

ICRP-60 방사선방호 체계에 근거한 이차한도 및 유도한도의 설정
Development of Secondary and Derived Limits for Protection against Ionizing Radiation
based on ICRP-60 Recommendation

장시영, 이병수

한국원자력안전기술원
대전광역시 유성구 구성동 19번지

요 약

ICRP, IAEA 및 EU 등에서 권고하고 있는 선량한도 및 예탁유효선량환산계수를 사용하여 ICRP-60 체계에 근거한 이차한도 및 유도한도를 도출하였다. 또한, 본 연구에서 도출한 이차한도 및 유도한도를 원자력 사업장에 적용할 경우의 영향을 분석하기 위하여, 미국의 10 CFR part 20 및 현행 과기부 장관고시 제98-12호에 제시된 값과의 비교분석을 수행하였다. 비교분석 결과, 본 연구에서 유도된 이차한도 및 유도한도가 작업자 및 일반인에 대한 선량한도의 하향조정, 호흡기 모델 및 신진대사모델의 변경에 따라 과기부 장관고시 제98-12호에 비해 전반적으로 작은 값(보수적인 경향)을 보였으며, 특히, 핵주기시설의 중요 핵종인 우라늄(U-235, U-238 등)의 경우, 섭취 선량환산계수 등의 변경에 따라 배수중의 배출관리기준이 과기부 장관고시 제98-12호에 비해 order of 2 정도 작은 값을 보였다.

Abstract

Secondary and derived limits for protection against ionizing radiation based on ICRP-60 recommendation were calculated using dose limit and committed effective dose coefficient of ICRP, IAEA and EU report. In order to analyze the impact of implementing secondary and derived limit on nuclear facilities, the derived values in this study were compared with those prescribed in 10 CFR part 20 as well as Notice No. 98-12 of MDST(Ministry of Science and Technology). According to the comparison results, the derived values in this study show lower values(i.e., more conservative), for most part, than those in Notice No. 98-12 of MDST. These differences are due to reduction of dose limit, applications of new respiratory tract model and bio-kinetics models. Especially, for uranium elements(i.e., U-235, U-238 etc.), which are governing ones in the nuclear fuel industries, liquid-effluent concentrations in this study are approximately two order of magnitude lower than those in Notice No. 98-12 of MOST, because of newly recommended dose coefficients for ingestion pathway and reduction of dose limit.

1. 서 론

이차한도 및 유도한도는 관리구역내 환기설비의 설계 및 작업관리, 환경상의 위해방지를 위한 공기중 및 수중의 방사능농도 제한, 방사성물질의 배기/배수시 방사성물질의 농도 제한, 유출물 감시기의 경보설정치 등에 다양하게 적용되고 있다. 국내의 원자력 관계법령에서는 이차한도로서 방사선작업종사자 및 일반인의 최대허용농도(Maximum Permissible Concentration; MPC)를 정하고 있다. 그러나, 국내의 방사선방호 규정이 ICRP-60 개념(선량한도, 방사선가중치, 조직가중치 등)에 근거하고 있고, 일반인 및 작업자의 선량한도가 MPC를 유도하는데 적용된 것과 상이한 실정으므로, 조속한 시일내에 최대허용농도를 ICRP-60 체계에 근거한 연간섭취한도(Annual Limit on Intake; ALI), 유도공기중농도(Derived Air Concentration; DAC) 및 배출관리기준으로 대체하여야 한다.[1,2]

본 연구에서는 ICRP[3], IAEA[7] 및 EU[6] 등에서 권고하고 있는 선량한도 및 선량환산계수를 사용하여 이차한도 및 유도한도(이하 유도한도(안)이라 한다)를 도출하고자 하였으며, 이를 위하여, IAEA의 방사선방호에 관한 국제기본안전기준(Safety Series 115: International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, IAEA, 1996년, 이하 "BSS-96"이라 한다)[7] 및 유럽연합의 법령인 Official Journal of the European Communities(Council Directive 96/29/Euratom, EU, 1996년)[6]에 제시된 작업자 및 일반인의 예탁 유효선량 환산계수(committed effective dose coefficient)를 사용하여 유도한도(안)를 도출하였다.

또한, 본 연구에서는 유도한도(안)를 원자력 사업장에 적용할 경우의 영향을 분석하기 위하여 미국의 10 CFR part 20[5] 및 현행 과기부 장관고시 제98-12호[4]에 제시된 값과의 비교를 수행하였다. 작업자의 이차한도 및 유도한도에 대한 비교를 수행하였고, 환경으로 배출되는 배기중 또는 배수중의 배출관리기준에 대한 비교도 수행하였다.

2. 이차한도 및 유도한도 설정방법

ICRP는 1994년에 새로운 흡입모델을 ICRP-66으로 발표하였고 이러한 새로운 흡입모델, 조직가중계수 및 신진대사모델(ICRP-56, 67, 69)을 적용하여 계산한 작업자와 일반인의 호흡선량환산계수를 ICRP-68, 71, 72로 발표하였다[3]. 또한, ICRP-30 모델에 근거하고 새로운 신진대사모델(ICRP-56, 67, 69)을 적용하여 계산한 작업자와 일반인의 섭취선량환산계수를 ICRP-67, 69, 72로 발표하였다. 이와 함께, IAEA의 BSS-96(safety series 115) 및 EU의 Council Directive에서도 이와 같은 새로운 흡입모델에 근거하여 작업자와 일반인의 선량환산계수를 제시한 바 있다. 본 연구에서는 ICRP, IAEA 및 EU 등에서 권고하고 있는 최신 선량환산계수를 사용하여 유도한도(안)를 도출하였다.

작업자의 유도한도인 ALI 및 DAC의 계산방법은 ICRP-61 및 10 CFR part 20의 방법과 동일하다. 다만, 선량한도 및 선량환산계수는 IAEA의 BSS-96에 제시된 값을 적용하였다. 피폭대상은 ICRP-23에 제시된 reference man 이며, 작업시간은 연간 2,000시간이다. 호흡경로의 선량환산계수가 입자, 개스 및 물용성기체로 구분하여 제시되므로 각각에 대한 유도한도를 계산하였고, 입자의 경우에는 $5\mu\text{m}$ AMAD(Activity Median Aerodynamic Diameter)가 ICRP-66에서 권고하는 작업자의 기본값(default)이므로 이를 고려하였다. 계산식은 다음과 같으며, 주요 고려사항은 표 1과 같다.

- ◆ 연간섭취한도(흡입 및 경구섭취)

$$ALI(Bq) = \frac{\text{선량한도}(E, 0.02Sv)}{\text{선량환산계수}(e_{work}, Sv/Bq)} \quad (1)$$

- 유도공기중농도

$$DAC(Bq/m^3) = \frac{ALI(Bq)}{\text{호흡률}(R; 1.2m^3/hr) \times 2,000hr} \quad (2)$$

표 1. ALI/DAC 설정을 위한 고려사항

구 분	작 업 자	일 반 인
선 량 한 도	ICRP-60(유효선량 20 mSv/yr)	고시98-12호(유효선량 1mSv/yr)
고 려 대 상	ICRP-23(Reference Man)	연령군별 일반인
고 려 기 간	연간 작업시간(2,000시간/년)	1년(365일)
피 폭 경 로	- 공기흡입(입자: 5 μm AMAD, 개스), 물칼성기체 - 음료수 섭취	- 공기흡입(입자 : 1 μm AMAD, 개스), 물칼성기체 - 음료수 섭취
선량환산계수	[AEA BSS(Safety Series 115)에 제시된 유효선량환산계수	[AEA BSS(Safety Series 115)에 제시된 유효선량환산계수
기 타 자 료	작업자의 호흡률 및 음료수 섭취율(ICRP-23)	일반인의 호흡률 및 음료수 섭취율(ICRP-23)

특히, HTO 형태의 삼중수소는 피부흡수에 의한 삼중수소 흡수율이 공기흡입에 의한 삼중수소 흡수율의 1/2에 해당하는 것으로 보고되고 있으며, 미국의 10 CFR part 20에도 피부흡수를 고려하였다. HTO형태의 삼중수소의 경우, ICRP-30 모델의 방법에 따라 피부흡수에 의한 경로를 추가적으로 고려하였다[3]. 라돈(Rn-222, Rn-220)의 경우, 10 CFR part 20과 같이 WLM(Working-Level Month)과 ALI/DAC를 사용하였으며, ICRP-65 및 BSS-96의 권고에 근거하여 Rn-222는 4 WLM, Rn-220는 12 WLM를 일차한도로 고려하였다. 유도한도는 ICRP-32(1981년)의 방법론을 적용하여 계산하였으나, 선량한도 및 『Potential α-energy Intake』는 BSS-96에 제시된 값을 적용하였다.

일반인의 배출관리기준은 IAEA의 BSS-96에 제시된 작업자 및 일반인의 선량환산계수와 ICRP-23 및 ICRP-66에 제시된 작업자와 연령군별 일반인의 호흡률 및 섭취율에 근거하여 유도하였다. 선량환산계수는 입자, 개스 및 물칼성기체로 구분하여 제시되어 있는 바, 각 경우에 대한 유도한도를 설정하였으며, 입자크기의 경우, 1 μm AMAD를 고려하였다.

일반인의 유도한도는 다음과 같이 3가지 경우로 구분하여 계산하였다.

▪ CASE 1

BSS-96에 제시된 일반인의 연령군별 선량환산계수를 이용하여 연령군별 배출관리기준을 계산하고, 이들중 제일 보수적인 값을 선정.

BSS-96에서는 일반인을 6개의 연령군으로 구분하므로 각 연령군에 대한 호흡률 및 음료수 섭취율 자료가 필요하지만, ICRP 보고서에서는 6개 연령군의 호흡률이 제시되어 있으나 음료수 섭취율은 일반 성인 및 10세의 값이 제시되어 있어 부득이 일반 성인 및 10세의 유도한도(섭취)를 설정하였다.

▪ CASE 2

CASE 1에 제시된 연령군별 배출관리기준중 일반 성인의 배출관리기준에 10 CFR part 20에서 고려한 연령군별 선량관산계수의 차이(factor of 2)를 가중치로 반영.

▪ CASE 3

현행 10 CFR part 20의 계산방법으로서, 흡입의 경우 작업자의 유도한도(DAC)에 작업자와 일반인간의 선량한도의 차이(factor of 20), 일반인과 작업자간의 호흡률 및 활동시간의 차이(factor of 3), 연령군별 선량관산계수의 차이(factor of 2)를 가중치로 반영, HTO 형태의 삼중수소에 대하여는 피부흡수를 고려한 작업자의 유도한도(DAC)에 근거함.

경구섭취의 경우, 작업자의 ALI를 작업자의 연간 음료수 섭취율(0.73 m³/yr)로 나누고, 일반인과 작업자간의 선량한도의 차이(factor of 20), 일반인과 작업자간의 연령군별 선량관산계수의 차이(factor of 2)를 가중치로 반영

물활성기체에 의한 외부피폭의 경우, 작업자의 DAC에 일반인과 작업자간의 선량한도의 차이(factor of 20), 일반인과 작업자간의 활동시간의 차이(factor of 4.38)를 가중치로 반영

일반적으로 Case 3의 5 μm AMAD에 근거한 값이 대체적으로 보수적이었으나, 일부 핵종들은 Case 3의 1 μm AMAD에 근거한 값 또는 CASE 1이 보수적인 경우도 있었다. 본 연구에서는 Case 3를 계산방법으로 선정하였는데, 유도근거의 제시 가능(미국/일본의 방법론), Case 2와 비슷한 정도의 보수성도 확보, 핵종별로 작업자와 일반인의 흡입구분이 동일하므로 하나의 table로 제시 가능 등이 Case 3를 선택한 사유이다. 계산식은 다음과 같다.

- ◆ 배기중의 배출관리기준(물활성기체 제외)

$$\text{배출관리기준}(Bq/m^3) = \frac{DAC(Bq/m^3)}{20 \times 3 \times 2} \tag{3}$$

여기서, 20 : 작업자와 일반인의 선량한도 차이(20mSv/1mSv)
 3 : 작업자와 일반인의 호흡률 및 피폭기간의 차이
 2 : 작업자와 일반인의 선량관산계수의 차이

- ◆ 배기중의 배출관리기준(물활성기체)

$$\text{배출관리기준}(Bq/m^3) = \frac{DAC(Bq/m^3)}{20 \times 4.38} \tag{4}$$

여기서, 20 : 작업자와 일반인의 선량한도 차이(20mSv/1mSv)
 4.38 : 작업자와 일반인의 피폭기간의 차이

- ◆ 배수중의 배출관리기준

$$\text{배출관리기준}(Bq/m^3) = \frac{ALI(Bq)}{\text{음료수섭취율}(R; 0.73m^3/yr) \times 20 \times 2} \tag{5}$$

여기서, 20 : 작업자와 일반인의 선량한도 차이(20mSv/1mSv)
 2 : 작업자와 일반인의 선량관산계수의 차이

3. 이차한도 및 유도한도의 비교분석 결과

본 연구에서 도출한 계산결과와 10 CFR part 20 및 과기부고시 제98-12호의 수치간의 비교를 수행하였다. 작업자의 이차한도 및 유도한도에 대한 비교를 수행하였고, 배기중 또는 배수중의 배출관리기준에 대한 비교도 수행하였다. 본 연구에서 유도한 수치는 ICRP-2 및 ICRP-6에 근거한

과기부 고시에 제시된 수치와 ICRP-26 및 ICRP-30에 근거한 10 CFR part 20의 수치와는 많은 차이가 있다. 그렇지만, 체계적인 유도한도의 비교는 여러 가지 요인들로 인하여 매우 어렵다. 일례로, 흡입된 방사성물질의 화학적 형태가 ICRP-2에서는 용해성(soluble) 및 불용성(Insoluble)으로 구분되었고, ICRP-30에서는 심폐(pulmonary)에서의 잔류기간별로 D(day), W(week), Y(Year)로 구분하였다. 한편, BSS-96의 기술적 근거인 ICRP-66에서는 호흡기에서 혈액으로 흡수되는 정도에 근거하여 F(Fast), M(Moderate), S(Slow)로 구분하였다. 그 이외에도 많은 인자들이 유도한도의 차이를 야기하였다.

유도한도의 비교분석에는 다음과 같은 기본사항이 고려되었다.

- 과기부 고시 제98-12호의 기술적 근거인 ICRP-2 및 ICRP-6의 유도한도는 최대허용농도(MPC)로 제시되며, 10CFR part 20의 기술적 근거인 ICRP-30은 ALI 및 DAC으로 제시된다. BSS-96의 경우도 ICRP-30과 같은 용어를 적용한다. 개념에 있어서 다소간의 차이는 있지만 유도공기중농도와 최대허용농도를 비교하였다.
- 흡입경로 : 용해성인 최대허용농도는 제거성분류 D 또는 F와 비교하였으며, 제거성분류 D 또는 F의 유도공기중농도가 제시되지 않은 핵종은 제거성분류 W 또는 M과 비교하였다. 제거성분류 Y 또는 S와 용해성 최대허용농도의 비교는 적합하지 않는 바, 이를 고려하지는 않았다. 불용성인 최대허용농도는 제거성분류 Y 또는 S와 비교하였다. 제거성분류 Y의 유도공기중농도가 제시되지 않은 핵종은 제거성분류 W 또는 M과 비교하였다. 다만, 제거성분류 W 또는 M의 유도공기중농도는 용해성 최대허용농도와 비교하지 않은 경우에만 비교가 가능하다.
- 섭취경로 : 수중 최대허용농도와 연간섭취한도(섭취)를 직접적으로 비교할 수 없기 때문에 작업자의 연간 음료수 섭취율에 근거하여 최대허용농도를 ALI와 같은 단위로 변환하였다. 작업자가 매일 1.1 L/day의 음료수를 섭취하므로 연간섭취한도는 『50주/년×5일/주×1100cm³/일×MPC』와 같이 계산할 수 있다. 10 CFR part 20 및 BSS-96의 섭취경로에 적용된 β 값이 하나인 경우, 최대허용농도중 보수적인 수치와 비교하였고, 두 개 또는 그 이상인 경우에는 β 값이 큰 것을 용해성 최대허용농도와 비교하였으며 작은 것을 불용성 최대허용농도와 비교하였다.

흡입경로 및 경구섭취 경로에 대한 비교자료의 일부가 표 2 및 표 3에 제시되어 있다. 본 연구에서 도출한 이차한도 및 유도한도는 작업자 및 일반인에 대한 선량한도의 하향조정, 호흡기모델 및 신진대사모델의 변경에 따라 과기부 장관고시 제98-12호에 비해 전반적으로 작은 값(보수적인 경향)을 보였으며, 특히, 핵주기시설의 중요 핵종인 우라늄(U-235, U-238 등)의 경우, 섭취선량환산계수 등의 변경에 따라 배수중의 배출관리기준이 과기부 장관고시 제98-12호에 비해 order of 2 정도 작은 값(보수적인 경향)을 보였다. 따라서, 동 수치를 원자력시설에 적용할 경우, 핵주기시설의 방출관리를 보다 강화하기 위한 운전조치를 수행하여야 할 것으로 판단된다.

10 CFR part 20과 비교하면, 본 연구에서 유도한 배출관리기준이 대체적으로 factor of 2 정도의 범위 이내에 있으며, 표 2 및 표 3에 제시된 주요 관심핵종은 오히려 10 CFR part 20이 작은 값을 알 수 있다. 작업자에 대하여는 10 CFR part 20에 비해 선량한도가 2.5배 작은 값을 적용하였기 때문에, 본 연구에서 유도한 ALI/DAC값이 대체적으로 보수적이었다. 이것은 선량한도의 하향조정에 따라 발생한 것으로 작업관리(특히, 호흡방호장구의 착용 등)의 강화가 필요할 것으로 판단된다. 삼중수소, 방사성 요오드 등은 다양한 원소, 입자, 유기형 등과 같은 다양한 화학형태별로 제시되어 있기 때문에 10 CFR part 20과의 비교에 어려운 점이 있으며, 현장 적용시에도 화학형태에 대한 사전조사 또는 보수적인 수치의 적용 등을 사전에 강구하여 적용하여야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 소수점 이하를 반올림하여 유도한도(안)를 표기하였다. 유효숫자의 처리에 있어

소수점이하 둘째 자리는 최대 5%의 오차범위에 속하므로 크게 문제되지 않을 수 있으나, 소수점이하 첫째자리 이하를 반올림하거나 무시할 경우에는 최대 40%의 과대 효과 (예 : 1.4E+5를 1E+5으로 기재할 경우)와 최대 25%의 과소 효과 (예 : 1.5E+5를 2E+5으로 기재할 경우)를 갖는다. 10 CFR part 20 및 과기부고시 제98-12호도 동일한 방법으로 소수점 이하를 반올림한 것인바, 유도한도의 비교에 있어서 실제 계산결과(소수점 이하 첫째자리)가 비슷한 경우라도 반올림의 결과로 factor of 2 정도의 오차가 발생할 수 있다. 따라서, 각 유도한도에 대한 비교를 수행할 경우에는 이 점을 유의하여야 한다.

4. 결론 및 논의

본 연구에서는 ICRP, IAEA 및 EU 등에서 권고하고 있는 선량한도 및 예탁유효선량관산계수를 사용하여 ICRP-60 체계에 근거한 이차한도 및 유도한도를 도출하였다. 또한, 도출한 이차한도 및 유도한도를 원자력 사업장에 적용할 경우의 영향을 분석하기 위하여, 미국의 10 CFR part 20 및 현행 과기부 장관고시 제98-12호에 제시된 값과의 비교분석을 수행하였다. 비교분석 결과, 본 연구에서 도출한 이차한도 및 유도한도가 작업자 및 일반인에 대한 선량한도의 하향조정, 호흡기모델 및 신진대사모델의 변경에 따라 전반적으로 작은 값(보수적인 경향)을 보였으며, 특히, 핵주기 시설의 중요 핵종인 우라늄(U-235, U-238)의 경우, 섭취선량관산계수 등의 변경에 따라 배수중의 배출관리기준이 order of 2 정도 작은 값을 보였다.

이차한도 및 유도한도는 작업장 및 환경모니터링에 적용되는 값으로 구체적으로는 방사선관리구역내 관리설비의 ALARA 설계, 작업장내 내부피폭 계산, 방사선작업 관리, 작업장 및 환경상 위해방지를 위한 공기중/수중 방사능농도 제한, 유출물 방사선감시기의 경보설정치 등에 유용하게 적용된다. 유도한도가 기본적으로 1차 선량한도에 기초하기 때문에, 유도한도가 보수적으로 강화되었다는 분석은 곧 1차 선량한도에 의한 영향으로도 볼 수 있다. 이미 과기부고시 제98-12호가 ICRP-60의 유효선량 개념에 근거하여 발효중에 있는 바, ICRP-2에 근거한 MPC의 개념을 ICRP-60 체계에 근거한 ALI, DAC 및 배출관리기준으로 대체하여야 할 것이다.

참고 문헌

1. KINS/GR-124/V.II, '방사선방호 신개념의 제도화를 위한 연구', 1998
2. 장시영 등, 제4회 원자력안전기술정보회의 보문집, 1998
- 'ICRP-60 제도화 이후의 후속조치 관련 발표자료'
3. ICRP 보고서
- ICRP Publication No. 2, 23, 30, 32, 60, 61, 65, 66, 67, 68, 69, 71, 72
4. 과기부장관 고시 제98-12호 '방사선량등을 정하는 기준', 1998
5. 10 CFR part 20 'Standards for Protection Against Radiation', 1991
6. Official Journal of the European Communities(Council Directive 96/29/Euratom), 1996
7. Safety Series 115, 'International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources', 1996

표 2. 흡입경로에 대한 이차한도 및 유도한도 비교

핵종	BSS-96에 근거한 유도치				10 CFR part 20				확기주 고시 제98-12호			작업자에 대한 비율			일반인에 대한 비율		
	화학적 형태	연간설계한도 (DCI)	유도공기중 농도 (DCI/cc)	배기중 배출관리기준 (DCI/cc)	화학적 형태	연간설계한도 (DCI)	유도공기중 농도 (DCI/cc)	배기중 배출관리기준 (DCI/cc)	화학적 형태	작업자에 최대허용농도 (DCI/cc)	일반인의 최대허용 농도 (DCI/cc)	JOCFR20(유도한도[안])	확기주 고시/ 유도한도[안]	확기주 고시/ JOCFR20	JOCFR20(유도한도[안])	확기주 고시/ 유도한도[안]	확기주 고시/ JOCFR20
H-3	G HTO(여수 흡수)	3E+04	8E-06	8E-08	G HTO(여수 흡수)	2E+04	2E-05	1E-07	S	1E-05	4E-07	25	1.3	0.5	1.3	5.0	4.0
	G, OBT	1E+04	5E-06	5E-08													
	G, 철소형	3E+08	1E-01	1E-03													
	G, 미안화 결합	3E+06	1E-03	1E-05													
C-14	G, 증기	9E+02	4E-07	3E-09					S	4E-06	1E-07		100			33.0	
	G, 이산화물	9E+04	4E-05	3E-07	G, 이산화물	2E+05	9E-05	3E-07	Submersion	5E-05	1E-06	23	1.3	0.6	1.0	3.3	3.3
	G, 일산화물	7E+05	3E-04	2E-06	G, 일산화물	2E+05	7E-04	2E-06				23			1.0		
Fe-59	F	2E+02	8E-08	6E-10	D	3E+02	1E-07	5E-10	S	1E-07	5E-09	13	1.3	1.0	0.8	8.3	10.0
	M	2E+02	7E-08	6E-10	W	5E+02	2E-07	7E-10	I	5E-08	2E-09	29	0.7	0.3	1.2	3.3	2.9
Co-60	M	8E+01	3E-08	3E-10	W	2E+02	7E-08	2E-10	S	3E-07	1E-08	23	100	4.3	0.7	33.0	50.0
	S	3E+01	1E-08	1E-10	Y	3E+01	1E-08	5E-11	I	9E-09	3E-10	10	0.9	0.9	0.5	3.0	6.0
Xe-133	용광성기체	-	5E-05	6E-07	용광성기체	-	1E-04	5E-07	용광성기체	1E-05	3E-07	2.0	0.2	0.1	0.8	0.5	0.6
I-131	F	5E+01	2E-08	2E-10	D	5E+01	2E-08	2E-10	S	9E-09	1E-10	10	0.5	0.5	1.0	0.5	0.5
	G, 철소형	3E+01	1E-08	9E-11													
	G, 메틸화합물	4E+01	2E-08	1E-10													
U-235	F	9E-01	4E-10	3E-12	D	1E+01	6E-10	3E-12	S	5E-10	2E-11	15	1.3	0.8	1.0	6.7	6.7
	M	3E-01	1E-10	1E-12	W	8E-01	3E-10	1E-12				30			1.0		
	S	9E-02	4E-11	3E-13	Y	4E-02	2E-11	6E-14	I	1E-10	4E-12	05	25	5.0	0.2	13.3	66.6
U-238	F	9E-01	4E-10	3E-12	D	1E+01	6E-10	3E-12	S	7E-11	3E-12	15	0.2	0.1	1.0	1.0	1.0
	M	3E-01	1E-10	1E-12	W	8E-01	3E-10	1E-12				30			1.0		
	S	9E-02	4E-11	3E-13	Y	4E-02	2E-11	6E-14	I	1E-10	5E-12	05	25	5.0	0.2	16.6	88.3

표 3. 경구섭취 경로에 대한 이차한도 및 유도한도 비교

핵종	BSS-96에 근거한 유도치			10 CFR part 20			확기주 고시 제98-12호				작업자에 대한 비율			일반인에 대한 비율		
	화학적 형태	연간섭취한도 (DCI)	배수층 배출관리기준 (DCI _{acc})	화학적 형태	연간섭취한도 (DCI)	배수층 배출관리기준 (DCI _{acc})	화학적 형태	작업자의 최대허용농도 (DCI _{acc})	일반인의 최대허용농도 (DCI _{acc})	연간섭취 한도 (DCI)	JOCFR20/유 도한도(만)	확기주 고시/ 유도한도(만)	확기주 고시/ JOCFR20	JOCFR20/유 도한도(만)	확기주 고시/ 유도한도(만)	확기주 고시 /JOCFR20
H-3	HTO	3E+04	1E-03	HTO	8E+04	1E-03	S	2E-01	6E-03	6E+04	27	2.0	0.8	1.0	6.0	6.0
	OBT	1E+04	4E-04													
C-14	표지유기화합물	9E+02	3E-05	표지유기화합물	2E+03	3E-05	S	2E-02	8E-04	6E+03	22	6.7	3.0	1.0	26.7	26.7
Fe-59	모든 화합물	3E+02	1E-05	D	8E+02	1E-05	I	2E-03	5E-05	6E+02	27	2.0	0.8	1.0	5.0	5.0
Co-60	기타	2E+02	5E-06	W	5E+02	3E-06	S	1E-03	5E-05	3E+02	25	1.5	0.6	0.6	10.0	16.6
	모든 화합물															
	산화물, 수산화물, 유기화합물	2E+02	7E-06	Y	2E+02		I	1E-03	3E-05	3E+02	10	1.5	1.5	0.4	4.3	10.0
I-131	모든 화합물	2E+01	8E-07	D	3E+01	1E-06	S	6E-05	3E-07	2E+01	15	1.0	0.7	1.3	0.4	0.3
U-235	기타	1E+01	4E-07	D	1E+01	3E-07	S	8E-04	3E-05	2E+02	10	200	200	0.8	75.0	100.0
	대부분의 4가 화합물	7E+01	2E-06				I	8E-04	3E-05	2E+02		2.9			15.0	
U-238	기타	1E+01	4E-07	D	1E+01	3E-07	S	1E-03	4E-05	3E+02	10	300	300	0.8	100.0	133.3
	대부분의 4가 화합물	7E+01	2E-06	W			I	1E-03	4E-05	3E+02		4.3			20.0	