

# 제2강 이수식 쉴드 막장안정관리(1)

- 기계화시공위원회 쉴드공법연구그룹 -



김재영  
(주)코템  
대표이사 / 공학박사



채종길  
삼성물산(주)  
과장 / 공학박사



전기찬  
(주)대한건설ENG /  
상무

## 1. 이수식 쉴드의 막장안정

### 1.1 막장안정 메커니즘

터널 막장에 있어서 굴착작업은 지반 내 응력관계에서 보면 제하(除荷)에 해당한다. 따라서 역학적으로는 막장안정을 위해 제하된 압력과 수압에 상응하는 압력을 보충할 필요가 있다. 그림 1에 이수식 쉴드의 개념을 나타내었다. 따라서 이수는 그림 1에 나타난 응력관계를 성립시키기 위한 기능과 특성을 가질 필요가 있다.

다음으로 이수의 기능을 설명하기 위해서 막장부근의 상황을 모식적으로 표현하여 그림 2에 나타내었다. 그림과 같이 이수식 쉴드에 있어서 막장안정은 다음과 같은 역할에 의해 성립한다고 생각된다.

- ① 이수압은 지반 측에서 작용하는 토압 및 수압에 대응한다.
- ② 이수압을 유효하게 작용시키기 위해 막장면에 불투수성의 이막을 형성시킨다.
- ③ 투수성 지반에서는 이수의 침투가 막장 부근의 자립성(점착력 부여)을 증가시킨다.

이상과 같이 이수식 쉴드의 막장안정 메커니즘을 이해하기 위해서는 우선 이수압의 설정, 이수의 기능과 특성 및 막장안정 확인방법에 대해서 살펴볼 필요가 있다.

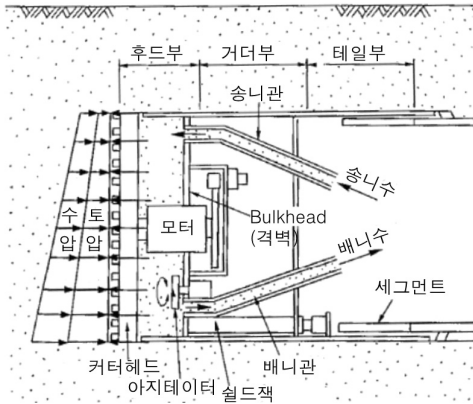


그림 1. 이수식 실드<sup>1)</sup>

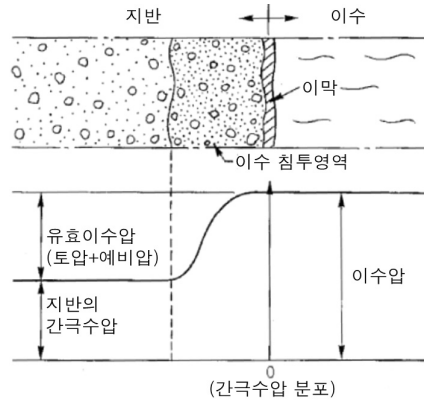


그림 2. 이수식 실드의 막장부근 상황 모식도

표 1. 막장토압의 대표적 산정법<sup>2)</sup>

토압설정방법	기준 하중	적용이론 및 제안법	대상토질	
막장 전면에 작용하는 수평토압 (응력단위)	토피하중 (자연퇴적상태에 서의 연직토압)	Rankine 주동토압계수	사질토, 점성토	
		Brooker 정지토압계수	점성토(침하억제)	
		B,B,Broms 이론	점성토	
막장 전면에 발생하는 활동면에 관한 모멘트 (힘 단위)	이완토압 활동토과중량	Terzaghi 이완토압, Rakine 주동토압계수	사질토	
		대수나선 활동	시행착오법(村山 기본이론)	사질토
			일의적(一義的, definitive)결정법	村山 수정법 간편법

## 1.2 이수압의 설정

이수압은 기본적으로 다음의 식으로 설정된다.

$$\text{이수압} = \text{지하수압} + \text{토압} + \text{예비압} \quad (1)$$

지하수압(간극수압)은 관측정 등에 의해 계측된 값을 이용하는 것이 바람직하다. 그 이유는 보링조사에 의한 공내수위를 바탕으로 설정하는 경우, 막장에 나타나는 지층의 간극수압이나 계절에 따른 수위 변동 등을 정확하게 파악할 수 없기 때문이다. 또한 점성토에서는 이를 토압에 포함하여 취급하는 것이 일반적이다.

여기서의 토압은 기본적으로 수평방향으로 작용하는 수평토압을 의미한다. 막장토압의 대표적 산정방법을 표 1에 나타내었으나, 기준이 되는 연직토압은 지반조건에 따라 전도압 또는 이완토압을 이용하고, 수평토압의 산정에 이용하는 토압계수는 정지토압계수 또는 주동토압계수를 이용하는 경우가 많다. 또한 사질토에서 이완토압의 발생을 기대할 수 있는 경우에는 막장면에 발생하는 활동면에 대한 모멘트를 고려한 村山(Murayama)의 식을, 점성토에서는 안정수를 고려한 B,B,Broms의 식을 이용하여 산정하는 방법도 있다.

예비압은 지하수압 및 토압의 설정오차나 송배니 기구에서 이수압의 변동 등을 고려하여 경험적으로 결정하고, 일반적으로  $20\sim 50\text{kN/m}^2$  ( $0.2\sim 0.5\text{kgf/cm}^2$ ) 정도의 값을 적용한다.

### 1.3 이수의 기능과 특성

#### (1) 이수의 기능

이수의 기능은 다음과 같다.

- ① 막장(굴착벽면)의 붕괴를 방지할 것
- ② 이수 중에 부유하고 있는 토사를 유지할 것
- ③ 토사의 운반을 도울 것

이 중 ①은 이수의 가장 중요한 기능이다.

#### (2) 이수의 특성

이수의 기능을 충분히 발휘하기 위해 필요한 특성은 다음과 같다.

- ① 물리적 안정성
- ② 화학적 안정성
- ③ 적당한 비중
- ④ 유동에 관한 특성
- ⑤ 양호한 이막의 형성

물리적 안정성은 이수가 장시간 정지상태 시에도 상부와 하부에 비중차가 생기지 않는 특성이다. 즉, 이수 중에 부유하고 있는 토립자가 항상 분산되어 있는 상태가 요구된다.

화학적 안정성은 양이온에 의한 열화 특성이다. 이수 중에 시멘트(Ca이온)나 해수(Na, Mg이온)가 침입하면 점토입자가 응집상태가 되어, 이수로서의 기능을 잃어버리게 된다. 이는 점토입자가 음이온을 가지고 있는데, Ca 등의 양이온이 더해짐으로써 입자가 분산상태에서 응집상태로 이행하기 때문이다. 응집의 결과는 과도한 점성의 증가, 이막형성성의 저하와 연결된다.

이수의 비중이 클수록 흙막이 효과의 증대, 굴착토사의 부력증대에 따른 운반효율 증가 등의 이점이 있으나, 반면 펌프부하 증대 등의 결점도 발생하므로 적당한 비중이 요구된다.

유동에 관한 특성은 토립자 유지와 막장의 안정에 중요한 의미를 지닌다. 이는 이수가 소성유체와 유사한 유동특성을 나타내어 작은 힘을 가하여도 유동하지 않고, 소정의 힘 이상이 될 때 유동하기 시작한다는 틱스토로피(Thixotropy)적인 성질을 가지는 것과 관계된다.

양호한 이막의 형성은 이수압의 가압효과와 깊은 관계가 있다. 이수를 가압하는 경우, 가압력이 막장에 흙막이 힘으로써 효과적으

로 작용하기 위해서는 이막이라고 하는 불투수성층을 형성할 필요가 있다. 이막이 형성되지 않으면 이수(주로 물)가 지반 내에 침투하여 지반 중의 간극수압을 높이게 되어, 결과적으로 가압효과가 감소하고 막장이 붕괴하기 쉽게 된다.

## 1.4 막장안정의 확인방법

이수식 실드에서는 막장의 상태를 육안으로 직접 확인할 수가 없으므로, 설정한 이수압과 이수 품질의 타당성을 확인하는 방법이 필요하다. 현장에서는 막장 상태를 확인하기 위한 방법으로 다음과 같은 계측 데이터를 이용한 점검이 있다.

- ① 굴착토량
- ② 실드부하(추력, 커터토크 등)
- ③ 지반 변상량
- ④ 막장붕괴탐사 데이터
- ⑤ 뒷채움 주입관리 데이터

이들 중 실드 굴진과 병행한 실시간 관리방법은 ①과 ②가 있으나, 정량적으로 판단할 수 있는 ①을 관리주체로 한다.

## 2. 막장안정을 위한 시스템

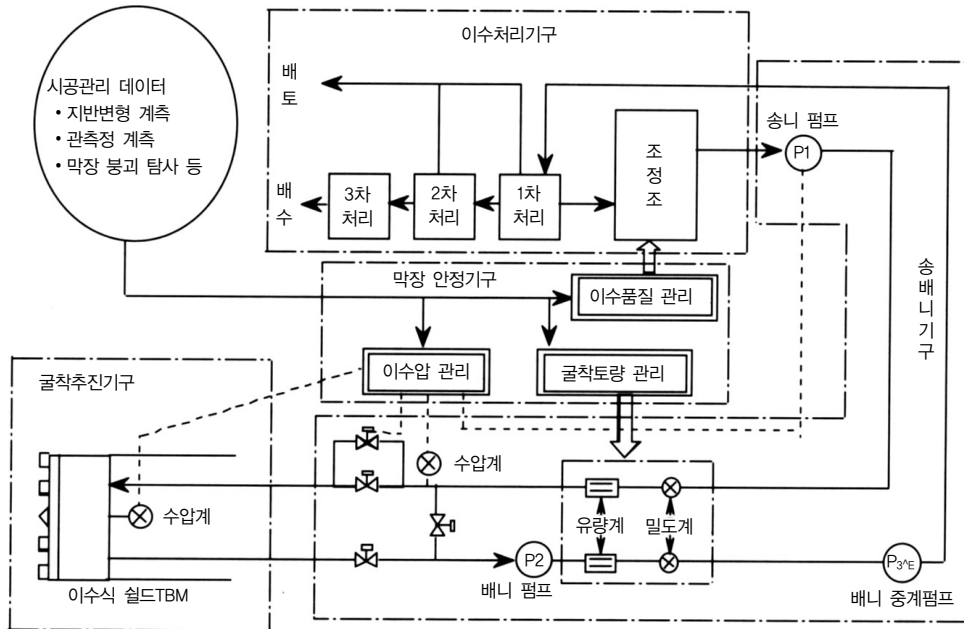
### 2.1 시스템의 구성

이수식 실드의 시스템 개요도를 그림 3에 나타냈다.

막장안정에 직접 관여하는 기구는 설비 측면에서 보면 굴착추진기구, 송배니기구 및 이수처리기구 3가지이다. 그리고 이들 각 기구는 막장안정기구(굴착토량 관리, 이수압 관리, 이수품질관리)가 충분히 기능하도록 각각의 역할을 한다.

### 2.2 굴착·추진기구

굴착·추진기구에서는 커터토크가 막장의 안정에 중요한 역할을 하고 있다. 이수식 실드에서는 이수압에 의한 막장안정 작용과 더불어 면판에 의한 흠막이 효과를 기대한다. 이는 굴착토로 막장안정을 도모하는 토압식 실드에 비해 이수식에서는 만약 막장 붕괴가 발생하는 경우는 이수에 의한 흠막이 효과가 작용하기 어렵기 때문이다. 또한 커터 슬릿은 지반조건 등에 따라 폭과 수를 선정하고, 붕괴성 지반에서는 슬릿개폐장치를 설치하여 굴진 정지 시의 안정성을 확보하는 방법이 적용되는 경우도 있다. 그리고 유럽의 이수식 실드에서는 커터챔버 내에 공기실을 설치하여 이수압을 조절하는 방식도 있으나, 본 강좌에서는 이에 대한 설명은 생략한다.

그림 3. 이수식 쉴드의 시스템 개요도<sup>3)</sup>

## 2.3 송배니기구

송배니기구에는 막장안정을 위해 이수압 관리와 굴착토량 관리를 위한 계측기가 배치되어 있다. 그리고 송니펌프의 회전수 제어를 통한 이수압 조정과 유량계 및 밀도계를 통한 굴착토량 계측이 이루어진다.

## 2.4 이수처리기구

이수처리기구에서는 막장안정을 위해 이수의 품질관리가 이루어진다. 이 기구에서는 조정조에서 막장으로 보내는 송니수의 품질조정과 작업설비에서 새로운 이수과 첨가제 용액을 제작한다.

## 2.5 막장안정을 위한 관리

막장안정을 위한 관리흐름의 예를 그림 4에 나타내었다.

이수식 쉴드의 막장안정이 성립하기 위해서는 이수압 관리, 이수 품질관리, 막장의 안정상태를 판단하는 굴착토량관리의 3가지가 중심이 된다. 또한 막장의 안정상태는 지반변상계측, 막장붕괴탐사 등의 시공관리 데이터를 포함하여 종합적으로 판단한다.

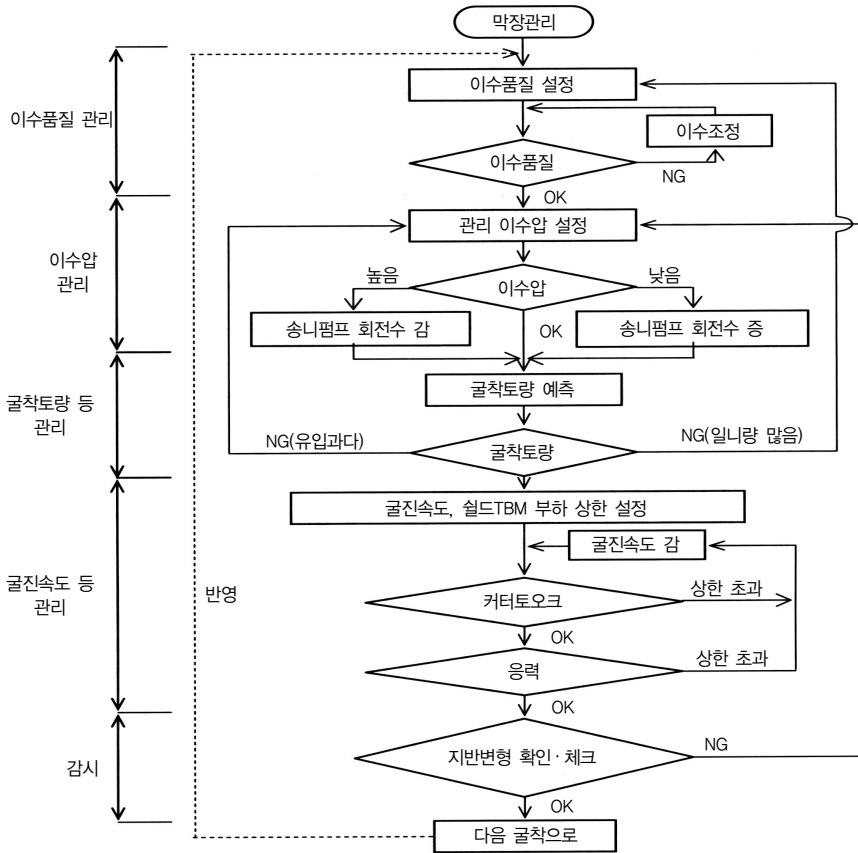


그림 4. 이수식 실드의 시공관리 흐름

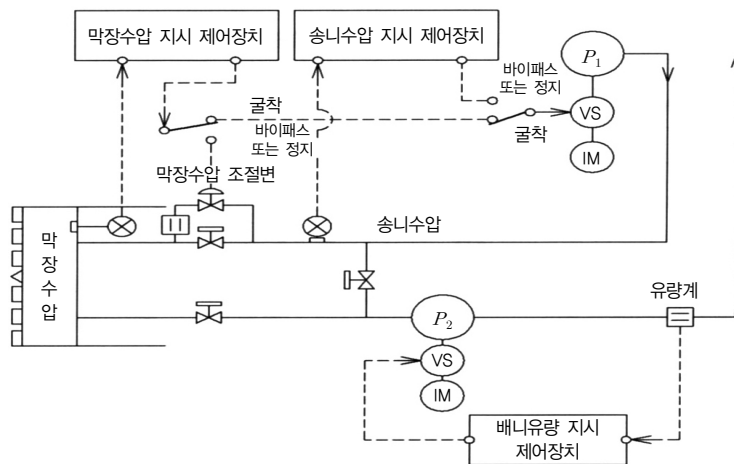


그림 5. 송배니 펌프 제어 시스템<sup>9)</sup>

### 3. 이수압 관리

송배니기구에 있어서 제어시스템을 그림 5에 나타냈다. 이 기구에서는 통상 송니펌프( $P_1$ )과 배니펌프( $P_2$ )의 동력원에 가변속(VS)모터를 사용하여 막장수압을  $P_1$ 펌프로, 배니유량을  $P_2$ 펌프로 제어하는 방식이 적용된다.

또한 배니중계펌프( $P_2 \sim P_N$ )는 정속 회전수(극수변경을 통한 회전수 변경을 함)로 운전이 이루어진다.

#### 3.1 막장수압 지시조절장치

이수압 설정치에 맞추기 위한 지시를  $P_1$ 펌프 또는 막장수압 조절밸브에 보내는 장치로써, 관리한계를 넘는 경우를 대비하여 경보장치도 배치되어 있다.

##### (1) 굴진 시

실드에 설치한 수압계로 막장수압을 계측하고, 이를 중앙감시조작반에 있는 막장수압지시조절장치에 전송한다. 조절장치는 설정이수압과의 편차를 산출하고, 이에 대응하기 위해 회전수 변경명령을  $P_1$ 펌프에 보낸다. 그 결과 VS모터 회전수가 변경되고, 막장수압이 이수압 설정치를 유지하도록 제어된다.

##### (2) 굴진 정지 시

굴진 정지 중의 막장수압은 일이나 일수 등으로 인해 변동하지만,  $P_1$ 펌프가 정지해 있기 때문에 막장수압 조절을 할 수 없다. 따라서 송니관의 중간에 막장수압조정변(자동개폐)을 부착한 바이패스 회로를 설치하고, 조절장치의 명령으로 밸브개폐에 의해 막장수압이 조절된다.

#### 3.2 송니수압 지시제어장치

이 장치는 바이패스 운전 시의 송니수압제어에 이용하는 것으로서 굴착운전으로 변경 시에 막장수압의 변동을 작게 하기 위한 역할을 한다. 원리는 막장수압 지시조절장치와 같이 송니관에 설치한 수압계로 송니수압을 검출하고, 조절장치에 의해  $P_1$ 펌프가 제어된다.

#### 3.3 막장의 관리압력

막장수압은 상술한 「1.2 이수압 설정」에서 나타난 식으로 산출된 값을 이용하는데, 그 중에서 토압이 가장 설정하기 어려운 항목이다. 이론적으로는 정지토압을 적용하는 것이 이상적이지만, 이완토압을 기대할 수 있는 양호한 지반에서는 막장 관리압력이 너무 크게 되어 설비 효율이 매우 나빠지게 된다. 따라서 지반조건을 충분히 검토하여 상한치와 하한치(예를 들면, 상한치로는 정지토압, 하한치로는 주동토압을 이용하는 등)를 결정하여, 이 범위 내에서 관리압력을 설정하는 방법을 적용하는 경우가 많다. 이러한 경우는 굴착토량이나 지반변상량 등의 데이터를 종합적으로 판단하여 관리압력을 증감시킨다<sup>5)</sup>.

## 4. 이수의 품질관리

### 4.1 품질관리 항목

품질관리 항목과 그 특성은 다음과 같다.

#### (1) 계면고

이수의 농도 및 점성이 적당하고, 양이온에 의한 열화를 받지 않은 경우에는 토립자가 이수 중에 잘 분산되어 있으므로, 장기간 정지 시에도 계면(정수와 이수의 경계)이 나타나지 않는다. 따라서 계면고의 경시변화를 보면 이수 상태를 대략적으로 판정할 수 있다.

#### (2) pH농도

이수의 pH농도는 지반조건에 따라서도 좌우되지만, 대략  $7.0 \leq \text{pH} \leq 10.0$  사이에 분포하고, 다소 알칼리성을 나타내는 경우가 많다. 그러나 뒷채움주입재가 막장으로 유입되는 경우에는 pH가 10을 초과하는 높은 값을 나타낸다. 따라서 pH농도 계측을 통해 Ca이온에 의한 이수의 열화 판정이 가능하다.

#### (3) 비중

이수의 비중은 침전한계유속 및 이수압 설정과 관련이 있다. 침전한계유속은 비중이 높을수록 낮게 설정한다. 이수압의 설정에서는 이수의 수중단위체적중량과 흙의 수중단위체적중량×토압계수의 비에 따라 설정 기준위치가 그림 6에 나타낸 것과 같이 달라진다. 따라서 이수의 비중은 막장의 안정과 직접적 관계는 없지만, 지반 중의 점토·실트분을 이용하는 이수식 실드에서는 소정의 이수특성을 만족하려면 비중을 높일 필요가 있는 경우가 많다.

#### (4) 점성

이수의 점성은 막장안정 및 침투거리와 관계가 있다. 막장안정에 있어서는 이수의 Yield Value와 이수 중에 유지될 수 있는 토립자의 한계직경  $D_v$ 의 관계를 Weiss<sup>6)</sup>가 나타낸 바 있다. 그리고  $D_v$ 의 5~8배의 입경이 지반 입경가적곡선의  $D_{15}$ 보다 크면 막장의 붕괴를 방지할 수 있다는 것이 Terzaghi나 H. Muller-Kirchenbauer<sup>7)</sup> 등에 의해 실험적으로 확인되었다. 침투거리는 Buckingham-Reiner방정식에 Yield Value를 대입하여 구할 수 있다<sup>8)</sup>.

이와 같이 이수의 점성은 어느 정도 높은 편이 막장의 안정에 유리하지만, 실제 시공에 있어서는 지반조건이 복잡하기 때문에 점성과 지반조건과의 정량적인 관계는 명확하게 정립되어 있지 않다. 또한 높은 점성은 비중과 같이 송배니펌프의 부하 증가를 가져온다. 그리고 지나

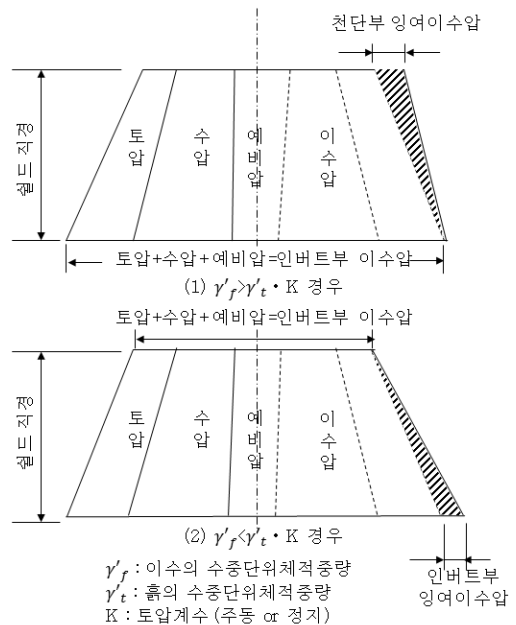


그림 6. 이수압의 설정위치



치게 높은 점성이 측정된 경우에는 양이온에 의한 이수의 열화 가능성도 고려해야만 한다.

#### (5) 탈수량

이수의 탈수량은 이막을 통해서 침투하는 여과수의 양을 나타낸다. 따라서 탈수량이 많은 경우에는 지반 축의 간극수압 상승요인이 되고, 이수의 유효이수압이 감소하는 것을 의미한다. 이 때문에 탈수량은 막장안정에 유효한 이수인지 아닌지를 판정할 수 있다.

#### (6) 사분(砂分)

이수의 사분은 이막형성성 및 간극의 충전효과(막장면의 토립자간 간극을 채우는 효과)와 관계된다. 이막형성성에 있어서는 일반적으로 사분이 적은 이수일수록 양호한 이막을 형성하고 탈수량도 적다. 한편, 투수성이 높은 모래지갈층에서는 일니현상이 나타나는 경우가 있는데, 이러한 경우에는 적당한 사분 함유가 간극의 충전효과를 발휘한다. 이와 같이 사분은 지반조건에 따라 대응을 달리해야 하므로 주의가 필요하다.

### 4.2 시험법

이수의 특성을 측정하기 위한 시험에는 다음과 같은 것이 있다.

#### (1) 안정성 측정

물리적인 안정성 측정에는 토립자의 침강 정도를 측정하기 위해 메스실린더로 계면고 경시변화를 측정한다.

화학적 안정성 측정에는 pH 농도계, 염소농도계, 메틸렌 블루 시험이 이용된다. pH농도계는 시멘트분 혼입에 따른 pH의 상승, 염소농도계는 NaCl 혼입에 따른 Cl농도 상승 정도를 민감하게 구할 수 있다. 메틸렌 블루 시험은 점토 중의 벤토나이트 함유량을 조사하기 위한 것으로 점토가 가지는 이막형성성 정도를 판정할 수 있다.

#### (2) 비중 측정

비중의 측정에는 머드벨런스(사진 1) 또는 용적법이 이용된다. 용적법은 용적이 명확한 용기에 이수를 넣고 중량을 측정하여 비중을 구하는 방법이다.

#### (3) 점성 측정

점성 측정에는 판넬 점도계 및 Fann V.G메타가 이용된다. 판넬 점도계(사진 2)는 500cc 이수가 단부에서 유출하는데 소요되는 시간을 측정하여 점성의 정도를 판정하는 것이다. Fann V.G메타(사진 3)은 회전점도계의 일종으로 전단강도와 전단응력의 관계를 측정할 수 있다.

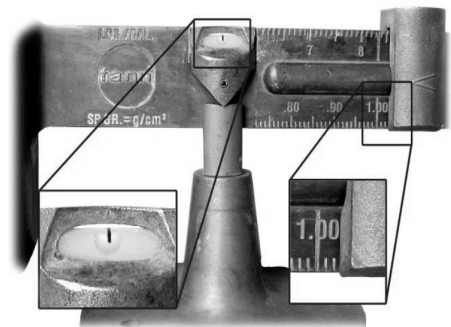
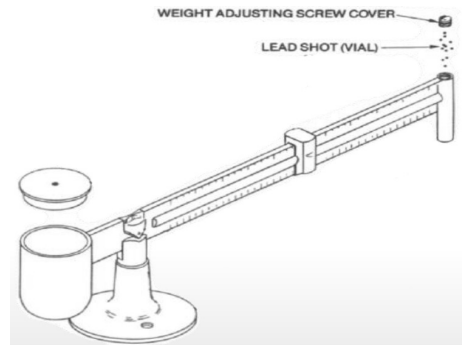


사진 1. 머드 벨런스

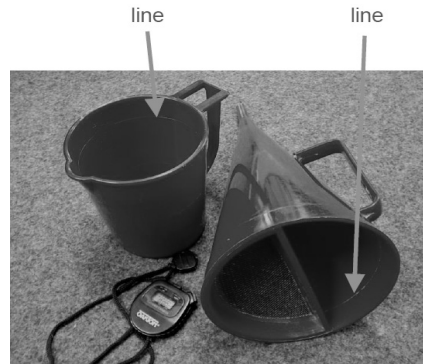


사진 2. 판넬 점토계(500cc)

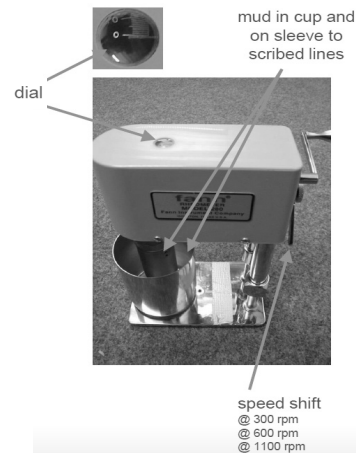
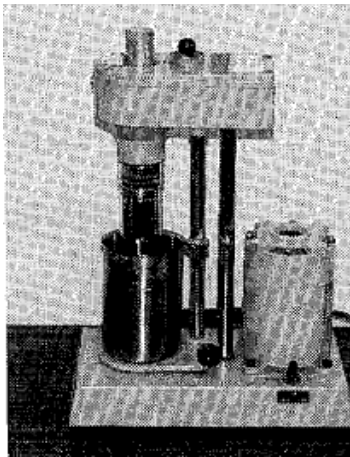


사진 3. Fann V.G.메타

#### (4) 이막형성성(여과특성) 측정

이수의 이막형성성의 측정에는 여과시험기(사진 4)가 이용된다. 이 시험법은 A.P.I.(미국 석유회회, American Petroleum Institute) 규격에 따른 것으로 소정의 용기 내에 이수를 넣어 압력  $3\text{kgf/cm}^2$ 를 30분 동안 작용시켰을 때 여과지를 통과하여 유출된 탈수량 및 여과지에 형성된 이막의 두께를 측정하여 이막형성성을 판정하는 것이다.

#### (5) 사분 측정

이수 중에 포함되어 있는 사분의 겉보기 용적의 비율 판정에는 사분계가 이용되고 있다.

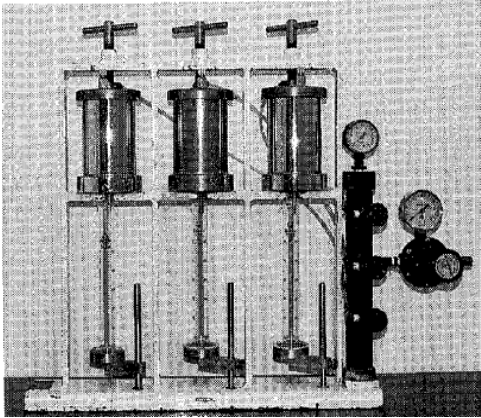


사진 4. 여과시험기의 예



사진 5. 사분측정기의 예

표 2. 첨가제의 종류

첨가제의 종류	사용목적	약품명 등
분산제	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 토립자의 분산성의 향상 ((-)의 전하를 높임)</li> <li>· 양이온(Ca, Mg, Na 등)에 의한 오염방지와 오염 후의 회복</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 복합린산염류 (헥사메탈린산소다; Sodium hexametaphosphate 등)</li> <li>· 알칼리류(탄소소다; sodium carbonate 등)</li> <li>· 리그닌설포산염(Sodium lignosulfonate)계 (철붕소 리그닌설포산소다, iron boron Sodium lignosulfonate 등)</li> <li>· 프민산계(Humic Acid) (프민산 소다; Humic Soda 등)</li> </ul>
증점제	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 이수의 점성 향상 (토립자의 유지특성을 높임)</li> <li>· 탈수량 감소</li> <li>· 양이온 오염에 대한 저항성의 향상</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· CMC (나트륨 칼복시 메틸셀룰로스; Sodium carboxymethyl cellulose)</li> </ul>
점토입자	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 이막형성성의 향상</li> <li>· 탈수량 감소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 벤토나이트</li> </ul>

### 4.3 이수품질 조정

이수식 실드의 이수는 지반 중에 존재하는 점토·실트분을 이용하기 위해 특별히 점토가 가지는 성질에 의해 품질이 좌우되기 쉽고, 그 품질을 일정하게 유지하기는 어렵다. 이수의 품질을 조정하기 위해서 이용되는 주요 첨가제 종류를 표 2에 나타내었다.

## 5. 굴착토량 관리

### 5.1 계측과 관리

이수식 실드는 막장을 직접 볼 수 없기 때문에 송배니 계통에 설치한 유량계와 밀도계에 의한 계측을 통해 굴착토량을 관리하는 방법을 적용하고 있다. 관리항목은 그림 7과 같이 추진에 따른 굴착량(배니유량과 송니유량과의 차이), 건사량(배니 건사량과 송니 건사량과의 차이)의 2가지이다. 이러한 계측값만으로 여굴량이나 막장의 붕괴유무를 판정하는 것은 어려우며, 통계방법을 이용하여 굴착토량을 판단하게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위해 막장탐사장치에 의한 계측을 병용하는 경우도 있다. 이러한 방법에는 검지봉에 의한 직접검지법과 초음파 등에 의한 간접적 검지법이 있으나, 현재는 정밀도에 문제가 있다. 그러나 후자는 탐사장치의 정밀도를 향상시켜 향후에는 굴착토량 관리의 주류 중 하나가 될 것으로 기대된다.

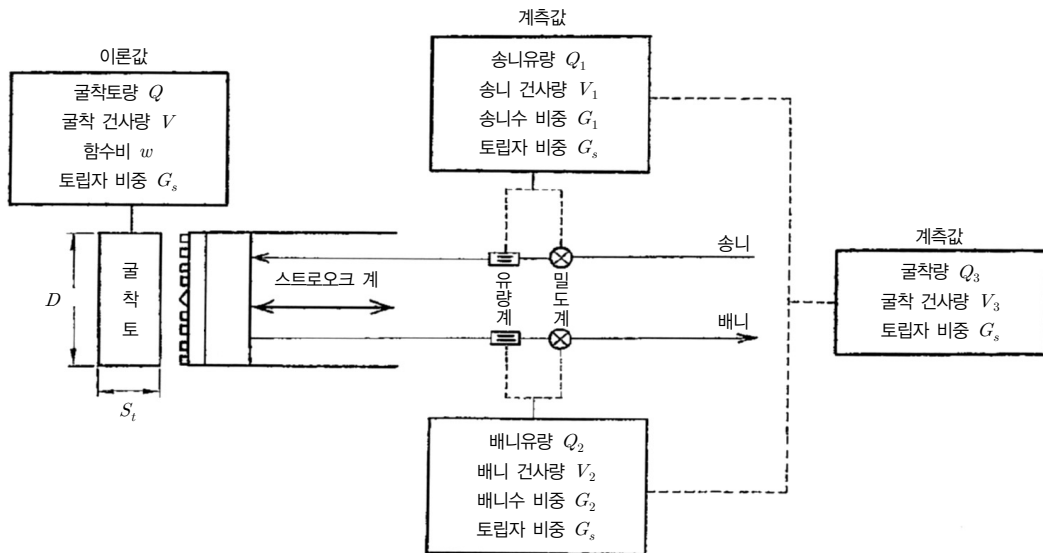


그림 7. 굴착토량 계측법

## 5.2 굴착량(배니유량-송니유량)

계산굴착체적은 카피커터 등에서의 여굴이 없는 표준적인 경우에는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times S_t \quad (2)$$

여기서,  $Q$  : 계산 굴착체적( $m^3$ )

$D$  : 실드 외경(m)

$S_t$  : 굴진 스트로오크(m)

한편, 계측에 의한 스트로오크당 굴진체적은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q_3 = Q_2 - Q_1 \quad (3)$$

여기서,  $Q_1$  : 송니유량( $m^3$ )

$Q_2$  : 배니유량( $m^3$ )

$Q_3$  : 굴착체적( $m^3$ )

따라서  $Q$ 와  $Q_3$ 의 비교에 의해 일니현상(이수 또는 이수 중의 물이 지반으로 침투하는 현상 :  $Q > Q_3$ )인지, 용수상태(이수압이 낮아서 지반의 지하수가 유입되는 현상 :  $Q < Q_3$ )인지 판정이 가능하게 된다. 일반적으로 붕괴가 없는 정상굴착 시에는 일니상태가 기록되는 경우가 많다. 그리고 이 방법의 굴착량 관리에서는 막장의 붕괴 등의 여굴량은 알 수가 없다. 그 이유는 붕괴 발생 시에 붕괴부에 이수가 채워져 치환이 되기 때문에 굴착량에는 차이가 나타나지 않기 때문이다.

## 5.3 건사량(배니건사량-송니건사량)

건사량은 지반 또는 송배니수에서 토립자가 점유하는 체적이다. 여기서 토립자의 비중이 지반, 송니수, 배니수와 동일하다고 하면 계산건사량은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$V = Q \times \frac{100}{(G_s \times w) + 100} \quad (4)$$

여기서,  $G_s$  : 토립자 비중

$w$  : 지반 함수비(%)

한편, 계측에 의한 건사량은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$V_3 = V_2 - V_1 = \frac{1}{G_s - 1} \{ (G_2 - 1) \times Q_2 \times (G - 1) \times Q_1 \} \quad (5)$$

여기서,  $V_1$ : 송니 건사량( $m^3$ )

$V_2$ : 배니 건사량( $m^3$ )

$V_3$ : 굴착 건사량( $m^3$ )

$G_1$ : 송니수 비중

$G_2$ : 배니수 비중

식(5)는 스트로크당 값이지만, 추진 스트로크 당 값이며, 실제로는 순간 계측값을 적분하여 산출한다.  $V$ 와  $V_3$ 의 대비를 통해 일니상태( $V > V_3$ )인지 여굴상태( $V < V_3$ )인지의 판정이 가능하다.

## 5.4 통계처리에 의한 관리

### (1) 굴착량

계산굴착체적은 스트로크를 통해 구해지는 값으로서 이것을 하나의 기준값으로 할 수 있다. 그러나 계측굴착량은 일니 등의 영향이 포함되어 있기 때문에 계산굴착체적과 대비하여도 관리하기에는 부적당하다. 따라서 계측치를 통계처리하여 과거 30개 데이터 정도(1링을 복수 데이터로 하는 경우도 있음)로부터 트렌드에 의한 다음 데이터의 기대치(최소자승법에 의한 추정)와 표준편차를 산정하여 관리상한과 하한을 결정하는 방법이 적용된다 (그림 8 참조).

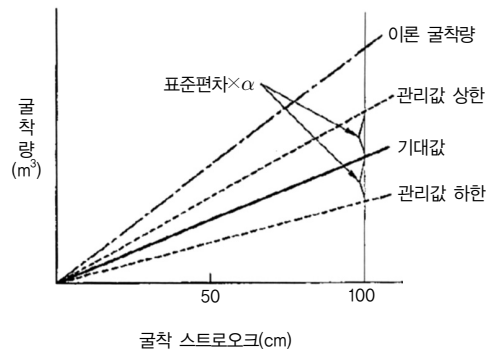


그림 8. 굴착토량 관리그래프 모델

### (2) 건사량

계산건사량은 100~200m 간격에서 수행한 보링데이터를 토대로 굴착단면에 나타나는 각 층의 두께, 토립자 비중 및 함수비로부터 계산하지만, 조사의 오차를 고려하면 기준치로 하기에는 부적당하다고 생각된다. 이 때문에 굴착량과 같이 통계처리를 수행하여, 기대치와 표준편차로부터 관리의 상·하한을 결정하고 있다.

이상과 같이 이수식 실드에 있어서 굴착토량의 계측은 간접적인 계측방법이라고 할 수 있고, 실제 굴착량을 직접적으로 구하는 계측방법이 아니라는 것을 이해해 둘 필요가 있다.

## 5.5 계측에 있어서 유의점

과거, 이수식 쉴드의 굴착토량 관리의 오차는 계기오차가 주요 원인이었으나, 다음 사항에 의해서도 건사량 등에 오차가 발생하므로 유의할 필요가 있다.

- ① 송니비중의 변화
- ② 일니에 의한 건사량의 변화(일수라면 영향이 없음)
- ③ 토립자의 비중 변화
- ④ 굴진시간의 변화

### 참고문헌

1. (社)地盤学会：シールド工法入門, 1992.
2. 奥園 清·白石和雄：泥水加圧シールド工法(2), トンネルと地下, Vol.13, No.5, pp.61~67, 1982.
3. 野本 寿：泥水式シールド工法における泥水管理と施工設備, シールド工法中級研修テキスト, (財)全国建設研修センター, 1994.
4. (社)地盤工学会：シールド工法の調査・設計から施工まで, 1997.
5. 二村 敦：シールドトンネルの新技術(6), トンネルと地下, Vol.21, No.11, pp.67~74, 1990.
6. Weiss：Die standsicherheit Flussigkeitsgestutzter Erdwände, Bauingenieur-Praxis, Heft 70, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin-München, 1967.
7. Muller-Kirchenbauer：Stability of slurry trench in inhomogeneous subsoil, 第9回国際土質基礎会議, session 3, 東京, 1977.
8. 島田俊介·兼松 陽：現場技術者のための薬液注入工法, コンストラクション, 第11巻, 1号, 1973.
9. トンネルと地下, 土木工学社：シールドトンネルの掘進管理(2), 第28巻8号, 1997