

궤도형차량의 견인성능 예측 모델의 실험적 검증

Experimental Substantiation of Tractive Performance Prediction Model for Tracked Vehicles

박원엽*
정희원
W.Y.Park

이규승*
정희원
K.S.Lee

1. 서 론

일반적으로 로외차량(off-road vehicle)의 주행장치로는 휠형과 궤도형이 이용되고 있다. 궤도형차량은 휠형에 비해 같은 중량의 차량일 경우 접지압이 작으므로 연약지에서 높은 견인성능을 낼 수 있는 장점을 가지고 있어 농업용, 군사용, 산업용 건설중장비 등 로외에서 사용되는 차량에는 궤도형차량이 많이 사용되고 있다. 그러나 다양한 지면상태에서 운용되는 궤도형차량의 견인 및 주행성능은 토양-궤도의 상호작용에 의해 결정되기 때문에 지면의 토양상태와 지면과 접촉하는 궤도의 형태는 궤도형차량의 성능에 크게 영향을 미친다. 따라서 궤도형차량이 운용되고 있는 토양에 대한 역학적 특성과 토양-궤도의 역학적 상호작용에 대한 연구는 궤도형차량의 설계, 선택, 운용에 절대적으로 필요하다.

이에 박 등(1998)은 前 報(한국농업기계학회지 제 23권 3호 참조)에서 토양특성과 궤도형차량의 주요 설계변수들을 고려하여 궤도형차량의 견인성능을 예측할 수 있는 수학적 모델을 개발하여 모델로부터 궤도형차량의 견인성능을 종합적으로 평가할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램(TPPMTV98)을 개발하였고, TPPMTV98은 문헌(Wong;1984,1989)에 보고된 결과와 비교함으로써 그 타당성을 입증하였다. 그러나 TPPMTV98의 보다 정확한 검증과 적용 가능성을 평가하기 위해서는 실제 토양에서 궤도형차량을 이용한 견인력실험을 통한 추가적인 검증이 필요하다. 따라서 본 연구의 목적은 궤도형차량의 견인성능 예측 모델(TPPMTV98)의 유효성을 실제 토양에서의 궤도형차량의 견인력실험을 통해 실험적으로 검증하는데 있다.

2. 견인력 시험

TPPMTV98의 유효성을 검증하기 위해, 실험목적을 위해 개조된 궤도형차량을 이용하여 수분함량이 18.92%인 양토(loam)에서 견인력실험을 수행하였다. 한편, 실험토양의 물리적 특성을 측정하기 위해 토양물리성 측정장치인 베바메타(Bevameter)를 제작하여 견인력실험을 수행하기 전에 실험토양의 물리적특성을 측정하였다.

* 성균관대학교 생명자원과학대학 생물기전공학과

가. 토양 물리성 측정

견인력실험이 수행된 실험토양의 물리적특성을 측정하기 위해 베바메타를 제작하였다. 베바메타는 크게 2개의 독립된 시스템, 즉 평판재하시험장치(plate penetration test apparatus)와 전단시험장치(shear test apparatus)로 구성되었다.

평판재하시험장치는 평판에 수직하중을 가해주는 유압실린더, 하중을 측정하는 힘변환기(loadcell), 수직하중에 대한 평판의 침하량을 측정하는 로타리엔코더(rotary encoder) 등으로 구성되어 토양의 압력-침하관계와 반복하중에 대한 반응특성을 측정한다. 측정된 압력-침하관계로부터 차량의 침하량을 예측할 수 있고, 반복하중에 대한 반응특성으로부터 토양의 회복정도를 구명하여 다축차량 또는 계속적으로 통과하는 전륜들(roadwheels)의 연속적인 통과효과(multi-pass effect)에 대한 토양의 반응특성을 평가할 수 있다.

전단시험장치는 수직하중을 가해주는 무게추(weight balance), 하중에 대응하는 전단링의 침하와 회전각변위를 측정하는 로타리엔코더, 그리고 전단링의 회전토크를 측정하는 토크센서 등으로 구성되어 토양의 전단변위에 대한 전단응력 특성을 측정하고 이로부터 토양과 접하는 차량주행부로부터 산출되는 추진력과 슬립특성을 구명할 수 있다. 한편, 베바메타는 측정의 기동성과 동력원의 공급을 위해 LG기계(주)의 소형굴삭기 LGX 100을 개조하여 장착하였다.

그림 1에 토양물리성을 측정하기 위해 제작된 베바메타의 전체 외형도를 나타내었고, 그림 2에 베바메타를 이용하여 토양자료의 측정을 위해 구성된 자료수집장치의 전체 흐름도를 나타내었다. 한편, 견인력실험이 수행된 실험토양에서 베바메타를 이용하여 측정한 자료로부터 유도된 토양변수는 표 1과 같다.

Table 1 Characteristics of soil used in traction test.

parametar derived from plate sinkage tests, k_c	: 108.6748	[kN/m ⁿ⁺¹]
parametar derived from plate sinkage tests, k_ϕ	: 3021.6348	[kN/m ⁿ⁺²]
plate sinkage exponent, n	: 1.2624	
unloading-reloading parameter, k_u	: 15751	[kN/m ³]
unloading-reloading parameter, A_u	: -102000	[kN/m ⁴]
soil cohesion, c	: 2.8026	[kN/m ²]
soil internal friction angle, ϕ	: 33.2288	[degree]
soil shear deformation modulus, K	: 0.0105	[m]
unit weight, γ	: 14.34	[kN/m ³]



Fig.1 Overall view of bevameter for measuring soil properties.

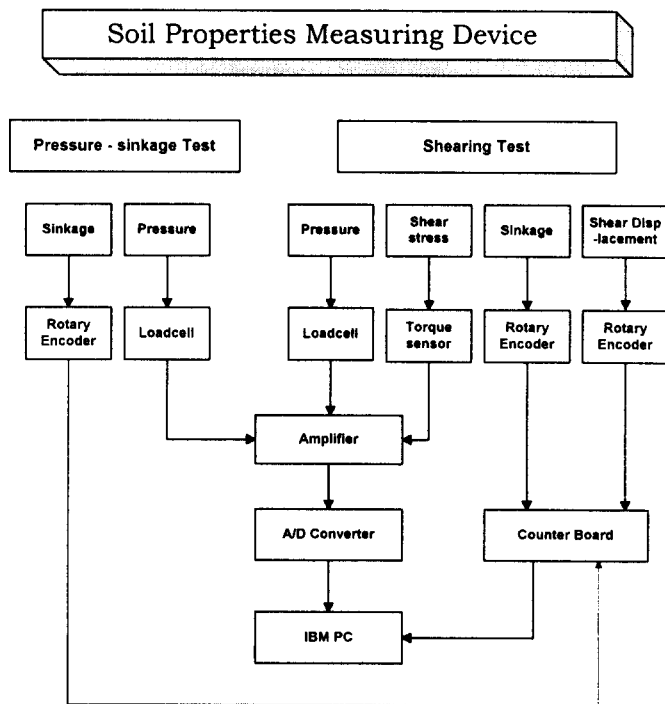


Fig.2 Block diagram of data acquisition system for measuring soil properties.

나. 견인력 측정

견인력 측정장치는 궤도형 시험차량과 시험차량에 수평하중을 가해주기 위한 하중차량으로 구성되었다. 견인력 측정을 위해 사용된 시험차량은 삼력기계(주)의 궤도형 소형 운반차량(SCC50D)으로서 본 연구의 실험목적에 적합하도록 궤도장력과 슬립 등을 측정하기 위한 장치를 구성하였다. 한편 하중차량은 (주)대동공업의 22마력 트랙터(L2203-4WD)를 이용하였으며, 견인력실험시 측정자료를 수집하기 위한 자료수집장치를 구성하여 장착하였다. 그림 3과 4는 견인력실험에 사용된 시험차량과 하중차량을 보여주고 있다.

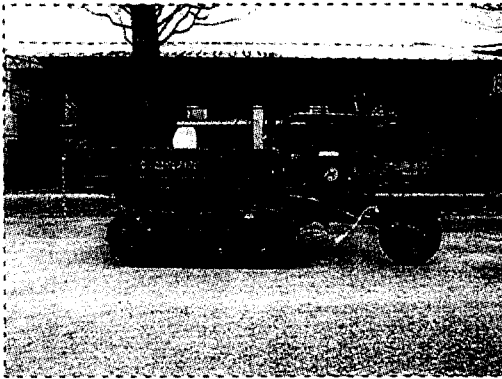


Fig.3 View of test vehicle.

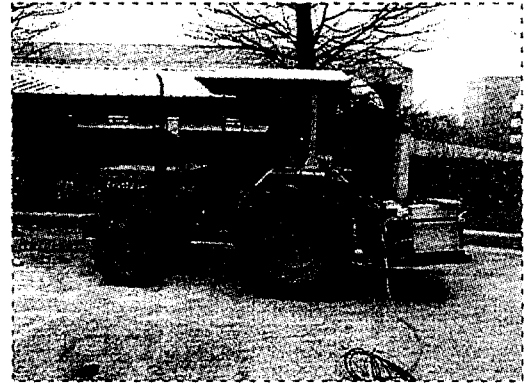


Fig.4 View of load vehicle.

다. 실험방법

견인력실험은 앞에서 서술한 궤도형 시험차량을 실험목적에 맞도록 조정하여 초기장력 0.49kN, 전륜수 4개, 차량무게 5.39kN의 설계변수를 갖는 기준차량과 기준차량에 대해, 초기장력을 0.98kN, 전륜수를 3개, 차량무게를 4.606kN으로 각각 하나의 변수만을 변화시킨 세 경우의 다른 조건을 갖는 차량을 포함한 총 4 종류의 차량을 이용하여 수행하였다(표 2). 한편, 견인력실험 결과는 TPPMTV98에 의해 예측된 결과와 비교하였다.

Table 2 Design conditions of vehicles for drawbar pull test.

Vehicle \ Factors	Initial track tension	Vehicle weight	Roadwheel number	Difference to reference
Reference vehicle	0.49 kN	5.39 kN	4	-
Vehicle II	0.98 kN	5.39 kN	4	Initial track tension
Vehicle III	0.49 kN	5.39 kN	3	Roadwheel number
Vehicle IV	0.49 kN	4.61 kN	4	Vehicle weight

3. 결과 및 고찰

견인성능 예측 모델 TPPMTV98의 유효성을 검증하기 위해, 견인력실험 결과를 TPPMTV98에 의해 예측된 결과와 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

그림 5~8은 기준차량, 차량 II, 차량 III 및 차량 IV에 대해 슬립에 변화에 따라 측정된 견인력과 TPPMTV98에 의해 예측된 견인력간의 비교 결과를 나타내고 있다. 각각의 그림에서 볼 수 있듯이, 4가지 차량조건 모두에 대해, 슬립에 변화에 따라 예측된 견인력은 전체 슬립구간에 걸쳐 측정된 견인력과 거의 유사한 경향을 나타내었고, 각각의 슬립에서 예측된 견인력은 4가지 차량조건 모두에 대해 측정된 견인력과 잘 일치하는 것으로 나타났다.

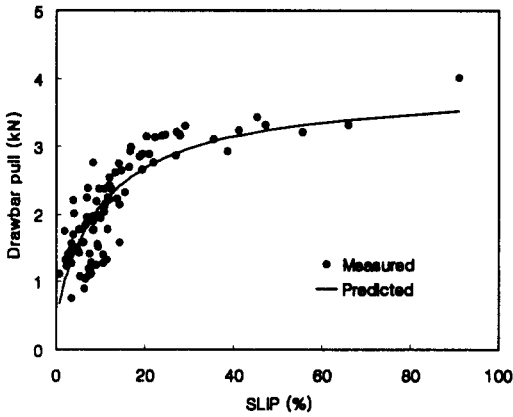


Fig.5 Predicted and measured drawbar pulls with slip for reference vehicle.

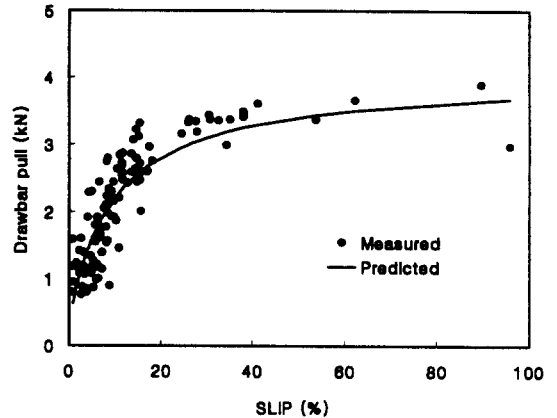


Fig.6 Predicted and measured drawbar pulls with slip for vehicle II.

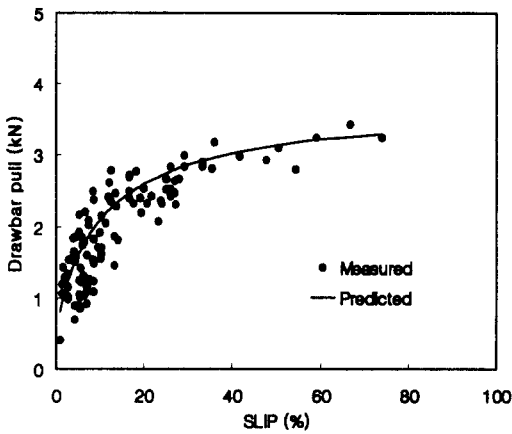


Fig.7 Predicted and measured drawbar pulls with slip for vehicle III.

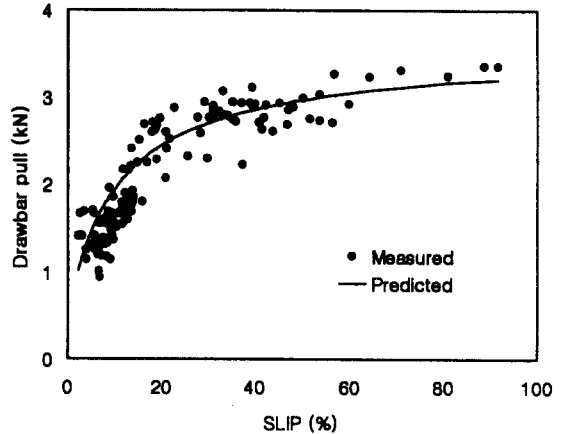


Fig.8 Predicted and measured drawbar pulls with slip for vehicle IV.

그림 9~12는 4가지 차량조건에 대한 예측치와 측정치간의 상관관계를 나타낸 결과로서, 결정계수(R^2)는 각각 0.7033, 0.7623, 0.7362, 0.8341이고, 회귀계수는 각각 1.039, 1.0594, 0.9958, 1.1533으로 나타나 4가지 차량조건에 대한 견인력 예측결과는 측정치와 잘 일치하는 것으로 나타났다. 위의 결과로부터, TPPMTV98은 주어진 토양 상태에서 궤도형차량의 견인력을 잘 예측할 수 있는 것으로 판단된다.

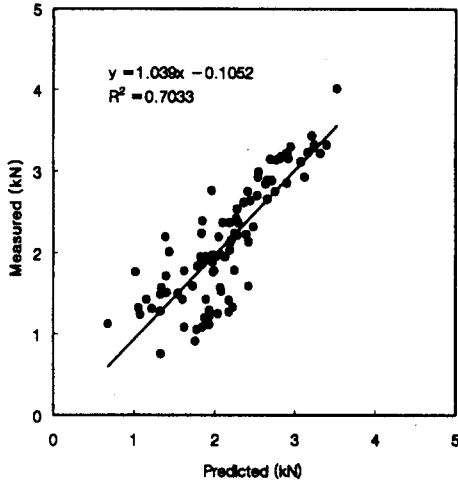


Fig.9 Comparisons of measured and predicted drawbar pulls for reference vehicle.

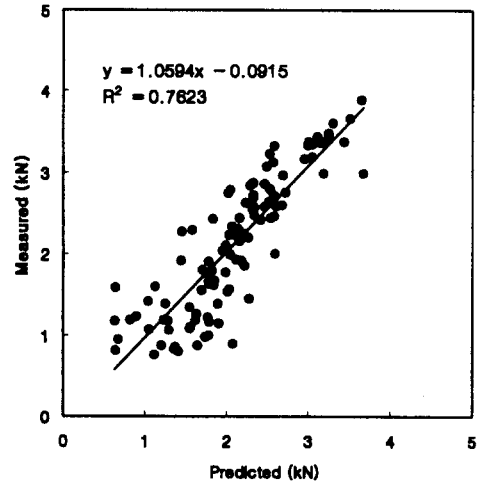


Fig.10 Comparisons of measured and predicted drawbar pulls for tracked vehicle II.

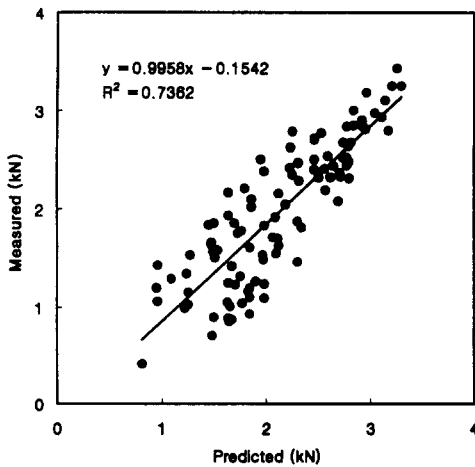


Fig.11 Comparisons of measured and predicted drawbar pulls for tracked vehicle III.

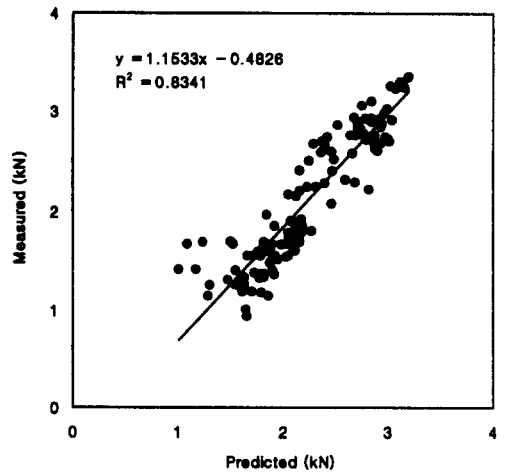


Fig.12 Comparisons of measured and predicted drawbar pulls for tracked vehicle IV.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 前報(박 등, 1998)에서 개발된 궤도형차량의 견인성능 예측 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램 TPPMTV98의 유효성을 검증하기 위해 TPPMTV98에 의한 예측결과를 실제 토양에서 궤도형차량을 이용한 견인력실험 결과와 비교하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

4가지 차량조건 모두에 대해, TPPMTV98을 이용하여 슬립의 변화에 따라 예측된 견인력은 전체 슬립구간에 걸쳐 측정된 견인력과 유사한 경향을 나타내었다. 한편, 각각의 차량에 대한 예측치와 측정치간의 회귀계수는 각각 1.039, 1.0594, 0.9958, 1.1533으로 나타나 견인력 예측결과는 4가지 차량조건 모두 측정치와 잘 일치하는 것으로 나타났다. 위의 결과로부터 TPPMTV98은 주어진 토양조건에서 다양한 설계조건을 갖는 궤도형차량의 견인력을 잘 예측할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 시뮬레이션 프로그램 TPPMTV98은 궤도형차량의 성능예측뿐만 아니라 성능향상을 위한 설계에도 매우 유용하게 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. 박원엽, 이규승. 1998. “연성 궤도형차량의 견인성능 예측 모델 개발” 한국농업기계학회지 23(3):219-228.
2. Bekker, M. G., 1956. “Theory of land locomotion.” University of Michigan Press.
3. Okello, J. A., 1994. “Prediction and experimental validation of the feild tractive performance of a rubber track unit.” Journal of Agricultural Engineering Research, Vol. 59, No. 2, pp. 163-171.
4. Wong, J. Y., Garber, M, and Preston-Thomas, J., 1984. “Theoretical prediction and experimental substantiation of the ground pressure distribution and tractive performance of tracked vehicles.” Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Vol. 198D, No. 15, pp. 265-285.
5. Wong, J. Y., 1989. “Terramechanics and off-road vehicles.” Elsevier Publishers.