

미래 에너지 자원탐사를 위한 수중카메라 영상처리에 의한 심해저 망간단괴 정보추출

Processing Underwater Images for Information Extraction of Deep Seabed Manganese Nodules as New Energy Resource

이동천¹⁾ · 윤성구²⁾ · 이용욱³⁾ · 고영탁⁴⁾ · 박정기⁵⁾

Lee, Dong Cheon · Yun, Seong Goo · Lee, Young Wook
· Ko, Young tak · Park, Cheong Kee

Abstract

Worldwide exploring and research for manganese nodules, as new energy resource, distributed on the deep seabed have progressed recently. Korea Ocean Research & Development Institute(KORDI) is a central organization to exploit the manganese nodules in the Pacific Ocean with 5,000m depth. Precise exploration is required for estimating amount of recoverable deposit, and this task could be accomplished by processing digital image processing techniques to the images taken by underwater camera system. Image processing and analysis provide information about characteristics of distribution of the manganese nodules. This study proposed effective methods to remove vignetting effect to improve image quality and to extract information. The results show more reliable information could be obtained by removing the vignetting and feasibility of utilizing image processing techniques for exploring the manganese nodules.

Keywords : Manganese nodules, Deep sea camera, Adaptive anti-vignetting operator, Image processing

초 록

최근 차세대 신에너지 자원으로 각광받고 있는 심해저 망간단괴에 대한 탐사와 연구가 전 세계적으로 진행되고 있다. 이에 국내에서도 한국해양연구원을 중심으로 수심 5,000m의 태평양에 광범위하게 분포된 망간단괴 채취를 위한 다양한 연구가 수행되고 있다. 정확한 채취량의 산정과 경제성을 분석하기 위해서는 정밀탐사가 요구되며, 이를 위하여 심해저 수중 카메라로부터 촬영된 영상을 처리하고 분석하여 망간단괴의 분포특성에 대한 정보를 추출할 수 있다. 본 연구는 심해저 영상에서 극심하게 발생하는 vignetting 현상을 효과적으로 제거하여 화질을 향상시키고, 영상에서 망간단괴를 추출하여 필요한 정보를 제공하는 방법을 제안하였다. 연구결과 vignetting 현상을 제거함으로써 보다 향상된 결과를 도출할 수 있었으며, 이를 기반으로 망간단괴에 대한 다양한 정보를 분석하여 향후 채취를 위한 계획수립 시 중요한 기초자료로 사용될 것으로 기대한다.

핵심어 : 망간단괴, 심해저 수중카메라, 적응적 비네팅현상 제거, 영상처리

-
- 1) 정희원 · 세종대학교 지구정보공학과 교수(E-mail: dcleee@sejong.ac.kr)
 - 2) 교신저자 · 세종대학교 지구정보공학과 대학원 석사과정(E-mail: sgyun@sju.ac.kr)
 - 3) 정희원 · 인덕대학 토목환경설계과 교수(E-mail: leeyoungwook@empal.com)
 - 4) 한국해양연구원 심해저자원연구부 선임연구원 (E-mail: ytko@kordi.re.kr)
 - 5) 한국해양연구원 심해저자원연구부 책임연구원 (E-mail: ckpark@kordi.re.kr)

1. 서 론

1.1 연구의 필요성

인류는 에너지 자원개발과 확보에 지속적인 노력을 하고 있으며 주 에너지 자원인 화석연료의 고갈, 환경문제, 기후변화 등에 대처하기 위하여 전 세계적으로 친환경 녹색 신재생 에너지 개발에 주력하고 있다. 특히 부존 에너지 자원이 부족한 우리나라는 새로운 에너지 자원개발이 시급한 실정이다. 그러므로 최근 신에너지 자원으로 각광받고 있는 심해저 망간단괴의 탐사와 채취에 많은 관심과 연구가 진행되고 있다. 심해저 광물자원은 장기간 안정적으로 공급받을 수 있다는 점에서 미래 에너지 수급 전략에 매우 중요한 의미를 가지고 있다(과학기술부, 2000).

한국해양연구원에서는 태평양 심해저에 부존하는 망간단괴를 채취하기 위해 심해저 탐사 시스템, 탐사기술, 집광시스템 및 통합 채광운용기술을 개발 중에 있다. 우리나라의 심해저 광물자원 개발은 선진국보다 30년이나 늦게 시작되었지만 그 동안 기술차이를 극복하기 위해 부단한 노력을 하고 있다. 심해저 광물자원 개발은 수입에 의존해 온 광물자원의 자급률을 높이는데 크게 기여하게 되며, 최근에 에너지의 효율적인 공급과 소비를 위한 차세대 지능형 전력시스템인 스마트 그리드(Smart grid) 구축에 대한 관심이 선진국을 중심으로 집중되고 있다. 이는 기존의 전력망에 녹색 에너지(태양광, 풍력, 조력, 바이오, 2차 전지 등) 시스템을 복합적으로 구축하고 이를 제어하기 위한 정보기술이 핵심이다.

현재 스마트 그리드 사업은 전세계적인 녹색성장 계획의 일환으로 Google, Microsoft, IBM과 같은 세계적인 IT회사와 GE, Alstom, Cisco와 같은 전력회사가 참여하고 제휴하여 진행되고 있다. 국내의 경우에는 2009년 8월에 스마트 그리드 사업단이 발족되어 스마트 그리드 사업이 본격적으로 추진되기 시작하였다. 그러므로 차세대 전력망에 포함되는 전지전력 부분을 담당할 수 있는 신에너지 자원인 망간단괴의 탐사와 채취에 대한 연구는 중요하며, 이를 기반으로 매장량 및 경제성 분석, 채취 계획 등에 필요한 의사결정에 활용할 수 있다.

1.2 연구목적

본 연구에서는 심해저 촬영용으로 제작된 수중 카메라로 촬영된 영상을 처리하여 해저에 분포된 망간단괴에 대한 정보를 자동으로 추출하는 기법을 제안하는 것

을 목적으로 하며, 제안한 영상처리기법의 적용 가능성에 대한 연구로서 한국해양연구원이 향후 추진할 본격적인 채취에 필요한 예비 및 선행 연구이다. 주요 핵심 기술은 망간단괴의 분포 상태의 정확한 파악이며, 이를 위하여 vignetting 현상을 제거하여 심해저 영상의 화질을 향상시키고, 망간단괴 객체 추출기법 개발과 통계분석을 수행하는 것이다. 또한 추출된 정보를 기반으로 망간단괴의 부존량 및 채취량 산정과 이를 근거로 경제성 분석을 위한 기초 성과로 활용될 것으로 기대하고 있다.

1.3 연구방법 및 범위

연구수행 방법은 우리나라가 확보한 해역의 해저에서 촬영한 영상과 카메라 정보를 이용하여 디지털 필터에 의한 화질개선 기법 개발을 하였으며, 이를 위하여 vignetting 현상의 발생원인과 특성을 분석하였다. 효과적으로 화질향상을 위한 최적의 필터를 결정하기 위하여, 테스트 영상과 실제 영상에 적용하여, 필터의 크기와 합수를 적응적으로 결정하였다. 즉 고정된 확률적인 하나의 필터를 사용한 것이 아니고 영상의 특성인 밝기, 대조비, vignetting 특성에 따라 자동적으로 필터 계수를 결정하는 적응적 필터링 기법(adaptive filtering)을 적용하였다.

망간단괴 추출을 위한 최적의 임계값을 결정하기 위하여 영상의 화소값을 재배열하는 정규화를 수행하였다. 영상의 정규화는 촬영조건에 따라 변하는 밝기값 및 대조비에 관계없이 최적 임계값을 결정할 수 있는 장점이 있다. 망간단괴를 크기별로 분석하고 분포상황을 파악하기 위하여 추출된 망간단괴의 객체화에 의한 그룹화를 수행하였으며, 이로부터 분포량, 분포밀도 분석 등 통계분석이 가능하다.

사용된 카메라의 정확한 검증이 수행되지 않으므로 망간단괴의 통계분석이 실제와 차이가 발생할 수 있으며, 특히 수중 카메라의 방수를 위해 사용한 하우징의 재질과 심해저에서의 빛의 굴절에 대한 연구가 선행되지 않아서 이를 고려하지 못함으로 인하여 발생하는 정확도의 신뢰성에 문제가 있다. 이는 향후 연구에서 해결해야 할 과제이다.

2. 망간단괴

차세대 에너지 자원인 망간단괴(團塊, Manganese nodule)는 수심 4,000m~6,000m의 심해저에 분포하고 있는 망간을 주성분으로 하는 광물 덩어리이며, 크기는 지름

표 1. 해저 망간단괴 함유금속별 추정량 및 용도

함유금속	추정량(억톤)	유상 매장량과 비교	현재 소비량 기준	사용기간
망간(Mn)	2,000	33배	24,400년	자성재료 및 건전지
구리(Cu)	50	11배	640년	전기전자, 합금
니켈(Ni)	90	150배	16,400년	스텐레스강, 전자, 도금
코발트(Co)	30	1,100배	136,400년	초강합금, 첨단의료기기, 항공우주산업, 전기통신

0.5cm~25cm 정도가 보통이지만 2m에 이르는 것도 있다. 망간단괴는 해수속의 금속이온이 망간핵에 붙어 수백년에 걸쳐 형성되며, 망간을 비롯하여 구리, 니켈, 코발트 등의 금속이 함유되어 있다(그림 1 참조). 망간단괴의 평균 함유량은 망간 25.4%, 니켈 1.28%, 구리 1.02%, 코발트 0.24%이다. 망간은 철강산업의 원료 및 건전지 재료, 구리는 합금, 통신 및 전력산업에 쓰인다. 니켈은 스텐레스강, 전자, 화학플랜트 및 정유시설, 코발트는 초강합금, 항공기 엔진 및 의료기기산업 등에 사용되는 주요 자원이다. 표 1은 미국 내무성 광산국이 해저 망간단괴 데이터를 종합하여 자원적 가치로 분석한 결과를 보여주고 있다.

캘린저호에 의해 망간단괴가 수심이 5,000m 이상인 태평양 남동부의 심해저에서 발견되었으며, 북극 및 남극해저에서도 발견되었다. 특히 최근 전세계적으로 해양탐사와 해양자원 개발에 주목이 집중되는 시점에 해양국가로서 체계적인 연구가 지속되어야 한다. 이는 망간단괴 탐사에만 국한되는 것이 아니라, 향후 해양개발을 위한 국가적 위상제고 및 경쟁력 강화에 필수적인 사항이다.

그 동안 우리나라는 해양국가로서 해양의 중요성을 강조하고 있지만 해양에 대한 다양한 조사, 자원탐사 및

개발을 위한 과학적인 기술력 축적은 매우 저조하다. 특히 국제적인 논란과 분쟁 가능성이 큰 해양문제는 정치적, 외교적 역량과 더불어 과학적인 근거와 이를 뒷받침할 수 있는 기술력이 뒷받침 되어야 하며, 해양국가로서 국제적으로 인정받기 위해서는 단기적인 가시효과에만 치중하지 않고, 지속적이고 체계적인 기술력 축적 및 업그레이드, 신기술 도입과 개발이 시급한 실정이다.

3. 탐사지역과 심해저영상 촬영

3.1 탐사지역

우리나라의 심해저 광물자원 개발사업은 1990년 초반부터 본격적으로 시작되어 1994년에 유엔의 국제해저기구(ISA)로부터 태평양 공해상에 15만km²의 할당광구를 인준 받았다. 2002년에는 하와이 동남쪽 2,500km에 위치한 '클라리온-클리퍼톤 해역'에 단독 개발광구를 확보하는 성과를 달성하였으며, 이 광구의 수심은 약 5,000m, 면적은 약 7만5,000km² 으로 대한민국의 75%에 해당된다. 특히 우리나라가 확보한 광구는 고품질의 망간단괴가 집중적으로 분포하고 있어 전세계적으로 관심을 받고 있는 유망한 광구 중 하나이다(그림 2 참조).

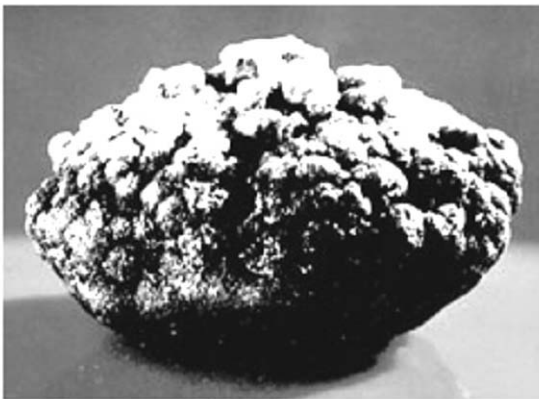


그림 1. 심해저에서 채취한 망간단괴

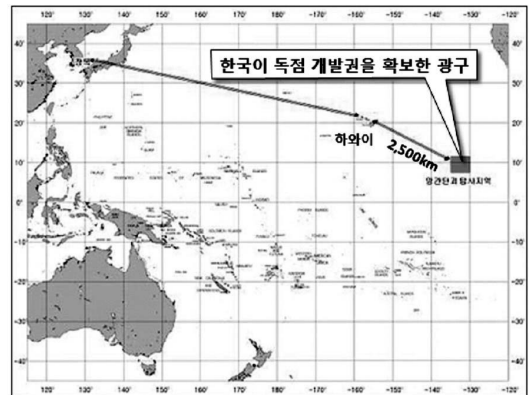


그림 2. 탐사지역: 클라리온-클리퍼톤 광구

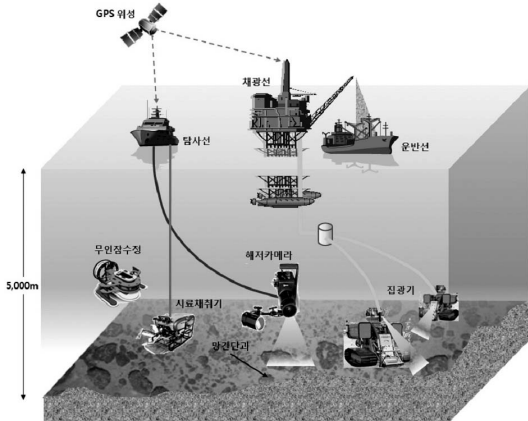


그림 3. 심해저 망간단괴 탐사 및 채취 모식도

이 광구에는 5억1000만톤 가량의 망간단괴가 분포하고 있는 것으로 예측하고 있으며, 이는 약 138조원에 해당된다. 2010년 기준으로 망간과 코발트는 자급이 가능하고 국내 소비량의 2/3를 공급할 수 있으므로 연간 약 11억불(1조5천억원)의 수입대체 효과를 유발할 수 있을 것으로 예측하고 있다. 그림 3은 망간단괴 탐사 및 채취 모식도이다.

3.2 영상촬영

영상촬영은 심해저 탐사용으로 제작된 Ocean Imaging Systems사의 DSC(Deep Sea Camera)6000 스틸 카메라와 Kongsberg사의 OE14-121 비디오 카메라를 장착한 영상 획득 시스템을 사용하였다. 그림 4는 해양연구원(KORDI)의 해양탐사선인 온누리호와 영상시스템 및 스틸 카메라를 보여주고 있으며, 그림 5는 촬영 모니터링

을 위한 Deck unit이다. 영상촬영은 2008년 8월에 수행하였다. 그림 5는 심해저 수중 카메라로 해저면을 근접 촬영한 영상으로 망간단괴의 분포량, 분포상태, 크기 등 매장량을 산정하고 경제성을 분석하기 위한 기본 데이터로 활용되며, 향후 채취를 위한 중요한 정보를 제공하게 된다.

촬영거리는 대부분 해저면으로부터 약 4m~6m 이었으며, 영상의 해상도는 2240 × 1488 픽셀, CCD 크기는 23.7mm × 15.6mm 이고, 초점거리가 20mm인 Nikon D70 렌즈를 사용하였다.

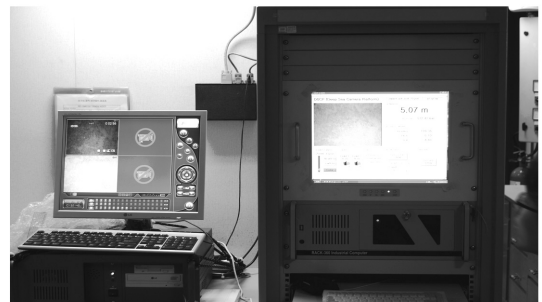


그림 5. 촬영 모니터링 시스템

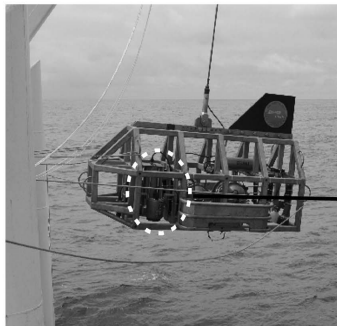
4. 영상처리에 의한 망간단괴 추출

4.1 영상처리 과정

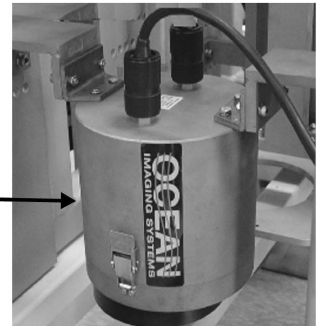
심해저는 태양빛이 도달하지 않으므로 플래시를 사용하여 촬영된 영상의 중앙부와 주변부의 광량차이로 인한 vignetting 현상이 심하게 발생한다. 그러므로 영상의 전처리 단계에서 vignetting 현상을 최소화하는 것이



(a) 탐사선 온누리호



(b) 영상시스템 투하 장면



(b) DSC6000 심해저 카메라

그림 4. 해양연구원의 해양탐사선과 심해저 카메라

중요하다. 망간단괴를 추출하기 위한 최적의 임계값 설정을 위하여 화소값의 동적영역을 조절하였다. 임계값에 의하여 이진화된 영상으로부터 추출된 객체는 미세 객체 또는 객체내의 공백화소 등이 존재하여 불완전할 수 있기 때문에 이를 해결한 후 객체화에 의한 집단화 과정이 필요하다.

최종적으로 추출된 망간단괴 객체들은 크기별로 분류하여 지역별 분포상태를 파악하고 및 채취량을 산정하는데 기초 자료로 사용할 수 있도록 하였다. 그림 6은 본 연구에서 개발한 영상처리 과정을 보여주고 있다.

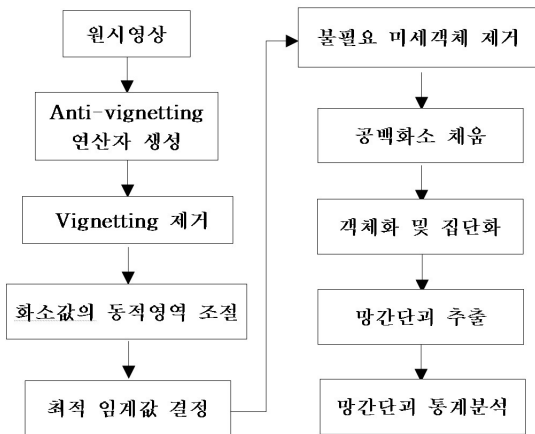


그림 6. 망간단괴 추출 및 분석을 위한 영상처리 과정

4.2 Vignetting 현상

Vignetting은 광학 사진기의 특성상 렌즈의 중앙부분에 비하여 주변부분에 빛의 양이 적게 입사되어 영상의 중앙은 밝게 나타나고 외곽부분은 어둡게 나타나는 현상으로 lens falloff라고도 한다. Vignetting현상을 발생시키는 원인은 카메라의 구조와 렌즈에 의한 기계적, 광학적 및 자연적 요소, 또한 픽셀 및 다양한 외부조건 등이다. 렌즈의 광축으로부터 멀어질수록 렌즈를 통과하는 광량은 렌즈의 중심부를 통과하는 광량보다 적으므로 렌즈의 중심으로부터 멀어질수록 영상이 어둡게 나타나는 현상이 발생하게 된다.

그림 7에서 광축에 근접한 대상물 표면에서 단위면적당(ΔA) 반사되는 빛 에너지(L)는 렌즈를 통과한 후 영상면에 수직으로 입사되어 영상면이 감광되지만, 광축에서 멀리 떨어진 대상물 표면에서 단위면적당 반사되는 빛 에너지량은 동일하더라도 영상면에 사선방향으로

감광되므로 감광면적이 상대적으로 넓다. 그러므로 영상면에서 빛 에너지 밀도($E/\Delta a$)가 광축에 근접한 렌즈의 중심부의 밀도보다 낮아서 영상이 어둡게 감광된다. Vignetting현상은 렌즈의 조리개와 초점거리가 일정할 경우 빛의 입사각이 클수록 영상면에 도달되는 빛 에너지는 입사각의 cosine의 4제곱에 비례해서 감소(Cosine fourth law of illumination falloff)하게 된다. 그러므로 영상의 외곽부분에서는 입사되는 빛 에너지의 감소에 의한 vignetting 현상이 심하게 발생하게 된다.

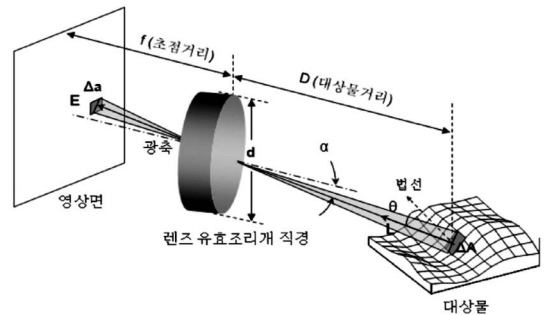


그림 7. 카메라 렌즈에 의한 빛 에너지 전달

식 1은 대상표면으로부터 방사된 빛 에너지가 렌즈를 통과한 후 영상면(필름 또는 Digital sensor array)에 입사한 빛 에너지인 방사조도(Irradiance)를 산정하는 수식이며, 렌즈의 유효 조리개 직경이 크고 초점거리가 짧을수록, 또한 렌즈광축과 입사각이 작을수록 영상면에 입사되는 에너지량은 증가하게 된다.

$$E = \frac{\pi}{4} L \left(\frac{d}{f}\right)^2 \cos^4 \alpha \quad (1)$$

여기서 E 는 방사조도(Irradiance)를 나타내며 영상면의 단위 면적당 입사되는 빛 에너지량이며, L 은 방사휘도(Radiance)이며 지표면이나 대상물의 표면으로부터 방사되는 빛 에너지량을 의미한다(Horn, 1986; Schenk, 1999).

Vignetting 현상의 특성은 조리개의 면적을 크게 개방할수록 vignetting 현상이 심하게 발생하고, 초점거리가 짧은 광각렌즈 사진기는 화각이 크므로 vignetting이 더욱 심하게 발생하게 된다. 또한 광량이 적을수록 심하게 발생하며, 광량이 부족한 지역에서 플래시를 사용하여 촬영할 경우, 대상물의 중앙부분에서는 상대적으로 더 많은 양의 빛이 반사되어 입사될 수 있으므로 vignetting 현상이 발생할 가능성이 높다.

4.3 Vignetting 현상 제거

Vignetting은 영상밝기의 비균일적인 변화에 의하여 영상판독과 측정 및 정보획득을 위한 영상처리에 문제점을 야기 시킨다. 그러므로 vignetting 현상을 해결함으로써 화질개선과 동시에 측정에 의한 정보획득과 분석의 정확도를 향상시킬 수 있다. 또한 vignetting 현상을 제거 또는 최소화함으로써 영상전체를 사용할 수 있으므로 대상지역의 촬영 피복면적을 최대한 활용할 수 있다. 항공사진 촬영의 경우에는 anti-vignetting 광학필터를 사용하여 vignetting 현상을 최소화 하고 있다.

특히 본 연구에서 사용한 영상은 태양광이 미치지 않는 수심 5,000m의 어두운 심해저에서 프레쉬를 사용하여 촬영하였으므로 vignetting 현상이 매우 심각하게 발생하였다. 그러므로 해저면의 망간단괴의 분포상태와 특성 등에 관한 정보를 정확하게 추출하고 촬영된 영상의 전 지역의 영상처리를 위해 vignetting 현상을 효과적으로 제거하는 방법을 제안하였다. Vignetting 현상제거 원리는 영상면에 입사된 광량의 상대적 차이를 산정하여 이를 상쇄시키는 것이다.

촬영거리, 촬영방향, 광량, 표면 및 객체의 반사도, 대상지역 객체의 분포상황 등 촬영조건 및 환경변화가 촬영할 때 마다 상이하게 발생하는 해저영상에서는 고정된 동일한 필터를 사용하는 광학적 방법으로 vignetting을 효과적으로 제거할 수 없으므로 본 연구에서는 각 영상마다 다르게 발생하는 vignetting을 산정하여 적응적 anti-vignetting 연산자를 생성하였다. Anti-vignetting 연산 알고리즘은 다음과 같이 수행된다.

```
// ----- Gaussian image generation -----
for (i=0-N; j=0-M) // image size: NxM
    G(i,j) = 1/(2πσ)2exp[-(i2+j2)/2σ2] // Gaussian filter
    g(i,j) = o(i,j)⊗G(i,j) // convolution process

// ----- Anti-vignetting filtering -----
for (i=0-N; j=0-M)
    if (g(i,j) = 0) then g(i,j) = 1 // avoid divided by zero
    v(i,j) = 255 * o(i,j)/g(i,j) // normalization
    if (v(i,j) > 255) then v(i,j) = 255 // max pixel value: 255
```

(2)

Anti-vignetting은 각 영상의 가우시안 연산자를 적용한 결과의 역함수를 사용하여, 중앙부에 비해 주변부가 어두운 영상(그림 8(a) 참조)에 anti-vignetting 연산자(그림 8(b) 참조)를 적용하여 vignetting이 제거되어 영상의 밝

기값이 균일하게 분포되어 정규화된 영상(그림 8(c) 참조)을 얻을 수 있다.

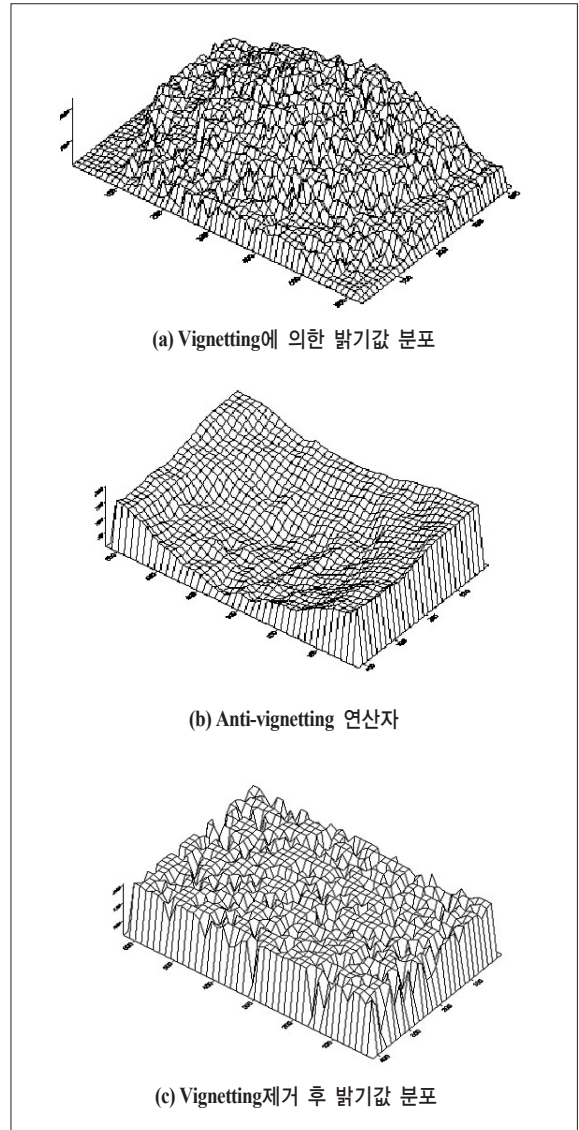


그림 8. Anti-vignetting 연산

그림 9는 테스트 영상에 제안한 방법을 적용한 결과를 보여주고 있다. 테스트 영상 A는 밝기를 계단식으로 변화시킨 영상이고, 테스트 영상 B는 vignetting 현상이 심하게 발생한 시뮬레이션 영상이다. 또한 원시영상과 vignetting제거 영상을 주파수 영역에서 분석하기 위하여 각각의 영상에 Russ(2002) 방법에 의한 푸리에 변환을 적용한 결과를 보여주고 있다.

처리과정		테스트 영상 A	테스트 영상 B
원시영상			
Anti-vignetting 필터			
Vignetting 제거영상			
주파수영역 분석	원시영상의 Fourier transform		
	Vignetting 제거영상의 Fourier transform		

그림 9. Vignetting 현상 제거과정 및 결과

4.4 망간단괴 추출

영상으로부터 망간단괴를 추출하기 위하여 망간단괴와 해저면을 구분할 수 있는 최적의 임계 화소값을 결정하는 것이 중요하다. 촬영시 환경변화가 심한 심해저에서 카메라가 이동하면서 영상을 획득할 경우, 촬영조건(예: 촬영위치, 촬영방향, 촬영거리, 광량, 주위환경 등)이 변하여 영상마다 임계 화소값이 다르게 된다. 그러나 제한한 vignetting 제거 과정에서 영상의 정규화(normalization) 및 균일화(equalization)를 수행한 후(식 2 참조), 히스토그램의 선형적 변환에 의한 동적영역을 0~255로 재설정하여 촬영조건에 의한 영향을 최소화하여 최적 임계 화소값을 일정한 범위의 값으로 결정하였다(Jain, 1989).

탐사를 위해 촬영한 영상은 약 900장이고, 해저면으로부터 촬영높이에 따라 20장의 영상을 선택하여 여러 번의 테스트를 수행하고 시각적 판단에 의하여 최적 임계값을 160~200 범위로 결정하였다. 즉 망간단괴를 추출하기 위한 임계 화소값은 그림 10에서 표시한 범위의 값을 사용하면 대부분의 망간단괴를 성공적으로 추출할 수 있었다.

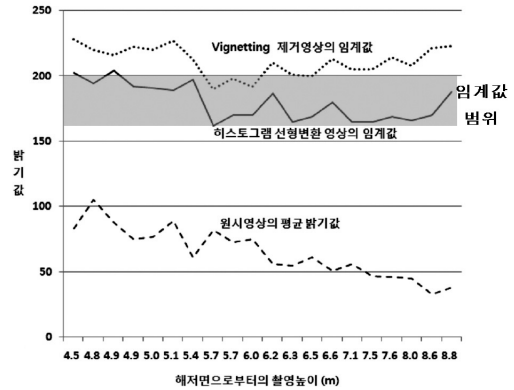


그림 10. 망간단괴 추출을 위한 임계값 결정

이진화에 의하여 추출된 결과는 망간단괴 뿐 아니라 불필요한 미세객체 또는 노이즈까지 포함하게 되므로 이를 제거하고, 또한 망간단괴 내의 공백화소를 채워 망간단괴를 객체화하고 그룹화하여 크기별 개수를 산정할 수 있다. 이를 기반으로 향후 망간단괴의 크기별 분포량 및 경계성 분석에 필수적인 기초 통계정보를 제공하게 된다. 카메라의 초점거리와 해저면으로부터의 촬영높이로부터 영상의 축척을 계산하고 추출된 망간단괴의 픽셀의 수를 곱하면 실제 채굴 가능한 망간단괴의 양을 추정할 수 있다.

5. 실험 결과 및 분석

본 논문에서는 대표적인 망간단괴의 형태와 분포특성을 나타내고 있는 2개의 탐사영상에 대한 결과를 제시하였다. 그림 11에서 실제영상 A는 크기가 작은 망간단괴를, 실제영상 B는 크기가 상대적으로 큰 망간단괴의 형태를 보여주고 있으며, vignetting 현상제거 영상과 망간단괴 추출결과를 보여주고 있다. 또한 vignetting 현상을 제거하지 않은 경우에는 영상 주변부의 어두운 화소값에 의하여 망간단괴에 대한 정확한 추출과 통계분석이 불가능하다. 그러므로 vignetting을 효율적으로 제거하는 과정이 선행되어야 하며, 제시한 vignetting 현상제거 방법을 적용하여 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있었다.

Vignetting 제거 결과는 영상영역(Image domain)에서의 시각적 판단뿐 아니라, 푸리에 변환에 의한 주파수영역(Frequency domain)에서 잘 설명될 수 있다. 즉 vignetting 제거 전과 후의 결과를 보면 영상의 밝기변화에 의한 고주파 성분이 vignetting 제거 영상에서 감소되었음을 알

수 있다(그림 9 참조). 또한 망간단괴는 배경과 상대적으로 잘 구분되는 특정한 색조를 가지고 있으므로, 최적의 임계 화소값을 결정하는 것이 중요하며 이를 위하여 영상의 정규화 및 균일화가 필요하다. 또한 분포된 망간단

괴의 특성(크기, 체적, 중량 등) 정보는 향후 채굴에 중요한 정보를 제공할 수 있다.

그림 12는 추출된 망간단괴의 객체화 및 그룹화에 의하여 각 객체의 픽셀수에 대한 개수를 계산하여 분포도를 작성한 결과이다. Vignetting 현상을 제거하지 않을 경우, 잘못된 분포도가 작성되어 망간단괴의 분포특성과 채취량 분석에 큰 오류가 발생할 수 있으므로 부정확한 경제성 예측 결과를 초래하게 된다. 또한 각 영상에 대하여 통계결과를 제시하고 있으며, 카메라 및 촬영정보(해상도, 초점거리, CCD 크기, 촬영고도 등)로부터 촬영 영상에 대한 망간단괴의 분포량을 산정할 수 있다. 특히 망간단괴의 크기별 개수에 대한 정보를 알 수 있으므로, 채취경비에 따른 경제성 분석에 필요한 자료 및 향후 채취에 사용되는 집광기 설계에 중요한 자료를 제공하게 된다.

그러나 광범위한 전 탐사지역의 해저촬영이 불가능하므로 대표적인 지역에 대한 영상을 기반으로 나머지 지역에 대한 분포량 및 채취량을 산정하는 방법에 대한 연구가 필요하다. 이를 위하여 해저에서 영상의 촬영위치를 결정하는 것이 중요하지만 이를 정확히 계산하는 것은 여러 가지 요인으로 매우 어렵다(고영탁 등, 2006).

결과	실제영상 A (촬영높이:5.42m)	실제영상 B (촬영높이:5.57m)
원시영상		
Vignetting 제거영상		
Vignetting 제거 후 망간단괴 추출		
Vignetting 제거하지 않고 망간단괴 추출		

그림 11. 망간단괴 추출결과

분 석		실제영상 A (촬영높이:5.42m)	실제영상 B (촬영높이:5.57m)
Vignetting 제거 후 분석결과			
Vignetting 제거하지 않은 분석결과			
특성 분석	촬영 면적	27.15m ²	28.68m ²
	영상축척	1:270	1:280
	분포량	2.06m ² (253,098 픽셀)	9.63m ² (1,119,628 픽셀)
	분포밀도	7.59%	33.59%

그림 12. 망간단괴 크기별 개수 분포도 및 통계량

탐사선에 GPS 수신기를 탑재하더라도 카메라와 선박을 연결하는 케이블의 거동 및 상태를 모니터링하기가 어려우므로 카메라의 촬영위치를 정확하게 추정할 수 없다. 최근 GPS 데이터를 기준으로 해저의 카메라 위치보정을 위하여 음파탐지기를 사용하여 카메라의 위치를 추적하는 방법이 개발 중에 있다.

본 연구에서는 수직 촬영영상으로 가정하여 망간단괴의 분포량은 산출한 것이므로 촬영 시 카메라의 움직임에 의한 촬영 방향각에 따라 경사영상이 촬영될 경우 오차가 발생한다. 그러므로 현재는 카메라의 수십만 측정하는 고도계만 탑재되어 있으나, 향후 카메라의 촬영자세를 측정할 수 있는 장비를 탑재하고 이를 활용하는 방법을 개발하면 보다 정확하고 신뢰성 있는 결과를 도출할 수 있다.

6. 결론 및 향후 연구

6.1 결론

연구결과 심해저 영상에서 심하게 발생하는 vignetting 현상의 제거는 매우 중요한 전처리 과정이며 영상처리와 분석의 효율성을 향상 시켜준다. 해저영상에서 vignetting 현상이 발생하는 이유는 플래시를 사용한 광각 렌즈로 근접촬영하기 때문이며, 특히 해저면에서 반사되는 플래시의 광량이 영상의 중앙부에서 주변부 보다 많은 것이 주요 원인이었다.

서로 다른 영상에서 밝기, 대조비 등이 다르더라도 이러한 특성을 본 논문에서 제안한 방법으로 분석하여 최적의 필터를 자동적으로 결정할 수 있는 적응적 필터링 기법은 vignetting 현상 제거에 효과적임을 알 수 있었으며, vignetting 현상을 제거하지 않은 영상에서는 망간단괴가 정확하게 추출되지 않았다.

망간단괴의 색조는 해저면 바닥과 대조비가 커서 확연히 구별되므로 최적의 임계값을 결정할 수 있으며, 이 진화 영상에서 용이하게 추출할 수 있다. 그러므로 모든 영상을 정규화하여 최적의 임계값을 추정하여 망간단괴를 정확하게 추출할 수 있었다.

망간단괴의 분포상황을 분석하기 위하여 객체화와 그룹화를 수행하여, 영상에 촬영된 망간의 크기별 개수와 분포밀도를 계산할 수 있었다.

6.2 향후 연구제안

향후 신뢰성 높은 성과 도출을 위해서는 정확도 향상

에 필요한 장비를 탑재한 해저 카메라 시스템의 개선과 카메라 검증 및 기타 보정 등 필수적인 과정이 수행되어야 한다. 망간단괴의 정확한 정보추출과 이를 기반으로 채굴을 위해 카메라의 위치추정 및 촬영 경사각에 의한 외부표정요소의 결정이 중요하다(Atkinson, 2001; McGlone, 2004). 카메라의 위치보정과 촬영자세 정보로부터 외부표정요소를 획득하게 되어 망간단괴의 기하학적 정확도를 향상시킬 수 있다.

촬영에 사용된 카메라는 비측정용이므로 정확한 초점거리, 투영중심 및 렌즈왜곡 보정을 위한 카메라 검증수행이 요구되며, 수중에서 빛의 굴절률을 산정하고 이를 보정하여야만 정확한 결과를 얻을 수 있다(Newton, 1989). 또한 현재는 중복없이 단사진으로 촬영하므로 망간단괴의 3차원적 분석이 불가능 하지만, 입체영상을 촬영하여 망간단괴의 정확한 3차원적 분석과 분포상태를 통하여 더욱 실제에 근접한 채취량과 경제성 분석이 가능하다. 또한 입체영상으로부터 3차원 해저지형 정보를 획득하고 이를 분석함으로써 탐사 시뮬레이션을 수행할 수 있다.

심해저 영상촬영은 비용이 많이 들고, 복합적인 요인으로 인하여 촬영이 매우 어렵다. 그러므로 쉽게 접할 수 없는 심해저 영상 자체만으로도 그 가치가 크다고 사료되어, 망간단괴 탐사뿐 아니라 해양 및 해저관련 연구에 크게 기여할 자료이다. 최근 구글어스에서 해저정보 제공 서비스에서 시사하는 바와 같이 공간정보 기술의 대상공간은 더욱 확대되어 지상뿐 아니라 해양 및 해저까지 포함하고 있다. 특히 해양에 대한 전 세계적인 관심이 커지고 있으므로 해양에 대한 다양한 정보 획득과 기술력 축적은 해양국가의 지위를 향상시키기 위한 국가 경쟁력 제고에 핵심적 역할을 할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 국토해양연구개발사업-심해저 광물자원개발과제(PM54900)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

고영탁, 박정기, 김종욱, 이태국 (2006), 천부지층자료와 심해영상자료를 활용한 망간단괴 분포 특성 연구, 지구물리학회지, 지구물리학회, 제 9권, 제 4호, pp.427-441.

- 과학기술부 (2000), 심해저 광물자원 탐사기술 및 환경 보전 연구, 한국해양연구소, p. 419.
- Atkinson, E. (2001), *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*, Whittles Publishing, p. 371.
- Horn, B. (1986), *Robot Vision*, The MIT Press/McGraw-Hill Book Company, New York, NY, p. 509.
- Jain, A. (1989), *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice-Hall, NJ, p. 569.
- McGlone, J. (2004), *Manual of Photogrammetry*, Fifth Edition, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, p. 1151.
- Newton, I. (1989), *Underwater Photogrammetry*, Second Edition in *Non-Topographic Photogrammetry*, (Karara, M. ed.), American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, pp.147-166.
- Russ, J. (2002), *The Image Processing Handbook*, Fourth Edition, CRC Press, NY, p. 732.
- Schenk, T. (1999), *Digital Photogrammetry*, Volume I, TerraScience, p. 428.

(접수일 2009. 10. 30, 심사일 2009. 12. 15, 심사완료일 2009. 12. 22)