

마산만 해저횡단 터널



이인기
정회원, (주)바우컨선탄트 상무이사



윤이환
정회원, (주)동아지질 이사



안경철
정회원, (주)바우컨선탄트 부장



안국일
(주)동아지질 과장

1. 서론

최근에 대중교통수단, 통신, 에너지, 환경시설 등 도시의 각종 기반시설의 수요증가와 더불어 한정된 공간에서 주변의 영향을 최소화할 수 있는 Shield 및 TBM의 사용이 빈번해지고 있으나, 주변환경, 지반조건, 지하수위 등 각종 영향을 고려한 적절한 기종의 선택에 어려움이 많다.

장비 및 굴착방식의 선정은 평면선형·종단선형, 터널의 토피, 터널의 보호토피와 보호폭, 보조공법, 막장의 안정, 굴착과 배토, 원지반조건과 지반침하, 지반침하 방지대책, 주변구조물의 변상방지대책을 검토 후 선정하여야 한다.

본 고에서는 마산만 해저통과 Shield 터널의 설계 및 시공의 문제점을 파악하고 이에대한 향후 개선방향을 제시하고자 한다.

2. 현장개요

- 공사명 : 남부권 주배관 건설공사
(해저 Shield Tunnel)
- 발주처 : 한국가스공사

- 시공사 : 한국중공업(주) / (주)동아지질
- 위치 : 창원시 귀산동 ~ 마산시 가포동
- 터널연장 : 1,354m
- 터널심도 : 해발(-) 38m ~ 해발(-) 43m
- 터널외경 : 2.30 m
- 수직구 : 2개소(발진구:Ø15m, 도달구: Ø8m)
- 세그먼트 : 강재 세그먼트(2,056mm)
- 설드형식 : Water-jet & 이수가압식 병용

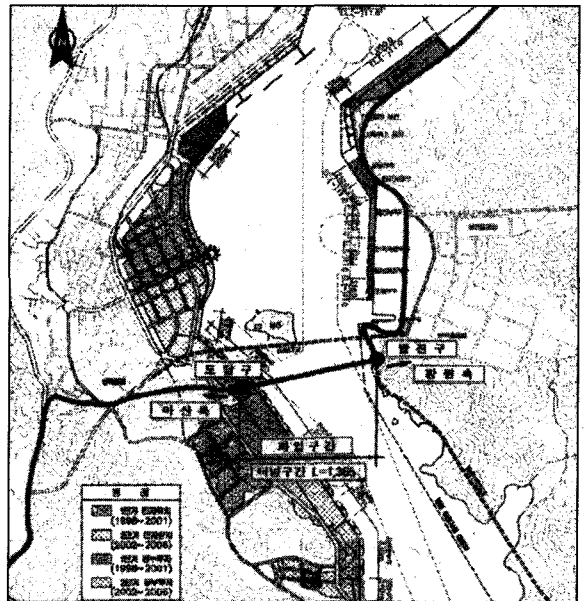


그림 1. 현장 위치도

3. 지반조사

지반조사는 마산만 통과구간(육상 및 해상)에 대하여 지층구조의 연속성을 확인하기 위한 해양물리탐사와 정밀한 지반조사를 실시하여 지반의 성층상태 및 토층의 물리적, 역학적 특성을 파악하였다.

3.1 조사내용

- 시추
 - 육상부 : 2공(NH-1, NH-6)
 - 해상부 : 9공(NH-2, 2-1, 4, 4-1, 5, BH-39-1, BH-31-1, BH-40-1)
- 해저 탄성과 탐사 : 1식
- 시험
 - 공내 재하시험 : 12회
 - 현장 투수시험 : 13회
 - 기타 암반 실내시험 : 1식

3.2 조사결과

정밀지반조사결과 터널 FACE에 연암으로 추정하였던 구간중 STA.0+180~0+900(L=720m)에서 풍화암이 출현하고 STA.0+760~0+800(L=40m) 구간에서는 터널 천단부에 전석층(핵석추정)이 출현하는 것으로 조사되었다.

모암의 변화는 시점측에서 변질안산암, 염기성암맥, 장석반암, 안산암, 안산암 화강암 접촉대, 화강암, 안산암 순으로 변화되고 있다.

4. 종단선형 및 단면 결정

4.1 종단 선형의 결정

계획노선에 대한 종단선형 검토는 시추조사 자료와 해양물리탐사 결과에서 도출된 지질종단도에 근거하였으며

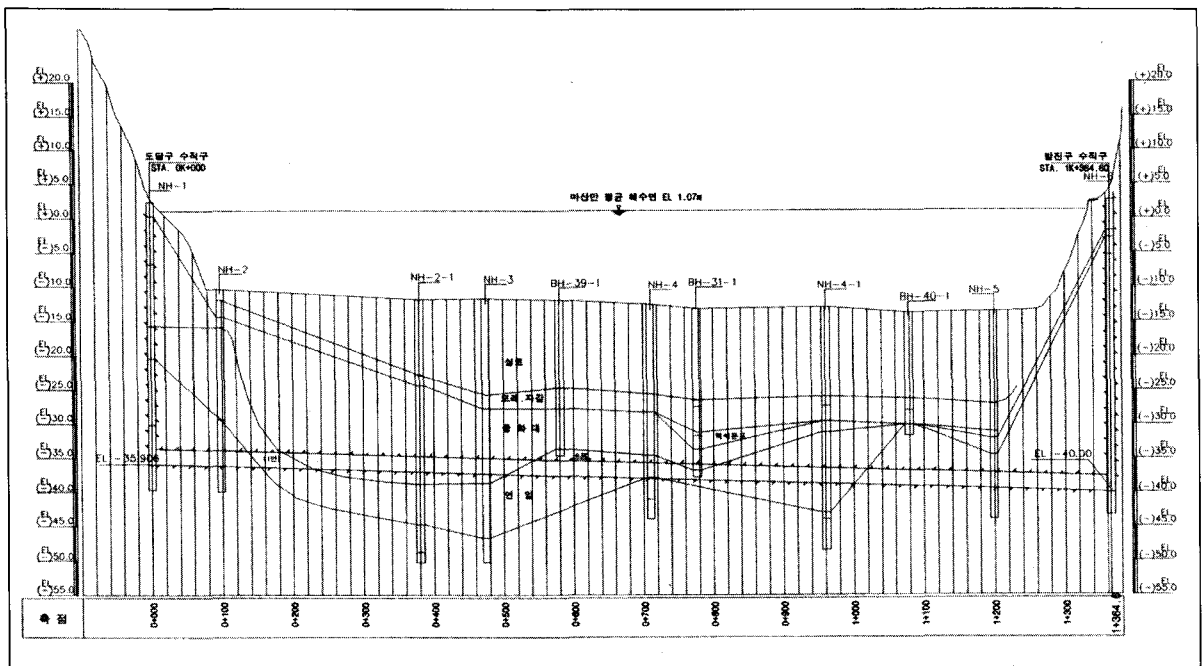


그림 2. 지질단면도

중단 선형 검토에서 고려하였던 사항들은 다음과 같다.

가. 연약지층 대응의 이수가압전용 Shield 장비를 적용할 경우는 해상 퇴적층을 통과할 수도 있으나 본 지역처럼 표준관입 저항치 (N)가 3~4 정도의 초연약 지층의 경우에는 Shield Head의 접지압(8 tf/m²)의 1.5배이상의 유효응력(12 tf/m²)을 갖는 심도(약 15m)의 지층에서만 가능하다. 그러나 본 지역의 해상퇴적층(실트)의 평균 심도가 12m이며 노선 시·중점부에는 견고한 기반암이 분포되어 있어 이 구간의 통과에 있어서는 연약층 대응의 이수가압 Shield로서는 굴착이 불가능하다.

나. 토압대응의 Shield 장비를 적용할 경우는 터널직경의 2배(약 4m)정도의 토사층이 일정한 심도로서 분포되어 있어야 하나 전반적으로 토사층의 두께가 얇고 심도도 불규칙하며, 시·중점부는 연·경암의 기반암이 분포되어 있어 연약층용 토압대응의 Shield로서는 굴착이 불가능하다.

다. 가, 나 항에서 검토된 바와 같이 계획노선의 지질중단상 연약층 및 토사층의 심도로는 중단계획이 불가능하며 견고한 기반암층을 통과함이 불가피하다.

라. 기반암층을 통과함에 있어서는 수직구의 심도를 작게 하기 위하여 가급적 얇은 심도의 중단을 고려할 수 있으나 공사의 확실성, 안정성 및 공기측면을 고려할 때 가급적 지층의 변화(암반 경계부)가 적고 특히 전석층의 지층은 피하도록 하여 EL.-40m~EL.-36m 로 결정하였다.

4.2 단면 결정

가. 최소단면의 모식도

그림 3은 Crusher 장비에서 작업원이 작업을 할 수 있는 최소단면의 모식도이며 Shield의 최소내공 단면은 1.85m의 직경을 확보하여야 함을 알 수 있다.

나. GAS배관 단면 결정

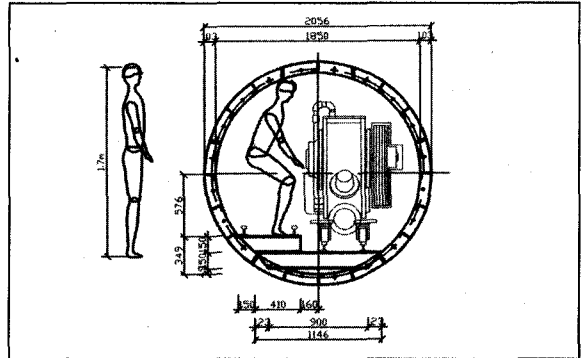


그림 3. 최소 단면의 비교

표 1. 기사공된 GAS배관 터널의 조사 및 비교

| 구분 | 매물식 | 유지관리식 |
|-------|---|--|
| 시 | | |
| 공 | 동경가스 | 동경가스 |
| 예 | | |
| | 북해산 천연가스 | 동경가스 |
| 적용 단면 | | |
| 특징 | <ul style="list-style-type: none"> 터널단면 최소화 유지관리가 필요없음 채움재 : 기포 몰탈 건설비 저가 | <ul style="list-style-type: none"> 유지관리(환기, 전기, 배수) System 필요 건설비 고가 여유공간 활용가능(관로 증설, 타시설 수용) 공용수용 기관 없음 |
| 채택 | <ul style="list-style-type: none"> 본 가스관로는 매물식으로 하는 경우 공사비가 최소이며 일본에서도 최소 단면을 $\phi 1.85\text{m}$로 시공한 사례가 많기 때문에 내경 $\phi 1.85\text{m}$로 결정 | |

5. Shield 기기의 선정

가. 본현장에 적용해야할 Shield 기기의 선정에는 여러 가지 조건이 있으나 그 대표적인 것을 아래와 같이 요약하였다.

- 노선 전체적으로 풍화암 · 연 · 경암 굴착
 - 일축압축강도 300~2,400 kg/cm²
 - 시점부~중간부 : R.Q.D, T.C.R 매우저조
: 절리가 매우 발달
 - 종점부 : R.Q.D, T.C.R 높음 : 절리가 적음
- 막장에 압을 주어 기계적으로 압력수 유입방지
 - 해저통과로 수압작용 예상 (4 kg/cm²)
 - 구간별 파쇄대 출현시 부분적으로 정수압의작용 예상
 - 종점부는 기반암 통과로 투수성(Lu)이 적을 것으로 예상
- 버력처리는 단면이 적어 유체 수송식
- 암반굴착으로 BIT교체가 예상되므로 공사중 BIT 교체가능 구조
- 굴착과 Segment 설치 병행작업가능 구조

나. Shield 기본기종의 선정

이상의 일반적인 조건에 따라 Shield 장비의 기종을 크게 일반 Shield, 복합지질형 Shield 및 TBM으로 구분할 때 본 구간에서의 적용 기본기종은 표 2. 와 같이 복합 지질형 실드가 되어야 할 것이다.


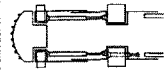
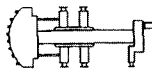
다. 본 구간 적용 Shield의 상세 기종 선정

전장에서 기술한 바와 같이 본 구간의 Shield 기본기종은 복합지질형 Shield가 적합한 것으로 검토되었으며 적용될 Shield 기기의 상세 기종 선정에서 검토된 사항들은 다음과 같다.

1) 막장안정방법

- 시 · 종점부의 안산암 및 화강암의 연 · 경암 지층은 막장자립력이 우수하므로 대기압 상태로 굴진 가능

표 2. Shield의 상세 기종선정

| 기종 | 장단점 | 개요도 | 선택 |
|--------------|---|---|----|
| Shield | <ul style="list-style-type: none"> • 연약지층(점성토, 모래), 자갈, 모래 지층 적용 • 버력반출방법 : 유체 수송식, Screw Conveyor • 막장보존방법 : 이수압, 토압 • 막장의 누수대책 : 전혀 문제 없음(이수압, 토압) • Cutter교환 : 보조공법 채택후 기내에서 작업 |  | |
| 복합지질형 Shield | <ul style="list-style-type: none"> • 연약지층 및 암반층 • 버력반출방법 : 유체수송식, Screw Conveyor • 막장보존방법 : 이수압, 토압 • 막장의 누수대책 : 전혀 문제 없음(이수압, 토압) • Cutter교환 : 기내에서 작업 |  | ◎ |
| T.B.M | <ul style="list-style-type: none"> • 암반층, 경암 • 버력반출방법 : Belt Conveyor • 막장보존방법 : 없음 • 막장의 누수대책 : 문제 있음 • Cutter교환 : 막장 및 기내에서 작업 |  | |

- 노선 중앙부의 염기성 암맥, 장석반암 및 안산암의 풍화대 기층은 파쇄가 심하고 투수성이 높아 해수의 과다 유입이 예상 되므로 Head 부분에 이수압 장치로 가압하여 지하수 유입차단

2) Segment 설치유무

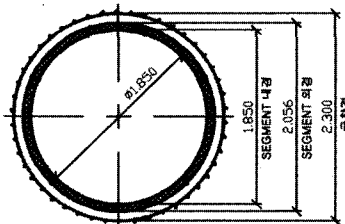
- 종점측(창원측 발진구)의 경암 지역은 암질이 우수하므로 Segment 설치가 필요없으나 암질의

표 3. Shield 적용가능 기종의 상세비교 검토

| CASE | 막장 안정방안 | 측방지지굴착 | 용수처리 대책 | Segment 미설치시 굴착가능성 | 장비조합 | 적용 가능성 |
|------|-----------------|-------------------------|-------------|--------------------|---------------------|--------|
| I | 대기압 | 가능 | 과다용수시 대처 곤란 | 가능 | 기본장비 | × |
| II | 이수가압 | 불가능 | 과다용수시 대처 용이 | 불가능 | 기본장비 | △ |
| III | 이수가압 + Clamping | 별도의 대형 Clamping 장치으로 가능 | 과다용수시 대처 용이 | 가능 | 대형Clamping 장치 | ○ |
| IV | 대기압 + 이수가압 | 가능 | 과다용수시 대처 용이 | 가능 | 이수가압장치 기본Crusher 장치 | ○ |

*CASE I의 대기압 TBM으로는 본 공구와 같이 용수가 많은 경우 대처방안이 없기 때문에 상세 검토에서 제외

표 4. Shield 공법 비교

| 구분 | CASE 1 (φ1.85m) 이수가압(기본장비) | CASE 2 (φ1.85m) 이수가압 + 대형 Clamping 장치추가 | CASE 3 (φ1.85m) 대기압 + 이수가압 장치추가 |
|------|---|--|---|
| 터널단면 |  | | |
| 단면 | 내경 : φ1.85m 굴착경 : φ2.30 | | |
| 시공특성 | <ul style="list-style-type: none"> - 전구간 SEGMENT 설치 - SHIELD JACK으로지지 - 이수가압 상태 - 버력처리 : 이수가압 압축 운송 | <ul style="list-style-type: none"> - 전구간 SEGMENT 설치 - CLAMPING PAD/ SHIELD JACK으로지지 - 이수가압 상태 - 버력처리 : 이수가압 압축운송 | <ul style="list-style-type: none"> - CLAMPING PAD/ SHIELD JACK으로지지 - 대기압/이수가압 상태 - 버력처리 : <ul style="list-style-type: none"> · 대기압시 : JET PUMP로 · 이수가압시 : 이수가압 처리 |
| 장·단점 | <ul style="list-style-type: none"> - 전구간 SEGMENT 설치 필요 (굴착과 병행작업 불가능) - SEGMENT 설치효율 보통 | <ul style="list-style-type: none"> - 전구간 SEGMENT 설치 필요 (굴착과 병행작업 불가능) - 대형 CLAMPING PAD 장착 - SEGMENT 설치효율 보통 | <ul style="list-style-type: none"> - SEGMENT 불필요 구간 발생 - 이수가압장치 추가설치 - 기본 CRUSHER 장착 - SEGMENT 설치효율 보통 |
| 공기 | 13.7 개월 | 11.8 개월 | 대기압시 : 9.5 개월 |
| 공사비 | 122억 | 123억 | 123억 |
| 선정 | | | ◎ |

RMR 값이 작은 잔여구간은 Segment 필요

3) 추진 반력지지 방법

- 풍화대 이하의 지층은 측방 지지(Clamping)시 굴

착선형이 편기되므로 후 방지지(Shield Jack)로 굴착

- 연·경암의 견고한 지반에서는 측방 지지가 가능

함으로 굴착 및 Segment 설치의 병행작업이 가능

4) 버력처리방법

- 버력처리 방식은 내공단면이 적어 유체수송식 적용 불가피
- 암반 지층에서는 유체수송이 가능하도록 Head에서 운송된 버력(70mm)은 Crusher 를 설치하여 25mm 이내로 파쇄한 후 물과 혼합하여 Pump로 지상의 이수처리 설비까지 압송

상기 검토사항을 근거로한 Shield의 상세기종 선정은 표 3과 같고 이중 적용가능성이 있는 이수가압기본장비, 이수가압+Clamping, 대기압+이수가압+Clamping의 3가지 Case에 대한 상세검토사항은 표 4에 요약하였다. 검토결과로서는 장비가격은 고가이나 암반이 양호할 때는 대기압상태로 측방지지하여 굴착 및 Segment 병행작업이 가능하도록 하여 굴착속도를 증가시키며, 암반이 약하고 (풍화대 이하) 파쇄대층을 통한 해수의 과다유입이 예상되는 구간에 대하여는 이수가압장치로 막장을 안정시키고 후방지로서 굴착할 수 있도록 대기압+이수가압장치 추가의 기능을 갖도록 결정하였다.

6. Segment의 분류 및 선정

Segment는 Shield 굴진기에 의해 굴착된 지반의 영구 구조물로 설치되어 터널에 작용하는 토압, 수압 등을 지지하는 지보공으로서 Shield 굴진시 Shield의 회전 및 추진의 반력체로서의 기능을 가진다.

또한 Segment는 고가품이므로 구조적인 안전성을 기준으로 경제성, 시공성을 충분히 고려하여 재질, 형상, 규격 등을 선정하여야 한다.

최근 Shield 공법에 적용되는 세그먼트의 종류로는 RC 세그먼트, 합성세그먼트, 강재세그먼트, 주물 세그먼트 등을 들 수 있다. 이중 본 구간에 적용이 유력한 RC 세그먼트 및 강재 세그먼트를 생각할 수 있으나 본 과업에

서는 터널 내공단면이 협소 하므로 콘크리트 제품에 비하여 가벼워 운반 및 취급이 용이하고, 파손 가능성이 없으며 품질관리가 용이한 강재세그먼트를 선정하였다.

7. 방수 계획

터널은 지하수위하에 구축되는 예가 많으므로 터널 굴착중 지하수 대책과 터널 완성부의 지하수 누수대책으로 대별하여 볼 수 있다. 누수는 완성 후의 터널시설 유지관리, 터널의 영구 구조물로서의 기능 유지, 주변지반의 변형 방지를 위하여 완전 방수가 필요하다.

7.1 터널 굴착중 지하수 대책

본 공사의 경우 대기압식 및 이수가압식 겸용의 Shield 이므로 지하수 유입이 많을 경우 단 이를 위하여 Shield의 Tail Skin Plate와 누수압에 의해 수압과 균형을 이루도록 한다.

Segment 외면 사이에 Tail Brush를 설치하여 지하수와 뒷채움 주입재의 실드기내 유입을 방지하고 굴진중 막장면과 압력실내의 압력을 유지하도록 한다.

7.2 뒷채움 주입에 의한 방수

뒷채움 주입은 실드 후방부에 설치된 Segment 주입공을 통하여 실시한다. 뒷채움 주입압과 주입량으로 철저히 관리하여 터널의 방수성을 높일 수 있다. 1차 주입후 미충진부나 누수가 발생하는 부분은 2차로 재주입하여 충분한 방수효과를 높일 수 있다.

8. 뒷채움 주입

실드추진에 따라 굴착 외주면과 세그먼트 외주면 사이에 발생하는 공극(Tail Void)이 발생한다. 이 공극에 충전

표 5. Segment 방수 특성 및 방법

| 구분 | 필요한 특성 | 시공방법 |
|--------------|--|--|
| Seal방수 | — 충분한 강성을 가져 실드재에 의해 계속된 추력이나 세그먼트의 변형에 따라서 수밀성을 잃지 않아야 한다. — 실드재의 추력 및 볼트의 체결력에 견뎌야 한다. — 세그먼트의 조립정밀도에 악영향을 미치지 않아야 한다. — 세그먼트에 대해서 충분한 접착성이 있어야 한다. — 내후성, 내약품성, 내구성이 확보되어야 한다 — 작업성이 좋고 볼트의 체결된 상태에서 균일성이 충분해야 한다. | 재료가 지닌 고무 탄성압(압축반력) 등을 이용한 실패를 세그먼트 이음부에 설치된 실패 홈내에 접착제 등을 이용하여 부착하는 방수공 |
| 코킹방수 | — 수밀성은 본래 내약품성, 내후성이 좋아야 한다. — 습윤상태에서 시공성이 좋아야 한다. — 신축 및 복원성이 풍부해야 한다. — 경화시에 수분에 의해서 영향이 없어야 한다. — 완전 경화시간이 짧아야 한다. — 신축이 적어야 한다. | 세그먼트 이음면 내측에 설치된 코킹 홈에 코킹재를 충전 |
| 볼트구멍의 방수 | — 신축성이 좋고 수밀성을 가질 것 — 볼트 체결력에 견딜 것 — 내구성이 좋고 열화하지 않는 것 | 볼트와사와 볼트구멍 사이에 정상외 패킹재를 설치하는 방수 |
| 주 입 공 | — 뒷채움 주입용 주입공의 플러그부에 사용된다. — 주입공의 플러그부 및 주입공 배면부에 패킹재를 설치하는 방수공 | |
| Segment 방수공도 | 1 열 방수 | |
| | 2 열 방수 | |
| 채택 | 본 Segment는 GAS관로 공사완료후 매몰되는 구조로 GAS관로 공사시 외에는 방수가 필요없다. 따라서 1열 Seal 방수공법을 채택하고 코킹방수, 볼트구멍의 방수 및 주입공의 방수는 생략 적용하였음. | |

재를 주입하는 작업을 뒷채움 주입이라 한다.

가. 뒷채움 주입의 효과

- 응력해방으로 지반 이완에 의한 붕괴또는 침하방지
- 누수 방지
- Shield Jack 추력을 원지반에 전달
- Segment의 손상이나 변위에 따라 사형 발생 방지
- Jack 추력의 세그먼트 링에 대한 영향범위를 축소

나. 뒷채움 주입방법의 선정

표 6. 뒷채움 주입방법

| 주입시기 | 주입방법 | |
|-------|--|---|
| 1차 주입 | 후방주입 | 수링 후방의 세그먼트에서 주입하는 방법 |
| | 즉시주입 | 1링 분의 추진이 종료한 후 바로 1링분의 주입하는 방법 |
| | 반동시주입 | Grout Hole이 Tail Seal에서 이탈과 동시에 주입한다. |
| | 동시주입 | 실드의 추진과 동시에 주입을 한다.(실드 테일에서 직접 테일 보이드에 주입한다.) |
| 2차주입 | 뒷채움 주입후 미 충전부의 완전충진 주입재료의 체적 감소분의 보충, 여기에 차수효과를 높이기 위해 함. | |
| 결 론 | 본 공사구간은 풍화암 구간과 연암구간으로 이루어져 Grout 재의 역류로 인한 개구부 폐쇄 위험이 있으므로 반동시주입과 즉시주입 방식을 도입하고, 미충진부는 2차 주입을 한다. | |

9. 시공결과

9.1 굴진결과

당 현장의 실드 터널시공은 최소단면 시공으로 인하여 터널내 작업공간이 협소하여 세그먼트 조립, 배관 등의 작업에 있어서 작업효율이 저하되어 사전에 검토한 작업 시간보다 많은 시간이 소요되었으며, 굴진에 소요된 일수는 총 420일 정도이다. 이를 평균 작업량으로 환산하면 약 3.2m/일 정도이고, 토질별로 환산하면 풍화토, 풍화암은 4.4m/일, 연암은 2.7m/일, 경암은 2.4m/일 정도이다.

9.2 시공중 문제점 및 대책

표 7. 뒷채움 주입방법

| 문제점 | 대책 | 향후 개선방향 |
|--|---|---|
| 1 Water-jet를 이용한 암반 굴진시 이수를 사용하지 않고 침수만 사용하여 굴진함으로써 배관부분의 마모가 상당히 심함 | Water-jet 에 의한 대기압 굴진이라도 소정의 이수를 주입하여 점성을 부여하면서 버력과 관내부와의 마찰력을 감소시켜 배관손상에 대처하였다. 크랏사에서 배출되는 버력크기를 25mm에서 15mm가 되도록 작게하여 Jamming이 적고 마찰이 감소하여 배출이 유리하도록 하였다 | 사전에 이수처리 시스템과 유체 이송설비의 시스템에 대한 이해가 부족하여 많은 시행착오를 겪었던 경험에 비추어 이수처리관계에 대한 부단한 연구와 펌프 등 기계적인 부분에 대한 연구도 보완 해야함 시공전 이수처리 시스템의 시험운전을 실시하여 문제점의 보완 등이 사전에 검토될 수 있도록 시험 운전이 필요함 |
| 2 전반적으로 배관(송니, 배니)의 막힘 등과 배니관 사이에 설치된 펌프부분의 잔 고장으로 인하여 굴진이 중단됨 | 배관사이에 설치된 펌프내의 임펠러가 잦은 마모로 굴진이 중단되어 분해하여 교체 후 재굴진 | |
| 3 실제 시공에 있어서 당초의 지질조사 결과와 다르게 나타났다. 당초의 예상과는 달리 풍화대가 많았고, 풍화대와 암반이 여러번 교차하여 막장안정이 상당히 어려웠다. | 굴진 작업시 잦은 풍화대의 출현으로 막장이 불안하여 막장내 용수의 유입이 과다하여 대기압식에서 이수가압모드로 전환하여 재굴진 | 사전에 철저한 지질조사를 통하여 예상굴진 노선상의 정확한 지층분포현황을 예측하여 지층변화시 충분히 대처할 있는 방안을 사전에 준비할 수 있도록 해야함 |

정 중 제일 중요한 점은 지반조건에 따른 기종의 선정이며, 설계 및 시공중 Shield 기종의 선정에 가장 주안점을 둘 항목은 아래와 같다.

1) 지반조건에 적합한 기종일 것

통과구간의 지반조건이 풍화암 또는 연·경 암 구간으로 형성되어 있고 해저구간은 고수 압을 받게되는 점을 고려, 굴진시 지반침하를 억제할 수 있고 풍화암과 연·경암지층을 동시에 굴착 가능하도록 Disk Cutter 를 장착한 기종을 선택하여야 한다.

2) 막장의 안정기구가 합리적인 것

암반 굴진시 Cutter 마모 및 파손에 대처 가능하고, 풍화암 구간에서는 막장의 토압 및 이토압을 유지할 수 있도록 격벽을 갖는 설비가 있어야 한다.

10. 결론

설계는 일반적으로 기초조사, 설계조사, 지반조사, 중 단선형의 단면의 결정, 기종의 결정, Segment 결정, 수직구 계획, 방수계획, 배수계획, 뒷채움주입재의 선택, 이토처리계획, 계측계획 등의 순서로 진행되어지며, 설계과

3) 시공연장, 선형에 맞는 기종

선형의 곡선반경을 감안하여 Tail Clearance를 선정하여야 한다.

4) 후방설비, 발진기지 등의 시공설비와 실드

장비와의 굴착능력 조화

Shield 공법에서 후속설비는 작업에 필요한 능력을 공

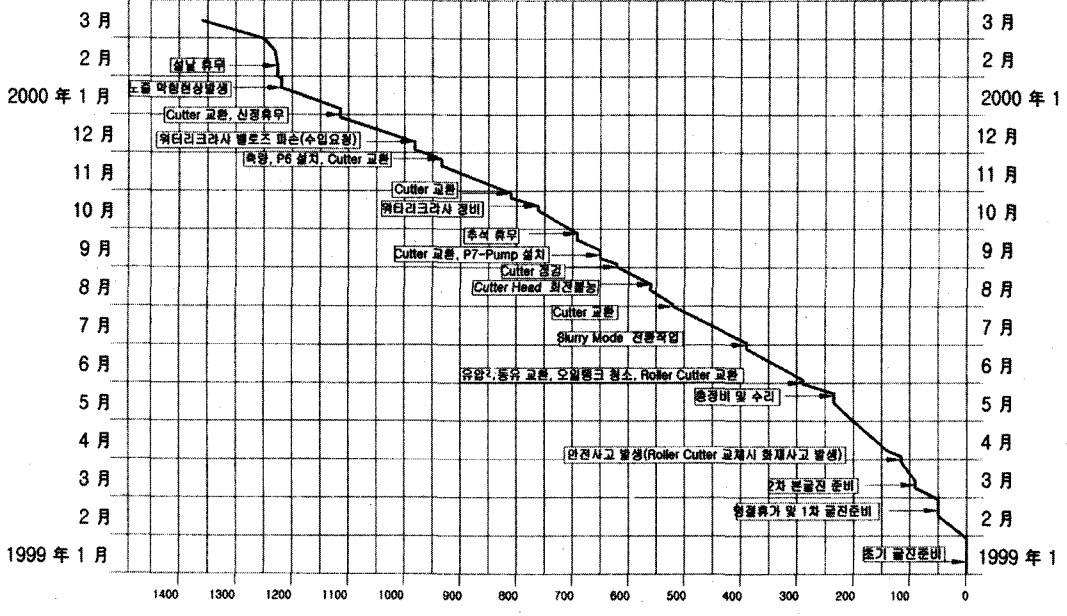
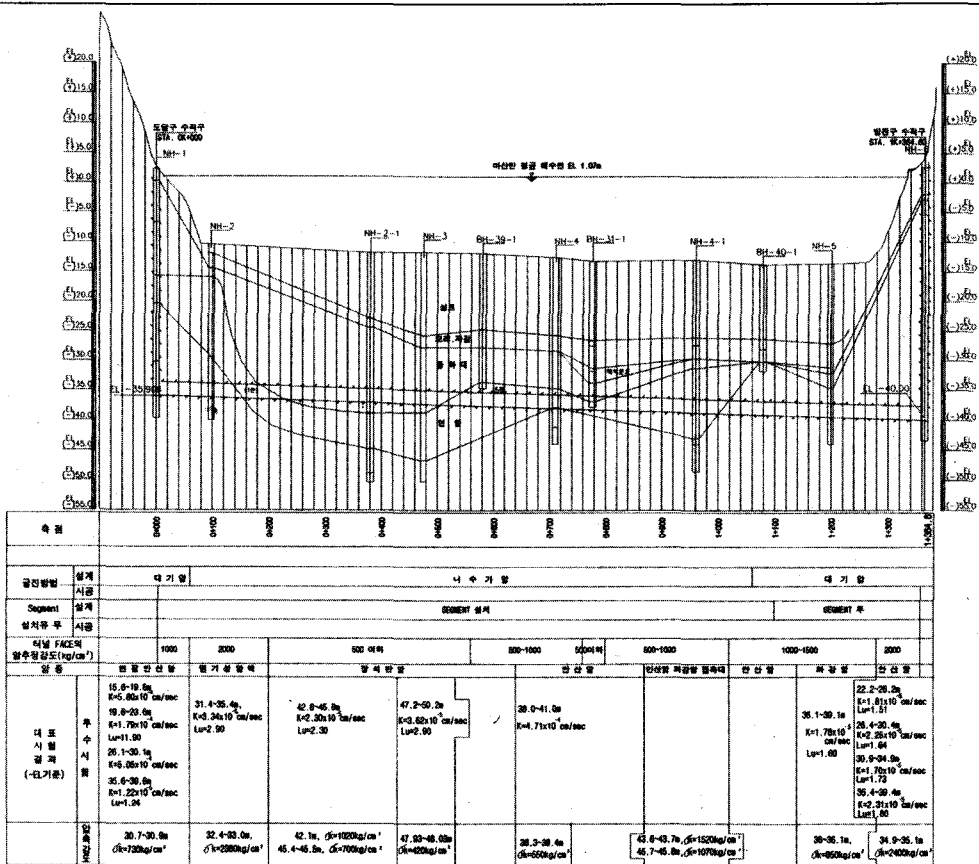


그림 4. 마산만 해저터널 굴진현황

급하는 것으로서 Shield 굴진작업이 경제적으로 이루어질 수 있도록 공사의 규모, 작업구의 크기 등을 고려하여 합리적 운영을 할 수 있어야 한다.

5) 시공중 가장 큰 문제는 배관의 막힘 현상 및 마모에 의한 파손이었다. 이는 버력의 크기와 배관의 비율 및 크랏샤의 능력 문제에 큰 함수관계가 있다. 이런점을 고려하여 기계선정 후 시험가동을 실시하여 능력을 확인 후 현장적용을 하면 공기지연에 의한 불이익을 줄일 수 있을것으로 판단된다.

Shield 공법은 아직도 경험적인 면이 많고, 연구개발해야 할 점이 많다. 더욱이 중요한 점은 국내에 Shield 공법이 적용된지 10여년이 지났으나 기술의 국산화가 미비하다는 점이다. 아직도 많은 부분에서 외국의 경험과 기술을 빌어오고 있으며, 많은 기술자들이 외국의 기술자료와 참고문헌을 근거로 설계하고 시공하고 있다. 앞으로는 실

드공법에 대한 기술을 서로 공유하고 발전시켜 나갈 수 있는 기술의 체계화를 이룩해야 할 것이다.

참고문헌

1. 삼성엔지니어링(주), 『남부권 배관망 건설공사 마산만 해저 통과구간 실시설계 보고서』, 1997.
2. 김주봉, 이인기, 안경철, 『해저 Shield Tunnel의 설계사례』, 한국지반공학회 터널기술 위원회 학술발표회, pp 65~84, 1998. 11.
3. 윤이환, 임창병, 안국일 『Shield 공법을 이용한 마산만 해저 횡단 터널공사』, (사) 대한터널협회 터널 기계화 시공기술 심포지움 논문집, pp133~144, 2000. 9.
4. 이인기, 이승훈, 『초연약지반 매립지 통과구간에서의 실드터널 설계』, (사) 대한터널협회 터널 기계화 시공기술 심포지움 논문집, pp 177~192, 2000. 9.
5. 일본토목학회, 『トンネル 標準示方書, シールド 工法編・同解説』, 昭和44年