

## 확산능을 이용한 지하 LPG 저장기지의 W/C 효율성 진단

한일연, 정일문, 유홍중

SK건설(주) 연구소(e-mail: iyhan@skec.co.kr)

### 요 약 문

지하 LPG 저장기지의 수벽시설이 저장공동 주변 암반에 미치는 영향을 진단하기 위해서 수벽시설의 주입압력을 강하시키면서 간극수압계와 관측공에서의 지하수두 변화를 모니터링하였다. 수벽시설의 관측지점에 대한 효율성은 수치해석으로부터 수벽시설과 관측지점간 매질의 확산능을 구함으로써 분석하였다. 확산능 산출결과를 검증하기 위해서 수벽시설의 압력강하에 따른 관측지점에서의 수두강하비와 수두강하율을 구하여 확산능 결과와 비교하였다. 비교결과, 확산능은 수두강하비, 수두강하율과 일관된 변화를 보여주었으며 확산능의 값이 클수록 수벽공의 압력변화에 따른 관측지점에서의 반응성이 양호함을 나타내었다.

Key words : 수벽시설의 효율성, 확산능, 수두강하비, 수두강하율

### 1. 서 론

지하 무복공식 LPG 저장시설에서의 수벽시설(water curtain system)은 고압의 가스가 공동 밖으로 새어나가지 못하도록 인위적으로 물을 충전하는 장치이다. 기지의 운영단계에서는 이러한 수벽시설의 효율성을 정기적으로 진단하는 작업이 매우 중요하다. 기존의 수벽시설의 효율성은 수벽공들 사이에 설치된 간극수압계를 모니터링하여 수벽공과 간극수압계의 수두차를 백분율로 나타내었다. 이와 같이 산출된 효율성은 저장공동과 수벽시설의 운영조건이 달라질 때마다 다른 값을 갖게 되므로 수벽시설의 기능을 진단하는 데는 무리가 있다. 따라서 clogging과 같은 매질의 수리특성의 변화를 해석하기 위한 별도의 수치해석을 수행하여야 하며, 매 경우마다 새롭게 작업하여야 하는 문제점이 있다. 더우기 수벽공과 다른 위치 수두를 갖는 관측지점에서는 적용하기 어렵다. 확산능은 경계조건이 변할 때 매질의 수리학적 반응지수를 나타내기 때문에 확산능이 설정되면 다양한 경계조건 변화에 따른 관측지점에서의 지하수두 변화를 예측할 수 있는 장점이 있다. 또한 지하수두 변화에 따른 확산능의 변화로부터 clogging과 같은 매질의 수리특성의 변화를 추정할 수 있게 해준다. 더우기 관측지점의 위치에 무관하게 효율성을 진단할 수 있는 정보를 제공해준다. 확산능의 값이 클수록 수벽공의 압력변화에 따른 관측지점에서의 반응성이 양호함을 나타낸다.

본 연구는 확산능을 이용하여 지하 LPG 저장지에서 수벽시설의 효율성 진단의 가능성을 검토하는데 그 목적이 있다. 이를 위하여 수벽시설의 주입압력을 강하시키면서 간극수압계와 관측공에서의 지하수두 변화를 모니터링하였다. 모니터링 결과로부터 수두강하비와 수두강하율을 구하고 수치해석으로부터 확산능을 구하여 서로 비교하였다. 수두강하비는 수벽공에서의 수두변화량과 관측지점에서의 수두강하량의 비이며, 수두강하율은 관측지점에서의 시간에 따른 수두변화율이다. 수두강하비와 수두강하율이 클수록 양호한 반응성을 나타낸다.

## 2. 수리반응성 시험

### 2.1 시험 개요

수리반응성시험은 SK가스 평택LPG기지에서 Fig. 1의 간극수압계 및 관측공을 대상으로 1개월간 실시되었다. 수벽시설의 급격한 수두강하를 유도하기 위해 진입터널에서 2001년 4월 17일 0:00 부터 4시간 30분 동안 실시되었다 (Fig.1). 수벽시설의 급격한 수두강하에 따른 관측공의 반응을 관측하기 위해 2001년 4월 15일 08:30부터 4월 22일 8:00까지 정밀관측이 수행되었으며, 이후에는 일일관측이 수행되었다(한일영 등, 2001).

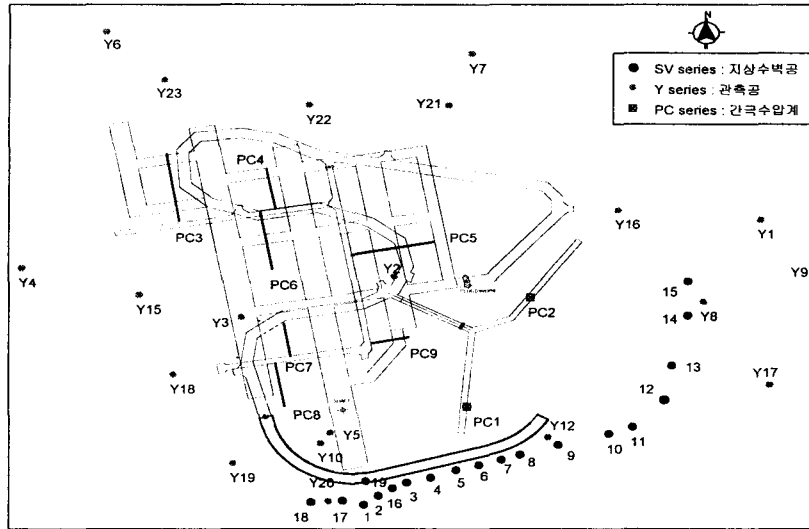


Fig. 1. 평택 LPG 기지의 저장시설 및 관측시설 분포도

### 2.2 시험결과

#### -수두강하비

시험기간중 운영압은 5.23bar ~5.29bar의 일정한 값을 유지하도록 하였으며, 수벽시설에서의 최대 수두강하는 3.29 m로 하였다. 각 간극수압계에서 이로 인해 발생된 수두강하는 1.76-2.49 m이며, 수두강하비는 0.53-0.76 으로서 이다. PC3, PC9가 가장 양호한 반응을 나타냄을 볼 수 있었다. PC4, PC5에서는 저조한 반응을 나타내었다. 관측공의 경우, Fig.2와 같이 수두강하량은 0.21-2.04 m, 수두강하비 0.06-0.62로서 진입터널과 인접한 남쪽 관측공 Y1~Y5, Y16~Y20에서의 반응이 양호하게 나타났으며, 공동 동쪽에 위치한 SV12~SV15은 이격거리가 멀어 반응이 다소 미약하게 나타났다.

#### -수두강하율

수두강하율이란 최대 수두강하량을 수리시험 시작시각부터 최대 수두강하 발생시의 시간으로 나누어준 값이다. 관측공에서의 수두강하율은 수두강하비와 비례하는 것을 알 수 있다. 저장공동 남서쪽에 위치한 관측공들의 수두강하율을 분석한 결과, 거리가 가까울수록 수두강하율이 커짐을 알 수 있었다. 수두강하 전후의 효율성은 간극수압계의 경우 68~92%의 범위를 나타내었으며, PC3, PC9가 가장 높은 효율을 보였고, PC5에서 최소, PC3에서 최대 값을 나타내었다. PC5에서의 효율이 낮은 원인을 검토하기 위하여 수치해석을 실시하여 일부구간에서 clogging이 진행 중임을 추정할 수 있었다.

### Access Tunnel & Piezometer Water Level

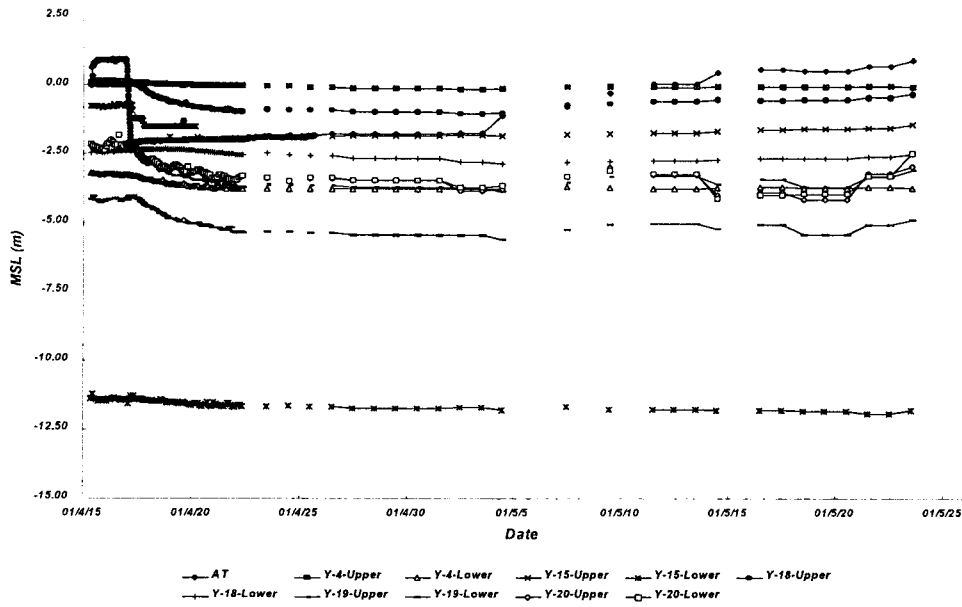


Fig. 2 수벽시설의 수두강하에 따른 관측공에서의 수두강하

### 2.3 확산능 산출

#### -입력조건

투수계수와 비저류계수를 조합으로 입력하고 수리시험 관측치를 비교값으로 시행착오 기법을 이용하여 확산능 값을 산출하였다. 수치해석에 사용된 프로그램은 SEEP/W 3.03 (Geo-Slope International, 1994)이며 지배방정식은 식 1과 같다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} = D \left( \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

여기서  $h$ 는 지하수두 (L),  $t$ 는 시간(L/T),  $D$ 는 확산능(L<sup>2</sup>/T),  $x, y$ 는 공간좌표이다. 현장 상황을 되도록 그대로 모사하기 위해 비정상류 해석시 진입터널의 측정 수위, 즉 수벽터널의 시간에 따른 수두변화를 경계 조건으로 이용하였다. 또한 공동 운영압은 거의 일정하게 유지시켰으므로 평균값을 적용하여 경계조건의 압력수두로 이용하였다.

#### -수치해석 결과

수벽시설과 간극수압계, 관측공사이의 확산능의 범위는 0.09~0.001 m<sup>2</sup>/sec 인 것으로 나타났다. Fig. 3은 확산능의 범위와 수두강하비 및 수두강하율을 비교한 것이다. 그림과 같이 Y4U를 제외한 모든 공에서 수두강하비와 수두강하율은 확산능과 상관성이 높게 나타나 분석결과의 일관성을 입증하고 있다. Y4U 관측공의 확산능은 크게 나타났으나, Y4U는 이격 거리가 150m로 가장 멀어서 상대적으로 수두강하의 전달이 더디게 나타난 것으로 판단된다. 이와같이 추정된 확산능은 향후 모니터링시 매질의 수리특성 변화를 검토하는 자료로 활용될 수 있을 것이다. 확산능의 크기는 수두강하비 및 수두강하율과 변화양상이 같지만,

이격거리가 먼 경우(Y4U, Y18L)는 다소 차이를 나타내는데 이는 수벽공의 1차 영향반경인 30 m (수벽공과 저장공동간의 평균 이격거리)를 훨씬 벗어난 때문이다.

간극수압계중 PC5는 수벽시설의 수리반응성시험으로 부터 구한 효율이 가장 낮게 나타났으며, 확산능 역시 PC5에서 낮은 값을 보였다. PC5의 낮은 효율을 검토하기 위해서 수치해석을 실시한 결과, 투수계수의 변화로 부터 clogging이 진행되고 있음을 추정할 수 있었다 (Geostock, 2001).

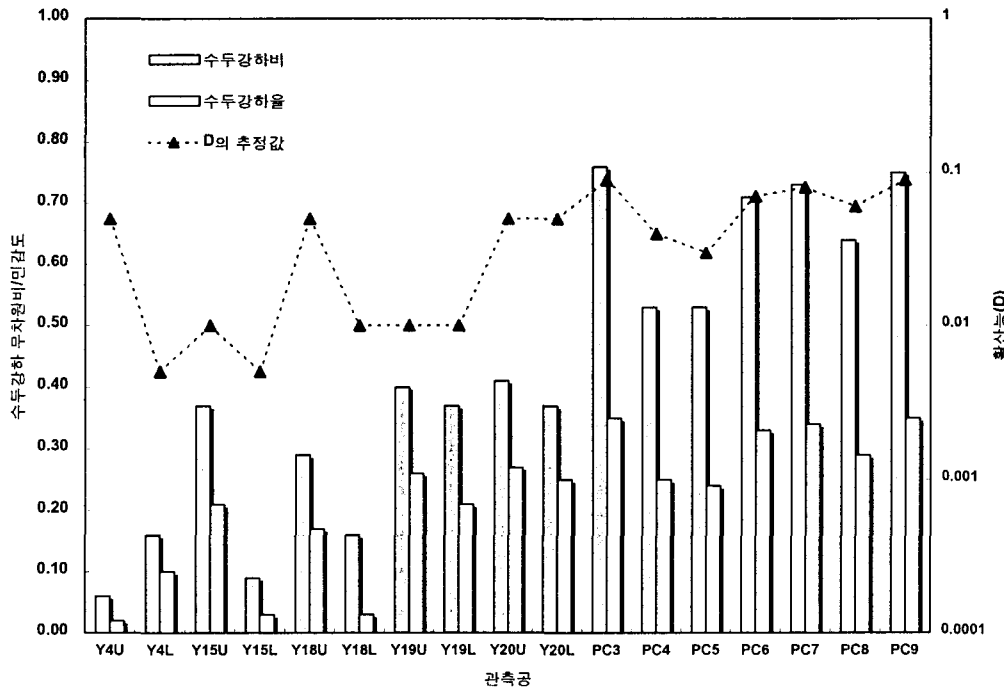


Fig.3 확산능과 수두강하비, 수두강하율과의 비교

### 3. 결론

수벽시설의 수리반응성시험으로 부터 구한 효율은 간극수압계 PC5에서 가장 낮게 나타났으며, 확산능 역시 PC5에서 낮은 값을 보여 주었으며, 기존 방법으로 구할 수 없었던 관측공의 수벽시설에 의한 반응성을 구할 수 있었다. PC5의 낮은 효율을 검토하기 위해서 수치해석을 실시한 결과, 투수계수의 변화로 부터 clogging이 진행되고 있음을 추정할 수 있었다. 향후 이 지점에 대한 확산능을 산출한다면 확산능의 변화로 부터 clogging 진행상태의 정량적인 분석이 가능할 것이다. 수벽시설과 거리가 먼 일부 관측공을 제외한 대부분의 관측지점에서 수두강하비와 수두강하율은 확산능과 상관성이 높게 나타나 분석결과의 일관성이 입증되었다. 따라서 확산능을 이용하면 수벽시설의 효율성 진단이 가능하며, 수벽시설이나 저장공동의 운영조건이 달라지더라도 확산능으로 부터 지하수두 예측이 가능하며, 확산능의 변화로 부터 매질의 clogging의 추정 역시 가능할 것이다.

### 4. 참고문헌

- 1) 한일영, 정일문, 김기영 (2001) 울산/평택기지 수리지질 모니터링 보고서, SK건설 연구소.
- 2)GEO-SLOPE International Ltd. (1994) **SEEP/W** for finite element seepage analysis version 3.
- 3) GEOSTOCK(2001) SK Gas Pyungtaek LPG Terminal W/C Performance Test PTY/H/J/0013