

# 벼의 원적외선 건조특성에 관한 연구(I)

## Study on the Characteristics of Far Infrared Ray Drying for Rough Rice(I)

김유호\* 조영길\* 조광환\* 이선호\* 김영민\* 한충수\*\* 이호필\*\*  
Y.H.Kim Y.K.Cho K.W.Cho S.H.Lee Y.M.Kim C.S.Han H.P.Lee

### 1. 서론

건조기의 발전은 평면정지 열풍건조기에서부터 시작되었으며, 이것은 곡물 투입, 배출, 수분편차 해소를 위해 건조중에 교반을 해야하는 번거로움이 있었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 개발된 것이 곡물 투입, 배출은 승강기로 하고 건조중에 교반도 건조부 아래 부분에 설치된 배출휘드를 개방시켜 곡물을 순환해서 건조하는 순환식 열풍건조기의 보급이 시작되었다. 이후 순환식 곡물건조기는 노동환경, 작업성 등의 개선을 위해 송풍기, 건조시간 등의 자동제어 및 건조속도제어가 되도록 개량되었으며, 순환식 열풍건조기는 주로 개인 농가에서 사용하고 현재 가장 많이 보급되고 있는 건조기이다. 이와 같이 곡물건조기는 개량을 거듭하여 진보하였으나, 순환식 열풍곡물건조기로서는 더 이상의 고품질의 쌀 생산을 기대하기 어렵고, 건조비용을 절감할 수 없으며, 특히 고속건조를 수행할 때 발생하는 동할률을 감소시키기가 어려우므로<sup>(6)</sup> 새로운 개념의 건조방법을 연구하여 이러한 문제점을 해소하고자 원적외선·열풍 복합 이용한 새로운 곡물건조기 개발을 시도하고자 한다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 공시재료

본 연구에서 사용한 공시재료는 2001년에 생산한 것으로 수원시 임북동에서 생산한 대안벼를 사용하였다. 공시재료의 초기함수율은 20~24%w.b.의 범위였고, 시료의 보관은 한 번에 수확하여 저장온도 5℃에서 저온저장 하였다. 1회 건조량을 350kg으로 하였으며, 저온저장고에 넣어둔 시료는 하루 전에 꺼내어 상온 상태로 함으로써 건조 중에 동할을 방지할 수 있도록 하였다.

#### 나. 시험장치

원적외선 건조시험에 사용한 건조장치와 제원은 그림 1과 표1에 각각 나타내었다. 건조장치는 건조용량이 150~500kg 범위에서 건조할 수 있는 소형으로 제작하였다. 건조기 상부에는 투입되는 곡물이 고르게 떨어지도록 상부스크류를 설치하였고, 곡물순환은 수직형 승강기, 상부스크류, 배출휘드, 하부스크류를 통과하면서 이루어 지도록 하였다. 송풍량은 인버터를 사용하여 0~30m<sup>3</sup>/min범위에서 조절할 수 있도록 하였으며, 곡물순환속도 조절은 변속모터를 사용하여 0~33kg/min까지 조절되도록 하였다. 원적외선방사체는 실린더형이고 방사체 표면과 열풍실의 거리는 방사에너지 효율을 고려하여 140mm를 유지하도록 하였으며, 방사체의 위쪽 주변에는 타공망으로 되었고, 아래쪽 주변에는 방사량을 높이기 위하여 일부 개방하였다.

\* 농업기계화연구소

\*\* 충북대학교

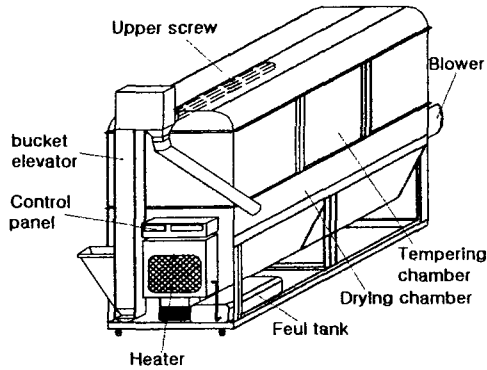


Fig. 1. Schematic of experimental apparatus.

Table 1. Specifications of the experimental apparatus.

Items		Specication
Dryer	Type	cross flow
	Size(L×W×H)mm	2,320×1,330×2,065
	Capacity(kg)	150~500
Burner	Type	gun type
	Calorific value(kcal/hr)	22,000~44,000
Blower	Type	axial flow
	Airflow rate(m <sup>3</sup> /min)	30
	Power(ps)	0.5
Far infrared ray heater	Type	cylinder
	Size(∅×L)	200×1,070mm

다. 시험방법

(1) 함수율

건조중 곡물의 함수율은 단립수분계(CTR-800)를 사용하여 매 30분 간격으로 건조기 배출구를 통해 채취하여 5회 반복 측정하였다. 함수율이 15.5% 근처에서 시험을 종료하였다.

(2) 온습도

건조기에 설치한 온도 측정점은 텀퍼링실 12점 방사체 표면 5점, 열풍실 18점, 건조실 12점, 버너입구 및 송풍기 출구 온습도, 송강기 출구 등 51점을 자동온습도 기록장치(Yokogawa, D242)를 사용하여 측정하였다. 각 지점의 측정온도는 실시간으로 노트북에 입력되어 파일로 저장하였다.

(3) 동할율

동할립 증가량 시험은 곡물투입전과 건조종료후에 각각 1kg정도의 곡물을 랜덤 샘플링하여 균등교반한 후 손으로 1,000립의 현미를 만들어 동할미 검사기(Kett, XT-200)로 동할립수를 세어 아래 식에 의거 동할립의 증가량을 산출하였다. 건조한 곡물은 상온에서 24시간 이상 밀봉 보존한 후 약 15%w.b.까지 건조한 후에 현미로 만들었다.

$$B = ( b_2 / B_2 - b_1 / B_1 ) \times 100$$

여기서,

B : 동할립 증가율(%)

b<sub>1</sub> , b<sub>2</sub> : 건조전 곡물 및 건조후 곡물의 동할립수

B<sub>1</sub> , B<sub>2</sub> : 건조전 곡물 및 건조후 곡물의 조사립수

(4) 발아율

발아율 시험은 샐레 안에 수분을 흡습지를 깔고 물을 부어두고, 건조한 시료 400립을 무작위로 샘플링하여 샐레 한 개에 100립의 곡립을 고르게 펼쳐 놓는다. 항온기의 온도를 25℃로 조절하여 샐레를 넣고 샐레는 항상 습기가 있도록 하면서 14일 동안 두었다가 꺼내어

발아율을 총시험시료에 대한 발아립수의 백분율로 산출하였으며, 다음 식으로 계산하였다.

$$D = (d_1 / D_1) \times 100$$

여기서,

D : 발아율(%)

$d_1$  : 건조곡물의 발아립수

$D_1$  : 건조곡물의 조사립수

### (5) 건조에너지

건조에너지는 건조를 시작하기 전에 등유의 무게와 건조종료 후의 무게변화를 전자저울로 측정하였다. 이것을 발열량으로 환산하고 곡물에서 제거된 수분의 양을 계산해서 물 1kg를 제거하는데 소요되는 열량으로 산출하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 가. 곡물온도

그림 2는 열풍온도를 45, 48, 51℃로 했을 때 건조실내 곡물의 온도변화를 측정한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 열풍온도 45℃일 때는 곡온이 초기에는 30℃를 유지하다가 점점 증가하여 중기부터는 32~33℃를 유지하였으며, 48, 51℃일 때는 곡온이 35℃가 넘어서는 현상을 나타냈다. 본 시험에서 얻어진 결과로서 35℃를 넘어서게 되면 동할미 발생량이 많아지고 품질이 급격히 떨어지는 현상이 나타났다는 것을 알 수 있었다.

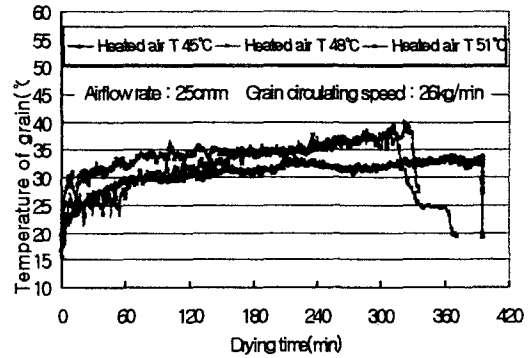


Fig. 2. Temperature curve of rough rice for heated air temperature 45, 48, 51℃

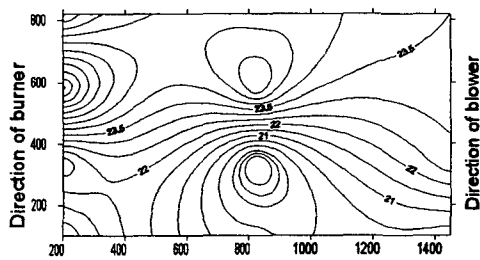


Fig. 3. Distribution temperature of tempering chamber at the heated air temperature 45℃.

그림 3은 템퍼링실의 평면도상에서 온도분포를 나타낸 것으로 온도편차가 2.5℃ 정도로 비교적 고른 온도분포를 나타내었고, 버너 입구쪽과 템퍼링실 중앙지점에서 온도가 약간 높게 나타났으며, 이것은 열풍실의 구조가 산형으로 되어 있어 가장자리보다 열풍공기 접촉면이 많기 때문인 것으로 사료된다.

### 나. 원적외선방사체 표면온도

그림 4는 원적외선 방사체의 표면온도를 열풍온도에 따라 변화분포를 나타낸 것이다. 그림에서 보는바와 같이 열풍온도가 45℃일 때 방사체표면온도는 평균 170℃를 유지하였고, 48℃, 51℃일 때 각각 220℃, 230℃에서 유지하는 것으로 나타났다. 이는 방사체 표면온도를 약 400℃까지 높이려는 본 연구의 목표 온도와는 다소 차이가 있기 때문에 상용건조기에서는 이 점을 고려하여 설계를 해야 할 것이다.

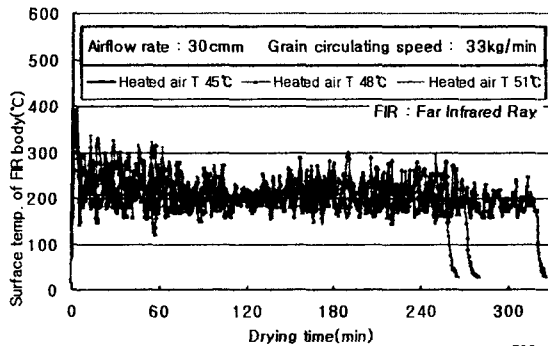


Fig. 4. Surface temperature of infrared ray heater for the heated air temperature.

원적외선방사체를 통과하는 열풍이 빠져나가도록 되어있는 열풍 유동관이 버너 원거리에 위치하고 있어 버너에 불꽃이 접화되면서 열풍이 방사체 끝쪽으로 일시 머물렀다가 배출되기 때문으로 판단된다.

다. 건조시간 및 건조에너지

그림6, 7은 건조기의 송풍량을 25, 30cm으로 하여 건조속도와 건조에너지를 비교한 것이다. 송풍량이 30cm일 때가 25cm에서보다 약 33%의 건조속도가 증가되어 송풍량이 많을수록 건조속도가 빨라졌으나, 건조에너지 1,392kcal/kg·water로 나타나 25cm에서보다 약 4.2%정도가 더 소요되었다.

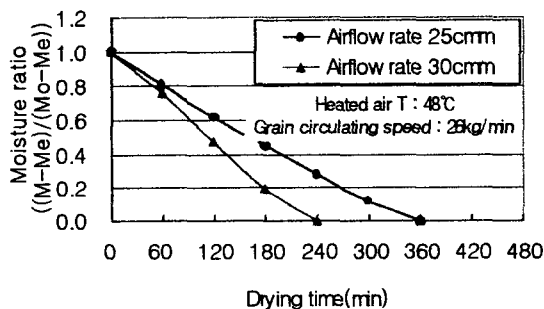


Fig. 6. Effects of airflow rate on drying rate for rough rice at the heated air temperature 48°C, rough rice circulating speed 26kg/min.

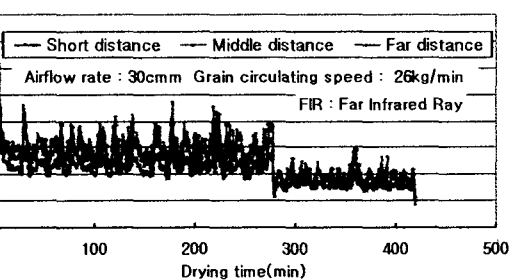


Fig. 5. Surface temperature of far infrared heater along length of heater at the heated air temperature 48°C, airflow rate 30m<sup>3</sup>/min, rough rice circulating speed 26kg/min

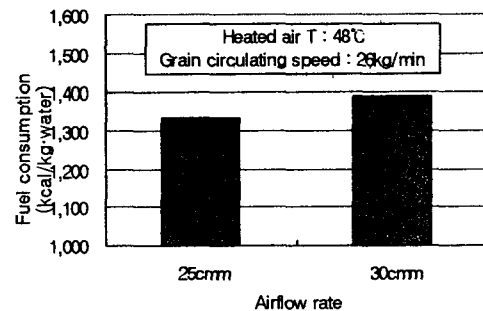


Fig. 7. Effects of airflow rate on energy for rough rice at the heated air temperature 48°C, rough rice circulating speed 26kg/min.

그림8, 9는 건조기의 곡물순환속도를 26kg/min, 33kg/min으로 하여 건조속도와 건조에너지

지를 비교하였다. 순환속도가 33kg/min일 때가 26kg/min보다 약 25%의 건조속도가 증가되어 곡물의 순환속도가 빠를수록 건조속도가 빨라졌으며, 건조에너지도 1,334kcal/kg·water로 비슷하게 소요되었다.

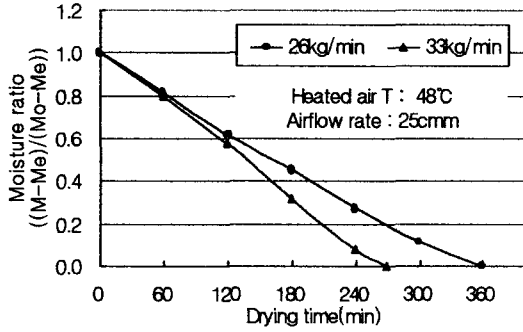


Fig. 8 Effects of rough rice circulating speed of drying rate for rough rice at the heated air temperature 48°C, airflow rate 25m/min.

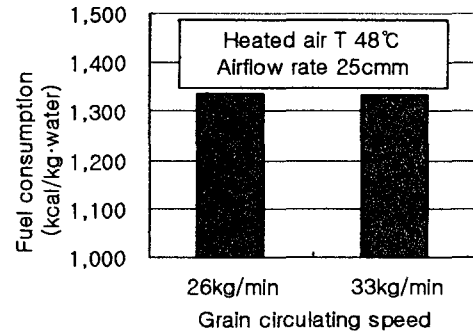


Fig. 9. Effects of airflow rate on energy for rough rice at the heated air temperature 48°C, rough rice circulating speed 26kg/min.

라. 건조특성곡선

그림 10은 원적외선·열풍 복합건조와 열풍만으로 건조했을 때 건조특성곡선을 그래프로 나타낸 것이다. 송풍량 25cm/m, 곡물순환속도 26kg/min으로 하고 열풍온도를 45, 48, 51°C로 변화하면서 건조시험한 결과 같은 건조조건에서 원적외선·열풍 복합건조방법이 열풍만으로 건조했을때보다 9~18%의 건조속도가 빠르게 나타났다. 이것은 방사체에서 방열되는 원적외선이 곡물에 복사열로 전달되어 건조에 영향을 미쳤기 때문인 것으로 사료된다.

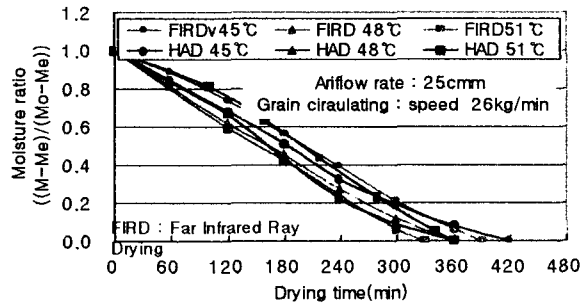


Fig. 10. Comparison of prototype and conventional on the drying curve for rough rice at the heated air temperature 45°C, airflow rate 25m/min and rough rice circulating speed 26kg/min.

바. 건감률, 건조에너지, 발아율, 동할률

표 2는 건조조건에 따른 원적외선·열풍 복합이용건조방법과 열풍만으로 건조했을 때 건감률, 건조에너지, 발아율 및 동할률을 비교한 것이다. 건감률은 복합건조방법에서 1.08~1.36w.b./h로 나타나 열풍건조방법보다 약 9.9~18.3%가 높게 나타났고, 건조에너지는 열풍온도 45°C에서는 비슷하게 나타났고, 48, 51°C에서는 10.2~14.6%가 절감되었다. 발아율은 열풍온도가 낮을수록 높게 나타났고 시험구가 대비구보다 발아율이 낮게 나타났으며, 이것

은 곡물 표면에 원적외선 방사에 의한 복사열이 전달되어 열장해를 받았기 때문에 판단된다. 동할률 증가량도 원적외선·열풍 복합건조방법이 높게 나타나 금후 더 연구하여 적정 열풍온도 및 방사체 크기를 구명해야 할 것이다.

**Table 5. Drying ratio, fuel consumption, crack kernel ratio and germination ratio**

Condition (drying Temperature)	Drying ratio (%w.b./hr)		Fuel consumption (kcal/kg·water)		Germination ratio (%)		Crack kernel ratio (%, point)	
	Prototype	Traditional	Prototype	Traditional	Prototype	Traditional	Prototype	Traditional
45℃	1.08	1.07	1,308	1,302	96.0	98.7	5.46	2.82
48℃	1.21	1.09	1,335	1,530	53.7	99.7	8.26	0.28
51℃	1.36	1.11	1,299	1,432	82.7	97.7	11.16	4.70

○ Grain circulating speed : 33kg/min

○ Prototype : Far infrared & Heated air drying , Conventional type : Only heated air drying

○ Before drying of crack ratio : 3.1%, Before of germination ratio : 96.7%

#### 4. 결론 및 요약

본 연구에서는 원적외선·열풍 복합건조특성을 구명하기 위하여 건조용량 150~500kg이고, 승강기, 상·하부스크류, 건조실, 템퍼링실, 송풍기 및 가열장치로 구성된 시물레이터를 제작하여 건조특성시험을 실시하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 열풍온도에 따른 곡온변화를 시험한 결과 열풍온도 45℃일 때 곡온 32~33℃를 유지하였으며, 48, 51℃일 때는 곡온이 35℃가 넘어서는 현상을 나타냈다. 건조중 곡온이 35℃를 넘어서게 되면 동할미 발생량이 많아지고 품질저하가 급격히 일어난다.

나. 템퍼링실의 온도편차가 2.5℃ 정도로 고른 온도분포를 나타내었고, 버너 입구쪽과 템퍼링실 중앙지점에서 온도가 약간 높게 나타났으며, 원적외선방사체 표면온도분포는 열풍온도가 45℃일 때 평균 170℃를 유지하였고, 48℃, 51℃일 때 각각 220℃, 230℃에서 유지하는 것으로 나타났다.

다. 원적외선방사체 길이방향으로 온도편차는 버너를 기준으로 해서 버너쪽에서 멀수록 온도가 낮았고, 중간, 근거리 순으로 나타났다. 버너의 원거리쪽에서 온도가 높게 나타난 것은 원적외선방사체를 통과하는 열풍이 빠져나가도록 되어있는 열풍 유동관이 버너 원거리 에 위치하고 있어 버너에 불꽃이 접화되면서 열풍이 방사체 끝쪽으로 일시 머물렀다가 배출되기 때문으로 판단된다.

라. 건조기의 송풍량을 요인으로 하여 건조속도와 건조에너지를 비교한 결과 송풍량이 30cmm일 때가 25cmm에서보다 약 33%의 건조속도가 증가되어 송풍량이 많을수록 건조속도가 빨라졌으나, 건조에너지는 1,391kcal/kg·water로 나타나 약 4.2%정도가 더 소요되었다. 곡물순환속도를 요인으로 하여 비교 시험한 결과 곡물순환속도가 33kg/min일 때

가 26kg/min보다 약 25%의 건조속도가 증가되어 곡물의 순환속도가 빠를수록 건조속도가 빨라졌으며, 건조에너지도 1,334kcal/kg · water로 비슷하게 소요되었다.

마. 시험구와 대비구의 건감률은 시험구에서 1.08~1.36w.b./h로 나타나 대비구보다 약 9.9~18.3%가 높게 나타났고, 건조에너지는 10.2~14.6%가 절감되었다. 발아율은 열풍온도가 낮을수록 높게 나타났고 시험구가 대비구보다 발아율이 낮게 나타났으며, 동할률 증가량도 원적외선·열풍 복합건조방법이 높게 나타나 이것은 곡물 표면에 원적외선 방사에 의한 복사열이 전달되어 열장해를 받았기 때문으로 판단되며, 금후 더 연구하여 적정 열풍온도 및 방사체 크기를 구명해야 할 것이다.

## 5. 참고문헌

1. 농업기계화연구소. 2001. 농업기계 시험·검사 관계규정집(곡물건조기 시험방법).
2. 농촌진흥청. 1997. 작물재배 생리의 이론과 실제. pp46~53
3. 정해상 역. 1997. 원적외선공학. 겸지사. pp105~114
4. 한충수. 1995. 원적외선의 가열특성과 건조효과. 원적외선 가열·건조 심포지엄 pp14~37
5. 한충수, 박완서. 1995. 원적외선 가열과 실제. 한국원적외선응용연구소. pp77~112
6. 共乾施設低コスト化検討委員會. 2000. 共乾施設のてびき(補追版). pp73~77