

목질펠릿을 연료로 사용하는 농산물건조기 개발

한규성¹, 최돈하², 장병래³

(충북대학교, 산림과학원, 신흥기업사)

1. 서론

농산물건조기는 잎담배, 고추, 버섯 등을 밀폐된 공간을 이용하여 간접열을 가하여 말리는 기계를 의미하며, 농산물건조기 제조업은 농업용기계 제조업에 속한다. 국내의 농업기계협회에서는 대형의 곡물용건조기는 따로 구분하여 취급하고 있다. 현재 국내에서 사용되는 농산물건조기는 주로 등유를 연료로 사용하는 것이 제조 보급되고 있으며, 일부 등유와 전기를 병용하는 시스템도 보급되고 있다.

농산물건조기 산업은 농업의 특성상 우리나라와 일본에서 주로 발달한 분야이다. 잎담배 건조로부터 시작된 농산물건조기는 처음엔 일본에서 개발된 후 국내에 도입되어 날로 발전을 거듭하였다. 특히 건고추의 소비량이 많은 우리나라의 특성상 농산물건조기의 보급이 더욱 빠르게 확산되는 결과를 초래하였다.

따라서 현재로서는 농산물건조기 제조기술과 관련하여 대부분 선진국 기술에 근접해 있는 것으로 파악된다. 그러나 농산물건조기가 거의 등유를 연료로 사용하고 있으며, 목질바이오매스연료를 사용하는 농산물건조기는 아직 개발된 적이 없다.

따라서 본 연구에서는 목질바이오매스연료를 사용하는 농산물건조기를 개발하는데 목적을 두고 있으며, 이를 위하여 건조기의 건조특성과 경제성을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시기 주요사양

냉동고추를 건조하여 농산물건조기의 건조특성을 분석하였으며, 비교를 위하여 등유를 사용하는 건조기와 목질펠릿을 사용하는 건조기를 제작하였다. 건조실의 크기는 동일하게 하였으며, 냉동고추 250kg을 각각 1회씩 건조하였다.

항 목		석유기계실	펠릿기계실
사 용 연 료		등 유	목질펠릿
건조실 면적		3.0평	3.0평
송풍기	출 력	1.01kW(220V, 단상)	1.01kW(220V, 단상)
	정 압	15mmAq	18mmAq
	풍 량	105m ³ /min	104m ³ /min
연 소 부	버 너	G8S-B, 1.0G/H	-
	감 속 모 터	-	120W, 9.6rpm(180:1)
	연 소 팬	70W	60W, 30mmAq, 3.7m ³ /min
	공급 스크류	-	Φ40, p46mm
	열 교 환 기	2열×3pass	3열×2pass
	연소실 체적	80ℓ	152ℓ
	화 격 자	-	Φ395mm

2.2 시험항목 및 방법

시험항목	시험방법
1) 기초시험	<ol style="list-style-type: none"> 1) 건조중 구동부 및 연소기구의 이상발생 유무 2) 연료 공급 및 배출의 원활성 3) 건조 진행에 따른 건조실 및 기계실의 정압변화 4) 연료주기별 펠릿투입량 5) 무부하시 순환구 풍량 6) 무부하, 부하시 적정 연소풍량
2) 연소시험	<ol style="list-style-type: none"> 1) 연소상태 및 연소풍량의 적합성 <ul style="list-style-type: none"> - 연소효율과 과잉공기율 - 재상태 2) 연소상태를 통한 화덕의 적합성 3) 건조열량을 고려한 연료투입주기의 적합성 4) 분진 발생정도와 청소주기 결정
3) 건조시험	<ol style="list-style-type: none"> 1) 건조전후의 건조물의 무게변화, 경과시간, 함수율, 연료투입량, 전력소비량 측정 2) '다'항에서 상기한 바와 같이 각 부위에 온도계를 설치하여 실시간 온도변화를 기록하면서, 1시간 단위로 연료투입주기, 배습문 상태를 기록 3) 단계별 건조상태를 사진으로 촬영하고 기계실 및 건조실의 압력변화 관찰 4) 모든 건조조작은 수동모드로 실시 5) 건조품질(육안 판정)
4) 건조제어시험	<ol style="list-style-type: none"> 1) 실부하에서 온도제어의 정확도 2) 외기, 연료투입량, 습도(배습문 개폐정도)에 따른 승온한계값(최고 유지온도) 3) 저화기능 4) 건조실 내 전후/상하 위치별 온도분포 및 C-BOX 온도센서 위치 적합성 검토 5) 건조실 내 위치별 건조편차 및 품질

3. 결과 및 고찰

3.1. 단계별 연료투입량

단 계	0	1	2	3	4	5	6	7	비 고
투입시간(초)	-	10	14	18	22	26	30	34	동작주기 40초
투입량(kg/h)	-	3.65	4.03	5.23	6.52	7.56	8.47	8.97	

3.2. 순환송풍량(무부하)

- 밀폐시 : 18.4mmAq, 104m³/min
- 만개시 : 18.8mmAq, 108m³/min

배 습 문			밀 폐				만 개				비 고
풍 속 · 풍 량	순 환 구	풍 속	6.5	6.7	7.8	평균	5.1	5.95	6.05	평균	□860×300mm (A=0.258m ²)
		풍 량	7.1	5.7	6.3	6.68m/s	5.3	5.10	5.45	5.5m/s	
	배 습 구	분 포	-				4.50	4.40	4.50	평균	□375×300mm (A=0.1125m ²)
		풍 량	-				4.00	2.10	1.20	3.45m/s	
압 력	기계실	18.4mmAq				18.8mmAq					
	건조실	0.3mmAq				1.5mmAq					

3.3. 연소풍량

항 목 \ 구 분	흡기(연소팬)측	배기(연통)측	비 고
풍 속 (m/s)	8.2	0.9	
직 경 (mm)	97	130	
풍 량 (m ³ /min)	3.64	0.72	20% 손실*

3.4. 연소성능 시험결과

구분	문 제 점	조치사항	비 고
연료통	펠릿 연소반응속도가 빨라 연기가 연료통으로 역류함	투입스크류통 상부에 역류방출용 홀가공(φ5×3열×4행)	조치후 확인 결과역류 발생으로 효과 없음
연료 공급	펠릿 연소속도가 빨라 현재 투입주기 부적절함 (주기 35초, 7단 투입시간 25초)	투입주기 1.5배 증대 (주기 40초 7단 투입시간 37초)	
연소팬	연소풍량 과다	연소팬 흡입구 1/4 밀폐함	
화 덕	화덕 토출구 범위가 넓어 연소된 펠릿재가 날아가 헛바람 발생 (중앙부 연소불량으로 미연소)	화덕 토출구 1/3 찰흙으로 밀폐함	

3.5. 건조시험 결과

3.5.1. 건조시험

- 건조속도에 있어, 등유버너 건조기 대비 약 4.6% 향상으로 양호한 것으로 나타났다.
- 펠릿연소 반응속도가 빨라 공급주기를 최대로 하여 건조 진행한 결과 등유버너 대비 연료소비량이 많게 나타났다.
- 전기사용량은 자동배습이 수동배습보다 13% 더 많이 소비되었는데, 이는 등유버너가 ON/OFF 제어로 자동배습장치 동작횟수가 많았기 때문이다.
- 건조실 온도변화폭은 등유버너 대비 3%이내로 안정적인 것으로 나타남.
- 건조품질에 있어, 펠릿&등유 건조 모두 양호하게 나타남.

구분	펠릿	등유	비 고
건조장치	석탄기계실	등유기계실	
시 료	냉동고추	냉동고추	
외기조건	-7℃~1℃	-10℃~2℃	
건조시간	12월22일 16:30 ~12월23일 22:30	12월26일 15:30 ~12월27일 22:30	*야간건조 비율 60%
건조온도	건구55℃/습구35℃	건구55℃/습구35℃	
배습조건	수동배습	자동배습	
발 열 량	4480kcal/kg	8200kcal/ℓ	

구 분		펠릿	등유	비 고
건조전	중 량(kg)	247.8	240.4	
	함수율(%wb)	82.6	82.2	*5개 평균값(습량기준)
건조후	중 량(kg)	50.3	50.2	
	함수율(%wb)	14.7	15.3	*5개 평균값(습량기준)
	품 질	양호	양호	
건조성능	건조소요시간(hr)	30	31	
	매시건감률(%/h)	2.26	2.16	
	연료소비량(kg)	148kg	58리터	
	전기사용량(kWh)	35	39	
	열유용도(kcal/kgH ₂ O)	2677	1980	
	온도변화폭	3℃이내	5℃이내	*온도변화폭은 5℃이내일 것

3.5.2. 경제성 분석

3.0평 건조장치에서 고추를 건조(고추:18회/년)하였을 경우에 경제성을 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 일반 실내등유 기준 펠릿 : 273,600원 절감/년
- 면세 실내등유 기준 펠릿 : 12,600원 절감/년
- 일반 실내등유 기준 30% 절감효과가 있으나, 면세유 기준 경제성 없음.

구 분		3.0평 (TCAP-30)		비 고	
사 용 연 료	연 료	실내등유		목질펠릿	
	가 격	일반	면세유		
	발 열 량	900원/ℓ	650원/ℓ	250원/kg	펠릿 수입가 기준
		8200kcal/ℓ		4480kcal/kg	
건 조 건	건 조 량 (kg)	248	240	냉동고추	
	초기함수율(%w.b)	82.6	82.2		
	완료함수율(%w.b)	14.7	15.3		
	열유용도 (kcal/kg-H ₂ O)	2677	1980	실험치	
1회 건조시 연료사용량		58리터		148kg	
1회 건조시 연료비		52,200원	37,700원	37,000원	
1년 건조시 연료비		939,600원	678,600원	666,000원	고추:18회/년
일반등유기준		100%	72.2%	70.9%	
면세유 기준		138%	100%	98.1%	

3.6. 온도제어 특성

3.6.1. 온도제어 특성

등유버너가 ON/OFF로 제어하는 것에 비해 펠릿건조기에서는 일정수준의 연소가 지속적으로 이루어지기 때문에, 온도는 평균적으로 편차 1℃ 정도로 제어되어 등유버너를 사용하는 경우보다 안정적이었다.

3.6.2. 건조온도 제어 특성

고추건조온도표의 설정온도와 건조실 내 건구온도의 편차의 평균이 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 로 온도제어가 아주 안정적이었다. 순환공기의 온도는 건조가 진행됨에 따라 점점 건구온도에 가까워지나, 외기온도(영하 3℃)의 영향으로 건조가 완료되는 시점에서 건구온도와 같아지지 않는 다.

3.6.3. 건조실 내부 온도분포 특성

- 열풍이 밑에서 위로 올라가기 때문에 초기에는 고추상자가 있는 1단하부온도가 건조실 상부온도보다 높다가 건조가 진행함에 따라 서서히 상,하 온도가 비슷해졌다.
- 건조실 전후의 온도차는 거의 없었다.
- 건조가 진행됨에 따라 건조실 내부온도는 건구온도와 가까워지면서 온도편차가 줄어들었다.
- 순환공기의 온도는 건조실 상부온도와 유사하였다.