

## 조향방식 안내궤도 차량들의 주행 안정성 비교

### The Comparison of Running Performances between Various Steering-type Guideway Vehicles

윤 성 호\*

Seong-Ho Yun

**Key words** : Automated Guideway Transit(무인운전경전철) , Critical Speed(임계속도) , Steering Gain Ratio(조향이득비율), Front-Rear Wheel Steering(연동조향), Independent Wheel Steering(독립조향), Front Wheel Steering(전륜조향)

#### Abstract

This paper is to study a comparison of ride stabilities for the guideway vehicle between its three primary steering types; the front-rear wheel steering type, the independent wheel steering and the front wheel steering. A numerical model were built to investigate various factors to have an influence on the vehicular stability. It was shown that dynamic stabilities of the three types were dependent on the steering gain ratio of front wheel steering to rear. The front-rear wheel steering type was more stable for the value of positive steering gains and the shorter distance between front axle and guide link showed better stabilities. On the contrary, the independent wheel steering was more stable for the value of negative gains and the longer distance between front axle and guide link showed better stabilities. Ride characteristics of the front wheel steering seemed to be found midway. Ride behaviors due to time delay from front steering to rear were very different from steering type to type.

#### 1. 서론

안내궤도 고무차륜형 AGT(Automated Guideway Transit) 차량의 대차(Bogie)는 차체의 하중을 지지하고, 구속된 궤도를 주행하는 장치로서 차량의 안정성과 승차감에 많은 영향을 미치는 핵심구조물이다.

차축과 일체로 안내륜을 조향하는 구속식 유도방식에서는 차량의 안내에 필요한 횡력이 안내륜에 직접 작용하게 된다. 이와는 달리 궤도에 대한 차량의 상대적 변위를 검출하여 주행륜을 조타하는 방식으로서 비

구속 유도방식인 조향방식(Steering Type)이 있다.[1] 이 방식에서는 차량의 자세를 제어하는데 필요한 횡력은 주로 주행륜의 옆미끄러짐(Side Slip)에 의하여 발생한다. 차량의 전·후륜에서 각각 변위를 검출하여 각각의 주행륜을 제어하는 이 방식은 자동차의 조향기구와 유사한 기능을 가지고 있다. Fig. 1과 같이 안내조향장치는 안내궤도와 차체의 좌우방향 위치에 따라서 주행륜을 조향하고, 차량을 안내궤도에 따라 원활하게 주행하도록 한다. 상기 두 방식의 대표적인 차량에 대하여 동특성을 비교하였지만[2] 여러 조향방식에 따른 동특성 비교는 전무한 상태이다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 안내륜에서 주행륜까지 조향제어에 응답지연을 어느

\* 정회원, 금오공과대학교, 기계공학부(자동차)

정도 발생시키지만, 차량전단의 변위를 추출하여 점선으로 표시된 링크기구를 이용하여 후륜을 연동하여 조향시키는 4륜 조향방식인 전·후륜연동조향(Front-Rear Wheel Steering)방식과 링크기구가 없이 전륜만 조향시키는 전륜조향(Front Wheel Steering)방식이 있다.[3, 4] 또한 전륜 및 후륜을 각각 독립의 안내궤도에 의해 조타하는 방식으로 차량과 궤도의 상대변위를 차량의 전단부 및 후단부에서 독립적으로 검출한 후, 상대변위에 조향이득(Steering Gain)을 얻어 전륜 및 후륜의 조타각으로 변환하는 전·후륜독립조향(Independent Steering)방식이 있다. 안내궤도의 연속적으로 불규칙적인 요철로 인하여 야기되는 주행거동은 차량 각각의 조향방식에 좌우된다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 전·후륜연동조향방식, 전·후륜독립조향방식, 전륜조향방식에 대하여 차량모델을 수립하고, 각 방식에 대하여 주어진 차량제원을 적용하여 조향이득에 따른 임계속도와 이에 미치는 영향들을 비교하여 주행 안정성을 검토하고자 한다.

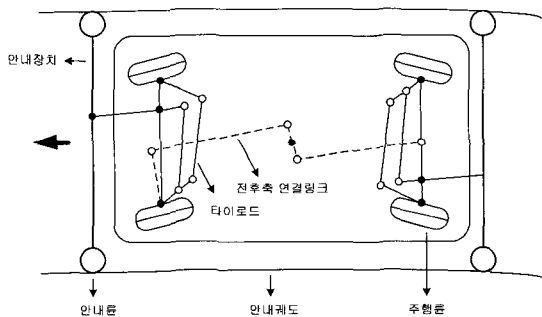


Fig. 1 A vehicle for the front-rear wheel steering type with a dashed line, the front steering type and the independent steering type.

## 2. 이론

### 2.1 운동방정식

안내궤도를 따라서 고무 타이어로 직선로를 주행하는 차량에 대하여 생각하면, 궤도를 따라 차량을 안내하기 위하여는 주행륜과는 별개의 안내륜을 필요로 한다. 안내궤도에 대한 상대 변위를 안내륜으로 검출한 후, 검출량에 따라 주행륜을 조향시킴으로써 주행륜에 횡력을 발생시킨다.

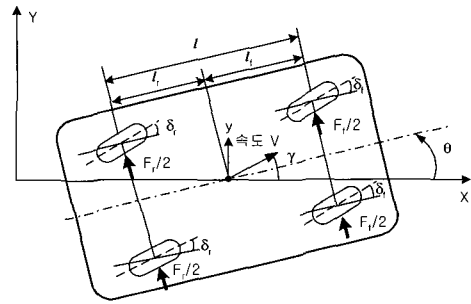


Fig. 2 A vehicular dynamics model in which running tires are subjected to lateral forces.

Fig. 2는 지상에 고정된 좌표계에서 차량의 위치를 나타내며, 직선궤도의 방향을 X축으로, 이와 직각방향을 Y축으로 표시하였다. 차량이 곡률 반경이 큰 직선로를 주행시 안내궤도의 미세한 불규칙성 때문에 어느 순간 궤도를 이탈하여 차량중심이  $\theta$ 만큼 회전하거나 횡방향으로  $y$ 만큼 변위를 일으켜 안내륜의 조향링크가 작동되어 전륜의 조향각  $\delta_f$ 를 필요로 한다.[5] 그러나 직선궤도로부터 차량의 자세가 변화하면 차량의 회전각(Yaw Angle)  $\gamma (= \theta + \delta_f)$ 방향으로 원래의 주행속도  $V$ 로 진행하려 하며, 이 때 궤도이탈 속도에 대한 전·후륜의 옆 미끄럼각  $\alpha_f$ 와  $\alpha_r$ 은 다음과 같다.

$$\alpha_f = \theta + \delta_f - \frac{\dot{y}}{V} - \frac{l_f \dot{\theta}}{V} \quad (1.a)$$

$$\alpha_r = \theta + \delta_r - \frac{\dot{y}}{V} + \frac{l_r \dot{\theta}}{V} \quad (1.b)$$

따라서 미끄럼각에 의한 전륜 및 후륜의 횡력을 다음식으로 표현할 수 있다.

$$F_f = C_f \left( \theta + \delta_f - \frac{\dot{y}}{V} - \frac{l_f \dot{\theta}}{V} \right) \quad (2.a)$$

$$F_r = C_r \left( \theta + \delta_r - \frac{\dot{y}}{V} + \frac{l_r \dot{\theta}}{V} \right) \quad (2.b)$$

여기서,  $C_f$ 와  $C_r$ 은 전륜 및 후륜의 코너링 강성이다. 또한 차량은 직선운동 및 회전운동을 함으로써 다음과 같은 운동방정식이 기술된다.

$$m\dot{y} = F_f + F_r \quad (3.a)$$

$$I\dot{\theta} = l_f F_f - l_r F_r \quad (3.b)$$

여기서,  $m$ 과  $I$ 는 차량의 질량과 회전관성이다. 식 (2.a)와 (2.b)를 식 (3.a)와 (3.b)에 대입하여 정리하면, 지상에 고정된 좌표계에 대하여 다음과 같은 차량 운동방정식이 성립한다.

$$\dot{y} = a_1(\theta - \frac{\dot{y}}{V}) - a_2 \frac{\dot{\theta}}{V} + b_1 \delta_f + b_2 \delta_r \quad (4.a)$$

$$\dot{\theta} = a_3(\theta - \frac{\dot{y}}{V}) - a_4 \frac{\dot{\theta}}{V} + b_3 \delta_f - b_4 \delta_r \quad (4.b)$$

여기서, 계수  $a_i$ 와  $b_i$  ( $i=1, \dots, 4$ )는 차량의 제원에 따라서 결정되는 값으로 다음과 같다.

$$a_1 = \frac{C_f + C_r}{m} \quad (5.a)$$

$$a_2 = \frac{l_f C_f - l_r C_r}{m} \quad (5.b)$$

$$a_3 = \frac{l_f C_f - l_r C_r}{I} \quad (5.c)$$

$$a_4 = \frac{l_f^2 C_f + l_r^2 C_r}{I} \quad (5.d)$$

$$b_1 = \frac{C_f}{m}, \quad b_2 = \frac{C_r}{m} \quad (5.e, f)$$

$$b_3 = \frac{l_f C_f}{I}, \quad b_4 = \frac{l_r C_r}{I} \quad (5.g, h)$$

## 2.2 상태공간 모델

식 (4.a)와 (4.b)를 상태공간으로 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\dot{x} = Fx + Gu \quad (6.a)$$

$$y = Hx + Ju \quad (6.b)$$

여기서, 시스템 상태  $x$ , 입력벡터  $u$ , 출력벡터  $y$ , 입력 시스템 행렬  $F$ , 입력행렬  $G$ , 출력행렬  $H$ , 직접전달항  $J$ 는 다음과 같다.

$$x = [y \quad \dot{y} \quad \theta \quad \dot{\theta}]^T \quad (7.a)$$

$$u = [\delta_f \quad \delta_r]^T \quad (7.b)$$

$$y = [y \quad \theta]^T \quad (7.c)$$

$$F = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{a_1}{V} & a_1 & -\frac{a_2}{V} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\frac{a_3}{V} & a_3 & -\frac{a_4}{V} \end{bmatrix} \quad (8.a)$$

$$G = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ b_1 & b_2 \\ 0 & 0 \\ b_3 & -b_4 \end{bmatrix} \quad (8.b)$$

$$H_{연동} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & a_f + l_f & 0 \\ 1 & 0 & a_f + l_f & 0 \end{bmatrix} \quad (8.c)$$

$$H_{독립} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & a_f + l_f & 0 \\ 1 & 0 & -(a_f + l_f) & 0 \end{bmatrix} \quad (8.d)$$

$$H_{전륜} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & a_f + l_f & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (8.e)$$

$$J = [0] \quad (8.f)$$

## 2.3 조향이득

식 (6.a)와 (6.b)는 차량이 평면 안에서 자유로이 운동하는 경우를 기술한 것이므로 Fig. 3의 연동조향방식과 Fig. 4의 독립조향방식에서 전·후륜의 조향각  $\delta_f$ 와  $\delta_r$ 를 제어입력으로 설정하고 전·후륜에서 검출된 상대변위를 귀환시켜 제어하기 위한 피드백 기구가 Fig. 5에 나타나 있다. 차량 전단위치에 장착된 안내륜이 안내 링크기구에 의하여 검출된 상대변위  $\epsilon_f$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\epsilon_f = y + (a_f + l_f)\theta \quad (9)$$

여기서,  $a_f$ 와  $l_f$ 는 앞축과 안내륜간 거리와 차량의 무게중심과 앞축과의 거리이다.

전·후륜을 동시에 조향하기 위하여 입력으로 귀환되는 조향각은 전륜의 조향이득(Steering Gain)  $G_f$ 로 표현하면, 즉 전륜 조향각과 상대변위 검출량의 비율 ( $G_f = \delta_f / \epsilon_f$ )로 설정하면 연동조향, 독립조향, 전륜조향에 대한 조향이득  $K$ 와 입력벡터  $u$ 는 다음과 같다.

연동조향의 경우,

$$\begin{bmatrix} \delta_f \\ \delta_r \end{bmatrix} = -K \begin{bmatrix} 1 & a_f + l_f \\ 1 & a_f + l_f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ \theta \end{bmatrix} \quad (10.a)$$

여기서,  $K$ 는 다음과 같다.

$$K = G_f \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & k \end{bmatrix} \quad (10.b)$$

여기서,  $k$ 는 전륜의 조향각과 후륜의 조향각과의 비율이다.

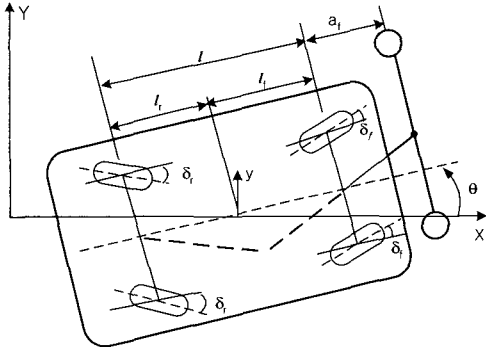


Fig. 3 A combined model of the front-rear wheel steering and the front wheel steering systems.

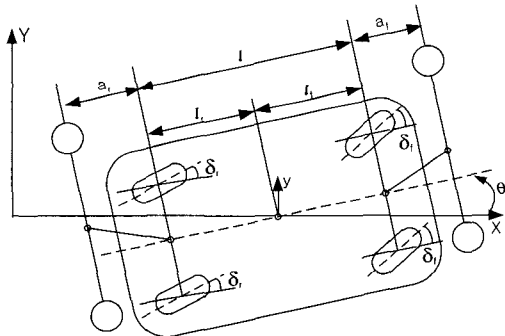


Fig. 4 A model of the independent wheel steering system.

독립조향의 경우,

$$\begin{bmatrix} \delta_f \\ \delta_r \end{bmatrix} = -K \begin{bmatrix} 1 & a_f + l_f \\ 1 & -(a_f + l_r) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ \theta \end{bmatrix} \quad (10.c)$$

전륜조향의 경우,

$$\begin{bmatrix} \delta_f \\ \delta_r \end{bmatrix} = -K \begin{bmatrix} 1 & a_f + l_f \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ \theta \end{bmatrix} \quad (10.d)$$

전륜조향의 경우는 연동조향의 식 (10.a, b)에서 전·후륜 조향각비가  $k=0$ 일 때와 같음을 알 수 있다.

### 2.4 주행 안정성

Fig. 5에 표현한 페루프 시스템의 상태방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$\dot{x} = (F - GKH)x \quad (11)$$

차량의 주행 안정성은 식 (11)의 계수로부터 결정되는 특성방정식을 통하여 검토한다. 유도식의 단순화를 위하여 코너링 강성은  $C_f=C_r=C$ , 축간 거리는  $l_f=l_r=l/2$ , 안내링크 거리는  $a_f=a$ , 회전관성은  $I=ml^2/4$ 로 할 때 특성방정식은 다음과 같다.

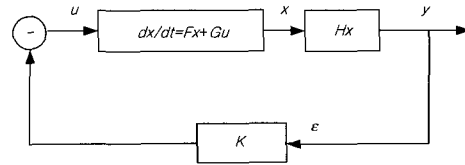


Fig. 5 A combined block diagram of both the front-rear wheel steering system and the independent wheel steering for the feedback control.

$$|sI - F + GKH| = c_0 s^4 + c_1 s^3 + c_2 s^2 + c_3 s + c_4 = 0 \quad (12)$$

여기서, 계수  $c_i$  ( $i=0, \dots, 4$ )는 다음과 같고  $\alpha$ 는 차량 무게중심에서 안내링크까지의 거리이다.

연동조향의 경우,

$$c_0 = l, \quad c_1 = \frac{2a_1}{V} \quad (13.a, b)$$

$$c_2 = -\frac{a_1^2}{V^2} \quad (13.c)$$

$$+ a_1 G_f \left\{ \frac{1}{2}(1+k) + \frac{\alpha}{l}(1-k) \right\} \quad (13.d)$$

$$c_3 = -\frac{a_1^2}{V} G_f \left\{ \frac{1}{2}(1+k) + \frac{\alpha}{l}(1-k) \right\}$$

$$c_4 = \frac{2}{l} a_1^2 G_f(1-k) \quad (13.e)$$

$$\alpha = \frac{l}{2} + a \quad (13.f)$$

독립조향의 경우,

$$c_2 = \frac{a_1^2}{V^2} + a_1 G_f \left\{ \frac{1}{2}(1+k) + \frac{a}{l}(1+k) \right\} \quad (13.g)$$

$$c_3 = \frac{a_1^2}{V} G_f \left\{ \frac{1}{2}(1+k) + \frac{a}{l}(1+k) \right\} \quad (13.h)$$

$$c_4 = \frac{2}{l} a_1^2 G_f \left\{ \frac{1}{2}(1-k) + G_r \alpha \right\} \quad (13.i)$$

$c_0, c_1$ 과  $\alpha$ 는 연동조향 경우와 동일하다.

전륜조향의 경우,

연동조향의 식 (13.a)~(13.f)에서 전·후륜 조향각비가  $k=0$ 일 때와 같다.

3가지 조향방식의 시스템 안정도를 평가하기 위하여 Routh의 기법[6]을 이용하면 다음 식이 성립해야 된다.

연동조향의 경우,

$$k < 1 \quad (14)$$

$$\frac{Cl}{mV^2} + \frac{G_f\{l+(1-k)a\}}{4} - \frac{K(1-k)}{l+(1-k)a} > 0 \quad (15)$$

식 (15)는 속도가 증가하면 이를 만족하지 못하고 차량은 불안정하게 되며, 이 때의 임계속도  $V_{cr}$ (Critical Speed)은 다음 식에서 얻을 수 있다.

$$V_{cr} = \sqrt{\frac{Cl}{m} \frac{D_1}{2K(1-k) - \frac{G_f}{8} D_1^2}} \quad (16.a)$$

여기서,  $D_1$ 는 다음과 같다.

$$D_1 = 2\{l+(1-k)a\} \quad (16.b)$$

독립조향의 경우,

$$k > -1 \quad (17)$$

$$\frac{Cl}{mV^2} + \frac{G_f\{(1+k)(l+a)\}}{4} \quad (18)$$

$$- \frac{l}{l+a} \frac{(1-k)+(l+2a)G_r}{1+k} > 0$$

$$V_{cr} = \quad (19.a)$$

$$\sqrt{\frac{Cl}{m} \frac{D_2}{lG_f\{(1-k)+(l+2a)G_r\} - \left(-\frac{D_2}{2}\right)^2}}$$

여기서,  $D_2$ 는 다음과 같다.

$$D_2 = (l+a)G_f(1+k) \quad (19.b)$$

전륜조향의 경우,

연동조향의 식 (16.a, b)에서 전·후륜 조향각비가  $k=0$ 일 때와 같다.

3가지 조향방식의 차량 시스템에 대한 조향각비  $k$ 를 정리하면, 연동조향일 경우  $k < 1$ , 독립조향일 경우  $k > -1$ , 전륜조향일 경우  $k=0$ 임을 알 수 있다.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 3~Fig. 5에서 각기 다른 조향방식의 주행안정성을 비교하기 위한 차량모델을 완성하였으며, 전·후륜 연동조향시, 전·후륜 독립조향시, 전륜조향시의 임계속도를 비교하기 위하여 Table 1의 차량제원을 사용하였다.[7, 8] Fig. 6과 Fig. 7은 앞축과 안내링크간 거리  $a_f=2.2m$ 일 때, 조향이득 비율  $k$ 를 변화시켜 각각의 방식에 대하여 임계속도를 비교한 것이다. 연동조향과 독립조향 모두 조향이득 비율이 증가함에 따라 주행안정성이 증가함을 관찰할 수 있다. 조향이득 비율이  $k=0$ 일 때 연동조향과 독립조향방식 모두 동일한 전륜조향 특성을 보인다. 또한 동일한 조향이득 비율이  $k$ 에 대하여 연동조향과 독립조향의 주행거동은 저속과 고속영역에서 서로 다름을 알 수 있다.

Fig. 8에서 조향이득 비율  $k=0.5$ 일 때, 연동조향방식이 개인 0.22를 기준으로 낮은 개인에서는 독립조향이

연동조향보다 안정하고 높은 계인에서는 연동조향이 더욱 안정함을 관찰할 수 있다. 또한 액슬과 안내링크 간의 거리가 짧을수록 안정함을 관찰할 수 있다.

Table 1. Vehicle parameters.

Variable	Unit	Value	차량
조향이득비율 $k$	-		연동, 독립
전륜조향이득 $G_f$	-		연동, 독립, 전륜
후륜조향이득 $G_r$	-		독립
만차질량 $m$	kg	1,939	연동, 독립, 전륜
윤거 $l$	m	5	연동, 독립, 전륜
액슬과 안내링크 간 거리 $a$	m	2.20 2.42	연동, 독립, 전륜
코너링 강성 $C$	kgf/rad	22,848	연동, 독립, 전륜
최대속도 $V_{max}$	km/h	80	연동, 독립, 전륜
표정속도 $V_d$	km/h	30	연동, 독립, 전륜

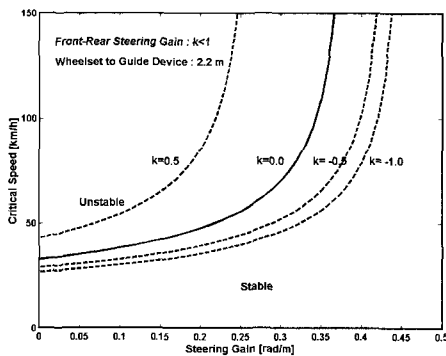


Fig. 6 A variation of critical speed for the front-rear wheel steering type.

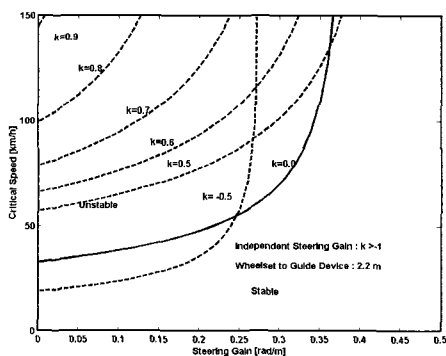


Fig. 7 A variation of critical speed for the independent wheel steering type.

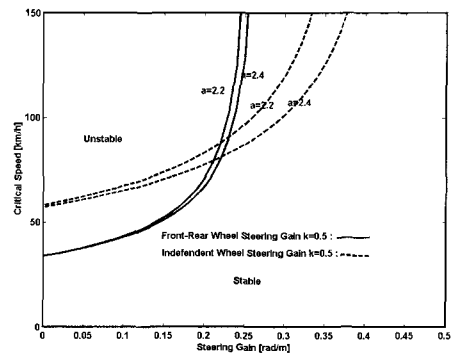


Fig. 8 A variation of critical speed depending on the distance  $a$  between wheelset and guide link at positive steering gain ratio.

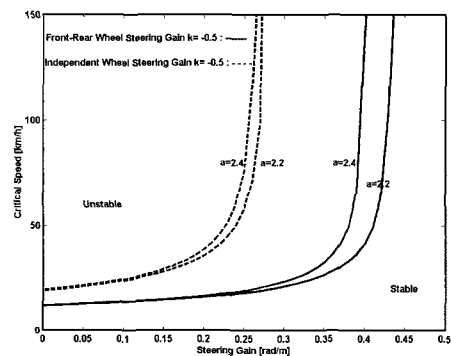


Fig. 9 A variation in critical speed depending on the distance between wheelset and guide link at negative steering gain ratio.

Fig. 9는  $k=-0.5$ 일 때 전 영역에서 독립조향이 연동조향보다 안정하고, 거리  $a$ 가 길수록 안정함을 관찰할 수 있다. Fig. 10은 거리가  $a=2.20m$ 이고 표정속도가 연동조향시  $29km/h$ , 독립조향시  $25km/h$ , 전륜조향시  $35.5km/h$ 일 때 조향이득값에 증가에 따른 근궤적을 보여주고 있다. 이것은 설정된 속도에서 Fig. 6과 Fig. 7에서 보는 바와 같이 모든 조향방식은 안정영역에 있어 평면의 좌반면으로 근궤적이 이동한다는 것을 알 수 있다. 그러나 속도를  $52km/h$ 로 설정하면 Fig. 11에 나타난바와 같이 연동조향과 전륜조향은 불안정영역인 우반면을 향하다가 다시 안정영역으로 귀환하고 독립조향은 우반면으로 진행함을 알 수 있다. 그러므로 차량의 임계속도를 결정함에 있어 조향이득값의 적절한 선택은 차량 안정성에 큰 역할을 한다.

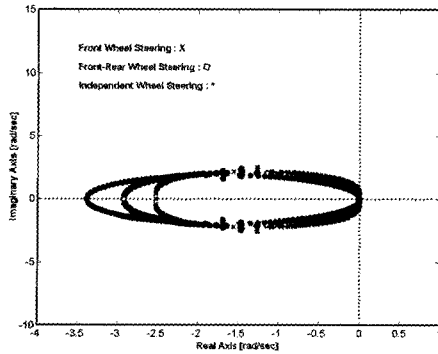


Fig. 10 The root locus in the s-plane with no steering time lag in case of stable speeds.

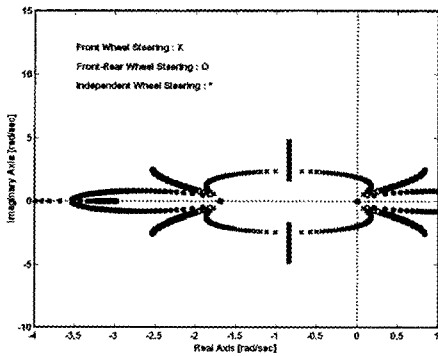


Fig. 11 The root locus in the s-plane with no steering time lag in case of a combination of stable and unstable speeds.

다음은 안내링크에서 검출된 변위로부터 전·후륜에 조향각을 전달할 때까지 시간지연(Time Lag)  $\lambda$ 가 존재할 때 식(10.a, c, d)는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} \delta_f(t) \\ \delta_r(t) \end{bmatrix}_{\text{연동}} = -K \begin{bmatrix} 1 & a_f + l_f \\ 1 & a_f + l_f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y(t-\lambda) \\ \theta(t-\lambda) \end{bmatrix} \quad (20.a)$$

$$\begin{bmatrix} \delta_f(t) \\ \delta_r(t) \end{bmatrix}_{\text{독립}} = -K \begin{bmatrix} 1 & a_f + l_f \\ 1 & -(a_f + l_f) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y(t-\lambda) \\ \theta(t-\lambda) \end{bmatrix} \quad (20.b)$$

$$\begin{bmatrix} \delta_f(t) \\ \delta_r(t) \end{bmatrix}_{\text{전륜}} = -K \begin{bmatrix} 1 & a_f + l_f \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y(t-\lambda) \\ \theta(t-\lambda) \end{bmatrix} \quad (20.c)$$

상기 식을 Fig. 5의 블록선도에 적용하여 식(12)의 특성방정식으로 다시 유도해야 한다. 라플라스 변환(Laplace Transform)을 하는 과정 중에서 식 (20.a, b,

c)의 변위벡터는 다음 식과 같다.

$$\mathcal{L} \begin{bmatrix} y(t-\lambda) \\ \theta(t-\lambda) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y(s) \\ \Theta(s) \end{bmatrix} e^{-\lambda s} \approx \begin{bmatrix} Y(s)(1-\lambda s) \\ \Theta(s)(1-\lambda s) \end{bmatrix} \quad (21)$$

따라서 식 (8.c, d, e)의 출력행렬  $H$ 는 다음과 같이 수정된다.

$$H_{\text{연동}} = \begin{bmatrix} 1 & -\lambda & a_f + l_f & -\lambda(a_f + l_f) \\ 1 & -\lambda & a_f + l_f & -\lambda(a_f + l_f) \end{bmatrix} \quad (22.a)$$

$$H_{\text{독립}} = \begin{bmatrix} 1 & -\lambda & a_f + l_f & -\lambda(a_f + l_f) \\ 1 & -\lambda & -(a_f + l_f) & \lambda(a_f + l_f) \end{bmatrix} \quad (22.b)$$

$$H_{\text{전륜}} = \begin{bmatrix} 1 & -\lambda & a_f + l_f & -\lambda(a_f + l_f) \\ 1 & -\lambda & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (22.c)$$

Fig. 10에 적용한 운행조건과 동일하게 하고 시간지연을 0.2초로 하여 조향방식에 따른 주행 안정성을 비교하였다. Fig. 12는 조향이득값이 증가함에 따라 근궤적이 우반면으로 이동하여 불안정함을 보여주고 있다. 불안정도는 독립조향, 연동조향, 전륜조향 순서로 민감함을 관찰할 수 있다. 이는 차량의 관성이 결정되면 3가지 조향방식의 상이한 조향기구들에 의하여 시간지연을 초래함으로써, 주행 안정성을 확보하기 위해서는 조향방식에 따라서 적절한 조향이득값의 선정이 중요하다는 것을 알 수 있다.

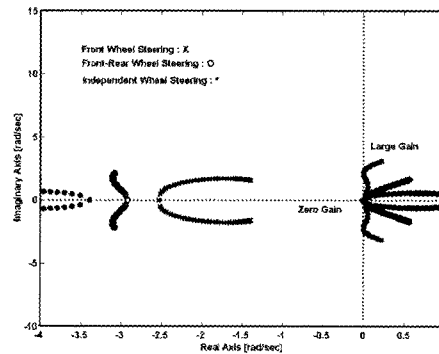


Fig. 12 The root locus in the s-plane for the front wheel steering, the front-rear wheel steering and independent wheel with a steering time lag  $\lambda=0.2$  second.

## 4. 결 론

안내궤도 차량의 전·후륜 연동조향방식, 전·후륜 독립조향방식, 전륜조향방식에 대하여 차량모델을 완성하고, 조향이득 비율에 따른 주행안정성을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 조향방식에 따라서 주행 안정성을 보장하는 조향이득 비율의 영역을 산정하였다; 연동조향  $k < 1$ , 독립조향  $k > -1$ , 전륜조향  $k = 0$ .
- (2) 연동조향방식과 독립조향방식 모두 조향이득 비율  $k$ 가 증가함에 따라 주행 안정성도 증가하였다.
- (3) 조향이득 비율  $k > 0$ 일 때 연동조향방식이 높은 조향이득에서 더욱 안정하고,  $k < 0$  일때는 독립조향방식이 더욱 안정하다.
- (4) 동일한 조향이득값에 대하여 연동조향방식과 독립조향방식은 주행속도 영역에 따라서 상이한 주행 거동을 한다.
- (5) 액셀과 안내링크간의 거리변화에 따른 주행 특성은 조향이득 비율  $k > 0$ 일 때, 짧을수록 더욱 안정하고,  $k < 0$ 일 때는 그 거리가 길수록 더욱 안정하다.
- (6) 안내링크에서 검출된 변위로부터 후륜에 조향각을 전달할 때까지 시간지연에 대하여 전륜조향, 연동조향, 독립조향 순서로 유리하다.

## 후 기

본 연구는 2001년도 금오공과대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구된 논문임.

## 참고문헌

1. 권혁수, 유형선, 윤성호, "고무차륜형 AGT 주행장치의 구조해석," 한국자동차공학회 춘계학술대회논문집, pp. 379~385, 1999.
2. 송창민, 이우식, "무인자동안내방식 경량전철 시스템의 동특성에 관한 연구," 한국철도학회논문집, Vol. 4, No. 1, pp. 1~8, 2001.
3. Fukumoto Y., "Computer Simulation and Running Test of Restrained Guidance System for KRT Vehicle," Kobe Steel Engineering Report, Vol. 37 No. 1, pp. 79~82, 1987.
4. Tsunashima H. and Fukumoto Y., "Computer Simulation of Guidance System for KRT Automated Guideway Transit Vehicle," Kobe Steel Engineering Report, Vol. 37, No. 4, pp. 49~52, 1987.
5. Gillespie, T. D., Fundamentals of Vehicle Dynamics, Society of Automotive Engineers, Inc. pp. 195~211, 1992.
6. Franklin. G. F., Powel D. J. and Abbas E.-N., Feedback Control of Dynamic System, Addison-Wesely, pp. 539~685, 1994.
7. 건설교통부, 도시철도차량표준사양, 1999.
8. Tsunashima H. and Naneko T., "Dynamics of Lateral Guidance System for Dual Mode Truck," Prec. of 4th International Symposium on Advanced Vehicle Control, Society of Automotive Engineers of Japan, Inc. pp. 317~322, 1998.