

기존시스템의 개념 및 기본 설계를 위해 최소화된 아키텍처 기반 설계 프로세스 제안 및 고로 시스템 적용 사례

이중윤^{1)*}, Salim Shelly¹⁾, 최인용²⁾

1) 포항공과대학교 엔지니어링 대학원, 2) POSCO

A Proposal of Architecture Based Minimized Design Process for a Precedented System and the Application Case for a Blast Furnace System

Joong Yoon Lee^{1)*}, Salim Shelly¹⁾, In Young Choi²⁾

1) Graduate School of Engineering Mastership(GEM) POSTECH University

2) POSCO

Abstract : Generally speaking, because of complexity of engineering process, the systems engineering may be not easy to understand clearly and not easy to perform also. The status of systems engineering infrastructure of the some Korean industry is not matured yet, i.e., the systems engineering process, method, tool and environment is not implemented consistently within the steel making industry. These difficulties are more severe at the concept and basic design phase than the detail design phase relatively. Korean industry has lots of development project for the precedented systems and usually has matured domain knowledge for the precedented systems. Even though there is a mature domain knowledge of the precedented systems, the development project will lead to failure under the condition of engineering system is not well equipped. For the project success, it is very important to have a proper engineering execution system especially for the

Received: April 16, 2018 / **Revised:** July 18, 2018 / **Accepted:** July 23, 2018

* 교신저자 : Joong Yoon Lee, jlee2012@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.

concept design and basic phase, which has a high abstraction and a large influence on the whole project. This paper proposes a minimized design process that can be easily applied to the concept and basic design phase of the precedented systems, instead of complex system engineering processes. This paper also proposes the application case of the minimized design process and methods for a Blast Furnace System.

Key Words : Systems engineering process, Concept and basic design phase, Simple and easy design process, Blast furnace system

1. 서론

국내의 각종 시스템 개발 산업에서 모방 개발에서 벗어나 스스로 개발 능력을 확보해야 한다는 것은 여러 산업분야에서 점차 상식이 되어가고 있다. 그럼에도 불구하고 자력 개발 능력 확보의 핵심 단계이자 고부가가치 생성 단계인 개념 및 기본설계 단계를 효과적으로 수행할 수 있는 능력을 갖춘 산업은 많지 않다.

창조적인 자력개발 능력 확보에 필요한 요소를 여러 관점에서 식별 및 구분할 수 있으나 (1)도메인 전문 지식, (2)체계적인 개발 프로세스 및 (3)창의성 이상 3대 요소로 구분할 수도 있다. 국내 산업은 자동차 및 가전제품 등의 대량 생산 제품을 개발하는 산업과 발전소, 선박, 해양플랜트, 건설 등의 플랜트 건설 산업 그리고 철강, 화학 등의 소재 생산 산업 등 여러 분야가 있다. 저자는 경험을 기반으로 이러한 국내 산업계 연구 개발 인력의 ‘도메인 전문 지식’과 ‘창의성’은 비교적 높은 수준이나 ‘체계적인 개발 프로세스’수행 능력은 상대적으로 부족하여 시스템의 완전한 자력 개발에 걸림돌이 된다고 판단하였다. 그리고 자력개발 능력을 시스템 생명주기 관점에서 볼 때 상세설계 및 구현 능력은 뛰어나지만 상대적으로 개념 및 기본설계 역량이 부족하다. 산업별로 편차는 있다고 하더라도 이러한 경향은 유사하다.

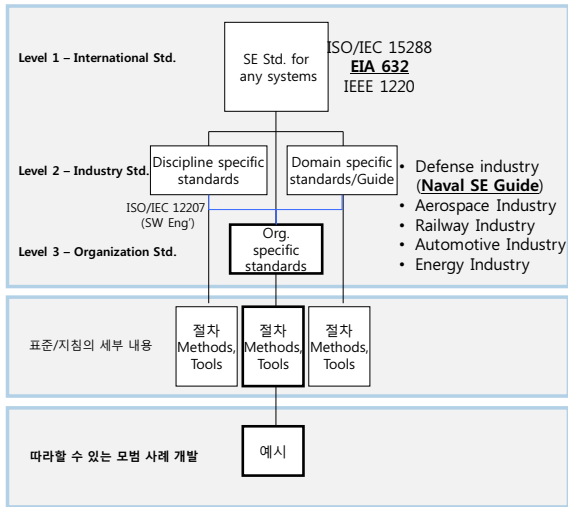
따라서 국내 산업계에서 체계적인 개발 프로세스를 구축하기 위해서는 시스템 생명주기 중 개념 및 기본설계 단계 수행 능력 확보에 초점을 둘 필요가

있다. 하지만 체계적인 엔지니어링 프로세스를 제공하는 시스템엔지니어링 관련 표준 또는 지침은 그 내용의 추상성이 높아 실무에 적용하기가 쉽지 않다. 본 논문은 이러한 어려움을 극복하는 방법을 제시하기 위해, 복잡한 시스템엔지니어링 프로세스를 기존시스템에 쉽게 적용할 수 있도록 조정된 프로세스 제시하고 이를 제철 플랜트의 하부 시스템인 고로시스템에 적용한 사례를 제시한다.

2. 아키텍처 기반 설계 프로세스

2.1 조직의 SE 표준 적용 방안

시스템엔지니어링 프로세스 관련 주요 표준은 MIL-STD-499, IEEE 1220, EIA-632, ISO/IEC/IEEE 15288 등이 있다. 이들 표준이 다루는 범위는 모든 시스템에 적용 가능한 시스템엔지니어링 프로세스이다. 또한 이를 기반으로 소프트웨어 시스템, 기계 시스템, 화공 시스템 등의 특정 학제 중심(Discipline specific) 시스템을 엔지니어링하는 데 지침이 되는 표준(예:SW 시스템의 경우 ISO/IEC/IEEE 12207)과, 국방 시스템, 우주항공 시스템, 철도 시스템, 자동차 시스템, 에너지 시스템 등 특정응용(Domain specific) 시스템을 엔지니어링하는 데 지침이 되는 표준(예: 국방 산업의 경우 IEEE 15288.1 and 2, 우주항공 산업의 경우 NASA SE Handbook, 자동차 산업의 경우 SE guidebook for intelligent transportation systems 등)이 있다. 하지만 이들 표준들은 여전히 해당 산업 수준에서 공통적으로 적용할 수 있는 수준으로 여전히 개념적으로 프로세스



[Figure 1] An organizational application concept of SE standards

를 설명하고 있다. 따라서 시스템엔지니어링 수행 경험이 부족한 사람에게는 쉬운 참고서가 아니다.

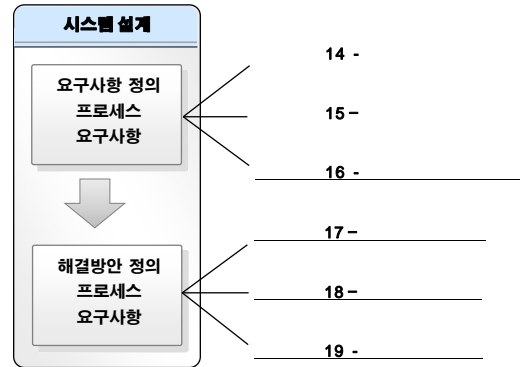
조직은 이러한 표준 및 지침을 참고하여 해당 조직에서 엔지니어링 수행을 직접 지원할 수 있는 조직의 시스템엔지니어링 표준을 개발할 필요가 있다. 이 표준에는 조직의 시스템엔지니어링 수행 프로세스와 함께 템플릿 등 방법 및 도구를 제시하는 것이 좋다. 뿐만 아니라 엔지니어들이 따라할 수 있는 예시까지 제시할 수 있으면 가장 좋은 지침서라 할 수 있다. 이러한 개념을 수준별로 구분하여 Figure 1에 나타내었다. 이 그림은 ISO/IEC/IEEE 24748-2 (2018:21)과 Lee et al., (2016:9)에서 제시한 을 조정하여 제시하였다.[1] [2]

또한 Lee et al.,(2017:41)은 조직에서 사용할 수 있는 수준의 엔지니어링 표준을 만드는 방법을 제공하고 있다.

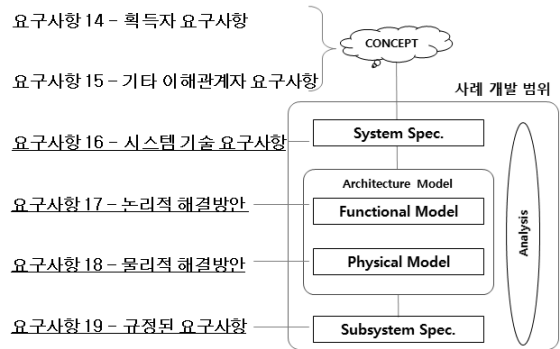
2.2 제시하는 설계 프로세스 범위

본 논문에서는 1수준 표준 중에서 EIA-632 표준의 설계 프로세스를 활용하여 기존 시스템에 적용 가능한 간단한 모델을 제시한다.

Figure 2는 EIA-632(1999:19) 표준의 설계 프로세스이다. 이는 요구사항 정의의 프로세스와 해결방안 정의의 프로세스로 구성되며 각각 세 개의 요구사



[Figure 2] System design process of EIA-632



[Figure 3] System design process for precedented systems

항으로 구성되어 있다.[4]

산업 현장의 대부분은 기존 시스템이다. 이들 시스템에 대한 이해관계자 요구사항은 이해관계자들의 상황에 따라 내용이나 형식면에서 다양하게 변하는 반면 시스템 요구사항(규격)은 상대적으로 내용이나 형식이 크게 변하지 않을 수 있다. 즉, 기존 시스템의 경우 Figure 2의 요구사항 14, 15에서 잘 변하는 부분은 요구사항 16~19에서 성능값에 반영되는 경우가 많으며, 기본 구조를 변경하는 경우는 거의 없다. 또한 해당 도메인의 전문가는 기존의 대상 시스템에 대한 설계 규격(즉 요구사항 16~19) 요구사항 을 직접 서술할 수 있는 수준의 전문 지식을 가지고 있는 경우가 많다.

이러한 상황을 전제로 Figure 2의 요구사항 16~19을 사용하여 기존 시스템에 대한 간단한 설계 프로세스를 Figure 3과 같이 제시한다. 획득자 및 기타 이해관계자 요구사항 정의의 프로세스는 개념적인 수행으로 축약하였으며 본 논문에서 제시하는 프로

세스에서는 제외하였다. 본 논문에서 제시하는 공식 설계 프로세스의 범위는 (1) 시스템 규격서 작성, (2) 기능 아키텍처 모델 개발, (3) 물리 아키텍처 모델 개발, (4) 초안 하부시스템 규격서 개발, (5) 시스템 해석 이상 5개의 프로세스로 구성하였다.

2.3 아키텍처 기반 설계 프로세스 제시

실제 산업 현장에서 오랜 기간 동안 기존 시스템을 반복적으로 개발해 오고 있는 경우가 많다. 이러한 경우에 도메인 전문가는 대상시스템에 대한 깊은 전문지식을 확보하고 있다. 그럼에도 불구하고 완전하고 명확한 시스템 규격서가 존재하지 않는 경우가 상당히 있으며, 이 경우에 개발은 전문가의 경험 지식에 의존하게 된다. 사람 중심의 개발에서 벗어나 상세화된 개발 프로세스 중심의 자력 개발 능력 확보를 위해서는 시스템 규격서 개발이 그 출발점이 된다. 하지만 기존에 모범 시스템 규격서가 존재하지 않는 경우에는 도메인 전문가들의 노력에도 불구하고 완성도 높은 시스템 규격서를 작성하는 것은 매우 어렵다. 이 어려움의 핵심은 도메인 전문가들이 시스템 수준의 규격과 하부시스템 규격을 구별하여 작성해본 경험이 없기 때문으로 판단한다.

본 논문은 기존 시스템에 대한 모범 시스템 규격서와 하부시스템 규격서가 없는 경우 이를 복구하기 위해 통상적으로 적용하는 역공학 및 재공학적인 접근법을 사용한 간단한 프로세스를 제시한다. 본 논문에서 제시하는 설계 프로세스를 Figure 4에 나타내었으며, 이를 아키텍처 기반 설계 프로세스라 칭하였다. 이는 우선 역공학을 통해 (1) 물리 아키텍처 모델을 개발, (2) 기능 아키텍처 모델을 개발하며, 이를 기반으로 (3) 필요한 분석을 수행하여

(4) 시스템 규격을 개발하고 (5) 하부시스템 규격을 개발한다.

제시한 엔지니어링 프로세스는 간단하기 때문에 시스템엔지니어링 적용의 관점에서 현장 엔지니어들이 기존에 느끼던 부담감을 크게 낮출 수 있다. 또한 자력 개발 역량 확보의 핵심이 되는 시스템 규격(System Spec.)과 하부시스템 규격(Subsystem Spec.)을 개발하는 것에 초점을 두었다. 또한 이들 두 규격의 타당성과 완전성을 보장하기 위해 기능적 물리적 아키텍처를 활용한 분석 프로세스를 두었다.

서론에서 자력 개발 능력 확보에 필요한 3대 요소는 (1)도메인 전문 지식, (2)체계적인 개발 프로세스 및 (3)창의성 이라 하였으며, 이 중 국내 산업계는 체계적인 개발 프로세스가 부족하다고 하였다. 본 논문에서 제시한 아키텍처 기반 설계 프로세스를 활용하여 최소의 노력으로 자력 개발 능력 확보에 필요한 빈 곳인 ‘체계적인 개발 프로세스’를 채울 수 있다.

제시한 개발 프로세스의 수행 능력을 확보하기 위해서는 프로세스 수행에 필요한 세부 방법과 도구 그리고 가능한 경우 예시까지를 제시할 필요가 있다. 다음 장에서 제철설비의 하부시스템인 고로시스템에 적용한 사례를 통하여 프로세스 수행에 필요한 도구 및 활용 방법 대한 내용을 이해할 수 있도록 하였다.

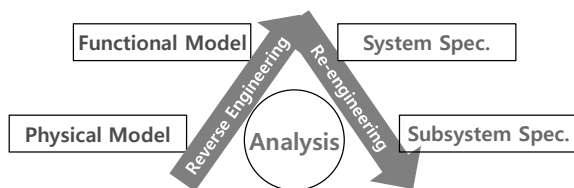
3. 아키텍처 기반 설계 프로세스

- 고로 적용 사례

3.1 제철산업에서 자력 엔지니어링의 필요성

국내 제철산업의 기술 수준은 양과 질 어느 관점에서든 세계 최고 수준을 자랑한다. 제철산업에서 자체적으로 개발한 기술이 양과 질 모두 증가함에 따라 기술보호 문제가 자연스럽게 대두되었다.

기술보호의 필요가 크지 않았던 과거 제철회사는 제철설비를 관련 전문 엔지니어링사에 개발과 제작을 전적으로 의존하였다. 따라서 제철 설비 개발을



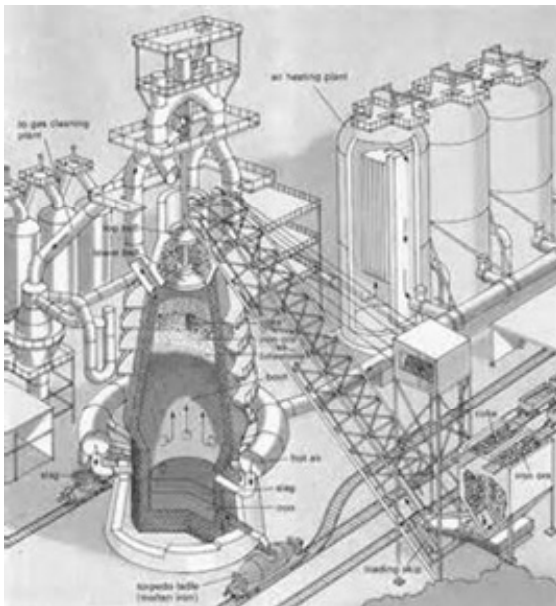
[Figure 4] Architecture based system design process for precedented systems

자력으로 해야 할 필요가 높지 않았다. 하지만 최근에는 점증하는 국제 경쟁력 확보의 핵심은 고급 기술을 기반으로 고가 제품을 개발하는 것이며, 이에 따른 관련 기술 보호가 중요하게 되었다. 최근의 제철 회사는 원가절감과 기술보호 두가지 목적을 달성하기 위해 ‘분리발주’ 역량을 강조한다. 이 분리발주란 의미는 제철 설비 시스템 개발을 과거 방식 즉, 설비 전체 개발을 전문 엔지니어링 사에 일괄 발주로 하지 말고, 설비를 하부시스템 수준으로 분리하여 발주하는 것을 의미한다. 분리발주 하는 경우에는 발주를 올바르게 하는 역량(즉 올바른 하부시스템 규격 생성 역량)과 획득한 하부시스템을 활용하여 통합을 올바르게 하는 역량(즉 올바른 시스템 규격 생성 역량)이 중요하다. 즉, 분리발주 역량 확보란 자력 엔지니어링 역량 확보와 같은 의미이며, 시스템 규격 및 하부시스템 규격을 올바르게 개발하는 역량이 핵심 역량이라는 의미이다.

3.2 고로 시스템 개요

본 논문에서는 논문의 목적에 적합하게 고로 시스템에 대한 기본적인 정보만을 소개한다.

고로 시스템은 (1) 코크스와 철광석을 녹여 선철



[Figure 5] Example figure of blast furnace (Quoted from [5])

로 변환시키는 고로본체, (2) 연료/원료 공급 시스템, (3) 열풍 공급 시스템, (4) 용융물을 용선과 슬래그로 분리시키는 주상 시스템, (5) 슬래그를 처리하는 용재 처리 시스템, (6) 고로 가스 처리 시스템, (7) 제어 시스템, (8) 기반 설비 등의 하부시스템으로 구성된다. 이러한 고로 시스템의 전형적인 모습을 Figure 5에 도시하였다.

3.3 고로 시스템의 기존 엔지니어링 방법과 아키텍처 기반 설계 프로세스 및 방법 비교

기존의 고로 설비 개발에 사용되는 프로세스는 다음과 같다. (1) 설계 계산식, 기본 설계 연구 자료 등 기술 자료 준비, (2) 준비된 자료와 전문가 암묵지를 활용하여 계약사양서 개발 (3) 계약사양서로 계약 및 이를 기반으로 설비 개발 수행. 여기서 사용된 핵심 개발 지식은 계약사양서와 각종 설계 계산식 그리고 전문가의 암묵지이다.

이 개발 지식은 시스템 수준과 하부시스템 수준의 설계 정보들이 시스템 계층구조에 따라 체계화 되어 있지 않고 혼재 또는 분산되어 있으며, 산출물화 되어 있는 형식지에서 부족 또는 누락된 부분은 전문가들의 축적된 경험기술인 암묵지를 활용하여 해결한다.

이러한 개발 체계를 활용하여 기존 시스템과 유사한 용량 및 성능을 요구하는 고로시스템 개발은 효과적으로 개발해오고 있다. 하지만 용량과 성능이 기존시스템과 상당히 다른 경우에는 개념 및 기본 설계 규격을 신속하고 명확하게 개발하는 데 어려움을 겪고 있다.

용량과 성능이 기존시스템과 상당히 다른 경우에도 기술적 구현 가능성 분석, 비용효과성 분석을 포함한 신속한 타당성 분석 및 분할 발주를 위해서는 신속하고 정확하게 시스템 규격과 하부시스템 규격을 개발할 필요가 있다. 이를 위해서는 재활용이 가능한 수준으로 완성도가 높아 유지 시스템 설계시 참조 기준이 되는 시스템 규격과 하부시스템 규격이 필요하며, 규격의 성능값 결정의 근거가 되는 해석 모델이 완비되어야 한다. 또한 각 기술 정보들은

<Table 1> Architecture based engineering process and method for Blast Furnace system

기존 설계 프로세스 및 방법	고로 시스템을 위한 아키텍처 기반 설계 프로세스 및 방법
계약사양서	<ul style="list-style-type: none"> 시스템 규격서와 하부시스템 규격서로 분리 규격서 구조 정형화 규격 문장 형식 정형화 규격 추적 체계 구축
설계 계산식	<ul style="list-style-type: none"> 기능 아키텍처 모델 개발 물리 아키텍처 모델 개발 설계 계산식을 아키텍처 모델의 물리 계층구조와 일치 되도록 체계화 기능 아키텍처 활용 성능해석 부족부분 식별 및 성능 해석 모델 보완
기본 설계 연구 자료 등 전문가 압목지	<ul style="list-style-type: none"> 좌동

모두 추적 가능한 상태로 유지되어 쟁점사항 발생 시 신속히 추적, 협의 및 해결할 수 있어야 한다.

이러한 상태에 도달하기 위해, 기존 설계 정보를 본 논문에서 제시하는 아키텍처 기반 설계 프로세스에 적합하도록 정리할 필요가 있다. 이를 위한 프로세스는 Figure 4에 제시한 바와 같이 (1) 물리적 아키텍처 개발, (2) 기능 아키텍처 개발, 이를 기반으로 (3) 필요한 모든 해석 모델을 활용하여 분석을 수행, (4) 시스템 규격 개발, (5) 하부 시스템 규격 개발을 수행한다. 고로시스템에 대한 기존 설계 정보를 활용하여 제시한 설계 프로세스를 구축하는 방법을 Table 1에 정리하였다.

3.4 고로 시스템 물리적 아키텍처 개발

고로 시스템의 물리적 아키텍처는 물리적인 구성 관계를 표현한 설계 산출물로 주요 산출물은 시스템 분해구조(SBS*)와 시스템 관계도이다. 이중 시스템 분해구조는 엔지니어링 설계구조(Specification Tree), 제작 및 시험구조, 계약구조, 비용구조(CBS), 위험구조(RBS) 등을 포함하여 모든 엔지니어링 활동의 중심이 되는 구조이다. 이 구조는 시스템 기능 관점에서 상호작용이 최소화 되도록 모듈화 설계

개념에 적합하도록 설계 되어야 한다. 이러한 시스템 분해구조(SBS)에 따라 엔지니어링이 수행되고 관련 규격이 산출물로 작성되어야 한다. Figure 6은 고로 시스템의 Context(Level 0)로부터 고로 시스템(Level 1), 고로 하부시스템(Level 2) 그리고 고로 하부하부시스템(Level 3)까지의 시스템 분해구조(SBS)와 이 구조에 적합한 규격 수목도(Specification Tree)를 예시하였다.

물리적 계층구조의 개발시 고려사항은 기능 아키텍처와의 일관성 및 개념적 추상 수준(기능적 관계 수준) 동등성이다. 또한 획득 및 공급관련 적합성을 고려해야 한다. 그리고 개발된 물리적 계층구조의 적합성은 도메인 전문가의 검토를 통해 확인하였다.

3.5 고로 시스템 기능 아키텍처 개발

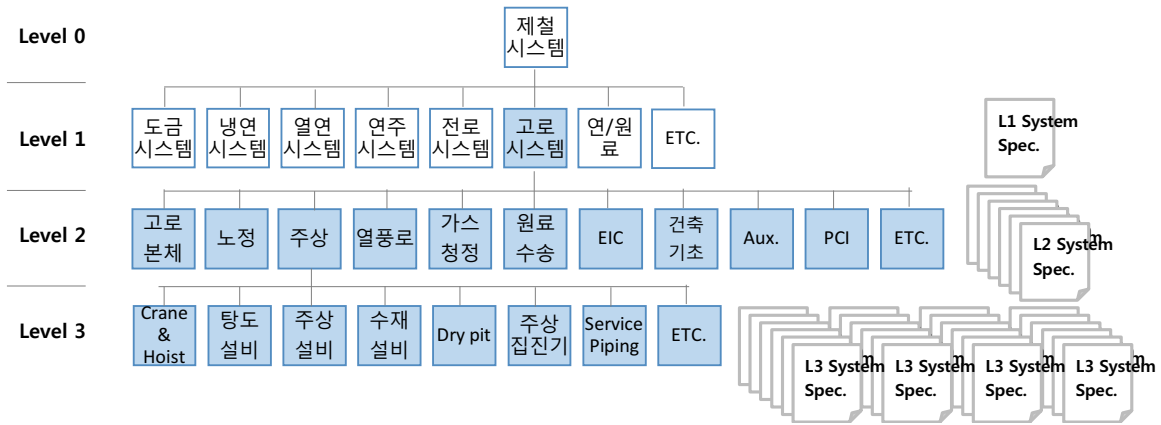
시스템의 기능 아키텍처는 논리적 사고의 중심이 되는 산출물이다. 논리적으로 설계된 기능을 기준으로 성능 결정을 위한 분석을 수행하며, 분석 결과를 반영하여 규격을 결정한다. 따라서 기능 아키텍처는 핵심적인 설계 산출물로 주로 기능간의 관계를 파악할 수 있는 기능 흐름도(FFBD)와 입출력 및 수행 주체를 알 수 있는 Swim Lane Diagram 또는 IDEF0 등으로 구성된다.**

Figure 7은 고로 시스템의 기능 분해 구조를 IDEF0를 통해 나타내고 있다. 또한 이러한 기능 분해 구조가 고로 시스템 SBS와 일치하고 있음을 나타낸다. 이와 같이 시스템 계층구조에 따라 기능 설계 모델을 구축해야 해당 계층구조에서 성능 규격을 도출할 수 있다.

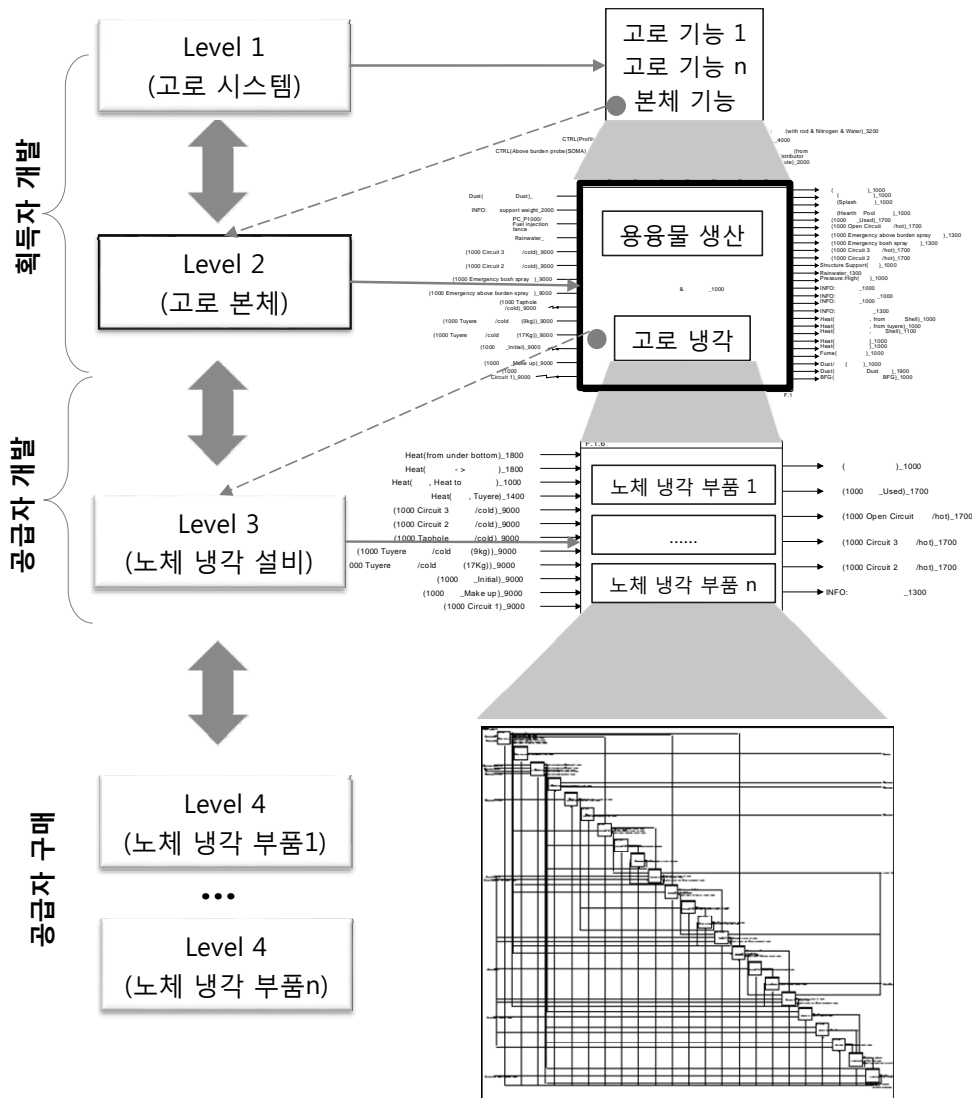
또한 고로 시스템은 열용량 분석과 물질수지분석이 중요하며, 이 분석을 통해 성능규격을 도출할 수 있다. Figure 8은 연료/원료, 가스, 전기, 냉각수 등의 물질 및 에너지 수지 분석에 필요한 기능 흐름도

* 시스템 분해구조(SBS, System Breakdown Structure) 또는 물리적 분해구조(PBS, Physical Breakdown Structure)는 시스템 계층구조(System hierarchy)를 의미한다.

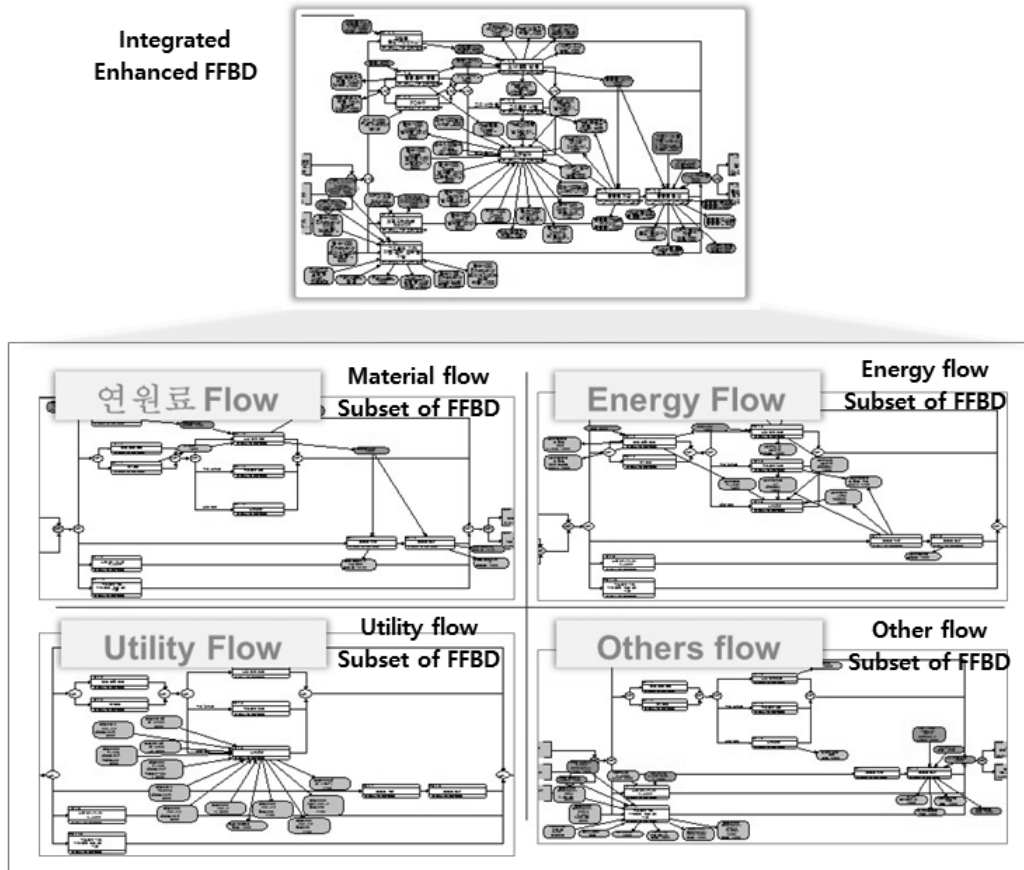
** FFBD: Functional Flow Block Diagram, Swim Lane Diagram: 수영장 선도, IDEF0: Integrated Definition 0



[Figure 6] System breakdown structure(SBS) example of blast furnace system and corresponding specification tree



[Figure 7] Functional decomposition of Blast Furnace according to the SBS



[Figure 8] Enhanced FFBD for energy and material balance analysis

<Table 2> The number of functions based on the SBS

Level 1 Sys. Functions	# of L.2 Sy. F.	# of L.3 Sy. F.
F.1 용융물 생산 & 고로 냉각	10	98
F.2 COKE/ORE 장입 & BFG 배출	9	97
F.3 출선구 개폐공 및 용융물 처리	7	171
F.4 열풍 공급	6	164
F.5 BFG 청정	4	80
F.6 연원료 준비	10	195
ETC.

와 이들을 통합한 통합 흐름도를 나타내고 있다.

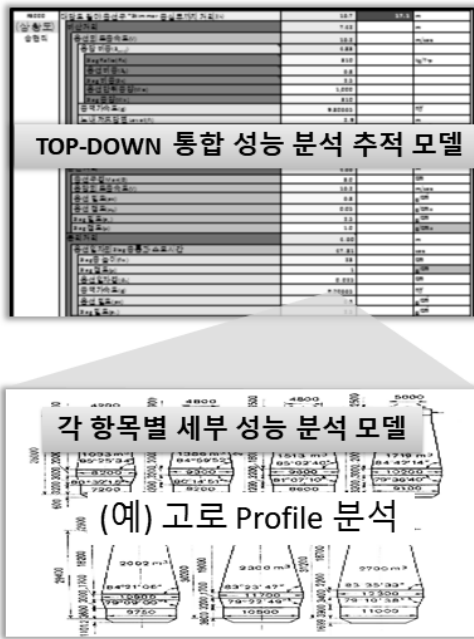
이러한 과정을 거쳐 개발된 시스템 기능을 시스템 분해구조의 관점에서 기능이 분해되는 정도를 Table 2에 나타내었다. 대상시스템(L.1 수준)인 고

로 시스템의 주요 기능을 F.1~F.6까지 표현하였고, 이들 기능을 분해한 하부시스템(L.2 수준)의 기능은 각각 4개에서 10개까지 분해되었다. 이들이 다시 컴포넌트(L.3 수준)의 기능까지 분해되면 또 다시 약 10배 정도 증가되는 것을 알 수 있다.

기능 아키텍처의 개발시 고려사항은 물리 아키텍처와의 일관성 및 공정별 재료 입출력이다. 기능 아키텍처 적합성은 도메인 전문가의 검토를 통해 확인하였다.

3.6 고로 시스템 성능 분석

고로 시스템의 성능 분석은 다양한 수식 모델이 활용된다. 이러한 수식모델을 시스템 계층구조에 따라 통합하는 과정을 수행하였다. 하지만 기능 아키텍처에서 정의된 기능 중에서 성능 분석을 통해 성능 값을 결정해야 하는 항목 모두를 수식 모델에 통



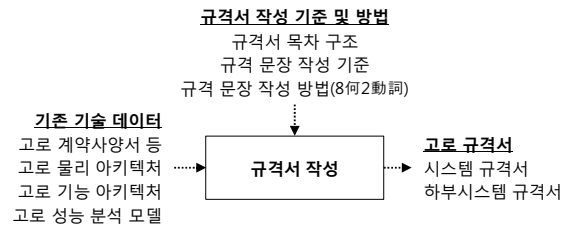
[Figure 9] Analysis models of Blast Furnace

합하지는 못 하였다. 또한 고로 프로파일 분석 등 일부 세부 항목은 별도로 존재해야만 하는 것도 있다.

Figure 9는 이와 같은 수식모델과 항목별 세부 성능 분석 모델과의 관계 등을 예시하고 있다. 본 연구에서는 고로 개발팀으로부터 제공 받은 수식모델을 엑셀 기반으로 시스템 계층구조에 따라 정리하였다. 이 과정에서 수식모델이 변수 연결이 끊어진 누락 부분을 식별하고 보완하는 등 수식모델의 일관성을 일부 개선할 수 있었다. 향후 연구를 통해 누락과 끊어짐이 완전히 해결될 때 까지 지속적으로 개선이 필요한 상태이다.

3.7 고로 시스템 규격 개발

지금까지는 고로 시스템의 물리 아키텍처와 기능 아키텍처 그리고 성능 분석 모델을 개발하였다. 그 결과 물리적 계층구조에 따른 기능 구조를 식별하였다. 또한 시스템 및 하부시스템의 성능 값을 계층적으로 분석 및 결정할 수도 있었다. 이제는 규격서 작성 기준에 따라 시스템 및 하부시스템 규격서 작성이 필요한 단계이다. 규격서 작성 목표는 고로 시스템 수준(L1) 규격과 고로 하부 시스템 수준(L2)



[Figure 10] Spec. writing concept of Blast Furnace

규격이다.

규격서 작성을 위해 입력 가능한 기술 데이터는 기존 기술 문서, 아키텍처 모델 그리고 성능 분석 모델이 있다. 그 외에 규격서를 올바르게 작성하기 위한 표준화된 기준과 방법으로는 규격서 목차 구조, 문장 작성 기준, 문장 작성 방법 등이 필요하다. 이러한 개념을 Figure 10에 나타내었다.

규격서 목차 구조, 문장 작성 기준, 문장 작성 방법 등에 관한 관련 표준 또는 연구 결과를 활용하여 고로 시스템 개발 프로젝트 환경에서 활용이 용이하도록 조정하였다. 즉, 다른 프로젝트에서는 프로젝트의 복잡도에 따라 엄격한 수준을 높이거나 낮출 수 있다.

고로 시스템의 규격서 목차는 MIL-STD 490A (1985:53), MIL-STD 961D (1995:122), ISO/IEC/IEEE 29148 (2011:43)에서 제시하는 규격서 목차 구조를 참고하여 Table 3과 같이 정의하였다. [6],[7],[8]

<Table 3> Table of contents for system specification

번호	내용	번호	내용
1	규격서 범위	3.1.5	운용 환경
1.1	규격서 범위 정의	3.1.6	제품 표기
1.2	대상 시스템 요약	3.1.7	안전
2	참조 자료	3.1.8	조업 편의성
2.1	법 및 정부 규정	3.1.9	설비 확장 용이성
2.2	사내 표준	3.1.10	조업자 및 교육
2.3	관련 기술 문서	3.1.11	조업자 능력
3	시스템 규격	3.1.12	교육/훈련
3.1	기능 및 성능 규격	3.1.13	규격 추적
3.1.1	기능 규격	3.2	인터페이스 규격
3.1.2	신뢰성	4	검증 규격
3.1.3	유지보수성	4.1	검증 방법
3.1.4	가용성	4.2	규격 검증

<Table 4> Specification writing criteria

규격 작성 기준	규격 작성 기준 설명
필요성	꼭 필요한 규격인가?
수준 적합성	SBS계층구조 관점에서, 해당 SBS수준의 규격인가?
불명확성 제거	사용된 단어 중 충분히 등 불명확한 단어가 없는가?
정보 충분성	필요한 정보가 모두 있는가?
의미 유일성	규격 문장이 규정하는 내용이 하나인가?
검증 가능성	규격의 성능 값 부여?
일관성	규격 set 중 다른 규격과 일관되는가?
Traceability	규격의 해당 Upper level & lower level 규격 있는가?

<Table 5> 6W2H2V method for specification writing

8何2動詞 구분	규격 문장 내용	
규격 번호	No.	3.1.1.1
규격 명칭	Name	주상기능
누가	Who	주상은
누구에게	what2	Torpedo Car에
왜	why	-
언제	when	출선 조업 시
어디서	where	-
무엇을	what1	용선을
어떻게	How	대탕도, 지탕도, 재탕도를 경유하여
얼마나	How much	손실없이(손실율 0.0%이하)
동사	Verb	주입
조동사	Aux. V	해야 한다.

고로 시스템의 규격 문장 작성 기준은 EIA 632 (1999:97) 및 ISO/IEC/IEEE 29148 (2011:11) 에서 제시한 기준을 조정하여 Table 4와 같이 정의하여 적용하였다.[4],[8]

또한 규격 작성에 참여하는 여러 분야의 엔지니어들이 규격 작성 기준을 충족하는 규격 문장을 작성하는 것도 쉽지 않으며, 일관성을 확보하기도 어렵다. 이종윤(2004:103)은 규격 문장 작성을 지원하는 방법으로 8何2動詞 방법론을 제공하였다.[9]

이러한 방법을 적용하여 계약사양서를 포함한 여러 기술 데이터의 내용을 정련하여 시스템 규격서

(계약 사양서의 원문장) 3.3 Cast House: 00 X고로는 2개의 주상으로 구성되어 있으며, 용융된 용선은 대탕도와 지탕도, 재탕도를 경유하여 Torpedo Car로 이동된다.

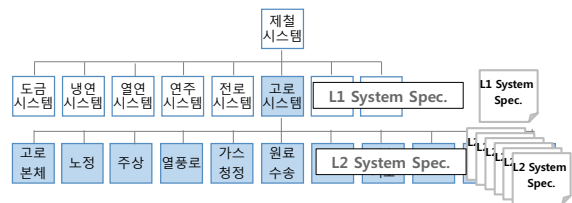
↓ 규격서 문장 작성 기준 중 예시로 "의미 유일성" 적용하여 3개 규격으로 분리

규격 1. 000 고로는 2개의 주상으로 구성한다.
 규격 2. 000 고로는 출선된 용융물을 00% 순도의 용선과 용재로 분리한다.
 규격 3. 000 고로는 분리된 용선을 Torpedo Car에 손실 없이 담는다.

↓ 규격서 목차 구조에 따라
 3.1 기능 규격 및 3.2 인터페이스 규격에 배치

3.2.1 000 고로는 2개의 주상으로 구성한다.
 3.1.1 000 고로는 출선된 용융물을 00% 순도의 용선과 용재로 분리한다.
 3.1.2 000 고로는 분리된 용선을 Torpedo Car에 손실 없이 담는다.

[Figure 11] Spec. development process example



[Figure 12] Spec. tree of blast furnace system

및 하부시스템 규격서를 개발하였다. Figure 11에 는 계약 사양서의 원문장으로부터 규격 문장을 개발하고, 규격서 목차구조에 따라 배치하는 과정을 예시하였다.

본 연구에서는 연구 목적에 따라 규격 수목도 중 주상 규격을 비롯한 일부 규격만을 개발하였다. 본 논문에서 제시하는 방법에 따라 고로 시스템 규격 및 하부시스템 규격을 개발하면 Figure 12에 나타난 고로 시스템의 규격 수목도와 같은 형상을 개발할 수 있다.

대상 시스템인 고로 시스템에 대하여 시스템 및 하부시스템 규격서를 개발한 경우에 하부시스템 규격서를 활용하여 하부시스템 별로 획득 계약을 체결할 수 있으며, 규격 추적 체계를 통하여 계약 후 개발 관리를 합리적으로 수행할 수 있다.

4. 결 론

본 논문은 시스템 자력 개발 능력 확보에 필요한 3대 요소 중 국내 산업계에서 가장 부족한 ‘체계적인 개발 프로세스 수행 역량’을 상대적으로 용이하게 확보할 수 있도록 조정된 다음 프로세스를 제시하였다. 우선 역공학을 통해 (1) 물리 아키텍처 모델을 개발하고, (2) 기능 아키텍처 모델을 개발하며, 이를 기반으로 (3) 필요한 분석을 수행하여 (4) 시스템 규격을 개발하고 (5) 하부시스템 규격을 개발한다. 또한 이를 제철 플랜트의 하부 시스템인 고로시스템에 적용한 사례를 제시하였다. 그리고 고로시스템 적용 사례를 통해 제시한 프로세스의 수행에 필요한 방법과 도구로 규격서 목차 구조, 문장 작성 기준, 문장 작성 방법을 예시하였다. 다른 기존시스템에 대한 개념설계 역량 확보를 위해, 본 논문에서 제시한 프로세스, 방법 및 도구를 활용할 수 있다.

하지만 본 논문은 기능 및 성능 규격 외에 가용성, 신뢰성, 유지보수성, 안전성, 조업 편의성, 친환경성 등과 같은 제약사항에 대한 분석 및 절충연구에 대한 내용은 자세히 제공하지 않는다. 향후 이러한 특수공학 분야에 대한 통합방안을 보완하면, 완전한 개념 설계 체계를 구비할 수 있다.

Acknowledgements

본 논문은 2017년도 POSCO의 연구비 지원에 의한 연구 결과를 활용함(과제번호‘2017Y002’)

References

1. ISO/IEC/IEEE 24748-2, Systems and software engineering – Life cycle management – Part 2: Guidelines for the application of ISO/IEC/IEEE 15288, p.21, 2018.
2. Taekyong Lee et al., A Case Study of Steel-making Plant Engineering Standard Development Based on Systems Engineering Standards, J. of KOSSE v.12, n.1, p.9, 2016.
3. Taekyong Lee and Joongyoon Lee, A Systems Engineering Process Refinement: Focused on Technical Process, J. of KOSSE v.13, n.1, p.41-50, 2016.
4. EIA-632, Processes for Engineering a System, p.19-27, p.97, 1999.
5. 그림 인용 http://www.daviddarling.info/images/blast_furnace.jpg
6. MIL-STD-490A, Specification Practices, p.53-76, 1985.
7. MIL-STD-961D, Defense Specifications, p.122-125, 1995.
8. ISO/IEC/IEEE 29148, Systems and software engineering – Life cycle processes – Requirements engineering, p.11-14, p.43, 2011.
9. Joongyoon Lee, A Study on the Process and Tool for System Requirements Definition, Ph.D. Thesis, p.103-105, 2004.