'99 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

차세대원전의 발전소 기기배치(GA) 설계최적화

Design Optimization of General Arrangement in Korean Next Generation Reactor

김성환, 정대욱, 최영부, 조성제

전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

차세대원전 발전소 기기배치설계를 최적화하기 위하여 수차례에 걸쳐 국내원전 현장의견을 수렴하였으며, 국내원전중 운전성 및 보수성이 가장 우수한 것으로 평가받고 있는 울진 1,2호기를 벤치마킹하였다. 이러한 과정을 통하여 차세대원전의 발전소 기기배치를 위한 설계최적화 항목들을 도출하였다. 최적화 항목으로 채택된 주요내용은 "복합건물 기능 및 보조건물 중간층 사용개념 확대", "디젤제네레이터의 보조건물 수용", "보조건물 기기반출입 방식 변경" 등으로 압축될 수 있으며, 이러한 기기배치설계의 최적화와 동시에 보조건물을 완전한 장방형의 외곽을 갖도록 개선할 예정이다. 설계최적화에 의하여 발생하는 건물의 체적 축소효과는 단일 격납건물구조로 변경함에 따른 축소효과를 제외하더라도 차세대원전 설계개발 II단계 기기배치설계결과 대비 약 10%에 달할 것으로 예상된다.

Abstract

In order to optimize the general arrangement(GA) of Korean Next Generation Reactor (KNGR), field opinions in domestic nuclear power plants have been collected, and the bench marking on UCN #1,2 which were estimated to be the most excellent in view of operability and maintenance has been accomplished. Through this work, design optimization items for GA were reviewed. Major items to be selected for optimization are summarized as follows: "Expanding the compound building function and the mezzanine floor concept in the auxiliary building", "Including the diesel generator building to the auxiliary building", "Change of the equipment removal method in the auxiliary building". With these GA design optimization, the auxiliary building boundary will be improved as a complete rectangular type. The power block volume except the changing effect to the single containment structure will be reduced to about 10% in comparion with that of in KNGR phase II.

1. 서 론

차세대원자로 기술개발과제는 Ⅰ, Ⅱ단계 수행을 통하여 국내 원자력 기술수준을 한 단계 끌어 올려 선진국과 대등한 기술능력을 확보할 수 있는 기반을 마련하였다. '99. 3에 시작된 Ⅲ단계에서

는 표준설계 인가취득과 지속적인 최적화 설계개발을 통하여 경쟁력있는 표준설계의 개발을 주요 목표로 하고 있다. 최근들어 차세대원전의 경제성을 향상시키기 위하여 차세대원자로 기술개발 추진위원회에서는 현재의 이중 격납건물구조를 단일 격납건물구조로 변경하고, 피동이차응축계통(PSCS)을 제외하는 등의 차세대원전 설계기본요건을 변경할 것을 의결하였다. 본 연구는 이러한 취지에 발맞추어 차세대 II단계 기기배치설계를 보다 최적화할 수 있는 방안을 최대한 도출하여 최적화된 기기배치설계를 개발하는데 목적을 두고 있다.

2. II단계 기기배치 설계

가. 기기배치

차세대원전 건물 및 구조물 구성은 Nuclear Island 및 Turbine Island 및 Site Specific으로 구분되며, Nuclear Island는 격납건물, 보조건물, 출입통제건물, 비상디젤발전기건물, 방사성폐기물건물 등을 포함하고 있다[1,2]. 양호기는 대칭형태(Mirror Image)가 아닌 평행이동(Slide Along)형태의 배치를 취하고 있으며, 원자로 격납건물에 대하여 터빈건물은 접선형(Tangential)이 아닌 방사상(Radial)의 배치형태를 취하고 있다. 방사성폐기물건물은 양호기 공용건물로 배치되어 있으며, 각호기의 보조건물과 지하터널로 연결되어 있다.

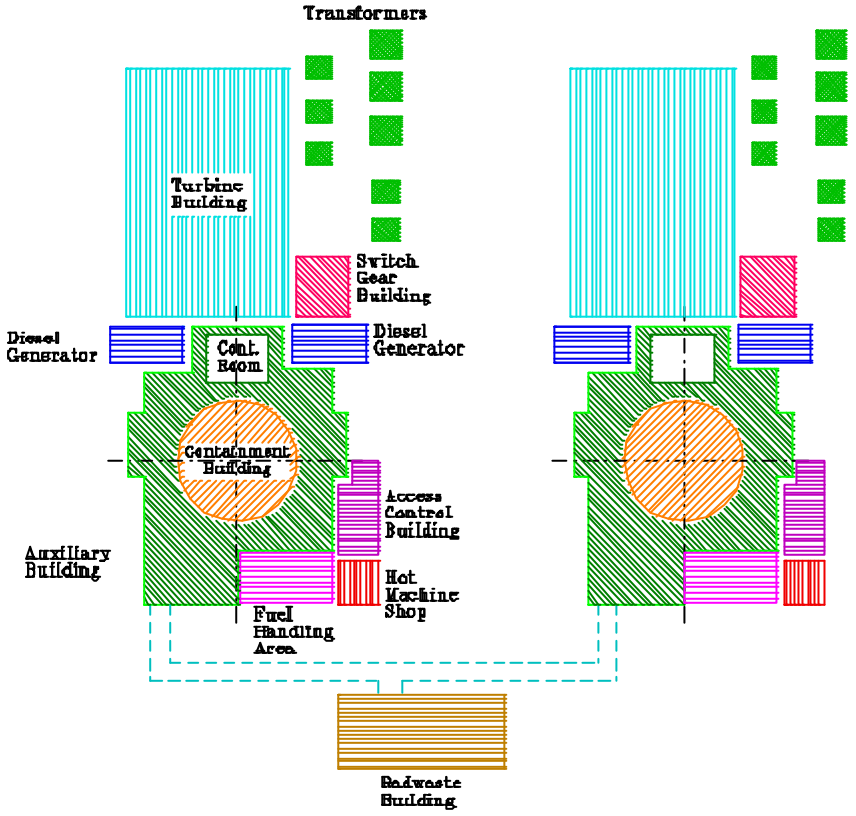


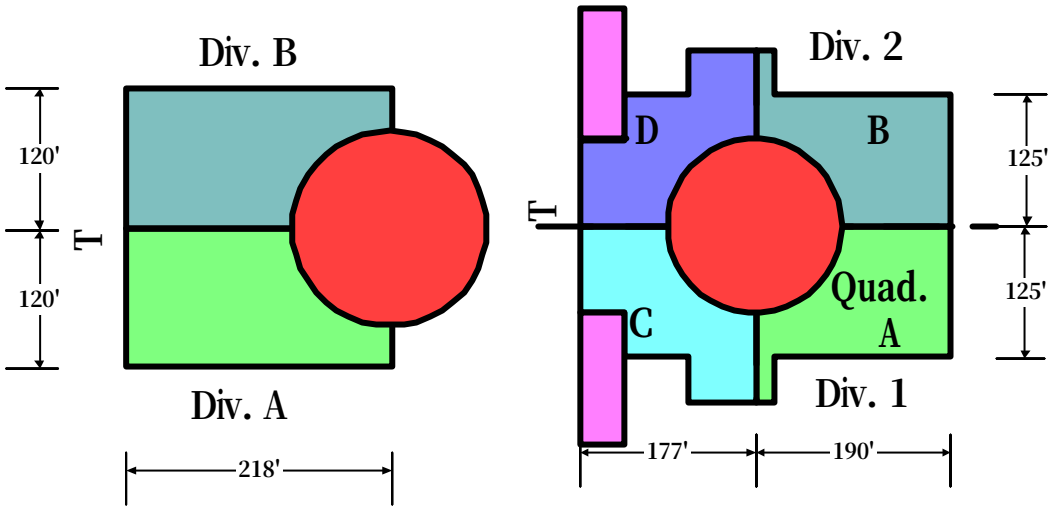
그림 1. 차세대원전 발전소 건물 배치 (II단계 설계 기준)

나. 기기배치 주요설계특성

차세대원전은 국내 타원전의 발전소배치 설계와 비교할 때, 다음의 주요설계특성들에 있어 차이점을 갖고 있는데, 이는 포괄부지특성 반영과 안전성의 강화에서 기인한다고 볼 수 있다.

-기초 형태 : 격납건물과 보조건물이 공동 기초형태로 지진에 대한 저항성 제고

-격납건물 형태 : 이중격납건물로 안전성 강화
-보조건물 형태 : Quadrant 형태로 안전관련계통의 4 Train System 분리수용 가능



[KSNP] [KNGR]

그림 2. 보조건물 배치형태 비교

3. 기기배치 설계최적화 기본방향

가. 복합건물 채택

복합건물 설계는 차세대원전의 안전성 기본목표를 저해하지 않고, 공유에 의한 설비, 기자재 및 구조물량의 감소는 물론 운영성 향상으로 인한 인건비 감소와 이용률 향상을 목적으로 하고 있으며, 주요특징은 다음과 같다.

-방사성폐기물건물, 방사성공작기기실과 출입통제건물을 통합하여 호기간 중앙에 배치
-복합건물을 통한 호기간 출입 및 이동의 용이성 확보
-Radwaste Tunnel 및 Personnel Tunnel 배제

나. 단일격납건물 구조 채택

차세대원전 격납건물은 당초 중대사고 대응력 강화, 부지경계거리(EAB) 축소효과 등을 고려하여 원통형의 이중격납건물 구조를 갖고, 내·외부 격납건물 사이에는 환형공간 정화계통이 설치되어 있다. 그러나 차세대원전의 경제성 제고를 통한 경쟁력 강화 필요성 및 중대사고 방지 대체기술의 발전 등을 고려하여 중대사고 대처능력을 보강할 수 있는 노내냉각(In-Vessel Retention) 개념을 설계에 반영하고, 현재의 이중격납건물 구조를 단일격납건물 구조로 변경한다.

4. 기기배치 설계최적화

가. 주요 최적화 항목

각 원자력발전소 현장설명회 및 의견수렴과정, 울진 1,2호기 벤치마킹과정 등을 통하여 차세대원전의 기기배치 설계최적화 항목으로 최종 채택된 사항은 "복합건물 기능 확대", "보조건물 중간층 사용개념 확대", "디젤제네레이터의 보조건물 수용", "보조건물 기기반출입 방식 변경"의 4가

지로 압축될 수 있으며, 각각에 대한 검토내용을 요약하면 다음과 같다.

1) 복합건물 기능 확대

복합건물의 기본구성개념은 방사성폐기물건물, 방사성공작기기실, 출입통제건물을 통합하여 호기간 중앙에 배치하는 것으로 설계를 추진하였다. 그러나 발전소 현장의견 수렴결과와 경제성 검토결과를 토대로 현재 각 호기의 보조건물 및 터빈건물에 있던 비상대응설비(TSC/OSC)와 1차측, 2차측의 시료채취 및 실험실을 복합건물에 이동 배치하는 방안을 채택하였다. 비상대응설비(TSC/OSC)의 이동배치는 주제어실로의 접근성이 다소 불리해지는 측면이 있으나 인허가요건상의 문제점은 없으며, 화장실, 주방, 통신실 등의 부대설비를 양호기 공용할 수 있으며, 주제어실의 층고를 현재의 2층에서 1층으로 축소할 수 있는 등의 경제적 효과가 예상된다. 현재 보조건물 및 터빈건물에 각각 배치되어 있는 1차측, 2차측의 시료채취 및 실험실을 복합건물에 이동 배치하는 방안은 시료채취계통의 기능적 및 경제적인 측면에서는 다소 불리하나 발전소 운영측면에서 화학요원들의 접근, 관리에 어려움이 많아 지속적으로 개선이 요청되어온 사항으로 인력운영의 최적화와 효과적인 설비관리 측면에서 장점을 갖고 있다. 이상과 같은 복합건물의 기능을 확대 적용하는 것과 연계하여 현재의 주제어실 및 터빈운전층 불일치(주제어실 층: 156', 터빈운전층: 136', 복합건물 최상층: 120')사항을 그림 3에서 보는 바와 같이 직접 접근이 가능한 설계로 변경할 예정이다.

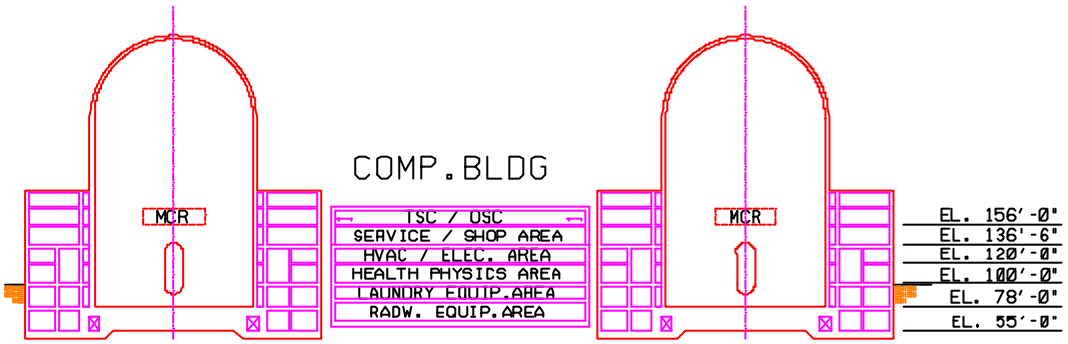
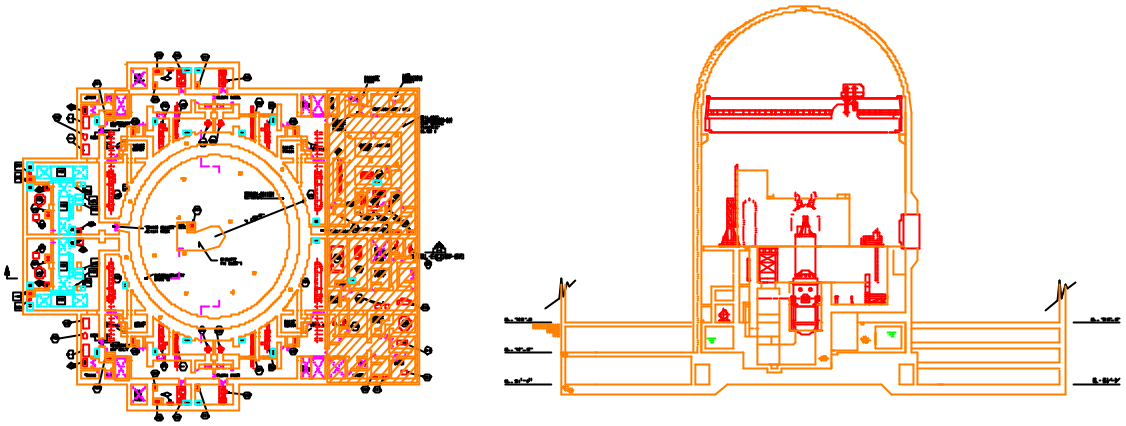


그림 3. 복합건물 배치설계 추진(안)

2) 보조건물의 중간층 사용개념 확대

현 보조건물의 설계는 벽과 바닥면을 전층에 걸쳐 일치시키고, 중간층 및 개구부 사용을 억제하여 구조적 안정성을 향상시켰으나 이로 인하여 건물 체적이 증가한 측면이 있다. 즉, 매우 한정된 지역을 제외하고는 해당층에서 가장 큰 소요높이를 갖는 기기에 의하여 층고를 결정되는 것이 불가피하였으며, 울진 1,2호기를 제외한 대부분 국내원전들도 이러한 기기배치 설계개념을 반영하고 있다[3,4]. 차세대원전 보조건물 설계에서는 각 기기설치공간의 최적화를 통한 건물 최적화를 달성하기 위하여 보조건물내에 수납되는 각 기기별 기능 및 지역적 특성에 따라 최소필요공간을 산정, 그룹핑 과정을 거쳐 구조물의 이동에 따른 체적 축소와 중간층의 이용을 확대 적용하는 방안을 검토하였다. 검토결과, 현재 보조건물 지하층에 배치된 기기들의 크기 및 특성(Hot Component/Low Required Height)으로 보아 그림 4-a의 빗금영역인 Quadrant A, B에 중간층의 형성이 가능한 것으로 나타났다. 그림 4-b는 현재의 지하 2개층을 3개층으로 변경 구성한 단면을 보여주고 있는 것으로 이와같이 건물의 층고를 하향 조정하는 방법으로 21,000 ft^2의 면적을 활용 가능하게 되었다.



a. 현 보조건물 지하층의 중간층 형성가능 지역

b. 중간층 채택에 따른 보조건물 예상 단면

그림 4. 보조건물 배치설계 추진(안)

3) 디젤제네레이터의 보조건물 수용

차세대원전의 디젤제네레이터 건물은 그림 2에서 보는 바와 같이 보조건물과 독립된 2개의 건물로서 배치되어 있으며, 이는 디젤제네레이터.의 운전시 발생하는 진동이 보조건물까지 전달되는 것을 방지하기 위한 설계개념을 반영한 것이다. 이러한 설계개념은 진동의 전달방지측면에서 타당성을 갖고 있어 선행호기인 영광 5,6호기 및 울진 5,6호기에의 기기배치 설계에서도 채택하고 있는 사항이나 보조건물 외벽형상이 복잡해지고, 기초층의 불일치에 따라 보조건물과 공유하는 벽면을 사용할 수 없는 등의 단점도 갖고 있다. 이러한 설계개념과는 달리 디젤제네레이터를 보조건물에 수용하고 있는 울진 3,4호기의 운전경험으로 볼 때, 기기의 기초에 방진설비를 채택하여 진동으로 인한 문제점은 없는 것으로 조사되었으며, 참조원전인 System 80+도 디젤제네레이터를 보조건물에 수용하는 설계를 채택하고 있다. 따라서 차세대원전의 기기배치에서도 이러한 설계개념을 반영하여 보조건물에 디젤제네레이터를 수용하여 보조건물의 외벽형태를 개선하고, 이와 연계하여 터빈건물과 인접하고 있는 보조건물의 최외곽 경계를 축소 조정하는 방법으로 보조건물의 체적을 최적화할 예정이다.

4) 보조건물 기기반출입 방식 변경

차세대원전 보조건물의 기기 반출입통로는 별도의 구조 형태를 가진 독립된 Removal Shaft로 설계되어 있으며, 보조건물내부의 반출입 예상기기중 최대용적을 갖고 있는 격납건물 살수 및 안전정지계통 각각 2set의 열교환기를 4개의 Quadrant에서 반출할 수 있도록 설계되어있다. Removal Shaft의 수량은 그림 5의 빗금표시부분으로 보이는 바와 같이 Quadrant A에 방사선 및 청정구역용을 구분할 수 있도록 2개의 Shaft를 배치하였으며, 다른 3개의 Quadrant에 각 1개의 Shaft를 배치하여 총 5개로 이루어져 있다. 이러한 배치방식은 기기 반출입 편의성이 우수하고, 용도별로 방사선 구역과 비방사선 구역의 분리가 가능하다는 장점이 있으나 Removal Shaft 자체가 많은 공간을 차지하고 있을 뿐만 아니라 전층을 관통하여 일정지역에 위치하므로서 타기기 배치에 많은 제약요소가 되어 공간이용도 측면에서 불리한 면을 갖고 있다. 또한 Shaft의 수량 및 크기결정에 직접적인 영향을 미치는 격납건물 살수계통 및 안전정지계통의 열교환기는 정상운전시 사용되지 않는 기기로서 교체빈도가 원전의 수명운전 기간동안 매우 적을 것으로 예상되고 있다. 그림6-a는 보조건물 EL.55'의 Quadrant A의 Shaft 배치를 나타내고 있으며, 열교환기보수를 위한 튜브인출용 공간으로 별도의 Area-1을 기기배치설계에 적용하였다. 건물최적화 측면에서 각

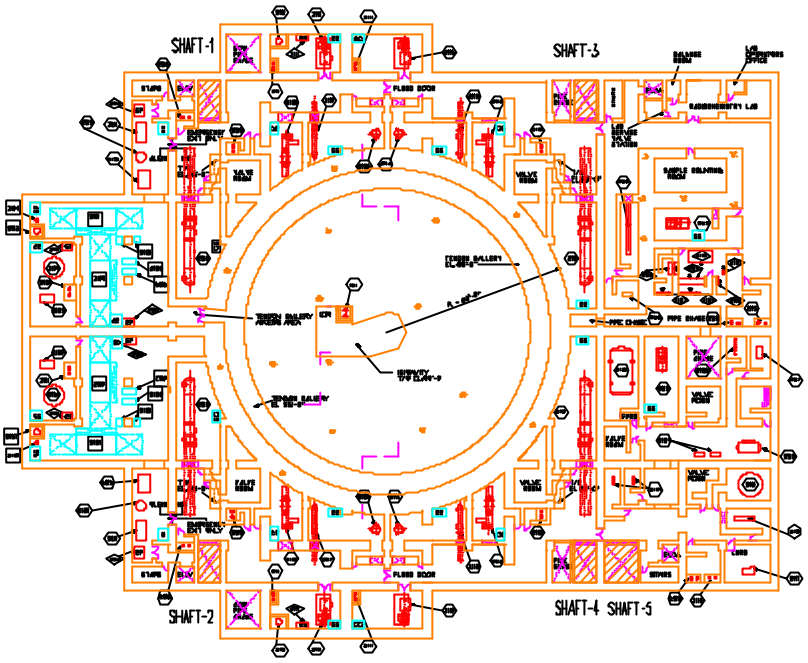
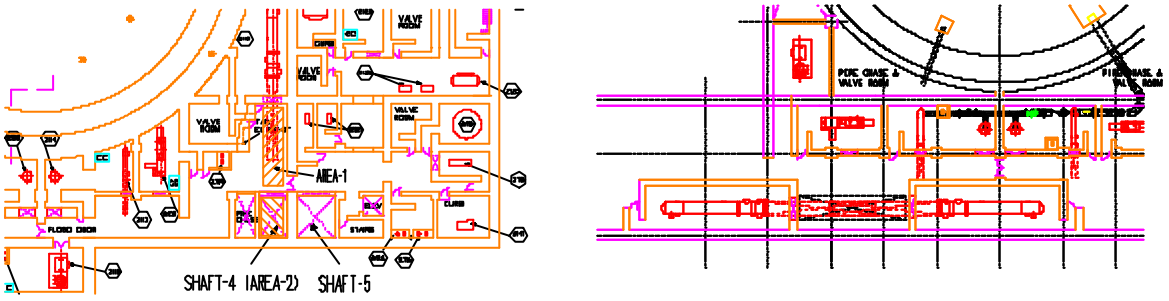


그림 5. 보조건물(EL.55')의 기기반출 위치

기기는 제염후 반출개념을 적용하여 방사선 및 청정구역용을 구분하는 설계를 통합 운영설계로 변경하고, Shaft의 형태도 수직벽면(Removal Wall)형태로 부터 수평바닥면(Removal Slab)형태로 변경하되, 튜브인출공간을 기기반출공간과 공용하여 공간의 이용을 최대로 할 수 있도록 그림6-b와 같이 설계를 변경할 예정이다.



a. 원설계의 기기반출방식 b. 설계변경 기기반출방식

그림 6. 보조건물 기기반출 설계개념 변경(안)

나. 기기배치 설계최적화 예상

1) 보조건물의 외곽선 결정

그림7은 차세대 III단계의 보조건물 기기배치 설계최적화 계획을 보여주고 있는 것으로 II단계의 설계와 대비하여 빗금부분의 영역들을 축소 조정하여 장방형의 외곽을 갖도록 할 예정이며, "가"항의 "주요 최적화 항목"으로 채택된 내용을 토대로 각 방위별로 외곽선 결정과정에 고려한 사항은 다음과 같다.

-West 방향

터빈건물과 인접하고 있는 주제어실지역은 주변사무실의 통합 또는 이동으로 외곽선 축소

-East 방향

핵연료 취급지역의 신연료용기 저장구역의 이동으로 외곽선 축소

-South-North 방향

환형공간제거 효과를 고려, 주증기밸브룸을 격납건물 방향으로 이동으로 외곽선 축소

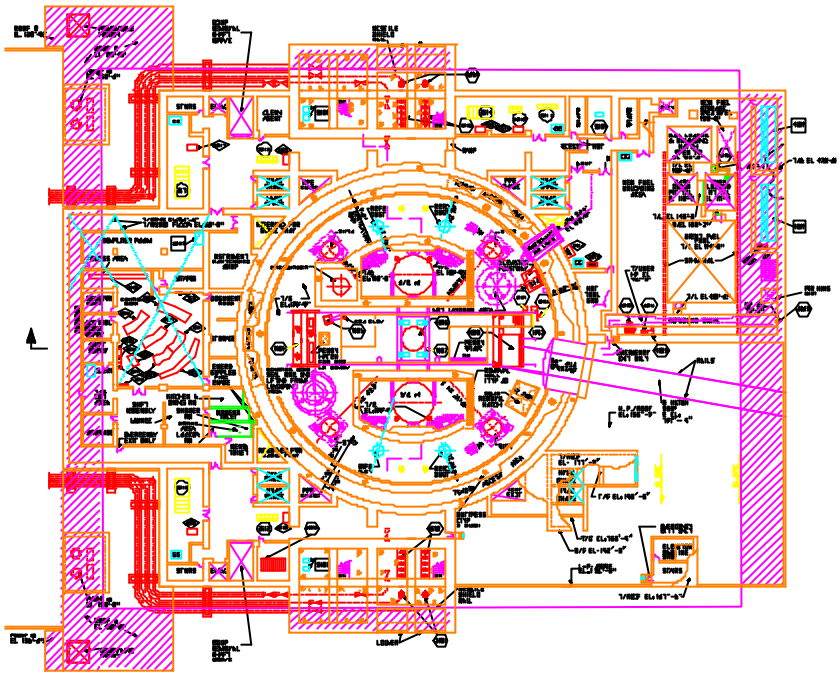


그림 7. 보조건물 기기배치 설계최적화 계획

2) 설계최적화에 의한 건물체적 축소효과 예상

표 1은 차세대원전 II단계 기기배치결과 대비 설계최적화 항목들을 채택함으로서 예상되는 효과를 건물체적측면에서만 비교한 것이다. 표 1에서 보는 바와 같이 격납건물구조를 이중격납건물로부터 단일격납건물로 변경하므로서 건물체적의 축소효과를 제외하더라도 보조건물의 최적화로 인한 효과는 9%, 출입통제건물 및 방사성폐기물 처리건물 등의 기능을 복합건물로 통합 배치하여 얻어지는 효과의 17% 등 건물체적 축소효과는 약 10%에 이를 것으로 예상되고 있다. 이러한 설계최적화는 건물체적 축소효과에 국한되는 것은 아니며, 보조건물의 외형개선에 따른 시공비 절감, 복합건물 설계개념도입에 따른 각종 설비의 공용에 따른 구매비 절감 등의 효과와 함께 경제성 측면에서 매우 유리하게 작용할 것으로 예상된다.

그림 8은 차세대원전의 부지내 건물배치 계획을 보여주고 있는 것으로 차세대 II단계의 설계결과인 그림 1과 비교할 때, 보조건물의 외곽형태가 완전한 장방형으로 개선되어 있고, 출입통제건물 및 방사성폐기물 건물, 방사성 기기공작실의 기능을 통합한 복합건물이 양호기의 중앙에 배치되어 있는 예상배치를 보여주고 있다.

표 1. KNGR 2단계 결과/3단계 예상 건물체적 비교

기준 : 2호기 기준, ft ^{3}* 10^6

건 물1)	2단계 결과	3단계 예측	축소체적(%)
격 납 건 물	13.54	9.89	3.66(-27%)
보 조 건 물	18.39	16.75	1.64(-9%)
ACB+H/M SHOP 방사성폐기물건물 복 합 건 물	1.55 1.87	 2.84	0.59(-17%)
계	35.36	29.47	5.89(-17%)
격납건물제외 계	21.82	19.58	2.23(-10%)

* 주 1) : 터빈 건물 제외

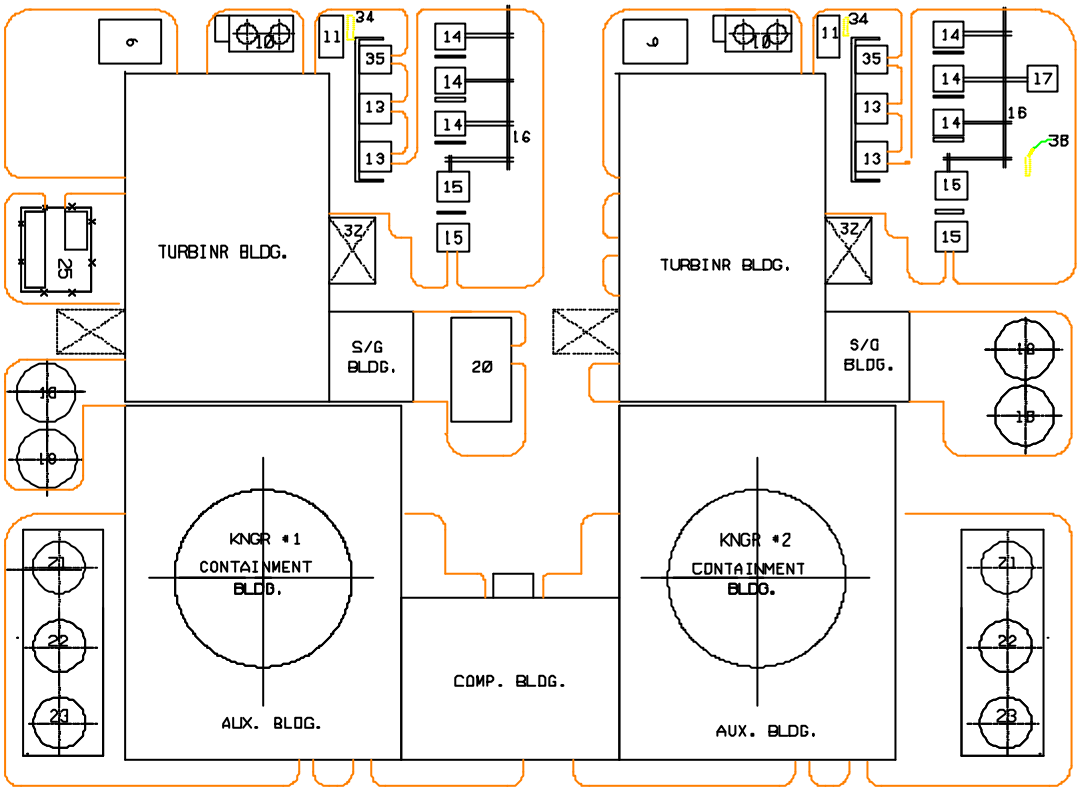


그림 8. 차세대원전의 부지내 건물배치 계획

5. 결 론

차세대원자로 기술개발 III단계는 표준설계인가 취득과 지속적인 최적화 설계개발을 통하여 차세대원자로의 건설사업 추진을 보다 구체화하는 것을 목표로 하고 있다. 이러한 최적화 설계개발의 일환으로 본 연구에서는 각 원자력발전소 현장설명회 및 의견수렴과정과 울진 1,2호기 벤치마킹을 통하여 기기배치 설계최적화 항목들을 도출하였다. 주요 설계변경사항으로 채택된 사항은 "복합건물 기능 확대", "보조건물 중간층 사용개념 확대", "디젤제네레이터의 보조건물 수용", "보조

건물 기기반출입 방식 변경"의 4가지이며, 완전한 장방형의 외곽을 갖도록 보조건물의 외형을 개선할 예정이다. 이러한 설계최적화에 의하여 발생하는 건물의 체적 축소효과는 단일 격납건물구조로 변경함에 따른 축소효과를 제외하더라도 차세대 II단계 기기배치결과 대비 약 10%에 달할 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

1. KEPCO, 기술개발: 차세대원전 기술개발 현황, '97년 겨울호, 제 33집, 1997.12.
2. KEPCO, "General Arrangement Nuclear Island(KNGR-II)-EL.55'~188', EWS No.: N-301 - EPD186-001~080", Rev.1, 1998.7.
3. KEPCO, 원자력발전소 표준화설계를 위한 조사용역: 운전보수성 저해요인 해소방안 검토, Vol. 19, 1987.8.
4. KEPCO, Korea Nuclear Unit 9&10, 최종안전성 분석보고서 (Final Safety Analysis Report), Vol. 1, 1985.9.