creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

공학박사 학위논문

ERP 시스템 기능 확장성에 관한 구현 사례연구

Implementation practices for extensibility of the ERP system function

2021년 8월

서울과학기술대학교 IT정책전문대학원
산업정보시스템전공

김 성 민

ERP 시스템 기능 확장성에 관한 구현 사례연구

Implementation practices for extensibility of the ERP system function

지도교수 안 재 경

이 논문을 공학박사 학위논문으로 제출함
2021년 8월

서울과학기술대학교 IT정책전문대학원
산업정보시스템전공

김 성 민

김성민의 공학박사 학위논문을 인준함
2021년 8월

심사위원장	홍정식	(인)
심사위원	안재경	(인)
심사위원	조남욱	(인)
심사위원	김영희	(인)
심사위원	박현기	(인)

목 차

요약 ····· i
표목차 ····· iv
그림목차 ····· v

제1장 서 론 ····· 1
제1절 연구의 배경 및 목적 ····· 1
제2절 연구 방법과 내용 ····· 5
1. 연구의 범위 ····· 5
제3절 연구의 구성 ····· 7

제2장 이론적 배경 ····· 11
제1절 선행연구 ····· 11
1. TOC와 ERP의 효용성에 대한 선행연구 ····· 11
2. 스마트공장에 대한 선행연구 ····· 13
제2절 TOC에 대한 이론연구 ····· 16
1. TOC체계 ····· 18
2. DBR스케쥴링 ····· 19
제3절 진화하는 ERP ····· 21
제4절 ERP의 생산관리 기능 ····· 23
1. 작업장 ····· 24
2. 표준공정도 ····· 25
제5절 ERP 솔루션 현황 ····· 26
제6절 ERP 생산관리 기능의 문제점 ····· 27
1. SOP(Sales & Opertation Planning) ····· 28
2. CRP(Capacity Requirement Planning) ····· 29
3. MRP(Material Requirement Planniing) ····· 32
제7절 대안으로서의 MES ····· 34
1. ERP와 MES ····· 36
제8절 데이터마이닝 ····· 38
1. 회귀분석 ····· 39
2. 의사결정나무 ····· 39
제9절 4차 산업혁명과 스마트공장 ····· 41

1. 스마트공장 ····· 41
가. 스마트공장의 수준 ·····43
나. 스마트공장과 인공지능 ····· 46
다. 한국의 스마트공장 추진 현황 ····· 48

제3장 본 론 ····· 50
제1절 연구과제 ····· 50
가. TOC기법을 적용한 MES 개선 ·····51
나. ERP 생산계획 기능을 보완한 시뮬레이션 최적화 연구 ·····51
다. ERP와 스마트공장 진입에 관한 연구 ·····52
제2절 TOC 기법을 적용한 MES개선 ·····53
1. 사례기업 개요 및 경영환경 ·····53
2. ERP구축 이후의 문제점 ·····53
가. 본 이슈에 대한 통계적 검증 ·····55
3. TOC를 적용한 이슈 해결 ·····56
가. 문제의 해결 ·····56
나. 공정에 대한 정의 ·····57
다. 공정 현황 ·····59
라. 공정실적 적용 및 작업장 정의 ·····59
마. 표준시간 생성 프로그램 개발 ····· 63
바. 사양별 제조원가 정합성 확보 ·····65
사. 표준시간 정비에 대한 타당성 검토 ·····65
4. 본 연구에 대한 소결 ·····67
제3절 ERP생산계획 기능개선을 위한 시뮬레이션 도입 ·····69
1. 사례기업 개요 및 경영환경 ·····69
2. 생산 프로세스에 대한 이해 및 문제점 파악 ·····69
3. 자료의 수집 및 모형화 ·····71
가. 기본 가정 ·····71
나. 시스템 프로세스 ·····72
다. 자료의 수집 ·····73
라. 시뮬레이션 설계 ·····75
마. 시뮬레이션 결과 ·····77
4. 본 사례연구에 대한 소결 ·····80
제4절 스마트공장 진입에 대한 ERP 기능 확장성 ·····81

1. 사례기업 개표 및 경영환경 ····· 81
2. 구축 개요 ····· 83
가. MES장비구성 ····· 83
나. 구현 범위 ····· 85
다. ERP와 MES 구현 효과 ····· 87
3. 스마트공장으로 가야할 과제 ····· 88
가. 지능형 MES ····· 88
4. 본 사례연구에 대한 소결 ····· 98

제4장 결론 ····· 100
제1절 연구결과 요약 ····· 100
제2절 연구 의의 ····· 102
제3절 연구 한계 및 향후 연구방안 ····· 104

참고문헌 ····· 106

영문초록(Abstract) ····· 113

요 약

제 목 : ERP 시스템 기능 확장성에 관한 구현사례 연구

1990년대에 시작된 ERP(Enterprise Resource Planning, 이하 ERP)는 기업 전사 프로세스 기반으로 설계되어 표준화된 업무 기준을 엄격하게 제시하는 기업 솔루션으로서 생산, 구매, 물류, 회계 등 기업 전반의 경영활동 프로세스를 통합 연계 관리해주는 전사적 통합시스템이다. ERP는 구현 과정에서 BPR(Business Process Reengineering)을 수행하고 비부가가치 요소를 제거하는 경영혁신기법을 포함하고 있어 변화하려는 기업의 시대적 요구에 적극적으로 부응할 수 있었다.

이로 인하여 ERP는 전 세계적으로 제조업을 포함한 다양한 산업군의 기업들이 사용하고 있으며, 우리나라에서도 대기업을 중심으로 중견기업과 일부 중소기업까지 널리 사용하고 있다. 현재 ERP는 제조 물류 부문과 원가회계 부문의 정보 통합화와 관련 업무에 대한 실시간 전표 발행 등으로 의사결정의 신속성과 정합성을 보장하는 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 혁신과 개방이라는 가치 아래 지난 30여 년 동안 발전되어온 ERP는 자신 또한 혁신의 대상이 되었으며, 발전된 차세대 ERP를 요구하고 있다. ERP 벤더들은 SCM, CRM, e-Procurement 등 지속적인 확장을 이루어왔으며, 하드웨어 측면에서 기존 처리속도보다 탁월하게 빠른 인 메모리 기반 DB와 클라우드 도입 등을 통하여 근본적인 변화를 시도하고 있다.

2010년대를 클라우드와 모바일, 빅데이터 기반의 Digital Transformation 시대라고 하면 2020년대는 인공지능과 블록체인, 사물인터넷 기반의 Intelligent Technology 시대라고 한다. 이러한 시대적 요구로 현재 ERP 시스템은 다양한 Intelligent Suit 와 Platform을 갖춘 지능적 ERP로의 전환을 꾀하고 있다. 이러한 상황에서 ERP는 머신러닝으로 프로세스를 자동화하거나 예측분석, 챗봇 기반의 디지털 비서와 같은 신기술 접목을 시도하고 있으나, 실질적으로 상업화되거나 실용화된 사례는 미흡하다. 이렇게 발전되고 변화되는 과정에서 ERP는 여러 문제점이 발견되고 있다. 사전에 정형화된 ERP를 구현한 이후에 생산성과 효율이 저하되는 '생산성 역설'이 여러 연구에서 자주 인용되기도 하다. 특히 중견기업이나 중소기업이 감당하기에는 다소 무리가 있는 과다한 구축비용과 라이선스 비용은 ERP 보급에 있어서 적지 않은 걸림돌이 되고 있다는 지적도 있다.

또한 높은 비중으로 ERP를 사용하고 있는 제조업의 경우 ERP가 제공해 주는 생산계획 기능에 불만과 문제점을 토로하기도 한다. 즉, ERP 솔루션이 제공하는 생산관리, 생산계획 기능은 생산관리 학문에서 제공하는 다양한 생산계획 기법과 방법을 탑재하고 있으나, 산업별 다양성과 예외성을 현실적으로 대응할 수가 없는 한계점을 가지고 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 산업별로 최적화된 MES가 별도로 개발되어 기존 ERP와 연계되어 사용되고 있다.

MES는 ERP 생산계획의 단점을 보완한 대체 시스템이기도 하나, 반도체나 정유・화학 같은 전문적인 공정 지식이 필요한 산업의 경우, ERP보다 규모와 중요도가 더 큰 경우도 있다. 이렇듯 MES는 제조업에서 ERP와 더불어 사용되는 매우 중요한 쌍두마차 시스템이다. 물론 APS(Advanced Planning System)와 같이 ERP 생산계획의 역기능을 보완해 주는 솔루션이 사용되고 있지만, 일부 대기업을 제외하고는 그 사용률이 저조한 실정이다.

MES는 생산의 다양한 공정 실적을 하부의 POP나 Sensor 같은 장치를 통하여 실적을 채집하고 그중 공수(Man Hour)나 생산량(Quantity) 같은 생산실적 정보를 ERP로 전송한다. 그리고 품질, 설비, 작업자 등과 같은 생산현장에 존재하는 다양한 정보를 관리하고 있다. 따라서 MES가 가지고 있는 데이터의 질과 양은 방대하여 ERP를 포함한 다른 시스템에 끼치는 영향도 또한 크다고 할 수 있다. 특히 MES는 4차 산업혁명 시대에 빅데이터 분석, 인공지능과 같은 Intelligent Platform을 구현하기 위한 데이터를 제공해 주는 역할을 수행하기 때문에, ERP의 진화와 발전을 효과적으로 지원하는 방향으로 발전하고 있다.

위와 같은 배경에서 본 연구에서는 ERP와 MES를 이미 구현한 각기 다른 산업의 3개 제조사를 대상으로 각각의 문제점을 해결하기 위한 다양한 방안을 제시하였다.

첫 번째 사례의 경우 ERP와 MES를 구현하였으나 제품 제원별 제조원가의 정확도가 낮아서, 제조원가 관련 의사결정에 문제가 발생되었다. 이에 대한 원인을 조사한 결과, MES에서 전송되는 공정 실적의 범위와 ERP에서 정의하고 있는 공정 실적의 범위가 다른 것에 기인한다는 것을 발견하게 되었다. 해결방안으로 TOC(Theory of Constraint :제약이론)를 사용하여 MES와 ERP 간의 정보인터페이스를 동기화하였다. 작업장 관리 범위가 명확하지 않은 MES 실적 포인트를 TOC이론을 적용하여 단순화하였다. ERP의 작업장 또한 MES의 TOC이론을 반영하여 재정의하였다. 또한 시간 동작 분석(Time and Motion S-tudy)에서 강조하는 표준시간도 사양별 공정특성에 맞게 재정비하였다. 이를 통하여 제조원가 정합성을 향상시켜 합리적인 원가 관리를 할 수 있게 되었으

며, 생산기준정보의 정합성을 마련하여 생산해야 할 물량과 생산할 수 있는 물량의 차이를 통제할 수 있는 생산계획 시스템이 가능하다는 것을 확인하였다.

두 번째 사례에서는 ERP와 MES는 구현되어 있으나 생산계획 기법을 ERP 구현 전의 방식으로 적용하여 라인의 상황을 고려한 생산계획이 불가능한 사례를 개선하였다. 해당 제조회사의 경우 공정설비 간 이동 시간이 길고, 수작업 공정이 다수 있다는 특수성이 있으므로 ERP에서 제공하는 생산계획 기능으로 효율적인 계획을 수립하기가 어려웠다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 ERP와 MES에서 제공하는 현장 데이터를 사용하여 생산계획 시뮬레이션을 수행하였다. 연구 결과, 생산계획에 대한 공정예측이 가능해졌으며 설비투자에 대한 합리적인 의사결정이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다. 특히 스마트공장 구현에서 핵심 기능인 Digital Twin 시스템과 CPS(Cyber Physical System)에서도 생산 기준정보가 중요한 인자라는 것을 확인할 수 있었다.

마지막 사례에서는 이미 구현된 ERP와 MES를 토대로 스마트공장으로 진입하는 방안에 대해서 탐색하였다. 연구 결과, 빅데이터를 보유하고 있는 MES를 확장하여 지능형 MES로의 발전을 모색하였으며, 이에 대한 기본 모델링을 실시하였다. 두 가지 대안의 지능형 MES를 제시하였으며, 프로토타이핑 기법을 활용하여 가상의 지능형 MES를 구현하였다. 약 30,000개 이상의 MES 표본 데이터를 기반으로 빅데이터 분석을 통하여 품질 불량에 대한 원인을 예측하였다. 또한, ERP와 MES를 사용하고 있는 중견, 중소기업이 막대한 비용의 투자 없이 현재 시스템의 기능을 근간으로 하여 스마트공장으로 진입할 수 있다는 것을 파악하게 되었다.

위 세 가지 사례연구를 통하여 중견기업이 스마트공장으로 효율적으로 발전하기 위해서는 ERP와 MES가 중요한 요소이며, 이들을 발전시켜서 단계적이고 점진적으로 스마트공장을 구현할 수 있다는 것을 확인하였다. 특히 스마트공장 구현을 위해서는 공정 센서 데이터의 확보와 함께 빅데이터 실적을 활용한 딥러닝 기반의 지능형 MES가 가장 중요한 요소임을 파악하였다.

표 목 차

Table 1.1 주요국 제조업 비중 및 성장률 ····· 1
Table 1.2 사례연구 대상 및 연구 방법 ····· 5
Table 1.3 본 연구의 구성 ····· 7
Table 2.1 주제별 TOC 연구 현황 ····· 12
Table 2.2 TOC와 ERP 기존연구와 본연구와의 차이점 ····· 13
Table 2.3 스마트공장 연구 동향 ····· 13
Table 2.4 제약의 종류 ····· 16
Table 2.5 스마트공장의 차별화된 특징 ····· 43
Table 2.6 스마트공장 성숙도 수준(KS X 9001-3) ····· 44
Table 2.7 스마트공장의 수준 ····· 45
Table 2.8 스마트공장주요 분야(Posri 이슈 리포트) ····· 47
Table 3.1 연구 과제 정의 ····· 50
Table 3.2 실적공수 집계 데이터 ····· 56
Table 3.3 ANOVA TABLE ····· 56
Table 3.4 동작 분석을 통한 변동요인 도출 사례 ····· 62
Table 3.5 표준시간 갱신 전후의 표준노무비 변화 ····· 65
Table 3.6 표준시간 갱신 전후의 표준노무비 변화(적층세라믹 콘덴서) ····· 65
Table 3.7 생산공정별 표준공수 대비 실적공수 공수 효율표 ····· 66
Table 3.8 비무늬목 라인 CAPA. ····· 73
Table 3.9 스마트공장 구현범위에 대한 정의 ····· 83
Table 3.10 PDA 주요기능 ····· 84
Table 3.11 스마트공장 분석 라이브러리 영역 ····· 91
Table 3.12 MES에서 발생 되는 실적 범주 ····· 94
Table 3.13 염색공정의 변수 유형 ····· 96
Table 3.14 Variable in the Equation ····· 98

그림 목차

Fig. 1.1 주요국가 GDP 대비 제조업 비중 ····· 1
Fig. 1.2 AT Kearney & CPA 미국 리쇼어링 지수 ····· 2
Fig. 1.3 스마트공장 구현 수준에 대한 국내기업 현황 ····· 3
Fig. 1.4 본론에 대한 연구 접근방식 ····· 9
Fig. 2.1 제약에 대한 이해 ····· 17
Fig. 2.2 TOC 체계와 집중개선 5단계 적용 범위 ····· 18
Fig. 2.3 일반적인 제조공정 ····· 19
Fig. 2.4 DBR 적용한 경우 ····· 19
Fig. 2.5 ERP 생산관리 프로세스 ····· 23
Fig. 2.6 작업장의 기능 ····· 24
Fig. 2.7 생산기준정보의 통합성 ····· 25
Fig. 2.8 MRP 프로세스 ····· 32
Fig. 2.9 MES의 기능 ····· 34
Fig. 2.10 빅데이터 분석의 정보제공자 ····· 35
Fig. 2.11 ERP와 MES 간의 생산공정 관계 ····· 37
Fig. 2.12 KDD Process ····· 38
Fig. 2.13 산업 혁명의 주기와 발전속도 ····· 41
Fig. 2.14 CPS Architecture ····· 42
Fig. 2.15 스마트공장 구현을 위한 솔루션 적용 현황 ····· 48
Fig. 3.1 ERP 작업장과 MES 작업장의 차이점 ····· 54
Fig. 3.2 ERP와 MES 간의 공정 실적 전송 관계 ····· 55
Fig. 3.3 CCR을 통한 MES와 ERP 간의 작업장 연계 ····· 57
Fig. 3.4 직렬공정 ····· 58
Fig. 3.5 병렬공정 ····· 58
Fig. 3.6 분산공정 ····· 59
Fig. 3.7 직렬공정과 병렬공정의 혼합 ····· 59
Fig. 3.8 대안 1 ····· 60
Fig. 3.9 대안 2 ····· 61
Fig. 3.10 CCR(제약자원)을 고려한 공정실적채집 포인트 ····· 63
Fig. 3.11 표준시간 생성 프로그램 예시화면 ····· 64
Fig. 3.12 표준시간 생성 프로그램 정보 Flow ····· 64

Fig. 3.13 사업 현황 ····· 69
Fig. 3.14 주요 공정 ····· 70
Fig. 3.15 시스템 Flow ····· 72
Fig. 3.16 사무용 가구 BOM 구조 ····· 74
Fig. 3.17 생산 오더 구조 ····· 74
Fig. 3.18 이동 매트릭스 ····· 75
Fig. 3.19 사무용 공장 Lay Out ····· 76
Fig. 3.20 사무용 공장 물류 동선 ····· 76
Fig. 3.21 생산공정 대기행렬 예상결과 ····· 77
Fig. 3.22 외주, 임가공 가동률 및 대기행렬 결과 ····· 78
Fig. 3.23 원자재 투입부터 제품 출고 활동 다이어그램 ····· 79
Fig. 3.24 비즈니스 문제점과 개선 해결방안 ····· 81
Fig. 3.25 자재출고에 대한 PDA 사용 예시 ····· 85
Fig. 3.26 Application Structure ····· 85
Fig. 3.27 제직기 PLC Interface ····· 86
Fig. 3.28 KIOSK 예시화면 ····· 87
Fig. 3.30 고전적인 MES ····· 90
Fig. 3.31 지능형 MES ····· 90
Fig. 3.32 3rd Party solution과 결합한 지능형 MES ····· 91
Fig. 3.33 MES에 기반한 빅데이터 분석 방안 ····· 92
Fig. 3.34 본 연구에 대한 프로토타이핑 시나리오 ····· 95
Fig. 3.35 염색공정 불량 원인에 대한 의사결정 나무 ····· 97
Photo 2.1 SOP 생성화면 ····· 29
Photo 2.2 생산능력 평가 예시화면 ····· 30

제1장 서 론

제1절 연구의 배경 및 목적

국내의 제조기업들은 장기적인 경기 침체와 동남아와 중국 등 개발도상국의 급격한 부상으로 수익성 악화 및 기업 성장의 한계에 처해 있다. 또한 전례 없는 코로나 19 팬더믹 상황에서 글로벌 경제와 교역이 둔화가 되고 있다. 이를 극복하기 위한 미국, 중국 등의 전방위적인 경제 정책 패러다임 전환이 다양한 방면에서 이루어지고 있다. 특히, 코로나 19사태에서 시장 활성화 및 일자리 버팀목이 된 제조업은 국가 핵심 기간 산업 및 안보 산업으로서의 중요한 위치를 점유하고 있는 것으로 확인되고 있다[18]. 실제로 2019년 기준 GDP 대비 제조업 비중이 28.8%인 중국은 2020년 GDP 성장률이 전년 대비 1.2% 상승되었다. 중국은 코로나 19가 최초 발생한 국가라는 것을 고려해도 제조업이 있었기 때문에 경제회복 속도가 예상보다 빠른 것으로 전문가들은 분석했다.

Table 1.1 주요국 제조업 비중 및 성장률

(단위=%)

국가	GDP내제조업 비중(2019년)	GDP 성장률 2분기(전망)	실업률 4월
중국	28.8	1.2	6.0
한국	27.5	-1.2	4.2
일본	21.1	-8.0	2.8
독일	20.8	-11.2	5.8
스페인	12.7	-17.9	-
미국	11.3	-9.7	14.4
프랑스	10.4	-17.2	8.4
캐나다	9.5	-	13.5
영국	8.6	-15.4	-

※ 미래에셋대우증권 자료 참조

Fig. 1.1 주요국가 GDP 대비 제조업 비중

다른 한편, 서비스업 중심 국가인 영국이나 스페인, 프랑스는 마이너스 성장률을 기록하였다. 실업 문제에서도 제조업 강국은 다른 모습을 보여 주었다. 사람들을 대면해야 하는 서비스업 중심의 국가에서는 실업 하락률이 매우 두드러지는 양상을 보여 주었다, 미국 실업률은 2020년 10% 이상 상승했고, 캐나다도 8.4% 급등하였다. 반면 제조업 강국인 한국(0.8%포인트), 독일(0.9%포인트), 중국(0.8%포인트), 일본(0.7%포인트) 등 실업률 상승이 1% 포인트 미만의 수준을 보여 주었다.

이와 같이 여러 주요 선진국들은 제조업이 가져오는 고용 창출 효과와 경제적

파급효과를 인식하고 각국의 고유한 특성을 반영한 다양한 정책을 진행하여 제조산업 부흥에 나서고 있다[42]. 미국의 경우 경제회복을 위해 제조업의 본국 회귀를 뜻하는 '리쇼어링(Reshoring)' 을 금융위기 이후부터 추진하였으며, 각종 경제지표에서 실질적인 성과로 이어지고 있다. 코로나 19사태 이후 미국 정부는 경기 부양 패키지 중 6,000만 달러를 리쇼어링 기업에 대한 인센티브로 할당하였으며, 특히 AT Kearney와 CPA 리쇼어링 지수도 모두 2019년 큰 폭으로 반등하였다.

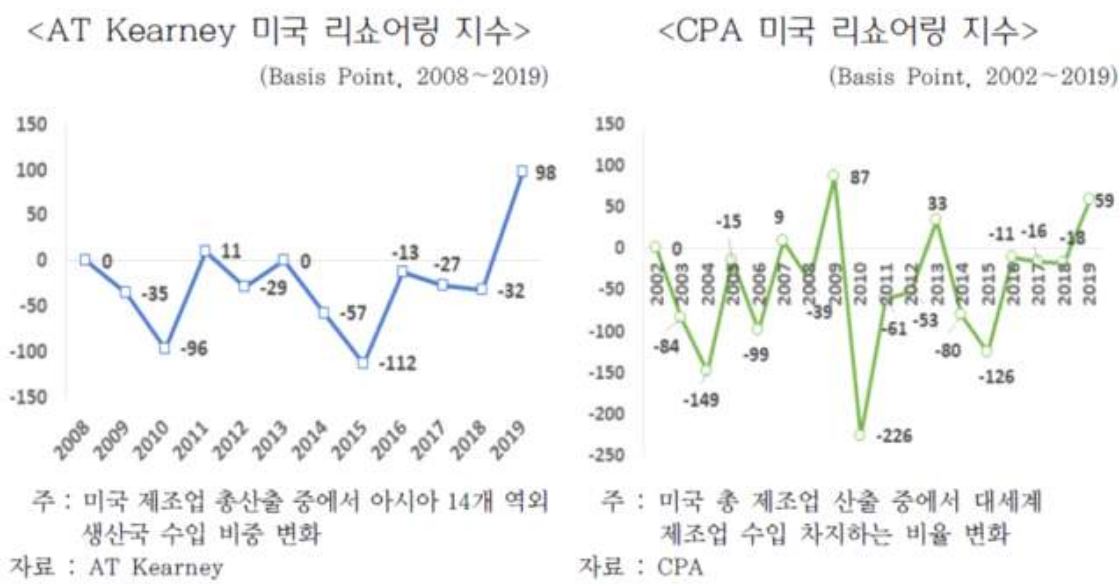


Fig. 1.2 AT Kearney & CPA 미국 리쇼어링 지수

이와는 대조적으로 국내 제조기업은 선진국의 자국 산업 우선의 경제 논리와 무역 규제, 높은 국내 노동비용 등으로 인하여 제조업 경쟁력이 지속해서 내림세로 약화하고 있다. 이러한 현상을 반영하듯, 2015년 딜로이트 글로벌이 발표한 '글로벌 제조업 경쟁력 지수 보고서' 에 의하면 2020년 한국의 제조업 경쟁력 지수는 한 단계 밀려난 세계 6위로 조사 되었다[61].

이러한 현실과 상황을 극복하기 위해서 한국 또한 제조산업의 부흥을 위해서 생산활동을 하는 중소기업이나 대기업을 '리쇼어링' 하려고 하였다. 그러나 국제무역 통상 연구원의 2021년 보고에 의하면 한국의 '리쇼어링' 정책은 활발하게 가속화되지 않고 있다고 보고하였다[4]. 이러한 상황에서 ICT에 강점을 가진 한국은 제조산업 부흥의 매개체로 ICT를 통한 제조혁신을 추진하고 있으며 4차 산업혁명 기술과 스마트공장은 한국판 '리쇼어링' 정책 부활의 견인을 할 것으로 예측하고 있다[1].

많은 기업들은 새로운 성장 동력을 얻고자 경영혁신에 의한 가치 창출에 핵심

역량을 기울이고 있다. 이에 대한 혁신 활동 중 노후화된 정보시스템을 보유한 기업들은 전사적자원관리(Enterprise Resource Planning)구축을 통하여 시스템과 프로세스의 통합을 시도하고 있다. ERP 구축의 효과는 제조 물류 부문과 원가회계 부문의 정보 통합화와 원가회계 프로세스의 신속함과 정합성을 보여 주는 효과가 있다. 반면 ERP와 같은 통합 정보시스템을 보유한 중견기업 이상의 기업은 ERP가 주는 통합성과 신속성의 효과를 뛰어넘어, ERP의 단점을 보완하고 좀 더 발전되고 진보된 가치 창출 역량에 집중을 기울이고 있다. 새로운 가치 창출 혁신기법은 4차 산업혁명 기술에 기반한 스마트공장 구현이다.

제조업은 4차 산업혁명으로 인한 변화에 매우 민감하기 때문에 새로운 기회이자 위기에 직면해 있다. 데이터 기반의 지능정보 기술과 제조업의 결합은 모든 정보 전달 방식에서 근본적인 변화를 일으키고 있다. 글로벌 선도기업은 이러한 새로운 혁신에 대한 기회와 선점을 위한 노력을 지속화하고 있다. 그리고 4차 산업혁명 기술기반의 스마트공장 확산으로 정체되었던 기업 생산성 향상과 노동인구에 대한 고용 창출 효과가 있다고 다수의 선진기업 사례로 확인되고 있다. 이를 계기로 4차 산업혁명은 한국 또한 부진했던 한국 '리쇼어링' 의 매개체가 될 수 있다고 예측하고 있다[4].

또한 정부에서도 국가 산업 경쟁력 강화를 위한 대안으로 제조업 혁신 정책을 발표하였으며, 그중 핵심 추진과제로 스마트공장 보급에 중점을 두고 있다. 그러나 국내 스마트공장의 경우 아래 [Fig. 1.3]과 같이 일부 대기업을 제외하고는 ICT가 미적용 수준 혹은 기초수준에 머물러 있다.

Fig. 1.3 스마트공장 구현 수준에 대한 국내기업 현황(※산업은행 자료 인용)

스마트공장을 바라보는 기업 입장에서는 다양한 견해가 있다. 스마트공장을 ERP와의 단절된 신규 투자의 시각으로 보거나, 반대로 공장 자동화나 MES 구현을 스

마트공장이라고 보는 상반된 견해가 존재하기도 한다. 이러한 스마트공장의 견해는 스마트공장 구현을 하기 위한 올바른 시각은 아니며 상호 연관된 ICT 발전의 결과가 스마트공장이라는 의견이 대부분의 시각이다.

Radziwona(2014)는 그의 연구에서 스마트공장에 관련된 대부분 기술은 대기업을 위한 솔루션으로 구성이 되어있어, 제조업 발전을 위한 미래의 구현 도구로서는 아직 미성숙하다고 하였다. 따라서 스마트공장 관련 다양한 기술과 정책은 중소 제조기업에 초점을 맞추어야 하며, 이에 관한 연구와 투자가 필요하다고 주장하였다[65].

본 연구에서는 ICT 수준이 기초 수준, 중간 수준이며 다품종 대량 생산을 하는 중견 제조업체들의 당면해 있는 ERP 문제점에 대해서 재조명을 하였다. ERP 내부적인 문제점과 외부적인 문제점을 파악하였으며 대안을 제시하고 예상결과를 확인하였다. 내부적인 문제점은 ERP 생산계획 기능 본연의 문제점이며, 외부적인 문제점은 생산 현상을 고려하지 못한 생산기준정보 설계로 나누어서 문제를 해결하였다. ERP 생산계획 기능의 경우 공정간 이동 동선과 대기시간 존재하며 Lot 단위로 생산하는 전통적인 제조 방식의 생산계획을 수립하는데 기능적 한계점을 가지고 있다. 이러한 ERP의 내적인 문제점을 시뮬레이션 기법을 적용하여 해결하려고 하였다.

MES(Manufacturing Execution System)와의 인터페이스 정합성을 개선하기 위해서 생산 기준정보를 재설계하였다. 그리고 문제 해결을 진행해가는 과정에서 MES가 ERP에 미치는 중요성과 문제 해결의 중요한 도구임을 파악하였다. 결국, 이러한 ERP 내적인 문제점과 외적인 문제점 해결이 스마트공장 진입을 위한 구성요건이며 ERP와 MES는 스마트공장 구현의 필수적인 요소임을 제시하였다. 그리고 ERP와 MES가 구현된 중견제조업체가 스마트공장으로 발전하기 위한 확장형 스마트공장 아키텍처를 모델링 하였다.

확장형 스마트공장 아키텍쳐 모델링을 검증하기 위해 시나리오 기반의 프로토타이핑 테스트를 수행하였다. 테스트 수행결과를 통하여 MES에서 제공된 빅데이터 분석을 하였으며 이러한 의미 있는 데이터 분석을 스마트공장으로의 성장이라고 정의하였다.

결론에서는 중견, 중소기업이 스마트공장으로 진입하기 위한 핵심 요소를 파악하고자 한다.

제2절 연구 방법과 내용

1. 연구의 범위

생산성 역설이란 이장건(2008)의 연구에서 ERP 도입 전의 기업 수익성과 공장 재고 회전율이 ERP 도입 이후에 오히려 감소하는 효과를 보이는 것을 의미한다. 그 결과 ERP 도입 및 투자에 명확한 투자 효과가 없는 것으로 ERP에 대한 무용론의 다른 표현이다[45]. 본 연구에서는 기업의 ERP 도입 및 투자 이후에 관찰되는 생산성 역설(Productivity Paradox)의 원인을 제조업 ERP의 문제점으로 인식한다. 생산성 역설의 의미는 ERP 도입 효과에 대한 부정적 효과를 표현한 단어이다.

이러한 가정에서 ERP 핵심모듈의 문제점을 재조명하고 대체방안으로서 해결책에 대해서 논의를 시작한다. 제조업에서 ERP 모듈 중 생산관리의 기능을 보완하고 상호 유기적인 관계인 MES(Manufacturing Execution System)가 과연 ERP 생산관리 기능의 단점을 보완하는 대체안으로서 가능성을 보유하고 있는지 조사한다. 그리고 ERP가 이미 구현된 중견기업이 스마트공장으로 진입하기 위한 핵심 요소가 무엇인지 사례연구로 파악한다. 연구대상은 아래 [Table 1.2]와 같다.

Table 1.2 사례연구 대상 및 연구 방법

구분	전자 축전지 제조	가구 제조	자동차 부품 제조
규모	2,425억(2020년)	565억(2015년)	828억(2020년)
연구대상	-TOC 기법을 적용한 공정 실적 정의 -CCR 기반의 표준시간 재정립으로 표준원가 신뢰도 향상방안 모색	-생산계획 시뮬레이션을 통한 생산 및 외주계획 수립, 평가	-스마트공장 진입요소 조사 -지능형 MES 기능 확장
생산 방식	-판매계획에 기반한 계획생산	-주문과 판매계획에 기반한 혼합계획생산	-주문과 판매계획에 기반한 혼합계획생산
생산 형태	다품종 대량 생산	다품종 대량 생산	다품종 대량 생산
공정 흐름	이산(단속)공정	이산(단속)공정	이산(단속)공정
생산단위	Lot 단위 생산	Lot 단위 생산	Lot 단위 생산
ERP 의존도	높음	높음	높음
MES 사용	사용	사용	사용
질적연구 분석 도구	-DBR, CCR -공정 흐름 분석 -공정 집계 포인트	-생산계획표, BOM구조 -공정 흐름 분석	-ERP 구현 사례연구 -MES 구현 사례연구
양적연구 (독립변수)	-표준시간	-이동, 대기, Set Up시간 가용 Capacity -BOM, Routing,표준시간 조달시간, 생산계획	-염색공정 설비별 19가지 타입의 데이터 (30,054개)
양적연구 (종속변수)	-노무비	-대기행렬 -가동률	-공정 불량
양적연구 (조정변수)	-공정 변동요인	-ILO 여유율	-
양적연구 분석기법	-T 검정 -공수효율	-시뮬레이션 기법	-의사결정나무 -회귀분석
사용 소프트웨어	-ABAP Workbench -SPSS	-ARENA	-SPSS

본 연구는 첫째, ERP 도입 이후 효과가 뚜렷하게 나타나지 않은 반도체 제조기업의 기능개선 사례를 연구 과제로 선정하였다. ERP는 구현이 되어있으나 고질적인 생산관리 모듈 기능 문제점과 제조원가 신뢰도 저하의 원인을 파악하고, 대안을 제시하였다. 해결방안으로 ERP 생산 모듈과 MES 간의 정보를 동기화시키고, 생산 표준시간의 정합성과 신뢰도를 위하여 TOC(Theory of Constraints, 이하 TOC)의 DBR(Drum-Buffer-Rope)기법을 사용하였다.

첫 번째 사례연구가 공정 실적과 생산기준정보의 문제점이라면, ERP 구현 이후에도 생산계획을 적절하게 사용하지 못하는 가구제조업을 두 번째 연구사례로 선정하였다.

ERP의 생산관리 모듈 중 생산계획 기능은 제조업의 모든 생산계획 프로세스의 요구사항을 수렴할 수 없는 태생적인 약점이 있다. 이에 해당 기업의 생산계획 데이터를 기반으로 하여 시뮬레이션 기법을 도입하여 생산계획 기능 효용성을 높이는 파일럿 테스트 작업을 수행하였다. Simulation을 하기 위한 소프트웨어로 ARENA를 사용하였으며, 생산계획 물량에 라인의 상황과 공정능력이 어떻게 변화하는지 예측하였고 ERP와의 융합에 대해서 검토하였다. 시뮬레이션 기법은 스마트공장의 핵심 기능인 CPS(Cyber Physical System, 이하 CPS), Digital Twin System 구현 기능의 중요 요소 중의 하나로 발전될 수 있다.

셋째. ERP와 MES가 새롭게 구현된 자동차 부품 제조회사가 스마트공장으로 효과적으로 진입하기 위한 스마트공장 수준을 정의하고 MES에서 발생한 대량의 데이터를 기반으로 불량 원인을 예측하는 프로토타이핑 테스트를 수행하였다.

프로토타이핑은 IT 프로젝트에서 개발 초기 단계에서 사용하는 기법으로, 구현하고자 하는 시스템 모형을 만들고 성능을 검증, 개선하기 위하여 핵심기능만 넣어 테스트하는 단계를 말한다. 시뮬레이션 기반의 생산계획 수립과 지능형 MES 구현 가능성을 파악하기 위해서 이러한 프로토타이핑을 수행하였다.

그 결과 중견, 중소기업이 스마트공장으로 진입하기 위해서는 학습과 Data 분석이 가능한 지능형 MES의 구현이 필요함을 확인하였으며, 지능형 MES 구현을 위한 하나의 사례로 데이터마이닝 기법을 제시하였다. 또한, CART, Regression 기법을 도입하여 실제 공정 DATA에 기반한 품질예측시스템을 가상으로 구현하였다.

결론에서는 사례연구와 파일럿 테스트를 통하여, 제조업에서 ERP와 MES가 효과적으로 운영이 될 수 있는 요인과 중견, 중소기업이 단계별 시스템 기능확장을 통하여 스마트공장으로 진입할 방안에 대해서 검토하였다.

제3절 연구의 구성

본 연구는 확장형 ERP 구축 사례연구를 통하여 제조 ERP 솔루션의 개선 및 기능 확장성을 조사하고, 스마트공장과 ERP 그리고 MES와의 상호 영향력에 관해서 연구조사를 한다.

Table 1.3 본 연구의 구성

I. 서론	연구의 배경 목적 범위			
	1. 제조업 환경의 변화			
	2. 연구의 범위 및 구성			
II. 이론적 배경	이론적 배경 및 조사			
	TOC(제약이론)	진화하는 ERP		스마트 공장
	1. TOC 체계와 정의 2. DBR 스케줄링 3. TOC효용성 선행 연구	1. ERP생산관리기능 검토 1) SOP 2) CRP 3) MRP 2. 문제점 파악 3. 대안으로의 MES		1. 4차 산업혁명과 스마트 공장 2. 스마트 공장 수준 3. 국내 스마트 공장 추진현황 4. 선행연구
	확장형 ERP 사례 연구를 통한여 ERP 기능확장성을 연구			
III. 본론	구현사례 Case Study			
	전자 축전기 제조(사례1)	가구 제조(사례2)		자동차 부품 제조(사례3)
	1. 연구 대상	1) TOC 기법을 적용한 ERP와 MES개선 2) ERP생산계획 기능에 대한 시뮬레이션 기법 적용 3) 지능형 MES를 통한 스마트 공장 진입요소		
	2. 분석 방법	사례1	1. 통계적 분석을 통한 표준시간 차이 분석 2. DBR(Drum-Buffer-Rope) 3. CCR(Capacity Constraint Resource) 4. 변동요인	
		사례2	1. 공정별 공수 효율 분석 2. ERP ABAP WORK BENCH	
		사례3	1. 스마트 공장 수준진단 2. 의사결정나무(CART) 3. 회귀분석(Regression)	
	3. 효과 분석	사례1	1. ERP와 MES 연계정보의 동기화 2. 표준시간 정합성 확보 3. 제조원가 신뢰도 향상	
		사례2	1. ERP생산계획 단점 보완 2. 버전별 공정 시나리오 결과 확인	
		사례3	1. 지능형 MES 정의 2. 스마트 공장 진입 요소	
IV.결론	1. 연구 결과의 요약 및 시사점			
	2. 연구의 한계와 제언			

1장에서는 제조업 환경변화에 따른 본 연구의 필요성과 목적을 제시하였으며, 연구 방법으로 구현사례 연구와 프로토타이핑 테스트를 통하여 방안을 제시한다.

제2장에서는 본론에 앞서 본 연구의 이론적 배경에 관하여 고찰한다. 경영관리 및 공장관리의 프로세스 혁신기법인 TOC에 대한 소개를 하고 ERP 시스템에 적용

이 되는 요소인 DBR(Drum-Buffer-Rope, 이하 DBR)과 CCR(Capacity Constraints Resource, 이하 CCR)에 기능 부연설명을 한다. TOC이론은 생산 스케줄링 및 이슈 해결에 대한 경영관리 기법으로 사용되며, Legacy 시스템 또는 ERP와 융합이 되어 APS(Advanced Planning System)와 같은 소프트웨어로 개발, 출시되고 사용되고 있다. 두 번째는 진화, 발전되고 있는 ERP의 소개이다. ERP는 대기업에서는 높은 비율로 사용이 되고 있으므로 ERP 구현시장에서 레드오션이 되어가고 있지만, ERP의 기존 단점을 보완한 업그레이드 된 솔루션이 지속해서 출시되어 아직도 경영관리시스템에서 선두의 자리를 차지하고 있다. 그리고 ERP 생산관리 기능 중 핵심기능을 소개하면서, ERP 생산관리 기능의 고질적인 문제점을 설명한다. 제조산업의 다양성과 공정 특수성으로 인하여 ERP 생산관리 기능은 모든 제조업에 최적화된 생산관리 시스템을 제시하지 못하고 있다.

이러한 문제점의 해결책으로 MES(Manufacturing Execution System. 이하 MES)가 ERP와 연계되어 사용되고 있다. 생산실적 관리 및 품질관리와 같은 상세한 공정관리 기능을 수행하기 때문에 MES는 ERP 시스템과 동등하게 그 중요성을 차지하고 있다.

MES는 ERP와 정보를 상호 연계함으로 마치 실과 바늘처럼 상호 보완적인 서포터 시스템을 수행하고 있는 매우 중요한 시스템이다. 그리고 ERP와 MES는 스마트공장 구현에 기본 구성요소가 된다.

2장 마지막에서는 스마트공장에 대한 배경과 스마트공장 구현을 위한 단계별 수준 현황을 제시한다. 그리고 국내 스마트공장 추진현황에 대한 상황을 인지하고, 국내 스마트공장 확산을 위해서 필요한 정책과 요소가 무엇인지 다각적으로 검토한다.

3장 본론에서는 업종과 규모가 각각 다른 3개 제조회사의 ERP, MES 개선사항을 제시하였다. 문제 발단과 연구대상을 정의하였다. 연구대상은 ERP와 MES를 사용하고 있는 뿌리제조 산업을 연구대상으로 하였다. 일반적으로 거론되는 ERP 이슈를 제기하고 개선 방안에 대한 프로토타이핑을 수행하고 수행결과를 도출하였다. 본론 내용에 대한 구성과 연구 접근방식은 Fig. 1.4와 같이 되어있다.

연구대상 회사의 공통점은 다음과 같다. 전통 뿌리제조 산업이면서 자동화 설비가 배치되었어도 인적 생산의존도가 높은 산업이다. 생산 방식 또한 다품종 소량생산이며 공정 흐름은 Lot 단위로 이동을 하는 이산(Discrete)공정으로 구성이 되어있다. 영업의 판매계획과 주문 정보에 대응하기 위한 생산계획을 수립하며 완제품이 창고로 이동되어 재고로 관리가 되면서 출하가 되는 재고 생산 프로세스를 채택하고 있다. 재고 생산 프로세스 또한 제조업에서 운영되고 있는 대표적인 생산계획 방법이다. 연구대상 산업(Industry)이 다른 것에 문제점을 제기할 수도 있으

나, 오히려 동일한 복수 이상의 산업을 연구대상으로 하게 되면 연구 결과에 대한 편향성이 발생할 수 있다는 의견을 제시한다.

먼저, 3개의 사례회사 중 ERP 시스템을 구현하고 ERP 의존도가 높은 2개의 제조회사에 대한 ERP 문제점을 진단하고 해결책을 제시한다. 2개 사례회사 ERP 문제점에 대한 차이는 다음과 같다. 첫 번째 사례회사(전자 축전지 회사)는 ERP와 MES 간 정보 송수신의 비동기화 문제와 생산기준정보의 비정합성 문제를 TOC기법을 통하여 해결하였다. 사례회사는 ERP 기능 본연의 기능 문제점이 아닌, 잘못된 구현방법과 생산 기준정보 비정합성에 대한 ERP 외적인 문제에 대한 해결이며, 생산기준정보 재정립과 인터페이스 송신과 수신 방법을 동기화하였다.

반면 두 번째 가구제조회사의 경우 ERP 생산계획기능 단점을 보완하려는 방안을 제시한 것이며, ERP 생산계획기능에 대한 ERP 내적인 문제점으로 기능 단점에 대해서 고찰하고 확장해야 할 요소를 확인하였다.

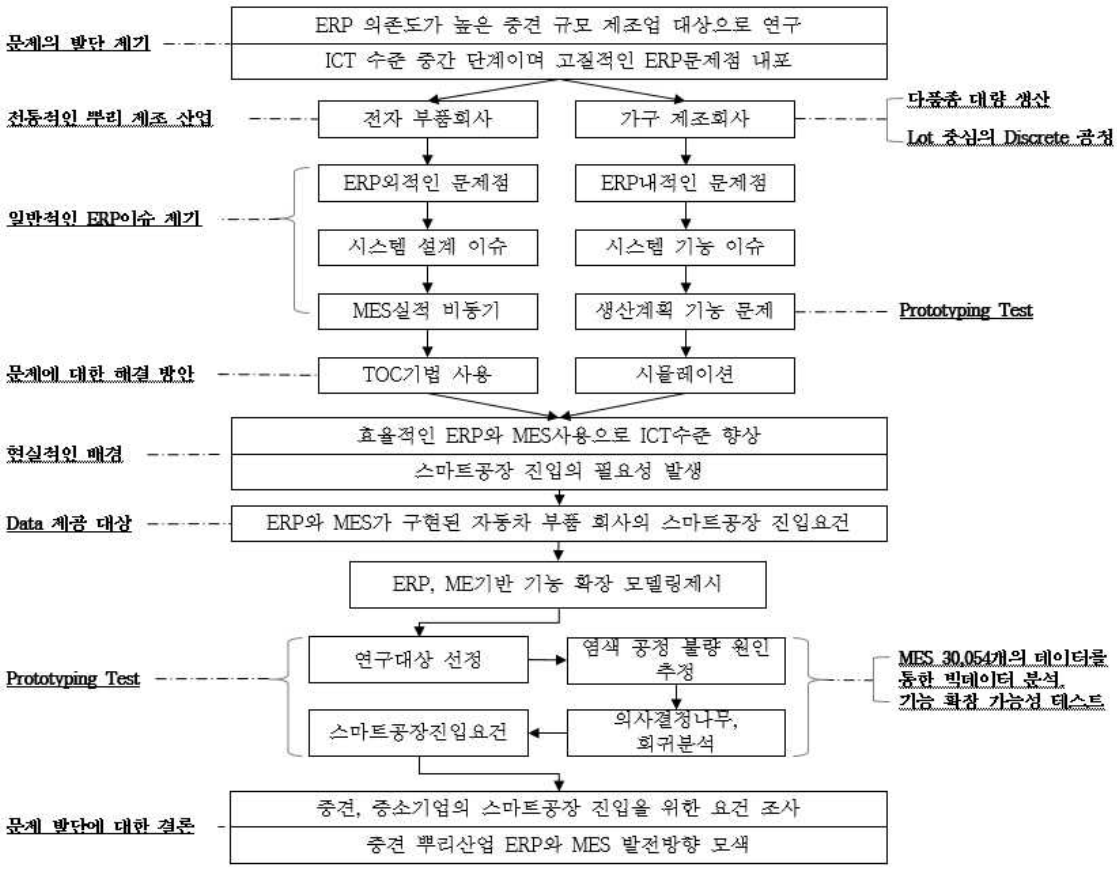


Fig. 1.4 본론에 대한 연구 접근 방식

사례회사들의 경우 ERP의 내적인 문제점과 외적인 문제점에 대한 해결방안을 제시하고, MES의 생산실적 채집의 중요성과 ERP 생산계획 단점에 대해서 재조명을 하였다.

ERP는 이러한 내적인 문제점과 외적인 문제점을 최신의 기법을 사용하여 해결하고 도입 취지에 맞는 효율적인 ERP 시스템을 사용할 수가 있다. ERP와 같은 최적의 통합 정보시스템을 사용하고 활용하는 상태를 스마트공장 진입 전의 단계라고 가정한다. 이 단계에서 스마트공장 구현에 대한 다각적인 검토가 필요하다.

세 번째 사례회사는 전형적인 제조회사인 자동차 부품회사가 ERP와 MES를 구축한 과정과 구축 후의 효과를 재조명하였다. 그리고 ERP와 MES가 구축된 현재의 시점에서 스마트공장으로 진입하기 위한 다양한 요소들을 검토하고 스마트공장으로 진입하는 방안으로 사례회사 환경에 최적화된 지능형 MES를 제시하였다. 다만 본 연구에서 제시하는 스마트공장은 대기업이나 선진기업에서 사용하고 4차 산업 첨단기술이 도입된 스마트공장을 의미하지 않는다. 국내 중소, 중견기업 제조업이 저비용으로 스마트공장 환경에 한 단계 상승하기 위한 대안을 제시한다. 때문에 센싱기술이나 하드웨어 투자, IoT, CPS 같은 신기술의 적용 여부는 배제하였다. ERP와 MES가 구현된 상황에서 기능확장과 MES에서 발생이 되는 대량의 다양한 데이터를 사용하고 발전시키는 방안을 모색하였다.

세 번째 사례회사연구에 시사하는 바는 성공적인 스마트공장 진입을 위해서는 현재 시스템의 수준을 명확하게 파악한 후, 구축해야 할 스마트공장의 수준을 정의하는 것이 매우 중요하다는 것이다. 이 사례연구에서는 중견, 중소기업이 스마트공장으로 진입해야 할 중요 요소를 정의하였다.

4장 결론에서는 4차 산업혁명 시대에 스마트공장의 도래에 맞추어 향후 ERP가 발전해야 할 요소가 무엇인지 정의한다. 글로벌한 공급망 관리 체제 속에서 대기업 위주의 스마트공장 정책이 아닌 중견, 중소기업의 스마트공장 구현 전략의 중요성을 강조하였다. 인공지능과 빅데이터 분석, IoT의 발전은 30년간 기업의 기간시스템으로 위치를 선점했던 프로세스 통합의 ERP 패러다임을 변경시키고 있다. ERP 독자적인 시스템이 아닌 4차산업 기술과의 융합과 또 다른 혁신기법의 ERP 기능확장이 필요할 것이다.

제2장 이론적 배경

제1절 선행연구

1. TOC와 ERP와의 효용성에 관한 선행연구

ERP에 TOC를 적용한 다수의 연구를 조사하면 생산 자원의 다양한 변수를 고려한 최적화된 생산계획 시스템을 구현하는 연구와 공정관리의 효율성을 개선하는 연구가 주류를 이루고 있다.

김병주(2017)의 연구에서 TOC-DBR 기법을 스마트공장 설비배치 설계에 적용하여 물리적인 설비배치 방법의 구체적인 방법론을 제시하였다[7].

김우상(2008)은 ERP와 APS시스템을 운영하는 제조업체 TOC기법을 적용한 생산관리 시스템 구축사례를 분석하였다. 이 연구에서는 생산계획시스템과 APS, ERP 시스템의 관계를 설명하고, 최적화된 생산계획을 수립할 수 있는 TOC기반의 재고 보충 시스템을 제시하였다[12].

요시다 아쯔노리오(2006)는 품질, 생산성 등을 고려하면서 제조리드타임을 단축하려는 방법을 연구하였다. 그리고 2개의 DBR개념을 도입하여 제조리드타임이 개선 전 대비 현저하게 감소하는 효과가 있음을 소개하였다[36].

김승권, 이주헌(2013)은 반도체 조립공정에 있어서 제약공정인 금속연결(Wire Bonding)공정의 전선(Wire)수를 생산능력(Capacity)으로 가정하고 그중 생산능력이 낮은 병목 공정(Bottle Neck)을 제약자원으로 정의하였다. 그리고 제약자원을 통하여 쉽고, 빠르게 자원 소요계획 수립이 가능하다는 결과를 제시하였다[11].

박민선, 김경래(2006)는 건축 마감 공사에 쓰이고 있는 택트 공정관리의 문제점을 개선하기 위해 TOC이론을 적용하여 새로운 택트 공정관리 개념을 제시하였다. 또한, 사례연구를 통하여 TOC이론과 DBR개념이 기존 문제점을 개선할 수 있는지에 대한 여부를 검증하였다[20].

홍민선 외(2004)는 공정에 투입된 소요비용 중 원가 영향도가 높은 공정을 제약공정으로 선택하고 제약공정 기준으로 공정 설계를 하였다[62]. 그리고 제약자원을 생산공정 흐름이나, 물류 흐름에서의 부하 공정으로 정의를 하지 않고, 설비 투자비용 관점에서 소요비용이 높은 공정을 제약자원으로 채택하고 공정 설계를 하였다. 그리고 설비비용이 많이 투입되는 해당 공정이 공정 흐름에서 제약자원인지는 추가 검증의 필요성을 제시하였다.

TOC이론을 적용한 ERP 시스템에 관한 연구사례는 최신의 스마트공장 TOC 적용을 포함하여, 주생산계획 스케줄링 및 재고 보충계획, 자재소요량 계획(Material Requirement Planning), 생산공정관리 등 생산 메가 프로세스 레벨을 연구한 것으로 조사 되었다.

Table 2.1 주제별 TOC 연구 현황

Topics	Author
프로젝트 관리	박민선외 3인(2006)[20], lzmailovand et al.,(2016)[73]
공급망 관리	Wu et al.,(2014)[87], Wen et al.,(2016)[86]
Advanced Planning System/생산계획/ 자재소요량 계획(MRP)	김우상(2009)[12], 김승권, 이주헌(2013)[10,11], 나창현(2015)[15]
	옥영석, 김복경(2013)[34], 요시다, 박정현.(2006)[36,37]
	장성용(2003)[50,51], 정남기외6인[55], 지영주(2004)[57]
	Denisa(2012)[67], Golmohammadin(2015)[69], 나창현[15]
	옥영석, 박철호(2006)[35]
제약자원	곽태호(2015)[5], 윤건구 외2인(2016)[39]
	홍민선 외 3인(2004)[62], Okutmuş et al.,(2015)[76]
	Zhou et al.,(2009)[89], Umble & Larry(2001)[83]
물류, 유통관리	Viera & Pavel(2015)[84]
제조원가	Lea(2007)[74]
재고보충	Lowalekar et al.,(2017)[75]
	Wu et al.,(2014)[86], Umble & Larry(2001)[83]
설비배치	김병주외 3인(2017)[7]

반면 본 연구에서는 ERP와 MES를 사용하는 제조업체의 공정실적 집계지점(Data Gathering Point)를 TOC의 DBR기법으로 재정의하였다. 이에 대한 자세한 설명을 제3장에서 제시하였다.

제약공정인 CCR은 ERP 생산기준 정보인 작업장(Work Center) 중심으로 정의를 하였으며, 작업장에 투입되는 생산 반제품별 표준시간을 재정립하여 제조원가의 신뢰도를 향상시키고자 하였다. 표준시간은 공정별 CCR기준으로 가용 Capacity에 해당되는 공정별 변동요인을 정의하고 여유율을 고려한 표준시간 생성 Formula를 정립하여 제품 사양별 표준시간으로 전환하였다.

[Table 2.2]는 TOC 사례연구를 Key Word로 별로 정리한 표이다. 기존 사례연구와 본 연구와의 차이점을 확인할 수 있다.

Table 2.2 TOC와 ERP 기존연구와 본연구와의 차이점

Key Word	기존연구	본연구	연구내용
표준시간		●	- ERP 구현단계에서 TOC를 적용한 작업장 정의 - MES 실적집계포인트 정의 및 인터페이스 동기화 - TOC-CCR기반의 표준시간 정의 - 공정변공요인 분석 - TOC를 적용한 제조원가 신뢰도 향상방안 - 공수효율 분석
Work Center		●	
작업장별 Capacity		●	
공수실적 분석		●	
제조원가	●	●	
설비배치	●		
APS	●		
생산계획	●		
재고보충	●		
MRP 스케쥴링	●		
JIT 생산	●		

2. 스마트공장에 관한 선행연구

스마트공장 관련 연구를 조사한 결과 크게 3가지로 분류되었다. 스마트공장 관련된 국내외 연구에서는 구현사례의 경우가 가장 많았으며, 스마트공장 정책, 지능형 시스템 관련 순으로 연구되었다.

Table 2.3 스마트공장 연구 동향

스마트 공장 연구 동향	Author
스마트공장 정책	노상도(2016)[17], 박상기 & 이명래(2016)[21], 박성빈(2019)[22]
	산업은행(2015)[25], 신동민외 2인(2017)[27], 심재훈외 4인(2017)[30]
	윤종환 & 박태준(2016)[40], 이성희외 2인(2017)[44], 이정철(2018)[46]
	이현정외 4인(2017)[47], 조용주(2017)[56], 함형준(2017)[61]
	Agnieszka(2014)[65], HE & Wang(2018)[70]
	IIT(2021)[72], Thoben et al.,(2017)[82]
	Wang et al.,(2015)[85], Yin & O(2015)[88]
구현사례 연구	고종영 & 조대호(1999)[4], 김병주외 3인(2017)[7]
	김성민 & 안재경(2018)[8,9], 김은영 & 박문수(2018)[13]
	매일경제(2020)[18], 박종경 & 장태우(2018)[24]
	심현식 & 원중연(2016)[31], 소병업(2017)[32], 오세남(2018)[33]
	유성진(2008)[38], 윤준서외 2인(2018)[41], 이경선 외(2018)[42]
	이대희(2018)[43], 임정우(2017)[49], 장원중외 3인(2018)[52]
	최광석 외2인(2인)[59], Schlechtendahl(2016)[79]

지능형 MES	강형묵 & 황경태(2018)[3], 김호인(2017)[14]
	노규성 & 박상휘(2014)[16], 박훈석외(2018)[24], 신승준(2018)[28]
	심재훈외 2인(2016)[29], 장원중외 3인(2018)[52], 전인기(2016)[53]
	차석근외 4인(2015)[58], 황세웅외 2인(2018)[63], Pilz(2014)[71]

대표적인 선행연구는 다음과 같다.

HE & Wang(2018)는 차세대 스마트공장 혁신의 주요 과제로 빅데이터 분석의 중요성을 강조하였다. 스마트공장 핵심 요소는 실시간 데이터에서 지능이 있는 제조를 생성하여 정확하고, 시기적절한 의사결정을 지원하는 것이라고 하였다[70].

황세웅(2018)은 섬유산업 공정 사례를 통하여, 머신러닝 방법론의 한 종류인 의사결정나무(CART)를 이용하여 제품 불량률을 개선하는 방안을 제시하였다. 스마트공장을 구현하기 위해서는 생산공정에서 발생되는 작업데이터와 센서 데이터를 수집, 분석하여 품질관리와 공정관리에 적용해야 한다고 주장하였다. 즉 공정이나 설비에서 생성된 빅데이터를 통하여 지능화된 의사결정을 하는 것을 스마트공장 구현이라고 하였다[63].

이현정(2017)은 생산하는 업종 및 제품, 규모에 따라 다른 방법의 스마트공장 도입 전략이 필요하다고 하였다. 그리고 제조현장의 실태와 요구사항 분석이 중요하다고 주장하였다. 즉 요구사항을 정확 명료하게 파악하여 기업의 비용, 환경, 인력문제를 고려한 스마트공장 도입 전략이 스마트공장 구현의 중요한 요소라고 정의하였다[47].

신승준(2018)은 스마트공장 구현의 고도화 수준 모형을 CPS라고 하였다. CPS는 과거의 행태 및 데이터를 학습하여 예측 시뮬레이션 분석을 수행하는 자가학습형 공장이 가능하도록 하는 것을 주목적으로 한다, 연구자는 최적의 CPS 모델링 절차를 제시하였다[29].

스마트공장의 세 가지 연구 동향에 대한 부연설명은 다음과 같다.

첫 번째, 스마트공장에 대한 정책 및 추진전략에 관한 연구 동향이다.

스마트공장의 정의, 추세를 조사하고 그에 따른 구축 정책이나 방법론의 논문이 주류를 이룬다. 정책 부문에서는 공통으로 한국형 스마트공장 구현과 기업 상황을 고려한 구현이 많이 등장하였으나, 더 구체적인 세부적인 정책이나 방법론은 제시하지 않은 것으로 판단된다.

두 번째, 스마트공장 추진 사례연구의 경우 해외의 일부 대기업을 제외하고 국내 중소기업의 스마트공장 구현사례가 대부분이었다. 대기업은 정보보안 정책의 영향으로 연구 발표가 힘들었던 것으로 사료된다.

세 번째, 빅데이터에 기반한 지능형 MES 연구이다. 스마트공장의 핵심적인

기능이며, 이와 연관된 CPS, 데이터마이닝, 딥러닝 등의 동반 연구가 조사되었다. 데이터마이닝, 딥러닝 관련 논문의 경우 설비 고장 예측, 품질관리 모형 제시 등의 연구를 구축사례로 그 적용 분야가 아직 기초적이고 제한적임을 알 수 있다. CPS 관련 연구에서는 스마트공장을 대표하는 기술이라고 대다수 논문에서 주장하고 있으나, 국내 대기업을 포함하여 이를 직접 구현한 사례연구는 부족하다. 또한, 스마트공장에서 기본 구성요소인 MES와 스마트공장과의 사례분석 관련 연구는 다수 있었으나, ERP와 스마트공장과의 상호 영향성 및 통합성에 관한 연구는 극히 적은 그것으로 조사되었다.

스마트공장의 선행연구 조사와 동향 분석을 통하여 나타난 시사점은 아래와 같이 정리하였다.

스마트공장 관련 연구는 양적 연구보다는 질적 연구의 비중이 높았으며, 그에 따른 구축 사례연구나 정책 논문이 주류를 이루었다. 예를 들면 심재훈(2017)은 스마트공장의 지속적인 추가 연구를 통하여 규모와 산업 특성에 맞는 스마트공장 솔루션을 확보하는 것이 중요하다고 하였다[30]. 그리고 스마트공장 지속성을 위하여 중소기업 스스로 주도하는 스마트공장에 관한 방안 연구가 필요하다고 지적하였으며, Wang, L(2015)은 스마트공장 도입의 가장 큰 장애 요인은 제조업의 낮은 수익성과 비교되는 불확실한 미래에 대한 대규모 투자라고 하였다. 이러한 사유로 공정 작업장에서부터 점진적인 도입 전략이 필요하다고 하였다[84].

양적 연구에서는 데이터마이닝이나 딥러닝을 적용하여 데이터를 해석하고 원인을 예측하는 연구의 비중이 높았으며, 그중 설비 고장 및 품질관리 모형에 관한 연구대상이 주류를 이루었다. 그리고 ICT 기술을 활용하여 설비 센서를 통한 공정데이터 통합과 빅데이터 분석을 통하여 이상징후를 조기에 감지하는 플랫폼이 제시되었다. 빅데이터 기술을 활용한 스마트공장 연구는 활발하게 진행되고 있으며, 궁극적으로 스마트공장의 핵심 기술인 CPS의 바탕이 된다고 할 수 있다. 국내의 연구는 현재까지 주로 시뮬레이션과 미들웨어, 연동 등 모델링과 통합에 집중되어 있으나 제조업 중심의 CPS 구현사례 발굴이 필요하다[3].

무엇보다도 전사적 자원관리 시스템인 ERP와 생산공정관리 시스템인 MES의 통합은 스마트공장 구현 이전에 선결되어야 할 통합 정보시스템의 전형적인 모델이다. 결국, 스마트공장 구현을 위해서 해당 시스템 혹은 컴포넌트가 우선하여 고려해야 할 사안이 무엇인지에 관한 연구조사가 필요하다. 이러한 측면에서 스마트공장으로 진입하기 위해서는 지능형 MES의 구현이 중요하다[61], [25].

제2절 TOC에 대한 이론적 연구

TOC(Theory of Constraints, 제약이론)는 이스라엘 물리학자이며 경영학자인 엘리 골드랫 박사가 1970년대부터 연구한 사상과 개념을 집대성한 경영 패러다임이다. TOC의 기본 개념은 시스템의 제약과 부하에 초점을 맞추어 제약자원, 공정을 찾아 집중 관리함으로써 시스템 전체의 처리능력을 개선시키는 기법이다[67].

TOC이론에서 DBR(Drum-Buffer-Rope)분야는 제약자원의 생산능력이 전체 시스템의 생산 처리능력을 결정한다는 전제 가설을 가지고 있으며, 구성요소는 다음과 같다. Drum은 시스템의 전체 상태를 제어하는 것으로 일종의 제약자원이다. 제약자원은 전체 공정의 속도를 나타내며, 가장 취약한 자원을 CCR (Capacity Constraints Resource)로 정의한다[37]. CCR은 품질, 생산능력, 시장수요, 업무규정, 의사결정 기준, 경영철학, 정책적 갈등 등 기업 전반에 걸친 프로세스에서 발생이 되는 중요한 제약자원이다.

제약의 종류는 아래와 같으며 본 연구에서는 물리적 제약을 사용하였다.

Table 2.4 제약의 종류

구분	정의	종류
물리적제약 (Physical Constraint)	물리적 유형의 것이며 직관적으로 쉽게 인식할 수 있는 제약	설비의 성능,작업자의 업무능력, 자재, 품질, 공간의 가용성 등
시장 제약 (Market Constraint)	제품과 서비스에 대한 수요가 조직의 능력 이하일 경우. 수요가 다른 어떤 방식으로 이익 성과를 제한하는 제약	여러 가지 서비스나 제품에 대한 고객으로 부터의 수요
방침 제약 (Policy Constraint)	물리적이 아닌 제약	조직의 전략적, 전술적 의사결정을 지배하는 평가지표, 평가 방법의 전체 시스템과 사고방식

DBR에서 Buffer는 고장, 결품, 결근 등 예상되지 못하는 혼란 요인으로부터 CCR을 보호하기 위해, 공정 위험 요인들을 완충하는 역할을 한다. Buffer는 제약자원을 보호하기 위한 Buffer, 비제약 부품의 지연을 예방하는 조립 Buffer, 출하를 지원하기 위한 출하 Buffer로 구성이 된다[51].

그리고 Rope는 CCR과 첫 번째 공정 간의 통신 장치이며, CCR 속도에 맞추어 시

작공정에 자재가 투입되는 속도와 볼륨을 제어하는 역할을 수행한다[31]. CCR 중심으로 여러 공정을 Rope로 결박해 놓은 것처럼 그룹으로 공정제어를 수행하기 때문에 Rope라는 명칭을 사용한다.

TOC를 통하여 식별된 CCR은 인력투입, 설비투자 등 비제약자원으로 전환하기 위한 개선 활동을 수행함으로써, 전체 프로세스의 능력을 향상시킬 수 있다. TOC는 이러한 배경을 바탕으로 ERP 생산계획 단점을 보완한 유한 생산계획 시스템(Advanced Planning & Scheduling, 이하 APS)과 ERP, MES에서 생산계획시스템의 핵심 도구로 사용되고 있다.

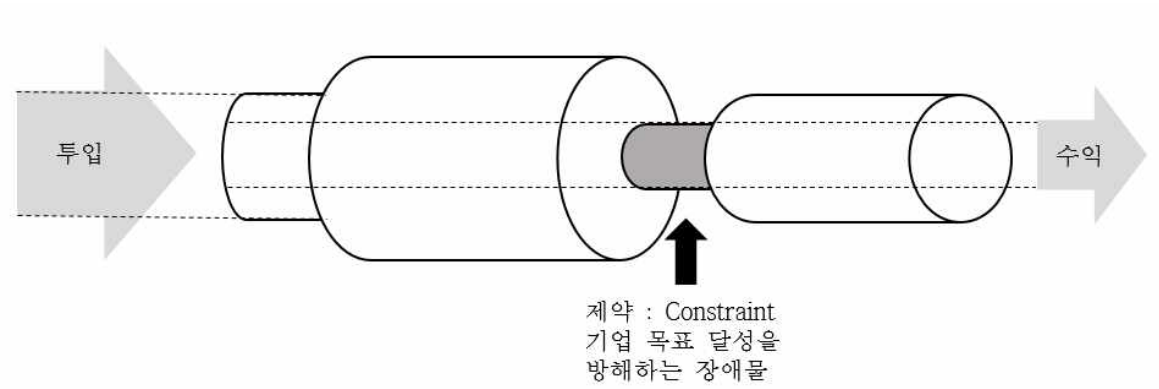


Fig. 2.1 제약에 대한 이해

TOC는 물류/생산 분야, 재무/회계 분야, 그리고 문제 해결을 위한 방안과 정책 수립 중심으로 시스템 개선에 활용된다. 시스템 개선에 있어 제약을 규명하고 이 대상제약을 중심으로 의사결정을 수행하는 것이 핵심이다. 시스템에 있어 제약은 변동성과 종속성의 결합 때문에 발생한다. 상호 종속된 시스템 자원들은 고리로 연결되어 있으며, 가장 약한 고리가 제약이 된다. 그리고 이것이 전체의 가용한 능력이 된다.

따라서 전체 시스템의 가용능력을 증대시키기 위해서는 약한 고리를 찾아내어 강화해야 한다. 약한 고리를 찾아내고 강화하게 되면 다른 고리가 다시 약한 고리로 변환하게 된다. 다시 강화하는 사이클을 반복 수행하여 전체 고리의 강도를 반복적으로 계속해서 높여나가는 활동을 '집중개선 5단계'라고 한다.

집중개선 5단계의 절차와 방법은 아래와 같다.

제1단계 : 제약을 탐색한다. 목표의 달성 하는데 제약이 되는 자원이 무엇인지 파악하는 단계이다. 공급할 수 있는 능력이 수요보다 적은 자원들이다.

제2단계 : 제약을 활용한다. 제약자원의 능력이 전체 시스템의 능력이다. 추가적인

투자 없이 제약자원의 숨겨진 능력을 찾아내어 효율을 극대화하는 것이다.
제3단계 : 비 제약은 제약에 종속된다. 제약자원의 능력은 비 제약자원의 능력보다 작다. 따라서 제약자원 앞에 과다한 재고가 쌓이거나 대기행렬이 발생한다. 비 제약자원은 제약자원의 속도에 맞추어져야 한다.
제4단계 : 제약을 확장 시킨다. 제2단계에서 최대한 가동 후에도 지속해서 제약공정으로 남아있다면 인력 증대나 새로운 설비투자를 해야 한다.
제5단계 : 제약 변동을 점검하고 개선을 반복 수행한다. 제4단계의 결과로 제약요인이 제거되어 비 제약으로 변환하면 다시 1단계로 돌아가서 반복한다.

1. TOC 체계

TOC의 체계는 쓰루풋(Throughput)회계, DBR(Drum-Buffer-Rope) 스케줄링, 사고(Thinking) 프로세스, Critical Chain으로 나뉘는데 [Fig. 2.2]와 같다.

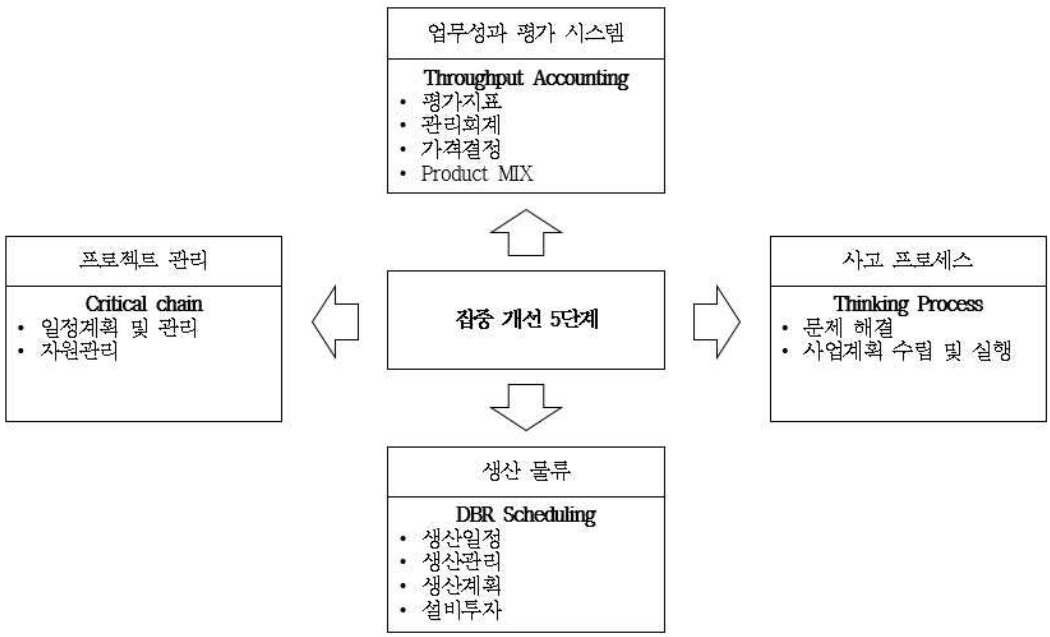


Fig. 2.2 TOC 체계와 집중개선 5단계 적용 범위

TOC 쓰루풋회계는 관리회계에 있는 한계이익(매출액-변동비)의 개념을 그 중심사상으로 발전시켜, 고정비를 매몰원가(Sunk Cost)로 처리하는 개념이다.
전체성과를 극대화하기 위하여 제약자원의 한계이익을 중심으로 경제성을 평가한다.

DBR(Drum-Buffer-Rope) 스케줄링은 자원이 유한하다는 가정하에서 계획을 수립하는 방법으로, MRP / CRP의 무한 생산능력 계획의 단점을 보완한다. 주로 ERP 시스템을 비롯한 공급망 관리시스템 구축에 적용된다.

사고(Thinking) 프로세스는 의사결정을 위한 논리 나무(logic tree) 다이어그램들을 제공하여, 관리자가 정책에 대한 개선 활동을 가능케 한다.

Critical Chain의 프로젝트 관리는 작업순서를 충족하며 자원을 중복적으로 사용하지 않는 공정으로 구성이 된다. 다양한 버퍼 시간으로 실행 도중 예기치 않은 이벤트가 납기에 영향을 미치지 않도록 한다.

2. DBR스케쥴링

DBR은 Drum, Buffer, Rope를 반복적인 싸이클을 통하여 생산계획을 수립한다. 제약자원이 공정, 일정의 대표성을 가지고 있으므로 Drum으로 행진의 속도를 제어 통제하듯이 제약자원 기준으로 생산계획을 작성한다. (Drum).

제약자원에는 공정의 대기시간, 다른 표현으로 대기행렬이 발생하기 때문에 이를 완충하기 위한 버퍼의 크기를 결정한다. (Buffer)

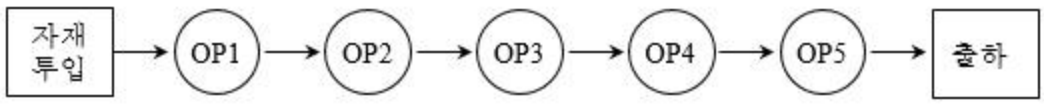


Fig. 2.3 일반적인 제조공정

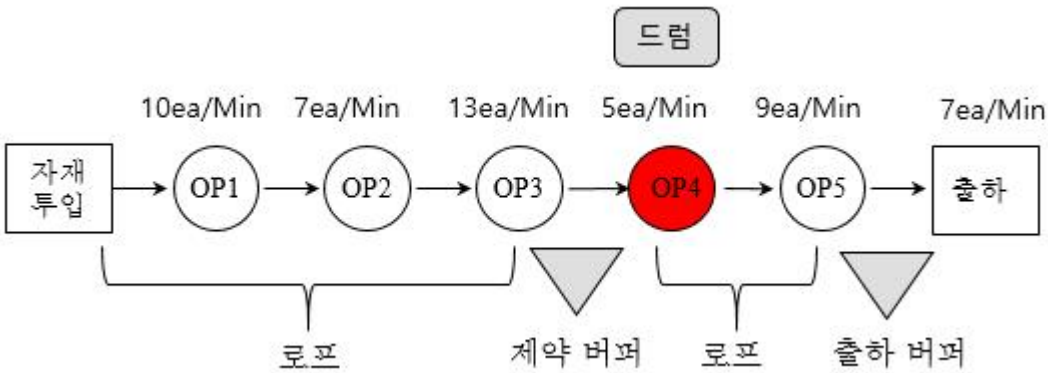


Fig. 2.4 DBR 적용한 경우

DBR에서는 Drum의 속도와 Buffer의 크기에 따른 원자재 투입계획을 작성한다. 버퍼부터 원자재 투입 시점까지의 거리, 시간을 산정하여 하나로 그룹화한다고 하여 로프(Rope)라고 명명한다. 부연설명을 하면 위 그림에서 4번 공정은 다른 공정

에 비해 생산능력에 많은 제약이 발생하기 때문에 병목 공정으로서 제약자원이 된다. 해당 생산라인의 생산능력은 제약자원인 4번 공정 생산능력인 5ea/Min이다. 그리고 제약자원의 생산능력을 보호하기 위하여 제약 버퍼를 설정한다[50].

그리고 제약자원을 통한 생산 스케쥴링을 하기 위해서 출하 버퍼와 제약자원 간의 로프의 길이를 역산하여 생산계획을 수립한다. 원자재 투입의 경우 마찬가지로, 제약 버퍼와 로프의 길이를 재산정하여 투입 자재의 시기를 결정한다.

이러한 지속적인 개선 활동을 통하여 4번 공정의 생산능력이 향상할 경우 제안공정은 2번 공정으로 변동이 되며, 다시 해당 제약공정 기준으로 스케쥴링을 시도한다. 결국 라인 흐름 효율성 증대로 생산성이 향상된다.

제3절 진화하는 ERP

ERP는 기업 경영활동과 기업 전체 자원과 프로세스를 상호 유기적인 통합 정보시스템으로 구축해 줌으로써 기업 가치를 향상 시키는 프로세스에 기반을 둔 IT 경영혁신 기법이다. 그리고 기업 전반의 프로세스를 중앙데이터베이스를 기반으로 하여 저장, 통제 및 활용하여 기업에서 운영되는 프로세스를 시스템으로 처리할 수 있도록 하는 핵심 정보시스템이다. 기업은 구매 원재료 입고부터 완제품 출하까지 ERP를 통하여 프로세스 활동 유닛별 정보를 통합할 수 있으며, 경영 및 전략에 관한 의사결정에 필요한 정보를 신속하게 제공할 수 있다. 그리고 각 유닛 단위별 업무처리에 소요되는 물적, 인적 비용의 발생이 크게 감소하는 효과가 있다. 게다가 경영환경 변화에 따른 기업 내 사업구조의 변화와 프로세스 신규 생성, 통합, 변경, 삭제에 대한 시스템 적용 과제를 ERP에서 제공하는 산업별 표준 업무 설정 기능(Configuration)으로 제어할 수 있다.

그리고 표준 업무 설정 기능 외에 추가적인 고객 맞춤형 구축(Customizing)을 통하여 효과를 극대화할 수 있으므로 ERP는 많은 기업이 선택하고 구축하여 사용하고 있다. ERP는 1990년대 가트너가 제조업에서 사용하던 시스템인 MRP(Manufacturing Resource Planning)의 개념을 제조산업 이외의 다른 영역까지 확장한 개념이다. 그 이후로 ERP는 현재까지 기업의 핵심 기간 시스템으로 자리를 잡고 있다.

이미 포춘(Fortune)은 500대 기업의 80%가 ERP를 사용한다는 조사 결과가 있으며[68], 2015년 미래 창조 과학부 보도자료에서는 '우리나라 기업의 ERP 도입 비율은 38.4% 비중' 을 차지하고 있다고 한다. [19], 그리고 50인 이상의 종업원을 가진 기업은 50%가량, 1000인 이상의 종업원이 근무하는 기업의 경우 87.4%라는 높은 비율의 ERP를 도입한 상황이다[64]. 이러한 배경으로 인하여 ERP 도입이 국내기업에 미치는 정량적, 정성적 효과와 여러 분야의 영향력에 관해서는 다양한 연구가 이루어지고 있다.

ERP 도입 이후 성장 효과에 관한 연구는 다음과 같다.

강다연, 장황식(2009)은 ERP 도입에 대한 정량적, 정성적 성과에 대한 기준과 비교 연구를 통계적 가설을 통하여 성과에 대해 유의한 분석을 하였다[2].

ERP 도입으로 정성적인 성과에 대한 양의 상관관계가 있음을 통계적으로 검증하였으며, 정량적인 경우에도 매출액, 총자산의의 변수가 ERP 도입에 영향을 받는 것으로 분석되었다.

임규찬(2006)의 연구에서도 ERP 도입의 성공 요인을 정보적인 요인, 환경적인 요인으로 구분을 하여 ERP 시스템구현 성과에 미치는 영향을 검증하였다. ERP를 도입하면 기업과 생산성과 기업 가치에 양의 상관관계가 있다는 것에 문제를 제기

하지 않는다는 연구 결과를 도출하였다[48].

앞서 서론에서 언급하였지만, ERP 도입 이후에 생산성 역설에 관한 연구는 주목해 볼 만한 하다.

이장건과 정용기(2008)는 ERP 도입 효과에 관한 연구를 ERP도입전의 재무상황과 도입 이후의 재무상황으로 조사하였다[45]. 조사 결과에서 기업 수익성 분석의 경우 ERP 도입 이후의 수익성이 감소하는 경향을 보이며, 기업 성장 가능성에도 ERP 도입 이후가 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 또한, 공장 재고의 경우에도 재고자산 회전율이 오히려 감소하는 경향을 보이며, ERP 도입 및 투자에 명확한 투자 효과가 없는 것으로 생산성 역설(Productivity Paradox) 현상을 주장하였다.

위 연구에서와 같이 ERP가 기업의 정성적, 정량적인 영향을 미치고 있으며, 기업에 없어서는 안 될 중요한 기간 시스템으로 위치를 선점하고 있다. 이미 글로벌한 ERP 시장은 2000년대 초까지 SAP, Orcale, Jd Edwards. Baan등 다양한 ERP 벤더들이 시장경쟁을 하고 있었다. 그러나 2010년을 넘어서면서 프로세스에 기반한 SAP사의 ERP 솔루션이 시장에서 많은 우위의 점유율을 차지하게 되었다.

ERP는 그 이후에도 ERP 시스템을 중심으로 SCM(Supply Chain Management), P-LM(Product Life Management), CRM(Customer Requirement Management)등 Extended ERP를 비즈니스 속도에 발맞추어 개발을 추진하고 제품을 출시하였다. 그러나 ERP의 코어 모듈(영업, 생산, 자재구매, 원가, 회계)의 강력한 성능과 비교하여 상대적으로 대중성이 낮은 Extended ERP는 다른 3rd Party Solution과 ERP가 융합, 연계되면서 시장에서의 자리를 잃어가는 추세이거나 단종이 되는 현실이다.

하지만 ERP 선두 기업인 SAP인 경우 기존 디스크 기반의 관계형 DB 중심의 ERP가 아닌 인메모리 방식 DB를 기반으로 한 강력한 처리속도를 가진, 신규 ERP를 2015년에 출시를 하였다. 이후 신규고객 유치, 기존 시스템 업그레이드 및 시스템 전환에 많은 노력을 기울이고 있으며, 많은 기업이 도입 및 업그레이드에 적극적인 검토를 하는 현실이다. 그러나 이러한 변화는 기존 MIS(Management Information System)에서 ERP로의 변환 시점만큼, 파격적이고 혁신적인 사건은 아니라고 시장 전문가들은 평가하고 있다.

이러한 환경 속에서, 4차 산업혁명의 도래와 디지털 혁명은 전 산업 분야에 많은 변화가 발생이 되게 하고 있다. 빅데이터와 데이터 패턴 분석, 사물인터넷 기술(IoT), 센싱기술, Cloud, 인공지능(AI) 등이 대표적인 기술이다. 그리고 ERP는 4차 산업혁명의 도래와 맞물려 새로운 솔루션으로의 탄생을 준비하고 있다.

4차 산업혁명에서 중요한 요소는 데이터의 활용이며 기본 전제는 방대한 데이터 처리 방법과 데이터 품질이다. 특히 데이터 품질을 위해서는 ERP에서 사용되는

기준정보와 데이터를 어떠한 방식으로 채집하고 관리하는 것이 매우 중요하다. 따라서 데이터 관리와 통제를 하는 방법과 산업별 기업 상황에 맞는 맞춤형 구축 전략과 플랫폼이 필요하다,

제4절 ERP의 생산관리 기능

ERP에서 생산관리 모듈의 기능은 마스터 데이터 관리 부문, 생산계획 수립 부문, 생산실행 및 분석 부문으로 구성이 되어있다. 그리고 원가 부문, 영업 물류, 구매관리, 설비관리, 품질관리와 같이 다른 업무 모듈과 통합이 되어 사용되고 있다. 그리고 MES, PLM, APS등 다른 응용 프로그램들과의 인터페이스를 지원하고 있다. 생신 기준정보들은 작업 지시서의 일정계획을 수립, 제조원가의 계산, 원자재 소요량의 계산, 작업장의 부하를 계산하는 생산관리 전반에 필요한 기준정보를 제공하고 있다.

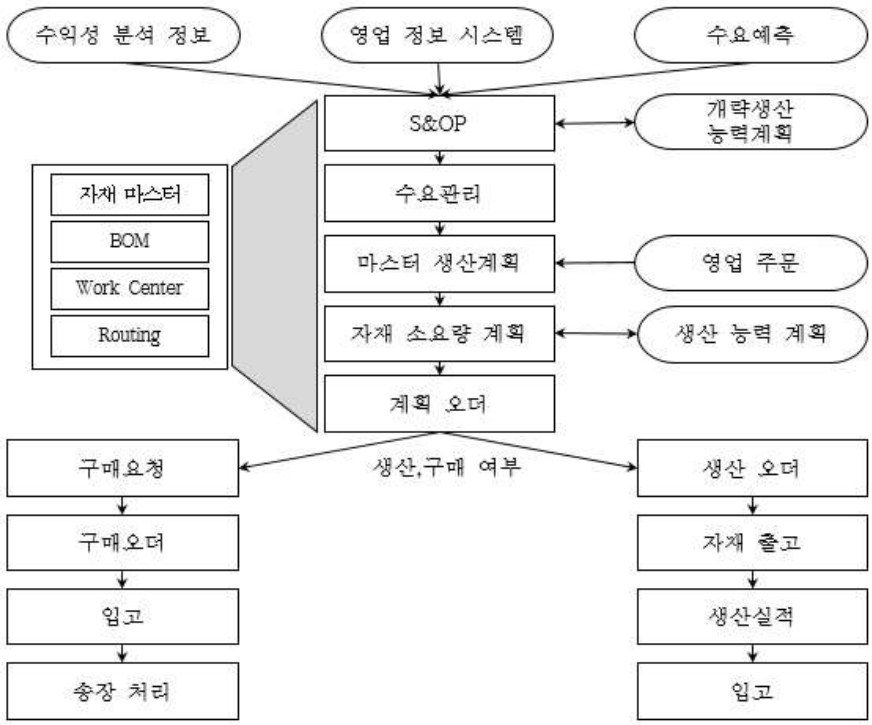


Fig. 2.5 ERP 생산관리 프로세스

생산에 대한 기준정보는 크게 자재 마스터(Material Master)와 부품표(Bill of Material, 이하 BOM), 작업장(Work Center), 공정 순서도(Routing)로 구성이 되어

상호 간의 정보연결이 되고 있다.

이러한 기준정보를 바탕으로 생산에서는 제품의 특성을 고려한 생산계획을 수립할 수 있다. 그중 생산기준정보인 작업장과 표준공정도에 이해는 [Fig. 2.7]과 같다.

1. 작업장(Work Center)

ERP에서 작업장(Work Center, 이하 작업장)은 공정이나 설비에서 작업해야 하는 장소, 혹은 작업자그룹 또는 기계설비들로 표현된다[8]. 구현단계에서 대부분 여러 개의 주요설비를 하나의 작업장으로 생성한다. 작업장은 생산행위가 처리되는 장소나 위치로 정의된다. 작업장에는 기계 대수와 가동률, 일정계획 공식을 정의할 수가 있다. 일부에서는 Machining Center나 Capacity Center로 부르기도 한다. 공정 성격에 따라 작업장은 기계, 사람, 생산라인, 자원과 같은 것들로 정의한다. 회계 측면에서 작업장은 관리회계의 비용 집계처(Cost Center)와 연결되어, 표준원가(Standard Cost)를 계산하는 중요한 역할을 한다. 즉 해당 공정의 생산실적은 각 작업장으로 집계가 된다. 작업장은 귀속된 비용 집계처로 가공시간 같은 실적을 다시 전송하게 되며, 비용 집계처는 실적을 집계하여 회계결산 시 직접 노무비 계산의 중요한 자료로 사용된다.

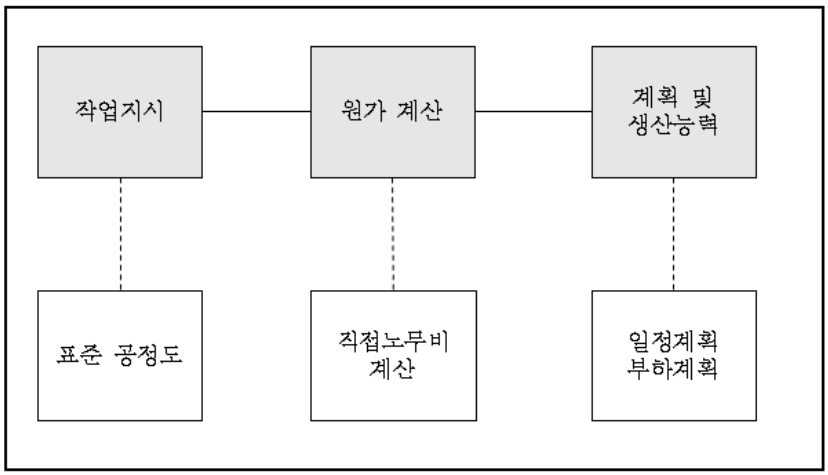


Fig. 2.6 작업장의 기능

작업장은 표준공정도에 Operation(공정)의 구성요소로 사용이 된다. Operation에는 작업순서가 정의되어 있으며 각각의 작업순서와 작업장의 조합으로 작업지시가 이루어진다. 생산계획을 수립하고 부하계획을 평가하는 과정에서 작업장의 생

산능력 함수와 일정계획 함수는 생산계획 수량과 표준공정도의 표준시간을 매개변수로 활용하여 일정계획과 부하계획을 수립할 수 있게 한다.

ERP에서 작업장은 산업별로 특화되어 관리 되고 있으며 일반적인 제조산업의 경우 작업장(Work Center)로 사용이 되고, 관(Pipe)이나 반응기(Reactor)와 같은 설비를 사용하는 프로세스 산업(ex:정유, 주조)의 경우에서는 자원(Resource)라는 별도의 작업장으로 사용을 한다.

[Fig. 2.6]에서 확인할 수 있듯이 작업지시와 원가계산 생산능력계획을 수립하는 역할을 하고 있으며 ERP 품질 영향도에 많은 영향을 미치는 중요한 인자이다.

2. 표준공정도(Routing)

표준공정도는 생산을 수행하기 위한 작업순서와 작업방법을 가진 생산기준정보 중의 하나이다. 작업장을 통해서 구현되며, 생산계획과 작업지시의 기본 자료로 사용된다. 또한 자재명세서(Bill Of Material, 이하 BOM) 단계 중 반제품과 완제품이 해당 표준공정도에 연계되어 사용된다. 따라서 표준공정도는 제조현장이나 공장에서 제품을 만들기 위한 순서로써 작업 장소, 표준시간, 작업량 정보를 포함하고 있다. 다시 말해, 작업장순서의 나열이 표준공정도라고 간주할 수 있다[8].

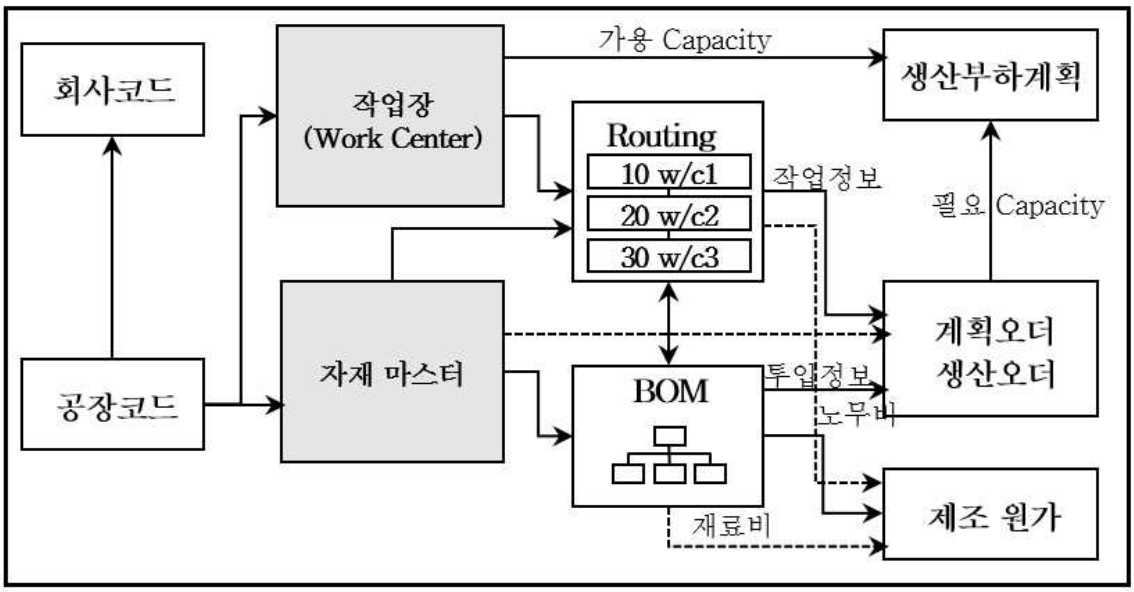


Fig. 2.7 생산기준정보의 통합성[8]

[Fig. 2.7]을 보면 표준공정도는 자재 마스터의 완제품 혹은 반제품을 대상으로 생성이 되며, 공정에서 작업해야 할 작업순서를 정의하고 있다. 작업순서에는 개

별 작업장이 지정되어 있으며, 공정순서(Operation)라는 형태로 완성된다. 각각 공정순서에는 기준 작업 수량대비 표준시간 정보를 포함하고 있다. 표준시간 정보는 계획 물량을 생산하기 위한 설비, 작업 인원의 생산량 기준이 되며 공정효율 측정의 척도로써 사용된다.

표준공정도는 MPS(Master Production Scheduling), MRP(Material Requirement Planning), CRP(Capacity Requirement Planning)과 같은 생산계획 프로세스에서 상세계획 정보, 제품 리드타임, 필요한 자원의 양을 계산하는데 기초 자료로 사용이 된다. 만약 표준공정도의 정보가 생산라인 현상을 반영하지 않고 신뢰도가 없다면 생산계획 수립에 나쁜 영향을 미치게 되어 원활한 생산계획 수립을 할 수 없게 된다.

표준공정도는 BOM과 연계되어 목표 공정에 투입되어야 할 자재투입 정보를 가지고 있으며 공정순서마다 자재 투입정보와 수량이 지정되어 있어 생산 레시피 역할을 수행한다. 이렇듯 자재 마스터, 작업장, BOM, 표준공정도는 통합 연계가 되어 생산원가계산과 생산계획을 위한 용도로 사용된다.

작업장과 마찬가지로 정유와 같은 프로세스 산업에서는 표준공정도와 유사한 Master Recipe라는 별도의 특화된 표준공정도 기능을 사용한다. 작업장 대신 자원(Resource)를 포함하고 있으며 순차적인 작업정보와 공정을 순환하는 회전(Recursive)정보를 가지고 있다.

작업장과 표준공정도는 ERP 설계와 구현단계에서 성공적인 시스템구현의 중요한 요소 중 하나이다. 구현하고 운영하고자 하는 시스템의 표준공정도를 어떻게 정의하고 설계하느냐에 따라 공정관리에 많은 영향을 미친다.

본 논문에서는 TOC이론을 적용하여 작업장과 표준공정도를 재정의하는 것을 소개한다.

제5절 ERP 솔루션 현황

ERP는 크게 국산 ERP 솔루션과 외산 ERP 솔루션으로 나누어져 있다.

IDC에 따르면 2019년 기준 국내 ERP시장 규모는 3,200억원 규모이며 1위는 31.6%를 점유한 SAP이며 2위가 19.2%를 국내 ERP벤더가 차지하고 있다. 중견기업 및 주요 대기업 시장은 외산 ERP인 SAP가 장악하고 있으며 중소기업 시장에서는 국산 ERP가 시장을 주도하고 있다. 국내 ERP 벤더 또한 시장확대를 위하여 중견기업 이상 대기업 시장으로 진출을 꾀하고 있다.

외산 ERP 솔루션의 경우 국내 대기업 및 규모가 있는 중견기업 이상의 기업에 구축이 되어 사용되고 있으며, 국산 ERP의 경우 그 성능과 시장성이 점점 확대되

어 가고 있다.

국산 ERP와 외산 ERP와의 가장 큰 차이는 각각 ERP의 탄생 배경에 있다. 국내에서 대표적으로 사용되는 외산 ERP의 경우 탄생 배경이 제조업을 위한 MRP(Material Requirement Planning: 이하 MRP)와 같은 프로그램으로 시작하여 구매, 품질, 영업, 회계, 원가의 다른 모듈로 확장이 되어 발전 진화가 되었으며, 탄생 시점부터 통합 DB 기반으로 설계가 되어 발전되었다. 각각의 모듈로 분화가 되어도 통합 DB 기반하에 서로 연결이 되어있어 생산, 물류, 영업과 같은 영역에서 자재의 이동, 출고, 생산의 행위가 발생이 될 때마다 이와 연계된 회계 정보, 자재 정보가 실시간으로 발생이 되고 상호 통합 연계가 되어 관리가 된다. 특히 표준원가 기능은 다른 솔루션에 비해서 강력한 기능을 가지고 있다. 표준원가의 기준이 되는 BOM, Routing, 원부자재 단가, 투입공수 단가, 간접비에 대한 기준정보를 기준으로 표준원가(제품 단위 원가)를 생성하여 관리가 되며, 자재 이동, 출고시에도 실시간으로 전표가 발생이 되는 장점을 가지고 있다. 그리고 다양한 산업군을 지원하는 비즈니스 프로세스가 포함되어 있어 기업이 수행해야 할 업무 기준과 표준 프로세스를 제공하고 있다.

반면 국산 ERP 솔루션의 경우 대부분 탄생 시점부터 중소기업에서 회계 관리 목적으로 구현이 되어있어 재무/인사/판매/재고와 같은 단위 업무 중심으로 개발되어 사용되고 있다. 그리고 사용자 및 사업대상이 많아지고 수요가 늘어감에 다른 모듈을 확장하면서 발전되어 왔다. 이러한 배경으로 국산 ERP 솔루션의 경우 중견기업과 중소기업의 회계 관리 영역에서는 최적화되어 있다. 표준원가 기반의 실시간 전표 발행 기능은 R&D와 시험 버전 테스트로 완성화 작업을 하고 있으나 상세하고 전문적인 제조업 프로세스 기능 지원에 대해서는 아직 외산 솔루션과 비교하면 부족하다는 다수의 의견이 있다.

이렇듯 외산 솔루션이 국산 ERP보다 기술적인 배경과 기능이 우위에 있지만, 외산 솔루션의 생산관리 영역 중 생산계획 부분과 공정관리영역의 기능은 다소 미흡하다는 평가를 받고 있다.

제6절 ERP 생산관리 기능의 문제점

MRP에서 개발이 되었으며 제조산업별 다양한 프로세스를 보유하고 있는 외산 ERP도 생산관리 영역 기능이 미흡하다는 평가의 이유는 제조업 특유의 다양성과 복잡성 때문이다. 회계, 자재구매, 영업 등과 같은 업무들은 산업을 초월하여 프로세스 표준화와 정형화가 되어있으며 ERP에서도 마찬가지로 해당 모듈에 대해서 표준화된 프로세스를 제공할 수가 있다. ERP는 다양한 산업군의 비즈니스 프로세

스를 포함하고 있지만 생산 모듈의 경우 제조의 다양성과 최적화된 ERP 기능을 산업군별로 완벽하게 지원하는 것은 현실적으로 불가능하다. 물론 Cycle Time과 공정 흐름이 일정한 산업은 ERP 생산 모듈에서 원활하게 지원을 할 수가 있다. 다만 Lot 단위로 이동을 하며 공정마다 대기시간이 발생하는 제조산업의 경우에는 ERP 생산 모듈에서의 원활한 지원이 상대적으로 미흡하다. 이러한 사유로 ERP 구현단계에서 해당 산업에 정통한 컨설턴트의 역량과 별도의 Customizing이 필요하다.

ERP에서 제공되는 생산계획 기능은 예측(Forecasting) 및 생판 계획(Sales & Operation Planning, 이하 SOP)단계부터 기준계획(Master Production Planning), 자재소요량 계획(Material Requirement Planning), 장납기 자재투입계획(Long Term Planning), 개략 능력 소요량 계획(Rough Cut Capacity Planning), 능력 소요계획(Capacity Requirement Planning) 등으로 이루어져 있다.

주요한 문제점은 아래와 같다.

1. SOP(Sales & Operation Planning)

SOP는 영업 모듈의 영업과 정보시스템(Sales Information System)과 생산 모듈의 기준계획(Master Planning)단계와 통합되어 있으며, 판매계획과 생산계획 사이의 연결 관계를 나타내고 있다. SOP의 주요 목적은 중장기적인 측면에서 판매물량계획 수립과 생산계산 및 생산 자원 등을 고려하여 이를 반영하는 개략적인 생산물량계획을 수립하는 것이다. SOP는 MRP II(Manufacturing Resource Planning)를 근간으로 하는 조달계획 수립 단계로, 공급체인(Supply Chain) 내에서 별도로 존재하는 계획을 통합하는 데 그 목적이 있다. 예측과 생판 계획(SOP)은 기업경영을 위한 계획과 물류 부문의 계획에 있어서 필수적으로 수행해야 하는 핵심기능이다.

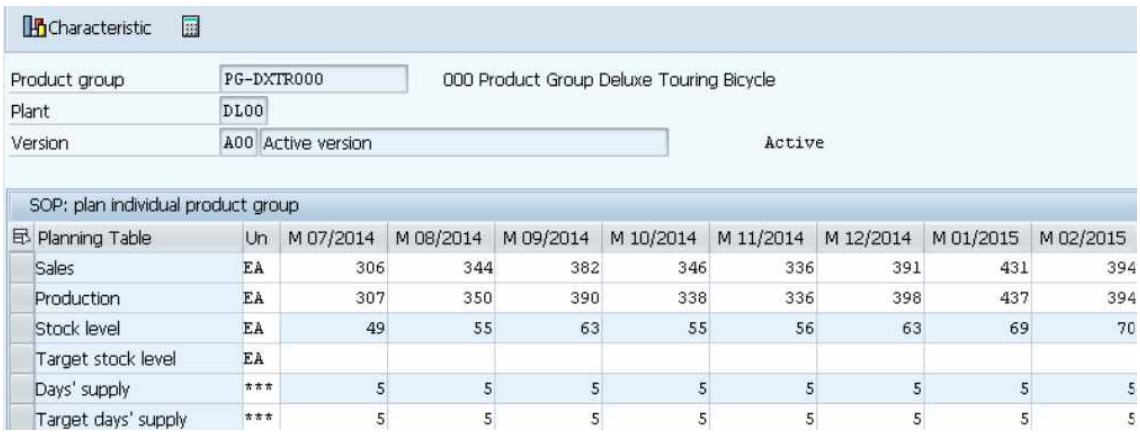
SOP 단계에서는 대량의 자료가 사용되는 BOM 전개를 통한 세부적인 계획 및 공정을 통한 일정계획의 실행은 하지 않는다. 즉 SOP의 주요 목적은 판매 및 생산계획을 수립하고 이에 대한 대상의 가능성을 검사하는 것으로 또한 이러한 계획단계를 통하여 실제의 기준계획과 구분하는 것이 SOP이다. SOP의 수행 단계로서는 1단계 판매계획을 수립하고(Sales Planning), 2단계 기간에 의한 생산계획을 수립한다. 그리고 안전재고, 공급일수, 이월 재고 등의 변수를 고려하여 생산계획량을 조정하고 최종생산물량을 확정하여 MPS를 수행하도록 지원한다.

반면 ERP에서 SOP의 단점은 다음과 같다. SOP를 수립하기 위한 기본적인 정보는 영업의 판매계획 정보를 바탕으로 수립된다. 기업마다 판매계획을 수립하는 절차와 용도가 각각 다르겠지만, 금액 기준의 판매계획과 예측 판매량 기준의 판매

계획을 수립할 수가 있다. 그러나 ERP 시스템에서는 판매량 기준으로 판매정보를 수립해야 한다. 금액이나 가치 기준의 판매계획 수립을 할 수 없어서, 판매금액 위주의 사업목표를 기준으로 관리하는 영업현장에서는 예측 판매량 기준의 판매량 수립에 대해서 부담감을 가지고 있다. 그리고 SOP 수립에 대한 탄생 배경이 정확함보다는 개략적인 현황과 예측 수량의 모호함을 토대로 수립하기 때문에 SOP의 사용 여부에 대해서 회의적인 시각으로 보는 견해가 있다. 결국, 판매계획 수립 및 생산계획에 대한 생판 회의는 오프라인으로 진행을 하고 판매계획, 생산계획 물량에 대한 시스템 등록은 고려하지 않고 별도의 Excel이나 수작업으로 관리하는 경우가 많이 존재한다. 해당 Excel 파일에는 담당자 고유의 축적된 예측 기술과 다양한 엑셀 함수가 있으며 최적화된 생산 물량을 도출한다. 도출된 생산 물량은 독립된 소요량이라는 명목으로 ERP에 등록이 되어 후속 생산계획 프로세스를 진행한다.

마지막으로 정보관리 및 입력에 대한 문제점이다. ERP에서 제공된 SOP는 아래 그림과 같이 구성되어 있다. 화면 구성 및 DB에 데이터를 입력하는 과정에서 하나의 제품그룹 단위 아니면 제품 단위로 개별입력을 해야 하는 운영상 비효율적인 문제점이 존재한다.

사용자 또는 SOP 담당자는 이러한 사유로 ERP에서 SOP 사용을 효과적으로 사용하지 못하거나 별도의 추가 개발된 CBO (Customer Bolt On) 프로그램을 통하여 사용한다. 상황에 따라서 시스템이 아닌 오프라인에서의 작업을 수행하는 사례가 있다.


Characteristic

Product group PG-DXTR000 000 Product Group Deluxe Touring Bicycle
Plant DL00
Version A00 Active version Active

SOP: plan individual product group

Planning Table	Un	M 07/2014	M 08/2014	M 09/2014	M 10/2014	M 11/2014	M 12/2014	M 01/2015	M 02/2015
Sales	EA	306	344	382	346	336	391	431	394
Production	EA	307	350	390	338	336	398	437	394
Stock level	EA	49	55	63	55	56	63	69	70
Target stock level	EA								
Days' supply	***	5	5	5	5	5	5	5	5
Target days' supply	***	5	5	5	5	5	5	5	5

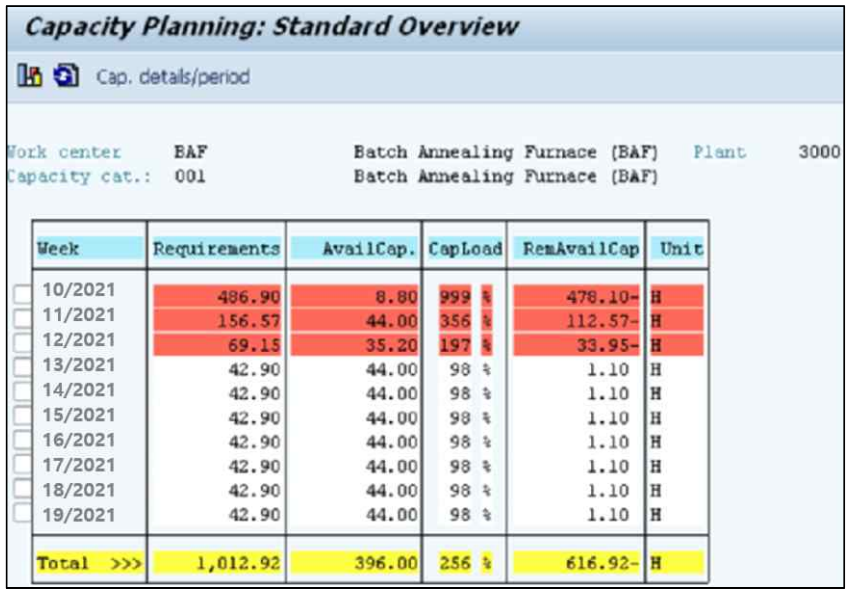
Photo 2.1 SOP 생성화면

2. CRP(Capacity Requirement Planning)

CRP는 ERP에서 제공되는 공정 부하를 고려한 생산능력 계획 방법이다. CRP는

단순히 생산관리에 국한된 기능은 아니고 영업의 주문 및 분배관리로부터 생산계획의 수립, 공장 설비의 관리, 프로젝트 사업관리 등 기업의 다양한 영역에 걸쳐 보유자원(Resource)을 효율적으로 관리하는 방법이다. 단기간의 생산능력평가 및 중장기 생산능력 평가에 사용이 된다. CRP가 제공하는 기능은 크게 4가지로 분류가 된다.

첫 번째 생산능력 평가(Capacity Evaluation)이다. 생산 능력평가는 작업장별로 가용한 생산 능력치(Available Capacity)와 소요되는 생산능력(Required Capacity)을 비교하여 과부하 여부를 판단하기 위한 것으로 사용자가 내용 및 그래픽 모형을 지정할 수가 있다.



Capacity Planning: Standard Overview

Cap. details/period

Work center BAF Batch Annealing Furnace (BAF) Plant 3000
Capacity cat.: 001 Batch Annealing Furnace (BAF)

Week	Requirements	AvailCap.	CapLoad	RemAvailCap	Unit
10/2021	486.90	8.80	999 %	478.10-	H
11/2021	156.57	44.00	356 %	112.57-	H
12/2021	69.15	35.20	197 %	33.95-	H
13/2021	42.90	44.00	98 %	1.10	H
14/2021	42.90	44.00	98 %	1.10	H
15/2021	42.90	44.00	98 %	1.10	H
16/2021	42.90	44.00	98 %	1.10	H
17/2021	42.90	44.00	98 %	1.10	H
18/2021	42.90	44.00	98 %	1.10	H
19/2021	42.90	44.00	98 %	1.10	H
Total >>>	1,012.92	396.00	256 %	616.92-	H

Photo 2.2 생산능력 평가 예시화면

두 번째 생산능력 조정(Capacity Leveling)의 경우 사용자의 요구에 맞추어 작업장의 계층구조를 구성하여 여러 작업장의 생산능력을 비교함과 동시에 조정을 지원하고 있다.

그리고 그래픽 형태나 TABLE 형태의 생산능력조정화면을 이용하여 과부하가 걸린 작업장의 부하를 조정하여 평준화시키는 작업을 한다. CRP 단점은 아래와 같다.

작업장의 Capacity와 표준공정도(Routing)의 표준시간, MRP의 무한 스케쥴링으로 ERP는 부하 공정을 계산하고 최적화하기 위한 대안을 제시하여 준다. 그러나 표준공정의 불확실성과 생산라인 현상을 반영하지 못하는 모델링 기법으로 일부 산업, 일부 공정을 제외하고는 실무자들에게 환영을 받지 못한다. ERP에서 제공하는 CRP 분석 및 생산계획 기법의 경우 생산 기준정보에서 정의한 기준 수치가 공장

상황을 반영하는 높은 신뢰도의 데이터로 구현되어야 한다. 그리고 반복적인 작업과 Cycle Time이 존재하는 일부 제약공정(Pharmacy), 프로세스 산업과 같은 환경 속에서 최적화된 생산계획이 가능하다. 반면 해당 사례를 제외한 산업 업종의 경우 ERP에서의 판매계획, 판매주문, 재고 등의 정보를 생산계획 담당자가 엑셀로 내려받는다. 그리고 별도로 제공된 생산계획 Template와 Data를 Merge 하여 라인별 생산 Capacity와 공정에 필요한 투입 인원, 생산작업의 우선순위를 정의하고 최종 확정된 생산계획을 ERP에 직접 등록하여 생산 오더를 발생하여 생산을 진행하는 방식을 한다. 아니면 이러한 일련의 프로세스를 다시 System 화하고 APS 와 연계하여 사용하는 사례도 있다. 일반적으로 비교적 많은 비중의 제조회사에서 생산계획자 또는 생산관리자는 엑셀 함수를 사용하여 생산라인의 특수성을 참작한 자체 알고리즘을 적용하여 사용하고 있다. 그리고 생산계획을 수립한 결과를 ERP에 업로드하여 생산 오더를 생성하고 작업지시를 수행한다.

문제는 이러한 방식은 지속 가능하지 않으며, 담당자가 휴가, 퇴사 시에는 고유의 생산계획 기법이 전달되지 않는 단점이 존재한다. 신제품 생산, 설비투자 등의 환경이 변화가 발생이 되면 즉각적인 생산계획 수립이 불가하다는 약점을 가지고 있다.

3. MRP(Material Requirement Planning)

1950년대 올리키(J. Orlicky)가 소개한 자재소요량계획(MRP)은 수요, 공급, 생산능력, 재고와 같은 정보와 BOM, 작업장, 표준공정도와 같은 생산기준정보를 기반으로 계산을 하여 자재소요량 계산 및 생산계획을 수립하여 준다.

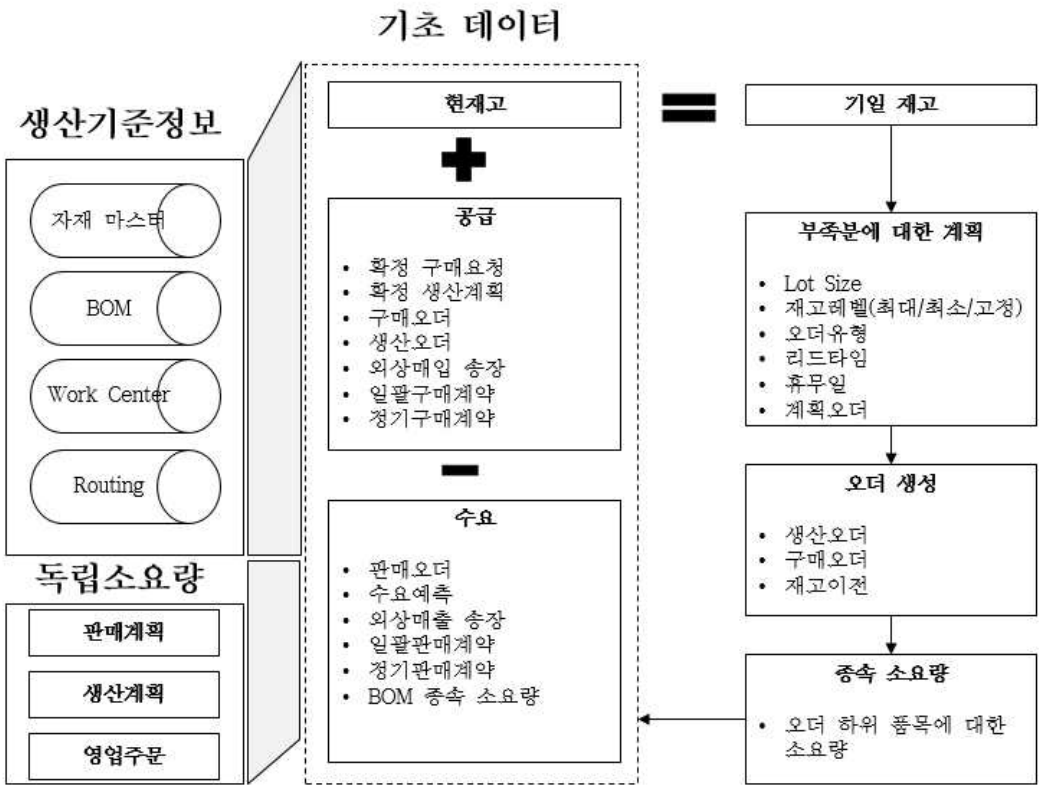


Fig. 2.8. MRP Process

MRP는 기업이 내부 목적이나 영업 및 판매 등의 목적으로 내부생산이나 외부조달하는 모든 자재를 적시, 적시에 공급할 수 있도록 하는 생산관리 부문의 하위 모듈이다.

수요에 대한 현재 재고와 미래 재고의 소비를 계산하여 가용재고를 확인하고 실제 필요량 순소요량의 파악, 조달 일정을 BOM 전개를 통하여 공급계획을 수립할 수 있도록 한다. 또한, 공장에서 관리하는 재고 중 소비 위주 자재를 위한 CBP(Consumption Based Planning)를 지원하여, 안전재고, 경제적 발주량, 재발주점 관리(Reorder Point)로 재고 부족, 단품 현상을 사전에 방지한다.

MRP는 자재관리 및 재고 통제를 위한 매우 효과적인 방법론이지만 입력되는 수요 정보가 정확하고 모든 자재는 정시에 정량이 준비되어 있다는 가정에 기반을 두고 있다. 효율적인 MRP를 사용하기 위해서는 생산기준정보, 판매계획, 재고 소

진전략과 같은 프로세스가 완벽하게 이행이 되어야 그 효과를 볼 수가 있다. 이러한 사유로 인하여 ERP가 구현되어 있어도 MRP를 사용하지 않는 경우가 흔치 않게 많은 기업에서 발견이 된다. 그 주된 문제점은 아래와 같다.

첫 번째 MRP의 발주 및 생산 리드 타임(Lead Time)의 비현실성이다. 리드 타임은 기업의 생산이나 구매행위에 있어서 매우 중요한 정보이다. 그리고 MRP에서는 리드 타임을 토대로 생산 및 구매계획을 수립한다. 그러나 ERP에서 등록된 리드 타임의 정보는 통계나 경험치로 얻은 근삿값이나 추정값으로 등록을 한다. 그리고 제조 리드타임의 경우 생산라인의 공정 대기시간이나 작업량, 기계 또는 작업자의 상태에 따라 가변적이기 때문에 획일화된 리드 타임을 MRP에 적용하기가 현실적으로 불가능하고 이로 인하여 MRP를 제대로 사용하지 못하는 원인이 된다.

두 번째 자원 무한성으로 인한 부적절한 스케쥴링이다. 앞의 생산관리 프로세스에서 확인하였듯이 ERP는 SOP, 마스터 생산계획, MRP, CRP에 이르는 계획 프로세스를 사용하고 있으나, 생산 자원이 유한하다는 가정을 하지 않는다. CRP에서 각 작업장별로 부하 자원에 대한 정보를 제시하여 주나, 생산계획자가 모든 상황을 판단하여 수작업으로 재조정을 수행한다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 생산계획 수립 시 자원이 유한하다는 가정과 작업의 우선순위 규칙을 고려하여 시뮬레이션하고, 하위 프로세스부터 최상위 계획 수립 프로세스를 통합하여 계획을 수립하는 APS(Advanced Planning Scheduling)나 APO(Advanced Planning Optimizer)가 다양한 수학적 알고리즘을 적용하여 사용되고 있다. 그러나 제조산업의 다양성을 포함하지 못하는 솔루션의 한계점과 ERP와의 통합성으로 인하여 일부 대기업에서 사용하는 사례 외에 대중적인 사례는 확인이 되지 않고 있다.

함용석은(2010)은 그의 연구에서 대기업 ERP 생산계획의 기능적 취약점을 SCM 생산계획 솔루션을 통하여 최적화된 생산계획 수립을 도모하였다. 그리고 대기업임에도 불구하고 생산기준정보를 관리하는 업무와 프로세스가 불분명하고 부정확한 생산계획 수립을 원인으로 주장하였다. 이러한 사유로 생산계획 최적화를 위해서는 기준정보와 제약조건을 관리하는 체계(Governance) 필요하다고 하였다. SCM 솔루션과 ERP와의 결합을 POST-ERP 생산계획이라고 하였으며, 일부 대기업 중심으로 ERP와 솔루션과의 결합시도가 진행되었다[60].

세 번째 계산처리능력 문제는 Computing 기술의 발달로 많은 문제가 해결되었다. 그리고 계산처리가 느려지는 주된 원인은 BOM의 깊이(Depth, Level)가 깊어지면 계산량이 기하급수적으로 많아지게 되어 느려지게 된다. 제조공정이 복잡하고 표준공정의 길이가 길며, 생산 반제품이 많은 경우에 이러한 현상이 발생이 된다. 최근에는 인 메모리 기술의 도입으로 이러한 문제점을 해결하고 개선하였으나, 제품개발 이후 R&D 단계부터 간결하면서 정확한 BOM 구조를 설계해야 한다.

제7절 대안으로서의 MES

다수의 제조업에서 경영의 효율화와 성과향상을 위하며 ERP를 도입하고 있지만, 일부 기업의 경우, 도입 취지에 부합하는 기대 효과를 거두지 못하는 사례가 발생이 되고 있다. 이는 제조 활동에서 발생되는 원시데이터들이 신속하고 정확하게 ERP에 입력되지 않는 것이 주요 원인이다. MES 또는 POP(Point Of Production)은 제조현장에서 발생하고 있는 정보를 실시간으로 수집, 분석하는 것이 주목적이다. 그리고 관리자는 신속하고 정확한 의사결정을 내리고 최적화된 생산이 가능하도록 한다. MES는 ERP가 운영되는 시점에서 생산현장과 ERP 간의 생산정보 연결을 위한 방안으로 개발이 되었고, ERP 기능 중 공정관리 문제점을 해결할 수 있는 대안으로 사용이 되었다. 이 때문에 많은 제조기업에서 성공적인 ERP 도입을 위한 MES를 구축하고 있다[26].

국제 MES 협회인 MESA(Manufacturing Enterprise Solution Association)에서는 MES를 전사 프로세스 관점에서 다음과 같이 정의를 하였다.

"MES는 주문부터 최종 제품이 생산될 때까지 공장 활동을 최적화할 수 있는 정보를 제공하며 정합성 있는 실시간 데이터를 취합하여 작업지시 및 공정관리를 통제하여 최적의 의사결정을 지원한다." 라고 정의를 하였다. 즉 생산공정 또는 라인에서 생산계획의 진행상태 및 실행 여부를 정확한 데이터로 실시간 관리를 함으로써 생산성을 향상시키는 장점이 있다.

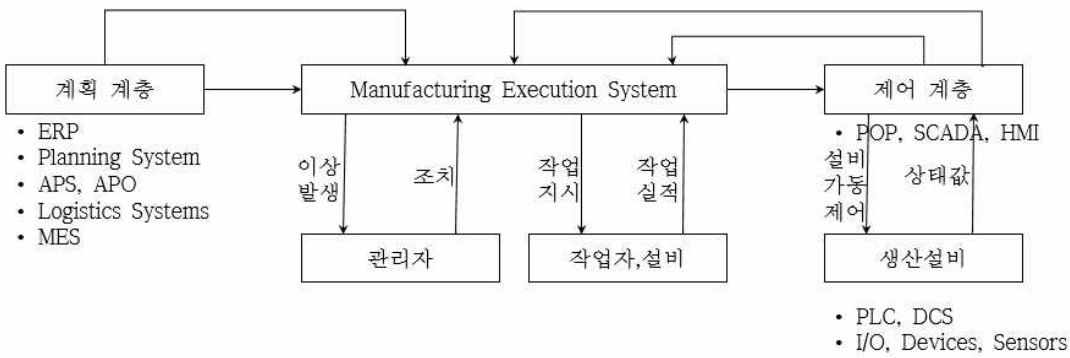


Fig. 2.9 MES의 기능

MES는 ERP 생산관리에서 공정관리 기능의 단점을 보완하는 대체 시스템으로 사용이 되고 있다. ERP와 연동을 하여 바코드, KIOSK 등과 같은 실적 Device로 자재의 입고, 출고를 관리하고, 원부자재의 수불에 대한 관리를 명확하게 할 수가 있다.

MES는 PLC, Moving 설비, 장비, 각종 Device 등을 제어하는 자동화 시스템과 인터페이스를 하고, 상위로는 계획 시스템 또는 ERP와 연계를 하여 최상위 계획 시스템부터 최하위 생산설비까지의 제어를 통합시켜주는 역할을 하고 있다. 추가 기능으로는 품질관리, 생산성 관리. 설비가동률관리, 설비보존관리 등의 기능을 제공하여 생산의 효율화를 기할 뿐만 아니라 각종 개선과제를 도출하여 Quality, Cost, Delivery Lead Time을 향상시키고 현금흐름을 개선 시킨다.

MES는 상위 시스템인 ERP에 생산현장에 대한 다양한 데이터를 실시간으로 제공하여 ERP가 최적의 생산 및 공정관리를 할 수 있도록 지원한다. 생산 공정관리에서는 생산라인의 양품 정보와 불량정보를 취합하여 사전 품질관리 등 품질 개선을 하고 원자재부터 완제품까지 효율적인 재고 파악 및 추적관리가 가능하게 한다. 이로 인하여 ERP와의 연동을 통하여 최고의 통합 정보시스템 시너지 효과를 제공하는 데 그 목적이 있다. 또한, POP(Point of Product), SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition), RTDB(Real Time Database)등과 통신 및 제어를 하여 공정 및 생산설비의 자동화를 가능하게 한다. MES는 산업별 공장별 특성과 경영환경에 따라 생산공정, 라인에 배치되는 설비특성을 고려하여 개발 및 구동되는 것이 중요하다.

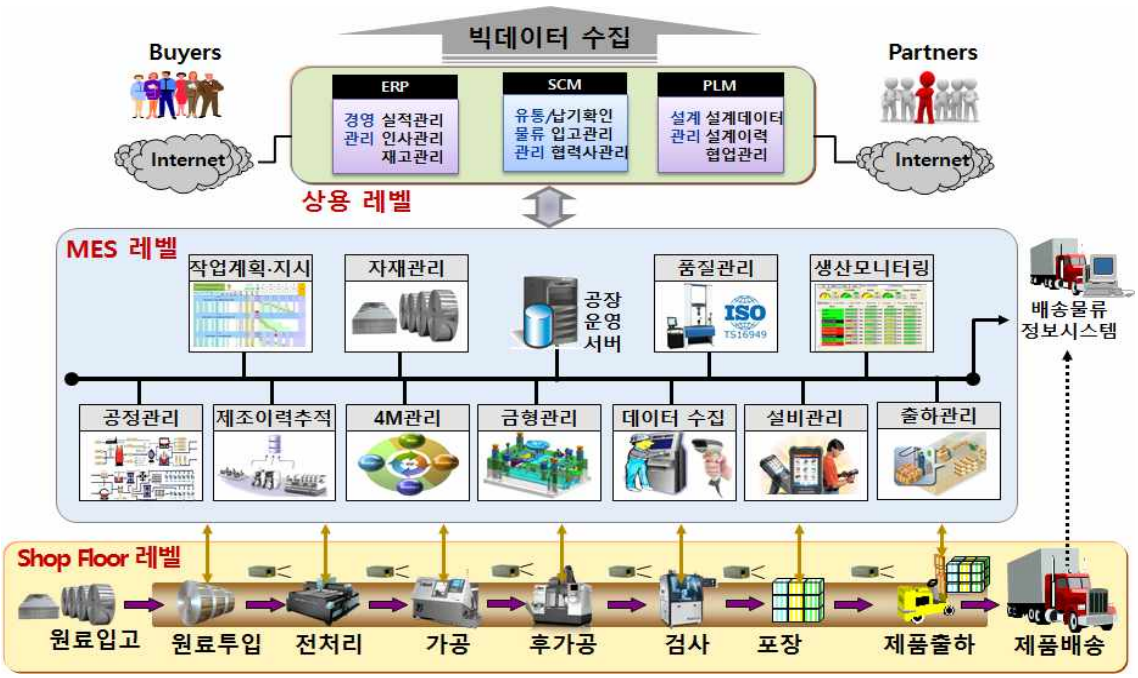


Fig. 2.10 빅데이터 분석의 정보제공자(https://www.comworld.co.kr/news/articleView.html?idxno=49525)

MES는 4차 산업 혁명과 스마트공장 구현에 있어서 매우 중요한 요소이다. 기존

MES의 기능 이외에 IoT, 빅데이터와 결합하여 고전적인 MES 기능에서 탈피한 지능이 있는 ICT 융합 MES, 지능형 MES로 변화가 지속되고 있다.

1. ERP와 MES

MES는 제조현장에서 발생하고 있는 정보를 실시간으로 수집, 분석하여 관련자 또는 관련 시스템에 신속하고 정확한 정보를 제공한다. 그리고 MES에서 수집된 정보를 바탕으로 의사 결정하여 최적화된 생산관리가 가능하게 된다. 또한, 품질관리, 인적 생산성 관리, 설비 가동률관리, 설비보전관리 등의 기능을 제공하여 생산의 효율화를 기할 뿐만 아니라 각종 개선과제를 도출하여 품질, 비용, 인도 기간 등을 향상하고 현금흐름을 개선한다. ERP 생산실행 프로세스의 경우, 제조산업의 다양성, 공정관리의 특수성과 복잡성 때문에 ERP에서 제공되는 생산관리 기능으로 관리하고 통제하는데 기능상의 한계점을 가지고 있다. 따라서 일반적으로 ERP 시스템을 구축한 다수의 제조업의 경우, 마치 바늘과 실처럼, ERP를 Main System으로, MES를 Sub System으로 사용한다. 즉 MES를 통하여 세부 공정관리를 수행하고, 공정현장 데이터에 기반한 의사결정이 실시간으로 이행될 수 있도록 한다[8].

MES는 시스템 간의 정보 정합성 유지를 위하여 표준화 기반의 양방향 통신 체계가 필요하며, 제어 가능한 양방향 인터페이스를 위한 표준 통신 절차가 필요하다. 이 기능은 스마트공장 구현에 있어서 중요한 요소이며, 다양한 기술적 방법이 사용되거나 생성되고 있다.

ICT 기술의 발전은 설비, 공정, 센서 데이터를 통합하여 실시간으로 공장 상황을 파악할 수 있게 하는 스마트공장의 플랫폼을 제공한다[49].

스마트공장의 핵심 기술인 시뮬레이션 기반의 CPS 구현을 위해서는 제조현장의 실시간 제약 사항, 요구사항 등을 반영해야 한다. 공장에서는 다양한 공정 정보가 MES, ERP 등의 시스템과 상호 연계되어 관리된다. 그리고 CPS에서는 제조 빅데이터 관리와 분석을 통한 사이버 모델을 구성하고 가시화를 수행하며, 이를 바탕으로 최적화된 스마트공장이 구현된다[17]. 이 과정에서 MES의 정확한 공정 실적 데이터가 중요하며, 생산 스케줄링 및 공정 물량과 생산성을 고려한 설비/공정별 작업지시의 최적화를 실현할 수 있다.

그러나 연속생산 공정이나 프로세스 산업을 제외한 일부 제조업의 경우, ERP 시스템과 MES와의 실적 인터페이스 과정에서 정보의 비 동기화 문제가 수작업 공정 혹은 이산 공정(Discrete Operation)에서 발견되고 있다. ICT 기술이 적용되지 못하는 수작업 공정의 한계점도 있지만, ERP에서는 공정특성이 같은 그룹 단위의 대

공정 코드로 관리를 하고 있으며, MES에서는 공정관리를 위하여 세부공정 코드로 구현이 되어 사용하고 있어서 상호 두 개의 시스템의 관리 목적상 차이점이 존재하기 때문이다.

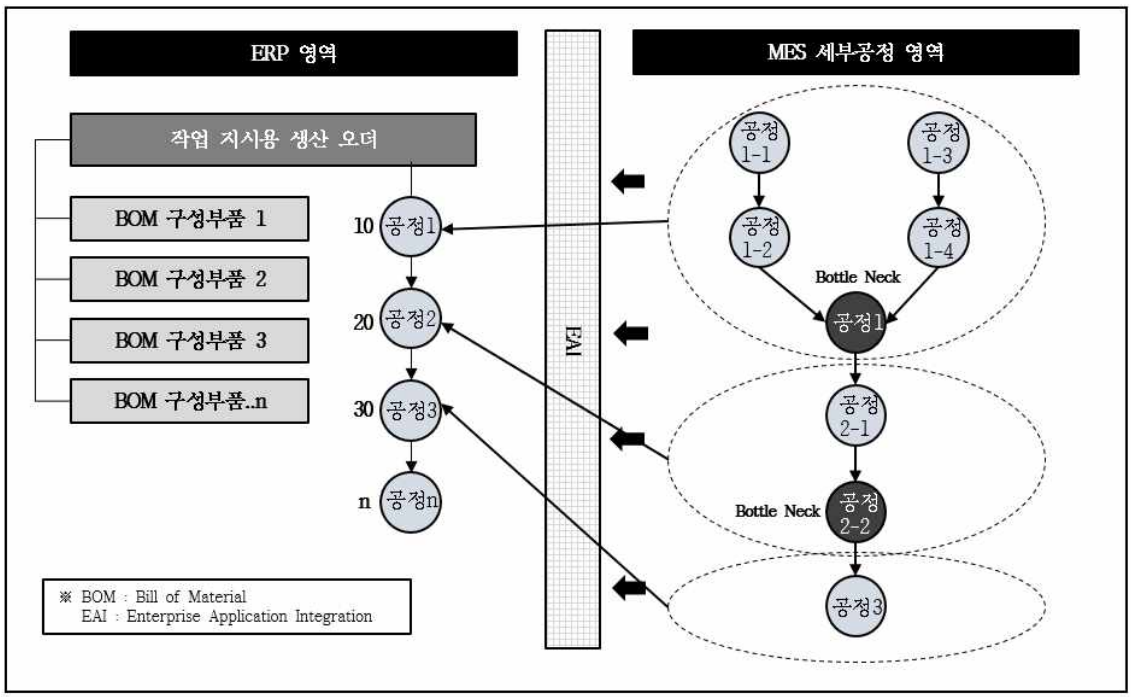


Fig. 2.11 ERP와 MES 간의 생산공정 관계

따라서 [Fig. 3.1] 예시에서 각각 공정 정보의 관리 범위가 서로 달라 물리적인 생산정보를 제대로 전달하지 못하는 현상이 발생 된다[8]. 이 경우 ERP와 MES 구축을 고려한 기준정보 설계가 선행되어야 하며, MES는 목표 생산라인의 특성을 제대로 반영해야 한다. 또한, 공정 실적에 대한 집계 Point를 정의할 필요가 있다[4].

제8절 데이터마이닝

데이터마이닝은 대용량 데이터 분석을 통해 데이터의 패턴, 유사성 등의 방법으로 유용한 정보를 찾아내는 과정이다. 궁극적인 목표는 문제 해결을 위한 의사결정에 활용한다. 즉 다양한 데이터 분석 도구를 사용하여 데이터 간의 패턴과 관계를 찾는 프로세스이다. 그리고 데이터의 경향과 규칙을 발견하기 위해서 대량의 데이터로부터 여러 기법 도구를 활용하여 탐색하고 분석하는 과정이다[66].(Linoff & Berry, 1977)

데이터에서 결과와 예측을 찾아낸다는 점에서 통계학과 유사하나, 통계학은 크지 않은 실험 데이터를 사용하고 데이터 마이닝은 축적된 대용량의 빅데이터를 대상으로 한다(정용찬. 2012). 그리고 통계학에서는 과거의 데이터에 대해서 인과 관계를 발견하는 한편 분석에서는 예측 모형을 만들어서 미래의 데이터를 예측한다.

데이터마이닝은 KDD(Knowledge Discovery in Database, 이하 KDD)프로세스의 한 단계이며 KDD 프로세스는 다음과 같다.

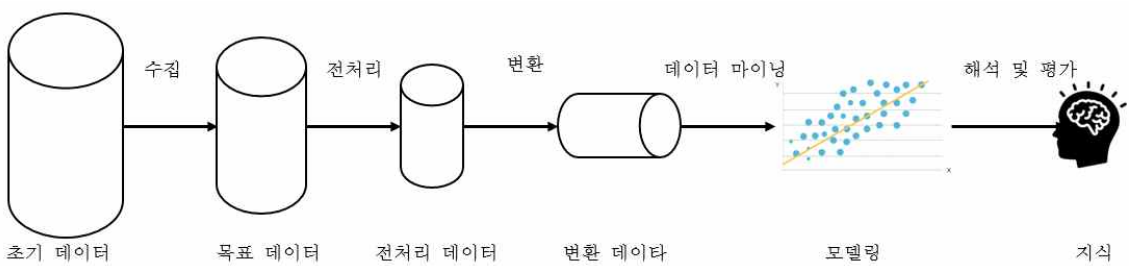


Fig. 2.12 KDD Process

주요 프로세스는 수집, 전처리, 변환, 데이터 마이닝, 해석 및 평가의 단계를 수행하며 아래와 같은 설명이 된다. 일반적으로 전처리로 KDD의 약 80%의 시간이 소요된다.

- 수집(selection) : 다양하고 대량의 데이터 정보원으로부터 데이터를 수집
- 전처리(preprocessing) : 데이터 정제화, 표준화 과정
- 변환(transformation) : 요구하는 표준 형식으로 데이터 변환
- 데이터 마이닝 : 데이터 분석방법에 의한 의미 있는 결과를 도출
- 해석 및 평가 : 전문가 분석 결과를 유의미한 형태로 해석하고 전달

데이터마이닝 기법은 의사결정나무(Decision Tree), 회귀분석(Regression), 인공신경망(Artificial Neural Networks)등이 대표적으로 사용되고 있다. 본 논문에서는 직

관적이면서 빠른 결과를 도출하는 의사결정나무와 회귀분석을 사용하였다.

1. 회귀분석(Regression)

회귀분석은 입력변수들에 의해서 목표 변수가 어떻게 설명이 되는지 데이터를 적절한 함수식으로 정의한 통계적인 방법이다. 회귀분석은 선형 회귀분석, 비선형 회귀분석, 단순 회귀분석, 다중 회귀분석으로 나누어진다. 본 연구에서는 입력변수가 여러 개인 다중 회귀분석을 선택 사용하였다. 그중 목표 변수가 공정 불량인 이항형 Type이기 때문에 선형회귀모형으로 분석을 할 수가 없다. 이러한 사유로 Binary Logistics Regression을 사용하였으며 로직변환(Logit Transformation)을 고려하여 분석한다.
회귀모형은 입력변수 X_1, X_2, X_P 일 때 다음과 같이 표현된다.

$$\log\frac{p(y=1 \mid x_1, \ldots, x_p)}{1-p(y=1 \mid x_1, \ldots, x_p)} = a + b_1x_1 + \cdots + b_px_p \quad \cdots\cdots \quad (1)$$

그리고 오즈비(Odds Ratio)는 입력변수가 분류 결정에 비치는 영향의 정도를 계량화하는 데 사용이 된다. 즉 어떤 사건이 일어날 가능성으로 Pr/(1-Pr)로 계산이 되며, 염색공정 불량에 영향을 미치는 입력변수의 영향도를 평가하기 위해 사용을 하였다.
Odds Ratio > 1 경우에 입력변수 X_i가 Y의 증가 방향으로 영향을 미치며,
Odds Ratio < 1 경우에는 입력변수 Xi가 Y의 감소 방향으로 영향을 미친다.
본론의 사례연구에서 Main RPM의 경우 Odd Ratio(Exp(B))가 3.389이기 때문에 염색공정 불량에 많은 영향을 미치는 것으로 추정을 하였다.

2. 의사결정나무

분류나무로도 부르는 의사결정나무는 해를 도출할 때까지 'YES/NO'를 반복적으로 수행하여 의사결정을 하는 방법이다. 수집된 데이터를 분석하여 이들 사이에 존재하는 특성, 패턴을 나뭇가지 형태로 분할하여 만든다. 그다음 다시 새로운 레코드를 분류하고 순환적 분할(Recursive Partitioning)방식을 이용하여 나무 형태의 분류모형을 만드는 기법이다. 의사결정의 이러한 알고리즘을 사용하는 도구는 SPSS, R. Python 등을 사용한다. 장점으로는 분류나 예측의 근거를 직관적으로 알려주기 때문에 데이터 분석 이해가 쉬우며 모형구축에 소용되는 시간이 비교적

짧다. 또한, 어떠한 속성들이 각각의 분류 값에 결정적인 영향을 주는가를 쉽게 파악할 수 있다.

의사결정나무 기법은 분할할 기준을 찾는 것이 매우 중요하다. 가능한 모든 경우에 대해서 탐색을 하는 Greedy Search가 있으며 그룹 속의 불순도를 나타내는 지표인 Gini Index를 사용하는 방안이 있다.

Gini Index는 다음과 같다.

$$I(A) = 1 - \sum_{k=1}^{m} p_k^2 \quad \text{----------} \quad (2)$$

Gini Index는 불순도를 측정하여 가지를 나누는 기준을 수립하는 것에 목적이 있으며, 지속적으로 나누는 이유는 순도를 높이기 위함이다. Gini Index는 계산 수치가 높을수록 불순도다 높은 상태이며, Gini Index가 '0' 이라면 Homogeneity 한 상태라는 것을 의미한다. 분할이 반복적으로 되는 단계에서 Information Gain의 감소 폭이 아주 작거나, 트리의 높이가 특정 크기보다 커지는 경우, 하위트리의 자료 개수가 특정 개수보다 작은 경우에 분할을 멈추어야 한다. 여기서 Information Gain이란 특정 속성을 기준으로 Target Data를 구분하게 될 때, '감소되는 entropy의 양'을 의미한다. 반면 Entropy는 Target Data들의 집합에서의 혼합성(impurity)을 나타낸다.

즉 Information Gain = Base Entropy - New Entropy이며 Entropy는 다음과 같이 표현 된다.

$$Entropy(A) = \sum_{i=1}^{d} R_i \times \left(-\sum_{k=1}^{m} p_{ik} \log_2(p_{ik}) \right) \quad \text{----------} \quad (3)$$

R_i는 훈련 훈련데이터(Target Data)가 나누어지는 비율을 의미한다.

제9절 4차 산업혁명과 스마트공장

4차 산업혁명은 2010년 독일의 'High Tech Strategy 2020'의 10대 프로젝트 중의 하나인 'Industry 4.0'에서 정보통신기술과 제조업이 융합되는 단계를 의미하였다.

그리고 4차 산업혁명이 본격적으로 알려지기 시작한 것은 2016년 세계경제포럼에서 Klaus Schwab 의장이 주창한 용어이며, 18세기 초 영국의 산업 혁명 이후 네 번째로 도래한 중요한 산업 구조적 변화이다.

첫 번째 산업 혁명은 18세기 후반 기계식 생산설비에 의한 자동화의 탄생과 증기기관 발명으로 영국이 공업 대국으로의 성장을 가능하게 하였다. 두 번째 산업 혁명은 전기동력과 작업표준을 통한 대량 생산 체제이다. 이로 인하여 미국이 제조업 대국의 지위를 구축하였다. 세 번째 3차 산업혁명은 정보통신과 자동화 생산의 도래이다. 정보처리 능력의 발전으로 IT가 산업과 경제의 중요한 매개체가 되었다. 그리고 4차 산업혁명은 '초연결 혁명'이며 인공지능에 의하여 자동화와 연결성이 극대화되는 과정을 의미한다. 4차 산업혁명의 핵심은 빅데이터 분석, 사물인터넷, 인공지능, 로봇공학, 무인 운송수단, 3D프린팅, 나노 기술과 같은 7대 분야에서 도래한 새로운 기술혁신이다[81].

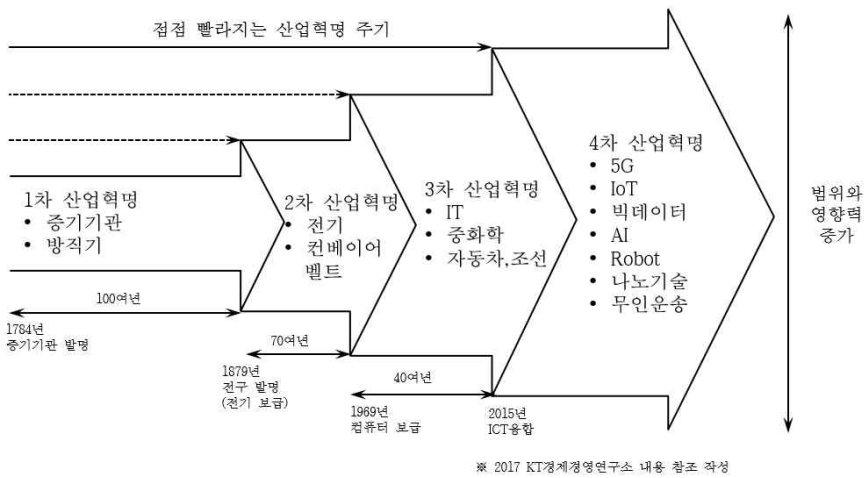


Fig. 2.13 산업 혁명의 주기와 발전속도

1. 스마트공장

스마트공장은 4차 산업혁명에서 파생되었다. 핵심 기술은 사이버 물리 시스템

(Cyber Physical System)과 IoT(Internet of Things)로 정의하고 있다[71].

CPS는 실제 공장환경과 사이버상의 가상공장과의 결합을 의미한다. 실제 공장환경에서 수집된 데이터들은 인공지능, 빅데이터 분석 등 학습에 기반한 지능정보기술을 사용하여 처리하고 물리 세계로 정보를 보내줌으로써 가상세계와 현실 세계가 서로 상호 연결키는 일종의 Digital Twin System이다.

4차 산업에 대한 관심과 연구가 여러 분야에서 활발하게 진행이 되는 현재 상황에서 기존 제조시스템 개념을 탈피한 스마트공장이 조명을 받고 있다. 여기서 스마트공장이란 독일 정부가 자국 산업 활성화를 위해 추진하고 있는 제조업 성장전략 '인더스트리 4.0'에서 비롯된 개념이다. 그리고 제조업 경쟁력을 강화하기 위해 양질의 제품 제조 리드타임을 최소한으로 줄이려는 독일 정부의 노력은 '스마트공장'이라는 개념을 탄생시켰다. (it 사전 2017)

그러나 스마트공장에 대한 정의 자체가 광의적인 의미를 포함하고 있고, 출처와 관점에 따라 다양한 뜻으로 정의해석이 되고 있어, 스마트공장을 구현하려는 기업이나 단체에도 명확한 정의가 필요한 현실이다. 스마트공장의 정의는 매우 다양하나 국내 산업통상부에서의 정의는 다음과 같다. 스마트공장은 '제품의 기획, 설계, 유통, 판매 등 전 생산과정을 정보통신기술로 통합하여 최소 비용과 시간으로 고객 맞춤형 제품을 생산하는 진화된 공장을 의미한다.' 라고 하였다.

다른 한편으로 독일의 경제 및 에너지부에서는 생산 및 생산 관련 모든 비즈니스 활동에 스스로 소통할 수 있는 역량을 지닌 공장이라고 하였다.

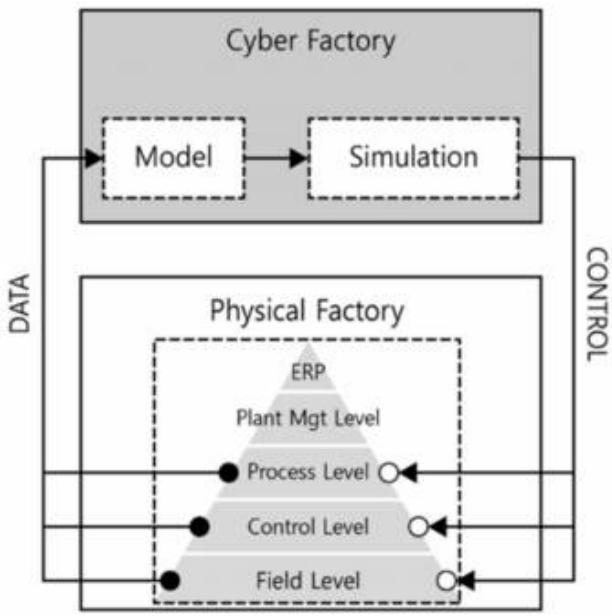


Fig. 2.14 CPS Architecture [23]

여기서 스마트공장과 자동화 공장의 개념과 혼돈되거나 동일시되는 경우가 발생이 된다. 스마트공장과 자동화 공장과의 차이점은 사전 프로그래밍과 실시간 자율화의 차이로 설명할 수 있다. 자동화 공장은 사전 프로그래밍에 따라 생산을 하며 공정이 변경되면 프로그램도 변동해야 한다. 따라서 기계는 미리 정해진 일만 수행을 하고 지시를 받는다. 반면 스마트공장은 설비, 공정 센서, 프로그램 등이 서로 통신하면서 자율적으로 판단하고 상황에 맞추어서 제품을 생산하다. 결국 자동화 공장은 서로 수직적으로 연결이 되어있으며, 정보연결에 한계가 발생할 수 있다. 그리고 스마트공장은 정보기술, 운영 기술, 데이터 기술을 바탕으로 초연결되어 있어서 자율적으로 운영이 될 수가 있다.

Table 2.5 스마트공장의 차별화된 특징

특징	내용
지능성	- 변화된 여건에 따라 스스로 판단하는 의사 결정력 - 배치 잡을 통한 주기적 판단 - Input Data에 따른 판단기준을 Output으로 정의
연계성	- 여러 형태의 대량의 데이터를 유관 데이터 영역으로 검토 활용 - 기능과의 연계(수집, 저장, 가공)
민첩성	- 실시간 기반의 데이터 처리 수준의 향상 - 제조 운영과정에서 빠른 문제 대응 능력 - 가공시간, 이동시간, 정체, 정보공유 등의 기능의 빠른 대응력 확보
신뢰성	- 생산관리의 신뢰성 확보 - 수집 데이터 신뢰성, 안정성
능동성	- 공장의 능동적 대응(한 방향에서 양방향 교류) - 신규 데이터 상관성과 패턴 도출 - 재고 감축, 작업지시 등 판단결과에 기반을 둔 이행기능 수행

스마트 곤장의 8대 기술은 사물인터넷, 클라우드, 사이버 물리 시스템, 빅데이터, 인공지능, 로봇, 3D프린팅, 홀로그램으로 나누어진다.
이중 물리적인 세계와 가상세계와의 융합으로 정의되는 사이버 물리 시스템이 스마트공장의 핵심 기술이며, CPS 기반으로 한 스마트공장기술은 계속 발전이 되고 있다.

가. 스마트공장의 수준

스마트공장을 구현하기 위해서는 구현하고자 하는 기업 현재 수준을 확인하고 진단을 해야 한다. 그리고 스마트공장이 하드웨어와 현장 자동화에 집중이 되거

나, 이 부분이 스마트공장이라고 착각을 하는 경우가 있다. 스마트공장 구현을 하기 위해서는 명확한 스마트공장의 정의와 스마트가 무엇인지 먼저 기준을 정의해야 한다.

스마트공장을 구현하기 위해서는 먼저 현재의 수준에 대한 평가와 요구사항을 명확하게 파악하고 이해하는 것이 중요하다. 스마트공장의 수준을 평가하거나 진단을 해야 하며, 이와 관련하여 다양한 방법들이 있다. 진단 방법 중에는 스마트공장 진단 평가모델(KS X 9001-3)과 대한 상공회의소 산업혁신운동 3.0중앙 추진본부에서 정의한 스마트공장 수준이 있다. KS X 9001-3에서는 5등급으로 나누어 다음과 같이 스마트공장의 성숙도 수준을 기술하였다. 다만 기업의 전체 프로세스를 5개의 등급으로 나누어서 ICT 수준을 평가하는 용도로만 가능하며 등급 내용은 아래와 같다.

Level 1은 ICT 미적용 단계이다. 공장의 생산설비, 재고, 물류 등의 관리가 수작업 또는 종이 문서에 의해서 운영이 되는 단계이다. 그리고 Level 2부터 ICT 적용 기초단계가 진행되며, Level 4부터 스마트공장 진입단계로 볼 수가 있다.

스마트공장 구현 목표는 Level 5단계를 구현하는 것이다.

Table 2.6 스마트공장 성숙도 수준(KS X 9001-3)

등급	조건(구축 수준)
<LEVEL 5> 자율운영(autonomy)	- 최적화된 공장이 사람의 관여를 최소화한 상태에서 자율적으로 운영되고 있음. - CPS, IoT, 인공지능 등의 기술을 통한 자가 진단 및 자가 수리가 가능하고 자율제어를 통한 유연성이 극대화됨.
<LEVEL 4> 최적화(optimization)	- 빅데이터 분석 및 최적의 솔루션 활용 등을 통해 사전예방 및 전체 최적화를 추구하고 있음. - 상, 하위 설비 및 장비 간, 내부 및 외부 시스템 간 상호접속(Interface)을 통해 전체 최적화 관점에서 정보가 통합되고 종합적인 제어 실시가 가능함.
<LEVEL 3> 제어(Control)	- 이상 발생 시 즉시 파악이 가능하고 원격제어에 의해 문제를 해결할 수 있음. - 감지 정보에 대해 자동으로 기준정보 대비 이상 유무 분석 후 기능 정상화 상태로 제어함.
<LEVEL 2> 모니터링(monitoring)	- 현장의 눈으로 보는 관리가 체계적이고 데이터가 실시간으로 추적되고 있음 - 현재의 상태가 외부 모니터링 시스템에 연결되어 데이터를 언제든지 확인.

<LEVEL 1> 점검(Checking)	- 정보기술 미적용 단계로, 체크리스트 등을 활용하여 수기로 실적 관리가 되고 있음. - 외부 시스템과 연계되지 못하고 현상 또는 상태를 단순 감지 하고 있음.

다른 방안으로 스마트공장의 수준을 제조 공급 프로세스 단계별로 정의한 스마트공장 참조 모델 수준이 있다. 스마트공장을 도입 하거나, ICT 수준 향상을 위한 평가 도구로써 체크리스트 활용이 가능하다. 이 경우 스마트공장 구현에 관한 외부 전문가의 도움을 받아서 체크리스트를 활용하거나, 내부 프로세스 전문가의 객관적인 시각으로 진단한다.

Table 2.7 스마트공장의 수준

구분	현장 자동화	공장운영	기업 자원 관리	제품 개발	공급 사슬관리
고도화	IOT/IOS기반의 CPS화				인터넷 공간상의 비즈니스 CPS 네트워크 협업
	IOT/IOS화	IOT/IOS화(모듈화) 빅데이타 기반의 진단 및 운영		빅데이터/설계,개발 가상시뮬레이션/3D 프린팅	
중간수준2	설비제어 자동화	실시간 공장제어	공장운영 통합	기준정보/기술정보 생성 및 연결 자동화	다품종 개발 협업
중간수준1	설비 데이타 자동집계	실시간 의사결정	기능 간 통합	기준정보/기술정보 개별 운영	다품종 개발 협업
기초수준	실적집계 자동화	공정 물류 관리 (POP)	관리기능 중심 기능 개별 운영	CAD사용 프로젝트 관리	단일 모기업 의존
ICT 미적용	수작업	수작업	수작업	수작업	전화와 이메일 협업

* 출처 : 대한 상공회의소, 산업 혁신 운동 3.0 중앙 추진본부, 2014

수준에 대한 정의는 다음과 같다.

기초 수준: 기초적인 ICT 기술을 활용한다. 그리고 생산 일부 공정 분야의 정보를 수집, 활용하고 모기업의 인프라 활용 등을 통하여 최소 비용으로 자사의 정보 시스템을 구축한 단계이다. RFID 바코드와 같은 통신 기기를 활용하는 기초적인 생산, 물류 정보수집의 초기 단계이며, 생산공정과 물류 실적관리가 가능한 수준의 단계이다.

중간 수준 1: 공장에서 가동되는 설비 정보를 최대한 자동으로 채집하고 모기업

과 경영에 관한 신뢰성 정보를 공유하여 기업경영관리의 자동화를 지향하는 수준이다. 업무 활동 정보와 기업 자원과 프로세스를 통합하는 ERP 구현과 동일한 수준이라고 정의를 할 수 있다.

중간 수준 2: 모기업과 공급사슬 관련 정보 및 엔지니어링 정보를 공유한다. 또한 글로벌 계획 최적화와 공장 제어 자동화를 기반으로 Real-time Enterprise를 달성하는 수준이다.

고도화 수준 3: 기업 내부와 외부 사물과 관련 서비스를 IoT/IoS화 한다. 비즈니스, 사물, 서비스 모듈 간의 실시간 대화 체제를 구축하고 가상의 사이버 공간상에서 비즈니스를 실현하는 수준이다.

스마트공장의 수준 정의가 필요한 사유는 아래와 같다.

이정철(2018)은 연구에서 스마트공장의 경우 도입하려는 기업들의 어려움은 스마트공장에 대한 중장기 전략의 수립이라고 언급하였다. 그리고 전략 및 목표 수립을 위해서는 현재 프로세스와 ICT 수준에 대한 이해가 선행되어야 한다고 하였다. 기업은 현재 수준에 대한 객관적인 진단 후에 비즈니스 요구사항을 파악하고, 비용 및 자원 문제, 기업 현황을 고려하여 스마트공장을 도입해야 한다고 권장하였다[46]. 이 과정에서 스마트공장의 다양한 혁신 Tool이 구현대상 산업에 따라 다른 혁신 가치를 갖기 때문에 각 기업의 산업 상황에 적합하고 효과적인 혁신 도구를 도입하는 것이 중요하다. [13]

반면 기업 현황에 적합하게 스마트공장을 구현하는 것은 최선의 방법 일수 있지만, 비용 절감 및 공정관리 개선의 목적을 달성하기 위해서는, 비교적 높은 수준의 스마트공장 구현을 목표로 장기적이고, 일관적인 대응이 필요하다는 연구도 있다[61].

스마트공장의 수준에서 MES가 스마트공장에 차지하는 비중은 상기 표에서 그 중요성을 확인할 수 있다. 특히 공장의 현장 자동화와 공장운영, 기업 자원관리 부분에서는 그 비중이 매우 높으므로 스마트공장 구현에 미치는 영향력은 매우 크다고 볼 수 있다. 그리고 IoT화 지능화된 MES는 제조업 생산공정의 효율적 관리 및 개선을 위한 중요 혁신 도구이다[28].

나. 스마트공장과 인공지능

인공지능과 기존 통계분석과의 차이점은 스스로 배울 수 있는 학습역량을 통하여 탁월한 분석역량과 스스로 창작할 수 있는 창조역량이 있다. 이러한 인공지능의 역량이 스마트공장의 혁신에 새로운 전기를 마련할 것이라는 예상이 지배적이다.

스마트공장의 주요 분야에 대한 인공지능의 활용은 아래와 같다.

Table 2.8 스마트공장 주요 분야(Posri 이슈 리포트)

스마트공장 주요 분야	인공지능을 통한 적용 대상
설비 예방 정비	- 다양한 대량의 설비 실적 데이터를 수집한 후 단순한 통계분석보다 인공지능 분석을 통한 예방 정비의 신뢰도 개선
공정 간 연계제어	- 통계적 분석기법으로 예측하기 힘든 생산 및 공정 간 품질결함도 인공지능 분석을 통하여 불량 및 품질에 대한 인자 및 예측을 제시
전문가 공정제어	- 빅데이터와 패턴 분석을 통한 학습으로, 전문가 위주의 제어시스템의 한계를 극복하고 전문가보다 뛰어난 생산성 성과를 보여 줌
로봇 자동화	- 프로그램밍화 된 작업 범위에서 벗어나 인공지능과 로봇의 융합을 시도 - 로봇 자가 학습이 가능해짐으로써 다양한 작업에 대한 범용성 증가

상기 표와 같이 인공지능이 스마트공장의 다양한 분야에 적용이 되는 것으로 확인되면서 스마트공장은 최근 급속도로 발전이 되고 있다. 스마트공장 발전에 대한 요인은 다음과 같다.

첫 번째 인공지능에 대한 최신 방법론이 빅데이터 기반의 통계적 분석 방법론의 한계를 극복하였다. 설비운영에 대한 안정적인 관리 및 품질 불량 원인에 대한 인자를 정확하게 정의하고 제어를 할 수 있게 되었다.

두 번째 인공지능 학습역량으로 공정상황에 최적화된 제어가 가능하게 되었다. 이 의미는 기존 생산 전문가나, 엔지니어의 제어능력을 뛰어넘어서는 역량으로 생산성이 향상되는 효과를 가져 왔다.

세 번째 공장 자동화 설비, Robot과의 융합으로 인간의 작업을 대체하는 작업 영역이 증가하게 되었다.

이러한 환경 속에서 스마트공장은 구축하는 경우에는 산업별로 신중한 접근이 필요하다. 예를 들면 자동차, 가전, 전자부품 같은 조립 산업과 정유, 화학, 에너지 같은 프로세스 산업에서는 스마트공장의 전개 양상이 매우 다르기 때문에 산업별 공정특성을 반영한 효과적인 도입 전략이 필요하다. 그리고 기본 ERP, MES, SCM 등의 기간 시스템과의 데이터 통합과 사용방안에 대해서도 구현 전략이 필요하다.

인공지능 기술의 급속한 발전과 파급효과를 고려하여 스마트공장 구현 및 활용 전략이 추후 제조업 발전의 성패를 결정할 수 있다.

다. 한국의 스마트공장 추진현황

국내 스마트공장의 현황은 소수 대기업만이 선진 해외 사례를 모방한 공장 자동화 수준에 그치고 있으며, IT기술을 활용한 자동화 기법과 설비관리, 생산관리 같은 특정 업무의 정보화에 치우쳐 있다. 이를 반증하듯 국내의 스마트공장 활용에 대한 통계치를 조사하면 다음과 같다. 생산현장에는 제조실행시스템(Manufacturing Execution System)이 53.8%로 스마트공장 구현에 있어서 가장 많은 비중을 차지하였다. 그리고 전사적 자원관리 (Enterprise Resource Planning) 53.1%, 홈페이지 47.5% 등으로 조사 되었다[47].

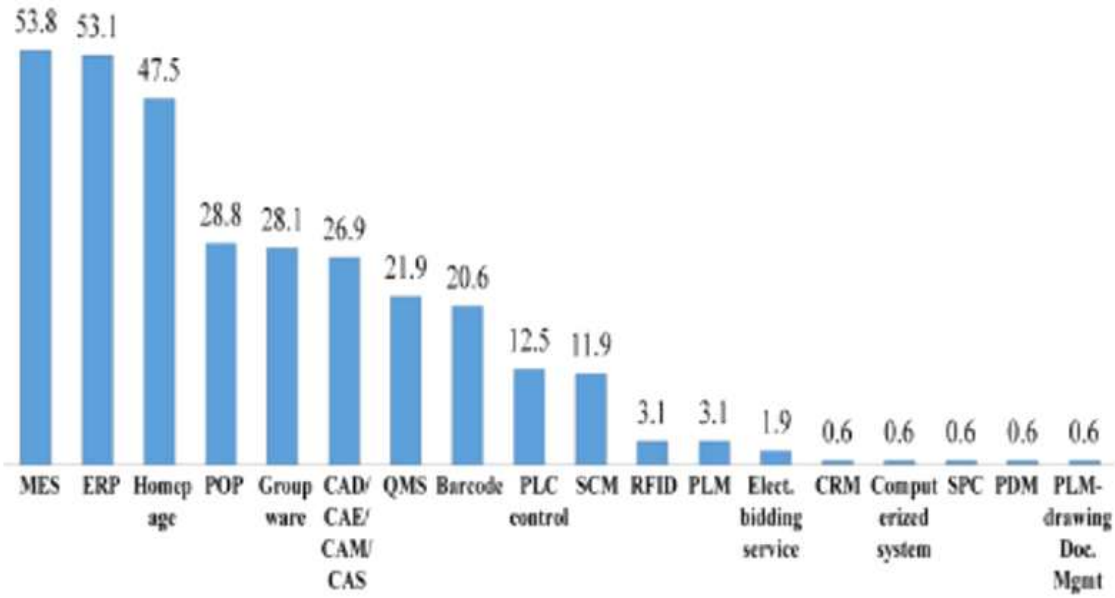


Fig. 2.15 스마트공장 구현을 위한 솔루션 적용 현황[47]

상기 통계에서 알 수 있듯이 국내 스마트공장의 수준은 ERP, MES 같은 통합 정보시스템을 도입하였거나, SCM(Supply Chain Management, 이하 SCM)같은 Extended ERP를 사용하는 수준이다. 이러한 현실에서 자금과 인적자원이 상대적으로 부족한 중견기업 이하의 SMB 기업(Small Mid Business)이하 에서는 스마트공장 구현에 대한 명확한 기준과 구현 방법론이 없는 현실이다.

이현정(2017)은 중견, 중소기업의 스마트공장 도입을 위해서는 비용 및 인력문제가 매우 중요하다고 하였다. 조사대상 60개사 중 90% 대부분이 스마트공장을 도입하지 않았으며, 스마트공장 도입 장애 요인으로는 시스템 구축비용으로 나타났다[47].

Radziwona(2014)의 연구에서도 스마트공장에 관련된 거의 모든 기술은 대기업을

위한 솔루션으로 구성이 되었다. 이러한 사유로 제조업 발전을 위한 미래의 구현 도구로서는 아직 미성숙하다고 하였다. 그리고 스마트공장 관련 다양한 기술과 정책은 제조 분야의 중소기업에 초점을 맞추어야 하며, 이에 관한 연구와 투자가 필요하다고 하였다[77].

제3장. 본　　론

제1절 연구 과제

본 연구에서는 ERP를 사용하고 있는 매출액 1000억~3000억 규모의 3개 중견기업의 ERP와 MES 사용 현황과 시스템 프로세스에서 발생하는 이슈에 대해서 논의를 한다.

그리고 각각의 사례에서 발생되는 문제점을 해결하기 위하여 각기 다른 방법으로 문제점을 해결하고 ERP가 나아가야 할 방안을 제시한다. 3개 사례회사의 ERP 도입 현황은 아래와 같다.

첫 번째 사례회사는 ERP와 MES를 도입하였으나, 도입 효과가 작은 경우이다. ERP 도입 이후에도 개별 원가의 신뢰도와 정합성을 파악하지 못하였다.

두 번째 사례회사는 ERP와 MES를 도입하였으나, ERP 기능에 대한 문제점 해결이다. ERP 도입 전의 생산계획 기능과 도입 이후의 생산계획 기능에 차이가 없다는 것이다.

ERP 생산 모듈의 취약성이 발견되었다.

세 번째 사례회사의 경우에는 ERP와 MES를 도입 취지에 맞게 구현하였으나, 스마트공장 진입 및 구현에 대한 논의가 필요하였다. 본 연구 과제를 정리하면 다음 표와 같다.

Table 3.1 연구 과제 정의

사례회사	ERP 도입 현황	문제점	과제
전자 축전기 제조	ERP도입은 하였으나 ERP 도입효과 적음	ERP 도입이후에도 원가의 비정합성 발생	ERP도입효과의 저해요인과 해결안 제시
		ERP 표준시간과 MES실적시간의 매우 큰 편차 발생	
		생산성 역설 현상 발생	
가구 제조 회사	ERP 도입은 하였으나 ERP 본연 기능의 제한적 사용	ERP 도입전의 생산계획 방법과 차이가 없음	ERP 취약기능에 대한 대안 제시
		Line의 상황을 생산계획이 고려하지 못함	
		생산계획 기능의 근본적인 문제점 발생	
자동차 부품회사	ERP와 MES를 신규도입	스마트 공장에 대한 명확한 정의과 구축 방안이 필요	중견, 중소기업에 적합한 스마트 공장
			지능이 있는 공장 구현 방안
			ERP 문제점 대안으로의 스마트 공장
공통과제	중견기업 이하의 제조회사에 구현된 ERP, MES가 본연의 기능에서 확장해야 할 기능요소를 검토		

가) TOC기법을 적용한 표준시간 검증 및 MES 개선

ERP 시스템을 구축한 다수의 제조업인 경우 미시적 공정관리기능의 한계점 때문에, 세부공정 관리기능과 신속한 정보수집력을 가진 MES를 Sub System으로 사용하고 있다[8]. 그러나 ERP 시스템과 MES와의 정보인터페이스 과정에서, 연속공정이 아닌 단속공정(Discrete Operation)을 보유한 제조시스템에서는 정보의 비동기화 문제가 다수 발생이 되고 있다. 특히 MES 공정별 집계 Point에서 송신하는 생산정보는 ERP 작업장에 수신을 받는다. 이때 수신받는 작업장(Work Center)에서 생산정보 및 실적이 공정 생산활동 정보와는 다르게 왜곡되어 전송되어 비효율적인 생산계획, 원가 신뢰도 하락의 원인이 되고 있다. 본 사례연구의 경우 ERP 도입 이후에도 제품별 원가의 정합성 문제가 발생하였다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 TOC의 DBR적용으로 양시스템 간의 정보 동기화를 시도하였으며, 그 전제 조건으로 상위 ERP 시스템의 표준시간을 능력제약조건(CCR) 기준으로 재정비하는 연구를 수행하였다. ERP 표준시간 또한 CCR 기준으로 재정비하여 이러한 문제점을 해결하고 ERP와 MES 간의 데이터의 정보 동기화로 제품 사양별 실제 원가의 신뢰도 향상 여부를 파악하고자 하였다.

나) ERP 생산계획 기능을 보완한 시뮬레이션 최적화 연구

ERP와 MES를 기구축하고 사용하고 있는 가구회사의 생산계획 문제점을 조사하여 해결책을 제시하는 데 그 목적이 있다. 본 연구는 ERP 생산 모듈의 생산계획 기능을 단점을 고증하고 대체방법으로 시뮬레이션 시법의 가능성을 파일럿 연구를 통하여 제시하려고 한다. ERP에서 생산계획의 제시안은 MRP 기능과 CRP 기능이다.

MRP기능의 한계점은 Capacity가 무한하다는 전제하에 스케쥴링을 하는 한계점을 가지고 있으며, 자원의 능력이 항상 가용한 것으로 가정하고 자재에 대한 계획을 먼저 수립하는 것이다. 개별 자원의 일정계획은 자재 계획을 준수하도록 수립되어야 한다. 이 결과, 수행된 자재 계획은 공정능력에 수급조절의 문제를 초래하고, 공정능력 문제가 해소되면 자재 수급 계획의 현실적인 문제점이 발생하였다.

CRP(Capacity Requirement Planning) 또한 표준공정도(Routing)의 표준시간과 작업장의 가용생산능력을 토대로 생산능력계획을 수립하나, 공정에서 발생하는 대기시간, 이동 시간과 같은 현실적인 요소가 반영되지 않아, 그 기능의 활

용도가 매우 낮다.

사례회사도 ERP 기반의 가구 제조 및 생산하는 기업으로 본 기업이 가진 문제점은 생산계획 수립 시 공정 부하 예측 미비, CRP 분석 예측량의 신뢰도 문제, 설비투자 시 생산라인 특성 및 생산성 반영 부족 등으로 파악되었다.

이러한 문제점을 개선하기 위해 시뮬레이션 도구인 ARENA를 통하여 공장과 공정 현상을 현실적으로 모델링 하고 시뮬레이션을 수행하였다.

이를 통해 ERP 생산계획 기능 보완 가능 여부와 가능성을 조사하고자 한다.

다) ERP와 스마트공장 진입에 관한 연구

스마트공장은 IoT 기반의 DATA를 통하여 제품을 생산하는 지능형 공장이라고 정의를 할 수 있다. 이러한 지능형 공장을 구축 운영하기 위해서는 CPS, IOT, Big Data, AI 등 다양한 최신의 기술이 도입 및 반영이 되지만, 이를 위해서는 설비데이터 및 생산실적을 정확하고 신속하게 취합하는 MES 시스템과 관련 정보를 송신 받는 ERP의 구현이 매우 중요하다. 스마트공장은 먼저 기업 현황에 적합하게 구축하는 것이 매우 중요함과 동시에 높은 수준의 스마트공장 구현을 목표로 해야 한다.

본 사례에서는 스마트공장의 정의, 수준을 통하여 스마트공장 구현에 중요한 요소가 무엇인지를 조사한다. 그리고 사례연구를 통하여, ERP와 MES 구현의 구축 효과를 고찰하고, 스마트공장과의 차이점과 각각의 본질을 확인한다.

ERP와 MES는 스마트공장이 아닌 제조 정보 통합시스템으로서 의미가 있다. 그러나 ERP와 MES는 스마트공장에서 어떠한 역할을 하고 있는지 선행연구 조사를 통하여 파악한다. 또한 중견, 중소기업이 스마트공장으로 진행하기 위한 다양한 요소들을 파악하고 MES 기능의 확장을 통한 지능형 MES의 구현 가능성을 검토한다,

이와 유사하게 신승훈(2016)은 그의 연구에서 빅데이터 애널리틱스와의 통합을 통한 지능형 MES 기술 개발이 필요하다고 하였다. 특히 중소기업 대상으로 지능형 MES의 보급이 중요하다고 주장하였다. 이를 위해서는 벤더에 종속적이지 않은 독립적인 인터페이스 전략과 저비용기반의 빅데이터 애널리틱스 플랫폼개발이 필요하다고 하였다[30]. 지능형 MES는 데이터 마이닝 기법을 적용하여 프로토타이핑 시스템으로 구현하였다. 그리고 중견, 중소기업 대상의 지능형 MES 적용 가능 여부와 진입하기 위한 요소들을 조사한다. 최종적으로 중견기업이 저비용 고효율의 스마트공장 구현을 하기 위한 요소에 대해서 파악하고자 한다.

제2절 TOC기법을 적용한 MES 개선

1. 사례기업 개요 및 경영환경

대상 회사는 설립된 지 50년 이상 된 반도체 전자부품 제조회사이며, 주요생산품은 전기를 충전하였다가 방전하는 콘덴서를 제조하는 회사이다.

생산제품은 전력용 콘덴서, 세라믹 콘덴서, 칩(Chip)형 콘덴서 등이 있다. 콘덴서는 전기를 일정 기간 저장(충전)을 하고 사용(방전)하는 전자부품으로 배터리보다 규모가 훨씬 규모의 전기 장치이다. 전자제품의 필수 부품이며 TV, 디지털카메라, 자동차, 컴퓨터 등 대부분의 전기 제품에 사용된다. 사례회사는 지속적인 성장을 보이다, 2000년도 중반에 국내외 경제환경 변화에 따른 경기둔화와 전방 전자/전기 산업의 부진으로 매출 규모가 축소되었다. 그러나 이러한 환경 속에서 지속적인 경영혁신 활동을 수행하였으며, 활발한 R&D와 신제품 개발로 콘덴서 업계의 선두를 점유하고 있는 우량기업으로 변화 하였다.

이러한 성장과 발전 속에서 사례회사는 경영체질 개선 및 선진기업 도약의 발판을 ERP 도입을 통하여 진행하려고 하였다. ERP 구축 이후에는 프로세스 혁신을 통한 통합정보 시스템이 구축되었으며, 재(財)와 물(物)의 일치, 조기결산 체제 등 두드러진 효과가 있었다. 반면 사양별, 제품별 제조원가 신뢰도가 매우 낮았으며 ERP 시스템 생산 부문에서의 공정혁신은 구축 전과 비교하여 제한적이었다.

2. ERP 구축 이후의 문제점

사례회사는 ERP 구축 이후 2번의 ERP 시스템 고도화 프로젝트를 진행하였으나, 생산실행시스템(Manufacturing Execution System)에서의 생산실적 송신공정과 실적을 수신받는 ERP 시스템 작업장에서 정보의 비동기성 문제가 발견되었다. ERP 구축과정에서 작업장 정의를 유사공정으로 그룹화하였다. 그 결과 작업장 기준으로 설정된 제품별 가공시간에 대한 표준시간도 여러 유사생산공정의 표준시간 총합으로 가정하고 설정하였다. 반면에 MES에서는 생산라인현장의 공정 특수성과 작업현장관리를 고려하여 공정별로 세분화한 작업장으로 분류하여 구분하였다. [Fig. 3.1]의 ERP 작업장 'A'는 생산공정과 생산라인의 대표성을 의미한다. 그러나 ERP 작업장이 MES가 사용하는 세부작업장의 모든 속성을 포함할 수가 없다는 것을 알 수 있다.

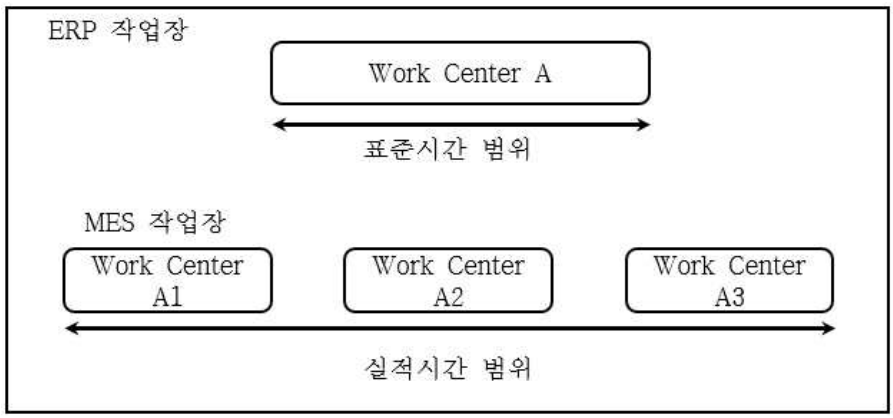


Fig. 3.1 ERP 작업장과 MES 작업장의 차이점

이와 같은 이유로 MES에서 집계한 공정작업시간이 ERP로 전송이 되는 과정에서, 표준작업시간 산정 범위와 실적시간 집계 범위가 다른 사유로 결산시 표준작업시간과 실제 가공시간을 비교, 평가할 수 없었다. 더구나 실제 가공시간은 제품별 제조원가와 관련이 있으므로 제조원에 대한 정합성 평가가 현실적으로 불가능하였다.

신규 제품이 발생하여 생산기준정보(BOM, Routing, 표준시간)를 생성할 때, 표준시간의 경우 유사 사양(Specification)의 표준시간 정보를 복사(Copy)하여 ERP 시스템에 등록하는 잘못된 기준정보 등록 정책이 지속해서 진행되었다. 이러한 사유로 사양별 제품별 공정 표준시간의 신뢰도에 많은 문제가 발생이 되었다. 예를 들어 제품사양의 차이가 큰 생산제품의 실제 공정별 가공시간은 약 두 배의 차이를 보이고 있음에도 불구하고, ERP에 등록된 공정별 표준시간은 유사하거나, 동일하게 등록이 되었다. 실제 가공시간을 반영하지 못한 표준시간은 생산계획 수립과정에서 공정능력 부하조정을 할 수 없으며, 제품별 표준원가가 왜곡되는 중요 요인을 제공하였다. 따라서 표준공정도와 제품별 표준시간의 검토 및 재정립이 필요한 상황이었다.

MES에서는 공장현장과 생산공정 라인을 통제하고 실시간 공정상황을 반영하기 위하여, ERP 작업장 정보에 대응하는 세부공정별 설비를 분리하여 생산공정 및 라인의 실적을 수집하였다. ERP 작업장으로 생산작업실적을 전송하는 방식은 아래 [Fig 3.2]처럼 첫 번째 세부공정 시작시각과 마지막 세부공정 종료 시각의 작업가공시간 총합과 작업 수량을 ERP에 전송하였다.

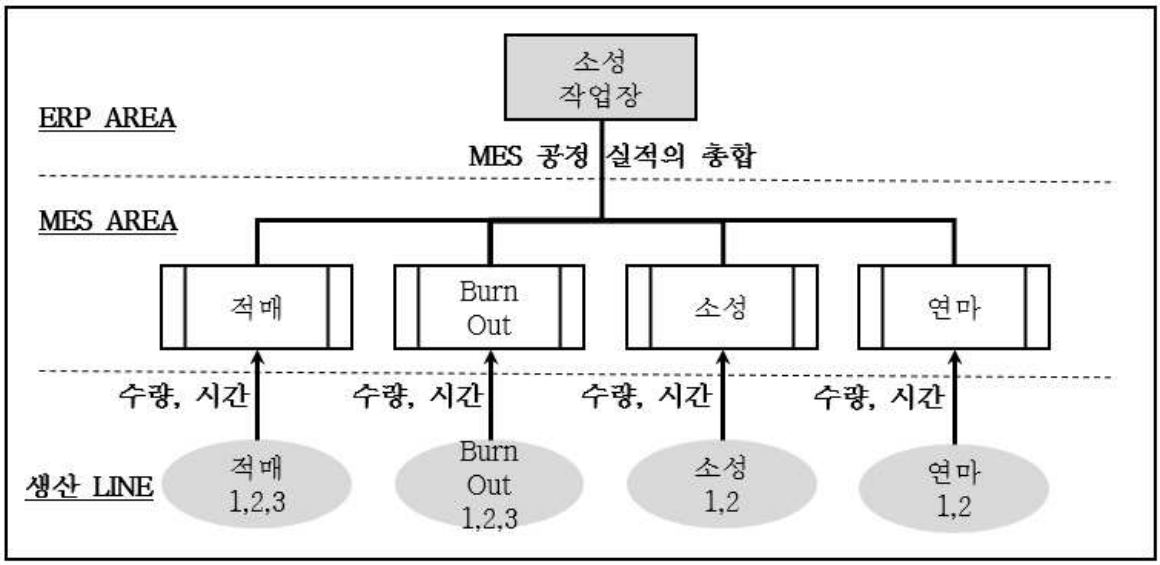


Fig. 3.2 ERP와 MES 간의 공정 실적 전송 관계

그 결과로, 각 생산공정 간 가공대상 반제품의 이동 시간과 작업을 해야 할 작업장에서의 공정 대기시간이 포함된 실적이 ERP 작업장에 전송되는 현상도 발생이 되었다.

월 결산 과정에서 표준원가가 제공하는 데이터 중 노무비 부문의 표준시간과 MES에서 채집된 실제 공정 실적데이터 간의 큰 편차로 인하여 제조원가 신뢰도 저하의 원인이 되었다. 원인으로는 ERP 작업장은 유사공정을 그룹화한 대공정 개념의 작업장으로 정의 및 설계가 되었으며, MES 작업장은 세부공정 중심으로 설계가 되어 상호 ERP와 MES 작업장 간의 관계가 1:다(多)의 종속적인 관계로 구성이 되었기 때문이다.

가. 본 이슈에 대한 통계적 검증

앞서 제기한 표준시간과 실제 작업공정 실적시간과의 차이를 검증하기 위해 생산 비중이 높은 주요부품과 핵심공정의 작업실적 데이터를 표본 추출(sampling)하고, 해당 데이터에 대한 대응표본 t-검정을 시행하였다.

분석 대상 데이터는 핵심공정이면서 데이터 발생빈도가 많은 소성 공정에서 데이터를 채집하였다. 데이터는 [Table 3.2]와 같다. 실제 집계된 생산공정 실적을 표준시간의 기본 Lot수(1000개)조건에 맞게 재처리 및 변환을 하였으며, 표본수 n=45로 t-검정을 시행하였다.

Table 3.2 실적공수 집계 데이터

(minute/1,000lot)

공정	실적공수	표준공수
소성 공정	0.326 0.294 1.321 0.543 0.350 0.337 0.124 0.124 0.123 0.011 0.338 0.329 0.324 0.338 0.342 0.330 1.176 1.146 1.188 1.146 0.303 0.014 0.307 0.299 0.305 0.206 0.594 0.131 0.187 0.196 0.413 0.217 0.205 0.200 0.197 0.193 0.164 0.163 0.180 6.152 0.159 0.163 0.177 0.178 0.179	0.102

귀무가설과 대립가설은 다음과 같다.

- 귀무가설 : 소성 공정의 표준시간과 실적시간의 차이가 없다.
- 대립가설 : 소성 공정의 표준시간과 실적시간의 차이가 있다.

통계분석에 관한 결과는 아래와 같다.

Table 3.3 ANOVA Table

구분	대응차이					t	df	유의 수준 (양쪽)
	평균	표준 편차	표준 오차 평균	차이의 95% 신뢰구간				
				신뢰구간	상한			
표준-실적	-0.380	0.922	0.137	-0.657	-0.102	-2.763	44	0.008

표준시간과 생산 가공시간과의 차이에 대한 t-검정 결과, 유의확률(P Value)이 0.008이기 때문에 대립가설을 채택하고 표준시간과 실제 생산 가공시간에 차이가 있다고 판단할 수가 있다.

3. TOC를 적용한 이슈 해결

작업이 수행되고 해당 가공시간을 발췌하고 집계하는 지점을 공정 실적집계 지점(Gathering Point)이라고 한다. 공정 실적 집계지점에 대한 시작지점과 종료 지점을 재설정하고 표준시간을 재정의하기 전에 생산공정 흐름에 대한 속성을 파악해야 한다. 본 사례연구에서는 공정 흐름에 대한 특성을 직렬공정, 병렬공정, 혼합공정이라고 가정을 하였으며, 생산공정 물류 흐름을 분석하였다.

가. 문제의 해결

문제 해결을 위해서 공정별 CCR을 찾는다. 해당 제약조건에 해당되는 공정이 ERP의 공정에 대응하는 작업장을 간주한다. 즉 MES 공정 설계 및

Capacity 산정의 기준을 공정별 세부공정 중 부하 공정 기준으로 설정한다. 그리고 표준시간 산정에 관한 프로세스를 개선한다. 기존 유사사양별 복사에 의한 표준시간 산정에서 무엇인가 의미 있고 객관성이 보장된 표준시간 산출에 대한 기준을 정립한다. CCR을 통한 ERP와 작업장의 연계는 기본적으로 아래 그림의 개념을 도입한다.

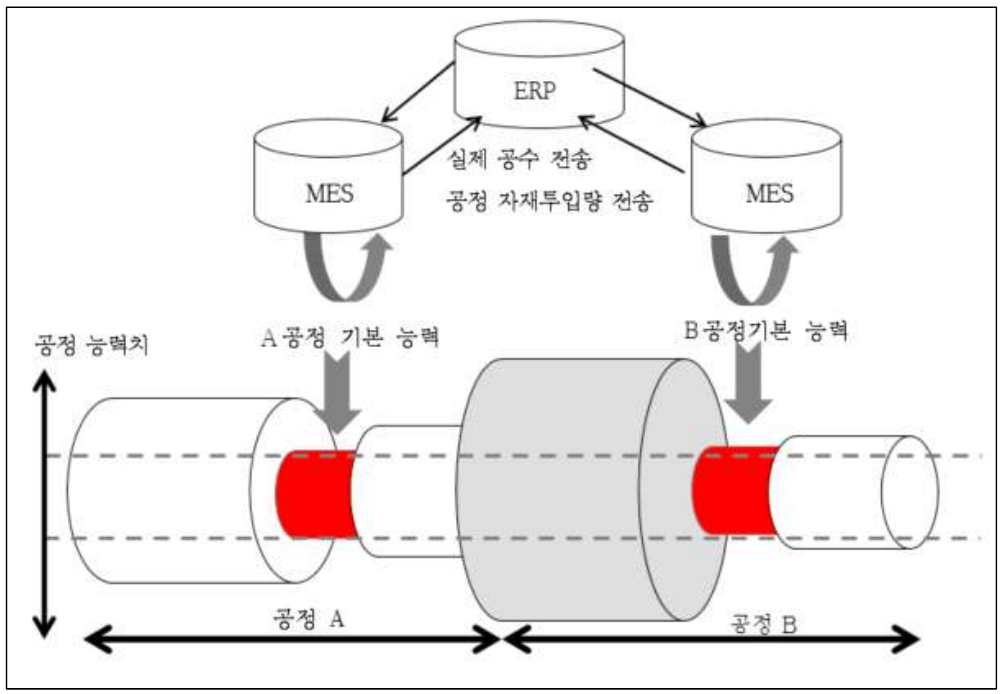


Fig. 3.3 CCR을 통한 MES와 ERP 간의 작업장 연계

나. 공정에 대한 정의

생산물류 흐름과 공정설비의 배치에 따라 직렬공정(Serial Process)과 병렬공정(Parallel Process)으로 분류를 한다. 직렬공정은 단일 생산설비 또는 단일 작업공정이 [Fig. 3.4] 처럼 공정순서에 따라 생산물류가 순차적으로 이동하는 것이 특징이다. 그리고 개별 생산공정별 생산 능력치(Capacity)는 상호 독립적이다.

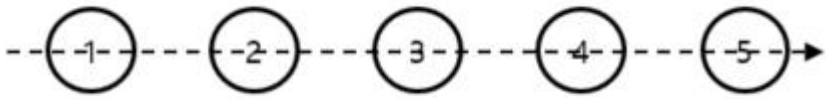


Fig. 3.4 직렬공정

병렬공정은 설비특성이 같은 유사설비 또는 유사 작업그룹이 동일 장소에서 같은 생산활동 또는 행위를 하는 것을 의미하며, 작업대상 반제품과 투입대상 원재료는 각 공정 그룹 내 생산설비 생산능력 및 공정 대기시간 상황에 따라 유동적으로 투입된다 [Fig 3.5]. 병렬공정의 공정 그룹은 같은 생산능력으로 배치가 되어있으나, 생산설비 특성은 같은데 생산공정 능력치가 다른 경우도 존재할 수 있다. 이 경우 병렬공정 그룹의 설비별 생산 능력치 평균으로 가용 생산능력(Available Capacity, 이하 생산능력)으로 간주하거나, 설비별 가동률이나 가동빈도에 따라 가중평균을 구하여 생산능력으로 산정한다.

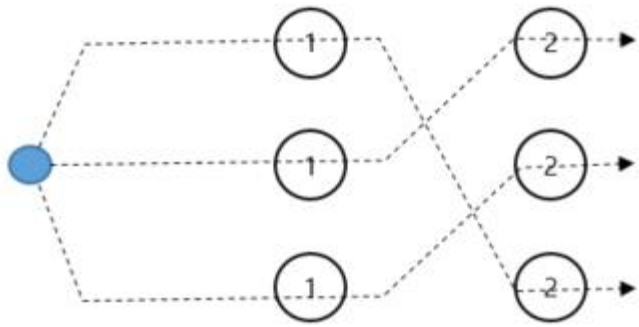


Fig. 3.5 병렬공정

병렬공정을 Xi 라고 가정을 하면 대상 공정의 가용 생산능력은 공정별 설비별 생산능력의 평균으로 정의한다.

병렬공정의 대표 생산능력은 아래와 같다.

병렬공정의 대표 Capacity= Σ Xi/n

분산공정(Dispersion Process)은 병렬공정과 공정 흐름이 같고 물리적으로 유사한 설비배치를 가지고 있다. 차이점은 생산 Lot 가 투입되면 다수의 유사 동일 공정 중 하나의 설비에 투입되는 것이 아니라, 공정투입 Lot 수량 ÷ 그룹화된 내부 공정 수로 분할되어 Lot가 투입된다. 이 경우 [Fig 3.6]과 같이,

대상 공정의 가용 생산능력은 설비별, 공정별 생산 능력치를 더한 값이다. 그 때문에 분산공정의 가용생산능력은 설비별 생산 능력치의 합으로 정의한다.

분산공정을 개별 생산 능력치를 Yi라고 하면

분산공정의 설비 Capacity는 각 설비별 Capacity의 합이다.

분산공정의 Capacity=Y1+Y2+Y3+Y4 . . . . . +Yn

$= \sum Yi$

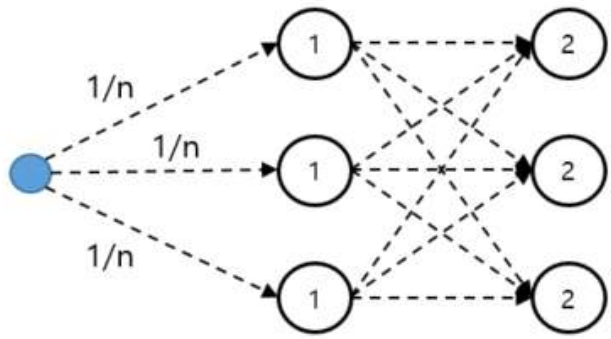


Fig. 3.6 분산공정

다, 공정현황

사례회사의 부품사업부와 중전기 사업부는 [Fig. 3.7]과 같이 직렬공정과 병렬공정이 혼재하여 생산물류가 흐르고 있는 것으로 파악이 되었으며, 공정 물류 분석을 통하여 애로 공정을 파악하고 CCR 정의가 가능하다고 판단하였다.

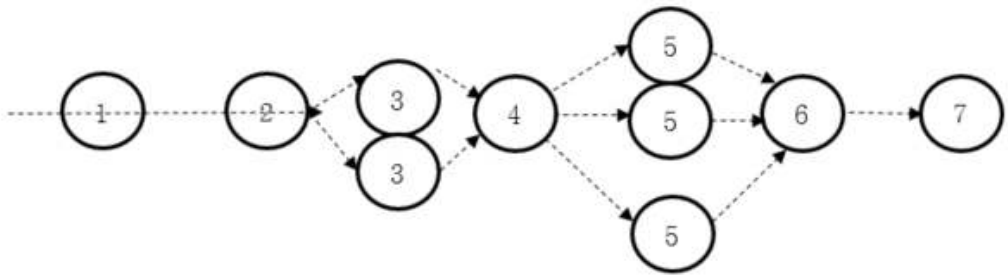


Fig. 3.7 직렬공정과 병렬공정의 혼합

라. 공정실적 적용 및 작업장 정의

상기 내용과 같이 ERP 작업장과 MES 간의 생산공정 작업실적의 정보 비동기화가 문제 되기 때문에 완제품, 반제품별 정합성 있는 원가정보 파악이 힘들고

공정작업지시, 생산계획 스케쥴링이 생산라인의 현실성을 반영하지 못하는 문제점이 발생하게 된다.

이에 대한 해결책으로 MES의 현재 공정실적 집계지점 중에서 공정별 제약조건을 찾은 뒤 제약조건에 해당하는 생산공정을 ERP 공정에 대응하는 작업장으로 간주한다.

MES 실적집계 및 생산공정 능력 산정의 기준을 개별 생산공정별 세부공정 중 부하 공정을 기준으로 설정한다. 기존 유사사양을 참조하여 생성한 표준시간 산정에서 공정별 특성치에 부합하는 공정작업 표준시간을 도출하도록 기준을 설정한다.

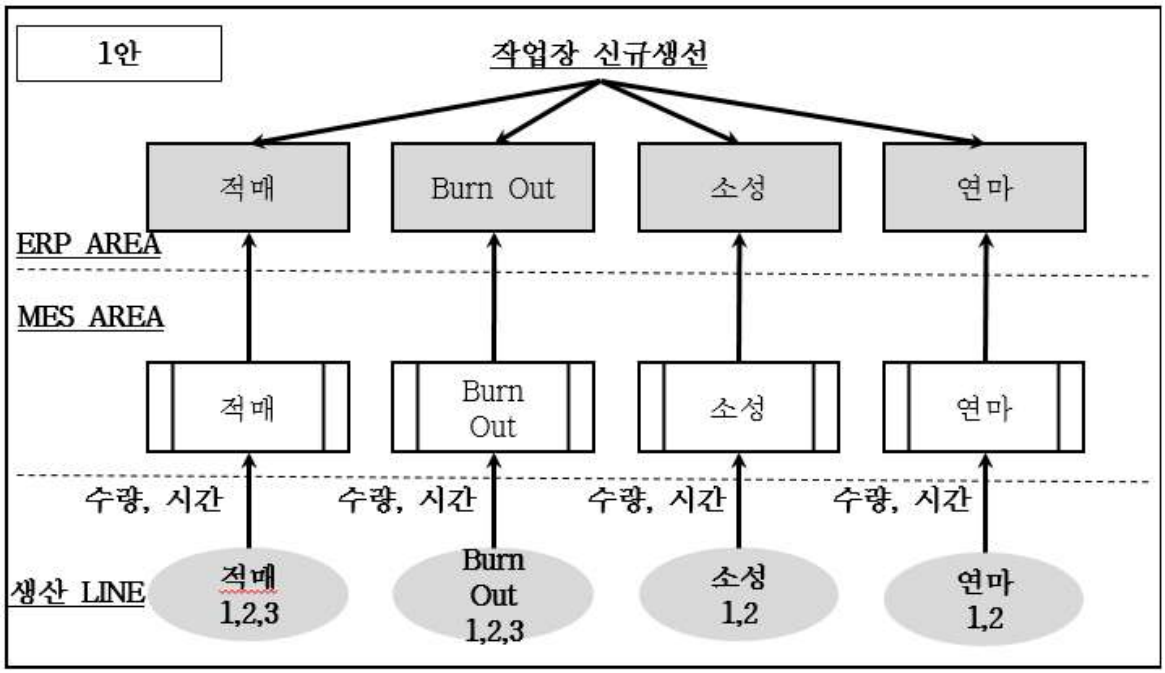


Fig. 3.8 대안 1

생산 세부공정 상황을 고려한 MES 작업장 등록 작업은 2개의 안으로 정의한다.

첫 번째 안의 경우 위 [Fig, 3.8]과 같이 MES 세부공정 실적집계 포인트와 동일하게 ERP의 작업장을 재분류하여 설정하는 방안이다. 이 경우 ERP 표준공정도의 작업 공정순서가 기존대비 급격하게 증가하여, 공정 부하계획(Capacity Planning)의 복잡도로 인한 관리 포인트의 증가 현상이 나타난다.

두 번째 안은 MES의 공정 실적 집계지점 작업장 중 CCR 공정만 정의하여 ERP 작업장과 1:1로 실적정보를 송수신하는 방안으로 재정의하는 방안이다.

[Fig. 3.8]에서 적층 세라믹을 열처리하는 다수 일련 공정 중 소성 공정(Sintering)이 가장 많은 부하를 가진 CCR 공정이며, 가용 생산능력 공정임을 알 수 있다.

본 연구에는 위 대안 중 2안을 선택하여 개별 공정의 요소작업 중 CCR을 공정 실적 집계지점으로 선정하고, 그 외 요소작업은 공정 실적 집계지점 내 생산 작업시간에 종속된다고 간주하였다. 또한 개별 공정별 CCR을 기준으로 생산 표준공수를 재산정하였다. 그리고 생산 표준공수는 제품의 노무비, 생산능력 분석, 공정 스케쥴링에 중요한 영향을 끼치는 요소이기 때문에 공정별 변동요인을 근간으로 하는 동작 분석을 통하여 다시 도출하였다.

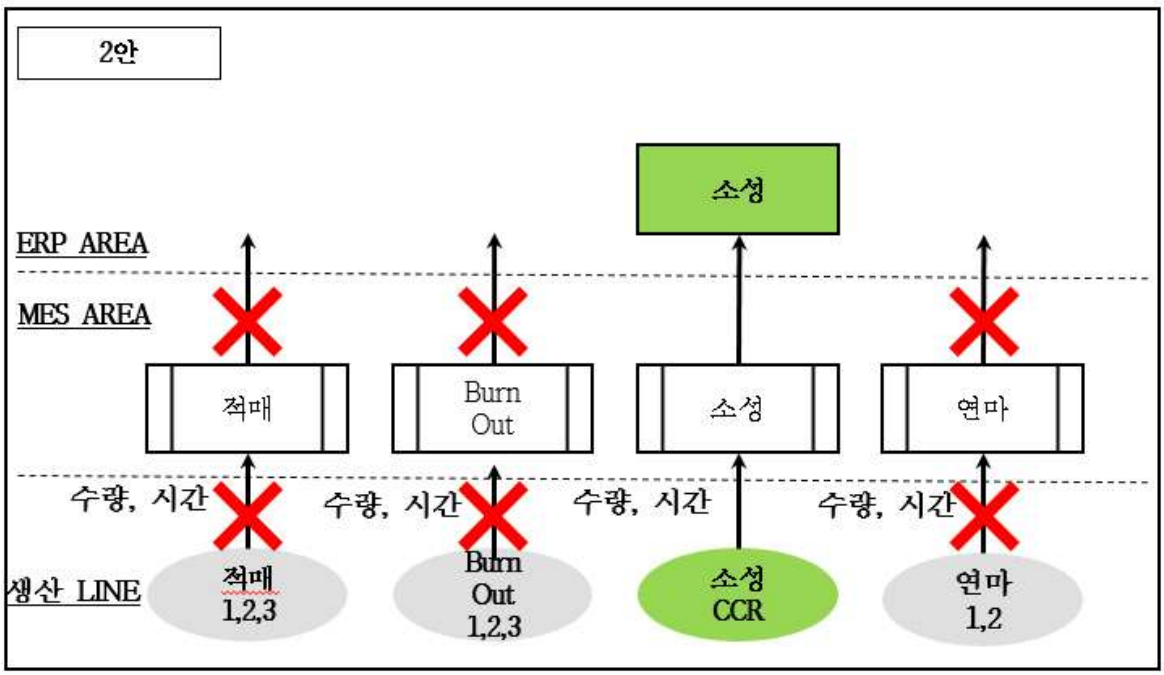


Fig. 3.9 대안 2

여기서 변동요인의 의미를 설명하면, 변동요인은 가용 생산능력에 영향을 미치는 인자(Factor)이다. 일반적으로 길이, 면적, 체적, 수량 등으로 정의된다. 이러한 사유로 공정별 변동요인 중 CCR 공정의 변동요인을 대표 변동요인으로 결정하였다.

Table 3.4 동작 분석을 통한 변동요인 도출 사례

공정명	요소작업	인원	변동요인		작업의 시점과 종점	
					시점	종점
NH 조립	자재수령	1	-	-	마차운반	조립반 자재 대기
	레이저 용업 설비세팅 작업	2	자재 SPEC별 변동	Size	Laser 위치 변경	Laser 용접 대기
	에자 용접 작업	1	상 구분	단상	상개 올리기	지그탈피시
	상개결선 작업	**2**	**상 구분**	**삼상**	**상개 인수**	**상개를 망치로 닫기**
	설비세팅 작업	1	제품 SPEC별		기준 불러오기	지그대 위치 지정
	상계용접	1	베이스 크기	43 size 53 size 63 size	설비 올리기	용접후 세척 대기
	이물제거, 납작업	1	사상 시간	-	에어 분사	밀봉 종료후 세척
	Case 세척 및 질소 투입	1	제품 크기	43 size 53 size 63 size	세척 작업	질소 투입후 종료
	조립품 함침반 이동	1	팔레트 입수량	1~2	질소 투입 종료	함침반 입구
	용접 부자재 준비	1	이동거리		조립반	조립반

위 [Table 3.4]의 NH 조립 공정의 경우, 각 요소작업 중 제약요소인 결선작업을 제약공정으로 정의하였다. 그리고 대상 제약공정의 변동요인을 도출하여 가용 생산능력 계산식을 도출한다. 가용 생산능력 계산식 도출의 목적은 변동요인을 함수화하여 표준시간을 도출하는 데 있다. 예를 들어 전해지를 원통형으로 둥글게 감는 권취공정 (Winding)이 존재한다. 이 경우 전기 저장소의 수(소자 수)와 권취설비의 회전속도 그리고 전극장의 크기가 변동요인이다. 변동요인은 상호 비례 관계에 있으므로 아래와 같은 공정능력 계산식이 도출된다.

권취공정 공정능력=소자수×전극장×설비속도(0.32M/sec)

권취공정에 투입되는 부품의 각각 3300V, 3P, 300K, 24소자, 전극장35인 사양을 가지고 있는 경우에 표준시간은 24소자×35전극장×3.12 sec/Meter의 계산식이 사용된다. 그리고 각각의 수치를 곱한 값이 해당 부품의 단위당 공정 표준시간으로 정의가 된다. 즉 권취공정에 투입되는 대상 자재의 표준시간은 단위 Meter 당 3.75분이 도출된다. 최종적으로 [Fig. 3.9]와 같은 TOC의 DBR이론을 적용하였으며 CCR과 Rope, 공정별 실적 포인트를 전사 공정에 적용하였다.

Fig. 3.10 CCR(제약자원)을 고려한 공정실적채집 포인트

마. 표준시간 생성 프로그램 개발

ERP 도입과정에서 사례회사는 원가 통제관리와 신속한 원가정보 제공의 도구로써 표준원가 제도를 도입하였다. 표준원가는 실제 원가와 대응되는 개념으로 생산과정에서 진행되는 모든 프로세스가 정상적인 상황일 때 표준원가와 큰 차이가 없는 원가 개념이다. 따라서 표준원가와 실제 원가의 차이가 크면 정상적이지 않은 문제가 발생이 되었다는 의미로 볼 수 있다. 이러한 비정상적인 문제를 찾아내고 개선하는데 그 의의가 있다. 그리고 표준원가 구성요소 중 표준시간의 영향력이 크고, 직접 노무비 산정의 기준이 되는 중요한 요소이다.

정합성 있는 표준시간 재구축은 매우 필요한 과업이며, 신뢰성 있는 표준시간을 산정하기 위해서는 공정 생산 능력치 계산식을 이용한 표준시간 설정이 필요하다. 이 때문에 표준시간 생성, 변경에 대한 절차 갱신 및 관리 통제가 필요하게 된다. 이러한 배경 속에서 표준공수생성, 변경에 대해 프로세스를 ERP 시스템의 아밥(Advanced Business Application Programming)프로그램으로 개발하였다[Fig. 3.11].

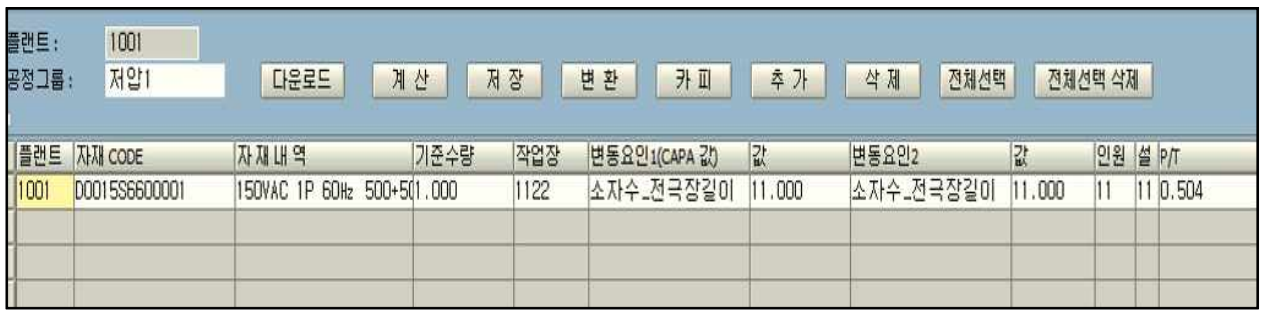


Fig. 3.11 표준시간 생성 프로그램 예시화면

표준원가 생성 프로그램은 변동요인과 표준공정, 요인별 공정 능력치, 공정 능력치 추세를 DB에 저장하였다. 그리고 마스터 프로그램을 구성하여 주기적으로 가용 생산능력을 관리하게 하였다. 프로그램에 대한 메가 프로세스는 아래 [Fig. 3.12]와 같다.

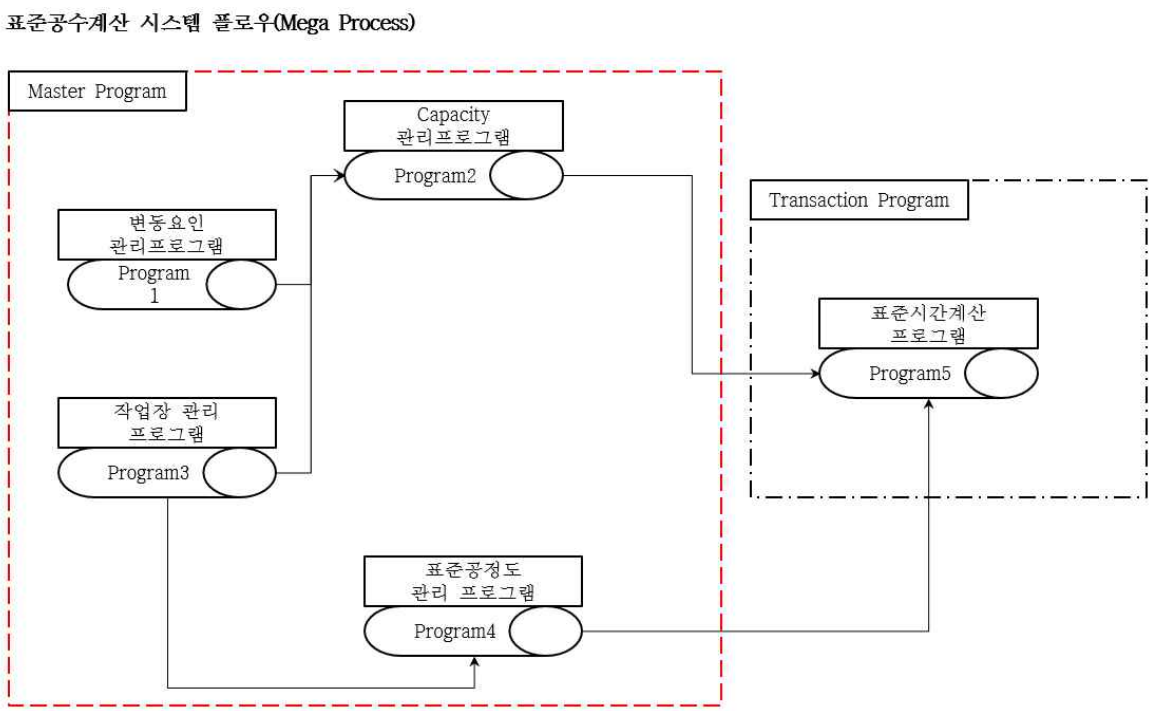


Fig. 3.12 표준시간 생성 프로그램 정보 Flow

우선 마스터 프로그램을 기반으로 생성, 변경 시마다 기준정보 담당자가 변동요인에 해당하는 파라미터값을 입력하게 된다. 입력된 파라미터값은 마스터 프로그램 정보를 참고하여 제품 사양별 표준시간을 생성하게 된다. 그리고 표준시간 생성 후 자동으로 표준공정도를 생성하는 프로그램을 사용하여 표준공

정도를 신규, 갱신하게 한다. 이로 인하여 표준시간을 CCR 중심으로 대량 변경하였으며, 사양별로 신규 생성 시마다 제품 사양과 공정 특정에 따른 정확한 표준시간이 산출된다. 그리고 MES 공정 실적 집계지점과 ERP 작업과의 관계가 1:1로 유지하게 되어, 실제 공정 실적과 비교 분석할 수 있는 기반이 마련되었다.

바. 사양별 제조원가 정합성 확보

TOC의 DBR이론을 적용한 MES의 공정 실적 집계지점 개선과 CCR을 이용한 생산 표준시간 재정립은 상호 시스템 간 비동기 현상을 제거하여 생산현장의 운영효율성과 업무 투명성을 확보할 수 있도록 한다. CCR을 중심으로 정비된 생산 표준시간은 사양별 노무비의 변화를 가져왔다, 정비 전에 비해서 표준노무비가 최소 30%에서 최대 50%까지 감소하였다(Table 3.6, Table 3.7 참조).

Table 3.5 표준시간 갱신 전후의 표준노무비 변화(Power Capacitor)

Power Capacitor(1개 기준 표준원가) (₩)

	고압 Kva	저압 Kva	저압 μF
Before (A)	74,294	24,659	9,728
After (B)	**44,138**	**15,860**	**4,847**
차이 (B-A)	-30,156	-8,799	-4,881
증감율	**-41%**	**-36%**	**-50%**

Table 3.6 표준시간 갱신 전후의 표준노무비 변화(적층세라믹 콘덴서)

적층 세라믹 콘덴서(10,000개 기준 표준원가) (₩)

	1005	1680	2012	3216	3225
Before (A)	2,407	4,174	6,533	16,734	38,410
After (B)	1,339	2,420	4,520	10,839	27,048
차이 (B-A)	- 1,068	- 1,754	- 2,013	- 5,895	- 11,362
증감율	**-44%**	**-42%**	**-31%**	**-35%**	**-30%**

정비 전 표준시간은 유사공정을 그룹화한 대공정 기준의 표준시간으로 산정이 되어있으며, 일련의 세부공정 표준시간의 총합이 포함되어 있다. 그 결과 노무비가 과대계상 되어서 큰 폭의 감소가 발생한 것으로 판단된다.

사. 표준시간 정비에 대한 타당성 검토

아래 [Table 3.7]은 연구조사 당시의 (2017년 6월 기준) MES에서 전송된 실적

과 표준시간과의 차이를 비교 분석한 수치이다. 비교 방법으로는 표준공수/실적공수의 공수효율 지표이며, 한 달간의 실적 비교표이다. 공수효율이란 보유한 표준작업공수 대비 실제 생산 공수로써 이를 비교 분석하여 기간별 공정별 생산효율을 구하는 데 목적이 있다. 산출 공식은(표준시간×생산량) / (실제 작업공수)로 정의한다. 공수효율로 생산성을 분석할 경우 작업유실 여부와 사양별, 공정별 표준시간 산정의 정합성을 파악할 수 있다. 게다가 공정 물류 흐름에 무리가 없는지 원인분석을 할 수 있다.

[Table 3.7]에 나타난 바와 같이, 표준시간 정비 전에는 60%대의 효용성이 좋지 않은 공수효율을 보이고 있다. 즉 사양별 생산 표준시간이 정확하게 산출되어있지 않으며, 집계된 실적 작업공수 또한 표준공수보다 30% 이상 상향 추세를 확인할 수 있다. 반면 TOC의 DBR이론을 적용한 표준공수와 실적공수를 상호 비교한 결과 전반적으로 100% 선의 공수효율을 보이는 것으로 분석되었다.

Table 3.7 생산공정별 표준공수 대비 실적공수 공수 효율표

	항목	고압 권취	고압 조립	고압 함침	고압 검사	FC결선	도장	합계
적용 전	생산량	18,793	9,687	11,690	5,798	21,892	10,111	
	표준공수	553	353	1,096	148	768	567	3,484
	실적공수	889	659	1,569	197	1,543	811	5,667
	공수효율	62.2%	53.6%	69.9%	75.1%	49.8%	69.9%	61.5%
적용 후	생산량	1,298	1,956	1,606	1,507	1,380	1,990	
	표준공수	56,618	38,168	43,926	13,257	142,963	34,788	329,720
	실적공수	51,800	35,404	39,060	10,145	139,560	30,019	305,988
	공수효율	109.3%	107.8%	112.5%	130.7%	102.4%	115.9%	107.8%

일부 공정(고압검사, 도장공정)의 경우 예상치와 다르게 공수효율이 다소 상향으로 산출되었다. 사유는 대상 공정이 인적요소(사람 중심의 작업)에 의한 영향이 큰 공정이기 때문에 발생된 것으로 파악되었다. 이는 미숙련 작업자가 전문숙련공이 되어 작업처리 능력이 향상되었음을 의미한다. 이러한 경우에 제약자원의 생산능력 변동요인(전압, 용량)의 파라미터 입력값을 상향 조정 및 레이팅이 필요하며, 주기적으로 변경할 수 있도록 하였다. 표준시간은 생산공정 상황 및 환경에 종속적으로 변동을 하기 때문에 해당 실적공수의 추세 분

석이 매우 중요하다. 상승 추세나, 하강 추세를 보이면 표준공수를 재조정하고 변동요인의 가용 생산능력 계수를 조정할 수 있도록 시스템을 설계하였다.

4. 본 연구에 대한 소결

본 사례에 대한 연구는 TOC의 DBR이론을 아래와 같은 부문에 적용하였다.
첫 번째 ERP에서 생산기준정보인 작업장 정의에 대해 새로운 시도를 하였다. 설비 또는 공정의 위치별, 형태별, 기능별 분류에 따른 기존 방법과는 다르게 TOC의 DBR 이론 기반으로 정의하였다.
두 번째 ERP 시스템과 MES 간의 정보 송수신에 대한 동기화에 적용하였다. 제약자원인 CCR을 탐색하고 생산공정 현장 정보와 실질적인 연계가 가능하도록 하였다. 그리고 MES 작업장 정의를 CCR 기준으로 재정비하고, 생산실적을 취합하고 전송하는 공정 실적 집계지점(Gathering Point)을 정의하였다.
세 번째 ERP 시스템의 생산 표준시간을 CCR과 변동요인 기준으로 사양별, 용량별로 재정의하였다. 그 결과 생산현장의 상황을 반영한 현실적인 표준시간 도출이 가능하게 되었다. 정비 전에는 제품, 반제품 사양별 생산 표준시간 산출이 불가하였으며, 사양별 원가 산출에 대한 정합성이 저하되어, 그에 수반되는 경영분석 활동을 할 수 없었다. 사양별 제조 원가분석은 ERP를 통하여 데이터는 산출되었으나, 제공되는 생산실적에 대한 신뢰도 문제로 인하여, 별도의 엑셀 작업으로 가공하고 정제된 데이터를 사용하는 실정이었다.
본 사례연구에서 제시한 CCR기반의 생산 표준시간 재정비는 노무비 변동에 직접적인 영향을 미쳤으며, 표준노무비가 기존보다 하향조정 되었다는 것이 확인되었다. 실제 원가 측면에서는 MES 송신 데이터의 정보 동기화로 사양별 실제 원가의 정합성을 향상시킬 수 있었다. 사례회사에서는 고정비와 변동비를 계획 배부율로, 동일 기준으로 적용할 수밖에 없었으나, 본 TOC기법을 시스템에 적용한 이후 변동비는 실적 기준율로, 고정비는 계획 배부율로 변경하였다. 그리고 제조 공통 인건비와 경비 또한 사양별 제조시간 기준으로 배부하게 하였다. 이를 계기로 실제 원가 기준의 사양별 한계이익을 ERP에서 다양한 레포트로 제공할 수 있게 되었으며, 경영진과 관련 관리자는 경영 의사결정의 도구로 사용할 수 있게 되었다.
생산관리에서는 생산계획자가 표준 대비 실적공수에 대한 공수효율을 분석한 후, 공정별 월별 예상된 공수계획을 생산라인에 재배포하고, 공수효율이 낮은 CCR에 대한 관리가 가능해졌다. 이로 인하여 생산계획 물량에 대한 라인별, 공정별 잔업 관리를 잔여 물량에 대한 표준시간 기준으로 계산하여 통제하였

다. 그리고 공수효율이 높지 않은 경우의 해당 공정은 원인을 조사하여 개선점을 찾고, 공수효율을 향상하기 위한 관리가 가능하게 되었다. 이를 통해 생산성 향상의 효과와 원가절감 효과를 도모하였다.

제3절 ERP 생산계획 기능 개선을 위한 시뮬레이션 기법 도입

1. 사례기업 개요 및 경영환경

해당 사례기업은 가정용, 사무용, 주방용 가구 제조 및 판매하는 기업이다. 주요생산품으로는 가정용 가구(침대, 소파, 인테리어 소품가구 포함), 사무용 가구, 부엌 가구, 붙박이 가구 등을 생산하고 있으며, Laser Cutting Machine, U/V(Ultra Violet)Line 외 400여종의 생산설비를 갖추고 있다. 사업 형태는 자체 생산된 제품 대비 상품의 비율이 "60:40"의 형태이며, 판매 방식은 크게 직영, 대리점 위탁 및 일반 기업/공공부문 수주형으로 구분할 수 있다.

본 연구는 [Fig. 3.13]과 같이 사무용 가구의 제작을 대상 공정으로 하고 있으며 여러 상황을 고려하여 비무늬목 제품에 관해서 연구를 진행하였다.

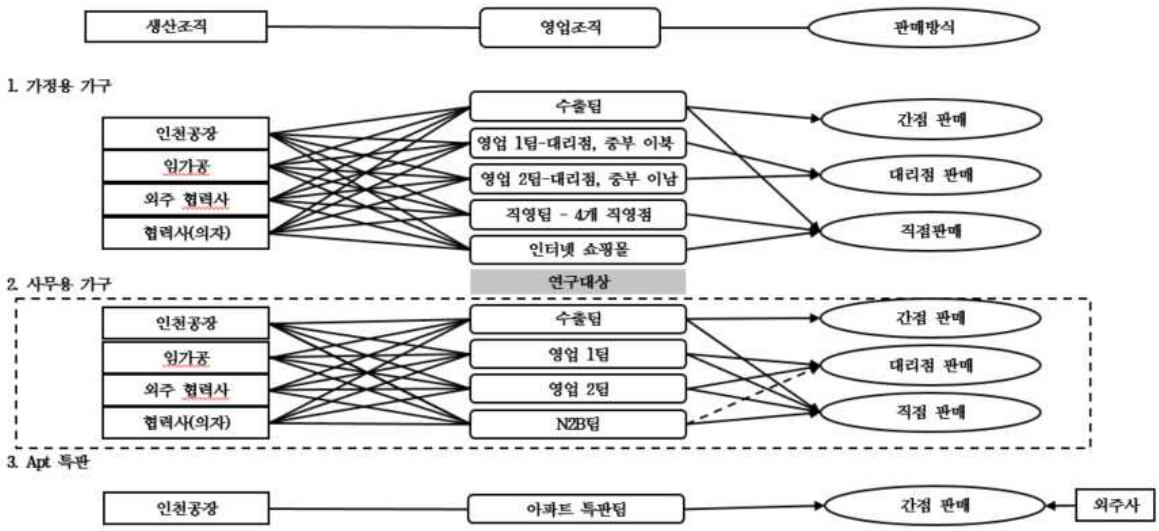


Fig. 3.13 사업 현황

2. 생산 프로세스에 대한 이해 및 문제점 파악

가구제작 공정은 [Fig. 3.14]와 같이 원판을 부품별로 가재단하는 공정과 문짝/천 판 등에 하니콤을 삽입하는 공정, HPM 접착공정, Edge Banding 및 Forming 공정, Auto Boring 공정, 정재단 작업, NC 가공 공정으로 이루어져 있다. 각 공정은 생산제품에 따라 일련의 순서를 가지고 수행된다. 각 공정 간에는 이동대차 및 지게차를 이용하여 다음 단계로 이동하게 된다.

Fig. 3.14 주요 공정

가구제작 공정의 월 생산계획 작성 방법은 과거의 생산데이터를 기준으로 작업소요시간을 산출한 결과를 이용하여 중간 제품 및 최종 제품에 대한 생산량과 생산일을 정의하는 방식으로 이루어져 있다. 이러한 전통적인 생산업종은 공정별, 부품별 표준시간을 사용하여 공정통제를 하고 공정별 Line Balancing을 조정하여 생산관리를 하고 있다. 하지만 이러한 생산계획은 실제 현장의 상황을 정확히 반영하지 못하고 있으므로 각 작업 단위별 작업시간을 정확히 측정해야 한다. 그리고 각 작업 단위별 대기시간을 측정하여 전체 공정지연에 영향을 미치는 원인을 파악해야 할 필요성도 있다.

사례기업은 ERP와 MES가 구현되었음에도, 해당 공정에 대한 정확한 공정 분석을 시스템으로 실시하지 않고 있으며 그 대신에 실제 작업을 수행하는 아웃소싱팀과 생산팀의 관리자, 공정 담당 작업자의 경험적, 직관적인 분석을 통해서만 의사결정이 이루어져 왔다. 이러한 문제점은 사례기업이 실제로 현장에 대한 정확한 분석을 시스템으로 해본 경험이 없고, ERP의 생산관리 기능이 이러한 요구사항에 대해서 대응을 못 했기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 실제 공장현장에 대한 정확한 분석을 통해 사례기업의 생산계획 효율화 및 외주 공정관리를 위한 다양한 시나리오를 제공하고자 한다. 이러한 문제점을 해

결하기 위해 시뮬레이션 기법을 적용하기로 한다.

시뮬레이션은 실제 목표 시스템을 현장에 구축하지 않고 컴퓨터에서 통계적인 모델링을 하고 사례별로 실행하여 예측 결과를 얻을 수 있는 장점이 있다.

3. 자료의 수집 및 모형화

가. 기본 가정

본 연구에서는 실제로 ERP와 MES가 구축되어 운영 중인 사례기업의 시뮬레이션 모델링을 수행하는 데 있어서 생산 관련 필요한 정보들이 필요하다. 따라서 다음과 같이 생산 환경에 대한 이용 가능한 정보 및 가정을 정하였다.

가정 1 : 월 생산계획표, 표준시간 생산계획, 공정 대기시간, 가용 CAPA. 등 시뮬레이션을 위한 필요정보는 이를 운영하는 담당 부서에서 제시한 자료를 이용한다.

가정 2 : 시뮬레이션 대상은 사무용 가구 라인이며 사무용 가구의 특성상 타 부문(가정용)의 공정투입도 허용한다.

가정 3 : 원자재창고에서 공정에 투입이 되는 경우는 시뮬레이션 환경상 모든 경우의 수를 적용할 수 없으므로 Unlimited Capacity를 적용한다.

가정 4 : 부품별 표준시간은 Lot 기준을 비례하여 증가한다는 전제하에 시작한다. 이는 일반적으로 산업공학에서 주장하는 공수가 증가함에 따라 지수분포 형태의 Slope를 그린다는 공수 체감의 법칙을 무시한다.

가정 5: 한 달 치의 생산 물량을 시뮬레이션하는 과정에서 처음 투입이 시작되는 환경에서는 재공(WIP)은 없다고 가정을 한다.

가정 6: 이동 대차, 지게차의 이동 시간은 축적된 데이터가 없는 관계로 라인 경험자의 경험치로 수치화하여 진행한다.

여기에서 표준시간이란 공정숙련도를 갖춘 작업자가 작업표준에 의한 작업속도로 작업을 하고, 작업 여유시간을 수반하면서 수행하는데 필요한 시간이다. 일반적인 제조업에서는 전통적인 I.E.기법으로 각 요소작업마다 표준시간을 활용하여 공정 설계를 하고 공정 라인밸런스(Line of Balancing)를 맞추어 생산계획을 수립한다.

이렇게 라인밸런싱을 고려한 공정을 구성하면 공정간 불균형으로 인한 대기시간과 병목현상은 발생되지 않아야 한다[59].

나. 시스템 프로세스

사례회사는 기간 시스템으로서 ERP 시스템을 사용하는 회사로 계획생산과 주문생산의 혼합형태 생산을 수행하고 있는 회사이다. 판매계획부터 생산계획 수립은 ERP에서 담당하고 있으며, 제조업의 특성을 반영하여 작업지시, 생산 실적관리, 품질관리는 MES를 사용하고 있다. 그리고 ERP와 MES는 상호 연동되어 사용되고 있으며 MES에서는 가공시간, 자재투입량, 생산량 정보를 생산 오더 기준으로 ERP에 전송한다.

각 대리점별 주문관리는 대리점 포털 시스템을 사용하고 있으며 주문 정보는 ERP와 연동이 된다. 게다가 공급망 관리를 위해 외주 협력자와 구매정보, 재고 정보를 공유하는 VENDOR WEB 시스템을 사용하여 적시에 외주 가공품을 조달할 수 있게 하는 체제를 구축하였다.

생산 방식에서는 생산 가공 Lot는 대량 Lot부터 소량 Lot까지 존재하며, 다품종 대량 생산의 특이한 생산 체제를 가지고 있다. 이러한 전사적인 정보의 흐름을 표현하면 아래와 같으며, 생산계획 일정 관리, 공정관리, 부하조정관리는 시스템에서 지원하지 못하고 있는 현실이다.

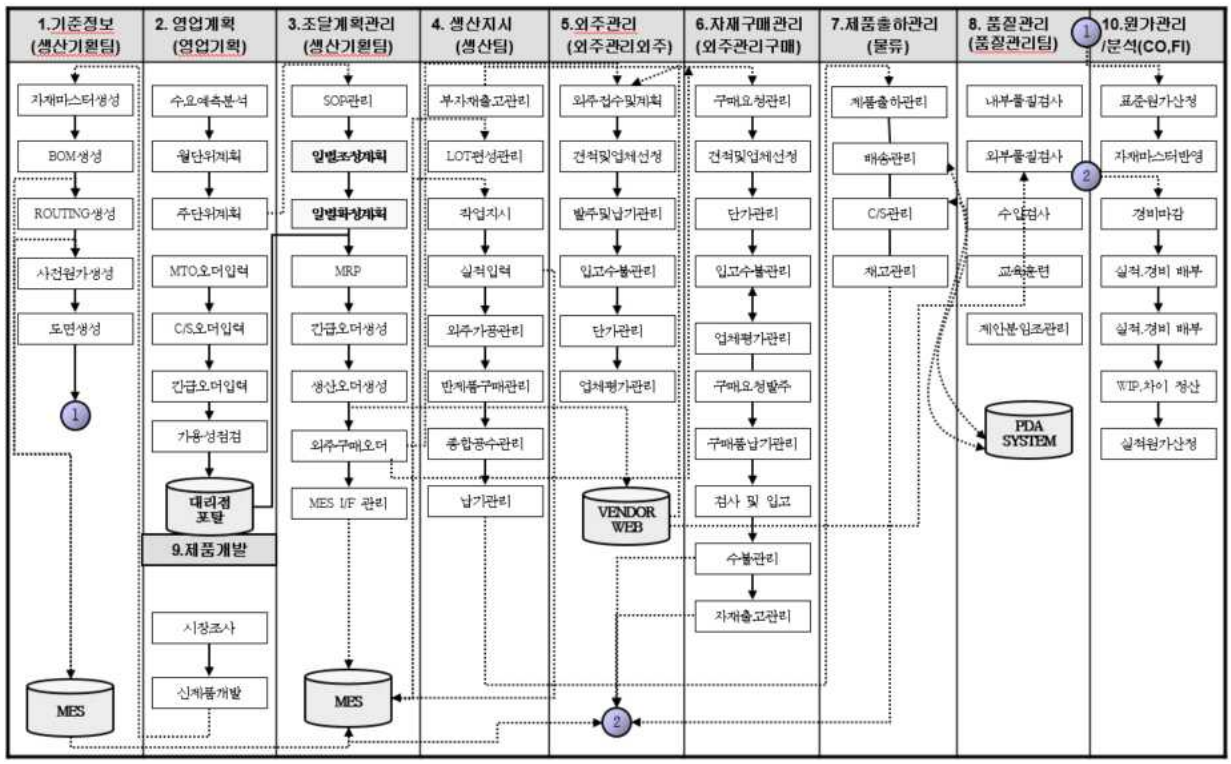


Fig. 3.15 시스템 Flow

다. 자료의 수집

자료의 수집은 사례기업의 월 생산계획표와 표준시간 생산계획에 의해 작업시간을 설정하였다. 생산계획 수집자료는 사례회사의 정보 보안등을 고려하여 과거 시점의 Data를 사용한다.

비 무늬목 라인의 Capacity는 [Table 3.8]과 같으며, 해당 Capacity를 기본으로 투입되는 생산계획 품목에 따라 표준시간 또는 Cycle Time을 도출하고 진행할 예정이다.각 설비별 공정별 Capacity는 설비의 특성과 가공되어서 나오는 제품의 속성을 고려하여 Capacity의 기본단위를 정의하고, 일정 기간 가공된 자료를 통하여 도출된 산술식이다. 각 제품별 표준시간은 공정별 Capacity의 단위당 생산량을 기준으로 하여 표준시간이 도출된다. 여기에 공정별 표준작업인원을 고려하여 공수(Man/hour)를 도출하고, 도출된 공수는 표준원가 가공비 임율(Cost Rate)의 기준이 된다.

Table 3.8 비무늬목 라인 CAPA

라인	조명	NO	설비명	공정	현재CAPA		현재 표준 작업인원
목취	목취	1	PANEL SAW	대형판넬쏘	0.024	m3/min	2
			CROSS CUTTING SAW	횡절기	3	ea/min	2
BODY	정재단	2	(D)SIZING & EDGE BANDER(1차)	S/Q LINE	4	m/min	3
	세공/보링	3	CROSS CUTTING SAW	횡절기	1.45	m/min	2
			CIRCULAR SAW	환거기	4.42	m/min	1
			ROUTER	루터	2.46	m/min	1
			(S)EDGE BANDER	일면에지벤딩	2.11	m/min	3
			다이와 보링기	걸레받이 보링	3.5	tou/min	1
	보링	4	AUTO BORING M/C (268축+228축)	연결보링	3	tou/min	2
	조립	5	BELT CONVEYOR	조립			
			옷장ASSM	옷장ASSM	0.404	ea/min	6
			붙박이장ASSM	붙박이장ASSM	0.47	ea/min	6
	접착	6	7단 PRESS	써자니7단프레스	1.85	m2/min	6
			CALIBRATING SANDER	엘막	2	m2/min	1
			7단 PRESS	써자니7단프레스	1.85	m2/min	6
			CALIBRATING SANDER	엘막	2	m2/min	1
	정재단	7	(D)TENONER	테노너	2.6	m/min	2
			(S)EDGE BANDER(1)	일면에지벤딩	2.6	m/min	2
			SOFT FORMING M/C	소프트포밍	3.82	m/min	2
			수평면취기	면취기	2.5	m/min	1
			ROUTER	루터	2.46	m/min	1
	NC	8	N.C BORING M/C	NC보링	2.82	tou/min	1

BOM의 경우 사무용 가구의 BOM 구조는 깊이가 3 LEVEL로 구성이 되어있다. 최하단 원자재를 제외한 반제품과 최상위 완제품 단위로 표준 공정기준정보가 할당되어 있으며, 반제품, 완제품 단위로 생산 납기를 고려한 생산 오더가 발행된다.

생산 오더는 BOM 구조와 일치를 시켜서 Collective Order(Family Order)로 정

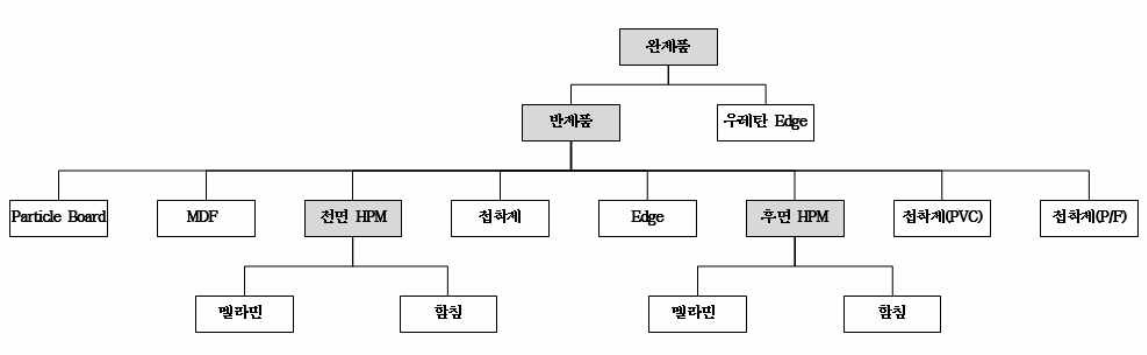


Fig. 3.16 사무용 가구 BOM 구조

의가 되어있다. Collective Order는 최상위 완제품 기준으로 하위의 반제품 오더들이 동일체로 관리가 되고, 정산되는 구조라고 볼 수 있다.
각 오더는 최상위 오더, 선행 오더, 후행 오더가 있으며, 각각의 오더는 모자관계를 가지고 생산 작업지시를 진행한다. 본 연구에서는 해당 생산 오더에 각 표준시간과 공정을 연계시켜, BOM을 전개하는 작업과 동일하게 시뮬레이션 작업을 위하여 각 오더를 전개 시켰다.

선행오더	하부오더	품목	LOT	시작일	종료일
100103022		책장(PWW0855W)	20	2014-09-01	2014-09-02
	100103021	문짝(우)(PWW0855W)/118	20	2014-08-22	2014-09-01
	100103020	문짝(좌)(PWW0855W)/117	20	2014-08-22	2014-09-01
	100103019	걸레받이(PWW0855W)/1001	20	2014-08-25	2014-09-01
	100103018	이동선반(PWW0855W)/405	60	2014-08-22	2014-09-01
	100103017	고정선반(PWW0855W)/401	20	2014-08-22	2014-09-01
	100103016	측판(우)(PWW0855W)/1702	20	2014-08-22	2014-09-01
	100103015	측판(좌)(PWW0855W)/1701	20	2014-08-22	2014-09-01
	100103014	지판(PWW0855W)/301	20	2014-08-22	2014-09-01
	100103013	뒷판(PWW0855W)/1401	20	2014-08-26	2014-09-01

Fig. 3.17 생산 오더 구조

그리고 현실성 있는 시뮬레이션을 위하여 생산설비에서 움직이는 이동 대차, 지게차, 외주업체와의 동선 거리를 고려한 이동 시간을 관계자의 도움을 얻어 정규분포에 수렴한다는 가정하에 이동 매트릭스를 작성하였다. 작성된 이동 매트릭스는 아래와 같다.

대차
(공정-->공정)

이동대차(MIN)		HRC01 판넬가재단	HRC02 멜라민가재단	HFM01 설합가공	OPR01 HPM접착	OPC01 절재단	OBO01 보링	OFM01 설합가공	OPC02 CNC	OPC03 프링재단	OPR02 포스트포밍	OAS01 비규격	OAS02 준비/조립/포장
HRC01	판넬가재단		2	2	3	3	3	3	4	4	5	5	5
HRC02	멜라민가재단	2		2	3	3	3	3	4	4	5	5	5
HFM01	설합가공	2	2		2	3	3	3	3	4	4	5	5
OPR01	HPM접착	3	3	2		2	3	3	3	3	4	4	5
OPC01	절재단	3	3	3	2		2	3	3	3	3	4	4
OBO01	보링	3	3	3	3	2		2	3	3	3	3	4
OFM01	설합가공	3	3	3	3	3	2		2	3	3	3	3
OPC02	CNC	4	4	3	3	3	3	2		2	3	3	3
OPC03	프링재단	4	4	4	3	3	3	3	2		2	3	3
OPR02	포스트포밍	5	5	4	4	3	3	3	3	2		2	3
OAS01	비규격	5	5	5	4	4	3	3	3	3	2		2
OAS02	준비/조립/포장	5	5	5	5	4	4	3	3	3	3	2	

정문 입구까지

지게차		80001 입가공: 태양:	80002 입가공: 다름:	80003 입가공: 홍섭:	80004 입가공: 철단:	80005 입가공: 설지:(N	80006 입가공: 도원:	80007 입가공: 대림:	80008 입가공: 미래:	80009 입가공: 루원:
HRC01	판넬가재단	40	40	20	30	30	40	40	40	60
HRC02	멜라민가재단	40	40	20	30	30	40	40	40	60
HFM01	설합가공	40	40	20	30	30	40	40	40	60
OPR01	HPM접착	40	40	20	30	30	40	40	40	60
OPC01	절재단	40	40	20	30	30	40	40	40	60
OBO01	보링	40	40	20	30	30	40	40	40	60
OFM01	설합가공	40	40	20	30	30	40	40	40	60
OPC02	CNC	40	40	20	30	30	40	40	40	60
OPC03	프링재단	40	40	20	30	30	40	40	40	60
OPR02	포스트포밍	40	40	20	30	30	40	40	40	60
OAS01	비규격	40	40	20	30	30	40	40	40	60
OAS02	준비/조립/포장	40	40	20	30	30	40	40	40	60

Fig. 3.18 이동 매트릭스

라. 시뮬레이션 설계

시뮬레이션 모델링은 ARENA (Academic)을 이용하여 개발하였다. ARENA는 시뮬레이션 모델링을 위한 전용 언어로써 생산 및 물류시스템 및 다양한 설계에 많이 사용되고 있다. 주요기능으로서 입력분포 설정, 애니메이션, 출력분석 등의 기능이 있으며, 사용자 친화적인 유저 인터페이스(User Interface), 대화형식 메뉴 등을 통해 사용자는 쉽고 편리하게 시뮬레이션 모델링 구조를 선택한다. 그리고 이를 연결하고 시스템 구성요소의 움직임과 변화에 따라서 동적 그래픽 애니메이션과 함께 연구 모델링을 실행시키면 되는 쉬운 인터페이스 구조로 되어있다. 다수의 상호 보완성이 있는 템플릿(Templates)들을 제공함으로써 다양한 분야(다양한 제조산업, 물류 중계센터, 대형 유통산업 등)에 적용 가능한 모델을 쉽게 구축할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 ARENA에서 제공해 주는 템플릿을 이용해 사례기업의 생산계획 물량 상황을 비교적 정확하게 모델링 할 수 있으며, 이를 통해 다양한 상황분석 및 대안평가를 시행할 것이다.

[Fig. 3.22]는 원자재 투입부터 제품 출고까지의 활동 다이어그램이다. 활동 다이어그램 작성하기 위해서 사무용 공장 물류 흐름의 이해가 필요하다. 따라서 해당 공장 Lay Out 기반 위에 물류 흐름을 정리하였다.

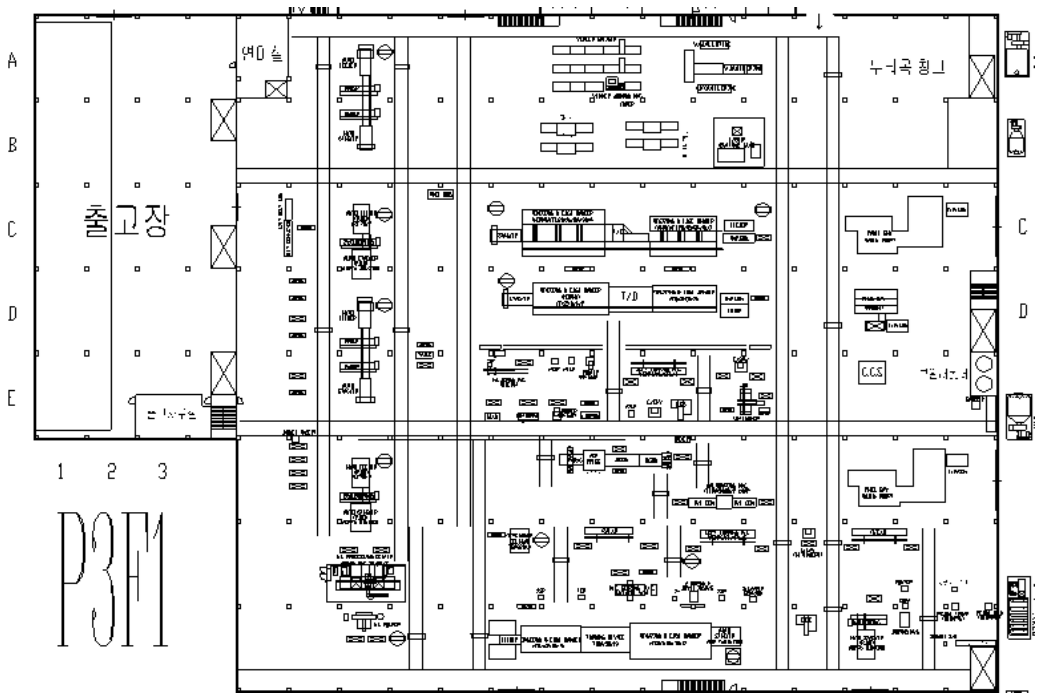


Fig. 3.19 사무용 공장 Lay Out

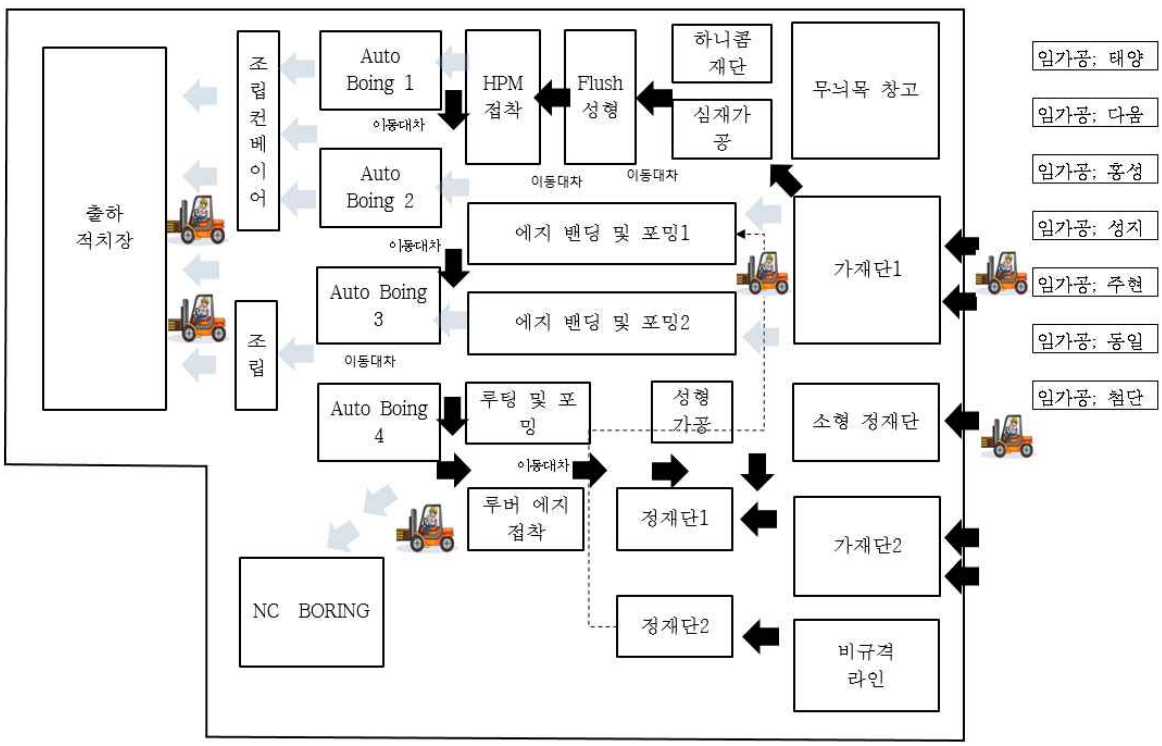


Fig. 3.20 사무용 공장 물류 동선

마. 시뮬레이션 결과

Arena로 실험을 한 결과 사내공정 경우 조립 포장 공정, HPM접착공정, 하도 공정에 많은 양의 대기행렬이 발생하였다. 특이 사항은 사내공정보다 외주 임가공 공정의 대기행렬이 다수 발생을 하였다.

Queue

Time

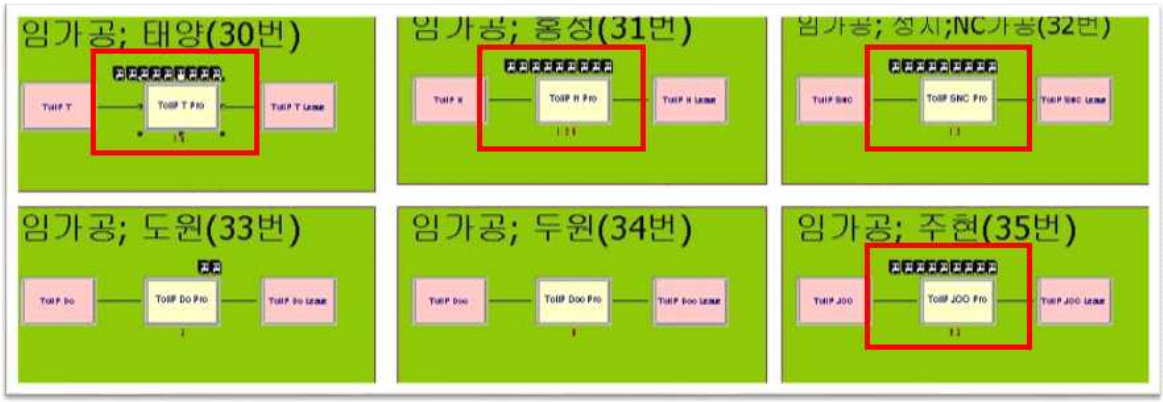
공정별 대기시간

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value	
Batch 1.Queue	3625.27	(Insufficient)	0.00	7720.27	조립포장1
Batch 2.Queue	874.13	(Insufficient)	0.00	12531.87	조립포장1
Batch 3.Queue	423.05	(Insufficient)	0.00	1901.84	조립포장1
Hold 12.Queue	20.5803	(Insufficient)	0.00	78.1569	보림
Hold 13.Queue	78.7179	(Insufficient)	0.00	202.44	비닐마감
Hold 14.Queue	10.3003	(Insufficient)	0.00	28.9701	설합가공
Hold 15.Queue	31.1406	(Insufficient)	0.00	132.27	관넣기자탄
Hold 18.Queue	139.26	(Insufficient)	0.00	278.52	HPM접착
Hold 21.Queue	1.8018	(Insufficient)	0.00	16.2163	변하도1
Hold 22.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00	무늬목 마감
Hold 23.Queue	29.6885	(Insufficient)	0.00	111.14	HPC접자탄
Hold 24.Queue	556.84	(Insufficient)	0.00	1127.55	SPRAY하도
Hold 6.Queue	961.68	(Insufficient)	0.00	2016.12	HPR접착
Hold 8.Queue	137.07	(Insufficient)	0.00	351.04	준비/조립포장

Fig. 3.21 생산공정 대기행렬 예상결과

사내공정 조립 포장 공정과 하도 공정은 숙련공의 역량에 따라 생산능력에 많은 변화가 있는 인적영향도가 높은 공정이다. 하도 공정에는 숙련공을 투입해야 하며, 조립 공정에는 조립 인원을 더 투입해야 한다. 다만 HPM접착 공정의 경우 설비 영향도가 높은 공정이기 때문에 향후 지속적인 시뮬레이션 결과를 관찰한 뒤 설비투자 여부를 결정해야 한다.

외주가공의 경우 임가공 태양, 홍성, 성지NC, 주현, 도원에 대기행렬이 발생이 되어 사내공정보다 외주가공의 CAPACITY가 부족하다는 결과가 나왔다. 이 의미는 생산계획 수립 시 외주, 임가공 업체의 생산능력을 고려하지 않고 계획을 수립하는 것으로 나타났다. 생산계획자가 내부공장 생산계획은 어느 정도 생산균형을 고려하여 생산계획을 수립하는 대신, 외주 임가공 공정의 경우 기본적인 발주 리드 타임을 고려하여 생산계획을 수립한다는 것을 추정할 수 있다. 외주임가공업체는 납기준수를 위하여 잦은 잔업과 오버타임이 예상된다.



Queue

Time

공정별 대기시간(외주 임가공)

Waiting Time

	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value	
TollP H Pro.Queue	12567.85	(Insufficient)	0.00	25154.00	임가공 홍성
TollP JOO Pro.Queue	8373.20	(Insufficient)	0.00	15118.48	임가공 주현
TollP SNC Pro.Queue	945.06	(Insufficient)	0.00	1890.12	성지NC
TollP T Pro.Queue	1079.51	(Insufficient)	0.00	2159.02	임가공 태양
Upper1 Pro.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00	

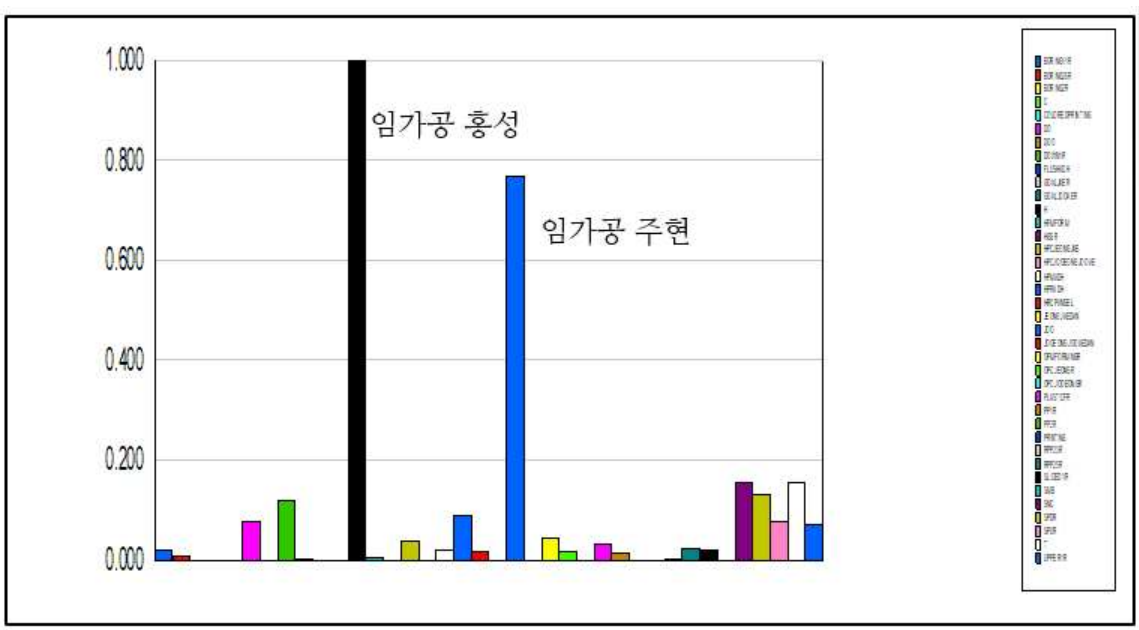


Fig. 3.22 외주, 임가공 가동률 및 대기행렬 결과

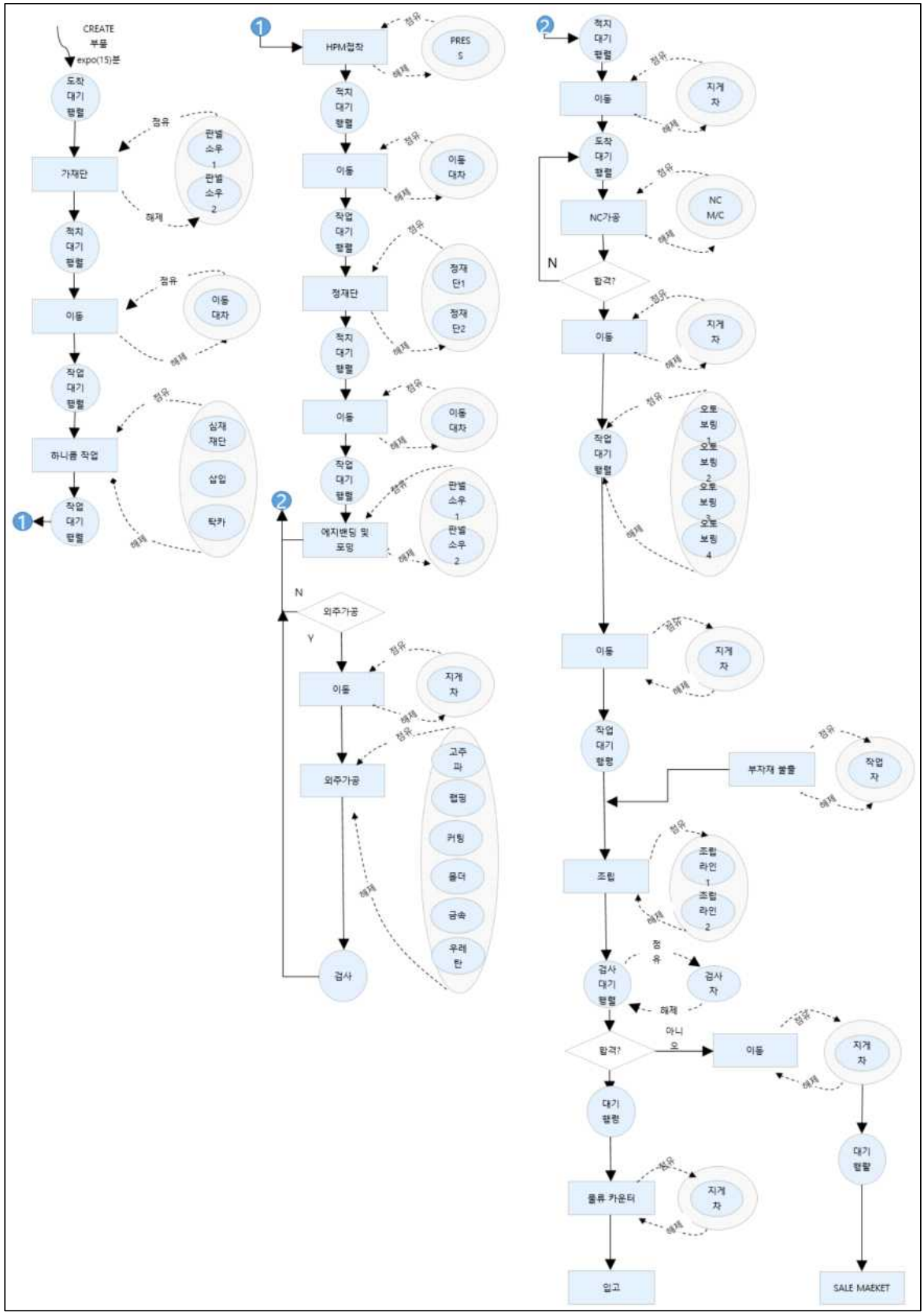


Fig. 3.23 원자재 투입부터 제품 출고 활동 다이어그램

4. 본 사례연구에 대한 소결

본 연구에 대한 의의는 다음과 같다.
반도체, 정유, 제약과 같은 연속적이고 생산 Cycle Time이 일정한 산업의 경우에는 ERP에서 제공되는 생산계획 기능과 조정기능은 사용할 수가 있다. 그러나 Lot 단위로 물류가 이동하는 제조공정의 ERP 생산계획에서는 MRP와 CRP 기능의 태생적 한계로 사용이 쉽지 않다는 것을 본 사례연구에서도 확인이 되고 있다. ERP의 이러한 문제점을 해결하기 위하여 다양한 생산계획 기법이 시스템이 도입되었다. 그 대표적인 사례가 제약자원을 사용한 TOC의 DBR스케쥴링이 있으며, MRP를 보완한 유한자원 스케줄링 기법 등 다양한 시도가 시스템에 적용이 되었다.
이러한 기법의 공통적인 단점은 생산현장의 상황을 정확히 예측하거나, 반영하지 못한다는 것에 있는데, 시뮬레이션 기법은 이러한 단점을 보완하였다. 생산계획에 대한 다양한 시나리오와 결과에 대해서 예측을 할 수 있으며, 공정간 이동 시간, 대기시간에 대해서 통계를 통한 시나리오 분석으로 현실성 있는 예측을 할 수가 있다.
본 연구에서 주목할만한 성과는 아래와 같다.
첫 번째로 방대한 양의 데이터(3,200개 생산 오더, 220,000 Lot)를 처리하여 생산계획에 대한 시뮬레이션을 수행하였다.
두 번째로 임가공, 외주가공에 대한 생산계획은 공급사의 생산능력을 참작한 발주계획이 아니고 발주처 납기일에 종속이 되어 발주가 진행된다는 점이다. 원도급과 하도급과의 생산 종속관계를 확인할 수가 있었다.
세 번째로 ERP 독단적인 생산계획 수립이 아니라, 이종 소프트웨어와의 연계 가능성이다. 이미 APS(Advanced Planning System)가 ERP와 연계되어 사용되고 있지만, 좀 더 진보한 생산계획 관련 솔루션과의 연계에 관한 지속적인 연구와 결합시도가 필요하다.
반면 본연구의 단점과 문제점은 라인의 제공(Work In Process)을 고려한 시뮬레이션을 수행하지 못했다는 것이다. 추가 보완해야 할 과제로는 시뮬레이션 결과에 대한 대안으로 최적화 기법이나 다양한 라인 평형 기법의 적용 알고리즘이 필요하여, 설비투자나 인력배치 계획과 연계가 되어야 한다.

제4절 스마트공장 진행에 대한 ERP 기능 확장성

1. 사례기업 개요 및 경영환경

연구 사례회사 'K' 사는 자동차 내장재인 시트 및 헤드라인용 원단과 에어백을 생산하는 제조업체이다. 자동화 설비 공정과 인적자원 중심의 수작업 공정이 혼재되어 있으며, FTA 체결과 전기차 발전과 시장확대에 따른 산업 환경의 급격한 변화에 직면하였다. 더구나 납기준수와 품질관리에 대한 원청사의 요구 증가로 시스템 개혁을 통한 제조혁신이 필요하게 되었다. 그리고 제조혁신의 주요 현안 중 생산공정관리에 대한 핵심이슈들이 존재하고 있었다.

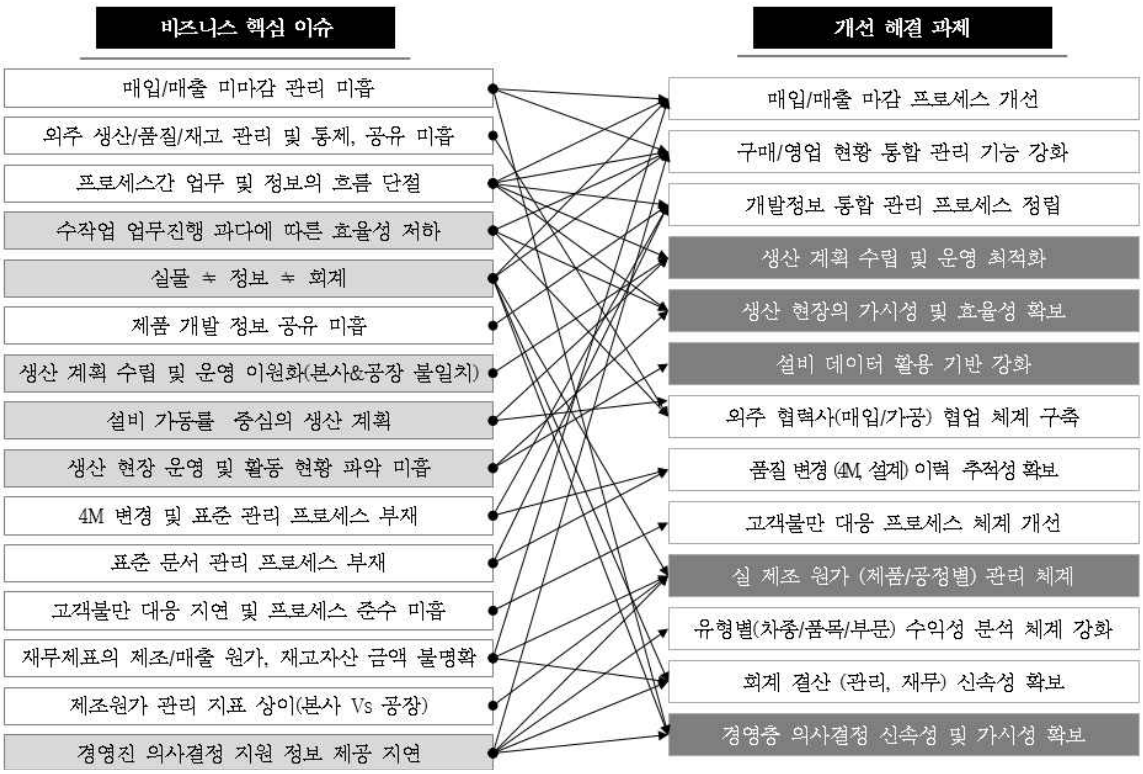


Fig. 3.24 비즈니스 문제점과 개선 해결방안

생산관리 프로세스에서는 본사 1차 수급 계획과 공장의 2차 생산계획이 이원화되었기 때문에 생산능력 평가 및 가용재고를 고려한 생산계획 수립이 불가능하였으며, 데이터 정합성에서는 서류기반 중심의 업무 프로세스로 인하여 실시간 정보공유가 되지 않았다. 적시성 있는 생산, 자재, 수불 데이터 제공이 불가능하므로 실제 제조원가 산출이 되지 않았으며, 재고자산 수불부 산정을

할 수 없으며, 월 결산 시점에서는 작업시간의 과다가 발생하였다. 이러한 사유로 ERP와 MES를 기업 혁신의 도구로 채택 하였다. 그리고 스마트공장 진입을 위하여 생산에서 발생되는 다양한 Data를 채집, 기록 관리하는 MES 구축을 고려하였다.

이러한 통합 정보시스템을 구현하기 위해서 [Fig. 3.24]과 같이 현재 발생하고 있는 문제점과 담당자의 요구사항을 조사하여 핵심이슈로 그룹화한 뒤 해결하기 위한 개선과제를 도출하였다. 그리고 도출한 개선과제를 혁신화, 시스템화하기 위한 작업을 수행하였다. 개선과제에서 ERP와 MES 구현이 필요한 개선요구과제가 많은 비중으로 도출되었으며, 구체적이고 현실적인 시스템 구축 범위가 필요하였다. 핵심과제는 나열하면 아래와 같다.

1) 생산계획 수립 및 운영 최적화 : 본사와 공장 간의 이원화된 생산계획을 통일화하고 설비별 가용생산능력과 자재 수급정보를 반영한 생산계획 수립.

2) 실 제조원가 관리체계 구축 : 사양별 투입 재료비와 가공비, 명확한 배부기준에 의한 공통부 배부가 필요.

3) 경영층 의사결정 신속성 및 가시성 확보 : 경영 전반에 관련된 재무, 원가, 판매에 대한 경영정보 시스템 필요.

4) 생산현장의 가시성 및 효율성 확보 : 본사와 공장 간의 이원화된 관리체계를 제거하고 생산현장에서 발생된 다양한 생산관리 정보를 본사에서 모니터링.

5) 설비데이터 활용 기반 강화 : 설비에서 발생하는 다양한 정보(전기적 요소, 물리적요소 포함)를 Sensing 기술과 인터페이스를 통하여 다양하고 많은 데이터를 취합.

특히 설비데이터의 경우 추후 빅데이터 분석 활용을 위한 사전 단계로 정의하였다. 이러한 배경으로 위 도출된 개선과제를 통하여 ERP와 MES 구현 및 통합 정보시스템이 필수적인 요소라고 정의하였다.

구축 범위에 대한 세부 정의는 다음 [Table 3.9]와 같이 스마트공장 정의 Matrix에 현재의 모습을 투영하고 구현을 해야 할 미래의 시스템 목표를 설정하였다. 스마트공장 정의는 스마트공장 구현 시 현재의 수준을 객관적인 시각으로 프로세스별로 진단하여 평가하고 구현해야 할 목표 수준을 다시 정의한다. 스마트공장 구현대상을 명확하게 정의하는 효과가 있다.

공장운영, 현장 자동화, 제품개발관리 프로세스에서는 ICT 미적용의 단계로 파악되었으며, 공급망 사슬 관리, 기업자원관리에서는 기초 수준의 단계로 파악되었다.

구현해야 할 수준의 스마트공장 구현단계는 중간 수준 1, 또는 2로 판단하였

다. 현실적으로 스마트공장에 진입하는 고도화 수준보다는, 영업, 물류, 생산부터 회계, 원가 부문의 통합을 위한 ERP 구축과 공장운영과 현장 자동화를 위한 MES를 우선으로 구현하기로 하였다.

Table 3.9 스마트공장 구현범위에 대한 정의

구준		현장 자동화	공장운영	기업자원관리	제품개발	공급사슬 관리
고도화	수준	IoT/IoS 기반의 CPS화				인터넷 공간상의 비즈니스 CPS 네트워크 협업
		IOT/IOS	IOT/IOS(모듈화) 빅데이터 기반의 진단 및 운영		빅데이터/설계, 개발 가상 시뮬레이션 /3D Printing	
	목표					
중간수준2	수준	설비 제어 자동화	실시간 공장제어	공장운영 통합	기준정보/기술정보 생성 및 연결 자동화	다품종 개발 협업
	목표			TO-BE	TO-BE	TO-BE
중간수준1	수준	설비 데이터 자동집계	실시간 의사결정	기능 간 통합	기준정보/기술정보 개별운영	다품종 생산협업
	목표	TO-BE	TO-BE			
기초수준	수준	실적집계 자동화	공정물류 관리(POP)	관리기능 중심 기능 개별 운영	CAD 사용 프로젝트 관리	단일 모기업 의존
	목표			AS-IS		AS-IS
ICT 미적용	수준	수작업	수작업	수작업	수작업	전화와 이메일 협업
	목표	AS-IS	AS-IS		AS-IS	AS-IS

2. 구축 개요

가. MES 장비 구성

MES 구현을 위한 장비 구성은 크게 바코드와, PDA, KIOSK로 생산실적을 관리하기로 하였으나, 원사를 풀어서 원단을 만드는 제직기 설비는 PLC를 통한 TCP/IP 통신을 통하여 공정 POP 단말기로 전송하게 하였다.

KIOSK는 PC의 형태에 추가로 판독기와 터치스크린, 통신 기기 등의 다양한 입출력 주변기기가 장착되어 있으며, 사용자 위주의 GUI를 이용하여 애플리케이션을 실행시켜주는 정보전달 시스템이다. 주요 데이터 수집을 하기 위해서는 KIOSK, PDA, TCP/ IP를 통한 설비 접점 정보로 분류하여 데이터를 취합하였다. PDA의 경우 구매 입고, 자재투입, 자재 이동, 출하, 재고 실사 업무에 사용이 되어, 바코드를 스캔하여 정보로 저장하고 전송할 수 있는 산업용 PDA를 선택하였다. 바코드 PDA의 경우 자재구매 업무의 정합성과 신속성을 향상시켰으며, 구체적인 업무 범위는 아래와 같다.

Table. 3.10 PDA 주요기능

프로세스	구현 기능
구매 입고조회	PDA에서 거래명세표 정보로 구매처/품목/재고기록표/로트/수량정보를 보여준다.
구매 입고처리	PDA에서 전송된 구매처/품목/재고기록표/로트/수량정보로 입고처리 한다.
구매 엑셀시트 입고처리	실물/EXCEL구매처,수량,품목코드,로트정보PDA SCAN해서 하역 정보 생성 한다.
이동입고 대상조회	PDA에서SCAN된 이동전표 정보로 저장위치(From,To)/품목/재고기록표/로트/수량 정보를 보여 준다.
이동입고 처리	PDA에서 전송된 정보로 저장위치(From,To)/품목/재고기록표/로트/수량을 FROM에서 TO로 입고처리 한다.
이동출고 대상조회	PDA에서SCAN된 로트 정보로 품목/재고기록표/로트/수량정보를 보여 준다.
이동출고 처리	PDA에서 전송된 저장위치(From,To)/품목/재고기록표/로트/수량정보로 예약처리 한다.
이동출고 처리	PDA에서SCAN된 이동전표정보로 라인번호/품목/재고기록표/로트/수량정보를 보여 준다.
이동출고 전표처리	PDA에서 전송된 이동전표/라인번호/품목/재고기록표/로트/수량정보로 확정처리 한다.
재고실사 대상조회	PDA자재SERIAL/LOT/BOX NO/ROLL NO/일반품목 개별SCAN 정보 회신 한다.
재고실사 반영	PDA자재SERIAL/LOT/일반품목 재고실사 전체SCAN정보 반영 한다.
출하대상조회	주문서번호로 고객사/주문서번호/라인번호/품목/수량/창고를 출력 한다.
출하처리LOT NO	PDA SCAN된 품목/LOT NO로 창고/저장위치/품목/로트/수량를 출력하여 보여 준다.
출하처리 BOX NO	PDA SCAN된BOX번호로 창고/저장위치/품목/로트/수량을 출력 한다.
자재예약	PDA에서 전송된 출하의뢰번호/주문서번호/라인번호/품목/로트/BOX번호/SERIAL번호/수량 정보로 할당처리
출하처리	PDA에서 전송된 출하의뢰번호/주문서번호/라인번호/품목/로트/BOX번호/SERIAL번호/수량 정보로 출고처리

입고의 경우 PDA화면 입고 버튼을 선택한 뒤 바코드를 스캔하면 바코드의 거래명세표 번호가 PDA에 전송이 된다. 전송된 PDA 거래명세표 번호는 MES 서버에서 거래명세표 내역정보를 확인하고 PDA로 확인 정보를 전송한다.

PDA에서는 거래명세표 내역이 확인이 되어 상세 내역을 확인하고 선택을 하여 입고 처리를 한다. 입고된 정보는 MES 서버를 경유하여 다시 ERP 시스템으로 전송이 되어 ERP 재고 정보가 업데이트 된다. PDA를 통하여 공장 재고 정보 및 재고자산에 대한 실시간 정보 업데이트가 가능하게 하였다.

Fig. 3.25 자재출고에 대한 PDA 사용 예시

나. 구현범위

구현범위는 [Table 3.9]의 “To-be” 영역과 같이 공장관리, 생산라인 자동화, 제품개발, 기업 자원관리, 공급사슬 관리 5가지 주요 프로세스를 구현범위 수준으로 하고 “스마트공장 진입 전의 통합시스템 단계”로 구현 목표를 설정하였다. 그 결과 아래 [Fig. 3.26]와 같은 Application Structure를 수립하였으며, 그에 따른 ERP와 MES의 To-Be Process를 정의하였다. 데이터 기반의 지능형 MES를 추후 구현하기 위하여 아래와 같이 구성하였다.

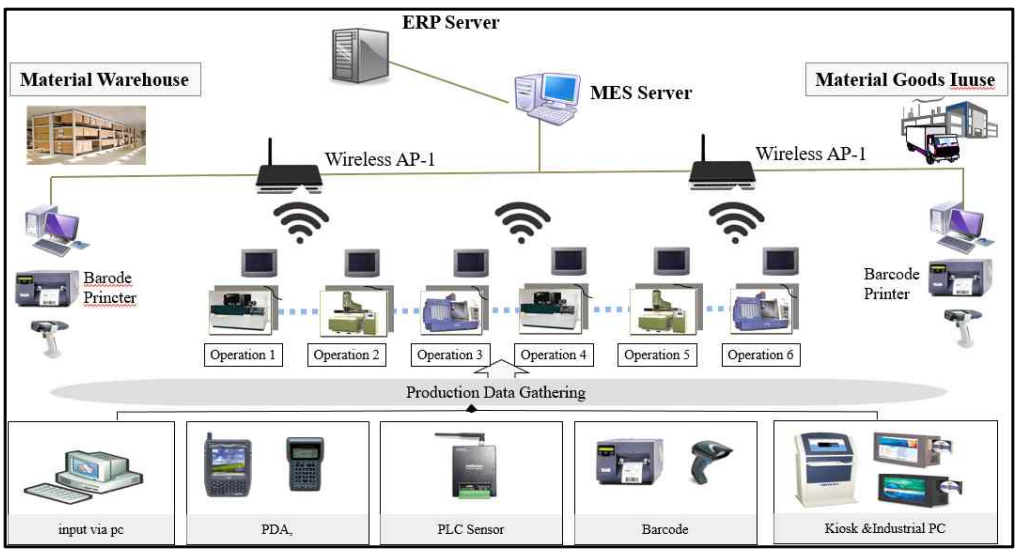


Fig. 3.26 Application Structure

원재료 입고와 제품 출하를 제외한 모든 공정에는 [Fig. 3.27]과 같이 산업용 KIOSK를 설치하였다.

KIOSK는 터치스크린(Touch Screen)을 사용하였다. 공장현장에서는 공정과 생산 특성에 따라 PLC가 연결되었으며 센서가 없는 공정과 봉제, 검사 공정 같은 수작업이 포함된 경우에는 독립적인 KIOSK가 사용되었다. 바코드 스캐닝과 터치스크린으로 생산데이터를 관리하고 송수신하였으나, 그 외 자동화된 공정의 경우 PLC와 센서를 통하여 KIOSK에 정보가 수신되게 하였다.

주 생산공정은 자재 입고 이후 원사를 재단용 원단으로 만드는 제직 공정과 염색, 봉제, 재단, 폴딩, 검사, 포장 공정으로 되어있으며 ERP의 생산계획과 작업지시 정보를 ERP 서버에서 MES 서버로 송신한 후, 생산현장에서는 KIOSK나 산업용 PC를 통하여 작업을 확인하고 지시할 수 있도록 하였다. 이 과정에서 제품을 만들기 위한 자재가 투입되면, PC, KIOSK, PDA를 통하여 자재투입 실적이 실시간으로 ERP에 전송되어 Real Time 기반 재고관리와 수불관리가 가능하게 되었으며, 구매 관리의 경우도 구매 계획과 오더 프로세스 일부에 MES가 적용되었다.

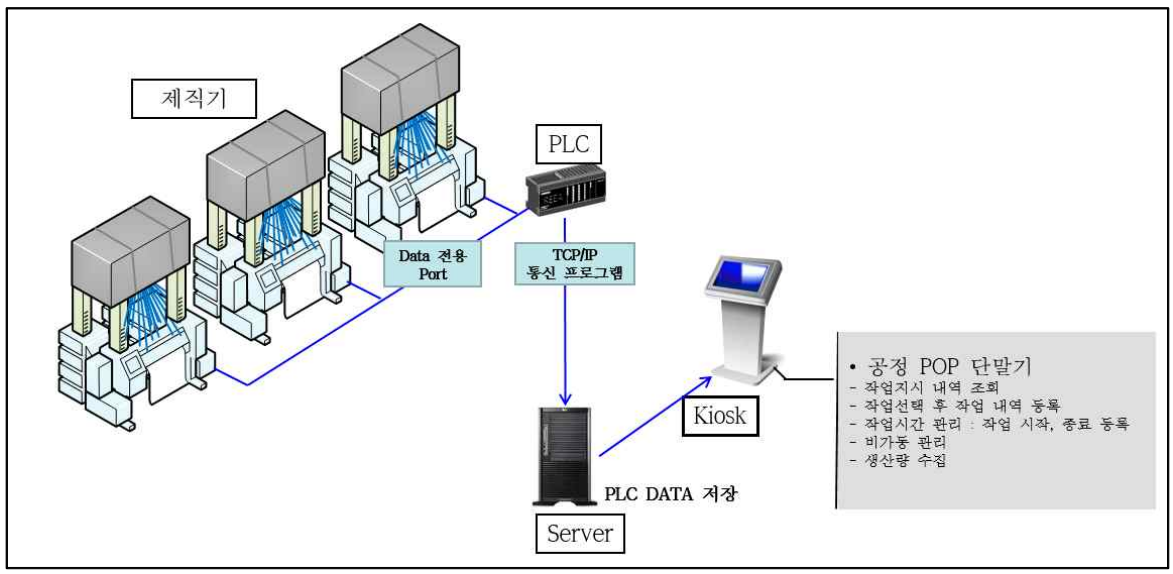


Fig. 3.27 제직기 PLC Interface

구매 오더가 발행된 원재료의 경우 입고 시점에 PDA로 바코드를 스캔하여 구매처, 품목, LOT 번호, 입고 수량정보를 ERP 서버에 전송하고, ERP에서는 재고 수량과 평가금액을 관리하게 하였다. 일부 수작업 공정의 경우 작업 지시서에 표기된 바코드를 스캐너를 확인한 후 작업이 시작되었으며, [Fig. 3.28]

과 같이 KIOSK의 스크린을 터치하여 시작과 종료 시각을 입력하여 작업공수를 관리하도록 하였다. 또한 작업공수 외에 설비 보존 및 품질관리를 위한 다양한 설비가동정보를 KIOSK에 표시하고 해당 정보가 ERP로 전송되게 하였다.

Fig. 3.28 KIOSK 예시화면

다. ERP와 MES 구현 효과

ERP와 MES 구현 효과는 다음과 같다. 실시간 발생주의 기반의 공정관리시스템으로 개선되었다. 생산과 공정 실적 Interface를 통하여 생산 Line의 전반적인 공정관리 정보를 생산 시점에서 즉시 필요한 Data로 전환되었다. 시스템 정보와 공장 재고의 동기화 및 정물 일치화로 공정 모니터링을 통한 일 단위 실적관리가 가능하게 되었다.

ERP 시스템으로 생산실적을 실시간으로 전송하는 것은 물론, 설비와 작업공정별로 집계된 데이터를 [Fig. 3.29]와 같이 공장 현황판 시스템에 전송하여 생산현장 및 관리자 사무실, 본사에서도 공장 현황을 실시간으로 확인할 수 있었다.

Fig. 3.29 Factory monitoring system

원자재의 업체별 입고에서 생산, 제품 출하까지 생산 LOT에 관한 추적이 가능하게 되어 품질 문제 발생 시 공급망부터 생산 전체 공정 단계까지 LOT 추적을 하게 되었다.

그러나 사례회사의 ERP와 MES 구축은 스마트공장을 구현한 것이 아니라,

ERP에 기반한 통합시스템을 구현한 것이라고 볼 수 있다. 그리고 구현 취지에 맞게 스마트공장 진입을 위한 기본 환경을 구성한 것이라고 평가할 수 있다.

3. 스마트공장으로 가야 할 과제

ERP와 MES 구현으로 스마트공장이 완성되는 것은 아니다. 스마트공장 진입을 위해서는 ERP와 MES, 그리고 다양한 Legacy System을 통합할 수 있는 Platform이 필요하다. ICT 기술을 통하여 설비와 공정의 다양한 데이터를 채집하고 관리해야 한다. 예를 들어 빅데이터를 통한 품질 예방 정비(Preventive Maintenance)가 가능하며, 수준 높은 경영정보를 제공해야 한다[78]. 설비에서 제공되는 다양한 빅데이터를 통하여 의미 있는 정보와 의사결정을 하는 것이 스마트공장에 진입하는 첫 단계이다.

본 연구에서는 중견 중소기업이 스마트공장으로 진입해야 할 과제로 지능형 MES를 선택하였다.

가. 지능형 MES

ERP와 MES 구축으로 유의미한 대량의 데이터가 발생되고 관리된다. 즉 ERP와 MES, IoT에서 발생되는 다양한 데이터가 인터페이스와 시스템 통합으로 인하여 다양한 형태로 수집, 저장되고 있다. 이러한 방대한 양의 데이터를 통하여 공장관리, 생산관리 현장에서의 직면한 문제점을 사전에 해결하거나 지원할 수 있다[9].

고전적인 MES는 [Fig. 3.30]과 같이, ERP에서 생산계획 정보를 수신받고 공정현장에 작업지시를 한다. 그리고 생산 관련, 실적을 다양한 방법으로 취합하고 다시 ERP 시스템으로 송신한다. 공정을 통제하며, 실적을 취합하여 ERP에 전송하는 것이 MES의 주요기능이다.

ERP에서 Data는 설비 가동률, 품질관리, 공수 및 제조원가를 위한 기초 데이터로 사용되고 있으나, 스마트공장으로의 전환을 위해서는 지능형 MES가 필요하다. 지능형 MES는 생산과 설비 센서 데이터와 실적데이터를 활용하여 예방 정비가 가능하며, 머신러닝 기법이 포함된 빅데이터 분석이 가능한 진보된 MES 프레임워크이다[9]. 또한 독자적인 MES가 아닌 ERP와 통합 연계되어 사용되는 시스템을 의미한다. 그리고 센서, IoT, 로봇을 통한 다양한 정보를 MES에서 전처리(Pre-Processing)하여 예방정비시스템, 딥러닝 기반의 예방정비

시스템을 추구하며, 물리 세계와 가상세계를 연결하여 주는 시뮬레이션 기반의 CPS(Cyber Physical System)를 구현하는 데 목적이 있다.

본 연구에서는 지능형 MES 구현에 관한 2가지 구현 방안을 제시한다.

[Fig. 3.31]은 ERP와 MES 환경에서 MES는 데이터를 취합하고 데이터 전처리 작업을 수행한다. 그리고 X bar-R chart, 패턴 분석 같은 독자적인 품질 모니터링 시스템을 구현할 수 있다. 전처리 된 데이터는 ERP로 전송되며, ERP에서 학습하고 결과를 도출하는 Data Analytics 컴포넌트로 확장하는 방안이다.

두 번째 방안으로는 지능형 분석과 관련된 솔루션과의 연계방안이다. 이 방안은 검증된 지능형 분석솔루션과 ERP, MES와의 전략적 시스템 연계를 의미한다. 딥러닝 같은 분석 엔진의 구현에 대한 투자비용이 상대적으로 매우 적으며, 분석 결과에 대한 신뢰도가 검증되어 있다는 장점이 있다. 즉 [Fig. 3.32]와 같이 ERP와 MES는 3rd Party 솔루션과 상호 연계가 되어, MES와 ERP에서는 관련된 데이터를 해당 솔루션으로 전송한다. 그리고 결과에 대해서 정보를 수신받고 재가공한다. 단 시스템간의 연계 와 통합의 방법이 매우 중요하다.

위 2가지 지능형 MES 구현에서의 공통점은 MES가 독립적으로 기능을 수행하는 것은 매우 제한적이며, ERP와의 정보인터페이스 및 상호 간 기능 분할과 역할이 중요하다는 것이다. 따라서 제시한 방안들은 구현하려는 회사의 상황에 맞게 선택되어야 한다. 그리고 대량의 공정실적정보에 대한 데이터의 전처리 기술이 있어야 하며, 최신 데이터마이닝 기법의 활용 및 업데이트가 필요하다. 데이터마이닝 방법은 여러 물리량에 대한 데이터베이스를 기록 저장한 후에, 다양한 상황과 모델에 적용하여 데이터 변화(Pattern)를 분석하거나 예측하는 기법이다[54].

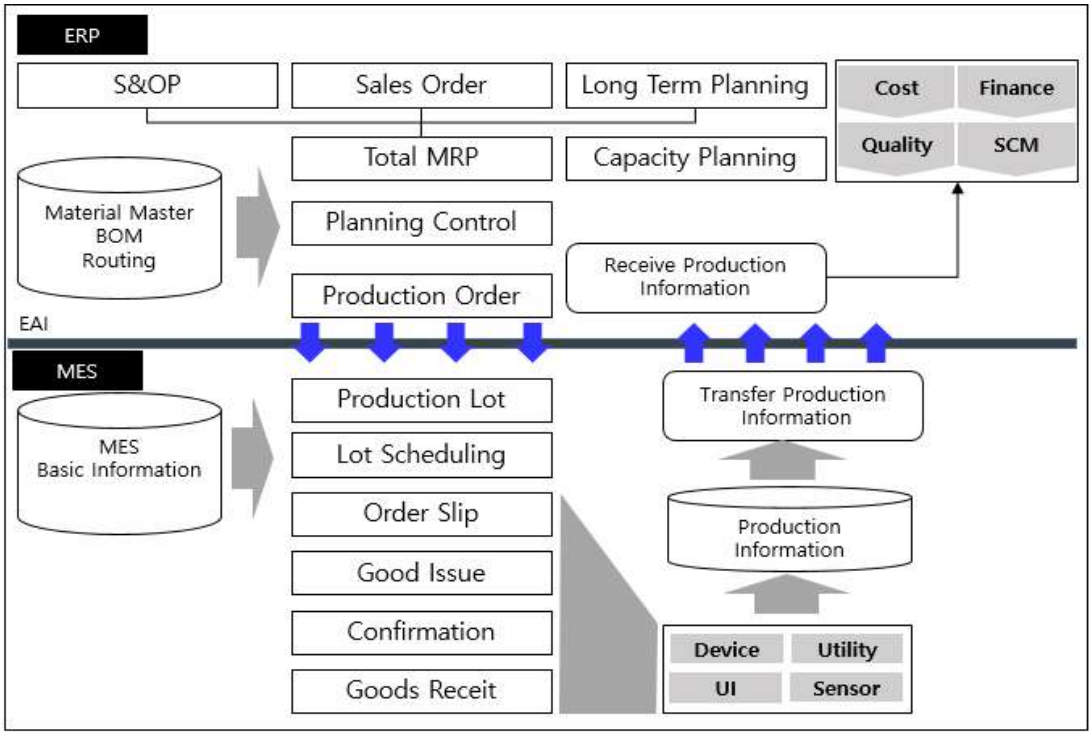


Fig. 3.30 고전적인 MES

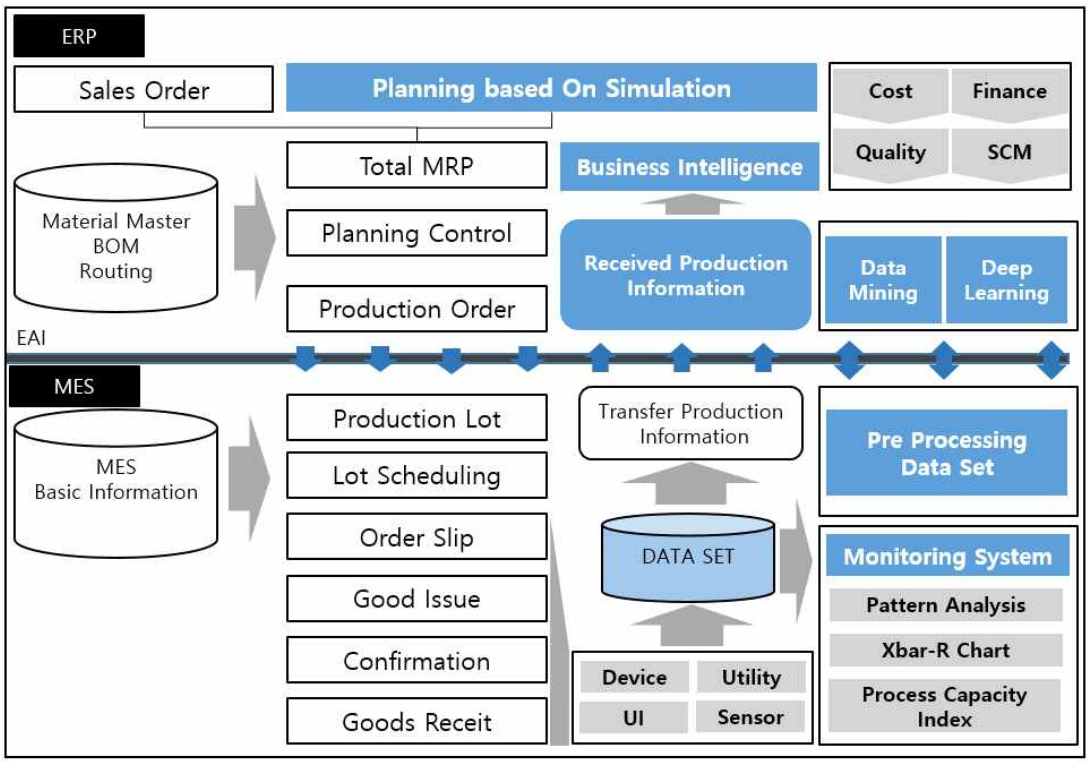


Fig. 3.31 지능형 MES

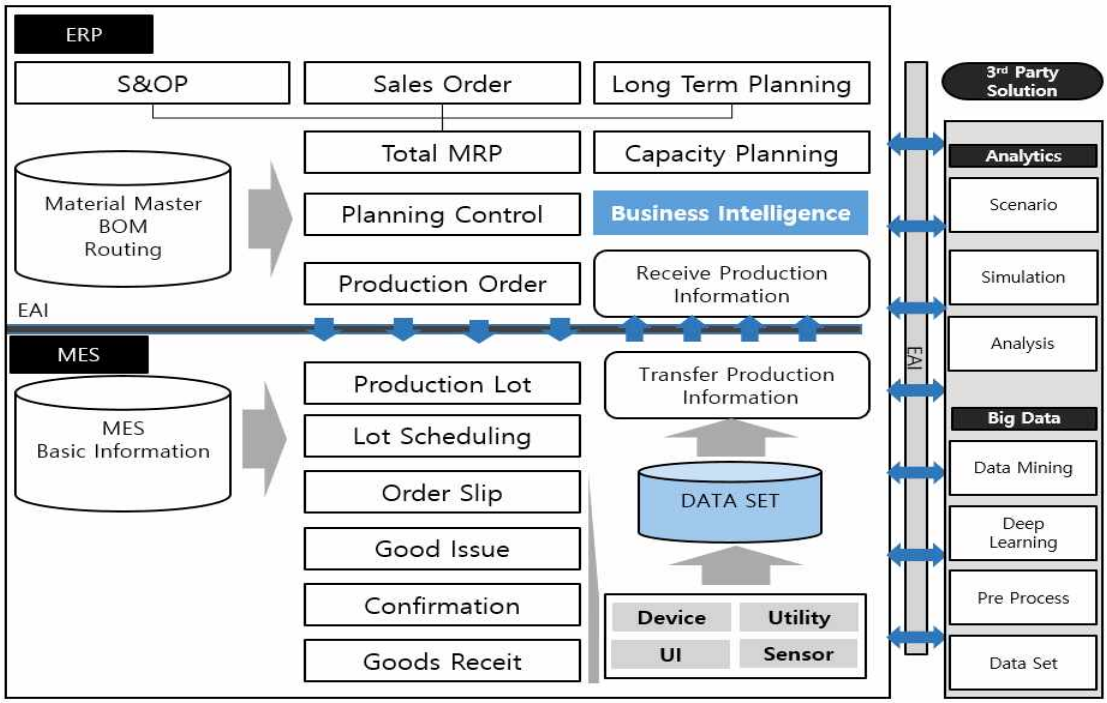


Fig. 3.32 3rd Party solution과 결합한 지능형 MES

이렇게 다양한 데이터 분석기법을 활용하려면, MES에서 수집된 빅데이터를 통하여 아래와 같이 2가지 영역의 연구와 라이브러리개발이 필요하다.

Table 3.11 스마트공장 분석 라이브러리 영역[9]

품질관리
1. 공정변수 탐색 2. 품질 판단 3. 고장 원인 진단 4. 품질 가치 예측
설비 보전
1. 설비 이상 감지 2. 설비 가동 오류 분석 3. 비정상 원인분석

본 연구에서는 지능형 MES의 핵심기능을 [Fig. 3.33]과 같이 정의하였다. MES의 공정 실적 등 다양한 범위의 빅데이터를 통하여 변수를 추출하고 목표 변수의 최적화된 해를 탐색할 수 있도록 지원해야 한다. 예를 들면 공정 불량 추적 모형 모델링 등이 대표적인 구현대상이며 생산 최적화, 예방 설비 보존 등 여러 범위의 최적화된 해를 도출할 수 있다.

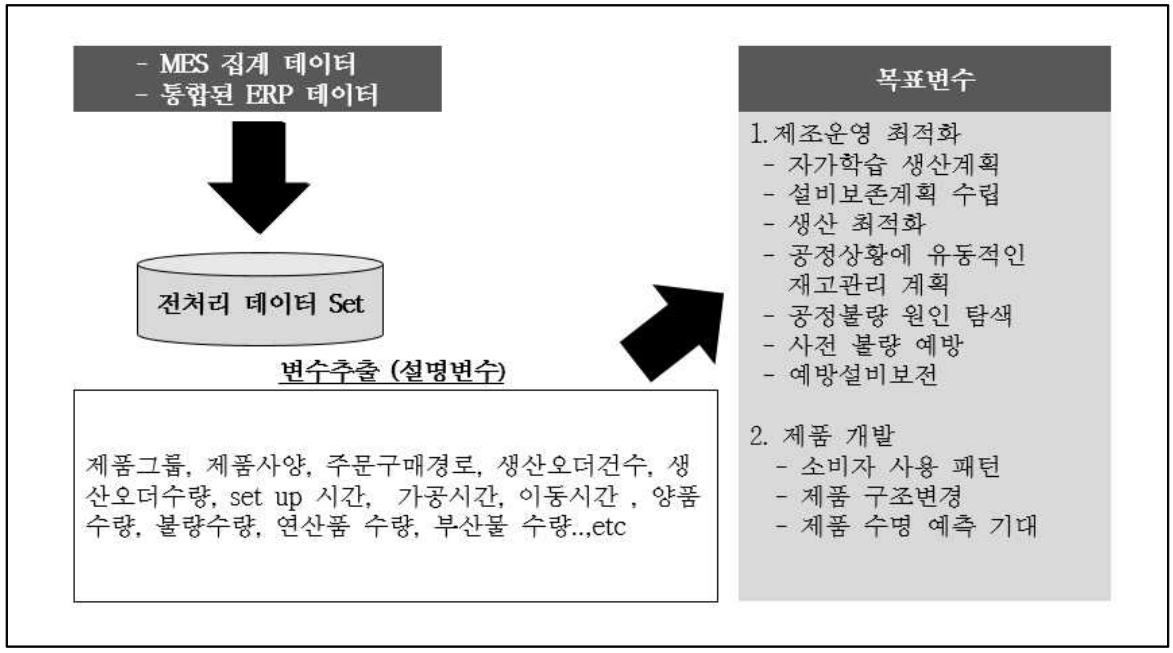


Fig. 3.33 MES에 기반한 빅데이터 분석 방안

MES를 통하여 채집되는 데이터의 종류는 아래 [Table 3.12]에서 사례회사 'K' 사의 데이터 실적 범주 예시에서 알 수 있다. 여러 범주의 데이터가 MES에서 수집되며, 데이터 전처리를 통하여 데이터마이닝 기법을 사용할 수 있다.

데이터마이닝 기법으로는 회귀분석(Regression), 의사결정 나무(Decision Tree), 인공신경망(Artificial Neural Networks) 등이 대표적으로 사용되고 있다.

그 중 의사결정 나무는 수집된 데이터에서 존재하는 의사결정 규칙을 스무고개 하듯이 반복적이고 순환적 분할 (Recursive Partitioning) 방식으로 분류하여 예측치를 구하는 대중적이면서 직관적인 머신러닝 기법 중의 하나이다. 그리고 데이터를 분류하고 탐색하는 모습이 나뭇가지와 비슷하여, 의사결정 나무라 부른다. 데이터 분석 담당자에게는 회귀분석, 인공신경망 등과 같은 기법과 비교하여 시각적, 논리적으로 쉽게 이해하고 설명할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 ERP와 MES에서 발생된 다양하고 많은 양의 데이터를 의사결정나무 기법으로 활용하면 예측 결과치를 정확하고 빠르게 도출할 수 있다.

지능형 MES에서는 KIOSK, POP, 다양한 Sensor 등을 통하여 데이터 채집이 되며, 공정특성에 따라 PLC, PDA, Bar Code를 통하여 전송된다. 전송된 데이터들은 전처리 과정을 통하여 공정 불량에 대한 추적과 원인 모형 모델링을 할 수 있다.

구현 사례회사의 경우 [Table 3.12]와 같이 MES를 통하여 많은 범주의 생산

과 설비실적데이터를 수신하고, 가공 처리를 하고 있다.

지능형 MES는 여러 기능이 있지만 불량 원인 파악이 힘든 공정에 대하여, 데이터마이닝을 통한 리스크 관리와 품질관리가 가능하다[55].

Table 3.12 MES, POP에서 발생되는 실적 범주

공정	1공장						2공장			
	해포	리락샤	염색	스카챠 공정	텐더 공정	엠보	봉제	완성검사	시트검사	폴딩
작업실적	품명	품명	품명	품명	품명	품명	품명	품명	품명	품명
	수량	수량	수량	수량	수량	수량	수량	수량	수량	수량
	시작	시작	시작	시작	시작	시작	시작	시작	시작	시작
	종료	종료	종료	종료	종료	종료	종료	종료	종료	종료
	시간	시간	시간	시간	시간	시간	시간	시간	시간	시간
	절수량	절수량	물사용량	절수량	절수량	절수량	봉제	합격	합격	합격
	폭	배치중량	배치수량	배치중량	배치중량	배치중량	수량	불합격	불합격	불합격
	근무구분	근무구분	근무구분	근무구분	근무구분	근무구분			가공	
체크시트	폭	폭	압력게이지(동체)	폭	폭	압력게이지(동체)			공정누락	
	밀도	밀도	압력게이지(노즐)	밀도	밀도	폭			라벨	
	외관	bath온도	처방	bath온도	온도	밀도			모음봉제	
	결점	댄서 입력	욕비	댄서 입력	포속	외관			물성	
	연폭	망글입력	온도	망글입력	RPM	결점			박리	
	속도	속도	시간	속도	O/FEED	연폭			봉제되박음	
			릴RPM		망글	속도				
			메인RPM							
			PROGRAM NO							
			온도							
			풍향							
공정 정지 사유	결점	결점	결점	결점	결점	결점	원자재 미입고	원자재 미입고	원자재 미입고	원자재 미입고
	공정대기	공정대기	공정대기	공정대기	공정대기	공정대기	원자재 불량	원자재 불량	원자재 불량	원자재 불량
	생산계획변경	생산계획변경	생산계획변경	생산계획변경	생산계획변경	생산계획변경	준비	준비	준비	준비
	설비고장	설비고장	설비고장	설비고장	설비고장	설비고장	야간하대	야간하대	야간하대	야간하대
	설비보존	설비보존	설비보존	설비보존	설비보존	설비보존	작업종료	작업종료	작업종료	작업종료
	오더량 감소	오더량 감소	오더량 감소	오더량 감소	오더량 감소	오더량 감소	설비고장	설비고장	설비고장	설비고장
	원자재 미입고	원자재 미입고	원자재 미입고	원자재 미입고	원자재 미입고	원자재 미입고	설비보존	설비보존	설비보존	설비보존
	원자재 불량	원자재 불량	원자재 불량	원자재 불량	원자재 불량	원자재 불량	정전	정전	정전	정전
	인원부족	인원부족	인원부족	인원부족	인원부족	인원부족	생산계획변경	생산계획변경	생산계획변경	생산계획변경
	작어종료	작업종료	작업종료	작업종료	작업종료	작업종료	오더량 감소	오더량 감소	오더량 감소	오더량 감소
	점심시간	점심시간	점심시간	점심시간	점심시간	점심시간	결점	결점	결점	결점
	준비	준비	준비	준비	준비	준비	인원부족	인원부족	인원부족	인원부족
							인원결원	인원결원	인원결원	인원결원
							공정불량	공정불량	공정불량	공정불량
							공정대기	공정대기	공정대기	공정대기
							점심시간			

본 연구에서는 'K' 사 입장에서 지능형 MES 구현에 대한 실현 가능성을 시나리오에 의한 프로토타이핑으로 검토하였다. [Fig 3.34]

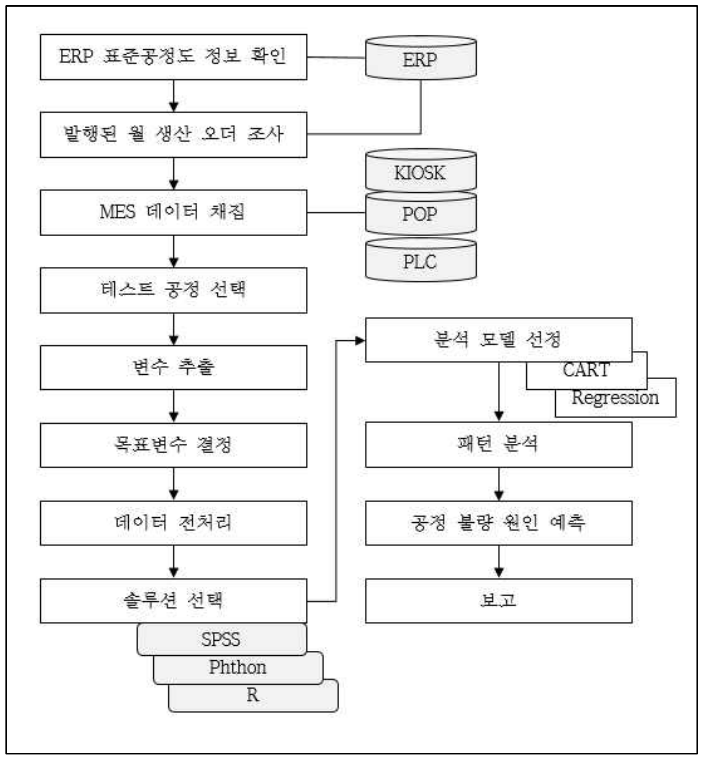


Fig. 3.34 본 연구에 대한 프로토타이핑 시나리오

대상 시나리오는 3rd Party Solution에 의한 정보 연계방안 [Fig 3.34]으로 수행하였다.

사유는 3rd Party Solution에 대한 시스템 연계의 용이성, 테스트 신속성, 정합성 등을 고려하여 결정하였다. 솔루션으로서는 가장 절리 알려진 SPSS 통계 솔루션을 사용하였으며, 'K' 사에 구현된 ERP가 타 시스템 연계에 대해서 유연하고, 데이터 정합성이 뛰어나기 때문에 데이터 전송 및 EAI에 대해서는 프로토타이핑에서 배제하였다.

본 연구의 테스트 대상 변수는 [Table 3.12]의 MES 실적 범주에서 검토하였으며, 화학적, 물리적 민감도가 심한 염색공정의 불량 원인을 추정하는 것으로 시나리오를 결정하였다. 결점 수를 목적 변수로 하고 그에 따른 작업실적 정보를 설명 변수로 [Table 3.13]과 같이 정의하였다. 그리고 별도의 데이터 전처리 과정을 진행하고 의사결정나무 기법을 통하여 최적해 탐색을 하였다.

Table 3.13 염색공정의 변수 유형

변수 대 분류	변수 중분류	변수명	범주구조
참고변수	작업실적	품명	범주형
설명변수		수량	연속형
		시작	범주형
		종료	범주형
		시간	연속형
		물사용량	연속형
		배치수량	연속형
		근무구분	범주형
	체크시트	압력게이지(동체)	연속형
		압력게이지(노즐)	연속형
		처방	범주형
		욕비	범주형
		온도	연속형
		시간	연속형
		릴RPM	연속형
		메인RPM	연속형
		PROGRAM NO	범주형
		온도	연속형
		풍향	범주형
목적변수	정지사유	결점	범주형
		설비고장	범주형

또한 Random Forest, 교차분석 모형구축을 통하여 설비 고장, 결점 수에 대한 추적 모형을 제시할 수 있다

MES와 POP의 실적데이터를 통한 불량 원인 추정을 위하여 염색공정의 30,054개의 테스트 데이터를 준비하고 전처리하였다. 그리고 회귀분석과 의사결정나무 기법을 사용하여 불량 인자를 도출하였다.

의사결정나무 최적해 도출 결과, 첫 단계에서 [Fig. 3.35]와 같이 Main RPM기준으로 나무가 분리되었다. 즉 염색공정 로터리의 회전 RPM속도가 0.465 이하일 경우 불량이 발생할 확률이 89.2%로 나타났다. 마찬가지로 계속해서 4단계 분리까지 확인하면, 염색공정에서 불량을 발생시키는 주원인은 로터리 회전에 기인한 Main RPM, 처리시간, 온도, 노즐 압력이 불량 발생 요인이라는 것을 확인할 수 있다. 그리고 불량 요인 간 분리되는 각각의 파라미터값을 참조로 작업표준을 재설정하고 생산을 수행하면 사전불량이 발생하는 것을 예방할 수 있다.

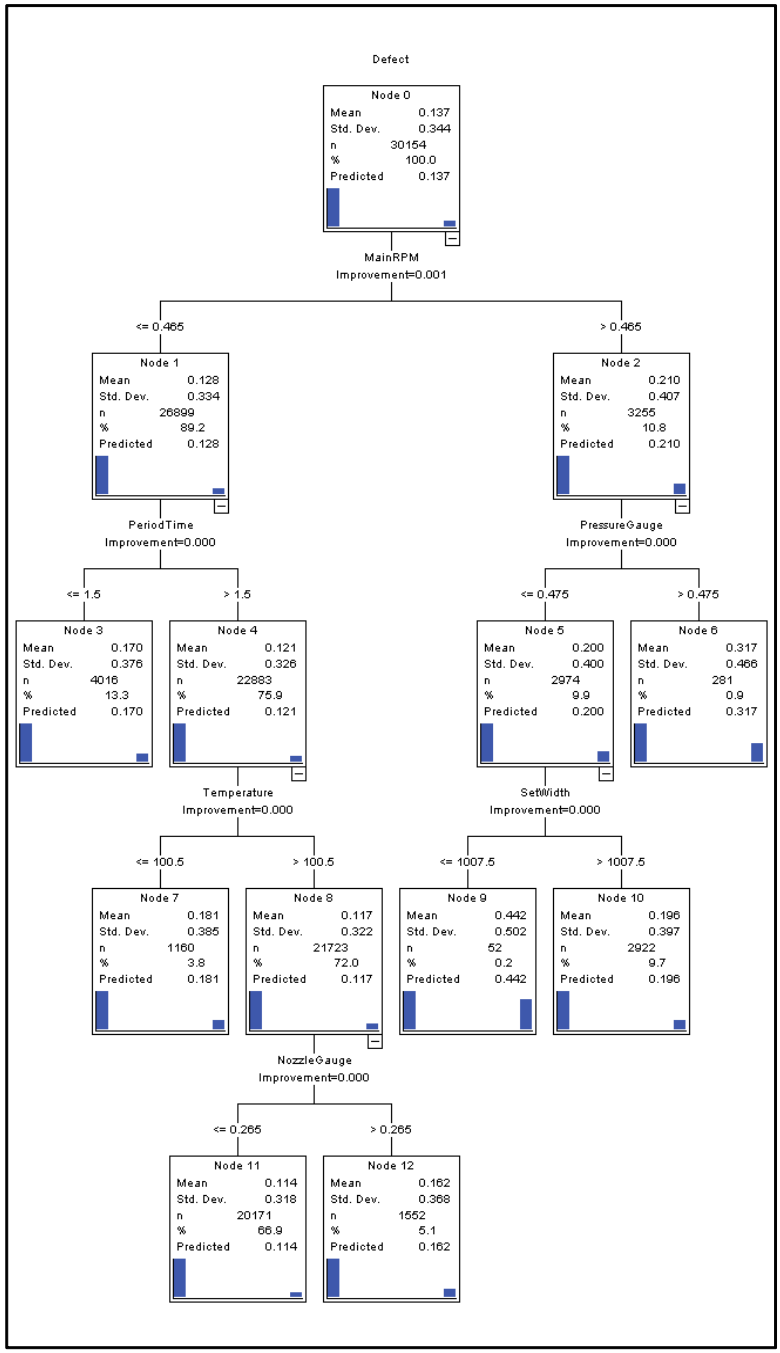


Fig. 3.35 염색공정 불량 원인에 대한 의사결정 나무

다른 분석기법인 회귀분석 또한 동일한 조건으로 Binary Logistic Regression으로 분석하였다.

[Table 3.14]에서 영향력 있는 독립변수는 Main RPM, 염색천 삶는 시간(Period Time), 작업자 교대 시간(Shift Work), 물의 온도(Temperature)인 것으로 판명되었다. 해당 독립변수는 불량 발생과 유의하다는 결과를 확인하였다.

Table 3.14 Variable in the Equation

		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% C.I.for EXP(B) Lower	Upper
Step 1[a]	Quantity	.271	.099	7.476	1	.006	1.311	1.080	1.591
	PeriodTime	-.003	.001	19.694	1	.000	.997	.995	.998
	WaterConsumption	.001	.001	.985	1	.321	1.001	.999	1.004
	BatchWeight	-.006	.005	1.381	1	.240	.994	.983	1.004
	ShiftWork	.151	.034	20.207	1	.000	1.163	1.089	1.243
	PressureGauge	.233	.142	2.707	1	.100	1.263	.956	1.668
	NozzleGauge	-.163	.417	.153	1	.695	.849	.375	1.924
	BathRatio	-.010	.010	1.061	1	.303	.990	.971	1.009
	Temperature1	-.009	.003	11.003	1	.001	.991	.986	.996
	ReelRPM	-.079	.417	.036	1	.850	.924	.408	2.092
	MainRPM	1.221	.208	34.296	1	.000	3.389	2.252	5.099
	ProgramNo	-.076	.142	.287	1	.592	.927	.702	1.223
	Winddirection	.000	.001	.036	1	.849	1.000	.999	1.001
	SetWidth	.000	.000	4.794	1	.029	1.000	1.000	1.000
	Constant	-.070	1.081	.004	1	.948	.933		

Main RPM의 경우 매우 유의하면서, Odd Ratio(Exp(B))가 3.389이기 때문에 염색공정 불량에 많은 영향을 미치는 요인으로 나타나 있어, 의사결정 나무와 같은 결과임을 알 수 있다. 그리고 인공신경망 분석 등 다양한 신기술 기법을 데이터의 볼륨과 공정특성을 고려하여 MES에서 발췌한 대량의 데이터를 통하여 최적해를 구할 수가 있다.

4. 본 사례연구에 대한 소결

스마트공장에 대한 정의와 연구 동향을 조사한 후, 사례연구를 통하여 중견, 중소 기업이 스마트공장으로 진입하기 위해서는 ERP와 MES는 필요한 시스템임을 확인하였다. 그리고 중소 제조기업에서는 시스템 안정화와 투자 효용성 차원에서 단계적이면서 점진적으로 스마트공장을 구현하는 것이 더 쉽고 효율적이라는 것을 파악하였다.

단계적 접근방식의 스마트공장 구현은 지능형 MES가 필요하다. 그리고 제조원가 계산과 공정, 품질관리 용도의 MES에서 기능이 확장되어야 한다. 설비와 공정 센서 데이터 및 대량의 빅데이터 실적을 활용하여, 딥러닝 기반의 Data Analytics가 가능한 지능형 MES 구현이 스마트공장 진입에 필요하다.

구현 방법론 측면에서 현재의 시스템에 대한 이해와 요구사항을 명료하게 파악하고 프로세스 개선사항을 도출해야 한다. 확인된 개선사항을 통하여 스마트공장 목표 수준을 설정하고 타당한 시스템 구현범위를 규정해야 한다. 만약 현재 수준을 잘못 진단하여 현실과 동떨어진 과도한 목표를 설정하거나 다른 모델을 모방하는 수준의 구현 목표를 정한다면 해당 기업에 적합한 스마트공

장 구현은 불가능하다.

사례연구에서, ‘K’ 기업은 ERP 시스템과 KIOSK, 바코드, PLC를 활용한 MES 시스템을 동시 구현 방식(BIG BANG 방식)으로 구현하였다. 효과적인 공정관리와 작업지시를 위하여 KIOSK를 사용하였으며, 바코드를 활용한 정보의 입출력을 Real Time으로 구현하였다. 자동화된 설비의 경우 센서 접점과 PLC를 통하여 설비의 물리적, 화학적정보와 생산현장 정보를 수집하여 유의미한 데이터로 사용하였다.

이러한 중소 제조기업의 경우 고전적인 MES에서 확장된 지능형 MES의 도입이 스마트공장 진입을 위한 안정적이고 효율적인 구현이라고 판단하였다.

본 사례연구에서는 중견기업에 구현된 ERP와 MES의 적절한 기능개선으로 지능형 MES 구현이 가능하다는 것을 확인하였다. 프로토타이핑 테스트를 통하여 검증하였으며 분석방법으로는 의사결정나무 기법과 회귀분석을 적용하였다. 그리고 MES에서 관리되고 있는 대량데이터를 전처리화 하였다. 전처리된 데이터를 SPSS 소프트웨어에 Import 하였으며 데이터 분석을 진행하였다. 그리고 ERP와 MES 간의 정보 흐름 프로세스 안에서 학습과 패턴, 의사결정 규칙 알고리즘을 통한 불량 원인을 도출하였다.

제4장 결　론

제1절 연구 결과 요약

ERP는 중견기업 이상의 제조업에서 사용하고 있는 대표적인 기업 정보화 시스템으로 기업 경영활동 전 부분의 자원과 프로세스를 상호 유기적으로 통합하여 시스템을 구축함으로써 기업 가치를 향상 시키는 비즈니스 혁신 기법이다[8].

그러나 ERP는 다양하게 변화하는 생산공정의 정보를 실시간으로 확인하고 정확한 데이터를 수집하지 못하는 현실적인 문제로 신속한 의사결정의 지연, 신뢰도가 낮은 제조원가평가 등의 문제점을 가지고 있었다. 이에 MES는 ERP와의 연결을 위한 방안으로 소개되었으며 ERP 도입 시 이러한 문제점을 해결하는 대안으로 많은 제조기업에서 ERP와 MES를 도입 구축하고 있다[27].

이러한 ERP와 MES의 도입에도 불구하고 그 효과가 미비하거나, 도입 효용성에 대한 의문이 제시되기도 한다. 이장건(2008)의 연구에서는 ERP 도입 전후의 재무상황을 조사하여 ERP 도입 이후에 수익성, 재고자산 회전율이 감소하고 있다는 연구 결과를 제시하고 생산성 역설(Productivity Paradox) 현상을 주장하였다[46].

본 연구에서는 ERP와 MES를 도입한 사례기업 연구를 통하여 이러한 생산성 역설을 해결하고자 ERP 기능 확대에 대한 대안을 제시하였다. 3개 사례연구의 공통점은 ERP와 MES가 이미 구현이 되었으나 기업이 가지고 있는 새로운 문제점을 해결하기 위한 기법을 소개하였다.

첫 번째 사례회사(전자부품회사)의 경우에는 ERP와 MES 시스템은 구현되어 있으나, 생산기준정보를 잘못 설계하였다. 문제점으로 ERP와 MES에서 송수신하는 정보의 비동기화 현상이 발생하였으며, 생산 표준시간 또한 공정현실과 다르게 구현되어 제품별 정확한 원가를 산출하지 못하였다. 이러한 문제를 TOC의 DBR이론을 적용하여 해결하였다.

TOC이론은 APS, MRP와 같은 Planning System 구현에 주로 사용되고 있으나, 본 연구에서는 다음과 같은 세 가지 공정관리에 TOC 이론을 적용하였다. 그리고 다음과 같은 세 가지 부문에 TOC이론을 적용하였다.

첫 번째 ERP 생산 기준정보의 하나인, 작업장에 대한 정의를 TOC의 DBR기법으로 재정의하였다. 공정 그룹 분류, 설비의 기능별, 형태별, 위치별 분류와 같은 기존 설계 방법과는 다르게 제약자원을 고려하여 작업장을 재정의하였다.

두 번째 생산공정에서 제약자원인 CCR을 찾아서 공정현장 정보를 정합성 있는 데이터로 ERP와 연동되게 하였다. 그리고 MES 시스템 작업장 정의를 CCR 기준으

로 재정비하고, 실적을 취합하는 공정 실적 집계지점(Gathering Point)을 정의하였다.

세 번째 ERP 시스템의 표준시간을 공정특성을 반영한 변동요인과 CCR을 기준으로 사양별, 용량별로 재정비하였다. 즉 공정 현장감과 현실성을 반영한 표준시간을 재정비하여 제품사양별 직접 노무비의 정합성 향상 효과를 가져 왔으며, 생산계획자가 표준 대비 실적공수에 대한 생산효율을 분석한 후, 공정별 월 공수계획을 생산라인에 재배포하고, 공수효율이 낮은 CCR에 대한 관리가 집중화될 수 있게 하였다.

생산계획 물량에 대한 잔업 관리를 잔여 물량에 대한 표준시간 기준으로 통제하였으며. 공수효율이 높지 않은 공정은 원인을 조사하여 공수효율을 향상하기 위한 관리가 가능하게 하였다. CCR 기반의 표준시간 재정비는 노무비 변동에 많은 영향을 가져왔다.

표준노무비가 기존보다 하향조정 되었다는 것을 파악하였으며, MES 송신 데이터의 정보 동기화로 사양별 실제 원가의 신뢰도가 향상되었다. 사례회사는 본 연구 이후에 변동비와 고정비를 동일한 기준의 계획 배부율로 적용할 수밖에 없었으나, 변동비는 실적 기준율로, 고정비는 계획 배부율로 변경하고 제조 공통 인건비와 경비 또한 사양별 제조시간 기준으로 배부하게 하였다. 이를 계기로 실적원가 기준의 사양별 한계이익을 ERP에서 제공할 수 있게 되었다.

두 번째 사례회사는 ERP, MES 구현은 되어있으나 ERP 일부 프로세스 기능 부족에 대한 문제와 해결책에 대한 건이다. 이론적 배경에서 설명하였지만, ERP의 생산계획 기능은 태생적으로 제조산업 모든 프로세스를 지원할 수 없는 한계점을 가지고 있다. 이러한 사유로 생산계획 수립 시 부하 공정 및 재공 증가에 대한 원인분석과 대응을 ERP 시스템으로 하지 못하고 있었다. 그리고 효율적인 인원 배치 및 설비투자, Capacity 분석이 계량적으로 되지 않고 있다. 이에 대한 대응책으로 시뮬레이션을 도입하였으며, 문제 해결을 위한 프로토타입 설계를 수행하였다. 프로토타이핑 결과 MRP이후 나타난 생산계획정보를 바탕으로 공정 부하계획을 수립할 수가 있었다. 시뮬레이션하기 위한 중요 요소로는 표준시간과 공정별 대기시간, 이동 매트릭스가 중요한 모델링 요인으로 확인이 되었다.

세 번째 사례회사의 경우 ERP와 바코드, KIOSK, MES를 구현하였다. 효율적인 작업지시와 공정관리를 위하여 KIOSK를 사용하였고, 바코드를 사용하여 정보의 입출력을 실시간으로 등록하게 하였다. 자동화된 설비의 경우 센서와 PLC를 통하여 설비 및 생산공정 정보를 수집하여 MES와 ERP에 전송하여 유의미한 데이터로 사용하였다. 그리고 ERP와 MES 구축 후에 스마트공장으로 가기 위한 구성요건과 스마트공장 수준을 정의하였다.

스마트공장으로 진입하기 위한 조건으로 기존 MES의 기능을 확장한 지능형 MES 구현 도입을 검토하였다. 지능형 MES는 빅데이터를 기반으로 한 데이터마이닝 기법 활용을 추천하였으며 이를 검증하기 위한 프로토타이핑 테스트를 하였다.
테스트 결과 공정 불량에 대한 근본적인 원인을 의사결정나무와 회귀분석을 통하여 확인하였다.

제2절 연구 의의

1970년대 MRP가 탄생을 하고 프로세스 생산과 물류 최적화를 지향하는 MRP Ⅱ 시대를 거쳐 1990년대 ERP 탄생과 보급은 파격적이면서 혁신적이었다. 이러한 ERP 탄생 이후 30년이 지난 현시점에서 ERP는 발전과 노후된 시스템이라는 갈림길에 있다. 이러한 상황속에서 4차 산업혁명에 따른 IoT 기술의 급격한 발전과 스마트공장의 출현은 ERP가 발전되고 나아가야 할 차세대 ERP의 도착지를 설명해 주고 있다.

본 연구는 ERP를 이미 구현한 사례회사를 통하여 ERP의 기능적 한계점을 파악하고, 제조업 ERP의 기능적 단점을 대체할 다양한 기법을 연구, 제공하였다. 각각 다른 산업과 규모의 3개 사례회사의 사례연구를 통하여 몇 가지 중요한 요인을 확인하였다.

첫 번째 일정 규모가 되는 중견기업 이상의 ERP 구현에서 ERP 생산성을 위해서는 MES 구현이 필수적이다. ERP의 생산관리 모듈은 생산계획부터 공정관리까지 생산의 모든 기능을 포함하고 있지만, 역동적으로 변하는 생산공정에 능동적으로 대응을 할 수가 없다. 그 때문에 MES의 구현이 필요하며, ERP와 MES 간의 정보 전달이 원활해야 하고 정합성이 보증되어야 한다. 그리고 스마트공장 구현을 위해서는 지능형 MES가 필요하다. 즉, 기존 제조원가 계산 및 공정관리 용도의 MES에서 기능이 확장되어야 한다. 공정 센서 데이터 및 대량의 빅데이터 실적을 활용하여, 데이터마이닝 기법 및 딥러닝 기반의 데이터 애널리틱스가 가능한 지능형 MES 구현이 스마트공장 진입에 필요한 요소이다.

본 연구에서는 중소기업에서 사용하고 있는 ERP와 MES의 적절한 기능개선으로 지능형 MES 구현이 가능하다는 것을 확인하였다. 그에 대한 구체적이고 접근성이 좋은 방법으로 의사결정나무 기법과 회귀분석을 적용하였다. MES에서 수집된 대량의 데이터를 채집하여, SPSS 소프트웨어를 통하여 프로토타이핑을 진행하였다. 그리고 MES와 ERP 간의 정보 흐름 프로세스 안에서 학습과 패턴, 의사결정 규칙을 통하여 불량 원인을 도출하였다.

두 번째 ERP 생산기준정보 중 작업장과 표준시간의 설계 및 정의가 ERP뿐만 아

니라 빅데이터 분석 및 스마트공장 진입의 중요 요소라는 것을 인지하였다. 초기 ERP 구현단계에서 생산 현상을 반영한 명확하고 정확한 설계를 해야 한다. 제조업 ERP 생산성에 영향을 미치는 많은 요인이 있지만, 공정 현상을 반영한 생산기준정보(작업장, 표준공정도, BOM)의 설계 중요성은 3개 사례회사 연구와 테스트로 재차 검증되었다. 생산기준정보 중의 하나인 BOM은 투입량, 투입요소에 대해서 잘못 선정하거나, 투입량 정의를 정확하게 정의하지 않으면, 생산품질과 납기에 영향을 미치므로 BOM의 정확성, 정합성에 많은 노력과 관심을 가지고 ERP에 구현 등록을 한다.

반면 작업장(Work Center)의 경우 시스템이 미치는 영향도가 직접적이지 않아서 대표공정이나 설비그룹으로 등록하는 경우가 많다. 이로 인하여 표준시간도 대표표준시간으로 선정을 하여 사용을 한다. 본 연구에서는 TOC의 DBR기법을 활용하여 작업장의 정의와 ERP 표준시간 정의를 CCR 기준으로 정의하였으며, ERP 생산관리 기능 효율성 향상과 제조원가의 신뢰도를 높였다. 시뮬레이션 생산계획 프로토타이핑에서도 제품별, 부품별 표준시간이 시뮬레이션 예측 정확도에 영향을 미친다는 것 또한 당연한 귀결이다. 결국 생산 기준정보는 스마트공장을 대표하는 핵심 기술인 CPS와 Digital Twin System도 ERP와 MES에서 사용되는 생산기준정보 제공이 필요하다. 만약 이러한 생산 기준정보가 공장 현실을 반영하지 못한 경우라면, CPS에서 제시된 가상의 공장시스템 또한 실제상황을 반영하지 못하기 때문에 생산기준정보의 세심하고 정교한 관리를 해야 한다.

세 번째 ERP 생산관리 모듈 중 생산계획 기능의 단점을 대체해야 할 방안을 제시하였다. ERP 생산계획 기능을 대체하기 위한 노력은 APS, CRP, Customizing 등의 다양한 방법과 시도가 있었으나 일부 대기업이나 단순하면서 특화된 공정에서의 사용을 제외하고 많은 제조업에서 사용하지 않았다. 본 연구에서는 시뮬레이션 기법을 활용하여 생산계획뿐만 아니라 외주계획까지 생산 현황에 대한 파일럿 태스트를 수행하였으며, 생산계획의 결과를 예측하였다. 시뮬레이션 사용은 ERP가 기능을 제공하지 못하는 단계로 ARENA 소프트웨어를 사용하였으며, 인터페이스와 같은 연계 부문은 이후 과제로서의 의미로서 중요하다고 하겠다. 스마트공장에서 제공되는 CPS가 시뮬레이션 기능을 제공하나, 비용과 구축 시간을 고려하여 중견, 중소기업인 경우 CPS 대안으로 시뮬레이션과 ERP 연계방안은 고려해 볼 만하다.

궁극적으로 사례연구를 통하여 중견, 중소기업이 ERP의 기능성 확장을 위해서는 결국 스마트공장으로 진입이 필요하며 ERP와 MES의 생산 기준정보(특히 작업장, 표준시간)는 제조업에서 상시 지속 관리를 해야 할 대상이며 시스템으로 지속 모니터링 및 업데이트해야 한다. 그리고 TOC이론과 시뮬레이션 기법이 ERP의 최적

화와 스마트공장 구현에 좋은 시너지 효과를 내줄 수 있다고 판단된다.
ERP 통합시스템, 스마트공장 구축 방법론 측면에서 현재의 시스템에 대한 이해와 요구사항을 명확하게 파악하고 개선사항을 도출해야 한다. 확인된 개선사항을 통하여 구축해야 할 스마트공장의 수준과 목표를 정의하고, 그에 타당한 시스템구현 범위를 규정해야 한다. 만약 현재 수준을 잘못 진단하여 과도한 목표를 정하거나 흉내 내기 식의 구현 목표를 정한다면, 해당 기업에 적합한 스마트공장 구현이 불가능하다.

제3절 연구 한계 및 향후 연구방안

ERP를 구현하였으나 각각 다른 환경과 문제점을 가지고 있는 사례회사의 연구를 통하여 제조업 ERP 구현 취지에 맞게 효율적으로 사용하고, 궁극적으로는 ERP가 나아가야 할 방안을 제시하였다. ERP와 MES의 생산기준정보를 개선하여 원가의 정합성과 ERP와 MES 간의 인터페이스 동기화를 한 사례연구는 생산기준정보의 설계를 TOC이론으로 적용한 의미 있는 연구이다. 생산계획 물량을 표준시간으로 통제하였으며, 공수효율 관리를 통한 노동생산성 향상과 원가절감을 도모하였다.
다만 CCR 공정 중심으로 공정별 부하를 고려한 생산계획 수립에 관한 검증이 부족하다. 때문에 TOC와 공정능력 계획에 관한 추가 연구가 필요하다. ERP 기능에 대한 확장성 연구를 통하여 ERP가 궁극적으로 발전해야 할 방향이 Industry 4.0에 기반을 둔 스마트공장임 확인 하였다. 이러한 ICT 기술의 발전 속에서 TOC 제약이론과 스마트공장 구현에 관한 기존 사례연구 조사와 적용 가능성에 관한 연구가 필요하다. TOC는 투자비용 측면에서 비용 절감의 부수적인 효과가 있으므로 비교적 많은 투자가 소요되는 스마트공장 구현에 효과적으로 사용할 수 있는 기법이다.
시뮬레이션에 기반한 생산계획 기능연구는 ERP 생산관리 기능 단점을 보완한 연구이다. 다만 라인의 재공(WIP)을 반영하지 못하였고 이로 인하여 재고 부족이나 초과에 대한 예측이 불가하였다. 일 작업지시 중심이 아닌 월 생산계획 기반의 시뮬레이션이기 때문에, 전반적인 생산 물량에 대한 추정은 가능하나, 상세하지 못하고 현장감이 부족하다는 단점이 발견되었다. 이를 보완하기 위한 연구 과제는 다음과 같다.
우선, 일일 생산계획 기준의 새로운 모형화가 필요하고, 다음으로는 시뮬레이션 기법과 O.R(Operation Research)의 최적화 기법을 고려한 병합 연구가 필요하다. 시뮬레이션 기법의 경우 대량의 데이터가 필요하나, 도출된 시뮬레이션 결과가 최

적의 결과인지에 대해서는 다른 방법이 필요하다. 설비투자, 인력배치, 생산 물량 조정을 대상으로 파일럿 테스트 연구가 필요하며, CPS와 Digital Twin System과의 적용도 고려 대상이다.

스마트공장으로 진입하기 위한 지능형 MES 도입에 관한 연구는 제조업 ERP 그리고 중견기업이 스마트공장으로 나아가야 할 방향을 제시하였다.

스마트공장에 대한 이해와 연구 동향을 조사하였으며, 사례연구와 Pilot Test를 실시하였다. 스마트공장으로 진행하기 위해서는 ERP와 MES가 중요한 요소이며, 투자 효율성과 시스템 안정화를 위하여 단계적이고 점진적으로 스마트공장을 구현한다는 것을 제시하였다. 그리고 단계적 접근방식 스마트공장 구현을 위해서는 지능형 MES가 필요하며, 공정 센서 데이터 및 빅데이터 실적을 활용한 딥러닝 기반의 지능형 MES 구현이 스마트공장 진입에 중요한 요소임을 파악하였다.

추후 보완하고 진행해야 할 연구 과제는 다음과 같다.

AI와 딥러닝 기반의 다양한 MES 솔루션이 출시, 개발되고 있다. ERP 솔루션도 이러한 지능 기능을 ERP에 탑재하는 것을 개발하고 있다. 다만 이러한 시도가 간과한 점은 현재 넓고, 깊게 설치되어있는 ERP에 어떻게 적용하고 업그레이드해야 하는 것에 대한 방안이다.

기존 ERP와 딥러닝 기반의 솔루션이 현재의 MES처럼 유연하게 연결되고 조합되는지에 대한 연구도 필요하다. 솔루션을 판매하는 벤더에서는 가급적 새로운 투자와 기존 ERP의 교체까지도 대상 기업에 권고하기도 한다.

그러나 투자하는 기업 입장에서 투자는 늘 비용과 효용의 차원에서 접근해야 하기 그 때문에 기존 ERP와 원활하게 연계할 수 있는 지능형 MES 구현 방안에 대해서 다각적이고 폭넓은 연구가 필요하다. 예를 들어 인터페이스의 단점과 비용을 고려하여 ERP에 다른 모듈로 구현을 하는 방안(예를 들어 애널리틱스 모듈, 지능생산 모듈)과 다양한 마이닝 기법, 딥러닝기술의 Library나 Open Source를 어떻게 적용하고 사용하는 것에 관한 연구이다.

ERP와 안정적인 조화를 이루는 MES를 지능형 MES로 업그레이드하는 방안도 또 다른 연구의 과제이다.

1990년 ERP는 수많은 기업에 많은 변화와 혁신을 가져왔다. 30년이 지난 현재 4차 산업 혁명에 기반 한 지능형 ERP, MES가 ERP가 발전해야 할 길이라고 본 연구에서 제시한다.

참고문헌

[1] 강내영 외. (2021), “4차 산업혁명 시대, 제조업 기술혁신과 리쇼어링”, 국제무역통상연구원, 제5호.

[2] 강다연, 장활식, & 김종기. (2009). “국내 기업 ERP 시스템 도입의 정성적 · 정량적 성과 비교”, 한국콘텐츠학회논문지, 제9권, 제4호, pp. 142-153.

[3] 강형묵, & 황경태. (2018). “제조 분야 사이버 물리 시스템 (CPS) 연구 동향 분석”, 한국정보화진흥원, 제25권, 제3호, 전체 쪽.

[4] 고종영, & 조대호. (1999). “제조공정 개선을 위한 생산계획 평가 시뮬레이션”, 한국시뮬레이션학회논문지 제8권, 제2호, pp. 87-100.

[5] 곽태호. (2015). “제약이론 기반 하에서 제약자원 선정에 대한 중요 요인 분석”, 석사학위논문, 명지대학교 대학원, 서울

[6] 김병기, (2015). “MES 중심의 Smart Factory”, 대한산업공학회 추계학술대회 논문집, pp. 2077-2104.

[7] 김병주, 김덕현, 이인수, & 전차수. (2017). “TOC-DBR 기반의 스마트공장 레이아웃 설계에 관한 연구”, 대한산업공학회지“, 제43권, 제1호, pp. 12-18.

[8] 김성민, & 안재경. (2018). “TOC 기법을 적용한 ERP 표준시간 검증 및 MES 공정실적개선”. 산업경영시스템학회지, 제41권, pp. 22-33.

[9] 김성민, & 안재경. (2021). “중소기업 스마트공장 확장성 사례연구”, 산업경영시스템학회지, 게재예정.

[10] 김승권, & 이주헌. (2010). “반도체 Assembly 공정에서 TOC 이론의 응용사례”, 한국경영과학회 학술대회논문집, pp. 657-662.

[11] 김승권, & 이주헌. (2013). “제약공정변수를 통한 자원소요계획 (Resource Planning) 에 대한 연구: 반도체조립공정 S 사 사례를 중심으로”, 대한경영학회지, 제26권, 제5호, pp. 1341-1356.

[12] 김우상. (2009). “TOC 기반의 생산관리시스템 구축사례- (주)화천기공”, 석사학위논문, 전남대학교 대학원, 광주,

[13] 김은영, & 박문수. (2018). “4 차 산업혁명시대 지역 중소기업의 제조혁신 한계와 스마트공장 정책 방향성 연구: 포항지역 중소기업의 스마트공장 조사를 중심으로”. 과학기술학연구, 제18권, 제2호, pp.269-306.

[14] 김호인,(2017). “스마트팩토리, 인공지능으로 날개를 달다”, POSRI 이슈리포트, 전체 쪽.

[15] 나창현. (2015). “TOC를 적용한 JIT/MRP 시스템 개선에 관한 연구”, 석사학

위논문, 가천대학교 대학원, 성남.
[16] 노규성, & 박상휘. (2014). “제조실행시스템에의 빅데이터 적용방안에 대한 탐색적 연구”, Journal of Digital Convergence, 제12권, 제1호, pp. 305-311.
[17] 노상도. (2016). “스마트팩토리와 사이버물리시스템 기술”, 한국통신학회지(정보와통신), 제33권, 제1호, pp. 3-7.
[18] 매일경제, https://mk.co.kr/news/business/view/2020/06/596473/.
[19] 미래창조과학부. (2015). “ICT and Future Planning”, February 6, 2015 Press Release, 2015, p 3.
[20] 박민선, 김경래, 신동우, & 차희성. (2006). “제약이론을 이용한 택트공정관리 개선에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집-구조계, 제22권, 제6호, pp. 139-146.
[21] 박상기, & 이명래. (2016). “중소기업을 위한 스마트팩토리”, 한국전자통신연구원, 제31권, 제6호, pp. 39-47.
[22] 박성빈. (2019). “ARENA Simulation 을 활용한 철강 정정 공정의 생산성 개선”, 대한산업공학회 추계학술대회 논문집, pp. 482-496.
[23] 박인용,박종경, and 장태우.(2018). “스마트제조 기술 국내연구 고찰”, 한국전자거래학회지, 제23권, 제2호, pp. 123-133.
[24] 박훈석, 오규협, 김애경, 정재윤, 전찬모, 이주현, & 김보현. (2018). “스마트공장 고도화를 위한 제조 빅데이터 분석 라이브러리 개발”, 대한산업공학회 춘계공동학술대회 논문집, pp. 1527-1541.
[25] 산업은행. (2015), “국내 제조업 고도화 방안으로서의 스마트공장의 가능성”, 전체 쪽.
[26] 신경철. (2002).“생산현장의 정보화 전략에 관한 연구”. 지역산업연구, 제24권, 제1호, pp. 127-149.
[27] 신동민, 정봉주, 조현보. (2017). “스마트 제조”, 이프레스, 전체 쪽.
[28] 신승준, 신승준, 서원철, & 홍준표. (2018). “사이버-물리 생산시스템을 위한 자가학습형 공장 구조 및 운영절차 설계”, 대한산업공학회 추계학술대회 논문집, pp. 1282-1299.
[29] 신승준, 우정엽, 서원철. (2016). “스마트공장을 위한 빅데이터 애널리틱스 플랫폼 아키텍쳐 개발”, 멀티미디어학회논문지, 제19권, 제8호, pp. 1516-1529.
[30] 심재훈, 윤명수, 안종복, 유범동, & 황인극. (2017). “중소제조 기업 스마트공장 구축을 위한 고찰“, 대한설비관리학회지, 제22권, 제1호, pp. 87-97.
[31] 심현식, & 원중연. (2016). “현장 맞춤형 MES 의 구축 및 효과분석”, 한국경영공학회지, 제21권, 제2호, pp. 57-71.

[32] 소병업. (2018). “센서와 가상공정설계를 활용한 스마트 팩토리 구축”, 박사학위 논문, 호서대학교 대학원, 아산시.
[33] 오세남, 박원철, 류문찬, & 이민구. (2018). “다품종 소량 생산 체제의 스마트 공장 구축 사례:(주) IDIS 를 중심으로”, 품질경영학회지, 제46권, 제1호, pp. 11-26.
[34] 옥영석, & 김복경. (2013). “섀시 모듈 조립공정의 생산실적 수집방법 연구. 대한산업공학회 춘계공동학술대회 논문집”, pp. 2493-2500.
[35] 옥영석, & 박철호. (2006). “UML 과 Visual Basic 을 활용한 DBR Scheduling 시스템 개발”, 한국콘텐츠학회 종합학술대회 논문집, 제4권, 제2호, pp. 31-36.
[36] 요시다, & 박정현. (2006). “TOC 를 이용한 PCB 제조라인의 리드타임 개선”, 대한산업공학회 춘계공동학술대회 논문집, pp. 927-932.
[37] 요시다, & 박정현. (2009). “복수 DBR 기법을 이용한 PCB 생산라인의 효율적인 생산계획 시스템 개발”. 한국산학기술학회 논문지, 제10권, 제10호, pp. 2935-2944.
[38] 유성진, (2008). “휴대용 카메라 모듈(CCM) 제조 라인에 대한 데이터마이닝 기반 품질관리시스템 구축”, 지능정보연구, 제14권, 제4호, pp. 89-101.
[39] 윤건구, 김태구, & 이동형. (2016). “TOC 와 통계적 분석에 의한 플라스틱보트 제조공정 개선에 관한 연구”,산업경영시스템학회지, 제39권, 제1호, pp. 130-139.
[40] 윤종환 & 박태준. (2016). “CPS 및 IoT 기술을 통한 제조혁신 동향 및 전망”, Information and Communications Magazine, 제33권, 제11호, pp. 23-28.
[41] 윤준서, 안현태, 최예림. (2018). “스마트제조를 위한 머신러닝 기반의 설비오류 발생 패턴 도출 프레임워크”, 한국전자거래학회지, 제23권, 제2호, pp. 97-110.
[42] 이경선 외. (2018), “ICT를 활용한 제조업 혁신과 리쇼어링 유인제고 방안연구”, 정보통신정책연구원, 제307권.
[43] 이대희. (2018). “용접공정 스마트팩토리를 위한 MES연동 용접 모니터링 시스템 설계”. 대한전자공학회 학술대회, pp. 877-880.
[44] 이성희, 김재영, 이원희. (2017). “스마트공장 문헌연구 및 향후 추진전략”. Journal of Information Technology Applications & Management, 제24권, 제4호, pp. 132-152.
[45] 이장건, 정용기, & 허봉구. (2009). “ERP 도입효과 분석을 위한 계량적 접근과 생산성 역설”, 회계정보연구, 제27권, 제1호, pp. 231-259.
[46] 이정철. (2018). “스마트공장 도입 단계별 추진 포인트”, ie 매거진, 제25권,

제4호, pp. 31-37.
[47] 이현정, 김용진, 임정일, 김용운, 이수형 (2017). “스마트공장 구축을 위한 현장실태 및 요구사항 분석”, 한국정밀공학회지, 제34권, 제1호, pp. 29-34.
[48] 임규찬. (2006). “ ERP 도입의 성공요인과 시스템 정보특성간의 적합성이 시스템 성과에 미치는 영향분석”, 한국콘텐츠학회논문지, 제6권, 제2호, pp. 136-145.
[49] 임정우. (2017). “스마트팩토리 기반 제조공정 혁신에 관한 연구”. 대한경영학회지, 제30권, 제9호, pp. 1609-1630.
[50] 장성용. (2003). “DBR 스케줄링 기법의 연구 동향. 대한산업공학회 춘계공동학술대회 논문집”, pp. 654-661
[51] 장성용. (2003). “[SA4 TOC (제약이론)] DBR 스케줄링 기법의 연구 동향”. 한국경영과학회 학술대회논문집, pp.654-661.
[52] 장원중, 조성인, 김수상, & 김광용. (2018). “스마트팩토리에서 빅 데이터 인프라 구축 방안에 관한 연구”, 예술인문사회 융합 멀티미디어 논문지, 제8권, 제10호, pp. 11-23.
[53] 전인기. (2015). “지열 히트펌프 시스템의 데이터 마이닝 기반 성능 예측 기술”, 대한설비공학회 학술발표대회논문집, pp. 557-560.
[54] 전찬모, 김보현, & 이주연. (2017).“ 제조 특화형 라이브러리 기반 빅데이터 분석 플랫폼 구축에 관한 연구: 품질 문제 해결을 위한 플랫폼 구축 사례”, 대한산업공학회지, 제43권, 제5호, pp. 380-387.
[55] 정남기, 최정길, 정선화, & 김수진. (2001). “TOC DBR 기반의 APS 시스템 설계에 관한 연구”, 대한산업공학회 춘계공동학술대회 논문집, pp. 490-493.
[56] 조용주. (2017). “4차 산업혁명 시대에 국내 스마트팩토리 추진전략”, 정보과학회지, 제35권, 제6호, pp. 40-48.
[57] 지영주. (2004). “동적인 제조환경에서의 유연한 생산 스케줄링을 위한 TOC/JIT/MRP 통합 모델에 관한 연구”, 한국경영과학회 학술대회논문집, pp. 370-373.
[58] 차석근, 윤재영, 홍정기, 강현구, & 조현찬. (2015). “스마트공장을 위한 IT 융합 표준화 동향 분석과 시스템 구조”, 한국정밀공학회지, 제32권, 제1호, pp. 17-24.
[59] 최광석, 박경아, & 윤영수. (2011). “시뮬레이션 기법을 활용한 중소기업 생산성 향상 방안”, 산업경제연구, 제24권, 제4호, pp. 1969-1987.
[60] 함용석. (2010). “Post-ERP 생산계획 프로세스 최적화 사례 연구”. 대한경영학회지, 제23권, 제6호, pp. 3339-3352.

[61] 함형준. (2017). “ICT 기반의 스마트 팩토리 구현을 위한 정책연구”, e-비즈니스연구, 제18권, 제6호, pp. 363-380.
[62] 홍민선, 윤철주, 민병도, & 임석철. (2004). “설비비용을 고려한 제약자원 결정방법”, 한국경영과학회 학술대회논문집, pp. 387-391.
[63] 황세웅, 김종혁, & 황보현우. (2018). “스마트 팩토리를 위한 센서 데이터 분석과 제품 불량 개선 연구. 한국빅데이터학회지”, 제3권, 제1호, pp. 95-103.
[64] 황종호. (2013). “활동기반 업무처리를 위한 객체기반 정보화”, 한국 IT 서비스학회지, 제12권, 제1호, pp. 309-321.
[65] Agnieszka, (2014). “The Smart Factory: Exploring Adaptive and Flexible Manufacturing”, Procedia engineering, Vol. 69, pp. 1184-1190.
[66] Berry, M. J., & Linoff, G. S. (2004). “Data mining techniques: for marketing, sales, and customer relationship management”, John Wiley & Sons.
[67] Denisa, Ferenčíková. (2012). “Bottleneck management in discrete batch production, Journal of Competitiveness”, Vol. 4, No. 2, pp. 161-171.
[68] Gattiker, T. F. and D. L. (2005). “Goodhue, What happens after ERP implementation : Understanding the impact of interdependence and differentiation on plant-level outcomes”, MIS Quarterly, Vol. 29, No. 3, pp. 59-585.
[69] Golmohammadi, Davood. (2015). “A study of scheduling under the theory of constraints”, International Journal of production Economics, Vol. 165, pp. 38-50.
[70] HE, Q. Peter; WANG, Jin. (2018). “Statistical process monitoring as a big data analytics tool for smart manufacturing”, Journal of Process Control, Vol. 67, pp. 35-43.
[71] Industry 4.0 Smart Factory & Safety Monitoring System, pilz, September 2014.
[72] Institute for International Trade. (2021). “The era of the 4th industrial revolution, Manufacturing innovation and reshoring”, Trade focus, No. 5, pp. 1-31.
[73] Izmailov, Azar, Diana Korneva, and Artem Kozhemiakin. (2016). “Effective Project Management with Theory of Constraints”, Procedia-Social and Behavioral Sciences, Vol. 229, pp. 96-103.
[74] Lea, Bih-Ru. (2007). “Management accounting in ERP integr- ated MRP and TOC environments”, Industrial Management & Data Systems, Vol. 107, No.

8, pp. 1188-1211.
[75] Lowalekar, Harshal, and R. Raghavend-ra Ravi. (2017). "Revolutionizing blood bank inventory management using the TOC thinking process: An Indian case study", International Journal of Production Economics, Vol. 186, pp. 89-122.
[76] Okutmuş, Ercüment, Ata Kahveci, and Jekaterina Kartašova. (2015). "Using theory of constraints for reaching optimal product mix: an application in the furniture sector", Intellectual Economics, Vol. 9, No. 2, pp. 138-149..
[77] Radziwon, A., Bilberg, A., Bogers, M., & Madsen, E. S. (2014). "The smart factory: exploring adaptive and flexible manufacturing solutions", Procedia engineering, 69, 1184-1190.
[78] Schlechtendahl, J., Keinert, M., Kretschmer, F., Lechler, A., & Verl, A. (2015). "Making existing production systems Industry 4.0-ready", Production Engineering Research and Deve lopment, Vol. 9, pp. 143-148.
[79] Schwab, Klaus. (2016). "The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond", 《World Economic Forum》
[80] So, B. E. and Shin, S. S., (2017). "The built of smart factory using sensors and virtual process design", The Journal of the Korea institute of electronic communication sciences, Vol. 12, No. 6, pp. 1071-1080.
[81] Thoben, K. D., Wiesner, S. & Wuest, T. (2017). "Industrie 4.0 and smart manufacturing-are view of research issues and application examples", International journal of automation technology, Vol.11, No.1, pp 4-16.
[82] Umble, Michael, Elisabeth Umble, and Larry Von Deylen. (2001). "Integrating enterprise resources planning and theory of constraints: a case study", Production and Inventory Management Journal, Vol. 42, No. 2 pp. 43-48.
[83] Viera Šukalováa, Pavel Cenigaa. (2015). "Application of The Theory of Constraints Instrument in The Enterprise Distribution System", Procedia Economics and Finance, Vol. 23, pp. 134-139.
[84] Wang, L., Törngren, M., and Onori, M. (2015). "Current status and advancement of cyberphysical systems in manufacturing", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 37(Part2), pp. 517-527.
[85] Wen, Zhang, et al., (2016). "Research on a scheduling mechan-ism in a complex system based on TOC", Chaos, Solitons & Fractals, pp. 335-347.

[86] Wu, Horng-Huei, Amy HI Lee, and Tai-Ping Tsai. (2014). “A two-level replenishment frequency model for TOC supply chain replenishment systems under capacity constrain”, Computers & Industrial Engineering. Vol. 72, pp. 52-159.
[87] Yin, S. and O. Kaynak, (2015). “Big data for modern industry: challenges and trends [point of view].” Proceedings of the IEEE, Vol. 103, No. 2, pp. 143-146.
[88] Zhou, Zhugen, and Oliver Rose. (2009). “A bottleneck detection and dynamic dispatching strategy for semiconductor wafer fabrication facilities”, Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2009 Winter. IEEE, pp. 1646-1656.

Abstract

Implementation practices for extensibility of the ERP system function

Kim, Sung Min
(Supervisor Ahn, Jaekyoung)
Dept. of Industrial & Information Systems Engineering
Graduate School of public Policy and Information Technology
Seoul National University of Science and Technology

The ERP system which has been Introduced in the 1990s, is a corporate solution designed and standardized based on the corporate-wide processes. The system was able to actively meet the timely demands of companies seeking to innovate the processes and to remove non-value-added elements. As a result, ERP has been adopted by the worldwide companies in various industries including the manufacturing industry. Particularly ERP is widely used in South Korea, not only by large companies, but by even small and medium-sized companies. Currently, ERP is known to have the effect of ensuring the agility and consistency of decision-making by integrating information between manufacturing, logistics and accounting departments and issuing real-time slips for related operations. However, ERP, which has been developed over the past 30 years for the value of technological innovation and openness, is also a target of innovation, and is seeking the birth of another form of Next Generation ERP.

ERP vendors have made continuous expansions such as SCM, CRM, and e-Procurement, and are trying to make fundamental changes through the introduction of in-memory DB and cloud system, which are significantly faster than the existing processing speed in terms of hardware.

While the 2010s is the era of digital transformation of cloud, mobile, and big

data infrastructure, the 2020s is the era of artificial intelligence, blockchain, and Internet-based Intelligent Technology of things. In response to the demands of these times, the current ERP systems are migrating to intelligent ones with various Intelligent Suits and Platforms. Under these circumstances, ERP is trying to integrate new technologies such as machine learning process automation, predictive analytics, and Chatbot-based digital assistants, but it has not been practically commercialized or put into practical use.

In the process of developing and changing in this way, various problems have been found. The "productivity paradox" in which productivity and efficiency decline after implementing the ERP, is often cited in not a few studies. In particular, it has been pointed out that huge construction costs and license costs, which are somewhat unreasonable for small and medium-sized enterprises, are mentioned as obstacles to the spread of ERP.

Also, in the case of a manufacturing industry, users frequently complain about the production planning functions. In other words, the production control and production planning functions provided by the ERP solution are equipped with various production planning methodologies in the related areas, but are not able to realistically deal with the diversities and exceptions of the industry. In order to overcome these drawbacks, the MES developed separately industry by industry, has been functioning with the existing ERP.

MES is an alternative system that complements the shortcomings of ERP production planning, and may be larger and more important than ERP in the industries such as semiconductors, refined oils, and chemistry. Thus MES is a very important double-headed carriage system used with ERP in the manufacturing industry. Solutions such as APS (Advanced Planning System) that complements the malfunction of ERP production planning are used, but the reality is that the usage rate is low except for some large companies.

MES collects the results of various production processes via devices such as POP and Sensor at the bottom, and converts the production record information such as man-hour and production volume into ERP. It also manages various information at the production site such as quality, equipment, and workers. Therefore, it can be said that the impact on other systems may be significant because of the huge amount of the quality and quantity of data that MES provides. In particular, MES is developing in the

direction of effectively supporting the evolution and development of ERP by providing data for the implementation of intelligent platforms such as big data analysis and artificial intelligence in the era of the 4th industrial revolution.

With the above backgrounds, this study presents various solutions to overcome the identified problems in the existing ERP and MES for the three different manufacturers.

In the first case, ERP and MES have already been implemented, but the accuracy problem of the manufacturing cost was identified. As a result of investigating the problem, it was discovered that the range of processes from MES and the range of process defined in ERP were different. TOC (Theory of Constraints) has been used to synchronize the interface of information between MES and ERP. The TOC theory was applied to simplify the MES Routing Point where the management scope of the workplace is not clear. Workshops defined in ERP have also been redefined to reflect MES's TOC theory. In addition, the standard times from the time and motion study have been redeveloped according to the specification characteristics of the processes. This improves the consistency of manufacturing costs, enables rational cost control, and provides consistency of production standard information to control the difference between the amount to be produced and the amount that can be produced.

In the second case, ERP and MES have already been implemented, however, the real time production planning is not available because of the inappropriate functioning. Furthermore, it was difficult to formulate an efficient plans provided by ERP since the movement time between process equipment is long and there include lot of manual processes. In order to resolve these problems, production planning simulation was performed using the field data fed by ERP and MES. It was shown that the production planning can be provided correctly and that rational decision making for the capital investment is realizable promptly. Especially in the implementation of smart factories, it was confirmed that the standard production information becomes an important factor for the core functions such as Twin system and CPS (Cyber Physical System).

In the last case, the plans to successfully advance to the smart factory with the

already implemented ERP and MES have been investigated. In this study, it has been explored how to develop the MES that holds big data into an intelligent MES, and how to carry out the basic modeling. Two types of intelligent MES have been presented and implemented a virtual intelligent MES by utilizing the prototyping techniques. Big data analysis was performed with more than 30,000 MES sample data to predict the quality defects. In addition, this study postulated that small and medium-sized enterprises with existing ERP and MES may be able to enter into smart factories without investing a huge amount of money.

Through the above three case studies, ERP and MES are important factors for small and mid-sized companies to efficiently advance to smart factories by implementing the smart factories step by step. It was confirmed. In particular, it was found that deep learning-based intelligent MES that utilizes the track record of big data along with securing process sensor data is the most important factor for the gradual implementation of smart factories.

감사의 글

본 연구는 서울과학기술대학교 IT정책전문대학원 산업정보시스템전공 경제성 평가 연구실에서 이루어졌습니다. 이 학위논문이 만들어지는 과정에서 도움과 격려를 해주신 모든 분에게 이글을 빌어 깊은 감사의 말을 드립니다.

우선 박사과정 수련 동안 연구주제부터 학술지 게재, 학위논문까지 학문적 지도를 해주신 안재경 지도교수님께 감사의 인사를 올립니다.
교수님께서는 저에게 학문적 대안과 나아가야 할 방향을 깨우쳐 주셨으며 늘 따스한 말씀과 격려를 해주셨습니다. 연구모임과 과업발표의 시간은 늘 빠르게 돌아왔지만 조그마한 돌이 쌓이고 쌓여서 돌탑을 이루듯, 이제 저도 작은 돌탑을 하나 만들게 되었습니다. 지금 돌이켜 보면 제가 잡은 돌은 크고 매끄러운 돌이었으며 돌탑을 쌓으려면 하면 미끄럽고 무거워서 탑이 제대로 올라가지 못할 듯하였습니다. 그러나 교수님께서는 환하게 웃으시면서 저의 손을 잡아 주시고 작고 단단한 돌을 찾아서 하나하나 탑을 같이 쌓아 주셨습니다.
이렇듯 교수님의 깊이 있는 가르침과 연구방법론 그리고 열린 소통으로 인하여 오늘과 같은 박사학위의 영광을 얻을 수 있었습니다. 이렇게 감사의 글로 먼저 교수님께 인사를 드립니다.

그리고 이번 박사학위 논문 심사위원장직을 맡아 주신 홍정식 교수님께 감사를 드립니다. 학위심사과정에서도 논문 구성의 문제점과 연구방법에 대해서 많은 조언을 해주신 덕분에 논문의 완성도가 높아졌습니다. 학위 인준 후 기억 남는 것은 직장 다니면서 어렵게 공부하고 배운 좋은 학문을 이제는 사회에서 유용하게 잘 사용하라는 교수님의 말씀이었습니다.
다시 한번 홍정식 교수님께 감사드립니다.

산업정보시스템 대학원생들이 수강하고 싶어 하는 조남욱 교수님은 그만큼 일정이 바쁘신 것으로 알고 있습니다. 다양한 일정에도 불구하고 이번 학위심사위원을 맡아 주신 교수님께 감사드립니다. 그리고 학위심사 후에도 페이지마다 일일이 단점과 수정해야 할 사항, 논리적 오류를 차분하게 설명해 주셨습니다. 교수님께 진심으로 감사드립니다.

정보보안 전문가이시며 선배이신 김영희 박사님 감사드립니다. 그리고 격려와 논문작성에 대한 지도와 조언을 아낌없이 해주셨습니다. 그리고 심사 당일 휴가를 사용하면서 심사를 해주셨습니다. 배려에 감사드리며 늘 잊지 않겠습니다.

경제성평가 연구실 선배이신 박현기 박사님은 제가 박사과정 시작 때부터 많은 도움을 주셨습니다. 많은 부분에 대해서 제가 배울 점이 많은 분입니다. 바쁘신 일정에도 휴가를 내시어 심사 해주신 것 감사드립니다.

저의 산업공학과 선배님이시며 경제성평가 연구실 선배님이시기 합니다. 산업정보시스템 공학의 모든 행정을 총괄하시는 송미자 박사님에게 많은 도움을 받았습니다. 송미자 박사님에게 진심으로 감사드립니다.

우리 경제성평가 연구실 선후배님들 정말 감사하고 사랑합니다. 스마트한 임종덕 박사, 동기이자 듬직한 동생 정용훈, 누구보다 먼저 학위를 취득할 수 있었는데 신혼의 달콤함으로 잠시 연기한 사랑꾼 정훈, 홍일점이자 스타트업 여성 CEO 민윤정 후배님 감사드립니다. 그리고 연구실 선배이신 한성현 박사님, 강진화 박사님, 윤호중 박사님등 여러 선배님 후배님에게도 감사드립니다.
또한 나기주 박사님, 동기인 성기서님도 감사드립니다.

제 직장생활에서 멘토이자 정년퇴임을 하시는 최상면 상무님, 누구보다 축하해주신 조재연 사업부장님, 박원일 ERP 1 팀장님, 김현수 ERP 3 팀장도 감사드립니다. 그리고 ERP 2 팀원분들에게도 감사드립니다.
그리고 저의 박사학위 취득을 누구보다 축하해주신 현대오일뱅크 신상현 팀장님, 김형지 팀장님, 이정민 차장님, 조풍용 차장님, 정병철 과장님도 감사드립니다. 그리고 S4 HANA ERP 구축 프로젝트 최고의 전문가 고객인 E1의
이승준 팀장님, 이상엽 과장님, 김일룡 차장님 외 분들에게도 감사의 뜻을 전달 드립니다.

서울과기대 산업공학과 동기 모임인 산우회 회원들 정말 고맙습니다. 특히 걱정과 격려로 날 독려해주는 듬직하고 믿음직한 맏형 같은 김재영, 희망전도사
김정현, 황승준 회장, 차재병에게 감사를 드리며 장병곤, 김용범, 이희재, 김평기, 이원식, 고규봉, 이황희, 한형주, 양형욱 친구들에게도 감사드립니다.

중앙건설 퇴직 후 제2의 인생 설계를 하는 문성모, 쿠웨이트에서 사업하는 서호석 형님 마찬가지로 격려와 관심에 감사드립니다.

누구보다 날 응원해주고 믿어준 내 형제들 김창한, 김정수, 양홍석에게도 고맙고 든든하고 감사하다는 뜻을 전합니다.

신혼 때 석사 공부를 지원해주고 뒤늦게 박사 공부까지 묵묵하게 뒤에서 지원해 준 나의 아내 박공주에게 감사하고 사랑한다고 전합니다. 제 아내가 아니었으면 지금의 박사학위는 불가능했습니다. 저의 학위를 제 아내에게 바칩니다. 공부와 학업이라는 이유로 가정과 직장, 육아, 교육을 힘들게 병행하는 당신을 도와주지 못한 점이 미안하고 아이들에게는 주말, 평일 저녁에도 잘 놀아주지 못한 점이 많이 마음에 걸립니다. 이 마음의 빚을 평생 가지고 가겠으며 이번에는 남편 박사, 아빠 박사가 될 것을 약속합니다. 그리고 무탈하게 이쁘게 잘 자란 고마운 나의 큰딸 김민교, 작은딸 김서진에게 할 말이 있습니다. 아빠가 너무나 고맙고 사랑한다는 말은 꼭 전합니다. 그리고 나의 공주님들이 좀 더 자라서 성인이 되면 아빠가 쓴 논문을 읽어보고 작은 것 하나라도 얻었으면 하는 바람입니다.

끝으로 현재 투병 생활을 하시는 작은어머니의 빠른 쾌차와 작은아버지의 건강을 기원하겠습니다.

2021년 7월

늦은 주말 저녁 경제성평가 연구실에서

김성민 올림