

軌道の 張力이 콤바인의 走行 性能에 미치는 影響⁺

The Effect of Track Tension on the Tractive Performance of Combine

朴吉培 *

G. B. Park

金景旭 **

K. U. Kim

Summary

This study was conducted to investigate experimentally the effect of track tension on the tractive performance of rice combine. The experiment was carried out at the two in-door soil bins with soil types of loam and sandy loam. The initial track tension was varied by three different values of 0.71, 1.75 and 3.84kN at three different forward velocity settings of 0.17, 0.32 and 0.45m/s, respectively. The data acquisition system was designed and used for the measurement of pull, driving axle torque and its velocity under the test conditions to calculate the tractive efficiency.

Results of the study were summarized as follows :

- 1) The effect of the initial track tension on the tractive efficiency was found being significantly dependent on soil types but not on forward velocities. Therefore, the benefit of adjusting the initial track tension may be obtained when the types of soils on which combines operate are changed.
- 2) In loam, tractive efficiency decreased with increase in track tension. However, it increased in sandy loam until it reached to a peak value and then decreased with increase in track tension.
- 3) The maximum tractive efficiency of the tested combine was obtained with an initial track tension of about 1.75kN on sandy loam, and below that on loam at about 5% slippage without being noticeably influenced by the forward velocity.

1. 緒論

콤바인은 軌道型 走行裝置를 채택하고 있다. 이는 軌道型 주행장치가 車輪型에 비하여 수확 작업시 논토양과 같이 습하고 연약한 토양에서 짐하가 적고 주행 성능을 높일 수 있기 때문이다. 그러나, 차륜형에 비하여 구조가 복잡하고 내부 및 외부 운동저항이 크기 때문에 에너지 효율면에서는 오히려 불리하다.

軌道型 주행장치의 내부 운동저항은 주로 作動部의 마찰 저항으로서, 유동륜, 베어링, 軌道の 링크, 구동 스프로킷 등에서 발생하며, 외부 운동저항은 軌도에 의하여 토양이 변형됨으로서 발생한다. Bekker(1969)는 내부 운동저항의 主要原因을 軌道の 張力과 주행 속도라고 하였으며, Wong(1990)은 軌道の 장력에 따라 짐지압의 분포 형태가 변화한다고 하였다. 이는 장력에 따라 軌道型 주행장치의 성능이 변화할 수 있음을 의

+ 이 논문은 1991년도 교육부 지원 한국학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구 조성에 의하여 연구되었음.

* 현대정강기술연구소

** 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과

미한다.

본 연구는 콤팩트의 주행장치에서 궤도의 초기 장력이 주행 성능에 미치는 영향을 실험적으로 연구한 것이다.

2. 研究史

궤도형 주행장치는 습하고 연약한 토양에서 침하가 적고 큰 견인력을 얻을 수 있기 때문에 건설 중장비, 군사용 車輛, 콤팩트 등에서 널리 채택되고 있다. 그러나, 이 주행장치의 단점인 낮은 에너지 효율성은 많은 차량 공학자의 연구와 관심의 대상이 되어 왔다.

Bekker(1969)가 그의 著書 '地形-車輛 시스템 概論'에서 소개한 Gruzdev(1944)의 연구에 의하면 차량의 自重에 대한 운동저항 즉, 운동저항 계수와 궤도 장력간의 관계는 그림 1에서와 같다. 그림 1에서 주행 속도가 저속일 때, 궤도의 운동저항은 장력에 비례하여 증가한다. 주행 속도가 증가하면 운동 저항은 장력이 감소함에 따라 감소하고 일정한 한계를 지나면 운동 저항은 다시 증가한다. 이는 운동 저항을 최소화할 수 있는 이상적인 궤도 장력이 존재하고 있음을 의미한다. 同一 著書에서, Skotnikov(1964)는 궤도의 링크 運動을 연구하여 링크 핀의 마찰에 의한 동력 손실을 궤도의 효율계수로써 표현하고, 궤

도의 장력에 따라 동력 손실이 변화한다고 하였다.

Muro(1991)는 軟弱 地盤에서 불도지의 주행 성능은 궤도의 장력과 견인력의 작용점에 따라 변화하고, 유효 견인력과 견인 효율은 궤도의 장력이 증가할수록 증가한다고 하였다. Wong(1984)은 궤도형 주행장치의 설계 변수와 토양의 특성을 이용하여 접지압 분포와 견인 성능을 예측할 수 있는 모델을 개발하고, 궤도의 초기 장력이 견인 효율에 미치는 영향을 연구하였다. 그는 초기 장력의 영향은 단단한 토양에서보다는 눈과 같이 압축성이 큰 토양에서 크다고 하였다. 또, 궤도의 초기 장력이 증가할수록 차량의 주행 성능은 증가할 수 있으나, 주행장치의 마모와 내부 마찰 손실이 증가하기 때문에 운전자가 장력을 조절할 수 있는 조절장치를 설치하는 것이 좋다고 하였다.

3. 재료 및 방법

콤팩트의 주행 성능은 견인계수, 견인 효율, 등의 변수로써 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 성능 변수로서 견인 계수와 견인 효율을 설정하였으나, 실험 과정에서 최대 견인력을 측정하는데 실패하였기 때문에 견인 효율만을 분석 대상으로 하였다. 견인 효율을 계산하는 데 필요한 최종구동축 토크, 구동축 속도, 견인력, 견인 속도는 다음과 같은 방법으로 측정하였다(朴, 1992).

가. 실험 콤팩트

실험에 사용한 콤팩트는 국내 D사에서 생산한 2조식 콤팩트이므로, 동력전달장치를 개조하여 주행에 필요한 부분만 구동하고, 예취,탈곡 및 선별부로 전달되는 동력은 차단하였다. 표 1은 실험에 사용한 콤팩트와 궤도장치의 주요한 제원을 나타낸 것이다.

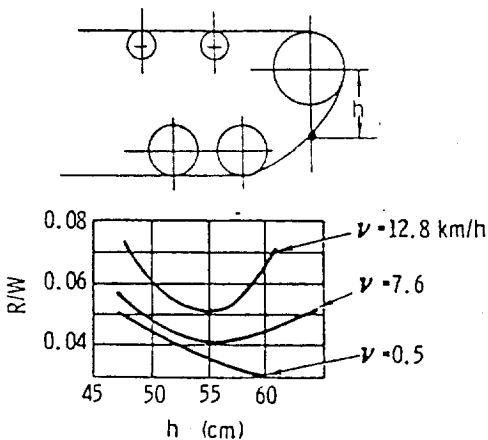


Fig. 1 Unit motion resistance as a function of track sag measured on a T-26 tank (Gruzdev, 1944).

Table 1 Specifications of tested combine.

Parameters	Values
Vehicle weight	9.5 kN
Width of track	330 mm
Contact length	945 mm
Location of driving sprocket	front
Road wheel spacing	185 mm
Road wheel diameter	80 mm
Number of road wheels	4
Average ground contact pressure	15.23 kPa
Track type	rubber belt with lug

나. 측정 방법

1) 최종구동축의 토크 측정

최종구동축의 구동 토크는 구동축 표면에 스트레인 로CKET를 부착하고 이를 토크 변환기로 활용하여 측정하였다. 스트레인 로CKET는 변속기 내의 구동축에 부착하여야 하기 때문에 스트레인 게이지의 리드선과 구동축 외부에 설치한 슬립링은 다음과 같은 방법으로 연결하였다. 즉, 구동축에 내경이 5mm인 中空을 뚫고, 스트레인 게이지의 부착 지점에서 中空으로 구멍을 뚫어 이 中空을 통하여 리드선을 외부로 끌어내어 연결하였다. 구동축과 슬립링의 회전축은 휘축를 사용하여 연결하였다. 그림 2는 구동축에서 스트레인 게이지의 부착 위치와 리드선의 통로를 나타낸 것이다.

변환기의 토크 변환식은 다수의 重錘를 사용하여 구동축에 200~600N.m의 부하 토크를 가하고, 부하 토크와 변환기의 출력 전압간의 직선적인 관계를 이용하였다. 변환기에서 측정된 데이터는 마이크로 컴퓨터에 입력하여 수치화한 후 플로피 디스켓에 저장하였다. 좌우측 최종구동축에 대하여 같은 방법을 적용하였다.

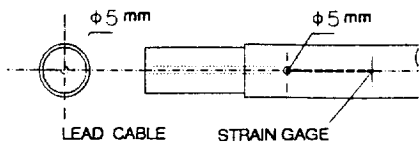


Fig. 2. Attachment of strain gages on the driving shaft and passage of their lead cables.

2) 최종구동축의 속도 측정

좌우측 최종구동축의 속도는 각각 축이 1회 회전할 때 500개의 펄스를 출력하는 로터리 엔코더와 펄스 카운터를 이용하여 측정하였다. 이 방법은 카운터에 미리 일정한 값을 설정하여 펄스가 입력될 때마다 이 초기 설정치에서 1을 빼어, 초기 설정치가 0이 되면 1개의 사각 펄스를 출력하고, 사각 펄스가 출력되면 카운터는 다시 초기 설정치에서 위의 과정을 반복하여, 일정 시간에 출력된 사각 펄스의 수로써 최종구동축의 속도를 결정한다. 본 실험에서는 카운터의 초기 설정치를 500으로 하였으며, 사각 펄스는 데이터 수집용 인터페이스 카드를 통하여 PC에 입력하였다. 로터리 엔코더는 설치 공간의 제약 때문에 구동축과 회전수가 같은 슬립링의 회전축에 설치하였다. 그림 3은 구동축 끝부분에 설치한 슬립링과 로터리 엔코더를 나타낸 것이다.

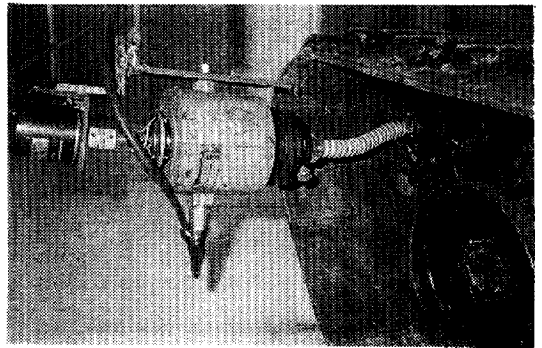


Fig. 3 Rotary encoder installed with slip ring.

3) 궤도의 초기 장력 설정

궤도의 초기 장력은 조절 나사로써 텐션바퀴의 위치를 조정하여 설정하였다. 즉, 텐션바퀴측은 그림 4에서와 같이 장력 2T에 의하여 곱힘 모멘트를 받기 때문에 그 위치를 조정하며 곱힘

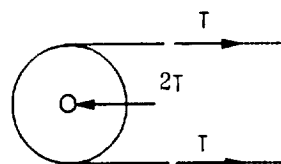


Fig. 4 Analysis of track tension.

모멘트에 의한 바퀴축의 변형을 스트레인 게이지로 측정하여 설정 장력 T가 작용할 때 텐션바퀴를 고정하였다. 궤도의 장력과 스트레인의 관계는 重錘를 사용하여 0.5~4.0kN의 인장력을 텐션바퀴 축에 가하고, 이 인장력과 스트레인 게이지의 출력 신호간의 직선적인 관계를 이용하였다.

스트레인 게이지는 굽힘 응력의 방향과 평행한 방향으로 부착하였으며, 회로는 온도 변화를 보상할 수 있도록 액티브 더미(active-dummy) 게이지 방식에 의한 휘트스톤 브리지 회로로 구성하였다. 좌우측 궤도에 대하여 같은 방법을 적용하였다.

4) 견인력 측정

견인력은 그림 5에서와 같이 2kN의 重錘와 콤파인의 하부 프레임을 수평 케이블로 연결하여 이를 견인할 때, 그 사이에 설치한 인장력 로드 셀로 측정하였다. 인장력 로드 셀의 측정 설정은 0.5~1.5kN의 인장력 범위에서 실시하였다.

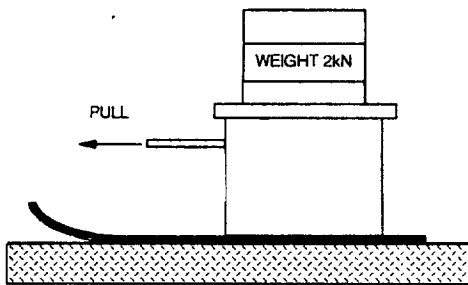


Fig. 5 Device for applying traction load.

5) 견인 속도 측정

견인 속도는 주행 속도가 안정되었을 때, 콤파인이 중추를 견인하며 20~30초간 주행한 거리를 줄자로 측정하여 계산하였다. 주행 장치의 슬립은 견인 상태에서 측정된 구동축의 각속도를 이용하여 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{슬립(\%)} = \frac{\text{견인 속도}}{\text{구동 스프로킷의 피치원 반경} \times \text{구동축의 각속도}} \times 100$$

다. 자료 수집장치

자료 수집장치는 최종구동축 토크와 궤도의

초기 장력을 측정된 변환기의 신호를 증폭시키고, 증폭된 신호를 A/D 변환기로 수치화한 후 마이크로 컴퓨터에 입력 저장할 수 있도록 구성하였다. 최종구동축의 속도는 로터리 엔코더에서 출력한 사각 펄스의 수를 계산하여 결정하고 그 결과를 마이크로 컴퓨터에 입력하였다. 컴퓨터에 입력된 자료는 모두 플로피 디스크에 저장하였다. 그림 6은 자료 수집장치의 블록 선도를 나타낸 것이고, 주요 장비는 다음과 같다.

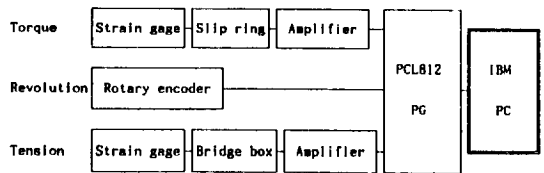


Fig. 6 Block diagram of data acquisition system.

1) 마이크로 컴퓨터

자료 수집장치에 사용한 마이크로 컴퓨터는 PC/XT 기종으로, 자료 수집에 필요한 인터페이스 카드를 설치한 것이다. 인터페이스 카드를 통하여 입력된 자료는 프로그램이 지정한 형식대로 플로피 디스크에 저장하였다. 저장 형식은 같은 시기에 입력된 자료는 같은 행에 기록하도록 하였다.

2) 인터페이스 카드

자료 수집장치에 사용한 인터페이스 카드는 HAN DO ENG/PCL 812-PG로서, 한 개의 보드에 A/D 변환기, 타이머/카운터, DIO, D/A 변환기가 설치된 것이다. 본 실험에서는 A/D 변환기 기능과 8253 카운터 기능을 이용하였다.

12비트의 분해능을 가진 A/D 변환기는 16채널의 멀티플렉서를 내장하고 있으며, 입력 신호의 전압 범위를 조절할 수 있기 때문에 입력 전압이 낮은 신호를 보다 정확하게 수치화할 수 있다. 본 실험에서는 A/D 변환기의 16채널 중, 좌우 구동축 토크 측정에 2채널, 좌우 궤도 장력 측정에 2채널, 견인력 측정에 1채널을 사용하였다. 입력 전압 범위는 토크 변환기에서는 0.325V, 궤도의 초기 장력 변환기에서는 1.25V로 설정하

였다. 디지털 변환수는 초당 40으로 하였다.

8253 카운터는 3개의 독립된 16비트 내림 카운터를 내장한 것으로 각각의 카운터는 한 개의 클럭 입력, 제어 게이트, 출력 포트가 있으며 6개의 기능 모드가 있다. 본 실험에서는 카운터 1과 2를 인터페이스 시스템이 사용하고, 카운터 0로써 로터리 엔코더의 펄스를 카운트하였다. 기능 모드는 사각 펄스를 출력하는 기능을 사용하

에서는 양토와 사양토에서 주행 실험을 실시하였다.

1) 실험 토양

주행 실험을 실시한 인공포장실험실의 양토(loam)와 사양토(sandy loam)의 입자 분포 및 USDA법에 의한 토양 분류는 그림 7에서와 같다.

Table 2 Specifications of the equipment used for the experiment.

Equipment	Specifications	
Strain gage	Maker/Model	Koywa/KFC-5-016-11
	Gage resistance	120Ω ± 0.24%
	Gage factor	2.16 ± 1%
Slip ring	Maker/Model	Koywa/RBE-4A, RBE-6A
	Max. RPM	6000 (both)
Amplifier	Maker/Model	Koywa/DPM-612B
	Bridge excitation	DC 2V
	Output	± 5V, ± 5mA
Rotary encoder	Maker/Model	Koyo/TRD-J500-RZ
	Signal type	Two phase
Bridge box	Maker/model	Koywa/DB-120P
Microcomputer		PC/XT
Interface card	Maker/Model	Hando/PCL812-PG

였다. 이 기능은 초기에 설정한 초기치에서 입력된 펄스 수를 차례로 감하여 카운터가 0이 될 때 1개의 사각 펄스를 출력하는 기능이다. 실험에 사용한 로터리 엔코더는 축이 1회전할 때마다 500개의 펄스를 출력하므로 카운터의 초기치를 500으로 설정하였다. 표 2는 본 연구에 사용한 주요 장비의 간단한 명세를 나타낸 것이다.

라. 토양조

주행 성능 실험은 농촌진흥청 농업기계화연구소 내에 있는 인공포장실험실에서 실시하였다. 인공포장실험실은 각각 양토(loam), 식양토(clay loam), 사양토(sandy loam)를 담은, 길이 20m, 폭 2m, 깊이 1.5m인 3개의 토양조로 이루어져 있으며, 균평, 로터리, 롤러 작업을 수행할 수 있는 작업기와 대차를 갖추고 있다. 본 연구

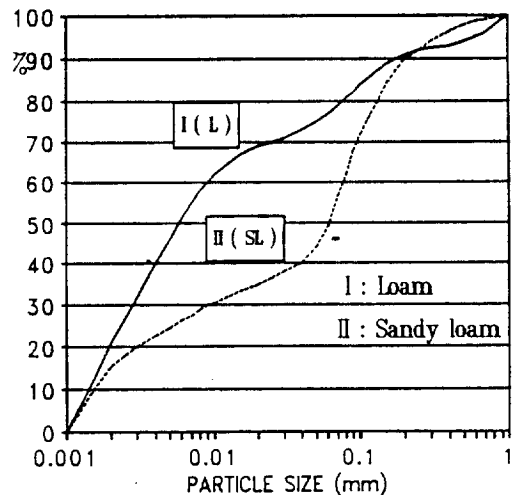


Fig. 7 Particle size distribution of soil in the soil bin.

2) 토양 처리

실험 토양에는 주행 실험을 실시하기 1주일 전부터 충분히 급수하고, 실험은 육안 검사와 원추 지수로써 토조의 토양 상태를 측정하여 수확 시 논토양의 상태와 같다고 판단되었을 때 실시하였다. 실험을 실시한 후에는 깊이 10cm까지 쟁기 작업과 균평 작업을 실시하고 재급수하여 초기 실험에서와 같은 토양 상태가 되었을 때 반복 실험을 실시하였다.

3) 토양 변수의 측정

토양 상태는 토양 시험기 SR-2를 사용하여 측정한 원추지수(cone index), 내부 마찰각, 외부 마찰각, 점착력(cohesion), 부착력(adhesion)으로 표현하였다. 원추지수는 정각이 30°이고, 밑면적이 2cm²인 원추를 사용하여, 관입 깊이가 5cm마다 토양 저항을 측정하고 이를 원추의 밑면적으로 나눈 값으로 하였다. 본 실험에서는 깊이 0~25cm 범위에서 측정하여 평균값으로 표현하였다. 토양의 전단 강도는 0~0.5kN의 수직 하중 범위에서 전단링이 토양을 전단할 때, 최대 토크를 측정하고 이 최대 토크로부터 다음과 같이 산출하였다.

$$T = \frac{1}{100} \int_{r_i}^{r_o} (2\pi r \tau) r dr = \frac{2\pi \tau}{300} (r_o^3 - r_i^3)$$

$$\tau = \frac{300T}{2\pi(r_o^3 - r_i^3)}$$

여기서,

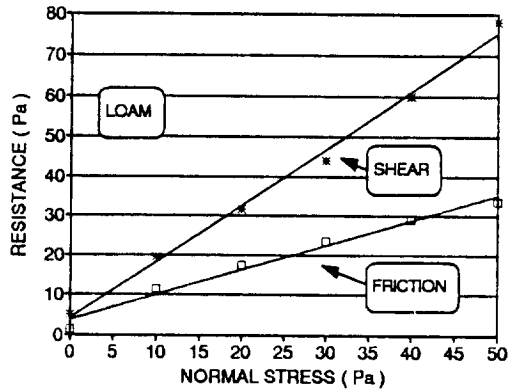
T = 일정한 수직 하중에서의 최대 토크, N·m

τ = 토양의 전단 응력, N/cm²

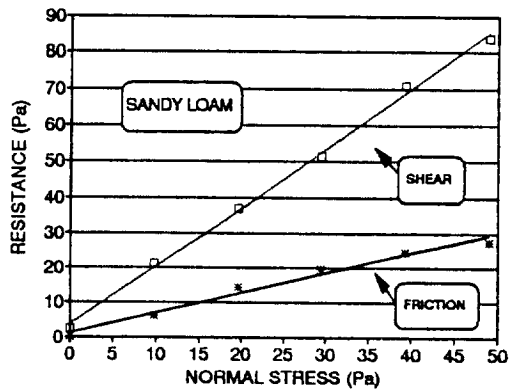
r_o = 전단링의 외반경, cm

r_i = 전단링의 내반경, cm

본 연구에서 사용한 SR-2의 전단링은 내경과 외경이 각각 6cm, 10cm이었다. 토크 렌치로 측정된 최대 토크로부터 윗식을 이용하여 전단 저항 τ를 구하고, 이 때 전단링에 작용한 수직 응력 σ와, τ = c + σtanφ의 관계식으로부터 내부 마찰각 φ와 점착력 c를 구하였다. 수직 응력 σ는 다음 식으로 구하였다.



(a)



(b)

Fig. 8 Shear and friction test results.

Table 3 Characteristics of soil on which experiment was conducted.

Parameters		Sandy loam	Loam
Cone index	CI(0~25cm)	14.8Pa	16.6Pa
Internal friction	φ	59.0°	54.1°
Cohesion	c	3.6Pa	5.5Pa
External friction	φ _o	29.8°	21.9°
Adhesion	A	1.3Pa	1.4Pa

$$\sigma = \frac{\text{수직 하중}}{\pi(r_o^2 - r_i^2)}$$

토양의 외부 마찰각 ϕ_o 와 부착력 A는 돌기가 없는 링을 사용하여, 내부 마찰각과 점착력을 구할 때와 같은 방법으로 구하였다. 실험에서 측정된 토양의 수직 응력과 전단 저항 및 마찰 저항과의 관계는 그림 8에서와 같다. 그림 8에서 (a)는 양토, (b)는 사양토의 경우를 나타낸 것이다. 표 3은 실험에서 측정된 원추지수와 토양 변수의 값을 나타낸 것이다.

바. 실험 방법

궤도의 초기 장력을 0.174, 1.754, 3.842kN 3수준, 주행 속도를 0.17, 0.32, 0.45m/s 3수준으로 설정하여, 양토와 사양토에서 직진 주행할 때, 각각 궤도장치의 최종구동축 토크, 구동축 속도, 견인력, 무견인 속도, 견인 속도를 측정하였다. 이 때 엔진 속도는 정격 속도 2400rpm을 일정하게 유지하였으며, 주행 속도는 변속 단수로써 설

정하였다. 모든 측정은 2반복으로 실시하였으며, 측정치는 그 평균을 취하였다. 주행 실험은 1992년 11월 7, 8, 14, 15, 27일 5일간 실시하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

가. 실험 결과

측정한 구동축 토크는 -10~900N.m의 범위에서 변화하였으며, 그 폭은 매우 크게 나타났다. 이는 실험에 사용한 궤도 장치의 링크핀이 마모되었기 때문에 구동 스프로킷과 링크핀이 완전히 물렸을 때는 구동 토크가 크고, 스프로킷과 궤도 사이에 슬립이 발생하였을 때는 구동 토크가 작았기 때문인 것으로 판단된다. 견인 효율을 계산할 때, 구동 토크는 측정치의 rms(root mean square)값을 사용하였다. 측정된 견인력은 1500~2600N의 범위이었으며, 견인력이 중추의 무게보다 크게 나타난 것은 견인 부하 장

Table 4 Measured values from experiments.

	Track tension (kN)	0 slip velocity (cm/s)	Torque of driving shaft (N.m)	Average pull (N)	Shaft velocity (rad/s)	Slip (%)	Pulling velocity (cm/s)
Sandy loam	0.71	15.22	492.20	2098.62	1.90	4.51	14.53
		27.09	550.83	2192.76	3.39	0.53	26.95
		41.43	570.15	2149.39	5.18	6.48	38.74
	1.75	15.27	338.68	1989.03	1.91	1.99	14.98
		27.96	360.58	2027.21	3.50	4.27	26.77
		37.39	420.18	2072.93	4.67	10.48	33.48
	3.84	15.37	648.05	2292.32	1.92	0.53	15.29
		28.36	696.37	2206.93	3.54	2.09	27.76
		42.25	767.03	2093.12	5.28	3.19	40.90
Loam	0.71	16.95	289.77	1651.90	2.26	6.84	15.79
		32.71	262.42	1702.60	4.36	1.88	32.09
		44.06	264.31	1638.35	5.87	2.20	43.09
	1.75	17.35	319.37	1538.33	2.31	1.39	17.11
		32.36	322.92	1690.97	4.31	2.34	31.60
		46.10	320.86	1606.79	6.15	0.97	45.65
	3.84	19.10	462.54	1637.44	2.55	6.63	17.84
		34.50	466.27	1615.37	4.60	3.39	33.33
		46.13	512.77	1555.55	6.15	0.72	45.80

치의 전면이 일부 침하된 상태에서 견인되었기 때문이다. 계산에 사용된 견인력은 각 실험 조건에서 구한 측정치의 평균값을 취하였다. 그림 9는 구동축 토크와 견인력에 대한 측정 기록의 예를 나타낸 것이다. 구동축 속도는 로터리 엔코더에서 측정된 구동축의 회전수를 측정 시간으로 나누어서 구하였다. 실험에서 설정한 콤파인의 주행 속도는 엔진 속도와 변속장치의 변속비를 이용하여 이론적으로 계산한 속도이므로 실험 토양에서 계산한 0 슬립 속도, 즉 무견인 주행 상태에서 구동 스프로킷의 피치인 반경과 구동축의 각속도를 곱하여 계산한 속도와는 차이가 있다. 설정 주행 속도는 주행 속도의 변화 수준을 나타내기 위하여 사용한 것이며, 견인 효율, 슬

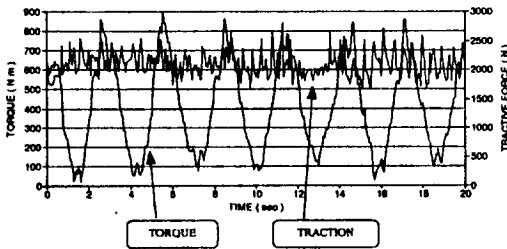


Fig. 9 Records of measured torques and traction forces.

립을 계산하는 데는 견인 속도와 0 슬립 속도를 사용하였다. 표 4은 각 실험 조건에서 측정된 측정치를 나타낸 것이다. 표 4에서 최종구동축의 구동 토크와 속도는 좌우 구동축에서 측정된 측정치의 평균값이다. 그러나, 좌우 구동축간의 구동 토크와 속도의 차이는 각각 1% 미만이었다.

나. 견인 효율에 대한 요인 분석

표 5는 각 실험 조건에서, 측정치를 사용하여 계산한 케도 장치의 견인 효율을 나타낸 것이다.

케도의 초기 장력, 주행 속도, 토양 조건이 견인 효율에 미치는 영향을 규명하기 위하여 통계적인 要因分析을 실시하였다. 요인 분석에서 요인은 케도의 초기 장력, 토양 형태, 주행 속도이며, 케도의 초기 장력을 3수준, 토양 형태를 2수준, 주행 속도를 3수준으로 세분하였으므로 3×2×3 요인 분석이 된다. 분석은 퍼스널 컴퓨터용 SAS를 이용하여 실시하였다. 표 6은 요인 분석의 결과를 나타낸 것이다.

분석 결과에 의하면 케도의 초기 장력, 토양 형태, 주행 속도는 모두 견인 효율에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 특히, 케도의 초기 장력과 견인 효율간에는 유의 확률값이 0.0002인 고

Table 5 Tractive efficiencies calculated from the measured data.

unit : %

Tension	0.71kN		1.75kN		3.84kN	
	sandy loam	loam	sandy loam	loam	sandy loam	loam
Velocity						
0.17 m/s	16.27	19.92	23.02	17.81	14.07	12.40
0.32 m/s	15.84	23.87	21.53	19.18	12.41	12.55
0.45 m/s	14.10	22.73	17.67	18.60	10.62	11.29

Table 6 The ANOVA table.

Source	DF	SS	MS	F	Pr>F
Tension	2	197.497744	98.7488722	149.61	0.0002
Velocity	2	10.167744	5.0838722	7.70	0.0425
Soil	1	9.130688	9.1306889	13.38	0.0250
Tension * Velocity	4	5.497622	1.3744056	2.08	0.2475
Tension * Soil	2	67.068077	33.5340389	50.81	0.0014
Velocity * Soil	2	16.695677	7.8478389	11.89	0.0207

도의 유의성이 있음을 보여주고 있다. 이는 궤도의 초기 장력에 따라 견인 효율이 현저하게 변화할 수 있으며, 최적의 견인 효율을 얻기 위해서는 궤도의 초기 장력을 적절히 조절해야 할 필요가 있음을 의미한다. 견인 효율에 미치는 토양과 속도의 영향은 5% 유의 수준에서 모두 유의하나 1% 수준에서는 유의하지 않다. 그러나, 토양의 영향이 속도의 영향보다는 큰 것으로 나타났다. 궤도의 장력과 속도, 궤도의 장력과 토양, 토양 형태와 주행 속도간의 상호작용의 효과는 다음과 같다.

1) 주행 속도의 변화에 따른 초기 장력의 영향

궤도의 장력과 주행 속도간에는 견인 효율에 대한 상호작용의 효과가 없는 것으로 판단된다. 이는 주행 속도의 변화에 따라 궤도의 초기 장력을 조절할 필요가 없음을 나타낸다. 그러나, 견인 효율에 대한 속도와 토양의 상호 작용은 5% 유의 확률 수준에서 유의성이 있으므로, 궤도의 장력이 일정할 때 토양 형태에 따라 주행 속도를 조절할 필요가 있을 것으로 판단된다.

2) 토양 형태에 따른 초기 장력의 영향

궤도의 초기 장력과 토양 형태간에는 상호작용의 효과가 있기 때문에 토양 형태에 따라 궤도의 초기 장력을 조절할 필요가 있다. 그림 10은 토양 형태에 따라 궤도의 초기 장력이 견인 효율에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 그림 10에서

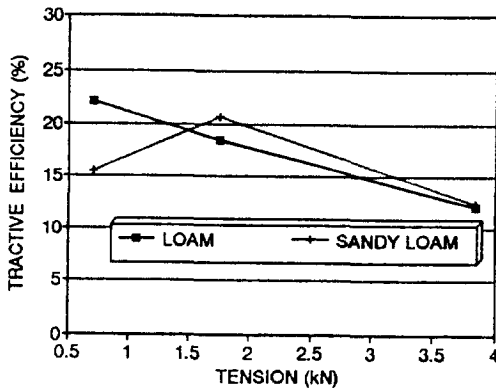


Fig. 10 Average tractive efficiency vs. initial track tension.

견인 효율은 각 주행 속도에서의 평균치이다. 궤도의 장력이 1.75kN보다 큰 영역에서는 양토와 사양토에서 모두 장력이 증가할수록 견인 효율이 감소하는 경향을 보였으며, 궤도의 장력이 1.75kN보다 작은 영역에서는, 궤도의 장력이 증가할수록 사양토에서는 견인 효율이 증가하였으나 양토에서는 감소하는 경향을 나타내었다.

3) 궤도의 슬립과 견인 효율

그림 11은 각 실험 조건에서 슬립과 견인 효율의 관계를 나타낸 것이다. 일반적으로 궤도형 주행장치는 슬립이 15~20% 정도일 때 최대 견인 효율을 얻을 수 있으며, 슬립이 그 이상 증가하면 견인 효율은 감소하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 일정한 견인 저항에서 슬립을 측정하였기 때문에 이러한 일반적인 경향을 확인하기에는 자료가 부족하였다. 제한된 것이지만

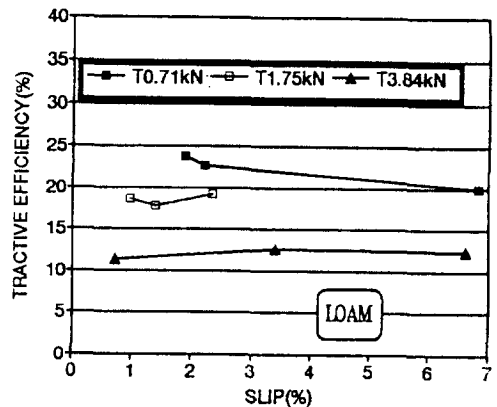
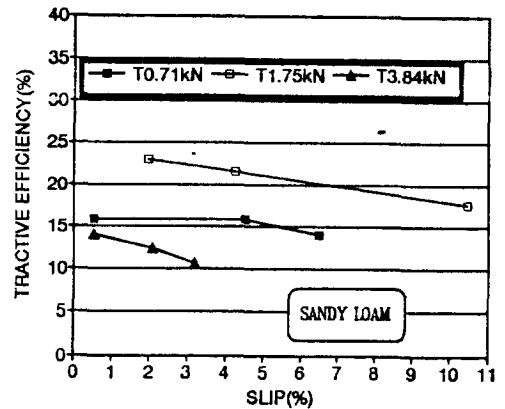


Fig. 11 Tractive efficiency vs. slip.

만 본 실험의 결과에 의하면 양토의 경우에는 슬립이 증가할수록 견인 효율이 증가하는 경향을 보였고, 사양토의 경우에는 슬립이 증가할수록 견인 효율이 감소하였으나, 두 경우 모두 견인 효율의 증감을 확인하기에는 그 변화가 부족하였다.

6. 결론 및 요약

본 연구는 콤팩트의 궤도형 주행장치에서 궤도의 초기 장력이 주행 성능에 미치는 영향을 실험적으로 究明하기 위하여 수행되었다. 주행 장치의 주행성능은 견인 효율로써 나타내었으며, 견인 효율의 계산에 필요한 최종구동축의 토크, 구동축 각속도, 견인력, 슬립은 계측 장치와 자료 수집장치를 설계·제작하여 측정하였다.

실험은 궤도의 초기 장력을 0.71, 1.75, 3.84kN의 3수준, 주행 속도를 0.17, 0.32, 0.45m/s의 3수준, 토양 형태를 양토, 사양토의 2수준으로 하여 각 조건에서 실시하고, 토양 형태와 주행 속도의 변화에 따라 궤도의 초기 장력이 견인 효율에 미치는 영향을 究明하기 위하여 요인 분석을 실시하였다. 분석 결과에 의하면 궤도의 초기 장력과 토양 형태는 주행 속도에 비하여 견인 효율에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. 따라서, 최적의 견인 효율을 얻기 위해서는 궤도의 장력을 조절할 필요가 있으며 특히, 토양 형태가 변화되면 궤도의 장력은 반드시 조절해야 할 것으로 판단된다. 주행 속도에 따라서는 초기 장력을 조절할 필요가 없으나, 궤도의 장력이 일정한 경우에는 토양 형태에 따라 주행 속도를 조절하여 주행 성능을 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

콤팩트의 경우 양토에서는 궤도의 장력을 1.75 kN 이하로 조정하고, 사양토에서는 1.75kN 정도로 조절하였을 때, 실험 속도 수준에서 최대의

견인 효율을 얻을 수 있었으며, 이 때의 슬립은 약 5% 정도이었다.

參 考 文 獻

1. Turnage, G. W. 1973. Investigating track performance by scale—model testing. TRANSACTIONS of the ASAE 16(2) : 200—203.
2. Turnage, G. W. 1975. Using dimensionless prediction terms to describe in—soil tracked vehicle performance. TRANSACTIONS of the ASAE 18(5) : 832—844.
3. Taylor, J. H and E. C. Burt. 1975. Track and tire performance in agricultural soils. TRANSACTIONS of the ASAE 18(1) : 3—6.
4. Bekker, M. G. 1969. Introduction to terrain—vehicle systems. The University of Michigan Press, Ann Arbor, MI USA.
5. Wong, J. Y. 1978. Theory of ground vehicles. John Wiley and Sons, New York, NY USA.
6. Wong, J. Y. 1984. Theoretical prediction and experimental substantiation of the ground pressure distribution and tractive performance of tracked vehicles. Proceedings 1984 Vol. 198, No 90, The Institution of Mechanical Engineers.
7. Muro, T. 1991. Optimum track belt tension and height of application forces of a bulldozer running on weak terrain. Journal of Terramechanics 28(2/3) : 243—268.
8. 박길배. 1992. 軌道の 初期 張力이 콤팩트의 주행성능에 미치는 影響. 서울대학교 대학원 농공학과, 석사 학위논문.
9. 신범수. 1985. 공기타이어의 운동 저항 推定에 관한 연구. 서울대학교 대학원 농공학과, 석사 학위논문.