

## 차세대 내진 설계 기준을위한 계수 결정 방법

### Method of Determination of Seismic Design Parameters for the Next Generation of Design Provisions

한 상환\*                      이 리형\*\*  
Sang Whan Han              Li Hyung Lee

---

#### Abstract

Seismic design provisions in Korea has developed based on seismic provisions in United States (e.g., ATC 3-06). Current seismic design provisions in U.S. is moving toward adopting enhanced concept for design. Federal Emergence Management Agency (FEMA) provides the NEHRP recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings which can be used as a source document for use by any interested members of the building community. Current seismic design provisions in U.S. generally use a uni-level force. These provisions can not be satisfied if the limit state design is concerned. Limit state can be defined as a state causing undesirable performance of a structure (e.g., serviceability, ultimate, buckling, etc.). Even if there are provision for controlling drift by two levels, it is still difficult to satisfy limit states using uni-level force. Architectural Institute of Japan (AIJ) uses a bi-level forces for seismic loadings which can satisfy serviceability and ultimate limit state. However, the seismic parameters used in AIJ guideline are basically determined by subjective manner of code committee member and professions. These parameters need to be determined based on target quantities (target reliability, target energy dissipation, target displacement, target stress level, etc.). This study develops the method to determine the seismic design parameters based on a certain target level. Reliability is used as a target level and load factors in ANSI/ASCE 7-88 are selected as design parameters to be determined.

---

#### 1. 서 론

내진 설계의 목적은 구조물이나 시설물들을 그들의 수명동안 발생할 지진 하중들에 대하여 안전하게 만드는 데 있다. 이런 개념은 현재 사용되는 내진 설계 기준이나 법규의 목적이기도 하다. 더욱 자세하게 서술한다면 첫째, 작은 지진들(minor earthquakes)에 대해서는 구조적으로나 비구조적으로나 손상되어서는 안되고, 둘째, 중간 크기의 지진들(moderate earthquakes)에 대하여는 구조적인 손상이 와서는 안되고, 셋째, 큰 지진들(major earthquakes)에 대하여는 구조적인 손상은 허용하나 구조물 전체가 붕괴(collapse) 하여서는 안된다는 것이다. 지진의 크기를 구분하는 것은 개인에 따라 다를 수 있으나 대체적으로 재발생 주기(recurrence period)로 구분하는 것이 일반적이다.

---

\* 한양대학교 초대형구조시스템연구센터 연구원

\*\* 한양대학교 건축공학과 교수

요즘 많은 학자들은 현행 설계기준에 대한 신뢰성 문제를 제기하고 있고 또 현행 설계기준에 내재된 신뢰성 수준(implied risk level)을 찾아내려 하고 있다. 예를 들면 Wen과 Foutch등(1992)은 내진기준의 신뢰성과 일관성을 분석했다. 그들은 같은 철골 구조물일 지라도 구조 시스템 형태가 다르다면 주어진 층간변위에 대한 그 위험수위(risk level)가 서로 다를 것을 발견 하였다. Shinozuka등은(1989) 신뢰성 분석을 토대로 다리 구조물에 대하여 극한강도 설계법(Load Resistant Factor Design(LRFD))으로 설계된 다리들이 허용응력 설계법(Allowable Stress Design(ASD))으로 설계된 다리들 보다 일관된 신뢰성이 주는 것을 확인 하였다.

신뢰성의 관점에서는 극한강도 설계법이 각 하중에 적용될 하중계수(load factor)와 구조물의 저항력에 적용될 저항계수(resistance factor)를 허용응력 설계법에 비해 더 명확한 형태로 가지고 있기 때문에 허용응력 설계에 비해 더 적합한 형태라고 할 수 있다. 하지만 현행 사용되고 있는 극한강도 설계의 하중계수 및 저항계수는 기준을 정하는 위원들의 주관적인 경험을 기초로 하는 경우가 많다. 이렇게 주관적으로 결정된 계수들을 가지고 설계된 구조물들이 임의의 한계상태에 대한 일관된 구조성능을 기대하기는 어렵다. 그러므로 이런 계수들은 설계된 여러 건물들이 임의의 한계상태 (limit state)에 대하여 일관된 구조 성능을 갖게 하기 위하여 목표가 될 수 있는 수(target quantity)를 기초로 결정 하여야 한다. 예를 들면 구조물의 주어진 한계 상태를 넘을 목표한계확률(target limit state probability)을 기초로 결정 할 수 있다.

Ellingwood (1980)은 부재물의 극한 상태(ultimate state)대한 목표한계확률을 토대로 하중계수와 저항계수를 결정 하였다. 이 하중계수와 저항계수들은 현행 설계기준에서 사용된다. 대표적인 예로는 AISC LRFD manual(1986)과 ANSI 7-88(1990)가 있다. 하지만 부재의 극한한계상태만을 고려하여 결정된 하중계수와 저항계수로는 여러 중요한 한계들에 대한 구조 시스템 전체의 만족스럽고 일관된 성능을 기대 하기에는 어렵다. 구조 시스템 전체에 대한 중요한 한계 상황들을 고려하여 계수를 결정하는 것이 바람직 하겠다.

이 연구에서는 내진 설계 계수를 중요한 한계상황들을 넘을 구조물의 목표한계확률들을 기초로 결정할 수 있는 방법을 제시 할 것이다. 계수들은 목적함수를 최소화하여 찾아낸다. 이 연구에서 목적함수는 주어진 한계상황들에서 목표한계확률과 실제 구조물에서 얻어진 한계확률의 차이를 나타내는 함수이다. 목적함수를 최소화하기 위하여 비선형 진행법(Nonlinear Programming Method)을 이용한다면 수많은 반복계산을 요구 할 것이다. 각 단계마다 고려되는 구조물을 다시 설계하여야 하며 그들의 신뢰성을 다시 분석해야 할 것이다. 또한 목표가 되는 신뢰성 수준이 바뀐다면 모든 작업은 새로 반복해야할 것이다(Shinozuka et al.(1989) and Hwang et al. (1990)). 이런 계산 상의 제약 조건과 반복 작업을 줄이기 위하여 이 논문에서는 반응 표면법(Response Surface Method)과 복합중심계획법(Central Composite Design)을 이용하여 계수를 결정 할 것이다. 예제로 하중계수가 구조물의 사용한계상황(serviceability limit state)과 극한한계상황(ultimate limit state)을 넘을 목표한계확률을 토대로 결정할 것이다. 또한 한계상황에 대한 신뢰성 수준을 바꾸어 가며 그에 대한 계수를 결정할 것이다.

## 2. 하중 계수의 결정

극한 강도 설계의 개념은 구조물의 부재들이 강도가 여러 경우의 계수하중들(factored loads)의 조합에서 요구되는 요구강도 이상으로 설계 하는 것이다. 일반적으로 극한 강도 설계 형태는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi R \geq \sum_{i=1}^n \gamma_i S_i \quad (1)$$

여기서  $\phi$ 는 강도 저감 계수이고,  $R$ 은 요구 되어지는 강도이고,  $\gamma_i$  는 하중 계수 이고,  $S_i$  는 하중 혹은 하중 효과 이다. 예를 들어 고정하중 (D), 적재하중(L), 그리고 지진하중 (E)을 고려한다면 식 1 은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\phi R \geq \gamma_D D + \gamma_L L + \gamma_E E \quad (2)$$

여기서  $\gamma_D$ ,  $\gamma_L$ ,  $\gamma_E$  은 각각 고정하중, 적재하중 그리고 지진하중에 대한 하중 계수 이다. 이 논문에서는 고정하중에 대한 하중계수는 1.2로 정하고 (이 수치는 AISC LRFD manual 에서 인용된 것이다) 적재하중과 지진하중에 대한 하중계수를 구조물의 수명동안 요구되는 한계상태(limit state)들에 대한 목표 신뢰성(target reliability)을 토대로 결정될 것이다. 현행 규정들에서 사용된 허용충간 변위를 한계 상태(limit state)로 설정한다. 충고의 0.5%의 충간변위를 사용한계상태(serviceability limit state)로 충고의 1.5%의 충간 변위를 극한한계상태(ultimate limit state)로 사용한다. 앞에서도 언급된 것처럼 하중계수를 결정하기 위해 반응 표면법(Response Surface Method)과 복합중심계획법(central composite design)이 사용된다.

### 3. 하중계수들의 조합(Load Factor Sets) 선택

하중계수들의 조합은 복합 중심 계획법 (central composite design)으로 선택 된다. 복합 중심 계획은  $2^k$ 개의 별점 (factorial points) 조합,  $2k$ 개의 축점(axial points)조합 과  $nc$ 개의 중심점 (central point)조합을 요구한다. 여기서  $k$ 는 고려되는 하중계수의 수가된다. 이 연구에서는 적재하중과 지진하중들의 하중계수들을 고려 했기 때문에  $k$ 는 2 가 된다. 중심점은 대개 실험 계획자의 경험에의해 결정되는 경우가 많다. 여기서는 ANSI 에서 사용되는 하중계수들의 조합을 중심점으로 정했다. 여기서는 9개의 하중계수 조합이 요구된다 ( $2^2 + 2 \times 2 + 1$ ). 표 1은 하중계수들의 사용된 조합들이 표시되어져 있고 이 하중계수들의 조합들에 대한 하중조합이 나타나 있다. 이 표에서 점 1 이 중심점이고 점 2, 3, 4, 5 가 별점들이고 점 6, 7, 8, 9가 축점들이다. 중심점으로 부터 축점이나 별점까지의 거리는 한계 상황들의 신뢰성에 대한 하중계수가 결정되어질 범위를 고려하여 결정한다.

### 4. 구조물 설계

세개의 다른 크기를 가진 일층 구조물이 각각의 표 1에 있는 하중조합과 ANSI 7-88과 AISC LRFD manual 따라 설계된다. 강한 지진 가능 지역을 선정 할 목적으로 샌앤드리아 단층 (San Andreas fault)의 모하이브 판(Mojave segment)에서 60km 떨어진 로스앤젤레스 지역을 구조물이 설계될 지역으로 선정했다. 이 지역은 가장 강한 지진 지역(지진지역 4)으로 미국 현행 규정에서 분류되어 있다. 고려된 구조물은 그림 2 에 보여진다. 표 1 에 나타나 있는 하중 조합의 수가 9개 이므로 총 27개의 구조물이 설계된다. 모든 구조물은 철골 모멘트 연성 골조 방식 (Specially Moment Resisting Steel Frames)으로 설계된다. 여기서는 하중계수를 결정하는 것을 목적으로 하기때문에 규준에서 요구되는 충간 변위에 대한 제한은 고려하지 않았다. 만약 충간 변위를 고려 한다면 표 1 에서 보여진 9개의 하중 조합과 무관하게 각 부재들의 크기는 비슷 해지기 때문에 하중계수를 결정 할 의미가 없어진다. 이 연구에서는 우선 간단한 구조물을 고려하여 어떻게 하중계수가 결정될 것인가를 보여 줄 것이다.

### 5. 시간에 따라 변하는(time-varying) 하중들과 하중효과의 표현법(Modeling)

시간에 따라 변하는 하중들은 편의를 위해서 크게 거시적으로 움직이는(macro scale fluctuation)하는 하중들과 미시적으로 움직이는(micro scale fluctuation) 하중들로 나눌 수 있다. 구조체의 주기(natural period)보다 훨씬 긴 주기로 움직이는 적재 하중이나 적설하중들에 대해서는 구조물의 응답(response)도 정적이라 할 수 있다. 반면에 풍하중이나 지진하중과 같이 구조물의 주기에 근접하게 움직이는 하중에 대해서는 구조물의 동적응답(dynamic response)이 매우 중요하다. 이런 하중들은 고동 현상 (pulse process)나 간헐적인 연속 현상 (intermittent continuous process)으로 표현 될 수 있다.(Wen, 1990)

이 연구에서는 고정하중이 시간에 따른 변화가 무척 작기 때문에 정적인 (deterministic) 것으로 가정한다. 적재하중은 지속적인 적재하중(sustained live load)과 일시적인 적재하중

(transient live load)으로 나눌 수 있는데 포아송 정방파 (poission square wave)와 포아송 고동현상 (poission pulse process)로 나타낼 수 있다. 이 하중들에 대한 통계적 자료들은 참고자료 [11]에 자세히 나와있다.

지진 하중은 거시적인 운동이나 미시적인 운동이 모두 중요 하기 때문에 간헐적인 연속 현상으로 표현된다. 임의의 지역을 위협하는 잠정적인 지진하중들은 특질 있는 지진 (characteristic earthquakes)와 특질 없는 지진(non characterisitic earthquakes)으로 구분 할 수 있다. 특질 있는 지진은 단층지역에서 발생하는 것이고 특질 없는 지진은 시간과 공간상에서 임의로 발생하는 지진을 의미한다. 특질있는 지진은 대체로 규칙적인 주기로 돌아오고 그들의 크기도 좁은 범위내에 분포되어 있다. 이런 지진은 로그정상 분포의 재발생 주기 (lognormal recurrence time)를 가진 갱신현상 (renewal process)로 나타낼수 있고 특질없는 지진은 포아송 현상(poission process)으로 나타낼 수 있다.

## 6. 구조물의 신뢰성 해석

이 연구에서는 선택된 한계상태확률(limit state probability)로 신뢰성을 표현한다. 앞서서도 언급된 바와 같이 한계상태확률은 구조물이 주어진 한계상태 (limit state)를 넘을 확률을 의미한다. 많은 하중들이 구조물의 수명동안 구조물에게 작용될것이다. 이들은 독립적으로 혹은 같이 발생한다. 구조물의 신뢰성을 분석 할 때는 여러 개별적인 하중들이나 그들의 가능한 조합을 고려 하여야 한다. 여기서는 고정하중,적재하중,그리고 지진하중을 고려하기 때문에 그들의 개별적이거나 가능한 조합을 고려하여야 한다. 지진하중에서 특질있는 지진과 특질없는 지진의 주기의 특성이 다르므로 신뢰성을 해석 할 때 아래와 같이 나누어서 고려 하여야 한다.

$$P_l = 1 - (1 - P(E|Ch))(1 - P(E|Nch)) \quad (3)$$

여기서  $P_l$  은 구조물의 수명 동안의 한계상태확률이다.  $P(E|Ch)$ 는 특질있는 지진이 있을때의 한계상태확률이다.  $P(E|Nch)$ 는 특질 없는 지진이 있을때의 한계상태확률이다. 위의 식에서  $P(E|Ch)$ 와  $P(E|Nch)$ 는 각각 하중조합법 (Load Coincidence Method)과 전체확률원리(Total probability Theorem)를 이용해 구할 수 있다. 자세한 내용은 참고문헌 [11]에 자세히 나와 있다. 이 조건부 확률들을 구하기 위해서는 구조물이 위치한 지역에서 발생할 지진들을 만들어야한다. 이 연구에서는 부정착 임계과정 (nonstationary random process)을 이용하여 20개의 특질있는 지진과 50개의 특질없는 지진을 만들었다. 만들어진 몇개의 지진이 그림 1에 보인다. 적재하중은 그들의 통계자료[11]에 따라 만들어진다. 이런 하중들은 구조물의 최대 층간 변위를 구하는데 쓰일 입력이 된다. 이 연구에서 구조물의 최대 층간 변위는 DRAIN-2DX [6]에 의하여 구한다. DRAIN-2DX는 정적이거나 동적인 하중에 대한 이차원 평면 구조물의 비선형 해석을 할수 있는 유한요소 해석 프로그램이다. 구조물의 한계확률은 70개의 입력된 하중들에 대한 구조물의 최대 층간변위를 이용해 얻어진다.

## 7. 목적함수 (Objective function)

앞서도 언급하였지만 목적함수는 고려하는 한계상황들을 넘을 목표확률(target probability)과 구조물의 실제 확률의 차이를 나타내는 함수로서 여러개의 한계 상황과 여러개의 구조물을 포함 할 수 있다. 목적함수는 아래와 같이 나타난다.

$$\Omega(X) = \sum_{s=1}^3 \sum_{l=1}^2 \omega_{sl} \frac{(P_{sl}(X) - P^*)^2}{P^*} \quad (4)$$

여기서  $\Omega$ 는 설계변수  $X$  (이 연구에서는  $\gamma_L, \gamma_E$ )에 관한 목적함수이다.  $l$ 은 한계상태 (limit state)이고  $s$ 는 고려된 구조물의 수 이다.  $P_{sl}$ 은 한계상태  $l$ 과 구조물  $s$ 에 대한 한계확률이다.  $\omega_{sl}$ 은 각 구조물이나 각 한계상태에 따라 주어질 가중계수(weight factor)이다. 이 연구에서는 각 구조물에 대해서는 동일한 가중계수를 주었고, 한계상태에 대해서는 사용한계에는 1 그리고 극한최대 한계에는 10을 주었다. 이 연구에서는 두개의 한계상태와 세개의 구조물을 사용했으므로  $s$ 의 최

대값은 3 이 되고 1의 최대값은 2 가 된다. 이 한계상태에 대한 차이는 극한한계를 넘었을 때의 결과가 사용한계를 넘었을 때보다 더 심각한 것임을 반영하기 위한것 이었다. 하지만 그 가중치는 임의로 정해졌다. 여기에 대한 많은 연구가 요구되어 진다. 식 (4) 에서 제공의 항은 위반에 대한 항(Penalty term)이다. 이식을 이용해 표 1에 보이는 9개의 점에서 목적함수의 값을 찾을 수 있다.

### 8. 목적함수의 반응 표면 맞춤 (Response Surface Fit)

표 1에서 보이는 9개의 점 각각에서 한계상태확률들에 대한 목표확률과 구조물들의 실제 확률을 가지고 목표 함수 값을 결정한다. 이 값들을 이용해 다음과 같은 형태의 이차 함수를 표현 할수 있다.

$$\Omega = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i \gamma_i + \sum_{i \leq j}^k \beta_{ij} \gamma_i \gamma_j \quad (5)$$

여기서  $\beta_0, \beta_i, \beta_{ij}$  는 각항들의 계수이다. 여기서는 목적함수가  $\gamma_L$  과  $\gamma_E$  의 함수로 이루어져 있으므로 식 (5)를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Omega(\gamma_L, \gamma_E) = \beta_0 + \beta_1 \gamma_L + \beta_2 \gamma_E + \beta_{11} \gamma_L^2 + \beta_{22} \gamma_E^2 + \beta_{12} \gamma_L \gamma_E \quad (6)$$

### 9. 하중계수의 결정

여기서는 결정될 하중계수의 수가 2개 이므로 다음과 같이 얻어질 수 있다.

$$\frac{\partial \Omega}{\partial \gamma_L} = \beta_1 + 2\beta_{11} \gamma_L + \beta_{12} \gamma_E = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial^2 \Omega}{\partial \gamma_L^2} = 2\beta_{11} > 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial \Omega}{\partial \gamma_E} = \beta_2 + 2\beta_{22} \gamma_E + \beta_{12} \gamma_L = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial^2 \Omega}{\partial \gamma_E^2} = 2\beta_{22} > 0 \quad (10)$$

이 방정식들로 부터 다음과 같은 행렬을 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} 2\beta_{11} & \beta_{12} \\ \beta_{12} & 2\beta_{22} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \gamma_L \\ \gamma_E \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\beta_1 \\ -\beta_2 \end{pmatrix} \quad (11)$$

그러므로

$$\begin{pmatrix} \gamma_L \\ \gamma_E \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 2\beta_{11} & \beta_{12} \\ \beta_{12} & 2\beta_{22} \end{bmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} -\beta_1 \\ -\beta_2 \end{pmatrix} \quad (12)$$

여기서 얻어진 하중계수는 구조물이 이들 계수들을 가지고 설계되어 졌을때 고려된 한계상황들에 대한 목표확률까지 이르게 할 하중계수들이다.

### 10. 결과와 결론

구조물들의 수명동안 그들의 사용한계상태 확률과 극한한계상태 확률이 표 2에서 보여진다. 지속적인 적재하중(sustained live load)과 지진하중의 조합이 다른조합이나 개별적인 하중들보다 더 큰 영향을 한계확률에 미쳤다. 하중조합 7번(표 1 참조)이 가장 보수적인(conservative) 구조설계인 반면 하중조합 9 번이 가장 보수적이지 않은 구조 설계가 될 것이다. 이 연구에서는 사용

한계를 넘을 목표확률 (serviceability limit state probability)은 0.21, 0.23, 0.25, 0.26, 그리고 0.29로 선택되었고 극한한계를 넘을 목표확률(ultimate target limit state probability)는 0.039, 0.041, 0.044, 0.045, 그리고 0.051을 선택했다. AISC LRFD manual에 나타나 있는 적재하중과 지진하중에 대한 하중계수 0.5와 1.5에 대한 사용한계와 극한한계를 넘을 확률들은 각각 0.23과 0.044였다. 하중계수의 변화는 사용한계에 대한 확률의 변화보다 극한한계에 대한 확률의 변화에 더 민감했다. 이는 예상하였던 결과로서 식 (4)에서 보이는 가중계수를 사용한계에는 1을 극한한계에는 10을 적용한데 그 원인이 있다. 그림 3에서는 목적함수의 실제값과 반응표면마춤(response surface fit)으로 얻은 목적함수를 통해 예상되는 함수값을 비교한 것이다. 이 그림은 실제 목적함수가 완전한 곡선이 아닌 많은 지역성 최소값(local minimum)을 가질수 있는 함수임을 알 수 있다. 만약 비선형 진행법 (Nonlinear Programming Method)을 사용한다면 많은 계산량을 요구할 것이다. 이런점에서 반응표면법이 중요하다고 할 수 있다. 이 연구에서는 철골 모멘트 연성 골조 시스템만을 고려 하였고 지진이 강한 로스앤젤레스지역만을 고려 하였다. 이 연구는 차세대 내진 설계 규준을 위하여 보여준 간단한 예로서 여기서 사용한 방법을 증명하고 제시하기위한 목적이었다. 앞으로의 학문에서는 더 다양한 구조물과 여러 지역을 상대로 여러 내진 계수들을 결정해 하할 것이다.

## 참고문헌

1. American Institute of Steel Construction (AISC), Manual of Steel Construction, Load Resistant Factor Design(LRFD), 1986.
2. American Institute of Steel Construction (AISC), Manual of Allowable Stress Design(ASD), 9th edition, 1989.
3. American National Standard Institute (ANSI), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ANSI/ASCE 7-88, November 1990.
4. Allahabadi, R., and Powell, G. H., DRAIN-2DX, Computer Program, UCB/EERC-88/06, EERC, College of Engineering, University of California, Berkeley, California, 1988.
5. Box, G.E.P., Hunter, W. G. and Hunter, J. S., Statistics for Experimenters, An Introduction to Design, Data Analysis and Model Building, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1978.
6. Building Seismic Safety Council (BSSC), NEHRP recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings, Part I, II, FEMA, January 1992.
7. Ellingwood B., Galambos, T. V., MacGregor, J. G., and Cornell, C. A., Development of a Probability Based Load Criterion for American National Standard A58, National Bureau of Standards, NBS Special Publication, Washinton D.C., June 1980.
8. Han, S.W., Method of Reliability-Based Calibration of Seismic Structural Design Parameters, Thesis, University of Illinois, Urbana, Illinois, 1994.
9. Hwang, H. M., and Hsu, H. M., A Study of Reliability-Based Criteria for Seismic Design of Reinforced Concrete Frame Buildings, Technical Report, Center for Earthquake Research and Information, Memphis State University, Memphis, Tennessee, February, 1989.
10. Shinozuka, M., Furuta, H., Emi, S. and Kubo, M., "Reliability-Based LRFD for Bridges : Theoretical Basis," Proceedings of 5th International Conference on Structural Safety and Reliability (ICOSSAR), San Francisco, August 1989.
11. Wen, Y. K., Structural Load Modeling and Combination for Performance and Safety Evaluation, Elsevier Publishing, Amsterdam, The Netherlands, 1990.
12. Wen, Y.K., Foutch, D. A., Eliopoulous, D., and Yu, C.Y., "Evaluation of Seismic Reliability of Steel Building Designed According to Current Code Procedures," Proceedings of 10th World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, Spain, July 1992.

표 1 하중계수에 대한 복합중심계획

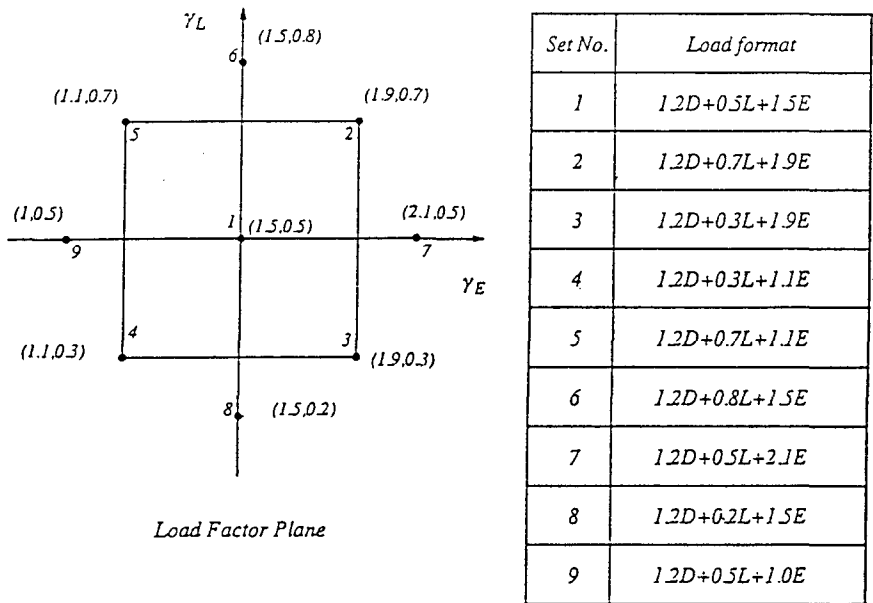


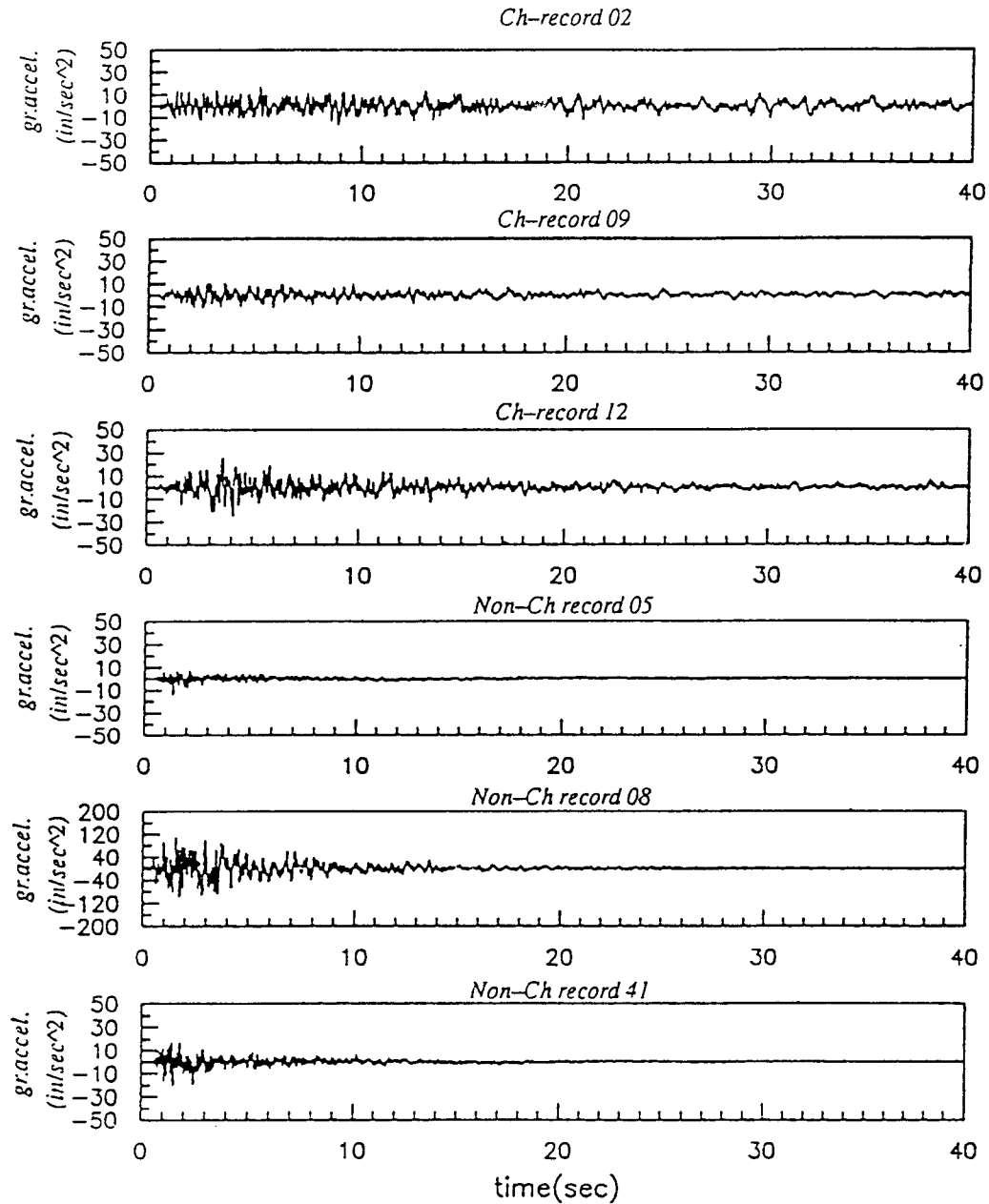
표 2 한계상태확률 (Limit State Probability)

Limit state	Load case from	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Serviceability (0.5%)	1	0.2551	0.1454	0.1454	0.3378	0.3378	0.2004	0.1433	0.2967	0.3378
	2	0.2661	0.1671	0.1671	0.2895	0.2895	0.2269	0.1622	0.3085	0.3177
	3	0.2562	0.1901	0.1901	0.3137	0.3137	0.2290	0.1802	0.2684	0.3137
Ultimate (1.5%)	1	0.0421	0.0261	0.0261	0.0614	0.0614	0.0356	0.0262	0.0473	0.0614
	2	0.0472	0.0265	0.0265	0.0521	0.0521	0.0396	0.0273	0.0509	0.0557
	3	0.0466	0.0312	0.0312	0.0533	0.0533	0.0382	0.0318	0.0497	0.0533

표 3 적정 하중계수 (Optimal Load Factor)

Serviceability : 0.5 % of story height(h) Ultimate : 1.5 % of h  
Weight :  $\omega_s = 1$   $\omega_U = 10$

Target for service	0.23	0.25	0.21	0.29	0.25	0.25	0.26
Target for Ultimate	0.044	0.045	0.045	0.045	0.041	0.051	0.039
$\gamma_D$	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
$\gamma_L$	0.53	0.49	0.55	0.45	0.54	0.44	0.56
$\gamma_E$	1.51	1.43	1.56	1.35	1.54	1.29	1.57



Ch : characteristic EQ. Non Ch : non characteristic EQ.

그림 1 L.A. 지역에 대해 만들어진 지진들



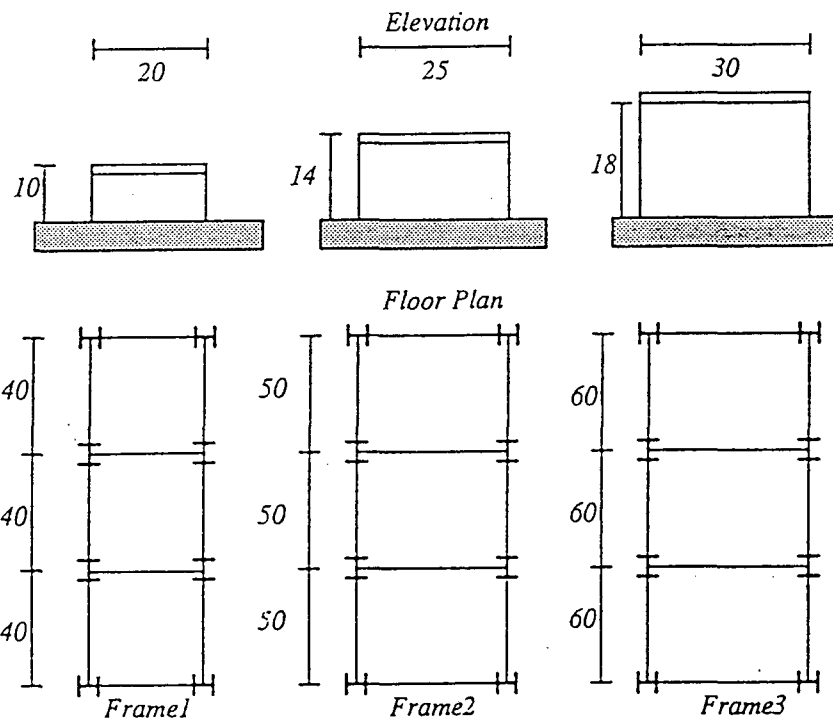


그림 2 철골 모멘트 연성 골조 (Specially Moment Resisting Steel Frames)

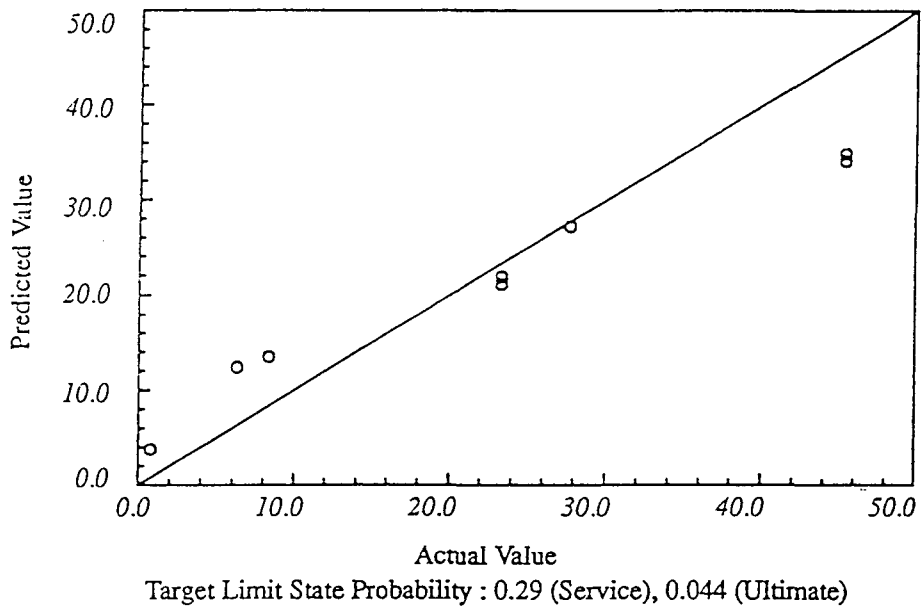


그림 3 실제 와 예상되어진 목적함수값들의 비교