

궤도의 초기장력과 전륜수가 궤도형 주행장치의 견인성능에 미치는 영향

The effect of initial track tension and roadwheel number on the tractive performance for tracked vehicle

정원석*	이규승*	박원엽*
정회원	정회원	정회원
W.S.Jung	K.S.Lee	W.Y.Park

1. 서론

궤도형차량의 내부에너지 손실은 주로 작동 부품간의 마찰에 의해 발생하며, 외부 운동저항은 궤도와 토양간의 상호작용에 의해 발생한다. Bekker(1969)는 궤도형 주행장치에서 내부 운동저항의 주요한 요인은 궤도의 장력과 주행속도라고 보고하였으며, Wong(1989)은 토양특성과 궤도형차량의 주요 설계변수를 고려하여 개발한 견인성능 예측 모델을 통해 궤도의 초기장력과 전륜수의 변화는 접지압분포에 영향을 미치고, 초기장력과 전륜수를 증가시킬수록 견인성능이 증가한다고 보고하였다. 이러한 연구는 궤도의 초기 장력과 전륜수가 궤도형 주행장치의 성능과 밀접한 관련이 있다는 것을 뒷받침하고 있다.

그러나 이러한 연구 결과는 주로 수학적 모델을 통한 이론적 해석방법으로는 많이 구명되었기 때문에 궤도형 주행장치의 설계 인자, 특히 궤도장력과 전륜수의 변화에 따른 실험적 구명은 미약하다고 할 수 있고, 기존의 연구결과가 국내 토양에도 잘 일치하는지는 아직 검증되지 않았다. 따라서 본 연구의 목적은 궤도의 초기장력과 전륜수의 변화가 궤도형 차량의 견인성능에 미치는 영향을 국내 토양에서 실험적으로 구명하는데 있다.

2. 견인력 실험

가. 토양 물리성 측정

궤도형 주행장치의 초기장력과 전륜수가 궤도형 차량의 견인성능에 미치는 영향을 구명하기 위해 실험 목적에 맞도록 개조한 궤도형 차량을 이용하여 수분함량이 18~19%(d.b.)인 양토(loam)에서 견인력 실험을 수행하였다. 실험토양의 물리적 특성은 1998년 성균관대학교에서 제작한 토양 물리성 측정장치(bevameter)를 이용하여 측정하였고, 측정된 자료로부터 유도된 토양변수는 표 1과 같다.

* 성균관대학교 생명자원과학대학 생물기전공학과

Table 1. Characteristics of experimental soil

Moisture Content (0~8cm)	-	18.79	%d.b.
Moisture Content (8~16cm)	-	18.71	%d.b.
Cone Index (0~15cm)	CI	12.79	kgf/cm ²
Cone Index (15~30cm)	CI	21.57	kgf/cm ²
Sinkage exponent	n	0.155	-
Cohesive sinkage modulus	k _c	42.415	kN/m ⁿ⁺¹
Friction sinkage modulus	k _φ	554.29	kN/m ⁿ⁺²
Parameter characterizing terrain response to repetitive loading	k ₀	11511	kN/m ³
	A _u	248782	kN/m ⁴
Cohesion	c	4.8497	kN/m ²
Internal friction angle	φ	35199	degree
Shear deformation modulus	K	0.00504	m

나. 견인력 측정

견인력 측정장치는 궤도형 시험차량과 시험차량에 수평하중을 가해주기 위한 하중차량으로 구성하였다. 궤도형 시험차량은 삼력기계(주)의 궤도형 소형 운반차량으로서 본 연구의 실험목적에 적합하도록 궤도장력과 슬립을 측정하고, 장력조절과 전륜수 변경이 가능하도록 개조하였으며, 하중차량은 대동공업(주)의 22마력 트랙터로서 견인력 실험시 측정자료를 수집하기 위한 자료수집장치를 구성하여 장착하였다. 그림 1과 2는 견인력 실험에 사용된 시험차량과 하중차량을 보여주고 있다.

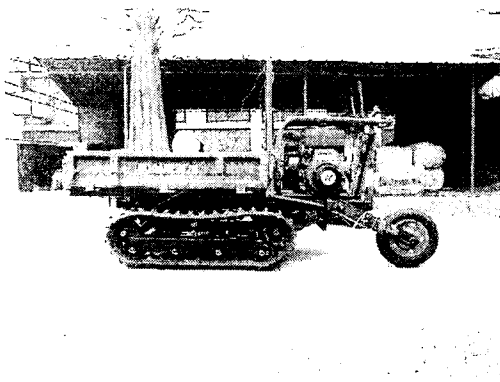


Fig. 1 View of test vehicle.

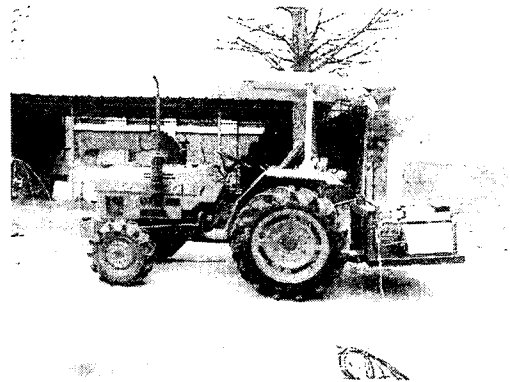


Fig. 2 View of load vehicle.

다. 실험방법

초기 궤도장력과 전륜수가 궤도형 차량의 견인성능에 미치는 영향을 분석하기 위하여 시험 차량의 하중(vehicle weight, W)에 대한 초기 장력(initial track tension, T)의 비를 세 수준(T/W=10%, T/W=20%, T/W=40%)으로 변화시키고, 전륜수도 세 수준(3, 4, 5개)로 변화시켜 견인력 실험을 수행하였다. 각 차량 조건별 실험은 4반복으로 수행하였으며, 각각의 실험을 위해 선정된 차량의 조건은 표 2와 같다.

Table 2. Changes of vehicle design conditions for traction test

Vehicle	Factors	Roadwheel number	Initial track tension
Vehicle I		3	0.4606 kN (T/W=10%)
Vehicle II		3	0.9212 kN (T/W=20%)
Vehicle III		3	1.8424 kN (T/W=40%)
Vehicle IV		4	0.4606 kN (T/W=10%)
Vehicle V		4	0.9212 kN (T/W=20%)
Vehicle VI		4	1.8424 kN (T/W=40%)
Vehicle VII		5	0.4606 kN (T/W=10%)
Vehicle VIII		5	0.9212 kN (T/W=20%)
Vehicle IX		5	1.8424 kN (T/W=40%)

3. 결과 및 고찰

표 2에서 언급한 9가지 차량조건(Vehicle I ~ Vehicle IX)에 대한 견인력 실험으로부터 측정된 견인력 값들을 슬립에 따라 분석하였다. 그 결과 각각의 차량 조건에 따른 측정치는 어떤 일정한 경향을 나타내었으나, 일정 슬립에 대한 견인력 측정치의 넓은 분포로 인해 각각의 차량 조건에 대한 특정 슬립에서의 견인력을 비교하여 차이를 구명하기에는 어려움이 많았다. 따라서 비교의 편의를 위하여 측정결과를 Janosi and Hanamoto(1961)가 제안한 식 (1)에 적용하여 슬립의 함수로서 견인력에 대한 실험식을 유도하였고, 유도된 실험식을 이용하여 구한 슬립에 따른 견인력 결과를 이용하여 각각의 차량조건에 대해 견인성능을 비교하였다.

$$DP = W \cdot A \left[1 - \frac{B}{SLIP} \left(1 - e^{-\frac{SLIP}{B}} \right) \right] \quad (1)$$

여기서, DP : 견인력, W : 차량의 무게, $SLIP$: 슬립, A, B : 상수

가. 궤도의 초기장력이 견인성능에 미치는 영향

그림 3은 각각 세 가지 전륜수(3, 4, 5개)에 대해서 초기 궤도장력비(T/W)를 각각 10%, 20%, 30%로 조정 한 후 견인력 실험을 수행하여 구한 슬립에 따른 견인계수와 견인효율의 결과를 보여주고 있다.

그림에 나타난 바와 같이 슬립에 따른 견인계수는 세 가지 전륜수에 대해서 모두 궤도의 초기장력이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 궤도의 초기장력이 증가할수록 궤도부분에서 지지하는 하중이 증가하고 상대적으로 전륜부분에서 지지하는 하중이 감소하게 되어 전체적으로 궤도 아래에서의 접지압이 등분포하게 되고, 이러한 접지압의 등분포 현상에 의해 궤도형차량의 침하와 운동저항이 감소하기 때문으로 판단된다.

그러나 세 가지 전륜수에 대해서 슬립에 따른 견인효율은 초기 궤도장력의 변화에 따라 명확한 경향이 나타나지 않았다. 이러한 결과는 일반적으로 초기 궤도장력이 증가하면 궤도형차량의 견인효율도 함께 증가한다고 보고되고 있는 기존의 연구결과와는 다른 결과를 나타내고 있는데, 이에 대한 보다 명확한 해석을 위해서는 다양한 토양조건에서 보다 많은 실험을 통한 심도 있는 분석을 통해 검토할 필요성이 있는 것으로 판단된다.

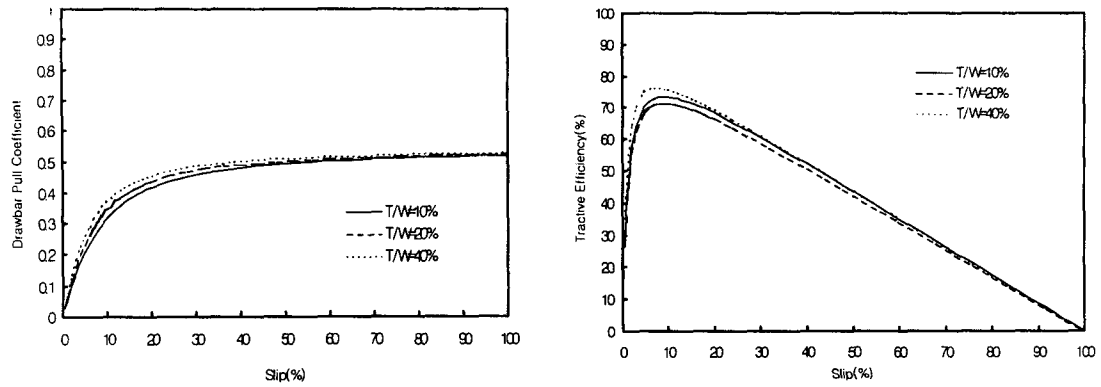
나. 전륜수가 견인성능에 미치는 영향

그림 4는 각각 세 수준의 일정 초기 궤도장력비(T/W=10%, 20%, 40%)에 대해서 전륜수를 각각 3, 4, 5개로 조정 한 후 수행한 견인력 실험으로부터 구한 슬립에 따른 견인계수와 견인효율의 결과를 보여주고 있다.

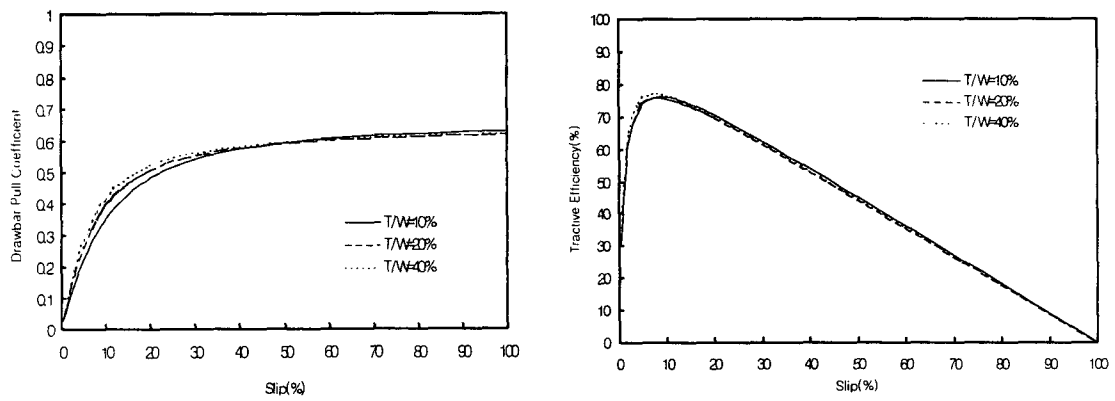
그림에 나타난 바와 같이 일정 초기 궤도장력에 대한 슬립에 따른 견인계수와 견인효율은 모두 전륜수가 증가함에 따라 명확히 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 전술한 초기 궤도장력을 증가시켰을 때와 마찬가지로 전륜수가 증가할수록 궤도형차량의 접지압 분포는 등분포하게 되어 궤도형차량의 침하 감소로 인한 운동저항의 감소 때문으로 판단된다.

한편, 일정 초기궤도장력에 대해 전륜수의 증가에 따른 견인계수의 증가율은 전술한 일정 전륜수에 대해 초기궤도장력의 증가에 따른 견인계수의 증가율보다 더욱 크게 나타났는데, 이것은 궤도의 초기장력 증가에 따른 운동저항계수의 감소량보다는 전륜수의 증가에 따른 운동저항계수의 감소량이 상대적으로 크게 나타났기 때문으로 판단된다.

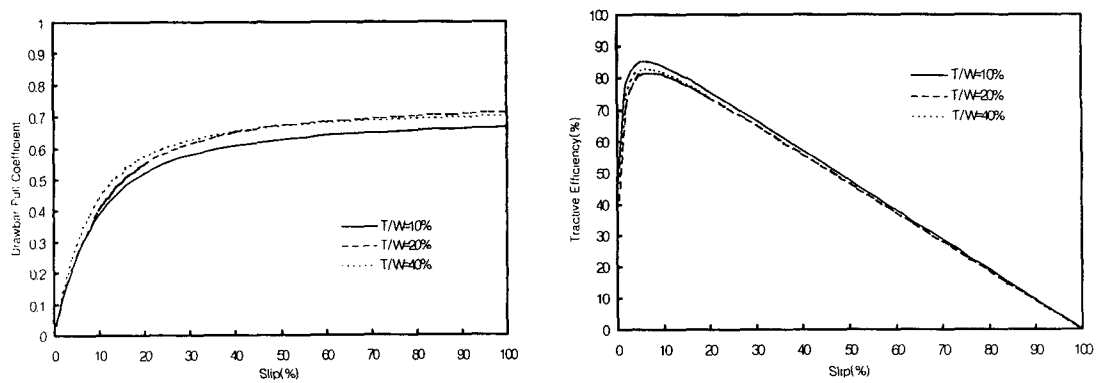
위의 결과로부터 궤도의 초기장력과 전륜수의 증가는 주어진 토양조건에서 궤도형차량의 견인성능을 향상시키는 것으로 나타났고, 견인성능의 증가량은 궤도의 초기장력을 증가시키는 경우보다는 전륜수를 증가시키는 경우가 그 효과가 큰 것으로 나타났다.



(a) Roadwheel 3



(b) Roadwheel 4



(c) Roadwheel 5

Fig. 3 Variations of the drawbar pull coefficient and tractive efficiency with slip for various ratios of initial track tension to vehicle weight for tracked vehicle with roadwheel number of 3, 4 and 5, respectively.

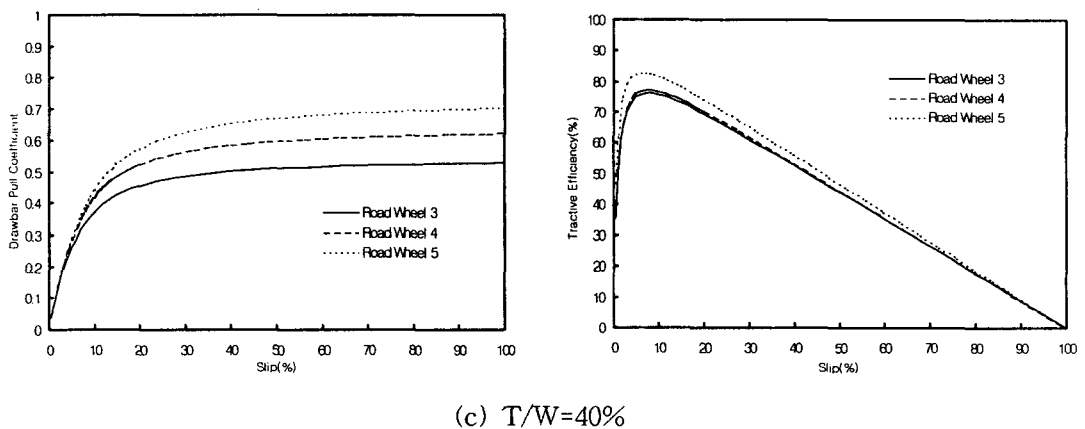
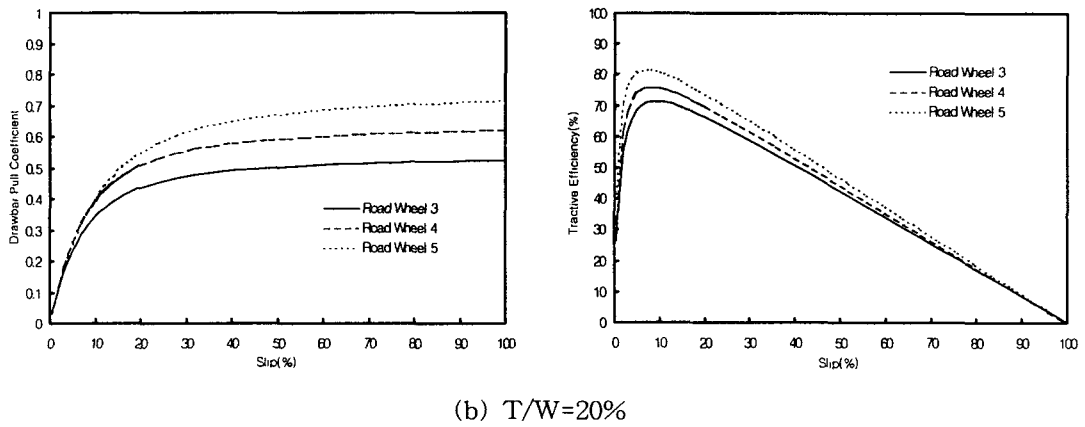
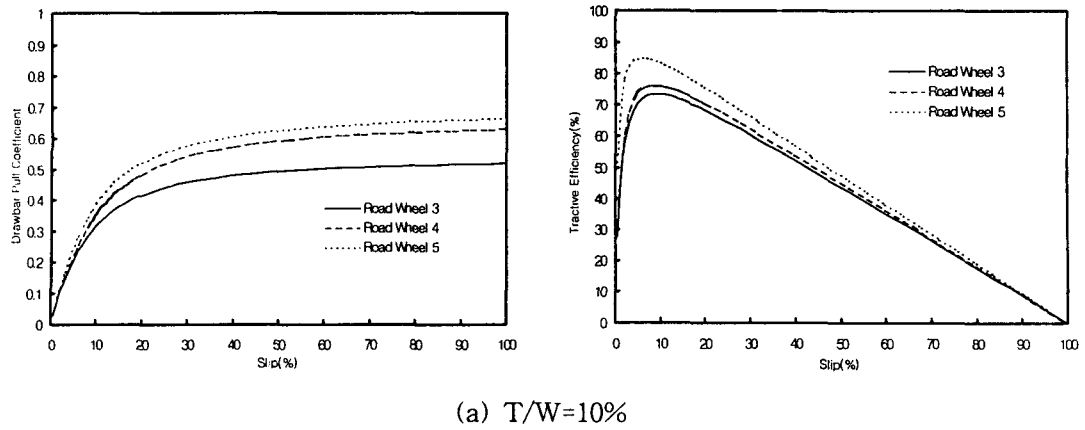


Fig. 4 Variations of the drawbar pull coefficient and tractive efficiency with slip for various number of roadwheel for tracked vehicle with ratio of initial track tension of 10%, 20% and 40%, respectively.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 농업기계, 건설중장비, 군사용 차량 등의 주행장치로서 점차 그 이용추세가 늘고 있는 궤도형 주행장치의 견인성능에 크게 영향을 미치는 것으로 보고되고 있는 궤도의 초기장력과 전륜수의 변화가 궤도형차량의 견인성능에 미치는 영향을 국내 토양에서 실험적으로 구명하였다. 견인력실험을 위해 선정된 궤도형 주행장치의 설계인자로는 전륜수 세 수준(3, 4, 5개), 궤도형차량의 하중에 대한 초기궤도장력의 세 수준(10%, 20%, 40%) 이고, 견인력실험은 성균관대학교 교내에 위치한 발토양(양토, loam)에서 수행하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 초기궤도장력 및 전륜수의 증가는 모두 궤도형차량의 견인계수를 증가시키는 것으로 나타났다, 그 증가 효과는 초기궤도장력을 증가시키는 경우보다 전륜수를 증가시키는 경우가 더욱 크게 나타났다.
2. 초기궤도장력의 증가에 따른 견인효율의 증대효과는 뚜렷한 경향을 나타내지 않았지만 전륜수를 증가시킬 경우에는 견인효율의 증대효과가 크게 나타났다.
3. 이상의 결과로부터 궤도의 초기장력과 전륜수의 증가는 주어진 토양조건에서 궤도형차량의 견인성능을 향상시키는 것으로 나타났고, 견인성능의 증가량은 궤도의 초기장력을 증가시키는 경우보다는 전륜수를 증가시키는 경우가 그 효과가 큰 것으로 나타났다.

5. 참고문헌

1. 박길배, 김경욱, 1992. 궤도의 초기 장력이 콤파인의 주행성능에 미치는 영향. 한국농업기계학회지 17(3):237-246.
2. 박원엽, 1998. 연성 궤도형차량의 견인성능 예측 모델 개발. 성균관대학교 박사학위논문.
3. 박원엽, 이규승. 1999. 연성 궤도형차량의 견인성능 예측 모델의 실험적 검증. 한국농업기계학회지 24(2):89-98.
4. Bekker, M. G. 1956. Theory of land locomotion. University of Michigan Press.
5. Bekker, M. G. 1969. Introduction to terrain vehicle system. University of Michigan Press.
6. Dwyer M. J., J. A. Okello and A. J. Scarlett. 1993. A theoretical and experimental investigation of rubber tracks for agriculture. Journal of Terramechanics 30(4): 285-298.
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. Wong, J. Y. 1989. Terramechanics and off-road vehicles. Elsevier Publishers.