

# 연속식 곡물건조기 개발 Development of Continuous Grain Dryer

김유호<sup>1</sup> 조영길<sup>1</sup> 조광환<sup>1</sup> 금동혁<sup>2</sup> 한충수<sup>3</sup> 한종규<sup>4</sup>  
정회원 정회원 정회원 정회원 정회원 정회원  
Y.H.Kim Y.K.Cho K.H.Cho D.H.Keum C.S.Han J.K.Han

## I. 서론

벼 수확이 기계화됨에 따라 일일 수확량이 대량으로 늘어나고 수확기간이 짧아지고 있어 적기 수확에 보조를 맞추어 적기 건조의 필요성이 강조되고 있다. 99년 현재 국내에 농가 단위로 보급되고 있는 건조작업의 기계화율은 39%에 불과하고, 1회 처리 용량은 3~6 M/T이며, 건조온도는 40~50°C, 건조시간은 10~12시간으로 대용량화에는 어려운 실정이다.

벼는 평야지 중심으로 건조, 저장, 도정작업을 산물 형태로 일괄처리 할 수 있는 미곡종합처리장이 91년 2개소로 시작하여 98년 말까지 농협 195개소, 민간 108개소로 총 303개소가 설치완료 되었으며 향후 2004년까지 360개소를 설치할 계획이다. 또한 RPC의 건조·저장 시설의 처리용량은 가공 시설에 비하여 부족한 실정인어서 초창기 설치한 미곡종합처리장에서는 97년 말까지 건조저장시설은 83개소 증설하였고 앞으로도 증설할 계획이다. 이러한 RPC 활성화는 수확된 물벼를 산물상태로 대량 건조, 저장작업 할 수 있는 시설이 충분히 갖추어져야 고함수율의 벼를 효율적으로 활용할 수 있는 것으로 사료된다. 현재 미곡종합처리장의 건조작업의 일일처리능력은 40~50톤에 불과하여 일일반입량이 이 용량을 넘어설 경우에는 적기 건조가 불량하여 농민의 불신을 고조시키고, 벼 품질저하를 가져오게 될 것이다. 또한 벼의 연간 가공 조제 규모가 2,000M/T 이상이 되면 건조시스템이 대형화 되어야 하며, 이러한 건조작업의 효율성을 높이려면 연속식 곡물건조기를 사용하여야 한다. 그러나 현재

국내에 보급 설치되어 있는 연속식 건조기는 외국에서 수입된 것으로 외화, A/S문제 등 국가적으로 손실이 크다.

최근 국내 농산물 건조기 제작업체가 이에 대한 필요성을 인식하고 외국전문업체와 연구 개발에 착수하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 그 동안 축적된 건조 기술을 토대로 미곡종합처리장 시설에 적합한 대형 연속식 곡물건조기를 개발하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 공시재료

본 연구에서 공시재료로 사용한 벼는 1999년에 논산시 부적농협 관내에서 생산한 추청벼를 사용하였다. 시험기간은 10월 17~22일까지 7일간 이고, 연속식 건조기 성능시험은 3차 시험을 실시하였으며, 이때 공시재료의 초기함수율은 각각, 21.2, 18.6, 17.8%,w.b.이었다.

### 2. 건조시설

#### 가) 건조장치

본 연구에서 설계·제작한 연속식 건조기는 혼합류형으로 구조와 제원은 각각 그림 1과 표 1에서 나타내고 있다. 건조기는 저장실, 건조실, 냉각실, 가열장치, 배출장치, 유입·배기덕트부 및 송풍기로 구성되어 있다. 건조실의 에어덕트는 산형으로 설계하였으며, 건조기 내부를 관찰할 수 있도록 점검창을 만들었다. 외부공기 유입창에는 유입공기량을 조절할 수 있도록 가변형 댐퍼로 제작하였다. 배기덕트부에는 미분리된 이물질들을 청소하기 위하여 청소구를 배기덕트부의 바

+ 이 논문은 농림기술개발연구과제 연구비로 수행하였음

1 농업기계화연구소 2 성균관대학교 3 충북대학교 4 한성공업(주)

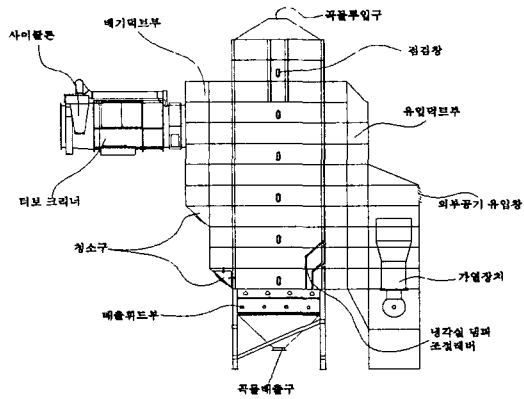


Fig. 1. Schematic of the continuous grain dryer.

다면 1개구와 측면 2개구를 만들어 작업자가 덕트부 안으로 들어가지 않고서도 깨끗하게 청소할 수 있도록 제작하였다.

설에 연속식 건조기와 100톤 원형빈 2기를 템퍼링 빈으로 추가로 설치하였다. 시스템의 공정은 반입되는 산물 벼는 원료정선기에서 1차 정선된 다음 호퍼스케일에서 무게를 계량하여 물벼의 경우에는 건조기로 이송하여 건조하고, 건조되어 반입되는 벼는 사각 빈으로 이송하여 저장하도록 되어있다. 연속식 건조기로 투입되는 물벼는 건조기의 제어반에서 전원을 넣고 자동을 선택하면 곡물이 건조기의 저장실에 부착되어 있는 하부 레벨 센서가 있는 곳까지 채워지면 모든 시스템은 작동하기 시작한다. 하부 레벨센서에 신호가 들어오면 가장 먼저 버너에서 점화가 되고, 열풍온도의 설정건조온도까지는 2단으로 점화되어 단시간에 도달하도록 하였다. 버너 점화는 낮은 설정온도까지는 2단 점화되고

Table 2. Specifications of the continuous grain dryer.

Items		Specifications
Total system	Dryer	Size(L×W×H) 8,751×1,992×8,440mm
	Capacity	10ton/batch
Storage module	Tempering bin type & capacity	Cylinder type, 100ton×2sets
	Size(L×W×H)	1,992×1,992×1,510mm
	Level sensor	2(upper/lower)ea
Drying module	Module number	3 stage
	Size(L×W×H)	1,992×1,992×4,000mm
	Module number	8 stage
Chilling module	Air duct type	Triangle type
	Size(L×W×H)	1,992×1,992×1,000mm
Heated inlet duct	Module number	2 stage
	Size(L×W×H)	1,992×945×5,000mm
Heated outlet duct	Size(L×W×H)	1,992×1,009×5,000mm
	Motor power	1kW
Discharge apparatus	Motor speed reduction ratio	1:150
	Air flow rate	565cmm
Turbo cleaner	Motor power	30kW
	Burner capacity	650,000~750,000kcal/hr

나) 연속식 건조시스템

그림 2는 본 연구에서 설치한 상용 규모의 연속식 건조시스템을 나타내고 있다.

연속식 건조기시스템은 논산시 부적농협의 건조저장시설의 확충시설한 것으로서 기 시

높은 설정온도 이상에서는 1, 2단 모두 소화된다. 이후에는 건조가 종료될 때까지 1단에서는 계속하여 점화상태이고 2단으로 온도조절을 하게되어 온도 진폭이 작아지도록 하였다.

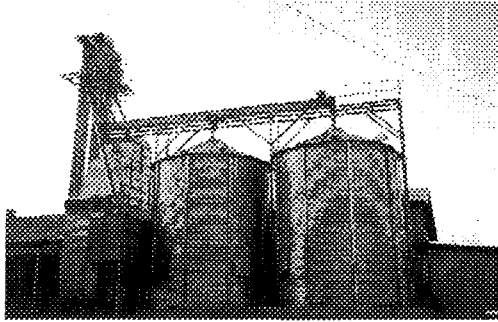


Fig. 2. Photograph of the continuous grain drying system.

건조과정 동안 열풍공기는 가열장치에서 건조기의 유입덕트를 통과하여 건조실에 있는 에어덕트를 거치면서 유하하는 곡물과 접촉하면서 건조되도록 되어있다.

2단으로 된 냉각실은 외부공기를 흡입 차단하는 댐퍼가 부착되어 있다. 저장실은 건조기 맨 윗부분에 위치하여 건조실 위에 2단으로 되어있고, 이 공간에는 에어덕트가 없고 빈 공간으로 되어있다. 저장실에는 2개의 레벨센서가 상하 30cm 간격으로 설치되어 있으며, 초기에는 하부 레벨센서까지 곡물이 채워져야 작동이 시작되고 상부 레벨센서까지 채워졌을 경우에는 건조기로 곡물이 들어오는 것을 차단하는 역할을 한다.

건조실은 8단으로 이루어져 있고 각 단에는 1개조의 에어덕트가 있고 공기가 교대로 들어오고 나가도록 배열되어 있다. 배출덕트가 흡입쪽으로 닫혀있는 반면 흡입덕트는 건조실의 배출쪽 벽면에서 닫혀있다. 열풍공기가 한 구간을 통과할 수 있도록 흡입덕트의 바닥은 열려있고 열풍공기는 이곳으로 들어와 곡물을 건조시키고 배출덕트의 바닥으로 통과한다.

흡입덕트로 들어온 열풍공기는 곡물이 건조실의 아래쪽으로 이송하는 동안 건조공기가 교대로 역류하는 방법으로 배출덕트로 빠져나간다. 또한 모든 건조실 에어덕트는 건조기가 가동되는 동안 건조공기의 효율이 최

상이 되도록 설치하였다. 건조실을 통과하여 내려온 곡물의 온도는 35~60℃까지 상승한 상태이므로 외부 온도에 노출되었을 때 온도차가 심하면 곡물에 손상이 발생할 우려가 있으므로 반드시 건조기 내에서 곡물의 온도를 낮추어야 한다. 따라서 냉각실은 곡물이 차가운 외부 공기에 노출되지 전에 곡온을 낮추어 주는 역할을 한다.

배출부는 건조기 밑부분에 위치하고 이송라인과 연계되어있다. 배출장치는 냉각실에서 측정하는 곡온과 배풍온도에 따라 무배출, 저속, 고속 등 3단계로 구분하며, 배출곡온의 설정온도보다 낮을 때에는 배출이 이루어지지 않고 배출곡온과 배풍온도 사이에 있으면 저속 배출, 배풍온도보다 높을 때에는 고속배출 하도록 제어하고 건조가 종료되었을 때는 잔곡처리판 레버를 손으로 돌려 건조기 내에 들어있는 곡물을 완전히 제거할 수 있도록 하였다.

송풍기 위치는 건조실을 중심으로 가열장치 반대쪽 상단부에 설치하여 전 건조실에 열풍공기가 골고루 분산되도록 설계·제작하였으며 송풍기에는 사이클론을 부착하여 건조과정에서 발생하는 먼지나 이물질을 집진 하도록 하였다.

배기덕트와 흡입덕트에는 온도감지장치(thermostat)를 부착하여 화재로부터 안전을 도모하였다.

시스템의 모든 제어는 중앙제어반에서 조절할 수 있도록 하였고, 비상사태 발생시 경보음이 울리도록 하였다.

### 3. 시험방법

#### 가) 함수율

건조 중에 벼의 함수율 변화는 매 5분마다 각각 10회를 채취하여 함수율을 측정하였다. 함수율 측정기는 전기저항식 함수율측정(한국, 한성공업, CTR800)을 사용하여 각각 평균값으로 산출하였다.

나) 온도

건조 중 건조기 내·외부 온도측정은 다점 온도기록계(일본, YOKOGAWA, DR242)와 열전대(T type)를 사용해서 건조실내 15점 등 30점에서 건조기내부의 분포도 및 건조기 가동시간에 따른 변화를 측정하였다. 그림 3은 온도 측정점 위치를 나타내고 있다.

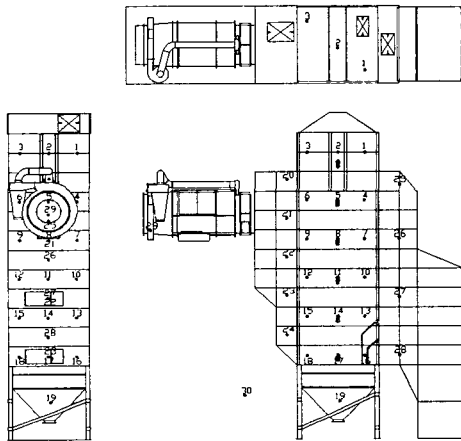


Fig. 3. Position of temperature measurement for the continuous grain dryer.

다) 건조성능

건조성능시험은 함수율의 건감율로서 나타내었고 건감율은 곡물이 건조기를 1회 통과했을 때 투입되기 직전 곡물의 함수율과 배출 직후 곡물의 함수율을 차이를 시간에 대하여 나타내었다. 1 cycle의 시간은 30분이었고 recirculation time는 15분으로 하였으며, 샘플링 수는 건조전후 각각 10회를 채취하여 평균한 값으로 산출하였다.

라) 동할미율

동할미율은 건조 전 공시시료와 연속식 건조기에서 건조한 벼를 각각 탈부하여 현미 상태에서 1,000립을 채취하여 입수의 비율로 측정하였다. 동할미 측정기는 1회 50립을 측

정할 수 있는 수동식으로 모델 TX-200 (Kett, 일본)을 사용하였다.

마) 송풍기 성능검증

송풍기의 검증시험은 송풍기를 실제 연속식 건조기에 설치후 곡물이 비워있을 때, 곡물을 채우고 운전을 정지했을 때, 운전했을 때의 정압과 풍량을 측정하였다. 정압은 U자형 마노메타(일본, YOKOGAWA)를 이용하여 건조기의 유입덕트부와, 배기덕트부 및 송풍기에서 측정하였다.

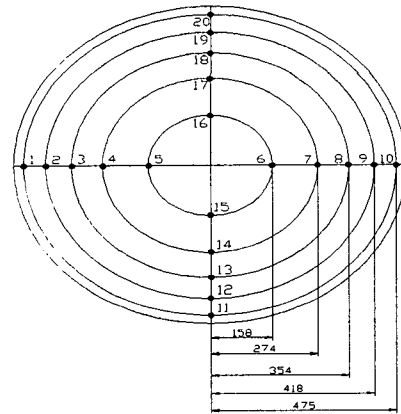


Fig. 4. Position of static and velocity measurement in turbo cleaner for the continuous grain dryer.

송풍량은 송풍기의 배출구에서 풍속계(독일, Testo452)로 KS 규격 송풍량 성능시험에 의거하여 직경을 방사형으로 나누어 20점을 측정하여 평균값으로 계산하였다. 그림 4는 송풍기의 풍량을 측정점을 그림으로 나타낸 것이다.

III. 결과 및 고찰

1. 건조시험

가) 함수율

그림 5는 건조시험에서 함수율변화 그래프이다. 건조조건은 1, 2차에서 열풍온도 55℃, 배풍온도 20℃, 배출온도 22℃로 하였고, 3차

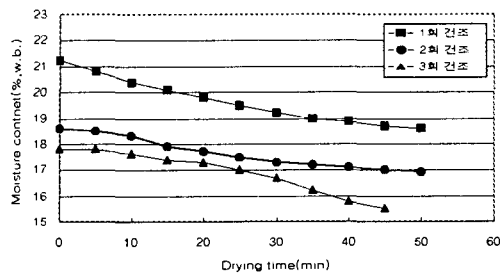


Fig. 5. Change of moisture content within rough rice during drying time.

Table 3. Drying rate of the rough rice.

Drying time	Drying conditions	Initial moisture content	Moisture content after one pass	Moisture content rate after one pass	Goal drying rate
First drying	Drying temp.:55°C Exhaust air temp.:20°C Exhaust grain temp.:22°C	21.2	18.6	2.6	2~3%/pass
Second drying	Drying temp.:55°C Exhaust air temp.:20°C Exhaust grain temp.:22°C	18.6	16.9	1.7	
Third drying	Drying temp.:60°C Exhaust air temp.:22°C Exhaust grain temp.:25°C	17.8	15.5	2.3	

에서 각각 60°C, 22°C, 25°C의 조건으로 하였으며, 그림에서 보는바와 같이 1차 건조시험은 초기함수율 21.2%,w.b.에서 투입하여 한번 통과한 후 함수율은 18.6%,w.b.이었으며 이후에는 템퍼링하였다. 2차 건조시험은 초기함수율 18.6%인 벼를 건조시험하여 함수율 변화를 측정된 결과 처음 10분까지는 함수율 변화가 완만하였고 10분에서 20분 사이에는 0.4%,w.b.가 감소된 것으로 나타나 건조기간 중에 가장 빠른 구간을 나타냈으며, 1회 통과후 벼의 함수율은 16.9%,w.b.이었다.

건조 초기에서 일정한 감소를 나타내다가 건조 말기에서는 약간의 감율건조현상을 나타내었다.

3차 건조시험은 초기함수율이 17.8%, w.b.의 전술한 조건에서 시험한 것으로 1차 건조 시험 때와 같은 현상으로 초기에는 향율건조 현상이 건조중기까지 나타났고, 그 이후에는 감율건조현상을 나타내고 있다.

## 나) 건조성능

표 3은 건조조건별로 성능시험을 실시한 것으로 성능시험은 건감율로 표시하였다. 표 3에서 보는바와 같은 조건에서 실시한 결과, 1, 2차 시험에서는 건감율이 각각 2.6, 1.7%/회로 나타나 본 연구에서 목표하는 건감율에 도달하였다. 3차 건조시험에서는 초기 함수율이 낮은 상태에서도 건감율이 2.3%/회로 나타났다.

## 2. 온도

그림 6은 건조실 층간의 온도분포를 나타낸 것으로 열풍공기가 직접적으로 유입되는 5단에서 온도가 가장 높았고, 7단에서 3단 순으로 온도가 낮게 나타났다. 가열장치가 가동하는 동안에 5단과 3단의 온도차이는

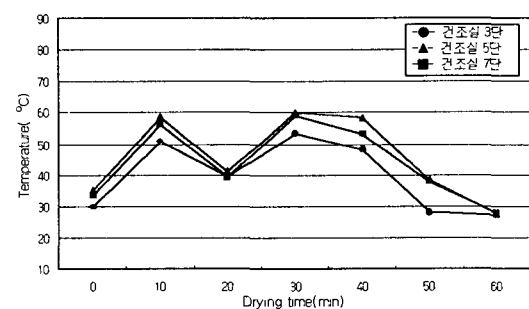


Fig. 6. Distribution temperature of drying module.

4~8°C 이었고, 5단과 7단은 약 3°C 정도의 편차가 나타났다. 이러한 현상은 입형 건조

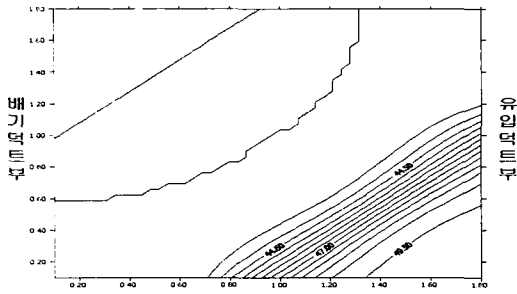


Fig. 7. Distribution of temperature in the drying module.

기에서는 일반적으로 나타나는 현상인 것으로 온도편차를 줄이기 위해서는 5단의 유입덕트 전면에 열풍방사판을 설치하여 열풍공기를 상하로 분산시킬 필요가 있다고 사료된다.

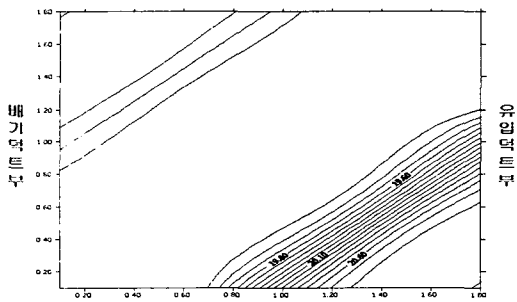


Fig. 8. Distribution of temperature in the cooling module.

그림 7은 건조중에 가열장치가 가동되었을 때 건조실 1개 단에서의 온도분포를 나타낸 것으로 유입덕트부와 배기덕트부 그리고 중앙부에 온도센서를 설치하여 측정하였다. 그림에서 보는바와 같이 유입덕트부쪽에서 온도가 높게 나타났고, 배기덕트부로 이동하면서 온도가 낮게 나타났다.

그림 8은 건조실에서와 같이 냉각실 1개 단의 온도분포를 측정된 것이며, 건조실에서와 같은 현상으로 나타났다.

### 3. 동할율

표 4는 건조품위로서 동할율을 측정된 것

으로 1차 건조시험에서는 초기함수율이 높게 나타났으나, 동할율 증가량은 0.7%로 우리

Table 4. Crack rate of the rough rice.

Items \ Drying time	First drying	Second drying	Third drying
Before drying	4.6	3.5	3.5
After drying	5.3	3.7	4.3
Variation	0.7	0.2	0.8

나라 곡물건조기 성능시험에서 동할미 증가량 허용기준 2%를 넘지 않았고, 건조온도를 60℃에서 시험한 3차에서도 동할율 증가량이 0.8%로 1, 2차 건조시험 때와 같은 수준인 것으로 나타났다.

### 4. 송풍기 성능검증

표 5와 6은 건조기에 설치한 송풍기의 성능검증시험 결과를 나타내고 있다. 표 5에서 보는바와 같이 건조기에 곡물이 채워졌을 때 송풍량이 565cmm과 정압 87mmAq는 설계값 525cmm, 85mmAq와 일치하게 나타났다.

표 6은 건조기의 유입 및 배기덕트에서의 정압을 측정된 것으로 송풍기의 댐퍼를 2개 개방했을 때, 1개 개방했을 때와 개방하지 않았을 때 측정 결과와 건조기에 곡물을 유하시키지 않고 송풍기만 가동했을 때와 비를

Table 5. Performance inspection of turbo cleaner

Items	Discharge rough rice	Charge rough rice	Theoretical
Air flow(cmm)	735	565	525
Static pressure (mmAq)	-	87	85

유하시키면서 측정했을 때의 결과를 나타낸 것이다. 유입덕트에서보다 배기덕트에서 정압이 30mmAq 정도 높게 나타났고, 곡물이 비워 있을 때가 채워졌을 때보다 높게 나타났으며, 배출을 할 때는 하지 않았을 때보다 정압이 적게 받는 것으로 나타났다.

Table 6. Static pressure of heated inlet and outlet duct part.

(Unit : mmAq)

Items	None rough rice in the chamber			Charge & no drain rough rice	Charge & drain rough rice
	Damp closed	Damper of one open	Damper two open		
inlet duct	42.8	37.6	33.1	34.1	33.6
exhaust duct	78.8	68.0	59.2	76.9	70.9

#### IV. 요약 및 결론

본 연구에서 설계·제작한 상용 규모의 연속식 곡물건조기를 개발하여 건조성능시험을 실시한 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 건조실 층간의 온도분포는 열풍공기가 직접적으로 유입되는 5단에서 온도가 가장 높았고, 7단에서 3단 순으로 온도가 높게 나타났다. 온도편차를 줄이기 위해서는 5단의 유입덕트 전면에 열풍방사판을 설치해야 할 필요가 있다고 사료된다.

나. 건조중에 가열장치가 가동되었을 때 건조실 1개 단에서의 온도분포는 유입덕트부 쪽에서 온도가 높게 나타났고, 배기덕트부로 이동하면서 온도가 낮게 나타났다.

다. 냉각실 1개 단의 온도분포를 측정된 결과, 건조실에서와 같은 현상이 나타났으며, 냉각실 평면에서의 유입덕트부와 배기덕트부의 온도차이는 2℃로 나타났다.

라. 건조기에 설치한 송풍기의 검증시험 결과 건조기에 곡물이 채워졌을 때 송풍량이 565cmm과 정압 87mmAq는 설계값 525cmm, 85mmAq와 일치하게 나타났다. 건조기의 유입 및 배기덕트에서의 정압을 측정된 결과 송풍기의 댐퍼를 2개 개방했을 때, 1개 개방했을 때와 개방하지 않았을 때 측정 결과와 건조기에 곡물을 유하시키지 않고 송풍기만 가동했을 때와 버를 유하시키면서 측정했을 때 유입덕트에서보다 배기덕트에서 정압이 30mmAq 정도 높게 나타났고, 곡물이 비워 있을 때가 채워졌을 때보다 높게 나타났다.

마. 건조조건별로 성능시험을 건감율로 표시한 결과 1, 2차 건조시험조건은 열풍온도 55℃, 배풍온도 20℃, 배출온도 22℃의 조건에서 건감율이 각각 1.7, 2.6%/회로 나타났고 3차 건조시험에서는 건조조건을 열풍온도 60℃, 배풍온도 22℃, 배출온도 25℃에서 건감율이 2.3%/회로 나타났다.

바. 건조품위로서 동할율을 측정된 결과 1차 건조시험에서는 초기함수율이 높게 나타났으나 증가량은 0.7로 우리 나라 곡물건조기에서 동할율 증가량 허용기준 2%를 넘지 않았고, 건조온도를 60℃에서 시험한 3회에서도 증가량이 0.8로 1, 2회 건조시험 때와 같은 수준으로 증가하였다.

#### V. 참고문헌

1. 금동혁, 1988, 벼의 순환 병류형 건조기의 시물레이션, 한국농업기계학회지 13(3), pp.59~70
2. 박재복 외, 1993. 연속식 대형 곡물건조기 개발, 한국식품개발연구원, 과학기술처 연구보고서 N 1019-0398.
3. Donald B. Brooker, Fred W. Bakker -Arkema & Ca W. Hall. Drying and Storage of Grains and Oilseeds, 1992.
4. Fred W. Bakker-Arkema, R. Hines, The Present Status of Rice Drying and Storage in the U.S.A., 1994. 농업과학 기계기술 심포지움, 1994. pp139~160.
5. Miller, P. C. H. & R. D. Whitfield, 1984. The Predicted Performance of a Mixd-Flow Grain Dryer, J. agric. Engng Res, 30, pp373~380.