

# 원자력발전소 중·저준위 압축성 방사성폐기물 처리 기술개발

정철영\*, 김민수, 장동규, 박정원

(주)액트알엠티, 대전광역시 유성구 테크노1로 11-3

\*jcy6535@naver.com

## 1. 서론

방사성폐기물은 내용물에 함유된 방사능의 위험으로부터 인체 피해 방지와 환경보전을 위해 적절한 방법으로 처리 되고 격리, 처분되어야 한다. 반감기가 매우 짧은 폐기물(VSLW)은 Decay Storage를 이용하고 중준위(ILW)와 저준위(LLW) 일부 극저준위(VLLW)폐기물은 암반동굴이나 지층에 처분한다. 아래의 Fig. 1에 2015년도 국내원전 부지단위별 중·저준위 방사성폐기물 발생 현황을 표기하였다.

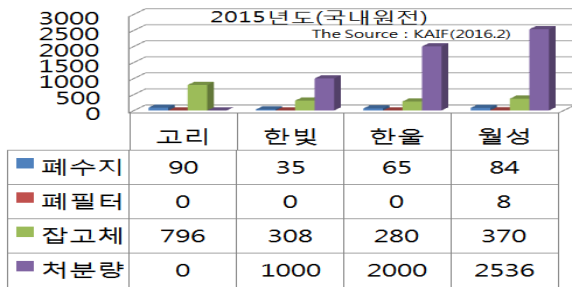


Fig. 1. 2015 LILW at NPP Site in Korea.

우리나라는 현재 경주소재 월성원자력 발전소 부근에 80만 Drum분량의 부지에 Underground SILO 10만, Near Surface 12.5만 Drum 규모의 LILW처분장이 있다.

압축성 잡고체 방사성 폐기물은 용기(Drum)의 손상 물질이나 인화성 및 폭발, 액체 함유 물질을 제외하고는 발생량을 감용하기 위해 압축(Compaction)처리하고, 가연성은 소각(Incineration)으로 처리하는데 대표적인 압축 방법으로 컴팩터, 베일러, 스크류 컴팩터, 초 고압 압축 등이 사용되고 원자력발전소 운영 중 액체와 기체 폐기물 처리 및 정비 과정과 제염 작업시 발생하는 종이류, 피복, 장갑, PVC, 고무류 등은 압축과정을 거친후 Drumming한다. 압축성 중·저준위 방사성 폐기물 Drumming 작업은 영구Drum에 4.5~2200 ton까지 압력을 직접적용하나 드럼의 뒤틀림 손상등이 발생하여 이의 방지를 위하여 현행 약 30 ton 용량의 압축기로 10 ton 가량의 압력으로 사용한다. Drumming시 내용물의 기하학적 구조 변환과 공극률을 줄이기 위해 압축공정 시간을 연장하여 유지한다. 또한 압력이 해소되면 압축 전의 상태로 복귀(부풀어오름, 스프링 백 현

상)하는 문제점이 재현된다. 처분 검사 등을 위하여 Drum을 재개봉 할 때도 부풀음 현상이 발생하여 이의 대책을 위해 묶거나 채움재를 이용 포장하지만 재포장에 제약점이 있다. 따라서 이의 개선을 위해 ASC (Advanced Super Compactor)를 고안하였다.

## 2. 본론

### 2.1 개요

방사성폐기물은 기체, 액체, 고체폐기물로 분류하며 원자력발전소, 병원, 산업시설, 동위원소 이용 장비 등에서 발생하여 그 생성원이 매우 다양하다. 사용후연료를 제외하고는 모두 중·저준위 폐기물로 분류된다. 아래표에 방사성폐기물 분류기준의 방사성 핵종 10종에 대한 생성원 및 농도 기준을 표기 Table 1 하였다.

Table 1. The Identification of Radioactive Waste Nuclide

The Identification of Radioactive Waste Nuclide					LLW		ILW
Isotope	Half Life(yr)	Principal means of Production	Type of Decay	Major Radiation (app.Max, Mev)	Lower (Bq/g)	Upper (Bq/g)	Lower (Bq/g)
$^1_1\text{H}^3$	12.26	$^{10}\text{B}(n,2\alpha)^7\text{Li}(\beta^-); \text{He}^3$ $^6\text{Li}(n,\alpha)^3\text{H}(\beta^-); \text{He}^3$ Ternary fission	$\beta^-$	$\beta^-(0.0186)$	10000	1.11E+06	1.11E+06
$^{12}_6\text{C}^{14}$	5730	$^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}(\beta^-); \text{N}^{14}$	$\beta^-$	$\beta^-(0.156)$	100	2.22E+05	2.22E+05
$^{59}_{27}\text{Co}^{60}$	5.26	$^{59}\text{Co}(n,\gamma)^{60}\text{Co}(\beta^-); \text{N}^{60}$	$\beta^-$	$\beta^-(0.314)$ $\gamma(1.173, 1.332)$	10	3.70E+07	3.70E+07
$^{58}_{28}\text{Ni}^{59}$	$8 \times 10^4$	$^{58}\text{Ni}(n,\gamma)^{59}\text{Ni}(\text{EC}); ^{27}\text{Co}^{59}$	EC	$\gamma, \text{Co x-ray, con. Bem. to } (1.06)$	10000	7.40E+04	7.40E+04
$^{63}_{28}\text{Ni}^{63}$	92	$^{63}\text{Ni}(n,\gamma)^{63}\text{Ni}(\beta^-); ^{63}\text{Cu}^{63}$	$\beta^-$	$\beta^-(0.067)$	10000	1.11E+07	1.11E+07
$^{90}_{38}\text{Sr}^{90}$	27.7	$\text{U}(n,f)^{90}\text{Sr}(\beta^-); ^{90}\text{Y}^{90}(\beta^-); ^{90}\text{Zr}^{90}$	$\beta^-$	$\beta^-(0.546)$	100	7.40E+04	7.40E+04
$^{94}_{41}\text{Nb}^{94}$	$2.0 \times 10^4$	$^{93}\text{Nb}(n,\gamma)^{94}\text{Nb}(\beta^-); ^{94}\text{Mo}^{94}$	$\beta^-$	$\beta^-(0.49)$ $\gamma(0.702, 0.872)$	100	1.11E+02	1.11E+02
$^{99}_{43}\text{Tc}^{99}$	$2.12 \times 10^5$	$^{99}\text{Mo}(n,\gamma)^{99}\text{Mo}(\beta^-); ^{99}\text{Tc}$ $^{99}\text{Tc}(\beta^-); ^{100}\text{Ru}^{99}$	$\beta^-$	$\beta^-(0.292)$	100	1.11E+03	1.11E+03
$^{129}_{53}\text{I}^{129}$	$1.7 \times 10^7$	$\text{U}(n,f)^{129}\text{I}(\beta^-); ^{136}\text{Xe}^{129}$	$\beta^-$	$\beta^-(0.150)$	1	3.70E+01	3.70E+01
$^{137}_{55}\text{Cs}^{137}$	30.2	$\text{U}(n,f)\text{Cs}^{137}(\beta^-); ^{138}\text{Ba}^{137}$	$\beta^-$	$\beta^-(1.176, 0.514)$	10	1.11E+06	1.11E+06
Gross- $\alpha$	$\geq 20\text{yr}$		Fission	$\alpha$		3.70E+03	3.70E+03

실제 “중·저준위 방사성 폐기물 압축 Drum에 종이류, 비닐류, 면류를 각각 2/3 Drum씩 채우고 90 kg/cm<sup>2</sup>의 압력으로 5분, 1hr, 2, 4, 20, 40hr 간격으로 가압시험을 3회 반복 실시하여 복원력에 따른 팽창(부풀음) 실험<sup>주1)</sup> 결과<Fig.2>를 분석하였다.

분석결과 잡고체 방사성폐기물 발생 점유율은 비닐류가 28.9%로 가장 높았고 종이류(24.3)> 면류(23.4)> 고무류(12.3)> 플라스틱류(11.1) 순을 보였으나 늘 그

렇지는 않다. 부풀음 원인을 파악하기 위해 이를 200 L(22 Kg) Drum에 압축, 포장하여 개량한 결과 Drum 당 잡고체 방사성폐기물 내용물의 평균 무게(kg-Net) 값의 비교에서는 고무류(128.3) > 비닐류(111.4) > 면류(102.1) > 종이류(87.6) > 플라스틱(86.1) 순이고 압축 전후의 최대, 최소의 무게 값에 대한 차이의 비교에서는 고무류(210max-49min=161) > 종이류(177-42=135) > 플라스틱류(163-31=132) > 면류(181-57=124) > 비닐류(161-62=99) 순을 보였다. 평균 밀도(kg/l) 값의 비교에서는 고무류 0.64, 비닐 0.56, 면 0.51, 플라스틱 0.43, 종이류 0.44 정도로 나타나 Normal Density 값(1.2~1.4)의 40~60% 수준을 보임으로써 공극율이 60~40% 정도임을 확인하였다. 이는 작업자의 Skill과 압축 공극률과의 상관 관계가 있는 것으로 판단된다.

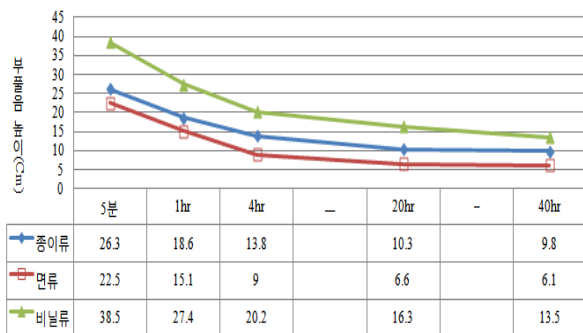


Fig. 2. The Swelling Height of Compressibility MAT'L of Time Dependence.

## 2.2 배경기술 및 기기 특징

현행 Station에서 압축 Drumming 작업에 대한 감용 처리 압축효율은 약 70~80% 정도로 보여진다. 압축압력 100 ton 미만에서는 저압, 그 이상은 고압 압축으로 분류한다. 기술적 및 경제적 상황을 고려하여 주로 저압압축 방법이 사용되나 스프링 백 등의 현상이 발생한다. 상기의 부풀음 실험에서 압축 지속시간에 의존하여 스프링백 현상이 지수 함수적으로 감소하는 경향을 보였다. 종이류, 비닐류, 면류에서 1 hr의 압축 유지 시간 경과에는 각각 약 10 cm 정도로 유사한 부풀음 현상을 보였고 4 hrs 압축시에는 복원력이 현저히 해소되고 20 hrs은 미비한 상태 40 hrs 경과 유지 시간에서는 복원력이 극히 최소 상태로 유지 되었다. 이의 결과 공극률의 지배적요인으로 내용물의 적재상태와 부풀음 현상의 원인인 내용물의 탄성력과 내부에 축압된 Air Pocket의 압력으로 판단하고 해소 방안을 찾게 되었다. 현행의 중·저준위 방사성폐기물 압축 포장 작업의 품질요인은 Drum 내용물의 건조상태, 형상 및 배열(공간), 불순물 유입, 국부 압축응력, 압축하중 및 시간, 압축 작업자 숙련도에 따라 큰 결과 차이를 보였다. 따라서 이의 개선을 위한 기술특

징으로 최소한의 저압으로 내용물의 탄성력과 축압된 Air Pocket 압력을 해압, 제거하면서 압축하여 단시간에 내용물의 팽창 복원력을 해소, 공극율을 최소화하여 감용하는 기능을 가지고 있다.

## 2.3 중·저준위 압축성 방사성폐기물 처리 기기 구성

상부에 압축 Vessel, 유압식 가압 Disc와 Air Pocket 해압 Venting Tool Mechanic Device, 유압전달 System, Venting유로 System, 중·저준위 압축성 방사성폐기물 Handling 및 Trasfering System 하부에 Permanent Drumming Stage로 구성 되어 있다. 유압식 가압 Disc의 기능은 압축성 방사성폐기물의 탄성한계를 초과한 가압능력을 제고하고 Venting Tool Mechanic Device는 Holey Tube Type of Pike가 장착되어 내용물 중의 압축시 가압된 Air Pocket의 해압을 시키는 기능을 수행한다. 압축, 감용된 내용물은 중·저준위 압축성 방사성폐기물 Handling 및 Trasfering System을 통하여 Permanent Drum에 Packing된다.<Fig. 3>

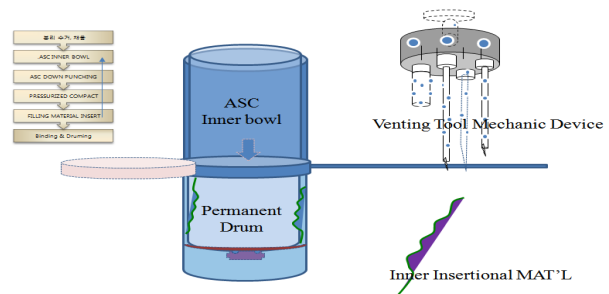


Fig. 3. Advanced Super Compactor

## 3. 결론

이번 연구결과와 드럼 포장에서 가압 압축공정 시간단축과 Drum당 공극율을 10% 이내로 감용 개선이 가능하게 되었으며 종래의 영구드럼 내에서의 직접 압축작업을 실시 함에 따라서 드럼의 손상 우려가 상존 하였으나 상부 Cylindrical Type Bowl에서 압축하여 하부에 Setting된 영구 드럼에 Drumming하는 차별화 된 방법을 연구하여 Drum이 손상되는 것을 방지 하였다. 최적의 중·저준위 방사성 폐기물 Drumming 작업 Skill 향상과 더불어 개발기기를 적용한다면 Drum 포장에 있어서 보다 효율적이고 경제 적일 것으로 판단된다.

## 4. 참고문헌

- [1] Radiological Health Hand Book(1970).
- [2] 제9회 원전방사선관리 기술개발사례발표집(주1).