

# 선박용 유배출 감시 장치를 위한 광산란 탁도 방식의 유분 농도계 개발

이승희<sup>\*</sup> · 양구주<sup>\*</sup> · 장용석<sup>\*\*</sup> · 김재형<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>창원대학교

<sup>\*\*</sup>(주)세일세레스

## A Design of Oil Content Meter Using Scattered Light Turbidity Method for Oil Discharge Monitoring Equipment

Seung-heui Lee<sup>\*</sup> · Gu-ju Yang<sup>\*</sup> · Yong-seok Jang<sup>\*\*</sup> · Jae-hyung Kim<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>Changwon National University

<sup>\*\*</sup>Seil-Seres Co. Ltd.

E-mail : heui2@hanmail.net

### 요 약

본 논문에서는 대형 탱커선의 의무 장비인 유배출 감시 장비 (Oil Discharge Monitoring Equipment)를 위한 유분 농도계의 설계에 대하여 연구하였다. ODME는 국제해사기구 (IMO)에서 일 정 ton 이상의 대형 선박에 의무적으로 설치하도록 규정하고 있으며 이는 날로 심각해지는 해양 오염을 방지하는데 목적이 있다. ODME의 구성 요소는 중앙 제어 장치, 유분 농도계, 유량계, 선속계, Sampling System, 배출 제어 장치로 이루어져 있으며 이중 가장 중요한 것은 유분 농도계이다. 이 는 선박에서 배출되는 물에 포함된 유 성분을 ppm 단위로 측정하는 것이다. 이를 위한 탁도 측정 방법에는 여러 가지가 있지만, 본 연구에서는 선박에서 사용이 용이한 광산란 방식과 방폭성을 가지 는 광섬유를 이용하여 탁도를 측정하는 유분 농도계를 설계하였으며 아울러 이에 대한 탁도 계산 알고리즘에 대하여 고찰하였다. 측정의 정밀도는 0-999ppm 범위에서  $\pm 5\%$ 의 오차 이내로 측정이 가능함을 보였다. 이는 IMO의 규격 ( $\pm 10\%$ 의 오차)에 만족하는 수치이다.

### I. 서 론

전세계적으로 해양오염의 심각성에 대한 인식이 고조됨에 따라 MARPOL 73/78 해양오염 방지 국제 협약 [1]에 요구되는 규정을 적용하여 왔으며 최근 선박에 사용되는 오일의 종류가 다양해짐에 따라 국제해사기구 즉 IMO에서는 추가적인 내용을 포함한 규정 MEPC 60(33) [2]을 1994년 4월 30일 부로 준수하도록 하고 있다. 유 배출 감시 장비는 IMO 규격 A586 (XIV)에 의거하여 선박으로부터 배출되는 ballast water에 함유된 탄화수소 (hydrocarbon)의 함량을 측정하는 것이다.

유배출 감시 장치, 즉 ODME (Oil Discharge Monitoring Equipment) 시스템은 다음의 6가지 부분으로 구성되어 있다.

중앙 제어 장치

유분 농도계

유량계

### 선속계

### Sampling System

### 배출 제어 장치

위의 6가지 부분 중 유분 농도계는 물 속에 함유된 기름의 농도, 즉 ppm을 측정하는 장치로서 그 알고리즘을 개발하는 것이 이 논문의 목적이다. 이를 위해 유분 농도계의 검출되는 신호를 A/D 변환하여 그 신호와 ppm과의 관계를 찾는 것이다. [3] 반복적인 실험에 의해 이를 개선해 나감으로써 요구되는 신뢰도를 얻을 수 있도록 하였다.

### II. 유분 농도계

#### 1) 유분 농도계의 측정 원리

유분 농도계는 크게 인터페이스 보드와 측정 용기와 센서부로 이루어져 있다. 인터페이스 보드의 CPU는 80C196KC 마이크로프로세서를 탑재하고 있고, 각 채널에서 들어오는 아날로그 신호를

계산하여 중앙 제어 장치에 보낸다. 측정 용기는 원통형의 유리관을 통과하는 표본수에 빛을 통과시켜 오일 입자에 의해 굴절되는 빛을 광섬유를 통해서 센서부까지 전달하는 장치이다. 이상적으로 이것은 표본수의 흐름에 제한을 주지 않아야 하나, 어떤 경우에는 알맞은 광학 통과 거리 (Optical path length)를 확보하기 위하여 제한을 가하는 수도 있다. 먼지나 녹, 모래 입자가 창을 긁거나 손상을 입히지 않도록 창은 사파이어, 수정 등을 사용한다. 격벽을 통과하는 빛 통로에 대한 안전요건을 만족시키기 위하여 광섬유 (Optical fibers)를 선호한다. 센서부는 주발광부인 할로겐 램프가 하나 있으며 보조 발광부인 적외선 led가 각각 30°, 90° 자리에 위치하고 있으면서 오류 신호를 보상하며, 수광부는 광 다이오드 [6]를 사용해서 각각의 각도로 굴절된 빛을 받아서 전기적 신호로 변환시키는데 사용되고 있다.

## 2) 산란광 (Scatter light)의 원리 [7]

표본수가 측정 용기를 지날 때 적외선 광선이 수직으로 관을 통과한다. 표본수 중에 찌꺼기나 유적이 없을 경우에 빛은 곧바로 관을 통과하나 기름이 혼합되어 있을 경우에는 (특히 균일하게 혼합된 경우에는) 산란광이 나타나게 된다. 산란광의 세기는 검지 되는 각도, 유적 (고형물의 기름 찌꺼기)의 밀도 및 방사 파장의 길이, 관련한 불순물의 크기에 따라 달라진다. [8] 기름의 함유량에 따른 산란광과 직사광의 변화는 그림에 나타내었다.

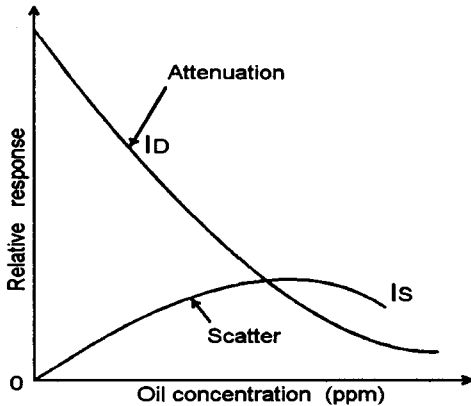


그림 1. 산란광과 투과광의 상대적 강도  
Figure 1. Relative Response of  $I_s$  and  $I_D$

$I_D$  (투과광)는 지수적으로 감소하는 반면  $I_s$  (산란광)는 선형으로 증가하다가 최고점에 도달한 후 감소한다. 최고점은 유분의 농도가 높은 점에서는 산란광을 막게 되어 감쇠량이 증가하기 때문에 발생한다. 이러한 장치의 민감도와 이종의 기름에 대한 응답 특성을 결정하는 주 요인은 광학 통과

거리와 감지 각도이다.

## 3) 검출 (Detection)

물 속의 기름 함유량을 측정하기 위하여 여러 가지 기법이 채용된다. 그 중 몇 가지 기법에서는 탄화수소 에너지 레벨과 성분의 기본, 광학 소자의 특성을 이용한다. ITT사 [9]의 실험 결과 선박에서의 감시 장치로는 산란광 원리를 이용한 것이 가장 적합하다고 주장한다. 그러나 산란 기법도 역시 아래와 같은 단점을 가지고 있다.

- \* 산란광은 흡수된 기름을 검출하지 못한다.
- \* 산란광은 이물질을 검출한다.
- \* 산란은 기름의 크기, 분배에 따라 달라지므로 혼합이 대단히 중요하다.

위의 경우, 흡수된 기름은 그다지 큰 문제가 아니다. 왜냐하면 경질 정제유나 휘발성 오일일 경우에만 수중에 흡수된다. 또한 이들은 비지속성 오일에 속한다. 선박에서의 정상적 운전 온도에서 흡수된 기름의 농도는 대략 5ppm 이하이다. 그러나 다른 경우는 측정 용기의 설계 시에 매우 심각한 문제가 된다.

## 4) 산란 (Scattering)

그림 2.는 빛이 관을 통과하는 도식적인 그림이다.

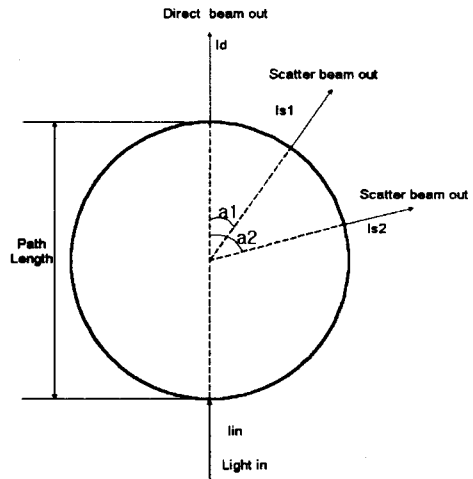


그림 2. 산란광과 광학통과거리  
Figure 2. Scattered Beam and Optical path length

### 유적의 크기에 따른 산란광 변화.

i) 입자의 크기 분배가 작을수록 낮은 농도에서 감쇠 작용과 산란 작용이 커진다. 용기를 설계할 때, 입자의 크기를 분산에 의해서 감소시킬 수 있다면 민감도를 산란광을 사용하여 증가시킬 수

있다. 여기서의 문제점은 선형 비례 범위가 줄어 든다는 것이다.

ii) 유적의 입자 크기 분배를 다른 고형 물질과 다르게 할 수 있다면 유적과 고형물을 산란 검출기를 다른 각도에 위치시킴으로서 구분할 수 있으며 (예를 들면  $\alpha_1$ 과  $\alpha_2$  ( $\alpha_2 > \alpha_1$ )), 녹이나 모래가 기름보다 더 낮은 입자의 크기 분배로 하였을 경우 이 고형 물질 (Solid)은 큰 굴절각  $\alpha_2$ 에서 검출되고 굴절각  $\alpha_1$ 에서 얻은 값에서 빼 값이 된다.

iii) 큰 입자에서 산란 굴절되는 형태는 압도적으로 전방 산란이 많다. 즉 작은 입자일수록 산란 굴절각이 커진다. [7]

### 5) 입자의 크기 분석 및 균일화

위에서 언급한 바와 같이 수중의 기름의 입자 크기를 감소함으로써 대단히 유리해진다. 기름의 경우에 산란광의 세기는 고형물의 입자의 크기가 감소되지 않는 경우의 산란광의 세기에 비해 증가한다. 또한 일정한 산란 굴절각  $\alpha$ 에서 점도가 다른 종류의 기름을 측정하는 경우에 응답의 차이가 감소할 수 있다. 즉 기름의 종류에 덜 민감하게 된다. 그러나 과도한 균일화 (Homogenization)는 너무나 낮은 농도에서 산란 곡선의 최대치를 지시하게 된다. 적절한 혼합을 위하여 여러 가지 방법을 시험해 본 결과 고속 전단 펌프 (High shear pump)와 초음파 균일화를 조합한 방법이 매우 효과적인 것을 발견하게 되었다. [7] 그러나, 밸러스트 배출관에 균일화를 설치하면 산란광의 빔이 측정될 수 있는 농도 범위가 감소하게 되므로 좋지 않다.

## III. 실험 방법 및 알고리즘 개발

위의 이론을 바탕으로 제작한 실험 장치에서 산란광과 직사광의 신호를 획득하여 유분 농도를 계산하기 위해 LabVIEW 프로그램 [10]을 이용하였으며, 이렇게 얻어진 데이터를 이용하여 Matlab으로 개발한 알고리즘을 다시 LabVIEW 프로그램에 넣어서 각 신호를 계산한 농도가 나오도록 하였다.

신호의 검출은 투과광 ( $180^\circ$ )과 산란광 ( $30^\circ$ ) 신호, 또 광원에 공급되는 신호를 A/D 변환하여 데이터를 획득하였으며 이 각각의 신호가 유분 농도를 결정하는 것에 어느 정도 영향을 미치는가에 대해 반복적인 실험을 통해 알고리즘을 개발하였다.

그림 3.에서는 램프의 밝기 변화에 따른, 즉 램프에 공급되는 전원의 각 전압에 대한  $180^\circ$ ,  $30^\circ$  신호의 변화를 나타낸 것이다. 또 그림 4.에서는 이론적인 것과 비교하기 위한 가장 밝은 빛에서의  $180^\circ$  신호의 반전 및  $30^\circ$  신호를 나타내었다.

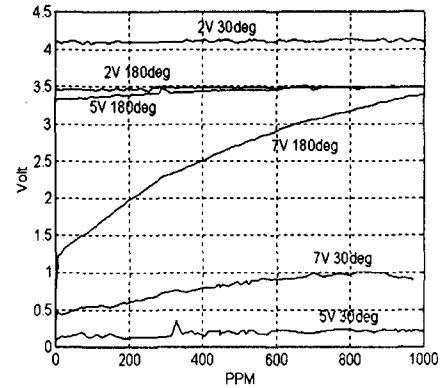


그림 3. 램프의 밝기에 따른 수신부의 신호  
Figure 3. Sensor Output vs. Lamp intensity

위에서 나타난 결과로 유추할 수 있는 것은 유분 농도 결정에 있어 가장 큰 영향을 미치는 것은 발광부의 전원을 7V로 가장 밝게 했을 때이고 이론적인 것과 아주 비슷한 경향의 그래프를 가진다는 것이다.

이러한 가정 하에 광원에 7V 전원을 인가했을 때 획득한 두 신호를 가지고 알고리즘 개발을 진행하고 또  $180^\circ$  신호와  $30^\circ$  신호가 유분 농도에 어느 정도 영향을 미치는지 조사해 나갔다.

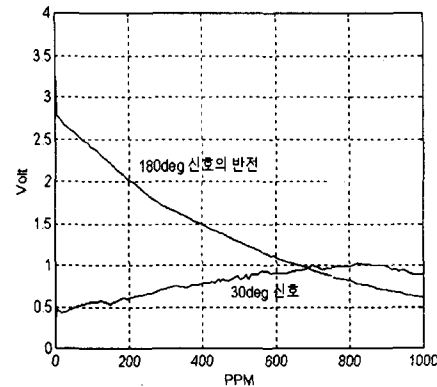


그림 4. 산란광과 투과광의 상대적 신호 비교  
Figure 4. Comparison of Scattered Signal and Direct Signal

알고리즘 개발을 위해 가장 우선시 된 것은 검출된 두 신호의 어떠한 연산에 의해 얻어진 값이 유분 농도와 1차 함수적인 관계가 되도록 하는 것이다. 이를 위해 가장 먼저  $\ln\left(\frac{V_{180}}{V_{30}}\right)$  이란

알고리즘을 이용하여 실제 ppm과 비교하여 보고 또  $\ln(V_{180})$  하나만 가지고도 비교하였더니 후자의 경우가 더 정확성이 있는 것으로 나타났다. 이로써 유분 농도 결정에 있어 가장 큰 역할을 하는 것은 180° 신호인 것으로 알 수 있었다.

이에 착안하여 새로운  $\ln\left(\frac{V_{180}}{1 + V_{30}/10}\right)$ 의 알고리즘을 택했다. 이는 30° 신호의 영향을 최소화하기 위한 것이다.

새로운 위의 알고리즘과 180° 하나만을 가지고 생성된 알고리즘과의 비교 그래프가 그림 5.에 제시되어 있다.

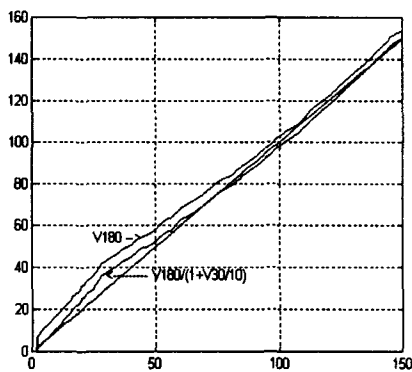


그림 5. 알고리즘에 의해 얻어진 PPM  
Figure 5. PPM Value Calculated by New Algorithm

위의 과정을 통해 유분 농도에 대한 알고리즘이 많이 향상되었지만 더 이상의 정밀도가 요구되기 때문에 새로운 알고리즘 개발을 시작했다.

근본적인 문제가 0ppm에서 999ppm까지 전체 구간을 모두 선형화 한 것에 있다고 보고 이를 3구간으로 구분하기로 했다. 그 첫째 구간은 아주 비선형 특성을 보이는 0ppm에서 3ppm 구간이고, 두 번째 구간은 3ppm에서 30ppm까지, 나머지 구간은 30ppm에서 999ppm까지이다. 이를 통해 국제 기구에서 요구하는 ±10% 오차를 전 구간에서 만족하게 되었다. 그러나 600ppm이하의 구간에서는 ±10ppm이상 차이가 나지 않지만 그 이상의 구간에서는 점점 오차가 커져 최대 -50ppm까지 나타났다. 물론 이것은 900ppm 이상에서 발생하는 오차이므로 무시할 수 있다. 이 알고리즘을 이용하여 반복성 테스트 및 오일 종류에 따른 유분 농도의 변화에 대해 반복적인 실험을 하였다.

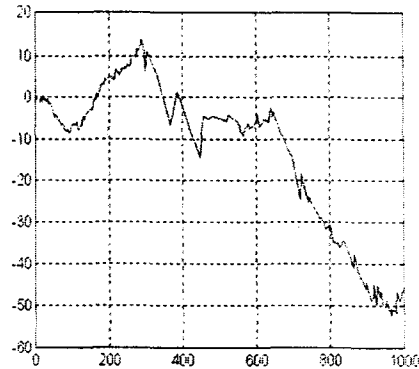


그림 6. 실험유 : 경유, 산란계수 : 경유  
Figure 6. Test Oil : Light Diesel, Scattered Coefficient : Light Diesel

그림 7.은 실험유를 경유로 하고 알고리즘의 산란계수를 경유로 하여 실험한 결과이며, 그림 6.은 실험유는 경유로 산란계수는 중유로 실험하여 그 결과를 알고리즘에 의한 계산과 실제 ppm과의 오차를 각각 나타낸 것이다.

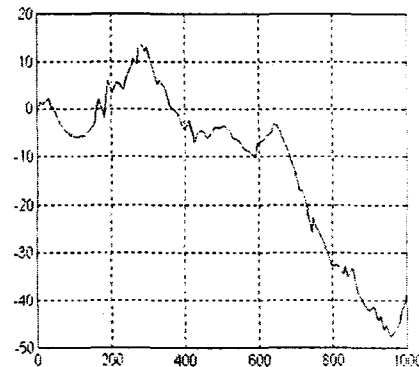


그림 7. 실험유 : 경유, 산란계수 : 중유  
Figure 7. Test Oil : Light Diesel, Scattered Coefficient : Heavy Oil

각 그래프를 비교해 보면 알 수 있지만 오일의 종류나 흡수계수에 의해 유분 농도가 상이하게 달라지진 않는다. 또, 그 경향이 거의 일치함을 알 수 있다. 이로써 이 시스템에서의 유분 농도 결정이 오일의 종류의 변화에 의해 크게 달라지지 않는다는 것이고, 또 충분한 반복성을 보였다 는 것이다.

위에서 사용된 알고리즘을 개선하기 위해서 더

많은 구간을 나누어 선형화 하였다. 이로서 개선할 수 있었던 것은 로그를 알고리즘에서 제외시킴으로서 알고리즘 구현을 간소화시킬 수 있었고, 또 정밀도가 더 향상되었다는 것이다. 구간은 전체 7구간으로 나누었으며 알고리즘은 이론적인 것에 비추어 산란광의 신호가 나타내는 함수는 유분 농도에 비례하고 투사광 신호의 함수는 유분 농도에 반비례한다는 것, 또 30°의 신호가 ppm에 영향을 많이 주지 못 한다는 데 착안하여

$$\frac{1 + V_{30}/10}{V_{180}}$$

그 결과로 개발된 알고리즘에 의한 유분 농도와 실제 ppm의 차이를 나타낸 그래프가 그림 8.에 제시되어 있다.

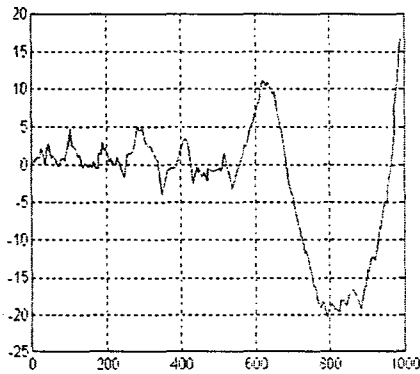


그림 8. 실험유 : 경유, 산란계수 : 경유  
Figure 8. Test Oil : Light Diesel,  
Scattered Coefficient : Light Diesel

#### IV. 결론 및 고찰

정확한 값의 ppm이 나오는 지를 알아보기 위해서 기존의 장비와 개발한 유분 농도계를 이용하여 실제 농도값과 계산한 농도값을 비교하였다. 유분 농도를 계산하는 데 있어서 가장 큰 영향을 미치는 것은 180° 신호이며, 이는 입력광이 입자에 의해 산란되어 측정되는 30° 신호인 산란광보다는 실제적으로 산란, 흡수된 만큼의 에너지를 제외한 투과광의 신호를 이용해서 농도를 계산하였기 때문이다. 유분 농도를 결정하는 데 있어서 기름의 종류에 따라 실험적으로 측정해서 경유와 중유의 알고리즘을 다르게 구했으나, 기름의 종류는 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 그래프 비교에서 나타났다. 그리고 로그를 취한 단일 구간보다는 로그를 취하지 않고도 여러 구간으로 나누어 선형화한 알고리즘으로써 ±5%의 정밀도를 가하도록 할 수 있었다. 그러나 실험유의 특성상 9

0° 신호를 검출하기 힘들었다. 마지막으로 구간이 많아짐에 따라 그 경계 구간의 기준점이 확인하지 않다. 현재로서는 180° 신호를 이용하여 구분하고는 있지만, 이 경계 구간의 기준점을 무엇으로 어떻게 잡는가 하는 문제도 남아 있다.

#### V. 참고문헌

- [1] MARPOL 73/78 규정집, International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, as modified by the Protocol of 1978 relating thereto, 1973.
- [2] MEPC 60(33), Marine Environment Protection committee.
- [3] W. J. Tompkins, J. G. Webster, Interfacing Sensors to the IBM PC, Prentice-Hall, 1988.
- [4] 편집부저, 센서데이터북, 세화, 1990.
- [5] E. wagner, R. Dandliker, K. Spenner, Optical Sensors, Freiburg and Neuchâtel, August 1991.
- [6] Hans O. Nielsen, Environment and Pollution Measurement Sensors and Systems, Proceedings 14-15 March 1990 The Hague, The Netherlands
- [7] E. L. Dereniak, G. D. Boreman, Infrared Detectors and Systems, A Wiley-Interscience Publication, 1996.
- [8] Francis A. Jenkins, Harvey E. White, 광학, 문운당, 1986.
- [9] ITT Industries,
- [10] LabVIEW User Manual for Windows, National Instruments, 1992.