

황사빗물에 의한 폐기물 시멘트 고화체의 침출특성 분석 실험 조건 결정

Determination of Experimental Condition for Leaching Characteristic Analysis of
Cement Solidified Radioactive Waste Attacked by Yellow Sand Rain

김혜진, 이수홍, 황주호
경희대학교
경기도 용인시 기흥읍 서천리 1번지
이재민
고려공업검사 (주)
서울시 용산구 서계동 224-21

요 약

황사빗물이 중·저준위 방사성 폐기물 시멘트 고화체에 미치는 영향을 알아보기 위한 침출실험의 조건을 결정하였다. 실험은 ANS 16.1 실험법을 채택하였다. Co, Cs 핵종을 포함한 시멘트 고화체를 제작한 후, 대기 중 황사성분의 질량농도를 이용해 침출수의 부피, 이온 및 금속의 농도 등을 결정한다. 실험을 위해 대기 중 황사 부하량이나 강수에 포함되는 황사성분의 양, 처분장의 면적 등은 적합한 가정을 통해 결정하였다. 본 논문에서는 황사의 특성에 대해 간략히 소개하고, 황사가 시멘트 고화체에 어떠한 영향을 미칠 수 있는가를 알아보기 위한 침출 실험의 준비과정으로 실험 조건을 결정하는데 그 목적을 둔다.

Abstract

Experimental condition for leaching characteristic analysis of cement solidified radioactive waste attacked by yellow sand rain was determined in this study. ANS 16.1 test method was chosen for the experiment. Solidified cement sample was fabricated to contain Co and Cs. Volume of leaching water and concentration of ion and metal in leachate were decided using the mass concentration of yellow sand in atmosphere. For experiment, floating amount of yellow sand in atmosphere and element contained rain and disposal position area were determined by proper assumption. This study introduces characteristics of yellow sand and aim to decide that leaching experimental conditions for analysis of cement solidified radioactive waste attacked by yellow sand rain

I. 서론

2001년 겨울에 발생한 황사현상은 동해안을 제외한 전국 대부분 지역에서 진행되어 더 이상 황사가 봄철의 문제만이 아니라는 것을 시사했다. 또한 최근 몇 년간 황사 발생일수와 먼지 농도를 조사한 결과 그 수치가 점점 증가하고 있어 황사가 심각한 상황에 이르렀고, 앞으로 그 정도가 더 심해질 것이라고 짐작하게 된다.

이제 시중에서 황사를 대비한 마스크, 공기청정기, 선글라스 등의 제품을 판매하는 등 황사는 우리 생활에 이미 해로운 존재로 자리잡았다. 황사가 산성화된 토양을 중화시킨다는 긍정적인 보고도 있지만 가시거리 저해로 인한 시정악화, 일사량 감소로 인한 기후변화, 식물의 광합성 작용 방해, 반도체 등의 정밀산업에 영향을 주는 등 황사에 의한 피해는 날로 심각해지고 있다. 특히 매년 7~8%의 빠른 경제성장률을 보이고 있는 중국의 공업화로 인해 발생된 여러 중금속들과 이온들이 황사에 포함되어 우리나라의 산업·공업적 측면에서 볼 때 심각한 피해를 낳고 있다. 특히 SO_4^{2-} , Cl^- , Mg^{2+} , NO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} 등의 이온과 Ca, Fe, Al, Mg, K 등의 금속성분이 시멘트의 건진성에 영향을 미쳐 건축구조물 등의 파손에 주범이 되고 있다.^[2]

한편 원자력 발전소 내 임시저장소에 저장되어 있는 중·저준위 폐기물 처분시설 및 고화체의 상당량이 시멘트로 이루어져 있다. 황사가 시멘트에 악영향을 미친다면 시멘트 고화체의 내구성에도 어느 정도 심각한 영향을 미칠 가능성도 있다는 점을 짐작할 수 있다. 특히 황사가 섞인 빗물에 의해 침수·침출 현상이 가속되며 시멘트 구조물의 내구성의 저하가 심화된다면 이는 폐기물 내에 있는 방사성 물질의 누출과 직접적으로 관련되고 이는 매우 심각한 사건이 아닐 수 없다. 더구나 최근 방사성 폐기물 처분장의 건설에 대해 사회적으로 많은 논란이 일고 있어 황사가 미치는 시멘트 내구성의 영향에 대한 연구의 필요성이 시급하다고 하겠다.

본 연구는 황사의 특성에 관한 조사를 통하여 시멘트의 내구성에 영향을 미치는 황사의 이온 및 금속 성분을 토대로 한 모의 황사비를 제작, 이를 이용해 모의 시멘트 고화체의 침수 및 침출실험을 통해 황사빗물에 의한 방사성 폐기물 시멘트 고화체의 침출특성 분석에 그 목적을 둔다.

II. 본론

1. 황사의 특성

(1) 황사의 정의

황사는 노란 빛깔의 모래 또는 중국 북부나 몽골 지방의 황토가 바람에 날려 하늘에 누렇게 끼는 현상을 말한다.^[1]

(2) 황사에 의한 영향

황사는 산성비의 증화, 산성 토양의 증화, 해양 프랭크톤에 무기염류 제공(생물학적 생산력 증대), 토양 속 미생물에 의한 무기염 흡수 등 좋은 역할을 하기도 한다. 하지만 그 피해 역시 만만치 않다. 일반적으로 알려진 호흡기 질환, 안질환 등의 인체피해를 제외하고도 대기 혼탁도의 증대, 태양 에너지의 감소, 강수 빙정핵의 역할, 반도체 등 정밀 기계의 손상, 식물의 기공을 막아 광합성 작용을 방해, 지구대기의 열 수지에 영향 미침(복사열 흡수로 냉각 효과), 항공기 엔진 손상 및 이착륙 시 시정악화로 인한 사고 발생 가능성 증가 등 결과적으로는 기상현상을 변화시키고 생태계를 파괴하는 심각한 현상을 초래하기도 한다.^[6]

(3) 황사 시 에어로졸의 화학적 특성^[12]

봄철 TSP(Total Suspended Particulate) 중에 측정된 이온은 SO_4^{2-} , Cl^- , Mg^{2+} , CO_3^{2-} , Na^+ , NO_3^- , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} 이다. 그 중 주요 이온 성분은 NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ 이고, 비황사 시와 비교하여 황사 시 농도가 증가하는 이온은 Ca^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} 이다.

TSP중에 측정된 금속 성분은 Na, Mg, Al, Ca, Fe, Mn, Pb, Cu, Zn, Cd, Co, Cr, Ni 이며, 그 중 주요 금속 성분은 Al, Ca, Fe 로서 황사시에 그 농도값이 크게 증가한다. 이에 비해 인체에 해로운 중금속인 Cu, Pb, Zn, Cd 등은 황사시에 더 증가하는 영향은 보이지 않았다.

(4) 황사비의 특징

황사를 포함하는 강수에는 황산염과 질산염이 많이 포함되어 있음에도 불구하고 pH가 높은데 이것은 황사발원지의 토양 성분과 자연적으로 발생된 황사에 인위적인 대기오염 물질이 섞여 있는 것으로 해석된다.

2. 우리나라 최근 황사현상

2002년 5개 지역에서 발생한 봄철의 황사일수는 표1에, 우리나라 10개 관측소에서 관측된 35년간 총 황사일수의 봄철 월별분포는 표 2에 나타내었다. 표를 통하여 알 수 있듯이 황사는 주로 3, 4월에 집중적으로 발생하며, 발생지역으로는 주로 서해안지역이 동해안지역보다 그 발생일수에서 월등히 높은 것으로 발견되었다. 우리나라 10대 도시 중 황사 관측이 가장 많이 된 곳은 서울로 봄철 35년간 황사발생 총 일수는 177일이다. 이는 35년간 매년 평균 약 5일의 황사가 발생했음을 말해준다. 특히 최근 5년간 황사발생일수와 지난 35년간의 황사발생일수의 비율은 황사가 최근 들어 중점적으로 증가했음을 알 수 있다.

표 1. 2002년 5개 지역의 봄철 황사일수 (3, 4, 5월)

지역	날 짜	총 발생일수
서울	3월 17~19일, 21~23일, 4월 8일~10일, 12, 16, 17일	12일
부산	3월 17, 18, 21, 22, 23일, 4월 8, 9, 10, 11, 17일	10일
대구	3월 17, 18, 21, 22, 23일, 4월 8, 9, 10, 11, 17일	10일
목포	3월 17~19일, 21~23일 4월 8~10, 17일	10일
강릉	3월 16~19, 21~23일 4월 8~10일, 17일	9일

표 2. 최근 35년간 지역별 황사 발생일수^{1b)}

지역	Month			Total	최근5년/최근35년 %비율
	March	April	May		
서울	43(20)	91(25)	33 (4)	177(49)	28%
춘천	36(24)	68(20)	37 (0)	141(44)	31%
강릉	26(16)	65(16)	29(0)	120(32)	27%
충주	33(11)	62(7)	34(0)	119(18)	15%
대전	33(20)	74(21)	27(9)	143(50)	35%
전주	37(19)	69(20)	35(0)	141(39)	28%
광주	39(19)	87(21)	40(0)	166(40)	24%
대구	43(17)	72(17)	29(9)	144(34)	27%
부산	28(15)	62(15)	21(0)	111(30)	27%
제주	37(20)	70(21)	29(0)	136(41)	30%
평균	35.5(18)	72(18.3)	31.4(4.4)	124.8(33.7)	27%

*각 수치는 1967년~2001 까지의 자료이며, ()안의 수치는 1997~2001년까지의 자료임

3. 황사의 성분

우리나라에서 관측되는 황사의 성분은 중국 발원지에서의 황사성분과는 조금 다르다. 황사의 원료라고 할 수 있는 중국 북부의 사막 토양은 3~5 μm 의 미세 먼지로써 풍화되기 쉬운 장석이 다량 잔류하고 있고, 탄산칼슘 등을 비교적 다량 함유하고 있는 알칼리성 토양이다. 그러나 장거리 이동되는 황사의 성상은 발원지에서의 토양성분이외에도 이동과정 중에서 중국의 공업지대에서 배출된 가스 상 물질들이 추가된다. 그리고 가스와 입자의 상호작용에 의해 SO_2 , NO_x 등의 가스 상 물질이 입자표면에 흡착되어 황산염이나 질산염 등이 많이 생성되는 것으로 조사된다. 이 과정 중에서 오존과 같은 산화제 등이 입자표면에서 SO_2 등의 가스 상 물질들을 산화시켜 황산염 등의 입자 상 물질을 생성시킨다.

따라서 우리나라에서의 황사는 S, N, Cl 등을 포함한 성분들이 발원지에서보다 더 많은 농도로 측정되고 있다. 이는 발원지에서 기인한 부분도 있지만 중국의 공업지대에서 발생한 오염물질이 황사에 포함되어 우리나라로 이동한다는 것을 단적으로 보여주는 예

이다.

(1) 우리나라에서 측정된 황사성분

서울 잠실에서 2002년 3, 4월 황사 발생일에 측정된 황사 주요성분의 총 질량농도를 표 3으로 나타내었다. 여기에서는 주로 시멘트의 건전성에 영향을 줄 수 있는 성분들을 나열했으며, 건전성에 영향을 미치나 너무 그 수치가 적은 성분들은 제외하였다. 또한 평소의 대기에도 황사성분이 존재함을 감안할 때 황사 발생일의 총 질량농도는 이보다 더 큰 수치임을 알 수 있으나 황사지칭 먼지량이 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상인 것을 감안, 황사 발생일만을 고려하여 계산된 수치임을 밝힌다.

표 3. 2002년 3,4월 측정된 황사 주요성분의 Total 질량농도^[9]

금속	Ca	Fe	Mg	Al	K	
	311.52	217.46	66.22	129.14	28.72	
농도비	1	0.7	0.2	0.4	0.09	
이온	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Na^+
	131.79	81.46	37.36	4.33	33.27	32.9
농도비	1	0.62	0.28	0.03	0.25	0.25

단위[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

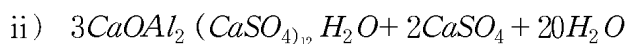
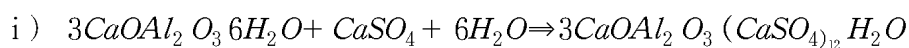
(2) 황사의 주요 성분과 시멘트의 반응 Mechanism ^[1]

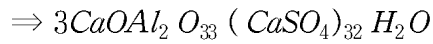
시멘트 고화체 내부에는 미세 기공 (micropore) 들이 존재한다. 이 미세 기공으로 황사성분을 포함한 빗물이 스며든다고 가정할 때 황사의 성분 중 SO_4^{2-} , Cl^- , Mg^{2+} , CO_3^{2-} , Na^+ 등과 시멘트 구성성분인 Ca^{2+} 와 반응하여 결정화가 이루어진다. 이 때에 결정의 크기가 미세기공의 크기보다 커지면 시멘트 고화체 내부에 고압이 걸리게 되어 결국 시멘트 고화체의 균열을 초래한다.

① SO_4^{2-} 과 칼슘이온과의 반응

: SO_4^{2-} 이 시멘트의 주성분인 hydrated calcium aluminate와 반응하여 sulphoaluminate 형성

· 반응식





이 반응은 상당한 부피팽창을 가져오며 결국 시멘트 고화체의 균열을 초래한다.

② Mg²⁺에 의한 영향

: Mg²⁺은 시멘트중의 칼슘을 포함하는 성분을 공격하여 Mg(OH)₂를 형성하게 되는데 이는 Ca(OH)₂ 보다 용해도가 상당히 낮다. 이 반응에 의하여 Ca성분이 제거되면서 시멘트 고화체의 내구성이 감소된다.

③ Cl⁻의 공격에 의한 내구성 감소

: 일반적으로 황사빗물이 시멘트 기공내부로 침투하여 들어가면 40%정도의 Cl⁻가 기공내의 빗물에 남게 되고 60%정도는 시멘트에 달라붙는다. Cl⁻이 시멘트에 달라붙게 되는 정도는 황사빗물 중의 Cl⁻, SO₄²⁻, OH⁻의 농도에 직접적으로 영향을 받는다. 또한 시멘트 중의 Ca(OH)₂이 황사빗물에 녹거나, CO₂에 의한 carbonation이 일어나면 Cl⁻이 녹아 나오게 된다.

4. 실험을 위한 가정

본 연구는 황사의 주요이온이 시멘트의 침출현상에 미치는 영향의 유무를 분석하기 위한 것이므로 다음과 같은 보수적인 가정을 설정하였다. 그 내용은 다음과 같다

- 방사성 폐기물 처분장의 위치는 서울시 잠실로 한다. 황사의 영향에 의한 시멘트 고화체의 침출 특성을 알아보기 위한 실험이므로 지난 35년 간 황사 발생일수가 가장 많았던 서울시를 지역으로 선정한다.
- 황사빗물의 농도는 지하수의 농도와 같다고 가정한다. 황사빗물이 지하수와 섞였을 시에 농도변화를 무시하기 위한 가정이다
- 대기 중에 부유해 있는 황사성분이 모두 강수에 포함된다고 가정한다.
- 황사 성분 중 표 3에서 지정한 이온과 금속들만 시멘트의 내구성에 영향을 준다고 가정한다.
- 지하수와 토양의 이동특성은 고려하지 않는다
- 모의 황사빗물이 모두 직접 고화체와 접촉한다고 가정한다.

2002년 잠실에서 측정된 PM10의 농도는 3월평균 156μg, 4월 평균135μg 으로서 총 평균합산은 291μg 이다.^[7] 이를 두 달 총량으로 계산하면 156×31+135×30=8886 μg이다. 계산의 편의를 위해 우리나라 폐기물 처분장의 시멘트 고화체를 저장해놓은 시설의 면적을 100m²로 가정하자. 기존의 항공기 관측에 의하면 황사기류는 지상에서 약 고도 3000m 상공까지 황사가 균질하게 분포되어 있다. 이때 폐기물 처분장 위의 황사 부하량 산정은 다음과 같다.

$$\text{최대 부하량} : 8886\mu\text{g}/\text{m}^3 \times 100\text{m} \times 100\text{m} \times 3000\text{m} = 266.58 \text{ kg}^{[3]}$$

2002년 3월의 강수량 합계는 131.5mm, 4월의 강수량 합계는 155.1mm, 따라서 3, 4월 강수량의 총합은 186.6mm이다.^[8] 강수량의 부피와 대기중의 황사질량농도를 이용해 실험 시 사용할 침출수 내 황사 이온 및 금속의 농도를 계산하므로 강수량을 부피로 환산해야한다. 현재 우리나라 기상청에서는 직경20cm 의 원통형 수수기를 사용하며 이것의 면적은 314cm²이다. 따라서 3, 4월의 총 강수량을 부피로 환산 시 다음과 같은 계산식을 사용한다.

$$\begin{aligned} \text{직경 20cm 내의 원통형 수수기에서의 강수부피} &: 18.66\text{cm} \times 314\text{cm}^2 = 5859.24 \text{ cm}^3 \\ \text{한 번이 100m 인 직사각형 모양의 가상 처분장에서의 강수부피} &: 18.66\text{cm} \times 10000\text{cm}^2 = 186600 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

5. 침출 실험법^[2]

본 침출실험은 ANS 의 표준 침출시험법을 적용하여 수행하는데 , 내용은 다음과 같다.

○ 침출시험법: ANSI/ANS-16.1 TEST

-침출수 : 탈염수 (0.03μS/cm)

-시험온도 : (22.5±5)℃

-침출수의 부피/침출수에 노출된 시편의 겉면적=(10±0.2)cm

-침출수 교환주기: 2h, 7h, 1d, 2d, 3d, 4d, 5d, 19d, 47, 90d

-미국 NRC 에서는 폐기물 내에 포함된 모든 방사성 핵종에 대하여 침출지수가 6보다 커야 함을 권고함

-침출수 분석

코발트, 세슘의 농도 : 유도결합 플라즈마 질량분석기(ICP-MS)

-저준위 폐기물 고화체의 방사성 핵종에 대한 보전능력을 평가한다.

-고정된 침출조건하(단일 침출액, 단일 온도조건, 규정된 침출액의 교환빈도)에서 시험을 한다

-IAEA 시험법을 실제적으로 개선한 것이다.

(2) 침출모델

① 유효확산계수

방사성 고화체로부터 핵종이 침출되는 반응기구는 주로 확산에 의존하는 것으로 고려되고 있다. 고화체의 침출 모델에는 반무한 매질에서의 확산 모델이 적용되었고 ,아래의 식으로 표현된다.

$$NT=2 C_0 \left(\frac{DT}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}$$

where N_t = Amount of diffusing substance (Ci/cm^2)
 D = Effective diffusivity (cm^2/s)
 T = Cumulative leach time (s)
 C_0 = Initial concentration in waste form (Ci/cm^3)

위의 식은 다음과 같은 두 가지 조건을 포함하고 있다. 첫째, 표면에서의 농도는 '0' 이고, 둘째, 고화체의 일부분은 침출이 진행 중인 상황에서도 초기의 농도를 유지하고 있다는 것이다. 실린더 형태의 고화체에 위의 식을 적용하기 위해서는 S/V (Normalizing factor)를 곱해주어야 한다. 여기서 S는 고화체의 표면적(cm^2)이고, V는 시편의 체적(cm^3)이다. 위의 조건에서 볼 때 실제 고화체는 표면에서의 농도가 '0' 이 아니기 때문에, 고화체 표면에서의 초기 방출의 상수항인 ' β '값이 추가로 필요하다. 결국 최종적으로 반무한 매질에서의 누적침출분율은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$CRF = \frac{S}{V} \times 2 \left(\frac{DT}{\pi} \right) + \beta$$

where CRF = Cumulative release fraction
 S/V = Surface area to volume ratio of waste form (cm^{-1})
 D = Effective diffusivity (cm^2/s)
 T = Time (s)
 β = y intercept or surface release

② 침출지수

침출지수는 ANS 16.1 방법의 유효확산계수를 구하는 과정에서 유도되는데, 아래와 같은 식으로 나타난다.

$$\text{Leachability index} = \log \left(\frac{\gamma}{D} \right)$$

where $\gamma = 1 \text{ cm}^2/s$
 D = Effective diffusivity (cm^2/s)

(3) 실험장치구성

침출 실험에 필요한 장비는 크게 ICP-S / ICP-MS, 항온수조, 압축강도 측정기, pH 측정기 등이다. ICP-S / ICP-MS 는 침출수에 나온 Co , Cs 핵종의 농도를 측정하기 위한 기계이다. 항온수조는 침출수의 온도를 일정하게 유지하기 위한 장치이며, 압축강도 측정기와 pH 측정기는 시험전후의 압축강도와 pH를 각각 측정하기 위해 필요하다.

6. 실험방법

(1) 모의 시멘트 고화체 제작

모의 시멘트 고화체 제작은 한일 포틀랜드 1종 시멘트와 Co, Cs 분말을 이용하여 제작하였다. 이 때 물과 시멘트의 비는 0.4로써, 물 1760 ml, 시멘트 4400ml에 Co 240g, Cs 19g을 넣고 시멘트 혼합기를 이용하여 시멘트를 섞은 뒤 지름 5cm, 높이10cm의 12개의 실린더 모양 파이프에 담아 제작한다. 이 때 양생기간은 실험전후의 일반적인 압축강도 측정을 위해 28일 이상으로 한다.

고화체에 섞을 Co, Cs 핵종의 양은 기준에 발표된 논문의 결과를 바탕으로 결정하였다.^[2] 초기 핵종량과 처음 침출교환수에서 추출된 양의 비율이 Co가 0.0003, Cs 이 0.0023 임을 이용하였다. Co는 경희대 기기분석실의 ICP-S의 측정 하한치인 0.1ppm 기준, Cs은 서울대 농업과학 공동기기센터의 측정 하한치인 100ppb를 기준으로 그 이상의 여유분을 갖도록 초기 핵종량을 결정하였다.

(2) 압축강도 측정

28 일의 양생기간이 지나면 초기 압축강도와 pH를 측정한다

(3) 모의 황사빗물 제조

증류수에 SO_4^{2-} , Cl^- , Mg^{2+} , NO_3^- , Ca^{2+} , Na^+ 이온과 Ca, Fe, Al, Mg, K의 금속을 넣어 모의 황사빗물을 제조한다. 그 농도는 강수의 부피 186600 ml와 침출수의 부피 1960 ml의 비를 이용해 대기 중의 이온 및 금속농도를 침출수에 포함할 농도로 계산하였다. 그 값은 다음과 같다

이온	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	Ca^{2+}	Na^+	Mg^{2+}
대기질량농도의 이온% ^[9]	2.39%	1.48%	0.67%	0.60%	0.60%	0.07%
대기에서의 양(g)	4460	2762	1250	1120	1120	131
침출수에서의 양(g)	46.85	29.01	13.13	11.76	11.76	1.37

금속	Ca	Fe	Al	Mg	K
대기질량농도의 이온% ^[9]	5.65	3.96	2.26	1.13	0.51
대기에서의 양(g)	10543	7389	4217	2109	952
침출수에서의 양(g)	111	78	44	22	10

침출수에 들어갈 이온 및 금속의 양을 결정하는 부분에서도 대기 중의 황사성분이 빗물에 100% 섞여 들어간다는 보수적 가정을 이용해 가능한 수치의 최대값을 사용하였다.

(4) 실험^[2]

각각 5개의 시편을 모의 황사 빗물과 증류수에 넣고 90일 동안 정해진 시간에 침출수를 교환해 주면서 침출실험을 한다.

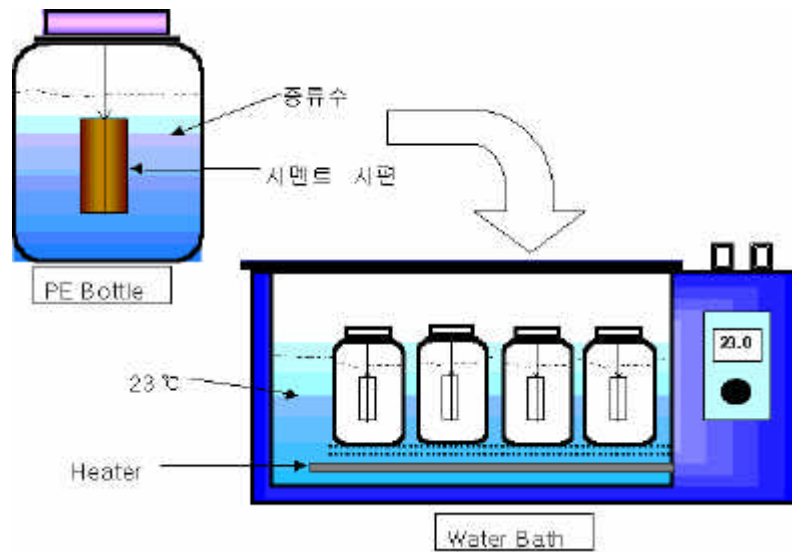


그림 1. 시멘트 시편 침출 시험 장치 개략도

(5)분석방법

결과 분석에 있어서는 경희대 기기분석실에 있는 ICPS(Inductive coupled Plasma Spectrometer) 와 서울대 농업과학 공동기기센터에 있는 ICP-MS(Inductive coupled Plasma Mass Spectrometer)를 이용해 각각 Co 와 Cs 의 침출 농도 변화를 확인한다.

III. 결론 및 향후 연구내용

본 연구는 최근 점점 심각해지고 있는 황사가 강수에 포함되었을 때, 황사빗물이 중·저준위 폐기물 고화체와 접촉 시 어떠한 영향을 미치는가를 알아보기 위한 실험이다. 실험의 주요내용은 시멘트에 Co와 Cs 핵종을 섞어 28일의 양생기간을 거쳐 제작한 모의 시멘트 고화체를 보수적인 가정을 통해 제작한 모의 황사빗물과 증류수에 넣고 각각 침수 및 침출실험을 하였을 때 나타나는 결과를 분석하는 것이다. 또한 침수 전후에 나타나는 압축강도, pH 변화 등을 첨가해 황사빗물에 의한 시멘트 고화체의 영향을 평가하고자 한다.

이 실험을 통해 나온 결과를 이용하여 증류수에서의 침출특성과 비교하였을 때 기존에 발표된 문헌 정보에서 평가한 지하수, 해수, 산성비 등의 영향과 함께 황사빗물의 영향을 분석할 예정이다.

IV. 참고문헌

1. 황주호 외 6명, 중·저준위 방사성폐기물 처분시설 구조제의 장기성능평가(1차)최종보고서, 한국원자력안전기술원, 1997
2. 황주호 외 5명, 원전 발생 고화체의 회분식 침출특성 관련 실험(최종보고서), 기초전력공학공동연구소, 2002
3. 정용승 외 4명, 1997~2000년에 관측된 황사의 농도와 부하량 및 시정: 위성과 기상분석, 한국기상학회지, 2000
4. 전종갑 외 3명, 한반도에서 관측된 1998년 4월 황사의 특성 및 장거리 수송 패턴 분석. 한국기상학회지, 2000
5. 전종갑 외 3명, 황사의 장거리 수송과 관련된 대기 순환 유형의 분류, 한국기상학회지, 1999
6. 최재천 외 3명, 2001년 봄철 안면도에서 관측된 황사의 물리·화학적 특성에 관한 연구, 한국 기상학회지, 2002
7. 환경부 홈페이지, www.me.go.kr
8. 기상청 홈페이지, www.kma.go.kr
9. 국립 환경연구원 홈페이지, www.nier.go.kr
11. 황사관련 홈페이지, yellow.metri.re.kr
12. 조하만, 1998년 봄철 서울에서 관측한 에어러솔의 화학적 특성, www.metri.re.kr