

# 한국 조적조 건물의 내진성능 및 지진피해율 평가

## Earthquake Damage Ratio Estimation and Seismic Capacity Evaluation of Existing unreinforced masonry building in Korea

강 대 언\*                  양 원 직\*                  이 원 호\*\*  
Kang, Dae Eon          Yang, Won Jik          Yi, Waon Ho

### ABSTRACT

The purpose of this study is to provide basic information for unreinforced masonry building in Korea by application of the proposed seismic evaluation method. In this study, seismic capacities of 50 existing unreinforced masonry buildings are evaluated based on the proposed method. Also, relationships of seismic capacities between Korean earthquake damage ratios of Korean unreinforced masonry buildings are estimated. Results of this study were as follows; 1) Seismic retrofit was needed 4~48% in Korean unreinforced masonry buildings. 2) Korean unreinforced masonry buildings were expected to have severe damage under the earthquake intensity level experienced in Japan.

### 1. 서 론

우리나라는 1978년부터 2004까지 총641회의 지진이 발생하여 연평균 23회에 해당한다<sup>1)</sup>. 이중 지진규모(M) 4이상의 비교적 큰 규모의 지진발생이 34회이며 대부분은 남한지역에서 발생하고 있다. 또한 연구결과에 의하면 각종 건축물에 상당한 피해를 줄 수 있는 정도의 지진이 발생할 가능성이 있다고 보고되고 있다. 특히 최근 들어 1995년의 일본 고베지진, 1999년의 대만 지진 및 2004년의 남아시아지진 등의 한반도 주변국가에서의 대규모 지진의 발생은 건축물의 지진에 대한 대책과 건축물의 내진성능향상의 중요성을 보다 크게 인식시키는 계기가 되고 있다.

이에 우리나라도 1988년부터 처음으로 6층 이상건축물 및 연면적 10,000m<sup>2</sup>이상 건축물인 경우에 내진설계가 적용을 했으며, 1996년에는 5층 이상 건축물 및 연면적 5,000m<sup>2</sup>이상 건축물로 변경되었다. 또한 2004년에는 3층 이상 건축물 및 연면적 1,000m<sup>2</sup>이상의 건축물로 변경되는 내용이 발표되는 등 내진설계 기준이 강화되는 추세에 있다. 그러나 1~2층의 건물은 내진설계기준에 포함되지 않고 있으며, 특히 대부분의 1~2층 건물은 횡력에 약한 조적조 건물이다.

본 연구에서는 향후 국내의 실정에 맞는 조적조 건물의 내진성능 평가방법의 개발에 기초적인 자료제공을 목적으로 지진에 무방비 상태로 노출된 조적조 건축물 특히 서울시내 50개동의 조적조 건물들을 대상으로 기존 건축물의 구조 내진 성능 평가에 관한 기술지침(안)(참고문헌2)에서

\* 광운대학교 에센스 구조연구센터 연구조교수  
\*\* 광운대학교 건축공학과 교수

제안된 방법을 적용하여 내진성능을 파악함과 동시에 확률·통계론에 입각하여 구조내진지표의 분포특성 및 지진피해율을 평가하여 지진대책의 활용자료를 작성하고자 한다.

## 2. 대상건물의 개요

조사지역은 인구밀도가 높아 지진발생 시 피해가 클 것으로 예상되는 서울시의 3개의 구에서 총 50개 동의 조적조 건물을 대상으로 하였으며 또한 대상건물은 표 1에 나타난 것과 같이 90년대 준공된 건물 중에 각 연도별로 수개 동의 건물을 선정하여 구조내진지표( $I_g$ )를 조사하였다. 또한 그림 1에는 대상건물 1층의 X방향과 Y방향의 면적의 분포를 나타내며, 그림 2에는 1층의 벽체 면적을 바닥면적을 나눈 값으로 X방향과 Y방향을 비교하여 나타내었다. 조사한 대상건물의 층고는 대부분 2.5m~2.7m정도였다.

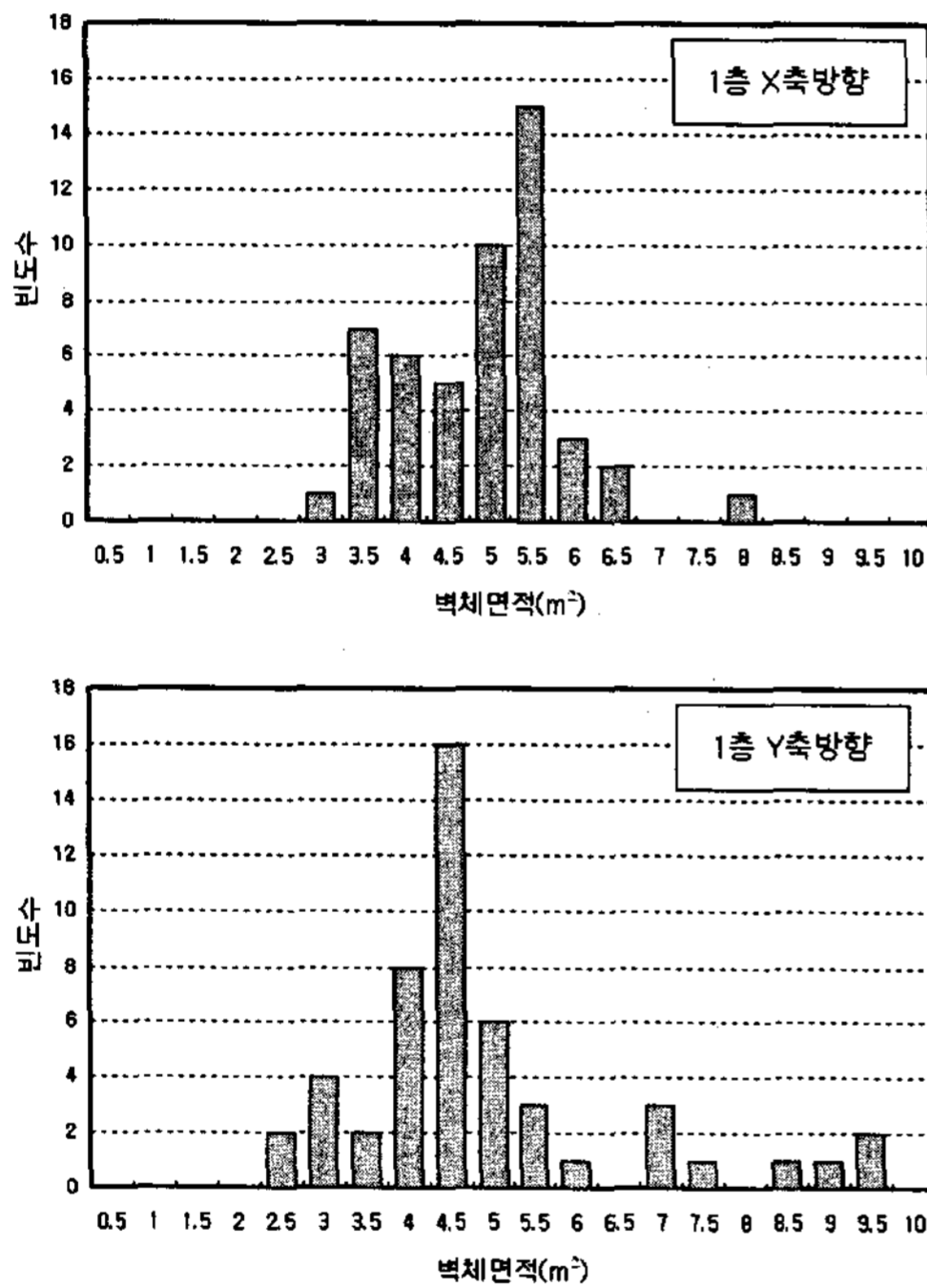


그림 1. 1층의 X방향과 Y방향의 면적 분포

표 1. 조사대상건물 연도별 분포

연도	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	계
조사동수	3	7	6	7	7	6	5	6	2	1	50

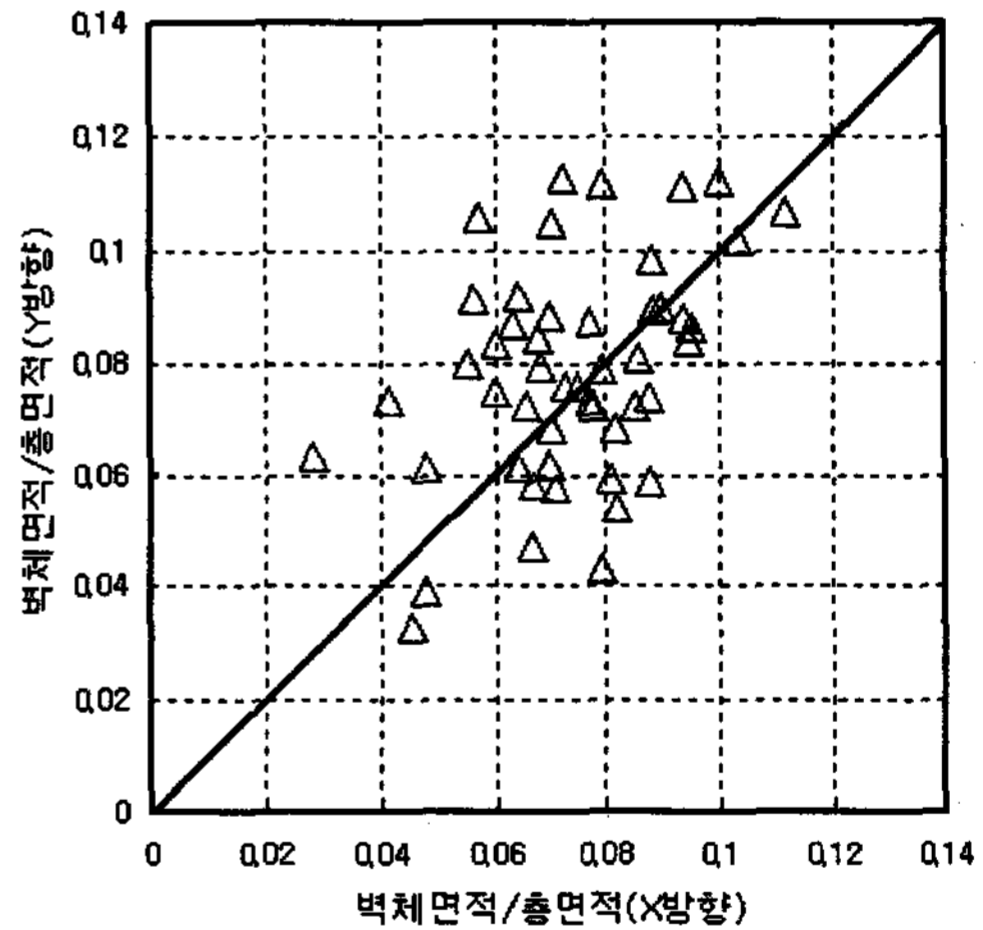


그림 2. 1층의 X방향과 Y방향의 벽율

## 3. 대상건물의 내진성능평가 및 검토

2장에서 서술한 서울 시내의 3개구 50개 동을 대상으로 참고문헌 2에서 제안한 방법으로 내진 진단을 실시하여 대상건물의 내진성능을 검토하였다.

### 3.1 조적조건물의 내진진단법

#### (1) 조적조 건물의 내진진단법의 개요

본 내진진단법은 조적조 건물의 내진성능을 약산적으로 평가하는 수법으로서, 구조부분의 내진

성능을 식(1)로 정의되는 구조내진지표( $I_S$ )로 평가한다.

$$I_S = E_0 \times S_D \times T \quad (1)$$

여기서,  $E_0$  : 보유성능기본지표,  $S_D$  : 형상지표,  $T$  : 경년지표

구조내진지표( $I_S$ )는 보유성능기본지표( $E_0$ ), 형상지표( $S_D$ ) 및 경년지표( $T$ )의 곱으로 산정된다. 보유성능기본지표는 가장 기본적인 내진성능을 나타내는 지표로서 건물의 보유내력의 대소를 전 단력계수의 형식으로 나타내는 강도지표( $C$ )와 변형능력의 대소를 나타내는 인성지표( $F$ )의 곱으로 산정하는 것을 원칙으로 하고 있다. 이것은 건물이 지진을 받았을 때 안전하기 위해서는 벽체가 많은 건물에서는 연성이 작기 때문에 상당한 강도가 필요하고 또한 벽체가 적은 건물에서는 강도의 여유가 적기 때문에 연성이 있는 구조이어야만 한다는 것을 고려한 것으로서 벽체가 많은 건물과 벽체가 적은 건물에 공통의 내진성능의 척도를 설정하기 위한 목적으로 정한 것이다. 형상지표( $S_D$ )는 건물의 형상에 의해 지진시의 힘의 흐름이 크게 영향을 받는다. 형상의 일체성이 있다면, 힘의 흐름은 원활하고 설계 시의 가정도 적합하나, 불규칙하며 요철이 많은 것은 힘이 국부적으로 집중하는지 편중하는 형상을 일으켜 내진성능에 영향을 미치게 된다. 경년지표( $T$ )는 구조체에 생기는 균열, 변형, 노후화 등의 구조적 결함이 건물의 내진성에 미치는 영향을 평가하고자 하는 지표이다.

본 연구에서는 조적조 건물은 취성 거동에 가까운 형상을 나타내므로 인성지표는 0.8, 형상지표로 가정하였다. 또한, 모든 조사건물의 현지조사를 하지 못한 점을 고려하여 경년지표를 1, 0.9, 0.8 및 0.7인 경우로 가정하여 내진성능을 검토하였다. 또한 국내 조적조 건물의 평균전단응력도는 참고문헌 3을 참고하여  $2\text{kgf/cm}^2$ 로 한다.

## (2) 내진보강의 판정지표

내진성능이 평가되면 내진안전성을 판단하여 내진보강의 여부를 판정하는 것이 필요하다. 참고문헌 2에서는 식(2)와 같이 구조물의 안정성을 판정하고 있으며, 구조내진판정지표( $I_{SO}$ )는 지진입력레벨에 기초하여 식(3)과 같이 설정하였다.

$$I_S \geq I_{SO} \quad (2)$$

$$I_{SO} = \frac{\gamma}{\phi} \times A \times \frac{1}{R} \times I_E \times C \quad (3)$$

여기서,  $\gamma$  : 하중계수(일반적으로 1.4)

$\phi$  : 강도저감계수(수직부재를 고려한 값으로 일반적으로  $\phi=0.7$ (철근콘크리트조), 0.85(철골조), 0.6(조적조))

$A$  : 지역계수

$R$  : 반응수정계수

$I_E$  : 중요도계수 (일반주택으로 간주하여 본 연구에서는 1)

$C$  : 동적계수:  $\frac{S}{1.2\sqrt{T}} \leq 1.75$

(지반 1의 경우  $S=1.0$ , 지반 2의 경우  $S=1.2$ , 지반 3의 경우  $S=1.5$  지반 4의 경우  $S=2.0$ )

$T=0.0488(h_n)^{3/4}$  ( $h_n$ =건물높이)

식 (3)에 따라 본 연구에서의 구조내진판정지표를 산정하면,

$$I_{SO} = \frac{1.4}{0.6} \times 0.11 \times 1.0 \times C \times \frac{1}{2} = 0.128 \times C, \text{ (} C \text{가 } 1.75 \text{보다 작을 때는 } I_{SO} \text{는 } 0.225 \text{이다.)}$$

$$C = S/1.2\sqrt{T} \leq 1.75, \quad C = 1.2/1.2\sqrt{0.0488(h_n)^{3/4}} \leq 1.75$$

건물높이  $h_n$ 가 12.5m(주기  $T$  0.366sec)이하의 범위에 대해서는 아래 그림 1에서 보는 바와 같이  $I_{SO}$ 가 0.225로 일정하게 나타나게 되며 그 보다 건물높이가 높은 구간부터는 이차곡선으로 감소하는 것을 볼 수가 있다. 따라서 조사 대상 건축물이 2~3층 규모로서 최고높이 12m를 넘지 않으므로 구조내진 판정지표  $I_{SO}$ 는 0.225로 하였다.

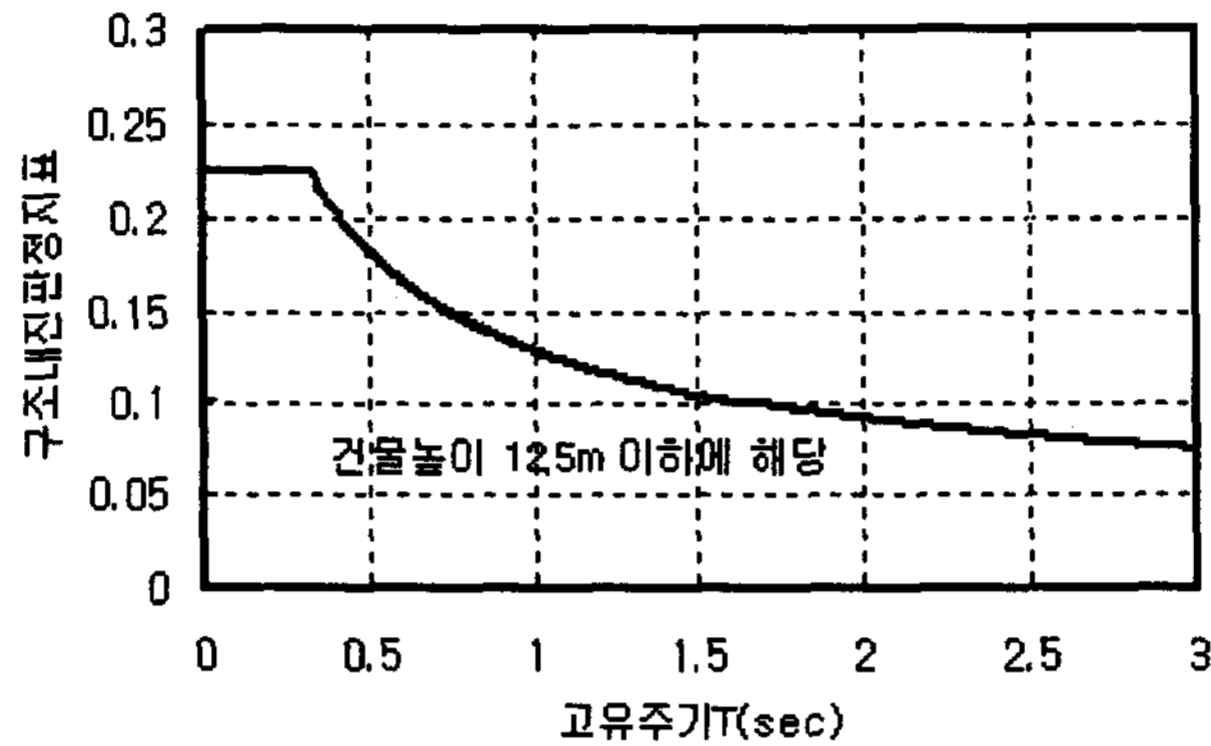


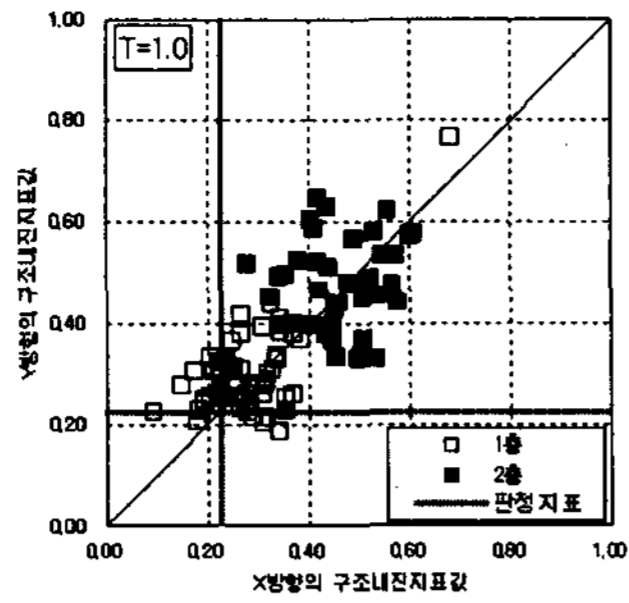
그림 3. 구조내진판정지표()

### 3.2 내진진단의 결과 및 내진성능의 검토

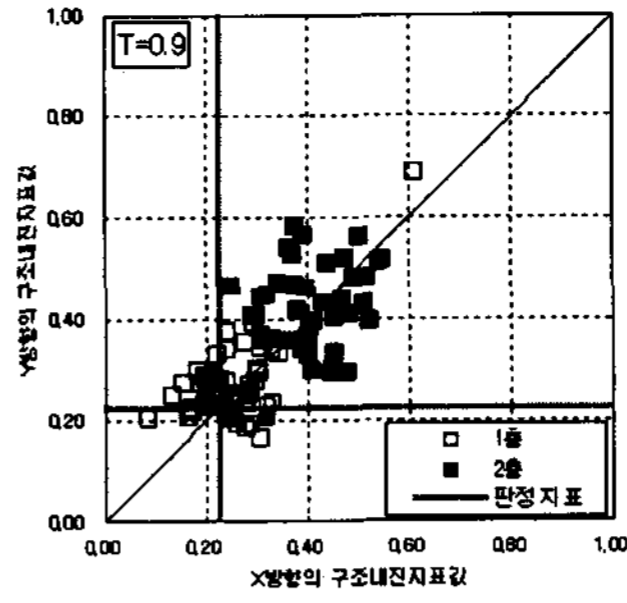
위에서 서술한 바와 같이 기존 건축물의 구조 내진 성능 평가에 관한 기술지침을 바탕으로 대상건물의 내진성능을 검토하였다. 그림 4에는 조사한 조적조 건물의 내진성능을 경년지표( $T$ )의 변화에 따라 1, 2층에서의 X방향에 대하여 Y방향의 구조내진지표값으로 나타내었다. 또한 3.1에서 산정한 구조내진판정지표( $I_{SO} = 0.225$ )도 함께 나타내었다.

그림 4에 나타난 것과 같이 내진진단결과인  $I_S$ 는 Y방향이 X방향보다 약간 높은 내진성능을 보이고 있으나 큰 차이는 나타나지 않고 있음이 확인되었다. 이는 2장의 대상건물의 개요에서 알 수 있듯이 조사한 조적조 건물의 X방향과 Y방향의 벽량에 있어서 큰 차이가 없기 때문이라 사료된다. 따라서 후술하는 모든 경우에 있어 X방향의 구조내진지표값을 기본으로 대상건물인 조적조 건물의 대표값으로 정하여 연구를 진행하였다. 또한 2층보다 1층의 구조내진지표값의 적게 나타남을 알 수 있다.

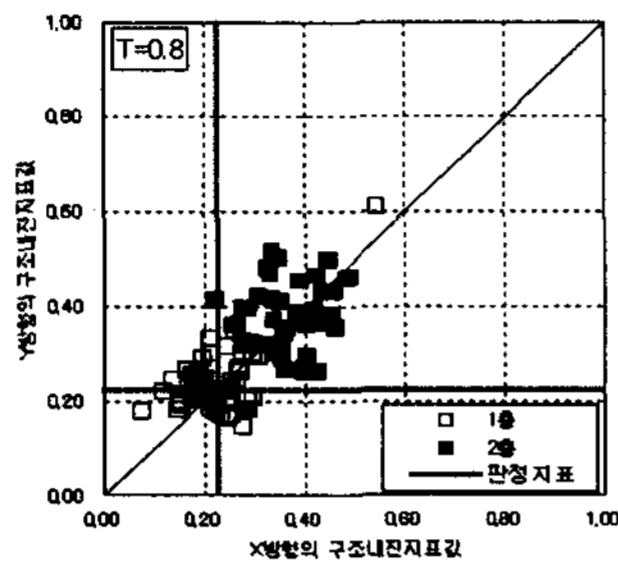
그림 5는 경년지표( $T$ )를 각각 1, 0.9, 0.8 및 0.7로 가정하였을 경우의 조사대상건물의 1층, X방향의 내진성능의 분포를 나타낸 것으로서, 각각의 그림에 있어 곡선들은 빈도분포의 근사곡선 가운데 최적분포로 판단되어진 정규분포곡선으로 근사시킨 것이다. 각각의 경년지표에 따른 내진성능의 분포는 각 그림에 있는 평균값과 표준편차를 가지는 정규분포곡선으로 근사가 가능하며, 모든 경우에 있어 0.1~0.5사이에 분포하고 있다. 또한 그림에서도 알 수 있듯이 경년지표의 변화에 따라 내진보강을 필요로 하는 범위가 8%에서 48%의 범위로 확대됨을 알 수 있다.



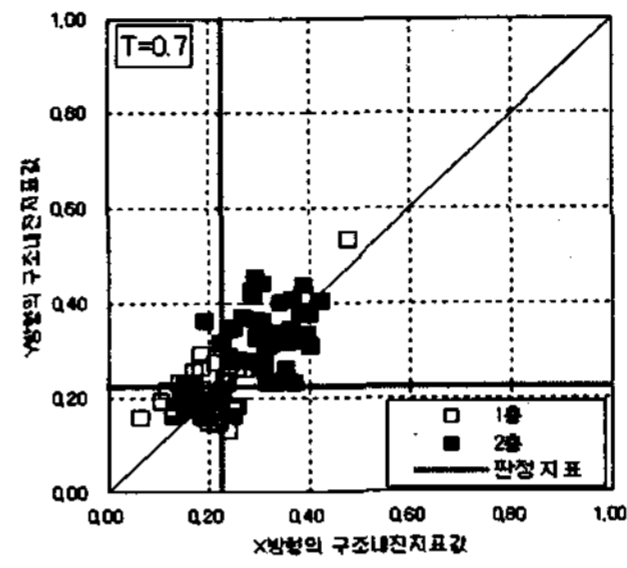
(a) T=1.0인 경우



(b) T=0.9인 경우

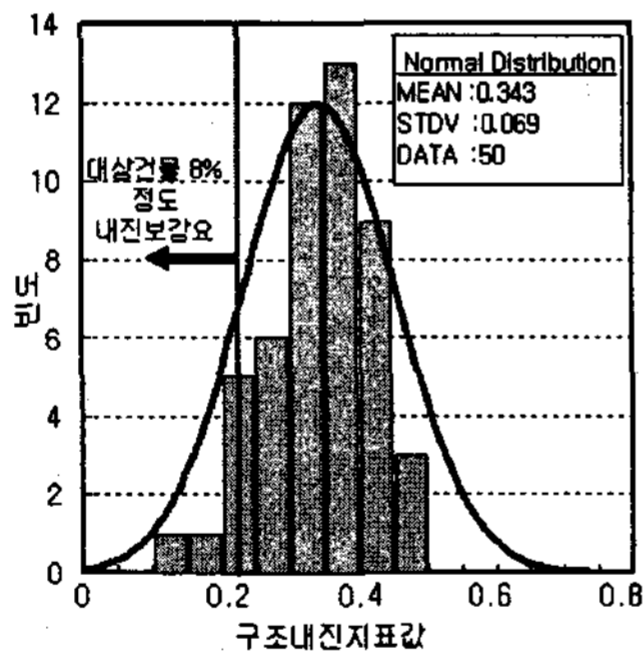


(c) T=0.8인 경우

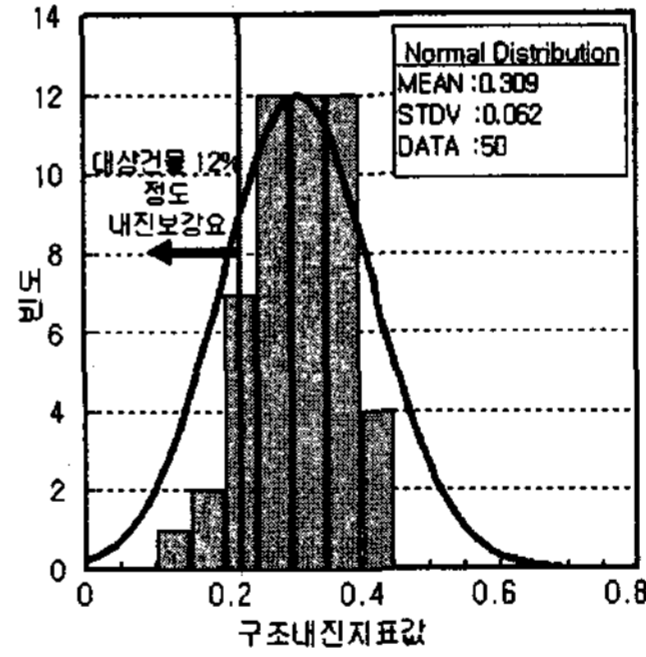


(d) T=0.7인 경우

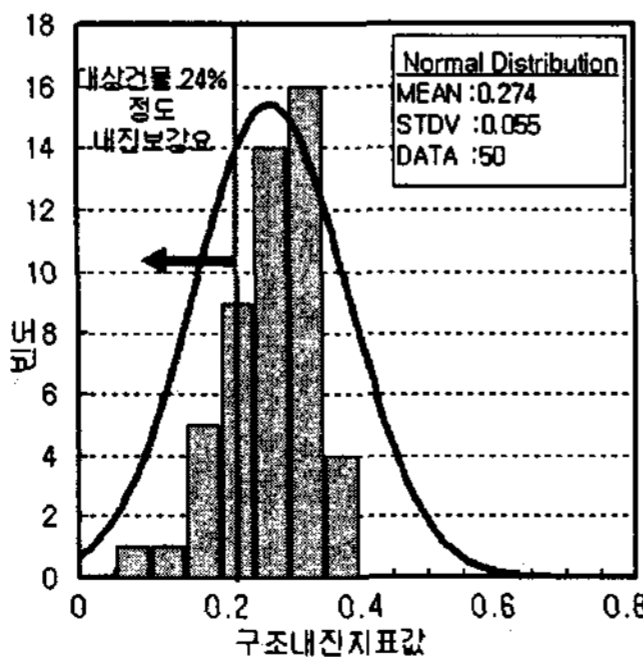
그림 4. 대상건물의 내진진단결과



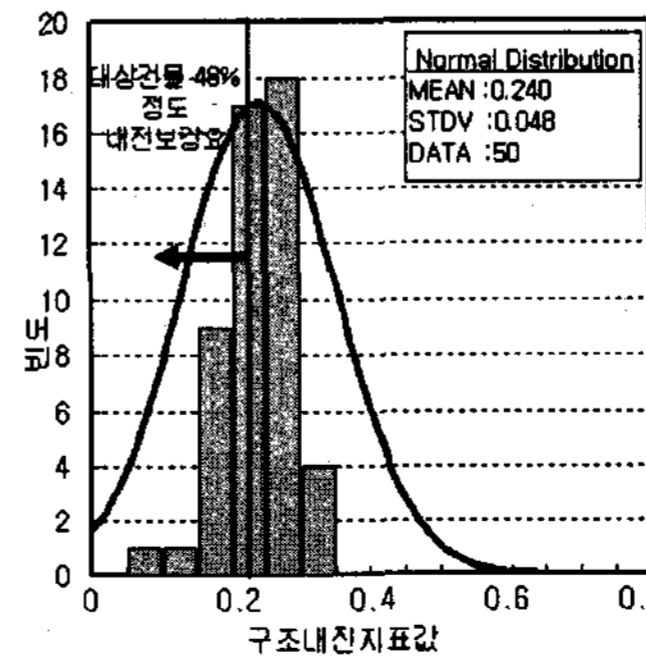
(a) T=1.0인 경우



(b) T=0.9인 경우



(c) T=0.8인 경우



(d) T=0.7인 경우

그림 5. 대상건물의 내진성능분포

#### 4. 지진피해율의 상정

본 연구에서는 참고문헌 5, 6에서 사용한 방법을 적용하여, 대상 조적조 건물의 지진피해율을 상정하였다.

##### 4.1 지진피해율 상정방법

조사대상 건물군의  $I_S$ 의 확률밀도함수를  $P_{I_S}(x)$ , 하중효과( $E_T$ )의 확률밀도함수를  $P_{E_T}(x)$ 라고 가정한다. 위의  $E_T$ 는 입력지진동의 레벨을  $I_S$ 로 환산한 것으로서, 즉 입력지진동의 레벨에 대하여 안전하기 위해 필요한  $I_S$ 값으로서, 입력지진동에 의하여  $E_T$ 가 확률량이 되는 것으로 가정한다. 여기서, “전 건물에 대한 피해건물수의 비율”을 “피해율  $V$ ”라고 정의하면, 그 피해율  $V$ 는 식(4)와 같다.

식(4)의 [ ]항은  $\text{Prob}[P_{E_T} > x]$ , 즉  $I_S = x$ 의 건물의 피해확률을 나타내는 것이고, 또한 식(5)의  $v(x)$ [식(4)의 피적분항]는 피해건물의  $I_S$ 분포를 나타낸다. 따라서  $P_{I_S}(x)$  및  $P_{E_T}(x)$ 로부터 식(4) 및 식(5)를 사용하여 피해율  $V$  및 피해건물의  $I_S$ 분포  $v(x)$ 가 상정가능하다.

$$V = P_{I_S}(x) \left[ 1 - \int_0^x P_{E_T}(r) dr \right] dx \quad (4)$$

여기서,  $x = I_S$  또는  $E_T$

$$v(x) = P_{I_S}(x) \cdot \left[ 1 - \int_0^x P_{E_T}(r) dr \right] \quad (5)$$

본 연구에서는 조사대상건물인 조적조 건물의  $I_S$ 의 확률밀도함수  $P_{I_S}(x)$ 는 그림 5에 나타낸 정규분포곡선, 즉 식(6)을 사용하였고,  $E_T$ 의 확률밀도함수  $P_{E_T}(x)$ 는 靜岡縣의 피해 산정 시 사용한 분포를 사용하여 대상 조적조 건물의 지진피해율을 상정하였다. 한편 참고문헌 6의  $E_T$ 는 1968년 十勝沖지진 및 1978년 宮城沖지진을 대상으로 한 피해정도는 중파이상이고 지진가속도레벨은 0.23g인 하중효과이고, 또한 입력지진도의 지반에 의한 편중의 영향은 없는 것으로 가정하여 빈도분포를 식(7)에 나타내는 정규분포곡선으로 근사시킨 것이다.

$$P_{I_S}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{X-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (6)$$

여기서,  $x = I_S$ ,  $\mu = 0.4$ ,  $\sigma = 0.135$

$$P_{E_T}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{X-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (7)$$

여기서,  $x = E_T$ ,  $\mu = 0.399$ ,  $\sigma = 0.085$

##### 4.2 지진피해율의 상정결과

그림 5에 국내의 조적조 건물의 경년지표에 따른  $I_S$ 와 지진피해율과의 관계를 나타내었다. 참고문헌 6에서는 1968년 十勝沖지진 및 1978년 宮城懸沖지진에 의한 탁월주기 0.4초의 지반에 있는 건물에 입력되어지는 지진가속도레벨을 0.23g로 설정하고 있지만 각각의 그림에는 입력지진가속도레벨이 0.23g, 0.15g, 0.12g, 0.08g로 변화하는 경우에 있어서의 피해율  $V$  및 피해건물의  $v(x)$ 를

같이 나타내었다. 또한 표 2에는 경년지표와 입력지진가속도의 레벨의 변화에 따른 지진피해율 (V)를 정리하여 나타내었다.

이것은 허용소성률과 요구내력비(지진응답량과 허용소성률의 한계에서 받아들일 수 있기에 필요한 내력과 입력레벨의 비)를 결정하면, 필요한  $I_S$ 가 입력지진가속도에 비례해서 결정된다는 관계가 성립하기 때문에  $E_T$ 의 확률밀도함수 식(7)를 변동계수는 일정하게 하고, 평균치만 각각 0.08/0.23배, 0.12/0.23배, 0.15/0.23배로 하여 피해율 V 및 피해건물의 분포  $v(x)$ 를 상정하였다. 상정결과인 표 2와 그림 6에 따르면 국내의 조적조 건물은 경년지표(T)가 1일 경우를 예를 들어 설명하면 입력지진가속도 0.08g에서는 8.25%, 0.12g에서는 11.5%, 0.15g에서는 22.4%, 0.23g에서는 69.4%의 지진피해율이 추정되었으며, 지진동이 약 1.5배(0.12g) 증가하면 약 1.4배, 약 2배(0.15g) 증가하면 2.7배, 약 3배(0.23g) 증가하면 8.4배로 지진피해율이 증가함을 알 수가 있다.

표 2. 지진피해율 상정결과

경년지표	입력하중에 따른 예상 지진피해율			
	0.23g	0.15g	0.12g	0.08g
T=1	69.4%	22.4%	11.5%	8.25%
T=0.9	80.5%	32.4%	17.7%	10.5%
T=0.8	89.1%	44.4%	23.6%	14.2%
T=0.7	94.8%	58.0%	37.4%	20.1%

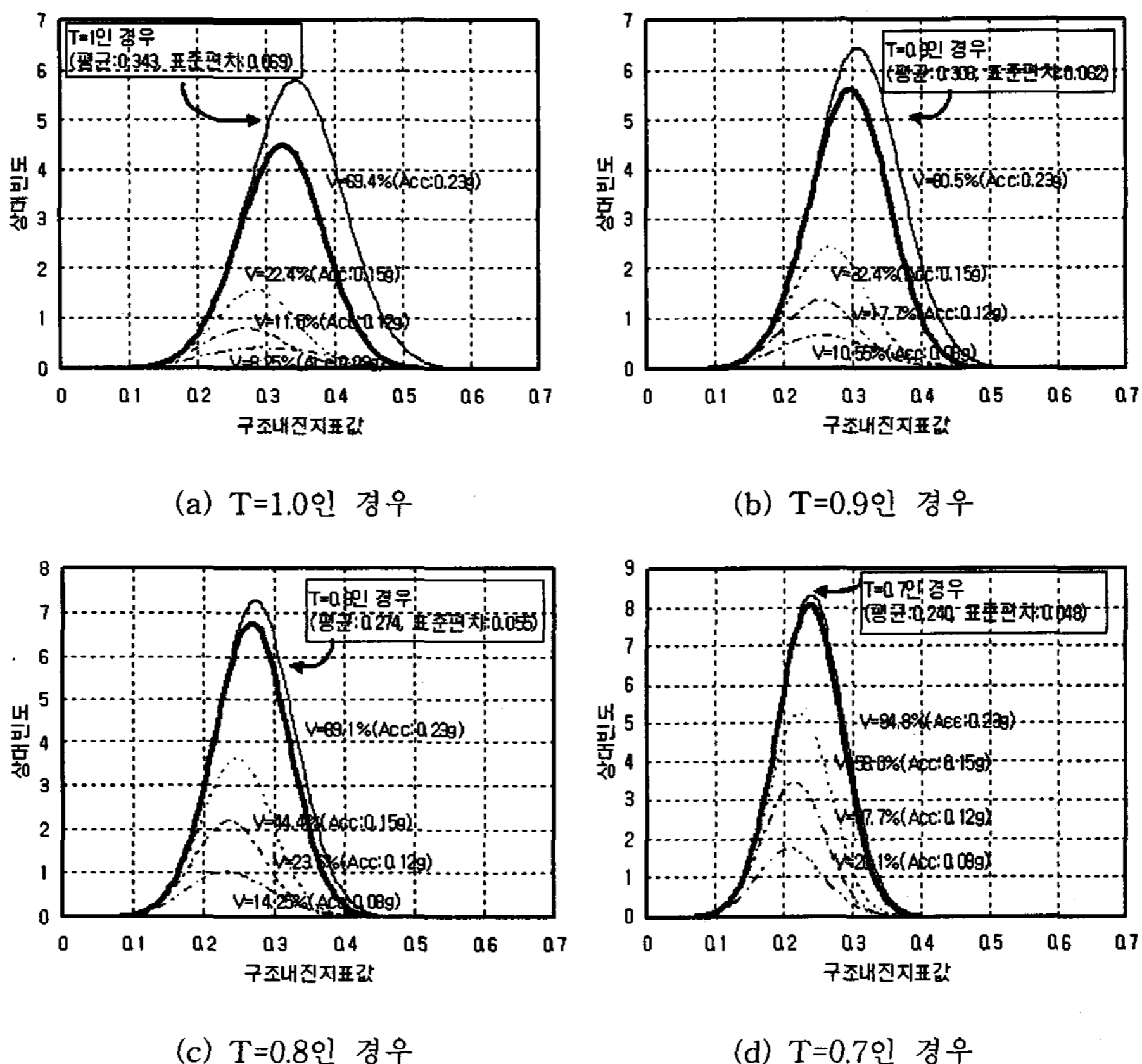


그림 6. 국내의 조적조 건물의 경년지표에 따른  $I_S$ 와 지진피해율과의 관계

## 5. 결론

국내의 조적조 건물 50개 동을 대상으로 기존 건축물의 구조 내진 성능 평가에 관한 기술지침(안)의 방법에 따라 건물의 내진성능을 평가하고 구조내진지표의 분포특성 및 지진피해율을 통계·확률론에 입각하여 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 국내의 현존 조적조 건물의 경년지표( $T$ )를 1에서 0.7사이로 가정하고, 평균전단 응력도를  $2\text{kgf/cm}^2$ 으로 가정 시 표준정규분포로 근사가 가능하다는 것을 알았다.
- (2) 조사대상건물은 경년지표의 변화에 따라 국내 상정 입력지진가속도 레벨에서도 8~48% 정도의 내진보강이 필요한 것으로 나타났다.
- (3) 국내 상정 입력지진가속도 레벨인 0.12g에 대해서 11.5~37.4% 정도의 지진피해율이 상정 되었으며, 일본의 대표적인 피해지진레벨(0.23g) 뿐만 아니라 중규모의 지진에서도 큰 피해를 받을 것으로 사료된다. 따라서 국내실정에 적합한 내진진단법, 이를 근거로 한 보강건물의 합리적인 선정방법 및 효과적인 내진보강공법이 개발이 시급하다고 판단된다.

## 참고문헌

1. 기상청홈페이지 <http://www.kma.go.kr>
2. 기존 건축물의 리모델링을 위한 내진성능평가 기법 국제기술 강습회, 2002
3. W. H. Yi, S. H. Oh, J. H. Lee, "Shear Capacity Assessment of Unreinforced Masonry Wall", 13 WCEE, Aug., 2004
4. 구조물의 내진진단 및 보수·보강기법 국제세미나, 2001
5. 이강석, 최호, 이원호, "현존 철근 철근콘크리트건물의 내진성능 및 지진피해율의 상정", 대한건축학회논문집 구조계, 18권 1호(통권159호), pp.11~20, 2002
6. 中埜良昭, "信頼性理論による鉄筋紺グループと建築物の耐震安全性に関する研究", 東京大学建築科学学位論文, pp. 1~116, 1988