

한반도 동해 남부 대륙붕에 분포하는 탄산질-쇄설성분 혼합 퇴적물에 대한 연구

최진용
군산대학교 해양학과

Mixed Carbonate-Detrital Sediments on the Southeastern Continental Shelf of Korea

Choi, Jin-Yong

Department of Oceanography, Kunsan National University,
Kunsan, Chunbuk 573-701, Korea

Abstract: Grain size analysis have been made for the carbonate-detrital mixed sediments on the continental shelf off the southeastern coast of Korea. The detrital components are well-sorted with mean grain size between 2-3 phi. The detrital components are thought to be deposited in the beach environment during the glacial times when the sea level was low, representing typical "relict" sediments. Most of the carbonate components consist of shell fragments, and are deeply weathered. They are also interpreted as the relict components that were deposited in the shallow marine environment. The carbonate fraction are coarser-grained and poorly sorted compared to the detrital component. The carbonate components are thought to have experienced the continuous environmental control of fragmentation and selective size sorting after the deposition.

Key word: Continental shelf, Sediment, Grain size analysis, Depositional environment, Relict sediment

요약: 한반도 동해 남부 대륙붕에 분포하는 탄산질-쇄설성분 혼합 퇴적물에서 성분별 입도분석을 실시하여, 퇴적 환경 및 퇴적기작을 해석하였다. 쇄설성분은 평균입도가 중립사와 세립사 범위였으며, 분급이 양호한 단빈도 입도분포를 나타내었다. 이들 쇄설 퇴적물은 해수면이 낮았던 지난 빙하기동안 해변 퇴적환경에서 집적되었으며, 전형적인 잔류퇴적물로 해석된다. 패각류가 우세한 탄산질 성분은 거의 파쇄된 상태이며, 표면이 심하게 풍화되었다. 이들 패각도 빙하기동안 천해환경에서 서식하였던 잔류기원 패각편으로 해석된다. 한편 입도특성은 쇄설성 성분에 비하여 다소 조립하며, 분급도는 불량하였다. 이들 패각편 탄산질 성분은 집적된 이후 지속적인 파쇄 및 분급작용에 의해 입도분포의 특징이 조절된 것으로 해석된다.

주요어: 대륙붕, 퇴적물, 입도분석, 퇴적환경, 잔류 퇴적물

서론

퇴적물의 입도분석은 퇴적물의 근원지를 규명하고, 운반경로와 퇴적환경을 해석하는 데 매우 유용한 분석방법이다(Folk, 1968). 일반적으로 대륙붕 퇴적물은 쇄설성(detrital) 물질이 우세하지만(Emery, 1968), 지역에 따라 탄산질(carbonate) 성분이 풍부하게 포함된다(Milliman *et al.*, 1968). 퇴적물의 쇄설성분은 주로 대륙의 암석풍화에 의해 기원되는 반면, 패각류의 탄산질 성분은 퇴적분지 내에서 활동하는 생물의 잔해로 구성되므로 그 공급원이 서로 상이하다. 또한 탄산질 성분은 쇄설성 입자에 비하여 밀도가 낮고, 입자 형태가 판상이므로 수층에서의 운반 및 집적양상이 쇄설성분과 다르게 나타난다. 따라서 기원, 운반 경로 및 퇴적기작이 상이한 패각류 탄산질 성분과 쇄

설성 성분이 혼합된 퇴적물의 퇴적학적 연구는 매우 어려우며(Maiklem, 1968), 특히 입도분석 결과의 해석과정에서 충분한 주의와 검정이 요구된다(Braithwaite, 1973).

탄산질 성분을 포함하는 혼합 퇴적물을 입도분석할 때에는 탄산질과 쇄설성분을 분리한 후, 각 성분을 독립적으로 입도분석하는 것이 이상적이다. 그러나 대부분의 경우 염산처리 등의 전처리과정을 통해 탄산질 성분을 제거한 후, 쇄설성 입자에 대한 입도분석을 실시한다. 이와같은 이유는 탄산질 성분이 운반 및 집적과정 동안 또는 집적된 이후 쉽게 마모, 파쇄 및 용해되어, 퇴적당시의 환경조건에 대한 많은 정보가 손실되기 때문이다.

그러나 탄산질 함량이 높은 혼합퇴적물에서 탄산질 성분을 완전히 제거하는 것은 퇴적학적으로 유용한

정보의 일부를 인위적으로 없애는 것이며(Pilkey, 1964), 입도분석 후 사질입자의 경광물 및 중광물 성분 또는 점토광물 성분등의 추가적인 분석이 필요한 경우 산처리 과정에서 일부 광물의 선택적 파괴에 따른 오류가 나타난다. 따라서 탄산질-쇄설성분 혼합퇴적물은 각 성분에 대한 입도분석을 독립적으로 실시하는 작업이 요구된다(Muller and Milliman, 1973; Nelson, 1977; Pilkey, 1964; Pilkey and Goodell, 1964).

한반도 주변해역 대륙붕 퇴적물은 크게 내대륙붕의 니질퇴적물과 외대륙붕의 사질퇴적물로 구분된다. 내대륙붕의 니질퇴적물은 수심 약 30~50 m 보다 얕은 연안을 따라 분포하며, 현재의 환경조건에서 육상으로부터 공급된 세립물질이 집적되어 형성된 현생 퇴적물(recent sediment)로 해석된다. 이와 반면에 외대륙붕에 넓게 분포하는 사질퇴적물은 특징적으로 해록석(glaucanite)과 철산화물로 피복된 석영입자(iron-stained quartz)를 포함하며(Choi, 1990), 지난 빙하기 동안 또는 해침과정 동안 형성된 잔류 퇴적물(relict sediment)로 해석된다(Park and Choi, 1986). 이들 외대륙붕의 사질퇴적물은 특히 다량의 패각파편(shell fragment)을 포함하며, 탄산질-쇄설성분 혼합퇴적물의 특징을 나타낸다. 지금까지 한반도 주변해역 대륙붕 퇴적물의 퇴적학적 연구는 거의 모든 경우 탄산질 성분을 제거한 후 쇄설성 물질에 대하여 실시되었다(Kong and Kim, 1991).

본 연구에서는 한반도 동해 남부 대륙붕에 분포하

는 탄산질-쇄설성분 혼합퇴적물에 대하여 각 성분의 독립적인 입도분석을 실시하였고, 퇴적학적 특징을 해석하였다.

연구지역

한반도 동해 남부의 본 연구해역은 수심이 200 m 보다 얕은 대륙붕지역에 속한다(Fig. 1). 특징적으로 최대 수심이 220 m에 달하는 대한해곡(Korean Trough)이 한반도와 대마도 사이에 북동-남서방향으로 놓여있다. 대한해곡은 남서쪽으로 Goto 수로를 거쳐 Goto 분지로 연결되며, 북동쪽으로는 대륙붕단과 대륙사면을 거쳐 동해의 울릉분지로 이어진다. 이같은 일련의 연속적인 수로체계는 해수면이 하강하였던 지난 빙하기 동안 북태평양과 동해를 연결하는 고수로(paleo-channel)의 역할을 한 것으로 여겨진다(Katsura and Nagano, 1982; Park and Choi, 1986).

방 법

퇴적물의 입도분석은 표준입도분석 방법을 따랐으며, 니질계층에 포함된 탄산질 성분을 분리하는 것은 거의 불가능하므로, 본 연구에서는 퇴적물의 사질계층을 대상으로 하였다.

습식체질을 통해 분리된 사질계층은 1/4 Φ 간격으로 정밀한 건식체질 입도분석을 실시하였다. 입도가 분리된 각 입도계층의 표품을 약 0.1 N 농도의 묽은 염산에 용해시켜 입도계층별 탄산질 함량을 계산하였다. 계산된 각 입도계층의 탄산질 함량을 전체시료(bulk sample)의 입도분석결과에 적용하여, 쇄설성시료(detrital sample)와 탄산질시료(carbonate sample)의 입도분포를 계산하였다.

모든 입도분석 자료로부터 Moment 방법을 따라 조직표준치를 계산하였다. 쇄설성시료와 탄산질시료의 조직표준치는 상관관계가 분산도표에 도시되어 퇴적환경을 해석하였다.

입도분리된 사질계층은 성분분석이 실시되었다. 세립사(3 phi)와 미세립사(4 phi) 계층의 사질성분은 중광물 분석을 통하여 Choi *et al.*(1985)의 연구에서 해석되었다. 본 연구에서는 0 phi, 1 phi, 2 phi 계층의 입자에 대하여 쌍안 현미경하에서 구성성분을 감정하였다. 쇄설성 성분은 석영, 장석, 압편, 운모, 중광물 등이 구분되었다. 탄산질 성분은 생물기원의 패각류 파쇄물이 크게 우세하였으며, 육상기원 쇄설성 탄산질 단괴(concretion)는 거의 출현하지 않았다(Choi, 1990). 역질과 조립사 계층(0 Φ , 1 mm 이상)의 탄산질 성분은 주로 이매패류(bivalve) 껍질의 파쇄물이며,

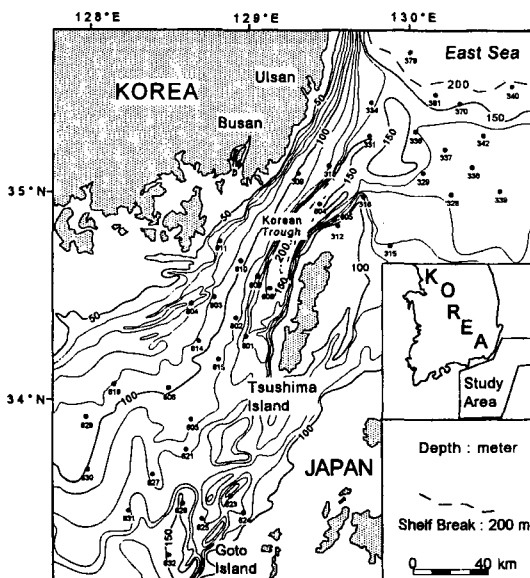


Fig. 1. Bathymetry of the study area and sampling stations.

따개비(barnacle), 성게류(echinoid), 굴(oyster) 등의 파쇄물도 포함되었다. 이와 반면에 중립사 계층(2Φ)의 탄산질 성분은 유공충(foraminifera)과 개형류(ost-racoda) 등의 함량이 증가하였다(Choi, 1990).

파쇄된 패각편은 표면의 풍화정도에 따라 심하게 풍화된 것(Type-A), 중간정도로 풍화된 것(Type-B), 패각의 표면이 비교적 신선한 것(Type-C)으로 구분하였다. 풍화정도에 따라 구분된 패각편 함량을 기준으로 패각편 풍화지수(Weathering Index=(%A*3+%B*2+%C*1)/100)를 계산하였다. 따라서 풍화지수가 높은 것은 풍화정도가 심한 패각편이 우세한 것을 의미한다.

결 과

한반도 주변해역 퇴적물의 탄산질 함량은 위도에

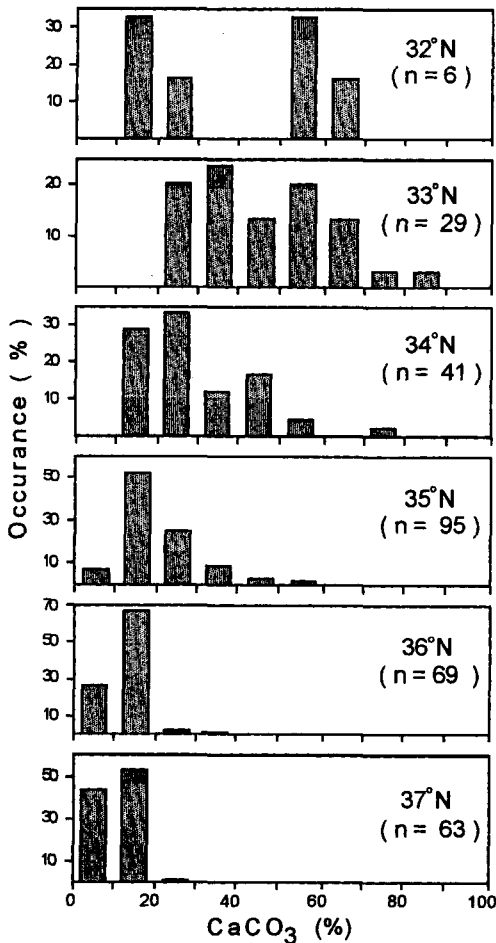


Fig. 2. Occurrence of the amounts of calcium carbonate in bulk sediment on the Korean Seas according to the latitude. Data from Choi (1990).

따라 뚜렷이 상이하게 나타난다(Fig. 2). 위도 32°~33°N의 저위도에 해당하는 남해 대륙붕에서는 탄산질 함량이 최대 80% 이상으로 높은 반면, 위도 35°N 보다 높은 고위도의 동해 해역에서는 탄산질 함량이 뚜렷이 낮게 나타난다. 한편 탄산질 함량이 높은 퇴적물은 수심 100~150 m 범위의 외대륙붕에 분포하였으며(Fig. 3A), 퇴적물 입도특성은 모래함량이 80% 이상인 사질 퇴적물에 속하였다(Fig. 3B).

본 연구에서는 위도 33°~36°N, 경도 128°~131°E 범위에 속하는 한반도 동해 남부 대륙붕에서 탄산질 함량이 높은 총 43개 정점의 퇴적물을 분석하였다(Fig. 1; Fig. 3의 닫힌 원). 일부의 정점에서는 2~3회 반복적으로 시료를 분석하였다.

본 연구지역인 한반도 동해 남부 대륙붕 퇴적물은 연안역 니질퇴적물과 외대륙붕 사질퇴적물이 뚜렷한 분포의 경계를 이루고 있다(Fig. 4). 이에따라 사질함량은 남해의 외대륙붕과 북동부의 대륙붕단 지역에서 90% 이상으로 높은 반면, 내대륙붕의 연안역에서는 10% 이하로 낮게 나타난다. 한편 퇴적물의 탄산질 함량도 사질함량의 분포경향과 유사하여, 외대륙붕에서 50% 이상으로 높은 반면, 내대륙붕에서는 20% 이

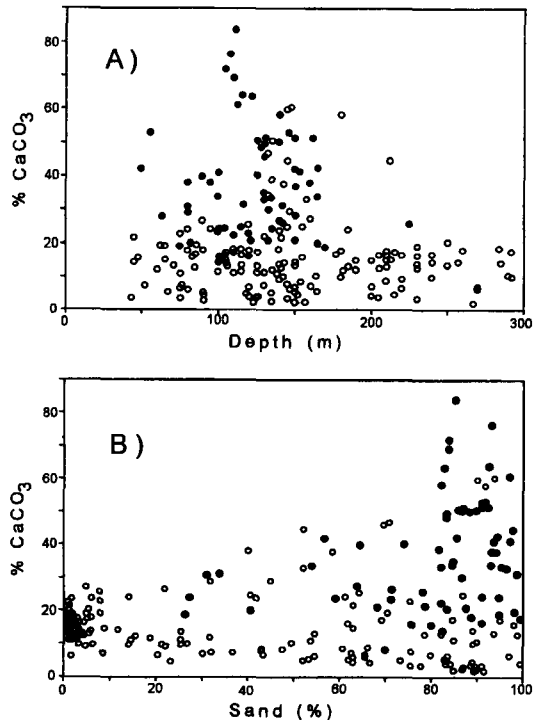


Fig. 3. The amounts of calcium carbonates on Korean Seas according to A) the water depth and B) the percent of sand. Data from Choi (1990). Solid circles are the samples in the present study.

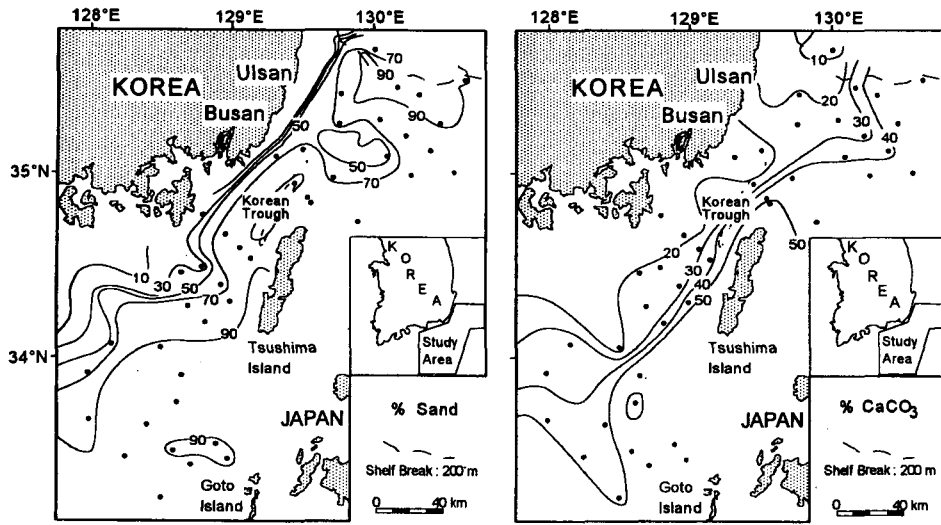


Fig. 4. Distribution of the sand content and the amounts of calcium carbonate in bulk sediment on the present study area. Data from Choi (1990).

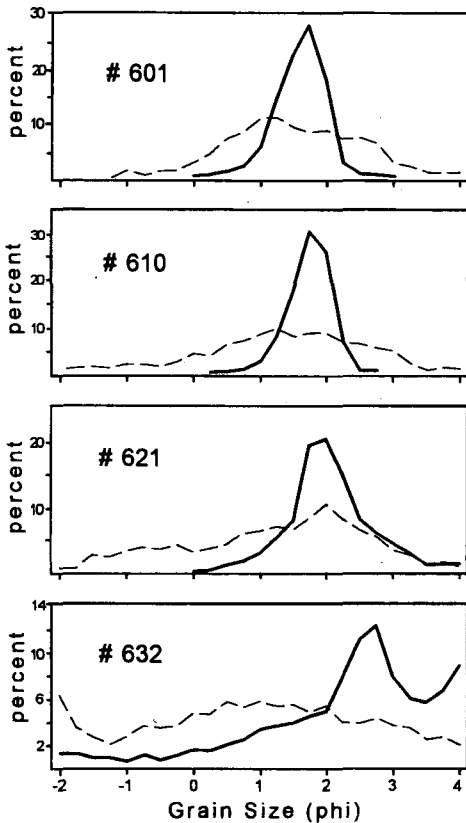


Fig. 5. Grain size distribution of detrital sample (thick solid line) and carbonate sample (narrow dashed line).

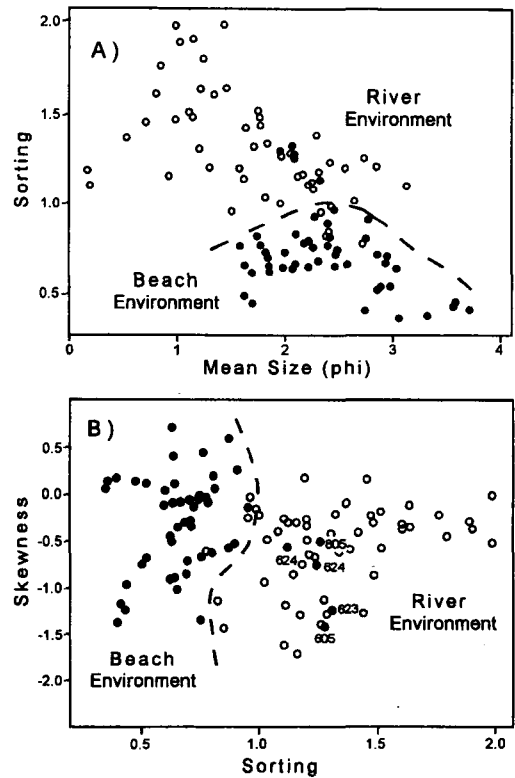


Fig. 6. Bivariate scatter plots of textural parameters, modified from Friedman (1979): A) mean size and Sorting, B) sorting and skewness. Solid circle-detrital sample, Open circle-carbonate sample.

하로 낮게 나타났다.

Figure 5에는 일부 대표적인 퇴적물에서 탄산질과

쇄설성 성분의 입도분포가 제시되었다. 쇄설성 성분은 분급도가 양호한 단빈도 입도분포곡선을 나타내

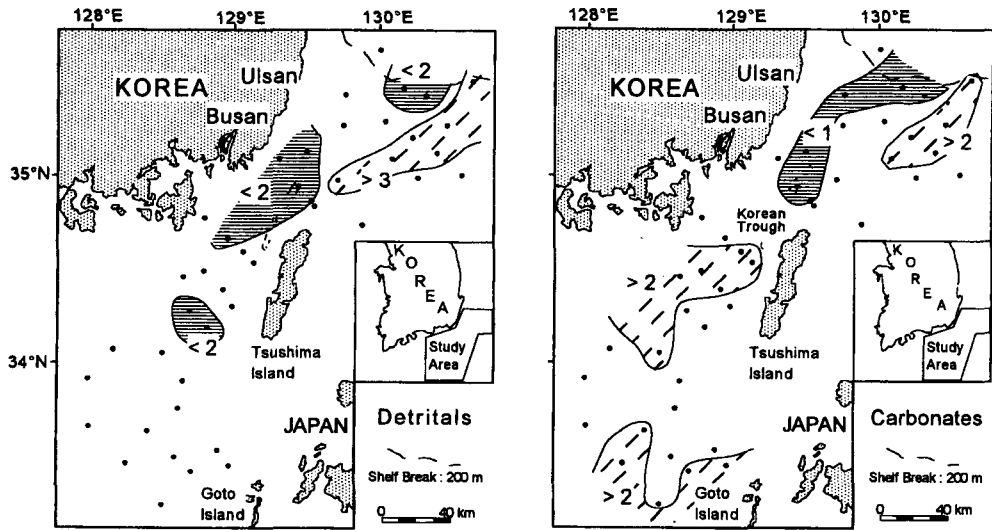


Fig. 7. Distribution of mean grain size both from detrital sample and carbonate sample.

었으며, 최빈값은 중립사(2 ϕ) 또는 세립사(3 ϕ)의 영역에 속하였다. 한편 입도분포곡선은 일부(시료 632)를 제외하고는 말단부가 닫혀진(closed) 특징을 보였다. 탄산질 성분은 입도분포가 쇄설성분과 상이하였으며, 역질계층을 포함한 거의 모든 입도계층에 분포하여 분급도가 불량하였다. 한편 탄산질 성분의 입도분포 곡선도 세립한 4 ϕ 계층의 말단부가 거의 닫힌 형태를 나타내었다. 따라서 퇴적물의 탄산질 성분이 사질계층에 우세하며, 니질계층에는 거의 포함되지 않는 것으로 여겨진다.

이와 같은 입도자료로부터 평균입도, 분급도, 왜도의 조직표준치를 계산하였고, 조직표준치의 상관관계가 분산도표에서 비교되었다(Fig. 6). 조직표준치의 계산과정에서 일부 쇄설성 성분 또는 탄산질 성분의 열린(open) 말단부의 입도분포자료는 인위적으로 닫은(closed) 후 계산하였다. 평균입도와 분급도의 분산

도표에서 탄산질 성분은 비교적 넓은 범위에 분산되었다(Fig. 6A). 이와 반면에 쇄설성 성분은 평균입도가 1.5~4.0 ϕ 범위로 세립하였으며, 분급도는 1.0 ϕ 이하로 뚜렷하게 양호한 좁은 범위에 밀집되어 분포하였다. 분급도와 왜도의 상관관계에서도 쇄설성 성분과 탄산질 성분은 분포영역이 뚜렷하게 구분되었다(Fig. 6B).

Figure 7에는 쇄설성분과 탄산질 성분의 평균입도 분포가 제시되었다. 쇄설성 성분의 평균입도는 대한해협을 따라 대한해협 서수도와 북동부 대륙붕단에서 2 ϕ 이하로 중립사 계층의 범위로서 가장 조립하였다(Fig. 7). 탄산질 성분은 평균입도의 분포양상이 다소 복잡하였지만, 대한해협 서수도에서 가장 조립하였고, 한반도 남해연안과 일본의 Goto 연안에서 세립하였다.

현미경 하에서 풍화정도에 따라 감정된 탄산질 패각편의 구성성분이 입도계층에 따라 삼각도표에 제

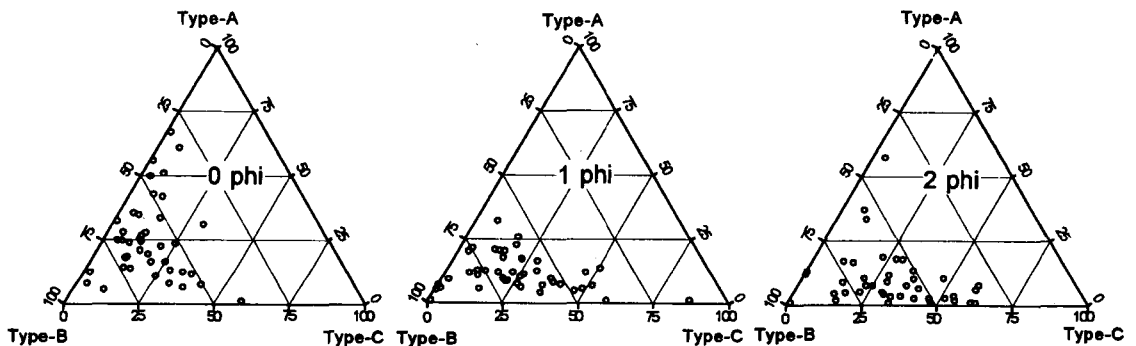


Fig. 8. Ternary diagrams of the weathered nature of carbonate component. Type-A: deeply weathered, Type-B: moderately weathered, Type-C: fresh appearance.

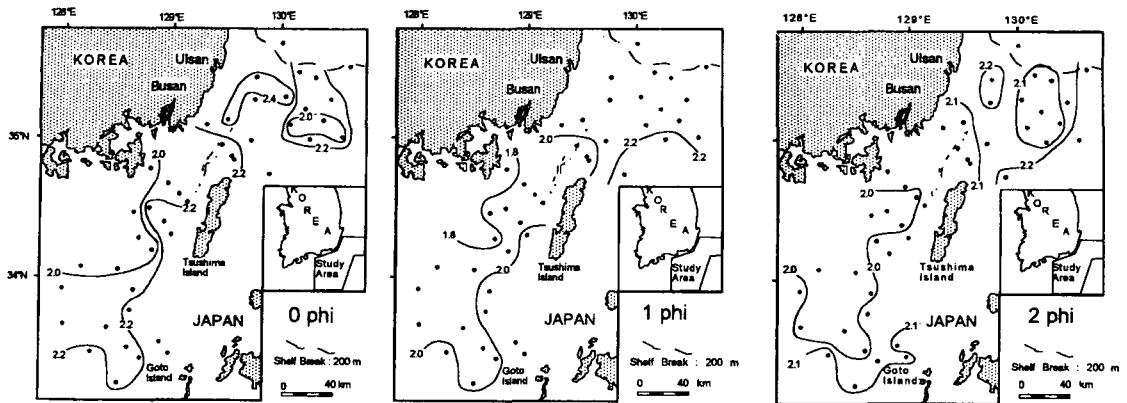


Fig. 9. Distribution of weathering index.

시되었다(Fig. 8). 0 Φ 계층에서는 심하게 풍화된 Type-A 패각편이 최대 75%로 우세하였으며, 비교적 신선한 패각과 유공층이 포함된 Type-C는 50% 이하로 낮게 나타났다. 보다 세립한 1 Φ 와 2 Φ 계층에서는 Type-A의 풍화된 패각편의 함량이 25% 이하로 뚜렷이 감소한 반면, Type-C의 신선한 패각편이 크게 증가하였다. 한편 유공층을 제외한 패각편에 대한 풍화지수(WI)의 분포양상은 입도계층에 무관하게 외대륙붕에서 풍화지수가 높았으며, 내대륙붕 쪽으로 감소하는 변화경향을 나타내었다(Fig. 9).

토 론

한반도 동해 남부 대륙붕 퇴적물의 탄산질 함량은 최대 84% 이상으로서 높게 나타났다(Fig. 3). 특히 외대륙붕에 넓게 분포하는 사질 퇴적물은 탄산질 함량이 50% 이상으로 나타나 탄산질-쇄설성분 혼합 퇴적물의 특징을 나타내었다(Fig. 4).

퇴적물 내의 탄산질 함량 및 그 분포양상은 첫째 수괴내의 생물생산력에 따른 탄산질 성분의 공급과 집적속도, 둘째 집적된 후의 파쇄 및 용해작용, 그리고 셋째 육상기원 쇄설성 퇴적물의 공급에 의한 희석작용에 따라 결정된다. 한반도 주변해역에서 탄산질 함량이 고위도의 서해와 동해 해역에 비하여 저위도의 남해에서 높은(Fig. 2) 것은 수온이 높은 대마난류의 영향으로 지역적 생물생산력이 매우 높기 때문으로 해석된다. 또한 내대륙붕 지역에서 탄산질 함량이 낮은 것은 육상기원 세립물질의 활발한 집적에 따른 희석작용 때문인 반면, 외대륙붕에서는 쇄설성 퇴적물의 집적율이 매우 낮아 상대적으로 탄산질 함량이 증가하는 것으로 여겨진다.

한편 외대륙붕에 분포하는 탄산질 성분은 주로 패

각류의 파쇄물로 구성되었다. 이들은 산출상태가 매우 불량하여 거의 대부분이 심하게 파쇄 및 마모되었고, 표면에는 부착생물의 증거가 일반적이며, 풍화 및 산화 등의 변형증거가 우세하게 나타난다(Choi, 1990). 따라서 현재 외대륙붕에 분포하는 탄산질 패각편의 대부분은 현재의 환경조건에서 공급되지 않은 것으로 여겨진다. Yoon *et al.*(1994)은 남해 동부 대륙붕에서 산출되는 패각편을 동정하여 퇴적 당시의 환경조건을 해석하였다. 패각류의 군집특징은 현재의 환경에서 서식하는 외천해-사질 군집과 현재의 환경에서 서식하지 않는 사각(死殼)들로 구성된 조간대-암역 군집으로 구분되었다. 이중 후자의 군집에 속하는 패각들은 지난 빙하기 동안 수심이 얕은 천해역 환경에서 집적된 것으로 해석된다. 이들 패각편의 C-14 연령측정 결과는 20,910 yrs B.P.로 제시되었으며(Choi, 1990), 잔류퇴적물의 직접적인 증거로 해석된다.

한편 탄산질 성분의 입자는 기원물질의 종류에 따라 크기 및 산출상태가 상이하며, 집적후 파쇄작용의 강도에 따라 다르게 나타난다. 본 연구에서 분석된 세립입도계층(0, 1, 2 Φ)의 탄산질 성분은 조립계층(0 Φ)에서 풍화가 심한 패각편이 우세하였으며, 세립계층(2 Φ)에서는 비교적 신선한 패각편이 증가하였다(Fig. 8). 그러나 입도계층에 무관하게 외대륙붕 패각편의 풍화지수가 높아 심하게 풍화되었으며, 내대륙붕 쪽으로 풍화지수가 감소하였다(Fig. 9).

동해 남부 대륙붕의 혼합 퇴적물에서 쇄설성 성분과 탄산질 성분의 입도분포를 비교하면(Fig. 5), 쇄설성분은 전형적인 단빈도 입도분포를 보였으며, 최빈값의 위치는 중립사 또는 세립사의 범위에 속하였다. 한편 탄산질 성분은 보다 조립하였으며, 입도분포는 평편하여 분급이 크게 불량하였다.

퇴적물 조직표준치들의 이차원적 상관관계를 이용하여 퇴적환경을 해석하려는 시도는 오래전부터 활발하였으며, 분산도표내에 도시된 각 퇴적물들은 일련의 구역으로 구분되어, 퇴적환경을 해석하였다 (Folk and Ward, 1957, Friedman, 1979). 본 연구의 결과에 의하면 탄산질과 쇄설 성분의 조직표준치 상관관계는 비교적 넓게 분산되었으며, 그 분포영역이 뚜렷하게 구분되었다(Fig. 6). 특히 쇄설성 시료는 Friedman(1979)의 퇴적환경 분류방식에 의한 해변 퇴적환경(beach environment)의 영역에 밀집되어 나타났다. 따라서 한반도 동해 남부 외대륙붕에 분포하는 쇄설성 사질 퇴적물은 지난 최대 빙하기(LGM: Last Glacial Maximum) 동안 또는 해침과정동안 해변 퇴적환경에서 집적된 것으로서 전형적인 잔류퇴적물에 속하는 것으로 해석된다. 일부의 시료(시료번호 605, 623, 624, 805)들은 하천퇴적환경(river environment)에 속하며, 이들은 대한해곡과 Goto 수로에 인접한 지역에 분포하는 것으로서 빙하기 동안 북태평양과 동해를 연결하는 고수로(paleo-channel) 퇴적환경에서 집적된 것으로 여겨진다. 쇄설성분의 평균입도 분포 양상에서도 대한해곡의 수로를 따라 가장 조립질 퇴적물이 분포하였다(Fig. 7). 한편 고수로를 따라 역질 함량이 높게 나타나며(Choi, 1990), 비교적 풍화에 안정된 중광물인 저어콘, 장미석 등이 다량 발견되는 사실과 일치한다 (Choi *et al.*, 1995).

결 론

한반도 동해 남부 대륙붕 퇴적물에서 탄산질과 쇄설 성분의 입도특성이 구분되었다. 쇄설 성분은 입도특성이 전형적인 해변환경의 퇴적물로 해석되며, 지난 빙하기 해수면이 낮았을 당시 천해역 연안환경에서 집적된 잔류퇴적물로 여겨진다. 패각류가 우세한 탄산질 성분은 거의 대부분이 파쇄되었으며, 표면은 심하게 풍화된 상태로 출현한다. 이들 패각류의 구성 균집성분, 산출 상태의 풍화정도, 탄소연령자료 등에 근거하면, 탄산질 패각류가 지난 빙하기 동안 수심이 얕은 연안 환경에서 공급된 것으로서, 집적된 이후 지속적인 파쇄작용과 입도분급작용이 진행된 것으로 해석된다.

사 사

본 연구는 1996년 교육부 해양/수산과학 학술연구 조성비의 지원에 의한 것입니다. 본 논문의 내용을 세밀하게 검토하신 심사위원들에게 감사드립니다.

참고문헌

- Braithwaite, C. J. R., 1973, Settling behaviour related to sieve analysis of skeletal sands. *Sedimentology*, 20, 251-262.
- Choi, J. Y., 1990, Depositional environments of the coarse-grained sediments on the continental shelf of Korean Seas. Ph.D. Thesis, Seoul National University, 331.
- Choi, J. Y., Park, Y. A. and Choi, K. W., 1995, Heavy mineral sands on the southeastern continental shelf of Korea. *Jour. Korean Soc. Oceanography*, 30, 271-278.
- Emery, K. O., 1968, Relict sediments on continental shelves of the world. *Am. Asso. Petrol. Geologists Bull.*, 52, 445-464.
- Folk, R. L., 1968, Petrology of sedimentary rocks. *Hampill's, Austin, Texas*, 170.
- Folk, R. L. and Ward, W. C., 1957, Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Jour. Sed. Petrol.*, 27, 3-26.
- Friedman, G. M., 1979, Differences in size distributions of populations of particles among sands of various origin. *Sedimentology*, 26, 3-32.
- Katsura T. and Nagano, M., 1982, Geomorphology of Goto shelf channels off northern Kyushu, Japan. *Rept. Hydrogr. Res.*, 17, 71-92.
- Kong, Y. S. and Kim, S. W., 1991, Size characteristics of the Korean shelf sediments. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 26, 38-46.
- Maiklem, W. R., 1968, Some hydraulic properties of bioclastic carbonate grains. *Sedimentology*, 10, 101-109.
- Milliman, J. D., Pilkey, O. H. and Blackwelder, B. W., 1968, Carbonate sedimentation on the continental margin off the eastern United States. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 83, 1315-1334.
- Muller, J. and Milliman, J. D., 1973, Relict carbonate-rich sediments on southwestern Grand Bank, Newfoundland. *Can. J. Earth Sci.*, 10, 1744-1750.
- Nelson, C. S., 1977, Grain-size parameters of insoluble residues in mixed terrigenous-skeletal carbonate sediments and sedimentary rocks: some New Zealand examples. *Sedimentology*, 24, 31-52.
- Park, Y. A. and Choi, J. Y., 1986, Factor analysis of the continental shelf sediments off the southeast coast of Korea and its implication to the depositional environments. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 21, 34-45.
- Pilkey, O. H., 1964, The size distribution and mineralogy of the carbonate fraction of United States coast Atlantic shelf and upper slope sediments. *Marine Geology*, 2, 121-136.
- Pilkey, O. H. and Goodell, H. G., 1964, Comparison of the composition of fossil and recent mollusk shells. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 75, 217-228.
- Yoon, S., Park, Y. A., Choi, J. Y. and Kim, Y. D., 1994, Study of surface sediments, shell assemblages and sedimentary environments of the southeastern continental shelf of the Korean Peninsula. *Jour. Paleont. Soc. Korea*, 10, 154-169.