



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0069705  
(43) 공개일자 2020년06월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01M 17/08 (2019.01) B61B 13/08 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
G01M 17/08 (2019.01)  
B61B 13/08 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2018-0157059  
(22) 출원일자 2018년12월07일  
심사청구일자 2018년12월07일

(71) 출원인  
연세대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
(72) 발명자  
박노철  
서울특별시 마포구 마포대로 195, 202동 1403호  
김동욱  
서울특별시 송파구 올림픽로 435 파크리오아파트 214-2101  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
특허법인 플러스

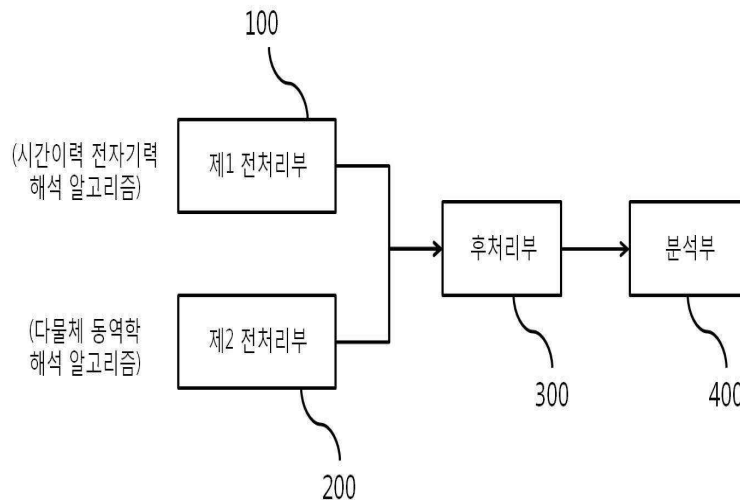
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템 및 그 예측 방법

(57) 요약

본 발명은 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템 및 그 예측 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는, 돌발적인 외력 및 시공 공차까지 고려하여 안정성을 예측하기 위한 시간이력 전자기 해석을 적용함으로써, 주행 안정성 예측의 정확도를 향상시킬 수 있는 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템 및 그 예측 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

**유준선**

대전광역시 중구 계룡로 852 삼성아파트 4-201

**임선빈**

강원도 철원군 동송읍 오덕로 133

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 18CTAP-C133353-02

부처명 국토교통부

연구관리전문기관 국토교통과학기술진흥원

연구사업명 국토교통기술연구개발

연구과제명 600km/h 이상 초고속 자기부상열차용 초안정성 평가를 위한 전자기-구조 연계 해석기술 개발 및 안정성 평가기술 개발(2/2)

기 여 율 1/1

주관기관 연세대학교 산학협력단

연구기간 2018.01.01 ~ 2018.12.31

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

자기부상열차의 주행 안정성을 예측하기 위한 시스템에 있어서,

기저장된 시간이력 전자기력 해석 알고리즘에 가이드웨이에 설치된 지상 코일에 유도되는 전류와 열차에 설치된 자성체로 인가되는 전류를 적용하여, 전자기 모델을 생성하는 제1 전처리부(100);

기저장된 다물체 동역학 해석 알고리즘에 열차의 구조특성과 속도, 회전곡률을 포함하는 정보들을 적용하여, 다물체 동역학 해석 모델을 생성하는 제2 전처리부(200);

상기 제1 전처리부(100)에서 생성한 상기 전자기 모델과 상기 제2 전처리부(200)에서 생성한 다물체 동역학 해석 모델을 연성하여 전자기-다물체 동역학 해석 모델을 생성하고, 생성한 상기 전자기-다물체 동역학 해석 모델을 이용하여 열차의 거동을 예측하는 후처리부(300); 및

상기 후처리부(300)에서 예측한 상기 열차의 거동정보들을 이용하여, 수직 진동량과 수평 진동량을 분석하여 주행 안정성을 예측하는 분석부(400);

를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템.

#### 청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 제1 전처리부(100)는

소정 구간을 해석 영역으로 설정하여, 상기 시간이력 전자기력 해석 알고리즘을 적용하는 것을 특징으로 하는 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템.

#### 청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 제1 전처리부(100)는

자속의 방향의 수렴성을 이용하여 상기 해석 영역을 설정하는 것을 특징으로 하는 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템.

#### 청구항 4

제 2항에 있어서,

상기 후처리부(300)는

생성한 상기 전자기-다물체 동역학 해석 모델을 이용하여, 상기 전자기 모델에 해석하고자 하는 열차의 위치에 따른 상기 지상 코일의 전류값을 입력하여 전자기력을 추출하고, 추출한 상기 전자기력을 상기 다물체 동역학 해석 모델에 입력하여, 시간이력에 따른 상기 열차의 자세를 예측하는 것을 특징으로 하는 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템.

#### 청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 분석부(400)는

상기 후처리부(300)에서 예측한 시간이력에 따른 상기 열차의 자세를 전달받아 수직 진동량과 수평 진동량을 분석하여, 기설정된 수직 진동 한계량과 수평 진동 한계량을 기준으로 열차의 주행 안정성을 예측하는 것을 특징으로 하는 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템.

## 청구항 6

자기부상열차의 주행 안정성을 예측하기 위한 방법에 있어서,

기저장된 시간이력 전자기력 해석 알고리즘에 가이드웨이에 설치된 지상 코일에 유도되는 전류와 열차에 설치된 자성체로 인가되는 전류를 적용하여, 전자기 모델을 생성하는 전자기모델 생성단계(S100);

기저장된 다물체 동역학 해석 알고리즘에 기설정된 열차의 정보들을 적용하여, 다물체 동역학 해석 모델을 생성하는 동역학모델 생성단계(S200);

상기 전자기모델 생성단계(S100)에서 생성한 상기 전자기 모델과 상기 동역학모델 생성단계(S200)에서 생성한 상기 다물체 동역학 해석 모델을 연성하여, 전자기-다물체 동역학 해석 모델을 생성하고, 열차의 거동을 예측하는 연성단계(S300); 및

상기 연성단계(S300)에서 예측한 상기 열차의 거동 정보들을 이용하여, 주행 안정성을 예측하는 예측단계(S400);

로 이루어지는 것을 특징으로 하는 자기부상열차의 주행 안정성 예측 방법.

## 청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 전자기모델 생성단계(S100)는

소정 구간을 해석 영역으로 설정하여 상기 시간이력 전자기력 해석 알고리즘을 적용하되,

자속의 방향의 수렴성을 이용하여 상기 해석 영역을 설정하는 것을 특징으로 하는 자기부상열차의 주행 안정성 예측 방법.

## 청구항 8

제 6항에 있어서,

상기 연성단계(S300)는

상기 전자기-다물체 동역학 해석 모델을 이용하여, 상기 전자기 모델에 해석하고자 하는 열차의 위치에 따른 상기 지상 코일의 전류값을 입력하여 전자기력을 추출하고, 상기 전자기력을 상기 다물체 동역학 해석 모델에 입력하여, 시간이력에 따른 상기 열차의 자세를 예측하는 것을 특징으로 하는 자기부상열차의 주행 안정성 예측 방법.

## 청구항 9

제 8항에 있어서,

상기 예측단계(S400)는

예측한 시간이력에 따른 상기 열차의 자세를 전달받아 수직 진동량과 수평 진동량을 분석하여, 기설정된 수직 진동 한계량과 수평 진동 한계량을 기준으로 열차의 주행 안정성을 예측하는 것을 특징으로 하는 자기부상열차

의 주행 안정성 예측 방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템 및 그 예측 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 초전도 반발식 자기부상열차의 가이드웨이와 대차의 전자기 부품의 설치 상태에 따라, 시공 공차까지 고려하여 자기부상열차의 주행 안정성을 예측할 수 있는 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템 및 그 예측 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 열차가 궤도에 닿지 않은 상태에서 운행되어 소음과 진동을 줄일 수 있고 바퀴로 달리지 않아 빠른 속도를 내는 장점을 갖는 자기부상열차는 크게 상전도 흡인식 자기부상열차와 초전도 반발식 자기부상열차로 구분될 수 있다.

[0003] 상기 상전도 흡인식 자기부상열차는 서로 붙으려는 성질을 이용하여 열차에 레일을 감싸는 모양의 전자석이 달려있어 전자석과 레일 간 간격의 크기에 따라 흡인력이 달라지는 것을 이용하여 열차가 뜨는 높이를 유지하는 방식으로 100 ~ 110km/h의 저속주행에 적합한 방식이며,

[0004] 상기 초전도 반발식 자기부상열차는 자석의 같은 극끼리 밀어내는 척력을 이용하여 열차를 공중으로 10cm 가량 띄우는 방식으로 450 ~ 550km/h의 고속주행에 적합한 방식이다.

[0005] 이러한 초전도 반발식 자기부상열차는 기존 열차 대비 고속주행을 할 수 있다는 점에서 유리하지만, 별도의 제어기가 없으면 열차(대차) 상하/좌우로의 진동이 심한 단점이 있다. 이러한 진동을 발생시키는 요인 중 가장 큰 원인은 부상력과 추진력 그리고 좌우방향 가이드를 이뤄주는 전자기력이다.

[0006] 이에 따라, 열차의 주행 안정성을 예측 및 평가하기 위해서는, 진동을 발생시키는 전자기력에 대한 규명이 필수적이다.

[0007] 즉, 시간이력 열차 거동을 예측하기 위해서는, 시간이력 전자기력에 대한 해석을 통한 예측이 선행되어야 한다.

[0008] 그렇지만, 고속으로 주행하는 자기부상열차의 시간이력 전자기력의 해석을 진행하기 위해서는, 레일과 유사한 긴 길이의 전자기 부품을 구성하여야 하는데 이는 많은 해석 부하를 요구한다.

[0009] 그렇기 때문에, 종래에는 시간이력으로 발생하는 전자기력을 열차에 인가하지 않고, 평균적으로 발생하는 힘을 인가하는 방식을 이용하고 있다. 종래와 같이, 평균적인 힘을 사용할 경우, 열차가 진행함에 따라 발생하는 빠른 주기의 힘의 변화를 반영할 수 없기 때문에 높은 주파수의 전자기력에 대해서는 예측을 수행할 수 없다.

[0010] 또한, 전자기 부품의 공차 등에 대해서도 예측을 수행할 수 없기 때문에, 작은 편차에 의한 전자기력의 영향을 예측할 수 없는 문제점이 있다.

[0011] 실험을 통해서 이러한 시간이력으로 발생하는 전자기력을 추출해보면, 시간 단계의 설정에 따라 주파수 대역이 변화하는 것을 확인할 수 있다. 즉, 시간 단계를 좀 더 촘촘히 설정할 경우에는, 높은 주파수 성분 및 정확한 예측이 가능하지만, 많은 해석 시간이 소요되는 것은 당연하다.

[0012] 그렇기 때문에, 열차 내 자성체의 주기 및 가이드웨이 내 코일의 주기 등을 고려한 적절한 시간 단계를 설정하는 것이 중요한 요인이다.

[0013] 더불어, 해석 영역의 설정에 따라 자속의 기울기가 왜곡될 수 있다는 점을 확인할 수 있다. 즉, 실제와 같은 조건은 무한대의 해석 영역을 설정하여야 하지만, 이 경우 해석에 필요한 요소가 늘어나게 되어 해석 부하로 작용하게 된다.

[0014] 이에 따라, 왜곡이 없는 수준의 해석 영역의 설정에 대한 연구가 요구되고 있다.

[0015] 이와 관련하여, 국내등록특허 제10-1635918호("고속 전동 열차의 진동 분석에 의한 위험 예방 시스템")에서는 서로 다른 진동원에 의하여 발생하는 진동을 실시간으로 분석하여 고장 예측 및 위험 예측이 가능하도록 하는 시스템을 개시하고 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0016] (특허문헌 0001) 국내 등록 특허 제10-1635918호(등록일 2016.06.28.)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0017] 본 발명은 상기한 바와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 초전도 반발식 자기부상열차의 가이드웨이와 대차의 전자기 부품의 설치 상태에 따라, 시공 공차까지 고려하여 자기부상열차의 주행 안정성을 예측할 수 있는 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템 및 그 예측 방법을 제공하는 것이다.

### 과제의 해결 수단

[0018] 본 발명의 일 실시예에 따른 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템은, 자기부상열차의 주행 안정성을 예측하기 위한 시스템에 있어서,

[0019] 기저장된 시간이력 전자기력 해석 알고리즘에 가이드웨이에 설치된 지상 코일에 유도되는 전류와 열차에 설치된 자성체로 인가되는 전류를 적용하여, 전자기 모델을 생성하는 제1 전처리부(100), 기저장된 다물체 동역학 해석 알고리즘에 열차의 구조특성과 속도, 회전곡률을 포함하는 정보들을 적용하여, 다물체 동역학 해석 모델을 생성하는 제2 전처리부(200), 상기 제1 전처리부(100)에서 생성한 상기 전자기 모델과 상기 제2 전처리부(200)에서 생성한 다물체 동역학 해석 모델을 연성하여 전자기-다물체 동역학 해석 모델을 생성하고, 생성한 상기 전자기-다물체 동역학 해석 모델을 이용하여 열차의 거동을 예측하는 후처리부(300) 및 상기 후처리부(300)에서 예측한 상기 열차의 거동정보들을 이용하여, 수직 진동량과 수평 진동량을 분석하여 주행 안정성을 예측하는 분석부(400)를 포함하여 구성되는 것이 바람직하다.

[0020] 더 나아가, 상기 제1 전처리부(100)는 소정 구간을 해석 영역으로 설정하여, 상기 시간이력 전자기력 해석 알고리즘을 적용하는 것이 바람직하다.

[0021] 더 나아가, 상기 제1 전처리부(100)는 자속의 방향의 수렴성을 이용하여 상기 해석 영역을 설정하는 것이 바람직하다.

[0022] 더 나아가, 상기 후처리부(300)는 생성한 상기 전자기-다물체 동역학 해석 모델을 이용하여, 상기 전자기 모델에 해석하고자 하는 열차의 위치에 따른 상기 지상 코일의 전류값을 입력하여 전자기력을 추출하고, 추출한 상기 전자기력을 상기 다물체 동역학 해석 모델에 입력하여, 시간이력에 따른 상기 열차의 자세를 예측하는 것이 바람직하다.

[0023] 더 나아가, 상기 분석부(400)는 상기 후처리부(300)에서 예측한 시간이력에 따른 상기 열차의 자세를 전달받아 수직 진동량과 수평 진동량을 분석하여, 기설정된 수직 진동 한계량과 수평 진동 한계량을 기준으로 열차의 주행 안정성을 예측하는 것이 바람직하다.

[0024] 본 발명의 일 실시예에 따른 자기부상열차의 주행 안정성 예측 방법은, 자기부상열차의 주행 안정성을 예측하기 위한 방법에 있어서, 기저장된 시간이력 전자기력 해석 알고리즘에 가이드웨이에 설치된 지상 코일에 유도되는 전류와 열차에 설치된 자성체로 인가되는 전류를 적용하여, 전자기 모델을 생성하는 전자기모델 생성단계(S100), 기저장된 다물체 동역학 해석 알고리즘에 기설정된 열차의 정보들을 적용하여, 다물체 동역학 해석 모델을 생성하는 동역학모델 생성단계(S200), 상기 전자기모델 생성단계(S100)에서 생성한 상기 전자기 모델과 상기 동역학모델 생성단계(S200)에서 생성한 상기 다물체 동역학 해석 모델을 연성하여, 전자기-다물체 동역학 해석 모델을 생성하고, 열차의 거동을 예측하는 연성단계(S300) 및 상기 연성단계(S300)에서 예측한 상기 열차의 거동 정보들을 이용하여, 주행 안정성을 예측하는 예측단계(S400)로 이루어지는 것이 바람직하다.

[0025] 더 나아가, 상기 전자기모델 생성단계(S100)는 소정 구간을 해석 영역으로 설정하여 상기 시간이력 전자기력 해석 알고리즘을 적용하되, 자속의 방향의 수렴성을 이용하여 상기 해석 영역을 설정하는 것이 바람직하다.

[0026] 더 나아가, 상기 연성단계(S300)는 상기 전자기-다물체 동역학 해석 모델을 이용하여, 상기 전자기 모델에 해석

하고자 하는 열차의 위치에 따른 상기 지상 코일의 전류값을 입력하여 전자기력을 추출하고, 상기 전자기력을 상기 다물체 동역학 해석 모델에 입력하여, 시간이력에 따른 상기 열차의 자세를 예측하는 것이 바람직하다.

[0027] 더 나아가, 상기 예측단계(S400)는 예측한 시간이력에 따른 상기 열차의 자세를 전달받아 수직 진동량과 수평 진동량을 분석하여, 기설정된 수직 진동 한계량과 수평 진동 한계량을 기준으로 열차의 주행 안정성을 예측하는 것이 바람직하다.

### 발명의 효과

[0028] 상기와 같은 구성에 의한 본 발명의 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템 및 그 예측 방법은 종래의 평균 전자기력 및 주파수 분석을 통해서 수행하는 자기부상열차의 주행 안정성 평가 방법이 갖고 있는 문제점/단점인 평균으로는 반영하기 어려운 돌발적인 외력 및 공차에 대해서도, 시간이력 해석을 통해 반영할 수 있어 더욱 정확하게 주행 안정성을 예측할 수 있는 장점이 있다.

[0029] 또한, 지상 코일의 설치 공차나 갑작스러운 외력의 변화와 같은, 고주파 성분의 영향까지 확인할 수 있는 유한 요소 해석모델인 다물체 동역학 해석 모델을 적용함으로써, 주행 안정성 예측의 정확도를 높일 수 있는 장점이 있다.

[0030] 더불어, 지상 코일 및 열차 내 자성체의 설계 변경 사항에 따른 주행 안정성 분석 및 평가를 용이하게 진행할 수 있는 장점이 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0031] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템을 나타낸 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 자기부상열차의 주행 안정성 예측 방법을 나타낸 순서도이다.

도 3 내지 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템 및 그 예측 방법에서의 자속의 방향의 수렴성을 이용하여 해석 영역을 설정하는 과정을 나타낸 도면이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0032] 이하 첨부한 도면들을 참조하여 본 발명의 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템 및 그 예측 방법을 상세히 설명한다. 다음에 소개되는 도면들은 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 예로서 제공되는 것이다. 따라서, 본 발명은 이하 제시되는 도면들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 또한, 명세서 전반에 걸쳐서 동일한 참조번호들은 동일한 구성요소들을 나타낸다.

[0033] 이 때, 사용되는 기술 용어 및 과학 용어에 있어서 다른 정의가 없다면, 이 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 통상적으로 이해하고 있는 의미를 가지며, 하기의 설명 및 첨부 도면에서 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 공지 기능 및 구성에 대한 설명은 생략한다.

[0034] 더불어, 시스템은 필요한 기능을 수행하기 위하여 조직화되고 규칙적으로 상호 작용하는 장치, 기구 및 수단 등을 포함하는 구성 요소들의 집합을 의미한다.

[0035] 본 발명의 일 실시예에 따른 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템 및 그 예측 방법은 상술한 바와 같이, 기존에 수행되던 초전도 반발식 자기부상열차의 진동 예측 및 이를 통한 안정성 평가 방법을 보완 및 개선하기 위하여, 지상 코일의 설치 공차까지 고려하여 전자기력 변화 및 외력에 의한 열차의 자세 변화를 고려한 초전도 반발식 자기부상열차의 주행 안정성을 예측하는 것을 목적으로 한다.

[0036] 이러한 초전도 반발식 자기부상열차는 열차에 설치된 자성체와 가이드웨이에 설치된 지상 코일의 상대속도가 발생함에 따라, 지상 코일에 유도되는 전류를 통해 부상력을 발생시키는 형태이다.

[0037] 상전도 흡인식 자기부상열차와는 달리, 일정속도 이상이 되면 반발력으로 부상하기 때문에, 안정적인 부상이 가능하다. 특히, 상전도 흡인식 자기부상열차에서는 필연적인 반발력 제어가 필요하지 않은 장점이 있다.

[0038] 그렇지만, 초전도 반발식 자기부상열차는 상술한 바와 같이, 자성체간 간극에 따라 힘이 변화하는 특정상 부상력 제어가 없으면 간극이 비교적 크게 변화하고, 이러한 각극의 변화는 열차의 자세 변화와 같은 의미를 가지기 때문에 진동이 심한 단점이 있다.

[0039] 또한, 이러한 심한 진동은 주행 안정성에 영향을 미치게 된다.



- [0040] 이에 따라, 지상 코일의 설치 공차나 갑작스러운 외력의 변화로 인해, 열차의 자세가 변화하게 되면 이에 따른 전자기력을 즉각적으로 반영할 필요가 있다.
- [0041] 즉, 전자기력 자체가 열차의 자세에 영향을 미치고 이와 반대로 열차의 자세 또한 전자기력의 결정에 영향을 미치기 때문에, 자기부상열차의 주행 안정성을 예측하기 위해서는 시간이력 전자기-다물체 동역학 해석이 필수이다. 이러한 시간이력 전자기 해석은 많은 해석 시간과 컴퓨터 능력을 요구하기 때문에, 초고속으로 주행하며, 짧은 시간 내에 장거리를 주행하는 자기부상열차의 해석 모델을 구축하기 위해서는 해석 모델이 거대해질 수 밖에 없는 문제점이 있다.
- [0042] 이에 따라, 전 구간의 시간이력 전자기 해석 모델을 구축하는 것은 현실적으로 불가능하다.
- [0043] 이에 따라, 본 발명의 일 실시예에 따른 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템 및 그 예측 방법은, 소정 구간의 전자기 모델을 구축하고 이를 이용하여 예측하고자 하는 긴 구간의 전자기력을 예측할 수 있는 수학적 모델을 구축하는 것이 바람직하다.
- [0044] 상세하게는, 구축한 수학적 모델에서 추출된 전자기력을 다물체 동역학 모델과 연성하여, 시간이력 전자기-다물체 동역학 해석 모델을 구축할 수 있다.
- [0045] 이 때, 이러한 소정 구간의 전자기 모델을 구축하는 것에 대해서도, 열차의 주행 속도가 빠르기 때문에, 비교적 큰 해석 영역을 가지게 되고, 격자의 최적화를 통해서 해석 시간을 줄여야 하는 문제점이 있다.
- [0046] 그렇기 때문에, 가장 먼저 신경써야 할 것은 해석 영역의 설정이다.
- [0047] 해석 영역이 해석 모델의 크기에 대비하여, 너무 작게 되면 자속의 왜곡이 발생하여 위치별 자속 기울기가 비정상적으로 나오기 때문에 해석의 정확성이 떨어지게 되고, 너무 크게 되면 해석 모델이 거대해지기 때문에 종래의 문제점을 그대로 포함하게 된다.
- [0048] 이를 감안하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템 및 그 예측 방법에서는, 해석 영역의 확장에 따른 자속의 방향의 수렴성을 확인하여, 해석 영역을 설정하고 있다.
- [0049] 상세하게는, 본 발명의 일 실시예에 따른 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템은 도 1에 도시된 바와 같이, 제1 전처리부(100), 제2 전처리부(200), 후처리부(300) 및 분석부(400)를 포함하여 구성되는 것이 바람직하다.
- [0050] 각 구성에 대해서 자세히 알아보자면,
- [0051] 상기 제1 전처리부(100)는 미리 저장된 시간이력 전자기력 해석 알고리즘에 가이드웨이에 설치된 지상 코일에 유도되는 전류와 열차에 설치된 자성체로 인가되는 전류를 적용하여, 전자기 모델을 생성하는 것이 바람직하다.
- [0052] 여기서, 미리 저장된 시간이력 전자기력 해석 알고리즘으로 상용 소프트웨어인 'Ansys Electrinocs'를 사용하는 것이 가장 바람직하나, 이는 본 발명의 일 실시예에 불과하다.
- [0053] 상세하게는, 상기 전자기 모델을 생성하기 위한 시간이력 전자기력 해석 알고리즘의 필요 입력변수로는, 전자기 회로를 구성하는 지상 코일과 열차 내 존재하는 초전도 코일의 기하 치수인 것이 바람직하며, 이 외에 시간이력 해석을 위한 시간 단계(time step), 총 이동거리, 속도 등을 입력변수로 설정할 수 있다.
- [0054] 또한, 해석영역의 크기를 설정하는 것과 해석의 정확성 및 빠르기를 결정하기 위한 '격자구역 나누기'가 요구되며, '격자구역 나누기'는 본 발명의 일 실시예에 따른 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템을 구동하는 작업자(사용자 등)의 고유 작업이기 때문에, 한정하지 않는다.
- [0055] 더불어, 상기 제1 전처리부(100)의 미리 저장된 시간이력 전자기력 해석 알고리즘에 의한 출력변수로는, 시간 단계별 발생하는 전자기력인 것이 바람직하다.
- [0056] 상세하게는, 출력변수인 시간 단계별 발생하는 전자기력을 이용하여, 전자기 해석 모델과 동역학 모델을 연성할 수 있으며, 해석 시간의 단축을 위해 전자기 해석에서 발생하는 유도 전류만을 미리 추출하고 이를 변형하여 전자기력을 빠르게 연산할 수도 있다.
- [0057] 즉, 2-way 연성해석을 이용하는 본 발명의 일 실시예에 따른 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템은 상기 전자기 모델에서 힘(전자기력)을 추출하고 이를 동역학 모델에 입력하여 발생한 힘에 대한 변위를 계산하는 것이 바람직하다.
- [0058] 또한, 계산된 변위를 다시 상기 전자기 모델에 입력하여 새로운 위치에 대한 힘(전자기력)을 추출하는 과정을



반복하여 수행하는 것이 바람직하다.

- [0059] 이 때, 상기 제1 전처리부(100)는 소정 구간을 해석 영역으로 설정한 후 상기 시간이력 전자기력 해석 알고리즘을 적용하는 것이 바람직하다.
- [0060] 즉, 상기 전자기 모델을 생성하기 앞서서, 최적의 해석 영역(해석 범위)을 설정한 후 상기 시간이력 전자기력 해석 알고리즘을 이용하여 상기 전자기 모델을 생성하는 것이 바람직하다.
- [0061] 상세하게는, 소정 구간에 대한 전자기 모델을 구축한 후, 이를 이용하여 상기 소정 구간보다 긴 구간의 전자기력을 예측할 수 있는 전자기 모델을 구축하는 것이 바람직하다. 더 나아가, 구축한 상기 전자기 모델에서 추출된 전자기력을 다물체 동역학 모델과 연성하여, 시간이력 기반의 전자기-다물체 동역학 해석 모델을 구축하는 것이 바람직하다.
- [0062] 상술한 바와 같이, 소정 구간의 전자기 모델을 구축함에도 불구하고, 열차의 진행 속도가 빠르기 때문에, 비교적 큰 해석 영역을 갖게 된다. 그렇기 때문에, 격자의 최적화를 통해서 해석 시간을 줄이는 것이 주요하며, 본 발명의 일 실시예에 따른 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템에서 가장 먼저 신경써야 할 크기로서는 해석 영역을 설정함이다.
- [0063] 상기 해석 영역은 자속의 방향의 수렴성을 이용하여 설정하는 것이 바람직하다. 상세하게는, 해석 영역이 상기 전자기 모델의 크기에 대비하여 작게 설정할 경우, 자속의 왜곡이 일어나 위치별 자속 기울기가 비정상적으로 나올 수 있기 때문에, 해석 영역의 확장에 따른 자속의 방향의 수렴성을 확인하면서 해석 영역을 설정하는 것이 가장 바람직하다.
- [0064] 다시 말하자면, 해석 영역을 설정함에 있어서, 도 3에 도시된 바와 같이, 열차의 진행방향과 종/횡 방향의 해석 영역의 결정을 위한 기준이 필요하다.
- [0065] 이 때, 종/횡 방향 해석 영역의 결정은 정해석을 통해 진행하는 것이 바람직하며, 열차의 진행 방향의 해석 영역의 결정은 과도해석을 통해 진행하는 것이 바람직하다.
- [0066] 도 3 내지 도 5를 참고로 하여, 실제 가이드웨이의 구조물에 설치되는 콘크리트 등의 전자기적 물성치를 갖지 않는 구조물에 대해서는 자기장의 왜곡이 발생하지 않기 때문에, 해석 영역의 의존도가 지배적이지 않게 된다.
- [0067] 해석 영역이 상기 전자기 모델의 크기에 대비하여 작게 설정할 경우, 상술한 문제점이 발생할 수 있기 때문에, 해석 영역은 충분히 커서 대차(열차)와 지상 코일의 자기장이 정해석의 해석결과를 기준으로 왜곡되지 않을 만큼 설정하는 것이 바람직하다.
- [0068] 이 때, 해석의 중심이 되는 것은 열차에 설치되어 있는 초전도 코일과 가이드웨이에 설치되어 있는 지상 코일과의 유도전류를 정확히 구현하는 것이기 때문에, 해석 영역은 열차에 설치되어 있는 4개의 초전도 코일이 지상 코일을 지나가면서 발생하는 유도전류가 왜곡되지 않도록 설정하는 것이 가장 바람직하다.
- [0069] 상기 제1 전처리부(100)는 이렇게 설정한 해석 영역, 즉, 소정 구간에 상기 시간이력 전자기력 해석 알고리즘에 가이드웨이에 설치된 지상 코일에 유도되는 전류와 열차에 설치된 자성체로 인가되는 전류를 적용하여, 전자기 모델을 생성하는 것이 바람직하다.
- [0070] 이 후, 상술한 바와 같이, 상기 소정 구간보다 긴 구간의 전자기력을 예측할 수 있는 전자기 모델을 구축하는 것이 바람직하다. 이 때, 상기 소정 구간보다 긴 구간의 전자기력을 예측할 수 있는 전자기 모델을 구축하기에 앞서서, 자기부상열차에 구성되는 각 전자기 부품별 검증을 진행함으로써, 최종적인 소정 구간의 전자기 모델을 구축한 후, 상기 소정 구간보다 긴 구간의 전자기력을 예측할 수 있는 전자기 모델을 구축하는 것이 가장 바람직하다.
- [0071] 또한, 상기 소정 구간은 반복성을 가진다고 가정함으로써, 상기 소정 구간보다 긴 구간은 상기 소정 구간의 반복 데이터를 이용하여 전자기 모델을 구축하는 것이 바람직하다.
- [0072] 상기 제2 전처리부(200)는 미리 저장된 다물체 동역학 해석 알고리즘에 열차의 구조특성과 속도, 회전곡률을 포함하는 정보들을 적용하여, 다물체 동역학 해석 모델을 생성하는 것이 바람직하다.
- [0073] 여기서, 미리 저장된 다물체 동역학 해석 알고리즘은 통상적으로 이용되는 알고리즘으로 상용 프로그램인 'MSC. ADAMS'를 사용하는 것이 가장 바람직하나, 이는 본 발명의 일 실시예에 불과하다.
- [0074] 상세하게는, 상기 다물체 동역학 해석 모델을 생성하기 위한 다물체 동역학 해석 알고리즘(프로그램)의 필요 입

력변수로는 대차와 객차의 질량 및 질량의 중심인 것이 바람직하며, 이 두 물체를 연결하는 각종 스프링, 댐퍼 등의 물성치를 설정하는 것이 바람직하다.

- [0075] 이러한 입력변수들을 통해서 생성된 상기 다물체 동역학 해석 모델의 응답을 위해 입력되는 변수는 시간 단계이 설정되고 전자기력과 같은 외력이 입력되는 것이 바람직하며, 출력변수로는 위치를 받아 이를 상기 전자기 모델에 입력하도록 하는 것이 바람직하다.
- [0076] 상기 후처리부(300)는 상기 제1 전처리부(100)에서 생성한 상기 전자기 모델과(이 때, 전자기 모델은 상기 소정 구간보다 긴 구간의 전자기력을 예측할 수 있는 전자기 모델을 의미함.) 상기 제2 전처리부(200)에서 생성한 상기 다물체 동역학 해석 모델을 연성하여, 시간이력 기반의 전자기-다물체 동역학 해석 모델을 생성하는 것이 바람직하다.
- [0077] 상기 후처리부(300)는 생성한 상기 전자기-다물체 동역학 해석 모델을 이용하여, 열차의 거동을 예측하는 것이 바람직하다.
- [0078] 상세하게는, 상기 후처리부(300)는 생성한 상기 전자기-다물체 동역학 해석 모델을 이용하여, 상기 전자기 모델에 해석하고자 하는 열차의 위치에 따른 상기 지상 코일의 전류값을 입력하여 전자기력을 추출하고, 추출한 상기 전자기력을 상기 다물체 동역학 해석 모델에 입력하여, 상기 제1 전처리부(100)에서 생성한 전자기 모델과 상기 제2 전처리부(200)에서 생성한 상기 다물체 동역학 해석 모델을 연성하는 것이 바람직하다.
- [0079] 더불어, 상기 후처리부(300)는 추출한 상기 전자기력을 상기 다물체 동역학 해석 모델에 입력함으로써, 시간이력에 따른 열차의 자세를 예측할 수 있다.
- [0080] 상기 분석부(400)는 상기 후처리부(300)에서 예측한 상기 열차의 자세를 전달받아, 열차의 거동을 예측할 수 있다.
- [0081] 즉, 상기 분석부(400)는 상기 후처리부(300)에서 예측한 시간이력에 따른 열차의 자세 정보를 지속적으로 입력받음으로써, 열차의 거동을 예측할 수 있으며, 예측한 열차의 거동을 통해서 수직 진동량과 수평 진동량을 분석하는 것이 바람직하다.
- [0082] 더 나아가, 상기 분석부(400)는 상기 후처리부(300)에서 예측한 시간이력에 따른 열차의 자세를 전달받아 수직 진동량과 수평 진동량을 분석한 후, 미리 설정된 수직 진동 한계량과 수평 진동 한계량을 기준으로 열차의 주행 안정성을 예측할 수 있다.
- [0083] 이 때, 미리 설정된 수직 진동 한계량과 수평 진동 한계량을 외부 관리자의 입력에 따라 설정되는 것이 바람직하며, 이를 한정하는 것은 아니다.
- [0084] 자세하게는, 본 발명의 일 실시예에 따른 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템은, 상기 소정 구간보다 긴 구간은 상기 소정 구간의 반복 데이터를 이용하여 전자기 모델을 구축한 후, 구축한 상기 전자기 모델의 해석 결과에서 지상 코일에 유도되는 전류값과 인가하는 전류값을 추출하는 것이 바람직하다.
- [0085] 추출한 지상 코일에 유도되는 전류값은 시간이력에 따른 모든 데이터를 이용하여 열차의 진행 상태에 따라 그 상을 일치시키는 것이 바람직하다.
- [0086] 이 때, 시간이력에 따른 데이터가 필요할 경우, 선형 보간법을 이용하여 그 값을 추정하여 이용하는 것이 바람직하다.
- [0087] 더불어, 생성한 상기 전자기-다물체 동역학 해석 모델을 이용하여, 상기 전자기 모델에 해석하고자 하는 열차의 위치에 따른 상기 지상 코일의 전류값을 입력하여 전자기력, 좀 더 상세하게는, 지상 코일과 열차 내 자성체의 로렌츠 힘을 추출하는 것이 바람직하다.
- [0088] 추출한 로렌츠 힘은 해석하고자 하는 열차의 위치 및 시간에 입력되는 가이드력 및 부상력으로 작용하는 것으로 해석하는 것이 바람직하다.
- [0089] 추출한 로렌츠 힘을 상기 다물체 동역학 해석 모델에 입력하여 해석하고자 하는 열차의 다음 자세를 결정할 수 있다. 결정한 열차의 다음 자세를 이용하여 상술한 해석을 반복 수행함으로써, 열차의 시간이력에 따른 자세 정보들을 예측할 수 있어 나아가 시간이력에 따른 거동을 예측할 수 있다.
- [0090] 이렇게 예측한 거동을 바탕으로 열차의 주행 안정성을 평가하는 것이 바람직하다.
- [0091] 즉, 미리 설정된 수직 진동 한계량과 수평 진동 한계량을 기준으로 열차의 주행 안정성을 예측하는 것이 바람직

하다.

- [0092] 본 발명의 일 실시예에 따른 자기부상열차의 주행 안정성 예측 방법은 도 2에 도시된 바와 같이, 전자기모델 생성단계(S100), 동역학모델 생성단계(S200), 연성단계(S300) 및 예측단계(S400)를 포함하여 이루어지는 것이 바람직하다.
- [0093] 각 단계에 대해서 자세히 알아보자면,
- [0094] 상기 전자기모델 생성단계(S100)는 상기 제1 전처리부(100)에서, 미리 저장된 시간이력 전자기력 해석 알고리즘에 가이드웨이에 설치된 지상 코일에 유도되는 전류와 열차에 설치된 자성체로 인가되는 전류를 적용하여, 전자기 모델을 생성하는 것이 바람직하다.
- [0095] 여기서, 미리 저장된 시간이력 전자기력 해석 알고리즘으로 상용 소프트웨어인 'Ansys Electrinocs'를 사용하는 것이 가장 바람직하나, 이는 본 발명의 일 실시예에 불과하다.
- [0096] 상세하게는, 상기 전자기 모델을 생성하기 위한 시간이력 전자기력 해석 알고리즘의 필요 입력변수로는, 전자기 회로를 구성하는 지상 코일과 열차 내 존재하는 초전도 코일의 기하 치수인 것이 바람직하며, 이 외에 시간이력 해석을 위한 시간 단계, 총 이동거리, 속도 등을 입력변수로 설정할 수 있다.
- [0097] 또한, 해석영역의 크기를 설정하는 것과 해석의 정확성 및 빠르기를 결정하기 위한 '격자구역 나누기'가 요구되며, '격자구역 나누기'는 본 발명의 일 실시예에 따른 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템을 구동하는 작업자(사용자 등)의 고유 작업이기 때문에, 한정하지 않는다.
- [0098] 더불어, 상기 제1 전처리부(100)의 미리 저장된 시간이력 전자기력 해석 알고리즘에 의한 출력변수로는, 시간 단계별 발생하는 전자기력인 것이 바람직하다.
- [0099] 상세하게는, 출력변수인 시간 단계별 발생하는 전자기력을 이용하여, 전자기 해석 모델과 동역학 모델을 연성할 수 있으며, 해석 시간의 단축을 위해 전자기 해석에서 발생하는 유도 전류만을 미리 추출하고 이를 변형하여 전자기력을 빠르게 연산할 수도 있다.
- [0100] 즉, 2-way 연성해석을 이용하는 본 발명의 일 실시예에 따른 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템은 상기 전자기 모델에서 힘(전자기력)을 추출하고 이를 동역학 모델에 입력하여 발생한 힘에 대한 변위를 계산하는 것이 바람직하다.
- [0101] 또한, 계산된 변위를 다시 상기 전자기 모델에 입력하여 새로운 위치에 대한 힘(전자기력)을 추출하는 과정을 반복하여 수행하는 것이 바람직하다.
- [0102] 상기 전자기모델 생성단계(S100)는 소정 구간을 해석 영역으로 설정한 후 상기 시간이력 전자기력 해석 알고리즘을 적용하는 것이 바람직하다.
- [0103] 상세하게는, 소정 구간에 대한 전자기 모델을 구축한 후, 이를 이용하여 상기 소정 구간보다 긴 구간의 전자기력을 예측할 수 있는 전자기 모델을 구축하는 것이 바람직하다. 더 나아가, 구축한 상기 전자기 모델에서 추출된 전자기력을 다물체 동역학 모델과 연성하여, 시간이력 기반의 전자기-다물체 동역학 해석 모델을 구축하는 것이 바람직하다.
- [0104] 상술한 바와 같이, 소정 구간의 전자기 모델을 구축함에도 불구하고, 열차의 진행 속도가 빠르기 때문에, 비교적 큰 해석 영역을 갖게 된다. 그렇기 때문에, 격자의 최적화를 통해서 해석 시간을 줄이는 것이 주요하며, 본 발명의 일 실시예에 따른 자기부상열차의 주행 안정성 예측 시스템에서 가장 먼저 신경써야 할 크기로서는 해석 영역을 설정함이다.
- [0105] 상기 해석 영역은 자속의 방향의 수렴성을 이용하여 설정하는 것이 바람직하다. 상세하게는, 해석 영역이 상기 전자기 모델의 크기에 대비하여 작게 설정할 경우, 자속의 왜곡이 일어나 위치별 자속 기울기가 비정상적으로 나올 수 있기 때문에, 해석 영역의 확장에 따른 자속의 방향의 수렴성을 확인하면서 해석 영역을 설정하는 것이 가장 바람직하다.
- [0106] 다시 말하자면, 해석 영역을 설정함에 있어서, 도 3에 도시된 바와 같이, 열차의 진행방향과 종/횡 방향의 해석 영역의 결정을 위한 기준이 필요하다.
- [0107] 이 때, 종/횡 방향 해석 영역의 결정은 정해석을 통해 진행하는 것이 바람직하며, 열차의 진행 방향의 해석 영역의 결정은 과도해석을 통해 진행하는 것이 바람직하다.

- [0108] 도 3 내지 도 5를 참고로 하여, 실제 가이드웨이의 구조물에 설치되는 콘크리트 등의 전자기적 물성치를 갖지 않는 구조물에 대해서는 자기장의 왜곡이 발생하지 않기 때문에, 해석 영역의 의존도가 지배적이게 된다.
- [0109] 해석 영역이 상기 전자기 모델의 크기에 대비하여 작게 설정할 경우, 상술한 문제점이 발생할 수 있기 때문에, 해석 영역은 충분히 커서 대차(열차)와 지상 코일의 자기장이 정해석의 해석결과를 기준으로 왜곡되지 않을 만큼 설정하는 것이 바람직하다.
- [0110] 이 때, 해석의 중심이 되는 것은 열차에 설치되어 있는 초전도 코일과 가이드웨이에 설치되어 있는 지상 코일과의 유도전류를 정확히 구현하는 것이기 때문에, 해석 영역은 열차에 설치되어 있는 4개의 초전도 코일이 지상 코일을 지나가면서 발생하는 유도전류가 왜곡되지 않도록 설정하는 것이 가장 바람직하다.
- [0111] 그렇기 때문에, 상기 전자기모델 생성단계(S100)에서는, 이렇게 설정한 해석 영역, 즉, 소정 구간에 상기 시간 이력 전자기력 해석 알고리즘에 가이드웨이에 설치된 지상 코일에 유도되는 전류와 열차에 설치된 자성체로 인가되는 전류를 적용하여, 전자기 모델을 생성하는 것이 바람직하다.
- [0112] 이 후, 상술한 바와 같이, 상기 소정 구간보다 긴 구간의 전자기력을 예측할 수 있는 전자기 모델을 구축하는 것이 바람직하다. 이 때, 상기 소정 구간보다 긴 구간의 전자기력을 예측할 수 있는 전자기 모델을 구축하기에 앞서서, 자기부상열차에 구성되는 각 전자기 부품별 검증을 진행함으로써, 최종적인 소정 구간의 전자기 모델을 구축한 후, 상기 소정 구간보다 긴 구간의 전자기력을 예측할 수 있는 전자기 모델을 구축하는 것이 가장 바람직하다.
- [0113] 또한, 상기 소정 구간은 반복성을 가진다고 가정함으로써, 상기 소정 구간보다 긴 구간은 상기 소정 구간의 반복 데이터를 이용하여 전자기 모델을 구축하는 것이 바람직하다.
- [0114] 상기 동역학모델 생성단계(S200)는 상기 제2 전처리부(200)에서, 미리 저장된 다물체 동역학 해석 알고리즘에 열차의 구조특성과 속도, 회전곡률을 포함하는 정보들을 적용하여, 다물체 동역학 해석 모델을 생성하는 것이 바람직하다.
- [0115] 여기서, 미리 저장된 다물체 동역학 해석 알고리즘은 통상적으로 이용되는 알고리즘으로 상용 프로그램인 'MSC. ADAMS'를 사용하는 것이 가장 바람직하나, 이는 본 발명의 일 실시예에 불과하다.
- [0116] 상세하게는, 상기 다물체 동역학 해석 모델을 생성하기 위한 다물체 동역학 해석 알고리즘(프로그램)의 필요 입력변수로는 대차와 객차의 질량 및 질량의 중심인 것이 바람직하며, 이 두 물체를 연결하는 각종 스프링, 댐퍼 등의 물성치를 설정하는 것이 바람직하다.
- [0117] 이러한 입력변수들을 통해서 생성된 상기 다물체 동역학 해석 모델의 응답을 위해 입력되는 변수는 시간 단계가 설정되고 전자기력과 같은 외력이 입력되는 것이 바람직하며, 출력변수로는 위치를 받아 이를 상기 전자기 모델에 입력하도록 하는 것이 바람직하다.
- [0118] 상기 연성단계(S300)는 상기 후처리부(300)에서, 상기 전자기모델 생성단계(S100)에서 생성한 상기 전자기 모델과 상기 동역학모델 생성단계(S200)에서 생성한 상기 다물체 동역학 해석 모델을 연성하여 전자기-다물체 동역학 해석 모델을 생성할 수 있다. 또한, 생성한 상기 전자기-다물체 동역학 해석 모델을 이용하여 열차의 자세를 예측할 수 있다.
- [0119] 상세하게는, 상기 연성단계(S300)는 생성한 상기 전자기-다물체 동역학 해석 모델을 이용하여, 상기 전자기 모델에 해석하고자 하는 열차의 위치에 따른 상기 지상 코일의 전류값을 입력하여 전자기력을 추출하고, 추출한 상기 전자기력을 상기 다물체 동역학 해석 모델에 입력하여, 상기 전자기모델 생성단계(S100)에서 생성한 전자기 모델과 상기 동역학모델 생성단계(S200)에서 생성한 상기 다물체 동역학 해석 모델을 연성하는 것이 바람직하다.
- [0120] 더불어, 상기 연성단계(S300)는 추출한 상기 전자기력을 상기 다물체 동역학 해석 모델에 입력함으로써, 시간이력에 따른 열차의 자세를 예측할 수 있다.
- [0121] 상기 예측단계(S400)는 상기 분석부(400)에서, 상기 연성단계(S300)에서 예측한 열차의 자세정보들을 이용하여 거동 정보를 분석하고, 이를 통해서 열차의 주행 안정성을 예측하게 된다.
- [0122] 상세하게는, 상기 예측단계(S400)는 상기 연성단계(S300)에서 예측한 시간이력에 따른 상기 열차의 자세 정보들을 전달받아, 수직 진동량과 수평 진동량을 분석하여 미리 설정된 수직 진동 한계량과 수평 진동 한계량을 기준



으로 열차의 주행 안정성을 예측할 수 있다.

- [0123] 다시 말하자면, 상기 예측단계(S400)는 상기 연성단계(S300)에서 예측한 시간이력에 따른 열차의 자세 정보를 지속적으로 입력받음으로써, 열차의 거동을 예측할 수 있으며, 예측한 열차의 거동을 통해서 수직 진동량과 수평 진동량을 분석하는 것이 바람직하다.
- [0124] 또한, 상기 예측단계(S400)는 상기 연성단계(S300)에서 예측한 시간이력에 따른 열차의 자세를 전달받아 수직 진동량과 수평 진동량을 분석한 후, 미리 설정된 수직 진동 한계량과 수평 진동 한계량을 기준으로 열차의 주행 안정성을 예측할 수 있다.
- [0125] 이 때, 미리 설정된 수직 진동 한계량과 수평 진동 한계량을 외부 관리자의 입력에 따라 설정되는 것이 바람직하며, 이를 한정하는 것은 아니다.
- [0126] 즉, 다시 말하자면, 본 발명의 일 실시예에 따른 자기부상열차의 주행 안정성 예측 방법은, 상기 소정 구간보다 긴 구간은 상기 소정 구간의 반복 데이터를 이용하여 전자기 모델을 구축한 후, 구축한 상기 전자기 모델의 해석 결과에서 지상 코일에 유도되는 전류값과 인가하는 전류값을 추출하는 것이 바람직하다.
- [0127] 추출한 지상 코일에 유도되는 전류값은 시간이력에 따른 모든 데이터를 이용하여 열차의 진행 상태에 따라 그 상을 일치시키는 것이 바람직하다.
- [0128] 이 때, 시간이력에 따른 데이터가 필요할 경우, 선형 보간법을 이용하여 그 값을 추정하여 이용하는 것이 바람직하다.
- [0129] 더불어, 생성한 상기 전자기-다물체 동역학 해석 모델을 이용하여, 상기 전자기 모델에 해석하고자 하는 열차의 위치에 따른 상기 지상 코일의 전류값을 입력하여 전자기력, 좀 더 상세하게는, 지상 코일과 열차 내 자성체의 로렌츠 힘을 추출하는 것이 바람직하다.
- [0130] 추출한 로렌츠 힘은 해석하고자 하는 열차의 위치 및 시간에 입력되는 가이드력 및 부상력으로 작용하는 것으로 해석하는 것이 바람직하다.
- [0131] 추출한 로렌츠 힘을 상기 다물체 동역학 해석 모델에 입력하여 해석하고자 하는 열차의 다음 자세를 결정할 수 있다. 결정한 열차의 다음 자세를 이용하여 상술한 해석을 반복 수행함으로써, 열차의 시간이력에 따른 자세 정보들을 예측할 수 있어 나아가 시간이력에 따른 거동을 예측할 수 있다.
- [0132] 이렇게 예측한 거동을 바탕으로 열차의 주행 안정성을 평가하는 것이 바람직하다.
- [0133] 즉, 미리 설정된 수직 진동 한계량과 수평 진동 한계량을 기준으로 열차의 주행 안정성을 예측하는 것이 바람직하다.
- [0134] 한편, 본 발명의 실시예에 따른 자기부상열차의 주행 안정성 예측 방법은 다양한 전자적으로 정보를 처리하는 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 저장 매체에 기록될 수 있다. 저장 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다.
- [0135] 저장 매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 소프트웨어 분야 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 저장 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media) 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 전자적으로 정보를 처리하는 장치, 예를 들어, 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.
- [0136] 이상과 같이 본 발명에서는 구체적인 구성 소자 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것 일 뿐, 본 발명은 상기의 일 실시예에 한정되는 것이 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.
- [0137] 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허 청구 범위뿐 아니라 이 특허 청구 범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

# 부호의 설명

[0138]

100 : 제1 전처리부

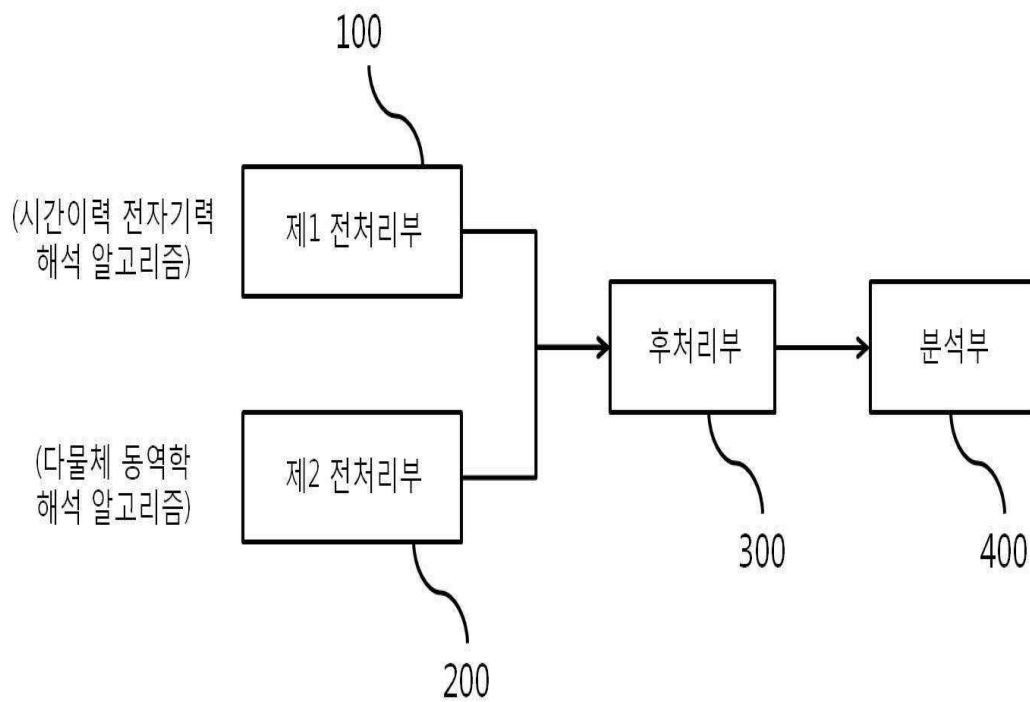
200 : 제2 전처리부

300 : 후처리부

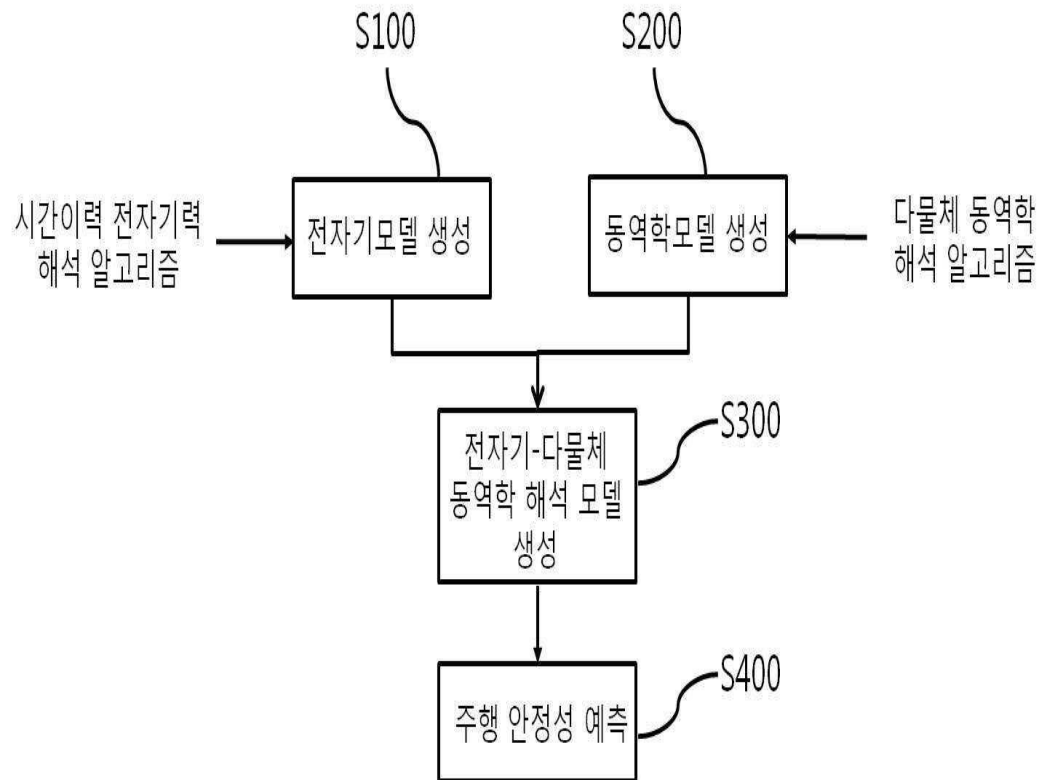
400 : 분석부

## 도면

### 도면1

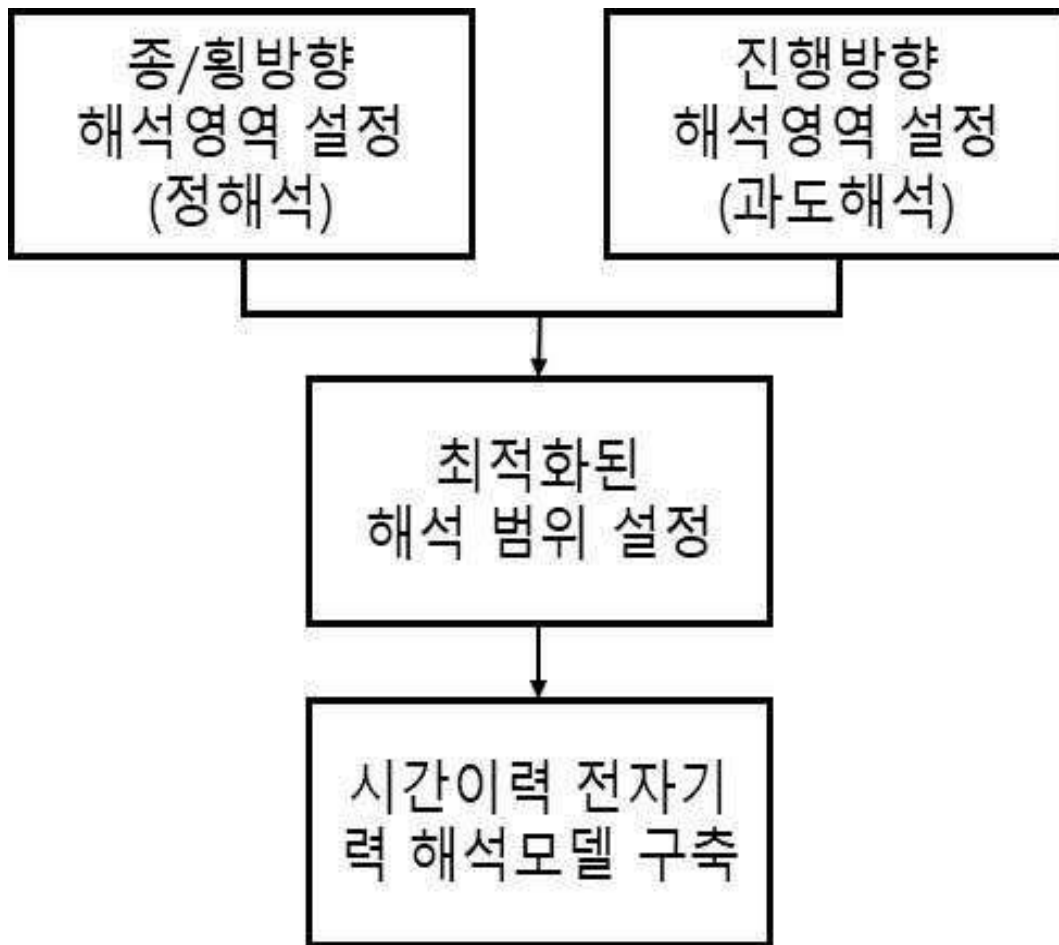


도면2

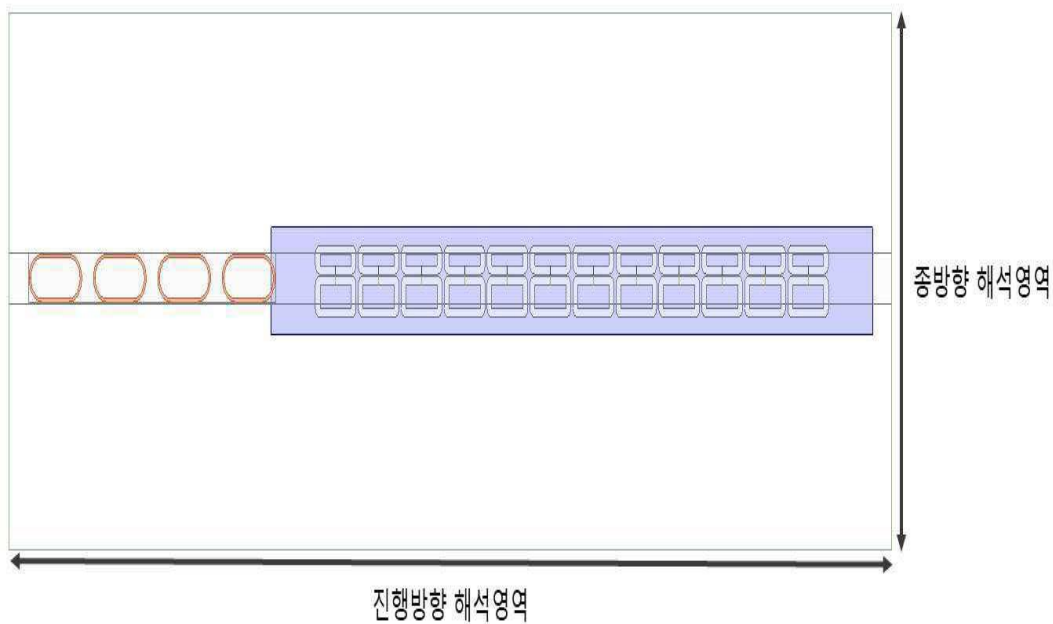




도면3



도면4



도면5

