

국내원전의 고체방사성폐기물 관리현황 분석

Review on the status of solid radwaste management in Korean NPPs

안 용 수, 성 기 방, 김 성 환, 이 재 성
한국수력원자력(주) 원자력환경기술원

임 석 남
한국수력원자력(주) 안전기술처

요 약

국내원전에서는 고체 방사성폐기물 발생량을 최소화시키기 위하여 지속적인 노력을 경주하여 왔으며, 2002년말 기준으로 호기당 고체 방사성폐기물 발생량을 194드럼/년 수준까지 감소시켰다. 본 논문에서는 미국의 고체 방사성폐기물 발생량과 관련한 원전사업자의 관리목표치인 현행 사업자 요건(250드럼/yr)의 설정배경을 파악하고, 국내원전의 고체 방사성폐기물 발생량에 대한 관리수준을 확인하였다. 또한 국내 일부원전을 사례로 하여 원전내 임시저장고의 예상 포화년도를 구체적으로 산정하여 봄으로서 이미 공지된 국내원전 방사성폐기물 임시저장고의 예측 포화년도가 충분히 타당함을 확인하였다.

Abstract

To minimize the low and intermediate-level solid radwaste volume, the reduction efforts were persisted in Korean NPPs. As a result, annual average waste volumes were reduced to 194 drums per unit at last year. In this paper we confirmed 250 drums/unit-yr, EPRI URD management goal, and management condition for solid radwaste volume. Also, through the sample assessment of specific Korean NPP opened to the public, we could make sure that the prediction of saturation year for interim storage facility is fully suitable.

1. 서 론

원전에서 발생하는 방사성폐기물의 안전한 관리를 위한 최종처분시설에 대한 일반인들의 관심이 고조된 가운데 처분대상물인 국내원전에서 발생하는 고체 방사성폐기물 관리현황을 살펴보는 것은 의미있는 일이라 할 수 있다. 본 논문에서는 먼저 원전사업자의 폐기물관리 목표치 개념을 소개하고, 국내 방사성폐기물의 발생현황, 그리고 원자력발전소내에서 방사성폐기물 임시저장고를 운영중인 원전중 가장 먼저 포화상태에 이를 것으로 예상되는 원전을 사례로 예상포화년도를 산출하여 봄으로서 그 타당성을 확인하고, 원자력 관련분야 종사자들은 물론 일반인들의 방사성폐기물에 대한 이해를 증진시킬 목적으로 작성하였다.

2. 국내원전의 고체방사성폐기물 발생 현황

국내원전에서 발생하는 고체방사성폐기물은 표 1에서 보는바와 같이 농축폐액 고화체, 폐수지, 폐필터, 잡고체의 4가지 형태를 갖고 있다. 고체 방사성폐기물은 형태별로 처리방법을 달리하고 있는데, 특히, 잡고체 폐기물 중 압축이 가능한 폐기물은 수집하여 먼저 200리터 드럼내에서 10톤의 압축기로 압축하여 소내저장고로 이송 저장한다. 소내저장고에서는 적절한 시점에 이들 폐기물량을 줄이기 위하여 방사선 준위가 낮은 이들 잡고체 폐기물 드럼을 2,000톤 압력의 초고압압축기로 재압축하여 재포장용 드럼에 포장·보관한다. 그러나 방사선 준위가 상대적으로 높고, 특성이 다른 나머지 3종류의 폐기물의 경우는 초고압 압축처리가 곤란하다. 이들중 특히 폐수지는 전용의 건조공정에서 처리를 마친 후 300년간 구조적 안전성을 유지하는 고건정성 용기(HIC)에 포장하여 처리하는 방법을 채택하여 기존 폐수지 드럼 발생량을 1/2로 감소시켰다. 폐액증발처리 결과로서 발생하는 농축폐액의 경우는 이를 다시 건조처리할 수 있는 설비로 건조시킨 후 파라핀으로 고정화하는 방법을 채택하여 기존의 공정에서 발생하던 농축폐액드럼 발생량을 1/8로 감소시켰다.

원전에서 발생하는 고체 방사성폐기물을 형태별로 보면 표 1에서 보는바와 같이 잡고체폐기물이 가장 많은 양을 차지하고 있으며, 현재 가동중인 원전 18기(경수로 14기, 중수로 4기)에서 2002년에 발생된 고체 방사성폐기물은 총 3,492드럼이고, 호기당 평균발생량은 194드럼/yr에 해당한다. 기존의 누적된 잡고체폐기물드럼에 한하여 초고압 압축처리할 경우에는 해당폐기물의 약 20% 추가감용효과를 예상할 수 있으나 자료의 신뢰성을 높인다는 측면에서 본 검토에서는 제외하였다.

표 1. 2002년도 중저준위 고체폐기물 발생량(2002년)

(단위: 200ℓ 드럼)

구 분	고 리(4기)	영 광(6기)	울 진(4기)	월 성(4기)	계
농축폐액	58	77	100	0	235
폐 수 지	90	141	125	121	477
폐 필 터	19	-	24	8	51
잡 고 체	810	615	877	427	2,729
계	977	833	1,126	556	3,492
호기당 평균	244	208	281	139	194

주) 초고압 압축공정은 기존누적된 폐기물 발생량에 적용되므로 본 항에서는 제외하였음.

3. 고체방사성폐기물 발생량 관리현황

원전의 고체 방사성폐기물 발생량 제한에 관한 별도의 인허가 규제사항은 없으며, 원전사업자가 이러한 폐기물 발생량을 가능한 최소화시키고자 자체적인 관리목표를 정하여 운영하는 방법을 채택하고 있다. 고체 방사성폐기물 발생량 관리목표치 설정과 관련하여 미국 전력연구소(EPRI)는 미국내 1980년대 후반이후 건설된 개량형 경수로로는 발전소 주변환경 및 주민에게 친밀한 이웃(Good Neighbor)이 되도록 한다는 방침을 정하여 1986년도 당시 미국내 PWR 원전중 고체방사성폐기물 발생량이 적은 순위로 10%에 속하는 원전을 기준으로 목표치를 설정하였으며, 표 2는 당시 순위 10%에 속하는 PWR 원전에서의 연간 평균발생량을 보여주고 있다.

표 2. 미국내 상위 10% PWR 원전의 고체폐기물 발생량

건조폐기물(Dry Active Waste)			함수폐기물(Wet Waste)		
순위	조사대상 원전	연간발생량 (ft ³ /unit)	순위	조사대상 원전	연간발생량 (ft ³ /unit)
1	P-15, 16	1,132	1	P-7	117
2	P-26, 27	1,162	2	P-20	324
3	P-39, 16	1,288	3	P-24, 25	326
4	P-42	1,540	4	P-9	340

주) EPRI-NP-5526 (“Radwaste Survey Update”, ‘88.3) 참조, 전체 조사대상 PWR 원전은 38개(56기)이며, 보고서에서 발전소명은 밝히지 않음.

건조폐기물은 대규모의 계획예방정비를 수행한 발전소(Outage Plant)와 그렇지 않은 발전소(Normal Plant)에 따라 폐기물발생량이 크게 달라지는 특성이 있다. Outage Plant의 경우가 Normal Plant에 비하여 폐기물발생량이 약 4배이며, 전체 발전소의 2/3에 달하는 것으로 나타나 있다(EPRI NP-2900, “Low-Level Radwaste Solidification”, Appendix A, ‘83.3). 따라서 건조 폐기물 발생량이 적은 10%발전소의 정상운전시의 평균값을 1,400 ft³/yr로 설정하고, 개선된 설계나 폐기물 최소화 절차를 최대한 이용하여 이를 다시 반으로 줄이는 경우를 가정하여 건조폐기물에 대한 연간 평균 발생량을 계산하면 다음과 같다.

$$\text{건조폐기물 연간 평균발생량} = (1,400 \times \frac{1}{2}) \times \frac{2}{3} + (1,400 \times \frac{1}{2}) \times \frac{1}{3} \times 4 = 1,400 \text{ ft}^3/\text{yr}$$

한편 함수폐기물에 대하여는 발생량이 적은 원전의 상위 10% 발생량을 350 ft³/yr으로 선정하였으며, EPRI는 건조폐기물과 함수폐기물을 합한 1,750 ft³/yr (250 drum/yr에 상당함)를 고체 방사성폐기물 발생량 관리목표치로 제시하였으며, 개량형경수로 사업자요건서인 ALWR URD(Advanced Light Water Reactor Utility Requirements Document, Rev. 8, ‘99.3)에서도 동일한 내용을 기술하고 있다.

국내에서는 1990년대초까지 호기당 평균 고체 방사성폐기물 발생량이 약 500드럼/yr 이었으나 1995년부터는 호기당 발생량을 200드럼/yr 수준까지 대폭 줄이기 위하여 다음과 같은 감용설비를 순차적으로 도입한 바 있다.

- 농축폐액 건조설비
- 초고압 압축처리설비

- 폐수지 건조처리설비
- 선택성 이온교환 설비

또한 중장기적으로, 협소한 국토환경에 따른 고체방사성폐기물의 처분비용 상승에 따른 비용 부담과 최종처분부지 확보의 어려움 등을 고려하여 호기당 35드럼/yr 수준까지 감소시키는 것을 목표로 고체방사성폐기물 발생량을 획기적으로 감용시킬 수 있는 유리화 처리공정의 연구개발 및 적용을 계획하고 있어 국내 방사성폐기물 발생량의 감용처리는 더욱 가속화될 것으로 예상된다.

4. 원전내 소내저장고 포화년도 계산실례

원전내의 방사성폐기물 처리시설에서 감용처리된 고체 방사성폐기물용기는 현재 국내에 최종 처분시설이 건설예정이어서 발전소내에 위치한 폐기물 임시저장고로 운송하여 종류별로 저장하고 있는데 2002.12월말을 기준으로 관리되고 있는 고체 방사성폐기물현황은 표 3과 같다.

표 3. 국내원전의 중저준위 방사성폐기물 저장관리 현황

(단위 : 200ℓ 드럼/2002년 12월말 기준)

구 분	저장능력	저장량	예상 포화년도
고리(4기)	50,200	32,721*	2014
영광(6기)	23,300	10,602	2011
울진(6기)	17,400	12,468	2008
월성(4기)	9,000	4,596	2009
계	99,900	60,387	-

(주) *1호기 구 증기발생기 2대(2,500드럼분 공간 점유)는 발생량에 포함하지 않았으나
예상 포화년도 산정시 2,500드럼 공간을 점유한 것으로 가정하였음.

임시저장고의 저장용량, 실제 저장량 및 예상발생량을 토대로 각 원전부지별 임시저장고의 포화년도를 분석한 결과, 표 3에 나타난 바와 같이 2008년에 울진원전에서부터 포화되기 시작하는 것을 알 수 있다. 본 논문에서는 국내 임시저장고들중 가장 빠른 시점인 2008년에 포화상태에 이르는 울진원전의 예상 포화년도 계산하는 방법으로 그 타당성을 확인하고자 한다.

표에서 보는 바와 같이 울진원전의 임시저장능력은 17,400드럼이며, 현 저장량인 12,468드럼이므로 이를 제외한 4,932드럼의 저장공간이 남아 있다고 볼 수 있다. 그러나 이전에 발생된 12,468드럼중에서도 초고압 압축처리가 가능한 6,800개의 잠고체드럼이 있으므로 이들의 감용효과에 의한 저장공간 생성효과는 약 1,360드럼이다. 또한 신규원전인 울진 5,6호기가 '04년 및 '05년에 운영되므로 호기별 운영개시년도 차이에 의한 효과를 추가 보상하면 약 540드럼으로 총 1,900드럼의 유효저장공간 생성효과를 갖는 것으로 볼 수 있다. 유리화 처리기술 도입에 의한 폐기물 감용효과는 현재 기술을 개발중인 상태로서 실용화 이전단계이므로 정량화한 효과를 추가하는 것은 무리이므로 소내저장고의 예상 포화년도 계산에서는 제외하는 것이 적절하다. 현재까지 폐기물의 감용처리에 의하여 늘어나는 효과를 검토하여 보았다. 소내저장 공간 감소효과로서 울진원전내 일부호기에서 공사예정인 조밀저장대 교체결과로 발생하는 폐기물증가량(약 300드럼 예상)을 추가 고려할 경우, 2002.12월을 기준으로 울진원전의 총 유효저장공간은 약 6,500드럼으로 볼 수 있다.

예상 포화년도를 산출하기 위하여는 향후의 연간 예상 평균발생량 산정이 필요하므로 최근 3

년간 발생한 형태별 방사성폐기물 발생량을 평균하여 계산한 결과, 총 6개호기에서 연간 1,080드럼이 발생하는 것으로 나타났다. 울진원전내 임시저장고의 현재 총 유효저장공간을 이와같이 산출된 연간 발생량으로 나누어 유효 저장년수를 계산하면 6년후인 2008년말에는 포화상태에 이를 것으로 예상된다.

5. 결론

국내원전에서는 고체 방사성폐기물 발생량을 최소화시키기 위하여 지속적인 노력을 경주하여 왔으며, 2002년말을 기준으로 호기당 고체 방사성폐기물 발생량을 194드럼/yr 수준까지 감소시켰다. 이것은 다수의 원전을 운영중인 미국의 고체 방사성폐기물 발생량으로부터 유도된 원전사업자의 관리목표치인 현행 사업자 요건(250드럼/yr)의 80%이며, 이로서 국내원전의 고체 방사성폐기물 발생량에 대한 관리가 매우 효율적으로 이뤄지고 있음을 알 수 있다. 또한 국내 일부원전을 사례로 원전내 임시저장고의 예상 포화년도를 구체적으로 산정하여 봄으로서 이미 공지된 국내원전 방사성폐기물 임시저장고의 포화년도에 대한 예측도 충분한 타당성을 확보하고 있다는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. 한수원(주), “한국표준형원전 설계개선 2단계 사업용역 종합보고서”, 2001.10.
2. EPRI NP-2900, “Low-Level Radwaste Solidification”, 1983.
3. 한수원(주), “2002 원자력발전소 방사선관리연보”, 2003.
4. 한수원(주), “고리 3,4호기 최종안전성분석보고서 제11장”,
5. EPRI, “Radwaste Survey Update”, EPRI-NP-5526, '88.3
6. 한수원(주), “차세대 원자로 방사물 방출량 설계예상치 평가”, 1997. 6.
7. 한국전력기술(주), “액체방사성폐기물계통 R/O설비 성능검증설계개선보고서”, 2000. 5.