

# 궤도차량의 다양한 노면 주행에서의 궤도장력 추정

허건수\* · 홍대건\*\* · 서문석\*\*\* · 서일성\*\*\*  
(2000년 3월 16일 접수)

## Track Tension Estimation in Tracked Vehicles on Various Road Conditions

Kunsoo Huh, Daegun Hong, Moonsuk Suh and Ilsung Suh

**Key Words :** Tracked Vehicle (궤도차량), Track Tension (궤도장력), Tension Estimation (장력추정)

### Abstract

In this paper, track tension estimation methods are developed for tracked vehicles which are subject to various maneuvering tasks such as longitudinal driving on sloping and/or rough roads. The information of the track tension is very important for the tracked vehicles because the track tension is closely related to the maneuverability and the durability of the tracked vehicles. A modified 3 DOF dynamics model is derived for the tracked vehicles and is utilized for estimating the tractive force and track tension for the longitudinal driving case. The tension estimation performance of the proposed methods is verified through the simulation of the Multi-body Dynamics tool. The simulation results demonstrate the effectiveness of the proposed method under various maneuvering tasks of the tracked vehicles.

### 1. 서론

궤도차량의 궤도장력은 다양한 주행상황에서 최적의 값이 유지되어야 한다. 포장도로에서는 마찰에 따른 동력손실을 최소화하고 차량의 최대속도를 얻을 수 있도록 최소장력으로 주행하여야 하지만 야지에서는 궤도차량의 궤도와 지면 사이의 견인력을 최대화 시키기 위하여 궤도장력이 높은 값으로 증가될 필요가 있다. 그러나 로드휠의 행정이 증가할 때 차량의 주행성이 향상되도록 엔진 동력이 증가한다면 궤도의 처짐이나 이탈이 일어날 수 있으며, 궤도차량이 갑자기 감속하거나 가속한다면 궤도주위에 높은 장력이 발생하여 궤도나 현수장치의 과도한 마모뿐 아니라 엔진동력의 낭비도 가져올 수 있다. 그러므로 다양한 주행상황에서 서로 다른 장력이 적용될 수 있도록 궤도장력 조절기는 능동적으로 제어되어야만 한다.

이러한 능동 장력조절을 위하여는 궤도장력의 온라인 실시간 정보가 필요하다. 기존의 연구에서 궤도장력 모니터링에 대한 첫번째 시도가 허건수 등<sup>(1)</sup>에 의하여 이루어 졌는데 여기서는 쉽게 측정 가능한 신호로부터 궤도장력이 온라인으로 추정되어 졌으나 단지 평지 주행의 경우에만 적용되어 졌다.

본 논문에서는 다양한 주행상황, 즉 경사면 주행, 횡경사면 주행, 험지 주행, 범프 통과 등에서 궤도장력을 추정할 수 있는 방법이 개발되었다. 노면조건을 고려하기 위하여 궤도차량의 수정된 동적 모델이 유도되었고 차량의 롤각과 피치각은 측정 가능하다고 가정하였다. 이 모델을 바탕으로 확장된 칼만필터(Extended Kalman Filter)를 사용하여 직진방향의 궤도와 지면사이의 상호작용에 의해 발생하는 견인력이 온라인으로 추정되었다. 스프로킷 주위의 궤도장력은 이러한 추정된 견인력으로부터 얻어질 수 있으며 아이들러 주위의 궤도장력은 아이들러 어셈블리의 모델식과 측정되어지는 궤도장력 조절기의 압력으로부터 계산되어 질 수 있다.

제안된 추정방법의 추정성능은 궤도차량의 상

\* 회원, 한양대학교 기계공학부  
E-mail : khuh2@email.hanyang.ac.kr  
TEL : (02)2290-0437 FAX : (02)2290-4584  
\*\* 한양대학교 대학원  
\*\*\* 국방과학연구소

세 시뮬레이션 톨로부터 얻어진 장력값과 비교하였으며 이 시뮬레이션 톨은 약 1000 자유도를 가진 다물체 동역학으로 구성되어 있다.<sup>(4)</sup>

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 궤도 경로에 따른 궤도장력의 흐름을 설명하였으며, 3 장에서는 아이들러 주위의 궤도장력을 계산하였고 4 장에서는 스프로킷 주위의 궤도장력을 추정하였다. 그리고 5 장에서는 추정된 궤도장력을 다물체 동역학 시뮬레이션 톨로부터 얻어진 실제 장력과 비교하였으며 마지막 6 장에서 결론을 맺었다.

### 2. 궤도장력의 흐름

궤도장력은 가속, 감속, 험지주행 등과 같은 다양한 주행뿐 아니라 궤도 경로에 따른 위치에 따라 갑자기 변화할 수 있다. Fig. 1 은 크게 세부분(아이들러 주위, 스프로킷 주위, 로드휠 주위)으로 분류되어질 수 있는 11 개의 위치에서의 궤도장력의 흐름을 나타낸다.

첫번째 부분에 대한 궤도장력의 동적 관계에서 아이들러의 관성에 의한 영향은 일반적인 궤도장력과 비교하여 매우 작다(<5%). 따라서 다음과 같이 가정할 수 있다.

$$T_{l_{j1}} \approx T_{l_{j2}} \tag{1}$$

여기서 첨자 j 는 각각 오른쪽(j=r)과 왼쪽(j=l) 궤도를 의미한다. 두번째 부분에서도 같은 가정이 성립되나 스프로킷의 토크는 고려되어야 한다.

$$T_{S_{j2}} = T_{S_{j1}} + \frac{M_{S_j}}{r_s} \tag{2}$$

여기서 Ms 와 rs 는 각각 스프로킷 토크와 스프로킷의 반지름을 의미한다.

세번째 부분은 로드휠 사이의 궤도장력의 관계를 나타내며 궤도차량이 단단한 지면을 주행하는 경우에 다음의 관계가 모멘트 평형으로부터 유도될 수 있다:

$$\frac{I_r \dot{\omega}_{r_{ji}}}{r_r} = T_{r_{ji}} - T_{r_{j+1}} + F_{ji} \tag{3}$$

Fig. 1 에서 각각의 부분들 사이의 경계값들은 궤도장력 모니터링의 문제를 상당히 단순화시킬 수 있는 상호관계를 제시한다. 첫째로  $T_{l_{j2}} = T_{r_{j1}}$  와 같다고 가정할 수 있다. 왜냐하면 아이들러와

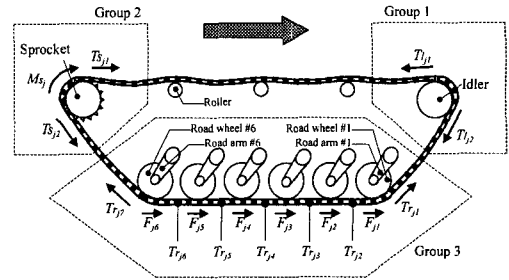


Fig. 1 Track tension flow along the track path

첫번째 로드휠 사이의 궤도질량에 의한 영향은 일반적인 궤도장력의 크기와 비교해 볼 때 1% 미만으로 무시할 수 있기 때문이다. 같은 가정이  $T_{S_{j2}}$  와  $T_{r_{j7}}$  사이에도 적용될 수 있다. 두번째로 아이들러와 스프로킷 사이의 궤도장력은 변하지 않는다고 가정할 수 있다. 왜냐하면 그 사이에서의 궤도장력은 궤도의 질량과 롤러와 궤도 사이의 마찰 그리고 움직이는 궤도의 거동에 의해 거의 변하지 않기 때문이다. 이러한 영향은 다물체 동역학 모델을 사용하여 궤도장력의 일반적인 크기와 비교를 통해 5% 미만으로 무시할 수 있음을 확인하였다.

$$\begin{aligned} T_{l_{j2}} &\approx T_{r_{j1}} \\ T_{S_{j2}} &\approx T_{r_{j7}} \\ T_{l_{j1}} &\approx T_{S_{j1}} \end{aligned} \tag{4}$$

### 3. 아이들러 주위의 궤도장력 추정

아이들러는 궤도장력 조절기를 지지하고 있으며 궤도장력을 유지하기 위하여 스프로킷과 로드휠로부터 궤도를 유도한다. 아이들러와 아이들러암 그리고 궤도장력조절기의 기하학적 형상은 Fig. 2 에 나타난 것과 같다. 아이들러 주위의 궤도장력을 계산하기 위하여 허건수 등<sup>(3)</sup> 은 아이들러와 아이들러암 그리고 궤도장력조절기의 기하학적 관계에 기초하여 동적 모델식을 유도하였다. 그리고 식 (1)과 아이들러 어셈블리의 동적모델을 바탕으로 아이들러 주위의 궤도장력은 계산되어질 수 있다. 아래 식 (5)의 상세 유도는 허건수 등<sup>(3)</sup> 에서 주어졌다.

$$\begin{aligned} \hat{T}_{l_{j1}} &\approx \hat{T}_{l_{j2}} \\ &\approx \frac{F_{r_{j3}} l_3 \cos(\theta_j + \theta_{a_j} + \theta_{e_j}) - m_{iag} l_G \sin \theta_{a_j} + F_{c_j} - m_g \sin \theta_{a_j}}{l_1 \cos(\theta_{a_j} - \theta_{s_j}) + \sin(\theta_{a_j} + \theta_{r_j})} \end{aligned} \tag{5}$$

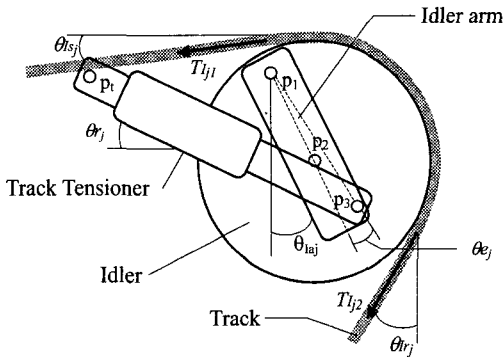


Fig. 2 Geometry of the idler and the track tensioner

여기서  $\theta_{sj}$  는 아이들러 위쪽에서 궤도의 접촉각이며  $\theta_{rj}$  는 아이들러 아래쪽에서 궤도의 접촉각이다.  $\theta_{ia}$  는 아이들러 암 각도이며  $\theta_{rj}$  는 궤도장력 조절기의 각도이다.  $l_1$  은 핀 1( $p_1$ )과 핀 2( $p_2$ ) 사이의 거리이고,  $l_3$  는 핀 1( $p_1$ )과 핀 3( $p_3$ )사이의 거리이며  $l_G$  는 핀 1( $p_1$ )과 아이들러 암의 무게중심까지의 거리이다.  $\theta_{rj}$  는 궤도장력 조절기의 각도이고  $\theta_{ej}$  는 핀 3( $p_3$ )의 편심 각도이다.  $m_i$  는 아이들러의 질량이며  $m_{ia}$  는 아이들러 암의 질량이다.  $F_{rj}$  와  $F_{cj}$  는 궤도장력 조절기에서의 액추에이터 힘과 아이들러 주위를 감싸는 궤도의 원심력을 나타낸다.  $F_{rj}$  와  $F_{cj}$  는 궤도장력 조절기에서의 액추에이터 힘과 아이들러 주위를 감싸는 궤도의 원심력을 나타내고,  $\theta_{aj}$ ,  $\theta_{sj}$  와  $\theta_{rj}$  는 아이들러 어셈블리의 기하학적 관계로부터 계산되어질 수 있으며 첨자  $j$  는 각각 궤도의 오른쪽과 왼쪽을 표시한다. 궤도장력 조절기의 관성항과 아이들러의 관성항에 의한 영향은 일반적인 궤도장력의 크기에 비해 매우 작기 때문에 무시할 수 있다. 위 장력 추정식은 궤도차량의 어떠한 주행조건에서도 사용되어질 수 있다. 왜냐하면 위 식이 노면의 형상에 대하여 어떠한 가정도 없이 유도되었기 때문이다. 아이들러 주위의 궤도장력은 궤도장력 조절기의 압력과 길이 그리고 로드암 #1 의 각도의 측정에 의하여 계산되어 진다.

4. 스프로킷 주위의 궤도장력 추정

스프로킷 주위의 궤도장력은 엔진맵과 트랜스미션의 비로부터 실시간으로 스프로킷 토크의 정보를 얻지 못한다면 다양한 주행조건에서 구해될 수 없다. 대신 3 장에서 추정된 아이들러 주위의 궤도장력에 기초하여 스프로킷 주위의 궤도장력은 궤도차량의 동역학과 추정 알고리즘을 사용하여 얻을 수 있다. 평면에서 직진주행 하는 경우 이미

허건수 등<sup>(3)</sup> 에 의하여 고려되었다. 그러나 궤도차량이 경사면이나 협지를 주행하는 경우 피칭운동과 롤링운동에 의한 궤도차량의 하중이동이 고려되어야만 한다. 이러한 하중이동은 궤도에 작용하는 수직응력과 전단응력에 영향을 미치며 따라서 궤도와 지면사이의 직진방향의 견인력에 영향을 준다. 본 논문에서는 로드휠들의 관성효과가 매우 작으므로 식 (3)과 식 (4)의 조합을 통하여 스프로킷 주위의 궤도장력의 추정 방법을 제안하고 있다.

$$\hat{T}_{S_{j2}} = \hat{T}_{j2} + \sum_{i=1}^6 \hat{F}_{ji} \tag{6}$$

궤도차량의 견인력은 직진방향, 횡방향 그리고 요우잉 방향의 운동에 대한 3 자유도 모델로부터 추정될 수 있다. Fig. 3 은 궤도차량이 경사각  $\beta$ 의 경사면을 방향각  $\zeta$ 로 주행할 때를 도식적으로 보여준다. 여기서 궤도차량의 하중은 경사면에 수직방향과 수평방향으로 분해될 수 있다. 또다시 수평방향은 궤도차량의 직진방향과 횡방향으로 나뉘어 질 수 있으며 그 관계는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} W_{Tx} &= W_T \cos \zeta = Mg \sin \beta \cos \zeta \\ W_{Ty} &= W_T \sin \zeta = Mg \sin \beta \sin \zeta \end{aligned} \tag{7}$$

그런데 여기서,  $\beta$ 와  $\zeta$ 는 주행하는 궤도차량의 관점에서 쉽게 측정되어질 수 없는 변수들이다. 그러나 Fig. 4 에 나타낸 것처럼  $\beta$ 와  $\zeta$ 각들은 차이와 같은 센서를 사용하여 측정할 수 있는 차량의 피치각과 롤각과의 기하학적 관계를 통하여 아래 식과 같이 대체될 수 있다.

$$\begin{aligned} \sin \theta &= \cos \zeta \cdot \sin \beta \\ \sin \phi &= \sin \zeta \cdot \sin \beta \\ \cos \beta &= \sqrt{1 - \sin^2 \theta - \sin^2 \phi} \end{aligned} \tag{8}$$

궤도와 지면 사이의 직진방향, 횡방향, 수직방향의 힘들은 Fig. 5 에서와 같이 로드휠 아래에서의 집중력으로 간략화 될 수 있다. 식 (7)과 식 (8)을 토대로 중량분포와 하중이동에 따른 수직방향 힘 변화를 고려하여 유도된 3 자유도 운동방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} M(\dot{v}_x - rv_y) &= \sum_{i=1}^6 (F_{li} + F_{ri}) - \sigma \sum_{i=1}^6 (N_{li} + N_{ri}) - Mg \sin \theta \\ M(\dot{v}_y + rv_x) &= \sum_{i=1}^6 (Q_{li} + Q_{ri}) + Mg \sin \phi \\ I_z \dot{r} &= \sum_{i=1}^6 x_i (Q_{li} + Q_{ri}) + \frac{B}{2} \sum_{i=1}^6 (F_{ri} - F_{li}) - \frac{B}{2} \sigma \sum_{i=1}^6 (N_{ri} - N_{li}) \end{aligned} \tag{9}$$

여기서 궤도에서의 수직반력은 다음과 같이 표현 된다.

$$N_u = Mg \left[ \frac{1}{2} \sqrt{1 - \sin^2 \theta - \sin^2 \phi} - \frac{H}{MgB} (F_{Cx} - Mg \sin \phi) - \frac{6Hx_i}{MgL^2} (F_{Cx} + Mg \sin \theta) \right] \quad (10)$$

$$N_l = Mg \left[ \frac{1}{2} \sqrt{1 - \sin^2 \theta - \sin^2 \phi} + \frac{H}{MgB} (F_{Cy} - Mg \sin \phi) - \frac{6Hx_i}{MgL^2} (F_{Cy} + Mg \sin \theta) \right]$$

여기서  $F_{Cx}$  와  $F_{Cy}$  는 각각  $x$  와  $y$  방향의 관성력이며,  $H$  는 궤도차량의 무게중심의 높이,  $g$  는 중력가속도, 그리고  $x_i$  는 무게중심과  $i^{\text{th}}$  궤도요소 사이의 길이방향의 거리를 나타낸다.

궤도차량의 직진방향과 횡방향의 힘들은 궤도의 슬립과 지면의 특성 그리고 수직응력의 함수로 표현될 수 있다.<sup>(5)</sup> 그러나 이 형태의 식은 너무 복잡하여 추정식으로 사용되어질 수는 없다. 본 연구에서는 다음과 같이 간략화된 식을 제안한다.

$$F_{ji} = A_{ji} (\eta_{j1} + N_{ji} \eta_{j2}) \cos \gamma_{ji} \quad (11)$$

$$Q_{ji} = A_{ji} (\eta_{j1} + N_{ji} \eta_{j2}) \sin \gamma_{ji} \quad (12)$$

여기서  $\eta_{j1}$  와  $\eta_{j2}$  는 궤도와 지면 사이의 상호작용을 나타내는 모르는 변수들이며  $\gamma_{ji}$  는  $j$  궤도 ( $j=r(\text{right})$  or  $l(\text{left})$ )의  $i$  번째 요소에서의 궤도 슬립각을 나타낸다.

식 (9)부터 식 (12)까지의 궤도차량 모델식에 근거하여 모르는 변수인  $\eta_{ji}$  를 추정하기 위하여 확장된 칼만필터(Grewal and Andrews, 1993)가 설계되었다. 식 (9)부터 식 (12)까지의 식들과  $\eta_{ji}$  를 상태 변수로 추가하여 확장 시키고 이산화 하였다.

$$x_{A,k} = \begin{bmatrix} x_k \\ \eta_{ji}^k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(x_{k-1}, u_{k-1}, k-1) \\ \eta_{ji}^{k-1} \end{bmatrix} + w_k \quad (13)$$

$$y_k = h(x_{A,k}, u_k, k) + v_k$$

$$x_{A,k} = [v_x \quad v_y \quad r \quad \eta_{l1} \quad \eta_{l2} \quad \eta_{r1} \quad \eta_{r2}]^T$$

$$y_k = [v_x \quad a_x \quad v_y \quad a_y \quad r \quad \theta \quad \phi]^T$$

여기서  $\eta_{ji}$  는 상수로 가정하였다.  $w_k \sim N(0, Q_k)$  와  $v_k \sim N(0, R_k)$  는 각각 플랜트 모델의 외란과 센서 노이즈를 나타낸다.  $\hat{\eta}_{ji}$  를 추정하기 위하여 확장

된 칼만필터 알고리즘이 적용되었으며 이를 통하여 스프로킷 주위의 궤도장력은 식 (1), 식 (4), 식 (6) 그리고 식 (11)을 사용하여 표현될 수 있다.

$$\hat{T}S_{j1} \approx \hat{T}I_{j1} \quad (14)$$

$$\hat{T}S_{j2} = \hat{T}I_{j1} + \sum_{i=1}^6 A_{ji} (\hat{\eta}_{j1} + N_{ji} \hat{\eta}_{j2}) \cos \gamma_{ji}$$

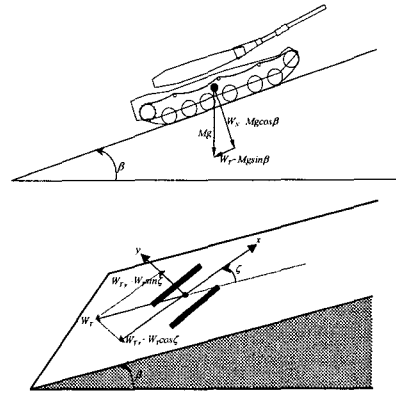


Fig. 3 Tracked vehicle driving on a sloping terrain

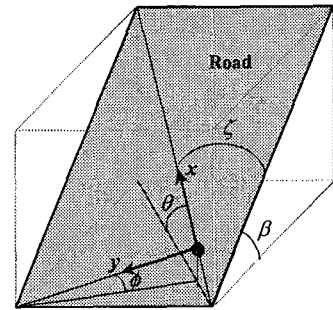


Fig. 4 Geometrical relation among the angles

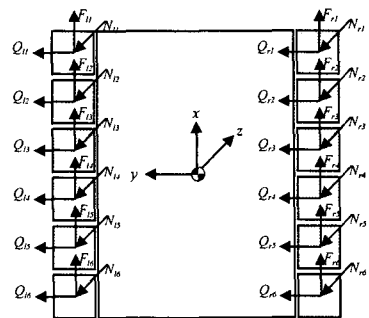


Fig. 5 Force diagram on a tracked vehicle

### 5. 시뮬레이션

제안된 방법에 근거한 궤도장력의 추정 결과는 다물체 동역학 시뮬레이션 툴,<sup>(4)</sup>로부터 얻어진 장력값과 비교를 통하여 검증하였다. 다물체 동역학 시뮬레이션 툴은 954 자유도의 궤도차량 모델에 기초하고 있으며 189 개의 바다와 36 개의 회전 조인트 그리고 152 개의 부싱 요소로 구성되어 있다. 다물체 동역학 시뮬레이션 툴의 상세한 설명은 본 논문의 범위를 벗어나므로 생략한다. 이러한 다물체 동역학 시뮬레이션 툴을 사용하여 경사면, 횡경사면, Profile IV 에서의 주행 그리고 범프 통과의 다양한 주행상황에 대하여 실제 궤도장력값을 얻었다.

#### Task 1 : 종경사면 주행

궤도차량은 Fig. 6 에서와 같은 종경사면에서 10 초동안 정지상태에서 약 10km/h 까지 가속을하고 그 후 등속주행 하였다. 아이들러 주위의 궤도장력은 식 (5)를 사용하여 계산되었으며 Fig. 7 에 실제값과 비교 하였다. 스프로킷 주위의 궤도장력은 식 (14)를 사용하였으며 Fig. 8 에 실제값과 비교하였다. 두 부분 모두에서 추정결과는 실제값과 잘 일치함을 볼 수 있다. 특히 스프로킷 주위의 궤도장력은 4 절에서 설명한 하중이동의 고려를 통하여 정확하게 추정됨을 보이고 있다.

#### Task 2 : 험지 주행

단단하고 거친 노면을 가진 험지에서 궤도장력을 추정하였다. 본 연구에서 사용된 험지노면인 Profile IV 노면은 Fig. 9 와 같이 다양한 크기와 형태의 범프로 구성되어 있다. 시뮬레이션 조건은 10 초동안 정지상태에서 약 20km/h 까지 가속을하고 그 후 10 초동안 등속주행 하였다. 식 (5)와 식 (14)로부터 아이들러 주위와 스프로킷 주위의 궤도장력을 추정하였고 각각 Fig. 10 과 Fig. 11 에 실제값과 비교하였다. 추정결과는 궤도차량의 범프에 의한 충격의 영향으로 발생하는 궤도장력의 변화를 잘 추중함을 볼 수 있다.

#### Task 3 : 횡경사면 주행

궤도차량이 횡경사면을 주행할 때 궤도장력을 추정하였다. 본 논문에서 사용된 노면은 Fig. 12 와 같이 최대 경사각 18°의 종경사면과 최대 경사각 30°의 횡경사면으로 구성되어 있다. 궤도차량은 정지상태에서 약 20km/h 가 될 때까지 10 초간 가속하며 그 후 등속주행 하였다. 아이들러와 스프로킷 주위의 궤도장력은 식 (5)와 식 (14)를 사용하여 추정하였다. 추정성능은 Fig. 13 과 Fig. 14 에

서 나타낸 것처럼 실제값과 꽤 잘 일치하였다.

#### Task4 : 범프 통과

궤도차량이 범프를 통과할 때의 궤도장력을 추정하였다. 본 논문에서 사용된 범프는 Fig. 15 와 같이 반지름 0.2m 의 반원형 범프로써 좌우 궤도에 같은 노면입력이 되는 대칭 범프이며 속도 입력은 20km/h 의 등속 주행이다. 식 (5)와 식 (14)를 바탕으로 아이들러와 스프로킷 주위의 궤도장력을 추정하였으며, 추정성능은 Fig. 16 과 Fig. 17 에 나타낸 것처럼 우수하였다.

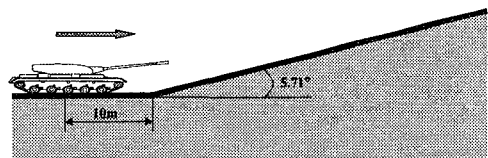


Fig. 6 Sloping road

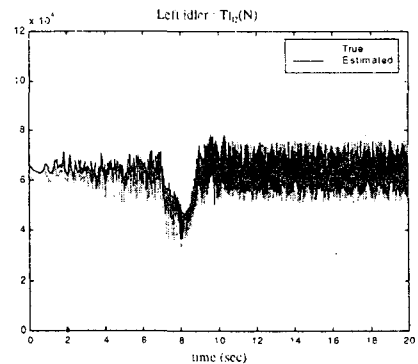


Fig. 7 T<sub>l2</sub> estimation for the task 1

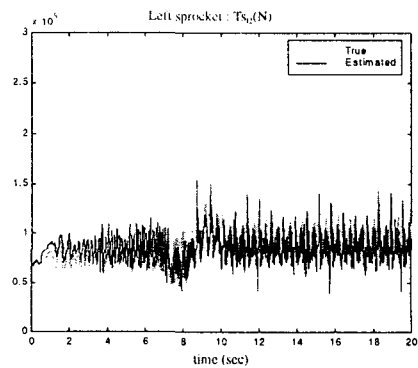


Fig. 8 T<sub>s2</sub> estimation for the task 1

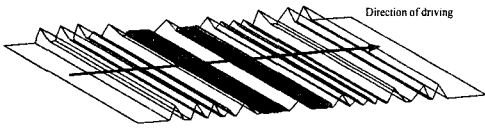


Fig. 9 Rough road profile (Profile IV)

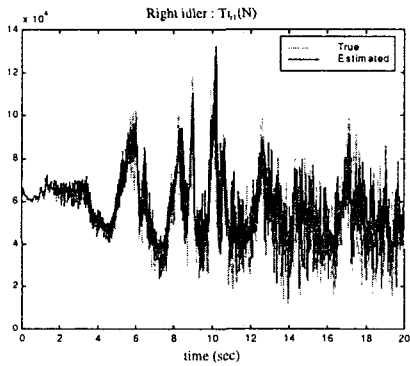


Fig. 10  $T_{I1}$  estimation for the task 2

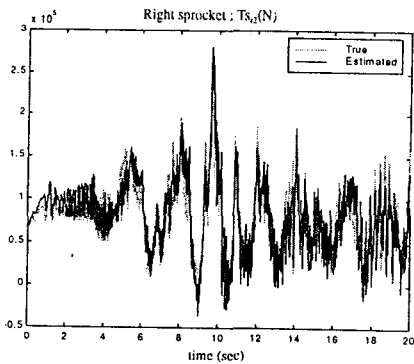


Fig. 11  $T_{S2}$  estimation for the task 2

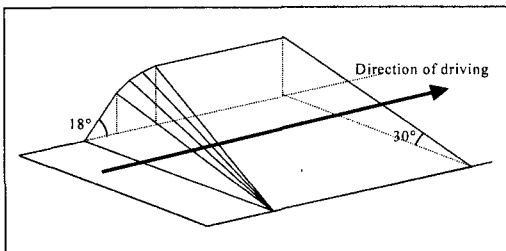


Fig. 12 Slope used in simulation

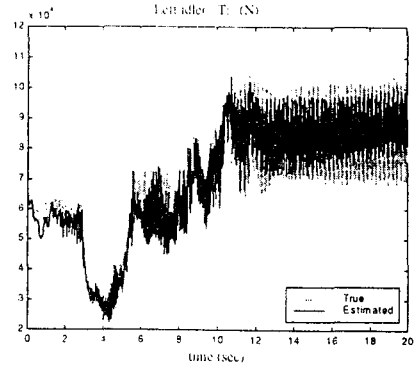


Fig. 13  $T_{I1}$  estimation for the task 4

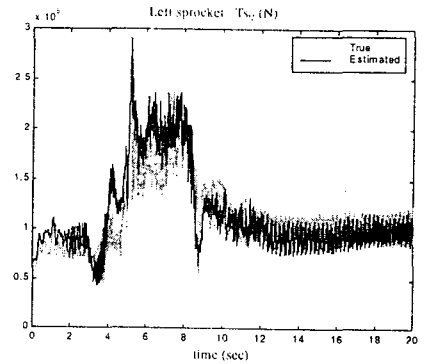


Fig. 14  $T_{S2}$  estimation for the task 4

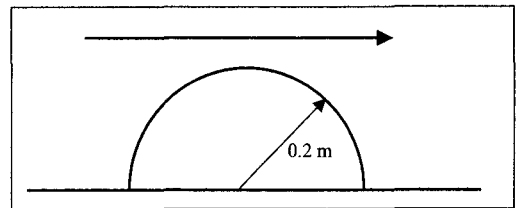


Fig. 15 Bump used in simulation

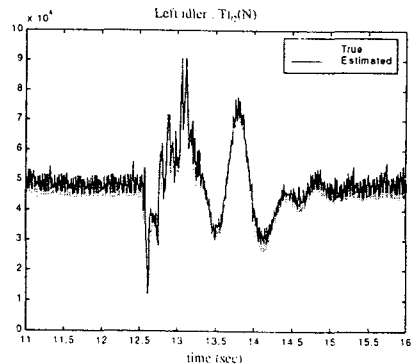


Fig. 16  $T_{I2}$  estimation for the task 4

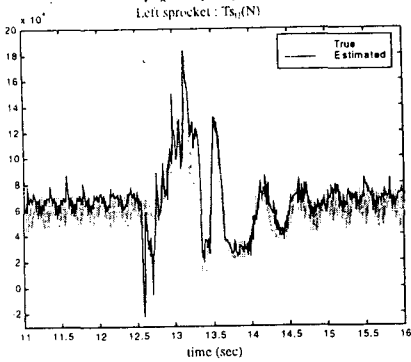


Fig. 17  $T_{s12}$  estimation for the task 4

### 6. 결론

다양한 노면 주행에서 궤도차량의 궤도장력을 추정하는 방법을 개발하였다. 이를 위하여 경사면이 고려된 궤도차량의 동적 모델이 유도되었고 궤도장력을 추정하기 위하여 확장된 칼만필터가 설계되어 궤도와 지면 사이의 상호작용으로 발생하는 견인력을 추정하였다. 이를 바탕으로 중경사면, Profile IV 횡경사면에서의 주행 그리고 범프 통과에서 스프로킷 주위의 궤도장력을 추정하고 검증하였다. 아이들러 주위의 궤도장력은 노면조건이나 상태등의 여러가지 주행조건에 관계없이 추정

할 수 있음을 보였다. 추정성능의 검증을 위하여 궤도차량의 운동변수와 궤도장력의 실제값들은 다물체 동역학 모델을 사용하였다. 시뮬레이션 결과는 제안된 궤도장력 추정 방법이 다양한 주행상황에서 적용될수 있음을 보여주었고 그 성능도 실제값과 잘 일치함을 보여주었다.

### 참고문헌

- (1) Baladi, G.Y. and Rohani, B., 1979, "A Terrain-Vehicle Interaction Model for Analysis of Steering Performance of Track-Laying Vehicles," *Technical Report GL-79-6*, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station.
- (2) Grewal, M.S. and Andrews, A.P., 1993, *Kalman Filtering Theory and Practice*, Chapter 5, Prentice Hall.
- (3) 허건수, 조병희, 서문석, 서일성, 박동창, 2000, "궤도차량의 직진주행시 궤도장력 감지," 대한기계학회 논문집, 대한기계학회 논문집 A, 제 24 권 제 6 호, pp. 1608~1615.
- (4) Ryu, H.S., Bae, D.S., Choi, J.H. and Shabana, A., 1999, "A Compliant Tank Link Model for High-Speed, High-Mobility Tracked Vehicle," *International Journal for Numerical Methods in Engineering* (accepted for publication).
- (5) Wong, J.Y., 1993, *Theory of Ground Vehicles*, 2nd ed., John Wiley & Sons.