

전차륜 조향 장치를 장착한 굴절궤도 차량의 주행특성에 관한 연구

A Study on Dynamic Characteristic for the Bi-modal Tram with All-Wheel-Steering System

이수호* 문경호** 전용호* 박태원*** 이정식**** 김덕기****
Lee, Soo-Ho Moon, Kyung-Ho Jeon, Young-Ho Park, Tae-Won Lee, Jung-Shik Kim, Duk-Gie

ABSTRACT

The bi-modal tram guided by the magnetic guidance system has two car-bodies and three axles. Each axle of the vehicle has an independent suspension to lower the floor of the car and improve ride quality. The turning radius of the vehicle may increase as a consequence of the long wheel base. Therefore, the vehicle is equipped with the All-Wheel-Steering(AWS) system for safe driving on a curved road. Front and rear axles should be steered in opposite directions, which means a negative mode, to minimize the turning radius. On the other hand, they also should be steered in the same direction, which means a positive mode, for the stopping mode. Moreover, only the front axle is steered for stability of the vehicle upon high-speed driving. In summary, steering angles and directions of the each axle should be changed according to the driving environment and steering mode. This paper proposes an appropriate AWS control algorithm for stable driving of the bi-modal tram. Furthermore, a multi-body model of the vehicle is simulated to verify the suitability of the algorithm. This model can also analyze the different dynamic characteristics between 2WS and AWS.

1. 서 론

도시의 대표적인 대중교통수단으로 지하철과 시내버스를 들 수 있다. 지하철은 정시성과 수송량에 있어 많은 장점이 있음에도 불구하고 과도한 건설비와 운용비 때문에 경제적인 부담이 되고 있다. 시내버스의 경우 편리한 접근성, 시스템 구축의 경제성에 있어 많은 장점이 있지만 정시성에 있어서는 지하철에 비해 단점이 되고 있다. 지하철과 시내버스가 가지는 장점(수송량, 편의성, 정시성, 경제성)을 갖춘 새로운 도시 교통 시스템으로 Bi-modal 저상 굴절궤도 차량이 검토되고 있다.[1] 굴절궤도 차량은 시내버스와 같은 외형에 지하철과 같은 운용시스템으로 구성된다. 즉, 굴절 시내버스와 같은 2량 1편성이고, 고무 타이어, 현가장치, 조향장치를 장착하고 있다. 특히, 차량의 조향 장치는 차량의 진행 방향을 바꾸는 역할을 하고, 주행 안전상 중요한 역할을 하는 장치이다.

일반적으로 차량의 조향 방식은 2WS(2-wheel steering), 4WS(4-wheel steering), AWS(All-wheel steering)으로 나눌 수 있다. 국내에서 운행되는 대부분의 승용, 상용 차량은 전륜 2WS 조향 방식을 채택하고 있고, 일부 외국 차량에서 4WS 조향 방식이 적용되고 있다.[9] AWS 방식은 긴 축거를 가진 다량 편성 차량에 일부 장착되어 있으며, 특히 시내 주행을 하는 굴절궤도 차량의 경우 안전한 차량의 선회를 위해 AWS가 사용되고 있다.[2]

* 정회원, 아주대학교 기계공학과 대학원

E-mail : ssonaudo@empal.com

TEL : (031)219-2952 FAX : (031)219-1965

** 한국철도기술연구원

*** 아주대학교 기계공학부

**** 우진산전(주)

차량의 주행 상황에 따라 후륜의 조향각을 제어하는 측면에서 AWS는 4WS와 유사하다고 할 수 있다. 4WS 장착 차량은 후륜의 조향에 있어 저속의 경우 차량의 조작성 향상을 위해 전륜과 역위상으로, 고속의 경우 차량 안정성 향상을 위해 전륜과 동위상으로 제어하게 된다. AWS 장착 차량의 경우 조작성 향상, 즉 선회 반경 축소를 위해 후륜을 조향하는 면에서는 4WS와 유사하지만, 다량 편성으로 인해, 다수의 후륜축, 차체간의 굴절각 발생에 있어 4WS 장착차량과 큰 차이가 있게 된다. 또한, 4WS와 달리 운전 모드에 따라 저속에서도 동위상으로 조향될 수 있으며, 이는 차량의 정거장 접근 길이를 단축시키게 한다. 특히, 고속에서 굴절 차량의 후륜 조향은 안전에 심각한 영향을 줄 수 있기 때문에 일반적인 차량과 같이 2WS로 조향하게 제어해야 한다. 이와 같이 굴절 차량의 AWS는 차속, 운전 모드, 차체간 굴절각 등의 주행 상황에 따라 2축 이상의 후륜을 조향해야 하는 시스템이다. 따라서 굴절 궤도 차량의 안전한 운행을 위해서는 AWS 알고리즘에 대한 검토와 검증이 필요하다.

AWS에 관한 연구는 축거가 긴 대형트럭의 선회 반경을 축소시키기 위해 이루어졌다.[3] 대형트럭은 적재함에 큰 하중을 받기 때문에 후륜이 2축으로 되어 있으며, 2축을 동시에 같은 조향각으로 제어한다. 그러나 대형트럭의 AWS는 차체간의 굴절을 고려하지 않았기 때문에 저상굴절 궤도 차량의 AWS와 차이가 있다. 굴절차량에 대한 AWS 알고리즘은 차량의 자동운전 제어기를 설계하는 과정에서 연구되었다.[4,5] 차량의 자동운전을 위한 AWS는 도로에 표시된 마그네틱 센서를 인식하여 정해진 궤도를 주행하기 위해 각 차륜을 제어하는 것으로, 운전자에 의한 인위적인 전륜 조향입력에 대해서는 후륜 조향 알고리즘을 제시하지 않고 있다. 또한 제어기 설계를 위한 차량 동역학 모델은 차량의 평면 운동만을 고려한 선형화된 모델로 차량의 현가, 조향 등의 기구학적 특성에 의한 3차원적 운동특성이 반영되어 있지 않다. 굴절 차량의 기구, 동역학적 특성을 고려한 주행 해석은 트레일러를 장착한 대형 트럭에 대한 동적 특성 검토과정에서 연구되었다.[6] 그러나 트레일러를 장착한 트럭에 대한 주행 해석은 전륜에 의해서만 조향되고, AWS를 적용한 굴절차량의 주행해석은 검토되지 않았다.

본 논문에서는 굴절 궤도 차량에 적합한 AWS 알고리즘을 검토하였고, 다물체 동역학을 이용해 구성된 차량 모델을 통해 이를 검증하였다. 굴절 궤도 차량은 전륜 1축과 후륜 2축으로 구성되어 있으며, AWS 알고리즘에서는 후륜 조향각에 대한 검토가 중요하다. 선회 반경 축소를 위해 후륜은 역위상으로 조향되어야 하며, 이때 후륜의 조향각은 차량의 축거, 굴절각 등에 의해 결정되게 된다. 또한 차량의 주행 안정성 확보를 위해 특정속도 이후에 후륜은 고정되어야 한다. 이렇게 결정된 후륜 조향각을 차량 동역학 모델에 적용하게 되면 시뮬레이션을 통해 AWS 알고리즘을 검증할 수 있게 된다. 시내 도로 주행의 안전성 여부를 판단하기 위해 곡률반경이 작은 굽은 도로를 주행하는 해석을 수행하였다. 또한 2WS, AWS 장착 굴절 차량에 대해 같은 조건으로 해석하여 AWS 장착 차량에 대한 실효성을 검증하였다.

2. 저상 굴절 궤도 차량 제원

본 연구의 대상인 굴절 궤도 차량의 측면을 Figure 1에서 보여주고 있다. Figure 2는 현재 운행중인 굴절 버스를 보여주고 있으며, 두 차량에 대한 축거를 비교하면 Table 1과 같다. 굴절궤도 차량의 최대 축거는 굴절버스나 일반 시내버스 보다 약 2~2.3m 정도 길다. 굴절궤도 차량에 일반적인 전륜 2WS가 적용된다면, 긴 축거는 차량의 회전 반경을 커지게 하는 요인이 될 것이다. 교차로와 같이 곡률 반경이 작은 도로가 많은 시내 도로의 경우 차량의 큰 회전 반경은 주행에 위험 요인이 될 수 있다. 또한, 굴절 궤도 차량이 운전자의 수동 운전으로 인해 정류장 정차나 주차를 할 때, 큰 회전 반경은 운전 조작성의 어려움으로도 작용하게 된다.[2] 따라서 굴절 궤도 차량의 회전 반경을 줄일 필요가 있고, 전차륜 조향 장치(AWS) 적용에 따른 차량의 선회 궤적 및 주행특성 변화를 검토할 필요가 있다.

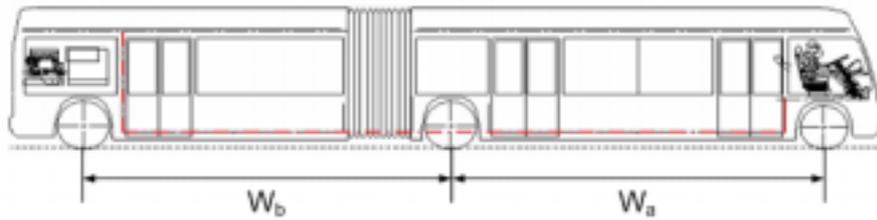


Fig. 1 Bi-modal Tram

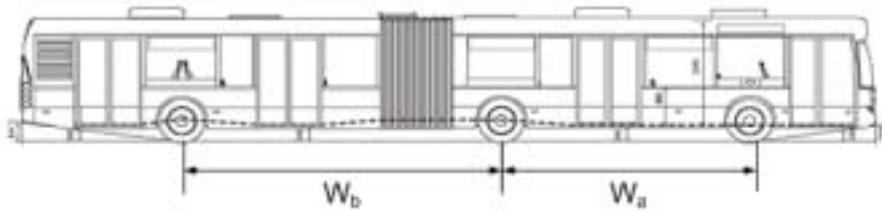


Fig. 2 Operating articulated bus

Table. 1 Wheel Base comparison

		Articulated bus		Bi-modal Tram
		I company	S company	
축거 (mm)	W_a	5710	5350	7710
	W_b	6605	6750	7575

3. 전차륜 조향 알고리즘

AWS는 주행 상황에 따라 크게 두가지 모드로 구성된다. 저속에서 선회반경을 작게 하기 위해 후륜이 전륜의 조향 방향과 반대로 조향되는 역위상 모드(Negative mode), 정류소의 용이한 진입을 위해 후륜이 전륜과 같은 방향으로 조향되는 동위상 모드(Positive mode)가 있다. 굴절차량의 안전한 시내주행을 위해 가장 중요한 부분이 역위상 모드에서의 후륜 조향각을 제어하는 것이다. 역위상 모드에서 후륜의 조향은 차량의 체원과 차체간의 굴절각에 의해 크게 좌우된다. 2륜과 3륜의 조향각은 굴절 차량의 자전거 모델에서 유도된 기하학적 관계에 의해 결정된다. Figure 3은 굴절 궤도 차량의 자전거 모델을 보여준다. 2륜 조향 장치에서 차량의 선회 중심은 후륜축의 연장선상에 존재한다.[8] AWS가 장착된 차량에서의 선회중심은 조향되지 않는 임의의 축(가상 고정축)상에 존재하게 된다. 전, 후 차체

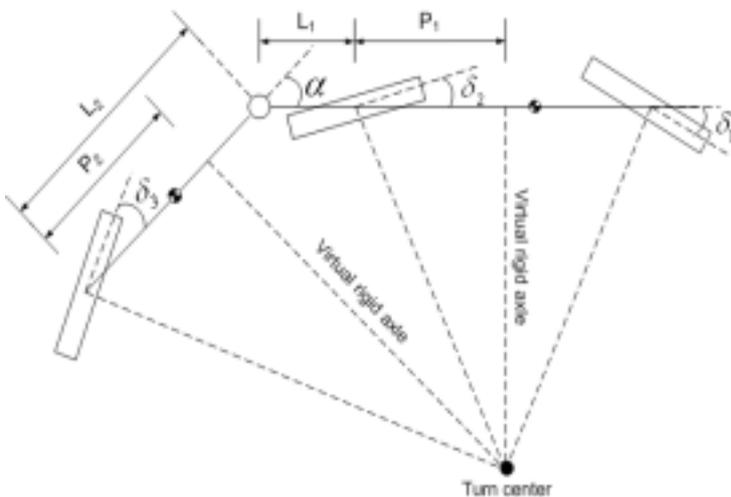


Fig. 3 Bicycle model of the Bi-modal Tram

Table. 2 Bi-modal Tram specification

Variable	Description	Value (mm)
α	Articulation angle	-
δ_1	Axle1 steering angle	-
δ_2	Axle2 steering angle	-
δ_3	Axle3 steering angle	-
L_1	Distance between axle 2 and articulation point	1123
L_2	Distance between axle 3 and articulation point	6452
P_1	Distance between body1 virtual rigid axle and axle2	2900
P_2	Distance between body2 virtual rigid axle and axle3	3200

에 각각 존재하는 가상 고정축 연장선의 중심이 선회 중심으로 정의된다. 따라서 전, 후 차체간의 굴절각(α) 변화에 따라 차량의 선회 중심은 크게 변하게 된다. 이상적인 AWS는 각 차축이 동일한 선회 중심을 기준으로 선회하는 것이다. 각 차축과 선회 중심과의 거리의 차이가 아주 작고 선회 중심이 동일하다면 세축의 궤적은 거의 동일한 원을 그릴 것이다. AWS를 위한 후륜 조향각의 계산은 이러한 이상적인 선회 개념으로부터 시작된다.

3.1 2축 조향각

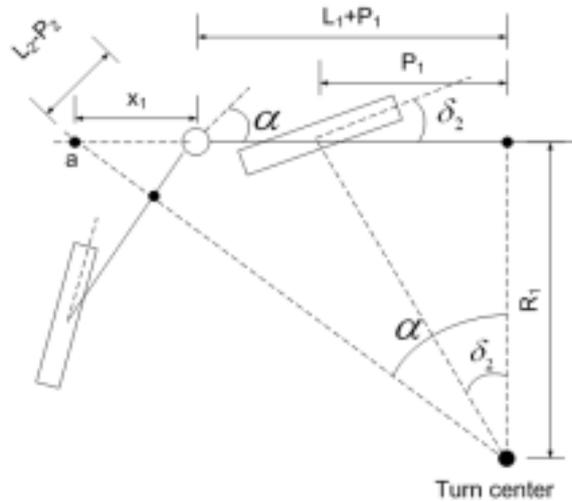


Fig. 4 Bicycle model for calculation of the 2nd axle steering angle

이상적으로 후륜 2축의 조향각(δ_2)은 Figure 4와 같이 차량 전체 회전 중심에 의해 정해진다. 즉 직진하는 차량에 운전자가 1축 조향을 하게되면, 전·후 차체간에 굴절각(α)이 발생하게 되고, 선회 중심이 나타나게 된다. 2축의 조향각은 식(1)과 같이 선회 중심으로부터 앞 차체까지의 거리(R_1)와 가상 고정축-2축 중심간 거리(P_1)에 의해 결정되게 된다.

$$\tan \delta_2 = \frac{P_1}{R_1} \quad \text{-----(1)}$$

여기서, P_1 은 상수이다. 따라서 R_1 값을 계산할 수 있으면, 2축의 조향각을 알 수 있다. 앞 차체의 연장선과 뒤 차체 가상 고정 축 연장선의 교점을 **a**점이라 할 때, 굴절점과 **a** 점 사이의 거리를 x_1 라고 가정한다. 그러면, Figure 4으로부터 식(2), (3)을 정의할 수 있게 된다.

$$\tan \alpha = \frac{(L_1 + P_1) + x_1}{R_1} \quad \text{-----(2)}$$

$$\cos \alpha = \frac{L_2 - P_2}{x_1} \quad \text{-----(3)}$$

식(3)에서 x_1 에 대해 식을 정리하여 식(2)에 대입하면 R_1 을 식(4)와 같이 표현할 수 있게 된다.

$$R_1 = \frac{(L_1 + P_1) + \frac{L_2 - P_2}{\cos \alpha}}{\tan \alpha} \quad \text{-----(4)}$$

식(4)를 식(1)에 대입하면, 식(5)과 같이 2축의 조향각을 구할 수 있게 된다.

$$\delta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{P_1}{R_1} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{P_1 \times \tan \alpha}{(L_1 + P_1) + \frac{L_2 - P_2}{\cos \alpha}} \right) \quad \text{-----(5)}$$

식(5)의 상수값은 Table. 2 굴절차량의 제원으로부터 얻을 수 있으며, 2축의 조향각(δ_2)은 굴절각(α)에 대해 함수의 형태로 나타나게 된다. 굴절각과 2축 조향각과의 관계는 Figure 5와 같다.

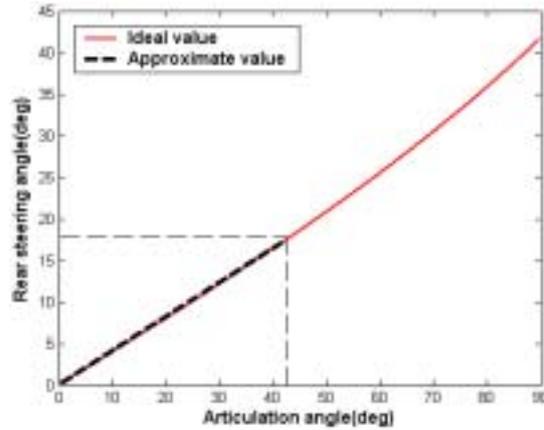


Fig. 5 2nd axis steering angle characteristic

굴절각이 90°까지 변하면, 굴절각과 2축 조향각과는 비선형적인 관계를 보이지만, 약 45°부근까지 변한다면 굴절각과 2축 조향각의 관계를 선형적으로 볼 수 있다. 선형 구간에서 굴절각과 2축 조향각의 관계는 식(6)와 같이 표현할 수 있다.

$$\delta_2 = 0.42 \times \alpha \quad \text{-----(6)}$$

Figure 5에서 실선은 식(5)와 차량제원에 의한 2축 조향각의 이상적인 곡선(Ideal value)이고, 점선은 선형화된 곡선(Approximate value)으로 45°까지는 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 즉, 굴절각이 45°까지 변할 때, 2축의 조향각을 굴절각의 42%로 정하면, 차량의 선회 중심과 2축의 선회 중심이 일치하게 된다. 따라서 선회중심으로부터 1축까지의 거리와 2축까지의 거리가 같다면 1축과 2축의 궤적은 일치하게 된다.

3.2 3축 조향각

AWS에서 3축의 조향각 역시 차량 선회 중심과 일치하는 조향각을 가지도록 요구된다. Figure 6에서 3축의 조향각(δ_3)은 식(7)과 같이 표현할 수 있다.

$$\tan \delta_3 = \frac{P_2}{R_2} \quad \text{-----(7)}$$

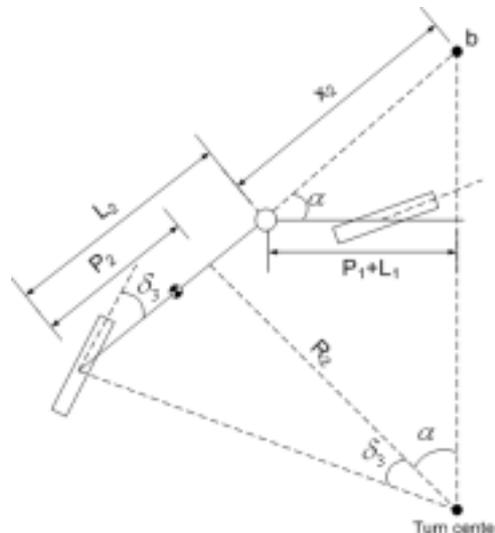


Fig. 6 Bicycle model for calculation of the 3rd axle steering angle

선회 중심으로부터 뒤 차체까지의 가상 고정축의 길이(R_2)를 알면 3축의 조향각도 알 수 있게 된다. 뒤 차체의 연장선과 앞 차체 가상 고정 축 연장선의 교점을 **b**점이라 할 때, 굴절점과 **b** 점 사이의 거리를 x_2 라고 가정한다. 그러면, Figure 6으로부터 식(8), (9)를 정의할 수 있게 된다.

$$\tan \alpha = \frac{(L_2 - P_2) + x_2}{R_2} \quad \text{-----}(8)$$

$$\cos \alpha = \frac{L_1 + P_1}{x_2} \quad \text{-----}(9)$$

식(9)에서 x_2 에 대해 식을 정리하여 식(8)에 대입하면 R_2 를 식(10)와 같이 표현할 수 있게 된다.

$$R_2 = \frac{(L_2 - P_2) + \frac{L_1 + P_1}{\cos \alpha}}{\tan \alpha} \quad \text{-----}(10)$$

식(10)을 식(7)에 대입하면, 식(11)과 같이 3축의 조향각을 구할 수 있게 된다.

$$\delta_3 = \tan^{-1}\left(\frac{P_2}{R_2}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{P_2 \times \tan \alpha}{(L_2 - P_2) + \frac{L_1 + P_1}{\cos \alpha}}\right) \quad \text{-----}(11)$$

3축의 조향각 역시 2축의 조향각과 마찬가지로 굴절각(α)에 대한 함수로 표현될 수 있으며 식(11)의 상수들은 Table. 2에서 알 수 있다. 굴절각과 3축의 조향각의 관계를 표현하면 Figure 7과 같이 나타낼 수 있다.

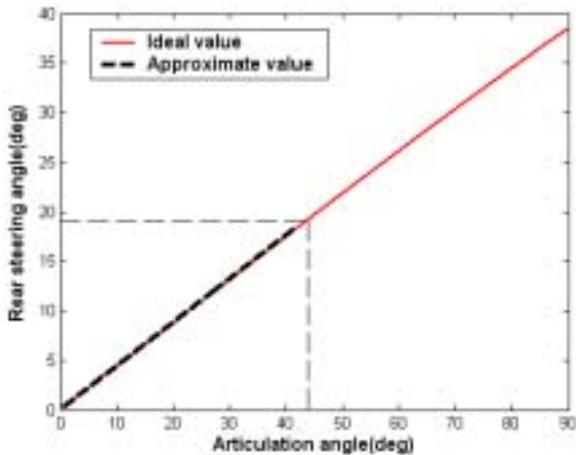


Fig. 7 3rd axis steering angle characteristic

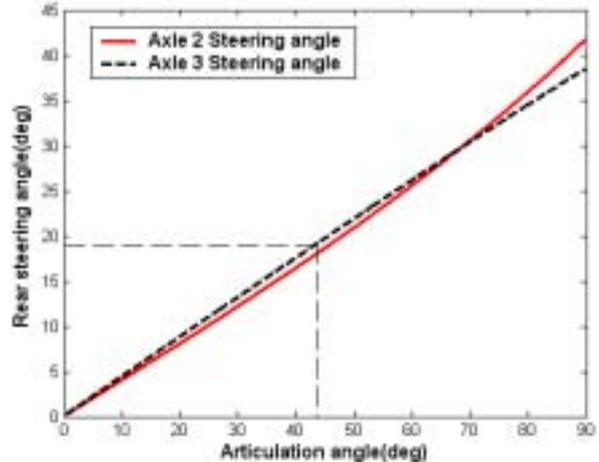


Fig. 8 2nd & 3rd axis steering angle characteristic

굴절각과 3축 조향각은 거의 선형적인 관계를 가지는 것을 확인 할 수 있으며, 식(12)과 같이 표현할 수 있다.

$$\delta_3 = 0.44 \times \alpha \quad \text{-----}(12)$$

Figure 7에서 실선은 식(11)과 차량제원에 의한 3축 조향각의 이상적인 곡선(Ideal value)이고, 점선은 선형화된 곡선(Approximate value)으로 45°까지는 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 즉, 3축의 조향각을 굴절각의 44%로 조향하면, 차량의 선회 중심과 3축의 선회 중심이 일치하게 된다. 식(6)에서 얻은 2축의 조향각과 3축의 조향각은 약 2%의 차이를 가지는 것을 알 수 있다. Figure 8에서 그 차이를 확인할 수 있으며, 이는 굴절각이 45° 이내로 변화할 때만 유효하다. 즉, 2축의 조향각이 굴절각의 42%, 3축의 조향각이 굴절각의 44%로 조향될 때 굴절궤도 차량 세 축의 선회중심은 일치하게 되고, 굴절 궤도 차량은 동심원을 그리며 선회하게 된다.

3.3 속도에 따른 조향각 변화

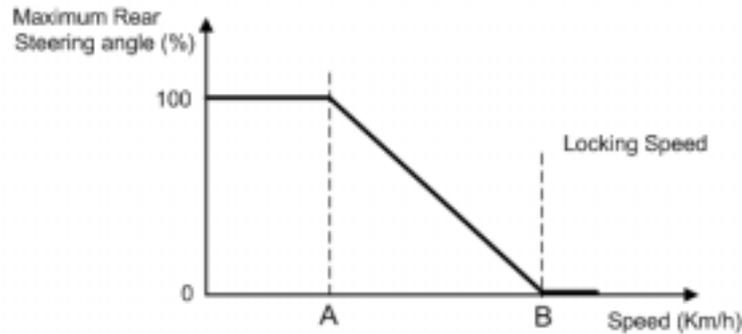


Fig. 9 The reduction of the Rear(2nd & 3rd) steering angle

AWS에서 전륜에 대한 후륜의 역위상 조향은 선회 반경 축소를 통한 안전한 주행을 목적으로 하는 것으로 이는 저속에서만 유효하다. 즉 차량이 중·고속으로 주행할 때 후륜이 역위상으로 조향되면, 차량은 과도한 오버 스티어 경향을 보이기 때문에 매우 위험한 상황에 놓이게 된다. 이 때문에 굴절 궤도 차량은 중·고속에서 후륜을 조향시키지 않고, 일반적인 차량과 같이 전륜에 의해서만 조향되도록 한다. 후륜의 최대 조향각은 Figure 9에서와 같이 속도 A부터 B까지 선형적으로 감소하게 되며, 속도 B 이후로 후륜은 조향되지 않고, 전륜에 의해서만 조향된다.

4. 차량 동역학 모델

3절에서 계산되는 후륜 조향각에 의해 차량이 어떤 거동을 보이는지 확인 할 필요가 있기 때문에 차량 동역학 모델을 구성하였다. 동역학 모델은 범용 다물체 동역학 해석 프로그램인 ADAMS[10]를 이용하였다. Figure 10, Figure 11과 같이 전륜과 후륜 모두 더블 위시본 형태의 독립 현가장치를 채택하고 있다. 현가, 조향 장치의 부품은 기구학적 구속관계(Joint)로 연결되어 있으며, 타이어의 수학적 모델은 Magic Formular 계산식을 사용하였다. [11]

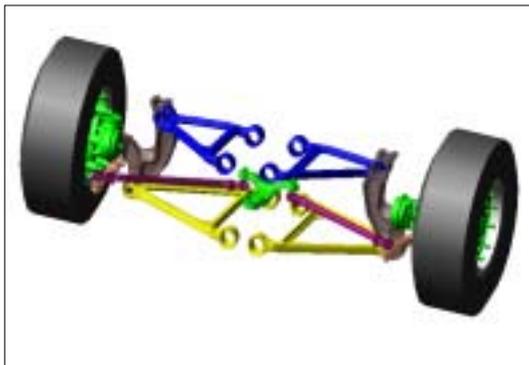


Fig. 10 1st axle suspension model

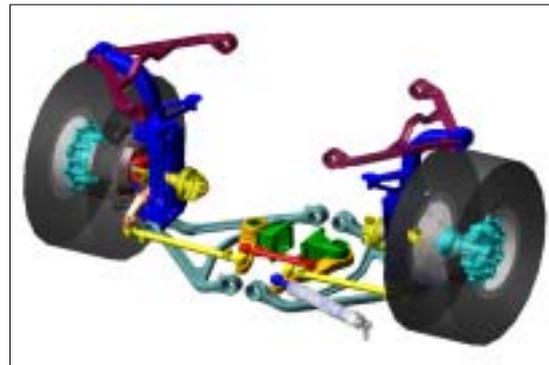


Fig. 11 2nd, 3rd axle suspension model

전륜의 조향 장치는 Figure 12에서 보는 바와 같이 축 중심에 위치한 피트만 암(Pitman arm)에 의해 조향 되고, 후륜의 조향 장치는 Figure 13과 같이 병진방향으로 움직이는 실린더에 의해 조향이 이루어진다. 차량의 선회를 위해서는 선회 안쪽 휠의 조향각은 바깥쪽 휠의 조향각 보다 커야 하며, 이를 애커만(Ackerman) 기하배치라고 한다. 이상적인 애커만 기하배치를 얻기 위한 좌·우 조향각은 조향, 현가 부품의 기하배치에 의해 결정된다.[8] 후륜의 경우 실린더의 병진 방향 변위에 따라 좌·우 휠의 조향각은 Figure 14와 같이 변하게 된다. 좌·우 조향각의 평균 조향각은 차량의 자전거 모델에서 가정된 2, 3축의 조향각으로 볼 수 있다. 이상과 같이 각 축의 조향, 현가장치를 고려하여 굴절궤도 차량의 동역학 모델을 만들 수 있고 Figure 15와 같이 차량 전체의 동역학 모델을 구성하였다.

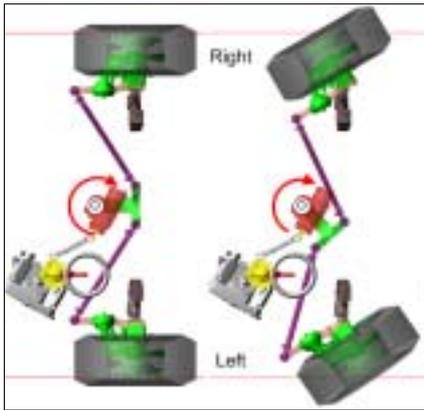


Fig. 12 1st axle steering model

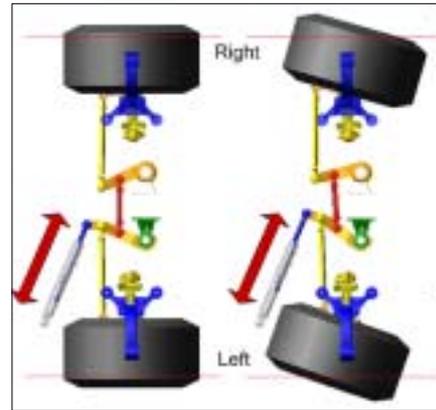


Fig. 13 2nd, 3rd axle steering model

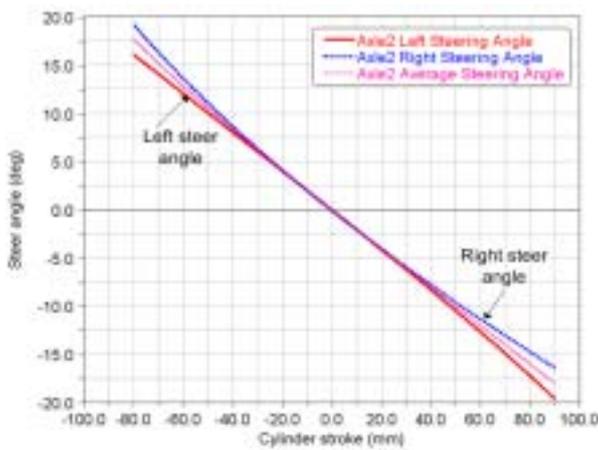


Fig. 14 Rear axle steering angle vs. cylinder stroke

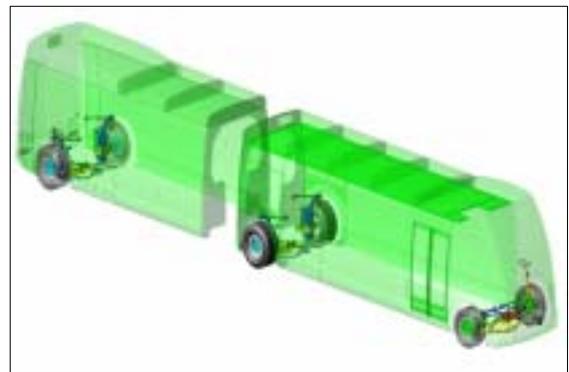


Fig. 15 Bi-modal Tram Full Car model

5. 주행 해석

5.1 정상원 선회 해석

차량 동역학 모델에 AWS를 적용하면 굴절 궤도 차량의 주행 특성을 알 수 있게 된다. AWS 알고리즘에 의해 계산된 2, 3축의 조향각은 Figure 16과 같은 과정을 거쳐 동역학 모델에 적용된다. 계산된 조향각은 Figure 14에서 좌·우 조향각의 평균 조향각을 의미한다. 평균조향각과 실린더 변위와의 관계를 Figure 14를 통해 알 수 있으므로 평균 조향각을 발생시키기 위한 실린더의 변위를 알 수 있다. 계산된 실린더 변위에 따른 기구학적 구속을 부여하게 되면 후륜의 각 축은 조향하게 된다.

정상원 선회 해석은 시속 10km/h의 일정한 속도로 선회하게 하였다. 이 때 타이어와 지면과의 미끄럼각(Slip angle)은 거의 발생하지 않는다. Figure 17은 각 축 중심의 궤적을 나타내고 있으며, 동심원을 그리며 선회하는 것을 확인할 수 있다. Figure 18은 굴절 궤도 차량의 정상원 선회 시 2, 3축의 평균 조향각 변화를 보여주고 있다.

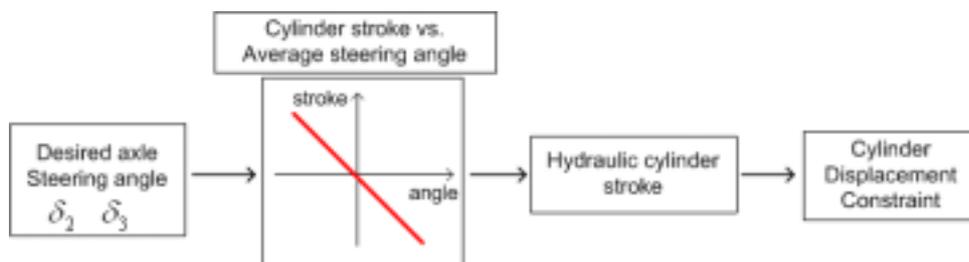


Fig. 16 AWS control algorithm application Process

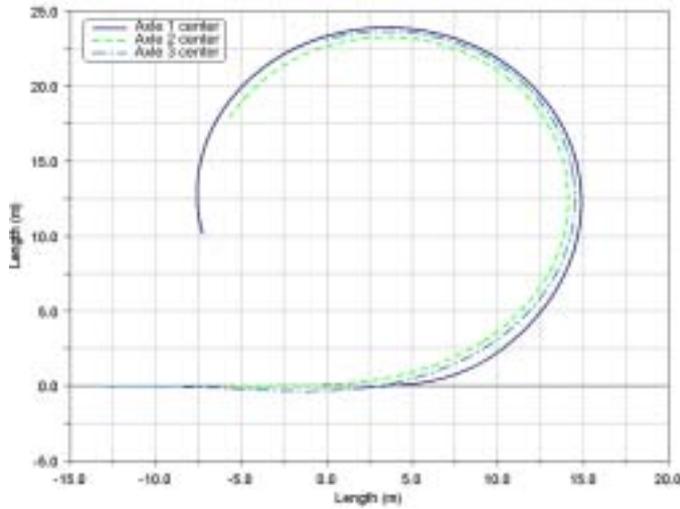


Fig. 17 Vehicle trajectory during constant radius turn

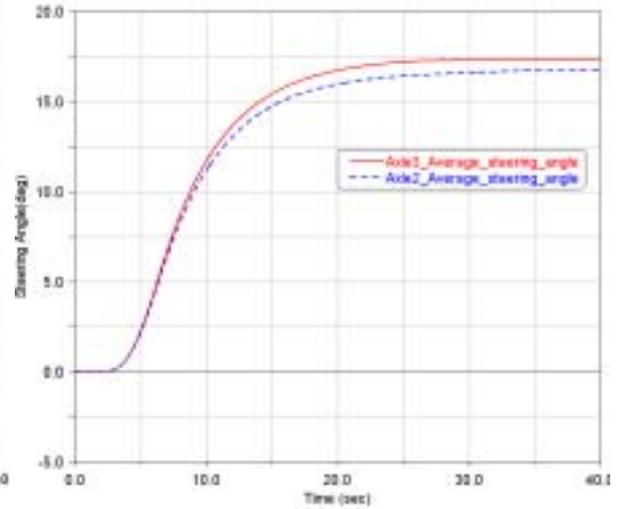


Fig. 18 2nd, 3rd axle steering model

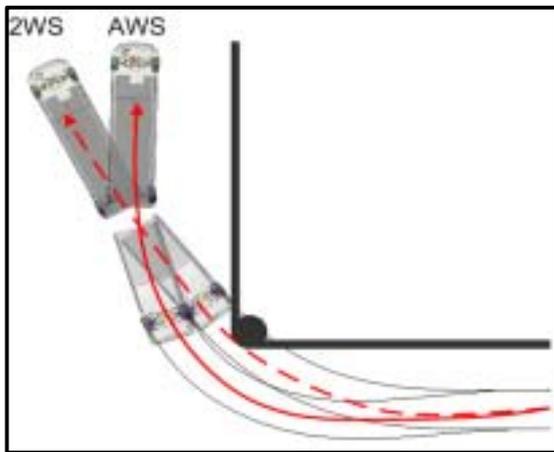


Fig. 19 Vehicle trajectory comparison

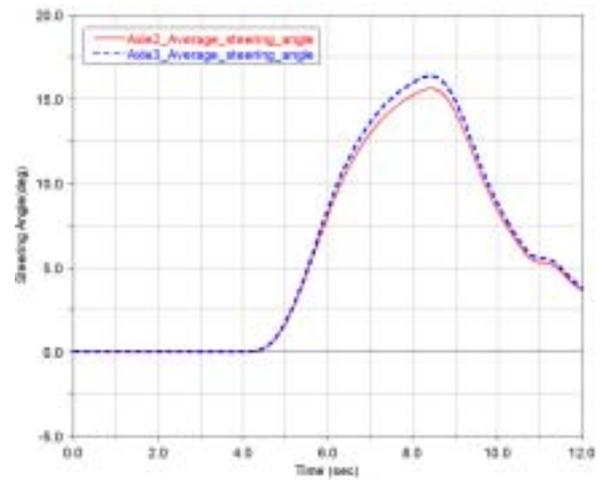


Fig. 20 2nd, 3rd axle steering angle

5.2 교차로 주행 해석

굴절궤도 차량 AWS 채택의 가장 큰 목적은 회전 반경 축소를 통한 원활한 시내 주행에 목적이 있다. 교차로 주행 상황에서 일반적인 2WS 차량의 경우 긴 축거와 차체간 굴절각으로 인해 선회하기가 까다롭다. 그러나 AWS 장착 차량의 경우 회전 반경이 작기 때문에 큰 무리없이 선회가 가능하게 된다. 차속은 10km/h가 유지되도록 하였고, 1축의 조향은 동일하게 입력해 주었다. Figure 19에서는 AWS 장착차량과 2WS 장착차량의 궤적을 보여주고 있다. 점선의 2WS의 경우 장애물을 피하기 위해서는 더 큰 회전 반경을 가지며 선회를 해야만 안전하다는 것을 확인할 수 있다. Figure 20은 교차로를 주행할 때 2, 3축의 조향각 변화를 보여주고 있다.

6. 결론

본 논문에서는 AWS를 장착한 굴절궤도 차량의 주행 특성에 대해 검토해 보았다. 이를 위해 우선 AWS의 알고리즘에 대한 검토를 하였다. 2축과 3축의 조향각이 어떤 원리에 의해 계산되는지를 고려해 보았다. 역위상 조향시 2축과 3축의 조향각은 굴절각의 42%, 44%로 조향되어야 세 축은 같은 선회 중심을 가지며 회전 하는 것을 알 수 있었다. 또한 속도에 따라 후륜의 조향각이 달라지며, 이러한 AWS의 알고리즘의 타당성을 검증하기 위해 차량 동역학 모델을 구성하였다. 차량동역학 모델에 AWS

를 적용하여 정상원 선회, 교차로 주행 해석을 실시하였다. 특히, 교차로 선회에서는 동일한 해석조건으로 2WS 장착차량과 AWS 장착 차량의 궤적을 비교하여 AWS 장착차량의 타당성을 검증하였다.

본 논문에서 개발된 차량 동역학 모델과 AWS 알고리즘을 이용하면, 다양한 주행조건, 도로 조건에서 굴절 궤도 차량의 주행 특성을 미리 예측할 수 있다. 특히, 도로의 곡률 환경에 따른 굴절 궤도 차량의 안전 속도, 궤적을 동역학 해석에 의해 알 수 있기 때문에 향후 진행되는 굴절 궤도 차량의 개발에 많은 도움을 줄 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 목재균, 임정환, 조세현, “신에너지 Bimodal 저상굴절차량 기술 개발”, 대한기계학회, 기계저널 제45권 제12호, 2005.12, pp.46~49
2. 문경호, 목재균, 장세기, 박우성, “굴절차량의 전 차륜 조향 시스템 적용에 관한 검토”, 한국철도학회 2006년도 춘계학술대회논문집, 2006.5, pp.1~6
3. Duane R Pillar, Eric E. Braun, “All-Wheel Steering System for Heavy Truck Applications”, SAE Technical paper, 952680
4. D. de Bruin, A.A.H. Damen, A. Pogromsky, “Backstepping Control for Lateral Guidance of All-Wheel Steered Multiple Articulated Vehicles”, IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings, 2000, pp.95~100
5. D. de Bruin, P.P.J. van den Bosch, “Modelling and control of a double articulated vehicle with four steerable axles”, Proceedings of the American Control Conference, 1999 pp.3250~3254
6. Schroeder C., Duchow, A., “Heavy truck handling performance analysis in vehicle test and computer simulation”, Tire science & technology, 1997, Vol.25 No.2, pp.119-136
7. Mark Sherman., George Myers, “Vehicle Dynamics Simulation for Handling Optimization of Heavy Trucks” ,SAE Technical paper, 2000-01-3437
8. Thomas D. Gillespie, "Fundamentals of Vehicle Dynamics", SAE, 1992
9. 宅野高明, “車両運動性能とシャシーメカニズム”, グランプリ出版, 1994
10. ADAMS 2003 User Manual, MSC. Software Corporation, USA, 2003
11. Hans B. Pacejka, "Tire and Behicle Dynamics", SAE, 2002