

## Emergency Environmental Monitoring for the Decision-Aiding on Public Protective Actions during a Nuclear Accident

Yongho Choi · Geunsik Choi · Moonhee Han ·  
Hansoo Lee · Changwoo lee  
Korea Atomic Energy Research Institute

## 원자력 사고시 주민 보호조치 결정 지원을 위한 비상 환경감시

최용호 · 최근식 · 한문희 · 이한수 · 이창우  
한국원자력연구소

(2004년 12월 17일 접수, 2005년 7월 28일 채택)

**Abstract** - In a nuclear emergency, protective actions for the public should be taken in time. It is internationally proposed that generic intervention levels (GILs) and generic action levels, determined based on cost-benefit analyses, be used as the decision criteria for protective actions. Operational intervention levels (OILs) are directly or easily measurable quantities corresponding to these generic levels. To assess the necessity of protective actions in a nuclear emergency, it is important that the environmental monitoring data required for applying and revising OILs should be promptly produced. It is discussed what and how to do for this task in the course of the emergency response. For an emergency environmental monitoring to be performed effectively, a thorough preparedness has to be made including maintenance of the organization and equipments, establishment of various procedure manuals, development of a supporting computer system and periodical training and exercises. It is pointed out that Korean legal provisions concerning GILs and OILs need to be amended or newly established.

**key words** : nuclear emergency, protective action, environmental monitoring, intervention level

**요약** - 원자력 사고로 인한 비상시에는 적기에 주민 보호조치를 취해야 한다. 주민 보호조치에 대한 결정기준은 국제적으로 비용-이득 분석에 의해 산정된 일반개입준위와 일반조치준위를 사용하도록 제안되어 있다. 운영개입준위는 이러한 일반준위를 직접 또는 쉽게 측정할 수 있는 물리량으로 나타낸 것이다. 비상시 보호조치의 필요성을 판단하기 위해서는 운영개입준위를 적용하고 수정하는 데 요구되는 환경감시 자료를 신속히 생산하는 것이 중요하다. 비상대응의 일환으로서 이를 위해 무슨 일들이 어떻게 수행되어야 하는지 고찰하였다. 비상시 환경감시를 효과적으로 수행하기 위해서는 평상시에 조직과 설비의 유지·관리, 각종 절차 수립, 지원용 전산체계 개발, 주기적인 교육과 훈련 등 철저한 준비가 필요하다. 일반개입준위와 운영개입준위에 관한 우리나라의 규정이 보완 또는 신설될 필요가 있음이 지적되었다.

중심어 : 원자력 비상, 보호조치, 환경감시, 개입준위

## 서 론

원자력 발전소의 사고로 인하여 일시에 다량의 방사성 물질이 대기중으로 방출되거나 그럴 것으로 예상되는 경우에는 주민의 방사선 피폭선량을 신속히 평가하여 적기에 적절한 보호조치를 취해야 한다. 비상시에는 일차적으로 예측모델을 이용하여 주민의 피폭선량을 사전에 신속히 예측할 필요가 있다. 그러나 모델에 의한 예측은 비교적 불확실성이 크므로 예측결과를 검토·수정하고 보호조치에 관한 의사결정에 필요한 실제적인 정보를 제공하기 위하여 반드시 환경방사선 및 방사능에 대한 실측이 수행되어야 한다[1-3].

IAEA[1,3-5]와 ICRP[6]는 원자력 사고시 방사선 방호활동은 방사선 개입준위에 의거하여 수행토록 권고하고 있다. 개입준위는 통상 일반개입준위와 운영개입준위로 나누어진다. 일반개입준위는 개입을 통하여 회피할 수 있는 피폭선량, 즉 회피선량이 그 이상이어야 함을 나타내고 운영개입준위는 일반개입준위를 실측할 수 있는 물리량으로 환산한 것이다. 음식물에 대해서는 일반조치준위가 핵종군별 식품내 농도로 주어져 있고 또한 이에 대한 운영개입준위가 보다 신속·용이하게 측정될 수 있는 물리량으로 주어져 있다. 비상시 환경방사선(능) 측정치가 이러한 운영개입준위 이상일 경우 대체적으로 보호조치의 정당화 및 최적화가 이루어 질 수 있다고 보는 것이다.

과거에 우리나라에서는 예상피폭선량(아무런 조치를 취하지 않을 경우 받을 것으로 예상되는 피폭선량)으로 나타낸 육내대피 및 소개 기준과 음식물내  $^{131}\text{I}$ 농도로 나타낸 섭취제한 기준을 사용하였다[7,8]. 그러나 이것은 근거도 모호할 뿐 아니라 상기와 같은 국제적인 기본원칙에도 맞지 않으므로 최근에 한국원자력안전기술원(KINS)이 회피선량에 입각한 일반개입준위(또는 일반조치준위)와 운영개입준위를 설정, 제안한 바 있다[8]. 한편, 운영개입준위는 본질적으로 환경에서의 핵종 존재비에 따라 달라져야 하므로 대표적인 존재비에 입각하여 설정된 초기운영개입준위는 비상시 환경감시 결과에 따라 수정되어야 한다[1,3].

우리나라의 '원자력시설 등의 방호 및 방사능 방재 대책법 시행규칙'[9]에는 긴급 주민보호조치 결정기준으로서 IAEA 및 KINS의 일반개입준위와 똑 같은 값이 제시되어 있으나 그것이 회피선량인지에 대해서는 명시되어 있지 않다. 그러나 동 규칙의 하위 법규인 '원자력사업자의 방사선비상계획 수립 등에 관한 기준'[10]에는 예상피폭선

량에 관련된 규정만 있을 뿐 회피선량에 대한 언급은 일절 없으므로 상기 결정기준을 예상피폭선량으로 볼 수밖에 없게 되어 있다. 따라서 동 규칙에 결정기준은 회피선량이라는 명문규정이 포함되고 이에 따라 동 고시에도 회피선량에 관한 규정은 물론 운영개입준위의 적용과 수정에 관한 사항까지 포함되도록 개정할 필요가 있다. 본 연구에서는 이와 같은 필요성을 염두에 두고 논의를 진행하고자 한다.

위에서 본 바와 같이 원자력 비상시에는 운영개입준위를 적용하고 수정하는 데 필요한 각종 측정 및 분석 정보를 신속히 제공하기 위한 환경감시가 이루어져야 한다. 본 연구에서는 비상시 환경감시 결과가 운영개입준위를 운용하는 데 어떻게 이용되는지 살펴보고 이에 따라 비상시 환경감시가 어떠한 내용과 형태로 이루어져야 하며 이를 위해 평상시에 어떠한 대비태세를 갖추고 있어야 할 것인지 고찰해 보고자 한다. 본 연구의 범위는 원자로 사고로 인한 비상시 육상 환경방사선(능)에 대한 감시에 국한한다.

## 비상시 개입준위

### 1. 심각한 결정적 건강영향 예방을 위한 개입준위

IAEA[3-5,11]는 심각한 결정적 건강 영향을 방지하기 위하여 어떠한 상황에서도 긴급한 개입이 이루어져야 될 피폭선량으로서 표 1과 같은 기준을 정해놓고 있다. 여기서 기준 선량은 예상피폭선량으로서 그 이하에서는 통상적으로 심각한 결정적 영향이 나타나지 않는 준위이나 방사선 고위험군(예: 비건강자)에 대해서는 보다 낮은 값이 적절할 수 있다[4].

표 1과 비교될 예상피폭선량은 사고방출 전 또는 방출개시 직후에 시설에서의 제조건 및 기상정보 등에 입각하여 계산되는 것으로 표 1을 초과하면 보호조치에 의해 상황이 더 악화되지 않는 한 어떤 경우에라도 긴급히 소개와 같은 보호조치를 취해야 한다[1,3,4,11]. 그러나 예상피폭선량 예측에는 비교적 큰 불확실성이 따르므로 IAEA[1,3]는 환경방사선(능) 측정결과가 얻어지는 대로 이에 입각하여 긴급 보호조치의 타당성을 검토하고 필요한 경우에는 변경할 것을 요구하고 있다.

한편, IAEA[3]는 사고로 시설 내의 상황이 심각하여 일반비상(General Emergency, 우리나라의

Table 1. IAEA dose levels at which intervention is expected to be undertaken under any circumstances.

Organ or tissue	Action level of dose (Gy) <sup>a</sup>	
	Dose type A <sup>b</sup>	Dose type B <sup>c</sup>
Whole body (bone marrow)	1	-
Lung	6	25
Skin	3	-
Thyroid	5	-
Lens of the eye	2	-
Gonads	3	-
Fetus	0.1	-

Source : [3-5,11]

<sup>a</sup> applicable to a population characterized by a typical age and sex distribution[4,11]

<sup>b</sup> projected absorbed dose from low LET radiation in less than two days[3]

<sup>c</sup> projected absorbed dose delivered over one year from inhalation of high LET radiation[3].

Table 2. IAEA generic intervention levels for urgent protective actions.

Protective action	Generic intervention level <sup>a</sup>
Sheltering <sup>b</sup>	10 mSv <sup>d</sup>
Evacuation <sup>c</sup>	50 mSv <sup>d</sup>
Iodine prophylaxis	100 mGy <sup>e</sup>

Source : [1,3-5]

<sup>a</sup> avertable doses averaged over suitably chosen samples of the population

<sup>b</sup> to last not longer than 2 days

<sup>c</sup> to last not longer than 7 days

<sup>d</sup> committed effective dose

<sup>e</sup> committed absorbed dose to the thyroid due to radioiodine

<sup>f</sup> For practical reasons, one intervention level is recommended for all age groups.

적색비상과 유사)이 발령된 경우에는 예방조치구역(Precautionary Action Zone, 부지 경계 최인근 외곽 지역으로서 우리나라의 경우 방사선비상계획구역 내 부지 쪽 지역에 해당함)내 주민들의 심각한 결정적 건강장해를 방지하기 위하여 즉시 보호조를 취해야 하며 이와 같은 것은 사고방출이 일어나기 전에 실행되어야 최대의 효과를 얻을 수 있음을 강조하고 있다.

우리나라의 경우 사고시 결정적 건강영향 예방과 관련한 명시적인 법 규정이 없다. 조기사망, 영구불임, 갑상선 기능저하와 같은 심각한 결정적 영향은 최대한 방지해야 하므로 우리나라에서도 하루빨리 이에 대한 기준을 설정하여 법규화 할 필요가 있다고 본다.

## 2. 일반개입준위 및 일반조치준위

IAEA[1,3-5,11]가 설정한 일반개입준위(Generic Intervention Level, GIL)는 특정 보호조치에 대해서 그것의 실행으로 달성되어야 할 최소 희피선

량으로 주어져 있다. 일반개입준위는 크게 긴급 주민 보호조치에 대한 일반개입준위(표 2)와 장기적인 보호조치에 대한 일반개입준위(표 3)로 나누어진다. 이것들은 보호조치를 실행하는 데 드는 비용과 피폭선량의 금전가에 입각한 비용-이득 분석에 의하여 결정된 것이다. 음식물에 대해서는 일반개입준위에 대응되는 것으로 일반조치준위(Generic Action Level, GAL)가 제안되어 있다(표 4). 우리나라의 한국원자력안전기술원(KINS)이 제안한 일반개입준위와 일반조치준위는 각각 표 5 및 6과 같다[8]. 이상과 같은 일반준위들은 확률적 건강 영향을 합당한 정도로 낮추기 위한 것으로 특히 표 2의 경우 심각한 결정적 영향이 방지될 수 있어야 한다는 원칙에도 부합한다[4].

보호조치 실행 비용과 선량의 금전가는 사회·경제적 여건에 따라 다르므로 결정 기준치는 나라마다 차이가 있을 수 있다. 그러나 보호조치 비용과 선량의 금전가는 둘 다 대략 국민소득과 비례하므로 기준치의 국가 간 차이는 그렇게 크지

Table 3. IAEA generic intervention levels for longer term protective actions.

Protective action	Generic intervention level <sup>a</sup>
Temporary relocation	Initiate at 30 mSv for 30 days (1st month) Terminate at 10 mSv for 30 days (Subsequent months) <sup>b</sup>
Permanent resettlement	1 Sv for lifetime (50-70 years)

Source : [1,3,4,11]

<sup>a</sup> to be compared with the mean per caput avertable committed effective dose involving all the exposure routes usually except food and water ingestion[4,11].

<sup>b</sup> Termination is warranted provided the total life time dose to any member of the population will be less than 1 Sv[3].

Table 4. IAEA generic action levels for foodstuffs.

Food type	Group of radionuclides		Generic action level <sup>a</sup>
Foods for general consumption	G 1	$^{134}\text{Cs}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{131}\text{I}$ , $^{103}\text{Ru}$ , $^{106}\text{Ru}$ , $^{89}\text{Sr}$	1 kBq kg <sup>-1</sup>
	G 2	$^{90}\text{Sr}$	0.1 kBq kg <sup>-1</sup>
	G 3 <sup>b</sup>	$^{241}\text{Am}$ , $^{238}\text{Pu}$ , $^{239}\text{Pu}$ , $^{240}\text{Pu}$ , $^{242}\text{Pu}$	0.01 kBq kg <sup>-1</sup>
Milk, infant food and drinking water	G 4	$^{134}\text{Cs}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{103}\text{Ru}$ , $^{106}\text{Ru}$ , $^{89}\text{Sr}$	1 kBq kg <sup>-1</sup>
	G 5	$^{131}\text{I}$ , $^{90}\text{Sr}$	0.1 kBq kg <sup>-1</sup>
	G 6 <sup>b</sup>	$^{241}\text{Am}$ , $^{238}\text{Pu}$ , $^{239}\text{Pu}$ , $^{240}\text{Pu}$ , $^{242}\text{Pu}$	0.001 kBq kg <sup>-1</sup>

Source : [1,3-5,11]

<sup>a</sup> to be compared independently with the sum of the activities of the radionuclides in each group

<sup>a</sup> for foods prepared for immediate consumption and for the 1st year after a nuclear emergency

<sup>a</sup> Where alternative food supplies are not readily available, higher levels (up to 50 and 10 times higher for the 1st week and the 1st month, respectively[1]) can apply.

<sup>a</sup> The levels 10 times higher than these can be considered for the foods that are consumed in small quantities, such as spices[1,3,11].

<sup>b</sup> These groups need not be considered for LWR reactor accidents[1].

는 않을 것으로 예상된다. 우리나라의 경우 KINS가 제안한 일반개입준위는 전적으로 IAEA와 일치하고 있으나 음식물에 대한 일반조치준위는 두 기관 간에 다소 차이가 있다. 이것은 KINS가 식품 유형을 보다 세분화하였고 또한 일반적 소비 식품에 있어서는  $^{131}\text{I}$ 이 속하는 핵종그룹을 IAEA 와 달리 한 데 크게 기인하는 것으로 보인다(표 4 및 6 참조). 그러나 유아식품에서 KINS의 기준치가 IAEA에 비해 10 배나 낮은 것은 우리나라의 유아식품 값이 국민소득에 비해 크게 낮아야 가능할 것으로 판단된다. 한편, 물의 경우 IAEA[4] 는 일반적인 기준치를 설정하는 것이 매우 어렵다고 하면서 실용적 이유로 식수에 대해서도 우유 및 유아식품과 동일한 일반조치준위를 적용한다고 하였다.

KINS의 일반개입준위에 관한 연구결과도 IAEA

의 원칙과 방법에 따른 것이므로 표 2~4의 각주들은 표 5와 6에도 거의 그대로 적용되어야 할 것이다. 또한 대피 기간이 2 일보다 짧거나 다른 보호조치(예: 소개 또는 안정옥소제 투여)를 용이하게 수행하기 위해서라면 10 mSv보다 낮은 일반개입준위를 적용할 수 있으며 소개의 경우에도 기간이 7 일보다 짧거나 소개가 신속하고 쉽게 이루어질 수 있다면(예: 소집단) 50 mSv보다 낮은 준위를 적용할 수 있고 반대로 소개하기가 어려운 상황에서는(예: 대집단, 운송수단 부족) 그보다 높은 준위를 적용할 수 있다[4,8,11]. 일시이주의 경우 IAEA[4]는 1년 정도를 상한으로 하고 이보다 긴 기간이 필요할 것으로 예상되면 영구 재정착을 실시해야 하는 것으로 보고 있다.

비상시에는 보호조치를 실행하기 전에 피폭이 시작되는 경우도 있을 수 있다. 이 때 비용-이득

Table 5. Generic intervention levels recommended by the KINS.

Protective measure	Generic intervention level	Effective range
Sheltering	10 mSv	3-10 mSv
Evacuation	50 mSv	25-100 mSv
Iodine prophylaxis	100 mGy	-
Temporary relocation	30 mSv / 1st month 10 mSv / subsequent month	10-80 mSv / 1st month 5-40 mSv / subsequent m.
Permanent resettlement	1 Sv / lifetime (70 years)	500-3,000 mSv / lifetime

Source : KINS/HR-448/SUP [8]

Table 6. Generic action levels for foodstuffs recommended by the KINS.

Group of radionuclides		Generic action level ( $\text{Bq kg}^{-1}$ or $\text{Bq L}^{-1}$ )			
		Meat, fish and cereals	Vegetable and fruit	Water and milk	Infant food
G 1	$^{134}\text{Cs}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{103}\text{Ru}$ , $^{106}\text{Ru}$ , $^{89}\text{Sr}$	2,000	1,000	200	100
G 2	$^{131}\text{I}$ , $^{90}\text{Sr}$	1,000	500	100	10
G 3	$^{241}\text{Am}$ , $^{238}\text{Pu}$ , $^{239}\text{Pu}$ , $^{240}\text{Pu}$ , $^{242}\text{Pu}$	10	10	10	1
G 4	$^3\text{H}$			100,000	

Source : KINS/HR-448/SUP [8]

분석의 대상은 보호조치를 실행함으로써 앞으로 회피할 수 있는 선량이지 이미 받은 선량은 포함되지 않는다[4,8]. 서론에서도 언급한 바와 같이 우리나라의 결정기준도 회피선량임이 명백해 보이므로 이에 따라 관련 법규를 수정·보완하는 것이 필요하다고 판단된다.

### 3. 운영개입준위

선량으로 표현된 일반개입준위 대신에 선량을 과 같이 현장에서 직접 손쉽게 측정할 수 있는 물리량으로 개입준위를 설정하면 비상시 신속하고 효과적인 의사결정에 도움이 될 것이다. 음식물에 대해서도 표 4나 6에 명시된 모든 핵종의 농도 대신에 표시핵종(marker isotope, 대표적인 것으로  $^{131}\text{I}$  및  $^{137}\text{Cs}$ )의 농도로 기준치를 나타내면 편리할 것이다. 이와 같이 일반개입준위 또는 일반조치준위를 직접 측정할 수 있는 물리량이나 분석이 용이한 대표핵종에 대한 값으로 환산한 것이 운영개입준위(Operational Intervention Level, OIL)이다[1,8,11]. 즉 일반개입준위의 실제적 적용을 위하여 비상시에 신속히 측정할 수 있는 물리량으로 표시한 것이 운영개입준위이다.

IAEA[1]는 비상시 우선 사용할 목적으로 원전 사고(주로 경수로의 노심손상 사고)시 핵종의 대

표적인 존재비에 입각하여 운영개입준위에 대한 일반치(default value)를 도출·권고하고 있다. 사고시 핵종의 방출 특성에 따른 환경에서의 핵종 존재비는 원전의 종류, 가동이력 및 사고유형 등에 따라 다르므로 운영개입준위도 달라져야 한다. IAEA가 일반치로 권고한 운영개입준위와 우리나라의 KINS[8]가 제안한 값을 비교한 것은 표 7과 같다. 선량율로 표시한 운영개입준위는 서로 동일하다. 이것은 KINS가 IAEA의 절차를 표준적인 것으로 보고 거의 그대로 채택한 결과이다. 한편, 식품에 대한 운영개입준위는 IAEA와 우리나라 간에 차이가 있다. 이것은 식품에 대한 일반조치 준위가 다른 데 따른 당연한 결과이다.

표 7에 주어진 운영개입준위는 보다 자세한 측정이 이루어져 수정하기 전까지 적용하게 될 초기운영개입준위에 해당한다. 여기서도 IAEA 값에 대한 각주들은 KINS의 값에도 해당된다고 보아야 할 것이다. 비상시에 초기운영개입준위를 적기에 적용하기 위해서는 사고 방출 직후에 공간방사선량율을 신속히 측정하고 방사성 플루통과 완료 직후에는 공간방사선량율을 신속히 측정한 다음 표시핵종의 지표침적 농도와 식품내 농도를 신속히 측정해야 한다.

Table 7. Default operational intervention levels recommended by the IAEA and KINS.

Operational quantity	OIL No.	Default criteria		Protective action
		IAEA	KINS	
Ambient dose rate in plume	OIL1	1 mSv h <sup>-1</sup> <sup>a</sup>	1 mSv h <sup>-1</sup>	Evacuation or substantial shelter <sup>b</sup>
	OIL2	0.1 mSv h <sup>-1</sup>	0.1 mSv h <sup>-1</sup>	Iodine prophylaxis and sheltering <sup>c</sup>
Ambient dose rate from deposition	OIL3	1 mSv h <sup>-1</sup>	1 mSv h <sup>-1</sup>	Evacuation or substantial shelter <sup>b</sup>
	OIL4	0.2 mSv h <sup>-1</sup> <sup>d</sup>	0.2 mSv h <sup>-1</sup>	Relocation
	OIL5	1 μSv h <sup>-1</sup>	1 μSv h <sup>-1</sup>	Temporary restriction on food consumption prior to the sample evaluation
Ground deposition level ( <sup>131</sup> I / <sup>137</sup> Cs)	-	General food(F)	Milk (M)	
	OIL6	10 kBq m <sup>-2</sup> <sup>e</sup>	2 kBq m <sup>-2</sup> <sup>e</sup>	
	OIL7	2 kBq m <sup>-2</sup> <sup>e</sup>	10 kBq m <sup>-2</sup> <sup>e</sup>	
Concentration <sup>f</sup> in food ( <sup>131</sup> I / <sup>137</sup> Cs)	-	General food(F)	Milk&water(M)	General food(F) <sup>h</sup>
	OIL8	1 kBq kg <sup>-1</sup> <sup>g</sup>	0.1 kBq kg <sup>-1</sup> <sup>g</sup>	0.01 kBq kg <sup>-1</sup>
	OIL9	0.2 kBq kg <sup>-1</sup> <sup>g</sup>	0.3 kBq kg <sup>-1</sup> <sup>g</sup>	0.05 kBq kg <sup>-1</sup>

<sup>a</sup> 10 mSv h<sup>-1</sup> in the case of no indication of core damage<sup>b</sup> Substantial shelter is provided by specially designed shelters or the inside halls or basements of large masonry buildings.<sup>c</sup> to stay indoors monitoring radio and TV with doors and windows closed<sup>d</sup> only for 2-7 days after the accident because it is determined using the isotopic composition at 4 days after the accident.<sup>e</sup> Relocate at a higher level if the relocation will be very disruptive.<sup>f,g</sup> <sup>e,f</sup> <sup>131</sup>I for OIL6 and OIL8 and <sup>137</sup>Cs for OIL7 and OIL9<sup>g</sup> Higher OILs should be used if food is scarce or if food is processed before consumption (e.g. washed or peeled).<sup>f,g</sup> OIL8(F) and OIL8(M) assumed that <sup>131</sup>I is dominating (100%) early in accident (within 1-2 months after shutdown) so they are equal to the GALs for the <sup>131</sup>I concentration. OIL9(F) and OIL9(M) assumed that <sup>137</sup>Cs is controlling (20% for Group 1 and 30% for Group 4) without any iodine > 2 months after shutdown.<sup>h</sup> As GALs, 1000 Bq kg<sup>-1</sup> and 2000 Bq kg<sup>-1</sup> were applied for <sup>131</sup>I and <sup>137</sup>Cs, respectively.<sup>i</sup> As GALs, 10 Bq kg<sup>-1</sup> and 100 Bq kg<sup>-1</sup> were applied for <sup>131</sup>I and <sup>137</sup>Cs, respectively.

### 3.1. 운영개입준위의 계산·수정

원자로의 종류나 가동이력 및 사고의 유형에 따라 핵종의 방출비가 다를 뿐 아니라 사고의 진행에 따라 핵종의 방출비가 변하고 방사성 핵종의 봉과와 침적의 계속되므로 대기나 지표면에서의 핵종의 존재비가 변한다. 따라서 비상시에는 대기(플룸 통과중) 및 지표면과 식품(플룸 통과후) 내의 각 핵종 농도를 신속히 측정하여 아래 식들과 같이 운영개입준위를 수정해야 한다[1,8].

#### 3.1.1. OIL1

OIL1(mSv h<sup>-1</sup>)은 소개 또는 고수준 대피(substantial shelter)를 위한 운영개입준위이다.

이것은 방사성 플룸 통과중 공간방사선량률로 운영되며 아래와 같이 계산된다.

$$OIL1 = GIL_{ev} \frac{1}{R_1} \frac{1}{T_e} \quad (1)$$

여기서,

$GIL_{ev}$  : 소개를 위한 일반개입준위 (50 mSv)

$R_1$  : 공간선량률에 대한 총유효선량률의 비 (일반치는 10으로 봄)

$T_e$  : 폐폭 지속시간 (h), 불확실한 경우 4 시간

(풍향이 통상 4 시간마다 변하는 것으로 봄.)

$\Rightarrow R_1$ 은 개별 사고의 특성에 맞는 값으로 대체될

필요가 있으므로 공간선량율과 공기중 핵종 농도가 측정되면 아래와 같이 수정되어야 한다.

$$R_1 = \frac{E_{inh}}{H^*} + 1 \quad (1.1)$$

여기서,

$E_{inh}$  : 흡입에 의한 유효선량률 ( $\text{mSv h}^{-1}$ )

$H^*$  : 공기시료를 채취한 플룸 속에서의 평균 공간선량률( $\text{mSv h}^{-1}$ )

$\Rightarrow E_{inh}$ 는 공기시료 분석결과를 이용하여 다음과 같이 구한다.

$$E_{inh} = \sum_1^n C_{a,i} CF_{1,i} \quad (1.1.1)$$

여기서,

$C_{a,i}$  : 플룸내 핵종  $i$ 의 농도 ( $\text{kBq m}^{-3}$ )

$CF_{1,i}$  : 핵종  $i$ 에 대한 흡입 유효선량률 환산인자 [ $(\text{mSv h}^{-1}) / (\text{kBq m}^{-3})$ ]

식 (1.1.1)에서  $CF_{1,i}$ 은 IAEA[1]가  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  등 약 50 가지 핵종들에 대해서 제시한 값을 사용하면 된다.

KINS[8]의 제안에는 OIL1이 간략히 소개 또는 옥내대피를 위한 것으로만 나타나 있어 어떤 수준의 대피를 말하는 것인지 알 수 없다. IAEA나 KINS 모두 대피를 위한 일반개입준위(GIL<sub>sh</sub>)는 10 mSv로 소개의 20%에 불과하나 대피를 위한 운영개입준위(OIL<sub>sh</sub>)를 별도로 구하지 않고 이에 대해서도 OIL1을 적용하도록 권고하고 있다. 이것은 대피에 따르는 비용과 효과가 소개와 비슷하면 타당할 것이다. IAEA가 특별히 고수준의 대피(substantial shelter)라고 한 것은 일견 이러한 이유에 의한 것으로 볼 수도 있겠다. 그러나 IAEA[1]는 GIL<sub>sh</sub>로 30 mSv를 적용하면 OIL<sub>sh</sub>가 OIL1과 크게 다르지 않고 부분적 실내점유(partial occupancy)까지 고려하면 OIL1보다 높아지므로 소개와 대피 모두 운영개입준위는 OIL1을 사용하는 것으로 하였다. 여기에서 IAEA[1]가 인용한 문헌[5]에서는 GIL<sub>sh</sub> 값으로 30 mSv는 찾아 볼 수 없고 타 문헌에서와 같이 고수준 대피에 대한 특별한 언급없이 10 mSv로만 되어 있으므로 인용과정에서 오류가 있었을 것으로 추정된다. 하지만 고수준 대피(표 7 참조)에 드는 비용은 아래와 같은 저수준 대피에 비해 클 것임은 분명하다.

현재 머무르고 있는 건물이나 가까운 평범한 건물로 대피하여 창문을 닫고 일정 기간 머무르는 수준의 대피는 고수준 대피에 비해 비용이 낮을 것이다. 이러한 저수준 대피에 대해서는 위에서 본 것처럼 10 mSv의 일반개입준위에 대한 운영개입준위를 설정하는 것이 타당할 것으로 본다. 저수준 대피의 방사선 방어효과를 최저 0.5(IAEA [4]에 의하면 대부분의 건물은 사고후 몇 시간 동안은 흡입선량을 2 배 이상 낮출 수 있고 외부피폭은 최고 수십 배 낮출 수 있다고 함.), 최고 1(완전 방어)로 본다면 OIL<sub>sh</sub>는 최고 0.5  $\text{mSv h}^{-1}$ , 최저 0.25  $\text{mSv h}^{-1}$  정도가 될 것이다. 이것은 표 7의 OIL2에 해당하는 것으로 창문을 닫고 실내에 머무르면서 안정육소제를 복용해야 할 준위이다. 한편 저수준 대피의 방어효과가 0.25 이하라면 OIL<sub>sh</sub>는 1  $\text{mSv h}^{-1}$  이상이 되어 소개가 필요한 준위가 된다. 여기서는 또한 방어효과가 낮을수록 보다 큰 잔여선량에 대한 처리 문제도 대두된다. 따라서 OIL<sub>sh</sub>를 별도로 설정하는 것은 실익이 없을 것으로 보인다. 이런 점에서 KINS가 OIL1과 연관시킨 옥내대피는 IAEA의 고수준 대피에 해당하는 것으로 보아야 할 것이다. 그러나 고수준 대피에 대한 일반개입준위로 IAEA가 사용한 30 mSv는 그 출처가 불분명하므로 차후 면밀한 재검토가 필요할 것으로 본다.

식 (1)에서 피폭 지속시간  $T_e$ 는 4 시간에 불과한데 대피 및 소개 기간은 각각 2일 및 7일까지로 한 것(표 2 참조)은 일단 대피 또는 소개가 실시되면 그 기간은 적어도 며칠은 되어야 한다는 것이다. 대피소나 소개지로의 이동, 사고 초기에 따른 후속대책 결정, 복귀 및 복귀후 정상생활 개시 등을 위해서는 상당한 시간이 필요할 것으로 본다. 이 시간을 2일 또는 7일보다 짧게 할 수 있다면 OIL1보다 낮은 준위에서 고수준 대피나 소개가 가능할 것이다.  $T_e$ 가 4 시간보다 길게 예상되는 경우에도 마찬가지이다.

### 3.1.2. OIL2

OIL2( $\text{mSv h}^{-1}$ )는 옥소제 복용을 위한 운영개입준위로서 역시 방사성 플룸 통과중 공간방사선량률로 운영되며 아래와 같이 계산된다.

$$OIL2 = GIL_{thy} \frac{1}{R_2} \frac{1}{T_e} \quad (2)$$

여기서,

$GIL_{thy}$  : 옥소제 복용을 위한 일반개입준위 (베타

및 감마선에 대해서는  $100 \text{ mGy} = 100 \text{ mSv}$

$R_2$  : 공간선량률에 대한 흡입에 의한 갑상선 선량률의 비 (일반치는 200으로 봄)  
 $\Rightarrow R_2$ 는 아래와 같이 계산·수정되어야 한다.

$$R_2 = \frac{H_{thy}}{H^*} \quad (2.1)$$

여기서,

$H_{thy}$  : 흡입에 의한 예탁갑상선선량률 ( $\text{mSv h}^{-1}$ )  
 $\Rightarrow \Rightarrow H_{thy}$ 는 공기시료 분석결과를 이용하여 다음과 같이 구한다.

$$H_{thy} = \sum_{i=1}^n C_{a,i} CF_{2,i} \quad (2.1.1)$$

여기서,

$CF_{2,i}$  : 핵종  $i$ 에 대한 흡입 갑상선선량률 환산인자 [ $(\text{mSv h}^{-1}) / (\text{kBq m}^{-3})$ ]

식 (2.1.1)에서 IAEA[1]는 iodine (I) 동위원소 5 가지와 tellurium (Te) 동위원소 3 가지만 고려의 대상으로 보고 이 8 가지 핵종에 대해서  $CF_{2,i}$  값을 제시하고 있다. 여기서 Te가 포함된 것은 방사성 tellurium의 팔핵종으로 방사성 iodine이 생성되기 때문인 것으로 사료된다. 이런 점에서 표 2의  $GIL_{thy}(100 \text{ mGy})$ 는 방사성 Te에 의한 흡입 갑상선 예탁흡수선량도 포함하는 것으로 보아야 할 것이다.

### 3.1.3. OIL3

OIL3( $\text{mSv h}^{-1}$ )은 방사성 플룸 통과후 소개 또는 고수준 옥내대피를 위한 운영개입준위로서 지표침적으로부터의 공간선량률로 운영되며 아래와 같이 계산된다.

$$OIL3 = GIL_{ev} \frac{1}{F_h} \frac{1}{F_d} \frac{1}{T_e} \quad \text{또는} \quad GIL_{ev} \frac{1}{F_{all}} \frac{1}{T_e} \quad (3)$$

여기서,

$F_h$  : 옥내거주에 따른 저감계수 (일반치 0.5 적용)  
 $F_d$  : 방사능 봉괴에 따른 저감계수 (사고 초기 수 일간은 0.5가 유효)  
 $F_{all}$  : 방사능 봉괴, 옥내거주 등 모든 요인에 따

른 저감계수 (0.25)[1]

$T_e$  : 피폭기간 (소개의 경우 최장 7일(168 h))

식 (3)에서  $F_h$ 는 침적한 방사성 핵종에 의한 피폭에 있어서 옥내거주에 따른 선량 감소율에 해당하고  $F_d$ 는 봉괴하지 않는다고 가정했을 때의 선량에 대한 봉괴를 고려한 선량의 비에 해당한다.

OIL3의 계산에 있어서는 침적한 방사성 물질의 재부유에 의한 흡입선량은 무시하고 외부피폭 선량만 고려한다. 또한 OIL3 값은 사고 초기 수일간 크게 변하지 않으므로 핵종별 농도 측정결과에 의거한 수정절차는 필요치 않다[1,8].

### 3.1.4. OIL4

OIL4( $\text{mSv h}^{-1}$ )는 방사성 핵종의 침적에 의해 오염된 지역으로부터 일시이주를 위한 운영개입준위로서 역시 지표침적으로부터의 공간선량률로 운영되며 아래와 같이 계산된다.

$$OIL4 = GIL_{rel} WR \frac{1}{(SF \times OF) + (1 - OF)} \quad (4)$$

여기서,

$GIL_{rel}$  : 일시이주를 위한 일반개입준위 ( $\text{mSv}$ , 표 3 및 5 참조)

$WR$  : 지표침적에 따른 장기간 피폭선량에 대한 공간선량률의 비

$SF$  : 옥내거주지 지표침적에 대한 차폐계수, 즉 실외 선량에 대한 실내 선량의 비 (일반치 0.16 또는 건물별 차폐계수[1])

$OF$  : 점유계수 또는 차폐계수  $SF$ 가 적용되는 기간의 분률, 즉 실내에서 보내는 시간의 분률 (일반치 0.6)

$\Rightarrow WR$ 은 지표 시료 분석결과에 따라 다음과 같이 수정된다.

$$WR = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{g,i} CF_{3,i})}{\sum_{i=1}^n (C_{g,i} CF_{4,i})} \quad (4.1)$$

여기서,

$C_{g,i}$  : 핵종  $i$ 의 지표면 농도 ( $\text{kBq m}^{-2}$ )

$CF_{3,i}$  : 지표침적에 따른 공간방사선량률 환산인자 [ $(\text{mSv h}^{-1}) / (\text{kBq m}^{-2})$ ]

$CF_{4,i}$  : 지표침적에 따른 장기간 피폭선량 환산인자 [ $\text{mSv} / (\text{kBq m}^{-2})$ ]

Table 8. Ambient dose rate and long-term dose conversion factors of selected radionuclides for exposure to ground contamination.

Radionuclide	$CF_3^a$ Ambient dose rate conversion factor [(mSv h <sup>-1</sup> )/(kBq m <sup>-2</sup> )]	$CF_4^b$ Long-term dose conversion factor [mSv/(kBq m <sup>-2</sup> )]		
		1st month	Subsequent month	Lifetime (50 years)
<sup>54</sup> Mn	2.86E-06	1.39E-03	1.23E-03	1.40E-02
<sup>60</sup> Co	8.29E-06	4.15E-03	3.88E-03	1.65E-01
<sup>89</sup> Sr	8.01E-09	1.05E-05	6.59E-06	2.83E-05
<sup>90</sup> Sr	1.00E-09	1.69E-04	1.61E-04	2.11E-02
<sup>90</sup> Y	1.88E-08	1.69E-06	6.71E-10	1.69E-06
<sup>91</sup> Y	2.03E-08	1.66E-05	1.10E-05	4.94E-05
<sup>95</sup> Zr <sup>c</sup>	2.55E-06	1.38E-03	1.30E-03	6.83E-03
<sup>95</sup> Nb <sup>c</sup>	2.64E-06	9.98E-04	5.21E-04	2.09E-03
<sup>103</sup> Ru <sup>c</sup>	1.63E-06	6.40E-04	3.56E-04	1.45E-03
<sup>129</sup> Sb <sup>c</sup>	4.87E-06	2.30E-05	4.88E-08	2.31E-05
<sup>131m</sup> Te <sup>c</sup>	4.83E-06	1.97E-04	3.25E-06	2.00E-04
<sup>132</sup> Te <sup>c</sup>	8.04E-07	6.87E-04	1.13E-06	6.88E-04
<sup>131</sup> I <sup>c</sup>	1.33E-06	2.48E-04	1.76E-05	2.67E-04
<sup>132</sup> I <sup>c</sup>	7.80E-06	1.85E-05	0.00E+00	1.85E-05
<sup>133</sup> I <sup>c</sup>	2.11E-06	4.53E-05	0.00E+00	4.53E-05
<sup>135</sup> I / <sup>135m</sup> Xe <sup>c</sup>	5.40E-06	3.70E-05	0.00E+00	3.70E-05
<sup>134</sup> Cs <sup>c</sup>	5.36E-06	2.66E-03	2.45E-03	5.12E-03
<sup>136</sup> Cs <sup>c</sup>	7.37E-06	1.87E-03	3.63E-04	2.32E-03
<sup>137</sup> Cs / <sup>137m</sup> Ba <sup>c</sup>	2.07E-06	9.94E-04	9.37E-04	1.25E-01
<sup>140</sup> Ba <sup>c</sup>	6.35E-07	1.98E-03	4.36E-03	2.52E-03
<sup>140</sup> La <sup>c</sup>	7.62E-06	3.15E-04	1.19E-09	3.15E-04
<sup>141</sup> Ce <sup>c</sup>	2.60E-07	9.92E-05	4.94E-05	1.98E-04
<sup>144</sup> Ce / <sup>144</sup> Pr <sup>c</sup>	2.01E-07	1.46E-04	1.29E-04	1.38E-03
<sup>239</sup> Np <sup>c</sup>	5.75E-07	3.35E-05	6.44E-09	3.39E-05
<sup>238</sup> Pu <sup>c</sup>	2.96E-09	3.88E-02	3.66E-02	6.55E+00
<sup>241</sup> Pu <sup>c</sup>	6.81E-12	7.61E-04	7.20E-04	1.93E-01
<sup>241</sup> Am	9.70E-08	3.45E-02	3.26E-02	6.68E+00

Source : IAEA-TECDOC-955 [1]

<sup>a</sup> exposure rate at 1 m above ground level from 1 kBq m<sup>-2</sup> deposition, corrected for ground roughness (0.7). The external dose from daughters expected to be in equilibrium is included where noted (e.g. <sup>137</sup>Cs / <sup>137m</sup>Ba).

<sup>b</sup> sum of external exposure and inhalation dose from resuspension, calculated considering decay, ingrowth and weathering and using an initial resuspension factor of  $1.0 \times 10^{-6}$ .

<sup>c</sup> most principle isotope contributing to the dose from external exposure from deposition for a reactor accident.

식 (4.1)에서  $CF_{3,i}$ 와  $CF_{4,i}$ 는 IAEA[1]가 50 가지 핵종들에 대해서 제시한 값을 사용하면 된다(표 8 참조).  $CF_{4,i}$ 에 대해서는 첫달, 다음 달 및 평생의 세 가지 평균기간에 대한 값이 주어져 있으므로 각각 용도에 맞게 사용되어야 할 것이다. 표 8에서  $^{140}\text{Ba}$ 의 경우 다음 달에 대한  $CF_4$  값이 평생에 대한 것보다 크게 표시되어 있는 것은 오류에 의한 것으로 보이므로 주의가 필요하며 차후 바르게 수정되어야 할 것이다.

지표에 침적한 방사성 핵종의 존재비는 시간 및 지점에 따라 다를 것이나 현실적인 이유와 인적 요인 때문에 영향지역 전체에 대하여 단 하나의 OIL4 값을 사용하는 것으로 한다[1]. 따라서 지표 시료는 도출한 OIL4 값이 지역 전체를 대표할 수 있도록 넓은 면적으로부터 채취되어야 한다. 또한 OIL4는 첫째 달에는 매주, 그 다음부터는 봉괴의 영향이 미미해질 때까지 매월 재평가되어야 하며 표 3 및 5에서와 같이 첫달, 다음 달 및 평생 등 다양한 기간에 대하여 산정되어야 한다[1].

### 3.1.5. OIL5

OIL5는 식품섭취를 잠정적으로 제한하기 위한 운영개입준위로서 역시 지표침적으로부터의 공간 선량률로 운영된다. 이것은 침적으로 인한 공간방사선량률이 백그라운드 이상인 것이 분명한 지역에서는 음식물의 오염준위가 일반조치준위를 초과할 가능성이 있다는 전제하에 적용하는 것으로 수정의 대상은 아니다. 다만 지상 침적농도나 식품내 농도가 구해져서 보다 확실한 OIL(예: OIL6 또는 OIL8)을 적용할 수 있기 전까지 잠정적으로 사용한다.

### 3.1.6. OIL6

OIL6( $\text{Bq m}^{-2}$ )는 일반식품(OIL6F) 및 우유(OIL6M)의 섭취제한을 위한 운영개입준위로서  $^{131}\text{I}$ 의 지표면 농도로 운영되며 아래와 같이 수정한다.

$$\text{OIL6} = \text{GAL}_G \frac{C_{g,I-131}}{\sum_{i=1}^n C_{G,i}} \quad (5)$$

여기서,

$\text{GAL}_G$  : 음식물에 대한  $^{131}\text{I}$  핵종 그룹의 일반조치 준위 ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ) (표 4 및 6)

$C_{g,I-131}$  :  $^{131}\text{I}$ 의 침적농도 ( $\text{Bq m}^{-2}$ )

$C_{G,i}$  : 식품시료내  $^{131}\text{I}$  핵종 그룹에 속하는 각 핵종( $i$ )의 농도 ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ), 단 농도는 최종 소비시의 것(예: 밀가루의 경우 빵, 쌀알의 경우 밥 내 핵종 농도)이라야 하고 우유의 경우에는 해당 지역에서 방목중인 젖소에 대하여 가능한 최대농도를 대표하는 것이어야 한다. 따라서 아래와 같은 농도 보정 절차가 필요하다.

즉, 식품 전반에 대해서는

$$C(\text{after})_i = C(\text{before})_i (RF_{i,j=1,n}) \frac{W(\text{before})}{W(\text{after})} \quad (5.1)$$

여기서,

$C_i$  : 가공 전후 식품내 핵종 ( $i$ )의 농도

$RF_{i,j=1,n}$  : 식품내 핵종 ( $i$ )의 작용기작(봉괴 및 가공절차) ( $j$ )에 따른 모든 농도감소계수의 곱

$W(\text{before})$  : 식품의 초기 무게

$W(\text{after})$  : 식품의 가공후 소비시 무게

식 (5.1)에 있어서 IAEA[1]는 각 식품의 가공처리 종류별로  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ 의  $RF$  값을 제시하고 있다.

우유에 대해서는 추가적으로 아래와 같은 식이 주어져 있다.

$$C_{max,i} = Csamp_i cf_i(T_{rs}) \quad (5.2)$$

여기서,

$C_{max,i}$  : 오염사료 섭취후 우유내 핵종 ( $i$ )의 예상 최대 농도

$Csamp_i$  : 오염사료 섭취후 우유내 핵종 ( $i$ )의 측정 농도

$cf_i(T_{rs})$  : 오염사료 섭취개시후 시료채취까지 경과시간에 따른 농도보정 계수

$T_{rs}$  : 오염사료 섭취개시후 시료채취까지 경과시간, 방출개시부터 시료채취까지의 시간으로 추정 가능

식 (5.2)에 있어서 IAEA[1]는 오염사료 섭취개시 후 시료채취까지 경과시간 ( $T_{rs}$ )에 따른  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ 의  $cf_i(T_{rs})$  값을 제시하고 있다.

### 3.1.7. OIL7

OIL7( $\text{Bq m}^{-2}$ )도 일반식품(OIL7F) 및 우유(OIL7M)의 섭취제한을 위한 운영개입준위로서  $^{137}\text{Cs}$ 의 지표면 농도로 운영되며 아래와 같이 수정한다.

$$\text{OIL7} = \text{GAL}_G \frac{\sum_{i=1}^n C_{G,i}}{C_{g,Cs-137}} \quad (6)$$

여기서,

$\text{GAL}_G$  : 음식물에 대한  $^{137}\text{Cs}$  핵종 그룹의 일반조치준위 ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ) (표 4 및 6)

$C_{g,Cs-137}$  :  $^{137}\text{Cs}$ 의 침적 농도 ( $\text{Bq m}^{-2}$ )

$C_{G,i}$  : 식품시료내  $^{137}\text{Cs}$  핵종 그룹에 속하는 각 핵종( $i$ )의 농도 ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ), 여기서도 식 (5.1)과 (5.2)를 이용한 농도보정이 필요하다.

OIL6와 OIL7은 오염에 직접 노출된 농작물(우유의 경우 소가 오염에 직접 노출된 사료 작물을 섭취할 때)에 대해서만 적용해야 한다[1].

### 3.1.8. OIL8

OIL8( $\text{Bq kg}^{-1}$ )은 일반식품(OIL8F) 및 우유나 물(OIL8M)의 섭취제한을 위한 운영개입준위로서 식품내  $^{131}\text{I}$  농도로 운영되며 아래와 같이 수정한다.

$$\text{OIL8} = \text{GAL}_G \frac{\sum_{i=1}^n C_{G,i}}{C_{f,I-131}} \quad (7)$$

여기서,

$\text{GAL}_G$  : 음식물에 대한  $^{131}\text{I}$  핵종 그룹의 일반조치준위 ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ) (표 4 및 6)

$C_{f,I-131}$  : 대표 식품시료내  $^{131}\text{I}$  농도 ( $\text{Bq kg}^{-1}$ )

$C_{G,i}$  : 대표 식품시료내  $^{131}\text{I}$  핵종 그룹에 속하는 각 핵종( $i$ )의 농도 ( $\text{Bq kg}^{-1}$ )

### 3.1.9. OIL9

OIL9( $\text{Bq kg}^{-1}$ )도 일반식품(OIL9F) 및 우유나 물(OIL9M)의 섭취제한을 위한 운영개입준위로서 식품내  $^{137}\text{Cs}$  농도로 운영되며 아래와 같이 수정한다.

$$\text{OIL9} = \text{GAL}_G \frac{\sum_{i=1}^n C_{G,i}}{C_{f,Cs-137}} \quad (8)$$

여기서,

$\text{GAL}_G$  : 음식물에 대한  $^{137}\text{Cs}$  핵종 그룹의 일반조치준위 ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ) (표 4 및 6)

$C_{f,Cs-137}$  : 대표 식품시료내  $^{137}\text{Cs}$  농도 ( $\text{Bq kg}^{-1}$ )

$C_{G,i}$  : 대표 식품시료내  $^{137}\text{Cs}$  핵종 그룹에 속하는 각 핵종( $i$ )의 농도 ( $\text{Bq kg}^{-1}$ )

식 (7)과 (8)에서도 식 (5.1)과 (5.2)와 같은 농도보정 절차가 필요하다. 한편 식품내 각 핵종의 농도가 모두 측정되면 다음과 같이 일반조치준위와 직접 비교할 수도 있다.

$$\sum_i^n C_{G,i} > or \leq \text{GAL}_G \quad (9)$$

여기서,

$C_{G,i}$  : 식품 시료내 핵종 그룹 G에 속하는 각 핵종( $i$ )의 농도 ( $\text{Bq kg}^{-1}$ )

$\text{GAL}_G$  : 핵종 그룹 G에 대한 일반조치준위 ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ) (표 4 및 6)

그러나 비상시에 식품 하나하나에 대해서 완전한 핵종 분석을 기대하기는 어려우므로 식품 종류별(예: 우유, 엽채류, 기타 채소, 과일 등)로 대표시료의 핵종분석을 통하여 핵종 구성비를 구하고 전형적인 식품 조리법을 고려하여 식 (5)~(8)과 같이 운영개입준위를 수정한 다음 여타 시료에 대해서는 한 개의 표시핵종 (marker isotope,  $^{131}\text{I}$  또는  $^{137}\text{Cs}$ ) 농도만을 측정하여 운영개입준위와 비교하면 될 것이다. 또한 시간 경과에 따른 방사능 붕괴를 반영하기 위한 수정도 필요하다. 한편 식품에 대한 방호조치로 인하여 식품부족 사태가 초래될 경우에는 10 배 (첫 달)에서 50 배 (첫 주)까지 높은 운영개입준위를 적용해도 좋다고 한다[1,4].

### 3.2. 운영개입준위 적용상의 유의점

이상에서 본 바와 같이 초기 OIL1 및 OIL2를 적용하기 위해서는 반드시 방사성 플루트로부터의 환경방사선량을 측정결과가 필요하다. 이러한 측정결과가 나올 때까지는 비상 발령 후 어느 정도의 시간이 소요된다. 예상피폭선량이 표 1을 초과하지 않는다면 그 동안에는 가급적 단순 옥내대피와 같은 용이한 조치를 취하면서 측정 결과를 기다리는 동시에 안정 옥소제 투여나 소개에 대비하는 것이 좋을 것이다.

어느 지역에서 방사성 플루트가 통과하기 시작하

자마자 공간선량률이 측정되어 초기 OIL1을 초과하는 값을 얻었다 하더라도 소개(또는 고수준 대피) 지시에 따라 주민의 소개가 완료되기까지는 적어도 한두 시간은 걸릴 것이다. 이럴 경우 풀룸의 방향은 통상 4 시간마다 변한다는 가정 하에 도출된 OIL1에 근거하여 결정된 소개는 자체한 주민들에 대해서는 정당하지 못할 수 있다. 따라서 소개가 개시된 이후 시간이 경과함에 따라 예상되는 잔존 풀룸 지속시간에 입각하여 초기 OIL1을 다시 설정하고 그 시점에서 측정된 공간선량률과 비교함으로써 자체한 주민들에 대한 소개 필요성을 판단하는 절차가 있어야 할 것으로 본다. 이러한 절차는 비상시 안정 옥소제 분배에 비교적 긴 시간이 소요될 경우 OIL2를 운영하는 데도 필요할 것이다. IAEA[5]도 회피선량을 산정함에 있어 보호조치를 취하는 것이 자체되는 데 따른 영향을 고려해야 된다고 하였다.

위와 같은 점들로 볼 때 비상시 신속한 소개가 이루어질 수 있도록 평상시에 준비를 철저히 해야 하고 일정 지역(예: 방사선비상계획구역) 내 주민들에게는 미리 안정 옥소제를 지금해 두는 것도 검토할 필요가 있다. 참고로 방사성 iodine 흡입 전 6 시간 이내에 안정 옥소제를 경구투여하면 갑상선 선량이 거의 100% 감소되고 흡입과 동시에 투여되면 약 90%, 흡입후 투여되어도 수 시간 이내라면 약 50% 감소된다고 한다[4].

비상시에 운영개입준위를 적기에 수정할 수 있기 위해서는 수십 가지 핵종의 대기중 농도, 지표면 농도 및 식품내 농도에 대한 측정자료가 신속히 제공되어야 한다. 비상시 환경감시에서 인력, 시간, 장비가 가장 많이 투입되어야 할 부분이 이러한 측정자료의 생산일 것이다. 비상시에 신속·간편법으로 분석을 하더라도 측정이 완료되기까지는 시료 및 핵종에 따라 적어도 수 시간에서 하루 정도는 요할 것이다. 이것은 운영개입준위를 수정하여 실시간으로 적용하는 것은 사실상 불가능하다는 것을 의미한다. 따라서 수정된 운영개입준위의 적용을 위해서는 사고시 대기, 지표면 및 식품에서의 핵종존재비와, 이에 따른 운영개입준위는 1-2 일내에는 방사능 붕괴에 의한 부분을 제외하면 크게 변하지 않는다는 가정이 있어야 할 것으로 본다. 이렇게 하면 방사능 붕괴에 대한 보정을 통하여 초기운영개입준위 적용시점, 시료채취 시점, 분석종료 시점 또는 가까운 미래의 특정 시점 기준 등의 운영개입준위를 산정하고 각 기준 시점에 측정된(또는 측정될) 운영량과 비교할 수 있을 것이다. 이때 초기운영개입준위 적용

시점 기준으로 보정한 수정운영개입준위는 초기 운영개입준위에 입각하여 취해진 주민 보호조치의 적절성 여부를 판단하기 위한 자료가 된다.

새로운 시료에 대한 핵종분석 결과가 생산되면 운영개입준위의 재수정을 고려해야 할 것이다. 그러나 IAEA[3]는 운영개입준위를 필요 이상으로 자주 수정하여 의사결정 과정에서 자신감과 안정감이 상실되는 일이 없어야 한다고 하면서 수정의 필요성을 판단하기 위한 기준을 마련할 것을 요구하고 있다. 한편으로 IAEA[1]는 운영개입준위를 수정하여 적용하기 위한 전제 조건으로서 ① 사고의 제 조건들이 안정적 국면에 있을 것 ② 사고의 경과가 파악되어 있을 것 ③ 수정된 운영개입준위가 진행중인 보호조치에 중대한 영향을 미칠 것의 세 가지를 제시하고 있다.

## 비상시 환경방사선(능) 측정

### 1. 환경방사선

비상시 환경방사선 측정에는 평상시 운영하는 고정식 모니터링 스테이션, 비상시에 설치되는 임시 모니터링 포스트, 차량을 이용한 주행감시(carborne survey) 및 이동식 survey meter 등이 이용될 수 있다[2,12-14]. 이 때 운영개입준위와 같이 베타선과 감마선에 의한 공간선량율( $\text{mSv h}^{-1}$ ) 측정이 이루어져야 한다[1,2].

고정식 모니터링 스테이션은 평상시 원자력 시설 부지내 및 부지 경계 부근에 방위별로 설치되어 공간선량률 정보를 연속적으로 감시본부에 전송하고 있다. 원자력사업자의 비상대책실이 모니터링 스테이션과 on-line으로 연결되어 있으면 비상시 신속하게 방사성 물질의 환경방출을 확인하고 초기운영개입준위(표 7)를 적용하는 데 필요한 선량률 정보를 조기에 확보할 수 있다.

임시 모니터링 포스트는 방사성 물질의 확산경로 및 인구분포 등을 고려하여 부지 경계선 밖 비상계획구역 내에 임시로 설치하여 무인으로 운영되는 것이다. 임시 포스트에서의 측정 결과는 on-line 전송이 곤란하므로 자기기록 장치가 부착되어 선량률의 변화가 기록되게 하고 환경감시원이 주기적으로 이를 확인하여 보고도록 하는 방식이 바람직할 것이다. 이러한 특성상 임시 포스트는 일정 기간 동안의 집적선량 측정에도 효과적으로 활용될 수 있다. 그러나 비상시 집적선량 측정 결과는 환경영향 및 대책에 대한 사후 판단자료일 뿐 운영개입준위 적용과는 아무런 관

련이 없다. 따라서 비상시 여력이 있다면 모르나 그렇지 않다면 선량률 측정에 치중해야 할 것이다. 다만 임시 포스트 설치시 공간방사선량률 측정기와 접적선량계를 함께 장착해 두었다가 적당한 때 접적선량을 분석한다면 사후평가를 위한 유용한 정보를 얻을 수 있을 것으로 본다.

이동식 survey meter 이용은 환경감시요원이 survey meter를 휴대하고 미리 정해진 (또는 환경탐사반장이 지정하는) 루트를 따라 신속히 이동하면서 지정된 지점에서 선량률을 측정하고 즉시 무선통신기나 휴대폰을 이용하여 환경탐사반장(비상대책실 근무)에게 보고하는 방식이다. 이것은 인력이 다소 많이 소요되는 단점이 있으나 원하는 장소와 시점에서 비교적 손쉽게 측정결과를 얻을 수 있는 이점이 있다. 방위별로 적정개수의 측정지점을 미리 정해서 익혀 두어야 비상시에 위치 선정에 혼란이 없고 또한 현장과 비상대책실 간 의사소통이 원활히 이루어 질 수 있다. 또한 측정지점은 필요에 따라 환경탐사반장이 그때그때 추가로 지정할 수도 있고 현장 요원이 임의로 선정할 수도 있을 것이다.

차량주행 감시는 차량에 공간방사선량률 측정기를 탑재하여 정해진 루트를 따라 주행하면서 일정한 시간 간격으로 선량률을 측정하는 것이다. 측정 결과는 무선으로 비상대책실에 실시간 전송하는 방식이 가장 좋다. 이를 위해서는 차량에 위치추적 시스템(GPS)을 갖추고 비상대책실에서는 차량 위치 정보와 측정 정보를 송신 받아 화면에 바로 표시할 수 있는 전산 시스템이 구비될 필요가 있다. 차량은 주행감시 전용 차량이 가장 바람직하나 여의치 않다면 다용도용 차량을 이용해도 좋을 것이다. 예를 들면 환경탐사 요원들의 측정지점 간 이동을 위한 차량에 주행감시 장비를 장착하여 이동중에 선량률을 측정할 수도 있을 것이다.

이밖에 항공기를 이용한 항공감시도 생각해 볼 수 있다. 항공감시는 광범위한 지역에 대해 신속하게 측정정보를 획득하는 데 적합하나 비용이나 기술적인 측면에서 어려운 점이 많다. 따라서 비상시 항공감시의 타당성에 대해서는 면밀한 검토가 필요하며 현재로서는 위에 언급한 방법들을 적절히 이용하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

## 2. 환경방사능

### 2.1. 대기중 농도

대기중 농도를 신속히 측정하기 위해서는 초고체적 공기채취기를 이용하여 필요한 양의 공기에

포함된 미립자와 iodine 가스( $I_2$ ,  $CH_4I$  등)를 단시간 내에 포집해야 한다. 이때 사용하는 포집재는 상기 물질들에 대한 포집효율은 높고  $Xe$ 이나  $Kr$ 과 같은 불활성 기체에 대한 포집 효율은 최대한 낮은 것을 사용해야 한다[12,15].

대기중 핵종 농도는 OIL1과 OIL2의 수정을 위한 것으로 IAEA[1]에 따르면 OIL1의 경우 약 50 가지, OIL2의 경우 8 가지 핵종들에 대한 측정자료가 필요하다. 많은 핵종들이 감마스펙트로메트리법으로 비교적 용이하게 분석될 수 있지만  $^{90}Sr$ 이나 몇몇 알파 핵종들은 화학분석이 필수적이다. 이와 같이 화학분석이 필요한 핵종에 대해서는 가능한 한 단시간 내에 소정의 결과를 얻을 수 있는 분석법을 도입해야 한다.

Tritium의 경우 IAEA는 사용후 핵연로 저장조에서만 중요한 것으로 보고 있으나 우리나라의 중수로나 연구용원자로인 하나로에서도 중요시될 필요가 있다. Tritium은 대기중에서 주로 HTO와 HT의 형태로 존재하나 인체에 대한 영향 면에서 HT는 무시할 수 있다. 따라서 대기중 HTO를 포집하는 것이 중요하다. 비상시에는 버블러(bubbler)를 이용하여 중류수에 HTO 분자들을 포획한 다음 액체섬광계수기로 측정하는 것이 좋을 것이다[2].

### 2.2. 지표면 농도

지표면에서의 핵종 농도( $Bq m^{-2}$ )는 OIL4의 수정과 OIL6와 OIL7의 적용 및 수정을 위한 것이다.

식 (4)~(6)에서 보듯이 OIL4를 수정하기 위해서는 50 여 가지 핵종들에 대한 지표침적 농도 자료가 필요하고 이를 위해서는 광범위한 지역을 대표하는 지표시료를 채취하여 감마스펙트로메트리를 실시하거나 화학분석 후 알파선 또는 베타선을 계측해야 한다[1,2]. OIL6와 OIL7의 적용이나 수정을 위해서는 각각  $^{131}I$ 과  $^{137}Cs$ 에 대한 지표면 농도 자료가 필요하고 이때에는 in-situ 감마스펙트로메트리로 신속히 지표면 농도를 측정하도록 되어 있다[1,2]. 목표 핵종이  $^{131}I$ 과  $^{137}Cs$  두 핵종일 경우에는 in-situ 감마스펙트로메타의 검출기로 계측효율이 높은  $Na(Tl)$  형이  $Ge$  형보다 유리할 것이다[2].

### 2.3. 식품내 농도

식품내 핵종 농도는 OIL6와 OIL7의 수정과 OIL8과 OIL9의 적용 및 수정을 위해 필요한 정보이다. 분석 대상 핵종들은 표 4나 6에서  $^{131}I$ 이나  $^{137}Cs$ 이 속한 그룹 내 핵종들이다.

비상시에는 정확도가 다소 떨어지더라도 신속히 분석할 필요가 있다. 생체시료의 화학분석을 위해서는 건조·회화 같은 전처리 과정이 필요하지만 감마스펙트로메트리는 생체상태로도 가능하다. 따라서 시료채취 즉시 생체 상태로 감마스펙트로메트리를 실시하여 주요 감마핵종(특히  $^{131}\text{I}$  및  $^{137}\text{Cs}$ )을 측정하고 그 결과를 초기 OIL8 및 OIL9와 비교한 다음 전처리하여 화학분석 또는 2차 감마스펙트로메트리를 실시하면 될 것이다. 처음부터 시료를 충분히 채취하여 생체 감마스펙트로메트리와 화학분석을 동시에 수행하면 더욱 좋을 것이다.

IAEA[1]는 식품의 경우 3군과 6군 핵종(표 4 참조)은 경수로에서 고려될 필요가 없다고 하였으나 공기나 지표시료의 경우 고려의 대상으로 보고 있고 또한 KINS[8]도 식품에 있어서 필요성을 부인하지 않고 있으므로 고려의 대상이 되어야 할 것이다. 따라서 이들 핵종 군에 대해서도 표시핵종을 선정하여 초기 운영개입준위를 정해둘 필요가 있다고 본다.

Tritium은 우리나라의 중수로형 원자로에서 중요하므로 표 6에서와 같이 식품에 관한 일반조치

준위에 포함되어 있다[8,9]. 식품내 tritium은 TFWT(tissue free water tritium)와 OBT(organically bound tritium)의 형태로 존재한다. 그러나 tritium에 대한 일반조치준위가 두 가지를 다 포함하는지는 명시되어 있지 않다. 인체에 대한 방사선 위해도는 OBT가 TFWT보다 두세 배 높으므로[5] 우리나라의 경우 tritium에 대한 일반조치준위를 적용하는 데 있어서 이를 반영하기 위한 세부지침이 주어져야 할 것으로 본다. 아니면 OBT와 TFWT에 대해서 각각 별도의 일반조치준위를 정하는 것도 고려해 볼 수 있다. 식품내 TFWT 분석을 위해서는 시료를 채취 즉시 냉동·보관하여 실험실로 운반한 후 동결건조법으로 수분을 추출하고 액체설광계수기로 베타선을 계측해야 한다. OBT는 건조 시료를 완전연소 시켜 얻은 연소수에 대해 같은 방법으로 계측하면 된다. 한편 식품내 TFWT와 OBT는 공기중 HTO에서 비롯되므로 tritium의 일반조치준위에 대하여 공기중 HTO 농도로 표현되는 운영개입준위를 설정하는 것도 고려할 필요가 있다.

### 3. 환경방사선(능) 측정 조직 및 역할

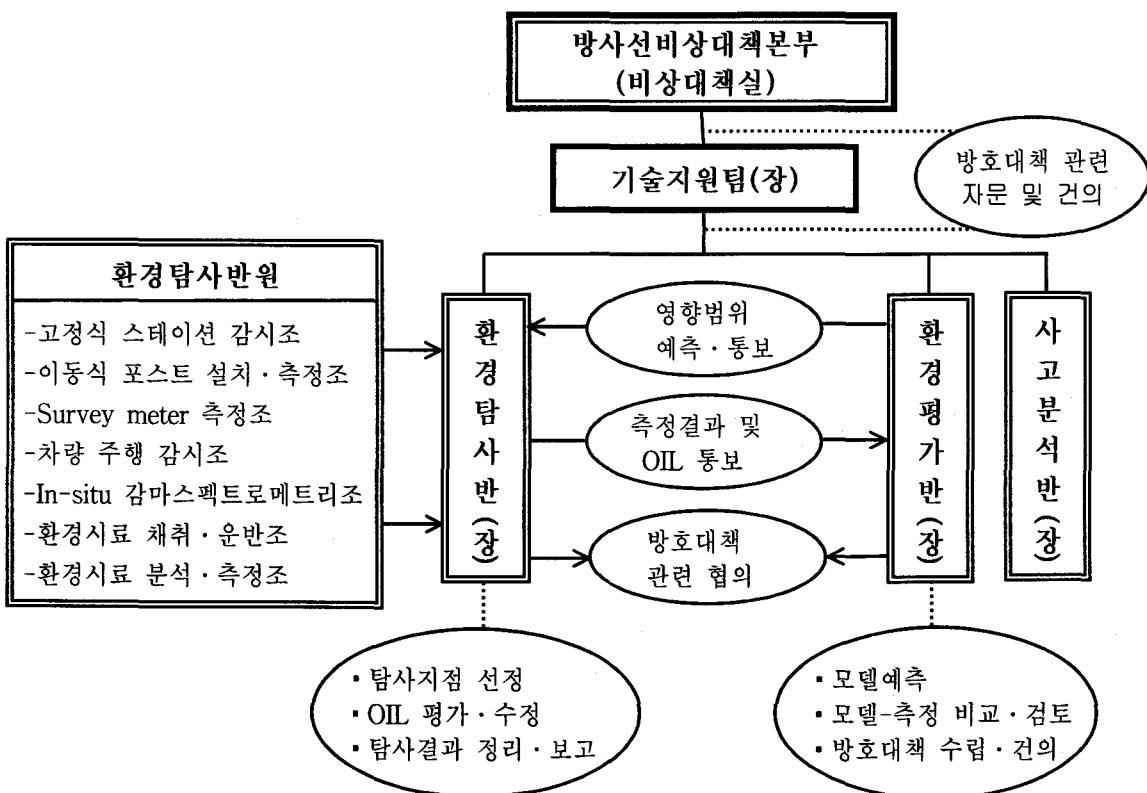


Fig. 1. 환경탐사반의 역할 모식도.

한국원자력연구소의 2004년도 '하나로 방사능 방재 훈련실시계획서(안)'[16]에 의하면 비상시 환경방사선(능) 측정은 환경탐사반에 의해 수행되며 환경탐사반장은 방사선비상대책본부 내에서 환경 평가반장 및 사고분석반장과 함께 기술지원팀장의 지휘를 받도록 되어 있다. 이러한 체계는 일반 원전에도 적절할 것으로 판단된다. 여기서 방사선 비상대책본부는 '원자력사업자의 방사선비상계획 수립 등에 관한 기준'[10] 제 12조에 규정된 비상 대책실에 해당하는 것으로 볼 수 있다. 그럼 1은 위와 같은 체계에 입각하여 사업자의 비상대책실 내 환경탐사반의 역할을 기술지원팀에 소속된 타 조직과의 연계성을 고려하여 나타낸 것이다.

환경탐사반장은 환경평가반장이 최적의 주민보호조치를 적기에 결정하여 기술지원팀장에게 견의할 수 있도록 환경방사선(능) 측정 자료를 신속히 취득하여 운영개입준위를 평가·수정하고 그 결과를 환경평가반장에게 제공하는 것이다. 이를 위해 환경탐사반장은 환경평가반장으로부터 방사선영향 예상지역을 통보 받아 탐사지점을 결정, 탐사반원을 출동시키고 현장탐사 결과를 초기운영개입준위와 비교하여 필요한 보호조치를 선정하는 한편 각종 시료의 분석결과에 입각하여 식(1)~(8)에서와 같이 운영개입준위를 수정한다. 환경평가반장은 환경탐사반이 제공하는 자료와 사고분석반이 제공하는 사고진행 경과에 관한 정보 및 자체 모델로 예측한 주민선량과 영향범위(거리) 등에 입각하여 주민 보호조치의 종류 및 실시 지역을 결정, 기술지원팀장에게 견의한다. 이 때 측정과 모델 양자의 장단점을 고려한 결정이 이루질 필요가 있다. 즉 특정 지점이나 지역에 대하여 적절한 보호조치의 종류를 정하는 데에는 가능한 한 측정 결과에 입각하는 것이 좋고 보호조치 실시지역의 범위나 향후 추이 등에 대해서는 모델 예측 결과를 활용하는 것이 좋을 것이다. 기술지원팀장은 과학적인 판단과 통찰력에 입각하여 필요 이상의 조치는 최대한 지양하는 방향으로 보호조치를 결정하여 비상대책실장에게 견의해야 한다. 보호조치의 이행에는 막대한 사회·경제적 비용이 소요되므로 부적절한 비관적 평가에 따른 보호조치는 자칫 득보다 실이 크기 때문이다[3,4].

이상과 같이 환경탐사반장과 환경평가반장은 유기적이고 긴밀한 협조를 통하여 보호조치에 대한 기술지원팀장의 의사결정을 효과적으로 지원 할 수 있도록 해야 한다. 따라서 두 역할을 한 사람의 맡는 것도 검토해 볼 필요가 있다.

## 평상시 대비

비상시 위와 같은 내용의 환경감시를 차질없이 수행하기 위해서는 평상시에 철저히 준비할 필요가 있다[2,3,11]. 즉, 평상시에 비상환경감시를 위한 조직과 시설이 갖추어져 적절히 유지·관리되어야 하고 각종 절차가 수립되어야 하며 비상에 대비한 교육과 훈련이 주기적으로 이루어져야 하고 비상시 업무를 신속·정확히 처리하기 위한 전산체계가 마련되어야 한다.

### 1. 조직 정비

우리나라의 '원자력시설 등의 방호 및 방사능방재 대책법'(법률 제6873호) 제 21조에는 원자력사업자의 의무로서 방사능 재난 등에 대비하기 위한 기구의 설치·운영이 명시되어 있고 동 법 시행령(대통령령 제 18678 호) 제 22조에서는 사업자의 비상계획에 이러한 사항이 포함되도록 요구하고 있다. 또한 관련 시행규칙[9]과 고시[10]에는 이 기구에 의해 비상시 환경감시가 수행되어야 할 것으로 규정되어 있다.

원자력사업자는 평상시에도 의무적으로 환경감시를 수행하고 있다. 사고시에 평상시 환경감시를 위한 인원과 장비를 비상환경감시에 이용한다면 기술적으로나 경제적으로나 매우 효율적일 것이다. 원자력 사업자의 평상시 환경감시 요원과 장비들이 비상시에 총동원되기 위해서는 비상기간에는 평상시 감시 의무를 면제해 주는 법 규정이 마련되어야 할 것으로 본다.

비상시 환경감시 조직은 업무의 연속성을 위하여 적어도 2교대가 가능하도록 편성되어야 한다. 또한 만일의 사태에 대비하여 대체 요원이 확보되어야 한다. 각 교대조에는 조장 휴하에 위에서 언급한 환경방사선측정, 환경방사능분석, 운영개입준위 수정 등의 업무가 상호 유기적으로 원활히 수행될 수 있도록 인원이 구성되어야 한다.

### 2. 설비 보유 및 관리

평상시 환경감시에 이용되고 있는 시설과 장비의 대부분은 비상시에도 그대로 이용될 수 있다. 여기에 속하는 것은 상설 고정식 모니터링 스테이션에 설치된 환경방사선 연속측정장치 및 공기 시료채취기, 환경실험실 내에 설치된 알파/베타 카운터, 감마 및 알파 스펙트로메트리시스템, 액체섬광계수기, 열형광선량계 및 각종 화학분석 설비 등이다. 이외에 특별히 비상시에 필요한 것은 survey meter, 이동식 공기시료채취기, 임시 모니

터링 포스트용 환경방사선연속 측정·자기 장치 및 in-situ 감마스펙트로메트리시스템 등이다.

비상시 야외용 장비들은 온도와 습도에 대한 적용범위가 넓어야 하고 수분과 충격에 대한 내구성도 충분해야 한다. 또한 공간선량을 측정은 베타선과 감마선을 함께 측정할 수 있어야 하고 측정 범위는 환경준위에서부터 사고시 예상되는 최대선량률보다 더 높은 선량률까지 측정할 수 있도록 준비되어야 한다. 하나의 선량계로 요구되는 범위를 다 측정할 수 있다면 좋을 것이나 현실적으로 어려울 것이므로 측정가능 범위별로 선량계를 준비하는 것이 좋을 것이다. 한편 원전 사고시에는 대량방출 핵종인  $^{133}\text{Xe}$ 으로부터의 저에너지(81 keV) 감마선의 영향을 과대평가하지 않도록 에너지 의존성이 가능한 한 낮은 것을 선택할 필요가 있다.

비상시 환경감시를 위한 야외출동 요원들은 survey meter, TLD 배지, 시료채취 도구, 필기구, 통신장비, 지도, 개인방사선방호장비 등 여러 가지 물품들을 휴대해야 한다. 이러한 물품들을 요원의 임무별로 kit화하여 하나의 용기에 넣어 두어 비상시에 그대로 갖고 출동할 수 있도록 하면 매우 편리할 것이다. Kit 용기는 가능한 한 가볍고 휴대가 간편해야 하며 양손의 움직임에 제약을 주지 않아야 한다. 따라서 방수 기능을 갖춘 배낭 형태가 알맞을 것으로 판단된다. 또한 이렇게 해야 공기시료 채취장비와 in-situ 감마스펙트로메타를 보다 쉽게 운반할 수 있을 것이다.

사고로 인한 대피나 소개에 따라 환경실험실의 주거성이 상실될 경우에 대비하여 제 2의 실험실이 필요하다. 과학기술부가 고시한 '원자력사업자의 방사선비상계획 수립 등에 관한 기준'[10]에 의하면 환경실험실이 비상계획구역 내부에 위치할 경우 동 구역 외부에 예비환경실험실을 지정하고 이동환경감시차량을 확보할 것을 요구하고 있다. 이동환경감시차량에는 적어도 감마스펙트로메트리 시스템 2 대, 베타 카운터, 알파 스펙트로메트리 시스템, 액체섬광계수기가 각 1 대씩 장착되어야 하며 시료의 화학분석 및 보관을 위한 시설이 구비되어야 할 것으로 본다. 즉, 이동식환경실험실이라고 할 만한 설비가 갖추어져야 할 것이다. 각종 장비들은 차량에 단단히 고정되어 충격에 따른 손상을 방지해야 한다. 차량은 고장시 교체가 가능하도록 트레일러 식으로 하는 것이 바람직하다. 이동환경감시차량을 이용하면 시료채취 현장에 접근하여 환경시료를 신속히 전달받을 수 있는 이점도 있다.

이상과 같이 비상시 필요한 환경감시용 설비에는 평상시에 사용하는 장비와 시설뿐만 아니라 비상환경감시용 kit, 예비환경실험실 및 이동식환경실험실과 같이 비상시에만 특별히 사용되는 것이 있다. 후자의 경우 사고가 없으면 무용지물이라는 생각에 보유·설치 및 유지·관리를 소홀히 할 개연성이 있다. 그러나 평상시에 이와 같은 대비를 철저히 하지 않으면 비상시에 환경감시를 제대로 수행할 수 없고 방호대책 수립에 큰 혼선이 초래되어 막대한 사회·경제적 손실이 발생할 수 있다. 따라서 비상시 필요한 설비를 평상시에 충분히 보유하여 관리할 수 있도록 예산과 인력의 지원이 있어야 할 것이다.

### 3. 관련 절차 수립

비상시 환경감시에 관련된 업무를 신속하고도 효율적으로 수행하기 위해서는 평상시에 기능 및 임무별로 명확한 업무수행 절차를 매뉴얼 형태로 마련해 두어야 한다.

사고의 진행경과에 따라 비상대책실 근무 요원(환경탐사반장 및 보조요원)에게 필요한 절차를 순서적으로 나열하면 다음과 같다.

- ① 비상발령 접수 절차, ② 환경탐사반원 소집 절차, ③ on-line 공간방사선량을 측정결과 접수 절차, ④ 환경감시 지역 및 지점 선정 절차, ⑤ 야외 탐사반원 출동지시 절차, ⑥ 야외 및 실험실 측정결과 접수 절차, ⑦ 운영개입준위 적용 및 수정 절차, ⑧ 예비실험실 및 이동환경감시차량 운영지시 절차, ⑨ 보호조치 관련 건의 및 협의 절차, ⑩ 환경탐사반원 교대·철수지시 절차 등

야외 환경탐사 반원에게 필요한 절차를 순서적으로 나열하면 다음과 같다.

- ① 환경탐사반원 응소 절차, ② 개인장비 분배·수령 절차, ③ 탐사현장 이동 절차 ④ 야외 survey meter 측정 절차, ⑤ 야외측정자료 보고 절차, ⑥ 공기시료(미립자, 가스 및 수분) 채취 절차, ⑦ 임시 모니터링 포스트 설치 절차, ⑧ 차량 주행감시 절차, ⑨ in-situ 감마스펙트로메트리 절차, ⑩ 지표시료 채취 절차, ⑪ 식품시료 채취 절차, ⑫ 시료 운반 및 전달 절차, ⑬ 환경탐사반원 교대·철수 절차

환경실험실 근무 요원에 대해서는 다음과 같은 절차가 필요하다.

- ① 환경탐사반원 응소 절차, ② 시료 수령 및 전처리 절차, ③ 각종 분석 및 계측 절차, ④ 측정결과 보고 절차, ⑤ 주거성 상실시 예비실험실 운용 절차, ⑥ 이동환경감시차량 운영 절차, ⑦

### 환경탐사반원 교대 절차, ⑧ 각종 장비 유지·관리 절차 등

시료 채취 및 분석 절차 수립에 있어서는 운영개입준위와 각 핵종의 선량(률)환산인자 등에 입각하여 적정 검출목표치를 설정한 다음 최소검출 가능농도가 그 이하가 되도록 시료량, 분석방법, 계측시간 등을 정해야 할 것이다. 이때에는 사고시 백그라운드 계수치가 증가할 수 있다는 점을 충분히 고려할 필요가 있다.

### 4. 환경감시업무 지원용 전산체계 개발

사고로 인하여 매우 혼란스럽고 급박한 상황 속에서 환경감시 업무를 통하여 획득한 각종 정보를 일일이 손으로 적어 보관하고 지면상에서 필요한 계산을 하게 되면 많은 오류와 지체를 초래하게 된다. 따라서 비상시환경감시 업무를 지원하고 수집한 정보를 저장·가공·처리하기 위한 전산 시스템의 수립이 필요하다. 이 전산 시스템은 원자력사업자가 수립하여 유사시에는 비상대책실 내에서 가동되는 것이 바람직하다.

비상시 환경감시 업무 지원을 위한 전산시스템에는 보호조치 기준, 각종 절차 및 양식, 환경탐사 장비 내역, 요원의 인적 정보 등 기본적 사항의 저장과 함께 환경탐사 자료의 입력·처리 기능과 측정결과를 이용하여 운영개입준위를 수정하기 위한 전산 프로그램 등이 반드시 포함되어야 한다. 또한 지리정보시스템(GIS)이 갖추어져 야외 탐사요원들의 현 위치와 각 지점에서의 측정결과를 저장하는 동시에 부지 주변 지도상에 시간대 별로 나타내는 기능이 부여될 필요가 있다. 지리정보시스템은 환경평가반과 호환이 가능하여 그들이 제공하는 예상영향범위 등이 on-line 으로 전송, 출력될 수 있어야 할 것이다.

모든 자료와 가공·처리된 정보는 화면상으로는 물론 프린터를 통해서도 출력될 수 있어야 하고 e-mail이나 전용회선을 통하여 원하는 곳으로 송신될 수 있어야 한다. On-line 공간선량률 측정 결과의 수신·표시 기능과 차량주행 감시의 경우 무선신호를 수신하여 처리할 수 있는 기능이 지리정보시스템과 연결될 필요가 있다.

### 5. 교육 및 훈련

비상시 환경탐사반원들이 주어진 임무를 신속·정확하게 완수하기 위해서는 평상시에 교육과 훈련을 통하여 임무를 숙지하고 적절한 숙련도를 유지하고 있어야 한다. 이러한 교육과 훈련에 관한 사항은 관련 법규에도 명백히 규정되어

있다.

과학기술부가 제정한 '원자력 시설 등의 방호 및 방사능 방재 대책법 시행규칙'[9]에는 원자력 사업자의 종업원으로서 방사능방재 업무를 담당하는 자는 매년 사고분석 및 평가에 관한 사항, 방사선측정 및 방사능감시에 관한 사항, 방사선방호조치에 관한 사항 등에 대해 교육을 받도록 규정하고 있다. 또한 원자력사업자는 매년 11월 30일까지 다음 년도의 방사능방재훈련계획을 과학기술부장관에게 제출하여 승인을 얻어야 하며 원자력사업자별 방사능방재훈련의 종류 및 방법 등 방사능방재훈련에 필요한 사항은 과학기술부장관이 정하여 고시하도록 규정하고 있다. 또한 '원자력사업자의 방사선비상계획 수립 등에 관한 기준'[10]에 의하면 방사능방재훈련은 부분훈련의 경우 환경 및 방사선 감시·평가 등 특정한 기술의 시험·개발·유지가 가능하도록 이루어져야 한다.

특히 방재훈련을 통하여 비상시 환경감시를 위한 제반 절차가 제대로 이행될 수 있는지 점검하는 것이 중요하다. 이 때 야외탐사의 경우 기상에 따른 제약이 클 것이므로 다양한 날씨 조건 및 야간에서의 훈련을 통하여 경험을 쌓는 동시에 문제점을 파악, 해결하려는 노력이 요구된다.

## 결 론

원자력 발전소 비상시 환경감시는 주민 보호조치 결정을 위한 가장 신뢰도 높은 정보를 제공하는 수단이다. 비상시에는 환경감시를 통하여 초기 운영개입준위를 적용하기 위한 측정결과를 신속히 획득하고 사고의 경과에 따라 운영개입준위를 적기에 수정하기 위한 분석결과를 생산해야 한다.

이를 위해서는 평상시에 비상시 환경감시 조직을 구성하여 인원과 설비를 확보·관리하고 각종 절차서를 수립하는 한편 주기적 교육과 훈련을 통하여 비상시 환경감시 요원들이 각자의 임무를 숙지하고 작업 숙련도를 높임으로써 비상시에 필요한 업무가 차질 없이 수행될 수 있도록 해야 한다. 한편 비상시 급박한 상황 속에서 각종 정보 및 자료의 관리, 운영개입준위의 수정, 환경탐사 결과 도시 등의 업무를 신속·정확하게 수행하기 위해서는 비상시 환경감시 업무를 지원하기 위한 전산시스템의 구축이 요구된다.

비상시 방사성 물질이 방출되기 전에는 사고 등급이나 모델의 예측 결과에 입각하여 주민 보

호조치를 결정할 수밖에 없다. 그러나 모델에 의한 예측은 일반적으로 불확실성이 크고 심각한 사고의 경우에는 더욱 그러하므로 반드시 방출개시 후에 얻어지는 측정결과에 입각하여 보호조치를 재평가하고 필요시 수정해야 한다. 비상시 보호조치에 관한 의사결정을 지원하는 데 측정결과 보다 확실한 정보는 없기 때문이다. 그러나 측정에는 시간 및 공간적인 제약이 있으므로 모델과 측정의 장단점을 고려한 주민 보호조치 결정이 필요하다. 따라서 양자 간에 긴밀하고 유기적인 협조가 요구된다.

우리나라의 관련 법규에서는 비상시 주민 보호조치 결정기준이 예상피폭선량인 것으로 보이게 되어 있다. 그러나 결정기준의 수치와 단위는 회피선량으로 나타낸 IAEA 및 KINS의 일반개입준위와 동일하여 결정기준이 회피선량인 것이 분명해 보이므로 관련 법규에서도 결정기준이 회피선량임을 명시할 필요가 있다. 또한 회피선량으로 나타낸 결정기준을 IAEA나 KINS가 제안하고 있는 일반개입준위와 같은 것으로 적용하기 위해서는 운영개입준위에 대한 규정도 반드시 포함되어야 할 것이다. 이때 비상시 환경감시를 통하여 운영개입준위를 제대로 적용하고 수정하는 것을 담보할 수 있는 방향으로 규정을 만드는 것이 중요하다고 본다.

끝으로, 일반개입준위(음식물에 대한 일반조치 준위 포함)와 운영개입준위는 사회·경제적 여건이나 원자로 및 부지의 특성에 따라 달라져야 하므로 우리나라 또는 부지의 제반 사정에 보다 적합한 값을 도출하기 위한 연구도 수행되어야 할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 과학기술부의 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. IAEA, Generic assessment procedures for determining protective actions during a reactor accident, IAEA-TECDOC-955, Vienna (1997)
2. IAEA, Generic procedures for monitoring in a nuclear or radiological emergency, IAEA-TECDOC-1092, Vienna(1999)
3. IAEA, Method for developing arrangements for response to a nuclear or radiological emergency, EPR-METHOD(2003), Vienna (2003)
4. IAEA, Intervention criteria in a nuclear or radiation emergency, Safety Series No. 109, Vienna(1994)
5. IAEA, International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources, Safety Series No. 115, Vienna(1996)
6. ICRP, Principles for protection of the public in a radiological emergency, Report of a Task Group of Committee 4 of the ICRP, Publication No. 63, Pergamon Press(1993)
7. 과학기술처, 민방위 기본계획 (방사능 방호계획), 1987~1991(1987)
8. 한국원자력안전기술원, 방사선비상 개입준위 기술기준(안), KINS/HR-448/SUP(2002)
9. 과학기술부, “원자력시설 등의 방호 및 방사능 방재 대책법 시행규칙,” 과학기술부령 제 55호(2004)
10. 과학기술부, “원자력사업자의 방사선 비상계획 수립 등에 관한 기준,” 과학기술부 고시 제 2004-11호(2004)
11. IAEA, Preparedness and response for a nuclear or radiological emergency, IAEA Safety Standards Series, No. GS-R-2, Vienna(2002)
12. 이정호, 이영복, 최용호 등, 방사선환경안전연구, KAERI/RR-710/87, 한국에너지연구소, 과학기술처(1988)
13. 南賢太郎, 國分守信, 緊急時 環境放射線 モニタング 指針, 日本原子力學會誌, 26, 753-761 (1984)
14. 原子力安全委員會(日本), 緊急時 環境放射線 モニタング 指針(2001)
15. S. Kato, H. Noguchi, M. Murata et al., Selective collection of organic iodine from the radioactive noble gas-containing atmosphere in nuclear reactor accident, 保健物理, 17, 427-436(1982)
16. 한국원자력연구소, 하나로 방사능방재 훈련실 시계획서(안)(2004)