

대기 중 노블가스 측정에서
최소검출농도(MDA) 산출에 관한 연구

Minimum Detectable Activity(MDA) for Analysis
of Noble Gas in Atmosphere

KAERI

제 출 문

한국원자력연구원장 귀하

본 보고서를 2010년도 “제논·크립톤 탐지장비 운용 및 기술개발” 과제의 기술보고서로 제출합니다.

2010. 9.

과 제 명 : 제논·크립톤 탐지장비 운용 및 기술개발

KAERI

주 저 자 : 이 완 로

공 저 자 : 최 상 도

전 인

이 창 우

최 근 식

조 영 현

요 약 문

I. 제 목

대기 중 노블가스 측정에서 최소검출농도(MDA) 산출에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

대기 중에 노블가스는 매우 미량 함유되어 있고 그 중 방사성 노블가스는 극 저준위이고 반감기가 비교적 짧기 때문에 분석 시 백그라운드 요동인지 실제 방사능이 존재하는지 판단하는 것은 매우 중요하다. 따라서 이에 대한 정확한 연구가 필요하며 특이값을 분별하는데 기준이 될 수 있다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구에서는 주로 다음과 같은 내용들을 중심으로 수행하였다.

- 일반적인 MDA 산출방법 소개
- 대기 중 노블가스에서 MDA 산출 방법
- MDA를 낮추기 위한 방법 제시

IV. 연구개발결과

대기 중에 방사성 노블가스 분석 시 MDA값을 설정하였고, 또한 MDA를 낮출 수 있는 파라메타를 고찰하였다. 이를 통해서 분석 시 MDA를 낮추는 방안을 제시하였다. 그러나 MDA 이상으로 방사능이 검출된 경우도 미량 극 저준위 분석에서는 백그라운드의 요동에 의한 가능성이 항상 존재한다. 따라서 미량시료 분석 시 결과 해석에 그런 점을 고려해야 할 것이다.

V. 연구개발결과의 활용계획

대기 중 노블가스 MDA 산출방법을 소개하였고 이를 이용하여 평상시 변동값과 특이값을 분별하는 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 아울러 국내의 대기 중 노블가스 백그라운드 산출 및 DB 축적시 활용될 것이다.



Summary

I . Project Title

Minimum Detectable Activity(MDA) for Analysis of Noble Gas in Atmosphere

II. Objective and Importance of the Project

It is important to determine whether radioactivity of noble gas in atmosphere exist or not. It is also difficult to know the real value due to radioactivity or the fluctuation of background, specially among ultra low background counting sample such as noble gas analysis in atmosphere.

III. Scope and Contents of Project

This report has following contents:

- Introduction of the general MDA
- Method of MDA calculation for noble gas analysis
- The reduction method of MDA

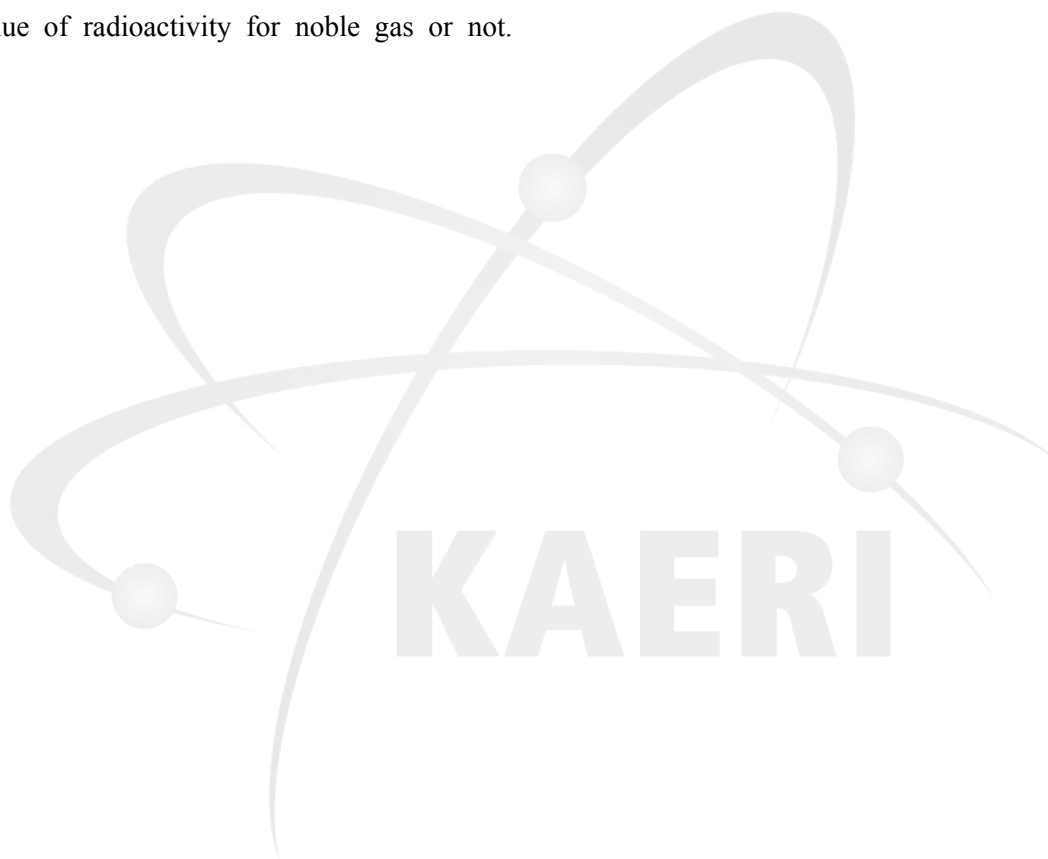
IV. Result of Project

The MDA value has been estimated in radioactivity analysis of noble gas in atmosphere. It is proposed how to reduce MDA in ultra low background sample and introduced several type of MDA used in the field. The minimum MDA value for total xenon is 0.4 mBq/m^3 and the range of MDA value is almost below 1 mBq/m^3 . This

factor is lower than that value proposed from the company of Germany. Here the MDA of ^{85}Kr is proposed and the minimum time is determined.

V. Proposal for Applications

The MDA value has been introduced in radioactivity analysis of noble gas in atmosphere and it has been calculated. It is applied in how to determine the singular value of radioactivity for noble gas or not.



CONTENTS

Chapter 1. Introduction	1
Chapter 2. Minimum Detectable Activity(MDA) of Low-level Radioactivity Analysis	2
Section 1 MDA introduction	2
Section 2 MDA	3
Chapter 3. Minimum Detectable Activity(MDA) for Analysis of Noble Gas in Atmosphere	22
Section 1 Minimum Detectable Activity(MDA) for Analysis of Noble Gas in Atmosphere	22
Section 2 Reduction Method of Minimum Detectable Activity(MDA)	26
Chapter 4. Discussion and Results	30
Chapter 5. References	31

목 차

제 1 장 서론	1
제 2 장 저준위 방사능분석에서의 MDA 산출	2
제1절 배경	2
제2절 최소검출농도(MDA)	3
제 3 장 제논 및 크립톤 분석에서 MDA산출	14
제1절 제논 및 크립톤 분석에서 MDA	14
제2절 제논 및 크립톤 분석에서 MDA 저감화 방법	26
제 4 장 토론 및 결론	30
제 5 장 참고문헌	31

제 1 장 서론

일반적으로 환경시료에 대한 방사능 분석 시 백그라운드의 통계학적 요동으로 인한 실제로 방사능이 존재하지 않는데 존재하는 것으로 오인될 수가 있다. 따라서 저준위 방사능 계측에서 방사능의 존재여부를 판단할 수 있는 다양한 방법들이 제시되었다. 본 보고서에서는 일반적으로 방사능의 존재여부를 판단하는 방법들에 대해서 고찰하고 대기 중 노블가스 분석 시 이를 적용할 수 있는 방법을 개발하였다 [1-7].

대기 중에 노블가스는 매우 미량 함유되어 있고 그 중 방사성 노블가스는 극 저준위이며 반감기가 비교적 짧기 때문에 분석 시 백그라운드 요동인지 실제 방사능이 존재하는지 판단하는 것은 매우 중요하다. 본 보고서에서는 대기 중 노블가스 중 방사성 제논 및 크립톤 분석 시 최소검출농도(MDA)를 유도하였다. 공기 중 제논의 함유량은 대략 8.7×10^{-7} %로 극 미량이다. 따라서 공기 중 방사성제논 분석 시 최소검출농도의 개념 및 설정은 매우 중요하다. 또한 본 보고서에서는 MDA를 낮추기 위한 기본적인 파라메타에 대하여 연구하였다.

KAERI

제 2 장 저준위 방사능 분석에서의 MDA 산출

제 1 절 배경

저준위 환경방사능 검출에서는 백그라운드 계수의 통계적 요동으로 실제 시료의 방사능이 음수가 나오기도 하고 방사능이 존재하지 않는 시료가 방사능이 존재하는 것으로 표현되기도 한다. 표 2-1에서는 실제로 방사능의 측정값이 음의 값으로 나온 것을 보여주고 있다. 표에서 보였듯이 2003년 1월의 ^{137}Cs 은 음의 평균값에 요동이 평균값보다 세배나 높은 값을 보이고 있다. 일반적으로 물리적인 현상을 고려했을 때 시료의 방사능이 없다고 가정하면 평균 방사능 농도는 제로이기 때문에 음의 값이 나올 수 없다. 그러나 실제의 현상은 그렇지 않고 많은 저준위 환경방사능 분석에서 음의 값이 나온다. 그 이유는 백그라운드에서 기인하고 아울러 방사능이 없는 시료가 방사능이 있게 나타나기도 한다. 이런 문제점을 해결하기 위해서 많은 연구 및 용어를 정의하였다[1-2].

본 보고서에서는 먼저 Currie에 의해서 최초로 제기된 방법에 따라서 최소검출농도에 대해서 알아보고 또한 다양하게 쓰이는 용어들에 대해서 고찰하였고, 각각 다양하게 이용되는 MDA의 의미를 살펴보았다. 또한 대기 중 노블가스 분석에서 적용할 수 있는 최소검출농도에 대해서 개발하였다.

표 2-1 미국 LLNL 주변에서는 Cs와 Pu의 측정값(참고: LLNL 보고서)

Table 4-3. Cesium and plutonium in LLNL and LWRP sanitary sewer effluents, 2003

Month	Cesium-137 ($\mu\text{Bq/mL}$)				Plutonium-239 (nBq/mL)			
	LLNL		LWRP		LLNL		LWRP	
	Radioactivity	MDC	Radioactivity	MDC	Radioactivity	MDC	Radioactivity	MDC
Jan	-1.01 ± 3.7	3.2	0.666 ± 3.3	2.9	49.95 ± 6.5	5.2	2.92 ± 1.7	4.1
Feb	0.83 ± 3.6	3.2	-151.0 ± 4.1	3.5	22.35 ± 5.0	6.5	-1.53 ± 0.77	6.1
Mar	0.99 ± 3.7	3.3	0.803 ± 0.42	1.2	54.02 ± 7.5	7.0	1.84 ± 1.3	3.6
Apr	$111^{(a)} \pm 4.6$	3.9	-1.595 ± 4.1	3.5	77.70 ± 16	2.6	-0.70 ± 3.8	6.5
May	-0.41 ± 3.9	3.4	0.143 ± 4.4	3.8	48.84 ± 11	1.9	1.21 ± 6.0	10
Jun	-1.39 ± 5.0	4.2	1.006 ± 4.0	3.6	78.07 ± 16	6.2	-0.34 ± 0.68	4.0
Jul	2.39 ± 4.6	4.1	-0.548 ± 4.6	4.0	84.36 ± 32	20	1.11 ± 2.1	3.6
Aug	1.75 ± 4.1	3.8	0.039 ± 4.3	3.8	127.7 ± 23	6.4	-0.29 ± 0.58	3.4
Sep	10.0 ± 37	37	0.840 ± 3.7	3.5	288.2 ± 34	7.0	1.79 ± 2.5	3.4
Oct	1.71 ± 2.3	2.8	-0.977 ± 6.4	3.8	880.6 ± 105	21	4.44 ± 8.4	14
Nov	1.89 ± 3.1	2.9	-0.559 ± 6.9	6.1	54.39 ± 14	6.5	-1.41 ± 37	7.5
Dec	4.14 ± 5.9	5.2	3.123 ± 5.1	4.7	47.36 ± 14	7.1	0.63 ± 2.8	5.6
Median	1.4		0.09		66		0.87	
IQR ^(b)	2.6		1.5		46		2.2	

제 2 절 최소검출농도(MDA)

최소검출방사능농도(MDA: Minimum Detectable Activity)를 설명하기 앞서 검출 한계치(Lower Limits of Detection, LLD)의 개념에 대한 설명이 필요하다. LLD의 경우는 계측 통계학만을 고려하여 정의된 것으로 저준위환경방사능 측정에서 방사능 존재여부를 나타내는 개념이다. 여기서 LLD는 시료의 양 또는 측정자의 숙련도, 기기의 계통오차 및 다른 우연오차를 포함하지 않는 단지 계측통계학만을 고려한 개념이다. 여기에 MDA는 실제 저준위 환경방사능 분석 시 기계의 특성, 분석방법 및 시료 양 또는 종류에 대한 부분의 포함하여 실제 방사능 측정에서 사용되는 개념으로 보다 포괄적이면서 실용적인 단위이다. 따라서 대부분의 환경방사능 분석에서 MDA를 많이 사용하고 있는데 여기에는 LLD에서 사용하는 백그라운드 계측통계오차에 시료크기, 시료측정시간, 효율, 자기흡수 및 전처리 관련 회수율 및 방사능 농도에 영향을 주는 모든 인자가 들어가기 때문에 측정할 때마다 변하는 값으로

검출기의 교체 및 다른 변수가 발생하면 다시 산출해야 한다. 그러나 모든 MDA는 LLD를 기본으로 해서 설정되기 때문에 반드시 LLD 산출의 의미를 알아야 하고 그 내용은 Currie가 잘 정리하여 정립하였다. 본 보고서에서는 먼저 Currie의 식을 검토하고 본 장비에 맞는 MDA를 산출하였다.

가. 검출한계(LLD) 유도

검출한계치(Lower Limits of Detection, LLD)의 개념은 계측 통계적인 방법에 의해서 정의된다. 그림 2-1에서 그 개념을 잘 나타내고 있다. Currie는 세 가지 영역으로 나누어 설명하였다. 먼저 존재판정한계(L_C : Critical Level), 검출한계(L_D : Detection Limit), 정량결정한계 (L_Q : Determination Limit)등으로 구분하였다. 먼저 존재판정한계(L_C : Critical Level) 경우는 그 기준선 미만이면 존재를 의심하고 그 이상이면서 검출한계(L_D : Detection Limit)미만이면 존재하기는 하지만 검출능력이 미약하다고 판단하였다. 검출한계(L_D : Detection Limit)이상이면서 정량결정한계 (L_Q : Determination Limit)미만인 경우에는 존재는 확신하고 검출도 확신하는 단계로 표시했고, 정량결정한계 (L_Q : Determination Limit)이상인 경우는 검출 및 정량결정이 확실하다고 판단하였다. 최소검출방사능 농도(MDA)는 존재판정한계(L_C : Critical Level), 검출한계(L_D : Detection Limit), 정량결정한계 (L_Q : Determination Limit)를 기준으로 각각 구할 수 있고 여러 기관 및 국가에서 다양하게 사용되고 있다. 즉 같은 검출기로 똑같이 측정된 값도 어떤 기준을 이용하여 MDA구했느냐에 따라서 다양하게 값이 나올 수 있음을 유의해야 한다. 즉 어떤 기관에서는 검출한계(L_D : Detection Limit)를 기준으로 했고, 다른 기관에서는 정량결정한계 (L_Q : Determination Limit)를 기준으로 구했다면 이는 동일한 계수율을 가지고도 MDA가 달라짐을 알 수 있다. 위의 설명으로 MDA에 값의 차이에만 강조하면 무의미하고 이를 이용해서 구한 기본 개념을 잘 이해하고 있어야 한다. Currie의 식 세 경우의 값 어떤 것을 이용하여 MDA를 구해도 상관없으며 이는 정책적인 측정이 강하다. 아울러 많은 기관 및 국가는 저준위 환경방사능 분석에서 입장에 따라서 다양한 방법을 이용하여 MDA를 산출하고 있다. 대표적인 예가 독일에서 만든 BfS-IAR (Budesamt fur Strahlenschutz-Institute of Atmospheric

Radioactivity) 장비와 스웨덴에서 만든 SAUNA(Swedish Automatic Unit for Noble Gas Acquisition)의 경우에 사용하는 MDA의 값들은 Currie의 식을 기본으로 구하지만 앞에서 설명한 세 가지 내용들에 대해서 약간의 다른 변수들을 사용하고 있다.



그림 3-1 측정된 시료의 계수에 따라서 검출한계 판단영역 세 가지

Currie는 세 가지 영역 존재판정한계(L_C : Critical Level), 검출한계(L_D : Detection Limit), 정량결정한계 (L_Q : Determination Limit)등을 유도하기 위해서 아래의 그림을 도입하였다. 그림 2-2에 나왔듯이 방사능이 없는 시료와 방사능의 평균이 m 인 시료를 이용하여 설명하였다.

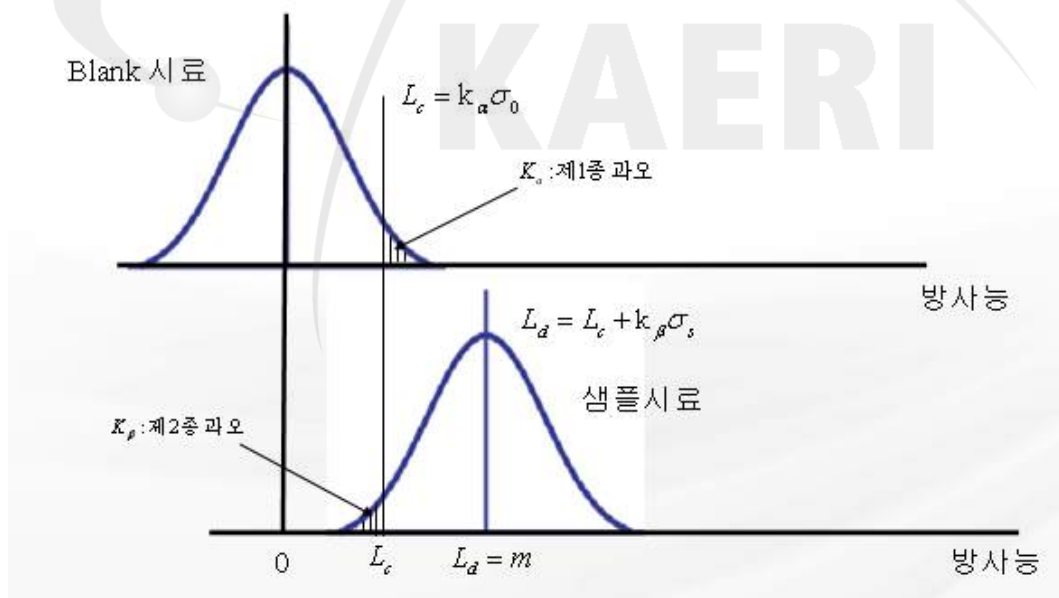


그림 2-2 Currie 논문에서 정의한 LLD 개념

1) 존재판정한계(L_C : Critical Level)

Currie는 통계적 요동에 불과한 가짜 피크가 신호가 있는 진짜 피크로 판정하는 오류(통계학에서 소위 제 1종 오류)를 범할 확률이 α 이상이 되지 않도록 할 수 있는 존재판단의 경계가 되는 피크의 면적으로 최소 신호 측정면적이다[5]. 그림 2-2에서 위의 그림을 보면 시료의 방사능이 없는 시료의 평균($\mu_s = 0$)에 대해 최대허용 오차 α 의 수준에서 존재유무를 판정하는 측정치의 한계 값으로 표현은 식(2-1)로 표현할 수 있다.

$$L_c = k_\alpha \sigma_0 \quad (2-1)$$

여기서 k_α 는 확률수준($1-\alpha$)에 해당하는 표준정규분포의 Z-값이며, σ_0 는 방사능이 없는 시료의 표준편차를 의미한다. 따라서 L_C 의 물리적인 의미는 그 이하이면 백그라운드 신호와 비교하여 유의할 만한 차가 없다는 것이다. 즉 신호가 없는 곳에서도 요동으로도 L_C 까지는 나올 수 있고 L_C 를 넘는 경우에 어떤 값이 나왔다고 판단하겠다는 의미이다. 그러나 L_C 이상의 값에서도 사실은 백그라운드 요동인데 우리가 값이 나왔다고 할 수 있는 예러가 α 이며 이 값을 크게 잡으면 잡을수록 그 값은 커진다. 즉 α 를 5%로 정할 경우와 1%로 정할 경우 또는 다른 값으로 선정할 경우에 따라서 달라지게 된다. α 의 값을 어떤 값으로 정하느냐는 주어진 환경 및 경제적인 이유 등 다양한 요소를 포함해서 정해야 한다. 표 2-2를 이용하여 아래와 같이 검출한계 관련된 양을 나타내고 방사능이 없는 시료의 측정값과 평균은 식(2-2)로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} N_S &= N_{S+B} - N_B \\ \mu_S &= \mu_{S+B} - \mu_B \end{aligned} \quad (2-2)$$

여기서 블랭크시료(시료와 동일하고 단지 방사능만 없는 시료)는 $S=0$ 이라고 가정하면 식(2-2)은 다음과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} N_0 &= N_{0+B} - N_B \\ \mu_0 &= \mu_{0+B} - \mu_B \end{aligned} \quad (2-3)$$

또한 표준편차 즉 불확도는 식(2-4)와 같이 정리되며 이를 이용하여 L_c 를 구할 수 있다.

$$\sigma_0^2 = \sigma_{0+B}^2 + \sigma_B^2 = \mu_B + \mu_B/n \quad (2-4)$$

백그라운드 측정을 1회 한다고 가정하고 식(2-4)을 식(2-1)에 대입하면 다음과 같이 표현된다. 여기서 $\sigma_B^2 = \mu_B/n$ 는 표 2-2에서 정의하였다. 위의 경우는 측정이 포아슨 분포를 따른다는 가정에서 출발하였다[5].

$$L_c = k_\alpha \sigma_0 = \sqrt{2} k_\alpha \sqrt{\mu_B} \quad (2-5)$$

표 2-2 검출한계 유도과 관련된 양 (단위: 계수)

	참 평균	측정평균	표준편차
Blank(블랭크 신호)	μ_{0+B}	N_{0+B}	σ_{0+B}
총 신호(total signal)	μ_{S+B}	N_{S+B}	σ_{S+B}
순 신호(Net signal)	μ_S	N_S	σ_S
백그라운드신호(Back ground) 1회 측정 N회 측정	μ_B	N_B $N_{\bar{B}}$	σ_B $\sigma_{\bar{B}} = \sqrt{\mu_B/n}$

2) 검출한계(L_D : Detection Limit)

검출한계(L_D : Detection Limit)의 물리적 의미는 방사능 신호가 존재하는 것으로 판단할 수 있으나, 백그라운드 요동으로 거짓으로 판정하는 오류(통계학에서 소위

제 2종 오류)를 범할 확률이 β 이상이 되지 않도록 하는 경계값이다. 그림 2-2 및 표 2-2에서 나타냈듯이 방사성 핵종의 존재에 의한 순 시료의 평균이 $\mu_S = L_D$ 가 될 때, 백그라운드의 요동으로 시료에 방사능이 존재하지 않는다($N_s \leq L_c$)고 판단할 오류 즉 β , 존재한다고 판정한($N_s > L_c$) 신뢰도가 $1 - \beta$ 가 되는 참평균 계수 수준이다. 그림 2-2와 표 2-2를 이용하여 검출한계(L_D : Detection Limit)를 표시하면 식(2-6)으로 표시된다.

$$L_D = L_C + k_\beta \sigma_D \quad (2-6)$$

여기서, $\mu_S = L_D$ 이고 $\sigma_S = \sigma_D$ 라고 표현하고, $\sigma_D^2 = \sigma_{S+B}^2 + \sigma_B^2$ 으로 표현할 수 있다. 포아슨 분포라는 가정에 의해서 표준편차는 식(2-7)과 같이 표현될 수 있다.

$$\sigma_D^2 = \mu_S + \mu_B + \mu_{\bar{B}} = L_D + \mu_B + \mu_B/n = L_D + \sigma_0 \quad (2-7)$$

식(2-7), 식(2-6) 및 식(2-5)을 이용하여 정리하면 다음과 같이 표현된다.

$$L_D = L_C + \frac{k_\beta}{2} \left\{ 1 + \left[1 + \frac{4L_c}{k_\beta^2} + \frac{4L_c^2}{k_\alpha^2 k_\beta^2} \right]^{1/2} \right\} \quad (2-8)$$

여기서 $k_\alpha = k_\beta = k$ 이고, $\alpha = \beta$ 라고 가정하고, 식(2-8)과 식(2-5)을 정리하면 아래와 같이 표현된다.

$$L_D = k^2 + 2k\sigma_0 = k^2 + 2k(\sqrt{\mu_B} + \sigma_{\bar{B}}) = k^2 + 2k(\sqrt{\mu_B} + \sqrt{\mu_B/n}) \quad (2-9)$$

식(2-9)에서 보통 백그라운드는 1회 측정하여 $\alpha = \beta = 5\%$ 로 선택하면

$$L_D = 2.71 + 4.65 \sqrt{\mu_B} \quad (2-10)$$

으로 간략하게 표현된다.

3) 정량결정한계 (L_Q : Determination Limit)

정량적 분석의 결과가 수치로써 2차적 용도에 사용되기 위해서는 측정치의 상대오차가 작아 참값에 아주 가까워야 한다. 정량적 결정한계는 정량값을 내는 최소수준이다[6]. 따라서 측정치의 평균치를 L_Q 라고 하고 불확도를 σ_Q , 상대오차의 역수를 k_Q 라 하면

$$L_Q = k_Q \sigma_Q \quad (2-11)$$

로 쓸 수 있다. 여기서 σ_Q 는

$$\sigma_Q^2 = L_Q + \sigma_0^2 \quad (2-12)$$

로 주어진다. 그림 2-2에서 L_D 의 유도과정과 동일하다. 식(2-11)과 식(2-12)로부터

$$L_Q = \frac{k_Q^2}{2} \left\{ 1 + \left[1 + \frac{4\sigma_0^2}{k_Q^2} \right]^{1/2} \right\} \quad (2-13)$$

을 구할 수 있다.

위에서 구한 결과는 모두 계수를 기준으로 설정하였다. 다시 말해서 측정시간에 대한 개념은 없다. 만일 백그라운드 시간(t_B), 측정시간(t_S)라고 가정하고 계수율을 이용하여 유도하면

$$L_c = k_\alpha \left\{ \mu_B \left(\frac{t_S}{t_B} + \frac{1}{n} \right) \right\}^{1/2} \quad (2-14)$$

$$L_d = \frac{k^2}{t_S} + 2k \left\{ \mu_B \left(\frac{1}{t_S} + \frac{1}{t_B} \right) \right\}^{1/2} \quad (2-15)$$

$$L_Q = \frac{k_Q}{2} \left\{ 1 + \sqrt{1 + \frac{4\mu_B}{k_Q^2} \left(\frac{t_S}{t_B} + 1 \right)} \right\} \quad (2-16)$$

로 표현될 수 있다. 본 보고서에서는 유도는 생략하였다.

위에서 설명한 L_C , L_D , L_Q 값은 표 2-3에서 보여주고 있는 제 1종 에러 및 2종 에러의 범위에 따라서 달라지게 된다. 식(2-10)의 경우는 $k_\alpha = k_\beta = 1.645$ 를 가정했을때는 값이고 대부분의 그 값을 이용하여 LLD를 산정한다. 만일 에러의 범위를 좁혀서 $k_\alpha = k_\beta = 1.960$, 즉 2.5 %의 에러만을 허용한다면 식(2-10)의 값은

$$L_D = 3.841 + 5.54 \sqrt{\mu_B} \quad (2-17)$$

로 유도되기 때문에 어떤 값을 설정하느냐는 측정하는 분야의 정확도 및 신뢰수준을 고려해서 신중히 고려해야 한다.

표 2-3 LLD 설정을 위한 오차 및 그에 대응하는 k_α , k_β 값들

α, β	10 %	5 %	2.5 %	1.0 %	0.5 %	0.1 %
k_α, k_β	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.090

나. 검출한계(LLD)로부터 최소검출방사능 농도 설정(MDA)

위에서 유도한 세 가지 존재판정한계(L_C : Critical Level), 검출한계(L_D : Detection Limit), 정량결정한계 (L_Q : Determination Limit)값 어떤 것을 이용하여 검출한계(LLD)를 설정 할 수 있다. 이렇게 설정할 경우 L_C , L_D , L_Q 값 어떤 값을 기준으로 MDA를 구하느냐에 따라서 어떤 기관은 L_C 를 기준으로 MDA를 설정하고, 또 다른 분야는 L_D , 또 경우에 따라서는 L_Q 값을 이용하여 구하기도 한다. 그러나 대부분은 L_D 이용하여 구하고 있으며, 특수한 경우에만 다른 경우를 사용하고 있다. 또한 L_D 을 이용하고, 신뢰구간 즉 에러범위를 5 %로 이용하여 $k_\alpha = k_\beta = 1.645$ 를 사용하고 따라서 식(2-10)이 MDA 설정에서 LLD 값으로 이용된다. 본 보고서에서는 L_D 을 이용하여 MDA를 구하는 방법을 소개하였다. L_D 을 이용하여 MDA를 구하면 간단히 다음과

$$MDA = \frac{L_D}{\epsilon \times f \times t \times K} = \frac{2.71 + 4.65 \sqrt{\mu_B}}{\epsilon \times f \times t \times K} \text{ (dps)} \quad (2-18)$$

같이 표현된다. 이때 계수로 이용한 식에 시간을 나눠주면 식(2-18)로 표현되는데 이때는 백그라운드 시간(t_B) 및 측정시간(t_S)이 같다는 의미이다. 만일 다르다면 식(2-19)과 같이 표현되어야 하고 신뢰구간 즉 에러범위를 5 %로 가정 및 $k_\alpha = k_\beta = 1.645$ 을 이용하여 구하면 다음과 같다.

$$L_d = \frac{2.71}{t_S} + 3.29 \left\{ \mu_B \left(\frac{1}{t_S} + \frac{1}{t_B} \right) \right\}^{1/2} = \frac{1}{t_S} \left\{ 2.71 + 3.29 (t_S \times \mu_B)^{1/2} \left(1 + \frac{t_S}{t_B} \right)^{1/2} \right\} \quad (2-19)$$

위의 식에서처럼 백그라운드 시간(t_B) 및 측정시간(t_S)이 다를 경우는 단순히 식(2-18)로 표현되지는 않는다. 따라서 적용 방법에 따라서 에러선택에 따라서 다양한 종류의 MDA가 산출될 수 있다. 표 2-4에서는 동일한 측정에서의 어떤 MDA 식을 사용하느냐에 값의 차이를 볼 수 있다. 표 2-4에서 보면 고전적인 ortec 방법이 가장 낮고 EDF-france 방법이 가장 낮다. 아래 그림에서 보였듯이 똑같은 실험방법

에 따라서 측정된 결과에서 MDA는 크게 네 배까지 차이가 나는 것을 알 수가 있다. MDA는 어떤 식과 어떤 파라미터를 설정하느냐에 따라서 다양한 값을 가질 수 있다. 여기서 고려할 점은 MDA가 낮은 것이 좋고 MDA 높은 것이 검출기의 특성이 나쁘다가 판달 할 수 있는데 이렇게 평가할 때 같은 MDA를 이용해서 비교해야 하는 점이다. 즉 다른 MDA를 사용해서 비교하는 것은 무의미한데 가끔 실제 적용에서 이를 간과하는 경우가 있다.

표 2-4 감마핵종 분석에서의 MDA 종류에 따른 값의 변화

MDA Type	Activity Bq/L	Uncertainty Counting Bq/L	2 Sigma Total Bq/L	MDA Value
RISO	0.152	0.0619	0.0622	1.780
Currie Limit	0.152	0.0619	0.0622	0.629
Mures 4.16	0.152	0.0619	0.0622	1.847
EDF-France	0.152	0.0619	0.0622	2.373
Traditional ortec method	0.152	0.0619	0.0622	0.553
Critical level-ortec method	0.152	0.0619	0.0622	0.892
2 sigma(Japan)	0.152	0.0619	0.0622	1.130
3 sigma(Japan)	0.152	0.0619	0.0622	1.732
LLD-ortec method(US-NRC)	0.152	0.0619	0.0622	0.839

표 2-5에서 LLD와 MDA에 차이점을 설명하였다. 표에서 나타냈듯이 LLD 단지 통계적 요동만을 나타내기 때문에 실제 측정에서 사용할 수 있는 양이 아니다. 따라서 물리적인 의미를 갖기 위해서는 검출효율, 시료크기, 측정시간, 자기흡수 등을 모두 포함한 값이 MDA가 필요하다.

표 2-5 LLD와 MDA에 차이점

LLD	MDA
<ul style="list-style-type: none"> - 통계적인 요동만 고려(계측통계학) - 백그라운드 요동 및 측정시간(백그라운드 및 샘플계측시간) - 계측기 고유의 특성 	<ul style="list-style-type: none"> - LLD로부터 유도 - 검출효율, 시료크기, 측정시간, 자기흡수 등 통계요인에 측정시 실제 필요한 양을 포함 - 계측기 특성+계측과정을 모든 인자 포함

KAERI

제 3 장 제논 및 크립톤 분석에서 MDA 산출

제 1 절 제논 및 크립톤 분석에서 MDA

Xe 및 Kr 분석같이 저준위 시료를 계측할 경우 백그라운드 준위에 가깝기 때문에 그 계수가 단순히 백그라운드의 요동에 의한 것인지 백그라운드와 유의한 차이가 있는 것인지를 판별하는 것이 필요하다. 이 판단을 위해서 소위 최소방사능 농도를 구하게 된다. 통계적인 고찰을 통해서 얻어지기 때문에 문헌에 따라서 다르게 표현될 수 있다. 본 보고서에서는 독일식 장비를 사용하기 때문에 독일의 표준 매뉴얼인 DIN(Deutsches Institute fuer Norung: 독일표준협회)의 문서와 Currie의 식에 의해서 구한 값을 제시하였다[7-12].

가. Currie 식을 근거로 구한 MDA

가정 1에서는 백그라운드 및 샘플 측정시간이 같을 때를 고려하였다. 그것은 2절에서 나온 결과값을 이용하면 된다. 여기서 에러 수준을 $k_\alpha = k_\beta = 1.645$ 로 가정하면 식(3-1)로 표현된다.

$$MDA = \frac{C}{\epsilon \times V \times t_m} \{2.71 + 4.65 \sqrt{R_b \times t_m}\} \quad (3-1)$$

그림 3-1에서 보면 백그라운드 계수율에 따라서 다양한 MDA를 갖는다. 만일 MDA가 0.5 mBq/m³이하가 되고 하루 측정한다고 가정하면 백그라운드 계수율이 1 cpm이하여야 한다. 만일 3 cpm의 백그라운드인 경우는 측정시간을 4일 이상 늘려야 MDA가 0.5 mBq/m³이하가 된다. 따라서 위와 같은 경우에는 백그라운드 계수율을 낮추야만 보다 낮은 수치의 방사능을 분석할 수 있다.

Curie(측정시간 같음),유의수준=95 %

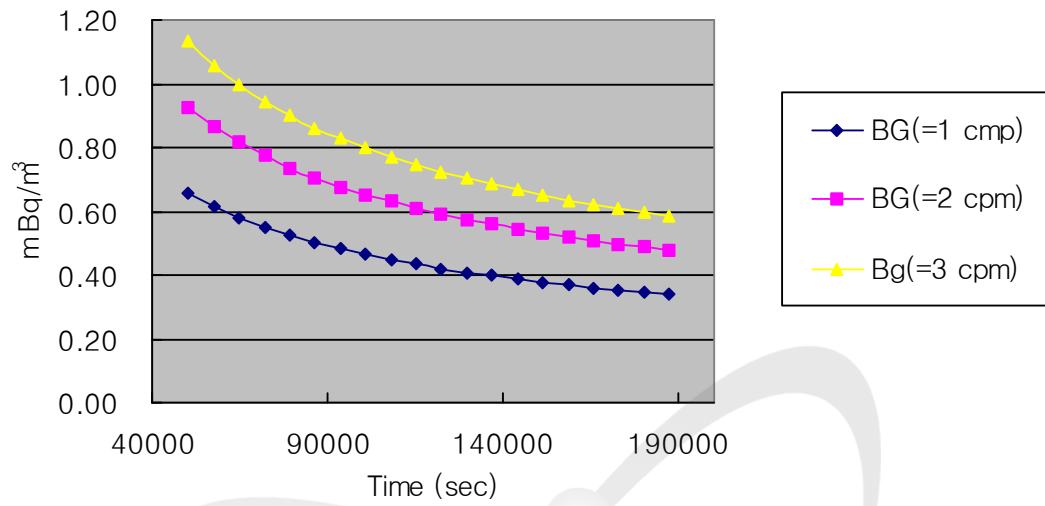


그림 3-1 측정시간이 같을 때 백그라운드 cpm에 따른 MDA변화

KAERI

가정 2에서는 백그라운드 및 샘플 측정시간이 다를 때를 가정하여 MDA를 구하였다.

$$MDA = \frac{C}{\epsilon \times V} \left\{ \frac{2.71}{t_m} + 3.29 \sqrt{R_b \times \left(\frac{1}{t_m} + \frac{1}{t_b} \right)} \right\} \quad (3-2)$$

그림 3-2에서는 백그라운드 측정시간을 93600 sec를 결정하였고 시료의 측정시간의 변화에 따라서 MDA의 변화를 계산하였다. 백그라운드 계수율 1 cpm이라고 가정하면 0.5 mBq/m³이하가 되는 측정시간이 하루 미만이다.

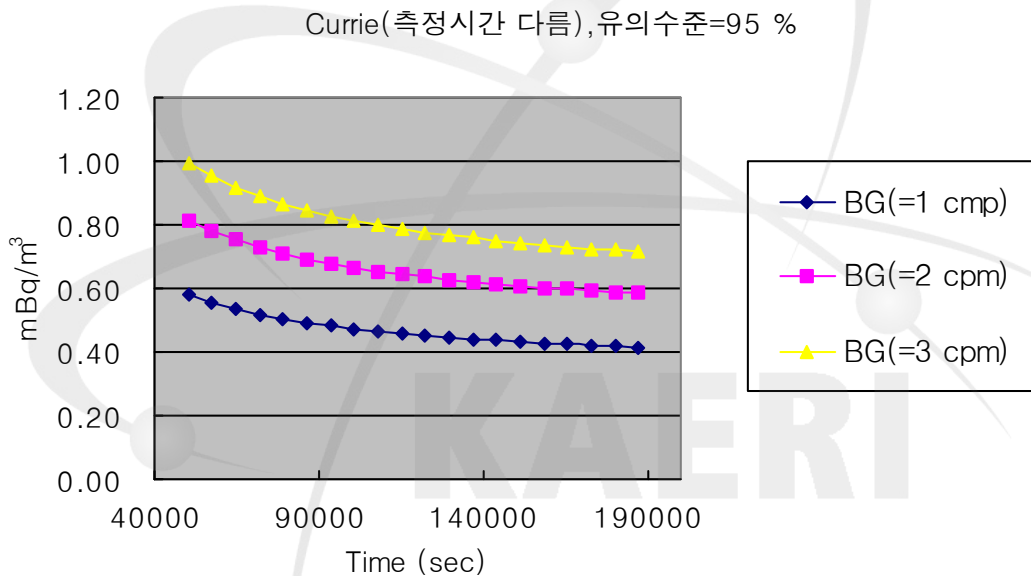


그림 3-2 측정시간 다를 경우 MDA 변화량

나) 독일 DIN 표준방법

$$MDA = \frac{C}{\epsilon \times V} \left\{ (k_\alpha \times k_\beta) \sqrt{R_b \times \left(\frac{1}{t_b} + \frac{1}{t_m} \right)} + \frac{1}{4} \times (k_\alpha + k_\beta)^2 \times \left(\frac{1}{t_b} + \frac{1}{t_m} \right) \right\} \quad (3-3)$$

여기서 5 %의 에러를 가정하면 식(3-4)으로 표현된다.

$$MDA = \frac{C}{\epsilon \times V} \left\{ 2.71 \sqrt{R_b \times \left(\frac{1}{t_b} + \frac{1}{t_m} \right)} + 2.71 \times \left(\frac{1}{t_b} + \frac{1}{t_m} \right) \right\} \quad (3-4)$$

독일 DIN에서 주로 이용하는 제 1종 에러는 5 %를 사용하고, 제 2종 에러는 0.1 %를 이용할 경우 즉 $k_\alpha = 1.645$, $k_\beta = 3$ 으로 가정하여 식을 구하면 식(3-5)로 구할 수 있다.

$$MDA = \frac{C}{\epsilon \times V} \left\{ 4.94 \sqrt{R_b \times \left(\frac{1}{t_b} + \frac{1}{t_m} \right)} + 5.39 \times \left(\frac{1}{t_b} + \frac{1}{t_m} \right) \right\} \quad (3-5)$$

그림 3-3과 3-4에서는 독일 DIN의 측정방법에서 유의수준, 1종 에러 및 2종 에러를 어떻게 설정하느냐에 따라서 값이 달라질 수 있다. 그림 3-3의 경우에는 1종 및 2종 에러를 모두 5 %로 설정하였다. 즉 $k_\alpha = k_\beta = 1.645$ 로 설정했다는 의미이다. 그럴 경우 1종 에러 5 % 및 2종 에러를 모두 0.1 %로 설정한 그림 3-4와는 차이를 보이고 있다. 왜냐하면 $k_\alpha = 1.645$, $k_\beta = 3.09$ 로 설정했기 때문이다. 두 그림의 차이에서 보면 동일한 식을 사용한 경우에도 에러범위를 어떻게 사용하느냐에 따라서 MDA 값은 달라질 수 있다는 것을 보여준다. 일반적으로 MDA값을 낮추기 위해서 분석자들은 노력하고 낮은 값이 좋은 것으로 평가되고 있지만, 동일한 식으로도 어떻게 설정값을 선정하느냐에 따라서 달라지기 때문에 다른 기준을 이용하여 설정한 MDA를 서로 비교하는 것은 무의미 하다고 볼 수 있다. 표 3-1에서는 계산한 MDA 식에 대해서 각각의 시간에 대한 변화량을 보여주고 있다.

독일 DIN(측정시간 다름),유의수준=95 %

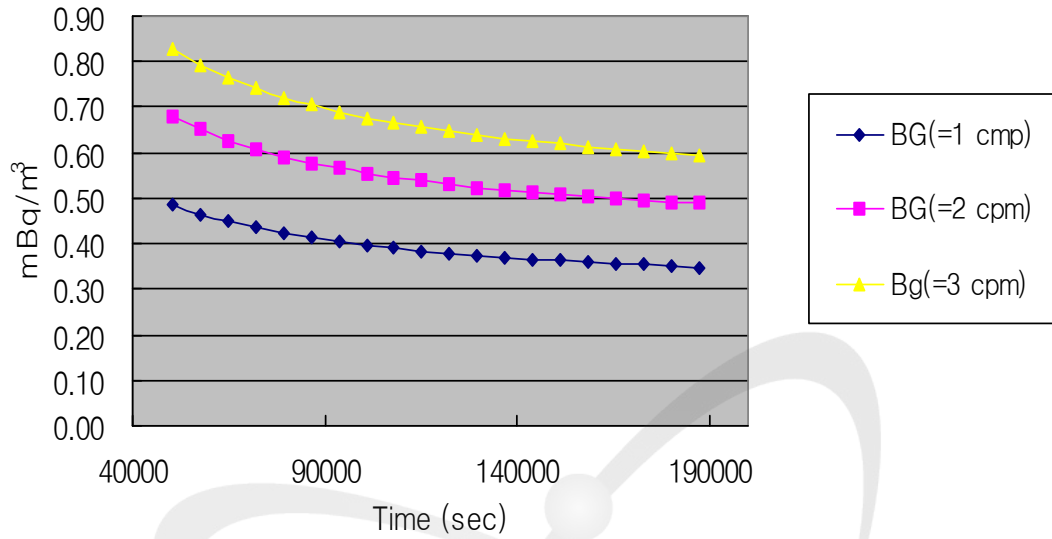


그림 3-3 측정시간 다름 경우 유의수준 95 %일 경우 MDA

독일 DIN(측정시간 다름),1종과오(5%), 2종과오(0.1%)

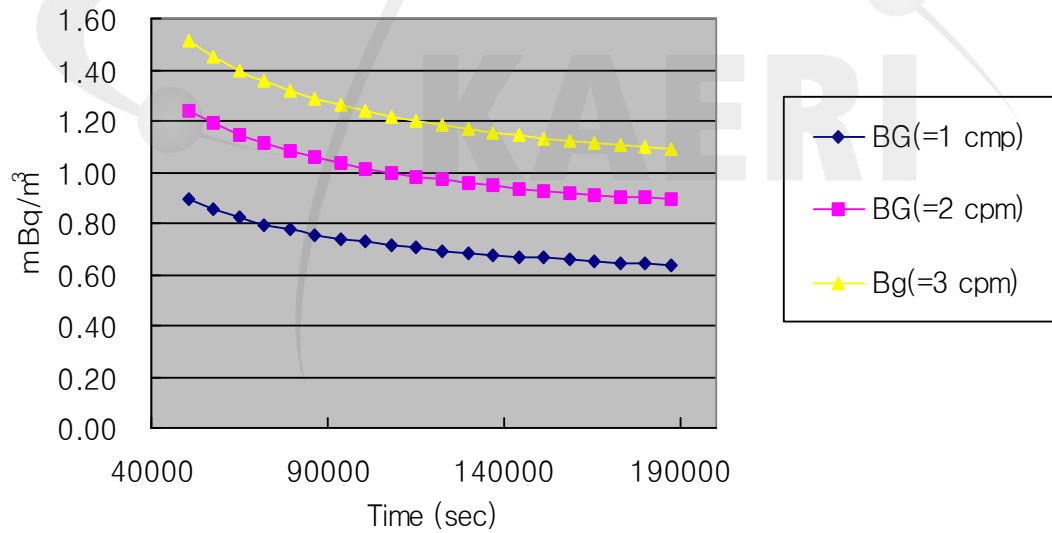


그림 3-4 측정시간 다름 경우 제 1종 과오 5 % 및 2종 과오 0.1 %로 했을 경우 MDA

표 3-1 유도식에 따라 시간에 따른 MDA 값의 변화

MDA 구하는 방법		Currie 식에서 $t_b=t_m$ 이 같음 제1,2종 과오 95 %			Currie 식에서 t_b,t_m 이 다름 제1,2종 과오 95 %			DIN 제1,2종 과오 95 %			DIN 제1종 과오 95 %, 제 2종 과오 99.99 %		
		1			2			3			4		
$t_m(h)$	t_s	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
14	50400	0.66	0.93	1.13	0.58	0.82	1.00	0.49	0.68	0.83	0.89	1.24	1.51
16	57600	0.62	0.87	1.06	0.55	0.78	0.95	0.47	0.65	0.79	0.85	1.19	1.45
18	64800	0.58	0.82	1.00	0.53	0.75	0.92	0.45	0.63	0.76	0.82	1.15	1.40
20	72000	0.55	0.77	0.95	0.52	0.73	0.89	0.43	0.61	0.74	0.80	1.11	1.35
22	79200	0.52	0.74	0.90	0.50	0.71	0.87	0.42	0.59	0.72	0.77	1.08	1.32
24	86400	0.50	0.71	0.86	0.49	0.69	0.85	0.41	0.58	0.70	0.76	1.06	1.29
26	93600	0.48	0.68	0.83	0.48	0.68	0.83	0.40	0.57	0.69	0.74	1.03	1.26
28	100800	0.46	0.65	0.80	0.47	0.67	0.81	0.40	0.56	0.68	0.73	1.02	1.24
30	108000	0.45	0.63	0.77	0.46	0.65	0.80	0.39	0.55	0.67	0.71	1.00	1.22
32	115200	0.43	0.61	0.75	0.46	0.64	0.79	0.38	0.54	0.66	0.70	0.98	1.20
34	122400	0.42	0.59	0.72	0.45	0.64	0.78	0.38	0.53	0.65	0.69	0.97	1.18
36	129600	0.41	0.57	0.70	0.45	0.63	0.77	0.37	0.52	0.64	0.68	0.96	1.17
38	136800	0.40	0.56	0.68	0.44	0.62	0.76	0.37	0.52	0.63	0.68	0.95	1.15
40	144000	0.39	0.55	0.67	0.44	0.61	0.75	0.37	0.51	0.63	0.67	0.94	1.14
42	151200	0.38	0.53	0.65	0.43	0.61	0.74	0.36	0.51	0.62	0.66	0.93	1.13
44	158400	0.37	0.52	0.64	0.43	0.60	0.74	0.36	0.50	0.61	0.66	0.92	1.12
46	165600	0.36	0.51	0.62	0.42	0.60	0.73	0.36	0.50	0.61	0.65	0.91	1.11
48	172800	0.35	0.50	0.61	0.42	0.59	0.73	0.35	0.50	0.60	0.65	0.91	1.10
50	180000	0.35	0.49	0.60	0.42	0.59	0.72	0.35	0.49	0.60	0.64	0.90	1.10
52	187200	0.34	0.48	0.58	0.41	0.58	0.72	0.35	0.49	0.60	0.64	0.89	1.09

독일에서 도입된 장비지만 대부분의 국가 및 기관에서 사용하는 Currie의 L_D 를 이용한 MDA를 기준으로 백그라운드 계수율에 대한 MDA 변화량을 그림 3-5에서 보여주고 있다. CTBTO(Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization) 기준인 1.0 mBq/m^3 을 달성하기 위해서는 분당 4 cpm을 넘어서면 안 된다. 다음절에서 MDA를 낮추기 위한 방안에 대해서 설명하기 때문에 이에 대해서는 본 절에서는 생략하였다. 독일 측 판매자의 제시 목표치인 0.7 mBq/m^3 을 달성하기 위해서는 2 cpm을 넘어서면 안 된다. 또한 본 실험실의 목표치인 0.5 mBq/m^3 를 달성하기 위해서는 1 cpm으로 CTBTO 기준치에서의 백그라운드 계수율에 비해서 1/4배로 저감화시켜야 한다. 위에서 보면 모든 기준들이 동일하다면 백그라운드 계수율을 낮추는 것이 MDA를 낮추는 가장 좋은 방법이다.

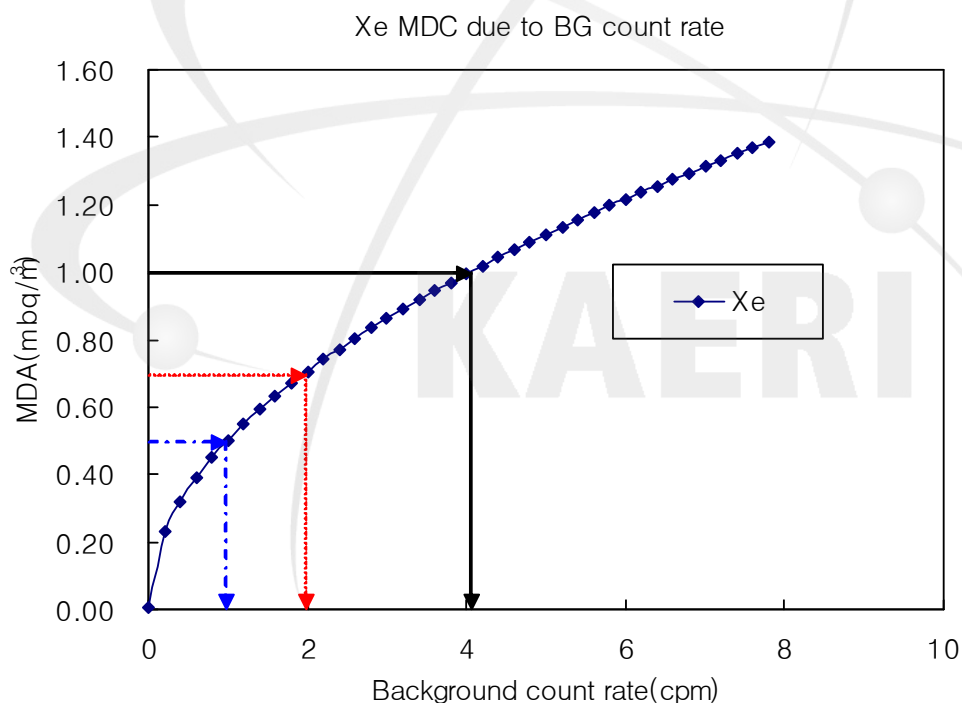


그림 3-5 백그라운드 계수율에 따른 MDA 변화

나. Currie 식을 이용한 크립톤 MDA 산출

크립톤의 MDA를 구하기 위해서 먼저 크립톤 방사능 분석방법을 간략히 소개하였다. 크립톤은 반감기가 아주 길기 때문에 샘플링이나 측정 등에 의해서 붕괴되는 보정은 필요 없다. 효율 및 다른 파라미터를 이용하여 구하면 약 1.56 Bq/m³ 정도가 나온다.

- 1) 크립톤 방사능 계측은 계측기로부터 계수율을 구한다.
- 2) 크립톤 계측기의 효율을 구한다.
- 3) 크립톤 계측기내에 포집된 크립톤가스의 부피를 측정한다.

$$A_{Kr-85} = C \times \frac{R}{\epsilon \times V} \quad (3-6)$$

여기서 A_{Kr-85} : 공기 중 Kr-85 activity (Bq/m³)

R: Kr 계측기에서 측정된 순 계수율 (cps)

C: 공기 중 Kr가스의 체적비(1.14 cm³/m³), 항상 일정

V: Kr 계측기 내에 포집된 Xe의 부피 (cc 또는 cm³)

ϵ : Kr 계측기의 효율(일반적으로 70 %이상 나옴)

표 3-2 크립톤 방사능 예시

백그라운드 계수율 (CPS)	0.03
순 계수율 (cps)	4.11
효율	0.91
포집량(mL)	3.26 ~6.7
방사능 (Bq/m ³)	1.56

먼저 크립톤의 MDA 산출을 위해서 Currie식에 근거한 LLD를 이용했으며, 식 (3-1)을 이용하였다. 거기에 사용된 변수는 표 3-2에서 이용하여 구하였다. Xe과 달리 Kr의 경우는 MDA가 큰 문제가 되지 않았다. 왜냐하면 Kr의 방사능이 Bq단위로 MDA의 mBq단위보다 1000배나 높기 때문에 쉽게 측정할 수 있다. 즉 저준위에서 MDA가 중요하지 일반 환경에서 백그라운드에 비해 방사능이 상대적으로 높은 크립톤에 대한 것은 큰 의미가 없는 것으로 판단된다. 다시 한번 요약하면 크립톤 방사능 준위는 표 3-2에서 보였듯이 1.56 Bq/m^3 이다. 그런데 MDA는 수 mBq/m^3 이기에 이에 대한 설명은 단위에 조심해야 한다. 그림 3-6에서는 방사능 농도에 약 0.7 % 수준인 10 Bq/m^3 을 기준으로 설정했을 때 측정시간을 몇 초로 해야 하느냐를 결정할 수 있다. 아래에서 보면 백그라운드 cpm에 따라서 달라지긴 하지만 1시간 이내에 측정하면 된다. 즉 제논 측정시간 24시간을 크립톤에 적용하면 MDA 값은 충분히 낮아지기 때문에 고려하지 않아도 된다는 이야기다. 본 장비의 보통 백그라운드는 2 cpm보다 낮다. 그림에서 2 cpm인 경우에는 약 1260 sec에 10mBq/m^3 에 도달하을 알 수 있다.

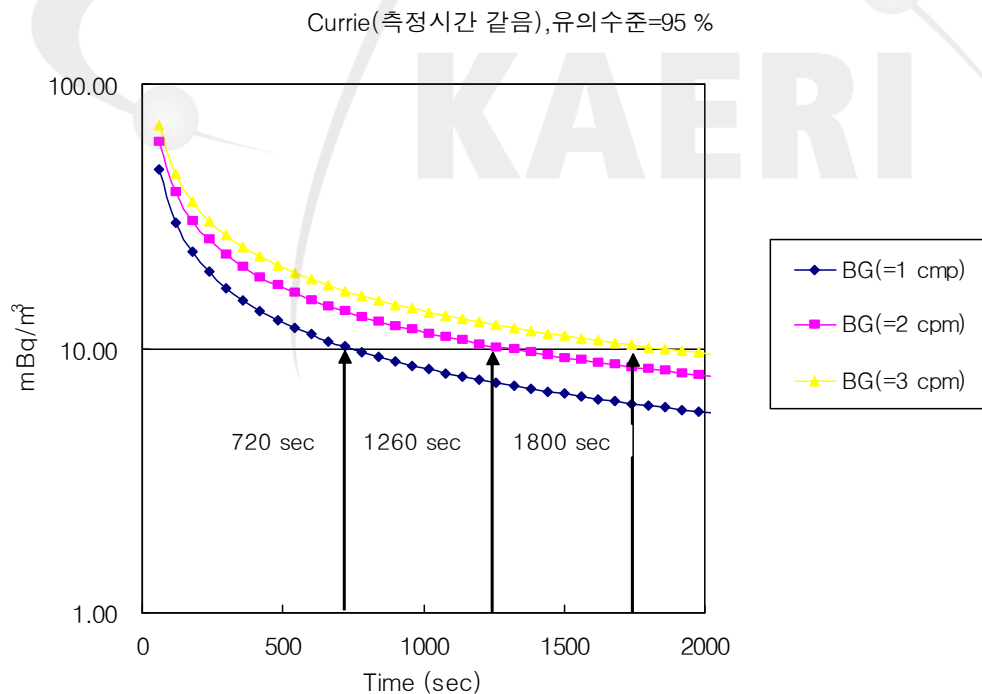


그림 3-6 백그라운드 계수율에 따른 MDA 변화

그림 3-7에서 보였듯이 백그라운드 계수율이 1, 2, 3 cpm일 경우 24시간 측정 시 MDA는 각각 0.81, 1.13, 1.39 mBq/m³이었다. 따라서 측정값(1.56 Bq/m³)의 0.089 %이기 때문에 MDA는 고려하지 않아도 된다는 의미다. 다시 말해서 측정값의 방사능 농도가 충분히 높다는 의미이고 백그라운드 요동으로부터 충분히 유의한 값을 얻을 수 있다는 의미이다. 주로 크립톤 분석 시 제논과 같이 24시간 측정하는데 그 이유는 제논결과 값과 동시에 나오기 때문에 따로 분리할 필요가 없어서 제논 측정 시간에 맞춘 것이다. 그러나 만일 분리하여 크립톤만 측정하다면 위에서 설명했듯이 1시간이내면 충분하다고 할 수 있다. 현재 10 m³의 공기를 포집하는데 포집량을 1/100에 줄이고 측정시간을 24시간으로 해도 된다. 포집량을 줄인다고, 계측기의 백그라운드 줄이려고 역동시 회로를 이용, 또는 측정시간을 단축해도 MDA 값보다는 측정값이 높기 때문에 유의한 수준의 결과를 얻을 수 있다.

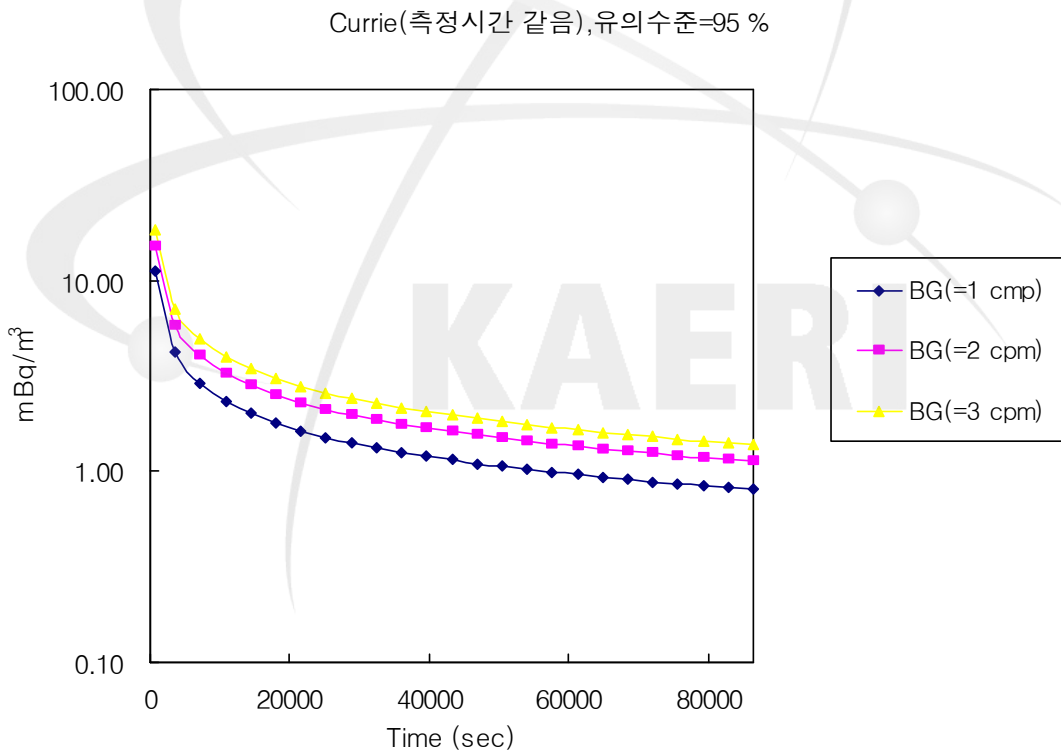


그림 3-7 시간에 따른 MDA 변화(백그라운드 계수율 : 1, 2, 3 cpm)

그림 3-8에서 보면 크립톤의 경우 MDA를 10 mBq/m³로 설정한다면 백그라운드 계수율을 160 cpm을 가져도 된다. 다시 말하면 백그라운드를 낮추기 위해서 역동시회로나 차폐에 크게 고려하지 않아도 된다는 의미이다. 방사능 측정에서 백그라운드를 낮추는 일은 많은 시간과 경제적인 요소가 들어가기 때문에 이런 면에서 크립톤 분석은 제약이 적다.

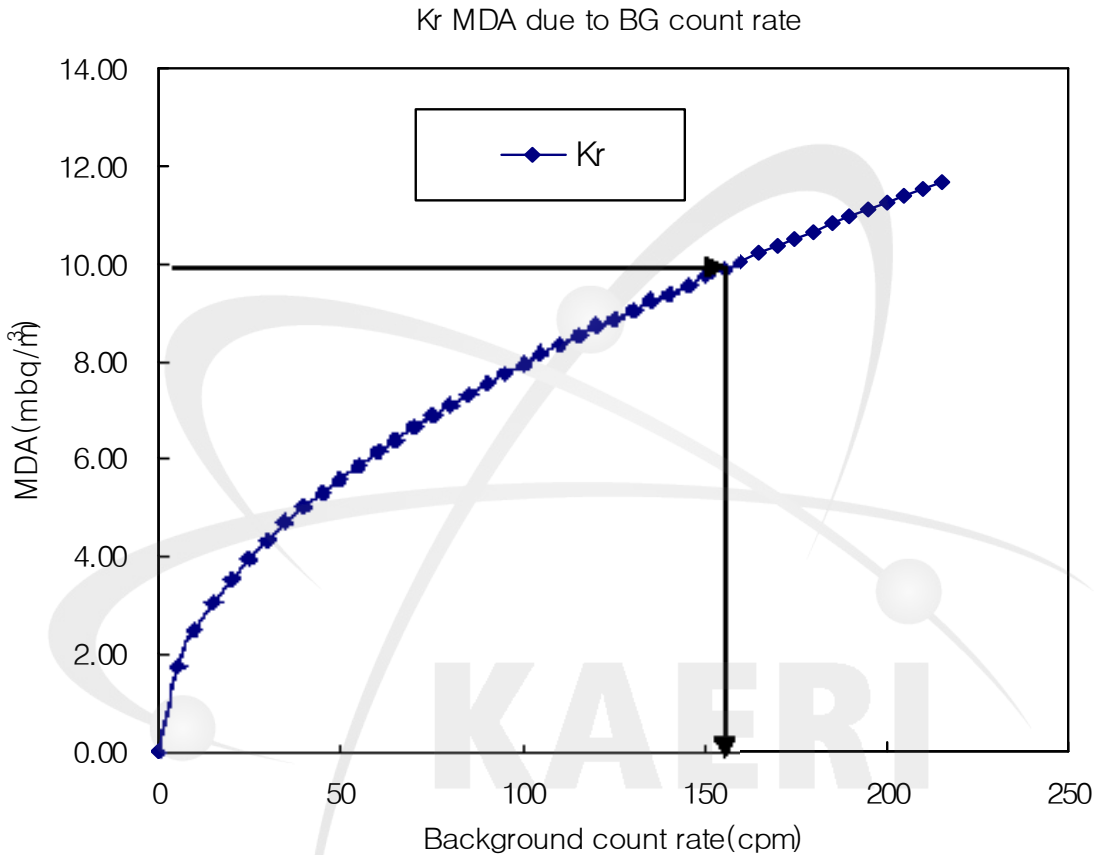


그림 3-8 백그라운드 계수율에 따른 MDA 변화

또한 그림 3-9에서는 공기포집량에 따라서 MDA의 변화량을 보여주고 있다. 만일 MDA를 약 0.7 % 수준인 10 mBq/m³을 기준으로 설정했을 때 포집량을 보여주고 있다. 그림에서 보면 0.8 m³ 만을 포집해도 된다는 의미이다. 즉 현재 10m³을 포집하기 때문에 8 %만의 양으로도 충분히 방사능 농도를 판별해 낼 수 있고 더불어 백그라운드에 비해 유의한 값을 얻을 수 있다는 의미이다. 포집량을 줄이면 그에 따른 흡착기가 준다든가 시간이 절약되어 이에 대한 이득이 많게 된다.

Kr MDA due to air collection volume of air

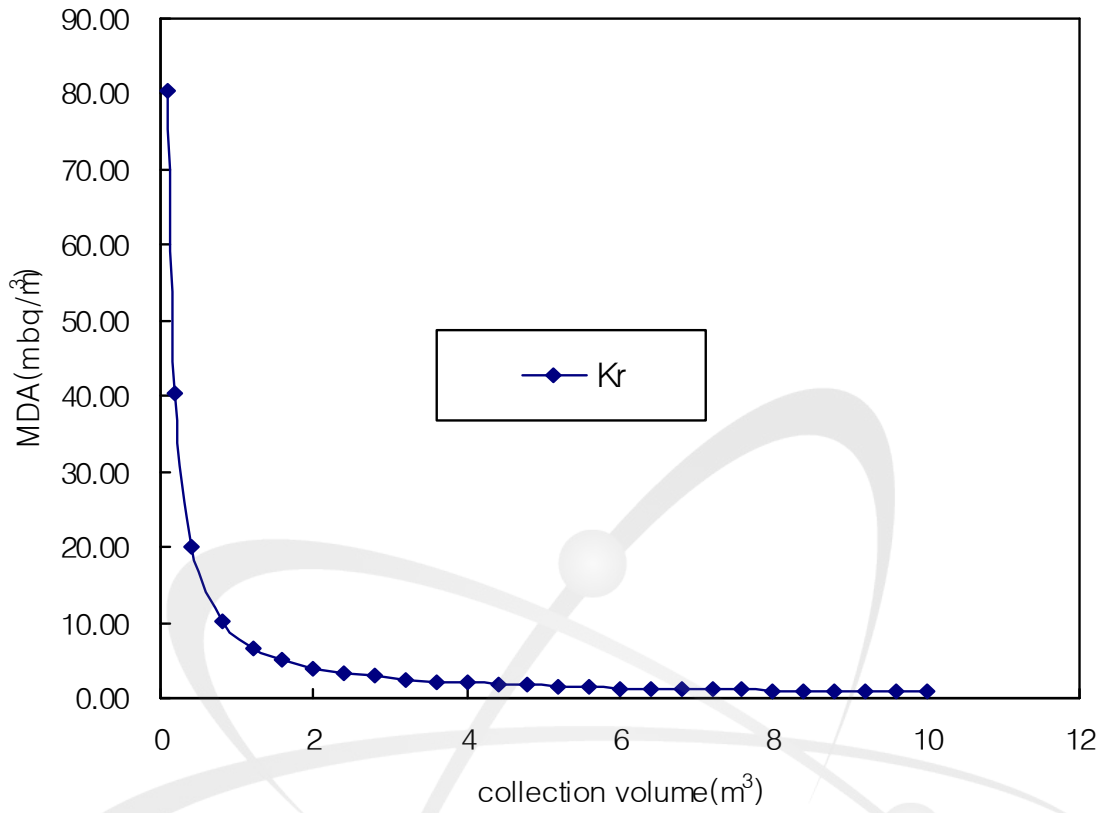


그림 3-9 공기포집량에 따른 MDA 변화

KAERI

제 2 절 노블가스 분석에서 MDA 저감화 방법

가. 대기 중 노블가스 방사성 핵종 분석방법

공기 중 제논을 분석하기 위해서는 특수 전처리, 1차 및 2차 농축, 분리정제 및 마지막으로 방사능 계측을 한다[7-12]. 먼저 MDA를 구하기 위해서 식(3-7)은 공기 중 방사성 제논(^{133}Xe)의 방사능을 구하는 방법을 보여주고 있다.

$$A_{\text{Xe-133}} = C \times \frac{R}{\epsilon \times V} \times f_1 \times f_2 \times f_3 \quad (3-7)$$

$$f_1 = \frac{\lambda(t_m - t_p)}{1 - e^{-\lambda(t_m - t_p)}}$$

$$f_2 = e^{\lambda(t_p - t_s)}$$

$$f_3 = \frac{\lambda(t_s - t_0)}{1 - e^{-\lambda(t_s - t_0)}}$$

여기서 $A_{\text{Xe-133}}$: 공기 중 Xe-133 activity (mBq/m³)

R : Xe 계측기에서 측정된 순계수율 (cps)

C : 공기 중 Xe 가스의 체적비 (0.087 cm³/m³), 항상 일정

V : Xe 계측기 내에 포집된 Xe의 부피 (cc 또는 cm³)

ϵ : Xe 계측기의 효율(일반적으로 70 %이상 나옴)

f_1 : 계측하는 동안 붕괴에 의한 보정인자

f_2 : 샘플 포집 후 전처리하는 동안 방사능 붕괴에 의한 보정인자

f_3 : 샘플을 포집하는 동안 붕괴에 의한 보정인자

t_0 : 샘플링을 시작하는 시간

t_s : 샘플링을 종료하는 시간

t_p : 전처리를 종료하는 시간

t_m : 측정을 끝내는 시간

식(3-7)에서 나타냈듯이 제논 방사능은 검출기의 계수율과 검출기 내에 포집된 제논의 포집량, 검출효율에 의해서 결정된다. 또한 제논의 반감기가 5.24일로 짧기 때문에 포집에 의한 붕괴보정, 이송에 의한 보정, 측정에 의한 보정이 필요하다. 그림 3-10에서는 보정하는 절차를 보여주고 있다. 식(3-8)은 방사능 측정이 끝난 시점에서의 방사능을 보여주고 있으며, 붕괴보정을 통해서 최종적으로 공기 중 제논 방사능 농도를 결정한다.

$$\bar{A}_m = C \times \frac{R}{\epsilon \times V} \quad (3-8)$$

최소검출농도는 Currie의 식을 근거로 해서 유도하였다[1]. 이때 백그라운드 및 샘플 측정시간이 같다고 가정하고 제 1종 및 2종 과오를 5 % 유의 수준으로 설정하면 식(3-9)과 같이 설정된다.

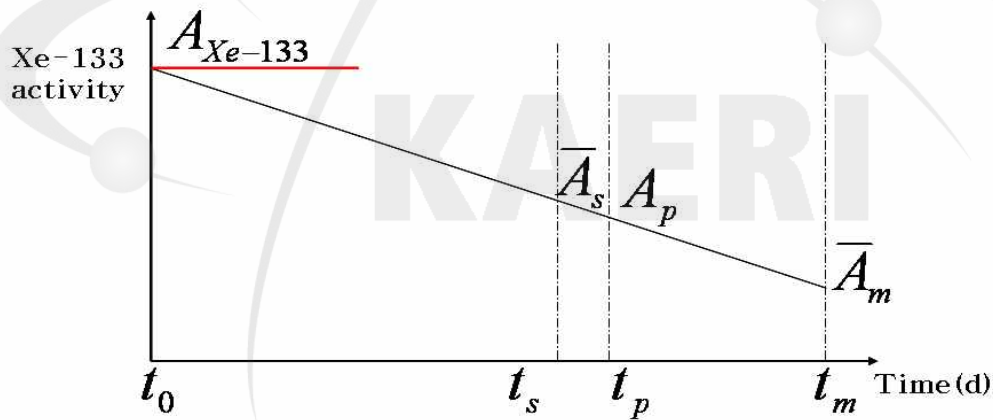


그림 3-10. Decay correction method of Xe measurement among Atmosphere

위에서 언급한 내용을 다시 한번 요약하고 Currie의 식을 간략히 정리하면 아래의 식으로 표현할 수 있다.

$$MDA = \frac{C}{\epsilon \times V \times t_m} \{2.71 + 4.65 \sqrt{R_b \times t_m}\} \quad (3-9)$$

식(3-3)에서 보면 공기 중 제논 방사능 분석 시 MDA를 낮추기 위해서 백그라운드 계수율을 낮추든지, 측정 시간을 길게 하면 된다. 그러나 계수율은 검출기의 성능과 관련이 있고, 측정시간은 무한대로 길게 할 수 없다. 분석 시 실제로 MDA를 낮추기 위해서는 포집량을 높인다든가 또는 계측기의 계측효율을 높이는 것이 현실적이다. 공기 중 방사성 제논 분석에 사용되는 비례계수기 검출기의 백그라운드 계수율은 2.0 cpm이다. 불확도 95 % 신뢰구간에서 14 % 정도를 나타낸다. 측정시간은 24시간으로 고정했을 경우 MDA를 표 3-3에서 보여주고 있다. 최저 0.47 mBq/m³에서 1.04 mBq/m³ 범위에서 변동을 갖는다. 즉 측정할 때마다 MDA가 변한다는 것을 의미한다.

표 3-3 시료의 제논 분석 시 MDA 산출

	최소	최대
포집량(cc)	0.35	0.6
효율(%)	70	90
MDA (mBq/m ³)	1.04	0.47

전처리 시 일부 과정의 자동화, 농축 및 분석 부분 성능개선을 통해 최대 0.47 mBq/m³으로 MDA를 낮췄다. MDA는 시료의 분석할 때마다 차이를 보이는데 평균 0.7 mBq/m³을 보였다. MDA가 0.7 mBq/m³이라는 의미를 살펴보면 MDA 이상인 방사능만 검출이 가능하다는 의미이다. 그러나 저준위 검출에서 방사능이 MDA 이상인 경우도 백그라운드 요동일 확률도 있다는 점을 고려해야 한다. 검출기의 백그라운드 계수율이 2 cpm일 경우 24시간 측정하면 2880 신호가 계측된다. 즉 시료가 없는데 자연신호의 크기가 2880이라는 의미이다. 이때 1 mBq/m³의 시료를 검출한다고 가정하면 시료에 의한 순 계수치는 최대 400개 정도 된다. 즉 순 계수치는 백그라운드의 14 % 이내이다. 이 정도는 앞에서 언급한 백그라운드 불확도가 95 %

신뢰구간에서 14 % 정도이기 때문에 백그라운드 수준의 요동에 의한 값일 수도 있다. 즉 확률은 매우 낮지만 1 mBq/m³라고 측정된 시료의 방사능이 백그라운드의 요동일 수도 있다는 점을 고려해야 한다.

앞에서 언급한 내용을 요약하면 1 mBq/m³방사능은 분명히 MDA(=0.7 mBq/m³)보다 높기 때문에 분석에서 시료의 방사능 값으로 나타내지만 백그라운드의 요동에 의한 가능성을 완전히 배제한 것은 아니라는 점이다.



제 4 장 토의 및 결론

본 보고서에서는 일반적인 LLD 개념을 도입하여 공기 중에 방사성 제논 및 크립톤 분석 시 MDA값을 설정하였고, 또한 MDA를 낮출 수 있는 파라메타를 고찰하였다. 이를 통해서 분석 시 MDA를 낮추는 방안을 제시하였다. 그러나 MDA 이상으로 방사능이 검출된 경우도 미량 극 저준위 분석에서는 백그라운드의 요동에 의한 가능성이 항상 존재한다. 따라서 미량시료 분석 시 결과 해석에 그런 점을 고려해야 할 것이다. 본 보고서에서 제시된 MDA는 대기 중 제논 및 크립톤 분석에 활용될 예정이고 이에 따라서 절차화 된 MDA를 사용하여 일관되게 보고할 수 있어서 향후 검출기 성능향상 테스트등에 활용될 수 있을 것이다. 크립톤의 경우에는 백그라운드 요동보다 공기 중 크립톤 농도가 높기 때문에 이에 MDA 설정보다는 현재 설정되어 있는 포집양 및 측정시간 등에 대한 최적조건을 다시 설정하는 것이 중요하였다. 현재 제논 및 크립톤을 동시에 분석하기 때문에 측정시간 및 포집량등이 제논에 의해서 결정되었지만 따로 분석한다면 재 설정이 필요할 것으로 판단된다.

The logo for KAERI (Korea Atomic Energy Research Institute) is centered on the page. It features the word "KAERI" in a bold, sans-serif font. Above the text is a stylized graphic consisting of two curved lines that sweep upwards and outwards, ending in small circles, resembling a molecular structure or a dynamic path.

제 5 장 참고문헌

- [1] L.A Currie, "Limits for qualitative detection and quantitative determination ", Anal. chem., 40(30), pp. 586-593, 1968.
- [2] 이재기, "환경방사능 감시 : 워크숍 환경방사능 검출한계에 대한 고찰" 한국원자력안전기술원, 1996.
- [3] 한국원자력연구원, 금동권 외 다수, 대기 중 Kr-85 분석기술 개발, 2004.
- [4] 이명호 외 다수, " 환경시료 중 Pu 측정에서 최소검출방사능 농도 산출에 대한 연구" 분석과학회지, vol. 14. No.1, 2001.
- [5] 한국원자력안전기술원, "계측통계", 2000.
- [6] 한국원자력안전기술원, " KINS/G-009, 방사능표준분석법", 감마핵종분석법.
- [7] 이완로 외 다수, "공기 중 방사성 제논 측정에서 최소검출농도(MDA) 산출에 관한 연구", 2010 한국방사성폐기물학회 춘계학술대회
- [8] Y. Igarashi, M. Aoyama, K. Nemoto, K. Hirose, T. Miyao, K. Fushimi, M. Suzuki, S. Yasui, Y. Asai, I. Aoki, K. Fujii, S. Yamamoto, H. Sartorius and W. Weiss,, ⁸⁵Kr measurement system for continuous monitoring at the Meteorological Research Institute, Japan, J. of Environmental Monitoring, 3, 688-696, 2001.
- [9] Y. Igarashi, H. Sartorius, T. Miyao, W. Weiss, K. Fushimi, M. Aoyama, K. Hirose and H. Y. Inoue, ⁸⁵Kr and ¹³³Xe monitoring at MRI, Tsukuba and its importance, J. of Environmental Radioactivity, 48, 191-202, 20002.
- [10] Y. Igarahi, T. Miyao, Mi. Aoyama, K. Hirose, H. Sartorius and W. Weiss, Radioactive noble gases in surface air monitored at MRI, Tsukuba, before and after the JCO accident, J. of Environmental Radioactivity, 50, 107-118, 2000.

[11] Y. Aregbe, K. Mayer, S. Valkiers and P. DE Bievre, Detection of reprocessing activities through stable isotope measurements of atmospheric noble gas, J. Anal. Chem., 358, 533-535, 1997.

[12] 한국원자력연구원, 이완로 외 다수, “대기 중 제논 및 크립톤 포집기술”, KAERI/TR-4087/2010, 2010.



서 지 정 보 양 식

수행기관보고서번호	위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS 주제코드		
KAERI/TR-4133/2010					
제목 / 부제	대기 중 노블가스 측정에서 최소검출농도(MDA) 산출에 관한 연구				
연구책임자 및 부서명	이완로 (원자력환경안전연구부)				
연구자 및 부서명	이창우 (원자력환경안전연구부) 최상도 (원자력환경안전연구부) 최근식 (원자력환경안전연구부) 조영현 (원자력환경안전연구부) 전 인 (원자력환경안전연구부)				
출판지	대전	발행기관	한국원자력연구원	발행년	2010.9
페이지	32 p.	도표	있음(○), 없음()	크기	21×29.7Cm.
참고사항	원자력연구개발사업과제				
공개여부	공개(○), 비공개()		보고서종류	기술보고서	
비밀여부	대외비(), _ 급비밀				
연구위탁기관			계약번호		
초록 (15-20줄내외)	<p>대기 중에 방사성 노블가스 분석 시 MDA값을 설정하였고, 또한 MDA를 낮출 수 있는 파라메타를 고찰하였다. 이를 통해서 분석 시 MDA를 낮추는 방안을 제시하였다. 그러나 MDA 이상으로 방사능이 검출된 경우도 미량 극 저준위 분석에서는 백그라운드의 요동에 의한 가능성이 항상 존재한다. 따라서 미량시료 분석 시 결과 해석에 그런 점을 고려해야 할 것이다.</p>				
주제명키워드 (10단어내외)	최소검출농도, 제논, 크립톤				

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET						
Performing Org. Report No.		Sponsoring Org. Report No.		Standard Report No.		INIS Subject Code
KAERI/TR-4133 /2010						
Title / Subtitle		Minimum Detectable Activity(MDA) for Analysis of Noble Gas in Atmosphere				
Project Manager and Department (or Main Author)		Wanno Lee(Nuclear Environment Safety Research Division)				
Researcher and Department		Sang-Do Choi (Nuclear Environment Safety Research Division)				
Young Hyun Cho (Nuclear Environment Safety Research Division) Chang Woo Lee (Nuclear Environment Safety Research Division) Geun-Sik Choi (Nuclear Environment Safety Research Division) Sang-Do Choi (Nuclear Environment Safety Research Division) In Jun (Nuclear Environment Safety Research Division)						
Publication Place	Daejeon	Publisher	KAERI	Publication Date	Sep. 2010	
Page	32 p.	Ill. & Tab.	Yes(○), No ()	Size	21×29.7Cm	
Note						
Open	Open(○), Closed()					
Classified	Restricted(), ___Class Document		Report Type	Technical Report		
Sponsoring Org.			Contract No.			
Abstract (15-20 Lines)						
<p>The MDA value has been estimated in radioactivity analysis of noble gas in atmosphere. It is proposed how to reduce MDA in ultra low background sample and introduced several type of MDA used in the field. The minimum MDA value for total xenon is 0.4 mBq/m³ and the range of MDA value is almost below 1 mBq/m³. This factor is lower than that value proposed from the company of Germany. Here the MDA of ⁸⁵Kr is proposed and the minimum time is determined.</p>						
Subject Keywords (About 10 words)		MDA, Xenon, Kr				