

Oil-Stop 시스템에 의한 도심지 지하철타널의 누유대책

김우성, 전성권, 김영근
(주)삼보기술단

요 지

최근 도심지 지하철타널 누유로 인한 악취·화재의 위험이 대중매체를 통해 보도되어 사회적 문제로 대두되고 있으며, 개정된 토양환경보전법 및 지하수법에 따라 주유소오염에 대한 정화기준이 강화되고 있어 도심지 주유소와 인접한 천층부 지하철타널의 누유대책 마련이 절실히 요구되고 있다.

도심지 지하철타널의 누유대책을 서울시 지하철 00공구 설계사례를 통해 먼저 지하수 유동분석에 의한 지하수위 검토와 오염자 추적에 의한 누유확산 범위를 파악하고, 두 번째로 누유감지센서에 의한 누유조기경보, 유량계 및 수질센서에 의한 수질data화의 수질 및 유량자동모니터링 시스템을 구축하며, 마지막으로 Oil-Stop 맨홀에 의한 누유분리 차단대책을 제안하고자 한다.

주요어 : 누유 확산범위 파악, 수질 및 유량자동모니터링, Oil-Stop맨홀, 누유분리 차단대책

1. 서론

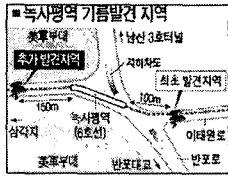
도심지 지하철타널은 특성상 복잡한 복합 지층을 천층으로 관통하며 상부에 주유소등이 널리 산재되어 있어 상부 오염원으로부터 지하철타널로 상부의 유류가 유입될 가능성이 크며, 최근 지하철 4호선의 인덕원역~평촌역간의 누유로 인한 악취(MBC, 2002. 4. 22)와 지하철 7호선 녹사평역 기름유출(조선일보, 2002. 5. 19)이 대중매체를 통해 보도되어 도심지 지하철타널의 누유확산이 이슈화되고 있다.

사건·사고 chosun.com 입력시간 : 05.28(수) 18:44

HOME >> 사회 >> 사건·사고

녹사평역 또 기름유출

작년 美軍거점 누출원곳



작년 3월 미군부대 인근 지하철 6호선 녹사평역 기름 누출 사고가 발생한 지역에서 불과 4000m 떨어진 곳에서 최근 기름이 추가로 발견됐다.

서울시는 29일 "지난 4월 초 지하철 터널 준철 중 녹사평역에서 심각한 방향 약 150m 지점 지하터널 중앙맨홀에서 기름 누출이 발견돼 한미 공동으로 시료를 채취해 분석 중"이라고 밝혔다. 시는 "발견 당시에는 하루 약 7~10ℓ정도 누출되었으나 현재는 하루 2ℓ정도로 줄어들어 별도 통원 이용해 제거하고 있어 심각지 방향으로 흐르고 있지는 않다"고 말했다.

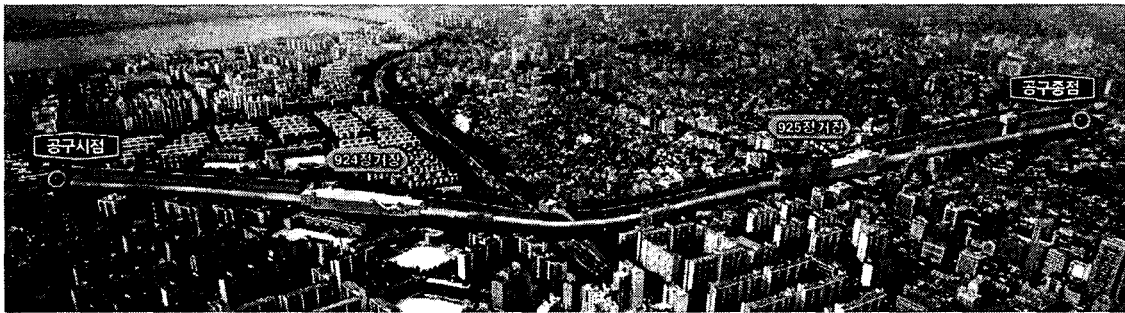
따라서 3차원 지하수 유동해석(Visual Modflow) 수행으로 지하철타널에 의한 지하수 거동특성을 파악하고, 3차원 유한차분 수치모형인 MT3D프로그램을 이용 오염자 추적에 의한 누유 확산분석을 통해 누유발생 예상지역 범위파악 및 누유발견시 유출경로 예상에 의한 누유원의 소재파악으로 적절한 대응이 필요하며, 누유 감지센서 및 유량계, 수질센서를 부착하여 터널로 유입되는 누유에 대한 누유조기경보와 유량·수질자동모니터링으로 합리적인 지하수 재활용 계획이 요구된다.

또한 주유소와 인접한 도심지 지하철티널의 외부로부터 누유침투시 누유차단판에 의한 부유기름 제거 및 유포에 의한 용해된 기름을 흡착처리하는 Oil-Stop 맨홀을 두어 누유의 분리제거가 가능한 경제적이며 간편한 누유분리 차단대책을 제안하고자 한다.

2. 노선현황 및 지질특성

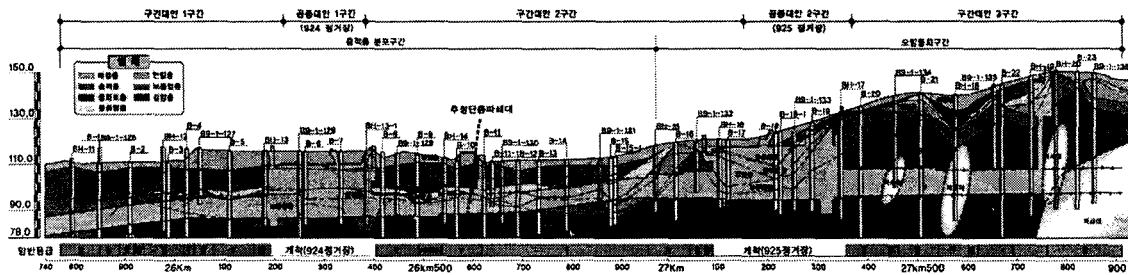
- 공사위치 : 서울특별시 서초구 반포동~강남구 역삼동
- 총 연 장 : L=2,146m
- 본 선 : NATM터널(L=1,626.9m), 개착 Box(L=137.1m)
- 정 거 장 : 2개소(924, 925정거장) • 본선환기구 : 배기 4개소, 급기 2개소

2.1 노선현황



본 공구는 서초구 반포동 고속터미널에서 시작하여 반포주공아파트와 삼성교회 사이를 지나 좌측에 반포주공3단지과 우측에 삼호가든아파트, 현대아파트를 두고 사평로 하부를 터널로 통과하며 경부고속도로 반포IC에서 만나 반포육교 하부를 역시 터널로 우회통과한 다음 사평로와 봉은사를 지나 역삼동 차병원에 이르는 강남의 도심지 한복판을 지나는 강남의 동서지역을 연결하는 21세기형 연결철도망의 1단계 마지막 공구이다. 정거장을 제외한 전구간이 터널로 계획되었으며 통과하는 주변은 상가와 주택등이 밀집되어 있으며, 특히 사평로와 925정거장 주변으로 주유소가 집중되어 있다.

2.2 지질특성



광역적으로 노-장년기 지형에 해당하며, 선캠브리아기의 경기편마암복합체에 속하는 변성암류 및 일부 중생대의 암맥류를 기반암으로 하여 제4기의 충적층 및 매립층이 그 상부를 피복하고 있으며, 주 구성암석은 호상 흑운모편마암이 매우 우세하게 분포하며 일부 화강암

질 편마암이 나타난다. 호상편마암은 수~수십mm 두께로 엽리 불연속면이 발달되어 있다.

제 4기의 충적층은 과업구간 중앙부 925정거장까지 최대 약 20m 두께로 두겹계 분포한다. 지형적으로 중앙부까지 전반적으로 평탄한 충적 및 매립지형과 중앙부 이후 완만한 경사의 낮은 구릉지인 특성에 따라 우수작용이 활발하게 작용한 결과로서 자갈, 모래등의 조립질 퇴적물이 우세하며 일부구간에 점토 및 실트기 협재되어 있다.

특성상 충적층 분포구간과 모암풍화구간으로 분류할 수 있으며 충적층구간에서 매립층과 충적층이 약 8~20m로 두겹계 나타나며, 모암풍화구간에서 풍화토층이 약 3~10m로 나타남을 알수 있다

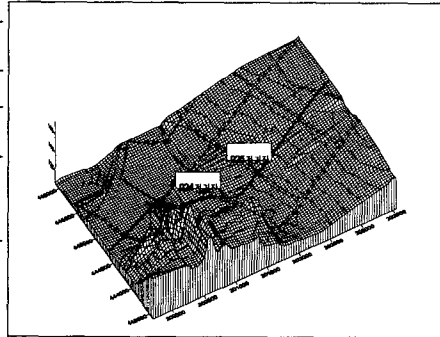
3. 지하수 환경분석에 의한 Oil-Stop 시스템 설치

3.1 3차원 지하수 유동해석

3.1.1 해석개요

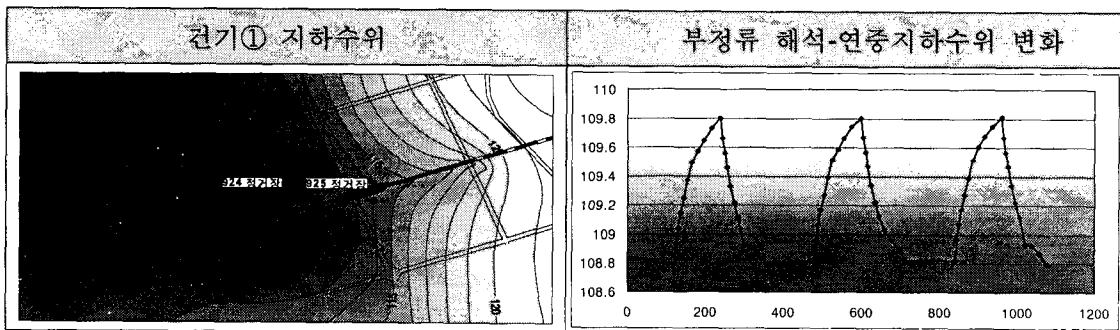
지하철 굴착에 따른 도심지의 지하수거동 특성을 파악하고자 3차원 유한차분 모형인 Visual Modflow를 이용하여 해석을 수행하였으며 측정된 지하수위 관측자료로 모델보정 (Model Calibration)을 수행하여 정확한 지하수 거동을 모사하였다

월평균 강수량분포를 고려하여 건기①(2~5월), 우기(6~9월), 건기②(10~1월)로 해석기간을 구분하였으며 투수계수는 현장시험자료를 토대로 적용하였고 하천경계 및 함양률을 합리적인 범위안에서 변화시켜 모델에 보정후, 지하수거동을 예측하였다.



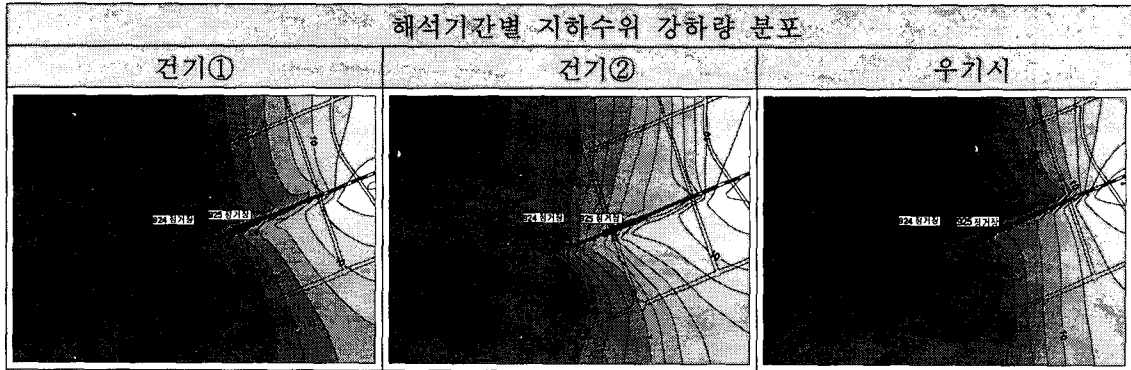
또한 지하수위 관측시기(4월)가 건기①에 해당되므로 이 자료를 이용하여 지하수유동모형의 불확실한 입력치를 보정하여 해석의 오차범위를 최소화 하였다.

모델 보정후 건기①의 지하수위를 기준으로 검토한 결과 우기시 4~12m 상승하였고, 건기②는 2~4m의 지하수위 강하를 나타냈다. 이처럼 부정류해석결과 연중 지하수위 변동량이 약 1.5m로 나타나는 것으로 보아 지하수위 변동이 미미한 것으로 나타났다.



3.1.2 지하철 굴착 모사 결과

각각의 해석기간을 적용하여 지하철 굴착에 의한 지하수위의 변화를 분석한 결과 건기①의 경우 터널구간에서 5~12m, 건기②는 5~11m, 우기는 5~14m 정도로 나타났다. 이처럼 각 시기별로 지하수위 변동이 비슷하게 나타난 것은 지하철 통과구간 부근에 존재하는 하천에 의한 영향으로 판단되었다.



3.2 주유소 누유에 의한 오염구간 분석

3.2.1 해석개요

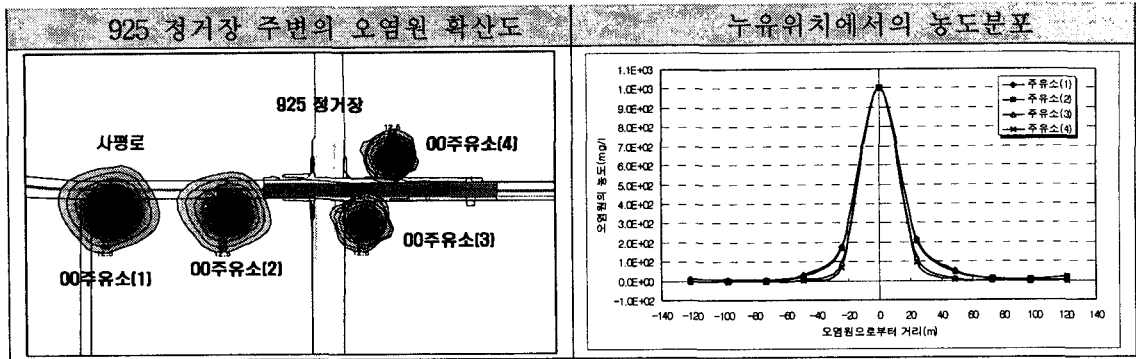
00정거장 및 사평로 부근을 터널로 통과하며 상부에 주유소가 밀집하여 향후 주유소 누유 발생으로 인한 환경오염시 Oil-Stop 시스템에 의해 누유대책을 수립하기 위한 누유감지 센서 설치범위 설정 및 누유시 예상 영향범위를 산정하기 위해 해석시 우기의 강우조건과 지속적인 누유를 가정하여 최대 영향범위를 산정하였다.

지하수에서의 용질이동(오염물질)에 대해 널리 이용되는 3차원 유한차분 수리모형인 MT3D 프로그램을 사용하였으며 일정한 주유소의 누유를 가정하여 고정오염원(Constant Concentration)으로 누유를 모델링하여 빠른 유속으로 오염물질의 확산이 최대일 것으로 예상되는 우기시의 조건을 적용하여 해석을 수행하였다.

또한 주유소 인근의 실측자료를 활용하여 누유의 농도를 약 1,000mg/ℓ로 적용하였다.

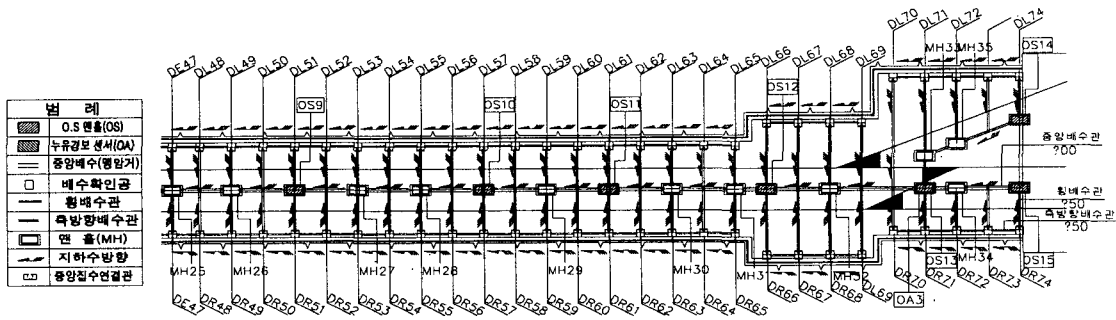
3.2.2 검토 결과 및 분석

오염원의 농도 25mg/ℓ를 기준으로 영향범위를 산정한 결과 주유소(1), (2)지역에서는 영향반경 약 50m와 주유소(3), (4)지역에서는 영향반경 약 35m으로 나타났으며, 오염원의 농도 12.5mg/ℓ를 기준으로 영향범위를 산정한 결과 주유소(1), (2)지역에서는 영향반경 약 60~65m와 주유소(3), (4)지역에서는 영향반경 약 40m으로 나타났다. 이는 주유소(1), (2)부근의 경우 지질특성이 매립층 및 층적층이 깊이 발달한 곳으로 지하철 굴착으로 인한 유속의 변화가 심하고 오염원확산이 크게 발생하였다.



3.3 Oil-Stop 시스템 설치

종합적인 지하수 환경분석의 3차원 지하수 유동해석 결과 지하수위 변동량은 미미한 것으로 판단되며, 925정거장 주변 주유소가 밀집에 따른 오염도분석결과 터널구간에서는 주유소(1), (2)에 의해 약250m구간에 오염될 가능성이 크게 나타나므로 Oil-Stop 맨홀을 이용한 누유감지 센서를 집중배치하여 누유발생시 조기경보를 통한 조기 대응이 가능토록 하였다.



4. 유량 및 수질자동모니터링 시스템

4.1 개요

지금까지 지하철도의 유출지하수는 대부분 하수관거를 통하여 배출되었고 이는 수자원 부족에 직면한 현실에 비취볼 때 유용한 수자원의 낭비를 초래하고 하수처리장의 처리용량 증가로 경제적 손실이 우려된다. 따라서 개정 지하수법 제9조의2(유출지하수의 이용등)에서는 일정규모(①지하철 역사 1개소-1일 300톤, 터널1개소-1일 300톤)이상의 지하수가 유출되는 때에는 건설교통부령이 정하는 바에 따라 이를 대통령령이 정하는 용도로 이용할 수 있도록 이용계획을 수립하여 시장·군수에게 신고하도록 의무화 하고 있다.

또한 터널내에서 발생하는 대부분의 지하수는 정거장등의 집수정으로 집수되어 처리되며, 대략 정거장 사이의 거리가 약1.0km 이상으로 유출지하수량이 거의 1일 300톤이상에 해당된다. 그러므로 거의 모든 지하철구간에 해당되며 지하수재활용 계획시 정량적인 유량 및

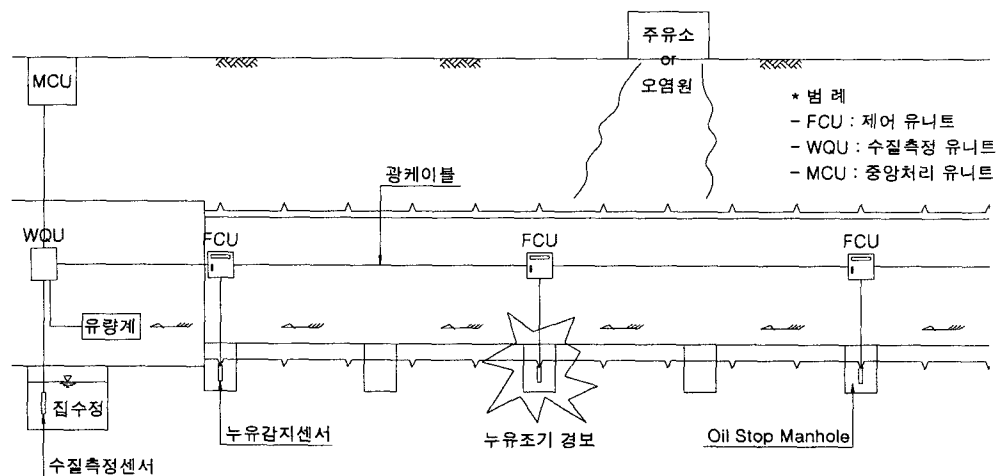
수질데이터를 제공하여 효율성을 증대하고자 하였으며 제시된 유량 및 수질자동모니터링 시스템은 00공구에 적용한 설계사례로 시스템 구성을 위한 기본사양이며 현장적용을 위한 시스템 구축비용 및 각종센서의 선정·설치등 세부사항은 현장여건에 맞게 조정해야 할 것이다.

4.2 시스템의 목적 및 기대효과

유출지하수 이용계획 수립에 필요한 유량 및 수질데이터 수집하고 최근 사회적 이슈로 떠오른 지하철 유류오염의 조기발견 및 오염확산 방지하여 유출지하수 이용의 효율성 제고(유량 및 용도의 합리적 결정) 및 실시간 자동감지시스템에 의한 오염확산 방지, 환경복원비용 절감등을 통하여 지하철 환경안정성에 대한 시민등의 의식전환을 기대한다.

4.3 유량 및 수질자동모니터링 시스템

4.3.1 시스템 구성도



4.3.2 Oil 검출 시스템

가) Oil 검출 센서

- 형식 : Laser Beam 방식
- 검출거리 : 수면에서 0.5m 이내
- 검출대상 : 수면에 부유하는 기름
- 주변온도 범위 : -10 ~ 40도
- 보호등급 : IP66

나) 제어 유닛

- 형식 : Microprocessor 방식
- CPU : HD64180
- 통신속도 : 9.6~19.2 KBPS
- 통신방식 : 광 통신 방식

다) Oil/Water Interface Meter

- 원리 : 적외선 또는 자외선 빔 센서와 전기전도도 센서를 이용하여 전기를 통하지 않는 기름층과 전기를 통하는 물층을 구분
- 제품예 : Oil/Water Interface Meter - Solinst, USA
Portable Oil/Water Interface Detector - 탱크테크, 한국

4.3.3 수질측정 시스템

가) 수질센서

- 다항목 수질센서
- 온도, 전기전도도, 수심, PH

나) 유량계

- 지하수 배출수 유량계

다) 수질감시 유니트(WQU)

- 형식 : Microprocessor 방식
- CPU : HD64180
- 통신속도 : 9.6~19.2 KBPS
- 통신방식 : 광 통신 방식
- 메모리 : 128~512 Kbyte
- LCD : 20×2 Line

4.3.4 중앙감시장치

가) 중앙처리 유니트(MCU)

- CPU : MC68000
- 통신포트 : FCU-QWU간(광통신), PC와 통신(RS232C), Spare Port(2-RS232C)
- 통신속도 : 1200~19200 BPS
- 메모리 용량 : 512K RAM, 128K PROM
- 데이터 자체 저장기능 : 250,000 데이터
- 정전시 메모리 보호 : 2년
- LCD 지시기, 모뎀통신 : 선택사양

나) 감시용 컴퓨터 : 펜티엄

다) 감시 소프트웨어

- 시스템 동작감시
- 경보 자동감시
- 데이터 그래프 표시
- 데이터 베이스 구축

5. Oil-Stop 맨홀에 의한 누유분리

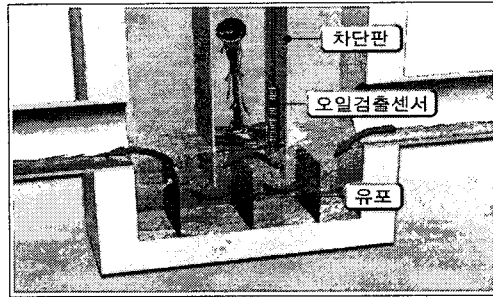
5.1 개요

도심지 지하철의 누유 침투로 인한 환경적 위해요인 제거 및 지하수 재활용시 누유차단

에 따른 수질향상으로 지하수 재활용폭을 증대시키는데 그 목적이 있으며 Oil-Stop 맨홀의 누유차단판 및 유포설치가 레일삽입식으로 구성되어 있어 설치 및 유지관리 간편한 장점이 있다. 주유소와 인접한 도심지 지하철의 누유가 우려되는 지점에 설치가 간단한 Oil-Stop 맨홀 설치만으로도 누유분리가 가능한 경제적인 대책을 제시하였다.

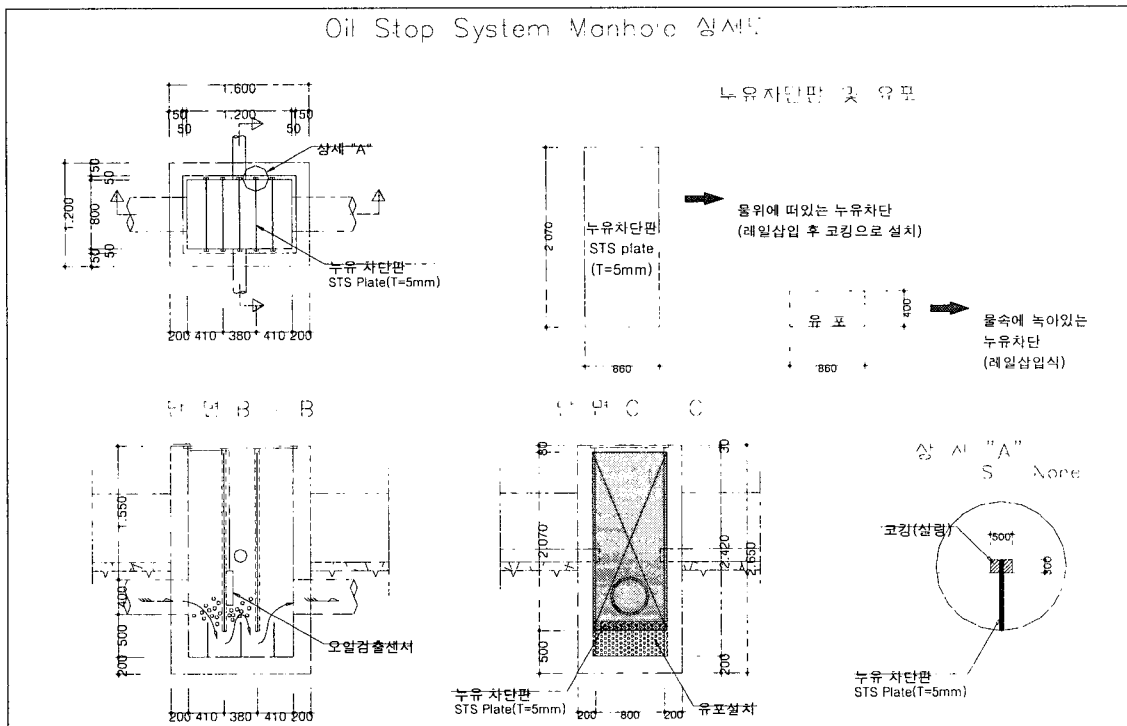
5.2 Oil-Stop 맨홀의 구성 및 기본원리

Oil-Stop 맨홀의 구성은 유지관리가 가능한 크기(최소폭:1200mm)의 맨홀Size를 계획하고 누유차단판을 상부에서부터 예상수면 하부 200mm까지 각각 1/3지점에 설치하며, 역시 마찬가지로 방법으로 누유차단판 사이에 유포를 예상수위까지 레일삽입식으로 설치하고 실링제를 이용하여 마감조치를 한다.



Oil-Stop 맨홀의 기본원리로는 물과 기름이 섞이지 않고 물위에 뜨는 성질과 맨홀의 자연배수 기능을 이용하였다. 터널 측벽 및 아치부의 누유는 측방향배수관으로 유입되어 횡방향 배수관을 통해, 터널하부의 누유는 종방향배수관을 통해 각각 맨홀로 집수되며 이렇게 집수된 누유는 1차적으로 맨홀상부에서부터 물속 200mm까지 삽입되어 있는 누유차단판에 의해 분리 차단되어 더 이상 확산되지 않으며, 2차적으로 물속에 녹아있을수 있는 누유에 대해서는 물속에 설치되어 있는 유포의 흡착에 의해 차단되게 된다.

5.3 Oil-Stop 맨홀설치 상세도



5.4 향후 개선방향

기존 콘크리트 맨홀을 이용한 누유차단판 및 유포설치시 많은 제약이 발생되므로 FRP 등의 재질개선 및 다용도로 사용가능한 Oil-Stop System 맨홀의 제품생산을 기대하며, 처음 제안된 설계안인 만큼 다양한 시험시공 및 실험을 통한 효과검증과 보다 개선된 방안이 마련되기를 바란다.

6. 결론 및 제언

최근 사회적 이슈화가 되고 있는 도심지 지하철의 누유문제를 노선의 지질특성 및 주변 지장물의 현황과악으로 검토범위를 선정하여 3차원 지하수유동해석을 통한 지하수위 변동과 오염자 추적에 의한 오염확산 분석으로 주유소 누유 발생시 지하철로 유입될 영향범위 및 유입경로를 파악하였다.

지하철로 유입되는 누유의 경로는 우·오수 완전분리의 배수시스템에 의해 측방향배수관 및 종방향배수관을 통해 중앙맨홀로 모이며 이는 다시 정거장등의 집수정에 집수되어 수질검사후 개정된 지하수법에 따라 지하수 재활용을 하게된다. 이 과정속에서 알수 있듯이 누유의 침투경로중 중간경로인 중앙맨홀에 누유차단판과 유포가 설치된 Oil-Stop 맨홀을 오염확산 분석에 따라 차등 배치하여 유입된 누유를 분리 차단하도록 계획하였다.

유량 및 수질자동모니터링 시스템을 통하여 누유침투시 누유조기경보와 정거장등의 집수정에서 수질센서에 의한 수질검사로 지하수재활용 용도를 결정하며, 유량계를 통한 정량화된 유량Data확보로 지하수 재활용계획의 합리화를 이루었다.

이상에서와 같이 도심지 지하철의 누유문제를 Oil-Stop 시스템을 통하여 해결하였으며 향후 Oil-Stop 맨홀의 누유차단판과 유포의 효과검증 및 다양한 규격의 제품화를 통한 도심지 지하철의 누유대책으로의 파급과 유량 및 수질자동모니터링 시스템의 확산을 기대한다.

본고는 서울시 지하철 9호선 00공구 대안설계시 설계적용한 내용으로서 추후 보다 세밀한 검증 및 연구를 통하여 도심지 지하철에서의 누유로 인한 악취와 화재위험 방지 및 지하수량 Data화, 지하수질 분석을 통한 계획적인 지하수 재활용계획을 수립하는데 자료가 되기를 바란다.

참고문헌

1. 이주광 외, “주유소 인근 토양의 유류 오염도 조사”, 사)한국지하수 토양환경학회, 춘계학술대회, 2001. 4. 13-14
2. 신호상, “유류 오염문제와 대책방안”, 국회환경포럼, 토양환경문제 워크샵, 1995
3. 표희수 외, “오염 토양층의 유류 분석법”, 한국토양학회지, Vol. 3, No. 2, 1998
4. 김무훈 외, “국내토양오염 유발시설별 오염현황 조사“, 한국토양환경학회지, Vol. 3, No. 1, 1998
5. 관련법규 : 개정 지하수법 제9조의2(유출지하수의 이용 등)