

# 수도 포장진입로의 설계기준 설정에 관한 연구

## A Study on Establishment of Design standard for Paddy Field Ramp

김 병 갑\* 이 중 용\*\* 신 승 업\* 김 학 주\* 이 용 복\*  
정회원 정회원 정회원 정회원 정회원  
B. G. Kim, J. Y. Lee, S. Y. Shin, H. J. Kim, Y. B. Lee

### 1. 서 론

기설치된 포장진입로의 폭과 경사도는 지역에 따라 차이가 많으며 규정된 설계기준에 맞지 않게 시공된 포장진입로도 적지 않은 실정이다. 또한 농업기계의 대형화, 중량화, 고성능화에 따라 농업기계의 안전사고 및 이로 인한 인적, 물적 피해 예방과 농업기계의 편안한 운전을 위해서는 포장진입로의 설계기준에 대한 재검토가 필요한 실정이다.

본 연구는 농업기계가 안전하고 용이하게 논에 진출입할 수 있는 포장진입로의 설계기준을 설정하는데 그 목적이 있다. 구체적으로 농업기계가 농도에서 선회하면서 진입 또는 진출할 때 바퀴의 경로를 예측하는 식을 유도하고 이에 대한 시뮬레이션을 수행하여 포장진입로의 폭을 결정하며, 농업기계가 논에서 포장진입로를 통해 진출할 때 후방전도 없이 안전하게 진출할 수 있는 경사도를 결정하는데 그 목적이 있다.

### 2. 재료 및 방법

#### 가. 포장진입로의 폭의 결정

포장진입로의 폭은 대형의 트랙터가 농도에서 포장진입로로 90° 선회하여 진입할 때 트랙터의 주행경로와 농도 또는 포장진입로의 가장자리 사이에 0.5m이상의 여유를 가지도록 결정하였다.

트랙터의 주행경로는 트랙터의 제원과 조향각에 따라 주행경로를 예측할 수 있는 수학적 모델을 개발하여 구하였고 이 수학적 모델의 검증은 위하여 모델에 대한 시뮬레이션을 실시하고 그 결과를 검증실험 결과와 비교하였다.

#### (1) 경로예측모델 개발

포장진입로의 폭을 결정하기 위하여 트랙터가 농도와 포장진입로로 구성된 3차원 공간에서 주행할 때의 경로를 예측할 수 있는 수학적 모델을 개발하였다. 모델개발에 있어서 사용된 가정은 다음과 같다.

첫째, 트랙터의 전륜은 조향만 하고 후륜으로 구동하는 2륜구동 트랙터이다.

둘째, 트랙터의 조향각은 좌전륜과 우전륜의 조향각의 평균이다.

셋째, 트랙터는 일정한 저속으로 주행한다.

넷째, 트랙터의 진행방향에 대해 횡방향으로의 슬립은 없다.

다섯째, 트랙터는 최대조향각으로 선회하되 본체가 90° 선회한 후에는 직진으로 진행하여 포장

---

\* : 농촌진흥청 농업기계화연구소

\*\* : 서울대학교

진입로로 진입한다.

그림 1과 같이 트랙터가 농도에서 포장진입로로 진입할 때 본체가 X축과 이루는 각도와 주행 경로는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_{i+1} = \begin{cases} \frac{v \cdot \Delta t}{L} \tan \delta + \theta_i & (\theta \leq \frac{\pi}{2}) \\ \frac{\pi}{2} & (\theta > \frac{\pi}{2}) \end{cases}$$

$$x_{i+1} = v \cdot \Delta t \cdot \cos\left(\frac{\theta_{i+1} + \theta_i}{2}\right) + x_i$$

$$y_{i+1} = v \cdot \Delta t \cdot \sin\left(\frac{\theta_{i+1} + \theta_i}{2}\right) \cos \Phi + y_i$$

$$z_{i+1} = (y_{i+1} - y_i) \tan \Phi + z_i$$

### (2) 시뮬레이션

개발한 트랙터의 주행경로를 예측 모델을 컴퓨터를 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 프로그램은 트랙터의 축거, 윤거, 조향각, 주행속도와 포장진입로의 경사각 등을 입력하면 시간변화에 따른 트랙터의 좌후륜과 우전륜의 절대좌표를 파일로 출력하도록 C언어로 작성하였다.

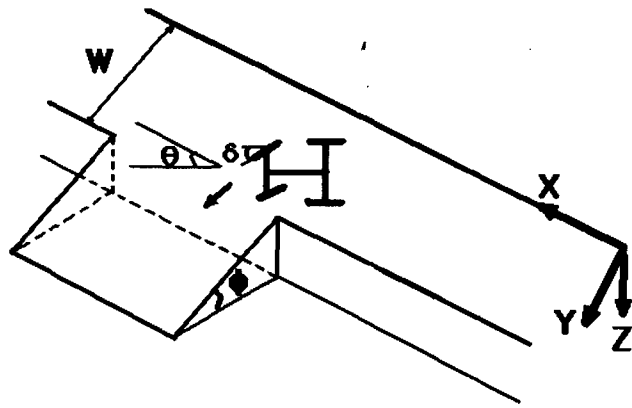


Fig. 1 Position change of tractor entering ramp.

### (3) 검증실험

트랙터의 주행경로 예측 모델과 이의 컴퓨터 시뮬레이션 결과의 실제 적용 가능성 여부를 검토하기 위하여 검증실험을 실시하였다. 실험에 사용된 트랙터의 주요제원은 표 1과 같다.

검증실험은 농업기계화연구소 내의 평평한 지면과 경사각이 12° 인 지면이 서로 만나는 곳에서 실시하였다. 트랙터는 임의의 조향각으로 90° 선회한 후 직진으로 진행하도록 하였다. 경로는 바닥에 미리 바둑판 모양으로 1m 간격으로 선을 그어놓은 후 트랙터가 진행할 때 미리 그어놓은 선과 트랙터의 바퀴가 만나는 점을 측정하였다.

임의로 정한 조향각을 일정하게 유지하기 위하여 원하는 조향각으로 조향한 후에 미리 정해놓은 트랙터 계기판의 일정 지점에 맞추어 핸들에 표시를 하고 그 표시점과 계기판의 점이 일치하도록 유지하였다. 반복실험시 이전 실험에서의 조향각을 재현하기 위하여 최초에 임의의 각도로 조향한 상태에서 노출된 조향퍼스톤 로드의 길이를 측정하여 다음 실험에서도 적용하였다.

Table 1. Specifications of the tested tractor

Model	Total length (mm)	Total width (mm)	Total height (mm)	Weight (kg)	Wheelbase (mm)	Axlebase (mm)
LT412D	3,660	1,560	2,300	2,051	front : 1,275 rear : 1,240	1,858

시뮬레이션 결과와 검증실험 결과를 비교하기 위하여 두 결과치로부터 RMS 오차를 구하였다.

$$RMS\ Error = \sqrt{\frac{\sum e^2}{N}}$$

여기서  $e$  : 시뮬레이션 결과값과 검증실험 결과값의 차이

$N$  : 실험자료의 수

#### (4) 포장진입로의 폭 결정

포장진입로의 폭을 결정하기 위하여 현재 보급되고 있는 기종 중에서 가장 큰 규격이라고 할 수 있는 110마력급 트랙터인 MF4270을 기준기종으로 정하였다.

MF4270 트랙터가 폭이 4m인 농도상에서 농도변으로부터 0.5m의 여유를 가지고 포장진입로를 통해 논으로 진입할 때 예상되는 트랙터 바퀴의 경로를 그림 2에 나타내었다. 이 때 포장진입로의 폭은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$RW = TW + QW + 2EW$$

여기서,  $RW$  : 포장진입로의 폭

$TW$  : 논쪽의 농도변과 교차하는 트랙터 좌후륜과 우전륜 경로간의 차이

$QW$  : 포장진입로 진입 이후의 농도방향 진행폭

$EW$  : 여유폭(0.5m)

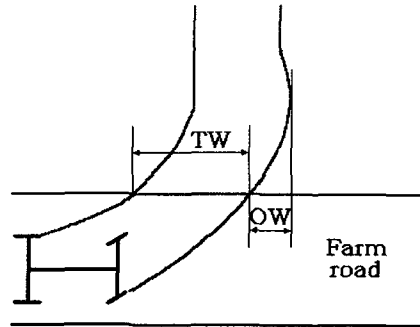


Fig. 2 Determination of field ramp width

### 나. 포장진입로의 경사도

#### (1) 경사도 결정방법

포장진입로의 경사도는 농업기계가 포장에서 농도로 진출할 때 후방전도가 일어나지 않는 범위내의 최대경사도로 설정하였다. 여기서 후방전도는 후륜으로 하중전이가 되어 운전자가 의도하는 대로 조향되지 않는 것을 의미하며 이러한 현상은 농업기계의 전륜에 작용하는 지면반력이 농업기계 전체 무게의 10%이하일 때 발생한다고 알려져 있다. 포장진입로의 경사도를 결정하기 위한 기준 기종으로는 작업기를 부착한 트랙터로 정하였다.

전륜에 작용하는 지면반력을 결정하기 위해서는 트랙터와 작업기의 무게중심의 위치를 알아야 한다. 트랙터의 무게중심의 위치는 농업기계화연구소의 검사연보에서 구할 수 있으나 작업기의 무게중심은 제공하고 있지 않아 농업기계화연구소가 보유하고 있는 플라우와 로터베이터 중에서 임의로 선정하여 무게중심을 측정하였다.

#### (2) 전륜지면반력을 기준으로 한 경사도 결정식 유도

트랙터가 포장진입로를 이용하여 논에서 농도로 진출할 때 전륜에 작용하는 지면반력이 트랙터 무게의 10%가 되는 포장진입로의 경사도를 구하기 위하여 다음과 같이 가정하였다.

첫째, 트랙터는 일정한 속도로 진행하는 정적인 상태이다.

둘째, 포장에서 진출할 때 작업기를 가장 높이 상승시킨 상태로 진출한다.

셋째, 트랙터 및 작업기의 무게중심은 좌후방향으로는 가운데에 위치한다.

그림 3과 같이 트랙터가 포장진입로 위에 있을 때 힘의 평형조건에서 다음 식들이 성립한다.

$$\sum F_x = F_r - TF_f - TF_r - (W + W_i) \sin \phi = 0 \quad \text{..... ①}$$

$$\sum F_z = R_r + R_f - (W + W_i) \cos \phi = 0 \quad \text{..... ②}$$

$$\sum M = R_f L + WH_G \sin \phi - WL_G \cos \phi + W_i H_i \sin \phi + W_i L_i \cos \phi = 0 \quad \text{..... ③}$$

여기서,  $F_r$  : 후륜의 추진력(N)

$TF_f, TF_r$  : 전륜과 후륜에 각각 작용하는 구름저항(N)

$R_f, R_r$  : 전륜과 후륜에 각각 작용하는 지면반력(N)

$W, W_i$  : 트랙터와 의 무게(N)

$L$  : 축간거리(m)

식 ②를  $R_r$ 에 대하여 정리하면

$$R_r = (W + W_i) \cos \phi - R_f \quad \text{이 되고}$$

이를 식 ③에 대입하여 정리하면

$$(WL_G - W_i L_i) \cos \phi - (WH_G + W_i H_i) \sin \phi - R_f L = 0 \quad \text{..... ④}$$

이 된다.

전륜의 지면반력의 비가 트랙터 전체 무게의 10%일 때의 포장진입로의 경사도는  $R_f = 0.1(W + W_i)$  일 때 ④식을 만족시키는  $\phi$ 가 된다.

④식에서  $W, W_i, L_G, H_G, L$ 값은 농업기계화연구소의 검사연보에서 주어지며  $L_i$ 와  $H_i$ 를 구하기 위하여 작업기를 임의의 2지점에서 매달아서 직접 측정하였다.

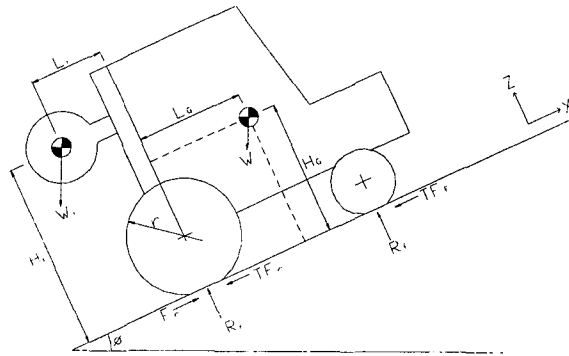


Fig. 3 Free-body diagram of the tractor on field ramp

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 포장진입로의 폭

##### (1) 시뮬레이션 및 검증실험 결과

시뮬레이션 결과 및 검증실험의 결과를 그림 4에 나타내었다. 좌후륜과 우전륜의 RMS error는 각각 12.5cm와 8.2cm로, 최대 오차는 각각 17.4cm와 12.6cm로 나타났다. 트랙터의 주행경로를 기준으로 포장진입로의 폭을 정할 때는 주행경로와 농도 또는 포장진입로 사이에 0.5m의 여유간격을 유지하는 것으로 하였다. 따라서 본 연구에서 유도한 모델이 위와 같은 오차를 갖는다면 실제 적용하는데 있어서 큰 무리가 없을 것으로 판단된다.

(2) 포장진입로의 폭의 결정

기준기종인 MF4270이 농도에서 포장진입로로 진입하는 경우에 트랙터의 경로를 알기 위하여 앞에서 유도한 모델을 적용하여 시뮬레이션을 실시하였다. MF4270의 최대조향각은 검사연보에서 주어진 최소회전반경과 축거리를 이용하여 구하였으며 최대조향각은 33.7°로 나타났다. 그 결과는 다음의 그림 5와 같다. 트랙터의 좌후륜 및 우전륜의 경로가 농도의 가장자리와 만나게 되는 점의 x좌표는 각각 2.9m, 5.4m로 나타나 TW는 2.5m가 되었다. 그리고 트랙터의 우전륜이 농도의 가장자리를 지난 후 X축 방향으로 더 진행한 거리 OW는 0.1m로 나타났다. 따라서 포장진입로의 폭은 4m로 결정하였다. 이 결과는 현재 농림부에서 제시하고 있는 기준과 동일한 값이다.

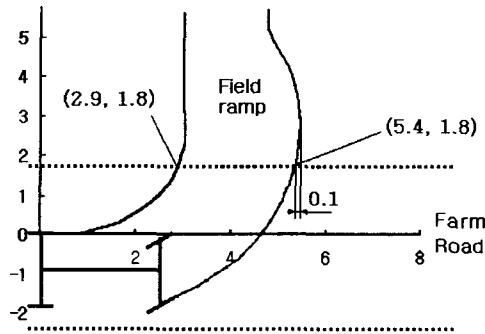


Fig. 5 Simulated tire paths for determination of width of field ramp (MF4270, max. steering angle)

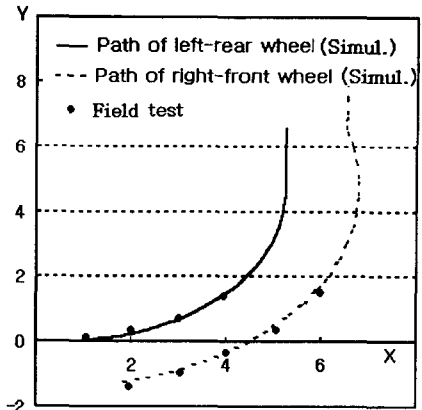


Fig. 4 Comparison of tire paths between simulation and field test

Table 2 Mass center point of the tested tractor implements

Item	Model	Distance relative to upper link hitch point(mm)		Hitch point distance between upper and lower link (LU, mm)
		$l_i$	$h_i$	
Plow	Unknown	1,060	799	650
Rotavator	R150	267	633	385
	SW170G	478	612	532

나. 포장진입로의 경사도

(1) 작업기 무게중심 실측결과

트랙터의 전륜에 작용하는 지면반력에 따른 경사도를 결정하기 위한 사전 작업으로 작업기의 무게중심을 실측하였다. 작업기는 농업기계화연구소가 보유하고 있는 작업기 중에서 플라우 1개 기종과 로터베이터 2개 기종을 임의로 선정하여 측정하였으며 그 결과는 표 2와 같다.

(2) 포장진입로의 경사도를 결정하기 위하여 경사도 결정식에 적용할 트랙터와 작업기의 조합과 이들 조합에 대하여 경사도 결정식을 적용하여 구한 경사도를 표 3에 나타내었으며 이 결과를 기초로 포장진입로의 경사도를 14°로 결정하였다.

Table 3 Calculated slope angle of each tractor/implement combination

Tractor		Plow Model	Slope angle of field ramp(deg)	Tractor		Rotavator Model	Slope angle of field ramp(deg)
Model	Size(PS)			Model	Size(PS)		
LT380D	38	Unknown	14.1	T280	28	R150	13.6
T390	39		14.2	D300	28		21.5
LT412D	41		18.3	AF310	30		22.3
LT410D	41		19.0	LT412D	41	SW170G	16.4
D480	43		16.3	LT410D	41		17.1
T480	44		18.8	D480	43		14.7
				T480	44		17.0

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 농업기계가 안전하고 용이하게 진출입할 수 있는 포장진입로의 적정 설계기준을 마련하기 위하여 수행되었으며 구체적인 설계기준은 포장진입로의 폭과 경사도였다. 포장진입로의 폭은 농업기계가 농도에서 포장진입로로 진입할 때의 주행경로를 기준으로 결정하였고, 경사도는 농업기계가 작업기를 부착하고 논에서 농도로 올라올 때 조향이 가능한 최대 경사도를 기준으로 결정하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 트랙터가 농도에서 포장진입로로 진입할 때의 경로를 예측할 수 있는 수학적 모델을 개발하였다.
2. 주행경로 예측 모델의 검증을 위하여 시뮬레이션과 검증실험을 실시하고 그 결과를 비교한 결과 RMS Error는 12.5cm와 8.2cm로 각각 나타나 포장진입로의 폭을 결정하는데 있어서 예측 모델을 적용할 수 있을 것으로 판단된다.
3. 포장진입로의 폭을 결정하기 위하여 110마력급 트랙터가 농도에서 포장진입로로 진입하는 경우의 주행경로를 위의 모델을 사용하여 구하였으며 그 결과 적정한 포장진입로의 폭은 4m인 것으로 나타났다.
4. 포장진입로의 경사도는 작업기를 부착한 트랙터가 논에서 농도로 진출할 때 전륜에 작용하는 지면반력이 트랙터 총무게의 10%가 되는 경사도로 정하였다. 경사도를 구하기 위한 식을 경사지위에 있는 작업기를 부착한 트랙터의 힘의 평형조건을 이용하여 구하였으며 그 결과 적정한 포장진입로의 경사도는 14° 인 것으로 나타났다.

#### 5. 참고문헌

1. 김종훈, 최창현. 1991. 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 트랙터와 트레일러의 선회운동. 한국농업기계학회지 16(4).
2. 농림수산부. 1996. 농업생산기반정비사업계획설계기준(경지정리편)
3. 농업개발연구소. 1994. 경지정리의 최적설계에 관한 연구. 농림수산부, 농어촌진흥공사.
4. 정두호, 이운룡, 이동현, 이성범, 홍성기. 1986. 농도실태와 농기계이용도 조사연구. 농업기계화연구소 시험연구보고서.
5. 정창주, 류관희, 김경욱. 1992. 농업동력학. 문운당.
6. 日本農業土木綜合研究所. 1987. 圃場整備.
7. Choi, C. H., D. C. Erbach and R. J. Smith. 1990. Navigational Tractor Guidance System. Trans. of ASAE 33(3):699-706.