

6 시그마 기법에 의한 인체공학적 전자제품 제조라인 구축 The Construction of Ergonomic Electronic Goods Assemble Line by 6 Sigma Technique

김화식¹, 공병채², 최성대^{3*}
Hwa-Sik Kim¹, Byeong-Chae Gong¹, Seong-Dae Choi^{2*}

<Abstract>

The automation and Cell-Line of manufacturing process are going to be new trend in the industry spot. But workers' bodily burden by manual labour is still doing repeatedly at many processes. It is appearing to workers' bodily burden (Shoulder, waist, hand, wrist, leg) with repeating works at assembly line which is from the static working space. The analysis with 6 Sigma Tool at specific standard assembly line improve the point at issue for unsuitable items and analyzed objects. Physical pain of worker is solved by the improvement action for the factor of 7 items with the result of analysis. It was known to be improved by solving of worker's burden related to the change of 6 Sigma level from 2.16 to 4.1 at assembly line.

Keywords : 6 Sigma, Ergonomic, DMAIC, CTQ(Critical to Quality)

1. 서론

산업현장에서는 제조공정의 자동화와 Cell라인화 되어가는 추세이다. 그러나 아직도 많은 공정에서는 수작업에 의한 작업자 부담이 반복적으로 행하여지고 있다. 전자제품을 생산하는 공정은 중량물 취급에 의한 요통은 많이 감소되어 가고 있지만 작업자가 정적인 공간에서 반복적인 조립작업으로 근골격계 질환(어깨, 허리, 손, 손목, 다리 통증)으로 나타나고 있다.^{1),2),3),4)} 특히 제조공정의 작업환경 중 작업대 높이, 부품소재 위치, 중량물 이동 등에 의하여 만성적인 통증을 호소하고 있다.

최근에는 작업자들의 건강에 대한 인식 및

작업환경에 대한 관심이 증가하여 작업공정 중 신체부담 작업의 환경개선을 요구하는 경향이 있다.

본 연구에서는 전자제품 제조라인을 대상으로 6 Sigma Tool^{5),6)}을 이용하여 제조공정에서 작업자들이 느끼는 신체부담의 원인을 분석하고 개선하고자 한다. 그리고 개선결과를 유, 무형효과로 산출하여 경영에 반영하기 위하여 정량적 방법인 6시그마 수준으로 검증하였다.

2. 6 Sigma Process 전개

본 연구의 범위는 Fig. 1과 같이 Process중에서 특히, 자재입고부터 제조, 조립, 검사, 포장, 출하공정이며 공정별로 작업자들이 느끼는

¹정회원, 금오공과대학교 대학원, 생산기계공학과

²정회원, 한국폴리텍IV대학, 컴퓨터응용금형학과 교수

³교신저자, 정회원, 금오공과대학교 기계공학과, 교수, 工博,

E-mail: sdchoi@kumoh.ac.kr

¹Post doctoral fellow, Graduate School of Production and Mechanical Engineering, KIT.

²Post doctoral fellow, Prof., Dept. of Computer Die & Mold, Korea PolytechnicIV College

³Corresponding Author, Prof., School of Mechanical Engineering, KIT, Ph. D.

신체적인 부담원인을 분석하여 개선항목으로 선정하였다.

분석평가 방법은 6 Sigma 기법을 활용하여 추진하였으며 제조공정에 대하여 추진하기 위해서는 DMAIC 기법을 적용하였다. 6 Sigma는 제조업에서 불량률 최소화로 줄이거나 수율을 최대 늘이기 위해 필요한 모든 절차들을 관리하는 기법이다.



Fig. 1. Project scope.

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

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

Control(관리) 단계는 Define(정의)에서부터 Improve(개선)에 이르기까지 $Y=f(X)$ 의 “f”를 파악했고 Y의 최적 성과 수준을 달성하기 위해 필요한 X의 범위를 구한 것을 프로젝트가 완료한 후에도 일상적으로 운영될 수 있도록 하는데 초점을 맞춘다.

본 연구의 Define 단계에서는 Project Mission으로서 Problem Statement, Objectives, Expected Result와 Project Scope 등을 선정하였다.

Manufacturing 단계에서는 고객정의 및 고객의 요구사항을 대변하는 품질특성인 CTQ를 선정하고 Project의 성과 지표인 Y's 측정 방법 및 규격을 설정하고 상세 프로세스 맵과 Fig. 2의 C&E Diagram, Table 1 FDM의 평가 방법을 이용하여 분석을 하였다.

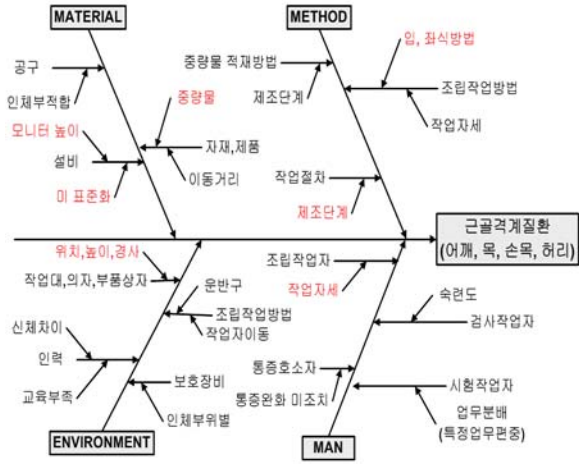


Fig. 2. C&E diagram.

작업자가 가장 많이 느끼는 신체부담의 원인이 무엇인지 파악하기 위하여 Fig. 2와 같이 C&E Diagram을 이용하여 Method, Environment, Material, Man 4개 항목으로 분석하였다. 분석한 결과 각 항목별로 신체부담의 영향이 있는 것이 다음과 같이 나타났다.

Table 1. Function deployment matrix

프로젝트 X (KPI)	프로젝트 (KPOV)			점수	% 점수
	어깨,목	허리	손목		
	중요도				
작업대 높이	7	5	4	99	9.16
중량물 적재	5	5	3	80	7.40
부품상자 위치	6	5	4	92	8.51
중량물 이동	4	5	5	83	7.68
모니터 높이	5	5	4	85	7.86
시험대 높이	5	4	3	74	6.85
랙 이동	5	6	4	91	8.42
매거진 적재위치	4	4	3	67	6.20
전면공급대 각도	6	4	5	91	8.42
단축 KEY 위치	5	4	4	79	7.31
전환 SW 위치	6	4	4	86	7.96
작업제 패널 위치	4	4	2	62	5.74
포장재 이동	6	5	4	92	8.51

작업방법에서는 입, 좌식 작업과 작업절차의 제조단계이며, 환경에서는 작업대높이, 부품상자의 위치, 경사가 영향이 있다. Material에서는 설비의 미표준화, 자재의 중량물과 이동거리이며 People에서는 작업자의 불안정한 작업자세가 영향이 있는 것으로 도출되었다.

Table 1과 같이 FDM 기능전개 매트릭스를 이용하여 근골격계 질환(어깨, 목, 허리, 손목)의 주원인 항목별로 분석한 결과 작업대 높이, 부품상자 위치, 모니터높이, 랙 이동, 전면공급대 각도의 요소가 높은 점수로 나타나고 있는 것을 볼 수 있었으며 작업자의 신체부담을 해소하고자 우선적으로 개선을 추진하고자 선정하였다.

Table 2. Latency a factor X's list

No	입력변수	구분	규격	비 고
1	작업대 높이	X	973mm	안전공단 인체기준
2	부품상자 위치	X	1100mm	작업자 어깨높이
3	모니터 높이	X	0°	인체공학회 기준
4	랙 이동	X	중량물 30kg	인체공학회 기준
5	전면공급대 각도	X	60°	인체공학 전문가
6	전환 S/W	X	S/W 설치	인체공학 전문가
7	포장재 이동	X	자동이동	인체공학 전문가

6 Sigma 기법을 이용하여 작업자의 신체부담을 주는 원인을 분석한 결과 Table 2와 같이 주요X's List의 결과를 7개 항목(작업대의 높이, 부품상자 전, 후 및 상, 하 위치, 모니터 높이, 랙이동방법, 자재 공급대의 각도, 전원 S/W On, Off방법, 포장재 이동방법) 등으로 도출하였다.

Table 3. Data collection plan

No	입력변수	분석 목적	분석 TOOL	측정방법 Data유형
1	작업대 높이	작업대 높이가 어깨, 허리에 영향을 미치는 관계	Gap분석	계수형
2	부품상자 위치	부품상자 위치가 어깨, 손목에 영향을 미치는 관계	One Sample t	계량형
3	모니터 높이	모니터 높이가 어깨, 목에 영향을 미치는 관계	One Sample t	계량형
4	랙 이동	랙 이동이 손목, 허리에 영향을 미치는 관계	Gap분석	계수형
5	전면공급대 각도	공급대 경사각도가 어깨, 손목에 영향을 미치는 관계	One Sample t	계량형
6	전환 SW	전원 SW 위치가 어깨, 허리에 영향을 미치는 관계	Gap분석	계수형
7	포장재 이동	포장재 이동시 어깨, 허리에 영향을 미치는 관계	Gap분석	계수형

주요 X's 인자별 7개 분석대상에 대한 분석 목적 및 DATA 수집 세부방법을 수립하여 Table 3과 같이 분석대상별 시료수를 10개씩 계량형과 계수형으로 수집하여 작업자와의 부담작업 관계여부를 분석 Tool인 Gab 분석과 미니탭의 One Sample t 기법을 이용하여 검정하였다.

3. 인체공학적 제조라인 구축

분석인자별로 Analysis Tool인 Gab 분석과 One Sample t를 활용하여 분석한 결과 Fig. 3, 5, 7과 같이 작업대 높이, 랙 이동 중량물 작업, 포장재 이동작업이 작업자에게 신체부담을 줄 수 있음을 알 수 있었다.

Table 4. Range of standing work

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	비 고
입식 작업	95	95	95	105	103	104	55	88	90	101	범위: 91-103

Table 5. Design of workshop (standard of adult)

구분	성별	평균	95%	5%
입식	남	103	109	97.6
	여	97.3	103.1	91.2

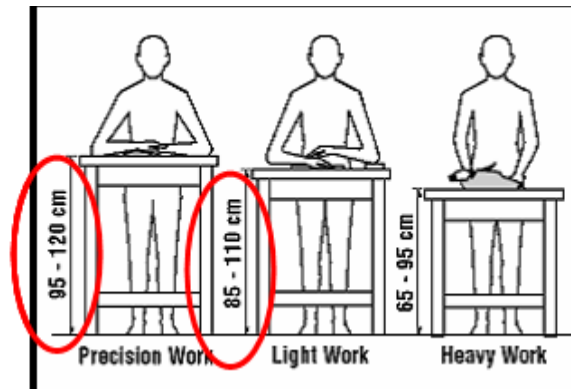


Fig.3. Analysis of work conditions for standing work.

제조공정에서 자재를 정렬하여 공급해 주는 컨베이어 및 작업대 높이에 대한 Gab 분석결과 Table 4와 같이 입식 작업공정 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10의 작업자는 어깨, 허리의 통증이 없는 반면작업공정 7의 작업자는 어깨, 허리의 통증

을 호소하는 것을 알 수 있었다. 한국산업안전공단에서 제시하는 Fig. 3의 입식작업에서의 작업조건과 Table 5의 입식작업관련 작업대 높이기준은 남자의 경우 평균 103cm 여자는 97.3cm 인데 작업공정 7번의 작업대는 55cm로 기준에 대비해 현격하게 차이가 나는 것을 볼 때 작업대의 높이가 작업자에게 신체부담을 줄 수 있음을 알 수 있었다.

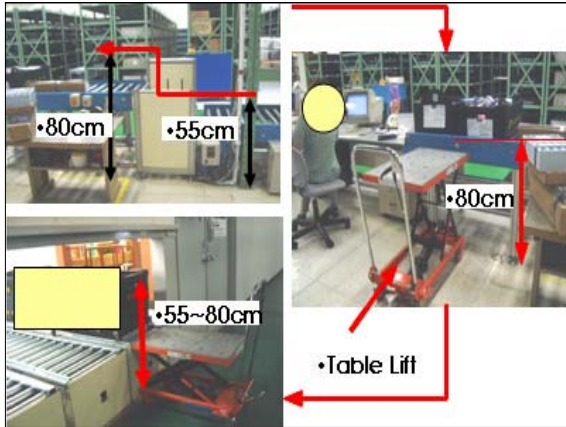


Fig. 4. The result after improvement.

창고지역의 작업자들이 중량물 작업과 작업대높이에 따른 신체부담을 Fig. 4와 같이 작업용 컨베이어를 기존 55cm에서 80cm로 개선하고 자재 공급용 높낮이 조절이 가능한 전용 Table Lift 적용으로 작업자들의 중량물 적재작업 시 허리, 어깨통증을 감소시켰다.

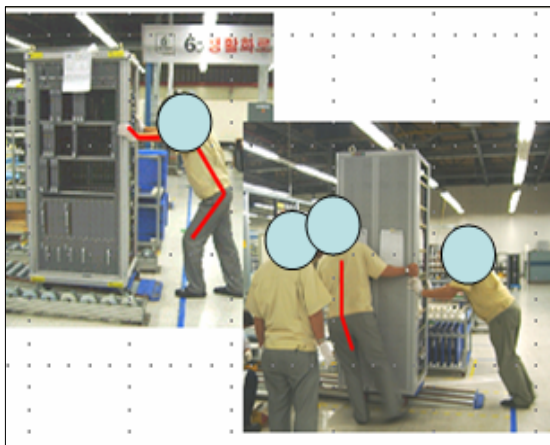


Fig. 5. Analysis by heavy work.

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

로 제한하는데 시험과정에서는 Fig. 5와 같이 500kg인 Rack을 이. 적재 작업시 2명의 작업자가 수작업으로 경사로를 통하여 이동하면서 작업을 하여 허리, 어깨, 손목에 부담을 주는 것을 알 수 있었다.

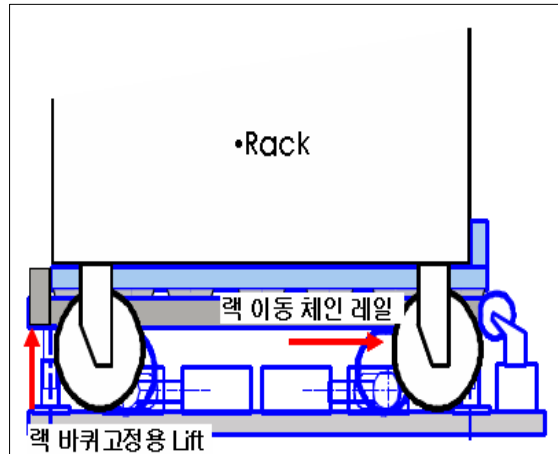


Fig. 6. The result after improvement.

Fig. 6과 같이 Rack 시험을 위한 이.적재용 Lift를 제작하여 기존에 수작업 하던 것을 평지에서 레일전반부에 위치하면 이, 적재용 Lift가 자동으로 랙 바퀴를 고정하고 이동하여 시험을 실시하므로 작업자 2명이 중량물 작업에 의한 허리, 어깨 통증 부담이 제거되었다.



Fig. 7 Analysis by packaging work.

프린터 포장재 SET 이재작업에 대한 GAP 분석결과 Fig. 7과 같이 포장공정의 완제품 (20~40kg) SET를 1일 600회 수평으로 들고 이동하여 포장을 하는 동작으로 작업자가 어깨, 허리의 통증이 있음을 알 수 있었다.



Fig. 8. The result after improvement.

완제품 포장공정에서 Fig. 8과 같이 포장재 SET이재장치를 수평, 수직방향으로 자동화 개선함에 따라 기존의 중량물 수작업에 의한 작업자의 어깨, 허리의 통증 부담이 감소되었다.

Table 6. The results of monitoring

NO	X's 항목	실 문 결 과
1	작업대 높이	작업대 높이 개선(55cm→ 80cm) 으로 어깨, 허리 통증 감소됨
2	부품상자 위치	부품상자 위치 개선(100cm→58cm이하) 으로 어깨, 손목 통증 감소됨
3	모니터 높이	모니터 높이 개선(눈각도 50도→0도) 으로 어깨, 목통증 감소됨
4	랙 이동	랙 이,적재용 Lift 설치로 허리, 손목 통증 감소됨
5	전면 공급대 각도	전면 공급대 경사 개선(20도→60도) 으로 어깨, 손목 통증 감소됨
6	전환 S/W	전원 전환 S/W 설치로 어깨, 목, 허리 통증 감소됨.
7	포장재 이동	포장재 자동 이송장치 설치로 어깨, 허리통증 감소됨.

전자제품 제조라인에서 느끼는 작업자의 신체부담 원인을 파악하고 주요 개선항목을 선정하여 Table 6과 같이 총 7개의 X's 항목을 발굴하여 부적합한 부분을 개선하고 작업자별 설문을 실시한 결과 작업자들이 느끼는 신체적인 통증부담(어깨, 목, 손목, 허리)이 해소된 것을 알 수 있었다.

4. 6 Sigma 적용 결과

6 Sigma 수준은 Table 7과 같이 2.16에서 4.1로 향상된 결과를 나타냈다. 또한 다른 3개

의 라인에도 주요 개선 포인트를 발굴하여 작업자의 신체 통증 부담을 해소함으로써 생산성을 향상시키므로 유. 무형 효과 산출로 경영성과에 이바지할 수 있음을 알 수 있었다.

Table 7. The result of 6 sigma

핵심성과지표(Y)		개선전 수준	개선목표 수준	개선후 수준
근골격계	%	25.62	5.0	0.498
질환발생율	σ	2.16	3.1	4.1

제조공정의 개선 전 신체부담 4개 부위(어깨, 목, 허리, 손목)의 근골격계질환 발생률은 Fig. 9와 같이 25.62%로써 표준 정규분포로 전환하여 6 시그마 수준으로 나타내면 2.1 σ 이다.

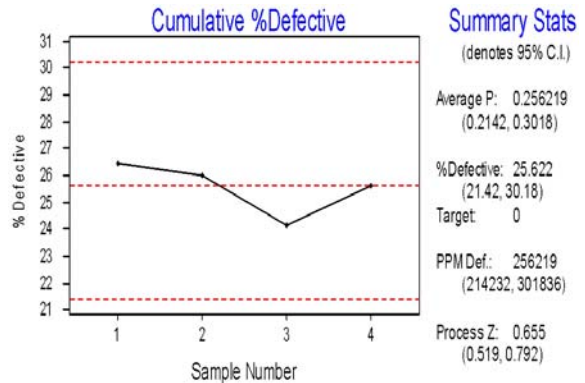


Fig. 9. The processing result before improvement.

제조공정의 개선 후 신체부담 4개 부위(어깨, 목, 허리, 손목)의 근골격계질환 발생률은 Fig. 10과같이 0.498%로써 표준 정규분포로 전환하여 6 시그마 수준으로 나타내면 4.1 σ 이다.

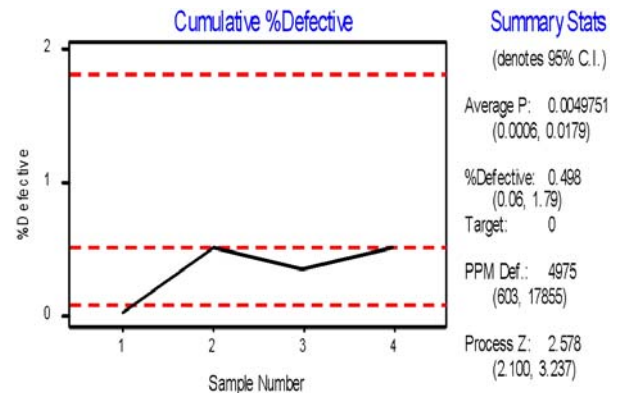


Fig. 10. The processing result after improvement.

5. 결 론

본 연구에서는 6 시그마 분석방법 DMAIC 기법을 이용하여 인체공학 전자제품 제조라인 적용방안에 대하여 정량적으로 개선하여 유, 무형효과를 산출하였다.

1. 개선 전 제조공정에서 발생하는 불량률(어깨, 목, 손목, 허리 등 신체부담)이 6 시그마 수준이 2.16이었다. 그러나 작업자들의 부담 원인이 되는 공정의 문제점을 개선하여 적용한 결과 6 시그마 수준은 4.1로 향상되었다.
2. 제조라인 작업자의 신체부담 원인을 개선(작업대 높이를 55cm → 80cm 향상, 부품상자 위치를 100cm → 58cm 감소, 모니터 높이를 눈각도 50도 → 0도 낮춤, 랙 이동반 자동화, 전면공급대 경사각도 20도 → 60도로 향상, 전원 s/w 자동전환 장치 적용 포장재 자동 이송장치 설치)한 결과 작업자의 통증부담 만족도가 향상되었고 생산성을 30% 높일 수 있는 계기가 되었다.

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. pp. 262-269, (1970)
- 3) 노동부, “근골격계 부담작업의 범위”, 제 2003-24호, (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)

(접수:2010.03.19, 수정:2010.04.22, 게재확정:2010.05.20)