

BIM기반 Algorithm을 활용한 APR1400 설계기준 통합관리 체계 구축

신재섭* · 최재필¹

¹서울대학교 건축학과

Establishment of Integrated Design Bases Management System of APR1400 Using BIM based Algorithm

Shin, Jaeseop*, Choi, Jaepil¹

¹Department of Architecture and Architectural Engineering, Seoul National University

Abstract : The APR1400 is a 1400MWe nuclear power plant developed through national technology development project over a period about 10years. Approximately 65,000 design drawings are produced for APR1400 construction. In order to maintain consistency among numerous drawings, the highest level of design bases drawings (DBDs) are created according to design bases and this is used in the subsequent design. However, DBDs are produced and managed on a document basis and they are managed various field, it was difficult to accurately reflect the design bases information in the subsequent design. Therefore, this study recognizes limitations of the document based DBDs and develops a system that can accurately reflect the design bases information to subsequent design by adopting BIM based design bases integrated information system. Especially, by introducing DBIL(Design Bases Information Layer) concept, DBIL was created and analyzed based on five design bases(Physical protection, Fire protection, Internal missile protection, Internal flood protection, Radiation protection) applied to APR1400. In the final result DBIL set and Datasheet are integrated of room, design bases information, building data(wall, slab, door, window, penetrations). So it can be used for subsequent design automation and design verification. Furthermore, it is expected that APR1400 DBILs data can be used extensively in constructability and design economics analysis through comparison with next generation nuclear power plant.

Keywords : APR1400, BIM, Design Bases, DBIL, Nuclear Power Plant

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

2019년 5월 국내기술로 개발된 차세대원전 APR1400이 미 국원자력 규제당국 NRC (Nuclear Regulatory Commission)로부터 안전성을 인증 받는 설계인증(Design Certification)을 취득하였다. NRC DC는 미국에서 APR1400을 건설하고 운영 하기 위해서 필수적으로 필요한 인증으로, APR1400의 기술 력을 객관적으로 평가받고 해외 수출가능성을 높인 계기라고 평가받는다.

하지만 2018년부터 진행된 정부의 에너지전환 정책에 따라 우리나라에 건설 예정이었던 신한울 3,4호기와 천지 1,2호기 계획이 전면 백지화되었고¹⁾, APR1400 이후 노형인 APR+²⁾의 상세설계 및 건설이 중지되었다. 이에 따라 관련업계는 지난

40년간의 원전 설계, 건설, 운영 경험과 기술인증을 통해 해외 수출을 모색하고 있다. 특히 원전 해외수출을 위해 원전건설 경제성 향상 및 관련 신기술 개발 및 적용을 활발히 진행하고 있으며, 설계부분에서 경쟁력 및 설계정확도 향상을 위해 설계체계의 통합 데이터화, 설계 프로세스 개선 및 자동화에 초 점을 맞춰 기술개발을 진행하고 있다(MOTIE, 2016).

본 연구는 원자력발전소 APR1400의 설계 자동화 및 정확도 향상을 위한 프로세스 제안과 그 시스템 개발에 최종 목적이 있다. 특히 원자력발전소의 건설을 위해 건축, 토목, 기계, 전기, 계측, 원자력 등 다양한 분야에서 약 6만 5천여 장 이상의 도면이 생산되는 만큼, 설계 일관성 및 도면 간 일치성유지가 필수적이다. 이를 위해 미국 연방법 10 CFR 50.2에서 정의하는 설계기준(Design Bases)에 따라 가장 높은 수준의 설계기준도면(Design Bases Drawing, DBD)를 작성하여 후속설계에

* Corresponding author: Shin, Jaeseop, KEPCO Engineering & Construction, 269 Hyeoksins-ro, Gimcheon-si, Korea
E-mail: sir.shinjs@gmail.com
Received June 18, 2019; revised July 19, 2019
accepted July 21, 2019

1) 당시 건설 중에 있던 신고리 5,6호기는 건설 중단 후 2017년 10월 공론화과정을 통해 건설이 재개되었다.
2) APR+는 APR1400 대비 안전성, 경제성 및 운전성 그리고 발전용량을 1500MWe로 개선한 노형이다.

가이드라인 역할로 활용하고 있다. 하지만 DBD가 문서기반으로 생산·관리되고 있고, 다양한 분야에서 파편적으로 운영되어 DBD에 표현된 설계기준정보를 정확하게 인지하고 후속설계에 정확하게 반영하는데 어려움이 있었다(Shin, 2019). 따라서 본 연구에서, BIM(빌딩정보모델)을 활용하여 APR1400 설계 시 고려해야 하는 다양한 설계기준(Design Bases)을 체계적이고 정확하게 후속설계에 반영할 수 있도록 설계기준 통합관리 체계를 구축하였다.

1.2 연구의 방법 및 절차

본 논문은 APR1400을 대상으로 한 BIM기반 설계기준 통합관리 체계 구축에 관한 연구이다. 설계기준 통합관리를 위해 DBIL (Design Bases Information Layer, 설계기준정보층)의 개념을 도입하였으며, 연구 대상 원전인 APR1400에 적용하여 DBIL적용 결과 및 속성을 분석하였다. DBIL에는 원전 설계시 적용되는 설계기준 5가지(물리적방호, 화재방호, 내부비산물방호, 내부침수방호 방사선방호)를 선정하였으며, APR1400 모델에 적용을 위해 BIM 소프트웨어인 Autodesk Revit과 Algorithm programming이 가능한 Dynamo를 활용하여 연구를 진행하였다.³⁾ 분석결과 DBIL생성(DBIL set)과 설계기준 속성 정보(Datasheet)를 확인하였으며, 최종적으로 생성된 DBIL과 이들이 포함하고 있는 설계기준 속성을 통계적으로 분석하였다.

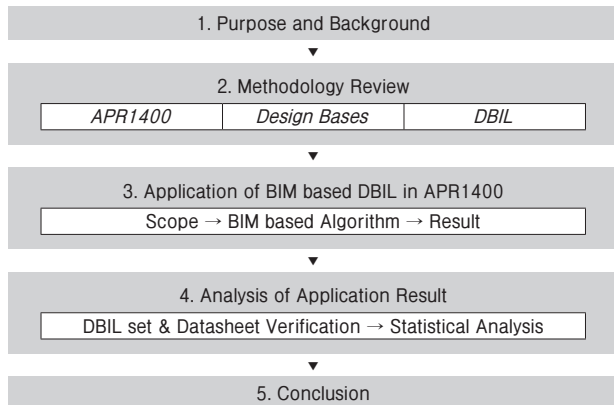


Fig. 1. Research Flow

연구의 절차는 위의 (Fig. 1)과 같다. 2장에서는 본 연구의 대상이 되는 APR1400 원전노형의 개념 및 특성과 원자력발전소 설계에 적용되는 설계기준(Design Bases) 그리고 설계기준을 통합하기 위해 제안한 설계기준정보층(DBIL)에 대한 배경이론을 고찰하였다. 3장에서는 APR1400에 DBIL 적용을 위

3) 본 연구에서 활용한 Autodesk Revit은 전 세계적으로 가장 범용적으로 활용되는 BIM S/W이며, 3장에서 DBIL 적용을 위해 구현한 BIM기반 Algorithm은 Revit기반 Visual Programming 도구인 Dynamo를 활용하였다.

한 물리적 범위를 설정하고 BIM 기반 Algorithm적용 절차와 결과를 설명하였다. 4장에서는 본 논문이 제안한 설계기준 통합과 BIM기반 시스템을 통해 생성된 DBIL set과 Datasheet를 검증하고, 이를 통계적으로 확인하였다. 실(Room)과 벽(Barrier)를 기반으로 부여된 5가지 설계기준 속성이 APR1400 전체 DBIL에서 어느 정도의 영향을 미치는지 그 적용유무와 적용수준(Level)을 통계적으로 확인하였다. 마지막으로 결론에서 본 연구의 의의와 추후 활용방향을 제시하였다.

2. 배경이론 고찰

2.1 APR1400 (Advanced Power Reactor 1400MWe)

2.1.1 APR1400 개요

APR1400은 1992년 12월부터 2001년 12월까지 약 10여년에 걸쳐 국가선도 기술개발과제를 통해 개발된 1,400MWe급 차세대 원자력발전소 노형이다. 한국전력기술(주), 한국수력원자력(주), 한국원자력연구소, 두산중공업 등이 중심이 되어 약 2,350억원의 개발비가 투입되었으며, 발전소의 종합설계와 원자로 계통설계의 기술개발은 한국전력기술(주)에 의해 수행되었다. APR1400은 개발 전 주력 원전모델인 OPR1000 대비 발전용량을 1,000MW에서 1,400MW로 키우고, 원전 설계수명을 40년에서 60년으로 늘렸다. 특히, 안전성 강화를 위해 보조건물(Auxiliary Building)에 4분면 Quadrant 배치 설계방식을 도입하여 화재, 내·외부 홍수, 지진, 등 사고 및 충격에 대한 대처능력을 강화한 것이 특징이다(Kepco E&C, 2019; IAEA, 2011).

2006년 신고리 3, 4호기를 시작으로, 신한울 1, 2호기, 신고리 5, 6호기 그리고 해외에 수출한 UAE BNPP 1~4호기가 준공 및 건설 중에 있다. 특히 2018년 10월 미국 원자력규제위원회(Nuclear Regulatory Commission, NRC)로부터 설계인증(Design Certification)을 취득하여 안전성을 입증한 노형이다.



Fig. 2. Bird-eye View of APR1400 (Source : Kepco Engineering & Construction Co.)

2.1.2 APR1400 배치개념 및 특성

APR1400은 원자로건물(Reactor Containment Bldg.), 보조건물(Auxiliary Bldg.), 복합건물(Compound Bldg.) 그리고 터

빈건물(Turbine Generator Bldg.)을 포함하는 Power Block⁴⁾과 이외의 기타건물(Ancillary Bldg.)군으로 구분할 수 있다.

APRI400은 Power Block을 기준으로 양(兩)호기 및 종방향 배치(Slide Along) 개념이 적용되며 경제성 및 운전편의성을 위해 두 보조건물 사이에 공용으로 사용되는 복합건물이 위치한다.⁵⁾ 보조건물은 원자로에 안전성관련 시스템 및 기기 제공을 위해 원자로건물을 둘러싼 형태이며, 이 두 건물은 내진성능 및 시공경제성을 위해 기초를 공유한다.

2.2 설계기준(Design Bases)

2.2.1 원전 설계기준

미국 연방법 10CFR50.2⁶⁾에 따르면 설계기준(Design Bases)이란 원자력발전소의 구조물, 계통, 기기(Structure, System, Component, SSC)에 의해 수행되는 특정 기능과 주요 설계변수의 설계 값 또는 설계범위를 의미한다.

국내 신형원전인 APRI400은 기본적으로 국내에 적용되는 관련법에 따라 설계기준에 부합하도록 설계되지만, 동시에 미국 법령 및 설계기준도 준수하고 있다. 만약 국내 기준과 미국 기준이 상충하였을 때 국내 기준을 우선하지만, 필요시 상호 보완적으로 적용하고 있다(Shin, 2018). APRI400은 미국의 관련 법령인 '10CFR50 Appendix A'⁷⁾와 국내법'원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙'을 통해 설계기준을 도출하고 설계에 적용하고 있다. '10CFR50 Appendix A - General Design Criteria for Nuclear Power Plants'는 원전 설계에 요구되는 최소 설계기준을 명시해 놓은 법규로서, 건설 및 운영허가 취득을 위해서는 필수적으로 설계에 반영해야 하는 요건이다. 국내법규는 원안위 규칙 제15호 '원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙'으로 미국의 것과 내용이 유사하며, 두 법규 모두 품질등급, 다양한 요인에 의한 설계기준, 방사선방호에 관한 기준 등의 내용을 담고 있다. 이 중 원전의 물리적 형상에 영향을 주는 설계기준을 도출한 결과와 각각의 적용 Level⁸⁾은 <Table 1>과 같다.

Table 1. Classification of Design Bases

No.	Design Bases	Level
1	Physical Protection	0 ~ 2
2	Fire Protection	0 ~ 3
3	Internal Missile Protection	0 ~ 1
4	Internal Flood Protection	0 ~ 3
5	Radiation Protection	1 ~ 8

4) Power Block을 세분화 하면, 원자로건물+보조건물+복합건물을 Nuclear Island, 터빈건물+스위치기어건물을 Turbine Island로 나눌 수 있다.

5) 복합건물은 양 보조건물에서 공통으로 사용하는 출입관리 및 방사성폐기물 처리 기능 등을 수행한다.

6) 10CFR50 Domestic Licensing of Production and Utilization Facilities, Section 50.2 Definitions.

국내 및 미국법을 통해 도출한 원전의 물리적 형상에 영향을 주는 설계기준은 총 5가지로 물리적방호, 화재방호, 내부비산물방호, 내부침수방호, 방사선방호이며 각각의 상세 설계기준이 적용되는 실(Room) 및 벽(Barrier)은 정량적 분석 및 평가를 통해 결정된다. 각각의 설계기준은 DBD로 작성되어 후속설계에 반영된다.

2.2.2 설계기준관련 선행연구 및 차별성

건축분야에서 설계기준에 대한 선행연구는 건축물의 친환경건축, 노인주택, 유치원, 모듈주택 등을 대상으로 하는 연구가 주를 이룬다. 본 연구에서 의미하는 설계기준(Design Bases)과 달리 일반건축 설계분야에서 사용하는 설계기준(Design Standard 또는 Design Criteria)은 정성적인 설계기준을 체크리스트 형식으로 분류하여, 이들의 준수여부 및 상세설계기준의 수치 등을 분석한 연구이다. 이외에 건축물의 에너지절약 설계기준 관련하여, BIM을 기반으로 하여 건축물의 에너지성능에 대한 정량적 분석을 시도한 몇몇 선행연구를 확인할 수 있었다.

대표적으로, Yi et al. (2014)은 개방형 BIM을 기반으로 에너지성능 평가를 위해 에너지절약 설계기준을 분석하고, 평가 자동화를 위해 활용 가능한 IFC 객체 및 객체간 관계를 도출하였다. 하지만 BIM기반의 IFC데이터를 통해 일부 자동화가 가능하지만 평가자의 주관적, 정성적 판단이 개입되어야 한다는 한계가 존재한다고 밝혔다.

설계 가이드라인 측면에서, Kim et al. (2004)은 무장애(barrier free) 공동주택 설계기준을 한국, 미국, 일본, 독일의 관련법규를 대상으로 분석하였으며, Hwang (2008)은 노인주택을 설계함에 있어 고려되는 주택설계기준인 '고령자배려 주거시설 설계치수 원칙 및 기준(KSP 1509)'와 '고령자를 위한 공동주택 신축기준', '고령자용 국민임대주택 시설기준'을 실 및 부대시설 별로 비교·분석하여 설계기준간 문제점을 도출하였다.

따라서 본 연구는 기존 선행연구에서 다루지 않았던 원전 APRI400을 대상으로, BIM기반의 설계기준 통합관리 체계를 구축하고 이를 정성적 방법(Guideline 또는 Criteria를 활용한 체크리스트)이 아닌 Algorithm을 활용하여 자동화하였다는데 연구의 차별성이 있다.

2.3 DBIL (Design Bases Information Layer)

설계기준정보층(Design Bases Information Layer, DBIL)이란 원자력발전소 BIM 모델에서 설계기준 통합관리 시스템

7) 10CFR (Code of Federal Regulation)은 에너지 분야의 미국 연방 규정으로 인허가와 관련된 기준 및 조건에 대한 기술적 요건을 규정해 놓은 법규이다(Shin, 2018).

8) Level은 각 설계기준의 속성 등급을 의미하는 것으로, 대표적인 예로 화재방호에서의 Level은 방화시간(hr)을 의미한다.

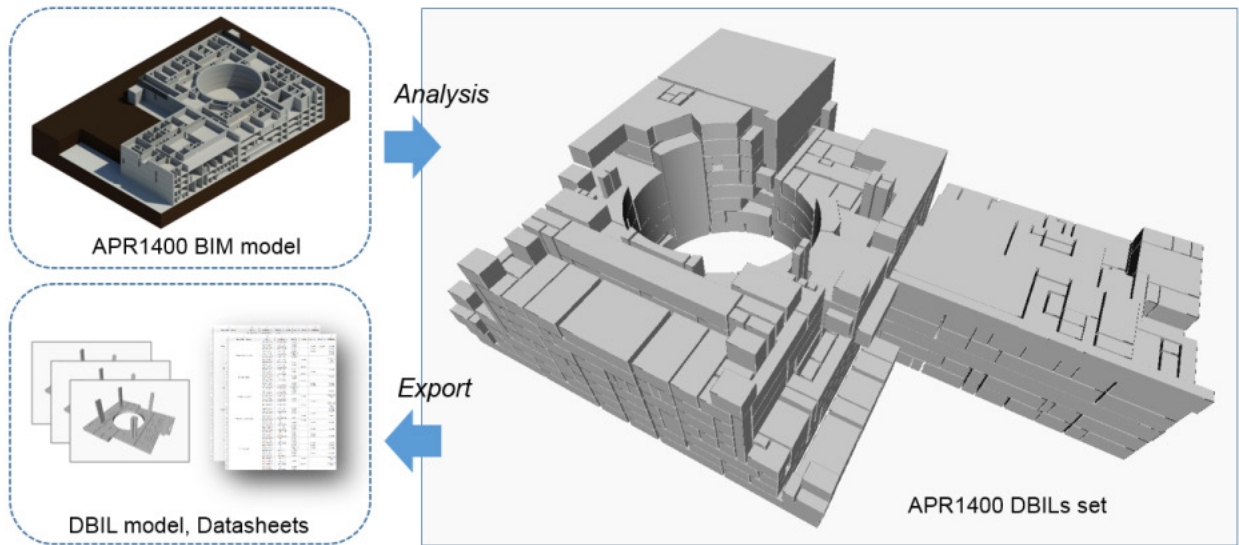


Fig. 3. BIM based DBIL Generate and Analysis Process

구축과 활용을 위해 Shin (2019)이 제안한 개념이다. DBIL은 각 격실(Room) 또는 격벽(Barrier)에 부여된 설계기준 정보를 포함하고 있는 가상의 층(Layer)이다. <Fig. 4>와 같이 실에서 DBIL, 그리고 벽, 바닥, 문, 관통부 등에 설계기준 속성을 부여하는 역할을 한다. BIM 모델과 설계기준 데이터베이스 간에 연동과정(Mapping & Feeding)을 통해 실에 부여된 설계기준 정보는 실을 둘러싼 DBIL로 설계기준 정보를 전달하며, DBIL은 다시 벽, 바닥, 문, 관통부 등으로 설계기준을 전달한다. 실의 물리적 형상에 따라 실에 종속된 DBIL의 개수는 달라지며, DBIL이 포함하고 있는 설계기준 속성은 실의 성격에 따라 여러 개의 설계기준 정보를 가지고 있을 수도 있고, 아무런 설계기준을 가지지 않을 수도 있다.⁹⁾

하지만 예외적으로, 설계기준을 실(Room)로부터 부여받은 속성이 아닌 별도의 설계기준이 적용되는 사례도 존재한다. 예를 들어 물리적방호 설계기준의 경우 보조건물 외벽

에 적용되는 물리적방벽 기준과 내부침수방호 설계기준에 적용되는 내부격벽(Quadrant Division wall), 그리고 방사선방호 설계기준에 적용되는 주제어실구역(Main Control Room Complex)에 적용되는 차폐설계기준 등은 실(Room)을 기반으로 설계기준 속성을 전달 받을 수 없다. 따라서 이런 경우, 실을 기반으로 생성된 DBIL에 벽 및 슬라브(Barrier)를 기반으로 설계기준 정보를 부여하게 된다.

3. APR1400 DBIL 적용

3.1 APR1400 적용 범위 설정

APR1400은 <Fig. 6>과 같이 보조건물과 터빈건물을 한 쌍으로 양(兩)호기, 그리고 사이에 복합건물 배치된다. 또한 원자로건물은 보조건물 중앙부에 위치하여 기초를 공유한다. 보조 및 복합건물과 달리 터빈건물과 원자로건물은 내부에 한 개의 대형공간과 주변에 작은 소수의 보조격실로 이루어져 있어 별도의 설계기준 및 이에 따른 상세설계 고려사항이 많지 않다. 특히 터빈건물은 건물 중요도(핵물질의 보관) 및 용도에 따라 물리적방호와 내부비산물방호 등의 설계기준이 적용되지 않는다. 따라서 본 시뮬레이션의 범위는 보조건물과 복합건물 1개호기를 분석범위로 설정하였다(<Fig. 6>의 빨간색 부분 참조).¹⁰⁾

3.2 적용 방법

BIM으로 구축된 APR1400 모델의 DBIL적용 및 분석을 위해서 BIM이 내포하고 있는 빌딩정보를 활용하였다. 이를 위해

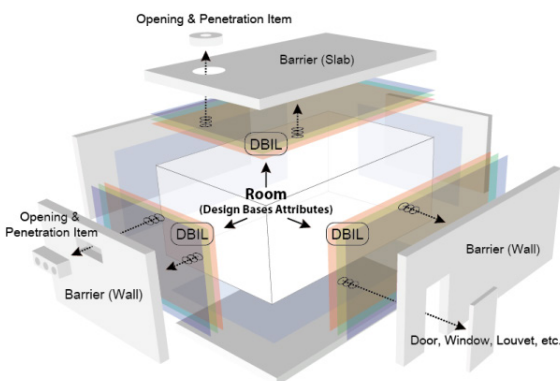


Fig. 4. Conceptual Diagram of DBIL (Shin, 2019)

9) 본 연구에서 도출한 APR1400에 적용되는 5가지 설계기준을 물리적방호, 화재방호, 내부비산물방호, 내부침수방호, 방사선방호 순으로 코드화 하여 DBIL에 속성을 부여하였다(예, P1_F3_H1_W2_R3).

10) APR1400 1세트(2개 호기)에 설계되는 보조건물, 터빈건물, 원자로건물은 2개씩 중복되는데, 형상 및 기능은 동일하게 적용된다. 따라서 본 시뮬레이션 범위에서 보조건물 2개 중 1개 호기를 대상으로 하였다.

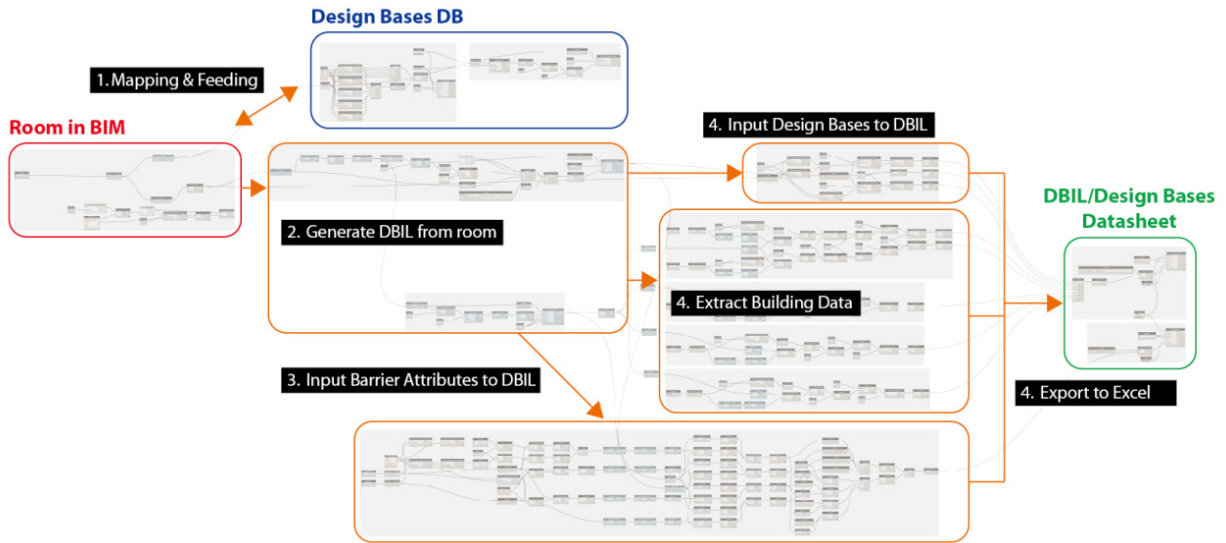


Fig. 5. BIM based Algorithm process for Output (DBIL set and Datasheet)

BIM기반 Visual Programming Tool을¹¹⁾ 활용하여 Algorithm을 구현하였다. 전체 Algorithm의 조직은 <Fig. 5>과 같으며 그 흐름을 살펴보면, 첫 번째 단계는 데이터 입력 및 동기화 과정이다. BIM기반으로 구축된 원자력발전소 모델에서 추출한 실(Room) 정보를 추출하여 설계기준 데이터베이스 전달하면, 다양한 분야의 전문가에 의해 분석된 설계기준 정보를 실 정보에 입력하게 된다. 이후 실 별로 가진 설계기준 속성 데이터베이스는 다시 원전 BIM 모델에 덮어씌워(Mapping)진다. 예를 들어, BIM 모델에서 추출한 A라는 실 정보를 도출하여 설계기준 데이터베이스에 전달(Feeding)하면, A실에 적용되는 설계기준 속성(물리적방호 Level 1 + 화재방호 Level 3 등의 정보)을 다시 BIM모델에 입력(Mapping)한다. 설계가 변경되거나 설계기준 정보들이 개정될 때마다 feeding & mapping 과정은 지속적으로 연동되어 동기화 된다.

첫 번째 단계에서 동기화된 BIM 모델과 설계기준 데이터베이스 정보를 기준으로, 개발된 설계기준 통합관리 시스템을 구현하게 된다. <Fig. 5>의 흐름과 같이, AP1400의 빌딩 정보 및 Room 속성을 기준으로 DBIL을 생성하며 여기에 설계기준 속성을 부여하게 된다. 이 과정에서 벽(Barrier) 설정되는 설계기준 속성도 같이 부여하게 된다. 화재방호 및 내부 침수방호를 위해 Division wall에 적용되거나, 주 제어실 벽에 설정되는 방사선방호 설계기준 등이 해당되며, 전체 DBIL중 약 47%가 실 기반 설계기준과 벽 기반 설계기준이 동시에 적용된다. 이후 생성된 설계기준 속성이 부여된 DBIL들은 각종 빌딩 데이터(벽·바닥 슬라브, 문·창문, 수직·수평관통부 등)와 통합되어 Excel기반의 데이터시트로 추출하게 된다.

3.3 적용 결과

ARP1400 보조건물 및 복합건물의 DBIL 생성 결과는 <Fig. 3>의 우측 그림과 같다. 보조건물은 총 8개 층(지하 3층, 지상 5층), 복합건물은 총 6개 층(지하3층, 지상 3층)으로 구성되며¹²⁾, 각각 417개와 255개의 격실로 나뉘어 있다. 총 672개의 실을 기반으로 6,081개의 DBIL이 생성되었다. 생성된 6,081개 각각의 DBIL에는 실(Room) 또는 벽(Barrier)에서 전달받은 설계기준 속성정보를 가지고 있다. 5개의 설계기준과 그 등급을 조합한 코드가 속성에 부여되는데¹³⁾, 아무런 설계기준이 부여되지 않은 DBIL도 동일하게 Layer를 생성하여 속성

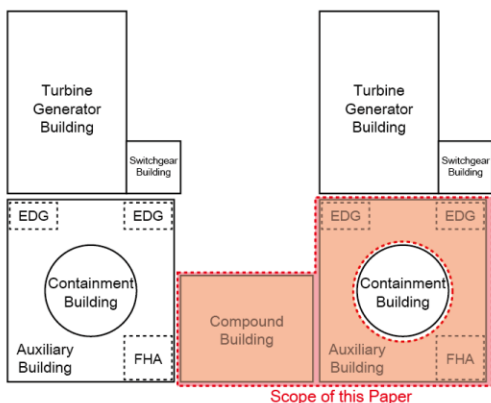


Fig. 6. Application Scope in AP1400 (Source : <https://aris.iaea.org>)

11) IFC같은 중립파일 포맷을 활용하지 않고 Revit과 Dynamo (Revit Add-in)을 사용한 이유는 데이터 입력 및 동기화 과정에서 객체정보 손실 및 부정확한 설계정보 전달을 최소화하기 위함이다.

12) 지하층부터 순서대로 Level 1 ~ Level 8(보조건물 기준)로 표기.

13) 5개의 설계기준 적용 유무와 등급을 조합하여 코드화 하여, □□_□□_□□_□□□□과 같이 표기하였다. 첫 번째 □는 설계기준의 적용유무, 두 번째 □는 설계기준의 등급을 의미한다. 적용되는 설계기준이 없을 때는 '-'로 표기하였다. 예를 들어 특정 실에 물리적방호(PPS) Level 1등급, 화재방호(Fire) Level 3, 방사선방호 Level 2가 적용된다면, 'P1_F3_--_--_R2'라고 표기한다.

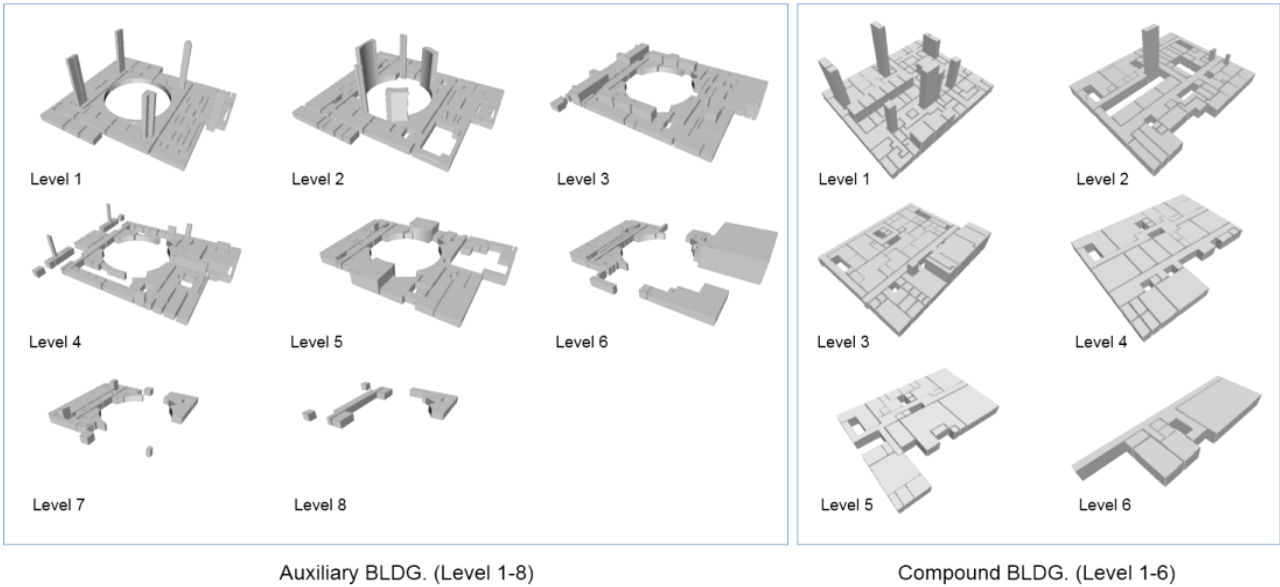


Fig. 7. APR1400 DBIL Set by Building & Level

을 부여하였다.¹⁴⁾ 이는 추후 설계기준 개정 및 설계변경 가능성을 대비하고, 변경과정 추적을 용이하게 하기 위해서 설계기준 속성이 없더라도 DBIL을 생성하였다.

결과적으로 보조건물 8개 Level과 복합건물 6개 Level에 생성된 DBIL 개수는 <Table 2>와 같다. 평균 실 당 9개의 DBIL이 생성되었는데, 보조건물은 실 당 평균 8.9개의 DBIL이 생성되는데 비해 복합건물은 평균 9.2개의 DBIL이 생성되어 차이를 보였다. 이는 보조건물에 배치된 실의 물리적형상은 대체적으로 직육면체의 형상을 띄는데 반해, 복합건물에 배치된 실은 ㄱ자 및 ㄷ자 같이 다양한 형태를 가진 실이 많기 때문에 해석 할 수 있다.¹⁵⁾

Table 2. Result of DBIL Creation

Building	LV.	Number of Rooms	Number of DBILs	Avg. of DBIL/Room
Auxiliary BLDG.	1	76	655	8.6
	2	73	641	8.8
	3	63	609	9.7
	4	65	580	8.9
	5	53	479	9.0
	6	44	397	9.0
	7	34	292	8.6
	8	9	80	8.9
Compound BLDG.	1	77	684	8.9
	2	58	530	9.1
	3	59	551	9.3
	4	28	274	9.8
	5	26	239	9.2
	6	7	70	10.0
Total		672	6,081	9.0

14) 신고리 5,6호기를 기준으로 적용된 본 연구에서 보조건물과 복합건물에 배치된 672개의 실 중 142개에 아무런 설계기준이 적용되지 않는 것으로 조사되었다.

4. DBIL 적용 결과 분석

4.1 DBIL Set

<Fig. 7>은 APR1400 보조건물과 복합건물의 레벨별 DBIL 생성결과를 보여준다. 보조건물의 경우 Level 1을 기준으로 4개의 계단실 및 승강기통로가 최상층(Level 8)까지 올라와 있는 것을 볼 수 있는데, 설계시 실의 이름과 속성을 최하층을 기준으로하기 때문이다(예를 들어 1 Level부터 8 Level 까지 연결되는 계단실은 최하층인 Level 1에 종속되어 있는 실로 간주한다). 이는 복합건물도 동일하게 적용되며, 각각의 건물 설계 특성을 잘 보여준다.

4.2 Datasheet

APR1400의 설계기준 체계 구축을 위해 실(Room), DBIL, 설계기준 속성, 빌딩데이터(벽, 슬라브, 수직·수평 관통부, 문·창문)를 추출한 Datasheet는 <Fig. 8>와 같다.

Datasheet를 항목별로 살펴보면, 첫 번째 A 열은 APR1400 분석범위에 해당하는 672개의 격실 리스트(실 번호 + 실 이름)가 나타난다. B 열은 각 실의 형상에 따라 생성되는 DBIL 리스트가 도출되며, <Table 2>에서 나타내듯 실당 평균 9개의 DBIL이 생성된다. 실의 물리적 형상에 따라서 DBIL의 생성 개수가 다르기 때문에 형상이 복잡한 '157-A16C Corridor'는 17개의 DBIL이 생성된 것을 알 수 있다. C 열은 각 DBIL에 부여된 설계기준 속성을 나타낸다. 물리적방호, 화재방호, 내부

15) 직육면체 형태의 실(Room)은 상하적우 6개의 DBIL이 생성되며, ㄱ자 및 ㄷ자 형태의 실은 각각 8개와 10개의 DBIL이 생성된다. 건물전체를 관통하는 환(環)형 복도(General Access Area)는 20개 이상의 DBIL이 생성되기도 한다.

Table 3. Design Bases Attributes Statics Implied by DBIL

Design Bases	Building	Level / Attribute of DBIL								-
1. Physical Protection	BLDG. Level	-		1		2		3		Total
	Aux. BLDG.	2,757		907		69		-		3,733
	CPB. BLDG.	2,182		166		-		-		2,348
	Total (%)	4,939 (81.2%)		1,073 (17.6%)		69 (1.1%)		-		6,081 (100%)
2. Fire Protection	BLDG. Level	-		1		2		3		Total
	Aux. BLDG.	1,429		16		204		2,084		3,733
	CPB. BLDG.	1,912		-		373		63		2,348
	Total (%)	3,341 (54.9%)		16 (0.3%)		577 (9.5%)		2,147 (35.3%)		6,081 (100%)
3. Internal Missile Protection	BLDG. Level	-		1		-		-		Total
	Aux. BLDG.	3,442		-		291		-		3,733
	CPB. BLDG.	2,285		-		63		-		2,348
	Total (%)	5,727 (94.2%)		-		354 (5.8%)		-		6,081 (100%)
4. Internal Flood Protection	BLDG. Level	-		1		2		3		Total
	Aux. BLDG.	2,323		1,205		84		121		3,733
	CPB. BLDG.	1,579		706		-		63		2,348
	Total (%)	3,902 (64.2%)		1,911 (31.4%)		84 (1.4%)		184 (3.0%)		6,081 (100%)
5. Radiation Protection	BLDG. Level	1 (-)	2	3	4	5	6	7	8	Total
	Aux. BLDG.	2,106	848	274	99	40	335	15	16	3,733
	CPB. BLDG.	861	822	242	64	86	167	83	23	2,348
	Total (%)	2,967 (48.8%)	1,670 (27.5%)	516 (8.5%)	163 (2.7%)	126 (2.1%)	502 (8.3%)	98 (1.6%)	39 (0.6%)	6,081 (100%)

비산물방호, 내부침수방호, 방사선방호 순으로 각각의 설계기준 속성 등급(Level)로 코드화 하여 추출된다. D~H는 벽, 슬라브, 문, 창문, 관통부의 번호가 순서대로 추출된다.

예를 들어 (Fig. 8)의 Datasheet 5행의 'DBIL 157-A12C_D'을 해석해보면, 해당 DBIL은 157-A12C Main Control RM에서 생성된 DBIL로 P2_F3_--_W1_R3의 설계기준 속성(물리적방호 Level 2, 화재방호 Level 3, 내부침수방호 Level 1, 방사선 방호 Level 3)을 가지고 있다. 또한 해당 DBIL에 영향을 받는 벽 'WL-A6007'과 문 'DR-A6003', 수평관통부 'WO-

A6026'을 추출하였다. 이를 통해 상세설계 시 방사선방호 Level 3을 반영한 벽 두께 설계와 물리적방호 Level 2 화재방호 Level 3을 반영한 문의 상세설계가 진행되며, 관통부는 해당 설계기준 및 Level의 속성을 반영한 상세설계가 진행된다.

4.3 DBIL별 설계기준 속성 분석

APR1400을 대상으로 생성한 DBIL과 이들이 가지고 있는 설계기준 속성을 Level 별로 분석한 결과는 (Table 3)과 같다. 물리적방호 설계기준은 전체 DBIL의 18.8%에 적용되며, 이중 대부분이 건물 외벽 및 슬라브 (Level 1)에 적용되는 설계기준이다. 화재방호 설계기준은 전체의 45.1%에 적용되며, 복도 사이벽 및 승강기·계단실에 적용되는 Level 1, 2은 9.8%를 차지하는데 반해, 원전 내부 주요기기 기기 및 실에 적용되는 Level 3은 전체의 35.3%에 적용되는 것으로 나타났다. 내부비산물 설계기준은 원전 내 고압배관(High-Energy Line)이 통과하는 실에 설정되는 설계기준으로, 전체 DBIL의 5.8%에 해당된다. 내부침수방호 설계기준은 전체의 35.8%에 해당하며 대부분이 Level 1에 해당됨을 알 수 있었다. 이는 원전 내부 특정 실에서의 홍수로 인해 아래층 공간에 영향을 방지하기 위해 바닥 슬라브 전체에 내부침수방호 설계기준 Level 1이 적용되기 때문이라 예상할 수 있다. 방사선방호 설계기준은 실내부의 방사성 배관 및 기기, 물질로 인해 설정되는 설계기준으로 그 값에 따라 8단계로 구분하여 주변 실로 누출되지 않도록 주변 벽과 슬라브에 설정되는데, 전체 DBIL 중 51.2%가 방사선방호 설계기준에 해당되며, 이중 절반 이상이 Level 2에 해당하는 저방사선구역임을 알 수 있었다.

DBIL No.	DBD Attributes	Wall No.	Floor No.	Door No.	Window No.	OPNG No.
DBIL_157-A12C_D	P2_F3_--_W1_R3	WL-A6007		DR-A6003		WO-A6026

I	A	B	C	D	E	F	G	H
Room (No. & Name)	DBIL No.	DBD Attributes	Wall No.	Floor No.	Door No.	Window No.	OPNG No.	
3154	157-A12C Main Control RM	DBIL_157-A12C_A	P2_F3_--_W1_R3	WL-A6008				
3155		DBIL_157-A12C_B	P2_F3_--_W1_R3	WL-A6008				
3156		DBIL_157-A12C_C	P2_F3_--_W1_R3	WL-A6008	DR-A6003	WL-A6001	WO-A6026	
3157		DBIL_157-A12C_D	P2_F3_--_W1_R3	WL-A6007	DR-A6003		WO-A6026	
3158		DBIL_157-A12C_E	P2_F3_--_W1_--	WL-A6012 / WL-A6092		DR-A6008		WO-A6006
3159		DBIL_157-A12C_F	P2_F3_--_W1_--	WL-A6092				WO-A6007
3160		DBIL_157-A12C_G	P2_F3_--_W1_--	WL-A6092				
3161		DBIL_157-A12C_H	P2_F3_--_W1_--		FL-A6001			FO-A6006 / FO-A6014
3162		DBIL_157-A12C_I	P2_F3_--_W1_R3	WL-A6087				WO-A6005
3163		DBIL_157-A12C_J	P2_F3_--_W1_--	WL-A6005				
3164	157-A13D Vestibule	DBIL_157-A12C_K	P2_F3_--_W1_--		FL-A7001			
3165		DBIL_157-A12C_L	P2_F3_--_W1_--	WL-A6087				WO-A6006
3166		DBIL_157-A13D_A	--_--_--_W1_--	WL-A6061		DR-A6012		
3167		DR-A13D_B	--_--_--_W1_--		FL-A6001			
3168		DBIL_157-A13D_C	--_--_--_W1_--	WL-A6092				WO-A6007
3169		DBIL_157-A13D_D	--_--_--_W1_--	WL-A6007				
3170		DBIL_157-A13D_E	--_--_--_W1_--		FL-A7001			
3171		DBIL_157-A13D_F	--_--_--_W1_--	WL-A6012		DR-A6032		WO-A6008
3172		DBIL_157-A14D_A	P1_F3_--_W1_--	WL-A6088		DR-A6026		WO-A6004
3173		DBIL_157-A14D_B	P1_F3_--_W1_--	WL-A6088 / WL-A6089				
3174	157-A14D Computer RM	DBIL_157-A14D_C	P1_F3_--_W1_--	WL-A6087				WO-A6005
3175		DBIL_157-A14D_D	P1_F3_--_W1_--	WL-A6092				
3176		DBIL_157-A14D_E	P1_F3_--_W1_--		FL-A6001			FO-A6003 / FO-A6005
3177		DBIL_157-A14D_F	P1_F3_--_W1_--	WL-A6005				
3178		DBIL_157-A14D_G	P1_F3_--_W1_--	WL-A6092		DR-A6036		
3179		DBIL_157-A14D_H	P1_F3_--_W1_--		FL-A7001			FO-A7002 / FO-A7003 / FO-A7005
3180		DBIL_157-A14D_I	P1_F3_--_W1_--	WL-A6062				WO-A6002
3181		DBIL_157-A15D_A	--_F3_--_W1_--	WL-A6062				WO-A6003
3182		DBIL_157-A15D_B	--_F3_--_W1_--	WL-A6092		DR-A6036		
3183		DBIL_157-A15D_C	--_F3_--_W1_--		FL-A6001			FO-A6004
3184	157-A15D Computer RM Office	DBIL_157-A15D_D	--_F3_--_W1_--	WL-A6022				
3185		DBIL_157-A15D_E	--_F3_--_W1_--		FL-A7001			
3186		DBIL_157-A15D_F	--_F3_--_W1_--	WL-A6007		DR-A6002		WO-A6010
3187		DBIL_157-A15D_G	--_F3_--_W1_--	WL-A6007				
3188		DBIL_157-A15D_H	--_F3_--_W1_--	WL-A6007				
3189		DBIL_157-A16A_A	--_F3_--_W1_--	WL-A6026		DR-A6021		WO-A6035
3190		DBIL_157-A16A_B	--_F3_--_W1_--	WL-A6027				
3191		DBIL_157-A16A_C	--_F3_--_W1_--	WL-A6027		DR-A6026		
3192		DBIL_157-A16A_D	--_F3_--_W1_--	WL-A6027		DR-A6013		WO-A6045
3193		DBIL_157-A16A_E	--_F3_--_W1_--	WL-A6064				

Fig. 8. DBIL/ Design Bases Datasheet

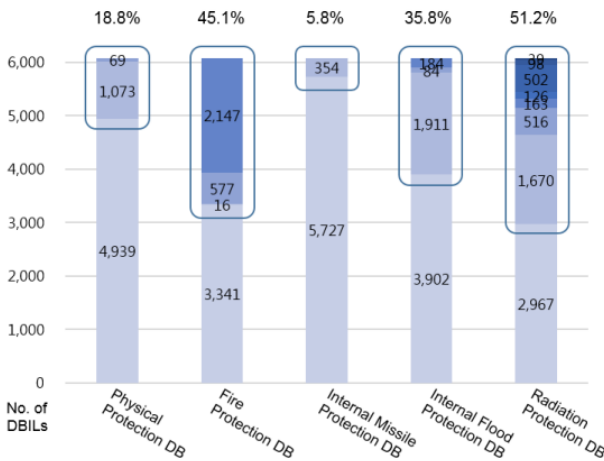


Fig. 9. Percentage that Includes Design Bases Attribute in DBIL

전체 DBIL에서 각 설계기준을 포함하고 있는 비율을 나타낸 결과는 <Fig. 9>과 같다. 각 설계기준별로 살펴보면 화재방호, 방사선방호 속성을 지닌 DBIL은 각각 51.2%, 45.1%인데 반해 물리적방호, 내부비산물방호는 18.8%, 5.8%로 설계기준 별 적용 범위에 차이가 나는 것을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구는 Shin (2019)이 제안한 DBIL(설계기준정보층) 개념을 도입하여 APR1400을 대상으로, 5가지 설계기준을 적용하여 DBIL생성 및 속성을 분석하였다. DBIL의 생성을 위해서 BIM과 BIM 기반 Algorithm을 활용하였고, 설계기준은 실(Room)과 격벽(Barrier)를 기준으로 속성을 부여하였다. 최종 결과물인 Datasheet에는 실, DBIL, 설계기준 속성, 빌딩 데이터(벽·바닥 슬라브, 문·창문, 수직·수평관통부)를 통합 추출하여 후속설계 자동화 및 설계검증에 활용할 수 있도록 하였다. 따라서 본 연구는 다양한 분야에서 생산하는 수많은 도면을 설계 일관성 및 일치성 확보를 위해 작성하는 설계기준도면(Design Bases Drawing)의 활용성을 개선하고, BIM기반의 설계기준 통합관리 체계를 구축하여, 설계기준 정보를 체계적이고 정확하게 후속설계에 반영 할 수 있는 시스템을 만들었다는데 의의가 있다. 특히 기존에 문서기반으로 운영되던 DBD를 BIM을 기반으로 통합하여 후속설계시 발생할 수 있는 설계오류를 없애고, 설계시간을 단축할 수 있는 가능성을 갖게 되었다.

더 나아가 APR1400 이후 신형원전 노형인 APR+과 SMART (System-Integrated Modular Advanced Reactor) 같은 차세대 원자력 시설뿐만 아니라, 설계기준 개념(설계가이드라인, 설계검증기준 등)이 적용되는 대형 건축물 및 플랜트시설 등으로 영역을 확장한다면 폭넓은 활용이 가능할 것이라 예상된다.

References

- Hwang, E. (2008). "A Study on the Analysis of the Problems between Design Guidelines of the Elderly Housing." *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 24(9), pp. 19-26.
- IAEA (2011). "Status report 83 - Advanced Power Reactor 1400MWe (APR1400)" <http://aris.iaea.org>.
- Kepeco E&C (2019). "Introduction of APR1400" <http://www.kepeco-enc.com/eng>.
- Kim, S., Park, S., and Kang, B. (2004). "Design Criteria in Barrier Free Housing." *Journal of Korea Institute of Healthcare Architecture*, 10(2), pp. 107-115.
- Ministry of Trade, Industry and Energy, Korea (2016). "Nuclear Power Generation"
- Shin, J. (2018). "Establishment of Room Based Database for Configuration Management in Nuclear Power Plant -Focusing on the Design Requirement and Facility Configuration Information-" *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 19(6), pp. 34-45.
- Shin, J. (2019). "Development of AAB(Algorithm-Aided BIM) Based 3D Design Bases Management System in Nuclear Power Plant." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, 20(2), pp. 28-36.

요약 : APR1400은 1992년 12월부터 2001년 12월까지 약 10여년에 걸쳐 국가선도 기술개발과제를 통해 개발된 1,400MWe급 차세대 원자력발전소 노형으로, 건설을 위해서 약 6만 5천 장의 도면이 생산된다. 또한 수많은 도면 간 일치성 유지를 설계기준(Design Bases)에 따라 가장 높은 수준의 설계기준도면(Design Bases Drawing)를 작성하여 후속설계에 가이드라인 역할로 활용하고 있다. 하지만 설계기준도면이 문서기반으로 생산·관리되고 있고, 다양한 분야에서 파편적으로 운영되어 설계기준정보를 정확하게 인지하고 후속설계에 정확하게 반영하는데 어려움이 있었다. 따라서 본 연구는 문서기반의 설계기준도면의 한계를 인식하고, BIM 기반의 설계기준 통합관리 체계를 도입하여, 설계기준 정보를 체계적이고 정확하게 후속설계에 반영 할 수 있는 체계를 구축하였다. 특히 DBIL(설계기준정보층)개념을 도입하여 5가지 설계기준(물리적방호, 화재방호, 내부비산물방호, 내부침수방호, 방사선 방호)을 적용하여 DBIL생성 및 속성을 분석하였다. 최종 결과물인 DBIL set와 Datasheet에는 실(Room), DBIL, 설계기준 속성, 빌딩 데이터(벽·바닥 슬라브, 문·창문, 수직·수평관통부)를 통합 추출하여 후속설계 자동화 및 설계검증에 활용할 수 있도록 하였다. 더 나아가 APR1400 DBIL에 적용되는 5가지 설계기준의 속성을 분석하여 후속호기 및 차세대 노형과의 비교를 통한 경제성 분석 등에 폭 넓게 활용할 수 있을 것이라 예상된다.

키워드 : APR1400, 빌딩정보모델, 설계기준, 설계기준정보층, 원자력발전소
