

**퍼지집합을 이용한 수운반작업의 최적
허용중량 결정에 관한 연구**
**Determination of Maximum Permissible Weight
in Manual Material Handling
Using Fuzzy Sets Theory**

이 종 권*

I. 서 론

산업현장에서 산업재해의 주요한 요인이 되는 중량물 수운반 활동시 작업자가 안전하게 작업을 행하면서도 최적허용중량을 결정하기 위한 연구는 주어진 작업조건하에서 인양되는 최대중량을 결정하기 위한 기준으로서 척추에 가해지는 압력을 이용하는 생체역학적 접근법, 주어진 작업조건하에서 인양되는 최대중량을 결정하기 위한 기준으로서 에너지 소모량을 이용하는 생리학적 접근법, 주어진 작업조건하에서 사람이 인양할 수 있는 최대중량을 결정하는 기준으로서 피실험자에 의해서 인지되는 힘던 정도를 이용하는 정신물리학적 접근법 등으로 수행하여 왔다.

이러한 접근방법들은 서로 비교할 수 있게끔 동시에 측정되어야 하지만 각 접근방법들 사이에는 서로 상반되는 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 수인양 작업시 개개인의 반응을 반영한 방법들의 개발과 인양활동에 관련되는 접근방법들의 최적허용중량을 측정하기 위하여 퍼지집합을 이용한 수리적 모형의 개발이 이루어 졌고, 안전하게 인양하기 위한 최대허용중량을 설정하기 위한 기준의 개발이 이전의 연구들에서 행해져 왔으며 퍼지집합을 이용한 이들의 연구들은 정신물리학적 접근법이 생체역학적 접근법과 생리학적 접근법을 통합한 최적허용중량을 표현할 수 있다고 제시하였다. 그러나 퍼지집합을 이용한 수인양 최적허용중량의 퍼지모형 설정에 있어서 가장 중요한 문제는 각 접근방법들에 대하여 구성의 정도를 평가하기 위하여 구성함수(membership functions)를 선택하고 평가하는 것이 가장 중요한 문제이지만 이전의 연구들에서는 구성함수로 제시된 쌍곡선함수(hyperbolic functions), 지수함수(exponential functions), 멱함수(power functions) 들 중 구성함수 조합이 구체적인 검증없이 과거 경험에 의하여 선택되어졌기 때문에 정신물리학적 접근법에서 퍼지집합의 이용하여 설정한 모형의 타당성이 없을 수도 있다. 그러므로 본 연구에서는 인양활동에 관련된 스트레스들의 허용가능성 평가에 대하여 기존에 설정된 자료를 이용하여 퍼지집합을 근거로 한 모형의 개발 및 수리적 검정을 행하고 이를 바탕으로 적정한 구성함수를 선택하여 생체역학적 및 생리학적 스트레스들의 허용가능성의 결합이 정신물리학적 스트레스의 허용가능성의 전 측정을 유도한다는 가정의 평가를 행한다. 이를 기초로 정신물리학적 접근법을 이용하여 개별인양활동작업에 대한 안전하고 효율적인 최적허용중량과 산소소모량을 안전한 작업기준으로 선정하여 산업현장에서 발생하는 상해를 최소화시킴과 동시에 잠재적인 생산성손실을 예방하고자 한다.

* 경동전문대학 산업안전관리과

II. 수인양작업의 피로도형화

1. 수인양작업시의 세가지 접근방법들의 비교

안전하게 허용되는 인양능력의 측정에 대하여 세가지 기준들이 공통적으로 사용되어지나, 세가지 접근방법간에는 현저한 차이점이 있다. 이 전의 연구에서 생체역학적 스트레스와 생리학적 스트레스 기준간에 상반관계가 존재함을 지적하였다. 생체역학적 스트레스 기준은 허리에 걸리는 스트레스를 감소시키기 위해 중량을 보다 작게 하여 자주 들므로써 부하를 최소화하려는 경향이 있는 반면에 생리학적 에너지대사 기준은 대사에너지 소비를 줄이기 위해 보다 적은 빈도의 기간에 보다 큰 중량을 허용하려는 경향이 있다. 빈도가 작은 인양의 경우에 생체역학적 스트레스 기준에 따른 부하의 최적 허용중량은 정신물리학적 피로 기준보다 일반적으로 높다. 반복적인 인양의 경우 정신물리학적 피로기준에 의한 최적허용중량은 낮은 인양빈도에서는 생리학적 피로기준에 의한 최적허용중량보다 낮고 높은 인양빈도에서는 그보다 높다.

정신물리학적 접근법은 산업현장에서 반복적인 인양활동들에서 전형적으로 발견되는 생리학적 그리고 생체역학적 스트레스를 모두 고려한다. 생리학적 그리고 생체역학적 스트레스의 통합으로서의 정신물리학적 스트레스의 가정은 여러 연구가들에 의해 연구되어 왔는데 Karwowski (1982, 1984)은 퍼지집합이론을 이용하여 이가정을 증명했다. (그림.1참고)

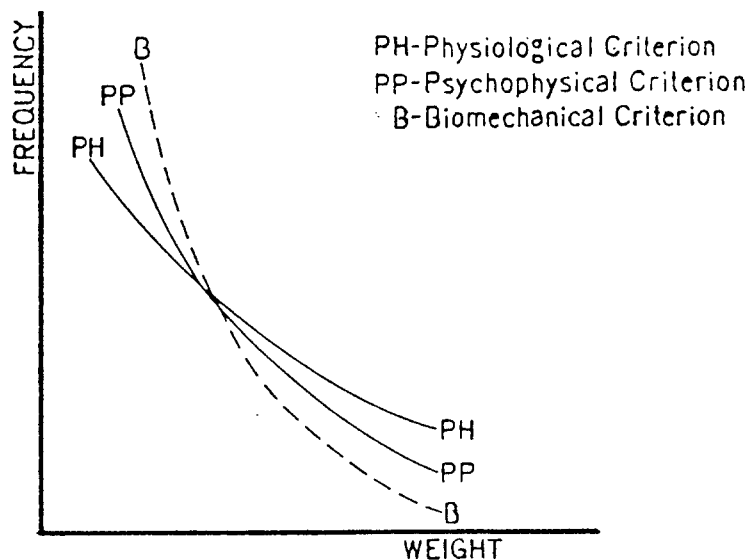


Fig.1 Comparison of biomechanical, physiological and psychophysical fatigue criteria.

수인양은 매우 복잡한 형태의 작업이라고 할 수 있으므로 매우 정교한 기구와 기법들을 사용하여 수운반에서 나타나는 여러가지 메카니즘을 설명할 수 있지만 인양과정의 최적화는 아직 명확하게 제시되지 않았다. 현 시점으로는, 수운반에 따른 허리에 걸리는 힘을 최소화하든가, 또는 인양시의 에너지 대사를 최소화하든가, 최적허용중량 범위내에 있다던가 하는 상반관계를 받아들이는 것이 필수적이다.

2. 수인양작업시 피지모델의 구성함수

허용가능성의 측도는 인양작업에 대한 생체역학적, 생리학적 그리고 정신물리학적 스트레스가 실험되는 설계기준들에 대하여 허용될 수 있는 정도를 평가하는 구성함수와 관련되어지므로 쌍곡선함수, 지수함수, 멱함수 등을 이용하여 이들 세가지 스트레스에 대한 구성함수의 정의를 설명한다.

가. 생체역학적 스트레스의 구성함수

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

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

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

여기서 b 는 권고점(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 El-Bassoussi(1974)가 제시하였다.

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

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

BE 는 생체역학적등식(biomechanical equivalent)으로 식(5)와 같이 표현될 수 있다.(Tichauer, 1971)

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

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 500Kg범위내의 요추에 가해지는 최대예측압력의 값으로 사용하였다. $F(x) = t$ 라 두면 $\mu_B(x)$ 는 식(6), 식(7), 식(8)와 같이 표현될 수 있다.

쌍곡선 구성함수(Hyperbolic membership function):

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

지수 구성함수(Exponential membership function):

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

멱 구성함수(Power membership function):

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

나. 생리학적인 스트레스의 구성함수

생리학적인 기준의 관점으로부터 최대허용가능중량을 나타내는 피지부분집합 H 는 식(9), (10)과 같다.

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

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

여기서 h 는 생리학적인 스트레스에 대한 권고값이라 하고, $V(x)$ 는 x 를 인양할 때 산소소모량의 값이라 정의한다. 점 h 는 생리학적인 설계기준에 따른 8시간 교대작업에 대한

산소소모량의 권고치인데 이전의 연구 Astrand 와 Rodhal (1970)의 연구결과에 따라 결정된 것이다. 이에따라 중작업과 경작업의 중간작업수준을 선택하여 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.

위의 식에서 $V(x) = V$ 라 두면, $\mu_H(x)$ 는 식(11), (12), (13)과 같이 표현될 수 있다. 쌍곡선 구성함수(Hyperbolic membership function):

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

지수 구성함수(Exponential membership function):

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

멱구성함수(Power membership function):

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

다. 정신물리학적 스트레스의 구성함수

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

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

$$\mu_P(x) \leq 1.0, \quad x \in P \quad (15)$$

여기서 P(f)는 특정빈도에 대한 권고값이라 한다. P(f)의 값은 Ayoub (1980)에 의해 개발된 인양능력표준을 인용하여 사용한 모집단의 10번째 백분위수에 대한 인양 적정 용량기준을 근거로 하였다. 이 값들은 각각 분당 인양 0.1, 3, 9, 12의 빈도에 대하여 각각 25.3, 14.10, 11.25, 8.45Kg이었다.

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

쌍곡선 구성함수(Hyperbolic membership function):

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

지수 구성함수(Exponential membership function):

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

멱 구성함수(Power membership function):

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

2. 구성함수의 평가

이 절에서는 수인양활동 연구에서 퍼지집합론을 주로 사용한 이전 연구 (Karwowski)의 실제 실험자료를 이용하여 이전 연구의 구성함수 결정이 적합한지 여부를 검증한다. 이전 연구에서는 퍼지 집합론을 이용하여 최대허용중량을 결정함에 있

어 9명의 남성 피실험자들을 대상으로 일정 기간의 훈련을 행한 후에 생체역학적 스트레스, 생리학적 스트레스, 그리고 정신물리학적 스트레스를 평가하였다. 그의 실험에서는 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. 인양자세는 다리인양과 허리인양으로 한정하여 측정하였다. 구성함수 결정을 위한 반복수행 과정을 Fortran으로 프로그램 하였고 모수들의 변화범위는 Table-1에서 제시된 것들을 사용한다.

Table- 1. Summary of the changing parameters

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

Table-1에서 b는 생체역학적 스트레스의 권고값, h는 생리학적 스트레스의 권고값, k는 지수구성함수의 상수, r은 연결자 D의 임의의 모수값을 나타낸다. 여기에서 r은 생체역학적 스트레스와 생리학적 스트레스의 합성을 위하여 필요한 생체역학적 스트레스와 생리학적 스트레스를 합성할 수 있는 연산자이다.

분당 0.1회에 대한 먹 구성함수(P), 쌍곡선 구성함수(H), 지수 구성함수(E)들을 조합하여 평균해밍거리를 최소화시키는 결과들이 Table-2에서 보여진다.

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

COMBINATION	B	R	H	K	MINIMUM MEAN 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	0.0296062
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. Hamming distance of EHE combination (0.1 lifts/min)

B(Kg)	R	H	K	Minimum Hamming Distance
320	0.0	0.6	0.2	0.0927245
330	0.0	0.6	0.2	0.0814977
340	0.0	0.6	0.2	0.0707751
350	0.0	0.6	0.2	0.0605249
360	0.0	0.6	0.2	0.0507171
370	0.0	0.6	0.2	0.0413245
380	0.0	0.6	0.2	0.0331737
390	0.0	0.6	0.2	0.0272219
400	0.0	0.6	0.2	0.0226041
410	0.0	0.6	0.2	0.0201520
420	0.0	0.5	0.2	0.0191941 *
430	0.0	0.4	0.2	0.0199513
440	0.0	0.4	0.2	0.0199284
450	0.0	0.4	0.2	0.0217947
460	2.0	0.4	0.2	0.0241224

분당 0.1회 인양수준에서 최소해밍거리를 이끄는 조합을 한 예로 선택하여 Table-3에 제시한다. 표에서 '*' 표시는 하나의 해밍거리 값은 1848 개의 조합중 최소값을 최소값을 나타낸다. 계산 결과로 제시되는 조합의 순서는 생체역학적 스트레스에 적용된 구성함수, 생리학적 스트레스에 적용된 구성함수, 정신물리학적 스트레스에 적용된 구성함수 순으로 표현한다. 그리고 최소 해밍거리값은 생체역학적 스트레스와 생리학적 스트레스를 결합한 구성함수값에서 정신물리학적 스트레스의 구성함수값을 감한 절대값을 나타낸다. 계산 결과로 나타나는 최소 해밍거리값은 모두 0.02이하이므로 생체역학적 스트레스와 생리학적 스트레스의 결합은 정신물리학적 스트레스와 거의 유사하게 됨을 알 수 있다. 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. 결국 이전 연구에서 정신물리학적 스트레스를 적합하게 표현할 수 있는 것으로 제시된 쌍곡선 구성함수는 각 인양빈도로 세부적으로 나누어 볼 때 적합치 못한 것으로 제시된다. 그러므로 정신물리학적 방법으로 허용가능 중량을 결정하는데 기초가 되는 적합한 구성함수의 결정은 분석하고자 하는 수인양 작업의 여러가지 조건이 바뀔 때마다 반드시 선행되어야 하고 이를 기초로 수인양 모형을 분석하여야 보다 정확한 결과를 이끌수 있을 것으로 생각된다.

III. 실험 및 결과

인양작업에 있어 4가지 인양빈도(0.1, 3, 9, 12/분)와 생체역학적, 생리학적, 정신물리학적 접근 각각에 대하여 본 연구에서 결정한 구성함수를 실험에 적용한 결과와 이전에 Karwowski(1984)가 연구한 결과와 비교를 행하는데 비교의 일관성을 위하여 Karwowski(1984)가 사용한 실험조건과 동일한 실험이 행해진다.

1. 실험방법 및 절차

가. 피실험자

K대학의 학생으로 구성된 9명의 남학생들이 피실험자로 선택된다. 현장의 근로자

를 피실험자로 선택하는 것이 보다 바람직한 결과를 이끌 것이라고 예상되지만 시간상의 유연함등의 제약때문에 피실험자로서 학생들을 선택한다.

이들 피실험자는 인양작업에 대한 경험이 부족한 상태이기 때문에 실험자료가 수집되기전 실험절차에 대한 적응훈련을 실시한다. 피실험자들은 실험에 들어가기 전에 허리상해와 관련된 문제가 있는지 여부를 조사 받고 허리상해가 있을 경우 피실험자에서 제외되었다. 피실험자의 연령은 20세에서 25세사이로 평균 21.4세이다.

피실험자들은 자료수집전 최소 1시간 30분동안 흡연 그리고 음식, 술, 음료수를 먹고 마시는 행위가 금지되고, 또한 육체적활동이 제한되고 심리적 안정을 위하여 충분한 수면이 요구되며, 다른 피실험자들과의 대화도 자제시킨다. 피실험자들의 신체조건을 설명하기위하여 신장 등의 21항목들에 마틴식 계측기로 인체계측을 행하였다.

나. 실험기기

Karwowski(1984)에 의해 사용된 것과 동일한 크기의 인양실험기계를 본 연구에서 사용한다. 선반의 높이는 손가락 관절높이인 바닥에서 평균 76cm 에 위치하므로 인양되는 높이는 바닥에서 76cm가 된다. 인양에 사용되는 상자의 크기는 길이 15 inch, 폭 15 inch, 높이 10 inch 이고, 무게는 3.5 Kg인 양쪽에 손잡이가 있는 나무상자이다. 4 수준의 빈도에 대하여 인양할 때 피실험자는 자신에게 적절한 중량을 선택할 수 있도록 40분의 중량선택시간이 주어진다. 이시간동안 피실험자는 적절한 중량을 조절할 수 있다. 분당 0.1회의 인양에서는 첫번째 인양이 1분에 실시되고 두번째, 세번째, 그리고 4번째 인양이 각각 11, 21, 31, 41 분에 수행되며, 산소소모량이 41분의 인양이 끝난후 선자세에서 추가로 4분동안 계속 기록된다. 때문에 총실험시간은 45분이 된다. 분당 3, 9, 12회의 인양빈도에 대해서는 2시간동안의 실험이 실시되고, 이 빈도에서는 4분의 가산적인 산소소모량이 측정된다.

인양자세는 자유자세(free style)이 사용된다. 산소소모량의 측정을 위해서 더글라스백이 사용된다. 더글라스백에 수집된 호흡배기가스는 dry gas test-meter로 총량이 측정되고, 이중 20CC 정도를 주사기로 뽑아내어 가스분석을 행한다.

2. 개별인양의 최적허용중량 설정

가. 생체역학적 인양 등식

EI-Bassoussi가 개발한 생체역학적 인양등량 관계에 대한 두가지 회귀식이 L5하부에 걸리는 최대압력을 추정하기 위하여 사용된다. 낮은 인양빈도인 분당 0.1회와 3회에서 수평거리는 거의 비슷하고 높은 인양빈도인 분당 9회와 12회에서 수평거리도 리도 거의 비슷하므로 낮은 인양빈도와 높은 인양빈도로 나누어 거리를 측정한다. 추정된 수평거리가 Table-4에서 주어진다.

나. 최대 산소소모량의 측정

생체역학적 접근의 기준측도가 되는 최대산소소모량의 측정은 실험동안에 피실험자에 의하여 더글라스백에 포집되는 배기량을 dry cast test meter로 측정하고 산소, 이산화탄소, 질소의 성분비율은 쇼란다 미량가스분석장치로 분석한다.

다. 구성합수 형태의 선택

세가지의 다른 구성합수들이 모형화된 스트레스의 허용가능성을 추정하기 위하여 사용되었다. 그러므로 본 연구에서는 실험한 자료들은 본 연구의 이전의 장에서 제시한 구성합수 형태가 적용된다.

Table-4. Estimated horizontal distance

Subject Number	Lifting Technique Used	Horizontal Distance(inch)	
		Frequency of lift(lift/min) (0.1 and 3)	(9 and 12)
S1	SQ	16.8	17.4
S2	SQ	14.1	15.1
S3	SQ	14.4	15.6
S4	ST	16.5	17.3
S5	SQ	14.7	15.3
S6	SQ	14.2	15.4
S7	ST	15.0	16.5
S8	SQ	15.0	15.4
S9	SQ	16.8	17.3

라. 실험결과 및 분석

인양빈도에 관계없이 과거의 경험적 자료에 의하여 구성함수를 적용한 Karwowski의 결과와 비교하고 그에 따른 최대허용중량을 결정하기 위하여 실제 실험자료를 바탕으로 분당 0.1회, 3회, 9회, 12회의 4수준에 대하여 FORTRAN으로 프로그램한 결과를 산출한다. 산출된 결과들중 분당 0.1회에 대한 프로그램 결과가 Table-5에서 보여진다. Table에서 * 표시는 평균해밍거리 중 최소값을 나타낸다. 최소 평균해밍거리는 어떤 b값에 대하여 27회의 실험(피실험자 9 x 반복수 3)에 대한 평균값을 나타내는 것으로 이것의 상세한 자료가 Table-6에서 분당 0.1회에 대한 것만 제시한다.

Table-5. Summary of the conditions for 0.1 lifts/min frequency of lift

b kg	Parameters			Mean Value of Hamming Distance
	h	k	r	
320	0.6	0.2	0.0	0.0825193
330	0.6	0.2	0.0	0.0717800
340	0.6	0.2	0.0	0.0615360
350	0.6	0.2	0.0	0.0517547
360	0.6	0.2	0.0	0.0424061
370	0.5	0.2	5.0	0.0337471
380	0.5	0.2	5.0	0.0282646
390	0.5	0.2	5.0	0.0237450
400	0.5	0.2	5.0	0.0208846
410	0.5	0.2	5.0	0.0202977 *
420	0.5	0.2	5.0	0.0207752
430	0.5	0.2	5.0	0.0235648
440	0.5	0.2	5.0	0.0271438
450	0.5	0.2	5.0	0.0305879
460	0.5	0.2	5.0	0.0341912

Table-6. Computational results for minimum mean hamming distance(0.1 lifts/min)

SUN	SLT	FQ	REP	X	VO2	BE	F	H	PH	B
1	SQ	1	1	97.0	.4991	1629.60	736.640	.5	1.00000	410
1	SQ	1	2	100.3	.4832	1685.04	749.085	.5	1.00000	410
1	SQ	1	3	100.3	.4994	1685.04	749.085	.5	1.00000	410
2	SQ	1	1	93.7	.4858	1321.17	667.403	.5	1.00000	410
2	SQ	1	2	90.4	.4882	1274.64	656.958	.5	1.00000	410
2	SQ	1	3	93.7	.4890	1321.17	667.403	.5	1.00000	410
3	SQ	1	1	106.9	.4900	1539.36	716.383	.5	1.00000	410
3	SQ	1	2	108.0	.4878	1555.20	719.938	.5	1.00000	410
3	SQ	1	3	111.3	.5010	1602.72	730.606	.5	.99800	410
4	ST	1	1	98.1	.4894	1618.65	820.770	.5	1.00000	410
4	ST	1	2	94.8	.4744	1564.20	806.281	.5	1.00000	410
4	ST	1	3	95.9	.4368	1582.35	811.110	.5	1.00000	410
5	SQ	1	1	99.2	.4922	1458.24	698.173	.5	1.00000	410
5	SQ	1	2	102.5	.5010	1506.75	709.062	.5	.99800	410
5	SQ	1	3	97.0	.4726	1425.90	690.913	.5	1.00000	410
6	SQ	1	1	90.4	.3448	1283.68	658.987	.5	1.00000	410
6	SQ	1	2	86.0	.3672	1221.20	644.962	.5	1.00000	410
6	SQ	1	3	94.8	.3864	1346.16	673.013	.5	1.00000	410
7	ST	1	1	93.7	.4651	1405.50	764.051	.5	1.00000	410
7	ST	1	2	89.3	.4337	1339.50	746.488	.5	1.00000	410
7	ST	1	3	92.6	.4644	1389.00	759.660	.5	1.00000	410
8	SQ	1	1	113.5	.4990	1702.50	753.004	.5	1.00000	410
8	SQ	1	2	111.3	.4728	1669.50	745.596	.5	1.00000	410
8	SQ	1	3	114.6	.4994	1719.00	756.708	.5	1.00000	410
9	SQ	1	1	99.2	.4728	1666.56	744.936	.5	1.00000	410
9	SQ	1	2	97.0	.4822	1629.60	736.640	.5	1.00000	410
9	SQ	1	3	94.8	.4639	1592.64	728.343	.5	1.00000	410

Table-6(continued). Computational results for minimum mean hamming distance(0.1 lifts/min)

SUN	SLT	FQ	RE	BS	R	CS	PS	DIST	HDIST
1	SQ	1	1	.852709	5.0	.852709	.863091	.01038	.010382
1	SQ	1	2	.847548	5.0	.847548	.852956	.00541	.005407
1	SQ	1	3	.847548	5.0	.847548	.852956	.00541	.005407
2	SQ	1	1	.882001	5.0	.882001	.873348	-.00865	.008653
2	SQ	1	2	.886506	5.0	.886506	.883726	-.00278	.002780
2	SQ	1	3	.882001	5.0	.882001	.873348	-.00865	.008653
3	SQ	1	1	.861177	5.0	.861177	.833040	-.02814	.028138
3	SQ	1	2	.859685	5.0	.859685	.829766	-.02992	.029919
3	SQ	1	3	.855223	5.0	.852531	.820021	-.03251	.032509
4	ST	1	1	.818423	5.0	.818423	.859699	.04128	.041276
4	ST	1	2	.824228	5.0	.824228	.869915	.04569	.045687
4	ST	1	3	.822289	5.0	.822289	.866497	.04421	.044208
5	SQ	1	1	.868861	5.0	.868861	.856321	-.01254	.012540
5	SQ	1	2	.864258	5.0	.861599	.846265	-.01533	.015335
5	SQ	1	3	.871943	5.0	.871943	.863091	-.00885	.008852
6	SQ	1	1	.885629	5.0	.885629	.883726	-.00190	.001903
6	SQ	1	2	.891709	5.0	.891709	.897756	.00605	.006047
6	SQ	1	3	.879590	5.0	.879590	.869915	-.00967	.009675
7	ST	1	1	.841384	5.0	.841384	.873348	.03196	.031964
7	ST	1	2	.848623	5.0	.848623	.887213	.03859	.038590
7	ST	1	3	.843188	5.0	.843188	.876794	.03361	.033606
8	SQ	1	1	.845930	5.0	.845930	.813589	-.03234	.032341
8	SQ	1	2	.848992	5.0	.848992	.820021	-.02897	.028971
8	SQ	1	3	.844403	5.0	.844403	.810391	-.03401	.034011
9	SQ	1	1	.849265	5.0	.849265	.856321	.00706	.007056
9	SQ	1	2	.852709	5.0	.852709	.863091	.01038	.010382
9	SQ	1	3	.856168	5.0	.856168	.869915	.01375	.013748

Table-6에서의 SUN은 9명의 피실험자, SLT는 인양기법(SQ:Sqoot, ST:Stoop), FQ는 인양빈도(1:0.1 lifts/min, 2:3 lifts/min, 3:9 lifts/min, 4:12 lifts/min), REP는 실험의 반복회수, X는 정신물리학적 방법의 선택한 인양 중량(파운더), VO2는 분당 산소소모량, BE는 생체역학적 등량(파운더-인치)을 나타내고, 또한 F는 예측된 최대압력(Kg), H는 생리학적 스트레스의 권고점, PH는 생리학적 스트레스의 허용구성함수값, B는 생체역학적 스트레스의 권고점, BS는 생체역학적 스트레스의 허용구성함수값, R은 퍼지 연결연산자의 모수, CS는 결합한 스트레스의 허용구성함수값, PS는 정신물리학적 스트레스의 허용구성함수값, DIST는 결합한 스트레스와 정신물리학 스트레스간의 거리, HDI는 거리의 절대값을 나타내고 있다. 계산 결과를 바탕으로 이전 연구와의 비교결과를 제시하는데 각 인양빈도들중 분당 0.1회에 대하여 Table-7에 제시한다.

Table-7. Comparison of the Karwowski results (0.1lifts/min)

Criteria	Karwowski report	Present Study
b	420	410
h	0.4	0.5
k	0.2	0.2
r	0	5.0
minimum Hamming Distance	0.02960	0.0202977

피실험자의 신체조건이 다르기 때문에 보다 정확한 비교를 행하기는 어렵지만 실험 조건이 동일하므로 어느 정도 비교가 가능하다고 보아 비교를 행한다. Table-8에서 보면 낮은 인양빈도인 분당 0.1회에서는 생체역학적 접근과 생리학적 접근의 권고점인 b, h 가 약간의 차이가 있다. Karwowski가 제시한 생체역학적 권고점이 420Kg인 반면에 본 연구에서는 410Kg으로 10Kg 정도 낮게 나왔다. 생리학적 권고점은 본 연구 결과가 0.5 VO2/min 이므로 비교되는 이전 연구보다는 0.1 VO2/min 높았다. 분당 3회의 인양빈도에서는 이전 연구의 결과와 동일하였고, 분당 9회에서는 본 연구의 h 값이 0.1 VO2/min 만큼 낮게 제시되었으며 분당 12회에서는 압력값은 본 연구가 10Kg 높았고, 산소소모량은 0.1 VO2/min 낮았다. 또한, 분당 0.1회의 경우 생체역학적 접근과 생리학적 접근을 합성한 결과가 정신물리학적 접근을 이끌수 있다는 가정의 지표로 사용되는 해밍거리의 최소값이 본 연구의 결과가 약 0.009 정도 작게 산출되었다. 이는 Karwowski가 인양빈도와 상관없이 적용한 조합은 본 연구에서 제시한 인양빈도별로 구성함수 조합을 달리 적용하는 것에 비하여 좋지 못한 결과를 이끌고 있음을 알 수 있다. 그러므로 인양빈도 뿐만 아니라 피실험자의 성별, 연령 등 실험조건이 바뀔 때마다 그에 적합한 구성함수를 먼저 선택하는 것은 퍼지집합론을 이용하여 최대허용 중량을 결정할 경우 필수 선결과제라고 고려된다. 실험결과의 바탕으로 본 연구에서 제시하는 권고점(가장 안전한 기준)들이 Table-8에서 제시된다. 우리나라 20-25세 사이의 남성 작업자들이 작업의 경중 조건에 따라 안전하게 작업할 수 있는 최대허용 계값들을 Table-9에 제시한다. 제시된 무게는 생체역학적 기준과 생리학적 기준을 절충한 무게로서 정신물리학적으로 결정된 값이다.

Table-8. Reference points for the developed model

Frequency lift/min	Parameters				Minimum mean Hamming distance
	b	h	k	r	
0.1	410	0.5	0.2	5.0	0.0202977
3	400	0.5	0.2	0.5	0.0214177
9	380	0.9	0.2	5.0	0.0199829
12	380	0.9	0.2	4.5	0.0162867

Table-9. Mean maximum allowable limit

Frequency lifts/min	Weight (Kg)	VO2 (L/min)	Compressive force(Kg)
0.1	44.7960	0.4682	410
3	29.6296	0.7051	400
9	21.6850	1.2201	380
12	17.8704	1.4358	380

IV. 결 론

수인양에 대한 안전성과 보건의적인 표준을 결정하기 위해서는 먼저 인간능력의 허용한계를 설정하고, 다음으로 대부분의 작업자들이 만족할 수 있는 지침을 규정하는 것이다. 이러한 현안을 해결하기 위한 접근적 노력은 크게 생체역학적 접근, 생리학적 접근, 정신물리학적 접근 등으로 나뉘어져 수행되고 있다. 이들 접근법들 중 정신물리학적 접근은 생체역학적 접근과 생리학적 접근의 권고값들을 적당하게 절충해서 잘 표현하고 실험이 용이하다는 장점때문에 많이 이용된다. 그러므로 본 연구에서는 개별 인양동작을 생리학적 및 정신물리학적 실험을 통하여 분석해 보았다.

본 연구에서는 각 접근들의 스트레스 잘 표현할 수 있는 새로운 구성함수의 최적조합을 다음과 같이 제시했다. 인양빈도 분당 0.1회에서는 생체역학적과 정신물리학적 스트레스가 지수구성함수, 생리학적 스트레스가 쌍곡선구성함수로 제시하였고, 인양빈도 3회, 9회, 12회에서는 생체역학적과 생리학적 그리고 정신물리학적 스트레스 모두 지수구성함수가 최적조합이 됨을 제시하였다. 이 결과로 부터 대부분의 스트레스는 지수구성함수로 표현이 가능하지만 성별, 연령별, 인양회수 등 인양조건에 따라 구성함수의 형태도 달라질 수 있으므로 퍼지집합을 이용한 정신물리학적 접근은 구성함수의 결정이 선결과제라는 점을 이끌 수 있다.

그리고 선택한 최적구성함수 조합으로 실제 실험을 통한 자료로서 개별 수인양을 분석해 본 결과 정신물리학적 접근은 생체역학적 접근과 생리학적 접근을 동시에 절충해서 표현할 수 있는 접근법임을 확인하였고, 생리학적 접근은 낮은 인양빈도와 높은 인양빈도로 대별하여 접근하여도 무리가 없는 것으로 보였다. 그리고 이전의 연구

와 비교해 본 결과 권고치의 차이는 현저하지 않는 것으로 나타났다. 이상의 결과들을 종합하여 본 연구에서 제시하는 20세에서 25세 사이의 남성작업자들이 안전하게 인양할 수 있는 권고치 및 허용중량은 다음과 같이 제시한다. 개별인양시 최적허용중량과 산소소모량은 분당 0.1회의 경우 44.796Kg, 0.4682 L/min 이고, 분당 3회는 29.6296Kg, 0.7051 L/min 이며 분당 9회는 21.685Kg, 1.2201 L/min 이고, 분당 12회는 17.8704Kg, 1.4358 L/min 이다.

본 연구에서 제시한 모형은 실제 현장작업에 적용하기가 쉽고 조건에 따라 유연하게 수정이 가능하므로 현장의 인양안전기준을 결정하는데 상당히 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

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, Elsevier 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 Interaction 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 Calculus and Its 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] Zadeh, L. A. , " Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility," Fuzzy Sets and Systems, Vol.1, pp. 3-28, 1978.
- [9] Snook, S. H. , "The Design of Manual Handling Tasks," Ergonomics, Vol.21, No.12, pp. 963-985, 1978.
- [10] Dubois, D. and Prade, H. , "Fuzzy Sets and Systems. Theory and Application," Academic Press, New York, 1980.