

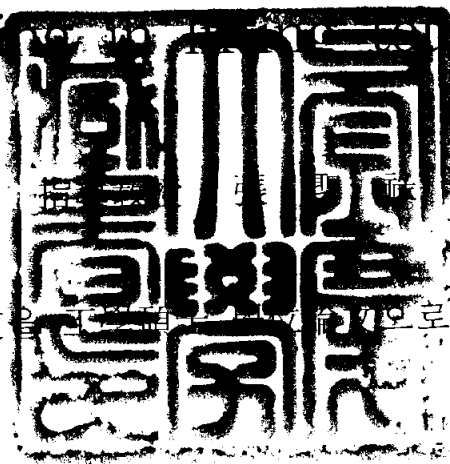
74
325.52
1.
7.2

工學碩士學位論文

작업 자세와 손잡이 형태에 따른
상자 들기 작업 분석

The effects of work posture and
coupling of the box

이 論文을 工學碩士學位論文으로 提出함



2003年 2月

釜慶大學校大學院

安全工學科

成 呂 翰

成昌翰의 工學碩士 學位論文을 認准함

2002年 12 月 26 日

主 審 工學博士 李 東 勳 (인)

委 員 工學博士 高 聖 錫 (인)

委 員 工學博士 張 聖 祿 (인)

목 차

1. 서 론	1
1.1 연구의 필요성	1
1.2 연구의 목적	2
2. 이론적 배경	3
2.1 근골격계질환의 개요	3
2.2 손잡이와 관련된 연구의 고찰	8
2.3 주관절 굴곡시 동원되는 근육	12
2.4 최대발휘근력	13
2.5 주관적 평가방법	14
2.6 EMG 분석방법	16
3. 실험	17
3.1 피실험자의 선정	17
3.2 실험 기기 및 실험대상근육	18
3.2.1 실험 기기	18
3.2.2 실험대상근육	19

3.3 실험 변수	20
3.3.1 독립변수	20
3.3.2 종속변수	22
3.3.3 조정변수	22
3.4 실험 방법	23
4. 실험 결과 및 분석	25
4.1 자세별 손잡이 형태에 따른 MVC의 변화	25
4.2 주관적 평가	28
4.3 EMG 분석	31
5. 결론 및 토의	35
참고문헌	37
부 록	40
Abstract	44

표 목 차

Table 1. The regulations for prevention of MSDs : foreign countries	5
Table 2. The regulations for prevention of MSDs : Korea	7
Table 3. Coupling multiplier	8
Table 4. Previous studies for coupling	11
Table 5. Recruited muscles of elbow flexion	12
Table 6. Modified Borg's CR-10 rating scale	15
Table 7. Anthropometric characteristics of subjects	17
Table 8. Variables of experiment	20
Table 9. Hand-to-Container coupling classification	22
Table 10. Analysis of variance for MVC	25
Table 11. MVC for posture, coupling	26
Table 12. Analysis of variance for subjective ratings	28
Table 13. Subjective ratings of posture, coupling	29
Table 14. Standardization value of subjective ratings of posture, coupling	29

그 립 목 차

Fig. 1. Recruited muscles of elbow flexion	12
Fig. 2. Relationship between static endurance time and muscle exertion level ...	13
Fig. 3. Configuration of the experimental equipment	18
Fig. 4. Electrode attachment position (right biceps brachii)	19
Fig. 5. Three lifting postures	21
Fig. 6. Experimental procedure	24
Fig. 7. Effect of posture, coupling for MVC	27
Fig. 8. Standardization value of subjective ratings of posture, coupling	30
Fig. 9. RMS.EMG amplitude of two upper arm muscles for bending posture ...	32
Fig. 10. RMS.EMG amplitude of two upper arm muscles for straight posture ..	32
Fig. 11. RMS.EMG amplitude of two upper arm muscles for right angle posture ..	32
Fig. 12. RMS.EMG amplitude of two upper arm muscles for padding coupling	34
Fig. 13. RMS.EMG amplitude of two upper arm muscles for handle coupling	34
Fig. 14. RMS.EMG amplitude of two upper arm muscles for no handle coupling ..	34

1. 서론

1.1 연구의 필요성

현대사회는 과학기술의 발전으로 인해 많은 생산시설이 자동화되고 있지만, 아직까지 여러 생산현장에서는 사람이 직접 bag, box, carton 등을 들고, 내리고, 옮기고, 컨베이어에서 물건을 내리고, 창고에 물건을 쌓는 등 인력운반(manual materials handling, 이하 MMH)작업으로 많은 생산활동이 이루어지고 있는 실정이다¹⁾.

특히, 우리나라에서는 지금까지의 고도산업 발전이 신발, 섬유, 자동차, 조선, 철강업 등 노동집약형 산업에 많이 의존해왔는데, 이러한 유형의 산업발전의 결과로 급속한 경제 성장을 가져온 반면, 높은 산업 재해율을 초래하고 있다. 산업재해는 작업자 실수(human error)나 생산설비의 오작동 등에 의한 순간적인 사고에 기인하는 경우도 많지만, 최근에는 잘못된 작업환경 및 작업방법으로 인한 과도한 작업부하가 작업자에게 누적되어 발생하는 요통, VDT 증후군과 같은 근골격계질환(musculoskeletal disorders, MSDs)으로 인한 요양신청이 급격히 증가하고 있다²⁾.

MMH 작업에 의한 근골격계질환은 작업자 실수에 의한 사고성 재해인 경우도 있으나, 부적절한 작업자세와 작업대 설계, 잘못 고려된 작업하중 등에 의한 누적성 재해가 대부분을 차지하고 있다. 따라서, 이러한 MMH 작업에 의한 근골격계질환의 방지를 위해서는 근골격계질환 예방 교육 및 스트레칭 등의 예방대책을 서둘러야 하며, 근골격계질환 예방을 위하여 작업에 요구되는 적절한 작업하중 및 작업상황을 평가할 수 있어야 한다. 즉, 작업자세를 고려한 생체역학적 분석이나, 근전도를 이용한 작업자의 근육 피로도 분석을 위한 생리학적 분석 등을 통한 작업 개선이 필요할 것으로 판단된다.

1.2 연구의 목적

본 연구는 MMH 작업시 흔히 나타나는 작업 자세(구부린 자세, 팔을 편 자세, 팔을 90°로 굽혔을 때 자세)에서 손잡이 형태에 따라 운반상자를 드는 작업을 분석하고자 한다. 즉, 작업자세와 손잡이 형태에 따른 maximum voluntary contraction (이하 MVC)를 측정하고, MVC에 대한 작업자세와 손잡이 형태의 상관관계의 통계적 분석, 주관적 평가방법(magnitude estimation)과 EMG 신호와의 유의성 검증을 통하여 작업 자세에 따른 최적 인양 하중을 제시하고, 손잡이 형태에 따른 인양 하중의 변화를 고찰하는데 그 목적이 있다.

2. 이론적 배경

2.1 근골격계질환의 개요

근골격계질환이란 단순반복작업으로 인하여 기계적 스트레스가 신체에 누적되어 목·어깨·팔·팔꿈치·손목·손 등의 신경·건·근육 및 그 주변조직에 나타나는 질환을 말하는 것³⁾으로 작업시간의 손실, 비용증가, 신체장애를 초래하는 주요 원인으로 대두되고 있다. 특히, 과도한 작업강도, 정적인 작업자세, 빈번한 구부림과 비틀림, 들고 밀고 당기기, 단순반복작업 등으로 인하여 대부분 발생하며, 이러한 장애들은 무리한 힘이 요구되는 경우뿐만 아니라, 가벼운 동작을 반복하면서 작업하는 경우에도 발생할 수 있다.

미국의 경우, “OSHA 200 Logs”에 의해 집계된 직업병 통계(사기업 대상)를 보면 1981년도 누적외상성질환이 23,000건이었던 것이, 1994년도에는 약 14.4배 증가한 332,000건으로 전체 직업병 건수에서 65%를 차지할 정도로 급속히 증가하여 산업보건의 가장 심각한 문제 중의 하나로 자리 잡고 있다⁴⁾. 그러나, 80년대부터 근골격계질환에 관심을 갖기 시작하여, 90년대 들어 자동차 산업을 중심으로 예방관리 시스템을 가동한 결과, 1994년을 정점으로 질환발생이 감소 추세에 접어들고 있다.

Table 1은 미국을 비롯한 선진국의 근골격계질환 예방관리를 위한 지침 및 규제 현황을 나타내고 있다.

우리나라와는 달리 선진국에서는 80년대 초반부터 근골격계질환에 관심을 갖기 시작하여, 여러 규제 및 지침을 마련하였으며 육류 가공업자 등 다양한 직종에 대해 적용을 하였다.

캐나다의 경우, 구 주에서만 산업안전보건법 상 근골격계질환에 대한 내용이 삽입되어 있으며 나머지 주는 아직 준비중이다. 캐나다의 인간공학적 접근방식은 결

과중심의 규제방식이라고 볼 수 있다.

영국의 규제 및 지침은 전통적인 조직이나 부서를 포함하고 있으며 최종적인 것보다는 위험요인의 제거에 초점을 두고 있다.

스웨덴은 1984년부터 근골격계질환에 대한 인간공학적 규제를 가하였고 1998년에는 수작업 운반에 관한 지침이 포함되었고, 2001년에는 범위가 확대되어 다른 인간공학적 측면까지 포함되었다.

우리나라의 경우, 1993년부터 “경견완중후군”을 업무상 재해인정기준에 도입한 이후, Table 2와 같은 법적·제도적 관리가 마련되어 있음에도 불구하고, 전문인력의 부족, 관리 부재 등으로 인하여 재해예방 효과는 아직 나타나지 못하고 있다. 노동부 자료에 의하면 근골격계질환자 수가 1999년 344명, 2000년 1,009명, 2001년 1,598명, 2002년에는 8월말 현재 1,254명으로 점차 증가 추세를 보이고 있으며⁵⁾, 특히 2000년 현대자동차 5공장, 2001년 현대중공업, 2002년 대우조선해양(주) 등에서의 근골격계질환자들이 집단 산재 판정을 받는 등 이로 인한 노동력 상실 및 경제적 지출 비용으로 앞으로 커다란 사회 문제가 될 것이다.

Table 1. The regulations for prevention of MSDs : foreign countries

관 련 법 규	주 요 내 용	제정시기
ANSI/HFS100	VDT 작업자들의 근골격계질환 예방을 위한 내용으로 구체적인 작업장 조건(workstation)과 관리지침들을 소개	1988년 (미국)
ANSI B11.TR	육류 가공작업자(meat packing)들에 대한 인간공학적 작업관리 지침 규정	1993년 (미국)
ANSI Z-365	상지에서 발생하는 근골격계질환 예방을 위한 작업장 분석방법, 의학적인 관리 내용, 교육 훈련 등에 대한 내용	1996년 (미국)
California's RMI Standard, SECTION 5110	적용대상, 적용주기, 적용내용, 교육 및 훈련, 작업장 평가에 대한 내용	1997년 (미국)
Ergonomics program: 29 CFR Part 1910	11인 이상을 고용(시간제 작업자도 포함)하는 사업주에게 부여되는 근골격계질환의 예방관리 내용을 의무화	2000년 (미국)
ACGIH, Hand Activity Level TLV, lifting TLV	mono-hand 작업과 lifting에 기인한 근골격계질환의 감소를 목적으로 관리기준 제시	2001년 (미국)
Health and Safety Act, code of Practice for Manual Handling 1991, and draft 2000, code of Practice for VDTs	MSD를 줄이고 VDT 근로자의 건강과 안전을 증대하며 작업의 효율성을 최대화	1991년 2000년 (뉴질랜드)
European Union(EU) directive 90/269/EEC Manual Handling	고용주들은 기계 장비, 작업 조직, 정보, 훈련, 상담 등을 통해서 manual handling을 피하거나 최소화하도록 요구.	1990년 (EU)
European Union(EU) directive 90/270/EEC Work with Display Screen Equipment(DSC)	visual display 단말기를 사용하는 근로자들의 건강과 안전	1990년 (EU)
Manual Handling Operation Regulations(based on EU Directive 90/269/EEC)	manual handling에 대한 고용주의 의무	1992년 (영국)
Health and Safety Display Screen Requirement	visual display 단말기를 사용하는 근로자의 건강과 안전	1992년 (영국)

Table 1. The regulations for prevention of MSDs : foreign countries (continued)⁶⁾

관 련 법 규	주 요 내 용	제정시기
Victoria Occupational Health and Safety Regulations 1988 code of practice for manual handling 1990 and for Occupational Overuse Syndrome 1992	작업장 내에서 manual handling 업무와 연관된 MSDs의 수와 심각성 예방과 고용주의 의무	1988년, 1990년, 1992년 (호주)
Victoria Revised OH&S manual handling Regulations 1999 code of practice for manual handling 2000	작업장 내에서 manual handling 업무와 연관된 MSDs의 수와 심각성 예방	1999년, 2000년 (미국)
Ordinance on Safety and Health protection for the Manual Handling of Loads at work	작업장에서 근로자들의 건강과 안전을 향상시키기 위한 규제	1996년 (독일)
AFS 1998 : 1. 근골격계 질환의 예방을 위한 인간공학 AFS 2000 : manual handling에 대한 조항	작업 환경의 조건들은 건강에 유해한 육체적 중압과 피로가 가지는 위험을 최소화하도록 고안	1998년, 1999년 (스웨덴)
British Columbia Ergonomics Requirement	근골격계질환의 위험을 최소화하거나 제거하기 위한 요구사항	1998년 (캐나다)
Saskatchewan Occupational Health and Safety Regulation, Sections 78 to 82 and 470(first version 1988), updated 1996	들기, 서있기, 앉아있기, MSI, 이동작업, 눈을 많이 사용하는 작업, 계속되는 수작업 등으로 기인하는 위험을 최소화하기 위한 규제	1988년, 1996년 (캐나다)

Table 2. The regulations for prevention of MSDs : Korea

관 련 법 규	주 요 내 용	제정시기
산업안전보건법 제24조	보건상의 조치에 대한 사업주의 의무 (계측감시, 컴퓨터 단말기 조작, 정밀공작 등의 작업에 의한 건강장해)	1990년
산업보건기준에 관한 규칙 제9조	컴퓨터 단말기 조작 업무에 대한 사업주의 조치 사항	1990년
산업보건기준에 관한 규칙 개정(안)	근골격계부담작업에 의한 건강장해 예방	2002년
노동부고시 제정 97-8호 개정 2000-71	영상표시단말기(VDT)취급 근로자의 작업관리지침	1997년 2000년
노동부고시 제정 98-15호 개정 2000-72	단순반복작업 근로자 작업관리지침 (작업환경 및 건강관리)	1998년 2000년
KOSHA code H-5-1998	직업성 요통예방을 위한 작업관리지침	1998년
KOSHA code H-28-2002	작업관련 근골격계질환의 증상 및 위험요인 평가지침	2002년

2.2 손잡이와 관련된 연구의 고찰

손잡이는 우리가 어떤 물체를 들 때 들기 쉽게 하고, 물체를 견고히 안전하게 잡을 수 있도록 해 줌으로서 그 물체를 떨어뜨릴 확률을 줄여준다⁷⁾. 손잡이가 없는 중량물이나 운반상자를 들 때, 대부분의 사람들은 한번에 들기 힘들고 손가락이 들어갈 수 있는 여유의 틈을 제공하여, 중량물이나 운반상자의 가장자리 앞부분을 들어 발끝에 걸친 다음, 어깨나 등에 걸치고 운반 작업을 수행하는 경향이 있다.

손으로 물체를 들 때, 손잡이 상태 또는 물체를 쥐는 자연스런 방법은 작업자가 최대로 힘을 주거나 물체를 움직여야 할 때뿐만 아니라, 드는 동안 손의 수직 위치에 영향을 미친다. 좋은 손잡이 상태 요구된 최대 악력을 줄이고 들기에 대한 허용무게를 증가시킬 것이다. 반면에 나쁜 손잡이 상태는 일반적으로 보다 많은 최대 악력을 요구하고 들기에 대한 허용무게를 감소시킬 것이다.

손잡이 상태의 효율성은 정적이 아니라, 바닥에서 물체와의 거리에 따라 달라진다. 그래서, 좋은 손잡이 상태는 단순 들기 작업 동안에는 나쁜 손잡이 상태도 될 수 있다. 따라서, 들기의 전체 범위에서 손잡이 상태는 총체적인 효율성에 기초해서 분류되어진다⁸⁾.

Waters et al. (1993)은 손잡이 상태를 양호, 보통, 불량 3가지 형태로 분류하였으며, 수직 위치에 따른 결합 타입을 Table 3에 나타내었다⁹⁾.

Table 3. Coupling multiplier

결합타입	수직 위치 V	
	V < 75cm	V ≥ 75cm
양호(Good)	1.00	1.00
보통(Fair)	0.95	1.00
불량(Poor)	0.90	0.90

들기 작업시 다양한 손잡이의 효과를 최대허용무게 또는 들기의 안전한게무게를 정의하기 위한 시도로 정신물리학적 방법들을 사용하여 연구되어 왔다. Davis et. al.(1998)은 손잡이는 상자무게를 2.2kg 정도 감소시켜 주는 효과를 준다고 하였고¹⁰⁾, Coury and Drury (1982), Bishu and Deeb (1989), Drury et. al. (1989), Bishu and Wang Wei (1992)등은 운반 상자에 대한 손잡이의 최적 위치에 대해 연구하였다^{11~14)}. Garg and Saxena (1980)는 인력운반작업에서 사용되는 상자에는 손잡이가 있으므로 전체적인 손잡이 상태 능력을 향상시킴과 동시에 쉽게 조절할 수 있기 때문에 손잡이의 필요성을 강조하였다. 즉, 정신물리학적 방법론을 이용하여 들기 작업시 최대허용무게를 기초로 손잡이의 영향, 용기의 형태 및 용기의 크기를 평가한 연구에서 손잡이가 사람이 안전하게 들 수 있는 무게에 가장 큰 영향을 미쳤다. 따라서, 하물의 최대허용무게에 대한 권고치들은 손잡이가 없는 용기들에게 적용될 때는 조절될 필요가 있다는 것을 제안하였다⁷⁾.

Garg and Saxena (1980), Smith and Jiang (1984), Drury et. al. (1989)는 들기의 최대허용무게에 대한 손잡이의 영향을 조사한 정신물리학적 연구에서 좋은 손잡이가 없는 상자에 대한 들기 작업에서 들기 능력은 감소된다고 제안했다. 비록 이들 연구들은 들기 능력의 감소 정도가 정확하게 일치되지 않았지만, 대부분 손잡이가 없는 상자들에 대해서 7~11% 정도로 들기 능력이 감소한다고 결론지었다^{7,13,15)}.

반면에, Morrissey와 Liou (1988)는 복합된 작업에서는 손잡이가 있는 상자를 들 때 손잡이가 없을 때보다 작업자가 적은 최대허용무게를 들 수 있다고 하였다. 즉, 복합된 작업에서는 손잡이가 없으면 작업자들은 자신들에 몸에 상자를 의지하고 적은 무게를 팔에 의해 지탱하여 들고, 운반하고, 내림으로써 최대허용무게가 낮은 것으로 보았다¹⁶⁾.

Drury et. al. (1989)는 손잡이가 있는 상자보다 손잡이가 없는 상자를 들 때 피실험자들의 RPE(rating of perceived exertion)와 body discomfort가 더 높다는 사실을 발견했다¹³⁾. 즉, 정신물리학적 연구들은 MMH 작업을 하는 동안에 손잡이의 영향에 대해 대립된 결과들을 나타내었다.

따라서, 이런 데이터들과 손잡이 상태의 특성을 판단하는데 어려움을 고려하여, 1991년 NIOSH 들기 지침에서는 나쁜 손잡이 상태에 대한 penalty는 10%를 초과하지 않아야 한다고 결론지었다⁸⁾.

Table 4는 손잡이와 관련된 연구들을 여러 가지 손잡이 변수에 따라 연구자, 연구내용으로 분류한 것으로 여러 변수별로 많은 연구자들에 의해 다양한 연구들이 진행되고 있음을 알 수 있다.

Table 4. Previous studies for coupling

변 수	연 구 자	연 구 내 용
손잡이 유무	Garg and Saxena (1980) ⁷⁾	상자특성에 따른 최대허용무게에 대한 연구
	Smith and Jiang (1988) ¹⁵⁾	Bag lifting의 MMH 작업에 대한 연구
	Morrissey and Liou (1988) ¹⁶⁾	Load carriage에서의 최대허용무게에 대한 연구
	K.G. Davis et al. (1998) ¹⁰⁾	손잡이의 사용을 통한 spinal loading의 감소에 대한 연구
손잡이 위치	Coury and Drury (1982) ¹¹⁾	상자를 운반하는 작업에 있어서의 최적 손잡이에 대한 연구
	Bishu and Deeb (1989) ¹²⁾	들기와 운반작업에 있어서의 최적 손잡이 위치에 대한 연구
	Bishu and Wang Wei (1992) ¹⁴⁾	정신물리학적 force/endurance와 생체역학적 기준의 비교를 통한 손잡이 위치 평가에 대한 연구
	Drury et al. (1989) ¹³⁾	생리학과 정신물리학적 측면에서의 대칭·비대칭 MMH 작업에 대한 연구 (손잡이 위치 포함)
손잡이 angle	Hsia and Drury (1986) ¹⁷⁾	Handle design을 평가하는 간단한 방법에 대한 연구
	Shih and Wang (1997) ¹⁸⁾	상자 손잡이의 diameter와 angle의 정신물리학적 평가에 관한 연구
	Mao-Jim J et al. (2000) ¹⁹⁾	MAWL, wrist posture, RPE, heart rate에 대한 손잡이 angle 영향에 관한 연구
손잡이 diameter	C.G Drury (1980) ²⁰⁾	MMH 작업을 위한 손잡이에 대한 연구

2.3 주관절 굴곡시 동원되는 근육

MMH 작업 중 가장 빈번히 일어나는 상지 운동시 팔꿈치 관절 굽힘 동작(elbow flexion)은 주동근인 상완이두근(biceps brachii) 뿐만 아니라 상완근(brachialis), 원회내근(pronator), 완요골근(brachioradialis)의 합력으로 이루어지며, 작업자세, 수축 강도에 따라 각 근육이 발휘하는 수축력은 변하게 된다²¹⁾. 이들 근육들은 일반적으로 팔의 전면에 위치하여 굴곡에 동원되며, 상완이두근은 회외(supination), 원회내근은 회내(pronation)에도 참여하는 이중 역할을 한다²³⁾.

Table 5와 Fig. 1은 주관절 굴곡시 동원되는 근육의 위치와 작용에 대해 나타내고 있다.

Table 5. Recruited muscles of elbow flexion²³⁾

근육	상완이두근	상완근	원회내근	완요골근
위치	상완의 전면	상완의 전면	주관절 전면	전완의 외측
작용	주관절의 굴곡 요척관절의 회외	주관절의 굴곡	주관절의 굴곡 요척관절의 회내	주관절의 굴곡

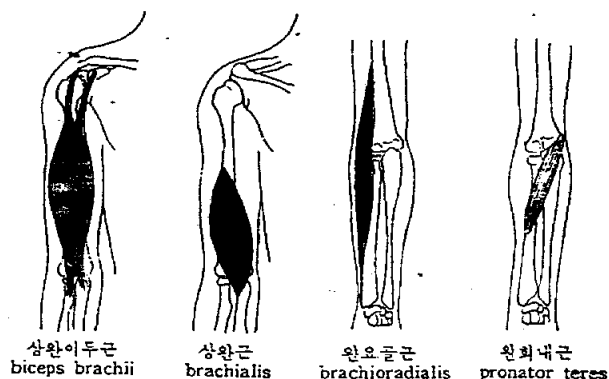


Fig. 1. Recruited muscles of elbow flexion²³⁾

2.4 최대발휘근력(Maximum Voluntary Contraction : MVC)

국소 근육 피로는 정적인 근육 수축을 요구하는 작업들에서 자주 관찰된다. 근육이 정적인 상태로 수축을 지속할 수 있는 최대시간(muscle endurance time)은 근육이 발휘하는 힘에 따라 달라지며, 근육이 발휘하는 힘은 근육의 최대발휘근력(maximum voluntary contraction : MVC)에 대한 %로 나타내어진다. Fig. 2는 Rohmert curve라 불리는 muscle endurance time과 % MVC의 관계를 나타낸 곡선이다²⁴⁾. Fig. 2와 같이, 근육의 최대발휘근력은 불과 몇 초 동안만 지속될 수 있다. 정적 수축인 경우, 최대 근력의 50%는 1분 정도 유지되지만, 발휘근력이 15% MVC이하일 경우에는 수 분에서 몇 시간 동안 지속될 수 있다. muscle endurance time은 15% MVC 정도에서 급격히 감소하고 40% MVC 이상일 경우에는 수 초 이내에 근육피로를 가져 올 수 있다.

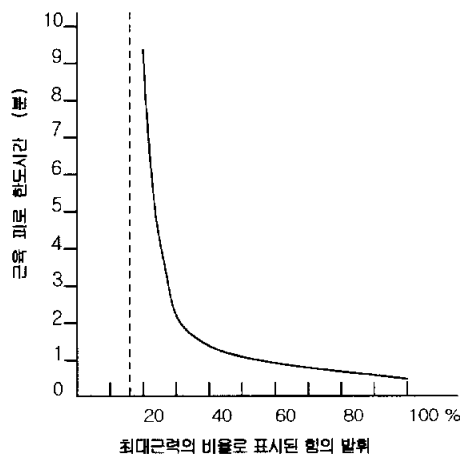


Fig. 2. Relationship between static muscle endurance time and muscle exertion level.

2.5 주관적 평가방법

주관적 평가방법은 정신적인 작업하중을 측정하는 가장 중요하면서도 일반적인 방법이다. 이 방법의 장점으로서는 사용이 용이하고, 단순하다는 것이다. 반면에 측정 결과의 설명에 대한 이론적 배경이 부족하다는 것과 작업 하중을 높게 해도 피실험자의 정신적인 작업하중이 비례하여 변화하지 않는다는 단점을 가지고 있다.

그러나, 실험결과와의 유의성 검증에 많이 사용되고 있으며, 대표적인 주관적 평가방법으로는 magnitude estimation 기법²⁵⁾, Borg's RPE scale²⁶⁾, modified Borg's CR-10 rating scale²⁷⁾ 등이 있다.

Magnitude estimation 기법은 피실험자가 스스로 설정한 기준에 따라 평가하는 방식인 free modulus method를 이용하며, 측정된 데이터는 식(1)과 같은 최소-최대 표준화 방법을 이용하여 0~100 사이의 척도로 표준화한다. 표준화하는 것은 피실험자간의 불편도 평가 기준이 다르기 때문에, 피실험자마다 변동이 크므로 이를 보정하기 위한 것이다.

$$\text{표준화값} = \frac{100 \times (\text{원래값} - \text{최소값})}{\text{최대값} - \text{최소값}} \quad (1)$$

최소값 : 각 피실험자의 주관적 불편도의 최소값

최대값 : 각 피실험자의 주관적 불편도의 최대값

Borg's RPE scale은 작업 종료 후 그 작업의 불편도나 부하정도를 직접 체크하는 방법이다. 1982년 Borg에 의한 초기의 모델은 단순히 10점으로 나타낸 Table에 작업자가 느끼는 정도를 점수로 나타낸 10-point category scale을 사용하였으나, 각 점수간의 유의성이 현저히 떨어진다는 문제점 때문에 척도를 6~20등급으로 개선했다.

Modified Borg's CR-10 rating scale은 1990년 10-point category scale을 개선한 것으로 Table 6과 같이 0~10까지 나누어 평가하는 방법이며, 최근 대부분의 연구에서 modified Borg's CR-10 rating scale을 사용하고 있다.

Table 6. Modified Borg's CR-10 rating scale²⁷⁾

Scale	Rating
10	Extremely Strong (Almost Max)
9	
8	
7	Very Strong
6	
5	Strong
4	
3	Moderate
2	Weak
1	Very Weak
0.5	Extremely Weak(Just Noticeable)
0	Nothing at All

본 연구에서는 이들 주관적 평가 방법 중 magnitude estimation 기법을 사용하여 피실험자들의 주관적 불편도를 평가하고자 한다.

2.6 EMG 분석방법

근육은 수축할 때 전기를 발생하는데, 이것을 근육의 활동전류라 한다. 근전도 (Electromyogram : EMG)란 근육 속이나 근육 위 피부에 전극을 부착한 후 전극의 변화를 유도하여 이것을 확대하여 기록장치에 의해 기록하는 것으로 피로도 측정, 생체역학 data, 자세 분석을 위해 사용되고 있다²²⁾.

EMG 분석방법으로는 크게 정성적 분석과 정량적 분석방법으로 나눌 수 있다. 정성적 분석방법은 EMG신호의 파형을 유형별로 서로 비교 분석하는 방법으로서 주로 말초 신경과 신경근 접합부 및 골격근에 나타나는 이상상태를 검사하는 임상 의학 연구에 이용되는 방법이다.

정량적 분석방법은 EMG 신호의 amplitude나 frequency를 비교 분석하여 운동단위의 종류, 근수축 지속시간에 따른 근육의 피로 현상 및 근력의 변화에 따른 근육의 피로 분석에 이용되고 있다. 분석방법으로는 amplitude 분석, frequency 분석, IEMG(Integrates EMG) 분석 등이 널리 이용되며, 본 연구에서는 정량적 분석방법인 amplitude 분석방법을 이용하여 근육활동을 분석한다. amplitude 분석은 EMG 신호의 정류작업을 이용하여 RMS(root mean square) amplitude 값을 측정하는 방법으로 발휘근력에 따른 근육피로현상, 근수축 지속시간에 따른 근력의 변화, 운동단위의 수 및 그 종류에 대한 분석을 하는데 주로 사용된다.

3. 실험

3.1 피실험자의 선정

본 연구의 피실험자는 이전에 요통이나 그 밖의 근골격계와 관련된 질병을 가진 적이 없는 신체 건강한 10명의 대학생들을 대상으로 하였다.

선정된 피실험자가 실험을 수행하기 전에, 각각의 인체 특성을 측정하고, 실험의 목적 및 용도, 절차, 실험기기 등에 대해 충분히 설명함으로써 실험에 대한 이해도를 높이고자 하였다. 피실험자의 인체특성 자료는 Table 7과 같다.

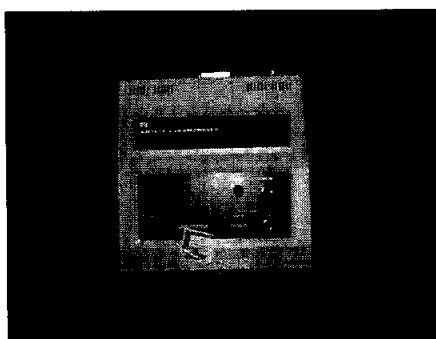
Table 7. Anthropometric characteristics of subjects

Subject	나이(세)	몸무게(kg)	키(cm)
1	19	100	183
2	24	62	172
3	25	63	181
4	22	83	174
5	24	70	183
6	22	65	170
7	27	60	173
8	25	64	170
9	24	70	180
10	26	73	174
평균±표준편차	23.8±2.3	71.0±12.21	176.0±5.21

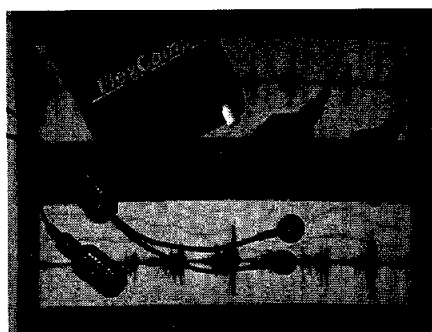
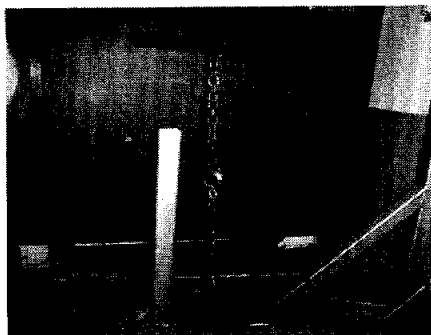
3.2 실험 기기 및 실험대상근육

3.2.1 실험기기

본 실험에서 사용된 실험장비 및 프로그램은 근력 측정을 위한 digital dynamometer와 해당 근육의 근진도 측정용 FlexComp EMG solution이며, Fig. 3은 실험 기기를 나타내고 있다.



a) Digital dynamometer



b) FlexComp EMG solution

Fig. 3. Configuration of the experimental equipment

비틀림 각도별 MVC값을 측정하기 위하여 Takei Kiki Kogyo사가 제작한 digital dynamometer를 사용하였으며, 피실험자가 발휘하고 있는 힘을 피실험자나 실험자가 알 수 있도록 스트레인 게이지에 작용하는 힘을 계수(digital)값으로 표시된다. 이 장치는 최대 300kg까지의 악력, 펀치력, 요배근력 등을 측정할 수 있다. 본 실험에서는 척추 근육의 0 ~ 100kg까지 측정할 수 있는 장비를 사용하였다.

관측 측정대상 근육의 근전도 신호를 검출하기 위하여 Thought Tech사에서 개발하여 보급한 FlexComp EMG solution을 이용하였다. 이 기기는 기존의 EMG multiplexor와 A/D converter를 포함한 것으로서 모니터를 통해 파형 및 디지털 데이터로 실시간 검색할 수 있다. 이 시스템에 사용된 소프트웨어는 FlexComp 1.05b로, 입력부(encoder)에서 입력된 신호를 처리하여 검색 가능한 실시간 파형 형태로 나타낸다. 또한 디지털 자료의 파일형태로서 저장, RMS(root mean square) 파형 분석, 주파수 분석 등이 가능하다.

3.2.2 실험대상근육

본 연구에서 실험대상으로 선정한 근육들은 기존의 인력운반과 관련된 연구에서 주 관측대상이 되고 있으며, 팔꿈치 굽힘 동작시 주관절 굴곡에 동원되는 근육들 중에서 좌우 상완이두근(biceps brachii)의 2개 근육을 선정하여 EMG를 측정하였다. 측정 대상 근육들에 대한 전극 부착 위치는 Fig. 4에 나타내었다.

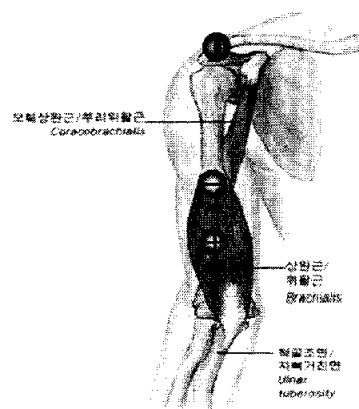


Fig. 4. Electrode attachment position (right biceps brachii)

3.3 실험변수

실험결과에 영향을 미치는 변수로는 독립된 독립변수, 측정값인 종속변수, 조절이 가능한 조절변수가 있으며, 본 연구의 실험결과에 영향을 미치는 변수는 Table 8과 같다.

Table 8. Variables of experiment

독립변수	종속변수	조절변수
작업자세 손잡이	MVC RMS.EMG 주관적 평가	상자의 크기 및 무게

3.3.1 독립변수

작업자세

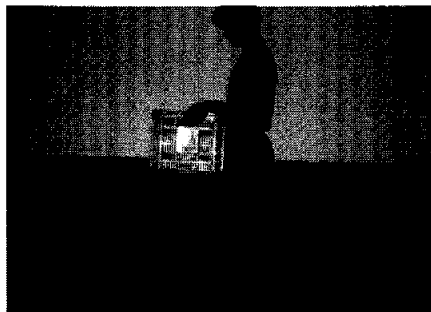
본 연구에서 선정한 작업자세는 Fig. 5와 같이 인력운반작업에서 주로 이루어지는 3가지 자세(구부린 자세, 팔을 편 자세, 팔을 90°로 굽혔을 때 자세)를 대상으로 하였다.



(a) 구부린 자세



(b) 팔을 편 자세



(c) 팔을 90°로 굽힐 때 자세

Fig. 5. Three lifting postures

손잡이

손잡이 형태에 따른 변화를 알아보기 위해 손잡이를 Table 9와 같이 3가지로 나누어 실험하였다.

Table 9. Hand-to-Container coupling classification

손잡이 형태	분류 내용
padding	일반 손잡이에 고무 재질로 패딩 처리
handle	운반 상자의 일반 손잡이
no handle	손잡이 없는 상태

3.3.2. 종속변수

측정변수라고도 하며, 본 연구에서 사용되는 종속 변수로는 MVC, EMG 측정값, 주관적 평가 결과이다.

3.3.3 조정변수

상자 크기 및 무게

Garg and Saxena (1980)는 상자 크기의 증가에 따라 손잡이가 있는 상자의 최대 허용무게는 5.2% 감소하고 손잡이가 없는 상자의 최대허용무게는 7.2% 감소한다고 하였다⁷⁾. 따라서, 상자 크기에 따라 손잡이는 최대허용무게에 영향을 미친다는 사실을 알 수 있었다. 본 연구에서는 가로 51.5cm, 높이 28cm, 폭 36cm, 무게 2.5kg인 플라스틱 tote box를 사용하였다.

3.4 실험방법

본 연구에서 대상으로 한 상자 들기 작업은 현장에서 흔히 이루어지고 3가지 작업자세(구부린 자세, 팔을 편 자세, 팔을 90°로 굽힌 자세)를 대상으로 실험을 실시하였다.

작업조건은 한 자세당 Table 9에서 설명한 3가지 손잡이 형태에 대한 각각의 MVC값과 EMG 신호를 측정하고자 하였다.

Dynamometer를 이용하여 각 실험당 5초간의 MVC를 5회씩 측정하였고, 1회 MVC 측정 후 근육의 피로회복을 위해 10분간의 휴식시간을 두었다. 그리고, 각 실험이 종료된 후, 피실험자들에게 magnitude estimation 방법에 따른 주관적 평가를 하도록 하였다.

근전도 측정은 실험 전 피실험자들에게 실험목적, 방법, 주의 사항 등을 숙지시킨 후 대상근육 부위에 표면전극을 부착시켰다. 전극 부착 후 30분의 aging을 실시하고 자세별 손잡이 형태에 따른 MVC 측정 결과의 5초간의 RMS.EMG를 측정하였다. 측정된 데이터는 RMS.EMG의 피크치를 중심으로 1초 동안의 평균값으로 환산하여 각 근육의 동원 형태를 분석하였다.

위의 실험절차들을 도식화하면 Fig. 6과 같이 나타낼 수 있다.

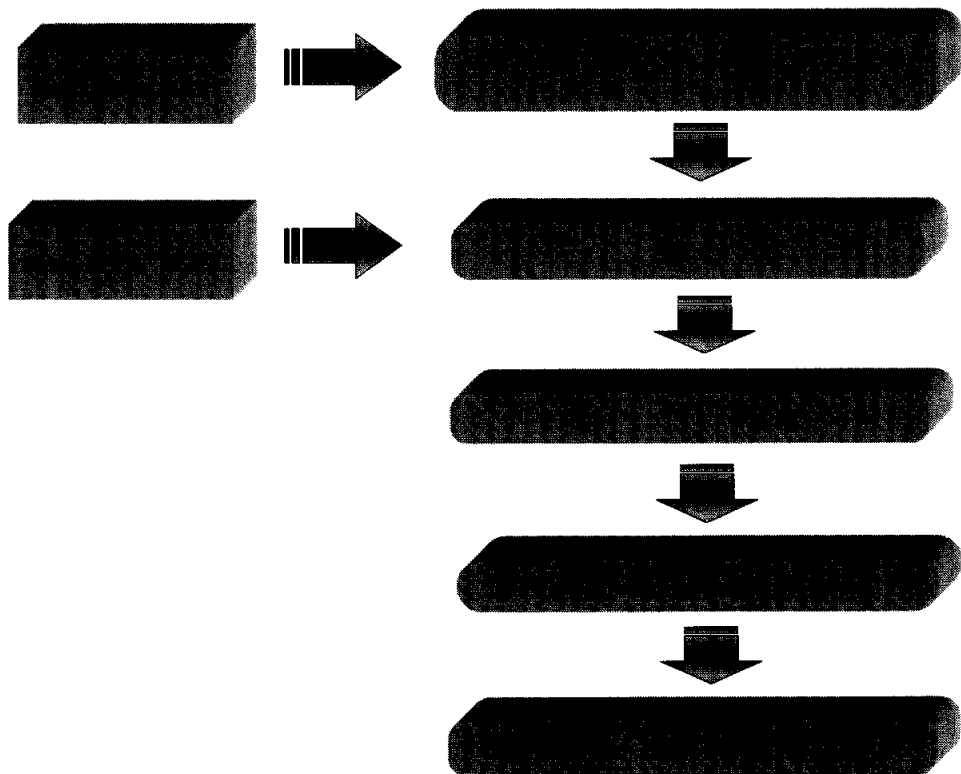


Fig. 6. Experimental procedure

4. 실험 결과 및 분석

4.1 자세별 손잡이 형태에 따른 MVC의 변화

Table 10은 통계프로그램인 minitab release 13을 사용하여 MVC에 대한 자세별 손잡이 형태별 영향을 분산분석(Analysis of variance, ANOVA)을 통하여 나타낸 결과이다.

분산분석 결과 자세와 손잡이는 MVC에 대해 유의함($p < 0.01$)을 알 수 있었다.

Table 10. Analysis of variance for MVC

Source	DF	SS	MS	F	P
손잡이 형태	2	242.26	121.13	32.06	0.003*
자세	2	266.15	133.08	35.22	0.003*
Error	4	15.11	3.78		
Total	8	523.52			

(* : $p < 0.01$)

자세별 손잡이 형태에 따른 MVC는 Table 11과 같다. Table 11의 실험결과를 보면 MVC는 팔을 편 자세가 가장 높게 나타났으며, 팔을 90°로 굽힌 자세가 가장 낮은 것으로 나타났다.

자세에 대한 손잡이의 영향을 살펴보면, 구부린 자세일 경우 손잡이 상태가 나빠질수록 9.1%, 27.5% 감소하였고, 팔을 편 자세일 경우에는 8.1%, 29.6%, 팔을 90°로 굽힌 자세일 경우에는 1.2%, 24.8% 감소하였다. (Fig. 7)

Waters et al. (1993)은 Table 3과 같이 수직위치에 따라 손잡이 상태를 양호, 보

통, 불량으로 분류하여 손잡이 유무에 따라 최대 10% 차이가 난다고 하였고, Garg and Saxena (1980), Smith and Jiang (1984), Drury et al. (1989)는 최대허용무게 (maximum acceptable weight)에 있어서 들기 능력의 감소 정도가 정확히 일치되지는 않았지만 7~11%의 감소를 가져온다고 결론지었고^{7,13,15)}, 1991년 NIOSH 들기 지침에서는 나쁜 손잡이 상태에 대한 penalty는 10%를 초과하지 않아야 한다고 결론지었다¹¹⁾. 그러나, K.G. Davis et al (1998)은 133.8cm 미만의 높이에서 ‘poor’ handle couple 계수는 0.85가 적당하다고 하여¹⁰⁾, 자세별 손잡이 유무(handle, no handle)에 따라 20~23% 감소를 가져온 본 연구의 결과보다 낮게 평가되어 있다. 이는 미국인과 한국인의 신체적 특성을 고려해볼 수 있겠고, 상자의 크기에 따라 들기 능력이 다르게 나타날 수도 있을 것이다.

Table 11. MVC for posture, coupling

단위: kg

Subject	구부린 자세			팔을 편 자세			팔을 90°로 굽힌 자세		
	padding	handle	no handle	padding	handle	no handle	padding	handle	no handle
1	61.16	52.12	38.6	60.48	56	39.82	45.86	48.6	35.48
2	37.38	33.12	26.68	41.58	39.16	33.4	29.6	29.2	22.62
3	43.56	41.06	32.02	46.94	42.72	33.38	31.82	31.5	22.58
4	58.28	52.76	37.26	58.5	53.4	38.22	35.48	41.14	28.1
5	49.92	48.58	42.72	62.84	58.88	48.16	43.64	37.32	33.78
6	44.82	41.1	33.98	46.08	45.9	32.36	29.04	29.64	21.24
7	32.12	28.66	23.3	37.06	35.72	28.68	25.88	24.82	19.4
8	47.88	38.84	38.32	50.04	41.76	29.72	38.76	35.38	27.68
9	59.94	57.12	49.3	77.14	68.56	54.48	50.06	49.98	41.4
10	35.38	34.2	28.88	44.74	40.78	31.8	26.38	24.68	23.26
평균±	47.04±	42.76±	34.11±	52.54±	48.29±	37.00±	36.65±	35.23±	27.55±
표준편차	10.38	9.51	7.97	12.06	10.47	8.41	8.58	9.05	7.21

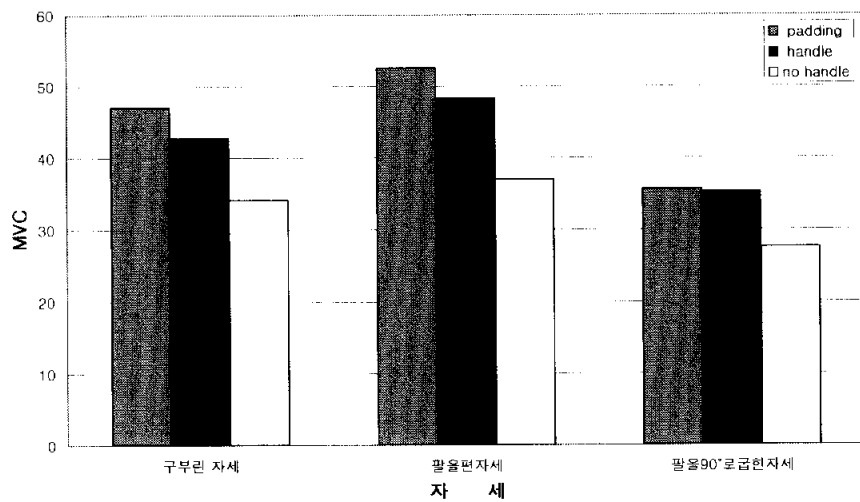


Fig. 7. Effect of posture, coupling for MVC

4.2 주관적 평가

주관적 평가는 magnitude estimation 방법으로 실시하였다. 실험전에 전달한 기록지를 실험종료 후 피실험자가 직접 체크하도록 한다. Table 12는 통계프로그램인 minitab release 13을 사용하여 주관적 불편도에 대한 자세별 손잡이 형태별 영향을 분산분석을 통하여 나타낸 결과이다.

분산분석 결과 자세와 손잡이는 주관적 불편도에 대해 유의함($p<0.01$)을 알 수 있었다. 자세별 손잡이 형태에 따른 주관적 평가는 Table 13과 같다. Table 14는 피실험자들간의 불편도 평가기준이 다르기 때문에 Table 13의 주관적 평가 결과를 표준화한 것이다. 피실험자마다 다소 차이는 있었으나 평균값을 살펴볼 때 MVC값이 높은 자세 및 손잡이 형태에서 주관적 불편도가 낮은 것으로 나타났다.

Table 12. Analysis of variance for subjective ratings

Source	DF	SS	MS	F	P
손잡이 형태	2	369.56	184.78	38.67	0.002*
자세	2	548.22	274.11	57.37	0.001*
Error	4	19.11	4.78		
Total	8	936.89			

(* : $p<0.01$)

Table 13. Subjective ratings of posture, coupling

Subject	구부린 자세			팔을 편 자세			팔을 90°로 굽힌 자세		
	padding	handle	no handle	padding	handle	no handle	padding	handle	no handle
1	50	60	60	30	30	50	60	70	60
2	50	60	70	50	50	60	60	70	80
3	50	50	60	50	60	70	70	70	80
4	40	50	70	30	40	60	70	60	80
5	40	50	60	30	40	50	40	50	60
6	40	50	60	30	40	60	50	60	70
7	40	50	60	30	40	50	50	60	70
8	30	40	50	40	50	60	30	40	50
9	40	50	60	20	30	60	50	50	60
10	40	50	60	30	40	50	50	60	60
평균±	42±	51±	61±	34±	42±	57±	53±	59±	68±
표준편차	6.32	5.68	5.68	9.66	9.19	6.75	12.52	9.94	10.33

Table 14. Standardized value of subjective ratings of posture, coupling

Subject	구부린 자세			팔을 편 자세			팔을 90°로 굽힌 자세		
	padding	handle	no handle	padding	handle	no handle	padding	handle	no handle
1	50	75	75	0	0	50	75	100	75
2	0	33.3	66.7	0	0	33.3	33.3	66.7	100
3	0	0	33.3	0	33.3	66.7	66.7	66.7	100
4	20	40	80	0	20	60	80	60	100
5	25	50	75	0	25	50	25	50	100
6	25	50	75	0	25	75	50	75	100
7	25	50	75	0	25	50	50	75	100
8	0	33.3	66.7	33.3	66.7	100	0	33.3	66.7
9	50	75	100	0	25	100	75	75	100
10	33.3	66.7	100	0	33.3	66.7	66.7	100	100
평균±	22.83±	47.33±	74.67±	3.33±	25.33±	65.17±	52.17±	70.17±	94.17±
표준편차	18.77	22.65	18.71	10.53	18.71	21.76	25.96	20.39	12.45

Table 14의 표준화된 주관적 평가 결과를 보다 쉽게 이해할 수 있도록 하기 위해 Fig. 8의 그래프로 나타내었다. 표준화 값이 높을수록 주관적 불편도가 높은 것이고, 표준화 값이 낮을수록 주관적 불편도가 낮은 것으로 나타내었고, 각 실험 조건에 대해 10명의 표준화된 주관적 평가 결과의 평균값을 사용하였다.

Fig. 8의 실험결과를 보면 주관적 불편도는 팔을 편 자세에서 가장 낮게 나타났으며, 팔을 90°로 굽힌 자세에서 불편도가 높은 것으로 나타났다.

자세에 대한 손잡이의 영향을 살펴보면, 세 가지 자세 모두에서 손잡이 상태가 나빠질수록 주관적 불편도가 증가하였다.

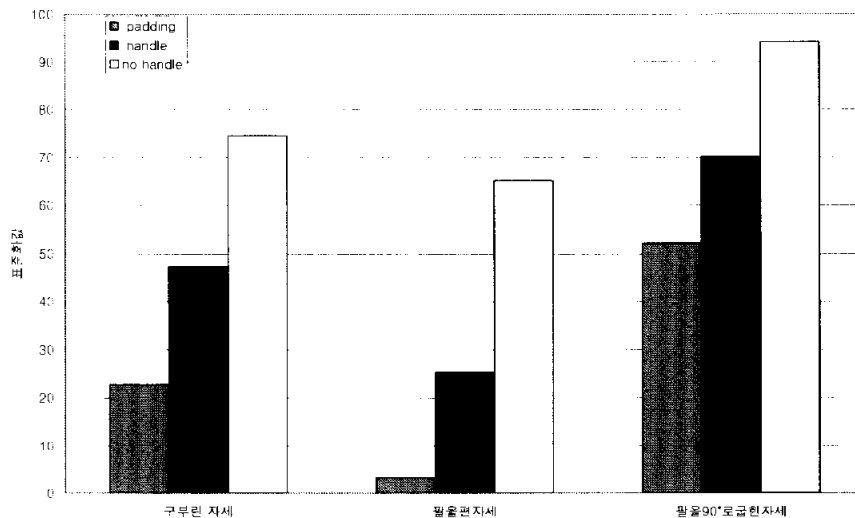


Fig. 8. Standardized value of subjective ratings of posture, coupling

4.3 EMG 분석

동원된 근육들의 활동을 분석하기 위해 자세 및 손잡이 형태에 대한 RMS.EMG를 측정하였다.

손잡이 형태에 대한 실험 결과는 Fig. 9~11과 같다.

Fig. 9는 구부린 자세에서의 손잡이 형태별 좌우 상완이두근의 RMS.EMG값을 나타내고 있는데, 손잡이가 없는 경우의 RMS.EMG값이 가장 높게 나타나 있고, 손잡이 패딩한 경우와 일반 손잡이의 경우 비슷하게 나왔으나, 일반 손잡이의 경우 조금 RMS.EMG값이 높게 나타났다.

Fig. 10은 팔을 편 자세에서의 손잡이 형태별 좌우 상완이두근의 RMS.EMG값을 나타내고 있으며, 이 자세 역시 손잡이 없는 경우 RMS.EMG값이 가장 높게 나왔으며, 세 손잡이 형태 모두 높게 나왔다.

Fig. 11은 팔을 90°로 굽힌 자세에서의 손잡이 형태별 좌우 상완이두근의 RMS.EMG값을 나타내고 있으며, 다른 두 자세보다 RMS.EMG값이 높게 나타났다.

3가지 자세에서 대부분의 피실험자들이 손잡이 패딩한 경우와 일반 손잡이일 경우의 RMS.EMG값이 거의 비슷했고, 손잡이가 없는 경우가 가장 높았다. 그 이유를 살펴보면, 손잡이가 없는 경우에는 상완이두근, 상완근의 동원이 많이 되지만, 반면에 손잡이가 있는 경우에는 손 끝, 손목, 전완의 근육들의 동원이 많이 되기 때문인 것으로 생각된다.

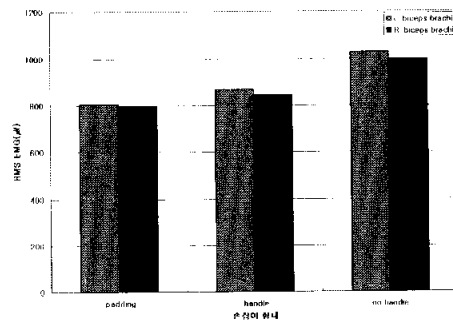


Fig. 9. RMS.EMG amplitude of two upper arm muscles for bending posture

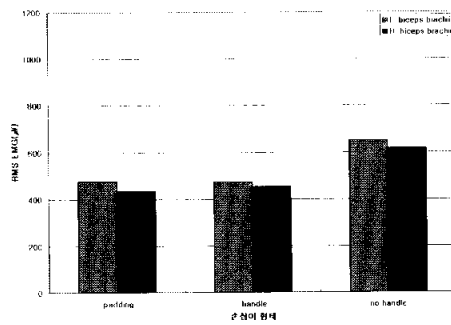


Fig. 10. RMS.EMG amplitude of two upper arm muscles for straight posture

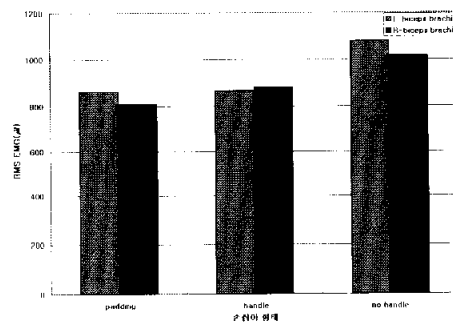


Fig. 11. RMS.EMG amplitude of two upper arm muscles for right angle posture

근전도 결과를 자세별로 분석하면 Fig. 12~14와 같다.

Fig. 12는 손잡이를 패딩 했을 때의 자세별 좌우 상완이두근의 RMS.EMG값을 나타내고 있는데, 팔을 편 자세에서의 RMS.EMG값이 가장 낮게 나타나 있고, 팔을 90°로 굽힌 자세에서 RMS.EMG값이 가장 높게 나타났다.

Fig. 13은 일반 손잡이일 경우 자세별 좌우 상완이두근의 RMS.EMG값을 나타내고 있으며, 이 손잡이 형태 역시 팔을 편 자세에서의 RMS.EMG값이 가장 낮게 나왔으며, 구부린 자세와 팔을 90°로 굽힌 자세가 거의 비슷하게 나왔다.

Fig. 14는 손잡이가 없는 경우에서 자세별 좌우 상완이두근의 RMS.EMG값을 나타내고 있으며, 다른 손잡이 형태보다 RMS.EMG값이 높게 나타났다.

3가지 자세 중 대부분의 피실험자들이 팔을 편 자세일 때 대상근육의 RMS.EMG값이 가장 낮게 나타났으며, 이 자세에서는 대상근육 외에 다른 근육들이 더 많이 동원됨을 알 수 있다.

팔을 90°굽힌 자세에서 3가지 손잡이 형태 모두 상완이두근의 역할은 증가된 반면에, 팔을 편 자세에서의 상완이두근의 역할은 감소되었다. Chang은 팔꿈치관절 각도가 90°일 경우 상완이두근과 원요골근의 영향이 큰 반면, 60°일 경우 상완이두근과 상완근의 역할이 크고, 120°일 경우 상완이두근과 원회내근의 역할이 증대되었다고 하였는데²⁴⁾, 본 연구에서도 비슷한 결과가 나왔다.

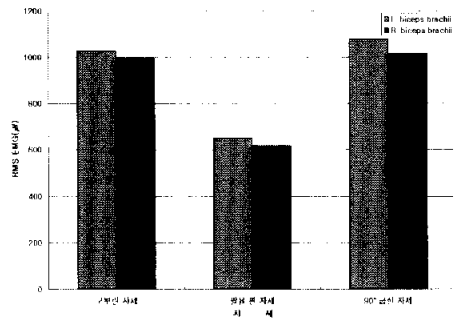


Fig. 12. RMS.EMG amplitude of two upper arm muscles for padding coupling

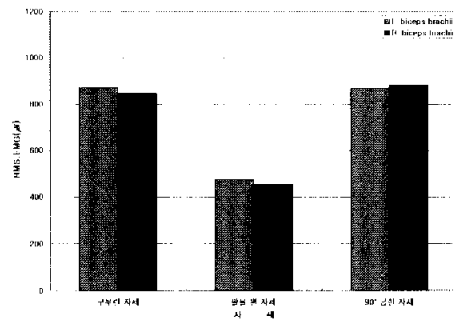


Fig. 13. RMS.EMG amplitude of two upper arm muscles for handle coupling

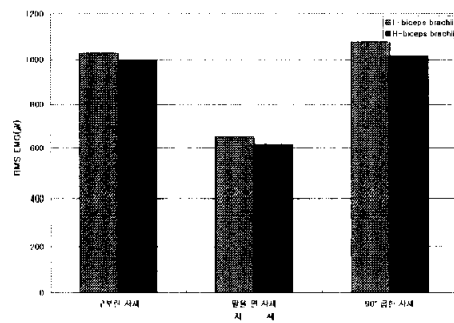


Fig. 14. RMS.EMG amplitude of two upper arm muscles for no handle coupling

5. 결론 및 토의

본 연구에서는 손잡이 형태에 따른 인양하중의 변화를 고찰하고, 작업자세에 따른 최적 인양 하중을 제시하고자 하는 바, 상자 들기 작업시 자세 및 손잡이 형태에 따른 MVC, EMG값과 주관적 불편도를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 손잡이 유무에 따라 MVC는 최대 23%까지 감소되었다.
2. 팔을 편 자세에서의 MVC가 가장 높게 나왔으며, 팔을 90°로 굽힌 자세에서 가장 낮게 나타났다.
3. 분산분석 결과 MVC에 대해 자세 및 손잡이는 유의한 것으로 나타났다.($p<0.01$)
4. 주관적 평가 결과 피실험자마다 다소 차이는 있었으나, 평균값을 볼 때, MVC 값이 높은 자세 및 손잡이 형태에서, RMS.EMG값이 낮은 자세 및 손잡이 형태에서 주관적 불편도가 낮은 것으로 나타났다.
5. 팔을 90°굽힌 자세에서 3가지 손잡이 형태 모두 상완이두근의 역할이 증대되었으며, 팔을 편 자세일 때의 상완이두근의 역할은 감소되었다.
6. 세 자세 모두 손잡이가 없는 경우에 상완이두근의 근육 동원이 가장 컸다.

위의 결과들을 토대로 볼 때, 본 연구에서 선정한 세 가지 작업 자세에서 들기 작업 시 팔을 편 자세가 가장 안전한 들기 작업 자세라고 할 수 있겠고, 손잡이 형태에 따라서는 손잡이가 없는 경우보다 손잡이가 있는 경우가 들기 작업시 보다 안전하게 물체를 들 수 있을 것이다.

근전도 측정시에는 심층근(negative muscle)을 분석할 수 있는 바늘 전극(needle electrode)과 표층근(positive muscle)을 분석할 수 있는 표면전극(surface electrode)을 사용하는데, 본 연구에서는 표면전극을 사용하기 때문에 표층근만을 대상으로 하였다.

본 연구는 자세 및 손잡이 형태에 따른 MVC와 주관적 불편도, EMG값을 측정하였지만, 이 연구를 기초로 하여 MMH 작업시 한국인에게 적용할 수 있는 권고 무게와 적합한 상자 설계 및 다른 근육의 피로현상에 관해서도 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고 문헌

1. Sanders, M. S. and E. J. McCormick. "Human Factors in Engineering and Design", Seventh Edition, McGraw-Hill, Inc., New York, 1992.
2. 임종근, 근골격계질환 발생현황과 예방대책, 월간 무재해, 2002. 2
3. 노동부, 단순반복작업 근로자 작업관리지침, 1998, 2000
4. U.S Department of Labor, Bureau of Labor Statistics, 1997. 3
5. 노동부, 1999-2002 산업재해분석, 2000-2002.
6. 박정선, 이나루, 이윤근, 정진주, 임상혁, 명정신, 박희석, 현수돈, 사업장 근골격계 질환 예방관리 프로그램 개발, 한국산업안전공단, 2002.
7. Garg, A. and Saxena, U. Container characteristics and maximum acceptable weight of lift, Human Factors, Vol. 22, pp. 487-495, 1980.
8. Waters, T.R., Putz-Anderson, V., and Garg, A. Applications manual for the revised NIOSH lifting equation. Cincinnati, OH: DHHS (NIOSH), 1994.
9. Waters, T.R., Putz-Anderson, V., Garg, A., and Fine L.J. Revised NIOSH equation of the design and evaluation of manual lifting tasks, Ergonomics, Vol. 36, pp. 749-776, 1993.
10. Davis, K.G., Marras, W.S. and Waters, T.R. Reduction of spinal loading through the use of handles, Ergonomics, Vol. 41, pp. 1155-1168, 1998.
11. Coury, B.G. and Drury, C.G. Optimal handle in a box-holding task, Ergonomics, Vol. 25, pp. 645-662, 1982.
12. Bishu, R.R. and Deeb, J.M. Optimal handle positions in a lifting and carrying task. In: A. Mital(ED.), Advances in Industrial Ergonomics and Safety I.

- Taylor and Francis, London, pp. 707-713, 1989.
13. Drury, C.G., Deeb, J.M., Hartman, B., Wooley, S., Drury, C.E. and Gallagher, S. Symmetric and asymmetric manual materials handling.
Part 1. Physiology and Psychophysics, *Ergonomics*, Vol. 32, pp. 467-489, 1989.
 14. Bishu, R.R. and Wang Wei. Evaluation of handle position-Comparison of psychophysical force/endurance and biomechanical criteria, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 9, pp. 221-234, 1992.
 15. Smith, J.L. and Jiang, B.C. A manual materials handling study of bag lifting, *American Industrial Hygiene Association Journal*, Vol. 45, pp. 505-508, 1984.
 16. Morrissey, S.J. and Liou, Y.H. Maximum acceptable weight in load carriage, *Ergonomics*, Vol. 31, pp. 217-266, 1988.
 17. Hsia, P.T. and Drury, C.G., A simple method of evaluating handle design, *Applied Ergonomics*, Vol. 17, pp. 209-213, 1986.
 18. Shih, Y.C. and Wang, M.J., Psychophysical evaluation of diameter and angle of container handles, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 19, pp. 437-444, 1997.
 19. Wang, M.J., Chung, H.C. and Chen, H.C., The effect of handle angle on MAWL, wrist posture, RPE and heart rate, *Human Factors*, Vol. 42, pp. 553-565, 2000.
 20. Drury, C.G., Handles for manual materials handling, *Applied Ergonomics*, Vol. 11, pp. 35-42, 1980.
 21. Woodburne, R.T., *Essentials of Human Anatomy*, 7th ed. Oxford University Press, 1983.

22. 박철빈, 박수연, 운동해부생리학, 형설출판사, 1997.
23. 장성록, 팔꿈치 관절 굽힘 동작에 동원되는 근육의 상호작용에 관한 연구, 서울대, 박사학위논문, 1992.
24. Christoper D. Wickens, Sallie E. Gordon, Yili LiuAn introduce to human factors engineering, Addison Wesley Longman, Inc. 1997.
25. Lodge, M., Magnitude Scaling : Quantitative measurement of options, Beverly Hills, CA : Sage, 1981.
26. Borg. G., Psychophysical of perceived exertion, Med. Sci. Sports and Exercise, Vol. 14, pp. 377-381, 1982.
27. Borg. G., Psychophysical scaling with application in physical work and the perception of exertion, Scand. J., Work Environment Health, 16 (Supply 1), pp. 55-58, 1990.

부록. Coupling component (개정된 NIOSH 들기 작업 지침 중)

1. 정의

손으로 물체를 들 때, 손잡이 상태 또는 물체를 쥐는 자연스런 방법은 작업자가 최대로 힘을 주거나 물체를 움직여야 할 때뿐만 아니라, 드는 동안 손의 수직 위치에 영향을 미친다. 좋은 손잡이 상태는 요구된 최대 악력을 줄이고 들기에 대한 허용무게를 증가시킬 것이다. 반면에 나쁜 손잡이 상태는 일반적으로 보다 많은 최대 악력을 요구하고 들기에 대한 허용무게를 감소시킬 것이다.

손잡이 상태의 효율성은 정적이 아니라, 바닥에서 물체의 거리에 따라 다양하다. 그래서, 좋은 손잡이 상태는 단순 들기 작업 동안에는 나쁜 손잡이 상태도 될 수 있다. 따라서, 들기의 전체 범위에서 손잡이 상태는 총체적인 효율성에 기초해서 분류되어진다.

Waters et al. (1993)은 손잡이 상태를 양호, 보통, 불량으로 분류하였으며, 3가지 category는 Table 1에 정의되어 있다.

Table 1. Hand-to-Container coupling classification

좋음(Good)	보통(Fair)	나쁨(Bad)
1. 최적으로 설계된 용기(상자 또는 운반용 나무상자 등)를 사용하면서, 최적의 손잡이나 손을 넣을 수 있는 용기 형태인 경우 이것으로 분류한다. (주1~3 참조)	1. 최적으로 설계된 용기를 사용하면서, 손잡이가 보통이거나 손을 넣을 수 있는 용기가 최적이 아니면 이것으로 분류한다. (주1~4 참조)	1. 최적으로 설계되지 않은 용기, 부드러운 물건 등이 부피가 크고, 들기 힘들고, 각이 날카로운 물건의 경우에 이것으로 분류한다. (주5 참조)
2. 용기에 넣어 운반하지 않아도 될 것 같은 원재료 등이나 부드러운 물건, 부정형의 물건을 사용하면서 그것을 손으로 싸거나 잡아서 드는 것이 용이하면 이것으로 분류한다. (주6 참조)	2. 손잡이가 보통이거나 손을 넣을 수 있는 용기가 아니거나, 부드러운 물건 또는 부정형의 물건을 사용하면서, 손을 용기의 밑에 넣어 거의 90°이상 굴곡시킬 수 있다면 이것으로 분류된다. (주4 참조)	2. 딱딱하지 않아서 들면 한 가운데가 튀어나와 버리는 것 같은 물건도 이것으로 분류한다.

주1) 최적으로 설계된 손잡이란, 물건의 직경이 1.9~3.8cm, 물건의 길이가 11.5cm 이상, 손잡이와 물건 사이의 여유가 5cm 이상, 물건의 형태가 원통형으로 표면은 매끈매끈하지만 미끄러지지 않는 것이다.

주2) 최적으로 설계된 손을 넣을 수 있는 용기란, 손을 넣을 수 있는 폭이 3.8cm 이상, 길이가 11.5cm 이상, 반타원형, 물건과의 사이의 여유가 5cm 이상, 매끈매끈하지만 미끄러지지 않고, 두께가 0.6cm 이상(골판지의 2배정도)인 것을 말한다.

주3) 최적으로 설계된 용기란, 가로가 40cm 이하, 높이가 30cm 이하로, 매끈매끈하지만 미끄러지지 않는 표면의 것을 말한다.

주4) 바닥으로부터 골판지 상자를 드는 경우, 상자의 밑에 약 90도 굴곡 시켜 드는 것이 가능해야 한다.

주5) 가로가 40cm보다 길거나, 높이가 30cm보다 높고, 거칠거나 미끄러지기 쉬운 표면, 각이 날카로운 상자, 밸런스가 맞지 않고, 불안정한 내용물, 장갑을 사용할 필요가 있는 경우의 용기는 최적으로 설계되었다고 할 수 없다. 부드러운 물건은 손으로 잡는 밸런스를 취하기 힘든 부피가 큰 것을 말한다.

주6) 손목이 과도하게 꺾이거나 부자연스러운 자세 없이 물건을 드는 경우와 잡는데 쓸데없는 힘이 들어가는 것이 없는 경우를 말한다.

2. Coupling 계수

손잡이 상태 분류와 들기의 수직 위치를 기초로, 손잡이 상태 계수는 Table 2로 정의할 수 있고, Fig 1은 손잡이 상태를 분류하는 decision tree이다.

Table 2. Coupling multiplier

결합타입	수직 위치 V	
	$V < 75\text{cm}$	$V \geq 75\text{cm}$
양호(Good)	1.00	1.00
보통(Fair)	0.95	1.00
불량(Poor)	0.90	0.90

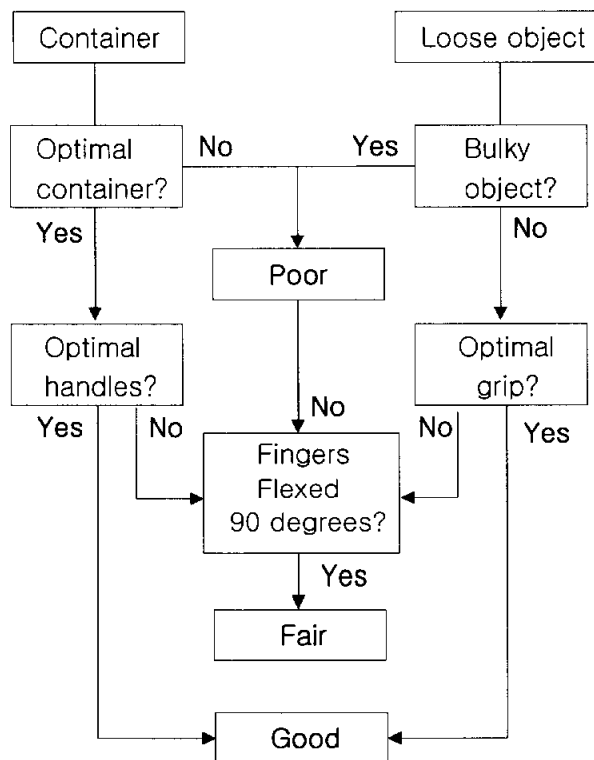


Fig 1. Decision tree for coupling quality

Abstract

The effects of work posture and coupling in lifting tote box

Advised by

Professor Seong-Rok Chang

Chang-han Seong

M. D. Dissertation

Dept. of Safety Engineering, Graduate School,

Pukyong National University

Despite rapid technological advance and increased automation facilities, many jobs and activities in our living require manual materials handling(MMH). These include a wide variety of activities such as moving things, lifting bags, boxes or cartons, etc. Many studies found that handle could affect on maximum acceptable weight of lifting, but there were few studies for the effects of work posture and coupling in lifting tote box.

This study performed that ten male college students were required to lift a tote box with and without handle for three postures (bending, straight, right angle posture).

From the experiment, following results were obtained. (1) MVC reduced maximum 23% by type of handle. (2) MVC was highest in straight posture, but was lowest in right angle posture. (3) As a result of ANOVA, MVC paid attention to posture, coupling. ($p < 0.01$) (4) To all handle types, Biceps brachii activity was increased in right angle posture, but reduced in straight posture. (5) To all posture types, Biceps brachii activity was most lively in no handle.

The results of MVC measurement, subjective rating, EMG analysis, statistic analysis showed that on maximum acceptable weight of lifting was influenced by type of handle and straight posture was more comfortable than other postures.

Based on these results, it was concluded that acceptable weight of lifting has to differ for work posture and coupling.

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 부족한 저에게 각별한 관심과 지도편달로 이끌어 주신 장성록 지도교수님께 진심으로 감사 드립니다.

또한, 본 논문을 심사하시며 세심한 검토와 많은 가르침을 주신 이동훈 교수님과 고성석 교수님께 깊이 감사 드리며, 언제나 관심 있게 지켜봐 주시고 지도해 주신 목연수 교수님, 이내우 교수님, 박외철 교수님, 권오현 교수님, 최재욱 교수님께 감사 드립니다.

바쁜 학과 업무중에도 관심을 가져주신 고경찬, 이종빈 조교 선생님, 논문 발표 직전까지 세심한 신경을 써 주셨던 유성이형, 동철이형, 대학원 과정을 함께 하면서 조연과 격려를 아끼지 않았던 준호씨, 태구, 종수, 재범 등 대학원 동기 및 선·후배님들과 선배의 일을 마다하지 않고 본 논문의 실험에 임해준 안전공학과 후배님들 및 함께 동고동락한 재훈, 석태, 현수, 상은, 성대, 경희, 은향 등 인간공학 실험실의 후배님들에게 고마움을 전합니다. 그리고 틈틈이 술친구가 되어줬던 초등학교 친구들, 94학번 동기들과 제가 아는 모든 분들께 감사 드립니다.

항상 옆에서 힘이 되어주고 격려를 해준 나의 옆자리를 채워줄 사랑하는 영아와 함께 논문 완성의 기쁨을 나누고자 합니다.

마지막으로 학업을 핑계로 제대로 따뜻하게 대해주지 못한 동생 창훈이에게 미안한 마음을 전하며, 아들의 학위과정을 무사히 마칠 수 있도록 끝까지 믿어 주시고 오늘의 제가 있기까지 항상 깊으신 사랑과 헌신적으로 뒷바라지 해주신 부모님께 이 논문을 작은 보답으로 올립니다.

2003년 2월

성 창 한