한국전산구조공학회
1998년도 가을학술발표회 논문집

구조 설계방안에 대한 의사결정 방법

Decision Making Method for Structural Design Scheme

모 재 근* 박 춘 욱* 손 수 덕* 강 문 명**
Mu, Zai-Gen Park, Choon-Wook Sohn, Su-Deok Kang, Moon-Myung

ABSTRACT

In this paper, for the fuzzy constraints not only fuzziness of the constraints relation but also uncertainties of the response of the structures, allowable limits of the constraints and structural design variables, etc. are considered,. so that the fuzzy optimization of the structures can involve more wide scope of the problem and the fuzzy optimal problem is more generalized. In the decision making of the structural design scheme, every possible cases of the fuzzy variables, random variables and fuzzy-random variables, etc. for the uncertainties of the optimization problem are all considered, so the most general method of the decision making is presented. And a numerical example for the three bar truss is offered to demonstrate the reliability and execution possibility proposed method in this paper.

1. 서 론

기존의 연구에서는 구조물의 최적설계에 대해 제약함수식의 관계식에서만 퍼지성(fuzziness)을 고려하는 경우가 많았다. 그러나 실제 문제에서는 제약함수식의 관계식이외에 구조물의 반응응답(response), 제한값, 및 구조 설계변수 등에서도 불확실성(uncertainties)이 포함될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 의사결정 방법을 더욱 명확하고도 폭 넓게 설명하기 위하여 구조물의 이러한 불확실성에 대해 퍼지(fuzzy)요소, 랜덤(random)요소, 퍼지랜덤(fuzzy-random)요소 등 여러 가지를 포함하는 경우를 연구・검토하고자 한다.

1.1. 구조의 안전기준

구조설계에 있어서 구조물에 작용하는 하중의 크기, 분포 및 변화의 특징들이 주어졌을 경우, 구조물의 설계결과는 구조의 부재와 절점 등의 치수 설계로 나타나게 된다. 이때 구조의 설계변수는 반드시 충분한 강도와 강성을 가져야 하고, 이외에도 기타의 좋은 역학성능을 가짐으로서 외부하중에 유효하게 저항할 수 있어야 한다. 따라서, 이러한 설계요구를 구조의 안전기준이라 하고, 이 기준을 만족하는 설계방안(scheme) X를 가용설계방안이라고 한다.[5]

1.2. 가용설계방안

일반적으로 구조 설계변수의 설계방안 X은 n차원 유클리드(Euclidean) 벡터공간 IR^n에서 하나의 벡터로 다음과 같이 표시할 수 있다.

* 경북대학교 건축공학과 박사과정
** 경북대학교 건축공학과 교수

$X = (x_1, x_2, \cdots, x_n)$

여기서 $x_1, x_2, \cdots, x_n$는 설계변수이고, 구조 설계방안 X가 하중 작용하에서 여러 가지 반응응답을 흔히 $g_i(X)\ (i=1,2,\cdots,m)$로 표시하고, 제 i번째 구조응답의 제한값은 $\varphi_i\ (i=1,2,\cdots,m)$로 표시한다. 따라서, 구조의 안전기준은 식(1)과 같다.[2]

$$g_i(X) \le \varphi_i \quad (i=1,2,\cdots,m) \tag{1}$$

식(1)로부터 구조 설계변수의 가용설계방안은 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$\Omega = \{ X \mid X \in IR^n,\ g_i(X) \le \varphi_i\ , \quad i=1,2,\cdots,m \} \tag{2}$$

여기서 Ω는 설계방안 X의 가용역이고, $g_i(X)$의 계산은 하나의 구조해석 과정이며, 제한값 φ_i는 주로 구조의 설계수준에 의해 결정된다.

2. 가용성 해석

1 장에서는 구조 설계변수의 가용설계방안에 대하여 논하였는데 본 장에서는 가용설계방안에 대해 구체적으로 몇 가지 상황으로 나누어 가용성(feasibility) 해석방법을 논하고자 한다.

2.1. 랜덤 변수를 포함하는 경우

식(1)에서 단지 랜덤변수만을 포함한 경우, 구조의 안전기준은 식(3)으로 나타낼 수 있다.

$$G_i(X) \le \Phi_i \quad (i=1,2,\cdots,m) \tag{3}$$

여기서, $G_i(X)$와 Φ_i는 모두 랜덤 변수이다. 따라서 IR^n 공간에서 무작위적으로 얻는 가용설계방안의 부분집합은 다음과 같다.

$$\Omega_\alpha = \{ (X, \alpha(X)) \mid X \in IR^n,\ G_i(X) \le \Phi_i\ , \quad i=1,2,\cdots,m \} \tag{4}$$

식(4)는 설계방안 X가 랜덤지수 $\alpha(X)$로 부분집합 Ω_α에 소속됨을 의미한다. 따라서 설계방안 X의 가용성 지수 $\alpha(X)$는 제약조건식 $G_i(X) \le \Phi_i$를 만족하는 확률로 표시할 수 있다.[4]

$$\alpha_i(X) = P(G_i(X) \le \Phi_i) \quad (i=1,2,\cdots,m) \tag{5}$$

만약 $G_i(X)$의 확률밀도는 $f_{G_i(X)}(g)$로, Φ_i의 확률밀도는 $f_{\Phi_i}(\varphi)$로 가정하면, 식(5)는 다음과 같이 된다.

$$\alpha_i(X) = P(G_i(X) \le \Phi_i) = \int_{-\infty}^{\infty} f_{\Phi_i}(\varphi)\, d\varphi \int_{-\infty}^{\varphi} f_{G_i(X)}(g)\, dg \quad (i=1,2,\cdots,m) \tag{6}$$

식(6)에서 구한 m개 $\alpha_i(X)$ 중에서 제일 작은 $\alpha_i(X)$가 설계방안 X에 가장 민감함으로 가용설계방안 X의 가용성 지수는 다음과 같이 선택한다.[7]

$$\alpha(X) = \bigwedge_{i=1}^{m} \alpha_i(X) \tag{7}$$

여기서 $\bigwedge$는 최소값을 선택하는 연산이다.

2.2. 퍼지 변수를 포함하는 경우

식(1)에서 퍼지 변수를 포함할 경우, 구조의 안전기준은 식(8)으로 표시할 수 있다.

$$\tilde{g}_j(X) \lesssim \tilde{\varphi}_j \quad (j=1,2,\cdots,m) \tag{8}$$

식(8)으로부터 IR^n 공간에서 하나의 퍼지 부분집합을 얻을 수 있다.

$$\Omega_\beta = \{ (X, \beta(X)) \mid X \in IR^n,\ \tilde{g}_j(X) \lesssim \tilde{\varphi}_j\ , \quad j=1,2,\cdots,m \} \tag{9}$$

여기서 $\beta(X)$ 는 설계방안 X가 Ω_β에 대한 소속도이다. 의사결정의 기준으로 볼 때, $\beta(X)$ 를 설계방안 X의 가용성 지수로 간주할 수 있다.

가장 일반적인 $\widetilde{g_j}(X) \lesssim \widetilde{\varphi}_j$ 제약식의 경우, 설계방안 X의 가용성 지수는 식(10)로부터 얻을 수 있다.

$$\beta_j(X) = \mu(\widetilde{g_j}(X) \lesssim \widetilde{\varphi}_j) = \int_{-\infty}^{\infty} w(g_j') \cdot \mu(g_j' \lesssim \widetilde{\varphi}_j) \tag{10}$$

$$= \frac{\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} \mu_{\widetilde{g_j}(X)}(g_j') \cdot \mu_{\widetilde{\varphi}_j}(\varphi_j') \cdot \mu(g_j' \lesssim \varphi_j') dg_j' \, d\varphi_j'}{\int_{-\infty}^{\infty} \mu_{\widetilde{g_j}(X)}(g_j)\, dg_j \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \mu_{\widetilde{\varphi}_j}(\varphi_j) d\varphi_j} \qquad (j = 1, 2, \cdots, m)$$

구조물의 최적화 과정에서 구조의 가용설계방안 X의 최종 가용성 지수는 아래와 같이 선택한다.

$$\beta(X) = \bigwedge_{j=1}^{m} \beta_j(X) \tag{11}$$

2.3. 퍼지랜덤(fuzzy-random) 변수를 포함하는 경우

식(1)에서 퍼지랜덤 변수를 포함할 경우, 구조의 안전기준은 식(12)로 표시할 수 있다.

$$G_l(X) \lesssim \Phi_l \quad (l = 1, 2, \cdots, m) \tag{12}$$

식(12)로부터 IR^n 공간에서 하나의 퍼지랜덤성의 부분집합을 얻을 수 있다.

$$\Omega_{\alpha\beta} = \{ (X, \alpha\beta(X)) \mid X \in IR^n,\ G_l(X) \lesssim \Phi_l, \quad l = 1, 2, \cdots, m \} \tag{13}$$

여기서 $\alpha\beta(X)$ 는 $\Omega_{\alpha\beta}$의 특성(characteristic)함수이고, 이는 설계방안 X가 $\Omega_{\alpha\beta}$에 대한 소속정도를 나타내는데 $\alpha\beta(X)$ 를 설계방안 X의 가용성 지수로 할 수 있다.

$G_l(X)$ 에 대하여 확률밀도는 $f_{G_l(X)}(g_l)$로, Φ_l의 확률밀도는 $f_{\Phi_l}(\varphi_l)$로 가정하고 $g_l \lesssim \varphi_l$의 소속함수는 $\mu(g_l \lesssim \varphi_l)$로 가정한다. 그리고 $G_l(X) \lesssim \Phi_l$ 제약식의 경우, 식(10)의 개념을 확장하여 설계방안 X에 대한 가용성 지수를 다음식(14)와 같이 얻을 수 있다.

$$\alpha\beta_l(X) = \mu P(G_l(X) \lesssim \Phi_l) = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} f_{G_l(X)}(g_l) \cdot f_{\Phi_l}(\varphi_l) \cdot \mu(g_l \lesssim \varphi_l)\, dg_l\, d\varphi_l \quad (l = 1, 2, \cdots, m) \tag{14}$$

구조물의 최적화 과정에서 구조의 설계방안 X에 대한 최종적인 가용성 지수는 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\alpha\beta(X) = \bigwedge_{l=1}^{m} \alpha\beta_l(X) \tag{15}$$

2.4. 크리스프(crisp) 변수만 포함하는 경우

크리스프 변수만을 포함할 경우, 즉 확정적인 경우에는 구조의 안전기준은 식(1)과 같다.

$$g_k(X) \le \varphi_k \quad (k = 1, 2, \cdots, m) \tag{1}$$

식(1)에서 설계방안 X가 제약식을 만족하는지 않하는지는 매우 선명하다. 그러나 가용설계방안중에서도 설계방안의 가용성 정도는 서로 다르다. 따라서, 제약식 $g_k(X) \le \varphi_k$의 가용성 지수는 다음과 같이 정의할 수 있다.[5]

$$\gamma_k(X) = \begin{cases} 1 + \dfrac{\varphi_k - g_k(X)}{\varphi_k}, & g_k(X) \le \varphi_k, \quad \varphi_k \ne 0 \\ 1 + \dfrac{\varepsilon_k - g_k(X)}{\varepsilon_k}, & g_k(X) \le 0, \quad \varphi_k = 0 \\ 0, & g_k(X) \ge \varphi_k \end{cases} \qquad (k = 1, 2, \cdots, m) \tag{16}$$

여기서 ε_k는 충분히 작은 실수이다. 또한 최소값을 선택하는 방법으로 설계방안 X의 가용성 지수를 다음 식(17)과 같이 구한다.

$$\gamma(X) = \bigwedge_{k=1}^{m} \gamma_k(X) \tag{17}$$

2.5. 일반적인 조합의 경우

일반적인 조합의 경우 구조의 안전기준은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\left.\begin{array}{l} G_i(X) \le \Phi_i \ , \ (i = 1,2,\cdots,m) \\ \widetilde{g}_j(X) \lesssim \widetilde{\varphi}_j \ , \ (j = 1,2,\cdots,m) \\ g_k(X) \le \varphi_k \ , \ (k = 1,2,\cdots,m) \end{array}\right\} \tag{18}$$

식(18)에서 논한 결과로부터 설계방안 X의 3개 가용성 지수를 다음식(19)와 같이 구할 수 있다.

$$\alpha(X) = \bigwedge_{i=1}^{m} \alpha_i(X) \quad , \quad \beta(X) = \bigwedge_{j=1}^{m} \beta_j(X) \quad , \quad \gamma(X) = \bigwedge_{k=1}^{m} \gamma_k(X) \tag{19}$$

식(19)에서 이 3가지 경우의 가용성 지수의 정의가 다소 다르므로 그들의 크기를 직접 비교하는 것은 불합리하다. 따라서 설계방안 X의 가용성 지수는 아래와 같이 구성한다.[4]

$$\lambda(X) = \tau_\alpha \alpha(X) \wedge \tau_\beta \beta(X) \wedge \gamma(X) \tag{20}$$

여기서, $\lambda(X)$는 설계방안 X의 종합 가용성 지수이고, τ_α, τ_β는 조합계수로서 구체적인 설계문제에 근거하여 의사결정자에 의해 결정된다.

제약식에 대하여 위에서 언급한 몇 가지 종류이외에도 여러 가지가 있는데 이러한 관계식들을 tree구조로 표시하면 그림 1과 같다.

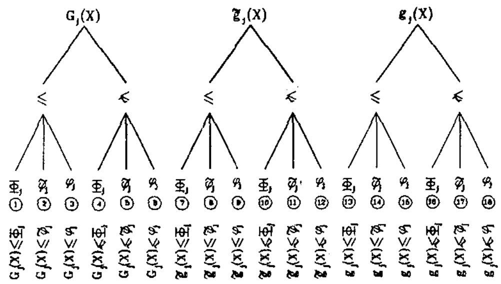

그림 1. 제약식 관계식들의 tree구조

3. 구조 설계방안의 의사결정

2 장에서 토론한 구조 설계방안의 가용성 해석으로부터 얻는 가용성 지수는 실질상에서 구조 설계방안의 안전에 대한 신빙성을 나타낸다. 또한 사용자는 건물의 경제성과 사용효과에 역점을 두어 설계방안의 우열을 다루게 되고, 구조물의 초기비용과 가용성 지수는 구조 설계방안의 종합효과를 결정하는 두 가지 중요한 요소가 된다. 따라서 구조 설계방안 X에 대한 종합 효용함수(utility function)는 다음과 같이 표시할 수있다.[1],[3]

$$u(X) = I(X) + Ce^{-\lambda(X)} \tag{21}$$

여기서, $u(X)$는 설계방안 X의 종합 효용함수이고, $I(X)$는 설계방안 X의 초기비용이고, $\lambda(X)$는 설계방안 X의 가용성 지수이다. 그리고 상수 C는 구체적인 설계문제에 의하여 결정하는 계수로서 상수 C의 선택을 통하여 구조물의 초기비용과 가용성 지수간의 모종의 균형을 이룰 수 있다. 따라서 구조 설계방안 X의 의사결정 모델은 다음과 같이 나타낼 수 있다.[8]

$$\left.\begin{array}{ll} \min & u(X) = I(X) + Ce^{-\lambda(X)} \\ s.t. & X \in \Omega \end{array}\right\} \quad (22)$$

여기서 Ω는 설계방안 X의 가용역이다. 그리고 일반적인 조합의 경우 제약식은 식(18)과 같고 설계방안 X의 가용성 지수는 식(19)와 같다. 그러므로 식(22)의 구조 설계방안 X의 의사결정 모델은 다음과 같이 된다.

$$\left.\begin{array}{ll} \min & u(X) = I(X) + Ce^{-\lambda(X)} \\ & \\ s.t. & \alpha(X) \geq \alpha^0 \\ & \beta(X) \geq \beta^0 \\ & \gamma(X) \geq 1 \\ & \lambda(X) = \tau_1 \alpha(X) \wedge \tau_2 \beta(X) \wedge \gamma(X) \end{array}\right\} \quad (23)$$

식(23)에서 제한값 α^0, β^0의 선택은 단지 설계방안의 가용여부의 의미에서 보면 0 에 무한히 가까운 값을 선택할 수 있고, 그리고 γ는 식(6)으로부터 1 를 택할 수 있다. 즉,

$$\alpha(X) > 0 \quad , \quad \beta(X) > 0 \quad , \quad \gamma(X) \geq 1 \quad (24)$$

위의 3개 제약식을 만족하면 설계방안 X는 곧 사용가능한 설계방안이 된다. 그러나 이 방안은 최소 제한값을 만족하는 방안이므로 사람들이 받아들이는데 어려움이 있다. 따라서 사람들의 심리상에서 안전에 대한 요구와 전통적인 습관에 근거하여 제약조건식의 제한값에 대해 흔히 아래와 같이 선택한다.[5]

α^0은 95% 혹은 97% 보다 크거나 같아야 하고, β^0은 좀 작은 값을 택할 수 있는데 0.5가 비교적 접합하다. 따라서 식(24)는 식(25)와 같이 된다.

$$\alpha(X) > 0.95 \text{ 혹은 } 0.97 \quad , \quad \beta(X) > 0.50 \quad , \quad \gamma(X) \geq 1 \quad (25)$$

또한, 계수 C의 결정에 있어서 의사결정자는 계수 C의 선택을 통하여 의사결정자의 의사를 설계방안에 반영할 수 있다. $C=0$인 경우, $u(X)$의 최소값은 반드시 가용역의 경계에서 가지게 되고, 이 때 최적값의 가용성 지수는 제약조건식의 제한값 α^0나 β^0혹은 1이 된다. C의 값이 충분히 클 경우에는 $u(X)$의 최소값은 반드시 가용역 Ω의 내부에서 가지게 된다. 따라서 적당한 C값을 선택함으로서 $u(X)$의 최소점 X^*가 가용역 Ω의 경계와 내부중심사이에 위치하도록 할 수 있다. 그리고 비용은 비교적 저렴하면서도 가용성은 비교적 좋은 설계방안의 최적해 X^*를 얻을 수 있다.

일단 제약조건식의 제한값 α^0, β^0와 계수 C가 주어지면 식(23)의 의사결정 모델은 완전히 결정되어 진다. 그러면 일반적인 비선형 최적화 프로그램을 이용하여 구조 설계방안 X의 최적해 X^*를 구할 수 있다.

다음은 최적설계에서 많이 사용되는 그림 2의 3부재 트러스를 예제로, 구조 설계방안에 대한 의사결정 방법을 설명하고자 한다.[6]

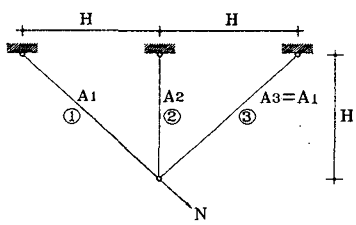

그림 2. 3부재 트러스

본 예제에서 설계조건은.

$N = 20$, $H = 1$, $\rho = 1$, $f_t = 20$, $f_c = -15$, $A^l_{1,2} = 0.1$

$x_1 = A_1$, $x_2 = A_2$로 가정하면 3부재 트러스의 중량은 아래와 같다.

$$I(X) = 2\sqrt{2}\,x_1 H\rho + x_2 H\rho = 2\sqrt{2}\,x_1 + x_2$$

3부재의 응력은 다음과 같다

$$\sigma_1(X) = \frac{\sqrt{2}\,x_1 + x_2}{\sqrt{2}\,x_1^2 + 2x_1x_2}\cdot N\ ,\quad \sigma_2(X) = \frac{\sqrt{2}\,x_1}{\sqrt{2}\,x_1^2 + 2x_1x_2}\cdot N\ ,\quad \sigma_3(X) = \frac{-x_2}{\sqrt{2}\,x_1^2 + 2x_1x_2}\cdot N$$

(1) 랜덤 변수인 경우

제약식은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\sigma_1(X) \le f_t,\qquad \sigma_2(X) \le f_t,\qquad \sigma_3(X) \ge f_c$$

f_t는 허용구간 [20 , 24]에서, f_c는 허용구간 [-18 , -15]에서 선형분포의 랜덤 변수로 가정하면, 이때 개개 제약식의 가용성 지수는 식(6)으로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\alpha_1(X) = \begin{cases} 6 - \dfrac{5(\sqrt{2}\,x_1 + x_2)}{\sqrt{2}\,x_1^2 + 2x_1x_2}, & 20 < \sigma_1(X) \le 24 \\ 1, & \sigma_1(X) \le 20 \\ 0, & 24 < \sigma_1(X) \end{cases}\qquad \alpha_2(X) = \begin{cases} 6 - \dfrac{5\sqrt{2}\,x_1}{\sqrt{2}\,x_1^2 + 2x_1x_2}, & 20 < \sigma_2(X) \le 24 \\ 1, & \sigma_2(X) \le 20 \\ 0, & 24 < \sigma_2(X) \end{cases}$$

$$\alpha_3(X) = \begin{cases} 6 - \dfrac{20/3\,x_2}{\sqrt{2}\,x_1^2 + 2x_1x_2}, & -15 > \sigma_3(X) \ge -18 \\ 1, & \sigma_3(X) \ge -15 \\ 0, & -18 > \sigma_3(X) \end{cases}$$

또한, 설계방안 X의 가용성 지수는 식(7)으로부터 다음과 같이 선택한다.

$$\alpha(X) = \alpha_1(X) \wedge \alpha_2(X) \wedge \alpha_3(X)$$

따라서 구조 설계변수 X의 의사결정 모델은 식(23)으로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \min\quad & u(X) = I(X) + Ce^{-\alpha(X)} \\ & \quad\;\;\; = 2\sqrt{2}\,x_1 + x_2 + Ce^{-\alpha(X)} \\ s.t.\quad & \alpha(X) \ge \alpha^0 = 0.95 \\ & x_1 \ge 0.1 \\ & x_2 \ge 0.1 \end{aligned}$$

위의 최적화 문제에서 $C \le 1.329$ 인 경우 :

최적해는 $X^* = \{0.7809 , 0.4042\}$, $\alpha(X^*) = \alpha(0.7809 , 0.4042) = \alpha^0 = 0.95$.

여기서 가용성 지수는 0.95 이므로 $u(X)$의 최소값은 가용역의 경계에서 나타나게 되고, 가용성 지수는 제약조건식의 한계값이 된다는 것을 의미한다.

$C > 1.329$ 인 경우, 예를 들어 $C = 2.0$인 경우 :

최적해는 $X^* = \{0.7887 , 0.4082\}$, $\alpha(X^*) = \alpha\{0.7887 , 0.4082\} = 1.000$

여기서 가용성 지수는 1.000 이므로 $u(X)$ 의 최소치는 가용역 내부에서 나타나게 된다는 것을 의미한다.

(2) 퍼지 변수인 경우

하중 P는 그림 3과 같은 소속함수를 가진 퍼지 변수이고, 기타변수는 (1)의 경우와 같다고 가정하면, 이 경우, 하중 P가 퍼지 변수이므로 퍼지 집합이론의 확장원리에 근거하여 구조의 반응응답도 퍼지 변수가 된다. 따라서 반응응답의 소속함수는 그림 4와 같다.

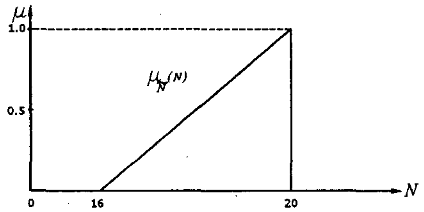

그림 3. 하중 N의 소속함수

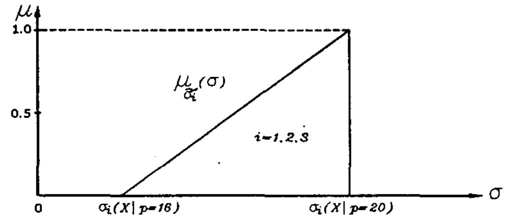

그림 4. 구조의 반응응답의 소속함수

식(10)으로부터 개개의 제약식의 가용성 지수는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\beta_1(X)=\begin{cases} 1, & \sigma_1^1(X) \le 20 \\ \dfrac{(20-\sigma_1^0(X))^2}{(\sigma_1^1(X)-\sigma_1^0(X))^2}, & \sigma_1^0(X) \le 20 \le \sigma_1^1(X) \\ 0, & 20 \le \sigma_1^0(X) \end{cases} \qquad \beta_2(X)=\begin{cases} 1, & \sigma_2^1(X) \le 20 \\ \dfrac{(20-\sigma_2^0(X))^2}{(\sigma_2^1(X)-\sigma_2^0(X))^2}, & \sigma_2^0(X) \le 20 \le \sigma_2^1(X) \\ 0, & 20 \le \sigma_2^0(X) \end{cases}$$

$$\beta_3(X)=\begin{cases} 1, & -15 \le \sigma_3^1(X) \\ \dfrac{(15+\sigma_3^0(X))^2}{(\sigma_3^1(X)-\sigma_3^0(X))^2}, & \sigma_3^1(X) \le -15 \le \sigma_3^0(X) \\ 0, & \sigma_3^0(X) \le -15 \end{cases}$$

여기서,

$$\begin{array}{lll} \sigma_1^0(X)=\sigma_1(X \mid P=16) & , & \sigma_1^1(X)=\sigma_1(X \mid P=20) \\ \sigma_2^0(X)=\sigma_2(X \mid P=16) & , & \sigma_2^1(X)=\sigma_2(X \mid P=20) \\ \sigma_3^0(X)=\sigma_3(X \mid P=16) & , & \sigma_3^1(X)=\sigma_3(X \mid P=20) \end{array}$$

또한, 설계방안 X의 가용성 지수는 식(11)으로부터 다음과 같이 선택한다.

$$\beta(X)=\beta_1(X) \wedge \beta_2(X) \wedge \beta_3(X)$$

따라서 의사결정 모델은 식(23)으로부터 아래와 같이 표시할 수 있다.

$$\begin{array}{lll} \min & u(X) & = I(X) + Ce^{-\beta(X)} \\ & & = 2\sqrt{2}\,x_1 + x_2 + Ce^{-\beta(X)} \\ s.t. & & \beta(X) \ge \beta^0 = 0.5 \\ & & x_1 \ge 0.1 \\ & & x_2 \ge 0.1 \end{array}$$

위의 최적화 문제에서 $C \le 0.391$ 인 경우 :

최적해는 $X^* = \{0.7425, 0.3844\}$, $\beta(X^*) = \beta(0.7425, 0.3844) = \beta^0 = 0.5$

여기서 가용성 지수는 0.5 이므로 $u(X)$의 최소값은 가용역의 경계에서 나타나게 되고, 가용성 지수는 제약조건식의 한계값이 된다는 것을 의미한다.

$C > 0.391$ 인 경우, 예를 들어 $C = 0.7$ 인 경우 :

최적해는 $X^{*} = \{0.7847, 0.4062\}$, $\beta(X^{*}) = \beta(0.7847, 0.4062) = 0.950$

여기서 가용성 지수는 0.95 이므로 $u(X)$ 의 최소치는 가용역 내부에서 나타나게 된다는 것을 의미한다.

4. 결 론

본 논문에서 구조 설계방안에 대한 의사결정 방법의 연구를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) 본 논문에서는 제약조건 관계식의 퍼지성 뿐만 아니라 구조물의 반응응답, 제약식의 제한값 및 구조설계변수 등의 불확실성도 고려함으로서 구조물의 최적설계 문제에 있어서 더욱 넓은 범위의 문제를 포함시킬 수 있고, 문제를 더욱 일반화 시켰다. 그리고 구조 설계변수의 의사결정에 있어서 최적화 문제의 불확실성에 대해 퍼지 요소, 랜덤 요소, 퍼지랜덤 요소등 모든 가능한 경우를 다 고려함으로서 최적화 문제의 가장 일반적인 의사결정 방법을 제시하였다.

(2) 본 논문에서는 구조 설계변수의 설계방안에 대해 가용성 지수를 이용하여 설계방안의 우열을 나타내고 구조의 안전도 수준을 나타내었다. 가용성 지수 α, β, γ등의 구성에 있어서도 여러 가지 형식들이 있을 수 있는데 서로 다른 형식은 서로 다른 의사결정을 나타내게 된다. 그리고 종합 효용함수 $u(X)$ 로 구조설계방안 X의 초기비용 $I(X)$ 와 가용성 지수 $\lambda(X)$ 의 영향을 종합적으로 반영함으로서 설계방안의 최적해 X^{*}는 더욱 합리적이고 실용적인 것으로 사료되며, 또한 본 논문의 끝 부분에서 간단한 3부재 트러스 예제를 통하여 본 논문에서 제안한 해법의 실행가능성이 검정되었다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. S.C. Liu and E. Neghabat, "A cost optimization model for seismic design of structures", Bell System Technical J., Vol.51, No.10, 1972
2. H. Bandermer and S. Gottwald, "Fuzzy sets, fuzzy logic, fuzzy methods with applications", John Wiley & Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore, 1995
3. G.Y. Wang and W.Q. Wang, "Fuzzy optimum design of aseismic structures", Earthquake Engng Struct. Dyn. 13, 1985, pp.27-837
4. 王光遠, 武愛虎, "構造設計 意思決定의 퍼지 實用函數", 情報科學과 知識工學 論文集, 1986
5. 武愛虎, 王光遠, "Fuzzy decision making for optimal design intensity of aseismic structures", 地震工學과 工學振動, Vol.8, No.1, 1988.3, pp.1-11
6. 張利采, "퍼지 科學의 世界", 教育史, 1997
7. 牟在根, 姜文明, "퍼지 意思決定에 의한 構造物의 最適化", 大韓 建築學會論文集, 1997. 12, pp.299-308
8. 牟在根, 孫秀德, 金明善, 姜文明, "單層 래티스 돔의 퍼지 最適設計에 관한 硏究", 大韓 建築學會論文集, 1998. 6, pp.21-30