

곡물 건조용 원적외선 방사체의 특성

Characteristics of Far Infrared Heater for Grain Drying

이호필* 김유호** 한충수* 영광석* 조성찬* 이재석* 조영길** 최태섭***
정회원 정회원 정회원 정회원 정회원 정회원 정회원
H.P.Lee Y.H.Kim C.S.Han K.S.Yon S.C.Cho J.S.Lee Y.K.Cho T.S.Choi

1. 서론

농산물의 시장개방에 대응하기 위해서는 고품질의 쌀을 생산할 필요가 있다. 쌀의 품질과 가격 경쟁력 확보를 위해 품질저하 없이 고품질 쌀을 생산할 수 있는 건조시스템 개발이 필요하다.

국내외의 곡물건조 열원은 주로 열풍이 많이 이용되고 있으나 건조시간이 길고, 건조 중 고온의 열풍에 장시간 노출되므로 품질이 저하될 수 있다. 이에 따라 농산물의 고품질 건조 및 건조시간 단축을 위한 새로운 건조기술 개발이 요구되고 있고, 이에 저온제습건조, 마이크로파 건조, 원적외선 건조 기술 등의 보급을 위한 연구가 진행되고 있다.(한 등, 2001)

원적외선 건조기술은 기존의 방식에 비해 생산비가 저렴하고 건조속도가 빠르며 고품질 건조가 가능한 것으로 보고되고 있다.(한, 1990) (이 등, 1996)

따라서 본 연구에서는 방사율이 높고 내열성, 내충격성, 접착성 등이 강한 원적외선 방사 세라믹 코팅원료를 개발하고, 가격이 저렴하고 효율이 높으며 가열 면적이 넓은 곡물 건조용 원적외선 방사체의 특성을 규명하고자 한다.

2. 재료 및 방법

가. 원적외선 세라믹 코팅원료

(1) 공시재료

본 연구에 사용한 세라믹 재료는 전이원소산화물인 Fe_2O_3 , MnO_2 및 CuO 를 소결하여 분쇄한 후 사용하였고, 결합재를 적정 배합비로 혼합하여 코팅원료로 사용하였다. 한편 코팅시편은 SUS 304(100×100×2mm)로 만들어 샌딩처리 하였다.

(2) 실험방법

Fe_2O_3 와 MnO_2 및 CuO 를 적정 배합비로 혼합한 후 황토도가니에 300g을 넣고 전기로의 승온속도를 150℃/h로 하여 1060℃까지 승온시켜 3시간 소결한 후 불밀을 이용하여 습식분쇄하였다.(이 등, 1991) 세라믹 분말과 결합재의 배합비는 표 1과 같다.

세라믹 코팅원료를 코팅시편 표면에 스프레이 코팅하고 음건 후 실험용 건조기(WFO600ND,

* 충북대학교 농과대학 농업기계공학과

** 농촌진흥청 농업기계화연구소

*** 한국원적외선협회

EYELA, Japan)를 이용하여 상온(15~20℃)에서부터 200℃까지 승온시키며 2시간 동안 가열경화하였다. 코팅된 시편은 가열경화 후 기포발생 유무와 부착성 등을 평가하여 배합비를 선정하였다.

Table 1. Composition ratio of ceramic coating materials

| Sample No. | Ceramic | Binder |
|------------|---------|--------|
| i | 30 | 70 |
| ii | 40 | 60 |
| iii | 50 | 50 |

나. 원적외선 방사체 가열특성

(1) 실험장치

그림 1과 2는 실험에 사용된 방사체의 개략도를 나타낸 것이다. 원적외선 방사체의 연소관 직경은 200mm로 고정하였고, 길이는 1100, 1200, 1350mm로 가변 되도록 제작하였다.

원적외선 방사체(Far Infrared Heater ; 이후 FI heater로 표기함)의 열풍유동관은 형태에 따라 Rounding type과 Right angle type으로 하였고, 열풍유동관의 직경은 60.5, 76.3, 80.1, 101.6mm로 제작하였으며 방사체 연소관의 길이변화에 따라 가변 되도록 제작하였다. 제작된 원적외선 방사체는 샌딩 후 코팅하고 가열경화처리 하였다.

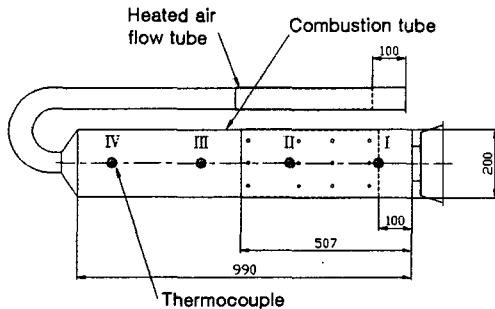


Fig. 1. Schematic diagram of FI heater (Rounding type)

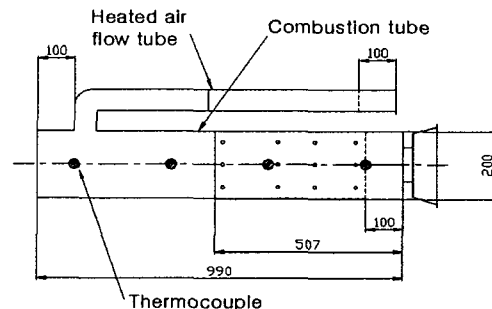


Fig. 2. Schematic diagram of FI heater (Right angle type)

방사체의 가열은 곡물 건조기용 버너(G8S, 신흥, Korea)를 사용하였으며, 설정온도를 제어할 수 있도록 컨트롤러를 장착하였다.

(2) 실험방법 및 측정항목

(가) 버너의 화염특성

버너의 화염특성 분석은 노즐(Hollow Type, Hago, USA)별 화염길이 및 폭을 측정하였으며, 노즐 유량은 0.5, 0.65, 0.85, 1.0USgal/h인 것을 사용하였고, 분무각은 각각 45°, 60°로 하여 실험하였다. 화염길이 및 폭은 3CCD 디지털 비디오 카메라(DCR-VX 1000, SONY, Japan)로 촬영하여 컴퓨터에 저장하였다. 화염 길이와 폭은 각 조건당 20개의 영상을 선정하여 픽셀 값을 mm로 환산한 후 그 평균값으로 나타내었다.

(나) 원적외선 방사체 표면온도 및 연료소비량

방사체 표면온도 측정은 버너 장착부로 부터 100mm 되는 곳을 I 지점으로 하고 버

너 장착부 반대쪽으로 부터 100mm 되는 곳을 IV지점으로 정하였으며, I 지점과 IV지점을 3 등분하는 곳을 각각 II지점과 III지점으로 정하였다.(그림 1 참조) 표면온도 측정은 열전대 (T-type)와 다점온도기록계(DA-100, YOKOGAWA, Japan)를 사용하여 10분 동안 측정하였고, 버너의 제어온도는 200℃이며 버너 설정온도 제어용 열전대는 II지점에 설치하였다.

연료소비량은 버너로 방사체를 가열한 후 10분 동안의 유량변화를 측정하여 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

가. 방사 세라믹 원료의 특성

표 2는 세라믹 코팅원료의 배합비에 따른 도장상태를 비교하여 나타낸 것이다. 표 2에서 보는 바와 같이 세라믹 코팅원료 i, iii의 경우 코팅과정 중 시편표면의 부착이 일부 불량한 부분이 나타났고, 가열경화 후에는 코팅표면에 기포가 발생하였다. 세라믹 코팅원료 ii는 코팅상태가 매우 양호하였고, 가열경화 후에도 기포가 발생하지 않았다. 따라서 세라믹 코팅원료의 배합비는 ii가 적절한 것으로 판단된다.

Table 2. Comparison of coating surface after ceramic coating

| Sample No. | Condition of surface for FI heater | |
|------------|------------------------------------|------------------------------|
| | adhesion after coating | after heat treatment at 200℃ |
| i | no good | occurrence bubbling |
| ii | good | good |
| iii | no good | occurrence bubbling |

나. 버너의 노즐별 화염길이 및 화염폭

그림 3은 노즐유량 및 분무각에 따른 버너의 화염길이 변화를 나타낸 것이다. 그림에 나타낸 바와 같이 노즐유량이 증가함에 따라 화염길이는 증가하는 경향을 나타내었으며, 분무각 45°의 경우 노즐유량이 증가함에 따라 버너 화염길이는 169mm에서 297mm로 증가하여 75.7% 증가하였다. 분무각 60°의 경우도 노즐유량이 증가함에 따라 화염길이는 172mm에서 283mm로 증가하여 64.5% 증가하였다.

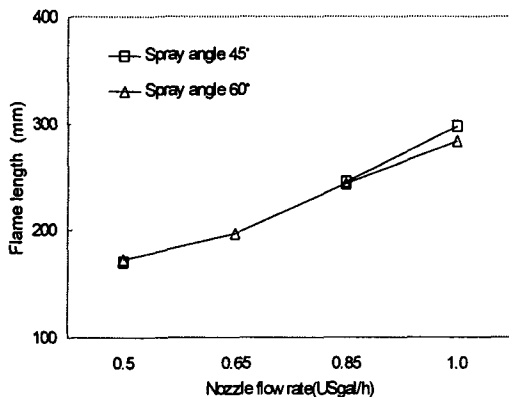


Fig. 3. Comparison of flame length by the nozzle flow rate and spray angle

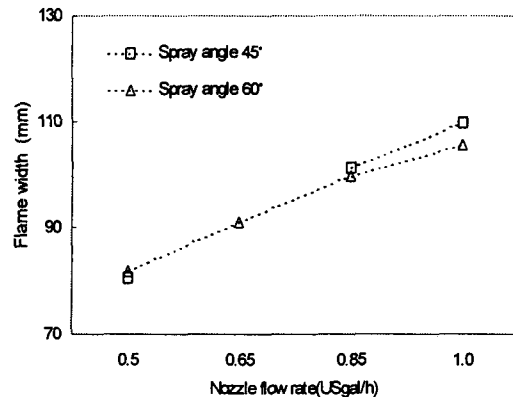


Fig. 4. Comparison of flame width by the nozzle flow rate and spray angle

그림 4는 노즐유량 및 분무각에 따른 노즐별 버너의 화염폭 변화를 나타낸 것으로 그림에서와 같이 노즐유량이 증가함에 따라 화염길이와 같이 화염폭도 증가였다. 분무각 45°의 경우 노즐유량이 증가함에 따라 버너 화염폭은 81mm에서 110mm로 증가하여 35.8% 증가하였다. 분무각 60°의 경우 노즐유량이 증가함에 따라 화염폭은 82mm에서 106mm로 증가하여 29.3% 증가하였다.

다. 원적외선 방사체 표면온도

방사체 가열시 위치별 표면온도 비교는 노즐유량 0.5, 0.65 0.85 1.0USgal/h, 방사체 길이 1100, 1200, 1350mm, 열풍유동관 직경 60.5, 76.3, 89.1, 101.6mm의 총 조합 수 96가지의 실험결과 중 표면 온도차가 비교적 작은 것을 선정하여 나타내었다.

그림 5, 6은 열풍유동관 직경 76.3mm, 노즐유량 0.65USgal/h, 방사체 길이가 각각 1200, 1350mm 인 rounding type 원적외선 방사체의 가열경과 시간에 따라 위치별 표면온도를 나타낸 것이다.

그림 5, 6은 방사체 길이가 각각 1200, 1350mm 인 경우 가열경과 시간에 따라 rounding type 방사체의 위치별 표면온도를 나타낸 것이다. 이때 방사체는 열풍유동관 직경 76.3mm, 노즐유량 0.65USgal/h이다.

그림 5와 6에서 보는 바와 같이 가열 5분 경과 후 방사체 길이 1200mm의 측정위치 I, II, III, IV의 표면온도는 각각 184.0~190.8℃, 197.5~204.0℃, 167.2~174.2℃, 202.5~207.7℃로 나타났고, 1350mm인 경우 189.7~195.8℃, 196.5~202.8℃, 168.4~175.9℃, 176.0~188.6℃로 나타났다. 가열 후 설정온도 200℃까지 도달하는 시간은 방사체 길이가 1200, 1350mm

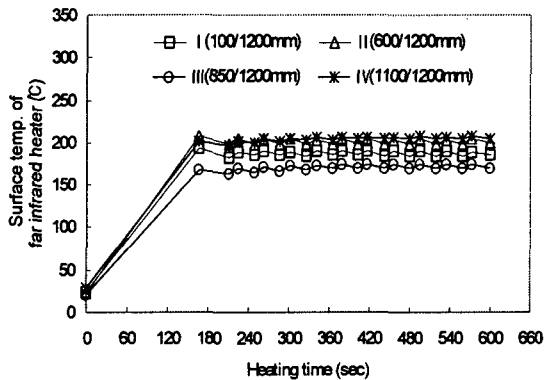


Fig. 5. Comparison of surface temperature of FI heater by heating time(rounding type, length of heater:1200mm)

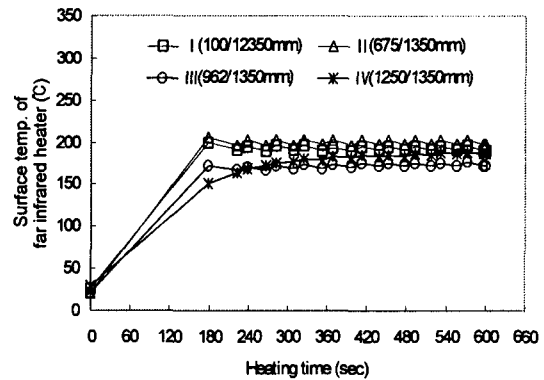


Fig. 6. Comparison of surface temperature of FI heater by heating time(rounding type, length of heater:1350mm)

일 때 각각 167, 179초로 나타났다.

가열 5분 경과 후 위치별 표면온도편차는 방사체 길이 1200mm에서 32.4~35.3℃, 1350mm에서 24.8~29.9℃로 나타나 방사체 위치별 표면온도편차는 방사체 길이가 1350mm인 것이 작은 것으로 나타났다.

그림 7 및 8은 Right angle type 방사체의 길이에 따른 표면온도 변화를 나타낸 것이다. 이때 방사체는 길이 1200, 1350mm, 열풍유동관 직경 89.1mm, 노즐유량 0.65USgal/h이다.

그림 7과 8에 나타냈듯이 1200, 1350mm인 경우 방사체 가열 5분 경과 후 최저·최고온도

의 범위는 각각 177.1~219.3℃, 170.6~207.4℃로 나타났다.

가열 후 설정온도 200℃까지 도달 시간은 방사체 길이가 1200, 1350mm 일 때 각각 207, 220초로 나타났고, 가열 5분 경과 후 위치별 표면온도편차는 방사체 길이 1200mm가 30.3~38.5℃로 나타났으며, 1350mm가 25.2~33.6℃로 나타나 방사체 위치별 표면온도편차는

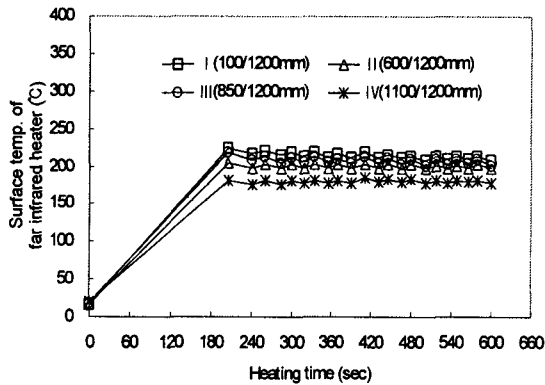


Fig. 7. Comparison of surface temperature of FI heater by heating time(right angle type, length of heater:1200mm)

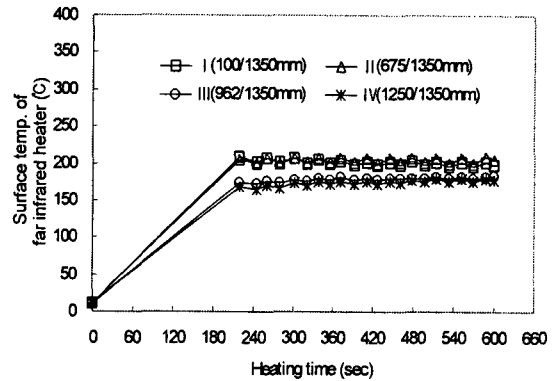


Fig. 8. Comparison of surface temperature of FI heater by heating time(right angle type, length of heater:1350mm)

Rounding type에서와 마찬가지로 방사체 길이가 1350mm인 것이 작은 것으로 나타났다.

또한 열풍유동관 직경에 따라 방사체 위치별 표면온도편차가 작은 조건은 Rounding type 인 경우 76.3mm, Right angle type은 89.1mm로 나타났다.

라. 연료소비량

그림 11은 노즐의 유량이 0.65USgal/h, 분무각이 60°, Right angle type인 원적외선 방사체의 길이 및 열풍유동관 직경에 따른 연료소비량을 나타낸 것이다. 그림 11에서 보는 바와 같이 연료소비량은 열풍유동관 직경이 클수록, 방사체 길이가 길수록 증가하는 경향을 나타내었다.

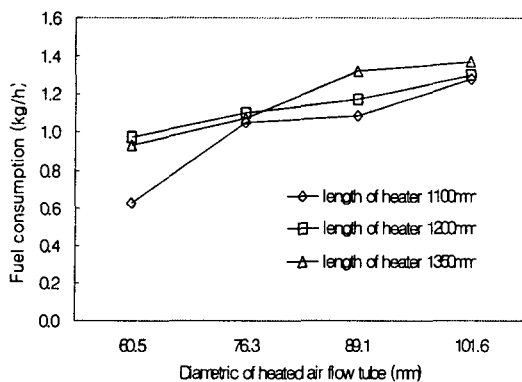


Fig. 11. Comparison of fuel consumption of FI heater by diameter of heated air flow tube at the right angle type

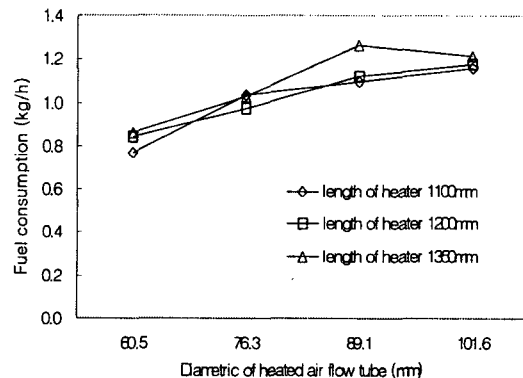


Fig. 12. Comparison of fuel consumption of FI heater by diameter of heated air flow tube at the rounding type

연료소비량이 낮은 순서는 방사체길이 1100mm 일 때 0.63~1.28kg/h, 다음이 1200mm와 1350mm인 경우로 각각 0.97~1.30kg/h, 0.93~1.37kg/h이었다.

그림 12에 Rounding type 방사체의 경우 노즐 유량과 분무각이 각각 0.65USgal/h, 60° 일 때 열풍유동관 직경별 연료소비량을 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 연료소비량은 열풍유동관 직경이 클수록, 방사체 길이가 길수록 높게 나타났다. Right angle type과 마찬가지로 방사체길이가 1100mm일 때 연료소비량이 약간 낮게 나타났다.

그림 11과 12에서 열풍유동관 직경이 크고 방사체 길이가 길수록 연료소비량이 증가하는 경향을 보이는 것은 방사체 길이가 길어지고 열풍유동관 직경이 커지면서 열풍유동관을 통한 배풍이 증가하여 연소관내 열풍 온도가 상대적으로 떨어지기 때문이라 판단된다.

4. 요약 및 결론

쌀 소비량은 생활 수준 향상과 외식 및 식품 산업의 발달로 감소하고, 고품질 쌀을 요구하는 성향이 높아지고 있다. 현재, 고품질 쌀을 생산할 수 있는 기술과 제반 요건은 구비되어 있으나, 수확 후 건조·저장 중에 쌀의 품질이 저하된다. 특히 건조 중 품질 저하는 고온 건조에 의한 동할 발생 및 과건조가 주요 원인이다. 이를 해결하기 위해 원적외선 건조 시스템에 관한 연구가 진행 중이다.

본 연구에서는 방사율이 높고, 접착성 및 내열성 등이 강한 곡물 건조기용 방사체 코팅원료를 개발하고, 이 원료를 원적외선 방사체에 코팅한 후 방사체의 형태와 크기에 따라 표면 온도 분포 및 연료 소비량 등을 측정 분석하여 방사체의 특성과 적정 조건을 규명하고자 하였다.

연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 세라믹 코팅원료의 배합비는 세라믹분말 40%와 결합재 60%가 접착력과 가열경화 후 표면이 양호한 것으로 나타났다.

(2) 노즐의 유량 및 분무각에 따른 버너의 화염길이 및 폭은 노즐유량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다.

(3) 방사체 위치별 표면온도편차는 방사체 길이가 1350mm인 것이 작은 것으로 나타났고, 열풍유동관 직경이 Rounding type의 경우 76.3mm, Right angle type의 경우 89.1mm일 때 표면 온도편차가 적었다.

(4) 연료소비량은 열풍유동관 직경이 클수록, 방사체 길이가 길수록 증가하는 경향을 나타내었고, Right angle type이 Rounding type에 비하여 연료소비량이 약간 높은 것으로 나타났다.

5. 참고문헌

1. 한충수, 조성찬. 2001. 원적외선의 가열 및 건조특성. 응용미약자기에너지학회 10차 학술대회 : 29~39
2. 韓忠洙. 1990. 遠赤外線による農産物の乾燥に関する研究. 博士學位論文 日本北海道大學
3. 이귀현. 1996. 원적외선 및 열풍건조에 의한 처커리 뿌리의 건조 특성. 한국농업기계학회 96년도 학술발표대회 논문집 : 90~95
4. 이종민, 박종욱, 최태섭. 1991. 전이원소 산화물의 온도변화에 따른 원적외선 방사특성. 한국조명전기설비학회 91년 추계학술발표회논문집 : 18~22