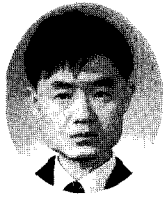
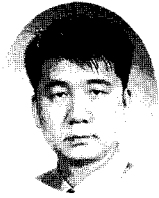


KTIA

운영중인 터널의 확폭 굴착에 관한 해외 사례 분석(I)



서경원
대우건설 기술연구원
선임연구원



백기현
대우건설 기술연구원
책임연구원



노종륜
대우건설 기술연구원
전임연구원

1. 서론

오래된 터널중에는 단면이 작아 터널 구간에서 만성적인 정체현상을 빚는 구간이 생기고, 라이닝의 노후화, 지반조건의 변형 등으로 안정성도 문제가 되는 터널이 나타나고 있다. 이에 대한 대책으로 새로운 터널을 건설하거나 기존 노선을 확충하는 등 많은 투자가 이루어지고 있지만 부지확보가 힘든 도심지나 우회노선이 어려운 지역의 경우 신설터널을 건설하는 것은 매우 어려운 일이다.

최근 일본에서는 우회노선이 불가능하거나 교통흐름을 계속적으로 유지시켜야만 하는 경우, 터널 확폭을 위해 기존터널의 단면을 확장하는 기술이 개발되어 적용되고 있다. 이러한 터널 확폭 시공은 용지매입 비용의 절감 및 자연환경 파괴를 최소화 할 수 있다는 장점이 있지만, 공사비가 신설 터널에 비해 많이 들고, 좁은 공간에서 소형장비를 이용해 공사를 하기 때문에 효율이 떨어져 공기가 늘어나게 되는 등의 문제점이 있다. 그러나 공사비가 비

싸고 공사가 어려운 조건 아래에서도 일본에서 40여 차레나 시공이 되었을 만큼 공용 중인 터널의 확폭 공사를 진행할 수밖에 없는 현상이 나타나고 있다. 국내에서도 곳곳에서 기존터널의 확폭을 수행한 적 있으나 기존교통 흐름을 완전히 차단한 채 이루어진 것으로 운영중 터널의 확폭으로 보기는 힘들다.

기존터널 외부를 굴착하는 방식에 따라 기계식굴착과 발파굴착으로 구분할 수 있으며, 확폭터널 공법이 활발하게 적용되고 있는 일본의 경우는 지반조건이 불량하여 발파에 의한 굴착보다는 기계를 이용한 굴착이 대부분을 차지하고 있다. 또한, 최근에는 대형건설사 및 국책연구소가 하나의 연구회를 구성하여 굴착기계, 강제 프로텍터 등의 요소기술과 다양한 형태의 공법개발을 서두르고 있다. 국내에서도 운영중 터널의 확폭에 대하여 단편적으로 소개된 적(김동규, 백기현) 있으나 과거 시공사례 및 시공시 문제점 등에 관한 검토는 부족한 실정이다. 일본의 경우 지반조건상 연암 이하에서 기계에 의한 굴착이 이루어

지는 경우가 많았지만, 국내에서 터널 확폭이 이루어질 경우 보통암 이상의 지반과 마주칠 가능성이 크므로 교통의 계속적인 흐름을 위해서 발파에 의한 기존터널의 안정성 검토가 매우 중요하다. 본문에서는 시공사례를 바탕으로 터널 확폭의 종류 및 프로텍터의 설치, 기존터널의 굴착 방법 등에 관해 소개하고, 확폭의 각종 제원에 대하여 분석해 보았다.

2. 터널확폭의 종류 및 방법

2.1 운영중 터널 확폭의 종류

기존터널의 확폭은 확폭량과 확폭 방향에 따라 크게 4가지 패턴으로 분류할 수 있다(표 1).

(1) 하부부분 확대공법

기존 터널의 폭원을 변경하지 않고 노반아래 굴착과 포장두께의 축소에 의한 내공 높이만을 확대한다. 비교적 비용은 저렴하지만 터널의 지지력 확보와 배수공 이설 등에 문제가 있다.

(2) 상부부분 확대공법

기존 터널의 폭원을 변경하지 않고 터널 상부 아치의 일부 또는 전면을 확대 굴착하여 내공높이만을 확대한다. 작업공간이 협소하여 작업효율이 나쁘며 결과적으로는 전단면 확폭에 비하여 비용이 높게 되는 경우가 많다. 도

로터널에서는 시공사례가 없으며, 철도터널에서는 전기 시설물 공사를 위한 사례가 있다.

(3) 편측확대 공법

기존 터널의 중심선을 이동하여 한쪽 방향으로 집중하여 작업공간을 크게 확보하므로 효율적인 시공이 가능하다. 단, 도로선형 등의 제약조건을 받는 것 이외에 기존 콘크리트 라이닝의 건전도 및 접속부에 관한 구조 등이 중요한 요소이다.

(4) 양측확대 공법

기존 터널의 양측으로 단면전체를 확폭한다. 터널중심의 이동량이 크지 않은 경우에 적용하며 실제 시공사례가 가장 많은 시공패턴이다.

2.2 터널 확폭의 순서

운영중 터널의 확폭 공정은 크기, 노선위치 등에 따라 다르지만 개략 표 2와 같은 순서로 이루어진다. 먼저 프로텍터를 설치하는 위치에 기초공을 설치하고 프로텍터를 설치한다. 프로텍터는 갱외에서 조립이 이루어지며 설치하는 야간에 교통통제를 실시하고 이루어진다. 이때 프로텍터의 치수는 기존 터널의 제원에 따라 다르지만 보통 폭 4~6m, 길이 6m 전후의 강재프로텍터가 이용된다. 그림1과 2는 기존터널에 프로텍터가 삽입된 모습을 개념도와 사진으로 나타내었다. 기존터널 주변의 확폭되는 부분을 포아폴링 등으로 사전보강하고 굴착하게 된다. 이때

표 1. 터널확폭의 종류



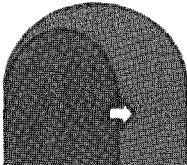
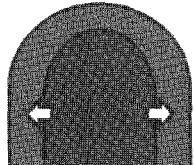
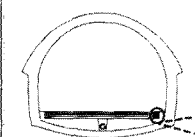
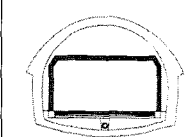
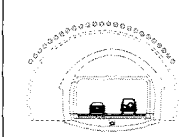
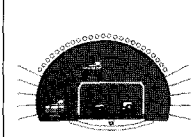
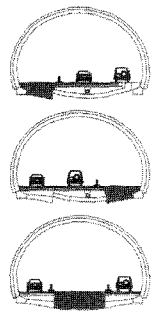
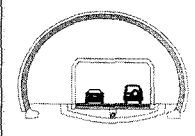
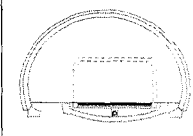
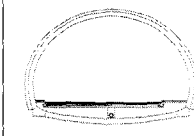
확폭종류	하부부분 확대공법	상부부분 확대공법	편측확대 공법	양측확대 공법
개념도				

표 2. 터널 확폭 시공 순서

시공 순서					
	① 기초공	② 프로텍터 설치	③ 사면보강	④ 굴착공	
					
	⑤ 라이닝설치	⑥ 프로텍터 제거	⑦ 포장공		

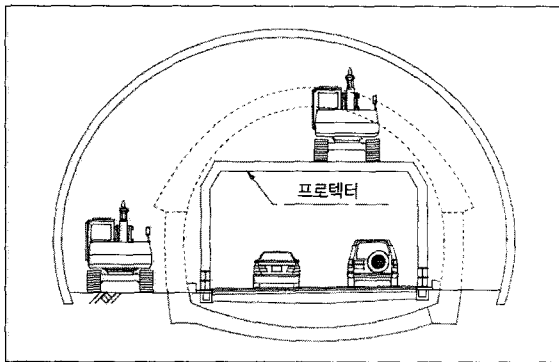


그림 1. 프로텍터 삽입 개념도

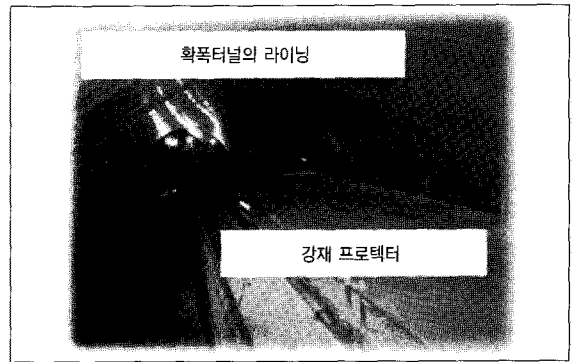


그림 2. 프로텍터 실제 삽입

굴착방식에 따라 기계굴착과 발파굴착으로 나뉘는데 시공사례는 제3장에서 분석하기로 한다.

굴착후 지보는 신설터널과 마찬가지로 슛크리트와 록볼트가 주체가 된다. 굴착이 완료되면 라이닝을 설치하고 프로텍터를 철거하게 된다. 여기서 중요한 것은 기존터널 외곽부를 굴착해도 프로텍터 내부로는 교통흐름이 유지된다는 것이다.

2.3 프로텍터 공

운영중 터널의 확폭시공시 차량통행에 가장 지장을 주는 것은 프로텍터의 설치 및 철거작업이다. 특히 프로텍터 관련 작업은 야간에 전면통행 금지후 실시되어 시간

및 공간적 제약이 따르기 때문에 최적의 시공프로세스가 요구되는 부분이다. 프로텍터의 설치는 터널마다 지형, 작업공간 등이 상이하여 일률적인 분석이 어려우므로 하나의 시공 예로서 설명하기로 한다.

2.3.1 시공개요

- 공사명칭 : Hudagou터널 확폭공사(간선도로)
- 발주자 : 치바현
- 공기 : 2003년 10월 15일 ~ 2005년 3월 10일
- 공사내용 :
 - 터널연장 : L=146m(기존터널 L=136m)
 - 내공단면적 : A=54.5m²
 - 프로텍터공 : L=168m

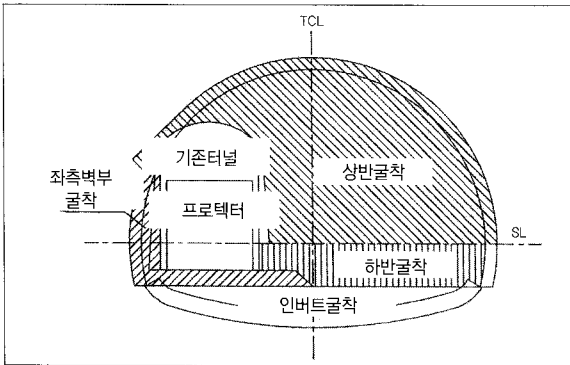


그림 3. 기존터널의 확폭

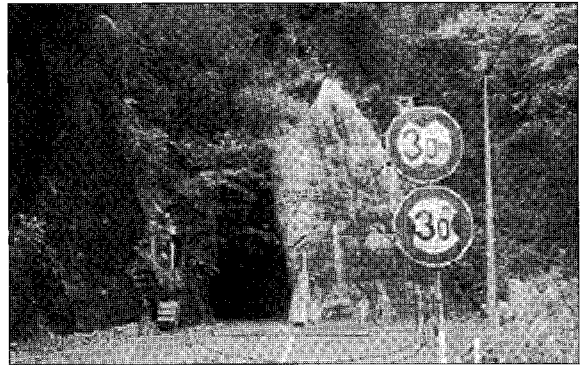


사진 1. 터널확폭 전

- 터널시공법

- 상반교호병진 슛벤치컷 공법
- 기계굴착방식, 트럭운반방식(버럭처리)

그림 3에는 기존터널의 확폭 개념을 나타냈으며 사진 1, 2에는 확폭 전후의 터널 모습을 나타내었다.

2.3.2 프로텍터의 구조

프로텍터의 내공치수는 교통규제폭을 고려하고 긴급 차량 통행이 가능하도록 폭 2.72m, 높이 2.80m로 설정하였다. 프로텍터의 구조는 터널 굴착시의 버력의 낙하나 시공기계의 접촉 등을 고려하여 암괴가 높이 2.0m로부

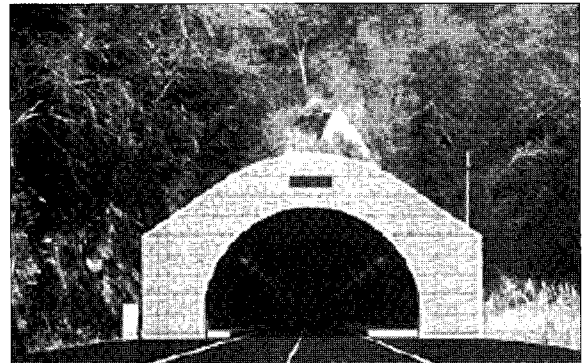


사진 2. 터널확폭 후

터 떨어질 경우의 충격을 이겨낼 수 있는 구조조건으로 설계 하였다(그림 4).

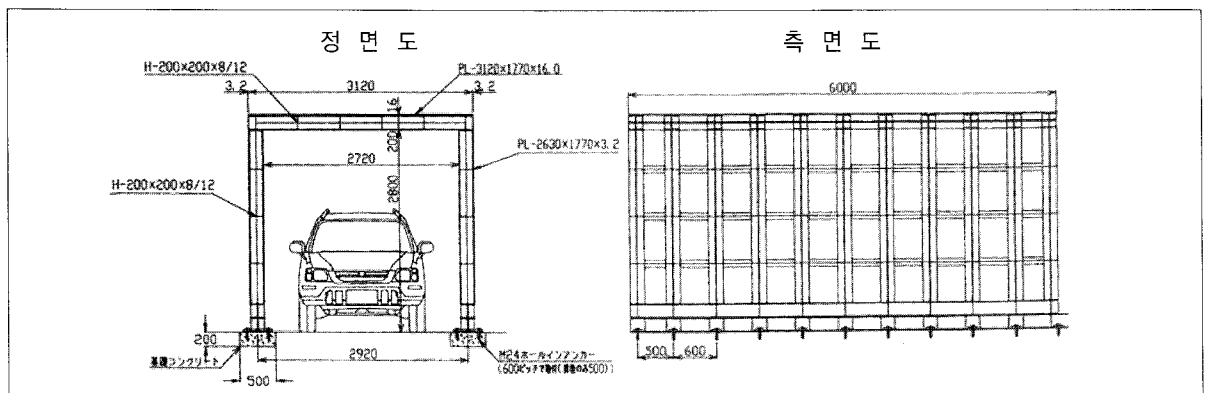


그림 4. 프로텍터 단면도

2.3.3 프로텍터 설치

기존터널이 협소하기 때문에 설치 작업을 터널 내부에서 할 수 없어 공장제작후 갱외의 작업장에서 조립하고, 특수 잭을 장착한 11t 덤프트럭으로 갱내에 반입하였다.

(1) 프로텍터의 기초공

프로텍터 설치시 지지부를 안정화시키기 위해 프로텍터의 반입전에 터널 종단방향으로 H형강을 이용하여 기초를 설치하였다. 시공은 야간통행 금지시에 하였고 협소한 기존 터널내에 통행차로를 확보하기 위하여 좌우 한쪽씩 번갈아가며 시공하였다.

제한된 작업공간 및 작업시간으로 인하여 굴착부터 설치까지의 소요시간은 2시간 정도였다.

(2) 프로텍터의 제작

갱외 작업장에서 프로텍터 가조립 작업의 효율화를 위해 공장에서 프로텍터를 천정판 1피스, 측벽 2피스의 총 3피스로 분할하여 제작하고 이것을 작업장에 반입하였다. 프로텍터 제작은 28블록(L=6m/블록)에 1개월이 소요되었다.

(3) 프로텍터의 갱외 가조립

프로텍터 설치의 갱내작업을 가능한 피하기 위해 작업

장에서 프로텍터의 가조립 작업을 수행하였다. 가조립은 1블록 6m 단위로 행하고 하루의 프로텍터 설치블록 수를 고려하여 3블록의 조립이 가능한 조립 작업장을 확보하였다.

(4) 프로텍터의 설치

프로텍터의 갱내운반·설치시에는 특수 잭을 장착한 11t 덤프트럭에 의해 갱외에서 가조립한 프로텍터를 갱내로 운반하고 설치하였다(사진 3~6). 가조립 작업장에서 갱내까지의 운반로는 중량물의 원활한 주행이 되도록 가설포장을 하였다. 본 시공방법에 의해 프로텍터 설치시간을 단축할 수 있었으며 효율적인 시공이 가능하게 되었다.

(5) 프로텍터의 지수처리

프로텍터 하부와 기초지반간의 틈은 확폭단면의 모서리부 보강 및 프로텍터의 활동방지를 위해 에어모르타르를 타설할 필요가 있었다. 이 때문에 프로텍터의 조인트부에 용접 및 지수테이프 등으로 전 구간에 걸쳐 지수처리를 하였다. 이로 인해 록볼트 및 foot pile 등의 시공시에 천공수가 프로텍터 내부(통행차로)에 누수 없이 시공할 수 있었다.

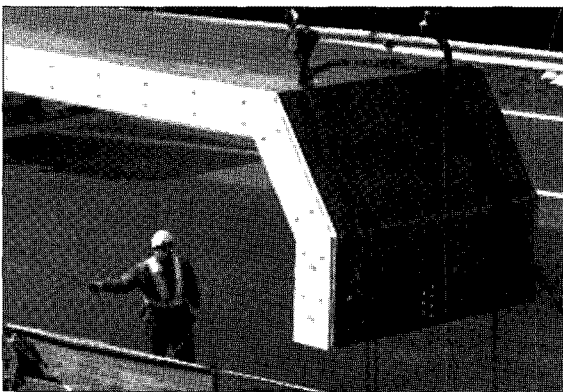


사진 3. 프로텍터 조립중



사진 4. 프로텍터 조립·검사

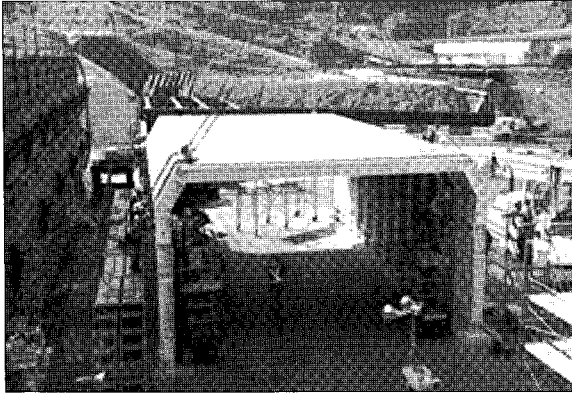


사진 5. 프로텍터 조립후

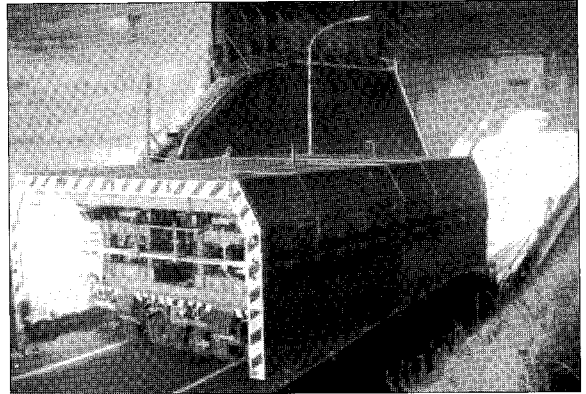


사진 6. 프로텍터의 터널내 반입중

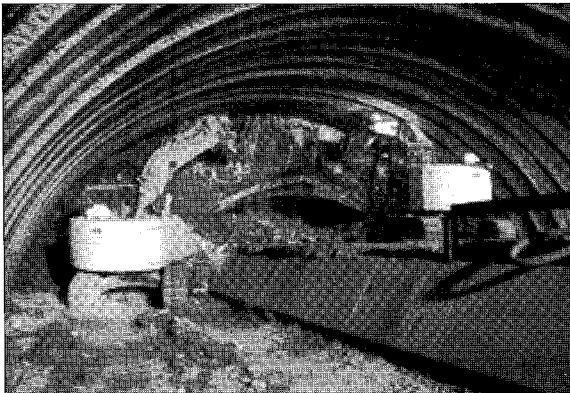


사진 7. 프로텍터 상부선진 굴착

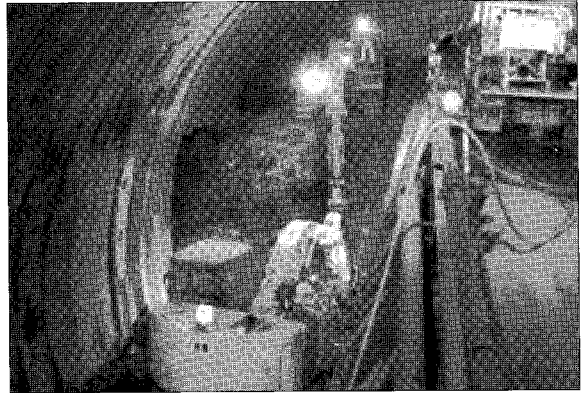


사진 8. 프로텍터 측벽부 굴착

(6) 프로텍터의 시공사이클

프로텍터는 21:00~5:00까지의 야간 통행금지시에 1일 최대 4블록의 설치가 가능하며, 모든 블록의 설치에 10일이 소요되었다. 준비공부터 지수처리까지 총 소요기간은 2.5개월이 소요되었다.

2.3.4 터널 굴착

확폭굴착은 기존터널을 운영하면서 시공되기 때문에, 발파굴착을 할 수 없어 대형 브레이커에 의한 기계 굴착을 수행하였다. 이 방법은 우선 프로텍터의 위쪽을 선행해서 굴착하고 양측벽을 굴착하는 상반 선진 공법으로 진행했다(사진 7, 8). 굴착 속도는 1개월에 약 20 m 정도 굴

진하였으며, 도로의 운영에 지장을 초래하는 일 없이 연장 168m를 8개월에 걸쳐 완료하였다.

2.4 통행차량의 안전대책

터널 확폭시에는 프로텍터 내부를 통하여 차량흐름이 유지되기 때문에 운행차량의 안전대책이 매우 중요하다. 당 현장은 높이 제한을 경고하는 체크바(check bar)(사진 9)를 터널의 시점측과 종점측에 설치하였다. 그러나 체크바를 통과한 차량도 주행반동으로 프로텍터와의 접촉사고가 일어나는 경우가 생기고 있어 감속운전 등의 대책이 필요하다.



사진 9. 체크바 설치

3. 운영중 터널의 확폭 제한 분석

일본의 경우 터널 확폭 사례는 약 40여건에 이르며 본문에서는 자료 수집이 완료된 30개소 터널에 대한 분석을 하고자 한다. 30개소 터널 가운데에는 기존 터널의 크기를 확폭하는 경우도 있고, 기존터널 크기로 개축한 경우도 있으나 본 고에서는 모두 확폭으로 표현하고자 한다.

3.1 터널제한

그림 5~10에는 운영중 확폭 사례 터널의 연장, 시공연장, 내공폭, 단면적, 확폭율(확폭 터널의 내공폭/기존터널의 내공폭)에 대한 각각의 관계를 나타내었다. 그림 5~10을 정리하면 다음과 같다.

- 그림 5로 부터 확폭공사를 실시한 터널은 1,000m 이상도 6건 있지만, 이것은 터널 내의 분기부 확폭 등에 의한 것이며, 주로 수 십m에서 300m 미만이 대부분임을 알 수 있다.
- 그림 6~7로 부터 기존터널의 폭은 5~10m인 경우가 많으며, 이것은 1.2~2.0배로 확장하는 경우가 많은 것을 알 수 있다. 이는 일본의 도로특성상 과거 편도

1차로의 터널을 편도 2차로로 확장하는 경우가 많았기 때문에 생각된다.

- 그림 8에는 터널확폭 연장과 시공기간을 나타내었다. 운영중 터널확폭은 교통통제, 지형적 여건 등으

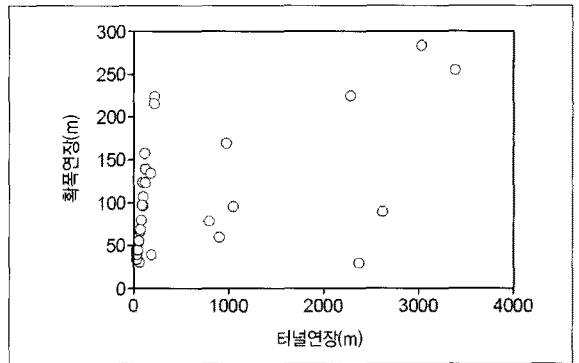


그림 5. 기존터널 연장과 확폭시공 연장

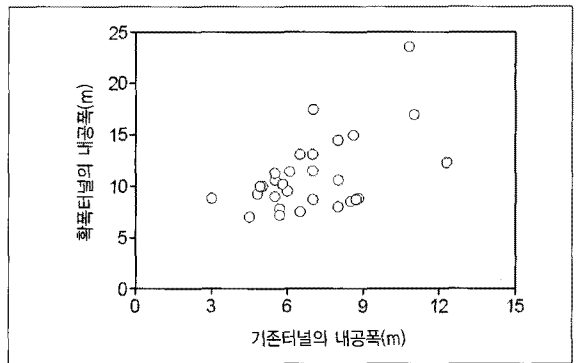


그림 6. 기존터널과 확폭터널의 내공폭

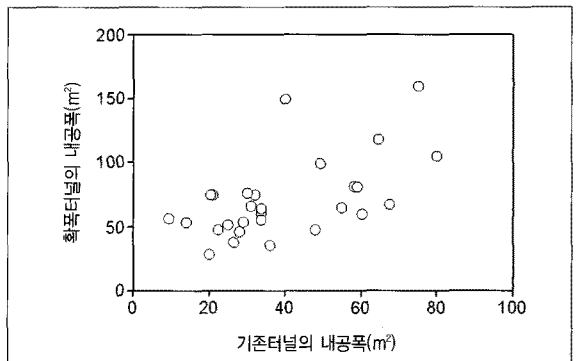


그림 7. 기존터널과 확폭터널의 단면적

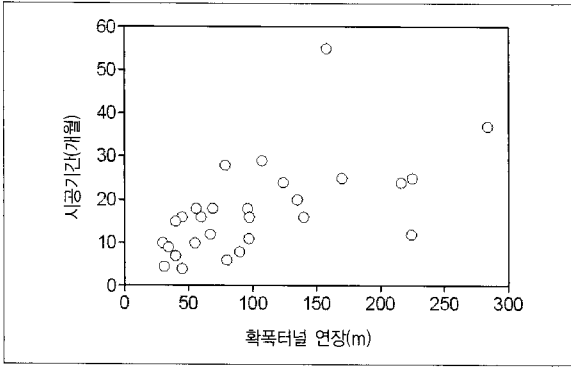


그림 8. 확폭터널 연장과 시공기간

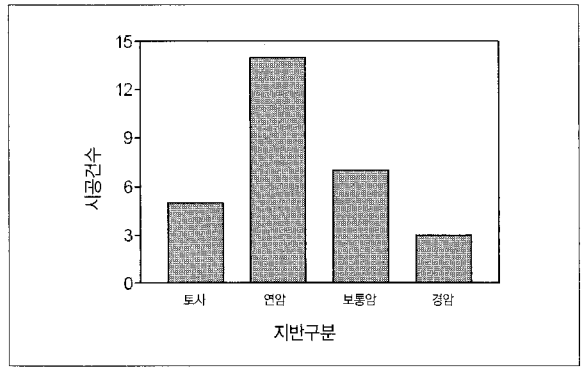


그림 9. 확폭터널의 지반조건

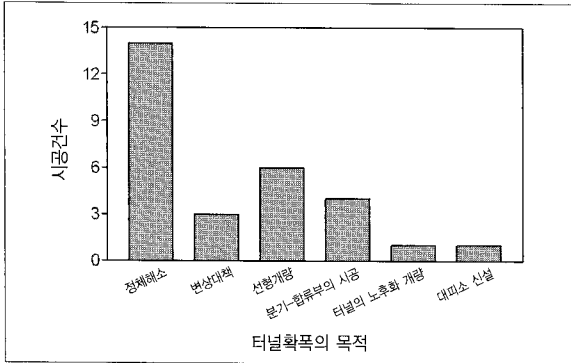


그림 10. 터널확폭의 목적

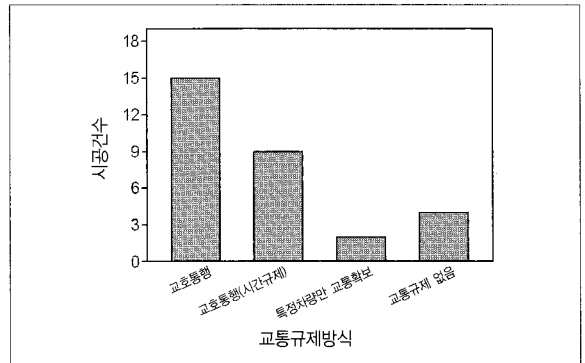


그림 11. 운영터널의 교통규제 방식

로 신설터널의 굴착보다 많은 시간이 소요되는 것으로 나타났다.

- 그림 9에는 터널확폭이 이루어진 29개소의 지반분류를 나타내었다. 전체의 약 65%인 19건이 토사층, 연암층에서 굴착이 이루어졌지만 보통암 이상의 지반에서도 35%인 10건이 이루어져 지반강도에 관계 없이 적용될 수 있음을 보여주고 있다.

3.2 확폭의 목적

그림 10에 운영중 터널 확폭공사의 목적을 나타내었다. 공사목적은 교통 정체해소가 가장 많은 14건이었고 다음으로 선형개량, 인도설치, 분기합류부의 시공 순이었다.

으며, 기존터널내 대피소의 신설에 의한 부분 확폭도 1건 있었다.

3.3 교통규제 방식

그림 11에는 확폭을 행한 사례터널의 교통규제 방식을 나타내었다.

- 교통규제 방식은 교호통행이 15건으로 가장 많고 다음으로 시간규제를 행한 교호통행이 9건이었다.
- 한편, 교통규제를 하지 않고 터널을 굴착한 경우가 4건 있었다. 이 4건 가운데 3건은 분기·합류부의 시공, 램프부의 합류차선의 추가 등 공사개소의 내공폭이 비교적 큰 경우이다.

3.4 굴착방식

표 3에는 기존 시공사례를 바탕으로 확폭공법별 굴착방식과 시공기계의 예를 나타내었다. 그림 12의 28개소의 터널확폭에 대한 굴착방식을 표4와 비교해 보면 로드헤더 및 자유단면형상기와 같은 기계 굴착이 전체의 65%를 차지하고 있으며, 발파와 기계 굴착을 병행한 경우가 21%(6건)이지만 이는 대부분 기계굴착을 하고 발파를 일부 병용한 경우이다. 순수 발파에 의한 굴착을 수행한 경우는 전체의 1건으로 대부분 기계굴착으로 시공하고 있음을 알 수 있다.

3.5 안전의 확보, 프로텍터의 구조·치수

그림 13~15에는 공용중 터널의 확폭시 안전 대책과 사

표 3. 확폭공법별 굴착방식과 시공기계의 사용 예

확폭공법		굴착방식	시공기계
전체확대	양측확폭공법	기계굴착	범용굴착기
			전용굴착기
	편측확폭공법	기계굴착	범용·전용굴착기
			반전용굴착기
부분확폭	하부확폭공법	기계굴착	범용굴착기
	상부확폭공법	기계굴착	범용굴착기

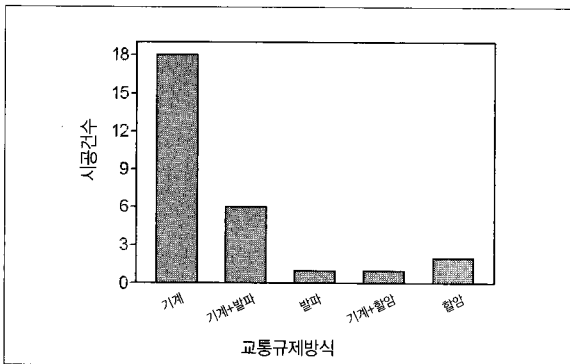


그림 12. 확폭터널의 굴착방식

용된 프로텍터의 규격을 나타내었다.

- 안전의 확보는 프로텍터를 이용한 공사가 23건으로 가장 많고, 다음으로 기존 터널의 라이닝을 프로텍터로서 이용한 사례가 5건이 있다(그림 13).
- 프로텍터의 연장은 시공연장과 같거나 약간 긴 경우가 많았다(그림 14).
- 프로텍터의 높이는 약 4m가 가장 많고, 폭은 약 3m부터 약 8m로 편차가 크지만 4m정도가 많다(그림 15).

3.6 지보시스템

그림 16에는 확폭시공 사례 예 30개소의 지보구조를 나타내었다.

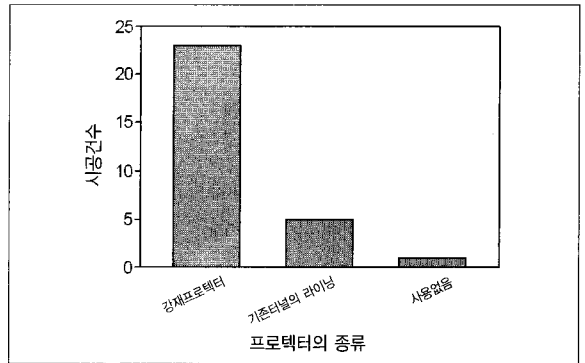


그림 13. 터널굴착시 안전확보 방법

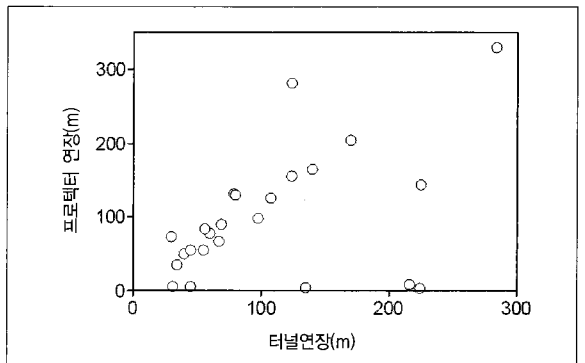


그림 14. 시공연장과 프로텍터 연장

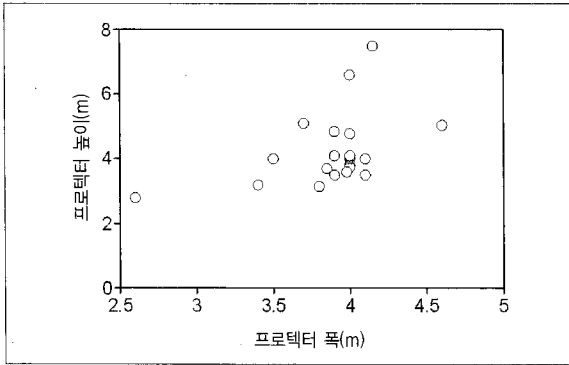


그림 15. 프로텍터의 치수

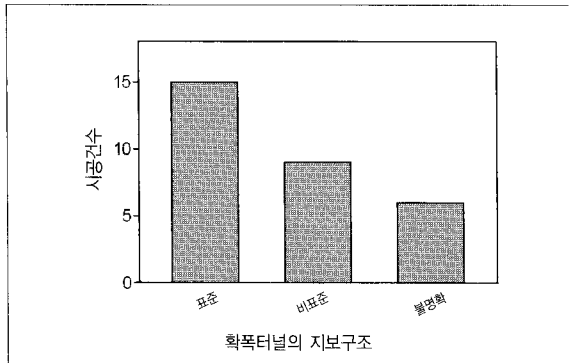


그림 16. 확폭터널의 지보구조

• 확폭시의 지보구조는 신설터널에서 이용하는 표준 지보패턴(일본토목학회 터널표준시방서)을 적용하고 있는 경우가 15건으로 가장 많고 이외에 현장 상황에 맞게 지보구조를 변경적용하고 있는 경우도 9건 있었다.

수집된 30개소 터널중 터널정보, 지반정보, 지보정보가 명확히 기재된 15개소의 지보구조 및 보조공법을 정리하면 다음과 같다.

- ① 지반이 연약한 경우 시공연장에 관계없이 휘폴링을 실시하고 있는 경우가 많다.
- ② 지반의 연경에 관계없이 상하반 분할시공의 예가 많다.

- ③ 강지보공은 H200@0.75~1.0m의 사용예가 많다. 이것은 설계표준으로서 갱구부의 지보패턴(DⅢ)을 따르고 있는 것으로 생각된다.
- ④ 지반이 견고한 경우는 강지보공을 설치하지 않는 경우도 있다.
- ⑤ 록볼트에 관해서는 각 시공조건에 따라 사양을 변경하여 적용하고 있다. 또한 크게 분류하여 아래와 같이 시공됨을 알 수 있다.
 - (a) 패턴볼트를 기본으로 하는 경우(표준패턴)
 - 자천공볼트(L=4m)를 레그드릴로 시공, 1m×4분을 연결시공
 - (b) 휘폴링을 기본으로 하는 경우
 - 상반 휘폴링만의 예
 - 상반 휘폴링+록볼트 보조타설(랜덤배열하여 측부 록볼트를 생략)한 예
 - 상반 SL부분에서 수평으로(L=4m) 한쪽에 2분 시공(상반완료후 하반 시공전에 설치)

4. 맺음말

본 기술기사에서는 최근 국외에서 이루어진 운영중 터널의 확폭 시공에 대해 일본의 사례에 국한하여 소개하였다. 시공 경험자들에 의하면 1.5km이상의 장대터널에서는 경제성 측면에서 기존터널의 확폭보다 신설터널의 굴착이 유리하다고 하지만 최근 교통량의 급증 및 도시재생 프로젝트에 의한 기존터널의 개축 및 확폭이 어느 때보다 필요하며 선택의 여지없이 기존터널을 확폭해야만 하는 현상이 나타나고 있다.

일본의 경우 지반조건의 열악함 및 기계장비의 소형화·성능향상으로 기계식 굴착이 이루어지는 경향이 많은 것을 알 수 있었다. 그러나 국내의 경우 지반조건이 양호한 경우가 많으며 발파식 굴착에 큰 강점을 갖고 있으므로 기존터널의 교통흐름을 유지한 채 주변을 확폭하기

위해서는 발파시 기존터널의 안정성, 프로텍터의 안정성 등에 관한 연구가 필요할 것으로 생각된다. 확폭시공이 도심에서 이루어지는 경우가 많으므로 차량통행의 안전 대책이 중요할 것으로 생각되며, 좁은 공간에서의 장비이동이 많으므로 시공프로세스에 관한 검토도 필요할 것으로 생각된다. 향후 이와 같은 내용에 중점을 둔 시공사례 및 문제점, 대책방안 등에 관해 소개할 예정이다.

참고문헌

1. 김동규, 정호섭, 공용중인 터널 확폭에 의한 기능향상, 한국지반공학회지, Vol.23, No.3, pp.14-20, 2007
2. 백기현, 노종륜, 공영중인 터널의 확폭 시공사례(오쿠라터널), 대한토목학회정기학대회, 2007
3. 鈴木雅行, 공영중 터널의 개축에 의한 도로터널의 시공, 터널공학 보고집, Vol.15, pp.153-160, 2005
4. 勝間田 直乙, 공용터널을 단선에서 복선으로 확폭, 터널과 지하, 제25권2호 pp.15-21, 1994
5. 原田 利文, 활선터널 확폭공사, 제52회 시공체험 발표회(산악), pp.57-64, 2003
6. 眞下 英人, 기존 터널의 단면확대 기술의 개발, 터널과 지하, 제34권 9호, pp.41-48, 2003