



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2008년01월30일  
(11) 등록번호 10-0799339  
(24) 등록일자 2008년01월23일

(51) Int. Cl.  
B61H 7/00 (2006.01) B61H 1/00 (2006.01)  
G01M 17/08 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2006-0133973  
(22) 출원일자 2006년12월26일  
심사청구일자 2006년12월26일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR 2020000014866 U

(73) 특허권자  
한국철도기술연구원  
경기도 의왕시 월암동 360-1  
(72) 발명자  
변윤섭  
경기 안양시 동안구 관양동 1589 한가람 세경아파트 504-308  
김민수  
서울 관악구 신림8동 1667-3 정보빌라 202  
(뒀면에 계속)  
(74) 대리인  
김국진

전체 청구항 수 : 총 7 항

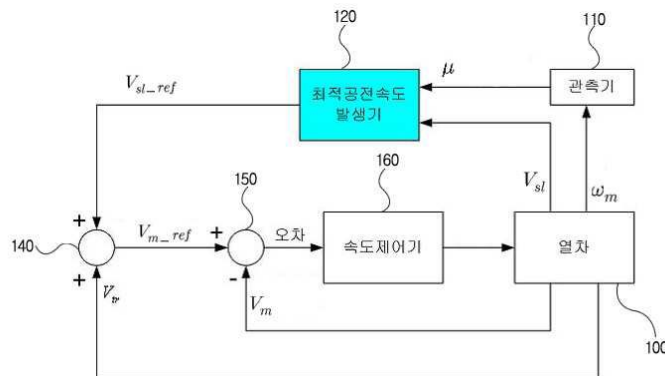
심사관 : 최현구

(54) 열차의 추진 및 제동성능 효율화를 위한 최대점착제어시스템 및 그 방법

(57) 요약

본 발명은 열차를 가속하거나 또는 감속하는 경우 최적의 공전속도를 찾는데 걸리는 시간을 단축하여 점착력이 최대가 되도록 열차의 추진장치를 제어하는 최대점착제어 시스템 및 그 방법에 관한 것으로, 기존의 방법들에 비해 공전속도 초기값( $V_{sl\_ref}^k$ )으로부터의 변동량( $\alpha$ )과 변동방향(증가 또는 감소)(sign)을 연산하여 최대점착력을 위한 최적의 공전속도에 빠르게 수렴하는 특성을 갖고 있어, 열차의 가감속 성능향상과 제동능력을 향상시키는 장점을 가지고, 열차의 과도한 공전 및 활주를 예방함으로써 이로 인하여 발생할 수 있는 차륜 및 레일의 유지보수비용을 절감하는 장점을 가지며, 일반자동차나 전기자동차, 열차 등 점착력에 의하여 구동되는 모든 경우에도 적용이 가능한 장점이 있다.

대표도 - 도5



(72) 발명자

**최은수**

경기 의왕시 삼동 121-6 까치아파트 903호

**이영훈**

경기 안양시 동안구 호계동 570 롯데아파트  
107-306

**이관섭**

경기 의왕시 삼동 우성6차아파트 113-204

**구동희**

경기 안산시 상록구 본오동 872-20 우성아파트 5동  
1302호

**특허청구의 범위**

**청구항 1**

열차가 운행시 예측되는 열차속도( $V_r$ )/공전속도( $V_{sl}$ )/전동기속도( $\omega_m$ )/ 전동기선속도( $V_m$ )에 있어서;

상기 전동기속도( $\omega_m$ )가 입력되면 점착계수( $\mu$ )값을 연산하는 관측기와; 상기 공전속도( $V_{sl}$ )와 점착계수( $\mu$ )가 입력되면 내부 연산과정을 거쳐 지령공전속도( $V_{sl\_ref}^{k+1}$ )를 연산하는 최적공전속도발생기와; 상기 지령공전속도( $V_{sl\_ref}^{k+1}$ )를 상기 열차의 열차속도( $V_r$ )와 합산하여 전동기지령선속도( $V_{m\_ref}$ )를 연산하는 가산기와; 상기 전동기 지령선속도( $V_{m\_ref}$ )와 상기 열차의 전동기선속도( $V_m$ )를 감산하여 그 오차값을 연산하는 감산기와; 상기 오차값을 이용하여 열차를 제어하는 토크를 발생하는 속도제어기로 이루어지는 것을 특징으로 하는 열차의 추진 및 제동 성능 효율화를 위한 최대점착제어 시스템.

**청구항 2**

제 1항에 있어서,

상기 관측기는 상기 점착계수( $\mu$ )를 연산시 추정값을 산정하는 것을 특징으로 하는 열차의 추진 및 제동성능 효율화를 위한 최대점착제어 시스템.

**청구항 3**

제 1항에 있어서, 상기 최적공전속도발생기는;

상기 열차 및 관측기의 공전속도( $V_{sl}$ ) 및 점착계수( $\mu$ )를 각각 제1 및 제2시간지연기를 거친 변화율을 이용하여 "0" ~ "1" 사이 값으로 스케일링하는 점착력 기울기값( $\sin\theta$ ) 연산기와, 상기 열차의 공전속도( $V_{sl}$ )를 일정배율로 가속시켜 가속값( $\beta$ )을 연산하는 가속값( $\beta$ ) 연산기와, 상기 가속값( $\beta$ )과 점착력 기울기값( $\sin\theta$ )을 이용하여 평활된 변동량( $\alpha$ )을 연산하는 변동량( $\alpha$ ) 연산기와, 상기 열차의 공전속도( $V_{sl}$ ) 및 점착계수( $\mu$ ) 정보를 각

각 제1 및 제2 미분기를 통해 단위시간당 점착계수의 변화량( $\frac{d\mu}{dt}$ )과 단위시간당 공전속도의 변화량( $\frac{dV_{sl}}{dt}$ )을 연산하여 곱하여 그 변동방향(sign)을 연산하는 변동방향 산출기와, 상기 변동량( $\alpha$ ) 연산기의 변동량( $\alpha$ )과 변동 방향 산출기의 변동방향(sign)을 곱셈연산하는 곱셈기와, 임의의 공전속도 초기값( $V_{sl\_ref}^k$ )을 상기 곱셈기를 통해 연산된 값과 합산하여 지령공전속도( $V_{sl\_ref}^{k+1}$ )를 산출하는 덧셈기로 이루어지는 것을 특징으로 하는 열차의 추진 및 제동성능 효율화를 위한 최대점착제어 시스템.

**청구항 4**

제 3항에 있어서,

상기 가속값( $\beta$ ) 연산기에 입력되는 공전속도( $V_{sl}$ )의 범위를 선정하는 입력제한기가 더 구비되는 것을 특징으로 하는 열차의 추진 및 제동성능 효율화를 위한 최대점착제어 시스템.

**청구항 5**

제 1항에 있어서, 상기 최적공전속도발생기는;

이때, 상기 임의의 공전속도 초기값( $V_{sl\_ref}^k$ )은 재연산시 이전의 지령공전속도( $V_{sl\_ref}^{k+1}$ )를 공전속도 초기값( $V_{sl\_ref}^k$ )으로 재투입되는 것을 특징으로 하는 열차의 추진 및 제동성능 효율화를 위한 최대점착제어 시스템.

**청구항 6**

열차의 공전속도( $V_{sl}$ ) 및 점착계수( $\mu$ )의 변화율을 sin 함수의 절대값을 이용하여 "0" ~ "1" 사이의 점착력 기울기값( $\sin\theta$ )으로 연산하는 제1단계와;

상기 공전속도( $V_{sl}$ )를 일정배율로 가속시켜 가속값( $\beta$ )을 연산하는 제2단계와;

상기 가속값( $\beta$ )과 점착력 기울기값( $\sin\theta$ )을 이용하여 평활된 변동량( $\alpha$ )을 연산하는 제3단계와;

상기 열차의 공전속도( $V_{sl}$ ) 및 점착계수( $\mu$ ) 정보를 단위시간당 변화량으로 미분하여 곱셈연산을 하여 그 변동방향(sign)을 결정하는 제4단계와,

상기 변동량( $\alpha$ ) 및 변동방향(sign)을 곱셈연산하고, 임의의 공전속도 초기값( $V_{sl\_ref}^k$ )에 합산하여 지령공전속도( $V_{sl\_ref}^{k+1}$ )를 산출하는 제5단계;로 이루어진 것을 특징으로 하는 열차의 추진 및 제동성능 효율화를 위한 최대점착제어 방법.

### 청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 임의의 공전속도 초기값( $V_{sl\_ref}^k$ )은 재연산시 이전의 지령공전속도( $V_{sl\_ref}^{k+1}$ )를 공전속도 초기값( $V_{sl\_ref}^k$ )으로 재투입하는 것을 특징으로 하는 열차의 추진 및 제동성능 효율화를 위한 최대점착제어 방법.

## 명세서

### 발명의 상세한 설명

#### 발명의 목적

#### 발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

- <17> 본 발명은 열차의 추진 및 제동성능 효율화를 위한 최대점착제어 시스템 및 그 방법에 관한 것으로, 좀 더 상세하게는 열차를 가속하거나 또는 감속하는 경우 최적의 공전속도를 찾는 데 걸리는 시간을 단축하여 점착력이 최대가 되도록 열차의 추진장치를 제어하는 최대점착제어 시스템 및 그 방법에 관한 것이다.
- <18> 일반적으로 바퀴식 구동장치를 이용하여 추진하는 자동차나 열차 등과 같은 차량은 바퀴와 노면간 또는 차륜과 레일간의 마찰력인 점착력에 의해 추진력 및 제동력을 얻는다. 이때, 철도차량은 가속이나 감속시에 필연적으로 차륜과 레일 사이에 미끄러짐인 공전 및 활주현상이 발생하게 되며, 이는 마찰면(바퀴와 노면 또는 차륜과 레일) 사이의 최대 점착력 이상의 구동력이 가해지면 과도한 공전현상을 유발하고, 최대 점착력 이하의 제동력에서는 과도한 활주현상을 유발한다.
- <19> 이러한 과도한 공전현상이나 활주현상은 구동시스템의 제어특성을 불안정하게 만들고 접촉부위의 비정상적인 마모를 형성한다.
- <20> 또한 이런 현상은 자동차에서는 자동차의 전복이나 회전을 일으켜 차량사고의 직접적인 원인을 제공하며 시스템의 안전성 및 경제성에 큰 영향을 끼치게 되고, 열차에서는 과도한 공전 및 활주로 인해 차륜과 레일의 과도한 손상으로 유지보수 비용을 증가시킬 뿐만 아니라 각각의 차량시스템이 보유하고 있는 최대의 견인성능을 발휘하지 못하게 된다.
- <21> 한편, 철도차량으로 이루어지는 열차의 경우에는 레일과 차륜 사이의 최대점착력을 유지하는 조건에서 열차의 추진시 가속시간을 단축하고 제동시에는 열차의 제동거리를 최대로 할 수 있는데, 열차의 점착특성은 차륜과 레일 사이의 마찰 표면 상태(습도, 건조, 오염물 등)와 공전속도(차륜과 열차의 속도차)에 따라 변화하며, 이는 도 1을 참조하면 점착력은 일정 영역까지 공전속도가 증가함에 따라 증가하다가 점착력이 최대가 된 후 급격히 감소하는 비선형적인 특성을 갖는다.
- <22> 이와 같은 종래의 열차의 공전활주제어 방법 중 고전적인 방법은 도 2에 도시한 바와 같이 패턴방식의 재점착제어 방식으로 열차의 속도( $V_{tr}$ )와 차륜의 속도( $V_w$ ) 및 오차(공전속도  $V_{sl}$ )를 이용한다. 즉, 공전속도( $V_{sl}$ )가 공전기준값( $V_{slid}$ )을 초과하면 전동기의 구동 토크를 감소시키고 그에 따라 공전속도가 점착기준 값( $V_{red}$ ) 이하로 감소하면 점착이 된 것으로 인식하여 토크를 회복 증가하는 방식이다. 이와 같은 방식은 실제의 최대점착력을 모르는 상태로 운전하는 방식으로 견인력 손실이 크고 재공전의 발생가능성이 있다.

- <23> 한편, 최근에는 최대 점착제어방식으로 개발된 방법 중 일반적인 방법으로 최속강하법이 있다.
- <24> 상기 최속강하법은 도 1에 도시한 바와 같이 최대 점착력을 갖는 최적의 공전속도점(P)을 수치해석 방법으로 찾아 그 공전속도를 유지하도록 차량의 전동기 속도를 제어하는 방법이다. 즉, 도 1에 의하면 공전속도에 따른 점착력의 경사도에 의해 기울기가 "0"인 최대점착력을 갖는 공전속도를 찾는 방법으로 다음과 같은 수식(1)을 사용한다.

<25> 
$$V_{sl\_ref}^{k+1} = V_{sl}^k + \alpha \frac{d\mu}{dV_{sl}} \text{-----}(1)$$

<26> 상기 식(1)에서 보는 것처럼, 공전속도 기준값( $V_{sl\_ref}^{k+1}$ )은 이전 공전속도( $V_{sl}^k$ )를 공전속도대 점착력의 기울기( $\frac{d\mu}{dV_{sl}}$ )에 상수( $\alpha$ )가 곱해진 정도로 증가 또는 감소시켜 최적의 공전속도값을 점착력의 기울기( $\frac{d\mu}{dV_{sl}}$ )가 "0"이 될 때(최대점착조건)까지 찾아가는 방법이다.

<27> 그런데 이와 같은 종래의 최속강하법은 점착력의 기울기( $\frac{d\mu}{dV_{sl}}$ )에 일정상수( $\alpha$ )가 곱해짐으로써 점착력의 기울기( $\frac{d\mu}{dV_{sl}}$ )가 작으면 최적의 공전속도값에 느리게 수렴할 수 있으며, 이와 같이 최적공전속도에 느리게 수렴한다는 것은 이 값으로 제어되는 열차나 차량이 최대점착력을 발휘하는데 오랜 시간이 걸린다는 것을 의미하므로 그만큼의 전인력 손실로 볼 수 있다.

**발명이 이루고자 하는 기술적 과제**

<28> 따라서, 이러한 종래 문제점들을 해결하기 위한 본 발명의 목적은 열차를 가속하거나 또는 감속하는 경우 단시간 내에 점착력이 최대가 되도록 열차의 추진장치를 제어하는 최대점착제어 시스템 및 그와 같은 최대점착제어 방법을 제공하는데 있다.

<29> 또한, 본 발명의 다른 목적은 이와 같은 최대점착제어를 수행함으로써 주어진 운행거리를 보다 빠른 시간에 열차의 최대성능으로 이동할 수 있고 차륜이나 레일의 과도한 마모 없이 열차나 차량의 제동거리를 줄일 수 있는 최대점착제어 시스템 및 그와 같은 최대점착제어 방법을 제공하는데 있다.

**발명의 구성 및 작용**

<30> 이와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명은 열차의 추진 및 제동성능 효율화를 위한 최대점착제어 시스템에 관한 것으로; 열차가 운행시 측정되는 열차속도( $V_{tr}$ )/공전속도( $V_{sl}$ )/전동기속도( $\omega_m$ )/ 전동기선속도( $V_m$ )에 있어서; 상기 전동기속도( $\omega_m$ )가 입력되면 점착계수( $\mu$ )값을 연산하는 관측기와; 상기 공전속도( $V_{sl}$ )와 점착계수( $\mu$ )가 입력되면 내부 연산과정을 거쳐 지령공전속도( $V_{sl\_ref}^{k+1}$ )를 연산하는 최적공전속도발생기와; 상기 지령공전속도( $V_{sl\_ref}^{k+1}$ )를 상기 열차의 열차속도( $V_{tr}$ )와 합산하여 전동기지령선속도( $V_{m\_ref}$ )를 연산하는 가산기와; 상기 전동기 지령선속도( $V_{m\_ref}$ )와 상기 열차의 전동기선속도( $V_m$ )를 감산하여 그 오차값을 연산하는 감산기와; 상기 오차값을 이용하여 열차를 제어하는 토크를 발생하는 속도제어기;로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

<31> 여기서, 상기 관측기는 상기 점착계수( $\mu$ )를 연산시 추정값을 산정하는 것을 특징으로 한다.

<32> 그리고, 상기 최적공전속도발생기는; 상기 열차 및 관측기의 공전속도( $V_{sl}$ ) 및 점착계수( $\mu$ )를 각각 제1 및 제2 시간지연기를 거친 변화율을 이용하여 "0" ~ "1" 사이 값으로 스케일링하는 점착력 기울기값( $\sin\theta$ ) 연산기와, 상기 열차의 공전속도( $V_{sl}$ )를 일정배율로 가속시켜 가속값( $\beta$ )을 연산하는 가속값( $\beta$ ) 연산기와, 상기 가속값( $\beta$ )과 점착력 기울기값( $\sin\theta$ )을 이용하여 평활된 변동량( $\alpha$ )을 연산하는 변동량( $\alpha$ ) 연산기와, 상기 열차의 공전속도( $V_{sl}$ ) 및 점착계수( $\mu$ ) 정보를 각각 제1 및 제2 미분기를 통해 단위시간당 점착계수의 변화량

$\frac{d\mu}{dt}$ 과 단위시간당 공전속도의 변화량( $\frac{dV_{sl}}{dt}$ )을 연산하여 곱하여 그 변동방향(sign)을 연산하는 변동방향 산출기와, 상기 변동량( $\alpha$ ) 연산기의 변동량( $\alpha$ )과 변동방향 산출기의 변동방향(sign)을 곱셈연산하는 곱셈기와, 임의의 공전속도 초기값( $V_{sl\_ref}^k$ )을 상기 곱셈기를 통해 연산된 값과 합산하여 지령공전속도( $V_{sl\_ref}^{k+1}$ )를 산출하

는 덧셈기로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

<33> 또한, 상기 가속값( $\beta$ ) 연산기에 입력되는 공전속도( $V_{s1}$ )의 범위를 선정하는 입력제한기가 더 구비되는 것을 특징으로 한다.

<34> 그리고, 상기 최적공전속도발생기는; 이때, 상기 임의의 공전속도 초기값( $V_{sl\_ref}^k$ )은 재연산시 이전의 지령공전속도( $V_{sl\_ref}^{k+1}$ )를 공전속도 초기값( $V_{sl\_ref}^k$ )으로 재투입되는 것을 특징으로 한다.

<35> 또한, 본 발명은 열차의 추진 및 제동성능 효율화를 위한 최대점착제어 방법에 관한 것으로; 열차의 공전속도( $V_{s1}$ ) 및 점착계수( $\mu$ )의 변화율을  $\sin$  함수의 절대값을 이용하여 "0" ~ "1" 사이의 점착력 기울기값( $\sin\theta$ )으로 연산하는 제1단계와; 상기 공전속도( $V_{s1}$ )를 일정배율로 가속시켜 가속값( $\beta$ )을 연산하는 제2단계와; 상기 가속값( $\beta$ )과 점착력 기울기값( $\sin\theta$ )을 이용하여 평활된 변동량( $\alpha$ )을 연산하는 제3단계와; 상기 열차의 공전속도( $V_{s1}$ ) 및 점착계수( $\mu$ ) 정보를 단위시간당 변화량으로 미분하여 곱셈연산을 하여 그 변동방향(sign)을 결정하는 제4단계와; 상기 변동량( $\alpha$ ) 및 변동방향(sign)을 곱셈연산하고, 임의의 공전속도 초기값( $V_{sl\_ref}^k$ )에 합산하여 지령공전속도( $V_{sl\_ref}^{k+1}$ )를 산출하는 제5단계;로 이루어진 것을 특징으로 한다.

<36> 여기서, 상기 임의의 공전속도 초기값( $V_{sl\_ref}^k$ )은 재연산시 이전의 지령공전속도( $V_{sl\_ref}^{k+1}$ )를 공전속도 초기값( $V_{sl\_ref}^k$ )으로 재투입하는 것을 특징으로 한다.

<37> 이하, 본 발명에 따른 열차의 추진 및 제동성능 효율화를 위한 최대점착제어 시스템 및 그 방법을 첨부한 도면을 참고로 하여 상세히 기술되는 실시예에 의하여 그 특징들을 이해할 수 있을 것이다.

<38> 이때, 도 3은 본 발명을 설명하기 위해 열차의 공전속도( $V_{s1}$ )에 따른 점착계수( $\mu$ )의 특성을 도시한 도면이고, 도 4는 본 발명을 설명하기 위한 평활함수의 특성을 도시한 도면이고, 도 5는 본 발명에 따른 열차의 추진 및 제동성능 효율화를 위한 최대점착제어 시스템의 구성도이고, 도 6은 도 5의 최적공전속도 발생기의 구성도이다.

<39> 본 발명에 따른 열차추진 및 제동성능 효율화를 위한 최대점착제어 시스템은 열차를 추진하거나 또는 제동시에 최적의 공전속도를 찾는 데 걸리는 시간을 단축하는 시스템으로, 열차가 빠른시간 내에 최대점착력 조건에서 최대의 견인력으로 운전하도록 하여 주어진 운행거리를 보다 빠른시간에 열차의 최대성능으로 이동할 수 있으며, 차륜(車輪)이나 선로(線路)의 과도한 마모 없이 열차의 제동거리를 줄일 수 있도록 제어하는 시스템이다.

<40> 이와 같은 본 발명은 종래의 최속강하법을 사용하여 최대점착력을 갖는 공전속도를 구할 때 따르는 시간 지연의 단점을 새롭게 보완하는 방법을 이용하게 된다.

<41> 도 3은 열차의 공전속도( $V_{s1}$ )에 따른 점착계수( $\mu$ )의 특성을 도시한 도면으로, 이에 의하면 열차의 공전속도( $V_{s1}$ )에 따른 점착계수( $\mu$ ) 값은 비선형적인 특성을 가지고 있으며, 점착계수( $\mu$ )가 최대인 정점(P)에서는 공전속도( $V_{s1}$ ) 대 점착계수( $\mu$ )의 변화구간별  $\sin\theta$  값을 조사하여 그  $\sin\theta$  값이 "0"인 점에서 최대값을 갖는다.

<42> 따라서, 열차의 공전속도( $V_{s1}$ ) 대 점착계수( $\mu$ )의 기울기 변화값을  $\sin\theta$  함수의 절대값으로 변경하면 기울기 값이 "0"~"1" 사이의 값으로 변경이 가능하며, 이를 활용하여 최적의 공전속도를 찾는 데 이용할 수 있게 된다. 이때, 점착계수( $\mu$ )가 최대인 정점(P)에서 열차를 운행하게 하여 열차의 견인효율을 최대로 활용하기 위해서는 그에 해당하는 최적공전속도( $V_{sl\_p}$ )를 빨리 찾아야 한다.

<43> 그런데, 점착계수( $\mu$ )와 공전속도( $V_{s1}$ )의 함수관계는 비선형적이며 선로의 조건(기후, 온도, 습도, 선로점착물)에 따라 변동하기 때문에 그 일반해를 구할 수가 없어 수치해석적인 방법으로 그 해를 찾아야 한다.

<44> 그러한 방법으로 임의의 공전속도 초기값( $V_{sl\_ref}^k$ )으로부터 얼마만큼의 량을 증가시키거나 또는 감소시켜 최적의 공전속도( $V_{sl\_p}$ )값을 빨리 찾아 갈 것인가 하는 것이다.

<45> 본 발명은 최적공전속도( $V_{sl\_p}$ )를 찾기 위해 다음과 같은 식(2)을 이용하여 지령공전속도( $V_{sl\_ref}^{k+1}$ )를 반복적으로 산출하여 단시간내에 수렴하는 최적공전속도를 찾아낸다.

<46> 
$$V_{sl\_ref}^{k+1} = V_{sl\_ref}^k + \alpha \times \text{sign} \left( \frac{d\hat{\mu}}{dt} \times \frac{dV_{sl}}{dt} \right) \text{-----}(2)$$

<47> 이때, 중요한 것은 공전속도 초기값( $V_{sl\_ref}^k$ )으로부터의 변동량( $\alpha$ )과 변동방향(증가 또는 감소)( $\text{sign}$ )이다.

<48> 먼저, 상기 식(2)의 변동방향( $\text{sign}$ )은 단위시간당 점착계수의 변화량( $\frac{d\hat{\mu}}{dt}$ )과 단위시간당 공전속도의 변화량( $\frac{dV_{sl}}{dt}$ )의 곱의 부호인  $\text{sign} \left( \frac{d\hat{\mu}}{dt} \times \frac{dV_{sl}}{dt} \right)$ 로 결정되는데, 이는 다음과 같은 식(3)을 이용하여 산출값( $\frac{d\hat{\mu}}{dt} \times \frac{dV_{sl}}{dt}$ )이 "0"을 초과하는지 여부에 따라 "1" 또는 "-1"의 값을 갖도록 하여 그 변동방향을 결정하게 된다.

<49> 
$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0 \\ 1 & x > 0 \end{cases} \text{-----}(3)$$

<50> 한편, 상기 식(2)의 변동량( $\alpha$ )은 다음과 같은 식(4)를 통해 입력된 공전속도( $V_{sl}$ )를 이용하여 공전속도지령 증감분의 가속값( $\beta$ )을 연산하고, 식(5)를 통해 공전속도대 점착계수의 변화율을  $\sin$  함수의 절대값을 이용하여 "0" ~ "1" 사이 값으로 스케일링( $\text{scaling}$ )하여 점착력 기울기값( $\sin\theta$ )을 얻게 된다.

<51> 
$$\beta = \alpha V_{sl}^{\beta_{sl}}, \quad 1 \leq V_{sl} \leq 10, \quad \alpha > 0 \text{-----}(4)$$

<52> 
$$\sin \theta = \frac{\mu_{k+1} - \mu_k}{\sqrt{(V_{sl(k+1)} - V_{sl(k)})^2 + (\mu_{k+1} - \mu_k)^2}} \text{-----}(5)$$

<53> 이때, 상기 식(5)의  $\sin\theta$  함수는 점착력의 기울기 값을 "0" ~ "1" 사이의 값으로 변경하게 되는데 이는 공전속도가 정점(P)에 근접할수록  $\sin\theta$  값은 "0"으로 부드럽게 수렴하고, 정점(P)에서 멀수록 그 함수값은 급격히 증가하는 특성을 가진다. 따라서, 정점(P)에 근접하면 작은 값으로 증가량을 결정하고 정점(P)에 멀면 큰값을 갖도록 하여 정점(P)으로의 수렴속도를 증가시키는 동시에 정점(P)에서 외부 변동성에 둔감하도록 하는 함수이다.

<54> 이상과 같이 식(4)를 통해 연산된 가속값( $\beta$ )과, 식(5)를 통해 연산된 기울기값( $\sin\theta$ )은 다음과 같은 식(6)에 대입하여 공전속도지령 증감분을 평활시켜 변동량( $\alpha$ )을 산정하게 되며, 이는 도 4에 도시한 바와 같은 곡선 특성을 가진다.

<55> 
$$\alpha = \beta \frac{1}{1 + \left( \frac{1 - \sin\theta}{F_2} \right)^{-F_1}}, \quad F_1, F_2: \text{상수} \text{-----}(6)$$

<56> 이상과 같이 식(6)을 통해 연산된 변동량( $\alpha$ )값과 식(3)을 통해 연산된 변동방향( $\text{sign}$ )값을 식(2)에 대입함으로써 지령공전속도( $V_{sl\_ref}^{k+1}$ )를 산출하게 된다.

<57> 이하, 도 5를 참고로 본 발명에 따른 열차 추진 및 제동성능 효율화를 위한 최대점착제어 시스템을 설명한다.

<58> 열차(100)가 운행되면 그에 따른 열차속도( $V_{tr}$ )/공전속도( $V_{sl}$ )/전동기속도( $\omega_m$ )/전동기선속도( $V_m$ )를 계측하게 된다.

<59> 이때, 상기 전동기속도( $\omega_m$ )는 관측기(110)에 입력되며, 이는 차륜과 레일의 조건(기후, 온도, 습도, 선로점착률)에 따라 추정 점착계수( $\mu$ )값을 연산하게 된다.

<60> 이와 같이 관측기(110)를 통해 연산된 점착계수( $\mu$ )와 열차(100)의 공전속도( $V_{sl}$ )는 최적공전속도발생기(120)에 입력되어 내부 연산과정을 거쳐 지령공전속도( $V_{sl\_ref}^{k+1}$ )를 연산하게 된다.

<61> 상기 연산된 지령공전속도( $V_{sl\_ref}^{k+1}$ )는 가산기(140)에서 열차(100)의 운행으로 인해 계측된 열차속도( $V_{tr}$ )와 합산되어 전동기지령선속도( $V_{m\_ref}$ )를 연산하게 되고, 그와 같이 연산된 전동기지령선속도( $V_{m\_ref}$ )는 감산기(150)에서 열차(100)의 운행으로 인해 계측된 전동기선속도( $V_m$ )가 감산되어 그 오차값을 속도제어기(160)로 전송해 주어 열차(100)를 제어하는 토크를 발생하게 된다.

<62> 이와 같은 과정은 계속적으로 반복 수행하게 되어 열차의 최대점착제어를 수행하는데 걸리는 시간을 단축시켜주

게 된다.

- <63> 이하, 도 6을 참고로 본 발명에 따른 최적공전속도발생기(120)의 구성 및 그 연산과정을 상세히 설명한다.
- <64> 최적공전속도발생기(120)는 열차(100)와 관측기(110)를 통해 입력되는 열차(100)의 공전속도( $V_{sl}$ ) 및 점착계수( $\mu$ ) 정보를 이용하여 지령공전속도( $V_{sl\_ref}^{k+1}$ )를 연산하는 장치로서, 공전속도( $V_{sl}$ ) 및 점착계수( $\mu$ ) 정보를 제1 및 제2시간지연기(121,122)를 거친 변화율을 점착력 기울기값( $\sin\theta$ ) 연산기(123)를 통해 점착력 기울기값( $\sin\theta$ )을 연산하게 되며, 이는 상기 식(5)의  $\sin$  함수의 절대값을 이용하여 "0" ~ "1" 사이 값으로 스케일링(*scaling*)하여 얻게 된다. (제1단계)
- <65> 한편, 상기 열차(100)의 공전속도( $V_{sl}$ )는 입력제한기(124)를 통해 필터링 과정을 거쳐 가속값( $\beta$ ) 연산기(125)를 거쳐 공전속도( $V_{sl}$ )를 가속시키게 되며, 이는 식(4)를 통해 가속값( $\beta$ )을 연산하게 된다. (제2단계)
- <66> 이와 같은 가속값( $\beta$ ) 연산기(125)의 가속값( $\beta$ )과, 점착력 기울기값( $\sin\theta$ ) 연산기(123)의 점착력 기울기값( $\sin\theta$ )은 변동량( $\alpha$ ) 연산기(126)를 거쳐 평활된 변동량( $\alpha$ )을 연산하며, 이는 식(6)을 통해 변동량( $\alpha$ )을 연산하게 된다. (제3단계)
- <67> 한편, 상기 열차(100)의 공전속도( $V_{sl}$ ) 및 점착계수( $\mu$ ) 정보는 제1 및 제2 미분기(127,128)를 통해 단위시간당 점착계수의 변화량( $\frac{d\mu}{dt}$ )과 단위시간당 공전속도의 변화량( $\frac{dV_{sl}}{dt}$ )을 연산하게 되며, 이는 변동방향 산출기(129)를 통해 그 변동방향(*sign*)을 결정하는데, 이는 식(3)을 통해 변동방향(*sign*)을 연산하게 된다. (제4단계)
- <68> 이상과 같은 변동량( $\alpha$ ) 연산기(126)의 변동량( $\alpha$ )과 변동방향 산출기(129)의 변동방향(*sign*)은 곱셈기(130)를 통해 곱셈된 후 제3시간지연기(131)를 통과한 임의의 공전속도 초기값( $V_{sl\_ref}^k$ )과 함께 덧셈기(132)를 통해 합산되어 지령공전속도( $V_{sl\_ref}^{k+1}$ )를 산출하게 된다. (제5단계)
- <69> 이때, 상기 임의의 공전속도 초기값( $V_{sl\_ref}^k$ )은 2번째 연산부터는 제3시간지연기(131)를 통해 이전의 지령공전속도( $V_{sl\_ref}^{k+1}$ )을 피드백(*feedback*)하여 초기값으로 재투입함으로써, 최적공전속도( $V_{sl\_p}$ )로 빠르게 수렴시키게 된다.
- <70> 이상에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 설명하였으나, 본 발명의 권리범위는 이에 한정되지 않으며, 본 발명의 실시예와 실질적으로 균등한 범위에 있는 것까지 본 발명의 권리범위가 미치는 것으로 본 발명의 정신을 벗어나지 않는 범위 내에서 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 다양한 변형 실시가 가능한 것이다.

**발명의 효과**

- <71> 상술한 바와 같이 본 발명에 따른 최대점착제어 시스템 및 방법은 기존의 방법들에 비해 공전속도 초기값( $V_{sl\_ref}^k$ )으로부터의 변동량( $\alpha$ )과 변동방향(증가 또는 감소)(*sign*)을 연산하여 최대점착력을 위한 최적의 공전속도에 빠르게 수렴하는 특성을 갖고 있어, 열차의 가감속 성능향상과 제동능력을 향상시키는 장점을 가진다.
- <72> 또한, 열차의 과도한 공전 및 활주를 예방함으로써 이로 인하여 발생할 수 있는 차륜 및 레일의 유지보수비용을 절감하는 장점을 가지며, 일반자동차나 전기자동차, 열차 등 점착력에 의하여 구동되는 모든 경우에도 적용이 가능한 장점이 있다.

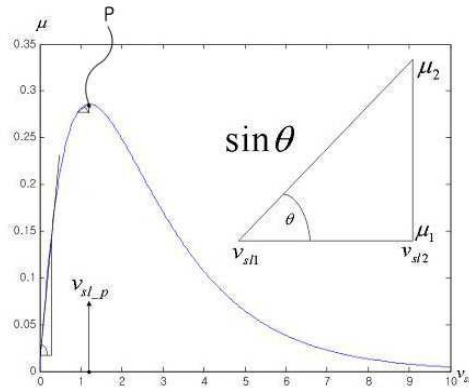
**도면의 간단한 설명**

- <1> 도 1은 공전속도에 따른 차륜과 레일의 점착특성을 도시한 그래프.
- <2> 도 2는 고전적인 패턴방식의 재점착제어 특성을 도시한 그래프.
- <3> 도 3은 본 발명을 설명하기 위해 열차의 공전속도( $V_{sl}$ )에 따른 점착계수( $\mu$ )의 특성을 도시한 도면.
- <4> 도 4는 본 발명을 설명하기 위한 평활함수의 특성을 도시한 도면.

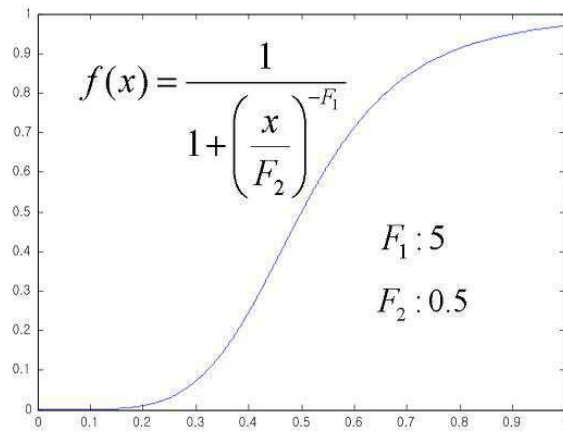




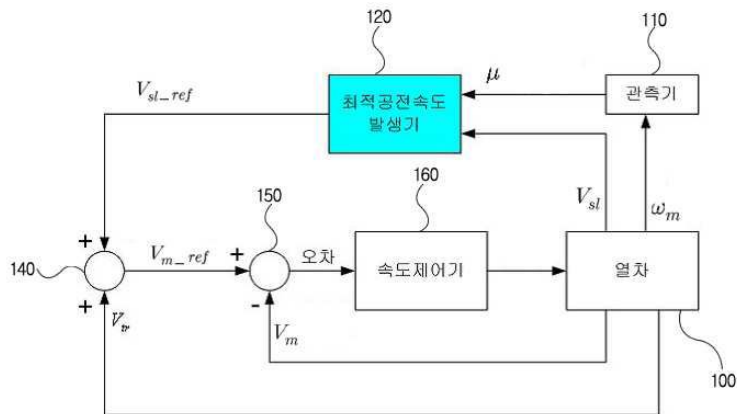
도면3



도면4



도면5



도면6

