

시스템엔지니어링 기법을 이용한 광물탄산화 시스템 FEED 프레임워크 개발 방안에 관한 연구

김진일[†] · 염충섭 · 윤문규 · 김준영

고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터

(2018년 1월 26일 접수, 2018년 2월 26일 수정, 2018년 2월 28일 채택)

Development of the FEED framework of the mineral carbonization pre-treatment system using systems engineering technique

Jinil Kim[†] · Choongsub Yeom · BoHyun Ryu · Munkyu Yoon · Joonyoung Kim

Institute for Advanced Engineering, Plant Engineering Center

(Received 26 January 2018, Revised 26 February 2018, Accepted 28 February 2018)

요 약

FEED(Front End Engineering Design) 프레임워크는 FEED 단계에서 수행할 활동과 산출물을 정의한 것이다. 그 동안 FEED에 대한 연구가 많이 수행되었으나 대부분 경험에 의존하여 연구마다 서로 조금씩 다른 내용을 주장하고 있는 상황이다. FEED가 무엇이고 어떻게 하는 것이 좋은지에 대한 절대적인 정의보다는 FEED를 해당 사업에 적합하게 정의하고 이에 필요한 활동과 산출물을 정의하는 것이 중요하다. 또한 FEED 프로세스도 경험보다는 국제시스템엔지니어링 프로세스 표준과 같은 확고한 기반위에서 개발하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 FEED를 광물탄산화시스템 개발 사업에 적합하게 정의하고, 이를 만족시키기 위한 프로세스와 산출물을 개발하기 위한 방안을 시스템 엔지니어링 표준 프로세스에 기반하여 제시하였다.

주요어 : FEED, FEED 프레임워크, 광물 탄산화, 기본설계, 시스템엔지니어링

Abstract - The FEED (Front End Engineering Design) framework defines the activities and outputs to be performed at the FEED stage. In the meantime, many studies on FEED have been carried out, but most of them have slightly different opinions depending on experiences. It is important to define the FEED appropriately for the project and define the activities and outputs that are needed. It is also necessary to develop FEED processes on a solid basis, such as international system engineering process standards rather than experience. In this study, FEED is defined as suitable for the mineral carbonation system development project, and a method for developing the process and output to satisfy it is proposed based on the system engineering standard process.

Key words : FEED, FEED Framework, Mineral Carbonization, Basic Design, Systems Engineering

1. 서 론

파리협정에 따른 신 기후체제의 출범에 따라 195개 협약 당사국은 이산화탄소 발생량 감축 계획을 수립하

였고, 우리나라도 2030년 BAU대비 37%를 감축하겠다는 계획을 발표하였다. 이에 따라 기술혁신을 기반으로 한 능동적 대응으로 국제사회와의 약속을 준수하고 이를 산업화로 연계시키기 위한 역량 확보가 필요하다. 광물탄산화시스템은 이러한 시대적 요구에 따라 발전소에서 발생하는 CO₂와 발전회등을 사용하여 탄

[†]To whom corresponding should be addressed.

Tel : +82-31-330-7401 E-mail : jikim@iae.re.kr

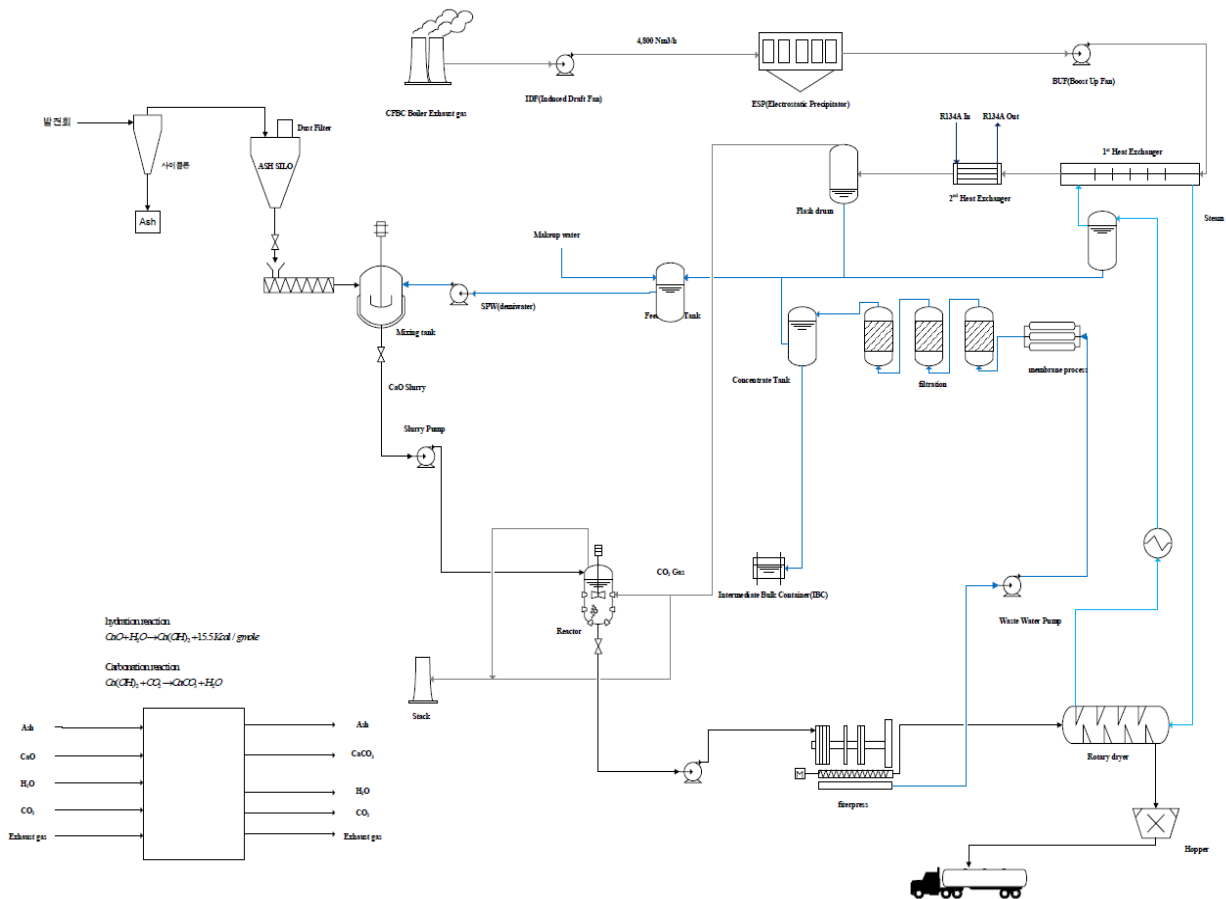


Fig. 1. Concept of Carbon Mineralization System

산칼슘을 생산하는 시스템이다.

광물탄산화시스템은 발전소에서 발생하는 연소 부산물인 발전회수에 포함되어 있는 CaO를 수화반응(hydration reaction)을 통해 수산화칼슘 수용액을 만들고, 이를 반응기로 이송한 후 이산화탄소를 흡수시켜 탄산화 공정을 진행한다. 탄산화 반응을 통해 재결정화된 탄산칼슘(CaCO₃)은 농축 및 건조 공정을 거쳐 분말 형태의 최종제품으로 출하된다. 현재 우리나라에서는 이러한 시스템에 대한 요소기술은 보유하고 있지만 상용급 플랜트를 개발하기 위한 연구가 진행되고 있다. 상용급 플랜트 개발을 위해서는 앞 단계의 FEED(Front End Engineering Design)이 매우 중요하며, 본 연구에서는 FEED 패키지를 개발하기 위한 방법에 대해서 제시하고자 한다.

2. 주요 개념에 대한 연구

2.1 FEED 프레임워크

FEED는 산업표준이나 국제표준에서 정의된 내용이 아니기 때문에 수행업무의 범위, 산출물에 대해 합의되거나 정의되지 않은 상황이다. 엔지니어링 산업의 업무 프로세스는 타당성 검토, 기본계획, 기본설계, 상세설계, 구매조달, 검사, 감리, 시운전, 유지보수 등의 업무가 있으며, 각 플랜트 산업분야별로 FEED의 범위는 다양하게 정의되고 있다.

Fig.2에서와 같이 플랜트의 종류 및 특성별로 FEED 개념이 상이하지만 공통적으로 상세설계 이전의 전방위 설계 활동으로써 설계 변경에 대한 비용이 상대적으로 낮은 시점이 사업초기 단계에 명확한 시스템 개념을 정립하고 기본설계를 포함하는 업무를 의미한다.[1]

FEED의 범위가 서로 다르므로 산출물도 서로 다르게 표현할 수 있으나 플랜트 사업에 있어서 앞 단계의 일반적인 산출물은 Table 1과 같이 개략적으로 정의할

Table 1. Engineering activities and outputs of early stage[2]

단계	주요 활동	주요 산출물
FEED 기획	프로젝트 목적 수립, 타당성 검토, FEED 실행 계획 수립	타당성 검토 보고서 FEED 실행 계획서
사전 검토	프로젝트 요구사항 분석 기본 엔지니어링 데이터 설계	BEDD(Basic Engineering Design Data)
개념 설계	설계 기준을 수립하고 플랜트 공정에 대한 분석 수행	Design Basis, Heat and Material Balance, 공정 데이터 시트, 개략적 부지배치도, 프로젝트 일정계획, 예비 견적 등
기본설계	주기기 리스트 및 사양 확정 및 계통 설계	PFD(Process Flow Diagram), Equipment Specification, P&ID, 3D 모델, Plot Plan 등

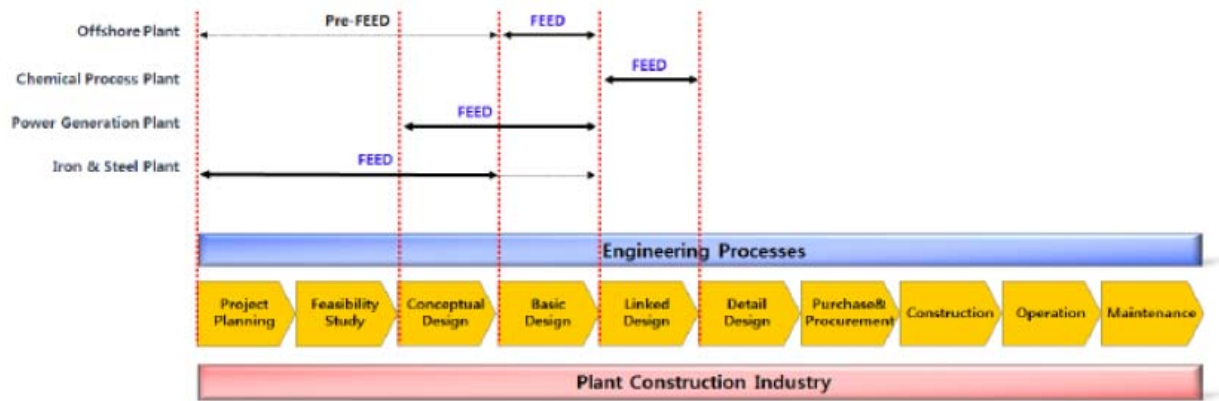


Fig. 2. Various Scopes of FEED in Plant Engineering Areas[1]

수 있다.[2]

FEED 프레임워크란 FEED 패키지에 포함될 산출물과 이러한 산출물을 개발하기 위한 프로세스로 정의할 수 있다. 이러한 FEED 프레임워크의 특성은 표준이 없다는 것이다. 따라서 일반적인 조직은 자체적인 FEED 프레임워크를 경험에 의존하여 정의하고 있고 서로 다른 프로세스와 산출물을 정의하고 있다. Fig.3은 현재 사용하고 있는 회사의 FEED package의 산출물들이 서로 다르게 정의되어 있는 사례를 보여준다. 또한 FEED 프레임워크나 프로세스에 대한 연구도 일반적인 접근보다는 적용 사례 연구를 통해 수행되고 있다.

2.2 시스템 엔지니어링

시스템 엔지니어링은 성공적인 시스템 개발을 위한 다학제적(multidisciplinary) 접근법이다. 시스템 엔지

니어링은 시스템 개발 초기 단계에서 고객의 니즈를 정의하고 요구되는 기능을 정의하여 이를 기반으로 시스템 설계, 검증 등을 수행하는 프로세스이다.

이러한 시스템엔지니어링은 1950년대 미국 국방표준으로부터 시작되어 현재는 국제표준인 ISO/IEC/IEEE 15288로 규정되어 있다. 이 표준은 시스템(소프트웨어 포함)의 전체 생명주기 동안 수행해야 할 업무를 Fig.4와 같이 정의하고 있다. Fig.4에서 시스템 생명주기 업무는 크게 협약 프로세스 그룹, 조직의 프로젝트 지원 프로세스 그룹, 기술관리 프로세스 그룹, 기술 프로세스 그룹과 같이 네 개의 그룹으로 구분되며, FEED 프레임워크와 관련된 부분은 기술프로세스 그룹에 있는 프로세스 중 박스로 표시된 부분이다.

FEED 프레임워크와 관련된 기술 프로세스들에 대한 설명은 Table 2와 같다.

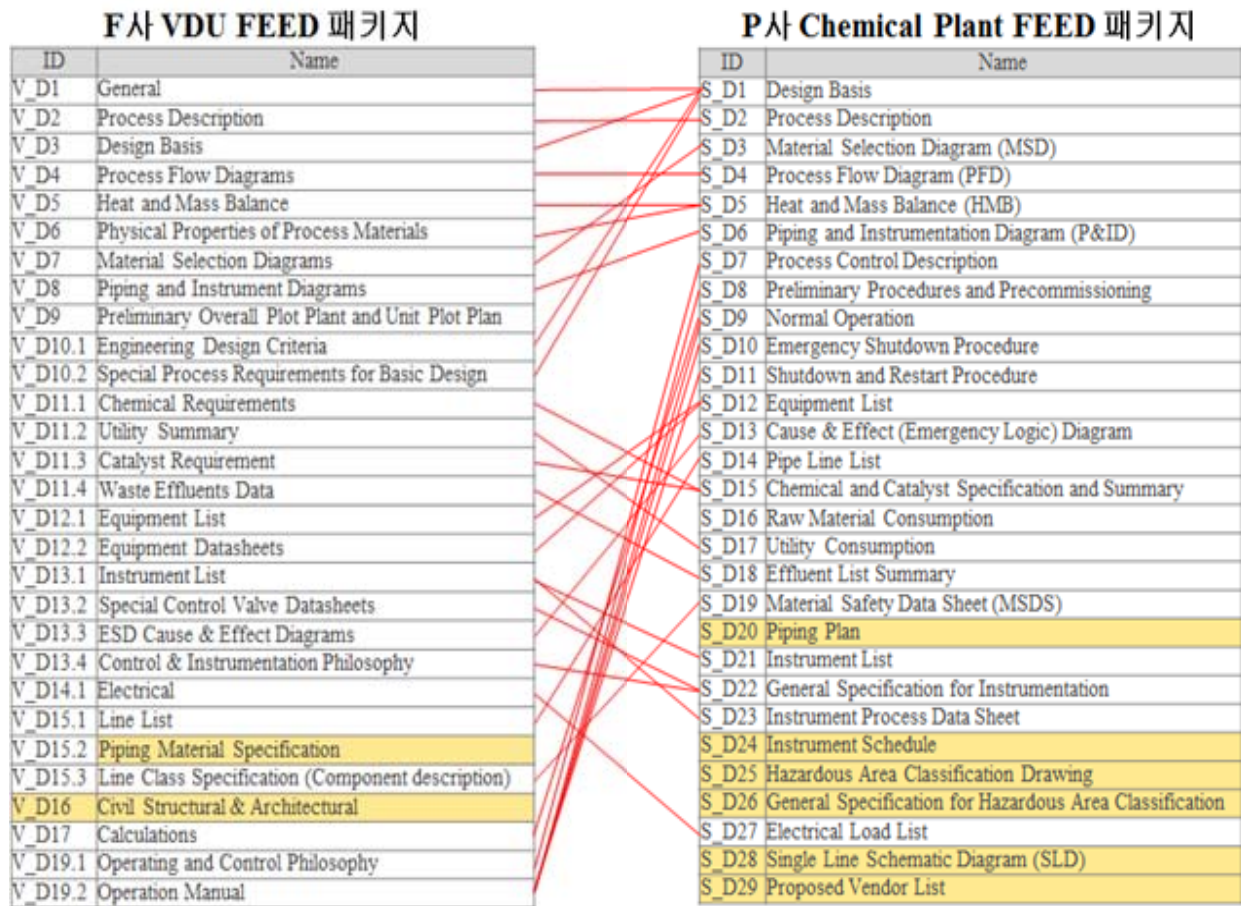


Fig. 3. Comparison of FEED Package

Table 2. Systems Engineering Process related to FEED framework

프로세스	프로세스 설명
사업 및 임무 분석 프로세스	비즈니스 또는 임무에 대한 문제 및 기회를 정의하고 이에 대한 해결 영역에 대한 특성을 정의하여, 문제를 해결하거나 기회를 활용할 수 있는 일단의 해결방안 집합을 결정
이해관계자 필요 및 요구사항 정의 프로세스	정의된 환경에서 사용자 및 기타 이해관계자들이 필요로 하는 능력을 제공할 수 있도록 시스템에 대한 이해관계자 요구사항을 정의
시스템 요구사항 정의 프로세스	이해관계자, 특히 사용자 관점에서 요구하는 능력을, 기술적 관점에서 사용자의 운용 필요를 충족시키는 해결방안으로 전환
아키텍처 정의 프로세스	시스템 아키텍처 대안을 생성하는 것과, 이해관계자의 관심을 포괄하며 시스템 요구사항을 충족하는 하나 이상의 대안을 선택하는 것과, 이를 일관된 산출물로 표현
설계 정의 프로세스	시스템 아키텍처의 모델 및 조망도(views)에 정의한 대로 아키텍처 개체를 일관성 있게 구현할 수 있도록 시스템 및 그 구성요소에 대한 충분히 상세한 데이터 및 정보를 제공
시스템 해석 프로세스	생명주기 전반에 걸친 의사결정을 지원하기 위해, 시스템을 기술적으로 이해하는데 필요한 데이터 및 정보를 제공



Fig. 3. System lifecycle process[4]

이러한 시스템엔지니어링 프로세스는 모든 시스템에, 모든 프로젝트에 적용하도록 개발된 프로세스이다. 따라서 개발 대상 시스템의 특성, 프로젝트 수행 환경에 따라 조정(tailoring)하여 사용하도록 권고하고 있다.

3. FEED 프레임워크 개발 방안

3-1. 기존 FEED 프레임워크의 문제점

FEED에 대한 정의가 학계나 산업계에서 합의되지 않았으므로 FEED 프레임워크에 대한 표준도 없는 상황이다. 이러한 상황에서 FEED 프레임워크에 대한 합의나 표준 개발 또한 어려운 상황이다. 이에 따라 현재 FEED 수행을 위한 프로세스나 산출물은 이를 사용하는 조직의 경험에 의해 점진적으로 개발되어 왔다. 이렇게 경험에 의해 개발된 FEED 프레임워크의 문제점은 다음과 같다.

- FEED 프레임워크가 잘 개발되었는지 확인 (validation) 방안 부재
 FEED 프레임워크에는 수행할 업무와 순서, 산출물에 대한 정보가 담기게 된다. 그러나 경험에 의

해 개발된 FEED 프레임워크는 제대로 개발되었는지 확인할 기준이 없다. 단지 적용 사례를 통해 유효성이 확인되지는 하지만, FEED 프레임워크가 발전하고 진화하기 위한 기반이 없으므로 발전의 한계에 봉착할 수밖에 없다.

- FEED 프레임워크를 정적으로 정의
 FEED 프레임워크에 담기게 되는 프로세스와 산출물은 항상 같을 수는 없다. 이는 개발 대상 시스템의 특성, 프로젝트의 주변 상황, 발주처의 요구사항 등에 따라 프로세스와 산출물이 달라지기 때문이다. 따라서 FEED 프레임워크는 대상 시스템 또는 상황에 따라 조정하여 사용할 수 있어야 한다.

4차산업혁명 시대를 맞이하여 플랜트 분야에서 새로운 기술들이 적용되고 있다. 이러한 기술에는 IoT, 인공지능, 빅데이터, 클라우드 컴퓨팅 등이 있으며, 이러한 기술의 적용에 따라 스마트 팩토리, digital twin 등 기존의 플랜트 산업에는 없던 개념들이 적용되고 있다.

Figure 4처럼 전통적인 공정 해석 기반의 플랜트 설계 프로세스는 이러한 4차산업혁명 관련 기술이나 운용 개념을 적용하기에는 한계에 봉착하게 된다. 따라서 새로운 운용 개념과 신기술을 적용하면서도 기존의 설계 경험을 살리기 위한 새로운 FEED 프레임워크 개발 프로세스가 필요하다.

3-2. 시스템 엔지니어링 접근법을 이용한 FEED 프레임워크 개발 프로세스

잘 개발된 FEED 프레임워크의 속성은 다음과 같이 정의할 수 있다.

- 수행해야 할 업무를 빠짐없이 정의할 것
- 수행해야 할 업무의 순서를 논리적으로 정의할 것
- FEED 산출물에 이를 사용하고자 하는 고객(개발 프로세스에서 다음 단계의 엔지니어)이 요구하는 내용이 포함될 것

이러한 FEED 프레임워크의 속성을 만족시키기 위한 FEED 프레임워크 개발 프로세스는 Fig. 5와 같이 제안할 수 있다.

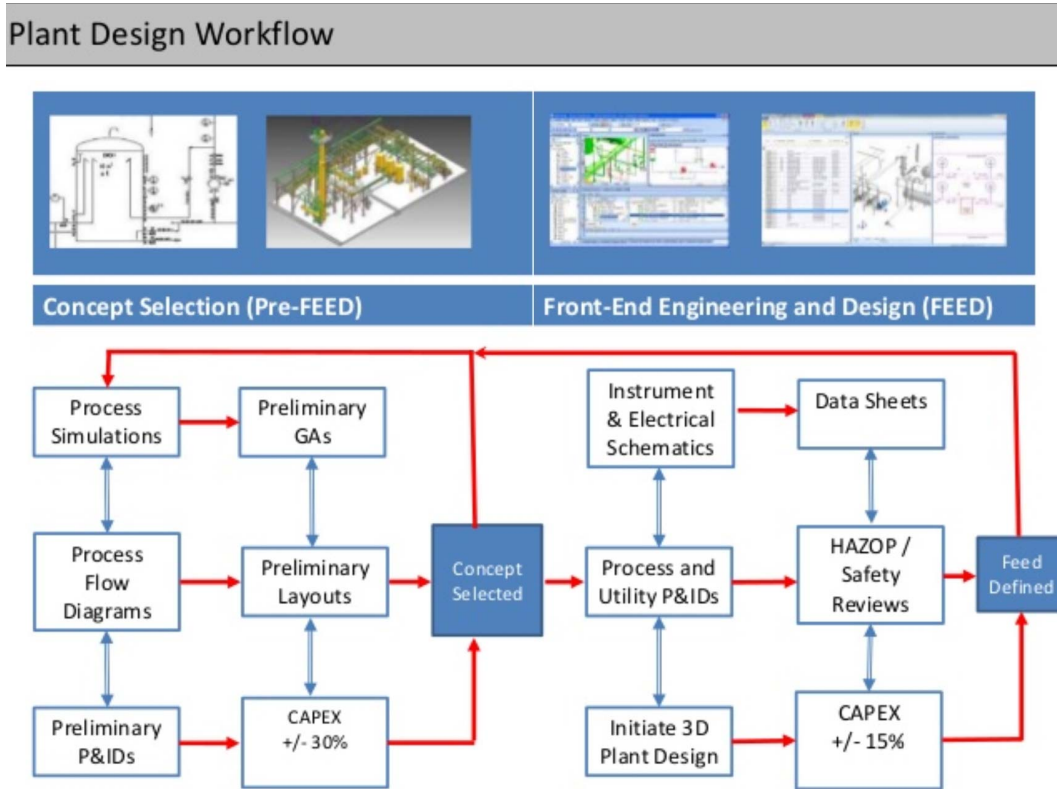


Fig. 4. Traditional FEED process example

(source : <https://www.slideshare.net/GregPajakPTechEngISA/process-plant-design-fundamentals>)

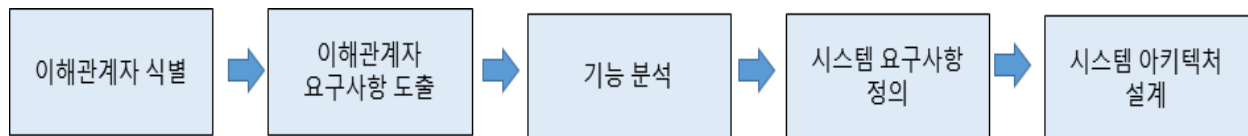


Fig. 5. FEED framework development process

각 프로세스별 세부 내용은 다음과 같다.

• 이해관계자 식별

플랜트 프로젝트에 있어서 일반적인 이해관계자는 사업관리자, 공정설계자, 주요 기기 납품자, 건설자, 실험 엔지니어, 외부시스템 개발자 등이 있을 수 있다.

이 단계에서는 광물탄산화시스템 개발과 관련된 이해관계자를 식별한다. 광물탄산화 시스템은 정부지원 사업을 진행되므로 FEED 프레임워크에 대한 이해관계자는 사업단장, 각 세부과제 책임자, 주요 장치별 담당 엔지니어, 공정설계자, 건설사, 운전담당자 등을 들 수 있다.

• 이해관계자 요구사항 도출

FEED 프레임워크를 잘 개발하기 위해서는 이해관계자들이 FEED 프레임워크에 대해 무엇을 필요로 하는지 명확히 정의할 필요가 있다. 이를 위해 이해관계자 요구사항 도출이 필요하다. 이해관계자들의 요구사항은 산출물에 대한 요구사항, FEED 프로세스에 대한 요구사항 등이 있을 수 있다. 일반적으로 이해관계자들은 요구사항을 명확히 제시하지 못하는 경우가 많다. 이는 FEED 프레임워크에 대한 이해가 부족하거나, 자신이 무엇을 원하는지 잘 모르거나, 잘 표현하지 못하는 경우 등 여러 가지 이유에 기인한다. 이를 위하여 이해관계자 요구사항의 원활한 도출을 위해서는 예비 FEED 프레임워크가 필수적이다. 이러한 예비

Table 3. Systems Engineering Process Activities related to FEED framework

프로세스	세부 업무
사업 및 임무 분석 프로세스	사업 또는 임무 분석 준비 문제 또는 기회 공간 정의 해결공간의 특성 정의 여러 해결 방안 평가 사업 또는 임무 분석 관리
이해관계자 필요 및 요구사항 정의 프로세스	이해관계자 필요 및 요구사항 정의 준비 이해관계자 필요 정의 운용 개념과 기타 생애주기 개념 개발 이해관계자 필요를 이해관계자 요구사항으로 변환 이해관계자 요구사항 분석 이해관계자 필요 및 요구사항 정의 관리
시스템 요구사항 정의 프로세스	시스템 요구사항 정의 준비 시스템 요구사항 정의 전략 준비 시스템 요구사항 분석 시스템 요구사항 관리
아키텍처 정의 프로세스	아키텍처 정의 준비 아키텍처 관점 개발 후보 아키텍처에 대한 모델과 조망도 개발 아키텍처를 설계에 연결 아키텍처 대안 평가 설계한 아키텍처 관리
설계 정의 프로세스	설계 정의 준비 각 시스템 구성요소별로 관련된 설계 특성 및 설계 지원 도구 수립 시스템 구성요소의 확보 대안 평가 설계 관리
시스템 분석 프로세스	시스템 분석 프로세스 정의 시스템 분석 수행 시스템 분석 관리

FEED 프레임워크에는 개발할 산출물, 업무 프로세스에 대한 초안 등이 포함되어야 한다.

이러한 업무 프로세스 초안에 포함되어야 할 내용은 크게 두 가지로 볼 수 있다. 하나는 전통적인 FEED 프로세스의 내용과 시스템 엔지니어링 프로세스에서 제시하는 업무 프로세스이다. FEED 프로세스의 주요 업무에 대해서는 Table 1에서 제시하였다. 시스템 엔지니어링에서 제시하는 프로세스의 세부 업무는 다음과 같다.[4]

Table 3에 제시된 업무들은 시스템엔지니어링 표준에서 제시하는 업무로서 플랜트 엔지니어링 분야에서는 익숙하지 않은 업무들도 있다. 이를 위하여 Table

3에 제시된 업무들을 이용하여 이해관계자 요구사항을 도출할 때에는 플랜트엔지니어링 분야에서 사용하는 언어로 변환하여 사용할 필요가 있다.

또한 FEED를 통해 개발될 산출물에 대해서도 미리 준비하여 이해관계자와 논의하는 것이 좋다. FEED의 산출물의 사례에 대해서는 Fig 3에 제시하였다. 산출물의 리스트도 중요하지만 각 이해관계자들이 각 산출물에 어떤 내용이 담기기를 원하는지도 논의해야 한다.

- 기능 분석

기능분석은 도출된 요구사항을 만족시키기위해 수

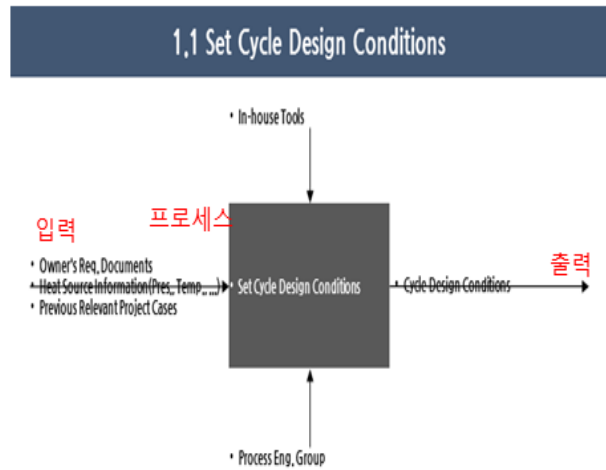
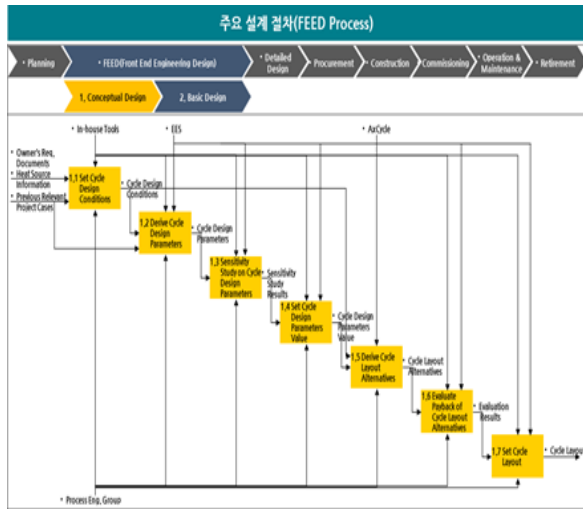


Fig. 6. Example of IDEF0

행해야 할 업무들의 순서를 정의하는 것이다. 이러한 업무는 주로 다이어그램을 이용하여 수행하게 된다. 특히 IDEF0는 업무 프로세스를 정의하는데 많이 사용된다. IDEF0를 이용하여 FEED에서 수행해야 할 업무, 각 업무에 필요한 입력 및 출력을 정의할 수 있다. Fig 6은 FEED 프레임워크에서 수행해야 할 업무와 입출력을 IDEF0를 이용하여 표현한 사례이다.

• 시스템 요구사항 정의

여기에서 시스템은 FEED 프레임워크를 말한다. FEED 프레임워크가 만족해야 할 요구사항을 정의한 것을 시스템 요구사항 정의라고 한다. 여기에는 수행해야 할 업무, 각 업무에서 생산해야 하는 결과물 등이 포함되게 된다. 이해관계자의 요구사항과, 기능분석을 통해 정의된 업무를 수행하기 위해 필요한 기능들이 체계적으로 정리된다.

• 시스템 아키텍처 설계

시스템 아키텍처는 FEED 프레임워크에서 생산해야 할 산출물의 종류와 각 산출물에 포함되어야 할 내용을 말한다. 정의된 시스템 요구사항을 기반으로 각 FEED 업무에서 생산되는 결과물들을 각 산출물의 속성으로 할당하여 아키텍처를 작성한다.

5. 결론

FEED 프레임워크는 플랜트의 FEED 단계에서 수행해야 할 업무와 산출물을 말한다. 경험에 의존하여 개

발되어온 FEED 프레임워크는 정적일뿐만 아니라 잘 개발되었는지 확인하기 위한 방안이 없다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 광물탄산화시스템의 FEED 프레임워크를 개발하기 위한 프로세스를 제시하였다. 이 FEED 프레임워크에서는 관련된 이해관계자의 요구사항을 체계적으로 도출하고, 수행해야 할 업무를 기능분석을 통해 논리적으로 정의하여 최종적으로 각 산출물의 종류와 내용을 정의하게 된다. 이러한 접근법을 통해 FEED 프레임워크를 개발하게 되면 각 업무와 산출물의 필요성에 대한 근거가 확보되어 개발된 FEED 프레임워크를 잘 개발하였는지 확인이 가능하고, 각 프로젝트에서 변경되는 요구사항에 따라 FEED 프레임워크를 조정하여 사용할 수 있게 된다. 현 단계에서는 접근법만을 제시하였으나 향후 연구를 통해 실제 프레임워크를 개발하여 효과성 입증에 필요하다.

Acknowledgement

본 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부, 환경부, 산업통상자원부)의 재원으로 한국연구재단-탄소자원화 국가전략프로젝트 사업의 지원을 받아 수행함 (No 2017086039)

References

1. Hee Chul Byun, 2014, Systems Engineering Based FEED Process Development for Environmental Plants, Mastership Thesis, POSTEC.

2. Kim, Namjoon. et al., 2015, Assessment of FEED Structure and Functions for Project Management of Thermal Power Plant Construction. KJCEM 165.5, 065-076.
3. <https://www.incose.org/AboutSE/WhatIsSE>
4. ISO/IEC/IEEE 15288, 2015, “System and software engineering-System life cycle process”