

홍수피해 저감을 위한 도로겸용 해외 프로젝트 사례 (SMART Tunnel)



안 병 선 |
(주)한국총합기술 수자원부 부장
sunrise@kecc.co.kr

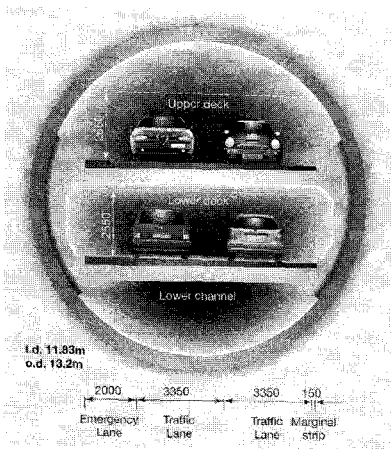
로 현재 말레이시아의 수도 쿠알라룸푸르에서 공사중에 있는 SMART 프로젝트 사례를 소개하고자한다.

1. 머리말

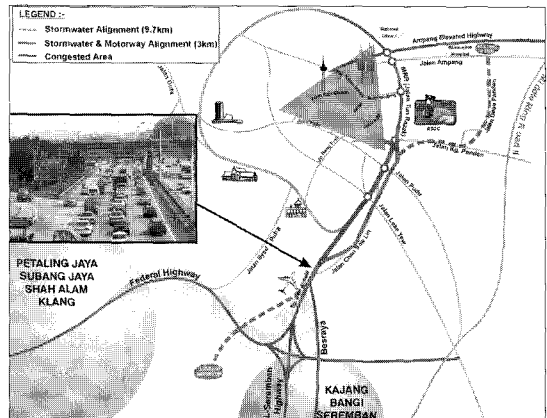
우리나라 도시하천은 산업화 및 사회기반시설의 집중으로 하천내 도로설치 및 하천복개 등으로 인하여 홍수피해 잠재능이 급격히 증가하고 있다. 도시지역 내에서 홍수로부터 피해를 최소화하기위해서 홍수량을 원활히 소통시키고 저감할 수 있는 구조적인 대책으로 고규격 제방 등 하도정비, 방수로, 지하터널 수로, 대규모 지하저류지 등이 있으나 현재 우리나라에서는 구체적으로 제시된바가 없는 것이 현실이다. 참고로 외국 도시지역에서의 구조적인 홍수피해 저감방안으

2. SMART Tunnel 개요

SMART(Stormwater Management and Road Tunnel) 프로젝트는 MMC Berhad, Gamuda Berhad, 말레이시아 하천국(Department of Irrigation And Drainage), 고속도로국 등의 합작 투자 계약에 의하여 추진되는 사업으로 말레이시아의 수도 쿠알라룸푸르는 국가경제와 상업의 중심지로 최근 몇 년간 Klang 강이 범람하는 등 빈번한 홍수로 인해 홍수피해가 급증한 바 긴급하고도 즉각적인 홍수대책이 필요하게 되었으며 이에 따른 홍수로부터 피해를 최소화 하기위해서 SMART 프로젝트를 통해 유출량을 최대한 경감시키고자 계획을 수립하고 추진 하였다.



Tunnel cross section of the four-lane double-deck highway tunnel section with the permanent stormwater culvert in the invert



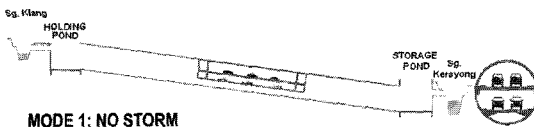
SMART 터널 위치도

SMART 프로젝트는 홍수시에는 홍수피해를 충분히 경감할 수 있는 저류지로서 연장이 10km, 직경 11.8m의 지하터널 수로를 통해 홍수유출 전환시스템을 제공하도록 하였으며, 평상시에는 지하수로터널의 일부분을 4차선 도로로 활용하여 시내 중심부와 남부 관문을 연결하여 교통체증을 경감하도록 하였다. 이 사업은 2003년 착공되어 현재 막바지 공사 단계에 있다.

3. 단계별 기능 및 제원

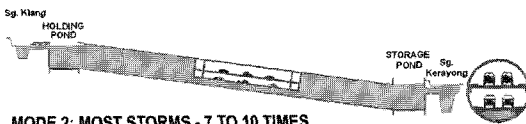
3.1 단계별 기능

전환 수로터널은 Klang 강과 Ampang 강의 흐름을 유입한 지체 저류지로부터 Taman Desa 원화 저류지로 이어져 있으며 전환된 흐름은 저류지로부터 박스암거를 통해 Kerayong 강으로 방류된다. 수로 기능으로서의 터널은 아래 그림과 같이 3단계로 분류할 수 있는데, 평상시는 터널내로는 아무런 흐름이 없고, 일반적인 호우에는 하단수로에만 물이 흐르며, 최대 호우시에는 상부차로까지 물을 흐르게 하고 있다.



MODE 1: NO STORM

1단계 : 평상시



MODE 2: MOST STORMS - 7 TO 10 TIMES

2단계 : 일반적인 호우시



MODE 3: MAJOR STORMS - ANNUAL EVENTS

3단계 : 최대 호우시호우양상에 따른 터널내 홍수의 소통

3.2 주요제원

- 건설 비용 : 5억일천만 US\$(약 5,100억원)
- 터널 연장 : 9.7km(자동차 도로구간 연장 3.0km)
- 터널 직경 : 내경11.8m (외경13.2m)
- 심도 : 평균 약 20m
- 터널경사 : 1/650 ~ 1/1,000
- 터널굴착공법 : Tunnel Boring Machine (TBM)
- TBM 형식 : 슬러리 실드(Slurry Shield)
- 자동차 도로구간 : 복층구조(Double Deck)

4. 주요 구조물 특징 및 공사 현황

4.1 구조물 및 특징

SMART 프로젝트는 연장 9.7km, 내경 11.8m의 배수터널이외에 전환수로, 유입시설, 도로구간터널, 방류구 등 여러 구조물로 이루어져 있으며 프로젝트에 포함된 주요 시설물로는

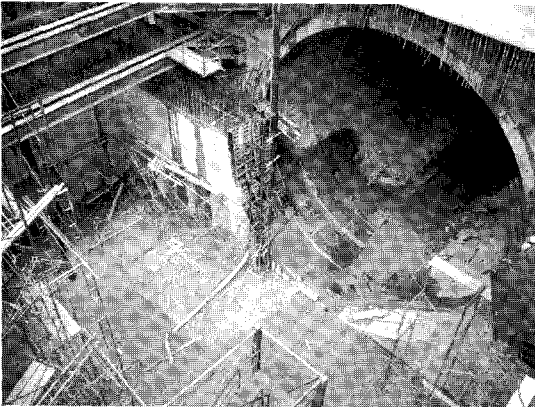
- Klang 강의 유통로(Offtake Structure)
- Klang 강의 월류위어(Diversion Weir)
- 집수 저류시설(Holding Pond)
- 터널유입시설 및 터널 본체(연장 9.7km, 내경 11.8m)
- 비상탈출로
- 북부 및 남부 진입, 진출로 램프, 교차로 박스 및 환기갱
- 터널 유출부 및 감쇄 저류시설(Attenuation Pond)등이 있다.

주요 특징은 다음과 같다.

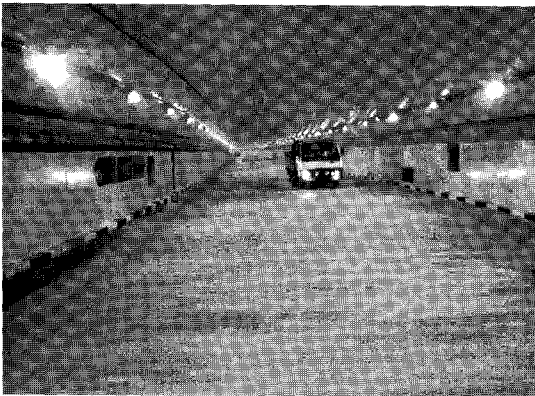
- 9.7km 연장의 전환수로
- 터널내 3km 연장의 복층식 자동차 도로
- 남부관문과 시중심부를 연결하는 진·출입로
- 홍수전환을 위한 집수시설 및 터널유입시설
- 방류를 위한 저류지와 2중 암거

· 유지관리를 위한 최신제어시스템

4.2 SMART Tunnel 공사현황



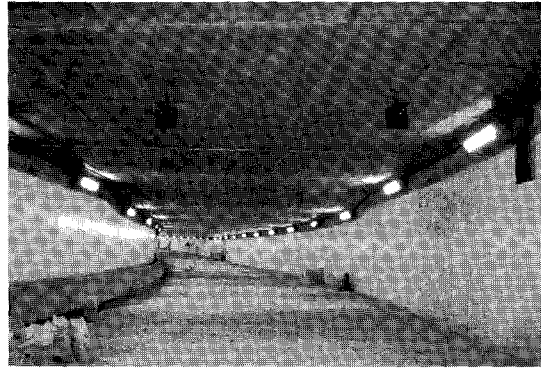
SMART 출구 공사 현장



상부터널 내부 전경



상부터널 내부 불연소재



중간부 터널 내부 전경

4.3 터널 라이닝 및 굴착방법

**Largest in South East Asia!
Second Largest in Asia!**

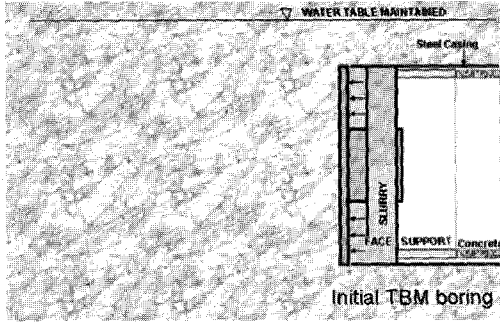
Shield Length: 10,245 m
Shield Weight: 1,500 tonnes
Total length: 70.0 m
Total Weight: 2,500 tonnes
Cutterhead Diameter: 13.260 m
Maximum Advance Speed: 30 mm/min
Minimum Steering Radius: 200 m
Total Installed Power: 8,200 KVA
Cutterhead Electrical Power: 4,000 kW

Mix Shield TBM의 제원

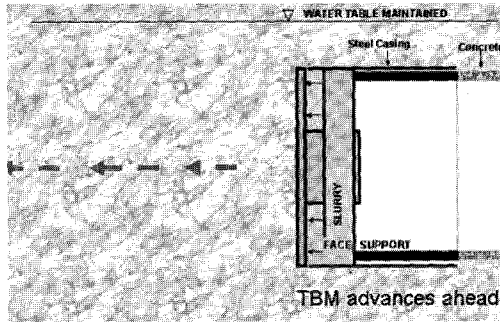
터널의 세그먼트 라이닝 공법은 Mott MacDonald사에 의해 설계되었으며 500mm 두께의 프리캐스트 세그먼트를 이용하여 11.8m 내경의 터널 라이닝을 실시하였다. 2x55mm의 일반 테이퍼로 이루어진 링은 총 110mm의 테이퍼를 제공하고 있으나, 축 레벨 이상에서의 조립 편의를 위해 좌·우 테이퍼와 같이 이용된다. 링은 6개의 표준 플레이트와 2개의 카운터 키 및 키스톤으로 이루어져 있다. 링의 길이는 1.7m이며 무게는 82t에 이른다. 금회 공사에 이용된 TMB의 직경은 13.3m이며 총 무게는 2,500t에 달하며 아시아에서 2번째로 큰 규모를 자랑한다.

SMART 터널에 사용된 TBM은 4개의 중요한 역할로 이루어 졌다. 1번째는 텅스텐으로 이루어진 Cutter Head로 흙과 바위를 굴착하는 것이고, 2번째 Rotary Cutter Head는 터널을 굴착하는 동안에 안정성을 제공하기 위한 것이고, 3번째는 기계를 전

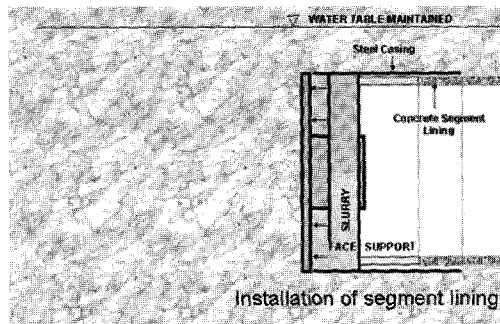
진시킴과 정확한 진로를 잡아주는 역할을 하는 양수기 부분이고, 마지막 4번째 부분은 미리 성형된 콘크리트 라이닝을 시공하는 부분이다.



Initial TBM boring

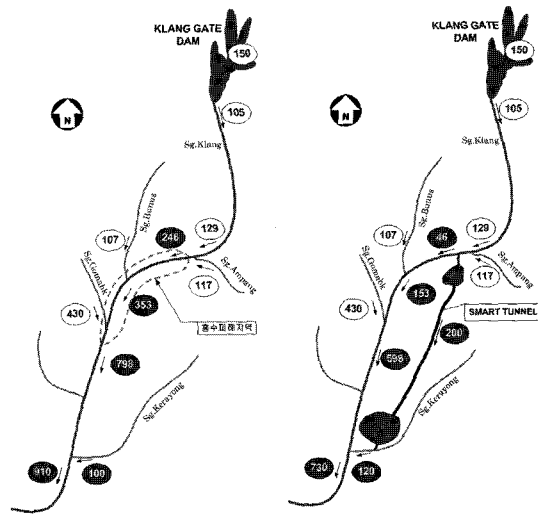


TBM advances ahead



Installation of segment lining

지에서 약 200m³/s의 홍수저감효과가 예상되며, Ampang 강 합류지점 하류로부터 최대 180m³/s의 유량이 600,000m³ 규모의 유입저류지로 유입되며 이는 연장 9.8km직경 11.8m의 전환수로터널로 유입된다. 우수전환 중에 터널의 최대 저류량은 1백만 m³이며, 터널로부터 방류된 유량은 1.4 백만 m³ 규모의 저류지로 유입되어 Kerayong 강으로 방류된다. Klang 강의 각 지점별 홍수저감효과 및 사업후 홍수량 변화는 아래 그림과 같다.



SMART 사업으로 인한 홍수량 변화 모식도(m³/sec)

SMART 시스템은 Klang강과 Ampang강 합류지점의 유량에 따라 운영된다. 합류점 유량이 70m³/s를 초과하면 전환수로로 유입을 시작하게 되며, 150m³/s를 초과하게 되면 도로가 차단되며 터널 전체단면을 이용하여 유량을 전환, 이송하게 된다.

SMART 시스템의 운영으로 Klang 강 본류의 Tun Perak 교의 수위는 제내지 저지대 지반고인 EL.30m이하로 저감될 것으로 예상된다.

5. 홍수저감 효과

SMART 사업의 시행으로 Klang 강 중류부 도심

6. 맺음말

우리나라와 같이 도시하천 주변에 주택 및 사회기

반시설이 밀집되어 하천단면의 확대가 곤란한 지역에 대한 홍수 방어 계획 수립을 위한 구조적 치수방어 대책중 하나인 SMART 시스템 방법도 홍수저감방안 및 하천환경측면에서 긍정적인 방법이라 판단된다.

또한 평상시 교통량 체증에 대한 해소를 위하여 도로시설을 이용함으로써 교통소통 흐름에도 상당한 도움을 줄 수 있는 방법이라 판단되며, 홍수시에는 홍수경감 효과를 기대할 수 있으므로 인구 및 주거공간 등이 밀집되어 있는 도삼하천에서의 하천단면의 확장 및 도로시설계획에 제약이 따르는 도시하천 구

간에 SMART 시스템 같은 방법도 일부 교통체증 해소와 더불어 홍수피해경감을 기대할 수 있으리라 판단된다.

반면에 홍수시에는 홍수조절을 위한 소통통로로 이용되고 평상시에는 도로교통 통로로 이용함으로써 상호 사용목적이 극대화할 수 있는 유지관리방안에 대한 신중한 검토 및 관리가 필요하리라 판단되며, 특히 홍수이후에 유사이동에 의한 터널내 퇴적으로 교통이용의 지연 및 안전사고에 대한 대책 수립이 필요할 것으로 판단된다. ●