

## 서울도시철도 지하철 터널 무동력 배수시스템 연구

### A Study on SMRT's Non Powered Drainage System

국윤모\*<sup>†</sup>, 김만화\*, 정천만\*, 최윤석\*

YoonMo Kook \*<sup>†</sup>, ManHwa Kim \*, CheonMan Cheong \*, YunSeok Choi \*

The Seoul Metropolitan Rapid Transit Corporation operates the largest subway system in the Republic of Korea with a total of 157 stations and a total reach of almost 162.2Km. Subway structures are mostly below underground water. So underground water is flowing into the tunnel and gathered into collecting well through drain. Subsequently underground water is pumped out to the ground. If too many underground water came in tunnel, the drain would be overflowed. Overflowed underground water generates radon and deteriorates track materials. Also that spreads foreign matters which are contained the underground water. A foreign matter worsen air quality. The Purpose of this study is to design a siphon and operating method to relieve the overflowed drain. In the past, Iron pipe was used Siphon. But we use transparent high-pressure hose and aluminum coupling to have good workability. Ultimately we solve the overflowed drain by SMRT unpowered drainage system. Compared with the past operating system, our system saves 96% budget and improves air quality of tunnel.

**Key Word** : Overflowed drain, Siphon, Unpowered drainage system.

**초 록** 서울도시철도 공사는 영업연장 162.2Km, 157 개역을 운영하는 대한민국 최대의 지하철 운영기관이다. 지하철 구조물은 대부분이 지하수위 이하에 설치됨에 따라 지하수가 터널내로 유입되고, 유입된 지하수는 배수로를 통해 집수정으로 유도하여 지상으로 배제시키고 있다. 지하수의 유입량이 많은 경우 배수로 넘침현상이 발생되며, 넘친 지하수는 발암물질 라돈을 발생시키고, 궤도재료의 열화를 초래한다. 또한 지하수에 포함된 이물질이 도상에 퍼뜨림으로써 터널내 공기질을 악화시킨다. 본 연구는 지하철 배수로 넘침 현상 해소를 위한 사이펀 설계 및 작동방법에 대한 연구이다. 기존 사이펀의 강관제질 대신 시공성이 좋은 투명고압호스와 알루미늄 연결재를 사용하여 도시철도형 무동력 배수시스템을 구축함으로써 배수로 넘침현상을 해소 하였다. 기존의 방법대비 약 96%의 공사비 절감과 터널 내 공기질 및 환경개선에 커다란 기여를 하였다.

**주요어** : 배수로 넘침, 사이펀, 무동력 배수시스템

## 1. 서 론

서울도시철도 공사는 5·6·7·8 4개호선, 영업연장 162.2Km, 157개역을 운영하고 있으며, 일 평균 350만명이 이용하는 서울 교통의 핵심수단이다. 도시철도의 시설물은 대부분 지하에 위치하고 있어 일평균 약 7만톤의 지하수가 터널로 유입되고 있다. 유입된 지하수는 터널구간(N.A.T.M. Tunnel)은 중앙 및 측벽 배수관을 통해, 박스구간 (Open Cut Tunnel)은 측벽배수로를 경유, 인근역사의 집수정으로 모여 지상의 우수관로를 통해

<sup>†</sup> 교신저자: 서울도시철도공사 시설지원단 (1961652@smrt.co.kr)

\* 서울도시철도공사 시설지원단 토목구조부

인근하천으로 Fig1과 같이 방류되고 있다.

도시철도의 배수시스템은 집수정까지 자연유하되어 집수정에서 모인 지하수는 집수정내의 수중펌프로 외부에 배출되며, 집수정은 지하수가 효율적으로 유도·배수 될 수 있도록 심도가 낮은 곳에 위치하고 있다. 지하수가 집수정으로 집중됨에 따라 집수정 부근으로 갈수록 지하수량이 많아 지고, 유공관에서 도상배수로로 전환되는 곳에서 유속저하 및 도상유풀류가 자주 발생되고 있다. 이로 인해 상습 배수로 넘침개소에서는 도상이 장기간 침수되어 도상오염 및 궤도재료(방진상자, 레일패드)의 손상과 습기가 많아 누설전류 발생에 따른 신호설비의 오작동 등으로 열차 안전운행에 지장을 초래하기도 한다.

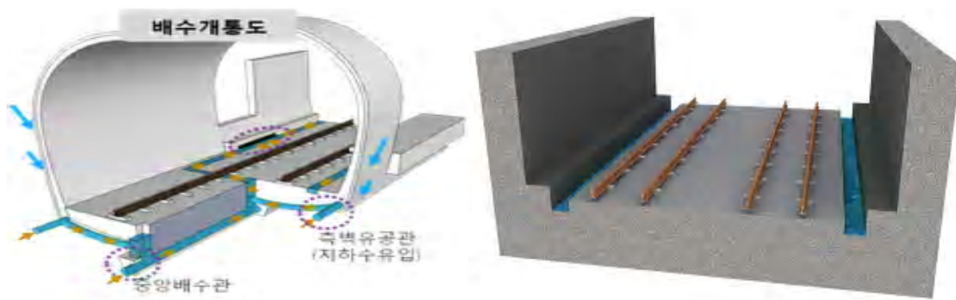


Fig.1 Drainage N.A.T.M. Tunnel & Drainage open cut Tunnel

본 연구에서는 도상유풀류 현상을 해결하기 위해 Siphon의 설치방안을 검토하였고, 기존 사례와의 비교 연구를 통하여 문제점을 분석하고 도시철도에 적용하기 위해 개선 시공한 도시철도형 무동력 Siphon을 소개하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 도시철도 터널

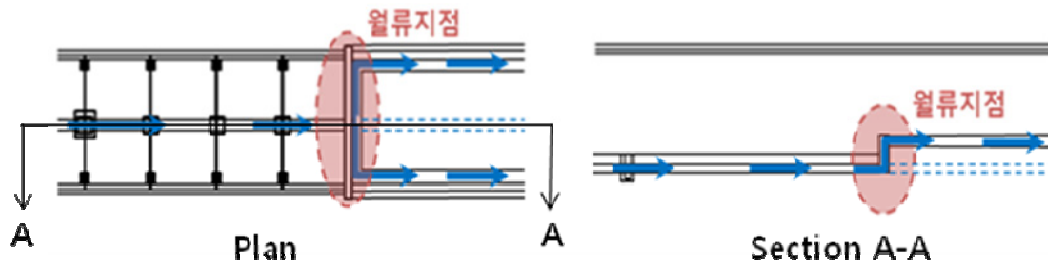
#### 2.1.1 도시철도 터널 현황 <sup>1)</sup>

서울도시철도 공사의 터널은 Table1과 같이 N.A.T.M.(New Austrian Tunneling Method) 및 Open Cut Tunnel 방식으로 건설되어 있다. Open Cut공법으로 건설된 지하철 구조물은 완전방수이며, N.A.T.M. 공법구간은 배수식터널로 시공됨에 따라 Fig2와 같이 터널내 유입된 지하수가 도상하부에 매립된 유공관을 타고 흐르며, 정거장 집수정 인근의 맨홀위치에서 도상위로 Overflow 되어 배수로를 경유, 집수정으로 배출된다. 그러나 계절별로 지하수의 유입량이 많은 우기철에는 이곳에서 지하수의 속도가 저하 되고 정체 발생하여 배수로 넘침이 발생하게 된다.

또한, 유입된 지하수에 포함된 이물질들이 배수로에 침전 및 퇴적되어 슬러지가 쌓이게 되면 지하수의 흐름을 방해하여 이 또한, 체수 및 배수로 넘침의 원인으로 작용한다.

**Table 1.** SMRT's construction Length (Km)

Division	Total	Line5	Line6	Line7	Line8
Open Cut Tunnel	80.34	22.37	17.3	26.63	14.1
NATM Tunnel	81.11	28.91	18.87	27.74	5.51
Shield TBM Tunnel	7.08	-	-	7.08	-
ETC	6.32	0.65	0.53	3.93	1.21



**Fig.2** Drainage System

### 2.1.2 배수로 넘침현상 해결 노력<sup>2)</sup>

배수일류 현상을 해결키 위해 여러가지 방법을 시도하였다. 배수로의 통수단면을 회복하기 위해 슬러지 청소를 실시하였으나 일시적인 효과일 뿐, 이후 슬러지가 지속적으로 적체되는 등 효율성이 떨어졌다. 또한, 기존 배수로의 폭을 확대하거나 신설하여 통수단면을 확대하는 방안을 Fig3과 같이 도입하였다. 그러나 배수로 추가설치시 도상면적이 축소됨에 따라 도상설치 기준(연단거리,건축한계)에 저촉되는 문제점이 있는 등, 배수로 추가설치에 의한 방법으로도 일류현상을 크게 개선하지 못하였다.



**Fig.3** Sludge Cleaning & Expansion Drainage

### 2.1.3 대안 및 문제점

앞에서 본 것과 같이 슬러지 청소 및 배수로 규격확대는 운행중인 도시철도 터널의 특성상 효율적인 배수로 월류현상 해소의 방법은 아니었다. 근본적인 개선대책이 요구되어 우선 유관기관의 사례를 검토하였다. 터널구조물의 배수로 월류현상 해소를 위한 기존의 사례로써 Fig4와 같은 인천교통공사의 사이펀이<sup>2)</sup> 있다. 인천교통공사에 적용된 사이펀은 자동작동 시스템으로, 동 시스템을 적용키 위해 맨홀인상이 선행되어야 함에 따라, 건설당시부터 건축한계에 저촉되지 않도록 대단면 터널구간에서 맨홀을 선로밖에 배치하여 시공하였다. 서울도시철도공사의 경우 월류개소 대부분이 단선터널구간에서 발생되고 있으며 선로중앙에 위치한 맨홀을 인상시에는 열차안전운행에 지장을 초래하게 됨에 따라 기존의 사이펀을 운영중인 지하철 터널에 직접 적용하기는 어려움이 있었다.

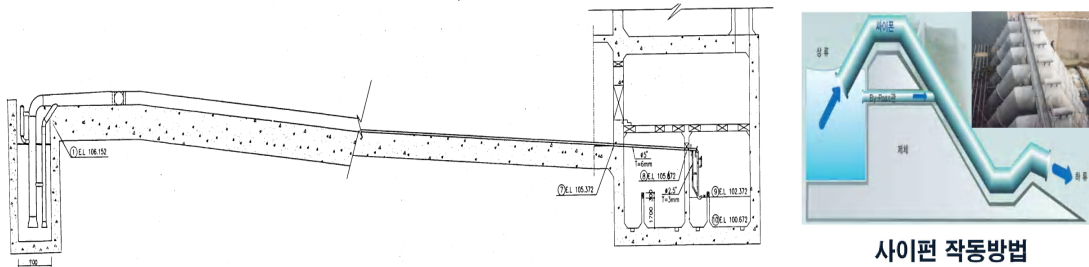


Fig.4 Incheon Transit Corporation Siphon System

## 2.2 도시철도형 무동력 사이펀 개발

### 2.2.1 도시철도형 사이펀 개발

인천지하철의 사이펀<sup>3)</sup>은 인천시청역~예술회관역 등 다수의 월류개소에 설치하여 지금껏 운영하고 있다. 이 시스템은 지하철 월류개소뿐 아니라 댐 여수로<sup>4)</sup> 등에 적용되어 지하수의 양이 증가되면 자동으로 작동하는 시스템으로 지하수 월류현상 해소에 매우 우수한 시스템인 것으로 사료된다. 하지만, 운영중인 구간에서는 공간적 제약 등으로 적용이 곤란함에 따라 대안을 강구하게 되었다. 기존의 사이펀은 터널내 유입된 지하수를 모두 사이펀으로 배제하는 반면, 본 연구에서 제안된 사이펀 배수시스템은 유입된 지하수의 대부분을 배수로로 배제하고 월류 발생량 이상을 사이펀으로 배제토록 하였다. 즉 Fig5와 같이 연중 지하수유입량 분석 및 도상배수로 통수능력을 개수로의 Manning공식을 적용하여 결정하고, 사이펀이 상시 작동할수 있도록 사이펀 배제용량은 최대 월류량보다는 크고 갈수기 유량보다는 작은 규모로 관로구경을 Bernoulli<sup>5)</sup> 유속정리에 의거 Fig.6과 같이 산정하였다. 강관 재질 보다는 시공이 용이하고 내구성이 우수한 투명고압호스를 사용하여 관로내 Air 확인과 굴곡부 배관작업이 용이도록 하고 공사비도 절감하였다. 이때 적용한 물성치는 Table 2.와 같다.

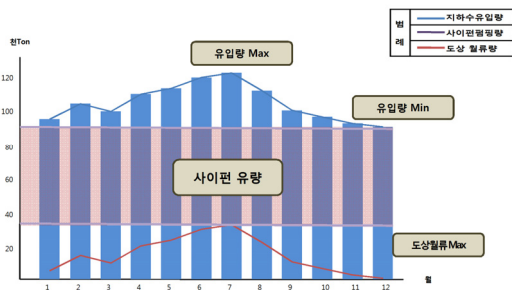


Fig.5 Flow Analysis

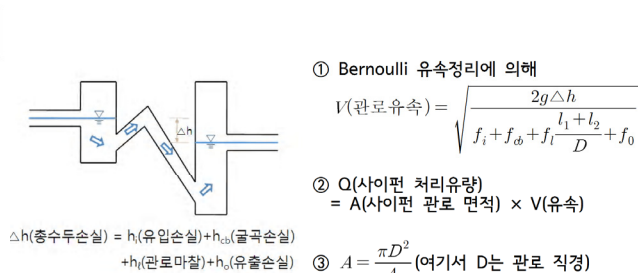


Fig.6 Pipe standard decision

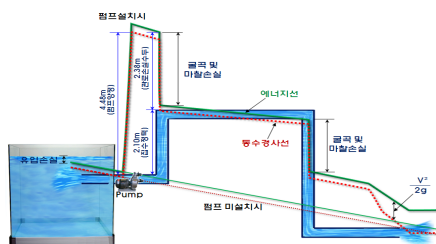


Fig.7 Hydraulic graffient

Table 2. Material Factors

Coefficient of Roughness(n)	Coefficient of Loss			
	Entrance Loss(fi)	Friction Loss(fl)	Bending Loss(fb)	Run Off Loss(fo)
0.013	0.5	0.0454	0.17	1

## 2.2.2 사이펀 설치 및 작동방법 소개

사이펀에 PVC관로를 사용함에 따라 50m마다 발생하는 관로연결부는 시제품인 연결자재(Aluminium Coupling)를 사용하였다. 관로내 Air 제거는 시종점부에 밸브를 설치하고 Air 제거용 호스(L=1~2m)를 활용하여 관로 중앙부에 발생하는 기포를 관로 끝단으로 이동시켜 제거하였다. 또한, 사이펀 작동에 필요한 초기 흡입력은 관로 토출부에 모터펌프를 설치하여 확보하였으며, 소요 초기흡입력은 사이펀 작동후 발생하는 유속의 1.5배를 기준으로 Fig7과 같은 원리에 의해 산정하였고, 사이펀 작동에 0.91마력 이상이 소요됨에 따라 4마력의 펌프를 사용하였다. 작동방법은 토출부 펌프를 사용하여 관로내 물의 흐름이 형성된 상태에서 관로를 집수정에서 낙하시켜 사이펀을 가동하였다.

## 2.2.3 월류개소별 사이펀 설치 규격 적용

도시철도형 사이펀의 특징은 기존의 배수로를 최대한 활용하고 월류량 이상을 사이펀이 배제하며 상시 작동 할 수 있도록 최대 월류량 보다는 크고 갈수기 유량보다는 작은 규모로 사이펀 용량을 정하는 것이다. 도시철도공사의 각각의 월류개소의 특성을 반영하여 사이펀의 규격과 초기 흡입력 확보를 위한 펌프의 용량은 Table3과 같다. 기존 사이펀 시스템은 터널내 유입되는 전체유량을 배제시키므로 대구경의 관로가 요구되나, 본 연구에 적용된 사이펀은 월류량만을 배제시키므로 관로의 규격축소가 가능하였다. 월류현상 해소에 적용된 관로규격은 대부분 75mm로 가능하였으며, 일부 월류량이 많은 개소에만 100mm 규격을 적용하여 월류현상을 해소할 수 있었다.

Table 3. Standard decision

Place	Installation		Gra dient (0/00 )	Drainage capacity (ton/s)	Dry Season inflow (ton/s)	Wet season inflow (ton/s)	Over flowed (ton/s)	Sump depth (m)	Lift Height (m)	Siphon (ton/s)	Pump (hp)	If Dry season	If Wet season
	Len gth (m)	Dia meter (mm)											
Gang dong	100	75	5	0.162	0.022	0.165	0.003	4	6.23	0.005	0.52	O.K	O.K
No won	50	100	2	0.103	0.014	0.110	0.007	4.5	5.54	0.0098	0.91	O.K	O.K
Gun ja	50	75	2	0.103	0.009	0.108	0.005	3.5	5.15	0.0062	0.53	O.K	O.K
Jung Hwa	100	75	3	1.126	0.017	0.130	0.004	4	5.57	0.0046	0.43	O.K	O.K
Gong neung	200	100 (2조)	3	0.126	0.048	0.139	0.013	4.5	6.33	0.00148	0.79	O.K	O.K

### 3. 결 론

본 연구는 지하철 구조물의 특성상 대부분이 지하수위 이하에 건설되어 지하수가 터널내로 유입되고, 유입된 지하수가 많을 경우 발생하는 배수로 넘침현상을 해결하기 위해 적용한 도시철도형 무동력 사이펀에 관한 것이다. 도시철도형 무동력 사이펀은 강관재질을 사용한 기존의 사이펀과는 달리 시공성이 좋은 투명고압호스와 알루미늄 연결재를 사용하여 시공성을 확보하였고, 월류량만을 배제토록하여 적은 규격으로 상습 월류개소인 5 개소의 배수로 물넘침을 효율적으로 해결하였다.

도상 물넘침 현상 해소로, 궤도재료의 열화현상 저감 및 화강암대 지하수의 증발로 인해 발생하는 라돈의 농도를 공릉역의 경우 사이펀 설치전 144 Bq/m<sup>3</sup>에서 설치후 40 Bq/m<sup>3</sup>까지 획기적으로 저감시켰다. 사이펀 설치개소는 설치 이후 배수로 물넘침이 발생하지 않았으며, 기존의 방법은 200m 당 약 1 억원의 공사비가 소요되는 반면, 본 연구에 적용된 사이펀은 400 만원으로 설치가능하여 기존 대비 약 96%의 공사비도 절감하였다. 본 연구방법을 운영중인 지하철터널의 배수로 물넘침 개소에 적용하면 쉽게 월류현상을 해소할 수 있고 시설물 유지관리업무에 도움이 될 것으로 판단된다.

### 참고문헌

- [1] Seoul Metro Line5 construction Paper, Seoul Metropolitan Government, 1994
- [2]S.G.Go (2011) A Study on Drainage System of Non-motorized For Overtopping and Radon Reduction, Journal of the Korean Society for Railway, The Korean Society For Railway.
- [3] Inchoen Transit construction Paper, Incheon Metropolitan Government, 1999
- [4] I.S. Kim (2006) Investigation for Increasing Drainage Ability of Siphon Spillway in Hadong Dam by Hydraulic Physical Scale Model Tests, Journal of the Korean Society for Civil Engineers, The Korean Society For Civil Engineers
- [5] Engineering Fluid Mechanics, Wiley, Roberson/Crowe, 1997