

6X6 인휠로봇차량의 회전차조향거동에 관한 연구

A Study on the Behavior of Skid Steering on Unmanned Wheeled Vehicle with Suspension System

이 정 업*, 조 성 원, 한 창 수
(Jeong Yeob Lee, Sung Won Cho, and Chang Soo Han)

Abstract : The skid-steering method that applied a number of mobile robot currently is very effective in narrow area. But it contains several problems of its natural properties, slip, occurred by different direction between vehicle's driving and wheel's rotary. From this thesis we want to suggest suitable structure of 6x6 skid steering wheeled vehicle and method of driving by analyzing the behavior of 6x6 skid-steered wheeled vehicle by engineering analytical method

Keywords : mobile robot, skid steering, in-hub motor driving

I 서론

로봇에게 있어서 이동할 수 있는 능력이란 이동성(mobility)이 중요시 되는 이 시대에 있어서 매우 중요하다. 로봇의 이동기능은 로봇이 수행할 수 있는 작업의 영역을 확대할 뿐 아니라, 인간이 수행하지 못하는 여러 역할들을 수행할 수 있다는 가능성을 내포하고 있으므로 매우 중요한 의미를 지니고 있다. 로봇의 이동성을 제공하는 방법에 대해서는 최근 활발히 연구가 진행되고 있으며 여러 형태의 이동성 제공 방법이 제시되고 있다. 현재 국내에서 연구되고 있는 이동 형식 중 대표적인 방식은 룬해즈[1]와 같이 싱글 혹은 더블 케도를 이용한 이동형식과 국과연에서 연구중인 XAV[2]와 같은 바퀴를 이용한 이동형식, 그리고 2족, 4족 등 다족형 이동형식[3]이 있다. 이중 바퀴로 이동하는 형식은 정형화되지 않은 환경에서는 그 운용이 매우 제한되나 속도와 제어의 용이성에 있어서 가장 보편적인 방식이라 할 수 있다[4].

바퀴 형식의 이동형식은 가감속, 제동, 조향에 대한 제어로 이루어지며 최근 가장 많이 연구가 이루어지고 있는 분야는 바로 조향에 대한 분야이다[5]. 일반적인 승용 또는 상용차에서는 바퀴 쌍의 일부분을 다른 쌍과 다른 각도로 변경시켜 조향을 시키는 조향각 조향방식을 사용하고 있으며 이는 바퀴의 마찰력을 최대한 줄여 승차감을 좋게 하지만 일정 크기 이상의 회전반경을 필요로 하여 이동성이 떨어지는 단점이 있다. 모바일 로봇의 경우 사람이 탑승하지 않으므로 승차감이 필요치 않으며 로봇이 수행할 수 있는 작업의 영역과 역할을 확대하기 위해서는 회전반경이 크게 필요치 않은 조향 방식을 필요로 한다. 이에 대한 방식으로 현재 모바일 로봇에 회전차 조향을 도입하는 것을 많이 고려하고 있는 추세이다.

특히 로봇에 대한 선두주자라 할 수 있는 미국에서는 Pioneer, DEMO III, MULE등의 UGV 개념에서 회전차 조향을 적용했으며 특히 대형 차륜형 전두차량인 AHED 프로젝트에서도 조향각 조향과 회전차 조향을 병합한 하이브리드 조향방식을 선보이기도 하였다[6]. 국내에서도 국과연에서 개발중인 XAV의 경우 상용 회전차 조향차량인 Argo의 차대를 이용하여 회전차 조향 모바일 로봇을 개발한 바 있다.

회전차 조향은 회전반경을 필요치 않아 이동성이 뛰어난 장점이 있는 반면 바퀴의 회전방향, 진행하고자 하는 방향과 차의 이동방향의 차이로 인해 마찰이 발생하여 부드럽게 조향되지 못하는 단점이 있다. 특히 케도형이 아닌 바퀴형의 경우 각각의 바퀴에서 다른 크기와 방향의 마찰력이 발생하므로 이를 분석하여 적절히 제어하면 보다 원활한 조향을 할 수 있다.

본 논문에서는 (주)로템에서 산업자원부 성장동력사업으로 개발중인 실외화재진압로봇 플랫폼을 대상으로 회전차 조향에 따른 거동을 동역학 해석을 통해 분석하고 실제 거동과 비교하였다. 우선 바퀴의 회전에 따라 어떠한 힘들이 바퀴와 지면사이에 작용하는지 분석하고 실외화재진압로봇 플랫폼의 경우 정형화된 도로는 물론 일정 수준의 야지 주행이 가능하도록 현가장치가 장착되어 있어 회전차 조향시 현가장치와 연동되어 차량 플랫폼 자체가 어떠한 거동이 예상되는지 분석하였다. 이러한 해석결과를 통해 본 플랫폼이 어떠한 방식으로 회전차 조향을 하면 적합한지 대안을 제시하였다.

II. 본론

1. 6X6 전기구동 차량 구조 형상

1.1 차량 전체 구조형상

실외화재진압로봇의 플랫폼은 그림 1과 같이 6X6 전기구동차량이다. 6개의 바퀴는 in-wheel motor를 장착하여 각각 독립구동이 가능하며 타이어는 화재진압로봇의 특성을 감안, 고온과 특수 환경에 적합하도록 내부가 충진된 solid tire를 적용하였다. 차체는 강철 프레임으로 구성되어 있으며 차체의 전, 후방에는 배터리 박스가 장착되어 있고 중심

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 12. 1., 채택확정 : 2006. 12. 22.

이정업 : (주)로템/한양대학교(yeobbi@hanyang.co.kr)

조성원 : (주)로템(swcho@rotem.co.kr)

한창수 : 한양대학교 공학대학 기계공학과(cshan@hanyang.co.kr)

※ 본 논문은 산업자원부에서 지원하여 연구하였음.

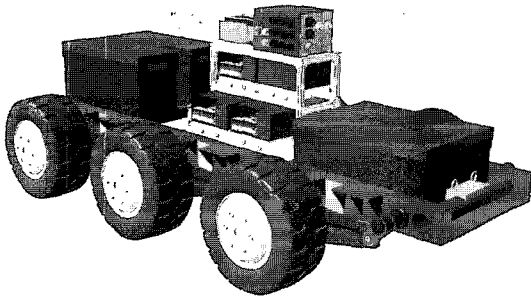


그림 1. 실외화재진압로봇 플랫폼 형상.
Fig. 1. 3D modeling of outdoor fire suppression robot.

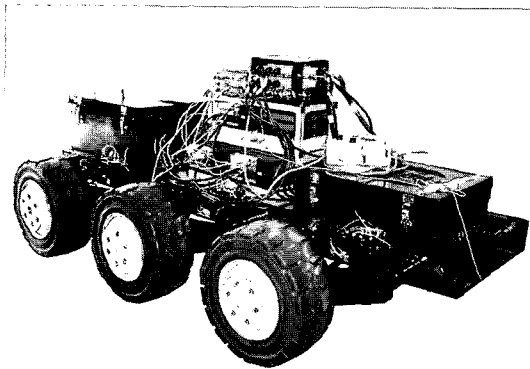


그림 2. 개발된 실외화재진압로봇의 플랫폼 실제형상.
Fig. 2. Outdoor fire suppression robot.

부에는 motor driver와 driving controller, 전원 분배상자가 장착되어 있다. 모터의 출력은 .8kW급으로 모터 출력축에 장착된 감속기를 통해 동력이 전달되며 현가장치는 3-link torsion beam axle type으로 1, 2, 3축 모두 동일하게 적용되었다.

차량의 제원은 길이 2,800mm, 폭 1,600mm이며 높이는 스프링이 압축되지 않은 자유장 상태에서 1,100mm 이다.

그림 2는 그림 1과 같이 설계된 차량을 실제 제작한 모습이다. 참고로 차량의 body, 기타 부가장비는 위(주)에서 개발하였다.

1.2 현가장치 구조형상

본 6X6 전기구동차량은 3-link torsion beam axle 타입의 현가장치를 적용하였으며 현가장치의 구성은 그림 3과 같다.

Spring과 shock absorber에서 노면의 충격을 흡수하며 trailing arm, lateral arm, axle tube가 현가장치를 차체에 고정시켜 준다. 또한 외부 충격시 suspension의 자유도 구속을 최소화하기 위하여 trailing arm과 lateral arm의 양 끝단에는 rubber bush를 장착하여 차축현가식이지만 독립현가의 효과가 나타나도록 하였다. 또한 axle tube의 경우 U자형 스프링강을 채용, 비틀림 모멘트에 강하도록 설계되어 있어 험지에서 보다 유연한 구동이 가능하도록 설계되어 있다.

2. 해석 모델 구성

2.1. Equations of motions

먼저 스키드 스티어링시 각 바퀴에 발생하는 힘의 종류와 크기에 대해 운동방정식을 세워 어떠한 힘이 작용하는

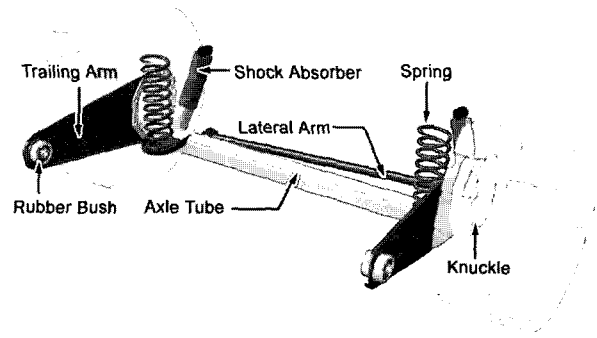


그림 3. 현가장치의 구성.
Fig. 3. Suspension.

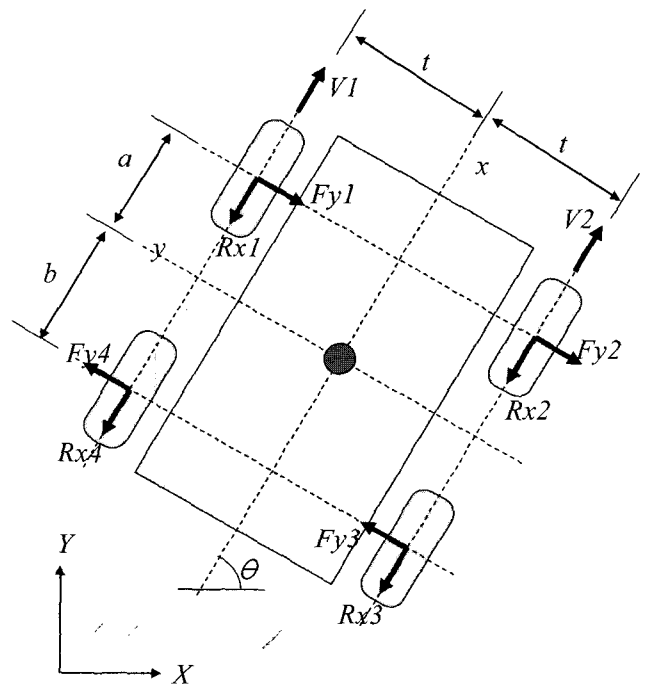


그림 4. 회전차조향시 각 바퀴에 작용하는 반발력.
Fig. 4. Reaction force on each wheel in skid steering.

지 파악한다. 수식을 간단히 하기 위해 4륜의 경우에 대해 운동방정식을 유도하여 이를 확장하여 6륜의 경우로 적용하기로 한다. 여기서 운동방정식의 가정은 다음과 같다.

- 1) 차량은 평면에서 움직인다.
- 2) 차량의 속도는 매우 느리다.
- 3) 길이 방향의 미끄러짐은 무시한다.
- 4) 타이어의 횡방향 힘은 수직 하중에 직각으로 작용한다.
- 5) 차량은 반시계 방향으로 회전한다.

먼저 4륜 차량의 운동방정식을 유도하면 다음과 같다.

그림 4에서 보는 바와 같이 임의의 좌표축에서 절대좌표에 대한 회전각을 θ 라 할 때 기준 좌표계에 대한 회전 행렬은 다음과 같다.

$$R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix}$$

여기서 \dot{x} , \dot{y} , $\dot{\theta}$ 을 각각 지역 좌표 f의 길이방향, 횡방향, 각방향 속도라고 할때 고정 좌표 F에서 절대 속도는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix}$$

가속도를 구하기 위해 시간에 대해 미분하면

$$\begin{bmatrix} \ddot{X} \\ \ddot{Y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} + \dot{y}\dot{\theta} \\ \ddot{y} - \dot{x}\dot{\theta} \end{bmatrix} = R(\theta) \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \end{bmatrix}$$

그림 4에서 X, Y는 절대좌표, x, y는 차량이 회전차 조향에 의한 회전상태에서의 상대좌표이다. 차량의 회전 중심을 빨간 점이라고 보았을 때 이론 상 양쪽 바퀴의 회전수가 같고 회전 방향이 반대이면 차량은 좌우측 대칭으로 회전하게 된다. 따라서 1, 4번 바퀴와 2, 3번 바퀴와 회전중심간의 y축 방향 거리를 t라 놓고 1, 2번 바퀴와 회전중심간의 x축 방향 거리를 a, 3, 4번 바퀴와 회전중심간의 x축 방향 거리를 b라고 정의한다.

이때 길이 방향 속도 x_i 와 횡방향 속도 y_i 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= \dot{x}_4 = \dot{x} - t\dot{\theta} && \text{(left)} \\ \dot{x}_2 &= \dot{x}_3 = \dot{x} + t\dot{\theta} && \text{(right)} \\ \dot{y}_1 &= \dot{y}_2 = \dot{y} + a\dot{\theta} && \text{(front)} \\ \dot{y}_3 &= \dot{y}_4 = \dot{y} - b\dot{\theta} && \text{(front)} \end{aligned}$$

바퀴가 회전하면서 견인력 F_{xi} 를 발생시키고 이에 따라 구름 마찰력 R_{xi} 가 발생하게 된다. 휠의 거동이 모두 같을 때 $F_{x1} = F_{x4}$, $F_{x2} = F_{x3}$ 가 된다. 횡방향 힘 F_{yi} 는 횡방향 미끄러짐에 대해 반발하여 작용하므로 F_{yi} 와 R_{xi} 에 의해 무게중심에 대해 저항 모멘트 M_r 이 발생하게 된다. 차량의 질량을 m , 관성모멘트를 I 라 했을 때 운동방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} ma_x &= 2F_{x1} + 2F_{x2} - R_x \\ ma_y &= -F_y \\ I\ddot{\theta} &= 2t(F_{x1} - F_{x2}) - M_r \end{aligned}$$

차량이 평형 상태일 때

$$\begin{aligned} F_{x1} &= F_{x2} = \frac{b}{a+b} \frac{mg}{2} \\ F_{x3} &= F_{x4} = \frac{a}{a+b} \frac{mg}{2} \end{aligned}$$

차량이 느린 속도로 움직일 때 원심력에 의해 발생하는 횡방향 하중은 무시할 수 있다. 딱딱한 지면위에서는 타이어에 가해지는 압력분포가 일정하다고 가정할 수 있다. 이 경우, 구름 저항 상수 f_r 은 속도에 관해 독립적이라고 가정 가능하다[7] $R_{xi} = f_r F_{xi} \operatorname{sgn}(x_i)$ 이 된다. 따라서

$$R_x = \int_1^4 f_r F_{xi} \operatorname{sgn}(x_i) = f_r \frac{mg}{2} (\operatorname{sgn}(x_1) + \operatorname{sgn}(x_2))$$

휠 그라운드 접촉에 따른 쿨롱 마찰 모델을 고려했을 때 각각의 휠에 횡방향 힘은 $F_{yi} = \mu F_{xi} \operatorname{sgn}(y_i)$ 이다. 여기서 μ 는 횡방향 마찰계수이다. 횡방향 힘의 총합은

$$F_y = \int_1^4 f_r F_{xi} \operatorname{sgn}(y_i) = \mu \frac{mg}{2} (\operatorname{sgn}(y_1) + \operatorname{sgn}(y_3))$$

따라서 저항 모멘트 M_r 은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} M_r &= b(F_{y3} + F_{y4}) - a(F_{y1} + F_{y2}) \\ &\quad + t[(R_{x1} + R_{x4}) - (R_{x2} + R_{x3})] \\ &= \mu \frac{abmg}{a+b} [\operatorname{sgn}(y_3) - \operatorname{sgn}(y_1)] \\ &\quad + f_r \frac{tmg}{2} [\operatorname{sgn}(x_1) - \operatorname{sgn}(x_2)] \end{aligned}$$

여기서 M_r , F_y , R_x 항은 변수 \dot{x} , \dot{y} , $\dot{\theta}$ 의 상태에 의해 결정되어 진다. 이러한 식으로 4륜 스키드 스티어링시의 1차 미분 운동방정식을 세울 수 있다.

6륜의 경우 위의 과정과 동일한 절차로 운동방정식을 유도할 수 있다. 단, 2축의 경우 횡방향 저항력이 존재하지 않고 길이방향 힘만 존재한다. 횡방향 저항력은 2축의 경우 바퀴가 헛도는, 슬립 현상에 의해 발생하는 타이어와 지면간의 마찰력으로 전환되게 된다. 따라서 4축 스키드 스티어링에 비해 축간 간격이 커지는 것 뿐만 아니라 R_x 항이 추가되어야 하므로 4륜 스키드 스티어링에 비해 많은 힘이 필요로 하게 됨을 알 수 있다.

2.2 해석 모델의 구성요소

위 2.1에서 구한 운동방정식은 2차원 평면운동에서의 운동방정식이므로 현가장치에 의한 영향이 전혀 고려되어 있지 않다. 현가장치가 고려될 경우 각 바퀴에 가해지는 힘과 스프링 및 타이어 등 탄성체에 저장되는 에너지에 대한 영향 등 2차원 거동과는 큰 차이를 보이게 된다. 따라서 본 논문에서 고려된 전기구동차량 플랫폼을 전산 모델링 해동역학 해석을 통해 3차원 거동을 살펴보고자 한다.

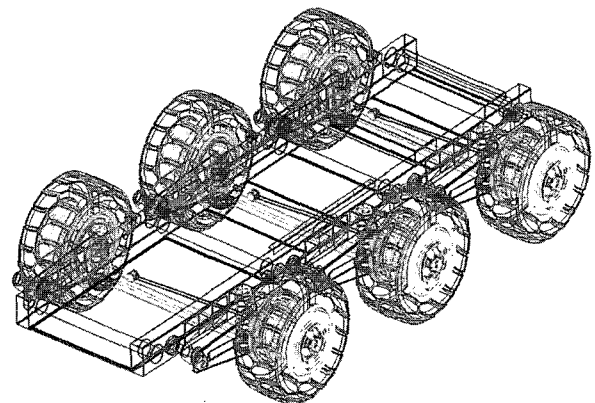


그림 5. 차량 플랫폼 해석 모델.
Fig. 5. Analysis model.

표 1. 전기구동차량의 mass property.

Table 1. Mass property.

구분		특성값	비고
전체 차량	중량		1,288kg
	무게중심	길이	-140mm
		폭	0.9mm
		높이	57.5mm
	질량 관성 모멘트	Ixx	375kg·m ²
		Iyy	819kg·m ²
		Izz	1,116kg·m ²
		Ixy	-0.8kg·m ²
Iyz		9.3kg·m ²	
Izx	-1.1kg·m ²		

전기구동차량의 플랫폼 해석 모델은 그림 5와 같으며 mass property는 회전관성 모멘트는 CATIA 3차원 모델을 통해 계산하였으며, 무게중심은 실측 결과를 참고하여 현가 질량의 무게중심을 동역학 해석 틀을 사용하여 계산하였다. 이 결과는 표 1에 나타내었다. 차체는 하나의 강체 body로 구성하였고 suspension system은 knuckle, trailing arm, lateral arm, axle tube, shock absorber, coil spring으로 구성하였다.

Tire force의 경우 일반적으로 driving simulation시에 많이 사용되는 fiala type을 적용하였다.

2.3 성능 해석 항목

본 해석에서 적용한 성능시험 항목 조건은 회전차 조향을 통한 제자리 회전이며 양 바퀴가 동일한 속도로 반대 방향으로 회전하는 경우만을 고려하였다. 이 경우 2.1에서 유도한 바와 같이 6륜에 비해 4륜으로 회전하는 것이 훨씬 적은 동력을 필요로 함을 개략적으로 알 수 있었다. 따라서 동일한 조건으로 다음의 두 경우로 나누어 해석을 수행하였다.

- 1) 6개 바퀴가 모두 지면에 밀착된 상태로 제자리 회전을 하는 경우
- 2) 6개 바퀴 중 2개의 바퀴를 들어 올린 후 4개의 바퀴로 제자리 회전 하는 경우

3. 해석 결과

3.1 해석 조건

구동력 입력은 모터의 기본 출력 rpm인 2,000rpm을 감속기를 통해 바퀴에 전달되는 것으로 입력하였다. 감속비는 27:1이며 이상의 일정한 rpm을 5초간 인가한다. 이 때 차의 회전 방향은 반시계방향이다.

현가장치는 본 차량에 실제 적용된 현가장치를 동역학 모델링 하였으며 joint에 연결된 각 부재는 강체로 가정하고 joint의 마찰은 무시한다. 현가장치 중 6개의 각각의 스프링과 댐퍼의 특성치는 표 2, 3과 같다.

기타 3종류의 러버 부시의 특성치는 각각의 설계 조건에 준하며 해석의 단순화를 위해 트레일링 압과 액슬의 비틀림 변화는 무시한다. 또한 너클과 횡력암의 경우 역시 강체로 가정하여 변형이 없다는 전제하에 해석한다. 여기서 트레일링 압과 액슬의 비틀림 변화는 사실상 현가 성능에 중

표 2. 스프링 특성치.

Table 2. Spring factor.

특성 항목	특성치
스프링 상수	5.40kgf/mm
스프링 응력	107.3kg/mm
스프링 자유장	342mm
스프링 최대압축	220mm
최대 하중	648kg

표 3. 댐퍼 특성치.

Table 3. Damping factor.

특성 항목	특성치
댐핑 포스 (압축)	30kgf
댐핑 포스 (리바운드)	15.5kgf
최대 압축 멈춤 길이	352mm
최대 리바운드 길이	276mm

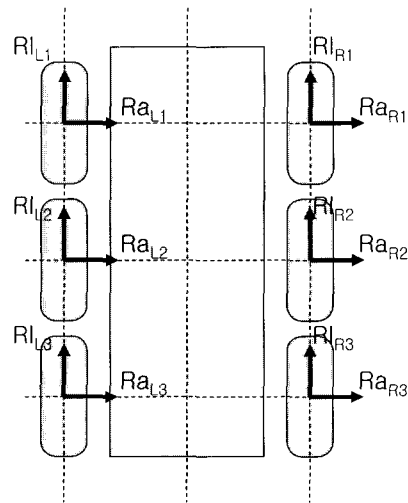


그림 6. 각 바퀴의 반발력.

Fig. 6. Reaction force on each wheel.

요한 요소이므로 무시해서는 안되는 조건이기는 하나 본 해석에서는 스키드 스티어링 차량의 효율적인 조향 방법을 탐색하는 것이 목적이므로 강체로 가정한다. 다만 트레일링 압, 액슬, 횡력암 그리고 joint를 강체로 가정할 경우 휠 너클은 3점 지지가 되어 움직이지 않으므로 러버 부시의 특성치를 조절하여 실제 움직임과 유사하도록 물성치를 조절한다.

이상과같이 현가장치를 구성하고 구동력을 입력하여 동역학 해석을 수행한다. 여기서 가장 중요한 출력물은 바퀴와 지면의 마찰력이다. 바퀴와 지면의 마찰력은 그림 6에서 보는 바와 같이 총 12개의 힘으로 표시될 수 있다.

3.2 해석 결과 (6륜 지면 접촉)

위의 해석조건으로 6륜 모두 지면에 접촉하는 일반적인 경우의 해석결과는 다음과 같다.

바퀴에 인가되는 길이 방향의 반발력(RI)과 축방향의 반발력(Ra)은 다음과 같다.

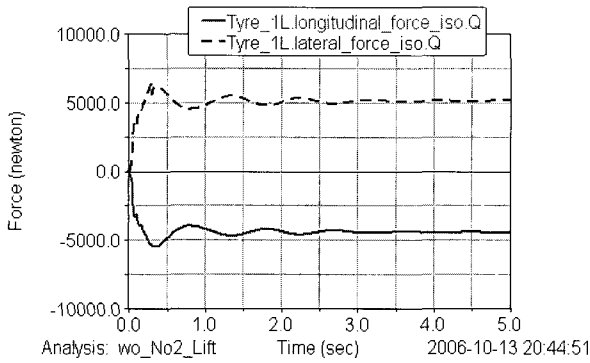


그림 7. 1축의 길이방향/횡방향 반발력.
Fig. 7. Reaction force on 1st axis.

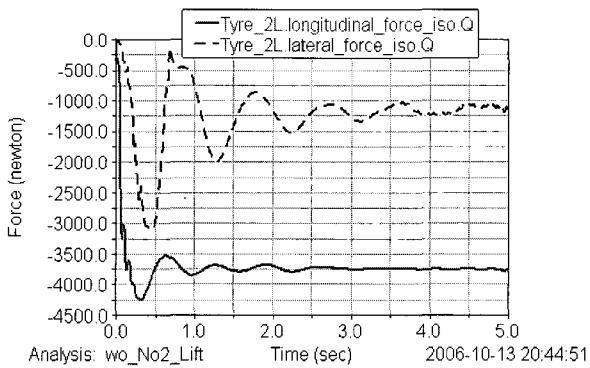


그림 8. 2축의 길이방향/횡방향 반발력.
Fig. 8. Reaction force on 2nd axis.

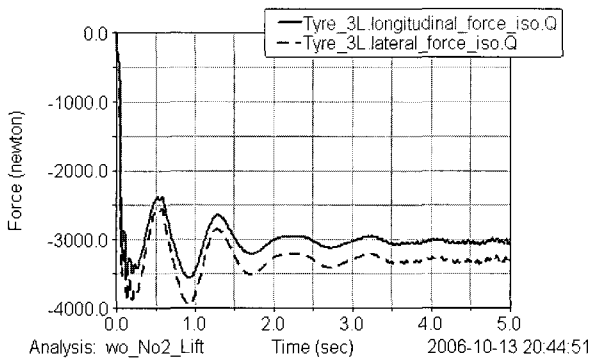


그림 9. 3축의 길이방향/횡방향 반발력.
Fig. 9. Reaction force on 3rd axis.

각 그래프의 치수를 정리하면 다음 표 4와 같다.
3.3 해석 결과 (4륜 지면 접촉)

앞서 운동방정식에서 유도했듯이 바퀴가 지면에 많이 접촉할 수록 2차원 측면에서는 스키드 스티어링에 불리함을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 대상 차량이 3축을 임의로 지면에서 떨어트린 후 4륜만 지면에 접촉한 상태로 스키드 스티어링 해석을 수행하였다. 본 차량의 무게중심은 앞쪽에 있으므로 3축 2개의 바퀴를 들면 1, 2축의 바퀴로만 차량이 지탱되므로 3축 바퀴가 지면에서 떨어진 상태로 같

표 4. 각 바퀴의 반발력 (단위 : Newton).

Table 4. Reaction force on each wheel.

		MAX	MIN	RMS
1L	RI	0	-5519.9	4428.9
	Ra	6368.1	0	5068.4
1R	RI	5430.1	0	4301.9
	Ra	6176.6	0	4902.3
2L	RI	0	-4253.1	3732.5
	Ra	0	-3107.8	1347.4
2R	RI	4152.4	0	3652.5
	Ra	0	-3861.5	2234.2
3L	RI	0	-3564.9	3016.6
	Ra	0	-3956.2	3291.4
3R	RI	3491.1	0	2939.8
	Ra	0	-3864.4	3199.9

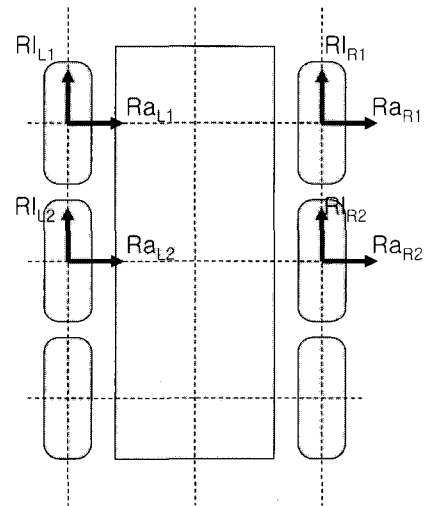


그림 10. 각 바퀴의 반발력.
Fig. 10. Reaction force on each wheel.

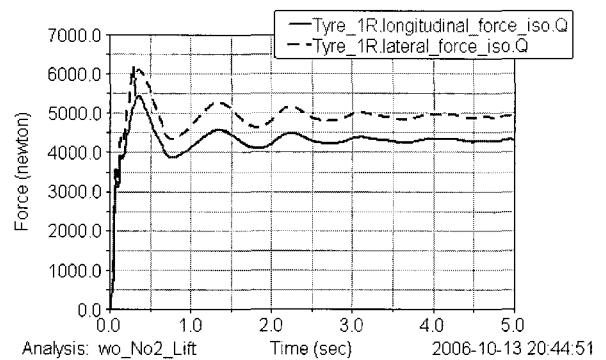


그림 11. 1축의 길이방향/횡방향 반발력.
Fig. 11. Reaction force on 1st axis.

은 조건으로 해석을 수행하였다.

그림 10에서 보는 바와 같이 1, 2축에만 반발력이 작용하게 된다.

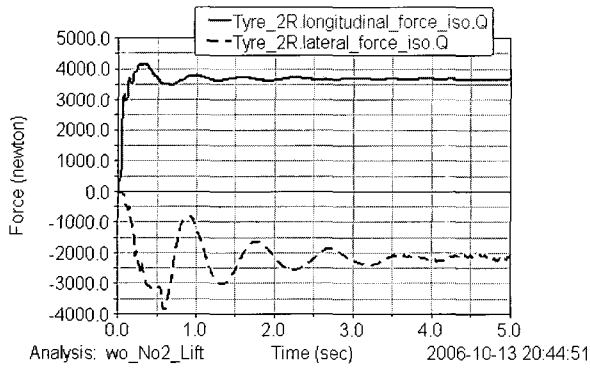


그림 12. 2축의 길이방향/횡방향 반발력.
Fig. 12. Reaction force on 2nd axis.

표 5. 각 바퀴의 반발력 (단위 : Newton).

Table 5. Reaction force on each wheel.

		MAX	MIN	RMS
1L	RI	0	-5490.6	1519.9
	Ra	6616.6	0	1997.0
1R	RI	4353.4	-10383.1	1490.3
	Ra	5136.3	-8553.9	1946.6
2L	RI	9608.2	-9943.0	2705.4
	Ra	14728.4	-11669.9	2376.3
2R	RI	8717.1	0	2386.0
	Ra	7204.9	-12782.4	2544.5

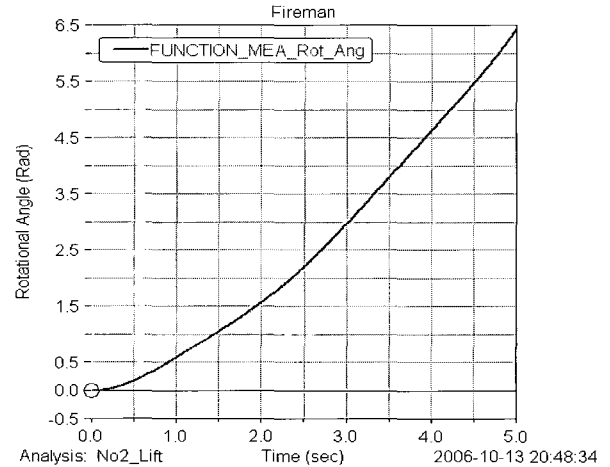
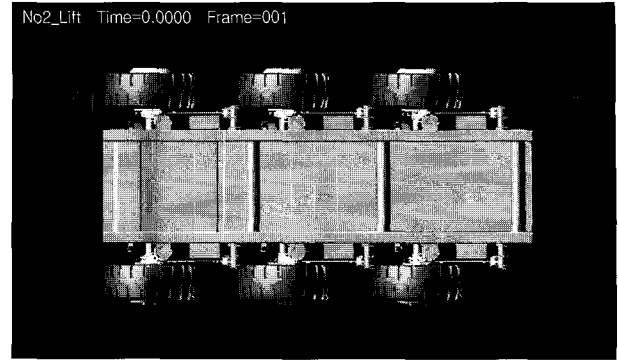


그림 14. 4륜 지면접촉조향 결과 5초간 회전량.
Fig. 14. Rotational angle during 5 sec (4- wheel).

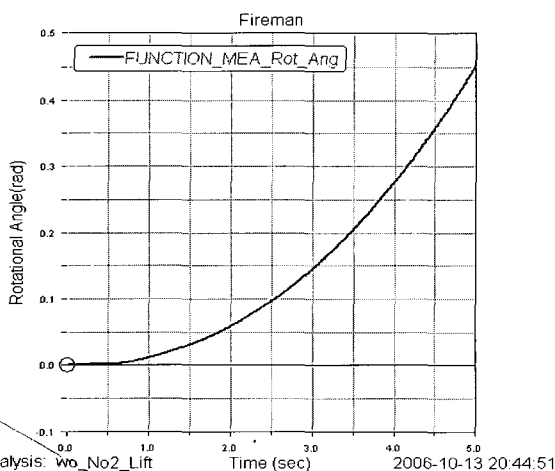
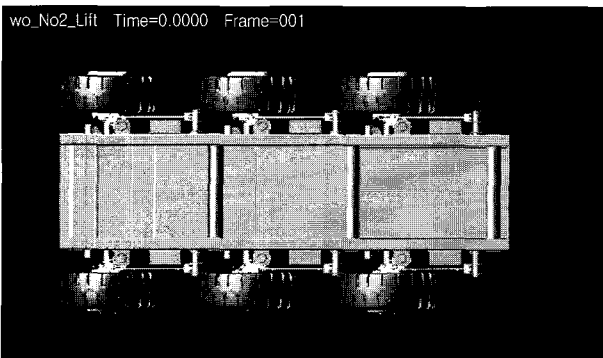


그림 13. 6륜 지면접촉조향 결과 5초간 회전량.
Fig. 13. Rotational angle during 5 sec (6- wheel).

4개의 바퀴에 대한 반발력은 앞과 같다.
각각의 그래프의 치수를 정리하면 표 5와 같다.
3.4 해석 결과 비교

6륜 지면 접촉의 경우와 4륜 지면 접촉의 경우 회전차 조향의 결과를 비교해보면 다음과 같다.

해석 결과 현가장치가 장착되어 있는 차량의 경우 2차원 운동방정식에서 계산된 결과보다 4륜 지면 접촉 조향이 6 륜 지면 접촉 조향보다 마찰력이 훨씬 더 작은 것으로 판단되었다. 특히 같은 입력조건하에 5초간 운동 결과 6륜 지면 접촉 조향의 경우 0.4535rad 회전하였고 4륜 지면 접촉 조향의 경우 6.4429rad 회전함을 알 수 있다. 즉 14배나 더 빠르게 조향됨을 알 수 있다.

III. 결론

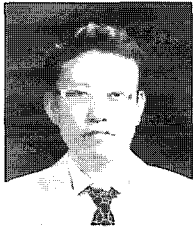
현가장치가 있는 경우 회전차 조향에 의해 횡방향 힘이 작용할 때 현가장치에서 에너지를 저장하기에 2차원 평면 운동방정식과는 많은 차이를 보임을 알 수 있다. 본 연구에서는 현가장치가 장착된 무인차량의 회전차 조향에 관한 거동을 동역학 해석을 통해 알아보고 필요한 동력을 산출 하는 근거를 마련하였다. 또한 6륜 지면 접지 조향과 4륜 지면 접지 조향의 차이가 매우 큼을 알 수 있었다.

차후 현가장치에서 비틀림 변형이 있는 부분을 고려하고 타이어에 대한 정확한 물성치를 실험을 통해 입수하여 해석을 하면 스키드 스티어링에 필요한 동력을 정확히 계산

해 낼 수 있고 현가장치 설계에서도 반영할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 이우섭, 강성철, 이승하 "ROBHAZ-DT3 : Teleoperated mobile platform with passively adaptive double-track for hazardous environment applications," 제어·자동화·시스템 공학지, 2004.
- [2] 박용운, 지태영, 최덕선 "무인자율차량(XAV)의 구현," 제13회 지상무기체계 발전 세미나, 2005.
- [3] K. Hirai, M. Hirose, and Y. Haikawa, "The development of honda humanoid robot," *Proceedings of the International conference on Robotics & Automation*, 1998.
- [4] K. Suzumori, T. Miyagawa, and M. Kimura, "Micro inspection robot for 1-in pipes," *IEEE/ASME Transactions on mechatronics*, vol. 4, no. 3, 1999.
- [5] S. Lakkad, "Modeling and simulation of steering systems for autonomous vehicles," *The Florida State University*, thesis for degree of master of science, 2004.
- [6] National Research Council "Technology development for army unmanned ground vehicles," The national Academies Press, 2003.
- [7] S.-I. Sakai, H. Sado, and Y. Hori, "Motion control in an electric vehicle with 4 independently driven in-wheel motors" *IEEE Trans, on Mechatronics*, vol. 4, no. 1, pp. 9-16, 1999. 3.



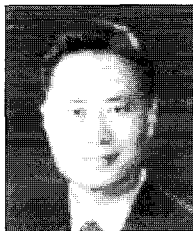
이 정 업

1991년 한양대 기계과 졸업. 1993년 동 대학원 기계설계과 석사. 동 대학원 메카트로닉스 박사과정. 2000년~현재 (주)로템 책임연구원. 관심분야는 로봇제어, 차량동역학.



조 성 원

1999년 한양대 기계설계과 졸업. 2001년 동 대학원 기계설계과 석사. 2002년~현재 (주)로템 주임연구원. 관심분야는 로봇체계, 차량동역학.



한 창 수

1983년 한양대 기계과 졸업. 1985년 텍사스오스틴대 석사. 1989년 텍사스 오스틴대 박사. 1990년~현재 한양대학교 공학대학 기계공학과 교수. 관심분야는 로봇제어, 차량동역학.