

트랙터 부착형 다기능 작업기의 비용 및 포장능률 비교를 통한 경제성 분석

김승준^{1,2}, 장문경^{1,2}, 남주석^{3*}

¹강원대학교 스마트농업융합학과 대학원생, ²강원대학교 바이오시스템기계공학전공 대학원생,

³강원대학교 바이오시스템기계공학전공 교수

Economical Analysis Comparing the Working Cost and Field Capacity of a Tractor-mounted Multi-working Machine and Individual Machines

Seungjun Kim^{1,2}, Moonkyeong Jang^{1,2}, Juseok Nam^{3*}

¹Graduate Student, Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

²Graduate Student, Department of Biosystems Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

³Professor, Department of Biosystems Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

*Corresponding author: Juseok Nam (E-mail: njsg1218@kangwon.ac.kr)

ABSTRACT

Received: 26 June 2022

Revised: 10 July 2022

Accepted: 12 July 2022

In this study, an economic analysis of the cost and field capacity was conducted to prove the validity of developing and distributing a tractor-mounted multi-working machine. The cases of using a multi-working machine and individual working machines were compared. The results showed that the total hourly cost of the multi-working machine was 308,805 KRW. Compared with individual working machines, the tractor-mounted multi-working machine can save 53.5% of the total hourly cost. The field capacity for the multi-working machine was 12 ares/hour. This is 60.0% higher than that of individual working machines. The cost per 10 ares working area was calculated using the hourly total cost and field capacity. The cost per 10 ares working area for the multi-working machine is 257,337 KRW, meaning that the multi-working machine can save 71.0% of the cost compared with individual working machines. Therefore, it is concluded that the economic validity of the multiworking machine is high.

Keywords: Economic analysis, Field capacity, Multi-working machine, Tractor-mounted

서론

국내 밭 농업은 다양한 품종을 재배함에 따라 경운, 정지, 파종, 피복 등 다양한 작업으로 분류하여 수행된다 (Hwang et al., 2017; Swe et al., 2021). 밭 농업은 각 작업의 목적 및 방법에 따라 다양한 작업기가 필요하며, 하나의 농작업을 마치고 다른 농작업을 수행할 때 작업기의 교체가 필요하다. 국내 밭 농가에서는 대리점, 수리점 등에서 작



업기를 구매하거나 기타 농가로부터 대여하여 사용하고 있으나, 필요한 농기계의 종류가 많아 모든 작업기를 구비하기는 어려운 실정이다(Kim et al., 2018; Kim et al., 2020a). 또한, 작업기 교체 및 장착 시 많은 시간과 노동력이 소요되어 인력이 부족한 국내 밭 농가에서는 생산성 및 효율성을 감소시키는 문제가 발생한다(Kim et al., 2020b; Lee et al., 2020). 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 하나의 작업기로 다양한 작업을 수행할 수 있는 다기능 작업기의 개발이 요구된다. 하지만, 다기능 작업기와 개별 작업기를 사용하였을 때를 비교하여 비용 절감, 포장능률 상승 등의 경제적 이점이 미비한 수준이라면 다기능 작업기의 개발 및 보급에 대한 타당성이 모호해지게 된다. 따라서, 다기능 작업기의 구체적인 경제성 분석이 필요할 것으로 판단된다. 농업기계의 경제성 분석은 다양한 방면에서 수행되고 있으며, 주로 기계비용 및 포장능률을 이용한 연구들이 수행되고 있다. Lee 등은 독일 산림작업 임업기계위원회(KWF, Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik)의 기계비용분석법을 이용하여 현행 임목 부산물 수확 작업 시 발생하는 기계비용과 생산성을 분석하고 개선 방향을 제시하였다(Lee et al., 2016). Koo와 Kim은 개발된 트랙터 장착형 평두둑 복합기의 포장능률과 비용분석을 통하여 복합기의 생력화율을 평가하였다(Koo and Kim, 2018). Shafaei 등은 MFWD (mechanical front-wheel drive) 트랙터 경작 작업 시 전력 소비효율 및 동력 소비효율을 조사하여 지능형 퍼지 시스템을 개발하였다(Shafaei et al., 2021). Song 등은 고함량 하수 슬러지를 건조하기 위하여 개발된 건조기의 성능을 검증하고 건조 비용을 분석하였다(Song et al., 2021). Baidhe 등은 쟁기 프레임에 부착 가능한 제초기의 현장시험을 통해 기존 제초기와 포장능률을 비교하여 효율성을 검증하였다(Baidhe et al., 2020).

본 연구에서는 기 설계된 다기능 작업기의 비용 및 포장능률 분석을 통해 경제성을 분석하였다. 다기능 작업기는 경운, 정지, 복토, 파종이 가능한 로터베이터, 씨레, 복토기, 파종기를 복합적으로 장착하여 적용할 수 있는 타입이다. 이에 작업의 특성을 고려한 로터베이터와 씨레를 장착하여 경운·정지 작업을 동시에 수행하는 경우 1회 및 복토기와 파종기를 부착하여 복토·파종 작업을 동시에 수행하는 경우 1회씩 총 2회로 분류하였다. 또한, 개별 작업기를 이용한 경운·정지·복토·파종 작업은 각 1회씩 총 4회 수행하는 경우와 비교하여 다기능 작업기의 경제성을 분석하였다. 본 연구에서와 같은 방법을 적용하면 다양한 농작업기에 대한 작업비용 및 포장능률을 빠르게 분석하여 경제성을 판단할 수 있을 것으로 사료된다.

재료 및 방법

다기능 작업기 및 개별 작업기 선정

기 설계된 다기능 작업기의 형상은 Fig. 1에서와 같다. 다기능 작업기는 상호 호환되는 장착부를 가진 로터베이터, 씨레, 복토기, 파종기로 구성되며 Fig. 1(a)는 로터베이터와 씨레를, Fig. 1(b)는 복토기와 파종기를 동시에 장착한 모습을 보여준다. 일반적으로 밭농업에서의 농작업은 경운 및 정지 작업을 먼저 수행하여 겨우내 단단하고 굳어진 토양을 부드럽게 하고 평평하게 하여 작물재배에 알맞은 조건으로 맞춘 후 파종 및 복토를 수행한다. 따라서 다기능 작업기의 경제성 분석 시 로터베이터와 씨레를 동시에 장착하여 경운·정지 작업을 1회 수행하고, 복토기와 파종기를 동시에 장착하여 파종·복토 작업을 1회 수행하는 경우를 고려하였다. 개별 작업기의 경우 경운, 정지, 파종, 복토 작업을 각각 1회 수행하는 경우를 고려하였다. 개별 작업기의 경우 다기능 작업기의 소요 동력인 52 - 82 kW와 유사한 성능을 가지는 작업기들로 선정하였다. 경제성 분석에 사용된 트랙터, 다기능 작업기 및 개별 작업기들의 제원은 Table 1에서와 같다. 또한 작업기를 부착하는 트랙터는 작업기의 소요 동력을 고려하여 100 kW급으로 선정하였다.

Table 1. Specification of working machines

Type	Company / Nation / Model name	Rated power (kW)
Prime mover tractor	Robodream / Korea / RT 135	95.6
Multi-working machine	Daeho / Korea / Multi-working machine	52 – 82
Individual working machine	Rotavator	Daedong / Korea / TSFMC-275
	Seeder	Jang Automation / Korea / NGPLUSF-4
	Harrow	Zetstar / Korea / ZB5600PG
Ridge former	Woongjin machinery / Korea / WJ2-300	41 – 82



Fig. 1. Shape of multi-working machine.

시간당 고정비

고정비는 트랙터 및 작업기를 구매하였을 경우 고정적으로 소요되는 비용으로 구입가격, 내구연한, 연간사용시간, 감가상각비, 수리비, 이자 등이 포함된다(Koo and Kim, 2018).

분석에 사용된 트랙터 및 개별 작업기의 구입가격의 경우 가격이 공개되지 않는 관계로 한국농기계공업협동조합의 정부용자지원 농업기계의 용자지원한도액(KAMICO, 2022)을 참고하여 용자지원한도액의 2배로 가정하였다. 다기능 작업기의 경우 개발업체에서 제공해 준 판매 예정 가격을 적용하였다.

내구연한의 경우 농림축산식품부의 ‘농업기계화 촉진법 시행규칙’에 의거하여 농업기계의 내용연수는 트랙터의 경우 8년, 작업기의 경우 5년으로 산정하였다. 연간사용시간의 경우 농촌진흥청 농업기계이용실태조사(RDA, 2020)의 트랙터 작업별 이용실적과 참고문헌(Koo and Kim, 2018; Koo and Kang, 2021)을 통해 트랙터 144 h/yr, 로터베이터 63 h/yr, 파종기 50 h/yr, 씨레 14 h/yr, 복토기 100 h/yr으로 산정하였다. 통상적으로 밭농작업 시 경운 및 정지작업을 수행하며 그 후 파종 및 복토 작업을 수행한다. 다기능 작업기는 경운·정지 및 파종·복토 작업을 동시에 수행할 수 있는 농작업기계임을 고려하여 다기능 작업기의 연간 사용시간은 경운·정지와 파종·복토의 핵심 작업기인 로터베이터와 파종기의 연간사용시간을 합하여 산출하였다. 연간 감가상각비의 경우 직선법을 적용하여 식 (1)에서와 같이 계산하였으며 폐기가치는 참고문헌을 통해 구입가격의 5%로 적용하였다(Koo and Kim, 2018).

$$\text{연간 감가상각비} = \frac{\text{구입가격} - \text{폐기가치}}{\text{내구연한}} \tag{1}$$

연간 수리비와 연간 이자는 참고문헌을 통해 각각 구입비용의 6%, 2.5%로 적용하였다(Koo and Kim, 2018). 이상에서 설명한 시간당 고정비 분석에 사용된 각 파라미터는 Table 2에서와 같다.

Table 2. Parameters of hourly fixed cost

Items	Tractor	Multi-working machine	Individual working machine			
			Rotavator	Seeder	Harrow	Ridge former
Purchase price (KRW)	116,000,000	15,000,000	12,000,000	17,200,000	4,960,000	8,800,000
Service life (yr)	8	5	5	5	5	5
Annual working time (h/yr)	144	113	63	50	14	100
Annual depreciation cost (KRW/yr)	13,775,000	2,850,000	2,280,000	3,268,000	942,400	1,672,000
Annual repair cost (KRW/yr)	6,960,000	900,000	720,000	1,032,000	297,600	528,000
Annual interest (KRW/yr)	2,900,000	375,000	300,000	430,000	124,000	220,000

분석한 지표를 통하여 시간당 고정비는 식 (2)에서와 같이 계산하였다.

$$\text{시간당 고정비} = \frac{\text{연간 감가상각비} + \text{연간 수리비} + \text{연간 이자}}{\text{연간사용시간}} \quad (2)$$

시간당 유동비 및 총비용

유동비는 트랙터 및 작업기를 사용함에 따라 변동되는 비용으로 유류비와 인건비 등이 포함된다(Koo and Kim, 2018).

유류비의 경우, 시간당 연료소비량 및 면세경유가격을 활용하여 산정하였다(식 (3)). 시간당 연료소비량은 참고문헌을 통해 식 (4)를 이용하여 도출하였으며(Kim et al., 2010a), 면세경유가격은 한국석유공사의 2022년 6월 19일 조사 결과를 참고하여 1,611 원/L로 산정하였다. 또한 작업기의 평균 소요 동력을 적용하여 계산하였다.

$$\text{유류비} = \text{시간당 연료소비량} \times \text{면세경유가격} \quad (3)$$

$$Q = 0.2477P + 9.1883 \quad (4)$$

where, Q = 시간당 연료소비량 (L/hr)

P = 작업기 평균 소요 동력 (kW)

시간당 인건비는 식 (5)에서와 같이 계산하였다. 농업기계는 주로 남성이 운전하는 경우가 많으므로 남성 농동임금을 기준으로 하였으며, 가장 최신자료인 농촌진흥청 농업과학기술 경제성 분석 기준자료집의 2020년 남성 농업임금인 119,550원을 적용하였다(RDA, 2021). 하루 평균 작업시간은 참고문헌을 통해 9시간으로 산정하였다(Kim et al., 2010b).

Table 3. Parameters of hourly variable cost

Items	Tractor	Multi-working machine	Individual working machine			
			Rotavator	Seeder	Harrow	Ridge former
Hourly fuel consumption (L/h)	32.9	26.0	25.4	24.9	28.1	24.4
Diesel fuel cost (KRW/L)				1,611		
Average rated power (kW)	95.6	68.0	65.5	63.5	76.5	61.5
Hourly labor cost (KRW/h)				13,283		
Daily labor cost (KRW/day)				119,550		
Daily working time (h)				9		

$$\text{시간당 인건비} = \frac{\text{남성 노동임금}}{\text{하루평균 작업시간}} \quad (5)$$

이상에서 설명한 시간당 유동비 분석에 사용된 각 파라미터는 Table 3에서와 같다.

분석한 지표를 통하여 시간당 유동비를 식 (6)에서와 같이 계산하였다.

$$\text{시간당 유동비} = \text{시간당 인건비} + \text{시간당 유류비} \quad (6)$$

또한 시간당 총 비용은 시간당 고정비와 시간당 유동비를 이용하여 식 (7)과 같이 계산하였다.

$$\text{시간당 총 비용} = \text{시간당 고정비} + \text{시간당 유동비} \quad (7)$$

포장능률

포장능률은 작업기의 성능을 평가하기 위한 지표로서 시간당 작업면적으로 정의된다. 본 연구에서는 다기능 작업기 개발업체에서 제공한 자료를 통하여 10 a의 면적을 작업하는데 소요되는 시간을 기준으로 식 (8)에서와 같이 포장능률을 계산하였다. 시간당 총 비용 및 포장능률을 통하여 10 a당 소요경비를 식 (9)에서와 같이 계산하였다.

$$\text{포장능률} = \frac{1}{10 \text{ a 작업시 소요시간}} \quad (8)$$

$$10 \text{ a당 소요경비} = \frac{\text{시간당 총 비용}}{\text{포장능률}} \quad (9)$$

다기능 작업기 개발업체에서 제공받은 10 a당 작업시간은 Table 4에서와 같다. 10 a의 면적을 작업하는데 다기능 작업기 및 개별 작업기는 각각 약 50분, 약 80분의 시간이 소요된다.

Table 4. Operating time for each working machine

Items	Multi-working machine	Individual working machine			
		Rotavator	Seeder	Harrow	Ridge former
Operating time (h/10 a)	0.83	0.25	0.5	0.33	0.25
		1.33			

Table 5. Hourly fixed cost and hourly variable cost of each working machine

Items	Multi-working machine	Individual working machine
Hourly fixed cost (KRW/h)	200,635	432,739
Hourly variable cost (KRW/h)	108,170	231,992
Hourly total cost (KRW/h)	308,805	664,731

Table 6. Field capacity of each working machine

Items	Multi-working machine	Individual working machine
Field capacity (a/h)	12	7.5

Table 7. Cost per 10 ares agricultural work

Items	Multi-working machine	Individual working machine
Cost (KRW/10 a)	257,337	886,308

결과 및 고찰

다기능 작업기 및 개별 작업기의 시간당 고정비, 시간당 유동비 및 시간당 총 비용은 Table 5에서와 같다. 다기능 작업기 및 개별 작업기의 시간당 고정비는 각각 200,635원 및 432,739원으로 나타났다. 다기능 작업기 및 개별 작업기의 구입비용은 각각 15,000,000원, 42,960,000원으로 구입비용에 큰 차이가 있으며, 또한 다기능 작업기는 개별 작업기보다 연간사용시간을 단축할 수 있어 시간당 고정비가 낮은 것으로 판단된다. 이는 작업량에 관계없이 다기능 작업기를 구매하는 것만으로도 상당량의 비용을 절감할 수 있음을 의미한다. 다기능 작업기 및 개별 작업기의 시간당 유동비는 각각 108,170원 및 231,992원으로 나타났다. 연간 사용시간 감소에 따라 인건비와 유류비를 절감할 수 있어 다기능 작업기의 시간당 유동비가 개별 작업기보다 낮았다. 시간당 고정비와 시간당 유동비를 합한 시간당 총 비용은 다기능 작업기 및 개별 작업기에서 각각 308,805원 및 664,731원으로 나타나 다기능 작업기를 사용하면 개별 작업기 사용보다 53.5%의 비용 절감 효과가 있음을 알 수 있다.

다기능 작업기 및 개별 작업기의 포장능률은 Table 6에서와 같다. 다기능 작업기 및 개별 작업기는 각각 시간당 12 a 및 7.5 a의 면적을 작업할 수 있다. 하루 평균 9 h 동안 작업한다고 가정할 때 다기능 작업기는 약 108 a의 면적을, 개별 작업기는 약 67 a의 면적을 작업할 수 있다. 따라서, 다기능 작업기의 포장능률은 개별 작업기 대비 60.0% 높은 것으로 나타났다. 이는 다기능 작업기 사용 시 경운·정지·복토·파종 총 4회의 작업을 경운·정지, 복토·파종 총 2회의 작업으로 단축하여 빠른 작업이 가능하기 때문인 것으로 판단된다.

다기능 작업기 및 개별 작업기의 10 a당 소요경비 분석 결과는 Table 7에서와 같다. 10 a의 면적을 작업하는데 다기능 작업기는 257,337원, 개별 작업기는 886,308원이 소요된다. 다기능 작업기의 소요경비는 개별 작업기의 29.0%로 다기능 작업기를 사용하면 10 a당 소요경비를 628,971원 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

다기능 작업기의 경제성은 기존 개별 작업기를 사용하는 것에 비해 비용, 포장능률 모두 우수한 것으로 나타났다. 따라서 다기능 작업기의 개발 및 보급은 국내 밭농업의 생력화 및 비용절감에 큰 효과가 있을 것으로 판단된다.

결론

본 연구에서는 비용 및 포장능률 분석을 통한 기 설계된 다기능 작업기의 경제성을 평가하여 개발 및 보급에 대한 타당성을 검토하고자 하였다. 경제성 분석을 위해 다기능 작업기를 활용한 경운·정지작업, 복토·파종작업을 각각 1회 수행하는 경우와 유사한 제원을 가지는 개별 작업기를 사용하여 경운, 정지, 파종, 복토의 작업을 각각 수행하는 경우의 시간당 총 비용, 포장능률, 10 a당 소요비용 등을 비교하였다.

시간당 총 비용의 경우 다기능 작업기 및 개별 작업기의 시간당 고정비 및 시간당 유동비를 이용하여 산출하였다. 다기능 작업기의 시간당 총비용은 308,805원으로 개별 작업기 대비 53.5%의 비용을 절감할 수 있는 것으로 나타났다. 포장능률은 10 a의 면적을 작업하는데 소요되는 시간을 이용하여 도출하였으며 다기능 작업기의 포장능률은 12 a/h로 개별 작업기 대비 60.0% 높은 것으로 나타났다. 하루 평균 9시간의 작업을 한다고 가정하였을 때 다기능 작업기는 개별 작업기에 비해 약 41 a의 면적을 더 작업할 수 있다. 시간당 총 비용 및 포장능률을 활용하여 10 a당 소요경비를 도출하였다. 다기능 작업기의 10 a당 소요경비는 257,337원으로 개별 작업기 대비 71.0%의 경비를 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

따라서, 다기능 작업기는 기존 개별 작업기 대비 소요비용 및 포장능률 모두 우수한 것으로 판단되며, 다기능 작업기의 개발 및 보급은 국내 밭농업의 발전에 긍정적인 영향을 끼칠 것으로 판단된다.

사사

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 첨단농기계산업화기술개발사업 지원을 받아 연구되었음(321058-02). 또한, 본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농식품기술융합 창의인재양성사업의 지원을 받아 연구되었음(716001-7).

인용문헌(References)

- Baidhe, E., Kigozi, J., Kambugu, R. K. (2020) Design, Construction and Performance Evaluation for a Maize Weeder Attachable to an Ox-Plough Frame. *J Biosyst Eng* 45:65-70.
- Hwang, S. J., Kim, K. D., Kim, J. H., Nam, J. S., Shin, B. S. (2017) Survey of Potato Farmers' Tractor-Implement Usage in Korea. *Proc Conf Korean Soc Agric* 67-67.
- KAMICO (Korea Agricultural Machinery Industry Cooperative) (2022) Agricultural Machinery Supported by Government Loans. KAMICO, Chungnam, Korea.
- Kim, B. G., Lee, J. M., Kim, S. O. (2020a) Improvement of the Distribution System for Used Agricultural Machinery. *J Biosyst Eng* 45:318-324.
- Kim, B. S., Kim, C. H., Kim, K. W., Heo, J. G. (2018) A Study on the Structural Analysis of Crops Harvester. *J Korean Soc Precis Eng* 473-474.
- Kim, D. C., Kim, K. U., Kim, S. C. (2010a) Modeling of Fuel Consumption Rate for Agricultural Tractors. *J Biosyst*

- Eng 35:1-9.
- Kim, J. T., Han, H. W., Oh, J. S., Chung, W. J., Cho, S. J., Park, Y. J. (2020b) Structural Design of Garlic Plants Footplate Considering Physical Characteristics of Elderly Women. *J Biosyst Eng* 45:16-23.
- Kim, U. C., Shin, Y. S., Kim, D. S., Hong, C. W. (2010b) The gender difference in Agriculture Workers survey of Work-Related Musculoskeletal Disorders. *Proceedings of the ESK Conference*. 94-98.
- Koo, Y. M., Kang, Y. S. (2021) Characteristics of Power and Fuel Use of a Tractor-Mounted Integrated Implement for Round Ridge Preparation. *J Biosyst Eng* 46:496-507.
- Koo, Y. M., Kim, B. M. (2018) Field capacity and cost analyses of an integrated tractor machine for flat ridge preparation. *Journal of J Agric Life Sci* 52:137-149.
- Lee, C. G., Choi, Y. S., Ju, Y. M., Lee, S. Y., Nam, Y. S., Cho, L. H., Kim, J. M., Oh, K. C., Cho, M. J., Lee, E. J., Oh, J. H., Han, S. G., Cha, D. S., Kim, D. H. (2016) A study on the productivity and cost analysis of the timber and logging residue in CTL system of excavator yarding for using the woody resources. *Korean Society for New and Renewable Energy* 12:51-58.
- Lee, Y. S., Ali, M., Islam, N., Rasool, K., Jang, B. E., Kabir, S. N., Kang, T. K., Chung, S. O. (2020) Theoretical Analysis of Bending Stresses to Design a Sprocket for Transportation Part of a Chinese Cabbage Collector. *J Biosyst Eng* 45:85-93.
- RDA (Rural Development Administration) (2020) Agricultural Machinery Usage Survey. RDA, Jeonju, Korea.
- RDA (Rural Development Administration) (2021) Agricultural science and technology economic analysis criteria data Sheet. RDA, Jeonju, Korea.
- Shafaei, S. M., Loghavi, M., Kamgar, S. (2021) On the Reliability of Intelligent Fuzzy System for Multivariate Pattern Scrutinization of Power Consumption Efficiency of Mechanical Front Wheel Drive Tractor. *J Biosyst Eng* 46:1-15.
- Song, D. B., Lim, K. H., Jung, D. H., Yoon, J. H. (2021) Analysis of Drying Performance and Cost of Large-Capacity Sewage Sludge Dryer. *J Biosyst Eng* 46:105-111.
- Swe, K. M., Islam, M. N., Chowdhury, M., Ali, M., Wing, S., Jun, H. J., Lee, S. H., Chung, S. O. (2021) Theoretical Analysis of Power Requirement of a Four-Row Tractor-Mounted Chinese Cabbage Collector. *J Biosyst Eng* 46:139-150.