

다양한 중량물 운반(carrying) 유형에서의 최대허용 하중에 대한 비교평가

이 관 석, 박 희 석, 서 치 원

홍익대학교 공과대학 산업공학과

ABSTRACT

본 연구의 목적은 심리육체적 방법(Psychophysical method)을 이용하여 다양한 중량물운반 유형에서의 최대허용하중을 구하는 것이며 이의 타당성을 생리학적 방법(Physiological method)을 이용하여 검토하는 것이다. 또한, 인체측정과 근력측정 자료를 이용하여 각 운반유형에서의 최대허용 하중을 예측하는 모형을 개발하고자 한다. 본 연구에서는 네 가지의 운반유형(Front carrying, One-hand side carrying, Two-hands side carrying 그리고 Back carrying)과 두가지의 보행 속도(50.0 그리고 79.2 m/min)를 주요변수로 8가지의 작업에 대해 무작위로 선택하여 각 작업에 대한 최대허용 하중을 시간과 경비의 감소측면에서 폭넓게 사용되고 있는 심리육체적 방법으로 구하였다.

피실험자는 운반작업의 경력이 있는 실제 작업자군(n=7)과 그렇지않은 학생군(n=10)으로 구분하여 건강한 남성 피실험자를 대상으로 연구를 실시하였다. 주실험전에 인체측정과 근력측정을 실시하였다. 이후에 심리육체적 방법과 생리학적 방법을 실시간(on-line)으로 실시하였다.

연구결과로 학생군과 작업자군간의 신체조건은 뚜렷한 차이를 보이지 않았으나 근력은 작업자가 우월하였다. 심리육체적 방법을 사용하여 도출된 최대허용 하중은 학생군, 작업자군 모두 운반유형의 변화에 따라 유의함을 보였다(학생군:p=.0001 작업자군:p=.0001). 반면에 속도의 변화는 유의하지 않았다(학생군:p=.7954 작업자군:p=.9231). 또한 학생군과 작업자군 모두 Back carrying에서 가장 큰 하중을 운반하였다(학생군: 8.16kg 작업자군: 12.9kg). 심박수를 이용한 생리학적 연구에서는 평균 심박수가 거의 100이하를 유지하므로써 피실험자들이 8시간 작업기준으로 보아 무리가 없는 최대허용 하중을 결정하였음을 보였다. 또한 각 운반작업에 대한 최대허용 하중을 예측하는 회귀모형을 제시하였다.

제 1 장. 서 론

1.1 연구 목적

본 연구는 심리육체적 방법 (Psychophysical method) 을 사용하여 여러 운반유형들하에서 작업자에게 무리함을 주지않는 최대허용 하중을 구함을 그 목적으로 한다. 또한 생리학적 방법 (Physiological method) 을 사용하여 각 운반유형의 효율성을 평가하고자 한다. 그리고 인체제원 데이터와 근력 데이터를 이용하여 운반작업의 최대허용 하중을 예측하는 모형을 개발한다.

1.2 연구 필요성

MMH (Manual materials handling) 작업은 산업현장에서 발생하는 작업자의 요통과 사고등의 주요한 원인이다. 이러한 재해는 작업자가 무리한 동작을 취할 때, 취급하는 하중이 작업자의 역량(capacity) 을 넘을 때, 그리고 작업이 인간공학적인 관점에서 보아 틀리게 설계되었거나 작업 방법 자체가 작업자에게 맞지 않을 경우 발생하게 된다[4]. 따라서 MMH 작업들이 효율적으로 사고없이 수행되려면 작업자에게 무리함을 주지 않는 작업방법과 각 작업방법에 따른 하중의 제한치와 취급방법, 그리고 작업자의 선정기준에 관한 안전지침이 제시되어야 한다.

이 산업재해 중에서 요통이 차지하는 비중은 매우 크다고 볼 수 있다. 미국의 경우 1980년 초반 산업재해 보상중에서 중량물의 운반과 관련되어 발생한 요통이 차지하는 비중이 재해발생 건수의 25% 에 달하였으며 이에 관련된 경제적 손실이 약 350억불에 달하였다[7]. 또한 근육골격계 (Musculoskeletal system) 의 부상으로 인한 경우의 약 50%에 해당하였다[9]. 우리나라에서도 요통은 3 대 직업병의 하나로서 그 발생율과 심각도가 날로 증가하고 있다. 노동부의 통계에 따르면 요통에 의한 산업재해는 1986년의 7.0%에서 1988년에는 8.9%로 증가하였으며 해마다 계속 증가하는 추세를 나타내고 있다[2]. 요통과 관련하여 한국산업안전관리공단에서는 요통 발생 원인을 조사하고 대책을 제시한바 있다[1]. 원인별로는 1985년부터 88년까지의 총 1백56건의 허리 통증 중 운반작업에서 발생한 산재가 1백10건으로 가장 많았고, 다음이 연마작업으로 28건이었다. 공단에서는 디스크 환자가 집중적으로 발생한 포장반의 노동자들이 온종일 운반하거나 차에 싣는 그릇 제품 상자의 무게를 측정 한 결과, 미국의 산업 안전 보건 연구소가 권고하고 있는 허용 기준[8]의 2배 이상 넘는 것으로 드러나 이것이 요통의 원인이었음을 증명하였다.

이러한 요통 발생의 원인을 파악한 결과 요통예방은 기본적으로 척추에 무리한 힘이 가해지지 않도록 취급 중량물의 규모제한과 함께 작업방법 및 자세를 개선하므로써 가능하게 된다고 볼 수 있다. 따라서 작업자에게 무리함을 주지 않는 최대허용 하중에 대한 계량적인 연구로 중량물 취급작업의 안전지침을 마련하는 것은 필수적이라 하겠다. 중량물 취급작업에 대한 안전지침으로

미국의 NIOSH에서는 드는작업으로부터 척추의 compressive force에 대한 위험한계치를 포함하는 드는작업에 대한 지침서가 있다. 그러나 이 지침서는 오로지 드는작업에 국한되어 있다. 운반작업(carrying tasks)의 적정하중에 대한 지침서는 전무하다. 따라서 본 연구는 운반작업의 안전지침으로써 다양한 운반방법에서의 최대허용 하중에 관한 정보의 부재를 완성하고자함을 목적으로 한다.

제 2 장. 연구방법

2.1 피실험자

총 17명의 건강한 남성 피실험자가 본 연구에 참가하였다. 피실험자들은 운반작업에 장시간 경험이 없는 학생 10명(나이 21.9 ± 2.3 세, 신장 174.6 ± 3.5 cm, 체중 64.1 ± 5.7 kg)과 실제 운반작업에 종사하거나 경험이 있는 작업자 7명(나이 27.4 ± 3.1 세, 신장 173.9 ± 5.7 cm, 체중 69.9 ± 11.9 kg)으로 분류된다. 피실험자 모두는 건강상태가 양호하였으며 물건을 운반하는데 불편함이 없는 사람들로 구성되었으며, 현재 근육골격계(musculoskeletal system)에 문제가 있거나 과거 병력(病歷)이 있는 사람들은 제외되었다.

2.2 실험절차

본 연구에서 수행된 실험절차로서는 우선 실험전 각종 인체 제원과 근력이 측정되었으며, 그 후 심리육체적 접근방법과 생리학적 접근방법이 실시되었다. 그 상세한 내용은 다음과 같다.

2.2.1. 인체 제원 및 근력측정 (Anthropometric and Strength Measurements)

작업자군과 학생군간의 비교를 위하여 피실험자의 신장, 체중, 손목 높이, 팔굽힌 팔꿈치높이, 체중, 손부위 등의 인체제원 및 팔근력(Arm Strength), 몸통근력(Torso Strength), 다리근력(Leg Strength), 그리고 악력(Grip Strength) 등의 근력을 측정하였다[3].

2.2.3 심리육체적 방법을 이용한 최대허용 하중 연구

다른 연구에서 사용한 심리육체적 방법론[6]과 마찬가지로 각 운반유형의 작업당 20분동안 피실험자 스스로 8시간 작업에 적합하도록 운반하중을 조절하였다. 즉 한 작업당 20분동안 작업을 하되 8시간의 작업을 수행한다는 생각으로 피실험자가 무게조정을 하도록 하여 실제 휴식시간을 포함하는 작업시 피로를 느끼지 않는 최대허용 하중을 구하였다. 또한 실험시 피실험자는 현재의 배낭무게를 알지못

하도록 하였다. 본 실험에서는 네 가지의 운반유형(Front carrying, One-hand side carrying, Two-hands side carrying 그리고 Back carrying)과 두가지의 보행 속도(50.0 그리고 79.2 m/min)를 주요 변수로 8가지의 작업에 대해 무작위로 선택하였다.

피실험자는 메트로놈의 신호에 따라 일정한 속도로 실험을 행하며, 운반형태에 대한 정의는 다음과 같다.

- 1) Front carrying
 배낭을 자유롭게 앞으로 든채 메트로놈의 속도에 맞추어 일정한 거리를 왕복 운반한다.
- 2) One-hand side carrying
 배낭을 한손(dominent hand)으로 옆으로 든 채 운반한다.
- 3) Two-hands side carrying
 배낭을 양손으로 옆으로(몸의 좌, 우 관계없음) 든 채 운반한다.
- 4) Back carrying
 배낭을 등에 맨 채 운반한다.

2.2.4 생리학적 방법을 이용한 연구

본 실험단계에서는 휴대용 심박측정기를 사용하여 각 작업조건에서의 피실험자의 심박수의 변동을 측정하였다. 심박측정기는 피실험자의 가슴과 손목에 부착되며 심박수의 측정은 작업수행전과 작업수행 후에 이루어졌다.

제 3 장. 결 과

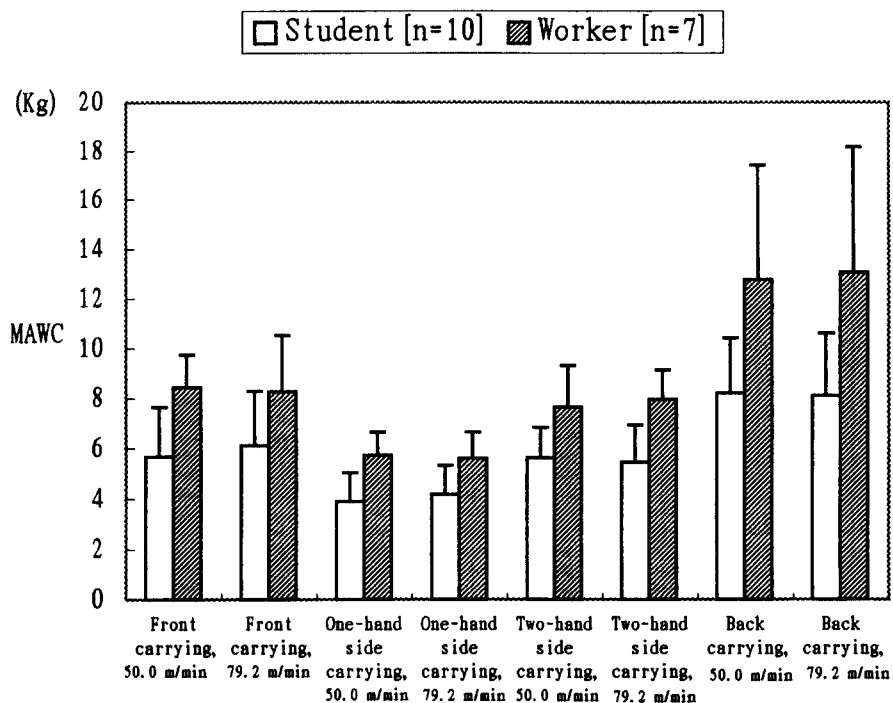
3.1 인체측정 및 근력측정 데이터

인체제원적인 면에서는 학생군과 작업자군의 차이는 매우 크지 않았다. 근력에서는 작업자군이 대체로 우월하였다. 작업자군이 팔근력은 25.09%($p=0.0001$), 다리근력 7.79%($p=0.0369$), 약력은 23.79($p=0.0001$)만큼 우월하였다. 그러나 몸통근력에 있어서는 차이가 유의하지 않았다($p=0.2267$).

3.2 8시간 작업동안의 최대허용 하중

여러가지 운반방법을 이용한 운반실험에서 8시간을 가정한 운반에서 결정된 학생군과 작업자군의 최대허용 하중의 평균을 [그림 1]에 나타내었다. 이 결과로 학생군과 작업자군 모두 Back carrying시

가장 무거운 부하를 들었고, 그 다음으로 Front carrying에서 무거운 부하를 들었다. 학생군과 작업자군간의 각 작업조건에서의 최대허용 하중에 대한 t-test 결과 작업자군이 모두 우위에 있었다. 단, 속도 79.2 m/min, Front carrying에서는 유의한 차이가 없었다(p=0.0644).



[그림 1] 각 작업조건에서의 학생군과 작업자군 간의 최대허용 하중 비교

[표 2]는 속도의 변화와 운반유형의 변수가 고려된 최대허용 하중에 대한 분산분석 결과를 나타내었다. Tukey의 검증결과 학생군과 작업자군 모두 작업유형에 따라 유의한 차가 있으며 Back carrying에서 가장 큰 하중을 운반하였다. 학생군에 대하여는 Front carrying과 Two-hands side carrying간에서만 유의하지 않았다. 작업자군에서도 이와 동일한 결과를 보였다.

[표 2] 속도와 작업유형에서의 분산분석 결과

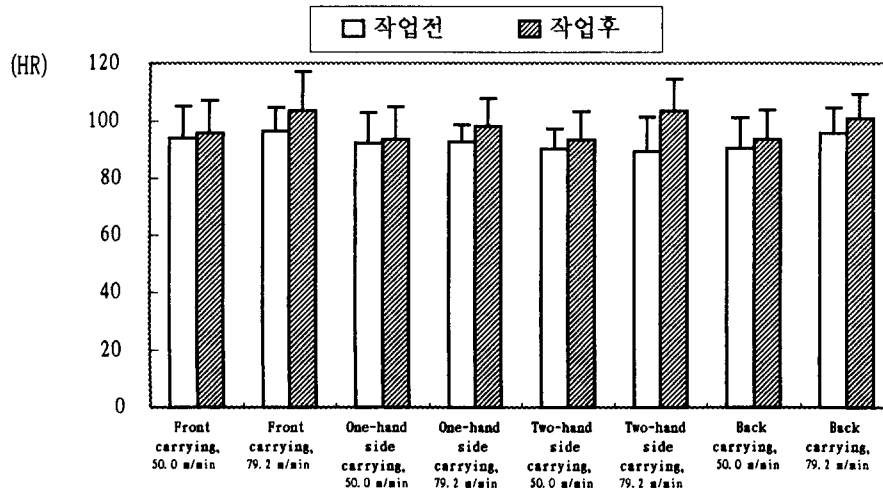
인 자	자유도	학생군 p값	작업자군 p값
속도	1	0.7954	0.9231
유형	3	0.0001*	0.0001*
속도*유형	3	0.9363	0.9921

* : 유의함.

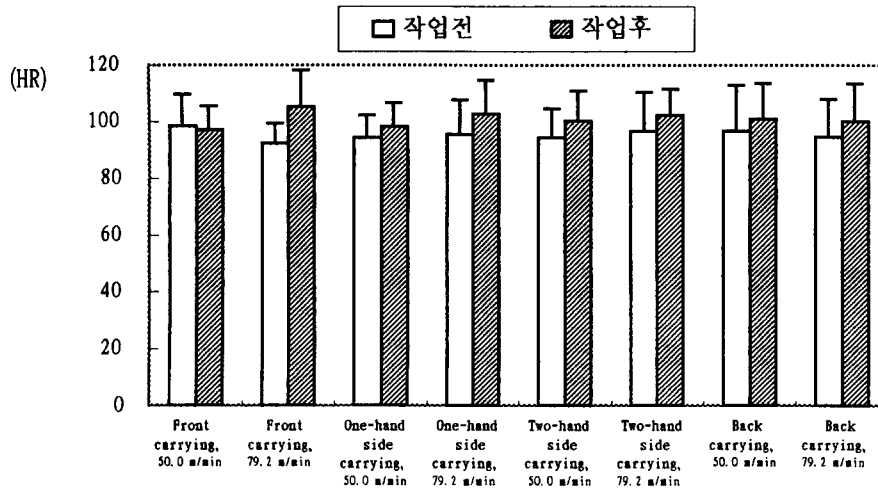
3.3 생리학적 방법을 이용한 연구

[그림 2]는 학생군과 작업자군에 대하여 작업전과 작업후의 평균 심박수 차이를 나타내고 있다. 전반적으로 심박수의 특성인 개인차를 볼 수 있으나 작업조건에 평균 심박수가 100이하를 유지하고 있으므로 피실험자들이 무리한 강도의 작업보다는 비교적 강도가 낮은 작업을 수행하였음을 볼 수 있다.

[학생군]



[작업자군]



[그림 2] 각 작업조건별 작업전과 작업후 평균 심박수 차이

3.4 회귀 모형

3.4.1 Step-wise linear regression을 이용한 인체측정과 근력측정 변수들의 테스트

[표 3]에서는 각 운반유형에 따른 인체측정과 근력측정 변수들을 포함한 최대허용 하중 예측을 나타내었다. 학생군과 작업자군 모두 각 운반 모형에서의 r^2 은 전반적으로 높았다. 모든 운반유형에서의 회귀모형은 유의수준 0.15를 만족하였다. 전반적으로 피실험자의 손과 관련한 측정치가 모든 유형에 있어서 주요한 변수임을 발견하였다. 학생군과 작업자군의 각 유형에서 생성된 예측모형을 비교한 결과로 거의 유사하지 않음을 보였다.

[표 3] 인체측정 및 근력측정 자료로의 최대허용 운반하중 예측 모형

[학생군]

Task	Model	R-square	F value	P value
Front carrying	Y = -16.40 + (-0.3376) (AGE) + (-0.3382) (LC) + 1.8110 (HL) + 0.0443 (LEG)	0.8467	20.71	0.0001
One-hand side carrying	Y = -20.5906 + 0.1696 (AGE) + 0.2532 (HEIGHT) + (-1.0356) (HL) + (-2.2433) (HT) + 0.0613 (ARM) + 0.0417 (TORSO)	0.9017	19.87	0.0001
Two-hand side carrying	Y = -4.6999 + (-0.4720) (AGE) + 0.7563 (HL) + (-0.5049) (HT) + 0.3349 (HW) + 0.0513 (LEG)	0.8807	20.67	0.0001
Back Carrying	Y = 29.6170 + (-0.3435) (LC) + (-0.2908) (HC) + (-0.5976) (HW)	0.7303	14.44	0.0001

AGE: 나이 HEIGHT: 신장 WEIGHT: 체중 KH: 손목높이 LC: 전완둘레 UC:상완최대둘레 BLH: 팔굽힌 팔꿈치높이 HC: 손둘레 HL: 손길이 HT: 손두께 HW: 손너비 ARM: 팔근력 TORSO: 몸통근력 LEG: 다리근력 GRIP: 악력

[표 3] 인체측정 및 근력측정 자료로의 최대허용 운반하중 예측 모형 (계속)

[작업자군]

Task	Model	R-square	F value	P value
Front carrying	Y = -21.73 + 0.4593 (AGE) + 1.1913 (HL) + (-0.0892) (GRIP)	0.7583	10.46	0.0020
One-hand side carrying	Y = -7.1320 + 0.3346 (HC) + 0.4769 (HW)	0.6940	12.47	0.0015
Two-hand side carrying	Y = 10.3737 + 0.0637 (WEIGHT) + (-0.1939) (ARM)	0.8017	22.23	0.0001
Back Carrying	Y = -12.4383 + 0.7837 (AGE) + 2.2996 (HW)	0.9097	33.58	0.0001

AGE: 나이 HEIGHT: 신장 WEIGHT: 체중 KH: 손목높이 LC: 전완둘레 UC:상완최대둘레 ELH: 팔굽힌 팔꿈치높이 HC: 손둘레 HL: 손길이 HT: 손두께 HW: 손너비 ARM: 팔근력 TORSO: 몸통근력 LBG: 다리근력 GRIP: 악력

제 4 장. 결 론

본 연구에서는 작업장에서 중량물 취급작업시 발생하는 요통의 방지를 위하여 운반작업에서의 안전지침을 마련하고자 한국인 작업자에 맞는 최대허용 하중 기준을 심리육체적 방법을 사용하여 도출하고 이의 타당성을 생리학적 방법을 통하여 검토하며, 피실험자의 인체 및 근력 데이터로부터 각 운반에서의 최대허용 하중을 예측하는 회귀모형의 개발을 목적으로 하였다.

본 연구에는 총 17명(학생 10명, 작업자 7명)의 젊고 건강한 남성 피실험자를 대상으로 연구를 실시하였으며, 운반작업의 경력이 많은 실제 작업자군과 그렇지 않은 학생군으로 구별하여 결과를 분석하였다. 작업조건으로는 두 가지 운반 속도와 네가지의 운반유형을 주요 분석대상으로 하였다. 본 연구에서 도출된 결과들을 요약, 정리하면 다음과 같다.

1. 신체체격 조건은 뚜렷한 차이를 보이지 않았으나 근력은 작업자가 대체로 우월하였다.
2. 심리육체적 방법을 사용하여 도출된 최대허용 하중은 학생군, 작업자군 모두 운반유형의 변화에 따라 유의함을 보였다(학생군: p=0.0001, 작업자군: p=0.0001). 작업자군이 전반적으로 학생군에 비하여 더 많은 하중을 운반하였다. 이는 작업자의 운반작업에 대한 경험에서 비롯된 것으로 보인다. 한편 속

도의 변하는 최대허용 하중에 유의하지 않았다(학생군: $p=0.7954$, 작업자군: $p=0.9231$).

3. 학생군과 작업자군 모두 Back carrying에서 가장 큰 하중을 운반하였다. 이는 Das [5]의 연구결과와 일치함을 보였다. 또한 One-hand side carrying에서 가장 낮은 하중을 운반하였다. 이는 운반작업시 부하에 의한 스트레스가신체의 한부위에 편향된 결과로 장시간 운반작업시에는 한손으로 운반하는 자세는 피해야 함을 제시하여 준다.

4. 생리학적 방법을 이용한 연구에서 평균 심박수가 100이하를 유지하였다. 이는 피실험자들이 무리한 강도의 작업보다는 비교적 강도가 낮은 작업을 수행하였음을 알 수 있다. 즉 피실험자들이 8시간 작업기준으로 보아 무리가 없는 최대허용 하중을 결정하였음을 의미한다.

참고문헌

- [1] 당신의 직업이 병을 만든다 (1991), 돌베개.
- [2] 한국산업안전공단 (1990), 보건관리자 신규과정.
- [3] Andersson, G.B.J., Chaffin, D.B., and Herrin, G.D. (1986), "A study of lumbosacral orientation under varied static loads", *SPINE*, Vol.11(5), pp.456-462.
- [4] Chaffin, D.B., and Andersson, G.B.J. (1991), *Occupational Biomechanics*, 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc.
- [5] Das, S.K. and Saha, H. (1966), "Climbing efficiency with different modes of load carriage", *Indian Journal of Medical Research*, 54, pp.866-871.
- [6] Mital, A. (1984), "Comprehensive maximum acceptable weight of lift database for regular 8-hour work shifts", *Ergonomics*, Vol.27, No.11, pp.1127-1138.
- [7] Nagira, T., Suzuki, J., Oze, Y., Ohara, H., and Ayoma, H. (1981), "Cervicobrachial and low back disorders among school lunch workers and nursery school teachers in comparison with cash register operators", *Journal of Human Ergology*, Vol.10(2), pp.117-124.
- [8] National Institute for Occupational Safety and Health. (1981), *Work Practices Guide for Manual Lifting*, U.S. Dept. of Health and Human Services (NIOSH), Cincinnati, Technical Report.
- [9] National Institute for Occupational Safety and Health. (1986), "Proposed national strategies for the prevention of leading work-related diseases and injuries-musculoskeletal injuries", DHHS[NIOSH] Publication, pp.89-129.