

건조시간 예측프로그램을 이용한 미곡종합처리장용 곡물시료건조기의 개발

Development of Cereal Sample Dryer of Rice Processing Complex Using Predicting Program of Drying Time

정 훈*	윤홍선*	김유호*	조광환*	조영길*	박경규**
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
H.Jeong	H.S.Yun	Y.H.Kim	K.H.Cho	Y.K.Cho	K.K.Park

1. 서론

최근 벼 수확 후 처리에 있어서 노력절감, 손실방지 및 고품질미 생산을 위해 미곡종합처리장이 확대 보급되고 있으며, 96년 까지 전국에 146여개소가 설치되었고, 2000년까지 400개소가 설치될 계획이다. 특히 UR 농산물협상 타결에 따라 미곡의 국제경쟁력을 높이는 데 주도적 역할을 할 수 있다는 점에서 이 시설의 필요성이 그 어느 때보다 강조되고 있다.

미곡종합처리장의 효율적인 운영을 위해서는 각 농가에서 반입된 물벼의 품위를 객관적으로 검사하여 개인 몫을 공정하게 결정할 수 있는 작업이 필요하다. 이러한 작업을 공정하게 하기 위해서는 검사하려 하는 벼 시료를 동등한 조건하에서 일정 함수율 까지 건조시키는 시료용 건조기가 필요하다.

현재 개발된 시료건조기는 일본산 전기용량식 시료건조기와 수동타이머식 시료건조기가 있다. 전기용량식은 건조실별로 설치된 전기용량식 수분센서와 마이컴에 의한 연속 수분측정으로 건조종료를 제어하는 방식으로 취급성면에서는 편리하나, 수분센서의 정밀성이 떨어지고, 가격이 고가인 단점이 있다. 또 수동타이머식은 건조실별로 설치된 타이머의 인위적 조절에 의해 건조종료를 제어하는 방식으로 가격은 저렴하나, 건조종료 예측 정밀도의 신뢰성이 떨어지고, 취급이 불편한 단점이 있다. 이러한 정밀도 문제는 농민과의 산물벼 가격 결정에서 불신을 받을 수 있고 미곡종합처리장의 운영 효율이 떨어져 경제적 손실을 가져온다. 따라서 본 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램에 의해 건조종료 시간을 예측하고, 건조종료를 자동으로 제어하는 곡물시료건조기를 개발하여 우리 나라의 미곡종합 처리장에서의 실제 이용가능성을 검토하였다.

* 농촌진흥청 농업기계화연구소

** 경북대학교 농업기계공학과

2. 재료 및 방법

가. 건조시간예측에 이용된 건조모델

건조시간 예측 시뮬레이션 프로그램에 사용된 건조모델은 고정층 건조모델(4Equations P.D.E Model)이며, C언어로 작성하였다. 이 프로그램의 1차 목적은 곡물시료건조기의 적정 퇴적고와 송풍량을 구명하는 것이고, 2차 목적은 곡물시료건조기의 실행 프로그램에 포함되어 비 시료의 건조종료 시간을 예측하는 것이다. 이 프로그램에 사용된 박충건조 모델은 Henderson Model 이며, 사용한 박충건조 상수(박,1994)는 다음과 같다.

$$MR = A \exp(-Kt)$$

$$A = 0.92968$$

$$K = 0.16959 - 0.00544T + 0.24273RH + 0.00017T^2 + 0.04950RH^2 - 0.01072T \times RH$$

여기서, MR : 함수율비, A, K : 상수, T : 건조온도, RH : 상대습도

나. 건조모델 검증시험

시뮬레이션 프로그램의 주요 입력 자료는 ① 비의 초기함수율, ② 비의 최종함수율, ③ 퇴적고, ④ 풍량비, ⑤ 비의 초기온도, ⑥ 외기 건조온도, ⑦ 외기 상대습도, ⑧ 건조온도, ⑨ 분할 퇴적고 간격 등이며, 출력자료는 ① 각 시간당 깊이별 함수율, ② 최종 함수율까지의 건조시간, ③ 건감율, ④ 상하층 함수율차 등이다.

건조시간 예측 시뮬레이션 프로그램을 곡물시료건조기에 적용하려면, 이 프로그램의 예측 정밀성이 충분한지를 검증해야 한다. 따라서, 간단한 건조실험장치를 그림 1과 같이 제작하여 건조실험을 한 후, 실험치와 시뮬레이션 예측치를 비교분석 하였다.

본 실험에 사용된 시료는 '93년 가을에 수원에서 수확된 일품벼와 화성벼이며, 포장에서 바로 수확한 물벼를 밀봉하여 냉장 보관하여 사용하였다.

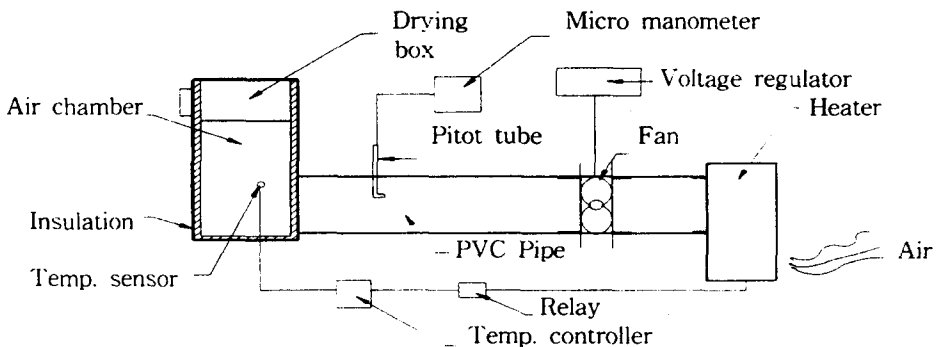


Fig 1. Schematic diagram of experimental drying apparatus

실험은 3회 반복 실시하였으며, 각 실험마다 시료퇴적고, 초기함수율, 풍량비, 건조온도를 달리하여 실험하였다. 실험의 주요 측정항목으로는 건조시간별 상, 중, 하층의 함수율이며, 시간별로 시료를 채취하여 단립수분계(CTR800)로 함수율을 측정하였다.

다. 곡물시료건조기의 설계요인 구명시험

곡물시료건조기의 적정 퇴적고와 풍량비를 구명하기 위해, 시뮬레이션 프로그램에서 퇴적고와 풍량비를 변화시켜서 15%,w.b. 함수율까지의 상하층 함수율차와 건감율을 조사하였다. 여기서, 시험조건은 시료 초기함수율이 25%,w.b, 외기 건조온도는 15℃, 외기 상대습도는 70%, 건조온도는 30℃이었다.

라. 곡물시료건조기의 설계 및 제작

1) 시작기 제작

제작한 곡물시료건조기는 전기히터 가온방법을 사용하여 50개의 건조실이 공동으로 가열

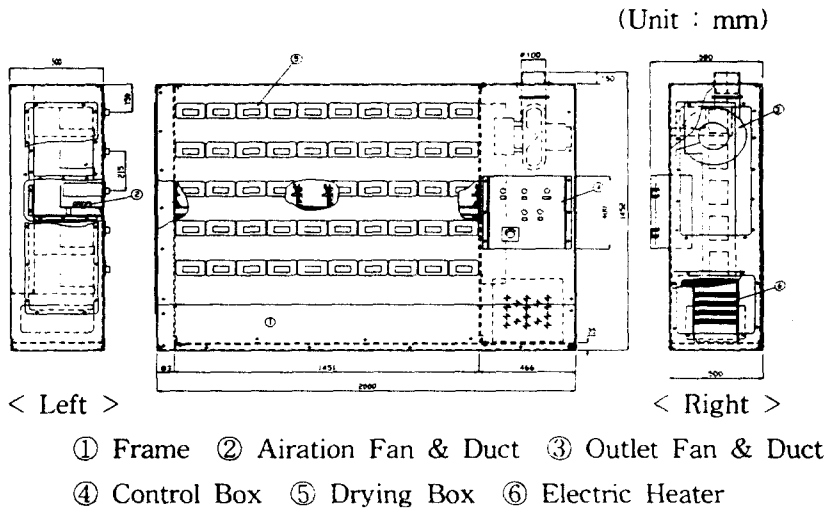


Fig 2. Details of cereal sample dryer

되고, 각 건조실마다 부착된 송풍팬에 의해 습기가 제거되며, 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 건조종료 시간 예측과 건조종료가 자동으로 제어되도록 하였다. 곡물시료건조기의 구조를 그림 2에 나타내었다. 곡물시료건조기의 50개 송풍팬을 컴퓨터로 ON/OFF제어하기 위해 출력 인터페이스카드와 릴레이카드를 제작하였으며, 실행프로그램을 베타 건조종료시간 예측 시뮬레이션 프로그램부와 건조종료 제어프로그램부로 나누어 구성하여 건조종료를 제어하였다. 컴퓨터는 IBM386컴퓨터를 사용하였으며, 송풍공기의 온도차를 줄이기위해 온도조절기는 PID제어가 가능한 제품을 사용하였다.

2) 성능시험

성능시험의 실험재료는 95년 가을에 경기도 수원에서 수확한 화성벼이며 물벼를 밀봉해서 5℃의 냉장고에 저장후 실험에 사용하였다. 한 시료구에 투입되는 시료의 양은 400g로 하였으며, 시료를 철망으로 분리하여 상하층 함수율을 측정하였다. 함수율 측정기는 단립수분계를 사용하였다. 실험은 5회 반복 실시하였으며, 건조조건은 퇴적고 3cm, 풍량비 12CMM/m², 건조온도 30℃로 하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 건조모델 검증시험

건조시간 예측 시뮬레이션 프로그램을 곡물시료건조기에 적용하기위해서 이 프로그램의 적용가능여부를 판단하기 위해 검증시험을 실시한 결과 표 1과 같이 나타났다.

Table 1. Result of examination of simulation program

No. of sample	Depth of sample cm	Initial MC %w.b.	Absolute humidity kg/kg	Airflow CMM/m ²	Air temp. ℃	Difference of final MC %w.b.
1	5	22.6	0.007392	10	25	- 0.32
2	6	23.0	0.004759	9	22	+ 0.16
3	4	25.4	0.005808	8	40	- 0.06
Average	± 0.18

표에서 최종함수율은 실험치에서 시뮬레이션 예측치의 값을 빼 값이며, 최종함수율차가 평균 ±0.18%로 나타나 시뮬레이션 프로그램을

※ Difference of last MC : Expremental data - predicted data of final MC

곡물 시료건조기에 적용이 가능한 것으로 판단되었다.

나. 곡물시료건조기 설계요인 구명시험

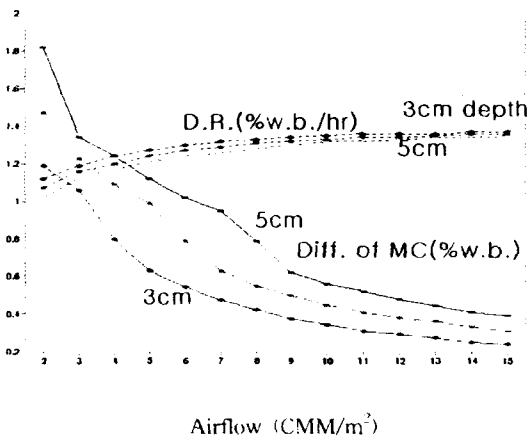


Fig 3. MC difference and drying rate between top and bottom layer by depth and airflow

곡물시료건조기의 적정 퇴적고와 풍량비를 구하기 위해, 시뮬레이션 프로그램에서 퇴적고와 풍량비를 변화시켜서 함수율이 15%,w.b.가 될 때까지 건조시킨 후 상하층 함수율차와 건감율을 조사하였으며, 그 결과를 그림 3에 나타내었다.

결과를 분석해 보면, 풍량비가 증가함에 따라 건감율과 상하층 함수율차가 일정하게 수렴하는 것을 알 수 있다. 또 건감율은 퇴적고와 풍량비에 크게 영향을 받지 않고, 상하층 함수율차는 퇴적고가 얇을 수록, 풍량비가 클수록, 작은 값을

나타내고 있다. 따라서 적정 퇴적고는 3~4cm가 적당하다고 판단되며, 적정 풍량은 상하층 함수율차를 0.5%,w.b.이하의 기준으로 할 때 3cm 퇴적고에서 6.5CMM/m²이상이 적절한 것으로 판단된다.

다. 곡물시료건조기 성능시험

곡물시료건조기의 성능시험은 건조시간 예측 시뮬레이션 프로그램에 의해 예측된 건조시간이 얼마나 정확한지 조사해 보는 것과 건조가 얼마나 균일하게 이루어 졌는지를 조사해 보는 것이다. 표 2에 성능시험의 결과를 나타냈다.

Table 2. Result of Performance Test

No.	Initial MC %w.b.	Absolute humidity kg/kg	Drying rate %w.b./hr	Average MC ¹⁾ %w.b.	Diff. of MC ²⁾ %w.b.
1	24.0	0.00598	1.07	15.20	0.50
2	22.6	0.00614	1.23	15.20	0.60
3	22.0	0.00840	1.09	15.45	0.47
4	21.9	0.00725	1.24	15.43	0.30
5	20.5	0.00543	1.02	14.70	0.44
Av.	.	.	1.13	15.20	0.46

성능시험에서의 건조 조건은 퇴적고 3cm, 풍량비 12CMM/m², 건조온도 30℃이었다. 표에서 알 수 있듯이 건조종료시 평균 함수율의 5회 평균값이 15.2%w.b.로 나타나 건조가 균일하게 되었다고 판단된다.

- 1) Average MC : Average moisture content of drying completion
- 2) Diff. of MC : Difference of moisture content of top and bottom layer

동할미 발생율은 22%w.b.에서 15%w.b.까지 건조되는 동안 100립씩 조사한 결과 평균 1.5%의 발생율을 나타냈다.

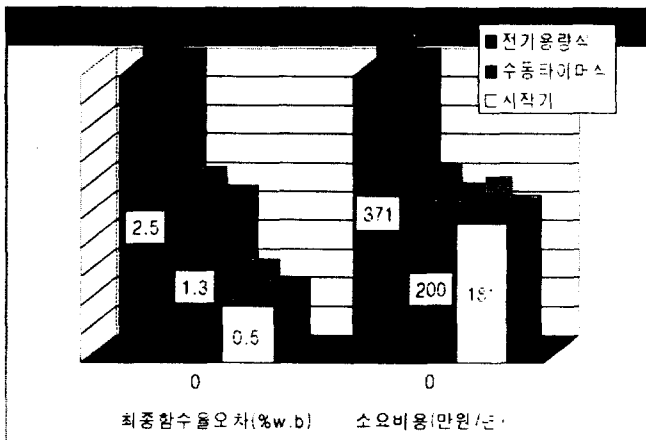


Fig 4. Comparison of Performance

96년도 10월에 경기 용인 이동농협 미곡종합처리장에 있는 일제 수동타이어스 시료건조기와 전북 김제 진봉농협 미곡종합처리장에 있는 일제 전기용량식 시료건조기와 개발된 곡물 시료건조기의 비교시험을 해본 결과 그림 4와 같이 최종함수율 오차와 소요비용면에서 새로 개발된 곡물 시료건조기의 성능이 우수한 것으로 나타났다.

4. 결론 및 요약

본 연구는 미곡종합처리장용으로 건조시간 예측프로그램을 이용해서 건조종료를 제어할 수 있는 시료건조기를 개발하는 것으로, 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 건조시간 예측 시뮬레이션 프로그램의 정밀도를 검증하기 위해서 건조실험장치를 제작하여 건조시간 예측 성능시험을 실시한 결과 건조실험치와 시뮬레이션 예측치와의 최종함수를 평균 오차가 $\pm 0.18\%w.b.$ 로 나타나서 시뮬레이션 프로그램의 곡물시료건조기에 적용이 가능한 것으로 판단된다.
2. 시뮬레이션 프로그램에 의해 적정 퇴적고와 풍량비를 구명한 결과 적정 퇴적고는 3~4cm, 적정 풍량비는 3cm퇴적고일 경우 상하층 함수율이 $0.5\%w.b.$ 의 범위에서는 $6.5CMM/m^2$ 이상, $1\%w.b.$ 의 범위에서는 $3CMM/m^2$ 이상으로 나타났다.
3. 곡물시료건조기는 전기히터 가온방법을 사용하여 50개의 건조실이 공동으로 가열되고, 각 건조실마다 부착된 송풍팬에 의해 수분이 제거되며, 컴퓨터 프로그램에 의해 건조종료시간 예측과 건조종료가 자동으로 제어되도록 하였다.
4. 곡물시료건조기의 성능시험 결과 건감율은 $1.13\%w.b./hr$ 로 나타났고, 건조종료시 평균 함수율은 $15.2\%w.b.$, 상하층 함수율차는 $0.46\%w.b.$ 로 나타나 건조정밀도와 건조균일도가 양호하다고 판단된다.
5. 타기종과의 비교시험을 해 본 결과 작업 정밀도 및 경제성이 우수한 것으로 나타나 RPC에서 품위판정하는데 있어서 실제 이용가능성이 높은 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. 금동혁 : 1986, 벼 건조과정 분석에 필요한 자료 및 관련식, 한국농업기계학회지 11(2):92~102.
2. 금동혁, 김재열 : 1991, 시뮬레이션에 의한 산물 저장 벼의 온도, 함수율 및 품질변화의 예측, 한국농업기계학회지 16(1):49~59.
3. 박경규 외 : 1990, 농산가공기계학, 향문사.
4. 박춘우 : 1994, 벼와 보리의 박층건조방정식에 관한 연구, 석사학위논문, 성균관대학교.
5. 龜岡孝治 : 1988, もみの薄層乾燥特性(第1報), 日本農業機械學會誌 50(3):69~76.
6. 村田敏 外 : 1975, 薄層もみの熱風乾燥に関する一實驗式, 日本農業機械學會誌 37(3):331~337.
7. C. Y. Wang and R. Paul Singh : 1978, A Single Layer Drying Equation for Rough Rice, ASAE paper No.78~3001.
8. V. K. Jindal and T.J. Siebenmorgen : 1994, Simulation of Low Temperature Rough Rice Drying and Rewetting in Shallow Beds, Trans. of the ASAE 37(3):863~867.