

Seasonal Variation of ^{7}Be and ^{137}Cs Concentrations in Airborne Dust, Dry Fallout and Precipitation in Daejeon

Chang-Kyu kim, Seung-Chan Lee*, Dong-Myung Lee and Byung-Hwan Rho

Korea Institute of Nuclear Safety

*Department of Physics, Kyungpook National University

대전지역 대기부유진, 낙진 및 강수 중 ^{7}Be 및 ^{137}Cs 방사능 농도의 계절별 변화

김창규, 이승찬*, 이동명, 노병환

한국원자력안전기술원

*경북대학교 물리학과

(2001년 4월 10일 접수, 2001년 12월 31일 채택)

Abstract-The seasonal variation of ^{7}Be and ^{137}Cs concentrations in airborne dust, precipitation and dry fallout collected at Daejeon during the period of 1998 ~ 1999 has been studied. The annual mean values of ^{7}Be concentrations in airborne dust, precipitation and dry fallout were in the range of $3.80 \sim 4.29 \text{ mBq m}^{-3}$, $1.25 \sim 1.67 \text{ Bq l}^{-1}$, $19.7 \sim 22.3 \text{ MBq km}^{-2}$, respectively. The annual mean values of ^{137}Cs concentrations in airborne dust, precipitation and dry fallout ranged $1.08 \sim 1.28 \mu\text{Bq m}^{-3}$, $0.44 \sim 2.66 \text{ mBq l}^{-1}$ 및 $0.036 \sim 0.0455 \text{ MBq km}^{-2}$, respectively. While the concentrations of ^{7}Be and ^{137}Cs in airborne dust and dry fallout were relatively higher in the spring and autumn when the amount of dry fallout increased than in other season, their concentrations in precipitation were relatively lower in the summer when the rainfall increased. The total depositions of ^{7}Be and ^{137}Cs due to dry fallout and precipitation were in the range of $80.7 \sim 137 \text{ MBq km}^{-2}$ and $0.059 \sim 0.060 \text{ MBq km}^{-2}$, respectively. More than 80% of ^{7}Be deposition resulted from precipitation, whereas about 60% of ^{137}Cs deposition was due to dry fallout.

Key words : ^{7}Be , ^{137}Cs , airborne dust, precipitation, dry fallout, total deposition

요약-1998년부터 1999년까지 대전지역 대기부유진, 강수 및 낙진 중 ^{7}Be and ^{137}Cs 방사능 농도의 계절적 변화를 검토하였다. 대기부유진, 강수 및 낙진중 ^{7}Be 의 연평균 농도범위는 각각 $3.80 \text{ mBq m}^{-3} \sim 4.29 \text{ mBq m}^{-3}$, $1.25 \text{ Bq l}^{-1} \sim 1.67 \text{ Bq l}^{-1}$, $19.7 \sim 22.3 \text{ MBq km}^{-2}$ 였다. 한편, 대기부유진, 강수 및 낙진 중 ^{137}Cs 연평균 농도범위는 $1.08 \mu\text{Bq m}^{-3} \sim 1.28 \mu\text{Bq m}^{-3}$, $0.44 \text{ mBq l}^{-1} \sim 2.66 \text{ mBq l}^{-1}$ 및 $0.036 \sim 0.0455 \text{ MBq km}^{-2}$ 범위였다. 대기부유진 및 낙진 중 ^{7}Be and ^{137}Cs 농도는 낙진량이 많은 봄과 가을철에 높은 농도를 나타내었으며, 강수 중 ^{7}Be and ^{137}Cs 농도는 타 계절에 비해 강수량이 많은 여름철에 비교적 낮은 농도를 나타내었다. 한편, 낙진과 강수에 의한 ^{7}Be and ^{137}Cs 의 연평균 총 침적량은 각각 $80.7 \sim 137 \text{ MBq km}^{-2}$ 및 $0.059 \sim 0.060 \text{ MBq km}^{-2}$ 범위였으며, ^{7}Be 의 총 침적량중 약 80% 이상이 강우에 의해 침적되는 반면, ^{137}Cs 은 약 60% 정도가 낙진에 의해 침적되는 것을 알 수 있었다.

중심어 : ^{7}Be , ^{137}Cs , 대기부유진, 강수, 낙진, 총 강하량

서 론

대기 중에 존재하는 천연 방사성핵종에는 우라늄과 토륨계열의 라돈, 토론 및 그의 딸핵종을 비롯하여 ^{14}C , ^3H , ^7Be 등의 우주선에 의해 생성된 핵종들이 있다. 이러한 천연 방사성핵종 중 ^7Be 은 우주선과 대기 중 O_2 및 N_2 와의 원자핵반응에 의해 생성되며, ^7Be 의 대기 중 농도는 라돈 및 토론의 딸핵종들에 비해 비교적 높은 것으로 알려져 있다[1-3]. 따라서, 환경방사능의 Background 준위의 파악을 위한 일환으로서 ^7Be 의 자연환경에서의 농도변화 특성을 관찰할 필요가 있다[4]. 우주선에 의해 생성된 ^7Be 의 약 2/3가 성층권에 존재하며 대기중의 분진에 흡착된 후 성층권과 대기권의 공기순환과정을 통하여 대기권에 진입한 다음 벗물에 의해 지표면으로 강하하는 것으로 알려져 있다[5-7]. 따라서, ^7Be 은 성층권과 대기권간의 대기순환과정과 공기 및 벗물중의 ^7Be 농도를 시간별로 관측하여 벗물에 의한 방사성핵종의 Scavenging 과정을 연구하는데 대상 핵종으로 많이 이용되고 있다[8-9].

한편, 최근에는 중국 황사현상이 날로 심화되면서 황사에 관련된 연구에 ^7Be 뿐만 아니라 ^{137}Cs 및 ^{90}Sr 과 같은 인공 방사성핵종의 강우에 의한 Scavenging 효과와 Washout rate 산출 등에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다[10-11]. 그러나, 국내의 경우는 이러한 방사성핵종의 대기학적 거동에 관한 연구는 물론 지표면 대기 중 ^7Be 및 ^{137}Cs 에 대한 자료조차도 충분하지 못한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 국내 대기 환경에서 강우에 의한 방사성핵종의 Scavenging 효과와 Washout coefficient 산출의 궁극적인 목적을 달성하기에 앞서 우선 기초적인 단계로서 국내 지표면 대기 및 강수와 낙진중 ^7Be 과 ^{137}Cs 농도에 대한 기초자료를 확보할 목적으로 1998년 4월부터 1999년 12월까지 대전 지역의 대기부유진, 낙진 및 강수 중 ^7Be 과 ^{137}Cs 농도의 월별 변동과 강우량과의 상호관계를 검토하였다.

재료 및 방법

시료채취 및 전처리

대기부유진, 벗물 및 낙진은 한국원자력안전기술원의 중앙 모니터링 포스트 옥상(지상으로부터 약 2m 높이)에서 1998년 4월부터 1999년 12월까지 한달 간격으로 매월 채취하였다. 대기부유진은 High volume air sampler(Model: HVP-3500

AFC/230, HI-Q Environmental Products, Co. USA)를 이용하여 $1,000 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ 의 포집율로 한달 간 채취하여 3일에 한번씩 필터를 교체하였다. 한달 동안 포집한 대기부유진 포집필터는 모두 450°C 의 전기로에서 회화시킨 다음 U-8 용기에 충진하였다.

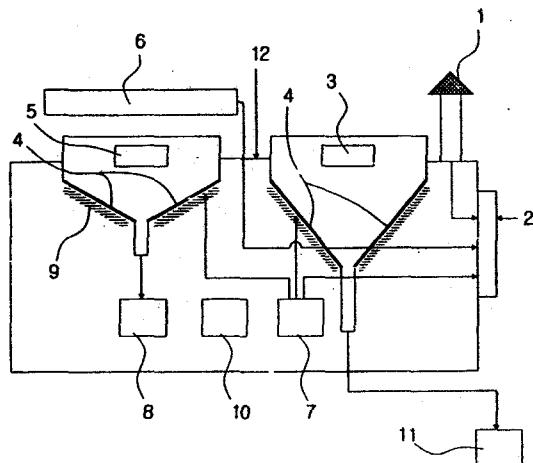


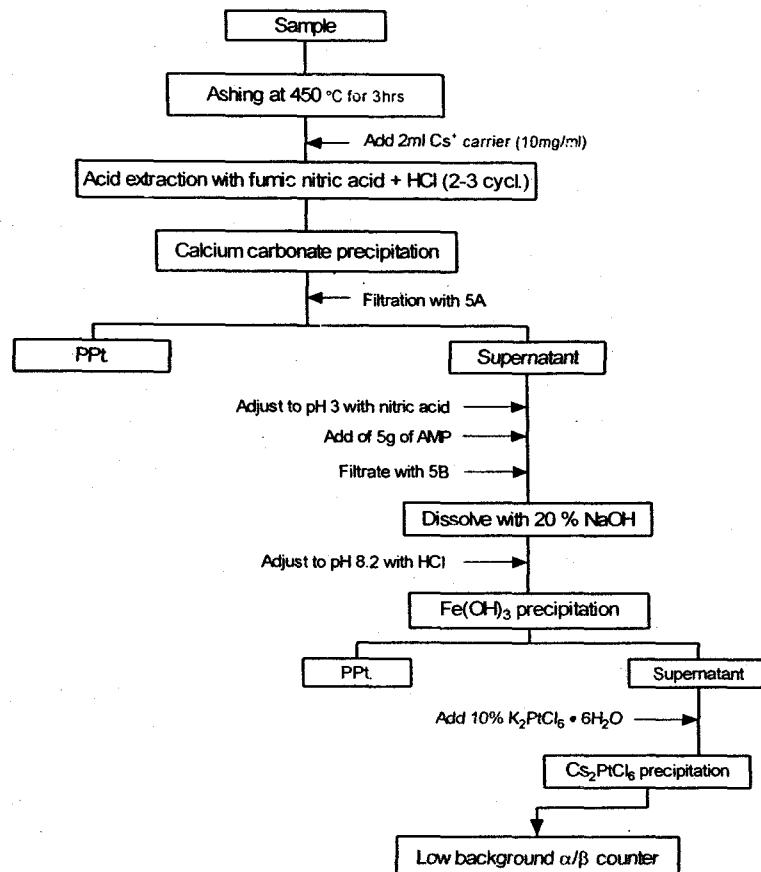
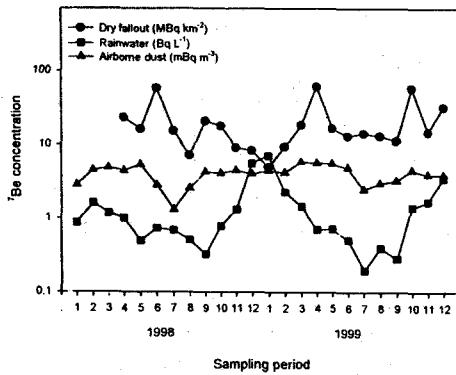
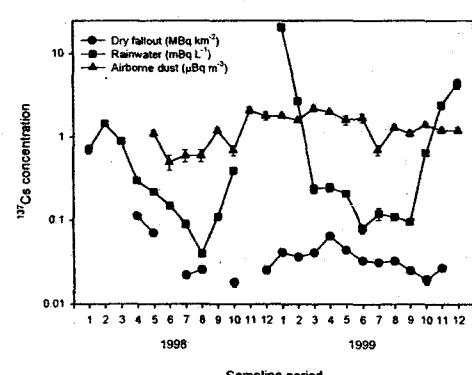
Fig. 1. Simultaneous collector of dry fallout and precipitation.

(1) Rain censor, (2) System controller, (3) Rain bath, (4) Surface of rain bath(Teflon coating), (5) Dry fallout bath, (6) Sliding cover, (7) Temperature controller, (8) Dry fallout trap, (9) Heater, (10) Gear box, (11) Precipitation trap, (12) Moving rail of sliding cover

벗물 및 낙진 포집기는 한국원자력안전기술원이 자체 제작한 벗물 낙진 자동 동시포집기를 이용하여 포집하였다(그림 1). 벗물 낙진 자동 동시포집기는 면적 1.5 m^2 크기의 2개의 수조로 되어 있으며 수조 표면은 녹방지를 위하여 텐포론으로 코팅되어 있다. 본 장치에는 벗물센서가 부착되어 있어 벗물과 낙진을 자동으로 분리 포집할 수 있도록 되어 있으며, 벗물 및 낙진 수조 하단부에는 200L 용량의 플라스틱 용기를 설치하여 벗물과 낙진을 자동으로 받을 수 있도록 하였다. 포집된 각각의 시료는 실험실로 옮겨온 후 증발 건고시켰다.

^7Be 방사능 농도 정량

증발 건고 후 얻어진 잔유물은 U-8 용기에 충진하고 무게를 쟁 다음 고순도 게르마늄반도체 검출기(HPGe, Tennelec ERVDS 30-25210, USA)를 이용하여 ^7Be 을 측정하였으며, 478keV의 감마피크를 이용하여 ^7Be 의 방사능 농도를 정량하였다.

Fig. 2. Flow chart of separation of ^{137}Cs in airborne dust, dry fallout and precipitation.Fig. 3. Seasonal variation of ^{7}Be concentrations in airborne dust, dry fallout and precipitation.Fig. 4. Seasonal variation of ^{137}Cs concentrations in airborne dust, dry fallout and precipitation.

¹³⁷Cs의 화학분리 및 방사능 농도 정량

¹³⁷Cs의 방사능 농도는 고순도 게르마늄반도체 검출기(HPGe)를 이용하여 ¹³⁷Cs으로부터 방출되는 662 keV의 감마선선팩트를 이용하여 직접 정량하는 것이 일반적이나, 강수 및 낙진중 ¹³⁷Cs의 방사능 농도가 매우 낮기 때문에 화학적 전처리 없이 직접 정량이 곤란하였다. 따라서, 그림 2에 나타낸 것처럼 빗물 및 낙진을 증발 전고시켜 얻어진 각각의 잔유물 중 ⁷Be을 고순도 게르마늄반도체 검출기(HPGe)를 이용하여 직접 측정 한 후 잔유물 중에 존재하는 유기물을 분해하기 위하여 450°C의 전기로에서 3시간 동안 회화시킨 후 질산용액(1+1)을 이용하여 일정크기의 비이커에 옮겼다. ¹³⁷Cs 분리 과정에서의 회수율 보정을 위하여 세슘담체용액(Cs⁺, 10mg ml⁻¹)를 각 시료에 2 ml씩 첨가한 다음 가열 판 위에서 서서히 증발 전고 시켰다. 건고물에 발연질산 10ml를 넣고 서서히 가열하여 증발 전고시킨 후 전한염산 10 ml를 넣고 다시 증발 전고 시켰다. 이러한 과정을 2-3회 반복하여 잔유물 중에 포함된 ¹³⁷Cs을 완전히 추출하였다. 추출액을 여과지(Toyo 5B)를 이용하여 여과한 후 탄산염 침전법을 이용하여 알카리 토금속을 제거하였다. 상등액의 pH를 3정도로 조절한 다음 AMP(Ammonium Molybdophosphate)공침제 5g을 첨가하여 세슘(Cesium)을 상등액으로부터 선택적으로 공침시켰다. AMP 침전물을 NaOH(4-20 w/v%)용액에 용해 한 후 가열하여 암모니아를 제거하였다. 염산을 이용하여 시료용액의 pH를 8.2로 조절한 후 철침전법을 이용하여 용액중의 3가 및 4가 금속이온을 제거하였다. 철침전을 여과하여 얻은 상등액에 염화백금산칼륨(K₂PtCl₆, 10w/v%)용액 1ml을 첨가하여 염화백금산세슘침전(Cs₂PtCl₆)을 만든 후 1인치 스테인레스 홀더에 부착시킨 후 110°C 전기오븐에서 완전히 건조시켜 침전무게를 젠 다음 Low- background gas proportional counter (Model: S5-HP, Oxford Instrument Inc., USA)를 이용하여 ¹³⁷Cs의 배타선을 측정하여 ¹³⁷Cs의 방사능 농도를 정량 하였다. 이때 ¹³⁷Cs의 화학 회수율은 회수된 염화백금산세슘침전의 무게로부터 환산하였다.

결과 및 논의

시료중 ¹³⁷Cs의 화학분리방법 검증

대기부유진, 강수 및 낙진 시료 중 ¹³⁷Cs을 정량하기에 앞서 본 연구에서 사용한 ¹³⁷Cs의 화학분리방법의 신뢰성을 검증하기 위하여 IAEA의

인증시료(IAEA Soil-6)를 3회 반복 분석하여 그 결과를 IAEA의 인증치와 비교 검토하였다. 그 결과, 표 1에 나타낸 바와 같이 인증시료의 분석 결과는 인증치와 최대 6% 오차 범위내에서 잘 일치하였다.

대기부유진, 강수 및 낙진 중 ⁷Be and ¹³⁷Cs 농도의 계절별 변화

1998년부터 1999년까지 월별 대기부유진, 강수 및 낙진 중 ⁷Be 및 ¹³⁷Cs 농도를 그림 3 ~ 4에 나타내었다. 1998년 대기부유진 중 ⁷Be 및 ¹³⁷Cs 농도는 각각 1.30 ~ 5.36 mBq m⁻³ (년평균: 3.80 mBq m⁻³) 및 0.50 ~ 2.10 μ Bq m⁻³ (년평균: 1.08 μ Bq m⁻³) 범위의 값을 나타내었으며, 1999년 ⁷Be 및 ¹³⁷Cs 농도는 각각 2.46 ~ 5.87 mBq m⁻³ (년평균: 4.29 mBq m⁻³) 및 0.70 ~ 2.20 μ Bq m⁻³ (년평균: 1.28 μ Bq m⁻³) 범위의 값을 나타내었으며, 계절에 따라 농도의 큰 차이는 없으나 여름철에 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 여름철 강우량이 증가함에 따라 대기 중에 존재하는 부유진이 강우에 의해 제거되기 때문으로 판단된다.

1998년도 강수중 ⁷Be 및 ¹³⁷Cs 농도는 각각 0.32 ~ 5.55 Bq l⁻¹ (연평균: 1.25 Bq l⁻¹) 및 0.04 ~ 1.46 mBq l⁻¹ (연평균: 0.44 mBq l⁻¹) 범위이며, 1999년 ⁷Be 및 ¹³⁷Cs 농도는 각각 0.196 ~ 7.05 Bq l⁻¹ (연평균: 1.67 Bq l⁻¹) 및 0.08 ~ 20.7 mBq l⁻¹ (연평균: 2.66 mBq l⁻¹) 범위의 값을 나타내었다. ⁷Be 및 ¹³⁷Cs 농도는 여름철에 가장 낮은 농도를 나타내는 반면, 겨울철에 가장 높은 농도를 나타내었다. 일본의 경우 1976년 9월부터 1977년 2월까지 강수 중 ⁷Be 농도 범위는 0.34 ~ 7.0 Bq l⁻¹로서 본 연구에서 조사된 농도범위와 유사한 값을 나타내었으며, 봄과 가을철에 농도가 상승하는 경향은 우리나라와 동일하였다[4]. 이와 같이 봄과 가을철에 ⁷Be의 농도가 증가하는 것은 북반구의 경우 봄과 가을철은 성충권 공기와 대기권 공기가 교환되는 시기로서 성충권에서 생성된 다량의 ⁷Be이 대기권으로 하강하기 때문으로 설명되고 있다[7].

한편, 1998년도 낙진중 ⁷Be 및 ¹³⁷Cs 농도는 각각 7.16 ~ 58.7 MBq km⁻² (연평균: 19.7 MBq km⁻²) 및 0.0181 ~ 0.112 MBq km⁻² (연평균: 0.0455 MBq km⁻²) 범위이며, 1999년 ⁷Be 및 ¹³⁷Cs 농도는 각각 4.93 ~ 61.7 MBq km⁻² (연평균: 22.3 MBq km⁻²) 및 0.0196 ~ 0.0652 MBq km⁻² (연평균: 0.036 MBq km⁻²) 범위의 값을 나타내었다.

Table 1. Analytical results of ^{137}Cs in IAEA Soil-6 reference material

No. of run	^{137}Cs concentration (Bq kg^{-1})		This work/reference value ^{a)}
	This work	Confidence interval of IAEA	
1	49.5 ± 1.5		0.92
2	51.7 ± 1.5		0.96
3	50.2 ± 1.5	51.3 - 57.8	0.93
Average	50.5 ± 0.8		0.94

a) Reference value : 53.67 Bq kg^{-1} Table 2. Seasonal variation of total deposition of ^{7}Be and ^{137}Cs by dry fallout and precipitation

Sampling date	Amount of dry fallout(g)	Amount of residue from precipitation (g)	Total deposition	
			^{7}Be (MBq km^{-2})	^{137}Cs (MBq km^{-2})
Apr. 1998	8.5	4.8	182 ± 0.7	0.160 ± 0.011
May	8.1	1.4	73.2 ± 0.43	0.096 ± 0.005
Jun.	4.2	2.3	224 ± 0.8	0.034 ± 0.002
Jul.	1.8	3.8	190 ± 0.8	0.045 ± 0.004
Aug.	4.8	15.7	326 ± 1.3	0.051 ± 0.004
Sep.	4.1	1.0	105 ± 0.6	0.029 ± 0.003
Oct.	1.7	0.2	64.2 ± 0.59	0.042 ± 0.003
Nov.	2.8	1.6	49.9 ± 0.40	-
Dec.	3.1	0.8	22.2 ± 0.30	0.025 ± 0.003
Annual mean			137	0.060
Jan. 1999	4.3	0.9	12.2 ± 0.21	0.062 ± 0.003
Feb.	5.4	2.1	32.7 ± 0.49	0.065 ± 0.004
Mar.	5.1	1.5	126 ± 0.8	0.059 ± 0.004
Apr.	15.0	1.0	125 ± 0.7	0.088 ± 0.005
May	13.5	1.1	93.8 ± 0.61	0.067 ± 0.004
Jun.	3.9	1.3	137 ± 0.8	0.053 ± 0.004
Jul.	3.4	0.29	41.9 ± 0.41	0.048 ± 0.004
Aug.	4.2	0.49	90.8 ± 0.63	0.054 ± 0.003
Sep.	3.0	3.5	115 ± 0.8	0.060 ± 0.004
Oct.	3.5	2.8	120 ± 0.7	0.049 ± 0.004
Nov.	2.9	0.44	29.3 ± 0.27	0.049 ± 0.004
Dec.	-	-	44.6 ± 0.35	-
Annual mean			80.7	0.059

⁷Be의 농도는 봄과 가을철에 높고 여름에 낮은 결과를 나타내었으며, 이러한 경향은 앞서 설명한 바와 같이 봄과 가을에 성층권 공기가 하강하기 때문으로 판단된다. 한편, 낙진 중 ¹³⁷Cs 농도는 계절별로 큰 차이를 나타내지 않았으나, 다른 계절에 비해 여름철에 낮은 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 여름철 강우에 의한 영향으로 판단된다.

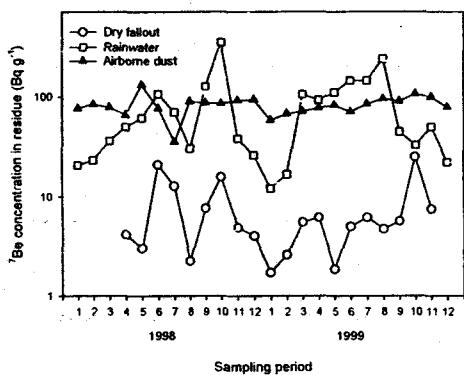


Fig. 5. Variation of ⁷Be concentrations with amounts of residues from airborne dust, dry fallout and precipitation.

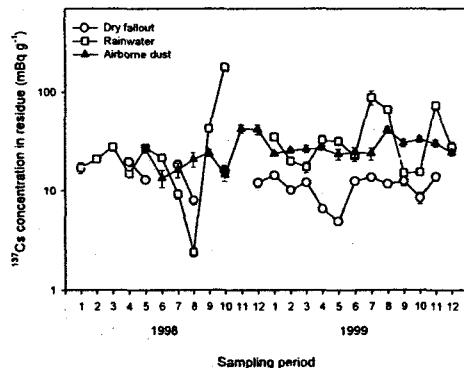


Fig. 6. Variation of ¹³⁷Cs concentrations with amounts of residues from airborne dust, dry fallout and precipitation.

그림 5는 빗물, 낙진 및 대기부유진의 잔유물 함량과 잔유물의 단위질량 당 ⁷Be 농도 사이의 상관관계를 나타낸 것이다. 낙진과 대기부유진의 경우 잔유물 함량 증가에 따라 ⁷Be 농도 변화가 거의 없으나, 강수의 경우는 잔유물 함량 증가에 따라 잔유물 단위질량 당 ⁷Be 농도가 급격히 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 ¹³⁷Cs

의 경우에서도 동일하게 나타났다(그림 6). 대기부유진 및 낙진 중 ⁷Be 및 ¹³⁷Cs의 농도를 침적량(단위면적당의 강하량) 단위(MBq km⁻²)나 단위부피당의 농도(mBq m⁻³ 또는 μ Bq m⁻³)로 나타내는 경우에는 낙진 및 대기부유진 농도가 증가하는 봄철에 이들의 농도가 증가하지만, 잔유물 단위질량 당으로 나타내는 경우에는 거의 일정한 값을 나타낸다고 하는 것은 대기부유진 및 낙진 중에 존재하는 입자상 ⁷Be 및 ¹³⁷Cs의 기원이 동일하다는 것을 의미한다. 한편, 강수의 경우 잔유물 함량에 따라 ⁷Be 및 ¹³⁷Cs 농도가 급격히 감소하는 것은 비가 적게 오는 봄과 가을에는 대기중의 ⁷Be 및 ¹³⁷Cs가 소량의 빗물에 의해 강하하여 잔유물 질량당의 농도가 높다가 비가 많이 오게 되면 잔유물 농도는 증가하는 반면, 다량의 빗물에 의해 입자에 붙어 있던 ⁷Be 및 ¹³⁷Cs가 셋겨 나가게 되어 결국 잔유물 단위질량 당의 이들 농도는 감소하게 되는 것으로 판단된다.

월별 총 침적량(total deposition) 중 ⁷Be 및 ¹³⁷Cs의 농도변화

낙진과 빗물에 의한 ⁷Be 및 ¹³⁷Cs의 총 침적량의 월별 변화를 표 2에 나타내었다. 1998년도 ⁷Be 및 ¹³⁷Cs의 월별 총 침적량은 각각 22.2 ~ 326 MBq km⁻² (연평균: 137 MBq km⁻²) 및 0.0251 ~ 0.160 MBq km⁻² (연평균: 0.060 MBq km⁻²) 범위의 값으로 광범위한 범위에 있으며, 1999년도에는 12.2 ~ 137 MBq km⁻² (연평균: 80.7 MBq km⁻²) 및 0.048 ~ 0.088 MBq km⁻² (연평균: 0.059 MBq km⁻²) 범위의 값을 나타내었다. 1986년부터 1993년까지 일본 Tsukuba시에서 조사된 월별 ⁷Be 농도 범위는 7 ~ 318 MBq km⁻²로서 우리나라와 유사한 농도 범위를 나타내고 있다[12]. 한편, 1998년과 1999년도 일본 전역의 빗물과 낙진에 의한 ¹³⁷Cs 침적량 분포는 0.001 ~ 0.21 MBq km⁻² 범위로서 우리나라와 유사하였다[13]. 대전지역의 낙진 및 빗물에 의한 ⁷Be 침적량은 1999년도에 비해 1998년도에 높은 경향을 보인 반면, ¹³⁷Cs 침적량은 1998년도에 비해 1999년도에 증가한 경향을 나타내었다. ⁷Be 침적량이 1998년도에 높은 경향을 보인 이유는 1998년도의 연간 총 강우량이 2,070mm로서 1999년도 연간 총 강우량 1,455mm에 비해 많기 때문으로 판단된다. 한편, 1999년도에 ¹³⁷Cs 침적량이 1998년도에 비해 높은 이유는 1999년도의 연간 총 낙진량 (64.2g)이 1998년도 총 낙진량 (39.1g) 보다 높기 때문인 것으로 판단된다. 이와 같이 ⁷Be의 총 침

적량은 강우량과 밀접한 관계가 있는 반면, ^{137}Cs 침적량은 낙진량과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 이러한 관계를 파악하기 위하여 ^{7}Be 및 ^{137}Cs 총 침적량 중에서 강우에 의한 침적(Wet deposition) 비율과 낙진에 의한 침적(Dry deposition) 비율을 그림 7과 그림 8에 각각 나타내었다. ^{7}Be 의 침적량은 ^{137}Cs 에 비해 약 1,000배 이상 높으며, ^{7}Be 의 총 침적량 약 80% 이상이 강우에 기인되는 반면, ^{137}Cs 은 약 60% 정도가 낙진에 의해 침적되는 것을 알 수 있다. 결국 ^{7}Be 의 침적량은 년간 강우량에 의해 크게 좌우되며, ^{137}Cs 의 침적량은 낙진량에 의해 크게 좌우된다.

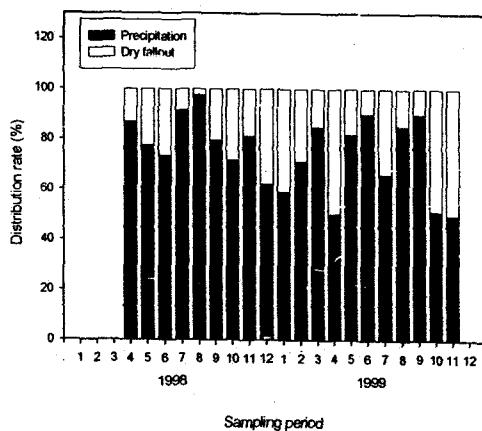


Fig. 7. Distribution rates (%) of ^{7}Be for precipitation and dry fallout in total deposition.

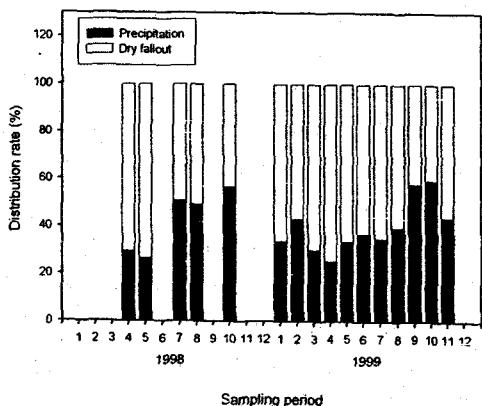


Fig. 8. Distribution rates (%) of ^{137}Cs for precipitation and dry fallout in total deposition.

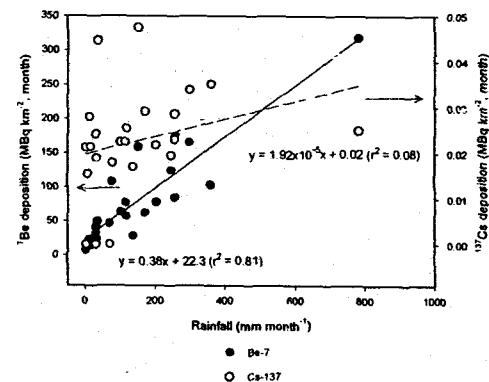


Fig. 9. Correlation of total depositions of ^{7}Be and ^{137}Cs between rainfall.

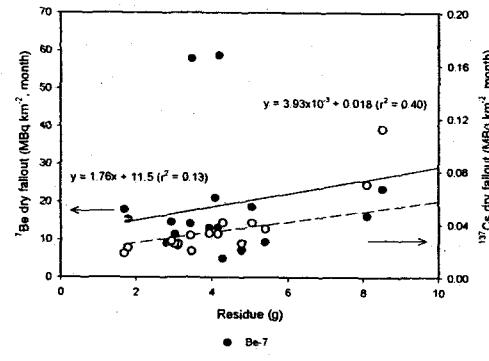


Fig. 10. Relationship between the amount of residue from dry fallout and depositions of ^{7}Be

이러한 상관성을 보다 명확히 파악하기 위하여 강우량과 ^{7}Be 및 ^{137}Cs 침적량과의 상관관계 곡선을 그림 9에 도식화하였다. ^{7}Be 침적량은 강우량과 좋은 상관관계($r^2 = 0.81$)를 나타낸 반면, ^{137}Cs 의 경우는 강우량과 상관관계가 거의 없는 것을 알 수 있다. 한편, 그림 10은 낙진의 잔유물량과 ^{7}Be 및 ^{137}Cs 농도와의 상관성을 나타낸 것으로서 낙진의 경우는 ^{137}Cs 침적량이 ^{7}Be 에 비해 낙진 잔유물 함량과의 상관성이 비교적 좋은 것으로 나타났다.

결 론

1998년부터 1999년까지 대전지역 지표면 대기 부유진, 빗물 및 낙진 중 ^{7}Be 및 ^{137}Cs 의 계절적

변동을 파악하였다. 대기부유진 중 ^{7}Be 및 ^{137}Cs 의 연평균 농도 범위는 각각 3.80 mBq m^{-3} ~ 4.29 mBq m^{-3} , $1.08 \mu\text{Bq m}^{-3}$ ~ $1.28 \mu\text{Bq m}^{-3}$ 범위의 값을 나타내었다. 벗물 중 ^{7}Be 및 ^{137}Cs 의 연평균 농도 범위는 1.25 Bq l^{-1} ~ 1.67 Bq l^{-1} 및 0.44 mBq l^{-1} ~ 2.66 mBq l^{-1} 범위의 값을 나타내었다. 한편, 낙진 중 ^{7}Be 및 ^{137}Cs 의 연평균 농도는 각각 $19.7 \sim 22.3 \text{ MBq km}^{-2}$ 및 $0.0455 \sim 0.036 \text{ MBq km}^{-2}$ 범위였다. 대기부유진 및 낙진 중 ^{7}Be 및 ^{137}Cs 농도는 낙진량이 많은 봄과 가을철에 높은 농도를 나타내었으며, 벗물 중 ^{7}Be 및 ^{137}Cs 농도는 강수량이 많은 여름철에 비해 겨울철에 높은 농도를 나타내었다. 이러한 경향은 여름철 강우로 인한 세척효과에 기인되는 것으로 판단된다.

한편, 낙진과 벗물에 의한 ^{7}Be 및 ^{137}Cs 의 연평균 총 침적량은 각각 $80.7 \sim 137 \text{ MBq km}^{-2}$ 및 $0.059 \sim 0.060 \text{ MBq km}^{-2}$ 범위의 값으로서 ^{137}Cs 의 연평균 총 침적량은 거의 일정하였다. ^{7}Be 의 침적량은 ^{137}Cs 에 비해 약 1,000배 이상 높으며, ^{7}Be 의 총 침적량 중 약 80% 이상이 강우에 기인되는 반면, ^{137}Cs 은 약 60% 정도가 낙진에 의해 침적되는 것을 알 수 있다. 결국 ^{7}Be 의 침적량은 년간 강우량에 의해 크게 좌우되며, ^{137}Cs 의 침적량은 낙진량에 의해 크게 좌우됨을 알 수 있었다. 최근 중국황사 현상이 심각해짐을 감안하여 앞으로 대기 중 다양한 인공방사성핵종 농도를 측정하여 중국 황사이동 경로의 특성을 파악하는 환경학적 연구를 수행하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부에서 지원한 원자력증장 기과제연구사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- D. Lal and B. Peters, "Cosmic ray produced radioactivity on the earth" in: Handbuch der Physik, XLVI/2, pp. 551, Springer-Verlag, Berlin(1967).
- D. Lal and H.E. Suess, "The radioactivity of the atmosphere and hydrosphere", Ann. Rev. Nucl. Sci., 18, 407(1968).
- Natural background radiation in the United States, National Council on Radiation Protection Report, No. 45, Washington (1975).
- H. Amano and A. Kasai, "Concentration of ^{7}Be in the lower atmospheric and fallout rate in Tokai", Hokerbuturi, 16, 99-103 (1981, Japanese).
- D. Lal, On the investigations of geophysicical processes using cosmic ray produced radioactivity, in: Earth Science Meteoritics, pp. 115-142, North-Holland Publishing Company, Amsterdam(1963).
- M.A. Krits, S.W. Rosner, E.F. Nielsen and H.B. Selkirk, "Air mass origins and troposphere-to-stratosphere exchange associated with mid-latitude cyclogenesis and tropopause folding inferred from ^{7}Be measurement", J. Geophys. Res. 96, 17405-17414 (1991).
- W. Viezee and H.B. Singh, "The distribution of beryllium-7 in the troposphere: Implications on stratospheric/tropospheric air exchange, Geophys. Res. Letts., 7(10), 805-808 (1980).
- R.A. Brost, J. Feichter and M. Heimann, "Three-dimensional simulation of ^{7}Be in a global climate model", J. Geophys. Res. 96, 22423-22445 (1991).
- Y. Ishikawa, H. Murakami, T. Sekine and K. Yoshihara, "Precipitation scavenging studies of radionuclides in air using cosmogenic ^{7}Be ", J. Environ. Radioactivity, 26, 19-36 (1995).
- Y. Igarashi, M. Otsuji-Hatori and K. Hirose, "Recent Deposition of ^{90}Sr and ^{137}Cs observed in Tsukuba", J. Environ. Radioactivity, 31(2), 157-169 (1996).
- Y. Igarashi, M. Aoyama, T. Miyano, K. Hirose and M. Tomita, "Anomalous ^{90}Sr deposition during the fall, 1995 at MRI, Tsukuba, Japan", J. Radioanal. Nucl. Chem., 239(3), 539-542 (1999).
- Y. Igarashi, K. Hirose and M. Otsuji-hatori, "Beryllium-7 deposition and its relation to

sulfate deposition", J. Atmos. Chem., 29, 217-231 (1998).

13. Radioactivity survey data in Japan, National Institute of Radiological Sciences Report, ISSN 0441-2516, NIRS-RSD-128 (2000).