放射性 廢液의 自然蒸發에 관한 硏究

A Study on the Evaporation of Radioactive Liquid Waste

강 일 식* 김 태 국* 유 성 연**
I. S. Kang, T. K. Kim, S. Y. Yoo

Key words : Evaporation rate(증발률), Radioactive liquid waste(방사성 폐액)

ABSTRACT

The performance of the evaporation facility of low radioactive liquid waste is studied experimentally. The evaporation facility comprises storage pools, feeding pumps, evaporation units with 1,040 sheets of cloth and air handling units.

As the results of this study, it is found that the evaporation rate increases as the waste feed rate increases, the relative humidity of induced air decreases, and the air velocity increases.

The modified Dalton's evaporation equation derived from experimental data is $E_h=(0.0168+0.0141V)\Delta H$.

The optimum operating conditions of the evaporation facility are waste feed rate of 4.5./hr.m^2 and air velocity of 1.47m/sec.

기 호 설 명

A : Total area of cloths(m^2)
a_0 : Specific weight(kg/m^3)
E_h : Evaporation rate(ℓ/hr.m^3)
H_a : Actual vapor pressure(mm Hg)
H_p : Atmospheric pressure(mm Hg)
H_w : Saturated vapor pressure(mm Hg)
ΔH : Difference of vapor pressure(H_w-H_a, mm Hg)
K : Constant
K_e : Diffusion coefficiency of vapor
L : Length of plate(cm)
M : Constant
m : Mass of air(g)
P_s : Saturated vapor pressure at temperature T(mm Hg)
P_w : Vapor pressure in the air(mm Hg)
q : Specific humidity(%)
T : Absolute temperature(K)

* 한국원자력연구소
** 정회원, 충남대학교 기계설계공학과

t : Time(min)
$\bar{u}$: Mean wind velocity(m/sec)
V : Volume(cm^3)
V_o : Volume of air including vapor(m^3)
v : Velocity(m/sec)
x : Width of plate(cm)
z : Height of plate(cm)

그리스 문자

ρ : Air density(kg/m^3)
∇ : Laplace operator

1. 서 론

원자력 산업 및 이와 관련한 연구활동이 증가함에 따라 이의 부산물인 방사성 폐기물의 발생은 필연적이어서 이들 시설의 안전 운영 및 원활한 연구활동을 위해서는 발생되는 방사성 폐기물의 원활한 처리와 처분으로 방사능 오염으로부터 주변환경을 보전하여야 한다.

방사성폐기물중에서 액체폐기물은 한국원자력연구소 방사성 폐기물 처리시설에서 증발농축, 이온교환 및 고화등의 처리공정을 거치며 이 과정에서 발생된 응축수와 펌프의 실링워터, 제염 및 세탁폐액과 같은 극저준위폐액은 저장탱크에 저장된다. 처리시설내의 저장탱크에 수집된 폐액은 당초에 폐기물 처리시설 건설 당시에는 방사능 준위가 방출 허용기준(5×10^{-6} Ci/m^3)에 충족되도록 희석하여 하천에 방류하도록 되어 있었다. 그러나 연구소 인근 하천수는 지역주민의 식수원일뿐 만 아니라 농작물 재배에도 사용되고 있으므로 하천의 오염방지와 주위환경의 보전 및 인근 주민을 보호할 목적으로 폐액증발 처리시설을 건설하여 저장된 폐액을 희석 방류하지 않고 태양열과 대기의 상대습도, 온도등의 자연기상 인자와 송풍기를 가동한 강제 통풍에 의해, 물은 증기상태로 대기중으로 확산시키고 방사능을 함유한 농축된 폐액은 회수하여 폐기물 처리시설에서 아스팔트 고화한다.[1]

방사성 액체폐기물의 증발처리에 관한 연구를 살펴보면 Austrailia Lucas Height[2]에서는 자연증발시설의 수조를 4개의 구역으로 구분하여 우기를 대비해 이동식 레일을 설치하고 그위에 뚜껑을 씌워 순수히 자연기상 인자만으로 저준위 액체폐기물을 처리하고 있다. 인도의 Rajasthan Atomic Power Station에서는 극저준위 액체폐기물을 방류하지 않고 증발접시를 사용하여 처리하고 있다. 특히 이곳에서는 증발표면적을 넓히기 위하여 벽돌이나 세라믹 계통의 다공성 물질을 사용하였다. 미국의 Los Alamos National Laboratory[3]의 경우 재처리 실험 과정에서 발생되는 저준위 폐액을 wiped film evaporator에서 증발, 농축 시키기 전에 solar cell에 위하여 더워진 물은 자연 통풍식 냉각탑에서 증발 되면서 냉각되고 냉각된 물은 다시 solar cell로 환수되는 시스템을 채택하고 있으며 별도로 자연증발 수조의 실증실험에 의한 환경적 평가를 수행중에 있는 정도이다. 프랑스의 Aceren에서는 1960년대 중반에 대기와 증발 대상 액체와의 증기압 차이를 운동력으로 하여 천을 이용해 비포화 공기의 강제순환에 의해 증발 시키고 있다. 이곳에서의 처리용량은 $2m^3$/hr이며 공기와 물과의 접촉 단면적을 늘리기 위해 다공성 플라스틱 필름을 병렬로 설치하고 있다. 한국원자력연구소[4]에서는 1986년부터 극저준위 폐액의 태양열에 의한 자연증발 연구를 시작하였다. 그러나 한국의 기상 조건이 순수 태양열을 이용하여 액체폐기물을 증발처리 하기에는 양호한 편이 못되어 자연증발(Natural evaporation), 반자연증발(Semi-natural evaporation), 및 강제증발(forced evaporation)등의 공정 및 경제성을 비교 검토하였다. 이에 따라 공정 및 경제성이 양호한 천을 이용한 강제증발 공정이 채택되었다. 태양열을 이용한 폐액증발 시스템은 국제적으로 몇몇 국가에서 보고된 내용에 불과하며 그후의 운영 및 증발 실적에 대한 보고는 거의 찾아볼 수 없다. 그러나 보고된 내용중에서 인도와 호주의 자연증발 형태는 그 국가의 고온 건조한 기상조건을 고려한 방식으로서 실제적으로 우리와는 커다란 차이가 있다.

본 연구에서는 증발에 영향을 미치는 주요인

자인 공기의 속도, 상대습도 및 온도와 폐액의 유량 및 온도의 변화에 따른 증발 효과를 조사하여 이들 결과로부터 증발성능의 평가와 Dalton형의 실험식을 도출하여 습공기선도를 활용한 운전 가능 범위와 최적 증발 조건의 제시로 시설의 효율적이며 경제적인 운전을 도모하고자 한다.

2. 증발의 이론적 고찰

2.1 판에서의 증발 이론

판을 따라 물이 흘러내리고 공기가 위로 올라갈 때 판의 단위면적에서 단위 시간동안의 증발량은 다음과 같다.[5),6)]

$$dE_h = K\frac{P_s - P_w}{H_p}dt \cdots\cdots (1)$$

판사이의 거리가 x일 때 증발량 dE_h는 단위면적내의 $x/2(cm^3)$라는 부피속에 확산하게 된다. 흐름판 높이에 대하여 접촉되는 대기공기와 액체사이에는 열교환이 일어나고 있다. 공기에 의해 양도된 열은 물을 증발하는데 기여하며 이에 따른 열수지식으로부터 부피 $x/2$에 대하여 다음 관계식을 얻을 수 있다.

$$dm = -\frac{0.205}{10^6}a_0 x dT \cdots\cdots (2)$$

포화 증기압 곡선에서 가동 온도를 0℃에서 30℃로 본다면 간략하게 1차 함수로서 포화 증기압과 온도의 관계를 표현할 수 있다.

$$\frac{P_s}{H_p} = aT + b \cdots\cdots (3)$$

판을 지나가는 공기의 시간은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$t = L/v \cdots\cdots (4)$$

여기서, L은 판의 길이이며 v는 공기의 통과속도이다. 0.11 $x/L = M$이라 하면, 이때 M은 장치가 결정되면 확정되는 상수값이다. 판을 통과하는 과정에서 공기부피 $x/2$는 수증기$(m - m_o)$를 흡수한다. 1시간에 판을 통과하여 지나가는 총 부피를 $V(m^3/h)$라면 이 부피는 물을 $E_h(m^3)$량만큼 증발시키며 다음과 같은 최종식을 얻는다.

$$E_h = \frac{0.410}{10^6}\frac{V_0}{V}(T_0 - T_1)\left[1 - \exp\left\{\frac{-K(T_1 - T_2)}{M_v}\right\}\right] \cdots\cdots (5)$$

2.2 장치 인자에 대한 증발 영향

증발장치는 증발에 영향을 주는 설계인자로서 크게 세가지로 구분할 수 있다. 판과 판사이의 간격에 따른 증발 영향과 판의 높이에 의한 증발 영향 그리고 배기팬의 용량에 따른 공기 통과 속도이다. 먼저, 장치내에 들어갈 수 있는 판의 갯수는 판 사이의 간격을 조절함으로써 변화할 수 있다.

식 (5)를 x에 대하여 도함수를 구하면 다음과 같다.

$$dE_h = -\frac{3.72}{10^6}\frac{V}{V_0}K(T_0 - T_1)(T_1 - T_2)\frac{L}{v\,x^2}\exp\left\{\frac{-K(T_1 - T_2)}{M_v}\right\}dx \cdots\cdots (6)$$

따라서 $dE_h = -N\,dx$, 여기서 계수 N은 항상 양수이다. 그러므로

$$\frac{dE_h}{dx} < 0$$

즉, 1차 도함수가 음이면 원래함수는 감소 함수가 된다. 따라서 판 사이의 거리가 감소할 때 통과공기체적 V와 유속을 일정하게 하면 증발량은 증가한다. 다음, 식(5)를 L과 v에 대하여 도함수를 구한 결과 1차 도함수는 양이고 2차

도함수는 음이었다. 결과적으로 판의 높이 또는 공기의 통과속도가 증가하면 증발량도 증가 하지만 어느 한계값에서는 더 이상 경제적이지 못하다는 것을 알 수 있다.

2.3 물질전달에 의한 증발 이론

증발 현상에 관한 물질전달 이론은 Prandt1과 Schmidt의 혼합길이와 Taylor의 연속혼합개념에 의한 두가지 과정으로 크게 나눌 수 있다.[7] 이 두 방법에 관한 물리적 및 수학적 설명은 Anderson과 Marciano에 의하여 소개되었다.[8]

수증기의 q의 확산과정을 다음과 같이 일반식으로 표시할 수 있다.

$$\frac{q}{t}=\bar{u}\ \nabla\ K_c\ \nabla q \cdots\cdots(7)$$

높이에 따른 유속의 변화를 고려한 증발량은 다음과 같다.

$$E_h=\frac{-K^2\ \rho(q_2-q_1)\ (u_2-u_1)}{(\ln\ z_2/z_1)^2} \cdots\cdots(8)$$

2.4 물질전달에 의한 경험식

일반적으로 Mass-Transfer Theory에 의한 이론식은 단열대기에 한하여 성립하므로 많은 가정 조건이 주어진 것으로 그와 같은 조건이 실제로 만족되는 것은 드물다. 그러나 수면상과 가까운 층에서 풍속과 증기압의 차이가 적은 고도차에 의하여 관측하게 되면 단열조건을 만족하게 할 수 있다. 그러므로 물질전달에 의한 이론식을 실제로 응용하기 위해서는 감도와 정밀도가 높은 측정계기의 사용과 특수한 기술이 필요하다.[9]

식 (8)을 다음과 같은 Dalton 형으로 변환시킬 수 있다.

$$E_h=f(v)\ \ (H_w-H_a) \cdots\cdots(9)$$

여기서 H_w는 증발면의 온도에 의한 포화증기압, H_a는 어떤 고도에서의 실제 증기압, $f(v)$는 바람의 함수인 wind factor로서 일반적으로 $f(v)=a+bv$(a와 b는 상수)로 표시하고 때로는 n이 0.5와 1 사이의 지수를 가진 $f(v)\sim v^n$의 함수로도 표시한다.

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치는 한국원자력연구소에 설치되어 있는 증발처리시설을 사용하였다. 증발 처리시설은 극저준위 폐액을 방사성 폐기물 처리시설에 설치되어 있는 저장탱크에 저장하여 pH, 슬러지 함량, 핵종 및 방사능 농도등을 분석한 후 적정폐액을 증발 처리시설의 지하 저장조로 이송하여 저장한 후 증발 처리하는 곳이다. 증발의 기본원리는 총 11,232m²의 증발면적을 갖는 증발천에 정제액을 흘려 내리면서 시설상부에 설치된 송풍기를 가동하여 시설 외부로부터 공기를 유입시켜 공기필터를 통과한 공기와 액체를 접촉시켜 증발된 정제액을 대기로 확산하는 원리이다. 증발 처리시설의 주요계통은 저장조, 이송설비, 증발조 및 송풍설비로 구분된다. 이에대한 공정 흐름도는 Fig.1과 같다.

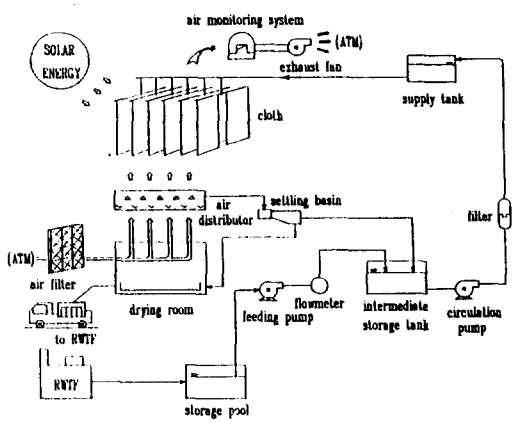

Fig.1 Schematic diagram of the evaporation facility

3.2 실험방법

유입공기의 온도, 습도 변화와 증발천의 단위 면적당 공급되는 공급폐액의 유량 변화 및 증발천 사이에서의 공기 유속을 변화 시키면서 증발천의 단위 면적당 증발량 측정을 수행한다. 증발 처리시설의 상부에 설치된 송풍기의 가동수를 변화 시키면서 외부로부터 유입된 공기를 공기 필터로 여과하여 흡기구와 배기구에서의 온도와 습도를 측정하고 풍속변화를 열선풍속계로 측정하였다. 폐액예비 저장조에 저장된 폐액은 15m³/hr 용량의 보충펌프를 사용하여 중간 저장조에 이송한 후 120m³/hr 용량의 순환 펌프를 사용하여 증발천 상부의 급수조로 이송한다. 중간 저장조의 일정 수위를 계속 유지하기 위하여 폐액 보충펌프가 자동으로 작동할 수 있도록 상호 연동되어 있다. 수직으로 설치된 1,040개의 증발천을 통과한 폐액은 침전조를 거쳐 중간 저장조로 다시 회수되며 폐액 순환펌프에 의해 재순환 하도록 한다. 폐액중의 이물질을 제거하기 위하여 순환계통의 펌프 토출구에 50개의 필터가 들어있는 카트릿지형의 여과기를 거쳐 폐액급수분배관을 통해 증발천 상부로부터 아래로 얇은 막을 형성하면서 공급하며 급수조 하단의 밸브 위치에 따라 증발천으로 공급되는 유량을 적산 유량계로 측정하고 중간 저장조의 수위 변화는 중앙제어실의 수위 기록계로 확인한다. 천이 완전히 폐액에 젖은 후 시스템이 정상상태에 도달하면 실험 개시 시간을 기록하고 실험기간 중에는 일정시간 간격으로 공기의 온도, 습도 및 풍속을 측정한다. 증발량은 시스템이 정상상태로 도달했을 때의 실험 개시 시간으로부터 실험 완료 시간까지 중간 저장조에 설치되어 있는 수위기록계의 변화를 통해 계산한다. 본 연구에서 선정한 실험범위는 Table 1과 같다.

Table 1. Experimental ranges of Process parameters

공 정 변 수	실험범위
공기의 상대습도(%)	40~80
유입공기의 온도(℃)	10~25
유입폐액의 온도(℃)	10~20
유입공기의 속도(m/sec)	0.8~1.84
폐액공급 유량(ℓ/hr.m²)	3.0~6.8

4. 실험결과 및 고찰

4.1 증발에 영향을 미치는 인자

Fig.2에서 Fig.6까지는 폐액유량, 공기습도, 풍속, 공기온도 및 폐액의 온도와 같은 각 변수들의 변화에 따른 증발 영향을 나타낸 것이다. Fig.2는 공급폐액 유량에 따른 증발효과를 알아보기 위하여 유입공기의 상대습도가 57%인 조건하에서 공급폐액의 유량을 변화시키면서 증발량을 조사하였다. 폐액의 공급량이 4.6ℓ/hr.m²일 때 최대의 증발을 나타내며 3.4ℓ/hr.m²이하에서는 급격히 증가하다가, 그 이상에서는 공급유량 증가에 대한 증발량차이는 거의 없었다. 이러한 현상은 폐액의 공급유량이 3.4ℓ/hr.m²이하에서는 천이 충분히 폐액에 의해 적셔지지 않았다고 보여지며, 그 이상의 값에서는 천이 완전히 적셔져, 증발표면으로서의 역할을 100%한다고 보여진다. 따라서 공급폐액의 유량을 지나치게 크게 하는 것은 증발량의 증가에 크게 기여하지 못하며 오히려 공급폐액 펌프의 용량만 증가시키는 결과를 낳게 되고 공급 폐액이 증발천을 따라 바닥으로 떨어지는 현상이 발생 하였다.

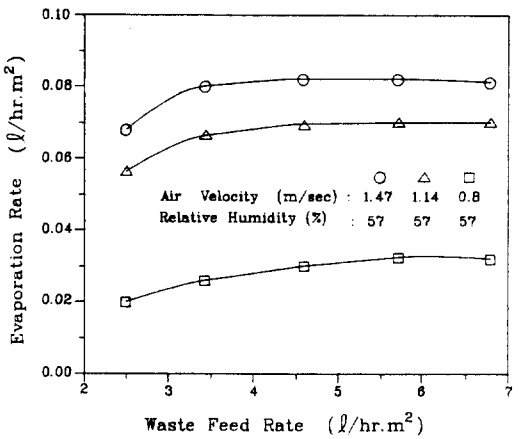

Fig.2 Effect of waste feed rate on evaporation rate

Fig.3은 유입공기의 상대습도 변화에 따른 증발량을 나타내고 있다. 상대습도가 증가하면 증발량은 급격히 감소하여 상대습도 100%에서는 거의 증발이 일어나지 않을 것임을 알 수 있다. 공기유속과 공급유량을 변화하면서 습도 변화가 40%에서 80%까지 증가함에 따라 다소 차이는 있으나 단위 면적당 0.02~0.09ℓ/hr의 증발량 차이가 있는 것으로 보아 어떤 조건하에서건 상대습도가 낮은 경우가 증발량을 증가시키는데 효과적임을 알 수 있다.

Fig.4는 풍속 변화에 따른 증발량을 나타내고 있다. 유입공기의 습도가 낮을수록, 공기의 유속이 높을수록 증발량이 증가하여 1.47m/sec일 때 최대의 증발을 나타내고 있으나 공기의 유속이 너무 클 경우에는 증발천이 심하게 흔들리고 증발천이 서로 달라 붙어 증발 면적이 감소되며 증발천에서 폐액이 바닥으로 떨어지는 현상이 발생 하였다.

Table 2는 본 증발처리시설의 총 증발면적을 11,232m²로 하여 공기의 온도, 습도 및 풍속에

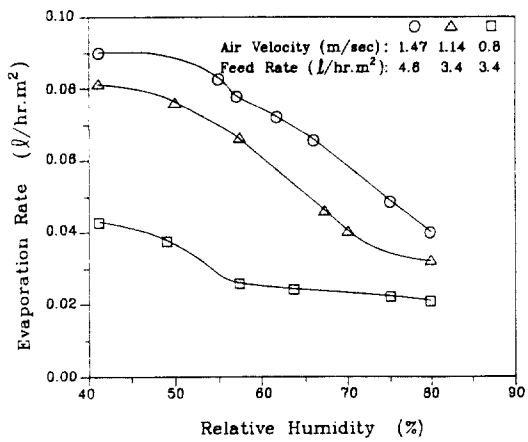

Fig.3 Effect of humidity on evaporation rate

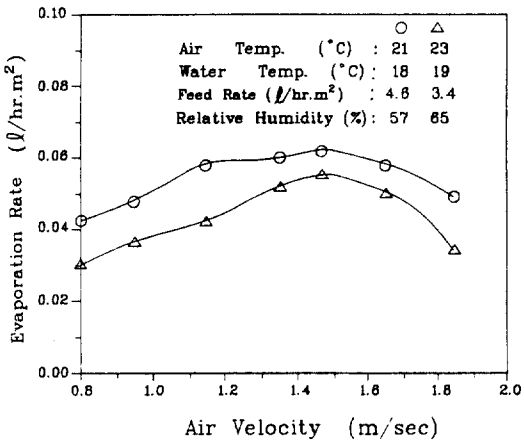

Fig.4 Effect of air velocity on evaporation rate

Table 2. Comparison of the evaporation rate by Dalton's equation and the present experimental results

대기온도 (℃)	습 도 (%)	풍 속 (m/sec)	증 발 량(ℓ/hr)		오 차 (%)
			Dalton	Present	
14	47	0.8	516	488	5.4
18	55	0.95	576	550	4.5
24	63	1.0	753	721	4.2
22	58	1.14	696	659	5.3
19	42	1.35	659	627	4.7
20	55	1.4	672	629	6.5
18	75	1.47	508	477	6.1
16	81	1.47	472	445	5.7
21	64	1.47	713	654	8.3
22	59	1.65	730	651	10.8
23	62	1.84	753	547	27.3

따른 Dalton의 증발식에 의한 증발량과 본 실험에 의한 증발량을 비교하여 나타낸 것이다. 오차범위는 4~6%이나 풍속이 증가함에 따라 오차가 증가함을 볼 수 있는데 이것은 풍속이 너무 크면 증발천이 서로 달라 붙어 증발 면적이 감소하였기 때문이다.

Fig.5는 공급공기의 온도변화에 따른 증발량을 나타내고 있다. 일정유량 및 유속에서 온도가 12~24℃ 사이에서 0.03ℓ/hr.m²의 증발량 변화가 있었으며 온도가 상승함에 따라 증발량은 증가하는 것으로 나타났다.

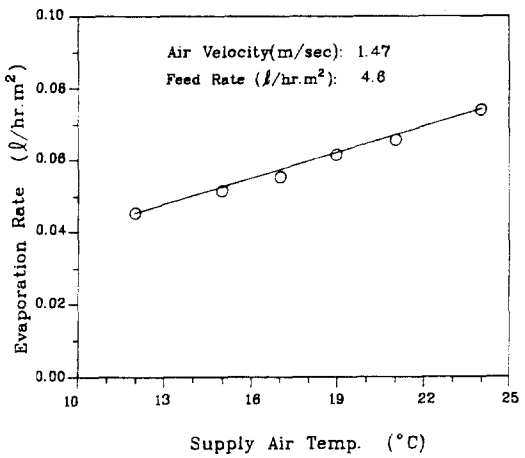

Fig.5 Effect of supply air temperature on evaporation rate

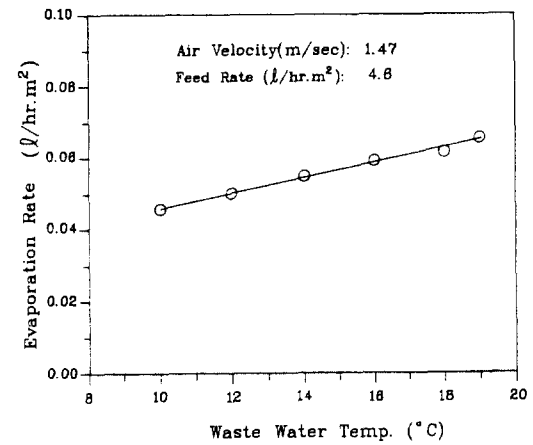

Fig.6 Effect of waste water temperature on evaporation rate

Fig.6은 4.6ℓ/hr.m²의 공급 폐액과 1.47m/sec의 유속을 일정하게 유지한 상태에서 폐액의 온도변화에 따른 증발량을 나타내고 있다. 폐액의 온도변화에 따른 증발량 변화는 공급폐액의 온도가 10~19℃까지 증가함에 따라 증발량 측정을 하였다. 폐액의 온도가 9℃증가함에 따라 0.02ℓ/hr.m²의 증발량 변화가 있었으며 이는 유입공기의 온도변화에 따른 결과와 비슷한 것으로 나타났다.

4.2 수정된 Dalton형의 실험식 및 증발성능

증발량에 영향을 미치는 인자로는 유입공기의 온도, 상대습도 그리고 풍속 및 공급폐액의 유량과 온도등이다. 이러한 유입공기 및 폐액의 여러조건들을 조합하여 최적운전 조건범위를 결정하였다. 온도와 습도는 기후 조건에 의존하였으며 유입공기의 속도와 공급유량은 인위적으로 변화시켰다. 이에따라 유입공기의 속도는 송풍기의 가동수에 따라 변화시켰으며 폐액의 공급유량은 증발천으로 공급하기 위하여 저장조의 하부에 설치된 밸브를 조절하여 변화시켰다. 실제 증발량의 계산을 위하여 물질전달법에 의한 달톤형의 증발식은 다음과 같다.

$$E_h=(0.0178+0.0152V)\times(H_w-H_a)\cdots\cdots\cdots(10)$$

Dalton의 증발식에 의해 구한 영역과 실험에서 구한 영역을 비교하여 Fig.7에 도시 하였다. 공기유속은 각각 0.8, 1.14, 1.47, 1.65, 1.82m/sec로 조절하여 공기유속(V)의 변화에 따른 증발율(E_h)의 변화를 나타내었다. 본실험에서 공기의 온도와 상대습도로부터 습공기 선도상에서 H_w와 H_a를 구하였다. 일정유속과 H_w 및 H_a로부터 식(9)의 상수 a와 b를 산출하여 수정된 실험식을 도출하고 실험식과 달톤식을 비교 검토 하였으며 증발량의 계산을 수행 하였다.

분산된 각 데이타를 나타낸 Fig.7에서 실험식은 다음과 같이 표시한다.

$$E_h=(0.0168+0.0141V)\times(H_w-H_a)\cdots\cdots\cdots(11)$$

달톤값과 실험값에서 증발에 차이가 일어나는 이유로서 본 시설에서는 시간당 100만m³의 공기가 유입되어 태양열에 의한 온도 상승의 효과를 얻을 수 없으며 폐액 분류관을 통해 공급되는 폐액이 모든 증발천에 고르게 공급되지 않는 편류 현상에 따라 증발 면적이 감소하는데 있다.

실험식(11)에 대전 지방의 월별 평균 기상조건에서 H_w 및 H_a의 평균값과 최대의 증발조건을 나타내고 있는 공기의 유속 1.47m/sec를 대입하고 전체 면적당의 증발량을 계산하여 전체시간에 따른 증발량을 계산함으로써 년간 총증발량을 산출 하였다. Table 3은 이와같은 계산 방법에 의해 본 증발처리 시설을 1개월을 30일 기준으로, 1일 24시간 연속가동 하였을 때의 월별 증발량을 나타내고 있는 것으로서 동절기를 제외하여 년간 총 3,200m³ 이상의 증발처리가 가능함을 알 수 있다.

4.3 운전범위 및 최적 증발조건

증발 처리시설에서의 실제 가동은 대기의 조건에 따른 습공기 선도상에서 운전가능 범위를 결정 하였으며 Fig.8에 도시 하였다. 이 그림에서 실험에 따라 대전 지역의 년간 기후조건을 고려한 상대습도 40% 이상, 온도 30℃ 이하와 증발처리시설의 폐액 처리 용량을 고려한 운전가능

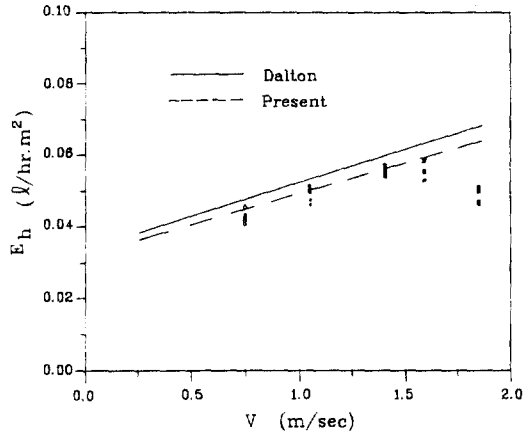

Fig.7 Effect of air velocity on nomalized evaporation rate

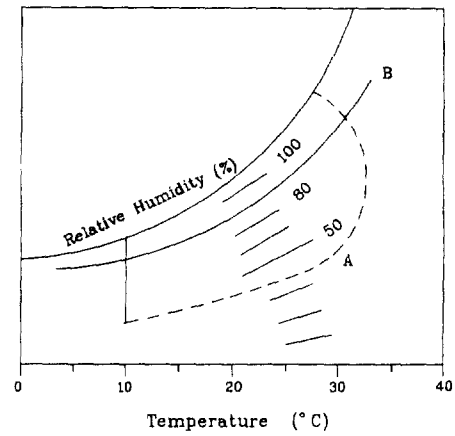

Fig.8 Possible operation range on psychrometric chart

Table 3. Monthly evaporation rate by the present experimental equation according to average weather conditions of Taejon

월	대기온도 (℃)	습 도 (%)	H_w (mm Hg)	H_a (mm Hg)	ΔH (mm Hg)	증 발 량 (m³/month)
4	12	66	8.55	7.06	1.49	452
5	17	69	11.76	10.04	1.72	522
6	21	76	15.70	13.95	1.75	531
7	24	76	18.54	17.01	1.53	464
8	25	78	20.70	19.16	1.54	467
9	20	77	15.19	13.85	1.34	407
10	13	76	9.69	8.47	1.22	370
총증발량(m³/yr)						3,213

범위는 A로 나타내었으며 B선 이상에서의 상대습도에서는 증발이 거의 일어나지 않았으므로 시설의 가동은 비효율적이며 비경제적이기 때문에 **상대습도는** 80% 이하로 결정하였다. 또한 천을 따라 흘러 내려오는 정제액은 유입공기가 5℃ 이하일 때는 동결 되었으므로 10℃이상과 공급 폐액의 유량 및 온도는 각각 3.4ℓ/hr.m², 10℃ 이상과 공기유속이 1.14~1.47m/sec 일 때 폐액의 처리용량을 충족할 수 있는 증발이 가능하였다. 한편, 공급폐액의 **유량**이 단위 면적당 4.6ℓ/hr와 공기의 유속이 1.47m/sec 일 때 최대의 증발 조건을 나타내었다.

5. 결 론

한국원자력연구소에 설치되어 있는 강제 송풍식 증발 처리시설의 증발성능에 관한 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 증발에 영향을 미치는 주요인자는 공기의 속도, 상대습도 및 온도와 폐액의 유량 및 온도 등이었다. 본 시설의 증발효과는 유입공기의 습도가 낮을수록, 공기의 유속이 증가할수록, 공기 및 폐액의 온도가 증가할수록 또한 공급폐액의 유량이 많을수록 증발량이 증가하는 것으로 나타났다.
2) 대기의 온도, 습도 및 풍속에 따른 실험 data를 통하여 달톤형의 증발식으로부터 다음과 같은 실험식을 도출하였다.

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

도출된 실험식으로부터 월별 평균 기상조건을 근거하면 년간 총 3,200m³ 이상의 증발처리가 가능하였다.

3) 대전 지방의 기상조건과 증발 처리시설의 폐액 처리용량을 고려한 적절한 조업 조건으로서 공급 **폐액의 유량은** 3.4ℓ/hr.m² 상과 온도는 10℃이상, 유입공기의 온도 및 습도는 각각 10℃이상, 80% 이하가 범위에 해당하였으며 공기유속이 너무 높을경우 증발천이 서로 달라 붙는 현상이 현저히 나타남으로 인하여 공기유속은 1.14~1.47 m/sec의 상태로 유지하였다. 최대 증발조건으로서 공급유량은 4.6ℓ/hr.m²와 공기유속은 1.47m/sec가 최적상태이었다.

참 고 문 헌

1. 이병직 외, 1991, "방사성폐기물 처리시설 운영", 한국원자력연구소, KAERI/MR-180-90, pp.71-84.
2. IAEA, 1968, "Treatment of Low and Intermediated Level Radioactive Waste Concentrates", IAEA TR-No. 82, pp.24-32.
3. Los Alamos Scientific Laboratory, 1964, "An Environmental Sampling Program for a Solar Evaporation Pond for Liquid Radwastes", LA-8177, pp.278-292.
4. 현대엔지니어링(주), 1986, "한국원자력연구소 방사성 폐액 자연 증발시설 방안별 기술검토 보고서", TA-030-ES-H001.
5. Penman, H.L., 1956, "Evaporation an Introductionary Survey", Netherlands T. of Agr. Sci., Vol.4, pp.325-332.
6. Monteith, J.L., 1985, "Evaporation from Land Surfaces", Advances in Evapotranspiration, Proceedings of the National Conference, Chicago, IL., USA, pp.16-17.
7. Welty, 1984, "Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer", John Wiley and Sons Co., pp.555-559.
8. Earl Harbeck, G., 1962, "A Practical Field Technique for Measuring Reservoir Evaporation Utilizing Mass-Transfer Theory", U.S. Geological Survey Pro. Paper, pp.272-281.
9. Merlivat, L. and Coantic, 1975, M., "Study of Mass Transfer at the Air-Water Interface by an Isotopic Method", J. of Geophysical Research, Vol. 80, No. 24, pp.3455-3464.