

# 국내 원전 엔지니어링운영모델 활용성 향상을 위한 시스템 개발

이상대\* · 김정운\* · 김문수\*†

## Development of Electronic Management System for improving the utilization of Engineering Model in Domestic Nuclear Power Plant

Sang-Dae Lee\* · Jung-Wun Kim\* · Mun-Soo Kim\*†

### †Corresponding Author

Mun-Soo Kim

Tel : +82-42-870-5216

E-mail : kimmunsoo@khnp.co.kr

Received : July 29, 2021

Revised : September 7, 2021

Accepted : September 16, 2021

**Abstract** : A standard engineering model that reflects the current organization system and engineering operation process of domestic nuclear power plants was developed based on the Standard Nuclear Performance Model developed by the American Nuclear Energy Association. The level 0 screen, which is the main screen of the engineering model computer system, consisted of an object tree structure, which provided information that is phased down from a higher structure level to a lower structure level (i.e., level 3). The level 1 screen provided information related to the sub-process of the engineering operation, whereas the Level 2 screen provided information related to each engineering operation activity. In addition, the Level 2 screen provided additional functions, such as linking electronic procedures/guidelines, providing electronic performance forms, and connecting legacy computer systems (such as total equipment reliability monitoring system, configuration management systems, technical information systems, risk monitoring systems, regulatory information, and electronic drawing system). This screen level increased the convenience of user's engineering tasks by implementing them. The computerization of an engineering model that connects the entire engineering tasks of an establishment enables the easy understanding of information related to the engineering process before and after the operation, and builds a foundation for the enhancement of the work efficiency and employee capacity. In addition, KHNP developed an online training module, which operates as an e-learning process, on the overview and utilization of a standard engineering model to expand the understanding of standard engineering models by plant employees and to secure competitiveness.

**Key Words** : engineering model management system, plant engineering process, engineering supporting system, nuclear performance model

Copyright©2021 by The Korean Society of Safety All right reserved.

## 1. 서론

해외 선진 원자력발전소는 체계적인 운영프로세스가 적용된 표준원전운영모델을 통해 발전소를 관리, 운영하여 환경변화에 적절히 대응하고 우수한 성능을 지속유지해 왔다. 해외 표준원전운영모델은 원전 산업계의 태스크포스팀에 의해 개발되었으며, 원전 산업계에서 최고의 성과를 내고 있는 발전소의 운영 프로세스를 분석하여 최상의 수준을 달성할 수 있는 프로세

스 구축, 성과 측정 방법, 투입 비용 산출 기준을 제공하고 있다. 해외 원전은 이러한 표준원전운영모델을 활용하여 해당 발전소의 원전운영모델을 개발하여 해당 원전 운영의 체계를 수립하고 있다.

국내원전은 이 중 우수한 엔지니어링 프로세스를 개별적으로 운영 중이나 통합적으로 관리하기 개별 프로세스를 유기적으로 연계한 엔지니어링운영모델의 운영 필요성이 대두되었다. 국내 원전은 엔지니어링운영 모델 개발 초기 단계에 미국 원자력에너지협회(NEI)

주관으로 개발한 표준원전운영모델(SNPM : Standard Nuclear Performance Model)을 기반으로 국내 원전운영 모델 개발을 시도하였으나, 국내 조직/프로세스 체계가 해외 모델과 차이가 크게 발생하여 개발에 어려움을 겪었다. 이러한 문제점을 보완하기 위해, 해외 원전운영모델을 참조하여 국내 발전소 조직, 운영 프로세스 간 차이를 분석하고 발전소 현장 직원들의 검토를 거쳐 실질적으로 국내 발전소에서 활용할 수 있는 엔지니어링운영모델을 개발하였다. 특히, 해외 표준원전운영모델은 프로세스, 성과측정, 비용관리 분야로 구성되어 있는데, 국내원전 엔지니어링모델은 경영분야를 제외하고 프로세스 및 성과측정 분야에 초점을 두었다. 국내 원전 엔지니어링운영모델 개발을 통해 다양한 엔지니어링 프로세스간 연계 관계를 체계적으로 파악할 수 있었으며, 도출된 엔지니어링 프로세스의 취약점을 보완하였고 프로세스간 연계를 강화하였다.

하지만 발전소 직원들은 이러한 엔지니어링운영모델의 활용성을 높이기 위해 모델을 기반으로 각종 엔지니어링 업무 절차와 관련 시스템을 동시에 접근할 수 있는 엔지니어링운영모델 전산 시스템의 필요성을 제기하였다.

본 논문에서는 4차산업을 기반으로 급변하는 원전 산업계의 환경변화에 적절히 대응하고 우수한 국내 발전소 성능을 유지하는데 기여 하고자, 엔지니어링모델 전산화를 통해 문서화된 엔지니어링모델이 실질적으로 발전소에서 실시간으로 업무에 활용할 수 있는 유기적인 시스템으로 전환되어 현장 업무가 절차서에 명시된 대로 프로세스 흐름에 따라 체계적이고 시스템적으로 이행 될 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 국내외 엔지니어링운영모델 적용 사례

### 2.1 해외 사례

1998년 미국 원자력에너지협회(NEI)와 전력사업자 원가그룹(EUCG), 미국원자력발전협회(INPO)가 공동으로 표준원전운영모델(SNPM)을 개발하고 발전소에 적

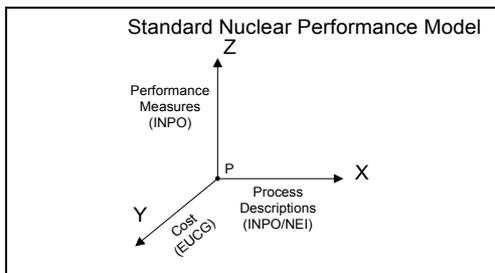


Fig. 1. 3D Model concept of NEI SNPM.

용하여 운영 중에 있다. 이 모델은 발전소 성능 및 원가를 분석하기 위하여 Fig. 1과 같이 프로세스, 성능지표, 원가로 구성되는 3차원 모델을 제시하고 있는데 프로세스와 성능지표는 INPO와 NEI에서, 원가 부분은 EUCG 주도로 개발되었다.

표준원전운영모델(SNPM) 개발은 1992년 미국 전력 산업 규제완화로 여분의 전력을 다른 주에 판매하는 것이 가능해지면서 발전소마다 성능향상을 통한 경쟁력을 확보하기 위한 것이었다. 해외 발전회사들은 표준원전운영모델을 기반으로 회사 고유의 운영모델을 개발하여 발전소를 관리함으로써 규제 및 사업 환경변화에 대응하는 등 개별적인 엔지니어링 프로세스를 구축하여 발전소를 운영하고 있다.

경수로 ALWR(Advanced Light Water Reactor)에 최적화하여 개발한 SNPM 모델의 상위수준 프로세스 구성 및 프로세스간 연계관계는 Fig. 2와 같이 정의하였다<sup>1)</sup>.

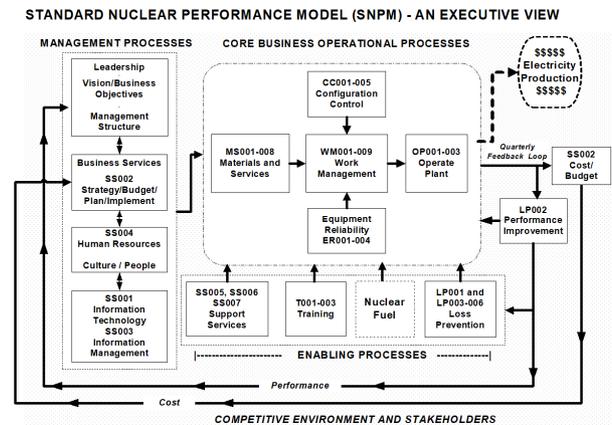


Fig. 2. SNPM Model process diagram.

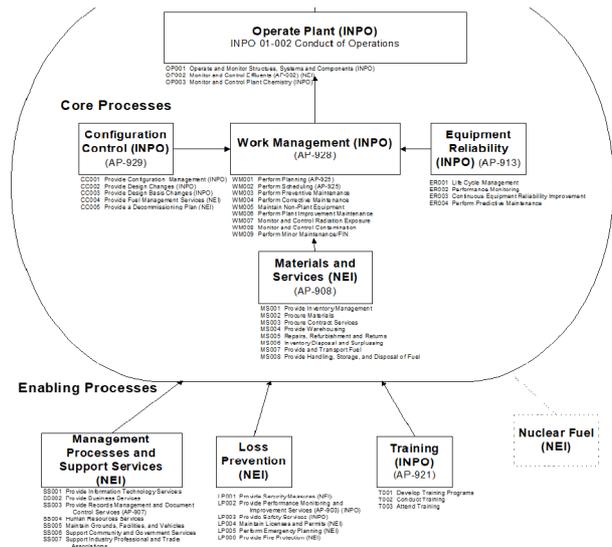


Fig. 3. Process details diagram of NEI SNPM.

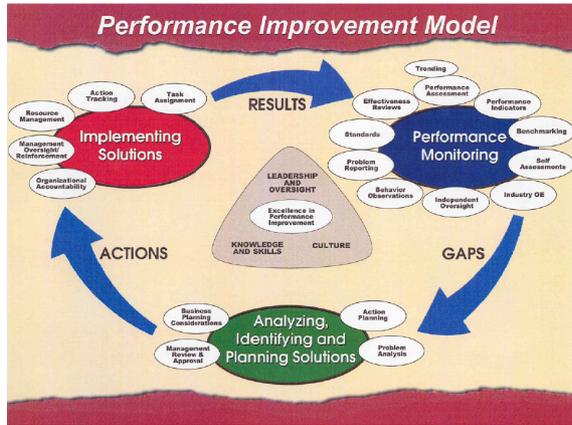


Fig. 4. INPO 05-005 Performance improvement model.

표준원전운영모델(SNPM) Level0와 Level2를 연계한 상세 프로세스 구성은 Fig. 3과 같으며, 작업관리 등 9개의 상위 프로세스와 작업계획 수립 등 45개의 하부 프로세스로 구성되어 있다.

INPO가 2005년 개발한 원자력발전소 성능향상모델(INPO 05-005)은 발전소의 운영상 문제점을 도출하고, 지속적인 개선을 통해 우수한 성능을 유지하기 위한 관리모델이다. 이 모델은 Fig. 4에 제시된 바와 같이 “성능감시 → 분석, 해결책 도출 및 이행계획수립 → 개선조치실행”의 3단계로 구성되어 있다<sup>2)</sup>.

해외 기관의 표준원전운영모델(SNPM) 혹은 성능향상모델은 보고서 문서 형태로 작성되어 있으며, 전산화하여 시스템으로 구축된 사례는 없는 것으로 파악된다.

### 2.2 국내 사례

국내 원전은 발전소 직원 업무 능력향상 및 해외원전 수출을 대비하여 체계적으로 엔지니어링 업무에 대한 프로세스 체계를 구축하기 위해, 해외 작성 사례 및 가이드라인을 참조하여 Fig. 5와 같은 국내 원전에 적용가능한 엔지니어링운영모델을 개발하였다<sup>3)</sup>.

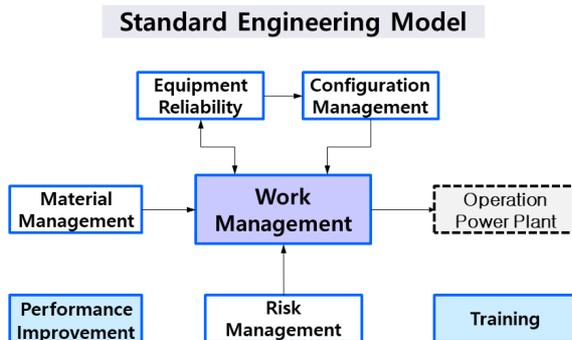


Fig. 5. KHNP Standard engineering model process diagram.

Table 1. Structure of domestic engineering model

Level 0 Main process	Level 1 Sub-process	Level 2 Activity		Level 3 Procedure
Equipment Reliability Process (Example)	ER-01	ER-01-AAA	AAA Management	AAA-1 AAA-2
		ER-01-BBB	BBB Determination	BBB-1 BBB-2
	ER-02	ER-01-CCC	CCC Management	CCC-1
		ER-02-DDD	DDD Determination	DDD-1 DDD-2

Process Name	No.	ER-01-ABC
1] Goal & Definition	○	
2] Process Owner	○	
3] key Functions	-	
4] Relations to Other Processes	○	Input Process : Output Process :
5] Performance Indicators	○	ABC-01 : - Goal : - Description :
6] Procedures	○	
7] Cross References	○	
8] Key Factors for Success Development & Implementation	○	
9] Process flowchart		

Fig. 6. Basic level structure of engineering model system.

국내에서 개발한 엔지니어링운영모델의 세부 구조는 Table 1과 같이 레벨0~3로 구성되어 있다.

발전소 엔지니어는 엔지니어링운영모델에 포함된 Fig. 6과 같은 프로세스 기술서를 활용하여 해당 업무 프로세스 및 업무 전·후 프로세스에 대한 필수 정보를 파악하고 있다.

## 3. 엔지니어링운영모델 전산시스템 개발

### 3.1 엔지니어링운영모델 전산시스템 개요

국내원전은 최근 발전소 건설 및 해외원전 수출에 의한 신규일자리 창출로 신입직원의 비율이 매우 높아 내부직원의 업무역량을 보완하거나 지원 가능한 엔지니어링 시스템이 필요한 상황이었다.

엔지니어링운영모델은 보고서로 작성되어 발전소 직원들이 원하는 프로세스 정보를 적시에 활용하는데 한계가 존재하였으며, 이러한 직원들의 불편 해소 및

요구사항을 반영하여 엔지니어링운영모델의 전산화 필요성이 대두되었다.

이에 따라, 직원들의 업무 활용성을 향상시키기 위해 엔지니어링운영모델 보고서를 기반으로 기존 엔지니어링 관련 레거시 시스템, 업무절차서, 업무양식, 업무자료 통합검색 기능 등을 추가한 엔지니어링운영모델 전산시스템을 개발하였다.

### 3.2 엔지니어링운영모델 전산시스템 개발 절차

엔지니어링운영모델 전산화를 위해 Fig. 7과 같은 절차에 따라 우선 문화된 엔지니어링모델 레벨 0,1,2,3에 대한 업무 프로그램/프로세스/절차서 분석, 기존 업무 레거시 시스템 파악하여 업무와 관련된 모든 레거시 시스템을 도출하였고 업무 절차와 연계 가능성을 분석 하였으며, 이러한 결과물을 바탕으로 엔지니어링모델 전산화 작업을 수행하였다.

엔지니어링운영모델 전산화 추진과정에서 파악된 프로세스별 입출력 연계요류, 신규 도출된 업무 작업양식 및 이용가능한 전산시스템 목록은 기존 문서화된 엔지니어링운영모델에 수정 반영 및 승인되어 관리되게 하였다<sup>4)</sup>.

시스템 구성 요건은 Fig. 8과 같이 엔지니어링모델의 레벨별 업무 프로그램, 프로세스, 절차서의 절차 분석 결과에 기존 레거시 전산시스템(엔지니어링종합운영시스템, 형상관리 시스템, 기술정보시스템, 리스크감시시스템, 규제정보, 드림스 시스템 및 전자도면 등) 등을 연결하는 것으로 체계 수립하였다.

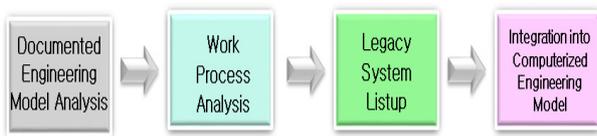


Fig. 7. Basic level structure of engineering model system.

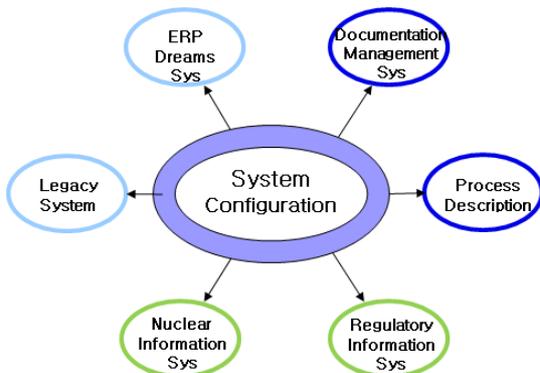


Fig. 8. System development needs of engineering model.

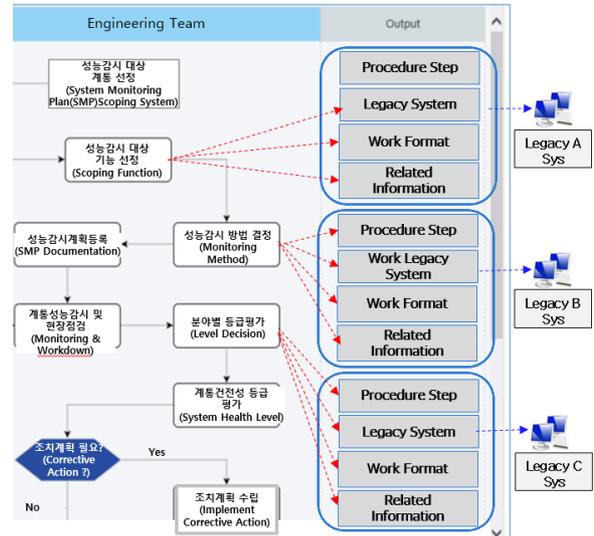


Fig. 9. Process step link with procedure and legacy system.

이 시스템의 특징은 엔지니어링운영모델 시스템과 기존 시스템에 산재되어 있는 각종 업무 레거시 시스템을 연결하여 사용자가 해당 업무 절차를 선택할 경우, 업무 절차, 해당 업무 레거시 시스템, 업무 수행양식, 관련 규제 요건 등에 대한 정보를 제공하며, 각 항목을 선택할 경우 해당 정보로 이동이 가능하다는 것이다. Fig. 9와 같이 사용자는 업무 수행 중 다양한 레거시 시스템에 접근하기 위해 별도 화면 이동없이 이 시스템에서 해당 시스템을 선택하여 업무를 수행이 가능하다.

Fig. 10과 같이 엔지니어링운영모델 전산시스템의 메인화면에 해당하는 레벨0 화면은 오브젝트 수목구조(화면에서 다음 단계로 가기 위한 연결점으로 주로 사각형이나 원형의 형태를 가진 도형을 이용하는 것)로 구성되어 있으며, 이는 엔지니어링운영모델의 구성이상위 구조인 레벨0에서 세부적인 하위 구조인 레벨3로 단계적으로 내려가는 구조로 작성되어 있어 그 형식을 따랐다.

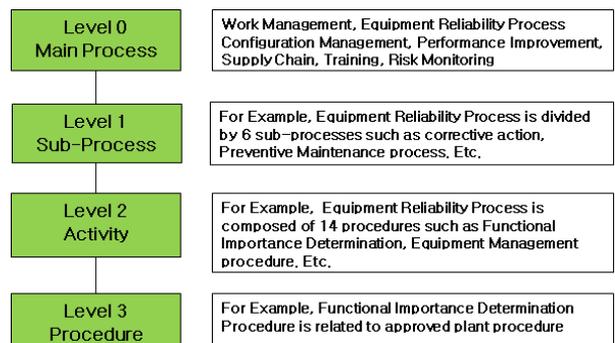


Fig. 10. Basic level structure of engineering model system.

### 3.3 엔지니어링운영모델 레벨별 전산시스템 구성

레벨0 화면은 발전소 설비관리의 최상위 프로세스를 나열하고 프로세스간 업무흐름을 도식화하여 보여주었다. Fig. 11과 같이 화면 중앙에 레벨0에 해당하는 7개의 메인 프로세스를 배치하고 각 프로세스간의 업무 흐름을 화살표로 표시하였다. 그리고, 화면의 좌측에는 사용자가 각 프로세스의 하위 레벨로 손쉽게 이동할 수 있도록 수목구조의 메뉴를 배치하였다. 이러한 메인화면은 다양한 업무 분야의 사용자들이 본인 업무의 해당 특정 엔지니어링 프로세스로의 접근을 용이하게 하여 업무 효율성을 높일 수 있게 하고자 함이다.

레벨1의 화면은 레벨0의 기본 프로세스를 세분화 하여 중간 수준의 보조 프로세스로 구성한 것으로, 선행 보조 프로세스, 해당 보조 프로세스 및 후행 보조 프로세스의 관계를 업무의 흐름에 따라 도식화하였다. 선행 보조 프로세스에서 입력 자료를 받아 해당 보조 프로세스에서 업무를 처리하고 업무 결과물이 존재할 경우 후행 보조 프로세스로 전달해 주도록 각 보조 프로세스들을 분석하였다. 레벨1 화면은 Fig. 12와 같이 화면 중앙에 레벨0 중 설비신뢰도(ER) 프로세스를 크게 6개의 보조 프로세스(필수기기분류, 성능감시, 예방정

비, 시정조치, 설비신뢰도 개선, 수명주기관리)로 분류하여 배치하였으며, 화살표로 업무 혹은 생성 자료의 이동흐름을 표현하였다. 설비신뢰도 보조 프로세스 좌측에는 타 분야 입력프로세스를 배치하고, 우측에는 설비신뢰도 프로세스의 업무 결과물을 전달받을 후행 프로세스를 배치하였다. 또한 레벨1 화면에서 타분야 레벨0,1,2 프로세스로의 원활한 이동을 지원하기 위해 메인 화면 좌측에 수목구조 메뉴를 배치하였다<sup>9)</sup>.

액티비티 레벨2의 보조 프로세스는 여러 개의 액티비티들로 구성되어 있다. 해당 보조 프로세스가 어떤 액티비티로 구성되어 있는지 알아보기 위해 사용자가 해당 박스를 선택할 경우, 상세한 액티비티 항목을 보여준다. 사용자가 설비신뢰도 프로세스의 보조 프로세스인 성능감시를 선택하였을 경우, 화면은 Fig. 13과 같이 성능감시 보조프로세스 내의 계통성능감시, 정비규정(MR) 성능감시, 고장정비 경향분석 등과 같은 세부 액티비티를 보여준다. 계통성능감시 프로세스는 작업관리 및 리스크감시 프로세스로부터 업무 입력 자료를 받아 성능감시 프로세스를 거치며 그 결과물로 발생된 업무관련 각종 자료를 형상관리 프로세스로 전달한다. 각 액티비티들의 세부적인 업무 절차를 알아보기 위해서는 보조 프로세스 중 해당 액티비티 박스를 클릭할 경우 액티비티 수준인 레벨2 화면으로 이동한다.

레벨2의 화면은 Fig. 14와 같이 특정 절차를 업무 진행 단계별로 세부적으로 분석해 놓은 것으로 발전소에서 실제적으로 업무를 수행하는 사용자가 활용할 수 있는 수준으로 업무를 상세하게 분석하여 구성하였고, 업무 흐름 절차에 따른 업무 수행부서도 어디인지 명확하게 구분하였다. 이러한 액티비티 수준 업무 프로세스는 업무 절차를 분석하여 중요 필수 단계를 업



Fig. 11. Display for level 0 basic processes.

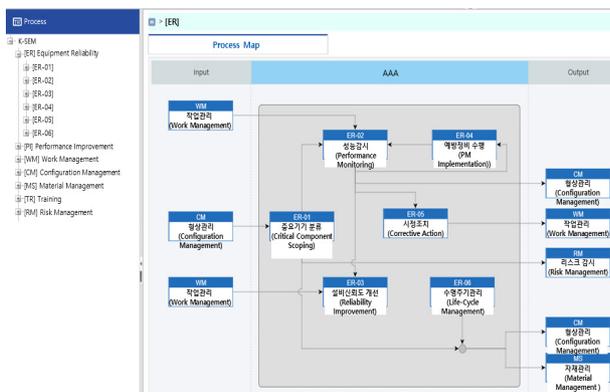


Fig. 12. Display for level 1 Sub-processes.

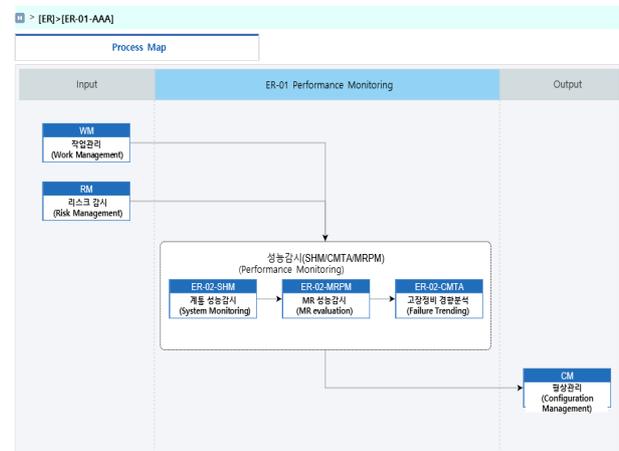


Fig. 13. Display for level 2 activities.

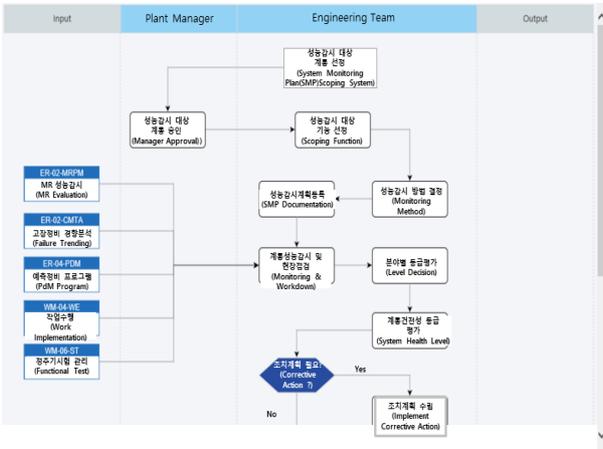


Fig. 14. Display for details of level 2 activity.

무 흐름 순으로 도식화하여 구성하였다. 업무 프로세스 좌측 화면에는 업무 수행을 위한 입력 프로세스를 분석하여 배치하였고, 우측 화면에는 업무 수행 과정에서 도출된 결과물을 전달할 타 분야 프로세스를 파악하여 배치하였다. 레벨2 수준의 설비기준정보 액티비티 화면은 고장정비 경향분석 액티비티로부터 입력을 받아 설비기준정보 액티비티를 수행하고 수행결과물을 예방정비프로그램 액티비티로 전달한다.

레벨2 화면의 각각의 박스는 특정 업무 절차서에 해당하며, Fig. 15와 같이 업무절차를 수행하는데 필요한 업무 프로세스 기술서, 업무절차서, 업무 수행양식 및 관련 전산시스템을 제공하는 기능을 추가하였다. 이러한 정보를 통해 사용자가 업무에 필요한 다양한 정보를 활용하여 엔지니어링 업무를 수행할 수 있게 하였다.

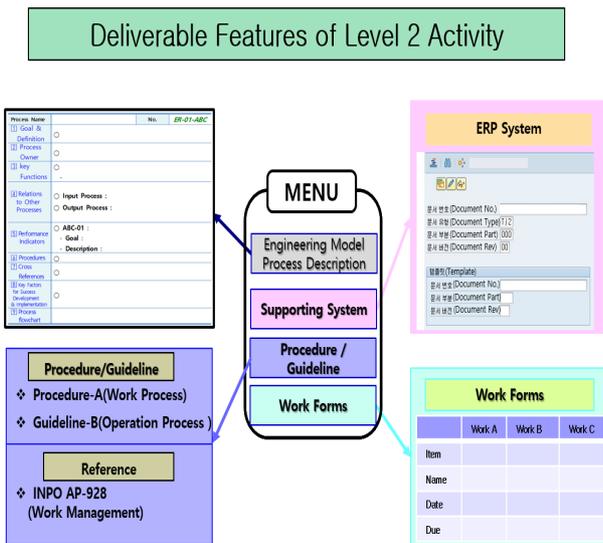


Fig. 15. Characteristic functions for level 2 activity system.

Table 2. Relation table between level 2 and level 3 model.

Level 2 Activity	Level 3 Procedure	
ER-01-AAA	AAA Monitoring	Standard Procedure -AAA
ER-01-BBB	BBB Determination	Standard Guideline -BBB
ER-01-CCC	CCC Management	Standard Procedure -CCC
ER-02-DDD	DDD Determination	Standard Guideline -DDD



Fig. 16. e-Learning module of engineering model for training plant engineer.

레벨3의 화면은 별도로 개발을 추진하지는 않았다. 레벨3 수준에 해당하는 절차서 정보를 파악하기 위해 Table 2와 같이 레벨2의 액티비티에 해당하는 발전소 절차서 및 지침서를 파악하여 상호 연계표를 작성하였고, 레벨2 시스템 구성시 각 액티비티 박스에서 해당 최신 절차서에 접근하여 실시간 열람할 수 있도록 오브젝트링크 처리를 하였다.

추가적으로, Fig. 16과 같이 엔지니어링운영모델 전산 시스템의 사용자 활용성을 높이기 위한 일환으로 이러닝 교육훈련 모듈을 개발하여, 모든 사용자들이 수시로 접근하여 엔지니어링운영모델 전산 시스템의 개요 및 메뉴 사용법에 대해 숙지할 수 있도록 하였다.

## 5. 결론

국내 원전은 고유 엔지니어링운영모델을 기반으로 발전소 직원들의 업무 효율성을 향상시키기 위해 엔지니어링 업무를 유기적으로 연계한 엔지니어링운영모델 전산화를 추진하였다.

엔지니어링운영모델 전산시스템 메인 화면은 직원들이 손쉽게 접근하여 활용할 수 있도록 화면 중앙에 해당 레벨의 특징을 도식화하여 배치하였고, 화면 좌측에 타 레벨의 프로세스 혹은 액티비티로 이동을 편

리하게 하기 위해 수목구조 이동 메뉴를 추가하였다. 주요 기능으로는 엔지니어링 업무 프로세스 및 인터페이스 업무간 입출력 관계를 액티비티 수준에서 구현하였으며, 액티비티별 업무 프로세스 기술서 제공, 관련 시스템 이동, 업무 절차서/지침서/양식 다운로드 및 종합 검색 기능을 제공하였다.

엔지니어링운영모델 전산화를 통해 직원들은 기존 문서화된 절차서 대신 전산화된 업무 프로세스를 통해 업무 각 단계별 절차, 입력 및 출력 데이터 이동을 실시간으로 확인 및 업무 시스템의 용이하게 접근할 수 있게 되었으며, 이로 인해 절차서 미준수로 인해 발전소에 발생가능한 각종 규제 및 안전 관련 문제를 사전에 방지할 수 있는 기반을 구축하였다.

엔지니어링운영모델 전산시스템은 또한 발전소 직원들의 업무 프로세스 이해도 증진과 직원 업무수행 역량 향상에 도움이 될 것이고, 최근 4차산업을 기반으로 급변하는 원전 산업계의 환경변화에 적절히 대응하고 우수한 국내 발전소 성능을 유지하는데 기여할 것

이며, 또한 해외 원전 수출시 국내원전의 엔지니어링 프로세스 운영능력의 우수성을 홍보하여 수출 경쟁력을 높이는데 활용할 수 있을 것이다.

## References

- 1) Nuclear Energy Institute(NEI), The Standard Nuclear Performance Model, Rev 4, pp. 7-9, 2003.
- 2) INPO 05-005, Guidelines for Performance Improvement at Nuclear Power Stations, pp. 1-5, 2005.
- 3) J. Hyun et al., "Development of Standard Engineering Model", Trans. of the KHNP, Vol. 1, No. 1, pp. 1-32, 2019.
- 4) J. G. Lee, "K-SEM(KHNP-Standard Engineering Model) & Mechanical Maintenance Engineering Enhancement", Korean Society of Pressure Vessels and Piping, 2019.
- 5) INPO AP-913, Equipment Reliability Process Description Rev. 5, 2016.