

단일 파장의 LED와 CCD를 이용한 유출유 탐지방법

오상우[†] · 이문진

한국해양과학기술원 해양안전기술연구부

Oil Spill Detection Mechanism using Single-wavelength LED and CCD

Sangwoo Oh[†] and Moonjin Lee

Maritime Safety Research Division, KIOST, Daejeon, Korea

요 약

본 연구에서는 분리된 기름-물 혼합물에 대해 단일 파장대역의 LED 광원으로 부터 흡수된 빛이 전자결합소자(CCD)에 투영된 영상을 분석하는 방법을 통해, 물 위에 기름의 존재 유-무와 상태를 파악할 수 있는 광학적 기름 탐지 방법에 대한 연구 결과를 제시한다. 물위에 기름의 존재 유-무와 기름의 두께 정보를 얻기 위해서, 혼합물을 통과하면서 감소되는 빛의 강도를 전자결합소자로 획득한 영상을 통해 빛의 세기를 분석하는 방법을 이용하였으며, 최고의 선택도를 가진 광원의 파장대역을 찾기 위해서 발광다이오드(LED)의 파장대역별로 선택도를 비교하는 실험을 진행하였다. 본 연구에서 사용된 발광다이오드 중 465 nm의 파장대역을 갖는 발광다이오드가 물과 기름의 존재유무 및 기름의 두께에 따라 감소되는 차이가 가장 크다는 결과를 얻을 수 있었다. 또한 실제 해상조건에서의 탐지 가능성을 확인하기 위해 밝기 조건과 수표면의 기울기 조건을 변화하는 실험을 수행하여 제안된 탐지 방법의 적용가능성을 확인하였다. 해당 연구를 통해서 해상에 유출된 기름을 물과 기름이 갖는 특정파장대역의 빛에 대한 흡수도의 차이로 탐지할 수 있는 새로운 광학적 분석 방법론을 제안한다.

Abstract – In this study, a new optical method for oil detection using an analysis the light-absorption image of separate oil-water mixture with a LED illumination is described. To obtain an information about the presence of oil on water and the thickness of oil, the intensity of light-absorption images acquired through CCD is analyzed. To select the optimal wavelength of the light source, the experiment is conducted using several LEDs having four different wavelength. In the case of using a blue LED having 465 nm wavelength, an intensity decreasing tendency of light-absorption image is obvious and clear. To identify the applicability of sensing system at the real sea condition, experiments are conducted as varying the brightness and water surface angle. Through this research, new optical oil detection methodology is proposed using the absorption difference between water and oil with single-wavelength LED and CCD.

Keywords: 유출유 탐지(Oil Spill Detection), 흡수 영상(Absorption Image), 영상 분석(Image Analysis), 발광다이오드(LED), 전자결합소자(CCD)

1. 서 론

다양한 원인에 의해서 발생되고 있는 해양에서의 기름 유출 사고는 해양에서 서식하는 모든 생태계 뿐 만 아니라 해양수산자원

을 이용하는 인간에게도 치명적인 피해를 준다. 따라서 기름 유출 사고가 발생하였을 경우 신속하게 기름의 확산을 막는 일은 매우 중요하다. 신속한 기름 확산 방지를 위해서는 기름이 유출된 장소와 시점을 신속히 인지하는 것이 가장 중요하므로 기름의 유출 여부를 실시간으로 모니터링할 수 있는 센서를 이용하면 해상에 기름이 유출될 경우 효과적인 방제작업을 수행할 수 있다. 현재까지 개발된 유출유 탐지 센서는 다양한 탐지방법을 기반으로 개발되어

[†]Corresponding author: swoh@kiost.ac

본 논문은 2012년 대구에서 개최된 한국해양환경공학회 춘계학술대회에서 발표된 논문을 근거로 하고 있음을 밝힙니다.

왔다. 초창기에는 주로 실험실에서 유류의 종류와 성분을 분석하는데 사용되는 질량분석 기법을 기반으로 하는 유출유 탐지 센서의 개발이 시도되었고(Reeves[2000]), 그 후 기름의 자외선 대역의 빛에 대한 형광반응을 원리로 한 자외선 형광측정(UV Fluorescence) 방법과 물과 기름이 고주파수 영역에서 갖는 서로 다른 전기적 성질(Capacitance)을 탐지방법으로 하는 센서들이 개발되어 왔다(Henry[2001], Andrew[1997]). 기존에 개발된 다양한 탐지방법을 기반으로 한 센서들은 기름의 종류와 성분까지 측정할 수 있을 만큼 측정 정밀도가 높지만, 이러한 탐지방법을 구현하기 위해서는 센서 내부에 자외선 소스나 주파수 발생기와 같은 기름의 탐지를 위한 활성화 소스가 필요하며 기름과 반응한 신호를 측정하기 위한 스펙트럼 분석기나 정전용량 측정기 등의 측정기가 요구되므로, 이를 구동하기 위한 전력소비량이 커서 별도로 유선의 전원공급원 없이 오랜 시간동안 해상에서 운용되어야 하는 센서플랫폼에 해당 방법을 이용하기에는 부적합한 면이 있다. 또한 해당 센서들은 단가 및 유지보수 비용이 높기 때문에 유실될 가능성이 큰 해상플랫폼의 형태로 여러 개의 센서를 설치·운용하는 데는 한계가 있다. 상기의 활성화 소스와 측정기로 구성되는 능동형 센서(Active sensor)와 달리 기름에 대한 실리콘 고무의 부피변화를 탐지원리로 한 수동형 센서(Passive sensor)가 제안되어 제작단계 면에서 유리한 장점을 강조한 개발 결과가 있으나(Oh[2012]), 해당 탐지 방법의 경우 기름의 존재 유무를 알 수 있으나 기름의 종류나 두께 정보를 파악할 수 없으므로 유출유 센서로 적용하기에는 제한적인 측면을 갖고 있다.

따라서 본 연구에서는 현재까지 제안된 유출유 탐지 기술의 단점을 개선하기 위해서 물과 기름이 갖는 특정 파장대역의 빛에 대한 흡수도의 차이를 이용한 새로운 기름 탐지 방법을 제안하였다. 제안된 유출유 탐지 방법에서는 기름 탐지를 위한 활성화 소스로 LED(Light Emitting Diode) 광원을 이용하고 이에 대한 기름의 흡수도를 CCD(Charge Coupled Device)를 이용하여 측정하는 방법이다. 기존의 연구로서 LED 광원과 LDR(Light Dependent Resistance)을 서로 쌍으로 정렬하여 기름과 물에 대한 광원의 투과·차단 여부로 기름의 두께를 측정하는 방법을 선보인 연구가 있었으나(Denkilkian[2009]), 해당 연구에서는 LED간의 간섭을 최소화하기 위해서 LED의 간격을 2 cm로 배치하여 기름 두께 측정 분해능이 2 cm 단위로 제한된 한계를 갖고 있었다. 본 연구에서는 이러한 한계점을 해결하기 위해서 LED 광원을 물속에 배치시키고 투과된 광원의 정도를 수표면에서 CCD로 측정함으로써 두께 측정 분해능을 밀리미터 단위로 높일 수 있었다.

본 연구에서는 네 개의 서로 다른 파장대역을 갖는 단일파장의 LED에 대해 기름의 두께에 따른 흡수도의 차이를 실험을 통해서 분석하여, 빛의 흡수량을 기준으로 변별도가 있는 광원을 선별하였다. 또한 본 연구에서 제안하는 탐지 방법을 실험에 적용할 것에 대비하여 실험실의 밝기 조건과 수표면의 기울기 조건을 변화해가면서 수표면에 투영된 영상을 분석하여 결과를 도출하였다.

2. 본 론

해상에서 유출된 기름 탐지를 위해 본 연구에서는 기름과 물(해수)이 갖고 있는 특정 파장의 빛에 대한 흡수도의 차이를 탐지 원리로 이용하였다. 특정 파장의 빛에 대해 해수와 기름이 서로 다른 흡수도를 갖고 있다면, 흡수도의 차이를 이용하여 기름의 존재 유무를 확인할 수 있으며, 기름의 두께에 따라 흡수도의 차이가 발생할 경우, 이러한 관계를 이용하여 기름의 두께도 측정할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 탐지 방법론을 구현하기 위해서 Fig. 1과 같이 해수 안에 LED를 해수면 방향으로 배치시키고, 액체 표면에 투영된 빛의 영상을 CCD를 통해 취득하여 투과된 빛의 크기를 정량적으로 측정할 수 있는 탐지장치를 구성하였다. 해수에 대해 높은 투과율을 보이면서 기름에 대해서는 낮은 투과율을 갖는 파장대역의 LED를 사용하면, 그림 1의 왼쪽 첫 번째 그림과 같이 해수만 있을 경우, LED에서 발산된 빛은 해수에 대해서 높은 투과율을 갖고 있으므로 CCD로 취득한 영상에서의 빛의 세기는 클 것이고, 해수층 위에 기름이 존재할 경우에는 기름 층에서 빛은 투과되는 정도가 낮아지므로, CCD에서 취득한 영상에서의 빛의 세기는 기름이 없을 경우와 비교해서 작을 것이다. 또한 기름의 두께가 증가함에 따라 기름층을 투과하는 빛의 세기가 점점 감소할 것이다. 이러한 관계를 이용하여 액체 표면에 투영된 빛의 세기를 CCD에서 취득한 영상 분석을 통해 정량화한다면 해수층 위에 기름의 존재 유무를 알 수 있으며, 기름의 두께도 추정할 수 있다.

2.1 파장대역별 LED의 기름에 대한 흡수도 비교 실험

기름과 물에 대해 서로 다른 흡수도를 갖는 LED의 파장대역을 실험적으로 찾기 위해서, Fig. 2와같이 4개의 서로 다른 파장대역을 갖는 LED 광원을 수표면 방향으로 해수 안에 위치시키고 이로 부터 액체 표면에 투영된 빛을 액체의 표면 위에서 CCD로 촬영하는 방법으로 실험을 구성하였다. 서로 다른 파장을 갖는 광원으로는 Blue LED, Green LED, Yellow LED, Red LED를 이용하였고, 이들 LED가 갖는 주 파장은 Blue LED 465 nm, Green LED 525 nm, Yellow LED 590 nm, Red LED 625 nm 이다. LED 광원의 경우 주 파장을 중심으로 ± 10 nm의 영역에 걸쳐 빛을 발산하는 특성이 있으나, 별도의 광학적 기구가 결합되지 않은 단일 광원으로는 상

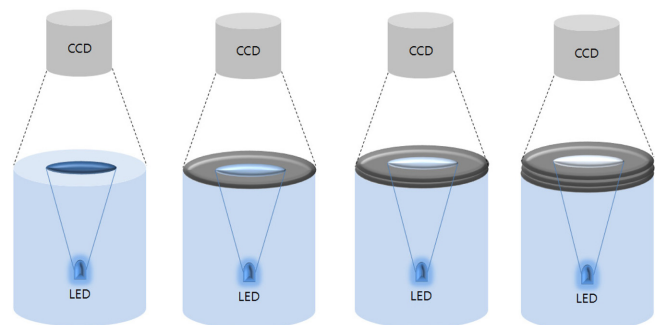


Fig. 1. Schematics to describe a sensing mechanism.

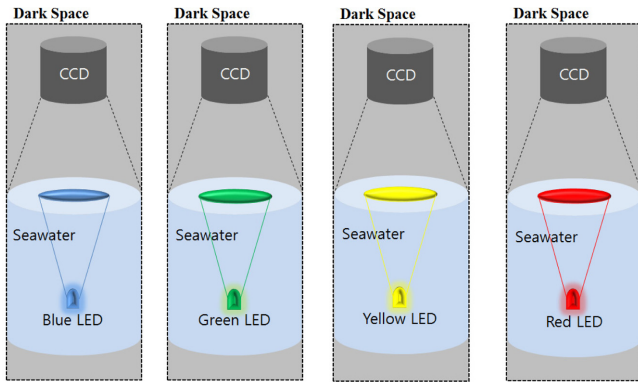


Fig. 2. Experimental setup for select an LED as an optimal wavelength light source for oil spill detection.

당히 좁은 파장대역의 빛을 내는 단색광의 성질을 갖고 있으므로 본 실험에서 파장 대역별 광원으로 사용하기에는 적합한 소자이다. 또한 LED의 가격이 타 광원에 비해 상당히 저렴한 편이므로, 해당 실험 구성은 본 연구에서 목표로 하고 있는 저렴한 단가의 센서 제작을 위한 부품 조건에 부합한다.

기름과 물이 해당 광원에 대한 흡수도만을 확인하기 위해서 본 실험에서는 태양광이나 전등과 같은 외부광원의 영향을 차단한 상태로 실험을 진행하였고, 실험에 사용한 기름은 엔진에 사용되는 윤활유로 Total Quartzdml 5W30 제품을 사용하였다. 윤활유는 해상 선박 사고에 의한 기름 유출 시 유출될 가능성이 큰 종류이므로

이를 이용하다. 실험은 LED 광원을 켜진 상태에서 1) 물만 존재할 경우, 2) 물위에 기름이 5 mm 존재할 경우, 3) 물위에 기름이 10 mm 존재할 경우, 4) 물위에 기름이 15 mm 존재할 경우로 구분하여, 각각의 경우에 대해서 CCD로 액체 표면을 촬영하였다. 광원과 물의 상층부(물-기름 분리층)와의 거리는 4 cm를 유지하였고, 촬영에 사용된 CCD는 1920×1080 해상도를 갖는 컬러 CCD를 이용하였다.

Fig. 3은 네 개의 다른 파장대역을 갖는 각각의 LED 광원에 대해서 물만 존재하는 경우, 기름이 5 mm, 10 mm, 15 mm의 두께로 존재하는 각각의 경우에 대해서 CCD로 액체 표면을 촬영한 영상이다. 기름과 물에 대해서 차별적인 흡수도를 갖는 광원일 경우, 물만 존재할 경우에 비해 물 위에 기름이 존재할 경우, 빛이 기름층을 통과하면서 산란 및 흡수가 일어나므로 물위에 존재하는 기름의 두께가 증가할수록 액체위에 위치한 CCD로 투영되는 빛의 세기가 감소할 수 있을 것으로 예상할 수 있다. 촬영된 영상을 통해서 빛의 세기를 정량화하기 위해서 촬영된 영상에 두 가지의 영상 처리 알고리즘을 적용하였다. 첫 번째는 획득한 영상의 픽셀이 갖는 값은 0에서 1사이의 값으로 환산한 후, 이들의 값을 모두 합하는 방법으로 이를 통하여 하나의 영상이 갖는 전체의 픽셀의 세기(intensity)를 도출하는 것이다. 제시한 첫 번째 알고리즘의 순서를 간략화 하면 아래와 같다.

i) RGB image → Gray-scale image

ii) Intensity filtering

iii) Summation of total pixels

위와 같은 알고리즘을 통해서 영상별 전체의 픽셀이 갖는 세기

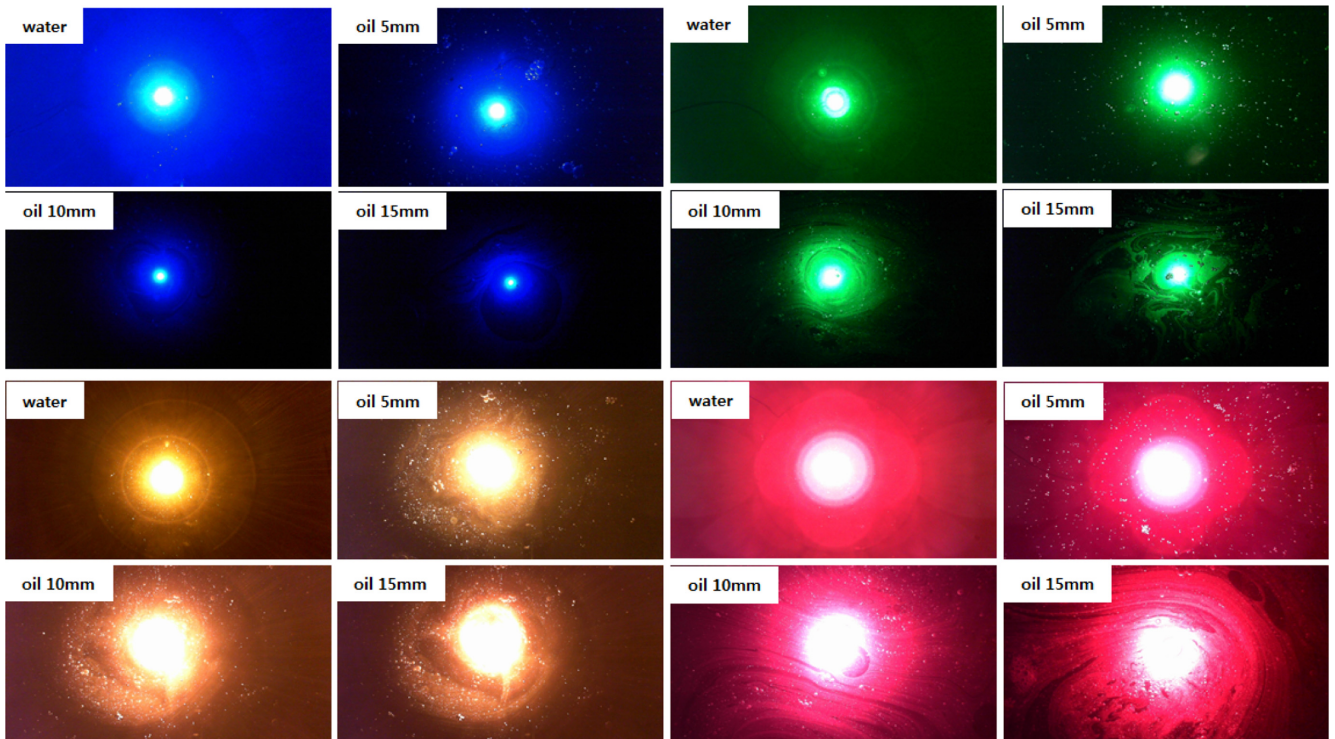


Fig. 3. Absorption Images of four different LED sources (Upper-left: Blue LED, Upper-right: Green LED, Lower-left: Yellow LED, Lower-right: Red LED).

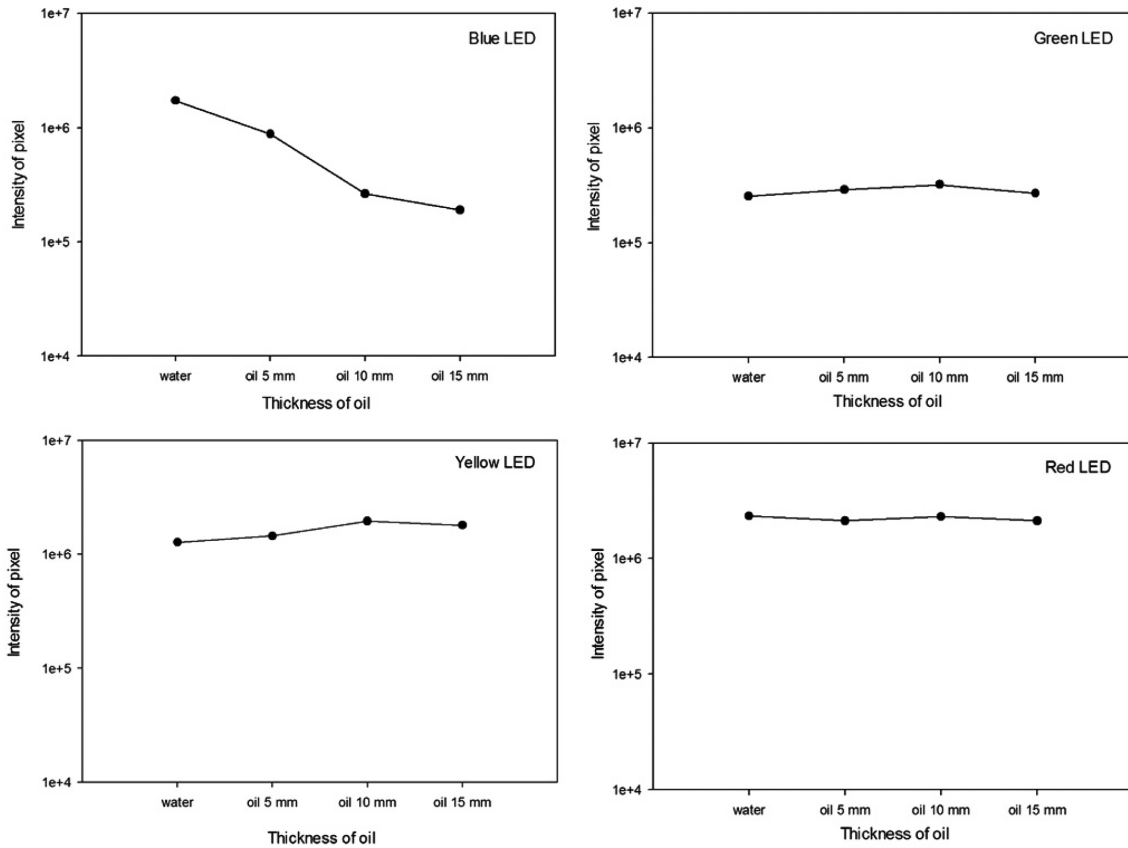


Fig. 4. Total pixel intensity of four different cases (Upper-left: Blue LED, Upper-right: Green LED, Lower-left: Yellow LED, Lower-right: Red LED).

의 합을 수치화였고 네 개의 LED의 경우에 대해서 각각 그 값을 도출하였다. Fig. 4는 파장대역이 다른 4개의 광원에 대해서 기름이 존재하지 않을 경우와 기름의 두께 5 mm, 10 mm, 15 mm인 경우 촬영한 영상을 상기의 영상처리 알고리즘을 이용하여 도출한 빛의 세기 합을 비교한 그래프이다. 해당 결과를 통해서 Blue LED의 경우 기름의 두께가 증가함에 따라 최대 세기의 픽셀의 수가 점차적으로 감소하는 경향이 가장 명확하게 나타났다. 그러나 Green LED, Yellow LED 그리고 Red LED의 경우에는 기름의 두께가 증가함에도 최대 세기의 픽셀의 수가 감소하는 경향이 나타나지 않음을 확인할 수 있다.

본 실험에서 영상분석을 위해 적용한 두 번째 영상처리 알고리즘은 투영된 영상에서 빛의 세기가 가장 큰 값을 갖는 픽셀인 흰색 영역의 크기를 도출하고 이를 비교하는 방법이다. 기름의 두께가 증가함에 따라 기름을 통과하면서 산란 및 흡수가 일어나므로, CCD 센서의 중심에서 멀어질수록 빛의 크기가 점차적으로 감소되는 경향이 발생할 것으로 예상할 수 있다. 따라서 빛의 세기가 큰 영역의 크기를 비교함으로써, 기름의 존재 및 두께에 대한 차이점을 도출할 수 있다. 제시한 두 번째 알고리즘의 처리 순서는 아래와 같다.

- i) RGB image → Binary image
- ii) Intensity filtering
- iii) Summation of Max. value pixels

위에서 제시한 두 번째 영상처리 알고리즘을 통해서 컬러 영상의 픽셀값 중 R, G, B 모두 최대값인 255의 값을 갖는 픽셀을 도출하고 합산하여 수치화를 하였고 각 영상별 해당 값들을 비교하였다. Fig. 5는 광원별 기름이 존재하지 않을 경우와 기름의 두께 5 mm, 10 mm, 15 mm인 경우 촬영한 영상을 상기의 두 번째 영상처리 알고리즘을 이용하여 도출한 최대값을 갖는 픽셀의 합을 비교한 그래프이다. 해당 결과값의 비교를 통해서 Blue LED의 경우 기름의 두께가 증가함에 따라 최대값을 갖는 픽셀의 수가 점차적으로 감소하는 경향을 확인할 수 있다. 그러나 Green LED, Yellow LED 그리고 Red LED의 경우에는 기름의 두께가 증가함에도 최대 세기의 픽셀의 수가 감소하는 경향이 나타나지 않음을 확인할 수 있다.

파장대역별 광원에 대한 물과 기름의 흡수도 차이 확인을 위해서 혼합물의 투과도 비교 실험을 통해서 획득한 영상을 분석한 결과 465 nm의 주 파장을 갖는 Blue LED의 경우 기름의 두께가 증가함에 따라 액체 표면에 투영된 LED 빛의 세기가 점차 감소함을 확인할 수 있었다. 그 이외의 Green LED, Yellow LED, Red LED의 경우는 기름의 두께가 증가함에 따라 투과되는 빛의 세기가 특별한 경향성을 띄지 않음을 확인할 수 있었다. 따라서 본 실험을 통해서 465 nm 파장대역의 LED를 이용하면 빛에 대한 물과 기름의 흡수도 차이를 탐지 원리로 하여, 기름의 존재 확인과 두께 측정을 할 수 있을 것으로 확인하였다.

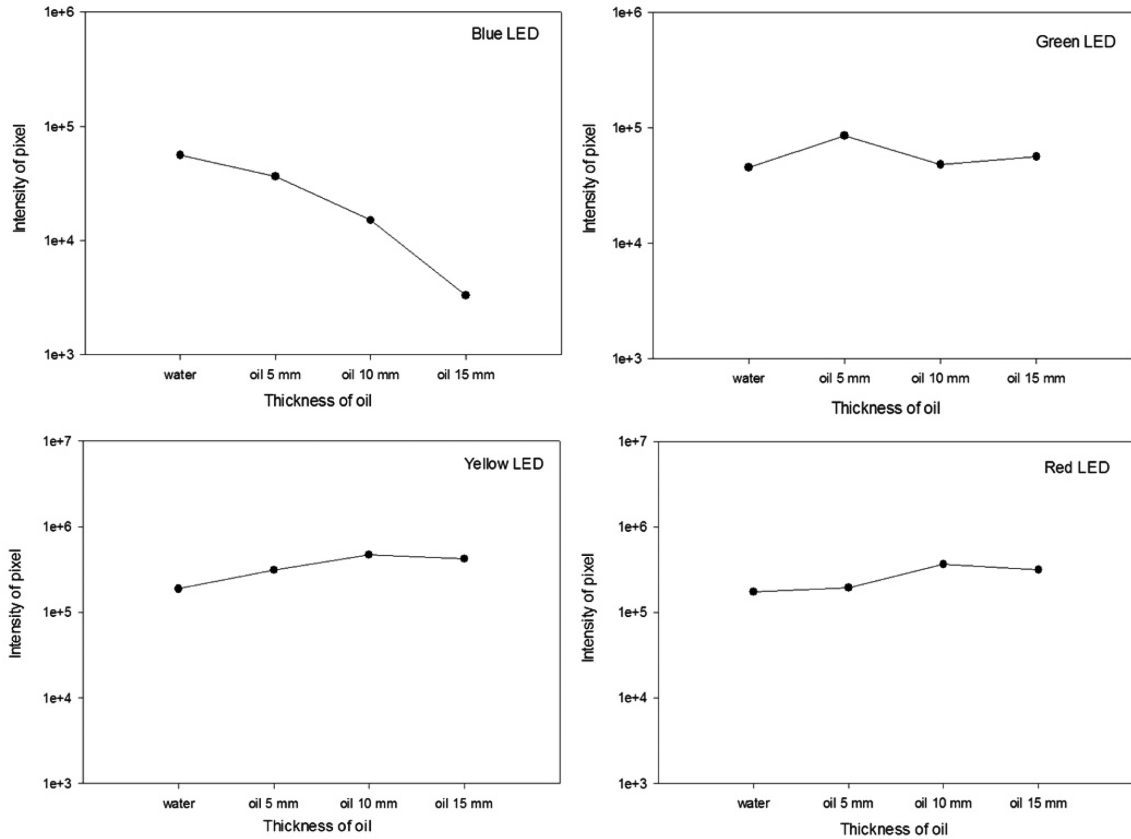


Fig. 5. Max. value pixel intensity of four different cases (Upper-left: Blue LED, Upper-right: Green LED, Lower-left: Yellow LED, Lower-right: Red LED).

2.2 환경조건 변화에 따른 탐지 실험

실제 해상에 본 연구에서 제안한 유출유 탐지 방법을 적용하기 위해서는 적용할 환경 조건에서의 유출유 탐지 가능 여부를 확인해야 한다. 본 연구에서 제안된 방법은 LED 광원으로부터 발산된 빛의 세기가 탐지에 있어 중요한 측정 요소이므로 실험의 밝기 조건을 우선적으로 고려할 필요가 있으며, 또한 해상에서는 바람에 의해 물결이 발생하므로 CCD로 촬영하고자 하는 액체표면의 기울기가 변할 수 있다(Denkilikian[2009]). 따라서 예상할 수 있는 액체표면의 기울기 조건을 실험을 통해 인위적으로 구성하여 해당 탐지 방법을 적용하여 그 결과를 고찰하였다.

이러한 환경 조건 중, 우선 밝기의 변화를 준 상태에서 기름 두께를 증가시키면서 탐지 실험을 진행하였다. 2.1장에서 수행한 방법과 동일한 조건으로 진행하였으며 단지 탐지장치 주변의 조명만 켜진 상태에서 해당 실험을 수행하였다. 기존 실험을 통해 확인된 기름과 해수에 대해 흡수도 차이가 있는 파장대역인 Blue LED를 이용하였고, 기름의 두께를 5 mm 씩 증가시키면서 CCD로 각각의 액체표면에 투영된 LED의 영상을 촬영하였다. CCD를 통해 취득한 영상의 밝기를 정량화하기 위해서 본 연구에서 사용한 두 번째 영상처리 알고리즘인 영상에서 빛의 세기가 가장 큰 값을 갖는 픽셀인 흰색 영역의 크기를 합산하는 방법을 선택하였다. 그 결과 Fig. 6과 같이 조명이 있을 경우에는 모든 조건에서 조명이 없는 경우보

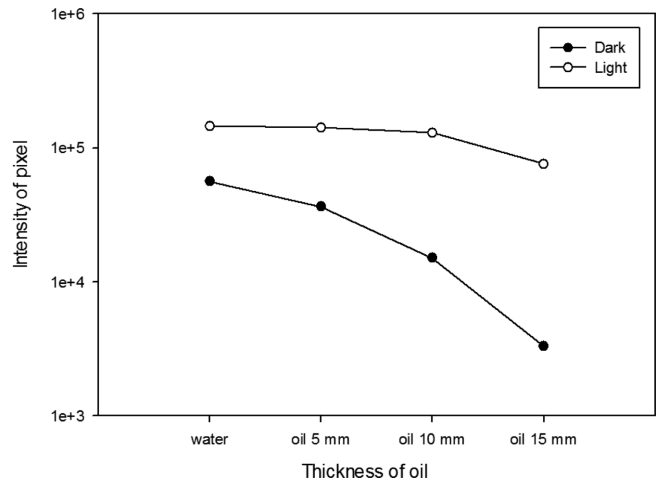


Fig. 6. Comparison of pixel intensity between light condition and dark condition.

다 CCD에서 취득한 영상에서 더 큰 빛의 세기를 갖는 것으로 확인되었다. 또한 조명이 있는 경우 기름의 두께가 증가함에 따라 CCD로 취득한 영상의 밝기가 점차 감소되는 경향을 보였다. 따라서 탐지 장치 주변의 밝기가 어두운 경우나 밝은 경우 모두 기름의 두께가 증가함에 따라 기름층에서 LED 빛의 투과도가 점차 낮아져 CCD에 투영된 영상의 밝기가 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 이

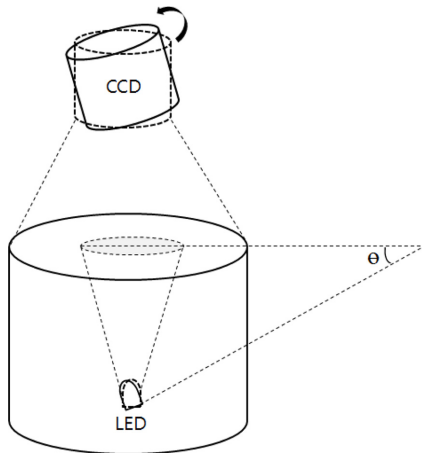


Fig. 7. Experimental setup with tilted angle of LED and CCD.

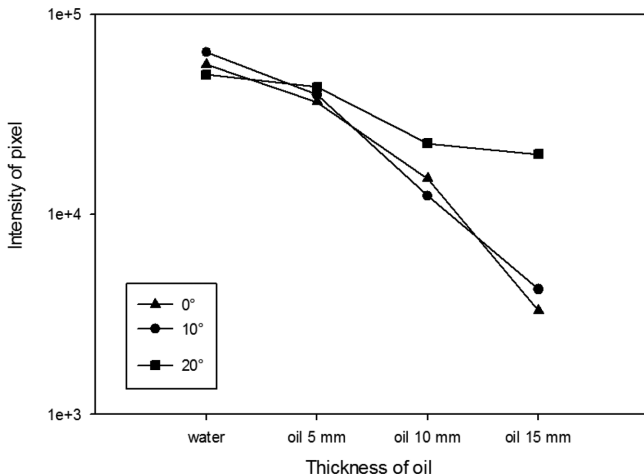


Fig. 8. Comparison of pixel intensity varying the angle of LED and CCD.

러한 실험을 통해서 실제 해상의 밝기 조건이 변할 경우에도 본 연구에서 제안한 기름 탐지 방법을 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

두 번째 고려한 환경 조건은 액체표면의 기울기 변화량이다. 해당 실험을 수행하기 위해서 Fig. 7과 같이 액체표면의 기울기를 10°, 20° 두 가지의 경우로 설정하였고, 밝기는 어두운 상태로 설정하였다. 그 이외의 조건은 2.1장에서 수행한 방법과 동일하게 진행하였다. 액체표면의 기울기를 일정하게 오랜 시간동안 유지하는 조건의 설정이 불가능하므로 해당 실험을 위해서 LED와 CCD의 각도를 변화시키는 방법을 이용하였다. 각각의 기울기 조건에서 기름의 두께를 5 mm 씩 증가시키면서 CCD로 액체표면에 투영된 LED의 영상을 촬영하였고, CCD를 통해 취득한 영상의 밝기를 정량화하기 위해서 본 연구에서 제안한 두 번째 영상처리 알고리즘을 선택하였다. 그 결과 Fig. 8과 같이 동일한 기름 두께 조건에서 각도의 기울기에 따라 CCD로 획득한 영상의 밝기 차이가 일부 존재하는 것으로 나타났다. 그러나 두께가 증가함에 따라 영상의 밝기가 점차 감소하는 경향은 모든 기울기 조건에서 동일하게 존재하였고 이를 통해서 본 실험에서 설정한 기울기 조건에서 해당 기름 탐지 방법을 적용할 수 있음을 확인하였다.

3. 결 론

본 연구에서는 해상에 유출된 기름을 현장에서 탐지하는 방법으로 물과 기름이 갖는 특정 파장대역의 빛에 대한 흡수도의 차이를 이용한 새로운 광학적 기름 탐지 방법을 제안하였다. 기름과 물에 대해 차별화된 흡수도를 갖는 최적의 LED 파장대역을 실험적으로 도출하였고, 실제 해상조건에서의 탐지 가능성을 확인하기 위해 밝기 조건과 액체표면의 기울기 조건을 변화하는 실험을 수행하였다. 본 연구를 통해 획득한 연구결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 제안된 광학적 기름탐지 방법을 이용하면, 기름의 두께 변화에 따라 빛이 차별적으로 투과되므로 액체표면에서의 CCD로부터 획득한 영상을 처리함으로써 빛의 세기를 정량화할 수 있고 이를 통해 기름의 존재 탐지 및 두께의 추정이 가능함을 확인하였다.

(2) 탐지 장치의 주변 밝기에 따른 탐지 가능성을 확인하기 위해서, 밝기 조건을 변화해가면서 기름의 두께 변화에 따른 빛의 세기 변화량을 분석한 결과, 주변의 밝기에 따라 액체표면 영상의 전체적인 빛의 세기가 증가하지만 동일한 밝기 조건에서는 기름의 두께가 증가함에 따라 영상의 밝기가 점차적으로 감소함을 실험적으로 규명하였다. 이를 통해 탐지 장치가 설치될 장소의 밝기가 변화해도 기름의 탐지가 가능함을 확인할 수 있었다.

(3) 물결이 있는 해상 상황에서의 탐지 가능성을 확인하기 위해서, 액체표면의 기울기를 2단계(10°, 20°) 변화시켜 탐지 실험을 진행한 결과, 기울기의 변화에 따라 CCD로 획득한 영상의 밝기 차이가 존재하나 두께가 증가함에 따라 영상의 밝기가 점차 감소하는 경향은 모든 기울기 조건에서 동일하게 존재함을 확인하였다. 이를 통해서 실험에서 설정한 기울기 조건에서 본 연구에서 제안한 기름 탐지 방법을 적용할 수 있음을 확인하였다. 기름의 종류에 대한 추가적인 탐지성능 확인과정과 다양한 해상 상태에서 장시간 유지할 수 있는 적합한 센서 플랫폼을 개발한다면, 본 연구에서 제안된 탐지 방법을 실제 해역에 유출유 탐지 장치로 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

후 기

본 연구는 한국해양과학기술원에서 주요연구사업으로 수행하고 있는 “3차원 유출유 확산예측 기반 해양유류오염 방제 지원기술 개발”과제와 “주요 위험유해물질(HNS) 유출 거동예측 및 대응정보 지원기술 개발”과제의 연구결과 중 일부를 밝힌다.

참고문헌

- [1] Henry, C. and Roberts, P.O., 2001, “Background fluorescence values and matrix effects observed using smart protocols in the Atlantic ocean and Gulf of Mexico”, International Oil Spill Conference, Florida, 1203-1207.
- [2] Reeves, G., 2000, “Introduction to hydrocarbons and monitoring”, Arjay Engineering Ltd., Common HydroSense Questions

and General Information Guide, 2-8.

- [3] Denkilian, H., Ohannessian, R., Joujou, M., Chehab, A., Elhajj, I., 2009, "Wireless Sensor for Continuous Real-Time Oil Spill Thickness and Location Measurement", IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, Vol. 58, No. 12, 4001-4011.
- [4] Andrews, J., 1997, "Automated marine oil spill detection system development update", Marine Environmental Update, 97(1), US Navy SPARWAR Systems Centre.

- [5] Oh, S., Lee, M. and Choi, H., 2011, "Development of Hydrocarbon Oil Detection Sensor using the Swelling Property of Silicone Rubber", Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol. 14, No. 4, 280-286.

2012년 10월 10일 원고접수

2012년 10월 22일 심사수정일자

2012년 11월 2일 게재확정일자