

유분검출기 개발을 위한 빌지 배출수의 광특성 분석

최상화* · 황정웅** · 정병건***

Optical Characteristic Analysis of Bilge Water for Developing an Oil Content Meter

S-H Choi* · J-W Hwang** · B-G Jung***

Key words : MARPOL(해양오염방지협약), Oil Content Meter(유분검출기), Oil Content Sensing Module(유분감지모듈), IR-LED(적외선 발광다이오드)

Abstract

Since 1998 for protection of marine pollution, all ships must have oil filtering equipment and 15ppm bilge alarms which satisfy Requirements of MARPOL 73/78. Oily-water separator used in machinery area of ships usually consists of two parts; one is oil filtering equipment and the other is oil content meter (OCM). This study presents optical characteristics of bilge water acquired from oil content sensing module. The oil content sensing module consists of IR-LED light source, photo-diode light receivers, and a glass tube for bilge water sample. The experiment with the bilge water demonstrates various valuable optical properties. These optical properties suggest notes and guides to make the low-cost, easy operation and good performance commercial type OCM that satisfy the requirements of MARPOL 73/78.

1. 서 론

유조선 '토리캐년' 호와 '아모코-카디즈' 호 등의 침몰사고로 선박에 의한 해양오염과 해양생태계 파괴에 대한 우려가 현실로 나타나게 되었다. 선박에 의한 해양오염을 방지하기 위해 1978년 국제해양오염방지협약 MARPOL 73/78이 제정

된 후, 선박의 선외배출물 유분농도 제한치가 1985년부터 100ppm에서 15ppm으로 강화되고, 원양항해에 종사하는 선박에는 유류여과장치와 유류배출 자동정지장치 등의 설치가 의무화되었다¹⁾.

현재 원양항해선박에 설치되고 있는 기름배출 감시제어장치는 대부분 외국에서 수입되고 있으

* 한국해양대학교 대학원(원고접수일 : 2000년 8월)

** 한국해양대학교 대학원

*** 한국해양대학교

며, 일부 제품이 외국과의 기술제휴에 의하여 OEM방식으로 생산되어 연안항해선박에 사용되고 있는 정도이다.

기름배출 감시제어장치는 유수분리기의 핵심장비로서, 관련 기술을 보유하고 있는 선진국에서는 기술이전에 극히 인색할 뿐만 아니라 설혹 기술이전에 동의한 경우라도 기술이 한 세대전의 낮은 기술이거나 비싼 기술료를 요구하고 있는 실정이다. 또한 정밀한 수준의 유분검출장치를 설치하려면 유수분리장치 자체의 가격보다 더 많은 비용이 들 뿐만 아니라, 분석에 상당한 시간과 노력이 필요하기 때문에 선박에 이러한 정밀급의 장치를 도입하는 것은 무리라고 판단된다.

따라서 허용오차 범위내의 간이형식의 기름배출 감시제어장치를 개발하는 것은 기술자립도를 높이고 외화절감에 큰 도움이 될 뿐만 아니라, 유수분리장치에 개선점이 발견되면 언제든지 필요한 설계변경을 가능케 함으로써 기업의 경쟁력을 강화시켜줄 것임에 틀림없다.

본 연구에서는 유분검출기를 개발하기 위한 기초작업으로써 먼저 MARPOL 73/78 국제협약에 적합한 유분농도 검출법을 선정한다. 선정된 유분농도 검출법에 따른 빌지 배출수의 광특성 데이터를 얻기 위해, 국내에서 생산되고 있는 적외선 발광 수광소자를 사용한 유분감지모듈을 설계 제작하고 실험을 행한다. 구해진 광특성 데이터의 분석을 통해 유분검출기를 설계 제작하기 위한 기본방향을 제안한다.

2. MARPOL협약과 유분검출법

2.1 MARPOL 협약

현재 선박에 설치 사용되고 있는 유수분리기는 MARPOL 국제협약 내용에 따라 설비되어 있다. MARPOL 협약의 부속서-I의 내용 중 선박에 기름배출 감시제어장치의 설치를 강제화한 제16규칙의 실행방안을 구체적으로 서술한 IMO 해양환경 보호 위원회 MEPC. 60(33) 결의안 부속서-10 내용의 일부를 살펴보면 다음과 같다²⁾.

[IMO MEPC.60(33) 결의안 부속서-10]

(선박의 기관구역 빌지를 위한 오염방지장치에 대한 지침과 사양)

— 빌지경보용으로 설계된 유분검출기는 ± 5ppm 이내의 정밀도를 확보해야 한다.

— 빌지경보용 유분검출기는 아래에 있는 3가지 오염물질 각각을 특정농도의 청수탱크에 더하여 시험을 하고, 표시값에 변화가 있으면 기록하고 인증서에 기재해야 한다.

(1) 청수

(2) 매우 짙 소금물—수돗물에 섞은 3% 천연 소금물

(3) 비용해성 부유고형물—10ppm 공기클리너 시험용 먼지

— 검출기를 끄지 않고 그대로 두고서 8시간이 지난후 다시 운전하여 15ppm의 혼합물을 통과시키도록 한다. 각 시험전후의 표시값과 검출기의 손상이 기록되고 인증서에 기재되어야 한다.

— 검출기에 공급된 청수의 색깔이 동작에 영향을 주지 않아야 한다. 이를 위해 2.5ppm의 흑색 잉크물로 시험하는데 이때 검출기의 표시값에 변화가 나타나지 않아야 한다.

2.2 유분검출법

현재까지 처리배출수중의 유분을 검출하는데 있어서 완벽한 유분농도 측정법은 확립되어 있지 않은 실정이다. 이는 기준값이 명확하게 정의되어 있지 않고 간섭성분의 영향이 존재하는 등의 문제가 의외로 크게 나타나기 때문이다. 처리배출수중의 유분농도측정에 사용되고 있는 방법을 살펴보면 대략 다음과 같다³⁾.

1) 유화·탁도 측정법

빌지배출수를 초음파발생기나 믹서 등으로 유화시킨 후, 탁도 측정에 의해 유분을 구하는 방법이다. 이 경우에 유분과 탁도간에는 거의 직선적인 관계가 나타난다. 그렇지만 기름의 종류에 따라 측정값이 달라지고, 배출수의 탁도, 배출수중의 활성제 등의 영향을 고려해야 하는 단점이 있다⁴⁾.

2) 추출·적외선 흡수 측정법

이 측정법은 알려진 농도의 기준유와 처리 시료

수의 적외선 흡수정도를 비교하는 방식으로 기름의 종류에 따라 감도차이가 작은 특징이 있지만, 4염화탄소의 추출에 시간이 필요하기 때문에 측정이 간헐적으로 이루어진다. 또한 4염화탄소 자체가 비싸고 유독성이기 때문에 회수장치가 필요하게 되는 단점도 있다. 측정범위는 대략 0~50ppm 이고 측정주기는 대개 30분 정도이다.

3) 유화 · 자외선 흡수 측정법

이 방법은 처리 시료수의 자외선 흡수율을 측정하는 것이다. 적외선 흡수측정법과 비교하여 보면, 기름의 종류에 따른 감도차가 크고 간섭성분의 영향이 있지만, 추출제가 필요없기 때문에 연속측정이 가능하고 2차공해를 발생하지 않는 장점이 있다. 측정범위는 0~30ppm 정도이다.

4) 유화 · 산란광 측정법

시료를 믹서 등으로 유화한 후 자외선을 투과시켜, 여기서 발생하는 산란광의 강도를 측정하는 것에 의해 유분농도를 측정하는 방법이다. 적절한 범위에서는 유분농도와 산란광의 강도사이에는 거의 직선관계가 성립된다. 이 방법은 연속측정이 가능하고 조사파장과 산란측정파장을 적당히 선택함에 따라 탁도의 영향을 거의 없앨 수 있고 추출제가 필요 없다는 장점이 있으나, 기름의 종류에 따라 감도차가 크게 나타나는 단점이 있다. 측정범위는 대략 0~50ppm정도이고 측정대상은 중유, 경유, 윤활유와 일부 식물유 등이다.

위의 측정법 중에서 제2)항의 추출 · 적외선흡수 측정법은 분광기와 같은 고가의 실험장비를 갖춘 실험실에서 정밀하게 유분의 농도를 측정하는 방법으로 MEPC.60(33)결의안 부속서-10의 제4부에 제안되어 있다¹²⁾.

본 연구에서는 장치의 복잡성을 줄이고 비용을 낮추기 위해, 위의 제1)방식과 제4)방식 중 국내에서 생산되지 않으면서 고가인 초음파 발생기를 사용하는 유화부분을 제외한, 탁도 측정방식과 산란광 측정방식을 혼합 적용한 적외선에 의한 탁도 · 산란광 검출방식의 유분감지모듈을 설계 제작하기로 한다. 이에 필요한 모든 소자는 현재 국내에서 생산되고 있는 것을 사용한다.

3. 유분감지모듈

본 연구에서 채택한 적외선 탁도 · 산란광 검출 방식의 원리도를 Fig. 1에 나타내었다. 그림에서 보듯이 유분감지모듈의 유리관을 통과하는 빌지 배출수에 발광소자에서 나온 적외선을 비추게 되면 적외선의 일부가 빌지배출수 중의 유적에 의해 흡수산란 되는데, 이때 감쇠된 투과광과 산란광을 정면과 측면의 수광부에서 측정하여 유분농도를 구하게 된다.

유분감지모듈을 제작하는데 있어서 가장 중요한 것은 발광소자와 수광소자의 선정문제이다. 본 연구에서는 국내에서 생산되고 있는 소자를 중심으로 지향각이 좁고 안정한 파장의 소자를 선정하게 되었는데, 발광소자로는 피크 발광파장이 940nm이고 지향각도가 ±10° 적외발광다이오드 EL1L1과 지향각도가 ±30° EL1L2 2가지를¹³⁾ 사

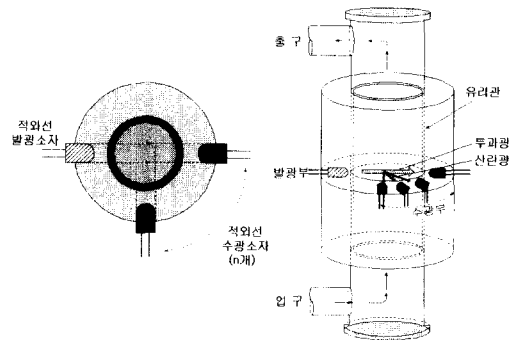


Fig. 1 Principle of oil detection.

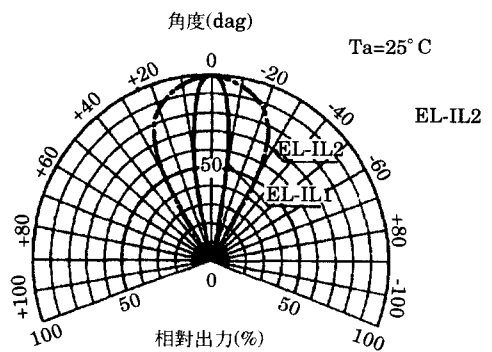


Fig. 2 Relative output with the radiant angle of EL1L1 and EL1L2.

용하여 지향각의 크기에 따른 변화도 검토하도록 한다. Fig. 2에 발광소자의 지향각에 대한 상대출력의 비를, Fig. 3에 파장에 대한 상대출력의 비를 보인다.

수광소자로는 포토다이오드와 포토트랜지스터가 있는데, 포토다이오드는 출력의 직선범위가 넓고 분광감도 특성이 포토트랜지스터보다 우수할 뿐만 아니라 광기전력 효과를 이용하므로 소자에 대한 바이어스가 필요없는 장점이 있다. 또한 포토다이오드를 단락모드로 사용할 경우, 입사조도에 대한 단락전류는 극히 낮은 조도에서 높은 조도까지 넓은 범위에 대하여 비례특성을 가지고 있다. 즉 입사 조도의 동적범위가 크고 높은 레벨의 방해광이 있어도 포화하지 않고 변조광에 대해서만 응답이 가능한 특징을 갖는다.

이상의 내용을 반영하여 실험장치에 사용할 수

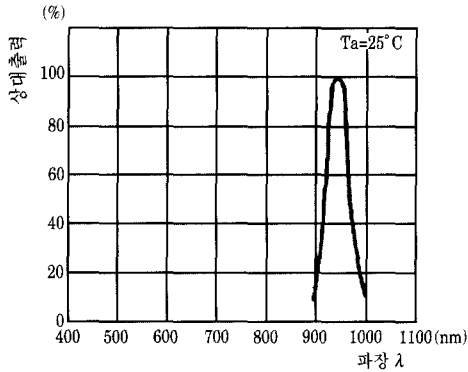


Fig. 3 Relative output to the wavelength of EL1L1 and EL1L2.

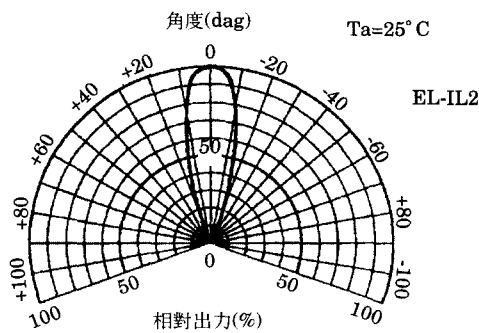


Fig. 4 Relative output with the projected angle of SP1KL.

광소자로서 포토다이오드 SP1KL을 선정하고, 이를 단락모드로 사용하여 입사 광량에 비례한 출력 전압을 얻도록 한다. 수광소자 SP1KL의 지향각에 대한 상대출력의 비를 Fig. 4에, 파장에 대한 상대감도의 비를 Fig. 5에, 조도에 대한 단락전류의 크기를 Fig. 6에 보인다.

유분감지모듈 제작에 있어서 중요한 내용중 하나는 발광소자와 수광소자가 순수한 보통의 저항과는 달리 내부저항을 갖고 있기 때문에 이들을 안정하게 구동해야 하는 점이다. 여기서는 Fig. 7과 Fig. 8에 보이는 정전류회로를 적용하여 발광소자와 수광소자를 구동하도록 한다^{[6]-[11]}.

이상의 내용으로부터, 광특성 비교를 위해 포토다이오드 5개와 6개를 각각 사용한 5채널 수광부와 6채널 수광부를 제작하였다. 5채널 수광부는 Fig. 1의 발광부 정면(180°)의 수광소자를 ch1로

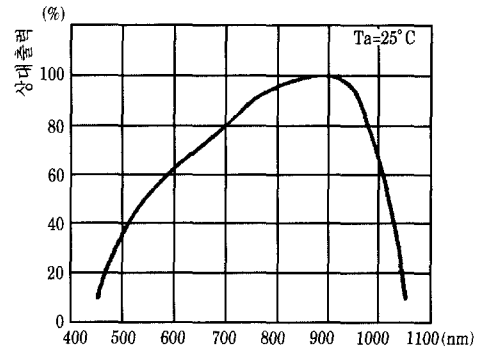


Fig. 5 Relative sensitivity for the wavelength of SP1KL.

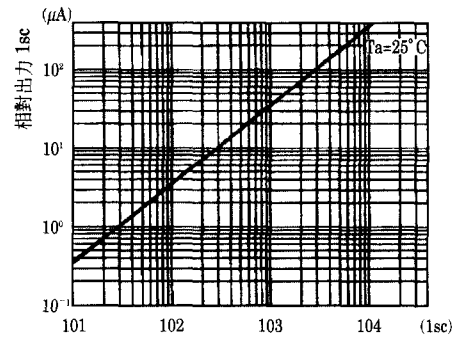


Fig. 6 Short circuit current vs. luminous intensity of SP1KL.

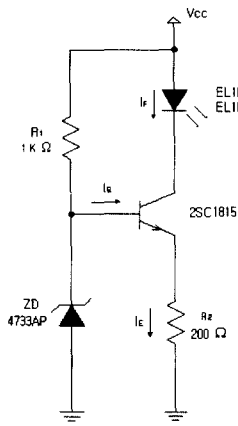


Fig. 7 Driving circuit for IR-LED.

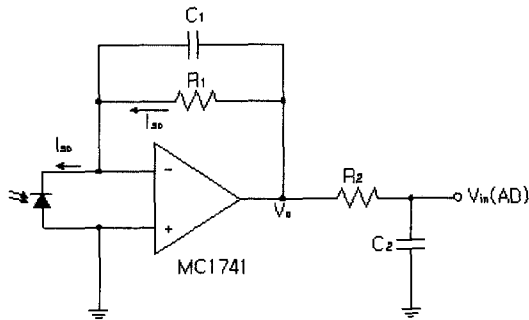


Fig. 8 Driving circuit for photodiode.

Table 1 5 channel light receiver.

채널	내용	수광소자 배치 각도	R1
ch1		180°	100 KΩ
ch2		157.5°	1.5 MΩ
ch3		135°	10 MΩ
ch4		112.5°	10 MΩ
ch5		90°	10 MΩ

하고 각도가 작아짐에 따라 Table 1과 같이 채널을 정하고, 6채널 수광부의 경우는 Fig. 9에서와 같이 유체의 흐름방향에 따라 상,중,하로 하여 원형각도로 배치하고 있으며, Table 2에 배치각도와 저항값을 나타낸다. 수광회로의 R1 저항은 미세한 전압을 얻을 수 있도록 적절한 저항값을 선택한다.

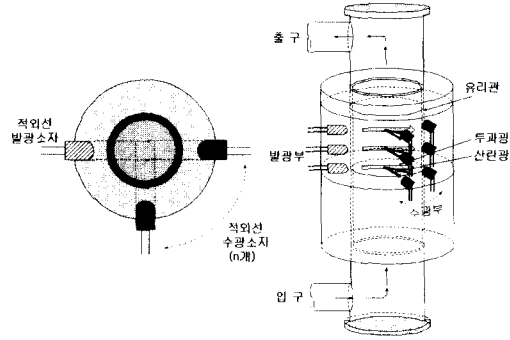


Fig. 9 Diagram of the 6 channel light receiver.

Table 2 6 channel light receiver.

채널	내용	수광소자 배치 각도	R1
ch1		상 180°	• 투과광부 (100 kΩ)
ch2		중 180°	
ch3		하 180°	
ch4		상 135°	• 산란광부 (10 kΩ)
ch5		중 135°	
ch6		하 135°	

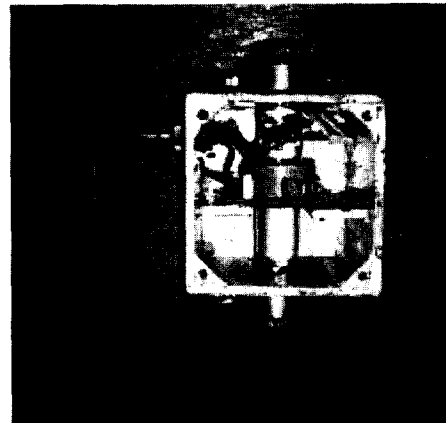


Photo. 1 Oil content sensing module.

제작 완성된 유분감지센서모듈을 Photo. 1에 보여주고 있다.

4. 광특성실험 및 검토

유수분리기에서 처리된 빛지배출수가 유분감지 모듈의 유리관을 통과할 때, 통과물질의 종류와 유

분의 혼입 및 혼탁정도에 따라 그 흡수 산란의 정도가 다르게 나타날 것으로 가정하고 이에 대한 데이터를 획득하기 위하여, 수광소자의 출력전압 패턴파악을 중심으로 실험한다.

실험은 수광부 원형각도 배치에 따른 특성, 유체 흐름방향에 대한 수광부의 배치에 따른 특성, 통과 물질에 따른 특성 그리고 시간에 따른 특성으로 구분하여 행한다. 실험용 빌지로는 일반청수에 기계 가공용 표준 절삭유가 0, 5, 10, 15, 20, 30, 50ppm으로 희석된 것을 사용하고, 기타 실험내용에 따라 바뀌는 부분은 부기한다.

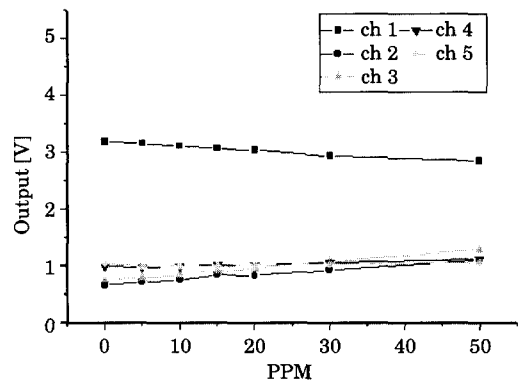
1) 수광부 원형각도 배치에 따른 특성

먼저 발광소자를 EL1L1으로 하고, 외부조건으로는 보통의 기관실 조명정도의 형광등 불빛이 비추고 있는 상태에서 정지유체와 흐름유체의 출력전압은 Fig. 10과 같다. 다음은 외부 빛을 완전히 차단한 상태에서 흐름유체의 출력전압을 Fig. 11에 나타낸다. 그림으로부터 투과광과 산란광 양쪽 모두 선형적으로 변화되는 모습을 보여주고 있으며 수광부의 배치각도가 작아짐에 따라 산란광의 양이 적어진다. 보통의 작업 조명정도의 외부 빛에 의한 영향은 무시할 수 있을 정도의 작은 값으로 나타나며, 흐름유체와 정지유체간의 응답특성의 차이는 거의 없는 것을 알 수 있다.

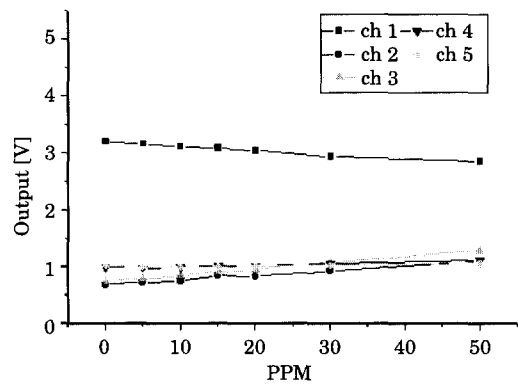
2) 유체 흐름방향에 대한 수광부의 배치에 따른 특성

앞절의 유체 흐름의 수직방향에 대한 특성과는 달리, 이번 실험에서는 유체흐름에 대하여 비스듬한 각도에서 얻어지는 응답특성을 구하도록 한다. 앞절 실험에서 나타난 바와 같이 외광과 유체흐름의 영향은 그다지 크지 않으므로 외광을 차단하고 유체가 흐르는 상태에서 6채널 수광부의 실험을 행한다.

발광부의 위치와 종류에 따라 수광부의 응답특성을 알아보기 위해 발광부의 위치를 위쪽, 중간, 아래쪽에 두었을 때의 응답특성을 각각 Fig. 12~Fig. 14에 보인다. 그림에서 투과광과 산란광 모두 선형적인 응답특성을 보여 주고 있으며, 발광부와 직접 마주보는 수광소자의 응답특성이 가장 크게 나타난다. 또한 발광소자의 지향각도가 큰 EL1L2



(a) No Flow



(b) Flow

Fig. 10 Response of 5 channel light receiver (Under external light, EL1L1 IR-LED)

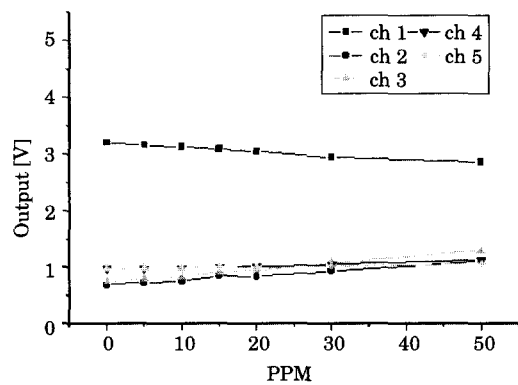


Fig. 11 Response of 5 channel light receiver. (No external light, Flow, EL1L1 IR-LED)

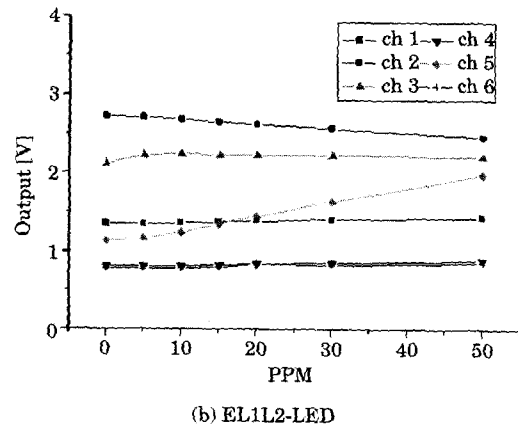
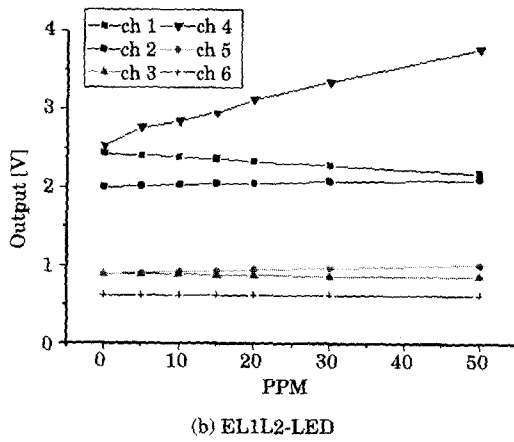
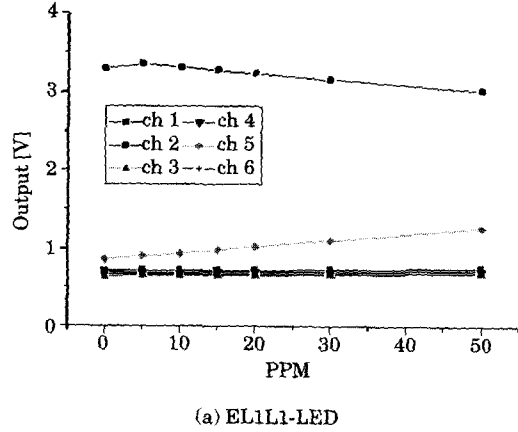
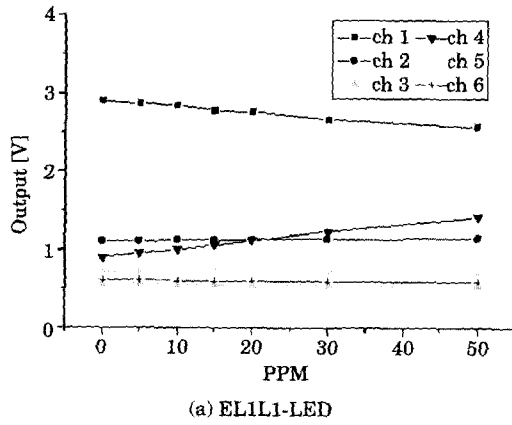


Fig. 12 Response of the 6 channel light receiver. (Upper side IR-LED)

Fig. 13 Response of the 6 channel light receiver. (Middle side IR-LED)

의 경우가 EL1L1보다 각 채널의 응답특성 분리도가 좋게 나타나고 있다.

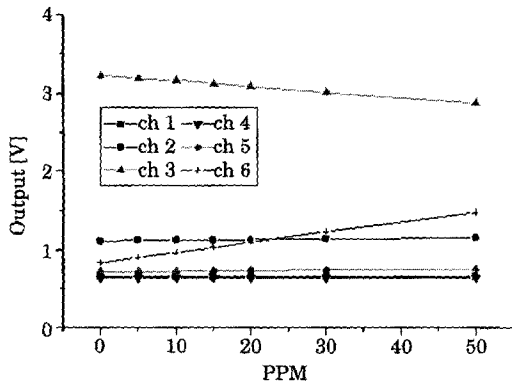
3) 통과물질에 따른 특성

이번에는 실험용 빛지배출수에 잉크, 소금, 비용해성 부유고형물이 혼합되었을 때의 응답특성을 알아본다.

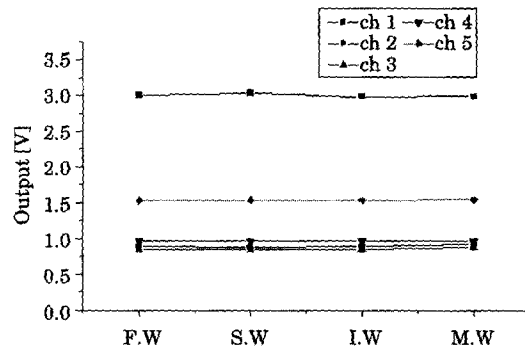
빛지배출수로는 앞 실험과 동일하게 기계절삭유를 희석한 것을 사용하고, 잉크는 필기용 잉크를 2.5ppm, 소금은 시판용 식염을 3%, 비용해성 부유고형물은 공작교육용 점토를 10ppm의 비율로 혼합하여 사용한다. 앞 실험과 같이 외광은 차단하고 유체가 흐르는 상태에서의 실험만 행한다. 발광소

자 EL1L1과 EL1L2에 대한 수광부의 응답특성을 Fig. 15, Fig. 16에 보인다. 그림에서 F.W는 청수 (Fresh Water), S.W는 소금혼합수(Salt Water), I.W는 잉크혼합수(Ink mixed Water), M.W는 점토혼합수(Mud mixed Water)를 의미한다.

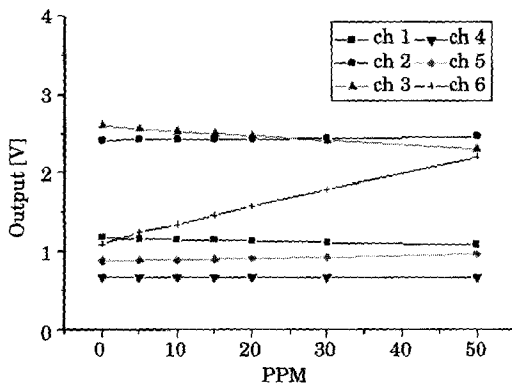
실험 결과로부터 잉크의 혼합에 따른 특성변화는 거의 없으며, 요구성능사양에 비추어 볼 때 소금과 비용해성 부유물질인 점토혼합에 따른 응답특성 변화량도 그다지 크지 않은 것으로 판단된다. 또한 응답특성 변화량은 발광부가 EL1L2일 때 보다는 EL1L1 일 때 그 정도가 상대적으로 적게 나타난다.



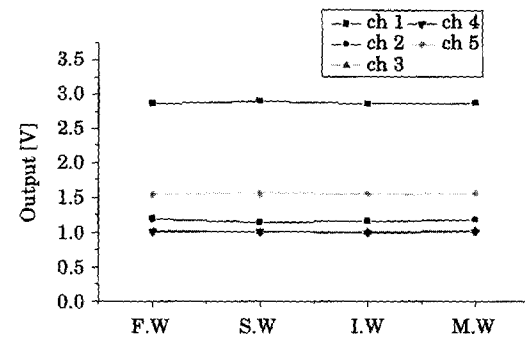
(a) EL1L1-LED



(a) 5ppm



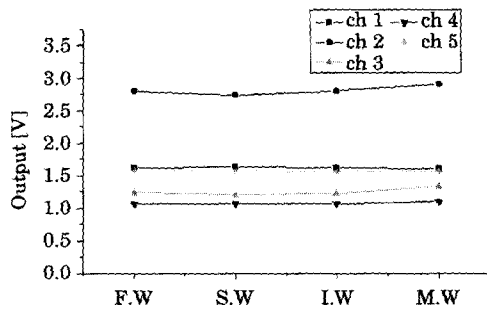
(b) EL1L2-LED



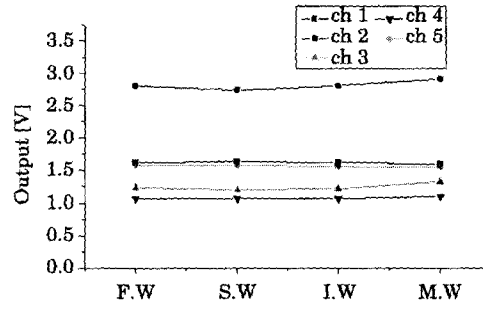
(b) 15ppm

Fig. 15 Response of the 5 channel light receiver. (with EL1L1 IR-LED)

Fig. 14 Response of the 6 channel light receiver. (Lower side IR-LED)



(a) 5ppm



(b) 15ppm

Fig. 16 Response of the 5 channel light receiver. (with EL1L2 IR-LED)

4) 시간에 따른 특성
동일 빛지배출수에 대한 시간응답특성을 살펴

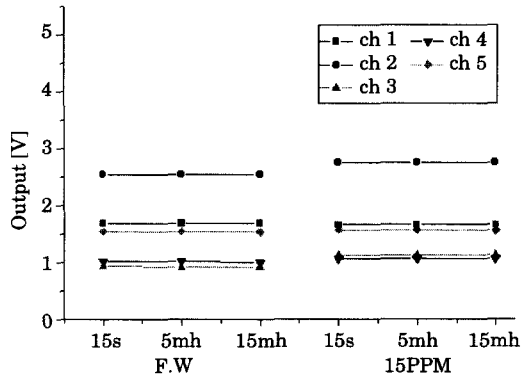


Fig. 17 Time response of the 5 channel light receiver. (with EL1L2 IR-LED)

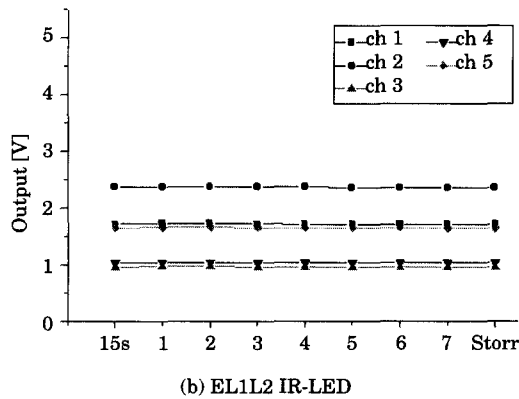
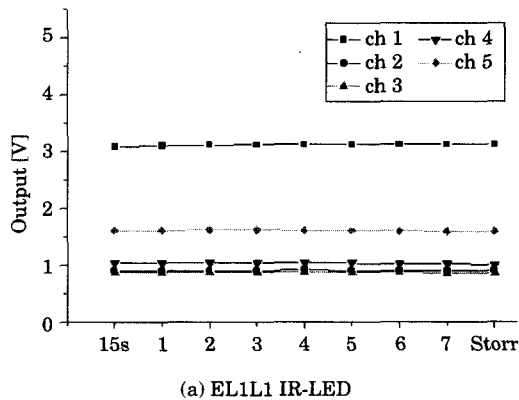


Fig. 18 Time response of the 5 channel light receiver.

보도록 한다. 성능사양의 조건과 같이 F.W, 15ppm에 대한 15분간 지속응답특성을 Fig. 17에, 15ppm의 배출수에 대하여 8시간 정도의 시간경과에 대한 결과를 Fig. 18에 보이고 있는데, 시간진행에 따른 출력값의 변화는 거의 없음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 유분검출기를 개발하기 위한 기초작업으로서 빛지 배출수의 광학적 특성 데이터를 얻기 위해 유분감지모듈을 설계 제작하고, 실험용 빛지를 통과시켜 구해진 광특성데이터를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 발광부로부터 수광부로의 원형배치각도가 작아짐에 따라 산란광의 유입이 적어 출력전압이 낮게 나타난다.
- 2) 통상의 작업환경하에서 외부가시광이 발광수광소자에 미치는 영향은 무시할 수 있는 정도이다.
- 3) 유체 흐름방향에 대한 수광부의 전후 배치에 따른 특성도 원형배치와 마찬가지로 유분농도가 진해짐에 따라 투과광은 줄어들고 측면, 상하로의 산란광이 많아진다.
- 4) 통과물질에 대한 응답특성의 경우, 잉크물은 청수의 응답특성과 거의 같고, 염분과 비용해성 부유고형물에 의해서는 약간의 영향을 받지만 성능사양에 비추어 볼 때 무시할 수 있는 정도이다.
- 5) 발광소자의 지향각도가 커짐에 따라 다량의 산란광이 만들어지므로 각 수광채널의 응답특성 분리도가 양호하게 나타난다.
- 6) 시간에 대한 배출수의 응답특성은 거의 변화되지 않는다.
- 7) 투과광과 산란광 모두 선형적으로 변화되는 모습을 보여주고 있다.

향후 이상의 실험결과 외에도 유분감지모듈의 성능에 영향을 미칠 것으로 판단되는 통과수의 유속, 온도 등의 파라미터와 유리관의 오염 등을 고려한 상용 유분검출기의 개발을 계속할 예정이다.

참고문헌

- [1] 韓國船級, 73/78년 海洋汚染防止協約, 海印出版社, pp.199~203, 1996.
- [2] IMO, Annex 10 of Resolution MEPC. 60(33), pp.3~25. 1992.
- [3] 荒木竣, 高橋昭, 水質汚濁の自動分析, 化學同人, pp.155~168. 1976.
- [4] Fellow Kyogyo Co. Ltd, Operational Manual of Bilge Alarm FOCAS-1500c, 1996.
- [5] Kodenshi Korea, [http : //www.Kodenshi.com](http://www.Kodenshi.com)
- [6] 全在昇, 센서 인터페이싱 No.4, 機電研究社, pp.41~43, 1992.
- [7] トランジスタ技術, Opto-Device 應用回路の設計製作, CQ出版(株), Special No.33, pp2~25, 1992.
- [8] Willis J. Tompkins, John G. Webster ; "Interfacing Sensors to the IBM PC", Prentice-Hall, pp.225~249, 1988.
- [9] 全在昇, 센서회로 디자인인 북, 機電研究社, pp.302~303, 1993.
- [10] 이병식, 메카트로 센서활용 핸드북, 도서출판 세운, pp.75~94, 1992.
- [11] Tudor E. Jenkins, Optical Sensing Techniques and Signal Processing, Prentice-hall, pp.114~123, 1987.
- [12] 황경현, 송준엽, "Mechatronics 기술동향 및 발전대책", 전기학회지, Vol.48, No.5, pp.4~9, 1999.
- [13] David E. Lalond, John A. Ross, Principles of Electronic Devices and Circuits, International Thomson Publishing Asia, 1994.
- [14] Theodore F. Bogart Jr, Linear Electronics, Macmillan Inc, pp.319~370, 1994.

저 자 소 개



최상화(崔相和)

1960년 8월생. 1982년 한국해양대학교 기관공학과 졸업. 1982.3~1986.4 범양상선(주) 근무. 1986.11~1999.6 부산컨테이너 부두운영공사 근무. 2000년 한국해양대학교 산업대학원 졸업(석사). 1999.7~현재 현대상선(주) 근무. 당학회 회원



황정웅(黃正雄)

1971년 11월생. 1995년 한국해양대학교 기관공학과 졸업. 2000년 동 대학원 기관공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 기관공학과 박사 과정 재학중. 당학회 회원



정병건(鄭柄健)

1959년 9월생. 1981년 한국해양대학교 기관공학과 졸업. 1981.3~1988.1 한진해운(주) 근무. 1990년 한국해양대학교 대학원 기관공학과 졸업(석사). 1993년 부경대학교 대학원 수료(박사). 1992.3~현재 한국해양대학교 선박전자기계공학부 부교수. 당학회 회원