(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) Int. Cl.[7]		(45) 공고일자	2002년12월26일
E21F 1/00		(11) 등록번호	10-0365955
		(24) 등록일자	2002년12월11일
(21) 출원번호	10-1999-0051346	(65) 공개번호	특2001-0047229
(22) 출원일자	1999년11월18일	(43) 공개일자	2001년06월15일
---	---
(73) 특허권자	한국철도기술연구원 대한민국 437-825 경기 의왕시 월암동 374-1
(72) 발명자	김동현 대한민국 431-070 경기도안양시동안구평촌동초원마을럭키아파트509동204호
(74) 대리인	양재욱
(77) 심사청구	심사관: 김영표

(54) 출원명 **철도터널 미기압파 저감용 경사갱구형 후드**

요약

본 발명은 철도터널의 미기압파 저감용 경사갱구형 후드에 관한 것으로,

본 발명의 목적은 열차의 속도와 터널의 단면적 및 열차 전두부 형상을 고려하여 적합한 형상과 구조를 갖는 후드를 설계하므로서, 터널내로 열차의 고속진입시 발생하는 미기압파를 반감시켜 미기압파발생에 의한 터널출구측 소음공해와 진동을 현격히 저감할 수 있도록함에 궁극적인 목적이 있으며, 특히 실제 0.5km급 터널에 적용함에 있어, 220~400km의 속도로 진입하는 열차에 의해 발생하는 미기압파를 최소화할 수 있는 경사갱구형 후드를 제공함에 그 목적으로 한다.

상기한 목적은 터널내 파면 압력구배의 저감에 따른 미기압파의 대기방출을 억제하기 위해 철도터널의 입,출구측에 연장형성되며 하부측에서 최상부로 갈수록 길이가 짧아지는 경사진 형태의 종단부를 갖게 되는 철도터널 미기압파 저감용 경사갱구형 후드에 있어서,

0.5km의 길이를 갖는 터널의 입,출구에 연장형성되는 상기 후드의 종단부가 최대 미기압파 저감율을 갖는 45도의 경사각도로 이루어지는 철도터널 미기압파 저감용 경사갱구형 후드를 구체적인 수단으로 구비하므로서 달성된다.

대표도

도4

명세서

도면의 간단한 설명

도 1은 터널 미기압파 발생과정을 보인 상태도.

도 2a,b는 최근에 설치된 일본 신간선 터널입구 후드의 개관

도 3은 일본 산양신간선 동쪽 갱문에 설치되어 있는 후드

도 4는 본 발명에 따른 미기압파 저감용 경사갱구형 후드의 구성도

도 5 - 도 8는 본 발명에 따른 경사갱구형 후드에 있어, 경사갱구의 각도가 변화될 경우 경험식에 의해 산출된 결과를 나타낸 표

도 9는 도 5 - 도 8을 통해 산출된 결과를 종합한 표

도 10은 본 발명에 적용되는 철도차량 시험장치의 구성도

도 12는 열차의 터널진입속도가 220km/h~420km/h에서 경사갱구의 경사각도가 30도, 45도 및 경사갱구가 없을 때에 해당되는 3가지 경우에 대해 시간구간 75×10^{-5} sec 에서 최대압력구배를 속도에 관하여 나타낸 표.

<도면주요부위에 대한 부호의 설명>

1 : 경사갱구형 후드 11 : 종단부

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 철도터널의 미기압파 저감용 경사갱구형 후드에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 열차의 터널진입시 발생되는 미기압파의 저감수단으로, 터널의 입구측에 경사갱구형태의 후드를 형성하여 미기압파를 현격히 저감되도록 하므로서 터널 내공단면적을 최적으로 수행할 수 있도록 한 철도터널 미기압파 저감용 경사갱구형 후드에 관한 것이다.

일반적으로, 철제의 궤도를 부설하고, 그 위에 철도차량을 운전하여 여객 및 화물을 운반하는 철도는 급속한 산업발전에 발맞쳐 점차적으로 고속화되는 추세에 있는바,

이와같은 고속철도는 프랑스, 독일, 일본 등의 선진국에서 이미 운행되고 있으며, 알려진 바와같이 우리나라 또한 경부고속철도가 2004년에 완공될 예정에 있어, 이른바 고속철도시대를 눈앞에 두고 있다.

이에, 2004년 완공을 앞두고 건설중인 고속철도는 국토의 70%가 산악지대인 우리나라의 지리적 특성에 기인되어 다수개의 교량구간과 함께 터널구간을 갖는 것인데,

여기서, 고속철도가 지나가는 터널은 고속으로 진행하는 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 되었다.

여기서, 터널입구에 형성되는 압축파의 파형(ΔP(x))은 열차의 돌입속도와 선두형상, 단면비 등에 의존되는 것으로 기대되지만, 해석적인 방법으로 올바른 기준값을 얻기는 매우 곤란한 것인데,

이러한 이유로 인해 수치계산 및 실험적 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 공기음향이론(aeroacoustic theory)에 의하면 터널 출구로부터 나오는 강력한 소음의 크기는 출구에 도착하는 압축파의 압력변화에 대한 최대 시간 변화율, 즉 압축파의 파면 압력구배에 비례한다고 알려져 있어, 본 발명에서는 이에대한 터널미기압파 저감대책으로서 선로구축물쪽의 대책 중 하나인 후드(터널내의 공기를 서서히 압축하기 위한 완화구간 시설물)를 터널입구에 설치하는 방법을 강구하게 되었다.

이러한 터널후드는 우리나라와 지리적 특성이 유사한 일본의 신간선에서 그 전례를 찾아볼 수 있다,

신간선의 경우, 비교적 긴 터널의 출구에서 공기압음이 발생하여, 출구부근의 가옥이 진동됨은 물론 강한 소음으로 인한 소음공해 문제가 대두되었는데, 이러한 현상들은 슬라브궤도 적용에 의해 터널벽면의 주위 전체가 매끄럽게 구성되어 압력파의 전면이 수직(지면측)으로 형성되는 "파의 비선형 효과"에서 기인되는 것이었다.

미기압파 저감대책의 원리는 터널출구에 도달한 미기압파 전면의 구배를 작게하는 것으로, 이에는 여러가지 방법이 있는데, 현재 일본의 산양(山陽) 및 동북(東北) 상월(上越)신간선에서는 터널입구에 수십 미터의 길이를 갖는 후드를 설치하는 방법이 적용되고 있다.

도 2a,b는 최근에 설치된 일본 신간선 터널입구 후드의 개관을 나타내었다. 이에, 도 2a는 강재구조로 설치된 후드이며, 도 2b는 반대편 터널출구로서 이 부근지역에 방사되는 미기압파를 줄이기 위한 것이다.

도 3은 일본 산양신간선 동쪽 갱문에 설치되어 있는 49m에 달하는 최장길이의 후드이다.

하지만, 도 2의 a,b와 도 3에서 나타난 바와같이 본 발명의 선행기술인 일본 신간선은 열차의 진입속도가 160 - 260 km/h영역에 대한 미기압파 저감대책으로서, 터널입구 후드 벽면으로 창문을 뚫는 형태이고, 특히 이와같은 후드형태를 얻기위한 구체적 데이터(즉, 후드의 길이, 측면개구율, 슬릿가리개의 크기 등)와 그 제원 및 미기압파의 저감효과가 입증되어 있지 않은 것이며,

더우기, 우리나라의 고속철도는 열차속도가 240 - 380 km/h에 달하며, 터널과 열차의 단면적비 및 길이에서 차이점을 갖는 것으로서, 위와같은 구체적 기술과 효과가 입증되어 있지 않은 일본의 선행기술을 적용할 수 없는 것이었다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

따라서, 본 발명은 터널미기압파 저감대책으로서, 우리나라의 고속철도에 적합한 후드개발을 위해 창안된 것으로,

본 발명의 목적은 열차의 속도와 터널의 단면적 및 열차 전두부 형상을 고려하여 적합한 형상과 구조를 갖는 후드를 설계하므로서, 터널내로 열차의 고속진입시 발생하는 미기압파를 반감시켜 미기압파발생에 의한 터널출구측 소음공해와 진동을 현격히 저감할 수 있도록함에 궁극적인 목적이 있으며,

특히, 실제 0.5km급 터널에 적용함에 있어, 220~400km의 속도로 진입하는 열차에 의해 발생하는 미기압파를 최소화할 수 있는 경사갱구형 후드를 제공함에 있다.

상기한 목적은 터널내 파면 압력구배의 저감에 따른 미기압파의 대기방출을 억제하기 위해 철도터널의 입,출구측에 연장형성되며 하부측에서 최상부로 갈수록 길이가 짧아지는 경사진 형태의 종단부를 갖게 되는 철도터널 미기압파 저감용 경사갱구형 후드에 있어서,

0.5km의 길이를 갖는 터널의 입출구에 연장형성되는 상기 후드의 종단부가 최대 미기압파저감율을 갖는 45도의 경사각도로 이루어지는 철도터널 미기압파 저감용 경사갱구형 후드를 구체적인 수단으로 구비하므로서 달성된다.

발명의 구성 및 작용

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

도 4는 본 발명에 따른 미기압파 저감용 경사갱구형 후드의 구성도이다.

이에 도시된 바와같이 본 발명에 따른 경사갱구형 후드(1)는 슬라브궤도 형태의 철도터널의 입,출구측에 터널의 수직단면과 동일한 형상으로서 각,각 연장형성되는 것이며, 각 입,출구측 후드(1)는 하부측에서 최상부측으로 갈수록 점차적으로 길이가 짧아지는 경사진 형태의 종단부(11)를 갖는 것이다.

이때, 상기한 종단부(11)의 경사도는 지표면과 경사갱구가 이루는 각도를 기준으로 한다.

여기서, 상기와 같은 본 발명의 경사갱구형 후드의 정확한 형상과 크기를 위해 본 출원인인 한국철도기술연구원에서 특허출원 1999-47746호로 선출원된 열차모형 시험장치(도 10으로 도시됨)를 적용하여 후드의 미기압파 저감성능을 파악하였다.

이때, 미기압파는 열차의 터널진입시생성되는 압축파의 시간에 대한 구배에 따라 터널의 출구에서 그 강도가 결정되기 때문에 본 발명에서는 공지된 경사갱구형 후드와 같은 공기역학적인 구조물을 터널의 입,출구측으로 설치함에 있어, 갱사갱구형 후드가 갖는 경사각도를 30도, 40도, 45도, 55도로 적용한 실험을 통해 고속으로 주행하는 열차의 터널진입시 열차의 전두부에 존재하는 공기를 터널의 외부로 최대한 방출시켜 터널내의 공기를 서서히 압축되도록 할 수 있는 경사갱구형 후드의 정확한 경사각도을 얻고자 한다.

또한, 상기한 시험장치로 적용된 차량 대 터널의 단면차단비(block ratio)는 8.88%로서, 이는 경부고속철도에 적용되는 차량과 터널(내부단면적 107평방미터)을 기초로 한 것이고,

차량의 전후부(nose)는 실제차량보다 완만한 유선형을 갖도록하고, 열차의 속도범위는 220-400 km/h의 범주내에서 수행하였으며, 열차와 터널의 단면적비, 터널의 길이와 열차의 길이 등이 일정한 상태에서 터널 입구 후드형상을 변화시키면서 터널내의 압력변동과 터널출구에서 방사되는 미기압파를 측정하였다.

또한, 전술한 바와같이 후드(1)의 내공단면적은 터널의 그것과 동일하며 경사각도의 기울기 변화에 따라 터널의 입구에만 후드를 설치할 경우와, 입구와 출구에 설치할 경우에 대해서 0.5km의 길이를 갖는 슬라브궤도 터널(열차모형 시험장치에서는 1/60축척시험이므로 8.34m임.)에서 방사되는 미기압파를 측정하였다.

한편, 본 발명에서는 후드의 미기압파 저감성능을 산출하기 위해 아래와 같은 경험식을 만들었으며, 이는 터널과 차량의 단면비에 관계없이 적용할 수 있는 것이다.

$P_{max} = \Gamma \cdot U^3/10^6$

여기서, P_{max}는 미기압파의 최대값이고, Γ는 미기압파의 저감계수이며, U^3 는 열차의 터널진입시의 속도[KM/H]이다.

위와같은 경험식을 통해 여러가지 각도로서 시험되는 경사갱구의 미기압파 저감성능을 비교하였다.

이에, 도 5는 본 발명의 후드 경사각도가 45도일 경우에 산출된 결과를 나타낸 그래프로서, 이는 아무런 대책을 적용하지 않은 0.5km 슬라브궤도의 기존터널에 경사각 45도의 후드를 터널의 입구 또는 입,출구에 설치하여 터널의 출구에서 발생되는 미기압파를 나타낸 것이며, 도 6은 후드의 경사각도를 30도로 하고, 입구에만 설치하였을 경우와 입,출구에 설치하였을 경우 산출된 결과를 나타낸 그래프이고, 도 7과 도 8은 터널의 입,출구 후드의 경사각도를 40도, 55도로 변화시켰을 경우에 터널의 출구에서 발생되는 미기압파의 변화를 나타낸 것인데, x 축과 y축은 각각 열차의 터널진입속도와 터널출구에서의 미기압파 최대값을 나타낸 것이다.

도 9는 도 5 - 도 8을 통해 산출된 결과를 종합한 것으로, 이는 아무런 대책을 적용하지 않은 실척 0.5km 슬라브궤도 터널을 표준비교대상으로 하였을 때, 상기 4가지 각도의 후드에 관하여 터널 출구에서 나타나는 미기압파를 상기한 경험식을 이용하여 미기압파 최대값의 저감율을 나타낸 도표이다.

결론적으로 고속으로 열차가 터널에 진입할 경우 생성되는 압축파의 최대값은 45도 경사갱구가 30도 경사갱구보다 작다는 것을 알 수 있다.

따라서, 압축파의 압력구배를 구할 경우에 시간구간을 어떻게 정하는가에 따라 도 12의 최대 압력구배 값은 변할 수 있음을 알 수 있다.

도 12에서는 열차의 터널진입속도가 220km/h~420km/h에서 경사갱구의 경사각도가 30도, 45도 및 경사갱구가 없을 때에 해당되는 3가지 경우에 대해 시간구간 75×10^{-5} sec 에서 최대압력구배를 속도에 관하여 나타낸 것이다.

극소 시간구간 75×10^{-5} sec에 대해서는 경사갱구입구의 경사각도가 낮을수록 최대압력구배가 작아지는 것을 알 수 있다.

한편, 도 5 내지 도 9를 통해 알 수 있는 바와같이 경사갱구는 입구와 출구에 모두 설치한 것이 입구에만 설치하였을 경우와 비교하여 2배 이상의 저감성능이 향상되는 것을 알 수 있으며, 특히 경사각도가 45도일때 미기압파의 저감율이 최고치인 약 42%임을 알 수 있음에 따라, 실제 0.5km급 고속철도용 터널의 입,출구에 45도의 경사각도를 갖는 경사갱구형 후드를 설치하는 것이 미기압파 저감에 가장 바람직하다는 결과를 얻게 되었다.

여기서 주목할만한 것은 경사각도의 증가에 대해 미기압파 저감율이 비례하지 않으며, 미기압파는 첫번째 압축파의 파면 압력구배에 비례하여 증가한다는 것이다.

이와같은 시험데이터에 의해 입구 후드의 역활이 미기압파의 저감(터널내부로 전파되는 압력구배의 저감)에 기여한다면, 출구측 후드는 방사되는 미기압파의 주 방향에 기여한다는 것을 알 수 있었다.

다시말해, 본 발명에 적용된 1/60축척 시험에서 미기압파 측정점이 지면위 2cm(실척으로는 1.2m에 해당)이므로 터널출구측에 설치되는 후드는 경사각도가 40도인 것보다 30도인 것이 더 작은 미기압파 최대값을 얻을 수 있는 것이다.

즉, 터널의 출구를 통해 방사되는 미기압파의 방사방향이 지면이 아닌 60도 각도로 대기중에 주 방사 되므로, 지면에 위치되는 주변 민가에 미기압파의 영향을 최소화할 수 있는 것이다.

한편, 본 발명에 따른 경상갱구형 후드는 터널의 길이에 따라 후드자체길이를 조절할 수 있는 것인데, 이는 본 발명의 종단부가 갖는 경사각도와 터널의 높이(H)에 따라 자체길이(L)를 산출할 수 있는 것으로,

L(종단부길이) = H(터널높이)/tan 경사각도와 같은 식을 통해 얻을 수 있으며, 이때 본 발명의 후드 단면적은 터널과 동일하게 적용되므로 종단부의 최상부에서 터널과 결합되는 부위는 자체길이산정에서 무시할 수 있는 것이다.

따라서, 본 발명에 따른 경사갱구형 후드는 전술한 바와같이 107m^{2}의 단면적을 갖는 경부고속철도의 터널을 모델로 하여 터널출구 미기압파의 저감대책을 수립한 것이며, 차후에 건설예정인 고속철도(호남,동서고속철도 등) 터널의 최적설계에서 터널 내공단면적 축소를 가능하게하는 필수기술이며 엄청난 시공비의 절감효과를 기대할 수 있는 저감대책이다.

발명의 효과

이상과 같이, 본 발명에 따른 철도터널의 미기압파 저감용 경사갱구형 후드는 열차의 속도와 터널의 단면적 및 열차 전두부 형상을 고려하여 적합한 경사각도를 갖는 후드를 설계, 실제 0,5km급 고속철도의 터널에 적용할 수 있는 것이며,
특히, 45도의 경사각도를 갖는 후드가 터널내로 열차의 고속진입시 발생하는 미기압파를 최소화하는 것을 제시하므로서, 미기압파발생에 의한 터널출구측 소음공해와 진동을 현격히 저감할 수 있는 것으로, 괄목할 만한 기대효과를 제공할 수 있는 것이다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

터널내 파면 압력구배의 저감에 따른 미기압파의 대기방출을 억제하기 위해 철도터널의 입,출구측에 연장형성되며 하부측에서 최상부로 갈수록 길이가 짧아지는 경사진 형태의 종단부를 갖게 되는 철도터널 미기압파 저감용 경사갱구형 후드에 있어서,

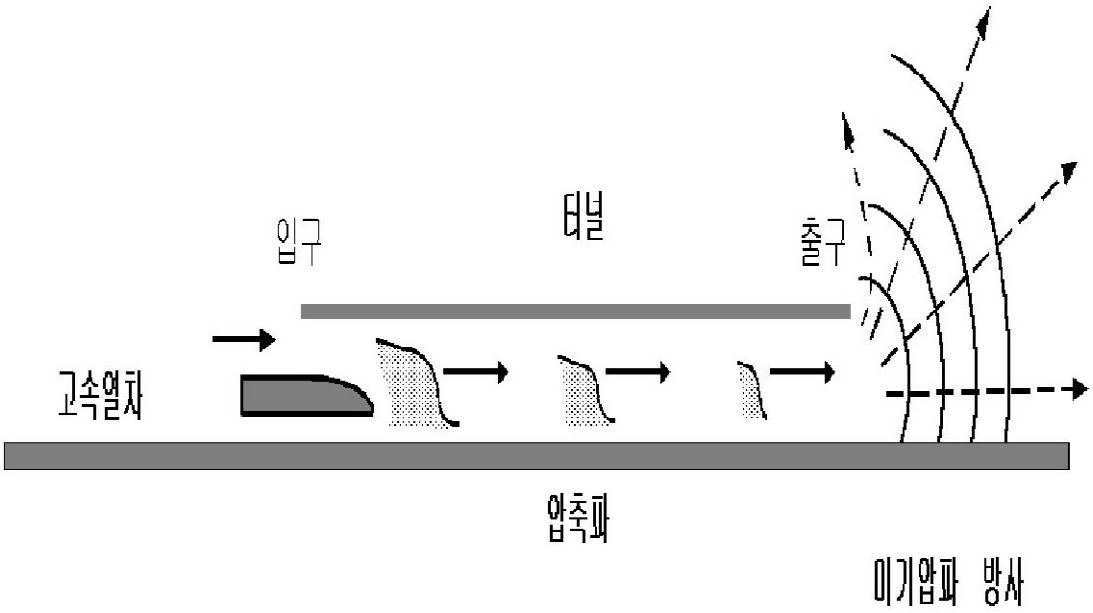
0.5km의 길이를 갖는 터널의 입출구에 연장형성되는 상기 후드의 종단부가 최대 미기압파 저감율을 갖는 45도의 경사각도로 이루어지는 철도터널 미기압파 저감용 경사갱구형 후드.

청구항 2.

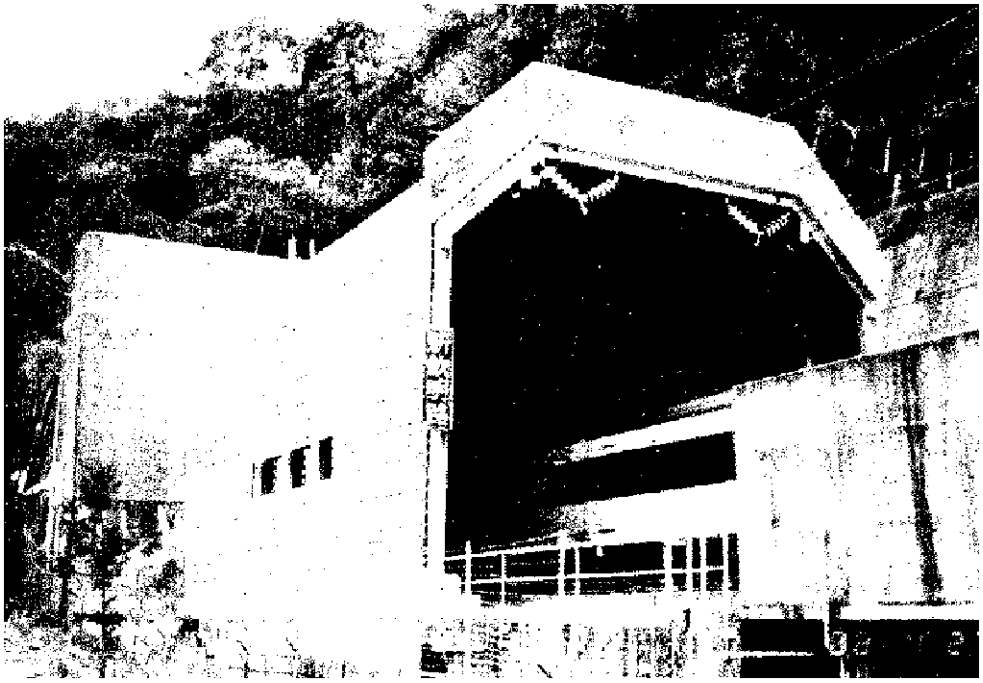
삭제

도면

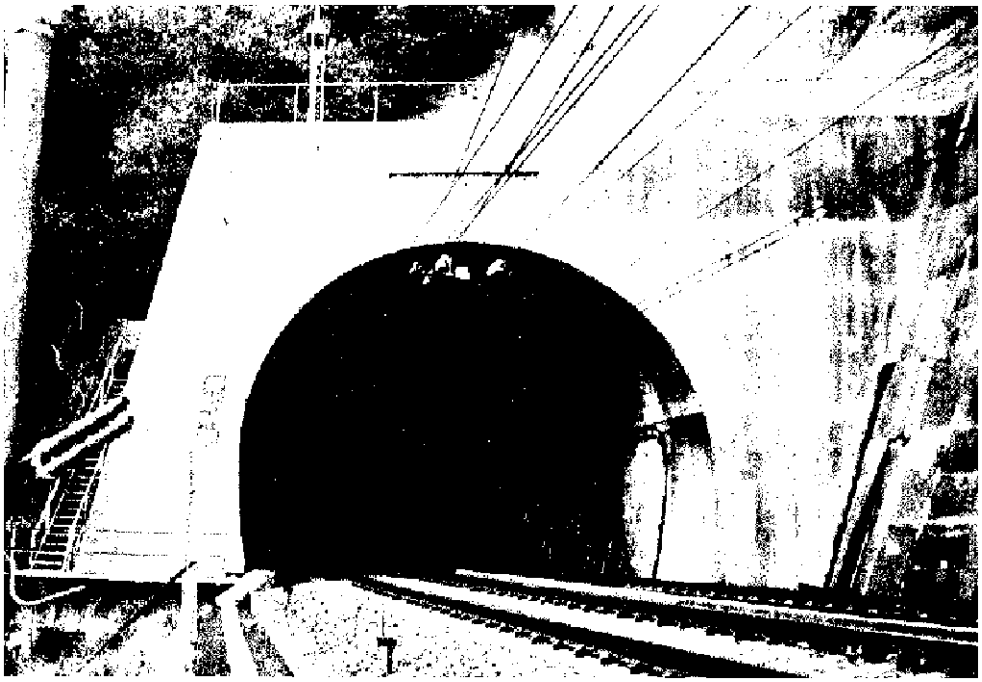
도면 1



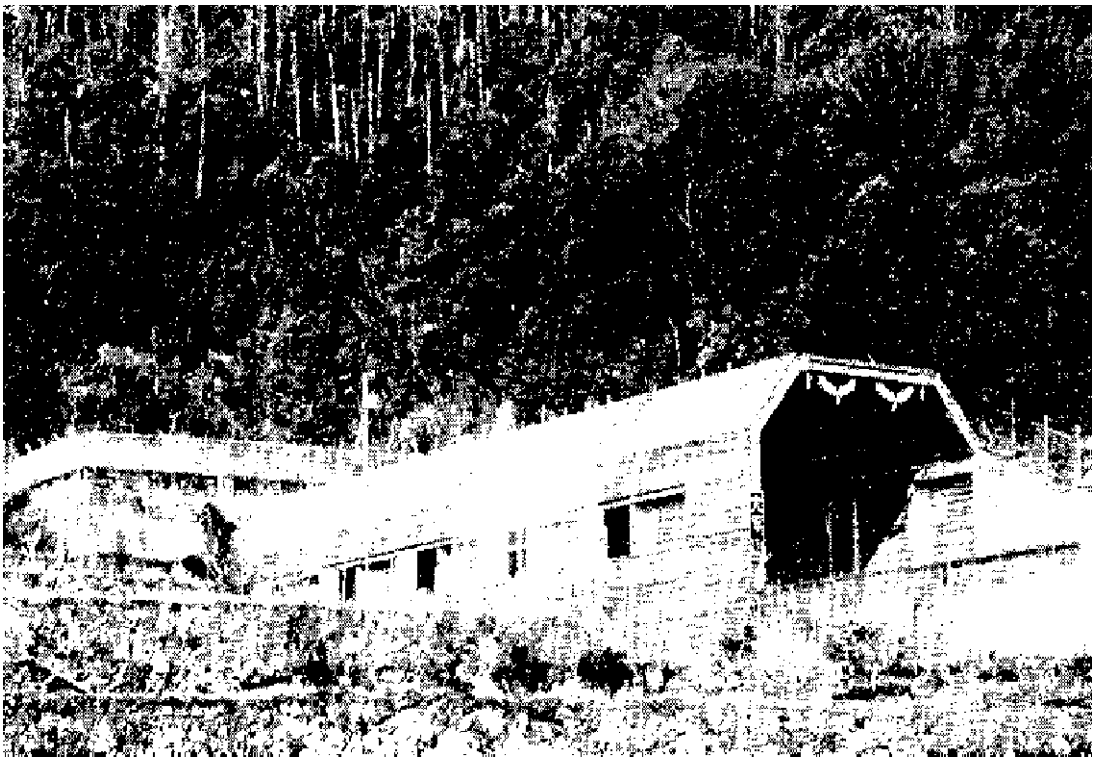
도면 2a



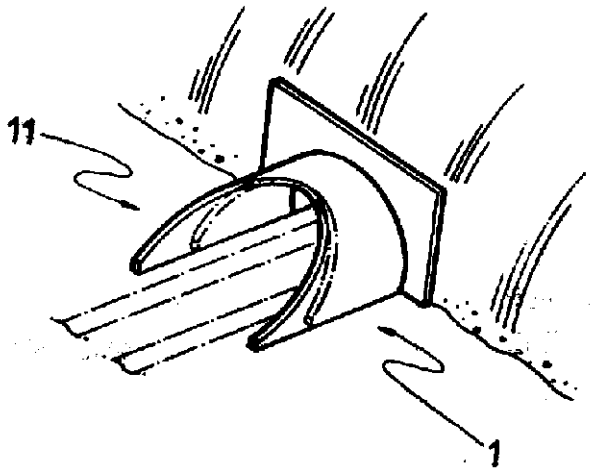
도면 2b



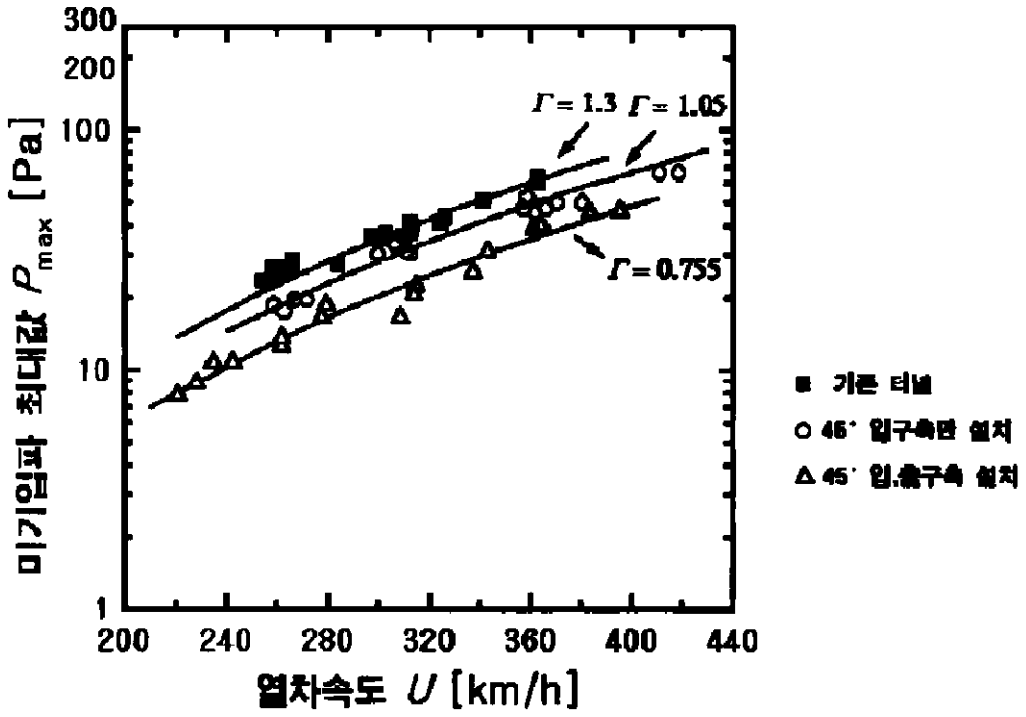
도면 3



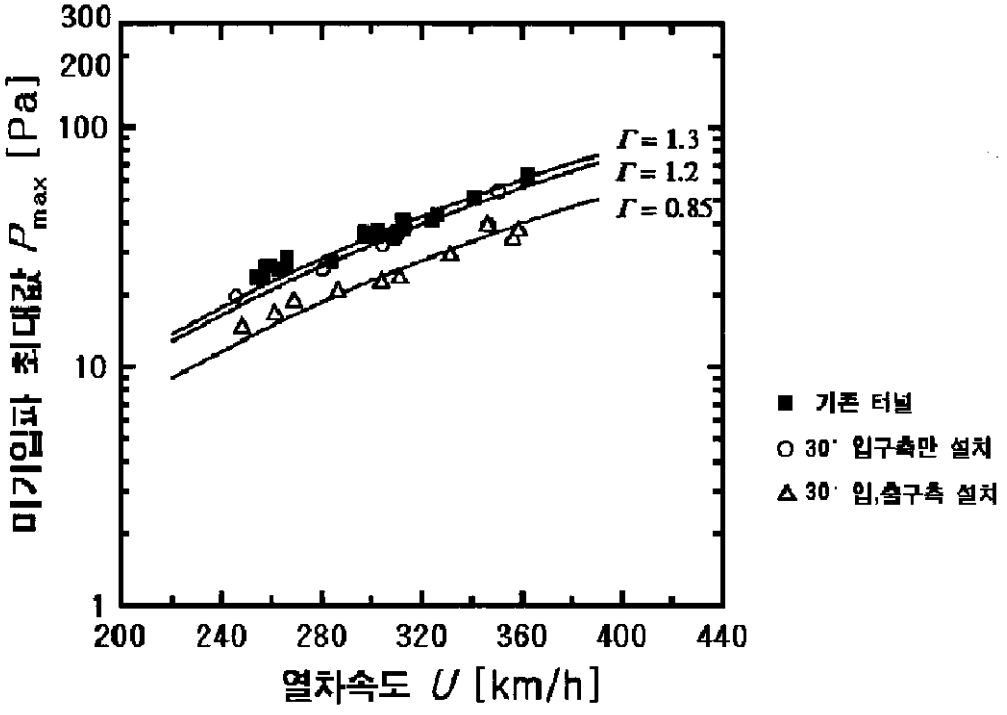
도면 4



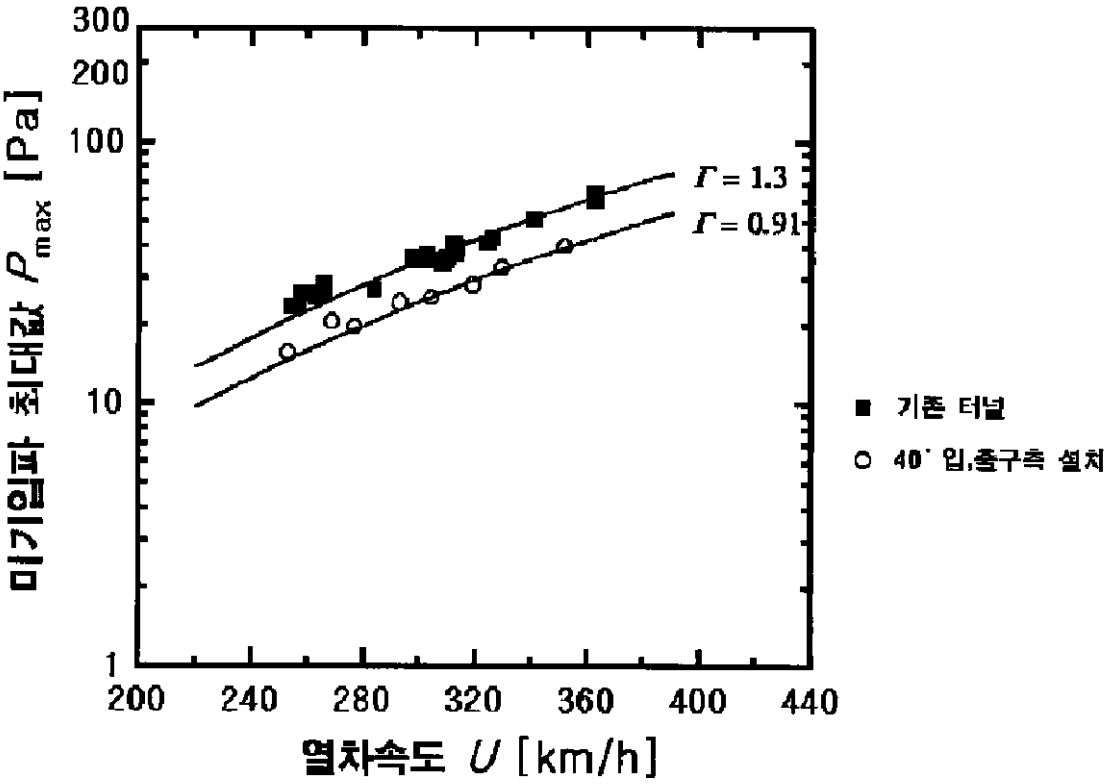
도면 5


300
200
100
10
1
200
240
280
320
360
400
440
미기압파 최대값 P_{max} [Pa]
열차속도 U [km/h]
$\Gamma = 1.3$
$\Gamma = 1.05$
$\Gamma = 0.755$
■ 기존 터널
○ 45° 입구측만 설치
△ 45° 입,출구측 설치

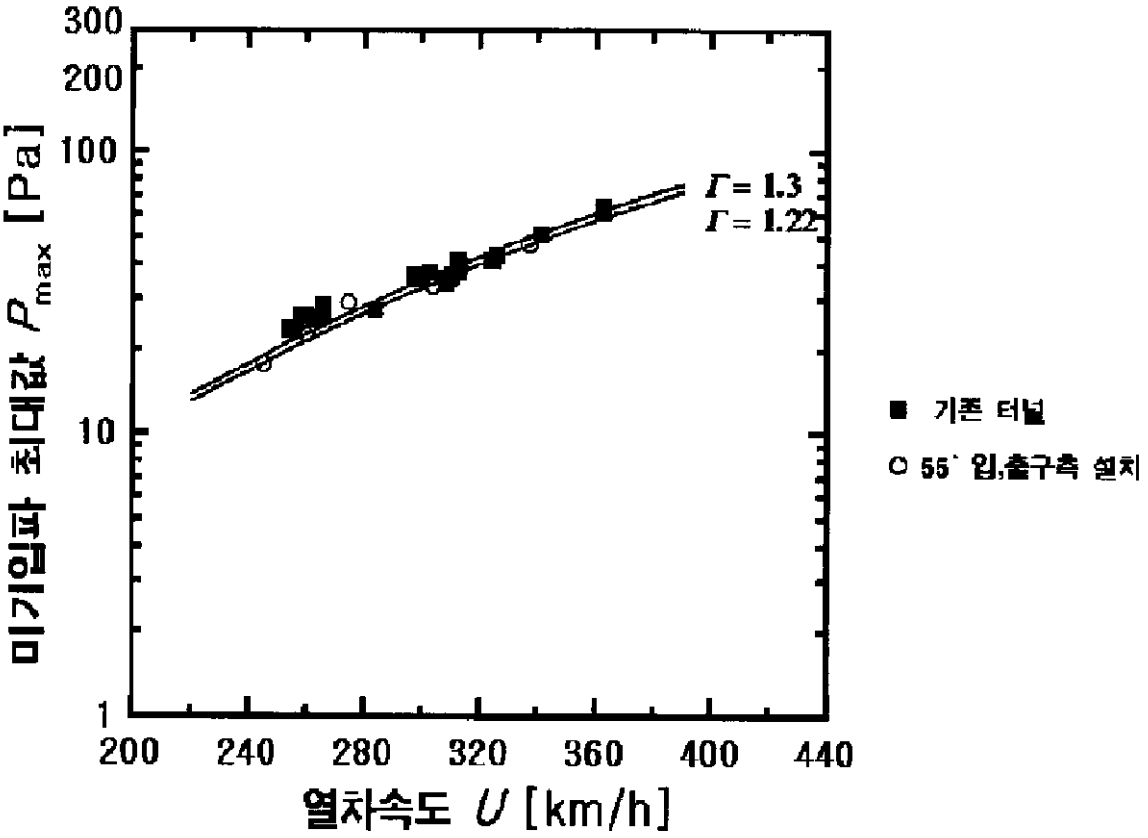
도면 6


300
200
100
10
1
200
240
280
320
360
400
440
미기압파 최대값 P_{max} [Pa]
열차속도 U [km/h]
$\Gamma = 1.3$
$\Gamma = 1.2$
$\Gamma = 0.85$
■ 기존 터널
○ 30° 입구측만 설치
△ 30° 입,출구측 설치

도면 7


300
200
100
10
1
200
240
280
320
360
400
440
미기압파 최대값 P_{max} [Pa]
열차속도 U [km/h]
$\Gamma = 1.3$
$\Gamma = 0.91$
기존 터널
40° 입,출구측 설치

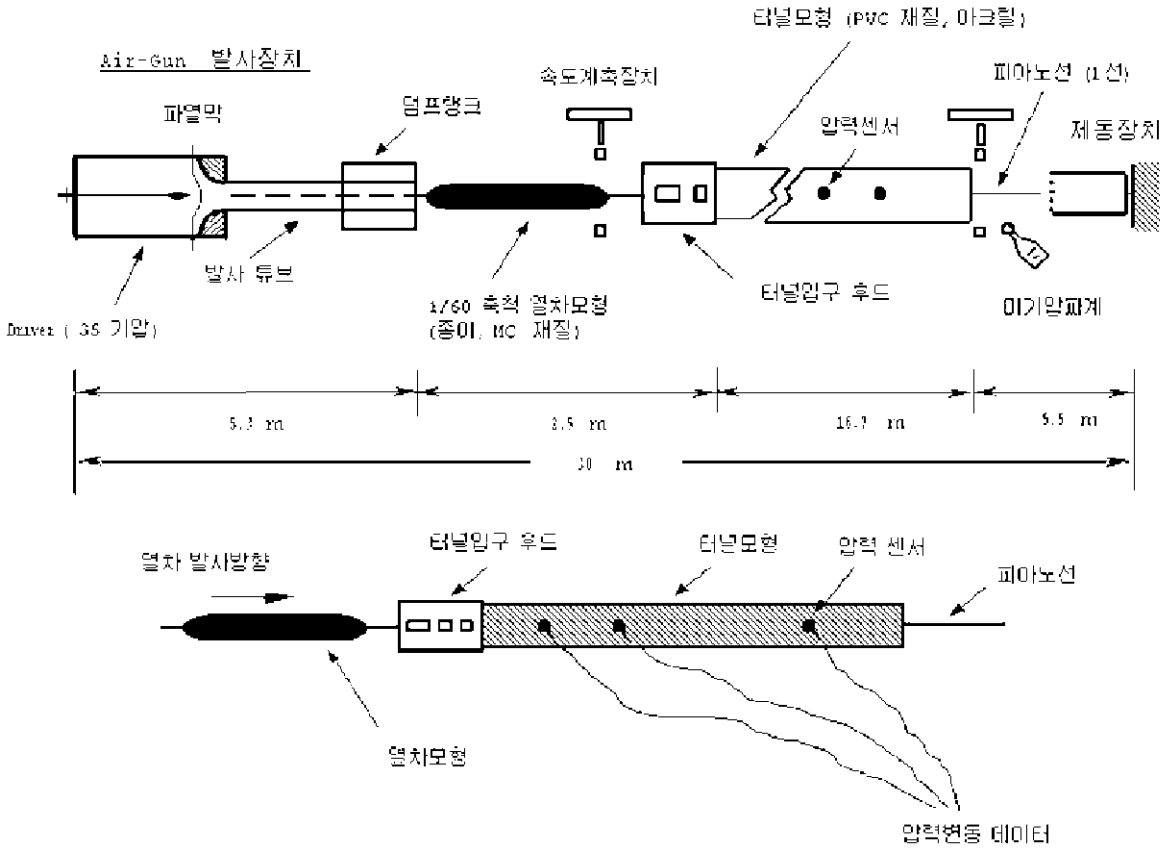
도면 8



도면 9

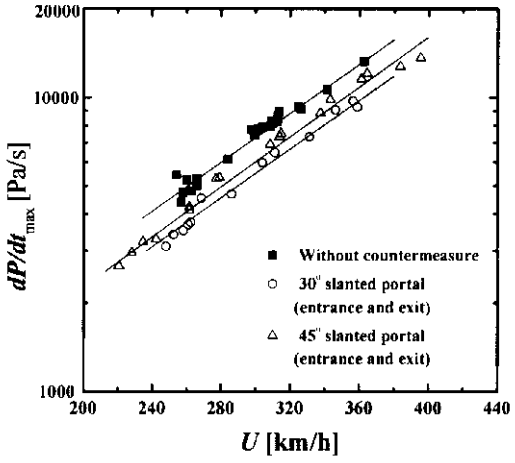
경사갱구의 형태	유효속도영역 (km/h)	미기압파 저감계수(Γ)	미기압파 저감율
도7 (30° ,입구만 설치)	240~360	1.2	7.7 %
도7 (30° ,입구와 출구)	240~360	0.85	34.6 %
도8 (40° ,입구와 출구)	240~360	0.91	30 %
도6 (45° ,입구만 설치)	250~420	1.05	19.2 %
도6 (45° ,입구와 출구)	220~400	0.755	41.9 %
도9 (55° ,입구와 출구)	240~340	1.22	6.2 %

도면 10


Air-Gun 발사장치
파열막
댐프탱크
속도계측장치
터널모형 (PVC 재질, 아크릴)
압력센서
피아노선 (1선)
제동장치
발사 튜브
Driver (3S 기압)
1/60 축척 열차모형
(종이, MC 재질)
터널입구 후드
미기압파계
5.3 m
3.5 m
16.7 m
5.5 m
30 m

열차 발사방향
터널입구 후드
터널모형
압력 센서
피아노선
열차모형
압력변동 데이터

도면 12


20000
10000
1000
200
240
280
320
360
400
440
dP/dt_max [Pa/s]
U [km/h]
Without countermeasure
30° slanted portal
(entrance and exit)
45° slanted portal
(entrance and exit)