

# 비이온 계면활성제의 마찰 및 열교환효율 저감 특성 연구

조 성 환<sup>†</sup>, 태 춘 섭<sup>\*</sup>

전주대학교 기계자동차공학과, <sup>\*</sup>한국에너지기술연구원

## Study on the Drag Reduction and Heat Transfer Efficiency Reduction of the Non-Ionic Surfactant

Sung-Hwan Cho<sup>†</sup>, Choon-Seob Tae<sup>\*</sup>

Department of Mechanical and Automotive Engineering, Jeonju University, Jeonju 560-759, Korea

<sup>\*</sup>Building Energy Research Center, KIER, 71-2 Jang-Dong Yusong-Gu, Daejeon 305-343, Korea

(Received August 20, 2006; Revision received December 6, 2006)

**ABSTRACT:** The drag reduction (DR) and heat transfer efficiency reduction (HTER) of non-ionic surfactant according to the fluid velocity, temperature and surfactant concentration were investigated experimentally. For this study, several kinds of new surfactant which contains amine-oxide and betaine were developed. And experimental apparatus equipped with two water storage tanks temperature controlled, pumps, testing pipe network, two flowmeters, two pressure gauges, heat exchanger, and data logging system was built.

Results showed that existing alkyl ammonium surfactant (CTAC) had DR of 0.6~0.8 for 1,000~2,000 ppm in fluid temperature of 50~60°C and had very low DR in fluid temperature over 70°C. And new amine oxide and betaine surfactant (SAOB) had lower DR in fluid temperature of 50~60°C compared with CTAC but in fluid temperature of 70~80°C DR was 0.6~0.8 for 1,000~2,000 ppm.

**Key words:** Drag reduction(마찰저항 저감), Heat transfer efficiency reduction(열전달효율 저감), Surfactant(계면활성제), Pressure drop(압력강하)

### 기 호 설 명

### 하첨자

$P$  : 압력 [Pa]

$T$  : 온도 [K]

### 그리스 문자

$\Delta$  : 차이

$\eta$  : 열전달효율 [-]

$A$  : 첨가제

$c$  : 냉수

$h$  : 온수

$i$  : 입구

$o$  : 출구

$W$  : 물

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-63-220-2663; fax: +82-63-220-2056

E-mail address: shcho@jj.ac.kr

### 1. 서 론

최근에 냉난방에너지 수요가 급증하고 있지만,

환경오염문제가 발생되고 있으므로 청정에너지의 조기 개발이 요구되고 있다. 이러한 상황 속에서 미활용에너지를 효율적으로 잘 회수하여 유효하게 활용하는 지역열공급시스템은 에너지절약화를 위한 해결법으로 큰 기대를 받고 있다.

회수한 열을 온수 및 냉수로 변환하여 지역열 공급 배관망을 이용하는 수송방법이 일반적으로 보급되고 있지만, 온수 및 냉수를 수송하기 위해서는 마찰저항 때문에 펌프동력 등의 에너지가 필요하다. 특히 수송거리가 길거나 양이 많을 경우 이 에너지의 절감이 매우 중요한 과제이다.<sup>(1-2)</sup>

배관의 마찰저항 저감은 난류유동장에 매우 적은 양의 계면활성제를 투입하여 용매만 존재할 경우보다 표면마찰저항을 저감시킴으로써 유체의 유동을 향상시키는 현상이다. 이 마찰저항 저감효과는 모든 유체의 유동조건에서 나타나는 현상은 아니며, 일정속도 이상의 난류유동과 온도범위, 전단력 유무 등의 제한조건이 있다.<sup>(3)</sup>

유체의 관내 마찰저항 저감효과는 탐스효과(Toms Effect)라는 현상으로 알려져 있다. 탐스효과는 난류의 층류화 현상에 의하여 일어나는 것으로 설명되며, 사슬모양의 고분자 물질을 적용하는 경우 고분자 물질이 코일모양으로 변형되거나 서로 연결됨으로써 실모양으로 전환되며, 이들이 난류영역에서 발생하는 유체의 유동변형을 억제하는 효과에 의한 것으로 가정하고 있다.<sup>(4)</sup>

현재까지 대표적인 물의 마찰저항 저감제 물질로 연구되거나 적용성 등의 특성 확보에 이용된 계면활성제 물질은 양이온성 계면활성제 물질이다. 계면활성제 물질은 양이온성, 음이온성, 비이온성 계면활성제로 분리될 수 있으며, 이들 중 안정한 미셀(micelle)의 형성이 가능하고 적용온도범위가 넓은 양이온성 계면활성제가 선택적으로 이 분야의 연구에 적용되어 왔다.<sup>(5)</sup>

대표적인 양이온성 계면활성제로서 특성이 알려져 있는 물질로는 HABON-G와 DOBON-G를 들 수 있다. 이들 형태의 조합은 수용액 내에서 봉상의 미셀을 형성과 안정성을 제공하는 것으로 알려져 있으며, 다양한 양이온 계면활성제 물질과 대응 음이온으로 구성되는 미셀형성 조성과 마찰저항 저감 특성이 알려져 있다.<sup>(6)</sup>

4급 암모늄 염 계면활성제를 적용하는 마찰저항 저감제는 마찰저항 저감효과가 높으며, 고온안정도와 장기시험 등의 현장적용 특성이 우수함

에도 불구하고, 실용화 단계에서 생분해성이 낮고, 미생물에 대한 강한 독성으로 인하여 실질적인 적용에 제한을 받고 있는 실정이다.<sup>(7)</sup>

이에 따라 양이온성 계면활성제에 비하여 환경친화적이며 독성이 낮은 다른 종류의 계면활성제 물질을 적용하는 연구들이 진행되고 있으며, 환경친화적이며 독성이 낮은 계면활성제 물질의 구조와 특성을 제어하려는 기본적인 연구들이 유럽과 일본을 중심으로 진행되고 있다.<sup>(8)</sup>

최근 일본에서는 통산성에서 지원되는 미활용 에너지 고도활용 부하평준화 기술개발의 일환으로 저환경 부하형인 아민옥사이드(AO)계 비이온성 계면활성제 합성연구, DR 효과 평가 및 미셀 구조와 DR(Drag Reduction) 효과의 상관관계 메카니즘 등을 검토하였다. 이를 통하여 DRC-6 및 DRH-4의 본격생산을 향해 기초적인 합성실험을 하고 제조조건을 결정하였다.<sup>(9)</sup>

위와 같이 일부 국가에서 제한적으로 음이온성 계면활성제와 비이온성 계면활성제에 대한 미셀형성 연구는 진행된 바 있으나 안정성과 DR 특성이 확립되지 못한 상태이다. 본 연구에서는 여러 종류의 계면활성제 중에서 환경에 미치는 영향이 적은 비이온 아민옥사이드+베타인계 계면활성제를 개발하기 위하여 새로 합성된 여러 종류의 계면활성제를 대상으로 하여 마찰 저감(Drag Reduction, DR) 및 열전달효율 저감(Heat Transfer Efficiency Reduction, HTER) 효과에 대하여 실험적으로 규명코자 한다.

## 2. 마찰 저감 계면활성제

### 2.1 개요

일반적인 계면활성제의 미셀형성은 이 물질류의 특성일 뿐, 각각의 계면활성제 물질의 경우 안정한 미셀형성이 최적화되어 있지 않다. 따라서, 안정한 미셀이 형성되도록 기존 계면활성제의 화학적 조성 및 구조의 제어가 필요하다.

저독성이며 환경 친화적인 아민옥사이드계, 베타인계, 당계, 글루카마이드계 등이 연구대상이 되고 있으나, 광범위한 구조 및 화학적 변형영역에 대한 DR 효과 평가가 진행되고 있다.

원통형 단일미셀이 형성되기 위한 조건으로 친수성 머리그룹의 크기와 친유성 꼬리부분의 크기

유지가 중요하며, 고온영역에서 미셀의 안정도를 유지하기 위하여 친수성의 크기를 상대적으로 크게 유지할 경우, 머리그룹의 크기도 증가시키거나 크기가 다른 계면활성제를 적용하는 혼합미셀 형성방법을 적용하였다.

이 단계에서 안정한 미셀을 형성시키는 구조 및 조성에 대한 분석을 통하여, 일반적으로 적용되는 C16 범위의 주 계면활성제 물질에 대하여, C12 범위이며 머리그룹의 크기가 상대적으로 작은 비이온성 계면활성제 물질을 부가 적용하여 안정한 미셀을 형성시킬 수 있을 것으로 추정하였다.

2.2 비이온성 계면활성제 선정

본 연구는 고온 및 저온용 물 마찰저항 저감효과를 나타내는 계면활성제의 성분과 성분비를 선정하고 이의 성분의 구성과 구성비가 마찰저항 저감효과에 미치는 영향을 규명하는 목적에 따라, 일반적인 계면활성제 또는 용액 자체의 물리 화학적 특성규명은 시도되지 않았다. 마찰저항 저감효과를 예측하고 계면활성제 조합용액으로부터 직접 측정하기 위하여 Fig. 1과 같은 마찰저항 실험장치를 구축하였다. 배관은 내경 4.2mm SUS 관이며 직관부에 1m 간격으로 두 개의 압력계 (Pressure transducer, Model : PSCD0001KAAG) 를 설치하여 DR을 측정한다. 여기서 DR은 다음과 같이 정의되는데  $\Delta P$ 는 두 압력계 사이의 압력강하이다.

$$DR = \left( 1 - \frac{\Delta P_A}{\Delta P_W} \right) \quad (1)$$

여기서  $\Delta P_A$ : 계면활성제가 있는 경우의 압력강하  
 $\Delta P_W$ : 계면활성제가 없는 경우의 압력강하

본 연구에서는 비이온성의 계면활성제를 도출하고자 다양한 알킬아민옥사이드와 아미노산, 제2계면활성제의 조합과 성분비에 따른 고온 마찰저항 저감효과를 광범위한 적용범위에서 조사한 결과, 알킬아민옥사이드 계열의 물질이 아미노산 구조 안정제 물질과 조합될 경우, 양이온 계면활성제에 비하여 온도범위, 마찰저항 저감효과, 사용농도, 안정성이 매우 우수함을 나타내고 있으며, 최적의 온도범위, 마찰저항 저감효과, 농도 등에 관한 실험자료를 확보할 수 있었다.

Fig. 2에서는 알킬아민옥사이드와 아미노산 제2계면활성제 조합으로 구성된 전형적 고온용 마찰저항 저감제의 최적화 구성에 따른 마찰저항 저감효과를 표준 고온 시험조건에서 비교하였다.

이 실험의 결과는 아미노산 화합물이 고온영역의 물 마찰저항 저감효과를 영향을 미치며, 특별히 고온영역에서 다른 조합이나 아미노산을 적용하지 않는 계에 비하여 아미노산 안정제에 의하여 안정성이 증가하고 있음을 보여준다. 이와 같은 현상은 알킬아민옥사이드 계면활성제로부터 형성되는 미셀이 고온범위에서 아미노산 화합물에 의하여 효과적으로 안정화되고 있음을 의미한다.

알킬아민옥사이드 계면활성제 성분과 아미노산, 알킬베타인의 조합이 고온영역에서 마찰저항 저감효과를 상승시키며 넓은 온도범위에서 안정화시키는 현상은 Fig. 2에 개략적으로 나타낸 바와 같이 혼합계면활성제 물질이 미셀단면 형성단계에서 아미노산 화합물에 의한 개략적인 미셀 표면 안정화 모델에 의하여 설명될 수 있다. 이 선형 미셀의 안정화 모델에서는 알킬아민옥사이드와 알킬베타인은 미셀 내부에서 혼합 가능한 양성 계면활성제 물질로 이용되었으며, 선형 미셀의 표면에서 전하상쇄 효과와 구조 안정화를 유발시키기 위한 구조 안정제 물질로 양성의 전하와 상호

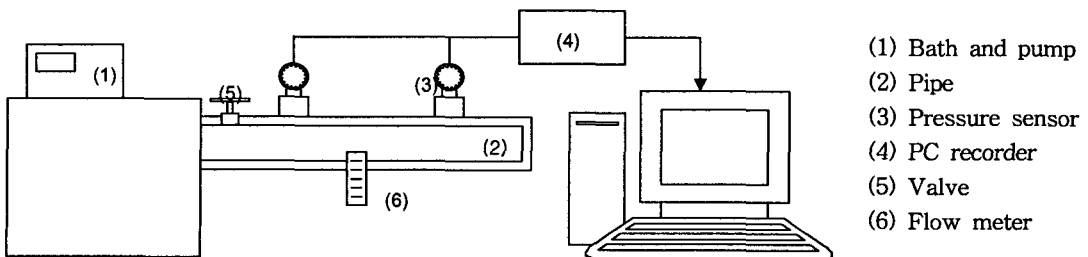


Fig. 1 Schematic diagram of drag reduction measurement.

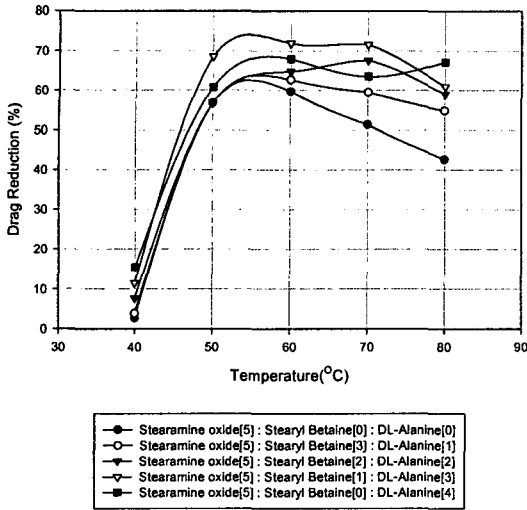


Fig. 2 Drag reduction patterns of stearylamine oxide/sterarylbetaine with aminoacid concentration changes.

작용을 할 수 있는 유사한 양성의 다른 아미노산 등의 물질이 적절하게 작용할 수 있음을 나타내고 있다. 이렇게 아미노산의 +, - 전하가 다른 양성의 전하에 의하여 상쇄될 수 있음을 보여준다.

이상과 같은 방법으로 제1계면활성제를 스테아릴디메틸아민옥사이드로 결정하고, 제2계면활성제와 안정화제의 종류와 농도를 변화시키면서 수십종의 물질에 대하여 DR을 측정, 분석한 결과 Stearyl Amine Oxide와 Betaine을 같은 비율로 혼합한 성능이 우수한 비이온 계면활성제(SAOB)를 개발하였다.

### 2.3 비이온성 계면활성제의 특성

물 마찰저감제 연구개발 분야에서 계면활성제 성분을 적용하는 것은 효과나 안정성, 경제성 측면에서는 매우 적절한 시도로 알려져 있다. 이 단계에서 다른 중요한 문제는 계면활성제가 예측하지 못한 상태에서 유출되어 강이나 호수 등의 주변으로 배출될 수 있기 때문에 환경에 대한 안정성과 독성의 평가가 매우 중요하다. 일반적으로 환경친화형 계면활성제 성분은 생분해성이 일정 기준치를 만족하고 배출량이 소량일 경우 생분해 등에 의하여 환경에 미치는 영향이 생태계에서 감당할 수준을 초과하지 않으면 생활세계의 적용이

심각한 문제로 인식되고 있지는 않으나, 마찰저감제 적용계와 같이 다량의 계면활성제를 포함하는 물이 유출될 경우 그 지역의 미생물이나 식물에 대한 영향이 중요한 적용인자가 될 수 있다.

물 마찰저감제의 특성평가와 구조적 연구 등에 대표적으로 적용되었던 4급 알킬암모늄계 양이온 계면활성제의 경우는 안정성과 마찰저항 저감성능 측면에서는 매우 우수한 화합물로 평가되고 있으나, 양이온 계면활성제의 고유 특성인 생분해성의 어려움과 미생물에 대한 강한 독성이 현장적용상의 문제점으로 지적되고 있다. 마찰저감 계면활성제와 같이 1,000 ppm 이상이며, 계면활성제를 포함하는 물의 총량이 일정 생태지역에서 감당하기 어려운 막대한 양일 경우, 계면활성제 용액의 강한 독성은 극복하여야 할 핵심 문제로 부각된다. 다량의 계면활성제 용액을 집중하여 사용하는 지역 열수송계에 있어서는 유출문제가 심각하게 고려되어야 하며, 유출이 일어날 경우 주변의 토양이나 환경은 고농도의 계면활성제 용액으로 상당 기간 동안 오염될 수 있으며 이 경우 주변 미생물이 소멸될 수 있어 생태계의 미생물 서식 균형이 무너질 수 있는 문제점이 있다. 따라서, 양이온 계면활성제는 적은 총량을 적용하는 열전달계에 선별적으로 적용될 수 있으나, 실제 적용계의 크기가 확대되는 단계에 제한성이 있을 수 있다.

본 연구에서는 일반적으로 미생물에 대한 독성이 강한 것으로 알려진 양이온 계면활성제를 배제하고 알킬아민옥사이드, 알킬베타인, 비이온 계면활성제를 적용하는 마찰저감제의 구성과 특성연구를 진행하였으며, 일부 구성성분과 특정 구성비 영역에서 유동저항 감소효과 발현을 유도하였으며, 적용온도범위와 시간경과에 대한 안정성도 일정수준에 이르는 것으로 밝혀졌다. 여기에서는 알킬아민옥사이드와 베타인의 안전성과 독성에 대한 정보조사를 통하여 이들 계면활성제 화합물의 적용성을 비교하였다. 각 알킬아민옥사이드와 알킬베타인의 안전성과 독성 등의 조사평가에서 알킬그룹에 대한 특성 의존성 관계가 크지 않은 것으로 알려져 있으므로 대표적인 아민옥사이드와 베타인에 대한 조사결과를 비교함으로써 상대적인 안정성과 독성평가를 시도하였다. 라우릴(C12) 디메틸아민옥사이드는 생분해성이 우수한 물질로 알려져 있으며, 급성 독성이 낮은 것으로 분류되어 있다. 대장균에 대한(24시간 37°C) 최소 억제

농도(MIC)값이 약 87 uM/L(24 ppm)로 양이온인 4급 암모늄계면활성제 5ppm 수준에 비하여 미생물에 대한 독성이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 라우릴디메틸베타인의 경우도 생분해성이 우수한 물질로 알려져 있으며, 급성 독성이 매우 낮은 것으로 분류되어 있다. 대장균에 대한(24시간 37℃) 최소 억제농도(MIC)값이 약 290 uM/L(80 ppm)로 4급 암모늄계면활성제 5~15 ppm 수준에 비하여 미생물에 대한 독성이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 두 물질에 대한 세포 변이 원성 평가에서도 세포 형질변화를 유발하지 않는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 알킬아민옥사이드와 알킬베타인 계면활성제 성분이 마찰 저감제 성분으로 적용될 경우, 환경적으로나 생태학적으로 안전성 측면에서 진보된 물질임을 의미한다.

### 3. 마찰 저감 및 열교환효율 저감 실험

#### 3.1 실험장치

본 실험장치는 DR 및 HTER 성능을 실험하는 장치로서 그 개념도는 Fig. 3과 같다. 이 장치는 밀폐형 저장탱크 1개(용량 60 L), 개방형 저장탱크 1개(용량 60 L), 펌프 2대, 성능실험부, 열교환기, 유량계 2개 등으로 구성되어 있다. 그리고 냉동기, 전기히터, 온도제어장치, 차압측정장치, 자료수집장치 등이 부가되어 있다. 저장탱크에는 냉동기와 연결된 냉각코일과 전기히터가 설치되어

필요한 온도를 설정할 수 있도록 하였고, 특히 밀폐형 저장탱크는 질소분위기를 유지하여 산소와의 접촉을 차단하도록 하였다.

물은 저장탱크로부터 펌프에 의해서 실험관 내로 유입되며 이 과정에서 생성될 수 있는 공기를 에어벤트를 이용하여 제거한다. 직관 시험부는 길이 2m, 직경 4.2mm의 SUS관으로 구성되어 있으며 유체가 유동조건을 일정하게 유지하며 시험부를 통과하도록 설계되었다. 직관에서의 DR 특성을 분석할 수 있도록 직관시험부 양단에서의 압력을 측정하는 압력계(Pressure transducer, Model: PSCD0002KAAG)를 설치하였다. 또한 인버터를 이용하여 원심펌프의 회전수를 조절함으로써 유속에 따른 마찰저항 저감 계면활성제의 영향을 측정할 수 있도록 하였다.

그리고, 계면활성제의 첨가에 따른 열전달성능을 측정하기 위하여 판형 열교환기를 설치하고 수온이 서로 다른 양 저장탱크의 물을 유동시킴으로써 계면활성제의 농도, 온도 및 유속의 변화에 따른 성능을 측정할 수 있도록 하였다. 여기서 열전달효율 저감 HTER은 다음과 같이 정의된다.

$$HTER = \left( 1 - \frac{\eta_A}{\eta_W} \right) \quad (2)$$

여기서  $\eta_A$ : 계면활성제가 있는 경우의 열전달효율  
 $\eta_W$ : 계면활성제가 없는 경우의 열전달효율

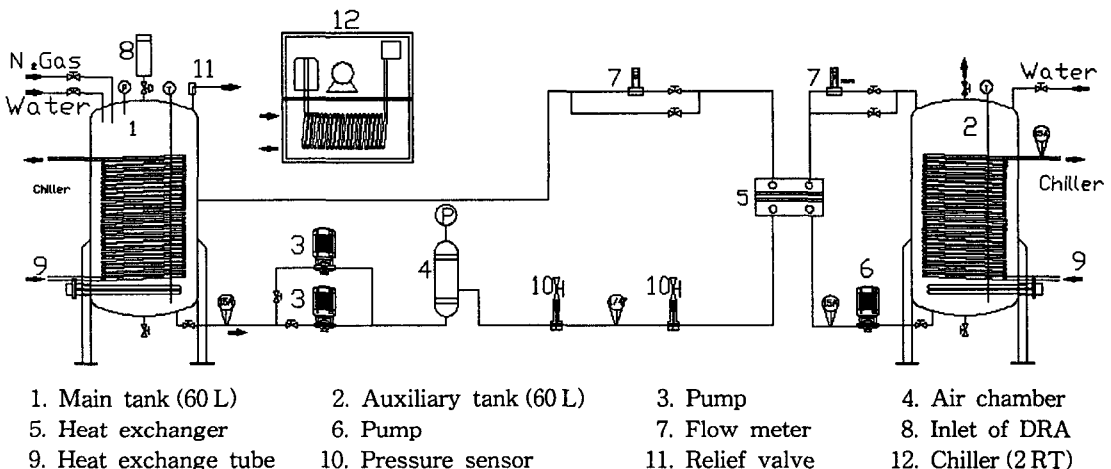


Fig. 3 Diagram of experimental apparatus.

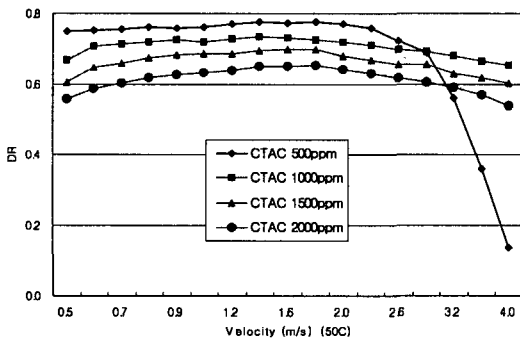
위 식의 열전달효율  $\eta$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\eta = \frac{T_{c,o} - T_{c,i}}{T_{h,i} - T_{c,i}} \quad (3)$$

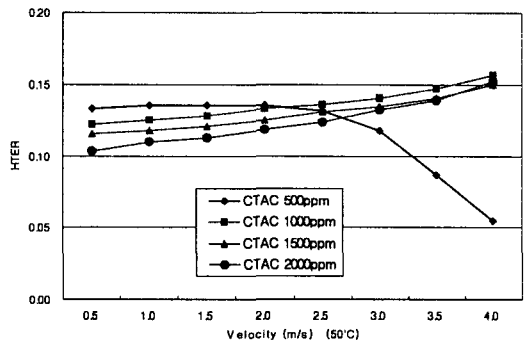
### 3.2 성능실험

마찰저항 및 열교환 성능실험은 유체의 온도, 계면활성제의 종류, 계면활성제의 농도, 배관 직

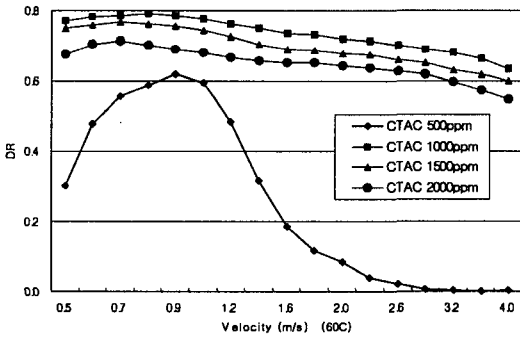
경 등의 특성을 분석하기 위하여 수행되었다. 마찰 저감 계면활성제는 기존의 양이온 알킬암모늄계와 독성이 저감된 비이온 베타인 합성계의 두 종류, 유체의 온도는 50℃, 60℃, 70℃, 80℃, 마찰 저감 계면활성제의 농도는 500 ppm, 1,000 ppm, 1,500 ppm, 2,000 ppm, 유체의 속도는 0.5~4.0 m/s에 대하여 실험하였다. 열교환성능 실험은 유체의 온도, 계면활성제의 종류 및 농도, 유체의 속도 등에 따른 특성을 분석하였다.



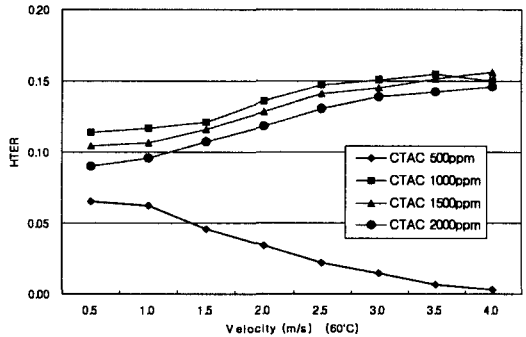
Drag reduction (50℃)



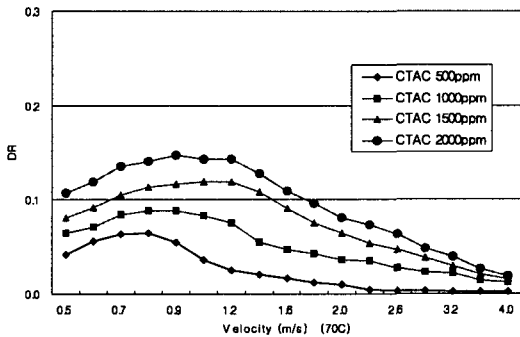
Efficiency reduction (50℃)



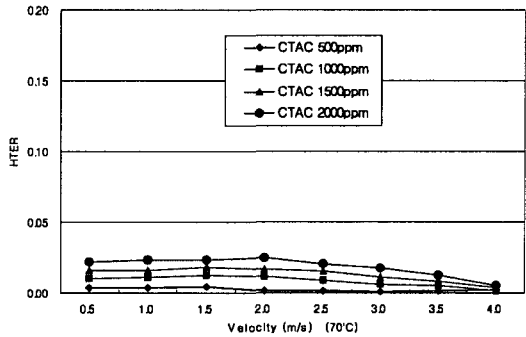
Drag reduction (60℃)



Efficiency reduction (60℃)



Drag reduction (70℃)



Efficiency reduction (70℃)

Fig. 4 DR and HTER of CTAC surfactant.

수집된 성능실험값들은 마찰 저감 계면활성제를 넣지 않은 여과된 수돗물(1기압 15°C에서 용존산소농도는 약 10 ppm)을 이용한 경우의 값들과 비교하였다.

DR 및 HTER 성능실험은 기존에 개발되어 있는 양이온 계면활성제인 알킬암모늄계 1종(CTAC)과 비이온 아민옥사이드+베타인계 계면활성제 1종(SAOB)에 대하여 수행되었다.

(1) CTAC; Cethyl Trimethyl Ammonium Chloride + Na-Salicylate(1 : 1)

(2) SAOB; Stearyl Amine Oxide + Betaine(1 : 1)

### 3.3 결과 및 고찰

#### 3.3.1 알킬암모늄계 계면활성제

새로 개발된 비이온 아민옥사이드+베타인계 계면활성제의 성능을 비교하기 위하여 알킬암모늄계의 마찰 저감 계면활성제로서 CTAC와 Na-Salicylate의 합성용액을 이용하였다.

CTAC에 대한 DR 및 HTER 성능 분석결과는 Fig. 4와 같다. 유체온도 50°C에서는 계면활성제의 농도 1,000 ppm 이상에서 대부분 0.6 이상의 DR을 나타내었고, 60°C에서는 계면활성제 농도 1,000~2,000 ppm에서만 유속 4.0 m/s까지 대부분 0.6~0.8의 DR을 나타냈다. 그러나 70°C 이상에서는 계면활성제 농도에 관계없이 DR이 현격하게 감소하여 그 값이 미미한 것으로 나타났다.

또한 HTER은 유체온도 50°C인 경우 계면활성제의 농도와 관계없이 대부분 0.1~0.15 정도이며, 60°C인 경우는 DR 효과가 양호한 1,000~2,000 ppm에서는 0.1~0.15 정도를 나타냈다.

#### 3.3.2 아민옥사이드+베타인계 계면활성제

환경친화적인 새로운 난방용 계면활성제로서 본 연구에서 새로 개발된 비이온 아민옥사이드+베타인계인 SAOB에 대한 DR 및 HTER 성능 분석결과는 Fig. 5와 같다. 우선 DR을 전반적으로 보면 농도 500 ppm에서는 온도에 관계없이 낮은 DR값을 나타내며, 유체온도가 상승될수록 높은 DR값을 보이고 있다. 유체온도 60°C 이상에서는 1,000~2,000 ppm의 농도에서 유사한 DR값을 보이고 있는데 실제 적용시는 가능한 한 낮은 농도로 시행하는 것이 유리하므로 1,000 ppm이 적절하다고 할 수 있다. 농도가 1,000 ppm 이상인 경우

유체온도 50°C에서는 유속에 따른 DR값의 변화가 심하지만 유체의 온도가 상승할수록 DR값은 유체의 속도에 무관함을 볼 수 있다. 유체온도 70°C 이상에서는 계면활성제의 농도 1,000~2,000 ppm에서 유속에 관계없이 0.6~0.8의 DR값을 나타내어 CTAC 60°C인 경우와 비교하여 DR 성능 측면에서 약간 향상되었음을 알 수 있다. CTAC와 비교하여 농도 1,000~2,000 ppm인 경우 60°C에서는 DR이 약간 낮지만, 70~80°C에서는 DR이 훨씬 양호함을 알 수 있다.

또한 HTER값은 농도가 500 ppm인 경우는 유체온도 및 유속에 관계없이 0부근의 값을 나타내고 있으며 유체의 온도가 상승할수록 HTER은 상승하고 있다. 농도 1,000 ppm 이상에서 유체온도 70°C인 경우 HTER값은 유속에 따라 0.1~0.18을 나타내고, 80°C인 경우 HTER값은 0.12~0.19를 나타내어 70°C 이상에서는 농도에 따른 차이는 거의 없음을 볼 수 있다.

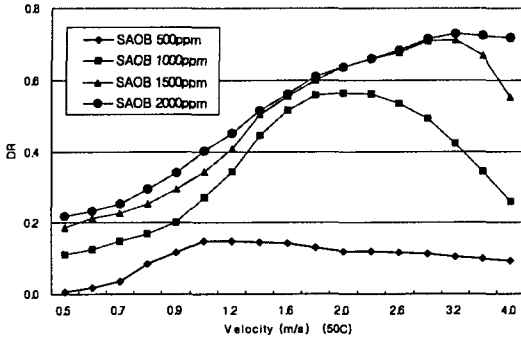
이상으로 새로 개발된 고온수용 마찰 저감제를 사용하여 DR 및 HTER 효과를 검토하였다. 다양한 성분을 조합하고 성능시험을 통하여, 미셀의 미세구조를 안정화하는 단계를 거쳐 고온수에서 최적의 DR 효과를 나타내는 마찰 저감제의 성분 구성을 확보하였다.

기존의 마찰 저감제와는 달리 70°C 이상의 온도범위에서 양호한 DR 성능을 보이고 있으므로 본 연구의 고온수용 계면활성제는 적용성이 우수하다 할 수 있다.

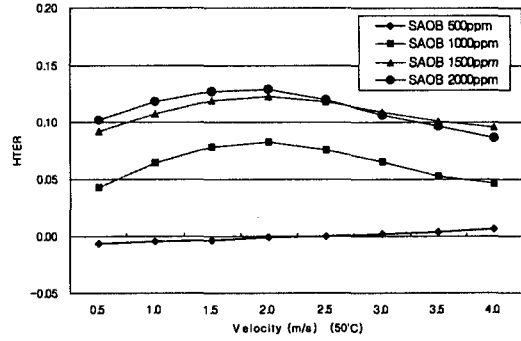
#### 3.3.3 장기성능 측정결과

본 마찰 저감제는 판의 부식에 따라 성능이 크게 저하되는 것으로 나타났다. 이를 방지하기 위하여 방청제 100 ppm을 첨가하였는데, 작은 양이 첨가되었으므로 유체의 물성은 큰 변화가 없을 것으로 판단된다. 시간경과에 따른 매시간별 DR값으로 나타내면 Fig. 6과 같다. 마찰 저감제의 농도는 1,000 ppm, 유체온도는 70°C를 지속적으로 유지하며 900시간이 경과될 때까지 살펴보았다.

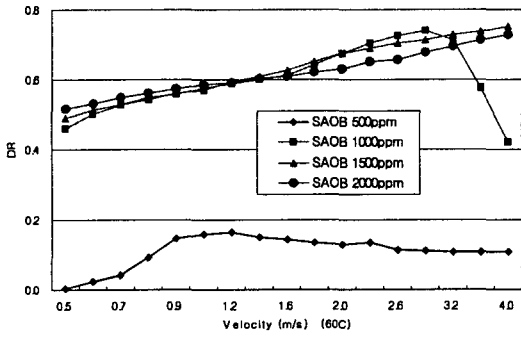
유속은 약 3.3 m/s, 압력강하는 약 45,000 Pa를 유지하고 있으며, 이때의 DR값이 0.7 정도를 나타내었다. 이와 같이 900시간 경과한 후 DR값이 큰 변화가 없음을 알 수 있으므로 방청제 첨가에 따른 환경적인 문제만 해결된다면 적용상의 문제는 없을 것으로 판단된다.



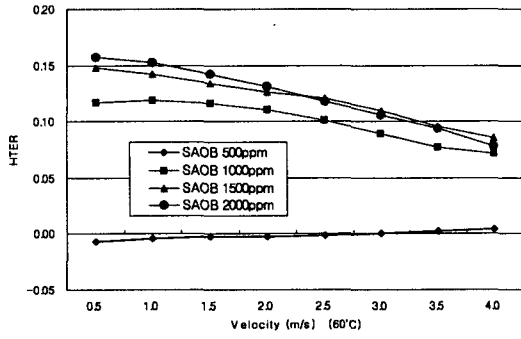
Drag reduction (50°C)



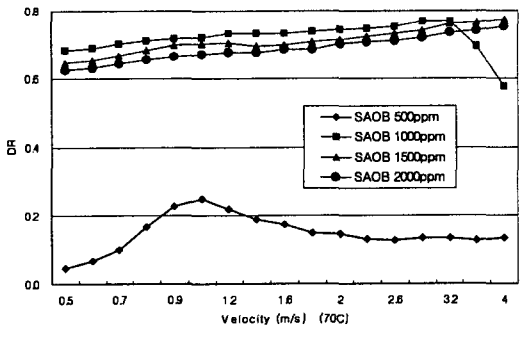
Efficiency reduction (50°C)



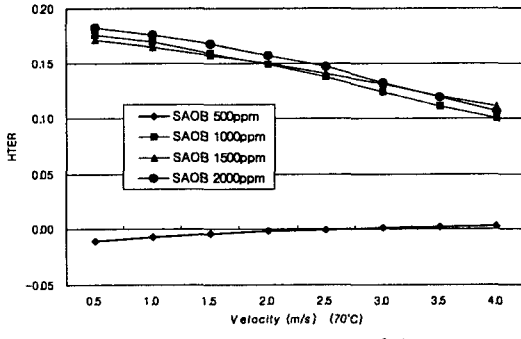
Drag reduction (60°C)



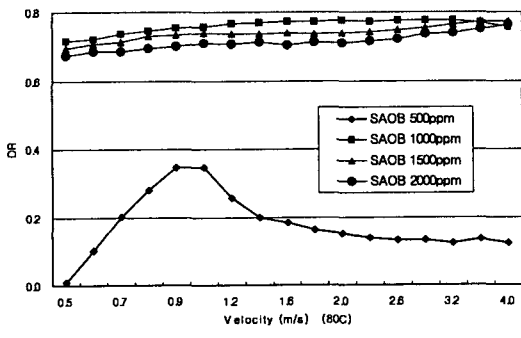
Efficiency reduction (60°C)



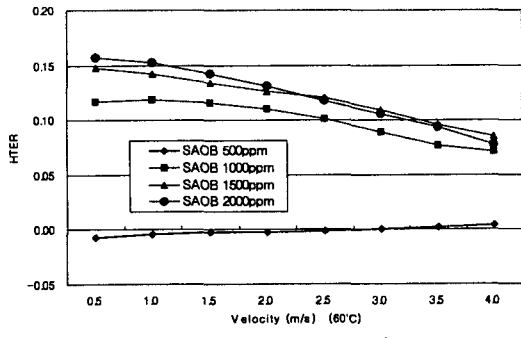
Drag reduction (70°C)



Efficiency reduction (70°C)



Drag reduction (80°C)



Efficiency reduction (80°C)

Fig. 5 DR and HTER of SAOB surfactant.



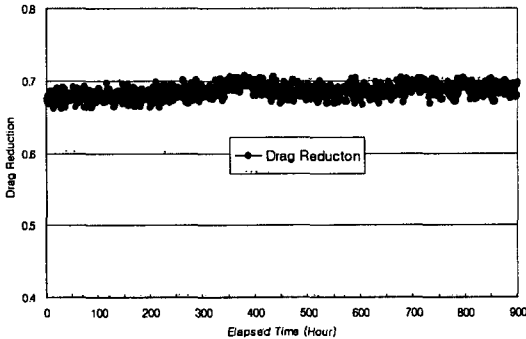


Fig. 6 Result of drag reduction of surfactant.

#### 4. 결 론

장거리 난방배관에서의 마찰손실을 저감시키기 위한 첨가제로서 비이온 아민옥사이드+베타인계 계면활성제를 개발하여 마찰 저감 및 열전달효율 저감성능을 실험한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

(1) 기존의 양이온 계면활성제인 CTAC의 DR은 유체온도 50~60℃, 계면활성제 농도 1,000~2,000 ppm에서 대부분 0.6~0.8을 나타냈다. 그리고 HTER은 유체온도 50~60℃, 계면활성제의 농도 1,000~2,000 ppm에서 대부분 0.10~0.15를 나타냈다. 그러나 유체온도 70℃ 이상에서는 계면활성제 농도에 관계없이 DR 및 HTER값이 미미한 것으로 나타났다.

(2) 본 연구에서 개발된 비이온 아민옥사이드+베타인계인 SAOB의 DR은 유체온도 60℃ 이상이고 농도가 1,000~2,000 ppm에서는 농도에 관계없이 유사한 DR값을 보이고 있다. 유체온도가 70℃ 이상이고 농도 1,000~2,000 ppm에서는 유속에 관계없이 0.6~0.8의 DR값을 나타내어 CTAC와 비교하여 DR 측면에서 약간 향상되었음을 알 수 있다. 그리고 HTER은 유체온도 70~80℃, 계면활성제의 농도 1,000~2,000 ppm에서 유속에 따라 0.1~0.19를 나타냈다.

(3) 실제 적용시 유체온도는 70~80℃, 농도는 가능한 한 낮은 것이 유리하므로 1,000 ppm이 적정하다 할 수 있다.

(4) 기존의 마찰 저감제와는 달리 70℃ 이상의 온도범위에서 양호한 DR 성능을 보이고 있으며

로 본 연구의 고온수용 계면활성제는 적용성이 우수하다 할 수 있다.

(5) 장기적인 성능실험결과 900시간 경과한 후에도 DR값이 초기와 마찬가지로 약 70%를 나타내며 큰 변화가 없음을 나타내었다.

#### 참고문헌

- Sellin, R. H. and Moses, R. T. 1989, Drag Reduction in fluid flows: Techniques for Friction Control, Ellis Horwood Limited Press, Chichester, England, pp. 57-59.
- Hoechst, A. G., 1996, Use of Smooth Water in a One-Pipe, Pulsating District Heating System, pp. 81-85.
- Yoon, S. M., 1998, Characteristics of drag reduction additives in the application of district heating system, Proceedings of the SAREK 1998 Summer Annual Conference, pp. 958-964.
- Kenis, P. R., 1971, J. Appl. Polym. Sci., 15, 607.
- Rose, G. D. and Poster, K. L., 1989, Drag reduction and rheological properties of cationic visco-elastic surfactant formulations, J. Non-Newtonian Fluid Mech., 31, pp. 59-85.
- Lu, B., 1998, Effect of variations in counterion to surfactant ratio on rheology and micro-structures of drag reducing cationic surfactant systems, Rheol. Acta, 37, p. 528.
- Harwigsson, I. and Hellsten, M., 1996, Environmentally acceptable drag-reduction surfactants for district heating and cooling, JAOCS, 73, p. 921.
- Myska, J. and Chara, Z., 2002, The effect of a Zwitterionic and cationic surfactant in turbulent flows, Experimental in Fluids 30, p. 229.
- Research and Development of New Surfactants for High Density Thermal Energy Transportation, Internal report, Touhou Chemical Ind. Ltd., Japan, 1994, pp. 1-58.