

벼의 원적외선 건조특성에 관한 연구(III)

- 원적외선 건조기 성능시험 -

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

- Performance test of far infrared ray dryer -

김유호* 조영길* 조광환* 이선호* 김영민* 한충수** 금동혁*** 한종규****
Y.H.Kim Y.K.Cho K.W.Cho S.H.Lee Y.M.Kim C.S.Han D.H.Keum J.K.Han

1. 서론

원적외선건조는 열풍건조방법에 비하여 많은 장점을 가지고 있다. 원적외선은 수분이 있는 물체에 열을 가하거나 건조를 위하여 사용될 때 원적외선 파장에서 에너지가 발생된다. 에너지는 피건조물에 부딪치고, 관통하면서 방사에너지가 열로 변한다. 방사에너지의 침투두께는 피건조물 특성과 방사에너지 파장에 따라 달라진다. 피건조물이 원적외선에 노출될 때 집중적으로 가열되면서 열이 피건조물 내부로 침투되어 온도가 올라간다. 따라서 열풍건조방법이 비해 열전달효율이 높고, 피건조물을 보다 균일하게 가열하여 좋은 품질을 나타낸다.³⁾

최근에는 식품 및 농산물의 건조공정에 원적외선을 이용함으로써 20% 정도의 에너지절감 효과와 건조시간 단축 및 건조 균일화로 생산성 향상과 제품의 고부가가치화에 크게 기여하고 있다.⁴⁾

한편 일본에서는 2000년도에 건조기 생산업체 5개사가 공동으로 원적외선 곡물건조기를 개발하여 기존 열풍건조기와 건조속도, 건조에너지, 소음도, 식미평가 등에 대해 비교시험한 결과 건조속도 10% 단축, 건조에너지 10% 절감 등 모든 항목에서 우수하다고 평가하였다.⁶⁾

제1보에서는 원적외선 곡물건조기 시뮬레이터를 제작하여 건조특성시험을 실시하여 원적외선의 방사거리, 원적외선방사체의 길이를 결정하는 시험을 하였고, 제2보에서는 동일한 건조조건에서 원적외선 건조와 열풍건조방법으로 건조한 벼를 가공하여 이화학적 성분 및 품질평가를 비교분석 하였다.

본 보에서는 상용건조기를 설계·제작하여 건조중 열풍실의 온도분포, 소음도 등을 원적외선·열풍 복합열 건조기의 전반적인 성능을 열풍건조기와 비교시험 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

본 시작기의 성능시험에 사용한 공시재료는 화성시 수라청 RPC 관내에서 생산한 2002년산 추청벼를 사용하였다. 공시재료의 초기함수율은 20~24%(w.b.)의 범위였고, 시료는 당일 수확한 물벼를 시험구(원적외선건조기), 대비구(열풍건조기)로 나누어 각각 3톤씩 계량하여 시험하였다.

나. 시험장치 및 방법

(1) 시험장치

원적외선 건조시험에 사용한 시작기의 사진, 구조 및 제원을 각각 그림 1, 2와 표 1에 나타내었다. 시작기는 건조용량이 최대 3,800kg을 건조할 수 있는 크기로 설계·제작하였다. 건조기

상부는 투입되는 곡물이 고르게 떨어지도록 상부스크류를 설치하였고, 곡물순환은 수직형 승강기, 상부스크류, 배출회드, 하부스크류를 통과하면서 이루어지도록 하였다. 송풍량은 인버터를 사용하여 0~160m³/min범위에서 조절할 수 있도록 하였으며, 곡물순환속도 조절은 저속·고속으로 작업자가 선택할 수 있도록 하였다. 그림 3은 원적외선방사체에서의 열풍이동경로를 나타낸 것이다.



Fig. 1 Photo of far infrared ray grain dryer

그림에서 보는 바와 같이 버너가 점화하면 원적외선방사체의 표면이 가열되면서 원적외선이 발생하고 이때 반대쪽에서 작동하는 송풍기에 의해 열풍이 곡물을 통과하게 된다. 방사체의 열풍유동관을 통과한 배풍열은 외부에서 흡입되는 찬공기와 혼합되어 곡물통과 시에는 적절한 열풍온도를 유지하게 된다. 따라서 유효하는 곡물은 원적외선에 의해 복사열에 노출되고 배풍열에 의해 대류열 전달이 되면서 건조되는 원리이다. 방사체의 형태는 실린더형이고, 방사체표면과 열풍실의 거리는 2단계로 조절할 수 있도록 제작하였다. 방사체의 위쪽 주변에는 타공망으로 되었고, 아래쪽 주변에는 방사량을 높이기 위하여 일부 개방하였다. 대비구는 한성공업(주)에서 생산하고 있는 HST-38T 모델로 비교시험 하였다.

(2) 시험방법

(가) 온도분포

온도측정 위치는 템퍼링실 9점, 원적외선방사체 6점, 열풍실 21점, 건조실 18점, 버너입구 및 송풍기 출구 온·습도, 승강기 출구 등 57점을 자동온습도기록장치(D242, Yokogawa)를 사용하여 측정하였다.

각 지점의 측정온도는 실시간으로 Lap top에 입력되는 것을 파일로 저장한 후 분석하였다. 그림 4~6은 원적외선방사체 및 건조기 내부에 설치한 온도측정점을 나타낸 것이다.

타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 버너가 점화하면 원적외선방사체의 표면이 가열되면서 원적외선이 발생하고 이때 반대쪽에서 작동하는 송풍기에 의해 열풍이 곡물을 통과하게 된다. 방사체의 열풍유동관을 통과한 배풍열은 외부에서 흡입되는 찬공기와 혼합되어 곡물통과 시에는 적절한 열풍온도를 유지하게 된다.

따라서 유효하는 곡물은 원적외선에 의해

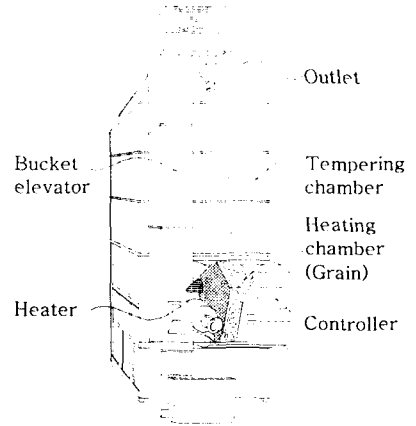


Fig. 2 Schematic of far infrared ray grain dryer

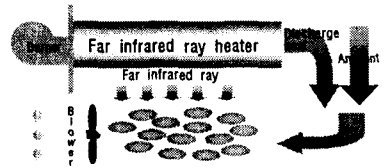


Fig. 3 Drying principle of far infrared ray drying method

Table 1 Specifications of the experimental apparatus

Items		Specification
Type		Cross flow
Size(L×W×H)mm		3,330×1,655×4,950
Capacity(kg)		3,800
Drying method		Far infrared ray + Heated air
Heating apparatus	Type	Gun type, 2stage
	Nozzle(ℓ/h)	4.16/2.08
	Fuel	Kerosene
Blower	Type	Inhale
	Air flow rate(CMM)	122
Heater	Type	Cylinder
	Size(∅×L)mm	310×1470, 1680
	Material	Fe ₂ O ₃ +MnO ₂
	Emissivity(%)	88(Range : 4~20 _{μm})

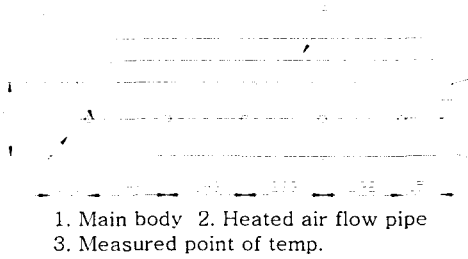


Fig. 4 Measured point of temperature on the surface of heater

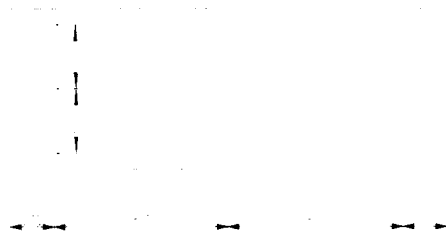


Fig. 5 Measured point of temperature in the drying chamber

(나) 함수율 및 건조에너지

건조에너지는 건조기와 연료탱크 사이에 유량계 (Model 202D, Contrec)를 설치하여 시간당 유량 및 누적 유량을 측정하였으며, 이것을 발열량으로 환산하고 곡물에서 제거된 수분의 양을 계산해서 물 1kg를 제거하는데 소요되는 열량으로 산출하였다.

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

(다) 소음도

소음도 측정위치는 버너쪽에서부터 1m 간격으로 0~5m까지 측정하였고, 높이는 바닥면에서 1m 위치에서 측정하였다. 그림 7은 소음도 측정점의 위치를 단면도로 나타낸 것이다.

3. 결과 및 고찰

가. 온도분포

(1) 원적외선방사체

그림 8은 조사거리 125mm, 열풍온도를 50℃에서 원적외선방사체 길이를 변화하여 원적외선 방사체 표면온도의 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 보는바와 같이 방사체 길이가 1,680mm일 때 보다 1,470mm일 때가 높게 나타났고, 안정적인 것으로 나타났다. 이 결과는 방사체 길이가 길어지면 온도변화 폭이 크게되어 건조성능에 영향을 미칠 뿐만 아니라 고품질 건조에 장해요인 될 것으로 사료된다.

그림 9는 원적외선방사체 표면온도에 영향이 미치지 않는 조사거리와 방사체 길이를 각각 125mm, 1,470mm로 설정하고 열풍실의 온도를 50, 60℃로 했을 때 방사체의 온도변화를 측정 한 것이다. 열풍온도를 50℃로 설정했을 때 방사체의 표면온도분포는 280~290℃을 유지하였고, 60℃일 때는 300℃ 부근에서 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 두 조건 모두에서 온도편차

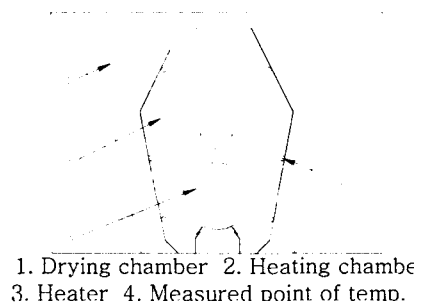


Fig. 6 Measured point of temperature in the heating chamber

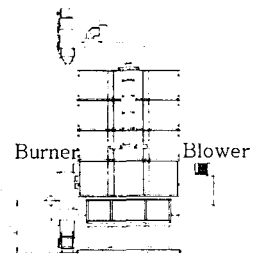


Fig. 7 Measured point of noise

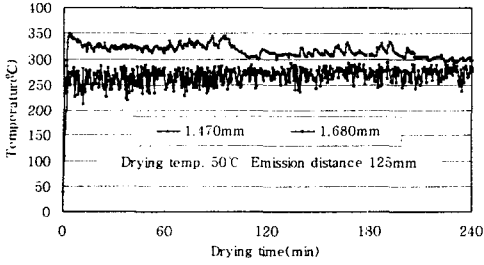


Fig. 8 Surface temperature of heater along length of heater at the drying temperature 50°C, emission distant 125mm.

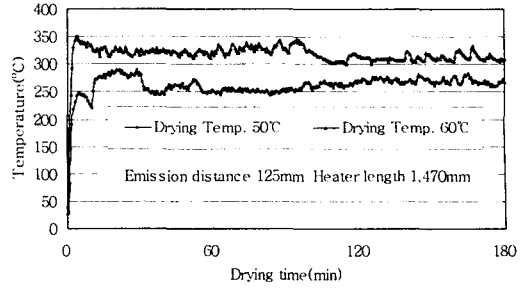


Fig. 9 Surface temperature of heater for the heated air temperature.

는 크게 나타나지 않아 균일건조가 가능한 것으로 판단되며, 곡물의 품질저하에 미치는 영향이 적은 것으로 사료된다.

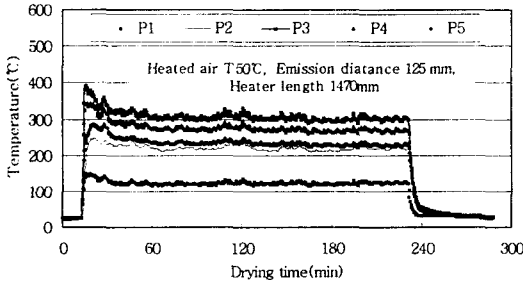


Fig. 10 Surface temperature of heater for the place of heater length

면온도가 버너의 근거리에서보다 원거리에서 온도가 높게 나타난 것은 원적외선방사체를 통과하는 열풍유동관이 버너 원거리에 위치하고 있어 버너에 불꽃이 점화되면서 열풍이 방사체 끝쪽에서 일시 정체되는 현상때문으로 생각된다.

(2) 건조실의 온도분포

그림 11은 열풍온도 50°C, 조사거리 119mm, 방사체 길이 1,470mm일 때 건조실 수직면 길이방향의 온도분포를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와같이 열풍공기가 열풍실에서 유입되는 하단부이 온도가 높게 나타났고, 버너쪽과 송풍기쪽의 온도차는 나타나지 않아 온도분포의 좌우대칭이 잘 되어 균일건조가 되는 것으로 판단된다.

그림 12에 나타낸 것은 같은 건조조건에서의 건조실의 수평면에 대한 온도 분포이다. 버너를 중심으로 좌우대칭으로 나타났고, 송풍기 쪽으로 갈수록 온도가 높게 분포되었으나, 그 차이는

그림 10은 조사거리와 방사체 길이를 각각 125mm, 1,470mm로 설정하고, 건조온도를 50°C로 했을 때 방사체 길이방향의 위치에 따라서 온도편차를 측정하는 것이다. 버너를 기점으로 해서 근거리에서부터 원거리까지 균등분할하여 5점의 온도를 측정하여 그 변화곡선을 분석한 결과 위치 3에서 온도가 가장 높았고, 계속해서 위치 4, 5, 2, 1순으로 나타났다. 위치 3에서 온도가 높게 나타난 것은 버너의 화염폭이 위치 3에서 가장 가까웠기 때문인 것으로 사료된다. 또한 방사체의 표

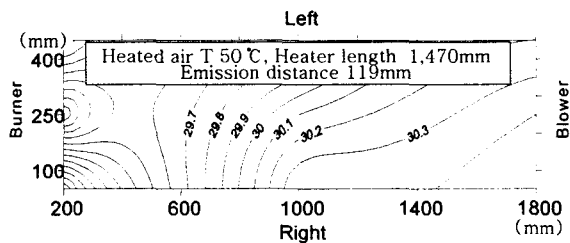


Fig. 11 Distribution of temperature in the horizontal view of drying chamber

0.6℃이내로 차이가 적었다. 본 시험으로 보아 건조시 불균일 건조현상은 나타나지 않을 것으로 사료된다.

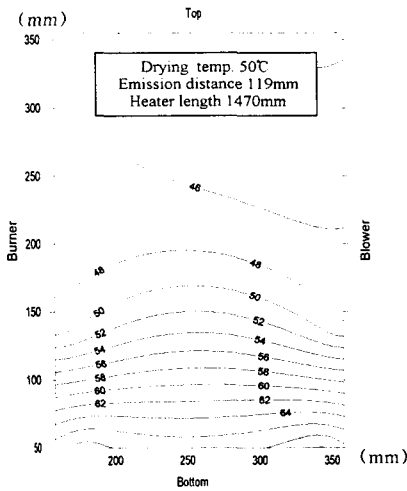


Fig. 13 Distribution of temperature in the width view of heating chamber

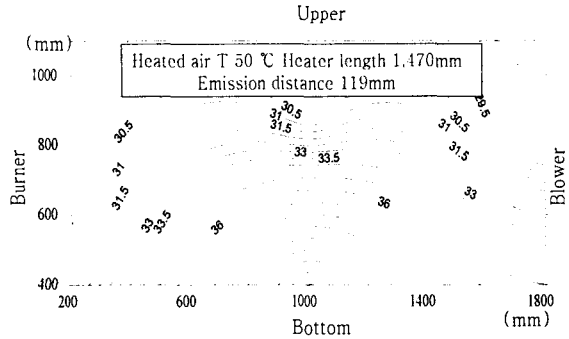


Fig. 12 Distribution of temperature in the vertical view of drying chamber

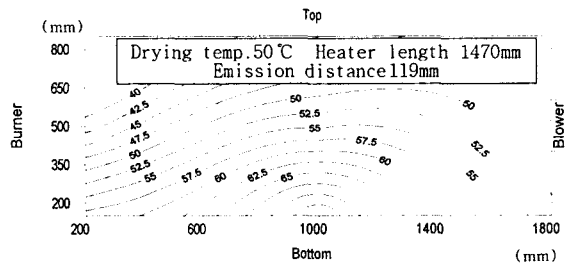


Fig. 14 Distribution of temperature in the length view of heating chamber

(3) 열풍실의 온도분포

그림 13은 열풍실의 온도분포를 나타낸 것으로서 바닥면에서 상부로 올라갈수록 낮은 온도 분포를 나타내고 있는 것은 상부에는 외부공기가 유입되면서 온도가 떨어지는 반면 하부에는 외부공기 유입이 적기 때문이다. 따라서 온도편차를 줄이기 위해서는 외부에서 유입되는 공기의 유동을 하단부로 유도해야 할 것이다. 그러나 상하부간의 온도차가 발생한다고 할지라도 곡물의 흐름방향이기 때문에 균일건조에는 영향을 미치지 않은 것으로 생각된다.

그림14는 열풍실 길이방향의 위치별 온도 분포를 나타낸 것이다. 하단부의 온도가 낮게 나타난 것은 열풍실의 횡단면에서와 같은 이유이다. 한편 버너쪽과 송풍기쪽의 온도편차는 나타나지 않아 균일건조를 기대할 수 있다.

나. 건조시간 및 건조에너지

열풍온도를 45℃로 설정하고 조사거리와 방사체길이를 각각 119, 1,470mm로 하여 비의 건조 성능시험을 실시하여 열풍건조기(대비구)와 비교시험한 결과를 표 2에 나타내었다. 시험구에서 건감률, 건조소요에너지가 각각 0.58, 470kcal/kg - water로 대비구보다 각각 건감률은 23% 높았고, 건조소요에너지는 2%가 절감되었다.

Table 2 Comparison of performance between the far infrared ray dryer(FIRD) and heated air dryer(HAD)

Condition (Heated air Temp.(°C)- Emission distance (mm)- Heater length(mm))	Performance				Consumption (kcal/kg-water)
	Initial MC (%wb)	Final MC (%wb)	Drying time (hr)	Drying rate (%wb/hr)	
FIRD 45-119-1470	20.6	15.7	8.5	0.58	470
HAD 45	20.4	15.7	10.0	0.47	478

다. 소음도

건조기에서 발생하는 소음을 대비구와 비교한 결과를 표 3에 나타내었다. 소음의 발생원인 버너쪽 근처에서는 대비구 94.12의 87% 수준이었으며, 거리가 멀어질수록 약간 감소하였으나 차이는 크지 않았다. 이것은 버너에서 멀어질수록 외부적인 요인이 소음에 영향을 미쳤기 때문인 것으로 생각된다. 한편 일상생활에서 소음으로 판단되는 기준은 70dB로서 시작기의 경우 5m 이상이 되면 소음공해가 적어질 것으로 생각된다.

Table 3 Comparison of noise level between FIRD and HAD
(Units : dB)

Distance(m) Item	From burner 0.3	1	2	3	4	5
FIRD	81.66	77.72	75.94	74.64	71.68	70.72
HAD	94.12	82.80	78.38	76.04	75.52	73.86

라. 경제성

표 4는 시작기와 대비구간의 경제성 분석 결과를 나타낸 것이다. 시작기의 구입가격이 20% 비싸기 때문에 시간당 고정비가 높았으나, 건조성능이 우수하여 총 건조비용이 69,350원/톤으로 대비구보다 14% 절감되는 것으로 나타났다. 또한 수치적인 분석외에도 원적외선이 인체에 주는 영향 등의 시너지 효과를 고려하면 생산자는 소득증대를 기하고, 소비자는 고품질 쌀을 구입할 수 있다는 만족감을 줄 것으로 생각된다.

Table 4 Comparison of economy between HAD and FIRD

Items	HAD	FIRD
Purchase price(won)	5,615,000	6,738,000
Durable period(year)	8	8
Using time(h)	240	240
Fixed capital per time(won/h)	4,913	5,896
Floating capital per time(won/h)	21,322	22,167
Drying time(h/3t)	12.8	10.3
Consumption per ton(won/t)	111,936	96,350
Index	100	86

- Waste price : 0, Interest rate : 5%/year
- Repair rate : 6%/year,
- Fuel cost(won/ℓ) : 381(Tax cut)
- Electrical cost : 36.1won/kW(Tax cut)
- Labor cost : 53,815won/day

4. 적 요

본 연구에서는 새로운 개념의 건조방법을 연구하여 곡물건조의 변화를 도모하고자 원적외선·열풍 복합열을 이용한 곡물건조기를 개발하게 되었다.

그 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 방사체길이가 1,680mm일 때 보다 1,470mm일 때가 방사체 표면온도가 높게 나타났고, 안정적인 것으로 나타났다. 열풍온도를 50℃로 설정했을 때 방사체의 표면온도분포는 280~290℃을 유지하였고, 60℃일 때는 300℃ 부근에서 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 두 조건 모두에서 온도편차는 크게 나타나지 않았으므로 균일건조가 이루어지는 것을 의미하며, 곡물의 품질저하에 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

나. 열풍온도 50℃, 조사거리 125mm, 방사체 길이 1,470mm에서 방사체 길이방향으로 위치에 따라서 온도편차를 측정했을 때 버너를 기점으로 해서 근거리에서부터 원거리까지 균등분할하여 5점의 온도를 측정하여 그 변화곡선을 분석한 결과 위치 3에서 온도가 높았고, 계속해서 위치 4, 5, 2, 1순으로 나타났다. 버너의 근거리에서보다 원거리에서 온도가 높게 나타

난 것은 원적외선방사체를 통과하는 열풍이 빠져나가도록 되어있는 열풍유동관이 버너 원 거리에 위치하고 있어 버너에 불꽃이 점화되면서 열풍이 방사체 끝쪽으로 유동되기 때문이다.

다. 건조실 수직면 길이방향의 온도는 열풍공기가 열풍실에서 유입되는 하단부이 온도가 높게 나타났고, 버너쪽과 송풍기쪽의 온도차는 나타나지 않아 온도분포의 좌우 대칭이 잘 되어 균일건조가 되는 것으로 판단된다. 이러한 현상은 건조실의 수평면에 대해서도 같은 현상이 나타났다.

라. 바닥면에서 상부로 올라갈수록 낮은 온도분포를 나타내고 있는 것은 상부에는 외부공기가 유입되면서 온도가 떨어지는 반면 하부에는 외부공기 유입이 적기 때문으로 사료된다. 또한 열풍실의 길이방향 위치별 온도 분포에서도 같은 현상으로 나타났고, 버너쪽과 송풍기쪽의 온도편차는 나타나지 않아 균일건조를 기대할 수 있다.

마. 열풍온도를 45℃로 설정하고 조사거리와 방사체길이를 각각 119, 1,470mm로 하여 벽의 건조성능시험을 열풍건조기(대비구)와 비교시험 결과 시험구에서 건감률, 건조소요에너지가 각각 0.58%(w.b.), 470kcal/kg - water로 대비구보다 각각 건감율은 23% 높았고, 건조소요에너지는 2%의 절감되었다.

바. 건조기에서 발생하는 소음은 버너쪽 근처에서는 대비구 94.12dB의 87%에 불과하였으나, 거리가 멀어질수록 차이는 크지 않았다. 이것은 버너에서 멀어질수록 외부적인 요인이 소음에 영향을 미쳤기 때문인 것으로 생각된다.

사. 시작기와 대비구간의 경제성에서 시작기의 구입가격이 20% 비싸기 때문에 시간당 고정비가 높았으나, 건조성능이 우수하여 건조비용이 69,350원/톤으로 대비구보다 14% 절감되는 것으로 나타났다.

인용문헌

1. 김유호, 조광환, 오성근, 조영길, 한충수, 1996, 원적외선 농산물 건조기 개발, 38(2) pp806~811
2. 농업기계화연구소, 2001, 농업기계 시험·검사 관계규정집(곡물건조기 시험방법)
3. 정해상 역, 1997, 원적외선공학, 겸지사, pp105~114
4. 한충수, 1995, 원적외선의 가열특성과 건조효과, 원적외선 가열·건조 심포지엄, pp14~37
5. 한충수, 박완서 역, 1995, 원적외선 이론과 실제, 한국원적외선응용연구소, pp77~112
6. 共乾施設低コスト化檢討委員會, 2000, 共乾施設のてびき(補追版), pp73~77
7. 松岡孝尙, 1990, 遠赤外線による籾の乾燥特性, 高知大學農學部, pp13~19
8. 戸次英二, 1991, 遠赤外線パネルヒータによるもみ乾燥, 農業機械學會誌 53(1), pp55~63