

고주파 건조기 장치 설계에 대한 예비 연구

장동순, 신미수, 유재관, 나은수*, 엄태인**, 김기태***

충남대 환경공학과

한국기계연구원*

한밭대학교 환경공학과**

(주) 태 영***

I. 서 론

본 연구의 궁극적인 목적은 고주파 가열을 이용한 대형 건조장치에 대한 독창적인 장치설계 및 운전 이론의 개발로서, 구체적으로 열풍건조방법이 용이하지 않은 건조의 경우 이를 효율적으로 처리할 수 있는 장치의 최적 설계 이론 및 운전 조건을 제시하는 것이다. 乾燥는 한마디로 열과 물질의 동시 이동현상이다. 對流, 輻射, 傳導 등에 의한 전통적인 가열방법은 恒率 건조가 끝난 후 감율 건조 구간에서 열과 물질 전달의 불균형에 의하여 문제가 야기된다.

즉, 표피의 수분이 어느 정도 제거된 후 내부 수분이 표면으로 이동하는 증발속도에 비하여 가열속도가 커지며 이 경우 물체의 표면이 국부적으로 가열되어 온도가 상승하는 현상이 발생한다. 이러한 물체의 온도 상승은 에너지의 손실과 함께 고품질의 건조성능을 필요로 하는 물질인 경우에는 건조물의 심각한 질적인 저하를 야기 시킨다. 그리고 거론할 수 있는 어려움으로는 슬러지의 경우 슬러지 표면의 고형화로인한 교반의 어려움이 있으며 기타 연소/산화반응 등에 의한 산화철의 형성이나 표면 탄소화는 열과 물질 전달을 실질적으로 가능하지 않게 한다. 이러한 여러 문제점 때문에 외부와의 온도차를 이용한 전통적인 가열건조장치의 기법은 많은 한계를 노출시키고 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 사용되는 방법이 보통 진동건조나 고주파나 마이크로웨이브에 의한 건조장치이다. 이 경우 진동건조방법은 피건조물질의 물성이나 시스템의 고유 진동수에 따른 물질 운동에 대한 고려가 이루어질 경우 수분전달의 극적인 상승을 기대할 수 있다. 후자는 피건조물질에 함유된 수분의 쌍극자 회전 따른 유전가열에 의한 내부의 균일한 체적가열과 그에 의하여 생기는 크랙기공에 의한 원활한 수분전달을 이용한다.

체적가열의 장점은 내부의 균일 가열이며 아울러 쌍극자 운동에 의하여 생긴 온도의 상승과 이에 따른 압력의 증가에 의해 형성된 기공통로는 내부 수분을 배출하는 물질전달에 크게 기여한다. 결국 고주파장치에 의한 건조장치의 효율성은 비전도성 유전물질의 체적가열과 배출된 수분의 열유동 방법에 의한 일련의 과정에 대한 경쟁적인 조화평균 개념에 대한 최적화를 이룰 때 건조 효과가 극대화를 이룰 수 있는 것이다. 특히 파장이 긴 고주파에 의한 슬러지 등 대형장치의 건조는 매우 위력적인 건조대안으로 대두되고 있다.

이러한 건조장치 개발에 따른 정확한 성능평가를 위하여 고려할 인자는 (1) 전자파 가열건조 특성

대표연구자 : 장동순, 대전 유성구 궁동 220번지 충남대학교 환경공학과

(☎ 042-821-6677, fax : 042-823-8362), E-mail : p_dsjang@cnu.ac.kr

과 용량(전장의 크기, 유전상수, 誘電損失角) (2) 피 건조물의 종류(식품류, 汚泥類, 가정용 음식물 쓰레기, 생명공학용 혈장 등, 공업용 재료, 생곡식류), 성질(수분량, 공극의 크기와 분포), 건조기의 기하학적 형상 그리고 운전조건(처리량, 피가열물의 중횡비와 비표면적)에 따른 제반 변수, (3) 고주파 건조장치의 기하학적 형상 (4) 수분 배기 장치에 구조 및 용량에 따른 공기와 수분의 유동 특성 등을 들 수가 있다. 다음에 개략적인 도식도와 제거기전을 그림으로 나타내었다.

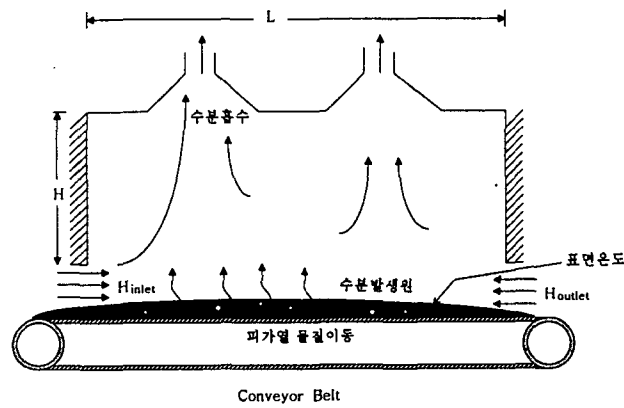


그림 1. 피가열물질 수분발생과 공기유동에 의한 제거 도식도

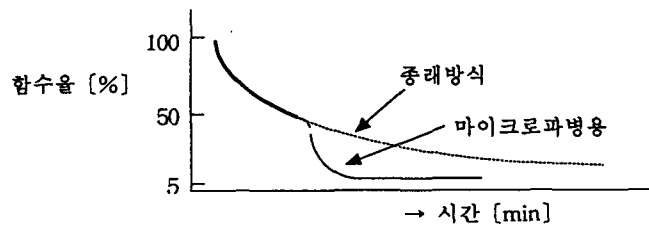


그림 2. 電磁波 가열과 外部 열적 가열과의 加熱性能 비교 곡선

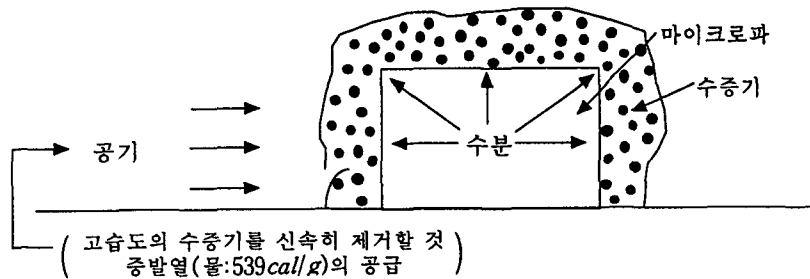


그림 3. 전자파에 의한 수분 퇴출에 의한 건조 및 열풍 대류에 의한 제거 기전

II. 이론 연구

1. 단위체적당 가열능력

건조장치의 중요한 방법중의 하나인 고주파 쌍극자 회전에 의한 유전가열에서 단위체적당 발생되는 에너지는 아래의 식으로 주어진다.

$$p = 2\pi f \epsilon_r \epsilon_0 \tan \delta E^2 \quad (1)$$

위의 식은 가열전자파의 주파수, 가열되는 피 건조물질의 유전율, 손실계수(손실각), 그리고 건조장치 내에서의 전장의 세기 E에 대한 이론적 또는 수치 해석적 자료를 필요로 한다.

2. 전자파의 침투의 깊이

전자파에 의한 피가열 물체의 침투 깊이는 일단 주파수에 반비례하므로 주파수와 피가열 물체의 가열 두께를 함께 고려하는 것이 필요하다. 그리고 침투깊이는 유전율이 클수록 작아지며 유전체 손실각에도 반비례한다. 이러한 전자기적 가열특성과 침투 깊이가 반비례하는 것은 가열이 강력하면 표면 가열이 우선하는 특성 때문으로 생각된다. 전자파의 전력밀도가 물체표면의 값에 대하여 1/2로 감소하는 깊이를 半減深度라하며 아래의 식으로 주어진다.

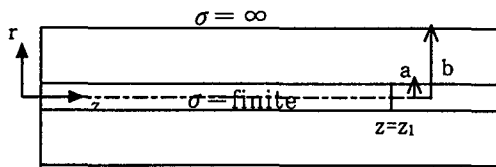
$$D = \frac{3.32 \times 10^7}{f \sqrt{\epsilon \cdot \tan \delta}} \quad (m) \quad (2)$$

3. 가열 부위내에서의 전자장 계산

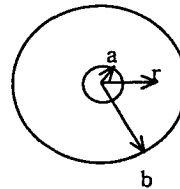
원통좌표계에서의 (r, ϕ, z) 로 표시되는 V에 대한 지배방정식을 다음과 같다.

$$\frac{\partial^2 V}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0 \quad (3)$$

식 (3)에 대한 해는 아래와 같다.



<Longitudinal section>



<cross section>

(4)

4. 기공성 피건조물의 현상학적 열 물질 전달

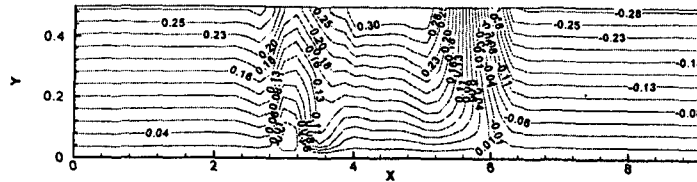
III. 결과 및 고찰

1. 건조기내 열유동 수치해석

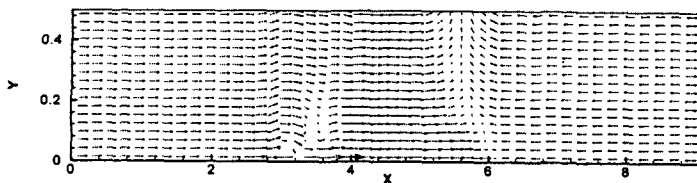
. 3차원 유동 一般支配方程式

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \vec{u}_j \phi) = \frac{\partial}{\partial x_j}(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_j}) + S_\phi \quad (5)$$

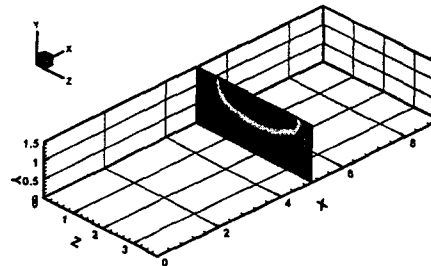
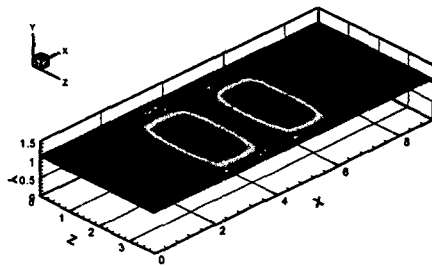
<건조기내 유동분포와 전자장 수치해석 예비결과>



(a) streamline contour plot



(b) Velocity vector plot



IV. 참고 문헌

- (1) 이덕출, 전열공학,동일출판사(1980)
- (2) Kraus,J.D., Electromagnetics, 4th ed., McGraw-Hill(1992)
- (3) 김영해 역,공업용 마이크로파 응용기술,기전연구소(1993)
- (4) Patankar, S. V., Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere,Washington, D. C (1980).
- (5) 김복순, 열유체 수치 해석에 의한 환경에너지 시스템 고도 설계연구: 폐유소각로,열저장조,원통형 후드, 충남대학교 환경공학과 석사학위논문 (1997년 2월)
- (6) 임천, 고전압 플라즈마 공학,동일출판사(1996)
- (7) 칸자와,플라즈마 전열,인하대학교 출판부(1999)
- (8) 신호일 역, 건조장치, 대광서림(1974)
- (9) Mills, A. F., Basic Heat and Mass Transfer, IRWIN(1995)