

궤도차량의 조향시 궤도장력 추정

허건수*, 김정탁**, 서문석***, 박동창***

Track Tension Estimation in Tracked Vehicles under Steering

Kunsoo Huh*, Jungtak Kim**, Moonsuk Suh***, Dongchang Park***

ABSTRACT

In this paper, track tension estimation methods are developed for tracked vehicles which are subject to various maneuvering tasks such as turning and pivoting on flat road. 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. Kinetic models for the six road-wheels are obtained and used for calculating the track tension around the sprocket. This method does not require the tuning of the turning resistance, which makes it difficult to estimate the track tension in turning. 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 steering and pivoting of the tracked vehicles.

Key Words : Tracked vehicle (궤도차량), Track tension (궤도장력), Tension estimation (장력추정), Steering (조향)

1. 서론

궤도차량이 조향이나 피보팅을 할 때 궤도장력은 궤도의 위치에 따라 급격히 증가하거나 급격히 감소하는 양상을 나타낸다. 궤도장력이 급격히 감소하는 부분에서는 궤도의 처짐이나 이탈을 야기할 수 있고, 또 궤도장력이 급격히 증가하는 부분에서는 궤도와 현수장치의 과도한 마모나 엔진 동력의 낭비를 가져올 수 있다. 따라서 궤도차량의 조향시에 급격한 궤도장력의 변화를 줄이고 적절한 궤도장력을 유지시켜 주는 능동형 장력조절기가 필요하다. 능동형 장력조절기의 이러한 당위성과 유용성에 비해 가혹한 주행 환경에서 궤도장력에 대한 온라인 실시간 정보를 얻기 힘들기 때

문에 이의 개발은 매우 더딘 형편이다. 즉, 궤도차량 내에서 얻을 수 있는 정보만을 이용하여 실시간으로 궤도장력을 추정해야 하며 따라서 지면의 종류나 형상, 궤도와 노면의 접촉 등을 고려할 수 없다. 궤도장력 모니터링에 대한 첫번째 시도는 Huh et al.⁽⁴⁾(1999)에 의하여 이루어 졌는데 여기서는 쉽게 측정 가능한 신호로부터 궤도장력이 온라인으로 추정되어졌다. 여기서의 추정방법은 직진 주행의 경우에는 좋은 성능을 보였으나 단지 평지의 경우에만 적용되어 졌고, 조향의 경우에는 조향저항 모델에 대한 튜닝된 실험식이 없는 한 불가능하였다.

본 논문에서는 궤도차량의 조향시에 궤도장력을 추정할 수 있는 방법을 제안하였다. 이를 위하

* 한양대학교 기계공학부

** 만도기계

*** 국방과학연구소

여 6 개의 로드휠 어셈블리의 동적 모델이 각각 유도되었고 이렇게 모델링된 식을 바탕으로 조향 주행의 경우 조향저항의 고려없이 궤도장력이 추정할 있는 새로운 방법을 개발하였다. 아이들러 주위의 궤도장력은 아이들러 어셈블리의 모델식과 측정되어지는 궤도장력 조절기의 압력으로부터 계산되어 질 수 있으며, 스프로킷 주위의 궤도장력은 지면으로부터의 반력과 로드휠 힌지에서의 반력 그리고 로드휠 주위의 궤도장력에 대한 함수로 표현되어질 수 있다. 각 로드휠 아래에서의 반력은 로드휠 어셈블리의 모델식과 현수장치의 특성으로부터 계산되어질 수 있다.

제안된 추정방법의 추정성능은 궤도차량의 상세 시뮬레이션 툴로부터 얻어진 장력값과 비교하였으며 이 시뮬레이션 툴은 약 1000 자유도를 가진 다물체 동력학으로 구성되어 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 궤도장력의 상관관계를 밝히고 3 장에서는 로드휠 어셈블리의 동적 모델을 유도하였으며, 4 장에서는 궤도차량의 조향시 아이들러 주위와 스프로킷 주위의 궤도장력을 추정하였다. 그리고 5 장에서는 추정된 궤도장력을 다물체 동력학 시뮬레이션 툴로부터 얻어진 실제 장력과 비교하였으며 마지막 6 장에서 결론을 맺었다.

2. 궤도장력의 상관관계

Fig. 1 은 궤도경로에 따른 궤도장력을 나타낸 그림이다. 아이들러와 스프로킷의 관성에 의한 궤도장력에 대한 영향은 일반적인 궤도장력과 비교하여 매우 작기 때문에 무시하면 아이들러 주위와 스프로킷 주위에서의 궤도장력들 사이의 상관관계는 다음의 식으로 표시될 수 있다.

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

$$T_{s_{j2}} = T_{s_{j1}} + \frac{M_s j}{r_s} \tag{1}$$

여기서 첨자 j 는 각각 오른쪽($j=r$)과 왼쪽($j=l$) 궤도를 의미하며 M_s 는 스프로킷 토크 r_s 는 스프로킷 반지름을 의미한다. 그룹 3 에서는 로드휠 사이의 궤도장력의 관계를 나타내며 궤도차량이 단단한 지면을 주행하는 경우에 다음의 관계가 모멘트 평형으로부터 유도될 수 있다.

$$I_r \dot{\omega}_{r_{ji}} / r_r = T_{r_{ji}} - T_{r_{j+1}} + F_{ji} \tag{2}$$

여기서 I_r 는 로드휠의 관성, r_r 는 로드휠 반지름, $\omega_{r_{ji}}$ 는 i -th 로드휠의 각속도 그리고 F_{ji} 는 i -th 로드휠 아래에서의 견인력을 나타낸다. Fig. 1 에서 각각의 부분들 사이의 경계값들은 궤도장력 모니터링의 문제를 상당히 단순화시킬 수 있는 상호관계를 제시한다. 첫째로 $T_{l_{j2}}$ 는 $T_{r_{j1}}$ 와 같다고 가정할 수 있다. 왜냐하면 아이들러와 첫번째 로드휠 사이의 궤도질량에 의한 영향은 일반적인 궤도장력의 크기와 비교해 볼 때 1% 미만으로 무시할 수 있기 때문이다. 같은 가정이 $T_{s_{j2}}$ 와 $T_{r_{j1}}$ 사이에도 적용될 수 있다. 두번째로 아이들러와 스프로킷 사이의 궤도장력은 변하지 않는다고 가정할 수 있다. 왜냐하면 그 사이에서의 궤도장력은 궤도의 질량과 롤러와 궤도사이의 마찰 그리고 움직이는 궤도의 거동에 의해 거의 변하지 않기 때문이다. 이러한 영향은 다물체 동력학 모델을 사용하여 궤도장력의 일반적인 크기와 비교를 통해 5% 미만으로 무시할 수 있음을 확인하였다.

$$T_{l_{j2}} \approx T_{r_{j1}} \tag{3}$$

$$T_{s_{j2}} \approx T_{r_{j7}} \tag{3}$$

$$T_{l_{j1}} \approx T_{s_{j1}} \tag{3}$$

스프로킷 주위의 궤도장력은 로드휠의 회전 관성항을 무시할 수 있다고 가정하면 식 (1)과 식 (2)의 조합을 통하여 견인력을 스프로킷 주위의 궤도장력과 아이들러 주위의 궤도장력의 차이로 궤도차량의 견인력을 구할 수 있다.

$$\sum_{i=1}^6 F_{ji} = T_{s_{j2}} - T_{l_{j2}} \tag{4}$$

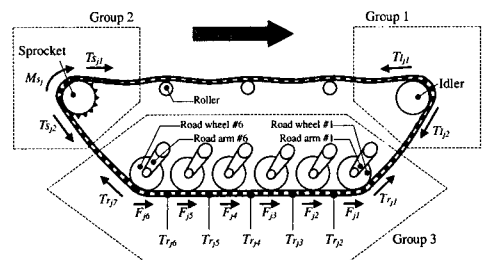


Fig. 1 Track tension flow along the track path

3. 로드휠 어셈블리의 모델링

로드휠 어셈블리는 Fig. 1 에서 보듯이 로드휠과 로드암으로 구성되어있다. 로드암은 현수장치에 연결되어 있는데 그 중 #1, #5 그리고 #6 로드암은 큰 장애물을 통과할 때 피칭운동을 감소시키고 차량 속도를 줄이기 위하여 유압 현수장치에 연결되어있고 나머지 #2, #3 그리고 #4 로드암은 차체에 고정되어있는 토션바에 연결되어 있다. 이러한 현수장치로부터 작용되는 토크는 로드암의 각도와 각속도의 측정에 의해 구해질 수 있다고 가정하였다. 본 장에서는 로드암과 로드휠의 동적 모델을 유도하였으며 스포코트 주위의 궤도장력을 추정하는데 사용되어질 것이다.

3.1 로드암 모델링

Fig. 2 는 로드암의 자유물체도를 나타내며, 여기서 $M_{r_{ji}}$ 는 i 번째 현수장치에서 생성된 로드암 토크이고, $\theta_{a_{ji}}$ 는 로드암 각도, 그리고 m_{a_i} 는 i 번째 로드암의 질량이다. 로드암 질량에 의한 관성의 영향은 궤도차량이 주행중에 외력에 대한 관성력의 크기가 매우 작기 때문에 무시할 수 있다.

$$M_{r_{ji}} - R_{aw_{yi}} l_{a_i} \cos \theta_{a_{ji}} + R_{aw_{xi}} l_{a_i} \sin \theta_{a_{ji}} = 0 \quad (5)$$

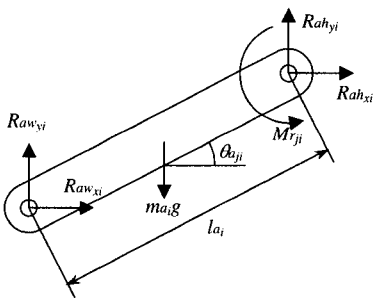


Fig. 2 Free body diagram of the roadarm

3.2 로드휠 모델링

로드휠 #1

Fig. 3 은 로드휠 #1의 자유물체도이며, 여기서 $T_{r_{j1}}$ 와 $T_{r_{j2}}$ 는 로드휠 #1 주위의 궤도장력을 표시하고, N_{j1} 는 궤도와 지면사이의 수직반력을 나타낸다.

$$\begin{aligned} m_r \ddot{x}_{r_{j1}} &= T_{r_{j1}} \cos \theta_{r_j} - T_{r_{j2}} + F_{j1} - R_{aw_{x1}} \\ m_r \ddot{y}_{r_{j1}} &= T_{r_{j1}} \sin \theta_{r_j} + N_{j1} - R_{aw_{y1}} - m_r g \\ l_r \dot{\omega}_{r_{j1}} &= r_r (T_{r_{j1}} - T_{r_{j2}} + F_{j1}) \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 θ_{r_j} 는 아이들러와 로드휠 #1 사이의 궤도의 접촉각이다. 식 (6)에서 회전관성 부분은 궤도장력에 대한 그 영향이 5% 미만으로 매우 적기 때문에 무시할 수 있다. 식 (5)을 식 (6)에 대입하면 로드휠 #1에서의 수직반력은 아래 식과 같이 계산될 수 있다.

$$\begin{aligned} N_{j1} &= m_r g + m_r \ddot{y}_{r_{j1}} - T_{r_{j1}} \sin \theta_{r_j} \\ &+ \frac{M_{r_{j1}} + \{T_{r_{j1}} (\cos \theta_{r_j} - 1) - m_r \ddot{x}_{r_{j1}}\} l_{a_1} \sin \theta_{a_{j1}}}{l_{a_1} \cos \theta_{a_{j1}}} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 $\theta_{a_{j1}}$ 는 j 쪽(예: $j=r$: 오른쪽) 궤도에서의 로드암 #1의 각도이다.

로드휠 # ($i=2, 3, 4$ and 5)

가운데에 위치한 로드휠의 자유물체도는 Fig. 4 에 나타내었다. 여기서 $T_{r_{ji}}$ 와 $T_{r_{j+1}}$ 는 로드휠 # j 주위의 궤도장력이며 N_{ji} 는 로드휠과 지면사이의 수직반력이다.

$$\begin{aligned} m_r \ddot{x}_{r_{ji}} &= T_{r_{ji}} - T_{r_{j+1}} + F_i - R_{aw_{xi}} \\ m_r \ddot{y}_{r_{ji}} &= N_{ji} - R_{aw_{yi}} - m_r g \\ l_r \dot{\omega}_{r_{ji}} &= r_r (T_{r_{ji}} - T_{r_{j+1}} + F_{ji}) \end{aligned} \quad (8)$$

여기에서도 마찬가지로 로드휠 # i 의 회전 관성항은 궤도장력의 영향이 매우 작기 때문에 무시할 수 있다. 식 (5)을 식 (8)에 대입함으로써 로드휠 # i 의 수직반력을 아래 식처럼 계산할 수 있다.

$$N_{ji} = m_r g + m_r \ddot{y}_{r_{ji}} + \frac{M_{r_{ji}} - m_r \ddot{x}_{r_{ji}} l_{a_i} \sin \theta_{a_{ji}}}{l_{a_i} \cos \theta_{a_{ji}}} \quad (9)$$

로드휠 #6

로드휠 #6의 자유물체도는 Fig. 5 에 나타내었으며, 여기서 $T_{r_{j6}}$ 와 $T_{r_{j7}}$ 는 로드휠 #6 주위의 궤도장력이며 N_{j6} 는 로드휠과 지면사이의 수직반력이다.

다.

$$\begin{aligned}
 mr\ddot{x}_{rj6} &= Tr_{j6} - Tr_{j7} \cos \theta_{s_{jr}} + F_{j6} - R_{aw_{x6}} \\
 mr\ddot{y}_{rj6} &= Tr_{j7} \sin \theta_{s_{jr}} + N_{j6} - R_{aw_{y6}} - m \cdot g \\
 I_r \dot{\omega}_{rj6} &= r r (Tr_{j6} - Tr_{j7} + F_{j6})
 \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 $\theta_{s_{jr}}$ 는 스프로킷과 로드휠 #6 사이의 궤도의 접촉각이다. 로드휠 #6의 회전 관성항은 궤도장력의 영향에 매우 적기 때문에 무시할 수 있다.

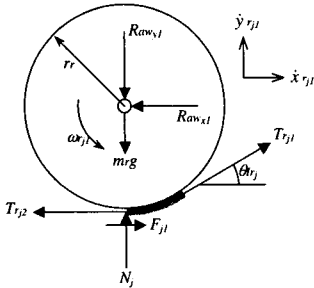


Fig. 3 Free body diagram of the roadwheel #1

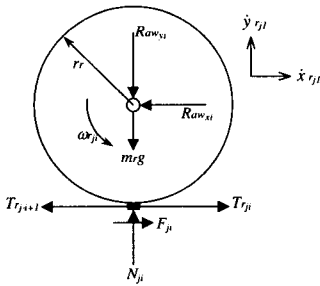


Fig. 4 Free body diagram of the roadwheel #l

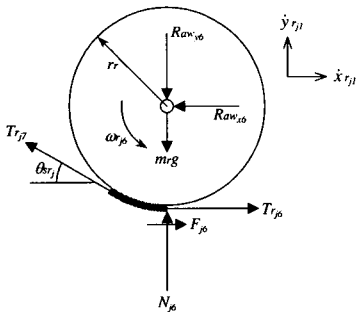


Fig. 5 Free body diagram of the roadwheel #6

4. 궤도장력의 추정

4.1 아이들러 주위의 궤도장력 추정

아이들러는 궤도장력 조절기를 지지하고 있으며 궤도장력을 유지하기 위하여 스프로킷과 로드휠로부터 궤도를 유도한다. 아이들러와 아이들러암 그리고 궤도장력조절기의 기하학적 형상은 Fig. 6에 나타난 것과 같다. 아이들러 주위의 궤도장력을 계산하기 위하여 Huh et al. ⁽⁴⁾(1999)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 (11)의 상세 유도는 Huh et al ⁽⁴⁾ (1999)에서 주어졌다.

$$\begin{aligned}
 \hat{T}_{j1} &\approx \hat{T}_{j2} \\
 &= \frac{F_{rj} l_3 \cos(\theta_{rj} + \theta_{a_j} + \theta_{r_j}) - m_a g l_G \sin \theta_{a_j} + F_{c_j} - m g \sin \theta_{a_j}}{l_1 \cos(\theta_{a_j} - \theta_{r_j}) + \sin(\theta_{a_j} + \theta_{r_j})}
 \end{aligned} \quad (11)$$

여기서 θ_{s_j} 는 아이들러 위쪽에서 궤도의 접촉 각이며 θ_{r_j} 는 아이들러 아래쪽에서 궤도의 접촉각이다. θ_{1a} 는 아이들러 암 각도이며 θ_{r_j} 는 궤도장력 조절기의 각도이다. l_1 은 핀 1(p₁)과 핀 2(p₂) 사이의 거리이고, l_3 는 핀 1(p₁)과 핀 3(p₃)사이의 거리이며 l_G 는 핀 1(p₁)과 아이들러 암의 무게중심까지의 거리이다. m_j 는 아이들러의 질량이며 m_a 는 아이들러암의 질량이다. F_{r_j} 와 F_{c_j} 는 궤도장력 조절기에서의 액츄에이터 힘과 아이들러 주위를 감싸는 궤도의 원심력을 나타낸다.

θ_{1a_j} , θ_{s_j} 와 θ_{r_j} 는 아이들러 어셈블리의 기하학적 관계로부터 계산되어질 수 있고 첨자 j는 각각 궤도의 오른쪽과 왼쪽을 표시한다. 궤도장력 조절기의 관성항과 아이들러의 관성항은 궤도장력의 변화에 미치는 영향이 일반적인 궤도장력의 크기에 비해 매우 작기 때문에 무시할 수 있다. 위 장력 추정식은 궤도차량의 어떠한 주행조건에서도 사용되어질 수 있다. 왜냐하면 위 식이 노면의 형상이나 궤도차량의 운동저항 등에 대하여 어떠한 가정도 없이 유도되었기 때문이다. 아이들러 주위의 궤도장력은 궤도장력 조절기의 압력과 길이 그리고 로드암 #1의 각도의 측정에 의하여 계산되어진다.

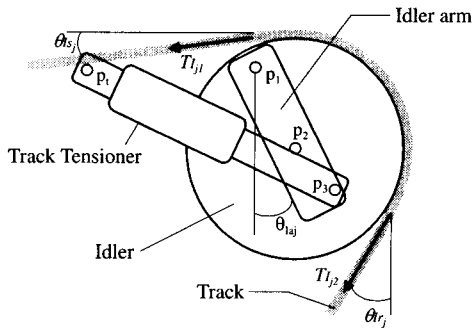


Fig. 6 Geometry of the idler and the track tensioner

4.2 스프로킷 주위의 궤도장력 추정

스프로킷 주위의 궤도장력은 엔진맵과 트랜스미션의 비로부터 실시간으로 스프로킷 토크의 정보를 얻지 못한다면 다양한 주행조건에서 직접 구해줄 수 없다. 대신 4.1 절에서 추정된 아이들러 주위의 궤도장력에 기초하여 식 (3)의 관계로부터 스프로킷 주위의 궤도장력은 3 장에서 유도한 로드휠 어셈블리의 모델식을 바탕으로 얻을 수 있다. 여기서 스프로킷 주위의 궤도장력은 조향주행과 피보팅에 대하여 각각 추정되었다.

궤도차량이 어떠한 회전반경으로 조향을 할 때, 횡 마찰력이 궤도에 발생하는데 이 횡 마찰력은 조향방향에 반대방향으로 조향저항이라 불리는 모멘트를 생성하게 된다. 그러므로 각각의 궤도에 견인력은 이러한 조향저항을 극복하도록 생성되게 된다. 조향 저항은 조향 바깥쪽 궤도에서는 견인력을 증가시키고 반대로 조향 안쪽 궤도에서는 견인력을 감소시킨다. 그런데 이러한 조향 저항은 물리적인 법칙으로 모델링 되어질 수 없고 관련 연구(Kar⁽²⁾,1987,Ehlert et al. ⁽³⁾,1992, Huh et al. ⁽⁴⁾,1999)에서 보여주듯이 실험적 모델안이 존재한다. 그러나 이러한 실험적 모델은 궤도의 미끄럼이나 마찰 계수와 같이 많은 실험을 통하여 튜닝 되어야만 하는 몇가지의 파라미터를 가진다. 반면에 이러한 파라미터들은 지면의 조건이나 형상 그리고 주행 조건에 따라 매우 다른 값을 가진다.

이 장에서는 위와 같은 조향저항의 고려없이 스프로킷 주위의 궤도장력을 추정하는 간단한 방법을 제안한다. 로드휠 #6 과 로드암 #6 에 대한 동적 관계에 기초하여 궤도장력은 유압현수장치에 의해 생성되는 로드암 토크로부터 대수적으로 계

산되어질 수 있다. 식 (5)을 식 (10)에 대입하고 식 (1)과 식 (3)를 사용하면 스프로킷 주위의 궤도장력은 다음과 같이 표현된다.

$$\hat{T}_{S_{j1}} \approx \hat{T}_{I_{j1}}$$

$$\hat{T}_{S_{j2}} = \frac{Mr_{j6} - (N_{j6} - mg - m\ddot{r}_{j6})l_{a6} \cos \theta_{a_{j6}} - m\ddot{x}_{r_{j6}}l_{a6} \sin \theta_{a_{j6}}}{l_{a6} \sin \theta_{r_j} \cos \theta_{a_{j6}} + (\cos \theta_{r_j} - 1)l_{a6} \sin \theta_{a_{j6}}}$$

(12)

여기서 Mr_{j6} 는 로드암 #6에서 생성되는 현수장치 토크이며, $\theta_{a_{j6}}$ 와 θ_{rs_j} 는 각각 로드암 #6의 각도와 스프로킷 사이의 접촉각을 나타낸다. N_{j6} 는 로드휠 #6아래에서의 수직반력이며 아래식으로 계산된다.

$$N_{i6} = \frac{Mg}{2} \sqrt{1 - \sin^2 \theta - \sin^2 \phi} - \frac{H}{B} (F_{cy} - Mg \sin \phi) - \sum_{i=1}^5 N_{ii}$$

$$N_{r6} = \frac{Mg}{2} \sqrt{1 - \sin^2 \theta - \sin^2 \phi} + \frac{H}{B} (F_{cy} - Mg \sin \phi) - \sum_{i=1}^5 N_{ri}$$

(13)

여기서 θ 와 ϕ 는 각각 궤도차량의 피치각과 롤 각이며 F_{cy} 는 궤도차량의 횡방향의 관성력이며, 궤도차량의 무게는 57429kg, 로드암의 길이는 0.508m 이고 H 는 궤도차량의 무게중심의 높이를 나타내며 1.233m이다. N_{ii} 와 N_{ri} 은 식 (7)과 식 (9)을 통하여 계산되어진다. 식 (12)은 조향저항에 대한 어떠한 가정도 없이 왼쪽 및 오른쪽 궤도 모두에서 쉽게 궤도장력을 계산할 수 있게 한다.

5. 시뮬레이션

제안된 방법에 근거한 궤도장력의 추정 결과는 다물체 동역학 시뮬레이션 툴(Ryu et al⁽⁶⁾,1999)로부터 얻어진 장력값과 비교를 통하여 검증하였다. 다물체 동역학 시뮬레이션 툴은 954 자유도의 궤도차량 모델에 기초하고 있으며 189개의 바디와 36개의 회전 조인트 그리고 152개의 부싱 요소로 구성되어 있다. 다물체 동역학 시뮬레이션 툴의 상세한 설명은 본 논문의 범위를 벗어나므로 생략한다. 이러한 다물체 동역학 시뮬레이션 툴을 사용하여 조향 및 피보팅의 주행상황에 대하여 실제 궤도장력값을 얻었다.

궤도차량이 Fig. 7 과 같이 좌, 우 스프로킷에 서로 다른 속도입력을 통하여 조향 반경이 40m 가 되도록 조향할 때와 Fig. 10 과 같이 좌우 스프로

킷에 같은 속도를 서로 다른 방향으로 입력하여 피보팅 하였을 때 케도장력의 변화를 추정하였다. 아이들러 주위의 케도장력은 식 (11)로부터 추정되며 그 결과는 Fig. 8 과 Fig. 11 에 왼쪽과 오른쪽 케도 모두 나타내었다. 스프로킷 주위의 케도장력은 조향저항의 모델이 필요치 않은 로드휠 어셈블리 모델에 근거한 식(12)으로부터 추정하였고 추정성능은 Fig. 9 와 Fig. 12 에 나타내었으며 아래 결과에서 연한색 그래프는 다물체 동역학 시뮬레이션 틀에서 얻은 케도장력의 실제값이며 진한색 그래프가 제안된 방법을 통하여 케도장력을 추정한 값이다. 그 결과를 살펴보면 왼쪽과 오른쪽 케도의 케도장력의 실제값이 변화하는 상태를 잘 따라가고 있음을 알 수 있다. 케도차량의 견인력은 식(4)와 같이 구할 수 있는데 조향시와 피보팅시에 바깥쪽, 즉 오른쪽 케도에서는 큰 견인력이 발생하고, 안쪽, 즉 왼쪽케도에서는 반대방향의 견인력이 발생할 수 있음을 확인할 수 있다.

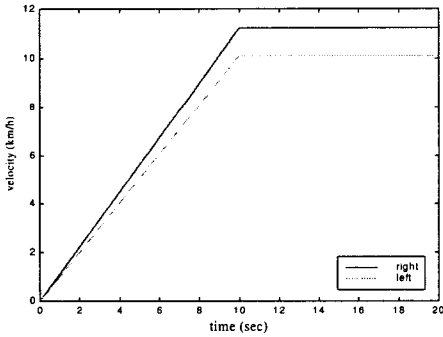


Fig. 7 Sprocket velocity in turning

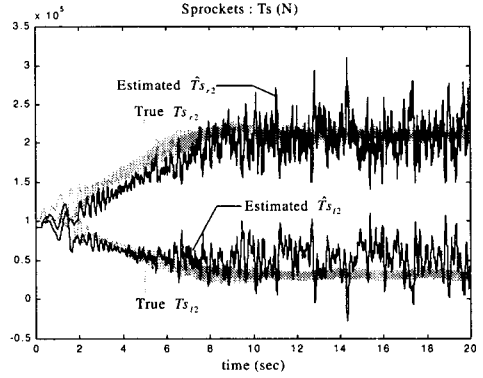


Fig. 9 Estimation of Ts for turning

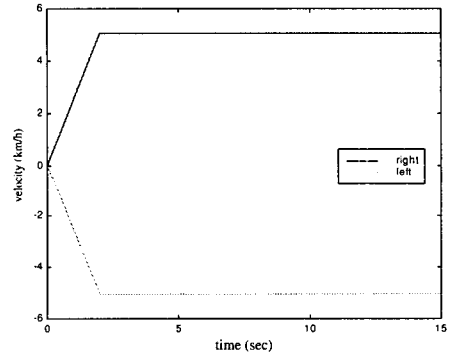


Fig. 10 Sprocket velocity in pivoting

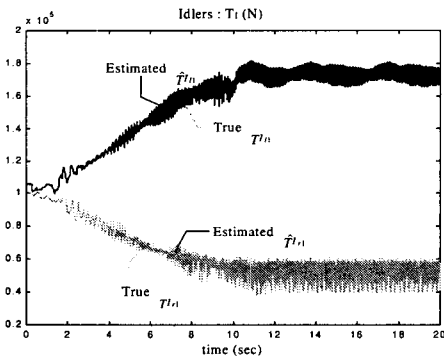


Fig. 8 Estimation of TI for turning

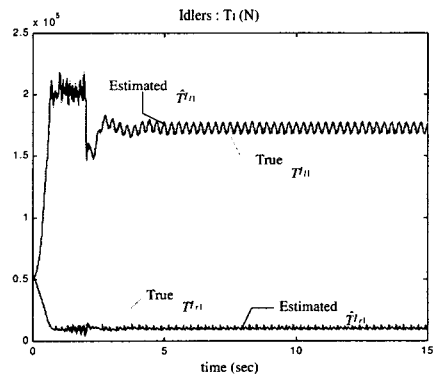


Fig. 11 Estimation of TI for pivoting

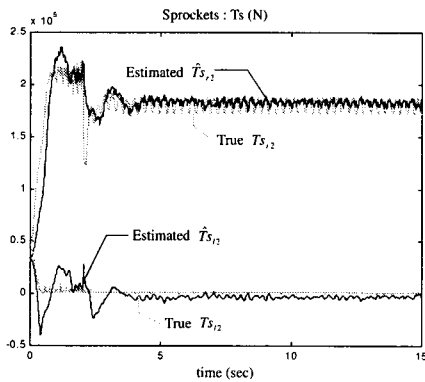


Fig. 12 Estimation of Ts for pivoting

6. 결론

궤도차량이 조향주행이나 피보팅 할 때 궤도장력을 추정하는 방법을 개발하였다. 이를 위하여 로드휠 어셈블리 모델을 유도하였고 이를 바탕으로 스프로킷 주위의 궤도장력을 계산하는 식을 구하였다. 이렇게 새롭게 제안된 장력추정 방법은 궤도의 조향저항에 대한 어떠한 가정도 없이 궤도장력을 추정할 수 있었다. 아이들러 주위의 궤도장력은 조향이나 피보팅의 주행조건에 관계없이 추정할 수 있음을 보였다. 추정성능의 검증을 위하여 궤도차량의 운동변수와 궤도장력의 실제값들은 다물체 동역학 모델을 사용하였다. 시뮬레이션 결과는 제안된 궤도장력 추정 방법이 궤도차량이 조향이나 피보팅 상황에서 적용될 수 있음을 보여주었고 그 성능도 실제값과 잘 일치함을 보여주었다.

참고문헌

1. Baladi, G.Y. and Rohani, B., "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, 1979.
2. Kar, M.K., "Prediction of Track Forces in Skid-steering of Military Tracked Vehicles," Journal of Terramechanics, Vol. 24, No. 1, pp. 75-86, 1987.
3. Ehlert, W., Hug, B. and Schmid, I.C., "Field

Measurements and Analytical Models as a Basis of Test Stand Simulation of the Turning Resistance of Tracked Vehicles," Journal of Terramechanics, Vol. 29, No. 1, pp. 57-69, 1992.

4. Huh, K., Cho, B. H. and Choi, J. H., "Development of a Track Tension Monitoring System in Tracked Vehicles," Proceedings of the ASME Dynamic Systems and Control Division, Vol. 67, pp. 461-468, 1999.
5. 허건수, 조병희, 서문석, 박동창, "궤도차량의 직진 주행시 궤도장력감지," 대한기계학회논문집 A 권, 제 24 권 제 6 호, pp. 1608-1615, 2000.
6. Ryu, H.S., Bae, D.S., Choi, J.H. and Shabana, A., "A Compliant Tank Link Model for High-Speed, High-Mobility Tracked Vehicle," International Journal for Numerical Methods in Engineering, 1999.
7. Wong, J.Y., Theory of Ground Vehicles, 2nd ed., John Wiley & Sons, 1993.