

인쇄회로기판 생산라인의 MES 구축 연구

Development of An MES for A PCB Manufacturing System

박정현*, 요시다 아즈노리**

*선문대학교 공과대학 기계공학부, pjh@sunmoon.ac.kr

**선문대학교 대학원 기계및제어공학과

Abstract

Productivity and quality stability are very important competitive factors in PCB manufacturing lines that process the multiple types of products with the mixed process flows under frequent order information changes. MES is an appropriate IT solution to solve these problems in the medium-sized PCB manufacturing company. This paper introduces the MES development and its effects for a medium-sized PCB manufacturing company. The main functions of an implemented MES are delivery simulation, production scheduling, and production process monitoring. Productivity are improved up to 10~20% and manufacturing lead times per order are shortened up to 2 days according to the manufacturing scenarios.

1. 서론

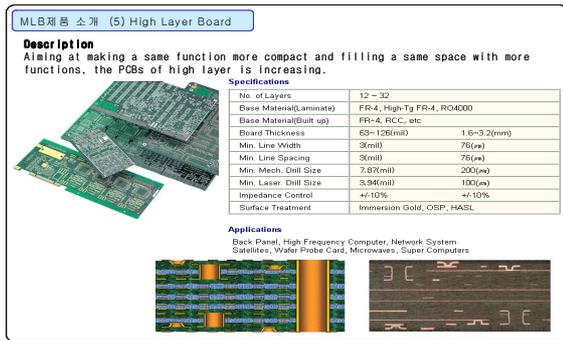
인쇄회로기판(PCB)를 생산하는 중소제조업체는 보다 짧아진 납기, 수주정보의 빈번한 변경, 다양한 제품사양 등의 생산환경 하에서 다품종 혼류 생산체제의 경쟁력 제고에 많은 어려움을 겪고 있다. 대기업과는 달리 전문화된 인력의 제한, 잦은 이직율, 안정되지 못한 품질, 제한된 관리능력, 부정확하거나 완성도가 떨어지는 생산 기준정보 등의 문제를 항상 겪고 있어 생산현장의 정보화를 통한 경쟁력 제고에 대한 관심이 날로 증가하고 있다. 따라서 6-시그마,

TOC 등의 현장개선 노력과 함께 생산공정 흐름의 원활화와 생산성 극대화를 위한 MES(Manufacturing Execution System) 도입을 추진하는 중소제조업체가 나타나고 있다.[1] 특히 다품종 혼류 생산을 위주로 하는 중소제조업체에서는 보다 최적화된 생산일정계획 수립과 실시간 생산실적 관리 등을 위하여 MES 도입을 서두르고 있으나 기업 내부의 하부구조 미비와 적합한 MES 소프트웨어 개발 부진 등으로 요구되는 성과를 제대로 거두지 못하고 있는 경우가 많다.

본 논문에서는 다품종 혼류 생산이 이루어지는 인쇄회로기판 생산라인에 대한 성공적인 MES 구축 사례를 소개하고자 한다. 중소제조업체의 특성을 고려한 MES 도입방안에 근거하여 MES 구축을 위한 필수적인 하부구조 구축과정과 MES 구축에 의한 생산경쟁력 개선효과를 소개하고자 한다. 하부구조 구축과정은 중소제조업체에서는 필수 불가결한 과정으로서 대기업과는 달리 중소기업의 가장 취약한 부분을 해결하는 과정으로서, 많은 중소기업의 MES 도입에서 가장 큰 장애요인이기도 하다.

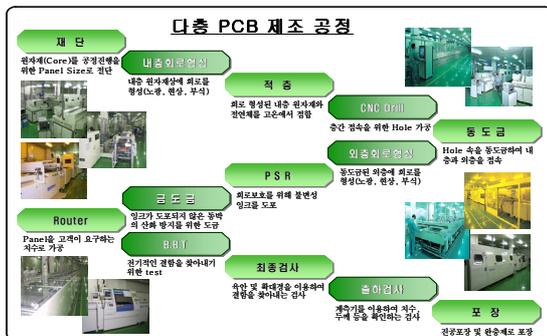
2. PCB 생산라인 특성

본 논문에서 대상으로 하는 K사는 회로기판이 여러 층으로 적층된 PCB인 MLB(Multiple Layer Board)를 주로 생산하는 중소기업이다. [그림 1]은 K사에서 생산하는 PCB 제품과 주요 사양을 보여주고 있다.



[그림 1] PCB 제품

MLB 형태인 PCB의 제조공정은 [그림 2]와 같이 재단, 회로형성, 적층, CNC Drill, 도금 등의 과정을 여러 번 거치면서 완제품을 생산되는 공정으로 구성되고 있다. K사의 PCB 생산라인은 공정 단위로 설비군을 형성하는 기능적 배치형태를 갖고 있다.



[그림 2] PCB 제조공정

K사의 생산계획은 100% 수주생산에 근거하며, 동일한 생산라인에 다품종 혼류 제품을 연속적으로 생산하는 형태로 작성되어진다. 생산라인과 연속된 공정처리 등의 특성으로 인하여 자재 투입부터 제품이 완성될 때까지의 공정이 많고, 최종 제품 수율이 낮은 편에 속하고 있다. 다품종 혼류생산에 의하여 단위공정별 공정 안정성이 낮고 혼류 생산하는 물류로 인하여 제품불량 문제가 많이 발생되고 있다. 따라서 수주를 정상적으로 처리하기 위한 생산계획, 납기관리 및 설비관리 등에서 많은 어려움을 겪고 있다.

K사는 PCB 생산라인의 안정화와 개선을 위하여 현장개선 노력은 지속적으로 하고 있으나, 생산라인 전체의 경쟁력을 제고하는 통합된 접근에 의한 개선보다는 상대적으로 제한된 영역의 문제를 개선하는 형태로 추진하다 보니 생산성과 납기 등의 문제점은 지속적으로 나타나고 있다. 이에 따라 생산현장의 생산일정계획과 실적관리의 체계화를 위한

MES 도입을 검토하였으나, 중소기업의 현실문제인 MES 도입을 위한 하부구조 미비로 인하여 추진이 제대로 되지 않은 경험을 갖고 있다.

3. 다품종 혼류 PCB 생산라인의 MES 도입방안

다품종 혼류 생산의 중소제조업체의 성공적인 MES 도입을 위하여 기업환경을 고려해야 하며, 인력, 정보환경, 현장관리능력 등도 대기업보다 부족하다는 전제로 추진되어야 한다.

제조업체의 MES는 그 동인 주로 대기업을 중심으로 도입되어 왔다.[7][8] 반도체, 석유화학비너트와 같은 대형 업종에서 SCADA시스템 등의 공장의 연속 프로세스 제어시스템을 구축하고 ERP 시스템과의 통합을 통한 구축 사례는 많다. 또한 이산제품 생산을 주로 수행하는 대형 제조업체에서 POP 시스템, 통신기능을 갖춘 각종 제조 및 물류시스템과 ERP 시스템과의 중간 과정의 정보시스템으로서도 많은 구축이 추진된 바 있다.

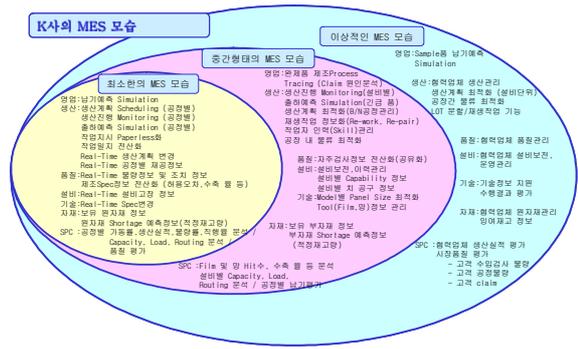
대형 제조업체에서 운영되고 있는 MES와 대기업으로부터의 주문에 의한 다품종 혼류 제품을 주로 생산하는 중소제조업체의 MES에는 [그림 3]과 같이 도입, 구축, 운영 단계에서 많은 차이가 있다. 중소제조업체용 MES는 기업 내의 현업 부서 담당자가 중심이 되어 추진되는 경우가 많다. 도입 프로세스 역시 대기업과 다르게 진행되는 경우가 많다.[9][10][11]

따라서 본 연구에서 제안하는 다품종 혼류 생산하는 중소제조업체에서의 성공적인 MES 도입을 위한 접근방법은 [그림 4]과 [그림 5]에서 보는 바와 같이 크게 4단계로 나누어지며, 이를 세분화하면 10개의 단위프로세스로 나누어 추진하는 방안이다.

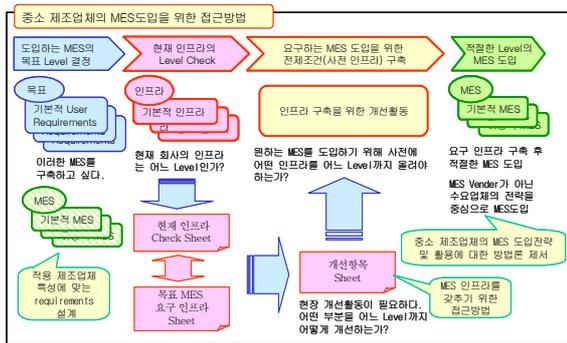
핵심적인 개념은 중소제조업체의 특성상 생산공정의 표준화, 안정화와 제한된 인력, 투자 제약 등의 한계를 고려하여 MES 도입을 위한 하부구조 구축을 선행하는 것을 필수화하고 이에 근거한 MES 구축작업을 진행하는 것이다.

구분	대기업용 MES	중소 제조업체용 MES
대상 업종	대기업 중심 반도체, 석유コンビ나트, 화학공장, 제약, 식품 제조업체 등	중소 제조업체 중심 다품종 혼류 생산형태 제조업체 등
도입 방법	일반적으로 (Package + Customize)	일반적으로 자체 개발
도입 추진자	컨설턴트 + Vendor System Engineer	정보시스템 팀 + 생산관리 팀
도입 Process	1. 컨설팅 2. Vendor 제안서 제출 3. Package 결정 4. 요구사항/목표 설정 5. Vendor System 개발 6. System 이행 및 7. 전산담당부서 System 유지	1. 공강대 조상 2. 요구사항 도출 3. 단계별 MES의 모습 작성 4. 단계별 MES를 위한 하부구조 작성 5. 요구사항과 MES의 차이 분석 6. 목표 설정 7. 하부구조 구축, 현장 교육 8. MES 자체구축, 평가
주요 기능	11개 주요기능	3개 주요기능
효과 분석	제조Lead Time단축, WIP 감소, 품질향상 등	제조Lead Time단축, 생산성 향상 등

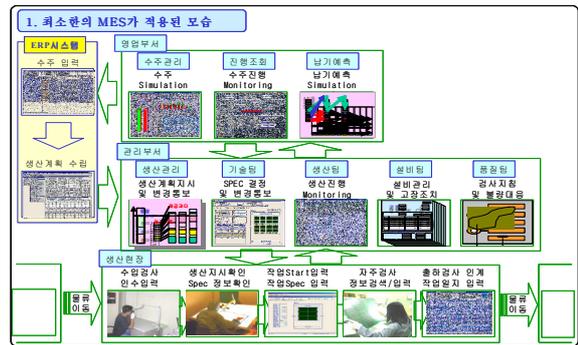
[그림 3] 대기업용MES과 중소제조업체용 MES의 차이



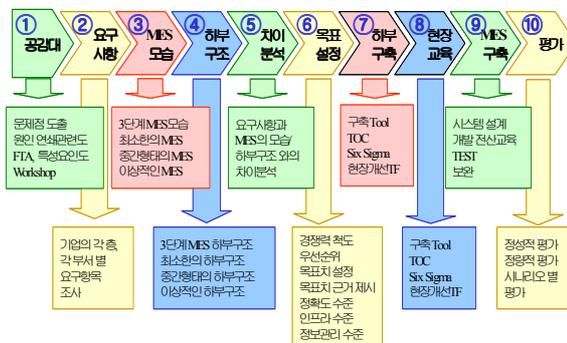
[그림 6] K사의 3단계의 MES 모습



[그림 4] 중소제조업체를 위한 MES 도입방안



[그림 7] MES 도입단계별 모습(초기단계)



[그림 5] 중소제조업체 MES 도입추진 프로세스

중소제조업체의 특성상, 요구되는 MES를 한번에 모두 구축하는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 가장 중요한 기능을 수행하기 위한 MES를 먼저 도입하고, 기능 추가 및 보완을 통하여 점진적인 MES를 구축하는 방식이 바람직하다고 할 수 있다.

[그림 6]은 MES 도입단계를 3개의 단계로 구분 (최소한의 MES, 중간단계의 MES, 최종 목표하는 MES)하여 각 단계별로 요구되는 MES 사양을 나타낸 것이다. 이를 토대로 하여, MES 운영시에 어떤 모습을 갖추게 되는 가를 보다 구체적으로 도식화하는 것이 필요하며, 최소한의 MES가 갖추어야 하는 모습을 예시한 것이 [그림 7]이다.

4. 다품종 혼류 PCB 생산라인의 MES 도입을 위한 하부구조 구축

MES의 성공적인 도입을 위하여 중소기업체에서는 필수적인 하부구조 구축을 위하여 확보되어야 할 하부구조는 MES 구축단계별로 구분하면 [그림 8]과 같다. 최소한으로 요구되는 기본적인 MES 구축을 위하여 요구되는 하부구조로서 [그림 7]의 모습을 갖게 된다.

중소제조업체인 K사는 대기업과는 달리 공정 안정성에서 어려움이 많다. 즉, 불량 및 규격 변경, 설비고장, 인력 근태관리 및 확보 문제 등으로 정확한 납기 예측, 생산일정계획 등이 어려운 생산환경 하에 있다.



[그림 8] K사의 3단계의 MES도입을 위한 3단계의 하부구조

따라서 K사는 MES 도입을 위하여 공정 안정화와 MES 개발을 원활하게 하기 위하여 약 1년간 하부구조 확보 및 개선을 위한 시도를 통하여 최소한의 MES도입을 위한 환경을 구축하였다. 하부구조 구축을 위한 도구로서 TOC, 6-시그마, 현장개성활동 TF를 적용하였다.

4.1 TOC 활동

K사는 MES 도입을 통한 경쟁력 향상 항목 중에서 최우선순위로 납기만족이다. 따라서 [그림 9]와 같이 TOC의 주목적을 납기만족에 두고 활동을 추진하였다.

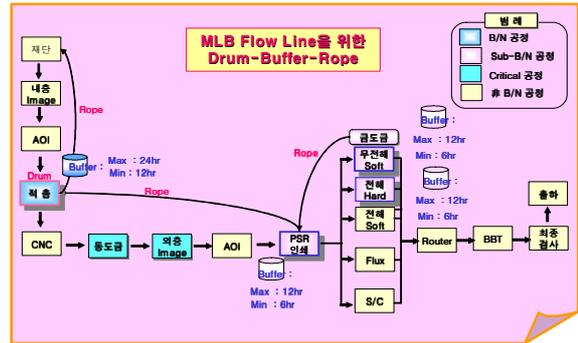
목적	구분	NO	Rule	담당부서	추진상황
L/T 단축 DBR Rule	Drum-Buffer-Rope	1	Drum / Buffer Rule	생산 / 생산	진행
		2	Buffer Daily Meeting	생산 / 생산	진행
	물류 Speed Up	3	PNL Size 통합	설계	진행
		4	Lot Size 변경 (이동Lot)	생산 / 제조기술	진행
		5	물류 Rule 개선	생산 / 생산	진행
	생산관리 기법 개선	6	자주질서 Rule 준수	QC	진행
		7	간급/FIFO Rule	생산 / 생산	진행
	현장 업무 개선	8	대기장소 설치	생산	진행
		9	Incentive Rule	사무국	진행
	공급대 형성	10	계시판 / 홍보 / 교육	사무국	진행

[그림 9] TOC 활동내용

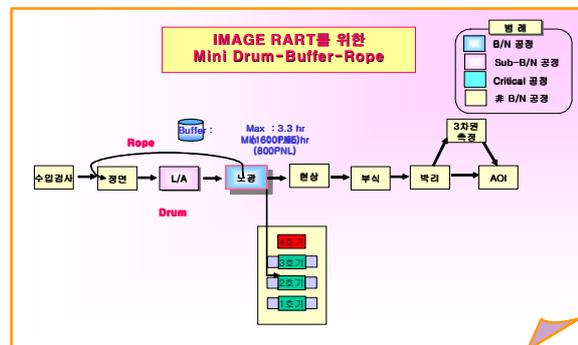
TOC 활동기간은 3개월이며, TOC 전문컨설턴트의 도움을 받아 본격적인 활동을 전개하였다. 활동내용은 1) Drum-Buffer-Rope, 2) 물류 Speed up, 3) 생산관리기법 개선, 4) 현장업무 개선타 및 5) 교육 5가지이다.[2] [3] 특히 K사 TOC 활동추진과정에서 일반적 DBR기법을 발전시키고 K사에 적합한 고유한 DBR을 [그림 10]의 Multi DBR과 [그림 11]의 Mini DBR로 구축하였다.

TOC 활동의 결과, [그림 12]와 같이 납기는 전체적으로 25%이상 향상되어, Module군은 20%,

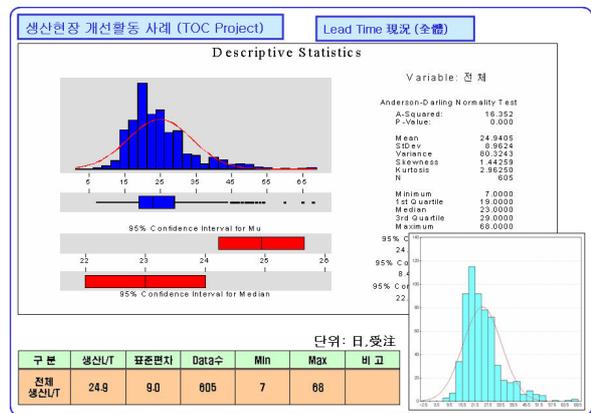
Build up군이 30%이상 향상되었다. 또, 편차 역시 평균 4일 이상 좁아지게 되었다.



[그림 10] Multi DBR



[그림 11] Mini DBR



[그림 12] TOC 활동결과

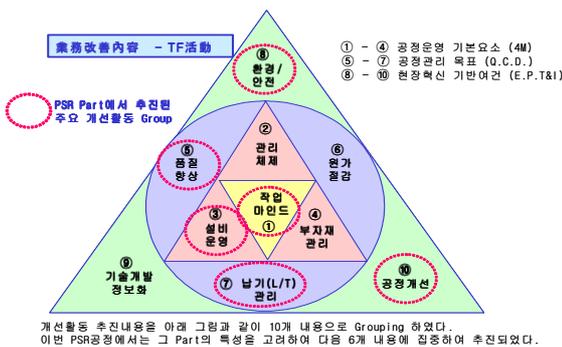
4.2 Six Sigma 활동

K사의 PCB의 품질 향상을 위한 6-시그마 활동은 약 8개월 동안 6개 공정을 대상으로 6개 project를 구성하여 추진하였다. 각 Project에는 Black Belt 1명씩 배치하여, 전문컨설턴트의 도움을 받으면서 추진하였다. 추진 절차는 DMAIC에 따라 추진했고 각 Process가 완료될 때마다 보고회를 가졌다. 6-시그마활동에 의하여 불량률은 각 공정별로 10%이상

개선이 되어 공정안정성 향상에 기여하였다.

4.3 현장개선 TF 활동

대부분의 중소기업체가 갖고 있는 약점 중의 하나가 낮은 현장관리수준이다. K사 역시 동일한 문제점을 갖고 있는 관계로 TOC, 6-시그마 등의 고급 개선도구를 도입하는데 어려움이 많았다. 결국 생산 현장에서 일하는 생산담당자(근속년수 1년 내외, 평균연령 30세 이하)들의 의식변화 없이는 현장개선은 제한적일 수 밖에 없다. K사의 경우, 관리직은 그동안 많은 교육을 받으며, Project에도 많이 참여하였기 때문에 위에서 TOC나 6-시그마 도구를 활용하는 데에는 큰 어려움이 없었으나 생산현장에 대한 개선활동을 현장 생산담당자와 동시에 추진하는 데에는 어려운 점이 있어 이를 해결하기 위하여 [그림 13]과 같은 10개 항목의 현장개선활동을 추진하게 되었다.



[그림 13] 현장개선활동 10개 항목

현장개선활동은 [그림 13]에서 보는 바와 같이, 작업마인드, 관리체제, 설비운영, 부자재관리, 품질향상, 원가절감, 납기관리, 환경개선, 기술개발정보화, 공정개선의 10개 항목으로 구분되어 추진되었다. 추진방법은 각 공정별로 1~1.5개월 단위로 개선활동을 전개했는데, 그 공정별 특징을 고려하여 집중개선항목을 선정하였다.

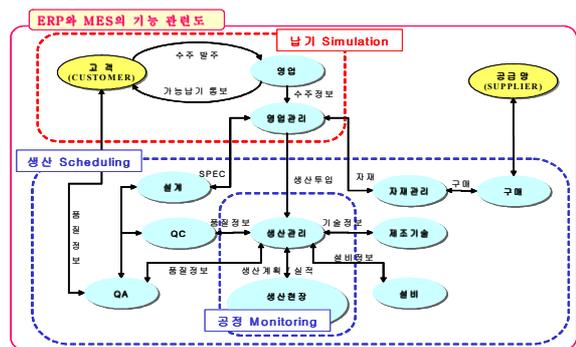
5. MES 설계

[그림 6], [그림 7]에서 보는 바와 같이 1차 단계의 MES를 구축하기 위한 MES 설계는 다음과 같다. 먼저 K사의 MES 구축에서 필수적인 3가지 기능으로는 납기 Simulation, 생산 Scheduling, 공정 Monitoring의 3가지이다. 납기 Simulation은 정확한 공정별 Lead Time을 Database화하여, 이를 기준으

로 수주 접수시 현재 부하를 고려하여 가능납기를 제시하는 것이다. 생산 Scheduling은 제품별로 차이가 있는 설비 Capacity를 조사하여 역시 Database화하였다. 그리고 건욕(建浴), 정기 PM 등의 비가동계획을 Data화하여, 이를 아용하여 보다 정확한 일일 생산일정계획을 수립한다. 공정Monitoring에서는 각 공정단위로 현재 재공정보를실시간으로 나타내는 것으로 Graphic 기능을 이용하여 판독을 보다 쉽게 한다.

5.1 기능 설계

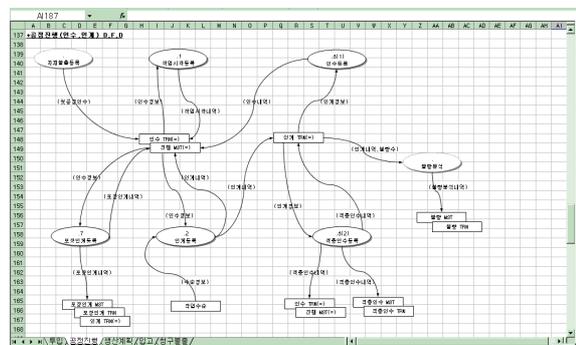
MES의 기능은 일반적으로 11가지 기능으로 구성되고 있다.[12] 그러나 K사와 같은 중소기업체에서는 MES의 모든 기능을 일시에 도입할 수는 없다. 따라서 K사의 1단계 MES 도입을 위하여 위에서 논한 바와 같이 3가지 기능만 집중적으로 설계하였다.[그림 14]



[그림 14] K사가 선정한 3가지 MES 기능

5.2 업무 Flow 설계

1단계 MES 도입에 의하여 업무 플로우 설계로서 공정진행(인수/인계) 업무에 대한 플로우를 [그림 15]와 같다.



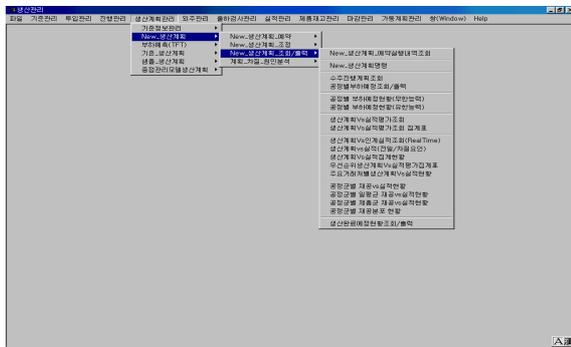
[그림 15] 인수/인계 업무 Flow

5.3 MENU 설계

K사의 MES는 [그림 16]과 같은 메뉴 구조를 구성되어, [그림 17]과 같이 구현된다.



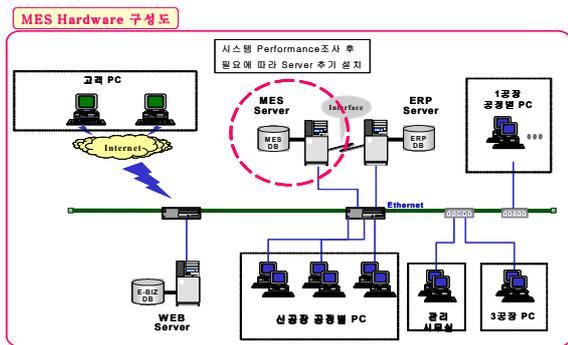
[그림 16] K사의 MES 기능과 메뉴 구성



[그림 17] K사의 MES MENU 화면

5.4 MES 서버 및 네트워크 설계

MES 운영을 위한 서버와 네트워크 구성은 [그림 18]과 같다.

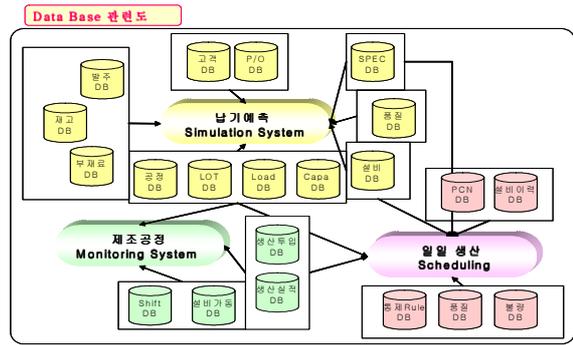


[그림 18] MES Server Network

5.5 DB 설계

MES용 DB는 기존 운영중인 ERP시스템의 DB를 최대한 활용하면서, MES에 추가적으로 필요한 DB만을 기능별로 설계하여 추가하는 형태로 설계되

었다. [그림 19]는 기준정보 DB에 대하여 새로 설계된 MES용 DB 구성도이다.



[그림 19] MES DB 구성도

공정 Lead Time을 보다 정확히 계산하기 위해 기존 ERP에서는 없었던 Lead Time Factor 일람표를 작성하여 DB화하였다. 즉, 지금까지 공정별 Lead Time을 산출할 때는 표준 Model을 선정하여 Lead Time을 결정하였다. 하지만 실제로는 Model에 따라 Lead Time에는 차이가 있고, 생산계획 수립시 현실에 맞지 않은 경우가 발생하였다. 또, 수주 접수시도 특별히 NECK 공정이 발생하는 모델이 접수되는 경우에도 그것을 발견할 수 없었고, 결국 납기 지연이 되는 문제가 발생되었다. MES 도입을 통하여 이러한 문제점을 최소화하기 위해 보다 정확한 Lead Time를 계산하도록 구축하였다. 또한 일일 생산일정계획을 수립할 때, 기준이 되는 Factor도 결정하였다. K사에서는 [그림 20]의 13개의 생산일정계획 생성 Rule을 도출하여, 생산일정계획 순위를 결정하였다.

Scheduling 결정요인 Concept

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 1. Lot Size : | 작은 LOT 우선 |
| 2. Mean Lead Time : | Lead Time 짧은 것 우선 |
| 3. Due date : | 납기를 기준으로 이것을 지킬 수 있도록 계획한다. |
| 4. Material : | 필요하는 소재가 있는 것 우선 |
| 5. Machine : | 생산선 항상 중심 |
| 6. Man : | 작업자 가동률 항상 중심 |
| 7. Load : | 부하 대비 성능 기준 |
| 8. WIP : | 재공품 대비 Load 기준 |
| 9. Routing : | 공정 수, 난이도 기준 |
| 10. Customer : | 우수 고객 우선 |
| 11. Profit : | 부가가치 높은 것 우선 |
| 12. Technique : | 제조기술 난이도 낮은 것 우선 |
| 13. Bottle Neck Optimized : | 제약조건 기준으로 생산 투입계속 속도 결정 |

[그림 20] Scheduling 결정요인

6. MES 구축 및 도입효과

K사의 PCB 생산공정라인의 1단계 MES 중에서 [그림 21]은 일일 생산일정계획 화면이며, [그림

2005 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회
2005년 5월 13일 ~ 14일, 충북대학교

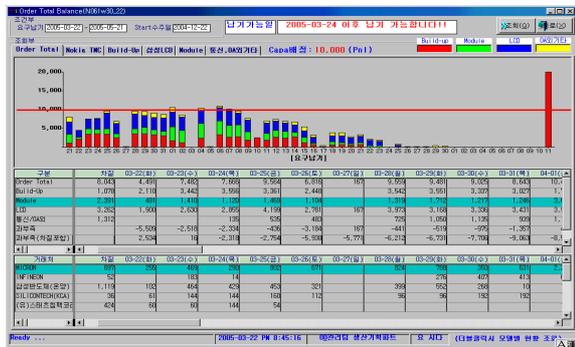
22]는 영업부서에서 수주 접수시 가능한 납기를 검토하기 위한 화면이다. [그림 23]은 자재 투입 후, 공정 진행 중에 있는 제품에 대한 납기 Simulation 화면이다. [그림 24]은 공정 진행현황 및 재공품에 대한 Monitoring 화면이다.



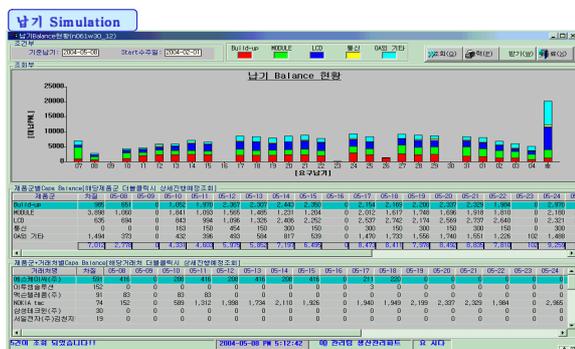
[그림 21] 일일 생산계획 Scheduling 화면

6.1 MES 도입의 정량적 효과

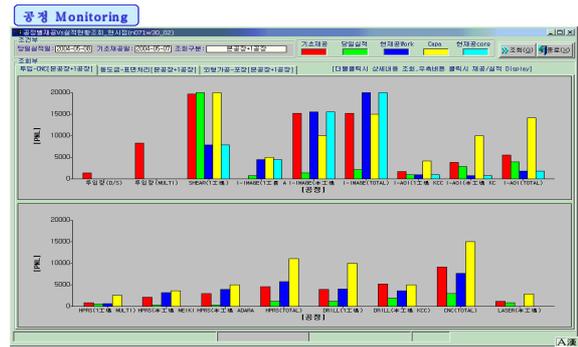
K사에 1단계 MES 구축효과를 도입 전과 비교하면, 생산성이 월 단위로 10~20% 향상되었다. 품질에 대하여도 동일수준의 난이도 제품에 대하여는 많은 개선효과를 얻었다. 납기단축을 위한 제조Lead Time 역시 평균 2일 단축되었다.



[그림 22] 납기 Simulation 화면(영업용)



[그림 23] 납기 Simulation 화면(생산용)



[그림 24] 공정 Monitoring 화면

MES 도입계획 수립시 설정한 목표치와 실제 달성치를 비교 분석하여, 어떤 부분이 얼마나 부족했고 그 원인이 어디에 있는지를 분석하여, 다음 단계의 MES를 구축할 때 반영하도록 했다. [그림 25]는 K사의 MES 도입에 대한 정량적 평가결과이다. MES 도입을 통하여 Lead Time 및 설비가동율 향상에는 많은 효과가 있었던 것을 알 수 있다.

6.2 MES 도입의 정성적 효과

MES 도입에 대한 정성적 효과는 평가자의 입장에 따라 다양하게 나타날 수 있다. 아직 정성적 효과를 구체적으로 평가할 수 있는 자료는 확보되지 않았지만 정량적 효과를 얻기 위한 토대가 되는 것과 향후 추가적인 MES 도입을 위한 중요한 하부구조가 되는 기반을 확보하는 효과가 있는 것으로 판단된다.



[그림 25] K사 MES의 정량적 평가 결과

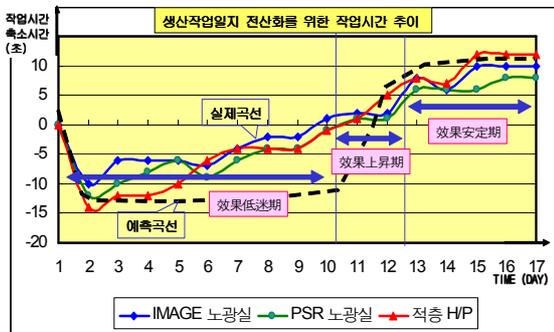
K사 최소한의 MES도입 효과 (정성적 효과)

핵심 관리지표	개대 효과 척도	목표치	달성도
기대 효과尺度 (Business Value) 정성적 효과	자주감사 강화	50% 불량감소	10% 불량감소
	생산차질 신속 대응력 확보	10% 납기 향상	20% 납기 향상
	시설투자 의사 결정 지원	10% 평가감소	
	문제해결 능력 강화	30% 매출향상	10% 매출향상
	성과평가 기준정보 제공	30% 납기 단축	20% 납기 단축
	업무분장 명확화 및 표준화	30% 불량/납기 향상	15% 불량/납기 향상
	고객 만족으로 수주 확대	30% 수주 증가	

[그림 26] K사 MES의 정성적 평가 결과

6.4 MES 도입시의 S_Curve 현상

K사의 PCB 생산라인용 MES도입 추진과정에서 효과발생에 대한 현상이 S_Curve 패턴으로 발생되고 있다. MES의 도입 시점에서는 MES 도입효과는 미비하지만, 시간이 경과될수록 그 효과가 구체적으로 나타난다는 사실이다. 물론 이러한 현상은 이미 많은 정보시스템 도입시에 경험하게 되는 현상인 것으로 MES 도입에서도 나타나고 있다. [그림 27]에서 보는 바와 같이 3개의 공정에서 약 10일이 경과하면서 MES 도입에 대한 효과가 본격화되기 시작함을 알 수 있다.



[그림 27] MES 도입시의 S_Curve 현상

효과곡선은 효과저迷期, 효과上昇期, 효과安定期로 구분할 수 있는데, 적용하는 공정이나 제조업체의 특성에 따라 효과가 나타나는 시점이 달라질 수 있으나 기본적인 형태는 비슷할 것으로 예상된다.

MES 도입시 처음에 “별 효과가 없다”, “이전 방식이 더욱 편리하다”, “이번 시스템은 실패다” 등의 의견이 현장에서 나올 때가 많다. 이것은 위에서 고찰한 바와 같이 어떤 정보시스템이라도 처음부터 효과는 나타나지 않다가 서서히 나타나게 되는 경우가 많기 때문이다. 그리고 효과가 나타나기 시작하는 시기는 정보시스템에 따라 차이가 있다. 따라서

정보시스템 도입시에는 이 점을 고려하여 충분히 작업자에게 알려주고 추진할 필요가 있다. 정보시스템을 성공적으로 도입하기 위해서는 가능한 빠른 시기에 상승하도록 비효율시기를 단축하는 노력이 반드시 필요하다. K사의 MES에서 예측곡선과 비교하여 빠른 시기에 효과가 상향할 수 있었는데, 그 이유로는 1) 이미 사용하고 있는 공정단위 인수인계 Program과 유사한 화면 구성, 2) 많지 않은 입력항목 구성, 3) 주 사용자가 비교적 젊은 직원(24세 ~ 31세)인 것이라고 판단된다.

7. 결론

본 논문에서는 다품종 혼류의 PCB를 생산하는 중소제조업체의 MES도입 사례를 소개하고 있다. K사에서는 MES도입으로 생산성 향상, 납기 단축 등의 효과를 얻었다. 향후 2단계 MES 도입을 위하여 추진 중에 있다. 본 논문에서 소개하는 중소제조업체의 특성을 고려한 MES 구축사례는 국내외 유사한 중소제조업체의 MES 도입을 추진하는 데에 도움이 될 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] 中村實, 正田耕一, MES 입문, 工業調査會, 2000
- [2] Eliyahu M. Goldratt, It's Not Luck, The North River Press, p. 123, 2002,
- [3] 村上悟, 石田忠由, 思考を變える!見方が變わる! 會社が變わる! 中經出版, p.137, 2001.
- [4] 工場管理編集部, 5S テクニック, 日刊工業出版, 1989
- [5] 五十嵐峻, 工場コストダウン辭典, 日刊工業新聞社, 1990.
- [6] 實踐經營研究會, 現場管理者のための「7つ道具」集, 日刊工業新聞社, 1994.
- [7] 東レ Homepage,
<http://www5.ocn.ne.jp/~tek-css/>
- [8] HITACHI Homepage, <http://www.hitachi.co.jp/>
- [9] Panasonic Homepage, <http://panasonic.co.jp/>
- [10] IBM Homepage, <http://www-6.ibm.com/jp>
- [11] 横河技報, Vol 43, No.3, 1999.
- [12] MESA International White Paper No.6, p.15.