

# 감 사 원

## 통 보

제 목 터널 제연설비 운영 부적정

소 관 기 관 인천광역시

조 치 기 관 인천광역시

내 용

### 1) 업무 개요

서울특별시 등 [별표 11] 기재 10개 지자체는 민자도시도로의 유료도로관리청으로서 「유료도로법」 제10조 및 제14조에 따라 민자사업자에게 유료도로관리권을 설정하여 「도로법」에 따른 해당 유료도로관리청의 업무를 대행하게 하면서 「유료도로법」 제23조의2 등에 따라 터널 방재시설 등 도로 시설물을 설치·운영할 때 민자사업자로부터 추진 계획 및 현황 등을 보고받고 이를 점검·감독하는 등 민자도로의 건설, 안전 및 유지관리 등을 총괄하는 업무를 하고 있다.

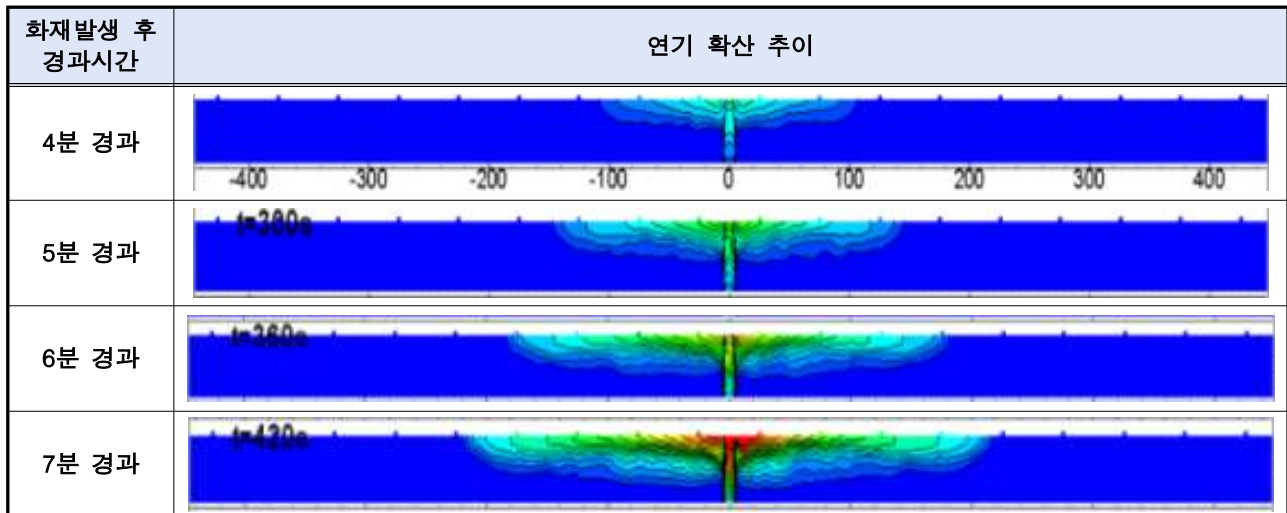
### 2) 관계법령 및 판단기준

#### 가) 도로터널 화재의 특성

도로터널은 차량이 통행하는 제한된 공간으로 반밀폐 구조를 가지고 있어 차량 고장이나 사고 등으로 인한 화재 발생 시 연기(고체·액체 상태의 미립자), 유독가스(일산화탄소, 질소산화물 등) 등이 열기류(熱氣流)에 의해 터널 상층부로 상승하여 [그림 15]와 같이 층을 이루어 종방향으로 점차 확산되면서 연기로 인

한 가시거리 감소, 유독가스 중독, 온도 상승으로 인한 화상, 산소 농도의 감소로 인한 저산소증 등을 일으킬 수 있다.

[그림 15] 시간별 성층화 진행 추이



자료: 국토부 제출자료 재구성

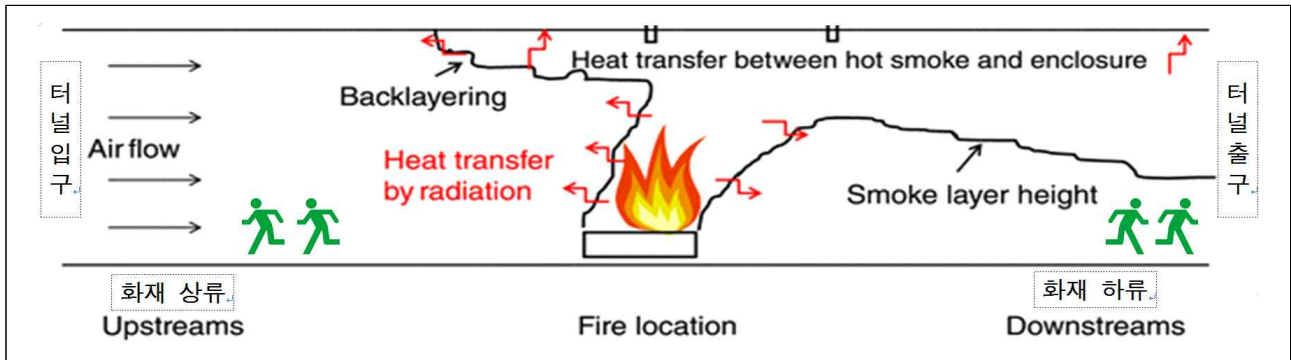
그러므로 도로터널에서의 화재 발생 초기에 차량 탑승자들이 연기 등의 피해를 입지 않도록 신속하고 안전하게 터널 입·출구나 인근 피난공간<sup>1)</sup> 등으로 탈출할 수 있는 대피환경이 유지되어야 한다.

#### 나) 도로터널 제연설비의 기능

[그림 16]과 같이 도로터널 내에서 화재 발생 시 화재지점 뒤쪽(화재 상류 지역)은 차량 탑승자들이 터널 입구 방향(또는 인근 피난공간)으로 대피할 수 있게 연기 등이 화재지점 뒤쪽으로 역류(逆流, Backlayering)하지 않고 차량 주행 방향으로 이동하도록 하여야 하며, 화재지점 앞쪽(화재 하류)은 차량 탑승자들이 터널 출구 방향(또는 인근 피난공간)으로 대피할 때 가시거리를 확보할 수 있게 연기 등이 교란되지 않고 터널 상층부에서 층을 형성(成層化)하여 이동되도록 하여야 한다.

1) 일방통행 터널인 경우 상대터널로 연결되는 피난연결통로, 본선 터널과는 별도로 종방향으로 굴착하여 만드는 피난대피터널, 도로터널 안쪽에 칸막이벽 형태로 설치하는 격벽분리형 피난대피통로 등이 있음

[그림 16] 도로터널에서의 화재 발생 시 대피환경 확보 방안

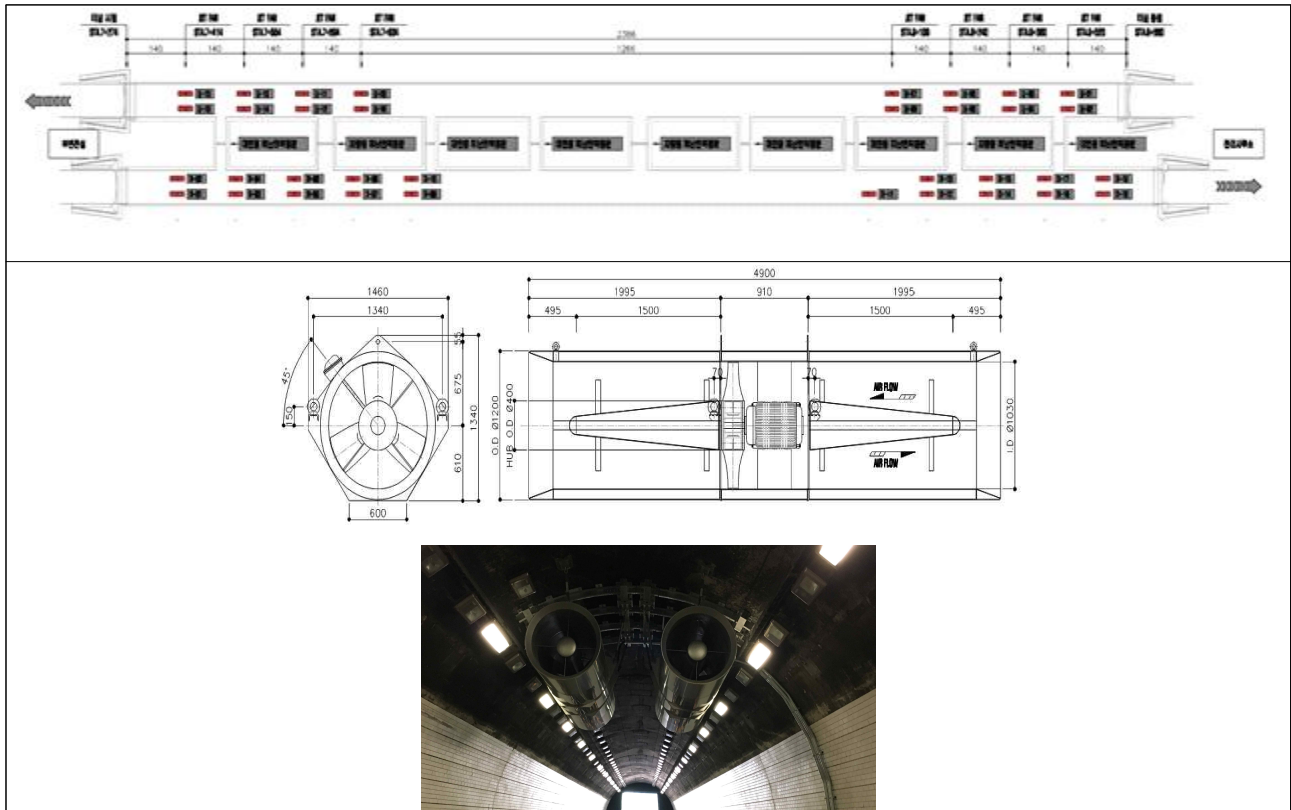


자료: 국토부 제출자료 재구성

위와 같이 화재 발생 시 연기 등이 성층화를 유지하면서 역류현상을 억제하는 차량 진행방향의 풍속을 임계풍속(Critical Velocity)이라 하고, 임계풍속을 유지할 수 있도록 [그림 17]과 같이 제트팬 등 제연설비<sup>2)</sup>를 터널 입구부, 출구부 또는 중앙부 등에 설치하여 압입운전(화재지점 뒤쪽에서 가동), 흡입운전(화재지점 앞쪽에서 가동) 등의 방식으로 가동한다.

2) 화재 시 환기방식은 연기의 이동방향을 제어하는 제연(制煙, Smoke control)과 연기를 배출하는 배연(排煙, Smoke exhaust)로 구분되며, 제연을 위한 종방향 환기를 위해 제트팬을 설치하고 배연을 위한 횡방향 환기를 위해 덕트와 흡기구, 배기구 등을 설치함

[그림 17] 제트팬 설치 단면



주: ▮ 도로의 경우 각 방향의 일방통행 터널(♠, ♥ 방향)에 제트팬(적색 부분)을 입구부 및 출구부에 복열(復列) 140m 간격으로 설치(19대, 16대)하고, 250m 간격으로 피난연결통로를 설치함

자료: 국토부 및 남양주시 제출자료 재구성

## 다) 도로터널 제연설비 관련 규정

방재관리지침에 따르면 방재등급 2등급<sup>3)</sup> 이상 터널의 경우 제연설비(제트팬)를 설치하고 터널 내에서 화재 발생 시 터널 내 연기 등의 방향을 제어하여 운전자들이 대피환경을 확보하도록 하고 있다.

### (1) 제연설비를 임계풍속으로 가동 유지

방재관리지침 6.1.2에 따르면 화재 발생 초기(약 10~15분)에는 대피환경 확보를 목표로 제연설비를 수동 조작하여 제연풍속을 임계풍속에 맞추어 가동하여 대피자가 존재하지 않는 방향으로 연기류를 성층화하여 대피하는 데 방해가 되

3) 터널 방재등급은 터널 연장을 기준(1등급 3.0km 이상, 2등급 1.0~3.0km, 3등급 0.5~1.0km)으로 하거나 교통량 등 터널의 제반 위험인자를 고려한 위험도 지수를 기준으로 결정

지 않게 환기계획을 세우도록 하고 있다.

임계풍속은 [표 33]과 같이 화재차량의 종류에 따른 화재강도, 터널의 높이, 형상, 단면적, 경사도 등 터널 제원 등에 따라 결정된다.

[표 33] 화재차량의 종류에 따른 화재강도 및 연기발생량

(단위: MW, m<sup>3</sup>/s)

구분	승용차	버스	트럭	탱크로리
화재강도	5 이하	20	30	100
연기발생량	20	60~80	80	200

자료: 방재관리지침 재구성

## (2) 화재차량의 종류 및 화재의 위치에 따라 제연설비 운영

방재관리지침 6.1.4에 따르면 위 환기계획이 제대로 실현될 수 있도록 실제로 발생할 수 있는 화재차량의 종류 및 화재의 위치<sup>4)</sup>를 달리하여 상정한 화재 발생 시나리오에 따라 터널의 제연방식 및 터널의 특성에 맞는 제연설비 운영매뉴얼을 작성·비치하여 실제 화재 발생 시 그에 따라 제트팬을 운영하도록 하고 있다.

화재차량의 종류에 대해서는 화재 초기에 차량 주행방향으로 임계풍속을 유지하여 제트팬을 운전(일방통행 터널의 비정체 시<sup>5)</sup>)하도록 규정되어 있으므로 화재차량의 종류(터널 제원은 동일)에 따른 임계풍속을 사전에 정해야 하고, 이에 따라 임계풍속 도달 시 제트팬을 추가 가동하지 않아야 한다.<sup>6)</sup>

화재의 위치에 대해서는 화재지점에 근접한 제트팬은 성층화를 교란하지 않도록 가동하지 않고, 연기가 터널 출구부 쪽으로 성층화된 상태로 빠질 수 있도

4) 화재의 위치는 먼저 작동시켜야 할 제트팬과 나중에 작동시켜야 할 제트팬을 구분하고 특히 화재 주변의 제트팬은 작동시켜서는 아니 되는 점 때문에 화재위치별 가동방식이 달라지며, 화재차량의 종류는 승용차, 버스, 트럭, 또는 탱크로리인지에 따라 화재강도와 연기발생량이 달라지기 때문에 그에 대응하는 임계풍속이 달라져서 제트팬 가동속도에 영향을 주게 됨

5) 일방통행 터널의 비정체 시에는 화재 초기에 제트팬을 가동하여 연기를 제어하여야 하지만, 대면통행 터널 및 일방통행 터널의 정체 시에는 화재 초기에 연기의 성층화를 교란하지 않도록 제트팬 가동을 정지하여야 함

6) 임계풍속보다 과도하게 제트팬을 가동할 경우 공기가 공급되어 화재를 크게 성장시킬 수 있음

록 출구부의 제트팬을 우선 가동하여 화재터널의 압력이 부압(負壓, 대기압 이하)으로 낮아져 연기가 흡입될 수 있도록 규정되어 있으므로 [그림 18]과 같이 화재가 발생하는 위치를 터널 입구부, 중간부, 출구부 등으로 구분하여 이에 따른 제트팬 운전조건(가동순서 등)을 설정하여야 한다.

[그림 18] 터널 화재의 위치에 따른 제트팬 운전조건(가동순서 등) 예시



자료: 방재관리지침 재구성

그리고 일방통행 터널(상행, 하행)이 서로 떨어져 2개로 설치(쌍굴터널)된 경우 화재가 발생한 터널에서 피난연결통로를 통해 상대터널로 대피할 때 연기가 피난연결통로와 상대터널로 유입되지 않게 상대터널의 압력을 양압(陽壓, 대기압 이상)으로 만들기 위하여 상대터널의 제트팬은 가압운전모드<sup>7)</sup>로 운전하도록 제트팬 운전조건을 설정하여야 한다.

또한 방재관리지침 2.1.5(5)에 따르면 터널 화재 시 제트팬을 효과적으로 운영할 수 있도록 터널 운영자에 대한 교육 또는 역량진단을 정기적으로 실시할 수 있도록 하고 있다.

따라서 서울특별시 등 도로관리청은 터널관리주체인 민자사업자가 민자도시도로의 소관 터널 특성에 맞게 화재의 위치 및 화재차량의 종류에 따른 제트팬 운전조건을 제연설비 운영매뉴얼에 설정하고 터널관리 현장에 비치하여 제트팬

7) 제트팬은 차량 주행방향으로 가동하는 정운전 방식과 반대방향으로 가동하는 역운전 방식의 양방향일 수 있는데, 터널 입구부의 제트팬은 차량 주행방향으로 가동(정운전)하고 터널 출구부의 제트팬은 반대방향으로 가동(역운전)하여 입구·출구부 제트팬을 터널 안쪽으로 가동하면 터널 내 가압상태가 되어 쌍굴터널, 피난대피터널 및 격벽분리형 대피통로 등의 안전지역 압력을 화재터널보다 높게 유지하여 화재터널에서 발생한 연기가 상대터널로 유입되는 것을 방지하기 위한 운전모드를 말함

운전 담당자가 화재 발생 시 이에 따라 제트팬을 운영할 수 있도록 지도·감독을 하여야 한다.

### 3) 감사결과 확인된 문제점

#### 가) 제연설비 운영매뉴얼의 운전조건 오류 및 미설정

이번 감사원 감사기간 동안 민자도시도로(18개) 터널 중에서 제트팬이 설치된 22개 터널에 대하여 방재관리지침에 따른 제연설비 운영매뉴얼을 검토한 결과는 다음과 같다.([별표 11] “민자도시도로 터널 제연설비 및 운영매뉴얼 현황” 참조)

화재의 위치와 관련하여 ▲▲터널(부산광역시 소재)은 화재가 발생한 지점에서 가까운 제트팬을 선택하여 가동하도록 기재되어 있고, ㄴㄱ터널(대구광역시 소재)은 출구부 제트팬을 우선 가동하지 않는 등 6개 터널<sup>8)</sup>은 운전조건을 잘못 설정하였고, ■■터널(서울특별시 소재) 등 14개 터널은 화재의 위치에 따른 운전조건을 설정하지 않았다(☎☎터널은 제연설비 운영매뉴얼을 수립조차 하지 않고 있었음).<sup>9)</sup>

그리고 화재차량의 종류에 따라 화재강도가 달라지므로 임계풍속도 다르게 설정하여야 하는데도 22개 터널 모두 이에 따른 운전조건을 설정하지 않고 있었다.

#### 나) ㄴ로 ㄴㄴ터널 화재 사례에 대한 제트팬 운전의 적정성 검토

이번 감사원 감사기간 동안 최근에 화재가 발생한 ㄴ로(서울특별시 소재) ㄴㄴ터널에서 제트팬을 가동한 자료(제트팬별 가동시간 로그기록, CCTV 등) 등을 확인하여 제트팬 운전의 적정성을 검토하였다.

ㄴㄴ터널(연장 4,990m)의 제연설비 운영매뉴얼에는 화재의 위치 및 화재차량

8) ■■터널, ●●터널, ▲▲터널, ㄴㄴ터널, ㄴㄱ터널, ㄴㄷ터널

9) ㄴㄴ터널, ☎☎터널 등 2개 터널은 화재의 위치에 따른 운전조건을 적합하게 설정하였음



의 종류에 따른 운전조건이 설정되어 있지 않아 화재의 위치와 관계없이 제트팬 가동방식이 달라지지 않고, 화재차량의 종류에 따른 임계풍속과 관계없이 제트팬 전체를 동시에 가동(4분 내 전체 가동)하고 있었다.

2020. 4. 1. 15시 13분경 노르터널 수서방향 2,800m 지점(중간부)에서 차량(BMW 승용차) 고장으로 차량 엔진에 화재가 발생하자 민자사업자[△△(주)]는 화재 발생 감지 후 약 4분이 경과된 시점에 출구부 6개 제트팬과 입구부 7개 제트팬을 전부 가동하였고 이때 터널 내 풍속은 터널의 임계풍속인 2.6m/s보다 상당히 높은 10m/s(시속 36km)의 속도가 되도록 가동시켰다.

방재관리지침 6.1.4(2)에 따르면 일방통행 터널에서 비정체 시 화재가 발생한 경우 초기에는 차량 주행방향으로 임계풍속을 유지할 수 있도록 먼저 출구부 제트팬만 가동시켜서 터널 압력이 부압이 되도록 하여 성층화를 교란하지 않도록 하여야 하는데도 위의 경우에는 입구부 제트팬까지 초기부터 가동시켰고 터널 내 제연풍속도 임계풍속의 3배 이상으로 하여 [사진 9]와 같이 연기의 성층화가 교란되어 화재차량보다 전방에 있는 차량이 먼저 터널을 벗어나기도 전에 연기에 휩싸이게 되었다.

**[사진 9] 화재 초기 모든 제트팬 가동으로 인한 연기 교란 및 확산(노로 노르터널)**



자료: 서울특별시 제출자료 재구성

또한 상대터널은 양압상태를 유지하도록 가압운전모드로 운전하여 화재터널



에서 연기가 유입되지 않도록 해야 하는데도 상대터널의 제트팬을 차량 주행방향으로만 운전하여 양압상태를 유지하지 않았다.

#### 관련 참고 사례(♣ 도로 L터널)

- ♣ 도로(경기도 남양주시 소재) L터널(연장 2.43km)의 제연설비 운영매뉴얼에는 화재의 위치에 따른 제트팬 운전조건은 설정되어 있었으나 제트팬 담당자가 운전조건을 숙지하지 못하여 운영매뉴얼과 다르게 제트팬 가동
  - 2020. 4. 24. 15시 49분경 L터널 ♡ 방향 1,240m 지점(중간부)에서 차량 화재가 발생하자 제연설비 운영매뉴얼에 화재의 위치에 따른 제트팬 운전조건이 출구부 제트팬부터 순차적으로 가동하는 것으로 되어 있는데도 민자사업자[○○○(주)]는 당시 터널 내부풍속(3.8m/s)과 무관하게 연기를 터널 밖으로 신속히 배출한다는 사유로 운영매뉴얼과 다르게 화재 초기부터 출구부 제트팬뿐만 아니라 입구부 제트팬도 같이 가동하여 임계풍속인 2~3m/s보다 높은 4.1m/s의 속도로 높임
  - \* L터널은 ♡ 방향(2.43km)으로는 입구부에 2×5형태로 10개, 출구부에 1+2×4형태로 9개의 제트팬이 설치되어 있고, ♡ 방향으로는 입구부와 출구부에 각각 2×4형태로 8개씩 제트팬이 설치되어 있음
  - 또한 상대터널의 제트팬은 피난연결통로로의 연기 유입을 방지하기 위해서 가압운전모드로 운전하여야 하는데도 상대터널(♡ 방향)의 제트팬은 가동하지 않고 아무런 조치를 하지 않았음

위와 같이 민자도시도로의 소관 터널 특성에 맞게 화재의 위치 및 화재차량의 종류에 따른 제트팬 운전조건이 마련되지 않아 화재 발생 시 제트팬의 오작동 또는 과도한 작동으로 화재차량 전후방에 있는 대피자가 대피하기가 곤란해지거나 추가 사고를 발생시킬 가능성이 있다.

**관계기관 의견**      서울특별시 등 [별표 11] 기재 10개 시·도는 감사결과를 받아들이면서 민자사업자로 하여금 화재 발생 시나리오를 마련하여 그에 따라 제연설비 운영매뉴얼을 구비하도록 지도·감독하겠다는 의견을 제시하였다.

**조치할 사항**      서울특별시 등 [별표 11]에 기재된 10개 지방자치단체의 장  
은 민자도시도로 터널의 특성에 맞게 화재의 위치 및 화재차량의 종류에 따른  
화재발생 시나리오를 설정하여 제연설비 운영매뉴얼을 수립함으로써 화재 발생  
시 그에 따라 제연설비를 운영할 수 있도록 지도·감독을 강화하는 방안을 마련  
하시기 바랍니다.(통보)

[별표 11]

## 민자도시도로 터널 제연설비 및 운영매뉴얼 현황

(단위: m, 개소, 개)

연번	관할청	노선	터널							제연설비 운영매뉴얼		
			터널명	터널 연장	준공 연도	통행 방식	상대터널 과의 연결개소	제트팬 개수	제트팬 위치	구비 여부	화재위치에 따른 조치 여부	화재차량 종류에 따른 조치 여부
1	서울	■ ■ 터널	■ ■ 터널	1,967	2003	일방	2	14	입구부(2x4) 중앙부(2x2) 출구부(2x1)	○	×	×
2		■ ■ 터널	■ ■ 터널	2,565	2014	일방	13	12	입구부(2x2) 출구부(2x2)	○	○	×
3		ㄴ 로	-	3,230	2016	일방	13	12	입구부(2x3) 출구부(2x3)	○	×	×
4		ㄴ 로	-	4,990	2016	일방	20	13	입구부(2x3+1) 출구부(2x3)	○	×	×
5		ㄴ 로	-	2,620	2016	일방	10	8	입구부(2x2) 출구부(2x2)	○	×	×
6	부산	▲ ▲ 터널	▲ ▲ 터널	2,440	1998	일방	3	6	입구부(3x1) 출구부(3x1)	○	×	×
7		▲ ▲ 터널	▲ ▲ 터널	2,356	2001	일방	3	14	입구부(2x7)	○	○	×
8		● ● 터널	● ● 터널	4,874	2018	일방	19	19	입구부(2x3) 중앙부(2x2+1) 출구부(2x4)	○	○	×
9		● ● 터널	● ● 터널	1,509	2019	일방	10	15	입구부(2x1) 중앙부(2x2+1) 출구부(2x4)	○	×	×
10		ㄹ ㄹ 대교	-	3,700	2010	일방	82	92	4개 1식으로 23개소에 분산배치	○	×	×
11	대구	ㅋ 로	ㄴ ㄱ 터널	4,392	2013	일방	17	20	입구부(2x3) 중앙부(2x3) 출구부(2x4)	○	○	×
12		ㅋ 로	ㄴ ㄴ 터널	932	2013	일방	3	6	입구부(2x1) 중앙부(2x1) 출구부(2x1)	○	○	×
13	인천	▲ ▲ 터널	▲ ▲ 터널	1,040	2004	일방	1	5	입구부(1x5)	○	×	×
14		▼ ▼ 터널	▼ ▼ 터널	1,538	2005	일방	1	4	입구부(2x2)	○	○	×
15	광주	ㅍ 로	-	673	2004	일방	1	4	입구부(2x1) 중앙부(2x1)	○	×	×
16	울산	▼ ▼ 대교	-	695	2015	대면	-	4	입구부(2x1) 출구부(2x1)	○	×	×
17	남양주	ㅂ 도로	ㄴ ㄷ 터널	2,490	2011	일방	9	19	입구부(2x5) 출구부(2x4+1)	○	○	×
18		ㅅ 도로	-	1,993	2017	일방	8	11	입구부(2x3) 출구부(2x2+1)	○	×	×
19		ㅅ 도로	-	975.5	2017	일방	5	2	입구부(2x1)	○	×	×
20	강원	ㅇㅇ 터널	ㅇㅇ 터널	3,565	2006	일방	13	24	입구부(2x6) 출구부(2x6)	×	×	×
21	경남	ㅈ 도로	-	2,163	2012	일방	8	14	입구부(2x3) 출구부(2x4)	○	×	×
22	창원	ㅇㅇㅇ 터널	ㅇㅇㅇ 터널	2,643	2018	일방	10	13	입구부(2x3+1) 출구부(2x3)	○	○	×

자료: 감사대상기관 제출자료 재구성