

水稻作用 自走式 畚방제기의 作物損傷을 고려한 車輪設計 및 操向形式별 車輪軌跡-作物損傷의 시물레이션

A Study on the Rice Plant Damage and Wheel Design of a Self-Propelled Boom Sprayer and Wheel Track-Plant Damage Simulation of Various Steering Vehicles

정창주*, 김형조*, 조성인*, 최영수*, 최중섭*

정희원

정희원

정희원

정희원

C. J. Chung, H. J. Kim, S. I. Cho, Y. S. Choi, J. S. Choe

1. 서론

현재 관행의 방제 작업 기술은 지속적 저투입 농업 기술의 관점에서 또는 대구획화 포장에서의 효율성과 능률성 제고 측면에서 개선되어야 하며 그 하나의 대체 기술이 畚 방제기에 의한 포장 내의 소량 정밀 살포 기술이다. 외국의 경우는 수도작용 畚방제기의 실제 적용 및 개발이 진행되고 있지만 국내에서는 수도 포장의 관리 작업을 위한 고유 모델의 개발은 거의 전무한 실정이다. 따라서, 국내 여건에 적합한 畚방제기 개발을 위해서는 선회시에 작물 손상을 줄일 수 있는 적절한 선회 방식의 선택 및 작물의 초장을 고려한 최저지상고의 확보, 차륜의 침하 감소와 기체의 안정성, 주행성을 확보할 수 있는 차륜의 크기 결정과 같은 연구 개발이 요구된다.

본 연구에서는 수도작용 畚방제기의 방제 작업시 적용성을 검토하고 이를 토대로 주행성을 확보하며 동시에 작물 손상을 줄일 수 있는 차륜 설계 및 선회 방식 결정을 위한 기초 자료를 제시하고자 한다.

연구의 구체적인 목적은 다음과 같다.

- 1) 畚방제기의 수도 포장 적용성을 차륜의 침하, 슬립, 작물 피해 정도를 통해 실험적으로 구명하고,
- 2) 승용관리기의 주행성 확보와 작물의 손상을 줄일 수 있는 방제기의 최저지상고, 차륜 폭과 직경 등 주행부를 분석·설계하며,
- 3) 畚방제기의 선회 방식에 따른 작물 손상 정도를 컴퓨터 시물레이션에 의해 분석하여 적정 선회 방식을 제시한다.

2. 재료 및 방법

가. 畚방제기의 무논에서의 적용성 실험

공시 포장은 수원시 입북리 농진청 실험 포장(실험 1)과 서울대학교 부속 농장의 논(실험 2, 3)을 선택하였다. 표 1은 공시 포장의 토양 조건 및 작물 생육 상태를 나타낸 것이다.

토양 함수율은 실험 포장 4~6곳을 선정하고 토양을 채취하여 오븐(oven)건조법에 의해 측정하였고, 원추관입저항은 SR-2형 토양 저항 측정기를 사용하여 공시 포장의 가장자리에서 중앙으로 접근하면서 5~6곳에서 측정하였으며, 원추 지수는 토양 표면으로부터 관입 깊이 15cm까지의 평

* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과

균값을 취하였다.

공시 분방제기는 M사의 High-Clearance 자주식 Boom Sprayer로서 주행 방식은 4륜구동이며, 윤거 1.35m, 축거 1.2m, 차륜크기 0.9m×0.095m(직경×폭)이다.

Table 1. Experiment condition

	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3
Date	7. 21	8. 3	8. 18
Soil texture	Silty clay loam	Silty loam	Silty loam
Moisture Content(%)	43	40	41
Cone Index(kg/cm ²)	5.9 ± 0.6	5.9 ± 1.3	6.4 ± 1.5
Rice variety	il-pum	il-pum	il-pum
Plant length(cm)	40	78	100
Leafs per plant	9	14	22

포장 실험시의 차륜 침하는 직진시와 선회시를 나누어 별도로 측정하였다. 직진시에는 직진 구간을 일정 간격으로 나누어 차량 궤적을 따라 깊이와 폭을 차로 측정하였고, 선회시에는 좌측의 전·후

륜, 우측의 전·후륜을 구분하여 측정하였다.

작물 피해율은 최소 선회 반경(5m)으로 선회할 때에 발생하는 손상주를 직접 육안으로 관측하였다. 손상 판정 기준은 주당 피해 포기 수가 전체의 40%이하이면 경손상, 40~90%이면 중손상, 90%이상이면 매물로 정의하였다.

나. 분방제기 차륜의 크기 결정

분방제기의 작업 대상 포장 조건에 따라 차륜크기의 범위를 우선 결정하였다. 차륜의 최종 구동부가 차지하는 공간의 위치, 선회시 확보해야 할 前차륜 공간 등에 의해 차륜 직경의 범위를 구하고, 차륜 폭은 조간 및 차륜과 작물 사이의 간격을 기준으로 그 범위를 결정하였다.

포장 조건에 따라 결정되어진 차륜크기의 범위를 점토 주행성 상수식에 대입하여 차륜크기에 따른 주행성 상수의 변화를 분석하였다.

$$M_c' = \frac{CI \cdot b \cdot d}{W} \cdot \sqrt{\frac{\delta}{h}} \cdot \left(\frac{1}{1+b/2d}\right)$$

여기서, M_c' = 타이어 직경에 대한 폭의 비를 고려한 점토 주행성 상수

CI = 원추 지수,

W = 차륜에 작용하는 수직 하중(kN)

d = 타이어의 직경(m),

b = 타이어 폭(m)

δ = 타이어의 변형량(m),

h = 타이어 단면의 높이(m)

주어진 차륜크기의 범위에 따른 주행성 상수 값의 최소치와 최대치 사이에서 차륜의 견인 계수, 견인 효율, 구름 저항 계수의 변화를 고찰하여 주행성을 고려한 차륜크기의 범위를 결정하였다.

다. 차량의 조향 방식 모델 및 시뮬레이션

본 프로그램에서는 전륜 조향형, 4륜 조향형, 관절형 차량의 선회 방식에 대한 수학적 모델을 파악하고 차량의 조향 방식과 생육 상태를 검토하여 축거, 윤거, 차륜 폭, 그리고 선회 반경에 따라서 작물 피해 양상과 궤적이 어떻게 변화하는가를 시뮬레이션하였다.

차량의 궤적은 선회 방식에 따른 수학적 모델에 준하여 프로그램으로 나타내었으며, 피해 주수는 차량의 궤적과 화면에 표시된 작물이 겹쳐진 면적비를 구하여 산정하였다. 작물 손상 정도는 궤적과 작물이 겹쳐진 면적이 전체의 40%내외이면 경손상, 40~90%이면 중손상, 90%이상이면 매물로 구분하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 수도 포장 적응성 실험 결과

차륜의 직진·선회시 침하 깊이는 대체로 15cm내의인 것으로 나타났으며, 공시 포장에서의 원추지수값의 변화를 분석한 결과, 토양 깊이 15~20cm사이에 경반이 있음을 알 수 있었다. 따라서, 약액 탱크가 만재시 차륜당 최대 300kg정도의 하중으로는 경반을 파괴하지 않고 주행이 가능한 것으로 판단되었다.

실험당 2회의 선회에 대해서 손상을 측정하였다. 표 2에 피해 주수 측정치를 100m×40m의 포장에 환산하여 0.28%(일본의 실험결과 0.45%)로 나타내었다. 또한 실험 1개월 후에 다시 포장을 살펴본 결과 피해주의 약 60~80%정도는 다시 살아나는 것으로 미루어 볼 때 차륜에 의한 작물수확손실은 미미한 것으로 판단되었다. 따라서, 현 방제기의 실험 결과로 볼 때 작물 피해의 측면에서는 실험 전 예상과는 달리 큰 무리 없이 방제 작업이 가능할 것으로 판단된다.

Table 2. The damaged rate of plants incurred by the vehicle wheels for different field size

Field Size	ratio of damaged plants(%)			total ratio(%)
	slight	serious	buried	
100 × 30	0.06	0.12	0.07	0.25
100 × 40	0.07	0.14	0.07	0.28
100 × 50	0.07	0.14	0.08	0.29

나. 봄방제기용 차륜의 치수 결정

봄방제기의 차륜을 포장 작업 조건에 따라 그 범위를 결정하고, 주행성 측면에서 차륜 직경과 폭의 범위를 검토하였다.

차륜의 직경은 작물과의 공간, 차륜 조향시의 공간 등을 고려하여 70~100cm가 적정이며, 차륜의 폭은 포장의 조건, 작물 뿌리와 차륜과의 공간, 차륜의 궤적 폭 등을 고려하여 5~15cm가 적정으로 판단되었다.

결정된 차륜크기의 범위 내에서 주행성 상수를 계산하고 이를 통해 견인 계수, 견인 효율, 구름 저항 계수의 변화를 고찰한 결과 차륜 직경이 70~75cm, 80cm, 85~90cm, 95~100cm일 때 차륜 폭이 각각 11~15cm, 10~15cm, 9~15cm, 8~15cm로 추정되었으며, 이 범위 내에서 주행성이 보장되는 것으로 판단되었다.

다. 선회 방식에 따른 시뮬레이션

본 연구에서 분석된 세 가지 조향 방식에 대하여 측거, 윤거, 차륜 폭, 선회 반경(그림 1,2,3,4 참조)등의 변화에 따른 작물의 피해 정도를 살펴보았다. 시뮬레이션 초기치는 공시 방제기의 크기를 그대로 대입하였고 주간은 15cm, 생육 단계는 중기로 설정하였다. 작업 포장의 크기를 100m×50m로 가정하고 피해 정도는 총 주수에 대한 피해주수의 비율로 나타내었다.

세 가지 선회 방식 모두 측거의 변화에 따른 피해율의 변화가 거의 없었다. 전륜 조향형과 관절형은 윤거가 길어져도 큰 변화가 없었고, 4륜 조향형은 윤거가 길어질수록 피해율이 증가하는 것을 감안할 때, 4륜 조향형의 윤거 선택은 작물 피해율을 고려해야 할 것이다. 차륜 폭의 증가에 따라서는 세 방식 모두 작물 피해율이 서서히 증가하였다. 따라서, 차륜 폭은 앞서 포장 조건과 주행성에 관련하여 결정된 값을 선택하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 선회 반경의 증가에 따라서는 세 가지 방식 모두 피해율이 증가하였다.

작물 피해율은 전륜 조향형, 4륜 조향형, 관절형 순으로 컸다. 전륜 조향형은 선회시 4차륜 모두 궤적이 형성되므로 피해가 가장 많이 나타났고, 4륜 조향형은 선회 반경이 작을 때에는 전륜 조향형처럼 4차륜 모두 궤적이 형성되다가, 선회 반경이 커질수록 전후 차륜이 겹치는 현상이 생기므

로 전륜 조향형보다는 피해율이 작았다. 관절형은 설계 조건을 바꾸어도 bending point가 차량의 중앙에 위치하게 되면 항상 전후 차륜이 동일한 궤적을 형성하기 때문에 피해율이 가장 작았다.

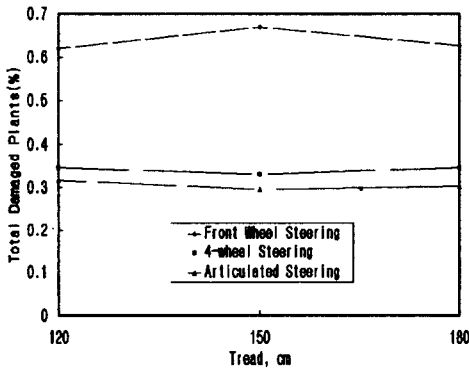


Fig. 1. The rate of damaged plants according to tread.

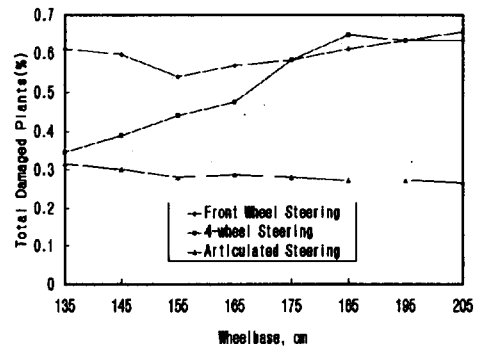


Fig. 2. The rate of damaged plants according to wheelbase.

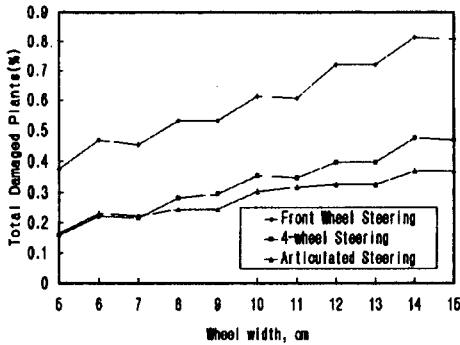


Fig. 3. The rate of damaged plants according to wheel width.

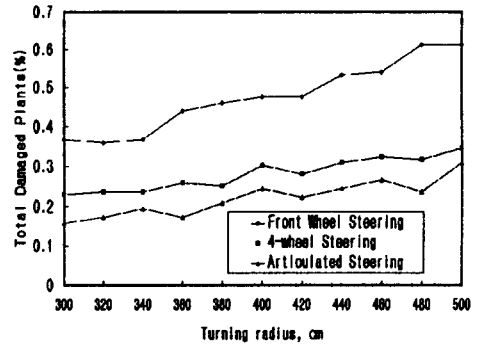


Fig. 4. The rate of damaged plants according to turning radius.

4. 요약 및 결론

이 연구는 자주식 볏방제기의 주행시 발생하는 작물 손실을 구명하고, 차륜의 설계 기준을 제시 하며, 아울러 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 전륜구동, 4륜구동, 관절형 차량의 작물손상 정도를 비교 하여 수도작용 자주식 볏방제기의 설계 자료를 얻기 위하여 수행되었다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 공시 볏방제기의 주행시 침하량을 측정된 결과, 차륜 부하에 관계없이 침하 깊이는 15cm내의 정도로 거의 경반을 지지하고 주행하는 것으로 판단되었으며, 차륜 슬립은 13~20%였다.
2. 공시기의 포장 실험에 의하면, 생육 초기, 중기, 후기의 1선회당의 피해 주수는 각각 38주, 85주, 126주로 관찰되었고, 이것의 환산 피해율은 100m×50m(0.5ha)에 대하여 평균 0.29%로 극히 낮은 수준이었으며, 실험 후 약 1개월 후에 다시 살펴본 결과 피해주의 60~80%정도가 회생하는 것으로 관찰되었다.
3. 벼의 초장에 따른 최저지상고, 작물 식생 조건 거리, 차륜과 작물 사이의 간격, 차륜 구동축의 높이등의 제조조건과 작물 보호 및 주행성 확보의 관점에서 볏방제기 본체의 차륜 직경은 70~100cm, 차륜 폭은 8~15cm가 적당한 것으로 나타났다.

4. 전륜 조향형, 4륜 조향형, 관절형의 작물 피해를 컴퓨터 시뮬레이션한 결과, 선회 반경 3~5m 범위에서 각 기체는 다같이 선회 반경이 줄어들수록 피해율은 작은 것으로 나타났고, 세 기체의 평균 피해율은 2 : 1.8 : 1로 나타났다. 따라서, 피해율 측면에서는 관절형이 가장 바람직하나, 피해율이 가장 큰 전륜 조향형도 손상의 수준이 미미한 점을 감안하면 그 채택도 별 문제가 없을 것으로 판단되었다.

5. 참고 문헌

1. 손상순. 1987. 트랙터 부착용 토양 침하 및 전단 시험기의 설계 및 제작. 서울대학교 대학원 석사 학위 논문 : pp. 39~43
2. 이규승, 이용국, 이중용, 박승제, 김상현. 1984. 수도 포장에서의 동력 경운기의 주행성에 관한 연구. 한국 농업 기계학회지 9(2) : pp. 8~18
3. 松居勝廣 譯. 1985. 트랙터의 설계. : pp. 4~15, 341~350
4. 農研センタープロジェクト研究第3チーム畑農作業研究室. 1994. 圃場内走行式管理機の操舵性能と水稻の損傷程度
5. Wong, J. Y. 1989. Terramechanics and Off-Road Vehicles. Elsevier Science Publishers. : pp. 185~241
6. Wong, J. Y. 1978. Theory of Ground Vehicles. John Wiley & Sons.
7. Bekker, M. G. 1969. Introduction to Terrain-Vehicle Systems. University of Michigan Press.
8. Oida, A. 1983. Turning Behavior of Articulated Frame Steering Tractor - I. Motion of Tractor without Traction. Journal of Terramechanics. 20(3), 20(4) : pp. 153~165
9. Wong, J. Y. 1984. An Introduction to Terramechanics. Journal of Terramechanics. 21(1). : pp. 5~17
10. Okello, J. A. 1992. Prediction of the Force Distribution Between the Soil and a Pneumatic Wheel. J. agric. Engng Res. 51. : pp. 249~262
11. Gee-Clough, D., M. Mcallister, D. W. Evernden. 1977. Tractive Performance of Tractor Drive Tyres I. The Effect of Lug Height. J. agric. Engng Res. 22(4). : p. 375