



# 미국 전력연구원(EPRI)의 방사성 폐기물 처리 방안

이 익 환

한국원자력기술(주) 회장



서론

2002년 6월 저준위 방사성폐기물 국제 회의가 미국 전력연구원(EPRI; Electric Power Research Institute)에서 열린 바 있다.

당시 모인 전문가들은 차세대 원전에 방사성폐기물 설계를 반영할 전문가팀을 구성하려는 데 그 목적이 있었다.

이 그룹에는 미국 내 우수 여러 전력 회사의 발전소의 방사성폐기물 기술자, 관리 책임자 또는 본사 책임자들이었다.

EPRI는 미국의 전력 회사가 공

동으로 투자하여 만든 조직으로 전력 기술을 향상시키고, 전력 회사의 공통된 이익을 위한 연구를 해왔으며, 발전소 설계 공급자와 원자력 산업체는 물론이고 규제 기관과의 기술적 중재자로서의 역할을 신뢰성 있게 수행해 온 것으로 평가되는 기관이다.

전문가들은 어떻게 하면 보다 성능을 향상시킬 수 있을 것이며, 비용을 줄일 수 있는가에 대해서 많은 아이디어를 가지고 논의를 한 바 있다.

이중에서 가장 중요하게 논의된 아이디어는 아마도 신규 원전에서 방사성폐기물 처리 시설이 필요하지 않다는 내용이었을 것이다.

영구히 사용할 목적으로 설치한 시설들이 5년에서 30년 사이에 쓸모없이 폐기되는 경험을 언급한 대목이다.

이러한 운전 경험은 최소의 연구 시설을 활용하여 운영의 묘를 활용하여, 최대의 실적을 올리자는 철

학을 심어주었던 것으로 보인다.

따라서 앞으로 신규로 건설되는 원자력발전소는 규제 기관에서 요구하는 규제 요건과 전력 회사의 공동 의견이라 할 수 있는 EPRI의 발전 사업자 설계 요건 서류(URD; Utility Design Requirements Document)에 의거하여 설계를 해야 하며 또한 실제 발전소 현장의 운전 경험도 반영하여야 할 것이다.

## 발전 사업자 설계 요건 서류(URD)

미국 원자력규제위원회는 1989년에 원자력발전소 규제 절차를 새로이 규정하였다.

이는 기존의 규제 절차보다 발전 사업자 측면에서 보면 예측 가능하고 안정적이며 비용도 덜 들게 되는 것으로 평가를 받았다.

이에 대해서 발전 사업자들은 EPRI를 대표로 내세워 신규 경우로 프로그램을 만드는 적극성을 보



였으며 그 결과물이 바로 URD인 것이다.

URD는 발전 사업자가 차세대 신규 원자력발전소의 운전에 예측할 수 있는 설계 특성 사양(Specification)을 기록한 것으로, 발전소 공급 회사인 웨스팅하우스나 GE에서는 그들의 발전소 설계가 URD 설계 요건에 맞는지를 확인해야 하고, 만일 부족하다면 설계를 보완하거나 그 사유를 설명하여야 한다.

URD 설계 요건과 발전소 설계를 따른다면 안전성과 신뢰성을 획기적으로 제고시킬 수 있다.

실제 EPRI에서 URD를 준비하던 지난 10년 동안 운전중인 발전소에서는 놀랄만한 안전성 증진 기록이 수립되었으며, 발전소 신뢰성이 향상되었고, 가동률도 상당히 높아졌다.

이러한 경향은 저준위 방사성폐기물 운영에도 반영되어 실적이 좋아졌다.

물론 URD가 준비되던 시점과 현 발전소에서 폐기물 감축 실적과 는 시차로 인한 차이는 있다.

예로서 URD 요구 사항은 신규 원전을 운전할 경우에 연간 유출되는 폐기물의 방사능은 50mCi로 제한하여 있으나, 실제로 운전중인 PWR(가압경수로) 원전에서 가장 실적이 좋은 발전소는 10mCi였고, BWR(비등경수로) 원자로는 제로였다.

또한 고체 폐기물의 경우에

URD는 PWR에는 연간 1,750ft<sup>3</sup>, BWR에는 3,500ft<sup>3</sup>의 요건을 제시하고 있는데 운전중인 원전의 가장 좋은 실적은 PWR은 150ft<sup>3</sup>, BWR은 1,000ft<sup>3</sup>였다.

방사성폐기물 처리에 대한 기술 개발은 몇 개 분야에서 가능할 것으로 보인다.

특히 수지(樹脂), DAW(Dry Active Waste), 폐 필터 등을 대상으로 발전소 외(Offsite) 처리의 상업성이 고려된 전력 회사들의 선호도는 검토 대상이다.

지난 10여 년간 산업체는 신기술이 접목된 폐기물 처리 기기(예를 들면 기동성이 좋은 skid-mounted system)를 발전소에 활용하여 액체 폐기물 처리계통을 현대화하였다.

발전 사업자를 대표하는 그룹의 전문가들은 현재의 운전 실적을 향상시키기 위한 방안으로 최소한의 적응성과 기동성이 있는 방사성폐기물의 설계가 보장되어야 한다는 데 의견을 모으고, 신규 원전 방사성폐기물 설계에 다음과 같은 구체적인 목표를 제시하고 있다.

- 경제성 고려 : 경비 절감을 수반하는 저준위 폐기물 처리 전략과 기술이 새로운 설계에 반영되어야 하고, 발전소가 운영될 때 지속적인 경비 절감의 결과로 나타나도록 한다.

- 대중의 충격과 환경적 관점 : 신규 원전의 설계는 저(低)액체 방출 방사능 및 현재의 실적 이상으

로 폐기물량을 줄이도록 한다.

- 처분 운송에서 운영상 독립 : 최악의 경우 저준위 폐기물 처분장을 이용하지 못하게 될 때를 고려하여 신규 발전소가 수명 기간 동안 운전이 될 수 있도록 현대적이고 신기술의 체적 감량을 감안한 발전소 부지 내의 처분(Onsite storage)을 고려한다.

### AP 1000 차세대 원전의 설계 관리 서류 검토

EPRI와 발전 사업자 전문가 팀은 웨스팅하우스에서 개발한 신형 경수로(AP 1000) 설계 관리 서류(DCD; Design Control Document)의 내용 중 방사성폐기물 관련 부분을 검토할 의무가 있었다.

DCD 서류는 최상위 요건에 해당하는 안전성 관련 부분과 미국 원자력규제위원회의 승인을 위해 마련된 설계 핵심 요건이 포함되어 있다.

DCD를 작성하는 데는 경수형 원자로를 운전중인 TVA 등 발전회사 대부분이 참여하였다.

이때 참여한 전문가 그룹은 방사성폐기물의 체적 감축, 액체 폐기물 방출량 최소화 및 폐기물 공정 효율 개선을 추구하는 내용을 권고하였다.

또한 AP 1000의 운전 실적을 높이도록 몇 가지 설계 변경도 제의하였다.

예를 들자면 필터 폐기물의 부피

<표 1> EPRI 권고 사항 이행시 체적 감량과 코스트 절감 내역

형(型)별 폐기물	EPRI 검토	AP 1000 현 능력
1차 필터	처리 용적: 9ft <sup>3</sup> 경비 절감: 22만 불	처리용적: 250ft <sup>3</sup>
1차 수지	처리 용적: 20ft <sup>3</sup> 경비 절감: 33만 불	처리용적: 535ft <sup>3</sup>
DAW(압축 또는 비압축)	처리 용적: 250ft <sup>3</sup> 경비 절감: 23만 불	처리용적: 1,010ft <sup>3</sup>
혼합 고체폐기물	처리 용적: 0.75ft <sup>3</sup> 경비 절감: 7만 불	처리용적: 7.5ft <sup>3</sup>
혼합 액체폐기물	처리 용적: 3ft <sup>3</sup> 경비 절감: 1만 불	처리용적: 7ft <sup>3</sup>
계 (연간 감축량 및 절감액)	처리 용적 계: 283ft <sup>3</sup> 경비 절감 계: 86만 불	용적처리 계: 2,606ft <sup>3</sup>

를 줄이는 것이다. 우선 클래스 A와 클래스 B/C와의 필터 분리 방법에 관한 보다 좋은 대안을 제시하고 있다.

필터 분리를 하면서 필터를 절단하거나 초고압 압축으로 체적 감량을 추진할 것을 권고하고 있다.

대부분의 폐기물이 클래스 B/C인데 2008년 이후에는 Barnwell 처분장이 수용 능력이 없어 처분이 불가능할지도 모르는 것도 문제이다.

방사성폐기물 관리 전략과 전문가들의 권고 사항을 채택할 경우에 체적 감량으로 인한 코스트 절감을 요약한 것을 보면 연간 약 2,322ft<sup>3</sup>의 체적 감량을 기할 수 있고, 이로 인한 경비 절감은 연간 86만 달러로 추정된다(<표 1> 참조).

**모바일 처리 시스템**

모바일 처리 시스템이란 발전소

부지에 중전과 같이 폐기물 처리 시설을 영구 시설로 설치되는 것이 아니고 이동 가능한 처리 시설을 의미하는데, 기동성이 용이한 장치(예, Skid-mounted system)와 현장 적응성이 있는 처리기술을 이용한 것이다.

미국은 다수의 발전소에서 모바일 처리 전문 업체를 활용하고 있다.

이는 앞서서도 언급되었지만 처리 기술이 새로 개발되기 때문에 처리 장치를 고정화시킬 필요가 없다는 취지에서 개발된 개념이다.

산업체에서는 최근 효과가 큰 초(超)여과 장치와 중합체(重合體) 주입 장치 기술이 접목된 모바일 처리 시스템을 활용하고 있다.

또 최근에 개발되고 있는 신기술, 즉 전자식 탈이온기(Electrodeionization) 및 공동 섬유질 여과기(Hollow fiber filtration) 등이 입증된 기술로 미국의 신규

원자력발전소에 이용될 수 있을 것으로 보인다.

AP 1000 원자력발전소 설계에 방사성폐기물 처리와 체적 감축을 위해 모바일 처리 시스템이 활용될 것이다.

GE의 ESBWR(Economic Simplified Boiling Water Reactor)의 경우도 모바일 처리 시스템이 설치될 것이다.

GE와의 공동 개발사인 Hitachi가 개발한 모바일 처리 장치인 HCW(High-Conductivity Waste treatment system)를 활용하게 될 것이다.

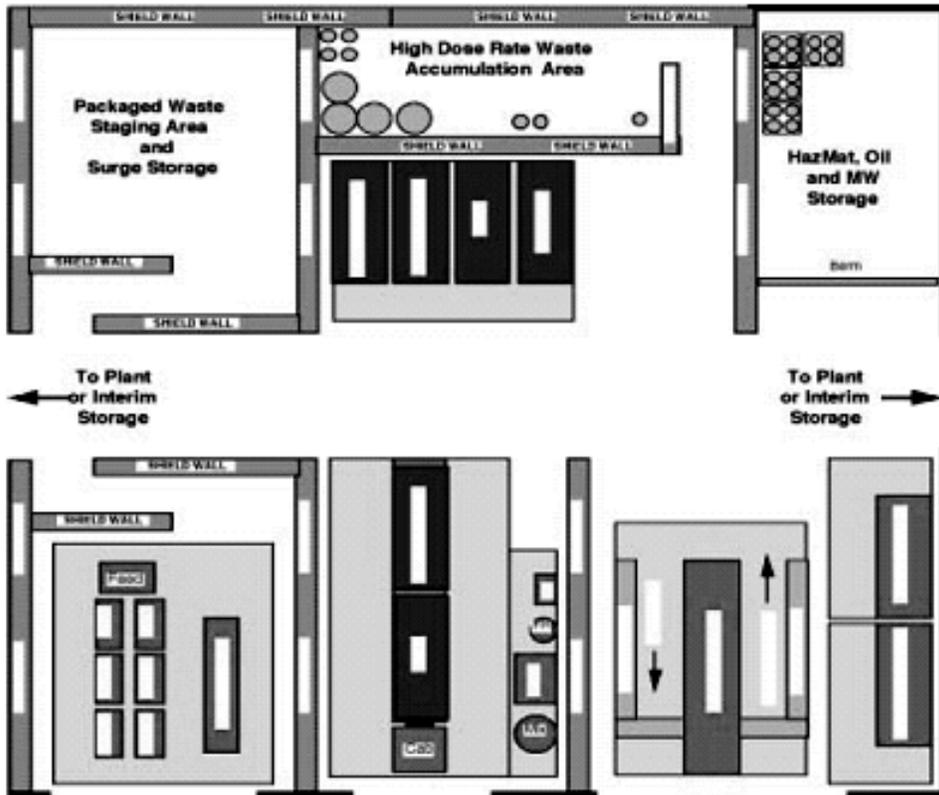
당연히 그 목적은 B/C급 폐기물의 감량과 이로 인한 경비 절감에 있다.

액체 폐기물의 경우에 운전중인 BWR 발전소에서 실적이 가장 좋은 발전소는 체로였음은 앞서 언급된바 있지만 향후 ESBWR 경우에도 같은 목표를 두고 있다.

**향후의 계획**

신규 차세대 원자력발전소에 보다 좋은 실적을 달성할 수 있도록 EPRI 검토팀의 많은 권고 사항이 있었지만, 이를 해결하기 위해서는 발전소 건설 이전에 몇 단계의 조치가 이루어져야 할 것이다.

무엇보다도 방사성폐기물 처리 공정과 관련된 URD 12장에 권고 사항이 공식적으로 서류화되어 보완되는 일이다.



〈그림 1〉 신규 원전에 적용되는 모바일 시스템 가상 배치도

EPRI의 관련사 회원으로 구성된 전문가 그룹은 URD 방사성폐기물 관련 개별 조항을 확인하고 승인하는 절차를 이행하게 된다.

즉, 운전중인 발전소의 가장 우수한 성능 결과 및 전략, 현 가용 기술성, 모바일 처리 과정 장치 선택 여부, 액체 폐기물을 방출할 것인지 또는 재활용할 것인지의 여부 등에 대한 사항을 확인하고 승인하면 URD 서류가 공식적으로 보완되는 것이다.

이외에도, EPRI 팀은 향후 몇 가지 미해결된 사항에 대한 검토를 수행하게 된다.

물론 발전소 공급사와의 협의가 발전소 인허가(COL: Construction and Operation License) 단계에서 필요하게 될 것이며, 방사성폐기물 산업체와도 상호 협조가 요구된다.

또한 해체되는 원자력발전소 경험의 교훈도 신규 원자력발전소 건설에 활용되어야 한다.

EPRI팀의 방사성폐기물 검토 사항이 미국의 차세대 원자력발전소에 어떻게 반영될 것인지에 대하여 설명되었지만, 향후 개량비등형 원자로(ABWR)와 유럽형 가압경수로(EPR)와 같이 국제적으로 원자력발전소 설계에 어떻게 반영될 것인지에 대한 협의가 진행 중이다.

EPRI의 권고 사항이 발전소 건설을 통해 이행됨으로써 방사성폐기물의 발생이 최소화되고 환경에 영향이 없는 깨끗한 폐수가 되어



<그림 2> 모바일 폐기물 처리 공정 Unit 예시

운전 실적이 최고인 원자력 발전이 될 것임을 확신한다.

**요약**

미국은 103기의 원자력발전소가 운전되고 있는 현실임에도 불구하고 1980년대 이후 아직까지 신규 원자력발전소 건설이 하나도 없으며(이제 제 2의 르네상스를 바라보면서 원전 건설이 시작되고 있지만) 이는 1978년 TMI 사고의 충격에 기인한 것이다.

그로부터 약 25년간 미국 원자력산업계는 운전중인 원자력발전소의 안전성과 신뢰성을 향상시키는 데 전력하였으며, 그 결과, 1960 - 1970년 당시 약 60~70%에 불과하던 원자력발전소 가동률을 현재 90%까지 향상시켰다.

이런 괄목할 만한 결과를 가져올

수 있었던 것은 산업체의 인프라가 앞으로 불투명한 원전 건설 사업에서 벗어나 방사성폐기물 관련 기술 등 발전소 운전 제고와 관련된 곳에 초점을 맞추어 기술을 개발하게 되었고, 이로 인해 새롭게 개발된 기술을 발전소에 접목시켜 안전성과 가동성을 높인 것이다.

예로서 수많은 발전소가 건설 당시에 설치한 방사성폐기물 처리 시설을 오래지 않아 신기술 처리 장치로 대체하였던 것이다.

그동안 발전소 건설시에 영구 시설로 설치되던 폐기물 처리 공정 시설을 앞으로 신규 발전소에서는 아예 설치하지 않고 모바일 처리 장치를 이용하는 것으로 방향을 설정하고, 이를 URD(12장)에 규정함으로써 발전소 공급자가 이를 따르도록 하고 있다.

이에 따라 실제 미국의 운전중인

발전소에서도 모바일 처리 공정이 이용되고 있는 것으로 알려져 있다.

이는 발전 사업자가 이 일을 직접 하지 않고, 폐기물 처리 산업체에게 위탁 관리할 수 있는 내부 인프라 여건이 된 것으로 이해할 수 있다.

우리나라는 원자력발전소의 설비 개선에 많은 노력을 경주해 오고 있으며, 가동률도 2005년의 경우 평균 95%로서 세계적으로 높은 편이다.

폐기물의 초고압 압축의 체적 감량 등 끊임없이 감량 노력을 추진하여 저준위 방사성폐기물의 경우 발전소 별 연간 평균 240여 드럼으로 알려져 있으며 향후 유리화 기술 등 신기술의 설비 보완 계획도 추진하고 있다.

그러나 신규 원자력발전소 설계의 폐기물 처리 공정에 모바일 처리 시스템 이용 계획은 아직 없는 것으로 알려지고 있어, 우리나라도 미국의 사례에 대한 검토를 조속히 추진하여 안전성 및 신뢰성은 물론이고 신규 원전 건설에서 방사성폐기물 처리 영구 시설을 지양하고 모바일 시스템의 응용을 고려해 볼 필요가 있다고 본다. 

<참고 자료>

Sean Bushart, "Bringing Best Industry Operating Practices to New Nuclear Plant Designs: An EPRI Radwaste Review", Radwaste Solution(ANS), March/April 2006, pp.18~24