



중량물 수인양에서의 구성함수 결정에 관한 연구

A Study on the Determination of Membership Function for Manual Materials Lifting

이종권* · 송서일**
Jong-Kwun Lee · Suh-Ill Song

ABSTRACT

Manual lifting, as a part of Manual Materials Handling Activities, is recognized by authorities in the field of occupational health and safety as a major hazard to industrial workers.

The most important problem in applying fuzzy model of manual materials lifting is the decision of membership functions on each approaches. : Biomechanical, Physiological, Psychophysical.

The primary objectives of this paper suggests to process deciding the most acceptable membership functions for establishing permissible weights on manual lifting activities using fuzzy sets.

1. 서 론

자동화설비를 이용하여 수작업을 대체할 수 있는 기계능력을 사용하기 위하여 계속적으로 노력하여 왔으나, 전적으로 수작업으로의 탈피는 아직도 현대에서 사실상 거리가 멀다. 자동화 설비의 비용 등에 의한 경제적인 고려상황이나 공간제약이나 돌발적인 상황 등의 이유로 완전한 자동화를 어렵게 하므로 중량물 수운반(Manual materials handling)에 대한 작업은 여전히 많은 작업분야에서 피할 수가 없는 상태이다. 수운반을 취급하는 작업에서 허

리상해(Back injuries)는 산업재해의 주요한 한 원인으로 인식되어져 왔고, 그에 상응하는 손실과 생산량 감소의 원인으로 대두되어 왔다. 이러한 중량물 수운반 활동의 한 분야로서 중량물 수인양(Manual materials lifting)은 산업안전과 보건 분야에서 현장 작업자에게 주요한 재해를 주는 한 부분으로서 인식되고 있다.

중량물 수인양에 대한 최적허용중량을 설계하는 데에는 일반적으로 의생태학적(Epidemiological), 생체역학적(Biomechanical), 생리학적인(Physiological), 정신물리학적(Psychophysical) 접근방법들이 있고, 이러한 접근방법들은 서로 비교할 수 있

* 경동전문대학 산업안전관리과

** 동아대학교 산업공학과

계끔 동시에 측정되어야 하지만 각 접근방법들 사이에는 서로 상반되는(trade-off) 기준 측도를 가지고 있다. 또한, 작업자가 안전하게 인양할 수 있을 것으로 인식하는 합당한 중량은 경계가 명확하지 않기 때문에 모호성이 존재한다. 각 접근방법들의 동시 측정으로서의 비교와 수인양작업시 개개인의 반응을 반영한 방법들의 개발과 인양활동에 관련되는 접근방법들의 허용가능중량을 측정하기 위하여 퍼지집합을 이용한 수리적 모델의 개발이 이루어 졌고, 안전하게 인양하기 위한 최대허용중량을 설정하기 위한 기준의 개발이 1984년 Karwowski Waldemar¹⁾ 등의 이전의 연구들에서 제시되어져 왔다. 그러나, 퍼지집합을 이용한 수인양시 최적허용중량의 퍼지모델설정에 있어서 가장 중요한 문제는 각 접근방법들에 대하여 구성의 정도를 평가하기 위하여 구성함수를 선택하고 평가하는 것이지만, 이전의 연구들에서는 구성함수를 선택함에 있어 수인양작업을 경작업, 중작업 등으로 분류할 수 있는 중요한 기준들 중 하나인 인양빈도를 고려하지 않음으로 인하여 구성함수 선택에 상당한 오류가 발생되고 있는 실정이다. 사실 산업현장에서는 작업공간, 인양상자의 크기, 제품의 특성 등 여러가지 상황으로 인하여 적은 빈도에서 많은 중량을 인양하는 경우와 많은 빈도에서 적은 중량을 인양하는 경우가 공존하고 있다.

그러므로 본 연구에서는 인양빈도와 모수의 민감도가 고려되는 상황에서 과거의 실험자료를 이용하여 생체역학적 스트레스(stress)와 생리학적 스트레스의 조합이 정신물리학적 스트레스와 어느 정도 유사성이 있는 가를 해밍거리(Hamming distance) 측도로 평가하고, 조합된 스트레스와 정신물리학적 스트레스와 유사성이 있을 경우에 가장 유사한 조합을 적합한 구성함수 조합으로 선택하여 특정한 인양빈도가 요구되는 수인양작업에 사용될 수 있는 구성함수 형태를 제시하고자 한다.

2. 중량물 수인양시의 퍼지집합모델

2.1 각 접근방법에 대한 관련성

중량물 인양시 적정허용중량 설정에는 의생태학적, 생체역학적, 생리학적, 정신물리학적 접근방법들이 이용되어 진다. 의생태학적 방법은 중량물 취

급에서 비롯된 어떤 모집단에서의 사고의 확인, 사고발생의 분포 및 발병이나 상해의 잠재적 관리능력 등에 관련시켜 중량물 취급능력을 결정하는 방법이며, 생체역학적 방법은 중량물 취급시 인체의 근육골격계에 가해지는 힘으로서 상해를 일으키지 않는 한계, 즉 한계치를 척추에 가해지는 압력으로 추정하는 방법이고, 생리학적 방법은 신체에 가해지는 생리학적 스트레스에 기준을 두며, 이는 작업 생리학에 기초를 둔 것으로서 산소소모량, 맥박수, 심박수, 폐활량 등의 에너지 소모량으로 결정한다. 정신물리학적 방법은 중량물을 취급함에 있어서 작업자가 외부의 스트레스에 견딜 수 있는 용력을 기준으로 무리 또는 과로를 일으키지 않는 그 자신의 지각에 따른 최대 허용중량을 선택하는 것을 주제로 한다.

Garg와 Herrin²⁾은 생체역학적 스트레스와 생리학적 방법의 기준인 신진대사 스트레스 간에 서로 상반관계의 성질이 존재한다고 지적하였다. 생체역학적 피로의 기준은 좀 더 작고, 좀 더 빈번한 인양을 하므로 중량 부하를 최소화하려는 경향이 있는 반면, 생리학적 신진대사의 피로기준은 신진대사에너지소비를 줄이기 위하여 보다 적은 빈도의 간격으로 좀 더 큰 중량을 선택하려는 경향이 있다. 그리고 생체역학적과 정신물리학적 스트레스 사이와 생리학적과 정신물리학적 스트레스 간에도 상반관계가 존재한다.

Karwowski는 빈번하지 않는 인양에서 생체역학적 피로를 기준으로 한 부하의 최대허용중량은 일

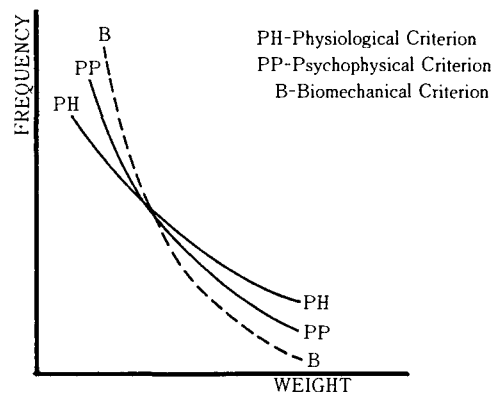


Fig. 1 Comparison of Biomechanical, Physiological, and Psychophysical Fatigue Criteria

반적으로 정신물리학적 피로를 기준으로 한 것 보다 높고, 보다 빈번한 인양에서는 정신물리학적 피로를 기준으로 한 최대허용중량이 생리학적인 피로기준을 근거로 한 것 보다 많은 빈도에서 높다는 것을 Fig. 1에서 제시하고 있다.

Fig. 1에서 나타나는 각 스트레스 사이의 관계를 고려하면 생체역학적과 생리학적인 스트레스의 허용가능성의 조합은 정신물리학적 허용가능성에 의해 표현될 수 있다는 가설이 이끌어 질 수 있다. 이 두 가지 스트레스의 조합은 질적으로 다른 두 가지 스트레스들의 혼합효과로 간주되기 때문에 이 혼합효과와의 인지는 선택된 최대허용중량을 인양할 때 사람의 주관적인 판단에서 직접적으로 반영되어 질 수 있다고 가정할 수 있다.

2.2 수인양시 퍼지모델의 구성함수

안전하게 인양할 수 있는 중량의 허용가능성에 대한 기준들은 퍼지집합을 이용하여 이전의 연구들에서 정의되어져 왔다. 허용가능성의 측도는 인양작업에 대한 생체역학적, 생리학적인 그리고 정신물리학적 스트레스가 실험되는 설계기준들에 대하여 허용될 수 있는 정도를 평가하는 구성함수와 관련되어 지므로 이들 세가지 스트레스에 대한 구성함수의 정의를 설명한다.

2.2.1 생체역학적 스트레스의 구성함수의 정의

인양중량 x 의 전체집합을 $K = \{x\}$ 라 표시한다. 허용가능성 측도는 K 에서 특정 퍼지부분집합의 구성함수 $\mu(x)$ 의 정도로 정의된다. 부분집합 B 는 생체역학적 관점으로 부터의 최대허용가능 중량을 표시하고, 식 (1), (2)와 같다.

$$B = \{(x, \mu_B(x)) \mid x \in K\} \dots\dots\dots (1)$$

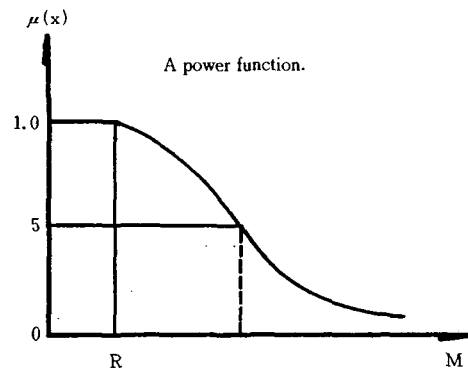
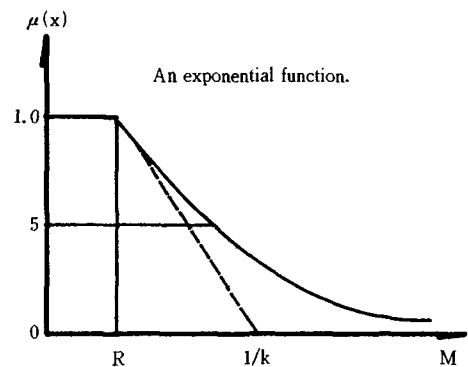
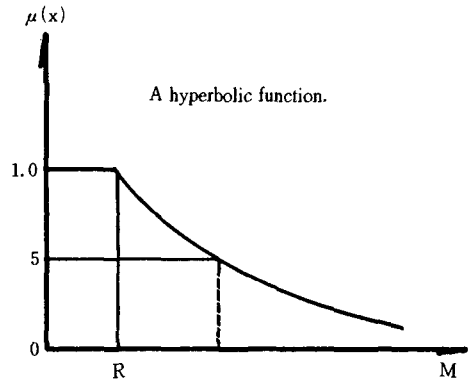
$$\mu_B(x) \leq 1.0, F(x) \geq b \dots\dots\dots (2)$$

여기서 b 는 참고점(reference point)이고, $F(x)$ 는 인양중량 x 에 의한 최대예측압력값(maximum compressive force)이라 정의한다. $F(x)$ 는 다리인양(squat lift)일 경우 식 (3)으로 허리인양(stoop lift)일 경우 식 (4)으로 예측할 수 있다고 ElBassoussi³⁾이 제시하였다.

$$F(x) = 370.827 + 0.22448 \times BE \dots\dots\dots (3)$$

$$F(x) = 390.047 + 0.26610 \times BE \dots\dots\dots (4)$$

BE는 생체역학적동식(biomechanical equivalent)으로 식 (5)와 같이 표현될 수 있다⁴⁾.



(R=Reference Value : M = Measured Value)

Fig. 2 Graphical Representation of the Membership Functions Used to Assess the Acceptability Measures of the Stresses

$$BE = (8+L/2) \times X \dots\dots\dots (5)$$

여기서 L 은 인양물의 길이이고, X 는 중량이다. B 에서 x 의 구성정도는 구간^(0,1)에 존재하는 실수 값이다. b 는 생체역학적 기준에 근거를 둔 300kg에서 500kg 범위내의 요추에 가해지는 최대예측압력의

값으로 정의한다. $F(x) = t$ 라 두면 $\mu_B(x)$ 는 식 (6), 식 (7), 식 (8)와 같이 표현될 수 있다.

쌍곡선 구성함수(Hyperbolic membership function) :

$$\mu_B(x) = \begin{cases} 1, & t \leq b \\ \frac{b}{t}, & t > b \end{cases} \dots\dots\dots (6)$$

지수 구성함수(Exponential membership function) :

$$\mu_B(x) = \begin{cases} 1, & t \leq b \\ \exp\left(-\frac{K(b-t)}{b}\right), & K > 0, t > b \end{cases} \dots\dots\dots (7)$$

멱 구성함수(Power membership function) :

$$\mu_B(x) = \begin{cases} 1, & t \leq b \\ 1/(1+(b-t)/b)^2, & t > b \end{cases} \dots\dots (8)$$

제시된 $\mu_B(x)$ 의 형태에 대한 각각의 그래프가 Fig. 2에 제시한다.

2.2.2 생리학적 스트레스의 구성함수의 정의

생리학적 기준의 관점으로부터 최대허용가능중량을 나타내는 퍼지부분집합 H는 식 (9), (10)과 같다.

$$H = \{x, \mu_H(x) \mid x \in X\} \dots\dots\dots (9)$$

$$\mu_H(x) \leq 1.0, V(x) \leq h \dots\dots\dots (10)$$

여기서 h는 생리학적 스트레스에 대한 참고값이라 하고, V(x)는 x를 인양할 때 산소소모량의 값이라 정의한다. 점 h는 생리학적 설계기준에 따른 8시간 교대작업에 대한 산소소모량의 권고치인데 이전에 설계된 기준에 의하면 인양빈도 분당 0.1과 3회의 낮은 인양빈도에 대하여 $h = 0.5l \text{ VO}_2/\text{min}$ 이고, 분당 9회와 12회의 높은 인양빈도에 대하여는 $h = 1.0l \text{ VO}_2/\text{min}$ 이다. $V(x) = V$ 라 두면, $\mu_H(x)$ 는 식 (11), (12), (13)과 같이 표현될 수 있다.

쌍곡선 구성함수(Hyperbolic membership function) :

$$\mu_H(x) = \begin{cases} 1, & V \leq h \\ \frac{h}{V}, & V > h \end{cases} \dots\dots\dots (11)$$

지수 구성함수(Exponential membership function) :

$$\mu_H(x) = \begin{cases} 1, & V \leq h \\ \exp\left(-\frac{K(h-V)}{h}\right), & K > 0, V > h \end{cases} \dots\dots\dots (12)$$

멱 구성함수(Power membership function) :

$$\mu_H(x) = \begin{cases} 1, & V \leq h \\ 1/(1+(h-V)/h)^2, & V > h \end{cases} \dots\dots (13)$$

2.2.3 정신물리학적 스트레스의 구성함수의 정의

정신물리학적 관점으로 부터 최대허용가능중량을 나타내는 X에서 퍼지부분집합 P는 식 (14), (15)와 같다.

$$P = \{x, \mu_P(x) \mid x \in X\} \dots\dots\dots (14)$$

$$\mu_P(x) \leq 1.0, x \geq P(f) \dots\dots\dots (15)$$

여기서 P(f)는 특정빈도에 대한 참고값이라 한다. P(f)의 값은 이전의 연구⁵⁾에서 제시한 모집단의 10번 백분위수에 대한 인양 적정용량기준을 근거로 하여 계산하였다. 이 값들은 각각 분당 인양 0.1, 3, 9, 12의 빈도에 대하여 각각 25.3, 14.10, 11.25, 8.45kg(또는 55.87, 34.14, 24.83, 18.63 lbs)이었다.

$P(f) = P$ 라 두면, 정신물리학적 구성함수의 형태는 식 (16), (17), (18)과 같이 표현될 수 있다.

쌍곡선 구성함수(Hyperbolic membership function) :

$$\mu_B(x) = \begin{cases} 1, & x \leq P \\ \frac{b}{t}, & t > P \end{cases} \dots\dots\dots (16)$$

지수 구성함수(Exponential membership function) :

$$\mu_H(x) = \begin{cases} 1, & x \leq P \\ \exp\left(-\frac{K(P-x)}{P}\right), & K > 0, x > P \end{cases} \dots\dots\dots (17)$$

멱 구성함수(Power membership function) :

$$\mu_B(x) = \begin{cases} 1, & x \leq P \\ 1/(1+(P-x)/P)^2, & K > 1, x > P \end{cases} \dots\dots\dots (18)$$

2.2.4 스트레스의 조합과 해밍거리

인양할 때 생체역학적과 생리학적 스트레스의 논

리곱(conjunction)은 인간 작업자 수행에 대한 합성효과를 가지고 있다. 그러므로 합성효과(synergistic effect)는 이 두가지 스트레스들의 허용가능성을 하나의 범주로 결합하기 위한 기본원리로 사용되어질 수 있다. 조합스트레스로 표현하는 퍼지부분집합 C의 구성함수 정도는 퍼지부분집합 B와 H의 구성함수에 존재하는 값들 보다 작게 된다. Koczy와 Hajnal⁶⁾는 R-퍼지대수를 소개하였고, 대수적(algebraic product)이 논리곱 “and”의 특성을 모두 가지고 있다고 증명하였다. Zimmerman의 저서를 바탕으로 Hamacher⁷⁾은 논리곱 “and”에 대응한 연산으로서 연결자(connective) D를 개발하였고, 이는 식 (19)과 같이 표현하였다.

$$D(\mu A \cdot \mu B) = \frac{\mu A \cdot \mu B}{R + (1-R) \cdot (\mu A \cdot \mu B - \mu A \cdot \mu B)}, \quad 0 \leq R \dots\dots\dots (19)$$

여기에서 R은 임의의 모수이고, D는 연속함수이다. 만약, R = 1이 되면 연결자 D는 구성함수 각각의 곱으로 귀착된다. 그러므로 적당한 R값의 선택은 전체 모형 평가에 중요한 영향을 미치고 있다. 조합스트레스로 표현되는 퍼지부분집합 C는 식 (20)로 표현된다.

$$C = \{x, \mu_c(x) \mid x \in X\} \dots\dots\dots (20)$$

여기서 구성함수 $\mu_c(x)$ 는 식 (21)과 같다.

$$\mu_c(x) = D \{B(x), H(x)\} \dots\dots\dots (21)$$

3. 결과 분석

인양빈도에 포함되는 생체역학적 스트레스와 생리학적 스트레스의 조합이 정신물리학적 스트레스와 어느정도 유사성이 있는가와 적합한 구성함수 조합을 결정하기 위하여 본 논문에서는 Karwowski가 실험한 자료를 기준으로 비교를 수행하였다. Karwowski는 9명의 남성 피실험자를 대상으로 충분한 훈련 후에 실험을 수행하였다. 가로 15 인치, 세로 15인치, 높이 10인치되는 상자의 크기를 사용하여 인양되는 빈도를 분당 0.1회(10분당 1인양), 3회, 9회, 12회 나누어 인양되는 중량, 산소소모량, 심장박동수 등을 측정하였다. 9명의 피실험자들이 4수준의 인양빈도를 사용하여 3번 반복실험을

행함으로써 총 108개의 자료들이 수집된다. 인양자 세는 다리인양과 허리인양으로 한정하여 측정하였다. 이들 실험자료를 기초로 적합한 구성함수를 결정하기 위하여 반복수행 과정을 Fortran으로 프로그램 하였고 모수들의 변화범위는 Table 1에서 제시된다.

Table 1 Summary of the changing parameters

Parameter	Range	Step of iteration
b	300-500kg force	10kg
h	0.4-1.1l Vo ₂	0.1
k	0-2.0	0.2
r	0-5.0	0.5

Table 1.에서 b는 생체역학적 스트레스의 참고값, h는 생리학적 스트레스의 참고값, k는 지수구성함수의 상수, r은 연결자 D의 임의의 모수값을 나타낸다.

분당 0.1회, 3회, 9회, 12회에 대한 멱 구성함수(P), 쌍곡선 구성함수(H), 지수 구성함수(E)들을 조합하여 평균해밍거리를 최소화시키는 결과들이 Table 2, Table 3, Table 4, Table 5에 나타난다.

위의 Table들에서 보여지는 조합의 순서는 생체역학적 스트레스에 적용된 구성함수, 생리학적 스트레스에 적용된 구성함수, 정신물리학적 스트레스에 적용된 구성함수 순으로 표현한다. 즉, PHE 조합은 생체역학적 스트레스에 멱 구성함수, 생리학적 스트레스에 쌍곡선 구성함수, 정신물리학적 스트레스에 지수 구성함수가 적용되었음을 나타낸다. 각 인양빈도에서 조합의 경우 수는 고려된 구성함수가 3가지이므로 27가지가 된다. 그리고 최소 해밍거리값은 생체역학적 스트레스와 생리학적 스트레스를 결합한 구성함수값에서 정신물리학적 스트레스의 구성함수값을 감한 절대값을 나타낸다. 각 Table에 나타나는 최소 해밍거리값은 모두 0.02이하이므로 생체역학적 스트레스와 생리학적 스트레스의 결합은 정신물리학적 스트레스와 거의 유사하게 됨을 알 수 있다. 또한 Table 2, Table 3, Table 4, Table 5에서 보여지는 바와 같이 분당 0.1회 인양에서는 최적조합이 EHE이므로 생체역학적 스트레스에는 지수 구성함수, 생리학적 스트레스에는 쌍곡선 구성함수, 정신물리학적 스트레스에는 지수 구성함수가 적합하고 분당 3회, 9회, 12회

인양에서는 모든 스트레스를 표현함에 있어 지수 구성함수가 적합한 것으로 나타났다. 대체로 지수 구성함수가 스트레스의 정도를 표현하는데 적합한 것으로 나타나지만 아주 낮은 인양빈도에서는 그렇

지 않으므로 정신 물리학적 방법으로 허용가능 중량을 결정하는데 기초가 되는 구성함수의 결정은 수인양 모형을 효과적으로 분석하기 위한 선결과제로 생각된다.

Table 2 Results of membership functions combination(0.1lifts/min)

COMBINATION	B	R	H	K	minimum hamming distance
EHE	420	0	0.5	0.2	0.0191941
EEE	420	0	0.6	0.2	0.0194115
EPE	420	0	0.6	0.2	0.0194115
HEH	420	0	0.4	0.2	0.296062
HHH	420	2.5	0.5	0.2	0.0310343
HPH	420	0	0.6	0.2	0.0314142
EEH	320	1	0.4	0.4	0.0335300
EHH	350	2.5	0.5	0.5	0.0352773
EPH	350	0	0.6	0.5	0.0357127
HPE	460	1.5	0.5	0.5	0.0591060
HHE	460	0	0.6	0.5	0.0591703
HEE	460	0	0.6	0.5	0.0591703
PEP	460	0	0.4	0.2	0.1303634
PHP	460	2	0.4	0.2	0.1339987
PPP	460	5	0.4	0.2	0.1397145
EPP	460	5	0.4	0.2	0.2986838
EHP	460	0	0.6	0.2	0.3518565
EEP	460	0	0.6	0.2	0.3518565
PHE	460	0	0.4	0.2	0.4108179
PEE	460	0	0.4	0.2	0.5058552
PPE	460	5	0.4	0.2	0.5196888
HPP	460	5	0.4	0.2	0.5614375
HEP	460	0	0.6	0.2	0.6325348
HHP	460	0	0.6	0.2	0.6325348
PHH	460	0	0.4	0.2	0.7156989
PEH	460	0	0.4	0.2	0.8107362
PPH	460	5	0.4	0.2	0.8245699

Table 3 Results of membership functions combination(3 lifts/min)

COMBINATION	B	R	H	K	minimum hamming distance
EEE	390	0	0.6	0.2	0.0188148
PPP	440	5	0.6	0.2	0.0216711
HEH	400	2	0.5	0.2	0.0252329
EEH	320	0.5	0.6	0.5	0.0289345
HEE	450	0	0.6	0.5	0.0312550
HHH	400	0	0.6	0.2	0.0334996
EHH	330	0	0.6	0.5	0.0340301
EHE	420	0	0.6	0.5	0.0481106
HHE	460	0	0.6	0.5	0.0546691
PPH	360	5	0.4	0.5	0.0590922

COMBINATION	B	R	H	K	minimum hamming distance
HPH	320	0	0.6	0.2	0.0598903
PPE	390	5	0.4	0.5	0.0641509
PHH	460	0	0.4	0.2	0.0735569
PEP	410	3.5	0.6	0.2	0.0743233
HPE	460	0	0.6	0.2	0.0800901
PHE	460	0	0.5	0.3	0.0991422
EPE	320	0	0.6	0.2	0.1035778
PEE	460	0	0.4	0.2	0.1077536
EPP	460	0	0.5	0.2	0.1227853
PHP	370	2	0.6	0.2	0.1466832
HPP	460	0.5	0.4	0.2	0.2072060
EPH	320	0	0.6	0.5	0.2406048
PEH	460	0	0.4	0.5	0.2439170
EEP	460	0	0.6	0.2	0.3531051
EHP	460	0	0.6	0.2	0.5070192
HEP	460	0	0.6	0.2	0.5288644
HHP	460	0	0.6	0.2	0.6311648

Table 4 Results of membership functions combination(9 lifts/min)

COMBINATION	B	R	H	K	minimum hamming distance
EEE	410	3	0.5	0.2	0.0165858
PPP	430	5	0.5	0.2	0.0248926
EHH	320	0.5	0.5	0.4	0.0318850
EEH	320	2	0.4	0.4	0.0324398
HEE	460	0	0.5	0.4	0.0325270
HHH	440	0	0.4	0.2	0.0327380
HEH	380	1	0.5	0.5	0.0338963
EHE	440	0	0.5	0.5	0.0384219
HHE	460	0	0.5	0.5	0.0444835
PEP	350	0.5	0.5	0.2	0.0493154
EPP	460	1	0.4	0.2	0.0517978
HPE	430	0	0.5	0.2	0.0534874
PHE	430	0.5	0.5	0.2	0.0563319
HPH	320	0	0.5	0.2	0.0672947
PHP	320	2	0.5	0.2	0.1016093
EPE	320	0	0.5	0.2	0.1054914
PEE	460	0	0.4	0.2	0.1171766
HPP	460	3.5	0.4	0.2	0.1205924
PHH	460	0	0.4	0.2	0.1413565
PPE	320	5	0.4	0.5	0.1816657
EPH	320	0	0.5	0.5	0.2783183
EEP	460	0	0.5	0.2	0.2814234
PPH	320	5	0.4	0.5	0.2831724
PEH	460	0	0.4	0.5	0.3467535
HEP	460	0	0.5	0.2	0.391271
EHP	460	0	0.5	0.2	0.4388666
HHP	460	0	0.5	0.2	0.5149073

Table 5 Results of membership functions combination(12 lifts/min)

COMBINATION	B	R	H	K	minimum hamming distance
EEE	390	1.5	0.5	0.2	0.0160411
PPP	410	5	0.5	0.2	0.0279293
HEH	370	1	0.5	0.5	0.0294833
HHH	390	0	0.5	0.2	0.0296690
EHH	330	0	0.5	0.5	0.0299904
EEH	320	3	0.4	0.4	0.0299978
HEE	440	0	0.5	0.4	0.0311796
EHE	440	0	0.5	0.5	0.0341116
HHE	460	0	0.5	0.5	0.0394637
PHE	420	0	0.5	0.3	0.0477927
PEP	340	4	0.5	0.2	0.0494439
EPP	460	2.5	0.5	0.2	0.0504980
HPE	380	0	0.5	0.2	0.0560729
PEE	460	0	0.4	0.2	0.0699338
HPP	460	4.5	0.5	0.2	0.0733476
PHH	460	0	0.4	0.2	0.0808238
PHP	320	3.5	0.5	0.2	0.1103904
PPE	320	5	0.4	0.5	0.1237161
HPH	320	0	0.5	0.2	0.1282092
EPE	320	0	0.5	0.2	0.1861527
PPH	320	5	0.4	0.5	0.2326662
PEH	460	0	0.4	0.5	0.2414078
EEP	460	0	0.5	0.2	0.3007936
HEP	460	0	0.5	0.2	0.3665598
EPH	320	0	0.5	0.2	0.4716213
EHP	460	0	0.5	0.2	0.5060987
HHP	460	0	0.5	0.2	0.5447458

4. 결 론

중량물 수인양으로 인한 잠재적인 상해는 산업안전 분야에서 중요한 관심으로 대두되고 있다. 실제 산업현장에서 수인양되고 있는 중량물들은 대부분 다른 크기와 무게 등을 가지고 있기 때문에 인양빈도는 중량물 수인양작업시 안전사고에 중요한 변수로 작용한다.

그리고 생체역학적 스트레스와 생리학적 스트레스를 조합하여 표현할 수 있는 정신물리학적 접근 방법에서 퍼지집합론을 이용할 경우 구성함수의 결정은 허용가능중량을 설정하는데 필수적이다. 그러므로 본 논문에서는 수인양작업에서 4수준의 인양빈도를 고려하여 적합한 구성함수를 결정하였다. 그 결과 낮은 인양빈도에서는 EHE 조합, 높은 인

양빈도에서는 EEE 조합이 가장 적당한 구성함수의 조합으로 나타났다.

본 논문에서는 특정 수인양작업에서 인양빈도만을 고려하여 구성함수를 결정하였지만 향후 성별, 연령별, 다양한 인양자세 등의 변수들을 고려하여 구성함수를 결정하는 연구와 현재 이용되어진 구성함수 외에 선형, 역쌍곡선 등의 구성함수의 범위를 넓혀 적합한 구성함수를 선택하는 연구 또한 계속적으로 필요하리라 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) Karwowski, W., and Ayoub, M. M., Effects of Frequency on the Maximum Acceptable Weight of Lift, Trends in Ergonomics/Human Factors 1, E; sevier Science Publishers, Amsterdam,

- pp. 167~172, 1984.
- 2) Garg, A. and Herrin, G.D., Stoop or Squat : A Biomechanical and Metabolic Evaluation, AIIE Transactions, Vol.11, No.4, pp.293~302, December 1979.
 - 3) El-Bassoussi, M.M., A Biomechanical Dynamic Model for Lifting in the Sagittal Plane, Ph. D. Dissertation, Texas Tech University, Lubbock, Texas, 1974.
 - 4) Tichauer, E.R., A Pilot Study of the Biomechanics of Lifting in Simulated Industrial Work Situations, Journal of Safety Research, Vol.3, No.3, pp.98~115, 1971.
 - 5) Karwowski, W., A Fuzzy Sets Based Model on the Intraction Between Stresses Involved in Manual Lifting Tasks, Ph.D. Dissertation, Texas Tech University, Lubbock, Texas, 1982.
 - 6) Koczy, L.T. and Hajnal, M., A New Fuzzy Calculs and It's Application as a Pattern Recognition Technique, Modern Trends in Cybernetics and Systems, Vol.11, 1977.
 - 7) Zimmermann, H.J., Fuzzy Programming and Linear Programming with Several Objective Functions, Fuzzy Sets and Systems, Vol.1, pp.45~55, 1978.
 - 8) Dubois, D. and Prade, H., Fuzzy Sets and Systems. Theory and Application, Academic Press, New York, 1980.
 - 9) Snook, S.H., The Design of Manual Handling Tasks, Ergonomics, Vol.21, No.12, pp.963~985, 1978.
 - 10) Zadeh, L.A., Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility, Fuzzy Sets and Systems, Vol.1, pp.3~28, 1978.
-