규조화석을 이용한 평택 화양리 지역의 고환경연구

류은영[1], 남욱현[2], 전태진[1], 전창표[1], 이성주[1]

[1]경북대학교 지질학과
[2]한국지질자원연구원 지질환경재해연구부

1.서 론

습지는 얕은 물에 의해 잠겨 습윤 상태를 유지하면서 토양이 물로 포화되어 있는 땅이며, 육상계 (terrestrial system)와 수계 (aquatic system)의 전이지점으로서, 생태계의 종 다양도가 매우 높은 곳이다. 지구상에서 가장 영양물질이 풍부하고 생산성이 높은 생태계로 인식되고 있으며, 여러 가지 생태적 기능을 제공해 주는 것으로 알려지고 있다. 또한 습지는 기후의 중요한 요소인 수분 변화에 매우 민감하게 반응하기 때문에(Eronen, 1996), 습지의 발달 과정을 살펴보면 과거 기후 변동의 흔적을 찾을 수 있다(Bragg and Tallis, 2001).

특히, 우리나라 서, 남해안에는 국토면적의 2.4%에 해당하는 약 2,393 km^2의 연안습지가 분포하고 있으며, 그 중에서 서해안 지역에 전체 연안습지 면적의 약 83%인 1,980 km^2가 분포하고 있다. 경기도 평택 일대에는 약 60 km^2의 연안습지가 분포한다. 습지의 생태학적 가치가 알려지면서 최근 많은 관심이 몰리고 있지만, 습지의 형성기작, 두께, 분포 등 기본적인 정보는 매우 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 서해안 평택 화양리 습지퇴적물에서 산출되는 규조화석군집의 변화를 이용하여 우리나라 서해안의 평택 고습지가 어떻게 형성되고 발달하였으며, 어떠한 과거 지표환경 변화의 기록을 보존하고 있는지를 추적하고 아시아지역의 기후변화와 대비하는데 그 목적이 있다.

2.연구재료 및 방법

경기도 평택시 화양리 일대에서 굴삭기를 이용한 trench 조사를 실시하였다(HY trench). HY trench는 경기도 평택시 현덕면 화양리 (36°57′57″, 126°54′45″)에 위치하며, 지표면의 고도는 5.775 m이다. 시료는 고도 2.075~5.175 m, 3.100 m 두께에서 채취하였다. 규조화석의 현미경 관찰을 위한 시료 처리는 1cm 간격으로 실시했으며 박편제작은 류은영 외(2003)의 방법을 이용하였다.

3. 규조화석분석결과

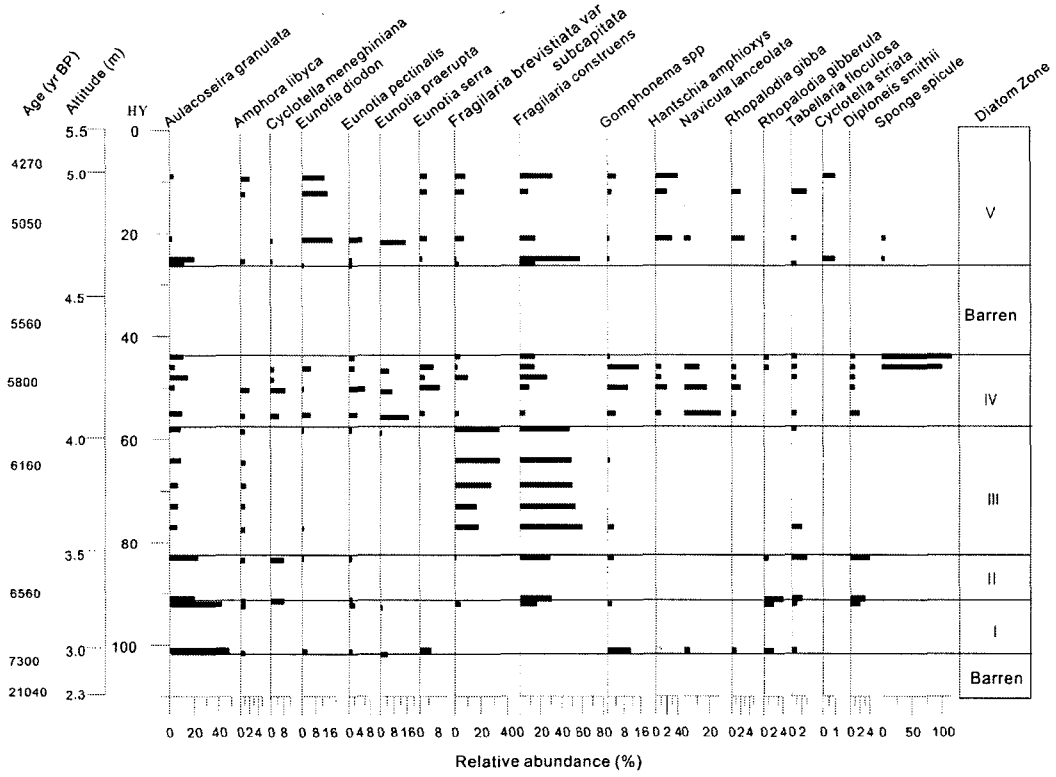
화양리 HY trench 퇴적물에서 획득한 총 107개의 시료 중 하부구간(고도 2.275~2.835 m, sample no. HY107~HY102)과 상부구간(고도 4.555~ 4.435 m, HY 32~38)을 제외한 나머지 구간에서 규조각이 산출되었다. 총 44속 172종의 규조가 동정되었으며, 시료당 종 다양도와 풍성도는 다양하게 나타났다. 본 연구지역에서 가장 우점으로 산출되는 규조종은 담수부유성종인 *Aulacosiera* complex(*granulata, distance, islandica*) 와 담수부착종인 *Fragilaria construence, F. brevistriata* var *subcapitata, Navicula lanceolata* 이다. 그 밖에 *Cyclotella meneghiniana, Fragilaria virescence, F. pinnata, Epithemia sorex, Eunotia argus, E. diodon, E. formica, E. pectinalis, E. prarupta, E. serra, Gomphonema acuminatum* var. *corona, G. clavatum, G. grovei, G. intricatum, Nitzschia palea, Pinnularia gibba, P. viridis, P. virescence, Rophalodia gibba, R. gibberula, Stauroneis anceps* 등도 산출되었다. 해수종인 *Cyclotella striata, Diploneis smithii, Surirella fastuosa var. recendens, Nitzschia cconeiformis* 는 소량이지만 고도 3.335~4.315 m (sample no. HY093~HY044) 구간에서 산출되었다. 특히 고도 4.175~4.315 m (sample no. HY051~HY044) 구간에서는 phytolith와 규질의 해면골격(siliceous sponge spicule)이 풍부하게 산출되었다.

4. 규조화석분대 및 고환경

우점종의 산출 빈도와 일부 중요종의 산출을 근거로 5개의 규조분대(Diatom

Assemblage zone)를 설정하였다.

- Barren (sample no. HY107~HY102) altitude 2.275~2.835m
- Diatom Assemblage Zone-I (sample no. HY101~HY92) altitude3.035~3.355 m
- Diatom Assemblage Zone-II (sample no. HY91~HY83) altitude 3.375~3.535 m
- Diatom Assemblage Zone-III (sample no. HY79~HY58)altitude 3.615~4.035 m
- Diatom Assemblage Zone-IV (sample no. HY55~HY44)altitude 4.095~4.315 m
- Barren (sample no. HY43~HY27) altitude 4.335~4.655m
- Diatom Assemblage Zone-V (sample no. HY26~HY09)altitude 4.675~5.015 m



Result of diatom analysis for the HY trench

평택 화양리 지역의 HY trench 퇴적물을 대상으로 퇴적학적 및 규조화석분석 결과를 이용하여 고환경변화를 유추해 보았다. 규조화석분석 결과 규조분대 I 과 II (Unit I, 고도, 3.305~3.535m)에서 우점으로 산출되는 *Aulacoseira*는 담수부유성종으로 호수, 강, 소택지 이탄층의 지시종으로 알려져 있으며, 강가의 풍성퇴적층(eolian sand)이나, 호수수위가 낮아지는 건조 기후 때 주로 많이 나타나는 것으로 알려져 있다(Wolin and Duthie, 1999). 영양분이 풍부한 (eutropic) 호수에 매우 흔한 종이며 보다 온난한 환경을 좋아하는 종이다(Hustedt, 1930). 또한 *Aulacoseira*는 각이 두꺼워 보다 많은 영양분을 필요로 하기 때문에 강수량이 증가할 때, 육지로부터 육성퇴적물이 많이 유입되어 유기물이 풍부하게 유입되는 소택지 이탄층에서 상대적으로 다른 종들 보다 풍부하게 산출된다. 한냉 건조시기에는 강한 바람으로 호수나 강가에서는 파랑이 심하게 일어나서 규조각이 얇은 종들은 보존되지 못하고 파괴되지만 *Aulacoseira*와 같이 각이 두꺼워 가라앉기 쉬운 종은 가라앉지 않기 위해서 파랑이 심하게 일어나는 지역에서 다른 종들보다 더 풍부하게 산출되는 경향이 있다 (Pilskaln and Johnson, 1991). 규조분대 II에서는 *Aulacoseira*와 더불어

염도가 높은 호수에서 사는 담수부유성종인 *Cyclotella meneghiniana*와 해수종인 *Diploneis smithii*가 산출된다. 퇴적물 또한 암회색 점토로 이루어져 있어 해성의 영향을 받은 것으로 추정할 수 있다. 규조분대 Ⅲ (Unit Ⅱ; 고도, 3.615~4.035m)에서는 풍부하게 산출되던 *Aulacoseira*는 그 수가 현저히 줄어들고 *Fragilaria construence, F. brevistriata, F. virescence, F. pinnata*가 급증한다. 이들 종들은 담수 부착종으로 염도 변화가 없는 수심이 매우 얕은 환경에서 풍부하게 산출되며 또한 수위변화로 수질이 급격하게 변할 때 보다 풍부하게 산출되는 종이다 (Stabell,1985). Mölder and Tynni (1943)에 의하면 최종빙하기 이후 현세 초기의 호수와 조수의 영향을 거의 받지 않으면서 다소 염도 변화를 보이는 습지(marsh)환경에서 이들 종을 보고한 바 있다. 그러나 조수의 영향을 약간 받는 습지(marsh) 환경이나, 사구가 형성되어 염도의 변화가 있는 곳과 영양분의 유입이 많은 연안지역에서 해수보다 담수의 영향을 보다 많이 받는 지역의 퇴적층에서도 풍부하게 산출되는 것으로 알려져 있다 (Denys, 1988). 게다가 퇴적물분석결과 또한 극세립질~중립질 실트로 구성되며 세립질 모래가 layer 형태로 수매 협재되어 있고 마름(Trapa), 갈대 등 여러 식물 파편이 다량 포함되어 있어 수심이 매우 낮아져 퇴적환경이 갑자기 바뀐 것으로 추정할 수 있다. 이런 환경 변화는 상부구간인 규조분대 Ⅳ (Unit Ⅲ~Ⅳ, 고도: 4.095~4.315m)의 규조군집조성에서 뚜렷이 나타난다. 본 구간에서는 peatbog에 흔한 *Cymbella, Eunotia, Gomphonema, Pinnularia* 등이 증가하고 해면골격화석이 풍부하게 산출된다. 이들 대부분의 종들은 다소 산성(acidic)이며 영양분이 많이 유입되는(eutrophic) 정체된 환경(standing water)과 관련이 있다(Hendey, 1964; Leira, 2005). 이와 같이 규조화석과 더불어 opal phytolith와 규질의 해면골격화석(sponge spicule)이 풍부하게 산출되는 것은 소택지는 점점 얕아져 육성환경으로 바뀐 것을 추정할 수 있다. 또한 육성환경을 지시하는 *Hantschia amphioxys*가 처음을 나타나므로 수심이 더욱 얕아져 대기중에 장기간 노출되었을 가능성도 있다. 약 5600년전 고도 4.265~4.692m구간에서는 규조화석이 거의 산출되지 않고 극소량의 용해된 규조화석이 산출된다. 퇴적층 또한 수직으로 발달하는 crack을 다량 포함하고 있어 퇴적환경이 건조화 된 것을 알 수있다. 수심이 매우 얕은 소택지가 대기중에 장기간 노출되어 육성환경으로 변화되면서 규조가 서식하기에 부적당한 환경으로 바뀌었을 것이다. 혹은 규조화석을 많이 포함한 소택지라 할지라도 대기중에 장기간 노출되면서 용해되었을 것으로 판단된다. 그러나 규조분대 Ⅴ(Unit Ⅴ~Ⅷ, 고도: 4.675~5.015m)에서는 *Aulacoseira* 와 *Fragilaria* 의 수가 다시 증가하므로 수심이 깊어졌음을 알 수 있다. 대기중에 장기간 노출되었다가 다시 강수량이 증가하면서 수심이 깊어진 것으로 추정된다.

퇴적학적 분석 결과 HY trench 퇴적물에서는 이탄층과 쇄설성 퇴적물이 교호하는 양상을 보인다. 이렇게 이탄층과 퇴적층 교호 양상은 해수면의 상승과 하강 주기에 따라 형성되는 것으로 보고되어 왔다 (e.g. Denys and Baeteman, 1995; Gehrels *et al.*, 1996; Dellwig *et al.*, 1998; Dellwig *et al.*, 1999; Gerdes *et al.*, 2003). 그러나 HY trench퇴적물은 현재 해수면 보다 높은 고도에 위치하고 있고 또한 산출되는 규조화석군집 조성을 보면 해성종의 산출이 극히 빈약하므로 해수면 변동과 관련짓기 어렵다. *Diploneis smithii, Cyclotella striata, Surirella fastuosa var. recendens, Nitzschia cconeiformis*와 같은 기수~해수역에서 사는 해성종들이 소량 산출될 뿐이다(>4%). 이들 해수종은 아산만의 대조차 (8.5m)로 인하여 육지내부까지 밀려온 것으로 추정된다. 그리고 본 연구지역의 지형적 특징은 낮은 구릉(해발 5.6m)으로 구릉들 사이에 발달한 소계곡들이 수지상 모양으로 뻗어 있으며 주로 남쪽과 서쪽으로 연결되어 아산만으로 통하고 있다. 아산만 주변의 소계곡 내에는 조수의 영향을 받아 퇴적된 실트질 점토로 구성된 조간대퇴적층이 발달하여 있으며 아산만은 대조차 (8.5m)로 인하여 육지내부까지 바다의 영향이 미치고 있는 곳이다 (이진희, 2003). 따라서 화양리 지역의 퇴적물에서 다양하게 나타나는 이탄층이 형성된 환경은 해수면 변동 보다는 담수와 육성 퇴적물의 유입 등에 따른 식생 변화가 이탄층 형성에 더욱 중요한 요인으로 작용한 것으로 보인다(Crowley and Gagan, 1995; Snedaker, 1995). 즉 호소성 습지에서 물의 흐름이 정체되면서 유기물이 다량 집적되어 이탄층이 형성된 것으로 보인다. Holocene climatic optimum 동안에 조밀하게 자란 식생의 뿌리가 물의 흐름을 방해하여 이탄층이 형성될 수 있는 환경을 만든 것으로 생각된다(Phillips and Bustin, 1998). 강수량이 증가하면 쇄설성

퇴적물의 침식과 퇴적이 우세하고, 강수량이 감소하면 상대적으로 식생 분포가 우세하게 되어 이탄층이 발달하게 된다(Wust and Bustin, 2004). 또한 규조종의 산출양상을 보면 수심의 변화로 인한 산화-환원 환경이 반복하여 나타나고 있다. 즉, 유기물이 집적되면서 수심이 얕아지고, 건조기후로 인해 퇴적면이 반복적으로 대기중에 노출되면서 일시적으로 산화 환경이 형성되다가 강수량이 증가하게 되면 수심이 깊어져 환원환경으로 변화되는 것을 알 수 있다 . 그러나 산출되는 종들 대부분은 온대(temperate)종으로 온난(warm), 한냉(cold)을 지시하는 종은 드물기 때문에 화양리지역의 고환경변화는 온도조건보다는 습도의 변화에 기인된 수심의 변화로 해석해야 될 것으로 판단된다. 동아시아 몬순의 영향으로 한랭 건조기후와 고온 습윤기후로 인한 강수량 증감이 수위변화를 가져온 것으로 생각된다(Zhou, et al., 2004).

5. 결론

규조분석결과 화양리 지역의 고환경 변화는 약 6000yr BP 인지된다. 홀로세 전기 동안에는 온난 다습한 기후로 인해 강수량이 증가하면서 다소 수심이 깊은 웅덩이 혹은 소택지에서 홀로세 중기~후기 동안 건조기후가 시작되면서 수위가 낮아져 peatbog로 변화된 것으로 생각된다. 이는 온도조건보다는 습도조건의 변화에 기인된 퇴적환경 변화로 판단된다. 약 6560 년 전, 6000년 전, 5200 년 전에 나타난 급격한 환경변화는 해수면 변동보다는 해수의 침투 등 일시적인 환경변화와 연구지역의 지형적 특성 및 강수량의 증감에 의한 수위변화와 관련이 있는 것으로 여겨진다.

참고문헌

류은영, 류병재, 윤혜수, 이성주, 2003. 규조화석군집을 이용한 동해 울릉분지의 후기 제4기 고환경. 지질학회지 39, 183-198.

이진희, 2003. 평택지역 토탄지의 대형식물화석에 관한 연구. 충북대학교 석사학위논문 44 p.

황상일, 윤순옥, 조화룡, 1997. Holocene 중기에 있어서 도대천유역의 퇴적환경변화. 대한지리학회 32(4), 403-420.

Beuselinck, L., Govers, G., Poesen, J., Degraer, G., Froyen, L., 1998. Grain-size analysis by laser diffractometry: comparison with the sieve-pipette method. Catena 32, 193-208.

Bragg, O.M., Tallis, J.H., 2001. The sensitivity of peat-covered upland landscapes. Catena 42, 345-360.

Crowley, G.M., Gagan, M.K., 1995. Holocene evolution of coastal wetlands in wet-tropical northeastern Australia. Holocene 5, 385-399.

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.

Dellwig, O., Watermann, F., Brumsack, H.J., Gerdes, G., Krumbein, W.E., 2001. Sulphur and iron geochemistry of Holocene coastal peats (NW Germany): a tool for palaeoenvironmental reconstruction. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 167, 359-379.

Denys, L., 1988. Fragilaria blooms in the Holocene of the western coastal plain of Belgia. 10th diatom -Symposium. 397-406.

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.
Eronen, M., 1996. Climatic changes during the Holocene. In: Lappalainen, E. (Ed.), Global Peat Resources. International Peat Society, Jyvaskyla, Finland. 37-52 p.
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.
Hendey, N.I., 1964. An introductory account of the smaller algae of British coastal waters. Fishery Investigations Series VI, HMSO, London, 317 p.
Hustedt, F., 1930. Die Kieselalgen Deutschlands, Osterreichs und der Schweizz mit Berucksichtigung der ubrigen Lander Europas yowie der angrenyenden Meeresgebiete. Rabenhorst, L. (ED), Krzptogamenflora von Deuschand, Oaterreich und der Schweiz. v. 7, Pt. 1: Leipzig(Akademische Verlagsesellschaft).
Leira, M., 2005. Diatom responses to Holocene environmental changes in a small lake in northwest Spain. Quaternary International 140-141, 90-102
Mölder, K., Tynni, R., 1943. Studien uber die Ökologic und Geologie der Bodendiatomeen in der Pojo-Bucht. Annales Botanici Societatis Zoologicae-Botanicae Fennicae Vanamo 18, 1-204.
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.
Pilskaln, C..H., Johnson, R., 1991. Seasonal signals in Lake Malawi sediments. Limnology and Oceanography 36, 544-557.
Snedaker, S.C., 1995. Mangroves and climate change in the Florida and Caribbean region: scenarios and hypotheses. Hydrobiologia 295, 43-49.
Stabell, B., 1985. The development and succession of taxa with the diatom genes *Fragilaria* Lyngbye as a response to basin isolation from the sea. Boreas 14, 273-286.
Wolin, J.a., Duthic, H. C., 1999. Diatom as indicators of Water-Level Change in freshwater lakes. In: The diatoms applications to the environmental and earth sciences, E.F. Stomer and J.P. Smol (eds.),Cambridge University press. 183-202.
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. Palacogeography, Palacoclimatology, Palacoccology 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.