

시멘트 콘크리트에서의 Ca 및 Si 원소의 침출 특성 연구
A Study on the Leaching Characteristics of Ca, Si in Cement Concrete

신진성, 이재민, 신상화, 주광태
고려공업검사 (주)
서울시 용산구 서계동 224-21

황주호
경희대학교
경기도 용인시 기흥읍 서천리 1

요 약

방사성폐기물의 안정적인 처분을 위하여 방사성폐기물 및 인공방벽의 건전성 평가의 필요성이 요구된다. 중·저준위 폐기물 처분 시설의 주요 구조재인 시멘트 콘크리트의 내구성 평가를 위한 침출 실험을 수행하였다. ANS 16.1의 방법으로 침출 실험을 수행하였으며 Ca 원소와 Si 원소의 확산계수를 구하였다. Ca 원소와 Si 원소의 침출 해석을 위해 반무한 매질의 확산 모델을 적용하였다. Ca 원소의 확산계수는 증류수의 경우 $1.3693E-12 \text{ cm}^2/\text{s}$, 모의해수의 경우 $3.7762E-13 \text{ cm}^2/\text{s}$ 이었으며 Si 원소는 증류수의 경우 $4.4568E-14 \text{ cm}^2/\text{s}$, 모의 해수의 경우 $2.4510E-16 \text{ cm}^2/\text{s}$ 였다.

Abstract

For the safe disposal of radioactive waste, it is necessary to review the soundness of radioactive waste and engineering barrier. To evaluate cement concrete for the low level radioactive waste disposal facility, we researched the structural integrity. Experiment was performed using ANS 16.1 leach test procedure. The diffusion coefficients for Ca and Si isotopes were determined. Semi-infinite model was used for analysis of the controlling mechanism in the release of isotopes. Diffusion coefficients of Ca were $3.7762E-13 \text{ cm}^2/\text{s}$ for the sample immersed in simulated seawater and $1.3693E-12 \text{ cm}^2/\text{s}$ for the sample immersed in deionized water. Diffusion coefficients of Si were $2.4510E-16 \text{ cm}^2/\text{s}$ for the sample immersed in simulated seawater and $4.4568E-14 \text{ cm}^2/\text{s}$ for the sample immersed in deionized water.

1. 서 론

중·저준위 처분장 처분시설의 주요 구조재는 시멘트 콘크리트이다. 중·저준위 방사성폐기물의 안정적인 처분을 위해서는 처분시설 구조물의 장기 안정성이 요구된다. 각국은 처분시설의 성능 유지에 대한 규제를 하고 있으며 중·저준위 처분시설의 경우 대략 300년에서 500년 정도의 성능

을 유지하도록 하고 있다. 미국 NRC의 경우 약 500년간의 사용연한을 요구하고 있다. 사용연한의 종료시점을 결정하는 방법^[1]중 하나는 하중지지능력의 상실이고 다른 하나는 콘크리트의 수리전도도가 증가하여 구조물 내로 상당량의 물이 침투할 경우이다. 지하 콘크리트 구조물의 성능저하 발생의 주요 메카니즘은 SO₄에 의한 열화, 알칼리-골재 반응, 강화콘크리트의 철근 부식 그리고 지하수에 의한 침출이다. 시멘트 콘크리트의 역사는 로마시대에까지 거슬러 가지만 시멘트 구성, 수화과정 및 열화 과정에 대한 연구는 100여년에 그치고 있는 실정이다. 시멘트 열화의 가장 대표적인 과정으로는 시멘트의 주요 결합구조인 C-S-H의 Decalcification을 일으켜 콘크리트의 성능저하가 진행된다고 밝혀졌다. 본 연구에서는 모의해수와 증류수에서의 침출 실험을 통하여 시멘트 주요 구성물질인 Ca과 Si의 침출 특성 및 유효확산계수를 구하고자 한다.

2. 본 론

2.1 각국의 중·저준위 처분시설 현황 및 성능목표

국외의 경우 많은 국가들이 이미 중·저준위 방사성폐기물 처분관련 규정을 마련하고 처분시설을 건설하여 운영 또는 예정 중이다. 프랑스는 최초의 공학적 구조 형태의 처분시설을 시험한 나라이며 영국은 1959년 이미 저준위 방사성폐기물(Low-Level Radioactive Waste : 이하 LLW)의 처분을 시작하였다. 스웨덴은 1983년 천층 처분 방식이 아닌 중간 깊이의 처분시설을 건설하여 저준위 방사성폐기물을 처분하고 있다. 캐나다는 현재 시험 운영중인 저준위 방사성폐기물 처분장의 운영을 준비하고 있다. 대표적인 저준위 방사성폐기물 처분시설과 공학적 구조물 형태를 표 1에 나타내었다.

1. (LLW)

가			
	Drigg	(Concrete vault)	
	Centre de l`Aube	(Concrete vault)	
	Swedish Final Repository (SFR)		
	Intrusion Resistant Underground Structure (IRUS)	(Concrete vault)	
	Hanford		
	Idaho National Engineering Laboratory (INEL)		
	Beatty, Nevada Test Site		
	Los Alamos National Laboratory (LANL)		
	Oak Ridge Reservation	(Concrete tumulus)	
	Savannah River Site	(Concrete vault)	

물은 중·저준위 처분시설에서 방사성핵종을 이동시키는 주요 수단이다. 표 1에서 알 수 있듯이

습윤기후 지역의 처분시설의 경우 공학적 구조물로 콘크리트 볼트(Concrete vault)나 콘크리트 봉분(Concrete tumulus)을 처분시설 설계에 반영하였다. 건조지역의 경우 단순히 표면 방벽으로 덮개(Cover, Cap)만을 사용하였다.

저준위 방사성폐기물 처분장의 운영 전에 처분시설의 방사학적 성능의 기술적인 평가가 요구되며 각국은 다양한 형태의 성능 목표를 설정하여 평가하고 있다. 미국 에너지부(Department of Energy ; 이하 DOE), 스웨덴은 성능 평가 목표로 가상의 침입자 및 일반대중이 받는 허용 피폭선량 설정하였고 캐나다, 영국은 유전학적 결함 및 치명적 암 발생의 허용 위험도 설정, 프랑스는 필수적인 고유 안전 설비(폐기물형태, 공학적방벽 등)가 존재해야 되며 시설의 운영기간 및 제도적 관리기간 동안 현저한 누출의 가능성을 배제하며 관리기간 이후 규제 없이 출입하는 대중의 최대 허용 피폭선량 설정을 통하여 성능 목표를 정하였다. 각국의 관리기간 및 이후 이용계획을 표 2에 나타내었다.

2.

가			
DOE	DOE	100	
	Drigg	300	
	Centre de l'Aube	300	
	Swedish Final Repository (SFR)	0	
	Intrusion Resistant Underground Structure (IRUS)		
		300	

2.2 시멘트의 특성^[2]

2.2.1 일반적 특징

○ 공극

고화하는 동안 시멘트-물 혼합물의 체적이 감소한다. 교화체(Gel) 물질의 건조 또는 결정화로 인한 수축의 결과로서 교화체 공극이 형성되고 모세관 공극계통은 과도한 증발로 형성된다. 교화체 공극의 크기는 지름이 0.0005 mm~10 mm이며, 수화작용으로 체적 퍼센트는 증가한다. 시멘트 반죽과 경화된 시멘트반죽의 분율은 약 20~30% 정도이다. 모세관 공극의 크기는 10 mm이고 체적 퍼센트는 0~40%이다. 그리고 모세관 공극은 시멘트에 혼합시키는 물의 양의 증가와 수화작용에 따라 증가한다.

○ 물/시멘트 비

물/시멘트 비는 경화된 시멘트 혼합물의 강도와 화학적 저항성에 영향을 미치는 가장 중요한

항목이다. 시멘트반죽의 준비에 있어서 물은 혼합물이 충분히 형체를 만들기 위해 필요하며 공극은 수용액(aqueous)상으로 채워져 남아있다. 이러한 수용액상은 12이상의 pH를 갖는 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 포화된 용해상태이다. 물에서 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 용해도는 대략 1.1 g/L 정도이다.

○ 투수능

물/시멘트(이하 W/C) 비가 증가함에 따라 더욱 명백하게 변하는 것은 투수능이며 W/C의 비가 0.5~0.6이상에서는 시멘트 투수능은 급격히 증가한다. 투수능의 증가는 물의 공격에 노출된 콘크리트의 저항성에 유해하게 작용한다. 수화작용으로 인하여 형성된 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)은 경화된 시멘트로부터 빠르게 침출된다. 침출율은 물과 접촉하는 표면으로부터 바깥쪽으로 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 확산 비율에 지배된다. 수산화칼슘이 침출되면 시멘트의 산화칼슘(CaO)의 양이 낮아지게 되고, 이 영향으로 수화규산염, 알루미늄산염등이 붕괴된다.

2.2.2 시멘트의 구성물질

포틀랜드 시멘트는 칼슘 기타의 석회계 재료에 필요에 따라서 점토질 또는 다른 실리카분, 알루미늄, 경화철을 혼합하여 고온에서 합성하여 생성된 크링크를 만듦으로써 생성된다. 시멘트의 응결 시간을 조정하기 위하여 2,3%의 석고를 첨가한다. 따라서 포틀랜드 시멘트는 주로 CaO , SiO_2 , Al_2O_3 및 Fe_2O_3 로써 구성되어 있다. 자세한 구성 비는 표 3에 나타내었다. 4종류의 산화물을 합친 함유량은 시멘트 중량의 거의 90%를 점하고 있으며 나머지 10%는 MgO , Na_2O , TiO_2 , P_2O_5 및 석고이다.

3.

산화물	조성(중량%)
CaO	60~67
SiO ₂	17~25
Al ₂ O ₃	3~8
Fe ₂ O ₃	0.5~6.0
MgO	0.1~5.5
Na ₂ +K ₂ O	0.5~1.3
TiO ₂	0.1~0.4
P ₂ O ₅	0.1~0.2
SO ₃	1~3

포틀랜드 시멘트의 산화물에 관한 평형도가 확립되면 시멘트광물을 동정(同定)하는 것도 가능하며 시멘트의 조성을 아는 것도 가능하다. 이 점에 관하여 가장 중요시되고 있는 것은 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 계이다. C_2S 가 둥글고 줄무늬가 있으며 밝은 색을 하고 있는 것에 비하여 C_3S 는 각이 저있으며 어두운 회색을 나타내고 있다. 그 사이를 백색의 페라이트상(C_4AF)이나 각이 진 C_3A 가 메우고 있다. 외형이나 색으로 다른 상을 구분하는 것이 가능하므로 광학적 수법을 이용하여 시멘트크링크의 화합물조성을 결정하는 것이 용이하게 되었다. 포틀랜드 시멘트는 아래의 표 5와 같이 4가지 주요 성분으로 이루어져 있다.

4.

Tricalcium Silicate	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_3S
Dicalcium Silicate	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_2S
Tricalcium Aluminate	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Tetracalcium Aluminoferrite	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Tricalcium Silicate : 양생 첫 주에 자신이 나타내는 압축강도의 50% 이상을 나타냄

Dicalcium Silicate : 압축강도는 몇 달에 걸쳐 서서히 증가

Tricalcium Aluminate : 1,2일 내에 강도의 전체를 나타내나 그 절대값은 작다

Tetracalcium Aluminoferrite : 수분 내 경화가 일어남

국내 포틀랜드 시멘트의 광물조성, 화학조성은 다음 표 5, 표 6과 같다.

5 .

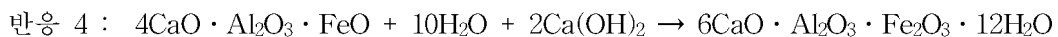
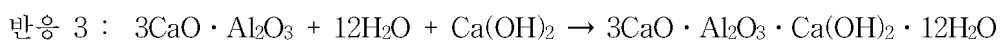
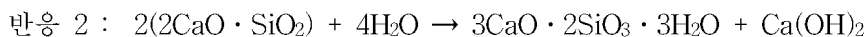
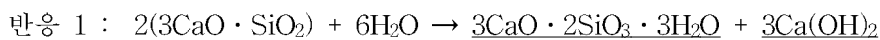
	(%)			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
	33.4	37.0	12.0	8.5
	45.4	26.0	11.2	8.5

6 .

	(%)		
CaO	60-67	61.5	62.7
SiO ₂	17-25	21.7	21.0
Al ₂ O ₃	3-8	6.3	6.0
Fe ₂ O ₃	0.5-6.0	2.8	2.8
MgO	0.1-4.0	3.3	2.6
Alkalis	0.2-1.3	1.19	1.19
SO ₃	1-3	2.0	2.1

시멘트가 물과 혼합 후 주요성분이 물과 반응하여 수화반응을 이룬다. 이 때 일어나는 주요 화학반응식은 다음과 같다. 이 중 $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 은 Tobermorite로 주로 CSH라고 한다.

○ 시멘트 주요 성분의 화학 반응식



2.2.3 시멘트 콘크리트의 성능저하

시멘트 콘크리트 구조물의 성능저하 발생의 주요 메카니즘은 SO₄에 의한 열화, 알칼리-골재 반응, 강화콘크리트의 철근 부식 그리고 지하수에 의한 침출이다. 이를 표 7에 나타내었다.

7.

	Tricalcium Aluminate(C3A), Calcium Hydroxide	Sulfate ions
	Chloride Content, pH Calcium Hydroxide	Chloide ions, O ₂ , CO ₂ stray currents
	K ₂ O, NaO	Water
	pH, Calcium, Hydroxide	Acid Concentrations
	Air Void Spacing Strength	Water, Temperature
	Soluble Salts	Chemistry and Flow Rate of Water

2.3 침출 실험

본 연구에서는 시멘트 콘크리트의 주요 구성 결합 요소의 하나인 Ca이 모의해수 및 증류수와의 접촉으로 침출되어 나오는 현상을 분석하고자 침출실험을 수행하였다. 침출시험 방법으로는 IAEA 방법, 수정 IAEA 방법, ANS 16.1, ISO 6961, MCC-1의 방법들이 있다. 본연구에서는 90일간의 단기 침출 평가를 위해 ANS 16.1 방법을 통하여 침출시험을 수행하였다.

2.3.1 침출시험법 : ANSI/ANS-16.1 test(1986)^[3]

본 침출 실험은 ANS-16.1의 표준 침출 시험법을 적용하여 수행하는데, 그 내용은 다음과 같다.

- 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, 47d, 90d
- 침출수 분석 : ICP-MS를 이용 Ca 원소 분석
- 고정된 침출조건하(단일 침출액, 단일 온도조건, 규정된 침출액의 교환빈도)에서 시험을 한다.
- IAEA 시험법을 실제적으로 개선한 것이다.

ANS의 표준 침출 시험법은 고정된 침출 조건하(단일 침출액, 단일 온도 조건, 규정된 침출액의 교환빈도)에서 시험을 한다. 만약 초기 대상 원소가 20% 이하 침출시에는 유효확산계수(Effective Diffusivity), D_e를 다음과 같은 식으로 표현하고 있다.

$$D_e = \pi \left(\frac{a_n/A_o}{t_n - t_{n-1}} \right)^2 \left(\frac{V}{S} \right)^2 T \quad \text{----- (1)}$$

여기서 a_n = 침출간격 n 동안 유출된 방사성핵종의 방사능
 A_0 = 침출시험 초기에 시편에 있는 방사성핵종의 총방사능
 S = 시편의 노출 표면적, cm^2
 V = 시편의 부피, cm^3
 t_n = 침출수 교환 주기, d
 $T = \left[\frac{(t_n^{1/2} + t_{n-1}^{1/2})}{2} \right]^2$, 침출간격의 평균시간, d
 D_e = 유효확산계수, cm^2/s .

각각의 시편으로부터 유효확산계수가 결정되면 다음과 같이 정의된 침출 지수(L_i)가 구해진다:

$$L_i = \frac{1}{10} \sum_{n=1}^{10} [\log(\beta / D_{ei})]_n \quad \text{----- (2)}$$

여기서, $\beta = 1 \text{ cm}^2/s$ 로 정의된 상수
 D_{ei} = 시험데이터로부터 계산된 방사성 핵종 i의 유효확산계수이다.

이와 같은 침출능 지수는 폐기물고화체의 성능 요건(Performance Criteria)을 정의하는데 이용되며, 미국 Nuclear Regulatory Commission(NRC)에서는 폐기물고화체의 침출능 지수가 6보다 커야 됨을 권고하고 있다. 본 실험에서는 방사성동위원소의 침출이 아닌 시멘트 주요 구성원소 Ca와 Si의 침출 및 확산 현상을 분석함에 목적이 있으므로 유효확산계수와 예측모델과의 비교만을 연구의 범위로 하였다. 침출 실험에 사용할 모의 해수와 탈염수를 제작하였으며 각각의 특성은 다음과 같다.

모의해수제조시 구성 성분비는 다음 표 8과 같다.

8.

	(g/L)
NaCl	27.213
MgCl ₂	3.807
MgSO ₄	1.658
CaSO ₄	1.260
K ₂ SO ₄	0.863
CaCO ₃	0.123
MgBr ₂	0.076

탈염수제조는 순수제조장치 사용(영린기기, AquaMax 311)를 사용하였으며 이 순수제조장치는 프리필터(Prefilter)를 이용하여 물속의 입자를 제거하고 활성탄 필터를 통해 Cl 이온을 제거하고 역삼투막에 의해 정수한 다음 이온교환필터에 의해 양이온과 음이온을 제거하게 구성되어 있다.

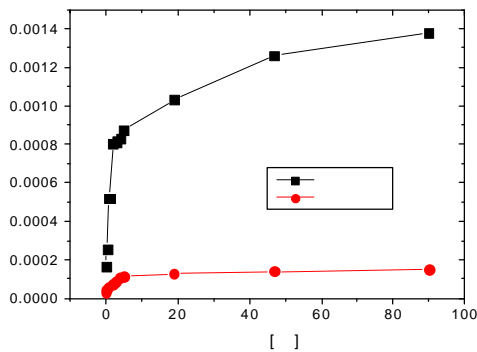
2.3.2 침출 실험 결과 분석

시멘트 시편을 ANS 16.1 침출시험법을 이용하여 침출시험을 수행하였다. 침출수는 위에서 제시

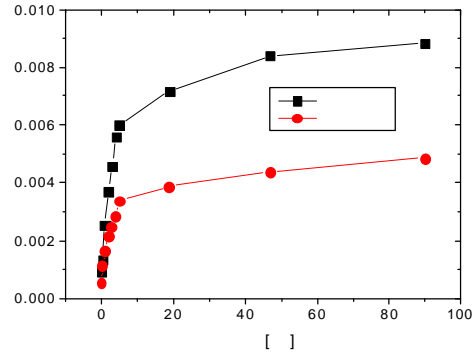
된 자료와 방법을 이용하여 증류수를 제조하여 시험에 이용하였다. 시험에 있어서 단일 온도 조건을 유지하기 위해 항온 수조 내의 온도를 23℃를 유지한 상태에서 침출 시험을 진행하였다. 침출수의 부피와 침출수에 노출된 시편의 겉면적의 비를 10으로 잡아 침출수의 부피는 1960 cc로 하여 용기 내에 파라핀 시편을 명주실로 매달아 시편의 모든 면으로 침출이 일어나게 하였다.

침출수의 교환 주기는 ANS 16.1 침출시험법에서 제시된 조건을 그대로 따랐다. 채취된 침출수는 500 ml 병에 각각 채워서 보관하였고, 채취된 침출수는 유도결합 플라즈마 질량분석기(ICP-MS)로 방사성 핵종의 농도를 측정하였다. 침출시험 전후의 시멘트 시편의 형태 경우 육안으로는 시험 전후의 차이를 발견할 수 없었다.

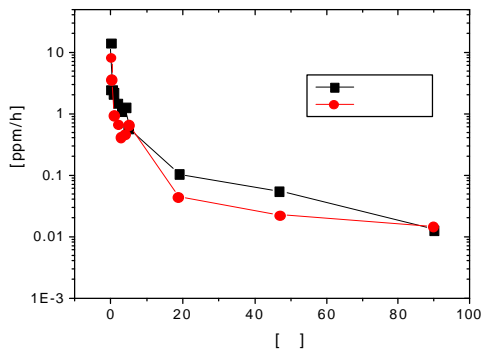
각 시편의 Ca 핵종의 초기량은 59.702g이고 Si 이온은 13.778g 으로 계산하였으며 90일 침출 시험 후 Ca 핵종의 경우 누적침출율이 증류수 침출 시편의 경우 0.008844, 모의 해수 시편의 경우 0.004851 이었으며 Si 핵종의 경우 증류수 침출 시편의 경우 0.00138, 모의 해수 시편의 경우 0.000151 이었다. 다음 그림 1부터 그림 4에 각각의 누적침출율과 시간당 침출율을 비교하였다.



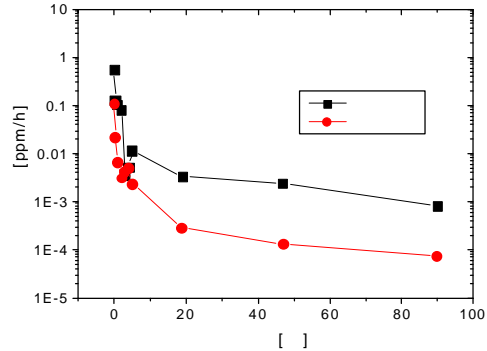
1. Ca



2. Si



3. Ca



4. Si

2.3.3 침출 예측 모델

핵종이 침출되는 반응기구는 주로 확산에 의존하는 것으로 고려되고 있다. 침출 모델에는 반무한매질에서의 확산 모델이 적용되었고, 아래의 식으로 표현된다.^[4]

$$N_t = 2 C_0 \left(\frac{DT}{\pi} \right)^{1/2} \text{-----(4)}$$

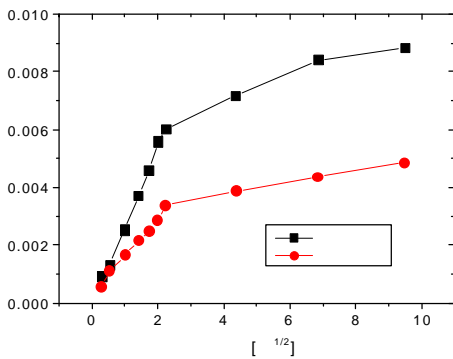
여기서 N_t = 확산되어 나온 핵종량(Bq/cm²)
 D = 유효확산계수(cm²/s)
 T = 누적침출시간(sec)
 C_0 = 초기 핵종 농도(Bq/cm³)

위의 식은 다음과 같은 두 가지 조건을 포함하고 있다. 첫째, 표면에서의 농도는 '0' 이고, 둘째, 시험 매질의 일부는 침출이 진행중인 상황에서도 초기의 농도를 유지하고 있다는 것이다. 실린더 형태의 시멘트 콘크리트 매질에 식(4)를 적용하기 위해서는 표면적 대 부피비(S/V) 값을 곱해 주어야 한다. 여기서, S는 시편의 표면적(cm²)이고, V는 시편의 체적(cm³)이다. 위의 조건에서 볼 때, 실제 시편은 표면에서의 농도가 '0'이 아니기 때문에, 시편 표면에서의 초기 방출의 상수항인 'β'값이 추가적으로 필요하다. 또한 미세구조에 의하여 기하학적 표면의 면적보다 실제 표면 면적이 더 큰점의 영향을 고려하기 위해서도 필요하다. 결국 최종적으로 반무한매질에서의 누적침출분율은 다음과 같은 식으로 표현된다.^[4] 이러한 특성은 국내의 연구 결과로부터 그 현상을 확인할 수 있다.^{[5][6]}

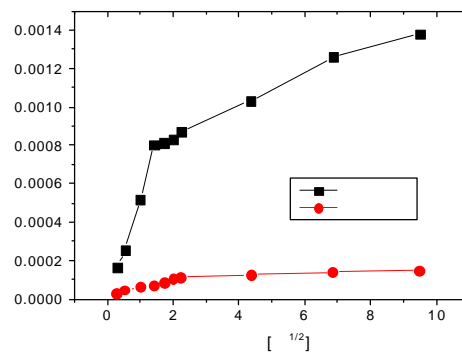
$$CRF = \frac{S}{V} \times 2 \left(\frac{DT}{\pi} \right)^{1/2} + \beta \quad \text{-----(5)}$$

여기서 CRF = 누적침출율
 S/V = 시편표면적(S) 대 시편부피(V)의 비(cm⁻¹)
 D = 유효확산계수(cm²/s)
 T = 시간(초)
 β = 표면방출항(y intercept or surface release)

이 식은 시간의 제곱근에 대해 선형적으로 나타난다. ANS 16.1의 방법에 따라 90일간의 침출시험을 수행 후 침출액 내의 핵종농도를 분석하여 누적침출율을 측정 한 값과 위에서 설명한 반무한 원통형 모델과의 비교를 통하여 시멘트 고화체에서의 침출기구를 분석하였다. 먼저 β 값을 사용하지 않은 상태의 누적침출율 측정값과 시간의제곱근으로 그림 5, 그림 6에 나타내었다.



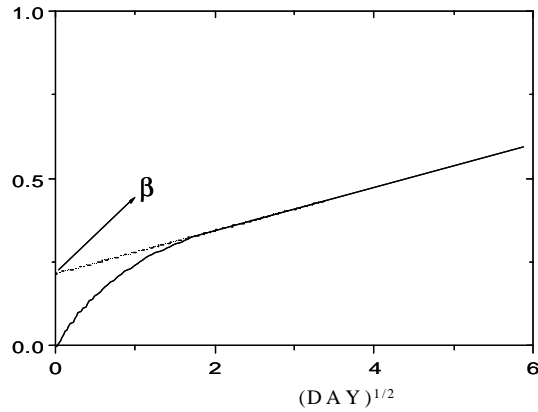
5. Ca



6. Si

Ca 및 Si 핵종의 경우 누적침출율이 시간의 제곱근에 대하여 선형적이지 않음을 알 수 있다. 이 경우 일반적인 확산의 경향이 침출기구가 아닌 경우이다. 그러나 초기 5일간의 침출율이 5일 이후에 비해 높은 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 이전 연구^[7]에서도 그 경향을 알 수 있다. 이는

초기 시편 표면에서의 핵종의 유출에 그 원인을 찾을 수 있으며 표면에서의 이러한 영향을 고려해서 β (y intercept or surface release) 값을^[4] 적용하여 침출기구를 다시 평가하였다. 그림 7은 표면효과에 의한 침출곡선의 예이다. 다음 표 9에 β 적용시의 유효확산계수(D_e)와 β 값을 나타내었다. 실험을 통하여 구한 Ca 핵종의 유효확산계수는 증류수 침출 시편의 경우 $1.3693E-12 \text{ cm}^2/\text{s}$ 이었다. 유사 연구에서의 경우에서도 이와 유사한 수치의 확산계수가 구해짐을 알 수 있다.

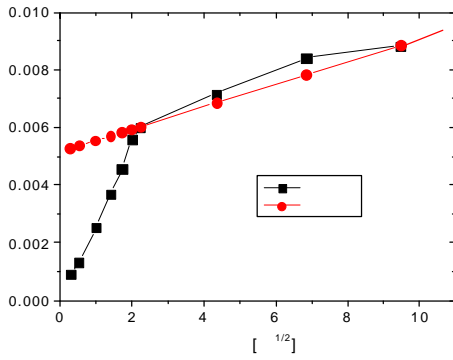


7.

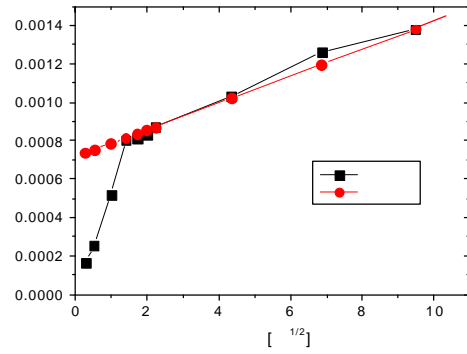
9. Ca, Si

	Ca		Si	
	[cm^2/s]	(y - intercept)	[cm^2/s]	(y - intercept)
	1.3693E - 12	0.005162	4.4568E - 14	0.000716
	3.7762E - 13	0.002918	2.451E - 16	0.000102

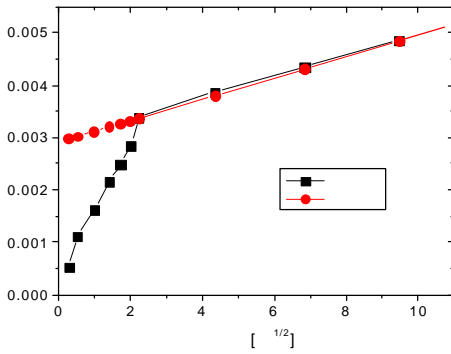
이렇게 구한 유효확산계수와 β 값을 통하여 실제 측정값과의 시간에 따른 누적침출율에 대한 비교를 하였다. 그림 22와 그림 23에 계산값과 측정값과의 비교를 나타내었다. 그림을 통하여 침출 시험 후 약 5일 후부터는 확산의 경향을 보임을 알 수 있다. Ca 및 Si 핵종의 경우 침출시험에 있어서 용해도 의존성이 높으며 침출수의 교환 주기, 침출제 양 등에도 영향을 받으므로^[8] 시멘트 콘크리트의 주요 구성 핵종의 확산 평가는 많은 연구가 필요하다고 판단된다.



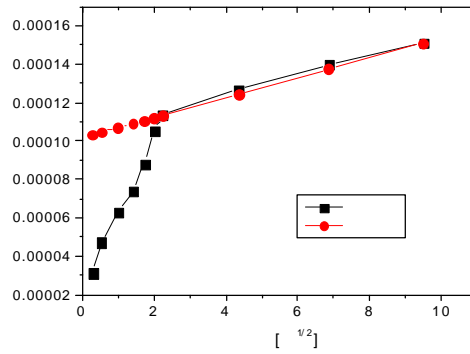
22 () Ca



23. () Si



24. () Ca



25. () Si

3. 결론 및 고찰

중저준위 방사성폐기물 처분장의 경우 방사성폐기물의 안정적인 처분을 위하여 각국은 그 성능에 대한 규제를 하고 있으며, 처분시설 주요 구조물인 시멘트 콘크리트의 내구성에 대한 연구가 진행중이다. 본 연구에서는 시멘트 콘크리트의 주요 구성원소인 Ca과 Si의 침출 실험을 통하여 시멘트의 내구성 저하 연구의 기초자료를 생산함에 그 목적이 있다. 모의해수와 증류수에서의 침출실험을 통하여 시멘트 구성 물질의 침출은 확산을 통하여 진행됨을 알 수 있었다. Ca 핵종의 경우 표면효과를 고려하여 구한 유효확산계수는 증류수의 경우 $1.3693E-12 \text{ cm}^2/\text{s}$, 모의해수의 경우 $3.7762E-13 \text{ cm}^2/\text{s}$ 이었으며 관련 연구에서의 결과값과 유사한 경향을 보였다. Si 핵종은 증류수의 경우 $4.4568E-14 \text{ cm}^2/\text{s}$, 모의 해수의 경우 $2.4510E-16 \text{ cm}^2/\text{s}$ 였다. 모의 해수의 경우 시멘트에 대한 내구성 저하가 더 크게 예상됨에도 확산계수가 더 작게 분석됨을 알 수 있었다. 이러한 현상을 분석하기 위해서 시멘트 구성 원소의 확산 현상 규명에는 용해도 및 시멘트 수화정도에 따른 영향 등을 고려하여 폭 넓은 연구가 필요하다고 판단된다.

4. 참고문헌

1. D. E. Gjorv and O. Vennesland, " Diffusion of Chloride ions from Sea-water into Concrete" Cem. Con. Res., 19, pp 229, 1979
2. 황주호, 김성수, 이재민, 중·저준위 방사성폐기물 처분시설 구조재의 장기성능평가(2차), 한국 원자력안전기술원, KINS/HR-204, 1998
3. American Nuclear Society, Measurement of the Leachability of Solidified Low-Level Radioactive Wastes by a Short-Term Test Procedure, ANSI/ANS-16.1, American Nuclear Society, 1984
4. S. T. Croney, Leachability of radionuclides from Cement Solidified Waste forms Produced at Operating Nuclear Power Plants, NUREG/CR-4181 EGG-2355, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1985. 3
5. H. Arora and R. Dayal, Leaching Studies of Cement-Based Low-Level Radioactive Waste Forms, NUREG/CR-4756, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1986. 10
6. H. Arora and R. Dayal, Solidification and Leaching of Boric Acid and Resin LWR Waste, NUREG/CR-3909, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1984. 7
7. Muberra Andac, Fredrik Paul Glasser, " Long-term leaching mechanisms of Portland cement-stabilized municipal solid waste fly ash in carbonated water," Cement and Concrete Research 29, pp179-186, 1999
8. Chi S. Poon, Zu Q. Chen, " Comparison of the characteristics of flow-through and flow-around leaching tests of solidified heavy metal wastes," Chemosphere, Vol. 38, No. 3, pp 663-680, 1999