論文 12-1-15

다목적 비선형계획문제의 해결을 위한 2단계 접근법

Two-Phase Approach to Solve Multiobjective Nonlinear Programming Problem

이 상 완*·남 현 우**
Sang-Wan Lee · Hyun-Woo Nam

(1996년 8월 7일 접수, 1997년 3월 28일 채택)

ABSTRACT

A new approach, called "two-phase approach", has been proposed in this study. Using this approach to solve MONLP(multiobjective nonlinear programming problem), the solution process is divied into two phase. In the first phase, the min-operator is used to aggregate the membership degree of fuzzy goals and constraints. In the second phase, the γ-operator is used to test and find an efficient solution in the sense of nondominated. It has been shown that no matter what the solution of the problem is unique or not, an efficient solution can be always obtained at the second phase. The proposed approach can be applied to industrial safety problem with multiobjective problems. On the basis of proposed approach, an illustrative numerical example is presented.

1. 서 론

산업안전과 생산문제, 회사내의 환경과 조경 그리고 관리와 운영, 정부운영 등의 많은 의사결정 문제들은 목표와 제약에 모호성을 내포하고 있고 다수의 상충(trade-off)된 목적들을 가지는 다목적 의사결정문제가 대부분이다. 특히 산업안전에 있어서 안전비용과 생산비용은 최소로 할려는 반면 생산성은 최대로 하려고 하므로 서로 상충관계에 있다. 이를 해결하기 위하여 다목적 의사결정문제에 퍼지집합론을 이용한 의사결정방법들이 연구되고 있다[1,2].

다목적 의사결정문제에서는 다수의 상충된 목적들을 동시에 최적화는 모든 목적들을 바라는 수준에서 동시에 얻기가 불가능하여 최적해는 존재하지 않으므로 주어진 환경에서 의사결정자의 선호

* 동아대학교 산업공학과
** 경동전문대학 산업안전관리과

도를 만족하여 주는 비지배(nondominate) 해 즉, 하나의 목적이 증가되면 나머지 목적들은 감소 되어야하는 파레토(pareto) 최적해 집합 중에서 몇가지 기준으로 의사결정자의 최상의 만족해를 찾는 방법들이 제시되고 있다[3,4]. 그러나 의사결정자의 선호도를 잘 반영하는 선호함수를 직접 정하는 것은 곤란하므로 의사결정자의 선호함수를 전체적(global)으로 동일하게 하지 않고 의사결정자와의 대화에 따라 국부적인(local) 선호정보에 근거해서 합리적인 절충해를 도출하는 대화형 접근법들이 제시되었다[5,6]. 이 연구들은 목적들의 전체만족척도를 절충하는 통합연산자를 Zimmermann[7]이 제시한 최대-최소(max-min) 통합연산자를 사용하였다. 그러나 최소통합연산자는 교집합되는 퍼지집합들내에서 구성정도의 증가가 총괄된(aggregated) 퍼지집합내의 구성에 영향을 주지 않는다는 점에서 절충적이 못되기 때문에 변형된 문제의 해가 유일하지 않을 경우 원문제에 대한 유효해(efficient solution)를 보장할 수 없고 최대통합연산자는 낙관적인(optimistic) 통합연산자로서 각 대상에 최상의 평가가 부여된다. 그리고 최소통합연산자와 최대통합연산자는 그 목적들이 서로 절충될 수 없다는 것을 가정한다[8]. 그러므로 적절한 통합연산자의 개발을 위한 연구가 많이 되고 있다. 이 가정이 더 이상 사실이 아닐 때 다른 통합연산자가 고려되어야 한다. 비록 많은 수의 통합연산자들이 문헌에서 제시되었지만 그것들은 실행의 관점에서 다소간의 계산적인 문제를 포함하고 있다. 이러한 결점들을 극복하기 위하여 Li[9]는 의사결정과정에서 상충(trade-off)개념은 최상과 최악의 평가사이에 놓여있는 한 활동(action)의 전체평가를 고찰하는 것과 상응하기 때문에 평가들 사이의 보상을 허용함으로써 목적들사이의 상충을 실현시키는 통합연산자로서 평균(average)통합연산자를 제시하였다. 그러나 평균통합연산자는 다목적에서 높은 수행도를 가지는 목적에만 관심을 가지고 낮은 수행도를 가지는 목적은 무시된다는 단점을 가진다. 그러므로 Li는 원제약과 모든 퍼지목표에 대하여 최대-최소형식에서 산출된 의사결정함수값 이상에서 각 구성값이 유지되어야 한다는 제약을 주어 만족해를 산출하는 2단계(two-phase) 접근법을 제시하였다. 이 방법에서 얻어진 해는 최대-최소 접근법에서 얻어진 해를 지배(dominate)하므로 모든 목적들의 균형을 이룰 수가 있다. 그러나 Li의 접근법에서 사용된 평균연산자는 다소 제한적이기 때문에 절충을 허용함으로써 목적들 사이의 상충을 실현시키면서 의사결정자의 만족해를 찾는 적절한 통합연산자가 고려되어야 한다. 그러므로 퍼지목표와 제약을 가지는 다목적 의사결정문제를 효율적으로 해결하기 위하여 간단한 대화를 통하여 의사결정자의 국부적인 선호정보를 유지하고 적절한 통합연산자를 사용하여 의사결정자의 만족해를 찾는 접근법이 요구된다.

이에 본 연구에서는 각 목적에 대한 성취수준을 의사결정자와의 대화를 통하여 목표를 취할 수 있도록 하고 퍼지목표들의 비절충적 통합연산자 '최소'와 보상적인 통합연산자 '최대'를 조합하여 비선형 의사결정문제를 효율적으로 표현하는 γ-연산자를 절충적인 통합연산자로 사용하여 해결함으로써 의사결정자의 만족해를 산출하는 새로운 2단계 접근법을 제시한다. 그리고 제시된 접근법을 이용한 수치예가 보여진다.

2. 2단계 접근법의 이론적 고찰 및 수치예

다목적 비선형계획문제는 다음과 같이 정식화된다.

$$\max \mid \min z(x) \mid w(x) \cdots\cdots (1)$$

subject to

$$x \in X = \{ x \in R^n \mid g_i(x) ◎ 0,\ x_j \geq 0,\ i=1, \cdots, m,\ j=1, \cdots, n \}$$

여기서 $z(x) = [z_1(x),\ z_2(x),\ \cdots,\ z_l(x)]$

$w(x) = [w_1(X),\ w_2(X),\ \cdots,\ w_r(x)]$

x : n차원의 의사결정변수

$g_i(x)$: m개의 제약함수

X : 실행가능영역(feasible region)

◎ : 연산자 $\geq$, $=$, $\leq$

다목적 의사결정문제는 제한된 자원 때문에 상충된다. 그러므로 모든 목적들을 바라는 수준에서 동시에 얻기가 불가능 하므로 유일 최적해를 찾는 대신에 실행가능 영역내에서 비지배(nondo-minated) 해 즉, 하나의 목적함수는 개선되고 하나 이상의 다른 목적함수는 감소되어야만 얻을 수 있는 파레토 최적해 집합을 확인해야 한다. 파레토 최적

해 집합을 평가하기 위한 절차는 이들 점들이 이상해(ideal solution) O^*에 얼마나 근접되어 있는가 또는 비관해(anti-ideal solution) O^-에 얼마나 떨어져 있는가를 측정하는 것이다. 이상해와 비관해는 각각 다음과 같이 정의된다.

$O^* = (z_1^*, \cdots, z_l^*; w_1^*, \cdots, w_r^*)$ ………… (2)

여기서 $z_k^* = \max_{x \in X} z_k(x),\ k=1, \cdots, l$

$w_s^* = \min_{x \in X} ws(x),\ s=1, \cdots, r$

그리고 $O^- = (z_1^-, \cdots, z_l^-; w_1^-, \cdots, w_r^-)$ … (3)

여기서 $z_k^- = \min_{x \in X} z_k(x),\ k=1, \cdots, l$

$w_s^- = \max_{x \in X} ws(x),\ s=1, \cdots, r$

산출된 파레토 최적해 집합을 기초로하여 의사결정자는 보다 용이하게 절충해를 산출할 수 있다. 의사결정문제에서는 의사결정자 판단의 모호성을 고려해 볼 때 퍼지목표와 제약이 존재하므로 퍼지의사결정에서는 해결해야 되는 두가지 문제들이 존재한다. 먼저 목적들에 대한 퍼지목표를 특성지울수 있는 어떤 형태의 구성함수(membership function)를 선택해야하고 다음으로 목적들의 전체 만족척도를 통합하는 연산자가 결정되어야 한다.

이상해에 보다 근접된 해들이 멀리 떨어진 해들보다 선호되므로 근접도 즉, 각 목적에 달성되는 만족의 척도는 구성함수에 의하여 정의되는 퍼지집합으로 고려될 수 있다. 다목적 계획문제에 대한 퍼지의사결정과정은 주관적인 방식에서 각 목적에 대하여 구성함수를 이끌어 내는 것을 포함한다. 각 목적에 대한 구성함수 형태를 선택함에 있어 본 연구에서는 5가지 구성함수 형태에 한정하는 것으로 가정한다.

· 선형(linear) 구성함수

왼쪽(max) : $\mu_t(x) = (z_k(x) - z_k^-)/(z_k^* - z_k^-)$,
$k=1, \cdots, l$ ……………………………… (4)

오른쪽(min) : $\mu_t(x) = (z_s^- - z_s(x))/(z_s^- - z_s^*)$,
$s=1, \cdots, r$ ……………………………… (5)

· 지수(exponential) 구성함수

왼쪽(max) : $\mu_t(x) = a_i(1 - \exp(-b_i(z_k(x) - z_k^-)/(z_k^* - z_k^-)))$, $k=1, \cdots, l$ ……………… (6)

오른쪽(min) : $\mu_t(x) = a_i(1 - \exp(-b_i(z_s^- - z_s(x))/(z_s^- - z_s^*)))$, $s=1, \cdots, r$ ……………… (7)

단, $a_i > 0,\ b_i > 0$ 또는 $a_i < 0,\ b_i < 0$

의사결정자는 O^*와 O^-값 내에서 $z_k^{0.5}$, $z_s^{0.5}$의 값에 상응하는 $z_k(x)$, $z_s(x)$값을 명시한다. 여기서 $z_k^a (0 \le a \le 1)$는 구성정도가 a인 $z_k(x)$값을 나타낸다.

· 쌍곡선(hyperbolic) 구성함수

왼쪽(max) : $\mu_t(x) = 1/2\tanh((z_k(x) - b_i)\alpha_i) + 1/2$ (단, $\alpha_i > 0$), $k=1, \cdots, l$ …………… (8)

오른쪽(min) : $\mu_t(x) = 1/2\tanh((z_s(x) - b_i)\alpha_i) + 1/2$ (단, $\alpha_i < 0$), $s=1, \cdots, r$ …………… (9)

의사결정자는 O^*와 O^-값 내에서 $z_k^{0.25}$, $z_s^{0.25}$, $z_k^{0.5}$, $z_s^{0.5}$의 값을 명시한다.

· 역쌍곡선(hyperbolic inverse) 구성함수

왼쪽(min) : $\mu_t(x) = a_i \tanh^{-1}((z_k(x) - b_i)\alpha_i) + 1/2$ (단, $a_i > 0,\ \alpha_i > 0$), $k=1, \cdots, l$ ….. (10)

오른쪽(max) : $\mu_t(x) = a_i \tanh^{-1}((z_s(x) - b_i)\alpha_i) + 1/2$ (단, $a_i > 0,\ \alpha_i < 0$), $s=1, \cdots, r$ ……………………………………………… (11)

의사결정자는 O^*와 O^-값 내에서 $z_k^{0.25}$, $z_s^{0.25}$, $z_k^{0.5}$, $z_s^{0.5}$의 값을 명시한다.

· 부분선형(piecewise linear) 구성함수

왼쪽(min) : $\mu_t(x) = t_{ir} z_K(x) + S_{ir}$,
$g_{ir-1} \le z_k(x) \le g_{ir}$
(단, $t_{ir} > 0$), $k=1, \cdots, l$ ………………… (12)

오른쪽(max) : $\mu_t(x) = t_{ir} z_s(x) + S_{ir}$,
$g_{ir-1} \le z_s(x) \le g_{ir}$
(단, $t_{ir} < 0$) $s=1, \cdots, r$ ………………… (13)

여기서 t_{ir}은 기울기이고 S_{ir}은 시점 g_{ir-1}과 g_{ir}을 분별하는 역할을한다. 그리고 의사결정자는 O^*와 O^- 내에서 몇개의 z_k^a, z_s^a값을 명시한다.

각 목적에 대한 만족의 척도를 표현하는 구성함수 들이 선택되면 이들의 전체만족척도를 통합하는 연산자가 결정되어야 한다. Zimmermann은 의사결정은 퍼지목표들의 교집합에 의하여 정의되고 이것은 논리 "and"에 상응하는 최소(min)통합연산자를 제시하였다. 최소통합연산자에 대하여 퍼지비선형계획문제는 다음과 같이 수리계획 문제의 해를 얻는 것이 된다.

$\max\ \mu_D(x) = \min_{x \in X} \{\mu_k(z_k(x)),\ \mu_s(w_s(x))\}$,
$k=1, \cdots, l,\ s=1, \cdots, r$ …………………… (14)

식 (14)는 다음의 문제와 동일하다.

$\max\ \lambda$ ……………………………………………… (15)

s.t

$\lambda \le \mu_k(z_k(x)),\ k=1, \cdots, l$

$\lambda \le \mu_s(w_s(x)),\ s=1, \cdots, r$

그러나 최소통합연산자는 총괄된 퍼지집합내의 구성에 영향을 주지 않는다는 점에서 보상적(compensatory)이 못되기 때문에 해가 유일하지 않을 경우 유효해를 보장할 수 없다는 문제점을 지니고 있다. 이를 해결하기 위하여 많은 문헌에서 다양한 통합연산자들이 제시된다. Li는 평균(average)통합연산자를 제시하여 절충모형을 제시하였지만 이 모형은 높은 수행도를 가지는 목적에만 관심을 가진다는 단점을 가지고 있다. Zimmermann과 Zysno[10]는 이 문제점을 극복하기 위하여 비절충적 통합연산자 최소와 완전히 보상적인 연산자 최대를 조합시키고 이들 연산자 속으로 어떤 절충을 도입하여 퍼지목표들의 교집합과 합집합을 조합하는 γ-연산자를 정의했다. γ는 보상의 정도(grade of compensatory)로 해석되어질 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 퍼지목표들에 대하여 결과적으로 발생하고 집합내의 한 목적의 구성은 합집합과 교집합에 대하여 가중된 구성값들의 곱(the product of weighted membership values)으로 정의되는 γ-연산자를 목적들의 전체만족척도를 통합하는 연산자로 사용한다.

$$\mu_\theta=\left[\prod_{t=1}^{T}\mu_t\right]^{1-\gamma}\cdot\left[1-\prod_{t=1}^{T}(1-\mu_t)\right]^{\gamma},\quad 0\le\gamma\le 1 \qquad \cdots\cdots (16)$$

여기서 T는 목적들의 수이다.

의사결정함수는 모든 목적들에 대한 전체만족척도를 나타내므로 모든 목적들의 구성함수값들은 적어도 의사결정함수 수준까지는 되어야 한다. 그러므로 원제약과 모든 퍼지목표에 대하여 최대-최소통합연산자에서 산출된 의사결정함수값 이상에서 모든 구성값이 유지되어야 한다는 제약을 주어 유효해를 산출한다. 이 방법을 2단계(two-phase) 접근법이라 한다. 이 접근법을 사용함으로써 각 목적들의 구성값이 의사결정함수 수준까지 되는 것을 보장하기 위한 제약들의 집합이 존재하기 때문에 특별한 것은 무시하지 않고 모든 목적들의 좋은 균형을 만들어 낸다.

첫 번째 단계에서는 최대-최소모형이 최적값을 찾기위하여 사용되는데 이것은 Zimmermann의 접근인 식 (15)와 동일한 문제다. 일반적으로 식 (15)에 대한 해가 유일한지 아닌지를 모르므로 유효성을 검정하고 최적해를 찾는 것은 두 번째 단계에서 다음의 문제를 해결함으로써 완성되어질 수 있다.

$$\max_{x\in X}\left[\prod_{t=1}^{T}\mu_t\right]^{1-\gamma}\cdot\left[1-\prod_{t=1}^{T}(1-\mu_t)\right]^{\gamma} \qquad \cdots\cdots (17)$$

s.t

$\lambda\le\lambda_t\le\mu_t$, t=1, ⋯, T

$\lambda\in[0,\ 1]$

$0\le\gamma\le 1$

식 (17)이 유효해를 산출한다. 이 유효해 또한 식 (15)의 한 해임을 알 수 있다. 때문에 식 (15)의 해가 유일하면 식 (17)의 해는 식 (15)의 해와 같아야만 되는데 이것은 이미 식 (15)의 해가 최적임을 의미한다. 반면에 식 (15)의 해가 유일하지 않으면 비지배 관점에서 식 (15)의 해는 유효해가 아니고 식 (17)의 해가 최적이 된다. 그러므로 어떤 경우에서도 2단계 접근법을 사용하여 유효해를 얻을 수 있다.

이상에서 언급된 설명을 기초로 퍼지 다목적 비선형 의사결정문제를 해결하는 2단계 접근법의 계산순서는 다음과 같다.

단계 1) 목적함수와 제약식을 정식화한다.

단계 2) 각 목적함수의 이상해 O^*와 비관해 O^-를 산출한다.

단계 3) 단계 2에서 산출된 정보를 기초로 각 목적에 대한 구성함수 형태를 선택한다.

단계 4) 구성함수를 정식화 한다.

단계 5) 2단계 접근법을 이용하여 해를 산출한다.

단계 5-1) 최대-최소 통합연산자를 사용하여 해를 구한다. -1단계 접근법

단계 5-2) γ-연산자를 사용하여 해를 구한다.

단계 5-3) 2단계 접근법의 모형인 식 (17)을 이용하여 해를 산출한다.

단계 5-4) 단계 5-3에서 산출된 해와 단계 5-1에서 산출된 해를 비교한다.

단계 6) 유효해가 산출되면 끝낸다. 그렇지 않으면 단계 3으로 간다.

제시된 계산순서를 설명하기 위하여 수치예를 사용한다.

$$\begin{aligned}&\max\ z_1(x)=(x_1+40)^2+(x_2{}^2+50)^2+(x_3-350)^2\\&\min\ w_1(x)=(x_1+60)^2+(x_2-200)^2+(x_3+20)^2\\&\min\ w_2(x)=(x_1-300)^2+(x_2+50)^2+(x_3+40)^2\end{aligned} \qquad \cdots\cdots (18)$$

subject to

$10 \le x_i \le 100,\ i=1,\ 2,\ 3$

$1000 \le x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 \le 100000$

이상해와 비관해를 구하면 다음과 같다.

$O^* = (157700;\ 15800.001,\ 16725.001)$

$O^- = (68600.004;\ 76099.999,\ 126200)$

이 값을 기초로 의사결정자가 각 목적에 대하여 자신이 만족하는 구성함수 형태를 Table 1과 같이 선택한 것으로 가정한다.

Table 1 Membership function of objectives

objective function \ membership function	type	evaluation values
z_1	hyperbolic	$(z_1^-,\ z_1^{0.25},\ z_1^{0.5},\ z_1^*) = (68600.004,\ 100000,\ 800000,\ 157700)$
w_1	linear	$(w_1^*,\ w_1^-) = (15800.001,\ 76099.999)$
w_2	exponential	$(w_2^*,\ w_2^{0.5},\ w_2^-) = (16725.001,\ 40000,\ 126200)$

이 정보를 구성함수형태로 정식화하면 다음과 같다.

$$\mu_{z_1}(x) = \begin{cases} 0 & \text{만약 } z_1(x) \le 68600.004 \\ 0.5\tanh((z_1(x)-100000)\times(0.0000275))+0.5 & \text{만약 } 68600.004 \le z_1(x) \le 157700 \\ 1 & \text{만약 } z_1(x) \ge 157700 \end{cases} \quad \cdots\cdots (19)$$

$$\mu_{w_1}(x) = \begin{cases} 1 & \text{만약 } w_1(x) \le 15800.001 \\ (76099.999-w_1(x))/60299.998 & \text{만약 } 15800.001 \le w_1(x) \le 76099.999 \\ 0 & \text{만약 } w_1(x) \ge 76099.999 \end{cases} \quad \cdots\cdots (20)$$

$$\mu_{w_2}(x) = \begin{cases} 1 & \text{만약 } w_2(x) \le 16725.001 \\ -0.0502(1-\exp(3.0406(126200-w_2(x))/109474.999))) & \text{만약 } 16725.001 \le w_2(x) \le 126200 \\ 0 & \text{만약 } w_2(x) \ge 126200 \end{cases} \quad \cdots\cdots (21)$$

1단계 접근에서 식(19), (20), (21)에 나타나는 구성함수 형태를 최대-최소통합연산자로 통합하면 식(22)와 같이 된다.

$$\max \lambda \quad \cdots\cdots (22)$$

subject to

$\lambda \le 0.5\tanh((z_1(x)-100000)\times(0.0000275))+0.5$

$\lambda \le (76099.999-w_1(x))/60299.998$

$\lambda \le -0.0502(1-\exp(3.0406(126200-w_2(x))/109474.999)))$

$10 \le x_i \le 100,\ i=1,\ 2,\ 3$

$1000 \le x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 \le 100000$

$\lambda \in [0,\ 1]$

식 (22)를 해결하면 $\lambda = 0.3023$, $X = (99.0554,\ 34.5750,\ 52.1495)$, $Z = (115204.2552,\ 57869.6012,\ 56023.1932)$이다. 다음으로 γ-연산자를 통합연산자로 하면 식 (23)과 같이 된다.

$$\max \left[\prod_{i=1}^{3} \mu_i\right]^{1-\gamma} \cdot \left[1-\prod_{i=1}^{3}(1-\mu_i)\right]^{\gamma} \quad \cdots\cdots (23)$$

subject to

$\lambda_1 \le 0.5\tanh((z_1(x)-100000)\times(0.0000275))+0.5$

$\lambda_2 \le (76099.999-w_1(x))/60299.998$

$\lambda_3 \le -0.0502(1-\exp(3.0406(126200-w_2(x))/109474.999)))$

$10 \le x_i \le 100,\ i=1,\ 2,\ 3$

$1000 \le x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 \le 100000$

$\lambda_1,\ \lambda_2,\ \lambda_3 \in [0,\ 1],\ 0 \le \gamma \le 1$

식 (22)에서의 $\lambda = 0.3023$을 근거로 2단계 접근법으로 정식화하면 식 (24)와 같이 된다.

$$\max \left[\prod_{i=1}^{3} \mu_i\right]^{1-\gamma} \cdot \left[1-\prod_{i=1}^{3}(1-\mu_i)\right]^{\gamma} \quad \cdots\cdots (24)$$

subject to

$0.3023 \le \lambda_1 \le 0.5\tanh((z_1(x)-100000)\times(0.0000275))+0.5$

$0.3023 \le \lambda_2 \le (76099.999-w_1(x))/60299.998$

$0.3023 \le \lambda_3 \le -0.0502(1-\exp(3.0406(126200-w_2(x))/109474.999)))$

$10 \le x_i \le 100,\ i=1,\ 2,\ 3$

$1000 \le x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 \le 100000$

$\lambda_1,\ \lambda_2,\ \lambda_3 \in [0,\ 1],\ 0 \le \gamma \le 1$

식(22), (23), (24)의 결과들이 Table 2에 요약된다.

Table 2 The comparision of the solutions obtained from different approaches

Zimmermann's approach (min)
$\lambda=0.3023$
$X=(99.0554,\ 34.5750,\ 52.1495)$
$Z=115204.2552$ $W=(57869.6012,\ 56023.1932)$
γ-operator approach
$\gamma=0.33$ $\bar{\lambda}=.2894(\lambda_1=0.5602,\ \lambda_2=0.2841,\ \lambda_3=0.9418)$
$X=(100.0000,\ 74.2245,\ 10.0000)$
$Z=150631.7264$ $W=(42319.4764,\ 57931.7264)$
Two-phase approach
$\gamma=0.37$ $\bar{\lambda}=0.2979(\lambda_1=0.5163,\ \lambda_2=0.3073,\ \lambda_3=0.9341)$
$X=(99.9981,\ 64.1100,\ 10.0002)$
$Z=148220.4241$ $W=(44965.4961,\ 55521.8721)$

Table 2에서 보면 목적들의 해에서 비지배 관점에서 γ-연산자를 이용한 해들은 z_1은 증가, w_1은 감소하였다. 그러므로 Zimmermann의 퍼지집근에 의하여 얻어진 해들은 유효해라 할 수 없다. 그리고 γ-연산자를 이용한 해에서 w_2는 감소하여야 그 해가 유효해가 되지만 반대로 w_2가 증가하였으므로 또한 유효해라고 할 수없다. 그러므로 Zimmermann의 퍼지접근에 의해 산출된 의사결정함수값 이상에서 모든 구성값들이 유지되어야 한다는 제약을 주는 2단계 접근법을 이용하여 얻어진 해들은 Zimmermann의 퍼지접근에 의하여 얻어진 해를 완벽하게 지배하고 모든 퍼지목표들의 좋은 균형을 유지한다. 따라서 2단계 접근법은 다목적 비선형 의사결정문제를 해결하기 위한 더욱 강력한 접근법이 된다.

3. 결　론

산업안전문제에 있어서 안전비용과 생산비용을 최소로하는 반면 생산성을 최대로 할려고 하는 다목적 의사결정문제에서 서로 상충관계가 존재하고 또한 각 목표들에 대한 의사결정자의 판단의 모호성이 존재하므로 퍼지집합론을 적용한 다목적 비선형 의사결정을 효율적으로 해결해야 한다. 본 연구에서는 퍼지 다목적 비선형 의사결정문제를 효과적으로 해결하기 위하여 의사결정자와의 대화를 통하여 의사결정자의 선호함수를 결정하고 이를 절충하기 위한 적절한 통합연산자를 사용하여 퍼지목표와 제약을 가지는 최적화문제를 해결하는 접근법을 제시하였다. 제시된 접근법은 퍼지목표하에서 다목적을 가지는 시스템들을 최적화 하는데 폭넓게 사용할 수 있다. 앞으로의 연구는 제시된 접근법을 이용하여 직접 생산현장의 안전문제에 적용함으로써 효율적이고 능률적인 안전문제를 다룰 수 있도록 해야 하겠다.

참 고 문 헌

1) Oppenheimer, K. R., "A Proxy Approach to Multi-Attribute Decision Making", Management Science, Vol. 24, pp. 675~689, 1978.
2) Yano, H. and Sakawa, M., "Interactive Fuzzy Decision Making for Generalized Multiobjective Linear Fractional Programming Problems with Fuzzy Parameters", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 32, pp. 245~261, 1989.
3) Luhandjula, M. K., "Compensatory Operators in Fuzzy Linear Programming with Multiple Objectives", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 8, pp. 245~252, 1982.
4) Rao, T. R., R. N. Tiwari and Mohanty, B. K., "A Method for Finding Numerical Compensation for Fuzzy Multicriteria Decision Problem", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 25, pp. 33~41, 1988.
5) Sakawa, M. and Yano, H., "Interactive Fuzzy Decision Making for Multiobjective Nonlinear Programming using Augmented Minimax Problems", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 20, pp. 31~43, 1986.
6) Sakawa, M. "Interactive Computer Progarms for Fuzzy Linear Programming with Multiple Objectives", International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 18, pp. 489~503, 1983.
7) Zimmermann, H. J., "Fuzzy Programming and Linear Programming with Several Objective Functions", Fuzzy Sets and systems, Vol. 1, pp. 45~55, 1978.
8) Fung, L. W. and Fu, K. S., "An Axiomatic Approach to Rational Decision Making in the Fuzzy Environment", Fuzzy Sets and

their Applications to Cognitive and Decision process, pp. 227~256, 1975.

9) Li., R. J., "Multiple Objective Decision Making in a Fuzzy Enviroment", Ph, D, The Kansas University, 1990.

10) Zimmermann, H. J. and Zysno, P., "Latent Connective in Human Decision Making", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 4, pp. 37~51, 1980.

11) Ambrose Goicoechea, Don R. Hans and Lucien Duckstein, Multiobjective Decision Analysis with Engineering and Business Applications, John Wiley and Sons, New York, pp. 40~91, 1982.

12) Dubios, D. and Prade, H., Fuzzy Sets and System Theory and Application, Academic Press, 1980.