

## 퇴적물입도곡선의 정규성분으로의 분해: 제주해협의 예

공영세 · 김원식\*

부산수산대학교 응용지질학과

\*한국자원연구소 해저물리탐사연구그룹

### Decomposition of Sediment Size Curves into Log-Normal Components: An Example from Cheju Strait Continental Shelf

YOUNG SAE KONG AND WON SHIK KIM\*

*Department of Applied Geology, National Fisheries University of Pusan, Pusan 608-737, Korea*

*\*Marine Geophysics Group, Korea Institute of Geology, Mining and Materials (KIGAM), Taejeon 305-350, Korea*

입도분포의 특징분석에 종래의 조직특성치 대신 수치해석적인 분해법의 적용을 시도하였다. 그 결과 이 방법이 제주해협의 대륙붕 표층퇴적물과 같은 복모드형 입도분포의 분석에 매우 유용함이 입증되었다. 복모드형 입도분포 퇴적물은 제주해협 대륙붕에서는 86%의 높은 비율을 점한다. 종래의 입도특성치(평균, 표준편차, 왜도, 첨도)는 복모드형 입도분포에 대해서는 왜곡된 값을 보인다. 따라서 입도분포의 모드에 대체로 대응되는 정규성분으로 분해해서 각 정규성분의 특성치를 해석함으로써 입도특성치에서와 같은 특징의 누락이나 왜곡을 피할 수 있다. 제주해협 대륙붕의 167개 퇴적물 입도분포곡선을 비선형 최소자승법을 사용하여 정규성분으로 분해해서 총 387개의 정규성분을 얻었다. 정규성분의 평균은 1-3 phi와 8-9 phi에 집중되는 것이 많다. 이중 조립질 정규성분의 평균치는 복잡하고 특징적인 지리적 분포를 보인다. 이러한 분포는 퇴적물 총층후 분포와 매우 유사하며 해저면의 지질과 지형을 면밀하게 반영하고 있다. 해저면을 형성하는 퇴적층은 플라이스토세 후기의 해침성 모래층이며 해저지형은 플라이스토세말 빙하기 저해수면시기의 침식에 의해 형성된 것으로 보인다.

Numerical method of nonlinear regression was introduced to characterize grain-size distribution more effectively than using the traditional textural parameters. This technique proved critical particularly to multimodal size distributions, as exemplified by samples from Cheju Strait continental shelf. Grain-size analysis of samples collected from the Cheju Strait continental shelf reveals that 86% of the grain-size distributions are multimodal. As multimodal grain-size distribution deviates from the statistical (log-)normal distribution, the grain-size parameters traditionally used in sediment studies do not describe the distribution efficiently. Therefore, the use of grain-size parameters is not the best method. As an alternative method, the decomposition of size curves into elementary normal component curves was used. Means and standard deviations of 387 decomposed normal components were decided by a decomposition method (nonlinear least square regression) from 167 size curves of the Cheju Strait sediments. The mean values of decomposed normal components show peaks at 1-3 phi and 8-9 phi size classes. The plot of mean values of the coarse fraction normal components on the map shows a characteristic and complex areal distribution. On the basis of the areal distribution of the mean values of the components and that of isopach of total Pleistocene sediment, the areal distribution of layers composing a transgressive sand of Late Pleistocene age were revealed.

## 서 론

퇴적물의 입도분포의 기재법으로서 입도특성치(평균, 표준편차, 왜도, 첨도)가 과거부터 사용되고 있으며 그 중 변잡한 계산이 필요없이 도면에서 간략히 구할 수 있는 도식적 방법(Inman, 1952; Folk and Ward, 1957)이 주로 사용된다. 이러한 입도특성치(혹은 조직특성치, textural parameters)는 대상으로 하는 퇴적물의 입도분포가 (대수) 정규분포에 가까울 때에는 입도에 대한 매우 효율적인 대표값 역할을 할뿐더러 두개의 값(평균과 표준편차) 만으로도 입도가 가진 정보를 모두 나타낼 수 있다.

그러나 퇴적물의 입도분포가 정규분포와 닮지 않은 경우, 특히 예를 들어 Fig. 1a와 같이 두개 이상의 모드(최빈치)를 가질 경우, 입도특성치는 분포의 특징을 제대로 대표하지 못한다. Fig. 1b의 분포는 Fig. 1a의 분포와 동일한 평균과 표준편차를 가진 것이지만 실제에 있어서는 전혀 닮지 않았다. 따라서 둘 이상의 모드를 가진 복모드형(multimodal) 퇴적물의 경우 입도특성치로는 원래의 입도분포를 복원할 수 없을 뿐더러 입도특성치가 대표값으로도 적합하지 않음을 알 수 있다.

자연에는 복모드형 퇴적물이 오히려 흔하다고 한다(Curray, 1960; Van Andel, 1964). 한국 주변 대륙붕에서 채취된 표층퇴적물의 경우 약 69%가 복모드형이며(공과 김, 1991) 제주해협 일부에 대한 이 논문 자료의 경우 86%가 복모드형이다. 따라서 한국 주변 대륙붕 퇴적물의 입도분포를 입도특성치로만 나타내어 해석할 경우 입도분포가 제시할 수도 있을 자연 현상에 대한 정보의 간과 혹은 왜곡된 해석의 가능성을 예상할 수 있다.

그러나 Fig. 1a와 같은 복모드형 입도곡선을 두개의 정규분포 성분(normal component)으로 분해하여 각 정규성분의 특성치(평균 및 표준편차)와 성분비로 나타나게 되면 입도분포의 특징을 정확히 기재할 수 있다. 즉 복모드형 입도분포를 구성성분의 중첩으로 간주하고(Fuller, 1962; Spencer, 1963; Tanner, 1964; Visher, 1965) 이들을 분리(분해)하는 것이다. 이때의 구성성분은 정규분포 혹은 다른 이론분포일 수도 있고 그 절단된 부분(Moss, 1962; Visher, 1965)일 수도 있다. 이러한 복모드형 입도분포가 어떻게 해서 생성되었는가 하는 기원적 관점에서 보다는 어떤

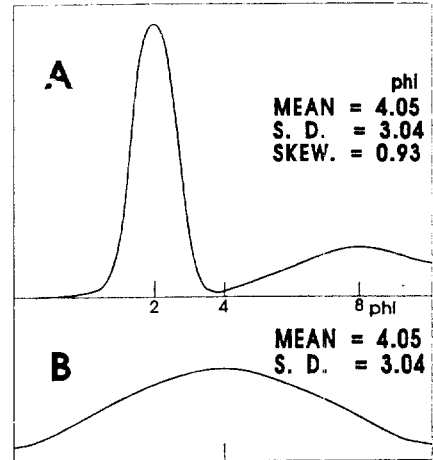


Fig. 1. Bimodal (a) versus unimodal (b) grain-size distribution curves, either having the same textural parameters.

기재방법을 써야 입도분포의 특징을 집약해서 표현할 수 있는가 하는 기재적인 관점에서 우선 보고자 한다. 그러한 관점에서 종래부터 많이 쓰여져 온 정규분포가 자연의 대부분의 입도분포곡선을 비교적 정확히 대표한다고 보고, 실제 해저에 분포하는 많은 수의 퇴적물의 복모드형 입도곡선을 정규분포성분으로 분해하여 기재한 후 이들 정규성분이 보이는 상호관계(공간적 분포)를 살펴 보았다.

이 논문의 목적은 대륙붕퇴적물의 입도곡선을 정규분포 성분으로 분해해서 고찰해 봄으로써 이같은 입도곡선 기재방법상의 정확성이 가져다 주는 유용성을 검토하는 데에 있다.

## 재료 및 방법

정규분포성분으로의 분해에 사용한 입도분포는 김승우 등(1980, 1983)의 입도분석치 자료이다. 이 입도자료는 제주해협의 수심 10에서 140m에 이르는 곳에서 그래프로 채취한 표층퇴적물 167개에 대한 분석자료이다(Fig. 2). 입도분석에는 체질과 피펫법이 사용되었고 입도분석간격은 1 phi이다(김승우 등, 1980 및 1983).

정규성분으로의 분해에 사용한 수치해석법은 비선형 최소자승법으로서 Kong(1989)의 프로그램 GCF(Gauss Curve Fitter)를 사용하였다. 이 방법은 최소자승적인 기법으로 관측된 입도곡선과 정규성분으로

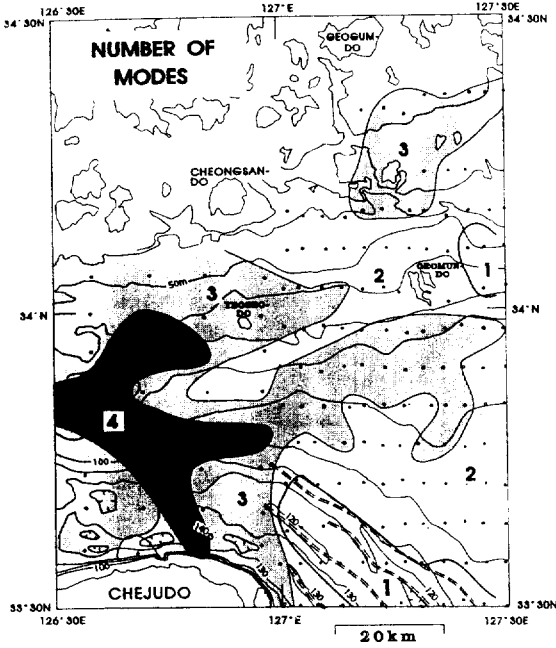


Fig. 2. Map of the study area showing distribution of the number of normal components, station locations, bathymetry (in meter), and some geomorphological features. Double dashed lines represent features interpreted as submerged cliffs or submerged littoral sandy bodies.

합성된 곡선과의 오차가 최소가 되게끔 반복계산하는 곡선회귀법의 일종이다. 수리 생물학 등에서 오래전부터 복합분포의 정규성분으로의 분해 기법이 다수 개발되어 왔는데 이 논문에서 사용한 것은 그 중의 하나이다(Hartly, 1961; Mundry, 1972; Clark and Garnett, 1974). 정규성분 분해법을 입도분포에 적용한 예는 Clark(1976)이 있다. 회귀의 양부는 초기에 주어지는 예상치에 많이 좌우됨으로 프로그램 GCA (Gauss Curve Analyzer)를 작성 이용함으로써 양호한 초기치를 정할 수 있었다. 회귀의 결과에 대한 통계적인 검증은 시도하지 않았다. 그 이유는 결과가 육안으로 보아 만족할만 하였으며, 또한 분석에 사용된 자료의 입도간격이 1 phi로서 조밀하지 않으므로 회귀의 정밀성에 대한 논의에 큰 의미가 없다고 보았기 때문이다.

**결과 및 고찰**

**1. 정규분포성분의 입도특성**

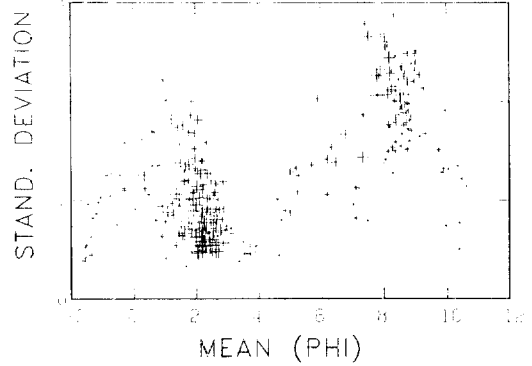


Fig. 3. Mean and standard deviation of 387 decomposed normal components from the 167 Cheju Strait shelf sediments. The size of crosshair is proportional to the ratio(%) of each normal component.

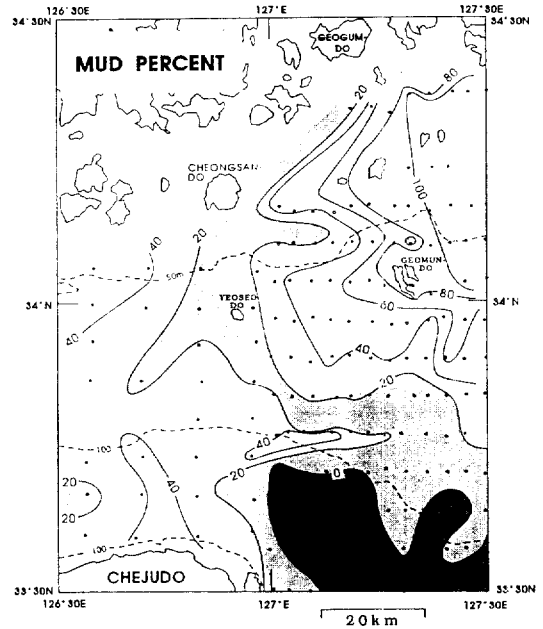


Fig. 4. The distribution of wt% the mud-fraction normal components.

제주해협의 167개 입도곡선에서 분해된 총 387개의 정규분포성분에 대한 평균과 표준편차, 그리고 비율이 구하여졌다(Fig. 3). 제주해협 퇴적물의 입도분포를 구성하는 정규성분의 개수는 두개(45%)가 가장 많고 다음이 세개(37%), 한개(14%; 단일모드), 네개(4%)의 순으로서 복모드형은 모두 86%에 이른다. 정규성분 개수의 지리적 분포(Fig. 2)를 보면 3내지 4개의 구

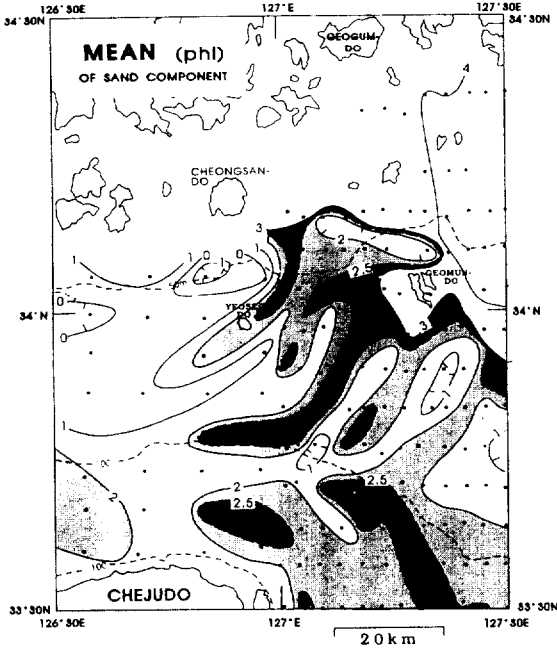


Fig. 5. The distribution of mean (in phi) of the coarse-fraction normal components.

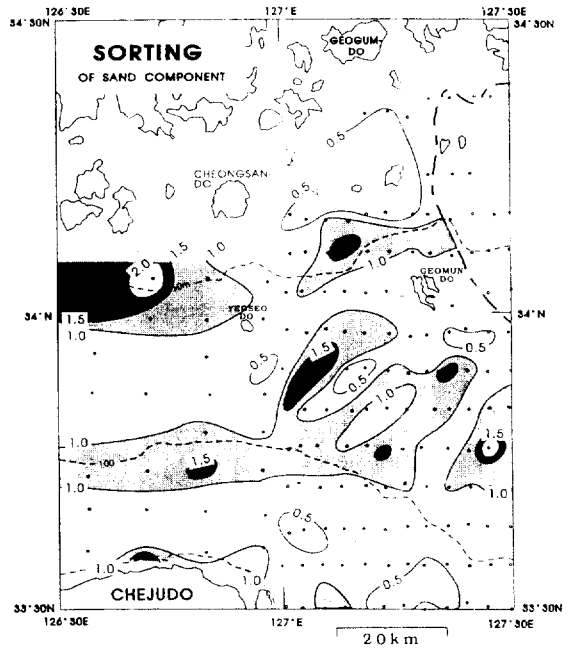


Fig. 6. The distribution of standard deviation (sorting) of the coarse-fraction normal components.

역이 서쪽에 모여 있으며 동쪽에는 남북에 각각 단일모드 구역이 있다.

정규성분의 평균은 다양한 값을 가지지만 1-3 phi 구간과 8-9 phi 구간에는 높은 빈도수를 보인다(Fig. 3). 각 정규성분중 2 phi 내외의 중립사 내지 세립사 정규성분이 양호한 분급도(표준편차 0.5-2)를 보이는 반면 8내지 9 phi의 점토질 정규성분은 불량한 분급도(1.5-3)를 보인다.

정규성분중 평균이 4 phi 이상의 뿔질 정규성분에 대한 성분비(백분율)의 지리적 분포는 Fig. 4와 같다. 즉 제주도 동부를 제외한 대부분 지역에서 퇴적물에 상당량의 뿔이 혼합되어 있어 북모드형 입도분포를 보인다. 거문도 북동의 100% 구역은 동측으로 육지도에서 거문도까지의 연안에 넓게 분포하는 단일모드 뿔구역의 일부이다(공과 김, 1991). 이는 현세 고해수준 시기에 퇴적된 최대충후 약 30 m의 세립질퇴적물층의 표층에 해당된다(조 등, 1984; Chough, 1983; Bloom and Park, 1985).

## 2. 조립질 정규분포성분

Fig. 5와 Fig. 6에 주되는 조립질 정규성분의 평균과

표준편차의 지리적 분포를 나타내었다. 조립질 정규성분이 둘 이상일 경우는 성분비가 가장 큰 것을 택하여 표시하였다. 평균치 분포(Fig 5)는 복잡한 양상을 보인다. 연구지역 서반부에는 2 phi보다 조립한(2 phi 미만) 중립사, 조립사, 역이 우세하게 분포한다. 반면 동반부에서는 세립사가 우세하다. 동반부의 중심 70-110 m 대역에는 중립사 구역이 손가락 모양으로 여러 줄 길게 파고 들어와 있다. 이 특징적인 띠모양은 대부분 북동-남서 방향으로 배열되어 있다. 주 정규성분의 표준편차 분포(Fig. 6)에서도 같은 지역에서 다소 불규칙하지만 동일한 방향의 띠모양분포를 나타낸다. 이때 중립사 및 조립사가 표준편차 1 이상의 다소 불량한 분급도를, 세립사가 양호한 분급도를 보이는 경향이 있다.

정규성분의 평균치가 보이는 이러한 특징적인 분포는 김 등(1980)과 김 등(1983)의 이 지역에 대한 퇴적물층후도(Fig. 7)와 매우 유사함을 발견할 수 있다. 이 층후도는 탄성파 반사법 단면으로 작성된 기반암 상위의 퇴적물의 총층후를 10 m 간격으로 나타낸 것이다. 층후 20 m미만 구역이 서반부에 넓게 분포하며 동반부에 길게 띠 모양으로 몇줄이 파고

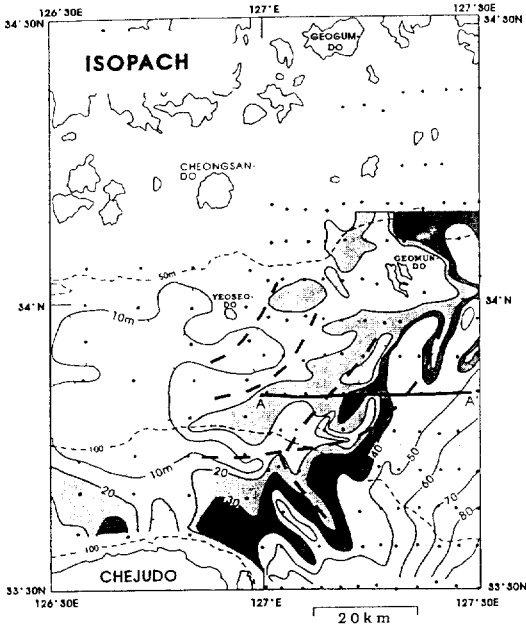


Fig. 7. Isopach map of the Pleistocene sediment compiled after Kim et al. (1980) and Kim et al. (1983). The track of seismic line AA' also shown (Interpretation by the Authors is shown in Fig. 8). Thick dashed lines represent the narrow area of less than 2 phi mean in Fig. 5.

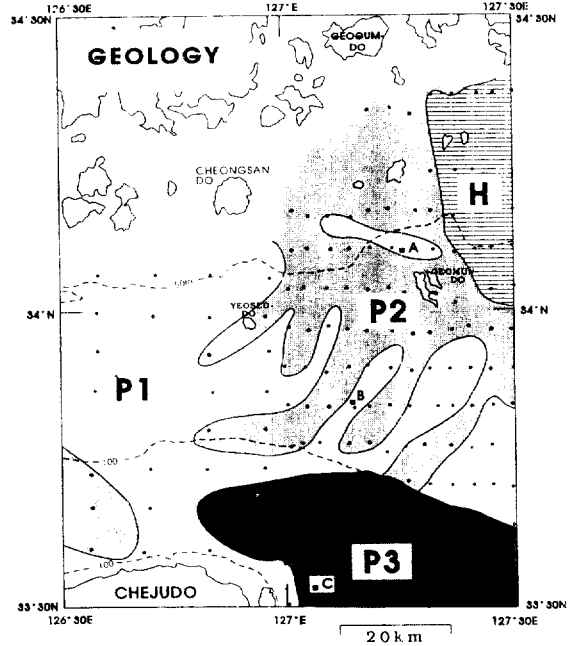


Fig. 9. The geologic map of the Quaternary sediments at the Cheju Strait. A through C refer to the sampling sites for age determinations by Suk (1989).

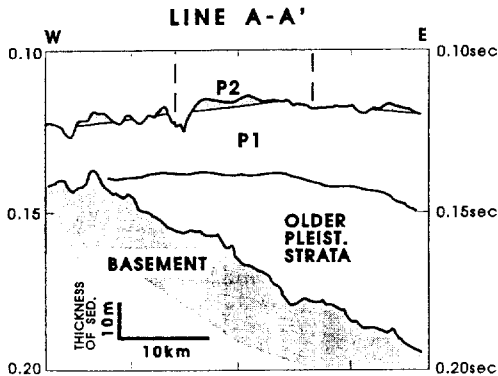


Fig. 8. Seismic interpretation of line AA'. Location is shown in Fig. 7. P1 and P2 designate the transgressive sand of the Late Pleistocene age. Vertical scale is two way travel time in seconds.

늘어가 분포하는 양상은 평균치분포(Fig.5)와 매우 유사하다. 다만 층후의 경우 남동방향으로 기반암의 심도가 증가하면서 층후는 일률적으로 커진다. 그러나 전반적인 윤곽에 있어서는 양자가 매우 유사함을

인정할 수 있다.

동서로 자른 탄성과단면 AA'의 해석(Fig.8)에 의하여 이러한 유사성의 원인을 설명할 수 있다. 즉, 단면도의 P1층이 기저역(basal gravel) 및 조립 내지 중립사로 구성된 층이며 P2층은 세립사로 구성된 층일 때, 침식으로 인해 Fig.8과 같은 해저면의 기복이 생기면 고지대에만 P2층이 남게된다. 그런데 해저면의 기복이 기반암의 기복에 비해 상대적으로 크기 때문에 퇴적물의 총층후분포가 고지대에만 남아 있는 P2층의 분포와 유사한 모양을 가지게 된 것이다. 수심이 알아지는 북서쪽구역에서는 역질사가 분포하는데 이것은 P1층의 침식단절(erosional truncation)에 의한 해저면 노출로 볼 수 있다(Fig.5).

### 3. 제주해협 퇴적물 분류

이상에서 167개의 입도분포에서 구한 387개의 정규성분의 주요한 특징이 이 지역의 층서와 연관이 깊은 것을 알게 되었다. 이것을 정리하여 정규성분을 그것이 속하는 층별로 나누어 그 지리적 분포를 Fig.9에 표시하고 각 층에 대해 기술하면 다음과 같다. 여기서의 층구분은 이 지역에서의 입도특징을 설명

하고 적당한 분포면적으로 분류하기 위한 편의적인 것으로서 엄밀한 층서학적인 의미를 가지는 것은 아니다.

H층은 거문도 북동에 분포하는 현세 빨층으로서 세립질정규성분이 이 층에 속한다(Fig. 9). 이 층에 속하는 정규성분은 대부분 8 내지 9 phi의 평균치를 보이며 분급도는 불량하다. 세립질성분의 성분비분포(Fig. 4)를 보면 거문도 북동의 현세빨 분포역 주변의 10 내지 30 km 구역은 세립질성분의 양이 체계적으로 변하는 것을 볼 수 있다. 이는 H층 주변으로도 현세빨이 퇴적되고 있음을 시사한다.

P1, P2, P3층은 모두 사질 정규성분이 속한 층이다. 이 중 하위층인 P1층은 기저역, 극조립사, 조립사 및 중립사로, P2층은 분급이 양호한 세립사, 극세립사로 구성되어 있다. 상향세립화의 이러한 입도변화는 해침시기 퇴적물임을 나타내며 하천성 기저역에서 연안 및 대륙붕 모래로 바뀌는 해침성 모래층(transgressive sand)일 것으로 해석된다(Swift et al., 1972; Swift, 1976). P1 및 P2층을 합한 층후는 Fig. 8의 단면에서 보면 대략 20 m이다. 제주도 동측의 수심 100 m 이상 지역에 분포하는 P3층(Fig. 9)은 세립사 크기의 입도이지만 분급이 아주 양호한 정규성분으로 구성되어 있고 해안침식으로 보이는 지형(Fig. 2)과 동반되어 분포하는 것으로 보아 해변 내지 해안선 부근의 퇴적물로 생각된다.

또 P1 및 P2층은 플라이스토세 후기의 해침으로 쌓인 모래층으로 보이며 P3층은 마지막 빙하기의 해퇴시의 퇴적물로 생각된다. 그 근거로는 연대측정 결과를 들 수 있다. Fig. 9에 표시된 지점들에 대한 Suk(1989)의 탄소동위원소 연대 측정에 의하면 P1층 구역의 A와 B지점은 각각 30,090과 27,020년전으로, P3층 분포구역의 C지점은 19,800년전의 연대가 나왔다. P1층의 연대가 다소 적게 나온 듯 하지만 현세 퇴적물이 아님을 확실하게 지시한다. 또 P1와 P2층의 표면에 보이는 삭박침식 지형은 이 층이 퇴적된 뒤에 닦힌 해퇴시기에 대기중에 노출되었음을 말한다(Fig. 8).

## 결 론

1. 수치해석적인 방법을 사용하여 제주해협의 퇴적물 167개의 입도분포곡선을 387개의 정규분포성분

으로 분해하였다. 정규성분의 평균치는 1-3 phi 구간과 8-9 phi 구간에 집중되어 나타난다.

2. 분해된 조립질 정규성분의 평균치는 복잡하고 특징적인 지리적 분포를 보인다. 이러한 분포는 해저면의 지질과 지형을 면밀하게 반영하는 것이다. 즉, 기저역, 조립사, 중립사, 분급양호한 세립사로 점이하는 플라이스토세 후기의 해침성 모래층(층후 약 20 m)의 편과적 침식에 따른 각 층의 분포를 세밀하게 나타내어 준다.

3. 북모드형 입도분포에서 퇴적물의 운반과정이나 근원지 등에 관련된 정보를 얻기 위해서 뿐만 아니라 입도분포의 왜곡되지 않은 대표치를 얻기 위해서도 입도특성치와 같은 종래의 방법보다는 정규성분분해와 같은 분석적인 방법이 사용되어야 한다. 만일 이 논문의 입도자료를 종래의 입도특성치로 분포도를 그렸다면 전술한 특징(Figs. 5 및 6)은 아무것도 나타나지 않았을 것이다.

## 사 사

이 논문의 일부는 1990년도 문교부지원 한국학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었다. 자료분석 등에 큰 도움을 준 부산수산대학교 김국주 및 김성우군에게 사의를 표한다.

## REFERENCES

- 공영세, 김승우, 1991. 한국근해 퇴적물의 입도분포특성. 한국해양학회지, 26: 38-46.
- 김승우, 민건홍, 조규장, 김철민, 박관순, 김원식, 신원철, 1980. 연근해저해양지질조사 및 물리탐사연구(제주-청산도해역). 자원개발연구소, 조사연구보고 9: 15-33.
- 김승우, 장정해, 김종수, 이치원, 민건홍, 신원철, 조규장, 김원식, 1983. 연근해저지질조사연구 (거문도해역). 한국동력자원연구소, 82-해저자원-1-17: 7-48.
- 조규장, 이원영, 김원식, 박관순, 한현철, 박근필, 신원철, 이호영, 최완실, 1984. 해양물리탐사연구 (여수백도일대해역). 한국동력자원연구소, 83-해저자원-2-15: 81-146.
- Bloom, A. L. and Y. A. Park, 1985. Holocene sea-level history and tectonic movements, Republic of Korea. Quat. Res., 24: 77-84.
- Chough, S. K., 1983. Marine Geology of Korean Seas. Int. Hum. Resour. Dev. Corp., Boston, Mass., 157pp.
- Clark, I. and R. Garnett, 1974. The detection of multiple mineralisation phases by statistical methods. Trans. Inst. Min. Meta., 83: 809, A43-A52.
- Clark, M. W., 1976. Some methods for statistical analysis

- of multimodal distributions and their application to grain-size data. *Math. Geol.*, **8**: 267-282.
- Curry, J. R., 1960. Sediments and history of Holocene transgression, continental shelf, northwest Gulf of Mexico. In: *Recent Sediments, Northwest Gulf of Mexico*, edited by F. P. Shepard, F. B. Phleger and T. H. van Andel. *Ame. Assoc. Petroleum Geol.*, 221-266.
- Folk, R. L. and W. C. Ward, 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *J. Sed. Petrol.*, **27**: 3-26.
- Fuller, A. O., 1962. Systematic fractionation of sand in the shallow marine and beach environment off the South African Coast. *J. Sed. Petrol.*, **32**: 602-606.
- Hartley, H. O., 1961. The modified Gauss-Newton method for the fitting of non-linear regression functions by least squares. *Technometrics*, **3**: 269-280.
- Inman, D. L., 1952. Measures for describing the size distribution of sediments. *J. Sed. Petrol.*, **22**: 125-145.
- Kong, Y. S., 1989. Log-normal components of the sediment size distribution. *J. Geol. Soc. Korea.*, **25**: 312-321.
- Moss, A. J., 1962. The physical nature of common sandy and pebbly deposits, part I. *Ame. J. Sci.*, **260**: 337-373.
- Mundry, E., 1972. On the resolution of mixed frequency distributions into normal components. *Math. Geol.*, **4**: 55-60.
- Spencer, D. W., 1963. The interpretation of grain size distribution curves of clastic sediments. *J. Sed. Petro.*, **33**: 180-190.
- Suk, B. C., 1989. Quaternary sedimentation processes, structures and sea level changes history in the East China Sea, the Yellow Sea and the Korea-Tsushima Strait regions. Ph. D. Dissertation, Univ. of Tokyo, 246pp.
- Swift, D. J. P., 1976. Coastal sedimentation. In: *Marine Sediment Transport and Environmental Management*, edited by D. J. Stanley and D. J. P. Swift, John Wiley, New York, 255-310.
- 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, Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudsboung, 499-574.
- Tanner, W. F., 1964. Modification of sediment size distribution. *J. Sed. Petro.*, **34**: 156-164.
- Van Andel, T. H., 1964. Recent marine sediments of Gulf of California. In: *Marine Geology of the Gulf of California*, edited by T. H. van Andel and G. Shor. *Ame. Ass. Petroleum Geol., Mem.*, **3**: 216-310.
- Visher, G. S., 1965. Grain size distributions and depositional processes. *J. Sed. Petro.*, **39**: 1074-1106.

---

Accepted April 29, 1993