

심해저 연약지반용 무한궤도차량의 견인력-슬립 관계에 관한 실험적 연구

여태경* · 박성재* · 최중수* · 홍섭* · 김형우* · 원문철**

*한국해양연구원 해양시스템안전연구소

**충남대학교 메카트로닉스공학과

An Experimental Study on Relationship of Tractive Force to Slip for Tracked Vehicle on Deep-sea Soft Sediment

TAE-KYEONG YEU*, SOUNG-JEA PARK*, JONG-SU CHOI*, SUP HONG*, HYUNG-WOO KIM*
AND MOON-CHEOL WON**

*Maritime & Ocean Engineering Research Institute(MOERI), KORDI, Daejeon, Korea

**Dept. of Mechatronics Eng. college of Eng., Chungnam national university, Daejeon, Korea

KEY WORDS: Tracked vehicle 무한궤도차량, Tractive force 견인력, Slip 슬립, Drawbar-pull test 견인성능 실험, Deep-sea soft sediment 심해저 연약지반,

ABSTRACT: Measuring the ground speed and the rotation speeds of tracks is an easy and realistic method to detect the track slips. It is very advantageous if the slips can be measured and applied to real time control of the vehicle. With a proper speed, the tractive force of a tracked vehicle may be calculated from the vehicle dynamics. For the control of tracked vehicle, the relationship between the slip and the tractive force is necessary. In this paper, a series of drawbar-pull tests, in which slips of two tracks are measured under the variational draw-bar weight, is executed to directly obtain the slip-tractive force relationship. For the purpose of the test, a tractive vehicle model was manufactured, and an artificial soil was simulated by using a bentonite-water mixture.

1. 서 론

망간단괴와 같은 광물자원이 분포해 있는 심해저 연약지반 위에서 작업하는 주행차량의 성능은 연약지반의 전단강도에 많은 영향을 받는다. 태평양의 클라리온-클립퍼튼 망간단괴 해역(CCFZ)의 지반동양은 매우 집착성이 크며, 지면 10cm 이하에서 최대 전단강도가 3~10kPa이고 최대와 잔류전단 강도의 비를 나타내는 민감도가 2.7의 물성을 가지는 것으로 조사되었다(Chi et al., 1999). 이러한 해저 연약지반용 주행차량을 개발하기 위해서는 지반 침하를 일정량 이하로 제한하는 부양성능(Flotation)과 차량 구동에 필요한 충분한 지반반력을 얻기 위한 주행성능(Trafficability)에 대한 심도 있는 연구가 필요하다.

해저 연약지반용 주행차량의 경우 부양성능 확보를 위해 접지압을 제한하여야 하며, 주행성능을 얻기 위해 충분한 견인력 확보가 요구된다. 따라서 궤도 폭이 넓은 무한궤도차량(Tracked vehicle)이 해저 연약지반 주행에 가장 적합한 형태인 것으로 판단된다.

무한궤도차량의 주행성능에 대해서는 많은 연구가 수행되었다. Dugoff and Ehrlich(1966)는 해저에서 케이블을 매설하기 위한 무한궤도형 주행차량모델에 대하여 토양수조(Water soil

bin) 실험을 수행하였다. Nuttal(1971)은 해저에서 주행하는 무한궤도차량의 최대순견인력(Maximum net traction)을 기존에 존재하는 여러 가지 측정방법을 이용하여 간접적으로 산출할 수 있는 방안에 대하여 실험 연구를 수행하였다. Muro(1983; 1988)는 초연약지반 위에서 주행하는 무한궤도차량의 견인특성에 대하여 연구하였다. 또한, 연약한 해저지반 위를 주행하는 볼도저의 견인특성에 대한 그라우저 효과를 조사하였다. Dorfler(1992)는 모사된 연약지반에서 무한궤도차량의 견인력 시험(Drawbar-pull test)을 수행하였다. 트랙의 바깥쪽 표면에 부착되어 있는 그라우저는 견인력을 증대시켜 주행차량의 슬립을 줄이는 역할을 한다. Hong and Choi(2001)은 모사된 연약지반에서 그라우저의 형상과 높이가 견인력과 슬립침하에 미치는 영향력에 관한 기초실험을 수행하였다. 이러한 연구들은 그라우저의 형상의 변화를 통해서 견인력을 증대시키는 방법을 모색하는데 초점이 맞추어졌다.

일반적으로 무한궤도 차량은 지반과 궤도사이의 슬립에 의해 발생하는 전단력에 의해서 추진력이 발생된다. 지반의 특성에 따라 적절한 슬립을 제어함으로써 최대의 전단력을 얻을 수 있다. 차체의 속도와 각 트랙의 회전 속도로부터 트랙의 전반적인 슬립에 대한 정보를 얻는 것은 쉬우면서도 현실적인 방법이다. 뿐만 아니라, 실시간적으로 그 정보를 이용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. Ahmadi et al.(2000)는 무한궤도형

지반시추장비(Tracked surface drilling machine)에 대하여, 주어진 경로를 추적하기 위해 차량의 운동방정식으로부터 유도되는 견인력에 대하여 트랙의 슬립을 적절히 제어하는 방법을 제안하였다. 여기서, 트랙에 인가되는 제어 입력은 단순화된 슬립과 견인력 사이의 관계식으로부터 얻어진다. 그러나 이 관계식은 비교적 단단한 지반에 대해서는 적용 가능하지만, 연약 지반에서는 많은 오차를 발생시킬 수 있다. Choi et al.(2004)는 지반과 케도사이의 슬립을 최적화하기 위하여 직교배열표(Orthogonal array)에 의한 실험계획법을 적용한 경제적이고 효율적인 주행성능 실험을 수행하였다. 여기서, 그는 4개의 설계 변수(그라우저 간격과 형상, 무게중심, 차량무게)와 2개의 운용 변수(차량의 속도, 견인하중)를 변화시키면서 견인성능 실험을 실시하였다. 그러나 다양한 견인하중에 의해서 발생하는 슬립에 대한 정보를 얻지는 못하였다.

심해저 지반은 연약할 뿐만 아니라, 트랙과 지반 사이의 관계가 매우 복잡하므로, 이론적 관계식을 직접 이용하기에는 많은 오차를 발생시킬 수 있다. 본 논문에서는 심해저 무한궤도형 주행차량의 경로 제어를 위한 기초적 연구로써, Ahmadi et al.(2000)에 의해 제안된 제어 입력(견인력)에 대응되는 슬립 사이의 관계를 실험을 통해서 얻고자 한다. 이를 위하여, 벤토나이트로 조성된 인공지반에서 무한궤도형 주행차량 모델을 이용하여, 견인하중을 변화시키면서 그에 따라 발생하는 슬립을 측정하는 견인력 실험(Drawbar-pull test)을 수행하고자 한다. 또한, 얻어진 실험 결과로부터 견인력과 슬립사이의 관계식을 유도하고자 한다.

2. 주행 차량 운동방정식

주행차량의 작업공간은 일반적으로 2차원 평면이며, 선회 시 발생하는 원심력이 무시될 만큼 낮은 속도로 움직인다고 가정할 때, 차량은 3개의 자유도, 즉 중심 위치 (x, y) 와 조향각, ψ 으로 표현될 수 있다.

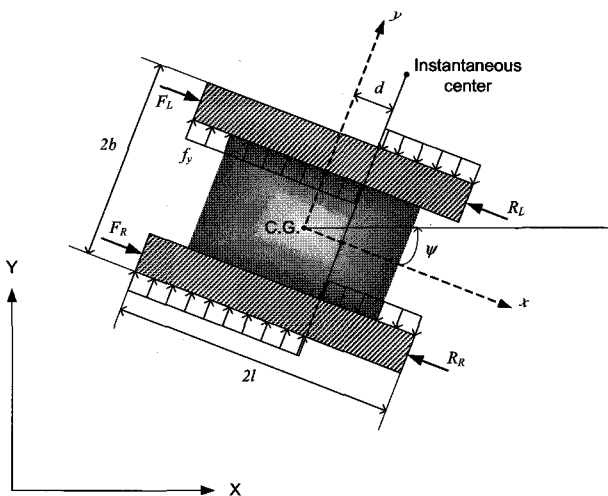


Fig. 1 Force model of tracked vehicle

차량의 고정좌표계 (X, Y) 와, 차량 자체에서의 이동좌표계 (x, y) 를 Fig. 1과 같이 설정하면, 차량의 운동방정식을 식 (1)~(3)과 같이 단순화할 수 있다.

$$M\ddot{x} = F_L + F_R - R_L - R_R \quad (1)$$

$$M\ddot{y} = 4f_y d \quad (2)$$

$$I\ddot{\psi} = (F_R - R_R)b - (F_L - R_L)l - 2f_y(l^2 - d^2) \quad (3)$$

여기서,

F_L, F_R : 좌, 우 트랙의 견인력

R_L, R_R : 좌, 우 트랙 진행방향의 저항

f_y : 좌, 우 트랙 측면방향의 저항

d : 차량의 무게중심과 순간 회전중심 간의 거리

M : 차량의 무게

I : 차량의 관성모멘트

b : 트랙 간 거리의 1/2

l : 차량 길이의 1/2

이다.

식 (1)~(3)에서 R_L, R_R, f_y, d 의 경우 실제 측정 또는 예측이 매우 어려우며, 선회 시 측면 방향의 저항을 무시할 만큼 낮은 속도로 주행한다는 가정 하에 단순화하면 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$M\ddot{x} = F_L + F_R \quad (4)$$

$$I\ddot{\psi} = (F_R - F_L)b$$

일반적으로 트랙의 슬립에 대한 식은 다음과 같이 정의된다.

$$i = \frac{V_{track} - V_{vehicle}}{V_{track}} \quad (5)$$

좌, 우 트랙의 스프라켓 각속도를 ω_L, ω_R 라고 하면, 좌, 우 트랙의 슬립 i_L, i_R 은 다음과 같이 표현된다.

$$i_L = \frac{r\omega_L - (\dot{x} - b\dot{\psi})}{r\omega_L} \quad (6)$$

$$i_R = \frac{r\omega_R - (\dot{x} + b\dot{\psi})}{r\omega_R}$$

여기서,

r : 트랙 스프라켓의 반지름

본 논문에서는 견인력과 트랙의 슬립과의 상관관계에 초점을 맞추고자 한다. 차량의 작업공간과 작업 목적을 고려해 볼 때 차량은 주어진 경로를 크게 벗어나지 않는 범위 내에서 주어진 속도에 따라 주행하도록 하는 것을 제어목표로 정할 수

있다. 따라서 설정오차가 0이 되도록 제어가 수행되어야 한다.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e_\psi = 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} e_v = 0 \quad (7)$$

여기서,

e_ψ : 각도 오차 ($\psi_d - \psi$)

e_v : 속도 오차 ($v_d - v$)

이를 위해 속도 오차 및 지향각 오차에 관한 페루프 동역학식을 다음과 같이 설정할 수 있다.

$$\ddot{e} + k_{\delta_1} \dot{e}_\psi + k_{\delta_2} e_\psi = 0 \quad (8)$$

$$\dot{e}_v + k_{\sigma_1} e_v + k_{\sigma_2} \int e_v = 0 \quad (9)$$

식 (8), (9)는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\ddot{\psi}_d + k_{\delta_1} \dot{e}_\psi + k_{\delta_2} e_\psi = \ddot{\psi} \quad (10)$$

$$\dot{v}_d + k_{\sigma_1} e_v + k_{\sigma_2} \int e_v = \dot{v} \quad (11)$$

차량의 선회각 속도가 크지 않은 경우, d 는 0에 가까워지므로 차량동역학에서 식 (2)의 영향은 무시될 수 있다. 또한, 선회반경이 클 경우, 식 (3)의 우변에 f_y 의 값이 작아져서 제어를 위한 차량동역학식은 다음과 같이 간단하게 정리된다.

$$M\ddot{x} = \overline{F}_L + \overline{F}_R \quad (12)$$

$$\dot{h}\dot{\psi} = \overline{F}_R \cdot b - \overline{F}_L \cdot b \quad (13)$$

여기서 $\overline{F}_L = F_L - R_L$, $\overline{F}_R = F_R - R_R$ 이며, 이들은 좌·우 트랙에서의 Net force로 가정할 수 있다. 또한 원하는 차량의 속도 및 지향각의 변화가 크지 않을 경우, $\ddot{\psi}_d$ 및 \dot{v}_d 은 0으로 근사가능하다. 이 경우 식 (8)~(13)을 이용하여 차량의 운동 방정식을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\overline{F}_{\sigma,d} = \overline{F}_{L,d} + \overline{F}_{R,d} = M \left(k_{vp} e_v + k_{vi} \int e_v dt \right) \quad (14)$$

$$\overline{F}_{\psi,d} = \overline{F}_{L,d} - \overline{F}_{R,d} = -\frac{I}{b} (k_{\psi d} \dot{e}_\psi + k_{\psi p} e_\psi) \quad (15)$$

여기서, $\overline{F}_{\sigma,d}$, $\overline{F}_{\psi,d}$ 는 차량의 전진방향과 선회방향의 원하는 힘을 나타낸다.

식 (14), (15)로부터 차량 좌·우 트랙의 원하는 Net force, $\overline{F}_{L,d}$ 및 $\overline{F}_{R,d}$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\overline{F}_{L,d} = \frac{\overline{F}_{\sigma,d} + \overline{F}_{\psi,d}}{2} \quad (16)$$

$$\overline{F}_{R,d} = \frac{\overline{F}_{\sigma,d} - \overline{F}_{\psi,d}}{2} \quad (17)$$

식 (16), (17)에서 얻어진 Net force로부터 필요한 트랙의 슬립 i_d 가 구해지면, 최종적으로 원하는 트랙 스프라켓의 가속도는 다음과 같이 계산된다.

$$w_{L,d} = \frac{\dot{x} - b\dot{\psi}}{r(1 - i_{L,d})} \quad (18)$$

$$w_{R,d} = \frac{\dot{x} + b\dot{\psi}}{r(1 - i_{R,d})} \quad (19)$$

위의 과정으로부터, 차량의 경로제어를 위하여 차량동역학으로부터 원하는 Net force가 계산되어지면, 그에 대응되는 트랙의 슬립에 대한 정보가 반드시 필요함을 확인할 수 있다.

3. 실험 설비 및 주행차량 모델

3.1. 주행차량 모델(Tracked vehicle model)

본 실험을 위하여 설계·제작된 주행차량 모델은 Fig. 2와 같으며, 주요부의 치수는 Table 1에 나타내었다. 본 주행차량 모델의 대략적인 외형치수는 0.9m(길이)×0.75m(폭)×0.4m(높이)이며, 주행차량 모델의 특성과 사양은 다음과 같다.

- 후륜 구동형 무한궤도 차량
- 체인 - 스프라켓 구동
- AC-서보 모터 구동 및 PC기반 제어 시스템
- 각 모터의 공칭 동력(P_w) 및 토크(T) : 0.75kW, 48Nm
- 트랙의 최대속도(V_t) : 0.5m/s
- 공칭 무게 : 167kg

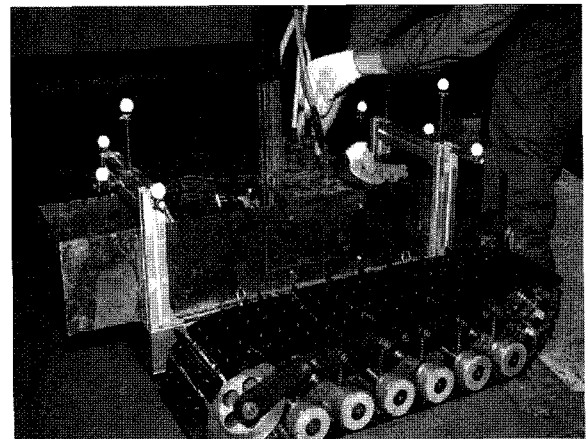


Fig. 2 Tracked vehicle model

주행 전인력을 효과적으로 얻기 위해 본 주행차량 모델은 좌·우 트랙의 바닥면에 Fig. 2에서와 같은 삼각형 형태의 그라우저를 체결하였다. 여기서, 그라우저의 높이는 5mm, 그라우저 사이의 간격은 75mm이며, 피치각은 195°이다. 그라우저 표면에 대한 지반의 부착현상(Adhesion)은 무한케도형 차량의 성능을 저하시키므로 최소화시킬 필요가 있다. Fukagawa et al.(1998)는 테프론 코팅 표면이 심해저와 같은 점착성 지반에서 부착을 감소시키는데 아주 효과적이라는 것을 발표하였고, 본 연구에서는 부착현상을 최소화하기 위해 그라우저의 표면을 50 μ m 두께의 테프론으로 코팅하였다.

3.2. 실험 토조 (Soil bin)

해저 연약지반은 بنت나이트와 물의 혼합물(이하 혼합물)을 사용하여 토조 내에서 모사되었다. Fig. 3는 제작된 토조의 사진으로 주요치수는 3.7m(폭) \times 6.0m(길이) \times 0.7m(깊이)이고, 토조 내 혼합물의 전단강도 특성에 대한 조사를 이미 수행한 바 있다(Choi et al., 2002).

본 토조의 부착설비로는 교반장치, 표면정리장치, X-Y 대차, 크레인, 전단강도 계측장치 등이 있다.

Table 1 Specification of tracked vehicle model

Items	Symbol	Value	Unit
Width of track	D	200	mm
Reference contact length	L	670	mm
Static average contact pressure	P	5.27	kPa
Distance of tracks	B	550	mm
Longitudinal center of gravity	Lcg	330	mm
Vertical center of gravity	Hcg	-22.3	mm
Diameter of idler wheel	r	147	mm
Diameter of sprocket	S	100	mm
Number of road wheel	Nrd	24	EA.
Grouser height	Hg	19	mm
Grouser span	Gp	75	mm
Grouser chevron angle	δ	195	°
Longitudinal position of Draw-bar pull	Ld	-121	mm
Vertical position draw-bar pull	Hd	47.5	mm

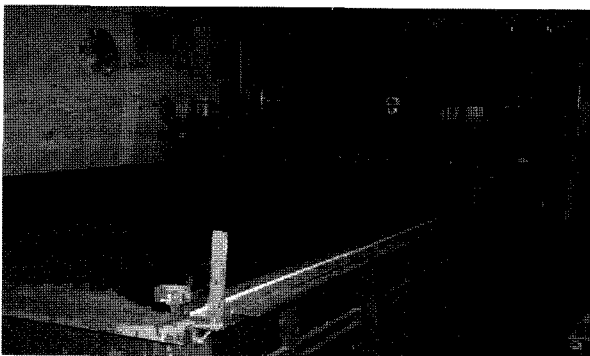


Fig. 3 Soil bin (by MOERI/KORDI)

교반장치는 혼합물의 전단강도를 일정하게 유지시키고 교반이 원만하게 이루어지도록 하며, 표면정리장치는 교반 후 고르지 못한 혼합물의 표면을 평탄화한다. X-Y대차는 교반장치와 표면정리장치를 원하는 위치로 이동시켜주는 역할을 한다. 크레인은 차량모델을 토조 내로 투입하고 회수하기 위해 설치되었다. 전단강도 계측장치는 X-Y 대차 위에 탑재되어 원하는 위치에서 혼합물의 전단강도를 계측하는데 이용된다.

혼합물의 함수비를 조정하여 토조 내 혼합물의 잔류전단강도(Residual shear stress)가 일정 값으로 유지되게 하였다. 매 실험의 수행 직전에 계측된 혼합물은 평균 최대전단강도 3.01kPa과 표준편차 0.1kPa, 평균 잔류전단강도 2.1kPa과 표준편차 0.3kPa, 최대전단강도와 잔류전단강도의 비를 나타내는 민감도는 평균값 1.38과 표준편차 0.1을 보이는 것으로 계측되었다.

혼합물의 강도는 실험역 연약지반의 잔류전단강도를 목표로 모사되었다. 실험역 지반과 같은 매우 민감한 전단강도 특성을 모사하기 위해서는 혼합물의 오랜 고화과정(Consolidation)이 필요하기 때문에, 보다 보수적인(Conservative) 연약지반 주행 성능 예측을 위하여 실험역 지반보다는 덜 민감하지만 잔류전단강도를 일치시키는 모사 방법을 채택하였다. 앞서 언급한 바와 같이 실험역 지반의 평균 민감도 2.7은 혼합물의 민감도 1.38에 비해 거의 두 배에 달한다.

4. 실험 방법 및 결과

전인력과 슬립 사이의 관계식을 유도함으로써 주행차량의 자세 제어에 활용하기 위하여, 본 장에서는 전인하중의 변화에 따라 발생하는 트랙의 슬립을 측정하는 전인력실험을 수행한다.

4.1. 실험방법

전인성능시험(Drawbar-pull test)은 Fig. 4와 같이 수행된다. 전인하중(T)은 중량물 통에 매달린 중량의 ($2T$)의 절반으로 주행차량에 수평으로 작용하게 되고, 주행차량 모델은 이 중량을 이기면서 앞으로 움직인다. 이때 발생하는 차량의 속도와 트랙의 속도는 엔코더를 통해 측정된다.

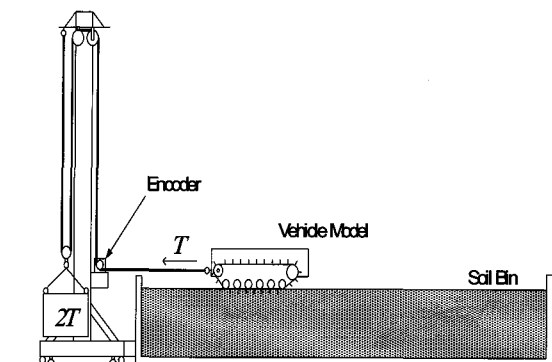


Fig. 4 Concept of drawbar-pull test

트랙과 지반 사이의 슬립을 계산하기 위하여, 차량의 속도는 Fig. 4에서의 지지대에 고정되어 있는 외부 엔코더를 통해서, 각 트랙의 회전속도는 트랙구동모터에 부착되어 있는 엔코더를 통해서 얻어진다. 또한 실험이 진행되는 동안 중량물의 흔들림을 방지하기 위하여 지지대에 가이드를 설치하였다.

Fig. 5는 견인 성능시험 준비를 마치고 출발하고 있는 주행 차량 모델의 사진을 보여준다.

4.2. 실험결과

본 연구에서는 견인하중(T)을 각각 39.2, 98, 196, 294, 392, 490, 588N으로 정하고 견인력 실험을 수행하였다. 각 견인하중(T)에 따른 좌·우 트랙의 평균 슬립은 Table 2와 같이 얻어졌다. 본 절에서는 견인하중(T)이 39.2, 392, 490N일 때, 좌·우 트랙 슬립에 대하여 5~20[sec] 동안 획득한 결과만을 대표적으로 Figs. 6~8에 나타내었다. 여기서, 긴 점선은 좌측 트랙의 슬립, 짧은 점선은 우측 트랙의 슬립 그리고 굵은 실선은 트랙의 평균 슬립을 각각 나타낸다.

Figs. 6~8의 결과로부터, 견인하중이 39.2N일 때의 평균 슬립은 0.0381로, 392N의 경우는 0.0922까지 증가였다. 특히,



Fig. 5 Photo of drawbar-pull test

견인하중이 588N일 때는 차량은 전혀 움직이지 못하고 바퀴만 계속 회전하는 즉, 슬립이 1이 되는 현상을 확인할 수 있었다.

Table 2에서 주어진 견인하중에 대한 좌·우 트랙 슬립의 평균값을 Fig. 9에서 점선으로 나타내었다. 이 결과로부터 견인력과 슬립 사이의 관계식을 유도하고자 한다.

본 연구에서는 Matlab의 polyfit라는 함수를 이용하여 견인

Table 2 Experimental results of drawbar-pull test

	39.2 [N]	98 [N]	196 [N]	294 [N]	392 [N]	490 [N]
Right track slip	0.0378	0.0409	0.0568	0.0601	0.0923	0.0752
Left track slip	0.0383	0.0407	0.0569	0.0576	0.0920	0.0751

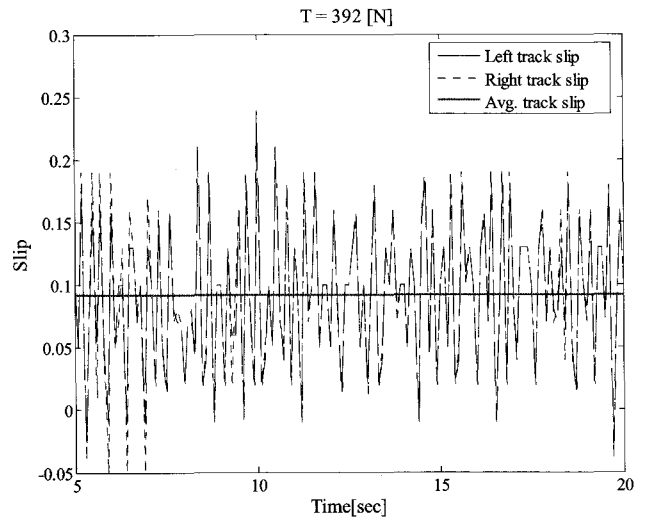


Fig. 7 Experimental result of track slip ($T = 392$ N)

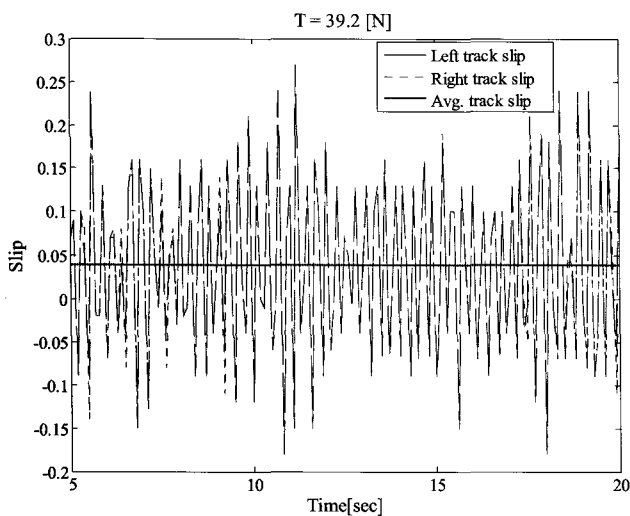


Fig. 6 Experimental result of track slip ($T = 39.2$ N)

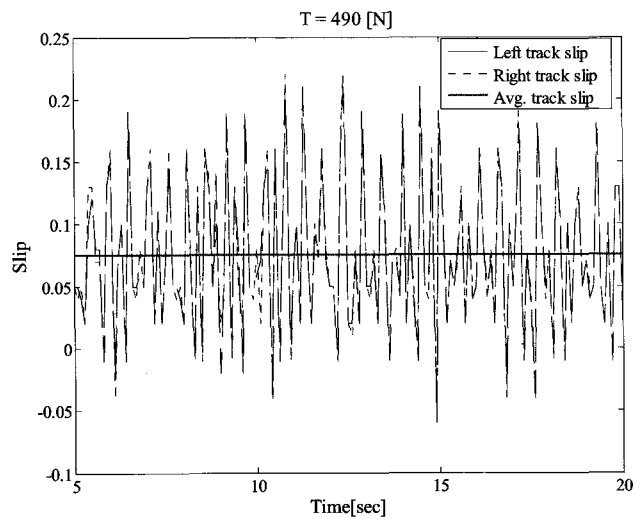


Fig. 8 Experimental result of track slip ($T = 490$ N)

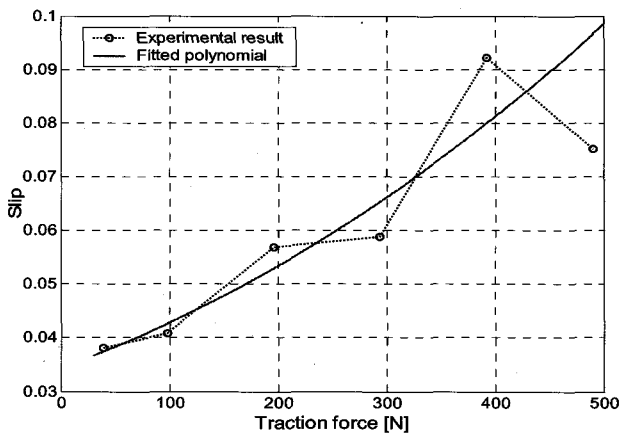


Fig. 9 Experimental result for the relation of traction force-slip

력과 슬립 사이의 관계식을 도출하였으며, 그 결과를 Fig. 9의 굵은 실선으로 나타내었다.

도출된 견인력과 슬립 사이의 관계식은 다음과 같다.

$$s = (-0.1115 F_i^2 + 72.2918 F_i + 34403.63) \times 10^{-6}$$

여기서, s 와 F_i 는 각각 슬립과 견인력을 나타낸다.

Fig. 9에서와 같이 실험값에서 비선형적 특성이 강하게 나타나기 때문에, 얻어진 관계식의 결과와는 다소 차이를 보임을 알 수 있다. 본 연구에서는 Wong(2001)에 나타난 결과를 참고로 하여 관계식을 2차로 결정하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 연약지반 무한계도형 주행차량의 경로 제어를 위한 기초적 연구로써, Ahmadi et al.(2000)에 의해 제안된 제어입력(견인력)과 슬립 사이의 관계를 실험을 통해서 얻었다. 이를 위하여 벤토나이트로 조성된 인공지반에서 무한계도형 주행차량모델을 이용하여 견인하중을 변화시키면서 그에 따라 발생하는 슬립을 측정하는 견인력 실험(Drawbar-pull test)을 수행하였다. 또한, 얻어진 실험 결과로부터 견인력과 슬립사이의 관계식을 도출하였다.

앞으로는 도출된 관계식을 차량의 경로제어에 직접 적용시키면서 그 유효성을 검증하고, 그 관계식을 보완해 나가고자 한다.

후 기

본 연구는 해양수산특정 연구과제인 "심해저 집광시스템 및

채광운용기술 개발"과제와 "친환경 갯벌차량 기술개발" 과제의 일부분으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Ahmadi, M., Polotski, V. and Hurteau, R. (2000). "Path Tracking Control of Tracked Vehicles" Proc. of the 2000 IEEE ICRA, pp 2938-2943.
- Chi, S.B., Jung H.S. and Moon J.W. (1999). "Comparison of vane-shear strength measured by different methods in deep-sea sediments from KODOS area", NE Equatorial Pacific, 'The Sea' J. Kor. Oceanogr., Vol 4, No 4, pp 390-396.
- Choi, J.S, Hong, S., Kim, H.W. and Lee, T.H. (2004). "An Experimental Study about Tractive Performance of Tracked Vehicle on Deep-sea Soft Sediment Based on Design of Experiment Using Orthogonal Array", Ocean and Polar Research, Vol 26, No 2, pp 333-339.
- Dorfler, G. (1992). "Drawbar pull of a tracked vehicle on deep sea soil", Proc. of 4th Regional North American Meeting, pp 102-110.
- Dugoff, J. and Ehrlich, I.R. (1966). "Model tests in submerged soil", Journal of Teeramechanics, Vol 3, No 4, pp 53-70.
- Fukagawa, R., Tamai T., Kobayasil T. and Matuuno, S. (1998). "Basic experiments on adhesion between clay and solid surfaces", Proc. of 5th Asia-Pacific Regional Conference, pp 73-82.
- Hong, S and Choi, J.S. (2001), "Experimental study on grouser shape effects on trafficability of extremely soft seabed", Proc. of the 4th OMS, pp 115-121.
- Muro, T. (1983). "Trafficability of tracked vehicle on super weak graoud", Memories of the faculty of Eng., Ehime University, Vol 10, No 2, pp 329-338.
- Muro, T. (1988). "Grouser effect on tractive performance of a bulldozer running on a superweak marine sdiment", Proc. of 2nd Asia-Pacific Conference, pp 355-366.
- Nuttal, C.J. (1971). "Traction limit for tracked vehicles crawling the sea bottom", Journal of Eng. Ind., Transactions of ASME, pp 717-730.
- Wong, J.Y. (2001). "Theory of Ground Vehicles", John wiley & Sons. INC.

2006년 8월 6일 원고 접수

2007년 2월 2일 최종 수정본 채택