

근적외선을 이용한 터널식 고속 건조장치 개발 및 건조특성 연구

허광선*, 배춘익¹
 경남정보대학 신소재응용화학과, ¹기계자동차계열
 (kwangsun@kit.ac.kr*)

A study on the Drying Characteristics and Development of NIR ternel Dryer

Huh kwangsun*, Bae choonik¹
 Dept. of Advanced Materials & Applied Chemistry, Kyungnam College of Information &
 Technolgy
 (kwangsun@kit.ac.kr*)

1. 서론

각 산업 분야에서 적용되고 있는 건조 설비들은 가열히터, 스팀 및 적외선 히터를 이용한 열풍 대류식 열전도 방식을 이용하고 있는데 이들은 낮은 열효율로 인해 에너지 낭비와 건조효율 저하로 생산성 저하, 외부로의 열손실로 인한 작업장에서 고온으로 인한 열악한 작업환경, 긴 건조로로 인한 많은 공간을 차지하는등 여러가지 문제를 안고 있다. 최근 선진국에서는 건조 신기술로서 적외선 파장중에서 가시광선 파장과 가장 가까운 근적외선을 이용한 건조장치를 개발하여 이용함으로써 에너지 절감, 생산성 향상, 제품의 품질 고급화, 설치 공간 절약, 작업환경 개선등 획기적인 성과를 이루고 있다. 근적외선(Near Infrared Ray, NIR) 건조방식은 직접 건조물에 복사된 에너지에 의해서 가열하는 방식으로 기존의 간접 가열의 열풍방식과 차이가 있다. 에너지공급 방식을 전기에너지로 사용할 수 있어 제어가 용이하고 구조가 간단하게 제작할 수 있어 보일러 같은 부가적 설비가 불필요한 특징이 있다. 근적외선의 열은 열복사 방식으로 전달되고, 열전달의 전파 속도는 진공일 때 3×10^8 m/s속도로 나타난다.

본 연구에서는 기존 도금공정에서 사용하고 있는 열풍건조 시스템 대신에 근적외선을 이용한 도금공정용 터널형 근적외선 고속 건조기를 개발하기 위하여 건조기 내의 온도특성과 용접용으로 사용되는 가이봉에 대한 건조특성을 연구하였다.

2. 이론

2.1 복사이론

광학스펙트럼의 적외선 부분은 열 효과와 관계가 있으며, Long Wave(원적외선), Midium Wave(중적외선), Short Wave(짧은 적외선)으로 나누며 특히 가시광선에 가까운 영역으로서 NIR(Near InFraRed: 근적외선)이다. 이들 적외선들의 방출 전원은 방사체의 온도의 4승에 비례하는 스테판 볼츠만의 법칙은 식(1)과 같다.

$$W = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (1)$$

여기서 ε 는 방사율, σ 는 상수로서 $5.67 \cdot 10^{-8}$ ($Wm^{-2}K^{-4}$), A 는 방사체의 표면(m^2) T 는 방사체의 온도(K) 이다.

또한 방사체의 최고 방출량은 식(2)의 Wien's Law에 따르며 근적외선에서 최고 파장 $0.9\mu m$ 로 알려져 있다.

$$\lambda_m = C/T \quad (2)$$

여기서 T는 방사체의 온도(K), C는 2898 μ mK, λ_m 는 파장(μ m)이다.

2.2 근적외선과 열풍건조 방식의 비교

건조기는 가열 방식에 따라 열풍식, 적외선식, 원적외선식, 근적외선식 등 4가지로 나눌 수 있다. 열풍식은 버너로 데워진 공기를 송풍기로 불어내는 직접가열식과 간접가열식이 있는데 간접식은 토출되는 공기가 불에 직접 닿지 않기 때문에 열효율은 조금 떨어지지만 그을음이 나지 않기 때문에 주로 사용되는 방식이다. 표1은 열풍건조방식과 근적외선 건조방식과의 비교를 나타내었다. 근적외선을 건조방식은 열풍건조 방식에 비해 30 ~ 50 배 이상의 집중적인 에너지를 매질에 공급하므로, 수초 이내에 매질을 건조시킬 수 있으며 고밀도의 에너지를 예열 과정 없이 순간적으로 ON/OFF 할 수 있어 적용분야에 따라 온도분포도에 따른 정밀제어가 가능하며, 일정한 Uniformity를 유지할 수 있다. 대기중에 발산되는 에너지가 적고, 에너지 밀도가 높으므로 열풍건조방식에 비해 동일 에너지로 수십 배의 고효율을 얻을 수가 있다. 따라서 근적외선을 건조시스템에 적용시킬 경우 작업공간을 기존의 열건조 방식에 비하여 획기적으로 줄일 수 있고 생산 공정을 획기적으로 줄임에 의하여 초고속 양산공정이 가능하며 적은 에너지로 고효율을 발생하므로, 경제적이므로 장치를 운전할 수 있는 장점이 있다.

표1. 열풍건조와 근적외선 건조방식의 비교

항목	열풍건조	근적외선 건조	비고
건조	열매체 가열 건조	근 적외선	
가열방식	대류	복사	
가열경로	열매체→공기→ 피건조물	lamp→피건조물	열손실 최소화
에너지 비용	2,000천원/월	1,400천원/월	30% 절감
생산속도	5m/min	3m/min	40% 속도 증가
건조 공정	2단계	1단계	공정축소
건조공정길이	10m	5m	50% 감축
공정변경방법	속도(시간)	온도 (자동)	비속런자가능
로트변경시	가열냉각 시간 필요	즉시작업 가능	다품종소량대응
산재위험	높음	매우 낮음	안전설비
작업환경	열악함	양호함	작업환경개선

2.3 근적외선의 특성

일반적으로 건조기에 사용되는 적외선은 원적외선과 근적외선으로 나누는데 근적외선은 열의 전달방식이 기존의 대류 열전달 방식이 아니고 빛에너지를 전자파 형식으로 전달되며 그 파장 영역이 0.8~1.5 μ m 범위에 있다. 근적외선은 원적외선보다 파장이 짧고 진동수가 크기 때문 열 침투력이 높아 건조시스템에 적용하면 건조효과가 극대화될 수 있다. 그림 1에 보여준 것처럼 근적외선은 피 건조물 본체 깊숙하게 침투하여 표면 경계 내부의 증발물질을 기화하게 하여 피건조물의 내부에서 외부로 건조되는 특징을 보여준다.

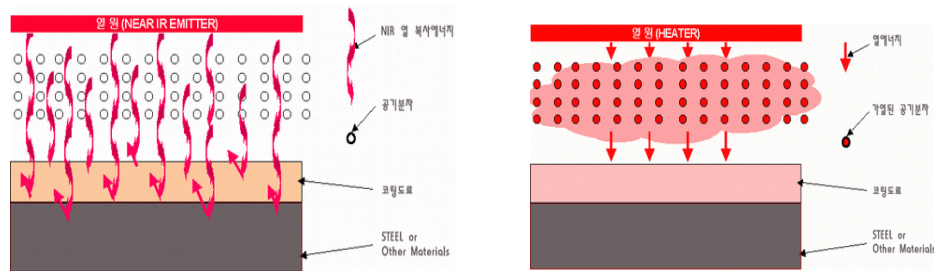


그림1. 근적외선과 Heater와의 메카니즘

3. 실험

3.1 실험장치

본 연구에 사용된 근적외선 터널식 고속건조장치의 구성은 구동부, 발열부, 이송부, 그리고 제어부로 나누어 진다. 구동부는 서보모터에 의해서 이송속도를 제어되도록 하며, 발열부는 근적외선(NIR)램프와 할로겐히터로 겸용하여 천정의 반사판으로부터 반사되도록 하며, 건조 특성상 열풍을 가능하도록 송풍기를 천정에 설치하였으며, 본 실험에 사용된 피 건조물로는 가이봉을 사용하였으며 실험장치의 개략도는 그림2와 같다.

3.2 실험 방법

근적외선 터널식 고속 건조장치내에서 온도 분포와 온도 변화를 건조기내에서 각 위치 별 시간 변화에 따라 측정은 다점온도기록계(YOKOGAWA SR-10006)으로 측정하였다. 건조특성을 고찰하기 위해서는 용접용으로 사용되는 가이봉을 125℃에서 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 건조기내의 온도 분포

그림 3은 근적외선 터널식 고속 건조장치내의 온도를 125℃로 설정한 후 온도 분포를 시간변화에 대해서 과도적으로 60분 동안 측정한 결과이다. 그림3에서 보면 건조기내의 측정 점은 램프가 있는 좌우의 상중하 지점등 6점에서 측정 결과 정상에 도달한 시간은 중앙지점과 동일하게 건조기를 가동 후 20분이내에 거의 안정적인 125±5℃의 정상 점에 도달한 것을 볼 수 있다. 이는 20분이내에 건조작업이 가능하다고 보여지며, 열풍건조 방식이 60분이상 걸리는 것보다 1/3로 절약되고 균일한 온도 분포를 이루어 우수한 건조기임을 확인할 수 있다.

4.2 근적외선 건조기내의 거리별 온도 분포

그림 4는 근적외선 터널식 고속 건조장치내의 거리별 온도를 1~8m에서 1m당 각각 25,100,125,125,125, 80, 30, 25℃로 설정한 후 온도 분포를 건조장치를 가동후 30분에 과도적으로 측정한 결과이다. 그림4에서 보면 건조기내의 각 거리에서 설정온도에 잘 일치함을 알 수 있다.

4.3 근적외선 건조기의 건조특성

그림 5는 근적외선 터널식 고속 건조장치내의 거리별 온도를 1~8m에서 1m당 각각 25,100,125,125,125, 80, 30, 25℃로 설정한 후 송풍, 컨베어 속도 0.7m/min의 동일한 조건에서 도금한 가이봉을 건조한 후 함수율에 대해서 도시하였다. 초기 함수율이 2%에서 30분후에 함수율이 0.3%로 감소함을 알 수 있는데 건조가 빠르게 진행되고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

근적외선을 이용한 터널식 건조장치를 설계하여 건조기 내의 온도 분포 및 건조 특성을 고찰한 결과 20분 이내에 설정온도에 도달함과 동시에 30분 이내에 건조가 완료됨을 알 수 있었다. 이는 기존의 열풍건조기에 비해 건조속도는 5배 증가와 에너지 비용은 5배로 절감할 수 있었으며, 외부로 열손실이 없는 관계로 열로 인한 작업환경이 현저히 개선되는 효과가 있었다. 또한 건조기벽면의 온도는 정상점이 5분 이내에 도달할 수 있었고 건조작업을 위한 예열시간을 단축할 수 있는 건조시스템 임을 확인하였다.

참고 문헌

1. Frank P. Incropepa. Fundamentals of heat transfer, John Wiley & Sons. pp629-672
2. Motohashi, K; General-Purpose Far Infrared Ray Dryer, JOURNAL-JAPANESE SOCIETY OF AGRICULTURAL MACHINERY, 2001, 63(5).
3. Kim, Y. H. 농업기계학회지, Development of far Infrared Ray Dryer for Agricultural Products, pp.937-946, 1996.
4. Chang, Y. S. A, Journal of Korean Energy Society, Study on the Drying Characteristics of NIR Dry, Vol. 24, pp. 21-27, 2004.

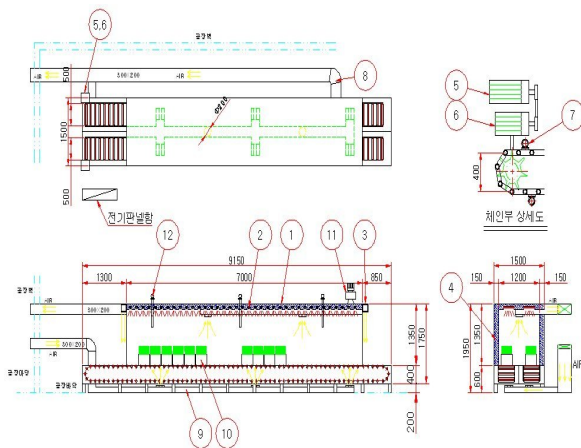


그림2. 개발된 근적외선 터널식 건조장치의 개략도

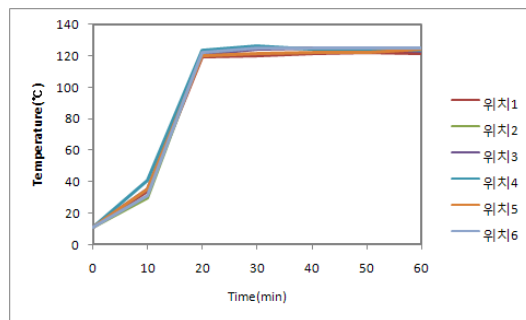


Fig.3 근적외선 터널 건조기내에서 시간에 따른 온도 분포 변화

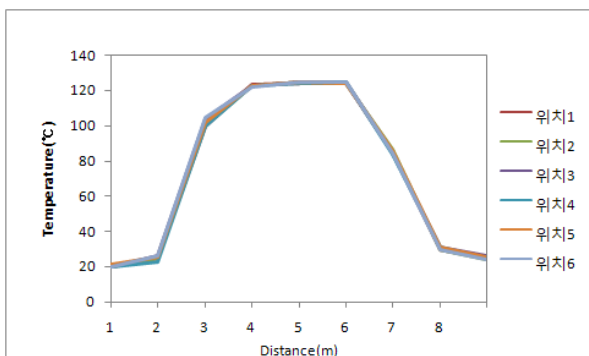


Fig.4 근적외선 터널 건조기내에서 길이에 따른 온도 분포 변화

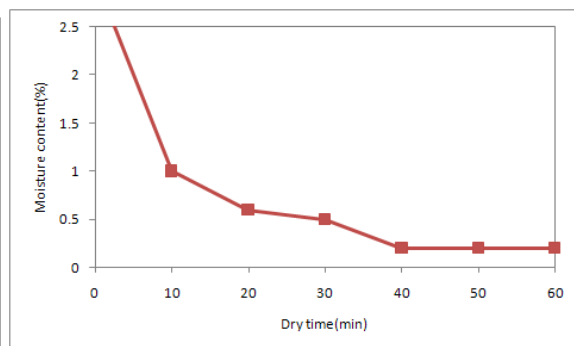


Fig.5 근적외선 터널 건조기내에서 가이봉의 건조 특성