

LPG 지하저장시설의 지하수 시스템 분석 : 수리지질·수리지구화학적 연구

고경석, 김태희, 장호완, 이강근

서울대학교 지질과학과

요 약 서

LPG 공동이 위치한 곳의 지하수 흐름은 단층이나 절리면 같은 자연적인 요인과 수막터널, LPG 공동의 인공적 요인에 의해 동시에 영향을 받게 된다. 1985년부터 1997까지의 수위 변화를 통해 분석한 결과 연구지역의 지하수위 변동은 크게 강우와 공동운영압에 의해 크게 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. 관측정의 수위 강하와 공동누입수의 감소에 대한 문제는 94, 95년 연구지역의 가뭄에 따른 지하수 유입량의 감소에 따른 것으로 판단되며 미생물에 의한 clogging은 명확하지 않은 것으로 판단된다. 지하수의 수리지구화학 분석 결과 연구지역 지하수는 단층이 지하수 흐름의 통로가 될 수 있음을 보여주었으며 강우와 세정제가 지하수 화학에 가장 영향을 많이 미치는 것으로 분석되었다. 미생물 세정작업에 사용된 차아염소산나트륨용액은 pH, Na, Cl의 증가를 유발하였으며 지하화학 모델 계산 결과 방해석의 포화지수를 증가시키는 것으로 나타났다.

1. 서언

지하수는 순수한 물과 달리 지질매체를 구성하는 암석 및 토양과 지속적으로 반응관계를 형성하며 그 속에 다양한 화학성분과 미생물을 포함하고 있기 때문에 지하수가 흐르는 통로에 광물질을 용해하거나 침전시킬 수 있고, 암석의 틈새에 미생물이 성장하면서 틈새를 막을 수도 있다. 이로 인하여 W/C 시스템이 시간 경과에 따라 그 기능이 저하되면서 가스의 기밀성이 유지될 정도의 충분한 수압이 공동 상부에 걸리지 못할 수도 있다. 미생물 성장의 가능성에 대비해서 공동 상부 지하수에 미생물 성장을 억제하는 세정제를 투입함으로써 현재까지 이러한 문제에 대처해 왔다. 그러나 지하수위가 변화할 수 있는 경우는 미생물에 의한 clogging 뿐만 아니라, 지하 저장 공동의 운영압, 강수량, 및 지하 대수층과의 복합적 현상에 의한 지하수위 변동이나 미생물과 크게 관련 없이 수리지구화학적으로도 이러한 지하수위의 변화를 일으킬 수 있기 때문에 단순히 세정제의 투입만으로는 이러한 문제의 대처에 적절하고 충분하다고 할 수 없을 것이다. 따라서 공동 주변 지하수의 흐름과 수질 관계를 종합적으로 분석하여 수위 변화가 과연 저장 가스의 기밀성에 어떤 형태로 얼마만큼 관계있

는지를 분석하는 것이 연구의 목적이다.

2. 지질 및 지하수 시료 채취

LPG 공동이 위치하고 있는 연구 지역은 울산광역시 남구 용잠동 일대로서 해발 132m의 봉대산 및 주변부의 구릉으로 이루어져 있다. 연구지역의 지질은 울산층군의 퇴적암류(세일, 실트암, 사암)와 이를 관입하는 안산암류로 되어있으며 안산암과 퇴적암의 경계부에는 호운 펠스가 소규모 분포한다 (Geostock, 1985; 국립지질조사소, 1968). 연구지역에는 대규모의 단층이 여러개 나타나며 특히 부탄공동과 프로판공동을 가로지르는 N20-30°E의 단층은 양산 단층과 유사한 방향성을 가지는 것으로 조사되었다(Geostock, 1985).

3. 지하수 흐름 및 수위 변동

연구지역의 지하수 흐름은 크게 자연적인 요인과 인공적인 요인으로 나뉘어질 수 있는데, 자연적인 요인으로는 연구 지역에 분포하는 단층들을 들 수 있으며 인공적인 요인은 지하수의 유출을 발생하는 공동, 그리고 지하수위를 일정하게 유지시켜 주는 수장막터널이다.

1985년부터 1997년 사이 수위 측정 자료를 분석한 결과 연구지역의 지하수위 변동은 주로 강우와 공동운영압에 의해 크게 좌우됨을 알 수 있었다. 수장막 터널 상부에 위치한 관측공은 주로 강우에 의한 영향을 받으며 수장막 터널 하부에 위치한 관측공은 수장막 터널(W/C)에 의한 수위 유지 효과를 보이며 공동의 운영압에 의해 수위가 크게 영향을 받음을 보여주었다. 단층대에 포함된 관측공들(YK9, YK13)은 대부분 강우에 민감하게 반응하는 양상을 보여주었으며 단층대가 지하수 흐름의 중요한 통로가 됨을 알 수 있었다.

수장막터널 하부공동 수장막터널에 의한 수위유지 효과가 적은 것으로 판단되는 관측공들(YK11L, YK20)은 공동의 운영압에 수위가 급격히 변화하는 양상을 보여주고 있으며 이러한 특징은 1997년이후 변화된 공동 운영압 변화 양상과 일치하는 양상을 보여주고 있다.

LPG 시설 주변 관정의 수위강하에 따른 미생물 clogging에 대한 문제는 1995년 이후로 이 지역의 강우량이 증가하면서 수위도 이전 상태로 회복되고 있기 때문에 뚜렷하지 않은 것으로 판단된다. 또한 감소하는 공동 누입수의 양상도 공동 운영 초기 상태로 증가하는 양상을 보여주어 이러한 주장을 뒷받침할 수 있으리라 판단된다. 따라서 울산 LPG 기지의 수위 변화는 자연적인 강우량의 감소와 공동 운영압의 변화에 기인된 것으로 판단된다.

4. 수리지구화학

연구지역 지하수의 수리지구화학은 지하수 흐름에서 밝혀진 바와 같이 강우에 의한 영향을 크게 받는 것들과 LPG 공동 상부에 설치되어 있는 수장막터널의 지하수에 의한 영향을 들 수 있다. 단층대와 관련이 있는 관측공중 특히 지하수 함양대에 위치하는 YK9의 상 하부공은 지하수 조성이 유사하고 강우의 영향에 매우 민감하여 단층대가 지하수 유동 통로로 작용할 수 있음을 보여준다. 수장막터널의 지하수는 미생물 clogging 현상을 제어하기 위하여

1993년에 실시되어진 세정작업에 의해 크게 영향을 받은 특징을 보여주고 있다. 세정작업은 차아염소산나트륨(NaOCl) 용액을 약 2740배 정도 희석하여 부탄과 프로판 모니터링공을 통해 주입되었으며 수장막터널 총 용적 $82,000\text{m}^3$ 의 2배 정도의 양이 투입되었다. 차아염소산나트륨은 강알칼리성용액이기 때문에 세정제의 영향을 받은 관측공의 pH는 증가한 경향을 보여주고 있다. 지화학적 모델을 통한 분석에 의하면 세정제의 영향을 받은 관측공은 모두 방해석에 대한 포화지수가 과포화 상태에 있음을 알 수 있다.

세정제의 영향에 대한 분석은 지하수에서 용질의 이동이 매우 불규칙하게 일어남을 또한 보여준다. 수막터널 하부관측공중 YK12L은 수막터널과의 거리가 약 50m 이상인데도 세정제의 영향을 받아 Na, Cl, pH가 매우 높은 값을 보여주나 YK11L은 10m도 되지 않는 가까운 거리인데도 불구하고 세정제의 영향이 전혀 나타나지 않는 특징을 보여준다. 이러한 사실은 암반 대수층에서의 용질의 이동이 매우 불규칙하게 이루어짐을 나타내는 결과이다.