

수도작용 자주식 분방제기의 작물손상을 고려한 차륜설계 및 조향형식별 차륜계적 -작물손상의 시뮬레이션⁺

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

정창주* 김형조* 조성인* 최영수* 최중섭**
C. J. Chung H. J. Kim S. I. Cho Y. S. Choi J. S. Choe

ABSTRACT

The present pesticide application technology widely used with a power sprayer in Korea is assessed as the problem awaiting solution in the point of view of its ineffectiveness, inefficiency, and environmental contamination. As one approach to get rid of these problems, the boom spraying with ultra-low volume and precision application technology has been recommended. The study was undertaken to investigate plants damages incurred by the self-propelled boom-sprayer vehicle, to develop the design criteria of vehicle wheel, and to compare plant damages caused by the front wheel steering vehicle, the 4-wheel drive vehicle and the articulated vehicle, by the computer simulation.

The experiment showed that the amount of damaged plants incurred by the self-propelled boom sprayer were about 0.29% in average in the field size of 100m×50m(0.5ha), about 60~80% of which recovering while growing.

The recommendable wheel size was analyzed to be 70~100cm in diameter, 8~15cm in width from the vehicle-plant-soil relationship.

The simulation on damaged plants anticipated to be incurred by various steering vehicles showed that the smaller the turning radius, the lesser the damaged plants within its range of 3~5m. Average plant damage rate by the front wheel steering vehicle, the 4-wheel drive vehicle and articulated vehicle was relatively assessed to be 2 : 1.8 : 1.

주요 용어(Key Words) : self-propelled boom sprayer, damage rate, wheel diameter, wheel width, front wheel steering, 4-wheel steering, articulated steering.

⁺ '94년도 산학협동재단 연구비로 수행되었음.

* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과

** 상주산업대학교 산업기계공학과

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 붐 방제기에 의한 포장 내의 소량 정밀 살포 기술이다. 외국의 경우는 수도작용 붐방제기의 실제 적용 및 개발이 진행되고 있지만 국내에서는 수도 포장의 관리 작업을 위한 고유 모델의 개발은 거의 전무한 실정이다. 따라서, 국내 여건에 적합한 붐방제기 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 결정 등에 대한 연구가 요구된다.

본 연구에서는 수도작용 붐방제기의 방제 작업시 적응성을 검토하고 이를 토대로 주행성을 확보하며 동시에 작물 손상을 줄일 수 있는 차륜 설계 및 선회 방식 결정을 위한 기초 자료를 제시하고자 하였다.

연구의 구체적인 목적은 다음과 같다.

- 1) 붐방제기의 수도 포장 적응성을 차륜의 침하, 슬립, 작물 피해 정도를 통한 실험적 구명.
- 2) 승용관리기의 주행성 확보와 작물의 손상을 줄일 수 있는 방제기의 최저지상고, 차륜 폭과 직경 등 주행부를 분석·설계.
- 3) 붐방제기의 선회 방식에 따른 작물 손상 정도를 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 분석하여 적정 선회 방식 제시.

2. 재료 및 방법

가. 붐방제기의 수도 포장 적응성 실험

실험은 수원시 임북리 농촌진흥청 실험 포장(실험 1)과 서울대학교 부속 농장(실험 2, 3)에서 실시되었다. 표 1은 공시 포장의 토양 조건 및 작물 생육 상태를 나타낸 것이다.

토양 함수율은 실험 포장 5곳을 선정하여 오

Table 1. Experiment conditions of soil and rice plants

	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3
Date	7.21	8.3	8.18
Soil texture	Silty clay loam	Silty loam	Silty loam
Moisture Content(d.b., %)	43	40	41
Cone Index(g/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

븐건조법으로 측정하였다. 원추 관입저항은 SR-2형 토양 저항측정기의 원추각 30°저면적 2cm²의 원추를 사용하여 공시 포장의 가장 자리에서 중앙으로 접근하며 5~6곳에서 측정하였으며, 원추 지수는 토양 표면으로부터 관입 깊이 15 cm까지의 평균값을 취하여 계산하였다.

공시 붐방제기는 M사의 High-Clearance 자주식 Boom Sprayer로서 주행 방식은 4륜구동이며, 윤거 1.35m, 축거 1.2m, 차륜크기 0.9m×0.095m(직경×폭)이다. 포장 실험시의 차륜 침하는 직진시와 선회시를 나누어 별도로 측정하였다. 직진시에는 직진 구간을 일정 간격으로 나누어 차량 궤적을 따라 깊이와 폭을 자로 측정하였고, 선회시에는 좌측의 전·후륜, 우측의 전·후륜을 구분하여 측정하였다. 슬립률은 공시 포장에서 바퀴가 5회전하는 동안의 진행 거리를 측정하여 산출하였다. 작물 피해율은 공시 방제기가 5m 반경으로 선회할 때에 발생하는 손상주를 직접 육안으로 관측하였다. 손상 판정 기준은 주당 피해 포기 수가 전체의 40%이하이면 경손상, 40~90%이면 중손상, 90%이상이면 매몰로 정의하였다.

나. 붐방제기 차륜의 크기 결정

품종별 벼의 초장을 파악하여 붐방제기의 작업시 작물 보호를 위한 최저지상고 확보를 위한

차륜 직경의 범위와 조건 및 차륜과 작물 사이의 간격을 기준으로 기본 차륜 폭의 범위를 결정하고, 이 기본 차륜 크기의 범위에서 차륜크기에 따른 점토 주행성 상수의 변화를 분석하였다.

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

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)

다음, 주어진 기본 차륜 크기의 범위에 따른 주행성 상수값의 최소치와 최대치 사이에서 차량의 견인 계수, 견인 효율, 구름 저항 계수의 변화를 고찰하여 최종적으로 주행성을 고려한 차륜 직경과 폭의 관계를 결정하였다.

구름 저항 계수는 Turnage(1984)의 모델을 사용하여 예측하였으며, 견인 계수, 견인 효율은 D. Gee-Clough(1980)의 모델에 의하여 계산하였다.

① 견인계수(C_i)

$$C_i = (C_i)_{\max} (1 - e^{-k_r s})$$

$$(C_i)_{\max} = 0.796 \frac{0.92}{M_c}$$

$$k_r = \frac{(4.838 + 0.061M_c)}{(C_i)_{\max}}$$

여기서,

M_c = 주행성 상수

$(C_i)_{\max}$ = 최대 견인 계수

k_r = rate constant

s = slip

② 구름 저항 계수(C_r)

$$C_r = \frac{0.2}{M_c - 1.35} + 0.04$$

③ 견인 효율(η_i)

$$\eta_i = \frac{C_i(1-s)}{C_i + C_r}$$

다. 차량의 조향 방식 모델 및 시뮬레이션

(1) 차량의 조향 방식별 조향 특성

① 전륜 조향형

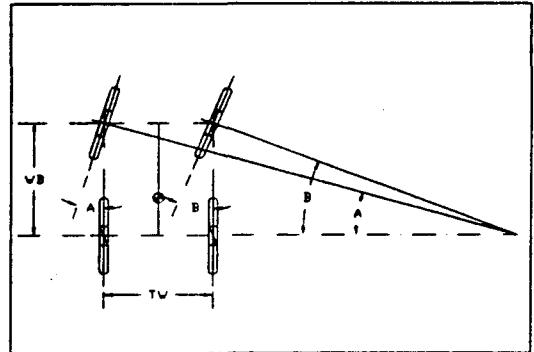


Fig. 1. Geometrical configuration of front wheel steering.

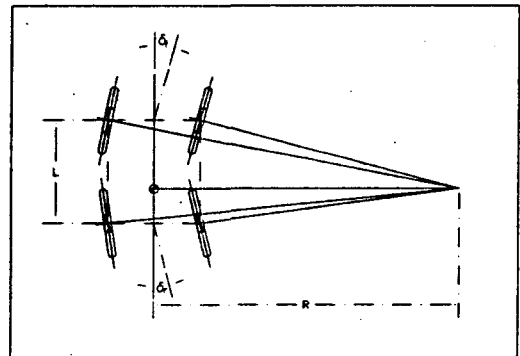


Fig. 2. Geometrical configuration of 4-wheel steering.

대부분의 농용 트랙터는 Ackermann System을 이용한 조향 장치를 사용하고 있다. 이 Sys-

tem은 차량 선회시 안쪽 바퀴의 조향각이 바깥쪽 바퀴의 조향각보다 더 크게 조향됨으로써 후륜 축의 연장선상에 모든 바퀴의 회전 중심이 존재하게 된다. 선회시 전륜의 정확한 선회각은 윤거와 축거의 비에 관련되어 있다. 바깥쪽 전륜의 선회각에 대해 안쪽 전륜의 선회각은 그림 1과 같이 나타내진다.

② 4륜 조향형

그림 2에 나타낸 바와 같이, 4륜 조향형에서 후륜의 선회각은 전륜의 선회각에 의해 정해지며 그 크기는 전륜 선회각/후륜선회각의 비로 나타난다. 대개 후륜선회각은 5°이하로 정해진다. 전륜 선회각의 50%로 후륜을 선회시키면 전륜 조향형에 비해 선회 반경은 1/1.5만큼 감소하며 100%로 선회시키면 1/2로 감소한다.

③ 관절형

관절형 차량은 전륜부와 후륜부의 두 부분으로 이루어져 있다. 이 두 부분은 조향 핸들을 돌릴 때 평면에서 bending point라 불리는 수직축을 주위로 서로 구부러지게 되어 있다. 일반적으로 관절형 차량은 선회 반경이 작아서 좁은 장소에서 선회가 가능하며, 전륜과 후륜이 동일한 궤적을 움직이기 때문에 주행 저항이 작은 것으로 알려져 있다.

관절형 차량은 bending point가 wheel base의 중심에 있지 않으면 곡선 경로를 주행할 때 전륜과 후륜이 정확히 같은 궤적을 그리지 않는다. 관절형 차량의 선회 모델은 그림 3과 같다. 각

차륜의 중심은 선회 중심의 연장선에 대해 수직을 이루면서 선회하게 된다.

(2) 작물 손상 시뮬레이션

차량의 조향 방식에 따라 방제 작업시 수도 포장에서 작물 피해 및 차륜 궤적이 어떤 양상으로 나타나는지를 파악하고 적절한 선회 방식을 선택하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램을 개발하였다.

본 프로그램은 입력부에는 축거, 윤거, 차륜 폭, 선회 반경, 주간, 생육 단계, 조향 방식 등을 선택할 수 있도록 하였고, 출력부에는 선택된 입력치에 대해 차량의 궤적을 도시하고, 궤적에 따른 피해 주수를 산정할 수 있다. 또한 차량 설계 인자 값의 변화에 따른 피해 주수의 변화 양상을 파악하기 위하여 설계 값의 범위를 지정하여 그 범위 내에서 피해 주수의 증감을 파일로 출력할 수 있도록 하였다. 차량의 궤적은 앞에서 고찰한 식에 준하여 프로그램으로 나타내었으며, 피해 주수의 산정은 차량의 궤적과 화면에 표시된 작물과의 겹쳐진 면적비를 산출하여 결정하였다. 작물 손상 판정은 실험에 사용된 기준을 적용하였다.

붐방제기 주행부 설계 인자 값의 변화에 따른 피해 주수의 변화를 파악하기 위해 설계 인자 값의 범위를 다음과 같이 설정하였다. 프로그램의 초기치는 공시 붐방제기의 제원을 대입하였다.

① 축거-작물의 조건 거리가 30cm로 정해져 있으므로 120, 150, 180cm의 세 가지 값을 선정할 수 있도록 하였다.

② 윤거-공시 방제기의 윤거를 기초로 하여 135cm부터 205cm까지로 정하였다.

③ 차륜 폭-앞서 결정되어진 차륜 폭 범위인 5~15cm의 값을 선정할 수 있도록 하였다.

④ 선회 반경-수도 포장은 이앙기 작업시의 선회를 위한 새머리 포장 작업 방식을 고려하여 3~5m로 하였다.

⑤ 주간 거리-일반적으로 이앙기의 주간 거리는 13~15cm으로 하게 되어 있으므로 13, 14, 15cm로 결정하게 하였다.

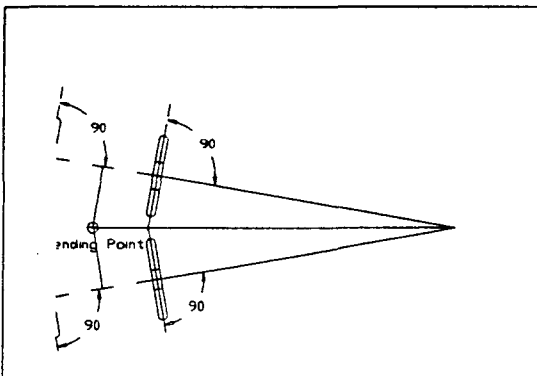


Fig. 3. Geometrical configuration of articulated vehicle.,

⑥ 생육 단계 - 방제 시기가 초기, 중기, 후기로 나누었고 시기에 따라 주 지름을 초기는 5, 6cm, 중기는 7, 8cm, 후기는 9, 10cm으로 정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 수도 포장 적응성 실험 결과

직진 시의 침하 깊이는 표 2에서 살펴보면 대체로 15cm내외인 것을 알 수 있다. 그림 4를 살펴보면 토양 깊이 15~20cm에서 토양 저항 값이 큰 변화 없이 비슷한 것으로 나타나고 있는 것을

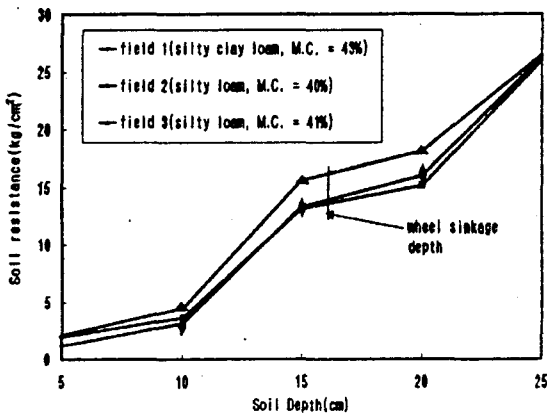


Fig. 4. Soil resistance measured by cone penetrometer compared with wheel sinkage.

미루어 볼 때 토양 깊이 15~20cm사이에 경반이 있음을 알 수 있었다. 직진 시의 평균 차륜 궤적 폭은 10cm내외로서 공시기의 차륜 폭인 9.5cm 보다 조금 더 크다. 이는 차륜이 논 토양을 가르고 주행하면서 토양이 측면으로 밀려나는 현상 때문인 것으로 판단되었다.

Table 2. Wheel sinkage of the boom sprayer in straight traveling

	Field 1	Field 2	Field 3
sinkage depth(cm)	16±1.5	14±2.1	16±1.6
track width(cm)	10±0.9	10±0.6	10±1.1
slip(%)	13	20	22

Table 3. Sinkage depth and width of wheel measured in left turning

	Field 1		Field 2		Field 3	
	left	right	left	right	left	right
sinkage depth(cm)	16±2.2	14±1.5	15±2.2	12±2.2	15±1.8	13±1.8
track width(cm)	10±1.4	8±1.3	10±1.2	8±0.8	9±1.1	9±0.6

표 3에서 보면 선회시의 침하 깊이와 폭은 직진시와는 그 양상이 다르게 나타나 있다. 좌선회시 관찰한 결과 좌측 차륜의 침하 깊이가 우측 차륜의 침하 깊이보다 깊었다. 이는 차량 선회시 좌측 차륜의 슬립으로 인한 영향으로 판단되었다.

선회시 흙 밀림으로 인해 표토에 흙이 쌓이는 현상은 거의 발견 할 수 없었다. 이는 토양 함수율이 높아 토양이 차륜에 의해 밀려났다가 다시 제자리로 쏠려 들어가기 때문인 것으로 판단되었다. 직진 시에는 조작자의 실수로 인하여 약 90m 주행시 4~5주 정도씩 발생하였을 뿐 작물 손상이 거의 없었으므로 직진시에는 작물손상이 없다고 가정하고 선회시의 작물 손상만 실험당 2회의 선회에 대해서만 측정하였다. 이때 1회 실험 면적은 4,000m²(100m×40m)이었다. 실험 1개월 후에 다시 포장을 관찰한 결과 피해주의 약 60~80%정도는 다시 살아나는 것으로 파악되었으며 수확 후 감수 정도는 예년과 대비할 때 거의 없는 것으로 보아도 무방하였다. 따라서, 현 방제기의 실험 결과로 볼 때 작물 피해의 측면에서는 실험 전 예상과는 달리 큰 무리 없이 방제 작업이 가능할 것으로 판단되었다.

표 4에서 실험 2의 결과를 기준으로 피해 주수 측정치에 선회 회수를 곱하여 포장 구획별 피해 주수 측정치를 환산하였다. 피해 주수 비율은 조건 30cm, 주간 15cm으로 가정하고, 포장 크기에 해당하는 만큼의 총 주수를 계산한 다음, 총 주수로 피해 주수를 나눈 값이다. 일본의 경우, 공시 방제기로 작업시 100m×40m포장의 선회부에서 피해율이 0.45%정도로 보고되어있다.

Table 4. Damaged rate of plants incurred by the vehicle wheels for different field size

Field Size (m×m)	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. 붐방제기용 차륜의 치수 결정

(1) 최저지상고의 결정

우리 나라에서 재배되는 벼의 간장은 대체적으로 65~80cm범위에 속한다. 마지막 방제시기인 출수기의 간장은 생육후기의 90%정도이며 실제 줄기의 높이는 간장의 90% 정도에 달한다. 또한 전체길이의 20% 정도는 눌러도 벼줄기가 탄성적으로 대처하므로 벼의 생육에 피해가 되지 않는다.

따라서 벼의 실제 초장 및 붐방제기 차륜의 침하 깊이를 고려하여 식 5에서와같이 최저지상고가 결정하였다.

$$L_{max} = S \times \alpha \times \beta \times \gamma + D$$

$$= 75 \times 0.9 \times 0.9 \times 0.8 + (15 \sim 20)$$

$$= 63 \sim 69(\text{cm})$$

여기서,

L_{max} = 최저지상고

S = 작물의 초장

α = 출수 직전의 간장은 최대치의 90%

β = 자연상태에서의 벼 길이는 간장의 90%

γ = 벼의 압축 가능한 길이는 생육 자세의 80%

D = 차륜 침하 깊이

(2) 포장 조건 및 설계 조건에 따른 차륜 크기 결정

현재 일반적인 수도 포장 작업 차량은 대부분 4륜 구동을 채택하고 있으며 동력 전달 방식이 차축에서 직접 차륜으로 전달되는 방식보다는

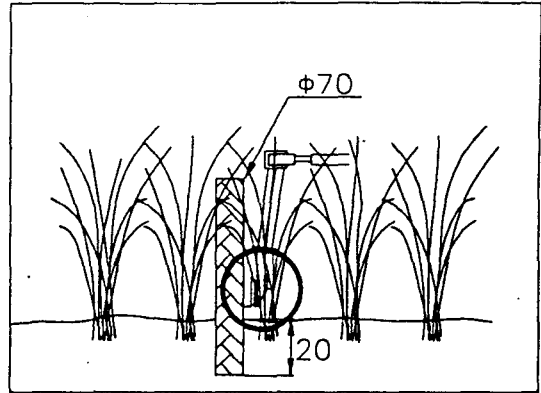


Fig. 5. Wheel location(diameter = 70cm) in reference to plant and soil

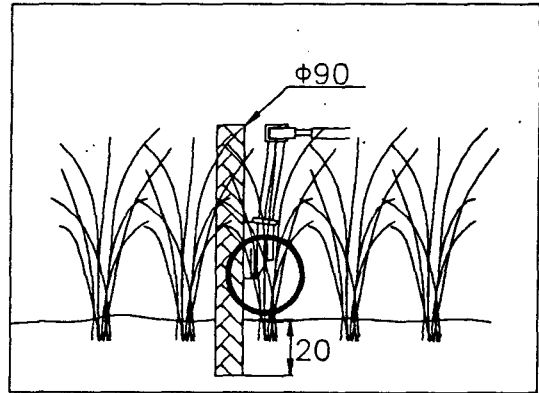


Fig. 6. Wheel location(diameter = 90cm) in reference to plant and soil

차축으로 전달된 동력을 다시 수직동력전달축을 통하여 구동력을 발생시키는 방식을 채택하고 있다. 이 방식에 따라서 차량을 설계하면 차륜을 구동시킬 최종 동력 전달부는 차륜의 중심부에서 어느 정도 공간을 차지하게 된다. 이와 같은 조건에서 우선 차륜의 최소 직경을 결정한다. 포장에서의 침하는 대략 15~20cm정도로 관찰되었으며 차륜 최종 구동부가 차지하게 될 공간을 고려해 보면, 차륜의 직경은 최소 70cm 이상이 되어야 한다.(그림 5, 6 참조) 차륜을 조향할 때 차륜의 직경이 너무 크면 조향을 위한 공간을 많이 확보해야 하므로 문제가 된다. 20°선회각으로 선회시 차륜의 직경이 70cm일때에 비해

직경이 100cm일 때는 약 20cm정도 더 좌우 공간을 필요로 하는 것으로 계산되었다. 이상을 고려해 볼 때 차륜의 최대 직경은 1m이하로 하여야 한다. 따라서 차륜 직경의 설계 범위는 70~100cm으로 한다.

현재 국내의 대부분의 수도 포장은 조건을 30cm 정도로 채택하고 있다. 따라서 차륜의 최대 폭은 조건 폭 30cm를 넘어서는 안된다. 실제 포장 작업시에 차륜이 지나간 궤적 폭을 보면 실제 차륜의 폭보다는 10%정도 더 넓게 나타나며, 차륜이 작물에 근접하면 작물의 뿌리 부분이 당겨져 밟히는 현상도 생긴다. 또한 작물이 성장하면 주당 지름이 10~13cm정도 되는 것으로 관찰되었다. 그러므로 차륜 폭을 제외한 양쪽에 5cm내외의 clearance를 두어야 한다. 이상을 고려할 때 최대 차륜 폭은 15cm정도로 하는 것이 타당할 것이다. 최소 차륜 폭은 침하, 차륜 rim의 강도 확보, 차량 안정성 등을 감안할 때 5cm이상을 설계 고려 대상으로 한다. 따라서 차륜의 폭의 설계치는 5~15cm 사이에서 주행성 확보 문제와 연관하여 그 설계 범위를 결정하였다.

(3) 주행성 확보 측면에서의 차륜 크기 결정식 (1)에 대입한 원추 지수(CI)는 작물 손상 실험에 사용된 실험포장의 평균 CI값에 해당하는 $6.0 \text{ kg/cm}^2 (600\text{kPa})$ 을 사용하였다.

차륜 설계 인자와 주행성 상수의 관계를 그림 7에 나타내었다. 차륜의 직경이 크고 폭이 클수

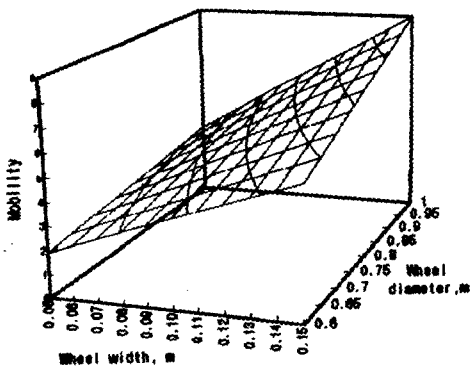


Fig. 7. The mobility vehicle wheel according to its width and diameter.

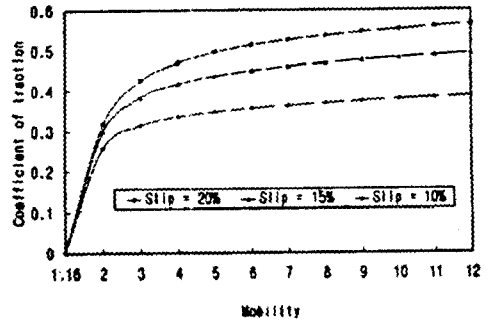


Fig. 8. The coefficient of traction analyzed for different slip rate.

록 Mobility는 2~8사이의 값을 가지면서 계속적으로 증가하고 있다. 따라서 이 값들을 직접 적용하여 차륜의 크기를 결정하는 기준으로 제시할 수는 없다. 그러므로 Mobility값으로 견인 계수, 견인 효율, 구름 저항 계수의 변화를 살펴보고 이로써 차륜 크기를 결정하였다.

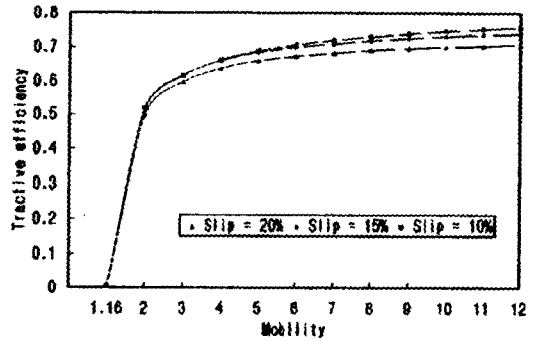


Fig. 9. Mobility and tractive efficiency.

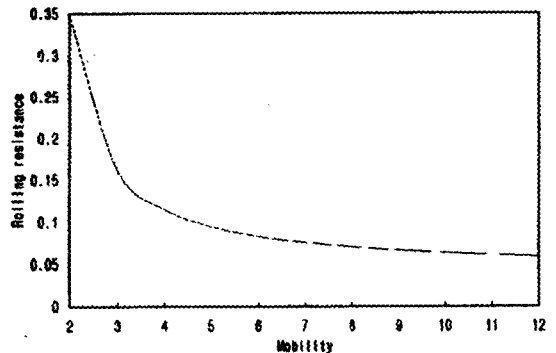


Fig. 10. Relation between the mobility and rolling resistance.

슬립이 10~20%일 때 견인 계수는 주행성 상수 3~4 부근까지 급격한 증가를 보였고, 견인 효율은 주행성 상수 3부근까지 급격한 증가를 보였으며 그 이후는 주행성 상수 값이 증가해도 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 또한 구름 저항 계수는 4부근까지 급격한 감소를 보이며 이후 큰 변화가 없다. 그러므로 견인 계수와 견인 효율, 구름 저항 계수를 모두 고려하여 주행성 상수 4 이상인 차륜 직경과 폭의 조합을 선택하였다. 결정된 차륜 크기의 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

앞에서 제시된 세 가지 조향 방식에 대하여 축거, 윤거, 차륜 폭, 선회 반경 등의 변화에 따른 작물의 피해 정도를 분석하였다. 시뮬레이션 초기치는 공시 방제기의 크기를 그대로 대입하였고 주간은 15cm, 생육 단계는 중기로 설정하였다. 작업 포장의 크기를 100m×50m로 가정하고 피해 정도는 총 주수에 대한 피해 주수의 비율로 나타내었다. 또한 적과 재배 시의 작물 손상 정도를 파악하기 위하여 작물 식생의 조건 거리를

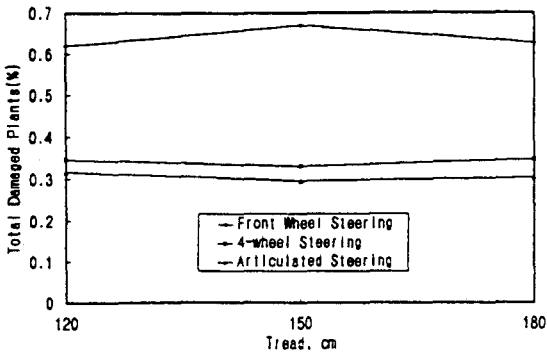


Fig. 11. The rate of damaged plants according to tread .

25cm으로 정하고, 전륜 조향형의 선회 반경 변화에 대한 작물 손상 정도를 분석하였다.

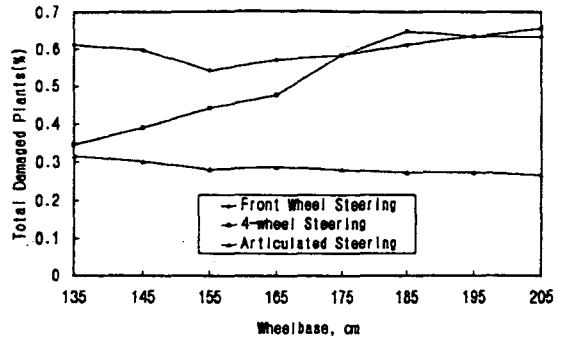


Fig. 12. The rate of damaged plants according to wheelbase .

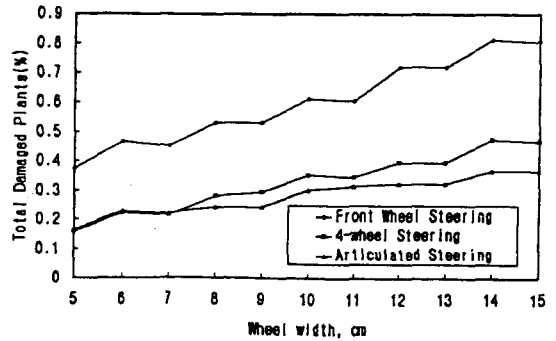


Fig. 13. The rate of damaged plants according to wheel width .

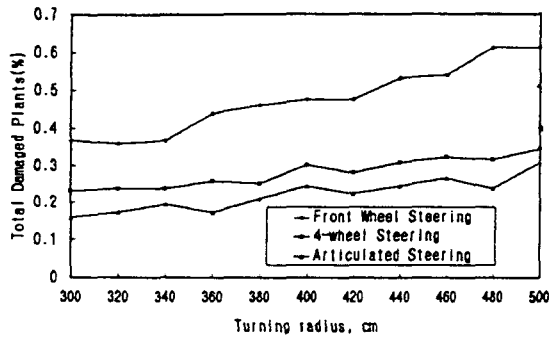


Fig. 14. The rate of damaged plants according to turning radius .

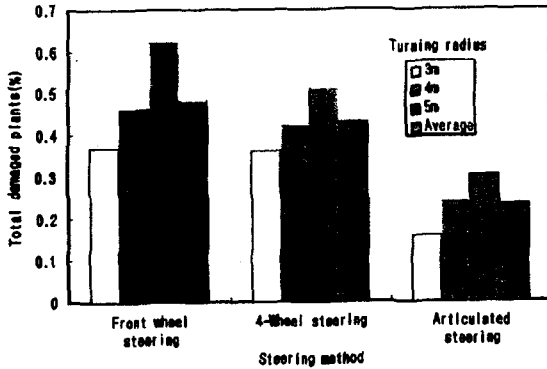


Fig. 15. The rate of damaged plants according to steering method.

그림 11에서 살펴보면, 세 가지 선회 방식 모두 축거의 변화에 따른 피해율의 변화가 거의 없으므로 축거의 결정은 작물 피해율 이외의 다른 설계 요인에서 규정되어야 한다. 즉, 일반적으로 노외 차량의 설계에서는 축거를 증가시키면 조향시 큰 조향력을 요구하게 되고 전륜 조향 방식에서는 선회가 부정확해지는 경향이 있기 때문이다. 또한, 90cm 정도의 비교적 작은 축거의 경우 약액 탱크를 장착하고 운전자가 승차하여 차량을 조작할 때 좌우 방향의 안정성에 문제가 제기될 수 있다. 또한 축거가 증가하면 선회시 측면 슬립이 증가하고, 큰 조향력을 요구하게 된다. 측면 슬립이 증가하면 선회 안정성이 떨어지며 차륜 궤적 폭의 증가로 인해 작물의 손상이 증가하게 된다. 따라서 축거는 위의 여러 조건을 감안하여 약 120cm가 적절할 것으로 판단되었다.

그림 12에서는 전륜 조향형과 관절형은 윤거가 길어져도 큰 변화가 없었고, 4륜 조향형은 윤거가 길어질수록 피해율이 증가하는 것을 감안할 때, 4륜 조향형의 윤거 선택은 작물 피해율을 고려해야 한다. 그러나, 윤거가 길어지면 동력 전달의 효율 감소, 전륜 조향형의 경우 선회의 부정확 등을 야기할 우려가 있으므로 이들 조건도 고려하여 가능한 한 짧은 윤거를 선택하고자 하였다.

그림 13에서 세 가지 차량 선회 방식 모두 차륜 폭의 증가에 따라 작물 피해율이 서서히 증

가하였다. 따라서, 차륜 폭은 앞서 포장 조건과 주행성에 관련하여 결정된 값을 선택하는 것이 좋을 것으로 판단되었다.

그림 14를 살펴보면, 선회 반경의 증가에 따라서는 세 가지 방식 모두 피해율이 증가하였으며 이를 감안할 때 포장 작업 방식을 선회 반경 5m로 다음 작업 구간까지 한 번에 선회하는 것보다 3m반경으로 선회한 후, 4m직진을 하고 다시 3m선회하여 다음 작업 구간으로 진입하는 것이 작물 피해 측면에서 유리할 것으로 판단되었다.

그림 15는 조향 방식 및 선회 반경에 따른 작물 피해율을 나타낸 것으로서 그림 14에 나타난 결과를 선회 반경 3, 4, 5m의 경우와 그 평균을 히스토그램으로 나타낸 것이다. 작물 피해율은 전륜 조향형, 4륜 조향형, 관절형 순으로 작았다. 전륜 조향형은 같은 설계 조건하에서 다른 두 방식에 비해 거의 2배 이상의 작물 피해율을 나타내었고, 4륜 조향형은 축거, 차륜 폭, 선회 반경의 변화에서는 관절형보다 조금 큰 피해율을 보였다. 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 생기므로 전륜 조향형보다는 피해율이 작았다. 관절형은 설계 조건을 바꾸어도 bending point가 차량의 중앙에 위치하게 되면 항상 전후 차륜이 동일한 궤적을 형성하게 되기 때문에 피해율이 가장 적은 것으로 나타났다.

특히, 전륜 조향형의 경우 작물 손상 실험시 측정된 환산 피해율 0.29%였고, 이는 그림 11과 12에서 나타낸 바와 같이 동일 조향 방식으로 시뮬레이션한 결과인 약 0.6%와 거의 유사한 값을 나타내었다.

4. 요약 및 결론

이 연구는 자주식 봄방제기의 주행시 발생하는 작물 손실을 구명하고, 차륜의 설계 기준을 제시하며, 아울러 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 전

륜구동, 4륜구동, 관절형 차량의 작물손상 정도를 비교하여 수도작용 자주식 볏방제기의 설계 자료를 얻기 위하여 수행되었다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 공시 볏방제기의 주행시 침하량을 실험한 결과, 차륜 부하에 관계없이 침하 깊이는 15 cm내외 정도로 거의 경반을 지지하고 주행하는 것으로 판단되었으며, 차륜 슬립은 13~20%였다.
2. 공시기의 포장 실험에 의하면, 생육 초기, 중기, 후기의 일선회당의 피해 주수는 각각 38주, 85주, 126주 정도로 관찰되었으며, 이것의 환산 피해율은 100m×50m(0.5ha)에 대하여 평균 0.29%로 극히 낮은 수준이었으며, 실험 후 약 1개월 후에 다시 관찰한 결과 피해주의 60~80%정도가 회생하는 것으로 미루어 감수 정도는 미미할 것으로 판단되었다.
3. 비의 초장에 따른 최저지상고, 작물 식생 조건 거리, 차륜과 작물 사이의 간격, 차륜 구동축의 높이의 제조조건과 작물 보호 및 주행성 확보의 관점에서 볏방제기 장착 관리기 본체의 차륜은 직경이 70~100cm, 차륜 폭은 8~15cm의 것이 바람직한 것으로 나타났다. 그러나, 차륜 직경 설계 범위가 상한에 가까울수록 차륜 폭의 설계 범위는 하한에 가까운 것을 선택하는 것이 바람직하다고 분석되었다.
4. 전륜 조향형, 4륜 조향형, 관절형의 작물 피해를 컴퓨터 시뮬레이션에 의하여 분석한 결과에 의하면, 선회 반경 3~5m범위에서 각 기체는 다같이 선회 반경이 줄어들수록 피해율은 적은 것으로 나타났고, 세 기체의 평균 피해율은 2 : 1.8 : 1로 나타났다. 따라서, 피해를 측면에서는 관절형이 가장 바람직하나, 피해율이 가장 큰 전륜 조향형마저도 손상의 수준이 미미한 점을 감안하여 그

채택도 큰 문제가 없을 것으로 판단되었다.

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-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 Types I. The Effect of Lug Height. J. agric. Engng Res. 22(4). : p. 375