

회수율을 이용한 무인통신구 건설용 도심형 디샌더의 성능평가

김정근, 백송훈

KT차세대통신망연구소 네트워크인프라연구팀

Performance estimation of a desander for constructing nonman-size cable tunnel in downtown using proposed returning rate

Jung-Guen KIM, Song-Hoon BAIK

Network Infrastructure Research Team, KT Telecommunication Network Laboratory

Abstract - 도시를 중심으로 지속적으로 발생하고 있는 초고속 네트워크서비스의 안정성을 확보하기 위해 KT는 경제적이고 안정된 구조의 직경 1,000mm 이하의 무인통신구를 건설하고 있다. 도심지에서 무인통신구 공사 허가시 점용면적은 민감한 문제가 되며 교통혼잡 발생으로 민원을 유발하는 요인이 된다. 본 연구는 복잡한 도심지에서 사용할 수 있는 소형의 크기와 무인통신구 건설을 위한 처리용량을 갖춘 도심형 디샌더의 개발과 그 동안 정성적으로 평가하고 조절하던 디샌더의 처리용량을 나타내는 성능계수에 관한 것으로 이를 통해 공사 설계 단계에서부터 이수처리량을 추정할 수 있는 근거를 제안하고자 한다.

터널공사에 주로 사용되고 있는 기계식 비개착 공법으로 이수가압식 그리고 이토압식이 있다. 이수가압식 공법은 막장 안정과 원활한 배니를 위해 물을 사용하기 때문에 이수처리장비가 지상에 배치되어야 하고(그림 1) 그 처리비용이 추가적으로 소요되지만 급격히 토질조건이 변하고 대형 건물이 자리잡고 있는 도심지 환경에서 고도의 지반 안정화 요구 그리고 경제적인 통신구 공사를 위해 발진구 수요를 줄이기 위해 300m이상의 장거리 굴진이 요구되는 곳에는 지반 안정화 폭이 넓은 이수가압식 공법이 적용되고 있다.

1. 서론

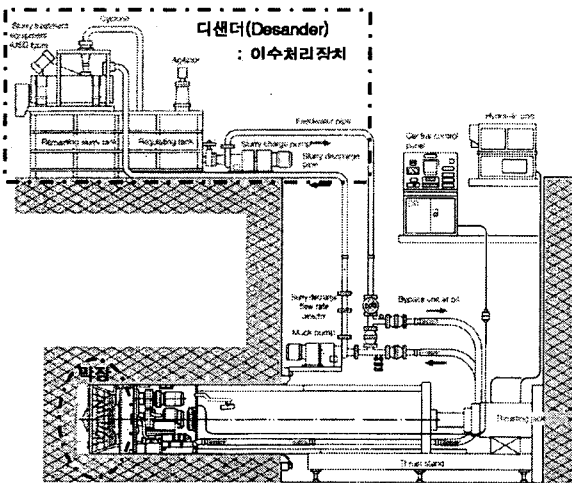


그림 1. 이수가압식 마이크로터널링 장비 구성

KT가 보유하고 있는 지하 통신인프라는 통신구와 관로로 구성되어 있으며 KT외부환경 변화에 따른 교통혼잡, 소음/진동으로 야기되는 민원에 대한 능동적인 대응의 요구에 대해 지상도로 굴착없이 지중에서만 터널 공사 작업이 이루어지는 기계식 비개착 공법으로 통신구를 건설하고 있다. 국내 도심지 지하에 $\Phi 1,000\text{mm}$ 이상의

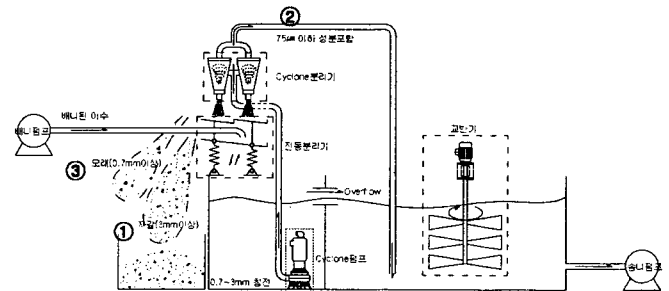


그림 2. 디샌더 처리 개념도

그림 2는 디샌더의 이수처리과정을 나타낸 것이다. 배니펌프에 의해 막장으로부터 이송되어온 이수는 진동하고 있는 1차스크린에 의해 $\Phi 3\text{mm}$ 이상의 모래와 자갈이 분리되고 그 이하의 토사를 포함하는 이수는 하부탱크로 떨어지게 된다. 이는 다시 사이클론펌프에 의해 이송되어 사이클론을 통해 $75\mu\text{m}$ 이하의 성분을 포함하는 이수는 사이클론의 상부로 분리되어 조정조로 이송되고 이외의 성분을 포함하는 고농도의 이수는 2차스크린에 의해 다시 $\Phi 0.7\text{mm}$ 이상의 성분이 분리된다. 그리고 다시 이외의 성분을 포함하는 이수는 하부탱크로 떨어지고 이러한 순환과정을 반복하여 비중 1.3 이하의 재 사용이 가능한 이수로 만들어 조정조에 모여 송니펌프에 의해 다시 막장으로 이송되게 된다.

최근 초고속 통신 인프라 수요 및 안정성에 대한 요구에 따라 $\Phi 1,000mm$ 급의 통신구 공사 수요가 혼잡한 도심지에서 발생하고 있다. 그러나 앞서 기술한 이유로 이수가압식이 적용되어야 하는 필요가 있음에도 이수(泥水, 흑탕물)처리를 위한 장치(디샌더)만은 지상에 배치되어야 하기 때문에 점유공간 확보의 어려움으로 민원유발 원인이 된다.

특히 국내에서 통상적으로 사용되는 디샌더는 시공 터널직경별 넓은 호환성 확보를 위해 실제 소요용량에 비해 큰 용량의 탱크를 사용하고 있기 때문에 필요이상의 점유공간이 필요하게 되어 도심지에서 장시간 사용하기에 적합하지 않다.

무인통신구의 적용으로 $\Phi 1,000mm$ 이하의 통신구 공사가 예상되며 기타 사회인프라(상하수도, 전력, 용수로 터널)의 관경 역시 작아지는 추세이기 때문에 $\Phi 1,000mm$ 급 이하의 마이크로터널링 장비에만 호환되는 디샌더의 용량으로 낮추어도 공사가 가능하게 된다. 이에 KT에서 개발한 이수가압식 마이크로터널링 장비 XS-1000($\Phi 1,000mm$ 급)의 굴진특성과 도심지 상황에 최적화 시킨 도심형 디샌더를 이용한다면 도심지에서 발생하는 터널링 공사에 대해 점유공간, 민원발생에 대한 문제를 최소화 하며 대응할 수 있게 될 것이다.

2. 도심형 디샌더 개념설계

도심형 디샌더의 개념설계는 크게 점유면적을 결정하는 탱크용량과 이수의 순환과 처리를 하는 펌프용량의 결정으로 나누어진다. 도심지에서 설치 및 작업이 가능한 디샌더의 요구사항과 XS-1000의 제원과 일반적인 굴진속도를 기준하여 기본 사양을 결정하게 된다.

2.1 시작품 목표성능

2.1.1 탱크용량

혼잡한 도심지의 편도 2차로 조건에서 한 개의 차로를 점유하여 작업을 한다고 가정했을 때 원활한 차량의 소통을 위해서는 점유공간의 폭이 한 개 차로의 폭(3m)보다 상당량 작아야 한다. 본 도심형 디샌더는 그 기준을 1톤 포터 트럭(폭1.74m)의 상시 주차상황을 기준으로 하였다. 즉, 도심의 인도쪽 차로로 밀착 주차되어 있는 포터 트럭의 폭이 유발하는 교통혼잡 정도를 유지한다고 가정했을 때 타 차로의 차량진행에 방해가 최소화 시킬 수 있을 것이다.

$\Phi 1,000mm$ 급 이수가압식 터널링 장비가 일반적인 토질조건에서 분당 150mm의 굴진속도로

진행한다고 가정했을 때 현장에서 통상적으로 소요되는 탱크의 용량은 최소 15m³로 조사되었으며 본 도심형 디샌더는 16m³의 하부탱크 및 보조탱크 용량을 갖게 하며 하부탱크의 조정조와 침전조의 비율을 3:2로 한다.

2.1.2 처리용량

$\Phi 1,000mm$ 급 이수가압식 마이크로터널링장비가 정상적인 토질조건에서 최대 분당 150mm의 속도로 굴진한다고 가정했을 때, 막장에서 굴착되는 토사량 $V_{soil}(m^3/min)$,

$$V_{soil} = \pi \left(\frac{1.27m}{2} \right)^2 \cdot 0.15m/min \quad \text{식 1}$$

$$= 0.19m^3/min$$

이며 농도 1.3을 이수운용의 기준으로 할 때 소요되는 물의 양 $V_{water}(m^3/min)$,

$$1.3 = \frac{V_{water} + V_{soil} \cdot \rho_{soil}}{V_{water}} \quad \text{식 2}$$

$$0.3V_{water} = 0.19m^3/min \cdot (2.68)$$

$$V_{water} = 1.69m^3/min$$

$$= 101.84m^3/hr$$

$$\rho_{soil} \quad \text{흙의 밀도} = 2.68$$

이며 여유용량을 포함하는 해당 상용 배니펌프의 용량인 120m³/hr을 사용하기로 한다. 따라서 상부 진동프레임은 120m³/hr의 이수를 처리하여야 하며 1차 스크린은 직경 3.5mm 이상의 토사 및 자갈과 2차 스크린은 직경 0.7mm이상의 토사를 분리 할 수 있도록 한다.

침전조의 이수를 병목 현상 없이 사이클론에 이송시킬 수 있는 사이클론 펌프의 용량을 180m³/hr로 하며 90m³/hr 용량의 두 개 펌프를 사용하고 각 사이클론 펌프에 두 개씩의 사이클론을 장착하여 처리 용량의 조절과 펌프의 고장 및 소모품 교체시 전체 장비의 가동을 유지할 수 있도록 한다. 또한 각 사이클론은 하부 흐름의 제어를 위한 고무밸브를 장착하여 직경 75 μ m 이상을 분리 할 수 있도록 한다. 성능실험을 통한 사이클론의 비중 1.3이하의 이수 회수율은 40%이상을 목표로 한다.

본 절에서 결정된 주요 제원과 목표성능은 표 1에 정리하였으며 개념도는 그림 3과 같다.

표 1. 주요 제원 및 목표성능

항목	제원
장비크기	1.5m×2.1m×6.2m→점유면적 9.3m ² 조정조 : 침전조 = 10.5m ³ : 5.5m ³
분리가능입경	75μm 이상
진동계처리용량	120m ³ /hr
진동모터 용량	2.2kW×2(진동력 가변형)
싸이클론 펌프/용량	15kW×2 / 90m ³ /hr×2 = 180m ³ /hr
싸이클론 규격/수량	Φ230mm / 2조 (2개/조, 총 4개)
스크린	1차 (3mm), 2차 (0.7mm)
소음/진동 증가치	10dB 이하
이수 회수율	농도 1.3 이하, 40%이상 (체적비)

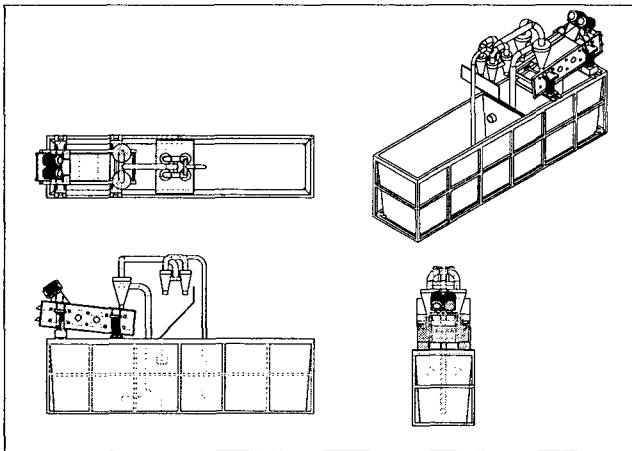


그림 3. 도심형 디샌더 개념도

3. 싸이클론 성능계수

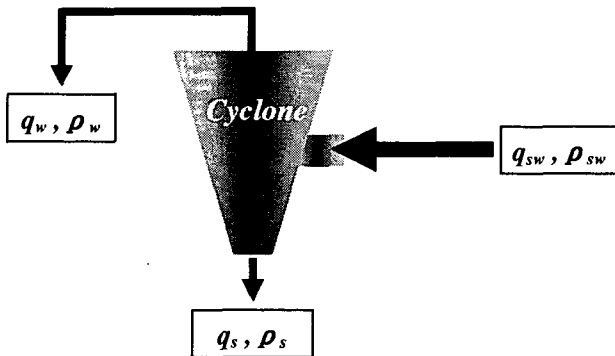


그림 4. 싸이클론 처리 순환회로

- q_{sw} 싸이클론펌프에 의해 유입되는 이수 유량 [m³/hr]
- q_w 싸이클론 상부로 분리 되어 나오는 농도가 낮아진 이수 유량 [m³/hr]
- q_s 싸이클론 하부로 분리되어 나오는 농도가 높아진 이수 유량 [m³/hr]
- ρ_{sw} 싸이클론펌프에 의해 유입되는 이수의 농도
- ρ_w 싸이클론 상부로 분리 되어 나오는 이수의 농도
- ρ_s 싸이클론 하부로 분리 되어 나오는 이수의 농도

그림 4의 순환회로를 이동하는 이수가 유출

혹은 유입되지 않는 한 계(system)안에서 이동되는 질량은 일정해야 한다. 단, 싸이클론 내부를 통과하면서 물과 토사의 비율이 달라지게 되면서 각 부분으로 출력되는 이수 농도의 변화가 발생하게 된다. 또한 이수의 농도를 변화 시킬만한 흡이 포함된다 하더라도 부피의 변화가 무시할 만 하다고 가정한다면 식 3과 같이 표현 할 수 있다.

$$q_{sw} = q_s + q_w \tag{식 3}$$

$$\rho_{sw}q_{sw} = \rho_s q_s + \rho_w q_w$$

식 3을 정리하면 계에 입력된 유량(q_{sw})과 농도가 낮아져 출력되는 유량(q_w)의 비율이 각 농도의 비율로 표현 할 수 있으며 그 비율 γ_{return} 은 싸이클론의 분리성능을 나타내는 회수율로 식 4가 된다.

$$\begin{aligned} (\rho_{sw} - \rho_s)q_{sw} &= (\rho_w - \rho_s)q_w \\ \frac{q_w}{q_{sw}} &= \frac{(\rho_{sw} - \rho_s)}{(\rho_w - \rho_s)} \\ &= \gamma_{return} \end{aligned} \tag{식 4}$$

q_{sw} 는 배니펌프의 유량으로 조작자에 의해 설정되는 값이므로 회수율을 이용하여 싸이클론 1회 순환시 조정조로 유입되는 이수량을 계산 할 수 있다.

4. 성능시험

제안된 도심형 디샌더의 성능을 평가하기 위해 시작품을 제작하고 성능시험을 수행하였다. 본 성능시험의 목적은 싸이클론의 처리성능을 아는데 있으며 시간 별로 변화되는 수위와 농도를 측정하고 앞절에서 제안한 성능계수를 적용하여 회수율을 계산한다.

4.1 시험장비 구성 및 준비

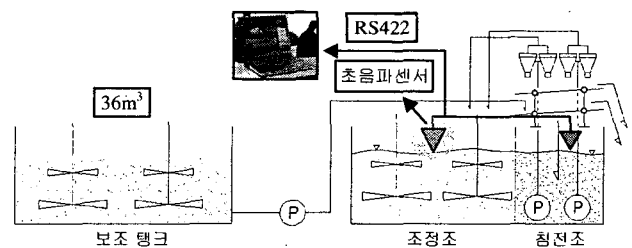


그림 5. 시험장비 구성

보조탱크 두 개(16m³, 20 m³)를 사용하여 총 36 m³의 이수 시료를 준비[그림 6, 그림 7]하고

VS모터로 유량조절을 할 수 있는 배니펌프를 사용하여 1차 스크린에 연결한다. 조정조와 침전조의 시간당 수위 변화를 측정하기 위해 초음파 수위센서를[그림 8] 장착하고 컴퓨터를 통해 실시간으로 자료를 수집한다[그림 9]. 시험에 사용된 장비 및 제원은 표 2와 같다.

표 2. 시험장비 목록

명칭	사양
데이터 로거 (노트북)	Sampling time : 30ms, 2Ch
초음파 수위센서	측정범위 5m, 산란방지 도금 및 외란 제거용 하우징 장착
보조탱크	보조탱크1 (16 m ³) + 보조탱크2 (20 m ³)
배니펌프	VS모터 유량제어 (0 ~ 120 m ³ /hr)



그림 6. 설치된 도심형 디샌더

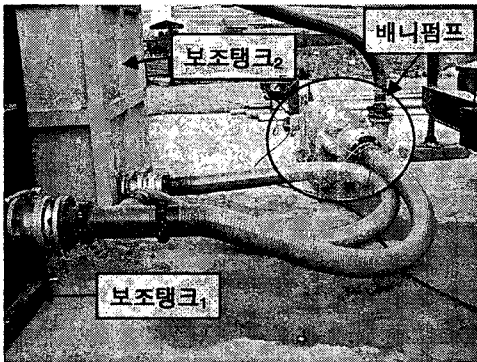


그림 7. 병렬 연결된 보조탱크 1,2

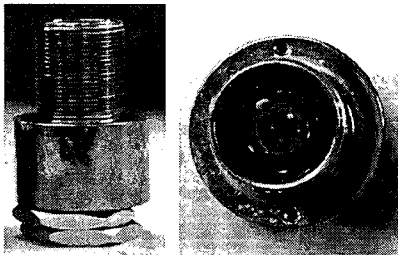


그림 8. 초음파 수위 측정 센서

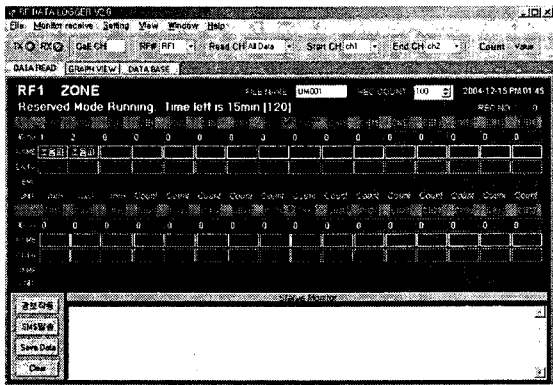


그림 9. 데이터 로거 화면

4.2 처리성능 평가

디샌더의 처리는 크게 두 가지로 나뉘어진다. 배니펌프에 의해 막장으로부터 이송되어온 이수가 진동하는 1차스크린에서 처리되어 $\Phi 3mm$ 이상의 토사는 외부로 떨어지고 그 이하의 토사를 포함하는 이수는 하부탱크로 떨어진다. 하부탱크에 모아진 이수는 싸이클론 펌프에 의해 싸이클론으로 분사되어 $\Phi 75\mu m$ 이하의 입자를 포함하는 이수는 상부로 토출되어 조정조로 떨어지고 이외의 토사를 포함하여 농도가 높아진 이수는 2차 스크린에서 처리되어 $\Phi 0.7mm$ 이상의 토사는 외부로, 그 이하는 다시 하부탱크로 떨어지는 과정을 반복하면서 처리된다.

본 절에서는 1, 2차 스크린에 의해 분리된 자갈 및 토사의 입경을 확인하고 분리 작업 후에 스크린의 상태를 확인함으로써 스크린의 분리성능을 확인하고 싸이클론의 처리성능 평가는 앞서 제안된 성능계수를 사용한다.

4.2.1 스크린 성능

1차 스크린에 의해 분리되어 외부로 반출된 $\Phi 3mm$ 이상의 모래, 자갈은 (그림 4.6)의 왼쪽과 같으며 2차 스크린에 의해 반출된 $\Phi 0.7mm$ 이상의 모래는 (그림 4.6)의 오른쪽과 같다.



그림 10. 스크린에 의한 모래/자갈 분리

스크린면의 균일성과 처리시 병목현상을 점검하기 위해 최대 배니량(120m³/hr)을 가동하고 임의 시점에 작동을 중단하고 스크린면을 관찰하였다. 모래, 자갈이 한 곳에 뭉쳐있는 특이 지점은 보이지 않았으며 처리 시작부분과 종료 부분에 쌓여있는 모래의 비율이 크게 다르지 않은

것으로 관찰되었다. 최대 배니량이 유입되는 상황에서 특이한 병목현상을 보이지 않는것으로 확인되었으며 진동프레임의 목표 처리성능 $120m^3/hr$ 을 만족함을 확인할 수 있었다.

또한 모래와 자갈이 스크린 틈 사이를 완전히 통과하지 못하고 박혀있는 상태를 최소화 하기 위해 스크린을 구성하는 스테인리스 스트립(strip)의 단면을 역 사다리꼴(▽▽)형태로 구성하였으며 고무망치를 이용한 스크린 사이의 모래, 자갈 제거 작업이 보다 용이함을 확인 하였다.

4.2.2 싸이클론 처리성능

그림 11은 싸이클론에 의해 분리되기 전의 시료와 싸이클론 분리과정을 거친 시료의 모습이다.

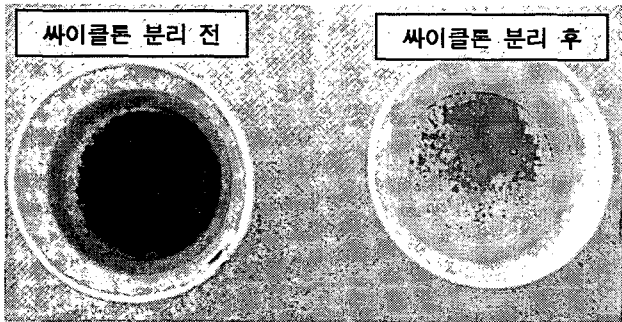


그림 11. 싸이클론에 의한 토사 분리

정상상태를 유지하고 가동 상태에서 각 부분별로 채취한 샘플의 농도와 제안된 식 4를 사용하여 계산된 회수율은 표 3과 같다.

회수율 산정에 사용된 이수는 전체 중 부분만을 채취한 샘플이며 비중계의 아날로그 눈금 확인에 따른 오차가 포함되어 있다. 계산된 평균 회수율은 설계 시 목표 해던 싸이클론 1회 순환 시 회수율 40%를 상회하는 값이다.

표 3. 싸이클론 회수율

순서	ρ_{sw}	ρ_w	ρ_s	γ_{return}
1	1.13	1.05	1.28	0.65217
2	1.16	1.08	1.25	0.52941
3	1.15	1.03	1.23	0.4
4	1.15	1.07	1.22	0.46667
5	1.13	1.04	1.23	0.52632
6	1.18	1.05	1.28	0.43478
7	1.16	1.06	1.27	0.52381
8	1.19	1.06	1.28	0.40909
9	1.15	1.05	1.25	0.5
평균	1.15	1.05	1.25	0.49

5. 결론

혼잡한 도심지에서 이수가압식 공법 적용시 야기되는 점유공간 확보의 어려움으로 인한 민원발생 문제를 최소화 하기 위한 설계과정을 통해 개발된 도심형 디샌더를 개발하고 시작품을 제작하여 처리성능을 평가하였다. 설계단계부터 디샌더의 점유공간 확보를 위해 하부 탱크의 크기를 최적화 시키고 이중 싸이클론 시스템의 사용으로 기존 디샌더의 처리용량을 확보 할 수 있었다.

본 연구를 통해 개발된 도심지 환경에 적합한 디샌더의 적용으로 복잡한 도심지 공사 환경에서도 성공적인 터널링 공사를 가능하게 할 것으로 기대되며 제안된 싸이클론의 처리성능인 회수율은 이수 교체주기를 예측할 수 있는 기초 자료로 사용될 수 있을 것이다. 더 나아가 토질 조건에 따른 회수율에 대한 연구가 이루어진다면 보다 엄밀한 이수처리 비용을 산출 할 수 있게 될 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김정근, “무인통신구 굴진성능 향상을 위한 후방지원 기술 개발”, 연구업무 보고서, 2004
- [2] Stein, “Microtunneling”, 1989
- [3] NAM P. SUH “The principles of design”, 1990