

자기부상시스템에서 레일 이음매 통과시 공극처리방법

성호경, 조정민, 이종우, 배덕권, 김봉섭, 김동성, 신병천  
한국기계연구원

Air-gap Signal Treatment at rail-joint in Maglev System

H.K. Sung, J.M. Jho, J.M. Lee, D.K. Bae, B.S. Kim, D.S. Kim, B.C. Shin  
Korea Institute of Machinery & Materials

**Abstract** - Maglev using EMS becomes unstable by unexpected big air-gap disturbance. The main causes of the unexpected air-gap disturbance are step-wise rail joint and large distance between rail splices. For the stable operation of the Maglev, the conventional system uses the threshold method, which selects one gap sensor among two gap sensors installed on the magnet to read the gap between magnet and guide rail. But the threshold method with a wide bandwidth makes the discontinuous air-gap signal at the rail joints because of the offset in air gap sensors and/or the step-wise rail joins. Further more, in the case of the one with a narrow bend-width, it makes Maglev system unstable because of frequent alternation.

In this paper, a new method using fuzzy rule to reduce air-gap disturbances proposed to improve the stability of Maglev system. It treats the air-gap signal from dual gap sensors effectively to make continuous signal without air gap disturbance. Simulation and experiment results proved that the proposed scheme was effective to reduce air-gap disturbance from dual gap sensors in rail joints.

1. 서 론

현재 늘어나는 도심의 교통체증을 해소하는 한 방법인 도시형 경전철로 자기부상열차의 개발이 활발히 진행되고 있다. 자기부상열차는 바퀴식 열차에 비하여 적은 소음, 낮은 운전비용, 뛰어난 수송능력, 적당한 요구 공간이 필요한 점 등의 도시형 경전철로 많은 장점이 있다.

자기부상열차의 방식은 부상 방식에 따라 크게 상전도 흡입식(EMS)과 초전도반발식(EDS)으로 구분되고 최근 영구자석을 이용한 방식이 연구 중이다.[1][2]

초전도반발 부상방식은 하단에 다수의 코일을 배열해 두고 차량에 탑재된 초전도 자석이 이 코일을 통과할 때 유도되는 전류에 의해 반발력을 발생하도록 하여 10cm 이상의 부상이 가능한 부상하기 때문에 부상제어가 필요 없고 안전한 부상방식이다. 그러나 이러한 방식의 차량은 냉각기 등 부대장치가 많고 고비용이 필요하며 주행 중 상하로 진동이 많아 승차감이 좋지 않은 단점이 있다.

상전도 흡입 부상방식은 고효율로 제작된 일반전자석이 쇠붙이를 끌어당기는 힘을 이용하는 방식으로 에너지 효율을 감안하여 궤도로부터 8~11mm정도 부상시켜 운행하는 시스템이다. 이러한 방식의 차량은 승차감이 좋고 EDS방식에 비해 저비용이 소모된다. 그러나 주행 중 전자석과 궤도면과의 거리 변동 폭을 2~3mm 이내로 정밀하게 유지하기 위하여 능동적인 제어가 필요하다. 현재 한국기계연구원에서 개발완료하고 시험연구중인 UTM(Urban Transit Maglev)은 상전도 부상방식의

선형유도전동기로 추진하는 도시형 자기부상열차이다. 이러한 자기부상열차의 상용화를 위해선 무엇보다 부상계의 안정성이 확실하게 보장이 되어야 한다. 그러나 자기부상열차는 정차시 외부의 영향이 거의 없지만 주행시에는 레일표면의 불규칙함과 레일 이음매간의 유격으로 인하여 부상계의 불안함을 초래하고 있다.

본 연구는 퍼지논제어기법을 적용하여 이러한 주행시 레일표면의 불규칙함과 레일 이음매간의 유격으로 인한 왜곡된 공극신호를 효과적으로 처리하여 부상계의 영향을 최소화 하기위한 공극신호 처리방식에 대하여 연구하였다.

2. 듀얼 공극센서 신호처리방식

2.1 기존의 듀얼 공극신호처리[3]

각 코너에 1개의 공극 센서를 사용하여 Algorithm에 의해 이음매를 통과시의 승차감 향상을 위한 연구는 이미 행해진 바 있지만, 실제 적용을 위해서는 많은 실험을 통하여 프로세서가 이음매의 진-출입을 정확히 판단할 수 있도록 하는 것이 관건이었다. 그렇지만, 신뢰도가 입증되지 않은 상태에서 1개의 공극 신호만을 이용하여 이음매를 처리하는 것은 바람직하지 않다. 따라서 신뢰도의 증가 방안으로 각 코너에 2개의 공극 센서를 사용하여 그중 한 개의 신호를 취하는 방식이 연구되었다.

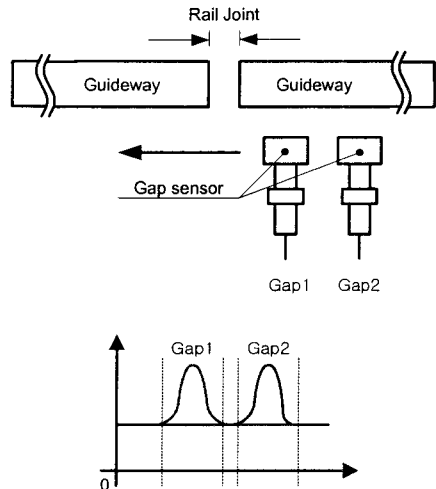


그림 1 주행시 공극신호(단차 없는 경우)

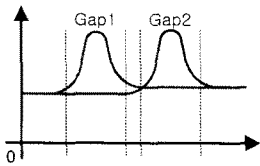
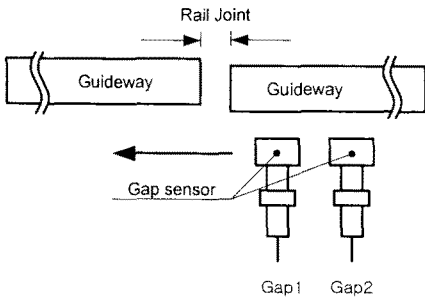


그림 2 주행시 공극신호(단차 있는 경우)

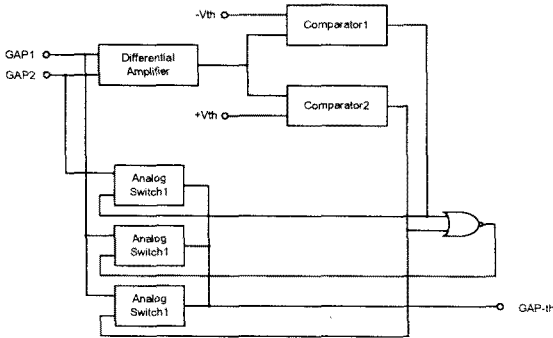


그림 3 듀얼 공극신호 처리 개념도

그림 1은 가이드 레일에 단차가 없는 경우 차량 주행 시 발생하는 공극신호를 나타내고 있으며 그림 2는 단차가 있는 경우 공극신호를 나타내고 있다. 그림 3은 듀얼 공극신호 처리 개념도를 나타내고 있으며 처리 방식은 다음과 같다. 2개의 공극 센서로부터 들어오는 신호는 차동 증폭기에 의해 처리되고 차동증폭기의 출력은 비교기의 입력으로 된다. 그림 1에서 진행방향에 대해 A지점을 통과할 경우 두 센서사이의 전압관계는  $V_{Gap1} > V_{Gap2}$ ,  $V_{diff} > +V_{th}$ 가 된다. 이 경우 이음매의 영향을 받지 않는 Gap2의 전압값이 선택되어지도록 한다. 이음매를 지나서 B지점에 왔을 때  $V_{Gap1} < V_{Gap2}$ ,  $-V_{diff} < -V_{th}$ 가 되어 Gap1가 선택되어지도록 한다. 이음매가 없을 경우  $V_1 \approx V_2$ ,  $V_{diff} > -V_{th}$ ,  $V_{diff} < +V_{th}$ 가 되어 Gap1이 선택되어지도록 설계하였다.

### 2.2 퍼지 룰 베이스를 이용한 듀얼 공극 신호처리

기존의 듀얼 공극 신호처리 방식은 우선 하나의 공극 신호를 선택하고 다른 공극 신호 값으로의 천이는 두개의 공극신호의 차로부터 이미 설정된 스레시홀드값의 범위를 벗어나면 다른 공극센서의 신호를 선택하였다. 따라서 공극신호 천이시 스레시홀드에 의한 공극신호리플이 발생되어 부상계에 영향을 주었다. 본 연구의 퍼지 룰 베이스 듀얼 공극 신호처리방식은 두 신호 사이의 차이 값을 퍼지룰에서 처리하도록 하여 광범위한 크기의 공극 신호를 쉽게 처리할 수 있도록 하였다. 또한 공극이 일정한 경우 두 신호사이에서 발생하는 오프셋에 대하여

효과적으로 처리하기 위해서 두 신호의 평균값을 출력하도록 구성하며 두 공극 신호의 차가 커질 경우 선형적으로 퍼지룰에 의해 합리적인 공극 신호를 발생시킬 수 있도록 구성하였다. 그림 4는 입력된 공극신호에서 DC량을 뺀 공극에 대한 멤버십함수 설정방식을 나타내고 있으며, 그림 5는 멤버십 함수에 대한 퍼지 룰 베이스를 나타내고 있다. 퍼지화된 멤버십 변수와 일치정도를 나타내는 방식은 공극값이 작은 쪽의 소속 값을 사용하도록 하였다. 최종 결과는 비퍼지화된 공극값과 DC량에 해당하는 공극 값을 더하여 만들어 진다.

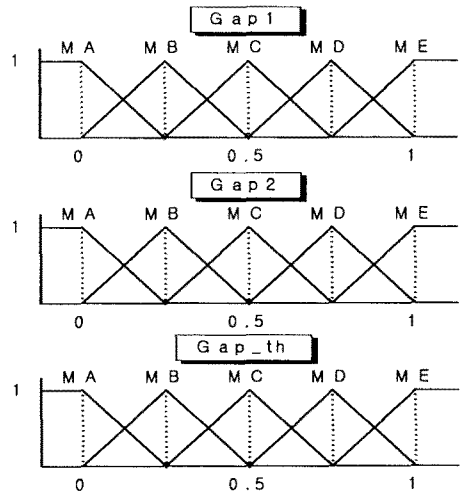


그림 4 퍼지 멤버십 함수

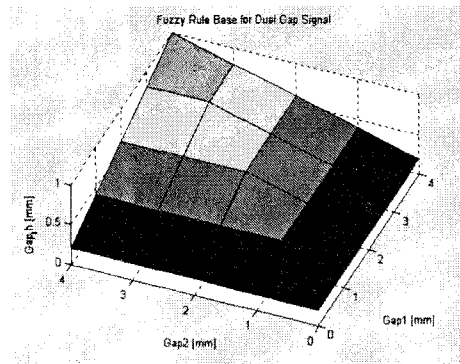


그림 5 퍼지 룰베이스

### 2.3 시뮬레이션

본 연구에서는 Matlab/Simulink를 사용하여 제안된 퍼지룰의 제어특성을 파악하였다. 그리고 보다 실증적인 검증은 위해 두개의 공극신호입력값은 오실로스코프의 출력을 데이터베이스화하고 그 값을 시뮬레이션 틀에서 호출하여 퍼지제어기의 제어특성을 파악하고자 하였다.

그림 6은 단차가 없는 가이드웨이를 저속 주행하는 경우 공극값 및 퍼지에 의해 처리된 공극값을 나타내고 있다. 결과파형으로부터 알 수 있듯이 이음매가 없는 가이드웨이를 주행할 경우 각 입력신호의 평균값을 취하고 가이드웨이 이음매 통과시 이음매의 영향을 받지 않는 또 다른 하나의 공극을 연속적으로 취하여 리플이 없는 공극출력을 나타내고 있다. 그림 7은 단차가 있는 가이드웨이를 고속 주행한 경우 공극신호 및 퍼지에 의한 공극

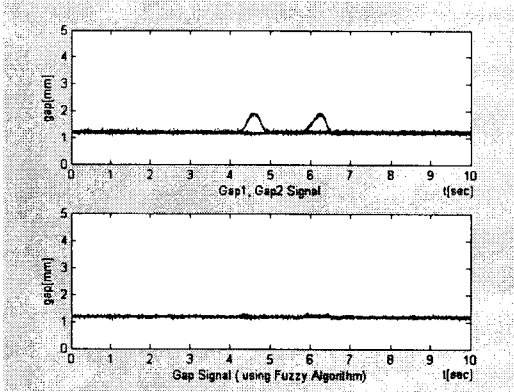


그림 6 공극 및 퍼지에 의한 공극 (저속주행, 단차없음)

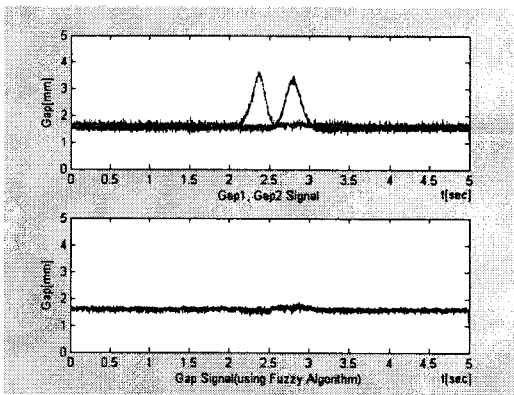


그림 7 공극 및 퍼지에 의한 공극 (고속주행, 단차 있음)

처리신호를 나타내고 있다. 그림 7의 결과파형에서 알 수 있듯이 이음매와 단차에 의한 영향을 최소화한 값의 공극출력을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

2.4 실험결과 및 고찰

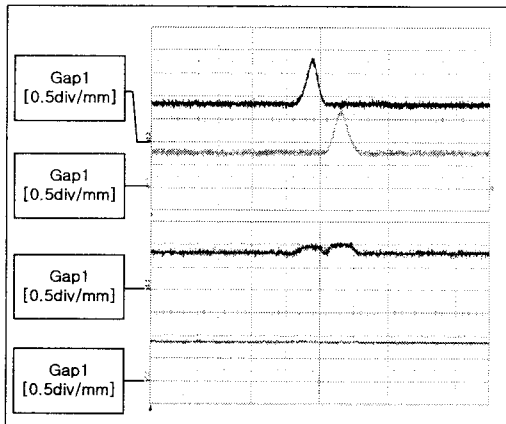


그림 9 공극입력신호 및 스텔시홀드에 의한 공극과 퍼지에 의한 공극(단차 없음)

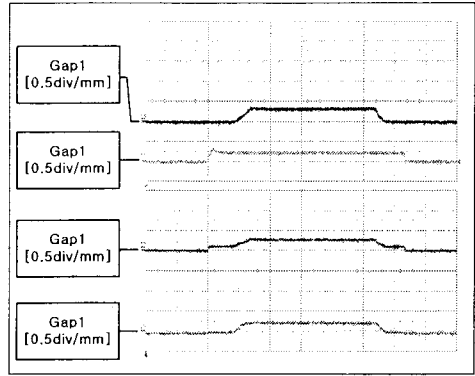


그림 10 단차가 있는 공극입력신호 및 스텔시홀드에 의한 공극과 퍼지에 의한 공극

그림 9는 단차가 없는 가이드웨이를 주행시 두개의 공극센서로부터의 입력신호와 스텔시홀드 방식에 의한 공극신호처리출력 및 퍼지에 의한 공극처리결과를 나타내고 있다. 그림 9의 실험결과로부터 기존의 스텔시홀드에 의한 공극처리방식은 이음매 통과시 스텔시홀드값의 크기만큼 공극의란이 발생하나 퍼지에 의한 출력은 이음매에 의한 영향이 없는 공극을 만들어냄을 알 수 있다. 그림 10은 단차가 있는 가이드웨이 주행시 공극입력신호와 스텔시홀드방식에 의한 공극 및 퍼지에 의한 공극을 나타낸다. 그림 10의 실험결과로부터 퍼지에 의한 공극처리방식은 두 공극신호의 차가 적은 경우는 그 출력의 평균값을 취하며 과도시에는 작은 공극의 값을 처리하는 것을 보여준다.

이상의 시뮬레이션과 실험결과로부터 본 논문에서 고찰한 퍼지에 의한 공극처리방식은 주행속도와 단차에 의한 공극신호에 대하여 효과적으로 처리함을 알 수 있다.

3. 결 론

상전도 흡입 부상방식은 도심형 자기부상열차 및 초고속 자기부상열차방식의 실용화를 위해서 부상계의 안전성을 확보하는 것이 가장 시급한 문제이다. 본 논문에서는 이러한 부상방식에 있어서 부상계에 영향을 줄 수 있는 가이드웨이의 이음매에서의 공극신호 처리방식에 대하여 기존의 방식에 대한 문제점을 파악하고 이러한 문제점을 효과적으로 처리할 수 있도록 하기위해서 퍼지를 베이스에 의한 효과적인 공극 값을 선택법을 제안하였다. 그리고 이러한 방식의 타당성을 입증하기위해 시뮬레이션과 실험을 수행하였고 그 결과로부터 제안된 방식의 공극처리방식이 저속주행뿐만 아니라 고속 주행시에도 효과적으로 공극의란을 최소화 하도록 처리하며 단차가 있는 경우에서 선행적으로 공극을 처리하여 공극의란을 효과적으로 처리하고 있음을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

[1] In-Kun Kim, Mun-Hwan Yoo, Kyu-Hwan Han, Gye-SeoPark, Heung-Sung Bae, "Status of the Maglev Development in KOREA",The 15th International Conference on Magnetically Levitated System and Linear Drives, pp.34-38,1998.  
 [2] Paddison, Jonathan E, Goodall, Roger, M. "EMS Maglev Suspension Control System Comparison and Trends",MAGLEV98 The 15th International Conference, pp.324-328, 1998.  
 [3] 한국전기연구소, "자기부상추진제어시스템 개발", 1993.7