

상온통풍 순환식의 저장형 벼 건조기 개발

Development of a Natural Air Dryer Installed a Grain Circulation System

윤 흥 선*	조 광 환*	정 훈*	오 병 기*	한 재 정**
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
H.S.Yun	K.H.Cho	H.Chung	B.G.OH	J.C.Han

1. 서론

우리나라 벼 농사의 기계화는 주요 농작업의 기계화율이 98%에 달하는 등 상당한 수준까지 진전되었으나 수확 후 처리의 기계화는 건조작업 기계화율이 36% 밖에 되지않는 등 아직도 미흡한 수준에 머무르고 있다. 그러나 그 동안 벼 수확 후 처리작업의 생력 기계화를 위한 많은 시도와 변화가 있었던 것은 사실이며, '90년대에 들어서서 미곡종합처리장이 설치되기 시작하여 앞으로 2004년 까지 400개소가 설치될 예정이다. 그러나 미곡종합처리장이 목표 대로 설치된다 하더라도 이는 전체 벼 생산량의 40% 밖에 소화할 수 없으며 나머지 60%는 농가 단위에서 처리되어야 하는 실정이다. 한편 이미 설치된 미곡종합처리장의 이용에 있어서도 물벼가 수확기에 집중적으로 반입되어 이를 처리할 수 있는 시설의 부족으로 신속한 처리가 이루어지지 못하여 양적·질적 손실을 초래하고 있다.

이러한 문제의 해결을 위해서는 농가 단위에서 사용하면서 벼 수확 후 처리작업을 생력화하고 아울러 양적·질적 손실도 최소화할 수 있는 기계·장치의 보급이 필요하다. 농가에서 사용되는 벼의 건조방법으로는 천일건조, 개랑곳간 등을 이용한 상온통풍 저장건조, 순환식 곡물 건조기를 이용한 열풍건조 등이 있다. 그 중에서 상온통풍 저장건조는 우리나라의 벼 수확 기간 중의 기상조건이 상온통풍 건조에 아주 적합하므로 이를 이용함으로써 열풍건조에 소요되는 화석 연료를 절감하는 것이 가능하고, 또한 곡물 빈에 곡물을 저장하면서 건조를 수행하고 저장 시설로도 겸용하므로 시설비가 저렴하고 구조가 간단한 등의 잇점이 있어 농가 단위에서의 이용에 매우 유리하다. 그러나 대부분의 곡물 빈에서는 곡물을 건조실 내에 정치시켜 놓고 건조를 행하므로 곡물의 퇴적 높이가 기준치 보다 높으면 하부는 빨리 건조되어 과건되고 상부는 덜 건조되는 건조 불균일이 생기게 되고, 이때 곡물의 초기 함수율이 과도하게 높으면 상부의 곡물은 부패되고, 하부의 곡물은 과건에 의해 썩음이 많이 발생되고 미질이 저하되는 등의 심각한 손상을 입을 수도 있는 단점이 있다. 또한 개랑곳간과

* 농촌진흥청 농업기계화연구소 가공기계과

** 신일엔지니어링

같은 장치에서는 곡물의 입·출고 작업을 인력에 의존하고 있어 노동력 투입이 과다하고, 입·출고용 기계장치의 부착이 어려우며 설치하더라도 비용이 많이 소요되는 문제가 있다.

따라서 농가에서의 벼 수확 후 처리작업을 생력화하고 아울러 양적·질적 손실도 최소화 하기 위해서는 상온통풍 저장건조 장치에 있어서 제기되는 문제점을 해결하기 위한 연구가 긴요한 실정으로, 이에따른 본 연구의 구체적인 목적은 다음과 같다.

1. 곡물의 함수율이나 퇴적 높이에 관계없이 균일한 건조가 가능하고, 또 곡물의 투입과 배출을 기계화하여 노동력을 절감할 수 있는 저장겸용의 상온통풍 순환식 건조장치를 개발하고,
2. 개발된 시작기를 사용하여 곡물을 건조, 저장할 때의 곡물의 함수율과 품질변화 및 소오 에너지를 측정·분석하여 시작기의 실용성을 검증한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시작기의 제작

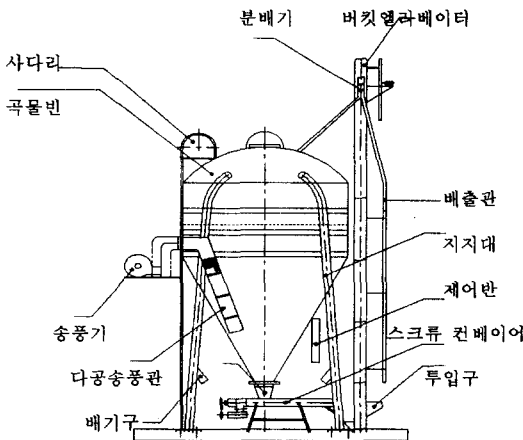


Fig.1. Schematic diagram of the prototype.

제작된 시작기의 구조는 그림1과 같다.

2.1.1. 곡물 빈

곡물 빈은 배출에 별도의 오거나 컨베이어 장치가 필요없이 중력에 의해 배출할 수 있도록 호퍼형으로 제작하였으며, 곡물 빈의 재질은 내구성이 우수하면서 제작비가 저렴 하도록 F.R.P를 사용하여 제작하였다. 호퍼 의 각도는 60° 이었는데 이는 사료 저장용으로 생산되고 있는 기존의 제품을 그대로 사용하였기 때문이며, 실제 공급 시에는 호퍼 각을 벼의 안식각을 고려하여 좀 더 작게할 필요가 있다.

2.1.2. 곡물 순환장치

곡물 빈에서 배출된 곡물은 스크류 컨베이어와 버킷 엘리베이터에 의해 다시 곡물 빈의 상부로 순환시킬 수 있으며, 버킷 엘리베이터의 상단에 설치된 분배기를 조작하여 배출 작업에도 사용이 가능하도록 제작하였다. 스크류 컨베이어와 버킷 엘리베이터의 반송능력은 시간 당 약 2톤이며, 곡물 빈의 하부에는 배출량 조절 게이트를 설치하여 순환장치의 반송 성능이 균형을 이루지 못할 경우에 발생될 수 있는 기계의 손상을 방지할 수 있도록 하였다.

2.1.3. 송풍장치

상온통풍 건조를 위해 곡물 빈의 내부에는 원통형의 다공 송풍관을 설치하고 외부의 송풍기

와 직결하도록 구성하였다. 송풍기는 원심식을 사용하였으며, 소요 풍량과 정압은 금('97) 등이 제시한 기존의 연구결과³⁾를 이용하여 결정하였는데, 시작기에 사용된 송풍기는 풍량 45 cmm, 정압 74mm.Aq의 것이다. 다공 송풍관에는 직경 1.8mm의 통기구를 개구비 33%로 타공하였다.

2.2. 공시재료

시작기의 성능시험은 1997년 10월 19일부터 경기도 용인군 남사면에서 실시하였으며, 시험에 사용된 벼는 용인군 내의 일반농가에서 재배한 추정벼였다.

2.3. 성능시험 및 측정방법

수확된 물벼는 무게를 계량하고 시료를 채취한 후 빈에 투입되었으며 투입 총량은 6톤이었다. 건조기간 동안의 송풍기의 가동은 오전 10시부터 오후 5시 까지로 하였으며, 곡물의 순환은 하루 건조 후 다음 날 오전 9시 부터 10시 사이에 실시하여 약 2톤의 벼를 하부에서 상부로 순환시켰다. 건조는 함수율이 약 15%에 도달했을 때 종료시켰으며, 건조 후에도 그대로 저장하여 함수율과 품질변화를 측정하였다. 시료의 채취는 오후 5시에 실시하였고, 곡물 빈을 상, 중, 하부로 나누어 각 부위의 벽면쪽과 중앙쪽에서 각각 1점 씩 총 6점의 시료를 채취하여 함수율 측정과 품질검사에 사용하였다. 함수율은 단립수분계(SHIZUOKA, GTR-800E)를 사용하여 측정하였고, 품질검사는 품질판정기(Kett, RN-500)를 사용하여 단백질, 전분 및 지방산의 함량과 식미지수를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

시작기를 사용하여 벼를 건조, 저장했을 때의 건조성능과 에너지 소모량, 저장 중 함수율 변화 및 품질 변화를 측정하였다.

3.1. 건조성능

표1은 건조기간 중의 벼의 함수율 변화와 기상조건을 나타낸 것이다. 평균 함수율 20%의 벼를 평균 16% 까지 건조시키는데 약 3일이 소요되어 하루 평균 약 1.3%씩 건조되었으며, 건조 종료 시점에서 중앙층의 함수율이 약 17% 정도로 다른 층에 비하여 약간 높게 나타났는데 이는 건조 속도가 예상치에 비해 높게 나타나므로써 상대적으로 계획된 곡물의 순환량이 적어서 완전한 순환이 이루어지지 않은데서 기인된 것으로 순환량을 늘리면 건조에 문제가 없을 것으로 판단되었으며, 곡물을 정치상태에서 건조시키는 기존의 상온통풍 저장 건조에 비하여 건조 균일도가 우수한 것으로 나타났다. 건조기간 동안의 평균 기온과 상대습도는 각각 20~24℃와 40~48%로 매우 좋은 기상조건으로 판단되었다.

3.2. 건조 소요 에너지

표2은 건조에 소요되는 전력량과 건조 에너지 효율을 나타낸 것이다. 건조 에너지 효율은 240.8 kJ/kg으로 일반적인 상온통풍 건조(1000~2000kJ/kg)⁴⁾ 보다 상당히 낮은 값을 나타내어 에너지 절감 효과가 높은 것으로 나타났다.

3.3. 저장 중 함수율 변화

표3은 건조된 벼를 연속하여 저장했을 때의 함수율 변화를 나타낸 것이다. 건조 종료
Table 1. Change of moisture content and climate condition during drying period
(unit : % w.b.)

Date & Time		10.19(20:00)	10.20(17:00)	10.21(17:00)	10.22(17:00)	
Measuring Point	Top	Surface	20	18.0	17.9	15.1
		Center		17.2	16.4	15.0
	Middle	Surface		18.1	17.9	17.0
		Center		17.5	16.7	16.8
	Bottom	Surface		18.4	17.8	15.3
		Center		16.8	16.6	15.1
Climate Condition	Ave. Temp.(°C) (10:00~17:00)		-	24.0	22.8	20.7
	Ave. R.H.(%) (10:00~17:00)		-	48.4	46.0	39.6

Table 2. Drying energy consumption

Electric Energy Consumption(kWh)			Total Evaporated Water (kg)	Drying Energy Efficiency (kJ/kg.water)
Blower	Grain Circulation Equip.	Total	286	240.8
15.75	3.375	19.125		

시점에서의 함수율 분포는 약 15~17% 범위에 있었으나 약 1개월 후에는 $16 \pm 0.5\%$ 범위로 균일화되었다. 저장기간이 경과함에 따라 각 부위의 함수율이 조금씩 변화되는 것은 외기의 영향 등으로 수분 이동이 일어난 때문으로 판단되었다.

Table 3. Change of moisture content during storage

(unit : % w.b.)

Date		'97.10.22	11.26	12.15	'98.1.14	
Measuring Point	Top	Surface	15.1	15.8	16.0	15.8
		Center	15.0	16.3	16.7	16.3
	Middle	Surface	17.0	16.3	16.1	16.3
		Center	16.8	16.1	16.5	16.0
	Bottom	Surface	15.3	15.8	16.2	16.3
		Center	15.1	16.2	16.3	16.3

3.4. 품질변화

표4는 건조, 저장 중의 성분 및 식미변화를 나타낸 것으로서 건조 전·후의 품질변화는 없었으며, 저장 시간이 경과함에 따라 전분과 지방산의 함량이 약간씩 증가되었으나 식미

에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

Table 4. Change of grain quality

Date	'97.10.20	11.11	12.15	'98.1.14
Protein(%)	7.7	7.6	7.6	7.4
Amyloid(%)	18.3	18.5	19.5	19.2
Fatty Acid(mg)	12.4	13.7	16.6	16.2
Q.E.V	65	68	68	68

4. 요약 및 결론

농가에서의 벼 수확 후 처리작업을 생력화하고 아울러 양적·질적 손실도 최소화하기 위해 곡물의 함수율이나 퇴적 높이에 관계없이 균일한 건조가 가능하고, 또 곡물의 투입과 배출을 기계화하여 노동력도 절감할 수 있는 저장겸용의 상온통풍 순환식 건조장치를 개발하였고, 개발된 시작기를 사용하여 벼를 건조, 저장할 때의 곡물의 함수율과 품질변화 및 소요 에너지를 분석하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 평균 함수율 20%의 벼를 평균 16% 까지 건조시키는데 약 3일이 소요되어 하루 평균 약 1.3%씩 건조되었으며, 곡물을 정치상태에서 건조시키는 기존의 상온통풍 저장건조에 비하여 건조 균일도가 우수한 것으로 나타났다.
2. 건조에 소요된 총 소요 에너지는 240.8 kJ/kg으로 일반적인 상온통풍 건조 보다 상당히 낮은 값을 나타내어 에너지 절감 효과가 높은 것으로 나타났다.
3. 건조된 벼를 연속하여 저장했을 때의 함수율 변화는 건조 종료 시점에서는 함수율이 약 15~17% 범위에 있었으나 약 1개월 후에는 16±0.5% 범위로 균질화되었으며, 외기의 영향을 받아 약간 썩의 수분 이동이 일어나는 것으로 나타났다.
4. 건조 전·후의 품질변화는 없었으며, 저장 시간이 경과함에 따라 전분과 지방산의 함량이 약간 썩 증가되었으나 식미에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.
5. 본 연구에서 개발된 상온통풍 순환식의 저장형 벼 건조기는 농가에서의 벼 수확 후 처리작업을 생력화하고 에너지 소비를 최소화하며 또한 고품질 쌀 생산을 위하여 사용될 수 있을 것으로 판단되었다.

5. 참고문헌

1. 고훈균, 금동혁 외 7인. '95 농협 미곡종합처리장 설계기준. 1994. 농협중앙회.
2. 금동혁, 박선태. 벼 상온통풍 건조의 최소 품량비에 관한 연구. 1996. 한국농업기계학회지 21(1).
3. 금동혁. 벼의 상온통풍 건조 핸드북. 1997. 성균관대학교.
4. 금동혁 외 5인. 교반식 원형철재빈에 의한 벼의 누적 혼합 저장건조에 관한 현지시험 연구. 1996. 신흥기업사.