

복모드 대륙붕 퇴적물의 퇴적환경 연구: 한반도 남해대륙붕

방효기* · 민건홍* · 오재경**

*한국자원연구소

**인하대학교

Sedimentary Environment of Bimodal Shelf Sediments: Southern Continental Shelf of Korean Peninsula

HYO KY BAHNG*, GEON HONG MIN* AND JAE-KYUNG OH**

*Korea Institute of Geology, Mining and Materials, P.O. Box 14 Taedok Science Town,
Taejon 305-350, Korea

**Dept. of Oceanography, Inha Univ., Incheon 402-751, Korea

한반도 남해 대륙붕의 표층퇴적물 216개에 대한 모드분석을 실시하였다. 수심 70~100 m에 분포하는 사니질 또는 니사질 혼합퇴적물은 복모드형(모래요소와 찰요소)을 나타낸다. 분리한 요소의 조직변수들은 현재 천해저 퇴적물에서 이미 인정된 입도조직변수간의 상관관계와 잘 일치한다.

복모드형 가운데 모래요소의 특징은 다음과 같다. (1) 모래요소의 평균입도, 분급도, 패각편 함량 분포는 등수심선과 유사한 방향으로 반복성을 보인다. (2) 모래요소는 다량의 패각편, 약간의 잔자갈과 산화된 석영(iron-stained quartz)을 포함하는 중립 또는 세립사(Mz, 1-3φ)로 구성되어 있다. (3) 석영(quartz)입자의 표면에는 높은 에너지 환경에서 형성된 조가비 모양(conchoidal breakage feature), "V"자형구조(V-shaped feature)가 잘 발달하고 있다. (4) CM-pattern에서 모래요소는 rolling과 bottom suspension구간에 도시되었다. 이러한 특징들은 모래요소가 해수면이 낮았던 시기에 해변환경에서 퇴적된 해안전면(shoreface) 퇴적물임을 지시한다.

복모드형 가운데 찰요소의 특징은 다음과 같다. (1) 찰요소는 극세립질 실트와 점토(Mz, 8.2φ)로 구성되어 있다. (2) 찰요소의 함량과 평균입도는 수심 70 m 이하에 분포하는 단모드 찰형(섬진층)으로부터 외해로 갈수록 점차 감소하는 경향을 보인다. (3) CM-pattern에서 찰요소는 uniform suspension구간에 도시되었다. 이러한 특징들은 섬진강으로부터 기원된 세립질 부유퇴적물이 대부분 단모드 찰형분포 해역에 퇴적되었으며, 더욱 세립한 찰요소가 외해로 이동되고, 해안전면퇴적물의 특징을 보이는 모래요소와 혼합된 것임을 지시한다.

해수면 상승으로 인한 퇴적환경 변화는 대륙붕퇴적물에 많은 영향을 주었으며, 입도분포는 환경변화를 반영하고 있다. 복모드를 보이는 대륙붕퇴적물의 퇴적환경 규명은 모드를 분리하고 각 모드의 환경을 추적하는 것이 타당하다는 결론을 얻었다.

The modal analysis was carried out for the total of 216 surface sediments of southern continental shelf of Korean peninsula. Sandy mud or muddy sand distributed in the range of 70~100 m water depth revealed the bimodal type(sand and mud components). The relations of textural parameters obtained from every modal were consistent with those of shallow marine sediments.

The characteristics of sand component between bimodal were as follows: (1) The distributions of mean grain size, sorting, shell content were repeatedly distributed like the directions of depth contour lines. (2) Sand component was composed of medium to fine sand (Mz, 1-3φ) containing many shell fragments, a few pebbles, and iron-stained quartz. (3) The surface of quartz revealed the conchoidal breakage and V-shaped features formed at high energy environment. (4) In CM-pattern, sand component was plotted in rolling and bottom suspension area. These characteristics imply that sand component probably derives from shoreface sediments deposited at the beach environment

during the lower sea-level.

The characteristics of mud component between the bimodal were as follow: (1) Mud component was composed of very fine silt and clay(Mz, 8.2φ). (2) The contents and mean grain size gradually reduce from unimodal mud(Sumjin Deposits) distributed in the lower than 70 m water depth to seaward. (3) In CM-pattern, mud component was plotted in uniform suspension area. These suggest that suspended fine sediments supplied from Sumjin River had been deposited most at the unimodal mud, and much finer transported to seaward and mixed with sand components characterized by shoreface sediments.

Change of sedimentary environment due to the sea level rise has influenced the shelf sediments, and grain size distribution reflect the history of sedimentary environment. Modal analysis for the shelf sediments which are characterized by bimodal can be used as a tool to know the the sedimentary environment.

서 론

전세계 대륙붕 퇴적물은 약 70%가 잔류(relict)퇴적물로 이루어져 있으며, 이들 퇴적물은 현재의 퇴적환경하에 놓여 있지만 현재와 다른 퇴적환경에서 퇴적되었다(Emery, 1968). 대륙붕 퇴적물은 일반적으로 몇가지 요인, 즉, (1) 대륙의 해저지형, (2) 현재 또는 해침기간 동안의 퇴적물 공급율, (3) 기후, (4) 해수면 상승속도등과 관계를 가진다(McKinney and Friedman, 1970).

현재까지 한반도 남해 대륙붕에 대한 많은 퇴적학적 연구가 수행되어 왔다(김 등, 1983, 1985, 1986, 1987; Park, 1985; 박 등, 1987). 해안으로 부터 수심 70 m 사이에는 함수율이 매우 높고, 최대 퇴적층후가 약 30 m에 이르는 섬진층(Sumjin Deposits)이 분포하고 있다. 섬진층은 현재와 유사한 해수면 위치에서 섬진강으로부터 유입된 부유퇴적물이 퇴적되어 형성되었다(박 등, 1987; 민, 1994). 외대륙붕은(수심 100 m 이상) 산화된 석영(iron-stained quartz)을 포함하는 중립 내지 세립사가 분포하며, 해수면이 낮았던 현세 초기에 해빈환경에서 퇴적된 잔류 퇴적물로 연구된바 있다(김 등, 1983). 그러나 수심 70~100 m 사이에 넓게 분포하는 사니질과 니사질, 혼합퇴적물은 퇴적물의 입도분포가 연구되었을 뿐 퇴적환경 및 퇴적기작에 대한 연구는 미비한 상태이다. 본 연구의 목적은 이들 혼합퇴적물에 대한 모드분석을 실시하고, 각 모드에서 구한 조직변수와 퇴적물의 특성을 이용하여 퇴적환경을 규명하는 것이다.

그 결과로서 한반도 남해대륙붕에 분포하는 혼합 퇴적물은 입도빈도곡선상에 복모드형(모래요소의

벨요소)을 보이며, 서로 다른 퇴적환경에서 퇴적된 요소들의 혼합으로 해석된다. 모래요소는 해수면이 낮았던 시기에 파랑과 조류의 영향을 받으며 퇴적된 해안전면(shoreface)퇴적물로 해석되며, 벨요소는 현재와 유사한 해수면 위치에서 강으로부터 부유상태로 유입된 세립질 퇴적물로 해석된다.

재료 및 방법

본 연구에 이용된 시료는 1982, 1983, 1985년 연근해저지질연구 목적으로 한국동력자원연구소에서 채취한 표층퇴적물이다. 표층퇴적물은 그림형 시료 채취기에 의해 7.2 km 간격으로 총 216개 정점에서 채취되었다(Fig. 1). 한편, 연구해역의 모드특성과 비교하기 위해 현재 조류(tidal current)와 파랑(wave)의 영향을 받고 있는 경기만과 한반도 동 서해안의 해빈(경포대, 봉평, 대진, 만리포, 대천, 베가만)에서 총 424개의 표층퇴적물이 채취되었다.

채취된 시료는 입도분석을 위하여 40~50 g이 취해져 회석방법에 의해 용해성 염분이 제거되고, 10% H₂O₂로 처리 되었다. 이 시료는 62.5 μm(4φ)의 체를 사용하여 조립부와 세립부로 나눈 후, 조립부는 1φ 간격으로 sieve shaker를 사용하여 건식체질 되었고, 세립부는 피펫방법으로 1 간격으로 분석되었다(Folk, 1968). 얻어진 입도별 중량백분비로 입도별빈도곡선을 작성하고 모드분석을 실시하였다.

사질퇴적물은 퇴적환경규명을 위하여 각 시료의 모래입자(-1-4φ)에서 석영(quartz)을 골라 주사전자현미경(SEM)으로 표면조직(surface texture)이 관찰되었다(Krinsley and Doornkamp, 1973). 시료는 금(gold)으로 코팅(coating)되었으며, 사용된 기계는

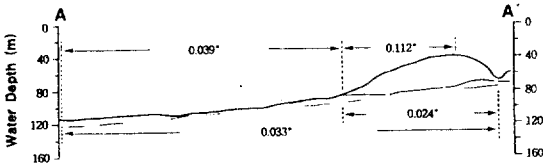
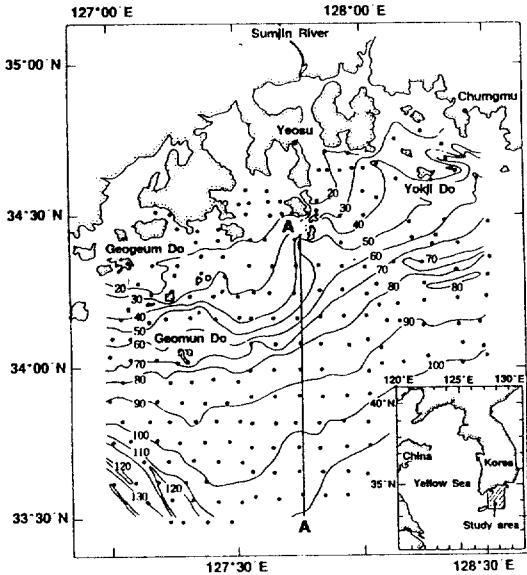


Fig. 1. Bathymetric map(upper) and inclination(lower) of the southern continental shelf of Korean peninsula. Solid dot denotes sampling sites. Contours in meters.

Philips SEM 505 with EDAX pv9100/60 전자현미경이다. 전자현미경의 배율은 약 4000배로 하였다. 퇴적물 내의 패각편 함량은 조립부를 건식체질하기 전에 10% HCl로 처리하여 패각편을 제거한 무게와 원래의 무게의 차이로 구하였다.

연구해역

연구해역은 북위 33°30'~35°00', 동경 127°00'~128°30'이다(Fig. 1). 연구해역의 북쪽은 암반돌출부로 이루어진 복잡한 해안선이 발달해 있다. 도서들의 사이에는 수심 40 m 이상의 수로들이 형성되어 있으며, 강한 조류에 의해 수로바닥이 침식되어 수로의 중앙부에는 대부분 암반이 노출되어 있다(장 등, 1980). 만의 해저지형은 비교적 평탄하고 조류에 의한 해저현상(moat)이 발달하여 있다(Kang, 1982).

등수심선은 해안선과 대체로 일치하는 동북동-서남서방향으로 발달하고 있다(Fig. 1). 수심 30~70 m 해역은 약 0.112°의 경사를 보이며, 70 m 이상에서는 약 0.039°로 매우 평탄한 지형을 보인다. 한편 남서쪽 수심 100 m 이상 해역에는 등수심선이 북서-남동방향을 향하며, 동일한 방향의 곡부와 용기부가 반복되어 나타난다. 이들은 해빈 환경에서 형성된 해저지형으로 연구된 바 있다(김 등, 1982). 육지도 남쪽의 수심 70~90 m 사이에는 동북동-서남서방향으로 길게 발달된 3개의 등성이(ridge)와 짧게 분리된 다수의 등성이가 발달하고 있다. 이들은 파랑에 의해 형성된 해안전면연계등성이(shoreface-connected ridge)로서 해수면상승으로 인해 해안선으로부터 분리되어 현재의 대륙붕에 존재한다고 연구된 바 있다(김 등, 1985; 민, 1994).

결 과

1. 모드의 분포

해저퇴적물의 입도분포는 대수정규분포를 보일 것으로 기대되지만 실제 해저퇴적물은 여러개의 모드를 보이는 것이 오히려 일반적이다. 이러한 사실은 많은 퇴적학자들에 의해 대륙붕퇴적물의 입도분포 내에 여러개의 모드가 존재한다고 인식된 바 있다(Tanner, 1958; Curray, 1960; Spencer, 1963; Friedman, 1967; Visher, 1969). 연구해역의 총 216개 표층퇴적물에 대한 모드분석결과 Fig. 2와 같이. 조립부(>4φ)에 하나의 최빈치를 나타내는 단모드 모래형(unimodal sand, 14%), 세립부(<4φ)에 하나의 최빈치를 나타내는 단모드 찰흙(unimodal mud, 38%), 조립부와 세립부에 각각 하나의 최빈치를 나타내는 북모드형(bimodal sand & mud, 48%)으로 구분된다.

각 모드의 지리적 분포 및 조직변수는 각각 Fig. 3과 Table 1과 같다. 단모드 모래형은 분급이 양호한(well sorted) 세립사(Mz, 2.2φ)로 구성되어 있으며, 수심 100 m 이상인 남서해역에 분포한다. 단모드 찰흙은 분급이 불량한(poorly sorted) 극세립질 실트(Mz, 7.7φ)로 구성되어 있으며, 해안선에 접한 거문도와 육지도사이의 수심 70 m보다 얇은 해역에 원형으로 분포하여 섬진층의 분포와 유사한 형태를 보인다. 북모드형은 단모드 모래형과 단모드 찰흙의

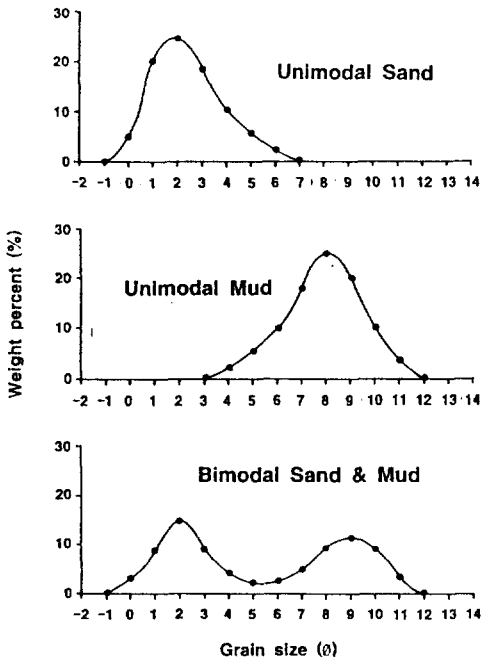


Fig. 2. Typical three grain size frequency distributions for the sediments in the southern continental shelf of Korean peninsula.

사이인 수심 70~100 m의 해역에 넓게 분포하고 있다. 복모드형은 에너지 수준이 상이한 퇴적환경에서 퇴적된 모드가 혼합되어 형성된 것으로서 각각의 퇴적환경구명을 위해 두개의 모드를 Fig. 4와 같이 모래요소(sand component)와 찰요소(mud component)로 구분하고 각각을 백분률로 하여 조직변수를 구하였다. 분리된 모래요소(sand component)의 평균입도는 1.98 ϕ , 찰요소(mud component)는 8.2 ϕ 로 나타났다(Table 1). 모래요소는 남서해역의 단모드 모래형의 평균입도(2.2 ϕ)보다 조금 조립하고, 찰요소는 해안쪽의 단모드 찰형(7.7 ϕ)보다 세립한

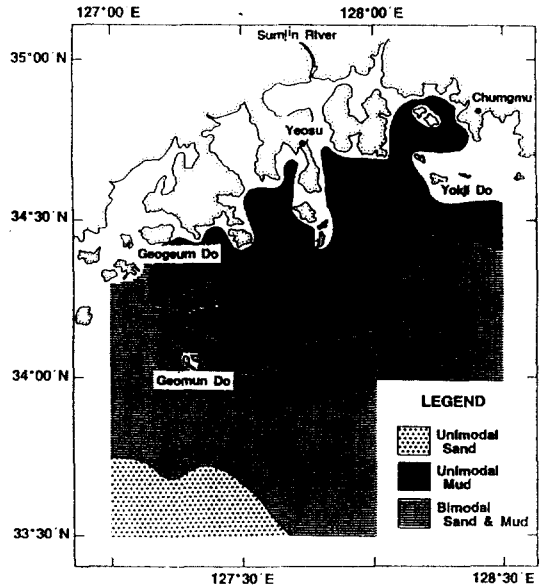


Fig. 3. Map showing the distribution of modal (unimodal sand, unimodal mud and bimodal) types.

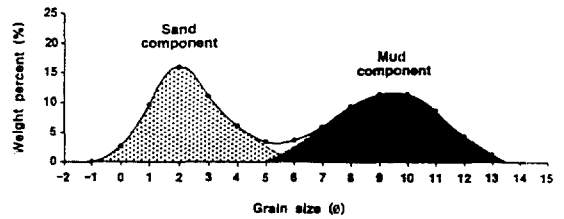


Fig. 4. Typical grain size frequency for the bimodal type. It is divided into two modals; sand and mud components.

경향을 보인다.

2. 입도 조직변수간의 상관관계

앞에서 언급한 것처럼 단일에너지 기원의 퇴적물

Table 1. The textural parameters of modal types in the southern continental shelf. Notes, MWS: moderately well sorted, PS: poorly sorted, MS: moderately sorted, NS: neary symmetrical, CS: coarse skewed

Modal types	Textural Parameters			Relative percent(%)	
	Mean(ϕ)	Sorting	Skewness		
Unimodal sand	2.2(F. sand)	0.56(MWS)	-0.1 (NS)	14	
Unimodal mud	7.7(VF. silt)	1.15(PS)	-0.09(NS)	38	
Bimodal	Sand component	1.98(M. sand)	0.98(MS)	-0.03(NS)	48
	Mud component	8.2 (clay)	1.59(PS)	-0.11(CS)	

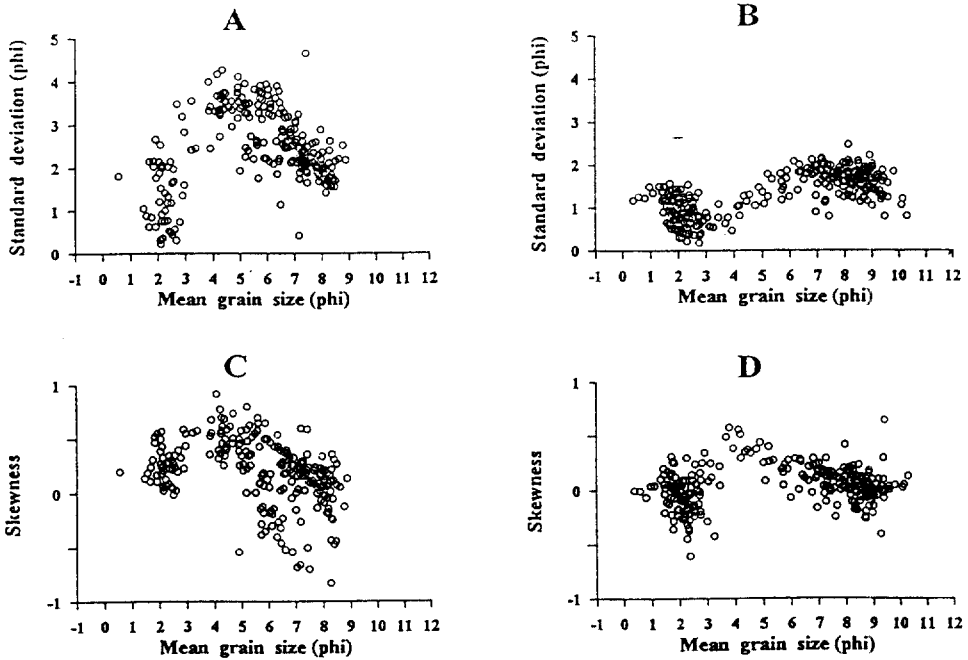


Fig. 5. Scatter diagrams of mean size versus standard deviation(A, B) and mean size versus skewness(C, D). Note that A and C values are obtained before modal analysis, and B and C calculated after modal analysis.

은 단모드의 대수정규분포와 유사한 입도분포를 갖는다고 볼 때 대륙붕 퇴적물에 나타나는 복모드는 두개의 에너지 환경을 겪었으며, 이들이 퇴적물내에 반영되고 있음을 지시한다. 이러한 논리를 증명하기 위하여, 연구해역의 총 216개의 퇴적물에 대하여 모드를 분리하지 않은 조직변수와 분리한(단모드 모래형, 단모드 펄형, 복모드 모래요소, 복모드 펄요소) 조직변수를 구하여 각각의 상관관계를 비교하였다. 그 결과 분리되지 않은 조직변수의 평균입도대 표준편차의 관계는 상대적으로 분산된 경향을 보인다(Fig. 5A). 4-6 ϕ 에서 표준편차가 가장 높으며, 조립부와 세립부로 갈수록 표준편차가 낮아지는 경향을 보였다. 그러나, 모드를 분리한 조직변수는 평균입도 2-3 ϕ 부근에서 표준편차가 가장 낮았으며, 이보다 조립부와 세립부로 갈수록 높아지는 V자 형태를 보인다(Fig. 5B). 이러한 정현곡선적인(sinusoidal) 관계는 천해저퇴적물의 입도특성과 잘 일치하고 있다(Folk and Ward, 1957; Spencer, 1963; Hubert, 1964). 분리전 평균입도대 왜도의 관계는 2-3 ϕ 의 사질퇴적물이 대부분 양의 왜도를 보이는 (Fig. 5C) 반면, 분리후는 2-3 ϕ 의 퇴적물이 0을 중

심으로 음과 양에 분포하였다(Fig. 5D). 이는 2-3 ϕ 퇴적물이 많이 퇴적되는 해빈환경에서 후안(backshore)퇴적물이 양의 왜도, 전안(foreshore)퇴적물이 음의 왜도를 보이는 것과 잘 일치한다(Walker, 1992). 이러한 결과에서 처럼 대륙붕퇴적물에 대한 기존의 조직변수보다는 모드를 분리하여 구한 조직변수가 현재의 천해저퇴적물의 것과 일치하여, 퇴적당시의 조직변수에 근접한 것으로 해석된다.

한편, 연구해역의 모래요소와 한반도 동·서해안의 해빈 퇴적물에서 구한 평균입도대 표준편차의 관계를 비교하였다(Fig. 6A). 해빈퇴적물은 평균값 3 ϕ 와 표준편차 2 ϕ 를 잇는 선을 기준으로 동·서해안이 명확하게 구분된다. 기준선의 아래쪽에 동해안 해빈퇴적물이 군집형태로 도시되었다. 그러나 서해안 해빈은 기준선의 윗쪽에서 평균값이 증가할수록 표준편차가 증가하는 반비례관계를 보였다. 이를 연구해역의 모래요소와 비교하면 서해안 해빈 퇴적물과 유사한 분포경향을 보인다(Fig. 6B). 이는 모래요소의 퇴적환경이 현재 파랑의 영향을 강하게 받고 있는 동해안 해빈환경 보다는 조류와 파랑의 영향을 동시에 받고 있는 서해안 해빈과 유사한 에너지수

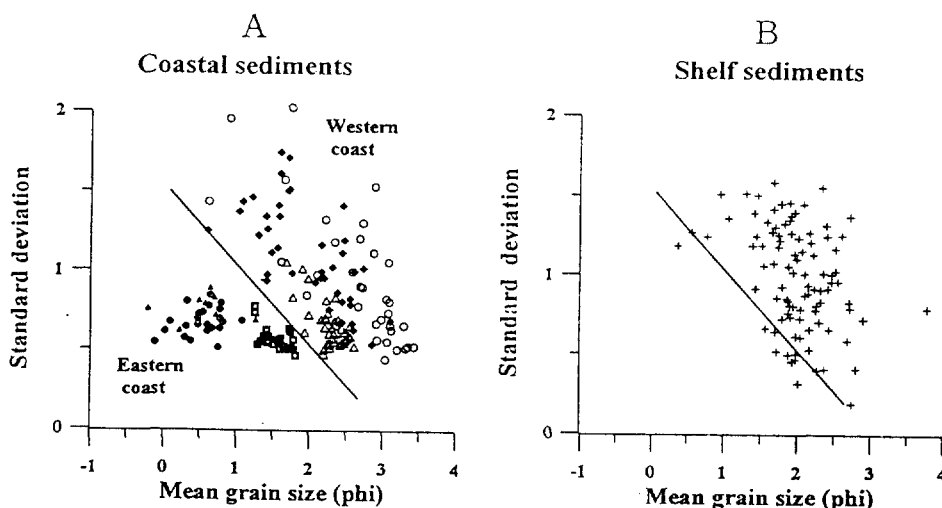


Fig. 6. Scatter diagrams of mean vs. standard deviation. Note that A is Eastern and Western beach sediments(●: Kyungpodae, ▲: Bongpyung, ◆: Daechon, □: Daejin, △: Mallipo, ○: Pega Bay) and B is sand component(+) in the southern continental shelf.

준에서 퇴적되었음을 지시하고 있다.

3. 모드별 퇴적기작

분리된 모드들이 퇴적당시를 대표한다고 가정하고 각 모드의 퇴적기작을 알아보기 위해 중앙값(M)과 1% 값(C)을 구하여 CM-pattern을 작성하였다. Fig. 7A는 분리된 퇴적물 전체(단모드 모래형, 단모드 썰형, 모래요소, 썰요소)를 도시한 것으로서 Passega (1964)가 제시한 S자 형태를 보인다. M값이 100 μ m, C값이 200 μ m 이상인 퇴적물은 bottom suspension과 rolling 구간에, 그 이하 퇴적물은 구분이 명확하지 않으나 graded suspension과 uniform suspension 퇴적구간에 도시되었다. 또한 복모드 퇴적물중 모래요소와 썰요소를 분리하여 CM-pattern을 작성하였다. 모래요소는 M값이 150-350 μ m 사이에 상하로 분포하는 bottom suspension과 rolling구간에 도시 되었으며(Fig. 7B), 썰요소는 C=M 선에서 멀리 떨어져 있으며, M값이 10 μ m, C값이 100 μ m 이하인 uniform suspension구간에 도시되었다(Fig. 7C). 이 결과는 혼합된 형태로 존재하는 모래요소와 썰요소가 다른 퇴적기작에 의해 퇴적되었음을 지시하고 있다.

4. 조직변수의 분포

지금까지 복모드 퇴적물에 대한 각 모드별로 특성을 알아본 결과 각 모드들이 서로 다른 퇴적환경에서 다른 퇴적기작에 의해 형성되었음을 보였다. 각 모드에서 구한 조직변수의 지리적분포 특성을 보면 다음과 같다. 첫째, 복모드 퇴적물중 썰요소를 제외한 모래요소의 평균입도 분포는 Fig. 8과 같다. 모래요소의 평균입도 분포는 거금도 남쪽해역을 제외한 대부분 해역에서 1-2 ϕ 와 2-3 ϕ 가 반복되며, 동북동-서남서 방향으로 등수심선과 대체로 일치하는 대상분포를 하고 있다. 또한, 모래요소의 분급도는 육지도 남쪽의 MWS(moderately well sorted)를 제외하고는 MS(moderately sorted)와 PS(poorly sorted)가 반복적으로 분포하여 평균입도와 유사한 경향을 보인다(Fig. 9). 둘째, 복모드 퇴적물중 모래요소를 제거한 썰요소의 함량(백분율)변화를 보면 Fig. 10과 같이 90%이상의 세립질로 구성된 단모드 썰형(섬진층)으로부터 외해쪽으로 가면서 썰요소의 함량이 점차 감소하는 경향을 보인다. 특히 20-40% 구간에서는 함량 변화가 급격히 나타나며, 단모드 썰형으로부터 남동방향으로 꼬리(tail)를 형성하고 있다.

5. 패각편 함량분포

Fig. 11A는 복모드분포해역에 대한 패각편 함량

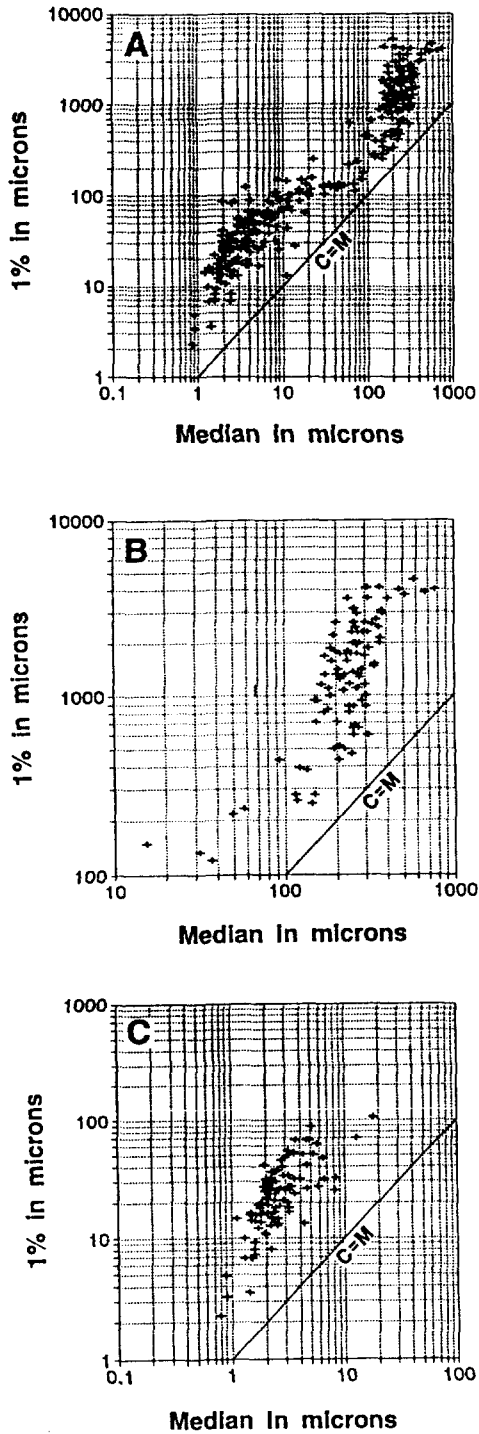


Fig. 7. CM-patterns. A shows all modal types(unimodal sand, unimodal mud, sand component and mud component), and B and C represent sand and mud components, respectively.

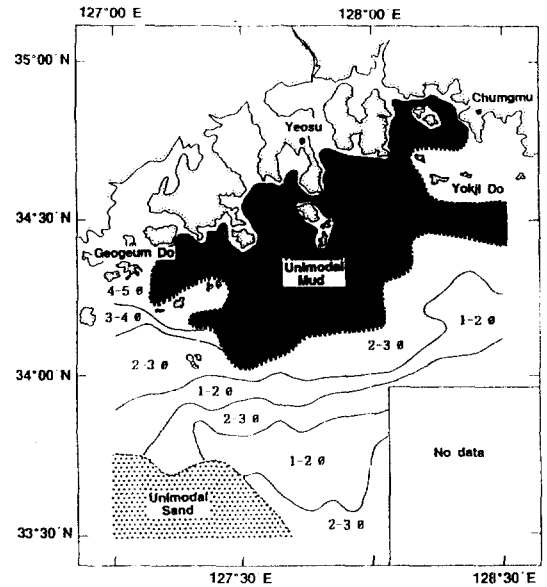


Fig. 8. Distribution map of mean grain size(ϕ) for sand component in the bimodal area.

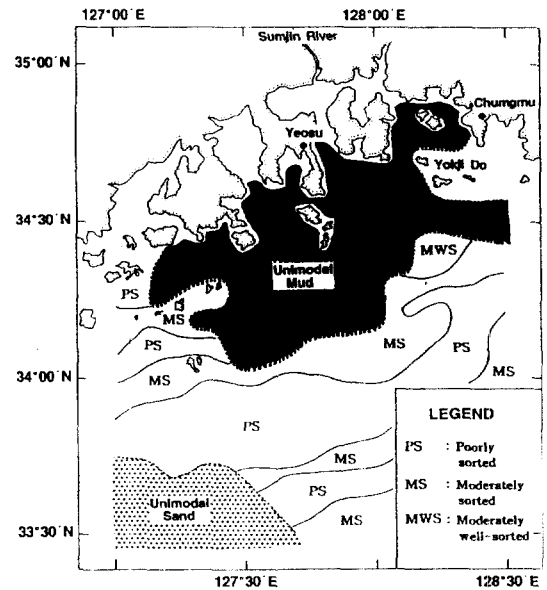


Fig. 9. Distribution map of sorting(p_i) for sand component in the bimodal area.

분포도이다. 거문도주변의 20% 이하로부터 연구해역의 가장 남쪽의 80% 이상까지 점차 증가하는 경향을 보인다. 이는 복모드중 필요소의 함량이 단모드

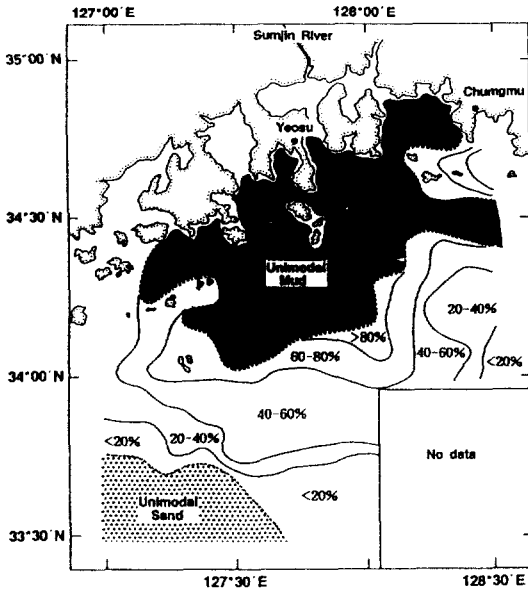


Fig. 10. Distribution map of contents(%) for mud component in the bimodal area.

뿔형으로부터 멀어질수록 감소하기 때문에 생긴 현상으로서 이를 뿔요소를 제거한 모래요소에 대한 함량으로 환산하면 Fig. 11B와 같이 모래요소의 평균입도, 분급도와 유사한 형태의 분포양상을 보인다. 즉, 60~80%와 80% 이상의 분포해역이 반복되면서 등수심선과 대체로 일치하는 대상분포를 보인다.

6. 표면조직

표면조직에 관한 연구는 퇴적물의 기원과 퇴적물의 퇴적환경, 이동상태등을 구분하는데 이용되어 왔다(Krinsley and Takahashi, 1962a, 1962b; Krinsley and Funnell, 1965; Krinsley and Donahue, 1968; Smalley and Moon, 1973; Margolis and Krinsley, 1974). 복모드 퇴적물중 모래요소의 퇴적환경규명을 위해 표면조직을 조사한 결과 Fig. 12와 같이 대부분 높은 에너지환경에서 기계적 충돌에 의해 형성된 조가비 모양(conchoidal breakage feature), "V"자형구조(V-shaped feature)가 잘 발달한다. 또한 조가비모양의 오목한 면에는 화학반응에 의해 형성된 불규칙한 화학적 부식점(irregular chemical etched pit)이 나타난다. 이 표면조직들은 모래요소가 에너지가 높은 환경에서 퇴적되었으며, 해

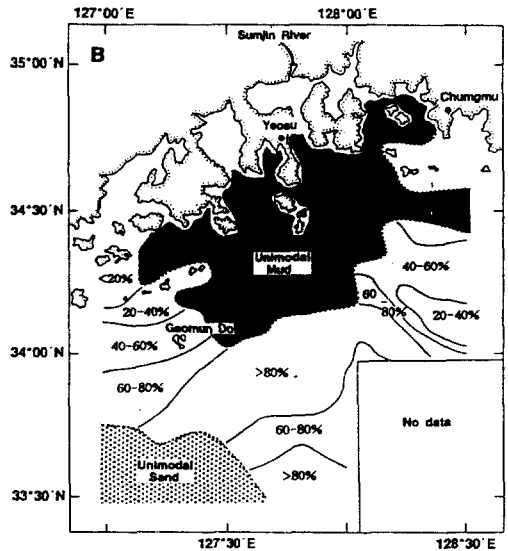
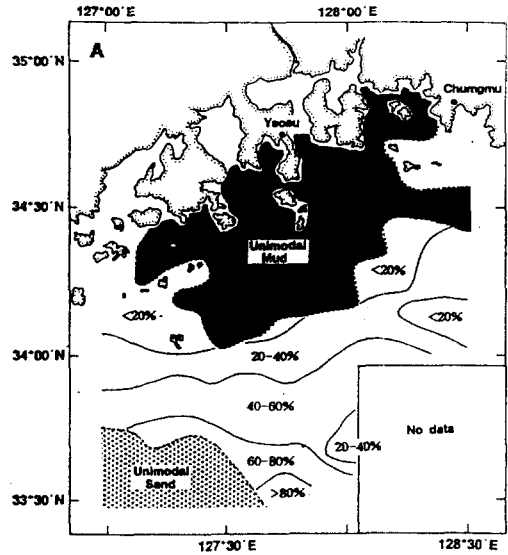


Fig. 11. Distribution map of shell contents(%) in the bimodal area. A) shell contents against total sediments(sand + mud component), and B) shell contents against sand component.

수면 상승후 오랜기간동안 석영입자의 표면이 재조직되어 지고 있음을 지시한다.

고찰

1. 모드분석

퇴적물에 대한 퇴적환경 규명을 위해 많은 학자

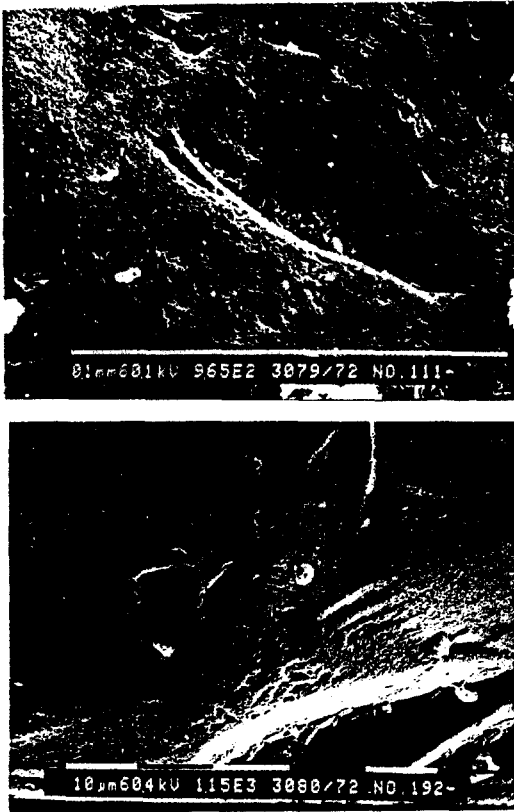


Fig. 12. Scanning electron micrograph(SEM) of quartz grains from the southern continental shelf, showing conchoidal breakage features and V-shaped features formed by mechanical impact.

들에 의해 이미 알려진 퇴적환경(해빈, 하천, 조간대 등)의 입도분포가 연구되었으며, 퇴적환경에 따른 퇴적물의 평균입도와 분급도가 제시되었다(Folk & Ward, 1957; Mason & Folk, 1958; Moss, 1962, 1963; Friedman, 1961, 1967; Klovan, 1966; Visher, 1969; Allen, 1971). Curray(1960)는 미동부 대륙붕 퇴적물이 다중모드(poly modal)를 나타내며, 혼합된 퇴적물내의 모드들은 각각 다른 에너지 수준에서 퇴적된 단모드 퇴적물의 혼합이라고 제시하였다. 연구해역과 현재 파랑과 조류의 영향을 받고 있는 경기만과 동 서해안의 해빈퇴적물의 모드를 비교하면 Table 2에서 보는 바와 같이 경기만 시료중 92.4%가 단모드형이고, 7.6%가 복모드형이며, 해빈퇴적물은 모두 단모드형이다. 경기만에 나타나는 복모드 퇴적물은 주흐름(main current)에서 벗어난 섬주위

Table 2. The relative percents of modal types in the southern continental shelf, Kyunggi Bay, and eastern and western beach sediments

Environments (Sites No.)	Unimodal	Bimodal
Continental shelf Study area(216)	52%	48%
Tidal environment Kyunggi Bay(238)	92.4%	7.6%
Beach environment Eastern & Western coast (186)	100%	0%

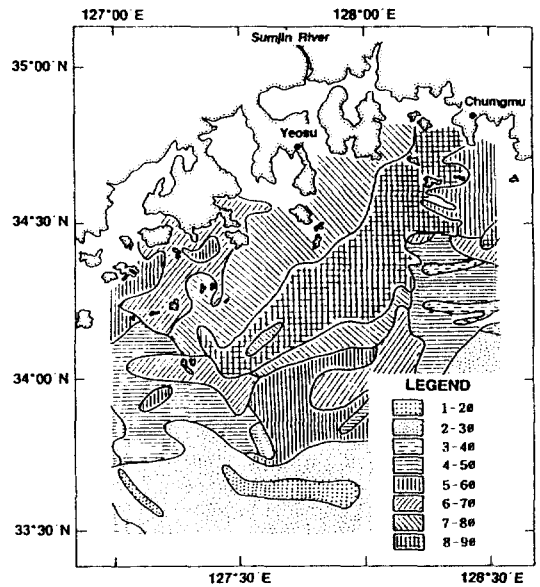


Fig. 13. Distribution map of mean grain size(ϕ) in the southern continental shelf(after Kim et al., 1983, 1985, 1986).

또는 수로의 가장자리에 분포한다. 연구해역의 사니질 또는 니사질 혼합퇴적물이 복모드형인 반면, 경기만에서는 대체로 단모드형을 보였다. 이러한 모드의 형태 차이는 동일한 입도(평균값, 표준편차)를 가지는 천해저 퇴적물과 대륙붕해역의 사니질 또는 니사질 혼합퇴적물이 각각 다른 퇴적기작에 의해 퇴적되었음을 지시한다.

연구해역의 복모드형 퇴적물은 평균입도대 표준편차, 평균입도대 왜도의 관계(Fig. 5)에서 보았듯이 모드를 분리하여 구한 조직변수가 현재 천해저 퇴적물의 상관관계와 일치한다. Fig. 13은 모드를 분

리하지 않은 평균입도 분포도로서 일정한 경향을 보이지 않고, phi별로 그룹을 형성하고 있는 반면, 뿔요소를 제거한 모래요소의 평균입도(Fig. 8), 분급도(Fig. 9), 패각편 함량분포(Fig. 11B)가 대체로 등수심선과 동일한 방향으로 대상분포 보였다. 그러므로 연구해역의 복모드형에 나타나는 모래요소와 뿔요소는 서로 다른 퇴적환경에서 다른 퇴적기작에 의해 형성된 모드의 혼합체로서 대륙붕의 퇴적물을 해석 하기 위해서는 모드를 분리하는 것이 과거의 퇴적환경 해석에 유용할 것으로 사료된다.

2. 퇴적환경

연구해역은 마지막 빙하기 이후 해수면 상승으로 인한 퇴적환경변화를 겪었으며, 이러한 변화가 퇴적물모드와 각모드의 조직변수에 반영되어 있다. 연구해역은 모드형태에 따라 연안으로부터 수심 약 70 m까지는 단모드 뿔형, 70~100 m까지는 복모드형, 100 m 이상해역은 단모드 모래형으로 구분되었다. 단모드 뿔형은 기존에 연구된 섬진층의 분포와 유사한 경향을 보인다. 단모드 뿔형의 특징은 해저면이 매우 평탄하며, 주상시료 분석결과 olive gray(5 Y 4/2)-dark gray (5Y 4/1)색을 띠는 함수율이 높은 균질나(homogeneous mud)로 구성되어 있으며, 생물교란 흔적이 나타나지 않는다(김 등, 1985; 민, 1994). 이러한 특성은 세립질 퇴적물이 공기에 노출되지 않고 퇴적기원으로부터 부유상태로 이동되어 퇴적되었음을 지시하는 것으로서, 부유퇴적물에 의해 세립부에 하나의 모드를 보이는 단모드 뿔형을 형성한 것으로 해석된다.

한편, 육지도 남쪽해역의 등성이와 골짜기(ridge and swale)는 등수심선과 유사한 동북동-서남서 방향으로 발달하며, 연안으로부터 남쪽으로 갈수록 등성이의 길이가 작아지는 경향을 보인다. 이는 해빈환경에서 파랑의 영향을 받아 형성된 해안전면연계등성이(shoreface-connected ridge)로서, 해수면이 상승하면서 해안선에서 분리되어 대륙붕에 존재하는 것이다(민, 1994). 이러한 등성이들은 모래요소의 분포와 유사한 수심 70~90 m에 분포하고 있다. 복모드중 뿔요소를 제외한 모래요소는 다량의 패각편, 약간의 잔자갈, 산화된 석영(iron-stained quartz)을 포함한 중립 또는 세립사(Mz, 1-3φ)로 구성되어 있다. 석영입자의 표면조직(surface texture)은 대부

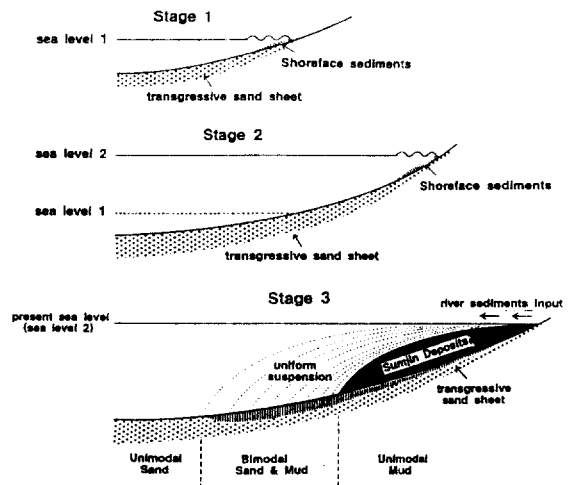


Fig. 14. Schematic diagram showing changes of sedimentary environment in the southern continental shelf of Korean peninsula.

분 에너지가 높은 환경에서 입자간 충돌에 의해 형성된 기계적구조(mechanical features)가 잘 발달하고 있다. 이러한 특징들은 뿔요소와 혼합되어 복모드형태로 대륙붕에 존재하는 모래요소가 해수면이 낮았던 시기에 퇴적된 잔류퇴적물로서 일반적으로 해빈환경에서 해수면이 상승하는 해안전면(shoreface)에서 퇴적된 것임을 입증하고 있다(Swift et al., 1971, 1972).

반면, 모래요소와 혼합되어 있는 뿔요소는 연안쪽의 단모드 뿔형 분포해역을 중심으로 외해쪽으로 갈수록 함량과 평균입도가 점차 감소하는 경향을 보인다. 이러한 분포특성은 세립질 퇴적물이 섬진강으로부터 부유상태로 유입되어 대부분 섬진층을 형성하고, 이보다 세립한 퇴적물이 외해쪽으로 이동되어 모래요소와 혼합되었음을 지시하고 있다.

각 모드의 퇴적학적 특성을 가지고 연구해역의 퇴적환경 변화를 유추하면 Fig. 14와 같이 3단계(stages)로 구분된다. Stage 1, 해수면이 낮았던 시기에 현재의 서해안 해빈과 유사한 에너지 수준의 퇴적환경에서 해안전면 퇴적물이 퇴적되었다. Stage 2, 해수면이 현재와 유사한 위치에 도달한 약 7000년전(Wang and Wang, 1980; Zhao et al., 1982; Yang and Xie, 1984a, 1984b; Pirazzoli, 1991)까지 해빈환경(Stage 1)이 지속되었으며, 이 과정에서 해침모래박층(transgressive sand sheet)이 형성되었다.

Stage 3, 현재의 해수면이 지속되면서 섬진강으로부터 세립질 퇴적물이 부유상태로 유입되어 대부분 단모드 뿔형(섬진층)을 형성하였다. 더욱 세립한 퇴적물이 외해쪽으로 현재의 복모드 분포해역까지 이동되어 모래요소와 혼합되었으며, 이러한 혼합이 복모드형 사니질 또는 니사질 퇴적물을 형성한 것으로 해석된다.

모래요소의 평균입도, 분급도와 모래요소에 대한 패각편 함량분포가 등수심선과 대체로 일치하며, 반복적으로 나타나는 것은 마지막 빙하기 이후 해수면이 상승하면서 형성된 고해안선과 관계를 가진 것으로서 상승속도차에 의해 반복적인 분포경향을 나타내는 것으로 추측된다. 민(1994)에 의한 한반도 남동 해역에 대한 현생 해수면곡선에 따르면, 2번의 빠른 상승과 1회의 느린상승이 있었다고 연구된 바 있다. 그러나 더욱 정밀한 한반도 주변의 현생 해수면 상승 곡선이 연구되어야 할 것이다.

결 론

1. 모드분석의 결과 한반도 남해대륙붕 퇴적물은 3가지 모드 즉, 단모드 모래형, 단모드 뿔형, 복모드형으로 구분된다. 또한, 복모드형은 모래요소와 뿔요소로 구분된다.

2. 복모드형 퇴적물에 있어서 분리한 요소의 조 직변수간에는 현재 천해퇴적물에서 이미 인정된 입도조직변수간의 상관관계가 확인되었다. 그러나 모드를 분리하지 않은 전체로서의 퇴적물은 이러한 관계가 나타나지 않았다. 그러므로 복모드형을 보이는 대륙붕의 사니질 또는 니사질 퇴적물은 서로 다른 퇴적환경에서 형성된 모드의 혼합퇴적물로서, 퇴적환경해석을 위해 모드를 분리하는 것이 보다 유용할것으로 사료된다.

3. 연구해역의 수심 70~100 m에 분포하는 복모드 퇴적물중 모래요소는 다량의 패각편, 약간의 잔자갈과 산화된 석영을 포함하는 중립 또는 세립사(Mz, 1-3φ)로 구성되어 있으며, 석영입자의 표면이 높은 에너지에 의한 입자간 충돌로 형성된 기계적 구조가 잘 발달하고 있어서 해빈환경에서 퇴적된 해안전면 퇴적물로 해석된다. 또한 뿔요소는 평균 입도 8.2φ의 세립질로 구성되어 있으며, 단모드 뿔형으로부터 외해로 갈수록 함량과 평균입도가 감소

하여 섬진강으로부터 유입된 세립질이 대부분 단모드 뿔형에 퇴적되고 더욱 세립한 퇴적물이 외해로 이동되어 모래요소와 혼합된 것으로 해석된다.

감사의 글

본 연구는 한국자원연구소에서 실시한 연근해저지질연구의 일환으로 수행되었다. 자료획득에 많은 도움을 주신 탐해호 선원에게 감사를 드리며, 실내 분석에 도움을 주신 한국자원연구소 해저자원연구부 여러분께 감사를 드립니다. 특히 본 논문을 평가하고 수정을 지적하신 논문심사위원과 편집위원장께 감사합니다.

참고문헌

- 김승우, 김종수, 이윤오, 공영세, 이치원, 민건홍, 박영수, 최계림, 1986. 연근해저지질조사연구(남해-거제간해역). 한국동력자원연구소 연구보고 KR-86-20: 7-50.
- 김승우, 민건홍, 이치원, 최계림, 공영세, 이윤오, 박영수, 1987. 거제-부산간해역 해양지질조사연구. 한국동력자원연구소 연구보고서 KR-86-2-20: 7-66.
- 김승우, 장정해, 김종수, 이치원, 민건홍, 신원철, 조규장, 김원식, 1983. 연근해저지질조사연구. 한국동력자원연구소 연구보고서 82-해저자원-1-17: 7-48.
- 김승우, 장정해, 이치원, 민건홍, 1985. 해양지질조사연구(추자도일대해역). 한국동력자원연구소 연구보고 85-18: 7-47.
- 김종수, 김승우, 장정해, 이치원, 민건홍, 김철민, 김원식, 신원철, 1982. 연근해저질 및 물리탐사연구(소록산도-진도). 한국동력자원연구소 연구특보. 31: 1-48.
- 민건홍, 1994. 한반도 남동대륙붕의 플라이오세-현세 퇴적층의 탄성파층서 및 퇴적사. 이학박사학위논문. 서울대학교. 196 pp.
- 박용안, 김경렬, 박수철, 박상윤, 1987. 한국 대한해협 대륙붕 표층퇴적물의 특성과 세립질퇴적물의 지구화학적 특성. 한국해양학회지, 22: 43-56.
- 장정해, 이치원, 박관순, 김원식, 신원철, 1980. 득량만일대 제 4기 해저자원조사연구, 자원개발연구소 조사연구보고 제 9호: 35-63.
- Allen, G. P., 1971. Relationship between grain size parameter distribution and current patterns in the Gironde Estuary(France). J. Sed. Petrology, 41: 74-88.
- Curry, J. R., 1960. Tracing sediment masses by grain size modes. Internat. Geol. Cong., 21st. Norden, Rept., pt. 23: 119-130.
- Emery, K. O., 1968. Relict sediments on continental shelves of world. A.A.P.Geology, 52: 445-464.
- Folk, R. L. and W. C. Ward, 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain-size parameters. J. Sed. Petrology, 27: 3-26.
- Folk, R. L., 1968. Petrology of the Sedimentary Rocks, Hemphill's, 170 pp.

- Friedman, G.M., 1961. Distinction between dune, beach, and river sands from their textural characteristic. *J. Sed. Petrology*, **31**: 514-529.
- Friedman, G.M., 1967. Dynamic processes and statistical parameters compared for the size-frequency distributions of beach and river sands. *J. Sed. Petrology*, **37**: 327-354.
- Hubert, J.F., 1964. Textural evidence for deposition of many Western North Atlantic deep-sea sands by ocean-bottom currents rather than turbidity currents. *J. Geology*, **72**: 757-785.
- Kang, H.J. and S.K. Chough, 1982. Gamagyang Bay, southern coast of Korea: sedimentation on a tide dominated rocky embayment. *Mar. Geology*, **48**: 197-214.
- Klovan, J.E., 1966. The use of factor analysis in determining depositional environments from grain-size distributions. *J. Sed. Petrology*, **36**: 115-125.
- Krinsley, D. and J.C. Doornkamp, 1973. Atlas of quartz sand surface textures. Cambridge Univ. Press, London, 91 pp.
- Krinsley, D. and B. Funnell, 1965. Environmental history of quartz sand grains from the lower and middle Pleistocene of Norfolk, England. *Geol. Soc. London Quart. Jour.*, **121**: 435-461.
- Krinsley, D. and J. Donahue, 1968. Environmental interpretations of sand grain surface textures by electron microscopy. *Geol. Soc. America Bull.*, **79**: 743-748.
- Krinsley, D. and T. Takahashi, 1962a. Surface textures of sand grains; An application of electron microscopy. *Science*, **135**: 923-925.
- Krinsley, D., and T. Takahashi, 1962b. Surface textures of sand grains; Glaciation. *Science*, **138**: 1262-1264.
- Margolis, S. and D. Krinsley, 1974. Processes of formation and environmental occurrence of microfeatures on detrital grains. *Am. Jour. Science*, **274**: 449-464.
- Mason, C.C. and R.L. Folk, 1958. Differentiation of beach, dune and aeolian flat environments by size analysis, Mustang Island, Texas. *J. Sed. Petrology*, **28**: 211-226.
- McKinney, T.F. and G.M. Friedman, 1970. Continental shelf sediments of Long Island, New York. *J. Sed. Petrology*, **40**: 213-248.
- Moss, A.J., 1962. The physical nature of common sandy and pebbly deposits. Part I. *Am. Jour. Science*, **260**: 337-373.
- Moss, A.J., 1963. The physical nature of common sandy and pebbly deposits. Part II. *Am. Jour. Science*, **261**: 297-343.
- Park, Y.A., 1985. Late Quaternary Sedimentation on the Continental Shelf off the South-East Coast of Korea. *J. Ocean. Soc. Korea*, **3**: 55-61.
- Passega, R., 1964. Grain size representation by CM-patterns as a geological tool. *J. Sed. Petrology*, **34**: 830-847.
- Pirazzoli, P.A., 1991. World Atlas of Holocene Sea-level Changes. Elsevier Oceanography Series, **58**: 300 pp.
- Smalley, J.J. and C.F. Moon, 1973. High voltage electron Microscopy of fine quartz particles. *Sedimentology*, **20**: 318-322.
- Spencer, D.W., 1963. The interpretation of grain size distribution curves of clastic sediments. *J. Sed. Petrology*, **33**: 180-190.
- Swift, D.J.P., D.J. Stanly and J.R. Curray, 1971. Relict sediments on continental shelves: a reconsideration. *J. Geology*, **79**: 322-346.
- Swift, D.J.P., J.W. Kofoed, F.P. Saulsbury and P. Sears, 1972. Holocene evolution of the shelf surface, central and southern Atlantic shelf of North America. In: Shelf sediment transport: process and pattern, edited by D.J.P. Swift, D.B. Duane and O.H. Pilkey, Stroudsburg, Pa.: Dowden, Hutchinson and Ross, 499-574.
- Tanner, W.F., 1958. The zig-zag nature of type I and type IV curves. *J. Sed. Petrology*, **28**: 372-375.
- Visher, G.S., 1969. Grain-size distributions and depositional processes. *J. Sed. Petrology*, **39**: 1074-1106.
- Walker, R.G., 1992. Wave- and Storm-Dominated Shallow Marine Systems. In: Facies Models: response to sea level change, edited by R.G. Walker and N.P. James. Geological Association of Canada, 219-238.
- Wang, J. and P. Wang, 1980. Relationship between sea-level changes and climatic fluctuation in East China since the late Pleistocene. *Acta Geogr. Sinica*, **35**: 299-312.
- Yang, H. and Z. Xie, 1984a. Sea-level changes in East China over the past 20,000 years. In: The evolution of Eastern Asian Environment, edited by R.O. Whyte. Univ. Hong Kong, 288-308.
- Yang, H. and Z. Xie, 1984b. A perspective on sea-level fluctuations and climatic variations (in Chinese with English abstract). *Acta Geogr. Sinica*, **39**, **1**: 20-39.
- Zhao, X., X. Geng and J. Zhang, 1982. Sea level changes in eastern China during the past 20,000 years. *Acta Oceanol. Sinica*, **1**: 248-258.