

강원도 동해안(송지호) 해안퇴적층의 제4기 후기 층서와 중광물

박 용 안 · 박 영 후
서울대학교 해양연구소

Late Quaternary Stratigraphy and the Heavy Minerals from Deep Cored Sediments along the Coastal Deposits, Songji Lagoon, Eastern Coast, Korea

Yong Ahn Park and Young H. Park

Ocean Research Institute, Seoul National University, Seoul, 151-742, Korea

요 약

강원도 동해안 송지호(석호: lagoon)의 해안 퇴적층(석호입구 사립 퇴적층)에서 실시된 심부 시추 퇴적층에 대한 퇴적학적인 제4기 후기 층서설정과 환경연구 결과가 현세 해수면 상승곡선이 서로 대비되어 해석되었다. 중광물 함량의 변화가 퇴적층서 단위별로 차이를 나타내는 사실은 육성 퇴적 환경에서 해안 해변 환경으로의 진화과정을 뒷바침한다.

ABSTRACT

The deep cored sediments of the beach spit deposit in the inlet of the Songji lagoon(lake) have been studied in terms of the late Quaternary stratigraphy and relationship of the Holocene sea-level curve. Furthermore, the total content of heavy mineral sands from the established stratigraphic units(Unit I, II and III) varies due to the changes of depositional environments from continental to marine condition.

서 론

우리나라 동해안(고성 근역)의 쇄설 입자성 광물자원 즉, 중광물(heavy mineral) 사광상 자원의 기존 탐사 연구결과는 매우 희귀한 자료로 인식되고 있으며 기초학술적인 측면의 연구는 비교적 빈약한 것이 사실이다.

따라서, 본 연구의 목적은 우리나라 연근해안(동해안)에 풍부하게 분포하고 있는 쇄설성 사립 퇴적물질에 관한 퇴적학적 연구로서 해변 사주(spit) 퇴적체의 심부 시추퇴적층(송지호: lagoon에서 시추됨)을 연구상으로 하였다.

우리나라의 쇄설입자 퇴적물질로서의 사광상의 분포는 광종별로 4개 또는 5개 형태로 구분되고

본 연구는 해양수산부가 처음으로 시작한 Sea Grant의 연구비(2000년도) 지원사업에 의하여 수행되었음.

있으며, 이들은 각각 사금광형, 티탄사철형, 모나자이트 및 저콘사철형이며, 또는 모나자이트, 티탄, 저콘, 사철광 등 혼합 중사광상형(e.g. 동해안 고성 중사광)이다(김원조, 1969). 이 중에서 해안 퇴적체에 부존하는 경기도 용진군 일원의 모나자이트 광상구, 전라남도 무안군 일원의 규사 광상구 및 강원도 간성 일원의 혼합식 중사광상이 있다.

연구지역개관과 연구자료

연구지역의 지질은 소규모로 분포하는 선캠브리아기 경기편마암복합체의 준편마암류와 정편마암류를 기저로 하며, 이를 관입하는 중생대 주라기의 반상 각섬석-흑운모화강암이 주로 분포한다(한국자원연구원, 1998).

본 연구지역에서의 해안지층은 위에 기술된 기반암지층을 부정합적으로 피복하는 제4기후기 쇄설퇴적물이며 해변(beach)과 석호(lagoon)의 퇴적환경을 분명하게 지시하는 바, 이러한 퇴적층에 대한 심부시추(기반암까지 시추함을 의미함)의 위치는 다음 Table 1과 같다.

시추작업은 동아건설터트(주)시추팀에 의하여 시공되었으며, 회전식 시추방식에 의해 케이싱을 1.5m 간격으로 설치한 후 시추코아(퇴적물)를 회수하는 방식에 의해 진행되었다. 채취된 코아시료는 PVC 파이프에 보관한 후 실험실에서 2개편으로 절개하였으며, 각 시추 퇴적물에 대해 육안으로 관찰되는 색상, 퇴적구조, 입자크기, 유기물, 패각, 함수율 및 광물조성 변화 등을 관찰하여 자세히 기재하였다.

입자분석(size analysis) 및 광물조성

2개편으로 절개된 시추코아에서 입자분석을 목적으로 다시 10~20cm 간격으로 subsample 되었

Table 1. Location of deep drill site

시추	위도	경도	고도	시추 깊이	지역
SJ-1	38° 20' 00. 36244" N	128° 31' 10. 97659" N	4.238	25.5m	송지호

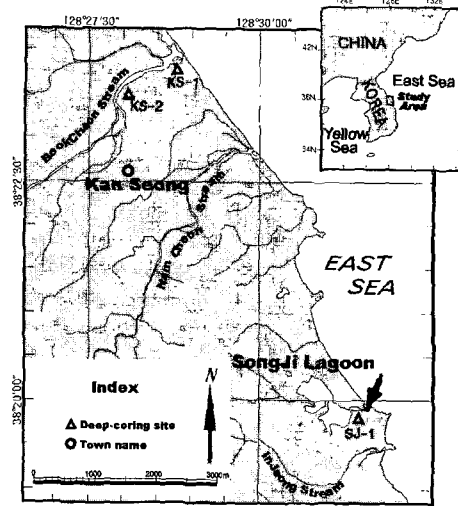


Fig. 1. Map showing the study area and deep drill site.

으며, 퇴적물의 입자분석(size analysis)은 Ingram (1971)의 분석 방법에 따라 실시되었다. 세립사(2~3파이) 퇴적물 입자는 쌍안 실체현미경 하에서 중요 광물별로 함량(%)분석하였다.

중광물분석

입자분석 한 시료 중 1~2φ 구간의 시료에 대하여 비중시험을 실시하였으며, 일반적으로 중요 중광물은 다음 Table 2와 같이 그 비중이 2.9 이상 이므로 중액(3Na₂WO₄ · 9WO₃ · H₂O, Sometusa)의 비중은 3.0에 맞춰 비중분석을 실시하였다 (Table 2).

중광물 추출을 위한 중액처리 과정은 다음과 같다.

- (1) 증류수에 SPT(sodium polytungstate)를 시료가 응집되지 않도록 양을 조절하면서 교반기에서 저어주면서 조금씩 용해한다.
- (2) SPT가 포화상태(비중 3.0)가 될 때까지 중액가루를 용해시킨 후, 메스실린더에 중액을 부어 무게를 달아 중액의 비중을 확인한다.
- (3) 이렇게 생성된 중액(SPT solution)을 분별 깔대기(separatory funnel)에 1/2이 차게

Table 2. Density of major heavy minerals

중광물	자연금	모나자이트	저어콘	티탄철석	자철석	석류석
비 중	15.6~19.3	4.9~5.3	4.7	4.6~4.9	5.2	3.6~4.3

Table 3. Magnetic intensity of major minerals (Rosenblum, 1958)

자성강도(A)	광물의 종류
비자성광물	저어콘, 인회석, 섬아연석, 석영, 석식
1.0 이상	홍주석, 금홍석
0.5~1.0	모나자이트, 스피넬, 전기석, 적철석
0.3~0.5	녹염석, 전기석, 제노타입, 흑운모, 휘석, 각섬석, 석류석
0.1~0.3	석류석, 티탄철석
0.1 이하	자철석

붓고, 서서히 시료를 분별깔대기에 붓고 시료가 비중에 의해서 분리될 수 있도록 흔들어 주며, 약 1일을 기다린다.

- (4) 중광물이 가라 앉으면 마개(pinch-cock)를 열어 중광물만 여과지에 분리한 후, 경광물

만 있을 때 마개를 닫는다.

- (5) 이때 여과지를 통과한 중액은 비이커에 다시 모아 증탕하여 재활용한다.
- (6) 추출된 중광물은 증류수로 여러 번 수세하여 중액을 희석시킨다.

자력시험

중액에 의해 선별된 중광물 시료중 편광현미경 하에서 감정이 어려운 불투명 광물(opaque mineral)로서의 자력광물은 자성에 의해 분리하였다. 즉, 막대자석(hand magnet)을 이용하여 분리하고 중량을 측정하였다. 일반적인 자성의 강도에 의해 구분되는 광물은 Table 3과 같다.

현미경 감정

자력시험을 마친 후 남은 중광물 시료에 대해서

SJ - 1

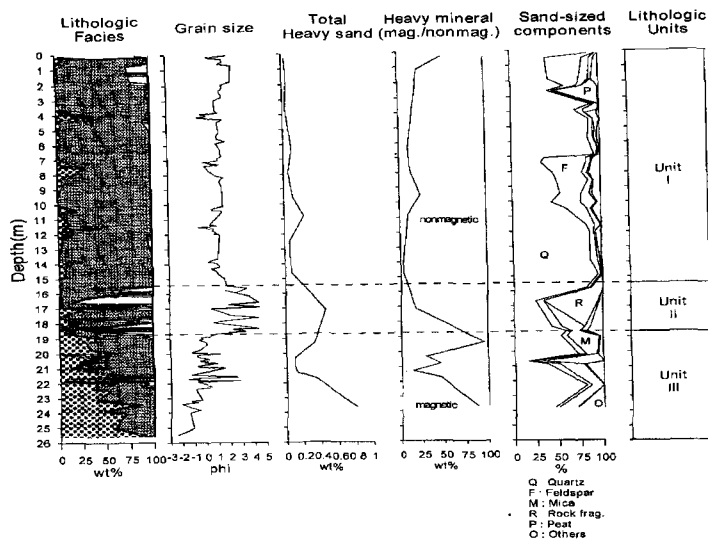


Fig. 2. Late Quaternary litho-stratigraphy of the Songji coastal deposits.

편광현미경(Leica DMRX, $\times 50$) 하에서 결정의 형태, 색, 굴절율, 소광각, 간섭색 등에 의해 중광물을 감정하였다.

연구결과

퇴적층서단위(depositional stratigraphic units)와 중광물

송지호(lagoon)의 사주에서 시추된 25.5 m 두께의 퇴적층은 퇴적상(facies)의 특징(입자조적과

퇴적구조 및 색)에 근거하여 크게 3개의 퇴적층서단위로 구분될 수 있다. 즉, 상부로부터 Unit I, II, III로 구분되었으며, 광물조성(중-경광물)에 근거하여 소단위로 다시(6개의 소단위) 세분되었다(Fig. 2).

Unit I: 0.0~15.0m(두께 15.0m)의 퇴적층은 중·경 광물조성에 기초하여 다시 2개의 소퇴적단위로 분류된다. Unit Ia는 0.0~7.0m(두께 7.0m) 구간으로 greenish gray(5GY 4/1), dark grayish brown(5YR 3/2)의 색을 띠며 medium sand와

Table 4. Light mineral component of the Songji coastal sediments(Unit I)

Unit	심도 (m)	구성 광물(%)				
		석영	장석	운모	압편	기타 광물
Ia	0.2	88.0	8.0	1.0	2.0	1.0
	0.5	40.0	42.0	8.0	5.0	5.0
	1.9	43.0	35.0	11.0	3.0	8.0
	2.3	60.0	14.0	6.0	0.0	20.0
	2.6	41.0	5.0	3.0	0.0	51.0*
	3.5	90.0	4.0	5.0	0.0	1.0
	3.9	72.0	9.0	17.0	0.0	2.0
	4.1	76.2	7.1	0.4	13.0	3.3
	4.5	87.7	4.9	0.0	7.1	0.3
	5.2	87.5	4.3	2.7	2.7	2.8
	5.7	86.0	6.3	0.9	3.4	3.4
	6.4	90.3	6.8	0.4	1.7	0.8
	6.9	93.5	2.4	0.8	0.8	2.5
Ib	7.1	37.0	47.0	6.0	2.0	8.0
	7.4	33.0	51.0	5.0	1.0	10.0
	8.1	46.0	33.0	6.0	2.0	13.0
	8.6	50.0	36.0	5.0	1.0	8.0
	9.5	54.0	24.0	9.0	3.0	10.0
	10.1	44.0	33.0	18.0	1.0	4.0
	10.5	61.0	23.0	4.0	2.0	10.0
	11.6	83.2	9.2	6.9	0.8	0.0
	11.9	86.3	5.1	1.7	6.0	0.9
	13.9	87.1	8.1	2.7	1.1	0.5
	14.5	91.7	5.0	0.8	0.8	1.7
	14.9	94.8	3.3	1.3	0.0	0.7
	15.8	81.9	3.4	2.0	12.8	0.0

* 대부분 peat임. 모래입자는 2파이.

granule이 우세하다. 하부의 Unit Ib는 7.0~15.0 m(두께 8.0 m)의 구간으로 light olive gray (5Y 6/1), dark greenish gray(5GY 4/1)의 색을 띠며, medium sand가 우세하며 granule이 산포한다. 일 부분에서는 granule이 우세한 경우도 있다. Unit Ia와 Ib의 구분은 구성광물의 분명한 변화에 의한 것으로 Unit Ia의 하부에서 석영의 함량은 86.0~93.5 %을 보이며, 장석의 함량은 2.4~6.8 %이고, Unit Ib의 상부에서 석영의 함량은 33.0~54.0 %, 장석은 24.0~51.0 %이다. 즉, Unit Ia와 Ib의 경계는 분명하게 구분된다(Fig. 2 and Table 4).

Unit II: 시추깊이 심도 15.0~18.7 m(두께 3.7 m) 퇴적층은 조직변화와 퇴적구조의 차이에 근거하여 2개의 소퇴적단위 Unit IIa, Unit IIb로 구분되었다. Unit IIa는 15.0~16.1m(두께 1.1 m)의 퇴적층으로 grayish olive(10Y 4/2) 색을 띠고 silty sand와 medium sand가 우세하며 sand층과 silty sand층이 서로 교호하는 평행한 엽리구조를

나타낸다. Unit IIb는 16.1~18.7 m(두께 2.6 m) 구간의 퇴적층으로 light greenish gray(5Y 6/1), light olive brown(5Y 5/6) 색의 mud층이 박층으로 서로 교호되는 평행한 엽리구조를 나타낸다. Unit IIa에서의 석영 함량은 24.6~58.2 %이고 기타 광물이 5.2~25.5 %로 비교적 높다(Fig. 2 and Table 5).

Unit III: 시추깊이 18.7~25.5 m(두께 6.8 m)의 퇴적층이며, 퇴적구조의 변화에 따라 2개의 소퇴적단위로 나누어진다. Unit IIIa는 18.7~21.8 m(두께 3.1 m)의 퇴적층으로 grayish brown(5YR 3/2)의 암색을 띠며, 분급이 매우 불량한 gravelly sand로 구성된다. Unit IIIb는 21.8~25.5 m(두께 3.7 m)의 퇴적층으로 상부의 Unit IIIa와 같은 암상을 보이나, Unit IIIa와는 다르게 sand lamina의 교호구조가 없다. Unit IIIa와 IIIb의 경계에서 석영의 함량이 37.7 %에서 80.7 %로, 장석은 13.0 %에서 5.3 %로, 운모는 26.7 %에서 14.0 %로, 기타광물이 20.5

Table 5. Light mineral component of the Songji coastal sediments(Unit II)

Unit	심도 (m)	구성 광물(%)				
		석영	장석	운모	암편	기타 광물
II	16.7	24.6	9.0	0.0	61.2	5.2
	18.4	42.4	11.3	25.7	0.4	20.2
	18.7	58.2	5.7	10.2	0.4	25.5

* 모래입자는 2파이.

Table 6. Light mineral component of the Songji coastal sediments(Unit IIIa and IIIb)

Unit	심도 (m)	구성 광물(%)				
		석영	장석	운모	암편	기타 광물
IIIa	19.0	52.6	6.9	35.6	0.8	4.8
	20.2	72.4	8.3	12.8	0.6	5.9
	20.7	14.8	3.1	13.0	0.0	69.1
	20.9	37.7	13.0	26.7	2.1	20.5
IIIb	22.3	80.7	5.3	14.0	0.0	0.0
	23.8	45.1	4.6	20.2	0.8	29.3

* 모래입자는 2파이.

Table 7. Total content of heavy minerals and count percent of each heavy mineral from the SJ-1 sediments

심도 (m)	중사품위 (%)	중사중 광물별 품위(%)						
		Magnetite	Ilmenite	Garnet	Monazite	Zircon	Rutile	Etc.
0.3	0.03	51.5	12.3	5.9	1.5	2.8	1.3	24.6
1.2	0.05	23.1	25.6	4.0	0.0	3.5	3.8	40.0
3.7	0.03	16.8	20.5	5.1	1.5	0.0	9.8	46.3
6.3	0.10	11.3	14.5	14.8	1.8	2.0	3.0	52.6
7.8	0.05	13.3	17.4	7.0	1.9	3.5	0.0	57.0
8.5	0.10	24.7	15.1	7.8	1.2	3.2	3.4	44.7
9.5	0.23	10.5	18.6	7.2	2.4	5.4	3.6	52.4
10.8	0.06	7.4	21.6	8.2	2.0	1.3	6.2	53.3
12.5	0.07	3.0	22.6	7.5	2.7	4.2	2.1	57.8
14.6	0.46	17.7	21.9	5.7	2.4	1.1	2.4	48.7
17.2	0.33	95.7	0.6	0.0	0.0	0.1	0.0	3.6
19.3	0.09	29.1	20.7	0.5	0.3	0.8	0.8	47.9
20.3	0.09	44.7	19.7	0.9	0.0	1.2	0.5	32.9
20.8	0.12	13.1	43.9	2.9	2.6	10.7	0.0	26.7
21.7	0.34	44.8	21.7	0.0	0.0	0.0	0.0	33.5
23.7	0.80	87.5	3.3	0.6	0.2	0.3	0.0	8.1

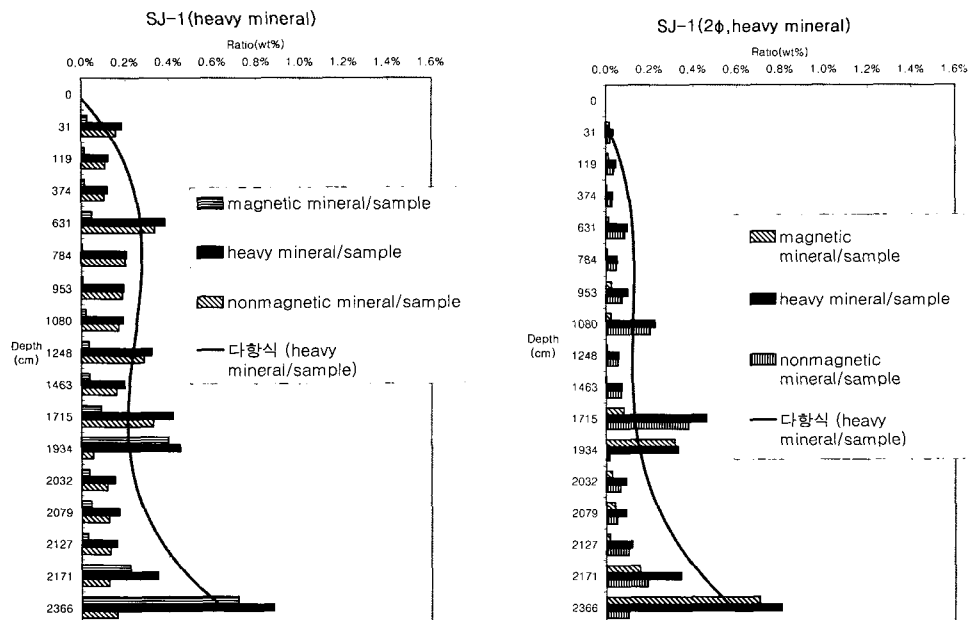


Fig. 3. Tendency of the total heavy minerals (magnetic/nonmagnetic) from the SJ-1 sediments.

%에서 0.0 %으로 급격히 변한다(Table 6).

중광물(Heavy mineral): 송지호(lagoon) 해안 퇴적층(SJ-1)의 중광물은 자철석, 티탄철석, 석류석, 모나자이트, 저어콘, 기타 광물로 분류되었다. 경광물 대비 총중사(중광물)의 양은 다음 Table 7과 같다. 즉, SJ-1 시추퇴적층(체)의 퇴적층서 단위별 중사(중광물)의 품위(weight %)를 분석하면, Unit I에서 0.03~0.06 %로 가장 낮은 품위이며, Unit II에서 0.33 %, Unit III에서 0.09~0.80 %로 가장 높다. 결론적으로, 하위 층서의 퇴적물로 갈수록 품위는 대체로 높아지는 경향을 확인하였다. 다음 각 퇴적단위별로 중사의 부존상황을 살펴보면, Unit III에서 가장 높은 품위를 보이며, Unit I에서 가장 낮은 중사(heavy mineral sand) 품위를 보인다(Fig. 3).

퇴적환경 해석과 토의

송지호(석호:lagoon) 입구의 사주퇴적층(spit)

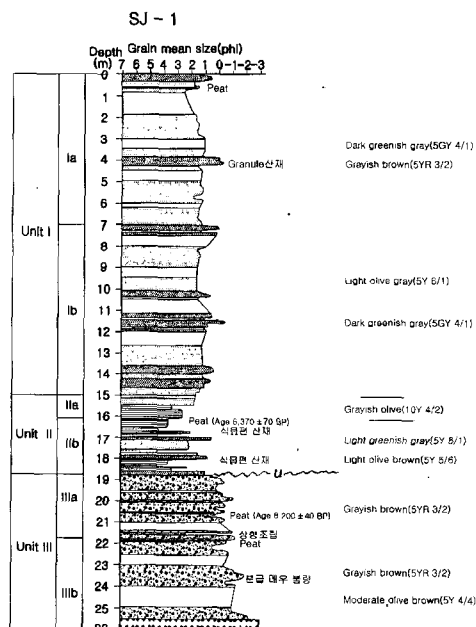


Fig. 4. Late Quaternary stratigraphy with key age datings from the SJ-1 deep core sediments.

에서의 심부시추(25.3m 깊이의 기반암 경계) 자료에 대한 퇴적층서단위의 경계설정은 10cm~20cm 간격의 퇴적물 시료의 퇴적학적 분석에 근거하여 가능하였다. 이미 앞에서 기술된 바와 같이, 송지호 입구의 사주퇴적층(체)는 3개의 퇴적층서단위로 크게 분류되며, 6개의 작은 단위로 세분되었다. Fig. 4에 제시된 Unit IIIa 퇴적층에는 14C의 연령측정이 가능한 토탄시료(시추깊이: 평균해수면하 19m)가 채취되었고 이 시료는 서울대학교 MAS 실험실에서 분석되었다. 연령측정값은 8200 yr. BP이고 calenda year는 7200yr. BC이다. 그런데, Unit IIIa 퇴적단위의 퇴적상은 자갈함유 우세한 육상의 층적층 퇴적환경을 의미한다. Daria et al.(2000)의 최근 연구결과인 Holocene sea level curve에 Unit IIIa의 토탄연령을 대비하거나, Park and Yi(1995)에 대비할 경우에도 Unit III의 퇴적층은 육지 퇴적환경의 쇄설 퇴적층이며 바닷물의 지배에 의한 해성층이 아니다. 이 지층단위의 토탄연령은 현세(Holocene) 해수면 상승곡선(Daria et al.,2000, Park and Yi, 1995)에 대비할 가치가 있다. 즉, 퇴적층서단위 Unit III의 퇴적환경을 현세해수면 상승곡선(Holocene sea-level curve)과 비교하여 토의할 필요성이 있는 것이다. 그런데, 현재의 송지호는 해안의 지형조건과 해양과학적 자료에 근거하면, 분명히 석호(lagoon)로서의 분지해안환경을 유지하고 있으며 해수와 담수가 혼합되는 환경이다. 따라서 현재의 송지호는 석호로서의 환경으로 변이된 시기는 언제인가? 하는 질문은 매우 흥미로운 것이다. 결론적인 층서학적 관계는 Unit III가 육성퇴적층으로서 Unit II에 의하여 부정합적으로 피복되는 것이다(Fig. 4).

Fig. 4의 퇴적층서단위 주상도자료에서 이해될 수 있는 내용으로서 Unit II (4m 두께)은 식물조각이 산재하고 있는 세립 이토퇴적물이 우세한 것으로 특징 지워지는 전체적인 퇴적상을 나타낸다. 즉, Unit II는 호수적인 퇴적환경의 지배에 의하여 퇴적된 퇴적층이라는 것이다. 이 시기부터 현재의 송지호가 지형적인 해안 분지로서의 석호환경의 모습을 갖추기 시작하였다고 해석된다. 즉, 현

재의 송지호 모습으로 해안 분지를 형성하게 된 것은 동해의 해변발달과 사주(spit)가 옛 송지호의 입구를 만들고 이때부터 현재 송지호(석호: lagoon) 모습을 계속 유지하여 왔다고 해석된다. Unit II의 토단 시료 분석과 14C의 년령측정(서울대학교 AMS 연구실)은 $6370 \pm 70BP$ 이므로, Daria et al.(2000)과 Park and Yi(1995)의 현재 해수면 상승곡선에 비교하였을 때, Unit II는 해변사주의 발달로 인하여 석호가 형성되는 해안환경에서 퇴적된 세립퇴적층인 것이다.

그후 계속되는 현재 해수면 상승으로 송지호(lagoon)의 환경은 지속되는 동안 석호입구(inlet) 부분을 이루는 해변사주(beach spit)는 overwash process와 longshore drift에 의하여 성장함으로써 Unit I의 퇴적층서단위가 발달되고 진화되었다고 해석되는 것이다.

결론

동해안 해변퇴적층과 사주(spit)퇴적층에 대한 제4기후기 층서설정과 퇴적환경의 연구가 송지호(석호:lagoon)의 입구(inlet)에 해당하는 사질퇴적층의 심부시추(25.5 m 길이) 퇴적층을 대상으로 수행되었다. 본 연구의 일부분의 연구결과가 이 논문에 발표되었으며, 계속되는 연구진행에 따라 더욱 중요한 결과가 발표될 것이다.

송지호 lagoon inlet의 퇴적체(층)의 층서퇴적학적 연구의 중요내용과 결과는 다음과 같다. 퇴적층서단위는 Unit I, II 및 III로 설정되었고, 이러한 퇴적단위층을 현재 해수면 곡선과 비교하면서, 특징적 퇴적상 근거하여 해석하였다. 즉, Unit III은 육상의 충적층(alluvio-fluvial deposit)이며 해성층인 Unit II에 의하여 부정합적으로 피복된다. Unit II의 퇴적환경은 해안지형과 해수면의 관계에 따른 반담수의 퇴적분지인 석호(lagoon)의 환경으로 변이 된 것이다. Unit I은 해변 환경으로서의 사주(spit) 퇴적층인 바, 성장(accretion)과 해침(transgression) 과정이 지배적인 환경에서 진화된 것으로 해석된다.

사사

심부 시추(기반암까지 시추함)의 새로운 기술을 개발한 동아 컨설턴트(주)의 최병훈 부장의 기술팀에게 감사한다.

참고문헌

- 김원조, 1969. 한국의 사광상. 광산지질, 2권 3호, p. 26-36.
- 김정무, 박병권, 김대철, 김길영, 1999. 유공층과 안정 동위원소에 의한 지난 24,000년 동안의 동해 울릉분지 고해양 변화, J. Palenont. Soc. Korea, V. 15, No. 1, p. 1-20.
- 대한광업진흥공사, 1988. 간성 58호 광산 시추조사 보고서, p. 1-22.
- 박병권, 김원형, 1981. 동해안 석호퇴적환경에 대한 연구, 지질학회지 제17권 제4호, p. 241-249.
- Daria L. Nikitina, James E. Pissuto, Reed A. Schwimmer, Kelvin W. Ramsey, 2000. An updated Holocene sea-level curve for the Delaware coast, Marine Geology, v. 171, p. 7-20.
- Ingram, R.L., 1971. Sieve analysis; In., Carver, R. E edited. Procedures in sedimentary petrology, Willey-Inter science.
- Oba, t., Horibe, Y & Kitazato, H, 1980; Analysis of the paleoenvironment since the last glacial age based on two cores from the Japan Sea. Archeol. Nat. Sci., v. 12, p. 31-49.(in Japanese with English abstract).
- Park, Y.A. & Yi, H. I., 1995. The Holocene Cycle, Jour. Coastal Researches.

(Accepted: 3th December, 2001)