

김성환, 김시문, 최영부, 조성제  
한국전력 전력연구원

Fire Protection Design Features of Korean Next Generation Reactor

Sung Hwan, Kim, Si Moon, Kim, Young Boo, Choi, Sung Je, Cho  
Korea Electric Power Corporation  
Korea Electric Power Research Institute

1. 서론

차세대원자로 기술개발과제는 I, II 단계 수행을 통하여 국내 원자력 기술수준을 한 단계 끌어 올려 선진국과 대등한 기술능력을 확보할 수 있는 기반을 마련하였다. '99. 3에 시작된 III단계에서는 표준설계인가 취득과 지속적인 최적화 설계개발을 통한 경쟁력있는 표준설계의 개발을 목표로 설계가 수행중에 있다. 본 연구는 '99. 2에 완료된 차세대 II단계 설계결과를 기준으로 차세대원전 화재방호를 위한 주요 설계특성들을 제시하므로서 차세대원전 화재안전성에 대한 원전종사자 및 일반인들의 이해와 신뢰를 증진시키는데 목적이 있다.

2. 차세대원전의 화재방호 설계기준

차세대원전의 화재방호설계는 미국의 10CFR(Code of Federal Regulations) Appendix A의 GDC(general design criteria) 3과 NRC(Nuclear Regulatory Commission)가 1981년 7월 이후의 신규원전에 대한 심사지침으로서 개정 발표한 NUREG-0800의 SRP(Standard Review Plan) BTP(Branch Technical Position) CMEB(Chemical Engineering Branch) 9.5-1을 기준으로 하고, 개량형 원전(Aadvanced Light Water Reactor)에 대하여 SECY(Secretary of the Commission) 90-016과 SECY 93-087의 ALWR 관련 보강지침을 추가 적용하였다. 또한 산업기술 기준으로 미방화협회(National Fire Protection Association)에서 발행한 경수로의 화재방호기준인 NFPA 803과 개량형 경수로(ALWR)에 대한 화재방호기준으로 1995년 8월에 발행된 NFPA 804의 기준을 적용하였다. 이러한 설계기준들은 국내의 소방법규와 비교하여 대부분 보수성을 유지하고 있으나 부분적으로 상충되는 요건들에 대하여는 국내법규를 준수할 수 있도록 설계하였다.

3. 발전소 배치 특성

3.1 건물배치

차세대원전 건물 및 구조물 구성은 그림 1에서 보는 바와 같이 Nuclear Island 및 Turbine Island 및 Site Specific으로 구분되며, 특히 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.

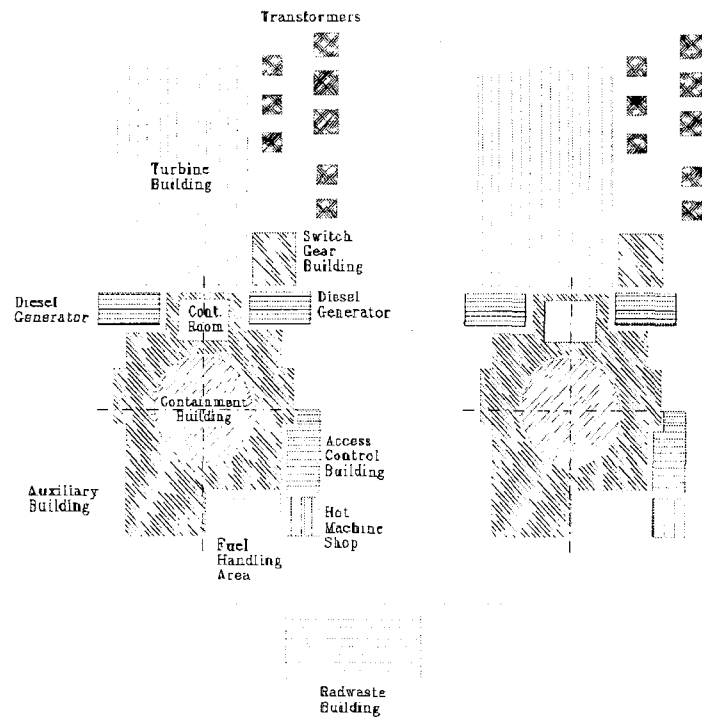


그림 1. 차세대원전 건물배치

차세대원전의 보조건물은 그림 2에서 보는 바와 같이 격납건물을 에워싸고 있는 Wrap-around형태이기 때문에 Division에 의한 2개의 분리개념을 갖고 있는 기존 원전에 비하여 원자로의 안전정지와 관련된 기기들을 4개의 Quadrant에 비교적 용이하게 분리·수용할 수 있는 구조를 갖고 있다.

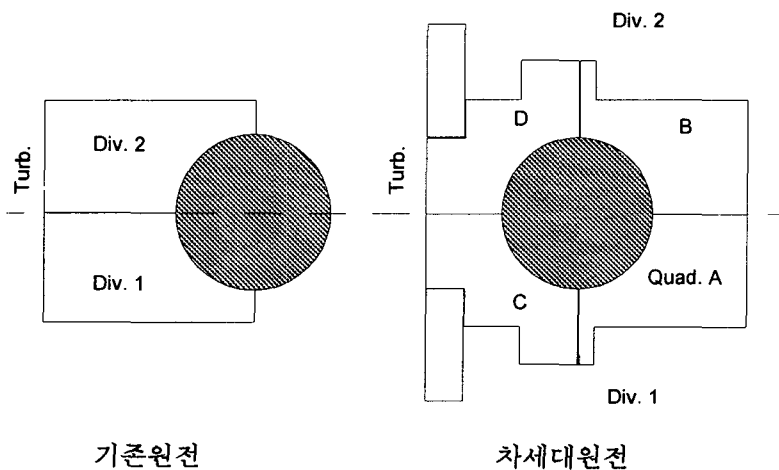
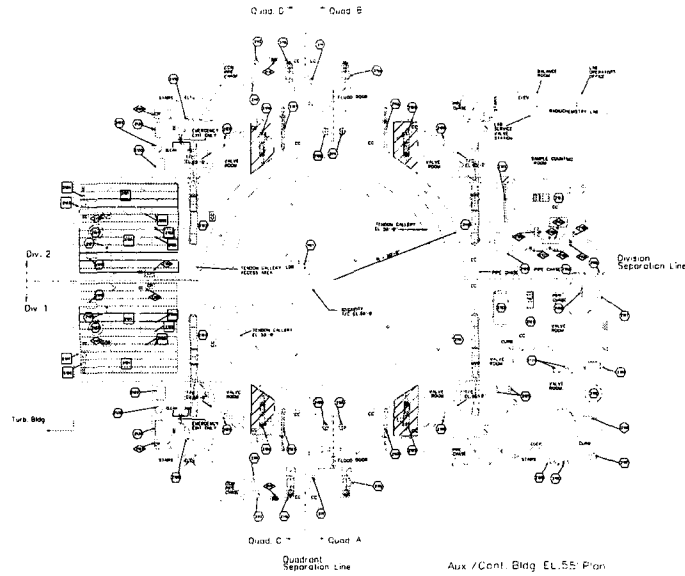


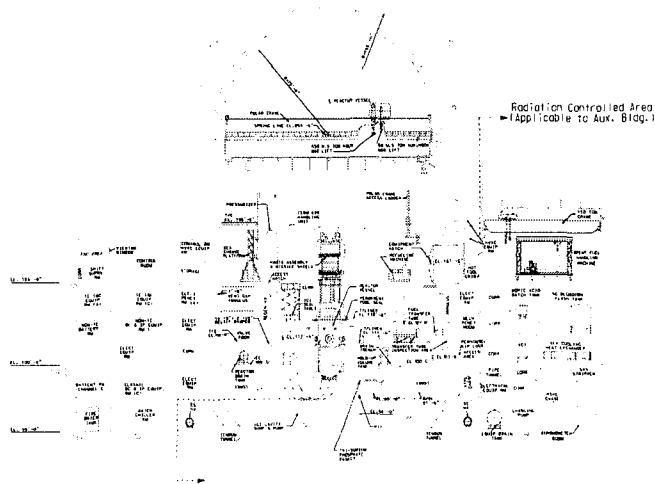
그림 2. 보조건물 배치형태 비교

### 3.2 기기배치

원전의 화재안전성은 노심손상빈도(Core Damage Frequency)로 나타낼 수 있는데 이는 원자로의 안전정지에 영향을 미치는 안전성 관련계통들이 화재에 의하여 받는 영향과 직접적인 관계가 있다. 차세대원전은 원자로의 안전정지와 관련된 주요계통인 안전주입 및 격납건물 살수계통, 그리고 전기 및 계측제어계통



a. 보조건물/격납건물 평면도  
(EL. 55' Plan)



b. 보조건물/격납건물 단면도  
(East-West Section)

그림 3. 차세대원전 보조건물/격납건물의 기기배치

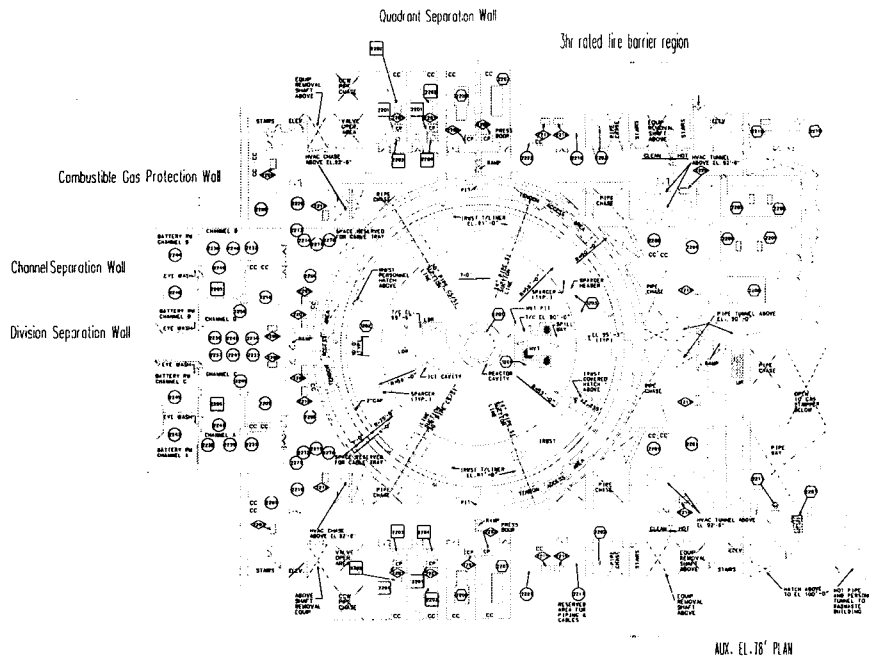


그림 4. 보조건물/격납건물의 화재구획

를 적용토록 설계되었다. 현단계에서 구체적인 소화약제를 선정할 상태는 아니나 차세대원전의 설계수명이 60년을 목표로 하고 있으므로 인원거주지역(Occupied Area)에 전역방식으로 적용가능한 약제중 특정기간 이후에 생산이 금지되는 경과물질이 아니어야 할 것이다. 이러한 제한사항들을 고려할 때, 국내에서 고시화된 7종의 청정소화약제중에서는 HFC-23, HFC-227ea, INERGEN의 사용이 가능할 것으로 검토되었다[5].

화재시에도 원자로의 안전정지기능을 확보하기 위하여 주제어실 화재의 경우, 원격정지제어실 또는 각 채널별 기기제어판넬에서 주제어실의 제어기능을 주제어실의 직하층에 있는 원격정지제어실로 전환후, 원격정지제어실에서 안전정지운전을 수행 가능하도록 설계되어 있다. 주제어실 외부에서의 화재발생에 대비하여 주제어실 구역은 3시간의 내화벽으로 방호하며, 제어실의 내부는 연기 등의 침입을 방지하기 위하여 주변지역에 비하여 항상 가압(pressurization)상태를 유지할 수 있도록 하였다.

피난 및 소화활동을 위하여 모든 피난계단은 내화벽으로 보호하고, 계단실 가압방식을 채택하여 연기 등의 유해기체의 침입을 방지할 수 있도록 설계하였다. 가압계통은 원전의 공조계통이 고장에 대비한 다중성의 개념을 채택하고 있으며, 차세대원전의 계단실 배치형태가 옥상까지 연속되는 경우와 그렇지 않은 경우가 혼재하고 있으므로 별도의 천장설치형 가압송풍기를 설치하는 방식을 배제하고, 정상공조를 이용하여 가압하는 설계방식을 채택하였다.

가연성 기체에 의한 폭발방지를 위하여 가연성의 냉매나 수소기체의 발생이 예상되는 Chiller Room 또는 배터리실 등의 구역은 가연성 기체의 축적을 방지할 수 있도록 해당구역을 감압(negative pressure)구역으로 유지하거나 배기팬 운전 등으로 가연성기체의 축적을 방지할 수 있도록 하였다.

등에 4 Train 및 Channel 개념을 채택하고, 이들을 물리적으로 격리시키므로써 기존원전에 비하여 노심손상빈도를 상당히 낮출 수 있었다. 일부의 보수적인 가정을 전제로 차세대원전에 대한 전출력 운전시의 화재사건에 의한 총노심손상빈도는  $8.3E-8$ /년으로 평가되었으며[3], 이 결과로서 개량형 경수로(ALWR)에 대한 미국 화재방호기준인 NFPA 804에서 제시한 화재에 의한 노심손상빈도 목표치 ( $1.0E-6$ /년)를 잘 만족하고 있음이 확인되었다. 그림 3의 a는 차세대원전의 안전성 관련기기가 집중 배치되어 있는 보조건물 지하 2층의 기기배치를 나타내고 있는 것으로 Division Separation line인 벽을 기준으로 남북방향의 기기가 완전 분리된 상태이며, 하나의 Division은 다시 Quadrant Separation line을 기준으로 동서방향으로 분리되고, 일반복도구역은 Flood Door로서 분리상태를 유지하고 있음을 보여준다. 격납건물주변으로 4곳의 사선방향으로 빗금친 부분은 대표적인 안전성 관련기기인 안전주입펌프의 배치를 일례로서 보여주는 것으로 4개의 Quadrant에 분산되어 있음을 알 수 있으며, 안전정지계통 및 기기냉각수계통의 경우도 동일한 4 Train 개념으로 배치되어 있다. 터빈건물과 인접한 서쪽지역의 수평방향으로 빗금친 부분은 전기 및 계장기기가 집중배치되어 있는 지역으로서 물리적인 이격을 유지하고 있지는 않으나 Division Separation Wall을 기준으로 일차적인 분리를 유지하되, 하나의 Division은 다시 Channel Separation Wall로 세분되어 4 Channel의 기기를 분산 수용하는 개념으로 배치되어 있다. 그림 3의 b는 보조건물/격납건물의 동-서방향 단면을 나타내고 있는 것으로 평면의 경우와 동일하게 터빈건물과 인접한 서쪽방향으로 주제어실을 포함한 각종 전기 및 계장기기가 집중 배치되어 있고, 동쪽방향의 Quadrant A, B에 핵연료 취급기기 및 화학체적제어계통 등의 방사성 관련기기가 방사선 관리 구역에 배치되어 있음을 알 수 있다.

#### 4. 화재구획 특성

차세대원전의 화재구획은 발전소 기기배치의 기본원칙인 Quadrant를 이용한 4 Train 또는 4 Channel의 기본개념이 유지될 수 있도록 구획되었다. 그림 4는 보조건물 및 격납건물 EL. 78'의 기기배치를 나타내고 있는 것으로 격리구조를 유지하는 격리벽들, 즉, Division Separation Wall, Quadrant Separation Wall, Channel Separation Wall은 모두 3시간의 방화벽으로 설계되어 있다. Quadrant A, B의 핵연료 취급기기 및 화학체적제어계통 관련기기가 배치되어 있는 지역은 기기의 기능 등을 고려하여 특히 방호를 요하는 기기실을 제외하고는 별도로 구획하지 않았으며, 이 지역을 제외한 모든 지역을 "3hr Fire Barrier Region"으로 설정하였다. 이 지역은 모든 층을 분리하여 별도의 화재구획으로 설계하는 층간분리구조를 유지하고, 배관, 전선, 공조덕트 등의 수직통로를 완전히 격리하여 별도의 화재구획으로 설정함으로써 화재의 수직확산을 최소화할 수 있도록 하였으며, 안전성 관련기기가 배치된 기기실은 각각 별도의 화재구획으로 구획하였다. 격납건물은 건물전체를 하나의 화재구획으로 설정하되, 다중계열의 안전정지 기기 및 계기가 분리되어 있으며, 격납건물 관통부위에서는 최대한의 이격거리를 유지하도록 설계되었다[4].

#### 5. 화재방호계통 설계특성

차세대원전의 화재방호계통은 소화약제 적용시 환경문제가 되고 있는 할로겐의 사용을 완전히 배제하였으며, 주제어실과 같이 인원이 상주하는 지역이나 점검 또는 조작을 위해 잦은 출입이 예상되는 계장기기 배치구역에는 청정소화약

## 6. 결론

차세대원전은 보조건물이 격납건물을 에워싸고 있는 Wrap-around 형태를 갖고 있으며, 기기배치시에는 이러한 건물배치특성을 고려하여 대부분의 안전성관련 기기들을 2개의 Division 또는 4개의 Quadrant에 분리하여 배치하므로서 다중계열간 분리뿐 아니라 동일계열내에서도 각각의 Train 또는 Channel간 분리가 가능하도록 하였다. 이러한 분리개념을 토대로 안전성관련 기기 및 계열을 독립 화재구역으로 설정하고, 화재의 수직확산을 최소화할 수 있도록 각층간을 별도의 구역으로 설정하므로서 기존원전에 비하여 화재에 대한 안전성을 상당히 향상시켰다. 화재진압을 위한 소화약제 적용시에는 환경문제가 되고 있는 할론의 사용을 완전히 배제하였으며, 인원의 상주 또는 빈번한 출입이 예상되는 지역에는 청정소화약제를 적용하도록 설계하였다. 피난 및 소화활동을 위하여 주 제어실 구역 및 모든 피난계단은 내화벽으로 보호하고, 구역가압방식을 채택하여 연기 등의 유해기체의 침입을 방지할 수 있도록 설계하였다.

### [참고문헌]

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-EPD 186-001~080", Rev.1, 1998.7.
3. KEPCO, KNGR Standard Safety Analysis Report : 19.7(External Event Analysis), Vol. 16, 1999. 2.
4. KEPCO, Fire Protection Report, N-001-END 405-001(Rev. 1), 1999.2.25.
5. 김재덕, "국내외 할론대체현황 및 개발동향", CFC정보, pp 15 ~ 39, 1997.3.
6. BTP, "Guidelines for Fire Protection for Nuclear Power Plants", CMEB 9.5-1 Rev.2, 1981.7.
7. NFPA, "Standard for Fire Protection for Advanced Light Water Reactor Electric Generating Plants", NFPA 804, 1995.