

論文

# 신 IMO협약에 따른 에멀전 분리형 선박용 유수분리기 영향인자에 관한 연구

임재동\* · 박선정\* · 박상호\*\* · 김인수\*\*

\*한국해양대학교 대학원 토목환경공학과, \*\*한국해양대학교 건설환경공학부

## Study of factor of Bilge Separator for oily water emulsion conforming with new IMO regulation

Jae-Dong Lim \* · Sun-Jung Park\* · Sang-Ho Park\*\* · In-Soo Kim\*\*

\*Graduate school of Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

\*\*Division of Civil and Environmental Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**요 약 :** 새롭게 적용되는 IMO 규정에 적합한 선박의 15ppm Bilge Separator를 개발하기 위하여 Bilge 폐수에 함유된 Emulsion의 처리가 매우 중요하다. 에멀전의 경우 그 안정성으로 인해 육상에서도 처리하기가 매우 까다로운데 본 연구에서는 화학적인 방법을 이용하여 Emulsion의 안정성을 파괴하여 처리하고자 하였다. 파괴된 기름 입자는 서로 응집하여 부상처리 되는데, 선박은 특성상 장치의 설치장소가 협소하기 때문에 Bilge 폐수의 처리에 시간이 충분치 않다. 이러한 문제의 해결과 화학적 처리에 가장 기본이 되는 응집제의 선정과 기본적인 환경요인들을 결정하여 실험을 진행하였다. 실험결과 국내 제품 중의 응집제를 선정하였고 가장 응집 효과가 좋은 pH 영역과 응집제의 투여량을 결정하였으며 기초 실험을 통해 최적효율을 나타내는 부상방법을 결정하여 이를 바탕으로 Pilot Plant를 제작하여 에멀전 함유 Bilge 폐수를 처리한 결과 IMO에서 정한 기준을 만족하는 결과를 얻을 수 있었다.

**핵심용어 :** 유수분리기, IMO 규정, 빌지 세퍼레이터, 선저폐수, 에멀전,

**ABSTRACT :** Treatment of O/W Emulsion is very important to develop 15ppm Bilge Separator for new IMO regulation. It is too difficult to demulsify the emulsion in the bilge waste water, so we use chemical treatment to break emulsion stability. Broken oil particle is treated by flotation. 15ppm Bilge Separator on the Ship doesn't have enough time to treat Bilge waste water because of limited space in the ship. For the solution to this problem, we experiment to find primary factors as coagulant, pH, amount of inputting coagulant, and type of flotation. On the basis of test results, we decided primary factors.

**KEY WORDS :** 15ppm Bilge Separator, IMO regulation, Bilge waste water, O/W Emulsion, coagulant, demulsify

### 1. 서론

산업발달과 인구증가, 국가 경제 발전으로 인한 수출입 물동량 증가는 우리나라 각 항포구를 드나드는 선박의 수를 급격히 증가시켰다. 선박수의 증가로 인해 선박에서 발생하는 오염물질의 양도 증가하여 이로 인한 연안해역의 오염은 날로 심각해지고 있고 피해규모도 해마다 증가하고 있다. 또한 항만의 오염과 주변해역의 오염으로 인하여 양식장이나 어장의 피해가 늘어나고 있으며 다양한 오염물질로 인해서 생태계의 교란까지 발생한다. 유엔 국제해사기구(IMO)는 이러한 문제점을 인식하고 선박에 의한 해양오염을 줄이기 위하여 MARPOL 73/78 협약을 채택하였다. 선박에서 발생하는 주요 오염물질은 배기가스, 쓰레기, 빌지수, 오수와 폐수, 방오도로 물질 등이 있다. 선박에서 발생하는 오염물질 중에서 대표적인 빌지폐수는 기관실

과 화물창 선저에서 발생하는 모든 폐수들이 모여 형성 되는데, 모든 선박에 Bilge Separator가 설치되어 빌지폐수를 처리하여 배출하도록 규정하였으나 장치 자체의 문제점과 이를 운용하는 선원들의 운용능력의 미흡으로 인해 제대로 처리되지 않고 선외로 배출되는 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 IMO에서는 선박내의 빌지폐수를 처리하기 위한 Bilge Separator의 새로운 형식승인 방법과 절차에 관하여 의결하였다. IMO MEPC 49차 회의에서 Bilge Separator의 형식승인을 위한 에멀전(Emulsion)의 구성요소 및 제조절차, Test rig, 형식승인을 위한 시험절차를 결정하였다. 이 결정에 따르면 기관실에서 일반적으로 사용되는 산화제(agent), 유화제(emulsifier), 용제(solvent)나 계면활성제(surfactant)에 의하여 기름이 에멀전 상태로 변화하여 빌지 Tank에 존재함에 따라 기존의 Bilge Separator로는 처리가 어려웠던 점을 보완하고, 장치의 가동기

특을 위한 기록장치의 추가도입으로 빌지 폐수를 처리하지 않고 선외로 배출하는 것을 제한하고, 선원의 훈련에 대하여 강한 규정을 적용하여 빌지 폐수가 기준치 이하로 배출되도록 하였다. 이번 결정에 만족하는 Bilge Separator의 개발을 위해서는 기존 Bilge Separator에 에멀전 처리를 위한 새로운 장치를 추가하거나 기준에 부합하는 새로운 Bilge Separator의 개발이 필요하게 되었다.

빌지폐수에 함유되어 있는 오일 에멀전은 상당히 안정한 상태로 존재한다. 빌지폐수의 에멀전은 위에서 언급한 것과 같이 계면활성제나 유화제와 섞여 형성되는 화학적 에멀전과 각종 기계류에서 발생하는 기계적 에멀전이 있는데, 화학적 에멀전의 경우에는 특별히 처리를 하지 않으면 아주 오랜시간 안정한 상태로 존재하게 된다. 기계적 에멀전 또한 아주 안정한데 화학적 에멀전보다는 약간 큰 입자형태의 에멀전이다. 본 연구에서는 화학적 처리방법을 이용하여 오일 에멀전의 안정성을 파괴하고 파괴된 기름입자들을 서로 응집시켜 부상 처리하는 방법에 관하여 연구하였다.

본 연구 결과는 우리나라 조선 기자재 업체들이 당면한 시급한 문제들을 해결하고 그 동안 수입에 의존하고 있던 조선기자재시장에 수입대체 효과를 일으킬 수 있으며 수출촉진 효과를 기대할 수 있어 명실상부한 조선강국으로서의 면모를 과시하는 데에 기여할 것이다.

## 2. 실험 재료 및 실험 방법

### 2.1 시약 및 시료

실험에 사용된 시약은 특급 및 일급 시약을 사용하였으며 증류수는 2차 증류된 초순수를 사용하였다. 응집제는 Bilge Separator의 제품화 후에 쉽게 적용할 수 있도록 기준에 판매되는 제품 중에서 선정하였다. 실험에 사용된 시험 유체의 경우 IMO에서 규정하는 방법에 의하여 제조하였으며 청수에 6% 비율로 섞어 시험하였다.

Table 1. Three grades of test fluids

Test Fluid "A"	which is a marine residual fuel oil in accordance with ISO 8217, type RMG 35 (density at 15°C not less than 980 kg/m <sup>3</sup> )
Test Fluid "B"	which is a marine distillate fuel oil in accordance with ISO 8217, type DMA (density at 15°C not less than 830 kg/m <sup>3</sup> )
Test Fluid "C"	which is a mixture of an oil-in-fresh water emulsion, in the ratio whereby 1 kg of the mixture consists of <ul style="list-style-type: none"> <li>- 947.8g of fresh water;</li> <li>- 25.0g of Test Fluid "A"</li> <li>- 25.0g of Test Fluid "B"</li> <li>- 0.5g surfactant(sodium salt of dodecyl-benzene sulfonic acid) in the dry form</li> <li>- 1.7g iron oxides(The term iron oxide is used to describe black ferrosiferrous oxide (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) with a particle size distribution of which 90% is less than 10 microns, the remainder having a maximum particle size of 100 microns);</li> </ul>

### 2.2 시험유체(Test Fluid) 제조

IMO에서는 형식승인 시험을 위하여 시험유체에 대해 Table 1.에서 보는바와 같이 규정하였다. 시험유체 "A"는 ISO 8217에 의한 marine residual fuel oil type RMG35(15°C에서 밀도 980kg/m<sup>3</sup>이상), 시험유체 "B"는 ISO 8217에 의한 marine residual fuel oil type DMA35(15°C에서 밀도 830kg/m<sup>3</sup>이상), 시험유체 C는 기름과 청수의 혼합물로서 시험유체 C 1kg 제조를 위해 청수 947.8g, 시험유체 A 25.0g, 시험유체 B 25.0g, 건조된 형태의 유화제 0.5g, 산화철 1.7g을 준비한다. 준비된 재료들을 순서에 맞게 Fig. 1.과 같이 시험유체 C의 제조를 위한 규정된 탱크에 집어넣고 혼합하여 시험유체 C를 제조한다. 시험유체 C는 안정적인 혼합 상태를 유지하기 위하여 3000rpm 이상의 회전속도를 가지는 원심펌프를 이용하여 1시간가량 순환시켜 혼합한다. 1시간이 지난 후에는 처음 순환유량의 10%정도 감소된 유량으로 펌프를 가동시켜 안정된 혼합 상태를 유지한다.

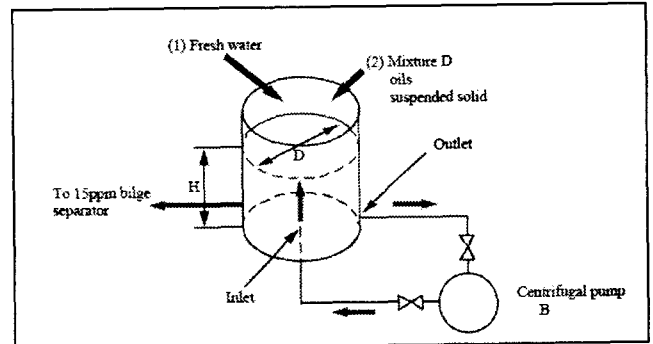


Fig. 1. Tank of Test Fluid "C"

### 2.3 응집제 선정

응집제 선정을 위해 효과적인 응집제로 알려진 국내 H사 제품, 미국 U사 제품, 일본 J사 제품을 선정하여 빌지폐수에 포함된 에멀전의 응집 실험을 수행하였다. 응집 실험은 기존의 선박용 유수분리기의 처리 시간이 20분 미만인 것을 감안하여 응집 시간을 5분으로 정하였고(혼합과 부상에 약 15분 정도 소요 예상), IMO에서 규정한 방법으로 제작된 테스트 시료를 6%비율로 청수에 섞어 가상의 빌지폐수를 만들었다. 이 가상의 빌지폐수에 각각의 응집제를 투입하고 NaOH를 이용하여 pH를 8로 조정하여 혼합한 뒤 5분후 테스트 시료의 분리 상태를 살펴보았다.

### 2.4 응집조건선정

본 연구에서는 에멀전 함유 빌지폐수의 수질 특성 중 폐수 내에서의 응집 반응성에 영향을 줄 수 있는 pH, 응집제의 투입농도에 따라 미립자의 표면전위를 측정하여 최적응집조건을 설정하였다. 응집의 경우 시료의 pH나 온도, 포함된 전해질의 이온화 세기에 따라 응집 강도가 변화되는데 본 연구에서는 온도와 전해질은 고려하지 않고 pH에 대해서만 실험을 수행

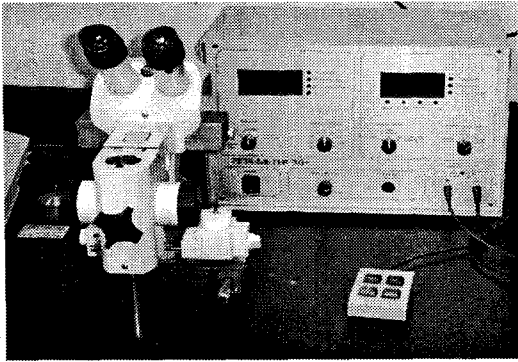


Fig. 2. Zeta-meter(Zeta-meter Inc. USA)

하였다. 이는 응집에 가장 결정적인 요인으로 작용하는 Zeta Potential이 pH에 따라 변하기 때문이다. 이러한 이유로 시료의 pH를 변화시키면서 응집 강도를 확인하였다. 응집 강도의 확인을 위해 Fig. 2.에서 보는 것과 같은 Zeta meter (ZETA-METER, INC., USA)를 사용하여 pH 2-12까지의 영역에서 입자들의 표면 전위를 측정하였다. 응집체의 종류, 응집체 주입량, pH 등의 변화에 따라 응집현상을 조사하여 최적 응집제를 선정하고 이 응집제를 이용하여 빌지폐수를 처리하는 실험을 수행하였다.

### 2.5 응집 성능 시험

선정된 응집제와 응집조건을 적용하여 빌지폐수내의 에멀전 처리를 시험하였다. 교반하여 응집이 일어나도록 한 후에 분별깔대기를 이용하여 고액 분리하였다.

고액 분리한 현탁액을 Fig. 3.의 그림과 같이 여과장치를 제작하여 여과하였다. 여액을 받는 용기는 아스피레이터(aspirator)와 연결되어 감압여과를 수행하며, 여과도중 감압을 위한 아스피레이터에 의한 압력의 요동을 방지하기 위하여 여과기와 아스피레이터 사이에 공기탱크를 설치하여 이 감압에 의한 여과를 수행하였다. 여과실험을 시작하기 전에 여과기와 공기탱크 사이의 밸브를 잠그고 아스피레이터를 가동시켜 원하는 압력으로 조절한 후 아스피레이터와 공기탱크 사이의 밸브를 잠그고 아스피레이터를 정지시킨다. 현탁액을 여과 셀에 넣고 동시에 여과기와 공기탱크 사이의 밸브를 열어 여과를 시작한다. 여과는 공기탱크의 감압으로 진행되므로 여과도중 압력의 요동은 없게 된다. 본 연구에서 사용된 여과매체는 GFC 여과지를 사용하였다. 여과 후 여액속의 유분 농도 측정을 위해 GC-FID를 이용하는 탄화수소 오일지수 측정법(KSMISO9377-2:2000)을 사용하였다.

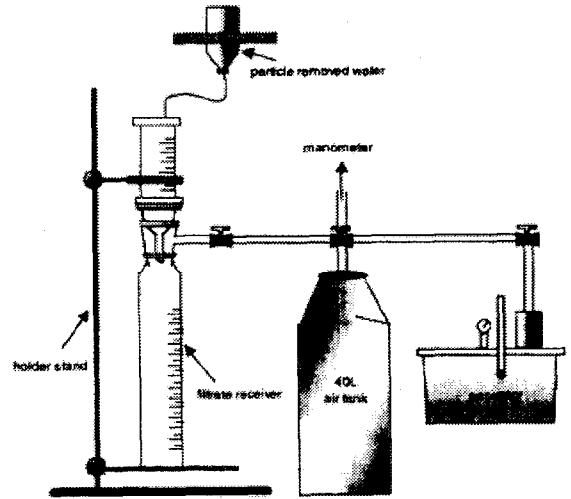


Fig. 3. Schematic diagram of a vacuum filtration apparatus

### 2.6 부상실험

응집된 플럭의 부상을 위해 공기부상, 가압공기부상, CPI 모듈 부상 실험을 수행하였다. 선박의 특성상 한정된 공간 내에서 부상이 이루어져야 하고, 모든 장치들이 밀폐되어야 하는 조건으로 인해 육상에서의 부상과는 다른 기술이 필요하였다. 육상에서 일반적으로 부상처리 시에 필요한 시간이 1시간정도 소요되는데 비해 선박에서는 장치의 크기가 한정되어있으므로 약 15분 내외로 부상처리를 해야만 하는 어려움이 있다. 공기부상의 경우 Fig. 4.에서 보는 것과 같은 멤브레인 산기관을 이용하여 실험을 수행하였고, 가압공기부상의 경우엔 먼저 가압탱크에서 5기압정도로 압력을 높이고 에어 콤프레셔로 공기를 주입한 후 릴리즈밸브를 사용하여 1기압으로 낮추어 부상이 일어나도록 하였다. CPI 모듈은 유체의 흐름을 고려하여 Fig.5.에서 보는 것처럼 자체 제작하여 사용하였다.

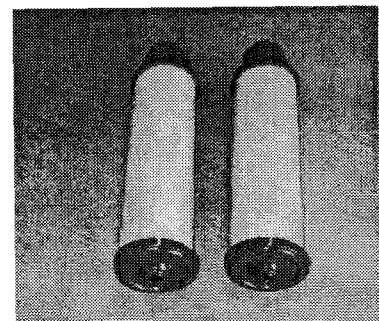


Fig. 4. membrane air diffuser

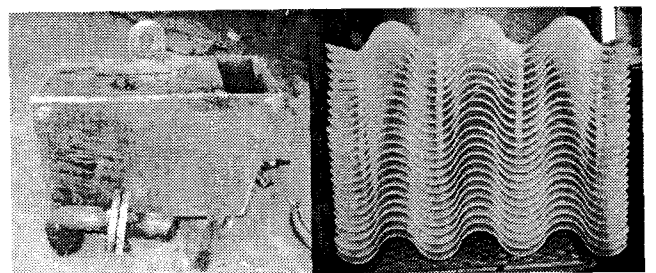


Fig. 5. CPI module

### 3. 실험 결과

#### 3.1 응집제 선정결과

응집제 선정을 위해 에멀전의 응집 실험을 실시하였다. 그 결과 일본 J사 제품의 경우에는 처리시간이 약 18분 정도가 소요되었으며 이때 응집 상태는 Fig. 6.과 같이 일부 기름이 응집되어 분리되었으나 여전히 수중에 에멀전이 포함되어 있었다. 미국 U사 제품의 경우에는 Fig. 7.와 같은 정도의 응집 결과를 얻기 위해서는 응집제의 주입 농도가 다른 제품에 3-5배 정도 많았으며 분리 시간 또한 약 10여분 이상이 소요되는 단점이 있었다. 국내 H사 제품의 경우 적절하게 pH를 조절할 경우 Fig. 8. 그림에 나타난 바와 같이 응집이 효과적으로 일어났으며 응집과 부상에 필요한 시간이 4분 정도로만 족할만한 결과를 보여주었다.

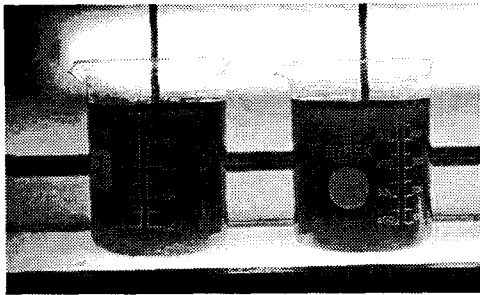


Fig. 6. Coagulation experiment to J company(Japan) coagulant (at pH 8)

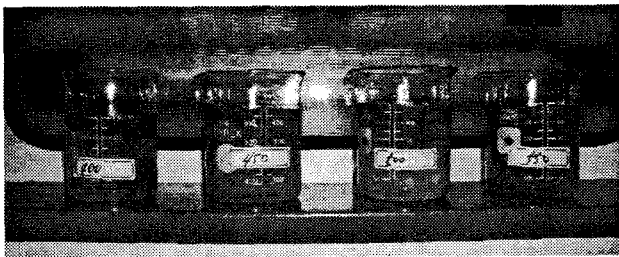


Fig. 7. Coagulation experiment to U company(USA) coagulant (at pH 8)

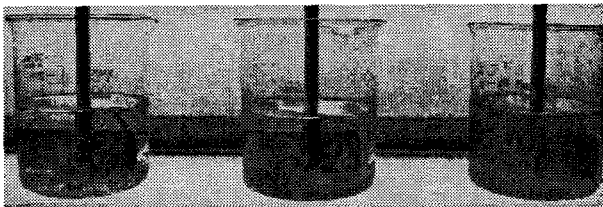


Fig. 8. Coagulation experiment to H company(Korea) coagulant (at pH 8)

위 실험에서 선정된 국내 H사의 제품은 제품자체의 pH가 약 2.6정도의 강산을 띠고 있어서 빌지페수와와의 혼합 후에 응집시키기 위해 pH를 중화시키는 과정이 필요하였다. 가성소다를 이용하여 pH를 조정하면서 실험한 결과 Fig. 9.에 나타난 것처럼 pH 7이하에서는 아무런 변화도 보이지 않았지만 pH가

7에 가까워지면서 응집이 개시되고 pH가 약 9.5정도가 넘으면 응집된 floc이 다시 깨져서 수중으로 분산되었다. 본 실험에서 최적 pH 범위는 약 7.5에서 8.5 사이로 나타났다.

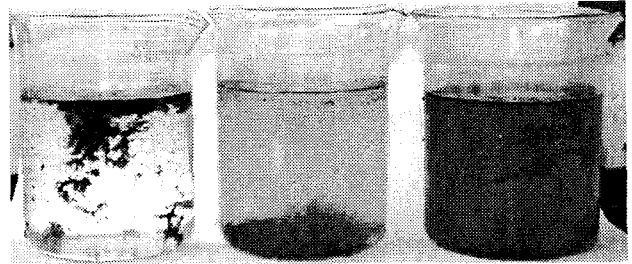


Fig. 9. Coagulation experiment of variation pH field (at pH 8, pH 6 and pH 10)

#### 3.2 pH

pH는 응집이론에서 가장 중요한 부분을 차지하는 환경요인의 하나로 pH에 따라서 Zeta Potential이 변하게 되어 응집에 차이가 나타난다. 응집 효과를 최대로 얻을 수 있는 pH 영역을 찾기 위해 입자들의 Zeta Potential을 Fig. 2.에서 보는 것과 같은 Zeta-Meter를 사용하여 pH에 따라 측정하였다. 그 결과를 Fig. 10.에 나타내었다. pH 7.5~8.5 영역에서 Zeta Potential이 0에 가깝게 나타난 것으로 보아 이 영역에서 응집효과가 가장 클 것으로 생각된다. 특히 해수의 pH가 8 정도이므로 실제 현장에서 이 기술을 적용할 때 효과가 클 것으로 생각된다.

#### 3.3 약품투여량

IMO 규정에 규정된 시험 유체(Test Fluid)의 O/W 에멀전

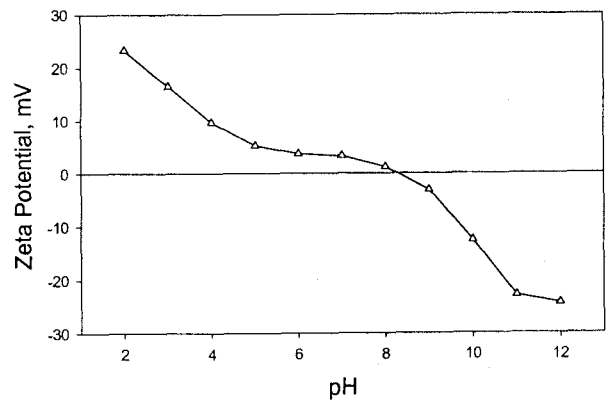


Fig. 10. Variation of Zeta Potential as pH

농도는 3000ppm이고 이를 Bilge Separator에서 처리하여 유출수 중의 유분함유농도가 15ppm 이하가 되도록 해야 한다. 실험실에서 3000ppm의 O/W 에멀전 시료 500ml에 선정된 응집제를 농도별로 투여하고 NaOH를 이용하여 pH를 약 8로 중화한 후 응집 특성을 관찰하였다. 각 농도별로 투여하여 실

험한 결과 500ppm 정도의 농도로 응집제를 투여하였을 경우 가장 응집효율이 높은 것으로 나타났다.



Fig. 11. Coagulation experiment to quantity of coagulant (400ppm, 500ppm)

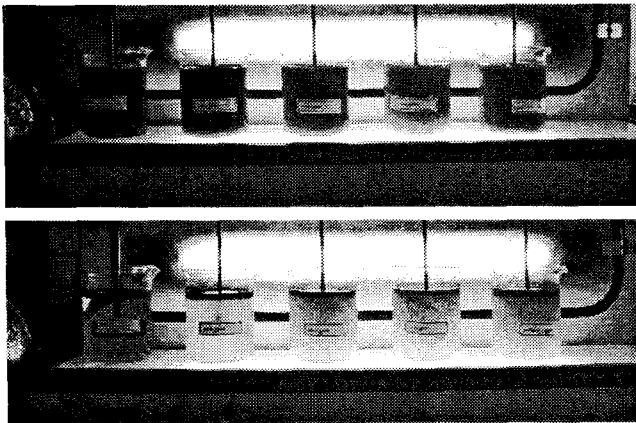


Fig. 12. Coagulation experiment to quantity of coagulant (the bottom - 3 min later from putting coagulant)

### 3.4 부상처리

공기부상과 가압공기부상, CPI 모듈을 이용하여 응집된 플러의 부상 실험을 수행한 결과가 Fig. 13에 나와 있다. 각 공정의 결과 차이를 확인하기 위해 필터링과 역세를 하지 않고 실험을 수행하였다. 실험 결과 용존 공기 부상방법의 처리 효율이 가장 좋게 나타났다. 그러나 충분한 HRT를 확보하지 못한 관계로 처리시간이 길어질 경우 유출수중의 유분 농도가 급격히 증가하는 것을 볼 수 있었다.

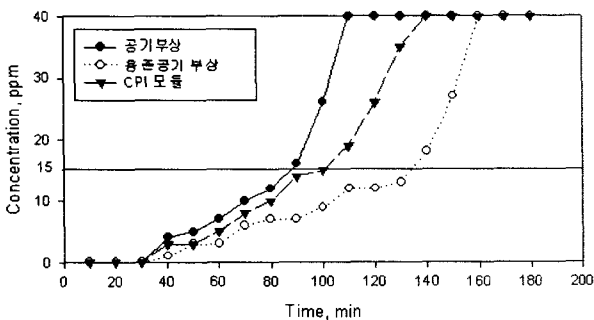


Fig. 13. variation of Oil Concentrations among flotation type

### 3.5 유분 농도

응집제 선정시험과 pH, 약품투여량 선정시험에서 얻어진 결

과를 바탕으로 에멀전 함유 빌지폐수에 응집제를 투입하고 NaOH로 pH를 조정하여 혼합하여 응집시킨 후 CPI 모듈을 이용하여 부상 처리하였다. 부상 처리한 시험수를 3 $\mu$ m 공극의 필터를 사용하여 여과한 후 유출수 중의 유분 농도를 KSMISO 9377-2 탄화수소 오일지수 측정법에 따라 시험한 결과가 Table 2와 Fig. 14에 나와 있다. 3시간동안 장치를 가동하였고 이는 IMO에서 규정하는 Test 시간의 150%로 이 시간 동안 규정에 만족하는 결과를 얻을 수 있었다. 기름과 물의 혼합물을 넣었을 때의 샘플이 A1~A9까지이고 에멀전을 투입하였을 경우가 B1~B9까지이다.

그래프에 나타난 바와 같이 약 40여개의 샘플을 측정해 보았더니 모든 샘플이 IMO에서 정한 배출규정을 만족하는 것으로 나타났다. 비록 Jar Test를 통한 실험이었으나 실험을 통해 선정된 응집제와, 응집조건에 따라 시험하였을 경우 빌지폐수 내의 오일 에멀전은 99%이상 제거되는 것으로 나타났다. 또한 빌지폐수와 응집제, NaOH를 혼합하여 응집 처리할 경우 응집이 일어나는 시간이 짧고 부상도 쉽게 이루어져서 HRT를 충분히 유지할 수 있다면 적당한 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

Table 2. Oil Contents after the coagulation experiment

SAMPLE	Test 1	Test 2
A1	5.42	2.16
A2	4.59	1.66
A3	4.46	1.44
A4	2.24	2.96
A5	2.18	2.84
A6	2.10	2.60
A7	3.27	5.44
A8	3.21	4.24
A9	2.31	3.70
B1	3.80	2.55
B2	3.71	2.17
B3	2.97	1.35
B4	2.44	1.40
B5	2.04	1.35
B6	1.70	1.00
B7	1.84	7.37
B8	1.46	5.82
B9	0.96	5.70

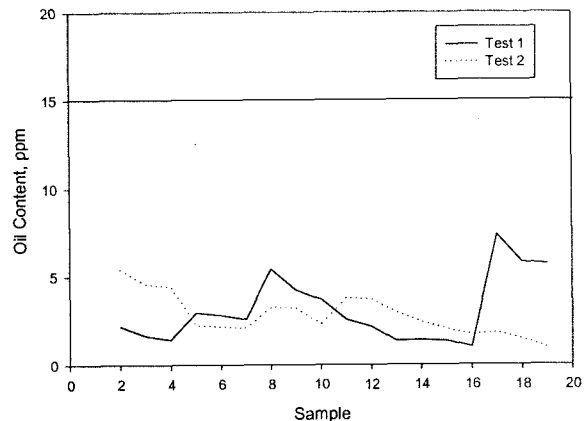


Fig. 14. Oil Contents after the coagulation experiment

#### 4. 결 론

본 연구의 화학적 처리방법에 의한 에멀전 함유 빌지폐수의 처리에 관한 실험결과 현재 IMO에서 규정한 기준에 적합하였다. 제작현장에서 몇 가지 추가적인 요인들만 해결이 된다면 조선시장에서 경쟁력 있는 제품의 개발이 완료될 것으로 생각된다.

##### 1) 응집제 선정

실험실에서의 기초 실험을 통해 본 연구에 가장 적합한 응집제로 국내 H사의 제품을 선정하였다. 국내 H사가 생산하는 응집제의 종류는 수십여 종에 이르나 제조사의 자체 실험을 통해 3가지의 응집제를 추천하였고 이를 바탕으로 Lab. Scale 실험을 통해 최종적으로 본 연구에 적합한 응집제를 선정하였다. 기존 제품을 사용하는 것은 대부분의 Bilge Separator 생산 기업체가 중소기업이므로 응집제를 직접 개발하는 것 보다는 경제적이고 쉽게 응집제를 확보할 수가 있어 훨씬 이득일 것이다. 화학적 방법으로 처리한다는 것이 사용자 측에서 보면 번거롭고 어려운 일일 수 있으나, 현재로는 화학적 처리방법만큼 경제적이고 충분히 원하는 결과를 얻을 수 있는 방법이 없는 실정이다.

본 실험에 사용하였던 응집제는 pH가 2.6정도 이므로 pH 조정을 위하여 가성소다를 주입하고 혼합을 하는 등의 과정들이 추가 되었으나 pH 8 전후로 같은 처리 효과를 가지는 응집제가 개발된다면 pH 조정이라는 번거로운 과정이 없어져 제품 생산 단가 하락을 통해 더 큰 경제력을 가질 수 있을 것이다. 현재 대부분의 조선사들은 외국 제품을 선호하는데 이러한 제품의 대부분은 멤브레인을 사용한 방식으로 장시간 사용이 어렵고 유지비가 많은 단점이 있는데 본 제품이 개발된다면 이러한 외국제품을 대체할 수 있을 것으로 기대된다.

##### 2) 응집 조건의 선정

응집제를 이용한 에멀전 함유 빌지폐수의 처리에서 가장 중요한 인자중의 하나인 pH는 실험결과로 볼 때 pH 8을 전후하여 가장 좋은 시험결과를 나타내었다. 형식승인과정이나 실제 선박에서 빌지폐수는 대부분이 바닷물로서 pH 약 8 전후를 띄고 있어서 pH 조정을 위한 NaOH의 투입량이 적어질 것이다. 응집제의 투입량이 현재로서는 500ppm으로 조금 많으나, 형식승인 시험에서는 유분농도 3000ppm이라는 극한 상황에 대한 시험입에 반하여, 선박에서는 에멀전의 농도가 아주 소량이거나 많더라도 100ppm이상 고농도의 에멀전이 존재하지 않으므로 실제 응집제의 투입량은 훨씬 작아질 것이다.

##### 3) 부상 방법 선정

3가지 부상법을 실험하여 효율적인 측면에서는 용존 공기 부상이 가장 뛰어난 것을 볼 수 있었다. 하지만 용존 공기부상의 경우 따로 가압탱크를 두어야 하고 공기 콤프레서가 필요하여

생산비가 너무 많아서 제품의 가격 경쟁력이 떨어지는 단점이 있었다. 본 연구에서는 생산 기업체의 의견을 받아들여 제작이 간단하고 생산단가가 비교적 적은 CPI 모듈을 이용한 부상법을 적용키로 하였다. CPI 모듈 부상의 경우 효율은 용존 공기 부상에 비하여 조금 떨어지나 꾸준한 처리효율을 유지할 수 있고 생산비가 적게 든다는 장점과 유지가 쉽다는 측면에서 좋은 방법으로 생각된다. HRT를 약 2~3분 정도 늘려 주는 방법으로 용존 공기부상과 비슷한 효율도 얻을 수 있어서 여러 측면에서 볼 때 가장 적당한 방법으로 생각된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] IMO Marine Environment Protection Committee 49th session, Agenda item 22 pp. 13-14
- [2] 박상호, 김인수, 전해처리를 통한 해수의 유해생물 살균 처리, 한국항해항만학회지 제28권 제10호
- [3] 박상호, 김인수, 연속 회분식공정(SBR)을 이용한 선박 오·폐수의 고도처리, 한국항해항만학회지 제29권 제5호
- [4] 임성삼, 송연민, 김도형(2004), 고분자 용액의 여과 특성, 화학공학 제42권 제3호
- [5] 박상원, 김성국, 홍대일(1998), 수용액상에서 부유 미립자의 표면전위와 응집특성에 관한 연구, 한국환경과학회지 제8권 제3호
- [6] 신성혜, 김동수(2002), O/W 에멀전의 응집 거동에 미치는 무기염류의 영향 및 DLVO 이론에 의한 비교분석, 대한환경과학회지 제24권 9호
- [7] 한무영, 송재민, 박상철(2004), 정수처리에서 전기응집과 화학응집의 처리효율 비교, 상하수도학회지 제18권 제5호
- [8] 신성혜, 김동수(2000), 수중 콜로이드성 고형물의 계면화학적 특성 및 영향 인자 조건에 따른 안정성의 변화, 대한환경과학회지 제22권 12호
- [9] 방준환, 박소진, 최왕규, 이근우(2004), 전기여과막 공정에 의한 오일에멀전의 분리에 대한 염 및 계면활성제의 영향, 공업화학 제15권 제8호
- [10] Osipenko, V. D., P. I. Pogorelyi(1977), Electrocoagulation neurocoagulation of Chromium Containing effluent, Metallurgist (English translation of Metallurg, 21:44
- [11] Poter, M. C., Concentration Polarization with Membrane Ultrafiltration, Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Develop., 11(3)
- [12] Chansiri, G., Lyouns, R. T., Pater, M. V., and Hem, S. L.(1999), Effect of surface charge on the stability of oil/water emulsions during steam sterilization, J. Pharm. Sci., 4, 454~455
- [13] Van de Ven, T. G. M. and S. G. Mason(1976), The Microrheology of Colloidal Dispersion-IV, Paris of Interacting Spheres in Sher Flow, J. Colloidal Interface Sci., 57(105)