Concrete Masonry Constructed with Type S Masonry Cement Mortar. A Report to Portland Cement Association Proj. No. 93-172.
25. Cox, F. W., and Ennenga, J. L. (1958). Transverse

- 
- Strength of Concrete Block Walls. J. American Concrete Institute, ACI, 29(11), 951-960.
26. ASTM (1992). Standard Specification for Mortar for Unit Masonry. C270, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa. Ayyub, B.M., and McCuen, R.H., "Probability, Statistics, and Reliability for Engineers," CRC Press, Boca Raton, FL, 1997.
27. Ellingwood, B., Galambos, T.V., MacGregor, J.G., and Cornell, C.A. (1980). Development of a Probability Based Load Criteria for American National Standard A58. NBS Special Publication 577, National Bureau of Standards.
28. Stewart, M. G. and Lawrence, S. (2000). Bond Strength Variability and Structural Reliability of Masonry Walls in Flexure. Proc 12th International Brick/Block Masonry Conf., Madrid, Spain.

(접수일자 : 2005년 5월 21일)