

염색섬유의 마이크로파-열풍 복합건조 특성

전원표, 김성일, 이기우, 이욱현, 이계중

한국에너지기술연구원

Characteristics of Microwave and Hot Air Combined Drying for Dyed Textile

Won-Pyo Chun, Sung-Ill Kim, Ki-Woo Lee, Wock-Hyun Lee, kye-Jung Lee

Korea Institute of Energy Research

1. 서 론

일반적으로 열풍에 의한 대류식 건조와 마이크로파에 의한 유전가열식 건조는 내부압력 발생시기를 제외하고 서로 비슷한 건조동력학을 지니고 있으나 마이크로파 건조는 표면가열이 아닌 용적가열 방식이며, 에너지침투에 의한 온도분포는 대류건조와 다른 특성으로 인하여 여러 가지 장점을 갖게된다. 유전가열 방식은 유전체에 입사된 전자기파의 적정 침투와 흡수에 의해 이루어지며, 유전물질의 가열속도는 주로 물질자체가 주어진 주파수에 대해 가지고 있는 고유 유전특성과 입사된 전기장의 세기에 의해 분석된다. 이러한 마이크로파 에너지는 주기적으로 빠르게 양과 음의 값으로 변화되며, 물질내부와 수분의 다른 분자들이 자기 스스로 정열하기 위해 급격히 진동시키고 집약적인 유동은 마찰을 일으키며, 이것이 변하여 열을 발생시키고 빠르게 가열되므로 건조속도가 크게 향상되며, 표면경화 또는 균열을 피할 수 있어 균일한 가열에 의한 제품의 품질을 향상시킬 수 있다[1,2].

최근 산업분야에서 마이크로파 건조기의 적용이 확대되고 있으며, 에너지효율 향상 및 건조시간의 단축 등을 위한 마이크로파-열풍 복합건조기의 개발이 추진되고 있다. 특히 섬유건조 분야에서 마이크로파와 열풍을 조합한 복합건조기의 개발이 추진되었다[3~7].

본 연구에서는 도파관을 이용한 마이크로파 건조특성을 분석하고, 염색섬유를 대상으로 마이크로파에너지와 열풍을 조합한 복합건조 시스템에 대한 실험적 연구를 통하여 마이크로파-열풍 건조시스템의 설계자료를 도출하고자 하였다.

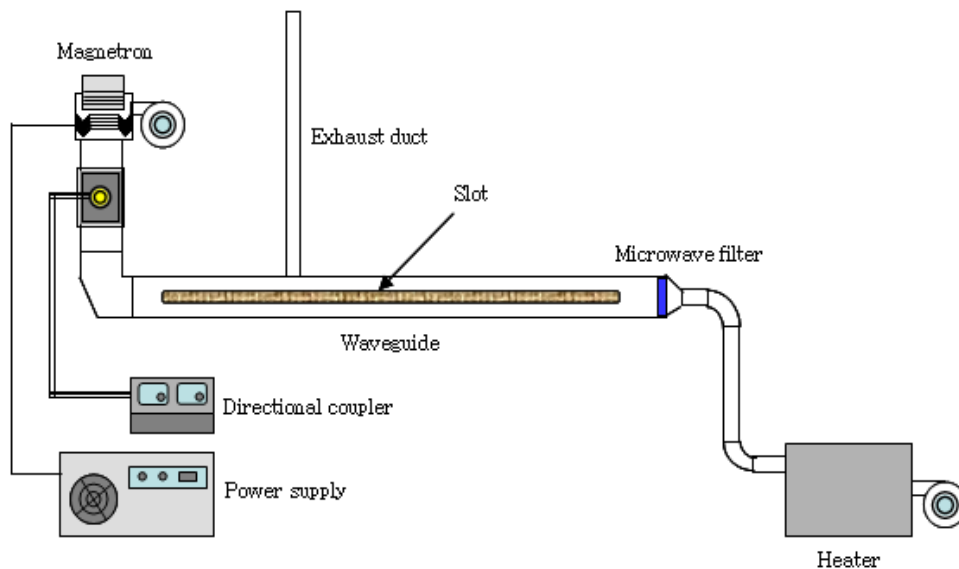
2. 실험 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에서는 WR430 도파관(Waveguide)을 가열관으로 하여 염색 섬유재료의 건조실을 구성하였다. WR430 도파관의 일반적인 특성을 <표 1>에 나타내었으며, 세로 54.61mm를 상부로 하고 가로 109.22mm를 측면으로 하여 측면 중앙부에 40×800mm의 슬릿을 가공하여 섬유재료가 통과될 수 있는 통로를 형성하고 상부측면에 마그네트론(2.45GHz, 3kW)을 설치하여 도파관내의 마이크로파 출력에 따른 건조실험을 수행할 수 있도록 구성하였으며, 도파관 측면에는 열풍을 공급하여 마이크로파-열풍 복합 실험을 수행할 수 있도록 실험장치를 설계 및 제작하였다. 마이크로파가 흡수되는 최대폭이 54.61mm 이고, 피크점의 간격이 74mm인 점을 고려하여 2개의 도파관을 사용하였다. 마그네트론의 출력값은 Power supply에서 조절되며, 마이크로파 출력에 의한 흡수값과 반사값을 동시에 측정할 수 있도록 Directional coupler를 설치하였다.

<표 1> WR430 도파관의 일반적 특성

사용주파수대역 (GHz)	내경크기 (mm)	관내파장 (λ_g)	Peack point distance (mm)
1.70~2.60	109.22 X 54.61	148	74



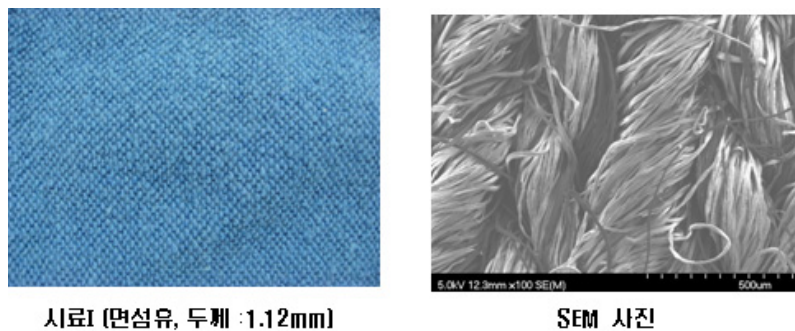
[그림 1] 마이크로파-열풍 복합건조 실험장치의 개요도

2.2 실험방법

본 실험에서 사용한 실험시료는 염색섬유를 대상으로 시료의 두께에 따라 시료I(두

께 1.12mm)과 시료II(두께 0.44mm)의 면섬유를 사용하였으며, [그림 2]에 나타난 바와 같이 가느다란실을 꼬아놓은 것 같은 형상을 하고 있으며, 시료I의 경우 꼬아놓은 실타래의 굵기가 대략 12.5~15.4 μ m 정도이다. 초기함수율은 45.9%W.B.(85%D.B.)의 시료를 사용하였다.

실험은 도파관 측면 중앙부의 Slot을 통해 실험시료를 삽입하고 Power supply를 통해 마그네트론의 출력값을 500~3,000W까지 변화시켜 시간에 따른 함수율의 변화를 측정하였다. 또한 열풍히터를 작동시켜 열풍과 마이크로파를 동시에 인가하였을 때의 함수율 변화를 측정하였다.



[그림 2] 실험시료의 사진

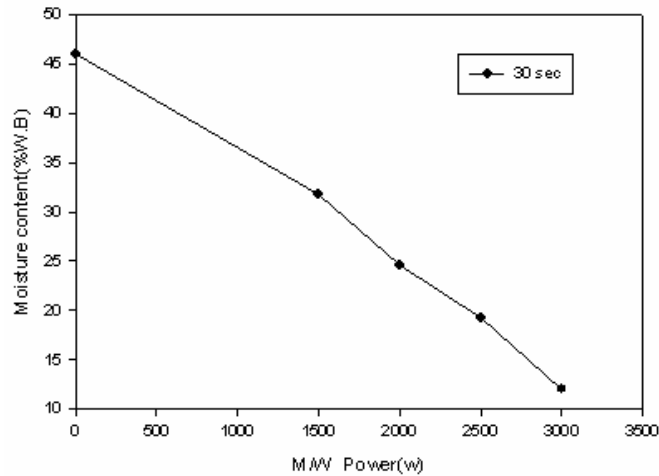
3. 결과 및 고찰

도파관을 이용한 마이크로파 건조 실험장치에서 초기함수율 45.9%W.B. 시료1의 실험결과 마이크로파 출력값에 따른 함수율 변화 곡선은 [그림 3]에 나타난 바와 같이 30sec 동안에 마이크로파 출력값 1,000W에서 37%W.B., 2,000W에서 23.6%W.B., 2,500W에서 19.5%W.B., 3,000W에서 4%W.B.정도로 나타났다. 또한 마이크로파 출력값에 따른 흡수효율은 비교적 수분이 많은 10~20sec 범위에서 65~72% 정도로 나타났으며, 20sec이후에는 반사파가 급격히 증가하여 흡수효율이 50%이하로 떨어지는 것을 알 수 있다.

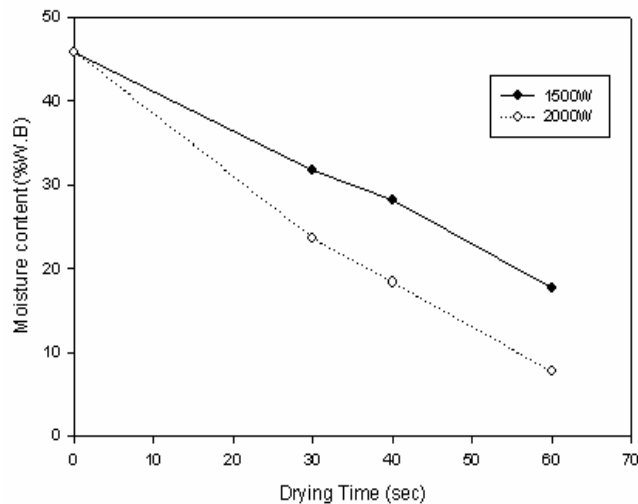
[그림 4]는 마이크로파 출력값 1,500W와 2,000W에 대하여 실험한 결과이며, 마이크로파 출력값에 따른 함수율 변화의 기울기는 다르지만 유사한 경향을 보이고 있다. [그림 4]에서 초기 30sec 구간에서는 마이크로파 출력값에 따른 함수율 변화의 기울기는 다소 크게 감소하고 있으나 30sec이후에서는 비교적 완만하게 감소되는 경향을 보이고 있다. 이러한 결과는 초기에 함수율이 높은 구간에서는 마이크로파의 흡수효율이 높아 건조속도가 증가되고 있으나, 함수율이 낮은 구간에서는 마이크로파의 흡수효율이 떨어져 건조속도가 둔화되는 것을 알 수 있다.

또한 마이크로파 출력값에 따라 다른부분의 면적은 마이크로파 파장의 피크점을

중심으로 도파관의 측면 방향으로 길이가 50mm 정도로 도파관의 폭 만큼 마이크로 파 에너지가 전달되고 있는 것으로 나타났다. 그러나 도파관의 길이 방향으로 폭이 약 35~40mm 정도로 마른부분이 적게 나타나고 있으며, 건조시간이 길어짐에 따라 도파관의 길이 방향의 마른부분 면적은 증가하는 경향을 보이고 있다.



[그림 3] M/W출력 값에 따른 함수율 변화 (시료I)



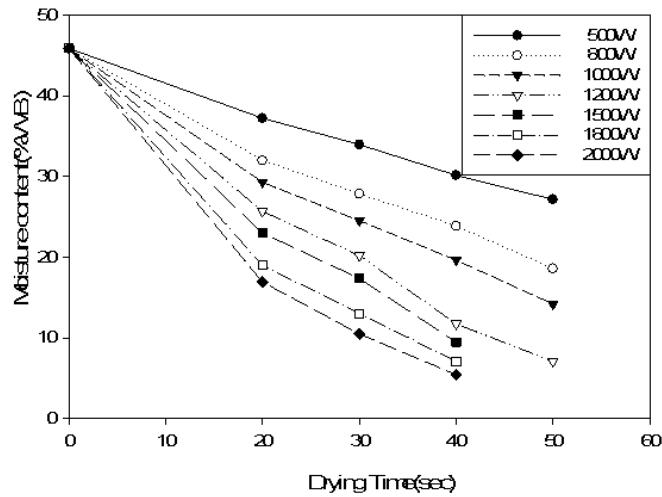
[그림 4] M/W출력 값에 따른 함수율 변화 (시료I)

실험시료II의 경우 시료I과 동일한 실험방법으로 실험을 수행하였다. [그림 5]는 동일 함수율 조건에서 실험한 결과이며, 마이크로파 출력값에 따른 건조특성 곡선이 시료I의 실험결과와 유사한 경향을 나타내고 있다.

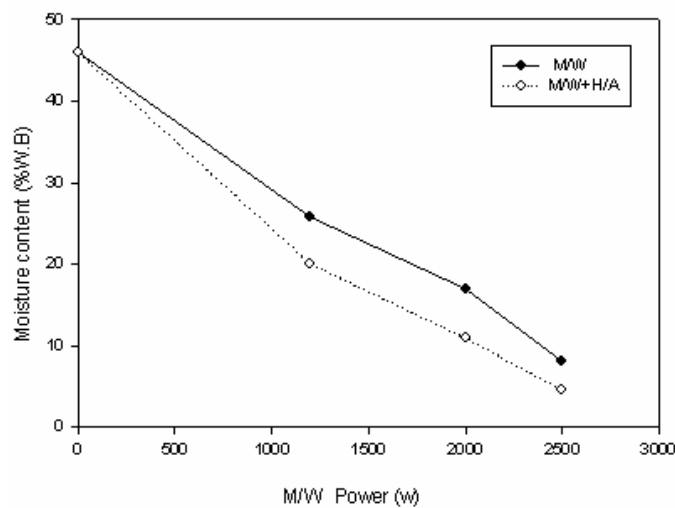
[그림 5]에서 마이크로파 출력값이 적은 500W에서는 함수율 변화곡선의 기울기가

비교적 완만하게 진행되고 있으며, 마이크로파 출력값이 증가할수록 함수율의 변화곡선의 기울기가 크게 떨어지는 것을 알 수 있다. 또한 마이크로파 출력값에 따른 마른 부분의 크기는 마이크로파 출력값에 따라 3.5X5mm에서 5X5.5mm의 크기로 나타났으며, 출력값이 증가함에 따라 약간 증가하는 경향을 보이고 있으며, 최대크기는 5.5 X6.5mm로 나타났다.

[그림 6]은 마이크로파 출력값 1,200W, 2,000W, 2,500W에서 실험한 결과와 동일한 마이크로파 출력값에 80°C의 열풍(2m³/min)을 동시에 공급한 경우의 실험결과를 나타낸 것이다. [그림 6]에서 동일한 마이크로파 출력에 열풍을 공급하는 복합건조의 경우 건조속도가 약 15~20%정도 향상되는 것으로 나타났다.



[그림 5] M/W출력 값에 따른 함수율 변화 (시료II)



[그림 6] M/W-열풍 복합건조 실험에 따른 함수율 변화 (시료II)

도파관을 이용한 마이크로파 건조실험 결과에서는 대상 재료의 표면을 고르게 건조시키기 위해 다중으로 설치된 도파관의 마그네트론의 위치를 변경시켜 각 구간에서의 피크점의 위치를 이동시키거나 플란저 등을 설치하여 구간별로 피크점을 조절하는 것이 필요하다고 판단되었다.

4. 결 론

본 연구를 통하여 도파관을 이용한 마이크로파 건조특성을 실험적으로 분석하였으며, 얇은 쉬트형 섬유재료에 대한 기초 설계자료를 획득하였다. 특히, 섬유재료의 두께에 따른 마그네트론의 적정한 출력값을 설정하기 위한 설계자료, 마이크로파 출력값에 따른 건조시간의 예측자료 및 마이크로파-열풍 복합건조 특성자료 등을 얻었다. 본 실험결과는 다중의 도파관을 이용한 마이크로파 에너지와 열풍을 복합한 연속식 섬유건조장치의 설계자료로 활용할 계획이다.

5. 참고문헌

1. D. Marinos-Kournts, Z. B. Maroulis, A. S. Mujumdar, *Microwave and Dielectric Drying, Handbook of Industrial Drying*, 2nd ed., Vol. 2, 245-372, Marcel Dekker, New York (1995)
2. T. Kudra and A. S. Mujumdar, *Advanced Drying Technologies*, Vol. 2, 335-345, Marcel Dekker, New York (2002)
3. M. Pourova and J. Vrba, *Microwave Drying of Textile Materials and Optimization of a Resonant Applicator*, Acta Polytechnica Vol. 46, No. 5, 3-7, (2006)
4. David L. Parrott, *Microwave Drying*, Petfood Industry, 11-16, (2002)
5. Neil H. Mermelstein, *High-Temperature, Short-Time Processing*, Products & Technologies Processing Vol. 55, No. 6, 65-69, (2001)
6. John F. Gerling, *Microwave Clothes Drying-Technical Solutions to Fundame Challenges*, Appliance Magazine, (2003)
7. C. Perkins, G. Hamouda, H. Mock, *Electrotechnology Applications in Textile Manufacturing*, National Textile Center Annual Report, 207-216, (1993)