



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년09월30일  
(11) 등록번호 10-2026951  
(24) 등록일자 2019년09월24일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G06F 17/50 (2006.01) B61B 13/10 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
G06F 17/5018 (2013.01)  
B61B 13/10 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2019-0062414
- (22) 출원일자 2019년05월28일  
심사청구일자 2019년05월28일
- (56) 선행기술조사문헌  
“압축기 성능해석 결과를 적용한 캡슐트레인 CFD 해석”, 한국전산유체공학회 학술대회논문집(pp. 159-160), 2018년 5월  
“하이퍼튜브 캡슐트레인 압축기 장착 및 미장착에 따른 튜브 내부 유동형태 및 공기저항 해석”, 한국철도학회 논문집 21(6)(pp. 531-540), 2018년 7월  
“초고속 튜브트레인 아음속 및 초음속 유동 해석을 통한 공력 저항 비교 분석”, 한국전산유체공학회지 23(4)(pp. 1-6), 2018년 12월

- (73) 특허권자  
한국교통대학교산학협력단  
충청북도 충주시 대소원면 대학로 50
- (72) 발명자  
권혁빈  
대전광역시 서구 둔산로 155, 105동 1105호(둔산동, 크로바아파트)  
김영매  
경기도 안산시 상록구 옷말6길 23-1, 402호(일동, 한국플러스타운)  
김부선  
경기도 용인시 수지구 성북2로 126, 314동 801호(성북동, 성동마을 엘지빌리지3차)
- (74) 대리인  
특허법인명인

전체 청구항 수 : 총 4 항

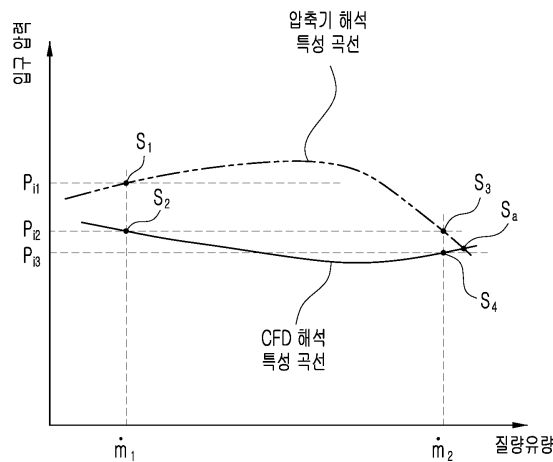
심사관 : 박승철

(54) 발명의 명칭 공기 유동 조건 커플링 방법

(57) 요약

CFD(computational fluid dynamics) 해석 프로그램과 압축기 성능해석 프로그램을 연계적으로 이용하여 공기를 흡입하여 배출하는 압축기가 설치된 열차가 관 내부에서 주행할 때의 공기 유동 해석을 수행하기 위한 공기 유동 조건 커플링 방법은, 상기 CFD 해석 프로그램을 이용하여 상기 압축기의 입구에서의 초기 입구 압력을 산출하는 단계, 상기 산출된 초기 입구 압력의 조건에서 상기 압축기 성능해석 프로그램을 이용하여 상기 압축기의 작동에 의한 공기 흐름의 질량유량을 산출하는 단계, 그리고 상기 CFD 해석 프로그램과 상기 압축기 성능해석 프로그램을 이용하여 상기 산출된 질량유량의 조건에서 보정된 입구 압력의 산출 및 상기 보정된 입구 압력에서의 보정된 질량유량의 산출의 반복계산을 수행하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 공고-제37호

부처명 국토교통부

연구관리전문기관 한국교통대학교 산학협력단

연구사업명 국토교통기술촉진연구사업

연구과제명 터널 공기력 저감을 위한 하이퍼루프형 압축기 적용 고속열차 공력설계기술 연구

기 여 율 1/1

주관기관 한국교통대학교

연구기간 2018.04.17 ~ 2019.12.31

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

CFD(computational fluid dynamics) 해석 프로그램과 압축기 성능해석 프로그램을 연계적으로 이용하여 공기를 흡입하여 배출하는 압축기가 설치된 열차가 관 내부에서 주행할 때의 공기 유동 해석을 수행하기 위한 공기 유동 조건 커플링 방법으로서,

상기 CFD 해석 프로그램을 이용하여 상기 압축기의 입구에서의 초기 입구 압력을 산출하는 단계,

상기 산출된 초기 입구 압력의 조건에서 상기 압축기 성능해석 프로그램을 이용하여 상기 압축기의 작동에 의한 공기 흐름의 질량유량을 산출하는 단계, 그리고

상기 CFD 해석 프로그램과 상기 압축기 성능해석 프로그램을 이용하여 상기 산출된 질량유량의 조건에서 보정된 입구 압력의 산출 및 상기 보정된 입구 압력에서의 보정된 질량유량의 산출의 반복계산을 수행하는 단계

를 포함하는

공기 유동 조건 커플링 방법.

**청구항 2**

제1항에서,

상기 초기 입구 압력은 상기 압축기의 입구를 폐쇄된 벽으로 가정하여 산출되는 공기 유동 조건 커플링 방법.

**청구항 3**

제2항에서,

상기 반복계산을 수행하는 단계는

상기 CFD 해석 프로그램을 이용하여 상기 산출된 질량유량의 조건에서 상기 압축기의 보정된 입구 압력을 산출하는 단계, 그리고

상기 압축기 성능해석 프로그램을 이용하여 상기 보정된 입구 압력의 조건에서 상기 압축기의 보정된 질량유량을 산출하는 단계

를 포함하는 공기유동 조건 커플링 방법.

**청구항 4**

제3항에서,

상기 반복계산을 수행하는 단계를 복수 회 반복 수행하여 최종 입구 압력 및 최종 질량유량이 산출되는 공기 유동 조건 커플링 방법.

**발명의 설명**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 압축기를 구비하는 열차가 관 내에서 주행할 경우의 공기 유동 해석을 위한 방법에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 2013년에 발표된 하이퍼루프(Hyper loop)는 초고속 운송 기술이 구현가능한 새로운 교통 시스템으로서 진공에 가깝게 기압을 낮춘 튜브 내부를 운송체가 음속에 가까운 속도로 이동하는 교통 시스템이다. 하이퍼루프 시스템에서 운송체는 압축기를 구비함으로써 단순한 구조의 튜브 내에서 추진과 부상을 구현하였으며 운행 속도를 음속

에 가깝게 높일 수 있었다.

[0003] 하이퍼루프는 등장과 동시에 세계적인 관심을 받고 있으며, 하이퍼루프 발표 이후 이에 영감을 받아 다양한 하이퍼루프 파생 시스템에 대한 연구가 이루어지고 있다. 하이퍼루프 시스템은 내부 유동과 외부 유동의 성질을 동시에 가지며 천음속 영역임에도 매우 낮은 레이놀즈수를 가지는 매우 복잡하고 독특한 유동장이기 때문에 공기역학 시스템 전반의 설계뿐만 아니라 각 설계 분야들 간의 긴밀한 인터페이스도 요구된다.

[0004] 하이퍼루프의 개념은 철도 차량 전두부에 압축기를 적용하여 주행 시, 특히 터널 주행 시의 전두부의 압력을 낮추는 기술로 적용될 수 있으며, 이때 압축기의 유량과 입구 압력의 최적 설계가 필요하다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

[0005] (특허문헌 0001) 미국 등록특허공보 US9,604,798 (2017.03.28 공고)

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0006] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 하이퍼루프 시스템과 같이 압축기를 구비하는 열차가 관 내부에서 주행하는 경우의 공기 유동 해석이 가능하도록 CFD 해석 프로그램과 압축기 성능해석 프로그램의 연계적 사용을 가능하게 하는 공기 유동 조건을 도출할 수 있는 방법을 제공하는 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0007] 본 발명의 실시예에 따른 CFD(computational fluid dynamics) 해석 프로그램과 압축기 성능해석 프로그램을 연계적으로 이용하여 공기를 흡입하여 배출하는 압축기가 설치된 열차가 관 내부에서 주행할 때의 공기 유동 해석을 수행하기 위한 공기 유동 조건 커플링 방법은, 상기 CFD 해석 프로그램을 이용하여 상기 압축기의 입구에서의 초기 입구 압력을 산출하는 단계, 상기 산출된 초기 입구 압력의 조건에서 상기 압축기 성능해석 프로그램을 이용하여 상기 압축기의 작동에 의한 공기 흐름의 질량유량을 산출하는 단계, 그리고 상기 CFD 해석 프로그램과 상기 압축기 성능해석 프로그램을 이용하여 상기 산출된 질량유량의 조건에서 보정된 입구 압력의 산출 및 상기 보정된 입구 압력에서의 보정된 질량유량의 산출의 반복계산을 수행하는 단계를 포함한다.

[0008] 상기 초기 입구 압력은 상기 압축기의 입구를 폐쇄된 벽으로 가정하여 상기 CFD 해석 프로그램에 의해 산출될 수 있다.

[0009] 상기 반복계산을 수행하는 단계는 상기 CFD 해석 프로그램을 이용하여 상기 산출된 질량유량의 조건에서 상기 압축기의 보정된 입구 압력을 산출하는 단계, 그리고 상기 압축기 성능해석 프로그램을 이용하여 상기 보정된 입구 압력의 조건에서 상기 압축기의 보정된 질량유량을 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0010] 상기 반복계산을 수행하는 단계를 복수 회 반복 수행하여 최종 입구 압력 및 최종 질량유량이 산출될 수 있다.

**발명의 효과**

[0011] 본 발명에 의하면, CFD 해석 프로그램과 압축기 성능해석 프로그램의 반복적인 교차 적용에 의해 공기 유동 조건의 커플링을 수행함으로써 실제 물리적 현상에 적합한 방식으로 CFD 해석 프로그램과 압축기 성능해석 프로그램의 연계적 사용이 가능하다.

**도면의 간단한 설명**

[0012] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 공기 유동 조건 커플링 방법이 적용될 수 있는 해석 모델의 개념도이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 공기 유동 조건 커플링 방법에 따른 질량유량과 입구 압력의 반복계산 과정을 설명하기 위한 그래프이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0013] 이하에서 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 대해 상세히 설명한다.
- [0014] 본 발명은 압축기가 설치된 열차가 터널, 튜브와 같은 관의 내부를 주행할 때 공기 유동을 전산유체 해석 방법으로 수행하기 위한 방법과 관련된다. 통상 열차가 관 내부에서 주행할 때의 공기 유동의 해석은 CFD(computational fluid dynamics) 해석 프로그램을 이용하여 이루어질 수 있는데, 소위 하이퍼루프 시스템과 같이 관 내부에서 주행하는 열차의 전두부의 저감을 위해 공기를 흡입하여 후방으로 배출하는 압축기가 설치된 경우에는 압축기 적용에 의해 CFD 해석 프로그램만으로는 정확한 공기 유동 해석이 어렵다. 본 발명은 압축기 적용된 열차가 관 내부에서 주행할 때의 공기 유동 해석을 위해 CFD 해석 프로그램과 압축기 성능해석 프로그램의 연계적 이용이 가능하도록 공기 유동 조건을 커플링하는 방법을 제공하며, 이에 의해 압축기가 적용된 열차가 관 내부에서 주행할 때의 실제 물리적 현상이 반영된 공기 유동 해석이 가능하도록 한다. 본 발명의 실시예에 따르면, CFD 해석 프로그램은 ANSYS Fluent일 수 있고, 압축기 성능해석 프로그램은 Axial 일 수 있다.
- [0015] 도 1을 참조하면, 압축기(10)를 구비하는 열차(20)가 터널과 같은 관(30) 내부에서 주행할 때의 공기 유동을 해석하기 위해, CFD 해석 프로그램과 압축기 성능해석 프로그램이 연계적으로 사용될 수 있다. 열차(20)가 주행할 때 열차(20)의 전두부의 공기 압력 증가는 공기 저항 증가를 유발하여 열차(20)의 주행에 부정적인 영향을 야기하므로, 열차(20)의 전방의 공기를 흡입하여 측방이나 후방으로 배출하기 위한 압축기(10)가 구비된다. 압축기(10)에 의한 공기 흐름이 이루어지도록 하기 위한 공기 통로(21)가 구비된다. 도 1에 예시적으로 도시된 바와 같이, 공기 통로(21)는 열차(20)의 전두부에 형성되어 공기가 유입되는 공기 유입구(211)와 열차(20)의 측방 또는 후방에 형성되는 공기 배출구(212)를 포함할 수 있다. 압축기(10)는 축류 압축기일 수 있으며, 압축기(10)의 작동에 의해 열차(20) 전방의 공기가 공기 유입구(211)로 흡입되어 공기 배출구(212)로 배출될 수 있다.
- [0016] 본 발명의 실시예에 따르면, 열차(20) 외부의 공기 유동의 해석은 CFD 해석 프로그램에 의해 수행하고 열차(20) 내에 구비되는 공기 통로(21) 및 압축기(10)에서의 공기 유동의 해석은 압축기 성능해석 프로그램으로 수행하며, 이때 압축기(20)의 공기 유입구(211)의 공기 유동 조건인 입구 압력( $P_{i1}$ ), 입구 온도( $T_{i1}$ ), 그리고 공기 통로(21)의 공기 유동 조건인 질량유량( $\dot{m}$ )은 실제 공기 유동의 물리적 현상에 의해 결정되는 것이고 CFD 해석 프로그램과 압축기 성능해석 프로그램에 각각 영향을 주고받는 것임을 감안하여, 이러한 공기 유동 조건을 CFD 해석 프로그램과 압축기 성능해석 프로그램의 상호 작용에 의한 커플링을 통해 결정한다.
- [0017] 먼저, CFD 해석 프로그램을 이용하여 압축기 입구를 폐쇄된 벽으로 가정하여 압축기의 공기 유입구에서의 초기 입구 압력( $P_{i1}$ )을 산출한다. 즉 관(30) 내부에서 주행하는 열차(20)의 전두부에 공기 유입구가 없이 폐쇄된 벽으로 간주하여 해당 벽에서의 압력을 산출하는 것이다.
- [0018] 압축기 성능해석 프로그램을 이용하여 산출된 초기 입구 압력( $P_{i1}$ )의 조건에서 압축기의 작동에 의한 공기 흐름의 질량유량( $\dot{m}_1$ )을 산출한다. 이때 산출된 입구 압력( $P_{i1}$ )과 질량유량( $\dot{m}_1$ )은 도 2에서 압축기 성능해석 프로그램에 의해 얻어지는 압축기 해석 특성 곡선 상의  $S_1$  점에 해당하는 값들이다.
- [0019] CFD 해석 프로그램을 이용하여 산출된 질량유량( $\dot{m}_1$ )의 조건에서 압축기의 입구 압력( $P_{i2}$ )을 산출한다. 이때 질량유량( $\dot{m}_1$ )과 산출된 입구 압력( $P_{i2}$ )은 도 2에서 CFD 해석 프로그램에 의해 얻어지는 CFD 해석 특성 곡선 상의  $S_2$  점에 해당하는 값들이다.
- [0020] 그리고 나서 CFD 해석 프로그램과 압축기 성능해석 프로그램을 이용하여 산출된 질량유량의 조건에서 보정된 입구 압력의 산출 및 보정된 입구 압력에서의 보정된 질량유량의 산출의 반복계산을 수행한다. 반복계산은 1회 이상 수행될 수 있으며 반복계산의 결과 특정 값으로 수렴하는 결과가 얻어진다.
- [0021] 구체적으로, 압축기 성능해석 프로그램을 이용하여 CFD 해석 프로그램에 의해 산출된 입구 압력( $P_{i2}$ )의 조건에서 보정된 질량유량( $\dot{m}_2$ )을 산출한다. 이때 입구 압력( $P_{i2}$ ) 및 질량유량( $\dot{m}_2$ )은 도 2에서 압축기 해석 특성

곡선 상의  $S_3$  점에 해당하는 값들이다. 나아가 CFD 해석 프로그램을 이용하여 압축기 해석 프로그램에 의해 산출된 질량유량( $\dot{m}_2$ )의 조건에서 보정된 입구 압력( $P_{i3}$ )을 산출한다. 이때 질량유량( $\dot{m}_2$ )과 입구 압력( $P_{i3}$ )은 도 2의 CFD 해석 특성 곡선 상의  $S_4$  점에 해당하는 값들이다.

[0022] 한편 도 2에 표시되지는 않았으나  $S_4$  점의 입구 압력을 조건으로 압축기 해석 특성 곡선 상의 질량유량을 산출하는 과정, 그리고 다시 산출된 질량유량을 이용하여 CFD 해석 특성 곡선 상의 입구 압력을 산출하는 과정을 더 수행할 수 있다. 이러한 반복계산 과정에 의해 질량유량과 입구 압력은 압축기 해석 특성 곡선과 CFD 해석 특성 곡선의 교차점( $S_a$ )에 해당하는 값들로 수렴하게 된다. 여기서 압축기 해석 특성 곡선과 CFD 해석 특성 곡선의 교차점( $S_a$ )은 물리적으로 구현되는 압축기의 질량유량과 입구 압력의 실제 값을 나타내는 점으로 이해될 수 있다.

[0023] 본 발명에서는 CFD 해석 프로그램과 압축기 성능해석 프로그램의 연계적 사용을 통해 압축기를 구비하는 열차가 관 내부에서 주행하는 경우의 공기 유동의 해석이 가능하도록 공기 유동 조건의 커플링이 이루어지며 그에 의해 실제로 물리적으로 발생하는 공기 유동 조건의 도출이 가능하다.

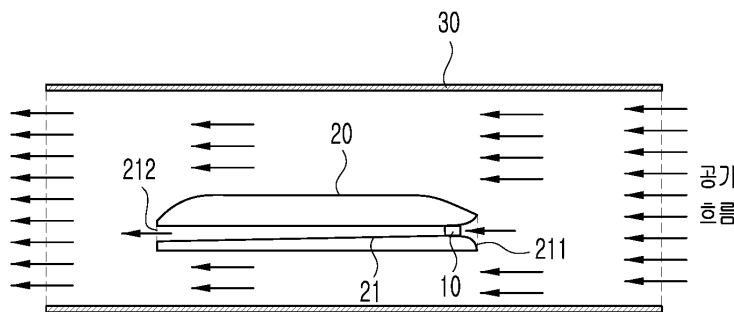
[0024] 이상에서 본 발명의 실시예를 설명하였으나, 본 발명의 권리범위는 이에 한정되지 아니하며 본 발명의 실시예로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 용이하게 변경되어 균등한 것으로 인정되는 범위의 모든 변경 및 수정을 포함한다.

**부호의 설명**

- [0025] 10: 압축기
- 20: 열차
- 30: 관
- 21: 공기 통로
- 211: 공기 유입구
- 212: 공기 배출구

**도면**

**도면1**



도면2

