

합성섬유를 증발매체로한 저농도 방사성액체폐기물 처리

김태국*, 김길정, 이영희
한국원자력연구소

요 약

저농도 방사성 액체폐기물의 최종 처리를 목적으로 본 연구에서는 면 35%와 Polyester 65%가 함유된 합성섬유를 증발매체로 하여 자연상태의 공기를 강제 송풍시키는 자연증발처리시설에서 증발에 영향을 미치는 주요 변수에 따라 증발 단위 면적당 Cs-137, Co-60을 함유한 방사성 폐액의 증발량측정 및 제염계수를 조사하였다. 증발효과는 유입공기의 습도가 낮고, 공기의 유속과 공급액의 유량이 증가하고 유입공기 및 폐액의 온도가 높아질수록 증발량이 증가하였다. 실험결과 유입된 공기는 10℃ 이상, 습도는 80% 이하, 공급폐액의 유량이 3.4 l/hr.m² 이상, 공기유속은 1.14~1.47 m/sec 범위가 조업조건이며 이때 제염계수는 5.1×10^3 , 배출공기의 방사능 농도는 4.7×10^{-13} μCi/ml air로 측정되었다. 공급유량이 4.6 l/hr.m²와 공기유속이 1.47 m/sec일때 최대 증발조건으로 나타났으며, 이때 증발량은 총 증발면적 11,250m²에서 1.2 m³/hr로 측정되었으며 대기의 온, 습도 및 풍속에 따른 실험을 통하여 달톤형 증발식의 Wind Factor [$Eh = (0.0168 + 0.0141V) \Delta H$]를 도출하였다.

1. 서 론

저준위 방사성 액체폐기물 처리방법의 단점을 보완하고 에너지 소모가 적은 경제적이고 효율적인 증발방법을 제시하기 위하여 합성섬유를 증발매체로 하여 자연기상인자를 이용한 저농도 방사성 액체폐기물을 처리하는 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 자연증발에 관한 국내외 연구동향을 조사하였으며 액체의 증발현상, 수직형 직물 증발표면에서의 증발이론 및 물질전달 등 이론식을 바탕으로 증발현상에 대한 이론적 고찰을 하고 합성섬유를 증발매체로한 자연증발처리시설에서 저농도 방사성 액체폐기물을 처리하였다. 또한 증발에 영향을

미치는 주요 변수인 유입공기의 온. 습도, 공급폐액의 유량 및 공기유속에 따라 증발을 및 제 열계수를 측정하였으며 이들 결과로부터 Dalton형의 실험식 도출 및 습공기 선도상에서 조업 범위와 최적 증발조건을 제시하므로써 시설의 효율적인 운영과 저농도 방사성 액체폐기물의 안전한 처리를 도모하였다.

2. 이 론

물의 증발현상은 물분자가 평형상태 즉 포화상태까지 도달하기 위하여 상변화를 일으키는 현상을 일컫는다. 수직형 증발표면에서 증발은 증발매체의 합성섬유를 수직으로 설치하고 증발표면 상부로부터는 증발시키고자 하는 폐액을 흘려보내고 하부로부터는 에너지 원인 공기를 불어 넣으므로 폐액과 공기가 향류로 흐르면서 증발이 일어나게 된다.

○ 수직형 증발표면(합성섬유)에서의 증발이론

$$d_E = k \cdot (P_s - P_w) / H \cdot d$$

$$d_E = k \left(\frac{P_s}{H} - \frac{M \cdot T}{0.11e} \right) dT$$

○ 증발량과 온도와의 관계

$$\lambda \cdot \frac{dm}{100} = -C_p \cdot \rho \cdot \frac{e}{2} \cdot \frac{1}{10^6} dT$$

$$d_m = - \frac{0.205 \cdot \rho \cdot e}{10^6} dT$$

$$E_h = \frac{0.410}{10^6} \cdot \frac{V}{V_0} (T - T_0)$$

○ 물질 전달에 의한 증발이론

$$\frac{q}{t} = \bar{U} \nabla K e \nabla q$$

$$E_h = \frac{-K^2 \cdot \rho \cdot (q_2 - q_1) (U_2 - U_1)}{(\ln Z_2 / Z_1)^2}$$

○ 물질 전달에 의한 경험식

$$E_h = f_{(v)} (H_w - H_a)$$

3. 실험방법

실험장치는 Fig.1에 나타내었으며, 순환펌프를 가동하여 방사성 농도가 $10^4 \sim 10^7 \mu\text{Ci}/\text{ml}$ 인 방사성 폐액이 증발천에 완전히 흡수된 후 송풍기를 가동하고 저장 탱크의 수위 및 장치내 온.습도 등 전반적인 시스템이 정상상태에 도달하였을때부터 일정시간 간격으로 유입 및 배출의 온.습도 및 증발천 모듈 사이에서의 풍속을 측정하였으며, 동시에 저장조에 설치된 수위기록계를 통해서 유입공기의 온도와 습도변화에 따라, 증발천으로 공급되는 공급폐액의 유량 변화에 따라, 증발모직 사이에서의 공기 유속변화에 따라 증발량 측정실험을 수행하였다. 방사성 폐액 처리시 환경에 미치는 영향을 알아보기 위해 배출되는 공기의 일부를 응축기를 사용하여 제습시켜 그제습액을 MCA로 분석하여 제염계수를 측정하였다.

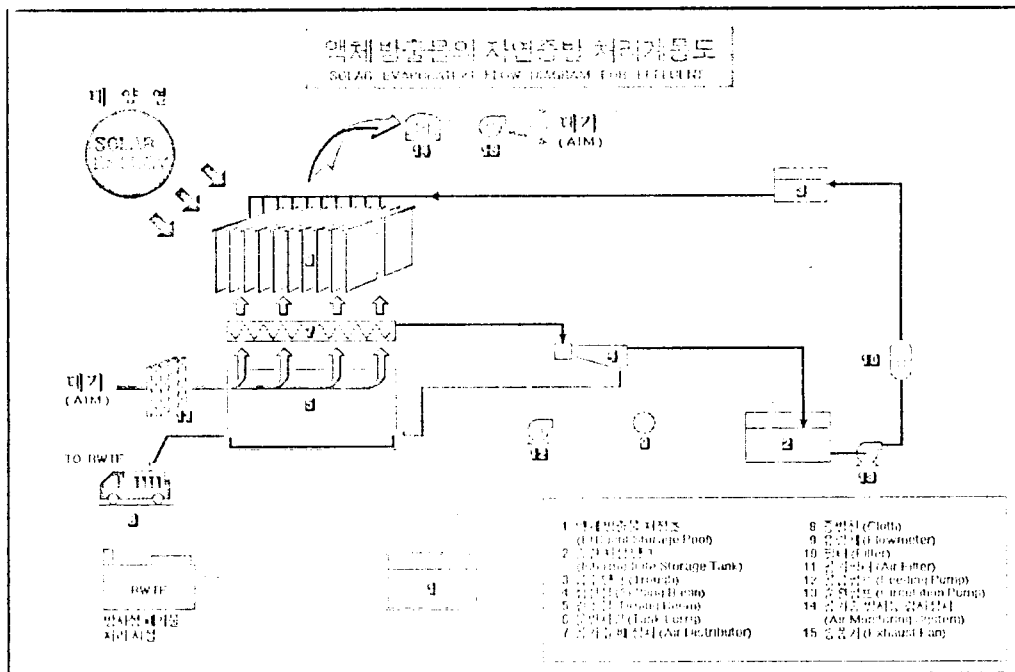


Fig. 1. Evaporation flow diagram of liquid effluent

4. 결과 및 고찰

4.1. 유입공기의 상대습도 변화에 따른 증발량

실험에 관련된 변수들에서 증발량에 영향을 미치는 가장 중요한 변수중의 하나는 유입 공기의 상대습도이다. 공기유속과 공급폐액 온도가 일정한 상태에서 상대습도가 40%에서 80%까지 증가함에 따라 증발량은 급격히 감소하여 상대습도가 90% 이상에서는 거의 증발이 일어나지 않음을 알 수 있다(Fig.2). 따라서 유입공기의 상대습도를 낮출 경우 증발량을 증가시키는데 효과적임을 알 수 있다.

4-2. 공기유속 변화에 따른 증발효과

유입공기의 습도가 낮을 수록, 공기의 유속이 높을 수록 증발량이 증가하여 1.47 m/sec 일때 최대의 증발을 나타내고 있으나(Fig.3) 그 이상의 유속에서는 오히려 감소하였는데, 이는 증발천이 서로 붙으므로 증발 면적이 감소하였기 때문이다.

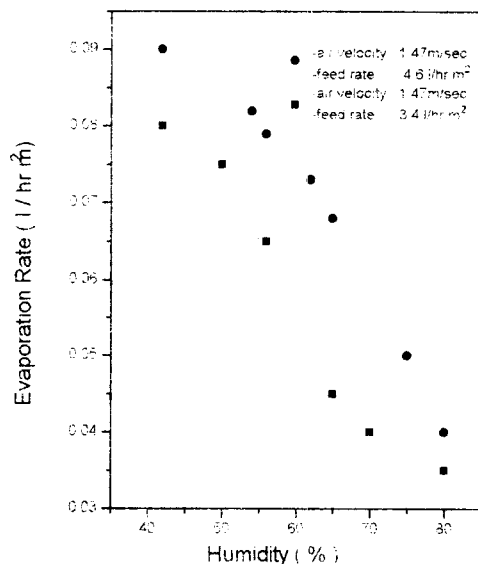


Fig 2. Effect of Humidity on Evaporation Rate in Solar Facility

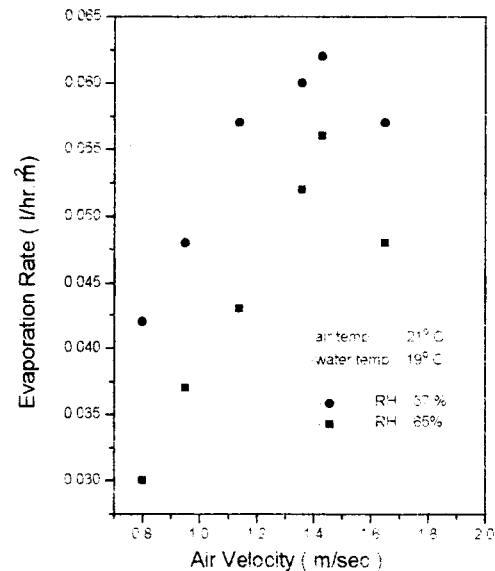


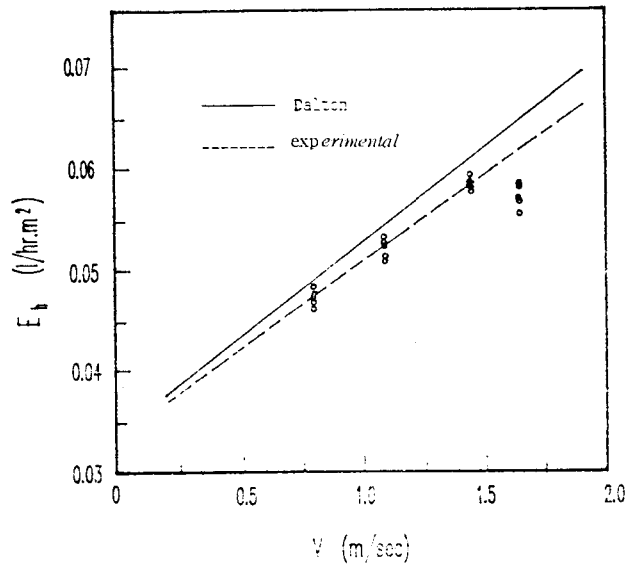
Fig 3. Effect of Air Velocity on Evaporation Rate in Solar Facility

4-3. Dalton형의 실험식 및 최적 증발조건

물질전달법에 의한 달톤형의 증발식은 다음과 같다.

$$E_k = (0.0178 + 0.0152V) \times (H_w - H_a)$$

공기유속은 0.8, 1.14, 1.47, 1.65, 1.82m/sec로 조절하여 공기유속(V)의 변화에 따른 증발율(Eh)의 변화를 dalton의 증발식에 의해 구한 값과 실험에서 구한 값을 Fig 4에 도시하였다.



$$E_h = (0.0178 + 0.0152V) (H_s - H_a) \dots \text{Dalton's eq.}$$

$$E_h = (0.0168 + 0.0141V) (H_s - H_a) \dots \text{experimental eq.}$$

Fig. 4. Effect of Air Velocity on Normalized Evaporation Rate

4-4. 제염계수 및 배기체 방사능측정

$$DF = C_a / C_b$$

$$C_b = C_a \times \frac{1}{DF} \times W_i \times \frac{1}{Q}$$

5. 결 론

1. 증발량은 풍속과 수증기 분압차의 함수이고, 수증기 분압차는 공기의 온도, 상대습도, 폐액온도와 밀접한 관련이 있음을 확인하였다. 증발효과는 유입공기의 습도가 낮을수록, 공기의 유속이 증가할수록, 공기 및 폐액의 온도가 증가할수록 또한 공급액의 유량이 많을수록 증발량이 증가하는 것으로 나타났다.
2. 대기의 온도, 습도 및 풍속에 따른 실험 data를 통하여 달톤형 증발식으로부터 다음과 같은 실험식을 도출하였다.

$$E_h = (0.0168 + 0.0141 V) \Delta H$$

3. 기상조건과 증발처리용량을 고려한 적절한 조업조건으로서 유입공기의 온도는 10℃ 이상, 습도는 80% 이하이며, 공급폐액의 유량은 3.4 ℓ/hr.m²이상과 폐액온도는 10℃ 이상이었으며 공기유속은 1.14~1.47 m/sec 범위가 적정조업 범위에 해당되었다. 공급 유량이 4.6 ℓ/hr.m²과 공기유속 1.47 m/sec가 최대증발 조건으로 나타났다.
4. Stack을 통해서 나가는 배출공기의 비방사능을 측정한 결과 제염계수(DF)가 1.1x10³~5.1x10³으로 측정되었으며, 대기방출 농도가 4.7x10⁻¹³~4.7x10⁻¹⁴ μCi/ml, air로 공기 중의 허용기준치 이하로 안정함이 입증되었다.

Nomenclature

- C_a : Activity of Feed water ($\mu\text{Ci/ml. water}$)
 C_b : Activity of Vapour ($\mu\text{Ci/ml. Air}$)
 E_h : Evaporation rate(l/hr.m^2)
 e : Width of plate (cm)
 f : Friction factor
 H_a : Actual vapor pressure (mm Hg)
 H_w : Saturated vapor pressure (mm Hg)
 P_s : Saturated vapor pressure at temperature T (mm Hg)
 P_w : Vapor pressure in the air (mm Hg)
 q : Specific humidity (%)
 v : Air Velocity (m/sec)

참 고 문 헌

1. K. BALU, S.C. BHATIA, Management of Radioactive Wastes, Bhabha Atomic Research Centre, Bombay (1979).
2. T. Nejat Veziroglu "Alternative Energy Sources VI" Vol 1, PP. 369
3. T. Nejat Veziroglu "Alternative Energy Sources VI" Vol. 1 PP.369~401
4. CENG, Technical Report, CENG (1964).
5. IAEA, Treatment of Low and Intermediated Level Radioactive Waste Concentrates, IAEA TR-No. 82, (1968).
6. Gilliland and Sherwood, Diffusion of Vapors into Air streams, Indus. Eng. Chem., Vol.26, 5, 526, (1934).
7. 태양열 건조 시스템 개발, KE-88-9, PP 1-9, 50. 한국동력자원연구소, (1988)