

## Fortran을 이용한 폐기물드럼의 방사능 계산방법 고찰

김정환, 백성원, 이순재, 박종문

(주)코스코텍, 부산광역시 연제구 거제1동 17-1 중근당 빌딩3층

[pelicskim@gmail.com](mailto:pelicskim@gmail.com)

### 1. 서론

최근 국내원전에서 생성되는 방사성폐기물은 영구 처분시설로의 인도전 중·저준위 방사성폐기물 인도 규정(교육과학기술부 고시 제2008-65호)에 의하여 방사성폐기물드럼에 포함되어 있는 총 방사능량, 주요 핵종농도, 표면방사선량률 등을 규명토록 되어있으며 이를 위해서 각 원전본부별 방사성폐기물 저장고에 드럼핵종분석장치(Radioactive Waste Assay Sytem) 및 SFCALW(Scaling Factor CALculation program for Window version) 프로그램을 이용하여 드럼표면선량률에 의한 방사능농도를 산출하고 있다.

본 글에서는 ACALRWD(Activity CALculation program of Radioactive Waste Drum:Fortran) 프로그램에 의해 개발된 폐기물드럼 방사능 계산방법을 제시하여 원자력발전소나 일반산업체의 작업현장에서 노트북 등을 통해 간편하게 활용할 수 있도록 하였다.

### 2. 폐기물드럼의 방사능 계산식

원자력발전소에서 생성되는 각종 폐기물드럼내 방사선원의 형태가 원통형 선원이므로 "Nuclear Reactor Engineering (Glasstone & Sesonske)"와 "Computational Methods in Reactor Shielding (James Wood)"에 있는 원통형 선원에 대한 방사능 계산 일반식을 이용하여 방사능이 균일하게 분포되어 있는 원통형 선원의 방사능(A)를 구하는데 다음 계산식을 사용하였다.

$$A = \frac{2\pi LD(d+z)}{3.7 \times 10^{10} BC \cdot f(\theta, \Sigma\mu t)}$$

L : 선원의 높이(cm)

D : P지점에서의 선량율(mR/h)

d : 선원에서 P지점까지의 직교 거리(cm)

z : 선원의 자기 흡수거리(cm)

B : Build-up factor

C : 변환상수( photon/cm<sup>2</sup> · sec 당 mR/h)

f(θ, Σμt)는 Sievert 적분식

$$\theta = \tan^{-1} \frac{L}{2(d+z)}$$

$$\Sigma\mu t = \mu t + \mu_s z$$

μ : 차폐체의 선형감쇄계수

t : 차폐체의 두께

μ<sub>s</sub> : 선원의 자기흡수계수

R : 선원의 반경(cm)

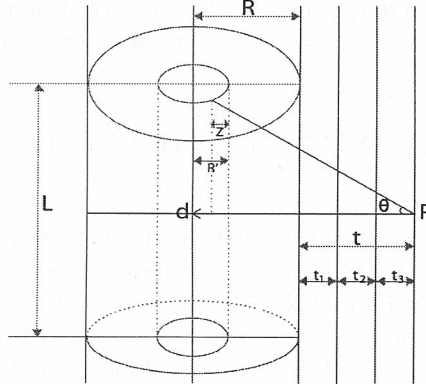


Fig.1 다양한 차폐체와 원통형선원의 기하학적 배치

$\Sigma\mu t = \mu t + \mu_s z$ 에서 선원의 자기흡수계수( )  $\mu_s$ 를 무시하면  $\Sigma\mu t = \mu t = \mu_1 t_1 + \mu_2 t_2 + \mu_3 t_3$ 가 된다.

Build-up factor(B) 계산은 Taylor Form  $B(E, \mu t) \cong A(E) e^{-a_1 E \mu t} + [1 - A(E) e^{-a_2 E \mu t}]$ 을 사용한다.

변환상수(C)는  $C = 6.6 \times 10^{-2} \times E \times \frac{\mu_{en}}{\rho} \times \phi \left( \frac{mR/h}{\text{photon/cm}^2 \cdot \text{sec}} \right)$ , 여기서 E는 광자의 에너지(MeV)

$\frac{\mu_{en}}{\rho}$ 은 공기의 질량흡수계수, ρ는 공기의 밀도, φ는 광자 1개의 flux(1 photon/cm<sup>2</sup> · sec)

$$\theta = \tan^{-1} \frac{L}{2(d+z)} = \tan^{-1} \frac{L}{2(R+t_1+t_2+t_3)} \quad \text{단, 여기서 } z \text{는 무시한다.}$$

상기 계산식에 의거 각종 드럼별 규격에 의한 방사선원의 크기를 계산하고 콘크리트 및 드럼철판에 의한 차폐계수를 계산한다. 각 차폐체에 대한 Build-up 계수를 계산하고 환산인자를 계산한 후 드럼표면 방사선량률 대비 드럼내 함유 방사능의 상관관계식을 유도한다.

3. 폐기물드럼의 방사능계산 프로그램 개발

본 프로그램은 "Radwaste Generation Survey Update, Pressurized Water Reactors, NP-5526, Volume2, Research Project 1557-26" 를 근거로 잡고, 페수지, 농축폐액의 핵종별 분포율과 드럼별 평균 Photon 에너지를 적용하여 Fortran을 기반으로 개발되었다.

프로그램을 시작하면 Fig.2와 같은 화면이 생성되며 이 화면에서 첫 번째 나타나는 입력메시지에 따라 원하는 Photon Energy를 선택하여 입력한다. 같은 방법으로 Fig.3과 같이 드럼 내부높이, 드럼 내부직경, 드럼 철판의 두께, 콘크리트 차폐두께, 납차폐 두께, 드럼 표면선량률 및 드럼의 종류순으로 입력하면 드럼의 총 방사능과 핵종별 방사능이 Fig.4와 같이 프로그램 창에 출력된다.

```
C:\#fortran>rdac1

*****
* INPUT DATA *
* ACTIVITY CALCULATION PROGRAM *
* OF RADIOACTIVE WASTE DRUM *
* programmed by KORSOCOTECH *
*****

*** YOU SHOULD TYPE IN FOLLOWING 8 VALUABLES ***
CHOOSE PHOTON ENERGY<1=RESIN;2=DAW;3=CONCENTRATED>=
```

Fig.2 출력창

```
C:\#fortran>rdac1

*****
* INPUT DATA *
* ACTIVITY CALCULATION PROGRAM *
* OF RADIOACTIVE WASTE DRUM *
* programmed by KORSOCOTECH *
*****

*** YOU SHOULD TYPE IN FOLLOWING 8 VALUABLES ***
CHOOSE PHOTON ENERGY<1=RESIN;2=DAW;3=CONCENTRATED>= 3
Enter internal height of radwaste drum in Cm <L> 7100
Enter internal radius of radwaste drum in Cm <R> 753.1
Enter thickness of metal liner in Cm <t1> 70.3
Enter thickness of shielding concrete in Cm <t2> 716.9
Enter thickness of shielding lead in Cm <t3> 70
Enter surface dose rate of the drum in mR/h <dose> 7300
CHOOSE KIND OF DRUM<1=RESIN;2=DAW;3=CONCENTRATED>= 3
```

Fig.3출력창

```
*****
* OUTPUT DATA FROM RDAC PROGRAM *
*****

* FOLLOWING VALUE IS TOTAL ACTIVITY OF RESIN DRUM *
Total Activity = 1.642587 Ci

* FOLLOWING VALUE IS ACTIVITY PER EACH RADIONUCLIDE *
Cs-137 Activity = 0.295666 Ci
Cs-134 Activity = 0.131407 Ci
Mn-54 Activity = 0.032052 Ci
Fe-55 Activity = 0.049278 Ci
Ni-63 Activity = 0.049278 Ci
Co-58 Activity = 0.328517 Ci
Co-60 Activity = 0.213536 Ci
H-3 Activity = 0.353080 Ci
REST Activity = 0.164259 Ci

Do you want another calculation<1=no;2=yes?>
```

Fig4 출력창

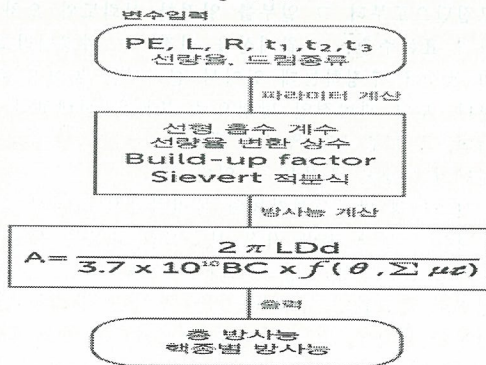


Fig.5 차례계산 흐름도

4. 결론

Fortran 프로그램에 기반을 둔 드럼표면의 방사성핵종농도 산출 방법은 중·저준위 방사성폐기물 영구처분장 인도전 방사성물질 등의 사업소내 운반 및 임시보관시 드럼표면의 방사성핵종 농도 자료로 활용 가능하다. 또한 원자력발전소의 드럼핵종분석장치에 의한 분석이 불가능한 검출한계 미만 또는 초과 되는 방사성폐기물 드럼에 대한 방사성핵종 농도 정보를 제공하는 유용한 산출방법으로 활용할 수 있다.

이와 더불어 자체처분 대상 폐기물과 단반감기 방사성 폐기물을 제외한 일반산업체, 병원, 연구기관 등에서 발생하는 방사성 폐기물 드럼의 표면 방사능을 추정하는데 유용하게 사용될 수 있다.

참고문헌

[1] Glasstone, Sesonske, Nuclear Reactor Engineering.  
 [2] James Wood, Computational Methods in Reactor Shielding  
 [3] Radiological Hearth Hand Book.  
 [4] Radwaste Generation Survey Update, Pressurized Water Reactors, NP-5526, Volume2, Research Project 1557-26  
 [5] 송만석, 장건주 편역, 수치해석학