# 무도갱식 2 Arch 터널의 설계 · 시공

## - 토카이순환자동차도 이츠츠가오카터널 공사 -

眞弓 英大(마유미 히데모토)
古川 幸則(후루카와 유키노리)

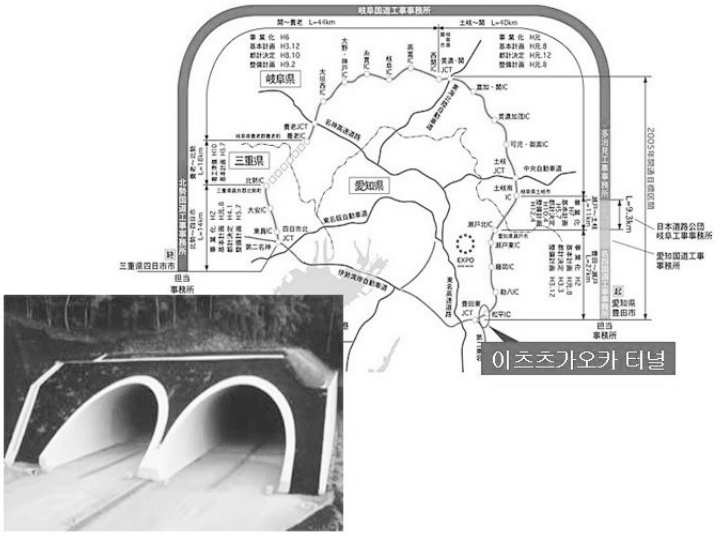
이츠츠가오카(五ヶ丘)터널은 나고야권내의 도시를 연결하는 순환도로로서 기대받고 있을 뿐만 아니라, 2005년 개최된 「愛 · 地球博」 메인회장까지의 중요접근도로로서 조기개통을 바라고 있는 토카이(東海)순환자동차도에 계획된 2 Arch터널이다. 당초설계에서는 지금까지 2 Arch터널의 일반적 공법으로 사용된 선진도갱방식을 계획하였다. 그러나 최근 터널기술의 진보를 감안하여 보다 나은 합리적인 2 Arch터널시공을 목적으로 일본에서 처음으로 시도되는 도갱을 생략한 전구간 무도갱식 2 Arch터널의 설계 및 시공에 도전했다. 여기서는 무도갱식 2 Arch터널의 개요에 대해서 보고한다.

## 1. 이츠츠가오카 터널 공사개요

본 터널은 일본 최초의 전구간 무도갱식 2 Arch터널로서 2002년 3월에 착공되어 2004년 7월에 완성되었다. [그림 1]에 위치도를 나타낸다.

공사명 : 2001년도 토카이 순환 이츠츠가오카 터널 공사
발주자 : 국토교통성 중부지방정비국명 시코쿠도 사무소
공사장소: 愛知縣豊田市松平志賀町
공사 기간 : 2002년 3월 19일 ~ 2004년 7월 30일
터널 : NATM (형식 : 2 Arch터널)
공사내용 : 상행선 · 하행선 모두 연장 321m (굴착연장 293m, 기점 · 종점측 갱문 14m)

본 터널은 인접한 2본의 터널이 서로 접하고 있는 2 Arch터널로 일본에서도 시공사례가 적은 터널이다. 그 이유는 2 Arch터널 시공시, 양 터널이 상호영향을 받기 때문에 어려운 공사로 여겨지고 있기 때문이다. 그러나 시가지에서의 터널공사 증가와 토지이용상의 제약이나 환경, 문화재보호 등의 측면에서 최근 그 요구가 높아지고 있다. 참고로 [사진 2]에 나타나 있듯이 본 터널도 시가지의 주택지에 근접한 도시터널이다.



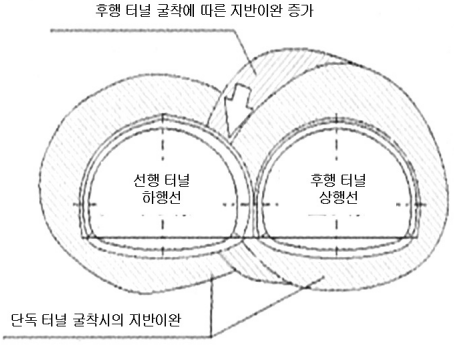
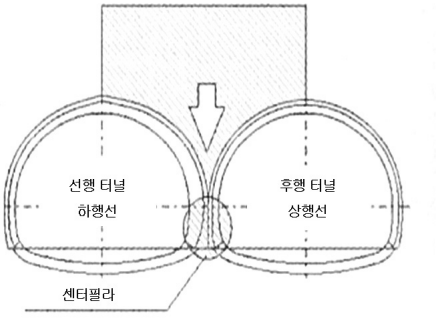

[사진 1] 갱구부사진(종점측) 및 위치도

[사진 2] 터널주변상황 사진

## 2. 2 Arch 터널의 과제

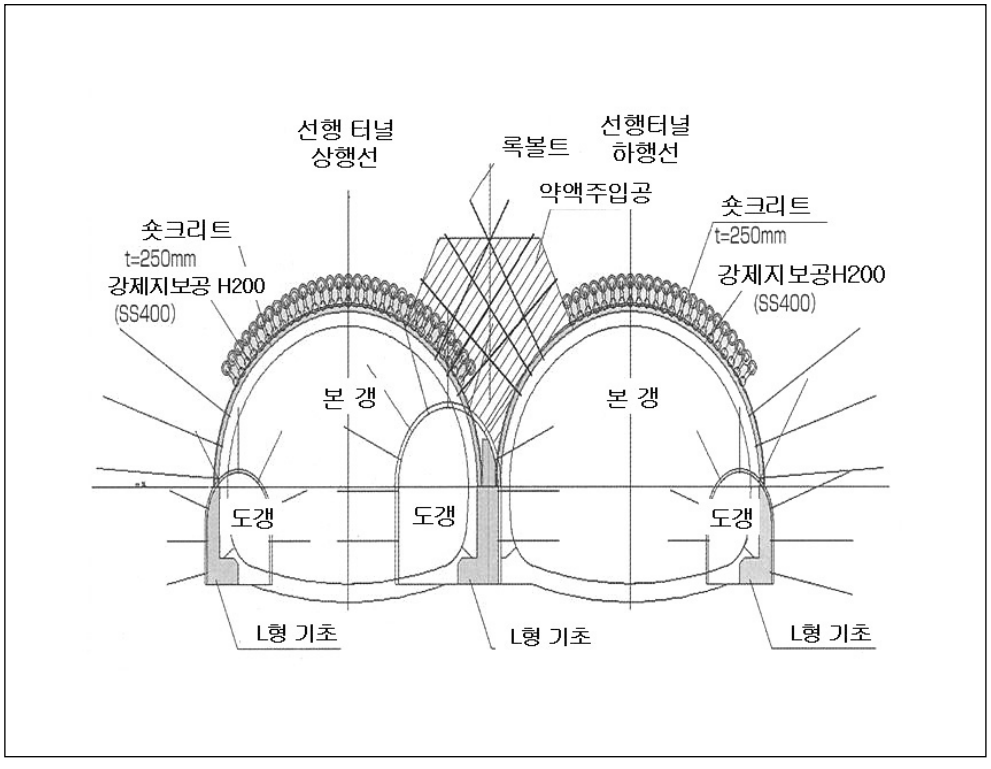
2본의 터널이 인접하고 있기 때문에 〈표 1〉에서 알 수 있듯이 선행 터널 지보공의 변상, 센터 필라부의 변상 및 침하 등이 과제로서 남아 있다.

〈표 1〉 2 Arch터널의 과제

| 예상되는 문제점 | 개념도 |
|---|---|
| ① 인접터널의 영향<br>후행터널굴착에 의한 선행터널로의 영향<br>⇩<br>선행터널지보 변상 |  |
| ② 센터필라의 안전성<br>센터필라부에 하중이 집중된다<br>⇩<br>센터필라부 변상<br>센터필라부 침하 |  |

**- 선진도갱방식의 과제**

지금까지 2 Arch 터널의 일반적 공법으로서 [그림 2]에 나와 있는 선진도갱방식이 채용되어 왔는데 이 공법은 본갱 굴착전에 도갱(중앙도갱, 측벽도갱)을 시공해야 할 필요가 있다. 도갱은 좁은 갱속에서의 작업이기 때문에 안정성이 뒤떨어질 뿐만 아니라, 대형기계에 의한 합리화시공에 있어서 장해도 되고 있다.




[그림 2] 선진도갱방식 지보구조도 (예)

## 3. 무도갱식 2 Arch 터널로의 변경

### -공법변경의 목적

당초설계에서는 시공실적도 많은 중앙도갱 및 측벽도갱을 가진 2 Arch 터널 (5본의 터널로 시공하는 방법)을 계획했다.

그러나 박람회 개회까지 시간적인 여유가 없었던 점과 환경보전, 안전시공 및 공정 리스크를 최소화하고자 하는 목적에서 도갱을 생략한 일본 최초의 전구간 무도갱방식 2 Arch 터널 (2본의 터널로 시공하는 방법)을 설계 · 시공하였다.

〈표 2〉 시공순서비교표

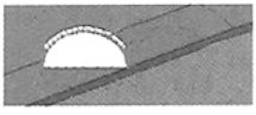
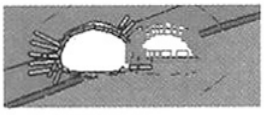
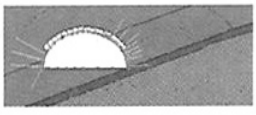
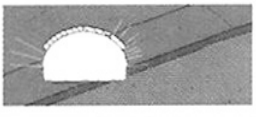
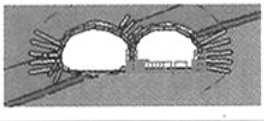
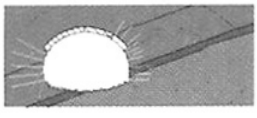
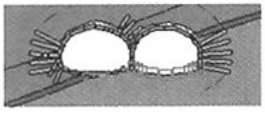
| 항목 | 시모이또우즈 터널 | 이츠츠가오카 터널 |
|---|---|---|
| 공법 | 무도갱-라이닝후 굴착방식 | 무도갱-라이닝전 굴착방식 |
| 시공순서 | 선행터널: 굴 착 → 지보공 → 인버트공 → 라이닝<br>후행터널: 굴 착 → 지보공 → 인버트공 → 라이닝 | 선행터널: 굴 착 → 지보공 → 인버트공 → 라이닝<br>후행터널: 굴 착 → 지보공 → 인버트공 → 라이닝 |

### - 무도갱식 2 Arch 터널 설계

무도갱식 2 Arch터널은 북큐슈시(北九州市) 발주인 시모이또우즈(下到津)터널의 일부구간에서 채용된 실적이 있었던 점에서 이 방법을 참고하여 무도갱식 2 Arch 터널로 설계를 변경하기로 하였다.

〈표 2〉와 같이 시모이또우즈 터널에서는 선행터널의 라이닝 타설 후, 후행 터널을 시공했다. 그러나 이 방법으로는 후행 터널 시공시에 선행터널 라이닝이 변형될 우려가 있었다. 본 공사에서는 공기연장을 방지하고 라이닝의 품질향상을 목적으로 라이닝 타설 전에 지보공과 인버트를

〈표 3〉 시공과정을 고려한 FEM해석

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 초기응력해석 | | | | |
| 2 |  | 상반굴착<br>AGF치환<br>굴착해방률<br>40% | 7 |  | 인버트굴착<br>AGF치환<br>상반굴착<br>굴착해방률<br>40% |
| 3 |  | 지보설치<br>굴착해방률<br>60% | 8 | | 지보설치<br>굴착해방률<br>60% |
| 4 |  | 하반굴착<br>굴착해방률<br>40% | 9 | | 하반굴착<br>굴착해방률<br>40% |
| 5 | | 지보설치<br>굴착해방률<br>60% | 10 |  | 지보설치<br>굴착해방률<br>60% |
| 6 |  | 인버트굴착<br>굴착해방률<br>100% | 11 |  | 인버트굴착<br>굴착해방률<br>100% |

시공한 상태에서 후행 터널을 시공하는 무도갱 방식으로 설계했다.

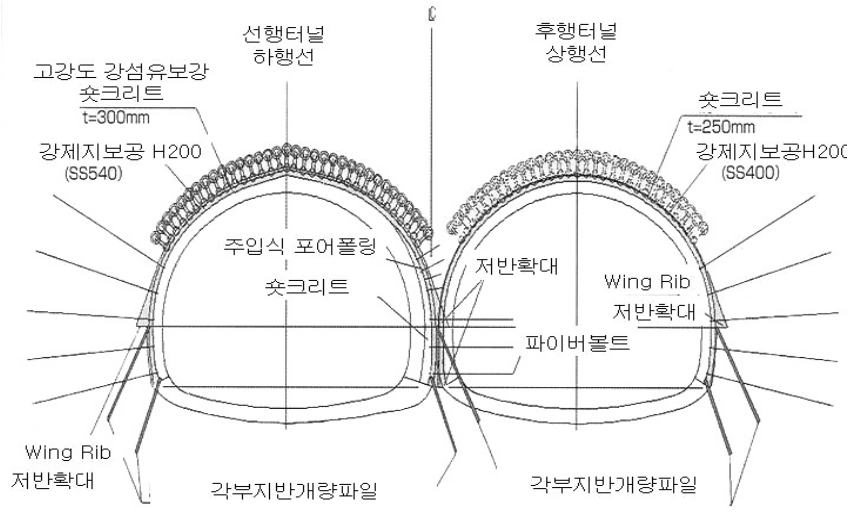
### - 설계 개념

완성 후 터널선형 및 내공단면이 변경되지 않도록 고려하여 설계수정을 하였다. 검토에 있어서는 〈표 3〉에서 알 수 있듯이 시공과정을 고려한 2차원 탄성해석에 의한 FEM해석을 실시하여 지보공에 발생하는 응력을 확인하여 지보공 부재를 선정하였다.

### - 지보구조

후행터널 시공시의 선행터널 변상, 센터필라부의 변상 및 침하대책으로서 선행터널측에 고강도 강섬유 보강숏크리트, 고규격 강제지보공을 채용하였다. 또한, 센터필라부에는 숏크리트(350mm~550mm), 각부(脚部)에는 각부 지반개량파일을 실시했다. 〈표 4〉에 이번에 제안한 지보구조에 대한 전반적인 사항이 나와 있다.

〈표 4〉 무도갱식 2 Arch터널 지보구조의 전반 사항

<table>
<tr><td>지보<br>패턴도</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>숏크리트</td><td rowspan="3">선행터널</td><td>· 고강도 강섬유보강 숏크리트<br>t=30cm, σ28=36N/㎟<br>· 숏크리트(SL부 350mm~550mm)</td><td rowspan="3">후행터널</td><td>· 일반콘크리트, t=25cm, σ28=18N/㎟</td></tr>
<tr><td>강제<br>지보공</td><td>· H - 250×250×9×14(SS540)</td><td>· H - 200×200×8×12(SS400)</td></tr>
<tr><td>록볼트</td><td>· L=6m, 주방향 핏치 1.0m,<br>종단방향핏치1.0m<br>· L=4m, 주방향핏치 1.0m,<br>종단방향 핏치 1.0m<br>(파이버볼트)</td><td>· 측벽부 : L=6m,주방향 핏치 1.0m,<br>종단방향 핏치1.0m<br>· 중간지산부 : L=6m,주방향 핏치 1.0m,<br>종단방향핏치1.0m</td></tr>
<tr><td>각부<br>보강대책</td><td colspan="4">· 각부 숏크리트 및 wing rib 등에 의한 저반확대<br>· 각부 지반개량파일을 이용한 각부 지반 개량, 지보력 확보</td></tr>
<tr><td>중간평지<br>보강대책</td><td colspan="4">· 주입식 포어폴링 (L=30m)</td></tr>
</table>

## 4. 무도갱식 2 Arch터널의 앞으로 전망

일본에서 처음 시도된 무도갱식 2 Arch 터널을 전구간에 채용하였는데 시공중 별다른 문제점 없이 무사히 시공을 완료할 수 있었다. 본 공사의 성공으로 기존 선진도갱방식과 비교하여 무도갱방식이 안전성 확보나 품질향상, 환경면에서 뛰어남이 입증되었다.

지금까지 시공상 곤란 등의 이유로 2 Arch터널은 계획시에 경원시되어 왔지만, 본 공사가 성공한 점에서 앞으로 보다 많은 2 Arch 터널이 계획되리라 기대된다.