

**국내 신형원전의 액체유출물 관리방안**  
**The Management Plan of Liquid Effluent**  
**in Korean Advanced Light Water Reactor**

김성환, 임혁순, 정대욱, 정대율

한진 전력연구원  
대전광역시 유성구 문지동 103-16

**요 약**

국내 신형원전의 비방사성 액체유출물은 Power Block내부에서 방사능 오염여부에 대한 확인을 마친후 중앙폐수처리시설로 이송·처리되며, 배출수는 Discharge Canal을 통하여 바다로 방류할 예정으로 충분한 희석조건을 갖출 수 있도록 하였다. 각 액체유출물에 대한 방사능 감시설계현황을 인허가기관에서 제시한 20개항목에 대하여 확인한 결과, 관련지침을 모두 만족시키고 있는 것으로 나타났다. 시료채취·분석과 관련하여서는 일부 터빈건물로부터의 유출물을 제외하고는 대부분의 계통들이 인허가기관의 지침을 만족하고 있다. 터빈건물 유출물의 경우는 방류전에 방사능오염에 대한 감시가 직·간접적인 방법으로 이뤄지고 있으므로 건물내 각 계통에 설치된 감시기에서 방사능오염이 감지되었을 경우에 한하여 수행하여도 문제점은 없을 것으로 예상된다. 옥외의 종합폐수처리시설 등에 집수되는 액체유출물에 대한 방사능 오염여부를 확인하는 방법으로 유출물을 통합관리하는 방안은 Power Block 내부의 각 계통에서 방사능에 대한 감시, 시료채취 및 분석을 수행하고 있으며, 방사능 감시장비의 추가에 따른 비용과 장비운영의 실효성 등을 고려할 때, 설치필요성은 없는 것으로 판단되며, 인허가기관과의 협의를 거쳐 설계 반영여부를 결정할 예정이다.

**Abstract**

Non-radioactive liquid effluent in Korean Advanced Light Water Reactor is transferred and treated in centralized waste treatment facility after the radioactivity in effluent is checked within power block. The liquid effluent from centralized waste treatment facility will be discharged by way of discharge canal in order to be in the sufficient condition. As a result of investigating the radiation monitoring design in accordance with 20 provisions by Korean Regulatory Authority, each effluent radiation monitoring design satisfies the regulatory guideline. In relation to sampling and analyses, most systems satisfy the regulatory guideline except for some effluents from turbine building. And, though sampling and analyses are performed after radioactivity is monitored at each

system in turbine building, these exceptions in turbine building effluents are expected to cause no significant problems because radioactivity is monitored by direct or indirect methods prior to release from turbine building. Integrated monitoring on liquid effluent from the centralized waste water treatment facility is not necessary because radiation monitoring, sampling and analyses on each system within power block are performed, and operational effectiveness compared with cost according to adding the radiation monitoring equipment is too low. So, whether the radiation monitoring in this effluent is reflected on design or not is planned to be determined through discussion with regulatory authority.

## 1. 서론

1997.9.5 IAEA에 의해 채택되고, 동년 9.29일부터 서명 개방된 “사용후핵연료 관리 및 방사성폐기물관리의 안전에 관한 공동협약”이 ‘01.3.20일자로 아일랜드가 비준서를 IAEA에 기탁함으로써 발효요건(25개국 이상 비준)을 충족하여 ‘01.6.18일부터 발효하게 됨에 따라 이의 일환으로 인허가기관에서는 국내 원전의 액체유출물 관리개선의 필요성 및 기본방침을 ‘99. 12월 개최된 제 5회 원자력 안전기술정보회의에서 발표하였다. 또한 ‘99. 10 KINS-G-001 경수로형 원전 안전심사지침서 11.5에 기술된 액체 유출물 감시 및 시료채취규정을 준수할 것을 요구하고 있으나 본 지침서의 내용에는 현재 가동중인 대부분의 국내원전에서 별도로 방사선에 대한 감시 또는 시료채취 등의 관리를 하고 있지 않는 터빈건물 청정배수 계통 등에 대한 관리까지를 포함하고 있어 국내 신형원전의 액체유출물 관리방안에 대한 검토를 수행하였으며, 본 논문에서는 이에대한 검토결과를 제시하였다.

## 2. 관련규정 및 검토방법

공정 및 유출물 방사능감시계측과 시료채취계통에 대한 국내규정으로는 KINS 경수로형 원전 안전심사지침 11.5를 참조할 수 있으며, 이는 US NRC의 SRP 11.5항의 기술내용과 매우 유사하다. 액체유출물에 대한 세부지침은 표1에서 보는 바와 같이 20개항목에 대한 감시 및 시료채취·분석규정으로 정의할 수 있다.

효과적인 검토를 위하여 본 논문에서는 먼저 KINS 경수로형 원전 안전심사지침 11.5에 기술된 20개항목 각각에 대하여 국내 신형원전의 현 설계현황을 확인하고, 본 안전심사지침을 만족하지 못하고 있는 계통들을 도출하였으며, 이들 계통들에 대한 방사능 감시, 시료채취 및 분석계획을 검토하였다. 단, 국내 신형원전의 표준설계 개발범위에 있지않은 비방사성 배수계통 등을 포함하여 옥외에 설치되는 중앙폐수처리설비의 통합관리방안 등은 기존원전 사례를 토대로 검토를 수행하였다.

## 3. 국내원전의 액체유출물 관리현황

가. 선행호기

기존호기의 경우, 방사성물질을 포함하는 액체 방사성폐액의 발생원은 액체 방사성폐기물 처리계통과 방사성 배수계통, 방사성 세탁배수계통 등이며, 각 계통에서 처리를 마친 유출물은 순환수계통의 배출 배관에 통합되어 바다로 방류한다. 액체 방사성유출물의 경우는

표 1. 액체유출물 관리 및 시료채취규정

| 번호 | 공정/계통                       | 감시기 관련 규정 |     |      | 시료채취 관련 규정 |           |       |
|----|-----------------------------|-----------|-----|------|------------|-----------|-------|
|    |                             | 공정        | 유출물 |      | 공정         | 유출물       |       |
|    |                             | Cont      | ACF | Cont | Grab       | Grab      | Cont  |
| 1  | 액체방사성폐기물 (배치) 방출계통          | (R)       | R   | R    | S&A        | S&A, H3   | -     |
| 2  | 액체방사성폐기물 (연속) 방출계통          | R         | R   | R    | -          | S&A, H3   | S&A   |
| 3  | 소내용수계통                      | -         | -   | (R)  | -          | S&A, H3   | S&A   |
| 4  | 기기냉각수계통                     | (R)       | (R) | (R)  | S&A        | S&A, H3   | (S&A) |
| 5  | 사용후핵연료저장조 처리계통              | (R)       | (R) | (R)  | S&A        | (S&A, H3) | (S&A) |
| 6  | 기기 배수 및 바닥배수 수집·처리계통        | -         | (R) | (R)  | -          | (S&A, H3) | (S&A) |
| 7  | 상분리장치 배수 및 저장계통             | -         | (R) | (R)  | -          | (S&A, H3) | (S&A) |
| 8  | 화학폐액 및 재생폐액 계통              | -         | (R) | (R)  | -          | (S&A, H3) | (S&A) |
| 9  | 실험실 및 시료채취계통 폐액 계통          | -         | (R) | (R)  | S&A        | (S&A, H3) | (S&A) |
| 10 | 세탁 및 제염폐기물 계통               | -         | (R) | (R)  | -          | (S&A, H3) | (S&A) |
| 11 | 폐수지슬러리, 고화 및 장입 배수계통        | (R)       | -   | (R)  | -          | (S&A, H3) | (S&A) |
| 12 | 액체방사성폐기물 탱크 (건물 외부)         | -         | -   | (R)  | S&A        | (S&A, H3) | -     |
| 13 | 우수 및 지하배수 계통                | -         | -   | -    | -          | (S&A, H3) | (S&A) |
| 14 | 원자로건물내 탱크 및 셉트              | -         | (R) | (R)  | -          | (S&A, H3) | (S&A) |
| 15 | 방산회수계통 액체유출물                | -         | (R) | (R)  | -          | (S&A, H3) | (S&A) |
| 16 | 증기발생기취출수 (배치) 액체유출물계통       | (R)       | R   | R    | S&A        | (S&A, H3) | (S&A) |
| 17 | 증기발생기취출수 (연속) 액체유출물계통       | (R)       | R   | R    | -          | (S&A, H3) | (S&A) |
| 18 | 2차 냉각재 처리폐액 및 터빈건물 배수계통     | -         | (R) | (R)  | -          | (S&A, H3) | (S&A) |
| 19 | 초음파 수지세정 폐기물계통 <sup>B</sup> | -         | (R) | (R)  | -          | (S&A, H3) | (S&A) |
| 20 | 비오염폐액 및 터빈건물 청정배수계통         | -         | -   | -    | -          | (S&A, H3) | (S&A) |

B - BWR에 적용할 수 있는 대표적인 계통명  
 NG - 불활성기체의 방사능  
 I - 옥소의 방사능, 입자 형태 기타 방사성핵종의 방사능 및 알파방출핵종  
 H3 - 삼중수소  
 R - 전방사능 (베타방사선, 감마방사선, 또는 중베타와감마의 합)  
 S&A - 시료채취 및 방사성핵종의 분석 (전방사능, 주요 방사성핵종 및 알파방출핵종의 종류 및 농도 확인 포함)  
 ( ) - 괄호 안에 기재된 규정은 유출물 하류에 대한 규정에 의하여 방출전에 감시, 시료채취 또는 분석이 수행되지 않는 계통에 대해서만 요구된다.

폐액이 방사성물질들을 함유하고 있다는 전제로 관리하고 있으므로 현행의 방사성 감시, 시료 채취 및 분석절차 등에 대한 문제점은 없는 것으로 파악되었다.

비방사성 관리계통 액체유출물과 관련하여서는 비방사성 관리계통은 터빈건물 배수(Condensate Polishing Area Sump수) 및 청정배수계통, 종합폐수처리계통 등이며, 잠재적인 오염가능성이 있다고 판단되는 CPP Area Sump수에 대한 방사능 감시를 수행하고 있다.

원전 종합폐수처리설비의 일반적인 운영현황은 그림 1과 같으며, 터빈건물 배수(CPP Area Sump수) 및 청정배수계통 등의 2차계통수의 유출물은 Yard에 있는 Chemical Waste Pond, Oily Waste Pond에 집수된 후 폐액이송계통에 의하여 종합폐수처리설비로 이송되며, 독립유로를 통하여 바다로 방류하는 방법을 채택하고 있으며, 유출물에 대하여는 수질오염 여부를 확인하는 측면에서의 시료채취 및 분석을 수행하고 있다. 최근 건설중인 원전에서는 인허가기관의 권고에 따라 종합폐수처리설비로부터 바다로 방류하는 유로를 순환수계통의 방류배관에 통합하여 희석효과를 높일 수 있는 방법을 추가로 채택하고 있다.

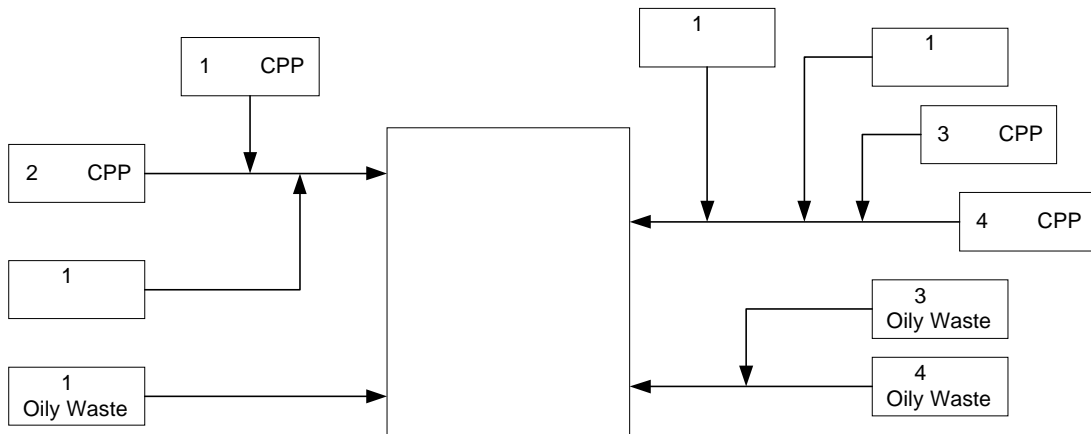


그림 1. 원전부지별 종합폐수처리설비 운영 현황

#### 나. 국내 신형원전

선형호기와 유사하게 방사성 관리계통 및 비방사성 관리계통을 유지할 예정이나 비방사성 관리계통 및 Site Specific 설계가 표준설계개발범위에 포함되지 않아 후속 설계에서 수행 예정이므로 본 항목에서는 표준설계범위내에서 생산된 가용 가능한 정보를 토대로 현 국내 신형원전의 설계가 KINS 경수로형 원전 안전심사지침 11.5의 각항에 부합하고 있는지의 확인내용을 중심으로 검토하였다.

국내 신형원전의 액체유출물은 경수로형 원전 안전심사지침 11.5에 따른 액체유출물 20가지 항목 각각의 액체유출물에 대하여 당해 계통 또는 액체 방사성폐기물 처리계통으로 이송·처리된 후 방류하는 배관에서 방사능 오염에 대한 감시가 가능하도록 설계되어있다. 시료채취 및 분석항목은 다음의 3가지 항목을 제외하고는 안전심사지침을 만족하고 있다.

- 우수 및 지하배수계통
- 비오염 폐액 및 터빈건물 청정배수계통
- 터빈건물 배수계통(CPP)

## 4. 국내 신형원전 액체유출물 관리방안

### 가. 희석방류계획

국내 신형원전의 중앙폐수처리계통은 Site Specific시설로서 표준설계범위에 포함되지 않은 상태이나 기존원전의 운전경험으로 볼 때, 종합폐수처리설비로 유입되는 폐액의 방사능 오염가능성은 매우 희박할 것으로 예상된다. 그러나 인허가기관에서는 충분한 희석조건의 확보를 통하여 방사선학적 안전성 측면에서 여유도를 확보하기 위하여 가능한 종합폐수처리설비로부터 유출되는 폐액의 배출경로를 기존 Discharge Canal로 연결하는 방안을 권고하고 있으며, 방사선학적 안전성 측면에서 여유도 확보로 원전에 대한 주민의 수용성을 제고시키는 효과도 있을 것으로 판단되므로 가능한 인허가기관의 권고를 받아들이는 방안이 적절한 것으로 판단된다.

### 나. 유출물 감시, 시료채취 및 분석계획

국내 신형원전은 전항에서 기술한 바와 같이 경수로형 원전 안전심사지침 11.5에 기술된 액체유출물 감시규정을 만족하고 있으며, 시료채취·분석규정도 3가지 항목을 제외하고는 모두 만족하고 있는 상태이므로 해당항목들을 중심으로 액체유출물 시료채취 및 분석계획을 검토하였다.

- 우수 및 지하배수계통
- 비오염 폐액 및 터빈건물 청정배수계통
- 터빈건물 배수계통(CPP)

#### 1) 우수 및 지하배수계통

우수의 오염가능성으로 Power Block주변에 있을 수 있는 공기중의 부유 방사성입자가 우수에 혼입될 수 있는 경우이나 방사성 관리구역 공조계통에서 배기되는 기체는 ACU(Air Cleaning Unit)를 거치며, 기타의 Relief 밸브로부터 배기되는 경우는 매우 간헐적으로 발생하며, 원전의 환경감시를 통하여 주기적인 점검이 수행되고 있으므로 별도의 시료채취·분석 계획을 준비할 필요성은 미미한 것으로 판단된다. 또한 Power Block으로부터 배수되는 액체유출물은 방사성배수계통 및 비방사성 배수계통을 통하여 처리되므로 지하배수계통을 위한 별도의 감시 및 시료채취분석 필요성은 미미한 것으로 판단된다.

#### 2) 비오염 폐액 및 터빈건물 청정배수계통

비오염폐액 및 터빈건물 청정배수계통은 터빈건물 청정배수계통으로는 터빈건물 지하층의 복수기 양단에 있는 복수기 Pit South and North Sump수가 대상이나 복수기 Pit Sump수의 오염가능성은 증기발생기의 2차측이 오염된 상황에서 터빈건물내 주증기배관의 파단사고 등이 발생하는 경우를 상정해야 하므로 현실적으로 발생가능성이 매우 미미한 것으로 판단된다. 또한 정상시 터빈건물 내부계통에 대한 방사능 오염여부를 복수기 진공계통, 터빈축 밀봉계통 등의 수개계통의 방사능 감시기를 통하여 간접적으로 방사능 오염여부를 충분히 확인 가능하므로 본 계통에 대한 시료채취 및 분석필요성은 미미하다. 따라서 터빈

건물내에서 방사능 오염이 감지되었을 경우에 한하여 시료채취·분석을 수행하는 방안이 적절한 것으로 판단된다.

### 3) 터빈건물 배수계통

터빈건물 배수계통은 터빈건물 지하층의 CPP Area Sump수가 대상이 될 수 있으며, 방출전에 방사능 감시를 수행하도록 설계되어 있다. 본 계통은 잠재적으로 방사능에 오염될 가능성이 있는 지역으로 간주하여 직접적인 방법으로 방사능감시를 수행할 예정이므로 감시계통에서 방사능오염이 감지된 경우에 한하여 시료채취 및 분석을 수행하는 방안이 적절한 것으로 판단된다.

다. 옥외시설의 액체유출물 관리계획

#### 1) 국내 신형원전의 액체유출물 흐름

모든 방사성관리계통 액체유출물은 그림 2에서 보는 바와 같이 복합건물내의 액체 방사성폐기물 처리계통 집수탱크로 집수되어 처리가 완료된 후 Discharge Canal을 거쳐 바다로 방류예정이다. 표준설계범위에 포함되어 있지는 않으나 국내 신형원전의 비방사성 관리계통 액체유출물은 선형호기와 유사하게 터빈건물 Sump수 및 증기발생기 취출폐액 등이며, 옥외에 있는 Chemical Waste Pond 또는 Oily Waste Pond를 거쳐 중합폐수처리시설로 이송된 후 Discharge Canal을 거쳐 바다로 방류 예정이다.

#### 2) 액체유출물 통합관리방안

현재 방사성관리계통 액체유출물에 대하여는 인허가기관에서도 특별한 문제점을 제기하고 있지는 않은 상태이나 비방사성 관리계통 액체 유출물의 상당부분을 잠재적인 방사성 (potentially radioactive) 액체유출물로 간주하고, 이들 유출물에 대한 감시, 시료채취 및 분석을 가능한 통합하여 수행할 것을 권고하고 있다. 유출물에 대한 통합관리는 당해지역의 하류(downstream)에서 가능한 사항으로 구체적인 위치는 옥외에 있는 Chemical Waste Pond 또는 Oily Waste Pond, 중합폐수처리시설 등을 선정할 수 있다. 그러나 Power Block 내부에서 직·간접적으로 방사능 오염여부에 대한 확인을 마친 폐액을 외부로 방류된 후 중복하여 감시하는 개념이므로 기기운영의 실효성은 거의 없을 것으로 판단된다. 따라서 이러한 개념의 통합관리는 원전에 대한 주민수용성을 제고시키는 다소의 효과를 예상할 수는 있으나 장비운전에 따른 초기투자비용 및 보수비용 등 원전의 경제성을 고려할 때, 바람직하지 않은 것으로 판단된다.

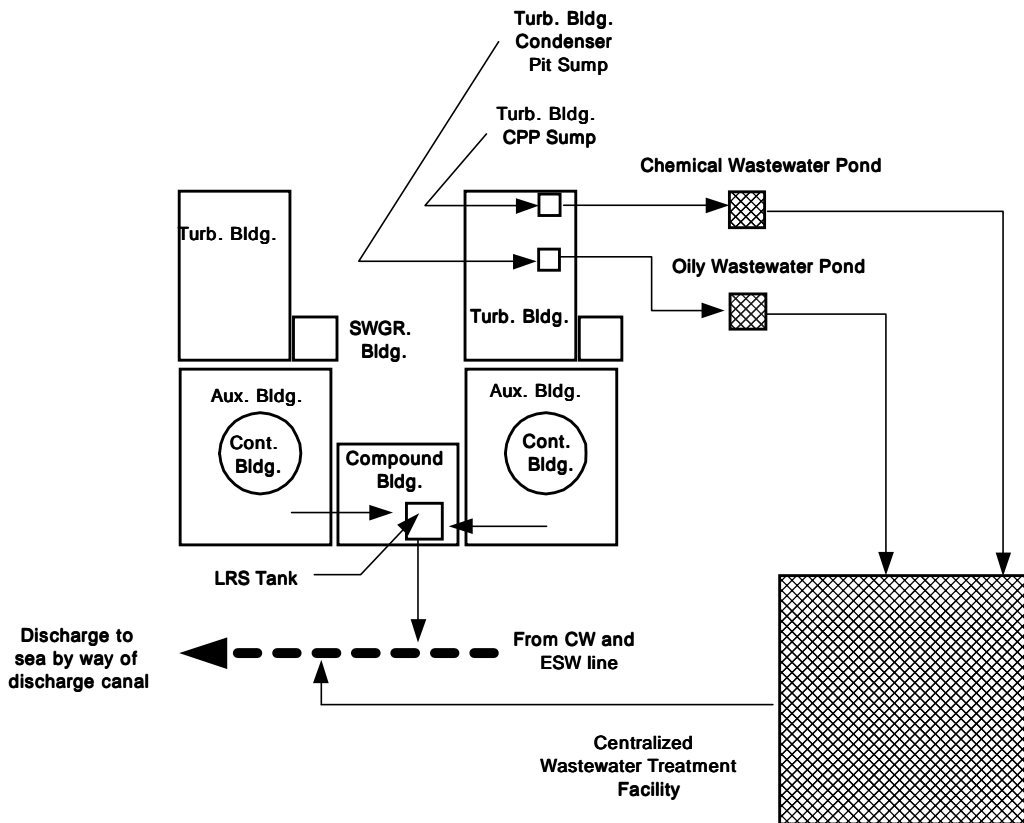


그림 2. 단순화한 국내 신형원전의 액체유출물 흐름도

## 5. 결론

국내 신형원전의 비방사성 액체유출물은 Power Block 내부에서 방사능 오염여부에 대한 확인을 마친 후 중앙폐수처리시설로 이송·처리되며, 배출수는 Discharge Canal을 통하여 바다로 방류할 예정으로 충분한 희석조건을 갖출 수 있도록 하였다. 각 액체유출물에 대한 방사능 감시설계현황을 인허가기관에서 제시한 20개 항목에 대하여 확인한 결과, 관련지침을 모두 만족시키고 있는 것으로 나타났다. 시료채취·분석과 관련하여서는 일부 터빈건물로부터의 유출물을 제외하고는 대부분의 계통들이 인허가기관의 지침을 만족하고 있다. 터빈건물 유출물의 경우는 방류전에 방사능오염에 대한 감시가 직·간접적인 방법으로 이뤄지고 있으므로 건물내 각 계통에 설치된 감시기에서 방사능오염이 감지되었을 경우에 한하여 수행하여도 문제점은 없을 것으로 예상된다. 옥외의 Chemical Waste Pond 또는 Oily Waste Pond, 종합폐수처리시설 등에 집수되는 액체유출물에 대한 방사능 오염여부를 확인하는 방법으로 유출물을 통합관리하는 방안은 Power Block 내부에서 직·간접적으로 방사능 오염여부에 대한 확인을 마친 폐액을 외부로 방류한 후 중복하여 감시하는 개념이므로 기기 운영의 실효성은 거의 없을 것으로 판단된다. 방사능 감시장비의 추가에 따른 비용과 장비운영의 실효성 등을 고려할 때, 설치필요성은 없는 것으로 판단되며, 인허가기관과의 협의를 거쳐 설계 반영여부를 결정할 예정이다.

## 참 고 문 헌

1. 원자력 안전기술원, 제5회 원자력 안전기술 정보회의: 원자력시설의 액체 유출물관리 개선방향, '99. 12.
2. 원자력 안전기술원, 방사선 안전관리분야 규제현안 협의를 위한 세미나: 원자로 및 관계시설의 액체유출물 관리개선 및 통합관리방안(국내 원자력 관계법령 및 요건의 만족여부 입증을 위한 개선방향과 이에따른 후속조치), '01. 6.
3. 원자력 안전기술원, 경수로형 원자력발전소 안전심사지침서: 제11.5절 공정 및 유출물 감시계측과 시료채취계통, KINS-G-001, 제4권, '99. 10.
4. US NRC, Standard Review Plan 11.5, NUREG 0800(Rev. 3), '81. 7.