

방사성 폐기물 관리에 있어 감용처리기술의 중요성

김정국, 김준형, 박현휘

한국원자력연구소

(1990. 6. 7 접수)

요 약

원자력발전소 방사성 폐기물 감용처리기술을 영구처분장은 현시점에서 적용중인 처리기술 외에는 방사성 폐기물 발생량을 추정하여 이를 근거로 하였는데, 당 연구소에 의하면 방사성 폐기물 발생량은 가정하에 향후 방사성 폐기물 관리계획을 검토하였다. 방사성 폐기물 감용처리기술을 적용해도 해체폐기물이 본격적으로 발생하는 2018년 이전까지는 그 발생량이 55%까지 감소함을 알 수 있었다. 따라서 초기건설용량 25만 드럼규모의 처분장에 대해 그 운영기간은 7년이상 연장할 수 있을 것으로 예상되었다.

I. 서 론

1978년 고리1호기가 상업용 원자력발전을 개시한 이래 현재 9기가 가동중이며, 2기는 건설중, 3기는 건설예정으로 있고, 앞으로도 원자력 발전소의 계속적인 건설에 따라 방사성 폐기물의 발생량 및 누적량의 급증이 예상된다. 이외에도 방사성 동위원소(RI) 폐기물, 핵연료 가공시 발생하는 폐기물, 연구기관에서 발생하는 폐기물, 원자력 발전소의 해체로 인한 폐기물, 그리고 향후 원자력관련시설의 가동으로 인한 폐기물 등의 증가도 예상되고 있어 이의 적절한 관리가 시급히 요청되고 있다.

원자력발전소에서 발생하는 폐기물은 현재로는 발전소내에 임시저장중에 있으나 머지 않아 그 용량이 포화될 것으로 예상되며, 장기보관으로 인해 여러 문제가 야기될 수도 있으므로 처분장의 조속한 운영이 필요하다. 220차 원자력 위원회에서는 1995년말까지 중, 저준위 방사성 폐기물의 영구처분장을 건설하기로 의결한 바 있어 처분장

부지선정, 처분장 건설 및 운영기간 산정, 인수용량 등이 결정되어 추진되고 있는 중이다.

이러한 모든 결정은 향후 발생이 예상되는 폐기물량의 적절한 추정을 통해 이를 기준하여 이루어지고 있는데, 추정의 근거로 현재 원자력발전소에서 적용하고 있는 처리기술 외에 더 이상의 기술개발을 고려치 않은 현상태의 발생량이 앞으로도 계속된다는 것을 토대로 하였기 때문에, 향후 적용가능성이 있는 감용처리기술을 고려하면 상대적으로 발생량이 감소될 것이다. 물론 감용처리기술의 적용에 따른 비용과 이로 인한 발생량 감소효과간의 상세한 경제성 비교검토가 있어야 보다 올바른 평가가 될 것으로 보이나, 이는 차후로 미루고 여기서는 단지 감용처리기술의 적용으로 폐기물 발생량에 미치는 효과와 이로부터 처분장의 규모, 운영기간 및 연간 인수용량 등과 향후 방사성 폐기물 관리계획을 검토해 보고자 하였다.

I. 본 론

박¹⁾등은 국내에서 1988년말까지 실제로 발생한 폐기물량과 동형의 외국사례를 종합검토하여 다음과 같은 산출기준하에서 국내의 방사성 폐기물 발생량의 장기 추이를 추정하였으며, 이를 표 1에 보였다.

고 제안하였으며, 이 경우 대략 2015년정도면 50만 드럼규모의 처분장이 포화되므로 그 이후 새로운 처분장의 건설이 필요하다고 제시하였다²⁾.

그러나 위의 추정은 현재 국내 원자력발전소의 방사성 폐기물 처리방법 즉, 12wt% 붕산함유 농축폐액의 규산소다 또는 소석회를 첨가하는 시멘트고화, 폐수지의 단순저장 또는 시멘트고화, 그리고 잡고체 폐기물의 일반압축만이 계속 적용된

표 1. 국내 발생원별 폐기물 발생 추정량^{1,2)}

년도	발전소	RI이용	연구기관	원전해체	핵주기	총누적량
1988	18,503	1,165	816	-	-	20,484
1990	36,741	1,937	1,842	-	744	41,264
1995	96,197	4,651	4,741	-	5,500	111,089
2000	169,235	9,023	8,166	-	11,343	197,767
2005	256,901	16,065	12,301	-	18,357	303,624
2010	349,115	27,405	17,582	23,444	25,734	443,280
2015	433,189	45,668	24,708	23,444	32,460	559,469
2020	475,875	75,081	34,803	96,082	35,875	717,716

***산출기준**

- 원자력 발전소 : 14기 기준
- 운영기간 : 30년(단, 고리1호기의 경우는 25년)
- 해체폐기물
 - 5년 정지후 3년해체(연간 동일하게 발생한다고 가정)
- 산출근거
 - 운전폐기물 : PWR:1,670 drums/GWe-yr
CANDU : 840 drums/GWe-yr
 - '88년까지는 각 발전소의 실제발생량을 이용하고 가동초부터 연차별로 20, 40, 60, 80%씩 증가후 5년 가동시 정상 발생한다고 가정
 - 해체폐기물 : 발전소 운영기간중 발생한 총 폐기물량과 동일
 - RI이용폐기물 : '85년 기준(251 drums)연간 10%씩 증가
 - 핵연료 가공폐기물 : 발전소 운영폐기물의 8%

또 이러한 추정량에 기준하여 연간 처분장 인수량을 25,000드럼으로, 초기 및 증설용량을 각각 약 25만 드럼규모로 건설하는 것이 가장 타당하다

다는 가정하에 이루어진 추정이다. 따라서 당 연구실에서 연구되고 있는 몇몇 감용처리기술^{3),4)}의 적용가능성과 그 효과를 검토하게 되었다. 여기서는 그 각각에 대해 간단히 살펴보았으며, 모든 적용실험을 마쳐 실제로 현장에서 적용할 수 있는 시기 및 예상감용비를 표 2에 보였다.

1) 붕산함유 농축폐액의 새로운 고화기술^{3),4)}

가압경수로에서 발생하는 농축폐액 중에 들어 있는 방사성 핵종이 포함된 염류는 붕산화물로, 완전히 건조시킬 수 있다면 최대의 감용효과를 얻을 수 있는데, 그대로 건조할 경우 전열벽면에 건조물이 단단히 붙어 전열효과를 저하시키므로 전처리한 후 건조하는 방법을 개발하였다.

농축액에 과잉의 생석회를 가하여 생성되는 붕산칼슘의 건조물이 건조시에 미립자로 입도를 유지하며 또한 전열벽면에 건조물이 달라 붙지 않는 반응조건을 찾았고, 반응 및 건조와 건조물의 수송을 원활히 할 수 있는 장치도 설계, 제작 및 설치하여 실험중에 있다. 이러한 건조물을 불포화 에스테르로 고화할 경우, 고화체의 여러가지 특성에 대한 실험을 한 결과 최소한 현 시멘트고화의 6배이상의 감용효과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

표 2. 향후 적용가능한 감용처리기술³⁻⁷⁾

감용처리기술	적용가능시기	예상감용비
불산함유 농축폐액의 새로운 고화기술	1995년	현 시멘트고화의 6배 이상
가연성 고체폐기물의 소각기술	1996년	현 일반압축의 20배 이상
폐수지의 소각기술	1998년	발생폐기물량의 3배 이상 (시멘트고화의 12배 이상)
비가연성 고체폐기물의 초고압 압축기술	2000년	현 일반압축의 3배 이상

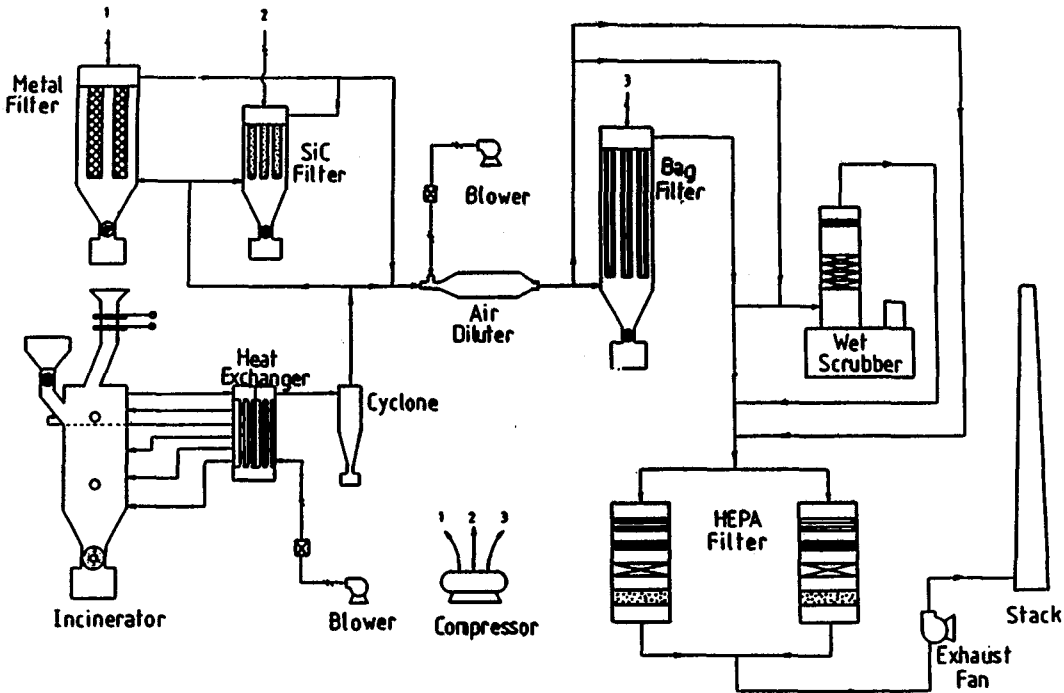


그림 1. 소각공정의 계통구성도

2) 가연성 고체폐기물의 소각기술^{3),5)}

'84, '85년의 소각공정 설치 타당성 및 소각기술 국산화를 위한 조사, 연구의 결과를 토대로, 87년도에는 200 MJ/h 소각용량의 소각로, 각종 건식 및 습식 배기체 처리공정을 설치완료 하였으며, 계통의 구성 및 단위공정의 흐름도는 그림 1과 같다.

현재는 이를 이용하여 고체폐기물의 소각 특성 시험 및 배기체 처리계통의 성능시험 중인데, 수행된 결과를 토대로 '91년도 부터 연구소내 폐기물을 소각하며, '92년도 부터는 상용소각로를 설

계, 건설할 계획으로 있다.

3) 폐수지의 소각기술^{3),5)}

국내 원자력 발전소에서 발생하는 방사성 폐이온 교환수지의 처리법에는 여러가지가 있으나, 수지가 주로 입자상의 유기고분자체임을 고려하여 소각방식을 적용하면 거의 완전하게 태울 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 이온교환수지의 특성 및 여러 관련사항을 고찰한 결과, 유동층 소각로를 이용하는 소각방식의 가장 적합한 것으로 나타났으며, 이 경우 재 및 층내물질(bedmat

erial)을 시멘트로 고화시키는 것을 고려하더라도 최소한 3배 이상의 감용효과가 있다고 보고되고 있다.

현재로는 국내에서 발생하는 입자상 이온교환수지의 조각에 필요한 기초실험과 아울러 폐이온교환수지의 조각에 적용되는 유동층 조각로를 설계, 제작하여 설치중에 있다.

4) 초고압 압축기술⁵⁾

압축처리법은 고체폐기물에 기계적인 힘을 가하여 폐기물 내부에 존재하는 공기를 제거시켜서 그 기하학적 구조를 치밀하게 변화시켜 폐기물이 점유하고 있는 부피를 감소시키는 방법으로 조각이나 기타 처리가 적합하지 않은 경우에 효과적이다. 보통 압축부하가 1,500톤 이상인 것을 초고압 압축이라고 하는데 감용비는 대상 폐기물의 구성비 및 사전 준비상태에 따라 다르나 7~10정도로 보고 있으며, 현재 압축기술을 이용하고 있는 나라는 네덜란드, 독일 및 미국 등이다. 감용비는 낮으나 비가연성 및 비압축성 폐기물의 처리가 가능하고, 조각기술과 병행하여 개발하여야 할 상호보완 공정이다.

표 2에 제시한 감용처리기술을 650 MWe급 고리2호기의 폐기물 발생량을 기준하여 적용하여

표 3. 원자력발전소 운전폐기물의 발생비율⁸⁾

폐기물 분류	발생비율(%)	비 고
농축폐액	33.0	
폐수지	7.2	
폐필터	1.6	
잡고체	58.2	잡고체중 80%가 가연성

보면 그림 2와 같이 연간 폐기물 드럼 발생량을 약 0.12배 정도까지 줄일 수 있다. 참고로 고리1호기의 경우 11년 정도 조업되었으나 다른 발전소와는 농축폐액이나 폐수지의 처리방식이 크게 다르며, 고리 3, 4호기는 발전소 조업기간이 짧으므로, 폐기물 발생측면에서 정상상태에 있다고 여겨지는 고리2호기의 5, 6년차의 평균발생량을 기준하여 계산하였다^{1), 2)}

앞서 제시한 감용처리기술을 적용가능년도 말까지 적용하여 그 이듬해부터 가동되어 발생폐기물의 감용이 이루어지고, 이 기술은 단지 원자력발전소의 운전에 의해 발생되어 표 3과 같은 발생비율⁸⁾을 갖는 운전폐기물에 적용된다면 발생폐기물량은 표 4 및 그림 3과 같이 감소되는 것으로 나타났다. 표와 그림에서 알 수 있듯이 감용처리기술의 적용으로 운전폐기물의 양은 적용 첫해(1996년)에 0.97정도에서, 시간이 흐를수록 감소하여 2006년 초에 0.5정도, 2022년경에는 0.35정도까지 감소하며, 이에 따라 전체폐기물의 양도 2015년 경에 최고 0.52정도까지 감소하였다가 그 이후 원자력발전소 해체폐기물의 급증으로 인해 증가하게 됨을 알 수 있다.

이와 같이 구한 발생폐기물의 추정량을 기준하여 향후 필요한 처분장의 규모와 연간 인수용량을 구해보면, 1995년 이후 20년간 운영할 경우 총 처분장의 규모는 50만 드럼규모가 아니라 30만 드럼규모 정도면 충분하며, 따라서 초기 및 증설용량을 각각 25만 드럼규모 보다는 15만 드럼규모가 타당할 것으로 보인다. 그러나 적용시기에 여유를 고려하고, 또 1995년까지의 누적량이 11만 드

표 4. 감용처리기술 적용후 폐기물 발생량 비교

년도	원전 운전 폐기물 발생예상량			총 폐기물 발생예상량		
	현 재	적용후	비 율	현 재	적용후	비 율
1995	96,197	-	-	111,089	-	-
1996	109,288	105,688	0.967	126,586	122,986	0.972
1998	137,723	113,728	0.826	160,296	136,301	0.850
2000	169,235	121,126	0.716	197,767	149,658	0.757
2005	256,901	134,903	0.525	303,624	181,626	0.598
2010	349,115	149,390	0.428	443,280	243,555	0.549
2015	433,189	162,598	0.375	559,469	288,878	0.516
2020	475,875	169,306	0.356	717,716	411,147	0.573

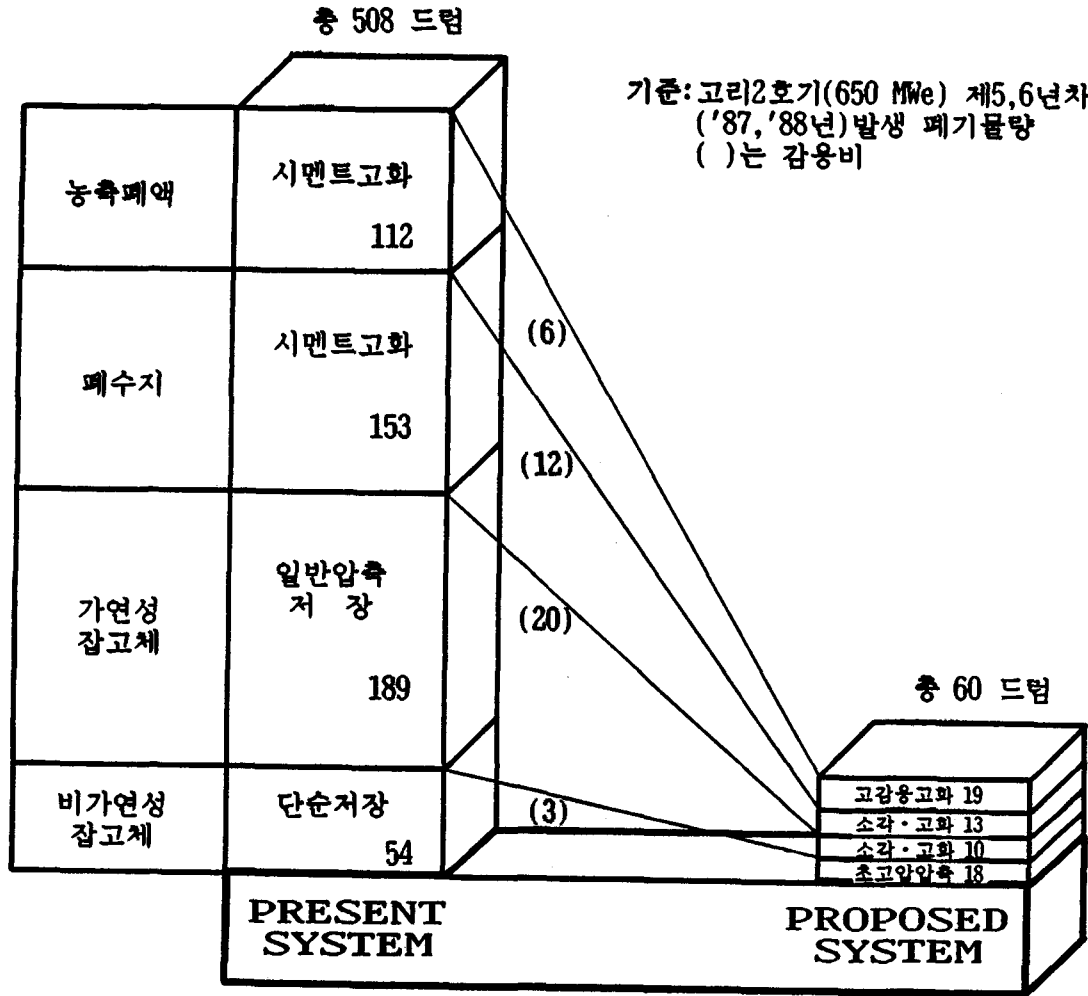


그림 2. 감용처리기술의 적용시 감용효율

럼을 상회하는 것을 감안하여 초기건설용량을 25만 드럼규모로 하는 경우, 처분장 운영기간이 10년에서 17년정도까지 크게 늘어나므로 증설시기가 2005년에서 2012년이 되고, 연간 인수용량도 15,000 Dr/yr으로 운영하는 것이 적당함을 알 수 있다. 즉, 감용처리 기술을 고려치 않은 경우 25만 드럼규모의 초기건설 처분장이 2005년에 포화되어 다시 같은 규모의 처분장을 증설하여 총 50만 드럼규모의 처분장이 필요하고, 이것도 임시저장고를 감안하더라도 2015년 까지만 운영할 수 있다는 계산이 나오는 반면, 감용처리기술을 적용한 경우 25만 드럼규모의 초기처분장만 가지고

도 그 운영기간이 17년 정도이므로 감용처리 기술을 고려치 않은 경우 폐기물이 50만 드럼정도 발생예상되는 2012년 까지는 다른 처분장의 증설없이도 충분하다는 것을 알 수 있다. 그리고 그 이후는 해체폐기물의 발생이 커지므로 그때까지 발생된 폐기물량과 발생예상량을 다시 조정하여 새로운 규모의 처분장을 건설해야 하고, 인수용량도 조정하는 것이 필요한 것으로 나타났다.

위에서 구한 결과는 원자력발전소 운전폐기물 외에 해체폐기물 등 기타폐기물이 급증하게 되는 2018년 이전까지는 단지 운전폐기물에 대해서만 감용처리기술을 적용해도 전체폐기물의 약 55%

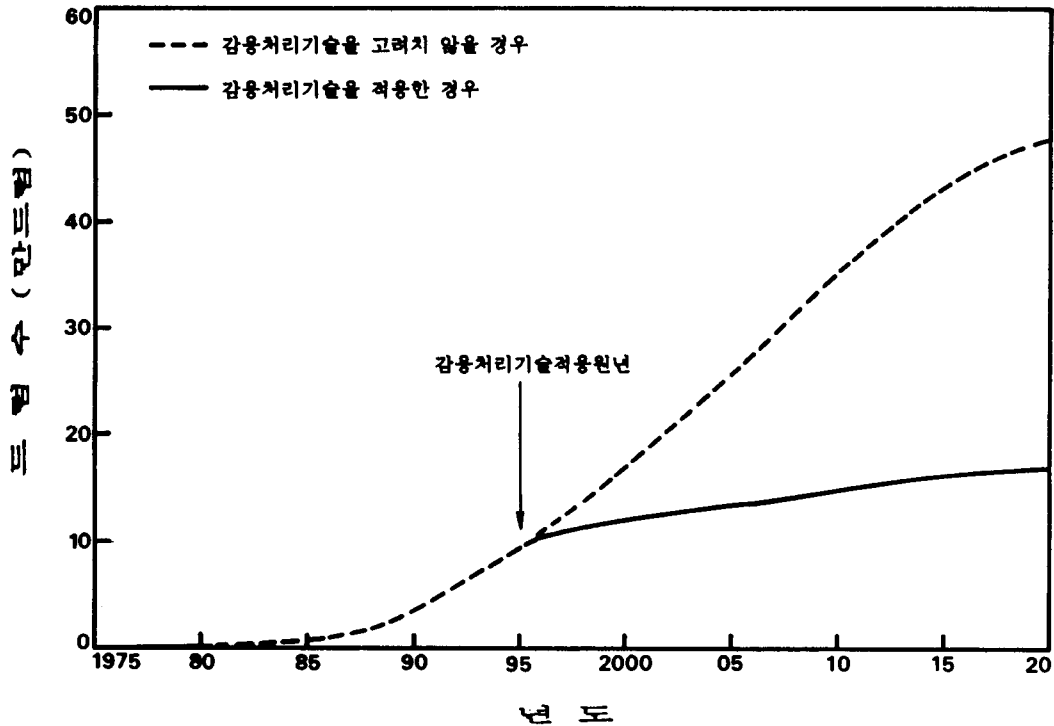


그림 3. 감용처리기술적용에 따른 발전소 운전폐기물 예상발생량 비교

정도까지 감소함을 의미한다. 그런데 만약 이러한 감용기술이 전체폐기물에 대해서도 적용된다면 예상발생량은 더욱 크게 줄어들 것이다. 따라서 발전소 운전폐기물에 대한 감용처리기술이 핵주기(가공) 폐기물, RI폐기물, 연구기관 폐기물, 그리고 특히 발전소 해체폐기물에 대해서도 적용될 수 있도록 더욱 연구발전시켜야 하며, 이런 기술에 적용되지 않는 폐기물은 지금부터서라도 이에 대한 연구가 병행되어 최소한 연간 예상발생량이 각각 1,000 드럼을 넘게되는 1996년, 2000년, 2008년, 그리고 2007년에는 폐기물 처리공정에 실제로 적용되도록 해야할 것이다.

한편, 지금까지 언급한 사항은 최종적으로 감용처리기술의 적용에 의한 경제성 비교검토 문제가 남아 있는데, 이에 대해서는 지속적인 고찰이 필요하며 차후에 기회를 마련코자 한다.

III. 결 론

방사성 폐기물 관리에 있어 감용처리기술의 중요성은 단순히 폐기물 발생량의 감소 뿐만 아니라 이로 인해 경제적 이득은 물론 최종적으로 인간생태계의 안전성 문제에도 크게 기여할 수 있으리라 여겨진다.

현재 국내에서 발생하는 방사성 폐기물중 원자력발전소의 운전으로 인해 발생하는 폐기물이 그 대부분을 차지하고 있는데, 이들 폐기물에 대해 적용가능성이 높은 감용처리기술을 적용하여 검토한 결과 해체폐기물이 본격적으로 발생하게 되는 2018년 이전까지 폐기물 발생량이 대략 55%정도(운전폐기물에 대해서는 최대로 35%정도)까지 감소하는 것으로 나타났다. 이 경우 초기건설용량 25만 드럼규모의 처분장에 대해 운영기간은 최소한 7년 이상 연장할 수 있을 것으로 예상되며, 이는 당초 예상된 감용처리기술을 고려치 않은 경

우 폐기물 누적량이 50만 드럼이 되는 시기와 거의 일치함을 알 수 있었고, 연간 15,000드럼의 인수용량으로 운영하는 것이 가장 타당할 것으로 나타났다.

그리고 2012년(임시 저장고의 용량을 감안할 경우 2015년)경에 증설되어야 하는 처분장의 규모는 그 시점에서 감용처리기술의 개발, 적용 및 구체적인 발생량 추정을 통해 새로이 계획, 추진되어야 할 것이다.

References

- 1) 박현휘 외, “중, 저준위 폐기물 영구처분장 건설: 후보부지조사(I)”, KAERI/RR-779/88, 한국원자력연구소(1989)
- 2) 김성학, 한필수, 박현휘, “중, 저준위 방사성 폐기물 처분시설의 초기용량 및 인수용량 검토”, *J. of Korean Nucl. Soc.*, 21, 134 (1989)
- 3) 김준형 외, “방사성 폐기물 처리기술 개발”, KAERI/RR-788/88, 한국원자력연구소 (1989)
- 4) 한경원 외, “처분 안전성 평가기술 개발”, KAERI/RR- 892/89, 한국원자력연구소 (1990)
- 5) 김준형 외, “방사성 폐기물 처리기술 개발 (2)”, KAERI/RR-893/89, 한국원자력연구소 (1990)
- 6) 김준형 외, “방사성 폐기물의 고화처리 관련 연구”, KAERI/RR-472/85, 한국원자력연구소 (1986)
- 7) 박현휘, 김환영, “방사성 폐액의 고농축 및 건조와 고화방법,” 특허 제35738호 (1990)
- 8) Hahn, P. S., “Current Status on Low-Intermediate-Level Radwaste Management in Korea”, International Seminar on Radwaste & Spent Fuel Management, Apr. 24-27, KAERI (1989)