



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

영상처리기법을 활용한  
해상 원유 유출 범위 추정

Estimation of ocean spill area using  
an image processing technique

지도교수 남 종 호

2019년 8월

한국해양대학교 대학원

조선해양시스템공학과  
장 혜 진

본 논문을 장혜진의 공학석사 학위논문으로 인준함.

위원장      박 주 용      (인)

위    원      남    종    호      (인)

위    원      허    철      (인)

2019년 5월 25일

한국해양대학교 대학원

# 목 차

List of Tables .....	iii
List of Figures .....	iv
Abstract .....	vi

## 1. 서론

1.1 연구 배경 .....	1
1.2 선행 연구 .....	4
1.3 연구 목표 및 내용 .....	6

## 2. 영상처리기법 이론

2.1 디지털 영상과 영상처리 .....	7
2.2 색 항상성 .....	7
2.3 영상 전처리 .....	8
2.3.1 저주파 필터를 이용한 잡음 처리 .....	8
2.3.2 고주파 필터를 이용한 경계 구분 .....	10
2.4 이진화를 위한 임계값 결정 .....	13
2.5 영상처리 색 공간 .....	14

<b>3. 기름 유출 영상 분석 및 비교</b>	
3.1 영상 분석 .....	17
3.2 이진화 결과 비교 .....	23
<b>4. 기름 유출 면적 추정 시스템</b>	
4.1 개발 환경 .....	30
4.2 면적 추정 방법 .....	30
4.2.1 영상 전처리 .....	31
4.2.2 히스토그램 분석 .....	31
4.2.3 임계값 적용 .....	33
4.2.4 면적 산출법 및 검증 .....	34
4.2.5 결과 분석 및 고찰 .....	39
4.3 GUI 시스템 .....	41
<b>5. 결론</b>	
5.1 요약 .....	43
5.2 향후 과제 .....	44
<b>감사의 글</b> .....	45
<b>참고문헌</b> .....	46
<b>부록 A</b> .....	49
A.1 물질별 해양오염 발생 현황(2018) .....	49
<b>부록 B</b> .....	50
B.1 영상 분석 면적비 .....	50
B.2 영상 분석 이진화 결과 .....	51

## List of Tables

<b>Table 1.1</b> Status of ocean pollution accidents .....	1
<b>Table 4.1</b> Length of example image(1)' s figure .....	35
<b>Table 4.2</b> Area of example image(1)' s figure .....	35
<b>Table 4.3</b> Result of example image(1)' s figure .....	36
<b>Table 4.4</b> Comparison of the results of example(1) and example(2) .....	37
<b>Table 4.5</b> Result of Fig. 4.10 .....	39
<b>Table 4.6</b> Results from oil area estimation program .....	42

# List of Figures

Fig. 1.1 Oil spill accident(Korean Federation for Environmental Movements) .....	2
Fig. 1.2 SAR image RADARSAT-2 view of leaking oil platforms in the Caspian Sea (Fingas&Brown(2017)) .....	3
Fig. 2.1 Checkershadow Illusion and proof(Adelson(1995)) .....	8
Fig. 2.2 Effect of blur filter: before and after .....	9
Fig. 2.3 Effect of median filter: before and after .....	10
Fig. 2.4 Effect of bilateral filter: before and after .....	10
Fig. 2.5 Effect of Sobel filter: before and after .....	11
Fig. 2.6 Effect of Laplacian filter: before and after .....	12
Fig. 2.7 Effect of Canny filter: before and after .....	12
Fig. 2.8 Effect of Otsu method: before and after .....	13
Fig. 3.1 RGB cube .....	14
Fig. 3.2 Difference between grayscale and binary image .....	15
Fig. 3.3 HSV cone .....	15
Fig. 3.4 YCbCr color space .....	16
Fig. 3.5 Skimming oil in the GoM and hue histogram .....	18
Fig. 3.6 Deepwater horizon oil spill and hue histogram .....	18
Fig. 3.7 Shell spills around 90,000 gallons of oil and hue histogram .....	19
Fig. 3.8 Shell' s oil spill and hue histogram .....	20
Fig. 3.9 Y histogram of Fig. 3.7 .....	20
Fig. 3.10 Y histogram of Fig. 3.8 .....	21
Fig. 3.11 Odyssey circle and hue histogram .....	22
Fig. 3.12 Diesel oil spill and hue histogram .....	22
Fig. 3.13 Odyssey circle' s hue image .....	23
Fig. 3.14 Diesel oil spill' s hue image .....	23

Fig. 3.15	Algorithm for binarization of oil spill image .....	24
Fig. 3.16	Binary mask result of Fig. 3.5, Fig. 3.7, and Fig. 3.8 .....	25
Fig. 3.17	Binary result of Fig. 3.6 using by hue valley value .....	25
Fig. 3.18	Saturation histogram of Fig. 3.6 .....	26
Fig. 3.19	Binary result of Fig. 3.6 using by saturation valley value .....	26
Fig. 3.20	Binary mask result of Fig. 3.6 .....	27
Fig. 3.21	Saturation histogram of Fig. 3.11 .....	27
Fig. 3.22	Saturation histogram of Fig. 3.12 .....	27
Fig. 3.23	Brightness histogram of Fig. 3.11 .....	28
Fig. 3.24	Brightness histogram of Fig. 3.12 .....	28
Fig. 3.25	Binary result of Fig. 3.12 using by brightness valley value .....	29
Fig. 4.1	Image with filter applied .....	31
Fig. 4.2	Oil spill image for test .....	32
Fig. 4.3	Split image from Fig. 4.2 (hue/saturation/brightness) .....	32
Fig. 4.4	Hue histogram of Fig. 4.2 .....	33
Fig. 4.5	Binary result from Fig. 4.4 (1st result/2nd result/Mask result) .....	34
Fig. 4.6	Comparison of the results of Fig. 4.5 and Otsu method .....	34
Fig. 4.7	Example image(1) .....	35
Fig. 4.8	Example image(2) .....	37
Fig. 4.9	Example image(3) .....	38
Fig. 4.10	Example image(3)' binary by Otsu and after preprocessing .....	38
Fig. 4.11	Applied high pass filter to example image(3) .....	40
Fig. 4.12	Original image of example image(3) .....	40
Fig. 4.13	Oil area estimation program GUI(auto) .....	41
Fig. 4.14	Oil area estimation program GUI(manual) .....	42

# Estimation of ocean oil spill area using an image processing technique

Jang, Hye Jin

Department of Naval Architecture and Ocean Systems Engineering  
Graduate School of Korea Maritime & Ocean University

## Abstract

Oil spill accidents at sea not only destroy the ocean environment and neighboring ecosystem but also do harm people by the maleficent gas generated by the phase change of crude oil. Therefore, it is necessary to minimize the damage by initiating a quick response as soon as an oil spill occurs. Previous studies used the radar (SAR) image to calculate the oil spill area and determine the exact amount of oil spilt. SAR images, however, are difficult to access and therefore cannot be utilized in time. This paper introduce a method to estimate the oil spill area from the image obtained using various digital devices.

Images containing oil spill scenes are analyzed using an image processing technique. The oil spill images used in the analysis are normally classified into two regions for the water and the oil. Those two regions are distinguished by the color difference based on the hue property of the HSV

color space. A preprocessing approach that minimizes the errors possibly caused by the light reflection on the image is proposed. The histogram of the preprocessed image is analyzed and binarized to determine the regions of the water and the oil. When the binarization by the color cannot be accomplished, additional properties of an image such as saturation or brightness are used to estimate the oil spill area. A graphical user interface system is developed to help the user to estimate the ratio of oil spill region from an image.

**KEY WORDS:** Oil spill 기름/원유 유출; Image processing 영상처리; CV 컴퓨터 비전; Segmentation 영상 분할; Concentration 집적도;

# 제 1 장 서론

## 1.1 연구 배경

해양 오염 사고는 국내외를 막론하고 끊임없이 발생한다. 국내 대형 원유 유출 사고로는 씨프린스호 사고(1995년), 삼성1호-허베이 스피릿 호 원유 유출 사고(2007년), 우이산호 기름 유출 사고(2014년) 등이 있으며, 국외 사고로는 엑슨 발데즈의 원유 유출 사고(1989년), 딥위터호라이즌 폭발 사고(2010년) 등이 있다. 특히 유조선의 충돌이나 좌초로 인한 원유와 병커C유의 유출이 많다(천정운 외 2인, 2019). 한국은 세계 6위의 원유수입국이고 8위의 원유소비국으로 (BP, 2018) 많은 양의 원유 출입을 짐작할 수 있다.

최근 10년간 국내 해양 오염 사고는 연 평균 약 270건이 발생했으며, 536kl (kiloliter)가 유출되었다. 최근 8년(2011~2018년)간 해양경찰청의 통계 자료(해양경찰청, 2018)에 따르면 Table 1.1에서 확인할 수 있듯 총 사고발생건수와 총 유출량은 비례하지 않으며 특히 2014년의 총 유출량이 많은 이유는 다섯 건의 100kl 이상의 유출 사고가 있었기 때문이다. 유출 사고 다섯 건 모두가 기름 유출 사고인 것으로 보아 기름 유출에 의한 오염 규모가 선저폐수나 폐기물에 의한 오염 사고 규모보다 큰 것을 알 수 있다.

**Table 1.1** Status of ocean pollution accidents [Unit: case, kiloliter]

		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
발생 건수	계	287	253	252	215	250	264	271	288
	유조선	25	32	12	30	25	24	22	31
	화물선	39	48	26	21	21	35	25	30
	어선	97	66	77	54	91	109	115	126
	기타	126	107	137	110	113	96	109	101
유출량	계	369	419	635	2,001	464	278	230	251
	유조선	1	1	3	38	10	2	89	8
	화물선	60	222	439	786	121	49	2	46
	어선	52	6	18	41	22	26	37	74
	기타	255	190	175	1,136	311	201	102	124

Fig. 1.1은 2014년 1월 31일에 GS칼텍스 원유2부두에서 싱가포르 선적 유조선 우이산호의 기름 유출 사고이다. GS칼텍스 측에서는 기름 유출량이 800ℓ로 추정된다고 하였으나 해경의 중간 수사 결과 기름 유출 추정량은 164kl로 보도되었다. 하지만 사건 발생 3개월 후에 나온 수사 결과에서 국립과학수사연구원의 감정 결과와 저장탱크 변동량을 토대로 계산한 원유 유출량은 926.3kl~1,025.3kl이었다. 사고 발생으로 인근 해양과 해안가가 오염됐으며 방제작업 투입인원을 포함한 인근 지역 주민들이 구토와 어지럼증 등으로 병원 치료를 받았다. 유출된 기름을 단 기간의 방제로 완전히 정화시킬 수는 없으나 잘못된 초기 유출량 계산으로 인하여 방제 처리에 어려움을 겪었다.

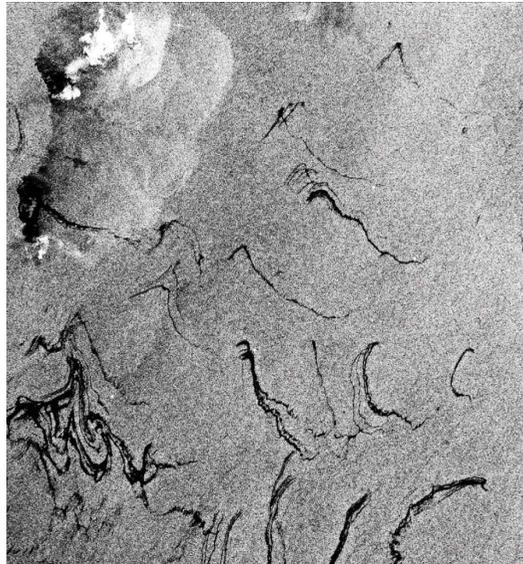


**Fig. 1.1** Oil spill accident (Korean Federation for Environmental Movements)

이처럼 해양 기름 유출 사고는 초기 대응이 중요하다. 초기 포집에 실패하여 잔류하는 기름은 해양 생태계의 동식물의 사망을 초래하고, 퇴적물과 관련된 종들은 장기적으로 노출되어 사망률이 증가(Charles et al., 2000)하게 된다. 해양 오염 사고 발생 시 기름 유출 예상량, 유종과 그 특성 등을 확인하고 기름의 확산 또한 예측하여야 한다. 특히 긴급 방제 계획 수립 시 사고 전망을 얻기 위한 항공 탐색이 계획(ITOPF, 2014)되기도 한다.

물과 기름의 밀도 특성 상 해양에서는 원유가 해수면 상에 위치하게 된다. 이러한 특징을 활용하여 항공 탐색 시 얻을 수 있는 영상으로 유출된 기름의 면적을 구할 수 있게 된다.

영상을 이용하여 유출 면적을 계산하는 연구는 기존에도 진행되어왔다. 영상 처리기법을 활용하여 유출 면적을 구하는 선행 연구는 보통 Fig. 1.2와 같은 synthetic aperture radar (SAR) 영상을 기반으로 한다.



**Fig. 1.2** SAR image RADARSAT-2 view of leaking oil platforms in the Caspian Sea (Fingas & Brown(2017))

SAR은 관측용 레이더 시스템으로, 1950년대에 군사 목적으로 개발되기 시작했다. 1990년대에 ERS-1/2, JERS-1 및 RADARSAT-1 등이 발사되어 민간 목적으로 사용되기 시작했다(윤근영 등, 2010). 지구과학 및 기후 변화 연구, 환경 및 지구 시스템 모니터링, 2D 및 3D 맵핑, 변경 감지 등 다양한 범위의 응용 프로그램에 대하여 고해상도 영상을 주야 및 날씨와 관계없이 제공한다.

하지만 기름 유출 사고 발생 시 초동조치 단계에서 SAR과 같은 특수 영상을 얻는 것은 쉽지 않다. 초동 조치는 크게 [상황 접수 - 현장 상황 파악 - 비상소집 - 상황보고 및 전파]의 단계로 진행된다. 이때 현장으로 헬기와 방제선 등이 이동 되며, 원유 유출 영역에 대한 영상을 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 디지털 영상을 이용하여 면적을 추정하는 알고리즘을 제시하고자 한다.

## 1.2 선행 연구

1960년대부터 시작된 기름 유출 연구 분야는 2010년 미국의 딥워터호라이즌의 기름 유출 사고 이후로 관련 연구 수가 매우 늘었으며 해양생태학 뿐만 아니라 전반적인 과학 분야에 걸쳐 연구되었다 (Murphy et al., 2016).

미국해양기상청에서는 인공위성을 사용하여 기름 유출량을 추정하고 확산에 대하여 예측한다. 원격 감지 기술을 사용하여 바람, 해류 및 조수, 해수면 높이 등에 대한 정보를 수집하고 유출로 인해 발생할 피해 등 다양한 추정이 가능하다(NOAA, 2016). 1.1절에 설명한 것처럼, 이전의 원유 유출 범위 추정에 관한 연구는 대개 SAR 영상을 이용하였다. SAR의 관측은 Alpers et al., (1981)과 Gerling(1986)의 연구를 시작으로 다양한 방면에 걸쳐 해상 정보를 파악하는 데에 이용되었다.

SAR 영상으로부터 다양한 정보를 얻을 수 있다. Zaart et al.(2002)은 SAR 영상의 감마 분포 조합을 사용하여 히스토그램을 분석하고, 영상의 픽셀 클래스간의 식별 오류를 최소화하기 위해 다중 히스토그램의 밸리(valley)를 임계값으로 선택하는 세분화 알고리즘을 제안하였다. Kim et al.(2013)은 원유가 있는 픽셀과 없는 픽셀을 구별하기 위해 바이모달 히스토그램을 적용하였다. 기름 유출 감지에 미치는 풍속의 영향을 줄이기 위해 풍속을 제한하는 advanced synthetic aperture radar(ASAR)영상으로 연구를 수행하였으며 일반적으로 사용되는 적응형(adaptive) 임계값은 단일 임계값과 함께 적용되었다. 히스토그램을 이용하여 이진화를 하는 연구 중에 Xu et al.(2015)은 SAR영상으로부터 이진 레이블을 추론하기 위한 임계값 기반의 확률적 완전 연결 조건부 랜덤 필드(TGSFCRF) 모델을 개발했다. 강도 임계 접근법으로 기름 유출 예상 지역의 초기 레이블과 배경을 추정하며 초기 레이블에 기반한 화소(pixel)로 가우스 혼합 모델을 생성하고 이를 기반으로 그래프컷(graph-cut) 최적화 접근법을 사용하여 최종 레이블을 추론한다.

히스토그램을 분석하는 방법 외로는 머신러닝을 활용하여 SAR 영상으로부터 유출 면적을 구하는 연구가 있다. Konstantinos(2008)이 제안한 SAR 영상에서

유막을 구분하는 방법이 있다. SAR로 얻은 원유 유출 영상에서 유막이 해수면의 후방 산란을 감소시켜 SAR 영상에서 어둡게 나타남을 이용한다. 이런 특성을 기준에 갖고 있던 데이터베이스를 비교하여 유막을 구별해낸다. 다만 이때 분류기의 데이터베이스가 얼마나 다양하냐에 따라서 훈련량이 다르므로 많은 양의 데이터를 필요로 한다. Schwartzman et al.(2016)은 원유 유출 감지를 위한 SAR 영상의 대부분이 시각적인 해석을 통해 이루어지는 점을 해결하기 위해 빅데이터 분석을 기반으로 비선형 공간 필터를 활용하여 어두운 영역을 스캐닝하고 그 형상을 추출하는 자동 탐지 알고리즘을 제안한다. 머신러닝으로 영상을 처리하고 원하는 결과를 얻기 위해서는 많은 양의 학습 데이터가 필요하다. 본 연구에서는 활용할 수 있는 데이터 수가 극히 적으므로 머신러닝으로 연구를 증명하는 방법은 선택하지 않았다.

영상처리를 이용하여 면적을 계산한 연구는 다양한 분야에 걸쳐 진행되었다. 특히 의학이나 지형 분포 관측에 관련된 논문이 많은 편이다. 의료부분에서는 카메라로 촬영된 영상을 이용하여 피부반응 검사에서 반응부위의 면적을 픽셀 단위로 구하거나(Lee et al., 1992) CT 영상을 상용 프로그램(Sante DICOM Viewer)을 이용하여 영상 속 이미지를 실제 크기로 변환한 후에 포인트 클라우드를 추출한다(Kwak and Huh, 2014). 이때 추출한 데이터에서 피타고라스의 정리와 50방향 검색 방법을 이용하여 각각 거리와 면적을 계산한다.

지형 분포 관측에는 위성영상과 축척도를 이용하여 픽셀 당 면적을 부여하는 방법으로 산불 피해면적을 산출한 연구(Kang et al., 2010)와 관측 시스템을 구축하여 조석사주의 지형 변화를 관측하는 연구(Lee et al., 2015)가 있었다.

확인할 수 있는 점은 일반 카메라를 이용할 때엔 카메라의 제원을 이용해야 하며, 실제 면적을 구하기 위해서는 영상의 축척비나 촬영된 객체와의 거리 등을 알아야 한다.

### 1.3 연구 목표 및 내용

본 논문에서는 카메라로 촬영된 해수면에 부유한 기름의 사진을 영상처리기법을 활용하여 기름 유출 면적 추정 방법을 제시한다.

Fingas and Brown(2017)로 확인할 수 있듯 현재 원유 유출에 대한 대응은 주로 SAR을 이용하여 원격 감지를 사용하였다. 레이더 영상을 이용할 경우 넓은 면적을 정확하게 볼 수 있지만, 일반적으로 사용되지 않으므로 데이터에 대한 접근이 어렵다. 또한, 영상 수집을 위하여 일정한 속도로 이동되어야 하고 항공기 탑재 시 운항에 따른 제약이 따른다(Kwak & Jung, 2011). 이에 본 연구에서는 특수 장비가 아닌 일반 카메라를 이용하여 촬영된 영상을 이용하여 기름 유출 면적을 계산한다.

영상은 동일한 위치에서 촬영되었더라도 카메라의 렌즈에 의한 왜곡이나 촬영 기법, 촬영 각도 등에 의해 모두 다른 특성을 갖게 된다. 그러므로 정확한 면적 계산을 위해서는 각각의 영상마다 다른 전처리를 거쳐야 하나, 본 논문에서는 보편적으로 사용 가능한 전처리 방법을 제안한다. 기름 유출 예제 영상 6장을 전처리를 이용하여 처리한 후 전체 영상에서 차지하는 면적 비율을 계산하여 발전 가능성을 제안한다.

카메라로 촬영된 영상으로부터 기름 유출 면적을 계산한다면 추정치를 제시하여 초기 방제 작업의 규모 결정 시에 유용하게 사용할 수 있다.

입력될 기름 유출 영상을 이용하여 정확한 면적을 구하기 위해 영상을 처리할 기법에 대한 이해가 필요하므로 2장에서는 영상처리기법을 설명한다. 3장에서는 적합한 전처리 과정과 프로세스를 제안하기 위해 원유 유출 사고 영상을 비교하고 분석한다. 4장에서는 2장의 영상처리기법과 3장에서 분석한 데이터를 토대로 한 프로세스를 제시한다. 각 단계에 따른 예제 영상의 변화와 면적 계산 결과에 대해서 기술한다. 본 연구에서 제안하는 방법으로 영상의 전체 면적 중 기름이 차지하는 면적의 비율을 구함으로써 실제 사용 가능성을 제안한다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결과를 기술한다.

## 제 2 장 영상처리기법 이론

### 2.1 디지털 영상과 영상처리

영상은 기본적으로 2차원 함수로 정의된다. 디지털 영상은 어떤 좌표에 해당하는 지점의 진폭을 밝기라고 하며, 함수에서 좌표와 밝기값들이 유한하며 이산의 양을 갖는 것이다(Gonzalez & Woods, 2017). 디지털 영상은 광원에서 나오는 빛이 물체에 반사되고 빛을 카메라 안의 센서가 입력받는 형태로 형성된다. 컬러 영상은 카메라에 있는 3원색을 측정할 수 있는 센서에 의해 만들어지며 빛의 강도만을 입력받는다면 흑백영상(gray-scale image)이 된다.

영상처리는 넓게는 입출력이 영상인 모든 형태의 정보 처리를 가리킨다. 잡음을 줄이는 처리, 영상 선명화 등의 저수준 처리부터 영상을 분석하고 인식하는 고수준 처리까지를 모두 정의한다. 영상으로 입력되어 다양한 처리 과정을 거쳐 속성이나 레이블 등을 출력할 수 있다. 영상처리는 증강현실, 문서처리, 미디어 등 산업 전반에 걸쳐 다양하게 활용된다.

동일한 위치에서 촬영된 영상이라도 시간, 날씨, 하드웨어 등의 차이로 영상이 갖는 특성값(광량에 따른 영상의 전체 밝기, 조명에 의해 발생하는 반사광이나 그림자 등)이 모두 다르기 때문에 동일한 방법으로 영상을 처리하기 어렵다. 즉 처리하고자 하는 영상에 적합한 전처리가 필요하다.

### 2.2 색 항상성

컴퓨터에서 영상은 화소의 값으로 표현되기 때문에 컴퓨터로 영상을 처리하기 위해서는 색 항상성에 대한 이해가 선행되어야 한다.

색 항상성(color constancy)이란 주변 환경의 변화로 인해 물체의 색이 변하더라도 이러한 변화를 무시하고, 물체를 원래의 색으로 인지하는 인간의 착시 현상이다. 이에 대한 이해를 돕기 위해 Fig. 2.1(a)를 이용한다. Adelson(1995)은 체커보드 위의 원기둥으로 인해 생긴 그림자가 있는 모델을 제시하였다. 사람

의 눈에 Fig. 2.1(left)의 A는 체커보드의 어두운 부분, B는 밝은 부분으로 인식된다. 하지만 Fig. 2.1(right)로 알 수 있듯이 체커보드의 A와 B를 컴퓨터로 확인해보면 동일한 색상(RGB값: 120-120-120)을 갖고 있다.

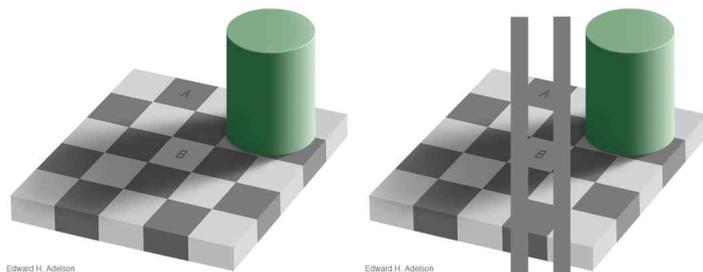


Fig. 2.1 Checkers shadow Illusion (left) and proof (right) (Adelson(1995))

색 항상성에 의해 사용자는 영상에서 그림자가 생긴 영역이나 빛에 의해 반사된 부분 등을 같은 영역으로 인식하여 이러한 잡음들을 포함한 모든 영역을 기름으로 판단한다. 하지만 컴퓨터는 각 화소의 수치 값만을 읽어오므로 주변 화소 값과 편차가 큰 지역은 하나의 개체로 판단하지 않는다. 따라서 해당 부분을 하나의 연결된 개체로 판단하기 위해서는 영상 특성에 알맞은 전처리가 필요하다.

## 2.3 영상 전처리

입력된 영상을 분석하기 적합한 형태로 만들기 위해 전처리 과정을 진행한다. 영상은 모두 다른 특성을 갖기 때문에 처리할 영상에 적당한 전처리 과정을 사용하여야 유의미한 정보를 얻을 수 있다. 영상처리기법에서 전처리 방법은 굉장히 다양하다. 본 논문에서는 입력된 영상으로부터 유의미한 정보를 얻기 위해 저주파 통과 필터와 고주파 통과 필터를 사용한다.

### 2.3.1 저주파 통과 필터를 이용한 잡음 처리

해양에서 촬영된 영상들은 자연광에 의한 반사와 촬영 각도에 의해 발생하는

그림자 등 다양한 잡음(noise)이 존재한다. 저주파 통과 필터(Low-pass-filter)는 영상은 고주파 성분을 제거한다. 그러므로 명도가 급격하게 변하는 부분에서 발생하는 잡음을 처리할 수 있다. 잡음이 제거된 영상은 명도 변화가 부드러워지면서 원본 영상보다 흐릿하게 표현된다. 저주파 필터의 종류는 다음과 같으며 사용된 커널의 크기는 모두 동일하다. 비교 편의를 위해 좌측엔 원본 이미지를 이어 붙였다.

### 1) Blur

대표적인 선형 필터로 각 화소를 사각형의 이웃에 걸쳐 계산한 평균 화소값으로 대체한다. 이때 사각형의 크기를 조절하여 명도 변화 폭을 바꿀 수 있다. 만약 인근 화소에 더 많은 영향을 받고 싶다면 가까이 있는 화소에 큰 가중치를 할당하여 평균을 계산할 수 있다. 블러 필터가 적용된 영상은 원본 영상보다 흐릿하게 보인다(Fig. 2.2). 이때 가우시안 함수를 따르는 가중 기법을 사용할 수 있으며 이를 Gaussian Blur라고 한다.



Fig. 2.2 Effect of blur filter: before (left) and after (right)

### 2) Median Filter

화소와 주변 화소를 집합으로 구성하여 집합의 중간값을 계산하고 화소를 중간값으로 바꾼다. 극단치(outlier)가 있는 경우에 최대값과 최소값으로 선택될 수 없으므로 소금-후추 잡음(salt and pepper noise) 처리에 특히 적합하다. 이 필터는 가장자리(edge)의 선명도를 보존한다는 장점을 갖고 있지만 균등한 영역의 질감을 지우는 단점 또한 갖고 있다. 이 필터는 비선형 필터에 속한다.



Fig. 2.3 Effect of median filter: before (left) and after (right)

### 3) Bilateral Filter

가우시안 필터와 같이 가중치를 적용하지만, 중심 화소에서의 거리만 고려하는 것이 아니라 화소값인 밝기 차이도 고려한다. 이런 특징으로 인하여 다른 필터보다 영상의 가장자리를 유지하고 균등한 영역은 부드럽게 표현할 수 있다 (Fig. 2.4). 하지만 연산량이 많아 비교적 연산 처리가 느린 편이다. 미디언 필터와 같이 비선형 필터에 속한다.



Fig. 2.4 Effect of bilateral filter: before (left) and after (right)

### 2.3.2 고주파 통과 필터를 이용한 경계 구분

저주파 통과 필터를 이용하여 처리된 영상은 잡음과 함께 경계 또한 무뎠게 된다. 따라서 더 정확한 면적 계산을 위해 저주파 필터로 인해 손상된 경계

를 구분하기 위해 고주파 필터를 이용한다. 고주파 필터는 저주파 통과 필터때와 반대로 고주파 대의 값을 증폭시켜 영상의 가장자리를 두드러지게 나타내게 된다. 고주파 필터의 종류는 다음과 같다.

### 1) Sobel

소벨 필터는 커널에 따라 수평 영상 주파수나 수직 영상 주파수에만 영향을 주기 때문에 방향성(directional) 필터라고도 한다. 소벨 연산자는 1차 미분 연산자로 수평 방향과 수직 방향에서 화소 차이에 의한 영상 기울기의 근사치를 제공한다. 양각 효과(norm)를 이용하여 두 결과를 조합할 수 있다. 이진 에지 맵(binary edge map)을 얻기 위해 기울기 강도에 경계화(thresholding)를 적용한다. 이때 최적 경계값을 구하는 방법 중 히스테리시스 경계화(hysteresis thresholding)개념이 있다.



Fig. 2.5 Effect of Sobel filter: before (left) and after (right)

### 2) Laplacian

영상 미분 계산에 기반을 두는 선형 필터로 영상 함수의 곡률(curvature)을 측정하기 위해 2차 미분을 계산한다. 소벨 필터와 유사하지만, 미분 차수 매개 변수가 없다는 차이점이 있다. 라플라시안 연산자는 영상 잡음에 민감하므로 보통은 잡음의 크기보다 큰 커널(kernel)을 사용하여 계산한다. 커널이란 영상 처리를 위한 대상 화소 주변의 작업 대상 화소의 크기이다. 이러한 특성 때문에 단독으로 사용하기보단 가장자리를 검출하는 다른 연산자와 결합하여 사용한다.



Fig. 2.6 Effect of Laplacian filter: before (left) and after (right)

### 3) Canny (1986)

일반적으로 소벨 연산자를 기반으로 하여 외곽선을 생성하는 연산자이다. 외곽선에 속해야 하는 점을 결정하기 위해 서로 다른 두 경계값인 낮은 경계값과 높은 경계값을 사용한다. 최적의 에지 맵(edge map)을 만들기 위해 두 에지 맵을 조합하여 높은 경계값 에지 맵의 모든 에지 점을 유지하는 반면, 낮은 경계값 에지 맵에 있는 에지 점의 모든 독립 연결부를 제거한다. 이런 방법을 히스테리시스 경계화라고 하며, 이진 맵을 얻는 두 경계값 사용에 기반을 둔다. 이 또한 비교적 계산 시간이 많이 드는 편이다.



Fig. 2.7 Effect of Canny filter: before (left) and after (right)

## 2.4 이진화를 위한 임계값 결정

이진화(binartization)란 모든 화소값을 흑백으로 표현하는 영상이다. 회색조는 0부터 255까지의 값을 사용하는 반면에 이진화는 0과 255, 두 개의 값만을 이용한 영상이다. 이때 이진화를 위해 사용되는 임계값은 여러 가지 방법으로 결정될 수 있다. 임계값 결정 방법 중 가장 널리 알려진 것은 Otsu 방법(Fig. 2.8)이다.



Fig. 2.8 Effect of Otsu method: before (left) and after (right)

Otsu(1979)는 실제 입력 영상의 밝기 분포를 이용하여 임계값을 계산한다. 어떤 임계값을 기준으로 영상의 화소를 두 개의 클래스로 분류할 때 클래스 간의 차이를 최소화하거나 최대화하는 임계값을 찾는 방법이다.

영상 전반적으로 음영의 차이는 크게 없으나 잡음이 많은 사진에 대해서는 Otsu와 같은 전역 고정 이진화를 써서 좋은 결과를 얻을 수 있다. 그러나 그림자나 빛에 의해 배경의 밝기 변화가 큰 영상의 경우에는 찾고자 하는 영역이 오류에 의해 소실될 수 있다. 따라서 이런 경우에는 이진화 각 화소에 대한 임계값을 이웃하는 화소값에 의해 결정한다면 보다 정확한 결과를 얻을 수 있다. 이런 방법을 지역 가변 이진화라고 한다.

영상의 특성에 따라 임계값을 정하는 적합한 방법이 모두 다르다. 따라서 분석된 값을 이용하여 유의미한 결과를 만들기 위해서는 해당 영상에 최적화된 방법을 이용해야 한다.

## 2.5 영상처리 색 공간

색 공간(color space)이란 색 표시계(color system)를 3차원으로 표현한 공간 개념이다. 색 표시계의 모든 색들은 색 공간에서 3차원 좌표로 나타난다. 컴퓨터 비전에 사용되는 색 공간은 활용 방향에 따라 정해지며 대표적인 색 공간 네 개를 설명한다.

### 1) RGB

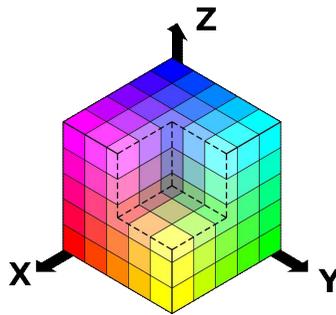


Fig. 3.1 RGB cube

빛의 삼원색인 빨강(R), 초록(G), 파랑(B)을 이용하여 색을 표현하는 방식이다. 색을 혼합할수록 밝아지기 때문에 ‘가산혼합’ 이라고 한다. 컴퓨터에서 RGB 채널을 분리하면 각 채널이 모두 회색조(gray scale)로 보인다. 스펙트럼에서 색상 성분 세 개 사이에는 상관도가 매우 높다.

### 2) Grayscale

검은색과 흰색 사이의 회색 음영으로 표현되는 색 공간이다. 이진 영상은 1 비트로 0과 255만으로 표현되는 반면에 회색조 영상은 각 화소에서 측정되는 빛의 세기의 결과로 표현된다. 회색조 영상과 이진 영상의 차이는 아래 Fig. 3.2에서 확인할 수 있다. 0과 255 사이의 값으로 표현되는 회색조 영상(Fig. 3.2 왼쪽)과 0과 255 두 개의 값만으로 표현되는 이진 영상(Fig. 3.2 오른쪽)과의 차이를 확인할 수 있다.



Fig. 3.2 Difference between grayscale and binary image

### 3) HSV

색상(hue), 채도(saturation), 명도(value)를 다루어야 하는 시스템에서 사용되며, 이 세 개의 좌표를 이용하여 색을 지정한다. 색상값 H는 가시광선 스펙트럼을 고리모양으로 배치한 색상환에서 파장이 가장 긴 빨강을  $0^\circ$  로 했을 때 상대적인 배치 각도를 의미한다. 따라서 색상값은  $0^\circ$  에서  $360^\circ$  의 범위를 갖고  $360^\circ$  와  $0^\circ$  는 같은 색상인 빨강을 가리킨다. 채도값 S는 특정한 색상의 가장 진한 상태를 100%로 하였을 때 진함의 정도를 나타내며, 채도값 0%는 같은 명도의 무채색을 나타낸다. 명도값 V는 흰색, 빨간색 등을 100%, 검은색을 0%로 하였을 때 밝은 정도를 나타낸다. 따라서 이 공간은 원뿔 모형(Fig. 3.3)으로 표현할 수 있다.

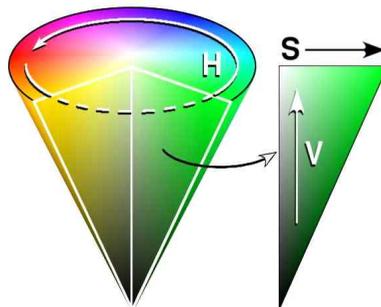


Fig. 3.3 HSV cone

#### 4) YCbCr

영상 압축 분야에서 가장 많이 사용되는 색 공간으로 Y는 휘도(luminance) 성분이며 Cb와 Cr은 휘도와의 파란색, 빨간색과의 색차 성분이다. 이는 RGB 정보를 인코딩하는 방식의 하나로, 실제로 보이는 이미지의 색은 신호를 디스플레이 하기 위해 사용된 원본 RGB 정보에 의존한다.

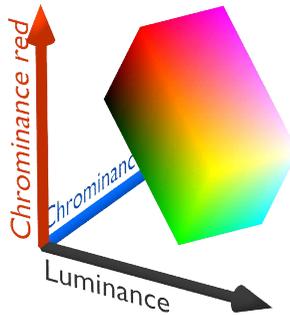


Fig. 3.4 YCbCr color space

각 색 공간에서 표현할 수 있는 정보가 다르므로 기름 유출 영상에 적합한 색 공간을 구분하기 위해 각 공간의 히스토그램을 이용하여 임계값을 정한다.

촬영 시간에 따라 어느 정도 차이는 있으나 바다는 하늘색을 반사하므로 바다색 범위를 짐작할 수 있다. 따라서 바다색과 이질적인 기름을 영상 내에서 색으로 구분할 수 있다. 영상에서 색을 이용하여 객체를 찾기 위해 가장 직관적으로 사용할 수 있는 색 공간은 HSV이다. 특히 색상을 인덱스로 표현하는 Hue 채널의 히스토그램을 분석하여 사용한다. OpenCV에서 회색조와 YCbCr의 Y를 계산하는 방법이 동일하므로 본 논문에서는 Y로 표기하였다.

해양에서 발생한 기름 유출 사고에서 원유는 검은색으로 보인다. 다만 분석에 사용되는 영상들은 기름 영역이 붉은색으로 보이는 것으로 보아 이미 에멀전화(emulsification) 되었음을 알 수 있다 (ITOPF, 2014). 에멀전화란 한 액체 속에 그것과 서로 섞이지 않는 액체가 미세한 방울로 분산되어있는 계를 만드는 조작을 말한다. 에멀전화가 진행된 기름의 경우 확실히 구분되는 기름 영역 외에도 주변에 유화된 기름 영역 또한 면적 계산을 진행하여야 한다.

## 제 3 장 기름 유출 영상 분석 및 비교

입력된 영상은 전처리를 거친 후 면적이 계산된다. 적합한 전처리 과정인지 판단하기 위해 색 공간으로부터 추출할 수 있는 정보를 먼저 확인한다.

### 3.1 영상 분석

먼저 분석할 영상은 원유 유출 사고 사진 중 전체 영역이 크게 두 가지 색으로 나뉘어 보이는 영상을 기준으로 하였다. 두 영상(Fig. 3.5, Fig. 3.6)은 모두 2010년 발생한 BP사의 딥워터호라이즌 원유 유출 사고 때의 사진이다. Fig. 3.5(left)의 원유는 주황색으로 보이며, Fig. 3.6(left)의 원유는 황토색에 가까운 노란색으로 보인다. 동일한 사고임에도 불구하고 사진 촬영 시점에 따라 원유 색이 다르게 보임을 확인할 수 있다. 그러나 두 영상 모두 바닷물은 파란색으로 보이는 것을 이용하여 색상을 이용한 분리를 진행할 수 있다.

사용된 히스토그램은 정규화를 거쳐 작성되었으므로 상대적인 높이의 피크(peak)임을 밝힌다. 영상 Fig. 3.5의 분석 결과는 파란색을 가리키는 240 값 가까이에서 높은 피크가 나왔으며 빨간색을 가리키는 0과 360 둘로 나뉘어 주변보다 높은 값이 나왔음을 확인할 수 있다. Fig. 3.6의 분석 결과는 노란색을 가리키는  $60^\circ$  를 기준으로 넓게 분포하여 있는 것을 볼 수 있다. 컴퓨터 공간에서 색상은 단순히 색상값 하나만을 갖고 표현되는 것이 아니라 채도와 명도를 조합하여 표현되기 때문에 해당 영역의 색상에서는 눈에 띄는 피크가 나타나지 않음을 알 수 있다.

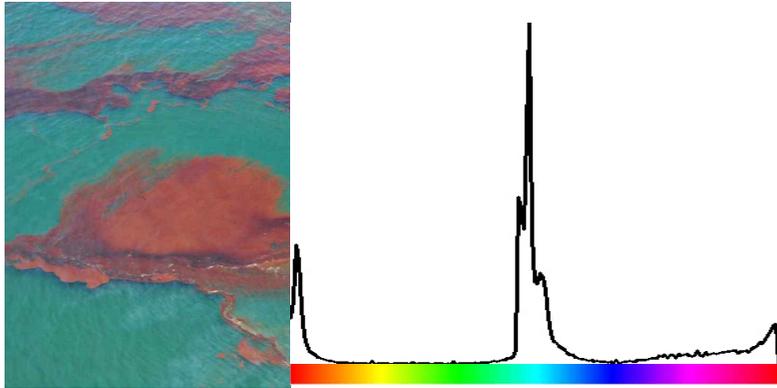


Fig. 3.5 Skimming oil in the GoM(left) and hue histogram(right)(NOAA)

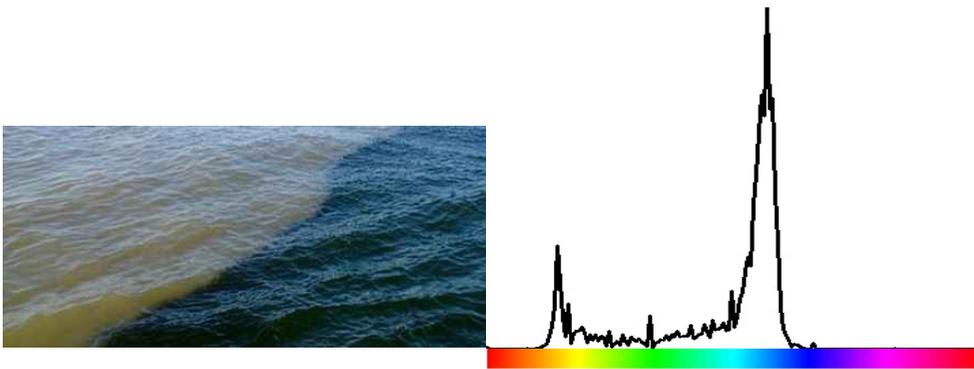


Fig. 3.6 Deepwater horizon oil spill(left) and hue histogram(right)

Fig. 3.7(left)과 Fig. 3.8(left)은 2016년 셸(Shell)사의 원유 유출 사고 사진이다. 두 영상 모두 유출된 원유가 에멀전화 되어 붉은색에 가까운 주황색을 띠고 있는 것을 확인할 수 있다. 두 영상에서 좌측 상단은 비교적 밝은 노란색을 띠고 있으며 우측 하단은 짙은 파란색으로 보인다. 즉 좌측 상단으로부터 우측 하단 까지 대각선 방향으로 자연광과 촬영 각도로부터 기인한 밝기 변화가 있음을 알 수 있다. 또한, 빛의 반사로 인해 영상 전반적으로 잡음이 있는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 3.7(left)와 Fig. 3.8(left)을 비교하였을 때 크게 두 가지 차이점을 확인할 수 있다. 첫 번째는 유출 면적이다. Fig. 3.7(left)에서 보이는 원유 유출 면적은 Fig. 3.8(left)에서 확인할 수 있는 유출 면적보다 작게 보인다. 유사한 색상을

갖고 있지만 두 영상을 분석한 히스토그램 피크 형상이 다를 것을 예측할 수 있다. 두 번째는 원유와 바다 외 다른 객체가 존재하는 경우이며, Fig. 3.8(left)에는 선박이 제3의 객체로 존재한다. 선박은 영상에서 다른 색으로 보이므로 히스토그램 분석 시엔 하나의 거대한 잡음(noise)으로 판단할 수 있다. 다만 선박이 있는 부분 또한 원유 유출 범위라고 가정할 수 있으므로 이러한 점을 고려하여 면적 계산을 할 수 있다. 또한, 선박의 크기와 유출 면적의 상대적인 비율을 고려한다면 실제 원유 유출 면적을 구하는 데에 유용한 정보로 이용할 수 있다.

Fig. 3.7(right)은 원유의 붉은 면적에 비해 바다의 푸른 면적이 더 넓기 때문에 파란색을 나타내는 영역에서 높은 피크를 보인다. 미색으로 보이는 좌측 상단이 노란색 영역에서 전혀 나타나지 않았음을 주의한다. 원유와 바닷물이 거의 절반씩 보이는 Fig. 3.8(left)의 색상 히스토그램인 Fig. 3.8(right)은 원유 유출 면적과 바다 면적이 거의 비슷한 높이의 피크를 갖는다. 이때 적은 양이지만 다른 색 영역에서도 화소가 검출된 것을 확인할 수 있다. Fig. 3.7(right)에서도 밝기 변화에 대한 정보는 찾을 수 없다.

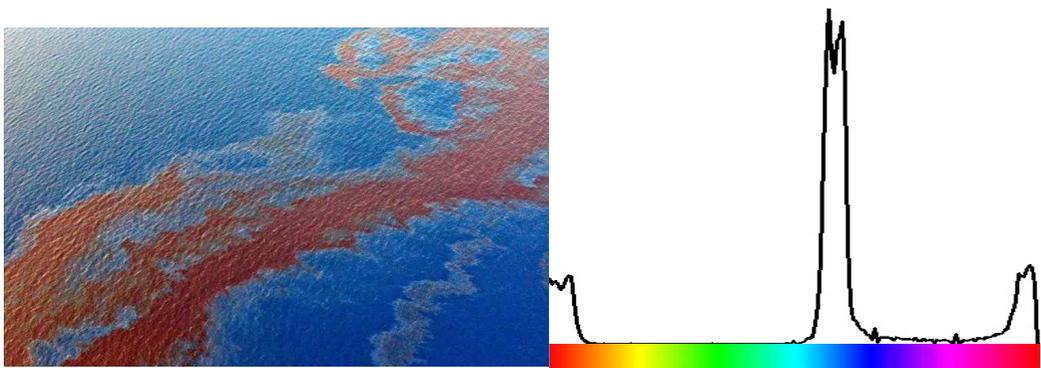
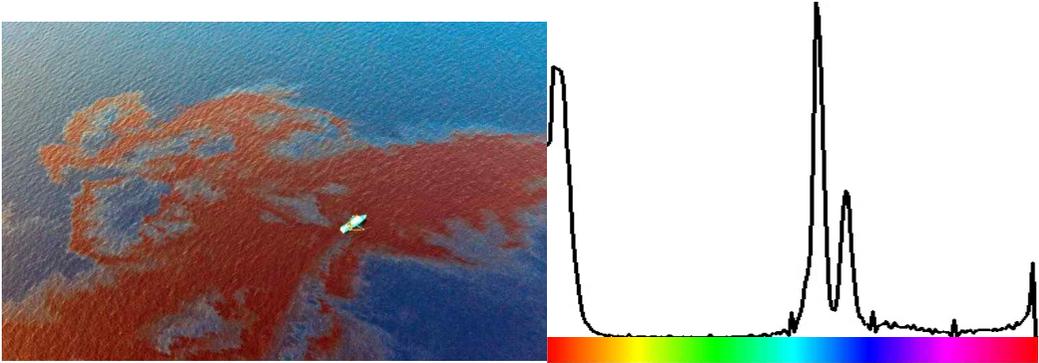


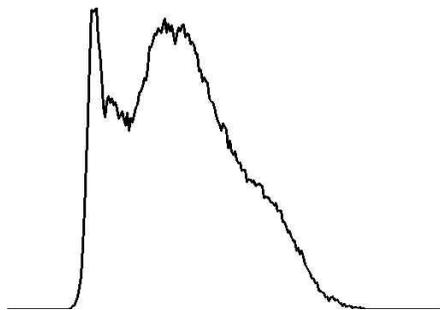
Fig. 3.7 Shell spills around 90,000 gallons of oil (left) and hue histogram(right)(Greenpeace)



**Fig. 3.8** Shell 's oil spill (left) and hue histogram(right)(Greenpeace)

분석을 통해 영상의 공통점인 밝기의 변화는 색상 히스토그램에 영향을 미치지 않았음을 알 수 있다. 따라서 밝기의 변화를 확인하기 위해 추가적으로 밝기 히스토그램을 분석하고자 한다.

Fig. 3.7의 밝기 히스토그램(Fig. 3.9)과 Fig. 3.8의 밝기 히스토그램 (Fig. 3.10)은 정확히 값이 일치하진 않으나 유사한 형상을 보이고 있다. 이 정보를 이용하여 두 영상이 유사한 환경에서 촬영되었음을 확인할 수 있다. 또한, 이 값을 이용하여 밝기 변화를 부드럽게 조정한다면 영상을 비교적 균일한 밝기를 갖도록 하여 밝기에 의한 오차를 줄일 수 있다.



**Fig. 3.9** Y histogram of Fig. 3.7(left)

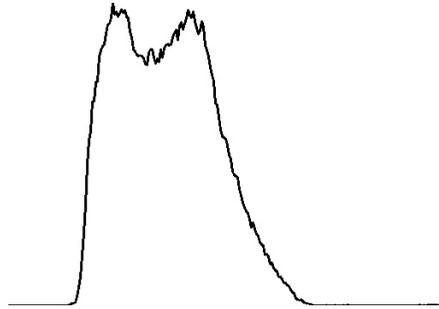


Fig. 3.10 Y histogram of Fig. 3.8(left)

원유 유출은 항상 한 가지 색으로만 나타나지 않는다. 기름의 상태 변형에 따라 다양한 색상으로 나타날 수 있다. 그중에서도 얇은 유막은 무지개색이나 은빛 등으로 나타나게 된다. 1988년 오디세이호의 원유 유출 사고 영상(Fig. 3.11(left))에서 원유는 원형의 무지개 색상으로 나타났다. 이를 디젤유 유출 영상과 비교하여 분석한다. 두 영상은 앞서 다루었던 네 개의 영상과 달리 원유 색상이 영역 전체에 걸쳐 다양하게 나타난다.

Fig. 3.11(left)과 Fig. 3.12(left)는 영상 전반에 걸쳐 독특한 질감(texture)을 갖고 있다. Fig. 3.11(left)에서는 물결이 일렁이는 모습이 보이며 Fig. 3.12(left)에는 영역과 관계없이 크고 작은 원들이 반복해서 나타난다. 영상의 질감은 면적 계산에서는 불필요한 정보이다. 따라서 영상의 전반적인 질감은 줄이고 색 정보와 가장자리 등의 필요한 정보만 얻을 수 있도록 전처리가 필요하다.

Fig. 3.11(left)은 비교적 원형에 가까운 형태로 촬영 각도와 높이 등의 물리적 정보를 확인한다면 그 면적을 구할 수 있다. 하지만 Fig. 3.12(left)와 같은 경우에는 형태가 불규칙하므로 수학적 공식에 의하여 면적을 계산하기 어렵다. 보통 원유 유출 영상의 형태는 이처럼 불규칙한 특징을 가지므로 이러한 정보를 이용하여 면적을 계산하기 위한 방법을 고안해야 한다.

Fig. 3.11(right)을 보면 전체 영역에서 적은 양이나마 화소값들이 존재하지만, 눈에 띄게 파란색 영역에 대한 값이 많다. 반면 Fig. 3.12(right)는 자색을 포함한 붉은 계열을 제외하면 전반적으로 모든 화소가 고르게 존재하고 있음을 알 수 있다.

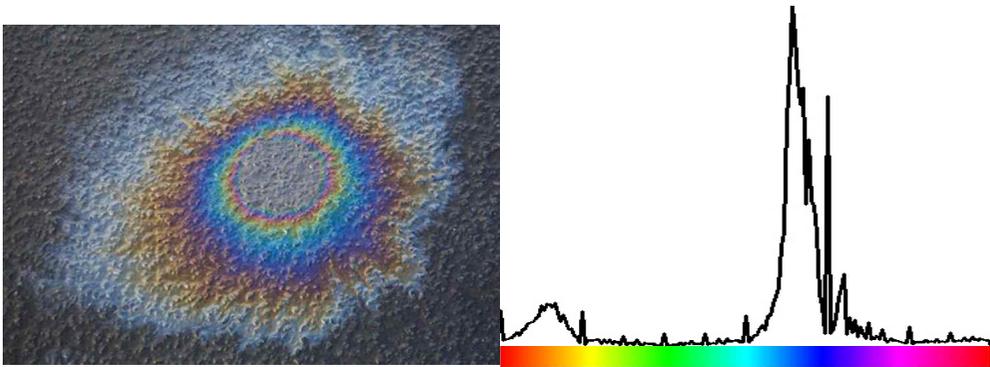


Fig. 3.11 Odysseus circle (left) and hue histogram(right)(Paul Edmondson/Getty Images)

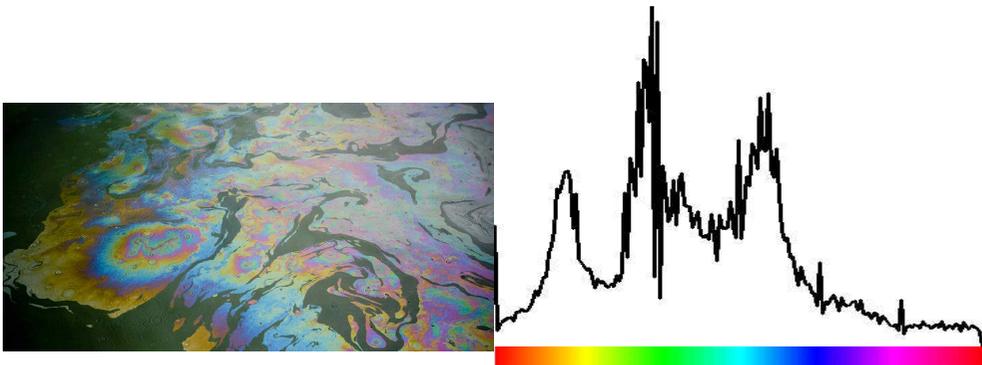


Fig. 3.12 Diesel oil spill (left) and hue histogram(right)(P\_Wei/E+/Getty Images)

다른 색상을 가진 영상 두 장의 히스토그램 형상이 크게 다른 원인을 알기 위해 영상으로부터 색상 영역만을 분리한 영상이 있다. 이는 0부터 180까지의 값을 색상이 아닌 회색조로 작성한 영상이다. Fig. 3.13는 영상의 대부분이 중간 회색으로 표현된 것을 볼 수 있다. 반면 Fig. 3.14를 보면 색상 값을 추출하여 표현했음에도 불구하고 영역의 구분이 확실히 되어있는 것을 확인할 수 있다. 이처럼 유사하다고 판단된 영상도 컴퓨터로 처리할 때엔 하나의 판단 기준으로 그 종류를 구분할 수 없음을 알 수 있다.

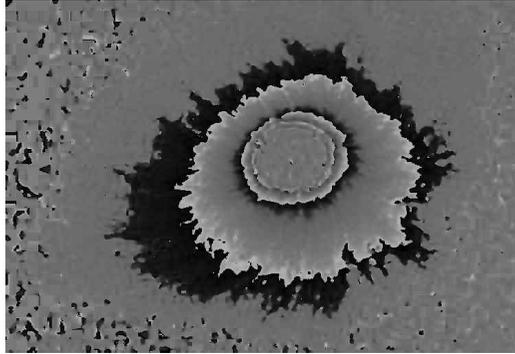


Fig. 3.13 Odyssey circle's hue image

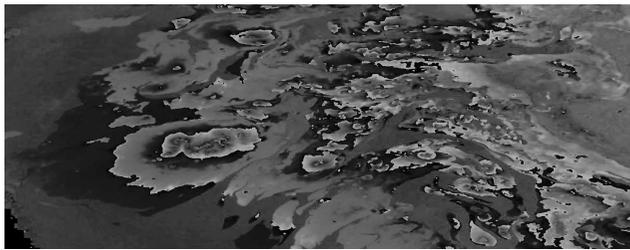


Fig. 3.14 Diesel oil spill's hue image

여섯 개의 영상 중 붉은 색을 띠는 기름과 바다로 나뉜 영상인 Fig. 3.5, Fig. 3.7, Fig. 3.8은 색상 히스토그램에서 세 개의 피크를 갖는 형상을 나타냈다. 영상에서 두 가지 색으로 분리됐으나 기름이 노란색에 가까웠던 Fig. 3.6은 색상 히스토그램에서 두 개의 피크를 나타냈다. 마지막으로 원유가 다양한 색상으로 나타났던 Fig. 3.11과 Fig. 3.12는 복잡한 형상의 히스토그램으로 표현됐다.

## 3.2. 이진화 결과 비교

원유 유출 영상을 분석한 결과, 히스토그램을 이용하여 이진화 영상을 얻는 알고리즘은 Fig. 3.15과 같다. 알고리즘에 따라 3.1절에서 분석했던 영상들을 이진화한다.

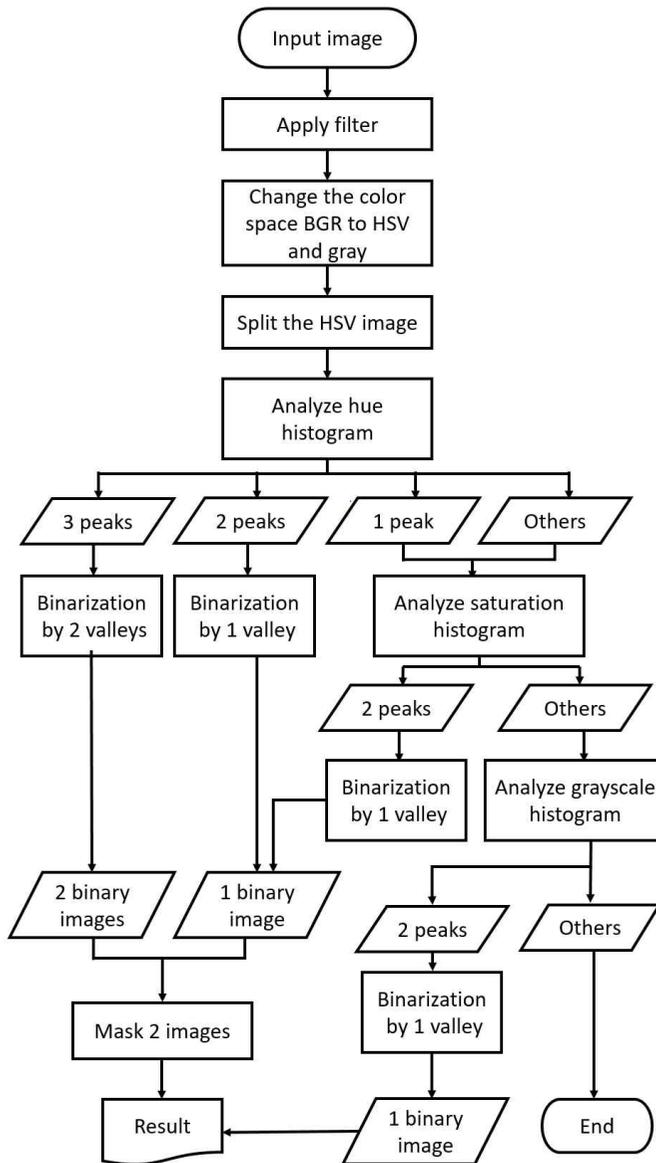
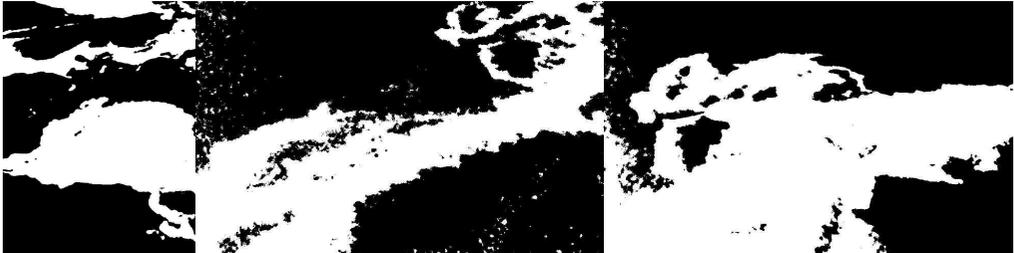


Fig. 3.15 Algorithm for binarization of oil spill image

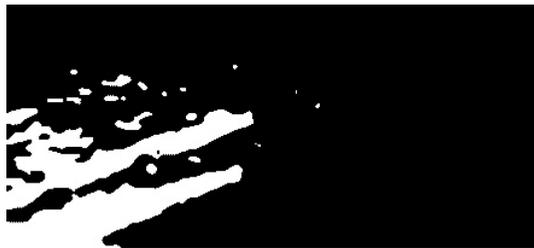
히스토그램에서 세 개의 피크를 갖는 경우엔 한 번의 이진화로는 일부 영역만을 추출할 수 있다. 따라서 붉은 색을 띄는 기름이 나타난 영상은 색상 히스토그램에서 바닷물의 색을 가리키는 피크를 기준으로 두 번의 이진화를 진행하

여 각 영상을 합친다. Fig. 3.5, Fig. 3.7, Fig. 3.8의 이진화 결과는 아래의 Fig. 3.16과 같다.



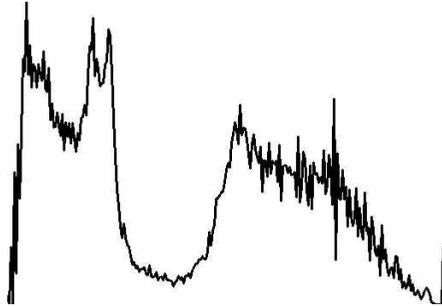
**Fig. 3.16** Binary mask result of Fig. 3.5(left) Fig. 3.7(middle), Fig. 3.8(right)

히스토그램에서 두 개의 피크를 갖는 영상인 Fig. 3.6은 한 번의 이진화가 가능하다. 색상 히스토그램을 이용한 이진화 결과는 Fig. 3.17과 같다.



**Fig. 3.17** Binary result of Fig. 3.6 using by hue valley value

Fig. 3.6은 육안으로 확인했을 때, 두 개의 영역으로 명확하게 나누어졌음에도 불구하고 일부 영역만이 이진화되었다. 색상 히스토그램에서 두 개의 피크가 발생했으나 과도의 영향으로 발생한 물결로 인해 단일 밸리값으로는 이진화할 수 없다. 즉 영상에서 색상으로 구분되었으나 이진화되지 않았으므로 색상의 영향을 받는 채도(Saturation) 히스토그램을 분석한다.



**Fig. 3.18** Saturation histogram of Fig. 3.6

채도 히스토그램의 왼쪽에 두 개의 피크가 있으나 밸리값 또한 주변에 비해 높은 것을 알 수 있다. 따라서 최저 밸리를 이용하여 이진화를 진행한다. 히스토그램을 이용하여 이진화할 때엔 밸리가 유효한지 확인해야 한다. 다수의 밸리가 있을 경우에는 최저 밸리를 기준으로 하며 피크들의 평균과 비교하여 밸리값이 피크값에 가깝다면 해당 밸리는 무시한다. 따라서 Fig. 3.18에서 유효한 밸리는 최저값을 갖는 밸리 하나이며 이진화 결과는 Fig. 3.19와 같다.



**Fig. 3.19** Binary result of Fig. 3.6 using by saturation valley value

Fig. 3.6의 색상 히스토그램을 이용한 이진화 결과와 채도 히스토그램을 이용한 이진화 결과를 합친 최종 이진화 영상은 Fig. 3.20과 같다. 색상 히스토그램에서 두 개의 피크를 갖는 영상에 대해서는 추가적으로 채도 히스토그램 분석이 필요하며 결과가 유효한 것을 확인할 수 있다.

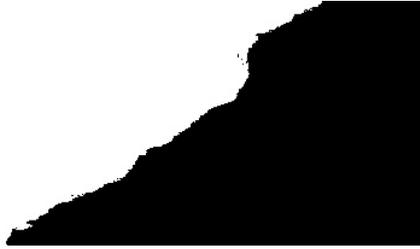


Fig. 3.20 Binary mask result of Fig. 3.6

다양한 색상을 띄는 원유 유출 영상인 Fig. 3.11과 Fig. 3.12는 색상만을 분리한 영상인 Fig. 3.13와 Fig. 3.14에서 확인했듯 색상 히스토그램만으로는 유효한 이진화 영상을 얻을 수 없다. Fig. 3.11과 Fig. 3.12의 채도 히스토그램은 Fig. 3.21과 Fig. 3.22이다.

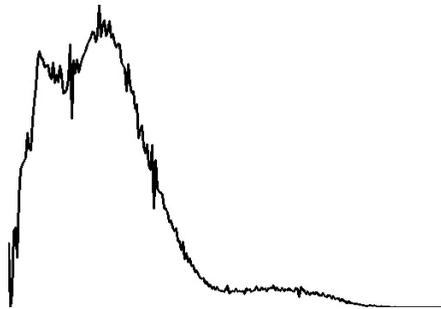


Fig. 3.21 Saturation histogram of Fig. 3.11

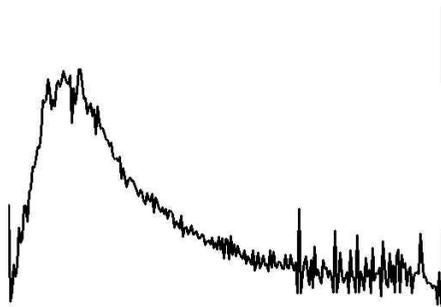


Fig. 3.22 Saturation histogram of Fig. 3.12

앞서 채도 히스토그램의 벨리값을 이용하여 이진화했던 Fig. 3.6의 채도 히스

토그램과는 다르게 Fig. 3.11과 Fig. 3.12의 채도 히스토그램은 유효한 밸리가 없는 것을 볼 수 있다. Fig. 3.21의 왼쪽에 보이는 작은 밸리는 다른 값에 비해 높기 때문에 유효하지 않다. 따라서 색상이 다양한 경우에 채도 히스토그램을 사용할 수 없다. 마지막으로 밝기(Grayscale, brightness) 히스토그램(Fig. 3.23 Fig. 3.24)을 확인한다.

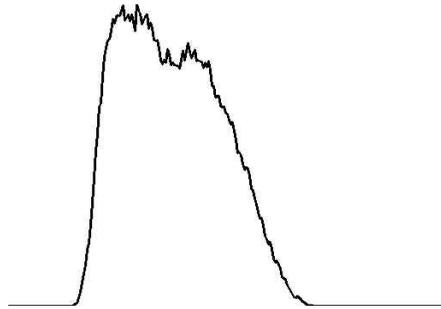


Fig. 3.23 Brightness histogram of Fig. 3.11

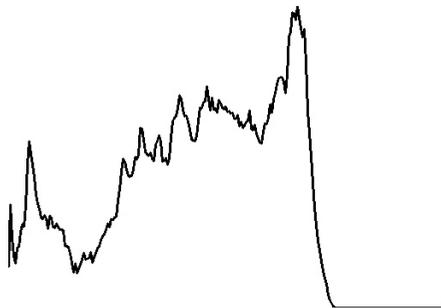


Fig. 3.24 Brightness histogram of Fig. 3.12

Fig. 3.11는 밝기 히스토그램(Fig. 3.23)에서도 유효한 밸리를 찾을 수 없기 때문에 히스토그램을 이용해서 이진화하기 어렵다. 하지만 Fig. 3.12의 밝기 히스토그램(Fig. 3.24)은 왼쪽에서 최저 밸리를 찾을 수 있으며 이 값을 이용하여 이진화한 결과는 Fig. 3.25에서 확인할 수 있다. Fig. 3.12 영상의 물과 기름을 육안으로 구분했을 때보다 비교적 많은 부분이 기름으로 인식되었으나 시간에 따라 유화되는 기름의 특성으로 인해 기름의 가장자리 모두가 연결된 것으로 보이는 Fig. 3.25의 결과 또한 적합하다고 판단할 수 있다.



Fig. 3.25 Binary result of Fig. 3.12 using by brightness valley value

얇은 기름층을 갖는 경우엔 원유 유출 영상에서 다양한 색상을 띄거나 은빛으로 표현된다. 특히 바닷물과 구분이 되지 않는 은빛의 영상에서는 히스토그램을 이용한 이진화로는 좋은 결과를 얻을 수 없다. 이와 같은 경우에는 원유 유출 면적을 수동으로 지정해야 한다.

원유 유출 영상은 히스토그램을 이용한 임계값으로 이진화할 수 있으며 색상 - 채도 - 밝기를 순서로 영상을 이진화했다. 이진화한 영상으로 원유 유출 면적을 추정할 수 있다. 면적 추정에 관한 방법은 4.2.4절에서 제안할 것이다. 분석하였던 여섯 개의 영상 외에 열네 개의 영상을 추가로 분석하였으며 그 결과는 부록 B에 기재했다.

## 제 4 장 기름 유출 면적 추정 시스템

### 4.1 개발 환경

본 논문에서는 제안하는 알고리즘을 프로그램으로 구현했다. 개발한 프로그램은 C++언어를 기반으로 오픈소스 라이브러리인 OpenCV 3.4.4를 사용하여 개발되었으며 간단히 설명한다.

#### (1) OpenCV 3.4.4

OpenCV는 다중 플랫폼에서 실행 가능한 컴퓨터 비전 응용 프로그램을 개발하기 위한 오픈소스 라이브러리이다. BSD 라이선스로 학술과 상용 애플리케이션 모두 활용할 수 있다.

#### (2) Visual Studio 2017

비주얼 스튜디오 통합 개발 환경은 코드를 편집하거나 디버그 및 빌드하여 소프트웨어 개발에 사용할 수 있는 프로그램이다. 본 논문에서 개발한 프로그램은 컴퓨터 언어 중 객체 지향 언어인 C++을 사용하여 프로그램을 작성하였다.

### 4.2 면적 추정 방법

기름 유출 면적 추정 알고리즘은 크게 네 단계로 나눌 수 있다. 입력된 영상을 전처리한 다음에 다채널 영상을 단채널로 분리한다. 분리한 영상을 히스토그램으로 분석하여 임계값을 계산한다. 계산된 임계값으로 영상을 이진화한 후에 각 영역의 픽셀수를 세어 면적비를 구한다. 4.2절에서는 알고리즘을 적용하여 개발한 프로그램을 이용한다. 하나의 영상을 이용하여 해당 단계에 대해 설명하고 영상이 적용된 전후 모습을 제시한다.

#### 4.2.1 영상 전처리

입력된 영상은 가장 먼저 저주파 필터로 노이즈를 처리한다. 해상에서 촬영한 영상 특성 상 빛과 잔물결에 의한 노이즈가 있기 마련이며, 영상의 촬영시간과 파도에 따라 노이즈의 크기가 다르다. 노이즈로 받을 영향을 최대한 줄이기 위해 영상의 크기를 일정 수준으로 줄인 후에 저주파 필터를 적용한다. 2.3.1절에서 설명한 필터를 적용한 결과(Fig. 4.1)에서 노이즈를 제거하면서도 영상 전체를 최대한 비슷하게 유지하는 필터는 미디언 필터임을 확인할 수 있다. 따라서 보편적으로 적용될 수 있는 전처리를 위해 기름 유출 면적 추정 알고리즘에서는 미디언 필터를 이용한다. Fig. 4.1은 전처리 결과를 비교하기 위해 Fig. 4.2의 일부만을 사용했다.

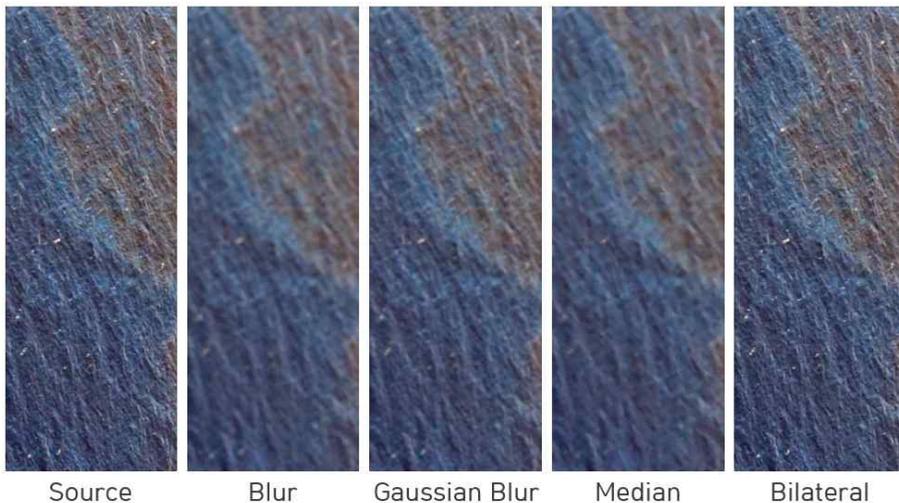


Fig. 4.1 Image with filter applied

#### 4.2.2 히스토그램 분석

사용되는 영상의 원본은 Fig. 4.2로 잔물결에 반사된 빛에 의한 노이즈가 영상 전반에 걸쳐 있는 상태이며 중앙에 배가 한 척 있다. 입력된 영상은 미디언 필터를 이용하여 노이즈를 제거한다.



Fig. 4.2 Oil spill image for test

입력된 영상은 OpenCV 환경에서 BGR 색 공간으로 인식된다. 분석에 사용하기 위해 HSV 색 공간으로 변환한 후에 각 채널을 나눈다. 각 채널을 나눈 결과는 Fig. 4.3과 같다. 이때 명도 영상 대신 밝기 영상을 이용하여 총 세 개의 영상을 알고리즘에 따라 분석한다.



Fig. 4.3 Split image from Fig. 4.2 (hue/saturation/brightness)

히스토그램 분석은 색상, 채도, 밝기 순서로 진행하나 이진화가 가능하다고 판단될 때엔 바로 임계값을 적용하여 이진화한다. 순서에 따라 먼저 Fig. 4.2의 색상 히스토그램(Fig. 4.4)을 분석한다. 히스토그램의 오른쪽에 두 개의 피크 사이에 피크가 있으나 벨리로 벨리와의 간격이 거의 없는 상태임을 알 수 있다. 히스토그램에서 피크는 있으나 양 옆의 벨리와 차이가 거의 없는 경우엔 프로그램이 해당 피크를 이상치(outlier)로 판단하여 무시된다. 따라서 Fig. 4.4에서는 크게 세 개의 피크가 발생한 것으로 판단되며 두 개의 벨리를 임계값으로 이용하여 이진화한 후에 각 결과를 합친다.

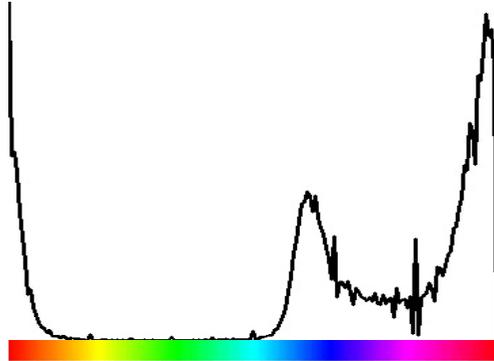


Fig. 4.4 Hue histogram of Fig. 4.2

### 4.2.3 임계값 적용

히스토그램에서 피크 간에 발생하는 최저값을 밸리로 지정하고 그 값을 임계값으로 이용한다. 하지만 최저값이 0으로 다수가 존재하는 경우가 있기 때문에 피크를 기준으로 한 밸리의 범위를 정해야 한다. 원유 유출 영상에는 다양한 색상의 기름이 있으나 반드시 바닷물은 존재하며 색상 범위가 유사하다. 따라서 세 개의 피크를 갖는 히스토그램에서는 바닷물을 가리키는 색 범위(85~125°)에 포함되는 피크의 양 옆에 위치한 밸리를 이용한다. Fig. 3.6의 히스토그램처럼 두 개의 피크를 갖는 경우에는 피크 간에 위치한 최소 밸리를 이용할 수 있지만, 최저 밸리가 0이며 한 개 이상일 경우에는 바닷물을 가리키는 피크 범위에 속하는 최저 밸리를 임계값으로 이용한다.

Fig. 4.4에서는 세 개의 피크가 발생했으므로 바닷물 색상 범위에 속하는 밸리를 이용하여 두 번의 이진화를 진행한다. 이진화 된 두 영상은 하나로 합친다(Fig. 4.5). 영상을 합치는 방법으로는 opencv의 addWeighted 함수를 활용한다. addWeighted는 두 개의 영상을 한 개의 영상으로 합치는 연산으로 한계값을 벗어나는 경우는 모두 특정 값으로 계산하는 방식이다. 알고리즘의 적합성을 확인하기 위해 전역 이진화 방법 중 하나인 Otsu방법으로 이진화한 영상과 결과 영상을 비교한다. Otsu 방법으로 이진화했을 때 검출되지 않은 일부 영역이 결과 영상에선 검출되었다(Fig. 4.6).

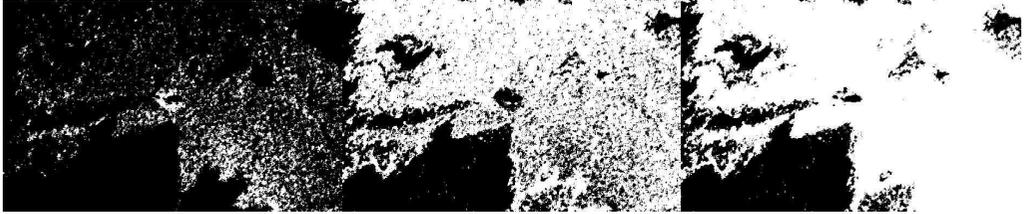


Fig. 4.5 Binary result from Fig. 4.4 (1st result/2nd result/Mask result)

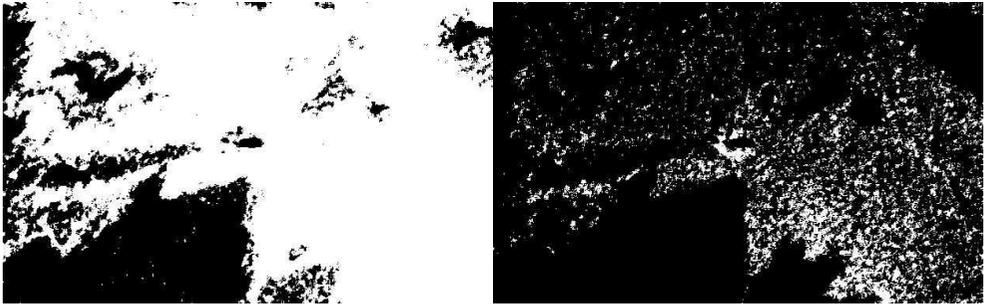


Fig. 4.6 Comparison of the results of Fig. 4.5 and Otsu method

#### 4.2.4 면적 산출법 및 검증

본 논문에서 이용한 영상들은 임의의 원유 유출 사고 사진을 대상으로 했으므로 영상 외의 정보가 일체 없다. 이용된 영상을 이용하여 산출할 면적에 대해 증명할 수 없으므로 예제 영상들을 이용한다. 면적 계산에 사용된 영상은 Fig. 4.7.이다. 이는 210\*297mm인 영상에 삼각형, 원, 사각형이 있는 형태이며 수치는 표 2와 같다. 밀리미터를 화소로 변환할 때에는 식 (1)을 이용하여 사진의 dpi(Dots per inch)를 활용하여 변환한다. Dpi는 도트 당 인치라는 단위로, 인쇄와 디스플레이 해상도의 측정 단위이다. 4.2절에서 이용할 영상은 96dpi이다.

$$1mm = px \times 1'' \quad (1)$$

표 4.1에서는 영상 내에 존재하는 도형들의 길이 정보를 제시했다. 표 4.2에서는 표 4.1의 정보를 토대로 실제 면적을 계산하고 픽셀로 변환하여 프로그램에서 계산될 예상 픽셀을 계산했다. 작성된 정보를 바탕으로 실제 픽셀 수를

계산하기 위해서 입력된 영상을 이진화한다. 이진화된 영상은 프로그램에서 검정색인 0과 흰색인 255, 두 개의 값만을 갖는다. 따라서 도형의 색상인 검정색 픽셀의 수와 도형의 예상 픽셀 수를 비교한다.

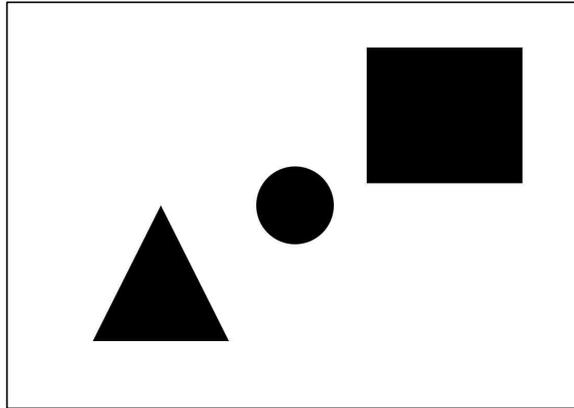


Fig. 4.7 Example image(1)

Table 4.1 Length of example image(1)' s figure

도형	세로[mm]	가로[mm]
삼각형	70	70
원	40	40
사각형	70	80

Table 4.2 Area of example image(1)' s figure

	실제 면적[mm <sup>2</sup> ]	예상 픽셀 수[px]
영상	62,370	891,662
삼각형	2,450	35,113
원	1,256.637	17,908
사각형	5,600	80,030
도형 전체	9,306.637	133,051

표 4.3에서 확인한 결과 예상 픽셀 수보다 실제 픽셀이 326개 많음을 알 수 있다. 식 (2)을 이용하여 오차율을 계산하면 식 (3)으로 오차율이 크지 않은 것을 확인할 수 있다.

**Table 4.3** Result of example image(1)' s figure

	예상 픽셀 수[px]	실제 픽셀 수[px]
영상	891,662	891,662
도형 전체	133,051	133,377
빈 공간	758,611	758,285

$$error\ rate = \frac{approx - exact}{exact} \times 100 \quad (2)$$

$$0.24 = \frac{133,051 - 133,377}{133,377} \times 100 \quad (3)$$

예제 영상(2) (Fig. 4.8)은 예제 영상(1) (Fig. 4.7)을 촬영한 영상이다. 촬영기기는 iPhone6s로 수직/수평 해상도는 모두 72dpi이다. 영상은 3024\*4032px 해상도로 촬영되었으며 면적 계산을 위해 210\*297mm의 A4용지를 기준으로 잘라냈다. 수직/수평 상의 오차로 용지의 면적 중 일부가 소실되었으나 식 (1)로 계산한 화소값으로 크기를 변경하여 프로세스를 수행하였다.

따라서 210\*297mm인 A4용지를 화소로 변환하면 595\*842px 크기가 된다. 영상에서 도형만을 추출하기 위해 영상을 이진화한다. 영상의 가장자리가 가운데보다 어두운 것을 확인할 수 있다. 따라서 도형만을 추출하기 위해 Otsu 방법을 사용하지 않고 히스토그램 분석을 통하여 계산한 임계값을 이용한다. 예제 영상(1)에서 나온 도형의 픽셀 수와 예제 영상(2)의 픽셀 수를 비교하였을 때 예제(2)의 영상의 픽셀 수가 1502개 더 많다. 픽셀 수가 증가한 이유는 A4용지의 일부가 잘려나갔기 때문이다. 면적 도출을 위해 잘라낸 영상은 A4용지를 정확한 직사각형으로 인식하지 못 하고 각 꼭짓점을 기준으로 잘라냈기 때문에 기존 영상보다 배경 일부가 잘렸다. 예제 영상(1)의 결과와 예제 영상(2)의 결과를 비교하여 오차율을 계산한 결과는 식(4)에서 확인할 수 있다. 식(5)은 초기 예상했던 결과와 예제 영상(2)을 비교하였다.

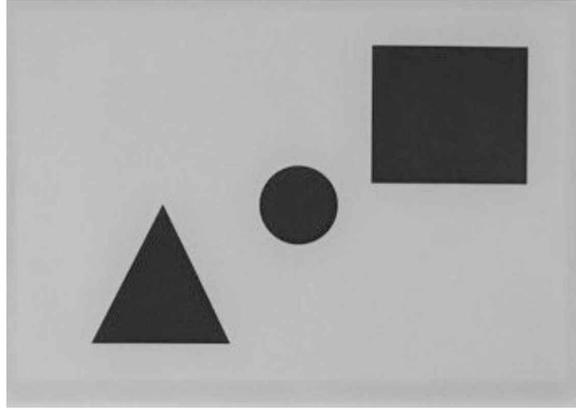


Fig. 4.8 Example image(2)

Table 4.4 Comparison of the results of example(1) and example(2)

	예상 픽셀 수[px]	example(1) [px]	example(2) [px]
영상	891,662	891,662	891,662
도형 전체	133,051	133,377	134,879
빈 공간	758,611	758,285	756,783

$$1.11 = \frac{133,377 - 134,879}{134,879} \quad (4)$$

$$1.36 = \frac{133,051 - 134,879}{134,879} \quad (5)$$

두 값 모두 큰 오차율을 보이지 않았다. 따라서 영상을 이진화해서 면적 계산이 가능할 것으로 예측할 수 있다.

예제 영상(3)(Fig. 4.9)는 파란색으로 표현한 물 위에 붉은색의 기름을 떨어뜨린 영상이다. 촬영 환경은 예제 영상(2)과 동일하나 72dpi이다. 영상에서 기름은 크고 작은 원형으로 분포되어있다. 이러한 경우에 기름 원의 중심을 구하여 계산할 수도 있으나 3장에서 보았듯이 원유 유출은 일정한 형태가 없기 때문에 영상에서 임계값을 구한 후에 이진화하여 면적을 계산한다.

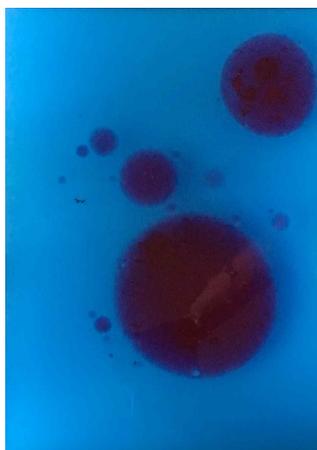


Fig. 4.9 Example image(3)

예제 영상(3)을 이진화한 결과는 Fig. 4.10이다. Fig. 4.10(left)은 Otsu를 이용한 결과이다. 빛과 그림자에 의해 발생하는 오류로 인해 우측 하단과 중앙의 작은 기름의 주변 부분까지 인식된 것을 볼 수 있다. 오류를 감소하기 위해 영상에 미디언 필터를 적용한 후에 이진화한 결과는 Fig 4.10(right)이다. Fig 4.10에서 검출되었던 오류가 사라진 것을 확인할 수 있다.

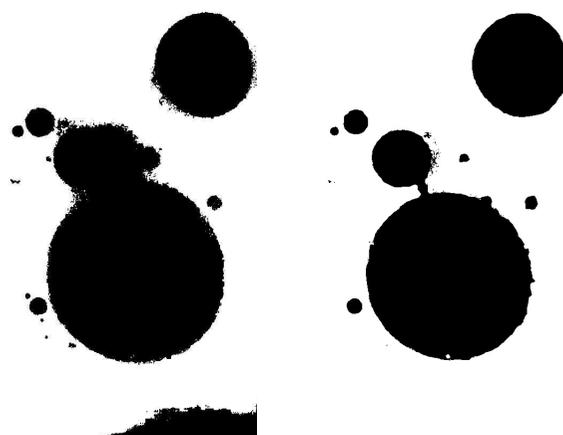


Fig. 4.10 Example image(3)' binary by Otsu(left) and after preprocessing(right)

**Table 4.5** Result of Fig. 4.10

	otsu[px]	filter[px]	otsu[%]	filter[%]
전체 면적	500,990	500,990	100	100
물	345,111	382,411	68.89	76.33
기름	155,879	118,579	31.11	23.67

표 4.5 중 필터를 거친 후에 이진화한 영상의 기름 픽셀수를 밀리미터로 변환한 값은  $14,762mm^2$ 이며 밀리미터 단위로 변환한 기름의 면적비는 23.67%이다. 픽셀 수와 dpi를 이용하여 실제 면적을 구할 수 있다.

#### 4.2.5 결과 분석 및 고찰

입력된 영상을 색, 채도, 밝기 공간으로 분리하여 히스토그램을 분석했다. 분석한 영상에서 고저를 확인하여 가장 확실하게 분리할 수 있는 밸리(valley)를 이용하여 각 영상을 분리했다. 색상 히스토그램은 물을 가리키는 범위를 기준으로 양쪽에 기름 영역이 나타나므로 색상으로 분리된 영상에서 찾을 수 있는 면적이 다르다. 이런 특징을 이용하여 두 영상을 마스킹한 결과 영상은 단일 이진 영상의 결과보다 정확한 면적을 얻을 수 있었다. 색상 히스토그램을 이용하여 분리되지 않는 영상의 경우엔 추가로 채도나 밝기 히스토그램을 이용하여 추가 분석을 시행하고 피크와 밸리의 차이가 많이 나는 값으로 이진화를 진행한다. 진행된 이진화 결과에 기존 색상 히스토그램으로 분리한 이진 영상을 마스킹하여 면적을 구했다.

영상에 저주파 통과 필터를 사용하여 전처리함으로써 불분명한 경계에서 최대한 정확한 결과를 얻고자 하였다. 분리된 영상의 이진화 과정에서 사라졌던 일부가 전처리한 영상에서는 명확하게 검출되는 것을 확인했다.

고주파 통과 필터를 적용하여 구했던 에지 맵을 마스킹하여 원유 유출 양상을 확인(Fig. 4.11)할 수 있다. 해당 예제 영상(Fig. 4.9)은 유속이 없는 환경에서 촬영되었으므로 물과 기름의 밀도에 따른 분산임을 확인할 수 있다. 따라서 실제 해상에서는 에지 맵을 활용하여 원유의 확산 방향과 유속을 고려한다면 보다 정확한 결과를 얻을 수 있을 것을 예상할 수 있다.

예제로 사용된 영상(Fig. 4.9)은 아래와 같은 전체 영상(Fig. 4.12)에서 희게 보이는 부분을 잘라내서 사용한 것으로 흰 부분은 210\*297mm의 면적을 갖는다. 다만 촬영 시 특수한 장치가 없이 촬영되어 완벽한 수평으로 촬영하지 않았기 때문에 일부 면적이 제외되었다. 또한, A4용지를 기준으로 중심점에 수직인 위치에서 촬영하지 않았기 때문에 영상의 원근(perspective) 특성이 무시되었다. 3D 공간을 2D 영상으로 옮기므로 원근법을 적용하여 계산해야 정확한 결과를 얻을 수 있다. 4.2.4절의 계산에서는 동차좌표를 이용하지 않고, 영상에서 분리된 화소의 개수만을 이용하여 계산하였기 때문에 오차가 발생할 수 있다.

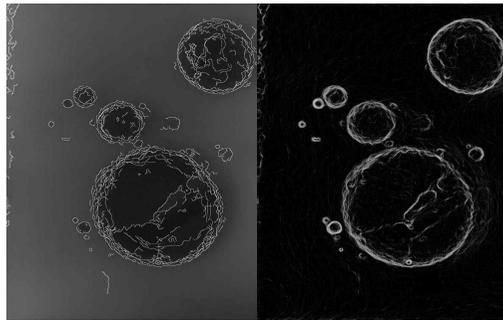


Fig. 4.11 Applied high pass filter to example image(3)



Fig. 4.12 Original image of example image(3)

### 4.3 GUI 시스템

Fig. 4.13은 기름 유출 범위 산출 방법을 구현한 GUI 시스템이다. 분석하고자 하는 영상을 화면 좌측의 File 메뉴의 Open 버튼을 이용하여 선택한다. 입력된 영상은 Fig. 3.15의 알고리즘을 토대로 이진화되어 화면의 오른쪽에 결과 영상으로 나타난다. 이진화된 결과로부터 추출한 영상의 면적비는 원본 영상 아래에 출력된다. 사용자가 입력된 영상의 축척비를 알고 있을 경우엔 결과 영상 아래에 있는 Scale 박스에 체크한 후 축척비를 입력하면 해당 영상의 실제 면적이 계산된다.

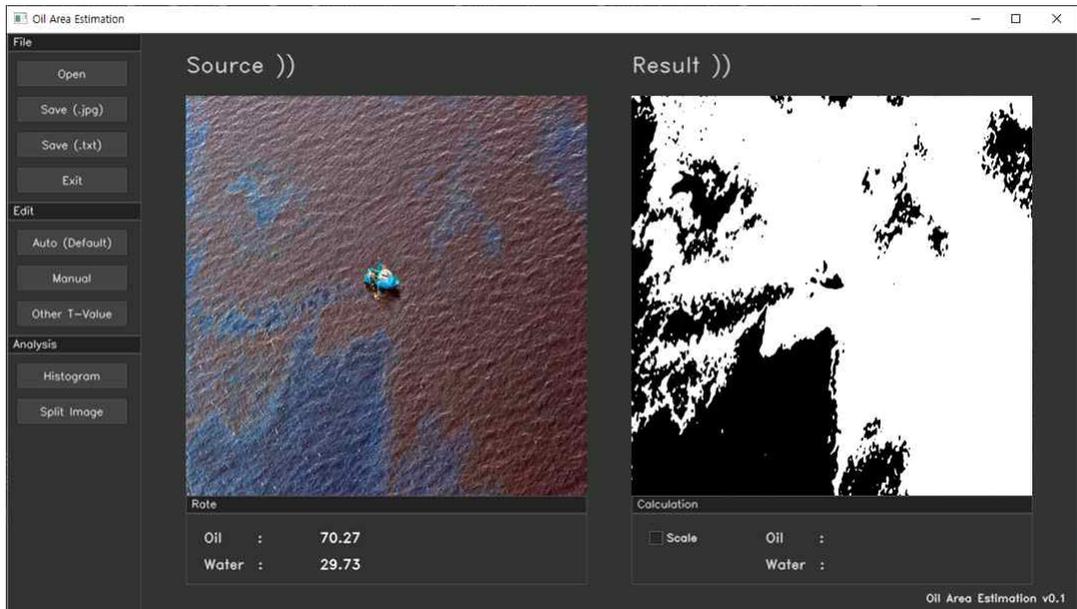


Fig. 4.13 Oil area estimation program GUI(auto)

히스토그램으로 임계값을 지정하지 못 하는 Fig. 3.15의 End가 프로그램 내에서 발생할 경우엔 수동(Manual) 환경이 실행된다. 수동 환경(Fig. 4.14)에서는 사용자가 화면에서 기름 면적을 수동으로 선택할 수 있다. 사용자가 선택한 영역으로 이진화된 영상이 결과 영상으로 나오며 면적비가 결과 영상 아래에 출력된다. 수동 환경은 사용자 임의로 메뉴창의 Edit 탭에서도 접근할 수 있다.

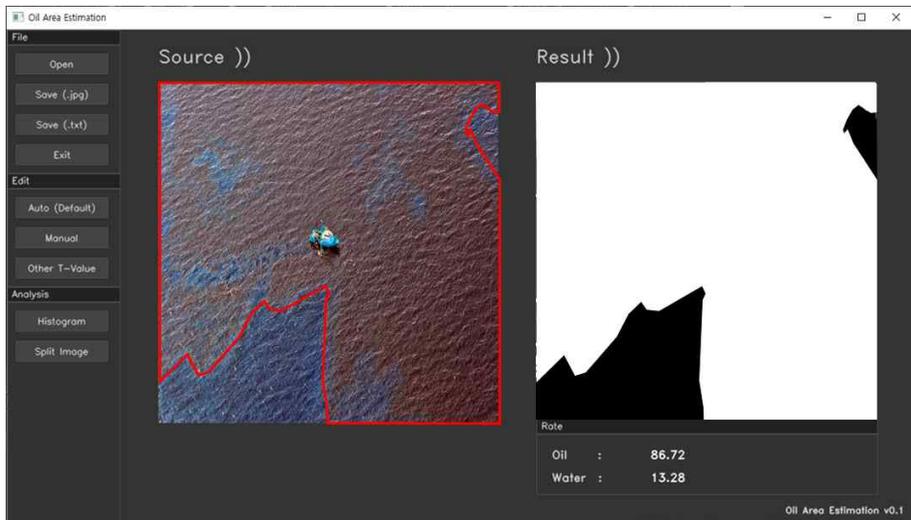
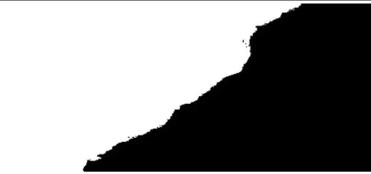


Fig. 4.14 Oil area estimation program GUI(manual)

프로그램에 영상 세 개를 입력한 결과는 표 4.6과 같다.

Table 4.6 Results from oil area estimation program

source image	binary image	oil[%]	water[%]
		32.85	67.15
		47.98	52.02
		10.49	89.51

## 제 5 장 결론

### 5.1 요약

해양 원유 유출 사고 발생 시 유출량을 파악할 때 특수 장비 없이 일반 촬영 기기를 사용하여 얻은 영상으로 면적을 추정하고자 한다. 기존의 연구들이 SAR 영상을 이용하였으나 본 논문에서는 일반 영상을 사용하여 장비의 제약 없이 빠른 초기 대응에 도움이 될 수 있다.

원유 유출 영상은 크게 바다와 원유 두 면적으로 이분화되나 환경 요인에 따른 오류가 발생할 수 있음을 확인했다. 유출되는 기름의 종류에 따라 색상과 밀도가 다르고, 시간의 경과에 따라 발생하는 기름의 상변화에 의해 같은 종류의 기름도 색상이 다르게 보일 수 있다. 이외에도 특수 장치가 아닌 일반 촬영 기기를 사용함에 따라 촬영 각도와 시간에 따른 빛에 의해 발생하는 잡음 또한 확인했다. 색상만으로 해당 정보를 처리할 수 없음을 확인함으로써 영상의 밝기를 추가로 분석해야 하는 필요성을 제시한다.

분석된 결과를 이용하여 원유 유출과 유사한 이분화 된 예제 영상에 원유 유출 범위 추정 알고리즘을 적용하였다. 보편적으로 사용할 수 있는 전처리 방법을 제시하고 예제를 통해서 이를 검증한다. 입력된 영상을 전처리하여 면적 계산 시 발생할 수 있는 오류를 최소화하고 영상에서의 면적비를 계산한다.

촬영 환경에 따라 빛에 의해 발생하는 잡음은 어느 영상에나 있을 수 있으며 이를 해결하기 위해 히스토그램 평활화를 이용하여 전체 영상의 밝기를 고르게 맞추어 이 문제를 일부 해결할 수 있다. 영상에서 발생할 수 있는 보편적인 오류를 확인하고 추가적인 전처리를 제시한다면 원유 유출 영상 외에도 이 알고리즘을 사용할 수 있다.

카메라로 촬영된 영상으로부터 정확한 기름의 유출량은 추정할 수 없으나 유출 면적을 계산한다면 추정치를 제시하여 초기 방제 작업의 규모 결정 시에 유용하게 사용할 수 있다.

## 5.2 향후 과제

영상에서 정확한 면적을 계산해내기 위해 동차좌표(homogeneous coordinates)를 적용한다. 특히 영상에서 정확한 값을 아는 객체 지표가 있다면 더 정확한 값을 계산할 수 있다.

NOAA에서 제시한 가이드라인(NOAA, 2014)을 참고하면 색상을 이용하여 대략적인 유막의 두께를 확인할 수 있다. 색상 히스토그램을 활용하여 유막의 색상 정보를 이용한다면 면적뿐만 아니라 두께 또한 확인할 수 있다. 따라서 대략적인 유출량을 추정할 수 있으므로 보다 정확하고 의미 있는 정보를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

정지된 영상에 고주파 필터를 이용하여 원유의 확산 방향을 추정할 수 있었다. 하지만 입력 영상이 정지된 영상이 아닌 동영상이라면 옵티컬 플로우(optical flow) 기법 등을 적용하여 원유의 확산 방향과 속도를 추정할 수 있다.

## 감사의 글

길면 길고 짧다면 짧은 4년 반이라는 기간 동안 한국해양대학교에서 공부하고 생활하면서 감사드릴 분들이 참 많습니다. 가장 먼저 지도교수 남종호 교수님께 감사의 말씀을 드립니다. 학부 3학년으로 편입해서 프로그래밍에 대해서 아무 것도 모르는 저를 조선 M&S 연구실에서 공부할 수 있도록 해주셨습니다. 4년 반이라는 시간 동안 조선해양이라는 전공만으로는 접하지 못 했을 여러 분야의 공부를 교수님 덕분에 할 수 있었고, C언어의 #include도 모르는 학부생이 영상처리 프로그램을 짜서 졸업하게 됐습니다. 공부뿐만 아니라 낯선 부산에 적응해서 잘 지낼 수 있도록 도와주신 것도 잊지 않고 감사드립니다.

편입을 결심했을 때 그 뜻에 힘을 실어주신 인하공업전문대학의 김현수, 류철호 교수님께도 감사의 말씀을 드립니다.

조선해양정보시스템이라는 학부 강의로 만나 석사 과정의 머신러닝 강의까지 해주신 박주용 교수님께서 심사 위원장을 맡아주셔서 더욱 더 뜻 깊습니다. 연구가 잘 되지 않아 힘들다는 절없는 이야기에도 졸업까지 잘 할 수 있다고 해주신 덕분에 힘내서 마무리 할 수 있었습니다.

자주 뵙지 못 했음에도 불구하고 선뜻 심사위원을 맡아주신 허철 교수님께도 감사드립니다. 교수님 덕분에 논문 주제에 대해 잘 이해할 수 있었고 방향을 확실하게 정할 수 있었습니다. 더 많은 성과를 내지 못 해 아쉬울 따름입니다.

귀한 시간 내어 논문 심사에 참석해주시고 좋은 코멘트 주신 조효제 교수님, 이승재 교수님, 이성욱 교수님, 부승환 교수님 모두 감사드립니다.

실험실에서 즐겁고 의미 있는 시간을 보낼 수 있도록 해준 조선 M&S 연구실의 모든 선후배님들께 감사합니다. 특히 박사과정의 바쁜 일정에도 먼저 연구에 대해 물어봐주시고, 많은 질문도 성의껏 대답해주신 김동함 박사님께 감사드립니다. 그리고 학교에서 지내는 동안 지치지 않도록 함께 해주고 도와준 성수, 소연, 원석, 미선, 민규 그리고 주원에게도 고맙습니다.

그리고 오랜 기간 학생이라는 신분으로 지냈음에도 불구하고 따뜻하게 응원해주는 소중한 부모님과 동생 유진에게도 감사합니다. 타지 생활에 지쳐 고향으로 돌아갈 때마다 잘 할 수 있다고 다독여준 혜민에게도 고맙다는 말을 전합니다.

2년이라는 기간 동안 많은 분들의 가르침과 응원이 있었기에 석사 과정을 마칠 수 있었습니다. 모두에게 감사드립니다.

## 참고문헌

- 장준목, 장천, 박준규, 김민규, 2010. 위성영상을 이용한 산불재해 분석. 한국측량학회지, 28(1), pp. 21-28
- 곽준영, 정대권, 2011. 기술 수준조사 및 분석을 통한 SAR(합성개구면 레이다) 핵심기술 개발방안 연구. 한국군사과학기술학회지, 14(4), pp.655-662
- 곽호영, 허지순, 2014. CT/MRI 영상에서의 이미지 추출-분석 시스템. Journal of The Korea Society of Computer and Information, 19(1), pp. 131-140
- 심동규, 임웅, 2017. 이론과 실습으로 배우는 디지털 영상처리. 한빛아카데미(주)
- 윤근원, 고진우, 이용웅, 2010. 고해상도 SAR 영상의 활용기술 동향분석. 한국군사과학기술학회지, 13(1), pp.105-113
- 이명구, 김인수, 김승우, 우동민, 박민용, 1992. 알레르기 피부 반응 검사의 자동화를 위한 영상처리 알고리즘에 관한 연구: 알레르기 반응 부위 판단과 그 면적 계산. 전자공학회, 29(5), pp. 364-375
- 이승지, 이관홍, 강태순, 김영택, 김태림, 2015. 카메라를 활용한 조석사주 관측시스템 구축 및 지형변화. Journal of the Korean Society of Marine Engineering, 39(3), pp. 326-333
- 천정운, 김충기, 하창우, 2019. 해양오염사고 트렌드 변화에 따른 국가 해양오염방제 정책 개선방안 연구. 한국해양환경에너지학회지, 22(1), pp.57-65
- 해양경찰청, 2018, *해양오염사고 발생원인(2011-2018)* [Online] (Updated 23 January 2019) Available at: [http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx\\_cd=1626](http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1626) [Accessed 17 April 2019]
- Ali El Zaart, Djemel Ziou, Shengrui Wang, Qingshan Jiang, 2002. Segmentation of SAR images. Elsevier Pattern Recognition, 35(3), pp 713-724
- BP, 2018 June, BP Statistical Review of World Energy 67<sup>th</sup> edition. United Kindom:BP Statistical Review of World Energy

Charles H. Peterson, Stanley D. Rice, Jeffrey W. Short, Daniel Esler, James L. Bodkin, Brenda E. Ballachey & David B. Irons, 2000. Long-Term Ecosystem Response to the Exxon Valdez Oil Spill. *Science*, 302(5653), pp.2082-2086

David Murphy, Brad Gemmill, Liana Vaccari, Cheng Li, Hernando Bacosa, Meredith Evans, Colbi Gemmill, Tracy Harvey, Maryam Jalali & Tagbo H.R. Niepa, 2016, An in-depth survey of the oil spill literature since 1968\_ long term trends and changes since Deepwater Horizon. *Elsevier Marine Pollution Bulletin*, 113(1-2), pp.371-379

Edward H. Adelson, 1995. Checkershadow Illusion. [Online] (Updated 25 August 2011) Available at: <http://persci.mit.edu/gallery/checkershadow> [Accessed 27 November 2018]

I. Schwartzman, S. Havivi, S.Maman, S.R. Rotman, D.G. Blumberg, 2016. Large oil spill classification using SAR images based on spatial histogram. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(B8), Open Access

I TOPF, 2014, 방재기술정보집(한국어) [Online] (Updated 26 January 2014) Available at: <https://www.itopf.org/kr/knowledge-resources/documents-guides/itopf-%EB%B0%A9%EC%A0%9C%EA%B8%B0%EC%88%A0%EC%A0%95%EB%B3%B4%EC%A7%91tip/> [Accessed 12 March 2019]

John Canny, 1986. A Computational Approach to Edge Detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Image Understanding*, 18(6), pp. 679-698

Konstantinos N.Topouzelis, 2008. Oil Spill Detection by SAR Images: Dark Formation Detection, Feature Extraction and Classification Algorithms. *MDPI Sensors*, 8, Open Access

Linlin Xu, M. Javad Shafiee, Alexander Wong, Fan Li, Lei Wang, David Clausi, 2015. Oil Spill Candidate Detection from SAR Imagery Using a Thresholding-Guided Stochastic Fully-Connected Conditional Random Field Model. In: *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, Boston, MA, June 7-12, 2015, IEEE

Merv Fingas, Carl E.Brown, 2017. A Review of Oil Spill Remote Sensing. *MDPI Sensors*, 18(91), Open Access

NOAA, 2014, Guidelines for Collecting High Priority Ephemeral Data for Oil Spills in the Arctic in Support of Natural Resource Damage Assessments, United States of America:National Oceanic and Atmospheric Administration

NOAA, 2016, How Do We Use Satellite Data During Oil Spills? [Online] (Updated 19 February 2016) Available at: <https://response.restoration.noaa.gov/about/media/how-do-we-use-satellite-data-during-oil-spills.html> [Accessed 27 February 2019]

Nobuyuki Otsu, 1979. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, MAN, and CyberNetics*, SMC-9(1), pp. 62-66

NOAA, 2016, How Do We Use Satellite Data During Oil Spills? [Online] (Updated 19 February 2016) Available at: <https://response.restoration.noaa.gov/about/media/how-do-we-use-satellite-data-during-oil-spills.html> [Accessed 27 February 2019]

Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, 2017. *Digital Image Processing (4th Edition)*. Pearson.

Roberts Laganière, 2016. *OpenCV 3 Computer Vision Application Programming Cookbook - Third Edition*. Translated from English by acorn publishing Co.: Seoul

Tae-Sung Kim, Kyung-Ae Park, Min-Sun Lee, Jae-Jin Park, Sungwook Hong, Kum-Lan Kim, Eunmi Chang, 2013, Application of Bimodal Histogram Method to Oil Spill Detection from a Satellite Synthetic Aperture Radar Image. *Korean Journal of Remote Sensing*, 29(6), pp. 645-655

부록 A.

A.1. 물질별 해양오염 발생 현황 (2018 한국해양수산개발원)

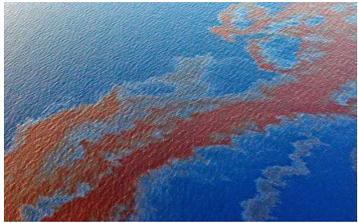
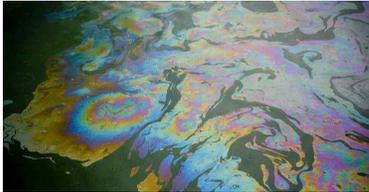
연도	합 계		기 름										폐기물(건/톤)		유해액체물질	
			소 계		중 유		경 유		선저폐수		기타유					
	건수	유출량(kl)	건수	유출량(kl)	건수	유출량(kl)	건수	유출량(kl)	건수	유출량(kl)	건수	유출량(kl)	건수	유출량(kl)	건수	유출량(kl)
2008	265	435.9	255	375.1	76	86.0	89	280.2	54	6.3	36	2.6	8	57.7	2	3.1
2009	287	110.8	269	66.5	74	25.7	89	19.1	61	6.9	45	14.8	17	4.3	1	40.0
2010	329	601.0	292	568.3	57	121.7	120	357.5	63	81.3	52	7.8	35	19.2	2	13.6
2011	287	369.1	239	122.0	50	28.8	92	80.7	60	10.4	37	2.1	44	171.5	4	75.6
2012	253	418.7	224	365.0	64	66.6	66	64.0	43	205.8	51	28.6	27	53.0	2	0.7
2013	252	635.0	221	488.5	51	382.5	79	81.4	45	6.2	46	18.4	27	143.4	4	3.1
2014	215	2,001.4	201	1,996.5	58	1,407.9	74	135.5	25	34.2	44	418.9	11	0.6	3	4.4
2015	250	464.1	229	262.7	53	157.2	82	76.5	47	7.5	47	21.5	18	3.4	3	198.0
2016	264	277.7	246	246.9	57	113.3	107	62.7	45	66.5	37	4.4	16	30.7	2	0.1
2017	271	229.9	249	184.8	54	21.9	99	38.6	52	94.8	44	29.5	21	44.9	1	0.2

부록 B.

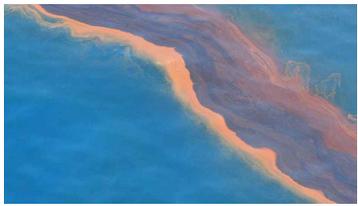
B.1. 영상 분석 면적비

Index	H	S	Y	Results	Oil Area[%]	Water Area[%]	Remarks
1	O	-	-	H Mask	40.98	59.02	[Fig. 3.5]
2	X	O	-	HS Mask	32.85	67.15	[Fig. 3.6]
3	O	-	-	H Mask	47.98	52.02	[Fig. 3.7]
4	O	-	-	H Mask	52.66	47.34	[Fig. 3.8]
5	X	△	△	-	57.86	42.14	[Fig. 3.11]
6	X	X	△	Y_THRESH_BINARY	87.45	12.55	[Fig. 3.12] Not used mask
7	O	-	-	H Mask	70.27	29.73	
8	O	-	-	H Mask	52.25	47.75	
9	O	-	-	H Mask	10.49	89.51	
10	O	-	-	H Mask	24.14	75.86	
11	X	O	-	HS Mask	63.69	36.31	Similar with no.2
12	X	X	X	-	13.66	86.34	Binarization fail
13	X	X	O	HY Mask	71.52	28.48	
14	O	-	-	H Mask	8.07	91.93	
15	O	-	-	H Mask	39.10	60.90	
16	O	-	-	H Mask	20.30	79.70	
17	O	-	-	H Mask	11.09	88.91	
18	X	X	X	-	19.95	80.05	Binarization fail
19	O	-	-	H Mask	23.26	76.74	
20	O	-	-	H Mask	45.51	54.49	[Fig. 4.2]

B.2. 영상 분석 이진화 결과

	Source	Result		Source	Result
1			2		
3			4		
5			6		

	Source	Result		Source	Result
7			8		
9			10		
11			12		

	Source	Result		Source	Result
13			14		
15			16		
17			18		

	Source	Result		Source	Result
19			20		