

## 시스템 엔지니어링 방식에 의한 철강 연속 주조 시스템 설계

신기영<sup>1)</sup>, 홍대근<sup>1)</sup>, 윤수철<sup>2)</sup>, 서석환<sup>1)</sup>

1) 포항공과대학교 엔지니어링대학원, 2) 포항공과대학교 산업경영공학과

### A Systems Engineering Approach to Designing Continuous Casting System in Iron and Steel Making Plant

Kee-Young Shin,<sup>1)</sup> Dae Geun Hong<sup>1)</sup>, Soo Cheol Yoon<sup>2)</sup>, Suk-Hwan Suh<sup>1)</sup>

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

2) Dept. of Industrial and Management Engineering, POSTECH

**Abstract** : Recently, global market competition of iron and steel products is ever increasing due to over-supply from increased number of industries in rapidly growing countries, such as China, Brazil, and Indonesia. To occupy the big market, major industries are trying to develop high quality, high performance steel products via developing a new iron and steel making process. In other words, development of a new and innovative steel plant is a key to cope with the tough situation. Design and development for the life cycle of iron and steel making plant is very much complex and multi-disciplinary. In this paper, Plant Systems Engineering (PSE), a tailored SE process for industrial plant based on ISO/IEC 15288 is used for the design of Continuous Casting Process (CCP) Plant system. The CCP is a crucial process in steel making plant, whose design technology is occupied by the advanced foreign companies. For the sake of increasing engineering capability for the design of CCP, we applied PSE Process for the renovation of the existing CCP Process. Through the study, we were convinced that the applied method can be used for other plant systems, and SE is really the way of thinking, design, and development of modern complex and multi-disciplinary systems where high risk factors are present throughout the whole life cycle.

**Key Words** : Iron and Steel Making Plant, Continuous Casting Process Plant System, Systems Engineering, Plant Systems Engineering, Technical Process

---

\* 논문발표자 : 신기영, [skyoung@postech.ac.kr](mailto:skyoung@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 글로벌 철강 산업에 있어서, 중국, 브라질, 인도네시아 등의 신흥 개도국들의 고속 성장으로 인해, 각 기업들 간의 시장 경쟁이 치열해 지고 있다. 특히, 철강 제품 수요 둔화 속에서도 중국은 지속적인 철강 설비 투자를 통한 철강 생산량 증대를 추진하고 있어 이는 글로벌 조강 생산량 증대로 연결되어, 철강 생산 과잉 능력이 심화되었으며, 결국 이로 인해 철강사들의 위기 국면이 지속되고 있는 실정이다(이민근, 2013). 이러한 시장 환경 아래, 이를 극복하기 위한 철강 산업의 시장 요구 사항(박현성, 2004)은 고객이 원하는 고급 품질의 새로운 철강 제품을 우선적으로 생산하여, 시장 경쟁 체제에서의 우위를 선점하도록 하여 위기를 극복하도록 하는 것이다. 결국 이는 종래에 존재하지 않았던 새로운 고품질 철강 제품을 생산하는 철강 공정 개발을 통해, 고객을 만족시켜야 하는 것이며, 이를 위한 철강 공정 플랜트 시스템의 자력 엔지니어링 능력 확보가 절실히 필요해졌음을 강조할 수 있는 것이다.

이렇듯 고객이 원하는 새로운 철강 제품을 대량 생산하기 위한 철강 공정 플랜트 시스템의 자력 엔지니어링 능력 확보에 있어서, 시스템 엔지니어링(MIL-STD-499B, 1994)(SE Handbook Working Group, 2011)은 상기 상황을 지원할 수 있는 하나의 대안이 될 수 있다. 시스템 엔지니어링이란 학제간 접근법이며, 성공적인 시스템의 실현을 가능하도록 한다. 시스템 엔지니어링은 국방, 항공 등의 복잡한 대상 시스템을 개발함에 있어서, 고객의 요구 사항을 만족시키는 최적의 시스템 설계를 통해, 고객이 원하는 솔루션을 도출하고, 이를 검증하기 위한 다분야 학문적 엔지니어링 접근 방법이다(ISO/IEC 26702, 2005). 종래에 시스템 엔지니어링은 우주, 국방, 항공, 철도 산업 등 복잡하고 새로운 시스템을 개발하는 분야에서 주로 이용되어 왔으며, 최근에는 중요성이 부각됨에 따라, 플랜트 분야에서도 적용하려는 시도가 이뤄지고 있다(이창환

외, 2013)(기완욱 외, 2013)(김선영 외, 2014).

본 논문에서는 철강 플랜트 시스템 영역에서의 자력 엔지니어링 능력 확보에 도움이 되고자, ISO/IEC 15288(ISO/IEC 15288, 2008)을 소개하고, 이에 기반을 두어 시스템 엔지니어링 프로세스를 제안한다. 또한, 해당 제안된 시스템 엔지니어링 프로세스 중 주요 기술 프로세스 활동들을 적용하여, 철강 공정 플랜트에서 제강 공정 중 하나인 연속 주조 시스템을 대상 시스템으로 수행한 사례 연구 결과를 보여준다.

연속 주조 시스템을 대상 시스템으로 선정함에 있어서 지니는 의미는 다음과 같다. 종래 해당 시스템의 설계 분야는 해외 선진 엔지니어링 사에 의존하던 실정이었다. 이는 해당 시스템을 제작하기 위한 비용을 증가시켰고, 기술 종속 문제, 그리고 해당 시스템에 대한 턴키 베이스 자력엔지니어링 불가능을 야기했다. 또한, 운영 중 설비 문제 발생 시 해당 시스템 설계에 대한 경험 부족으로 문제의 원천적인 해결 방법을 찾을 수가 없는 상황이 발생하였으며, 이를 해결하기 위해, 다시 해외 선진 엔지니어링 사에 의존해야만 하는 문제를 야기했다. 결국 이는 문제 해결을 위한 유지 보수비용 증가시켰고, 그동안 조업을 통해 축적되었던 조업 노하우 및 정보를 해외 선진 엔지니어링 사에 노출되는 등의 보안 문제로 이어졌다.

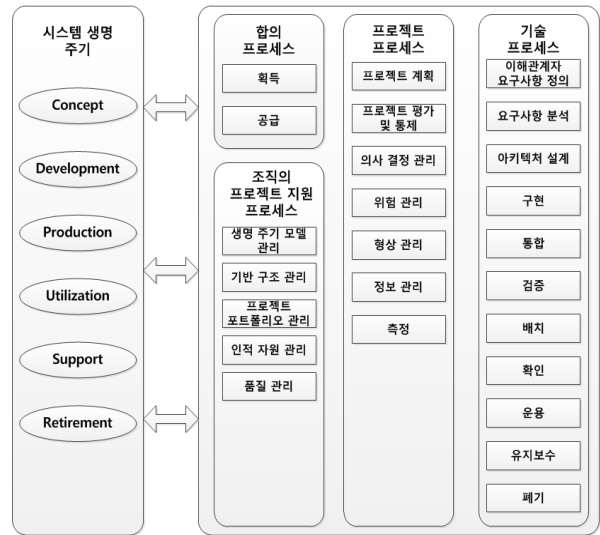
이렇듯 본 논문은 시스템 엔지니어링 접근 방법을 이용하여 연속 주조 시스템을 위한 설계 분야에 적용 사례를 보여줌으로써, 상기 문제점을 해결할 수 있는 가능성을 보여주는 의미가 있는 것이다. 또한, 이를 통해, 철강 공정 플랜트 시스템들의 엔지니어링 분야에서 시스템 엔지니어링 접근 방법이 성공적으로 적용될 수 있음을 입증하고, 자력 엔지니어링 경쟁력 기반을 확보할 수 있는 계기를 제공하는 것이다. 향후 이는 새로운 철강 공정 플랜트 개발에 있어서, 시스템 엔지니어링 접근 방법이 사용될 수 있음을 보여준다.

## 2. 시스템 엔지니어링 프로세스

### 2.1 ISO/IEC 15288 개요

ISO/IEC 15288은 인위적 시스템의 생명 주기 단계에 있어서, 공통의 프로세스 프레임워크를 기술하는 시스템 엔지니어링 분야의 가장 범용적인 국제 표준 문서이다. 이 표준은 시스템 전체 생명 주기 단계에서의 프로세스들의 집합과 그리고 관련된 용어들을 정의한다. 이들 프로세스는 시스템을 구성하는 어느 계층 구조에서나 동시 반복적으로 적용 가능하다. 또한, 이 표준은 조직이나 프로젝트가 사용하는 시스템 생명 주기 프로세스의 정의, 조정, 진단, 개선을 지원하는 프로세스도 기술한다. 이 표준은 시스템 생명 주기 단계별 프로세스를 크게 4가지 영역의 프로세스들 그룹으로 분류한다. 해당 4가지 영역의 프로세스들 그룹은 합의 프로세스 그룹, 조직의 프로젝트 지원 프로세스 그룹, 프로젝트 프로세스 그룹, 기술 프로세스 그룹으로 분류된다. 이러한 프로세스 그룹들은 각각 최적의 결과물을 산출하기 위해, 목적, 기대 결과물들, 활동 목록, 그리고 태스크들을 정의한다. 이러한 4가지 영역의 프로세스들은 그림 1에서 보여준다.

본 논문에서는 ISO/IEC 15288의 기술 프로세스 그룹을 참고하여, 사례 연구의 대상 시스템인 연속 구조 시스템을 위한 시스템 생명 주기 단계들 정



[Figure 1] Systems Engineering Process based on ISO/IEC 15288

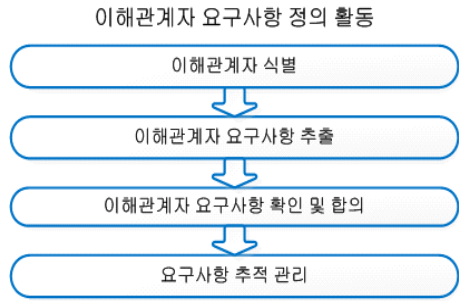
의 및 시스템 엔지니어링 기술 프로세스 활동 프레임워크를 제안하고, 이 중 설계 관련 활동들을 중심으로 수행한 사례 연구 결과를 보여준다.

### 2.2 대상 시스템 엔지니어링 기술 프로세스

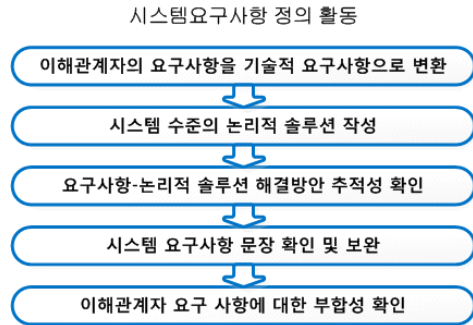
시스템 생명 주기란 시스템의 필요성 인식에서 시작하여 용도 폐기까지의 모든 단계이며, 제품의 생명 주기 관점에서 조직이 수행해야 될 업무 활동을 정의한다. 이러한 시스템 생명 주기는 대상 시스템 및 분야에 따라 다양하게 최적화 되어 적용될 필요가 있다. 또한, 생명 주기마다 시스템 엔지니어링

ISO 15288 생명 주기	Concept		Development		Production		Utilization/Support	Retirement
대상 시스템 생명 주기	사업기획/타당성검토	개념 설계	기본 설계	상세 설계	구매/조달	시공/시운전	운용/유지보수	폐기
시스템 엔지니어링 기술 프로세스 주요 활동들	<ul style="list-style-type: none"> <li>타당성 조사 및 분석</li> <li>시스템 임무 정의</li> <li>이해관계자 (운용) 요구사항 정의</li> <li>시스템 요구사항 정의</li> <li>시스템 설계</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>서브시스템 설계</li> <li>컴포넌트 설계</li> <li>시스템 구현 계획 수립</li> <li>시스템 구현 수행</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>시스템 통합 계획 수립</li> <li>시스템 통합 수행</li> <li>시스템 검증 계획 수립</li> <li>시스템 검증 수행</li> <li>시스템 배치 계획 수립</li> <li>시스템 배치 수행</li> <li>시스템 확인 계획 수립</li> <li>시스템 확인 수행</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>시스템 운용 계획 수립</li> <li>시스템 운용 수행</li> <li>시스템 유지보수 계획 수립</li> <li>시스템 유지보수 수행</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>시스템 폐기 계획 수립</li> <li>시스템 폐기 수행</li> </ul>
주요 산출물	시스템 임무정의서, 이해관계자 요구사항 정의서, 시스템 요구사항 정의서/규격서		서브시스템/컴포넌트 규격서, 인터페이스 통제 문서		시스템 통합/검증/배치/확인 계획서		시스템 운용/유지보수 계획서	시스템 폐기 계획서

[Figure 2] Systems Engineering Technical Process for System-of-Interest (SOI)



[Figure 3] Stakeholder Requirements Definition Activities



[Figure 4] System Requirements Definition Activities

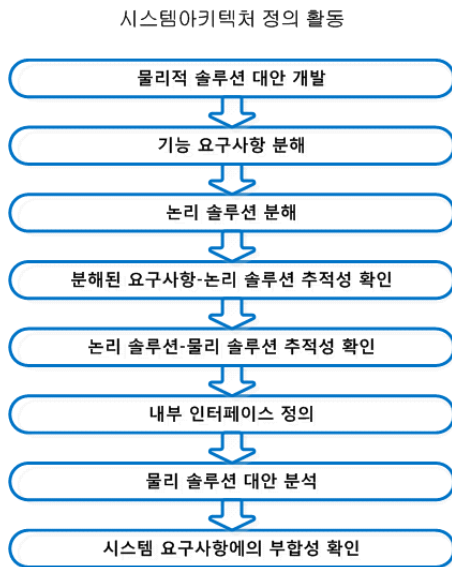
기술 프로세스의 활동들은 반복적, 재귀적으로 적용될 수 있다. 생명 주기마다 시스템 엔지니어링 기술 프로세스 활동들이 반복 재귀적으로 적용할 때, 중점적인 역할을 하는 활동들은 생명 주기 매 단계마다 달라질 수 있다. 이러한 개념아래, 본 논문에서는 ISO/IEC 15288의 시스템 생명 주기를 참고하여, 대상 시스템인 연속 주조 시스템을 위한 각 생명 주기 단계를 정의하고, 각 단계마다 수행되는 시스템 엔지니어링 기술 프로세스 활동들을 그림 2에서와 같이 정의하였다. 본 연구에서는 이러한 단계들 중 시스템 설계를 위한 기술 프로세스 활동들을 중점적으로 수행하였고, 이에 대한 상세한 설명은 다음과 같다.

첫째, 이해 관계자 요구사항 정의 활동이다. 이 활동은 그림 3과 같이 다음과 같은 세부 활동들로 정의할 수 있다. 먼저 이해관계자 식별이다. 이해관계자 식별이란, 대상 시스템의 고객, 사용자, 개발자, 유지보수자 등과 같이 대상 시스템과 관련된 요구사항을 제공하는 주체들이다. 시스템 개발 초기에 이해관계자들을 정확히 식별하고, 요구사항들을 수집하는 것이 중요하다. 다음은 이해관계자 요구사항 추출이다. 이 활동은 인터뷰, 설문 조사, 그리고 브레인스토밍 등의 다양한 요구사항 추출 방법을 이용하여 이해관계자들로부터 대상 시스템의 운용 요구사항을 추출하는 것이다. 그리고 요구사항 합의 및 확인이다. 이 활동은 수집 정의된 지금까지의 요구사항들이 다음 단계로 진행하는데 문제가 없는지 불명확한 부분은 없는지 이해관계자의 요구사항들을 충분히 반영했는지 등의 요구사항들의 품질을

향상시키는 것이다. 끝으로 요구사항 추적 관리 활동이다. 요구사항은 계속 수정, 개선, 그리고 발전될 수 있는 것이며, 이러한 변경된 요구사항들에 대한 추적표를 작성하여 관리할 필요가 있다.

둘째, 시스템 요구사항 정의 활동이다. 이 활동은 그림 4와 같이 다음과 같은 세부 활동들로 정의할 수 있다. 먼저 앞 단계에서 정의되었던 이해관계자 요구사항들을 기술적 요구사항들로 변환하는 것이다. 이해 관계자 요구사항들은 종종 모호한 용어로 되어 있는 경우가 많다. 이러한 용어들은 엔지니어가 이러한 요구사항들을 기반으로 설계를 하는 데 부적합하다. 설계를 위해서는 이러한 용어들을 기술적 용어들로 변환 시켜야 한다. 다음은 시스템 수준의 논리적 솔루션 도출이다. 논리적 솔루션이란, 시스템이 수행해야할 기능들을 논리적으로 배열한 것으로서 각 기능이 전달되는 인터페이스 항목들을 포함할 수 있다. 끝으로 요구사항과 논리적 솔루션의 추적성 확인이다. 논리적 솔루션 도출 활동에서의 결과물은 반드시 도출된 요구사항들에 기반을 두어야 한다. 즉, 요구사항들 중 기능 요구사항들과 논리적 솔루션에 포함된 기능들 간에는 추적성이 존재해야 한다는 것이다.

셋째, 시스템 아키텍처 정의 활동이다. 이 활동은 그림 5와 같이 다음과 같은 세부 활동들로 구성된다. 먼저 물리적 솔루션 초안 개발이다. 물리적 솔루션이란 시스템을 구성하는 엘리먼트들, 그리고 각 엘리먼트들의 속성 및 각 엘리먼트들의 관계를 정의하는 것이다. 초안을 개발한 후, 향후 논리적 솔루션 및 시스템 요구사항과의 평형을 이루어 조정



[Figure 5] System Architecture Definition Activities

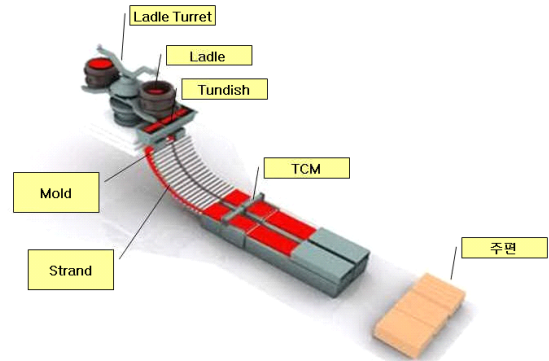
함으로써 효과적인 물리적 솔루션을 개발할 수 있다. 다음은 기능 요구사항들의 분석 및 분해이다. 이 활동은 시스템 수준의 기능 요구사항들을 하부 시스템 계층인 서브시스템 또는 컴포넌트 수준의 기능 요구사항들까지 분해하는 것이다. 다음은 논리적 솔루션의 분석 및 분해이다. 이 활동은 상위 수준의 논리적 솔루션에 존재하는 하나의 기능을 하위 수준 여러 개의 기능들로 분해하는 것이다. 그리고 이러한 상기 분해활동들을 통하여, 분해된 기능 요구사항들과 논리적 솔루션에서의 분해된 기능들과의 추적성을 확인한다. 또한, 이러한 추적성이 확보 되었으면, 논리적 솔루션과 물리적 솔루션의 추적성을 확인하기 위하여, 상기 개발되었던 물리적 솔루션 초안을 조정하고 보완한다. 추적성이 누락되었을 경우, 논리적 솔루션과 물리적 솔루션을 수정할 수 있는 것이다. 다음으로는 내부 인터페이스를 정의이다. 내부 인터페이스란 시스템을 구성하는 각 엘리먼트들 간에 전달되는 인터페이스 항목 (물질, 에너지, 정보 등)과 이러한 인터페이스 항목이 전달되기 위한 링크 속성을 정의하는 것이다. 이러한 인터페이스 항목들은 논리적 솔루션에서 도출된 기능들 사이에서 전달되는 데이터 등과 추적성이 확보되어야 한다. 끝으로 도출된 물리적 솔루션에 있어

서 구현 가능한 대안들을 분석 선택하고, 서브시스템 또는 컴포넌트들의 요구사항들과 이해관계자 요구사항들의 부합성을 확인하고, 물리적 솔루션에 대한 문서화를 실시한다.

지금까지, 대상 시스템 설계를 위한 시스템 엔지니어링 기술 활동들에 대하여 알아보았다. 다음 장에서는 이러한 활동들을 기반으로 대상 시스템을 정의하고, 이에 대한 사례 연구의 결과를 소개한다.

### 3. 대상 시스템 정의

#### 3.1 연속 주조 시스템



[Figure 6] Continuous Casting System

연속 주조 시스템(WIKIPEDIA, 2013) (강기판 외, 2011)이란 철강 공정의 전로 및 노외정련공정에서 취련 과정을 거쳐 생성된 잘 정제된 용강을 주형에 연속적으로 주입하여, 일정한 형상으로 냉각/응고 시키면서 용강을 인발하여, 빌렛 (Billet), 블룸 (Bloom), 슬래브 (Slab)와 같은 철강 반제품인 주편을 생산하기 위한 일련의 공정 시스템이다. 연속 주조 시스템의 전체적인 구성도는 그림 6과 같다. 주요 구성 설비로는 전로 공정에서 도착한 용강을 보관하는 래들과 래들에 들어있는 용강을 이용하여 철강 반제품인 주편으로 생산하기 위해 래들을 지지하고 주조 위치로 이동 시키는 래들 터렛, 그리고 전로 용강을 중간에 버퍼링하여, 용강 하강 속도를 조정하는 턴디쉬, 그리고 용강의 형태를 결정짓는 주형 역할의 몰드, 그리고 용강의 하강을 지

지하고, 용강의 냉각작용을 돕는 스트랜드, 용강이 냉각되어 최종 원하는 길이로 주편을 생산하기 위한 TCM (Torch Cutting Machine) 등으로 구성된다. 일반적으로 전로 용강 수용 능력이 300톤 이상인 것을 대용량 연속 주조 시스템으로 간주한다. 본문에서는 이러한 시스템을 대상 시스템으로 간주하여 2.2절에서 기술된 설계 중심의 시스템 엔지니어링 기술 프로세스의 활동들에 따라 수행한 사례 개발 연구의 증점적인 결과를 다음 장에서 상세히 보여준다.

## 4. 사례 연구

### 4.1 이해관계자 식별

시스템 생명 주기	이해관계자	설명 또는 역할
타당성 조사 단계	플랜트 시스템 투자 승인 조직 대용량 연속 주조 시스템 투자실	대용량 연속 주조 시스템의 투자 계획 검토 후 승인하는 조직 대용량 연속 주조 시스템 투자 실추에 대한 타당성을 검토하고, 시스템 운영 및 운전 능력을 정의하며, 투자 계획 수립 및 발주, 투자 계획서 제공하는 조직, 운영 분석 및 적정 가격 책정하는 조직
개념설계 기본설계 상세설계	엔지니어링센터	전문 플랜트 시스템 엔지니어링 연구 개발 조직으로 대용량 연속 주조 시스템의 FS/CD/BD/DD 수행 담당하는 조직, SEMP 작성 및 제공, FS/CD/BD/DD 산출물 제공
기본설계	관공서 (중앙/지방 정부, 환경 관리 공단)	대용량 연속 주조 시스템 관련 화재 및 안전 코드, 기타 범규를 강제하는 기관
상세설계 건설 및 시공	플랜트 시스템 EPC 업체 건설 자재 공급 업체	대용량 연속 주조 시스템의 FS/CD/BD 문서를 기반으로 DD를 수행하여 해당 플랜트 시스템을 건설하고 시공하는 업체 대용량 연속 주조 시스템 건설 시 필요한 자재 제공으로 Procurement 담당하는 업체
운영 및 유지보수	대용량 연속 주조 시스템 운영실 전력공급업체 환경 규제실	대용량 연속 주조 시스템 구축 완료 시 대상 시스템을 인수받아 시스템 운전 및 운영, 유지, 보수하는 조직. 운전 및 유지/보수 지침서 관리 대용량 연속 주조 시스템 운영을 위한 전력 공급하는 업체 대용량 연속 주조 시스템 운영 시 발생하는 CO2 등 모니터링 및 규제하는 조직, 환경 규제 관련 요구사항 제공
폐기	플랜트 시스템 폐기 및 재활용 업체 플랜트 설비 폐기 승인실	대용량 연속 주조 시스템 폐기 결정 및 폐기 실행에 대해 승인하는 조직 전문 업체, 폐기 관련 요구사항 제공 대용량 연속 주조 시스템 폐기 결정 및 폐기 실행에 대해 승인하는 조직

[Figure 7] Stockholders Identification

본 절에서는 대상 시스템에 대한 이해관계자 식별에 대한 사례 연구 결과를 보여준다. 시스템 개발 초기 단계에서 정확한 이해관계자들을 식별하여 요구사항들을 수집하는 것이 중요하며, 이를 위해, 대상 시스템 생명 주기 단계별로 이해당사자들을 인식하는 것이 중요하다. 이해관계자 식별 결과로, 정부, 발주처, 설계를 수행하는 조직 등이 식별되었다. 그림 7은 식별된 이해관계자들을 나타내고, 이러한 이해관계자들의 역할을 나타낸다.

### 4.2 이해관계자 요구사항 추출

본 절에서는 이해관계자의 요구사항들을 추출하고 정의한 사례 연구 결과를 보여준다. 이해관계자 요구사항들은 시스템이 어떠한 기능을 수행하는지

에 대한 기능 요구사항, 각 기능이 어떠한 성능을 만족시켜야 하는지에 대한 성능 요구사항, 각 기능과 성능을 검증 및 확인하는 방법에 대한 검증 요구사항, 그리고 시스템이 기능이 아닌 물리적인 특성 등으로 구성된 비기능 요구사항으로 구성될 수 있다. 추출된 이해관계자 요구사항 130개이며, 그림 8은 추출된 요구사항들의 집합을 보여준다.

Number	Description
Str.1.1.1	대용량 연속 시스템은 도착할 용강을 주조할 수 있도록 주조 설비를 100% 대기할 수 있어야 한다.
Str.1.1.2	대용량 연속 시스템은 현아라운드 실행 시간의 전 공정한 전로 공장에서 용강을 전달 받기 최소 1시간 전에 마칠 수 있도록 해야 한다.
Str.1.1.3	대용량 연속 시스템은 전로 공장에서 용강이 도착할 신호를 도착 30분전에 전달받아야 한다.
Str.1.1.4	대용량 연속 시스템은 전로 공장에서 도착하는 300t 이상의 용강을 연속적으로 수송할 수 있어야 한다.
Str.1.1.5	대용량 연속 시스템은 전로 공장에서 도착한 용강의 온도를 측정할 수 있어야 한다.
Str.1.1.6	대용량 연속 시스템은 전로 공장에서 도착한 용강을 1540~1560도로 승온할 수 있도록 해야 한다.
Str.1.1.7	대용량 연속 시스템은 전로 공장에서 도착한 용강을 1540~1560도로 유지할 수 있어야 한다.
Str.1.1.8	대용량 연속 시스템은 전로 공장에서 도착한 용강의 불필요한 기계적응을 95% 이상 제거할 수 있도록 해야 한다.
Str.1.1.9	대용량 연속 시스템은 전로 공장에서 도착한 용강을 온도 적합성 판정 후 생산 대기 위치로 15초 이내로 이동시킬 수 있어야 한다.
Str.1.1.10	대용량 연속 시스템은 전로 공장에서 도착한 용강을 온도 적합성 판정 후 설비 가동 줄어드는 생산 대기 위치로 15초 이내로 이동시킬 수 있어야 한다.
Str.1.1.11	대용량 연속 시스템은 생산 대기 위치로 옮긴 용강을 지지할 수 있어야 한다.
Str.1.1.12	대용량 연속 시스템은 용강의 생산 대기 위치 이동 명령 신호를 전달 받을 수 있어야 한다.
Str.1.1.13	대용량 연속 시스템은 용강의 생산 대기 위치로 이동한 완료 정보 신호를 0.1초 내로 알릴 수 있어야 한다.
Str.1.1.14	대용량 연속 시스템은 생산 대기 위치의 용강을 생산 필요 시 8초 이내로 생산 위치로 이동시킬 수 있어야 한다.
Str.1.1.15	대용량 연속 시스템은 생산 위치로 옮긴 용강을 지지할 수 있어야 한다.
...	...

[Figure 8] Stakeholder Requirements

### 4.3 이해관계자 요구사항 확인 및 합의

본 절에서는 도출된 이해관계자 요구사항들의 품질을 향상시키고 다음 단계로 진행하는 데 문제가 없는지, 이를 확인하고 합의한 사례 개발 연구 결과를 보여준다. 이를 위해 INCOSE SE Handbook에서 제시하고 있는 요구사항을 위한 평가기준을 참고하여 평가 및 수정하였다. 적용된 평가 기준은 다음과 같으며, 정의된 이해관계자 요구사항들을 문장별로 평가하여 이를 보완하였다.

- 필요성: 해당 요구사항은 꼭 필요한 요구사항인가?
- 구현 독립성: 해당 요구사항은 사용되는 재료 또는 개발 방법 등과 같이 해결 방안이 대해서 언급하고 있는가? 해결 방안은 개발자의 몫이므로, 요구사항에서는 문제를 언급하고 있는가?
- 명확성 및 간결성: 해당 요구사항은 요구사항

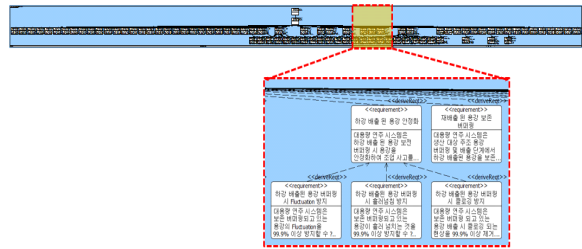
에 사용된 단어 또는 용어에 대한 분석 없이 현 상태에서 이해 가능하도록 명확하고 간결하게 작성되어 있는가?

- 완전성: 해당 요구사항은 해당 시스템 계층에 적합하고, 측정 가능하고, 구현에 필수적인 정보들을 모두 언급하고 있는가?
- 일관성: 해당 요구사항은 관련 정부/산업 표준 및 기존 시스템과의 일관성 측면에서 일관성을 유지하고 있는가?
- 구현 가능성: 해당 요구사항은 기술적으로 또는 사업적으로 구현 가능한가?
- 추적성: 해당 요구사항은 상위 레벨 요구사항이 무엇이었는지 추적 가능한가?
- 검증 가능성: 해당 요구사항은 inspection, analysis, demonstration, test 등을 통해서 검증 가능한가?

이렇듯 상기 평가 기준들을 통하여 이해관계자 요구사항을 수정 보완하였으며, 이러한 결과를 다시 이해관계자들과 재확인하고 합의하는 과정을 가졌다. 그리고 합의하는 과정을 통하여, 상기 평가 기준들을 만족하였을 지라도, 이해관계자 요구사항들 분석 결과, 시스템 수준의 요구사항들 뿐만 아니라 하위 수준의 서브시스템들 또는 컴포넌트들 수준의 요구사항들도 정의되었으며, 이러한 요구 사항들은 향후 시스템 수준에서 하위 시스템으로 요구사항을 분해할 시 반영하기로 결정하였다. 그리고 다수의 중복되는 요구사항들을 조정, 확인하였으며, 이를 이해관계자들과 합의하였다.

#### 4.4 이해관계자 요구사항 추적관리

본 활동에서는 초기의 이해관계자 요구사항들로부터 확인 및 합의 과정을 거쳐, 변경된 요구사항들에 대한 추적표를 작성하여, 요구사항들의 추적 결과를 관리하였다. 그림 9는 요구사항 다이어그램을 통하여 요구사항들이 추적성을 확보한 예시를 보여 주며, 시스템 엔지니어링의 다양한 도구 가운데 요구사항 분석과 아키텍처 작성을 도와주는 ‘CORE



[Figure 9] Traceability of Stakeholder Requirements(CORE 8.0)

8.0’을 사용하였다.

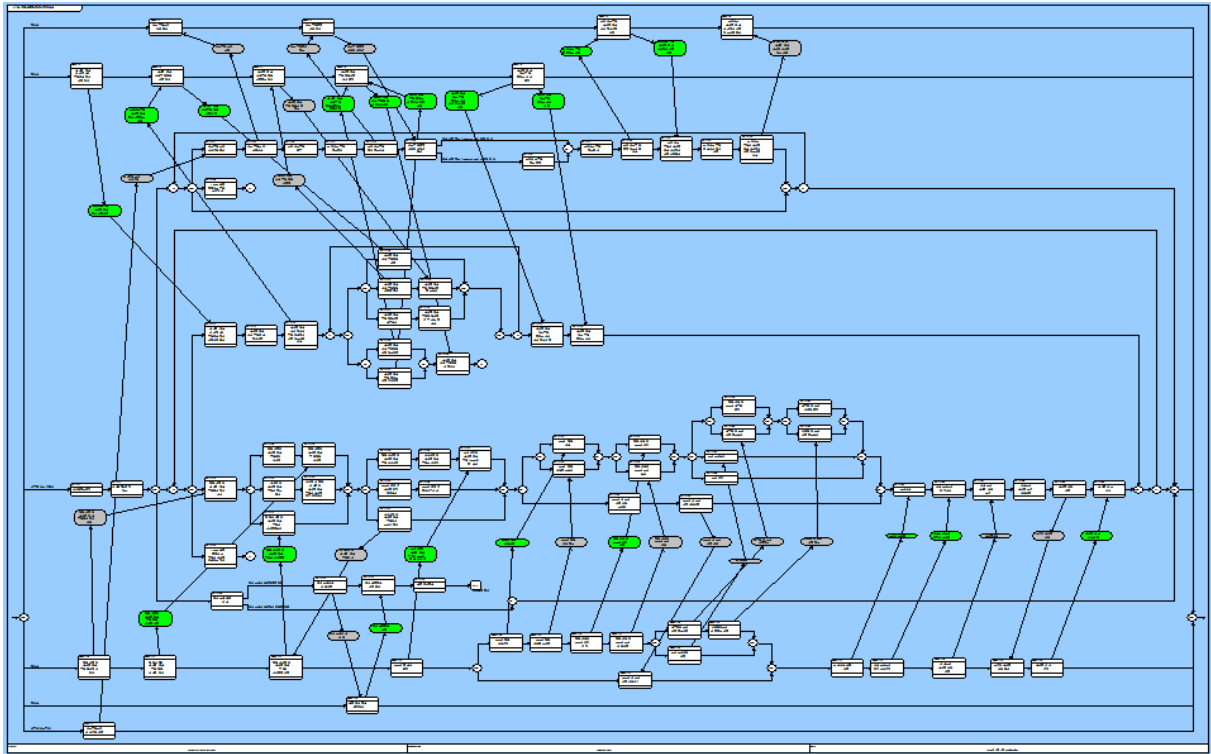
#### 4.5 이해관계자 요구사항을 기술적 요구사항으로 변환

본 활동에서는 이해관계자 요구사항들을 기술자가 이해할 수 있는 기술적 요구사항들로 변환하였다. 수행 방법으로는 QFD (Quality Function Deployment), 도메인 전문가 판단법이 있으며, 본 사례 연구에서는 QFD를 이용하여 이해관계자 요구사항들을 기술적 요구사항들로 변환 실시하였다. 보다 상세히는 각각의 이해관계자 요구사항들로부터 기능적/비기능적 요구사항인지를 구분하고, 기능적 요구사항들의 경우 기술적 설계 변수를 추출하여 기술적 설계 요구항목을 명확화 하였고, 이를 성능 척도 (MOP :Measure of Performance)로 할당하여 기술적 요구사항들을 작성 관리하였다.

#### 4.7 시스템 수준의 논리적 솔루션 작성

본 활동에서는 연속 구조 시스템의 시스템 수준의 논리적 솔루션을 작성하였다. 논리적 솔루션이란 시스템이 수행해야할 기능을 논리적으로 정렬한 것으로, 기술적 요구사항들을 기반으로 각 기능들이 전달하는 인터페이스 항목들을 포함하여 정의한다. 이러한 과정을 통해, 논리적 솔루션의 기능들을 할당하는 과정을 거치면서, 기술적 요구사항인 시스템 요구사항에 논리적 솔루션 작성 시 도출된 기능들을 연결 지을 수 없을 경우, 기술적 요구사항들을 갱신하며, 이해관계자 요구사항으로부터 다시 추적성을 확인하는 작업을 거쳐 추적표를 수정하였다.

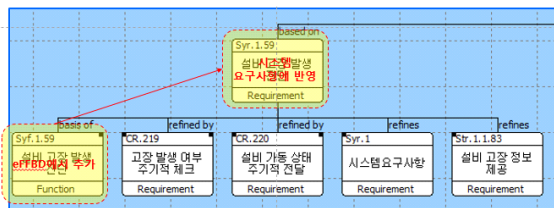
그림 10은 연속 구조 시스템의 시스템 수준의 논



[Figure 10] Logical Solution for Continuous Casting System (CORE 8.0)

리적 솔루션을 eFFBD (Extended Functional Flow Block Diagram)로 도식화 한 것이다. eFFBD는 논리적 솔루션의 주 정보 식별 수단으로 활용 가능하며, 기능들의 흐름과 각 기능들 간에 입력과 출력을 모델링할 수 있는 다이어그램이다.

#### 4.8 논리적 솔루션 추적성 확인



[Figure 11] Traceability between Logical Solution and System Requirements (CORE 8.0)

본 활동에서는 도출된 논리적 솔루션의 기능들을 기반으로 해당 기능들이 기술적 요구사항들과 추적성이 확인되었는지, 그리고 논리적 솔루션 도출작업

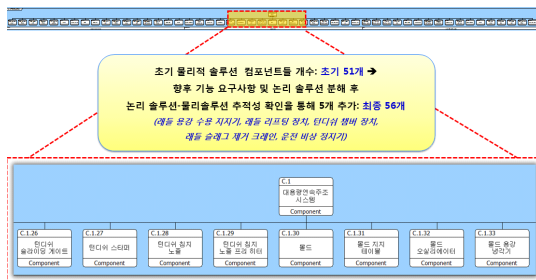
도중 작성된 기능들에 대해, 누락된 기술적 요구사항들을 반영하고, 이를 다시 이해관계자 요구사항들과의 추적성을 확인함으로써 시스템의 기능 아키텍처 측면에서의 완전성을 확보하였다. 즉 기술적 요구사항들 중 기능 요구사항들은 반드시 논리적 솔루션에 반영되어 있어야 하며, 논리적 솔루션에 포함된 기능들은 반드시 해당되는 기능적 요구사항들이 존재해야 한다. 그리고 논리적 솔루션과 상기 작성된 외부 시스템 인터페이스 항목들과의 추적성을 확인하였다. 그림 11은 논리적 솔루션 기능의 요구사항에 대한 추적성 예시를 보여준다.

#### 4.9 물리적 솔루션 대안 개발

본 활동에서는 물리적 솔루션의 대안을 개발하였다. 물리적 솔루션이란 시스템을 구성하는 엘리먼트들, 그리고 각 엘리먼트들의 속성 및 관계들을 정의하는 것이다. 초기에 물리적 솔루션을 개발 후 논리적 솔루션, 시스템 요구사항들과 평형을 이루도록 조정 및 확정하였다. 초기 물리적 솔루션의 엘리먼트



트들 개수는 51개를 도출하였으며, 향후 기능요구 사항 및 논리적 솔루션 분해 후 논리적 솔루션과 물리적 솔루션의 추적성 확인을 통해, 5개가 추가되어 최종 56개를 도출하였다. 그림 12는 물리적 솔루션 대안 개발을 보여준다.



[Figure 12] Physical Solution for Continuous Casting System (CORE 8.0)

#### 4.10 기능 요구사항 분석 및 분해

본 활동에서는 시스템 수준의 기능 요구사항들을 분석하여 하위 시스템 수준, 즉 서브시스템 또는 컴포넌트들의 기능 수준으로 분해하였다. QFD 또는 전문가 판단법을 통해 분해할 수 있으며, 논리적 솔루션의 기능들을 분해하는 경우 동시에 병행하여 분해 가능하다. 그림 13은 기능 요구사항이 분해된 것에 대한 예시를 보여준다. 초기 시스템 수준의 기능적 요구사항은 224개였으며, 논리적 솔루션 분해 활동 후 추적성 확인을 통해 287개로 증가되었다. 이 부분은 4.12절에서 상세히 설명하도록 한다.

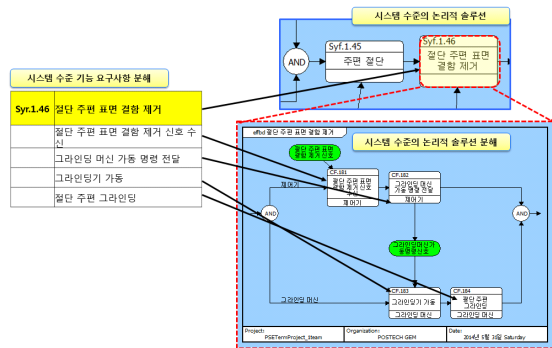
레벨 2 수준의 3상 평형 전 도출된 컴포넌트 요구사항들: 총 224개

<b>Syr.1.46</b> 절단 주변 표면 결함 제거	내용량 연속 시스템은 원하는 길이로 절단된 주변의 표면 결함을 99.9% 이상으로 제거할 수 있어야 한다.
절단 주변 표면 결함 제거 신호 수신	제어기는 운전자로부터 절단 주변 결함 제거 신호를 99.99% 이상의 수신 성공률로 수신할 수 있어야 한다.
그라인딩 머신 가동 명령 전달	제어기는 절단 주변 표면 결함 제거 신호 수신 후 0.1초 내로 그라인딩 머신 가동 명령을 그라인딩 머신으로 전달할 수 있어야 한다.
그라인딩기 가동	그라인딩 머신은 제어기로부터 가동 명령 수신 후 0.3초 내로 그라인딩기를 가동시킬 수 있어야 한다.
절단 주변 그라인딩	그라인딩 머신은 그라인딩기 가동 후 절단 주변 표면 결함을 99.99% 이상 제거할 수 있어야 한다.
<b>Syr.1.47</b> 절단 주변 반제품 정보 표시	내용량 연속 시스템은 절단된 주변의 반제품 정보를 99.9% 이상의 성공률로 표시할 수 있어야 한다.
반제품 정보 수신	제어기는 운전자로부터 반제품 정보를 99.99% 이상의 수신 성공률로 수신할 수 있어야 한다.
반제품 정보 전달	제어기는 운전자로부터 반제품 정보 수신 후 0.1초 내로 해당 반제품 정보를 제어 정보 머신으로 전달할 수 있어야 한다.
반제품 정보 유지	제어 정보 머신은 반제품 정보를 제어기로부터 수신 후 100% 정확도로 유지할 수 있어야 한다.
절단 주변 도착 감지	제어 정보 머신은 절단 주변의 도착 정보를 99.99% 이상의 정확도로 감지할 수 있어야 한다.
절단 주변 표면 반제품 정보 마감	제어 정보 머신은 절단 주변 도착 감지 후 0.5초 내로 반제품 정보를 절단 주변 표면 표시할 수 있어야 한다.

[Figure 13] Decomposition of System Requirements

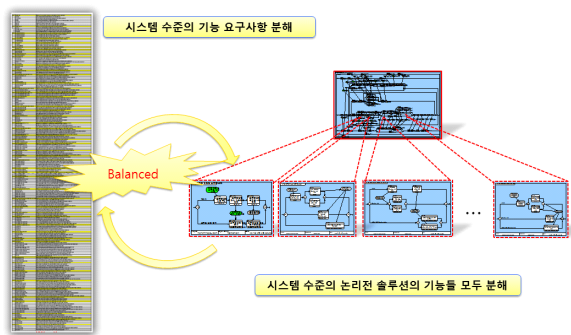
#### 4.11 논리적 솔루션 분석 및 분해

본 활동에서 기능 요구사항 분석 및 분해 활동과 마찬가지로 논리적 솔루션에서 도출된 기능들에 대한 분석 및 분해를 실시하였다. 상위 수준 논리적 솔루션의 기능들은 좀 더 하위 시스템 수준인 서브시스템 또는 컴포넌트들의 기능들 여러 개의 집합으로 분해가 될 수 있다. 이러한 분해된 기능들은 앞 절에서 설명한 시스템 수준의 기능 요구사항들에서 분해된 시스템 하위 수준의 요구사항들과 추적성을 확보해야 한다. 그림 14는 분해된 논리적 솔루션의 예를 보여준다.



[Figure 14] Decomposition of Logical Solution (CORE 8.0)

#### 4.12 분해된 요구사항과 분해된 논리적 솔루션과의 추적성 확인

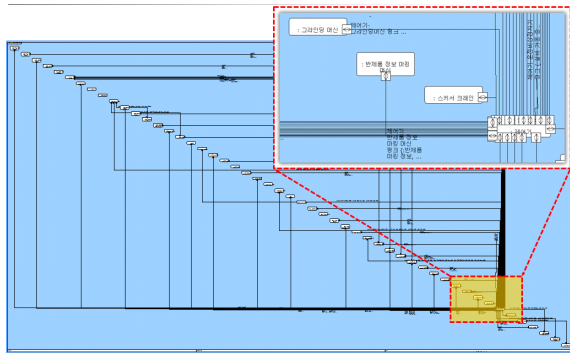


[Figure 15] Traceability between Decomposed Requirements and Decomposed Logical Solution (CORE 8.0)

본 활동에서 시스템 수준의 기능 요구사항을 분해한 결과와 논리적 솔루션의 분해된 기능들과의

추적성을 확인하였다. 추적성 확인을 통하여, 분해된 기능 요구사항들과 또는 분해된 기능들과의 누락이 발생되었을 경우 이를 수정하여 보완하였다. 그림 15는 분해된 요구사항들과 분해된 논리적 솔루션들의 기능들과의 추적성이 확보되었다는 것을 보여주고 있다. 이러한 추적성 확인을 통하여 상기 분해된 시스템 하위 수준의 요구사항 개수인 224개가 287개로 증가하여 추적성이 확보되었음을 확인하였다.

#### 4.13 내부 인터페이스 정의



[Figure 16] Internal Interfaces (CORE 8.0)

본 활동에서 시스템을 구성하는 각 서브시스템들 또는 컴포넌트들 간에 전달되는 인터페이스 항목들과 이러한 인터페이스 항목들이 전달되기 위한 물리적 링크들을 정의하였다. 내부 인터페이스 정의는 IBD (Interface Block Diagram)을 이용하여 작성하였으며, 논리적 솔루션을 통해 식별된 기능들 간의 정보 및 신호 흐름을 이용하여 인터페이스 항목들을 식별하였다. 그리고 도메인 전문가들에 의해, 인터페이스 항목들을 위한 물리적 링크를 정의하였으며, 각각의 물리적 링크에 인터페이스 항목들을 할당하였다. 그림 16은 내부 인터페이스를 도식화하여 보여준다.

#### 4.14 물리적 솔루션 대안 분석

본 활동에서는 분해된 기능 요구사항들과 분해된 논리적 솔루션을 기반으로 물리적 솔루션의 초안을 수정 보완하였으며, 이러한 수정 보완된 물리적 솔루션

에 대한 대안 분석을 실시하였다. 대안 분석이란, 물리적 솔루션을 구성하는 각각의 물리적 컴포넌트들의 구현 가능한 대안 중 가장 만족스러운 대안을 선정하는 것으로 수행 방법에는 대안 선정, 평가 항목 선정, 각 평가 기준 가중치 선정, 각 평가 기준별 점수 부여, 그리고 점수에 따른 최적 대안 선정이 있을 수 있다. 수행 방법에는 Morphology Box, 계층 분석 기법 (AHP) 등이 있으며, 본 활동에서는 상기 두 가지 수행 방법을 이용하여 대안 분석을 실시하였다. 그림 17은 대안 분석 수행을 나타내고 있다.

컴포넌트	대안		
레일 용강 수송 지지기	지지 하중 (톤)	200톤	300톤
	폭(mm)	1000	2000
레일 용강 온도 측정기	측정기	열화상 카메라식	써모커플 방식
	길이(mm)	300	400
레일 버블링 퍼니셔	길이(mm)	1000	2000
레일 캐스팅 크레인	무게(톤)	200톤	300톤
	높이 (cm)	1200	1400
전로 용강 대기 그라운드	면적 (㎡)	9	16
더미바	두께(mm)	150	200
	길이(mm)	8000	10000
더미바 피딩 카	Traveling Speed (mpm)	Max.15	Max.10
레일	부피 (cm3)	Φ4300*H5700	Φ5000*H4100
	용량 (ton)	295	285
레일 커버	넓이 (m2)	0.2	0.8
	무게 (Ton)	1	2
레일 리프팅 장치	지지 하중 (톤)		330
레일 슬래그 집출기	측정기	자기장 방식	조음피 방식
레일 슬라이딩 게이트	Type	2 plate	3 plate
레일 슈라우드 노즐	내경(mm)	20	50
레일 슈라우드 가스 퍼지기	퍼지 압력 (bar)	1	2
레일 무게 측정기	측정 가능(Ton)	250	300
레일 더렛	Type	Butterfly(Lift)	Butterfly(No Lift)

[Figure 17] Analysis of Physical Solution Alternatives

## 5. 결론

본 논문에서는 글로벌 철강 산업의 위기를 극복하기 위해, 새로운 철강 제품을 생산하여 시장 경쟁 체제에서 우위를 선점하기 위한, 철강 공정 플랜트 시스템의 자력 엔지니어링 능력 확보가 중요함을 알아보았다. 또한, 이러한 자력 엔지니어링 능력 향상을 위해, 철강 공정 플랜트 시스템 분야에 시스템 엔지니어링 접근 방법이 성공적으로 적용될 수 있음을 사례 연구 결과를 통해 보여주었다.

보다 구체적으로는, ISO/IEC 15288 기반 하에 대상 시스템인 연속 주조 시스템을 위한 시스템 엔지니어링 기술 프로세스 활동들을 제안하고, 설계 중점 활동들을 통해 사례 연구를 수행하였다. 즉, 대상 시스템에 대한 이해관계자 요구사항을 추출하

고, 이를 시스템 설계에 반영하여, 논리적 솔루션과 물리적 솔루션을 도출하였으며, 이러한 이해관계자 요구사항을 시스템 설계 측면에 반영하여 고객이 원하는 최적의 철강 플랜트 시스템 설계 시, 어떻게 시스템 엔지니어링 접근 방법이 접목될 수 있는지를 보여주었다.

또한, 연속 주조 시스템을 대상 시스템으로 선정함에 있어서, 해당 시스템 설계 분야의 해외 선진 엔지니어링 사의 기술 중속을 탈피할 수 있는 계기를 마련하였다. 이는 글로벌 철강 시장에서 요구되는 철강 플랜트 시스템 분야의 자력 엔지니어링 능력 확보에 대한 해결책을 대상 시스템 사례 연구 결과를 통해 다시 한 번 보여준 것이다. 결국 철강 공정의 다른 플랜트 시스템들의 자력 엔지니어링 분야에서도 시스템 엔지니어링 접근 방법이 성공적으로 적용될 수 있는 가능성을 보여주는 것이다.

향후 우리는 이러한 사례 연구 결과의 현장 적용성을 증대시키기 위해, 산출물에 대한 검증 및 확인 활동을 지속적으로 수행할 것이며, 또한, 철강 플랜트 시스템 영역에 종사하는 경험이 있는 전문가와의 협업을 통해, 철강 산업의 자력 엔지니어링 향상을 위해, 시스템 엔지니어링 접근법을 더욱 확대 적용할 계획이다.

## 사사

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

## References

1. 이민근, 2012년 세계 철강 산업 회고와 2013년 전망, POSRI 보고서, POSCO 경영연구소, 2013.

2. 박현성, 철강 산업에 있어서, 제품 고부가가치화 전략 동조화에 관한 연구: 아시아 대형 철강기업 사례 중심으로, POSRI 보고서, 제4권, 2호, POSCO 경영연구소, 2004.

3. 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.

4. C.H. Lee, D.G. Hong, S.C. Yoon, S.H. Suh, H.W. Sur, Systems Engineering-based Approach in Developing Concept Design of Carbon Capture System, Journal of the Korea Society of Systems Engineering, 9(2), 23-36, 2013.

5. S.Y. Kim, J.M. Cha, J.P. Kim, S.H. Suh, H.W. Sur, A Systems Engineering Approach to FEED Work Process Development for Refinery Plant, Journal of the Korea Society of Systems Engineering, 10(1), 1-15, 2014.

6. W.W. Ki, J.P. Kim, D.G. Hong, S.H. Suh, A Study on Application of Systems Engineering Technical Process to FEED in Plant construction Industry - focused on a case of Environmental Plant, Journal of the Korea Society of Systems Engineering, 9(2), 37-53, 2013.

7. ISO/IEC 15288:2008. Systems and Software engineering - Systems life cycle processes. 2008.

8. WIKIPEIDA, Continuous Casting, access time: Oct. 14, 04:40PM, 2013, [http://en.wikipedia.org/wiki/Continuous\\_casting](http://en.wikipedia.org/wiki/Continuous_casting).

9. 강기판, 신건, 이성진, 시험 연주기 고속 주조 설비 기술 개발, 한국소성가공학회, 철강 엔지니어링 심포지엄, 2011.

10. MIL-STD-499B, Systems Engineering, U. S. Department of Defense, 1994.

11. ISO/IEC 26702:2005, Systems engineering - Application and management of the systems engineering process, 2005.