

## <알고리즘>

### 가) ALARA NORM 프로그램 알고리즘

ALARA NORM 프로그램은 내부피폭 방사선량 평가에 필요한 인자를 이용하여 예탁등가선량, 예탁유효선량을 도출하는 프로그램이다. ALARA NORM 프로그램 사용자가 입력인자를 입력하면 프로그램 내에서 특정 알고리즘을 이용하여 최종적으로 예탁등가선량, 예탁유효선량을 도출한다. 그림-1에 ALARA NORM 프로그램의 알고리즘을 나타내었다.

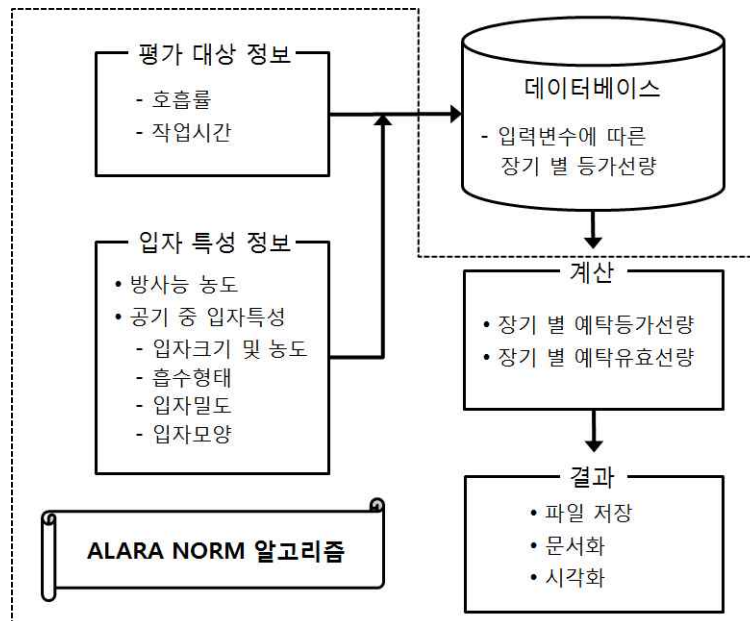


그림-1. ALARA NORM 프로그램의 알고리즘

종사자의 입자 흡입에 의한 내부피폭 방사선량을 계산하기 위해서는 실제 피폭 환경에 대한 정보가 필요하다. 해당 정보는 크게 평가대상 정보, 입자특성 정보로 구분할 수 있다. 평가대상 정보는 실제 작업자의 호흡률, 피폭환경에 노출된 시간을 의미하며, 입자특성 정보는 작업자가 흡입한 입자의 방사능 농도, 입자크기 및 농도, 흡수형태, 밀도, 모양을 의미한다. 사용자가 인자를 입력하면 프로그램 내 선량환산인자 데이터베이스 파일에서 입력된 인자에 해당하는 선량환산인자를 도출한다.

ALARA NORM 프로그램 내 선량환산인자 데이터베이스는 입자 크기분포, 밀도,

모양, 흡수형태에 따른 장기 별 예탁등가선량 환산인자로 구성되어 있다. 따라서 사용자가 입력인자를 입력한 후 계산 버튼을 누르면, 프로그램 내 선량환산인자 데이터베이스로부터 입력된 인자에 해당하는 장기 별 예탁등가선량을 불러온다. 선량환산인자 데이터베이스에 입력된 인자에 해당하는 예탁등가선량 정보가 존재하지 않을 경우, 입력인자와 가장 가까운 데이터를 이용하여 기지점의 가중 평균을 기반으로 입력된 인자에 해당하는 예탁등가선량을 계산한다.

프로그램에서 내부피폭 방사선량 평가를 위해 초기 불러오는 데이터는 장기 별 예탁등가선량이다. 일반적으로 내부피폭 방사선량 평가를 위해 사용되는 방호량은 예탁등가선량과 예탁유효선량이다. 따라서 ALARA NORM 프로그램은 장기 별 예탁등가선량을 기반으로 ICRP-60에서 제시하는 조직가중치를 적용하여 장기 별 예탁유효선량을 도출한다. 최종적으로 장기 별 예탁유효선량을 기반으로 종사자의 예탁유효선량을 계산한다.

분석한 데이터를 분석 및 관리하기 위해서는 분석 데이터에 대한 추가적인 처리가 필요하다. 특히, 종사자의 피폭방사선량 관리를 위해서는 종사자의 피폭방사선량 평가에 대한 기록을 보관할 필요가 있다. 따라서 ALARA NORM 프로그램에서는 종사자에 대한 피폭방사선량 평가 조건, 예탁등가선량, 예탁유효선량을 문서화하여 저장할 수 있다. 또한, 데이터를 분석하기 위해서는 다양한 종사자들에 대한 피폭방사선량 결과를 시각적으로 나타낼 필요가 있다. ALARA NORM 프로그램에서는 마이크로소프트사에서 개발한 Excel 프로그램과 연동하여 종사자들의 피폭방사선량을 그래프를 이용하여 시각으로 보여준다.

## <인자설명>

### 나) ALARA NORM의 입력인자 및 결과

ALARA NORM 프로그램은 입자의 흡입에 의한 내부피폭 방사선량 계산 시 다양한 입자특성을 고려할 수 있다. 아래에는 ALARA NORM 프로그램에서 내부피폭 방사선량 평가 시 입력인자를 나타내었다.

- 종사자 호흡률
- 작업시간
- 핵종별 방사능 농도
- 공기 중 입자 크기 분포 및 농도
- 핵종별 흡수형태
- 입자 밀도
- 입자 모양

#### (1) 종사자 호흡률

종사자의 호흡률은 공기 중 입자의 체내 섭취량과 직접적으로 관련이 있다. 국제방사선방호위원회 보고서-66에서는 연령 별 활동 유형에 따른 호흡률을 제시하였다. 표-1에는 국제방사선방호위원회 보고서-66에서 제시하는 성인 남성 종사자의 활동 유형에 따른 호흡률 기본값을 나타내었다.

**표-1.** 국제방사선방호위원회-66에서 제시하는 성인 남성 종사자의 활동유형에 따른 호흡률 기본 값

활동		소요시간	호흡률 (m <sup>3</sup> /hr)
취침		8시간	0.45
직업상 활동	경미한 작업	- 5.5 시간: 가벼운 활동 - 2.5 시간: 휴식 또는 앉아있음	1.20
	격렬한 작업	- 7 시간: 가벼운 활동 - 1 시간: 격렬한 활동	1.68
비직업상 활동		- 4 시간: 휴식 또는 앉아있음 - 3 시간: 가벼운 운동 - 1 시간: 격렬한 운동	1.21
총계		24 시간	경미한 작업시: 1.90 격렬한 작업시: 2.38

NORM 취급시설 종사자의 입자 흡입에 의한 내부피폭은 실제 작업현장에서 작업을 수행할 때 발생하므로 내부피폭 방사선량 평가 시 직업상 활동에 해당하는 호흡률을 고려해야 한다. 국제방사선방호위원회에서는 종사자의 하루 평균 작업시간을 8시간으로 가정하고 있으며, 근무형태에 따라 경미한 작업과 격렬한 작업으로 구분하고 있다. 경미한 작업은 대부분의 시간(5.5시간)을 경미한 활동(light exercise), 그 외 시간(2.5시간)을 휴식 또는 앉아서 작업하는 것을 의미한다. 격렬한 활동(heavy exercise)은 대부분의 시간(7시간)을 경미한 활동, 그 외 시간(1시간)을 격렬한 활동을 수행하는 것을 의미한다. 국제방사선방호위원회에서는 경미한 활동의 예로 청소, 페인트 작업, 목재작업을, 격렬한 활동의 예로 화재 진압작업, 건설작업 등을 제시하고 있다.

국내 NORM 산업체 현장조사 결과 국내의 NORM 취급시설 종사자의 주된 작업형태는 국제방사선방호위원회에서 분류하고 있는 경미한 작업에 해당되는 것으로 파악되었다. 따라서 NORM 취급시설에서 작업형태 조사가 수행되지 않아 종사자의 호흡률을 결정할 수 없을 경우 호흡률 1.2 m<sup>3</sup>/hr을 적용하는 것이 적절하다.

ALARA NORM 프로그램에서는 사업장의 작업 형태에 따라 호흡률을 임의로 적용할 수 있게 하였다. 하지만 호흡률에 대한 정보가 불분명 할 경우 국제방사선방호위원회에서 제시한 가벼운 작업을 하는 종사자의 호흡률인 1.2 m<sup>3</sup>/hr를 적용하게 하였다. 그림-2에 본 연구에서 개발한 내부피폭 방사선량 평가 프로그램의 호

흡률 입력 화면을 나타내었다.

항목	값	단위
평가대상	NORM 취급 종사자 A	
흡률	1.2	m3/h
작업시간	2000	h

항목	값	단위
평가대상	NORM 취급 종사자 A	
흡률	1.68	m3/h
작업시간	2000	h

그림-2. ALARA NORM의 호흡률 입력 화면

## (2) 작업시간

NORM 취급 종사자의 작업시간은 종사자가 공기 중 입자에 노출되는 시간과 직접적으로 연관되며 종사자의 피폭선량에 직접적인 영향을 미친다. 작업시간은 종사자 별로 다양하며, 실제 종사자 또는 현장 관리자와의 인터뷰를 통해 파악할 수 있다.

ALARA NORM 프로그램에서는 종사자 마다 다른 작업시간을 고려하기 위해 작업시간을 임의로 설정 할 수 있도록 개발하였다. 하지만 작업시간이 파악되지 않았을 경우에는 국제방사선방호위원회에서 제시한 종사자의 평균 작업시간인 연간 50주, 주당 5일, 일일작업시간 8시간을 기준으로 연간 작업시간을 2,000시간으로 가정하여 평가할 수 있다. 그림-3에 본 연구에서 개발한 내부피폭 방사선량 평가 프로그램의 작업시간 입력 화면을 나타내었다.

항목	값	단위
평가대상	NORM 취급 종사자 A	
흡률	1.68	m3/h
작업시간	2000	h

항목	값	단위
평가대상	NORM 취급 종사자 A	
흡률	1.68	m3/h
작업시간	2400	h

그림-3. ALARA NORM의 작업시간 입력 화면

## (3) 핵종별 방사능 농도

종사자의 입자 흡입에 의한 내부피폭 방사선량을 평가하기 위해서는 입자 내에 함유된 방사능 핵종의 종류 및 방사능 농도를 파악해야한다. 방사능 농도는 취급 물질에 따라 달라지는 독립변수이다. 따라서 평가자는 분석결과에 따라 적절한 방사능농도를 적용해야 한다.

ALARA NORM 프로그램에서는 핵종별 방사능 농도는 앞서 선정된 입자의 흡입에 의한 피폭선량에 최종적으로 주요한 영향을 미치는 핵종의 방사능 농도를 고려하게 하였다. 우라늄 계열 핵종 중 U-238, U-234, Th-230, Ra-226, Po-210, Pb-210 핵종, 토륨계열 핵종 중 Th-232, Th-228, Ra-228, Ra-224 핵종 및 K-40 핵종에 대한 방사능 농도를 입력할 수 있게 하였다. 또한 물질이 방사평형을 이루고 있을 때에는 우라늄 및 토륨 계열 내 각 핵종에 한 번에 동일한 방사능 농도를 적용할 수 있게 하였다. 그림-4에 본 연구에서 개발한 내부피폭 방사선량 프로그램의 방사능 농도 입력 화면을 나타내었다.

그림-4. ALARA NORM의 방사능 농도 입력 화면

#### (4) 입자 크기 분포 및 농도

입자의 크기 분포 및 농도는 입자의 흡입에 의한 내부피폭 방사선량에 영향을 미치는 주요인자이다. 국제방사선방호위원회-66 보고서에서는 입자크기에 따른 호흡기 내 침적률을 그림-5과 같이 제시하고 있다. 그래프에서  $ET_1$ 은 전단외흡부영역,  $ET_2$ 는 후단외흡부영역, BB는 기관지영역, bb는 세기관지영역 그리고 AI은 폐포간질영역을 의미한다. 전체적으로 입자는 크기가 작을수록 AI, bb, BB 영역과 같이 체내 깊숙한 곳에 침적하며, 입자크기가 클수록  $ET_1$ ,  $ET_2$  영역에 주로 침적한다. 체내 깊숙한 곳에 침적한 입자는 체외에 침적한 입자보다 비교적 장기간 체류하게 되며 이로 인해 장기간의 방사선 피폭을 야기하게 된다. 이처럼 입자의 크기에 따라 인체에 미치는 영향이 달라지기 때문에 NORM 취급시설 종사자의 입자 흡입에 의한 내부피폭 방사선량을 평가하기 위해서는 입자 크기의 분포를 결정해야 한다.

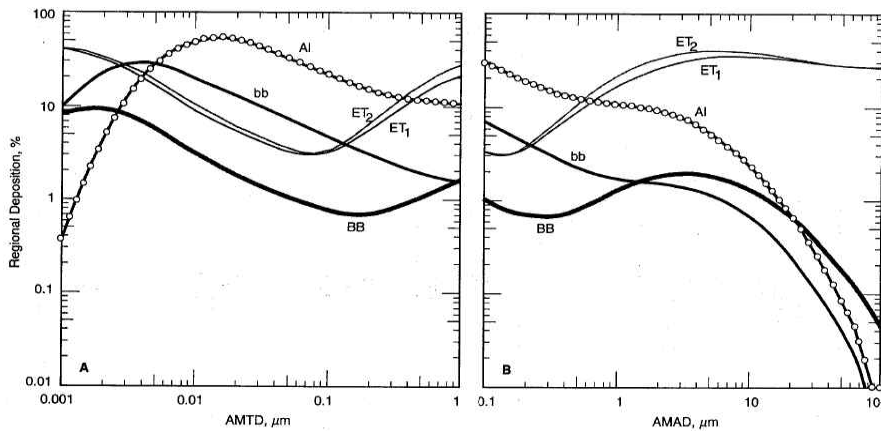


그림-5. 성인 중사자의 AMTD 및 AMAD에 따른 호흡기 영역별 입자 침적률

ALARA NORM 프로그램에서는 공기 중 입자채집을 통해 실측한 입자 농도를 입력 가능하게 하여 입자의 크기분포를 할 수 있게 하였다. 만약 입자 크기분포를 고려할 수 없는 대용량 및 개인 입자채집기를 사용하였을 경우에는 AMAD와 GSD 정보를 입력할 수 있게 하였다. 만약 입자의 농도 및 크기분포에 대한 정보가 없을 때에는 국제방사선방호위원회에서 제시하는 입자크기 기본 값을 적용할 수 있도록 하였다. 그림-6에 본 연구에서 개발한 내부피폭 방사선량 평가 프로그램의 입자크기 및 농도 입력화면을 나타내었다.



그림-6. ALARA NORM의 입자크기 분포 및 농도 입력 화면

## (5) 핵종별 흡수형태

핵종별 흡수형태는 핵종이 체내에 유입된 후 혈액으로 흡수되는 정도를 의미한다. 동일한 특성을 가진 입자에 함유된 핵종이라 할지라도 흡수형태에 따라 호흡기내 침적 후 체내 전이 속도가 다르다. 또한 핵종 별로 혈액에 흡수된 후 체내 거동이 상이하여 핵종마다 최종선량에 미치는 정도가 다르다. 따라서 NORM 취급시설 종사자의 내부피폭 선량평가를 수행하기 위해서는 핵종 별 흡수형태를 결정해야 한다.

ALARA NORM 프로그램에서는 핵종 별 흡수형태를 직접 설정하여 적용할 수 있도록 개발하였다. 만약 핵종의 흡수 형태를 선정하지 못하는 경우, 국제방사선방호위원회에서 제시하는 흡수 형태의 기본 값을 적용할 수 있도록 하였다. 그림-7에는 본 연구에서 개발한 내부피폭 방사선량 평가 프로그램의 핵종 별 흡수형태 입력 화면을 나타내었다.

The image displays two side-by-side screenshots of a software interface for setting radionuclide absorption types. Both windows are titled '공기 중 입자특성' (Airborne Particle Characteristics) and have tabs for '입자크기 및 농도' (Particle Size and Concentration), '핵종별 흡수형태' (Radionuclide Absorption Type), and '입자밀도/모양인자' (Particle Density/Shape Factor). The '핵종별 흡수형태' tab is active in both.

**Left Screenshot (ICRP 기본값 checked):**

- ICRP 기본값:
- 우라늄 계열 (Uranium Series):
  - U-238: M
  - U-234: M
  - Th-230: S
  - Ra-226: M
  - Pb-210: M
  - Po-210: M
- 토륨 계열 (Thorium Series):
  - Th-232: S
  - Ra-228: M
  - Th-228: S
  - Ra-224: M
- K-40:
  - K-40: F

**Right Screenshot (ICRP 기본값 unchecked):**

- ICRP 기본값:
- 우라늄 계열 (Uranium Series):
  - U-238: S
  - U-234: S
  - Th-230: S
  - Ra-226: F
  - Pb-210: S
  - Po-210: M
- 토륨 계열 (Thorium Series):
  - Th-232: S
  - Ra-228: F
  - Th-228: F
  - Ra-224: M
- K-40:
  - K-40: M

그림-7. ALARA NORM의 핵종 별 흡수형태 입력 화면

## (6) 입자 밀도

입자 밀도는 입자 흡입에 의한 내부피폭 방사선량에 영향을 미치는 주요 인자이다. 동일한 입자 크기라 할지라도 입자 밀도에 따라 호흡기 내 침적 부위가 다르다. 입자 밀도는 입자의 공기역학적 특성에 영향을 미치는 주요 인자로서 입자 밀도가 클수록 중력에 의한 침강효과가 증가한다. 일반적으로 입자 밀도가 높을수록 호흡기 깊은 부위에 침적되어 종사자의 장기간 방사선 피폭을 야기한다. 따라서 NORM 취급



시설 종사자의 내부피폭 선량평가를 수행하기 위해서는 입자 밀도를 결정해야 한다.

ALARA NORM 프로그램에서는 실측된 물질의 밀도 값을 직접 입력하여 적용할 수 있도록 개발하였다. 만약 물질의 밀도를 실측하지 못하는 경우 국제방사선방호위원회에서 제시하는 밀도의 기본 값인  $3 \text{ g/cm}^3$ 를 적용하여 평가할 수 있도록 하였다. 그림-8에 본 연구에서 개발한 내부피폭 방사선량 평가 프로그램의 밀도 입력화면을 나타내었다.

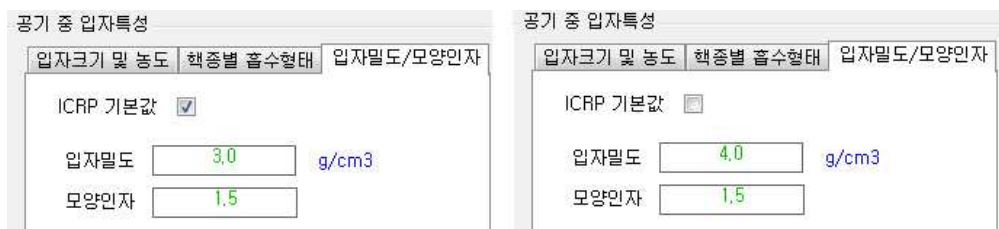


그림-8. ALARA NORM의 밀도 입력화면

### (7) 입자 모양

입자 모양은 입자의 흡입에 의한 내부피폭 방사선량에 영향을 미치는 주요 인자이다. 입자 밀도가 동일할 지라도 입자 모양에 따라 호흡기 내 침적 부위가 다르므로 방사선량에 영향을 미친다. 입자 모양은 입자의 항력과 낙하속도에 영향을 미친다. Mercer 또는 Hinds 등의 입자 특성 연구 결과에 따르면 공기 중 입자의 모양은 섬유형, 타원형, 정육면체 등 다양한 형태로 존재하고 있다. 입자의 모양은 모양인자를 이용하여 표현할 수 있다. 모양인자는 불규칙한 모양을 갖는 입자와 동일한 체적( $v$ )과 낙하속도( $V$ )를 갖는 구형 입자의 항력( $F_{Dve}$ )에 대한 비구형 입자의 저항력( $F_D$ )의 비로 정의된다.

$$\chi = \frac{F_D}{F_{Dve}}$$

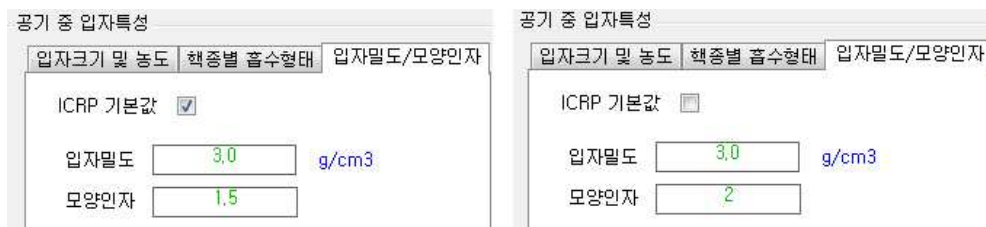
연구 결과에 따르면 공기 중 입자의 모양인자는 1.1 - 1.9 사이의 값을 가지는 것으로 나타났다(Mercer, 1973. Hinds, 1999). 특히 원통형 섬유입자의 모양인자는 축의 방향과 원통의 길이 및 반지름의 축비에 따라 달라진다. 표-2에 반지름에 대한 길이의 축비 및 기류와의 각도에 따른 모양인자 값을 나타내었다. 국제방사선방호위원회에서도 위와 같은 다양한 연구결과를 바탕으로 입자 모양인자의 범위를 1.1 - 1.9 로 설정하고 있다. 또한, 국제방사선방호위원회에서는 입자 모양인자의 기본 값

으로 1.5를 제시하고 있다.

**표-2.** 공기중 입자의 축비 및 기류와의 각도에 따른 모양인자 값

모양	축방향	축비		
		2	5	10
구형	-	1		
원통형	수직방향	1.01	1.06	1.20
	수평방향	1.14	1.34	1.58
	전방위에 대한 평균	1.09	1.23	1.43

ALARA NORM 프로그램에서는 실측된 물질의 모양인자를 직접 입력하여 적용할 수 있도록 개발하였다. 물질의 모양인자를 실측하지 못하는 경우, 국제방사선방호위원회에서 제시하는 모양인자의 기본 값인 1.5를 적용하여 평가할 수 있도록 하였다. 그림-9에 본 연구에서 개발한 내부피폭 방사선량 평가 프로그램의 모양인자 입력화면을 나타내었다.



**그림-9.** ALARA NORM의 모양인자 입력화면

## (8) 방사선량 계산

본 연구에서 개발한 내부피폭 방사선량 평가 프로그램에서는 방사선량 계산 결과로 장기별 등가선량과 국제방사선방호위원회-60의 장기별 조직가중치를 고려한 유효선량을 제공한다. 종사자의 법적 선량한도는 특정 조직 또는 장기에 대한 등가선량과 유효선량으로 제시된다. 따라서 방사선량 평가자는 방사선량 평가 프로그램을 이용하여 간편하게 선량한도와 비교할 수 있다.

## <평가방법론>

### 다) 등가선량( $H_T$ ) 계산

어떤 조직 또는 장기가 피폭되어 같은 흡수선량 즉 동일한 방사선에너지를 흡수 하였을 경우, 방사선이 인체에 미치는 영향은 방사선의 종류와 에너지에 따라 다르다. 따라서 이러한 다른 선질의 방사선이 미치는 생물학적인 영향을 고려하기 위해 방사선가중치( $w_R$ : radiation weighting factor) 개념을 도입하였다. 방사선가중치를 고려하여 새롭게 정의된 선량을 등가선량( $H_T$ : equivalent dose)이라 하며, 조직이나 장기의 평균 흡수선량( $D_{T,R}$ )에 방사선가중치를 곱한 값으로 정의된다.

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

여기서  $D_{T,R}$ 은 방사선의 종류와 에너지를 모두 고려한 방사선종류 R에 의한 특정 장기나 조직 T 체적의 평균흡수선량이다. 방사선가중치는 방사선 방호량을 정의할 때 방사선의 종류와 에너지, 즉 방사선의 특성을 가중하는 방법으로 도입되었다. 방사선가중은 방사선의 확률론적 영향에 대한 생물학적효과비(RBE: relative biological effectiveness) 평가에 기초한다.

국내에서는 선량평가 시 국제방사선방호위원회 60에서 제시하는 방사선가중치를 적용하고 있다. 따라서, 본 프로그램에서는 NORM 취급시설 종사자의 내부피폭 방사선량 평가 시 국제방사선방호위원회-60에서 제시하는 방사선가중치를 적용하였다. 표-3에 국제방사선방호위원회-60에서 제시한 방사선가중치를 나타내었다.

표-3. 국제방사선방호위원회-60에서 제시한 방사선가중치

방사선 종류 및 에너지		방사선가중치( $w_R$ )
광자, 전자, 뮤온		1
되튬양자를 제외한 양성자 (2 MeV)		5
알파입자, 핵분열파편, 중핵		20
중성자	0.01 MeV 미만	5
	0.01 - 0.1 MeV	10
	0.1 - 2 MeV	20
	2 - 20 MeV	10
	20 MeV 초과	5

### 라) 유효선량(E) 계산

동일한 방사선량이 서로 다른 조직 또는 장기에 피폭되었을 때, 인체에 미치는 영향은 피폭된 조직 또는 장기에 따라 다르다. 방사선에 피폭된 사람의 위해도를 근사적으로 나타내기 위해 국제방사선방호위원회 60 권고에서는 유효선량 개념을 도입하였다. 유효선량( $E$ )은 인체의 모든 특정조직과 장기의 등가선량( $H_T$ )을 조직가중치( $w_T$ : tissue weighting factor)로 가중한 합이다.

$$E = \sum_T w_T \cdot \sum_R w_R \cdot D_{T,R} = \sum_T w_T \cdot H_T$$

국내에서는 선량평가 시 국제방사선방호위원회 60에서 제시하는 조직가중치를 적용하고 있다. 따라서, 본 프로그램에서는 NORM 취급시설 종사자의 내부피폭 선량평가 시 국제방사선방호위원회 60에서 제시하는 조직가중치를 적용하였다. 표-4에 국제방사선방호위원회 60에서 제시한 조직가중치를 나타내었다.

표-4. 국제방사선방호위원회-60에서 제시한 조직가중치

방사선 종류	조직가중치 ( $w_T$ )
	ICRP 60
생식선	0.2
적색골수	0.12
폐	0.12
위	0.12
대장	0.12
유방	0.05
방광	0.05
식도	0.05
간	0.05
갑상선	0.05
뼈표면	0.01
피부	0.01
뇌	잔여조직
잔여조직	0.05 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> ICRP 60의 잔여조직에 대한 조직가중치

- 잔여조직 : 부신, 뇌, 상행결장, 소장, 신장, 근육, 췌장, 비장, 흉선, 자궁
- 잔여조직 중 하나의 조직 또는 장기의 등가선량이 조직가중치가 정해진 12개 중 어떠한 하나보다 높은 경우, 이 장기에 대해서는 0.025의 조직가중치를 적용하며, 나머지 잔여조직의 평균 등가선량에 대해서도 0.025의 조직가중치를 적용한다.

장기	등가선량(mSv)	조직가중치	유효선량(mSv)
<b>유효선량</b>			<b>9.18E-02</b>
고환/난소	1.26E-04	0.20	2.53E-05
적색골수	4.17E-04	0.12	5.00E-05
대장	3.61E-04	0.12	4.33E-05
폐	5.47E-01	0.12	6.56E-02
위	1.37E-04	0.12	1.64E-05
방광	1.27E-04	0.05	6.36E-06
유방	1.31E-04	0.05	6.54E-06
간	5.39E-04	0.05	2.69E-05
식도	1.32E-04	0.05	6.58E-06
갑상선	1.28E-04	0.05	6.40E-06
피부	1.27E-04	0.01	1.27E-06
■ 표면	3.88E-03	0.01	3.88E-05
부신	1.31E-04	0.05	6.53E-06
뇌	1.26E-04	0.05	6.32E-06
신장	1.48E-03	0.05	7.38E-05
근육	1.28E-04	0.05	6.41E-06
췌장	1.29E-04	0.05	6.47E-06
소장	1.47E-04	0.05	7.36E-06
비장	1.29E-04	0.05	6.47E-06
흉선	1.32E-04	0.05	6.58E-06
전립선/자궁	1.26E-04	0.05	6.32E-06
흡외기도	1.04E+00	0.025	2.60E-02
<b>전체조직</b>	<b>5.19E-01</b>	<b>0.05</b>	<b>2.60E-02</b>

그림-10. ALARA NORM에서 도출한 예탁등가선량 및 예탁유효선량

또한 ALARA NORM 프로그램에서는 다수의 종사자에 대한 피폭방사선량 평가를 동시에 수행할 경우 종사자별 피폭방사선량을 한눈에 비교할 수 있는 그래프를 제공하고 있다. 그림-11에 종사자별 내부피폭 방사선량 비교 그래프를 나타내었다.

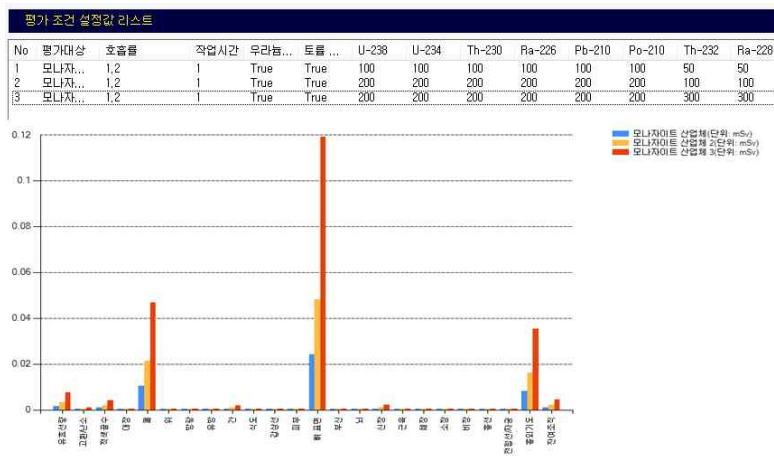


그림-11. ALARA NORM의 종사자별 내부피폭 방사선량 비교 그래프