

중·저준위 방사성폐기물 유리화시설의 경제성 평가

Economic Assessment on Vitrification Facility of Low-and  
Intermediate-Level Radioactive Wastes

김성일, 이창민, 이건재  
한국과학기술원  
대전광역시 유성구 구성동 373-1

지평국, 맹성준, 박종길, 신상운  
한수원(주) 원자력환경기술원  
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

중·저준위 방사성폐기물의 유리화 기술은 체적감량비, 유리고화체의 기계적 및 화학적 안전성 등으로 그 유용성이 입증되어 현재 상용시설의 건설이 추진되고 있다. 따라서 중·저준위 방사성폐기물을 대상으로 하는 상용 유리화시설의 본격적인 운영에 앞서, 국내 실정을 고려한 경제적 타당성 검증과 더불어 시설의 건설 및 운영시에 예상되는 비용 예측을 위한 경제성 평가가 필요하게 되었다. 본 연구에서는 울진 원전 5&6호기에 건설 예정인 중·저준위 방사성폐기물 유리화시설에 대한 경제성 분석을 수행하였다. 대상폐기물의 종류와 부피는 울진5&6호기 PSAR을 토대로 작성하였다. 기존 폐기물 처리시설에 대한 대안으로써 유리화시설을 추가로 설치했을 경우 생기는 편익에 대한 현재가 분석을 통한 경제성 평가 결과, 4개 호기에서 발생하는 중·저준위 방사성폐기물을 처리할 경우 경제성이 있는 것으로 나타났으며, 처리 호기수가 많아질수록 경제성은 더 좋아지는 것으로 평가되었다.

Abstract

The usefulness of vitrification technology of low and intermediate level radioactive wastes was demonstrated due to volume reduction and mechanical and chemical stability of final waste forms. Therefore economic assessment that is considering by

the economic propriety and predicted cost is needed at the preliminary of facility operation. Economic assessment of vitrification facility that is expected to construct in Ulchin5&6 is established. In this study, characteristics and yearly generation of radioactive wastes are based on Ulchin5&6 PSAR. The present worth analysis is worked through the cost-benefit when the vitrification facility will be installed. In conclusion, it would be good choices if it treats radioactive wastes from more than 4 nuclear power plants.

## 1. 서론

중·저준위 방사성폐기물의 유리화 기술은 체적감량비, 유리고화체의 기계적 및 화학적 안전성 등으로 그 유용성이 입증되어 현재 상용시설의 건설이 추진되고 있다. 따라서 중·저준위 방사성폐기물을 대상으로 하는 상용 유리화시설의 본격적인 운영에 앞서, 국내 실정을 고려한 경제적 타당성 검증과 더불어 시설의 건설 및 운영시에 예상되는 비용 예측을 위한 경제성 평가가 필요하게 되었다.

국내 원자력 산업의 급속한 성장과 더불어 방사성폐기물은 다양한 형태로 생성되며 국내 원자력발전소의 운전시간 증가와 신규 발전소의 가동에 따라 해마다 폐기물의 발생 및 누적량이 증가하고 있다. 이러한 방사성폐기물을 소홀히 다룰 때 환경으로 유출될 위험마저 내포하고 있으므로, 인간 환경에 유해한 방사성 물질의 위험성을 최소화시키기 위해 폐기물을 적절한 방법으로 인간 생활권으로부터 격리시켜야 한다. 방사성 고체 폐기물의 안전한 관리를 위해서는 방사성 물질 발생의 최소화 및 감용화, 방사성 물질 누출의 철저한 방지 및 처분시 안정성 제고를 위한 폐기물의 안정화에 중점을 두어야 한다.

현재까지 원전에서 발생한 방사성폐기물은 각 발전소에 저장, 관리되고 있다. 현재까지 영구 처분장을 운영하고 있지 않기 때문에 발전소내 장기 저장으로 인한 용기의 재포장 등 관리의 어려움도 있어 각 발전소 실정에 적합한 표준화된 용기 및 고화공정 개선 등이 요구되었다. 저장 시설은 2008년경 포화가 예상되고 있어 영구처분장 건설을 계획하고 있는 실정이므로 기존의 처분장 시설의 이용효율을 증대시키고, 더 나아가서는 영구 처분장의 폐기물 저장 부하를 완화시키는 방편의 일환으로 발생된 방사성폐기물의 부피를 감소시키기 위해 울진5&6호기 내에 2007년 운영목표로 중·저준위 방사성폐기물 유리화시설의 건설계획을 추진중에 있다.

## 2. 폐기물 발생 및 처리현황

울진5&6호기의 폐기물 처리 시스템이 기존 다른 발전소와는 차이가 있으므로 발생하는 폐기물의 종류가 약간은 다른점이 있다. 현재 국내 원자력발전소에서는 고체폐기물을 발

생 폐기물의 특성에 따라 가연성 고체폐기물, 비가연성 고체 폐기물, 폐수지, 폐필터 및 봉산농축폐액 등으로 분리하여 처리하고 있다. 울진5&6호기의 경우 기존의 처리시설중 증발기를 사용하지 않고 원심분리기를 사용함으로써 폐기물의 많은 부피를 차지했던 농축폐액의 발생을 없애는 대신 슬러지가 발생하게 되었다. 이들 방사성 고체 폐기물을 처리하는 방식은 압축과 건조처리가 주종을 이루고 있다. 고체 폐기물은 초고압압축기에 의해 압축처리하고, 폐수지는 폐수지건조시설(SRDS:Spent Resin Drying System)을 통해 건조시킨후 고건전성용기(HIC)에 저장하고 있다. 봉산합유 액체 폐기물은 증발기로 농축한 후 농축폐액 건조 시설(CWDS : Concentrate Waste Drying System)을 이용하여 건조 시킨후 파라핀을 이용하여 고화하고 있다. 현재 폐수지는 건조후 고건전성 용기에 포장하거나 대형 저장탱크에 장기저장하는 방법으로 처리하고 있으며, 폐필터는 방사능 준위에 따라 차폐용기에 저장하거나 잡고체로 처리하고 있다. 유리화 시설을 도입했을 경우 시멘트 고화를 제외한 모든 처리 시설은 기존 그대로 운영될 것이다. 본 연구에서는 울진 5&6호기 예비안전성분석보고서(PSAR:Preliminary Safety Analysis Report)를 토대로 대상 폐기물을 선정하였다. 울진5&6호기 최종안전성분석보고서인 FSAR(Final Safety Analysis Report)는 아직 발간되지 않았으나, 발생 폐기물의 종류와 부피는 PSAR의 내용과 같을 것으로 예상되므로 연구를 수행하는데 있어서 큰 무리가 없다고 판단된다.

경제성 평가 방법은 유리화시설을 설치하지 않았을 때의 비용과 유리화시설을 추가 설치 함으로써 생기는 비용의 편익에 따른 현재가 분석을 수행하였다.

### 3. 경제성 평가 방법

폐기물 처리시설 원가분석의 경우는 다른 경제성 분석과는 다르게 이익(revenue)이 없는 비용분석(Cost Analysis)에 속한다. 이는 현금흐름(Cash Flow) 상태가 항상 음수임을 뜻하는 것으로 비용이 적게 드는 것이 경제성에서 우위를 점하는 것으로 평가된다. 본 연구에서는 기존 처리방법을 기준으로 하였으며, 기존의 처리시설에 유리화 시설을 추가 설치 했을 경우를 기준에 대한 대안으로 채택하였다. 이를 정리하면 표1과 같다.

표 1 경제성 평가를 위한 대안(alternatives)

대상 폐기물	대안(Alternative) A (유리화 시설이 없는 기존설비)				대안(Alternative) B (유리화 시설 추가 설치시)					
	슬러지	폐수지	건조 폐기물	폐여과기	슬러지	폐수지		건조폐기물		폐여과기
						저방사성	고방사성	가연성	비가연성	
처리 방법	드럼 저장	건조 (SRDS) ↓ 저장 (HIC)	초고압 압축 ↓ 드럼 저장	드럼 저장	드럼 저장	SRDS ↓ CCM ↓ 드럼 저장	SRDS ↓ 10년 저장 ↓ CCM ↓ 드럼 저장	CCM ↓ 드럼 저장	플라즈마 (PTM) ↓ 드럼 저장	플라즈마 (PTM) ↓ 드럼 저장

경제성 여부의 판단은 현금흐름(Cash Flow)의 현재가 비교를 통하여 그림1과 같이 수행한다.

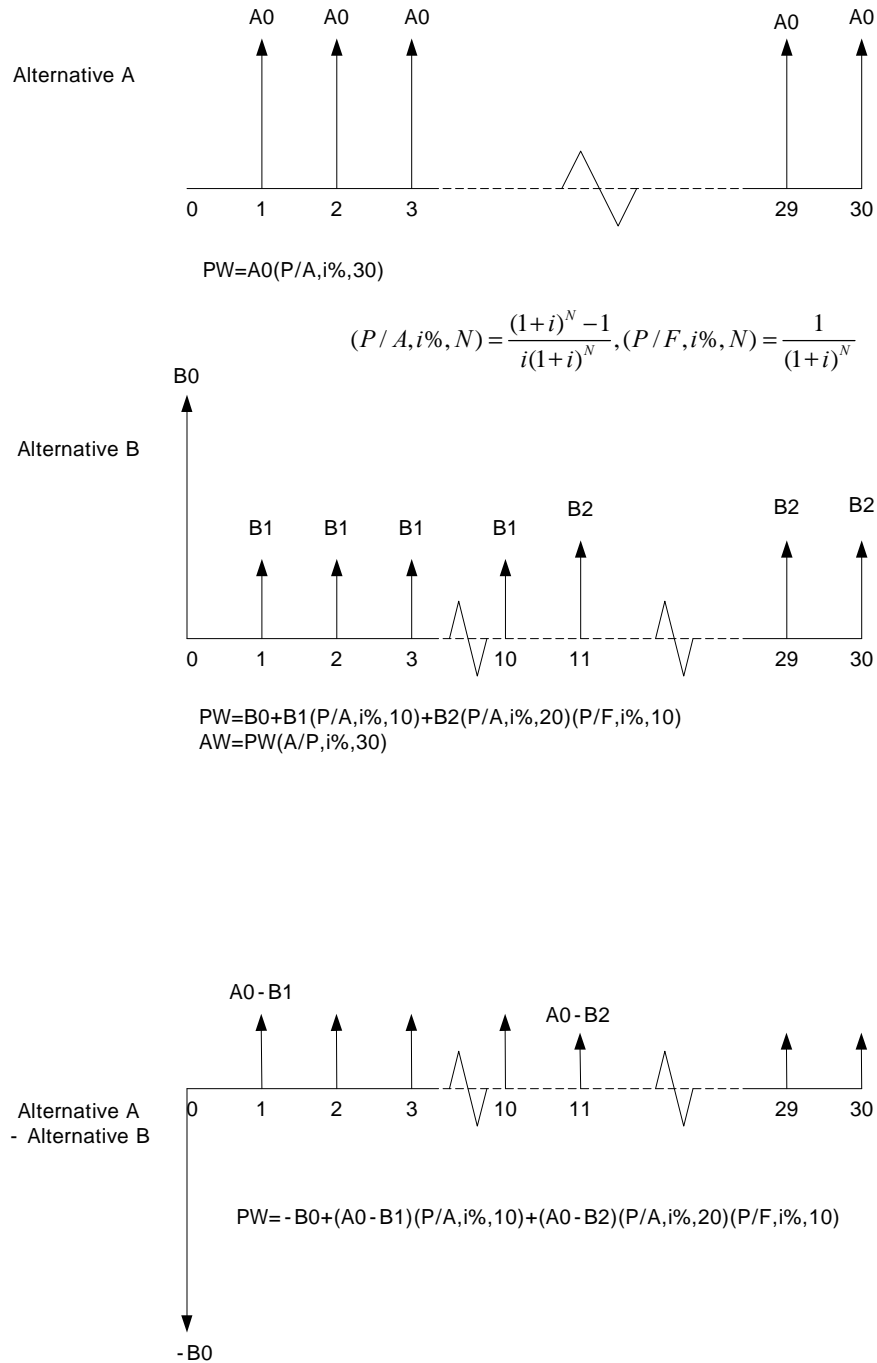


그림 1 대안(Alternatives)별 현금 흐름(Cash Flow)

그림1에서 A0는 기존 시설에 대한 연간 총 소요 비용을 뜻한다. B0는 유리화시설의 건설비용, B1은 유리화 시설 추가 설치시 연간 총 소요 비용, B2는 고방사성 폐수지를 함께 처리하는 10년후부터 발생하는 연간 총 소요 비용을 나타낸다. 평가기간은 발전소 수명인 30년을 적용하였다. 현금흐름(Cash Flow)을 토대로 표2와 같이 경제성을 판단 할 수 있다.

표 2 경제성 있는 대안 선택을 위한 조건

	조건		경제성 판단여부
	현재가(PW:Present Worth), 년간비용가치(AW: Annual Worth)	대안A > 대안B	
	대안A < 대안B	대안A-대안B < 0	대안A 선택

#### 4. 경제성 분석 결과

폐기물 발생량은 표3과 같이 울진 5&6호기 PSAR을 참조하였으며, 모든 폐기물은 200리터 드럼에 처분하는 것을 기준으로 평가했다. 대안B의 폐수지 처리의 경우 감용비가 매우 크기 때문에 드럼당 방사능비가 높다고 볼 수 있다. 따라서 유리화시킨 폐기물의 드럼 운반 및 저장, 처분 비용은 다른 드럼에 비해 높게 평가했다. 이 경우 IAEA에서 보고된 중·저준위 폐기물의 관리 비용중 가장 높은 비용을 적용하였다. 기존의 수송 비용 및 처분 비용은 국내 관련 자료가 없으므로 현재 미국의 Barnwell처분장 기준을 적용하였다. 유리화 시킨 드럼의 처분비용은 IAEA에서 보고된 중준위 방사성폐기물 처분비용의 Reference값과 High 값을 취하여 2개로 나누어서 평가하였다. 할인율은 5%/년, 발전소 4개 호기를 비교하는 것을 기준으로 삼았다.

처분장으로의 드럼의 수송 거리는 왕복 600km로 설정하였으며, 이는 국내의 지리를 고려했을 때 충분히 보수적인 거리라고 판단된다. 처분비용은 기존의 드럼은 303만원/드럼, 유리화 드럼의 경우 Reference 값은 1,170만원/드럼, High는 2,080만원/드럼으로 설정하였다.

기존 시설의 감용비는 PSAR을 참조 하였으며, 유리화시설의 감용비는 원자력환경기술원에서 실행한 실험과 계산된 값을 사용하였다.

기존 시설과 유리화 시설의 각 항에 대한 입력변수와 결과값은 표4, 표5에 나타내었다.

표 3 폐기물 발생량(울진5&6호기 기준)

폐기물 종류		발생량(m <sup>3</sup> /yr)
폐여과기		22.30
슬러지		8.49
폐수지	저방사성	28.68
	고방사성	22.44
건조폐기물	가연성	328.3
	비가연성	85.7

표 4 대안A 분석 결과

<p>4개호기 기준</p> <p>년간 총 드립 발생량 : 1,510드립/년</p> <p>드립 비용 : 6,040 만원/년</p> <p>소내운반 및 저장관리 비용 : 45,300 만원/년</p> <p>1회 운반 가능 드립수 : 14드립/trip</p> <p>년간 총 운반회수 : 108 trip</p> <p>년간 총 수송비용 : 15,453 만원/년</p> <p>년간 총 처분비용 : 457,530 만원/년</p> <p>년간 총 소요비용 : 524,323 만원/년</p>
--

표 5 대안 B의 분석 결과

4개호기 기준
감용비 : 슬러지(1), 가연성 잡고체+저방사성 폐수지(84), 가연성 잡고체+저방사성 폐수지+고방사성 폐수지(33), 폐여과기+비가연성 잡고체(5)
년간 드림 발생량 : 슬러지(85드림), 가연성 잡고체+저방사성 폐수지(43드림), 가연성 잡고체+저방사성 폐수지+고방사성 폐수지(119드림), 폐여과기+비가연성 잡고체(216드림) (최초10년간:344드림/년, 10년후:420드림/년)
건설비용 : 2,500,000 만원
보수비용 : 22,125 만원/년
드림 비용 : 1,376 만원/년(최초10년간), 1,680 만원/년(10년후)
인건비용 : 12,000 만원/년(추가 인원수 3명)
유리첨가제비용 : 2,040 만원/년(최초10년간), 8,040 만원/년(10년후)
소내운반 및 저장관리비용 : 20,793 만원/년(최초10년간), 22,953 만원/년(10년후)
1회 운반 가능 드림수 : 14드림/trip(기존드림 및 PTM드림 운반시), 3드림/trip(유리화시킨 드림 운반시)
년간 총 수송회수 : 38회(최초10년간), 63회(10년후)
수송비용 : 5,438 만원/년(최초10년간), 9,015 만원/년(10년후)
처분비용(Reference) : 141,513 만원/년(최초10년간), 230,433 만원/년(10년후)
처분비용(High) : 180,643 만원/년(최초10년간), 338,723 만원/년(10년후)
년간 총 소요비용(Reference) : 205,269 만원/년(최초10년간), 306,246 만원/년(10년후)
년간 총 소요비용(High) : 244,399 만원/년(최초10년간), 414,536 만원/년 (10년후)



위에서 나온 결과에 비추어 4개호기, 6개호기에 대한 현재가 비교를 한 결과는 표6과 같다. 표6에서 볼 수 있듯이, 대상 호기가 많아 질수록 대안B인 유리화시설을 추가 설치하는 것이 경제성이 더 좋다고 볼 수 있겠다. 이는 다시말하면 처분해야할 중·저준위 방사성폐기물의 드럼수가 많을수록 유리화 시설의 도입은 경제적인 이득을 가져온다고 말할 수 있겠다.

표 6 현재가 비교 결과

(단위:만원)

		대안A	대안B	경제성 결과
4개 호기	PW(5%)	8,060,130	6,428,034	대안B선택
			7,558,682	
	AW(5%)	524,323	418,153	
			491,703	
	PW(대안A -대안B)		1,632,096 > 0	
501,448 > 0				
6개 호기	PW(5%)	12,085,022	8,120,759	대안B선택
			9,809,736	
	AW(5%)	786,148	528,267	
			638,137	
	PW(대안A -대안B)		3,964,262 > 0	
2,275,285 > 0				

4개호기의 경우에 대해서 할인율에 따른 민감도 분석을 수행하였다. 현재가(PW) > 0 인 경우에만 경제성이 있으므로 할인율이 작을수록 경제성이 있다고 할 수 있다. 이 경우 처분비가 High일 경우 7%/년까지, 처분비가 Reference 인 경우 11%/년까지 경제성이 있다고 보여진다. 따라서 최근 국내 금리가 4~5%/년으로 유지되고 있는 점을 감안한다면 경제성이 좋다고 말할 수 있겠다.

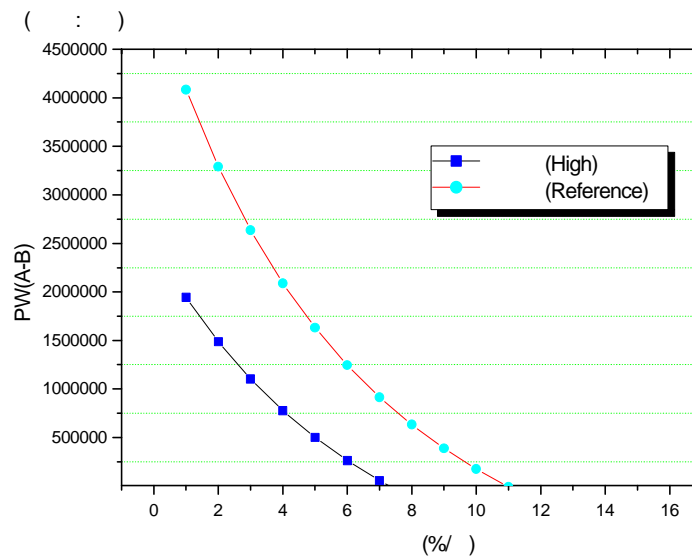


그림 2 할인율에 따른 민감도 분석

## 5. 결론 및 고찰

울진5&6호기 PSAR을 근거로 수행한 본 경제성 분석에서는 4개 호기에서 나온 드럼을 유리화시설로 처리하였을 경우 경제성이 있는 것으로 나타났으며, 처리 호기수가 많아질수록 경제성은 더 좋아지는 것으로 평가되었다. 기존 처분단가는 계속 상승할 것으로 예상되며, 본 연구에서 유리화시킨 드럼의 처분단가를 기존처리 드럼에 비해 매우 높게 설정하였음에도 경제성이 있는 것으로 판단되어 유리화 시설의 도입은 긍정적이라고 볼 수 있겠다. 또한 정량적으로 분석할 수 없는 처분장 수명 연장효과, 처분장 건설 및 관리 용이성 제고 등의 부수적인 효과를 고려한다면 유리화 시설의 경제성은 더 좋다고 말할 수 있겠다. 그러나 PSAR의 폐기물 발생량과 실제로 발생하는 연간 드럼수의 차이가 있기 때문에 이에 대한 분석의 필요성이 요구되어진다.

## 감사의 글

본 연구는 한수원(주) 원자력환경기술원의 지원에 의해 수행되었음.

### <참고문헌>

- [1] 울진원자력 5, 6호기 예비안전성분석보고서
- [2] EPRI, Low-Level Radwaste Engineering Economics, 1984
- [3] 전력연구원, 중·저준위 방사물 유리화 기술개발 연구, 1997
- [4] 한국전력공사 기술연구원, 차세대 원자로 기술 개발(1) 6권, 1994
- [5] 한국전력공사 기술연구원, 차세대 원자로 기술 개발(1) 5권, 1994
- [6] 원자력환경기술원, 중·저준위 방사성 폐기물 유리화 기술개발(1), 2000
- [7] William G. Sullivan, Engineering Economy, 2000
- [8] IAEA, Assessment and Comparison of Waste management System Costs for Nuclear and Other Energy Sources, 1994
- [9] 전력연구원, 저준위 방사성 폐기물 유리화에 관한 타당성 연구, 1995