

## 폴리머 고화체에 대한 방사선 조사 발생 탄화수소 분석

이세엽

(주)한국원자력엔지니어링, 경기도 성남시 분당구 야탑동 145 분당테크노파크C-504호

[sevuplee@hotmail.com](mailto:sevuplee@hotmail.com)

### 1. 서론

일반적으로 방사성 폐기물의 폐기조건을 계산할 때 300년간의 안전한 보관을 1차적인 기준으로 정하고 있다. 원자력 발전소의 주 기준 핵종 중 하나인 Co-60의 경우, 반감기가 5.2년이며, 300년이 지난 후의 그 방사성 세기는  $1/10^{17}$  이하로 감소한다. 즉 자연 방사성 준위와 비슷해진다. 그렇게 때문에, 300년간  $10^9$ Rad의 누적 조사량을 가정한다는 것은, DRUM의 방사선량이 약  $10^5$ Rad/h을 훨씬 초과할 경우어나 가능할 수 있는 양이며 실제적으로는 현장에서 발생 가능성이 없다. 그러나 최악의 경우를 가 상하여, 10배의 Safety Margin을 확보하여  $10^9$ Rad의 조사선량에 따른 폴리머 고화체의 폭발 가능성을 분석하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 가스 분석 시험

영구 처분된 폴리머 고화체에 대해 외부방사선 또는 자체 조사된 집적선량으로 인해 고화체에서 가스가 발생할 수 있다. 폴리머 시험체로부터 발생하는 가스의 조성과 폭발성가스의 농도를 확인하기 위하여 먼저 정읍 방사선과학연구소에서 방사선 조사를 실시하였고, 한국표준과학연구원에서 가스분석을 하였다. 시료가 고체이므로 가스를 포집하기 위하여 유리관을 제작하고 시료의 무게를 측정하여 유리관속에 넣어 대기 중에서 밀봉하였다. 시료는 폴리머 과립형시험체, 수지시험체, 공시험체(Blank) 각 3개를 준비하였다.[그림 3.19] 시험체에 대한 가스분석은 방사선 조사후 가스의 조성을 정밀가스 질량 분석기(Gas-MS)와 가스크로마토그래피 질량분석기(GC-MSD)를 이용하여 정성 및 정량 분석한다.

##### 2.1.1 가스발생 시험법의 규격

- (1)시험방법: 저진공 가스분석 시험절차  
(T-02-029-2000, KRISS), Gas-MS에 의한

혼합 및 순수가스 분석시험 절차

(T-02-030-2000, KRISS)

(2) 시험체 모양 : 정사각형 형태

(3) 시험체 크기 : 10mm×10mm×10mm

(4) 시험방법 : 튜브 인입후 방사선 조사 및 발생가스 분석

(5) 시험기관 : 한국표준과학연구원

#### 2.1.2. 시험과정

비흡착성 무기가스 및 Noble가스의 정성 및 정량 분석에 고농도부터 수 ppb까지 주입 압력에 따른 기기의 직진성이 매우우수하여 측정의 모든 변수를 포함한 상대 불확도가 2.0% 이내이다. 순수가스나 농도가 알려진 혼합표준가스로 측정하고자 하는 가스성분의 감도를 구하고, 이 값을 사용한 시료가스의 측정을 하는것이다. 방사선 조사 후 시험체에서의 발생한 가스의 종류와 양을 측정하기 위하여 Gas-MS 장비를 사용하여 밀봉된 시험체(유리관)를 진공상태에서 유리관의 끝 부분을 깎 수 있는 장치[그림20]에 연결하고 교정된 Baratron gauge가 부착된 관로를 진공상태로 만든 후 5cc의 공기를 넣어 압력을 측정하여 관로의 부피를 구한다. 시험체에서 발생된 가스의 양을 알기 위하여 시험체가 봉입된 유리관의 끝을 깨어 발생한 압력을 측정한다. 또 정밀가스 질량 분석기를 이용하여 가스종의 분압을 측정한다.

#### 2.1.3 방사분해가스 종류 분석 및 양 측정

- (1) 방사선조사에 의해 발생하는 기체의 정량 및 조성은 GC(Gas chromatography) 및 MS (Mass spectrometer)로 분석하여야 한다.  
(2) 방사선 조사에 의해서 발생하는 가스의 G값은 아래의 식으로 계산한다.

$$G(\text{gas})=(P_f-P_i)\left(\frac{NV}{RT}\right)\left(\frac{100eV}{D}\right)$$

여기서,

G(gas) : total molecules evolved per 100eV  
 Pf: final pressure(atm)  
 Pi: initial pressure(atm)  
 N: 아보가드로 수, 6.022E+23/gmole  
 V: ampule free volume(cm<sup>3</sup>)  
 R: 이상기체상수, 82.057 atm·cm<sup>3</sup>/mole·K  
 T: 온도, K  
 D: energy deposited, eV

가스발생 시편은 과립형, 수지, Air blank 3종으로 수행하였으며, 방사선 조사로 인해 발생가스의 조성과 농도를 측정하기 위해 방사선 조사 후 1주, 2주, 4주 시점에 발생하는 가스의 조성과 농도를 분석하였다. 일반적으로 대기중의 공기의 조성은 질소 78.1%, 산소 20.8%, 아르곤 0.93%, 이산화탄소 0.04%의 비율로 구성되어 있다.

본 시험에서는 H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>+CO, O<sub>2</sub>, Ar, CO<sub>2</sub> 탄화수소류 등에 대해서 가스발생 분석을 실시하였다. 각 분석시점의 각 성분별 총가스량(cc·atm)기준으로 각 성분별 분석결과를 나타내며 또한 GS-MSD를 이용한 정성분석에서 탄화수소류는 메탄, 아이소부탄, 톨루엔과 미량의 펜탄, 헥산, 헵탄, 아세톤이 미량 검출되었다.

Table 1. 시험체의 가스분석 시험.

분석항목		농도			비고
		과립형	수지	Air blank	
H <sub>2</sub>	1차	57.65	56.22	1.02	
	2차	48.08	59.06		
	3차	42.43	10.03		
탄화수소류	1차	11.21	7.76	-	
	2차	17.37	17.34		
	3차	50.423	18.74		
가스량	1차	9.1	18.3	-	
	2차	19.2	15.4		
	3차	24.3	15.3		

### 3. 결론

시험 분석 결과 레진의 경우를 살펴보면 탄화수소의 경우 3차 분석 결과 13.84%, 산소의 경우 0.02%이다. 상기 결과는 mol fraction 결과이고 표준상태에서 기체 1mol이 차지하는 부피는 동일하게 22.4L이므로 그대로 V%로 치환되므로, 탄화수소의 경우 13.84/0.02=692(V%)로 폭발 상한계를 훨씬 상회하고 있으며 산소의 절대량이 부족하므로 위 표에서 보는 바와 같이 폭발의 우려가 없음을 알 수 있다. 마찬가지로 실험 분석 결과 비드의 경우를 살펴보면 8주차 분석결과를 보면 이 경우 50.423/0.25=202(V%)로 폭발 한계를 상회하고 있으므로 역시 산소의 절대량이 부족하므로 폭발의 우려가 없음을 알 수 있다. 메탄의 경우 자연 발화점의 온도는 540도에서 700도로 알려져 있으나 이는 공기 중의 조건이며 산소의 농도미가 감소되어 있는 상태에서는 훨씬 높은 온도에서 발화됨을 예상할 수 있다. 또한 점화원의 경우 착화시키지 않는 상태에서는 자연 발화등의 우려는 없음을 알 수 있다.

### 4. 참고문헌

- [1] 교과부 고시 제 209-37호 15조.
- [2] 중저준위 방사성 폐기물 처분시설 폐기물 인수 기준.
- [3] NRC Generic Letter 81-38.
- [4] ASTM, "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens," American Society for Testing and Materials, ASTM C39-72 (1975).
- [5] ASTM, "Standard Test Method for Determining Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classification," American Society for Testing and Materials, ASTM D5731-08.
- [6] KS, "General Test Methods for Thermosetting Plastics," Korean Agency for Technology and Standards, KS M 3015(A) (2003).