

[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 24, No. 1, 2004

근 적외선 건조기의 건조특성에 대한 연구

장영석

경남정보대학 기계자동차산업학부 (ysj@kit.ac.kr)

A study on the Drying Characteristics of NIR Dryer

Jang, Yeong-Suk

Dep. of mechanical & automotive industrial subdivision,
Kyung-Nam College of Inform and Technology (vsi@kit.ac.kr)

Abstract

Near Infrared Ray (NIR) are primarily of interest to the high energy physicist. It is the intermediate portion of the spectrum, which extends from approximately 0.8 to 1.5 μm and include a portion of the all of infrared, that is thermal radiation and is pertinent to heat transfer. It is important to study that temperature distribution of the drying materials by surface encompasses a range of NIR wave lengths. This study is to investigate the characteristics of NIR dryer by experimental results. it was made a comparison with various textiles, velocity ratio and distance of lamp and textiles. In case of spongy type textile, the drying performance is the superior of all. The 0.15m distance drying effect of improvement 30% more than 0.26m distance between lamp and textiles. As the contained water increases, the drying speed for textile can be increased

Keywords : 근적외선(Near Infrared Ray), 건조기(Dryer), 섬유(Textile), 열복사(Thermal Radiation)

1. 서 론

근적외선(Near Infrared Ray(NIR)) 건조방식은 직접 건조물에 복사된 에너지에 의해서 가열하는 방식으로 기존의 간접 가열하는 열풍방식과 차이가 있다. 에너지공급 방식을 전기에너지로 사용

할 수 있어 제어가 간단하고 구조가 간단한 건조 방식으로 제작할 수 있어 보일러 같은 부가적 설비가 불필요한 특징이 있다. 근적외선의 열은 열복사 방식으로 전달되고, 열전달의 전파 속도는 진공일 때 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 속도로 나타난다.¹⁻²⁾

에너지의 전달방식이 기존의 대류 열전달 방식

이 아니고 빛에너지인 복사열전달로 전달되기 때문 중간 매질인 공기를 투과하므로 열 손실 없이 85% 이상의 에너지를 건조물에 전달할 수 있어 높은 효율의 건조기를 제작할 수 있다.

특히 섬유건조에 있어서는 롤러와 텐터의 2단계의 건조를 하는데 비해 근적외선을 이용하여 건조한다면 빛의 진직성 때문에 손실되는 에너지가 적어 1단계건조기를 제작할 수 있다. 열원을 근적외선을 이용하므로 작업장에 온열, 소음을 줄여 건조를 위한 주위의 환경 및 작업조건을 개선시키면서 고효율의 건조기를 제작할 수 있다고 판단된다.

적외선 건조기에 대한 연구는 주로 농촌의 농산물 재배³⁻⁵⁾ 또는 인삼, 담배 등의 고가인 경우에 주로 사용되고 있다. 그러나 근 적외선에 대한 연구는 아직 찾아보기 어렵다.

본 연구는 근 적외선을 이용하여 염색 후 섬유를 건조할 때 근적외선이 건조에 미치는 영향을 연구하는 것을 목적으로 한다. 연구인자는 섬유의 건조시간, 섬유표면에 가해지는 풍속, 근적외선 램프의 거리 등에 따르는 건조에 미치는 온도 및 수분 증발량을 실험적으로 연구하여 근적외선 건조기의 기본 자료로 사용코자한다.

2. 실험

2.1 근적외선의 특성

그림 1은 근적외선과 원적외선의 건조방법의 비교를 보여 준다.

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 μm 범위⁶⁾에 있다. 근적외선은 원적외선보다 파장이 짧고 진동수가 크기 때문 열 침투력이 높아 건조시스템에 적용하면 건조효과가 극대화될 수 있다.

그림 1에 보여준 것처럼 근적외선은 피 건조물

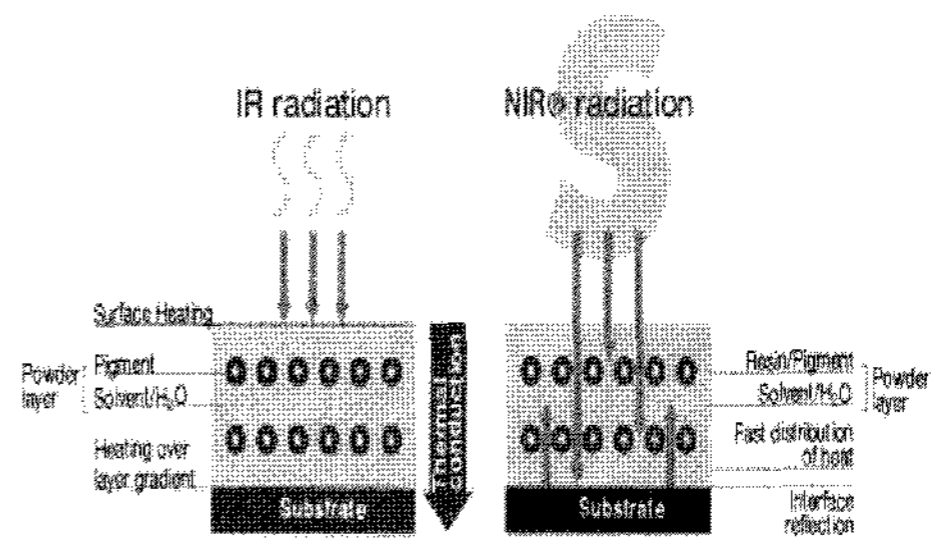


그림 1. Principle of NIR radiation on drying materials

본체 깊숙하게 침투하여 표면 경계 내부의 증발물질을 기화하게 하여 피 건조물의 내부에서 외부로 건조되는 특징을 보여준다.

2.2 실험장치

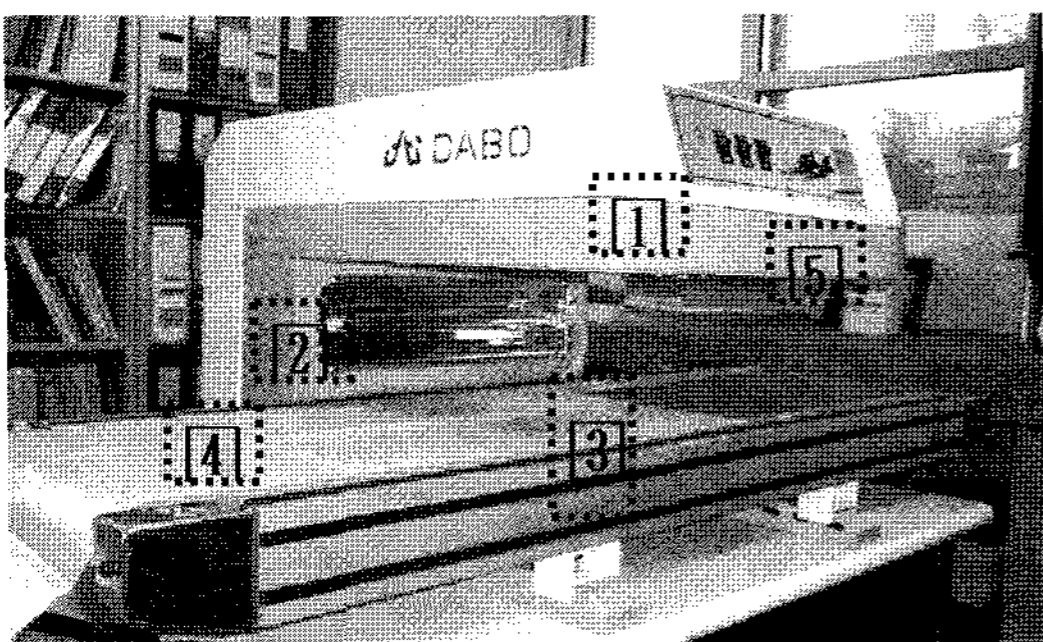
표 1은 본 실험에 사용될 피 건조물의 종류 및 특성을 나타낸다.

그림 2는 본 연구에 사용된 실험장치로서 장치의 구성은 구동부, 발열부, 베드부 그리고 제어부분으로 나뉜다. 구동부는 서보모터에 의해서 베드속도를 제어되도록 하며, 발열부는 근적외선(NIR)램프를 천정의 반사판으로 부터 반사되도록 하며, 송풍은 천정에서 최대 풍속 2m/s 이 본 실험에 사용된 피 건조물의 종류는 섬유를 사용하였으며, 섬유는 특징이 있는 4종류 택하고 모두 표면적이 0.27m² (0.3m×0.9m)으로 동일하게 하였다.

표 1. Characteristics of various drying materials

	textile	compo se	color	weight g/yr	rate of moisture %
A	PET (GT mesh)	plain	black	336	75.
B	PET (C-mesh)	plain	black	400	120
C	Cotton (23,s Twill)	satin	sky	200	100
D	Cotton (10,s Twill)	plain	beige	400	96.6

섬유는 A{PET(GT mesh)} B{PET(C-mesh)}, C(Cotton, 23^s Twill) 그리고 D (Cotton, 10^s Twill)이며, 그 외관 특징으로 A{PET(GT mesh)}는 폴리에스테르로서 무게가 가볍고 수분함량이 적은 섬유이며, B(PET(C-mesh))는 부드러운 천이며 폴리에스테르에 해당하는 검정색으로 부피가 큰 섬유이며, C(Cotton, 23^s Twill)는 넓고 두께가 얇으며 하늘색이다. 그리고 D(Cotton, 10^s Twill)는 미색으로 표면이 딱딱하고 견고한 재질로 되어 있다. 피 건조물을 이송은 베드부와 이들을 제어할 수 있는 제어부로 하여 피 건조물이 이송되어 실험할 수 있도록 하였다.



1. control box 2. NIR Lamp
3. feeder bed 4. test texture
5. temperature indicator

그림 2. Schematic diagram of experimental apparatus

2.3 실험 방법

실험은 그림 2처럼 실험 장치를 만들고 근적외선 램프와 피 건조물사이의 거리, 풍속에 따르는 풍량을 섬유종류별 수분의 증발량과 온도의 변화를 측정하여 실험의 측정값으로 하였다. 전력량은 1.5kW로 고정하였고 송풍은 풍속 0m/s, 0.2m/s, 0.4m/s 그리고 0.6m/s로 변화를 주었다. 베드속도 0.7m/min로 하였다.

풍속의 측정기는 LTS(Veldci call Plus)를 사

용하였고, 온도측정기는 다점온도기록계(Prema, 20 channel, MC8047)을 사용하였다. 그리고 전력 측정기는 왓트메타(DW-6060)을 사용하였다. 열전대는 K 형을 택하였고 모든 열전대는 1.5m의 길이가 같도록 하여 온도측정용으로 사용하였다.

측정값은 정상 점에 이르는 값과 1회의 측정회수를 기준으로 하여 증발된 량을 계량하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 과도적변화

그림 3은 C 섬유{Cotton (23^s Twill)}의 대기압 상태에서 건조시간 변화에 대한 온도 변화를 과도적으로 나타낸 것이다. 측정 시간은 7.2초이며 53회 측정한 결과이다. 온도는 절대온도로 표시하여 측정시간에 대한 온도변화를 보여준다. 측정 후 350초 인 경우 거의 안정적인 정상 점에 도달한 것을 볼 수 있다. 작업을 시작하여 350초 이내 작업은 가능하다고 보여지며, 측정 점은 램프가 있는 상부의 중앙지점과 중앙지점에서 15cm 벗어난 외곽의 한점을 측정하였는데 정상에 도달한 시간은 중앙지점과 동일하게 나타낸다. C 섬유의 중앙지점과 바깥 지점의 온도 비교는 중앙점이 15 °C 정도 높은 것을 알 수 있다.

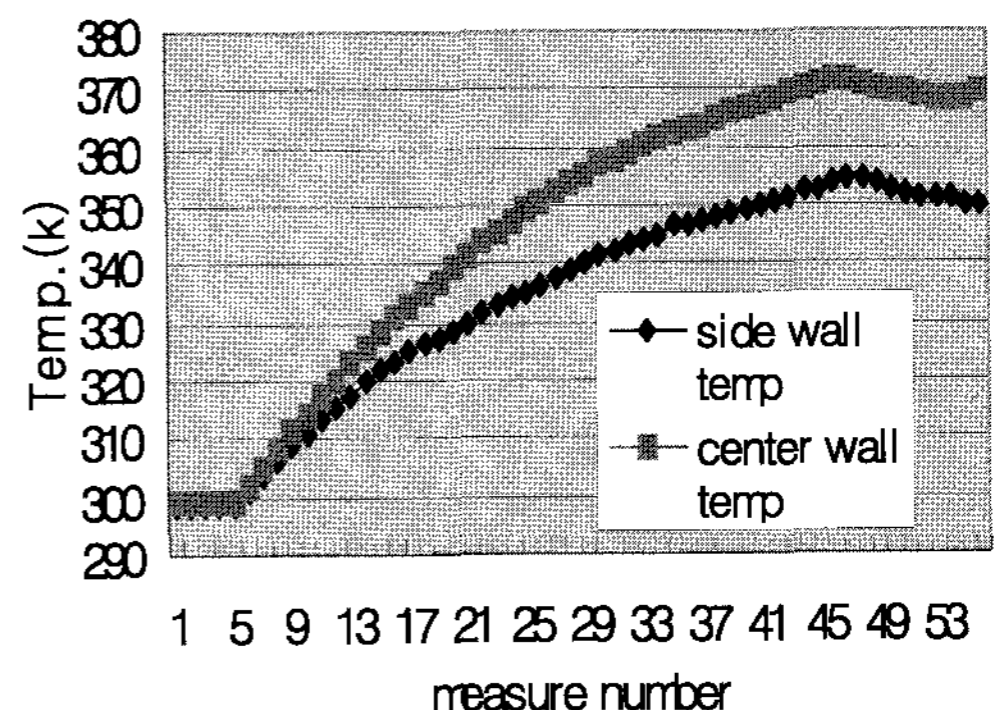


그림 3. temperature variation of the lamp near in case of Cotton, 23's Twill

그림 4는 섬유재료를 C(Cotton, 23^s Twill)로 한 경우 피 건조물 상부에 있는 건조 공기의 온도 변화를 시간의 변화에 대하여 보여 준다. 공기의 측정위치는 램프와 피 건조물 사이의 중앙 높이에 위치한 피 건조물 폭의 중앙이며 다른 한개는 외부측의 3/4에 위치한 부분이다. 온도는 355k 까지 증가하는 것을 볼 수 있으며 6분 이내에 정상점에 도달한 것을 볼 수 있다. 이것으로 램프의 온도는 피 측정물의 온도를 증가 시킬 뿐 아니라 주변의 공기의 온도도 증가하는 데 에너지를 소모하고 있음을 알 수 있다. 그리고 피 건조물의 분위기온도는 램프 주위의 온도보다 떨어지지만 거의 유사한 경향으로 증가하는 것으로 나타낸다.

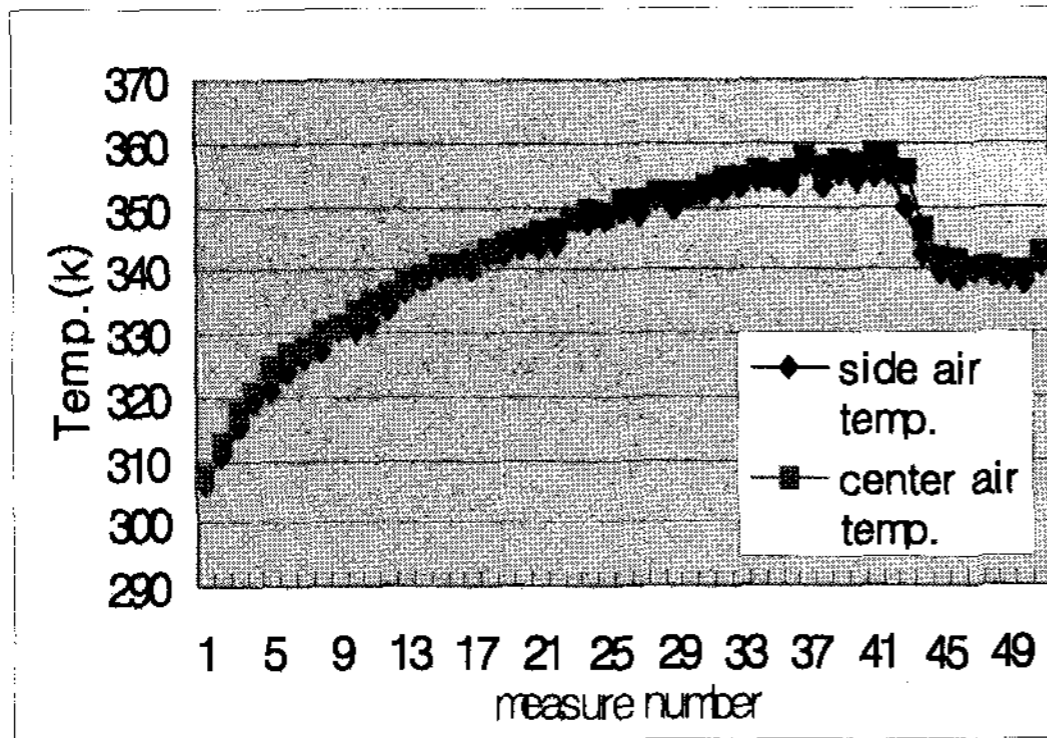


그림 4. steady state of dryer temperature in case of Cotton, 23's Twill

그림 5은 섬유종류 C(Cotton 23^s Twill)경우의 전 영역에서 건조의 온도 변화를 보여 준다. 건조온도는 벽면의 온도, 공기의 온도 그리고 섬유표면에 대한 건조과정 중의 온도변화이다. 섬유표면의 온도는 최고 340k까지 올라갔으나 섬유에 포함된 수분 때문 더 이상의 온도는 상승하지 않았다. 섬유의 온도는 3개의 피크 값을 가지는데 이것은 3회의 건조과정을 거쳤음을 설명할 수 있고 처음 293K (20℃)에서 피 건조물은 건조기에 들어가서 점차 온도가 상승하는데 1분 만에 60℃이상 온도

의 피크를 볼 수 있다. 다음 피크 역시 동일한 경로를 거치는데 건조공정은 1회건조당 1분의 시간이 소요됨을 알 수 있다. 특히 섬유의 온도가 증가할 때 건조기내의 공기온도는 오히려 감소하여 두 번째 건조과정 중에는 공기의 온도와 섬유의 온도가 동일하게 되는데 이것은 증발하고 있는 증기의 온도 영향으로 보여 진다.

그림 6은 섬유종류를 A(PET, GT mesh)로 한 경우 건조기의 공기온도와 벽면의 온도를 보여 준다. A섬유는 C섬유보다 물의 흡수율이 많아 섬유 표면에 수분이 골고루 흡수되어 있어 C 섬유보다 빠른 증발 율을 가진다. 그러나 동일 시간에 A섬유는 C 섬유 보다 증발량이 많을 경우 증발된 증기는 복사열의 흡수를 방해하는 경우가 있다. 일반적으로 복사 에너지는 주변 공기의 온도에 의해서 피 건조물을 건조하는 대류열전달 형태가 아니고 전자파 형식의 열전달이 진행되므로 주변의 공기에 별 영향을 받지 않는다. 그러나 증발된 증기량의 밀도가 커지면 증발된 증기에 의해 복사에너지의 복사열이 증기에 흡수될 수 있으므로 적절한 배기장치가 필요하다고 판단된다. 그림은 램프의 위치가 중앙에 있을 때가 340k 로서 가장 높고, 외곽 공기의 온도가 335k로 약 5℃ 로 낮게 나타나며 온도변화는 4개 모두 유사한 경향을 보여 준다.

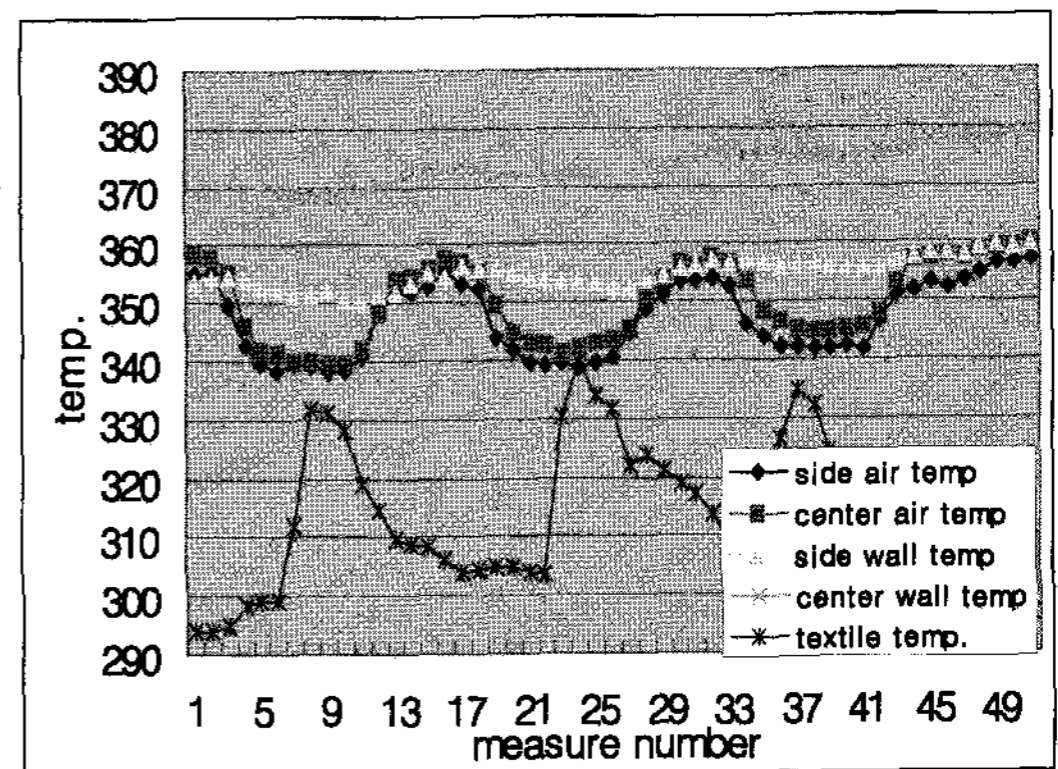


그림 5. drying temperature in case of Cotton, 23's, Twill

3.2 섬유종류별 건조

그림 7은 섬유종류를 A(PET(GT mesh)) B(PET(C-mesh)), C(Cotton, 23^s Twill) 그리고 D(Cotton, 10^s Twill) 의 4 종류의 섬유종류별 건조상태의 비교를 보여준다. 그림에서 가로축의 측정수라는 것은 1회의 측정을 의미하며 1회의 건조시간은 60초이다. 6은 6회의 건조작업이 이루어졌다는 뜻이며 그 시간은 6분이 소요되었음을 나타낸다. 세로축은 DW(g) 으로 표시되었는데 이것은 1회건조할 때 마다 감소된 수분의 양을 나타낸다. 근적외선 램프와 피 건조물사이의 거리는 260mm이며 전력량은 1.5kW, 송풍 0.6m/s, 베드속도 70cm/min의 조건을 가지고 연속적인 건조를 진행한 결과 최고 15 g 정도의 건조를 보여 준다. 그러나 C와 같이 섬유가 얇고 수분함유량이 적은 경우는 11 g 정도의 건조를 나타내는데 이것은 부분적으로 건조가 완료된 상태로 진행하기 때문 그 증발량이 적은 것으로 보여 진다. 결국 수분 함유량이 적은 섬유에는 중앙에는 건조가 되고 외부 측에는 건조가 되지 않은 현상이 보였는데 이것은 측면의 열 손실로 인한 온도강하에 있다고 보여 측면의 충분한 단열이 필요하다고 생각 된다.

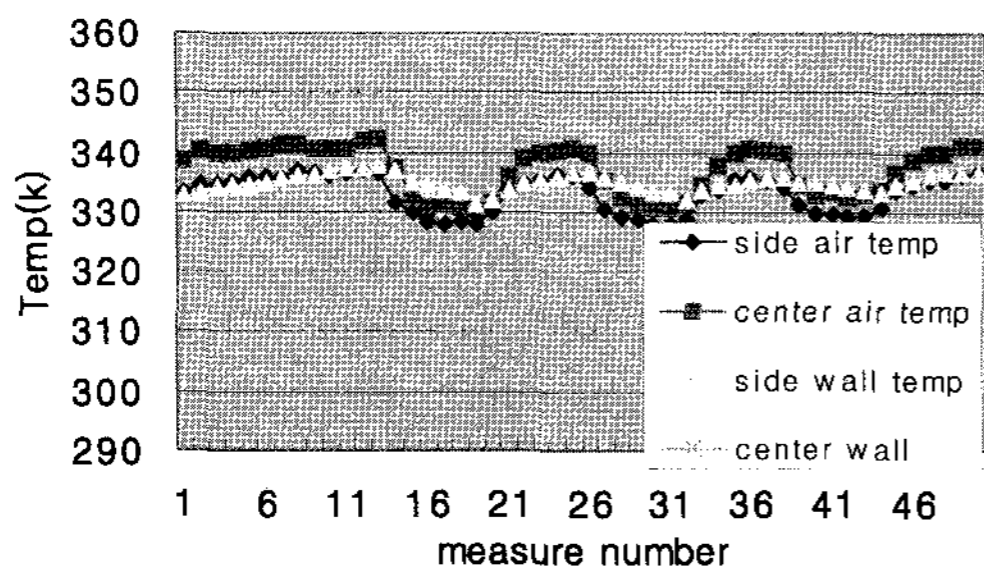


그림 6. temperature variation of dryer in case of PET, GT-Mesh

그림 8은 섬유를 A(PET(GT mesh)), B(PET(C-mesh)), C (Cotton, 23^s Twill) 그리고 D (Cotton, 10^s Twill) 4 종류의 건조상태의 비교를 측정 거리 210mm에서 건조 상태를 보여준다.

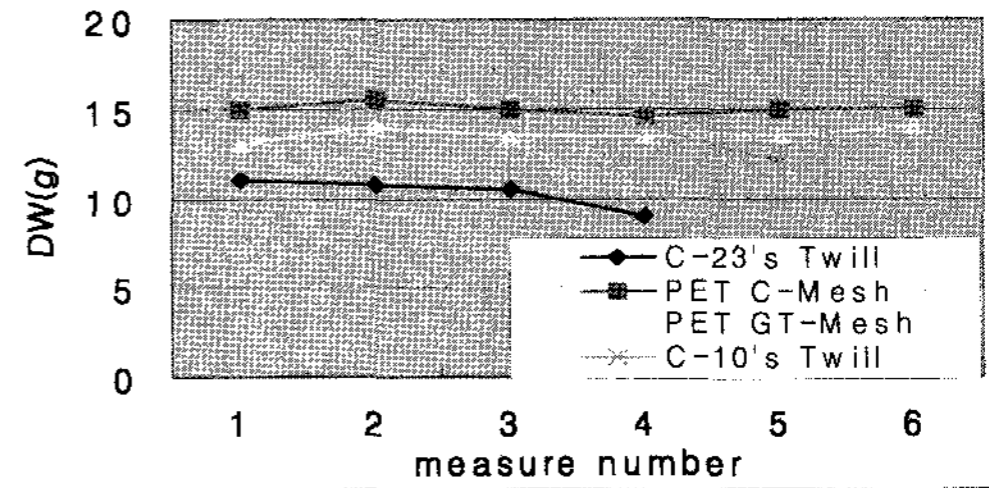


그림 7. drying state of various textile at distance 0.26m
DW(g): reducing amount of moisture content

건조조 건은 상기 그림 7와 마찬가지로 전력량은 1.5kW 송풍 0.6m/s, 베드속도 70cm/min의 조건을 가지 있으며 최고의 건조량은 17 g 임을 알 수 있다. 특히 C 섬유의 측정수 3이하의 급경사는 완전건조에 가까움을 나타낸다. 이것은 다른 섬유에 비해서 함유율이 적어 보다 빠른 건조가 있음을 알 수 있다.

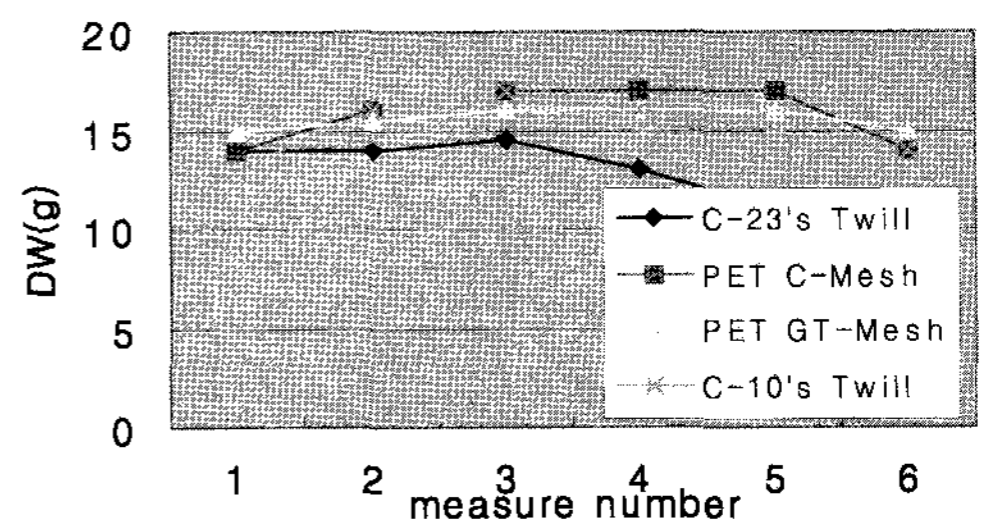


그림 8. drying state of various textile at distance 0.21m

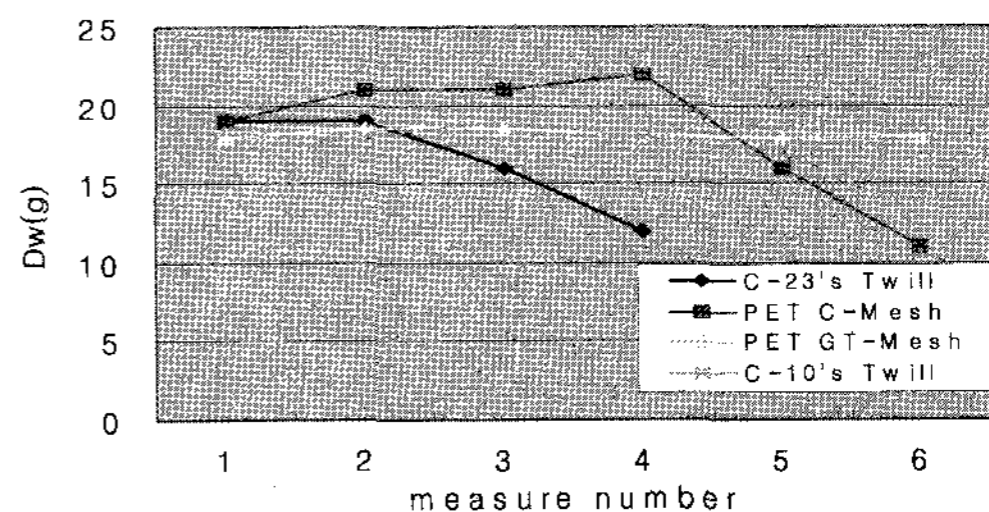


그림 9. drying state of various textile at distance 0.15m

그림 9은 상기 그림 8과 동일하게 A(PET(GT mesh)), B(PET(C-mesh)), C(Cotton, 23^s Twill) 그리고 D(Cotton, 10^s Twill) 4 종류의 건조상태의 비교를 측정거리 150mm에서 건조 상태를 보여준다. 조건을 전력량은 1.5kW 송풍 0.6m/s, 베드속도 70cm/min의 조건을 가지고 있으며 건조량이 22g 이상이 되며 C섬유의 경우에도 측정회수 2에서 건조가 거의 완료되어 진행하고 있음을 알 수 있다. 따라서 섬유별 건조 특성은 섬유가 함수하고 있는 량에 따라 건조시기가 결정되며 건조가 완료되는 부근에는 수분 증발량이 급격한 감소현상을 보여준다.

3.3 램프거리 변화별 건조

그림 10은 섬유를 A(PET GT mesh)로 하고 건조상태의 비교 측정거리 150mm, 210mm, 260mm에서 건조 상태를 보여준다. 건조조건은 전력량은 1.5kW, 송풍 0.6m/s, 베드속도 70cm/min의 동일한 조건을 가진다. 섬유로부터 램프의 거리가 150mm에 있을 때 가장 건조가 빠른 방향으로 진행되고 있음을 알 수 있다. 건조정도는 260mm보다 210mm는 평균 2g이 많고, 150mm는 260mm 보다 7g 이 많은 것으로 섬유와 램프사이의 거리가 가까울수록 지수적인 증가 값을 가지고 있다. 이것은 복사에너지의 열전달 식에서도 나타나는 것처럼 건조는 램프의 온도 4층에 비례하고 있음을 알 수 있다.

뿐만 아니라 램프와 피 건조물사이의 거리가 적으면 측면으로 손실되는 에너지가 최소로 되는 경향이 있어 효율적인 장치는 단열적으로 설치해야함은 물론 섬유의 재질이 손상되지 않은 범위에서 근접하는 것이 바람직한 것으로 나타난다.

그림 11은 섬유를 C로 하여 건조상태의 비교 측정거리 150mm, 210mm, 260mm에서 건조 상태를 보여준다. 건조조건은 전력량은 1.5kW, 송풍 0.6m/s, 베드속도 70cm/min의 동일한 조건을 가진다. 섬유건조물의 특징은 함수량이 많은 상태이나 그 성분이 물과의 친화성이 있어서 흡수력이

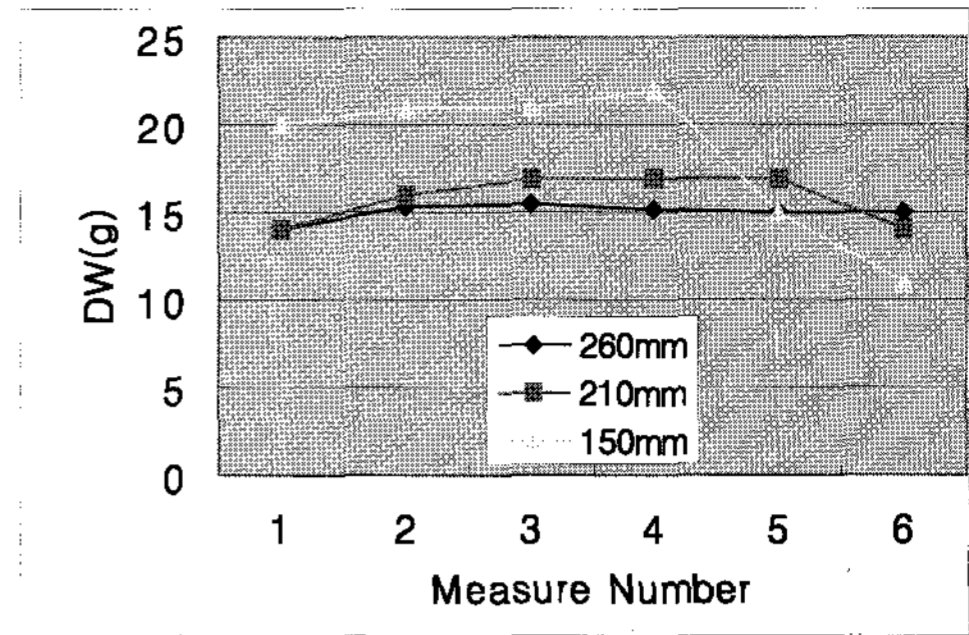


그림 10. drying textile by various distance in case of PET, GT Mesh

크고 때문 증발량이 대체적으로 적은 상태이다. 따라서 건조과정마다 수분의 건조율이 같은 경향으로 보이며 14g에서 18g 사이로 나타나고 있으나 거리변화 별로 건조량을 보면 역시 램프와 가까울수록 그 증발량은 증가하는 것으로 보여진다.

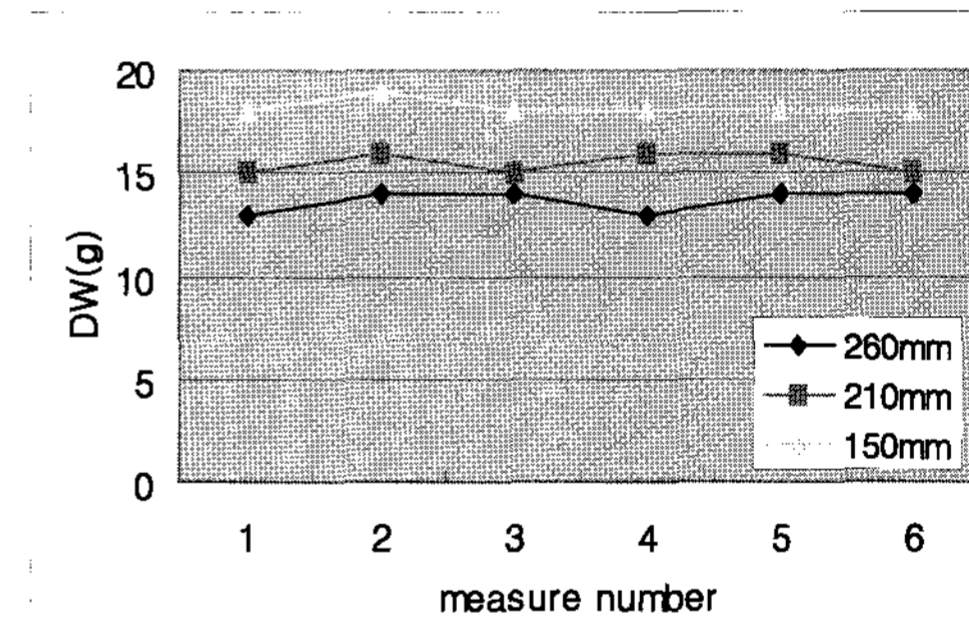


그림 11. drying textile by various distance in case of Cotton, 23's Twill

3.4 풍속 변화별 건조

그림 12은 섬유를 B 섬유하고 건조상태의 풍속을 0m/s, 0.2m/s, 0.4m/s 그리고 0.6m/s에서 건조 상태를 보여준다. 건조조건은 전력량은 1.5kW, 램프거리 210mm, 베드속도 70cm/min의 동일한 조건을 가진다. 일반적으로 풍속이 크면 바람에 의해서 강제대류가 있을 것이라고 예상하고 속도를 증가하는 경우가 있다. 그러나 그림에 의하면 풍속을 증가시켜 0.6 m/s에서는 70초에 최고

19 g의 건조량을 보여주며, 바람이 불지 않은 무풍에서는 17g의 건조량을 보여준다. 바람이 불지 않은 무풍속 경우가 건조가 가장되지 않고 있으며, 바람이 가장 많을 경우가 그 다음으로 좋지 않은 경우를 보여 준다. 그러나 바람이 0.2 m/s 인 경우는 램프의 거리가 210mm 인 경우인데도 불구하고 22g 정도의 건조상태를 보여 적절한 풍속은 건조에 큰 영향을 보여 준다.

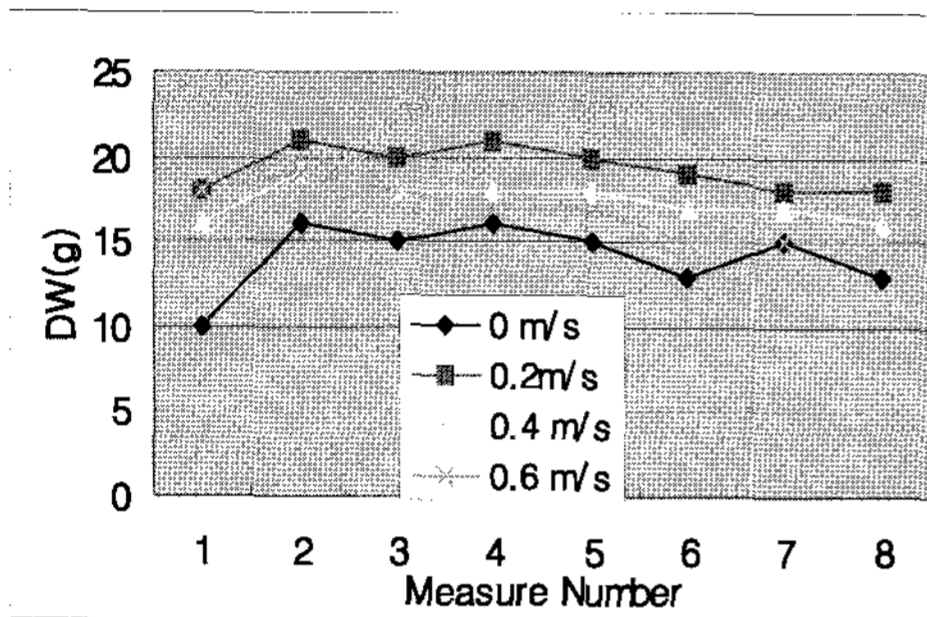


그림12. drying mass by velocity of wind in case of Nylon G- Sandwich

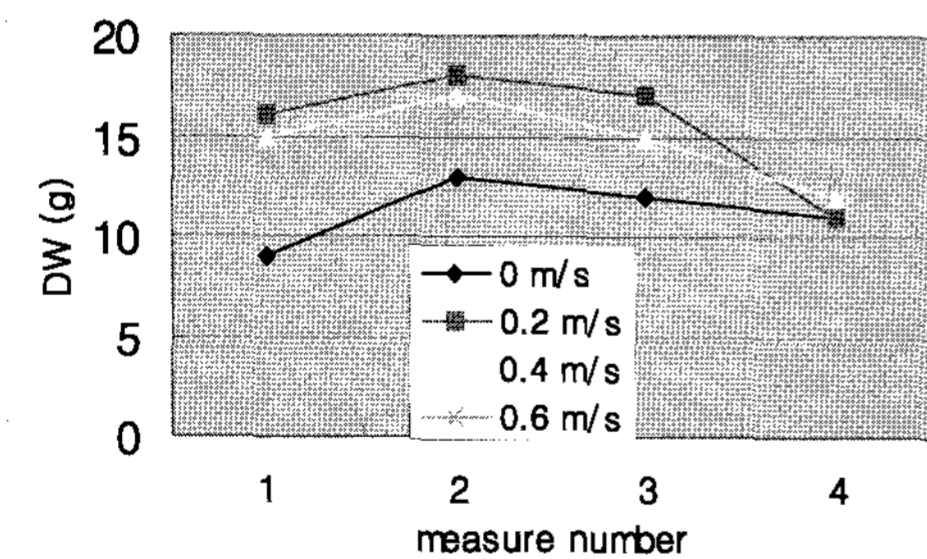


그림 13. drying mass by velocity of wind in case of Cotton 23's Twill)

그림 13은 섬유를 C로 하여 경우에 풍속을 0 m/s, 0.2 m/s, 0.4 m/s 그리고 0.6 m/s에서 건조 상태를 보여준다. 건조조건은 전력량은 1.5kW, 램프거리 210mm, 베드속도 70cm/min의 조건을 가진다. 속도가 0m/s 인 경우는 전열과정이 복사라고 생각하고, 0.6 m/s는 대류열전달이라고 가정할 때 0.2 m/s는 층류에 가까운 대류열전달이라고

할 수 있다. 결국 이러한 건조과정을 볼 때 복사에너지가 전체 전열과정을 좌우하고 복사에너지에 의한 증발된 수증기의 정체현상을 미풍에 의해 제거하고 방열된 일부의 열을 활용함으로써 최대의 증발량을 얻을 수 있다고 판단된다.

4. 결 론

근적외선을 이용한 건조기의 건조 조건을 풍량, 램프의 거리, 속도 그리고 제품의 종류에 따라 검토한 결과 다음의 결론을 얻었다.

1. 피 건조물에 대한 램프의 거리가 가까울수록 건조속도는 증가하며, 0.15m인 경우는 0.26m 것 보다 32%의 건조 효과가 있었다.
2. 건조를 위한 풍속은 적절한 량이 필요하고 본 연구 범위에서 0.2m/s일 때가 최상이었다.
3. 건조기벽면의 온도는 정상점이 6분이 내에 도달할 수 있었고 건조작업을 위한 예열시간을 단축할 수 있는 건조시스템 임을 확인하였다.
4. 함유율이 높을 섬유일수록 건조속도가 증가하였다.

참 고 문 헌

1. Frank P. Incropepa, Fundamentals of heat transfer, John Wiley & Sons, pp629-672.
2. 松尾陽, 太陽 에너지 핸드북, pp821-846
3. Motohashi, K.; General-Purpose Far Infrared Ray Dryer, JOURNAL-JAPANESE SOCIETY OF AGRICULTURAL MACHINERY, 2001, 63(5).
4. 박승제, 열풍과 원적외선 겸용 연속식 백삼 건조기의 개발, 한국농업기계학회지, 2000, 25(2), pp 115-122.
5. Y.H.Kim, Development of Far Infrared Ray Dryer for Agricultural Products, 농업기계학회지, 1996, pp937-946.
6. Holman, HeatTransfer, 8th edition, pp587-725.