

# 스마트 제조 실행 시스템 기본설계를 위한 시스템 엔지니어링 적용 방법에 대한 연구

전병우\* 신기영 홍대근 서석환

포항공과대학교 엔지니어링대학원

## A Study on Application of Systems Engineering Approach to Design of Smart Manufacturing Execution System

Byeong-woo Jeon\*, Kee-Young Shin, Dae-Geun Hong, Suk-Hwan Suh

*Graduate School of Engineering Mastership (GEM), POSTECH*

**Abstract** : Manufacturing Execution System(MES) is in charge of manufacturing execution in the shop floor based on the inputs given by high level information such as ERP, etc. The typical MES implemented is not tightly interconnected with shop floor control system including real (or near real) time monitoring and control devices such as PLC. The lack of real-time interfaces is one of the major obstacles to achieve accurate and optimization of the total performance index of the shop floor system. Smart factory system in the paradigm of Industry 4.0 tries to solve the problems via CPS (Cyber Physical System) technology and FILS (Factory In-the-Loop System). In this paper, we conducted Systems Engineering Approach to design an advanced MES (namely Smart MES) that can accommodate CPS and FILS concept. Specifically, we tailored Systems Engineering Process (SEP) based on an International Standard formalized as ISO/IEC 15288 to develop Stakeholders' Requirements (StR), System Requirements (SyR). The deliverables of each process are modeled and represented by the SysML, UML customized to Systems Engineering. The results of the research can provide a conceptual framework for future MES that can play a crucial role in the Smart Factory.

**Key Words** : Manufacturing Execution System(MES), Cyber Physical System(CPS), Systems Engineering

---

\* 교신저자 : Byeong-woo Jeon, [jhs1728@postech.ac.kr](mailto:jhs1728@postech.ac.kr)

\* This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

최근 생산자 중심의 제조회장에서 소비자 중심의 제조 환경으로 이동함에 따라 고객의 요구사항을 적기에 파악하여 제조회장에 신속히 반영하는 것이 중요해졌다[1][2]. 따라서 제조 업무를 수행하는 현장의 상황을 실시간으로 파악하여, 시장의 니즈에 맞춰 제조 환경을 유연하게 구성하는 것이 중요한 이슈가 되었다<sup>[1][4]</sup>. 이에 제조회장과 기업 경영진 사이의 정보 교환을 이룰 수 있게 하는 수단으로 MES(Manufacturing Execution System)가 등장하게 되었는데, MES는 제품 주문을 받은 단계부터 제품의 완성에 이르기까지 생산의 최적화를 위해 다양한 기능을 수행한다. 여기엔 작업 스케줄링, 생산 추적, 설비 관리, 품질 관리, 성과 분석 등이 있다[3][12].

하지만 기존 제조 실행 시스템의 많은 기능들 중 여전히 운전자나 작업자가 직접 현장을 확인하면서 MES를 조작해야 하며, 전체 공정 프로세스의 자동화 및 지능화 수준이 완전하지 않아 실시간 대응 능력이 저하되는 문제가 발생하고 있다[11]. 이는 제품 제조 시 제조회장의 정보를 실시간으로 획득, 분석하고 이에 따라 필요한 서비스를 자동으로 판단해 적재적소에 제공하는 기반 환경이 미흡하기 때문이다[5].

CPS(Cyber Physical System)는 물리적 시스템이 컴퓨팅 및 통신 환경과 통합되어 동작, 운전 등에 대한 모니터링 및 실시간 제어가 구현되는 시스템을 일컫는다[6]. 이는 Industry 4.0의 핵심 기술로, 사전에 입력된 프로그램대로 실행되던 기존의 제조 방식을 넘어서 제품에 대한 다양한 시장의 요구 및 공장의 전체적 상황을 실시간 파악하여 적절한 작업 방식을 능동적으로 결정할 수 있게 한다. 이는 생산현장에 있는, IoT 기반 환경의 센서로부터 정보를 취합하여 이를 활용해 의미 있는 정보를 추출한 후 관련된 서비스나 기능들을 스스로 실행하여 실시간 대응능력을 향상하여 제조회장환경 전반에 걸친 최적화를 달성하는 데 도움을 준다[15]. MES에 접목함으로써 기존 대비 현장 상황 및 시장 수요

변화 대응 시간이 단축되고, 제조 현장 상황을 실시간으로 파악하고 대응할 수 있으며 이에 따라 제조 활동의 생산성 향상에 기여하는 효과를 얻을 수 있다.

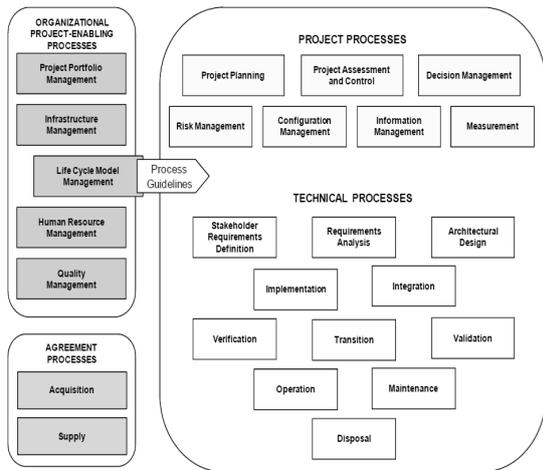
이러한 기술적 요소를 MES에 제대로 반영하는데 있어 체계적인 개발 과정을 거칠 필요가 있는데, 시스템 엔지니어링은 이를 지원하는 수단이 될 수 있다. 일반적으로 새로운 시스템을 개발하는데 있어 다양한 분야의 전문가의 손길을 거치는 것이 보통인데 시스템 엔지니어링 개발 프로세스를 활용함으로써 이들이 체계적으로 협업할 수 있도록 한다[7]. 또한, 시스템 엔지니어링은 대상 시스템의 라이프 사이클에 걸쳐 다양한 이해관계자들의 요구사항을 체계적으로 정리하고 이를 시스템의 구성에 반영해 시스템의 라이프 사이클에 걸친 최적화를 달성하도록 도움을 준다. 시스템 엔지니어링은 기존에 국방, 항공, 철도 분야에서 주로 활용되어왔으나, 최근에는 이를 제조 분야에 점차 적용하기 시작하고 있다[8][9][10].

본 논문은 시스템 엔지니어링의 표준인 ISO/IEC15288에 대한 개괄적인 설명을 한 후, 테일러링된 프로세스를 Smart MES의 설계에 반영하고자 한다. 이를 통해 생산 과정에 있어서 신속한 의사결정은 물론 품질 향상, 원가 절감, 가격 경쟁력 제고, 에너지 절감 등의 목표를 달성코자 한다. Industry 4.0을 구성하는 핵심 기술인 CPS이 적용된 Smart MES의 기능 구성 부분들을 시스템 엔지니어링을 통해 설계하고, 차세대 MES인 Smart MES를 위한 자력 엔지니어링 기술을 확보하여 관련 분야의 경쟁력을 갖추는 기반을 제공하는 데 그 의미가 있다.

## 2. 시스템 엔지니어링 프로세스

### 2.1 ISO/IEC 15288 개요

ISO/IEC15288은 시스템 엔지니어링 수행 방법을 표준화한 것으로 ISO에서 제정하였다. 이는 모든 시스템에 공통적으로 적용되는 라이프 사이클을 제시하고 각 단계마다 적용되는 활동과 관련된 용어들을 정리해 놓았다[13]. 이 표준에는 크게 네 가

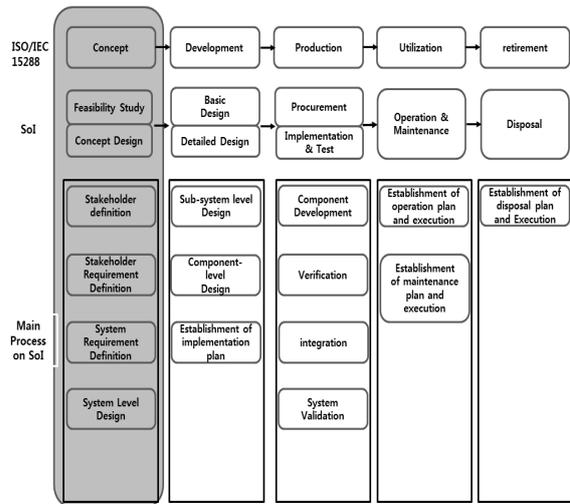


[Figure 1] System life-cycle processes [14]

지 프로세스들의 집합으로 구성되어 있다. Figure 1에 기술된 바와 같이 프로세스 집합은 크게 기술 프로세스, 프로젝트 프로세스, 합의 프로세스, 조직의 프로젝트 지원 프로세스로 구성되어 있다. 각 프로세스 집합에는 프로세스들이 기술되어 있으며, 각 프로세스마다 목적, 필요한 자료, 산출물, 수행하는 활동 및 방법 등을 정의한다. 본 논문에서는 ISO/IEC 15288의 기술 프로세스 그룹을 참고해 Smart MES를 위한 시스템 엔지니어링 활동을 진행하며, 이 중에서도 특히 설계 관련 활동을 중점적으로 살펴볼 계획이다.

### 2.2 대상 시스템 엔지니어링 기술 프로세스

시스템을 기술하고 그와 관련된 활동들을 그룹화하는 것은 시스템 라이프 사이클을 어떻게 정하느냐에 따라 다르다. 시스템 라이프 사이클은 시스템 필요성 인식, 개발, 생산, 사용, 폐기에 이르는 시스템이 거처가는 단계를 일컫으며, 각 라이프 사이클 단계에 맞춰 시스템에 대해 조직이 수행해야 할 업무가 정의된다. 따라서, 대상 시스템에 대해 최적화된 라이프 사이클을 적용함으로써 시스템 라이프 사이클 관련 활동이 효율적으로 진행되게 할 수 있다. 본 논문에서는 ISO/IEC 15288의 시스템 생명주기 프로세스를 참고하여 대상 시스템인 Smart MES에 맞는 시스템 엔지니어링 프로세스 및 라이프



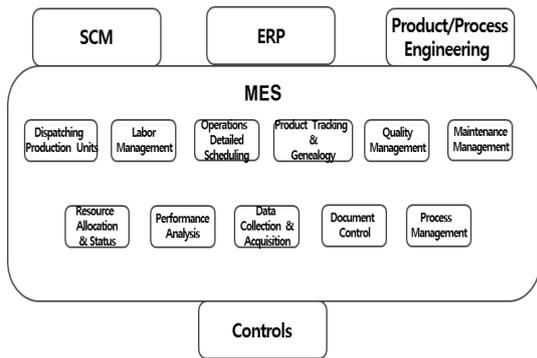
[Figure 2] System life-cycle processes on system-of-interest

프 사이클을 정의하였으며, 이는 Figure 2에서 보여준다. 제조업엔 다양한 산업군이 존재하는데, 각 산업군마다 활용하는 설비나 공정이 다르다. 심지어 같은 산업군에 있는 회사들이어도 그들이 활용하는 설비 역시 다양한 벤더들로부터 도입한 것이므로 관리해야 하는 데이터나 정보들이 각자 다르다. 게다가 각 회사마다 재정 여건, 규모가 다르기 때문에 설계 부분에서 단계를 개념 설계, 기본 설계, 상세 설계 3단계로 나누게 되었다. 따라서 개념설계에서는 Smart MES가 일반적인 제조업에서 적용되었을 때 어떻게 구성될 것인지 설계하는 것이고, 기본설계, 상세설계 단계는 산업별, 시스템을 운용할 회사별로 세부적으로 진행되어야 한다. 본 연구에서는 이 중 시스템 설계 부분을 중점적으로 수행하였고, 세부적인 프로세스의 적용 결과는 4장에서 소개하도록 한다.

## 3. 기존 MES의 현황 및 대상 시스템 정의

### 3.1 MES의 정의 및 현황

일반적으로 MES는 PLC같은 제어 계층과 ERP 같은 전사시스템 자리해 생산 실행을 담당하는 시스템으로, 제품 주문을 받은 단계부터 제품의 완성



[Figure 3] MES 11 functions

에 이르기까지 제조운영활동의 최적화를 제공하는 시스템이다[12]. MES의 도입에 있어 기업마다 활용 목적과 상황이 다르기 때문에 단순한 WIP(work in piece)의 추적만 하는 것에서부터 공장 전체로부터 나오는 데이터를 수집하고 분석하고 관리해 이를 여타 전사시스템들과 활발히 소통하는 복잡한 시스템까지 구성할 수 있다[16]. 이에 MESA(Manufacturing Enterprise Solutions Association)에서는 MES에서 수행해야 할 기능을 크게 11가지로 분류하였는데, 이는 Figure 3에서 나타나있다.

여기에는 크게 제조 스케줄을 전사 시스템으로부터 온 정보, 공장에 있는 자원의 상태에 따라 조정하는 부분, 제품 주문과 현재 공장에 있는 자원의 상황에 맞춰 작업 흐름의 논리적 순서를 구성하는 부분, 제조 실행을 내리면서 부품의 추적 및 공정 간 재고를 관리하는 부분, 제조 현장으로부터 데이터를 수집하고 이를 통해 유지보수와 셋다운과 같은 비상상황 대응 같은 곳에 활용하는 부분이 핵심을 이루며[17], 이외에도 문서 관리, 제조 데이터를 기반으로 한 품질 관리, 근로 이력 관리, 성과분석 등의 부가적인 기능도 수행한다.

기존 MES의 경우 현장 상황에 맞게 상기 기능 일부 필요한 기능들을 제공하지만, 대부분 기존 제조 실행 시스템의 많은 기능들 중 여전히 운전자나 작업자가 직접 현장을 확인하면서 MES를 조작해야 하며, 전체 공정 프로세스의 자동화 및 지능화 수준이 완전하지 않아 실시간 대응 능력이 저하되는 문제가 발생하고 있다. 또한, 기존 MES 설계 시 대상

시스템의 생명 주기 전체에 걸친 다양한 이해관계자들의 요구사항을 개발 초기에 반영, 관리, 적용하는 경우가 거의 없어 현장 작업자의 요구사항이 제대로 반영되기 어려운 구조다. 기존 MES 설계 및 구축 사례를 보면, 작업 현장 및 MES와 관련된 다양한 이해관계자들의 요구사항을 파악하는 것보다 MES 개발진들의 요구사항에 초점을 맞춰 설계를 하여 현장 작업자 및 사용자 관점의 요구사항이 반영이 미흡하였고, 요구사항을 추적하고 관리하는 절차가 생략이 되어 설계 시 고려사항이 제대로 반영되었는지 확인하는 절차가 없었으며, MES의 동작이 ERP로부터 오는 정보들에 의해 실행되기에 현장으로부터 올라오는 정보에 대한 고려가 없었다[18]. 또한, 설계 시 요구사항을 구체적으로 짚는 것보다 기존 MES에서 발견된 문제점과 MES가 설치될 산업군에 대한 특징을 정리한 후 바로 개발을 진행하여 세부적인 요구사항을 파악하는 과정 자체가 결여되어 있으며, 제조 현장으로부터 정보를 수집하고 시각적으로 보여주긴 하지만 이를 이용해 실시간으로 제조현장에 활용하진 않았다[19] [20].

이러한 기존 MES의 문제를 해결하기 위해선 제조 현장의 정보를 실시간으로 획득, 분석하고 이에 따라 필요한 서비스를 자동으로 적재적소에 제공하는 기반 환경이 조성되는 것과 동시에 이를 설계하는 데 있어 SE Process를 적용하여 다양한 이해관계자의 요구사항들을 체계적으로 관리하는 것이 필요하다.

### 3.2 대상 시스템 정의

Smart MES는 일반적인 MES의 단점을 보완해 제어 시스템과 전사 시스템 사이의 정보 흐름을 증대하는 역할 뿐만 아니라 앞서 기술된 MES의 기능이 지능적으로 수행되고 이에 따라 최적화된 제조 운영활동이 이뤄질 수 있도록 하는 데 그 목적이 있다. Smart MES는 Industry 4.0의 핵심 기술인 CPS 및 IoT를 활용하여 고객 요구사항 기반 제품 생산 제조 시 제품의 생산 현황, 실적, 진도 등을 능동적으로 관리하고 생산에 적용되는 장비, 재료, 인력 등 각종 자원을 유연하게 조정하고 활용하며, 생산

계획, 재고 관리, 장비 자동 운영 등을 현장 정보에 맞춰 실시간 모니터링 및 대응할 수 있는 차세대 제조 실행 시스템이다. 이를 통해 기존 대비 현장 상황 및 시장 수요 변화 대응 시간이 단축되고, 제조 현장 상황을 실시간으로 파악하고 대응할 수 있으며 이에 따라 제조 활동의 생산성 향상에 기여할 수 있다. 또한, 이는 전체 라이프 사이클에 연루된 다양한 이해관계자들의 요구사항을 반영하고 관리하는 시스템 엔지니어링 프로세스를 걸쳐 개발하기 때문에, 다양한 요구사항이 제대로 반영되는 데 도움을 줄 수 있다.

본 논문에서는 2.2절에서 기술된 개발 프로세스에 따라 수행한 Smart MES 개념 설계의 결과들을 보여준다.

#### 4. 시스템 엔지니어링을 적용한 Smart MES의 개념 설계

##### 4.1 이해관계자 식별

본 절에서는 앞서 언급된 대상 시스템에 대한 이해관계자 식별에 대한 수행 결과를 보여준다. 이해관계자는 시스템과 관련되어 이익 혹은 손해를 받는 사람들을 통칭하는 것으로, 주로 대상 시스템의 생명주기 단계별로 인식한다. 이는 개발 초기에 고려되어야 하는 것으로 성공적인 시스템 개발을 위해 이들의 요구사항을 파악하고 반영하는 것이 중요하다. 이를 정리한 결과는 Figure 4와 같다. 여기

Life Cycle Phase	Stakeholders	Description & Roles
Feasibility Study	Technology Planning Department	The department which recognize need for development of Smart MES. System Mission and system level requirement can be extracted.
	Smart MES Planning Department	Review on need for Smart MES development. If it's determined to reasonable, they approve to develop.
Concept Design Basic Design Detail Design	Smart MES Design Department	Do CD/BD/DD on Smart MES design, verify and validate work after implementation. They should reflect on other stakeholder requirements.
	Smart MES Implementation Department	Implement Smart MES which is designed by Smart MES Design department and its interface to other systems.
Procurement Implementation Test	Smart MES Part Supplier	Supply constituting part for implementation of Smart MES
	Smart MES Operation and Maintenance Department	Take over Smart MES when it's implemented and tested and operate, maintain Smart MES. Operational requirements can be derived from this department.
Operation & Maintenance	Shop Floor Operation Department	Department which produce product with the coordination of Smart MES. Shop floor requirements can be derived from this department
	Smart MES Disposal Department	Department which execute disposal work and classifies things can be reused.
Disposal	Disposal Management Department	Determine whether Smart MES can be disposed and approve if it does.

[Figure 4] Identified Stakeholders

선 대상 시스템의 생명 주기에 따른 이해관계자를 소개하고 이들의 역할에 대해 기술하였다.

##### 4.2 이해관계자 요구사항 추출

본 절에서는 위에서 기술한 이해관계자와 관련된 이해관계자 요구사항 추출 활동을 수행한 결과다. 이해관계자 요구사항은 크게 시스템이 수행해야 할 기능 자체를 나타낸 것, 대상시스템의 미션과 관련해 어떠한 성능을 갖춰야 하는지에 대한 성능관련 요구사항, 물리적 형상 같은 비기능 요구사항으로 구성된다. 추출된 요구사항들은 Figure 5에 나타나 있으며, 여기서 그 일부만 보여준다.

##### 4.3 이해관계자 요구사항에서 기술적 요구사항으로 변환

본 절에서는 앞서 합의 과정을 거친 이해관계자 요구사항을 기술적 요구사항으로 변환하는 활동을 수행한 결과를 보여준다. 이 활동을 수행하는 데 QFD(Quality Function Deployment)를 활용하여 이해관계자 요구사항들을 기술적 요구사항으로 변환하였다. 여기서 각각의 이해관계자 요구사항 항목들에 대한 기술적 설계변수들을 추출하여 이들에

No.	Name	Description
Str.1.1	Identifying manufacturing execution resources	Smart MES should identify necessary manufacturing execution resources with 99.9% accuracy.
Str.1.2	Preparing for manufacturing execution resources	Smart MES should prepare for necessary manufacturing execution resources with 99.9% accuracy.
Str.1.3	Managing manufacturing execution resources information	Smart MES should manage information on necessary manufacturing resources with 99.9% accuracy.
Str.1.4	Grasping status of manufacturing execution resources	Smart MES should grasp status of necessary manufacturing resources with 99.9% accuracy.
Str.1.5	Managing usage history of manufacturing execution resources	Smart MES should manage usage history of necessary manufacturing resources with 99.9% accuracy.
Str.1.6	Judgment on manufacturing execution resources availability	Smart MES should judge availability of necessary manufacturing resources with 99.9% accuracy.
Str.1.7	Recognition of warehousing of manufacturing execution resources	Smart MES should recognize warehousing status of necessary manufacturing resources with 99.9% accuracy.
Str.1.8	Recognition of releasing of manufacturing execution resources	Smart MES should recognize releasing status of necessary manufacturing resources with 99.9% accuracy.
Str.1.9	Recognition of manufacturing execution resources being put into operation	Smart MES should recognize necessary manufacturing resources which are put into operation with 99.9% accuracy.
Str.1.10	Putting into operation of manufacturing execution resources	Smart MES should be able to put necessary manufacturing resources into operation with 99.9% accuracy.
Str.1.11	Predicting quantity of demand of manufacturing execution resources	Smart MES should predict quantity of demand of necessary manufacturing resources with 99.9% accuracy.
Str.1.12	Recognizing status of demand of manufacturing execution resources	Smart MES should recognize status of demand of necessary manufacturing execution resources with 99.9% accuracy.
Str.1.13	Displaying status information of manufacturing execution resources	Smart MES should displaying status information of manufacturing execution resources with 99.9% accuracy.
Str.1.14	Securing necessary raw materials for operation of resources	Smart MES should secure necessary raw materials for operation of resources with 99.9% accuracy.
Str.1.15	Predicting amount of manufacturing execution resources in operation	Smart MES should predict amount of manufacturing execution resources in operation with 99.9% accuracy.
Str.1.16	Determining whether resources can be put	Smart MES should determine whether resources can be put with 99.9% accuracy.
Str.1.17	Sending status of manufacturing execution resources	Smart MES should send status of manufacturing execution resources with 99.9% accuracy.
...	...	...

[Figure 4] Extracted stakeholders requirement

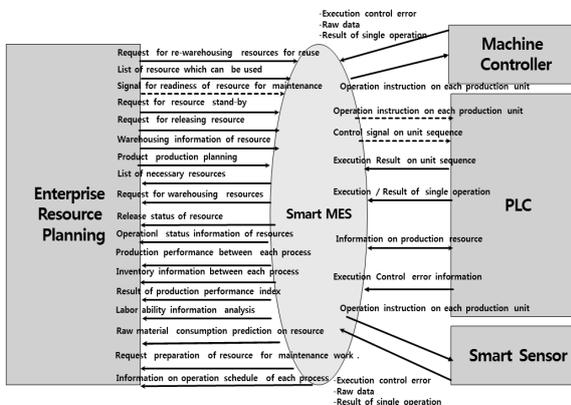
No.	Name	Description
Syr.1.1.1	Collecting list of manufacturing execution resources	Smart MES should collect list of manufacturing execution resources with 99.9% accuracy
Syr.1.1.2	Determining need for manufacturing execution resources	Smart MES should determine need for manufacturing execution resources with 99.9% accuracy
Syr.1.1.3	Recording determination log on need for manufacturing execution resources	Smart MES should record determination log on need for manufacturing execution resources with 99.9% accuracy
Syr.1.2.1	Dictating manufacturing execution resources stand-by	Smart MES should dictate manufacturing execution resources stand-by with 99.9% accuracy
Syr.1.2.2	Analyzing stand-by situation of manufacturing execution resources	Smart MES should analyze stand-by situation of manufacturing execution resources with 99.9% accuracy
Syr.1.2.3	Receiving stand-by information of manufacturing execution resources	Smart MES should receive stand-by information of manufacturing execution resources with 99.9% accuracy
Syr.1.2.4	Analyzing stand-by situation of manufacturing execution resources	Smart MES should analyze stand-by situation of manufacturing execution resources within 1 minutes.
Syr.1.3.1	Managing list of manufacturing execution resources	Smart MES should manage list of manufacturing execution resources with 99.9% accuracy
Syr.1.3.2	Managing status of manufacturing execution resources	Smart MES should manage status of manufacturing execution resources 99.9% accuracy
Syr.1.4.1	Analyzing manufacturing execution resources usage status	Smart MES should analyze manufacturing execution resources usage status with 99.9% accuracy
Syr.1.4.2	Resolving manufacturing execution resources usage status problem	Smart MES should resolve manufacturing execution resources usage status problem with 99.9% accuracy
Syr.1.4.3	Displaying status information of manufacturing execution resources	Smart MES should display status information of manufacturing execution resources with 99.9% accuracy
Syr.1.4.4	Identifying problem in status of manufacturing execution resources	Smart MES should identify problem in status of manufacturing execution resources with 99.9% accuracy
Syr.1.4.5	Analyzing manufacturing execution resources usage status	Smart MES should analyze manufacturing execution resources usage status within 10 seconds.
Syr.1.4.6	Resolving manufacturing execution resources usage status problem	Smart MES should resolve manufacturing execution resources usage status problem within 1 hours.
Syr.1.4.7	Identifying problem in status of manufacturing execution resources	Smart MES should identify problem in status of manufacturing execution resources within 10 seconds
Syr.1.5.1	Displaying usage history of manufacturing execution resources	Smart MES should display usage history of manufacturing execution resources with 99.9% accuracy
Syr.1.5.2	Generating usage history of manufacturing execution resources	Smart MES should generate usage history of manufacturing execution resources with 99.9% accuracy
Syr.1.5.3	Recording usage history of manufacturing execution resources	Smart MES should record usage history of manufacturing execution resources with 99.9% accuracy
Syr.1.5.4	Managing usage history of manufacturing execution resources	Smart MES should manage usage history of manufacturing execution resources with 99.9% accuracy
...	...	...

[Figure 6] System requirement

근거해 시스템 요구사항들을 추출하였다. 여기서 중복된다고 판단되는 것들은 삭제하였다. 이를 수행한 결과는 Figure 6에 있다.

#### 4.4 외부 시스템 인터페이스 식별

본 절에서는 대상 시스템과 상호작용하는 외부 시스템들을 식별하고 이들 사이에 주고받는 것들을 규정한다. 여기서는 ERP와 PLC, Smart Sensor, Machine controller로 놓았고, 기타 여러 다른 전사시스템과의 상호 소통은 ERP를 경유해서 이뤄진



[Figure 7] External interface

다고 가정을 하였으며, Figure 7에 표현하였다. PLC도 센서 정보를 수집하는 기능이 있긴 하지만, 벤더에 따라 받을 수 있는 센서 종류도 다르고, machine controller의 경우 PLC와 직접적인 연동이 안되는 경우도 많아 sensor와 machine controller를 따로 분리하였다. 이러한 활동을 통해 대상 시스템의 범위와 외부 시스템 입장에서 대상 시스템이 수행해야 할 역할들을 정할 수 있다.

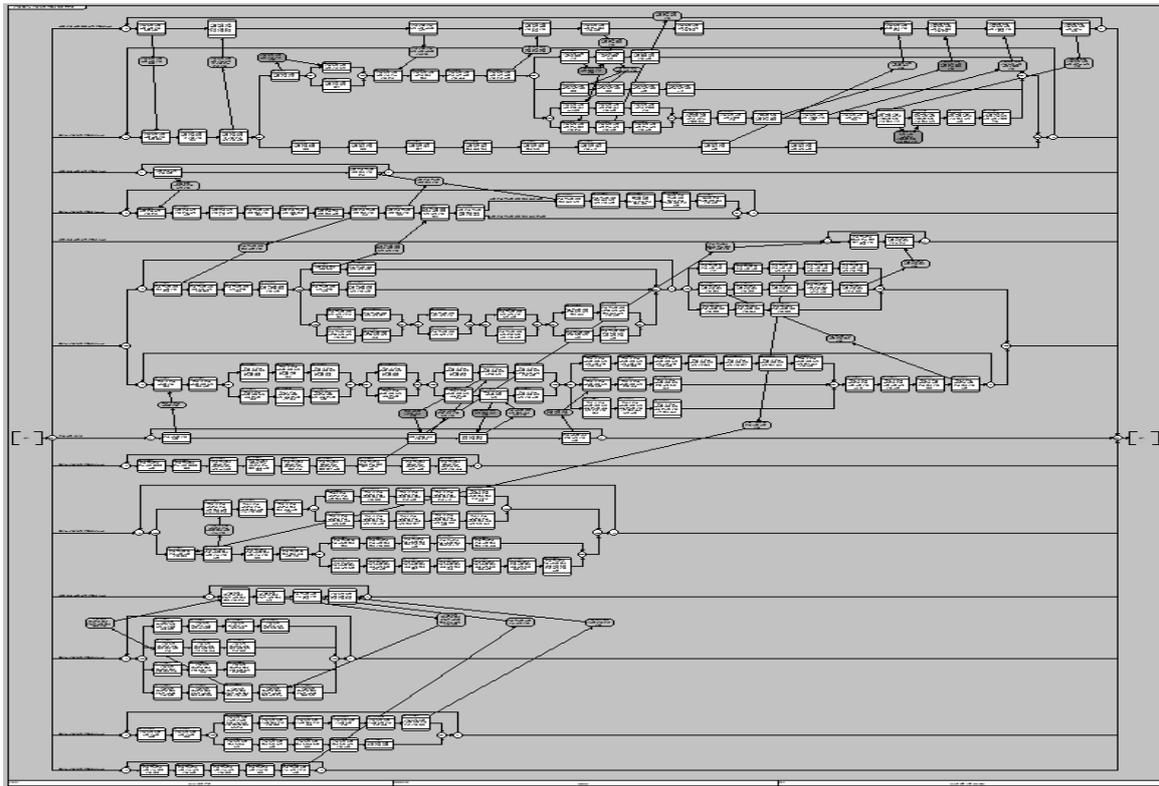
#### 4.5 시스템 수준의 논리적 솔루션 작성

본 절에서는 스마트 제조 실행 시스템의 시스템 수준의 논리적 솔루션 작성 활동을 수행한 결과를 Figure 8을 통해 보여준다. 논리적 솔루션은 시스템이 수행할 일련의 기능들을 논리적으로 배열한 것으로 기능적 들의 순서와 이들 사이에 주고받는 물질 혹은 데이터, control 신호 등을 포함한다. 이를 작성하면서 시스템 기능 요구사항이 모두 반영되어 있는지 확인할 필요가 있는데 누락된 경우 기술적 요구사항에 이를 추가하는 작업을 거친다.

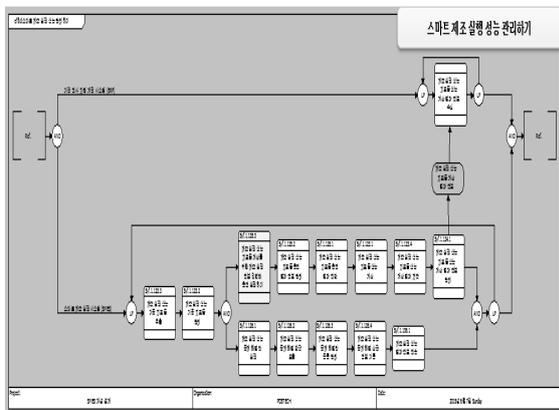
Figure 8은 대상 시스템의 시스템 수준에서의 논리적 솔루션을 eFFBD로 도식화한 것을 나타낸다. 여기서 각 thread마다 Smart MES가 수행해야 하는 대표적인 기능이 들어가 있다. 대표적인 기능은 3절에서 기술한 11가지 기능 중 8개로, 근로 관리, 생산 일정 스케줄링, 품질 관리, 유지 보수, 자원 할당 및 상태 관리, 생산 실적 분석, 생산 공정 관리, 재고 관리가 있다. 또한 여기엔 앞서 정의한 ERP 및 PLC(Programmable Logic Controller)같은 제어기와와의 인터페이스도 포함되어 있다.

#### 4.6 논리적 솔루션 추적성 확인

본 절에서는 도출된 논리적 솔루션이 기술적 요구사항들과 추적성이 확인되었는지 확인하고, 누락되거나 수정이 필요한 사항이 있을 경우 이를 추가 및 수정한다. 업데이트된 요구사항들은 반드시 이해관계자 요구사항과의 추적성을 확보하는 작업을 거쳐야 한다. Figure 9는 이러한 활동의 예시를 보여준다. 여기서 노랑색으로 표시된 곳이 누락된 기능



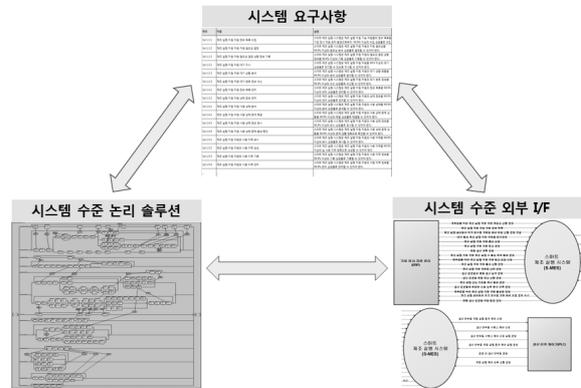
[Figure 8] Logical solution of smart MES represented by eFFBD



[Figure 9] Modified system logical solution based on system requirement

요구사항을 논리 솔루션에 반영한 부분이다.

이와 더불어, 논리적 솔루션에는 외부 인터페이스 항목들과도 추적성을 확보해야 한다. 논리 솔루션에서 표현된 ERP와 제어 시스템 사이의 인터페이스 항목들이 4.4절에서 정의한 외부 인터페이스 항목과 추적성이 확보되어야 한다. 마지막으로 외부



[Figure 10] Confirmation on traceability among system requirements, logical solution, external interfaces

인터페이스에 정의된 항목들이 시스템 요구사항들과 모두 추적성이 확보되었는지 확인해야 한다. 이러한 활동은 Figure 10을 통해 알 수 있다.

#### 4.7 이해관계자 요구사항 추적관리

본 절에서는 최종적으로 나온 시스템 요구사항과 앞서 나온 이해관계자 요구사항 사이의 추적성을 확

No.	Name	Description	No.	Name	Description
Str.1.1	Identifying manufacturing execution resources	Smart MES should identify necessary manufacturing execution resources with 99.9% accuracy.	Syr.1.1.1	Collecting list of manufacturing execution resources	Smart MES should collect list of manufacturing execution resources with 99.9% accuracy
			Syr.1.1.2	Determining need for manufacturing execution resources	Smart MES should determine need for manufacturing execution resources with 99.9% accuracy
			Syr.1.1.3	Recording determination log on need for manufacturing execution resources	Smart MES should record determination log on need for manufacturing execution resources with 99.9% accuracy
Str.1.2	Preparing for manufacturing execution resources	Smart MES should prepare for necessary manufacturing execution resources with 99.9% accuracy.	Syr.1.2.1	Dictating manufacturing execution resources stand-by	Smart MES should dictate manufacturing execution resources stand-by with 99.9% accuracy
			Syr.1.2.2	Analyzing stand-by situation of manufacturing execution resources	Smart MES should analyze stand-by situation of manufacturing execution resources with 99.9% accuracy
			Syr.1.2.3	Receiving stand-by information of manufacturing execution resources	Smart MES should receive stand-by information of manufacturing execution resources with 99.9% accuracy
			Syr.1.2.4	Analyzing stand-by situation of manufacturing execution resources within 1 minutes.	Smart MES should analyze stand-by situation of manufacturing execution resources within 1 minutes.
			Syr.1.2.5	Dictation stand-by on manufacturing execution resource	Smart MES should dictate stand-by on manufacturing execution resource with 99.9% accuracy
Str.1.3	Managing manufacturing execution resources information	Smart MES should manage information on necessary manufacturing resources with 99.9% accuracy	Syr.1.3.1	Managing list of manufacturing execution resources	Smart MES should manage list of manufacturing execution resources with 99.9% accuracy
			Syr.1.3.2	Managing status of manufacturing execution resources	Smart MES should manage status of manufacturing execution resources 99.9% accuracy
Str.1.4	Grasping status of manufacturing execution resources	Smart MES should grasp status of necessary manufacturing resources with 99.9% accuracy	Syr.1.4.1	Analyzing manufacturing execution resources usage status	Smart MES should analyze manufacturing execution resources usage status with 99.9% accuracy
			Syr.1.4.2	Resolving manufacturing execution resources usage status problem	Smart MES should resolve manufacturing execution resources usage status problem with 99.9% accuracy
			Syr.1.4.3	Displaying status information of manufacturing execution resources	Smart MES should display status information of manufacturing execution resources with 99.9% accuracy
			Syr.1.4.4	Identifying problem in status of manufacturing execution resources	Smart MES should identify problem in status of manufacturing execution resources with 99.9% accuracy
			Syr.1.4.5	Analyzing manufacturing execution resources usage status	Smart MES should analyze manufacturing execution resources usage status within 10 seconds.
			Syr.1.4.6	Resolving manufacturing execution resources usage status problem	Smart MES should resolve manufacturing execution resources usage status problem within 1 hours.
			Syr.1.4.7	Identifying problem in status of manufacturing execution resources	Smart MES should identify problem in status of manufacturing execution resources within 10 seconds
Str.1.5	Managing usage history of manufacturing execution resources	Smart MES should manage usage history of necessary manufacturing resources with 99.9% accuracy	Syr.1.5.1	Displaying usage history of manufacturing execution resources	Smart MES should display usage history of manufacturing execution resources with 99.9% accuracy
			Syr.1.5.2	Generating usage history of manufacturing execution resources	Smart MES should generate usage history of manufacturing execution resources with 99.9% accuracy
			Syr.1.5.3	Recording usage history of manufacturing execution resources	Smart MES should record usage history of manufacturing execution resources with 99.9% accuracy
			Syr.1.5.4	Managing usage history of manufacturing execution resources	Smart MES should manage usage history of manufacturing execution resources with 99.9% accuracy
Str.1.6	Judgment on manufacturing execution resources availability	Smart MES should judge availability of necessary manufacturing resources with 99.9% accuracy	Syr.1.6.1	Measuring quality of manufacturing execution resources	Smart MES should measure quality of manufacturing execution resources with 99.9% accuracy
			Syr.1.6.2	Recording on whether manufacturing execution resources can be used	Smart MES should record on whether manufacturing execution resources can be used with 99.9% accuracy
			Syr.1.6.3	Judging on whether manufacturing execution resources can be used	Smart MES should judge on whether manufacturing execution resources can be used with 99.9% accuracy
			Syr.1.6.4	Measuring quality of manufacturing execution resources within 30 seconds	Smart MES should measure quality of manufacturing execution resources within 30 seconds
			Syr.1.6.5	Judging on whether manufacturing execution resources can be used	Smart MES should judge on whether manufacturing execution resources can be used within 10 seconds

[Figure 11] Requirement traceability table

보하는 활동을 수행한 것이다. 이는 추후 진행될 분해된 요구사항에서도 똑같이 수행을 하게 되며, 최종적으로는 요구사항에 계층 구조가 형성이 된다. 활동 수행결과는 Figure 11에 표시하였다. 테이블의 좌측은 이해관계자 요구사항이고, 우측은 그에 대응하는 시스템 요구사항이며, 이를 통해 요구사항 간 추적 및 관리를 할 수 있게 된다.

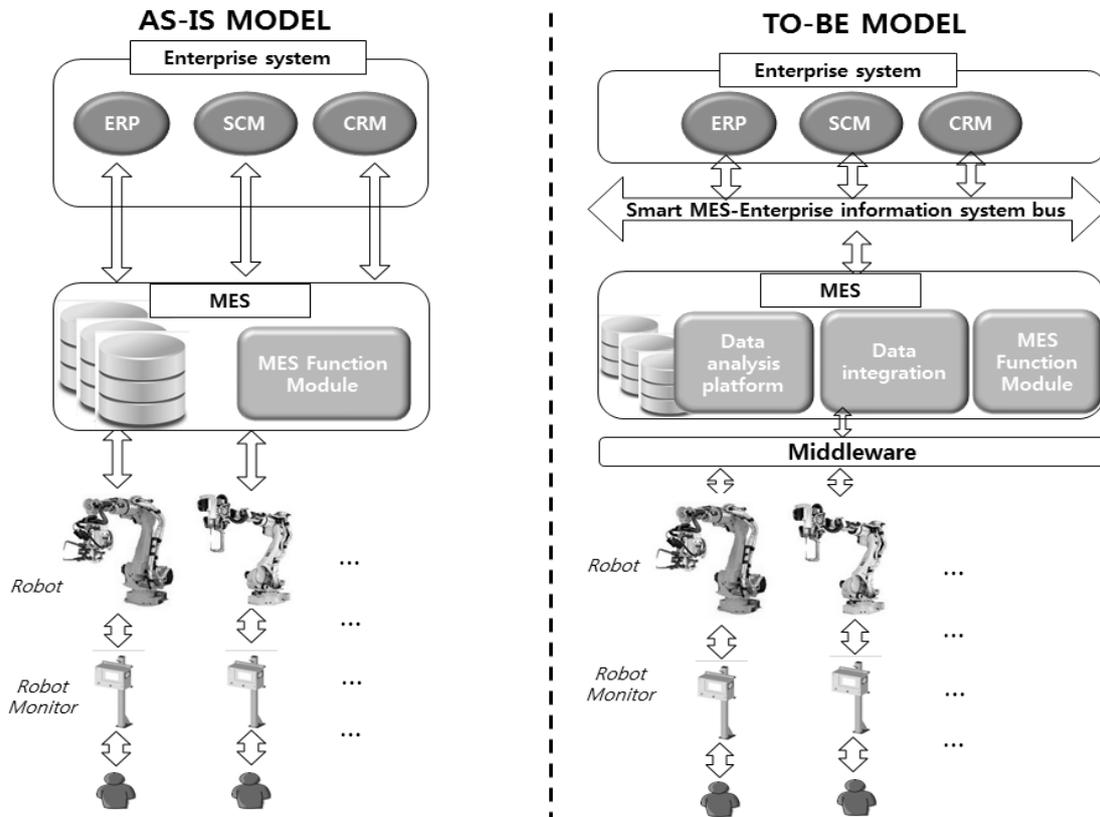
### 5. MES 운용 모델

본 장에서는 현 제조 현장의 MES 수준을 정의하고 정의된 MES와 본 논문에서 제안한 Smart MES가 제조현장 운용 관점에서 어떤 차이를 보이는지 파악하는 데 목적을 둔다. 기존 제조현장의 MES 모델과 본 논문에서 제안된 MES 모델은 Figure 12에 표시하였다.

#### 5.1 기존 MES의 운용 모델

Figure 12의 AS-IS MODEL은 기존 MES의 모델을 나타낸다. 제조 현장의 수준, 업종에 따라 다

양한 형태의 MES가 존재할 수 있으나, 문헌 연구 및 현장 인터뷰를 바탕으로 기존 MES의 수준을 정의하였다. 기존 MES는 ERP같은 전사 시스템으로부터 정보를 받되, 각 시스템마다 다른 인터페이스로 정보를 교환하게 된다. 즉, SCM, CRM같은 시스템마다 다른 인터페이스로 연결되어 있다. 또한, 제조현장의 제어 설비나 혹은 센서의 경우에도 다양한 통신 프로토콜이 존재하고 각 센서, 계측기에서 나오는 데이터의 형태도 모두 제각각이므로, 이들로 부터 데이터를 획득하기 위해 별도의 인터페이스들을 만들어야 한다. 이렇게 되면 MES에서 계속 인터페이스를 추가함으로써 외부 시스템으로부터 정보를 획득할 수 있지만, 획득된 정보를 변환 및 통합하고, 통합된 정보를 분석해 제조 현장의 상황과 관련된 정보를 추출해 이를 바탕으로 제조현장, 전사시스템에 정보를 보내는 일련의 활동이 원활히 진행되지 않는다. 따라서 일반적인 제조현장에서는 국부적인 데이터만을 활용해 알람, 생산 실적 수집, ERP로부터 온 work order를 생산 스케줄로 변환과 같은 부분적인 활용을 하고 있는 상황이다.



[Figure 12] As-Is and To-Be model of MES

### 5.2 Smart MES의 운용 모델

Figure 12의 TO-BE MODEL은 본 논문에서 제안된 Smart MES의 모델을 나타낸다. 본 논문에서 제안된 Smart MES의 경우, 시스템 수준에서 통합된 정보를 받아 처리하여, 현장 및 전사 시스템에 유용한 정보를 획득하고 이를 전달하는 데 그 목적을 두고 있다. 이를 위해 제조현장과 Smart MES 사이, Smart MES와 Enterprise system 사이에 각각 middleware, Smart MES-Enterprise information system bus를 배치함으로써 다양한 형태의 프로토콜을 통합할 수 있도록 하였다. 이렇게 통합된 데이터를 토대로 Data integration 모듈을 통해 수집된 데이터를 통합된 데이터 모델로 변환하고 이를 이용해 Data analysis platform에서 분석을 한 후, 여기서 나온 정보들을 MES functions module에서 활용해 제조현장 및 전사시스템에서 활용할 수 있도록 설계하였다.

### 6. 결 론

본 논문에서는 기존 MES에서 제기된 문제점으로 제조 현장의 상황에 신속하게 대응하기 위해선 운용 인력의 추가 증원이 수반된다는 점, 제조 프로세스가 계획 단계에서 한번 정해지면 급변하는 요구사항에 신속하고 유연하게 대응하기 어렵다는 점을 들었다. 이를 해결하기 위해 Smart MES라는 대상 시스템을 정의하였으며 ISO/IEC 15288 기반으로 하는 수정된 시스템 엔지니어링 기술 프로세스의 바탕 위에서 설계 과정을 중점적으로 살펴보았다. 이를 통해 차세대 MES 시스템의 설계에 있어 시스템 엔지니어링 기법이 어떻게 접목될 수 있는지 보여주었다. 기존 문제점을 요구사항 형태로 바꾸어 이해관계자 요구사항에 반영하였으며, SE 프로세스를 통해 이러한 요구사항들이 어떻게 시스템 수준에서의 논리 솔루션으로 반영이 되는지 살펴보았다.

추후엔 설계된 시스템의 현장 적용을 위해 MES가 수행하는 기능에 대한 지속적인 검증 및 확인 활동이 필요하다. 또한 본 연구의 내용이 좀 더 효과성을 좀 더 향상시키기 위해선 여러 논리적, 물리적 대안을 개발하여 이들 사이에 대안 분석의 과정이 필요하다.

더 나아가 일반적으로 MES는 수많은 이종 시스템들과 연결되어 있으며, 동종 산업군이라고 해도 기업마다 다른 공급업자로부터 설비를 받는 경우가 많아 제조현장마다 resource의 배치, 종류가 모두 다르다. 또한, MES 자체로 매우 복잡한 시스템이기 때문에 산업 전반에 Smart-MES를 적용하기 위해선 하위 시스템 수준을 분석하여 어떤 요구사항이 있는지 발굴하고 이에 대응하는 물리 및 논리 솔루션을 도출할 필요가 있다.

## 후 기

본 연구는 산업통상자원부 엔지니어링 전문대학원 지원사업(No.H2001-13-1001)의 지원으로 수행되었습니다.

## References

1. Shin, J. G, Lim, H.J, Han,S.H (2004) Digital Manufacturing, A new wave of manufacturing technology :CAD&Graphic.
2. Mitchell M. Tseng, S. Jack Hu(2014) Mass Customization : The International Academy for Production Engineering.
3. MESA Model, Available at: <http://mesa.org/en/modelstrategicinitives/MESAModel.asp>(Accessed: 7th August 2015).
4. Yoon, Y.D, Oh, S.G, Yu, W.S(2008) A Study on Development of the Manufacturing Execution System(MES) for Order Based Production Small and Medium - Sized Enterprise.
5. Saenz de Ugarte B. , Artiba A. , Pellerin R. (2009) 'Manufacturing execution system - a literature review', Production planning and control,20(6), pp. 525-539.
6. Rangunathan R., Lee, I. S , Lui S, John S.(2009) 'Cyber-Physical Systems: The Next Computing Revolution', ACM, pp. 731-736.
7. ISO& IEC (2008) ISO/IEC 15288 Systems and Software engineering - System Life Cycle Processes.
8. Suh, S. H, Shin, S. J, Yoon, J. S, Um, J. M(2008), 'UbiDM: A new paradigm for product design and manufacturing via ubiquitous computing technology', International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 21(5), pp. 540-549.
9. Yoon, J. S, Shin, S. J, Suh. S. H (2012), 'A conceptual framework for the ubiquitous factory', International Journal of Production Research, 50(8), pp. 2174-2189.
10. Shin, K. Y, Hong, D. G, Yoon, S. C , Suh, S. H(2014), 'A Study on Application of Systems Engineering Approach to Designing Continuous Casting System', The Korean Society of Systems Engineering, 10(2), pp. 21-31.
11. Joo, H. T (2008),An Overview of MES Solution Trends and A Strategy for Successful MES Deployment, Available at: [http://www.cimerr.net/iemagazine/15\\_3/practice2.html](http://www.cimerr.net/iemagazine/15_3/practice2.html)(Accessed: 7th May 2015).
12. American National Standard (2010) ANSI/ISA-95.00.01-2010 Enterprise control system integration-Part 1: models and terminology.
13. A Framework for Systems and Software Engineering Life Cycle Processes, Available at: [http://www.15288.com/about\\_standards.php](http://www.15288.com/about_standards.php) (Accessed: 28th August 2015).

14. SE Handbook Working Group, Systems Engineering Handbook - A Guide or System Life Cycle Processes and Activities V3.2.2, International Council on Systems Engineering (INCOSE), 2011.
15. Agnieszka R., Arne B, Marcel B, Erik S. M(2014), The Smart Factory: Exploring Adaptive and Flexible Manufacturing Solutions, Procedia Engineering, pp. 1184-1190.
16. Shirley Schmidt (n.d.), Understanding Manufacturing Execution Systems(MES), Brighton: Freedom Technologies.
17. Michael M. (2001), INTRODUCTION TO MANUFACTURING EXECUTION SYSTEMS, Baltimore.
18. Park, J.H, Yoshida, A(2009), 'A Simplified MES Implementation for Small-sized Manufacturing Industries with EXCEL VBA', Korean Institute of Industrial Engineers, 22(4), pp302-311.
19. Shin, J.D(2015), 'Design and Implementation of MES Solution for Multi-Variety and Small-Lot-Sized FPCB Production, Science& Engineering Graduate School of University of Seoul.
20. Park, J.H, Yoshida, A(2005), 'An MES Implementation Methodology for the Medium-sized Manufacturing Company with Multiple-types of products and Mixed Process Flows', Korean Institute of Industrial Engineers & Korean Operations Research and Management Science Society Joint Symposium.