

벼 직파기계 설계이론 (I)⁺

- 직파기의 문제점과 개선점 -

Design theory for a Rice-Direct Seeding Machine

- Problems of Rice-Direct-Seeding Machines and Improvement Points -

이중용*

최영수**

정희원

정희원

J. Y. Rhee

Y. S. Choi

1. 서론

벼의 직파재배는 90년대 들어와서 영호남을 중심으로 급속히 증가하기 시작하여 1995년에는 전체답면적 105만 ha의 10%인 11만 ha가 직파로 재배되었다. 이렇게 급속한 증가의 배경에는 농촌노동력이 부족하다는 점이 크게 작용하였다. 미처 기술적인 문제가 해결되기 전부터 농민들이 자발적으로 수용하는 과정에서 몇 개의 직파기가 개발되어 직파보급에 크게 기여하였으며 재배기술도 건답직파, 무논골뿌림, 단수산파, 무경운 직파(산파, 조파, 점파) 등으로 다양하게 발전되었으나 직파가 가지고 있는 유전적인 문제점인 입묘확보, 도복방지, 잡초제거라는 3대 과제는 완벽하게 해결되지 못하였다. 따라서 많은 농가가 해마다 직파로 전환하지만 일부는 심각한 실패를 보고 있는 실정이다.

이런 실정에서 모든 직파재배 농가가 바라는 것은 직파재배기술의 정착일 것이다. 여기서 기술의 정착이라 함은 문제점이 최소화된 직파재배법이 개발되고 재배 중에 발생하는 문제의 대부분을 농민 스스로 해결할 수 있는 정도로 기술이 보급된 상태를 뜻한다. 수도작이 대규모재배로 전환되고 있는 현실에서 볼 때, 직파기에 대한 중요성이 키지는 것은 필연적이라고 판단된다. 직파를 시도하여 실패하는 원인 중의 하나는 직파기의 완전성이 결여되었다던지 또는 직파기 이용에 대한 정확한 지식이 아직까지 널리 보급되지 않았다는 점을 들 수 있다.

현재 우리 나라에서 사용되는 직파기는 건답직파기, 무논골뿌림직파기, 비료살포기가 있으며 기타 다양한 기계가 시도되고 있으나 실제 농가에서는 아직까지 사용되고 있지 않다.

본 연구는 직파기를 설계하는 이론을 정립하기 위한 것으로서 우선적으로 현재의 직파기의 문제점과 직파기가 갖추어야 할 특성을 제시하여 직파기의 개량이나 개발에 도움을 주고자 한다.

2. 재료 및 방법

본 연구는 현장연구와 실험실 연구를 결합하여 수행되었다. 직파기계의 사용상 문제점은 1992년부터 1995년에 걸쳐 농가현장을 방문조사와 설문조사의 결과를 취합한 것이다. 직파기의 설계상의 문제라고 판단되는 사항은 실험실에서 기초적인 실험을 수행하였다. 실험에 필요한 안식각 측정장치와 직파기 구동장치 세트, 동력살분무기의 캘리브레이션 장치 등은 제작하였다. 기타 직파기에 관한 정보는 실물에서 측정하거나 제작회사를 통하여 입수하였다.

실험에 사용한 벼는 동진벼이며, 검토한 직파기는 금성, 중앙, 태홍직파기이다. 직파기는 93년 개발된 이래 계속적으로 개선되어 왔으며 본 연구에 사용한 기계는 95년도를 기준으로 한 것이다.

+ 본 연구는 1995년도 교육부 농업과학 학술연구조성비를 지원받아 수행되었음

* 전북대학교 농과대학 농업기계공학과

** 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과

3. 결과 및 고찰

직파기에서 중요한 문제는 파종불량과 토양처리의 실패로서 이 문제의 원인은 단순한 롤러형 배출장치로는 벼의 공급이 원활하지 못한 경우가 생기기 때문이다. 건종자의 경우에는 커다란 문제가 되지 않으나 직파의 작업체계상 벼를 침중하거나 쪼아해서 파종하기 때문에 종자가 충분히 건조되지 못한 경우에 발생하거나 잘 건조되었다 하더라도 지경이나 소지경, 검불 등이 혼재되어 있으면 발생한다.

파종불량은 모든 직파기가 가지는 문제점이며 직파기의 종류에 따라 서로 다른 문제점이 있다. 대표적인 문제점을 정리하면 아래의 표와 같다 (양환승의 3인, 1995).

표 1. 농민들이 말하는 직파기의 문제점과 문제의 성격구분

구 분	문 제 점	문제의 성격
무논골뿌림 직파기	파종불량이 된다. 연약토양에서 부판이 깊게 빠진다. 벗짚이 엉킨다. 종자가 떠올라 이동한다. 종자통이 쉽게 떨어지고 변형된다. 파종되는 것을 작업 중 확인하기 힘들다. 적당하게 토양을 굳히기 힘들다. 파종골 사이에 흙이 밀려나와 산을 이룬다	기계사용미숙, 기계문제 종자준비 미숙 기계문제, 본논준비미숙 본논준비미숙 본논준비미숙 사용미숙, 보관미숙 기계문제 본논준비미숙 기계문제, 본논준비 미숙
전답직파기	파종깊이가 깊거나 얇다. 파종불량이 된다. 파종되는 것을 확인하기 힘들다. 휴립의 깊이가 깊다. 종자통이 쉽게 떨어지고 변형된다. 흙이 멍쳐서 작업이 곤란하다.	기계문제, 기계사용미숙 기계사용미숙, 기계문제 종자준비 미숙 기계문제 기계문제 사용미숙, 보관미숙 본논준비미숙
비료 살포기	종자가 너무 많이 뿌려진다. 종자살포가 균일하지 않다. 입묘율이 떨어진다. 종자가 자주 막힌다.	기계문제 사용미숙, 기계문제 기계문제, 종자준비미숙 종자준비미숙, 기계문제

이상의 문제점 중에서 기계설계상의 문제점을 자세히 검토한다.

가. 종자배출장치의 문제점

기존의 직파기는 대부분 흙롤러 배출형식이며 재질은 플라스틱으로 되어 있다. 첫 번째 문제로 들 수 있는 것은 종자통의 바닥면 경사각으로서 종자의 안식각은 종자의 함수율과 밀접한 관계를 가지고 있다. 종자의 안식각을 함수율별로 조사한 결과가 표 2에 실려 있다.

쇠아종자는 건종자에 비해 약 25%의 수분을 흡수한 상태이고 왕겨와 현미 사이의 공간에 수분이 있고 왕겨의 표면에도 수분이 있다. 윗 실험은 침중한 종자의 자료로서 자루에 담아 1시간 정도 물을 댄 후에 측정된 것이다. 종자가 배출되면서 롤러 상부에 빈 공간을 상부로부터 종자가 채워져야 한다. 그러나 표에서 보듯이 종자통 내에서 종자가 무너져 내리는 각도가 60도를 넘으므로 종자통 내부에 쉽게 공동이 형성된다. 종자의 안식각은 함수율 24-26% 사이에서 급격한 변화를 보였으며 이 함수율에서 종자는 포화되었고 표면에 있는 자유수분이 양이 함수율을 결정짓는

것으로 판단된다.

표 2. 침종 벼 종자의 함수율별 안식각 및 직파기에서의 공동현상 발생유무

구분 함수율	무너진 곳의 안식각	쌓인 곳의 안식각	플라스틱에 부착정도	공동현상	종자통바닥의 경사각
15(건종자)	40-44	35-40	부착안됨	가능	40-45
21	42-45	41-43	부착안됨	가능	
24	46-52	42-45	일부 부착	가능, 드물게 발생	
26(습한종자)	65-72	45-48	대부분 부착	발생	

또한 종자배출홈의 폭도 문제가 된다. 종자의 배출속도는 되적이고 상관성이 없으며 오직 배출 구멍의 직경 또는 홈의 폭과 관계가 있는 것으로 알려져 있다 (ASAE, 1987). 현재의 직파기의 배출구는 직사각형으로 되어 있으며 단변의 폭은 20-39mm로 좁으며 특히 문제가 되는 것은 파종 롤러에 있는 홈의 폭이 불과 5mm 길이가 원주방향으로 13mm에 불과하다. 롤러홈의 크기는 단위면적당 파종량과 관계가 있어 이것을 늘리는 것은 당장 파종량이 많아지는 문제가 있으나 파종 불량은 불가피하다는 설계상의 문제점이 있는 것이다. 이를 개선할 수 있는 방법은 종자통 내부에서 일종의 보조 공급장치가 필요하다. 그러나 보조롤러가 단순한 원통형인 경우는 종자의 흐름을 방해하고 돌기를 가진 경우에는 쇠아종자의 삭을 파괴하는 효과가 있다.

종자의 공동현상을 방지하는 방법은 현재와 같이 개별적으로 소량을 배출하는 기계에서 6-8조를 한 곳에서 배출하여 이것을 균분하는 시스템이 적합한 것으로 판단된다.

나. 부판과 작구날의 설계

우리 나라의 직파기는 이앙기를 개조하여 탑재되고 있다. 따라서 부판이 이앙기의 그것과 같은 경우가 대부분이고 보다 작은 부판으로 개조된 경우도 있다.

무논골뿌림에서 가장 핵심되는 작업조건은 토양 표면을 적당히 굳게하고 는 표면이 고르게 정지되고 벧짚과 같은 이물질이 표면에 없어야 한다. 작구가 원만히 이루어 질 수 있는 토양의 굳음 정도는 토양의 擧動과 관계가 깊으며 토양의 거동은 표층 토양의 함수율과 밀접히 관련되어 있다 (Yong and Warkentin, 1975). 는 토양의 표면이 고르지 못한 경우에는 토양의 굳음정도가 불균일하여 어떤 곳은 묻혀서 파종불량이 되고 어떤 곳은 너무 굳어 작구가 되지 않는다. 또한 무른 토양은 이앙기 부판 사이로 흙이 밀려나와 파종골 사이에 낮은 산을 형성하며 이 부분은 잠초방제에 커다란 문제를 일으킨다(양환승 외 4인, 1995)

무논골뿌림에서 적합한 토양의 경도는 토양의 종류와 부속되지 못한 유기물 덩어리의 양에 따라 다르나 대략 1 cm의 침하량에서 0.02 kg/cm²의 압력을 견디는 상태 (맨발에 작용하는 압력은 대략 0.15-0.2 kg/cm²) 로서 함수율로는 35-38 %(w.b.)으로 나타났다 (양환승외 4인, 1995).

표 3. 직파기의 부판에 작용하는 압력 (6조기준)

구분 부판종류	작업기 하중(kg)	부판면적(cm ²)	압력(kg/cm ²)범위	적합한 토양의 굳음 (1cm 침하하중)
구형 부판	38-72	7500-8500	0.005-0.008	0.02
신형 부판	35	2800	0.0125	

무논골뿌림기의 부판압력은 하중이 균등분포한다고 가정할 경우에 표 2와 같다. 이 결과에 따르면 무논골뿌림기의 부판은 충분한 면적을 확보하고 있으며 축소가 가능하다. 신행부판의 경우에는 토양의 연경도에 따라 작업부를 자동으로 상승시키는 유압회로를 살려야만 연약한 토양에서 직파기가 흙을 밀고 다니는 현상을 피할 수 있다.

다. 직파기의 구조물 설계

담수직파기는 구조물에 큰 문제는 없으며 사소한 것으로는 종자관의 높이가 담수직파기의 경우 다소 낮다. 특별히 논의 정지가 잘 되지 않은 곳에서 종자관에 흙이 닿는 경우에 종자관을 막히게 하는 원인이 된다.

풍속이 V_{WIn} 상태에서 종자관의 높이 H_T 와 수평이동량 S 의 관계는 이론적으로 다음과 같다. 종자배출 튜러의 지면에서 높이를 H_R 이라하면 종자가 호스를 빠져 나올 때의 속도는 다음과 같은 식으로 표시될 수 있다. 종자는 종자관 내에서 1-2회에 걸쳐 호스 벽면과 충돌하여 이론적이 속도에 비해 작다. 실험적으로 보면 수직 속도의 보정계수 k_v 는 0.8 정도이다.

$$V_o = k_v \sqrt{2g(H_R - H_T)} \quad \dots \quad \text{식 (1)}$$

$$S = V_o \left(-\frac{V_o}{g} + \sqrt{\left(\frac{V_o}{g}\right)^2 + 2\frac{S}{g}} \right) \quad \dots \quad \text{식 (2)}$$

이론식에 따르면 직파기에서 평균풍속 5m/s에 의한 종자의 수평이동거리는 1.8 cm로서 충분히 파종골 안에 떨어지지만 실제로는 호스내에서 종자가 좌우로 충돌하며 떨어지기 때문에 종자의 분포는 반경 5cm 정도의 범위안에 파종된다. 따라서 종자는 파종골 밖에 떨어질 수가 있다. 이 문제를 해소하기 위해서는 떨어지는 종자의 수평속도를 최소화하는 것으로 종자가 막히지 않을 굵기로 즉 내경이 25mm(1")에서 13mm(1/2") 정도로 개선하는 것이 바람직하다.

전담직파에서 직파기의 구조물이 문제가 되는 것은 작업조수를 늘리는 경우에 로타리 작업폭과 일치하지 않는 경우에 발생한다. 즉 좌우의 지면 높이가 다른 경우에 중간 부분에 파종심도가 균일하지 못하다. 이런 원인은 현재 6-8조에 이르는 조파기가 갭에 고정되었기 때문으로 갭에 스프링을 부착하여 최소한 2조씩은 다소의 전후회전이 가능하게 설계할 필요가 있다.

라. 비료살포기의 파종량 조절장치

동력살분무기의 엔진의 속도를 최소로 하더라도 풍속은 24-26 m/s, 2단에서 30-33.5 m/s, 3단 이상이면 45-47 m/s로 나타나므로 그 이상 올리는 것은 종자에 손상을 준다. 본 연구에서는 엔진의 회전속도를 바꾸어가며 싹이 1-2mm 난 최야종자를 살포하여 입묘율을 실험실에서 조사하였다. 그 결과를 표 3에 나타내었다. 모든 종자가 손상을 입지는 않는 것으로 나타나고 있으나 엔진의 회전속도가 5,000 rpm 이상에서는 종자의 입묘율이 70% 이하로 크게 떨어지는 것을 관찰할 수 있었다.

표 4. 주름호스의 유무가 입묘율에 미치는 영향

엔진속도	주름호스가 있는 경우			주름호스가 없는 경우		
	3,000rpm	4,000rpm	5,000rpm	3,000rpm	4,000rpm	5,000rpm
입묘율(%)	96	84	68	95	94	91

배출량 조절레버와 배출량 조절장치 민감한 정도를 조절하는 장치는 서로 연결되어 있으므로 민감한 정도를 어떻게 놓느냐에 따라서 배출량은 시간당 크게 변하며 공동현상도 자주 발견된다. 배출량 조절장치를 최대한으로 하는 경우에 배출량 조절레버를 조절 단수별로 파종량을 조사해 보면

조절레버를 1단만 바꾸어도 매우 민감하게 바뀌며 적정 파종량 1-2 kg/min (양환승의 3인, 1995)을 얻으려면 엔진의 회전속도를 1단으로 할 때 배출량 조절레버는 6-7단, 엔진을 2단으로 할 때 3-5단 범위로 충분하다.

바. 비료살포기의 개선

비료살포기는 이앙기에 탑재하여 좌우로 2개를 동시에 살포하는 경우 적절한 분관만 설계된다면 살포폭을 40m 이상으로 넓힐 수 있다. 이론적인 시뮬레이션으로는 비료살포기에서 50 m까지 살포가 가능하나 실제의 경우에는 18m 정도가 최대가 된다. 살포폭을 넓히기 위해서는 분관의 길이를 길게하고 분관 중간에 여러개의 분배장치를 설치하는 것이 유효한 것으로 나타났다.

4. 요약 및 결론

직파재배는 쌀농사의 경쟁력을 강화시키는 데 있어 가장 유력한 방법으로 인식되고 있다. 본 연구에서는 현재 우리나라에서 사용되고 있는 직파기의 성능과 문제점을 현장에서 파악한 것을 정리하고 문제점 중에서 기계설계시 고려할 수 있는 사항을 이론과 실험을 통해 제시하였다.

1. 직파기에 있어서 가장 문제가 되는 파종불량현상은 종자배출장치에서 발생하는 공동현상에 의한 것으로서 현재와 같이 각 종에서 소량을 배출하는 장치에서 한 배출장치에서 배출하고 이를 균분하는 장치로 바꾼다면 해결될 수 있을 것이다.

2. 무논 골뿌림 직파기의 종자관의 굵기는 현재의 내경 25mm 호스에서 13mm fh 바구는 것이 골 안에 성공적으로 파종할 수 있다.

3. 건답직파기의 조수를 6조 이상으로 하는 경우에는 갯에 각 조를 고정시키는 형식에서 다소의 여유를 갖도록 고정시키는 것이 요구된다.

4. 동력살분무기는 현재로도 직파에 이용할 수 있으나 생력형 기계로 개발한다면, 종자의 배출위치를 조절하고 분관의 길이를 길게하고, 분관 중간에 여러 개의 분배장치를 부착시켜야 한다.

5. 참고문헌

1. 양환승, 박정근, 김진기, 이중용. 1995. 벼 직파재배기술의 체계화를 위한 연구개발. 연구보고서 전라북도.
2. 양환승, 박정근, 김진기, 이중용, 김경선. 1995. 잡초성비의 방제에 관한 연구. 한국잡초학회지 15호 별책 2호 p.28-29. 한국잡초학회 학술발표회.
3. 農林水産航空協會. 1993. 航空播種による水稻湛水土壤中直播栽培. 試驗成績書. 農林水産航空協會
4. 稻作農業研究會. 1993. 新稻作事情. 地球社
5. 中村喜彰. 1983. 低コスト增收の米作り-湛水土壤中直播栽培. 家の光協會.
6. ASAE 1987. ASAE standard 37th ed. p.328
7. Rhee, J. Y. and C. H. Lee. 1993. Development of Direct-Wet Rice Seeding machines in Korea. ICAMPE Proceeding Vol. 1, p.256-266.
8. Yong, R. N. and B. P. Warenkentin. 1975. Soil Properties and Behaviour. Elsevier Scientific Pub. Co.