

핫셀용 U₃O₈ 분말운반용기의 개발

홍동희, 박병석, 정재후, 김영환(한국원자력연구소)

Development of U₃O₈ powder transportation vessel in The hot cell

D. H. Hong, B. S. Park, J. H. Jung, Y. H. Kim (KAERI)

Key words : spent nuclear fuels, hot cell, radioactive materials, transportation vessel, pellet, batch

1. 서론

사용후핵연료 차세대관리공정 연구에서는 원자력발전소에서 연료로 이용한 후에 발생하는 사용후핵연료로부터 유용한 물질을 회수하여 활용하기 위하여 고방사성물질인 사용후핵연료를 취급할 수 있는 핫셀을 건조하여 실험에 필요한 공정장치들을 설치하였다. 공정의 핵심 물질인 사용후핵연료는 사용후핵연료 집합체를 취급할 수 있는 Pool에서 사용후핵연료 연료봉을 인출한 후에 절단하여 공정을 수행 할 핫셀로 이송한다. 핫셀에서는 슬리팅 장치를 이용하여 사용후핵연료 절단연료봉을 펠릿과 Hull로 분리하며, 펠릿은 건식분말화장치에서 가열하고 공기를 공급하면 U₃O₈ 분말로 바뀐다. 이때 분말화된 사용후핵연료의 산화분말을 수집하여 금속전환장치로 이송하고 안전하게 주입하는 분말운반용기가 필요하다. 사용후핵연료 산화분말은 고 방사성 물질이기 때문에 핫셀에 비산될 경우 오염으로 인하여 다른 장치들을 사용할 수 없을 뿐만 아니라 핫셀 자체도 사용 할 수 없다. 본 연구에서는 공정의 핵심물질인 사용후핵연료 분말을 핫셀에 비산시키지 않고 원격으로 안전하게 운반하고 취급하기 위한 핫셀용 U₃O₈ 분말운반용기를 개발하고자 하였다. 분말운반용기의 개발을 위해서는 분말의 운반 및 취급에 필요한 장치를 도출하고, 도출한 장치들을 그래픽으로 전산모사를 하여 타당성과 문제점들을 사전에 검증하였다. 또한 원격조작성과 안전성 시험을 위한 시험용 분말운반용기를 설계 및 제작하여 기능시험을 수행하고 미비점을 수정 보완하므로써 핫셀에서 실증시험에서 발생할 수 있는 문제점들을 사전에 방지하고자 하였다. 고방사성 물질인 U₃O₈ 분말을 담은 분말운반용기의 핫셀에서의 실증시험은 핫셀 내부의 인셀 크레인과 조작기를 이용하여 원격으로 수행하여야 한다. 또한 금속전환장치에 U₃O₈ 분말의 주입을 완료 한 후 분말운반용기 내의 잔여분말을 측정하여 이론적인 수치와 비교 분석하고자 하였다.

2. 시험용 분말운반용기

2.1 설계 및 제작

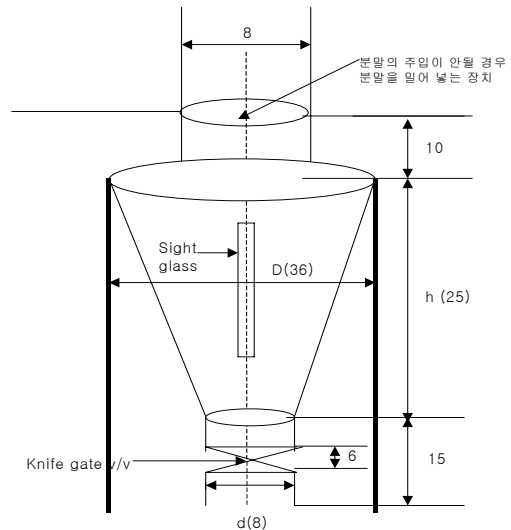
공정 운전의 핵심물질인 사용후핵연료 산화분말을 핫셀에 비산시키지 않고 안전하게 운반하고 취급하기 위하여 분말의 운반 및 취급에 필요한 장치는 표. 1과 같으며, 그래픽으로 전산모사를 수행하여 타당성을 검증한 후에 도출한 분말운반용기의 기본적인 설계사양은 다음과 같다.

분말운반용기의 크기는 사용후핵연료 차세대관리공정의 규모인 20 kg/batch를 기준으로 한 용기의 분말운반용량을 계산한 결과를 근거로 하여 약 10L로 하였다. 분말운반용기는 이송 및 취급시에 고방사성 물질인 사용후핵연료 분말을 비산시키지 않고 안전하게 운반 할 수 있어야 하고, 다른 장치에 접촉하여 분말주입이 완료되면 용기에 잔여 분말이 남지 않도록 하여야

한다. 분말운반용기는 핫셀에서 분말화장치에 접속하여 분말의 비산 없이 분말을 수거하고, 금속전환장치로 이송한 후에 장치에 접속하여 분말을 주입 할 수 있어야 한다. 이를 바탕으로 설계한 분말운반용기의 설계도는 Fig 1과 같다.

Table 1. Remote handling equipment in hot cell

공정	운반/취급업무	취급용량	취급장비
탈피복 장치	Slitting 장치 주입	Rod cut	MSM
	Pellet 회수	5 kg	MSM
	Pellet 및 Hull 계량	5 kg	MSM
	S/F연료봉 Hull 이송	수집용기	MSM, CR
분말화장치	U ₃ O ₈ 분말 수집 및 계량	20 kg	크레인
	U ₃ O ₈ 분말용기 이송	20 kg	크레인
금속전환장치	U ₃ O ₈ 전환로 투입	30 kg	크레인
	Li, LiCl 전환로 투입	Can	TM, CR
	필터분리	20 kg	TM, CR
	폐용융염 및 수집용기	수집용기	MSM, CR



$$V = \pi \times h \times (D^2 + D \times d + d^2) / 12$$

$$= 0.262 \times h \times (D^2 + D \times d + d^2)$$

* Tan 30° = ((D/2)/H) 에서
 $H = D / (2 \times \tan 30^\circ) = D / 1.154$
 D = 36 cm 일 경우 H = 32

* Tan 30° = ((D/2)/H) = ((d/2)/(H - h))에서
 $h = H \times (D - d) / D$
 $= 32 \times (36 - 8) / 36 = 25$

$$V = 0.262 \times h \times (D^2 + D \times d + d^2)$$

$$= 0.262 \times 25 \times (36^2 + 36 \times 8 + 8^2)$$

$$= 10794 \text{ cm}^3$$

Fig 1. Design of U₃O₈ powder transportation vessel

2. 2 분말운반용기의 시험

실험용 분말운반용기의 성능시험은 하단의 밸브를 Close하고 실험재료인 유황분말을 주입 하면서 분말운반용기의 분말주입량을 점검하였다. 분말화장지에서 산화우라늄 분말을 수집하는 것을 가정하여 약 10L의 분말이 주입 되면 분말의 주입을 중단하였으며, 금속전환장치에 접속하여 산화우라늄분말을 주입하는 경우를 가정하여 하단의 밸브를 Open하여 유황 분말이 하부의 수집용기로 내려 갈 때 분말의 비산상태를 점검하였다. 또한 분말의 배출이 완료되면 용기 내부의 경사면 및 밸브의 이음부 등에 적체되는 분말의 잔류량을 계량하는 실험을 하였다. 실험결과 분말주입은 유황분말을 6L 주입하였을 때 분말용기의 상단까지 올라와 주입이 어려웠으나, 분말용기를 좌우로 흔들어 10L의 분말 주입을 완료 하였다. 유황분말 주입 중에 하단의 밸브를 통한 분말의 누출은 없으며, 분말의 비산도 없었다. 분말운반용기 수집 및 주입시 내부에서 발생하는 상태를 관찰하기 위하여 설치한 용기 측면의 Sight glass는 미세분말의 부착으로 내부 상황의 관찰이 불가능 하였다. 그러나 분말주입 완료 후 육안으로 관찰한 용기 내부 경사진(약 60도)면에 적체되는 분말은 없었으며 Sight glass 및 밸브 등의 연결부에 유황분말이 많이 적체 되었다. 분말운반용기 시험결과 실증용용기를 제작할 때에 보완하거나 고려하여야 할 사항은 미세분말의 영향으로 핫셀에서는 Sight glass를 통한 관찰은 불가능 하므로 실증용장치에는 Sight glass가 필요 없고, 분말이 잔류 할 가능성이 많은 밸브 및 플랜지등 이음매를 Polishing하여 분말 주입 완료 후의 용기내면의 분말 적체를 최소화하여야 한다. 또한, 분말용기 상부에 설치한 분말이 원활히 주입되지 않을 경우 분말을 밀어 넣도록 설치한 기구는 분말운반용기에 10L의 분말이 가득 찼을때 기구를 밀는 힘이 많이 소요되므로 핫셀에 설치된 조작기로 작동이 불가능 하므로 외부에서 바이버레이터를 부착하여 분말용기에 충격을 주는 방안을 고려하여야 한다.

3. 실증용 분말운반용기

2.1 설계 및 제작

실증용 분말운반용기는 사용후핵연료핵연료 건식분말화 장치에서 고온의 산화 과정을 통하여 생성된 산화우라늄 분말 20kg을 수집하여 핫셀에서 조작기를 이용하여 무인으로 이송하고 금속전환장치에 분말을 주입하는 용기이다. 분말운반용기 상부는 사용후핵연료 산화분말 10L를 담을 수 있도록 D 360 mm, H 250 mm, T 3 mm으로 스테인레스 철판으로 제작하고, 분말운반용기 내부의 벽면은 60도의 각을 유지하여 분말을 다른 장치에 주입한 후에 잔여분말이 남아있지 않도록 하였다. 건식분말화 장치에 접속하여 분말을 수집하는 수집구는 내경이 80 mm 인 원형의 Pipe로 제작하며, 이송 할 때에는 적절하게 밀폐할 수 있도록 하였고, 분말을 금속전환장치에 주입 할 때 원활히 분말주입이 안될 경우를 대비하여 분말운반용기 측면에 에어 바이버레이터를 부착하였다. 분말배출구의 노즐은 3인치 Pipe Flange에 접속 할 수 있도록 제작하여 금속전환장치의 상부의 Flang와 접속이 가능하도록 하였고, 하단은 매니플레이트로 조작이 가능한 밸브를 부착하여 사용후핵연료 산화분말의 배출을 조절할 수 있도록 하였다. 분말의 배출을 조절하는 밸브는 분말용기의 이송시에는 기밀이 유지되어야 하고 분말을 금속전환 장치에 주입을 완료한 경우에는 밸브 연결부 등에 잔여분말이 남지 않도록 하였다.



Fig 2. U₃O₈ powder transportation vessel

2. 2 시험 및 결과

분말운반용기에 산화우라늄 분말을 주입하기 전에 측정된 빈 용기의 무게는 30.34 kg(A)이며, 산화우라늄을 만들기 위하여 건식분말화장치에 주입한 우라늄펠릿의 무게는 10.02 kg이었다. 건식분말화장치에서 사용후핵연료 펠릿을 주입 한 후에 가열하고, 공기를 주입하여 일정 시간이 경과한 후에 수거한 산화우라늄 분말과 운반용기를 합친 무게는 40.68 kg이다. 이를 통하여 우라늄 펠릿이 산화(UO₂가 U₃O₈ 변화)분말 과정을 거치면서 증가한 우라늄 무게는 0.32 kg 이었으며, 금속전환장치에 분말을 주입하고 측정된 분말운반용기의 무게는 30.44 kg(B)이었다. 이를 근거로 분말운반용기에 잔류하는 잔여분말의 무게는 0.1 kg(B - A)이었다.

4. 결론

고방사성 물질인 사용후핵연료 분말을 공간이 협소한 핫셀에서 안전하게 운반하고 취급하기 위하여 공정에 필요한 이송물질 및 취급장비를 분석하여 활용성을 그래프로 검증하였으며, 그 결과를 바탕으로 분말운반용기의 요건을 결정하고, 시험용 분말운반용기를 제작하여 안전 이송시험, 분말용기 파지시험, 분말 주입시험 등을 수행하여 설계에 필요한 기초자료를 확보하였다. 또한 이러한 시험 결과를 활용하여 핫셀에서 실증시험에 사용한 분말운반용기에 적용한 결과 핫셀에서 사용후핵연료 분말의 비산 없이 이송 및 취급이 가능하였으며, 분말용기에 잔류한 분말의 양도 당초에 예상한 수치와 일치하였다. 이러한 결과 들은 공학규모의 핫셀 사용후핵연료 운반취급 장치의 자료로 유용하게 활용될 것이다.

참고 문헌

1. J.S.Yoon, D.H.Hong, J.H.Jin, J.H.Jung, K.H. Kim, B.S.Park, "Development of Spent Fuel Remote Handling Technology," KAERI/RR - 2425 /2003 Vol. 1, pp. 123-158.
2. C.S.Seo, S.C.Oh, S.K.Roh, S.W.Park, "Design guidelines for radioactive material handling facilities and equipment" KAERI/TS - 25/97, 1997 Vol. 1
3. American Robotics, "Pipe Rehabilitation Systems", http://www.thomasregister.com/olc/american_robotics/the_bot.htm.