

Development of Dust Recycling System and Dust Cleaner in Pipe during Vitrification of Simulated Non-Radioactive Waste

모의 비방사성 폐기물의 유리화시 발생 분진의 재순환처리장치 및 배관 내 침적분진에 의한 막힘 방지용 제진장치의 개발

Jong-Seo Choi, Young-Hwan You, Seung-Chul Park*, Seok-Mo Choi*,
Tae-Won Hwang* and Sang-Woon Shin*

Hyundai MOBIS, 140-2, Gye-dong, Jongro-gu, Seoul, Korea

*Nuclear Environment Technology Institute, P.O.Box 149, Yusung, Daejeon, Korea

최종서, 유영환, 박승철*, 최석모*, 황태원*, 신상운*

현대모비스주식회사, 서울시 종로구 계동 140-2

*원자력환경기술원, 대전시 유성구 사서함 149호

pung123@mobis.co.kr

Abstract

For utilizing vitrification to treat low and intermediate level waste, industrial pilot plant was designed and constructed in October 1999 at Daejeon, Korea through the joint research program among NETEC, MOBIS and SGN. More than 70 tests were performed on simulated IER, DAW etc. including key nuclide surrogate(Cs, Co); this plant has been shown to vitrify the target waste effectively and safely, however, some dust are generated from the HTF(High Temperature Filter) as a secondary waste. In case of long term operation, it is also concerned that pipe plugging can be occurred due to deposited dust in cooling pipe namely, connecting pipe between CCM(Cold Crucible Melter) and HTF. In this regard, we have developed the special complementary system of the off-gas treatment system to recycle the dust from HTF to CCM and to remove the interior dust of cooling pipe. Main concept of the dust recycling is to feed the dust to the CCM as a slurry state; this system is regarded as of an important position in the viewpoint of volume reduction, waste disposal cost and glass melt control in CCM. The role of DRS(Dust Recycling System) is to recycle the major glass components and key nuclides; this system is served to lower glass viscosity and increase waste solubility by recycling B, Na, Li components into glass melt and also to re-entrain and incorporate into glass melt like Cs, Co. Therefore dust recycling is helpful to control the molten glass; it is unnecessary to consider a separate dust treatment system like a cementation equipment. The effects of Dust Cleaner are to prevent the pipe plugging due to dust and to treat the deposited dust by raking the dust into CCM. During the pilot vitrification test, overall performance assessment was successfully performed; DRS and Dust Cleaner are found to be useful and effective for recycling the dust from HTF and also removing the dust in cooling pipe. The obtained operational data and operational experiences will be used as a basis of the commercial facility.

Key word : Dust Recycling System(DRS), Dust Cleaner, Vitrification, Dust, Slurry, High Temperature Ceramic Filter, Cooling Pipe

요 약

중·저준위 고체폐기물의 유리고화처리 적용연구를 위하여, 현대모비스는 원자력환경기술원 및 프랑스 SGN사와 공동으로 99년 10월에 유리화 실증설비를 건설한 바 있다. 실증설비를 활용하여 모의핵종(Co, Cs)을 포함한 비방사성 이온교환수지, 잡고체 등에 대한 70여 회 이상의 실증시험 수행을 통하여, 대상폐기물을 안전하고 효과적으로 처리할 수 있음을 확인하였다. 그러나 처리과정 중 고온세라믹필터계통(High Temperature Filter : HTF)에서 발생하는 분진의 처리가 문제점으로 도출되었다. 또한 저온용융로(Cold Crucible Melter : CCM)와 HTF를 연결하는 냉각파이프는 장기간 운전시 CCM으로부터 발생한 분진이 침적되어 배관막힘의 우려가 있다. 이와 관련, 개발한 유리화공정에 추가하여 HTF에서 발생한 분진을 재순환하는 장치와 냉각파이프 내 침적분진을 제거하는 장치를 개발하였다. 유리화공정 중 HTF에서 발생하는 분진의 처리는 유리화설비의 감용비, 처분비용 및 유리용탕의 조절 측면에서 특히 중요하다. 분진재순환장치(Dust Recycling System : DRS)의 개념은, HTF 하단부에서 발생분진을 수거, 물과 섞어 슬러리 형태로 제조, 이송하여 CCM 내로 다시 투입함으로써 분진을 처리할 수 있도록 하였다. DRS의 주 기능은 분진 내의 모의핵종 및 주요 유리성분을 다시 CCM으로 재순환 처리하는 것이며, 이에 따라 유리용탕의 성분을 일정하게 유지하고 또한 유리배출을 용이하게 하는 데 기여한다. 또한 시멘트 고화설비 등과 같은 별도의 분진처리설비를 고려할 필요가 없다. 제진장치는 주기적으로 운전 중 가동할 경우, 냉각파이프 내의 분진침적에 의한 막힘 방지와 함께 배관 내 침적된 분진을 CCM 내로 다시 처리하는 효과를 기대할 수 있다. 유리화실증시험을 통하여 DRS와 제진장치에 대한 전체적인 성능평가를 성공적으로 수행하였으며, 운전결과 및 경험은 향후 상용설비를 위한 기본자료로 활용될 것이다.

중심단어 : 분진재순환장치, 제진장치, 유리화처리, 분진, 슬러리, 고온세라믹필터, 냉각파이프

1. 서론

중·저준위 가연성 고체폐기물의 유리고화처리 적용연구를 위하여 현대모비스는 원자력환경기술원 및 프랑스 SGN사와 공동으로 99년 10월에 유리화 실증설비를 건설한 바 있다. 유리화공정의 실증 및 운전자료 도출을 목적으로 건설된 실증설비를 활용하여 70여 회 이상의 실증시험이 수행되었으며[1,2,3], 이를 바탕으로 현재 울진 원자력발전소 내 유리화설비의 건설 사업이 진행 중에 있다.

유리화실증시험을 통하여 대상폐기물을 안전하고 효과적으로 처리할 수 있음을 확인하였으나, 처리과정 중 고온세라믹필터계통(High Temperature Filter : HTF)에서 발생하는 분진의 취급 및 처리가 문제점으로 도출되었다. HTF에 장착된 세라믹필터는 압축공기 분사에 의한 탈진장치에 의하여 필터표면에 부착된 분진을 제거하며, 분진은 HTF의 하부에 수집되어 로타리밸브를 통하여 배출된다. 발생분진을 별도의 고화처리 할 경우 유리화설비의 전체적인 감용성에 영향을 줄 수 있으며, 경제성 측면, 설비운전 측면, 공간활용 측면 등에서 불리할 것으로 사료된다. 또한 저온용융로(Cold Crucible Melter : CCM)와 HTF를 연결하는 냉각파이프(Cooling Pipe), 특히 전단부는 장기간 운전시 CCM으로부터 발생한 분진이 침적되어 배관막힘의 우려가 있다. 이 경우 차압증가, 계통 내 부압유지 곤란 등의 문제점을 야기 할 수 있다.

본 연구에서는 상기의 문제점을 해결하기 위하여 개발한 분진재순환장치(Dust Recycling System : DRS) 및 제진장치(Dust Cleaner)를 유리화실증설비에 설치하고, 실증시험시 이들의 성능을 평가하였다. 분진재순환장치의 경우 성능평가 내용은 아래와 같다.

- 장치 운전 및 건전성
- 분진발생량 및 슬러리 처리농도

- 슬러리 투입에 따른 기 관련 설비 영향 및 운전모드
- 시료(유리, 분진)분석결과에 따른 분진재순환설비의 효과
제진장치의 경우는 아래와 같다.
- 배관 내 분진제거 성능 및 운전시 부압영향

2. 분진재순환 및 제진장치의 개요

2.1 분진재순환장치

유리화과정 중 HTF에서 발생하는 분진의 처리는 유리화설비의 감용비, 처분비용 및 유리용탕의 조절 측면에서 특히 중요하다. 분진을 효과적으로 처리하기 위하여 개발한 분진재순환설비의 개념은, HTF 하단부에서 발생분진을 수거, 물과 섞어 슬러리 형태로 제조, 이송하여 CCM 내로 다시 투입함으로써 분진을 처리할 수 있도록 하였다. Lab. test와 Cold test(비 용융조건)를 통하여, 발생분진의 특성상 이송가능한 슬러리농도는 물의 함유농도가 70wt% 이상이면 문제없음을 확인하였다. DRS의 설계 및 운전개념을 요약하면 아래와 같다.

- 슬러리아양은 20리터를 기준으로 일정하게 유지
 - 처리가능 슬러리농도 범위 : 70wt% 이상
 - 처리가능 분진량 범위 : 6kg 이상(적정처리량 : 0.1-3kg/batch)
 - 슬러리 제조, 이송 및 투입 : 제조 및 이송은 배치운전, 대상폐기물과 함께 연속투입 운전
- DRS의 개요도는 아래 Fig.1과 같다.

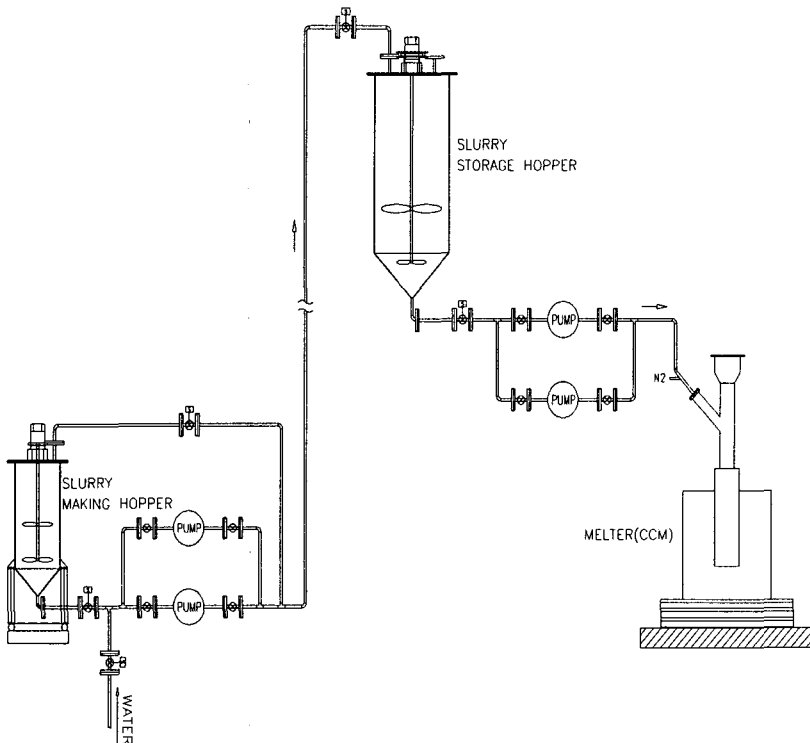


Fig.1. Schematic Diagram of DRS

실증설비에 설치한 DRS는 크게 슬러리 제조 및 이송부와 슬러리 저장 및 투입부로 구성된다. 슬러리 제조 및 이송부는 분진과 용수를 혼합, 교반하여 슬러리를 만들고, 슬러리 전용펌프를 이용하여 슬러리 저장 및 투입부로 이송하는 기능을 갖는다. 슬러리 저장 및 투입부는 슬러리를 보관하였다가, 운전조건에 따라 적정량을 조절, 용융로에 투입하는 기능을 갖는다. 분진의 수집, 이송 및 계량부와 예비저장기능 등 안전계통은 기 검증되었거나 별도의 검증이 필요 없으므로 고려하지 않았다. 따라서 분진의 슬러리제조호퍼로의 투입은 수동으로 수행하였다.

유리화설비의 운전과 관련, DRS의 중요한 기능은 주요한 유리성분 및 방사성핵종을 다시 CCM으로 재투입하는 것이다. 아래 표 1에는 W1 폐기물(이온교환수지와 잠고체의 혼합폐기물)의 유리화 실증시험시 발생한 분진의 평균 조성을 나타내었다.

Table 1. Average Dust Compositions of Dust in case of W1 waste

Element	Al	B	Fe	Li	Na	Si	Cl	S	O
Wt%	0.8	2.08	0.51	0.31	19.23	3.81	1.90	1.14	70.22

상기 표에서 Na, B, Li 등 유리의 주요 구성성분이 분진 내에 함유되어 있음을 알 수 있다. 이는 고온 유리화처리에 의한 유리성분의 휘발에 기인한 것인데, 이들이 계속 휘발되어 유리용탕으로부터 이탈할 경우 유리점도가 점차 증가하고 용해도가 감소하여 안정적인 운전에 영향을 줄 수 있다. 또한 실제 방사성폐기물을 처리할 경우, 분진 내에 함유될 수 있는 Cs, Co 등 방사성핵종도 재순환처리 하게 된다. 이와 같이 DRS는 분진을 용융로 내로 재순환시켜 다시 유리고화 될 수 있도록 함으로써, 용융유리 내 성분을 일정하게 유지할 수 있도록 기능한다. 유리용탕 성분이 유지되면서 운전하게 되면 전체적으로 운전상황을 예측가능하고, 유리배출도 용이하다. 또한 별도의 처리장치 없이 자체 용융로를 통하여 방사성핵종이 포함된 분진을 재순환, 처리함으로써 경제성과 편의성을 얻을 수 있다.

2.2 제진장치

CCM 내부에서 폐기물의 연소에 의해 생성된 고온의 배기체는 분진을 다량 함유하고 있으며, 냉각파이프를 통과하는 동안 배기체 내의 큰 입자는 중력에 의해 냉각파이프 하부 표면에 침적된다. 이러한 분진침적은 장기간 운전시 배관 내경을 좁게하거나 심할 경우 막음으로써 배기체의 역류 또는 용융로 내부 부압유지에 큰 영향을 미칠 수 있다. 따라서 냉각파이프에 침적되는 분진층을 운전 중에 제거할 수 있는 제진설비를 고안하였다.

유리화공정에 적용한 냉각파이프는 수평형이므로, 이를 고려하여 일반 보일러 등의 세관용으로 사용하는 방법을 응용하였다. 즉, 냉각파이프 내부에 전동식 브러쉬를 삽입, 전, 후진 동작을 하며 내부 분진을 제거하는 방식이다. 이에 대한 개요도 및 제진과정을 아래 Fig.2 및 3에 나타내었다.

제진장치를 적정한 주기로 운전 중 가동할 경우, 냉각파이프 내의 분진침적에 의한 막힘 방지와 함께 배관 내 침적된 분진을 CCM 내로 다시 밀어 넣어 처리하는 효과를 기대할 수 있다. 그러나 본 유리화공정은 배기팬 전단까지의 모든 공정이 부압으로 유지되므로, 냉각파이프 내부에 브러쉬를 삽입, 배기체 흐름과 역순으로 전진하게 될 경우 부압유지에 영향을 줄 수 있다.

상기에 기술한 분진재순환 및 제진장치의 성능에 대한 검증 및 평가를 위하여, 모의 비방사성폐기물을 이용한 유리화실증시험을 수행하였으며, 이에 대한 세부 준비 및 계획은 아래와 같다.

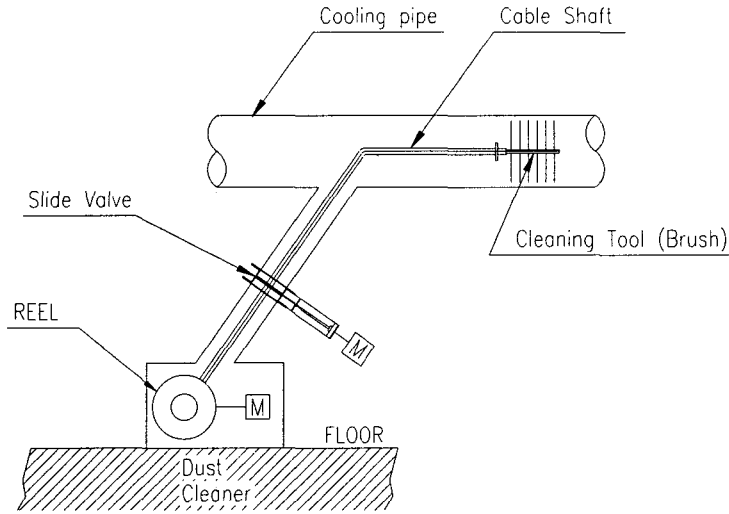


Fig.2. Schematic Diagram of Dust Cleaner and Cooling Pipe

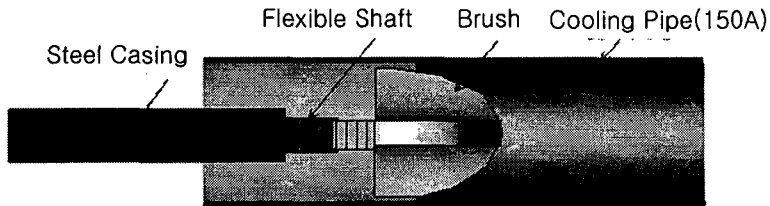


Fig.3. Schematic Representation of Dust Cleaning Process in Pipe

3. 시험방법

3.1 폐기물의 준비 및 사용유리의 특성

모의 비방사성폐기물은 W1으로 명명한 폐기물의 조성에 따라 준비하였다. W1은 우리나라 원자력발전소에서 발생하는 저준위 가연성 고체폐기물 중 가장 많은 양을 차지하는 잡고체와 이온교환수지의 혼합폐기물이다. 실제 발생량을 고려, 잡고체와 이온교환수지는 84:16의 비율로 혼합처리되는데, 이들 폐기물은 미리 섞이어 투입되는 것이 아니고 각각의 폐기물저장호퍼로 인입 후 CCM으로 동시 투입된다.

방사성핵종의 거동을 평가하기 위하여 모의 Co 및 Cs를 각각 이온교환수지양의 0.28, 1.27%를 흡착, 투입하였다. 이온교환수지 내 습분함량은 약 55wt%이다. 잡고체는 발전소에서 발생하는 가연성 잡고체 즉, 작업복, 작업화, 양말, 제염지, 비닐시트 등을 평균 5×5mm, 최대 10mm 이하의 크기로 파쇄하여 투입이 용이하도록 전처리한다.

본 시험에 사용한 유리는 붕규산유리(Borosilicate glass)이며, W1 폐기물 내 무기물 조성을 고려하여 개발되었다. 용탕유리의 조절을 위하여 중간에 공급하는 유리조성체(glass frit)도 같은 유리를 사용하였다. 이 유리는 진한 코발트색이고, Al₂O₃, B₂O₃, Na₂O 및 SiO₂를 주성분으로 한다.

3.2 시험조건

본 시험에 대한 주요 운전변수, 조건 및 싸이클 별 계획을 Table 2, 3에 나타내었다.

Table 2. Operating Parameters and Condition

투입율	이온교환수지	3.25kg/hr
	잡고체	16.75kg/hr
	분진 슬러리	6L/hr, 9L/hr(폐기물과 함께 투입)
	유리조성체	1.68kg/hr(폐기물과 함께 투입)
과잉산소율	60%	
용탕온도	1,150±30℃(용탕의 중간 높이)	
시료채취	잔여물 연소단계(End Of Combustion : EOC) 중 용융유리 시료	
	분진시료	

Table 3. Test Plan by Cycle

사이클	소요시간	내용 요약	시료채취
용탕형성	1hour	초기 장전유리의 용융을 위한 Ti링 점화 및 용탕형성	-
1	3.5hours	3시간 폐기물 투입, 이후 30분간 대기(폐기물 투입 중지, 분진슬러리 제조 및 이송)	-HTF 분진채취
2	4 hours	3시간 폐기물 투입, 이후 1시간 EOC(폐기물 및 슬러리 투입 중지, 분진슬러리 제조 및 이송, 용탕 균질화 혼합 및 용융유리 배출)	-HTF 분진채취 -CCM 용융유리 채취
3	3.5 hours	3시간 폐기물 투입, 이후 30분간 대기(폐기물 투입 중지, 분진슬러리 제조 및 이송)	-HTF 분진채취
4	4 hours	3시간 폐기물 투입, 이후 1시간 EOC(폐기물 및 슬러리 투입 중지, 분진슬러리 제조 및 이송, 용탕 균질화 혼합 및 용융유리 배출)	-HTF 분진채취 -CCM 용융유리 채취
5	3.5 hours	3시간 폐기물 투입, 이후 30분간 대기(폐기물 투입 중지, 분진슬러리 제조 및 이송)	-HTF 분진채취
6	4 hours	3시간 폐기물 투입, 이후 1시간 EOC(폐기물 및 슬러리 투입 중지, 분진슬러리 제조 및 이송, 용탕 균질화 혼합 및 용융유리 배출)	-HTF 분진채취 -CCM 용융유리 채취
7	3.5 hours	3시간 폐기물 투입, 이후 30분간 대기(폐기물 투입 중지, 분진슬러리 제조 및 이송)	-HTF 분진채취
8	4 hours	3시간 폐기물 투입, 이후 1시간 EOC(폐기물 및 슬러리 투입 중지, 분진슬러리 제조 및 이송, 용탕 균질화 혼합 및 용융유리 배출)/ 시험종료 전 제진장치 가동	-HTF 분진채취 -CCM 용융유리 채취

전체적으로 유리화처리 과정은 총 8개의 사이클로 이루어지는데, 이중 1,3,5,7사이클은 각각 3.5시간으로 이는 3시간 폐기물 투입 및 처리, 0.5시간 분진슬러리 제조 및 분진시료 채취로 구성된다. 짝수 번째 사이클인 2,4,6,8사이클은 각각 4시간으로 이는 3시간 폐기물 투입 및 처리, 1시간 EOC로 구성된다. EOC(End Of Combustion) 즉, 잔여물연소단계는 폐기물 투입 및 처리를 일시적으로 중단한 후, 잔여 폐기물을 완전히 연소 및 용융시키며 공기에 의한 버블링(bubbling)에 의하여 용탕 내 유리를 균질하게 한 뒤, 용융유리 일부를 배출함으로써 용탕의 높이를 조절하는 기간이다. 제진장치에 대해서는 8사이클까지 종료한 후, 가동하여 냉각파이프 제진에 대한 성능을 점검하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 분진재순환장치

가. 설비운전 및 건전성과 분진발생량 및 슬러리 처리농도

시험계획에 따라 총 78kg의 이온교환수지와 402kg의 잡고체가 144litter의 분진슬러리와 함께 CCM으로 투입, 처리되었다. 슬러리의 제조, 이송 및 투입성능 측면에서 운전상의 문제점 즉, 슬러리 제조 곤란 또는 배관막힘 등은 없었다. 분진을 균질한 슬러리로 제조 및 저장호퍼로의 이송에 소요된 시간은 약 20분이었다. 슬러리는 설정한 투입율에 따라 일정하게 투입되었으며, 운전시간 및 순서에 따라 쉽게 자동운전이 가능함을 확인할 수 있었다.

운전기간 동안 HTF 하단에서의 분진발생량은 총 7.766kg이었으며 발생비율(폐기물 투입량 대비)은 사이클 별로 0.79-2.27wt%의 범위를 나타내었고, 평균 사이클 별 발생비율은 1.62wt% (0.97kg에 해당)였다[4]. 전체적으로 분진발생량은 사이클이 거듭되면서 점차 증가하는 경향을 보였다. 이는 폐기물 투입율 및 연소조건, HTF 탈진 조건의 상이, 분진 수거시 조건 등에 따라 분진수거량이 변동될 수 있겠으나, 기본적으로 DRS의 가동이 HTF 하단부에서의 분진발생량 증가에 영향을 주는 것으로 판단되었다. DRS 가동에 따른 분진발생량의 증가 정도와 포화되는 시간을 평가하기 위해서는 보다 장기간의 실증시험이 필요할 것으로 사료된다.

설계개념상 DRS는 상기와 같이 분진의 발생량에 관계없이 70wt%이상의 슬러리를 제조할 수 있으며, 금번 시험에서 제조 및 투입한 슬러리의 농도는 93-97wt% 범위를 나타내었다. 슬러리의 평균 농도는 94.7wt%로 취급되었으며, 이 정도의 농도에서는 배관 내 슬러리의 침적이 없이 깨끗한 상태로 운전이 수행되었다.

나. 슬러리투입에 따른 기 관련 설비 영향 및 운전모드

DRS의 기본 운전모드는 폐기물과 슬러리를 투입시간 동안 연속으로 함께 투입하는 것이다. 운전모드의 적절성을 파악하기 위하여, 다른 사이클과 달리 3사이클에서는 1시간 동안 폐기물만 투입한 후 약 2시간 동안 폐기물과 함께 9L/hr의 슬러리를 투입, 운전하였다. 아래 Fig.4에는 3사이클에서 슬러리 투입시와 미투입시의 CCM 주요 운전변수의 변동을 나타내었다.

유리용탕을 적절하게 제어하기 위한 CCM의 주요 운전변수는 출력(Power:kW), 전압(Voltage:V), 전류(Current:A), 주파수(Frequency:kHz)이다. 상기의 결과를 보면, 9L/hr로 슬러리 투입을 추가 할 경우 출력은 145kW에서 150-160kW로 증가하였으며, 155kW 부근에서 안정화되었다. 전압은 315V에서 320V로, 전류는 565A에서 595-600A로 각각 증가하였다. 주파수의 경우에는 258-272kHz의 범위에서 일정하게 유지함을 볼 수 있었다.

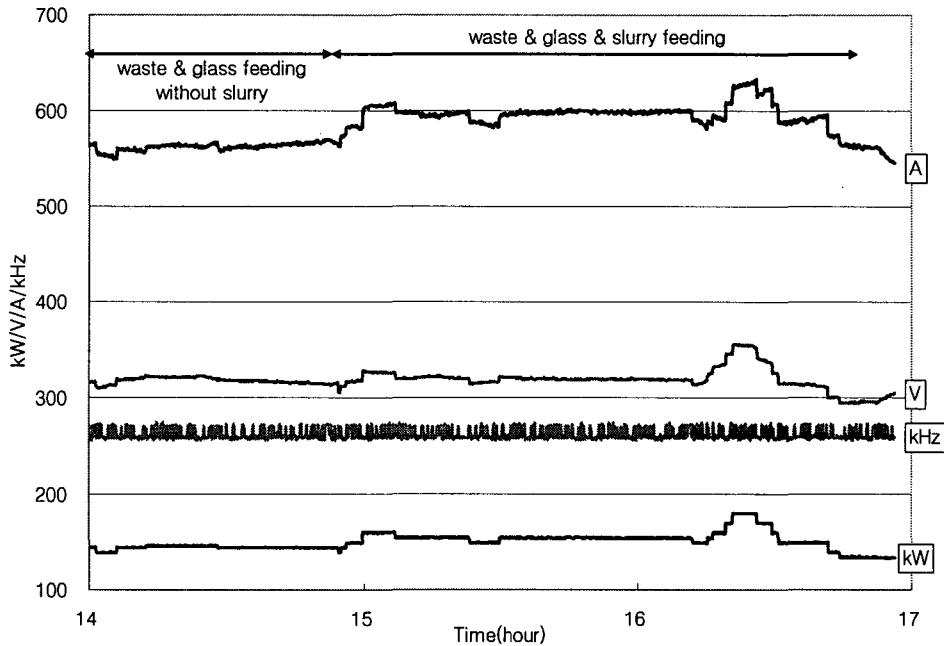


Fig.4. Change of CCM Operating Variables according to Slurry Feeding for 3cycle

시험 전 예비계산에서 슬러리 10L/hr 투입시 CCM의 출력증가량은 9.99kW로 예상되었는데, 비슷한 범위 내에서 증가하였다. 그래프에서 16-17시 사이에서 출력, 전압 등의 수치가 증가하였다가 감소하는데, 이는 불규칙한 폐기물 투입 등으로 인한 것으로 슬러리 투입효과와는 관계가 없다. 또한 이 기간동안 배기체 내의 수분량을 측정하였는데, 약 26-27.5%의 범위에서 측정되었으며 슬러리의 투입에 거의 영향을 받지 않음을 알 수 있었다.

상기의 결과를 통하여 W1폐기물 20kg/hr과 슬러리 9L/hr를 함께 투입하여도, 기존 용융로의 성능에 거의 영향을 주지 않으면서 유리화 처리가 가능함을 확인하였다.

이와 함께 유리화설비의 overhaul 등을 대비하여 슬러리 단독으로 처리하여야 할 경우를 고려하기 위하여, 8싸이클 종료 후 EOC 기간에 폐기물없이 슬러리만 투입, 처리하였다. 이 결과, 슬러리 투입율을 15L/hr에서 20L/hr로 증가시키에 따라 출력을 190에서 200kW로 상승조정하였으며, 다시 15L/hr로 감소하자 점차 로내 상태가 안정되면서 195kW로 조정하였다. 출력의 조정에 따라 전류와 전압이 함께 상승하였으며, 주파수는 257-273kHz의 범위 내에서 일정하게 유지되었다. 전체적인 상황을 통하여, 슬러리 단독투입모드에서는 15L/hr 이하로 투입시 안정되게 운전할 수 있음을 확인하였다.

다. 시료분석결과에 따른 분진재순환장치의 효과

금번 시험 중 총 5회의 유리시료가 채취되었으며, 이 중 4, 6, 8싸이클 후 채취한 유리시료에 대하여 모의핵종(Co, Cs) 및 주요 유리구성성분(B, Li, Na, Si)에 대하여 분석하였다. Co, Cs은 ICP-MS로, 나머지 성분은 ICP-AES로 분석하였다. Table 4에는 이들 모의핵종과 주요 유리구성성분의 함에 대한 각 성분의 분율을 나타내었다.

Table 4. The Analysis Results on the Glass Samples of Even Cycles(4, 6, 8Cycle)

성분	GLA-04(ppm)	분율(%)	GLA-06(ppm)	분율(%)	GLA-08(ppm)	분율(%)
Co	3,442.9	1.00	3,615.2	1.11	3,708.7	1.14
B	27,622.7	7.99	25,047.1	7.72	23,039.2	7.07
Li	4,766.7	1.38	4,144.9	1.28	2,876.9	0.88
Na	152,817.6	44.22	137,348.0	42.31	137,729.1	42.27
Si	156,195.6	45.20	153,780.0	47.38	157,401.3	48.31
Cs	731.4	0.21	664.7	0.20	1,060.2	0.33
계	345,576.9	100.00	324,599.9	100.00	325,815.4	100.00

전체적으로 각 채취시료의 구성성분이 일정하게 유지됨을 알 수 있었다. Co, Cs은 각각 1-1.14%, 0.2-0.33%의 분율로 일정하게 유지되었다. Si의 경우에는 45.2-48.31%, Na는 42.27-44.22%, B는 7.07-7.99%, Li은 0.88-1.38%의 구성성분비를 나타내었다. 이렇게 일정하게 유리용탕 성분을 유지 하면서 운전하게 되면, 전체적으로 운전상황을 예측가능하고 또한 유리배출도 용이하다. 일정한 성분비율로 매 싸이클을 운전해 나갈 수 있는 데에는 DRS의 영향이 큰 것으로 사료되며, 실제로 기 시험에 비하여 별도의 첨가제 없이도 유리배출이 매우 용이하게 진행되었다. 상기의 결과로부터 분진 내의 모의핵종 및 주요 유리성분을 다시 CCM으로 재순환 처리하는 DRS가 유리용탕의 성분을 일정하게 유지하고 또한 유리배출을 용이하게 하는 데 기여함을 확인하였다.

분진의 경우 총 8회의 시료가 채취되었으며, 시료 내의 성분 중 Co, Cs 성분의 거동에 초점을 맞추어 결과를 분석하였다. Cs의 분진 내 농도는 전체적으로 점차 증가하는 경향을 보였다. 이는 Cs의 경우 반휘발성(Semi-volatile)핵종으로써 DRS에 의하여 CCM으로의 Cs 투입량이 증가했기 때문에, 휘발되는 양도 증가하는 것으로 사료되었다. DRS에 의한 분진 내 Cs량이 포화되는 양을 확인하기 위해서는 보다 장기간의 시험수행이 필요할 것으로 판단된다.

반면 Co의 경우는 일정한 경향을 보이지 않았으며, 싸이클 별로 농도값이 증감을 반복하였다. 이는 비휘발성(Non-volatile)인 Co의 경우도 DRS에 의하여 Co 투입량이 늘어났지만, 분진 내 Co 잔량은 용융로 내 연소조건이나 버블리 효과 등에 의하여 주로 영향을 받는 것으로 사료되었다.

상기의 결과를 통하여 Cs의 경우, DRS의 가동에 따라 확연히 분진 내 함량이 증가한 것을 확인하였으며, Cs 함량의 포화주기 확인은 보다 장기간의 시험이 필요한 것을 알 수 있었다.

4.2 제진장치

본 시험의 싸이클 운전이 종료된 직후, 냉각파이프 내의 침적분진을 효과적으로 제거하기 위한 제진장치의 검증시험을 수행하였다. 제진거리는 사전에 CCM 전단(3,750mm)까지 조정하였다. 본 시험에서 사용한 제진용 브러쉬의 사양 및 재질은 아래와 같다.

- 지름 152mm, 길이 130mm, 원통형
- 재질 SUS304, 가는모

제진장치는 EOC 기간에 작동하며, 이때의 CCM 출구 배기체 온도는 약 280℃전후였다. 제진장치를 가동하였을 때의 부압상태를 아래 Fig.5에 나타내었다.

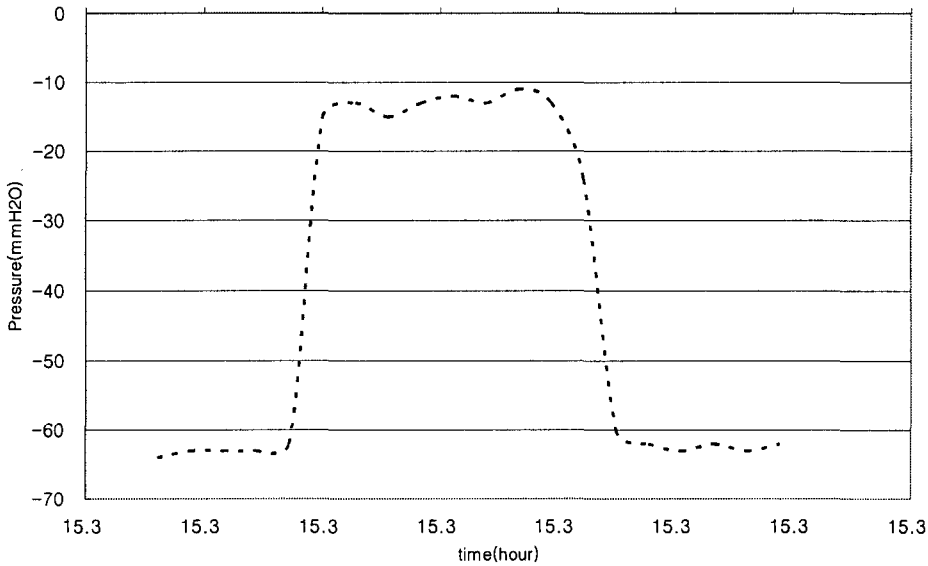


Fig.5. Change of Negative Pressure due to Dust Cleaning in Pipe

상기의 그래프에서 제진장치의 작동시간 동안 즉, 90여 초 정도간 냉각파이프 내의 부압에 영향이 있었다. 이 시간 동안 부압은 -62mmH₂O에서 -11mmH₂O까지 상승함을 알 수 있었다. ΔP는 약 50mmH₂O이었으며 제진장치가 폐기물 투입이 없는 EOC 기간에 작동됨을 고려할 때, 배기팬의 흡인량을 조절함으로써 부압상태를 유지할 수 있을 것으로 판단되었다.

시험종료 후 CCM 쪽에서 관찰한 냉각파이프 내 제진상태를 아래 Fig.6에 나타내었다.

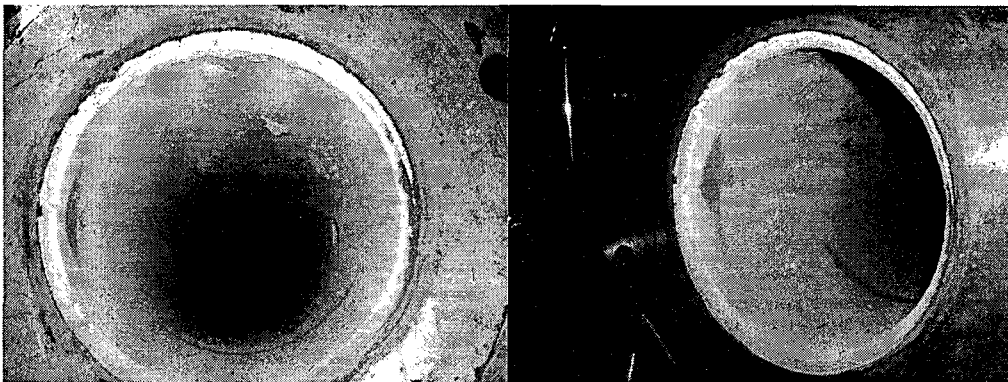


Fig.6. Interior Status of Cooling Pipe after Dust Cleaning

상기의 그림을 통하여 제진장치에 의하여 냉각파이프 내부의 분진층이 매우 깨끗하게 제거된 것을 확인할 수 있었다. 그러나 본 제진장치를 적용할 경우, 냉각파이프 상에 샘플링포트나 써모커플 등의 분기라인은 설치하지 않도록 고려할 필요가 있다.

5. 결론

- 유리화 공정 중 HTF에서 발생하는 분진의 처리는 유리화설비의 감용비와 분진의 안전한 취급 측면에서 중요하다. 분진을 효과적으로 처리하기 위하여 개발한 DRS의 개념은 발생

분진을 수거, 물과 섞어 슬러리형태로 제조, 이송한 후 CCM 내로 다시 투입, 처리하는 것으로써, 이에 대한 실증장치를 설치한 후 성능을 평가하였다.

- 발생분진에 대하여 총 8회의 슬러리 제조, 이송 및 투입을 수행하는 동안 슬러리 제조, 이송 및 투입성능 측면에서 운전상의 문제점이 없었으며, 제조 및 이송에 소요된 시간은 약 20분이었다.
- 슬러리의 평균농도는 94.7wt%로 취급되었으며, 이 정도의 농도에서는 배관 내 슬러지의 침적이 없이 깨끗한 상태로 운전이 수행되었다.
- W1 폐기물 20kg/hr과 슬러리 9L/hr를 함께 투입하여도, 기존 용융로의 성능에 거의 영향을 주지 않으면서 유리화 처리가 가능함을 확인하였다. 또한 슬러리 단독투입조건에서는 15L/hr 이하로 투입시 안정되게 운전할 수 있음을 확인하였다.
- 분진 내의 모의핵종 및 주요 유리성분을 다시 CCM으로 재순환처리하는 DRS가 유리용탕의 성분을 일정하게 유지하고, 또한 유리배출을 용이하게 하는데 기여함을 확인하였다. 또한 반휘발성 핵종인 Cs의 경우, DRS의 가동에 따라 분진 내 함량이 싸이클 진행에 따라 증가함을 확인하였다.
- 제진장치의 작동시간 동안 즉, 90여 초 정도간 냉각파이프 내의 부압에 영향이 있었다. 이 시간 동안 부압은 -62mmH₂O에서 -11mmH₂O까지 상승함을 알 수 있었다. ΔP는 약 50mmH₂O이었으며 제진장치가 폐기물 투입이 없는 EOC 기간에 작동됨을 고려할 때, 배기팬의 흡인량을 조절함으로써 부압상태를 유지할 수 있을 것으로 판단되었다.
- 제진시험을 통하여 제진장치에 의하여 냉각파이프 내부의 분진층이 매우 깨끗하게 제거된 것을 확인할 수 있었다. 그러나 본 제진장치를 적용할 경우, 냉각파이프 상에 샘플링포트나 써모커플 등의 분기라인은 설치하지 않도록 고려할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부에서 지원하는 전력산업연구개발사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. S.W.Shin, Y.H.You, P.Brunelot, T.Flament, A.Prodhomme, P.Brun, "The Cold Crucible Vitrification Pilot Plant:A Key Facility for the Incineration/Vitrification of Waste Produced in the Korean Nuclear Power Plants", Proceedings of the 2002 International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies, New Orleans, Louisiana, 2002
2. 최중서, 지민기, 임형남, 유영환, 최관식, 김천우, 이경호, 박병철, 황태원, "모의 봉산폐액 건조물의 유리화시 온도 및 유량 변화에 따른 Cs 휘발도 비교", 한국원자력학회 춘계학술발표회 논문집, 2001
3. Cheon-Woo Kim, Sung-Jun Maeng, Jong-Kil Park, Sang-Woon Shin, Myung-Jae Song, P.Brunelot, T.Flament, JongSeo Choi, Young Hwan You, "Vitrification of LILW Using a Cold Crucible Melter", Korean Nuclear Industry Annual Forum, Seoul, 2002
4. JongSeo Choi, Young Hwan You, Seung Chul Park, Byoung Chul Park, Tae Won Hwang, Sang Woon Shin, "Performance Assessment for the Dust Recycling System during Vitrification of Simulated non-Radioactive Waste", Proceedings of the 2005 International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies, Texas, 2005