

(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(51) Int. Cl.⁷
E21F 1/00

(45) 공고일자 2004년09월22일
(11) 등록번호 10-0449511
(24) 등록일자 2004년09월09일

(21) 출원번호 10-2002-0011203 (65) 공개번호 10-2003-0071934
(22) 출원일자 2002년03월02일 (43) 공개일자 2003년09월13일

(73) 특허권자 주식회사 대우엔지니어링
대한민국
463-825
경기 성남시 분당구 수내동 9-3
주식회사 경동
대한민국
235-907
강원 삼척시 도계읍 상덕리 1번지 산
주식회사 삼보기술단
대한민국
138-050
서울시 송파구 방이동 200-2
재단법인 한국철도기술공사
대한민국
151-801
서울 관악구 남현동 602-25 용남빌딩
한국건설기술연구원
대한민국
411-712
경기도 고양시 일산구 대화동 2311-1
한국철도기술연구원
대한민국
437-825
경기도 의왕시 월암동 360-1

(72) 발명자 김동현
대한민국
431-070
경기도안양시동안구평촌동초원마을럭키아파트509동204호
황선근
대한민국
449-757
경기도용인시수지읍풍덕천리동문아파트102동601호
신민호
대한민국
156-777
서울특별시동작구사당동1137번지신동아아파트501동305호
강부병
대한민국
136-075
서울특별시성북구안암동5가102-10

(74) 대리인 양재욱

(77) 심사청구 심사관: 장형일

(54) 출원명 풍압변동저감 및 미기압파 저감용 0.25킬로미터급 통풍공형 단선터널

요약

본 발명은 0.25km급 터널의 미기압파 저감용 통풍공형 단선터널에 관한 것으로,

본 발명에서는 소단면 단선터널에서 양쪽 측벽에 통풍공을 형성하되, 축척모형 시험을 통해 통풍공의 간격, 수량, 내경에 대한 체적설계값을 도출시켜, 기존철도는 물론 고속철도의 터널 미기압파 저감대책으로 사용할 수 있으며, 터널단면적으로 축소와 함께 열차의 속도또한 향상시킬 수 있는 풍압변동저감 및 미기압파 저감용 0.25km급 통풍공형 단선터널이 제공된다.

대표도

도6

명세서

도면의 간단한 설명

- 도 1은 터널 미기압파 발생과정을 보인 상태도
- 도 2는 나팔형상으로 터널 단면적에 변화시킨 터널의 구성도
- 도 3은 종래 통풍공형 터널의 구성도
- 도 4는 종래 통풍공형 터널의 또 다른 실시예 구성도
- 도 5는 본 발명에 따른 0.25km급 터널의 미기압파 저감용 통풍공형 터널의 전체 구성도.
- 도 6은 터널모델 내벽에서 풍압변동 및 터널출구의 미기압파 충격성 소음측정을 위해 측정하기 위해 압력센서와 포토센서 및 미기압파계를 위치시킨 구성도.
- 도 7 ~ 도 9은 터널진입속도 110km/h급에 대한 풍압센서 위치별 시험결과를 나타낸 그래프.
- 도 10 ~ 도 12는 터널진입속도 150km/h급에 대한 풍압센서 위치별 시험결과를 나타낸 그래프.
- 도 13 ~ 도 15은 터널진입속도 180km/h급에 대한 풍압센서 위치별 시험결과를 나타낸 그래프.
- 도 16 ~ 도 18은 터널내 열차진입속도에 대한 그래프의 풍압변동 최대 피크값의 결과를 나타낸 결과표
- 도 19은 열차진입속도별 미기압파 최대값의 저감계수를 나타낸 결과표.
- 도 20는 열차진입속도 150~180 km/h에 대하여 수직 통풍공의 갯수에 따른 미기압파 최대값의 저감율을 나타낸 그래프.
- 도 21 ~ 도 23은 터널진입속도 110km/h급에 대한 풍압센서 위치별 시험결과를 나타낸 그래프
- 도 24 ~ 도 26은 터널진입속도 150km/h급에 대한 풍압센서 위치별 시험결과를 나타낸 그래프
- 도 27 ~ 도 29는 터널진입속도 180km/h급에 대한 풍압센서 위치별 시험결과를 나타낸 그래프
- 도 30 ~ 도 32은 터널내 열차진입속도에 대한 그래프의 최대 피크값의 결과를 나타낸 결과표.
- 도 33은 열차진입속도별 미기압파 최대값의 저감계수를 나타낸 결과표.
- 도 34은 열차진입속도 150~180 km/h에 대하여 수직 통풍공의 내경변화에 따른 미기압파 최대값의 저감율을 나타낸 그래프.
- 도 35은 본 발명에 따른 풍압변동저감 및 미기압파 저감용 0.25km급 통풍공형 단선터널을 시험하기 위한 열차모형 시험장치 구성도.

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 풍압변동저감 및 미기압파 저감용 0.25km급 통풍공형 단선터널에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 소단면 단선터널에서 양쪽 측벽에 통풍공을 형성하되, 축척모형 시험을 통해 통풍공의 간격, 수량, 내경에 대한 체적설계값을 도출시켜, 기존철도는 물론 고속철도터널의 압력변동저감 및 미기압파 저감대책으로 사용할 수 있으며, 승객의 이명감을 줄이고 터널단면적의 축소와 함께 열차의 운행속도또한 향상시킬 수 있는 풍압변동저감 및 미기압파 저감용 0.25km급 통풍공형 단선터널에 관한 것이다.

일반적으로, 철도에 지니가는 터널은 고속으로 진행되는 열차가 터널의 내부로 진입할 때, 즉 터널의 입구 근처의 열차전두부 앞부분에서 압력파가 생성되는바,

이러한, 압력파는 파동의 앞에 정지하고 있는 공기를 압축하고 가속하여 음속으로 터널을 따라 전파되며, 이는 터널의 출구부분에서 팽창파로서 열차를 향하여 뒤로 반사됨과 동시에 펄스형태의 압력파가 출구로부터 주위환경인 밖을 향하여 방사된다.

위와같은 현상은 도 1에 도시된 바와같이 3단계로 발생되는 것으로,

1단계에서는 고속의 열차가 터널에 진입함에 따라 압력파가 형성되고, 2단계에서는 압력파가 터널내부로 전파되어 압력파형이 변형되며, 3단계에서는 터널출구로부터 미기압파(micro pressure wave)가 방사되는 것이다.

이러한 충격파는 초음속 비행기에 의해서 생성된 소닉붐처럼 강력한 소음을 발생시키게 되는데, 이러한 미기압파에 의한 저주파 진동이 주변 민가의 창문이나 문틀을 심하게 흔들게됨에 따라 이에 대한 대책마련을 요하게 되며, 시속 110 km/h 이상 터널주행시 터널내 공기압변동에 의한 귀울림(耳鳴感, 이명감) 등의 문제점이 발생한다.

이에, 지금까지 제시된 터널내 압력변동의 강도를 감소시키기 위한 접근방법으로는 터널의 단면적을 증가시키는 방법, 터널의 입출구 양단에 나팔형상으로 터널 단면적에 변화를 주는 방법. 터널에 다수의 통풍공을 설치하는 방법이 있는데,

상기한 단면적 증가방법은 터널단면적을 100%까지 증가시키면 피크 압력변화는 49%까지 감소하는 것으로 알려져 있지만, 이는 그만큼 과다한 공사비가 지출되는 문제점을 갖는 것임은 물론 터널 단면적이 매우 크게 증가시키더라도 압력변화는 터널에 20m 간격으로 지름이 2.7m인 통풍공을 20개 설치했을 때 얻어지는 감소보다 26% 정도밖에 큰 효과가 없어 실효성이 없는 것이고,

상기 도 2에서와 같이 나팔형상으로 터널 단면적에 변화를 주는 방법은 압력변동을 효과적으로 경감시키기 위해서 나팔형상의 길이를

터널 길이의 1/3로 하고, 터널의 기본 단면적의 2.5배 입구면적을 갖도록 하며, 복선터널에 대해서는 나팔형상의 터널 단면적 변화를 터널의 양 끝단에 적용하게 되고, 구체적으로 1140 m인 터널에 대해 터널 단면적은 380m의 길이에 대하여 82m²의 터널 단면적에 이르는 거리까지 선형적으로 감소하는 터널은 터널내 피크 압력변화를 60%까지 감소시키는 것으로 알려져 있으나, 나팔형상 터널은 복잡한 구조를 갖고 있어 시공하기에는 설비비용이 많이 소요되는 문제점을 갖는 것이다.

한편, 상기 터널에 다수의 통풍공을 설치하는 방법은 도 3에서와 같이 터널 입/출구 영역에 통풍공을 3쌍씩 설치하고, 복선 궤도 중간 벽에 25 m 간격에 0.72m 직경의 통풍벽을 설치하여 터널내공 단면적을 20% 축소한 건설비 저감효과를 갖는 것으로 알려져 있으며, 이는 1998년 네덜란드의 TGV노선(파리-암스테르담)의 신설터널에 실제 적용한 것이고,

도 4로 도시한 형태의 통풍공의 경우는 독일의 경우 ICE노선 터널에 적용된 예로서, 영업속도를 20%정도 향상시킨 효과를 갖는 것으로 알려져 있는데, 이는 터널 주행속도를 250km/h에서 300 km/h로 향상시킨 효과이며 터널 내공단면적을 100% 확장했을 때의 결과와 동일한 것이다.

따라서, 터널내 압력변동의 강도를 감소시키기 위한 접근방법은 터널내 공단면적을 증가하거나 열차 기밀을 엄밀하게 하여 객실 승객의 쾌적도를 개선하는 방법과 비교하여 볼때 다수개의 통풍공을 통해 열차에 의해 압축되는 공기를 연속적으로 외부배출하여 열차 터널집입시 터널내의 공기를 서서히 압축되게 작용하는 통풍공을 설치방법이 상대적으로 간단하고 경제적인 대책임을 알 수 있다.

한편, 국내의 경우 경부선이나 호남선의 기존철도 터널은 터널 내공단면적이 매우 작아(단선터널 4종: 24 ~ 28 m²) 기존선의 고속화에 큰 장애물이 되고 있고, 거의 대부분 1950년대 이전에 건설된 것으로 열차가 저속으로 주행하도록 만든 터널이며,

현재에는 구간에서 터널이 차지하는 비중이 큰 경춘선, 영동선, 중앙선 등의 철도이설에 따른 신설터널 설계가 1999년 말부터 시작되었으나 설계된 실시설계안에 대한 공기역학적인 검토만 수행되고 있을 뿐, 통풍공 등의 적용으로 터널 내공단면적 축소 설계안 등은 적용되지 않고 있는 실정이다.

이에, 기존에 운영되고 있는 기존선의 고속화를 꾀할 경우, 상대적으로 작은 단면적을 갖는 오래된 터널에 통풍공 적용으로 단면적 확폭 또는 철도이설에 의한 신설 통풍공 터널로 대체할 수 있고, 노후화된 철도터널의 보강 및 열차 주행성능 확보는 물론 이설에 의한 신설 터널의 건설이 늘어남에 따라 공기역학에 의한 터널 최적설계 기술확보가 절실히 요구되고 있다.

한편, 도 4로 도시된 ICE노선 터널의 경우 복선터널이며, 토피고가 50m 내외로 작으며 국내 재래터널의 경우보다는 불리한 것으로서, 국내의 경우 재래철도에서 토피고 평균이 독일의 경우보다 50% 내외이다.

또한, 길이가 약 1km인 ICE노선 복선 터널에 지름이 1m인 통풍공을 50개 설치하면 열차들이 운행할 때 나타나는 최악의 압력변동을 거의 60% 감소시킬 수 있다는 결과를 도출하였지만, 이와같은 기술을 국내에 도입할 경우 터널의 연장길이가 다르며 단선터널인 0.25km급 터널에 적용할 수 없어 독자적인 기술개발이 시급한 과제로 남는 것이었다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

이에, 본 발명은 전술한 바와같이 승객의 이명감과 터널출구의 미기압파를 저감할 수 있는 통풍공형 터널을 형성함에 있어, 소단면 단선터널인 0.25km급 터널에 대해 축적모형 시험을 통해 통풍공의 간격, 갯수, 내경에 대한 최적설계값을 도출시켜, 기존철도는 물론 고속철도터널의 압력변동저감 및 미기압파 저감대책으로 사용할 수 있도록함으로써, 승객의 이명감을 줄이고 터널단면적의 축소와 함께 열차의 운행속도 또한 향상시킬 수 있는 풍압변동저감 및 미기압파 저감용 0.25km급 통풍공형 단선터널을 제공함에 그 목적이 있다.

상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 구체적인 수단으로는;

미기압파의 저감과 함께 터널 내공단면적을 저감하기 위해 터널의 내부로 다수개의 통풍공이 형성되는 미기압파 저감용 통풍공형 터널에 있어서,

소단면 단선터널인 0.25km급 터널의 내부 양측으로 상호 대칭되는 위치에 12개의 관절형 수직 통풍공을 형성한 풍압변동저감 및 미기압파 저감용 0.25km급 통풍공형 단선터널을 통해 구현된다.

발명의 구성 및 작용

이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부도면에 의거 상세히 설명하기로 한다.

도 5는 본 발명에 따른 풍압변동저감 및 미기압파 저감용 0.25km급 통풍공형 단선터널의 전체 구성도이다.

이에 도시된 바와같이 본 발명의 통풍공형 터널은 소단면 단선터널인 0.25km급 터널의 내부면 양측 상호 대칭되는 위치로 "  "와 같은 형태의 관절형 수직 통풍공을 형성하는 것을 특징으로 한다.

여기서, 본 발명의 0.25km급 통풍공형 터널의 정확한 통풍공의 간격, 수량, 내경에 대한 최적설계값을 얻기 위해 본 발명의 출원인인 한국철도기술연구원에서 특허출원 2000-64426호로 선출원된 1/61축척 터널주행 열차모형 시험장치(도 22로 도시됨)를 적용하여 터널내의 풍압변동 저감효과를 파악하였다.

이때, 시험대상인 실척 511m 터널에 대해서는 4량 1편성 열차의 수치해석을 수행하여 통풍공이 없는 터널에 대해 시험데이터를 비교하였으며, 시험에 앞서 시험장치 및 시험모형을 검증하는 절차가 필요함에 따라 제원의 실척크기에 대해 특성곡선 방정식 해법으로 하기의 표 1 및 표 2와 같은 비정상적 1차원해석으로 수치해석을 수행하였다.(대기온도는 293 K, 대기압은 102,100 Pa의 조건)

[표 1]

단면적(㎡)	윤변길이(m)	터널연장(m)	열차 주행속도
28	21.17	256	149km/h

[표 2]

항 목	제 원
열차유효단면적	9.8 m ²
전두부형상	새마을호 유선형
열차둘레	12.08 m
차량편성	4량 1편성(2M + 2T)
차량길이	94.30 m(4량)

이에, 1/61축척 터널모형 실험은 터널모델의 길이가 4.2m(실척 256m)이고, 열차모델의 길이는 1,546m(실척 94.3m)이며, 터널 내벽에서 측정하는 풍압변동 및 터널출구의 미기압파 충격성 소음측정을 위해 압력센서와 포토센서 및 미기압파계를 도 6과 같이 위치시켰다.

또한, 터널모델에 대해 통풍공 갯수를 변화시키고(2~12개), 통풍공의 좌,우 배열을 달리하여 하기의 표 3과 같이 터널내 풍압변동 저감성능, 통풍공의 환기 유속, 미기압파 저감성능 시험을 수행하였으며, 터널내 통풍공의 측벽 배열은 하기의 표 4와 같이 양쪽벽면에 마주보는 형태로 배열하였는데, 표 4에서와 같이 터널 측벽에 좌,우 각각 37개씩의 통풍공을 설치하기 위한 구멍이 존재하고 사용치않는 구멍은 마개로 기밀하게 고정하게 된다.

[표 3]

번호	터널모델 길이	열차모델 편성 및 진입속도	통풍공 내경변화	통풍공 개수	통풍공 배열변화	통풍공 높이변화	환기성능 시험
1	4.2 m	4량1편성 110 km/h ~ 180 km/h	-	없음	-	-	-
2	4.2 m	5량1편성 110 km/h ~ 180 km/h	-	없음	-	-	-
3	4.2 m	5량1편성 110 km/h ~ 180 km/h	내경 35 mm	12 개	대칭 배열 창측: 6개 내측: 6개	340 mm	환기유속 1개소
4	4.2 m	4량1편성 110 km/h ~ 180 km/h	내경 35 mm	12 개	대칭 배열 창측: 6개 내측: 6개	635 mm	환기유속 1개소
5	4.2 m	4량1편성 110 km/h ~ 180 km/h	내경 35 mm	12 개	대칭 배열 창측: 6개 내측: 6개	340 mm	환기유속 1개소
6	4.2 m	4량1편성 110 km/h ~ 180 km/h	내경 16 mm	12 개	대칭 배열 창측: 6개 내측: 6개	340 mm	환기유속 1개소
7	4.2 m	4량1편성 110 km/h ~ 180 km/h	내경 35 mm	6 개	대칭 배열 창측: 3개 내측: 3개	340 mm	환기유속 1개소
8	4.2 m	4량1편성 110 km/h ~ 180 km/h	내경 35 mm	2 개	대칭 배열 창측: 1개 내측: 1개	340 mm	환기유속 1개소

[표 4]

터널 입구	(1) 통풍공 개수: 총 12개 (대칭 배열) 통풍공 간격: 0.67 m (실척 40.87 m)
내측	1 3 5 7 9 11
외측	1 3 5 7 9 11
터널 입구	(2) 통풍공 개수: 총 6개 (대칭 배열) 통풍공 간격: 1.34 m (실척 81.74 m)
내측	2 6 10
외측	2 6 10
터널 입구	(3) 통풍공 개수: 총 2개 (대칭 배열)
내측	7
외측	7

이에, 전술한 4량 1편성 열차모델에 대하여 통풍공의 내경을 16mm와 35mm(실척 2.27m), 높이은 340mm(실척 20.7m)과 635mm(실척 38.7m) 일때 통풍공의 갯수에 따른 풍압변동을 비교하였다.

도 7 ~ 도 9는 터널진입속도 110km/h급에 대한 풍압센서 위치별 시험결과를 나타낸 그래프이고, 도 10 ~ 도 12는 터널진입속도 150km/h급에 대한 풍압센서 위치별 시험결과를 나타낸 그래프이며, 도 13 ~ 도 15는 터널진입속도 180km/h급에 대한 풍압센서 위치별 시험결과를 나타낸 그래프이다.

한편, 도 16 ~ 도 18은 터널내 열차진입속도에 대한 그래프의 풍압변동 최대 피크값의 결과를 나타낸 것인데, 이와같은 시험결과를 통해 알 수 있듯이 통풍공을 2개로 설치한 경우는 풍압변동 최대 피크 값의 저감율이 평균 10.4 % 이고, 통풍공이 6개인 경우는 평균 24.0 % 이며, 통풍공이 12개인 경우는 저감율이 평균 39.3 % 로 통풍공 개수가 적은 경우보다 더 효과가 큰 것으로 나타났다.

한편, 도 19(열차진입속도별 미기압파 최대값의 저감계수를 나타낸 결과표)와 도 20(열차진입속도 150~180 km/h에 대하여 수직 통풍공의 갯수에 따른 미기압파 최대값의 저감율을 나타낸 그래프.)에서와 같이 통풍공을 4개로 설치한 경우, 통풍공을 2개로 설치한 경우 미기압파 최대값의 저감율은 13 % 이고, 통풍공을 6개로 한 경우는 저감율이 35 % 이며, 통풍공을 12개로 한 경우에는 저감율이 56.9 % 로 저감율이 가장 좋게 나타나고 있어,

통풍공을 대칭배열함이 풍압변동저감과 미기압파 저감에 효율적인 것이며, 각 상기 통풍공은 0.67(실척 40.8m)의 간격을 갖는 것이 가장 효과적이라 할 수 있다.

또 다르게, 본 발명의 통풍공형 터널에 있어, 통풍공의 내경 변화에 따른 풍압변동과 미기압파 저감성능을 살펴 보기 위해 4량 1편성 열차모델에 대하여 통풍공의 갯수를 12개, 높이를 340mm로 할 때, 통풍공을 전술한 표 4와 같이 설치하여 그 내경을 2종류로 변화시키며 시험하였다.

이에, 도 21 ~ 도 23은 터널진입속도 110km/h급에 대한 풍압센서 위치별 시험결과를 나타낸 그래프이고, 도 24 ~ 도 26은 터널진입속도 150km/h급에 대한 풍압센서 위치별 시험결과를 나타낸 그래프이며, 도 27 ~ 도 29는 터널진입속도 180km/h급에 대한 풍압센서 위치별 시험결과를 나타낸 그래프이고, 도 30 ~ 도 32은 터널내 열차진입속도에 대한 그래프의 최대 피크값의 결과를 나타낸 것인데, 열차진입속도범위에 대하여 통풍공의 갯수를 12개로 고정하고 통풍공의 내경을 16mm(실척 0.97m)로 적용했을 경우는 평균 17.8 % 의 풍압변동 저감율을 나타내고, 통풍공 내경을 35mm(실척 2.13m)로 적용했을 경우는 평균 39.3 % 의 풍압변동 저감율을 보여주고 있다. 본 결과는 통풍공 내경 증가에 대하여 평균 18.2 % 의 풍압변동 저감이 더 기대된다.

한편, 통풍공의 직경은 도 33(열차진입속도별 미기압파 최대값의 저감계수를 나타낸 결과표)와 도 34(열차진입속도 150~180 km/h에 대하여 수직 통풍공의 내경변화에 따른 미기압파 최대값의 저감율을 나타낸 그래프.)에서와 같이 통풍공 내경이 16 mm인 경우에 미기압파 저감율이 21.1 % 이며, 통풍공 내경이 35 mm로 약 2.2배 증가하면 미기압파 저감율이 35.8 % 가 증가하는 것을 알 수 있으므로, 풍압변동저감과 미기압파저감을 위한 통풍공의 직경은 35mm(실척 2.13m)이 최적의 효과를 얻을 수 있는 것이다.

발명의 효과

이상과 같이 본 발명에 따른 풍압변동저감 및 미기압파 저감용 0.25km급 통풍공형 단선터널은 소단면 단선터널인 0.25km급 터널에 대해 정확한 통풍공의 간격, 갯수, 내경에 대한 최적설계값을 도출시켜, 기존철도는 물론 고속철도의 터널내 풍압변동량을 50%이상 저감시킬 수 있으며 미기압파또한 40% 이상 저감할 수 있는 저감효과를 갖는 것이며, 이에따라 승객의 이명감을 현격히 줄일 수 있어 쾌적도를 향상시킬 수 있고, 터널단면적을 축소할 수 있어 공사비를 절감할 수 있으며, 열차의 터널운행속도또한 향상시킬 수 있는 효과를 갖는 것이다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

미기압파의 저감과 함께 터널 내공단면적을 저감하기 위해 터널의 내부로 다수개의 통풍공이 형성되는 미기압파 저감용 통풍공형

단선터널에 있어서,

소단면 단선터널인 0.25km급 터널의 내부 양측으로 상호 대칭되는 위치에 12개의 관절형 수직 통풍공을 형성한 것을 특징으로 하는 풍압변동저감 및 미기압파 저감용 0.25km급 통풍공형 단선터널.

청구항 2.

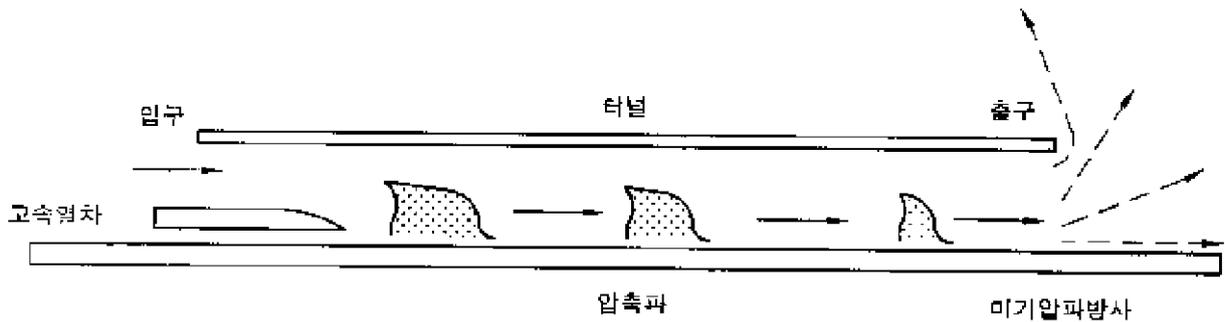
제 1항에 있어서, 상기 통풍공은 40.8m의 간격을 갖는 것을 특징으로 하는 풍압변동저감 및 미기압파 저감용 0.25km급 통풍공형 단선터널.

청구항 3.

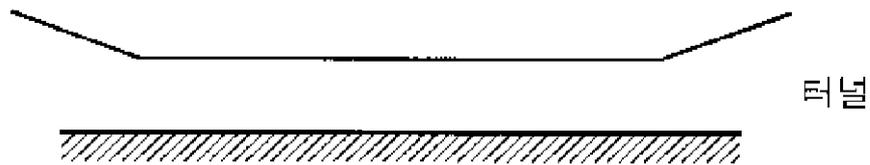
제 1항에 있어서, 상기 통풍공은 2.13m의 직경을 갖는 것을 특징으로 하는 풍압변동저감 및 미기압파 저감용 0.25km급 통풍공형 단선터널.

도면

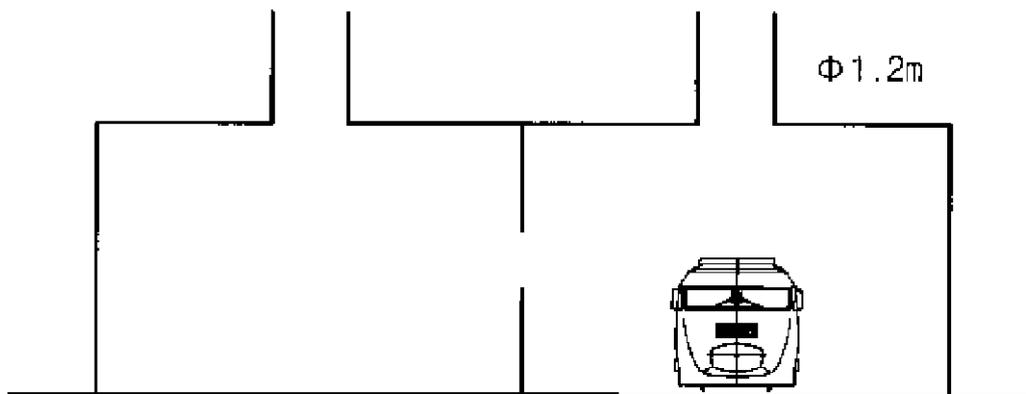
도면 1



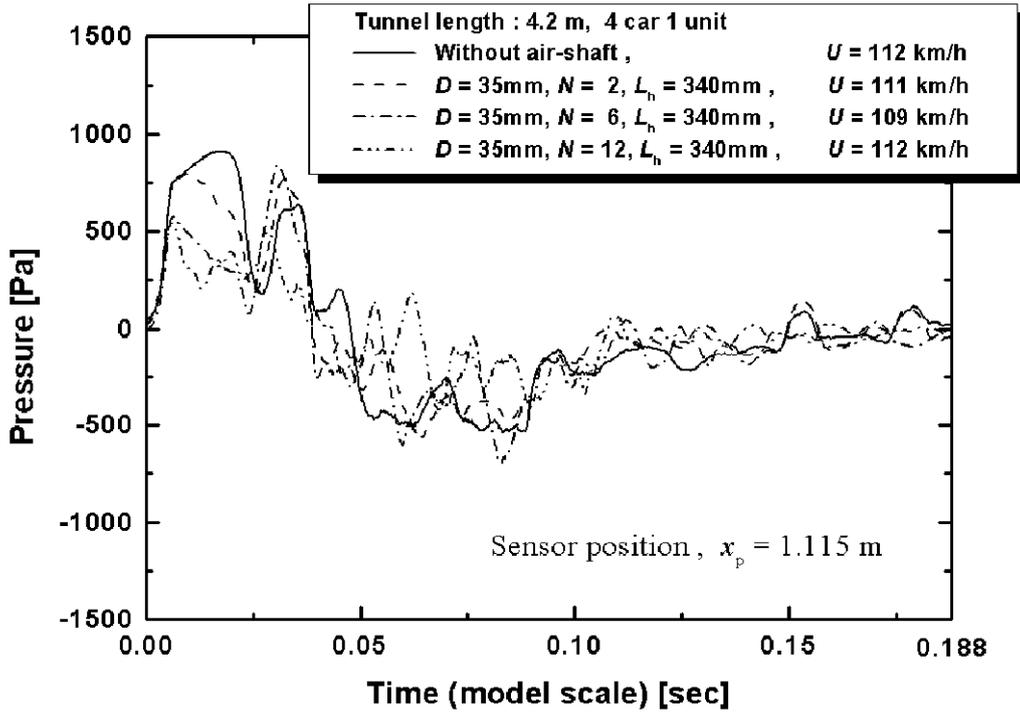
도면 2



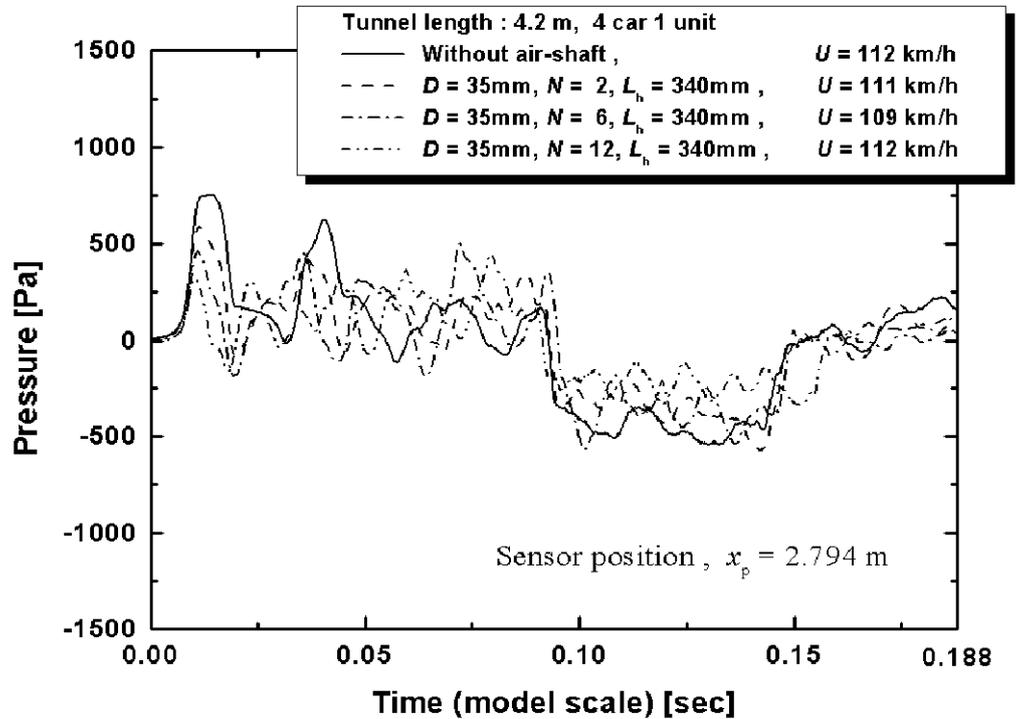
도면 3



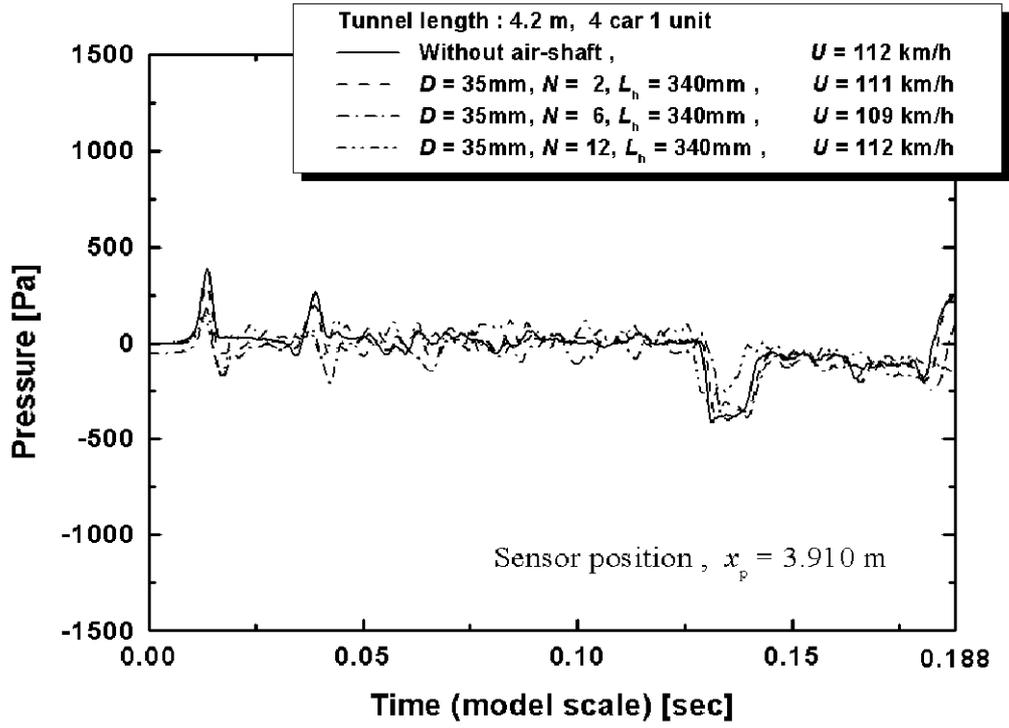
도면 7



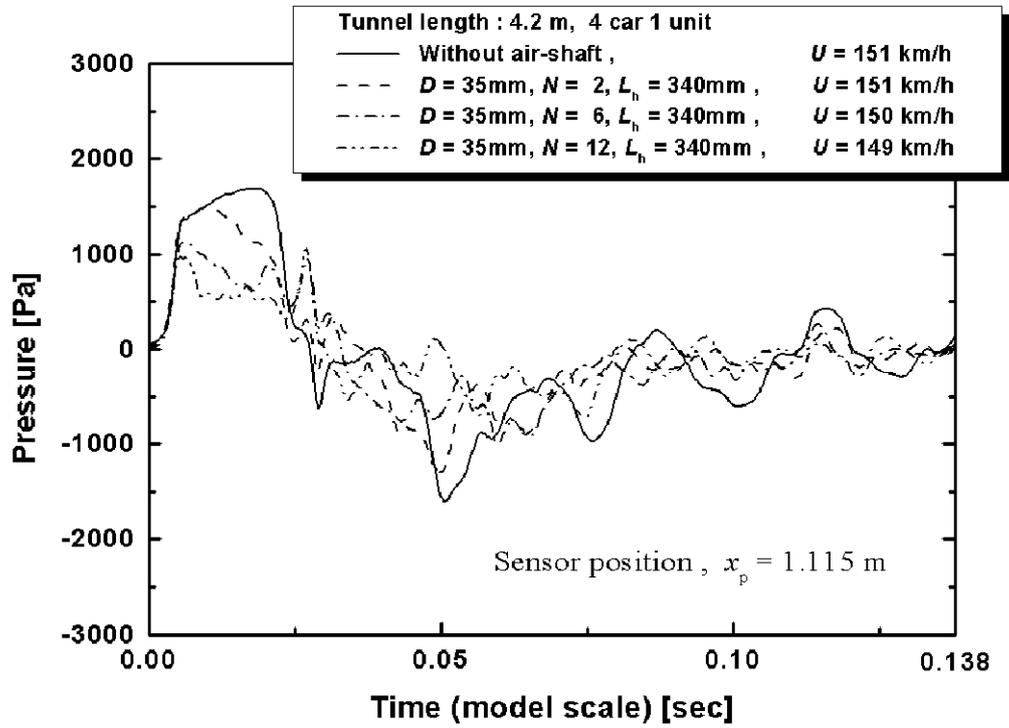
도면 8



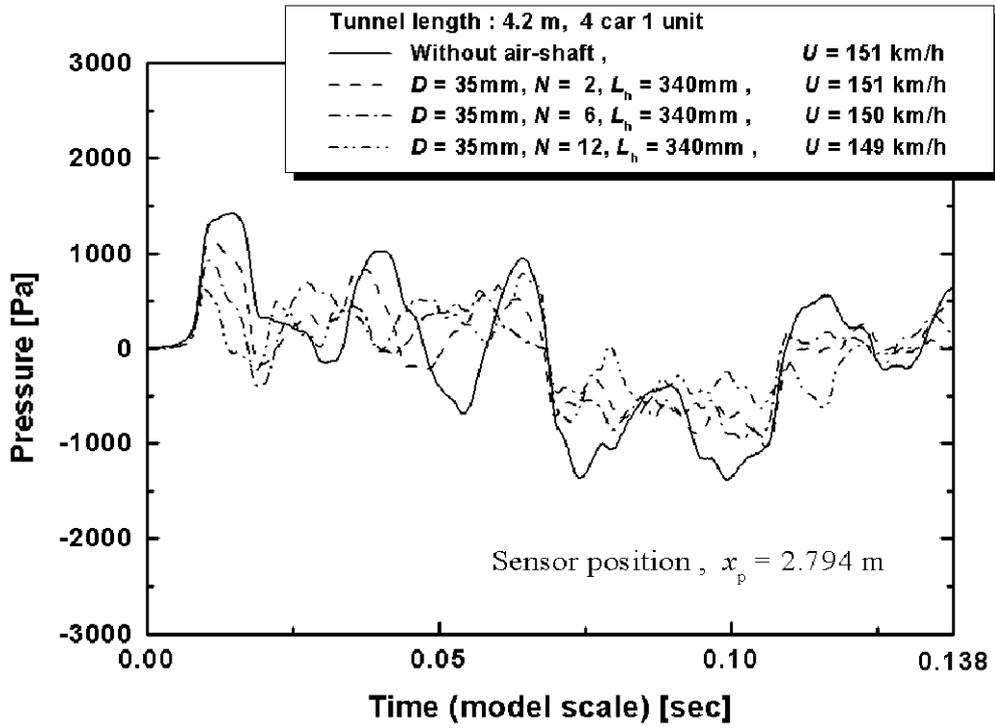
도면 9



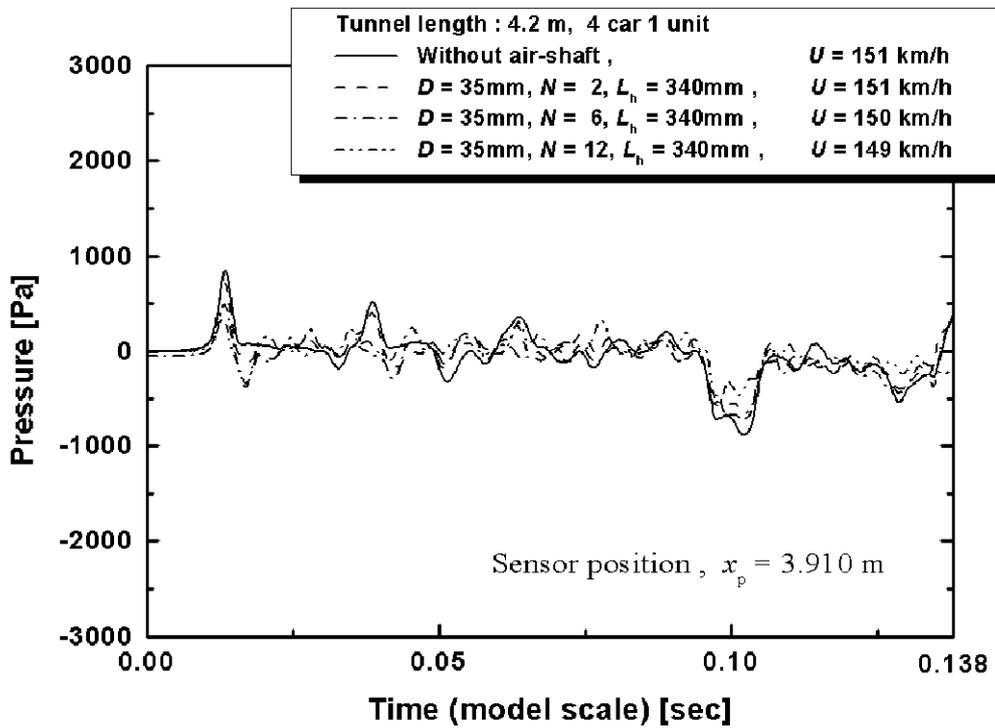
도면 10



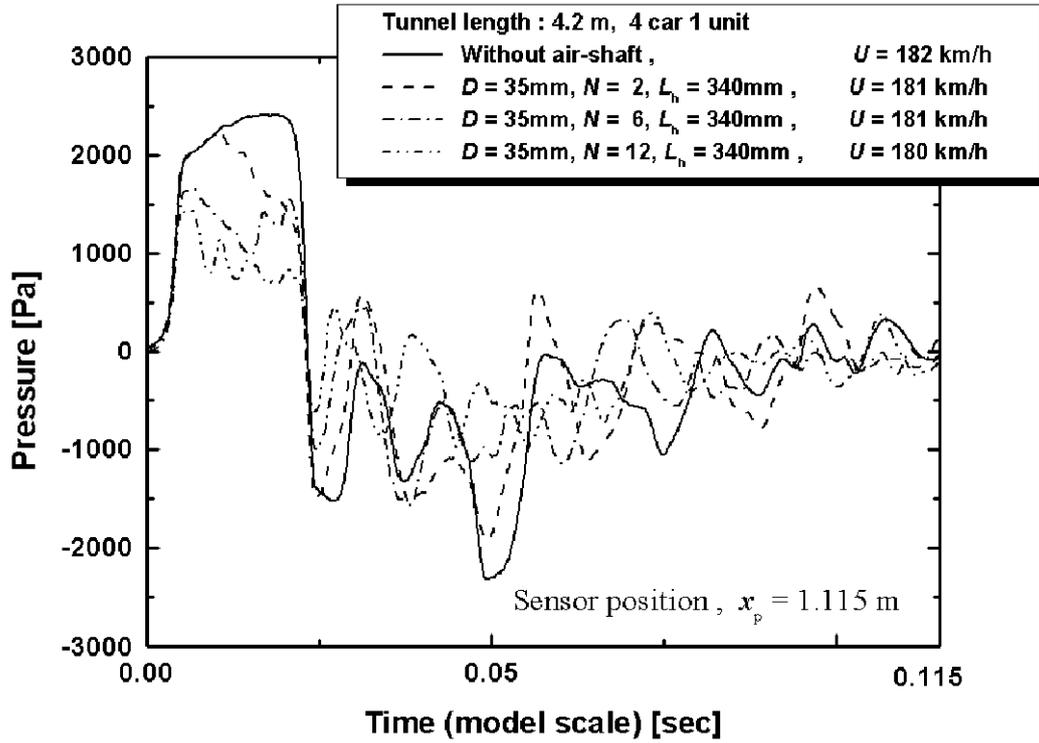
도면 11



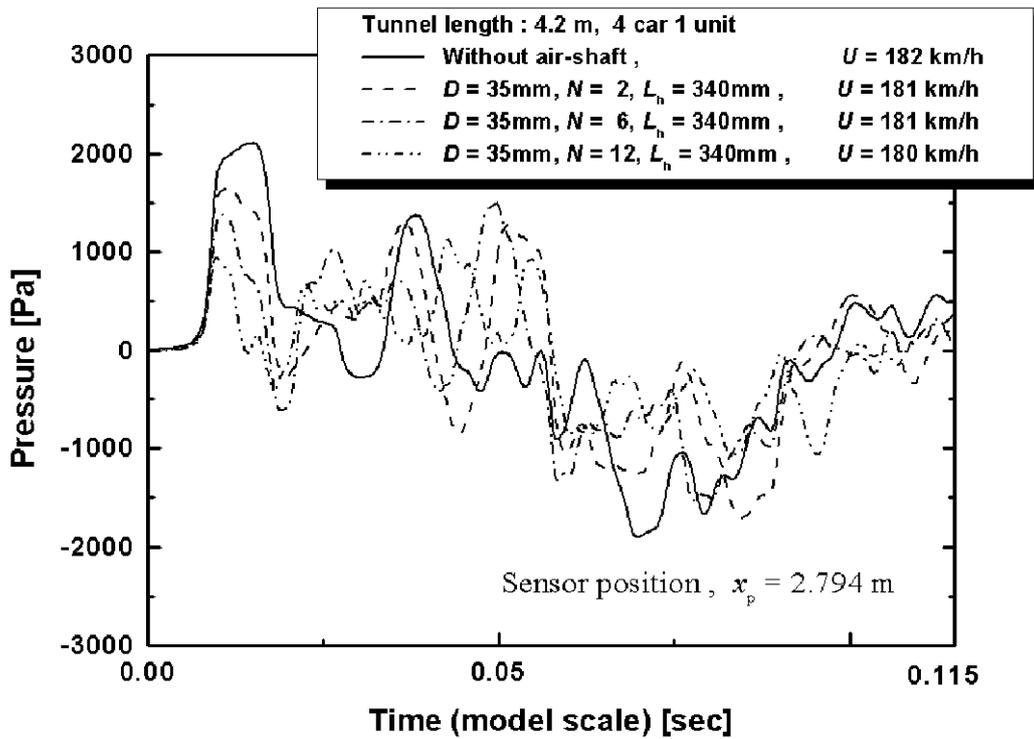
도면 12



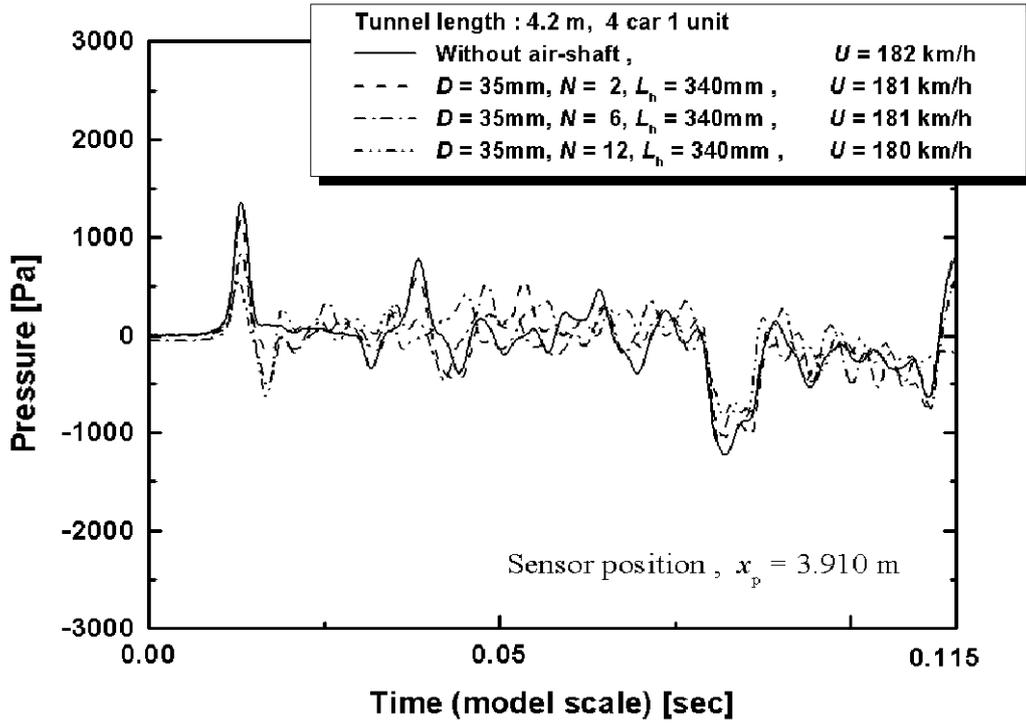
도면 13



도면 14



도면 15



도면 16

압력센서위치	1.115 m	2.794 m	3.910 m	풍압변동 최대피크값	저감율
통풍공이 없는 경우	910 Pa	752 Pa	414 Pa	910 Pa	기 준
통풍공 2개	797 Pa	585 Pa	366 Pa	797 Pa	12.4 %
통풍공 6개	844 Pa	503 Pa	404 Pa	844 Pa	7.3 %
통풍공 12개	545 Pa	451 Pa	324 Pa	545 Pa	40.1 %

도면 17

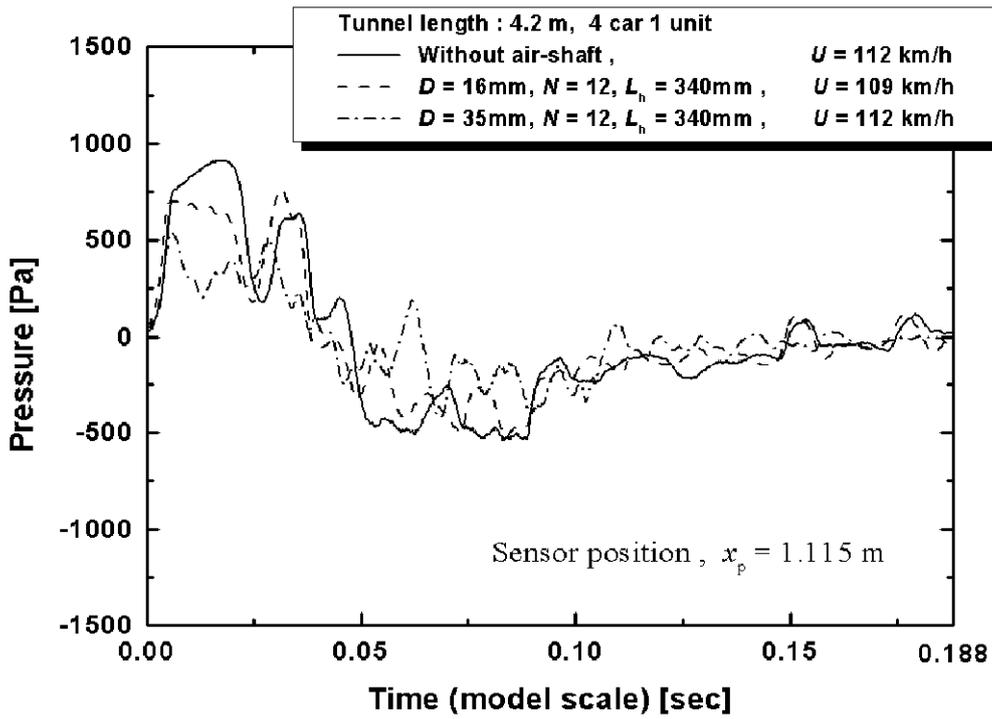
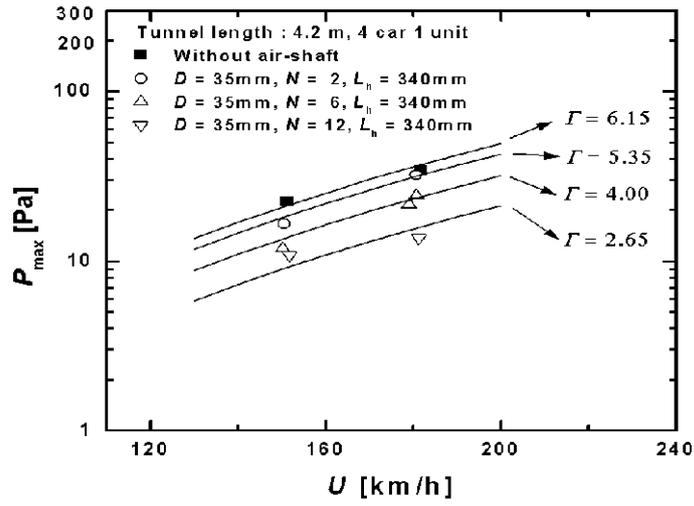
압력센서위치	1.115 m	2.794 m	3.910 m	풍압변동 최대피크값	저감율
통풍공이 없는 경우	1685 Pa	1420 Pa	888 Pa	1685 Pa	기 준
통풍공 2개	1498 Pa	1111 Pa	730 Pa	1498 Pa	11.1 %
통풍공 6개	1121 Pa	957 Pa	705 Pa	1121 Pa	33.5 %
통풍공 12개	1057 Pa	791 Pa	587 Pa	1057 Pa	37.3 %

도면 18

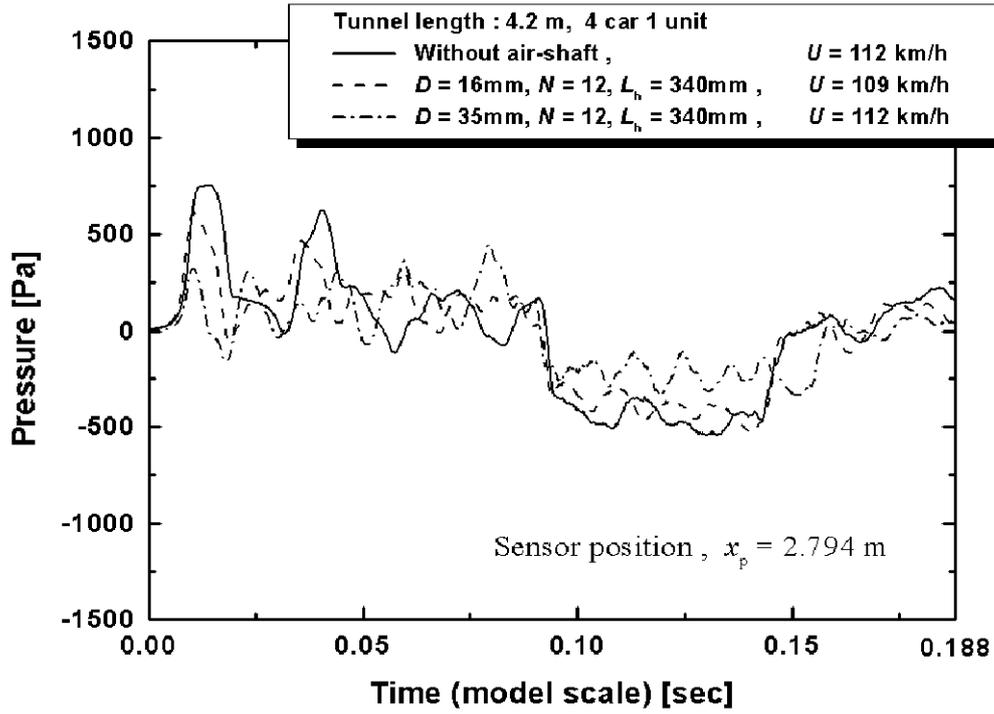
압력센서위치	1.115 m	2.794 m	3.910 m	풍압변동 최대피크값	저감율
통풍공이 없는 경우	2410 Pa	2107 Pa	1361 Pa	2410 Pa	기 준
통풍공 2개	2227 Pa	1718 Pa	1170 Pa	2227 Pa	7.6 %
통풍공 6개	1661 Pa	1526 Pa	1085 Pa	1661 Pa	31.1 %
통풍공 12개	1437 Pa	1126 Pa	840 Pa	1437 Pa	40.4 %

도면 19

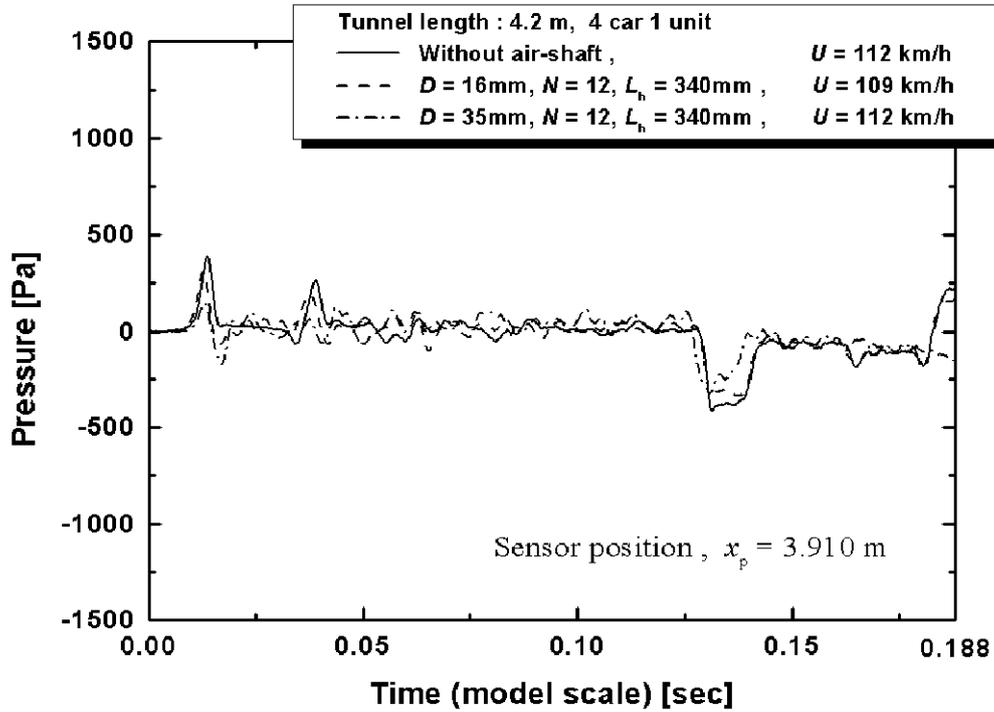
터널 형태	열차 진입속도 범위	터널 길이 (실 척)	저감계수 Γ	저감율
통풍공이 없는 경우	150 km/h ~ 180 km/h	256 m	6.15	기 준
통풍공 2개	150 km/h ~ 180 km/h	256 m	5.35	13.0 %
통풍공 6개	150 km/h ~ 180 km/h	256 m	4.00	35.0 %
통풍공 12개	150 km/h ~ 180 km/h	256 m	2.65	56.9 %



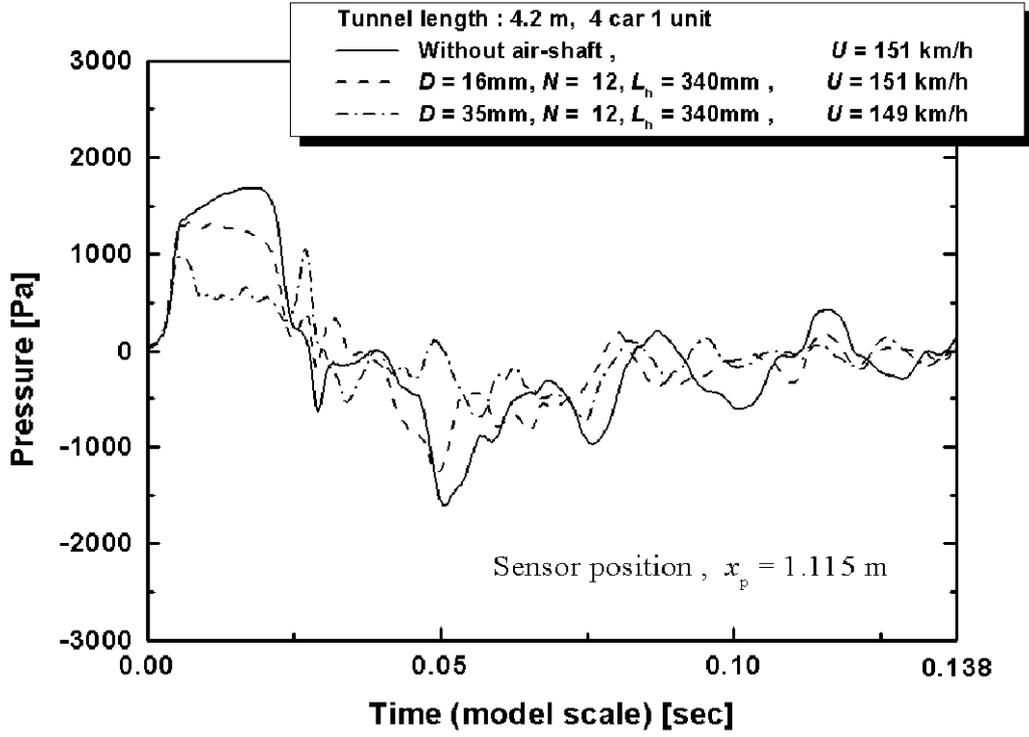
도면 22



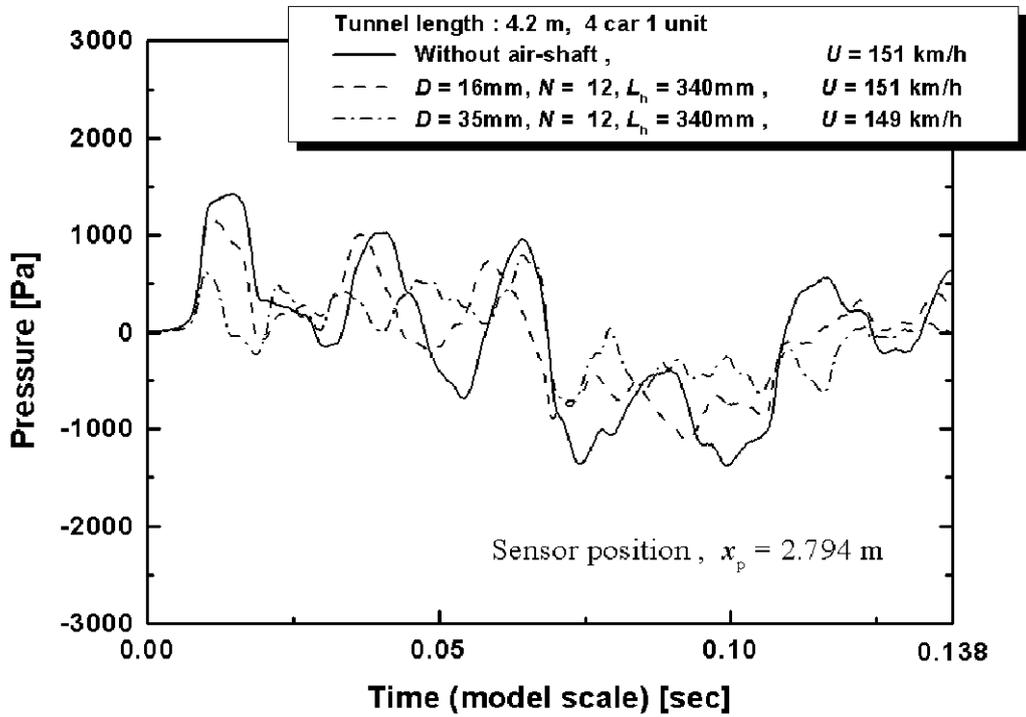
도면 23

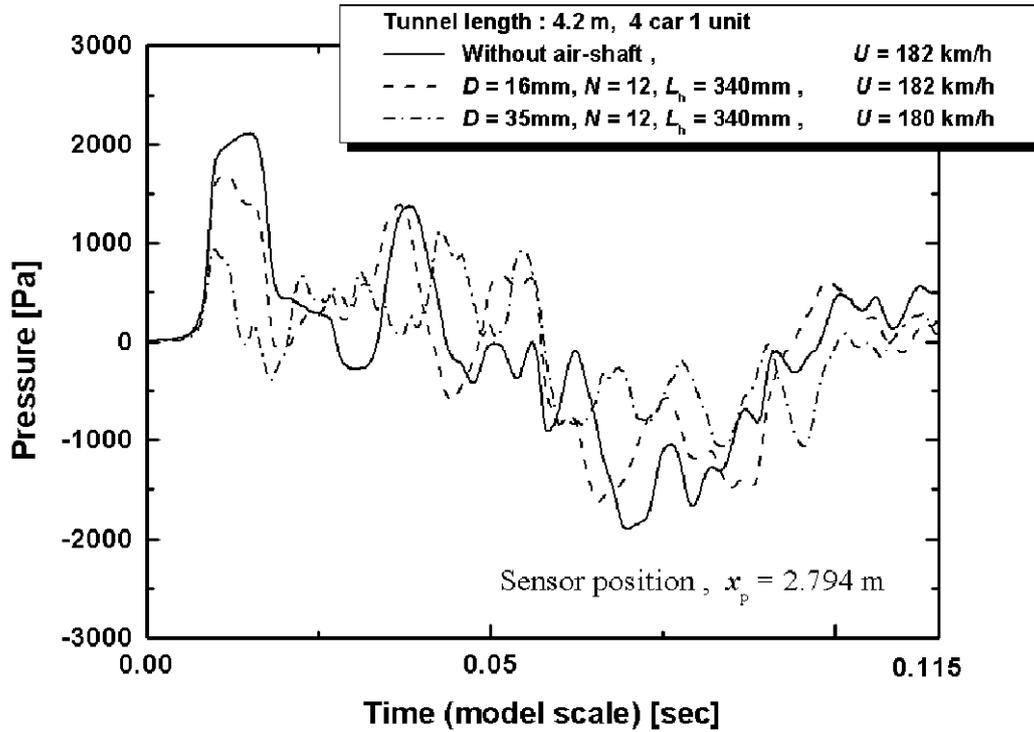
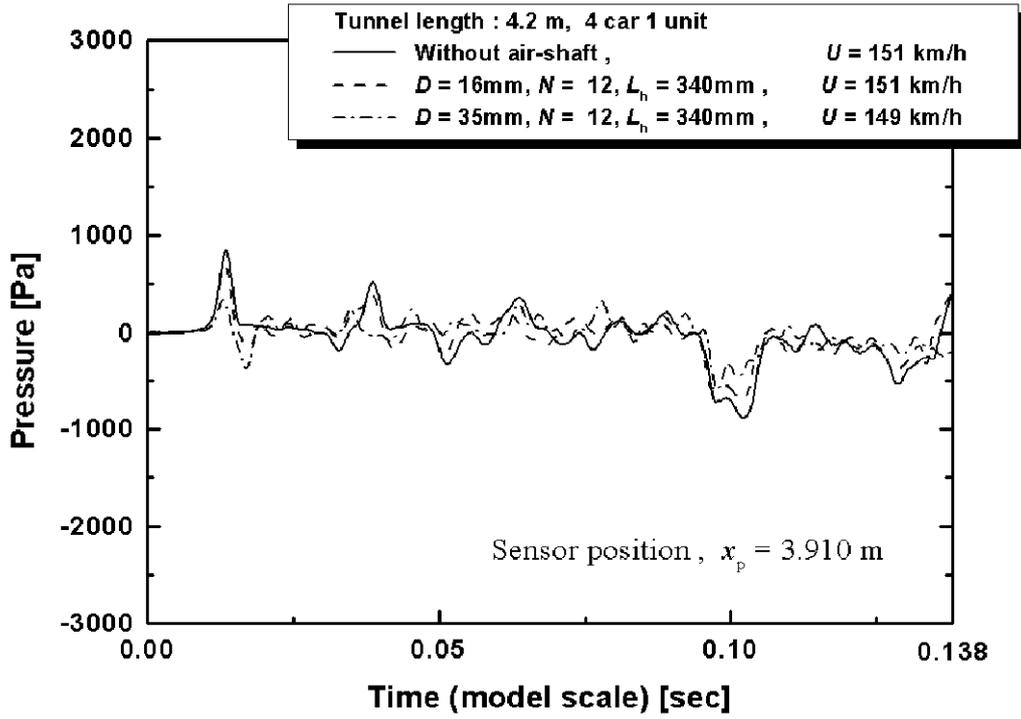


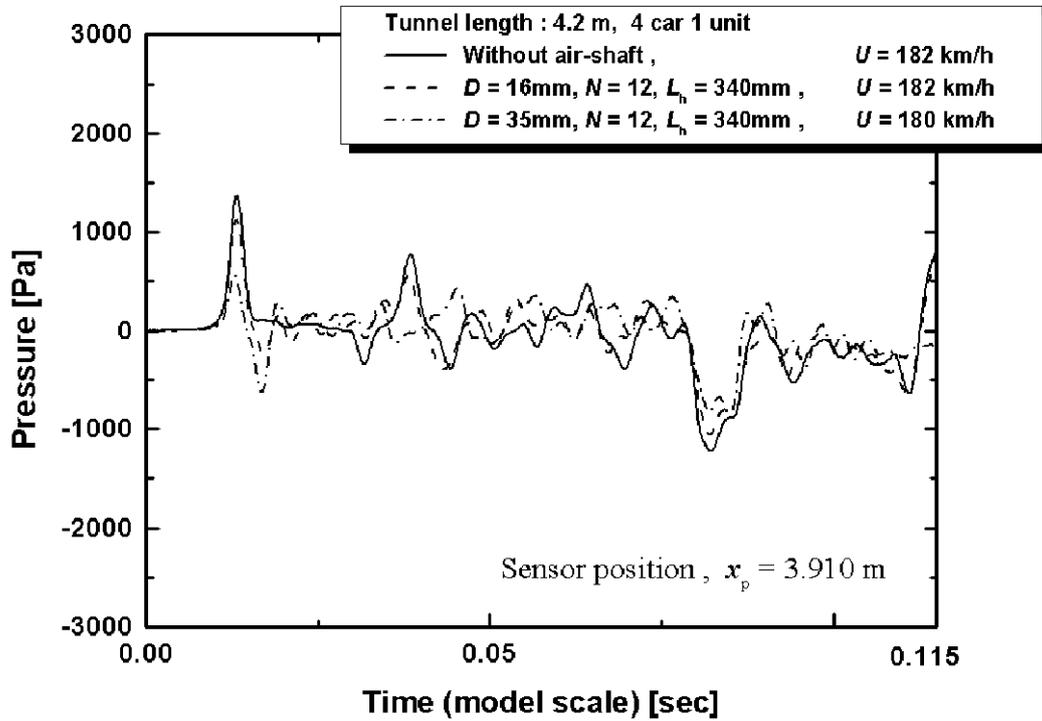
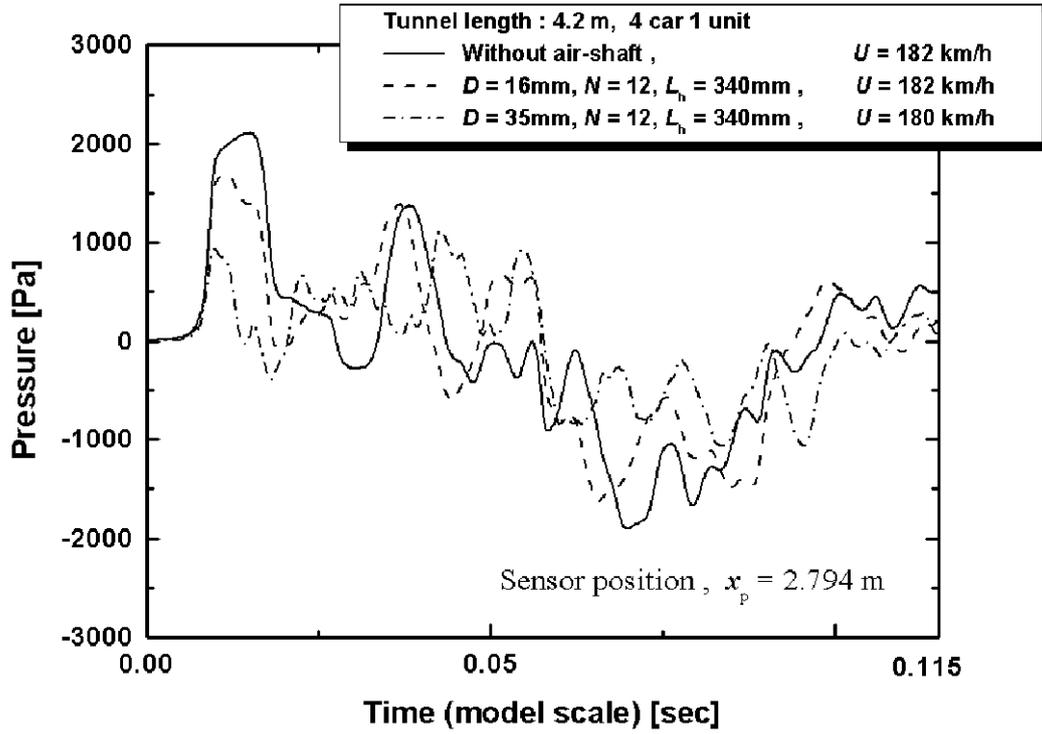
도면 24



도면 25







도면 30

압력센서위치	1.115 m	2.794 m	3.910 m	풍압변동 최대피크값	저감율
통풍공이 없는 경우	910 Pa	752 Pa	414 Pa	910 Pa	기 준
통풍공 내경 16 mm	766 Pa	609 Pa	339 Pa	766 Pa	15.8 %
통풍공 내경 35 mm	545 Pa	451 Pa	324 Pa	545 Pa	40.1 %

도면 31

압력센서위치	1.115 m	2.794 m	3.910 m	풍압변동 최대피크값	저감율
통풍공이 없는 경우	1685 Pa	1420 Pa	888 Pa	1685 Pa	기 준
통풍공 내경 16 mm	1326 Pa	1148 Pa	705 Pa	1326 Pa	21.3 %
통풍공 내경 35 mm	1057 Pa	791 Pa	587 Pa	1057 Pa	37.3 %

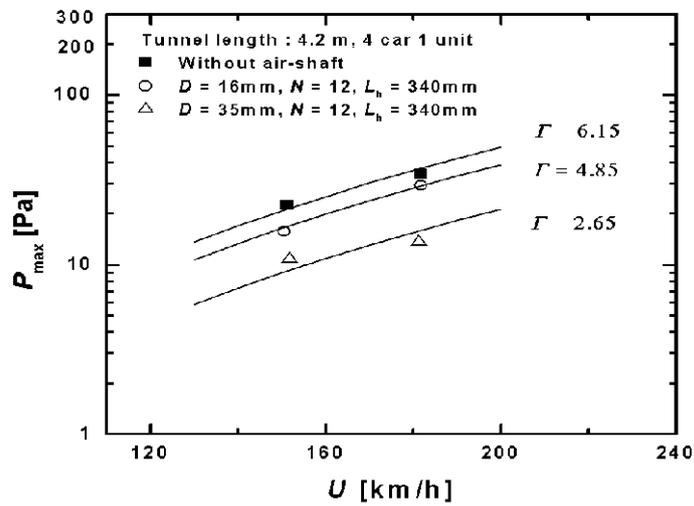
도면 32

압력센서위치	1.115 m	2.794 m	3.910 m	풍압변동 최대피크값	저감율
통풍공이 없는 경우	2410 Pa	2107 Pa	1361 Pa	2410 Pa	기 준
통풍공 내경 16 mm	2015 Pa	1683 Pa	1131 Pa	2015 Pa	16.4 %
통풍공 내경 35 mm	1437 Pa	1126 Pa	840 Pa	1437 Pa	40.4 %

도면 33

터널 형태	열차 진입속도 범위	터널 길이 (실 척)	저감계수 Γ	저감율
통풍공이 없는 경우	150 km/h ~ 180 km/h	256 m	6.15	기준
통풍공 내경 16 mm	150 km/h ~ 180 km/h	256 m	4.85	21.1 %
통풍공 내경 35 mm	150 km/h ~ 180 km/h	256 m	2.65	56.9 %

도면 34



도면 35

