

포대 운반손잡이의 인간공학적 디자인 및 평가

정화식^{1*} · 박아성¹ · 정형식²

¹동신대학교 산업공학과 / ²조선대학교 경영학부

Ergonomic Design and Evaluation of Carrying Handles for Bag

Hwa S. Jung¹ · Ah Sung Park¹ · Hyung-shik Jung²

¹Department of Industrial Engineering, Dongshin University, Naju, 520-714

²Division of Business Administration, Chosun University, Gwangju, 501-759

Various characteristics of the object being lifted are known to affect the biomechanical, physiological, and psychophysical stresses. The object characteristics to be considered in the design process of lifting tasks are weight, shape, stiffness, and availability of handles and similar coupling devices. In this study, a prototype Polypropylene laminated bag with carrying handles was designed to decrease the physical stress of people who handle these bags. Physiological and psychophysical approaches as well as subjective ratings were applied to evaluate the effects of handles provided on the designed PP laminated bag. Statistical analysis showed that the VO₂, heart rate, blood pressure, and Borg-RPE score for PP laminated fertilizer bag with carrying handles were significantly lower than those bags without handles. Moreover, Maximum Acceptable Lifting Endurance Time(MALET) measure, newly developed in this study, for bags with handles was significantly higher than those for bags without handles. It is thus recommended that the various types of bags and boxes be equipped with handles to reduce the musculoskeletal, physiological, psychophysical, and subjective perceived stresses.

Keywords: carrying handles, Polypropylene laminated bags, effectiveness of handles, MALET

1. 서론

오늘날 경제발전과 산업화로 인하여 수많은 작업들이 기계화되고 자동화되어 가지만, 아직도 대부분의 작업장이나 생활 주변에서는 인력물자취급(MMH; Manual Materials Handling)이 많은 부분을 차지하고 있는 실정이다. 잘 알려진 바와 같이 인력물자취급은 여러 가지 활동으로 구성되는데, 물체를 적재하고 하역하기 위하여 들기, 옮기기, 내려놓기 작업뿐만 아니라 밀고 당기는 작업 등을 포함하며, 물체를 다른 곳으로 이동시키는데 있어 인력을 사용하는 전반적인 운반작업을 통칭한다.

많은 선행 연구에서는 인력물자취급이 산업체뿐만 아니라 군대 및 가정에서도 사고와 상해를 일으키는 주된 위험요인이라고 보고하고 있다. 이 중 미국산업안전보건연구원(NIOSH,

1981)과 Sanders and McCormick(1992)의 연구에 따르면, 인력물자취급으로 인한 육체적인 스트레스 형태의 작업 위험요인은 너무 다양하기 때문에 모두 열거하기에는 무리가 있다고 말하고 있다. 현재까지 보고된 인력물자취급에 있어 육체적인 스트레스의 잠재적인 요인들로서 인력물자취급자의 신체적·심리적 특성, 물체의 특성, 인력물자의 취급방법, 인력물자취급에 있어서의 공간적인 특성, 그리고 환경적인 특성 등 크게 5가지로 분류하고 있다.

이와 같은 육체적 스트레스의 잠재적인 요인들 중 다양한 특성을 가진 물체의 인력물자취급은 생체역학적, 생리학적인, 심리물리학적 스트레스를 동반하게 되는데 이러한 물체의 특성이 인력물자취급자의 스트레스에 지대한 영향을 미치는 것으로 보고하고 있다(Sanders and McCormick, 1992). 예를 들면,

*연락처 : 정화식 교수, 520-714 전남 나주시 대호동 252 동신대학교 산업공학과, Fax : 061-330-2909, E-mail : hsjung@dsu.ac.kr
2002년 10월 접수, 2회 수정 후 2004년 1월 게재 확정.

물체의 크기에 따른 최대허용중량(MAWL; Maximum Acceptable Weight of Lift) 및 에너지소비와 척추에 작용하는 스트레스의 차이(Ayoub and Mital, 1989), 물체의 모양에 따른 MAWL과 CG-L5/S1의 거리차이(Garg and Saxena, 1980; Mital and Okolie, 1982; Smith and Jiang, 1984), 물체의 하중분포 및 안정성에 따른 MAWL의 차이(Ayoub and Mital, 1989), 그리고 손잡이가 있는 물체의 MAWL의 차이(Garg and Saxena, 1980) 등이다. 따라서 Ayoub(1977; 1982)은 들기 작업의 설계과정에서 고려하여야 할 물체의 특성은 무게와 이의 분포, 모양, 딱딱함, 손잡이의 유용성 또는 이와 비슷한 장치 등이라고 기술하고 있다.

Drury(1980)와 Garg and Saxena(1980)는 “손잡이가 있는 물체가 손잡이가 없는 물체보다 더 안전하고 스트레스도 덜하다”는 연구결과를 보고하였다. 이들 연구에 따르면, 손잡이가 없는 6개의 다른 치수의 상자가 손잡이가 있는 상자보다 평균 MAWL이 7.2% 더 낮게 나타났다. 또한 Ciriello *et al.*(1993)의 연구결과에 의하면, 손잡이가 없는 상자가 MAWL이 16%나 더 낮게 나타났다. 따라서 이들은 MAWL이 손잡이가 있는 물체가 손잡이가 없는 물체보다 높기 때문에 들기 작업과 관련된 직 무설계에 적용할 때는 물체 손잡이의 유무에 따라 반드시 MAWL의 조정이 필요하다는 것을 주장하고 있다.

또한 다른 연구들에서는 물체의 손잡이 유무가 작업의 능력과 편안함을 향상시킨다고 보고하고 있다. Rigby(1973)는 손잡이가 있는 용기는 없는 용기에 비해 바닥에 떨어뜨릴 확률이 적음을 보여주었으며, Drury(1980)는 물체의 손잡이가 들기 작업에서 산소소비량을 11% 감소시키고, 들어올리는 힘을 20% 증가시킨다고 기술하고 있다. 한편 다른 많은 연구자들(Pheasant and O'Neill, 1975; Khalil, 1973; Rigby, 1973; Saran, 1973; Ayoub and LoPresti, 1971; Woodson and Conover, 1964)은 악력과 근전계(electromyography)의 활동이 손잡이의 지름과 상관관계가 있음을 밝혔다.

따라서 본 연구는 인력물자취급 시 안전성을 향상시키고 육체적 스트레스를 감소시키기 위하여 운반손잡이가 부착된 프로토타입 PP포대(Polypropylene laminated bag)를 개발하고, 개발된 프로토타입을 생리학, 심리물리학적 평가방법을 통하여 이의 효과를 평가하는 데 목적을 두었다.

운반손잡이가 부착된 PP포대의 효과를 평가하기 위하여 운반손잡이의 유무에 따른 작업자의 생리학적 변화, 즉 VO2 (Ventilation O2), HR(Heart Rate), BP(Blood Pressure) 등의 객관적인 척도와 Borg-RPE(Rating of Perceived Exertion)의 주관적인 척도를 병행하여 실시하였다. 또한 손잡이의 유무에 따라 MAWL의 개념과 유사한 최대수용 들기 인내시간(MALET: Maximum Acceptable Lifting Endurance Time) - 피실험자가 선 자세로 포대를 팔꿈치 높이까지 들어서 움직이지 않은 상태에서 피실험자가 스트레인이거나 불편함이 없이 피곤함을 느끼지 않을 때까지를 측정할 시간 - 이라는 새로운 개념을 도입하여 실험을 수행한 결과를 비교평가하였다.

2. 운반손잡이가 부착된 PP포대의 개발

2.1 현행 PP포대의 문제점

오늘날 PP포대는 시멘트, 합성수지, 설탕, 곡물, 화학, 쌀, 밀가루, 모래, 사료, 소금, 야채 등과 같은 여러 농산물 및 화학제품의 용기로 널리 쓰이고 있다. 이에 따라 포대 내용물의 보호를 위한 다양한 방안이 제시되고 있으며 포대의 packing/unpacking에 필요한 장치 및 기구 개발에 많은 연구들이 이루어지고 있다. 또한 선적이나 하역 시, 컨베이어벨트와 같은 인력운반 작업 보조기계들이 사용됨으로써 작업자의 작업부하를 줄이기 위한 많은 노력도 기울이고 있다.

그러나 여전히 포대의 적재 및 하역, 그리고 운반에 있어 인력물자취급이 불가피한 경우가 발생하고, 특히 작업장의 인부나 농부 등의 최종사용자(end users)는 포대를 직접 들고 운반할 수밖에 없다. 따라서 이러한 포대를 인력으로 운반하는 최종사용자에게 무리한 작업부하 문제가 야기된다. 무엇보다도 기존의 PP포대는 손잡이가 없기 때문에 잡고 운반하기가 용이하지 않아 대부분의 작업자들은 포대를 몸 앞에 안고 운반하거나 포대를 등 뒤에 지고 운반하거나 포대를 어깨 위에 올려놓고 운반하는 방법 등을 이용하게 된다.

이러한 운반방법을 반복 수행하게 되면 팔과 허리 또는 어깨나 목부위에 무리한 힘을 가하게 됨으로써 이들 부위는 치명적인 손상과 상해를 당할 수 있다. 특히 작업장의 인부나 농촌의 인구가 점차 고령화되는 추세에 비추어 볼 때 대부분의 PP포대의 포장단위가 20kg 또는 40kg인 점은 무리가 따른다고 할 수 있다. 아울러 Kim(1997)과 Park *et al.*(1996)의 연구결과도 20kg 또는 40kg의 물체 무게는 일반 한국인 작업자가 들고 운반하기에 적절치 못한 중량물이므로 이의 개선이 시급하다고 하였다.

그러므로 이러한 문제점을 개선하기 위해서 PP포대에 손잡이를 제공한다면 MAWL을 상승시켜 물체의 체감무게를 줄일 수 있으며 보다 안전한 방법으로 들기, 옮기기, 내려놓기 작업을 할 수 있기 때문에 손잡이가 부착된 PP포대 개발이 시급하다.

2.2 손잡이 디자인의 설계요건

Drury(1980)는 손잡이를 설계하는 데 있어 구체적으로 손잡이의 크기, 지름, 모양, 표면 처리, 그리고 위치 등에 관한 유용한 지침을 제공하고 있는데, 다음은 본 연구의 PP포대 손잡이 개발에 적용할 수 있는 지침들이다.

1. 운반물의 손잡이를 설계할 때 손잡이를 한 손보다는 두 손을 이용할 수 있도록 한다.
2. 팔을 굽히지 않고 최대한 뻗어서 운반할 수 있도록 한다.
3. 손잡이나 잡을 것을 만들 때 길이는 최소한 11.5cm, 지름은 2.5~3.8cm, 그리고 손이 들어갈 수 있는 여유는 3.0~3.5cm로 한다.

4. 손잡이를 디자인할 때 물체의 무게분배를 위해 손과 손가락이 손잡이 표면 범위를 가능한 한 최대로 감쌀 수 있도록 한다.
5. 날카로운 모서리와 가장자리, 손가락의 홈 등을 제거하여 손을 보호할 수 있도록 한다.
6. 손잡이에 마디 또는 표면처리를 함으로써 미끄러짐을 방지한다.

본 연구에서는 운반손잡이가 부착된 PP포대를 개발하기 위하여 기존의 PP포대의 문제점을 보완하는 것을 기초 디자인 개념으로 설정하였고, 상기에서 열거한 Drury(1980)의 지침을 적용하여 사용자의 편의성을 증진시키는 데 목표를 두었으며 다음과 같은 디자인 선결요건을 설정하여 개발하였다.

- 기존의 PP포대 생산비와 거의 차이가 없이 생산가격을 최소화 할 수 있는 설계
- 손잡이 구조는 인력물자 취급 시 안정되고 튼튼하며 운반이 용이한 설계
- 제공된 손잡이로 인해 무게의 증가가 수반되지 않는 설계
- 손잡이를 잡았을 때 손바닥과 손가락의 안전을 도모하는 설계
- 포대를 적재하였을 때 손잡이가 포대적재에 장애가 되거나 들출되지 않는 설계

2.3 PP포대의 프로토타입 개발

<그림 1>은 본 연구에서 개발한 손잡이가 부착된 프로토타입 PP포대이다. 손잡이 구멍의 여유공간을 제공하기 위하여 포대의 길이는 열용착하여 봉합된 양쪽 지점으로부터 각각 10cm를 연장하였다. 손잡이 구멍은 모가 나지 않도록 길이 12cm와 폭 5cm로 친공하고, 친공된 손잡이 테두리는 PE(Polyethylene) 소재를 부착하여 열용착함으로써 손잡이 구멍이 찢어지지 않게(tearproof) 보강하였을 뿐만 아니라 잡기에 안전하고 편안한 손잡이를 제공하였다.

개발된 PP포대는 <그림 1>에서 보는 바와 같이 비료포대에 적용하였으며, 중량은 20kg이다. 포대의 치수는 손잡이 연장면을 포함하여 길이(80cm) × 너비(45cm)이다. 손잡이 제공으로 인한 포대 전체의 무게 증가는 사용자가 인식할 수 없을 만큼 아주 미미하기 때문에 문제가 되지 않는다고 판단된다.



그림 1. 개발된 운반손잡이가 부착된 PP포대의 프로토타입.

3. 개발된 Prototype에 대한 생리학적, 심리물리학적 반응 평가

3.1 피실험자

과거에 근골격계 질환이나 심혈관계 질환을 앓았던 경험이 없는 건강한 남자 대학생 20명이 피실험자로 참여하였으며, 이들 중 대부분은 육체적 운동이나 인력물자취급에 경험이 있다고 응답하였다. 실험을 시작하기 하루 전, 피실험자들이 실험 방법에 익숙해지기 위한 교육과 훈련을 실시하였고, 실험중 피실험자들은 가벼운 운동복과 운동화를 착용하고 실험에 참여하였다. <표 1>은 본 실험에 참여한 24세부터 27세까지 피실험자의 인구통계적 자료와 이들의 안정 시의 생리학적 수준을 측정된 결과를 요약한 것이다.

3.2 실험장치

실험은 Cortex MetaMax(Mobile Cardiopulmonary Stress Test System)를 이용하여 산소소비량을 측정하였다. 또한 Polar 가슴 벨트를 착용하여 심박수를 측정하였고 디지털 혈압계를 이용하여 혈압을 측정하였다.

3.3 실험절차 및 방법

본 실험은 이틀에 걸쳐 연속적으로 실시하였다. 실험에 앞서 실험자들은 먼저 실험목적, 실험절차, 실험 시 주의사항 등

표 1. 피실험자의 인구통계적 자료와 안정 시 생리학적 수준측정 결과

구분	나이 (year)	키(cm)	몸무게 (kg)	산소소비량* (l/min)	심박수* (pulses/min)	혈압*(mmHg)	
						수축기	이완기
범위	24~27	163.00~183.00	53.00~88.00	0.40~0.84	59.00~110.50	116.50~172.50	71.50~96.50
평균	25.45	173.63	66.25	0.55	81.90	132.58	80.33
표준편차	0.94	4.87	7.72	0.11	11.97	12.16	6.65

* 피실험자 20명에 대해 2일 간 측정된 평균치

에 대해 피실험자들에게 설명하였다. 이후 피실험자의 과거 근골격계 질환이나 심혈관계 질환 경험 여부에 대해 설문하고 피실험자의 나이, 키, 몸무게를 측정한 후 안정 시의 생리학적 수준을 측정하였다.

각 피실험자들은 먼저 <그림 2>와 같이 2열 10단(각 포대높이 9cm, 총 적재높이 90cm) 총 20개가 적재되어 있는 손잡이가 없는 20kg PP비료 포대를 1m 떨어진 옆으로 같은 적재방법인 2열 10단으로 옮겨 쌓게 하였다. 포대를 옮기는 방법은 자유 들기 자세(free style lifting)로 서두르거나 쉬는 동작 없이 20포대를 2분 30초 동안에 옮기는 속도(대략 8포대/분)로 작업하게 하였다. 포대를 옮긴 직후 각 실험자로 하여금 Borg-RPE subjective rating을 기록하게 하였다.



그림 2. 실험장면.

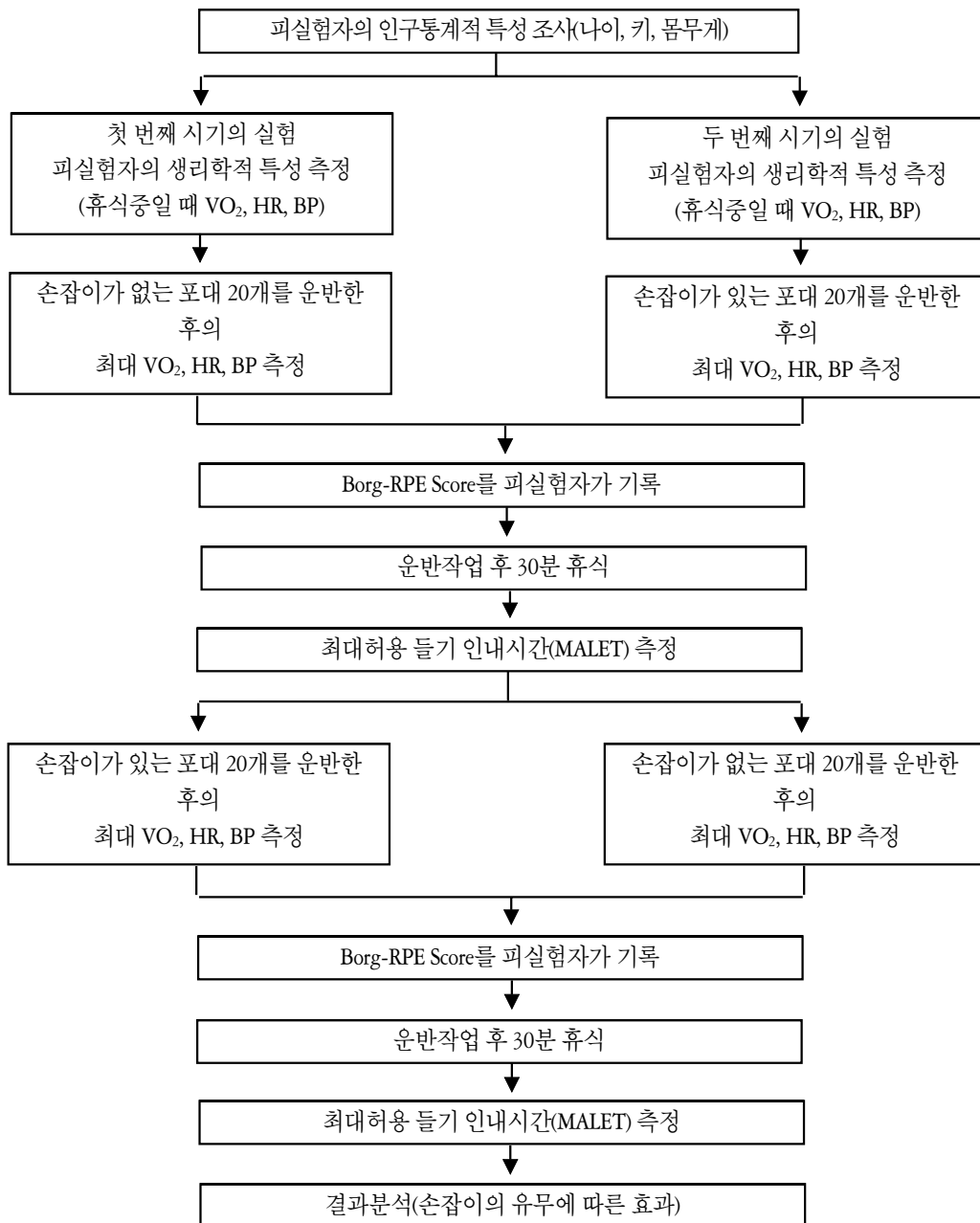


그림 3. 실험절차에 따른 Flow Chart.

이후 약 30분 간의 휴식시간을 취하게 한 뒤 MALET을 측정하였다. MALET은 피실험자가 선 채로 팔꿈치높이(팔꿈치의 각도는 90°)까지 포대를 들고 움직이지 않는 상태에서 스트레인이거나 불편함이 없이 피곤함을 느끼지 않을 때까지를 측정된 시간을 말하며, MAWL(Ayoub and Mital, 1989)과 유사하다고 말할 수 있으나 MAWL은 무게가, MALET은 시간이 종속변수의 개념이 된다. 따라서 MALET은 물체의 무게나 형태에 따라 물체를 들고 안전하게 운반할 수 있는 시간을 산정할 수 있으며 이를 토대로 안전하게 운반할 수 있는 거리를 추정하는 데 유용하게 적용할 수 있다.

같은 피실험자를 대상으로 손잡이가 있는 포대를 가지고 전과 같은 방법과 순서로 실험을 실시하였다. 둘째 날은 첫째 날과 반대로 손잡이가 있는 포대를 옮기는 작업을 먼저 실시하였다. 이와 같은 역순(reverse ordering) 실험조건의 설정 목적은 cross-balancing을 하여 혹시 발생할 primacy와 recency 효과를 제거함으로써 측정자료의 정확성을 높이기 위함이다. 또한 이러한 reverse ordering은 피실험자의 피로와 적응효과(adaptation effects)를 감소시킬 수 있다고 판단된다.

측정은 Cortex사의 MetaMax를 이용하여 작업하는 동안 가장 높은치의 생리학적 수준을 기록하였다. <그림 3>은 실험절차에 따른 Flow Chart를 보여주고 있다.

4. 결 과

4.1 설정된 들기 작업조건의 분석

설정된 실험의 들기 작업조건에 대한 작업부하의 강도를 파악하기 위하여 Revised NIOSH Lifting Equation(National Technical Information Services, 1991)을 적용하여 분석하였다. RWL(Recommended Weight Limit)과 LI(Lifting Index)은 ErgoEASER(Ergonomics Education, Awareness, System Evaluation, & Recording tool, 1999)를 사용하여 계산하였다. <표 2>는 사용된 들기 작업 변수와 해당 수치를 요약한 것이다.

<그림 2>에서 보는 바와 같이 작업자가 2열 10단으로 20개가 적재되어 있는 20kg 무게의 포대를 1m 떨어진 거리로 하나씩 옮길 때마다 포대의 높이는 달라진다. 즉, 각각의 포대높이는 9cm이고 10개가 적재되어 있다면 총 높이는 90cm가 된다. 하지만 손잡이가 없는 포대를 잡을 때의 손의 위치는 포대의 밑면부위가 되므로 첫 번째 포대의 들기 수직높이는 81cm가 되며 계속해서 9cm씩 감소된다. 그러므로 포대의 수직높이와 수직이동거리의 평균은 <표 2>의 들기 원점과 도착지 데이터 입력에서와 같이 40.5cm가 된다.

손잡이가 있는 포대를 잡을 때 손의 위치는 포대의 높이와

표 2. 들기작업분석에 사용된 변수와 값

들기분석 구성요소 (Lifting analysis component)	변 수	값
인간자료 입력 (Human data entry)	사람 수 사용된 손의 수 들기 스타일 허리와 발의 자세	1 person two hands standing free style
직무자료 입력 (Job data entry)	분당 들기 빈도수 작업 지속시간 회복시간 직무 구성요소	8 lifts/min <0.1 hrs ≥ 30 min lifting/lowering while carrying
물체자료 입력 (Object data entry)	최대 및 평균 무게 중력의 중심 여부 물체 치수(height×width×depth) 손잡이 스타일	20kg Yes 9×60(70+)×45cm fair(good+)
원점과 도착지자료 입력 (Origin and destination data entry)	평균 수직높이++ 평균 수직이동높이 수평거리 들기 비대칭각도	40.5cm*(49.5cm)** 40.5cmo(49.5cm)oo 47.5cm(45cm/2+25cm) 0 degree

+ 손잡이가 있는 경우 포대의 물체조건.

++ 본 실험 목적상 손잡이가 없는 경우 포대 밑면부위의 손의 위치를 가리키며, 손잡이가 있는 경우 포대를 들었을 때 손의 위치는 포대의 높이와 일치함.

* 손잡이가 없는 경우의 평균 수직높이 = $\frac{81+72+63+54+45+36+27+18+9+0}{10} = 40.5cm$

** 손잡이가 있는 경우의 평균 수직높이 = $\frac{90+81+72+63+54+45+36+27+18+9}{10} = 49.5cm$

o 손잡이가 없는 경우의 평균 수직이동높이 = $\frac{0+9+18+27+36+45+54+63+72+81}{10} = 40.5cm$

oo 손잡이가 있는 경우의 평균 수직이동높이 = $\frac{9+18+27+36+45+54+63+72+81+90}{10} = 49.5cm$

거의 일치한다. 왜냐하면 포대의 무게로 인한 중력에 의해 포대 몸체는 아래로 처지게 되고 그러므로 손잡이는 포대의 위쪽에 위치하기 때문이다. 따라서 손잡이가 없는 포대를 잡을 때의 손의 위치 변경방법과 마찬가지로 첫 번째 포대의 들기 수직높이는 90cm가 되며 계속해서 9cm씩 감소된다. 포대의 수직높이와 수직이동거리의 평균은 <표 2>의 들기 원점과 도착지 데이터 입력에서와 같이 49.5cm가 된다.

주지하는 바와 같이 설정된 들기 작업은 들기와 내리기뿐만 아니라 옮기기 작업도 포함되어 있다. 따라서 이러한 모든 작업조건을 감안하여 손잡이가 없는 포대의 들기 작업의 RWL과 LI를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$RWL = LC(23) \times HM(0.52) \times VM(0.90) \times DM(0.93) \times AM(1.00) \times FM(0.60) \times CM(0.95) = 5.7kg$$

$$Lifting\ Index = \frac{Load\ Weight}{Recommended\ Weight\ Limit} = \frac{20kg}{5.7kg} = 3.51$$

위 수식에서 보듯이 RWL의 계산결과 물체의 수평거리(HM=0.52)와 들기 빈도수(FM=0.60)가 상수(23kg)의 무게를 낮추는 가장 큰 요인변수로 나타났으며, LI의 값은 3.51로 RWL을 약 3.5배를 초과하고 있다. 손잡이가 있는 포대의 들기 작업의 경우 VM은 0.92, DM은 0.91, 그리고 CM은 1.00으로 변화되므로 RWL의 값은 6.04kg, LI값은 3.31로 포대에 제공된 손잡이가 RWL값을 약간 상승시키나 포대의 손잡이 유무와 상관없이 대부분의 사람들이 수용하기 어려운 작업으로 나타났다.

이는 설정된 들기 작업의 분당 들기 빈도수가 실험목적상 쉬지 않고 들기 작업을 수행하도록 한 것에 기인하며 실제 작업에 있어서는 분당 들기 빈도수가 설정치보다 적으며 작업자의 의지(self-paced)에 따라 조절할 수 있는 것이 일반적이다. 또한 Mital and Okolie(1982)의 연구에서 “쭈그러지는 자루나 용기를 사용하면 단단한 상자를 사용할 때보다 MAWL이 커지는데, 이는 몸이 가까이 붙일 수 있다는 장점이 있기 때문에 CG-L5/

S1의 거리를 단축시킨다”와 같이 포대의 특성상 상자형 물체와는 달리 작업자의 몸에 밀착시켜 들기 작업을 할 수 있으므로 작업자와 포대 무게중심점과의 수평거리는 이론적인 치수보다 좀더 줄어들 수 있다고 판단된다. 특히 손잡이가 있는 경우는 없는 경우보다 작업자의 작업부하가 경감될 것이라고 생각된다.

4.2 생리학적 측정분석

인력물자취급은 작업시간에 상관없이 과도한 작업부하에 따라 장·단기적으로 건강에 영향을 미친다. 단기적인 영향은 피로를 들 수 있으며 이러한 피로는 호흡기계나 심장혈관계, 그리고 근골격계에 반응이 나타난다. 호흡기계와 심장혈관계의 스트레스에 대한 신호변화는 산소소비량, 심박수, 그리고 혈압의 증가로 나타난다(Corlett and Bishop, 1976).

<표 3>은 본 실험에 따른 최대 생리학적 수준을 측정된 결과로서, 손잡이가 없는 포대의 들기 작업 시 최대 산소소비량과 심박수의 전체 범위는 각각 1.25~1.94(평균 1.54(±0.16)) l/min과 81.50~123.50(평균 99.90(±10.89))pulses/min이며, 이를 <표 4>의 작업등급에 따른 산소소비량과 심박수(American Industrial Hygiene Association, 1971)와 비교하여 보면 ‘보통 작업’~‘힘든 작업’에 해당한다.

표 4. 작업등급에 따른 산소소비량과 심박수(AIHA, 1971)

작업등급	산소소비량(l/min)	심박수(pulses/min)
휴식(앉은 자세)	0.3	60~70
매우 가벼운 작업	0.3~0.5	65~75
가벼운 작업	0.5~1.0	75~100
보통 작업	1.0~1.5	100~125
힘든 작업	1.5~2.0	125~150
매우 힘든 작업	2.0~2.5	150~180
견디기 어려운 작업	>2.5	>180

표 3. 최대 생리학적 수준측정 결과

구 분		손잡이 유	손잡이 무
산소소비량 (l/min)	범위	1.06~1.85	1.25~1.94
	평균*(표준편차)	1.44(0.22)	1.54(0.16)
심박수 (pulses/min)	범위	70.50~117.50	81.50~123.50
	평균*(표준편차)	94.88(11.63)	99.90(10.89)
혈압 (mm Hg)	수축기 BP	범위	130.00~194.00
		평균*(표준편차)	153.78(13.00)
	이완기 BP	범위	61.00~101.50
		평균*(표준편차)	74.95(10.24)
			126.00~187.00
			154.05(14.75)
			56.00~94.00
			73.23(9.13)

* 20명의 피실험자가 2일 동안 2번씩 수행한 들기 작업 평균.

이와 반면에 손잡이가 있는 포대의 들기 작업 시 최대 산소 소비량과 심박수의 전체 범위는 각각 1.06~1.85(평균 1.44(± 0.22)) l/min과 70.50~117.50(평균 94.88(± 11.63)) pulses/min로서 이는 ‘가벼운 작업’~‘보통 작업’에 해당한다. 즉, 손잡이가 없는 포대의 들기 작업 시 손잡이가 있는 포대보다 작업부하가 약간 높은 것으로 나타났다. 하지만 혈압의 경우, 수축기 혈압은 산소소비량과 심박수의 결과와 일치하지만 이완기 혈압의 경우는 반대의 실험 결과치를 보이고 있다.

<표 5>는 실험을 실시하기 전 안정 시의 생리학적 수준 측정 결과와 실험시작 후 포대손잡이의 유무에 따라 변화된 피실험자들의 최대 생리학적 수준 측정 결과의 차이를 보여주고 있다. 이를 살펴보면 예상대로 손잡이가 있는 포대가 손잡이가 없는 포대보다 산소소비량과 심박수의 생리학적 변화의 수준이 전반적으로 낮게 나타났다. 즉, 손잡이가 있는 포대의 들기 작업이 손잡이가 없는 포대보다 작업부하가 경감되기 때문에 생리학적 수준의 변화가 적은 것으로 해석될 수 있다.

혈압의 경우 수축기와 이완기 모두의 low-end 범위는 손잡이가 있는 포대에서 더 높게 나타남으로써 예상과는 일관성이 없는 것으로 나타났으나, 수축기 혈압의 경우 high-end 범위와 평균치는 손잡이가 있는 경우에 낮게 나타났다. 한편 이완기 혈압의 경우 평균치가 손잡이가 있는 경우와 없는 두 가지 경우 모두 음수로서 실험을 시작한 후가 안정기일 때보다 오히려 낮게 나타났다.

요약하자면, PP포대에 손잡이가 제공됨으로써 작업 시 산소 소비량과 심박수는 감소되며, 이는 작업부하가 감소된다는 의미를 내포하고 있다. 물론 육체적인 작업능력과 생리학적 수준은 개인 간의 차이가 크며 작업부하란 작업부하와 작업자의 작업능력 간의 비율이기 때문에 작업부하를 표현함에 있어 분당 산소소비량이나 심박수와 같은 절대적인 값은 의미가 없다. 따라서 어떤 일을 수행하는 것에 대한 작업부하의 평가는 개인의 최대 생리학적 수준에 대한 백분율로 표현되어야 한다. 즉, 작업자 개인의 최대 생리학적 수준이 파악된 후 개개인의 작업부하의 평가가 이루어져야 한다.

하지만 본 연구는 PP포대의 손잡이 유무에 따른 피실험자

개개인의 생리학적 반응을 비교 측정된 것이지만 어떤 특정한 작업을 하는 데 있어서의 개개인의 작업부하나 작업능력을 비교 평가한 것이 아니기 때문에 개인마다 Treadmill이나 Bicycle Ergometer 등을 사용한 submaximal test와 같은 검량(calibration)의 필요성은 제기되지 않고 있다.

4.2.1 산소소비량(Oxygen consumption)

Dutta와 Taboun(1989)은 다양한 종류의 물체들을 들거나 운반하는 데 따른 생리학적 영향에 대해 연구하였다. 그들은 물체의 무게, 운반거리, 들기 빈도들 중 어느 한 변수의 증가에 따라 산소소비량이 상승하는 것을 보여주었다.

본 연구에서는 특정 작업에 따른 산소소비량, 심박수, 혈압 등의 생리학적 변화를 종속변수로 설정하였고, PP비료 포대손잡이의 유무를 독립변수로 설정하였다. 따라서 20kg PP포대의 손잡이 유무에 따른 산소소비량을 측정하여 대응표본 t-test 분석(2종류의 포대/피실험자 20명/각각 2번씩 실험)을 실시한 결과 매우 유의한 차이($p=0.012$)가 있는 것으로 나타났다.

4.2.2 심박수(Heart rate)

많은 연구들이 심박수 측정을 통한 다양한 작업의 생리학적 효과에 대해 보고하고 있다. 특히 Grandjean(1985)과 Green *et al.*(1986)은 정신적·육체적 작업부하의 증가는 심박수의 증가를 유발한다고 서술하고 있다. 손잡이의 유무에 따른 심박수의 변화에 대한 대응표본 t-test 분석결과 산소소비량과 마찬가지로 통계적으로 유의한 차이($p=0.024$)가 있다는 결론을 얻었다.

4.2.3 혈압(Blood pressure)

McArdle *et al.*(1986)은 작업량이 증가하거나 운동량이 증가함에 따라 혈압이 증가하며 에너지 소비와 혈압과의 관계는 상관관계가 성립된다고 보고하고 있다. 일반적으로 수축기 혈압은 작업하는 동안 산소소비량과 심장의 output의 증가에 따라 상승하며, 이완기 혈압은 상대적으로 경미하게 증가하거나 변하지 않는다. 손잡이 유무에 따른 혈압 차이에 대한 t-test 결과,

표 5. 손잡이 유무에 따른 생리학적 변화

구 분		손잡이 유	손잡이 무
산소소비량 (l/min)	범위	0.44~1.44	0.67~1.46
	평균(표준편차)	0.89(0.25)	0.99(0.17)
심박수 (pulses/min)	범위	-4.00~32.00	2.00~37.00
	평균(표준편차)	12.98(8.33)	18.00(9.71)
혈압 (mm Hg)	수축기 BP	범위	4.50~37.50
		평균(표준편차)	21.20(7.87)
	이완기 BP	범위	-16.50~24.50
		평균(표준편차)	-5.38(8.68)

수축기(p=0.922)나 이완기(p=0.316) 혈압 공히 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 판명되었다.

4.3 Borg-RPE(Rating of Perceived Exertion) 분석

본 연구에서는 Borg(1985)의 정신적, 육체적 활동지각의 평가척도인 Borg-RPE를 적용하여 손잡이의 유무에 따른 등급을 평가하였다. 이 등급은 6에서 20까지 구성되어 심박수의 1/10과 같은 비율로 등급을 나타낸 것으로서 활동수준에서 예상되는 심박수와 상관관계를 가진다.

이에 따라 실험이 진행되는 동안 측정된 최대 심박수와 피실험자들이 직접 평가한 Borg-RPE 등급을 비교한 결과, 비교적 낮은 상관관계를 보였으며(손잡이가 없는 경우 r=0.142; 손잡이가 있는 경우 r=0.384) 실제 전체 평균 심박수보다 Borg-RPE 등급에 10을 곱한 전체 평균 수치가 전반적으로 높게 나타났다. 즉, 손잡이가 없는 경우에 심박수는 98.73pulses/min, 이때 Borg-RPE×10=132.5이었다. 또한 손잡이가 있는 경우에 심박수는 95.98pulses/min이었고, Borg-RPE×10=117.8이었다.

Borg-RPE 등급의 분석결과, 손잡이가 없을 때 평균 13.25

(±1.48)이었으며, 손잡이가 있을 때 11.78(±1.49)로 나타났다 (<표 6>). 이 등급은 각각 ‘약간 힘든 활동’과 ‘가벼운 활동’에 해당한다. <표 6>의 손잡이의 유무에 따른 대응표본 t-test 분석결과, Borg-RPE 등급은 통계적으로 매우 유의한 차이(p=0.000)를 보여주고 있다.

4.4 최대허용 들기 인내시간(MALET; Maximum Acceptable Lifting Endurance Time)의 비교

근육의 정적인 힘인 인내력은 힘의 크기와 중대한 관계가 있으며, 인내시간은 정적인 힘을 요구하는 작업의 수행도를 평가하는 데 중요한 척도가 된다(Jackson *et al.*, 1984). 사람이 최대 정적인 힘을 유지할 수 있는 시간은 단시간에 불과하기 때문에 어느 시간 동안 힘을 유지해야 할 때 요구되는 힘은 그 사람의 정적인 능력보다 상당히 낮아야 한다(Sanders and McCormick, 1992).

본 연구에서 개발한 MALET 척도를 가지고 손잡이 유무에 따른 수치를 비교한 결과, 손잡이가 없을 때 평균시간은 6.93(±2.02)초였으며, 손잡이가 있을 때 평균시간은 9.33(±3.15)초였

표 6. 손잡이 유무에 따른 Borg-RPE Score 및 대응표본 t-test 결과

분류	포대손잡이		t-test	
	유	무	t	유의확률
범위	9~17	11~16	-4.744	0.000
평균(표준편차)	11.78(1.49)	13.25(1.48)		

표 7. 손잡이 유무에 따른 MALET Score 및 대응표본 t-test 결과

분류	포대손잡이		t-test	
	유	무	t	유의확률
범위	5~19	4~12	4.465	0.000
평균(표준편차)	9.33(3.15)	6.93(2.02)		

표 8. 실험시기에 따른 생리학적 수준과 주관적 평가의 변화에 대한 평균치와 분산분석 결과

구분	손잡이 유						손잡이 무					
	산소 소비량 (l/min)	심박수 (pulses/min)	수축기 혈압 (mm Hg)	이완기 혈압 (mm Hg)	Borg-RPE	MALET (second)	산소 소비량 (l/min)	심박수 (pulses/min)	수축기 혈압 (mm Hg)	이완기 혈압 (mm Hg)	Borg-RPE	MALET (second)
첫 번째 시기(a)	0.89	14.30	20.85	-10.60	11.75	10.20	1.02	14.35	23.65	-10.65	12.85	6.95
두 번째 시기(b)	0.85	13.85	21.55	-0.15	11.80	8.45	1.00	19.30	19.30	-3.55	13.65	6.90
차 (a-b)	0.04	0.45	0.7	10.45	0.05	1.8	0.02	4.95	4.35	7.1	0.8	0.05
유의확률	0.575	0.901	0.871	0.016	0.917	0.079	0.708	0.270	0.479	0.036	0.088	0.939

다(<표 7>). 이와 같이 제공된 손잡이는 최대허용 들기 인내시간을 연장시킴으로써 MAWL이나 물체를 들고 이동하는 거리와 시간을 증가시켜 작업의 효율성을 높일 수 있다고 결론 내릴 수 있다. <표 7>에서 손잡이의 유무에 따른 대응표본 t-test 결과 최대허용 들기 인내시간은 Borg-RPE와 마찬가지로 통계적으로 매우 유의(p=0.000)한 것으로 나타났다.

4.5 두 번의 측정치에 대한 분산분석

<표 8>은 이틀에 걸쳐 연속적으로 수행한 두 번의 실험결과에 따른 생리학적인 수준의 변화에 대한 평균치와 주관적 평가의 평균치를 보여주며 또한 두 번의 실험시기에 따른 피실험자 측정치의 분산분석 결과이다. 유의확률 5%에서 이완기혈압을 제외한 나머지 측정치에서 손잡이가 있는 경우나 없는 경우 모두 유의한 차이가 존재하지 않는 것으로 나타났다. 이는 첫 번째와 두 번째 시기의 측정결과는 어떤 외부 변수에 의한 영향을 받지 않았으며, 2일 간에 걸쳐 실시된 실험의 측정치가 신뢰할 수 있는 자료라고 할 수 있다.

5. 토의 및 결론

육체노동과 인력물자취급은 우리의 일상생활 중 피할 수 없는 부분이기 때문에 허리, 어깨, 팔 등의 상해 가능성은 상존한다고 볼 수 있다. 물론 인력물자취급에 따른 모든 위험 요소와 스트레스 요인 등을 완전히 제거할 수는 없겠지만 적어도 이러한 위험에 노출되어 있는 작업자들의 위험수준을 낮추는 효과적인 방법을 강구할 수 있다고 본다.

이러한 이유로 작업장이나 일상에서의 인간공학의 도입 및 응용은 매우 중요하며, 특히 본 연구결과와 같이 인력으로 다루어야 하는 물체에 손잡이를 제공한 인간공학적 설계는 인력물자취급으로부터 과생되는 상해와 재해를 감소하는 데 지대한 역할을 할 수 있다고 판단된다.

본 연구결과, 인력물자취급에 있어 물체에 제공된 손잡이는 작업자에게 육체적, 심리물리학적 작업부하와 주관적인 스트레스 등을 경감시키는 것으로 나타났으며, 이는 Garg and Saxena (1980)의 연구결과와도 일치하고 있다. 손잡이가 있는 포대가 손잡이가 없는 포대보다 산소소비량과 심박수의 생리학적인 변화의 수준이 전반적으로 낮게 나타났다.

하지만 혈압의 경우 수축기 혈압은 산소소비량과 심박수의 결과와 일치하지만 이완기 혈압의 경우 반대의 결과를 보였다. 이 결과는 “수축기 혈압은 작업하는 동안 산소소비량과 심장의 output의 증가에 따라 상승하며, 이완기 혈압은 상대적으로 경미하게 증가하거나 변하지 않는다(McArdle et al., 1986)”라는 연구보고와 관련이 있다고 사료된다.

피실험자들이 직접 평가한 Borg-RPE 등급과 최대 심박수를 비교한 결과 이 두 변수가 서로 낮은 상관관계를 보였으며 실

제 전체 평균 심박수보다 Borg-RPE 등급이 전반적으로 높게 나타났다. 이 결과는 주관적인 평가인 Borg-RPE와 객관적 평가인 심박수가 선형관계가 있다는 Borg(1985)의 주장과는 차이가 있으며, Kilbom(1990)이 주장하고 있는 바와 같이 “주관적 평가는 과거의 경험과 동기에 영향을 받으며 동기가 있는 사람은 작업 활동수준을 과소평가하는 경향이 있다”와도 반대의 결과를 보여준다.

향후 PP포대 손잡이의 효과에 대한 평가를 위해 생체역학적 접근법을 사용하여 근골격계에 미치는 영향에 대한 추가 연구가 필요하다고 사료되며, 피실험자를 대학생이 아닌 다양한 연령층으로 하고 실제 작업 수요자들을 대상으로 한 보다 정확한 실험 및 평가가 요구된다. 또한 포대에 제공된 손잡이에 대한 사용자들의 심리적인 반응과 이의 내구성에 대한 평가도 이루어져야 할 것이다.

한편, 본 연구에서 정의한 MALET은 MAWL과 같이 좀더 새로운 척도개발과 아울러 심도 있는 연구와 실험이 뒤따라야 한다고 생각한다. 이를 통하여 물체의 무게나 형태에 따라 물체를 들고 안전하게 운반할 수 있는 시간을 산정할 수 있으며, 이를 토대로 안전하게 운반할 수 있는 거리를 추정하는 데 유용하게 적용할 수 있도록 추후 연구가 이루어져야 할 것이다.

본 연구에서 개발된 손잡이가 제공된 비료포대의 모형은 각종 시멘트, 합성수지, 설탕, 곡물, 화학제품, 쌀, 밀가루, 모래, 사료, 소금, 야채 등의 다양한 포대 디자인에 응용할 수 있으며, 이의 도입은 어느 개인기업 차원에서 개발·보급하기보다는 국민의 건강과 안전을 도모하기 위한 거시적인 목표를 가지고 국가 정책적인 차원에서 추진하려는 노력이 필요하다고 사료된다.

참고문헌

- American Industrial Hygiene Association (1971), *Ergonomic Guide to Assessment of Metabolic and Cardiac Costs of Physical Work*, Arkon, OH.
- Ayoub, M. A. (1977), Optimum design of containers for manual material handling tasks, *Applied Ergonomics*, 8(2), 67-72.
- Ayoub, M. A. (1982), Control of manual lifting hazards: Job redesign, *Journal of Occupational Medicine*, 24, 668-676.
- Ayoub, M. A. and LoPresti, P. (1971), The determination of an optimum size cylindrical handle by use of electromyography, *Ergonomics*, 4(4), 503-518.
- Ayoub, M. A. and Mital, A. (1989), *Manual Materials Handling*, London, Taylor & Francis.
- Borg, G. (1985), *An Introduction to Borg's RPE Scale*, Ithaca, New York.
- Ciriello, V. M., Snook, S. H., and Hughes, G. H. (1993), Further studies of psychophysically determined maximum acceptable weights and forces, *Human Factors*, 35, 175-186.
- Corlett, E. N. and Bishop, R. P. (1976), A technique for assessing postural discomfort, *Ergonomics*, 19, 175-182.
- Drury, C. G. (1980), Handles for manual materials handling, *Applied Ergonomics*, 11(1), 35-42.
- Dutta, S. and Taboun, S. (1989), Developing norms for manual carrying tasks using mechanical efficiency as the optimization criterion, *Ergonomics*, 32(8),

919-943.
 ErgoEASER: *Ergonomics Education, Awareness, System Evaluation, & Recording Tool* (1999), Prepared for the U. S. Department of Energy, Office of Environment, Safety, and Health by Pacific Northwest National Laboratory under Contract DE-AC06-76RLO 1830.
 Garg, A. and Saxena, U. (1980), Container characteristics and maximum acceptable weight of lift, *Human Factors*, 22, 487-495.
 Grandjean, E. (1985), *Fitting the Task to the Man - An Ergonomic Approach*, Taylor & Francis, London.
 Green, M. S., Luz, Y., Jucha, E., Cocos, M., and Rosenberg, N. (1986), Factors affecting ambulatory heart rate in industrial workers, *Ergonomics*, 29, 1017-1027.
 Jackson, A., Osburn, H., and Laughery, K. (1984), Variability of isometric strength tests for predicting performance in physical demanding tasks, *Proceedings of the Human Factors Society 28th Annual Meeting, Santa Monica, CA: Human Factors Society*, 452-454.
 Khalil, T. (1973), An electromyographic methodology for the evaluation of industrial design, *Human Factors*, 15(3), 257-264.
 Kilbom, A. (1990), *Measurement and Assessment of Dynamic Work. Evaluation of Human Work*, London, Taylor & Francis.
 Kim, H. K. (1997), Physiological viewpoint of the recommended safe weights of load for manual materials handling tasks, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 16(3), 23-36.
 McArdle, W. D., Katch, F. I., Katch, V. L. (1986), *Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance, Second Edition*. Philadelphia, Lea & Febiger.
 Mital, A. and Okolie, S. (1982), Influence of container shape, partitions, frequency, distance, and height level on the maximum acceptable amount of liquid carried by males, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 43, 813-819
 National Institute for Occupational Safety and Health (1981), *Work Practice Guide for Manual Lifting*. Publication No. 81-122.
 National Technical Information Services (1991), *Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation*, National Institute for Occupational Safety and Health DHHS (NIOSH) Pub. No. 94-10.
 Park, J. S., Kim, H. K., Choi, J. Y. (1996), Comparison analysis of physiological work capacity for different tasks, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 15(2), 89-98
 Pheasant, S. T. and O'Neill, D. (1975), Performance in gripping and turning: A study in hand/handle effectiveness, *Applied Ergonomics*, 6, 205-208.
 Rigby, L. V. (1973), Why do people drop things, *Quality Progress*, September, 16-19.
 Sanders, M. S. and McCormick, E. J. (1992), *Human Factors in Engineering and Design, Seventh Edition*, New York, McGraw-Hill, Inc.
 Saran, C. (1973), Biomechanical evaluation of T-handles for a pronation-supination task, *Journal of Occupational Medicine*, 15(9), 712-716.
 Smith, J. and Jiang, B. (1984), A manual materials handling study of bag lifting, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 45, 505-508.
 Woodson, W. E. and Conover, D. W. (1964), *Human Engineering Guide for Equipment Designers*, Berkeley, California, University of California Press.



정 화 식

단국대학교 건축공학과 학사
 Murray State University 산업공학과 석사
 University of Houston 산업공학과 박사
 현재: 동신대학교 산업공학과 교수
 관심분야: 인간공학, 데이터베이스, 전문가시스템



정 형 식

고려대학교 독어독문학과 학사
 Ohio University 경영학과 석사
 University of Arizona 경영학과 박사
 현재: 조선대학교 경영학부 교수
 관심분야: 마케팅, 소비자 행동론, 인간공학



박 아 성

동신대학교 산업공학과 학사
 동신대학교 산업공학과 석사
 현재: 동신대학교 창업보육센터 매니저
 관심분야: 인간공학, 경영과학