

기계화 농작업 성능의 수학적 모델링

The mathematical modelling of mechanized field operations

김 학 규*
정회원
H. K. Kim

정 창 주**
정회원
C. J. Chung

1. 서론

농기계의 작업성능은 기계이용 비용과 함께 기계화 계획을 수립·평가하는 데 기본적인 요소로 그 사용 목적과 용도에 따라 이론작업량, 포장작업량, 1일 작업량, 부담면적 등으로 나타낸다. 포장작업량은 단위 시간당 작업량의 개념으로 기계의 작업폭, 작업속도 등 기계적인 요인과 포장의 형상, 크기, 토성, 배수 등의 포장여건, 재배양식, 운전자의 숙련도 등 아주 다양한 요인에 영향을 받아 일률적으로 규정하기에 어려움이 있다. 본 연구에서는 포장구획의 변화에 따른 포장작업량과 포장효율에 대한 수학적 모델을 개발하여 포장구획, 기계의 크기, 작업속도 등과의 관계를 고찰코자 하였다.

2. 재료 및 방법

다양한 포장 작업을 수학적으로 해석하기 위하여 전제조건을 설정하여 포장작업모형을 왕복작업형, 회행작업형 및 농로선회작업형으로 단순화하고, 각각에 대하여 선회형태를 해석하여 유효작업시간과 선회시간, 자재보급·배출시간 등 손실시간을 수식으로 모형화 하였다. 포장작업시간에 영향을 미치는 요인에는 포장의 크기, 주행성 등과 같은 포장의 구조적인 요인, 작업폭, 작업속도 등과 같은 기계적인 요인, 운전자의 기술 등과 같은 인적인 요인이 있으나, 본 연구에서는 포장구획의 크기와 작업폭 및 작업속도를 고려하여 포장 작업량과 포장효율의 수학적 모델을 개발하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 수학적 모델 개발

포장작업량과 포장효율의 수학적 모델은 다음식으로 표시된다.

$$C_{xy} = \frac{60x \cdot y}{10,000T} = 6 \times 10^{-3} \frac{x \cdot y}{T} \dots \dots \dots (1)$$

$$\epsilon_{fxy} = \frac{\epsilon_w \cdot x \cdot y}{60 v \cdot w \cdot T} \dots \dots \dots (2)$$

여기에서, C_{xy} = 단변과 장변이 x,y인 포장에서 포장작업량(ha/h)

x = 포장의 단변 길이(m)

y = 포장의 장변 길이(m)

* 농촌진흥청 농업기계화 연구소
** 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과

T = 포장작업 소요시간(min)

ϵ_w = 유효작업폭률

포장작업 소요시간은 작업 시작부터 완료까지 총소요시간을 의미하는 것으로 다음과 같이 규정된다.

$$T = T_e + T_{loss} \dots \dots \dots (3)$$

여기에서, T = 포장작업 시간(min)

T_e = 유효작업 시간(min)

T_{loss} = 손실 시간(min)

유효 작업시간은 유효 작업폭과 유효 작업속도로 표시하고, 포장 내에서 작업 준비, 선회, 자재보충 등으로 발생하는 작업 손실 시간은 각각 표1과 같이 모형화 하였다.

$$T_{loss} = T_{turn} + T_{idl} + T_{pf} + T_{io} + T_{sm} + T_{ad} \dots \dots \dots (4)$$

여기에서, T_{turn} = 선회 시간(min)

T_{idl} = 공주행 시간(min)

T_{pf} = 선행 및 후행 작업 시간(min)

T_{io} = 포장 진출입 시간(min)

T_{sm} = 자재 보급·배출 시간(min)

T_{ad} = 조정 및 정비 시간(min)

선회시간은 90° 선회와 180° 선회로 단순화하여 포장 단변 길이와 작업폭으로 표시되는 선회 횟수로 모형화하고, 자재보급 배출시간으로는 이양기의 모보급, 파종기의 종자보급, 콤바인의 곡물 배출시간을 모형화 하였다. 이양작업의 모보급 시간은 모 1상자의 이양 가능 거리와 포장의 길이, 모판의 사전 배치방법을 고려하여 논두렁 또는 농로에서 보급하는 경우와 포장내에서 예비모를 보충하는 경우로 각각의 보급횟수와 보급소요 시간으로 모형화 하였다. 한편 포장내에서의 조정 및 정비시간과 소휴식시간, 운전자의 사적인 시간처럼 발생 여부의 불확실성이 큰 항목은 제외하였다.

나. 기계화 농작업의 해석

개발한 농작업해석 모델을 이용 주요작업에 대하여 포장의 장단변 길이 변화, 기계의 크기(작업폭), 작업속도 변화에 따른 포장작업량 및 포장효율의 변화를 해석하였다. 포장의 장단변 길이가 커짐에 따라 포장작업량과 포장효율의 증대 효과가 일관되게 나타나며 경운, 정지, 수확 작업에서는 장변 증대의 효과가 단변 증대의 효과보다 현저하였다. 이양작업에서는 모 보급 시간의 영향으로 장변이 증대되면 효율이 감소하는 구간도 나타났다. 기계가 대형화 및 고속화 됨에 따라 포장작업량은 증대되나 포장효율은 저하되었으며, 소규모 포장에서 포장효율의 저하정도가 현저하였다. 따라서 대규모 포장에서 대형기계가 효율적임을 알 수 있다.

Table 1. Mathematical model of operation time

Time requirement	Patterns of operation		
	Continuous	Circuitous	On-road turn
Effective operating (T_e)	$\frac{xy}{60vw}$	$\frac{xy}{60vw}$	$\frac{xy}{60vw}$
Turning (T_{turn})	$\left(\frac{x}{w} + 1\right) \frac{t_{180}}{60} + \frac{3t_{90}}{60}$	$\left[\frac{x}{w} - 8INT \frac{l_m}{w} \right] \frac{t_{180}}{60} + \left[8INT \frac{l_m}{w} \right] \frac{t_{60}}{60}$	$\left(INT \frac{x}{w} \right) \frac{t_{180}}{60}$
Idle travel (T_{idl})	$\frac{y}{60v}$	$\frac{y}{60v}$	-
Supplying or discharging of material (T_{sm})	$T_{sm} = \frac{1}{60} (n_1 \cdot t_1 + n_2 \cdot t_2) : (\text{transplanter})$		
	$T_{sm} = \frac{\eta \cdot q \cdot x \cdot y \cdot t_{sm}}{60Q} : (\text{combine, seeder etc.})$		
Preliminary or finishing operation (T_{pf})	T_{pf}		
Entering and getting out field (T_{io})	T_{io}		
Total time requirement (T)	$T_e + T_{turn} + T_{idl} + T_{sm} + T_{pf} + T_{io}$		
Theoretical time	$\left(\frac{\varepsilon_w xy}{60vw} \right)$		

작업모형별로는 모든 작업기에서 농로선회형 작업방법이 왕복작업형이나 회행작업형보다 포장효율이 높게 나타나는데, 단변길이가 짧을 수록 효율의 차이가 크고, 단변이 길어지면 그 차이도 줄어들었다. 농로선회형 방법에서는 단변크기에 거의 영향을 받지 않는데 이는 새머리 작업을 하지 않기 때문이다. 왕복작업형과 회행작업형 사이에는 작업효율에 큰 차이가 없으나 플라우, 로터베이터, 이앙기에서는 왕복작업형이 다소 유리하고 콤바인에서는 회행작업형이 다소 유리한 것으로 나타났다.

4. 요약 및 결론

기계화 영농을 계획하고 평가하는데 중요 요인인 포장작업량과 포장효율 기계화 작업의

수학적 해석을 통하여 모델링하고 주요작업에 대하여 포장의 장단변 길이 변화, 기계의 크기 (작업폭), 작업속도 변화에 따른 포장작업량 및 포장효율의 변화를 해석하였다. 이 결과는 기계화 계획 및 기계화를 고려한 포장정비사업 계획 수립에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

5. 참고문헌

1. 정창주, 류관희, 장동일, 조성인, 이중용. 1993. 농업기계이용효율 제고를 위한 경지정리의 기초 설계기술개발에 관한 연구. 연구보고서. 농림수산부. 농어촌진흥공사.
2. 剛村俊民. 1991. “農業機械化の基礎” 北海島大學 研究報告.
3. 小中俊雄. 1989. 農業システム工学. 朝倉書店.
4. 全國農業協同組合聯合會 農業機械部. 1975. 水田作の機械化計劃.
5. Ahn D.H. 1992. Relationship between farmland structure and machinery operation : The case study for Korea. Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand
6. Hunt, D. R. 1986. Engineering models for agricultural production. The AVI Publishing Co., INC.
7. Hunt, D. R. 1983. Farm Power and Machinery Management, eight edition. Iowa State University Press, Ames, Iowa.