

입도곡선의 정규성분 분해에 의한 대한해협의 대륙붕 퇴적물 연구

공영세 · 김희준 · 민건홍* · 이치원*
부산수산대학교 해양공학부 · *한국자원연구소 석유해저자원부

A Study on the Shelf Sediments from Korea Strait through Decomposition of Size Curves into Normal Components

Young Sae KONG, Hee Joon KIM, Geon Hong MIN* and Chi Won LEE*

School of Ocean Engineering, National Fisheries University of Pusan, Pusan 608-737, Korea

*Petroleum and Marine Resources Division, Korea Institute of Geology, Mining and Materials (KIGAM), Taejeon 305-350, Korea

A numerical method based on genetic algorithms was introduced to characterize the grain-size distribution more effectively. This technique was proved significant particularly for multimodal size distributions, as was verified for samples from Korea Strait continental shelf. Sediment samples collected from the Korea Strait continental shelf revealed that 96% of the grain-size distributions were multimodal. Therefore, the use of grain-size parameters was not the ideal method. As an alternative method, the decomposition of size curves into elementary normal component curves was used. Means and standard deviations of 593 decomposed normal components were calculated by a numerical method from 268 size curves of Korea Strait sediments. The mean values of decomposed normal components showed peaks at 1~3 ϕ and 7~9 ϕ size classes. The plot of mean and standard deviation values of the coarse fraction normal components on the map showed a characteristic areal distribution. The characteristic distribution was found to derive from underlying Pleistocene sediment on the basis of sea bottom geologic distribution of the area. The method of decomposition into normal components was found to be more effective than the analysis using traditional grain-size parameters in investigation of multimodal size distribution of Korea Strait shelf sediment.

Key words : shelf sediment, size distribution, multimodal, decomposition into normal components, genetic algorithms, Korea Strait

서 론

퇴적물의 입도분포곡선은 각 퇴적물의 입도분포 특성을 잘 나타내어 주는 도형이다. 그러나 이들의 지역적 분포 양식을 살핀다든가 서로를 양적으로 비교하기 위해서는 각각의 입도곡선의 특성을 한두개의

수치로 집약해서 나타내 주는 대표값이 필요하다. 이러한 대표값으로 과거부터 꾸준히 사용되어오는 것이 입도특성치(평균, 표준편차, 왜도, 첨도)이다. 이러한 입도특성치(혹은 조적특성치, textural parameters)는 대상으로하는 퇴적물의 입도분포가 정규분포에 가까울 때에는 입도에 대한 매우 효율적인 대표값 역할을

이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

할 뿐더러 두개의 값(평균과 표준편차) 만으로도 입도가 가진 정보를 모두 나타낼 수 있다. 그러나 퇴적물의 입도분포가 Fig. 1과 같이 정규분포와 닮지 않은 경우, 특히 두 개 이상의 모드(최빈치)를 가질 경우, 입도특성치는 분포의 특징을 제대로 대표하지 못한다. 둘 이상의 모드를 가진 복모드형(multimodal) 퇴적물의 경우 입도특성치로는 원래의 입도분포를 복원할 수 없다. 이것은 복모드형 입도분포에 대해서는 입도특성치가 대표값으로 적합하지 않음을 말한다. 한국 주변 대륙붕에서 채취된 표층퇴적물의 경우 약 69%가 복모드형이다 (Kong and Kim, 1991). 따라서 한국 주변 대륙붕 퇴적물의 입도분포를 입도특성치로 나타낼 경우 입도분포곡선이 가진 정보는 제대로 전달되지 않는다.

Fig. 1과 같은 복모드형 입도곡선을 두개의 정규분포 성분(normal component)으로 분해한 뒤 각 정규성분에 대한 평균과 표준편차, 그리고 성분비를 구하면 입도곡선의 정확한 기제가 가능하다. 즉 복모드형 입도분포를 구성성분의 중첩으로 간주하고 (Fuller, 1962; Spencer, 1963; Tanner, 1964; Visher, 1965) 이들을 분해하는 것이다. 이 논문에서는 대한해협의 해저에 분포하는 퇴적물의 복모드형 입도곡선을 수치해석적인 방법을 써서 정규분포성분으로 분해한 후 이들 정규성분이 보이는 상호관계(공간적 분포)를 살펴 보고 이와 같은 분석법의 유용성을 알아 보았다. 아울러 이 논문에서는 수치해석적인 분해방법으로서 유전적기법을 사용하여 종래의 최소자승법과 비교하였다.

유전적기법

정규분포성분으로의 분해에 사용한 입도분포자료는 대한해협에서 그래프로 채취한 표층퇴적물 268개에 대해 1 ϕ 의 입도간격으로 분석된 자료이다 (Kim, S. W. et al., 1986, 1987, 1988; Min et al., 1989). Fig. 2는 이들 퇴적물의 채취 지점을 나타낸다. 이 논문에서 정규분포 성분분해에 사용한 방법은 최근 비선형 최적화문제의 해법으로서 주목받는 유전적 기법 (genetic algorithms)이다. 이 기법은 자연계에 존재하는 현상에서 힌트를 얻은 최적화 알고리즘으로서 현재도

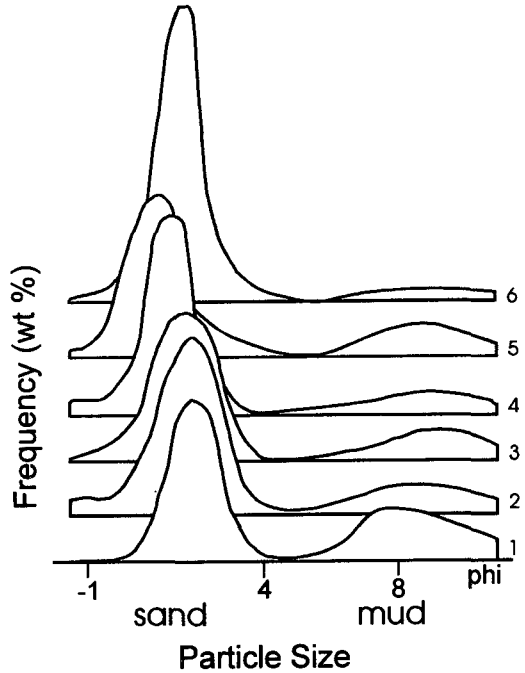


Fig. 1. Several examples of bimodal grain-size distribution curves for the sediments from the study area (See Fig. 2 for the locations of sample site).

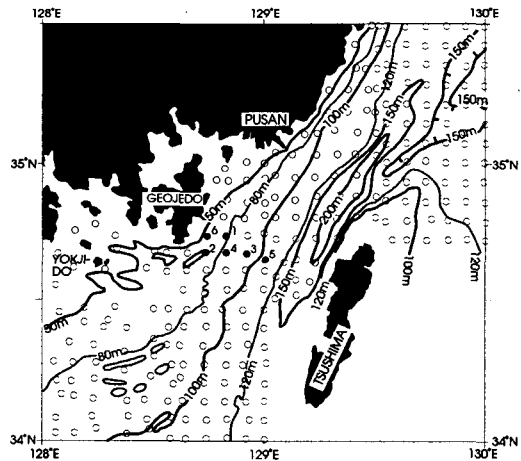


Fig. 2. Map of the study area showing station locations and bathymetry (in meter).

그 이론적 배경이나 각종 문제에 대한 적용성등이 광범위하게 연구되고있다 (Goldberg, 1989; Sen and Stoffa, 1992; Smith et al., 1992; Forrest, 1993; Galla-

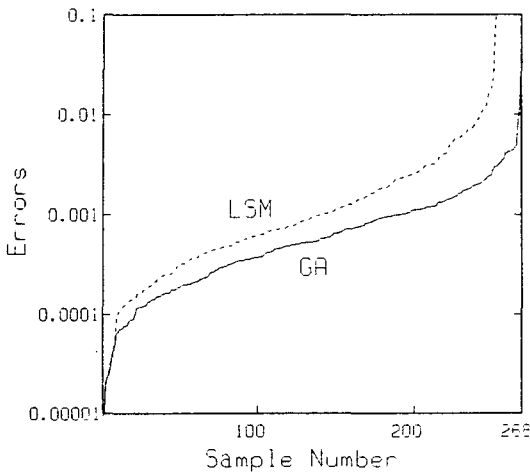


Fig. 3. Scatter diagram showing the ranges of error values for the decomposition by genetic algorithms and least squares method, respectively.

gher and Sambridge, 1994; Kim, 1995). 유전적 기법은 비선형 최소자승법에서 일반적으로 요구되는 목적함수의 경사방향 정보를 필요로 하지 않을 뿐더러 초기 모델에도 의존하지 않는다는 장점을 가지고 있다. 특히 목적함수의 진동이 큰 고난도 문제에 적용 가능한 유일한 최적화기법으로 알려져 있다.

유전적기법의 기본적인 흐름은 다음과 같다. 먼저 모델 변수를 부호화한다. 그리고 랜덤하게 만들어진 많은 개체로 된 어미집단을 만들고 각 개체의 적응도를 평가한다. 그리고서 같은 수의 새끼집단을 만든다. 이 때 한 쌍의 어미에서 두 마리의 새끼가 태어난다. 한 쌍의 어미는 랜덤하게 그러나 적응도(fitness)에 비례하는 가중치가 부과되어 선택된다. 새끼의 유전자를 결정하는 데에는 어미 유전자 간의 교차(crossover)와 돌연변이를 랜덤한 방법으로 적용한다. 이렇게 함으로써 높은 적응도의 유전자 패턴을 깨지 않으면서도 일시 도태되었지만 유용한 유전자가 부활하여 탐색의 범위가 넓어질 수 있다. 이러한 과정 (적응도 평가, 어미의 선택, 유전자의 교차, 돌연변이)을 통한 새로운 세대 만들기가 되풀이 된다. 그 결과 전 개체가 동일하게끔 수렴하여 목적함수는 최적화된다.

종래의 입도곡선의 정규성분분해에 사용하는 수치 방법은 비선형 최소자승법이 주를 이루었다 (Clark

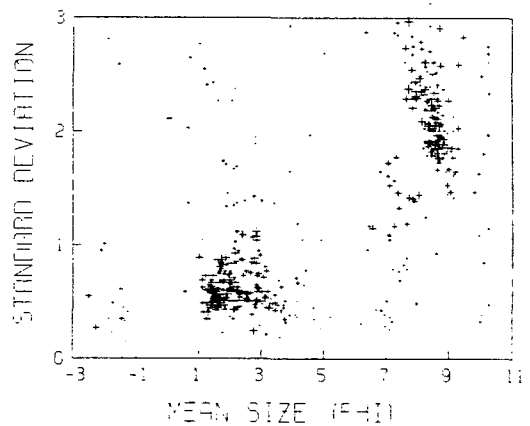


Fig. 4. Mean and standard deviation of 593 decomposed normal components from the 268 Korea Strait shelf sediments.

and Garnett, 1974; Clark, 1976; Kong, 1989; Kong and Kim, 1993). 이 방법은 최소자승적인 기법에 의해 정규성분으로 합성된 곡선과 관측된 입도곡선과의 오차가 최소가 되게끔 반복계산하는 곡선회귀법의 일종이다. 회귀의 양부는 초기에 주어지는 예상치에 많이 좌우됨으로 미리 양호한 초기치를 정하여 적용하지 않으면 계산이 수렴하지 않는다. 예를 들어 모드가 두 개인 경우 다섯, 모드가 세개인 경우는 여덟개나 되는 매개변수(각 모드별 평균, 표준편차, 구성비율)를 육안으로 추정해야 함으로 초기치를 정하는 것은 어려운 작업이다. 또 구해진 해가 최적인지 여부를 알 수 없다는 단점도 있다. 반면 유전적기법의 경우, 모드수 이외의 어떤 초기치도 필요로 하지 않는다는 큰 장점이 있다 (모드수를 정해 주는 것도 계산의 효율성 때문이지 필수적인 것은 아니다). 또 최소자승법의 경우와는 달리 전역적인 최적값을 찾아 준다는 것도 장점이 된다.

이 논문에 쓰인 268개의 입도곡선에 대해 유전적기법과 최소자승법을 각각 적용하여 구한 매개변수를 비교하면 회귀의 결과 면에서 유전적기법의 성적이 약간 우수한 것으로 나타났다. 합성된 곡선과 관측 입도곡선과의 오차값(각 입도계급별 차의 제곱의 합)을 크기 순으로 배열된 268개의 샘플에 대해 나타내면 (Fig. 3) 오차값은 유전적기법 쪽이 적고 따라

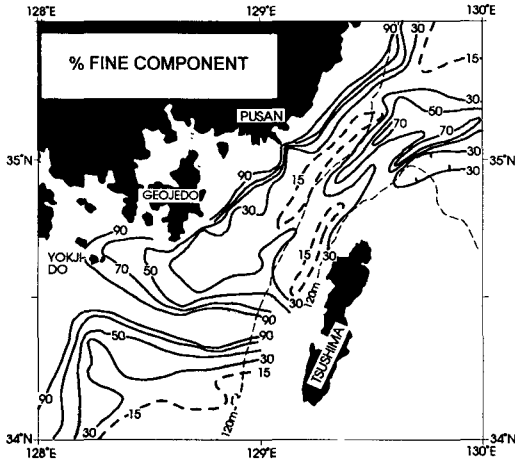


Fig. 5. The distribution of weight percent for the mud-fraction normal components.

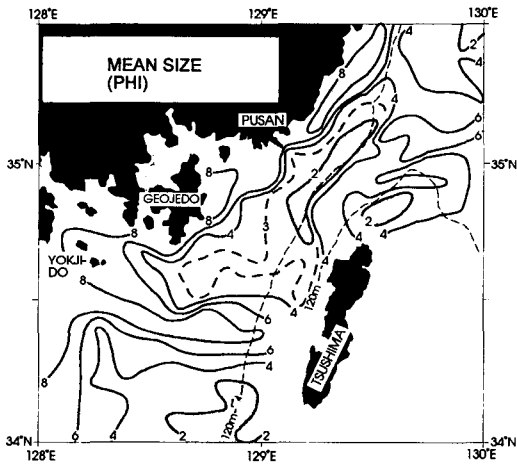


Fig. 6. The distribution of mean (in ϕ) for the whole sediment.

서 최소자승법에 비해 우수한 결과를 보임을 알 수 있다. 즉, 268개 입도곡선에 대한 오차의 평균은 유전적기법 (0.00024) 이 최소자승법 (0.0003) 보다 작다. 또 오차가 큰 (0.002이상) 샘플의 갯수도 유전적기법 (전체갯수의 14%) 쪽이 최소자승법 (31%) 보다 적다. 유전적기법의 이러한 장점들은 정규성분 분해법을 입도곡선에 대해 손쉽게 적용하게하는 특성이라 할 수 있다.

결과 및 고찰

대한해협 퇴적물의 입도분포를 구성하는 정규성분의 갯수를 입도곡선의 육안관찰에 의하여 추정하고, 그 값을 유전적 기법의 입력자료로서 사용하였다. 이에 의하면 이지역 퇴적물의 정규성분 갯수는 두개(72%)가 가장 많고 다음이 세개(23%), 한개(10%; 단일모드), 네개(1%)의 순으로서 복모드형은 모두 96%에 이른다. 정규성분 갯수는 지리적으로 뒤섞여 분포함으로 일정한 분포 영역으로 나누기 힘들다. 다만 대체적인 경향을 보면 3내지 4개의 구역이 부산, 쓰시마 북단, 쓰시마 남단, 거제도를 잇는 영역내에 비교적 집중해서 나타나며, 나머지 지역을 2개의 구역이 넓게 덮는다. 단일모드 구역은 연구지역의 북동쪽 끝과 부산의 해안부근에 좁게 분포한다.

대한해협의 268개 입도곡선에서 유전적기법으로 분해된 총593개의 정규분포성분에 대한 평균과 표준편차는 Fig. 4 (십자표시의 크기는 정규성분의 비율에 비례하게 그려져 있다) 와 같다. 정규성분의 평균은 다양한 값을 가지지만 1~3 ϕ 구간과 7~9 ϕ 구간에서 높은 빈도수를 보인다 (Fig. 4). 각 정규성분중 2 ϕ 내외의 중립사 내지 세립사 정규성분이 양호한 분급도 (표준편차 0.3~1)를 보이는 반면 7내지 9 ϕ 의 점토질 정규성분은 불량한 분급도(1~3)를 보인다.

평균이 4 ϕ 보다 세립한 정규성분의 구성비를 나타낸 것이 Fig. 5 이다. 이에 의하면 거의 전 지역의 퇴적물에 빨 성분은 포함되어있으며 이로 인하여 대부분이 복모드형 입도곡선을 보인다는 것을 알 수 있다. 특히 빨성분이 많은 곳은 한국의 남동해안 인접해역과 육지도 쓰시마를 잇는 선으로 90% 이상, 그리고 해저곡의 북동측 일부로서 70% 이상의 구성비를 보이며 분포형태는 띠모양이다.

Fig. 1에 보이는 것처럼 복모드형 입도곡선의 평균값은 두 성분의 구성비에 따라 두 개의 봉우리 (대략 2와 8 ϕ) 사이의 어떤 값이 될 것이다. 이와 같은 입도곡선 전체에 대한 평균값의 분포를 도시하면 Fig. 6과 같다. 이 분포의 양상은 Fig. 5 (세립질 정규성분의 구성비 분포도)와 매우 유사함을 알 수 있다. 즉 종래의 평균입도 분포도는 복모드형 퇴적물의 경우에는 빨성분의 함량분포를 나타내는 데 불과한 것이었다.

복모드형 퇴적물에서 세립질 성분을 걷어내고서 남은 조립질 정규성분에 대한 평균입도와 표준편차의 분포를 나타낸 것이 각각 Fig. 7과 Fig. 8이다. Figs. 7

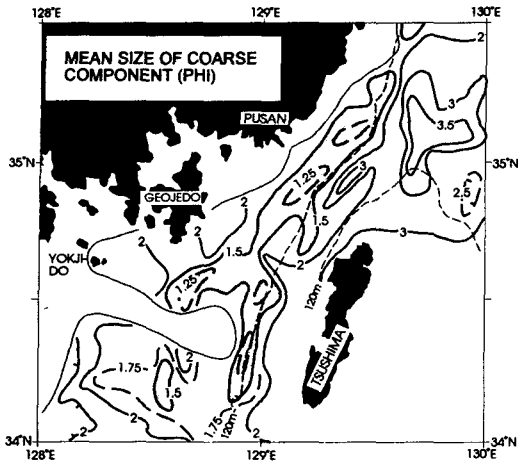


Fig. 7. The distribution of mean (in ϕ) for the coarse fraction normal components.

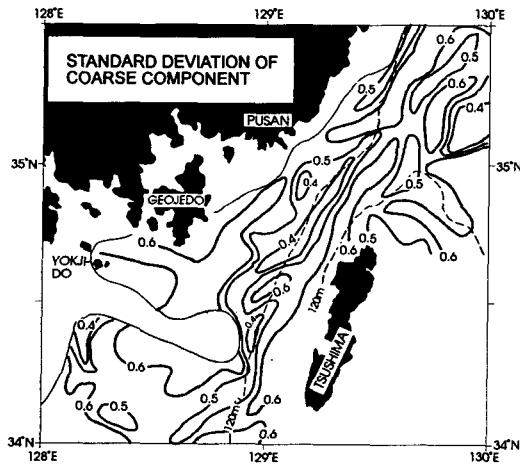


Fig. 8. The distribution of standard deviation (sorting) for the coarse fraction normal components.

과 8에서는 북동-남서 방향의 좁은 띠모양 분포가 대륙붕상에 잘 드러나 있다. 먼저 Fig. 7에서 입도값의 변화 범위를 보면 1.25~3.5 ϕ 로서, 입도곡선 전체에 대한 평균입도 (Fig. 6) 의 범위인 2~8 ϕ 와 비교해서 범위가 매우 좁은 것을 알 수 있다. 이것은 Fig. 7을 통해서 볼 경우 입도의 공간적 분포의 세밀한 변화도 쉽게 파악할 수 있다는 것을 의미한다.

Fig. 7에서는 입도 1.5 ϕ 를 경계로 두 개의 구역 즉, 상대적으로 조립한 구역과 상대적으로 세립한 구역의 둘로 크게 나누어 볼 수 있다. 상대적으로 조립한

구역은 한국측 대륙붕의 한가운데에 (수심 80~130m 사이) 좁은 띠모양으로 길게 분포하며, 상대적으로 세립한 구역은 그 밖의 구역을 차지한다.

Fig. 8에서는 표준편차 0.6을 경계로 두 개의 구역 즉, 분급이 양호 내지 보통인 구역과 분급이 매우 양호한 구역으로 크게 나누어 볼 수 있다. 분급이 양호 내지 보통인 구역 (표준편차 0.6 이상) 은 거제도 남쪽을 넓게 차지하다가 부산 동쪽으로 가면서 좁아지는 띠모양으로 분포하며, 쓰시마 부근에도 역시 띠모양으로 분포한다. 한편 분급이 매우 양호한 구역 (표준편차 0.6 미만) 은 한국쪽 수심 120m선 부근과 옥지도 남측, 쓰시마에서 해저곡의 북동측 사이에 분포한다.

Figs. 7과 8에서 보이는 조립성분의 입도와 표준편차의 띠모양 분포 구역은 대략 북동-남서방향으로 뻗어 있어 등수심선의 방향인 북북동-남남서와 약간 어긋나게 발달해 있다. 이러한 현상은 해저면 표층하부의 지질조건에 기인하는 것으로 보인다. 그 근거는 다음과 같다. Fig. 9는 탄성파조사에 의한 해저면의 지질분포를 개략적으로 나타낸 그림이다 (Shin et al., 1986, 1989; Kim, C. M. et al., 1987, 1988 에서 수정 편집). 여기에서의 층서는 크게 세부분으로 나누었는데 상위에서부터 A층 (A unit), B층, 및 최하위층인 고기층이다. A층은 한국 주변의 내대륙붕에 발달하는 현세 뿔층으로서 연구지역에서 P파 전달속도가 초속 1600~1640m로 관측된 미고결층이다 (Shin et al., 1986). B층은 이 지역에서 초속 1780~1850m의 속도를 보이는 플라이스토세 (추정) 미고결 쇄설성퇴적물층이며 연구지역에서 가장 넓게 분포한다. 이 층은 해저곡의 방향으로 매우 완만하게 경사해 있는데 해저곡 부근에서 약 100m 내외의 최대층후를 보인다 (Shin et al., 1986, 1989; Kim, C. M. et al., 1987, 1988). Fig. 9에는 B층의 층후가 30m 보다 두꺼운 지역을 표시하였는데, 이들의 분포를 보면 B층의 전반적인 주향방향은 대체로 북동-남서 방향임을 알 수 있고 한국쪽 수심 120m선을 비스듬하게 가로지르는 것을 볼 수 있다. 또한 B층의 층후가 30m 미만인 지역의 분포는 Fig. 8의 분급이 양호 내지 보통인 구역의 분포와 매우 유사함을 알 수 있다. 이러한 분포양상은 역 함량류의 분포에서도 읽을 수 있다 (Fig. 10). Fig. 10에

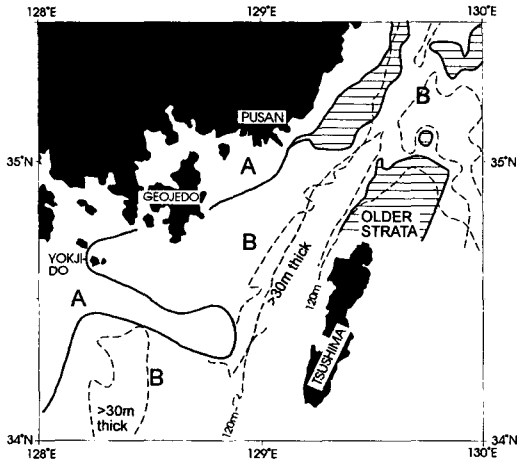


Fig. 9. The sea bottom geologic map (modified after Shin et al., 1986, 1989; C. M. Kim et al., 1987, 1988).

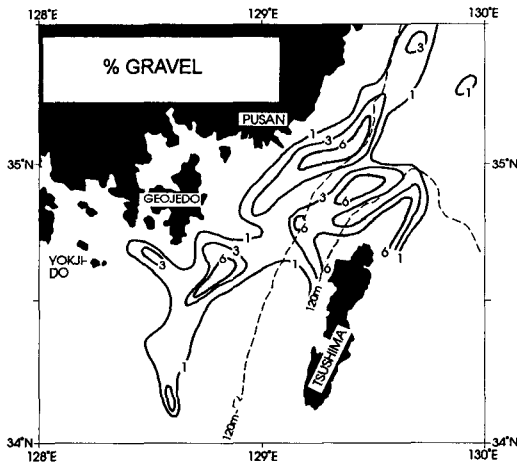


Fig. 10. The distribution of weight percent of the gravel fraction.

서 한국측 대륙붕 상에서 1% 이상의 구역은 길게 북동-남서의 띠모양을 만들며 이 분포는 B층의 30m 미만 구역과 대체로 일치하는 분포를 보인다 (Fig. 9). B층의 30m 미만 구역은 대체로 B층의 하부 지층이 노출되어 있는 구역이다 (Shin et al., 1986, 1989; Kim, C. M. et al., 1987, 1988; Min, 1994). 따라서 조립질 정규성분 중 역의 함유량이 1% 이상이고, 상대적으로 조립하며, 동시에 분급이 양호 내지 보통인 구역은 B층의 하부가 노출된 구역과 거의 일치한다 (Fig. 7에서 10). 다시 말하면 입도곡선에서 빨질 정규성분이

제거되고 남은 조립질 성분은 해저면에 노출된 지층의 분포를 반영한다는 것이다. 이 조립질 성분은 B층 하부를 이루는 퇴적물 자체이거나 혹은 그것이 재동된 얇은 피복 퇴적물일 것이다. 이와 같이 북모드형 입도분포에 대해 정규성분 분해법을 적용함으로써 퇴적물의 기원에 대한 유용한 정보를 얻을 수 있었다.

결 론

1. 유전적기법을 사용하여 대한해협의 퇴적물 268개의 북모드형 입도분포곡선을 593개의 정규분포성분으로 분해하였다. 분해된 조립질 정규성분의 평균치 및 표준편차는 특징적인 지리적 분포를 보인다. 이러한 분포는 해저면에 노출된 지층의 분포를 반영하는 것이다. 북모드형 입도분포에 대해 정규성분분해와 같은 분석적인 방법을 사용함으로써 퇴적물의 기원에 대한 유용한 정보를 얻을 수 있다.

2. 유전적 기법은 비선형 최소사승법에서 일반적으로 요구되는 목적함수의 경사방향 정보를 필요로 하지 않을 뿐더러 초기치에 의존하지 않는다는 장점을 가지고 있다. 따라서 입도곡선의 정규성분분해와 같은 고난도 비선형 문제에 적합한 최적화기법이다.

사 사

이 연구의 일부는 한국과학재단의 지원을 받았다.

참 고 문 헌

- Clark, I. and R. Gamett. 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.
- Forrest, S. 1993. Genetic algorithms: principles of natural selection applied to computation. *Sci-*

- ence, 261(5123), 872~878.
- 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.
- Gallagher, K. and M. Sambridge. 1994. Genetic algorithms: a powerful tool for large-scale nonlinear optimization problems. *Comp. and Geosci.*, 20 (7/8), 1229~1236.
- Goldberg, D. 1989. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley, 412pp.
- Kim, C. M., Lee, W. Y., Kim, W. S., Park, K. P., Shin, W. C., Lee, H. Y. and W. S. Choi. 1987. Marine geophysical study of the continental shelf off southern coast, Korea (Geojedo-Pusan). KIER (Korea Institute of Energy and Resources), KR-86-2-20, 101~149 (in Korean).
- Kim, C. M., Lee, W. Y., Kim, W. S., Park, K. P., Shin, W. C., Lee, H. Y. and W. S. Choi. 1988. Marine geophysical study of the continental shelf off southern coast between Pusan and Ulsan, Korea. KIER, KR-87-26, 65~105 (in Korean).
- Kim, H. J. 1995. Inversion of geophysical data using genetic algorithms. *Econ. Environ. Geol.*, 28(4), 425~431 (in Korean).
- Kim, S. W., Kim, C. S., Lee, Y. O., Kong, Y. S., Lee, C. W., Min, G. H., Park, Y. S. and K. L. Choe. 1986. Marine geological study on the continental shelf off southern Korea (Namhaedo-Geojedo). KIER, KR-86-20, 7~50 (in Korean).
- Kim, S. W., Lee, Y. O., Kong, Y. S., Park, Y. S., Lee, C. W. and G. H. Min. 1987. Marine geological study on the continental shelf off southern Korea (Pusan-Ulsan). KIER, KR-87-26, 1~64 (in Korean).
- Kim, S. W., Min, G. H., Lee, C. W., Choe, K. L., Kong, Y. S., Lee, Y. O. and Y. S. Park. 1987. Marine geological study on the continental shelf off southern Korea (Geojedo-Pusan). KIER, KR-86-2-20, 7~66 (in Korean).
- Kong, Y. S. 1989. Log-normal components of the sediment size distribution. *J. Geol. Soc. Korea.*, 25, 312~321.
- Kong, Y. S. and S. W. Kim. 1991. Size characteristics of the Korean shelf sediments. *Jour. Ocean. Soc. Korea*, 26(1), 38~46 (in Korean).
- Kong, Y. S. and W. S. Kim. 1993. Decomposition of sediment size curves into log-normal components: an example from Cheju strait continental shelf. *Jour. Ocean. Soc. Korea*, 28(2), 114~120 (in Korean).
- Min, G. H. 1994. Seismic stratigraphy and depositional history of Pliocene-Holocene deposits in the southeastern shelf, Korean peninsula. Ph.D. thesis, Seoul National University, 197pp.
- Min, G. H., Lee, C. W., Lee, Y. O., Kim, S. W., Kong, Y. S., Park, Y. S. and C. S. Kim. 1989. Marine geological study on the continental shelf off Ulsan, southeastern Korea. KIER, KR-88-3B, 7~70 (in Korean).
- Sen, K. and P. L. Stoffa. 1992. Genetic inversion of AVO. *Leading Edge*, 11(1), 27~29.
- Shin, W. C., Kim, C. M., Lee, W. Y., Park, K. P., Kim, W. S., Lee, H. Y., Choi, Y. K. and W. S. Choi. 1989. Marine geophysical study of the continental shelf off southeastern coast Ulsan and Tsushima Island. KIER, KR-88-3B, 75~109 (in Korean).
- Shin, W. C., Kim, W. S., Lee, W. Y., Park, K. P. and W. S. Choi. 1986. Marine geophysical study of the continental shelf between Namhae-do and Geoje-do, southern coast, Korea. KIER, KR-86-20, 79~128 (in Korean).
- Smith, M. L., Scales, J. A. and T. L. Fischer. 1992. Global search and genetic algorithms. *Leading Edge*, 11(1), 22~26.
- Spencer, D. W. 1963. The interpretation of grain size distribution curves of clastic sediments. *Jour. Sed. Petro.*, 33, 180~190.
- Tanner, W. F. 1964. Modification of sediment size distribution. *Jour. Sed. Petro.*, 34, 156~164.
- Visher, G. S. 1965. Grain size distributions and depositional processes. *Jour. Sed. Petro.*, 39, 1074~1106.

1996년 3월 15일 접수

1996년 5월 4일 수리