

평택 습지의 현세 중-후기 지구환경변화 기록: 예비 고찰

남육현¹, 이상현¹, 김정찬¹, 박용희², 김주용¹, 양동윤¹, 도성재³, 유강민⁴

¹한국지질자원연구원 지질환경재해연구부

²Earth Sciences Department, University of California Santa Cruz, CA 95064, USA

³고려대학교 지구환경과학과

⁴연세대학교 지구시스템과학과

1. 서론

작고 빠른 기후 변동이 현세 동안에 수차례 있었다는 것은 이제 널리 받아들여지고 있다. 이러한 현세 동안의 기후 변동의 시기와 진폭에 대한 정확한 정보는 고환경 복원에 매우 중요하다. 특히 현세는 인간 활동이 활발하게 된 시기로서 자연환경의 변화 양상과 인간 활동과의 상호 관계에 많은 학자들이 주목하고 있지만, 우리나라에서는 이러한 정보가 매우 부족한 실정이다.

습지 퇴적층 중에서 특히 토탄 퇴적층은 보통 토탄 (peat)과 쇄설성 퇴적물 (siliciclastic sediment)의 호층으로 구성된다. 이러한 토탄 퇴적층은 크게는 기후학적 요인, 작게는 지역적인 수리수문학적 요인에 의하여 그 양상이 달라지게 된다. 즉, 상대적으로 건조한 조건에서는 토탄층이 형성되며, 습윤한 조건에서는 쇄설성 퇴적물의 양이 많아지게 된다.

본 연구의 목적은 우리나라 서해안의 저지대에 발달한 평택 습지에서 현세 동안의 건조/습윤 변동의 시기와 진폭 양상을 파악하는데 있다. 이들 해석은 유기지화학 분석과 고지자기학적 분석의 결과에 기초하였으며, 퇴적물의 연대는 AMS ¹⁴C 연대측정 결과에 기초하였다.

2. 연구 결과

평택 습지는 아산만으로 유입하는 안성천의 지류인 도대천 유역에 잘 발달하고 있다. 도대천 유역에서만 습지가 약 4 km²의 넓이로 분포하는 것을 알려져 있다. 평택 습지는 주로 강수에 의하여 (ombrotrophic) 수분을 공급받는 blanket bog이다. 갈대 (reed, *Phragmites australis*), 줄풀 (wild rice, *Zizania latifolia*), 부들 (bulrush, *Typha orientalis*) 등과 같은 습지성 초본식물과 갯버들 (wild rye, *Salix gracilistyla*)과 같은 습지성 목본식물이 함께 나타나는 전형적인 습지성 식생이 분포하고 있다.

경기도 평택시 현덕면 황산리 (36°57'25", 126°55'52")의 지표면 (고도 5.852 m)에서부터 굴삭기를 이용하여 HS trench를 만들고, 고도 3.912 - 5.412 m, 1.500 m 두께에서 시료를 채취하였다. HS trench의 퇴적층은 다음과 같이 모두 7개의 unit로 구분할 수 있다.

* HS unit-1 : altitude 3.912 - 3.999 m, thickness 0.087 m

색상은 black (2.5Y 2/1)이 우세하다. 주로 중립질 - 조립질 실트로 구성되며, 식물 파편을 다량 포함한다. TOC값은 약 10 정도를 보인다.

* HS unit-2 : altitude 3.999 - 4.642 m, thickness 0.643 m

세립질 실트 또는 점토가 우세하며, dark olive gray (5GY 3/1) 색상을 보인다. 고도 약 4.20 m 부근에서는 세립질 모래 또는 조립질 실트가 layer 형태로 수매 협재되어 있다. 식물 파편을 다량 포함한다. TOC/TN ratio는 전체적으로 10에서 20 사이의 값을 보인다.

* HS unit-3 : altitude 4.642 - 4.762 m, thickness 0.120 m (peat)

입도가 조립질 실트 정도 까지 증가하며, black (10YR 1.7/1) 색상을 보인다. 식물 파편을 다량 포함하며, TOC값도 30 이상으로 증가한다. TOC/TN ratio는 20 이상의 값을 보여 유기물의 기원이 대부분 육성임을 시사하고 있다. 본 unit-3에서는 TS값이 크게 증가한다.

* HS unit-4 : altitude 4.762 - 4.912 m, thickness 0.150 m

입도가 세립질 실트 또는 점토 까지 감소하며, olive black (5Y 3/1) 색상을 보인다

다. 식물 파편의 함량이 감소하고, 상대적으로 쇠설성 퇴적물의 양이 증가한다. TOC값은 대체로 5 - 10 정도로 낮은 값을 보인다. TS값도 1 이하로 감소한다.

* HS unit-5 : altitude 4.912 - 5.062 m, thickness 0.150 m

대체로 black (2.5Y 2/1) 색상이 우세하며, 희미하게 엽리구조를 관찰할 수 있다. TOC값, TN값, TS값 등이 전체적으로 상부로 가면서 증가하는 양상을 나타내면서 전체적으로 변동이 심하다. TOC/TN ratio는 20 이상으로, 육상에서 유래한 유기물이 집적되었음을 나타내고 있다.

* HS unit-6 : altitude 5.062 - 5.318 m, thickness 0.256 m (peat)

입도가 조립질 실트 - 세립질 모래 정도 까지 크게 증가한다. 여기서도 엽리구조를 관찰할 수 있다. 특히 TOC값이 40 이상으로 크게 증가하며, TOC/TN ratio도 상부로 가면서 30 까지 증가하는 양상을 보인다. 그러나 TS값은 상부로 가면서 2에서 1 이하로 점차 감소하고 있다.

* HS unit-7 : altitude 5.318 - 5.412 m, thickness 0.094 m

중립질 내지 세립질 실트가 우세하게 나타나면서 하부의 unit-6과 비교하여 세립화된 경향을 보인다. 색상은 olive black (5Y 3/1)이 우세하다. TOC값은 다시 10 이하로 감소하며, 쇠설성 퇴적물의 양이 상대적으로 많아진다.

3. 토의 및 결론

이탄은 배수 (排水)가 불량한 조건에서 식물 유해가 축적되고 부분적으로 분해되어 형성되는 가볍고 푸석푸석한 물질이다. Dellwig *et al.* (2002)은 쇠설성 퇴적층에서 1.3 - 6.3% 정도, 이탄층에서 16.0 - 52.6% 정도의 TOC값을 보고하고, 이러한 TOC값의 차이로 이탄층을 구분한 바 있다. 본 연구에서는 TOC값의 증가와 감소 주기 사이의 값인 약 30 정도의 TOC값을 경계로 이탄층을 구분하였다. 이러한 기준으로 보면 HS trench에서는 units-3과 6에서 이탄층의 발달을 인지할 수 있다. Zhou *et al.* (2004)은 이렇게 높은 TOC값이 "drier" marshy (peat-forming) condition을 지시하는 것으로 해석한 바 있다.

하부의 units-1과 2는 쇠설성 퇴적물이 우세하게 분포한다. TOC/TN ratio는 10 - 20 정도의 값을 보여 유기물이 조류와 육상 고등식물 등에서 유래한 것으로 해석할 수 있다. 또한 식물 파편이 다량 산출되는데, 이들 식물 파편은 주로 갈대 (reed)의 줄기로 보인다. 갈대는 해안 염습지, 기수성 침수 지역, 육상의 습지 등의 대표적인 식생으로, 담수의 유입이 없는 해안에서는 생육할 수 없는 특징을 지닌다. Hoffmann (2004)은 연안역에서 갈대 파편을 다량 포함하는 세립질 퇴적물을 조간대의 육지쪽 상류 부분에서 퇴적된 것으로 해석한 바 있으며, Dellwig *et al.* (2002)은 염도가 5 - 15% 정도의 강 하구 일대에서 갈대 파편이 우세하게 퇴적된다고 보고한 바 있다. 특히 unit-2에서는 마름 (*Trapa*) 열매의 산출이 풍부하다. 마름은 물 아래의 진흙에 뿌리를 내리고 줄기는 물 위까지 뻗어 자라는 1년생초이며, 연못이나 소택지에 주로 서식한다. Units-1과 2는 마름이 서식할 수 있는 정도의 수심이 있고, 주변에 갈대와 사초가 자라는 swampy 또는 limnic wetland deposits으로 해석할 수 있다. 이러한 습지는 강의 하구 부근에 발달하는 배후 습지 또는 지형적으로 움푹 파인 곳 등에 잘 발달하게 된다 (Kremenetski *et al.*, 2003)

Units-3, 4, 5, 6, 7에서는 식물 파편을 다량 포함하는 이탄층 발달이 두드러지는 units (3, 6)와 상대적으로 쇠설성 퇴적물의 양이 증가하는 units (4, 5, 7)가 수평하게 교호하는 양상을 보인다. 이렇게 이탄층과 퇴적층 교호 양상은 해수면의 상승과 하강 주기에 따라 형성되는 것으로 보고되어 왔다 (e.g. Anderson, 1963; Denys and Baeteman, 1995; Kiden, 1995; Gehrels *et al.*, 1996; Kearney, 1996; Dellwig *et al.*, 1998; Dellwig *et al.*, 1999; Gerdes *et al.*, 2003). 특히 여러 이탄층 중에서 가장 하부에 놓이는 것을 기저 이탄층 (basal peat layer)이라고 하며, 이는 흔히 해수면 상승의 증거로 많이 이용해 왔다. 그러나 Tornqvist *et al.* (1998)은 이탄층의 발달에 중요한 지하수위가 항상 해수면의 높이와 일치하지 않는다는 점을 들고, 갈대 이탄층의 경우 지하수위가 높은 내륙에서도 충분히 형성될 수 있다는 점을 강조했다. 이렇게 기저 이탄층의 분포가 항상 해수면 상승의 시기와 심도를 지시하는 것은 아니므로, 이들을 해석할 때에는 충분한 주의가 필요하다. 한편, Crowley and Gagan (1995), Snedaker (1995), Phillips and Bustin (1998), Kremenetski *et al.*

(2003), Wust and Bustin (2004), Zhou *et al.* (2004) 등은 이탄층의 형성 시기와 심도, 해수면과의 관계에 대하여 논의하고, 이탄층 형성에 가장 중요한 것으로 수문학적 요인을 들었다. 즉 연안역의 저지대 습지에서 해수면 변동 보다는 담수의 유입과 배수, 육성 퇴적물의 유입 등에 따른 식생 변화가 이탄층 형성의 일차적인 요인으로 보고하였다.

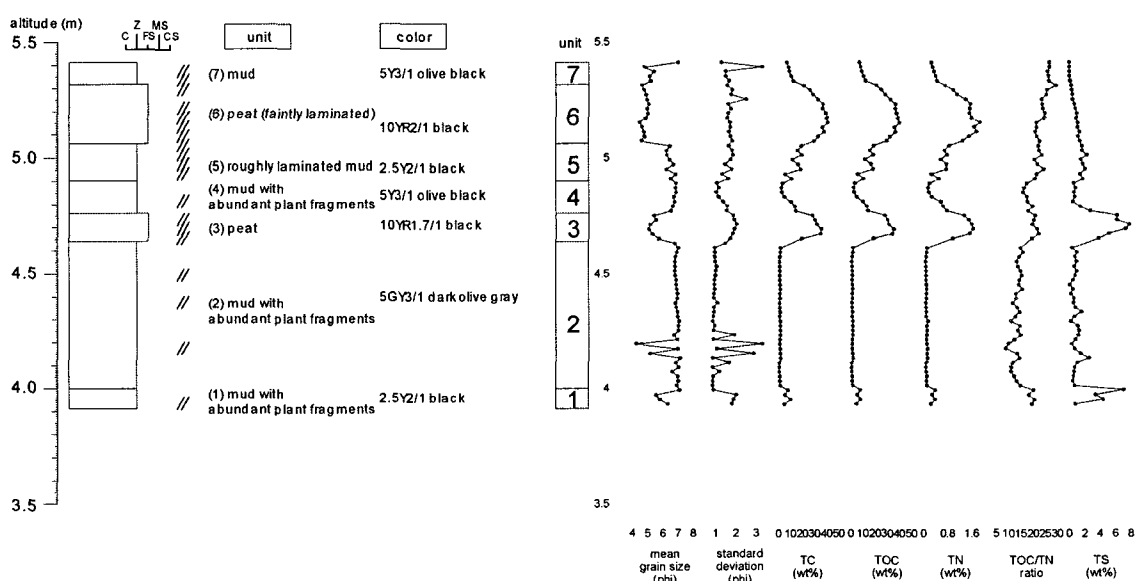
Unit-3 (하부 경계의 고도 4.64 m)은 TOC값이 30 wt% 이상이므로 이탄층으로 볼 수 있으며, TOC/TN ratio가 20 이상으로 유기물이 대체로 육성 기원임을 보이고 있다. Unit-3에서는 하부의 unit-2, 즉 갈대와 사초가 자라는 호소성 습지에서 물의 흐름이 정체되면서 쇄설성 퇴적물의 유입이 감소하고 유기물이 다량 집적되어 형성된 것으로 보인다. Phillips and Bustin (1998)은 현세 온난 최적기 (Holocene climatic optimum) 동안에 조밀하게 자란 식생의 뿌리가 물의 흐름을 방해하여 이탄층이 형성될 수 있는 환경을 만든 것으로 해석한 바 있으며, Wust and Bustin (2004)는 해수면 상승에 따라 연안역에 쌓인 퇴적물로 인하여 강물이 정체되어 이탄층이 형성되었을 것으로 해석한 바 있다. 본 HS trench에서도 여러 가지 원인으로 인하여 물의 흐름이 정체되고, 유기물이 다량 집적되면서 이탄층을 형성할 수 있는 환경이 조성되었음을 유추할 수 있다. 고지자기 연구 결과에서 보면 이탄층 형성 이후에 산화-환원 환경이 수차례 반복하여 나타나고 있다. 이는 유기물이 집적되면서 수심이 얕아지고, 퇴적면이 대기중에 노출되면서 일시적으로 산화 환경이 형성되었던 것으로 보인다.

Units-4, 5에서는 TOC값이 30 wt% 이하로 감소하고, 대자율값이 상대적으로 증가하여 쇄설성 퇴적물의 유입이 많아진 쇄설성 퇴적층으로 볼 수 있다. 이는 하부의 unit-3 이탄층 형성 시기와 비교하여 상대적으로 지표수의 움직임이 증가한 결과로 해석할 수 있다. 그 상부에는 unit-6 이탄층과 unit-7 쇄설성 퇴적층이 다시 반복된다. Wust and Bustin (2004)은 이렇게 이탄층과 쇄설성 퇴적층이 교호하는 현상을 강수량의 증감으로 해석한 바 있다. 강수량이 증가하면 쇄설성 퇴적물의 침식 - 운반 - 퇴적이 우세하고, 강수량이 감소하면 상대적으로 식생 분포가 우세하게 되어 이탄층이 발달하게 된다. 본 HS trench의 퇴적층은 현세 중-후기의 미세한 건조/습윤 주기를 반영하고 있는 것으로 판단된다. 이 퇴적층에 정밀 연대측정 결과가 더해지면 고해상도의 지표환경변화 해석이 가능할 것으로 보인다.

참고 문헌

- Anderson, J.U., 1963. An approved pretreatment for mineralogical analysis of samples containing organic matter. Journal series No. 172, New Mexico State University Agricultural Experiment Station, Las Cruces, New Mexico, USA. 8 p.
- Crowley, G.M., Gagan, M.K., 1995. Holocene evolution of coastal wetlands in wet-tropical northeastern Australia. *Holocene* 5, 385-399.
- Dellwig, O., Bottcher, M.E., Lipinski, M., Brumsack, H.J., 2002. Trace metals in Holocene coastal peats and their relation to pyrite formation (NW Germany). *Chemical Geology* 182, 423-442.
- Dellwig, O., Gramberg, D., Vetter, D., Watermann, F., Barckhausen, J., Brumsack, H.J., Gerdes, G., Rullkotter, J., Scholz-Bottcher, B., Streif, H., 1998. Geochemical and microfacial characterisation of a Holocene depositional sequence of Northwest Germany. *Organic Geochemistry* 29, 1687-1699.
- Dellwig, O., Watermann, F., Brumsack, H.J., Gerdes, G., 1999. High-resolution reconstruction of a Holocene coastal sequence (NW Germany) using inorganic geochemical data and diatom inventories. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 48, 617-633.
- Denys, L., Baeteman, C., 1995. Holocene evolution of relative sea level and local mean high water spring tides in Belgium- A first assessment. *Marine Geology* 124, 1-19.
- Gehrels, W.R., Belknap, D.F., Kelley, J.T., 1996. Integrated highprecision analyses of Holocene relative sea-level changes: Lessons from the coast of Maine.

- Geological Society of America Bulletin 108, 1073-1088.
- Gerdes, G., Petzelberger, B.E.M., Scholz-Bottcher, B.M., Streif, H., 2003. The record of climatic change in the geological archives of shallow marine, coastal, and adjacent lowland areas of Northern Germany. *Quaternary Science Reviews* 22, 101-124.
- Hoffmann, D., 2004. Holocene landscape development in the marshes of the West Coast of Schleswig-Holstein, Germany. *Quaternary International* 112, 29-36.
- Kearney, M.S., 1996. Sea-level change during the last thousand years in Chesapeake Bay. *Journal of Coastal Research* 12, 977-983.
- Kiden, P., 1995. Holocene relative sea-level change and crustal movement in the southwestern Netherlands. *Marine Geology* 124, 21-41.
- Kremenetski, K.V., Velichko, A.A., Borisova, O.K., MacDonald, G.M., Smith, L.C., Frey, K.E., Orlova, L.A., 2003. Peatlands of the Western Siberian lowlands: current knowledge on zonation, carbon content and Late Quaternary history. *Quaternary Science Reviews* 22, 703-723.
- Phillips, S., Bustin, R.M., 1998. Accumulation of organic rich sediments in a dendritic fluvial/lacustrine mire system at Tasik Bera, Malaysia: implications for coal formation. *International Journal of Coal Geology* 36, 31-61.
- Snedaker, S.C., 1995. Mangroves and climate change in the Florida and Caribbean region: scenarios and hypotheses. *Hydrobiologia* 295, 43-49.
- Tornqvist, T.E., Van Ree, M.H.M., Veer, R.V., Van Geel, B., 1998. Improving methodology for high-resolution reconstruction of sea-level rise and neotectonics by paleoecological analysis and AMS ¹⁴C dating of basal peats. *Quaternary Research* 49, 72-85.
- Wust, R.A.J., Bustin, R.M., 2004. Late Pleistocene and Holocene development of the interior peat-accumulating basin of tropical Tasek Bera, Peninsular Malaysia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 211, 241-270.
- Zhou, W., Yu, X., Timothy Jull, A.J., Burr, G., Xiao, J.Y., Lu, X., Xian, F., 2004. High-resolution evidence from southern China of an early Holocene optimum and a mid-Holocene dry event during the past 18,000 years. *Quaternary Research* 62, 39-48.



<Fig. 1> Stratigraphic section and organic geochemical data of the HS trench.