

地下油類貯藏施設의 水理地質調査에 對하여

李 隆 植¹⁾

1. 序 論

地下岩盤內에 原油, 제품류, LPG 등 유류를 저장하는 원리는, 영구적으로 유지되는 견고한 암반내에 굴착된 空洞을, 저장압력보다 높은 수압으로 가압하여 유류가 지하공동으로부터 漏出되는 것을 방지하는 것이다.

공동주변에 높은 수압을 형성하는 방법은 극소수의 예외적인 사례를 제외하고 대부분 인공적인 방법인 水壁施設에 의존하고 있으며 이 수벽시설을 설계하기 위해서는 貯藏空洞이 설

치될 지층의 透水係數, 貯溜係數, 擴散係數 등 수리지질학적 상수, 지하수면 형성상태, 지하수의 흐름 및 경계조건 등 제반 특성을 현장수리시험을 통해서 조사해야 하며, 또한 전반적인 지역내 수리지질조건을 규명하기 위해서 암종, 풍화도, 단층 등의 구조선의 발달상황 등 암반의 특성과 신선한 암반(Matrix)의 투수계수 등도 조사해야 한다(Fig. 1 참조).

이 논문에서는 유류저장용 지하공동의 설계를 위한 조사항목중 현장수리시험에 대해서 개략적인 설명을 하고자 한다.

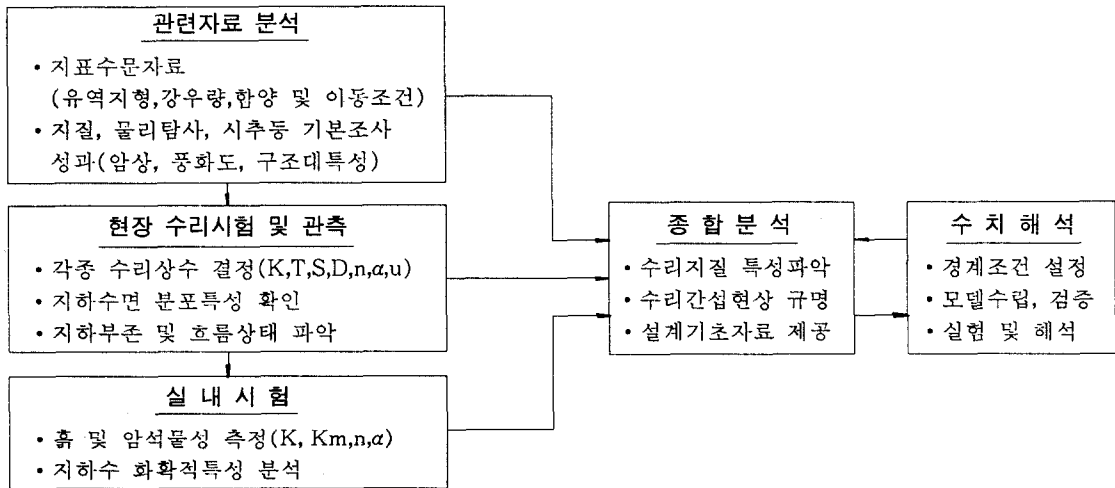


Fig. 1

• 1991年 5月 接受.

1) 正會員. (주)汎洋엔지니어링 技術拷問.

2. 시험종류 및 특성

수리시험은 단기시험과 장기시험으로 구분된다.

2.1 단기시험

- 1) Falling-head test : 淺部地層의 투수계수(K) 계산
- 2) Lugeon test : 암반의 투수계수(K) 산출
($K > 1\mu D$ 일 경우)
- 3) Injection-Fall off test : 암반의 투수계수(K) 산출($K < 1\mu D$ 일 경우)

단기시험은 시험공으로부터 반경 20~30m 내의 수리지질 특성을 심도별로 조사한다.

2.2 장기시험

- 1) Pumping 또는 Injection interference test
주입공 또는 양수공과 관측공(Observation well)간의 광역적인 지층에서 투수계수(수평 및 수직방향), 貯溜係數, 擴散係數, 透水量係數를 산출하여 帶水層(Aquifer)의 부존 여부, 帶水層의 특성(被壓, 자유면 대수층) 등 지층전반에 걸친 수리지질적 특성을 조사한다.

3. 단기시험

3.1 Falling-head test(水位降下試驗)

수압이 가해지면 공내 붕괴가 발생할 수 있는 토사, 풍화암 등 지표로부터 깊지않은 시험공에서 시행한다.

먼저 공내 자연수위를 측정하고 공내에 물을 채워 시간별로 하강량을 측정한다.

해석방법은 定常流로 前提하며 Thiem 식(1)을 적용한다.

$$K = \frac{\mu Q}{2\pi m (h_2 - h_1)} \cdot \ln \frac{r}{r_w} \dots\dots (1)$$

$$\mu = \frac{Q}{\Delta h \cdot m}$$

여기서, μ : 지하수의 점성계수

Q : 주입수량

$h_2 - h_1 = \Delta h$: 水頭差

m : 시험구간의 길이

r_w : 주입공의 반경

r : 영향 반경

3.2 Lugeon test

암반의 투수계수를 구하는 가장 보편화된 방법이며, 공내의 일정위치에 Inflatable packer를 설치하여, packer와 孔下端 사이에 물을 주입 하되, 주입압력을 단계적으로 상승, 하강시키면서 주입수량과 압력을 측정, 투수계수를 구한다.

1) 시험장치

- packer, 주입 pipe $\phi 25\text{mm}$ 의 PE pipe
- pump, 주입량 $15\text{m}^3/\text{H}$, 주입압 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상
- 유량계, 주입량 1ℓ 당 2% 미만의 오차를 가진 精壓유량계
- 수위측정기
- 압력緩衝 장치 (Buffer)

2) 해석방법

정상류(Steady-Radial flow)로 전제하여 시험중 단계별로 압력을 증감시켰을때 주입량 Q 가 일정비율로 변화할 때의 K 를 구한다.

$$K = \frac{2.3 Q}{2\pi L \cdot 10 Pe} \cdot \log \frac{2L}{R} \dots\dots\dots (2)$$

여기서, L : 시험구간의 길이

R : 시험공의 반경

Pe : 유효압력

3.3 Injection-fall off test

Lugeon test는 투수계수가 매우 적을때 ($K < 1\mu D$), 일정 수압을 유지하기가 곤란하다. 이럴 경우에는 Injection-fall test를 시행한다. 시험위치에 packer를 설치하여 시험구간에 일정시간동안 물을 주입한 다음 주입을 중지하여 압력강하 상태를 측정한다.

-주입단계, 약 20분간

-압력강하단계, 약 2시간

해석은 비정상류(Transient flow)를 전제로 하여 주입량 Q가 일정할 때 Horner plot 방식을 적용하여 투수계수를 구한다.

$$K = \frac{2.3 Q}{4\pi \Delta Ph} \cdot \log \left(\frac{t + \Delta t}{\Delta t} \right) \dots\dots (3)$$

ΔP : 주입시간 t의 log-cycle에 대한 수頭差

t : 주입 총시간

Δt : 단위별 하강시간

h : 시험구간의 길이

실제, Q를 일정하게 유지하기는 어려운 일이기 때문에 각 단위 시간별 q를 합산, 평균, 보정하고 t_s 를 구하여 대입한다.

이상과 같은 단기시험에 의해서 구해진 각 시험공의 심도별 투수계수 분포도의 예를 Fig. 2에 표시하였다. Fig. 2는 L-1 지역 각 시험공의 심도별 투수계수를 나타내고 있으며, 그림에서 지표부분은 K값이 비교적 크고($1\mu D - 100\mu D$), 하부에서는 K값이 일반적으로 매우 낮다($1\mu D$ 이하).

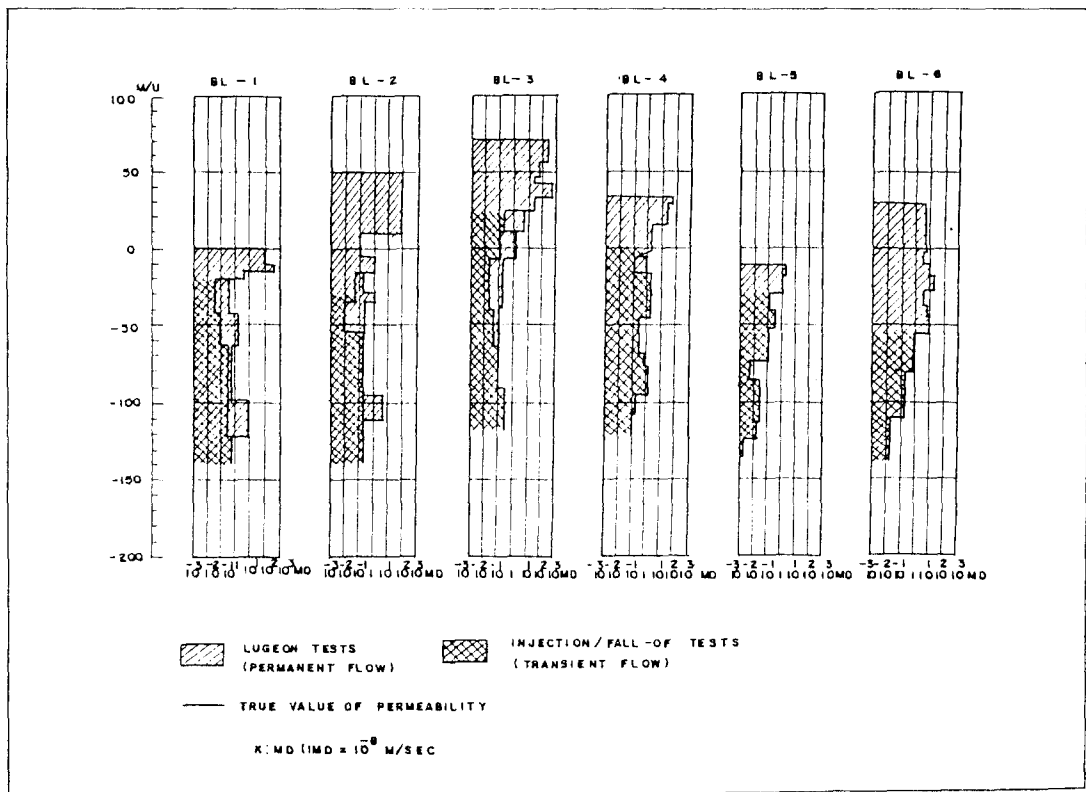


Fig. 2

일반적으로 지하에 저장공동을 설치할 때 유리한 수리지질조건은 상부에 대수층이 있고, 지하 공동 주위 암반에서는 K값이 낮은 불투수층이 존재할 때이며, 따라서 L-1지역은 매우 양호한 조건을 갖추었다고 할 수 있다.

4. 장기시험

장기수리시험은 물을 주입 또는 양수하는 시험공과 이에 따라 변화되는 지하수위를 관측하는 관측공에 의해서 실시하고 비교적 광역적인 (100m 이상) 수리지질특성을 조사하는 시험이다.

4.1 Injection-interference test

통상적으로 압력을 일정하게 (10kg/cm² 정도) 유지한 상태에서 물을 주입하면서 관측공의 수위변화를 측정하여 투수량계수 T와 貯溜係數를 구한다.

해석방법은 Jacob과 Lohman의 type curve를 이용해서 산출한다(Fig. 3 참조).

$$h \cdot k = T = \frac{141.2 B\mu}{(P_{st} - P_{wf})} \times \left[\frac{q_M}{(q_D)_M} \right] \dots\dots (4)$$

$$\mu \cdot \phi \cdot C_t \cdot h e^{(-2S)} = S = 0.0002637 \frac{hk}{r_w^2} \left[\frac{T_M}{(T_D)_M} \right]$$

- μ : viscosity
- φ : porosity
- S : 貯溜係數
- C_t : total compressibility of the porous media
- h : 대수층의 두께
- r_w : 공경
- P_{st} : 靜水頭
- P_{wf} : 주입시 압력
- q_M : 주입량
- T_M : 주입시간

(q_D)_M : type curve에 의해서 구해진 값
(T_D)_M : type curve에 의해서 구해진 값

이 경우, 모든 단위는 feet-pound 이다.

지하저장공동이 설치될 암반은, 우리나라의 경우 대개 투수계수가 낮고, 따라서 지하수의 貯溜量도 적기 때문에 장기시험은, 양수를 하는 것 보다는 물을 주입하는 쪽이 바람직하여 이 주입시험을 흔히 이용한다.

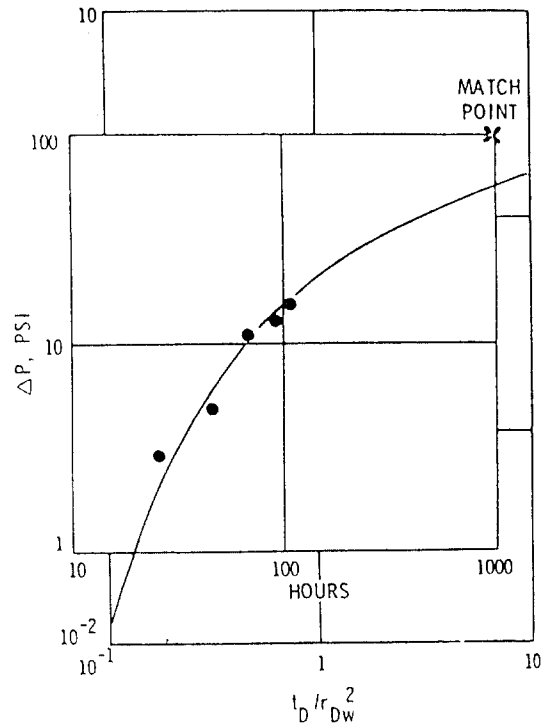
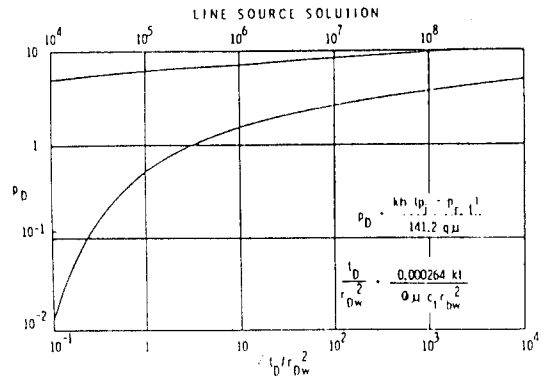


Fig. 3

4.2 Pumping-interference test

지하심부에 지하수가 비교적 풍부할 때 이용하는 방법으로서 양수정을 통해서 양수하면서 관측공의 수위변화를 측정하여 투수량계수 T, 저류계수 S를 구한다.

해석은 Theis의 비정상류(Transient) 공식을 이용하며, Exponential Integral Curve를 type-curve로 이용한다(Fig. 4 참조).

$$\frac{h}{h_e} = 1 - \frac{Q}{4\pi T \cdot h_e} \int_0^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du \dots\dots(5)$$

he : 精水頭

h : 일정시간후의 수두

T : 투수량 계수

S : 저류계수

r : 시험거리

5. 종합분석

단기 및 장기수리시험에서 얻은 각종 수리지질상수 및 암반지질조사, 실내시험자료 등에 의해서 조사지역내 수리지질특성을 정확히 조

사하고, 水壁施設設計의 입력자료로 삼는다.

Reference

1. Theis, C.V., 1935, The Relation between the Lowering the Piezo-metric Surface and the Rate and Duration OD Discharge of a Well Using Groundwater Storage, Trans. Am. Geophys. Union, pp. 519-524.
2. Jacob, C.E. and Lohman, S.W., 1952, Non Steady Flow to a Well of Constant Draw-down in an Extensive Aquifer, Trans, AGU, pp.559-569.
3. Horner, D.R., 1951, Pressure Build Up in Wells, proc. Third World Pet. Cong., Sec II, pp. 503-523.
4. M.M. Kamal, 1983, Interference and Pulse Testing-A Review, Journal of Pet. Tech. pp. 2257-2270.
5. R.C. Earlougher, Jr., Advances in Well Test Analysis.

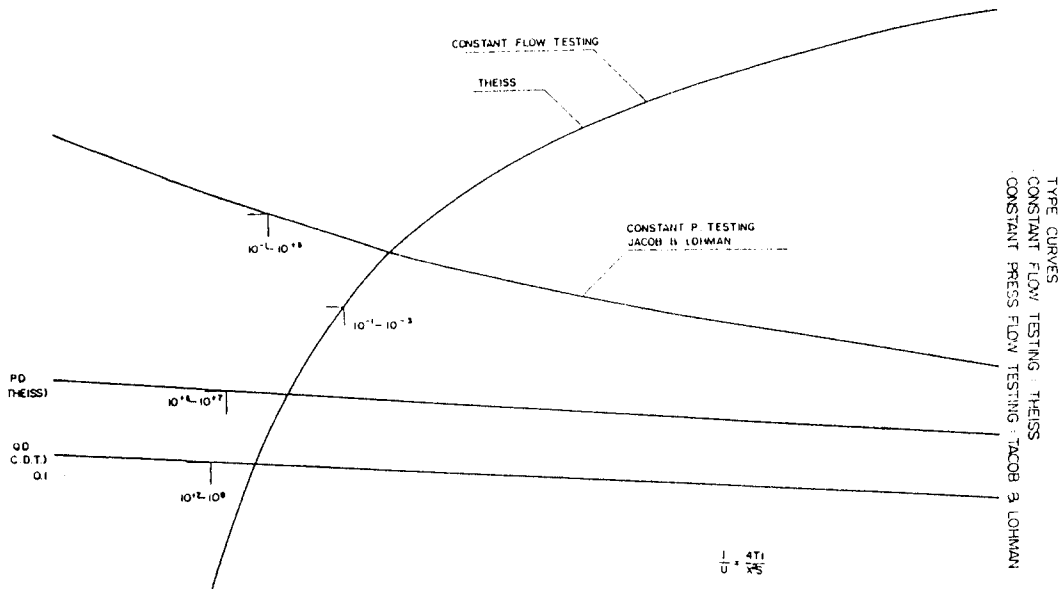


Fig. 4