

비보강 조적조의 재료특성 평가에 관한 실험연구 Experimental Study on the Material Properties of Unreinforced Masonry

박진호 * 김관중 * 이경훈 ** 김희철 ***
Park, Jin-Ho Kim, Kwan-Jung Lee, Kyung-Hoon Kim, Hee-Chul

ABSTRACT

A set of tests were accomplished in order to get better insight of the basic material properties of masonry made of normal concrete brick and different type of mortar compositions. Three different types of test were performed. Masonry unit and prism were tested by compressive strength test. Masonry wallets were tested in diagonally under tension. A significant influence of different mortar compositions on compression strength of masonry prism was observed. The tests have shown that for diagonal compression, three different mode of failure were possible : tension crack along the loaded diagonal, sliding along a mortar joint and combined sliding and diagonal crack, according to the adhesive strength of a mortar.

1. 서론

비보강 조적조(URM) 구조물은 우리 나라의 주택의 대부분을 차지하고 있는 구조 형식임에도 불구하고 이에 관한 아무런 설계 기준조차 없는 현실이다. KS F 4004 규정에는 단위 벽들의 압축강도 실험법과 한계치가 명시되어 있으나 재료에 대한 특성을 나타내기에는 미흡한 상태이다. 미국과 유럽은 조적조에 대한 재료 특성이 어느 정도 규정되어 명시되어 있다. 그들이 제시하고 있는 재료값을 차용하여 우리 나라에서 건설되는 비보강 조적조 건물의 하중저항 능력과 변형특성을 평가하는 데는 문제가 있다. 그 이유는 서구의 생산 재료와 방법이 다르므로 우리 나라에서 생산되는 몰탈과 단위벽들의 재료특성과는 상이한 차이를 보이기 때문이다.

강도 실험을 통하여 구할 수 있는 탄성계수와 최대응력은 각종 강도특성이나 변형특성을 추정할 수 있는 재료의 기본적 성질을 나타낸다. 따라서 본 연구의 목표는 단위 콘크리트벽돌과 3단 콘크리트 벽돌 조적체, 45°조적체에 대한 압축 강도 실험을 통하여 우리 나라의 조적조 건물에 맞는 재료특성을 파악하는 것이다. 이를 통하여 우리 나라의 비보강조적조 건물의 내진 성능을 평가 할 수 있는 기회가 될 것이라 판단된다.

* 경희대학교 석사과정
** 경희대학교 박사과정, 학생회원
*** 경희대학교 부교수, 정회원

2. 이론적 배경 및 실험방법

2.1 조적조의 기본거동

조적조는 단위 벽돌과 단위 벽돌간의 충전재인 몰탈에 의해서 구성된다. 기본적으로 조적조는 고정하중과 적재하중 같은 수직하중을 받는다. 이것은 조적조가 저항하는 기본적인 하중조건이 일축 압축임을 뜻한다. 일반적으로 단위벽돌의 포아송비는 0.1내외이고 몰탈 줄눈의 포아송비는 0.2 정도이다. 이러한 포아송비의 차이로 인해 수직하중이 작용할 때 몰탈은 수평방향으로 단위벽돌보다 많이 팽창하게 된다. 그러므로 단위벽돌에 작용하는 응력은 수직으로 압축이 작용하고 수평의 2축으로 인장이 작용하게 된다(C-T-T). 반면에 몰탈 줄눈은 3축 압축이 작용하게 된다(C-C-C). 이러한 단위 벽돌과 몰탈줄눈에 3축 응력상태가 발생한다는 것은 Hilsdorf(1965)에 의해 증명되었으며 그림 1에 그 결과를 표현하였다.

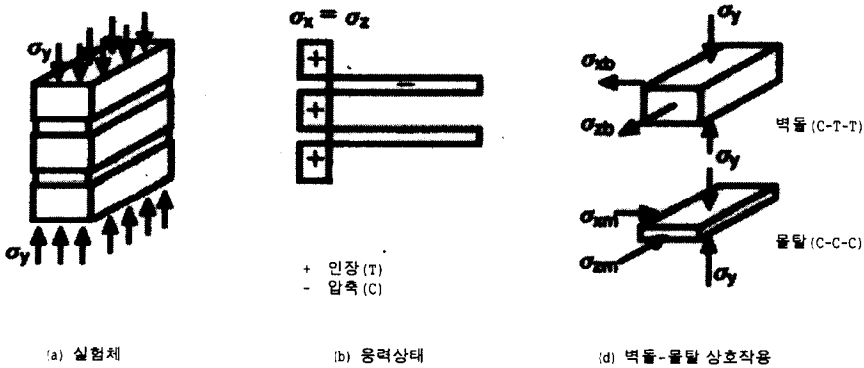


그림 1. 3단조적체에서 단위 벽돌과 몰탈에 작용하는 응력

2.2 시험체

본 실험에서 사용한 콘크리트 벽돌은 KS F 4004에서 규정하고 있는 보통 골재를 사용한 C종 1급 벽돌로써 크기는 190mm×57mm×90mm이며, 허용오차는 ±2mm이다. KS F 4004에서는 건축물에 사용하는 콘크리트 벽돌에 대하여 다음과 같이 규정하고 있다. 종래의 압축강도 품질기준에서는 표준강도를 8 N/mm²(82 kgf/cm²)을 사용하도록 하였다. 벽돌의 품질 향상으로 대부분의 업체에서 고강도의 제품을 생산하고 있고, 조적식 건축물의 활성화를 위해 종래 강도의 2배인 16N/mm²(163kgf/cm²)을 C종 1급으로, 기존의 것을 C종 2급으로 규정하였다. 1급은 내력용으로 2급은 비내력용으로 사용하도록 하며, 모양과 품질에 의해서 구분하고 있으며 품질에 따른 구분은 표1과 같다.

규준에서 규정하고 있는 몰탈의 시멘트와 모래의 배합비는 1 : 3 이다. 하지만 현장 시공시에 조적공은 정확한 배합비에 의해 몰탈을 배합하기보다는 경험에 의한 배합비를 사용하고 있다. 조적공의 몰탈 배합비를 측정된 결과 시멘트와 모래의 배합비는 약 1 : 4.8로 측정되었다. 따라서 배합비 차이에 따른 조적체의 강도를 비교하기 위하여 3단 콘크리트 벽돌 시험체를 제작시에는 현장 배합비(BNT-01~10)와 표준배합비(BST-01~10)에 따라 각각 10개씩 제작하였다. 또한 45°

조적체에 대해서도 현장 배합비(BNP-01~10)와 표준 배합비(BSP-01~10)에 따라서 각각 10개씩 시험체를 제작하였다. 시험체의 형상은 그림 2와 같다.

표 1. 품질에 따른 콘크리트 벽돌의 구분

구분		기건 비중	압축강도 $N/mm^2(kgf/cm^2)$
A종 벽돌		1.7 미만	8(82) 이상
B종 벽돌		1.9 미만	12(122) 이상
C종 벽돌	1급	-	16(163) 이상
	2급	-	8(82) 이상

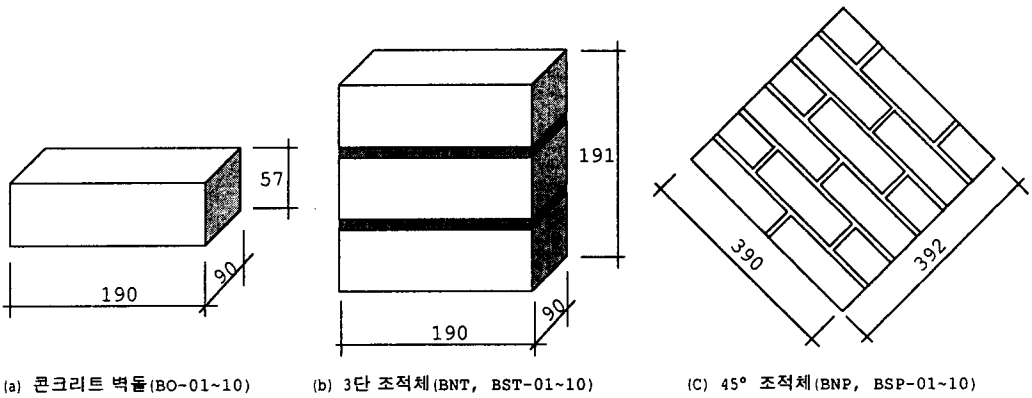


그림 2. 시험체 (단위: mm)

2.3 실험

수직 변위 측정을 위하여 가압판 상부에 50mm 자동변위측정기(L.V.D.T) 2개를 설치하여 Data Logger에 연결 후 실험을 진행하였다. 45°조적체에 대해서는 시험체의 상하에 V형 구좌를 설치하여 시험체를 고정하였다. 가력방법은 시험체 중앙부를 가력하여 완전히 파괴시까지 하중을 가하였다. 가압 방식은 단위면적당 매초 약 $0.2N/mm^2(2.04 kgf/cm^2)$ 의 속도로 가압하였으며, 예상 파괴하중의 1/2까지는 하중조절 방식을 사용하였고, 이후에는 변위량에 따라 가력속도를 조절하였다.

단위 콘크리트 벽돌에 대한 압축강도 시험은 KS F 4004규정에서 양생이 끝난 후 7일 이상 보존한 것을 실험체로 하며 압축방향은 실제로 하중을 받는 방향으로 하고 전체면에 고르게 가압하며, 압축강도는 다음 식에 따라 산출한다고 명시되어 있다.

$$\text{압축강도}(N/mm^2, kgf/cm^2) = \frac{\text{최대하중}}{\text{가압전단면적}} \quad (1)$$

종래의 계산 방법은 파괴하중을 기준으로 하였으나, 파괴하중 산정은 그 시점 판단이 애매하며 시험장비 또한 일정한 속도로만 제어할 수 있기 때문에 최대하중만을 측정할 수 있다. 그러므로 압축강도의 계산은 최대 하중으로 계산하는 것이 일반화되어 있으므로 실험에 의하여 최대 하중으

로 측정하였다.

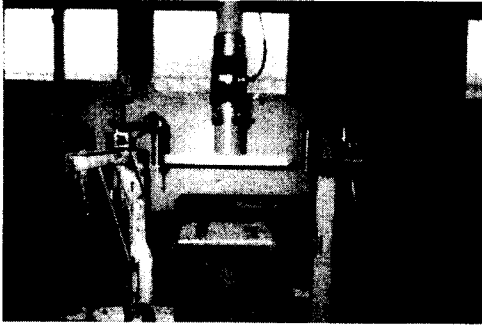


그림 3. 단위 벽돌과 3단조적체 실험장비 세팅

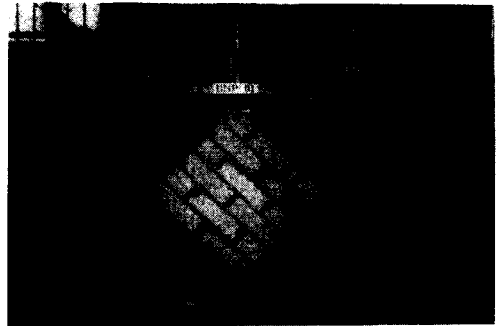


그림 4. 45°조적체 실험장비 세팅

2.4 실험결과 및 분석

2.4.1 단위 콘크리트 벽돌

BO-01 시험체는 완전한 파괴가 일어날 때까지 일정한 속도로 하중을 가하였다. BO-02~10에 대해서는 균열양상을 지켜보면서 하중을 제어하였다. BO-01을 제외한 실험체의 평균 최대 가력 하중은 34.11tonf이며 평균 최대응력은 199.5 kgf/cm^2 , 최대하중에 대한 평균 변형율은 0.0664264로 나타났다. 이에 따른 평균 탄성계수는 $3378.301 \text{ kgf/cm}^2$ 로 조사되었다.

압축강도 시험시에 매우 취성적인 파괴양상을 나타내었다. 하지만 일반적인 콘크리트의 압축강도 실험과 비교해 볼 때 상당히 큰 변형율을 가진다. 이러한 것은 단위 콘크리트 벽돌은 많은 공극을 가지고 있으므로 압축시에 많은 변형을 흡수할 수 있는 특성을 지니고 있기 때문이라고 사료된다.

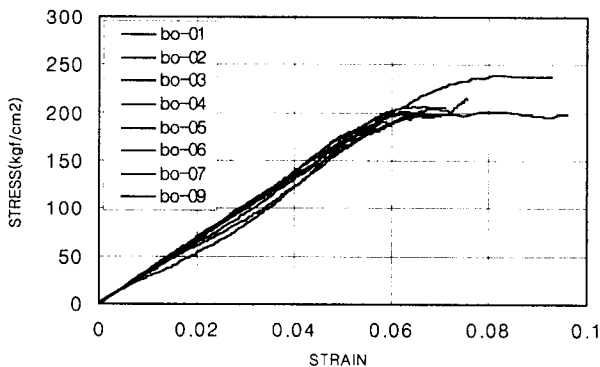


그림 5. 단위 콘크리트 벽돌의 응력-변형율 곡선

2.4.2 3단 조적체

(1) 현장배합 3단 조적체

현장배합 3단 조적체의 평균 최대가력하중은 10.824 tonf 이며 평균 최대응력은 63.292 kgf/cm^2 , 최대하중에 대한 평균 변형율은 0.012615로 나타났으며 이에 따른 평균 탄성계수는 5621.594

kgf/cm²로 조사되었다.

압축강도 시험시에 몰탈과 단위 콘크리트 벽돌의 충진이 양호한 경우에는 몰탈과 콘크리트 벽돌이 일체로 작용하여 콘형의 파괴 양상이 나타났다. 그러나 충진이 불량한 경우에는 파괴하중에 이르기도 전에 몰탈과 콘크리트의 접촉부분에 균열이 발생하였다.

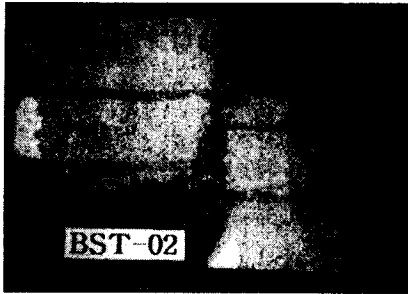


그림 6. 충진상태가 양호한 경우의 콘형 파괴

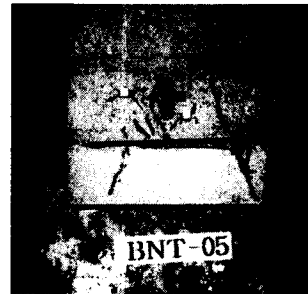


그림 8. 몰탈 충진부의 파괴

표 2. 현장배합 3단 조적체 실험결과

시험체명	최대하중(tonf)	응력(Kgf/cm ²)	Vertical Strain at peak load	E(Kgf/cm ²)
BNT-01	11.737	68.538	0.014345	5053.117
BNT-03	11.199	65.497	0.012533	5407.415
BNT-04	10.300	60.234	0.010233	6082.785
BNT-05	9.670	56.550	0.012569	5413.089
BNT-06	7.970	46.608	0.011574	4732.868
BNT-07	13.649	79.825	0.014817	5881.333
BNT-10	11.249	65.789	0.012234	6780.553

(2) 표준배합 3단조적체

표준배합 3단 조적체의 평균 최대가력하중은 15.223tonf 이며 평균 최대응력은 82.028 kgf/cm², 최대하중에 대한 평균 변형율은 0.0109434이며 이에 따른 평균 탄성계수는 8625.8121 kgf/cm²로 조사되었다.

표 3. 표준배합 3단 조적체 실험결과

시험체명	최대하중(tonf)	응력(Kgf/cm ²)	Vertical Strain at peak load	E(Kgf/cm ²)
BST-02	18.799	109.942	0.012671	9312.179
BST-03	13.620	79.649	0.012685	6339.082
BST-04	12.599	73.684	0.008639	8507.606
BST-05	15.050	88.012	0.011306	8352.064
BST-06	12.449	72.807	0.009785	8233.605
BST-07	13.950	81.579	0.009432	8792.761
BST-09	14.870	86.959	0.009804	9248.465
BST-10	20.449	119.591	0.013225	10220.735

UBC(1997)에서는 조적체의 압축강도에 계수를 곱하여 조적체의 탄성계수를 구할 수 있는 약산식(2)를 제시하고 있다.

$$E_m = 750 f'_m < 3,000,000 \text{ psi} \quad (2)$$

위 식을 표준배합 조적체에 대한 실험치를 적용하여 보면 탄성계수값은 61521 kgf/cm^2 으로 실험 결과와는 10배 이상 차이가 발생하는 것을 알 수 있다. 이것은 전술한 바와 같이 미국의 재료와 우리나라의 재료가 다르기 때문에 발생하는 것이라고 판단된다. 따라서 우리나라의 재료에 맞는 약산식을 표준배합 실험결과를 바탕으로 식(3)과 같이 제시한다.

$$E_m = 96 f'_m \quad (3)$$

Arnold W.Hendry²⁾는 조적체 강도는 콘크리트 벽돌간의 충전재료에 따라서 변한다고 하였다. 철관일 때는 단위 콘크리트 벽돌 강도의 1.4배, 합판일 경우 1.15배, 충전재가 없을 경우에는 0.93 배, 일반몰탈일 경우는 0.35배이다. 일반 조적조 건물에서 사용되는 몰탈을 사용할 경우에 3단조적체의 강도는 단위 콘크리트 벽돌 강도의 35%가 나타난다고 본다. KS에서 규정하고 있는 콘크리트 벽돌의 하한강도는 163 kgf/cm^2 이다. 따라서 3단 조적체의 하한강도는 벽돌의 하한강도의 35%인 57.05 kgf/cm^2 이다. 현장배합 3단조적체와 표준 배합 조적체의 실험결과에서 보면 각각의 평균강도는 63.292 kgf/cm^2 와 82.028 kgf/cm^2 로써 예상되는 조적체의 하한강도는 초과하고 있다. 하지만 단위 콘크리트 벽돌의 실험강도인 199.5 kgf/cm^2 의 35%인 기대강도 69.825 kgf/cm^2 과 비교하면 표준배합 조적체만이 강도를 초과함을 알 수 있다.

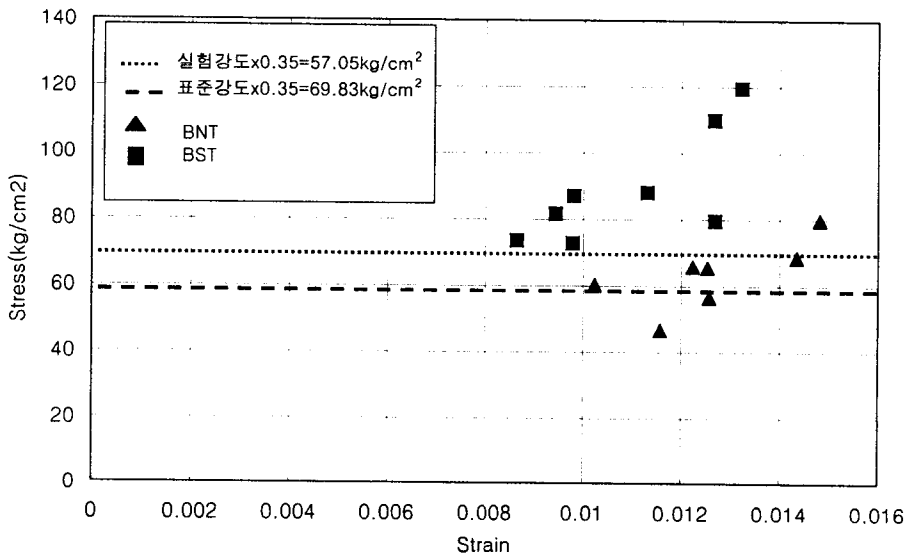


그림 9. 단위 콘크리트 벽돌강도에 대한 3단조적체 강도비교

2.4.3 45° 조적체

45° 조적체는 항상 취성적인 형태로 파괴가 나타난다. 하중 가력중에 나타나는 외형적인 균열

의 모습도 보이지 않으며, 변위의 갑작스런 증가도 나타나지 않고 순간적으로 파괴가 발생한다. 45 ° 조적체 실험에서 현장배합 조적체는 평균 최대응력이 67.84 kg/cm²이다. 55.6%의 시험체가 복합파괴 거동을 보이며, 44.4%의 시험체는 사인장균열 파괴거동을 한다. 단지 1개의 시험체만이 전단 파괴를 나타내었다.

표준배합 조적체의 평균 최대응력은 82.58 kg/cm²이다. 60%의 시험체가 사인장균열 파괴거동을 하며, 30%의 시험체가 복합파괴 거동을 하였다. 표준배합 조적체에서는 몰탈의 부착강도가 충분히 발휘되어서 45 ° 조적체가 일체로서 거동을 하는 반면, 현장 배합 조적체는 부착강도가 저하되어 사인장 균열과 전단균열이 복합적으로 발생한 것으로 판단된다. 또한 전단균열 파괴거동을 한 시험체는 몰탈과 콘크리트 벽돌이 밀실히 충전되지 못하고 공극이 존재하였다. 따라서 몰탈의 부착강도 감소로 전단파괴가 발생한 것으로 판단된다.

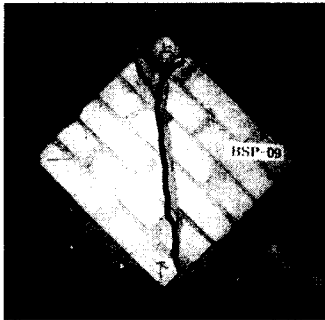


그림 10. 사인장 균열 파괴

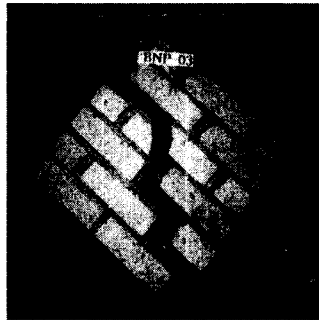


그림 11. 복합균열 파괴

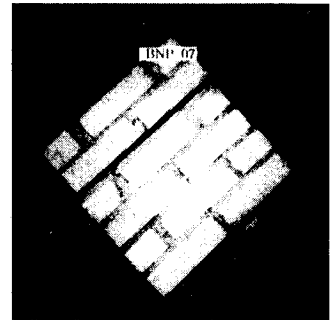


그림 12. 전단 균열 파괴

표 4. 45 ° 조적체 실험결과 (C: 복합파괴, D: 사인장파괴, S: 전단파괴)

현장배합 45 ° 조적체				표준배합 45 ° 조적체			
시험체명	최대하중 (tonf)	최대응력 (kg/cm ²)	파괴모드	시험체명	최대하중 (tonf)	최대응력 (kg/cm ²)	파괴모드
BNP-02	6.30	69.67	D	BSP-01	6.32	70.22	C
BNP-03	5.10	56.67	C	BSP-02	37.75	41.66	C
BNP-04	7.50	83.33	C	BSP-03	5.92	65.78	D
BNP-05	6.42	71.33	D	BSP-04	7.42	82.44	D
BNP-06	4.80	53.33	C	BSP-05	7.70	85.56	C
BNP-07	4.97	55.56	S	BSP-06	9.52	105.78	D
BNP-08	6.07	67.44	C	BSP-07	8.60	95.56	D
BNP-09	6.32	70.22	C	BSP-08	7.47	83.00	S
BNP-10	7.47	83	D	BSP-09	9.12	101.33	D
				BSP-10	8.50	94.44	D

3. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 비보강 조적조 건물의 내진 성능 평가를 위한 기본자료를 얻기 위하여 조적조 재료에 대한 실험을 수행하였다. 단위 콘크리트 벽돌 압축강도 실험과 현장배합비와 표준배합비에 따른 3단 조적체, 45° 조적체에 대한 압축실험을 수행하였다. 실험값을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 우리 나라에서 제작되고 있는 콘크리트 벽돌의 탄성계수 값은 약 3378.301 kgf/cm²으로 나타났다.
- (2) 우리 나라의 조적체에 대한 탄성계수를 구하는 약산식은 $E_m = 96 f'_m$ 이 적합한 것으로 조사되었다.
- (3) 45° 조적체는 사인장균열 파괴, 전단파괴, 복합파괴의 3가지의 거동을 나타내며, 몰탈의 부착강도가 파괴양상을 좌우한다.

몰탈의 배합비는 인장과 전단강도에 영향을 미치므로 조적조의 강도를 좌우하는 가장 중요한 요소이다. 이러한 상관관계를 규명하기 위하여 배합비를 조금 더 세분한 몰탈강도실험을 수행하여야 할 것이다. 또한 3단조적체에 대한 전단시험을 통하여 몰탈의 전단특성을 파악하여야 할 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. A.W.Hendry(1981), "Structural Brickwork", John Wiley & Sons, pp.12-61
2. A.W.Hendry(1987), "Testing Methods in Masonry Engineering", Fourth North American Masonry Conference, Vol.2, pp.49-1~49-13
3. Christian P.Dialer(1999), "Basic behaviour of masonry: case studies, alternative approaches and modelling hints", Technology, Law and Insurance, Vol.4, pp.131-136
4. R.Zanrnic, V.Bokan-Bosiljkov, V.Bosiljkov & B.Dujic(1998) "Influence of modified mortar on mechanical properities of masonry", Proceedings of the Fourth International Symposium on Computer Methods in Structural Masonry, E&FN Spon, pp.177-184
5. F.Focardi, E.Manzini(1984), "Diagonal tension tests on reinforced and non-reinforced brick panels", Eighth world conference on earthquake engineering, Vol.5, No.2, Prentice-hall, pp.839-846
6. International Conference of Building Officials(1997), UBC, Vol 2, pp.214-235