무논멀칭직파기 개발

Development of A Paper-Mulching Direct-Seeder

최덕규*	김승희*	김진영*	김충길*	강태경*	곽태용*
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
D.K.Choi	S.H.Kim	J.Y.Kim	C.K Kim	T.K.Kang	T.Y.Kwak

1. 서 론

벼 재배기술은 이앙재배 위주로 발전하여 왔으나 산업화로 인한 농업인구 감소와 이에 따른 노동력 부족, 노령화 및 임금상승으로 재배노력 절감을 위한 생력 기계화재배기술개발의 필요성이 증가하고 있다.

파종할 부분만을 경운하면서 볍씨를 파종·시비하고 배수구작업을 동시에 할 수 있어 노력 및 비용을 크게 절감할 수 있으며 무경운 포장에서 작업하므로 비가온 다음날이면 파종작업을 할 수 있으므로 잦은 강우시 적기파종시기를 놓칠 수 있는 기존의 건답직파기술을 보완할 수 있는 장점이 있는 건답직파기계기술을 연구한 바 있다(박석호, 2002).

직파기의 중요한 문제점은 파종불량과 토양처리의 실패이며 원인은 단순롤러형 배출장치로는 볍씨의 배종이 원활치 못한 경우가 생기게 되며 건종자인 경우 큰 문제가 없으나 직파의 작업체계상 벼를 침종하거나 최아하여 파종하기 때문에 배종장치의 보완이 필요한 것으로 보고한바 있다(이중용, 1996).

기존의 직파 기계기술은 무논에서 파종골에 볍씨를 파종하거나 건답에서 볍씨를 줄뿌림하는 줄뿌림파종기술이며 일정한 간격에 일정량의 볍씨를 점파할 수 있는 기술개발에 대한 요구가 증대하고 있다.

일본에서는 볍씨가 부착된 재생용지를 논에 피복하여 재배하는 직파기술과 재생종이를 피복하면서 동시에 이앙하는 친환경 벼 재배기술을 개발한바 있으며 국내에서는 농약사용량을 2004년까지 30%, 2010년까지 50% 절감하는 병해충종합관리 대책(IPM)을 정부가 추진하고 있는바 IPM 기술대책에 부응하여 제초제처리가 생략되는 친환경 벼 직파기계기술인 종이멀칭직파기 개발이 필요하다.

본 연구는 종이를 멀칭함으로써 잡초의 발생을 억제하여 제초제 사용을 생략할 수 있는 친환경 벼재배기계기술이며 종이를 멀칭하면서 직파함으로써 비용과 노력을 크게 줄일 수 있는 멀칭직파기의 설계기준을 설정하기 위해 수행하였다.

* 농업기계화연구소 생물생산기계과

2. 재료 및 방법

종이멀칭직파기는 승용이앙기 본체와 직파기 사이에 종이멀칭장치를 부착하여 롤에 감겨있던 종이가 풀리면서 토양에 멀칭되면 직파장치가 종이와 토양에 구멍을 뚫으면서 볍씨를 일정한 간격으로 점파하도록 설계하였다. 볍씨를 직파하기 위하여 설계한 메커니즘은 볍씨를 배종하는 배종장치, 토양에 파종할 구멍을 혈공하는 혈공장치와 혈공된 구멍에 볍씨를 파종하는 파종장치로 구성된다. 배종장치는 기존에 직파기로 많이 사용되고 있는 홈롤러식 배종장치를 개량하여 사용하였다. 종이를 멀칭한 토양을 혈공하기 위하여 혈공 메커니즘을 설계하여 다물체 동력학 해석 프로그램인 RecurDyn을 사용하여 분석하였고 기구의 3D 모형은 3D CAD 모델러인 IDEAS를 사용하여 개발하였다.

가. 볍씨 배종장치

볍씨의 배종장치는 기존에 직파기에서 많이 사용하는 홈롤러식 배종장치를 변형하여 사용하였다. 홈롤러식 배종장치는 한 개의 롤러에 8개의 홈이 있고 종자에 따라서 홈의 크기를 조절하여 사용할 수 있는 장치이나 본 연구는 볍씨를 대상으로 4~6개의 볍씨를 점파하는 기계기술이므로 한 개의 롤러에 2개의 홈으로 설계하였다.

나. 혈공 및 파종장치

혈공장치의 기능은 무논과 종이에 볍씨를 파종하기 위한 적당한 크기의 구멍을 뚫는 것이며 이때 작업속도에 대응한 적절한 궤적으로 운동하여야 한다. 직파장치는 볍씨를 담고 있다가 종이 및 토양이 혈공되면서 상승할 때 즉시 파종하여야만 혈공된 위치에 파종할 수 있다. 이에 파종장치는 배종된 종자를 담고 있다가 빠른 속도로 운동하는 혈공장치가 토양을 혈공하는 순간 파종되도록 혈공장치 상단에 파종장치를 부착하였다.

본 연구에서는 이러한 요구에 충족될 수 있도록 크랭크식으로 혈공 및 파종장치를 설계하였으며 다물체 동력학 해석 프로그램인 RecurDyn으로 혈공상태를 예측하였다.

직파기는 승용이앙기 본체 후방에 부착하였으므로 승용이앙기의 작업속도가 0.2~1.24m/s이고 혈공 및 직파 메커니즘이 볍씨를 자연낙하는 구조이므로 작업속도가 최저속인 0.2m/s로 작업한다고 가정하여 설계하였으며 볍씨의 주간간격은 140㎜로 하였다. 혈공장치의 운동궤적을 분석하기 위하여 3D CAD 모델러인 IDEAS로 설계한 혈공장치의 모델을 RecurDyn에서 시뮬레이션하여 혈공 및 파종장치 혈공부의 궤적과 전진하면서 작업할 때의 궤적을 시뮬레이션하여 혈공장치의 거동에 따라 토양에 파여진 구멍의 깊이에 따른 뚫린 표면의 길이를 예측하였다. 실제 이앙기로 포장작업시 포장의 토양 및 굳힘정도에 따른 작업기 바퀴의 슬립을 고려하여 슬립률을 13%로 적용하여 시뮬레이션을 하였다.

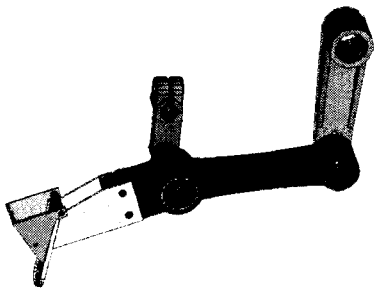

그림. 1 IDEAS로 설계한 혈공 및 파종장치.

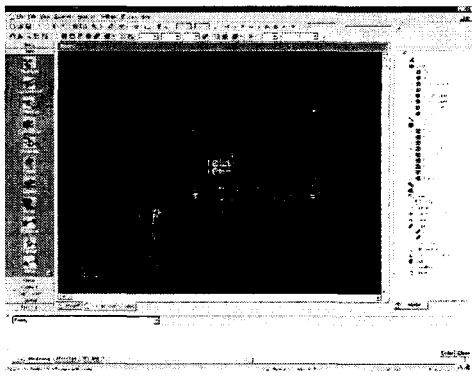

그림. 2 RecurDyn으로 기구의 궤적분석.

다. 포장시험

혈공 및 파종성능을 검증하기 위하여 시작기를 승용이앙기(산파6조식) 본체 후방에 부착하였다. 조간이 30㎝로 이앙기와 동일하며 이앙기본체의 폭을 고려하여 6조로 제작하여 시험하였다. 종이멀칭장치는 이앙기본체 뒤에 부착하여 종이가 멀칭되면서 멀칭장치 후방에 직파장치가 멀칭된 종이와 토양을 혈공하면서 볍씨를 파종하도록 구성하였다.

시험포장은 로터리작업을 8일전에 하였고 멀칭직파기의 메커니즘 특성상 논에 물이 없는 것이 필수 조건이므로 시험 전날에 물을 완전히 뺀 상태에서 시험하였다. 표 1은 시작기의 포장시험 조건을 나타낸 것이다.

표 1 시험포장 조건

토 성	굳힘일수 (일)	원추관입심 (㎝)	담수심 (㎝)	비 고
식양토	8	120~150	0~2	안산벼

3. 결과 및 고찰

가. 종이 및 토양혈공 시뮬레이션

토양 및 종이를 혈공하는 파종 및 혈공장치 끝단 혈공부의 궤적을 구명하였다. 시뮬레이션한 결과는 그림 3과 같으며 하단에서 상단까지 y축상에서 155.2mm 이동하는 것으로 나타나 볍씨 배종장치의 볍씨 낙하부 위치 설계시 기준이 되는 치수로 설정하였다.

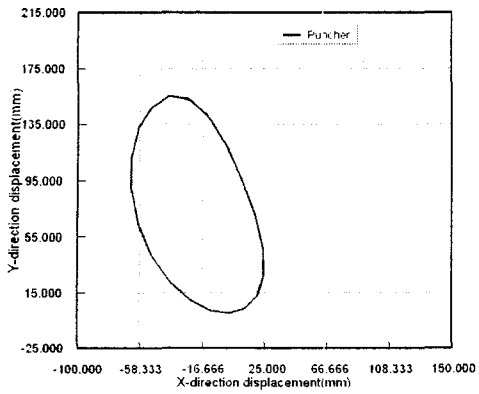

그림. 3 혈공 및 파종장치 끝단 궤적.

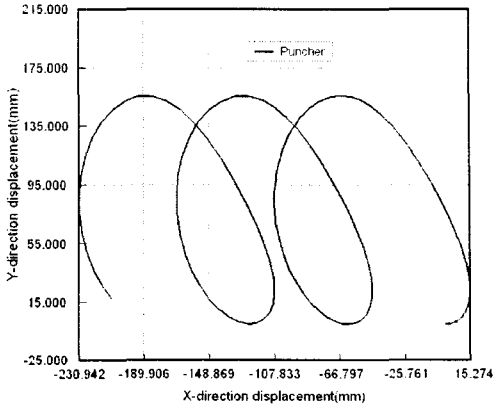

그림. 4 이동작업시 기구의 궤적.

포장에서 혈공부의 회전운동에 의해 토양과 토양에 부착된 종이의 진행방향으로 생성되는 구멍의 길이를 예측하는 시뮬레이션 결과와 포장시험결과 토양의 깊이별로 멀칭종이에 생긴 구멍의 길이를 비교하였다. 토양에 밀착하여 덮여진 멀칭용 종이에 뚫린 구멍 폭의 경우 혈공장치의 단면폭을 25㎜로 제작하였고 혈공부가 회전하는 속도와 토양의 반발력에 의해 종이가 혈공되므로 찢어지는 폭이 25㎜이상일 것으로 예상할 수 있다. 그러나 실제 구멍의 폭을 조사해 본 결과 25~50㎜, 평균 33.1㎜로 나타나 토양의 굳힘 정도와 밀착상태에 따라 혈공장치 끝단에 의해 찢어진 상태는 조건에 따라 변이가 큰 것으로 나타났다. 토양에 뚫린 구멍의 깊이별 멀칭종이의 찢어진 길이의 추정치와 실제 실험결과를 표 2에 나타내었다. 실측치와 계산된 추정 길이와는 4.3~5.9㎜의 차이가 있는 것으로 나타났는데 이것은 앞에서 기술한바와 같이 토양의 굳힘 정도와 종이와 토양간의 접착상태에 따른 차이인 것으로 판단하였다.

표 2 구멍깊이별 시뮬레이션한 추정값과 실측값

	구멍 깊이별 길이(㎜)		
	20	30	40
시뮬레이션 추정치	42.8	47.9	51.2
포장시험 측정값	38.5	53.8	56.5

나. 시작기 포장시험

시작기의 파종상태를 조사하기 위하여 혈공된 종이와 토양에 떨어진 볍씨의 개수를 조사하였다. 시험포장의 표면은 물이 고여 있지 않아야 직파기의 혈공 및 파종메커니즘으로 볼 때

적합하지만 실제는 논의 정지상태에 따라 요철이 있어 부분적으로 물이 고여 있는 상태이다. 물이 있거나 토양의 상태가 곤죽인 경우 토양이 혈공 즉시 함몰되기 때문에 볍씨나 흙이 혈공부에 붙어 파종상태가 불량하여 지는 경우가 발생하므로 포장의 상태가 파종상태에 중요한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

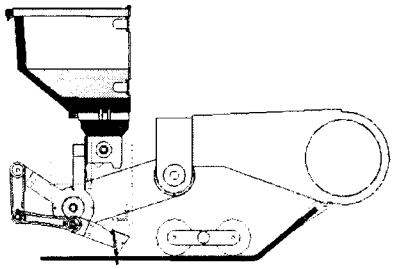

그림. 5 시작기의 개략도.

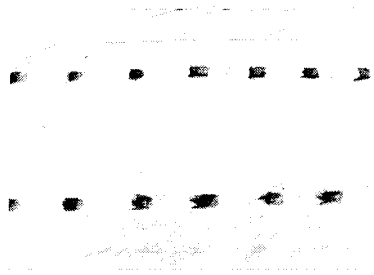

그림. 6 혈공 및 파종상태.

그림 5는 시작기의 개략적인 원리도이며 그림 6은 토양 및 종이에 혈공된 상태와 구멍에 볍씨가 파종된 상태를 나타낸 것이다.

종자의 파종상태는 볍씨가 혈공된 구멍안에 떨어진 개수를 조사하였으며 표 3에 파종된 개수별로 나타내었다. 포장시험결과 작업초기에는 파종상태가 양호하다가 점점 결주 또는 볍씨가 적게 파종되었는데 이러한 원인은 혈공장치 끝단에 물과 흙이 묻음으로써 배종된 볍씨가 달라붙거나 볍씨의 낙하를 방해하여 파종상태가 불량해지는 경우가 발생하였다. 파종시험결과 결주가 10.4%로 많고 1~3개 파종된 비율이 62.4%로 높아 배종된 볍씨를 정확하게 파종할 수 있는 메커니즘의 보완이 필요한 것으로 나타났다.

표 3 볍씨 파종율

0개	1~3개	4~6개	7개 이상
10.4% (5.3)	62.4% (10.7)	24.5% (4.0)	2.7% (4.0)

※ ( )는 S.D.

4. 요약 및 결론

본 연구는 종이를 멀칭하면서 배종된 볍씨를 혈공 및 파종장치의 혈공부가 토양과 종이에 뚫은 구멍에 직파하는 멀칭직파기 개발에 대한 것이다. 혈공 및 파종장치를 3D 모델러인

IDEAS로 설계하였고 혈공부의 회전운동에 따라 발생하는 궤적과 시작기의 작업시 작업기 본체의 이동에 따른 궤적의 변화를 시뮬레이션하여 구멍의 깊이에 따른 길이를 예측하였으며 실제 포장에서의 조사값과 비교하였다. 또한 혈공된 구멍에 파종된 볍씨의 파종상태를 조사하여 시작기의 문제점과 향후 보완하여야할 점을 논하여 종이멀칭직파기의 주요 설계인자를 제시하고자 하였으며 주요 결과는 다음과 같다.

1) 종이멀칭직파기 주요 기구의 3D 모형은 3D CAD 모델러인 IDEAS를 사용하여 설계하였으며 멀칭직파의 핵심인 토양 및 종이의 혈공장치로 혈공 및 파종장치를 다물체 동력해석 프로그램인 RecurDyn에서 시뮬레이션 하였다.
2) 볍씨 배종장치는 기존 직파기에서 사용되고 있는 홈롤러식 배종장치를 보완하여 홈이 2개로 하였으며 볍씨 4~6개가 배종되도록 설계하였다.
3) 혈공 및 파종장치의 끝단인 혈공부의 회전운동에 따른 궤적을 시뮬레이션한 결과 y축 하단에서 상단으로 155.2mm 이동하는 것으로 나타나 배종장치 설계시 종자배출 도관의 위치 설정의 기준치수로 설정하였다. 승용이앙기의 작업속도 0.2m/s와 바퀴의 슬립률 13% 적용하여 혈공부의 궤적을 시뮬레이션하여 토양의 깊이별 멀칭종이에 생기는 구멍의 길이를 예측하여 시작기의 실제 작업시 발생하는 길이와 비교한 결과 4.3~5.9㎜의 차이가 있는 것으로 나타났는데 토양의 굳힘 정도와 종이와 토양간의 접착상태에 따른 차이인 것으로 판단하였다.
4) 혈공된 구멍에 파종된 볍씨를 조사한 결과 작업초기에는 파종상태가 양호하다가 점점 결주 또는 1~3개 파종되는 비율이 증가하였는데 이것은 혈공장치 끝단이 물과 흙이 묻음으로써 배종된 볍씨가 달라붙거나 볍씨의 낙하를 방해하여 파종상태가 불량해지는 것으로 판단하였다. 파종시험결과 결주가 10.4%로 많고 1~3개 파종된 비율이 62.4%로 높아 배종된 볍씨를 정확하게 파종할 수 있는 메커니즘의 보완이 필요한 것으로 나타났다

5. 참고문헌

1. 박석호, 이동현, 김학진, 이채식, 조성찬, 곽태용. 2002. 부분경운 건답직파기 개발. 농업기계학회지 27(1):25-32.
2. 박현기, 김경욱, 김재원, 송태영, 박문섭, 조구현. 2002. 다물체 동력학 해석 프로그램을 이용한 포워더의 횡전도 분석. 농업기계학회지 27(3):185-194.
3. 박홍제, 박영준, 김경욱. 2000. 캠식 고속 식부장치 개발. 농업기계학회지 25(6):445-456.
4. 이중용, 최영수. 1996. 벼 직파기계설계이론(Ⅰ). 농업기계학회학술대회 논문집 p7-11.
5. 최원철, 김대철, 김경욱. 2001. 플러그묘 취출장치 개발. 농업기계학회지 26(5):415-422.