

## 都市下水 Sludge의 超高周波 乾燥

崔炳淳 · 李東勳

서울市立大學校 環境工學科

### Drying of Sewage Sludge Using Microwave Energy

Byung-Soon Choi and Dong-Hoon Lee

Dept. of Environ. Eng., Seoul City University

#### 요 약

하수처리에 있어서 오니 처분 문제는 아주 심각하다. 슬러지의 최종처분시 가장 중요한 비중을 차지하는 것은 수분제거 하 할 수 있다. 슬러지 건조는 가열에 의해 고·액을 분리하여 재이용, 소각, 처분을 위한 전처리 공정이다. 본 연구의 목적은 초고주파로 하수오니를 건조후, 실험값과 이론값을 비교하기 위하여 수행하였다. 초고주파 건조는 속도가 빠르고 효율이 매우 높다. 건조시 물질전달은 1차원적이라 가정하였다 건조속도곡선에서, 감율속도기간에서의 수분이동은 확산에 의한다고 두께 0.2 cm인 시료에서 모델과 실험결과가 일치함을 알 수 있다.

#### ABSTRACT

Sludge disposal has been a major challenge in the wastewater treatment. Drying is operation which is separated from sewage sludge to solid and liquid by heating. Drying needs to pretreatment process for effective utilization, incineration and disposal. The objective of this work was to the drying dewatered sewage sludge by microwave heating, and to compare the experimental results with theoretical results. Microwave drying is fast and has a high efficiency. In the present work, an unsteady state analysis of one dimensional drying, with microwave heating, is carried out. In drying rate curve, moisture movement at falling rate period occurred by diffusion. A good agreement was obtained between the model and the experimental results using the slab sample of 0.2cm thickness.

#### 1. 서 론

하수처리장의 각종 처리시설로부터 필연적으로 여러가지 폐기물이 생성된다. 하수처리장에 산업폐수가 유입될 경우에는 각종의 중금속 등 유해물질과 특히 최근들어서는 염화유기용매 등이 우려할 정도의 높은 농도로 포함될 수 있어서 처리처분이 더욱 곤란한 실정이다.

탈수오니의 최종 처분에는 매립, 퇴비화, 열처리 방법등이 사용되고 있다. 이중 매립과 퇴비화는 여러 가지 문제점들을 해결하기가 어렵기 때문에 열처리에 의해 감량화하거나 자원화하는 처리 처분 방법들의 사용이 점차로 확대되고 있는 추세이다.<sup>3,4)</sup>

열처리 방법에는 소각(incineration), 열분해(pyrolysis)등

이 있다. 열분해공정은 아직 실용화 되지 않은 연구 개발 단계에 있는 공정이며, 현재 실시되고 있는 것은 소각 방법이다. 소각공정에서는 유기물이 연소되어 제거 되고 병원균을 비롯한 미생물이 사멸되므로 가장 효과가 높은 위생적인 최종처분방법이다.<sup>1,2)</sup>

위의 모든 처리방법에서 가장 중요한 비중을 차지하는 것은 수분(70~80%)제거라 할 수 있다. 최종처분이 매립이라면 처리자의 입장에서는 매립비용의 절감을 위하여 수분을 제거해야 되고, 열분해와 소각시에도 수분함량은 공정에 결정적인 영향을 줄 수 있다. 그러므로 하수오니는 자연연소가 가능한 열량 이상의 발열량을 갖도록 함수율을 낮추어야 한다.

소각방법에는 오니를 건조하여 소각하는 방법과 보조연

료를 이용하여 직접 소각하는 두가지 방법이 있는데 건조-소각 방법이 더욱 경제적인을 제시하고 있다.<sup>2,9)</sup>

따라서 재래식 건조기들의 문제점들을 해결할 수 있는 건조장치인 초고주파를 이용하는 초고주파 가열의 장점이 널리 일반적으로 인식되면서 빠르게 각종 공업분야의 가열장치로 사용되고 있으며, 앞으로 더욱 많은 분야에 응용이 될 것으로 전망되고 있다. 현재 초고주파 가열장치는 가정용 전자렌지로 가장 널리 이용되고 있으며, 목재, 건조식품, 종이 등 여러 물질의 건조를 위한 건조기, 의류기, 고무의 가황장치, 산업폐기물의 처리장치, 플라즈마 등에 이용되고 있다.<sup>9)</sup>

특히 초고주파에 의한 건조는 가열속도가 빠르고, 장치의 규모를 작게할 수 있으며, 공기 흐름속도와는 무관하게 수분을 제거할 수 있으며 내부에서의 수분분포가 균일해지며, 초고주파는 피가열물에만 흡수되므로 열효율이 높고, 가열 전력의 제어가 쉬운 장점 등이 있다.

그러나 이와 같은 장점이 있어서 광범위하게 이용되고 있으면서도 그 건조과정의 mechanism에 대하여는 아직 확실하게 밝혀져 있지 않은 부분이 많다. 따라서 본 연구에서는 하수 오니 건조에 초고주파를 적용하고 그 건조 mechanism을 실험과 수치해석적인 방법으로 밝혀려고 하였다

2. 이론적 배경

건조는 열과 물질의 동시 이동으로 고액분리를 하는 조작의 하나이며, 열건조의 변수로는 온도, 습도, 가열시간, 가열공기의 방향 등이 있다.<sup>3)</sup> 탈수오니의 함수율을 단시간에 저하시키는 공정으로서 소각 등과 같은 열처리를 위한 전처리와 최종처분시 작업능력의 개선을 목적으로 사용되고 있다.

건조 특성은 건조속도곡선(drying rate curve)으로 잘 설명된다. 건조속도는 증발면을 정확히 아는 정형재료에서는 단위증발면당 단위시간에 증발하는 수분량(kgH<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup> hr)으로 나타내고 무정형재료에 대하여는 단위 건조 재료 중량당 단위 시간에 증발하는 수분량(kgH<sub>2</sub>O/kg hr)으로 나타낸다.

$$R = -\frac{Ls}{A} \cdot \frac{dX}{dt}$$

$$R = \frac{\Delta X}{\Delta t}$$

여기서 Ls : 재료무수시 질량 (kg)

A : 노출 표면적 (m<sup>2</sup>)

X : 함수율(%), t : 시간 (hr)

충분히 습윤시킨 고체를 일정온도, 일정습도와 유속을 가

진 다량의 공기중에 놓고서 그 중량감소를 기록하면 일반적으로 건조과정은 지연기간, 정속기간, 감속기간으로 나타난다.<sup>5)</sup>

탈수오니의 함수율은 대략 70~80%이고 오니 내부에 포함된 수분의 형태를 free water, interstitial water, surface water, bound water 등으로 구분하고 있다.<sup>6)</sup>

건조속도 곡선은 정속기간(constant-rate period)과 감속기간(falling-rate period)으로 구분되며, 감속기간(falling-rate period)에서의 수분의 이동 mechanism은 Fick's law로 설명되는 확산에 의한다고 하였다.<sup>7)</sup>

건조과정의 첫번째 영역인 정속기간에서의 건조는 일정한 속도로 일어나며 또 이 기간을 지배하는 법칙들도 잘 알려져 있다. 두번째 영역은 감속기간에는 건조속도가 연속적으로 감소되며 건조곡선은 외관상 지수감쇠모형(exponential decay pattern)으로 나타난다. 그러나 이 영역에서의 건조과정은 여러가지 메카니즘이 동시에 작용하기 때문에 매우 복잡해 진다. 즉 액체와 또는 증기의 확산이 주로 물질이동메카니즘으로 일어난다고 가정할 수 있다. 따라서 수분의 감소 속도는 Fick의 확산 제2법칙으로 표현된다.

초고주파에 의한 오니의 건조에서 수분의 제거속도를 확산기초모델 접근방법을 이용하여 나타낼 수 있는지를 검토하기 위하여 먼저 물질전달은 1차원적으로 일어나고, 시료의 특성은 균일하며, 건조에 대한 시료의 축소는 무시할 수 있으며, 초고주파 용기내 공기의 흐름속도는 무시하고, 수분의 bulk motion은 없다고 가정하고 Fick의 확산 제2법칙을 무한급수해로 풀면 다음과 같이 된다.<sup>8)</sup>

성분 A가 성분 B속을 y 방향으로 확산하는 속도를 y 방향에 직각인 단위 면적당의 값으로 나타내는 식으로서, 몰유속을 J [kgmol/m<sup>2</sup>s]이라 하고, y방향의 농도구배를 dC/dy 라고 하면

$$I = -D \frac{dC}{dy} \tag{1}$$

D 확산계수

이 식을 Fick의 확산 제1법칙이라고 한다.

또 2성분계에서 1방향(x방향)만의 확산을 고려하고, 확산계수, D가 일정하다고 가정하고, 평균몰속도가 0이라고 하면 Fick의 확산 제2법칙인 다음식이 유도된다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \tag{2}$$

초고주파에 의한 슬러지의 건조에서 수분의 제거속도를 확산기초모델 접근방법을 이용하여 나타낼 수 있는지를 검

토하기 위하여 먼저 다음과 같이 가정하고 식(2) 즉 Fick의 확산 제2법칙을 무한급수해로 풀었다

(2)식을 변수분리 하면

$$C = X(x)T(t) \tag{3}$$

여기서  $X=f(x)$ ,  $T=f(t)$   $X$ ,  $T$ 는 각각  $x$ ,  $t$ 에 관한 함수이므로 (3)식을 (2)식에 대입 하면

$$\frac{\partial}{\partial t}\{X(x)T(t)\} = D \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{\partial}{\partial x} \{X(x)T(t)\} \right]$$

$$X(x) \frac{dT(t)}{dt} = DT(t) d^2 \frac{X(x)}{dx^2} \tag{4}$$

(4)식을 정리하면

$$\frac{1}{T} \frac{dT}{dt} = \frac{D}{X} \frac{d^2X}{dx^2} \tag{5}$$

(5)식은 일정하므로  $-\lambda^2 D$ 로 놓으면, 다음 2개의 상미분 방정식으로 된다.

$$\frac{1}{T} \frac{dT}{dt} = -\lambda^2 D \tag{6}$$

$$\frac{1}{X} \frac{d^2X}{dx^2} = -\lambda^2 \tag{7}$$

(6)식은 다음과 같이 된다.

$$\int \frac{dT}{T} = \int -\lambda^2 D dt$$

$$\ln T = -\lambda^2 Dt + A'$$

$$T = A \exp(-\lambda^2 Dt) \tag{8}$$

한편 (7)식은

$$X = e^{px} \text{라 하면,}$$

$$\frac{d^2X}{dx^2} = p^2 e^{px} \tag{9}$$

식 (9)를 (7)식에 대입하면

$$p^2 e^{px} + \lambda^2 e^{px} = 0$$

$$e^{px} (p^2 + \lambda^2) = 0$$

$$p = \pm \lambda i$$

$$X = e^{\lambda i x} + e^{-\lambda i x} = A \sin \lambda x + B \cos \lambda x \tag{10}$$

따라서 (3)식은

$$C = (A \sin \lambda x + B \cos \lambda x) \cdot \exp(-\lambda^2 Dt) \tag{11}$$

여기서  $A$ ,  $B$ 는 적분 상수이며

(3)식의 일반해는 다음과 같이 무한급수로 나타난다.

$$C = \sum_{m=1}^{\infty} (A_m \sin \lambda_m x + B_m \cos \lambda_m x) \cdot \exp(-\lambda_m^2 Dt) \tag{12}$$

여기서  $A_m \sin \lambda_m x + B_m \cos \lambda_m x = E_m$ 이라 놓으면

$$\therefore C = \sum_{m=1}^{\infty} E_m \exp(-\lambda_m^2 Dt) \tag{13}$$

$k_m$ 을 *drying parameter*라 하면

$$k_m = \lambda_m^2 D \quad (\text{constant})$$

$$\therefore C = \sum_{m=1}^{\infty} E_m \exp(-k_m t) \tag{14}$$

$$= E_1 \exp(-k_1 t) + E_2 \exp(-k_2 t) + \dots \tag{15}$$

(15)식은 경계조건에 무관 하게 적용할 수 있으며 확산계수는 일정하다는 가정하에서 성립된다.<sup>9,10)</sup>

### 3. 실험

#### 3.1 실험 재료

본 실험에 사용된 재료는 고분자 응집제를 첨가한 N하수 처리장의 일차 탈수 하수오니을 사용 하였고, "Standard Methods"의 방법에 따라 분석한 시료 오니의 성상은 다음 Table 1과 같았다. 발열량은 국내의 건조오니에 대하여 제안된 다음의 산출식3을 이용하여 계산한 값이다.

$$Y = 63.97X - 287.4$$

Y : 발열량 (kcal/kg.DS) X : Volatile Solids (%)

#### 3.2 실험 장치

##### 3.2.1 건조장치

Fig. 1는 본 실험에 사용된 오니 건조 실험장치를 나타낸 것이다 초고주파 oven 은 주파수 2450 MHz, maximum power 700W이고, mode stirrer가 부착된 가정용 초고주파

Table 1. Composition of Primary Dewatered Sewage Sludge

Moisture Content	71.29%
Total Solids	28.71%
Volatile Solids*	43.65%
Fixed Solids	56.35%
HHV(kcal/kg.DS)**	2505

\* Ignition Loss at 600°C

\*\*HHV(Higher Heating Value)<sup>3</sup>

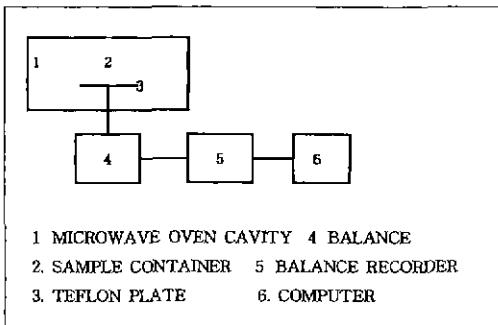


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

Table 2. Thickness and bulk density of sample sludges

TYPE (THICKNESS)	SIZE(WxLxH) cm	MOISTURE CONTENT(%)	BULK DENSITY
0.2 cm	5×5×0.2	71.29	1.118
0.5 cm	5×5×0.5	71.29	1.108
1.0 cm	5×5×1.0	71.29	1.033
1.5 cm	5×5×1.5	71.29	1.151
2.0 cm	5×5×2.0	71.29	1.103
2.5 cm	5×5×2.5	71.29	1.136

oven을 사용했다. Oven의 cavity에 teflon plate를 설치하고 이것을 저울(Ohaus 400S)에 연결하였다.

전압을 일정하게 유지하기 위하여 전압조정기(HCS. 2000T)를 사용하였고, Microwave leak detector (Holaday HI-1501)로 초고주파의 누출정도를 측정 하여 안전성을 확인 하였다.

3.2.2 실험 방법

Teflon으로 제조한 용기에 시료를 넣은 후 오븐의 cavity에 설치된 teflon plate에 올려 놓고 가열 하였다. 건조되는 동안에 변화하는 시료의 질량을 Balance Recorder (Ohaus Printer Data-II)에 연결하여 직접 기록 하였다.

시료 용기는 teflon판으로 가로 5 cm×세로 5 cm 이고 높이가 각각 0.2 cm, 0.5 cm, 1.0 cm, 1.5 cm, 2.0 cm, 2.5 cm 인 사각통을 만들어 사용하였다.

다음 Table 2은 본 연구에서 사용한 시료의 크기, 수분함량과 겔보기 밀도를 나타낸 것이다. 모든 시료를 가능한한 같은 조건을 가지도록 하였으나 겔보기 밀도에는 약간의 차이를 피할 수 없었다.

4. 결과 및 고찰

4.1 건조곡선 (drying curve)

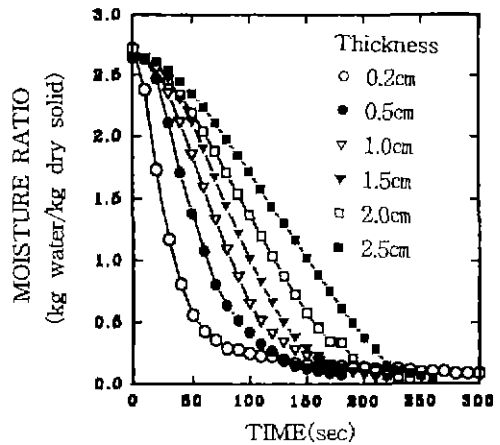


Fig. 2. Drying curve.

Fig. 2은 각각 크기를 달리하여 얻은 건조곡선을 나타낸 것이다. 가열 경과시간(elapsed time)에 따라 젖은 고체로부터 수분이 제거되는 경향성을 잘 나타내 준다. 대체로 약 4분 정도가 경과하면 거의 완전건조에 도달하는 것을 알 수 있었다.

두께가 두꺼워질수록 지연기간(lag period)이 나타나는 것을 볼 수 있으며, 이것은 내부에서 생성된 수분이 이동하여야 하는 거리가 길어지고 물질전달저항이 커져서 수증기가 빠져 나가기 힘들기 때문이다.

건조를 마친후 시료의 형태는 양끝이 찌그러지고 굽은 형태로 표면에 균열이 많이 생기고 경화와 수축이 일어나는 것을 관찰 할 수 있었다. 이와 같은 현상은 채소와 음식물 같은 폴리이드형과 섬유성 비다공성 고체에서 결합수분이 제거될 때 나타나며, 슬러지의 휘발성 고형물은 음식물과 같은 단백질, 지방, 탄수화물과 섬유성 성분들로 구성되어 있기 때문에 이러한 현상이 슬러지의 건조에서도 나타나는 것으로 생각 할 수 있다.

건조후 시료를 절단하여 단면을 살펴본 결과 분화구와 같은 다공성의 아주 큰 구멍들이 내부와 옆면에 존재하고 있었다. 이와 같은 내부 구조와 양끝이 찌그러진 형태로 되는 것은 시료의 불균일성, 즉 휘발성 물질들이 국부적으로 쪼여져 있는 물리적 특성 때문인 것으로 생각되었다.

두께가 0.2 cm에서는 수분함량의 10%일 때 까지 급속히 건조가 진행되다가 그 이후로 이 나머지 수분을 제거하는 데 상당한 시간이 소요되어 건조 시간에 커다란 영향을 미친다. 이 잔여수분은 초기흡수율의 약 4% 정도의 감량이 나타난 물리·화학흡착 및 결정화의 형태로 존재하는 결합수(bound water)라고 판단된다.<sup>(1)</sup>

두께가 0.5 cm 이상부터는 건조 끝 부근에서 국부가열(local overheating)이 일어났다. 이것은 일정한 전계강도에서 두께가 증가함에 따라 흡수력의 증가로 물질전달저항이 커지고 기화에 의하여 소비되는 에너지가 줄어 시료 자체의 온도가 증가하기 때문일 것으로 판단된다고 하였다.<sup>1)</sup> 또 는 일정하게 시료에 초고주파가 조사되지 않기 때문에 국부가열(local overheating)이 발생할 수도 있다.

소요된 지연시간과 건조후 수축정도를 다음 Table 3과 Table 4에 나타내었다.

4.2 건조속도곡선(drying rate curve)

건조속도곡선은 건조곡선으로부터 유도되며 건조특성을 잘 나타내준다. 다음 Fig 3은 여러가지 두께에 대한 건조속도곡선을 나타낸 것이다.

Fig에서 보는 바와 같이 정속기간(constant-rate period)은 나타나지 않았으며, 두께가 증가할수록 critical point를 축

Table 3. Moisture content and lag time to critical point

두께	0.2 cm	0.5 cm	1.0 cm	1.5 cm	2.0 cm	2.5 cm
함수율 (kgH <sub>2</sub> O/kgDB)	1.75	1.70	1.50	1.45	1.40	1.30
소요시간(sec)	20	30	50	80	100	130

Table 4. Shrinkage after dried

두께	0.2 cm	0.5 cm	1.0 cm	1.5 cm	2.0 cm	2.5 cm
수축정도						
수축정도(cm <sup>3</sup> )	0.60	0.90	1.32	1.56	1.69	1.82

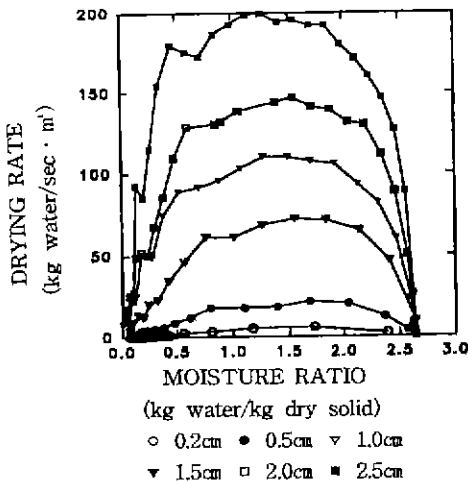


Fig. 3. Drying rate curve.

으로 종모양의 형태를 이룬 크게 두 구간으로 나누어지는 것을 알 수 있다. 두께가 증가할수록 넓은 함수율 범위에서 건조속도가 빨라지는 것을 볼 수 있다.

물을 함유한 다공성 물질이나 glycerol 같은 점성이 있는 비휘발성 성분의 건조속도곡선에서 매우 짧은 정속기간, 감속1단계, 속도상승기간, 감속2단계가 나타나는 현상으로 이것을 unusual drying rate curve 라 설명할 수 있다. 이것은 다공성 물질내에서 액체(liquid)와 증기(vapor)의 확산이 서로 경쟁적이기 때문이라고 설명하고 있다. 오히려도 많지는 않으나 점성이 비교적 높은 물질들이 포함될 수 있으므로 유사한 현상이 나타날 수 있을 것으로 생각 되었다.<sup>12)</sup>

4.3 확산-기초 모델링

Table 5. Drying Parameters for  $c=E_1 \exp(-k_1 t) + E_2 \exp(-K_2 t) + E_3 \exp(-k_3 t)$

Type	Parameter			R <sup>2</sup>
0.2 cm	E <sub>1</sub> :31.9 k <sub>1</sub> :3.18	E <sub>2</sub> :6.04e+007 E <sub>3</sub> :393	E <sub>2</sub> :6.04e+007 k <sub>3</sub> :0.05	0.9997
0.5 cm	E <sub>1</sub> :401 k <sub>1</sub> :0.0259	E <sub>2</sub> :188 E <sub>3</sub> :28.9	E <sub>2</sub> :188 k <sub>3</sub> :7.47	0.9997
1.0 cm	E <sub>1</sub> :571 k <sub>1</sub> :0.025	E <sub>2</sub> :220 E <sub>3</sub> :17.9	E <sub>2</sub> :220 k <sub>3</sub> :8.83	0.9995
1.5 cm	E <sub>1</sub> :892 k <sub>1</sub> :0.0222	E <sub>2</sub> :317 E <sub>3</sub> :4.59	E <sub>2</sub> :317 k <sub>3</sub> :7.07	0.9995
2.0 cm	E <sub>1</sub> :1.84e+005 k <sub>1</sub> :0.00912	E <sub>2</sub> :1.83e+005 E <sub>3</sub> :1.68	E <sub>2</sub> :1.83e+005 k <sub>3</sub> :8.38	0.9996
2.5 cm	E <sub>1</sub> :8.39e+005 k <sub>1</sub> :0.00556	E <sub>2</sub> :8.38e+005 E <sub>3</sub> :13.3	E <sub>2</sub> :8.38e+005 k <sub>3</sub> :10.5	0.9997

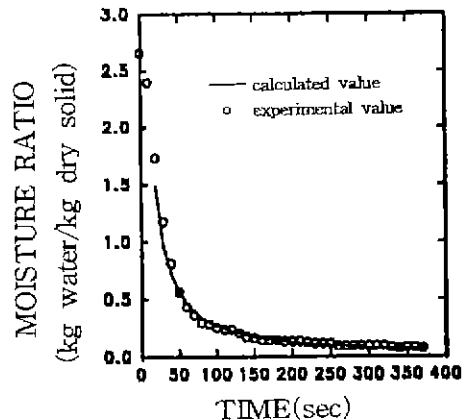


Fig. 4. Drying curve (thickness 0.2 cm).

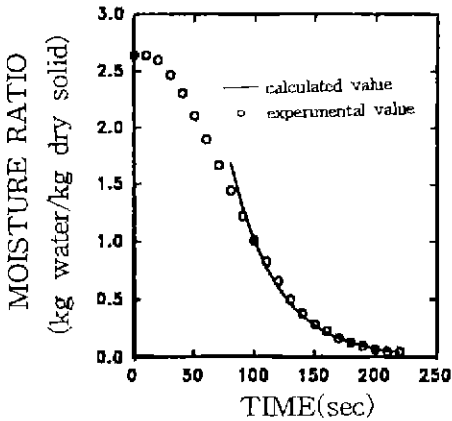


Fig. 5. Drying curve (thickness 1.5 cm).

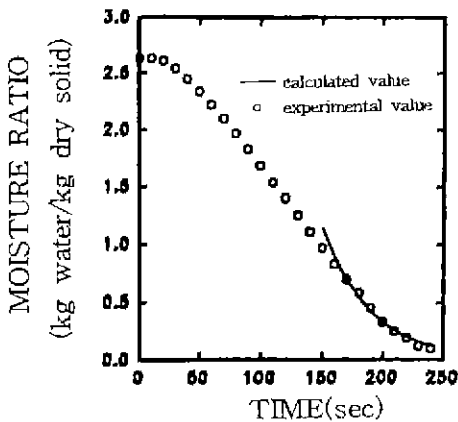


Fig. 6. Drying curve (thickness 2.5 cm).

건조속도곡선(drying rate curve)의 critical point로부터 Fick의 확산 제2법칙의 무한급수해를 적용 하였다.  
 즉  $C = E_1 \exp(-k_1 t) + E_2 \exp(-k_2 t) + E_3 \exp(-k_3 t)$   
 여기서 C=moisture content% (dry base)

$$E_1, E_2, E_3, k_1, k_2, k_3 = \text{constants}$$

Critical point 이후의 감속기간에 대하여는 이론치와 실치가 비교적 일치함을 확실히 알 수 있다. Table 5에 계산된 parameter들을 나타내었다.

Fig. 4, 5, 6은 실험값과 이론값을 무한급수해로 얻은 식에 대하여 3-term 까지 curve fitting한 결과를 나타낸 것이다. R<sup>2</sup>값은 0.9997로 잘 맞는 것을 알 수 있었다.

특히 0.2 cm에서는 전구간에 걸쳐 확산에 의해 건조가 일어나는 것을 알 수 있었다. 그러나 0.5 cm 부터는 critical point 까지 도달하는데 소요되는 시간이 차츰 길어지게 되

고 따라서 확산식이 적용되는 구간도 짧아졌다.

또한 두께가 두꺼워질수록 약간의 편차를 나타내었다. 이러한 편차가 나타나는 것은 하수슬러지의 특성은 균일하다고 가정했지만, 실제 하수슬러지의 특성은 매우 복잡하고 불균일하다기 때문인 것으로 생각되며, oven내의 전계강도의 비균일성, 시료의 수축도 원인이었을 것으로 판단된다.

### 5. 결 론

초고주파 오븐 속에서 함수율 71.29%(Wet basis)인 탈수 하수오니를 건조하였다. 시료 오니의 두께를 0.2 cm에서 부터 2.5 cm로 변화시키면서 건조과정을 관찰하여, 건조곡선, 건조속도곡선을 얻어 고찰하였고 확산-기초 모델 접근법을 적용하여 건조방정식을 유도할 수 있었으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1 종래의 열풍건조에 비해 초고주파에 의한 건조 속도는 대단히 빨랐다.
2. Critical point 이후 건조곡선이 지수적으로 나타났다
3. 건조된 오니는 양끝이 찌그러지고 굽은 형태로 표면에 균열이 생기고 경화와 수축이 일어났다.
4. 두께가 0.5 cm 이상 일때 국부과열 현상을 관찰할 수 있었다.
5. 건조속도곡선에서 정속기간은 나타나지 않았으며, 두께가 얇은 시료에서는 건조속도가 급격히 낮아졌으며, 두께가 두꺼워지면 거의 대칭에 가까운 형태의 곡선을 나타내었다.
6. 건조속도곡선으로부터 critical point 를 구하고 이 구간 이후의 감속기간에 대하여 Fick의 확산 제2법칙의 무한급수해를 적용하였을 때 3-term이 모든 경우에 실험치와 잘 일치하는 결과를 나타내었다. 특히 0.2 cm 에서는 건조의 전구간에 대하여 확산식이 잘 적용되는 것을 알 수 있었다.
7. 초고주파를 산업에 응용할 수 있는 기본적인 자료를 얻음으로써 이를 근거로 기존의 하수슬러지 건조장치와의 경제성 비교를 통하여 하수오니 건조공정의 발전에 기여할 것으로 생각되며 초고주파를 이용함으로써 2차 오염원인들의 발생을 최대한 억제하여 환경보존적인 측면에서도 기여할 것으로 생각된다

### 참고문헌

1. 황경업, "하수슬러지처리기술" KICHE Symposium series, 34-02, PP.31-51, 1994.

2. 김덕찬, 윤경로, 김철호, 최병순, "마이크로파 가열에 의한 것은 탈수슬러지의 건조특성" 서울시립대학교 수도권 개발 연구논총, 18(1), 195, 1992
3. 서울특별시, "하수슬러지 최종처리처분 방안 개선 연구" 1992.
4. 田長吉郎, "工業用 마이크로파 應用技術" 電氣書院, 昭和 61年, 第1版.
5. 山崎蒙雄 外2名 "마이크로파加熱 乾燥裝置" 化學工場 第 19卷 第9號, 1975.
6. K.R. Tsang and P.A. Vesilind "Moisture Distribution In Sludge" Wat Sci. Tech. Vol. 22, No. 12, pp 135-142, 1990.
7. Jaros *et al*, "A method of determination of the diffusion coefficient based on kernel moisture content and its temperature" *Drying Technology*, 10(1), pp. 213-222, 1992
8. Young, j.h and T.B. Whitaker, "Evaluation of the diffusion equation for describing thin-layer drying of peanuts in the hull", *Trans, ASAE*, 14(2), pp. 309-312, 1971
9. J. Crank, "The Mathematics of Diffusion" Oxford Univ. Press, pp 17-18, 1975
10. Kreyszig, "Advanced Engineering Mathematics" wiley. fifth D Vaitekunas, G.A.V. Raghavan, and F.R. van de Voort "Drying characteristics of soil in a microwave environment" *Can. Arg. Eng*, Vol. 31, pp. 117-123
11. N. Standish, H. Worner and H. Kaul "Microwave Drying of Brown Coal Agglomerates" *J of Microwave Powe and Electromagnetic Energy*, Vol. 23, No. 3, 1988.
12. P. Coackley and R. Allos "The drying Characteristics of Some Sewage Sludges North Western Branch, pp. 557-563

### 學會誌 投稿 案內

種 類	內 容
論 說	提案, 意見, 批判, 時評
展望, 解説	現況과 將來의 견해, 研究 技術의 綜合解説, Review
技術 報告	實際的인 試驗, 調查의 報告
技術, 行政情報	價値있는 技術, 行政情報를 간결히 解説하고, comment를 붙인다.
見 聞 記	國際會議의 報告, 國內外의 研究 機關의 見學記 등
書 評	
談 話 室	會員相互의 情報交換, 會員 自由스러운 말, 陪霜등
Group 紹介	企業, 研究機關, 大學 등의 紹介
研究 論文	Original 研究論文으로 本 學會의 會誌에 掲載하는 것이 適當하다고 보여지는 것

수시로 원고를 접수하오니 많은 투고를 바랍니다.