

고무차륜 트램을 위한 자기장을 이용한 자율주행시스템 개발

Autonomous driving system by electromagnetic field for rubber tired TRAM

목재균* 장세기** 정우성** 표명덕***
MOK, JaiKyun CHANG, SeKy JUNG, WooSung PYO, MyungDug

ABSTRACT

This paper shows how can be controlled the rubber tired TRAM by electromagnetic field with a specific pattern as autonomous driving system. The system is composed with drive elements, steering elements, navigational devices, transmitter/receivers and sensor means for sensing the position relative to the magnetic markers. There are difficulties in sensing track conditions, curvatures, slopes etc, forward compared to that of the control system optically. The sensing track conditions previously is important for running stability and riding comfort. This paper shows how can achieve track condition in advance by means of electromagnetic pattern originally.

1. 서론

지금까지의 도심지 대중교통체계에 대한 인식은 철도(지하철, 경전철)와 버스로 이분화 되어 있는 것이 사실이다. 이것은 교통수단을 운영하는 주체뿐만 아니라 시스템의 특성에 의하여 구분되어 왔다. 서로 다른 목적을 가진 구분된 시스템에 대하여 환경, 안전, 시간가치, 편리성 및 교통약자를 위한 복지에 관련된 다양한 요구사항이 표출되게 되었다.

본 연구는 위의 요구사항을 개선하기 위하여 건설교통부가 추진중인 「국가교통핵심기술개발사업」의 일환으로 한국철도기술연구원에서 수행중인 “도시형 연료전지 궤도차량시스템 개발사업”의 전자기 안내시스템에 대한 것이다. 본 사업은 미래에 적합한 대중교통시스템을 개발하여 교통시스템의 효율화 및 운영효율화 그리고 서로 다른 교통시스템 사이에 존재하는 인터모달리티 문제를 해결하여 교통체계를 효율화하는데 그 목적이 있다. 본 사업에서 개발하고자하는 대상시스템은 버스와 경전철을 연계할 수 있는 시스템이다. 왜냐하면 두 시스템이 독자적으로 운영되는 현재의 상황에서는 시스템이 갖는 독특한 환경성, 정시성, 접근성 및 연계성 문제로 인하여 충분한 효과를 기대할 수 없기 때문이다.

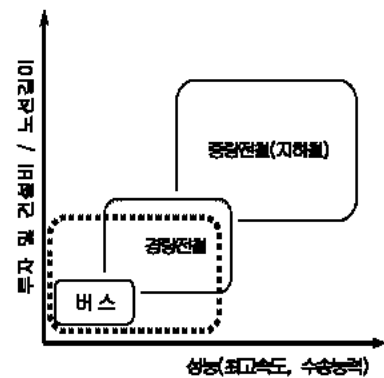


그림 1. 미래형 수송시스템의 적용영역

* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원
** 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원
*** 건설교통부 사무관, 비회원

따라서 본 사업을 통하여 개발되는 시스템은 디젤엔진 구동에 따른 환경문제를 극복하기 위하여 무공해의 연료전지로 구동되며, 아파트 및 쇼핑가를 연계할 수 있도록 조지상정밀정차 시스템을 갖추고 있으며, 그림 1에 나타난 영익의 수송수요에 적합하도록 개발되고 있다.

2. 본론

1) 자동운전을 위한 안내방식

현재 다양하게 검토되고 있는 대중교통은 노약자와 장애인에 대한 배려가 우선되어야 한다. 미래의 대중교통수단이라면 현재 지하철 역사의 부속시설로서 엘리베이터나 계단에 설치된 이동기구처럼 이용 가능하다는 것 보다는, 적어도 장애인에 실용적이어야 한다. 시스템 운영상으로 보면 장애인의 승하차가 용이한 시스템이라면 일반 보행자에게는 그만큼 승하차 시간이 짧아져 정거장의 정차시간을 줄일 수 있게 된다. 또한 유모차 및 쇼핑카트가 휴대 가능한 시스템이 구성된다면 지금까지 짧은 거리라도 자가용을 이용했던 승객을 대부분 수용할 수 있게 될 것이다. 이와 같이 미래형 대중교통을 위하여 필요한 휠체어, 유모차 및 쇼핑카트의 승하차를 효과적으로 가능하게 하는 것이 정밀정차 기능이며, 이것은 유도 및 안내시스템에 의하여 구현될 수 있다. 지금까지 언급되어 온 자동안내시스템은 전자기 안내방식과 광학적 안내방식이 있다.

(1) 전자기 유도시스템에 의한 안내방식

전자기 유도시스템에 의한 안내방식은 도로를 따라 영구자석을 설치한 자기자석을 추적하여 주행하는 시스템을 말한다. 어떠한 기상 조건과 도로에 비추는 빛의 양에 관계없이 주행이 가능해질 뿐만 아니라 간단한 센서와 저가의 빔용 프로세서를 사용함으로써 차량에 장치를 설치하는 비용이 훨씬 절감된다. 여기서 사용되는 자기자선 추적제어는 도로에 매설된 자장을 자기센서를 이용하여 도로자선의 자장분포를 분석함으로써 이루어진다. 자기장을 이용하여 자율적으로 주행하는 시스템은 노면에 설치된 자기장으로 차량의 주행을 유도하는 유도시스템과 주행할 선도에 대한 정보를 제공하는 선로정보 시스템, 유도시스템이나 선로정보 시스템에서 제공하는 정보를 감지하기 위하여 차량에 부착되어 있는 측정수단 그리고 측정된 정보를 이용하여 차량의 조향명령이나 속도제어 명령을 생성하는 정보처리부로 구성되어 있다.

자기장을 이용한 방법은 기후나 환경에 기의 영향을 받지 않으며, 기존의 선로를 이용할 수 있어서 그 설치비용이 적절하다는 장점과 정확도 또한 우수한 장점을 가지고 있다. 그러나, 유도차량의 안전성을 고려한 2중계 궤도의 도입이 부족한 상태이며, 진행방향의 선로정보는 알 수가 없는 단점이 있다.



그림 2 전자기 안내유도시스템

(2) 광학적 유도시스템에 의한 안내방식

광학적 유도시스템에 의한 안내방식은 카메라와 같은 시각 센서를 이용하여 도로영상을 입력받아 주행하고자 하는 방향을 결정한다. 도로 상에 표시된 주행선을 읽어 들이기 위한 카메라를 차

량의 전연 상부나 혹은 차량 실내 운전석 앞 창문 쪽에 설치하고 카메라로부터 전달되는 영상을 분석하여 실제 도로와 비교하는 비전 모듈이 있다. 또한 속도계나 조향장치에서 전달되는 데이터와 비전모듈에서 오는 데이터들 모든 데이터를 분석하여 차량을 운행시키는 안내모듈로 구성된다.

광학적 안내방식은 카메라를 이용하여 노면의 영상을 촬영한 후 이 영상을 분석하여 궤도차량의 진로를 결정하는 방법으로서, 진행하고자 하는 선로에 대한 정보를 미리 알 수 있기 때문에 제어가 용이한 장점이 있다. 하지만, 이 방법은 눈이나 비가 내리는 기후와 대기중의 환경 오염물질과 같은 요소로 인해 선명한 영상을 기대하기가 어렵고, 비교적 영상처리속도가 빠른 영상처리장치를 필요로 한다는 점에서 설치비용뿐만 아니라 주행노면의 유지보수 비용이 증대할 수 있다.

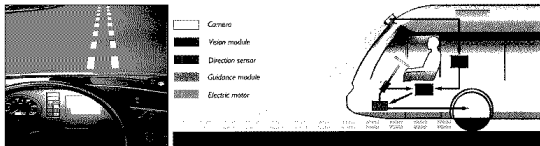


그림 3 광학적 안내궤도시스템

2) 한국에서의 전자기 궤도시스템

광학적 궤도시스템은 눈이나 비가 내리는 기후와 대기 중의 환경 오염물질과 같은 요소로 인해 선명한 영상을 기대하기가 어렵고, 비교적 영상처리속도가 빠른 영상처리장치를 필요로 한다는 점에서 설치비용이 증대할 수 있다. 또한 눈이나 비가 많은 한국 기후에서는 상시 운용이 어려울 수 있다. 자기장을 이용한 방법은 기후나 환경에 거의 영향을 받지 않으며, 기존의 도로를 이용할 수 있어서 그 설치비용이 저렴하고 정확도 또한 우수한 장점을 가지고 있다. 전자기 궤도시스템의 안내기능 완성에는 제어 목표의 결정, 제어 문제 분석, 측면 센싱 시스템 개발, 운행 장치 설계, 궤도 시설의 시험, 도로 코딩과 도식 노코딩의 개발, 차량 역학관계 확인, 제어 연산 설계, 소프트웨어 통합과 차량 시험으로 이루어진다. 전자기 안내시스템의 가장 큰 단점은 주행하는 차량이 전방의 선로행상(곡선, 경사 등)과 장애물에 대한 예지가 어렵다는 것이다. 이와 관련된 많은 연구가 알고리즘의 점진적 개선을 통하여 예측하는 시스템으로 이루어져 왔으며, 한편으로는 전자기 안내를 이용하여 GPS기반의 전자지도를 보정 및 보완하도록 기능을 한정하는 시스템이 출시되기도 하였다. 본 연구에서는 주행 중인 차량이 효율적으로 전방의 선로행상을 예측할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

(1) 전자기 안내시스템 구성

선로의 노면에 일정한 간격으로 설치되어 일정한 세기의 자기장 신호를 연속적으로 발산하는 자석과, 자기지향센서는 궤도차량에 설치되어 선로의 자석에서 발산된 자기장 신호에 반응하여 선로의 연속적인 각종 정보를 감지하며, 연속적으로 수집된 신호의 시간간격을 이용하여 궤도차량의 속도를 측정하며, 누적된 신호의 수를 합하여 주행거리 및 현재 차량의 위치를 추적할 수 있다.

전자기 안내시스템은 궤도차량의 속도 및 위치를 추적하는 유도시스템, 선로의 장애물이나 선형 궤도차량의 위치를 감지·추적하여 궤도차량의 주행안정성을 확보하는 선로정보시스템 그리고 취득된 궤도차량의 속도정보와 위치정보를 수집하여 선형, 후행 궤도차량 사이의 안전거리가 확보될 수 있도록

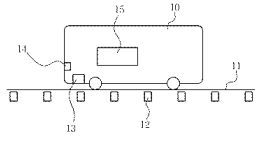


그림 4 전자기 안내궤도시스템의 구성

궤도차량과의 통신을 통해서 속도를 제어함과 동시에 선로정보시스템에 의해서 취득된 선로 정보를 통해 장애물의 출현 내지 곡선구간을 인식하여 감속명령을 궤도차량에 송신하는 정보 처리부를 포함하고 있다. [그림 4]에서는 궤도차량(10)을 유도하기 위하여 선로(11) 아래의 노면에 일정한 간격으로 설치된 자석(12)으로부터 발생된 자기장을 감지하여 궤도차량(10)을 정상적인 궤도로 유도하는 역할인 자기저항센서(13)를 포함하는 유도시스템, 선로(11)를 따라 궤도차량(10)이 안전한 주행을 할 수 있도록 전방의 장애물 등을 감지하는 센서(14)를 포함하는 선로정보시스템, 상기 유도시스템과 선로정보시스템에서 취득한 정보를 수집하고, 상호 쌍방향 통신을 하도록 연산 처리를 하는 정보처리부(15)로 구성됨을 보여준다.

(2) 자기패턴을 이용한 선로정보

○ 직선 선로에서의 차량유도

직선 선로에서의 차량유도는 궤도차량(10)이 통상의 궤도를 주행할 때, 노면에 일정한 간격을 갖는 자석(12)이 선로(11)를 따라 설치되며, 또한, 궤도차량(10)의 하부에는 자기저항센서(13)가 설치되어 상기 자석(12)에서 발생된 자기장의 세기를 감지하여 정보처리부(15)로 보내서 연산함으로써 차량이 유도된다. 센서(13)은 자석(12)의 위치값 x, y, z 를 각각 독립적으로 입출력하는 3축 센서이며, 궤도차량의 종방향 중심축을 기준으로 하여 서로 대칭하는 위치에 적어도 2개 이상으로 설치된다.

또한, 자기저항센서(13)는 궤도차량(10)의 종방향 중심축을 기준으로 하여 차체의 양측부에 적어도 4개 이상이 대칭으로 설치되는데, 이것은 선로(11)의 곡선 및 거리정보를 획득하기 위한 역할을 수행하기 위한 것이다.[그림 5] 위에 기술한 각각의 특징을 갖는 자석(12)과 자기저항센서(13)는 선로(11)를 주행할 때 [그림 6]과 같은 신호를 주고받음으로써, 자율 주행을 유도하게 된다.

선로(11)의 노면, 바람직하게는 선로(11)의 중앙부에 설치되어 있는 자석(12)을 따라 궤도차량(10)이 주행하면 궤도차량(10)의 내부 중간에 위치한 자기저항센서(13)에서는 시간의 흐름에 따라 일정한 파형을 갖게 되고, 이러한 파형을 시간으로 나누어 측정하면 현재 차량의 속도를 계산해 낼 수가 있다. 이 자기장은 자기저항센서(13)는 [그림 6]과 같은 일정한 파형을 갖는 신호로 취출하게 되고, 이 취출된 신호를 시간으로 측정하여 현재속도를 알 수 있으며, 누적된 신호의 수를 합산하면 총 주행거리도 알 수 있으므로 현재 진행중인 궤도차량(10)의 위치도 추적 가능하다. 이를 위해서는 선로(11)를 따라 일정한 간격으로 설치되어 있는 자석(12)이 전제되어야 하고, 상기 자석(12)은 위에서 설명한 바와 같은 일정한 자기장을 가져야 한다.

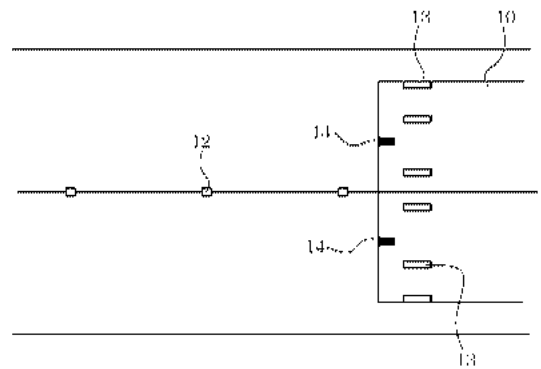


그림 5 궤도차량의 안내장치 구성 및 작용(직선선로)

○ 곡선 선로에서의 차량유도

[그림 7]은 정상 주행하는 궤도차량(10)의 시간당 자기저항센서(13)에서 출력하는 자석(12)의 자기장 세기를 보인 것으로, 2개의 자기저항센서(13)에서 출력된 파형은 동일함을 알 수 있다.

[그림 8]은 비정상적으로 선로(11)를 벗어난 궤도차량(10)에서 출력된 파형으로, 궤도차량(10)은 그 출력이 작은 쪽으로 치우친 것을 알 수 있다. 이러한 결과로 알 수 있듯이, 출력이 틀린 파형을 정량적으로 분석하여 궤도차량(10)의 조향각을 설정할 수 있다.

한편, 출력이 미세한 차이를 나타낼 때 조향각을 조절하게 되면 승차감이 떨어질 수 있으며, 제

어의 효율이 좋지 않을 수도 있음이 실험적으로 발견되었다. 따라서 자기저항센서(13)의 출력 차이를 승차감, 제어 효율을 고려하여 적당한 값으로 설정한다. 이러한 설정은 자기저항센서(13)가 2개 이상으로 설치되어도 마찬가지로 그 적정값을 미리 설정해야 한다.



그러나 기본적인 자율 주행 유도시스템만으로는 경사, 구배, 언덕 및 내리막길에서는 큰 효과를 발휘하지 못하게 된다.

그림 6 직선 선로에서의 자기저항센서의 발생신호

따라서 주행하고자 하는 선로(11)의 정보를 미리 파악하지 못하면 궤도차량(10)의 자체 관성으로 인하여 제어가 어려우며, 특히 곡선구간에서는 충분한 감속 후 진입을 하여야 안정적인 승차감을 제공할 수 있다. 이러한 단점을 극복하여 보다 안전한 주행상태를 이루도록 하기 위해서는 곡선, 경사 및 구배된 선로(11)의 상태를 미리 분석하여 차량의 유도제어에 반영하여야 한다.

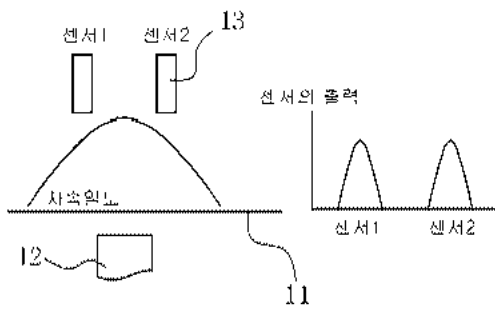


그림 7 자기저항센서에서의 신호분포(정위치)

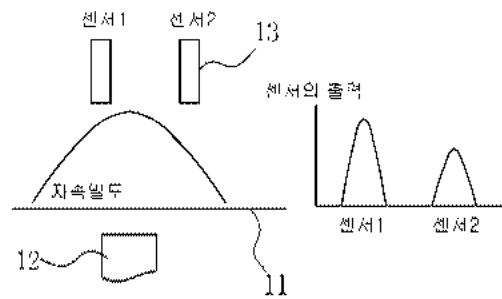


그림 8 자기저항센서에서의 신호분포(위치이탈)

[그림 9]에서는 궤도차량(10)을 유도하기 위하여 선로의 중앙부에 설치된 자석(12)은 상술한 바와 같이 거리정보 및 속도정보, 위치정보를 파악하기 위한 것이고, 이와 동일 수평선상에 위치하는 곡선패턴자석(16)과 거리패턴자석(17)이 좌우로 적어도 2개 이상씩 설치된 것을 보여주고 있다.

이러한 곡선패턴자석(16)은 선로(11)의 곡선구간에 대한 곡선반경 정보를 제공하기 위한 것이고, 거리패턴자석(17)은 상기 곡선구간에 이르는 거리 정보를 제공하기 위한 것이다. 한편 거리패턴자석(17)은 미리 설정된 패턴으로 상기 곡선패턴자석(16)보다 전방에 설치되어 곡선구간으로 진입하

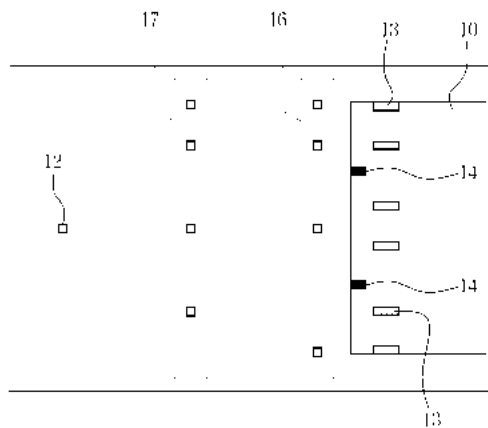


그림 9 선로의 곡률 및 거리정보 추출시스템 구성

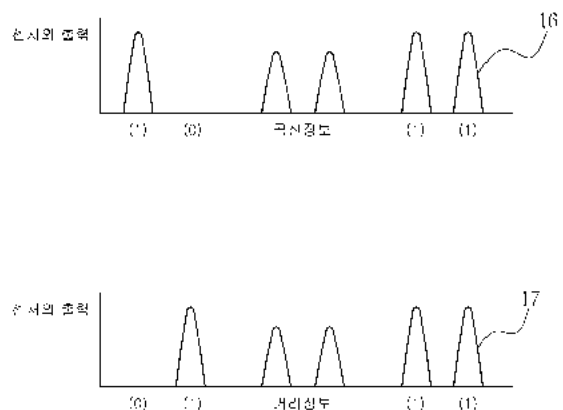


그림 10 선로의 곡률 및 거리정보 신호패턴

려는 궤도차량(10)에 충분히 감속한 후 주행하도록 경고하여 궤도차량(10)의 안정성에 기여를 하

고, 곡선구간의 회전자 충분한 편성을 고려하여 제어의 효율을 높일 수 있다. 이렇게 미리 설정된 자기패턴은 직선선로에는 적용되지 않으며, 곡선구간과 그 전방에 충분한 거리를 두고 설치된다.

[그림 10]은 곡선구간의 선로 정보를 나타내는 자기신호의 예를 보인 것으로, 곡선구간과 곡선구간에 이르는 거리의 정보를 나타내는 신호의 출력을 나타낸다.

도시된 바와 같이, 신호가 발생될 곳에서는 1로 표시되고, 신호가 발생되지 않는 곳에서는 0으로 표시되어 소정의 디지털 신호 패턴이 만들어진다. 여기서의 예에서는 곡선구간의 신호는 1011이고, 거리 신호는 0111이 된다.

이러한 디지털 신호 패턴은 미리 설정된 비교값에 의해서 곡선구간의 곡률정보, 거리정보를 인식하여 감속이나 조향각의 수정 등 제어 작업을 수행한다.

<표 1>은 자기패턴과 곡률반경의 비교값이고, <표 2>는 자기패턴과 거리의 비교값을 표시한 예이다. 예에서 보여준 바에 따르면 곡선정보 1011은 곡률반경 250m이며, 거리정보 0111은 45m이다. 즉 궤도차량은 현 시점에서 전방 45m에 곡률 250m의 선로정보를 미리 알게 되며, 이를 반영한 차량의 유도제어가 이루어져 승차감과 궤도차량의 주행안전을 확보 할 수 있게 된다.

<표 1> 곡선정보를 위한 자기패턴(예)

자기 패턴				곡률정보
0	0	0	0	직선
0	0	0	1	곡률반경 1000m
0	0	1	0	곡률반경 900m
0	0	1	1	곡률반경 800m
0	1	0	0	곡률반경 700m
0	1	0	1	곡률반경 600m
0	1	1	0	곡률반경 500m
0	1	1	1	곡률반경 450m
1	0	0	0	곡률반경 400m
1	0	0	1	곡률반경 350m
1	0	1	0	곡률반경 300m
1	0	1	1	곡률반경 250m
1	1	0	0	곡률반경 200m
1	1	0	1	곡률반경 150m
1	1	1	0	곡률반경 100m
1	1	1	1	곡률반경 50m

<표 2> 거리정보를 위한 자기패턴(예)

자기 패턴				거리정보
0	0	0	0	직선
0	0	0	1	100m
0	0	1	0	90m
0	0	1	1	80m
0	1	0	0	70m
0	1	0	1	60m
0	1	1	0	50m
0	1	1	1	45m
1	0	0	0	40m
1	0	0	1	35m
1	0	1	0	30m
1	0	1	1	25m
1	1	0	0	20m
1	1	0	1	15m
1	1	1	0	10m
1	1	1	1	5m

3. 결론

자기장을 이용한 궤도차량의 자율 주행 시스템 및 주행방법은 기존의 선로를 그대로 이용할 수 있고, 운영환경에 큰 영향을 받지 않는 자동운전 안내방법이다. 그러나 차량의 유도제어에 충분한 시간에 전방의 선로정보를 인식하지 못한다면 승객의 승차감이나 차량의 주행안전을 확보하기 어렵다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 선로정보를 차량에 미리 알려주는 기술을 제안하였으며, 본 기술은 “도시형 연료전지 궤도차량 개발사업”을 통하여 구현될 것이다.

참고문헌

1. 목재균 외, ‘대중교통차량용 연료전지/연료시스템 개발’ 1차년도 연구보고서, 한국철도기술연구원 2004. 4
2. 목재균 외, ‘자기장을 이용한 궤도차량의 자율주행시스템 및 그 주행방법’ 2004. 3, 국내특허 출원 번호 10-2004-0017263

후 기

본 연구는 국가교통핵심기술개발사업의 “도시형 연료전지 궤도차량시스템 개발”과제 수행의 일부입니다.