

해안가 암반대수층에서 조석효과에 의한 해수와 담수 전이대의 변동 연구

The variation of transition zone between sea water and fresh water
with the tidal effect at the coastal rock aquifer

김성수*, 강동환**, 김동수***, 최선미****, 정상용*****

Sung Soo Klm, Dong Hwan Kang, Dong Soo Kim, Sun Mi Choi, Sang Yong Chung

요 지

본 연구에서는 해안가 암반대수층에서 전기전도도의 수직적인 변화를 관측하여 조석에 의한 해수와 담수 전이대의 특성을 파악하였다. 연구지역은 부경대학교 대연캠퍼스 주변 해안대수층이며, 응회질퇴적암과 안산암 및 안산암질 화산각력암 등이 분포한다. 연구에 이용된 지하수 관측공(PK1공)은 부경대학교 대연캠퍼스 내 기숙사 동측에 위치하고 있다. 지하수공의 개발심도는 지표면하 120 m, 케이싱은 지표면하 19 m까지 설치되어 있으며, 내경은 0.2 m로서 해안가에서 180 m 정도 이격되어 있다. 해안대수층 내 해수와 담수 전이대를 파악하기 위하여 관측공 내에 TLC Meter(Model 107, Solinst)를 삽입하여 전기전도도의 수직적인 변화를 지하수공 내 심도 50 m 까지 측정하였다. 전기전도도의 수직적인 관측은 썰물(low tide)일 때, 썰물에서 밀물(high tide)로 될 때 및 밀물일 때로 나누어 총 3회 수행되었다. 전체적인 전기전도도의 분포는 썰물일 때 630~47300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 썰물에서 밀물로 되는 시기에는 672~61900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 및 밀물일 때는 678~67900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 나타났으며, 따라서 밀물일 때가 썰물일 때보다 전기전도도의 농도가 높은 것으로 나타났다. 해수와 담수 전이대의 분포는 썰물일 때 약 20~50 m, 밀물일 때 약 20~38 m 정도로 나타났으며, 이는 밀물 시 해수의 침투로 인해 전이대 하부구간의 농도가 상승하였기 때문이다. 해수와 담수 전이대의 구간을 세분화하여 분석하기 위해, 담수가 우세한 전이대, 주 전이대 및 해수가 우세한 전이대 구간으로 구분하였다. 담수가 우세한 전이대는 썰물과 밀물일 때 모두 지표면하 20.0~25.5 m 구간이었으며, 주 전이대에서는 지표면하 25.5~25.7 m 정도로 나타났다. 그러나, 해수가 우세한 전이대에서는 썰물일 때 지표면하 25.7~50.0 m 구간, 밀물일 때는 지표면하 25.7~38.0 m로서 전이대의 폭이 19 m 정도의 차이를 보였다. 본 연구를 통해 해안가 암반대수층에서 해수와 담수의 전이대는 조석에 의해 영향으로 인해, 썰물 시의 전이대가 밀물에 비해 그 폭이 더욱 적음을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 암반대수층, 조석효과, 해수, 담수, 전기전도도, 전이대

1. 서론

최근에 지하수의 고갈과 해안선의 변화, 각종 건설공사 등으로 인하여 담수와 해수의 자연적인 균형이 무너지면서 해안가 지하수의 염수화가 급속도로 진행되고 있다. 특히, 지구온난화로 인한 해수면 상승으로 해안가 지역에서 해수침입의 피해는 보다 광역화되어 가고 있다. 대수층 내 지하수는 지표수와 달리 한번 염수화가 진행된다면 이를 복원하는 것이 거의 불가능하기 때문에 그 보전대책이 시급한 실정이다(Bear, 1999).

최근 해안대수층의 염수화에 의해 해수와 담수 전이대에 관한 연구가 세계적으로 활발히 진행되고 있다. 해수와 담수 전이대의 수리지질학 및 지구화학적인 특성(Oberdorfer et al., 2007), 통계기법 및 수치 모델링을 통한 전이대의 변화양상 예측(Misut and Voss, 2005; Mulligan, Evans and Lizarralde, 2006), 전이대의 특성에 따른 용질이송 규명(Andersen et al., 2004) 등이 수행되었다. 그러나, 밀물과 썰물과 같은 조석효과에 의한 해수와 담수 전이대의 변동특성에 대한 연구는 미비하다. 이에 본 연구에서는 해안가 암반대수층에서 전기전도도의 수직적인 변화를 관측하여 조석에 의한 해수와 담수 전이대의 특성을 파악하였다.

2. 지형 및 지질

본 연구지역은 부산 동남 해안에 위치한 부경대학교 일원으로서 해수침입을 받고 있다. 이 지역에는 중생대 백악기말의 화성활동의 결과로 형성된 중성 및 산성화산암류와 이보다 후기에 관입한 불국사 관입암체들이 곳곳에 분포하고 있다. 연구지역은 부경대학교 대연캠퍼스 내에 위치하며, 응회질퇴적암과 안산암 및 안산암질 화산각력암 등이 분포한다. 또한, 부경대학교 대연캠퍼스와 그 주변지역은 충적층으로 덮여 있어 직접적인 노두는 발견되지 않았으나, 시추결과 염기성 암맥 등이 발달되어 있는 것으로 나타났다(심병완, 2003).

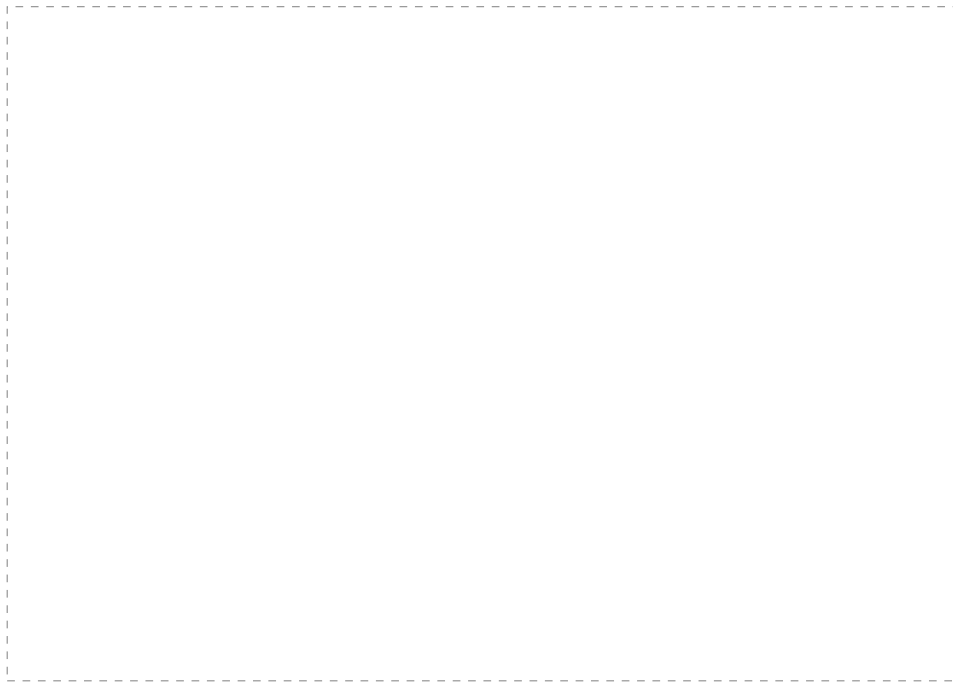


Fig. 1. Location and geological map of study site.

3. 현장 관측

본 연구지역은 부경대학교 대연캠퍼스 내 해안대수층이며, 대수층의 매질은 매립퇴적층, 풍화토층, 풍화각력층, 기반암 등으로 형성되어 있다. 매립퇴적층은 전반적으로 6 m 이하이며, 풍화토층은 지표면하 10~30 m 까지 발달되어 있다. 풍화각력층의 발달심도는 약 18~52 m에 이르며, 그 하부에는 기반암이 형성되어 있다.

연구에 이용된 지하수 관측공(PK1공)은 부경대학교 대연캠퍼스 내 기숙사 동측에 위치하고 있다. 지하수 관측공의 개발심도는 지표면하 120 m, 케이싱은 지표면하 19 m까지 설치되어 있으며, 내경은 0.2 m로서 해안가에서 180 m 정도 이격되어 있다.

해안대수층 내 해수와 담수 전이대를 파악하기 위하여 관측공 내에 TLC Meter(Model 107, Solinst)를 삽입하여 전기전도도의 수직적인 변화를 지하수 관측공 내 심도 50 m 까지 측정하였다. 전기전도도의 수직적인 관측은 썰물(low tide)일 때(1차 관측), 썰물에서 밀물(high tide)로 될 때(2차 관측), 밀물일 때(3차 관측)의 총 3회 수행되었다.

4. 관측 결과

2008년 2월 17일에 지하수공(PK1)에서 관측된 전기전도도의 수직적인 변화는 Fig. 2와 같다. 전체적인 전기전도도의 분포는 1차 관측 시기에는 630~47300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 2차 관측 시기에는 672~61900 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 3차 관측 시기에는 678~67900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 나타났으며, 따라서 밀물일 때가 썰물일 때보다 전기전도도의 농도가 높은 것으로 나타났다.

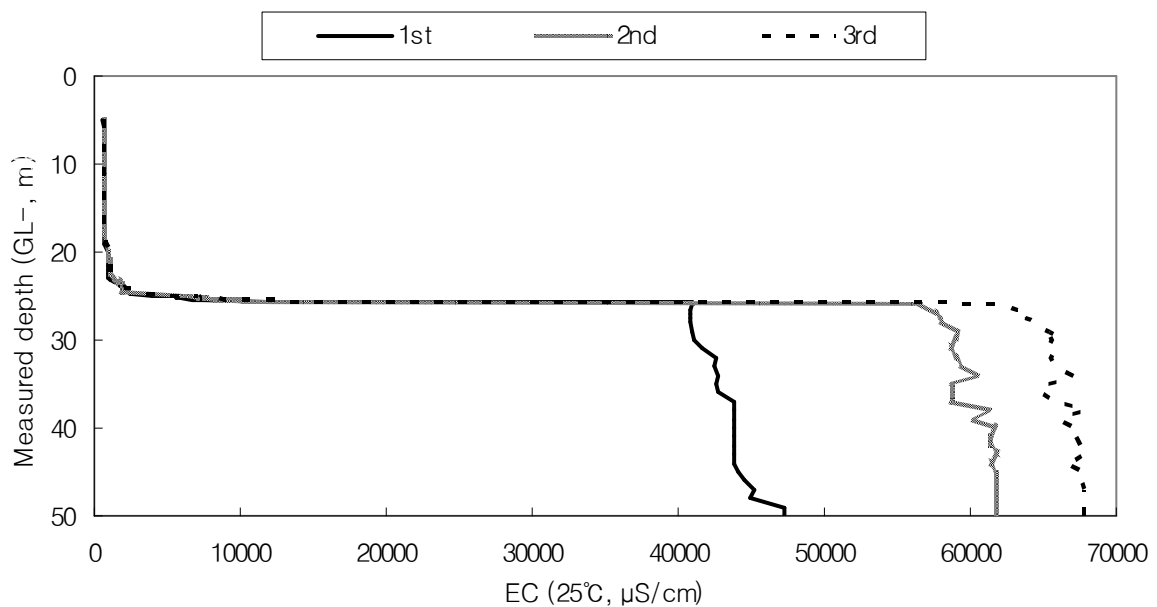


Fig. 2. Electrical conductivity with the depth below ground surface.

지표면하 심도 19 m 까지 전기전도도의 변화는 거의 나타나지 않았으며, 이는 지표면하 19 m 까지 설치된 케이싱에 의한 것으로 판단된다. 하지만 지표면하 20 m 이후부터는 전기전도도가 급

격하게 상승하였다. 지표면하 20 m 지점은 해수와 담수의 혼합이 시작되는 지점으로, 이 지점부터 해수와 담수 전이대가 시작되는 것으로 판단된다. 해수와 담수 전이대의 분포는 썰물일 때 약 20~50 m, 밀물일 때 약 20~38 m 정도인 것으로 추정되었으며, 이는 밀물 시 해수의 침투로 인해 전이대 하부구간의 농도가 상승하였기 때문이다. 그리고, 대부분이 해수로 이루어진 지표면하 심도는 썰물 시 약 50 m 하부이며, 밀물 시에는 지표면하 약 38 m 하부이다.

해수와 담수 전이대의 구간을 세분화하여 분석하기 위해, 담수가 우세한 전이대, 주 전이대 및 해수가 우세한 전이대 구간으로 구분하였다(Table 1). 담수가 우세한 전이대는 썰물과 밀물일 때 모두 지표면하 20.0~25.5 m 구간이었으며, 주 전이대는 지표면하 25.5~25.7 m 정도로 추정되었다. 그러나, 해수가 우세한 전이대에서는 썰물일 때 지표면하 25.7~50.0 m 구간, 밀물일 때는 지표면하 25.7~38.0 m 로서 전이대의 폭이 19 m 정도의 차이를 보였다. 이는 조석 조건에 따라 수직적인 해수 침입의 범위가 달라짐을 의미한다. 또한, 지표면하 심도 25 m 이후부터 전기전도도 변화 양상이 불규칙적으로 나타났으며, 이는 대수층 매질의 수직적인 불균질성에 의해 해안에서 침투되는 해수의 유량이 심도에 따라 변화하기 때문이다.

Table 1. Subdivision type and interval of transition zone with tide condition

Tide condition	Subdivision type	Interval (GL-, m)
Ebb tide (1st monitoring)	Freshwater ascendant	20.0 ~ 25.5
	Main transition zone	25.5 ~ 25.7
	Seawater ascendant	25.7 ~ 50.0
Flood tide 1 (2nd monitoring)	Freshwater ascendant	20.0 ~ 25.5
	Main transition zone	25.5 ~ 25.7
	Seawater ascendant	25.7 ~ 38.0
Flood tide 2 (3rd monitoring)	Freshwater ascendant	20.0 ~ 25.5
	Main transition zone	25.5 ~ 25.7
	Seawater ascendant	25.7 ~ 38.0

5. 결론

본 연구에서는 해안가 암반대수층에서 조석효과에 의한 해수와 담수 전이대의 변동 특성을 연구하기 위해 지하수 관측공의 전기전도도를 수직적으로 관측하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 전체적인 전기전도도의 분포는 밀물일 때가 썰물일 때보다 높은 것으로 나타났다. 해수와 담수 전이대의 분포는 썰물일 때 약 20~50 m, 밀물일 때 약 20~38 m 정도로 나타났으며, 이는 밀물 시 해수의 침투로 인해 전이대 하부구간의 농도가 상승하여 해수화 되었기 때문이다.
2. 해수와 담수 전이대의 구간을 세분화하여 분석한 결과, 담수가 우세한 전이대와 주 전이대의 구간은 유사하였다. 그러나, 해수가 우세한 전이대 구간의 폭은 썰물 시와 밀물 시 19 m 정도의 차이를 보였다. 이는 조석에 따른 해수 침입의 수직적인 범위가 달라짐을 의미한다.
3. 본 연구를 통해 해안가 암반대수층에서 조석에 따른 해수와 담수 전이대 구간을 정량적으로 파

약할 수 있었으며, 썰물 시의 해수와 담수 전이대가 밀물 시에 비해 수직적인 폭이 더욱 적었음을 확인할 수 있었다.

4. 향후에는 조석에 의한 해수와 담수 전이대의 변동을 정량적으로 규명하고, 계절적인 조석변화에 의한 전이대의 변동특성을 연구하고자 한다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 3-3-3)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 심병완, 2003, 부산 동남해안 지역의 수리동역학적 해수침투 특성 연구, 부경대학교, 123pp.
2. Andersen, M.S., Nyvang, V., Jakobsen, R., and Postma, D., 2005, Geochemical processes and solute transport at the seawater/freshwater interface of a sandy aquifer, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 69(16), pp. 3979-3994.
3. Bear, J., Cheng, A.H.-D., Sorek, S., Ouazar, D., and Herrera, I., 1999, *Seawater Intrusion in Coastal Aquifers-Concepts, Methods and Practices*, Kluwer Academic Publ., 625pp.
4. Misut, P.E., and Voss, C.I., 2007, Freshwater-saltwater transition zone movement during aquifer storage and recovery cycles in Brooklyn and Queens, New York City, USA, *Journal of Hydrology*, 337, pp. 87-103.
5. Mulligan, A.E., Evans, R.L., and Lizarralde, D., 2007, The role of paleochannels in groundwater/seawater exchange, *Journal of Hydrology*, 335, pp. 313-329.
6. Oberdorfer, J.A., Charette, M., Allen, M., Martin, J.B., and Cable, J.E., 2008, Hydrogeology and geochemistry of near-shore submarine groundwater discharge at Flamengo Bay, Ubatuba, Brazil, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76, pp. 457-465.