

토양 조건에 따른 농업용 트랙터의 견인 성능 분석

Analysis of Traction Performance for Agricultural Tractor According to Soil Condition

이남규¹ · 김용주^{1,2*} · 백승민² · 문석표¹ · 박성운³ · 최영수⁴ · 최창현⁵
 Nam Gyu Lee¹, Yong Joo Kim^{1,2*}, Seung Min Baek², Seok Pyo Moon¹,
 Seong Un Park³, Young Soo Choi⁴ and Chang Hyun Choi⁵

Received: 02 Nov. 2020, Accepted: 23 Nov. 2020

Key Words : Reclaimed Land(간척지), Paddy Field(논), Agricultural Tractor(트랙터), Tractive Efficiency(견인 효율), Traction Performance(견인 성능)

Abstract: Traction performance of a tractor varies depending on soil conditions. Sinkage and slip of the driving wheel for tractor frequently occur in a reclaimed land. The objective of this study was to develop a tractor suitable for a reclaimed land. Traction performance was evaluated according to soil conditions of reclaimed land and paddy field. Field experiments were conducted at two test sites (Fields A: paddy field; and Field B: reclaimed land). The tractor load measurement system was composed of an axle rotation speed sensor, a torque meter, a six-component load cell, GPS, and a DAQ (Data Acquisition System). Soil properties including soil texture, water content, cone index, and electrical conductivity (EC) were measured. Referring to previous researches, the tractor traveling speed was set to B3 (7.05 km/h), which was frequently used in ridge plow tillage. Soil moisture contents were 33.2% and 48.6% in fields A and B, respectively. Cone index was 2.1 times higher in field A than in field B. When working in the reclaimed land, slip ratios were about 10.5% and 33.1% for fields A and B, respectively. The engine load was used almost 100% of all tractors under the two field conditions. Traction powers were 31.9 kW and 24.2 kW for fields A and B, respectively. Tractive efficiencies were 83.3% and 54.4% for fields A and B, respectively. As soil moisture increased by 16.4%, the tractive efficiency was lowered by about 28.9%. Traction performance of tractor was significantly different according to soil conditions of fields A and B. Therefore, it is necessary to improve the traction performance of tractor for smooth operations in all soil conditions including a reclaimed land by reflecting data of this study.

기호 설명

* Corresponding author: babina@cnu.ac.kr

1 Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea

2 Department of Smart Agriculture System, Chungnam National University, Daejeon, Korea

3 Reliability Test Team, TYM ICT Co. Ltd., Gongju 32530, Korea

4 Department of Rural and Biosystems Engineering, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea

5 Dept. of Mio-Mechatronics Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 16419, Republic of Korea

Copyright © 2020, KSFC

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

s : slip ratio, %

V_a : actual traveling speed, km/h

V_t : theoretical traveling speed, km/h

P_t : traction power, kW

D : traction, kN

P_a : sum of axle power, kW

T : axle torque, Nm

N : axle rotational speed, rpm

TE : tractive efficiency, %

1. 서론

트랙터는 쟁기, 로타리, 베일러와 같은 다양한 농작업기를 부착하여 작업을 수행하는 작업기계이다.¹⁾ 트랙터는 다양한 농작업을 수행할 수 있기 때문에 국내 트랙터 사용 비율은 71.8%이며, 지속적으로 증가하고 있는 추세이다.^{3, 4)} 하지만, 최근 수입 농기계의 시장 점유율이 매년 증가함에 따라 국내 시장은 감소하고 있다.^{5, 6)} 이러한 이유로 내수 시장을 다시 회복시키기 위해서는 국내 토양 환경에 적합한 트랙터를 개발하는 것이 필요하다.⁷⁾

국내 농경지는 2000년에 1,888 백만 헥타르에서 2019년 1,580 백만 헥타르로 약 16% 감소했으며, 현재도 지속적으로 감소하고 있다.⁸⁾ 이에 따라 국내에서는 농경지를 충족시키기 위해 간척지를 개발해왔다. 간척지는 얇은 바다에 방제를 쌓아 인공적으로 만든 토지로 점토 내 공극이 일반 토양에 비해 매우 작아 배수가 좋지 않으며, 습지인 경우가 대다수이다.^{9, 10)} 국내 간척지의 배수 등급은 약 63%가 ‘약간 불량’이며, 33%가 ‘불량’으로 전체 면적의 약 96%가 불량으로 판정되었다.¹¹⁾ 트랙터는 다양한 토양 조건에서 농작업을 수행하기 때문에 트랙터의 견인 성능은 토양 조건에 크게 영향을 받는다.¹²⁾ 대부분의 트랙터 견인 성능은 단단한 도로 또는 아스팔트 위에서 평가되었으며, 이는 농지 조건에서 작업하는 트랙터의 견인 성능을 반영하지 않는다.¹³⁾ 특히, 대부분이 습지인 간척지에서는 구동륜의 침하 및 슬립이 자주 발생하기 때문에 트랙터의 주행 성능 및 견인 성능이 감소해 농작업 시 어려움이 발생한다. 따라서, 간척지 및 습지와 같이 수분 함수량이 높은 가혹한 토양조건에서 원활한 작업이 가능하도록 트랙터의 견인 성능을 분석하여 작업 성능을 평가할 필요가 있다. 선행 연구에서는 국내 간척지의 배수 등급을 조사하여 토양 수분 함수량의 정도를 예측하였으며, 토양 수분 함수율에 따라 트랙터의 슬립률 및 견인 효율에 대한 관계를 분석하였다.^{11, 14)} 견인 효율은 견인작업의 에너지 효율성을 나타내며, 견인 효율을 구하기 위해서는 견인력, 견인 동력, 슬립률, 차축 동력 등 다양한 데이터를 분석해야 하므로 트랙터의 견인 성능을 나타내는 데 견인 효율은 중요한 지표로 사용된다.¹⁵⁾ Park 등(2002)은 트랙터 작업 시 트랙터 견인 성능 및 토양 특성과의 관계 등을 구명하였으며, Park 등(2012)은 트랙터의 견인 성능 예측에 관련된 다양한 경험식 중 가장 적합한 식(Brixius, 1987)

을 선정하여 분석 및 트랙터의 성능을 평가하였다. Brixius 모델은 타이어의 폭, 직경 등 기하학적 매개변수와 원추 지수(Cone Index) 등의 데이터를 이용하여 견인 효율 등 견인 성능에 대해 예측하였으며, 이를 향상시키기 위해 타이어의 접지 면적을 증가시키는 방안을 제시하였다. Damanauskas 등(2015)은 타이어 접지 면적에 따른 트랙터의 견인 성능을 분석하기 위해 단일 타이어와 듀얼 타이어로 각각 플라워 작업을 수행하였으며, 듀얼 타이어에서 견인 성능이 향상되었다고 보고하였다. 트랙터 견인 성능 분석과 관련된 연구는 많이 진행되었지만, 이는 일반 농경지에 국한되어 있으며, 간척지에서의 작업 조건을 고려한 견인 성능 및 트랙터 설계는 미비한 실정이다.

따라서, 본 연구는 간척지 토양조건에 적합한 트랙터를 개발하기 위한 기초연구로써, 1) 토양조건이 다른 일반 농경지 및 간척지에서 필드 시험을 통해 트랙터의 부하 데이터를 계측했으며, 2) 토질 변화에 따른 트랙터의 견인 성능 변화를 분석 및 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 시험용 트랙터 및 작업기

본 연구는 간척지 및 습지에서의 견인 성능을 평가하기 위해 Fig. 1에 나타낸 67 kW급 농업용 트랙터(LUXEN800, KUKJE CO Ltd, Korea)를 사용하였다. 트랙터의 크기는 4.020 m × 2.270 m × 2.790 m (length × width × height)이며, 공차 중량은 4,000 kg이다. 엔진 회전속도가 2,200 rpm일 때, 트랙터 엔진의 정격 동력 및 토크는 각각 67 kW, 290 Nm이다. 변속 단수는 주변속 4단, 부변속 4단으로 전진 16단, 후진 16단이며, 자세한 제원은 Table 1과 같다.

트랙터의 견인 성능을 분석하기 위해 농작업 시 사용한 작업기는 이랑 쟁기(WJSP-8; Woongjin Machinery, Gimje, Korea)이다. 쟁기 경운 작업은 국내 트랙터 필드 시험 및 데이터를 수집할 때 가장 많이 사용된다.²⁰⁾ 본 연구에서 사용한 이랑 쟁기의 크기는 2.800 m × 2.150 m × 1.250 m (length × width × height)이며, 무게는 790 kg이다. 또한, 쟁기 경운 작업 시 트랙터 하중 비중이 뒤쪽으로 이동함에 따라 후방 전도에 대한 위험이 발생할 수 있어 전방에 600 kg 웨이트를 장착함으로써, 트랙터의 균형을 유지하였다.



Fig. 1 A photo of load measurement tractor used in this study

Table 1 Specifications of 67 kW agricultural tractor used in this study

Item	Specifications	
Length×Width×Height (m)	4.020×2.270×2.790	
Weight (kg)	4,000	
Front tire	13.6-24-8PR	
Rear tire	16.9-34-10PR	
Engine	Rated power (kW)	67 @ 2,200 rpm
	Rated torque (Nm)	290 @ 2,200 rpm
Transmission	Type	Power shuttle
	Gear stage	Forward 16 / Reverse 16

2.2 부하 계측 시스템 개발

본 연구에서 사용된 부하 계측 시스템은 차축 토크, 차축 회전속도, 견인력, 작업 속도 측정을 위한 센서 및 각 센서에서 측정된 데이터를 수집하는 데이터 수집 장치로 구성되어 있으며, Fig. 2와 같다. 본 연구에서 사용한 트랙터는 Tier 4 전자식 엔진을 탑재하고 있어 CAN 통신을 통해 엔진 토크 및 회전 속도를 측정하였다. 토크 미터(Fu PCM16; MANNER Sensortelemetrie GmbH, Germany)는 각 차축에 하나씩 장착했으며, 바깥쪽에 설치하지 않고 내부에 축을 가공 후 설치하여 작업 시 외부 요인에 의한 잡음 발생 및 파손을 방지할 수 있도록 하였다. 토크미터를 통해 측정된 데이터는 무선 안테나를 통해 수집되는 텔레메트리(Telemetry) 방식을 사용하였다. 안테나가 받은 데이터는 Amplifier로 전송되며, 동시에 증폭되어 데이터 수집 장치로 전송된다. 근접 센서(RS-025, DACELL, Korea)는 차축에 장착한 100개의 기어 이

를 감지하고 펄스를 생성하였으며, 이를 통해 차축 회전 속도를 측정하였다. 육분력계는 6개의 로드셀(SBA-2K, CAS, Korea)로 구성되어 있으며, 3개의 로드셀은 수평력을 측정하고 나머지 3개의 로드셀은 수직력을 측정한다. 수평력을 측정하는 3개의 로드셀은 트랙터 농작업 시 트랙터와 작업기 사이에 발생하는 분력을 감지함으로써, 견인력을 측정한다. 육분력계는 트랙터 히치와 작업기의 3-Point 구조 사이에 장착되며, 자세한 제원은 Table 2과 같다. GPS (Duro Inertial, swift, USA)는 트랙터의 실제 작업 속도를 계측하기 위해 트랙터 캐빈 위에 장착하였다. 각 센서 별로 계측된 데이터는 텔레메트리 또는 유선을 통해 데이터 수집 장치(Quantum X 840B, HBM, Germany)로 전송되며, 이를 작업중에 실시간으로 확인하기 위해 캐빈 내부에 PC를 설치하여 모니터링 시스템을 구축하였다.

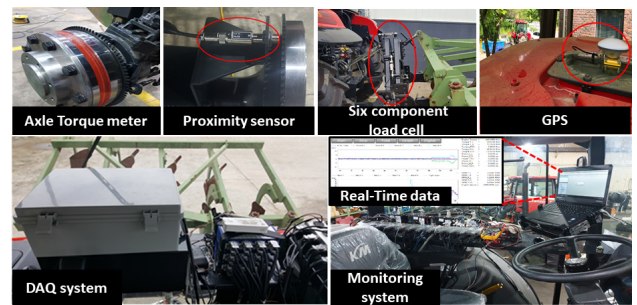


Fig. 2 Photos of measurement system for wheel load, traveling speed, and traction

Table 2 Specifications of load cell of used six-component load cell system

Classification	Specifications	
Rated Capacity (kgf)	2K	
Combined Error (% R.O)	≤ 0.03	
Creep for 30 min (% R.O)	≤ 0.03	
Excitation voltage	Recommended (V)	10
	Maximum (V)	15
Operating temperature range (°C)	-30 ~ 80	

2.3 필드 시험

부하 데이터 계측은 일반 농경지 및 간척지 필드를 수급하여 수행하였다. Field A는 대전광역시 유성구 어은동 48에 위치한 일반 농경지이며, 크기는 25

m × 100 m이다. Field B는 당진시 석문면 교로리 1755-1에 위치한 당진 간척지에서 수행했으며, 크기는 40 m × 100 m이다. 트랙터 작업 단수는 문헌 연구를 참고하여 이랑 쟁기 작업의 주요 사용 단수인 B3 (7.05 km/h)로 설정하였으며,²¹⁾ 쟁기 작업 시 경심은 15 ~ 20 cm로 설정하였다. 필드 시험은 조건별로 3회 이상 반복 수행하여 데이터의 신뢰성을 높였다.

본 연구에서는 포장 시험지의 토양 환경을 Fig. 3과 같이 측정하여 분석하였다. 토양 관입 저항(Cone Index, CI)은 soil compaction meter (SC900, Spectrum Technology, E Plainfield, USA), 수분 함수율(Moisture Content)은 soil moisture sensor (TDR350, Spectrum Technology, E Plainfield, USA)을 이용하여 시험지 내 임의로 30 곳을 선정하여 측정하였으며, 각 측정 포인트마다 3번씩 측정하였다.²²⁾ 토성 분석은 시험지의 임의로 10곳을 선정하여 토양 시료를 채취한 뒤, 비중계법(Hydrometer Method)과 USDA (U.S. Department of Agriculture) 토성 분류법을 이용하여 수행하였다. 전기전도도(Electrical conductivity, EC)는 간척지 토양의 특성을 파악하기 위해 EC meter (EC-400L, iSTEK, Korea)를 이용하여 측정하였다.

Table 3 Field test conditions used in this study

Field site	Field operations	Depth (cm)	Transmission
A	Ridge plow tillage	15 ~ 20	B3
B			(7.05 km/h)

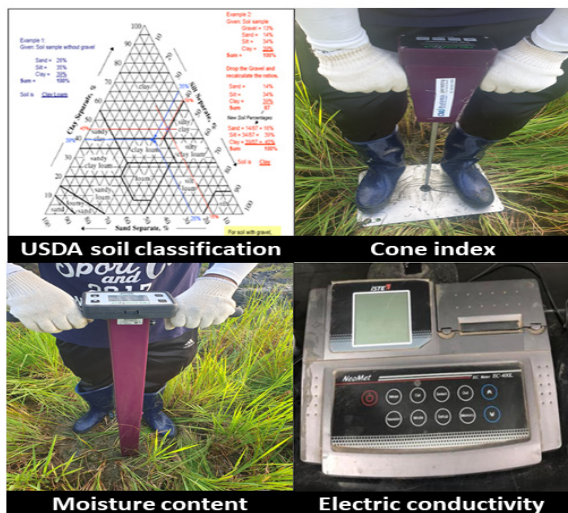


Fig. 3 Measurement and analytic methods for soil property

2.4 견인 성능

견인 효율은 트랙터의 견인 성능의 지표로 사용되며, 견인력, 견인 동력, 슬립률 등을 포함한다.^{15, 23, 24)} 슬립률은 이론 작업 속도와 실제 작업 속도의 비율로 나타나며, 트랙터의 견인 성능에 큰 영향을 미친다.²⁵⁾ 슬립률은 식 (1)을 이용하여 계산할 수 있다.

$$s = 100(1 - (\frac{V_a}{V_t})) \tag{1}$$

견인 동력은 작업기를 견인할 때 차축을 통해 지면으로 전달되는 동력으로서, 식 (2)와 같이 계산된다.

$$P_t = DV_a \tag{2}$$

전체 차축 동력은 4개의 차축 동력의 합을 의미한다. 차축 동력은 차축 토크 및 회전 속도를 이용하여 계산되며, 식 (3)과 같다.

$$P_a = \frac{2\pi TN}{60,000} \tag{3}$$

견인 효율은 트랙터 견인작업의 에너지 효율성을 나타내며 견인 동력과 전체 차축 동력의 비로 계산된다. 견인 효율은 식 (4)를 이용하여 계산할 수 있다.

$$TE = \frac{P_t}{P_a} \tag{4}$$

3. 결과 및 고찰

3.1 토양 환경 분석 결과

필드 시험을 진행하기 전에 수행한 주요 토양 환경을 분석 결과는 Table 4와 같이 나타났다. Field A의 토성은 Sand 비율이 69%, Silt 비율이 20%, Clay 비율이 12%로 나타나 USDA 토성 분류법에 따라 Sandy Loam으로 분류되었으며, Field B는 Sand, Silt, Clay 비율이 각각 42, 42, 16%로 나타나 Loam으로 분류되었다. 토양 수분 함수량은 Field A, B 각각 32.2, 48.6%로 나타났다. 본 연구에서 수행한 필드 시험 시 쟁기 작업의 경심은 약 17 ~ 20 cm로 나타났다. 토양 관입 저항은 경심이 깊을수록 경도가 크게 변하기 때문에 토양 깊이에 따라 4수준으로 구분하여 분석하였다.²⁶⁾ Field A의 분석 결과를 통해 0 ~ 5

cm에서의 관입 저항은 227 kPa로 나타났으며, 16 ~ 20 cm에서의 관입 저항은 2,123 kPa로 약 9.3배 증가한 것으로 나타났다. Field B의 분석 결과를 통해 0 ~ 5 cm에서의 관입 저항은 206 kPa로 나타났으며, 16 ~ 20 cm에서의 관입 저항은 990 kPa로 약 4.8배 증가한 것으로 나타났다. Field A와 B의 토양 수분 함수량은 약 16.4%의 차이를 보여 토양 조건이 서로 상이함을 알 수 있었다. 또한, 수분 함수량이 낮은 Field A는 Field B에 비해 토양 경도가 약 2.1배 이상 높은 것으로 나타났으며, 이는 토양 수분 함수량이 높으면 토양 경도가 낮아진다는 선행 연구와 동일한 결과를 보여주었다.²⁷⁾ 전기전도도는 Field A, B 각각 0.46, 8.48 dS/m로 나타났다.

Table 4 Results of soil texture, cone index, and soil moisture content

Field sites	Soil texture		Moisture content (%)	Cone index	
				Depth (cm)	Avg. (kPa)
A	Sand	69	32.2	0~5	227
				6~10	352
	Silt	20		11~15	1,121
				Clay	12
B	Sand	42	48.6		
				6~10	327
	Silt	42		11~15	367
				Clay	16

3.2 슬립률 분석

GPS로 측정한 실제 작업 속도에 설정한 작업 단수인 B3 (7.05 km/h)단의 이론 작업 속도를 고려하여 슬립률을 계산하였으며, 토양 조건에 따른 슬립률 분석 결과는 Fig. 4와 같이 나타났다. Field A에서의 이랑 쟁기 작업 시 트랙터의 슬립률은 작업 구간에서 약 0 ~ 45%의 범위를 보였으며, Field B에서 트랙터의 슬립률은 작업 구간에서 약 20 ~ 75%의 범위를 보였다. Field A에서는 트랙터가 작업을 시작할 때 슬립률이 순간 증가했지만 이후 10% 이하의 범위를 보이면서 안정적인 작업이 진행되었다. 이에 반해 토양 함수량이 높은 Field B에서는 작업 구간 내 20% 이상의 슬립률 범위를 보였으며, 작업 중간에는 슬립

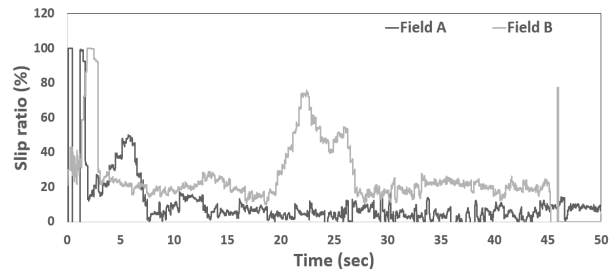


Fig. 4 Results from slip ratio according to field conditions during plow tillage

이 크게 발생하여 해당 구간에서의 작업 성능이 감소했음을 알 수 있다. 이는 토양 경도가 낮아짐에 따라 트랙터에서 전달된 토크보다 지면이 지지할 수 있는 토크가 상대적으로 약해 토양이 파괴되면서 토양추진력을 제대로 받지 못했기 때문으로 판단된다.

3.3 견인 및 차축 동력 분석

CAN 통신을 이용하여 엔진 토크 데이터를 수집했으며, Fig. 5와 같이 나타났다. 엔진 퍼센트 토크 (Engine percent torque)는 트랙터 작업 시 엔진에서 사용할 수 있는 토크 중 얼마나 사용하고 있는지 비율을 나타내는 지표이다. 작업 구간에서의 엔진 토크는 모든 토양 조건에서 100% 사용하고 있다는 것을 알 수 있다. 육분력계로 측정한 견인력 및 실제 작업 속도를 이용하여 견인 동력을 계산하였으며, Fig. 6과 같이 나타났다. 견인 동력은 슬립률이 갑작스럽게 증가한 구간에서 크게 낮아져 슬립률과는 반비례한 경향이 나타났다. Field A에서 쟁기 작업 시 작업 구간에서의 견인 동력은 평균 약 31.9 kW로 나타났으며, Field B에서는 평균 약 24.2 kW로 나타났다. 동일한 엔진을 사용하였지만, Field A에서의 견인 동력이 Field B에 비해 약 7 ~ 8 kW의 더 높은 출력을 보이고 있다. 이는 토양이 지지할 수 있는 토크가 커서 트랙터에서 전달된 토크가 토양추진력으로 전환되었기 때문으로 판단된다.

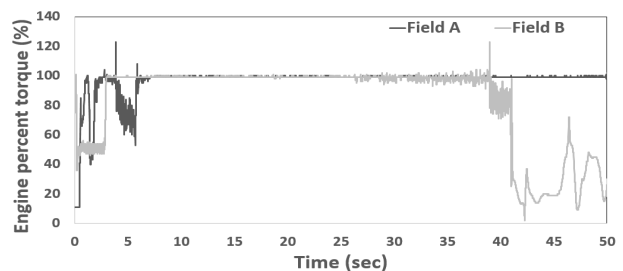


Fig. 5 Results from engine percent torque according to field conditions during plow tillage

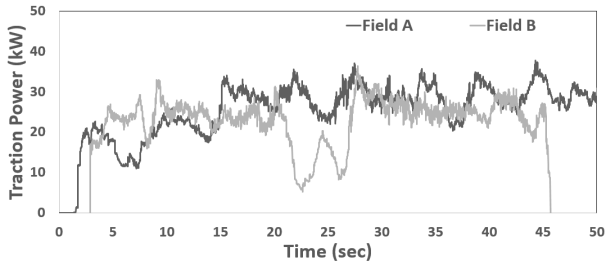


Fig. 6 Results from traction power according to field conditions during plow tillage

3.4 견인 효율 분석

간척지에서 쟁기 작업 시 슬립률에 따른 견인 효율은 Fig. 7과 같이 나타났다. 작업 구간에서 슬립률에 따른 견인 효율은 비교적 Field A가 Field B에 비해 낮은 슬립률 및 높은 견인 효율의 범위를 가지고 있는 것으로 나타났다. 트랙터가 이랑쟁기 작업 시 동일한 슬립률이 발생했을 때, Field B에서 좀 더 낮은 견인 효율값이 나타났으며, 슬립률 발생 범위가 더 크게 나타나면서 견인 효율은 최소 10%까지 감소하는 경향을 보였다. 트랙터 쟁기 작업 시 작업 구간에서의 견인 효율은 Field A에서 약 83.3%로 나타났으며, Field B에서는 약 54.4%로 나타났다. 토양 수분이 16.4% 증가함에 따라 토양 경도는 약 2.1배 낮아졌으며, 이로 인해 견인 효율은 약 28.9% 낮게 나타났다. 일반적으로 견인 효율은 견인 성능을 판단하는 지표로 사용하기 때문에 Field B와 같은 토양 조건을 가진 간척지에서 트랙터 작업 시 견인 성능이 떨어

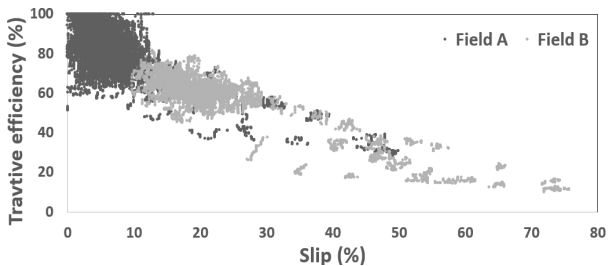


Fig. 7 Results from tractive efficiency according to slip ratio during plow tillage

Table 5 Results of tractive efficiency field conditions during plow tillage

Field site	Tractive efficiency (%)		
	Max	Min	Avg.±S.D.
A	98.7	51.3	83.3±10.2
B	81.4	10.1	54.4±15.2

진다는 것을 알 수 있었으며, 향후 이러한 열악한 토양 조건에서도 원활한 작업이 가능하도록 견인 성능을 향상시킬 필요가 있다.

4. 결론

본 연구는 간척지 토양 조건에 적합한 트랙터를 개발하기 위한 기초연구로써, 토양 조건이 다른 일반 농경지 및 간척지에서 트랙터 필드 시험을 통해 견인 성능을 분석 및 평가하였으며, 그 주요 결과는 다음과 같다.

1. 간척지에서의 견인 성능을 분석하기 위해 토양 조건이 다른 Field A, B를 수급하여 필드 시험을 진행하였다. Field A, B는 수분 함수량이 각각 32.2, 48.6%이며, 토양 경도는 Field A가 Field B에 비해 토양 경도가 약 2.1배 이상 높은 것으로 나타났다.

2. 필드 시험의 작업 단수는 문헌 연구를 통해 쟁기 작업 시 사용하는 주요 단수인 B3 (7.05 km/h)로 설정했으며, 견인 성능 분석을 위한 부하 데이터를 계속하기 위해 토크미터, 육분력계, GPS, DAQ 등을 이용하여 부하 측정 시스템을 구축하였다.

3. 견인 효율은 견인 성능의 지표로 사용되고 있으며, 이를 위해 슬립률, 견인 동력을 산출하였다. 슬립률은 Field A에서 10.5%, Field B 33.1%로 나타나 22.6% 증가하였으며, 견인 동력은 각각 평균 약 31.9, 24.2 kW로 나타나 동일한 엔진 부하 사용 시 Field A에서 Field B에 비해 약 7 ~ 8 kW의 더 높은 성능의 출력을 보였다.

4. 슬립률에 따른 견인 효율은 Field A인 경우 슬립률이 0 ~ 45%의 범위에서 평균 약 83.3%로 나타났으며, Field B에서는 슬립률이 20 ~ 75%의 범위에서 평균 약 54.4%로 나타났다. 따라서, 토양 수분이 16.4% 증가함에 따라 토양 경도는 약 2.1배 낮아졌으며, 이로 인해 견인 효율은 약 28.9% 낮게 나타났다. 동일한 간척지에서도 토양 조건의 차이가 크게 나타나며, 이로 인해 트랙터의 견인 성능은 큰 폭으로 변하는 것을 알 수 있었다.

5. 본 연구는 토양 조건이 다른 간척지에서 농작업 시 트랙터 견인 성능에 대해 분석 및 평가하였다. 일반 농경지와 간척지 토양조건에서 트랙터의 견인 성능은 크게 차이가 났으며, 본 연구의 데이터를 반영하여 간척지와 같은 열악한 환경에서도 원활한 농작업이 가능하도록 견인 성능을 향상시킬 필요가 있다. 향후에는 간척지에서 작업 시 트랙터의 견인 성능을

향상시키기 위해 타이어 타입의 변경, 견인 제어 시스템 등을 개발할 예정이다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부 및 한국산업기술평가관리원의 로봇산업핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [10083590, 100kW급 총륜구동 자율주행 건설 농업용 로봇 플랫폼 기술 개발]

이해관계(CONFLICT OF INTEREST)

저자는 이 논문과 관련하여 이해관계 충돌의 여지가 없음을 명시합니다.

References

- 1) Y. J. Kim, S. O. Chung, C. H. Choi, "Effect of gear selection of an agricultural tractor on transmission and PTO load during rotary tillage", *Soil Tillage*, Vol.134, pp.90-96, 2013.
- 2) W. S. Kim, S. Y. Baek, T. J. Kim, Y. S. Kim, S. U. Park, C. H. Choi, S. J. Hong, Y. J. Kim, "Workload analysis for determination of the reduction gear ratio for a 78 kW all-wheel drive electric tractor design", *Kor. J. Agric. Sci.*, Vol.46, No.3, pp.613-627, 2019a.
- 3) Y. J. Kim, S. O. Chung, C. H. Choi, "Development of automation technology for manual transmission of a 50 HP autonomous tractor", *IFAC Papers Online*, Vol.51, pp.20-22, 2018.
- 4) T. J. Kim, W. S. Kim, Y. S. Kim, S. O. Chung, S. U. Park, S. J. Hong, C. H. Choi and Y. J. Kim, "Strength analysis of mechanical transmission using equivalent torque of plow tillage of an 82 kW-class tractor", *Korean Journal of Agricultural Science*, Vol.46, No.4, pp.723-735, 2019b.
- 5) S. H. Hong, K. H. Choi, "Analysis of Market and Technology Status of Major Agricultural Machinery (Tractor, Combine Harvester and Rice Transplanter)", *J. Korean Soc. Int. Agric.*, Vol.31, No.1, pp.8-16, 2019.
- 6) S. M. Baek, W. S. Kim, Y. S. Kim, N. G. Lee, N. H. Kim, Y. J. Kim, "Analysis of the load distribution and contact safety factor of PTO gears of a 71 kW class agricultural tractor", *Korean Journal of Agricultural Science*, Vol.47, No.2, pp.327-335, 2020.
- 7) J. S. Lee, D. C. Kim, H. Y. Yu, G. T. Lee, "Analysis of Load Spectrum of 70kW-class Tractor for Plowing Operation", *Theses Collection of the Agricultural College*, Vol.45, No.1, pp.18-22, 2014.
- 8) KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2020. *Agricultural Area Survey in 2019*
- 9) D. Y. Chung, H. J. Kim, G. R. Kim, H. N. Woo, S. H. Park, J. H. Shin, Y. C. Choi, "Properties and fate of nitrogen in a reclaimed tidal soil", *Journal of Agricultural Science*, Vol.38, pp.301-307, 2011.
- 10) Y. Y. Oh, Y. J. Kim, S. H. Lee, J. H. Ryu, S. Kim, J. T. Lee, J. B. Jun, K. Y. Kim, "Effects of Paddy-Upland Rotation on Soil Characteristics and Crop Productivity in Rice Fields on Reclaimed Tidal land", *Journal of Environmental Science International*, Vol.27, No.8, pp.641-650, 2018.
- 11) NICS (National Institute of Crop Science), "Look in the reclaimed tidal land," pp.102, 2013.
- 12) D. H. Lee, K. S. Lee, W. Y. Park, "A Study on Traction Prediction of Agricultural Tractor by Empirical Method", *Journal of Biosystems Engineering*, Vol.34, No.5, pp.297-304, 2009.
- 13) F. M. Zoz, R. D. Grisso, "Traction and tractor performance", *ASAE distinguished lecture series (Tractor Design No. 27)*, ASAE Publication No. 913C0403. St. Joseph, MI: ASAE, 2003.
- 14) M. N. Islam, M. Z. Iqbal, M. S. N. Kabir, K. Y. Jung, D. H. Mun, S. O. Chung, "Performance evaluation of trenchless subsurface drainage piping machine," *J. Biosyst. Eng.*, Vol.1, No.3, pp.1-8, 2019.
- 15) G. H. Ryu, "Tractor Engineering Principles", munundang, 2004.
- 16) W. Y. Park, K. S. Lee, "The Effect of Tire Inflation Pressure on Soil Compaction and Tractive Performance of Tractor", *Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery*, Vol.27, No.6, pp.491-500, 2002.
- 17) W. Y. Park, K. S. Lee, "Development of a Tractive Performance Prediction Program of Tractors," *Journal of Biosystems Engineering*, Vol.37, No.3,

- pp.131~139, 2012.
- 18) W. W. Brixius, "Traction prediction equations for bias ply tires", ASAE Paper, No.87-1622.
 - 19) V. Damauskas, A. Janulevičius, "Differences in tractor performance parameters between single-wheel 4WD and dual-wheel 2WD driving systems", *Journal of Terramechanics*, Vol.60, pp.63-73, 2015.
 - 20) W. S. Kim et al., "Evaluation of PTO Severeness for 78 kW-Class Tractor According to Disk Plow Tillage and Rotary Tillage", *Journal of Drive and Control*, Vol.16, No.4, pp.23-31, 2019.
 - 21) S. U. Park, "Fatigue life evaluation of spiral bevel gear of transmission using agricultural workload of tractor", Doctor's thesis, Chungnam National University of Korea, 2019.
 - 22) ASABE Standards, "Soil cone penetrometer", ASAE, S313.3, St. Joseph, MI, USA, 2011.
 - 23) ASABE Standards, "Agricultural Machinery Management Data", ASAE, D497.4, St. Joseph, MI, USA, 1999.
 - 24) P. P. Jadhav, A. K. Sharma, S. V. Wandkar, B. S. Gholap, "Study of tractive efficiency as an effect of ballast and tire inflation pressure in sandy loam soil", *Agric. Eng. Int. CIGR J*, Vol.15, No.2, pp.60-67, 2013.
 - 25) M. Schreiber, H. D. Kutzbach, "Comparison of different zero-slip definitions and a proposal to standardize tire traction performance", *J. Terramech*, Vol.44, pp.75-79, 2007.
 - 26) Y. S. Kim, W. S. Kim, S. Y. Baek, S. M. Baek, Y. J. Kim, S. D. Lee, Y. J. Kim, "Analysis of Tillage Depth and Gear Selection for Mechanical Load and Fuel Efficiency of an Agricultural Tractor Using an Agricultural Field Measuring System", *Sensors*, Vol.20, No.9, pp.2450-2472, 2020.
 - 27) B. H. Chong, "Soil Compaction by Agricultural Tractors," Master's thesis, Seoul National University of Korea, 1999.