

PCB Soldering 공정의 작업 인터페이스 변경에 따른 작업난이도 및 생산성 향상

이성균·박범

아주대학교 산업공학과

Productivity and Task Difficulty Improvement of PCB Soldering Process by Changing Work Interface

Sung Koon Lee, Peom Park

Department of Industrial Engineering, Ajou University, Suwon, 443-749

ABSTRACT

When PCB soldering is performed with microscope due to the electronic components' microminiaturization, workers' awkward upper body postures and difficulties being in focus among lens, object and eyes are one of reasons for productivity decline. The object of this study is to investigate the level of difficulties of work and the extent of productivity improvement by changing work interfaces from the work using microscope to the work using LCD monitor. Independent variables was usage of microscope and image system and dependent variables were upper body segments including neck, shoulder, back, and waist, task convenience and eye fatigue. The Visual Analogue Scale (10cm) was used for questionnaire and one way ANOVA (two levels) and two sample t-test were conducted. In addition, RULA rating was conducted for working postures. The result showed that interface changes of LCD monitor, suggested by productivity comparison per one Man Hour, highly contributed to work convenience and productivity improvement.

Keywords: Work Interface, Task Difficulty, Improving Productivity

1. 서론

전자산업의 기술발전과 제품 디자인의 변화가 가속화 되고 소비자 요구에 맞는 제품개발을 위해 상품 디자인에 요구되는 제품의 사양과 제원 및 규격은 경량화, 기능의 다변화, 초박형화, 소형화의 추세로 급변하고 있으며(정승부, 2009), 이를 대응하기 위한 전자부품, Sub 부품, Main 부품도 초소형화로 진화하고 있다(한성현, 2001).

이들 중 초소형의 전자부품을 이용하여 Sub 부품을 생산하는 대표적인 PCB(Printed Circuit Board) 조립 현장의 라

인 공정은 SMD(Surface Mount Device)와 SMT(Surface Mount Technology) 공법기술의 발전으로 생산 설비 자동화로 대응하고 있다(문영준, 2009). 반면에 자동화로 대응하지 못하는 이형부품, 전자특성에 따른 전용부품, 또는 비규격부품의 생산은 수작업에 의존하는 작업 방법으로 수행하고 있다.

PCB Sub 부품을 생산하는 SMD 자동 라인의 공정은 일반적으로 Bare PCB 자재를 Magazine에 장착하는 투입 공정, Cream Solder를 PCB 회로 위에 도포하는 Printing 공정, 전용 Chip Mounting 공정, 이형(비규격) Mounting 공정, Reflow Soldering 공정, 이형(비규격)부품 수작업 공정, 수

동 Soldering 공정, 육안검사 공정, Magazine 적재 공정 순으로 생산한다. 자동화 공정의 범위는 투입 공정에서 Reflow Soldering Machine 공정까지이며 이형(비규격)부품 수작업 공정, 수동 Soldering 공정과 육안검사 공정은 수작업으로 이루어지고 있다.

그림 1과 같이 이와 유사한 수작업 공정의 작업내용의 순서는 부품을 Jig에 장착, 부품 조립, 현미경을 이용하는 Soldering 작업 및 Soldering 상태 확인 등을 수행하고 있다.

표 1과 같이 현미경 사용 작업의 직무 분석(김진우, 2005)에서 파악된 요소작업들은 현미경을 사용하여 초소형 부품의 단자, 리드, 회로를 조립하고, Jig에 장착하여 Soldering을 실시한 후, 검사하는 순서로 작업이 이루어진다.

이러한 작업 환경하에서의 문제점을 살펴보면 첫째, 작업자의 눈을 대안렌즈에 접하기 위해 목을 구부려 목 부분에 피로가 발생한다(기도형 외, 1997). 또한 항상 대안렌즈를 통해 두 눈의 초점을 고정시켜 영상을 관찰해야 하므로 눈의 피로가 심한 단점을 가지고 있다(임영태 외, 2008). 시각적 단점에 대해서는 입체영상 모니터를 통해 보는 연구도 진행되었다(Lapper et al., 2003).



그림 1. 현미경 사용 작업

둘째, 작업영역이 작업자 자신만이 볼 수 있는 영역으로 구성되어 요소작업의 작업수행 과정에 대한 가시성이 결여되므로 관리자들이 표준작업의 준수 여부를 파악할 수 없다는 점이다(성기원과 이진표, 2004). 그리고 두 눈에 초점을 고정시키는 적응 및 기능훈련에 시간이 필요하고 시각범위의 제한으로 소요시간이 길어져 라인의 병목현상이 발생하여 생산성 향상에 장애요인 공정으로 되는 경우가 많다. 위에서 파악된 문제를 해결하기 위하여 현미경에 칼라 CCD (Charge Coupled Device) 센서를 장착하고, 모니터로 인터페이스화시킨 제품이 출시되었다.

그러나 현미경 영상 시스템은 컴퓨터의 영상처리속도에 따라 부품의 움직임과 영상의 디스플레이 시간이 Scan, 영상처리, 디스플레이 등이 컴퓨터 시스템 성능에 따라 영상처리 시간차가 발생한다.

이러한 영상 시스템은 영상처리속도 즉, 시간차와 관계 없는 작업을 대상으로 주로 데이터 입출력, 저장, 처리기능을 필요로 하는 입고검사, 출하검사용으로 많이 사용되며, 생산 공정에서의 사용은 시간차 요인으로 생산성에 미치는 영향이 있으므로 사용성에 한계가 있다.

본 연구의 목적은 전자 현미경과 모니터를 직접 연결하여 영상화 함으로서 영상처리 시간차의 한계를 제거한 영상 시스템 작업 방법을 설계하여 PCB 조립 라인의 Soldering 및 검사 공정에서 현미경을 사용하는 작업 방법과 작업난이도 및 생산성 향상 정도를 비교하였다.

2. 연구 방법

2.1 연구 절차

연구 절차는 그림 2의 작업 인터페이스 개선 절차와 같이 선정된 공정을 대상으로 직무 분석, 영상작업의 인터페이스

표 1. 현미경 사용 작업의 직무 분석

작업 방법	작업자	현미경
1. 작업자는 왼손으로 PCB 부품을 잡고 오고, 오른손으로 이형부품을 집어와 조립 후 Soldering Jig에 오른손으로 장착시킨다.	1. 양손으로 PCB 부품과 이형부품 조립.	1. 미 사용
2. 왼손으로 Solder Wire을 잡고 오른손으로 인두를 잡아 Soldering 위치로 옮기며 현미경으로 보면서 정확한 작업위치에 맞추고 Soldering 작업을 실시한다.	2. Jig에 장착.	2. 사용
3. Soldering 작업완료 후, 현미경을 통해 Soldering 상태를 검사확인한다.	3. 양손으로 Solder Wire와 인두를 가져 온다.	3. 미 사용
4. 검사확인 결과 수정이 필요하면 현미경을 통해 확인하면서 수정작업을 실시한다(작업상태 양호 시 5번으로 수행).	4. Soldering Point에 대고 Soldering 작업 실시.	4. 사용
5. 양손에 잡고 있는 Soldering Wire 및 인두를 고정대에 원위치하고.	5. 검사확인 및 수정작업.	5. 사용
6. 오른손으로 부품을 Jig에서 이탈시켜 완성 틀에 놓는다.	6. Solder Wire와 인두를 원 위치에 둔다.	6. 미 사용
	7. 완성품을 틀에 이동.	7. 미 사용

설계에서는 시나리오 설계와 시스템 설계를 실험계획 수립에서는 설문지 설계와 상세 실험계획, 실험실시를 수립하였다. 작업난이도 평가는 VAS(Visual Analogue Scale) 설문조사(Maxwell, 1978), 인터페이스 변경 전후의 작업 자세는 RULA(McAtamney and Corlett, 1993) 체크 리스트를 사용하였다. 그리고 생산성 분석은 Tact Time(박대봉 외, 1996)과 Man·Hour당 생산량을 대상으로 하였다. Tact Time은 1일 가동시간(Hour/일)을 1일 생산수량으로 나눈 시간이며 Man·Hour당 생산량은 시간당 생산량을 산출하여 소요된 인원수로 나눈 수량이다.

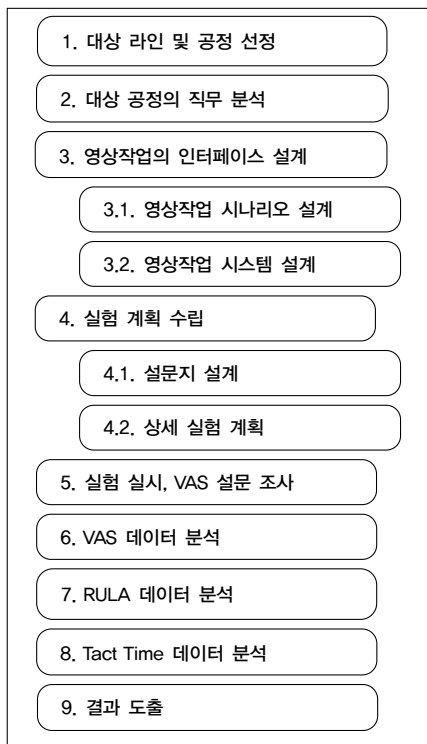


그림 2. 작업 인터페이스 개선 절차

2.2 대상 라인 및 공정 선정

연구대상 현장은 광 모듈을 생산하는 A전자부품회사의 PCB 조립 라인 내에 있는 Soldering 및 검사 공정에서 현미경을 사용하는 작업 방법과 작업 인터페이스가 변화된 전자 현미경과 모니터를 사용하는 작업 방법을 대상으로 하였고, 실험장비의 사용은 작업에 지장이 없는 시간을 이용하여 실험을 계획하였다. 피실험자는 작업장 내의 근무자로 해당 공정의 작업을 실시하는 숙련 작업자 25명을 대상으로 하였다.

2.3 대상 공정의 직무 분석

표 1의 현미경 사용 작업의 직무 분석과 같이 PCB 조립 라인의 공정 중 현미경을 사용하여 작업을 실시하는 Soldering과 검사 공정을 대상으로 직무 분석을 하였다.

분석 결과 작업내용은 6가지 요소작업으로 이루어지고 있고 각 요소작업에서 작업자와 현미경의 역할을 7가지로 구분한 결과 작업자가 현미경을 사용하는 역할은 3가지임을 알 수 있었고 사물과 대물렌즈, 접안렌즈와 눈의 초점 일치 회수는 2회에서 3회인 것으로 분석되었다.

2.4 영상작업의 인터페이스 설계

2.4.1 설계 목표

인터페이스 설계 목표는 작업난이도 해결, 표준작업 준수도의 객관화, 생산성 향상을 목표로 서론에서 제시한 두 가지 문제점을 해결하는 것으로 인터페이스 설계에서 HCI의 3대 원칙인 유용성, 사용성, 감성 중에서 유용성을 중심으로 실시하였고, 효과로는 인지적 효과를 기초로 하였다(김진우, 2005). 수작업으로 이루어지는 작업수행(부품을 Jig에 장착, 부품 조립, 현미경을 사용하는 Soldering과 Soldering 작업 상태의 검사확인) 시 발생하는 작업 자세 즉, 눈을 대안렌즈에 접하기 위한 목의 각도에서 오는 목 부분의 피로도 해결과 작업영역이 작업자 자신만이 볼 수 있는 영역으로 구성되어 요소작업의 작업수행 과정(표준작업)에 대한 가시성이 결여되는 점을 해결하고, 현미경 사용 시 적용에 필요한 시간과 시각범위의 제약조건 해소로 소요시간을 단축하여 작업피로도가 생산성 향상에 미치는 영향을 파악하고자 하는 것이다.

2.4.2 영상작업 시나리오 설계

초소형 전자부품의 수작업 Soldering 및 검사확인 공정에서 필요한 현미경을 배제하고 모니터를 사용, 영상화한 시나리오는 표 2의 신 작업 기본 시나리오와 같다. 작업 분석은 사용사례 분석법을 응용하였다(김진우, 2005). 이를 근거로 작업순서에 맞게 양식을 작성하여 작업자와 영상 시스템 작업내용을 정형화하였다.

2.4.3 영상작업 시스템 구성

영상작업 시스템은 측정검사 정밀도 μm 단위와 3차원의 측정이 필요한 부품생산 공정에는 유효한 시스템이다. 김종배 외(2006)는 Wafer 가공 후 μm 단위의 크기를 측정 검사하는 용도로 개발하였다. 또한 홍성욱 외(2005)도 금속 재질의 정밀부품 가공 면을 대상으로 조도(표면 거칠기) 측정(μm 단위) 용도로 개발하였다. 그러나 작은 PCB 부품을

표 2. 신 작업 기본 시나리오(영상 시스템)

작업 방법	작업자	영상 시스템
1. 작업자는 왼손으로 PCB 부품을 집고 오고, 오른손으로 이형부품을 집어와 조립 후 Soldering Jig에 오른손으로 장착시킨다.	1. 양손으로 PCB 부품과 이형부품 조립.	1. 미 사용
2. 왼손으로 Solder Wire을 집고 오른손으로 인두를 잡아 Soldering 위치로 옮기며 현미경으로 보면서 정확한 작업위치에 맞추고 Soldering 작업을 실시한다.	2. Jig에 장착	2. 미 사용
3. Soldering 작업완료 후, 현미경을 통해 Soldering 상태를 검사확인한다.	3. 양손으로 Solder Wire와 인두를 가져 온다.	3. 미 사용
4. 검사확인 결과 수정이 필요하면 현미경을 통해 확인하면서 수정작업을 실시한다(작업상태 양호 시 5번으로 수행).	4. Soldering Point에 대고 Soldering 작업 실시.	4. 사용
5. 양손에 잡고 있는 Soldering Wire 및 인두를 고정대에 원위치하고.	5. 검사확인 및 수정작업.	5. 사용
6. 오른손으로 부품을 Jig에서 이탈시켜 완성 틀에 놓는다.	6. Solder Wire와 인두를 원 위치에 둔다.	6. 미 사용
	7. 완성품을 틀에 이동.	7. 미 사용

생산하는 Soldering 작업 및 검사 공정에서 이러한 고기능의 시스템은 용도에 비해 투자비용이 과다해 진다는 단점이 있다. 또한 시스템에서 광원에서 발생한 빛이 대물렌즈 통해 부품 표면에 조사되어 컴퓨터를 거쳐 영상화 되기까지의 소요시간이 필요하다는 것이 Soldering 작업 및 검사 공정에서는 생산성을 저해시키는 단점이다.

따라서 본 연구에서는 컴퓨터를 배제시키고 시스템 구성을 그림 3의 영상 시스템과 같이 현미경, 칼라 CCD 센서, 모니터, 고정대, 렌즈 높이 조정

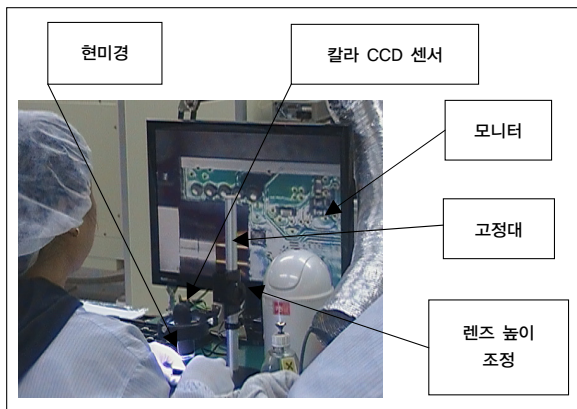


그림 3. 영상 시스템 구성

2.5 실험계획

2.5.1 작업난이도 평가 설문지

설문내용은 실험조사 참가 동의서, 개인정보, 현재 업무정보, 신체정보, 작업조건 정보, 현미경작업 및 영상 시스템 작업정보(그림 4와 같이 목, 어깨, 등, 허리의 편리함과 불편 정도, 작업 편리성, 눈의 피로도)로 구성되었다. 조사 방법은 VAS 설문조사로 기준은 좌측 점을 매우 불편함, 우측 점을 매우 편리함으로 하고 그 길이를 10cm로 피실험자에게 제시하여 작업난이도에 대하여 편리함과 불편함 정도를 선위에 체크하는 방법으로 Data를 산출하였고, 두 가지 작업 방법에 대하여 VAS Check List를 통한 주관적 만족도(목, 어깨, 등, 허리, 작업 편리성, 눈의 피로도)의 t-test(유의 수준 5%)를 실시하였다.

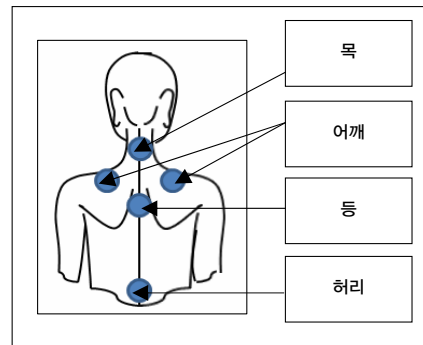


그림 4. 상반신 신체부위

2.5.2 작업 자세 및 생산성 분석

작업 자세에 대한 근골격계 질환 위험요인 평가는 피실험

자 25명이 현미경을 사용하는 작업 방법과 전자 현미경과 모니터를 사용하는 작업 방법을 대상으로 작업수행 시 촬영한 사진을 기초로 RULA를 이용하여 분석을 실시하였고, 또한 작업 인터페이스 변경으로 변화된 결과 검증을 위해 가동 시간을 생산량으로 나눈 Tact Time을 기초로 생산량/Man·Hour를 계산하여 생산성 변화를 비교하였다. 작업난이도 평가와 마찬가지로 두 가지 작업 방법에 대해 Man·Hour당 생산량을 t-test(유의 수준 5%)하였다.

2.5.3 실험 절차

상세 실험계획의 순서는 실험목적 설명에서는 목적, 방법, 용도, 정보의 보안 등을 설명하고 참가 동의서를 피실험자 개인별로 확인 서명을 받았다. 기초정보 설문에서는 개인정보, 현재 업무정보, 신체정보, 작업정보를 조사한 다음 현미경을 사용하는 작업을 25초간 현미경 사용, 5초간 부품 취급 사이클로 10분간 연속 실시하고 현미경 작업정보에 VAS 설문조사한 후, 영상 시스템을 이용하여 동일한 기준으로 작업 실시, 영상 시스템 작업정보에 VAS 설문조사를 실시하였다.

3. 연구 결과

3.1 작업난이도 분석

표 3과 같이 현미경을 사용한 작업과 영상을 이용한 작업에 대해 목, 어깨, 등, 허리, 작업 편리성, 눈의 피로도의 t-test 결과, 6개 항목 전체가 $\alpha=0.05$ 이하로 유의하였다. 두 작업에 대한 평균간의 차이는 목 3.87, 어깨 3.65, 등 3.47, 허리 3.44, 작업 편리성 3.32, 눈의 피로도 4.70로 영상 시스템 작업이 더 편리한 것으로 나타났으며, 그 중 목과 눈의 피로도 부분에서 차이가 가장 큰 것으로 나타나,

표 3. 조사 항목별 작업난이도 분석 결과

조사 항목	목		어깨		등	
	현미경	영상	현미경	영상	현미경	영상
평균	2.91	6.78	3.10	6.75	3.44	6.92
표준편차	2.02	2.15	2.17	1.96	1.86	2.00
p-value	0.000		0.000		0.000	
조사 항목	허리		작업 편리성		눈의 피로도	
	현미경	영상	현미경	영상	현미경	영상
평균	3.04	6.48	3.10	6.42	2.11	6.81
표준편차	1.99	2.22	2.11	1.68	1.75	1.91
p-value	0.000		0.000		0.000	

작업난이도 감소 효과가 가장 큼을 알 수 있었다.

3.2 RULA 분석

현미경 사용 작업과 영상 시스템 사용 작업 자세를 사진 촬영을 실시한 후, 근골격계 질환 위험요인 평가표에 의해 분석을 실시하였다. 그 결과, 그림 5와 같이 RULA 전체 점수는 현경 사용 작업은 평균 3.92, 표준편차 0.27로 부분적 개선과 추후조사가 필요한 공정으로 나타났으나 영상 시스템 사용 작업은 평균 2.04, 표준편차 0.20으로 안전한 공정으로 분석되어 개선되었음을 알 수 있다.

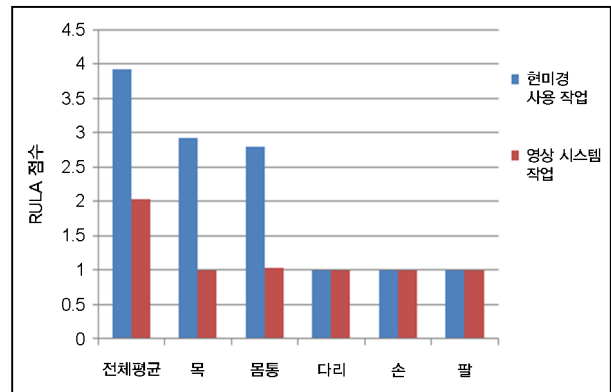


그림 5. RULA 평가 비교

그리고 각 신체 별로는 목, 몸통, 다리의 분석에서는 목 부분은 현미경 사용 작업(평균 2.92, 표준편차 0.277)과 영상 시스템 사용 작업(평균 1.00, 표준편차 0.000)의 차이가 있고, 또한 몸통도 현미경 사용 작업(평균 2.80, 표준편차 0.408)과 영상 시스템 사용 작업(평균 1.04, 표준편차 0.200)의 차이가 발생하였으며, 다리, 손, 팔 부분은 전후가 동일하였다.

3.3 생산성 효과 분석

생산 라인에서 각 공정에 두 가지 작업 방법(현미경 사용 작업, 영상 시스템 사용한 작업)으로 생산 활동을 실시한 결과, 1일 가동시간(Hour/일)을 1일 생산수량으로 나눈 값(Tact Time/개)에 대한 t-test는 그림 6과 같이 현미경 사용 작업 Tact Time(현)은 평균 54.03, 표준편차는 4.904 이고 영상 시스템 사용 작업 Tact Time(영)은 평균 43.06, 표준편차는 2.590으로 분석되었다.

그림 6과 같이 이를 생산량으로 환산한 생산성 비교 결과는 현미경 사용 작업은 Man·Hour당 생산량이 66.63

개, 영상 시스템 사용 작업에서는 Man · Hour당 생산량이 83.60개로 생산성이 25.48%가 향상됨을 알 수 있었다.

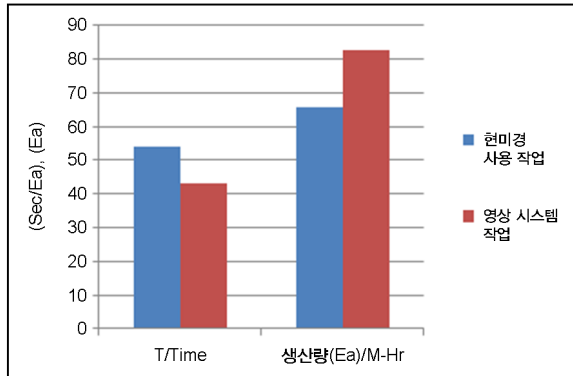


그림 6. Tact Time 및 생산성 분석 결과

4. 토의 및 결론

전자 산업분야의 기술발전으로 제품 디자인의 변화가 가속되고 있다. 이를 위해 제품들은 소형화, 초박형화, 경량화, 기능의 다변화, 기능의 통합화를 거치면서 사용되는 전자부품들은 극소형 사이즈로 변화되고 있고, 이를 가공을 위한 새로운 생산 공정, 작업 방법들이 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 전자부품 조립 라인의 Soldering 및 검사 공정을 대상으로 직접 현미경을 사용, 작업내용을 관찰하면서 수행하는 방법을 현미경을 통해 인식된 화상을 모니터로 영상화 시키는 기능으로 작업 인터페이스를 변경하여 시야에서 작업내용을 관찰할 수 있는 방법으로 구상, 실시함으로써 사물의 시각적 인식과 작업 자세를 편리하게 한 것이 작업성능에 어떤 영향을 미치는가를 밝히고자 하였다.

연구 방법으로는 전자부품회사를 대상으로 공정 특성 정리(개요, 기능, 품질요소), 작업 및 동작 분석, 작업 자세 측정, 설문지 설계/수정/보완, 작업 VCR 및 사진촬영/설문조사, 요소작업시간 및 설문 분석, 분석 결과(분산 분석 및 2-표본 T검정), 정리 순으로 실시하였다.

분석 항목은 작업 방법의 편리성에는 현미경 사용 작업과 영상 시스템 사용 작업을 실행 후 설문한 내용을 주관적 평가법으로 분석한 결과의 값과 근골격계 질환 위험요인 평가표에 의해 분석된 값 그리고 작업실적(Tact Time)분석의 데이터 값으로 판단하였고 그 결과 모니터를 사용한 영상 시스템 작업 방법이 양호한 것으로 기대할 수 있다.

이 결과는 현미경 사용 작업 시 접안렌즈와 눈 사이의 초점을 일치시키기 위하여 몸통과 목을 앞으로 굽히는 현상이 있었으나 영상 시스템 사용 작업에서는 모니터 영상화면을 근거리에서 관찰 가능하므로 몸통과 목을 굽히는 현상이 제거되었기 때문임을 알 수 있었다.

이는 항상 대안렌즈를 통해 두 눈의 초점을 고정시켜 영상을 관측해야 하므로 눈의 피로가 심한 단점을 가지고 있고(임영태 외, 2008), 작업자의 눈을 대안렌즈에 접하기 위한 목의 각도에서 오는 목 부분의 피로도(기도형 외, 1997) 때문이라는 기존 연구와 일치함을 알 수 있다.

작업 자세 즉, 각 신체 별로는 목, 몸통, 다리의 근골격계 질환 위험요인 평가표의 분석 결과에서 다리, 손, 팔 부분의 RULA 평가 점수가 현미경 사용 작업과 영상 시스템 이용 작업이 동일하게 나타났다. 이것은 다리, 손, 팔 부분의 변화는 없고 몸통과 목 부분의 자세변화 밖에 없기 때문이다. 그러므로 RULA 전체 평균 점수가 영상 시스템 사용 작업이 안전한 공정으로 분석된 요인은 목과 몸통의 자세가 개선된 요인임을 알 수 있었다.

또한 생산성 향상의 요인은 직무 분석에서 밝혀진 내용과 같이 작업상황을 작업 실행자 단독으로 판단하며 수행하던 것을 작업수행 과정과 작업속도를 영상화 함으로서 관리 감독자의 눈으로 보는 관리가 가능하게 되어 불필요한 동작의 관리가 가능하여 제거되므로 표준작업을 준수하는 준수도가 향상되었음을 알 수 있다. 이는 Tact Time의 평균이 감소하고 표준편차가 감소된 결과와 관계가 있음을 알 수 있다.

이를 바탕으로 향후 극소 전자부품 조립 라인의 Soldering 및 검사 공정과 유사한 작업에서의 전자 현미경을 통해 모니터 화상기를 사용한 작업 인터페이스의 변화가 신체 어느 부위의 작업난이도를 해결하면서 생산성 향상에 어떻게 기여하는지를 알 수 있었다.

참고 문헌

- 기도형, 신승헌, 김형수, 인체관절 동작의 지각 불편도 Ranking, *대한인간공학회 학술대회*, 103-104, 1997.
- 김진우, *Human Computer Interaction 개론: 사람과 컴퓨터의 어울림*, 1st ed., 안그라픽스, 2005.
- 김종배, 배한성, 김경호, 문성욱, 남기중, 권남익, 공 초점 현미경과 원자 현미경을 이용한 가공된 시료 표면의 형상 측정, *한국정밀공학회지*, 23(4), 52-53, 2006.
- 문영준, 모바일 제품의 소형화로 가속화 되고 있는 미세 피치 부품 실장, *월간 표면실장기술*, 6-9, 2009.
- 박대봉, 이성군, 장현기, 고석빈, *현장 개선 실천을 위한 IE 작업측정과 개선 기술*, 한국능률협회컨설팅, 1996.
- 성기원, 이건표, 사용자 인터페이스 디자인을 위한 시선추적 사용

- 검사와 휴리스틱 평가의 개발 및 활용에 관한 연구, *한국과학기술원 산업디자인학과*, 519-522, 2004.
- 임영태, 박재형, 김남, 권기철, 집적 영상 기술을 이용한 현미경 영상 복원, *3차원 디스플레이 및 광정보처리기술 워크샵*, 140-141, 2008.
- 정승부, 마이크로 시스템패키지의 핵심 기술 및 최근 동향, *대한용접학회 춘계 학술발표대회*, 9-10, 2009.
- 한성현, 반도체 물류자동화 분과, 차세대 지능형 반도체 물류 자동화 시스템 개발, *산업 자원부*, 137-138, 2001.
- 홍성욱, 고명준, 신영현, 이득우, 원자간력 현미경을 이용한 초소형 마이크로 부품 표면형상 측정 시스템 개발, *한국공작기계학회지*, 14(6), 22-30, 2005.
- Lapper, R. J., Tan, A. C., Linney, A. and Alusi, G., "Stereo Depth Assessment Experiment for Microscope-based Surgery," *Proceeding of the Mixed and Augmented Reality*, (pp. 272-273), 2003.
- Maxwell, C., Sensitivity and accuracy of the visual analogue scale: a psycho-physical classroom experiment, *British Pharmacological Society*, 6(1), 15-24, 1978.
- McAtamney, L. and Corlett, E. N., RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, *Applied Ergonomics*, 24(2), 91-99, 1993.

저자 소개

이 성 군 cellsg_lee@yahoo.co.kr

한양대학교 정밀기계공학과 학사,
한양대학교 산업경영대학원 석사

현 재: 아주대학교 산업공학과 박사
관심분야: Ergonomics, Work Design

박 범 ppark@ajou.ac.kr

IOWA State Univ. HCI

현 재: 아주대학교 산업공학과 교수
관심분야: Ergonomics, HCI

논문 접수일 (Date Received) : 2010년 08월 27일

논문 수정일 (Date Revised) : 2010년 11월 19일

논문게재승인일 (Date Accepted) : 2010년 11월 19일