

〈논문〉 SAE NO. 2000-03-0103

로외에서 운용되는 휠형차량의 견인성능 예측

Prediction of Tractive Performance of Off-Road Wheeled Vehicles

박 원 엽*, 이 규 승*
Wonyeop Park, Kyouseung Lee

ABSTRACT

This study was conducted to develop the mathematical model and the computer simulation program(TPPMWV) for predicting the tractive performance of off-road wheeled vehicles operated on various soil conditions. The model takes into account main design parameters of a wheeled vehicle, including the radius and width of front and rear tires, the weight of vehicle, wheelbase and driving type(4WD, 2WD). Soil characteristics, such as the peressure-sinkage and shearing characteristics and the response to repetitive loading, are also taken into consideration.

The effectiveness of the developed model was verified by comparing the predicted drawbar pulls using TPPMWV with measured ones obtained by field tests for two different driving types of wheeled vehicle. As a results, the drawbar pulls predicted by the TPPMWV were well matched to the measured ones within the absolute errors of 5.25%(4WD) and 9.42%(2WD) for two different driving types, respectively.

주요기술용어 : Wheeled Vehicle(휠형차량), Tractive Performance(견인성능), Drawbar pull(견인력), Off-Road(로외), Soil Characteristics(토양특성)

1. 서 론

도로(on-road) 또는 단단한 지면에서 운용되고 있는 차량(on-road vehicle)의 성능은 일반적으로 엔진과 변속장치 및 최종 구동축까지의 동력전달 등을 포함하는 전동라인(power train)의 특성에 크게 영향을 받는다.¹⁾ 그러나 로외(off-road) 또는 연약지형(soft terrain)에서 주로 운용되는 로외차량(off-road vehicle)은 엔진 출력이 충분하더라도 휠과 토양(wheel-soil)의

접지면에서 발생하는 토양의 침하 및 파괴현상 등에 의해 차량의 주행에 필요한 충분한 추진력을 발생시킬 수 없는 경우가 많다.^{2,3)} 즉, 로외차량의 성능은 엔진특성 뿐만아니라 차량이 운용되고 있는 토양상태와 휠의 형태 및 휠-토양접지면에서의 상호작용에 의해 크게 영향을 받는다.

로외에서 운용되는 휠의 역할은 일반적으로 차량의 하중을 지지하며 불규칙한 토양 표면으로부터 전달되는 진동을 감소시키고, 구동 혹은 제동시에 필요한 충분한 추진력과 제동력을 발휘할 수 있는 기능을 가져야 한다.¹⁾ 특히 건설중장비

* 회원, 성균관대학교 생물기전공학과

나 농업기계, 군사용차량 등과 같은 로외차량은 이러한 휠의 기능 중에서도 주행 및 견인 작업시 발휘할 수 있는 토양 추진력(soil thrust)과 운동저항(motion resistance)의 효율적인 발휘가 가장 중요하며, 이로 부터 차량의 주행 및 견인 성능(tractive performance)이 결정된다고 할 수 있다.²⁾ 따라서 로외차량의 설계변형에 따른 상대적인 성능비교나 성능향상을 위한 설계개선을 위해서는 차량의 설계변수 뿐만아니라 차량이 운용되고 있는 토양의 특성과 차량의 운용조건, 그리고 휠-토양간의 역학적 상호작용에 대한 연구가 필수적이다.^{4,5,6)}

따라서 본 연구는 국내의 농업기계, 건설중장비, 군사용차량 등과 같은 휠형 로외차량의 현장 투입 및 운용뿐만 아니라 설계개선에 활용하기 위하여 토양특성 뿐만아니라 휠형차량의 주요 설계변수, 그리고 토양-휠간의 역학적 상호작용을 분석하여 로외용 휠형차량(off-road wheeled vehicle)의 견인성능을 예측할 수 있는 수학적 모델을 개발하고, 모델로부터 견인성능을 평가할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램을 개발하기 위해 수행되었다.

2. 견인성능 예측 모델

2.1 휠형차량의 모형화

휠형차량이 연약지를 주행할 경우, 차량의 전체 하중은 전륜(front wheel)과 후륜(rear wheel)의 축에 작용하고, 각각의 휠은 축에 작용하는 수직하중과 토양특성 및 토양-휠의 역학적 상호작용에 의해 임의의 침하가 발생한다. 따라서 휠의 침하량과 침하형태를 결정할 수 있는 경우, 휠-토양의 접지면에서의 수직응력과 전단응력분포가 결정되고, 이로 부터 휠에서 발생하는 추진력과 운동저항을 결정할 수 있다.

한편, 휠형차량의 주행에 따른 전륜과 후륜의 연속적인 통과와 휠-토양 접지면에서 발생하는 추진력과 슬립 및 견인력 작용점의 위치는 차량에 대해 하중전이(weight transfer) 효과를 유발

시켜 후륜의 침하는 전륜보다 크게 발생하여 Fig.1과 같이 차량의 자세는 임의의 경사 δ 만큼 차량의 후부가 전부보다 낮아지는 상태가 된다.

따라서 로외에서 운용되고 있는 휠형차량의 해석은 차량변수 뿐만아니라 차량이 운용되고 있는 토양의 특성과 휠-토양 접지면에서의 역학적 상호관계를 정확히 분석할 때 가능하게 된다.

본 연구에서는 휠형차량의 견인성능 예측 모델을 개발하는데 있어, 휠형차량의 주요 설계변수 뿐만아니라 토양변수를 해석에 고려하였다.

해석에 고려한 토양변수로는 토양의 압력-침하특성, 전단응력-전단변위특성, 반복하중에 대한 반응특성 등이고, 차량 변수로는 차량무게, 차량의 무게중심 위치, 휠의 직경과 폭, 전·후륜 축거리(wheelbase), 구동방식 등을 고려하였다.

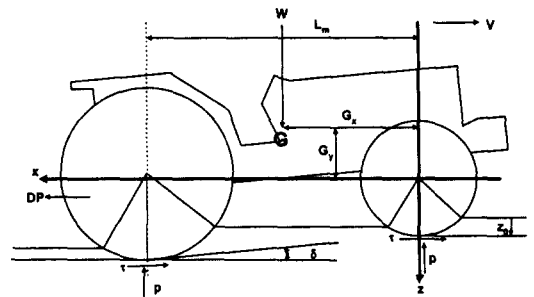


Fig. 1 Geometry and forces of a wheeled vehicle in contact with a soft ground

2.2 휠-토양의 상호작용

차량의 엔진으로부터 최종구동축에 전달된 토르는 휠을 구동시켜 차량이 주행하는데 필요한 구동력을 발생시킨다. 이 때 휠에서 발생하는 구동력은 휠-도로간의 마찰계수와 휠에 작용하는 수직하중에 의해 결정된다. 그러나 차량이 연약지를 주행할 경우, 휠에 전달되는 수직하중은 휠을 Fig.2에 나타낸 바와 같이 임의의 침하량 z_0 를 발생시키고, 휠의 침하에 의해 결정되는 휠과 토양의 전 접지면을 따라 수직응력(p)과 전단응력(τ)이 발생하게 된다. 따라서 휠에서 발생하는 전체 구동력은 휠의 전 접지면을 따라 발생하는

전단응력의 합에 의해 결정할 수 있다.

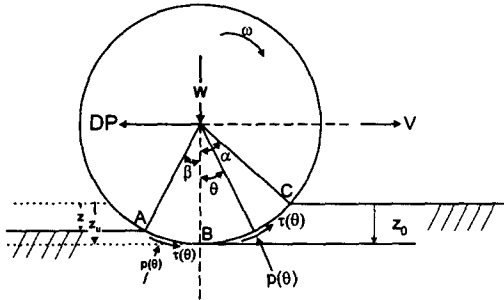


Fig. 2 Simplified model for driving wheel-soil interaction

휠-토양 접지면의 임의 위치에서의 전단응력은 식 (1)에 의해 결정된다.⁷⁾

$$\tau(x) = [c + p(x) \tan \phi] \left(1 - e^{-\frac{x}{K}}\right) \quad (1)$$

여기서 c, ϕ, j, K 는 토양물리성 측정장치인 베바메타(bevameter)⁶⁾의 전단시험장치를 이용하여 측정한 전단응력-전단변위 관계로부터 유도된 토양의 물리적 특성을 나타내는 변수로서 각각 토양의 점착력, 내부마찰각, 전단변위, 전단변형지수를 의미하고, $p(x)$ 는 휠-토양 접지면의 임의 위치에서의 수직압력을 나타낸다. 식 (1)에서 수직압력 $p(x)$ 는 베바메타의 평판-재하시험장치를 이용하여 측정된 토양의 압력-침하관계로부터 식 (2)에 의해 결정할 수 있다.⁴⁾

$$p = \left(\frac{k_c}{b} + k_\phi\right) z^n \quad (2)$$

여기서 p 는 평판에 가해진 압력, z 는 압력 p 일 때의 평판의 침하, b 는 평판의 폭을 의미하고, k_c, k_ϕ, n 는 평판의 압력-침하관계로부터 유도된 토양의 물리적 특성을 나타내는 변수이다.

한편, 토양은 탄-소성거동(하중이 제거된 후 약간의 회복이 있는 상태)을 하기 때문에 휠-토양의 접지면의 형태는 Fig.2에 나타난 바와 같이 임의의 침하 z_0 에 대해서 휠의 진입각(entry angle) α 와 탈출각(exit angle) β 는 다르게 나

타난다.

Fig.2에서와 같이 침하 z_0 가 발생했을 때 휠의 후부에서의 침하 z (또는 탈출각 β)는 식 (3)과 같이 토양의 반복하중 특성으로부터 결정할 수 있다.²⁾

$$p = \left(\frac{k_c}{b} + k_\phi\right) z_u^n - k_u(z_u - z) \quad (3)$$

여기서 z_u 는 비하중(unloading)이 시작할 때의 침하, k_u 는 하중-비하중-재하중 과정(loading-unloading-reloading cycle) 동안에 토양의 회복정도를 나타내는 변수로서 각각의 변수는 베바메타를 이용하여 측정된 자료로부터 유도된 토양의 물리적 특성을 나타내는 변수이다.

Fig.2에 나타난 토양과 접하는 휠의 침하형태가 완전히 결정되었을 때 휠에 작용하는 수직응력과 전단응력분포를 계산할 수 있고, 그 때 휠에 작용하는 수직방향 및 수평방향의 힘의 평형은 식 (4)와 (5)에 의해 나타낼 수 있다.

$$W = b \int_{\frac{\pi}{2}-\alpha}^{\frac{\pi}{2}} [p(\theta) \sin \theta + \tau(\theta) \cos \theta] r d\theta + b \int_0^{\beta} [p(\theta) \cos \theta - \tau(\theta) \sin \theta] r d\theta \quad (4)$$

$$DP = b \int_{\frac{\pi}{2}-\alpha}^{\frac{\pi}{2}} [\tau(\theta) \sin \theta - p(\theta) \cos \theta] r d\theta + b \int_0^{\beta} [\tau(\theta) \cos \theta + p(\theta) \sin \theta] r d\theta \quad (5)$$

여기서 W 는 휠에 작용하는 축하중, b, r 는 각각 휠의 폭과 반경, α, β 는 휠의 진입각과 탈출각, $p(\theta)$ 와 $\tau(\theta)$ 는 각각 휠상의 임의의 회전각 θ 에서 휠에 작용하는 수직응력과 전단응력이고, DP 는 휠의 전 접지면에서 발생하는 견인력(drawbar pull)이다.

2.3 휠형차량의 해석

각각의 휠은 구동축으로부터 전달된 토크의

유·무에 따라 구동륜과 피구동륜으로 구별된다.

구동륜의 경우에는 휠의 침하량에 의해 결정되는 휠-토양의 전 접지면을 따라 수직응력과 전단응력이 발생하게 된다. 그러나 피구동륜인 경우에는 토크가 0인 상태에서 외력에 의해 끌려가는 (또는 밀리는) 상태로서 휠과 토양의 접지면에서 수직응력만이 발생하게 된다. 따라서 피구동륜은 수직응력에 의해 운동저항은 발생하지만 전단응력이 존재하지 않기 때문에 추진력이 발생되지 않으며 견인력은 음(-)의 값을 갖게 된다. 즉, 피구동륜의 경우에는 식 (4)와 (5)에서 $\tau(\theta)$ 항이 0 이 된다.

따라서 4륜구동(four wheel drive ; 4WD)의 경우는 4개의 휠 모두를 구동륜으로, 2륜구동(two wheel drive ; 2WD)의 경우는 전륜과 후륜이 각각 피구동륜과 구동륜으로 해석된다.

전체 차량의 해석을 위한 첫번째 단계로서 임의의 차량경사 δ 에 대해 전륜의 침하량 z_0 를 임의로 가정한 후, 휠-토양 접지면에서 작용하는 수직응력과 전단응력에 의해 계산된 수직반력과 실제 차량무게에 대한 수직방향의 평형조건이 만족될 때까지 침하량을 증감시킨다. 수직방향의 평형조건이 만족되었을 때, 두 번째 단계로서 전체 차량에 작용하는 모멘트를 취하여 모멘트의 평형조건이 만족될 때까지 차량의 경사를 증감시켜가며 첫 번째 단계를 반복 수행한다. 따라서 차량의 해석은 위의 두 단계 즉, 수직방향 평형조건과 모멘트 평형조건이 만족될 때 완료되고, 그 때 식 (6)에 의해 차량의 추진력(H), 운동저항(R) 및 견인력(DP)을 슬립의 함수로서 구할 수 있다.

$$DP = H - R \quad (6)$$

$$\text{여기서, } H = b \int_{\frac{\pi}{2}-\alpha}^{\frac{\pi}{2}+\beta} [\tau(\theta) \sin \theta] r d\theta$$

$$R = b \int_{\frac{\pi}{2}-\alpha}^{\frac{\pi}{2}+\beta} [-p(\theta) \cos \theta] r d\theta$$

2.4 견인성능 예측 프로그램

전 절에서 개발된 견인성능 예측 모델을 이용하여 토양변수와 휠형차량에 대한 입력변수로부터 휠형차량의 견인성능을 예측할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램(Tractive Performance Prediction Model for Wheeled Vehicles ; TPPMWV)을 개발하였다.

TPPMWV는 토양변수와 휠형차량의 설계변수에 대한 입력자료로부터 차량의 전륜과 후륜의 침하, 차량의 경사, 접지압, 전단응력분포 등을 계산하고, 이로부터 로외차량의 성능 척도인 추진력, 운동저항, 견인력, 견인계수, 견인효율 등을 슬립의 함수로서 계산한다.

사용된 언어는 C 언어로서 운영방식은 사용자가 자료를 입력한 후 그 결과를 파일로 저장하거나 화면상에서 그래픽으로 볼 수 있도록 제작되었다. 한편, TPPMWV의 전체 구성은 자료입력부, 견인성능계산부 및 차량형태부로 구성되었다.

자료입력부는 견인성능 계산에 필요한 토양변수 및 차량변수 등에 관한 자료를 입력하거나 불러오는(loading) 모듈로서 Fig.3에 차량변수 입력부의 한 예를 나타내었다.

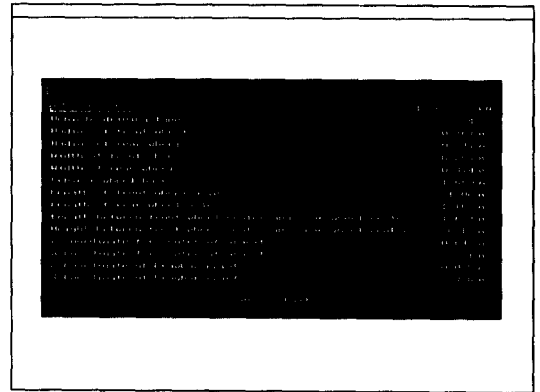


Fig. 3 View of vehicle input data

견인성능계산부는 입력된 자료로부터 차량의 견인성능을 계산하는 부분으로서 TPPMWV의 알고리즘을 포함하고 있는 주 모듈이다. Fig.4는 견인성능계산부를 실행했을 때, 계산과정중의 차

량의 자세와 침하형태, 그리고 그 결과의 변화를 연속적으로 화면상에 보여주는 그림이고, Fig.5는 계산종료시 차량의 추진력, 운동저항, 견인력에 대한 결과를 슬립의 함수로서 화면상에 나타낸 그림이다. 한편, 최종결과를 저장한 파일에는 전·후륜의 각각에 대한 하중분포 및 침하형태, 그리고 추진력, 운동저항, 견인력, 견인계수, 견인효율 등에 관한 보다 상세한 정보가 포함된다.

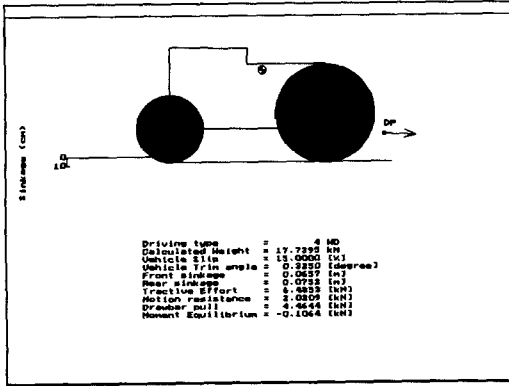


Fig. 4 Status of a wheeled vehicle during calculation

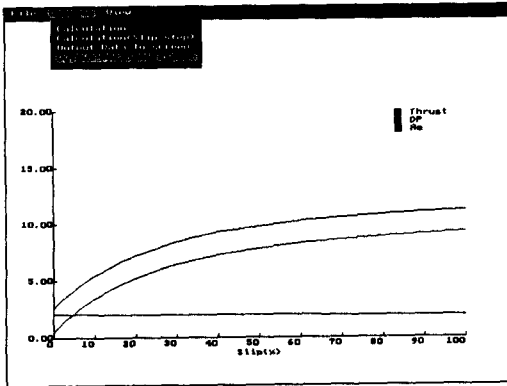


Fig. 5 Results on screen by simulation

차량형태부는 Fig.6에 나타낸 바와 같이, 차량의 입력자료로부터 차량주행부(전륜, 후륜)의 기하학적 위치를 측면도로, 또한 전륜과 후륜에 대한 지면 위의 통과 궤적을 평면도로서 화면상에 나타내는 모듈이다.

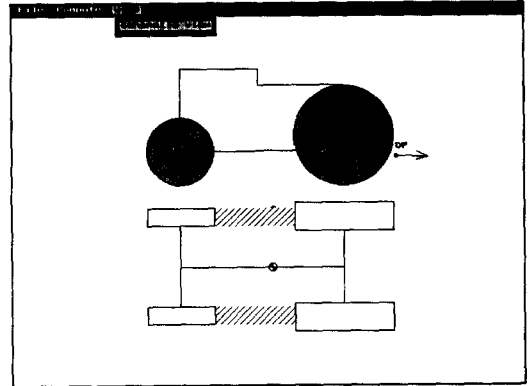


Fig. 6 Schematic view of a test vehicle

3. 견인력 시험

수학적 모델로부터 개발된 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램의 유효성을 검증하기 위하여 수분함량이 15.59%인 양토(loam)에서 토양의 물리적 특성을 측정후 견인력 실험을 수행하였다.

토양의 물리적 특성은 성균관대학교 생물기전 공학에서 제작한 베바메타⁶⁾를 이용하여 식 (1), (2), (3)에서 언급한 토양의 전단응력-전단변위 특성, 토양의 압력-침하특성, 반복하중에 대한 반응특성 등을 측정하였다. Table 1은 견인력 실험이 수행된 토양에서 베바메타를 이용하여 측정된 값으로부터 유도된 토양변수를 보여주고 있다.

견인력 측정은 시험차량의 후미 견인고리와 하중차량의 전면 견인고리에 각각 강선을 연결하고 그 사이에 하중변환기를 부착한 후, 시험차량을 구동하여 하중변환기에 나타나는 인장력을 측정하여 구하였다. 또한 슬립과 견인력 관계를 구하기 위해 시험차량의 후륜에 부착된 로타리엔코더로부터 측정된 이론주행거리와 시험차량의 후부에 장착된 5륜(fifth wheel)으로부터 측정된 실제주행거리를 이용하여 슬립을 측정하였다. 한편, 견인력실험은 4WD와 2WD의 두 가지 구동방식에 대해 각각 5회반복으로 수행되었다. Fig.7과 Fig.8에 각각 견인력 실험에 사용된 시험차량과 하중차량을 나타내었다.



Fig. 7 View of a test vehicle

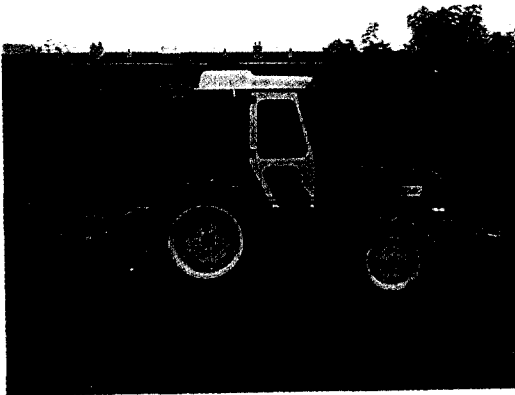


Fig. 8 View of a load vehicle

4. 결과 및 고찰

본 연구에서 개발한 견인성능 예측 모델의 유효성을 검증하기 위해 모델로부터 개발된 시물레

이션 프로그램(TPPMWV)에 의해 예측된 견인력을 실험에 의해 측정된 견인력과 비교하였다.

비교 결과 두 가지 구동방식(2WD, 4WD)에 따른 측정치는 슬립이 증가함에 따라 어떤 일정한 경향을 나타내었으나, 일정 슬립에 대한 견인력 측정치의 넓은 분포로 인해 두 가지 구동방식에 대해 측정된 견인력을 예측치와 직접 비교하여 차이를 구명하기에는 어려움이 많았다. 따라서 비교의 편의를 위해, 측정결과를 Janosi and Hanamoto⁷⁾가 제안한 식을 수정한 식 (7)에 적용하여 슬립의 함수로서 모형화하여 측정치에 대한 실험식을 유도하였고, 실험식으로부터의 결과를 예측된 결과와 비교하였다.

$$DP = W \cdot A \cdot \left[1 - \frac{B}{i} (1 - e^{-\frac{i}{B}}) \right] + C \quad (7)$$

여기서 DP는 견인력, W는 차량의 무게, i는 슬립을 의미하고, A, B, C는 회귀식에 의해 결정된 상수이다.

Fig.9와 Fig.10은 각각 4WD와 2WD 상태에서의 측정치와 예측치를 나타낸 것으로서 측정치와 예측치는 각각 점과 실선으로 나타내었고, 측정치로부터 유도된 실험식으로부터 구한 결과는 점선으로 나타냈었다.

4WD 상태에서 측정치와 예측치를 비교한 결과, 예측치는 전체 슬립구간에서 측정치와 유사한 경향을 보였고, 측정치로부터 유도된 실험식과 예측치간의 최대오차는 슬립 26.57%에서 0.34kN(5.25%)으로서 측정치와 예측치는 잘 일치하는 것으로 나타났다. 또한 2WD 상태에서 전

Table 1 Characteristics of soil used in the traction test

parametar derived from plate sinkage tests, k_c	: 78.31	[kN/m ⁿ⁺¹]
parametar derived from plate sinkage tests, k_ϕ	: 2355.08	[kN/m ⁿ⁺²]
plate sinkage exponent, n	: 1.2691	
unloading-reloading parameter, k_o	: 36130	[kN/m ³]
unloading-reloading parameter, A_u	: -165519	[kN/m ⁴]
soil cohesion, c	: 3.69	[kN/m ²]
soil internal friction angle, ϕ	: 36.78	[degree]
soil shear deformation modulus, K	: 0.0197	[m]

체 슬립구간에 따른 예측치와 측정치간의 비교결과는 4WD의 경우에 비해 상대적으로 덜 일치하는 경향은 나타냈으나, 최대오차는 슬립 49.16%에서 0.40kN(9.42%)로 매우 작게 나타났다. 따라서 Fig 9와 Fig.10의 결과로부터 본 연구에서 개발한 견인성능 예측모델은 주어진 토양상태에서 휠형차량의 견인력을 두 가지 구동방식 모두에 대해 최대 10%이내의 오차범위내에서 잘 예측할 수 있는 것으로 나타났다.

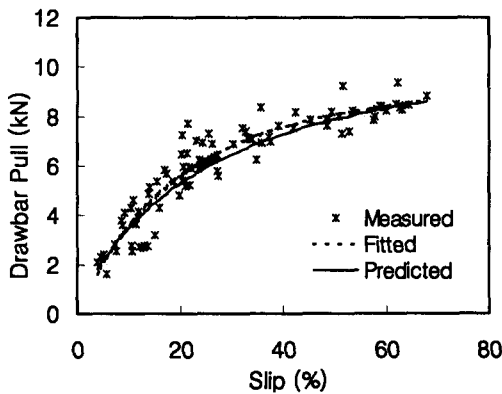


Fig. 9 Comparison between the measured drawbar pulls and the predicted ones for 4WD on the loam soil

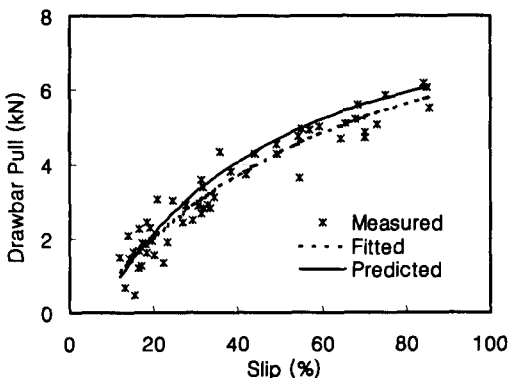


Fig.10 Comparison between the measured drawbar pulls and the predicted ones for 2WD on the loam soil

한편, 본 연구에서는 TPPMWV를 이용하여 두 가지 구동방식에 따른 휠형차량의 견인성능을

비교하였다. 그러나 견인력은 일반적으로 차량의 무게가 증가하면 함께 증가하기 때문에 전술한 견인력만으로는 차량의 절대적인 성능을 평가할 수 없다. 따라서 식 (8)과 (9)와 같이 로외차량의 성능을 평가하는데 있어 일반적인 척도로서 사용되고 있는 견인계수(tractive coefficient ; C_T)와 견인효율(tractive efficiency ; TE)^{1,2)}을 이용하여 두 가지 구동방식에 따른 견인성능을 비교 분석하였다.

$$C_T = \frac{DP}{W} \quad (8)$$

$$TE = \frac{DP}{H}(1-i) \quad (9)$$

Fig.11은 두 가지 구동방식에 대해 TPPMWV에 의해 예측된 견인계수의 결과를 보여주고 있다. Fig.11의 결과는 2WD와 4WD 모두 슬립이 증가함에 따라 견인계수가 증가하는 것으로 나타났다. 또한 구동방식에 따른 견인계수는 전체 슬립구간에서 4WD의 경우가 2WD에 비해 높게 나타났고, 최대견인계수는 2WD의 경우는 0.361, 4WD의 경우는 0.524로서 4WD의 경우가 2WD에 비해 약 0.163(45.15%) 높게 나타났다.

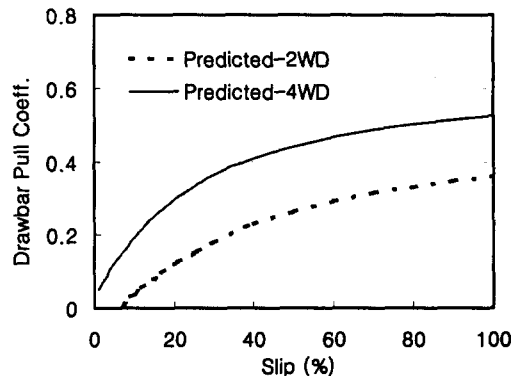


Fig.11 Variations of the drawbar pull coefficient of 2WD and 4WD with slip

한편, 2가지 구동방식에 대해 슬립에 따라 예측된 견인효율은 견인계수의 결과와 마찬가지로 4WD의 경우가 전체 슬립구간에 걸쳐 2WD에

비해 크게 나타났다(Fig. 12). 또한 최대 견인효율은 4WD의 경우에는 슬립 15%에서 0.585, 2WD의 경우에는 슬립 30%에서 0.429로 나타나 4WD의 경우가 2WD에 비해 약 0.156(36.29%) 크게 나타났다.

위의 결과를 종합해 볼때, 주어진 토양조건과 차량조건에 대해서 4WD의 경우가 2WD에 비해 높은 견인성능을 나타내는 것으로 나타났다.

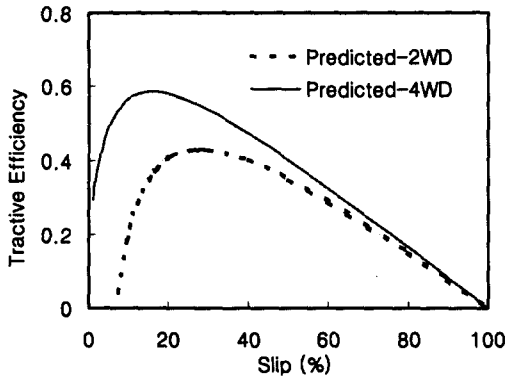


Fig.12 Variations of the drawbar pull coefficient of 2WD and 4WD with slip

5. 결론

본 연구에서는 연약지에서 주로 운용되고 있는 휠형 로외차량의 견인성능을 예측할 수 있는 수학적 모델을 개발하고, 모델로부터 휠형차량의 견인성능을 평가할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램(TPPMWV)을 개발하였다. 개발된 모델의 유효성은 실제 토양조건에서 휠형차량을 이용하여 두 가지 구동방식(4WD, 2WD)에 대해 측정된 견인력과 수학적 모델로부터 개발된 TPPMWV에 의해 예측된 결과를 비교함으로써 검증하였다. 또한 검증된 TPPMWV를 이용하여 두 가지 구동방식에 따른 견인성능을 비교하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 두 가지 구동방식에 따른 휠형차량의 견인력 측정치와 예측치의 비교 결과, 측정치에 대한 예측치의 최대오차는 4WD의 경우는 5.25%, 2WD의 경우는 9.42%로서 최대 10% 이내로 나

타났다. 따라서 본 연구에서 개발한 견인력 예측 모델은 주어진 토양상태에서 휠형차량의 견인력을 잘 예측할 수 있는 것으로 판단된다.

2) TPPMWV를 이용하여 구동방식에 따른 견인성능을 비교한 결과는 4WD가 2WD에 비해 전체 슬립구간에 걸쳐 견인계수와 견인효율이 모두 크게 나타났고, 4WD와 2WD의 최대 견인계수는 각각 0.524, 0.361, 최대 견인효율은 각각 0.585, 0.429로서 4WD의 경우가 2WD에 비해 견인계수는 약 0.163 (45.15%), 견인효율은 약 0.156(36.29%) 크게 나타났다. 따라서 4WD의 경우가 2WD에 비해 높은 견인성능을 발휘할 수 있는 것으로 나타났다.

참고 문헌

- 1) J.Y.Wong, "Theory of Ground Vehicles", John Wiley & Sons, 1993.
- 2) J.Y.Wong, "Terramechanics and off-road vehicles", Elsevier Publishers, 1989.
- 3) A.R.Reece, "The effect of grousers on off-road vehicle performance", Journal of agricultural Engineering Research, Vol. 9, No. 4, pp. 360-371, 1964.
- 4) M. G .Bekker, "Theory of land locomotion", University of Michigan Press, 1956.
- 5) M.G.Bekker, "Introduction to terrain vehicle system", University of Michigan Press, 1969.
- 6) 박원엽, 이규승, "로외에서 운용되는 궤도형차량의 견인성능에 관한 이론적 예측과 실험적 검증", 한국자동차공학회 논문집, 제7권 6호 pp248~257, 1999.
- 7) Z.Janosi and B.Hanamoto, "The analytical determination of drawbar pull as a function of slip for tracked vehicles in deformable soils.", Proceedings of the 1st International Conference on the Mechanics of Soil Vehicle Systems, Italy, 1961.