



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년02월27일
(11) 등록번호 10-1710458
(24) 등록일자 2017년02월21일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 GO1M 9/00 (2006.01) E21F 1/00 (2006.01)
 E21F 1/08 (2006.01) E21F 11/00 (2015.01)
 GO1L 19/00 (2006.01) GO1M 99/00 (2011.01)
 GO1P 5/00 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
 GO1M 9/00 (2013.01)
 E21F 1/003 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2016-0002476(분할)
- (22) 출원일자 2016년01월08일
 심사청구일자 2016년02월25일
- (62) 원출원 특허 10-2015-0143275
 원출원일자 2015년10월14일
 심사청구일자 2015년10월14일
- (56) 선행기술조사문헌
 KR200413241 Y1

- (73) 특허권자
(주)주성지앤비
 경기도 성남시 중원구 사기막골로45번길 14, B동 709호 710호 (상대원동, 성남 우림 라이온스밸리 2차)
- 한국도로공사**
 경상북도 김천시 혁신8로 77(율곡동, 한국도로공사)
- (72) 발명자
김효규
 경기도 의정부시 장곡로 596번길 18, 드림밸리 아파트 112동 1101호
- 유지오**
 경기도 남양주시 순화궁로 384 대원칸타빌 아파트 2403-1703
 (뒷면에 계속)
- (74) 대리인
남정훈

전체 청구항 수 : 총 7 항

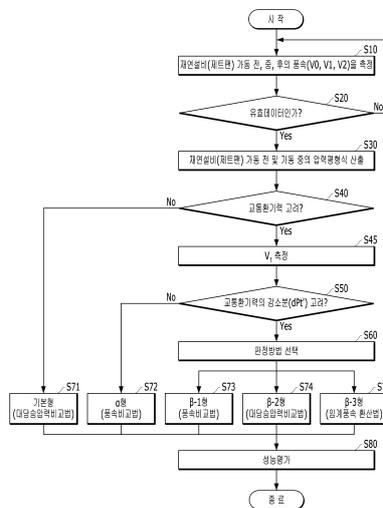
심사관 : 김운선

(54) 발명의 명칭 도로터널 제연설비의 성능평가방법

(57) 요약

본 명세서에서는 교통환기력 및 외부 자연풍에 의한 환기 저항력을 고려하여 보다 실질적인 도로터널 제연설비의 성능평가방법을 개시한다. 본 발명에 따른 도로터널 제연설비의 성능평가방법은, (a) 체트팬 가동 전, 가동 중 및 정지 후의 터널 내 풍속(V_0 , V_1 , V_2)을 측정하는 단계; (b) 상기 측정된 체트팬 가동 전 풍속(V_0) 및 측정된 정지 후 풍속(V_2)을 이용하여 유효데이터를 선별하는 단계; (c) 상기 유효데이터로 선별된 터널 내 풍속(V_0 , V_1 , V_2)을 이용하여 통기저항력(ΔP_r), 교통환기력(ΔP_t), 자연환기력(ΔP_m) 및 체트팬 송압력(ΔP_j)을 포함하는 가동 전 압력평형식 및 가동 중 압력평형식을 산출하는 단계; (d) 상기 가동 전 압력평형식 및 가동 중 압력 평형식을 이용하여 체트팬 가동 중 이론 풍속(V_r^*)을 산출하는 단계; 및 (e) 상기 측정된 체트팬 가동 중 풍속(V_1)과 상기 산출된 체트팬 가동 중 이론 풍속(V_r^*)을 이용하여 성능을 평가하는 단계;를 포함할 수 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

E21F 1/08 (2013.01)
E21F 11/00 (2013.01)
G01L 19/00 (2013.01)
G01M 99/008 (2013.01)
G01P 5/00 (2013.01)

(72) 발명자

이창우

서울특별시 용산구 이촌로 84길 9-12 601

이상표

서울특별시 강동구 고덕로 210, 503동 203호(명일동, 삼익그린맨션)

채수창

강원도 원주시 무실로 382, 101-1404호(무실동, 세영리첼1차아파트)

황정수

대구광역시 수성구 명덕로 477, 101동 506호(범어동, 범어쌍용예가아파트)

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

- (a) 제트팬 가동 전, 가동 중 및 정지 후의 터널 내 풍속(V_0, V_1, V_2)을 측정하는 단계;
 - (b) 상기 측정된 터널 내 풍속(V_0, V_1, V_2)을 이용하여 통기저항력(ΔP_r), 교통환기력(ΔP_t), 자연환기력(ΔP_m) 및 제트팬 승압력(ΔP_j)을 포함하는 가동 전 압력평형식 및 가동 중 압력평형식을 산출하는 단계;
 - (c) 상기 가동 전 압력평형식 및 가동 중 압력 평형식을 이용하여 제트팬 가동 중 이론 풍속(V_r^*)을 산출하는 단계; 및
 - (d) 상기 측정된 제트팬 가동 중 풍속(V_1)과 상기 산출된 제트팬 가동 중 이론 풍속(V_r^*)을 이용하여 성능을 평가하는 단계를 포함하며,
- 상기 (b) 단계는, 교통환기력이 없는 경우($\Delta P_t=0$)에서 가동 전 압력평형식 및 가동 중 압력평형식을 산출하는 단계이며,
- 상기 (d) 단계는,
- 실측 대당 승압력($P_{j(\text{실측})}/n_j$)과 이론 대당 승압력($P_{j(\text{이론})}/n_j$)을 산출하는 단계; 및
 - 상기 산출된 실측 대당 승압력($P_{j(\text{실측})}/n_j$)과 이론 대당 승압력($P_{j(\text{이론})}/n_j$)을 비교하여 성능을 평가하는 단계를 포함하는 것,
- 을 특징으로 하는 도로터널 제연설비의 성능평가방법.

청구항 2

- 제1항에 있어서,
- 상기 (a) 단계는, 각각 5분 ~ 20분 동안 풍속을 측정하고 그 평균값을 산출하는 것을 특징으로 하는 도로터널 제연설비의 성능평가방법.

청구항 3

- 제1항에 있어서,
- 상기 (a) 단계는, 각각 5분 동안 풍속을 측정하며,
- 상기 제트팬 가동 중 풍속(V_1)은, 성능시험 대상 제트팬이 완전 가동 상태에 도달한 상태에서 측정된 값이고,
- 상기 제트팬 정지 후 풍속(V_2)은, 성능시험 대상 제트팬이 완전 정지 상태에 도달한 상태에서 측정된 값인 것을 특징으로 하는 도로터널 제연설비의 성능평가방법.

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

- (a) 제트팬 가동 전, 가동 중 및 정지 후의 터널 내 풍속(V_0, V_1, V_2)을 측정하는 단계;
 - (b) 상기 측정된 터널 내 풍속(V_0, V_1, V_2)을 이용하여 통기저항력(ΔP_r), 교通风기력(ΔP_l), 자연환기력(ΔP_m) 및 제트팬 승압력(ΔP_j)을 포함하는 가동 전 압력평형식 및 가동 중 압력평형식을 산출하는 단계;
 - (c) 상기 가동 전 압력평형식 및 가동 중 압력 평형식을 이용하여 제트팬 가동 중 이론 풍속(V_r^*)을 산출하는 단계; 및
 - (d) 상기 측정된 제트팬 가동 중 풍속(V_1)과 상기 산출된 제트팬 가동 중 이론 풍속(V_r^*)을 이용하여 성능을 평가하는 단계를 포함하며,
- 상기 (b) 단계는, 교通风기력의 변화가 있는 경우($dP_l' \neq 0$)에서 가동 전 압력평형식 및 가동 중 압력평형식을 산출하는 단계이며,
- 상기 (c) 단계는, 실제 자연풍(V_n)과 임의로 설정된 임시 변수(V_n^*)와 차이값이 미리 설정된 값 이하로 되는 시행작업법을 통해 제트팬 가동 중 이론 풍속(V_r^*)을 산출하는 단계인 것,
- 을 특징으로 하는 도로터널 제연설비의 성능평가방법.

청구항 8

제7항에 있어서,
 상기 미리 설정된 값은, 0.001인 것을 특징으로 하는 도로터널 제연설비의 성능평가방법.

청구항 9

제7항에 있어서,
 상기 (d) 단계는,
 실측 대당 승압력($P_{j(\text{실측})}/n_j$)과 이론 대당 승압력($P_{j(\text{이론})}/n_j$)을 산출하는 단계; 및
 상기 산출된 실측 대당 승압력($P_{j(\text{실측})}/n_j$)과 이론 대당 승압력($P_{j(\text{이론})}/n_j$)을 비교하여 성능을 평가하는 단계를 포함하는 것,
 을 특징으로 하는 도로터널 제연설비의 성능평가방법.

청구항 10

제7항에 있어서,
 상기 (d) 단계는,
 임계풍속 환산에 따른 제트팬 승압력($P_{j(\text{vc환산})}$)과 이론 임계풍속에 대한 제트팬 승압력($P_{j(\text{vc이론})}$)을 산출하는 단계; 및
 상기 산출된 임계풍속 환산에 따른 제트팬 승압력($P_{j(\text{vc환산})}$)과 이론 임계풍속에 대한 제트팬 승압력($P_{j(\text{vc이론})}$)을 비교하여 성능을 평가하는 단계를 포함하는 것,
 을 특징으로 하는 도로터널 제연설비의 성능평가방법.

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 명세서는 도로터널 환기설비(제연설비 겸용)의 성능평가방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 교통환기력 및 외부 자연풍에 의한 환기 저항력을 고려하여 보다 실질적인 도로터널 제연설비의 성능평가에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 터널에 설치되는 제연설비(제트팬)는 화재 시 연기전파 제어를 위해 적정 임계풍속(Critical velocity)을 유지할 수 있도록 설계되어 시공되고 있으며, 터널 개통 전에 제트팬이 소정의 환기성능을 발휘할 수 있는지 여부를 T.A.B(Test, Adjust, Balance) 시험절차를 통해서 수행, 평가하고 있다.

[0003] 이와 관련된 내용으로서 대한민국 등록특허공고 제10-1542699호에 T.A.B 시험방법에 대해 개시되어 있다. 간략하게 설명하자면, 제트팬을 가동 전 터널 내 풍속을 측정하고, 제트팬을 가동 중 터널 내 풍속을 측정한다. 그리고 이때 측정된 데이터를 이용하여 제트팬의 성능을 시험하는 방법이다.

[0004] 그러나 T.A.B 수행시에는 터널 내에 차량통행이 없는 상태에서 환기성능을 측정(평가)하기 때문에 실제 교통환기력이 작용하는 공용중 터널 내에서 제트팬이 소정으로 성능을 발휘하는지 여부를 정량적으로 평가하지 못하고 있다. 즉, 도로터널에는 차량통행에 의한 교통환기력 및 외부 자연풍에 의한 환기저항력이 작용하는 상태이며, 이들은 시간에 따라서 불규칙적으로 변동하기 때문에 도로터널의 제트팬 성능평가를 정확히 수행하기가 곤란한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공고 제10-1542699호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 상기와 같은 종래 기술을 인식하여 안출된 것으로서, 교통환기력 및 외부 자연풍에 의한 환기 저항력을 고려하여 보다 실질적인 도로터널 제연설비의 성능평가방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명에 따른 도로터널 제연설비의 성능평가방법은, (a) 제트팬 가동 전, 가동 중 및 정지 후의 터널 내 풍속(V_0 , V_1 , V_2)을 측정하는 단계; (b) 상기 측정된 제트팬 가동 전 풍속(V_0) 및 측정된 정지 후 풍속(V_2)을 이용하여 유효데이터를 선별하는 단계; (c) 상기 유효데이터로 선별된 터널 내 풍속(V_0 , V_1 , V_2)을 이용하여 통기저항력(ΔP_T), 교통환기력(ΔP_L), 자연환기력(ΔP_m) 및 제트팬 승압력(ΔP_j)을 포함하는 가동 전 압력평형식 및 가동 중 압력평형식을 산출하는 단계; (d) 상기 가동 전 압력평형식 및 가동 중 압력 평형식을 이용하여 제트팬 가동 중 이론 풍속(V_r^*)을 산출하는 단계; 및 (e) 상기 측정된 제트팬 가동 중 풍속(V_1)과 상기 산출된 제트팬 가동 중 이론 풍속(V_r^*)을 이용하여 성능을 평가하는 단계;를 포함할 수 있다.

[0008] 본 명세서의 일 실시예에 따르면, 상기 (a) 단계는 각각 10분 ~ 20분 동안 풍속을 측정하고 그 평균값을 산출할

수 있다.

- [0009] 바람직하게, 상기 (a) 단계는 각각 15분 동안 풍속을 측정하며, 상기 제트팬 가동 중 풍속(V_1)은 성능시험 대상 제트팬이 완전 가동 상태에 도달한 상태에서 측정된 값이고, 상기 제트팬 정지 후 풍속(V_2)은 성능시험 대상 제트팬이 완전 정지 상태에 도달한 상태에서 측정된 값일 수 있다.
- [0010] 본 명세서의 일 실시예에 따르면, 상기 (b) 단계는 상기 측정된 제트팬 가동 전 풍속(V_0) 및 측정된 가동 후 풍속(V_2)의 차이값의 크기가 미리 설정된 값 이상인 경우, 상기 측정된 터널 내 풍속(V_0, V_1, V_2)을 무효데이터로서 제외하는 단계일 수 있다. 이 경우, 상기 미리 설정된 값은 1m/s일 수 있다.
- [0011] 본 명세서의 다른 실시예에 따르면, 상기 (b) 단계는 제트팬 가동 전 압력값과 제트팬 가동 후 압력값의 차이가 미리 설정된 값 이상인 경우, 상기 측정된 터널 내 풍속(V_0, V_1, V_2)을 무효데이터로서 제외하는 단계일 수 있다. 이 경우, 상기 미리 설정된 값은 제트팬 1대분의 증압력($\Delta P_j / n_j$)일 수 있다.
- [0012] 본 명세서의 일 실시예에 따르면, 상기 (c) 단계는 교동환기력이 없는 경우($\Delta P_t=0$)에서 가동 전 압력평형식 및 가동 중 압력평형식을 산출하는 단계이며, 상기 (e) 단계는 실측 대당 증압력($\Delta P_{j(\text{실측})}/n_j$)과 이론 대당 증압력($\Delta P_{j(\text{이론})}/n_j$)을 산출하는 단계; 및 상기 산출된 실측 대당 증압력($\Delta P_{j(\text{실측})}/n_j$)과 이론 대당 증압력($\Delta P_{j(\text{이론})}/n_j$)을 비교하여 성능을 평가하는 단계;를 포함할 수 있다.
- [0013] 본 명세서의 일 실시예에 따르면, 상기 (c) 단계는 교동환기력의 변화가 없는 경우($dP_t'=0$)에서 가동 전 압력평형식 및 가동 중 압력평형식을 산출하는 단계일 수 있다.
- [0014] 본 명세서의 다른 실시예에 따르면, 상기 (c) 단계는 교동환기력의 변화가 있는 경우($dP_t' \neq 0$)에서 가동 전 압력평형식 및 가동 중 압력평형식을 산출하는 단계일 수 있다. 이 경우, 상기 (d) 단계는 실제 자연풍(V_n)과 임의로 설정된 임시 변수(V_n^*)와 차이값이 미리 설정된 값 이하로 되는 시행착오법을 통해 제트팬 가동 중 이론 풍속(V_r^*)을 산출하는 단계일 수 있다. 이때, 상기 미리 설정된 값은 0.001일 수 있다.
- [0015] 본 명세서의 일 실시예에 따르면, 상기 (e) 단계는 실측 대당 증압력($\Delta P_{j(\text{실측})}/n_j$)과 이론 대당 증압력($\Delta P_{j(\text{이론})}/n_j$)을 산출하는 단계; 및 상기 산출된 실측 대당 증압력($\Delta P_{j(\text{실측})}/n_j$)과 이론 대당 증압력($\Delta P_{j(\text{이론})}/n_j$)을 비교하여 성능을 평가하는 단계;를 포함할 수 있다.
- [0016] 본 명세서의 다른 실시예에 따르면, 상기 (e) 단계는 임계풍속 환산에 따른 제트팬 증압력($\Delta P_{j(\text{vc환산})}$)과 이론 임계풍속에 대한 제트팬 증압력($\Delta P_{j(\text{vc이론})}$)을 산출하는 단계; 및 상기 산출된 임계풍속 환산에 따른 제트팬 증압력($\Delta P_{j(\text{vc환산})}$)과 이론 임계풍속에 대한 제트팬 증압력($\Delta P_{j(\text{vc이론})}$)을 비교하여 성능을 평가하는 단계;를 포함할 수 있다.
- [0017] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명에 따른 터널 내 제연설비의 성능평가장치는, 터널 내 풍속계측기로부터 제트팬 가동 전, 가동 중 및 정지 후의 터널 내 측정된 풍속(V_0, V_1, V_2)값을 수신하는 풍속 측정부; 상기 측정된 제트팬 가동 전 풍속(V_0) 및 측정된 정지 후 풍속(V_2)을 이용하여 유효데이터를 선별하는 데이터선별부; 상기 유효데이터로 선별된 터널 내 풍속(V_0, V_1, V_2)을 이용하여 통기저항력(ΔP_r), 교동환기력(ΔP_t), 자연환기력(ΔP_m) 및 제트팬 증압력(ΔP_j)을 포함하는 가동 전 압력평형식 및 가동 중 압력평형식을 산출하는 압력평형식 산출부; 상기 가동 전 압력평형식 및 가동 중 압력 평형식을 이용하여 제트팬 가동 중 이론 풍속(V_r^*)을 산출하는 이론 풍속 산출부; 및 상기 측정된 제트팬 가동 중 풍속(V_1)과 상기 산출된 제트팬 가동 중 이론 풍속(V_r^*)을 이용하여 성능을 평가하는 평가부;를 포함할 수 있다.
- [0018] 본 명세서에 따른 도로터널 제연설비의 성능평가방법은, 터널 내 제연설비의 성능평가장치; 및 터널 내 풍속을 측정하는 풍속계측기;를 포함하는 터널 내 제연설비의 성능평가시스템의 일 구성요소가 될 수 있다.
- [0019] 상기 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명에 따른 도로터널 제연설비의 성능평가방법은, 제트팬 가동 전, 가동

중 및 정지 후의 터널 내 풍속(V_0, V_1, V_2)을 측정하고; 상기 측정된 제트팬 가동 전 풍속(V_0) 및 측정된 정지 후 풍속(V_2)을 이용하여 유효데이터를 선별하고; 상기 유효데이터로 선별된 터널 내 풍속(V_0, V_1, V_2)을 이용하여 통기저항력(ΔP_r), 교통환기력(ΔP_t), 자연환기력(ΔP_m) 및 제트팬 승압력(ΔP_j)을 포함하는 가동 전 압력평형식 및 가동 중 압력평형식을 산출하고; 상기 가동 전 압력평형식 및 가동 중 압력 평형식을 이용하여 제트팬 가동 중 이론 풍속(V_r^*)을 산출하며, 상기 측정된 제트팬 가동 중 풍속(V_1)과 상기 산출된 제트팬 가동 중 이론 풍속(V_r^*)을 이용하여 성능을 평가하도록 실행될 때 동작하는 소프트웨어로 구현되어 하나 이상의 컴퓨터-판독 가능한 저장매체에 저장될 수 있다.

발명의 효과

[0020] 본 발명에 따르면, 교통환기력을 고려하여 실질적인 제연설비의 성능을 평가할 수 있다. 특히 개통 후 사용중인 터널의 경우, 교통을 통제하지 않아도 제트팬의 성능평가가 가능하다.

도면의 간단한 설명

[0021] 본 명세서에 첨부되는 다음의 도면들은 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하는 것이며, 후술하는 발명의 상세한 설명과 함께 본 발명의 기술사상을 더욱 이해시키는 역할을 하는 것이므로, 본 발명은 그러한 도면에 기재된 사항에만 한정되어 해석되어서는 아니 된다.

도 1은 터널 내 작용하는 환기력의 종류에 대한 참고도이다.

도 2는 본 명세서의 일 실시예에 따른 도로터널 제연설비의 성능평가방법을 간략하게 도시한 흐름도이다.

도 3은 풍속 계측기를 사용하여 터널 내 풍속을 측정한 예시이다.

도 4는 풍속 측정 시점에 따라 고려되는 환기력에 대한 참고도이다.

도 5는 실제 V_n 값을 구하기 위한 시행착오법에 대한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 명세서에 개시된 실시예를 상세히 설명하되, 도면 부호에 관계없이 동일하거나 유사한 구성요소는 동일한 참조 번호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 또한, 본 명세서에 개시된 실시예를 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 명세서에 개시된 실시예의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다. 또한, 첨부된 도면은 본 명세서에 개시된 실시예를 쉽게 이해할 수 있도록 하기 위한 것일 뿐, 첨부된 도면에 의해 본 명세서에 개시된 기술적 사상이 제한되지 않으며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0023] 먼저, 터널 내 작용하는 환기력의 종류에 대해서 설명하도록 하겠다.

[0024] 도 1은 터널 내 작용하는 환기력의 종류에 대한 참고도이다.

[0025] 도 1을 참조하면, ΔP_r , ΔP_t , ΔP_m , ΔP_j 을 확인할 수 있다. 상기 ΔP_r 은 통기저항력, ΔP_t 은 교통환기력, ΔP_m 은 자연풍에 의한 환기력(또는 저항력), ΔP_j 은 제트팬 승압력이다. 이때, 터널 내 풍속은 각종 환기력 및 저항력이 평형을 이루는 상태에서 결정되게 된다. 이를 수학식으로 표현하면 아래와 같다.

[0027] <수학식 1.1>

[0028]
$$\Delta P_r + \Delta P_t + \Delta P_m + \Delta P_j = 0$$

[0030] 상기 통기저항력(ΔP_r)은 터널 자체 구조 및 환경에 따른 마찰손실력을 의미하며, 그 내용은 아래와 같다.

[0032] <수학식 1.2>

$$\Delta P_r = \left(1 + \xi + \lambda \frac{L}{D}\right) \frac{\rho}{2} V_r^2$$

[0033]

[0034] ξ : 터널입구 손실계수

[0035] λ : 터널벽면 마찰손실계수

[0036] L: 터널연장 (m)

[0037] D: 터널대표직경 (m)

[0038] ρ : 공기밀도 (1.2 kg/m³)

[0039] V_r : 터널내 풍속 (m/s)

[0041] 상기 교통환기력(ΔP_t)은 터널 내를 달리는 자동차에 의해 발생한 바람 즉, 피스톤 효과(Piston Effect)에 따른 환기력을 의미하며 그 내용은 아래와 같다.

[0043] <수학식 1.3>

$$\Delta P_t = \frac{A_m}{A_r} \frac{\rho}{2} n_t (V_t - V_r)^2$$

[0044]

[0045] A_m : 자동차 등가저항면적 (m²)

[0046] A_r : 터널 단면적 (m²)

[0047] n_t : 터널내 차량대수 (대)

[0048] V_t : 터널내 주행속도 (m/s)

[0050] 상기 자연풍(ΔP_m)에 의한 환기력은 터널 외부에서 불어 들어오는 바람에 의한 환기력을 의미한다. 자연풍이 순풍인 경우 환기력으로 작용하지만, 역풍인 경우 저항력으로 작용할 수 있으며, 그 내용은 아래와 같다.

[0052] <수학식 1.4>

$$\Delta P_m = \left(1 + \xi + \lambda \frac{L}{D}\right) \frac{\rho}{2} V_n^2$$

[0053]

[0054] V_n : 외부자연풍에 의한 터널(차도)내 유도풍속(m/s)

[0056] 상기 제트팬 승압력(P_j)은 터널 내 설치된 제트팬에 의한 기계환기력으로서, 그 내용은 아래와 같다.

[0058] <수학식 1.5>

$$\Delta P_j = n_j \times K_j \times \rho \times V_j^2 \times \left(\frac{A_j}{A_r}\right) \times \left(1 - \frac{V_r}{V_j}\right)$$

[0059]

[0060] n_j : 제트팬 가동대수

[0061] K_j : 제트팬 승압계수

- [0062] A_j : 제트팬 토출면적 (m^2)
- [0063] V_j : 제트팬 토출풍속 (30m/s)
- [0065] 도 2는 본 명세서의 일 실시예에 따른 도로터널 제연설비의 성능평가방법을 간략하게 도시한 흐름도이다.
- [0066] 이하, 도 2를 참조하여 본 명세서에 따른 도로터널 제연설비의 성능평가방법(이하 '성능평가방법')에 대해서 설명하도록 하겠다.
- [0067] 먼저 제트팬 가동 전, 가동 중 및 정지 후의 터널 내 풍속(V_0, V_1, V_2)을 측정할 수 있다(단계 S10). 터널 내 풍속의 측정방법에 대해서 보다 자세히 설명하도록 하겠다.
- [0068] 대부분의 일자형 터널은 제트팬에 의한 종류식 환식방식을 적용하고 있다. 따라서, 대부분의 일자형 터널에서의 유체흐름은 덕트이론에 따라 1차원 유동으로 단순화할 수 있다. 즉, 터널 내공단면적이 일정하고 유출입의 변화가 없다면 터널내 평균풍속은 시점부, 중앙부, 종점부 등 종방향으로 어떤 지점에서든 동일하게 측정될 수 있다. 따라서 터널 내 측정 풍속계측기의 설치 포인터에서 터널 내 단면상의 평균풍속을 대표할 수 있다면, 일정한 지점에서의 시간 변화에 따른 풍속값을 연속적으로 측정할 수 있다.
- [0069] 도 3은 풍속 계측기를 사용하여 터널 내 풍속을 측정한 예시이다.
- [0070] 터널 내 평균풍속의 측정은 사전에 보정한 터널 내 풍속 계측기를 사용하여 측정할 수 있다. 풍속 계측기를 사용하여 제트팬 가동 전, 가동 중 및 정지 후의 터널 내 풍속(V_0, V_1, V_2)을 측정한다. 상기 풍속 측정 과정은 각각 10분 ~ 20분 동안 풍속을 측정하고 그 평균값을 산출하여 산출할 수 있다. 바람직하게, 상기 풍속 측정 과정은 15분 동안 풍속을 측정할 수 있다. 또한 바람직하게, 상기 제트팬 가동 중 풍속(V_1)은 성능시험 대상 제트팬이 완전 가동 상태에 도달한 상태에서 측정된 값이고, 상기 제트팬 정지 후 풍속(V_2)은, 성능시험 대상 제트팬이 완전 정지 상태에 도달한 상태에서 측정된 값이다. 상기 완전 가동 상태는 제트팬에 의해 풍속이 증가하지 않는 구간을 의미하며, 상기 완전 정지 상태는 제트팬에 의해 증가했던 풍속의 감속이 종료된 후를 의미할 수 있다.
- [0071] 한편, 상기 풍속 측정은 내 터널환기 설계기준(도로설계편람 617 환기시설편)에 따라 차량 터널 내 공기의 흐름에 관련된 다음과 같은 가정 하에서 이루어진다.
- [0072] - 이상기체: 이상기체란 마찰저항에 따른 손실을 고려하지 않는 것이 아니라 보일-샤를의 법칙이 성립하는 기체를 말함. 특별한 고압이나 저온상태가 아닌 일반적인 대기상에서 점성계수(μ)가 속도구배에 독립적이며, 온도의 함수로 표현 가능한 뉴톤(Newton) 유체와 같은 기체로서의 공기를 가정.
- [0073] - 비압축성 기체: 비압축성의 가정은 공기밀도 변화를 고려하지 않는 것이 아니고, 일정구간의 공기주(air column) 내의 밀도에 평균밀도 값을 적용함.
- [0074] - 일차원적 유동: 축방향으로의 유동은 레이놀즈(Reynolds) 수가 상당히 큰 난류이며 횡방향으로는 차량통행과 환기설비의 가동으로 인하여 순간적인 혼합이 이루어지므로 축방향 즉, 차량 통행방향으로의 일차원적 유동으로 단순화가 가능함.
- [0075] - 준정상류 유동(quasi-steady state flow): 풍속의 축방향 및 횡방향으로 순간적인 변동은 심한 편이나 시간가중평균이 거의 일정한 값을 보이는 준 정상류 유동으로 가정함.
- [0076] 다음으로, 상기 측정된 제트팬 가동 전 풍속(V_0) 및 측정된 정지 후 풍속(V_2)을 이용하여 유효데이터를 선별할 수 있다(단계 S20).
- [0077] 본 명세서에 따른 성능평가방법은 제트팬 가동 전, 가동 중 및 정지 후의 교통력과 자연풍의 변화가 크지 않을 경우를 기본가정으로 적용하고 있다. 따라서, 제트팬 가동 전 및 정지 후의 터널의 평균풍속차가 큰 경우는 측정된 데이터 즉, 터널 내 풍속(V_0, V_1, V_2) 데이터를 무효데이터로 판별하여, 성능평가에서 제외한다.
- [0078] 본 명세서의 일 실시예에 따르면, 상기 측정된 제트팬 가동 전 풍속(V_0) 및 측정된 가동 후 풍속(V_2)의 차이값의 크기가 미리 설정된 값 이상인 경우, 상기 측정된 터널 내 풍속(V_0, V_1, V_2)을 무효데이터로서 제외시킬 수 있다. 예를 들어, 제트팬의 가동 전 풍속(V_0)과 정지 후 풍속(V_2) 차이가 1m/s 이상인 경우($|V_0-V_2| \geq 1$), 교통력 또는/및 자연풍의 변화가 큰 것으로 판단하고 무효데이터로서 제외시킬 수 있다.

[0079] 본 명세서의 다른 실시예에 따르면, 제트팬 가동 전 압력값과 제트팬 가동 후 압력값의 차이(이하 '압력변동값')가 미리 설정된 값 이상인 경우, 상기 측정된 터널 내 풍속(V_0, V_1, V_2)을 무효데이터로서 제외시킬 수 있다. 예를 들어, 상기 압력변동값이 제트팬 1대분의 승압력($\Delta P_j / n_j$)인 경우, 교통력과 자연풍의 변화가 큰 것으로 판단하고 무효데이터로서 제외시킬 수 있다.

[0080] 수학적식 1.5를 이용하여 1대당 제트팬 승압력($\Delta P_j / n_j$)을 구하면 아래의 수학적식 1.6과 같다.

[0082] <수학적식 1.6>

$$\Delta P_j = K_j \rho V_j^2 \left(\frac{A_j}{A_r} \right) \left(1 - \frac{V_1}{V_j} \right)$$

[0083]

[0085] 그리고, 제트팬 가동 전 풍속(V_0)과 정지 후 풍속(V_2) 차에 따른 압력변동값은 교통환기력(ΔP_t)과 자연환기력(ΔP_n)의 합에 의한 압력변동값으로 아래의 수학적식 1.7과 같이 표현할 수 있다.

[0087] <수학적식 1.7>

$$\Delta P_r = \left(1 + \zeta + \lambda \frac{L}{D} \right) \frac{\rho}{2} \left(|V_0^2 - V_2^2| \right)$$

[0088]

[0090] 따라서, $\Delta P_r \geq \Delta P_j$ 이면, 제트팬 가동 전 및 정지 후의 터널의 평균풍속차가 큰 경우로 보고, 성능평가에서 제외한다.

[0091] 다음으로, 상기 유효데이터로 선별된 터널 내 풍속(V_0, V_1, V_2)을 이용하여 통기저항력(ΔP_r), 교통환기력(ΔP_t), 자연환기력(ΔP_n) 및 제트팬 승압력(ΔP_j)을 포함하는 가동 전 압력평형식 및 가동 중 압력평형식을 산출할 수 있다(단계 S30). 상기 통기저항력(ΔP_r), 교통환기력(ΔP_t), 자연환기력(ΔP_n), 제트팬 승압력(ΔP_j) 및 압력평형식에 대해서는 수학적식 1.1 내지 1.5를 통해 이미 설명하였으므로, 반복적인 설명은 생략하도록 한다.

[0092] 다음으로, 상기 가동 전 압력평형식 및 가동 중 압력 평형식을 이용하여 제트팬 가동 중 이론 풍속(V_r^*)을 산출할 수 있다. 그리고 상기 측정된 제트팬 가동 중 풍속(V_1)과 상기 산출된 제트팬 가동 중 이론 풍속(V_r^*)을 이용하여 성능을 평가할 수 있다.

[0093] 한편, 본 명세서에 따른 성능평가방법은 교통환기력의 고려 여부(단계 S40)와 교통환기력을 고려할 경우 교통환기력 감소분의 고려 여부(단계 S45, S50, S60)에 따라 다양한 성능평가방법이 적용될 수 있다. 먼저, 교통환기력을 고려하지 않는 경우는 '기본형'이다(단계 S71). 교통환기력을 고려할 경우 V_t 를 측정한다(단계 S45). 교통환기력을 고려하지만, 교통환기력과 자연환기력의 변화가 없는 경우는 'α형'이다(단계 S72). 교통환기력과 자연환기력의 변화가 있는 경우는 'β'형이다. 상기 'β'형은 성능평가방법에 따라 다시, 풍속비교법인 'β-1형'(단계 S73), 대당승압력비교법인 'β-2형'(단계 S74) 및 임계풍속 환산법인 'β-3형'(단계 S75)으로 구분될 수 있다. 이하에서 차례대로 살펴보도록 하겠다.

[0095] <기본형(교통환기력이 없는 경우)>

[0096] 터널 내 압력평형식인 <수학식 1.2> 내지 <수학식 1.4>를 아래와 같이 간단하게 표현할 수 있다.

$$\text{통기 저항력: } \Delta P_r = \frac{(1+\zeta+\lambda\frac{L}{D})\rho}{2} V_r^2 = \underline{a} \times V_r^2$$

$$\text{자연 환기력: } \Delta P_m = \frac{(1+\zeta+\lambda\frac{L}{D})\rho}{2} V_n^2 = \underline{a} \times V_n^2$$

$$\text{교통 환기력: } \Delta P_t = \frac{A_m}{A_r} n_t \frac{\rho}{2} (V_t - V_r)^2 = \underline{b} \times (V_t - V_r)^2$$

$$\text{팬 환기력: } \Delta P_j = n_j K_j \rho V_j^2 \left(\frac{A_j}{A_r}\right) \left(1 - \frac{V_r}{V_j}\right) = \underline{c} \times \left(1 - \frac{V_r}{V_j}\right)$$

[0097]

[0098] (V_r : 터널내 풍속(m/s), V_n : 터널내 작용하는 저항자연풍(m/s))

[0100] 그리고 제트팬 가동 전 압력평형식은 아래와 같다(도 4의 (a)참조).

[0102] <수학식 2.1>

$$\begin{aligned} \pm \Delta P_r &= \mp \Delta P_m \\ \Rightarrow aV_0^2 &= \mp aV_n^2 \end{aligned}$$

[0103]

[0105] 그리고 제트팬 가동 중 압력평형식은 아래와 같다(도 4의 (b)참조).

[0107] <수학식 2.2>

$$\begin{aligned} \Delta P_r &= \mp \Delta P_m + \Delta P_j \\ \Rightarrow aV_1^2 &= \mp aV_n^2 + c(1 - V_1/V_j) \end{aligned}$$

[0108]

[0110] 수학식 2.1 및 수학식 2.2를 이용하여 제트팬 가동 중 이론 풍속(V_r^*)을 도출하면 아래와 같다.

[0112] <수학식 2.3>

$$\begin{aligned} \Delta P_r^* &= \mp \Delta P_m + \Delta P_j \\ \Rightarrow aV_r^{*2} &= \mp \Delta P_m + \Delta P_j \\ &= \pm aV_0^2 + c(1 - V_r^*/V_j) \\ \Rightarrow aV_r^{*2} + (c/V_j)V_r^* \mp aV_0^2 - c &= 0 \\ \therefore V_r^* &= \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \end{aligned}$$

[0113] 여기서 $A = a, B = c/V_j, C = \mp aV_0^2 - c$

[0115] 그리고, 실측 해당 승압력 ($\Delta P_{j(\text{실측})}/n_j$)을 도출하면 아래와 같다.

[0117] <수학식 2.4>

$$\begin{aligned} \Delta P_{j(\text{실측})} &= \Delta P_r^* \mp \Delta P_m \\ &= aV_r^{*2} \mp aV_n^2 = aV_r^{*2} \mp aV_0^2 \quad (\because V_n = V_0) \end{aligned}$$

[0118] $\therefore \Delta P_{j(\text{실측})}/n_j = a(V_r^{*2} \mp V_0^2)/n_j$

[0119] 그리고, 이론 해당 승압력 ($\Delta P_{j(\text{이론})}/n_j$)을 도출하면 아래와 같다.

[0121] <수학식 2.5>

$$\Delta P_{j(\text{이론})} = c(1 - V_1/V_j)$$

[0122] $\therefore \Delta P_{j(\text{이론})}/n_j = \{c(1 - V_1/V_j)\}/n_j$

[0124] 제트팬의 성능판정은 $(\Delta P_{j(\text{실측})}/n_j) \geq (\Delta P_{j(\text{이론})}/n_j)$ 이면 '정상', $(\Delta P_{j(\text{실측})}/n_j) < (\Delta P_{j(\text{이론})}/n_j)$ 이면 '미달'로 판정한다(단계 S80).

[0126] <a형(교통환기력과 자연환기력의 변화가 없는 경우)>

[0127] 터널 내 압력평형식인 <수학식 1.2> 내지 <수학식 1.4>를 아래와 같이 간단하게 표현할 수 있다.

$$\text{통기 저항력: } \Delta P_r = \left(1 + \zeta + \lambda \frac{L}{D}\right) \frac{\rho}{2} V_r^2 = \underline{a} \times V_r^2$$

$$\text{자연 환기력: } \Delta P_m = \left(1 + \zeta + \lambda \frac{L}{D}\right) \frac{\rho}{2} V_n^2 = \underline{a} \times V_n^2$$

$$\text{교통 환기력: } \Delta P_t = \frac{A_m}{A_r} n_t \frac{\rho}{2} (V_t - V_r)^2 = \underline{b} \times (V_t - V_r)^2$$

$$\text{팬 환기력: } \Delta P_j = n_j K_j \rho V_j^2 \left(\frac{A_j}{A_r}\right) \left(1 - \frac{V_r}{V_j}\right) = \underline{c} \times \left(1 - \frac{V_r}{V_j}\right)$$

[0128]

[0129] (V_r : 터널내 풍속(m/s), V_n : 터널내 작용하는 저항자연풍(m/s))

[0131] 그리고 제트팬 가동 전 압력평형식은 아래와 같다(도 4의 (c)참조).

[0133] <수학식 3.1>

$$\Delta P_r = \underline{\Delta P_t} \mp \underline{\Delta P_m} = \alpha$$

$$\Rightarrow \underline{\Delta P_t} \mp \underline{\Delta P_m} = \Delta P_r = \alpha = aV_0^2$$

[0134]

[0135] 그리고 제트팬 가동 중 압력평형식은 아래와 같다(도 4의 (d)참조).

[0137] <수학식 3.2>

$$\Delta P_r = \underline{\Delta P_t} \mp \underline{\Delta P_m} + \Delta P_j$$

$$\Rightarrow aV_1^2 = \underline{\alpha} + c(1 - V_1/V_j)$$

[0138]

[0140] 수학식 3.1 및 수학식 3.2를 이용하여 제트팬 가동 중 이론 풍속(V_r^*)을 도출하면 아래와 같다.

[0142] <수학식 3.3>

$$\Delta P_r^* = \underline{\Delta P_t} \mp \underline{\Delta P_m} + \Delta P_j$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow aV_r^{*2} &= \underline{\alpha} + c(1 - V_r^*/V_j) \\ &= aV_r^{*2} + (c/V_j)V_r^* - \alpha - c = 0 \end{aligned}$$

$$\therefore V_r^* = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

[0143]

$$\text{여기서 } A = a, B = c/V_j, C = -\alpha - c = -aV_0^2 - c$$

[0145] 제트팬의 성능판정은 $V_1 \geq V_r^*$ 이면 '정상', $V_1 < V_r^*$ 이면 '미달'로 판정한다(단계 S80).

[0147] <β형(풍속증가에 따른 교통환기력의 감소영향을 고려한 경우)>

[0148] 실제 화재 등이 발생한 경우, 차량의 터널 진입이 제한될 수 있기 때문에 교통환기력의 감소영향을 고려할 필요가 있다.

[0149] 터널 내 압력평형식인 <수학식 1.2> 내지 <수학식 1.4>를 아래와 같이 간단하게 표현할 수 있다.

$$\text{통기 저항력: } \Delta P_r = \frac{(1 + \zeta + \lambda \frac{L}{D}) \rho}{2} V_r^2 = \underline{a} \times V_r^2$$

$$\text{자연 환기력: } \Delta P_m = \frac{(1 + \zeta + \lambda \frac{L}{D}) \rho}{2} V_n^2 = \underline{a} \times V_n^2$$

$$\text{교통 환기력: } \Delta P_t = \frac{A_m}{A_r} n_t \frac{\rho}{2} (V_t - V_r)^2 = \underline{b} \times (V_t - V_r)^2$$

$$\text{팬 환기력: } \Delta P_j = \frac{n_j K_j \rho V_j^2 (\frac{A_j}{A_r}) (1 - \frac{V_r}{V_j})}{2} = \underline{c} \times (1 - \frac{V_r}{V_j})$$

[0150]

[0151] (V_r : 터널내 풍속(m/s), V_n : 터널내 작용하는 저항자연풍(m/s))

[0153] 그리고 제트팬 가동 전 압력평형식은 아래와 같다(도 4의 (c)참조).

[0155] <수학식 4.1>

$$\Delta P_r = \Delta P_t \mp \Delta P_m = \alpha$$

$$\Rightarrow \Delta P_t \mp \Delta P_m = \Delta P_r = \alpha = aV_0^2$$

[0156]

[0158] 그리고 제트팬 가동 중 압력평형식은 아래와 같다(도 4의 (d)참조).

[0160] <수학식 4.2>

$$\Delta P_r = (\Delta P_t - dP_t') \mp \Delta P_m + \Delta P_j \quad (\beta = \alpha - dP_t')$$

$$\Rightarrow aV_1^2 = \beta + c(1 - V_1/V_j)$$

[0161]

[0163] 상기 β 값은 제트팬 가동전의 α 값에서 풍속변화 ($V_0 \rightarrow V_1$)에 따른 교통환기력의 감소분(dP_t')을 고려한 값이다. 따라서, $\beta = \alpha - dP_t'$ 이므로 다음과 같이 정리 할 수 있다.

[0165] <수학식 4.3>

$$\alpha = \Delta P_t \mp \Delta P_m = \Delta P_r = aV_0^2$$

$$dP_t' = \Delta P_{t_0} - \Delta P_{t_1} = b\{(V_t - V_0)^2 - (V_t - V_1)^2\}$$

$$\therefore \beta = aV_0^2 - b\{(V_t - V_0)^2 - (V_t - V_1)^2\}$$

[0166]

[0168] 제트팬 가동 전 압력평형식에서 다음과 같이 정리함으로 b를 산출 할 수 있다

[0170] <수학식 4.4>

$$aV_0^2 = b(V_t - V_0)^2 \mp aV_n^2$$

$$\therefore b = a \frac{(V_n^2 + V_0^2)}{(V_t - V_0)^2}$$

[0171]

[0172] 한편, 상기 수학식 4.4에서 V_n 의 값은 모르고 있는 상태이다. 이를 위해 본 명세서에 따른 성능평가방법은, 실

제 V_n 값을 구하기 위해 임시 변수 V_n^* 을 설정하고, 시행착오법을 통해 실제 V_n 값을 구할 수 있다.

[0173] 도 5는 실제 V_n 값을 구하기 위한 시행착오법에 대한 흐름도이다. 도 5를 참조하여, 상기 시행착오법에 대해서 자세히 설명하도록 하겠다.

[0174] 먼저, 수학적식 4.1과 4.2를 더하고 V_n 에 대하여 정리함으로써 외부자연풍에 의한 V_n^* 을 도출 할 수 있다.

[0176] <수학적식 4.5>

$$\Rightarrow a(V_0^2 + V_1^2) = b\{(V_t - V_0)^2 + (V_t - V_1)^2\} - 2aV_n^{*2} + c(1 - V_1/V_j)$$

$$\therefore V_n^* = \sqrt{\frac{-a(V_0^2 + V_1^2) + b\{(V_t - V_0)^2 + (V_t - V_1)^2\} + c(1 - V_1/V_j)}{2a}}$$

[0177] 측정된 V_t 값을 수학적식 4.4에 대입하여 초기 b 값을 계산한다. 이때, 초기 자연풍(V_n)은 가정된 값이다. 이렇게 얻어진 b 값을 수학적식 4.5에 대입하여 얻어진 자연풍(V_n^*)을 '수렴전 자연풍'이라 명명하고, 초기 자연풍(V_n)과 상호 비교한다. 본 명세서에 따르면, 실제 자연풍(V_n)과 수렴전 자연풍(V_n^*)의 차이값이 0.001 이하일 때, 앞서 산출된 자연풍(V_n^*)을 '수렴자연풍'이라 명명한다. 상기 수렴자연풍(V_n^*)을 수학적식 4.4에 대입하면 b 값을 도출할 수 있고 이를 수학적식 4.3에 대입함으로써 β 값을 결정할 수 있다. 따라서, 제트팬 가동 중 터널 내 최종 압력평형식은 아래와 같다.

[0180] <수학적식 4.6>

$$\Delta P_r^* = (\Delta P_t - dP_t') \mp \Delta P_m + \Delta P_j$$

$$\Rightarrow aV_r^{*2} = \beta + c(1 - V_r^*/V_j)$$

$$= aV_r^{*2} + (c/V_j)V_r^* - \beta - c = 0$$

$$\therefore V_r^* = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

여기서 $A = a, B = c/V_j, C = -\beta - c$

[0181] 상술하였듯이, 성능평가방법에 따라 다시, 풍속비교법인 ' β -1형'(단계 S73), 대당승압력비교법인 ' β -2형'(단계 S74) 및 임계풍속 환산법인 ' β -3형'(단계 S75)으로 구분될 수 있다.

[0185] < β -1형(풍속비교법)>

[0186] 제트팬의 성능판정은 $V_1 \geq V_r^*$ 이면 '정상', $V_1 < V_r^*$ 이면 '미달'로 판정한다(단계 S80).

[0188] < β -2형(대당승압력비교법)>

[0189] 실측 대당 승압력($\Delta P_{j(\text{실측})}/n_j$)을 도출하면 아래와 같다.

[0191] <수학적식 5.1>

$$\Delta P_{j(\text{실측})} = \Delta P_r^* - (\Delta P_t - dP_t') \mp \Delta P_m$$

$$= aV_r^{*2} - \beta$$

$$\therefore \Delta P_{j(\text{실측})}/n_j = (aV_r^{*2} - \beta)/n_j$$

[0194] 이론 대당 승압력($\Delta P_{j(\text{이론})}/n_j$)을 도출하면 아래와 같다.

- [0196] <수학식 5.2>

$$\Delta P_{j(\text{이론})} = c(1 - \bar{V}_1 / \bar{V}_j)$$
- [0197]
$$\therefore \Delta P_{j(\text{이론})} / n_j = \{c(1 - \bar{V}_1 / \bar{V}_j)\} / n_j$$
- [0199] 제트팬의 성능판정은 $(\Delta P_{j(\text{실측})} / n_j) \geq (\Delta P_{j(\text{이론})} / n_j)$ 이면 '정상', $(\Delta P_{j(\text{실측})} / n_j) < (\Delta P_{j(\text{이론})} / n_j)$ 이면 '미달'로 판정한다(단계 S80).
- [0201] < β -3형(임계풍속 환산법)>
- [0202] 압력평형식은 아래와 같이 표현될 수 있다.
- [0204] <수학식 6.1>

$$\begin{aligned} \Delta P_{j(\text{실측})} &= \Delta P_r^* - \frac{(\Delta P_t - dPt') \mp \Delta P_m}{aV_r^{*2} - \beta} \\ &= aV_r^{*2} - \beta \end{aligned}$$
- [0205]
- [0207] 한편, 임계풍속 환산에 따른 제트팬 승압력($\Delta P_{j(\text{vc환산})}$)은 제트팬 가동 후 풍속(V_1)을 임계풍속(V_c)로 환산하기 위한 계수인 K 를 통해 $\Delta P_{j(\text{실측})}$ 과의 조합을 통해 도출할 수 있다.
- [0209] <수학식 6.2>

$$\therefore \Delta P_{j(\text{vc환산})} = K P_{j(\text{실측})} (1 / K_{j_{Vc}})$$
- [0210] 여기서 $K = \left(\frac{V_j - V_c}{V_j - V_1} \right)$, $K_{j_{Vc}}$ = 임계풍속에 대한 제트팬 승압계수
- [0212] 그리고, 이론 임계풍속에 대한 제트팬 승압력($\Delta P_{j(\text{vc이론})}$) 도출하면 아래와 같다.
- [0214] <수학식 6.3>

$$\Delta P_{j(\text{vc이론})} = n_j K_{j_{Vc}} \rho V_j^2 (A_j / A_r) (1 - V_c / V_j)$$
- [0215]
- [0217] 제트팬의 성능판정은 $(\Delta P_{j(\text{vc실측})} / n_j) \geq (\Delta P_{j(\text{vc이론})} / n_j)$ 이면 '정상', $(\Delta P_{j(\text{vc실측})} / n_j) < (\Delta P_{j(\text{vc이론})} / n_j)$ 이면 '미달'로 판정한다(단계 S80).
- [0218] 상기 성능평가방법은 터널 내 풍속계측기로부터 제트팬 가동 전, 가동 중 및 정지 후의 터널 내 측정된 풍속(V_0 , V_1 , V_2)값을 수신하는 풍속 측정부; 상기 측정된 제트팬 가동 전 풍속(V_0) 및 측정된 정지 후 풍속(V_2)을 이용하여 유효데이터를 선별하는 데이터선별부; 상기 유효데이터로 선별된 터널 내 풍속(V_0 , V_1 , V_2)을 이용하여 통기저항력(ΔP_r), 교동환기력(ΔP_t), 자연환기력(ΔP_m) 및 제트팬 승압력(ΔP_j)을 포함하는 가동 전 압력평형식 및 가동 중 압력평형식을 산출하는 압력평형식산출부; 상기 가동 전 압력평형식 및 가동 중 압력 평형식을 이용하여 제트팬 가동 중 이론 풍속(V_r^*)을 산출하는 이론 풍속 산출부; 및 상기 측정된 제트팬 가동 중 풍속(V_1)과 상기 산출된 제트팬 가동 중 이론 풍속(V_r^*)을 이용하여 성능을 평가하는 평가부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 터널 내 제연설비의 성능평가장치(이하 '성능평가장치')로 구현될 수도 있다.
- [0219] 또한, 상기 성능평가장치는, 성능평가장치 및 터널 내 풍속을 측정하는 풍속계측기를 포함하는 터널 내 제연설비의 성능평가시스템의 일 구성요소가 될 수 있다.
- [0220] 한편, 상기 성능평가방법은 소프트웨어로 구현되어 실행될 때 동작하는 하나 이상의 컴퓨터-판독 가능한 저장매체에 저장될 수 있다.
- [0221] 상기 저장 매체는 기계로 읽을 수 있는 매체이다. 기계로 읽을 수 있는 매체라는 용어는, 기계가 정보를 읽어 들일 수 있도록 정보를 읽는 물리적 기구에 의해 검출될 수 있는 유형의 정보를 저장하고 상기 기계에게 데이터를 제공하는 매체로 정의될 수 있다. 상기 저장 매체는 비휘발성 매체(non-volatile media) 및 휘발성 매체(volatile media)를 포함할 수 있다. 상기 기계로 읽을 수 있는 매체는, 이에 한정되지 않지만, 플로피

디스크(floppy disk), 플렉서블 디스크(flexible disk), 하드 디스크, 자기 테이프, 시디롬(compact disc read-only memory: CD-ROM), 광학 디스크, 펀치 카드(punchcard), 페이퍼 테이프(papertape), 램, 피롬(Programmable Read-Only Memory: PROM), 이피롬(Erasable PROM: EPROM) 및 플래시-이피롬(FLASH-EPROM) 중의 적어도 하나를 포함한다.

- [0223] <실험예>
- [0224] 이하에서는, 실제 실험을 통해 얻은 데이터를 이용하여 본 명세서에 따른 성능평가방법에 대해서 살펴보도록 하겠다.
- [0225] 실험 대상 터널의 조건은 아래와 같다.
- [0226] - 터널 연장(L_r)=1,191m
- [0227] - 터널 단면적(A_r)=75.47m²
- [0228] - 터널 대표직경(D_r)=8.609m
- [0229] - 제트팬 직경(D_j)=1,400mm
- [0230] - 제트팬 분류속도(V_j)=30m/s
- [0231] - 차량의 평균 주행속도(V_t)=100km/hr=27.778m/s
- [0232] - 제트팬 대수(n_j)=7ea
- [0233] - 터널 입구 손실계수(ζ)=0.6
- [0234] - 벽면마찰손실계수(λ)=0.025
- [0235] - 공기밀도(ρ)=1.2kg/m³
- [0237] 풍속 실험 결과는 아래와 같다.
- [0238] - 제트팬 가동 전 터널 내 풍속(V_0)=1.72 m/s
- [0239] - 제트팬 가동 중 터널 내 풍속(V_1)=5.30 m/s
- [0240] - 제트팬 정지 후 터널 내 풍속(V_2)=1.75m/s
- [0242] 상기 데이터가 유효한 데이터인지 확인하면, 아래와 같다.
- [0244] - 방법 1
- [0245] $|V_0-V_2|=|1.72-1.75|=0.03\text{m/s}$, $|V_0-V_2|\leq 1$ 이므로 유효한 데이터이다.
- [0247] - 방법 2
- [0248] $\Delta P_r=a|V_0^2-V_2^2|=30.35|1.72^2-1.75^2|=0.316\text{Pa}$, $\Delta P_{j(\text{이론})}/n_j=1.686\text{Pa}$,
- [0249] $\Delta P_{j(\text{이론})}/n_j \geq \Delta P_r$ 이므로 유효한 데이터이다.
- [0251] 터널 내 압력평형식 중 공통인자를 도출하면 아래와 같다.

통기 저항력:
$$\Delta P_r = \left(1 + \zeta + \lambda \frac{L}{D}\right) \frac{\rho}{2} V_r^2 = a \times V_r^2$$

[0252]
$$\rightarrow a = \left(1 + 0.6 + 0.025 \frac{1191}{8.609}\right) \frac{1.2}{2} = 3.035$$

팬 환기력: $\Delta P_j = nK_j \rho V_j^2 \left(\frac{A_j}{A_r}\right) \left(1 - \frac{V_r}{V_j}\right) = c \times \left(1 - \frac{V_r}{V_j}\right)$
 $\rightarrow c = 4 * 1 * 1.2 * 30^2 * \frac{(\pi/4 * 1.4^2)}{75.47} = 88.116$

[0253]

[0255]

먼저, 기본형(교통환기력이 없는 경우)에 대해서 살펴보겠다.

[0256]

제트팬 가동 중 터널 내 최종 압력평형식에 상기 데이터를 대입하면 아래와 같다.

$$\Delta P_r^* = \mp \Delta P_m + \Delta P_j$$

$$\Rightarrow aV_r^* = -\Delta P_m + c(1 - V_r^*/V_j)$$

$$= aV_r^{*2} + (c/V_j)V_r^* - \Delta P_m - c = 0$$

$$= aV_r^{*2} + (c/V_j)V_r^* - aV_0^2 - c = 0 (\because \Delta P_m = \Delta P_r = aV_0^2)$$

$$\therefore V_r^* = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

여기서, $A = a = 3.035$

$$B = c/V_j = 88.116/30 = 2.937$$

$$C = -aV_0^2 - c = -(3.035 * 1.72^2) - 88.116 = -97.095$$

$$\therefore V_r^* = 5.193 \text{ m/s} (V_r^* \geq 0)$$

[0257]

[0258]

이때, 실측 대당 승압력($\Delta P_{j(\text{실측})}/n_j$)을 도출하면 아래와 같다.

$$\Delta P_{j(\text{실측})} = \Delta P_r^* \mp \Delta P_m$$

$$= aV_r^{*2} - aV_n^2 = aV_r^{*2} - aV_0^{*2} = a(V_r^{*2} - V_0^2)$$

$$= 3.035(5.193^2 - 1.72^2) = 72.867 \text{ Pa}$$

$$\therefore \Delta P_{j(\text{실측})}/n_j = 72.867/4 = 18.217 \text{ Pa}$$

[0259]

[0260]

그리고 이론 대당 승압력($\Delta P_{j(\text{이론})}/n_j$)을 도출하면 아래와 같다.

$$\Delta P_{j(\text{이론})} = K_j C (1 - V_1/V_j)$$

$$= 0.92 * 88.116 * (1 - 5.30/30) = 66.745 \text{ Pa}$$

[0261]

$$\therefore \Delta P_{j(\text{이론})}/n_j = 66.745/4 = 16.686 \text{ Pa}$$

[0262]

상기 값을 이용하여 성능을 평가하면 아래와 같다.

[0263]

$$- \Delta P_{j(\text{실측})}/n_j = 18.217 \text{ Pa}, \quad \Delta P_{j(\text{이론})}/n_j = 16.686 \text{ Pa}$$

[0264]

- $\Delta P_{j(\text{실측})}/n_j \geq \Delta P_{j(\text{이론})}/n_j$ 이므로, '정상' 판정할 수 있다.

[0266] 다음으로, α형(교통환기력과 자연환기력의 변화가 없는 경우)에 대해서 살펴보겠다.

$$\begin{aligned} \Delta P_r^* &= \Delta P_t \mp \Delta P_m + \Delta P_j = \underline{\alpha} + \Delta P_j \\ \Rightarrow aV_r^* &= \alpha + c(1 - V_r^*/V_j) \\ &= aV_r^{*2} + (c/V_j)V_r^* - \alpha - c = 0 \\ &= aV_r^{*2} + (c/V_j)V_r^* - aV_0^2 - c = 0 (\because \Delta P_m = \Delta P_r = aV_0^2) \end{aligned}$$

$$\therefore V_r^* = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

여기서, $A = a = 3.035$

$$B = c/V_j = 88.116/30 = 2.937$$

$$C = -aV_0^2 - c = -(3.035 * 1.72^2) - 88.116 = -97.095$$

$$\therefore V_r^* = 5.193 \text{ m/s } (V_r^* \geq 0)$$

[0267]

[0269] 상기 값을 이용하여 성능을 평가하면 아래와 같다.

[0270] $-V_1 \geq V_r^*$ 이므로, '정상' 판정할 수 있다.

[0272] 다음으로, β형(풍속증가에 따른 교통환기력의 감소영향을 고려한 경우)에 대해서 살펴보겠다.

[0273] 먼저, b값을 도출하여야 한다. 이때 V_n 값을 2.5m/s로 먼저 가정하겠다.

$$b = a \frac{(V_n^2 + V_0^2)}{(V_t - V_0)^2}$$

[0274]

$$b = 3.035 * (2.5^2 + 1.72^2) / (27.778 - 1.72)^2 = 0.041$$

[0275]

[0277] 외부자연풍에 의한 V_n^* 값을 도출하면, 아래와 같다.

[0277]

$$\begin{aligned} V_n^* &= \sqrt{\frac{-a(V_0^2 + V_1^2) + b\{(V_t - V_0)^2 + (V_t - V_1)^2\} + c(1 - V_1/V_j)}{2a}} \\ &= \sqrt{\frac{-3.035(1.72^2 + 5.30^2) + 0.041\{(27.778 - 1.72)^2 - (27.778 - 5.3)^2 + 88.116(1 - 1.72/30)\}}{2 * 3.035}} \\ &= 2.481 \text{ m/s} \end{aligned}$$

[0278]

[0279] 이때, 상기 도출된 V_n^* 값이 수렴하는지 여부를 살펴보아야 한다.

[0279]

$$|V_n - V_n^*| = |2.5 - 2.481| = 0.019 \geq 0.001 \text{ (수렴 안됨)}$$

[0280]

[0281] 따라서, 최초 가정한 $V_n = 2.5 \text{ m/s}$ 이 잘 못된 값인 것을 알 수 있다. 이때, 시행착오법을 통해 수렴자연풍(V_n^*)값 및 b값을 구하면 다음과 같다.

[0281]

$$V_n^* = -0.728 \text{ m/s}, b = 0.016$$

[0282]

[0283] 상기 값을 이용하여 β값을 구하면 아래와 같다.

[0283]

$$\begin{aligned} \beta &= aV_0^2 - b\{(V_t - V_0)^2 - (V_t - V_1)^2\} \\ &= 3.035 * 1.72^2 - 0.016 * \{(27.778 - 1.72)^2 - (27.778 - 5.3)^2\} \\ &= 6.224 \end{aligned}$$

[0284]

[0285] 마지막으로 제트팬 가동에 따른 터널 내 풍속(V_r^*)을 도출하면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \Delta P_r^* &= (\Delta P_t - dP_t') \mp \Delta P_m + \Delta P_j = \beta + \Delta P_j \\ \Rightarrow aV_r^* &= \beta + c(1 - V_r^*/V_j) \\ &= aV_r^{*2} + (c/V_j)V_r^* - \beta - c = 0 \\ \therefore V_r^* &= \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \end{aligned}$$

여기서, $A = a = 3.035$

$$B = c/V_j = 88.116/30 = 2.937$$

$$C = -\beta - c = -6.224 - 88.116 = -94.34$$

$$\therefore V_r^* = 5.108 \text{ m/s} (V_r^* \geq 0)$$

[0286]

[0287] 상기 β 형은 성능평가방법에 따라 다시, 풍속비교법인 ' β -1형', 대당승압력비교법인 ' β -2형' 및 임계풍속 환산법인 ' β -3형'으로 구분되므로, 각각 살펴보겠다.

[0288] 먼저, β -1형(풍속비교법)으로 평가하면 아래와 같다.

[0289] - $V_1 \geq V_r^*$ 이므로, '정상' 판정할 수 있다.

[0291] 다음, β -2형(대당승압력비교법)으로 평가하면 아래와 같다.

[0292] - 실측 대당 승압력 ($\Delta P_{j(\text{실측})}/n_j$)

$$\begin{aligned} \Delta P_{j(\text{실측})} &= \Delta P_r^* - (\Delta P_t - dP_t') \mp \Delta P_m \\ &= aV_r^{*2} - \beta \\ &= 3.035 * 5.108^2 - 6.224 = 72.964 \text{ Pa} \end{aligned}$$

$$\therefore \Delta P_{j(\text{실측})}/n_j = 72.694/4 = 18.241 \text{ Pa}$$

[0293]

[0294] - 이론 대당 승압력 ($\Delta P_{j(\text{이론})}/n_j$)

$$\begin{aligned} \Delta P_{j(\text{이론})} &= K_j C (1 - V_1/V_j) \\ &= 0.92 * 88.116 * (1 - 5.30/30) = 66.745 \text{ Pa} \end{aligned}$$

$$\therefore \Delta P_{j(\text{이론})}/n_j = 66.745/4 = 16.686 \text{ Pa}$$

[0295]

[0296] 따라서, $\Delta P_{j(\text{실측})}/n_j = 18.241 \text{ Pa}$, $\Delta P_{j(\text{이론})}/n_j = 16.686 \text{ Pa}$

[0297] - $\Delta P_{j(\text{실측})}/n_j \geq \Delta P_{j(\text{이론})}/n_j$ 이므로, '정상' 판정할 수 있다.

[0299] 마지막, β -3형(임계풍속 환산법)으로 평가하면 아래와 같다.

[0300] - 실측 대당 승압력 ($\Delta P_{j(V_c \text{ 환산})}/n_j$)

$$\begin{aligned} \Delta P_{j(V_c \text{ 환산})} &= K P_{j(\text{실측})} (1/K_{jV_c}) \\ K &= \frac{V_j - V_c}{V_j - V_1} = \frac{30 - 2.5}{30 - 5.3} = 1.113 \end{aligned}$$

$$\therefore \Delta P_{j(V_c \text{ 환산})} = 1.113 * 72.934 * (1/0.99) = 81.995 \text{ Pa}$$

[0301]

[0302] - 이론 대당 승압력 ($\Delta P_{j(Vc이론)}/n_j$)

$$\begin{aligned} \Delta P_{j(Vc이론)} &= K_{jVc} n_j \rho V_j^2 (A_j/A_r) (1 - V_o/V_j) \\ &= 0.99 * 4 * 1.2 * 30^2 ((\pi/4) * 1.4^2) / 75.47 * (1 - 2.5/30) \\ &= 79.965 \text{ Pa} \end{aligned}$$

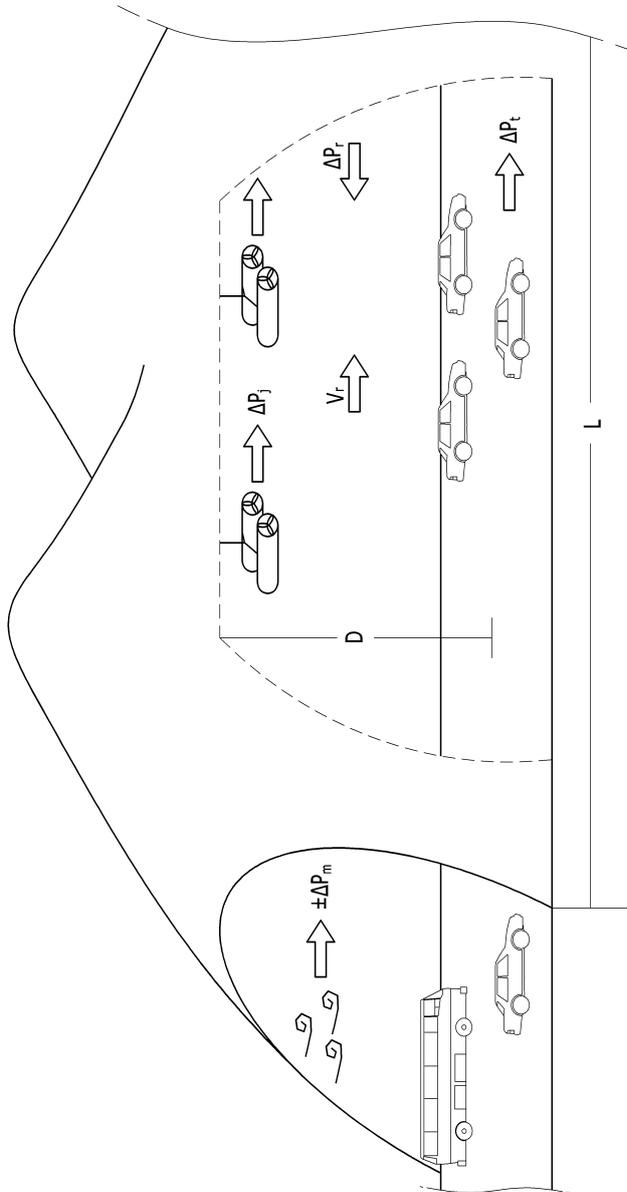
[0303]

[0304] 따라서, $\Delta P_{j(Vc실측)}/n_j = 81.995 \text{ Pa}$, $\Delta P_{j(Vc이론)}/n_j = 79.965 \text{ Pa}$

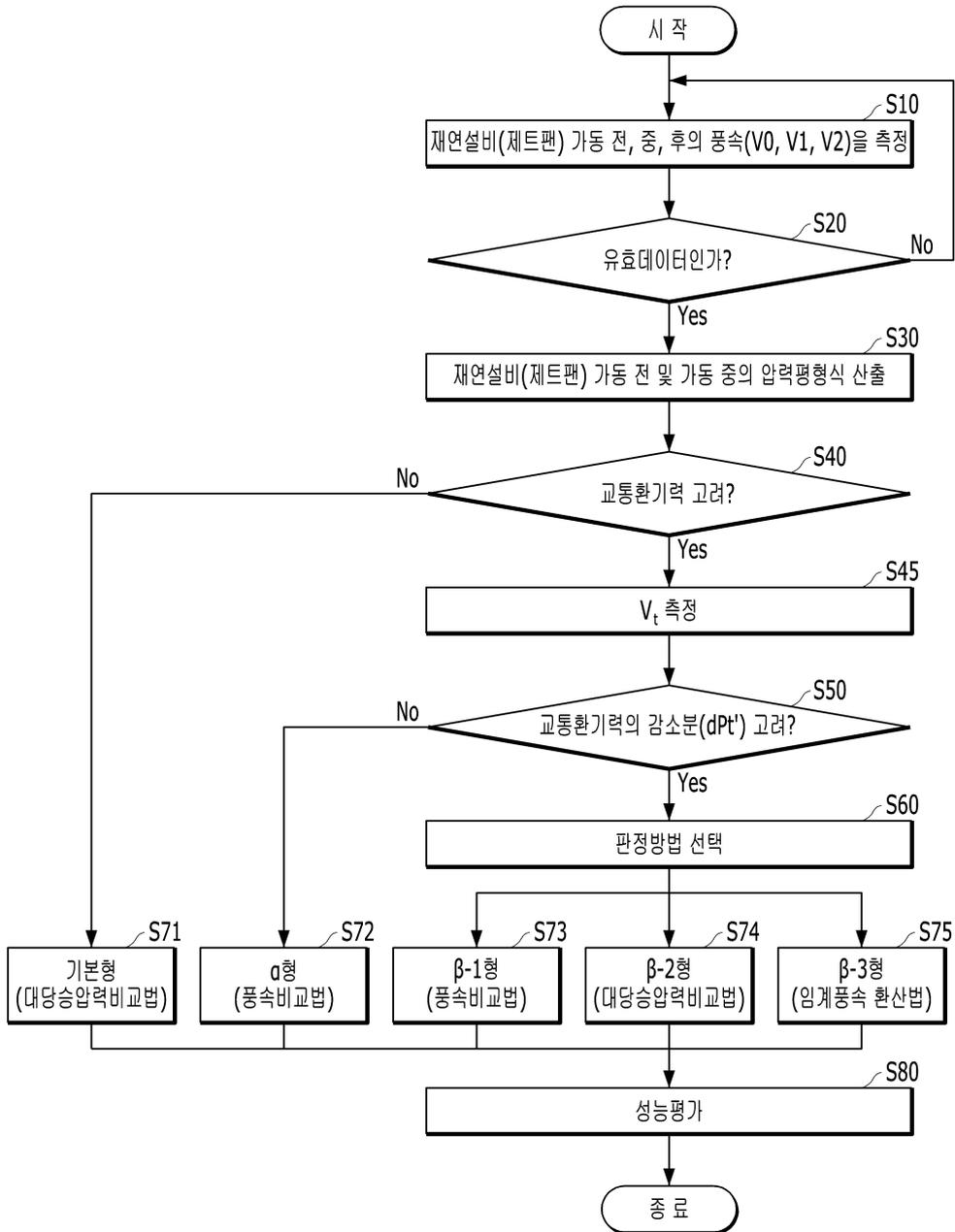
[0305] - $\Delta P_{j(Vc실측)}/n_j \geq \Delta P_{j(Vc이론)}/n_j$ 이므로, '정상' 판정할 수 있다.

[0307] 본 명세서는 상기 구성들의 정신 및 필수적 특징을 벗어나지 않는 범위에서 다른 특정한 형태로 구체화될 수 있음은 당업자에게 자명하다. 상기의 상세한 설명은 모든 면에서 제한적으로 해석되어서는 아니되고 예시적인 것으로 고려되어야 한다. 본 명세서의 범위는 첨부된 청구항의 합리적 해석에 의해 결정되어야 하고, 본 명세서의 등가적 범위 내에서의 모든 변경은 본 발명의 범위에 포함된다.

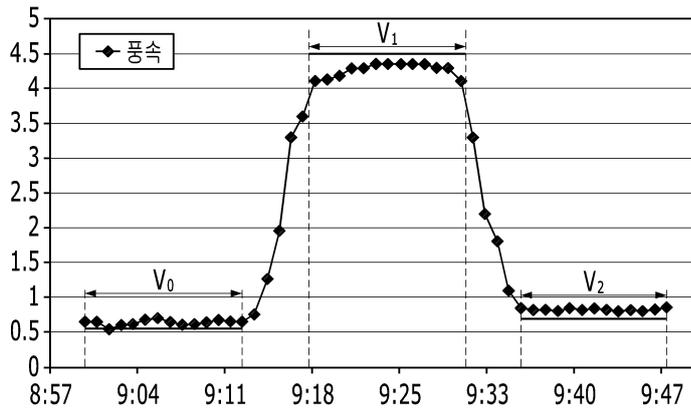
도면
도면1



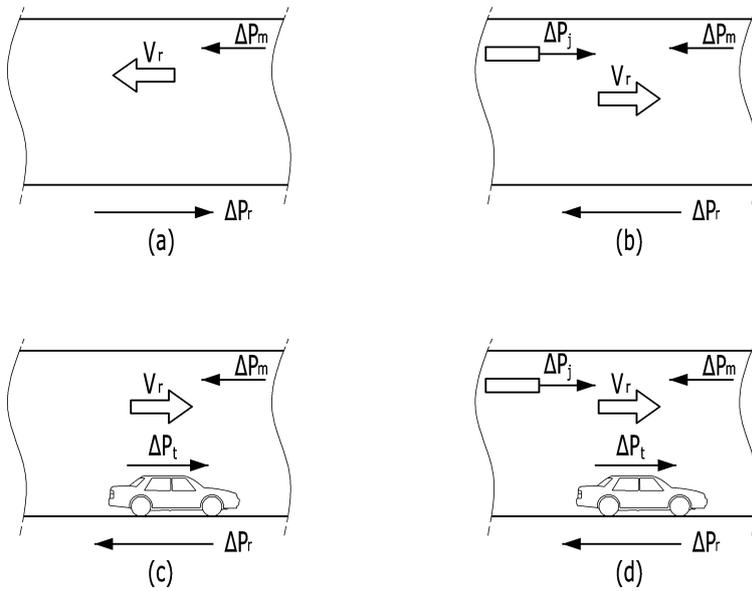
도면2



도면3



도면4



도면5

