

영상처리 기법에 의한 심해저 망간단괴의 부존밀도 보정

박찬영* · 전효택** · 강정극*

Correction of Nodule Abundance Using Image Analysis Technique on Manganese Nodule Deposits

Chan-Young Park*, Hyo-Taek Chon** and Jung-Keuk Kang*

ABSTRACT : The purpose of this study is to correct the nodule abundance of FFG (Free Fall Grab) sampler on KODOS (Korea Deep Ocean Study) area in North-East Pacific Ocean. The image analysis of sea-floor photography was carried out for correcting the abundance of nodules, and the image enhancement techniques and edge detection method were used to discriminate between nodules and sediments. The trace of nodules on sediments was detected to reduce the fractionation effect in calculating the coverage of nodules. The three methods, using the coverage of nodules, using the volume density, and using corrected volume density, were utilized for the correction of the nodule abundance. The method using the coverage of nodules was more convenient and available for the correction of nodule abundance than the other two methods. The method using the corrected volume density had the highest confidence level compared with the other methods.

서 론

망간단괴의 부존량 (이하 부존밀도)은 단괴의 중량을 채취장비의 면적으로 나눈 단위면적당 단괴의 중량값으로 표시된다. 채취된 단괴의 양은 해저면에 있는 단괴의 실제 양보다 적게 채취되는 것으로 알려져 있으며, 채취기의 종류에 따라서도 효율이 다르다. 또한 해저퇴적물의 두께와 퇴적물의 강도, 단괴의 크기, 형태 및 부존량 등도 채취기의 효율을 좌우하는 요인으로 알려져 있다 (OMCO, 1992). 따라서 실해저면상의 부존밀도를 알기 위해서는 반드시 부존밀도의 보정이 필요하다.

부존밀도 보정방법으로는 실험적 방법을 통하여 채취기의 효율을 조사하여 보정하는 방법과 해저면 사진을 이용하여 보정하는 방법으로 크게 나눌 수 있다. 실험적 방법은 미국의 OMCO사가 수행한 방법 (OMCO, 1992)이

며, 해저면사진을 이용하는 경우도 해저면에 노출된 단괴의 면적율 (coverage)만을 이용하는 방법 (IFREMER *et al.*, unknown; 상공자원부, 1993, 1994)과 면적율 및 단괴의 장경을 이용하여 부존밀도를 보정하는 방법으로 구분할 수 있다 (Handa, Tsurusaki, 1981; sharma, 1989a, b; Sharma, Kodagali, 1990). 국내의 경우 '92년 미국 OMCO사의 보정방법을 적용하여 수행한 바 있으며, 광구 등록과 '93년에는 해저면 사진을 이용하여 부존밀도를 보정한 바 있다 (동력자원부, 1992; 상공자원부, 1993). 부존밀도의 보정방법은 사용하는 장비에 따라 약간의 차이가 있으며 망간단괴의 분포특성과 단괴의 크기, 형태분포와 단괴가 퇴적물에 묻힌 정도에 따라 달라질 수 있다. 그러나 이러한 보정방법들은 연구자들에 따라 그 식의 형태가 다르게 표현될 수는 있으나 결과는 대동 소이하다.

본 연구에서는 부존밀도의 보정을 위하여 해저면의 상황을 명확하게 알 수 있는 해저면 사진을 이용하였다. 망간단괴의 점유면적율을 구하기 위해 해저면 사진을 컴퓨터화상으로 입력하였고, 입력된 화상에 대하여 화질개선 작업과 화상분석을 수행하였다.

망간단괴의 부존밀도 보정을 위한 화상분석은 한 개의 정점당 투하된 4개의 FFG중 1개 또는 2개의 카메라부착

* 한국해양연구소 심해저탐사사업단 (Deep Seabed Exploration Programme, Korea Ocean Reserch & Development Institute, Ansan 425-600, Korea)

** 서울대학교 공과대학 자원공학과 (Department of Mineral and Petroleum Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea)

FFG로 부터 얻어진 심해저 카메라 정지화상필름과 채취된 단괴를 선상에서 배열하여 촬영한 35 mm 슬라이드필름을 이용하여 수행하였다. 이 두 종류의 필름을 컴퓨터 화상으로 전환하여 화상개선과정을 거친 후, 망간단괴의 점유면적을 구하였다.

부존밀도 보정 사례연구

부존밀도의 보정방법중 실험적 방법은 미국 OMCO사에 의해 수행되었으며, OMCO사는 FFG의 망간단괴 채취 효율성을 알기 위하여 수조에 일정한 크기의 단괴모형을 넣어 모형실험을 한 바 있으며 이로부터 얻어진 결과들을 다중회귀분석하여 아래와 같은 실험식을 도출하였다 (OMCO, 1992).

단괴의 크기 (장경)가 8 cm이하인 경우 :

$$\text{효율} = 94.68 + 0.18 \times (\text{단괴의 크기}) - 0.4 \times (\text{단괴의 부존율}) \quad (1)$$

단괴의 크기가 8 cm이상인 경우

$$\text{효율} = 144.21 - 5.69 \times (\text{단괴의 크기}) - 0.57 \times (\text{단괴의 부존율}) \quad (2)$$

실험에 사용된 FFG의 채취면적과 부존율에 사용된 면적의 오차를 보정하기 위하여 위 식에서 얻어진 효율에 FFG의 실 면적 보정계수를 곱하였다.

$$\text{보정 효율} = \text{효율} \times 0.827 \text{ (FFG보정계수)} \quad (3)$$

FFG 보정계수 : 단괴부존율을 0.13 m²으로 계산하였으나 FFG의 실채취면적은 0.1075 m²이므로 0.1075/0.13=0.827을 보정계수로 사용위의 결과를 이용하여 실 해역에서 FFG에 의해 얻어진 부존율은 다음의 (4)식에 의해 보정되며, 단괴의 크기와 부존율에 따른 보정효율의 값은 Table 1에 나타내었다.

$$\text{보정 부존율} = \text{부존율} \div \text{보정효율} \times 100 \quad (4)$$

OMCO에 의해 사용된 보정방법은 해저면의 상황을 실

험실에서 재현하여 채취기의 효율을 구한 방법이다. 이 방법에서는 실제 해저면의 다양한 상황을 충분히 재현하지 못했으며, 수조 모형의 설계시 단괴의 크기분포를 실제 해저면의 단괴의 크기분포가 아닌 일정한 크기로 제한한 단점을 가지고 있다.

해저면 사진을 사용하여 보정하는 방법중 점유면적을 사용하는 방법은 러시아 Yuzhmogeologiya에서 수행되었으며, 이 방법은 주로 Photo-Grab에 의해 시료 채취점보다 해저면 사진이 많은 경우 사용되었다 (Yuzhmogeologiya, 1993). 한 정점에서 한번의 시료채취와 5번의 해저면 사진을 촬영하여 망간단괴 부존밀도의 보정을 하였다. 시료채취 지점의 단괴의 분포가 해저면 사진상의 단괴 분포와 같다는 가정아래 다음 (5)식에 의해 해저면 사진상의 망간단괴 부존밀도를 구하였다.

$$P_w = \frac{P_a}{G_a} \times G_w \quad (5)$$

- P_w : 해저면 사진상의 부존밀도
- P_a : 해저면 사진상의 면적
- G_w : Grab 시료채취기에 의한 부존밀도
- G_a : Grab 시료채취기에 의한 면적

이 식에 의해 얻어진 해저면 사진상의 부존밀도의 평균을 취해 해당 정점의 부존밀도로 삼았다. 해저면 사진상의 망간단괴의 크기 분포가 시료채취지점의 크기분포와 다를 경우 단괴의 크기에 따라 6단계로 계급을 나누어 각 계급별로 부존밀도의 경험적 회귀식을 구하여 사용한 바 있다. 이 방법은 적용이 용이하면서도 해저면의 실 상황을 잘 반영하며, 여러 장의 해저면 사진을 촬영하여 해저면의 실 부존밀도를 보정하는 점이 특징적이다. 망간단괴의 점유면적율과 단괴의 장축 또는 각 축의 길이를 이용하여 보정식을 도출하는 방법은 IFREMER/AFERNOD와 DORD에 의해 사용되었다 (IFREMER *et al.*, unknown).

IFREMER/AFERNOD는 ED1 grab (0.18 m²)을 사용하여 망간단괴 시료와 해저면 사진을 얻었고, 다음 과정을 이용하여 각 정점에서의 부존밀도를 보정하였다.

- ① 사진상에서 단괴의 크기분석과 단괴가 점유하는 면적을 계산한다. 크기별로 분류 하여 각 크기 계급별로 점유하는 면적을 계산한다. 단괴의 크기 계급별 평균 장단축비 (장축에 대한 단축의 길이)계산
- ② 채취한 단괴시료에서 장단축비와 편평도 (평균축 길이에 대한 단축의 비)에 따른 크기별 분류
- ③ 다음의 (6) 공식을 사용하여 보정 부존밀도 계산

$$CA = \frac{4}{300} S D y \sqrt{x} \quad (6)$$

Table 1. Correction efficiency of FFG sampler (OMCO, 1992).

Nodule diameter	Abundance(kg/m ²)			
	0~5	5~10	10~15	>15
0~6 cm	78%	76%	75%	73%
6~8 cm	79%	77%	75%	74%
8~10 cm	76%	73%	71%	69%
>10 cm	62%	59%	57%	55%

CA : 보정 부존밀도 (습윤 kg/m²)
 S : 사진상에서 단괴가 점유하는 면적율
 D : 사진상에서 관찰되는 단괴의 직경 (mm)
 y : 시료에서 측정된 평균 편평도 (0 < y < 1)
 x : 사진상에서 관찰된 평균 장단축비 (0 < x < 1)
 DORD는 삼각형 모양으로 2 개의 FFG (0.13 m²)와 Spade corer (0.25 m²)를 각 각 2.6 km간격으로 배열하여 단괴시료와 해저면 사진을 얻었다. 얻어진 해저면 사진을 이용하여 보정된 부존밀도 (CA)를 구하였다.

$$CA = K \times (\text{시료채취기에서 얻은 부존밀도}) \quad (7)$$

K : 보정계수

보정계수 (K)는 시료채취 정확도 코드 (code of sampling accuracy)에 따라 FFG에 의해 찍은 사진에서의 망간단괴 피복율 (coverage)과 배위에서 찍은 시료의 사진에서 망간단괴 피복율을 비교하여 얻는다 (Table 2, 3). 시료채취 정확도 코드는 다음과 같이 정의 하고 있다.

시료채취 정확도 코드를 이용하여 보정계수와 보정 부존율을 4가지 방법으로 계산한다.

1) 해저면의 사진이 있고 시료채취 정확도 코드가 "4"가 아닌 경우,

$$K = \frac{\text{해저면 사진상의 면적율} \times 1.30}{\text{선상 사진상의 면적율}} \quad (8)$$

K가 1 보다 작을 경우 K를 1로 잡는다.

2) 해저면의 사진이 있고 시료채취 정확도 코드가 "4"이며 해저면 사진 상의 실제 면적을 알거나 추정할 수 있

Table 2. Japanese codes of sampling accuracy.

Code No	Classification
1	Sampling perfect
2	Sampling incomplete
3	Sampling not enough
4	Sampling failed
5	No data for the sample/not collected

Table 3. Determination of sampling accuracy code.

a(%)	0	5	10	20	100
b/a	1.00	1	1	1	1
	0.75	1	1	1	1
	0.50	1	2	2	2
	0.25	1	2	3	3
		1	2	3	4

a; Coverage of nodules(%) visible on sea-floor photo.

b; Coverage of nodules(%) visible on the photo of the sampling taken on board.

는 경우 보정 부존율 (CA)은 다음 공식을 이용한다.

$$CA = \frac{(\text{외형계수}) \times (\text{해저면 면적율 } \%)^{1.35}}{(\text{단위면적 (m}^2\text{) 당 망간단괴의 갯수})^{0.5}} \quad (9)$$

3) 해저면의 사진이 있고 시료채취 정확도 코드가 "4"이며 해저면 사진 상의 실제 면적을 알 수 없는 경우 보정 부존율 (CA)은 다음 공식을 이용한다.

$$CA = \text{해저면 면적율 } (\%) \times \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \frac{(\text{보정된 부존밀도})_i}{(\text{해저면 면적율})_i} \quad (10)$$

n : 동일 정점에서 해저면 사진에 의해 보정된 부존율을 가지는 시료의 개수

4) 해저면 사진이 없는 경우 보정계수는 K=1.15이다.

각 각의 시료채취점에서 얻어진 보정 부존율의 평균값으로 그 정점의 부존율로 삼는다.

언급한 바와 같이 각각의 보정방법들은 사용한 채취기의 종류와 얻어지는 실 자료의 종류에 따라서 다른 방법으로 보정식이 도출되었으나, 모두 단괴의 외부형태를 보정하여 구형으로 보정하는 외형계수와 해저면 사진에 의해 보정식이 도출된다는 점은 동일하다.

부존밀도 보정을 위한 화상분석

화상분석에 사용된 시스템의 구성은 486PC, Targa board, Fotovix IIX-S, CCD 카메라, RGB 컨트롤 모니터, 화상분석용 소프트웨어로 Table 4와 같이 구성되어 있다. 이 시스템은 필름이나 사진 및 비디오등의 화상을 필름스캐너 또는 CCD 카메라와 VTR 등으로 입력하여 해석하기 쉬운 화상으로 처리할 수 있다.

Table 4. The specification of image analysis system.

Main board	Intel 486-DX2
Frame grabber	Targa 64*
Monitor	14" RGB control monitor 17" S-VGA monitor
Film scanner	Fotovix IIX-S
Camera	CCD camera Hi-Scope video microscope
Software	Mocha for windows
Color video printer	Sony UP-300
Removable driver	Sony NWP-559

초기 입력된 화상은 화상의 질이 떨어져, 단괴의 면적을 계산하기에는 부적합하기 때문에 여러 단계의 화상개선 방법을 수행하였다. 화상개선을 위한 흐름도는 배위에서 촬영한 단괴사진 (Fig. 1)의 경우 Fig. 2에, 심해저카메라에 의해 촬영된 사진 (Fig. 3)의 경우는 Fig. 4에 나타내었다. 화상분석을 위하여 선상에서 촬영한 망간단괴시료 화상 303매와 FFG 부착 심해저카메라에서 획득한 심해저면 화

상 77매 등 총 380매를 분석하였다. 화질개선 작업은 단괴 배열화상의 경우 사진촬영시 사용된 조명에 의해 만들어진 그림자 제거에 주안점을 두었으며, 해저면 화상의 경우 퇴적물과 단괴의 분리, 점원의 조명효과로 인해 화상 중앙에서 주변으로 갈수록 생기는 광도의 감소보정 및 퇴적물에 의한 단괴의 세분화효과 (fractionation effect)를 줄이는데 주안점을 두었다.

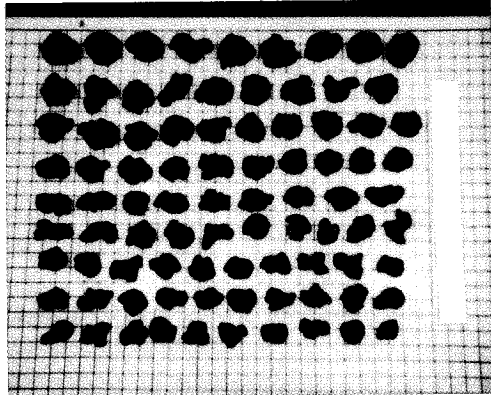


Fig. 1. Manganese nodule on board.

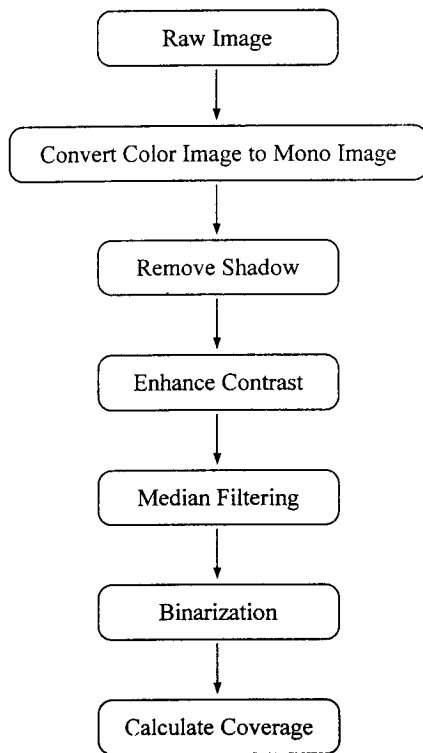


Fig. 2. Flowchart of on-board image analysis.

망간단괴 점유 면적에 의한 부존밀도 보정 (방법 1)

시료채취기에 의해 얻어진 시료들로부터 각 단괴의 크기 (장축, 중축, 단축)와 중량을 측정할 자료 (상공자원부, 1994)를 이용하여, FFG의 시료들을 다음과 같은 두 가지 기준에 의해 A 그룹과 B 그룹으로 나누어 각 그룹의 보정식을 구하였다 (Fig. 5).

- 1) 장축의 크기가 6 cm 이상인 단괴의 개수가 전체의 30%이상
- 2) 장축의 크기가 10 cm 이상인 단괴들의 중량 합이 1.5 kg이상이거나 혹은 장축의 크기가 10 cm이상인 단괴의 중량이 1 kg이상

FFG의 시료가 두 개의 기준 중 하나라도 해당되면 B 그룹으로, 나머지는 A 그룹으로 분류하였다.

위와 같은 기준에 의해 분류된 그룹별 시료들의 면적을

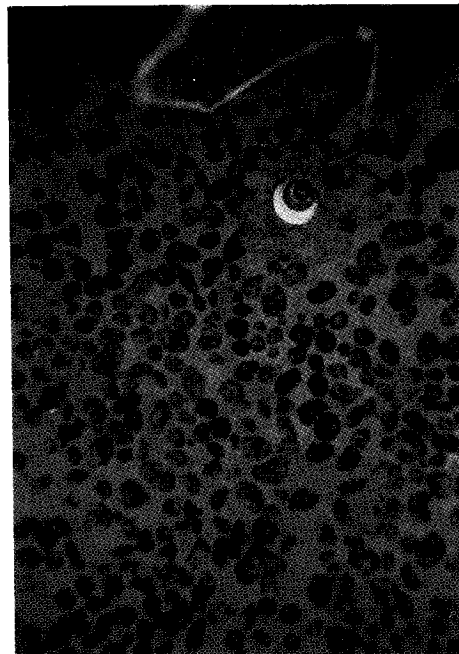


Fig. 3. Manganese nodule on deep sea-bed.

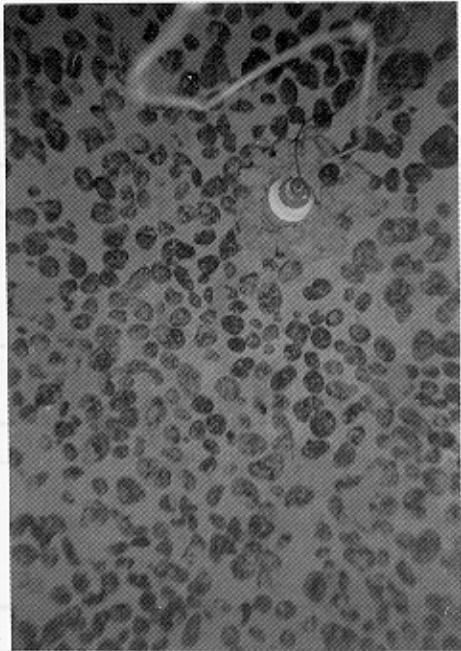


Fig. 3. Manganese nodule on deep sea-bed.

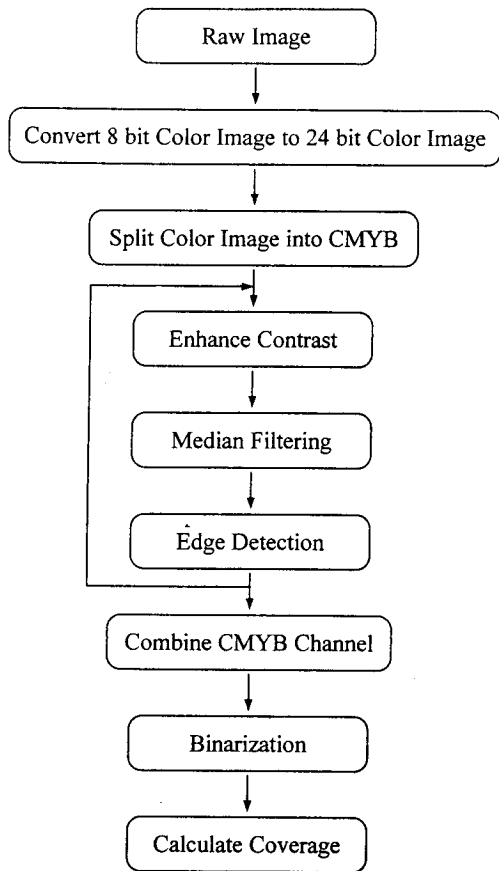


Fig. 4. Flowchart of sea-floor image analysis.

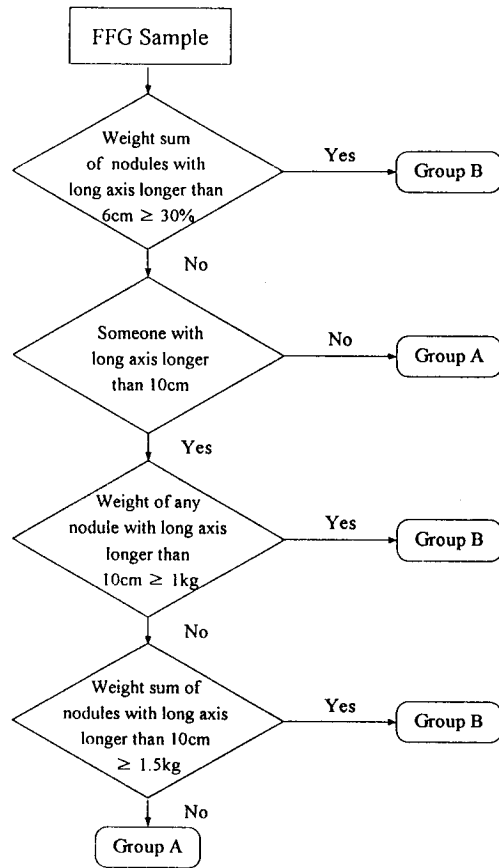


Fig. 5. Flowchart of FFG sample classification focussed on abundance correction.

과 부존밀도의 상관관계를 회귀분석하여 두 그룹에 대한 회귀식을 구하였다 (Fig. 6).

1) A 그룹

$$\text{망간단괴 부존밀도 (kg/m}^2\text{)} = 0.28 \times \text{망간단괴 채취면적율 (\%)} \quad (1)$$

2) B 그룹

$$\text{망간단괴 부존밀도 (kg/m}^2\text{)} = 0.55 \times \text{망간단괴 채취면적율 (\%)} \quad (2)$$

해저면 사진이 있는 경우, 부존밀도와 채취면적율의 그룹별 회귀식인 (1) 식과 (2)식을 이용하여 망간단괴의 부존밀도 보정식을 구하였다. 보정부존밀도 (corrected abundance)를 구하는 보정식은 (3)식과 같다.

$$C.A. = K_d \times C \quad (3)$$

C.A. : 보정 부존밀도 (kg/m²)

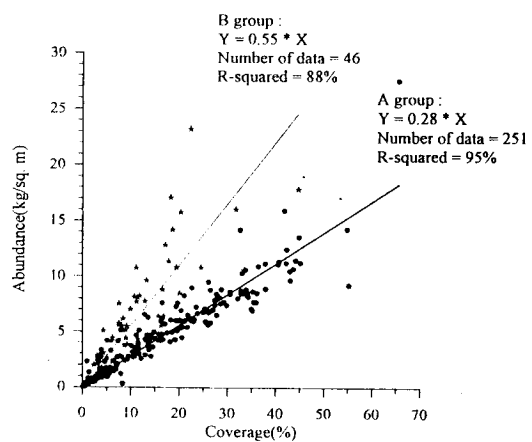


Fig. 6. Relationship between coverage and nodule abundance using method I.

C : 단괴 면적율 (%)

Kd : 보정계수 (A 그룹 : 0.28, B 그룹 : 0.55)

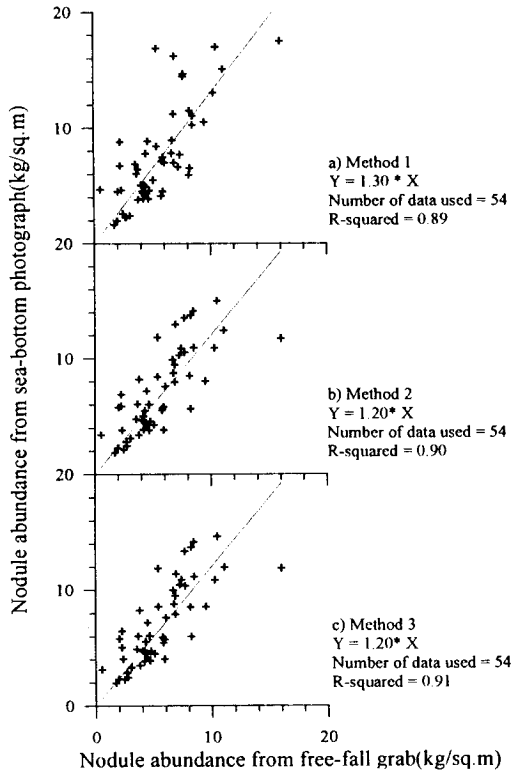


Fig. 7. Relationship between nodule abundance from FFG and from sea-bottom photograph.

해저면 사진에서의 망간단괴 점유면적율이 채취시료의 채취면적율보다 작은 경우에는 채취면적율을 사용하였다. 이런 경우에는 연구지역이 퇴적물의 단괴피복도가 비교적 높아 해저면 사진이 단괴의 부존량을 정확히 보정해주지 못하는 점을 보완하고자 하였다.

또한, 해저면 사진이 없는 경우에는 (3) 식을 이용하여 보정된 보정밀도와 채취된 중량에 의해 계산된 채취밀도의 상관관계를 회귀분석하여 다음과 같은 (4) 보정식을 구하였다 (Fig. 7).

$$\text{보정밀도 (kg/m}^2\text{)} = 1.30 \times \text{채취밀도 (kg/m}^2\text{)} \quad (4)$$

이 (4) 보정식을 이용하여 해저면 사진이 없는 경우에 적용하여 보정밀도를 구하였다.

망간단괴의 체적율을 이용한 보정방법 (방법 2)

해저면 사진이 있는 경우의 부존밀도 보정은 각 시료채취지점에 대한 망간단괴의 체적율을 구하여 보정하였고, 각 시료채취기에서 채취한 단괴의 가중평균장축은 다음 (1) 식을 이용하여 구하였다.

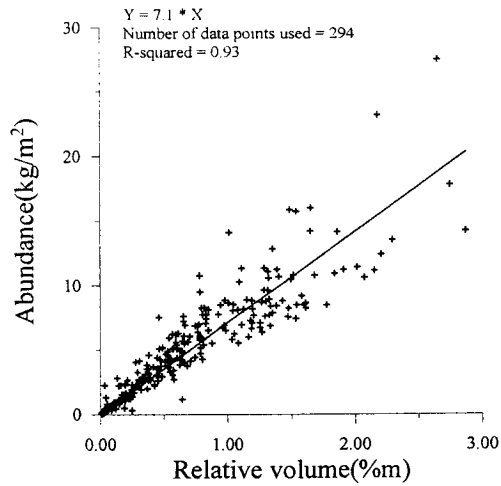


Fig. 8. Relationship between relative volume and nodule abundance using method 2.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i X_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

- \bar{X} : 장축의 가중평균값
- X_i : 장축계급의 중앙값
- w_i : 가중계수

망간단괴의 채취 면적율에 위식으로부터 구한 장축의 가중평균값을 곱하여 해당지점의 체적율을 구하였다. 얻어진 체적율과 시료채취지점에 대한 망간단괴 부존밀도와와의 상관관계를 회귀분석하여 다음 (2) 식과 같은 보정식을 얻었다 (Fig. 8).

$$C.A. = 7.1 \times D \times C \div 100 \quad (2)$$

- C.A.: 보정 부존밀도 (kg/m²)
- D: 장축의 가중평균치 (cm)
- C: 단괴의 면적율 (%)

얻어진 계수 7.1은 Handa, Tsurusaki (1981)에 의해 제시된 상수값 7.7 과 유사한 값을 가진다. 보정밀도를 구할 때에는 해저면사진상의 면적율을 사용하였으며, 해저면 사진에서의 망간단괴 점유면적율이 채취시료의 채취면적율보다 작은 경우에는 채취면적율을 사용하였다. 이런 경우에는 연구지역이 퇴적물의 단괴피복도가 비교적 높아 해저면 사진이 단괴의 부존량을 정확히 보정해주지 못하는 점을 보완하고자 하였다.

해저면 사진이 없을 경우, 방법 1의 경우와 같이 (2)식

Table 5. Coefficient of shape in each shape type of nodules.

Shape type	D-type	E-type	I-type	P-type	S-type	T-type
Coefficient of Shape	0.74	0.82	0.73	0.73	0.95	0.56

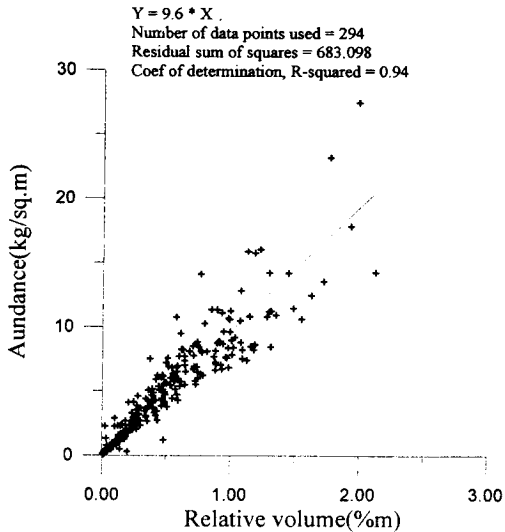


Fig. 9. Relationship between relative volume and nodule abundance using method 3.

에 의해 얻어진 보정부존밀도와 채취부존밀도와의 관계를 회귀분석하여 얻은 보정식 (3)을 사용하였다 (Fig. 7).

$$\text{보정밀도 (kg/m}^2\text{)} = 1.20 \times \text{채취밀도 (kg/m}^2\text{)} \quad (3)$$

망간단괴의 수정체적율을 이용한 보정방법 (방법 3)

망간단괴는 산출되는 외형이 다양하며, 그 외부형태에 따라 D형, E형, P형, I형 및 S형으로 분류한다는 것을 3장에서 언급한 바 있다. 이와 같이 다양한 외부형태를 기하학적인 모델 (구)로 가정하고 체적율을 구하기 위해서는 각 각의 외부형태별로 장축을 수정해주는 외형계수가 필요할 것이다. 각 단괴의 크기 (장경, 중경, 단경)와 중량을 측정된 자료로부터 단괴의 외형 타입별로 구분하여 장경에 대한 평균 직경의 비를 계산하였고, 각 타입에 따른 이 비율의 평균값을 외부형태에 대한 외형계수로 정의하였으며 평균직경은 단괴의 세축에 대한 기하평균으로 구하였다. 각 타입에 따른 외형계수는 Table 5에 나타내었다.

장경이 측정된 15,845개의 단괴시료를 각 외부형태 타입별로 분류하고, 분류된 단괴를 다시 장축 크기별로 분류하여 각 크기 계급값의 중앙값에 이 외형계수를 곱하여

수정된 장축의 가중평균값을 계산하였다. 방법 2에서와 같이 채취면적율에 이 수정된 가중평균장경을 곱해 수정 체적율을 구하였다.

해저면 사진이 있는 경우의 부존밀도 보정은 수정 체적율과 채취지점에 대한 부존밀도와의 관계를 회귀분석하여 보정하였고, 보정식은 (1)과 같다 (Fig. 9).

$$C.A. = 9.6 \times D \times C \div 100 \quad (1)$$

C.A.:보정 부존밀도 (kg/m²)

D: 장축의 가중평균치 (cm)

C: 단괴의 면적율 (%)

보정밀도를 구할 때에는 해저면사진상의 면적율을 사용하였으며, 해저면 사진에서의 망간단괴 점유면적율이 채취시료의 채취면적율보다 작은 경우에는 채취면적율을 사용하였다. 이런 경우에는 연구지역이 퇴적물의 단괴피복도가 비교적 높아 해저면 사진이 단괴의 부존량을 정확히 보정해주지 못하는 점을 보완하고자 하였다.

해저면 사진이 없을 경우, 방법 1의 경우와 같이 (1)식에 의해 얻어진 보정부존밀도와 채취부존밀도와의 관계를 회귀분석하여 얻은 보정식 (2)을 사용하였다 (Fig. 7).

$$\text{보정밀도 (kg/m}^2\text{)} = 1.20 \times \text{채취밀도 (kg/m}^2\text{)} \quad (2)$$

결과 및 고찰

OMCO에 의해 작성된 단괴의 크기와 부존율에 따른 보정효율의 값 (Table 1)과 본 연구에서 수행된 세 가지 보정방법과의 보정율을 비교하여 보았다. 시료채취기 (FFG)의 효율로만 볼 때, 본 연구에서 해저면 사진이 없는 경우에 적용한 방법 1의 보정상수 1.30은 약 77%의 FFG채취효율을 나타내며 방법 2와 방법 3의 보정상수 1.20은 약 83%의 FFG채취효율을 나타낸다. 본 연구에 사용되어진 방법들은 해저면 사진에 의해 보정되어진 값을 이용하여 보정상수를 구한 값이며 FFG보정계수 (약 0.90)을 보정한 값이므로 보정효율은 방법 1의 경우 약 70%이고 방법 2와 방법 3의 경우 75%이므로, 미국 OMCO (1992b)사에서 FFG의 효율을 실험적으로 구한 값과 세 가지방법 모두 유사한 값을 가짐을 알 수 있다 (Table 1).

러시아 Yuzhmoogeologiya와 프랑스 IFREMER가 망간 단괴의 시료 채취를 grab을 이용하였다. Grab에 의한 시료 채취 방법의 특징은 비교적 정확한 시료채취지점을 알 수 있는 반면, 한 정점에서 여러 번의 시료채취에는 많은 시간이 걸리며 grab의 시료채취 면적이 작다는 결점을 가지고 있었다. 이러한 단점을 해소하기 위해 IFREMER는 보다 넓은 지역을 관찰할 수 있는 camera 장비를 grab에 장착하거나, RAIE 혹은 EPAULARD와 같은 연속적인 해저면 촬영장비를 사용하였다. Yuzhmoogeologiya는 camera 장착 grab인 photo-grab을 이용하여 한 지점에서 한번의 시료채취와 5번의 해저면 사진을 촬영하여 실 해저면의 정보를 많이 수집할 수 있었다. 이 방법들은 한번에 많은 해저면 사진을 얻을 수 있다는 점이 특징적이며, Yuzhmoogeologiya의 보정방법은 그 적용이 용이하며 비교적 정확한 실 해저면 단괴분포에 대한 정보를 입수할 수 있다는 점이 장점이다. 그러나, FFG를 이용하여 시료채취를 하는 국내의 경우 Yuzhmoogeologiya가 사용한 보정방법을 적용하기에는 모든 FFG에 카메라를 장착하기가 현실적으로 어려워 이 방법의 적용에는 어려움이 있다.

IFREMER에 의해 사용된 보정방법은 각 단괴의 세 축의 길이측정을 통하여 단괴의 외형에 따른 편차보정에 초점이 맞추어져 있으며, DORD에 의해 사용된 방법은 해저면 사진에서 구한 단괴의 점유면적에 초점을 맞추어서 행하여진 방법이다.

본 연구에서 사용한 세 가지 방법은 모두 해저면 사진을 이용하여 단괴의 점유면적을 구하고 있다. 방법 1은 KODOS지역의 단괴들중 6cm이상인 단괴의 대부분이 D형과 E형인 점과 6cm이상의 단괴의 개수가 총 중량에 큰 영향을 주는 점 (박찬영, 1995; 상공자원부, 1994; 통상산업부, 1995)에 주안점을 두고, 얻어진 단괴들을 두 그룹으로 나누어 각 그룹별 보정식을 구하였다. 이 방법은 비교적 여타의 방법들에 비해 단괴의 부존밀도 보정이 빠르고 용이해 선상작업과 차후 DSC (Deep Sea Camera)의 운용시 얻어지는 비디오 화상에 의한 임의 지점의 부존밀도를 구하는 식으로 사용할 수 있는 장점이 있다. 물론, 외형 계수를 고려하지 않아 오차의 여지는 있으나 Fig. 7에서 보는 바와 같이 편의성을 고려하면 신뢰할 만한 방법이다.

방법 2는 해저면 사진의 점유면적과 단괴들의 평균장축을 이용하여 부존밀도를 보정하는 방법으로, 단괴의 중량은 단괴의 체적에 비례한다는 기본적인 상식을 기반으로 하여 이들 간의 비례상수를 구하는 방법이다. 이 방법은 Handa, Tsurusaki (1981)에 의해 제안되어져 Shama (1989, 1993) 등이 연구한 방법과 유사하다. Shama (1989, 1993)가 사용한 방법의 특징은 SWIB (Sediment-



Fig. 10. Hypothetical profile of supper 10 cm of sediment showing levels of nodule burial. a. Nodule from can be seen in photo, but a thin layer of sediment obscures the actual nodule, b. True nodule perimeter is visible in photo. c, Reduced nodule perimeter is visible in photo. d, Nodule shows no surface expression. e. Knobby projections on top of large nodule give the impression of two or more smaller nodules.

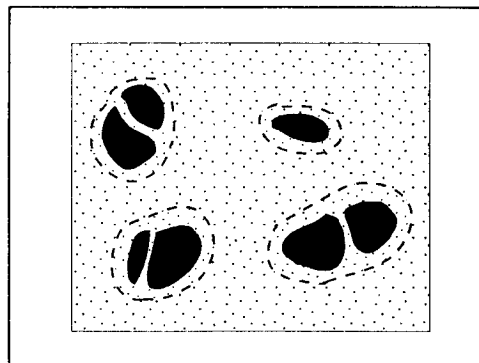


Fig. 11. Fractionation effect on nodules due to thin sediment cover. Dotted lines show actual nodule boundary, continuous lines show exposed parts of nodule.

Water Interface 'Boundary layer')의 영향을 고려했다는 점이다. 이 방법은 단괴가 퇴적물에 의해 비교적 많이 피복되어 있는 경우, 그 매몰율을 계산하는데 주안점을 두고 있다. 이 방법의 단점은 각 지역마다 상대적인 매몰율이 다르므로 몇 가지의 다른 보정식을 사용한다는 점이다.

이에 비해 본 연구에서 사용한 방법들은 이와 같이 단괴가 퇴적물에 의해 비교적 많이 피복되어 있는 경우에 나타나는 단괴의 세분화효과 (fractionation effect)를 화상분석시 고려하여 면적을 구하였다. 단괴의 세분화효과는 단괴가 퇴적물에 묻혀 1개의 단괴가 2 개이상으로 보이거나 단괴주변 퇴적물에 실제단괴의 형상을 보여주는 흔적이 나타나는 것을 지칭한다 (Fig. 10, Fig. 11). Fig. 10d)를 제외하고는 실제 단괴의 형태를 유추할 수 있다. 본 연구에서는 화상분석시 단괴의 외곽을 단괴의 흔적까지 확장하는 경험적 방법을 이용하여 단괴의 세분화효과를 최대한 줄였다. 따라서 본 연구에 사용한 방법들은 Shama (1989, 1993) 등이 고려한 SWIB의 영향을 고려한 방법과 동일한 효과를 가지고 있고 이들 방법보다 사용과 적용이 용이하다는 장점을 가지고 있다.

방법 3은 방법 2에 단괴의 외형계수항을 첨가하여, 부존

Table 6. Fitting results in correction methods.

	Method 1	Method 2	Method 3
Equation	Y=1.30X	Y=1.20X	Y=1.20X
Average Y	7.43	7.03	7.01
Residual sum of squares	420.39	314.11	281.10
Coef. of determination	0.893	0.906	0.914
Residual mean square	7.93	5.93	5.30

밀도를 보다 더 실 자료에 가깝게 보정하고자 하였다. 방법 3에서는 망간단괴의 외형을 기하학적으로 동일한 구형으로 환산하기 위하여 평균장축에 외형계수를 곱하였다. 또한, 각 단괴의 외형별 외형계수 (장축에 대한 평균축비의 평균)를 구할 때 사용되어진 평균축의 길이를 기하평균으로 구함으로써 한 축이 다른 두축에 비해 특정하게 크거나 작은 경우에 발생할 수 있는 오차를 줄일 수 있었다.

본 연구에서 도출해 낸 각 방법에 대하여 해저면 사진에 적용한 부존밀도와 채취 부존밀도의 관계를 회귀분석하여 얻어진 통계량은 Table 6에 나타내었다. 각 방법의 회귀분석 통계량 표에서 보는 바와 같이 방법 1에서 방법 3으로 갈수록 회귀의 신뢰성을 나타내는 결정계수가 증가하며, 채취부존밀도와 회귀식에 의해 보정된 부존밀도의 차이 잔차의 평균 표준편차도 방법 3으로 갈수록 작아짐을 알 수 있었다. 따라서 방법 3이 해저면의 실 부존밀도를 잘 추정하는 방법이라고 할 수 있다.

부존밀도 보정의 편의성과 용이성 면에서는 방법 1이, 부존밀도 보정의 신뢰도는 방법 3이 가장 좋은 결과를 보였다. 방법 1은 차후 해저면 사진에서 각 단괴의 크기분포 해석이 수행되어 지면, DSC의 운영시 획득되는 동화상에서의 빠른 부존밀도 보정을 위해 좀더 연구되어야 할 것이다.

결 론

본 연구에서는 영상처리기법을 이용하여 심해저 망간단괴의 부존밀도를 보정하는 실험적 (혹은 경험적) 보정 방법을 개발하였다. 이 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본 연구에서 얻어진 세가지 방법의 보정효율은 기존 발표 (미 OMCO의 발표)와 유사한 결과를 보임을 알 수 있었다.
2. 사례연구를 통한 각국의 보정방법은 대동소이하며 각국의 기기의 특성과 채취방식에 따라 적용되었음을 알 수 있었다.

3. 화질개선작업시 그림자제거 및 광도의 감소보정과 단괴의 외곽을 단괴의 흔적까지 확장하는 경험적 방법을 이용하여 단괴의 세분화효과를 줄일 수 있었다. 이 방법은 기존의 발표된 SWIB의 영향을 고려한 방법과 동일한 효과를 가지며 사용과 적용이 보다 용이하였다.

4. 보정방법 1은 외형계수를 고려하지않아 오차의 여지는 있으나, 편의성면을 고려하면 신뢰할 만하다. 이방법은 차후 대규모의 DSC 시스템의 동영상자료를 해석하는데에는 유용할것으로 사료된다

5. 보정방법 3은 외형계수를 첨가한 보정모델로, 단괴의 한축이 두축에 비해 특정하게 크거나 작은 경우 발생하는 오차를 줄일 수 있었다. 이 방법은 다른 방법에 비해 회귀식의 신뢰성이 가장 높게 나타나 해저면의 실 부존밀도를 가장 잘 추정하는 방법으로 사료된다.

참고문헌

동력자원부 (1992) '92 심해저 광물자원탐사용역 보고서.
 박찬영 (1995) 한국심해연구지역 망간단괴광상의 매장량평가를 위한 지구통계학적 연구. 박사학위논문, 서울대학교.
 상공자원부 (MOTIE) (1993) '93 심해저 광물자원탐사용역 보고서.
 상공자원부 (MOTIE) (1994) '94 심해저 광물자원탐사용역 보고서.
 통상산업부 (1995) '95 심해저광물자원 탐사용역보서.
 Handa, K. and Tsurusaki, K. (1981) Manganese nodules: relationship between coverage and abundance in northern part of central Pacific. Geol. Surv. Japan Cruise Rept., No. 15, p. 184-217.
 IFREMER/AFERNOD, DORD and Yuzhmorgeologiya (unknown) Preparatory Work in the International Authority Reserved Area. p. 25-58.
 OMCO (1992) Methods for correcting nodule abundance estimates based upon free-fall grab recoveries. Exploration data transfer between Ocean Minerals Company and Korea Ocean Research and Development Institute. 450p.
 Sharma, R. (1989a) Effect of sediment-water interface boundary layer on exposure of nodules and their abundance: A study from seabed photograph. J. Geol. Soc. India, v. 34, p. 310-317.
 Sharma, R. (1989b) Computation of nodule abundance from seabed photos. Proc. Offshore Technol. Conf. (Houston), 21st, OTC6062, p. 201-212.
 Sharma, R. (1993) Quantitative estimation of seafloor features from photographs and their application to nodule minig. Marine Georesources and Geotechnology, v. 11, p. 311-331.
 Sharma, R. and Kodagali, V.N. (1990) SPHINCS: A system for cataloguing and interpreting seabed photographs of nodules. Marine Geology, v. 92, p. 139-146.
 Yuzhmorgeologiya (1993) Personal communication.