

Study on Pre-treatment Method for Vitrification of Concentrated Wastes

농축폐기물 유리화를 위한 전처리 방안 연구

Hyun-Je Cho¹⁾, Deuk-Man Kim and Jong-Kil Park

Nuclear Engineering & Technology Institute, Jang-dong 25-1, Yuseong-gu, Daejeon

조현재¹⁾, 김득만, 박종길

한국수력원자력(주) 원자력발전기술원, 대전시 유성구 장동 25-1

(Received February 26, 2010 / Revised April 08, 2010 / Approved May 03, 2010)

Abstract

The solidification methods for powder wastes dried at CWDS(Concentrate Waste Drying System) in PWR have been studied in a variety of ways both at home and abroad. The solidification for these wastes has been performed using stabilization agents such as cement, paraffin and polymer. The applicability studies to maximize the reduction ratio of wastes and operational effectiveness for wastes treatment have been carried out, recently. It is necessary to pretreat the powder wastes before feeding wastes to vitrification facility because the fines flying brings about clogging of feeding pipes and off-gas treatment system or workers' exposure to radiation during maintenance. This paper describes an effective method for treatment of powder wastes to improve safety and stability of vitrification facilities.

Key words : Vitrification, Concentrated Wastes, Wastes Solidification & Reduction

요 약

가압경수로 원전 농축폐액건조설비(CWDS)에서 생성된 농축폐액건조물에 대한 고화 방안이 국내외적으로 다양하게 연구되어 왔다. 농축폐액의 고형화는 시멘트, 파라핀 및 폴리머와 같은 고화제를 이용하여 수행되어 왔다. 동시에 농축폐액에 대한 감용비 및 운영상의 효과를 극대화하기 위한 농축폐액건조물 전처리 방안이 연구되었다. 건조된 분말 형태의 폐기물을 유리화 설비에서 직접 처리할 경우 비산에 의한 배기체 계통 및 폐기물 투입구 막힘 현상을 초래할 수 있으며, 취급 중 비산에 의한 방사성피폭을 초래할 가능성이 있다. 본 연구는 분말형태의 폐기물을 유리화설비에서 고화하기 위한 전처리방안을 수립하고 이를 통해 설비운영 및 폐기물 운영관리의 안전성을 확보하는데 목적이 있다.

중심단어 : 유리화, 농축폐기물, 폐기물 고화 및 저장

1) Corresponding Author. E-mail : cho@khnp.co.kr

I. 서 론

국내에서 운전 중인 가압경수로(PWR)에서는 반응도 제어용으로 붕소를 사용하고 있기 때문에 폐액 중에는 상당량의 붕산이 함유되어 있다[1]. 농축폐액은 농축폐액건조설비(CWDS)를 이용하여 농축폐액을 저압력 상태에서 증기로 가열하여 농축폐액 내의 수분은 증발시키고, 생성된 건조분말은 파라핀을 이용하여 고화 처리하고 있다. 영광 5, 6호기와 울진 5, 6호기의 경우에는 증발농축 처리개념 대신에 원심분리기와 선택성 이온교환기를 적용하여 액체방사성 폐기물을 처리하고 있는데, 이온교환기의 효율을 높여주기 위해 이온교환기 전단에 원심분리기를 사용하며 원심분리기에서는 입자상 물질과 부유물질이 제거되므로 기존 여과장치를 대체하게 된다. 이온교환기는 Cs 및 Co 핵종을 선별하여 처리할 수 있는 zeolite 계열의 선택성 무기 이온교환수지와 iodine 등의 음이온 제거를 위해 유기 이온교환수지를 사용한다. 따라서 이들 원전에서는 방사성 폐액 건조물이 폐기물로 발생되지 않고 있다.

농축폐액에 대한 고화는 80년대부터 시멘트, 파라핀 및 폴리머 고화제를 이용하여 고화처리를 하여 왔으며, 최근에는 고품질에 대한 내구성 및 열화반응 등에 따른 고품질 안전성과 처분요건 적합성 등이 재연구되고 있다. 파라핀 고화물은 제조 과정 중 층분리로 인해 압축강도 및 침출특성이 좋지 않은 불균질한 고화체 발생 가능성을 보이고 있고, 이것은 교육과학기술부 “중저준위 방사성폐기물 인도규정 고시” 및 “방사성폐기물 인수기준”에서 요구하는 처분 요건을 만족시키지 못할 우려로 인해 2000년대 중반부터 폴리머 고화방안을 연구하여 왔다[2]. 농축폐액에 대한 폴리머 고화는 가성소다 및 소석회를 사용하여 건조물을 입상화하는 전처리 과정이 필요하다는 결론을 얻은 바 있다[3]. 이와 더불어 폐기물의 안정적/영구적 처리방안의 일환으로 유리화를 위한 유리조성 연구가 이루어져 왔다. 유리화 기술은 중금속 및 방사성 핵종들과 같은 유해한 물질들을 일반적인 유리구조에 가둬 환경에 누출되지 않도록 영구적으로 격리시키는 기술로서, 시멘트 고화나 폴리머 고화기술이 방사성 핵종들을 물리적으로 가두어 두는 기술인데 반해 유리화는 분자들간의 상호 화학적 결합을 이루도록 하는 기술이다. 따라서 유리화는 우수한 물리·화학적 내구성을 제공하게 되며, 폐기물의 높은 감용 효과도 얻을 수 있다[4,5]. 특히 대부분의 원소를 유리 속에 포함시킬 수 있기 때문에 방사성 폐기물을 유리 속에 용융시킨 다음 철회용기에 부어 영구처분장에 안전하게 처분할 수 있는 장점이 있다.

유리화설비에서 폐기물을 저온용융로 (CCIM : cold

crucible induction melter) 내부에 투입하는 방식은 CCIM 상부에 설치되어 있는 hopper에서 하부로 폐기물을 투입하는 방식으로 구성되어 있다. 따라서 농축폐액건조물을 전처리 없이 설비에 투입하게 되면 배기팬에 의한 부압(약 - 40 mmH₂O)으로 인해 건조분말 형태의 폐기물이 용융유리와 결합되기 전 배기체 처리설비(off-gas treatment system)로 유입될 가능성이 있어 배기체 처리설비의 필터 차압상승 또는 분진재순환설비의 부하를 증가시킬 우려가 있다. 또한, 농축폐액건조물 투입 시 폐기물 공급 배관벽 등에 고착되어 투입구가 막힐 가능성이 있기 때문에 이러한 폐기물 형태는 설비에 투입하기 전에 전처리를 할 필요가 있다. 이에 현재 상용운전 중인 울진 유리화설비의 잡고체 폐기물 전처리는 폐기물을 펠렛화 하여 투입하고 있다. 농축폐액건조물을 전처리하는 방안으로 상용설비 또는 기존 연구성과를 이용한 방안을 대상으로 검토하였으며 최종생성물의 기준은 유리화설비 폐기물 투입설비의 구조를 반영하여 설정하였다. 유리화설비의 폐기물 투입구에서 CCIM 내부까지의 폐기물 이송 배관 길이가 약 2 m 정도이기 때문에 분말 폐기물의 고품질은 CCIM 내부 유리용탕에 떨어지기 전에 파손되지 않아야 하며 분말의 발생량이 배기계에 영향을 없는 것이 설비 운영측면에서 유리하다. 따라서 약 2m 에서의 낙하시험에 의한 분말 발생 정도가 배기계에 영향을 없을 경우 폐기물 투입에 문제가 없을 것으로 예상된다. 폐기물 전처리는 상용설비가 있거나 기존 연구 성과물을 응용할 수 있는 정제(타정방식), 과립 및 사출을 대상으로 하였다. 과립방식은 건조분말을 크기 0.5~11 mm 정도인 작은 알갱이 형태로 제작하는 방식이며, 사출방식은 건조분말을 불규칙 크기의 반죽 형태로 제작하는 방식이고 타정방식은 농축폐액건조물을 의약품의 환(알약) 형태와 유사하게 직경 5 mm 이상 높이 6 mm 이상으로 제작하는 방식이다. 정제 제조 시 중요 고려사항으로 경도와 마손도가 있으며 이 값들은 일정값 이상으로 유지되어야 운반, 저장 및 저온용융로 내로 투입이 용이하다. 정제 제작을 위해 붕사(Na₂B₄O₇ · 10H₂O)와 산화붕산(B₂O₃)를 이용하여 혼합한 후 스테아린산 마그네슘을 첨가하여 시료를 제조하였다. 본 연구에서는 농축폐액 폐기물의 전처리를 통해 PWR 원전에서 발생되고 있는 농축폐액의 유리화 가능성을 도출하기 위한 전처리 방안을 검토하였다.

II. 실 험

가. 농축폐액건조물의 특성

농축폐액건조물은 Table 1과 같이 주로 boron과 sodium

산화물이 물과 결합된 화합물 형태를 가지고 있다. 국내원전의 CWDS에서 농축된 폐액의 방사성핵종 농도를 분석한 결과 반감기가 긴 ⁵⁸Co 및 ⁶⁰Co이 대부분을 차지하고 있다. 가압경수로에서 발생하는 농축폐액의 붕산농도는 최대 30,000 ppm 정도로 pH는 약 6~8 정도이다. 붕산농축폐액 건조물의 함유 성분 분석을 위해 파라인 고화전의 분말시료 10 g을 채취하여 유도결합플라즈마 방출분광분석(ICP-AES : inductively coupled plasma atomic emission spectrometry), 유도결합플라즈마 질량분석(ICP-MS : inductively coupled plasma mass spectrometer) 및 X-선회절(X-ray diffractometer) 분석을 수행하였다. Figure 1은 농축폐액건조물에 대한 성분분석 결과를 보여준다. A발전소의 경우 Na/B에 대한 조성비가 약 50% 정도로 나타나고 있으며, B발전소의 경우 함유 농도비가 약 20% 내외를 보여주고 있다. 따라서 화학적 조성은 발전소 운전 특성에 따라 다소 차이가 있음을 알 수 있다.

나. 폐기물 전처리

모의붕산시료 및 과립화제(액상규산나트륨)를 이용하여 과립화 시험을 수행하였다. 과립화제의 혼합비율을 23 wt%, 30 wt% 및 40 wt%로 증가 시키면서 시험을 수행하였다. Table 2는 과립화제 혼합율에 따른 생성과립의 입자분포를 나타낸다. 제조된 과립은 균질한 구형으로 생성되었으나 강도가 약하여 2 m 낙하시험에서 작은 입자로 깨지는 등 내구성이 떨어졌으며 2 mm 이상 크기의 과립 생성률은 21~45 wt% 정도로 낮다는 문제점이 확인되었다. 또한 과립화에 따른 입자분포는 과립화제 혼합율에 따른 생성과립의 입자분포가 적정 입자 크기(2 mm 이상)의 비율이 50 wt%를 넘지 않았으며 농축폐액 건조물을 고형화하기 위해 사용되는 과립화제의 혼합률이 23 wt%를 넘기 때문에 유리화적용에 부적합한 것으로 나타났다. 사출방식의 적용여부를 검토하기 위해 분말시료에

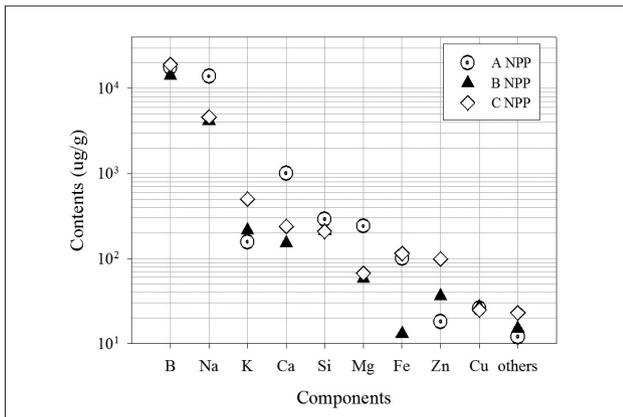


Fig. 1. Distribution of chemical composition for dried concentrate boric acid waste.

Table 1. Oxide compound content of dried concentrate boric acid waste

Oxide Compound	OContent (wt%)	Oxide Compound	Content (wt%)
B ₂ O ₃	62,94	MgO	0,08
Na ₂ O	10,24	SiO ₂	0,08
K ₂ O	0,28	Others	0,10
CaO	0,22	Organic	(1,47)
ZnO	0,07	H ₂ O	(24,52)
Sum			100

*) parenthesis is estimation.

Table 2. Granule production rate by additives

Grain Size(mm)	additive 23 wt%	additive 30 wt%	additive 40 wt%
> 5	17,3	3,6	15,8
4,0	4,3	2,6	4,5
3,4	3,4	2,9	4,4
2,8	2,1	2,5	4,2
2,0	6,7	9,3	16,4
1,4	3,5	10,3	24,9
1,0	5,0	13,4	15,5
0,5	57,7	55,4	14,3
Sum	100	100	100

PVA(polyvinylalcohol) 첨가제를 혼합한 후 반죽으로 제조하였다. PVA 분말을 물에 일정량 풀어 뜨겁게 가열해 주면서 계속 저어주면 풀과 같이 점성이 있는 반죽이 되는데 시료 중 일부 성분이 PVA와 결합하지 못하고 상분리가 일어났다. 시료의 일부는 큰 덩어리로 뭉쳐지는 반면 일부 성분은 뭉치지 못하고 용액상에 그대로 남아 있었다. 사출방식은 시료의 화학적 특성이 공정과 사출물의 특성에 큰 영향을 미치기 때문에 시료의 성분이나 함량이 균질하지 않은 경우에는 적용하기가 어렵다. 따라서 사출방식은 공정 특성상 사출기를 사용한 후에는 체(sieve) 및 이송배관이 막힐 수 있으므로 기기를 분해하여 세정하는 2차 작업이 필요하다는 단점이 있어 현장적용에 부적합한 것으로 나타났다.

정제방식은 일반적으로 의약품 정제를 생산하는 방식으로 일정한 무게로 제조가 가능하고 제조된 정제는 보관이 용이하며 대량생산이 가능한 방식이다. 본 연구에서는 농축폐액건조물을 정제화 하기 위해 고품 장치를 설계·제작하였다. 정제의 크기는 폐기물 공급관을 통해 저온용융로 내로 투입이 용이하게 하기 위해 직경이 10 mm 미만으로 제작하였다. 고품 정제를 위해 시료에 혼합한 결합제로는 Kollidon VA64, HPMC, 유당이 포함된 Ludipress LCE, 윤활제로 유기성분인 Glyceryl Distearate을 사용하였다. 모의시료와 실패기물에 대한 고형화 실험결과는 Table 3 및 Table 4와 같다. 실험에서 분말시료를 정제로 제조한 결과 고품물과 고품장치 사이에 고착현상이 발생되었다. 이를 해결하기 위해 활택제로 스테아린산 마그네슘을 사용하여 정제가 정제 틀로부터 방출될 때 분

Table 3. Hardness and abrasion rate of mixed demonstration waste and additives.

Samples(wt%)	Additives (wt%)	Remark
100		pill shape defective
92	Kollidon VA 64(8)	abrasion rate unsatisfactory
91	Kollidon VA 64(8), HPMC(1)	hardness unsatisfactory
70	Ludipress LCE(30)	fastness occurrence between tableting ball and solid
50	Ludipress LCE(49.5), lubricant(0.5)	abrasion occurrence of pill edge part

Table 4. Characteristic of pellet made from mixed concentrated waste and additives.

Samples(wt%)	Additive(wt%)	Remark
99	Kollidon VA 64(1) Mecellose(1)	hardness unsatisfactory pill shape goodness
95	Kollidon VA 64(5) Mecellose(5)	hardness and abrasion rate satisfactory
90	Kollidon VA 64(10) Mecellose(10)	abrasion rate unsatisfactory in inhomogeneous mixing

말시료 잔류물에 의한 고착현상을 방지하였다. 일반적으로 스테아린산 마그네슘은 전단력이 낮아 활택제로 많이 사용되고 있다[6]. 모의시료 정제로부터 첨가물 양과 고형장치의 운전 조건을 확인하였고, 이로부터 실패기물을 정제 제작하였다. 실패기물 정제를 위해 농축폐액 5 l 를 교반기에서 20시간 이상 가열하여 건조물 300 g 을 확보하였다. 농축폐액 방사선량은 5 μ Sv/h 였으며 최종적으로 생산된 건조분말 300 g 의 방사선량은 60 μ Sv/h 정도였다. 건조된 실패기물은 시멘트 고형물과 같이 굳기가 단단하였으며 파쇄를 하여 분말형태로 제조하였다. 시험에 사용된 건조분말은 입자 중 미립자가 많아 쉽게 비산되었고 유동성이 낮았으며 부분적으로 분말 덩어리가 존재하였다. 건조분말에 첨가제(부형제, 결합제 등) 없이 스테아린산 마그네슘을 혼합하여 정제를 제조하였다. Fig. 2(A)는 농축폐액 건조 후 상태를 보여주고 있으며 Fig. 2(B)는 건조분말의 고형정제 결과를 보여주고 있다.

III. 결과 및 고찰

가. 농축폐액건조물의 특성

농축폐액건조물을 분석한 결과 B₂O₃ 및 Na₂O 그리고 H₂O 가 전체 산화물 함량의 90 % 이상을 함유하고 있는 것으로 나타났다. 농축폐액 성분의 대부분은 붕산으로 구성되어 있음을 알 수 있고, 이와 같은 폐기물을 유리화 할 경우 대부분이 붕소 성분으로 이루어진 유리고화체가 생성되게 된다. 울진 유리화설비의 폐기물처리 운영효율 향상을 위해 W1(가연성잡고체 및 지방사성폐수지) 폐기물과 혼합으로 농축폐기물을 처리할 경우 폐기물 처리율 및 배출유리 내 폐기물 함량을

증가시킬 수 있는 장점이 있는 것으로 나타났다. 또한 폐기물을 혼합하여 유리화하는 경우 생성된 유리고화체는 고강도의 붕규산 유리로 이루어지게 되며, 유리 조성체 개발에서도 waste loading이 높게 나타나는 것으로 분석되었다. 건조분말 정제 제조시에는 폐기물에 함유되어 있는 다량의 수분을 고려할 필요가 있는 것으로 나타났으며, 농축폐액의 정제 조건을 도출하기 위해 모의시료 제조에서 고려하여야 할 혼합비는 붕산(Na₂B₄O₇ · 10H₂O) 60 %와 산화붕산(B₂O₃) 40 %로 나타났다. Figure 3은 농축폐액을 가열 건조하여 얻은 분말시료의 방사능 분포를 보여주고 있다. 분말시료중 Co, Cs 및 Mn이 폐기물처리 주기에 따라 다소 차이는 있으나 분포의 대부분을 차지하고 있는 것으로 나타났다.

나. 폐기물 전처리

붕산농축폐액 건조물을 체(sieve)를 이용하여 측정된 결과 Fig. 4와 같은 입도분포를 보여주고 있다. 각 입도분포별로 그리고 전체분말을 이용하여 다음과 같이 전처리 조건을 검토하였다. 과립생성물은 균질한 구형으로 무난히 제작할 수 있으나 생성 후 과립물은 강도가 약하여 2 m 자유낙하 시험 결과 쉽게 파손(깨짐)이 되었다. 2 mm 이상 크기의 과립 생성률이 21~45 wt% 정도이며, 나머지는 분말 상태로 잔류하

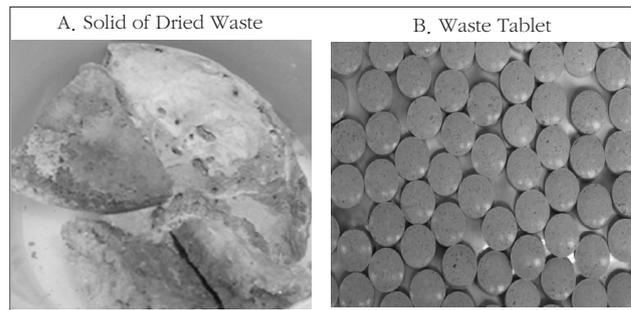


Fig. 2. Tablet-Solidity of Concentrated Boric Acid Waste.

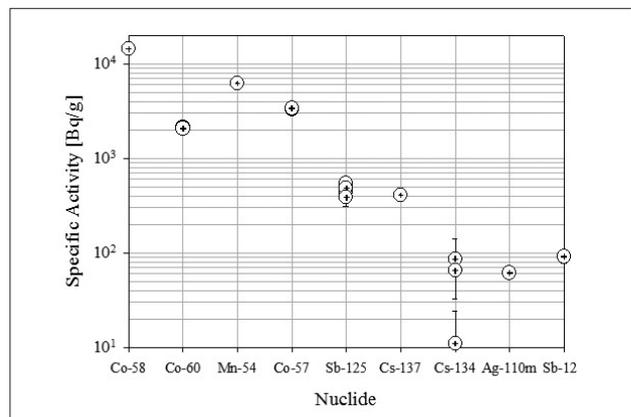


Fig. 3. Radionuclides distribution obtained from dried concentrate waste.

였다. 적절한 과립 생성률이 낮고 장기보관 시 습분 흡수로 강도가 약해졌다. 따라서 유리화설비에 과립화방식을 적용하는 것은 부적합한 것으로 나타났다. 사출방식은 농축폐액 건조물 전처리 후 설비 내 고착을 방지하기 위해 반드시 세정을 해야 하며 이러한 경우 2차폐기물(세정폐액)이 발생하는 문제점이 있다. 또한 사출 작업 중 작업자가 사출상태를 계속 점검하면서 운전하여야 하는 단점이 있다. 사출기 가열실린더 내에 시료 가열상태를 모사하기 위하여 모의봉산시료에 결합제(PVA)를 넣고 가열기를 이용한 시험에서 일부 상분리가 일어났으며, 농축폐액건조물을 고화시키기 위해 사용된 결합제로 인해 점성이 높아져 설비에 고착되는 경우도 발생하여 현장적용에 부적합한 것으로 나타났다. 타정방식은 공정이 단순한 직타방식이 설비 운영에 유리하였다. 모의폐기물 및 실패기물의 결합제로 Kollidon VA 64 및 HPMC를 사용한 타정시험에서는 정제의 경도가 크게 향상되지 않았으나, Ludipress LCE 및 활택제를 사용한 경우 경도 및 마손도가 향상되었다. 모의폐기물의 경우 입자분포가 고른 반면 결합상태가 우수하지 않아 첨가물 양을 많이 사용하여 시험하였다. 실패기물의 경우 소량의 첨가물에도 고풍상태가 양호하여 적은양의 활택제만을 이용하였다. 각 시료에서 얻은 고풍물에 대한 낙하시험 결과는 유사하게 나타났다. 실패기물은 모의시료에 비해 불순물이 함유되어 있어 마손도 부분에서는 모의시료보다 다소 적었다. 실패기물 고풍물에 대한 마손도 및 강도 측정은 측정장비 오염을 고려하여 측정하지 않았다. 세가지 전처리 방안에 대한 실험 및 검토 결과 고풍정제 방식이 최종생성물 상태, 설비설치여건, 설비 유지보수 용이성 및 운전 편의성 등에서 양호한 것으로 나타났다.

다. 고풍정제의 특성

최종성생물의 기준설정을 위하여 경도 및 마손도는 일반

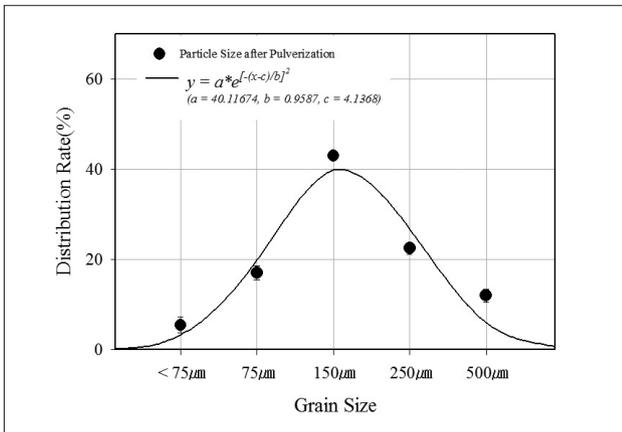


Fig. 4. Grain distribution after crushing of dried wastes.

의약 정제기준(제약사별 차이는 있으나 경도 4 kp 이상, 마손도 2% 이하)을 준용하였다. 마손도의 경우 2% 이상의 시료를 유리화설비에 투입한 실증시험에서 배기체계통의 필터 차압상승이 없는 것으로 보아 마손도 2% 미만의 시료를 저온용융로에 투입하여도 문제가 없는 것으로 분석되었다. Fig 5는 마손도 2% 이하를 갖는 시료를 유리화 시 배기체계통의 특성을 보여주고 있다. 정제의 품질을 확인할 수 있는 척도인 경도와 마손도는 정제를 제조후 측정하게 되며 유리화설비 계통에 따른 기준값의 만족여부를 확인하게 된다. 경도는 경도 측정기에 제조된 정제를 넣고 정제가 파손될 때까지 힘을 가하여 측정하게 되며 마손도는 마손도 측정기 내부에 정제를 넣어 6인치 높이의 원통에서 100회 낙하시켜 측정하게 된다. 분말 시료를 이용하여 정제화한 후 측정된 마손도와 경도값은 다음과 같다. 먼저 모의시료를 이용하여 첨가물 양과 타정설비 운영인자를 확인한 후 실패기물을 고풍화 하였다. 모의폐기물 정제에 대한 마손도는 1.58±0.7%이고 경도는 6.91±0.5 kp 였으며, 모의시료 입도 분포는 300 µm이상이 대부분이었다. 실패기물 정제에 대한 마손도는 1.24±0.3%이고 경도는 6.12±0.2 kp 였으며, 폐기물 입도 분포는 150~200 µm가 대부분을 차지하였다. 실패기물의 경도는 모의폐기물 보다 낮은 값을 보이고 있는데, 이것은 농축폐액을 건조 시킨 후 생성된 고풍물을 분쇄함에 따라 미립자 함량이 증가하여 경도가 낮아진 것으로 분석되었다. 마손도는 실패기물의 습분 함유량에 따라 차이가 있으나 모의폐기물보다 양호한 정제 상태를 유지함을 확인하였다. Figure 6은 Table3에서 모의시료에 첨가물을 달리하여 제작한 고풍물 에 대한 경도와 마손도 측정값을 보여주고 있다. 첨가물양을 증가시킬수록 경도가 양호하지만 폐기물양 혼합률이 낮아지는 단점이 있다. 따라서 유리화설비에 투입하여도 문제되지 않을 정도인 정제의 물리적 상태가 유지된다

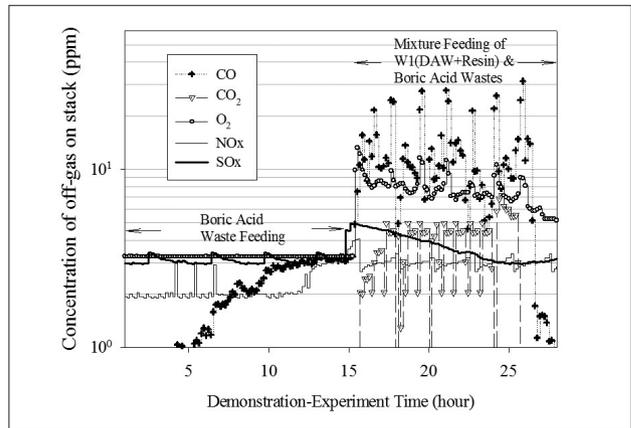


Fig. 5. Off-gas characteristic graph.

면 분석된 바와 같이 소량의 첨가물양을 이용하는 것이 추가적인 폐기물양을 증가시키지 않을 것으로 분석되었다. 또한 폐기물 고형을 위해 첨가하는 첨가물의 양은 2 wt% 이하였으며 폐기물만을 투입한 시험에서의 배기체 특성곡선과 유사한 상태로 배기체가 발생됨을 확인하였다. Figure 7은 실패폐기물을 고형정제한 후 시간별 강도 및 마손도를 측정한 값이다. 사용된 첨가물은 활택제인 스테아린산 마그네슘으로 2 wt% 미만을 사용하여 실패폐기물과 혼합하였다. 고형정제는 일정한 온습도를 유지하고 있는 시험실에서 보관하였으며, 시간이 경과함에 따라 보관 장소의 습분에 따른 고형물의 굳기가 단단해 졌으며 이에 비례하여 마손도도 낮게 분석되었다. 따라서 분말 폐기물을 처리·운영하기 위한 고형 정제 방법은 폐기물 관리에 있어서 비산의 영향을 충분히 감소시키며 유리화 설비에 투입 적용하기 적당한 것으로 분석되었다.

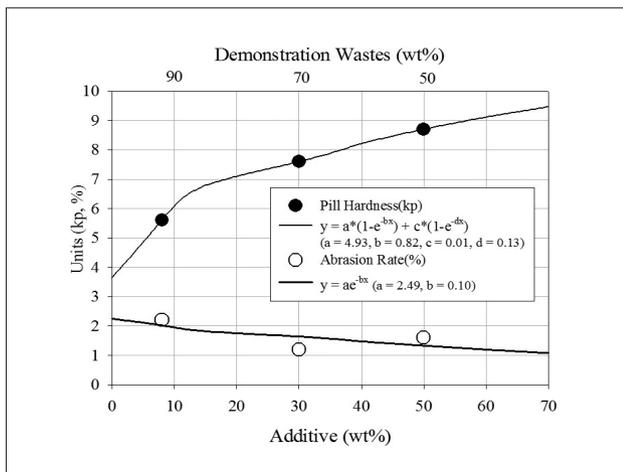


Fig. 6. Between demonstration sample and additive.

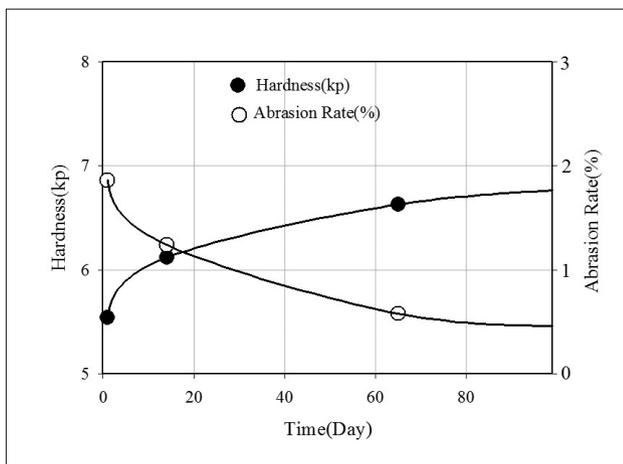


Fig. 7. Comparison of the hardness and abrasion rate for concentrated boric acid waste.

IV. 결 론

붕산농축폐액 건조물은 B, Na, K, Ca, Si 등의 성분 조성으로 이루어져 있다. 원전의 CWDS에서 배출직후 붕산건조물은 일정량의 수분을 함유하고 있으며, 건조분말은 드럼 저장 후 일정시간 경과 후에 단단한 고형체로 변하게 됨을 확인하였다. 농축폐액건조물은 주요 함유성분으로 붕사($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), 산화붕소(B_2O_3), 산화나트륨(Na_2O)으로 구성되어 있으며, 비방사능은 16 kBq/g 정도로 수분을 약 12% 정도 함유하고 있다. 산화물 함량을 비교해 보면 산화붕소가 63% 정도, 산화나트륨이 10% 정도를 보여주고 있다. 또한 산화붕소와 산화나트륨은 수분을 흡수하는 특성을 갖고 있어 설비에 고착되는 문제를 일으킬 수 있어 전처리 방안 검토 시 흡습성에 대한 고려가 필요하다. 붕산폐기물 분말을 취급할 때 비산에 의한 작업자 오염 가능성이 존재할 수 있다. 따라서 유리화 설비에 적용하기 위해서는 적절한 고형화 방안이 활용되어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 사출, 과립 및 정제의 고화방안에 대해 연구 비교하였다. 사출(injection) 방식은 건조분말 폐기물이 고형화된 후 마모도가 낮기 때문에 설비에 투입하여도 비산의 위험이 적은 반면 고형설비의 운영 및 관리에 어려움이 발생하는 것으로 나타났다. 과립(granule) 방식은 최종 고형물이 적당한 경도를 유지하나 유리화설비에 적용할 경우 비산의 정도가 높아 적절하지 않은 것으로 분석되었다. 정제(tablet)방식은 분말 시료를 펠릿화(pelletizing)하는 것으로 고형물의 경도와 마손도가 우수하고 고형설비의 운영·유지 편의성이 양호하며 유리화설비에 투입할 경우 비산의 가능성이 없는 것으로 분석되었다.

감사의 글

본 연구 수행에 있어 많은 조언을 해주신 한국콜마(주) 생명과학연구소 우석제박사님께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Handbook of Pressurized Water Reactor Power Plant(Asian Nuclear Safety Network), p20 (2007).
- [2] H. C. Lee and Y.H. Chang, J. Korean Ind. Eng. Chem., Vol. 7 (4) p391-396 (2006)
- [3] H. Y. Yang and J.Y. Kim, J. of the Korean Radioactive Waste Society, Vol.5(4) p297-308 (2007)

- [4] S. H. Shin, Y. K. Park, H. M. Oh, H. J. Cho and D.M. Kim, Feasibility Study on the Vitrification of Concentrated Boric Acid Wastes, NETEC Report(TR-E08NS27-S2009-85) (2009)
- [5] C. W. Kim, K. H. Yang, B. C. Park, S. C. Park, T. W. Hwang, J. K. Park, S. W. Shin, J. H. Ha and M. J. Song, J. of the Korean Radioactive Waste Society, Vol. 2 (3) p165-174 (2004)
- [6] 김길수, 제제공학, 신일상사, p146-147 (2005)