

# 고속도로터널의 붕락유형과 원인 분석

## Analysis of Collapse Shape and Cause in the Highway Tunnel



김낙영\*  
Kim, Nag-Young



김성환\*  
Kim, Sung-Hwan



정형식\*  
Chung, Hyung-Sik

### Abstract

The collapse shapes and causes of tunnel in the highway were analyzed and reinforced methods of tunnel were investigated in the paper. Collapse shapes of tunnel are divided into three types such as subsurface failure, small scale wedge failure and slickenside strata failure. These three shapes consist of 35%, 50%, and 15%, respectively. The 85% of collapse was located near the entrance and exit of tunnel. The 15% was located at the intersection of emergency laybys. When tunnel collapses are analyzed by the failure concept, sliding failure amounts to more than 83%.

**Keywords** : Collapse shapes of tunnel, Emergency laybys, Failure concept

### 요 지

본 논문에서는 고속도로터널의 붕락형태와 원인분석, 보강방법에 대하여 다루었다. 고속도로터널의 붕락형태를 분석해 보면 3가지 유형으로 분류된다. 지반풍화로 인해 터널붕락이 지표면까지 함몰된 경우 35%, 불리한 암반절리로 인한 터널내 국부적인 썩기형 압반블럭 붕락의 경우 50%, 터널굴진방향과 미끄럼면의 교차로 인해 터널내 침하가 발생한 경우 15%의 비율로 조사되었고 터널붕락이 발생된 위치는 입출구 40m 이내와 입출구와 인접한 계곡부에서 85%, 비상주차대와 본선접속부에서 15% 발생되었다. 고속도로터널

\*1 정회원, 한국도로공사 도로연구소 책임연구원

\*2 정회원, 한국도로공사 도로연구소 수석연구원

\*3 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수

에서 발생한 붕락을 파괴개념으로 분석하면 활동파괴가 83%이상을 차지하는 것으로 분석되었다.

주요어 : 터널붕락형상, 비상주차대, 파괴개념

## 1. 서론

최근들어 인구급증 및 경제력 향상에 따라 고속도로 확장 및 신설공사가 증가하고 있다. 또한 양호한 도로선형을 확보하기 위하여 필수적으로 터널공사가 급증하고 있고 이에 비례하여 터널굴착중 붕락발생 가능성이 높아지고 있다. 따라서 본 연구에서는 고속도로 터널공사중 발생된 대표적인 붕락현장 6개소를 조사하여 지질적 조건에 따른 붕락유형과 원인, 적용된 보강대책에 대하여 분석하였다.

## 2. 각 터널별 붕락유형 및 원인분석

본 연구에서는 조사 분석된 6개 터널별 붕락형태와 터널 연장, 붕락발생지점을 기술한다.

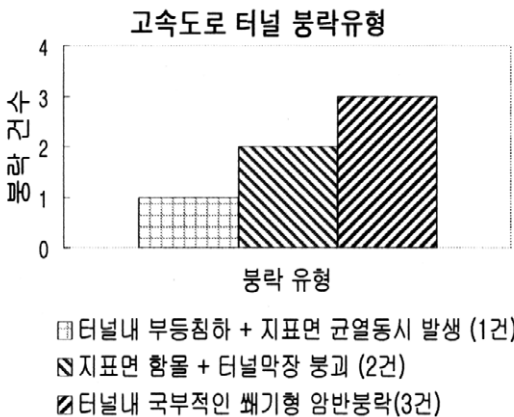


그림 1. 붕락유형별 건수

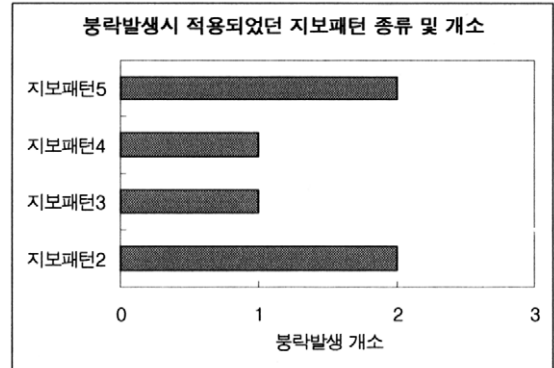


그림 2. 붕락발생시 지보패턴 및 개수

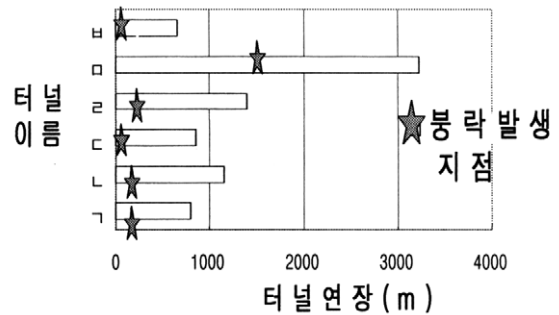


그림 3. 터널 연장 및 붕락지점

고속도로터널에서 발생하는 터널붕락 유형은 그림 1과 같이 세가지 유형으로 구분 된다. 붕락발생시 적용되었던 지보패턴은 그림 2와 같이 여러 지보패턴에서 터널붕락이 발생되었다. 그러나 터널붕락 발생위치는 대부분 그림 3과 같이 주로 터널 입출구 근방 50m 내외에서 발생함을 알 수 있다. 그러나 모터널의 경우는 비상주차대 접속부분에서 발생한 경우이다. 터널 굴착중 발생한 붕락은 파괴개념으로 다음과 같이 구분된다. 첫째는 지반의 절리방

에서 발생한 붕락을 파괴개념으로 분석하면 활동파괴가 83%이상을 차지하는 것으로 분석되었다.

주요어 : 터널붕락형상, 비상주차대, 파괴개념

## 1. 서론

최근들어 인구급증 및 경제력 향상에 따라 고속도로 확장 및 신설공사가 증가하고 있다. 또한 양호한 도로선형을 확보하기 위하여 필수적으로 터널공사가 급증하고 있고 이에 비례하여 터널굴착중 붕락발생 가능성이 높아지고 있다. 따라서 본 연구에서는 고속도로 터널공사중 발생된 대표적인 붕락현장 6개소를 조사하여 지질적 조건에 따른 붕락유형과 원인, 적용된 보강대책에 대하여 분석하였다.

## 2. 각 터널별 붕락유형 및 원인분석

본 연구에서는 조사 분석된 6개 터널별 붕락형태와 터널 연장, 붕락발생지점을 기술한다.

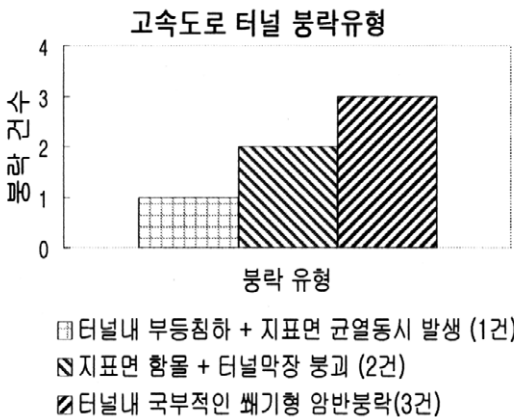


그림 1. 붕락유형별 건수

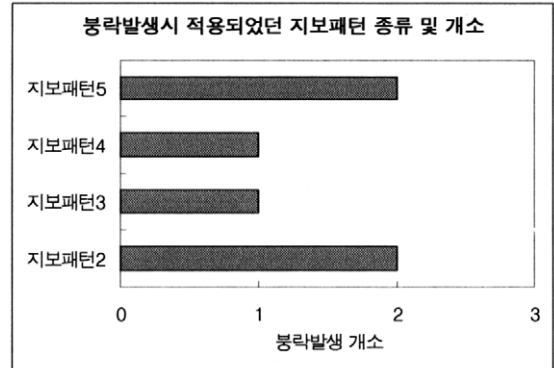


그림 2. 붕락발생시 지보패턴 및 개수

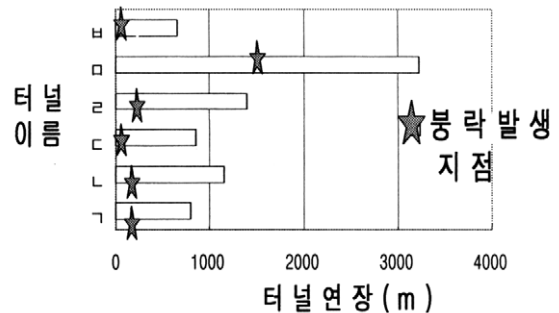


그림 3. 터널 연장 및 붕락지점

고속도로터널에서 발생하는 터널붕락 유형은 그림 1과 같이 세가지 유형으로 구분 된다. 붕락발생시 적용되었던 지보패턴은 그림 2와 같이 여러 지보패턴에서 터널붕락이 발생되었다. 그러나 터널붕락 발생위치는 대부분 그림 3과 같이 주로 터널 입출구 근방 50m 내외에서 발생함을 알 수 있다. 그러나 모터널의 경우는 비상주차대 접속부분에서 발생한 경우이다. 터널 굴착중 발생한 붕락은 파괴개념으로 다음과 같이 구분된다. 첫째는 지반의 절리방

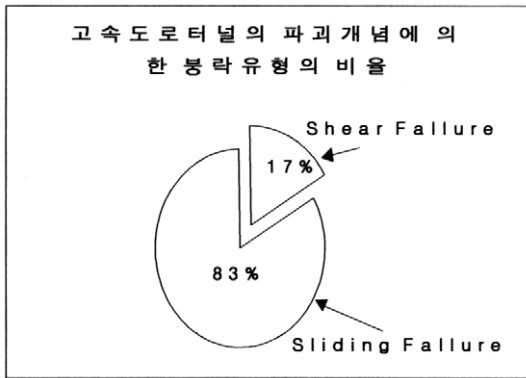


그림 4. 고속도로 터널붕락 유형별 비율

향이 터널굴진방향과 불리하게 형성되어 발생하는 sliding failure, 둘째는 숏크리트층 하부기초의 침하에 따른 천장부의 shear failure, 셋째는 굴착면의 지지력 부족이나 과도한 지하수 유입에 기인한 토사층의 progressive failure, 네번째는 주변지반의 크리프거동에 의한 creep failure로 나눌수 있다.

지하철 터널의 경우 붕락사례를 조사해 보면 progressive failure가 50%이상을 차지하는데 본 연구에서 조사된 고속도로터널의 경우 sliding failure가 83%를 차지하는 것으로 분석되었다.

## 2.1 ㄱ터널 붕락사례

### 2.1.1 붕락현황

ㄱ터널은 시추결과 풍화도가 18.0m 심도까지 분포하고 25.0m 심도까지는 부분적으로 풍화가 심한 풍화암층이 분포한다. 본 터널의 연장은 795m인 2차선 병렬터널로서 붕락이 발생되기전 구간부터 터널중방향의 지층변화가 심하여 지보패턴의 변경이 잦았으며 시공과정중 수차례에 걸쳐 이미 소규모의 붕락현상이 발생하였다. 붕락구간은 입구부 기준 40m 지점에서 발생되었다. 터널의 붕락규모로는 지표면에서 함몰된 공동의 깊이가 4~5m, 직경이 16m이며 터널말장에서 붕락부위까지 길이 4m에

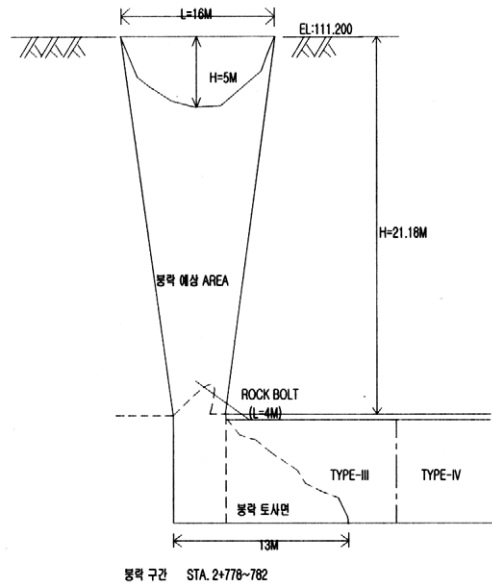


그림 5. ㄱ터널 붕락부 현황도

불과 했다.

또한 붕괴형태로는 터널천단에서 지표까지 공동이 깔때기 형상으로 형성되어 있었다.

### 2.1.2 붕락원인 분석

붕락이 발생한 터널 천단부의 지반상태를 살펴보면 암반이라기보다는 풍화토에 가까운 상태이고 터널 중방향으로 지층의 변화가 심한 구간이다. 특히, 붕락이 발생한 부분의 상부 지표면은 소규모 계곡부에 위치하고 있어서 인접지역보다 지반상태가 불량하였다. 계곡부는 인접한 두 지역의 접촉지대이기 때문에 암반의 파쇄정도가 심할 뿐만 아니라 붕락 당일에 70mm 정도의 강우가 내림으로서 파쇄대를 따라 강우가 침투하므로서 지반의 결합력 및 전단강도가 급격히 감소된 상태였다. 따라서 굴착직후 이 불연속면을 중심으로 숏크리트가 경화되기 전 이완되므로서 숏크리트가 지보능력을 상실, 터널 붕락현상이 생긴 것으로 분석되었다.

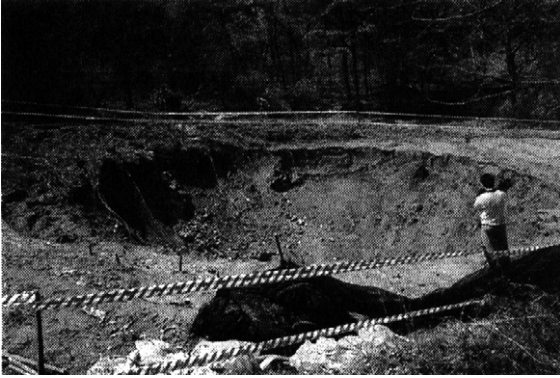


사진 1. 지표면 함몰부(직경 16m, 깊이 5m)

## 2.2 L터널 붕락사례

### 2.2.1 붕락현황

본 터널붕락구간은 봉적층이 17.0m 심도까지 분포하고 41.0m 심도까지는 풍화암층이 분포하는데 호상의 판상 석회암과, 충식석회암 및 도로마이트가 협재되어 나타난다. 이러한 상이한 2가지 지질상태가 접촉되는곳에 위치한 관계로 단층 및 변질작용에 의한 파쇄가 발달되어 있고 석회암의 용식작용에 의한 공동이 존재한다. 총연장은 1190m의 2차선 병렬 터널로서 당초설계에는 터널 입, 출구부 양방향에서 굴착을 진행하도록 되어 있었으나 출구쪽 공사진입로 개설을 위한 용지매수가 여의치 않아 입구측에서만 굴착을 진행하였다. 이와같은 일방향 굴착방법으로 하행선 출구부 기준 115m 지점에서 지보패턴Ⅲ으로 굴착을 진행중 터널 천단 상부에 존재하는 자연공동으로 인해 막장에서 붕락이 발생하였다. 상행선은 하행선 붕락발생전 출구부 기준 30m 지점까지 굴착한 상태에서 막장의 지질조건이 불량하여 더 이상 굴착을 진행하지 않은 상태였다. 본 터널의 붕락규모로는 지표면에서 함몰된 공동의 깊이가 2 ~3m, 직경이 2.5m가 되었다. 또한 터널막장에서 붕락부위까지 거리가 약 5m~6m가 되었다. 붕괴형태로는 터널천단에서 지표까지 공동이 형성되어

역 깔때기 형상을 하고있었다.

### 2.2.2 붕락원인 분석

터널굴착중에 붕락이 발생한 하행선 75m 지점(출구부 기준)은 기반암인 석회암이 터널 막장까지 분포하고 있는 것으로 조사되었다. 그러나 초기 지반조사결과에는 공동을 발견하지는 못하였지만 터널 내부로 쏟아져 내린 붕락 토사와 붕락 후 조사된 공동의 형태로 본다면 자연상태의 공동인 것으로 확인되었다. 즉 계곡으로부터 파쇄대를 통해 흘러 내려온 지하수에 의해 석회암이 용식작용을 받아 공동이 형성되고 이러한 공동에 토사나 풍화물 등이 유입되어 공동을 채우고 있었던 것으로 판단되며 비저항탐사 결과를 보면 이러한 파쇄대 및 연약대는 하행선의 경우 45m지점(출구부기준)까지 발달되어 있는 것으로 조사되었다. 따라서 터널막장에서의 굴착시 발파 등의 충격 및 진동으로 인해 천장부 암괴간의 각종 불연속면이 이완되고 아울러 막장내로 지하수가 유입되고 불연속면내의 충전물이 유출된다. 이로 인하여 굴착시 천장부에서의 암괴간의 결합력이 저감됨에 따라 국부적인 낙반으로 인해 그 상부에 위치하던 암괴 및 토사층이 붕락되었다.

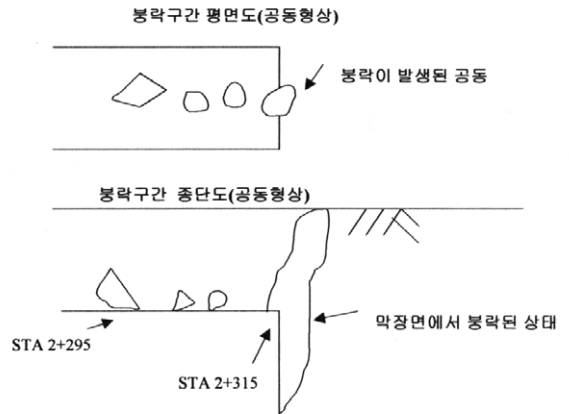


그림 6. L터널 붕락부 현황도





사진 2. 지표면 함몰부(직경 2.5m)

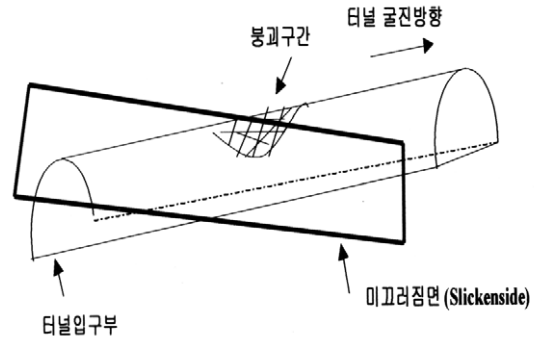


그림 7. 붕락부 단층방향(10°)

## 2.3 터널 붕락사례

### 2.3.1 붕락현황

본 터널붕락구간은 풍화토 10.0m, 풍화정도가 심한 화강 풍화암층이 30.0m까지 분포하고 점토가 협재된 소규모 단층이 발달되어 있다. 본 터널연장은 857m인 2차선 병렬터널로서 붕락이 발생하기전 상행선은 갱구부에서 지보패턴 V로 상부 반단면을 약 90m 선굴착하고 이어서 하부반단면을 굴착하던 중 그림 8과 같이 입구부에서 17m 후방지점에서 직후방으로 약 26m 구간에 걸쳐서 균열 및 침하 15cm~50cm가 발생하였다. 또한, 갱구부 사면에도 상행선 터널 좌측상부에서 터널 방향과 10°의 각도로 교차되는 미끄럼면을 경계로 지표부에 균열폭 3cm, 침하 20cm 정도 발생되었다. 그러나 강관다단그라우팅 공법이 적용된 입구부 17m 구간에는 침하 및 균열이 발생치 않았다. 본 터널의 붕괴규모는 입구부에서 직후방으로 약 26m구간에 걸쳐 균열 및 침하가 발생하였고, 터널 천단부에서 약 15cm ~ 50cm의 침하가 발생하였다. 또한 붕괴형태는 상행선 터널 좌측상부에서 터널방향과 10°의 각도로 교차되는 단층을 경계로 터널내 부등침하가 발생하였다.

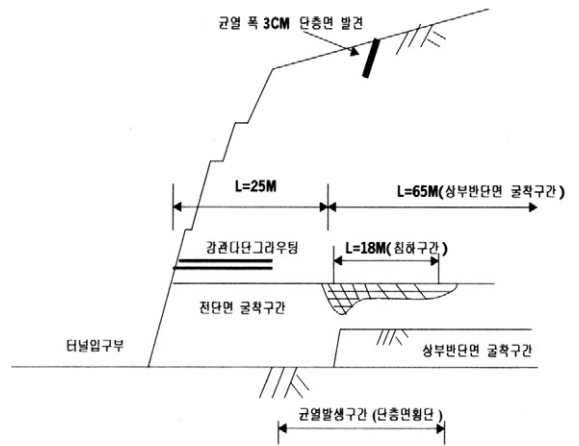


그림 8. 터널 붕락부 현황도



사진 3. 터널상단부 지표면 균열

### 2.3.2 붕락원인 분석

그림 7과 같이 갱구부 터널측과 10° 정도로 교차하고 터널좌측(중점부를 향하여)으로 70° 정도 경사진 단층을 따라 파괴가 발생하였다. 미끄러짐면을 경계로 후방에는 보강공법이 생략되고 갱지보재와 슛크리트로만 지지된 상태에서 지보공이 상부 하중을 지탱하지 못하므로서 단층과 모암에서 절리면을 따라 이완이 발생하였다.

## 2.4 ㄹ터널 붕락사례

### 2.4.1 붕락현황

본 터널은 시추결과 붕락구간은 붕적층이 2.0m 내외로 분포하고 터널심도까지는 흑운모 화강암, 각섬석 화강암 등 전반적으로 보통~양호한 암반층이 분포한다. 본 터널의 연장은 1400m 2차선 병렬터널로서 붕락지점도 암반이 비교적 양호한 경우로 별다른 보강대책없이 발파후 막장면의 버력을 처리하는 과정에서 입구부 기준으로 223m 지점에서 약 7m구간에 걸쳐 급작히 썩기형태의 암반블럭 붕락이 발생하였다. 본 터널의 붕락규모는 입구부에서 직후방으로 약 223m 지점에서 27.85m<sup>3</sup>이다. 붕락길이는 4.69m, 폭 10.3m이다. 또한 붕락형태로는 터널 천장부에서 썩기형태의 국부적인 암반붕락이 발생하였다.

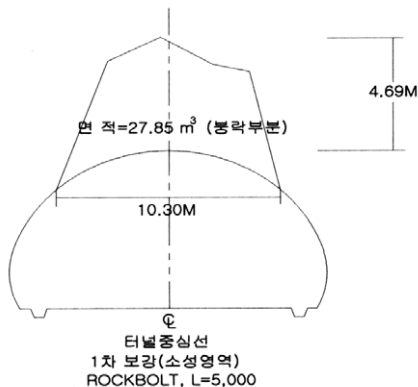


그림 9. ㄹ터널 붕락부 현황도

### 2.4.2 붕락원인 분석

본 터널암질의 경우 붕락발생구간 이전에는 보통~양호 구간으로 굴착작업이 순조롭게 진행되었다. 그러나 붕락구간에서 부분적으로 절리방향이 불리하게 되어 있었는데 이를 주의깊게 관찰하지 못하고 원설계대로 지보패턴Ⅱ를 적용하였다. 따라서 발파진동과 지보재의 지보능력 부족때문에 썩기형태의 암반블럭의 무게를 지탱하지 못하고 붕락되었다.

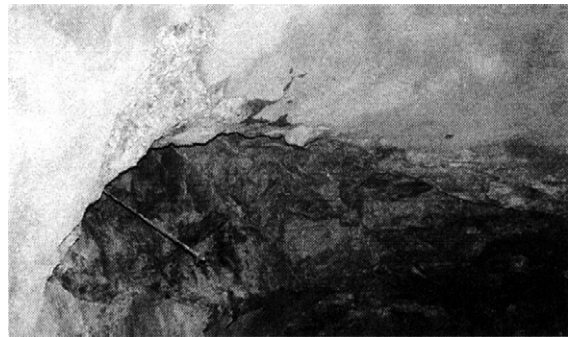


사진 4. 붕락사진(썩기형태)

## 2.5 ㄹ터널 붕락사례

### 2.5.1 붕락현황

본 터널구간의 붕락지점은 본선터널과 비상주차대 접속 지점으로 풍화도가 12.0m 심도까지 분포한다. 하부로는 암질상태는 전반적으로 양호하나 붕락된 지점 부근에서는 그림 10과 같이 부분적으로 파쇄대가 나타났다. 본 터널은 3300m의 2차선 병렬터널로서 본선터널과 비상주차대 접속지점에서 굴진하던중 붕락이 발생하였다.본 터널의 붕락규모는 입구부에서 직후방으로 1561m 지점에서 8m<sup>3</sup>이고 붕락길이는 3.0m, 폭 8.0m이다. 또한 붕락형태로는 좌측 천장부에서 썩기형태의 국부적인 암반 붕락이 발생하였다.

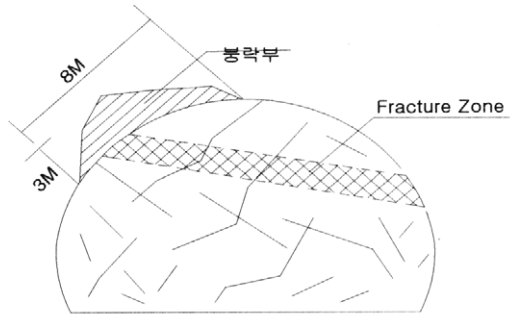


그림 10. 터널 붕락부 현황도

### 2.5.2 붕락원인 분석

암질상태는 부분적으로 파쇄대가 존재하는 연암정도의 암석으로 열린 고등색을 띄고있다. 굴진방향측으로 40° - 70° 정도가 주절리를 이루고 있다. 절리상태는 불규칙하게 전체적으로 발달되어 있으며 경사면은 미끄러짐면을 이루어 붕락된 부분과 예각을 이루고 있어 본선 굴진시 발파로 인한 진동의 영향으로 경사 및 절리면을 따라 활동을 일으킨 것으로 조사되었다.



사진 5. 붕락부 막장면 (록볼트 탈락)

## 2.6 비터널 붕락사례

### 2.6.1 붕락현황

본 터널붕락구간은 붕적층이 8~9m, 풍화암층이 19.5

~ 21.0m심도까지 분포하며 이후로는 절리가 심한 연암층이 분포한다. 본 터널의 연장은 650m인 4차선 병렬터널로서 붕락이 발생하기전 소규모의 부분적인 붕락현상이 있었다. 본 터널의 경우 배수문제 및 지형여건상 장비이동에 대한 문제점이 많아서 출구부측에서만 일방향 굴착을 수행하던중 입구측과 약 20m 정도 거리를 남겨두고 터널천정부에서 국부적인 암반붕락과 터널 상부 지표면에 폭 17m, 깊이 6~7m균열이 발생하였다. 본 터널의 붕락규모는 입구부 기준 20m지점에서 50m<sup>3</sup>이다. 또한 붕락형태로는 썩기형태의 국부적인 암반붕락이 발생하였다.

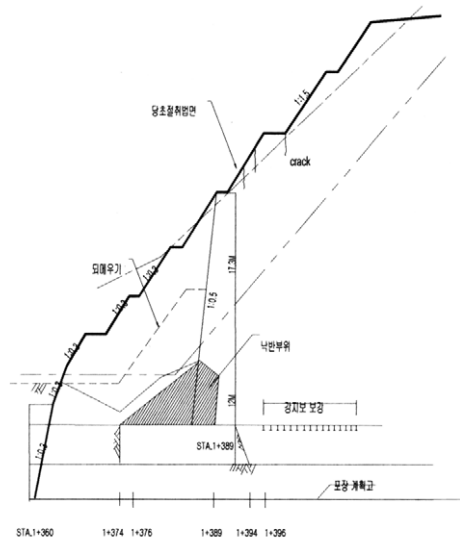


그림 11. 비터널 붕락 현황도

### 2.6.2 붕락원인 분석

본 터널의 경우 4차선 터널로서 입구측의 지반조건이 굴착에는 불리한 지반이었지만 입구측 지형상의 문제로 인하여 출구쪽 방향에서만 지보패턴 Ⅲ으로 굴착을 하였다. 입구측에 근접하였을 때 추가적인 보강공법을 적용하지 않고 굴착을 함으로서 상부하중을 지보재가 견디지 못하고 붕락이 발생하였다.



### 3. 붕락된 터널에 적용된 보강공법

#### 3.1 ㄱ터널 적용 보강공법

붕락이 발생한 구역에 대해서는 추가적인 붕괴를 방지하기 위해 1차로 토사를 이용하여 지표까지 되메우기를 실시하고 숏크리트로 타설한 상태이다. 우선 되메우기한 토사자체의 강도를 증가시키기 위하여 그림 12와 같이 시멘트 그라우팅을 실시하였다.

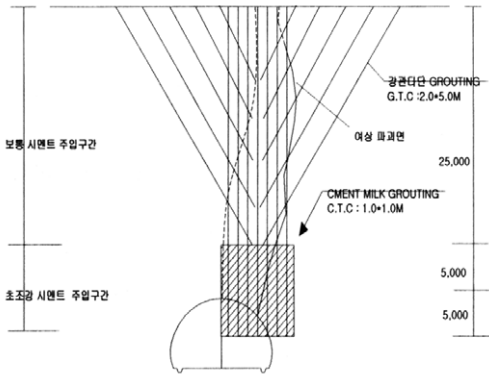


그림 12. 붕락구간 보강단면도(횡단면도)

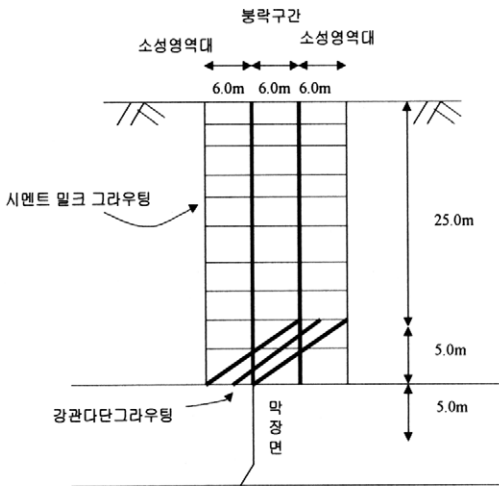


그림 13. 붕락구간 보강단면도(중단면도)

그라우팅 심도는 터널천단으로 부터 약 5m정도 하부까지 하고 터널천단 및 측벽부 주위의 고결체 강도가 증가될 수 있도록 하부 10m 구간에는 초조강시멘트를 사용하였다. 터널내부에서는 붕락으로 인해 야기된 지보하중을 아치 구조물을 통해 효과적으로 분산시키기 위해서는 터널내에서 그림 13과 같이 강관다단그라우팅을 적용하였다.

#### 3.2 ㄴ터널 적용 보강공법

본 터널구간은 지형상으로 볼 때 붕락위치는 계곡부에 위치하고 있다. 터널붕락에 따른 터널단면에 편토압의 작용으로 기존 지층의 구조적인 토립자 배열이 이완되어 터널단면 주변의 작용응력이 균형을 잃은 상태로서 터널단면의 안정성을 유지하기 위한 지반보강공법이 필요하였다. 본 붕락구간에 대한 일차적인 지반개량공법은 주 대상지층이 토사층으로 주입시 충전효과를 고려하여 시멘트 크 밀크(CTC 1000mm간격)로 터널 상부 연약지반을 지상에서 보강토록하였다. 시멘트 밀크에 의한 지반보강후 터널굴착시 안정성이 충분히 확보되도록 예상 붕락가능범위에 대하여 터널내부에서 침투성이 양호하고 균질한 지반개량이 가능한 SGR공법과 Pipe Roof공법을 그림 14와 같이 병용하여 적용하였다.

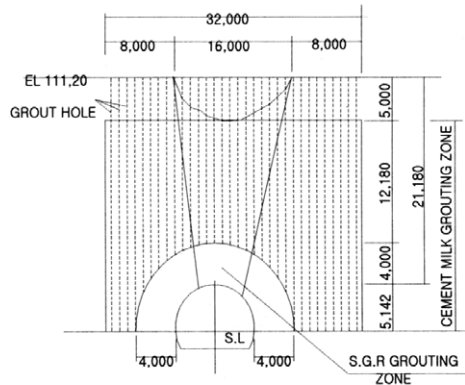


그림 14. 붕락구간 보강단면도(횡단면도)

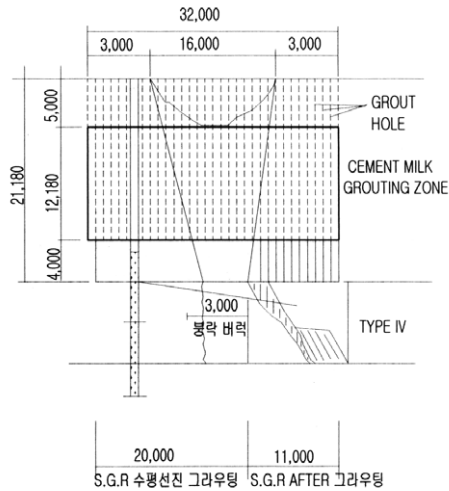


그림 15. 봉락구간 보강단면도(중단면도)

### 3.3 터널 적용 보강공법

본 터널의 기굴착구간 및 미굴착구간은 완전히 풍화된 화강암이 기반암으로 구성되어 있다. 특히 점토가 협재된 단층대가 존재하여 터널좌측부(0~115°)에 응력 및 소성영역이 어깨부 및 SL에 집중적으로 편중되어 있다. 그림 16과 같이 기굴착구간에 대한 보강영역은 0~150°, 터널굴착부 좌측(0~115°), 우측(115~150°)의 보강간격을 각각 0.5m, 0.6m로 달리하여 보강하였다.

천공각도는 기존 굴착된 터널의 숏크리트면에서 천공하게 되므로 장비설치에 필요한 최소한의 천공각도 20~30°의 각도로 천공하였다. 보강길이는 시공상의 문제 및 지반 교란 문제점의 발생을 방지하기 위해 12m의 보강장으로 보강하였다. 갱구부는 기존의 갱구부 보강과의 중복을 피하기 위해 갱내에서 갱구부를 향한 방향으로 8m 보강장으로 실시하였다.

### 3.4 터널 적용 보강공법

본 터널구간의 암반은 일부구간을 제외하고 대부분 암

질이 양호한 화강암류로 구성되어 있다. 따라서 그라우팅 등의 보조공법이 필요치 않으므로 본 봉락구간에 적용된 보강공법은 낙석부분에 대하여 록볼트의 길이를 4m에서 6m로 연장하고 와이어 메쉬와 숏크리트로 봉락된 부분을 채워 보강을 실시하였다.

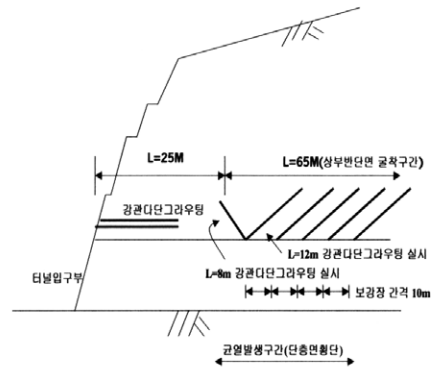


그림 16. 봉락구간 보강단면도

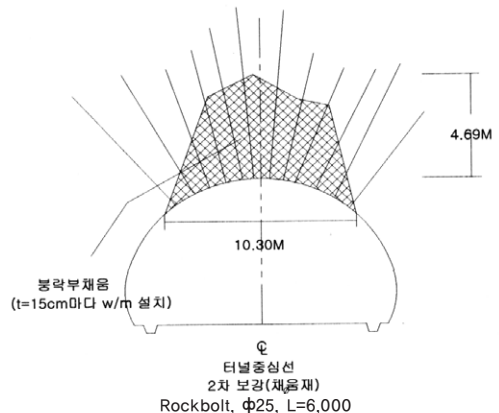


그림 17. 봉락구간 보강 현황도

### 3.5 터널 적용 보강공법

암질상태가 다소 무른 연암정도의 암반으로 터널 막장 mapping 결과 주향 및 경사면이 연속적으로 겹쳐 있고 봉락부위의 암반이 터널측과 예각을 이루고 있어 매우 불

리하였다. 따라서 인접한 지하환기소의 접속부 보강을 9m 연장하여 삼각지보를 설치하고 숏크리트, 록볼트 수량을 증가시켜 불연속면이 더 이상 이완되지 않도록 조치하였다. 또한 붕락이 발생된 측면에 설계 천공간격 사이에 무장약공을 시공하여 발파진동을 최대한 억제하였다.

### 3.6 버터널 적용 보강공법

갱구부 사면의 절취 암사면은 풍화대가 깊고 파쇄대가 발달하여 일부 토사의 유실과 추가 활동이 예상되는 곳으로 이미 터널 상부지반이 이완되었다. 또한 붕락구간이 터널입구부에 인접해 있으므로 붕락된 구간을 개착식 터널로 변경하였다. 입구부 사면은 토사 또는 모암의 풍화가 심하고 파쇄대가 깊어서 모암 상층부의 토사유실이 예상되어 사면 활동 억지공으로서 효과가 우수한 soil nailing공을 그림 18과 같이 실시하였다.

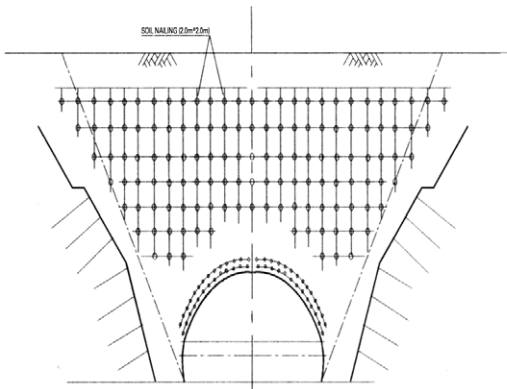


그림 18. 붕락부 갭문 보강 방안

또한 개착식 터널 시공에 우선하여 터널내 붕락구간과 근접되어 있어서 붕락구간의 개착공사로 인한 2차 지반이완이 예상되는 터널내 구간에 대하여는 그림 19와 같이 강관다단그라우팅을 실시하였다.

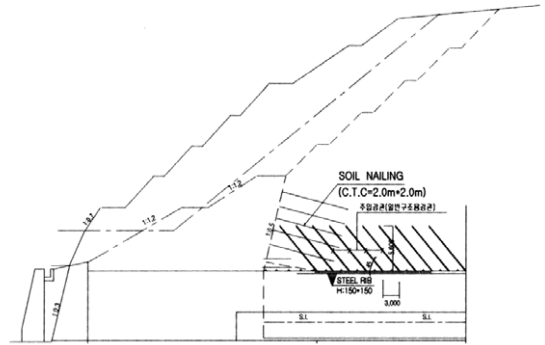


그림 19. 붕락구간 보강방안

## 4. 결론

고속도로터널에서 발생된 붕락유형에 대한 분석결과 는 다음과 같다.

- (1) 도로터널 공사중 발생된 붕락형태를 분석해 보면 터널 붕락이 지표면까지 함몰된 경우 35%, 터널내 국부적인 썩기형 암반블럭 붕락의 경우 50%, 단층이 터널과 교차로 인한 터널내 침하가 발생한 경우 15%의 비율로 발생되었다.
- (2) 터널붕락사고가 발생된 위치는 입출구 부근과 계곡부에서 85%, 비상주차대 확폭부에서 15% 발생되었다.
- (3) 고속도로터널의 경우는 파괴개념 관점에서 분석해 보면 Sliding Failure가 83%이상을 차지하는 것으로 분석되었다.
- (4) 붕락된 구간에 대하여 적용된 보강공법을 붕락형태에 따라 요약하면 다음과 같다. 지표면까지 함몰된 경우 지표부에서 시멘트 그라우팅, 터널내에서 SGR+Pipe Roof공법이 복합적으로 적용되었고 터널내 암반블럭의 부분적인 붕락의 경우 붕락부를 숏크리트와 와이어 메쉬, 록볼트 길이를 증가시켜

보강하였다. 단층면으로 인한 침하발생이 된 경우는 터널내에서 강관다단그라우팅공법 적용을 하였다. 계측결과 분석을 통하여 보강공법 적용 이후 현재 침하가 더 이상 진전되지 않은 것으로 보강효과를 확인할 수 있었다.

- (5) 터널굴착공사중 붕락이 발생된 현장의 막장조사결과를 보면 조사자가 임의로 표시를 하여 각 터널별 막장조사결과가 매우 상이할 뿐만 아니라 각 터널별로 기재방법, 양식이 달라서 실제 원인분석에 활용하기가 어려우므로 통일된 기재방법이 필요하다. 또한 작업성을 높이기 위하여 지보재 설치시 여러 막장을 굴진한 후 한꺼번에 작업을 실시하는 경우가 많아 철저한 시공관리가 요구된다.

## 참고 문헌

1. 김성환, 김낙영(2000), "고속도로터널 현황", 터널기술, Vol.2 No.1, 2000, pp 6-14.
2. Wolfard Lechnitz(1990), "Analysis of collapse on tunnel construction sites on the new lines of the german federal railway", Tunnelling and Underground Technology, 1990, Vol 5, No3, pp 199-203.
3. Chambon, Pierre and Corte, Jean- Francois(1994), "Shallow Tunnels in Cohesionless Soil :Stability of Tunnel Face", ASCE Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 120. No 7., pp