

직파용 벼 펠렛종자 제조장치 성능 개선 연구

Improvement of A Rice Seed Pelleting Machine for Direct Seeding in Rice Cultivation

유대성* 유수남* 최영수*
 정회원 정회원
D. S. Yu S. N. Yoo Y. S. Choi

1. 서론

우리 나라 수도작 직파 재배에 대한 주요 문제점들은 도복과 입모 불안정, 방제의 어려움, 조수에 의한 종자손실, 관수시 종자의 물림 현상 등을 들 수 있는데, 벼 펠렛종자를 파종할 경우 종자의 이동, 뜬 묘, 쓰러진 묘 등을 방지하며, 정밀한 기계화 파종을 가능하게 하여 적정 입모 수 확보와 입모 균일도를 높일 수 있고, 등숙기에 도복 방지와 조수에 의한 종자손실 감소 그리고 소요 파종 종자량 절감 등을 기대할 수 있어 직파 재배 문제점들을 전반적으로 해결할 수 있을 것으로 예상된다.

그러나 벼 펠렛종자를 파종하는 경우 관행 벼 재배의 재식 밀도를 고려할 때 ha 당 약 23 만개의 펠렛종자가 소요될 것으로 예상되며, 이를 대량생산할 수 있는 기계 개발이 필수적이다. 실용화를 위한 벼 종자 제조 기계 개발 연구는 박종수(2001)에 의해 이루어졌는데, 성형롤을 이용 벼 종자, 상토, 접착제를 혼합하여, 3 ~ 4 립의 벼 종자를 포함한 벼 펠렛종자를 제조할 수 있었으나, 실용적인 벼 펠렛종자 제조장치 개발을 위해서는 펠렛재료의 불균일한 공급, 높은 벼 종자 손실률, 그리고 압축 성형된 벼 펠렛종자의 성형롤에서의 배출불량 등의 문제점 개선을 제시하였다.

따라서 본 연구는 기존 직파용 벼 펠렛종자 제조장치의 제조성능 및 제조된 벼 펠렛종자 품질향상을 위하여 펠렛재료 공급부, 성형부, 펠렛종자 배출부를 개선 설계 제작하여 그 성능과 제조된 펠렛종자의 특성을 구명함으로써 직파용 벼 펠렛종자 대량생산을 위한 제조장치 개발의 기초자료를 얻고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 벼 펠렛종자 제조장치 설계 및 제작

직파용 벼 펠렛종자 제조장치(박종수, 2001)는 제조능률, 성형률, 종자손실률 면에서 만족할 만한 결과를 얻을 수 없었다. 이는 성형롤의 회전속도에 상응하는 펠렛재료의 균일한 공급 곤란, 성형롤 간격의 벌어짐과 이로 인한 성형 홈에서의 펠렛재료 이탈로 펠렛재료 손실 및 종자손상 증가, 성형된 펠렛종자의 부착력으로 인한 배출핀에 의한 배출 불량 등이 원인인

* 전남대학교 농과대학 생물산업공학과

것으로 분석되어 이와 같은 문제점들을 개선하기 위해서 다음의 3 가지 부분을 개선하였다. 첫째, 펠렛재료의 공급을 스크류컨베이어 장치로 공급하였는데 대신 유압장치를 이용 유압 실린더에 의해 압축 공급하도록 하여 성형롤 회전속도에 상응할 수 있는 균일한 펠렛재료 공급이 이루어지도록 하였으며, 둘째, 성형롤 성형 홈 열 사이에 링을 설치하여 펠렛재료의 성형 홈에서의 이탈을 줄이도록 함으로써 펠렛재료의 손실방지와 종자손상을 줄일 수 있도록 하였으며, 셋째, 성형 후 펠렛종자의 배출을 원활하게 하기 위하여 기존의 배출핀 이용과 함께 압축공기를 노즐을 통해 분사시킬 수 있는 장치를 추가함으로써 펠렛종자의 완전한 배출이 이루어지도록 하였다.

나. 벼 펠렛종자 제조장치 성능실험

1) 시험재료 : 벼 종자 품종은 동안 벼를 사용하였으며, 펠렛재료용 상토로는 산적토로서 전라남도 나주시 삼포면 농업기술원 인근 산에서 채취 건조시켜 500 μm (체 번호 35) 체를 사용하여 이를 통과한 입경의 상토를 이용하였다. 펠렛재료 혼합용 접착재료로 아라비아고무(제조회사:Junsei Chemical Co., 순정일급, 분말)를 접착제로서 사용하였으며, 물에 용해시켜 아라비아고무 10 % 농도의 접착용액을 만들고 상토 100 g당 31 ml를 혼합하여 사용하였다. 벼 종자와 상토를 일정비율로 균일하게 혼합 반죽할 수 있는 펠렛재료 혼합 반죽기를 이용하였다.

2) 성능실험 계획 : 제작된 벼 펠렛종자 제조장치 성능실험은 표 1에서와 같이 상토와 벼 종자의 혼합비와 펠렛재료 공급속도를 결정하는 성형롤 회전속도를 주요 변수로 하였다.

Table 1 A plan for evaluating performance of the fifth experimental rice seed pelleting machine

요인	수준	분석항목
상토 종자 혼합비	6 : 1	o 작업능률 o 성형률 o 벼 종자 손실률 o 제조 벼 펠렛종자 특성
	7 : 1	
	8 : 1	
성형롤	7	
회전속도 (rpm)	10	
	13	

상토와 벼 종자 혼합비는 6 : 1, 7 : 1, 8 : 1의 3 수준으로, 성형롤 회전속도는 7 rpm, 10rpm, 13 rpm의 3 수준으로 선정하였다. 성능시험은 5 Kg의 펠렛재료를 투입하여 주요 변수의 수준에 따른 벼 펠렛종자 제조능률, 성형률 그리고 제조 과정에서 발생하는 벼 종자 손실률을 2 회 반복 실험을 통하여 조사하였다. 여기서, 성형률은 제조장치에 투입된 펠렛재료의 무게에 대한 완전한 구형 형태를 갖는 펠렛종자의 무게비로서 나타내었고, 제조능률은 시간당 제조 가능한 펠렛종자 개수로 정의하였다. 또한 제조 과정에서 발생하는 벼 종자 손실률은 (식 1)에서와 같이 공급된 벼 종자의 무게에 따른 벼 종자개수를 추정하여 제조한 펠렛종자 내에 포함된 손상되지 않은 완전한 벼 종자의 개수와와의 비를 구하여 벼 종자 손실률을 나타내었다.

$$\left(\frac{Y'}{X+Y+Z} - \frac{\text{완전종자수}}{\text{샘플무게}} \right) / \left(\frac{Y'}{X+Y+Z} \right) \quad \text{-----(식 1)}$$

여기서, X = 상토의 무게(g), Y = 종자의 무게(g), Y' = 종자의 개수, Z = 접착액의 무게(g)
다. 제조된 벼 펠릿종자 특성 분석

제조된 벼 펠릿종자에 대한 특성 분석으로 제원 및 무게 그리고 펠릿종자 내 포함된 벼 종자의 개수, 압축강도, 구형률, 출아율을 파악하였다.

여기서, 구형율은 펠릿종자의 형상이 얼마나 구에 가까운지를 나타내는 값으로서, 다음 2식에 의해 그 값을 구하였다.

$$\text{구형율 (S)} = \frac{d_e}{d_c} \times 100 (\%) \quad \text{-----(식 2)}$$

여기서, d_e = 펠릿종자 체적에 해당하는 구의 직경(cm)

d_c = 펠릿종자 최대 외접구의 지름 또는 최대 지름(cm)

3. 결과 및 고찰

가. 벼 펠릿종자 제조장치 설계 및 제작

그림 1은 벼 펠릿종자 제조장치의 개략도를 나타낸 것이다.

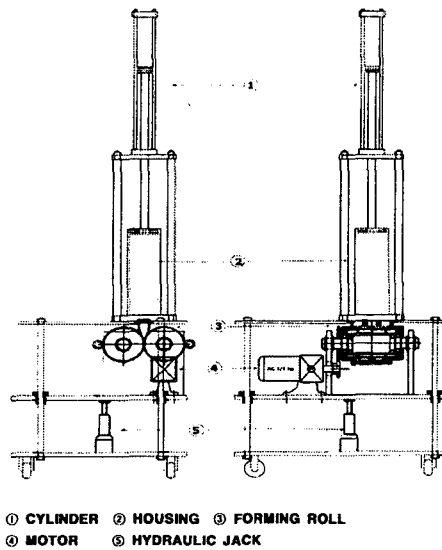


Fig. 1 A schematic diagram of the rice-seed pelleting machine

주요 구성부로는 펠릿재료 공급부, 펠릿종자 성형 및 배출부 그리고 구동모터 및 동력 전달부, 프레임, 펠릿재료 공급부 구동을 위한 유압장치부, 펠릿종자 배출을 위한 공압장치부 등으로 구성되어 있다.

1) 펠릿재료 공급부

기존의 스크류 컨베이어 공급장치에서 나타난 펠렛재료의 불균일한 공급에 의한 펠렛종자 제조능률 저하와 펠렛재료 및 벼 종자의 손실 문제를 개선하기 위하여 펠렛재료를 균일하게 공급할 수 있도록 유압장치를 이용한 펠렛재료 공급장치를 설계·제작하였으며, 펠렛재료를 압축 공급하기 위한 유압 실린더의 행정은 650 mm, 실린더 직경은 110 mm로서 펠렛재료 혼합기에서 배출된 펠렛재료 5 Kg을 한번에 투입할 수 있도록 설계·제작되었다.

2) 펠렛종자 성형 및 배출부

그림 2는 구형의 펠렛종자 성형부의 단면도이고, 그림 3은 성형롤 A-A'의 단면도이다.

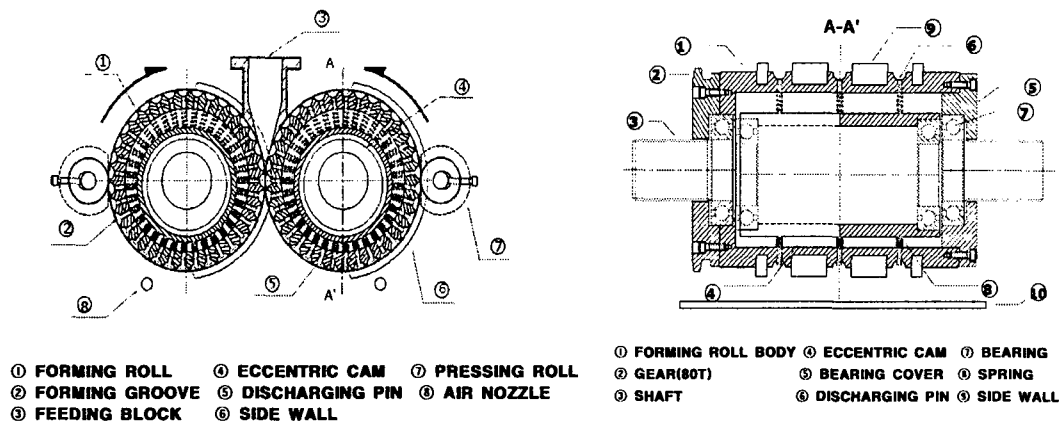


Fig. 2 A schematic diagram of the forming rolls and surrounding parts

Fig. 3 A cross-section view of the forming roll

그림 2에서 펠렛재료가 공급 블록(③)을 통해 직경 12 mm의 반구형 홈이 파여진 두 개의 회전 성형롤 사이로 공급되어 성형롤의 회전에 의해 구형의 펠렛종자를 제조하게 된다.

직경 158 mm의 두 성형롤에는 직경 12 mm의 반구의 홈이 원주 방향으로 2 mm의 간격으로 35 개씩 3 열로 가공되었으며, 전체 길이 216 mm, 직경 158 mm의 성형롤의 내부에 외경 100 mm의 롤이 베어링에 의해 축과 연결되어 있다.

펠렛재료의 성형 홈으로 부터의 이탈과 종자손상을 줄이기 위해 그림 2에서와 같이 성형 홈 사이에 링(⑥)을 설치하였다. 제조되는 펠렛종자의 압축과 투입된 펠렛재료의 손실을 최소화하기 위해 두 성형롤 사이의 간격을 거의 없게 할 필요가 있다. 따라서 이를 보완하기 위한 장치로 성형롤을 압축하기 위한 직경 50 mm의 롤(⑦)을 부착하여 펠렛종자의 제조 과정에서 두 성형롤의 간격 벌어짐 현상을 방지하였다.

제조된 구형의 펠렛종자를 성형홈에서 배출시키기 위해 각 성형홈의 중심에서 길이 23 mm의 스프링에 의해 지지된 직경 4 mm의 배출핀(⑤)을 수직 운동시키는데 배출핀의 수직 운동은 주축과 내부롤 사이 축 편차(3.8 mm)에 의해 이루어지며, 보다 확실한 배출을 위하여 에어 노즐(⑧)을 사용하여 압축 성형된 펠렛종자가 배출되는 시기에 맞춰 공기를 불어주도록 되어있다. 그림 3은 성형롤 A-A'의 단면도이다. 그림에서 보는 바와 같이 주축과 내

부 롤 사이를 두 개의 베어링으로 연결하여 베어링의 축 편차가 캠과 같은 작용을 하게 되어 있다.

3) 기타 장치부

펠렛재료를 압축 공급하는 유압실린더의 작용을 위하여 모터, 유압펌프, 유압밸브, 탱크, 압력 게이지로 구성된 유압장치부와 압축 성형된 베타 펠렛종자의 완전한 배출을 위한 에어노즐을 설치하였는데, 사용된 노즐의 직경은 1 mm, 성형롤의 편심에 의해 배출 편이 최대로 나올 때 에어노즐을 통해 성형된 베타 펠렛종자의 표면에 압축 공기를 불어넣을 수 있도록 공기 압축기를 설치하였다.

나. 베타 펠렛종자 제조장치 성능실험

1) 베타 펠렛종자 제조장치

가) 펠렛재료 공급 특성 : 유압실린더 압력이 약 8.7 MPa, 9.3 MPa, 10.0MPa일 때 공급 블럭을 통하여 성형 홈에 공급되는 펠렛재료의 양은 각각 약 75 Kg/h, 106 Kg/h, 140 Kg/h로 나타났으며, 이와 같은 펠렛재료의 공급속도에 상응하는 성형롤의 회전속도는 각각 약 7 rpm, 10 rpm, 13 rpm으로 분석되었다.

나) 성형률 : 혼합비에 따라서 성형률은 차이가 거의 없는 것으로 나타났으나, 성형롤의 회전속도가 증가함에 따라 성형률은 약간씩 감소하는 경향을 보였다. 성형롤의 회전속도가 7 rpm일 때는 약 87.3 % ~ 88.5 %, 10 rpm일 때는 82.0 % ~ 86.5 %, 13 rpm일 때는 77.1 % ~ 77.5 %의 성형률을 나타내 기존 연구의 최대 성형률 71 %에 비하여 최대 약 18 % 까지 성형률을 높일 수 있었다.

다) 제조능률 : 제조능률은 상토 종자혼합비에 따라서는 차이가 없었으며, 성형롤의 회전속도가 커짐에 따라 증가하는 것으로 나타났는데 그 증가율은 약간씩 감소하는 경향을 보였다. 제조능률을 성형롤의 회전속도에 따라 살펴보면 7 rpm, 10 rpm, 13 rpm일 때 각각 시간당 약 39000 개, 53000 개, 63000 개를 제조할 수 있는 것으로 나타났으며, 개선 전에 비해 최대 1.7배 제조능률 향상이 이루어졌다.

라) 베타 종자 손실률 : 베타 종자 손실율은 성형롤의 회전속도가 커짐에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 상토 종자혼합비에 따라서는 뚜렷한 경향이 없었다. 성형롤 회전속도가 7 rpm, 10 rpm, 13 rpm일 때가 종자손실률은 각각 약 24.3 % ~ 35.4 %, 35.6 % ~ 39.3 %, 42.8 % ~ 48.7 %인 것으로 나타나 이는 개선 전의 종자손실률 약 17% ~ 48%에 비하여 크게 개선이 이루어지지 않았음을 보여주고 있으나, 제조능률 향상을 고려하면 종자 손실율도 높은 작업능률에서는 작을 것으로 예상되었다.

2) 베타 펠렛종자 특성

가) 베타 펠렛종자 무게, 직경, 구형률 : 건조 전의 직경은 12.03 mm, 무게는 1.70 g, 그리고 건조 후의 직경은 11.53 mm, 무게는 1.31 g으로 나타났으며, 구형율은 99.1 %로 조사되었으며, 개선 전에 비해 직경과 무게가 약간씩 증가하였다.

나) 압축강도 : 상토 종자혼합비, 성형롤의 회전속도가 커질수록 큰 차는 없지만 약간씩

감소하는 경향을 보였으며, 그 크기는 약 132 N ~ 152 N의 범위인 것으로 나타나 개선 후 약 30 % 정도 강도가 증가하였다.

다) 펠렛종자 내 포함된 벼 종자 수 : 펠렛종자에 포함된 평균 벼 종자 개수는 6 : 1의 혼합비의 경우 성형률 회전속도 7 rpm, 10 rpm, 13 rpm에서 각각 5.2 개, 4.8 개, 4.2 개로 나타났으며, 7 : 1 혼합비의 경우는 성형률 회전속도 7 rpm, 10 rpm, 13 rpm에서 각각 5.0 개, 3.8 개, 3.3 개로 나타났고, 그리고 8 : 1 혼합비의 경우는 성형률 회전속도 7 rpm, 10 rpm, 13 rpm에서 각각 3.7 개, 3.4 개, 2.9 개로 나타났다. 혼합비와 성형률 회전속도에 따른 펠렛종자 내에 포함된 완전 종자수는 상토 종자혼합비가 작을수록 성형률의 회전속도가 낮을수록 펠렛종자 내에 포함된 완전 종자수가 많아지는 것으로 분석되었다.

라) 출아율 : 건담직파의 경우 상토 종자혼합비가 6 : 1일 때는 약 90 % ~ 100 %, 7 : 1에서는 약 73 % ~ 87 %, 8 : 1에서는 약 33 % ~ 50 %의 출아율을 나타냈으며, 담수직파의 경우 상토 종자혼합비가 6 : 1일 때는 약 83 % ~ 97 %, 7 : 1에서는 약 63 % ~ 90 %, 8 : 1에서는 약 30 % ~ 47 %의 출아율을 나타내 상토 종자혼합비가 작아짐에 따라 출아율은 크게 감소하는 경향을 보였다. 펠렛종자 내 완전 벼 종자의 개수는 충분히 확보한 것으로 보였지만, 결국 벼 종자의 외적인 손상은 없지만 관찰되지 못한 내적인 벼 종자 손상이 발생하였으며, 그것에 의하여 출아율이 크게 떨어진 것으로 판단된다.

따라서 벼 펠렛종자의 출아율 실험 결과 최소한 펠렛종자 당 5 개 이상의 완전 벼 종자를 포함하고 있어야만 안정적인 출아가 가능한 것으로 나타나, 상토 종자혼합비 6 : 1의 펠렛재료를 성형률 회전속도 7 rpm으로 제조하는 것이 적절한 것으로 판단되며, 이 때 제조 능력은 시간당 약 65 Kg(펠렛종자 약 39,000 개), 성형률 약 87 %, 종자손실률은 약 30 %, 펠렛종자 내 평균종자수는 약 5.5 개, 완전 벼 종자 3 개 이상 포함 펠렛종자 비율은 약 100 %, 출아율 거의 100 %가 될 것으로 보인다.

그러나, 벼 종자 소요량을 줄이는 것도 필요함으로 상토 종자혼합비 7 : 1의 경우도 성형률 회전속도 7 rpm에서의 출아율이 건담, 담수직파에서 각각 87 %, 90 %이며, 펠렛종자 내 완전 벼 종자 수도 충분히 확보한 것으로 보이기 때문에 펠렛재료 혼합과정에서의 부드러운 혼합 반죽과 펠렛종자 제조과정에서 성형률의 개선 및 회전수를 약간 낮게 설정하여 제조함으로써 벼 종자의 외적, 내적인 손상을 줄이고 펠렛종자 내에 완전 벼 종자의 수를 늘려 출아율을 높이면 충분히 적용 가능할 것으로 보인다. 성형률 회전속도가 증가함에 따라 같은 상토 종자혼합비에서는 출아율이 감소하는 것으로 나타났다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 기존 벼 펠렛종자 제조장치의 제조성능 및 제조 벼 펠렛종자 품질향상을 위하여 펠렛재료 공급부, 성형부, 펠렛종자 배출부를 개선 설계 제작하여 그 성능과 제조 벼 펠렛종자 특성을 구명함으로써 직파용 벼 펠렛종자 대량생산을 위한 제조장치 개발의 기초 자료를 얻고자 수행하였으며 그 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

펠렛재료의 일정한 공급과 펠렛재료가 성형 홈으로부터 이탈하는 것을 줄이고, 펠렛종자의 완전한 배출이 가능하도록 한 벼 펠렛종자 제조장치를 설계·제작하였으며, 벼 펠렛종자 제조장치를 상토 종자혼합비, 성형롤의 회전속도에 따라 실험한 결과 벼 펠렛종자 제조능력은 성능 개선 전의 펠렛종자 제조장치에 비하여 약 1.7배 향상된 제조능력을 보였으며, 성형롤은 최대 약 89 %로 나타나 개선 전의 71%에 비해 18 %정도 성형롤이 향상되었다. 그러나, 벼 종자손실률은 약 24 % ~ 49 %로 거의 비슷한 수준인 것으로 나타났다.

제조된 벼 펠렛종자의 특성을 분석한 결과 펠렛종자의 구형률은 99.1 %로 거의 구형으로 제조됨을 알 수 있었으며, 무게는 제조 직후에는 약 1.70 g, 완전 건조 후에는 1.31 g으로 나타났고, 직경은 약 12.03 mm에서 건조 후 11.53 mm로 축소되었다. 개선 전에 비해 직경과 무게가 약간씩 증가한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 개선된 제조장치에서 펠렛재료가 성형롤의 성형 홈에 압축 공급되고, 펠렛재료의 손실도 적었기 때문으로 판단된다.

제조된 한 개의 벼 펠렛종자 내에 포함된 완전 벼 종자의 개수는 상토 종자혼합비가 커질수록 성형롤의 회전속도가 낮을수록 많아지는 것으로 분석되었으며, 모두 펠렛종자 당 평균 약 3 개 이상의 완전 벼 종자를 포함하고 있는 것으로 나타났다. 개선 전에 비하여 펠렛종자 내에 포함된 평균 완전 종자수도 증가하였으며, 3 개 이상 완전 종자를 포함한 펠렛종자의 비율도 증가하여 유압에 의한 펠렛재료 공급과 성형롤의 개선효과가 있었던 것으로 보인다.

음지 건조 후 벼 펠렛종자의 압축강도는 약 132 N ~ 152 N으로 조사되었으며, 개선 전에 비하면, 약 30 %가 증가한 것으로 나타났다.

출아율 실험 결과 상토 종자혼합비 6 : 1, 성형롤 회전속도 7 rpm에서 건담직과는 100 %, 답수직과는 97 %의 출아율을 보여 만족할 만한 결과를 얻었으나, 그 외의 경우는 거의 90 % 이하의 출아율을 보여 출아율을 높이기 위한 방안이 필요한 것으로 보인다.

본 연구의 벼 펠렛종자 제조장치의 적정운전 조건은 제조된 벼 펠렛종자의 특성과 출아율을 고려해 볼 때 상토 종자혼합비 6 : 1, 성형롤 회전속도 약 7 rpm으로 판단되며, 이 때 제조능력은 시간당 약 65 Kg(펠렛종자 약 39,000 개), 성형롤 약 87 %, 종자손실률은 약 30 %, 펠렛종자 내 평균 종자수는 약 5.5 개, 완전 벼 종자 3 개 이상 포함 펠렛종자 비율은 약 100 %가 될 것으로 보인다.

5. 참고문헌

1. 김석연. 2000. 벼 답수직과 안정화를 위한 종자 Pellet 기술 개발에 관한 연구. 박사학위논문. 전남대학교.
2. 박종수. 2001. 성형롤을 이용한 벼 펠렛종자 제조장치 개발. 석사학위논문. 전남대학교.
3. Bulan, P. 1991. Some effect of seed coating and aging treatments on soyben germination and emergence. Mississippi State Univ. Ph. D. Thesis.
4. Singh, Jai. 1996. Design, construction and performance evaluation of seed pelleting machine. Agri. Mech. in Asia and Africa 27(1), pp.25.