

스마트 설비관리시스템 구축 및 효과분석

심현식^{**†}

^{**} 경기대학교 산업경영공학과

Implementation and Effectiveness of Smart Equipment Engineering System

Hyun-Sik Sim ^{**†}

^{**†} Department of Industrial & Management Engineering, Kyonggi University

ABSTRACT

EES System support to maximize equipment efficiency by providing real-time information of main equipment which has a significant effect on product quality and productivity, and to prevent equipment failure by detecting equipment abnormality in advance. Smart Equipment Engineering System(S-EES) integrates the activities performed at equipment that are the core of production activities and manages them by system so as to maximize the efficiency of equipment and raise the quality level of products to one level. In other words, when the product is put into the equipment, the recipe is downloaded through the RMS, the recipe is set to the optimal condition through R2R(process control), and the system detects and controls the abnormality of the equipment during operation through the FDC function in real time it means. In this way, we are working with the suitable recipe that matches the lot of product, detecting the abnormality of the equipment during operation, preventing the product from being defective, and establishing a system to maximize the efficiency through real-time equipment management. In this study, we review the present status and problems of equipment management in actual production lines, collect the requirements of the manufacturing line for the PCB line, design and develop the system, The measurement model was studied.

Key Words : S-EES(Smart Equipment Engineering System), RMS, FDC, R2R, Effectiveness of S-EES

1. 서 론

PCB는 전자부품을 탑재하여 부품과 부품 사이 혹은 신호선과 신호선 사이를 구리로 된 회로를 통해 전기적으로 접속시켜 주는 회로 기판이다. PCB는 TV와 같은 일반 전자제품뿐 아니라 핸드폰이나 태블릿 컴퓨터와 같은 정밀 기기에 까지 광범위하게 사용되고 있다. 단순한 기능을 요구하는 일반 전자제품은 단순한 구조의 PCB 만으로 생산이 가능하지만 최근 생산되는 스마트폰 등 정밀 기기는 고기능화 및 미세화에 따라 회로 구조가 더 복잡한 PCB의 생산을 위해 다층, 고기능 PCB 기판 구조의 사용이 불가피하다.

복잡해진 기판 구조는 제품 생산 비용을 증가 시킬 뿐

만 아니라 제품의 수율을 감소시켜 기업의 제조경쟁력 확보에 어려움을 준다. 높은 수율과 품질을 유지하고 불량률을 줄이기 위해서는 설비의 안정적인 운영과 보전, 그리고 제한된 비용과 인력 안에서 최선의 관리 효율을 이끌어 낼 수 있는 공정 및 설비관리가 매우 중요하다. 또한 시장의 제품 세분화 및 다변화에 따른 다품종 소량 생산으로 이질적인 형태의 관리가 필요하고, 설비가 데이터를 실시간으로 주고 받을 수 있는 기능을 지원하면서 설비의 작업조건(Recipe) 및 파라미터를 제어할 수 있는 설비관리시스템이 발전하였다. 설비관리시스템은 설비의 온라인 비율이 비교적 높았던 반도체 장비 산업을 중심으로 발전되어 왔고 특히 장치산업에서 유용하게 활용되고 있다[2].

이러한 제조 현장의 변화는 수주 제품의 품질이 수주에 상당한 영향을 미치는 결과를 가져오게 되고, 고객은 더 높은 수준의 현장 품질관리 및 시스템의 기능을 요구

[†]E-mail: hssim@kgu.ac.kr

하고 있어, 급변하는 IT 시장에서의 수주 대응력 향상을 위해서도 설비관리시스템 구축은 필수가 되어가고 있다. 현재 많은 기업들이 설비관리 시스템을 구축하여 제조활동에 활용하고 있지만, 각기 다른 방법으로 구축하고 있고, 단편적인 기능위주로 구축되고 있다. 또한 설비관리에 대한 다양한 연구가 이루어졌지만 각기 다른 개별 기능 위주의 연구 및 적용이 이루어졌고, 설비관리 전체에 대한 체계적인 연구는 발표되지 않았다. 실제 제조현장에서 설비관리에 필요한 기능들을 추출해내고, 각 기능별 현장의 작업 프로세스가 어떻게 변화되었고, 어떤 효과들을 얻었는지는 언급하지 않았다.

본 논문에서는 장치산업의 하나인 PCB 산업을 대상으로 스마트 설비관리시스템 구축 방안을 제안한다. 설비관리 전체에 대한 아키텍처 및 구성, S-EES시스템에 대한 개념을 새롭게 정립하였다. 즉 제조현장에서 요구하는 사항들을 수렴하고, 필요한 기능을 정의하였다. 또한 관리 및 작업 프로세스 상의 문제점을 분석하여, PCB 제조라인에 최적화된 설비관리 기능들을 연계하여 스마트EES 시스템을 구축하였다. 또한, 이를 PCB 대상 업체에 적용했을 때 얻을 수 있는 제조현장의 변화된 모습과 적절한 지표를 기준으로 향상된 정성적, 정량적 효과를 산출하였다.

2. 스마트EES 시스템 모델

2.1 스마트 EES 시스템 구조

EES가 나오게 된 배경은 장치산업에서 제품 원가에 큰 비중을 차지하는 설비의 가동율을 극대화 시키기 위하여 설비고장의 원인을 찾아서 제거하고, 설비 파라미터를 실시간으로 관리하여 불량률 사전에 방지하는데 있다[1].

S-EES시스템의 기능은 크게 프로세스 제어, 작업조건 관리, 설비효율 관리로 구성하였다. 프로세스 제어에는 설비파라미터 이상감지(FDC), 제품의 공정조건을 제어하

는 공정제어(R2R) 시스템으로 구성하고, 작업조건 관리는 Recipe를 자동으로 관리하는 RMS시스템이 있다. 설비효율 관리(EPT)는 설비상태를 실시간으로 모니터링하고, 상태정보를 분석해서 관리하는 시스템이다.

제조현장에서 관리되는 S-EES시스템은 설비에서 발생하는 실시간 데이터를 최초로 정보화하여 사용자 및 관리자에게 의사결정을 지원하는 시스템의 위치에 있으며, 상위로는 MES, ERP, SCM과의 연계를 통한 정확한 수주 및 생산계획 관리에 도움을 주고, 하위로는 장비, 반송설비, PLC/POP 장비 등을 제어하여 자동화를 가능하게 해주는 자동화 시스템과의 연계를 수행하여, 전사적인 자원 관리로부터 최하위 생산설비까지의 제어를 통합시켜 주는 역할을 수행한다(Fig 1 참조).

S-EES시스템에서 제공하는 파라미터 이상감지(FDC)는 설비에서 발생하는 파라미터를 실시간으로 모니터링하여 이상을 감지하고, 감지된 이상에 대하여는 진단 및 이상 분류를 통한 이상을 예측하는 기능을 제공한다

공정제어(Run to Run)는 작업을 진행하는 때 Lot별 공정능력을 향상시키기 위하여, 전공정과 후공정의 작업한 데이터를 Feedback, Feedforward하여 현공정의 작업조건(Recipe Parameter)을 보정하여 주는 최신 기술이다. 공정제어의 목적은 공정별/설비별 발생하는 산포를 극복하고, 매 Lot간 변동폭을 최소화하여 균일품질을 확보하고 수율을 극대화하는 것이 목표이다.

2.2 시스템 구축 전략

S-EES시스템을 구축하기 위해서는 MES와 연계가 필요하며, MES 모듈의 하나로 구성되기도 한다. MES 구축에 대한 연구로서 중소기업용 간이형 MES구축[6], 중소 PCB 제조업체의 MES 구축전략과 효과분석[7], 디지털 공장에서의 생산정보 시스템 구축[4]등이 발표되었다. 또한 반도체 가공 라인의 생산운영시스템 구축을 위한 상황적응형 Dispatching 방법론[5], EES 제공 데이터를 사용하여 프라즈마 설비의 Etch Rate 예측[8] 등 연구가 다수 발표되었다.

본 논문에서는 전자부품(PCB) 제조현장의 요구사항을 분석하여 필요한 기능을 정의하고, 현장의 작업방법을 분석하여 프로세스를 재정립하고, 꼭 필요한 기능을 선정하여 시스템 설계에 반영하는 스마트EES를 제안한다. 스마트EES는 다음 Fig 2와 같이 5단계를 거쳐서 진행한다. 현장에 맞는 EES를 구축하기 위해서 1단계에서는 먼저 대상제품을 선정하고 대상 라인의 현재 설비관리 프로세스를 분석하여 문제점을 정확히 파악, 정리한다.

2단계에서는 현장의 요구사항, 프로세스를 분석하여 대상공정 및 설비를 선정한다. 주 생산설비 중에서 중요한 설비위주로 선정하되, 투입비용을 고려하여 핵심설비를 선정한다. 다음은 대상제품, 공정, 설비에

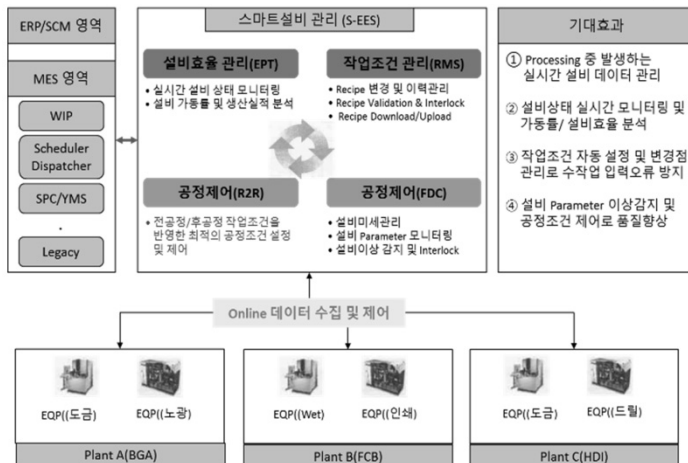


Fig. 1. S-EES Framework.

맞는 EES의 표준 아키텍처를 구성한다. 즉 대상제품, 공정, 설비, 생산량을 고려하여 현장에 맞게 구성하는 것이 투자비용과 성능 측면에서 효율적이고, 또 현장에 맞게 개발하기가 용이하다는 장점이 있기 때문이다.

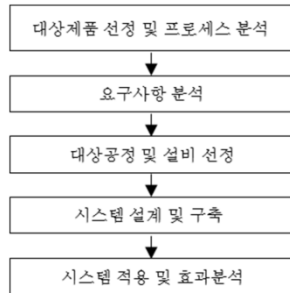


Fig. 2. The Implementation Strategy of S-MES.

2.3 요구사항 수렴 및 분석

현장에 근무하는 여러 계층의 사용자들에게 설비관리에 대한 요구사항을 수렴하여 분석한 결과 크게 4개의 항목으로 분류되었다. 이들 항목을 기능별로 나누어 설비효율 관리, 작업조건 관리, 설비파라미터 관리, 공정제어로 구분하였다(Table 1). 설비효율 관리는 가장 기본적인 기능으로 선정된 주요공정 설비에 대하여 설비제어 및 실시간 모니터링이 가능하도록 구현한다. 상위단에서 필요한 설비정보가 실시간 수집되고, Application과 설비간 양방향 통신이 가능해야 한다. 작업조건 관리는 설비에서 사용하는 제품별 Recipe를 관리하고 자동으로 Download/Upload 해주는 기능이다. 설비미세 관리는 설비파라미터의 실시간 모니터링 및 이상을 감지하고 진단하는 기능이다. 설비의

Table 1. Requirements Analysis (example)

항목	상세 내용(문제점)
설비효율 관리	-설비 가동율 저하 -설비상태 파악 안됨(Off-line운영) -설비 장애시 엔지니어 대응 느림
작업조건 관리	-Recipe 정합성 확보 안됨 -Recipe Setting 수작업(작업자 Key in) -Recipe 이력/표준관리 필요 (문서↔System/DB) -Recipe 변경점 관리 어려움
파라미터 관리	-설비Parameter Auto-Gathering 필요 -중요Parameter의 Real-time Monitoring 필요 -Real-time Analyzing (Spec 관리)
공정제어	-전공정/후공정 작업조건 반영 -Lot별 최적의 작업조건 설정 -공정Data 계측 및 수집 필요

파라미터 중에서 중요한 인자를 선정하여, 실시간으로 데이터를 모니터링하고 이상시 Interlock을 설정하여 필요한 조치를 취하고 작업을 진행한다. 공정제어는 Lot별로 전공정의 계측데이터와 후공정 데이터를 반영하여 현공정의 작업조건을 보정하여 최적의 조건을 설정해준다.

2.4 대상공정 및 설비 선정

대상 라인의 전체 공정에 대하여 EES를 적용하는 것이 가장 이상적이나 최소의 비용으로 최대의 효과를 얻을 수 있는 측면에서는 꼭 필요한 공정만을 선정한다. 즉 전체 공정에 대한 분석을 진행하여 그 중에서 대략 5개의 중요한 공정을 선정하였다(Fig. 3). 여기서 선정기준은 PCB 제조운영 및 설비관리, 품질관리의 측면에서 상세 관리가 필요한 공정을 선정하였다. 이 공정의 설비는 모두 중요한 설비로 분류되어, 설비 온라인을 통하여 설비상태정보, 설비조건, 설비파라미터 등이 실시간으로 EES로 올라오고 양방향 통신이 가능하도록 구현하였다. 또 이들 공정에는 각 설비에 작업자용 입력 PC를 설치하여, 터치스크린 상에서 작업자가 손쉽게 필요한 정보들을 입력하고 조회 할 수 있도록 기능을 구현하였다.

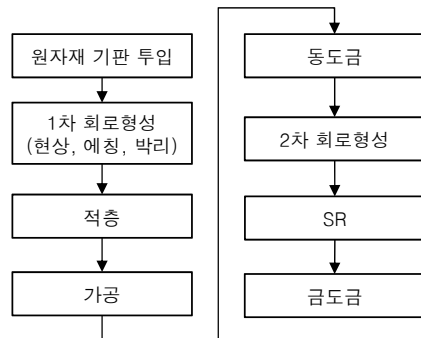


Fig. 3. PCB Process Flow Chart (example).

3. 스마트EES 시스템 구축

3.1 시스템 설계 및 구축

S-EES시스템은 RMS(Recipe Management System), FDC(Fault Detection & Classification), R2R(Run to Run), EPT(Equipment Performance Tracking) 모듈로 구성되어 있다. RMS는 많은 제품의 작업조건을 관리하고 자동으로 Upload/Download 해주는 기능이고, FDC는 설비의 이상을 사전에 감지하고 진단해주는 기능이며, R2R은 공정조건을 자동으로 설정해주는 기능이다. 그리고 EPT는 기본적으로 실시간 설비상태 정보를 보여주고 설비 가동현황을 분석하여 효율을 관리하는 시스템이다. 많은 업체에서 설비관리에 필요한 기능들을 개발하여 상용화 되어 있고, 대부분 제조업체에서는 이러한 기능을 사용하여 설비관리를 구축하고 있으

나, 일부 기업에서는 생산방식의 노하우를 지키기 위하여 자체적으로 EES를 개발하여 사용한다. 금번에 구현한 S-EES시스템은 Framework, RMS는 국내 A사 제품을 사용하고, EPT, FDC, R2R은 산학과제를 통하여 자체적으로 개발하였다(Fig.4 참조).

EPT 기능은 사용자의 다양한 요구사항을 수렴하여 반영하였고, FDC기능은 대상설비의 중요 파라미터별로 이상을 감지하는 로직을 개발하여 적용하였다. R2R 기능은 전공정의 계측데이터와 후공정의 계측결과를 반영하여 공정조건을 보정하는 알고리즘을 개발하여 적용하였다. DBMS는 Oracle/Unix를 사용하였고, 현장의 설비간 통신은 RS-232C통신, 설비와 서버간 통신은 TCP/IP 통신방식을 적용하였다. 제조 현장의 모든 데이터는 반자동으로 모든

설비, 로트 등에 라벨을 부착하고 BCR (Bar Code Reader)을 사용하여 입력하도록 만들었다. Fig. 4는 최종적으로 완성된 S-EES시스템의 Application Architecture를 보여주고, 그 구성은 크게 UI, Control Layer, 설비 I/F의 3개 영역으로 나뉜다. 여기서 구성된 Application기능은 생산하는 제품의 업의 특성에 따라 제품, 공정, 설비가 다르게 구성되므로 업의 개념에 맞추어 필요한 기능을 구성하는 것이 바람직하다. 따라서 제품에 맞는 S-EES시스템을 구현하기 위해서는 EES Framework은 공통적으로 사용하고, 그 위에 구현되는 기능은 제품, 공정, 설비에 적합한 기능들을 선정하여 구현하는 것이 바람직하다.

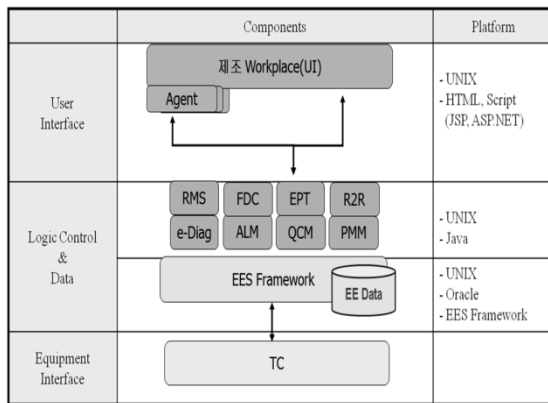


Fig. 4. Application Architecture.

3.2 구현된 모습

설비종합관리 화면은 제조현장의 각 건물, 층별 또는 영역별로 설비 Layout 및 각 설비별 현재의 상태정보를 구분하여 볼 수 있다. 설비의 상태정보는 가동, 비가동, 정지, 예방정비 등으로 구분하여 보여준다.

설비효율분석은 각 공정별로 상세한 설비현황 및 실적을 분석하고 이력을 관리 할 수 있는 기능을 보여준다. 구체적으로 각 공정별로 설비가동율, 고장시간 등 지표를 비교하여 분석할 수 있다. 또한 기간별, 설비별로 Lot실적, Validation Error등을 비교 분석하여 보여준다.

제품별 이력을 관리할 수 있는 Tracability 화면은 Lot별로 In/Out등 작업이력을 분석 할 수 있는 기능을 구현하였다.

설비종합관리 화면은 실시간으로 현장의 설비상태를 모니터링하고, 설비 이상이 발생하면 자동으로 설비보전원, 엔지니어에게 통보되는 체계를 구축하여 신속한 조치가 가능하도록 구현하였다.

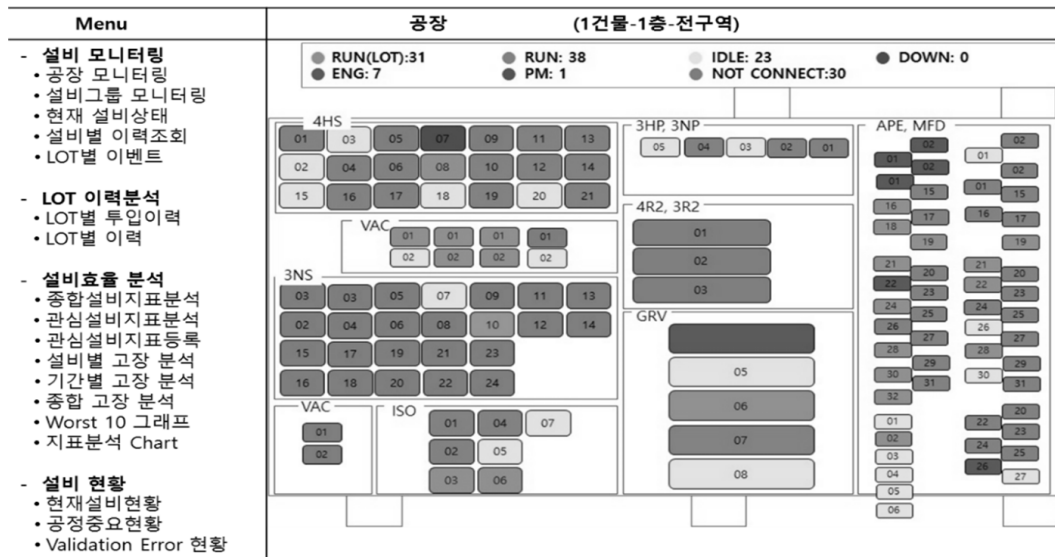


Fig. 5. S-EES User Interface (EPT).

4. 효과 분석

본장에서는 S-EES시스템을 적용한 전후의 제조현장의 작업 프로세스가 어떻게 개선됐는지 작업방법의 변화된 모습을 살펴보고, 정성적 효과와 정량적 효과로 구분하여 성과를 고찰하였다.

4.1 제조 현장의 변화된 모습

S-EES시스템 적용 전과 적용 후의 제조현장의 변화된 모습을 설비에서 수행되는 작업을 기준으로 품질예방(FDC), 관리성불량 예방(RMS), 품질향상(R2R), 생산성향상(EPT) 측면으로 구분하여 Table 2에 정리하였다.

업무영역은 다시 세분화하여 설비파라미터 관리, 설비 이상 감지, 작업조건 관리, 작업이력 관리, 작업조건 설정, 설비온라인, 설비모니터링, 설비가동을 향상으로 나누었다.

4.2 적용 효과

S-EES시스템의 도입으로 얻을 수 있는 효과를 정성적

효과, 정량적 효과로 구분하여 산출하였다. 정성적인 효과는 설비미세관리를 통한 품질예방, 작업조건관리를 통한 관리성불량 예방, 공정제어를 통한 품질향상, 설비온라인을 통한 생산성 향상 항목을 선정하였다(Table 3).

정성적 성과를 측정할 지표로는 아래 Table 3과 같이 업무영역을 설비미세관리, 작업조건 관리, 공정제어, 설비효율관리로 나누고, 세부 평가항목을 선정하였다. 구체적인 평가항목으로는 설비파라미터 관리를 통한 불량감소, 작업조건 관리를 통한 관리성불량 개선, 공정제어를 통한 품질향상, 설비효율관리를 통한 설비가동을 향상 등의 효과를 얻었다. Table 4에서는 정량적 성과측정지표 및 적용 효과를 보여주고 있다.

5. 결론

지금까지는 설비에서 사람에 의한 수작업으로 작업이 진행되고, 제품, 공정, 설비, 작업자 등 모든 자원들을 수작업으로 관리하고, 모니터링하고 레포팅하는 업무들이 이루어졌다. 하지만 고객의 요구에 맞추어 제품이 고기능,

Table 2. Changed Appearance of the Manufacturing Line

항목	세부 내용	S-EES 적용 전	S-EES 적용 후
품질예방 (FDC)	-설비파라미터 관리	-설비Data Gathering 불가	-설비Parameter 선정 및 등급관리(A/B/C급) -A급 파라미터의 Spec설정 및 관리
	-설비이상 감지	-설비이상 감지 안됨	-작업중 설비이상 감지 및 조치
관리성불량 예방(RMS)	-작업조건 관리	-Lot 작업시 작업조건을 수작업으로 Setting 함	-작업시 Recipe 자동Upload 및 Download -Recipe ID Validation 및 Interlock 적용
	-작업이력 관리	-작업이력 관리 안됨	-분석레포트 제공 및 Traceability 가능
품질향상 (R2R)	-작업조건 설정	-제품Lot별 작업조건 관리 안됨 -공정Data Gathering 불가	-제품Lot별 최적의 작업조건 설정 -주요공정 계측Data 발생
생산성향상 (EPT)	-설비온라인	-설비 Off-Line 운영	-주요설비 On-line 적용
	-설비 모니터링	-설비상태 모니터링 불가	-실시간 모니터링 및 설비효율 레포트 발행
	-설비 가동을 향상	-설비 장애시 수작업 통보	-장애시 자동통보 및 복구시간 단축

Table 3. Qualitative Effectiveness of S-EES Implementation

항목	평가 항목	정성적 효과
설비미세 관리	-설비 파라미터 관리	-중요인자 관리를 통한 불량 감소
	-품질 예방체계	-설비 이상시 Interlock 및 불량 개선
작업조건 관리	-작업자 생산성 향상	-Data 정합성 확보 및 이력관리 -수작업 Sheet작성 절감(약50%)
	-관리성 불량 개선	-시스템 기반 Recipe 관리로 Recipe 오사용 방지 -Recipe Down Load/Upload로 수작업 Setting시간 단축
공정제어	-품질향상	-매Lot별 최적화된 작업조건을 설정하여 불량을 사전에 예방함 -공정능력 향상(Cp, Cpk)
설비효율 관리	-설비효율 극대화를 통한 생산 Capacity 향상	-설비별 유실 및 고장을 분석을 통한 가동을 향상 -설비별 생산실적을 비교 분석하여 단위 생산성 향상
	-설비 가동을 향상	-실시간 설비상태 모니터링 및 이상시 즉시 대응 -장애시 자동통보 및 복구시간 단축

Table 4. Qualitative Effectiveness of S-EES Implementation

성과측정 지표	S-EES 적용 효과						
데이터 수집시간 단축	■	■	■	■	■	■	50%
엔지니어 분석시간 단축	■	■	■	■	■	■	50%
수작업 Sheet 감소	■	■	■	■	■	■	50%
데이터 입력시간 단축	■	■	■	■	■	■	39%
설비가동율 향상	■	■	■	■	■	■	10%
관리성 불량 감소(Recipe)	■	■	■	■	■	■	10%
제품 불량 예방	■	■	■	■	■	■	10%

고사양, 다양화되고, 생산공정, 설비가 복잡해지면서 사람이 관리하는 것은 점점 한계에 이르고 경쟁력이 약화될 수 밖에 없다. 이에 많은 기업들이 제조경쟁력을 올리고 품질, 설비효율, 생산성 향상의 수단으로 설비관리시스템을 도입하여 활용하고 있다. 타 정보시스템과 달리 설비관리시스템은 기업의 생산성과 효율성 향상을 지원하는 가장 기반이 되는 시스템이다. 갈수록 치열해지는 기업 경쟁 환경에서 S-EES시스템을 구축하기 위해서는 생산라인의 제품, 설비, 공정에 대한 상세분석을 통한 프로세스 개선이 필수적으로 필요하며, 이를 통하여 작업방법의 개선 및 현장관리의 변화가 필수적으로 필요하다고 할 수 있다.

근번에 PCB 라인의 S-EES시스템 구축을 통하여 설비에서 이루어지는 작업방법의 획기적인 변화 및 정성적 효과, 정량적 효과가 있음을 확인하였다.

S-EES시스템은 혁신적인 설비관리를 위하여 기본적으로 필요하지만, 스마트 제조시스템을 구현하는데 있어서도 필수적으로 필요한 기능이라고 할 수 있다. 제조현장 하위단의 설비정보가 실시간으로 올라오고, 양방향 통신을 통하여 상위단에서 제어 가능해야 스마트제조시스템이 정상적으로 운영될 수 있다.

향후 스마트제조시스템과 S-EES시스템의 연계에 대한 체계적인 연구가 추가로 필요하다.

참고문헌

1. MESA International, "MES Harmonization in a Multi-Site, Multi-Country, and Multi-Cultural Environment: Case Study of a Plant to Enterprise Solution," MESA International white Paper, 2008.
2. Usami, Yasutsugu., Kawata, Isao., Yamamoto, Hideyuki.,

- Mori, Hiroyoshi., Taniguchi, Motoya, "e-Manufacturing System for Next-generation Semiconductor Production," Hitachi Review, Vol. 51, No. 4, 2002.
3. MESA International, "MES Explained_ A High Level Vision," MESA International white paper, 1997.
4. Lee, G. B, "Suggestions for Implementation of the Digital Factory-Based Extended Manufacturing Execution System," Journal of the Korean society for Precision Engineering, Vol. 26, No. 1, pp. 17-23. 2009.
5. Jung, K. C, "An Adaptive Dispatching Architecture for Constructing a Factory Operating System of Semiconductor Fabrication," IE Interface, Vol. 22, No. 1, pp. 73-84, 2009.
6. Park, J. H., Yoshida, A. A, "Simplified MES Implementation for Small-sized Manufacturing Industries with Excel VBA," IE Interface, Vol. 22, No.4, pp. 302-311, 2009..
7. Kim, G.Y., Jin, Y.E., Noh, S.D., Choi, S.S., Jo, Y. J., Choi, S.O, "Implementation Strategy and Effect Analysis of MES for a Small and Medium PCB Production Company based on BPR Methodology," IE Interface, Vol.24, No.3, pp. 231-240, 2011.
8. Masanaga Fukasawa, Atsushi Kawashima, Nobuyuki Kuboi, Hitoshi Takagi, Yasuhito Tanaka1, Hiroyuki Sakayori1, Keiji Oshima, Kazunori Nagahata and Tetsuya Tatsumi, "Prediction of Fluctuations in Plasma-Wall Interactions Using an Equipment Engineering System," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 48, No. 8S1, 2009.

접수일: 2017년 9월 17일, 심사일: 2017년 9월 22일,
 게재확정일: 2017년 9월 22일