

인체공학을 적용한 제조공정 작업환경에 대한 가이드라인 구축

The Guideline Construction for the Manufacturing Process of Working Environment Applying Ergonomic Engineering

김화식¹, 최성대^{2*}
Hwa-Sik Kim¹, Seong-Dae Choi^{2*}

<Abstract>

A structure of line for producing products is variously changing to be automatic and one-person Cell-Line considering the physical burden for workers in manufacturing industry of electronic goods. However, workers tend to still accuse Work-related Musculoskeletal Disorders (including shoulder, waist, hand, wrist, leg etc.) as a simply repeated work by accelerating of the production speed for productivity improvement in the assembly line. Thus manufacturing engineers in charge of changing and set up newly for an assembly line are necessary to the construct of the guideline on human engineering. Especially, There is no standardized engineering-guide and it is difficult to create the exact work environment because the risk factor analysis and the improvement for assembly line are executed once a year on the current situation. I'd like to reduce the physical burden on workers through the effective improvement of processing by the guideline on working environment fit for a characteristic on manufacturing process when the process is changed or newly installed.

Keywords : Ergonomic, Guideline, DMAIC, CTQ(Critical to Quality)

1. 서 론

전자제품 제조업에서 제품을 생산하는 라인의 구조가 작업자의 신체부담을 고려하여 자동화와 1인 Cell-Line 등 다양하게 변화하는 과정에 있다. 그러나 생산성 향상을 위한 제조 속도의 가속화에 따라 아직도 작업자들은 반복적인 단순 조립작업으로 근골격계 질환(어깨, 허리, 손, 손목, 다리 등)을 호소하는 경향이 있다.^{1,2,3,4)} 그래서 제조라인을 변경 및 신규로 설

치하는 업무를 담당하는 제조기술 담당자들은 제조공정의 인체공학 가이드라인 구축을 필요로 하고 있다. 또한 작업자들을 설문한 결과 총 4,300명중 2,800명(67%)이 신체적인 부담을 느끼고 있어 공정별 가이드라인의 구축을 필요함을 알 수 있었다.

특히, 법적으로 제조공정에 대한 유해요인조사 및 개선을 요구하는 현실에서 매년 1회 실시하고 있는데 표준화된 Eng. Guide가 없어 정확한 작업환경 조성이 어려운 실정이다.

¹정회원, 금오공과대학교, 대학원 생산기계공학과
²교신저자, 금오공과대학교 기계공학과 교수, 工博,
E-mail:sdchoi@kumoh.ac.kr

¹Post doctoral fellow, Graduate School of Production and
Mechanical Engineering, Kumoh National Institute of Technology
²Corresponding Author, Professor School of Mechanical
Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Ph. D.

본 연구에서는 제조 공정별 특성에 맞는 작업환경 가이드라인을 제시함으로써 공정이 변경되거나 신규로 설치할 때 효과적인 공정개선을 통하여 작업자들의 신체적인 부담을 줄여주고자 한다. 그리고 개선결과를 유,무형으로 효과를 산출하여 제조공정의 표준화 방안을 제시하였다.

2. 연구방법 및 내용

본 연구의 범위는 Table 1과 같이 사업부별 자재를 입고하는 공정에서부터 제조, 조립, 검사, 포장, 출하공정까지이며 공정별로 작업자들이 느끼는 신체부담원인을 분석하여 개선항목으로 선정하였다.

분석평가 방법은 6 Sigma 기법^{5,6)}을 활용하여 DMAIC 기법을 적용하였다. 6 Sigma는 제조업에서 불량률 최소한으로 줄이거나 수율을 최대로 늘이기 위해 필요한 모든 절차들을 관리하는 기법이다.

Table 1. Project scope

Input	Process	Output
Assembling Component	Material storing	Work-Related musculoskeletal disorders prevention
Material	Production	
Weight	Assembling	
Production	Inspection	Worker health increase
Work space	Packaging	Productivity improvement
Work distance	Shipment	
Work method	Vehicle shipment	

DMAIC기법^{7,8)}은 5단계의 프로세스로 추진하는 Tool이다.

정의(Define)단계는 고객이 누구이며, 고객이 중요시 하는 품질요소가 무엇인지를 파악하는 과정이며, 측정(Measure)단계는 CTQ (Critical to Quality)를 세분화하여 분석하고자 하는 Y와 Y에 대한 성과기준을 정하고 이에 대한 데이터를 수집하여 현재 수준을 확인하는 작업을 한다. 분석(Analyze)단계는 $Y=f(X)$ 라는 수식에서 X가 무엇인지 찾고 X가 Y에 어느 정도 영향을 주고 있는지를 규명하는 과정이며, 개선

(Improve)단계는 Y가 원하는 목표를 달성할 수 있도록 핵심인자 X의 최적 개선안을 도출한다.

관리(Control)단계는 정의에서부터 개선에 이르기까지 $Y=f(X)$ 의 “f”를 파악했고 Y의 최적성과 수준을 달성하기 위해 필요한 X의 범위를 구한 것을 프로젝트가 완료 한 후에도 일상적으로 운영될 수 있도록 하는 데 초점을 맞춘다.

본 연구의 정의단계에서는 Project 선정배경과 Mission을 정립하여 Problem Statement, Objectives, Expected Result와 Project Scope 등을 선정하였다.

측정단계에서는 CTQ를 선정하고 Fig. 1의 상세프로세스 Map을 이용한 분석과 Table 2의 잠재인자 X's List 를 이용하여 분석을 하였다.

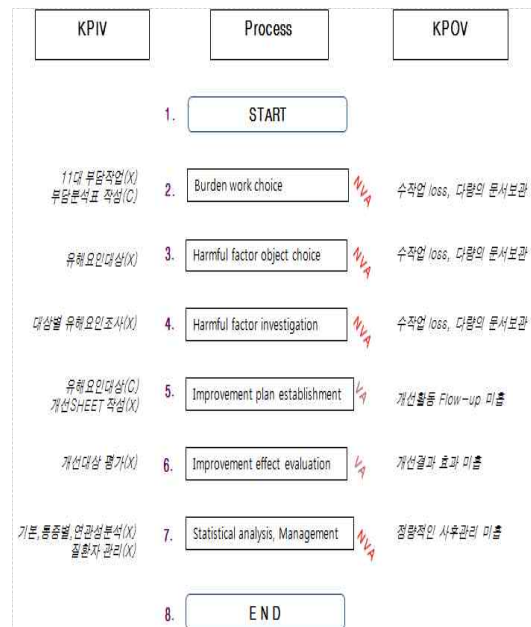


Fig. 1. Detailed processing map.

Table 2. Potential X's list

NO	Potentiality factor X	Division	Specification	Note
1	11s Burden work analysis	X	Zero	Labor Relations Division suggestion.
2	Harmful factor investigation	X	Zero	
3	Symptom questionnaire Investigation	X	Zero	Human body engineering expert.
4	Statistical analysis, Management	X	Zero	Precision diagnosis

작업자가 가장 많이 느끼는 신체부담의 원인이 무엇인지 파악하기 위하여 C&E Diagram을 이용하여 Method, Environment, Material, Man 4개 항목으로 분석하였다. 분석한 결과 Fig. 2와 같이 각 항목별로 신체부담에 영향이 있는 것으로 다음과 같이 나타났다. 인력 물건취급, 수공구 작업, 작업환경별 공정개선의 미표준화 등이다.

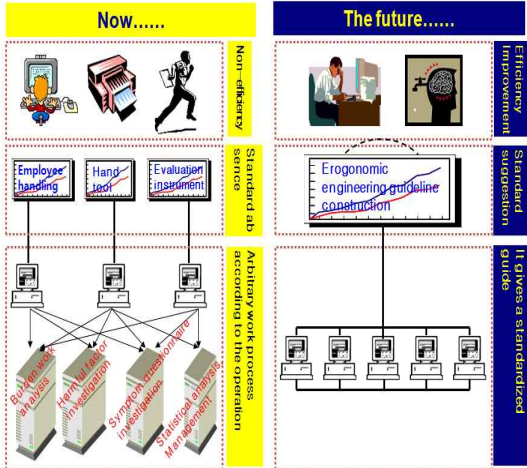


Fig. 2. Design concept.

6 Sigma 기법을 이용하여 작업자의 신체부담을 주는 원인을 분석한 결과 Table 3과 같이 주요 잠재 X's List 인자를 개선안으로 인체공학 가이드라인 구축을 도출하게 되었다.

Table 3. High level design analysis

NO	X's	Now	Improvement Plan
1	11s Burden work analysis -작업유형, 판단기준 제시 -작업별 근골격계 부담 분석 -기본현황, 단위작업 동작 -부담작업 현황, 단위작업 List	유해요인 조사, 분석을 위해 각각의 분석 매뉴얼(분석표, 기준표, 개선계획Sheet, 설문서)을 활용.	"Ergonomic engineering Guideline" construction
2	Harmful factor investigation -조사 대상 유해요인 조사표 분석 -조사구분, 기본조사, 공정분석 -유해요인 평가 기준 제시 -인체공학 개선계획 Sheet	GBM 공정 특성별 인체공학적 환경 조성에 따른 Eng. Guide가 별도로 없어서 정확한 작업환경 조성이 어려움.	-인체측정 자료 -인력 물건취급, 공간, 기구설계 -수공구 설계, Hand tool
3	Symptom questionnaire investigation -기본, 통증별, 업무연관성		-신체부하 평가도구 -상체, 하체, 중량물
4	Statistical analysis, Management -GBM, 부서, 파트별 분석항목		

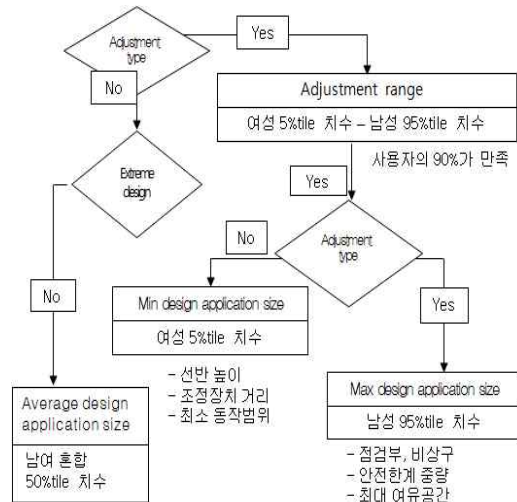
그 세부적인 항목으로는 인체측정 자료, 인력 물건취급 방법, 수공구 설계, 신체부하 평가도구 등이다.

3. 인체공학적 제조라인 구축

3.1 인체측정치

분석인자별로 Analysis Tool인 Gab 분석과 활용하여 분석한 결과 Table 4와 같은 공정별 작업자의 인체측정치를 이용한 설계기준이 작업환경을 개선하는 제조기술 담당자에게 필요한 것임을 알 수 있었다.

Table 4. Design criteria using human body measured value



작업에 사용하는 설비, 기구 등 작업자가 조절 가능한 경우 직접 조절식으로 설계하고 조절범위로는 Table 5와 같이 백분위수 적용시 최대치가 남성의 95%, 최소치는 여성의 5%로 한다.⁹⁾ 조절가능 설계가 불가능한 경우에는 극단치를 이용할 수 있는데 최대치는 작업자와 의자 사이간격, 통로나 비상구 높이, 받침대의 안전한계중량 등에 적용하며 최소치는 작업대의 높이, 조정장치까지의 거리 등 뻗치는 동작이 있는 작업에 적용한다. 평균치를 이용한 설계의 경우는 식당 테이블 등 작업자들이 짧은 시간 공동으로 이용하는 부분이며, 대표치는 남녀 혼합 50% 범위를 이용한다.

Table 5. The documentation of Korean human body measurement

Measurement Item	Sex	Average	S.D	Percentile		
				5%	50%	95%
1. Stature	Man	1738	58.3	1642	1740	1838
	Woman	1607	49.4	1526	1602	1690
2. Eye-height	Man	1621	56.3	1527	1622	1712
	Woman	1495	47.8	1420	1491	1577
3. Shoulder-height	Man	1403	52.7	1315	1403	1489
	Woman	1297	45.0	1225	1294	1368
5. Waist-height	Man	1075	44.2	1002	1074	1144
	Woman	1004	38.1	944	1001	1070
6. Elbow height	Man	1058	41.7	988	1056	1129
	Woman	983	35.6	927	982	1042
7. Hip height	Man	855	38.5	787	857	927
	Woman	785	34.4	730	785	843
9. Crotch height	Man	799	37.5	738	799	860
	Woman	727	33.5	672	727	789
11. Knee height	Man	448	26.2	407	446	496
	Woman	408	20.8	376	407	442

3.2 인력 물건취급

3.2.1 일반적 업무수행 활동

분석인자별로 Analysis Tool인 Gab 분석한 결과 Fig. 3과 같이 1인 운반 작업과 2인 이상 운반 작업조건¹⁰⁾을 적용하는 것이 신체부담을 줄일 수 있음을 알 수 있었다.

일반적인 업무수행시는 가볍고 내마모성 천, 안전화, 보호 장갑을 착용한다, 그리고 물건을 들기전 항상 운반 설비에 대한 점검을 실시하고 중량 확인과 인양물에 가까이 다가가 움직임을 확인 후 옮겨 놓을 장소의 적합성과 이동통로 및 인양방법을 선정하여 취급한다.

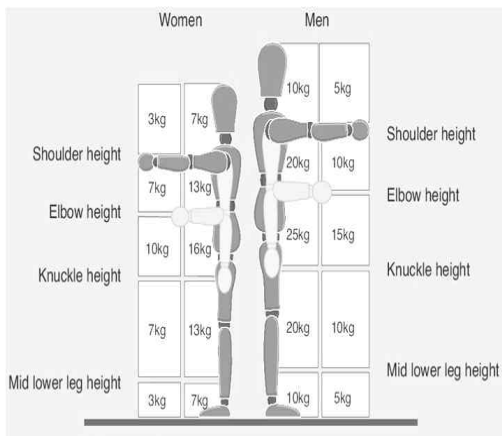


Fig. 3 The operating condition handling materials.

3.2.2 밀고 당기기

제조공정에서 일반작업과 대차 등을 밀고 당기는 작업시는 Gab 분석결과 Fig. 4와 같은 자세로 실시하며 선자세로 전신동작에서는 힘의 상한계가 23kgf이며 상체를 이용할 경우는 11kgf이다.^{11,12)} 무릎 꿇은 자세로는 힘의 상한계가 19kgf이고 앉은 자세로는 13kgf가 적절함을 알 수 있었다.



Fig. 4. Pushing & Pulling posture.

3.2.3 물건 손으로 잡기와 손잡이

창고지역의 작업자들이 중량물 작업에 따른 신체부담을 많이 느끼고 있는데 Fig. 5와 같이 물건을 손으로 잡을 때 손아귀의 힘 부하를 고려하여 공구손잡이 조건¹¹⁾을 개선했을 때 작업자들의 중량물 적재, 이동작업 시 허리, 어깨통증을 감소시켰다.

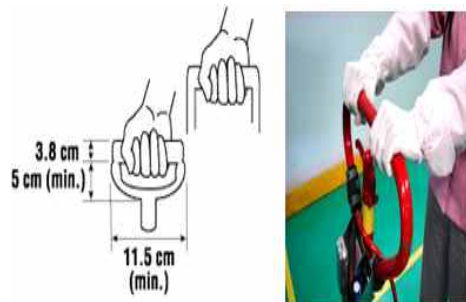


Fig. 5. The condition of tool's handle.

3.2.4 중량물의 인양 및 운반

중량물 취급공정의 작업 시 한국산업안전공단의 인체공학 기준에 의하면 하루 10회 이상 25kg 이상의 물체를 드는 작업은 부담 작업으로 제한하는데 업무수행시 적합한 장비를 선정

하면 인력 사용을 최소화 할 수 있다. Fig. 6과 같이 중량물을 들고 운반하기 위한 바닥 설치용 간이 크레인을 적용하고 물건을 일정 높이에서 지속적인 작업을 하는 경우 리프트 테이블을 적용한 결과 허리, 어깨, 손목의 부담이 제거됨을 알 수 있었다.



Fig. 6. Supporting facility of heavy objects.

3.2.5 업무 공간 배치 및 설계

전자제품을 조립하는 경우 Gab 분석결과 Fig. 7과 같이 과도하게 몸을 굽히기, 들기, 뺏기 동작을 하지 않고 물건을 취급하도록 업무공간을 개선한 결과 작업자의 어깨, 허리의 통증을 감소시킬 수 있었다.

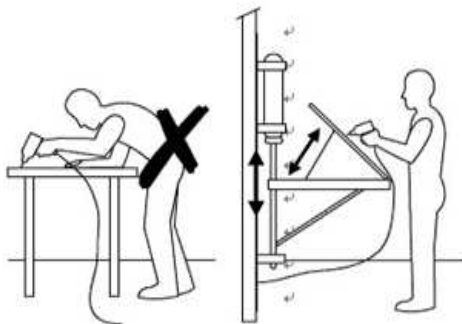


Fig. 7. Workspace layout.

또한, 업무공간에 대한 설계 시 작업대의 표면, 좌석, 바닥상태, 공구, 작업환경조건 등과 같은 업무지역 요소는 작업자를 안전하고 건강하게 수행할 수 있는가, 없는가를 결정한다. Fig. 8과 같이 중작업, 경작업, 정밀작업시 최적의

작업높이^{11,12)}로 설계하여 적용한다면 작업자가 업무수행 시 몸을 굽히지 않고 허리를 곧게 유지하여 편안한 자세로 생산성과 품질 향상에 도움이 됨을 알 수 있었다.

Optimum work height			
팔꿈치 높이가 중립작업에서 원팔과 함께 평가기준	Weight work	Lightweight work	Precise work
	허리와 팔꿈치 높이	팔꿈치 높이	팔꿈치 높이보다 5cm정도 높게
Optimal working height is based on workers body dimensions.			

Fig. 8. Optimal working height.

3.3 수공구

3.3.1 수공구 작업관련 용어정의

Classification	Definition	
불편한 작업자세 (Awkward Posture)	머리, 손, 손목, 팔꿈치, 어깨, ... 목 등의 부하를 주는 자세로서, 굴곡자세, 구부린 자세, 비틀은 자세, 손목각 거리가 ... 면 자세 등 ⁴⁾	
파워그립 (Power Grip)	수공구 손잡이들 ... 손가락 전체를 감싸고, 잡는 자세, ⁴⁾	
접촉성 스트레스 (Contact Pressure)	수공구의 끝부분 또는 손바닥, 접촉 시 피부조직에 불균형을, 주는 경우, ⁴⁾	
정밀잡기 (Pinch Grip)	엄지, 엄지 및 중지 손가락들 ... 중심으로 잡는 자세로, 정밀한 작업수행에, 필요한 동작자세 ⁴⁾	
싱글 핸들 공구 (Single-Handle Tools)	싱글 핸들 공구의 경우, 손잡이 길이와 직경이 중요 ⁴⁾	
더블 핸들 공구 (Double-Handle Tools)	더블 핸들 공구의 경우, 손잡이 길이와 ... 손잡이 사이 간격이 중요 ⁴⁾	

Fig. 9. Hand-tool's term.

수공구의 역사는 인류의 역사만큼이나 오래 되었으며 Fig. 9와 같이 업무에 적합한 공구를

선정하고 사용자에게 맞게 하는 것은 생산성과 근로자의 건강에 중요한 요인이 되었다.

3.3.2 수공구 종류

다양한 업무 및 일정, 공구 사용방법 등은 모두 공구 설계 자체와 마찬가지로 중요한 요소¹³⁾이다. Fig. 10과 같이 비동력 수공구를 작업의 특성에 맞게 사용하게 한 결과 안전예방과 손가락, 손목 부담감소와 조립작업 시 생산성 향상에 도움이 됨을 알 수 있었다.

Classification	Example	...
풀단, 절단작업 수공구, Pliers, Snips, Cutters		
대는 작업 수공구, Hammer		
드라이버, 작업드라이브, 수공구, Screwdrivers, Hand wrenches, Nut drivers, T-handle wrenches		
풀단, 절단작업 수공구, 보조도구(Tip), Nail sets		

Fig. 10. Hand-tool's type.

3.3.3 공구설계

손가락은 근육에 의해 움직이는데 뼈와 손목 인대로 이루어진 경로를 통해 손의 역할을 하게 해준다. 손의 움직임은 크게 상하와 좌우로 나누어지는데 이러한 손의 구조를 기초로 하여 수공구 설계는 몇가지 원칙이 주어진다. 첫째 손목을 끈게 펼 수 있도록 하고 두 번째 손가락으로 지나치게 반복적인 동작을 하지 않도록 하며 세 번째 손바닥 면에 압력이 가해지지 않도록 해야 한다. 기타 안전측면을 고려한 디자

인과 여성, 왼손잡이를 위한 배려가 있어야 한다. 그리고 Fig. 11과 같이 공구 설계시 공구의 무게중심과 잡은 손의 중심이 일직선이어야 한다. 반복작업에는 1kg 이하가 좋고 장시간 작업 조건에서는 2.3kg 이하가 적당하며, 정밀작업은 0.4kg이하가 적절하다.

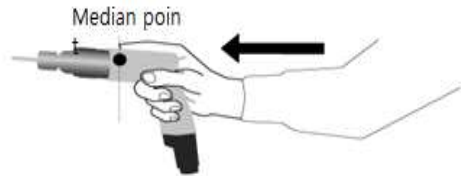


Fig. 11. Tool's median point.

3.4 신체부하 평가 도구

3.4.1 들기 및 내리기 작업조건 평가

제조공정에서 조립작업시 중량물 들기 및 내리기 작업조건을 Table 6과 같이 빈도와 거리에 조건¹⁴⁾을 제시함에 따라 작업자의 신체부하 요인을 제거할 수 있었다.

Table 6. Liberty mutual design goals for lifting/lowering (단위:Kg)

Shoulder in dukes height (74~138)cm	Height range	Horizontal distance (Front of Body to Hands) [cm]								
		17			25			38		
Lifting frequency	Lifting work distance(cm)	Lifting work distance(cm)			Lifting work distance(cm)			Lifting work distance(cm)		
		1/8 h	1/8 h	18	17	15	17	15	14	17
1/30 min	2/1 h	16	14	13	14	13	12	14	13	12
1/5 min	12/1 h	14	13	12	13	12	11	13	12	11
1/2 min	30/1 h	14	13	12	13	12	11	13	12	11
1/1 min	1/1 min	13	12	11	12	11	10	12	11	10
1/14 s	4.3/1 min	11	11	9	9	9	8	9	9	8
1/9s	6.7/1 min	10	10	8	8	8	7	8	8	7
1/5s	12/1 min	9	9	7	7	7	6	7	7	6

전자제품 제조공정의 개선 후 작업자의 만족도가 Table 7과 같이 60% → 80%로 향상되었음을 알 수 있었고 6 시그마 수준으로 나타내면 4.8σ이다. 유해요인 조사에서 신체부담 정도에 대한 설문 결과 총 4,300명중 2,800명(67%)에서 2,200명(51%)로 신체적인 부담률도 15% 감소했음을 알 수 있었다.

Table 7. The result of 6 sigma

Performance index(Y)		Level before improvement	Improvement target level	Level after improvement
Worker satisfaction	%	60%	70%	80%
	σ	3.6	4.2	4.8

4. 결 론

본 연구에서는 인체공학을 이용하여 전자제품 제조라인을 공정별 특성에 맞도록 가이드라인을 제시하고 공정을 개선하고자 할 때 작업자의 신체부담에 대한 만족도를 향상시키는 제조공정의 표준을 제공한 결과는 다음과 같다.

- 1) 작업에 사용하는 설비, 기구를 작업자가 조절 가능한 경우 인체측정치를 고려하여 직접 조절식으로 설계하였고 조절범위는 최대치가 남성의 95%, 최소치는 여성의 5%로 하였다.
- 2) 일반적인 업무수행시는 가볍고 내마모성 천, 안전화, 보호장갑을 착용하게 하였고 중량물운반 작업방법을 개선하였다. 일반작업과 대차밀고 당기는 작업의 진신동작에는 힘의 상한계가 23kgf, 상체 이용시 11kgf이며 무릎 꿇은 자세로는 19kgf, 앉은 자세로는 13kgf가 적절하다. 물건을 손으로 잡을 때 손아귀의 힘 부하를 고려하여 공구손잡이 조건을 개선하였고 중량물운반용 간이 크레인 적용, 리프트 테이블을 적용하였다.
- 3) 수공구는 작업특성에 맞게 맞춤형으로 제작하여 사용하게 하고 설계원칙을 제시하였다.
- 4) 조립작업시 중량물 들기 및 내리기 작업조건

을 빈도와 거리에 따라 신체부하 평가 도구로 제한하였다.

참 고 문 헌

- 1) Corlett, E.N., Wilson, J., and Manenica, I. The ergonomics of working postures. Models methods and cases, London: Taylor & Francis, (1986)
- 2) Van Wely, P. Design and disease. *Applied Ergonomics*, 1. 262, (1970)
- 3) 노동부, “근골격계 부담작업의 범위”, 제2003-24호, (2009)
- 4) 김정룡, “작업관련성 근골격계질환 예방을 위한 인간공학”, 민영사, (2004)
- 5) 백재욱, “6시그마 경영-허와 실 그리고 우리의 나아갈 바”, 자유아카데미. (1999)
- 6) 이레테크 미니탭사업팀, “새 MINITAB 실무과정“, (주)이레테크, (2005)
- 7) 안영진, “6시그마의 핵심”, 김영사, (2000)
- 8) 나수천, “6시그마 국부론”, 길벗, (2005)
- 9) 산업자원부 기술 표준원, 한국인 인체치수 조사-Size Korea, (2004)
- 10) Health and Safety Executive(HSE, UK), Are you making the best use of lifting and handling aids, (2003)
- 11) Canadian Centre for Occupational Health and Safety(CCOHS, CANADA). (<http://www.ccohs.ca/oshanswers/ergonomics/>), (2009)
- 12) National code of practice(Canberra, Australia), For the prevention of musculoskeletal disorders from performing manual tasks at work, (2007)
- 13) National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH, USA), Easy ergonomics-A guide to selecting non-powered hand tools, (2004)
- 14) Snook, S.H. and Ciriello, V.M., The design of manual handling tasks: revised tables of maximum acceptable weights and forces, *Ergonomics* 34, 9, 1197, (1991)

(접수:2010.09.20, 수정:2010.10.19, 게재확정:2010.11.24)