

# 경부선 이단적재열차 운용을 위한 철도터널 단면확대 전략



**안성권**  
한국철도기술연구원  
선임연구원  
T.031.460.5615  
ska977@krii.re.kr



**사공명**  
한국철도기술연구원  
책임연구원  
T.031.460.5363  
rockcore@krii.re.kr

## 1. 서론

터널 확대란 이미 시공이 완료되어 사용 중인 터널에 추가로 굴착을 가하여 터널의 내공 단면적을 증대시키는 것을 말하며, 선로 확충 및 차량 대형화 등을 통한 운송 효율성 재고를 주요 목적으로 한다. 공용 중인 터널에 대한 확대 공사는 공사 구간을 통행하는 인명에 대한 안전 확보가 중요하다. 특히 철도 터널 확대를 위해서는 천정부에 설치되어 있는 전차선 구조물과 바닥부에 설치되어 있는 궤도 구조물 때문에 도로 터널에 대한 확대 공사에 비해 더 많은 제약이 따르므로 보다 발전된 형태의 공사 방법이 필요하다. 본 고에서는 국내·외 공사 사례 조사를 통해 철도 터널 확대 공사를 공법 별로 분류하였다. 본 고에서는 향후 이단 적재 열차 운용 필요성이 지속적으로 제기되고 있는 경부선 터널 시설에 대한 현황 자료를 제공하며, 특히, 열차 운행을 허용한 상태에서 철도 터널 확대를 시행할 수 있는 새로운 공사 방안을 제안하였다. 또한 본 고에서는 단면 확대 공사의 경제성 여부를 검토하기 위해, 경부선 최장 성현 터널(2.5km)에 공사를 시행한다고 가정하고, 터널 확대 비용 및 신규 터널 비용을 각각 산출한 후 비교하였다. 본 고에서는 현장 조사를 통해 경부 기존선 터널에 대한 이단 적재 열차 운용을 위한 현실적인 공사 전략을 제안하였다.

## 2. 본문

### 2.1 철도터널 단면확대 공사방법

#### 2.1.1 공법의분류

철도 터널 확대 공법을, 먼저는, 공사 기간 중에 공사가 진행 중인 터널 구간에 열차 운행을 허용하는지 여부에 따라 구분할 수 있다. 열차 운행을 허용한 상태에서 공사를 시행하는 공법은 선로 운영상에 큰 부담을 주지는 않지만 공사 진행이 느린 단점이 있으며, 반면에 열차 운행을 허용하지 않고 선로를 전면 차단한 상태에서 공사를 시행하는 공법은 선로 운영상에 큰 부담을 주지만 공사 진행이 빠른 장점이 있다. 그러나 단선 병렬 터널의 경우라면 열차 운행을 허용하지 않고 공사를 시행하더라도 임시 연결선을 이용하여 시·종점부에서 각 터널을 서로 연결한 후 공사를 시행함으로써 전면적인 선로 차단을 피하는 방안을 사용할 수 있다.

한편으로는, 철도 터널 확대 공사를 굴착이 가해지는 부분이 어디냐에 따라서 상방향(上方向) 또는 하방향(下方向) 확대로 구분할 수 있다. 상방향 확대(상로)는 기존 터널 라이닝을 철거하거나 교체하여 필요한 내공 단면적을 확보하는 것을 기본으로 하며, 라이닝 철거만으로 단면적 확보가 충분하지 않은 경우에는 라이닝의 배면에 있는 원지반에 대한 굴착이 필요할 수도 있다. 하방향 확대(하로)는 궤도의 도상 자갈 중 일부분을 제거함으로써 필요한 내공

표 1. 공법의 분류

| 분류    |               | 사례                                                                                                   |
|-------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I     | II            |                                                                                                      |
| 선로 차단 | 상로(라이닝 재시공)   | Beauvoisine tunnel (France); Detroit river tunnel (US)                                               |
|       | 하로(노반굴착)      | Mont Riboudet, tunnel (France); Detroit river tunnel (US)                                            |
| 선로 이용 | 상로(원지반굴착)     | Jahrodt tunnel (Germany); Semmering, tunnel (Austria); Mossiel, tunnel (UK); Tonomine tunnel (Japan) |
|       | 상로(라이닝 재시공)   | 은곡터널, 신주막터널 등(한국)                                                                                    |
|       | 하로(자갈도상 두께조절) | 성현터널 증약터널 등(한국)                                                                                      |

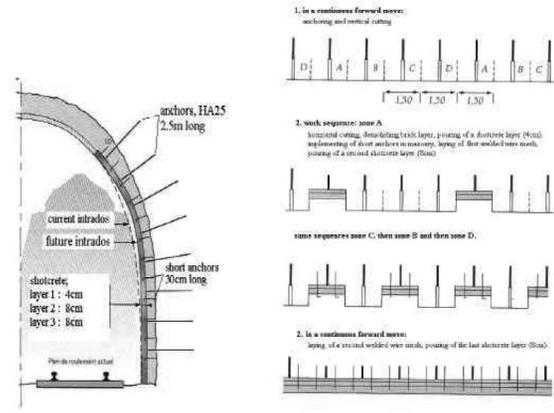


그림 1. 상로 사례(프랑스)

단면적을 확보하는 것을 기본으로 하며, 도상 자갈 제거만으로 단면적 확보가 충분하지 않은 경우에는 도상 자갈의 아래에 놓여있는 노반에 대한 굴착이 필요할 수도 있다. 또한, 지반 변형 등의 이유로 라이닝 배면 원지반에 대한 굴착이 여의치 않은 경우에는 라이닝 교체 및 도상 자갈 제거 등 상·하방향 확대를 모두 시행할 수도 있다. 또한 확보해야 할 내공 단면적이 크지 않은 경우에는 궤도나 전차선의 형식 및 구성품의 교체만 시행할 수도 있다.

표 1.에서는 철도 터널 확대를 전술한 바와 같이 열차 운행 허용 여부 및 굴착 부위에 따라 분류하였으며, 각 공법별 작업 절차 및 장·단점을 정리하였다. 공법 분류를 위해 프랑스, 미국, 독일, 오스트리아, 영국, 한국 등 국내·외에서 실시된 철도 터널 확대 사례가 사용되었다.

2.1.2 열차운행을 허용하지 않는 경우

그림 1.은 프랑스 Paris - Le Harve구간에 위치한 Beauvoisine, Saint Hilaire, Grand Pissy-Poville 복선 터널에서 시행된 상방향 확대 공법을 보여주고 있다(Coubray, 2001). 기존 조적식 라이닝을 부분적으로 철거함으로써 필요한 내공 단면적을 확보하였다. 터널의 붕락 및 붕괴 방지를 목적으로 철거 작업 전에 기존 라이닝과 원지반을 일체화시키기 위한 앵커링 작업이 실시되었으며, 철거 작업 후에 와이어메쉬와 슛크리트를 이용하여 굴착면을 안정화시키고자 하였다. 원지반을 굴착하지 않기 때문에 붕락 및 붕

괴 가능성은 낮지만 터널 라이닝 개량에 그치므로 확보해야 할 내공 단면적이 크지 않은 경우에만 사용할 수 있다.

그림 2.는 프랑스 Paris - Le Harve 구간에 위치한 Beauvoisine, Saint Hilaire, Grand Pissy-Poville 복선 터널에서 시행된 하방향 확대 공법을 보여주고 있다(Coubray, 2001). 노반을 부분적으로 철거함으로써 필요한 내공 단면적을 확보하였다. 노반 굴착 전후에 측벽부와 무릎부에 앵커링 작업을 실시하였고, 굴착으로 형성된 트렌치를 따라 지중보를 설치함으로써 하방향 굴착에 따른 지반의 변형을 억제하고자 하였다. 공사 중인 터널 내로 열차의 운행을 허용하지 않았기 때문에 작업속도가 빠르고 상방향 확대에 비해 붕락 및 붕괴 가능성이 낮다고 할 수 있지만 폐합된 인버트를 가지는 터널이나 경압 위에 놓여 있는 터널에서는

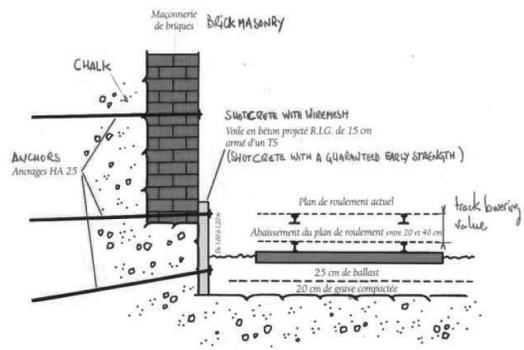


그림 2. 하로 사례(프랑스)

노반 굴착에 어려움이 예상되므로 적용이 어렵다. 열차 운행이 가능하도록 중단 선형을 유지해야 하므로 터널 내부 뿐만 아니라 터널 시·종점부 외부 선로에 대한 노반 굴착 함께 이루어져야 한다. 확보해야 할 내공 단면적의 크기가 클 때 사용할 수 있는 가장 현실적인 방안으로 판단된다.

### 2.1.3 열차운행을 허용하는 경우

그림 3.은 오스트리아 Old Semmering line에 위치한 Semmering 터널 및 Arlberg line에 위치한 Wildentobel 터널 설계에 사용된, 전차선이 구비된 터널에 대한 상방향 확대 공법을 보여주고 있다(Breuning, 2011). 공사 기간 동안 공사 구간에 열차운행을 허용하기 위해 특별히 제작된 마제형 실드를 사용하였다. 실드 천정에 설치된 전차선 설비를 이용하여 열차에 전력을 공급하도록 하였으며, 실드 외주면에 장착된 유압 장비를 이용하여 굴착을 실시하도록 하였다. 열차운행을 허용하기 때문에 열차운행 측면에서 선로에 미치는 부담이 적겠지만 실드의 외주면과 터널의 내주면 사이 협소한 공간에서 작업을 시행하여야 하기 때문에 특수 장비를 사용하여야 하며 따라서 작업 속도가 비교적 느리다. 라이닝 뿐만 아니라 원래 지반까지 굴착하는 경우에는 붕락 및 붕괴 가능성이 높아지므로 주의가 요구된다.

한편, 공사 중 열차의 운행을 허용한 상태에서 상방향 확

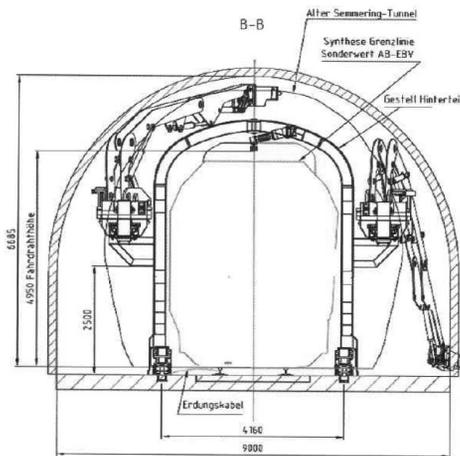


그림 3. 상로 사례(오스트리아)

대를 실제로 시공한 사례로는 독일 Nahe line에 위치한 Jahrodt 터널(125m) 등이 있는데, 이는 전차선이 구비되지 않은 터널에 대한 공사였으므로, 전차선이 구비된 터널에 대한 상방향 확대 시공 사례는 아직 보고된 바 없는 셈이다.

국내에서도 2000년대 초에 KTX 고속 열차의 경부선 운행에 대비한 전철화를 위해 경부선 일부 터널에 대한 시설 개량이 추진되었다. 전철화를 위해 확보하여야 할 내공 단면적의 크기가 크지 않았기 때문에 열차가 다니지 않는 새벽 시간을 이용하여 공사가 시행되었다. 은곡2 터널(27m) 등 연장이 짧고 라이닝 상태가 불량한 터널에 대해서는 라이닝 교체를 통한 상방향 확대가 실시되었고, 성현 터널(2,530m) 등 연장이 길고 도상 자갈의 두께가 충분한 터널에 대해서는 도상 자갈을 일부 제거함으로써 하방향 확대가 실시되었다. 상방향 확대에서는 라이닝 교체를 위해 엄지말뚝과 토류판을 이용한 보호공이 사용되었으며 하방향 확대에서는 도상 자갈 제거를 위해 기계 작업이 수행되었으며 필요한 경우에는 도상 자갈층 아래에 중심하수가 개량되었다.

## 2.2 경부선 현황

### 2.2.1 컨테이너 물동량

지난 20여년 동안 철도로 수송되는 컨테이너 물동량은 약 4배 증가하였는데, 이는 같은 기간 동안 철도로 수송되는 전체(컨테이너+비컨테이너) 물동량이 감소 추세인 것과 대비된다(컨테이너:3백만톤(1990)→12백만톤(2011), 전체:58백만톤(1990)→40백만톤(2011)). 특히, 경부선 물동량 2011년도 기준 2.5백만톤으로 남부화물선(3.5백만톤)과 함께 가장 높았다. 이는 증가 추세에 있는 부산항 컨테이너 물동량과 관련이 있는 것으로 보인다(17.5백만 TEU(2007)→22.5백만 TEU(2012)). 그러나 철도의 수송 분담률은 2011년 기준으로 전체 대비 5%(4백만톤)에 그치고 있어 도로의 수송 분담률(81%, 634백만톤)에 크게 미치지 못하고 있는 실정이다.

### 2.2.2 이단적재열차

제한적인 선로 용량을 보다 효율적으로 이용하고자 경

부선에 대한 이단 적재 열차 운용 필요성이 지속적으로 제기되고 있다. 이단 적재 열차란 열차 편성은 현재와 동일하게 유지하되 화차에 컨테이너를 2단으로 적치하여 운송하는 방안을 말한다. 이단 적재 열차는 컨테이너를 2단으로 쌓아 운송하므로 일반 화물열차에 비해 수송량 증대(65%) 및 비용 절감(40%)이 가능하며(한국철도기술연구원, 2010), 이러한 장점 때문에 북미, 중국, 인도, 호주 등에서 이미 사용되고 있다. 경부선 이단 적재 열차의 운용을 위해서는 컨테이너 2단 적재로 높아진 차량의 크기를 고려한 시설 개량이 요구된다. 터널의 높이를 레일면 기준으로 현행 5,060~5,400mm에서 6,350mm로, 전차선의 높이를 현행 5,200mm에서 5,800mm로, 입체 교차 시설의 높이를 6,810mm 이상으로 각각 상향 조정 시켜야 한다.

### 2.2.3 터널 현황

경부선에는 총 61개(합산 연장 약 27km)의 터널이 있으며, 이 중 단선 터널은 44개(합산 연장 약 19km)로, 단선 터널의 비율이 합산 연장 기준으로 전체의 약 70%에 이르고 있었다(한국철도기술연구원, 2006). 이단 적재 열차 운용을 위해서는 44개 단선 터널 전체 및 17개 복선 터널 중 4개소에 대한 높이 개량이 필요하다. 경부선 터널은 대다수가 1900년대 초·중반에 준공되어 현재까지 사용 중인데, 일부 터널은 KTX 고속 열차 운행에 대비한 시설 개량과 함께 2000년대 초반에 건설되었다. 단선 터널 중 연장 500m가 넘는 장대 터널의 합산 연장은 약 12km(12개)로 전체의 60%에 이르고 있었다. 가장 짧은 터널은 은곡2 터널(KP366,

연장 27m)이었으며, 가장 긴 터널은 성현(하) 터널(KP351, 연장 2,530m)이었다.

경부선 터널의 바닥에서부터 천단까지 거리는 5,900~6,200mm로 터널마다 약간 차이가 있었으며 최근 터널일수록 다소 높았다(그림 4). 한편, 레일면에서 천단까지 거리는 5,060~5,400mm이었다. 경부선의 단선 터널에서는 일반적인 경우 20m 간격으로 터널 어깨에 설치된 터널 브라키트를 이용하여 전차선을 지지하고 있었다. 레일면에서 전차선까지의 거리는 4,850mm이었으며, 전차선에서 조가선까지는 180mm, 조가선에서 천단까지는 320mm이었다. 단선 터널의 폭은, 터널 마다 다소 차이는 있었으나, 인버트에서 약 3,900mm이었으며, 측벽부에서는 약 4,900mm으로 차량 한계를 고려할 때 협소하였다.

### 2.3 단면확대 공사방안

#### 2.3.1 mTBM을 이용한 상방향 확대

열차 운영을 허용한 상태에서 상방향 확대를 시행하기 위해 굴착 장비와 작업 열차로 구성된 특수 장비를 사용할 수 있다(그림 5). 기존 터널을 그대로 둔 상태에서 라이닝 배면에 위치한 원지반을 굴착하기 위해 여러 개의 mTBM(micro tunnel boring machine)을 사용하여 굴착 장비를 구성할 수 있다. 일반적인 TBM과 마찬가지로 mTBM은 독립적으로 동작하며 디스크 커터가 장착된 면판의 회전력 및 실드 후미에 연결된 유압 실린더의 추진력 이용하여 지반을 굴착한다. 작업 열차는 열차가 다니지 않

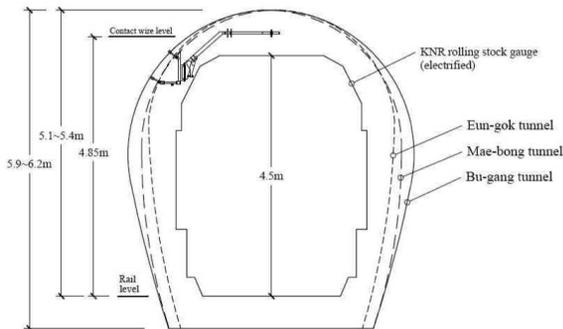


그림 4. 경부선 터널 단면

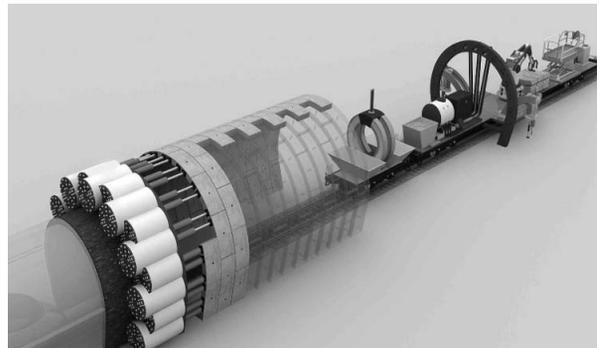


그림 5. mTBM을 이용한 단면 확대

는 새벽 시간에 선로를 따라 작업 위치로 이동한 후 작업을 수행한다. 작업 열차는, 기존 라이닝 절삭을 위한 다이아몬드 톱, 버럭 반출을 위한 사토 탱크, 굴착 장비 구동을 위한 유압 설비, 신규 라이닝 조립을 위한 다자유도 로봇, 뒷채움 그라우팅 장비 등을 탑재하도록 구성할 수 있다.

이러한 특수 장비를 사용하게 되면, 기존의 터널 라이닝 및 터널 내부의 모든 선로 시설을 그대로 둔 채로 터널 배면의 원래 지반을 굴착하므로 공사 중 열차 운행이 가능하게 되며, 일반 TBM과 마찬가지로 실드 아래에서 작업 열차에 구비된 여러 가지 기계 장비를 이용하여 라이닝 설치 작업을 실시하기 때문에 붕괴 및 붕락으로부터 발생할 수 있는 안전사고에 대한 위험도가 낮다고 할 수 있다.

### 2.3.2 타력주행 거리

가공 전차선이 구비된 터널에 대한 상방향 확대 시, 열차가 무리 없이 공사 구간을 통과할 수 있도록 공사 기간 동안 전 공사 구간에 대해 전차선 설비를 유지시킨 상태에서 공사를 수행하는 것이 바람직하지만, 이를 위해서는 특수 장비를 이용한 복잡한 공정이 필요하므로 공기 연장이 예상된다. 이에 따라, 이에 대한 차선택으로 전차선 구조물을 철거한 후 상방향 확대 공사를 시행할 경우 열차 운행이 이루어 질 수 있는지 여부에 대한 검토가 요구되었다. 따라서 본 고에서는 열차가 전차선 구조물이 철거되어 전력 공급을 받을 수 없는 터널 구간을 타력 주행만으로 통과할 수 있는지에 대해 검토하였다. 이를 위해, 경부선을 운행하는 여객 및 화물 열차(30량)에 대한 주행 저항이 산정되었으며, 터널 및 구배 저항이 고려되었다.

한편 경부선의 상·하행선 전체에 대한 1일 열차 운행 횟수는 약 180여 회에 이르고 있었는데, 이중 KTX 등 전기 열차의 운행 횟수가 80여회로 전체의 45% 정도를 차지하고 있었다. 그림 6.에서는 100km/hr의 초속도로 10% 상향 구배인 단선 터널을 전력 공급 없이 타력으로 주행하는 열차의 주행 거리를 보여주고 있다. 검토 결과, 고속 열차의 주행 거리는 약 2.6km로 가장 길었으며, 화물 열차의 주행 거리는 1.6km로 가장 짧았다. 한편, 경부선 터널 중 최급 구배를 가지는 최장 구간은 성현 터널 하행선 시점부에서부터 시작되는 1.3km 구간으로 경사가 9%에 이른다. 따라

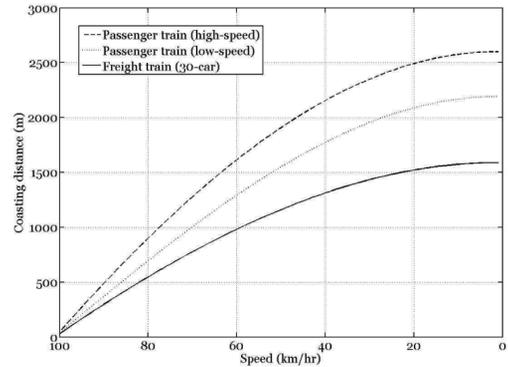


그림 6. 타력주행 거리

서 초속도 100km/hr 를 가정하였을 때 주행 저항이 가장 큰 화물 열차도 경부선 장대 터널의 오르막 구간을 전력 공급 없이 통과할 수 있을 것으로 판단된다.

### 2.3.3 단면확대 공사의 경제성

터널 확대의 경제성을 검토하기 위해 경부선 최장 성현 터널(KP531)에 대한 확대 비용을 신규 터널 시공 비용과 비교해 보았다. 열차 운영을 전제로 한 상방향 확대가 가정되었으며, 확대 공사에 따른 열차 운행 지연 등으로 인해 발생하는 사회적인 비용은 고려되지 않았다.

성현 터널 과 같은 단선 병렬 터널에 대한 확대 공사는, 상·하행선 각 터널에 대해 공사를 별도로 시행하여 각 터널이 이단 적재 열차 운용이 가능한 단선 터널이 되도록 개량하는 방안과, 상·하행선 두 개의 터널 중 한 개의 터널에는 공사를 시행하지 않고 나머지 한 개의 터널에만 공사를 시행하여 이 터널을 이단 적재 열차 운용이 가능한 복선 터널로 개량하는 방안 등 두 가지가 있다. 단선을 단선으로 개량하는 경우, 확대 총 연장은 현행 성현 터널의 연장과 동일한 4.8km로 가정되었으며, 상방향 확대를 사용하므로 선형 개량 및 궤도 부설과 관련된 비용은 없는 것으로 가정되었다. 단선을 복선으로 개량하는 경우, 선형 조건이 더 유리한 하행선(2.5km)에 확대를 시행한다고 가정되었으며, 선형 개량 및 궤도 부설 비용이 고려되었다. 신규 터널을 시공하는 경우, 상·하행선 사이에 복선 터널이 시공된다고 가정되었다. 신규 터널의 연장은 현재 터널의 길이

표 2. 공사비용 비교

|      | 공종   | 비용(억 원) | 총비용(억 원) |
|------|------|---------|----------|
| 단선확대 | 터널확대 | 926     | 986      |
|      | 기타   | 6       |          |
| 복선확대 | 터널확대 | 638     | 791      |
|      | 기타   | 153     |          |
| 신규시공 | 터널시공 | 391     | 641      |
|      | 기타   | 250     |          |

를 반영하여 2.4km로 가정되었으며, 시·중점부 선형 개량 연장은 총 1.4km로 가정되었다. 또한 총 3.8km 구간에 대한 궤도, 전력, 신호, 통신 공사 비용이 고려되었다. 확대 공사 비용을 산정하기 위해 유사한 여건의 도로 터널 확대 공사에 필요한 비용이 사용되었다(한국건설기술연구원, 2012). 단선을 단선으로 확대하는 경우, 차량의 운행을 허용한 상태에서 도로 터널을 2차선에서 3차선으로 확대하는데 요구되는 공사 비용이 사용되었으며, 단선을 복선으로 확대하는 경우, 도로 터널을 2차선에서 4차선으로 확대하는데 필요한 공사 비용이 사용되었다. 신규 터널, 노반, 궤도, 전력, 신호, 및 통신 공사비 산정을 위해 정부 기관이 제시한 공사 비용 단가 사용되었다(한국개발연구원, 2008).

검토 결과에 따르면, 신규 터널 공사 비용은 약 640억원, 단선 및 복선 확대 공사 비용은 각각 약 1,000억원 및 800억원에 이를 것으로 판단되었다(표 2.). 따라서 단선 확대를 위한 공사 비용은 신규 공사 비용의 약 1.5배, 복선 확대를 위한 공사 비용은 신규 공사비의 약 1.2배에 이르게 된다. 여기서 산정된 공사 비용에는 열차 운행 지연에 따른 간접적인 비용이 포함되지 않았으므로, 실제로는 확대 공사에 필요한 비용이 신규 터널을 시공할 경우 소요되는 비용의 수배에 이를 수도 있을 것으로 판단된다.

2.3.4 개소별 공사전략

표 3.에서는 현장 조사 결과를 바탕으로 본 고에서 제시하는 경부선 터널에 대한 이단 적재 열차 운영을 위한 공사 전략을 보여준다. 본 고에서는 경부선 단선 터널 29개소에 대한 공사 전략을 제시하였다. 새로운 터널을 시공하는 방안, 터널 구간에 대한 선형 개량을 실시하여 산악 지형을

표 3. 개소별 단면확대 방법

| 터널이름 | KP  | 길이 (m) |       | 공법   |      |
|------|-----|--------|-------|------|------|
|      |     | 상행     | 하행    |      |      |
| 내판   | 136 | 195    | -     | 단면확대 |      |
| 부강   | 142 | 271    | 340   | 신규터널 |      |
| 매봉   | 148 | 99     | 120   |      |      |
| 맥포   | 150 | 180    | 180   |      |      |
| 회덕   | 160 | 185    | 160   |      |      |
| 증약   | 174 | 1,036  | 1030  |      |      |
| 진평   | 188 | 670    | 614   |      |      |
| 신촌   | 242 | 306    | 315   |      |      |
| 태평   | 243 | 604    | 604   |      |      |
| 사곡   | 284 | 221    | 221   |      | 단면확대 |
| 왜관2  | 294 | 107    | 86    |      | 토피제거 |
| 왜관1  | 296 | 224    | 237   | 단면확대 |      |
| 원동   | 350 | 417    | -     | 선형개량 |      |
| 성현   | 351 | 2,323  | 2,530 | 신규터널 |      |
| 은곡2  | 366 | 27     | -     | 토피제거 |      |
| 은곡1  | 366 | 93     | 93    | 단면확대 |      |

회피하는 방안 등 터널 확대가 아닌 다른 방안 적용이 가능한 개소도 다수 있음을 확인하였다.

연장이 길고 인근에 다른 구조물이 없는 산악 지역에 위치한 터널의 경우에는 기존 터널은 그대로 유지하여 열차 운행을 허용한 상태에서 기존 터널 인근 적당한 장소에 새로운 터널을 시공하고 선형 개량을 통해 기존 선로와 새로운 터널을 연결하는 방안이 타당할 것으로 보인다. 특히, 성현 터널 등과 같이 상·하행선 간격이 큰 경우(30m 이상)에는 기존 터널 사이에 새로운 터널을 시공하는 것도 가능할 것으로 보인다. 한편, 원동 터널(KP350)과 같이 절토 사면 하단에 위치하고 있으며 인근이 나대지로 구성되어 있는 경우에는 기존 터널은 그대로 유지하여 열차 운행을 허용한 상태에서 선형 개량을 실시하는 방안을 적용할 수 있으며, 왜관2 터널(KP 294)과 같이 연장이 비교적 짧고 토피고가 작으며 터널 상부 및 인근에 도로 및 건물 등 구조물이 없는 경우에는 토피를 절개하여 제거하는 방안을 적용할 수 있을 것으로 보인다. 그러나, 왜관1 터널(KP 296) 등과 같이 밀집 지역에 위치한 터널의 경우에는 이와 같은 대안을 적용하기 어려울 것으로 보이며 따라서 적절한 공법을 적용하여 확대 공사를 실시해야만 할 것으로 판단되었다.

### 3. 결론(맺음말)

본 고에서는 국내외 철도 터널 확대 사례를 열차 운행 여부 및 굴착 부위에 따라 분류하고 각 공사 방안의 특징 및 장단점에 대하여 논의하였다. 터널이 길고 확보해야 할 내공 단면적이 큰 경우에는 상·하행선의 시·종점부를 임시로 연결하고 열차의 운행을 제한적으로 허용한 상태에서 하방향 확대 시행하는 방안이 타당하며, 터널이 짧고 확보해야 할 내공 단면적이 크지 않은 경우에는 특수 장비를 이용하여 열차 운행 허용한 상태에서 상방향 확대를 시행하는 방안이 타당한 것으로 판단되었다.

본 고에서는 철도 운송 효율 재고를 위해 이단 적재 열차 운용 필요성이 지속적으로 제기되고 있는 경부선에 대한 터널 현황을 정리하였다. 경부선 터널 높이는 레일면을 기준으로 5,060~5,400mm인 데 비해, 이단 적재 열차 운용을 위해 요구되는 터널의 최소 높이는 6,350mm로, 이단 적재 열차 운용을 위해서는 경부선 터널에 대한 시설 개량이 요구되는 실정이다.

본 고에서는 여러 기의 mTBM을 연결한 구성의 특수 장비를 이용하여 열차의 운행을 허용한 상태에서 상방향 확대를 시행하는 새로운 공사 방안을 제안하였다. 일반적인 기계화 시공과 마찬가지로 막장이 항상 지지된 상태에서 공사가 진행되기 때문에 붕괴 및 봉락 위험도가 낮으므로 공사 구간 열차 운행에 대한 안전이 보장된다고 할 수 있다. 그러나 해외에서 mTBM 1기의 가격이 직경 1m 기준으로 최소 수십억 원에 이르므로 해외 공급사의 mTBM을 사용하여 장비를 구성할 경우 장비 구성에만 수백억 원의 비용이 소요될 것으로 보인다. 따라서 경제적 타당성을 확보하기 위해서는 장비 국산화를 위한 관심 및 연구 개발 노력이 필요한 시점이라고 판단된다.

본 고에서는, 상방향 확대를 이용한 터널 확대 시 터널 천정부에 설치되어 있는 가공 전차선 철거가 가능한지 여부를 판단하기 위하여 열차의 타력 주행 거리에 대하여 검토하였다. 경부선을 운행하는 30량 1편성의 화물열차가 초속도 100km/hr로 터널을 진입하여 10% 오르막을 전월

공급 없이 타력만으로 주행할 수 있는 거리는 약 1.6km로 판단되었다. 이는 경부선 터널 선로 중에 최급 구배를 가지는 최장 구간 보다 큰 수치이므로, 타력 주행을 통한 공사 구간 통과가 가능할 것으로 판단되었으며, 따라서 전차선 철거 후 공사를 시행하는 방안도 사용 가능할 것으로 판단되었다.

본 고에서는 또한 터널 확대의 경제성을 검토하기 위해 경부선 최장 연장의 성현 터널에 대해 확대 공사를 시행한다고 가정하고 공사 비용을 산출한 후, 이를 신규 터널 시공 비용과 비교하였다. 단선으로 확대할 경우 공사비는 신규 공사비의 1.2배, 복선으로 확대할 경우 공사비는 신규 공사비의 1.5배에 이르는 것으로 산정되었는데, 이 수치는 열차 지연 비용 등 공용 중인 선로에서 시행되는 확대 공사로 인해 발생할 수 있는 사회적인 비용을 고려하지 않은 직접 공사비에 대한 비율이므로, 실제로는 확대 비용이 신규 비용의 수배에 이를 수도 있을 것으로 보이며 따라서 공사 전략에 수립 시 신중한 경제적 판단이 요구된다. 이에 따라, 본 고에서는 터널 확대의 대안으로 신규 시공, 선형 개량 등 경부선 단선 터널 29개소에 대해 현장 조건에 맞는 공사 전략을 제안하였다. ☺

#### ♣ 참고 문헌

1. J. L. Coubray(2001), "Day to day advisory services: Detailed work procedures regarding the relining works and the track lowering works", SNCF International, 27th April 2001, TU 01/04/06.
2. V. Breuning, T. Edelmann, and H. Heisterkamp(2011), "Entwicklung von technischen Ansätzen geeigneter Verfahren zur Sanierung und Erneuerung von Eisenbahntunneln". Tunnel, pp.81-92.
3. 한국건설기술연구원(2012), "교통류 보존형 터널단면 확대 시공기술 개발 (3차년도)", 국토해양부.
4. 한국개발연구원(2008), "도로·철도 부분 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)".
5. 한국철도기술연구원(2006), "철도물류 수송력 증강방안 연구(신운송수단 도입을 중심으로)", 건설교통부.
6. 한국철도기술연구원(2010), "이단적재열차 기술개발 기획보고서", 국토해양부.