에너지공학, 제19권 제2호(2010)
Journal of Energy Engineering, Vol. 19, No. 2, pp. 116~120 (2010)

고온영역에서 계면활성제의 마찰저감 성능 특성에 관한 연구

조성환*† · 유재성 · 정상훈****

*전주대학교, **전주대학교대학원 에너지공학과

(2010년 6월 3일 접수, 2010년 6월 20일 수정, 2010년 6월 25일 채택)

A Study on Characteristics of Drag Reduction Additive under High Temperature Range

Sung-Hwan Cho*†, Jae-Sung Ryu, Sang-Hoon Jung****

**Jeonju University, **Graduate Student of Energy Engineering, Jeonju University*

(Received 3 June 2010, Revised 20 June 2010, Accepted 25 June 2010)

요 약

국내 집단에너지 사업의 대표적인 지역난방시스템은 전체 배관망이 약 3,000 km에 이르고 있다. 이러한 장거리 배관망을 통한 열수송에서는 마찰 저항으로 인해 많은 펌프동력이 필요하게 된다. 효율적인 장거리 열수송을 위한 연구로서 대표적인 방법 중 하나가 마찰저감제를 투입하는 것이다. 이러한 마찰저감제는 파이프 내 표면의 마찰저항을 감소시킴으로써 유체의 유동을 향상시키게 되는 것이다. 본 연구에서는 친환경 계면활성제인 Amine Oxide C_{18}을 이용하여 80~110℃의 온도범위에서 단기간 동안에 마찰저감 특성을 비교하고, 장기간 동안 퇴화현상을 비교 평가함으로써 향후 지역난방 시스템에서 적용 가능성을 평가하기 위하여 지역난방시스템을 축소하여 실험장치를 제작하였다. 마찰저감제를 첨가하지 않은 파이프내의 차압과 마찰저감제를 첨가하였을때의 차압을 비교하여 마찰저감율을 측정하였다. 단기성능 실험결과 마찰저감제는 온도의 영향을 받아 유체의 온도가 높아질수록 마찰저감율이 낮게 나타났다. 80℃의 실험에서 최대 30%의 마찰저감율이 나타났으며, 100℃ 이상에서는 마찰저감율이 감소하여 약 15%의 마찰저감율을 보였다. 장기성능 실험결과 80℃의 실험에서는 1000 ppm 0.8 m/s의 유속에서 마찰저감율의 지속시간이 155시간동안 유지되었으며 온도가 높아질수록 지속시간이 감소하였다.

주요어 : 지역난방시스템, 마찰저감제, 고온영역

Abstract — Overall total length of hydraulic pipe to transport the hot water in the domestic district heating network is above 3,000 Km approximately. This long pipe network requires a lots of the transport pumping power by surface friction of fluid. In this study, the drag reduction(DR) of Amin Oxide C_{18} as non-ionic surfactant according to the fluid velocity, temperature and surfactant concentration under the condition of above 80℃ fluid temperature were investigated experimentally. Results showed that new amin oxide C_{18} surfactant had DR of maximum 30% in fluid temperature of 80℃ and had 15% DR in fluid temperature over 100℃ under short time test condition. And amine oxide had 155 hours duration time to keep the DR characteristic in the fluid temperature of 80℃ and 1000 ppm concentration. But duration time of DR was decreased when fluid temperature increased.

Key words : DHS(District Heating System), drag reduction material, high temperature range

1. 서 론

최근 에너지소비의 증가로 공급과 소비의 부조화가 발생되고 있으며 이에 따라 에너지 가격의 급등이

†To whom corresponding should be addressed.
303 Cheonjam-Ro, Wansan-gu, Jeonju, 560-759, Korea
Tel : 063-220-2663; E-mail : shcho@jj.ac.kr

발생되고 있다. 이러한 에너지 소비의 증가는 환경오염문제 발생의 원인 중의 하나가 되고 있다. 이에 따른 대처방안의 하나로써 집단에너지 사업이 고려될 수 있다. 집단에너지 사업은 효율적인 에너지 이용과 환경 친화적인 시설로 에너지의 효율 측면에서 매우 효과적인 사업 중의 하나이다.

국내 집단에너지 사업의 대표적인 지역난방 시스템은 전체 배관망이 약 3,000 km에 이르고 있다. 이러한 장거리 배관망을 통한 열수송에서는 마찰저항으로 인해 많은 펌프동력이 필요하게 된다. 효율적인 장거리 열수송을 위한 연구로서 대표적인 방법 중 하나가 마찰저감제를 투입하는 것이다. 이러한 마찰저감제는 파이프 내 표면의 마찰저항을 감소시킴으로서 유체의 유동을 향상시키는 역할을 한다 [1-2].

일반적으로 마찰저감제로는 고분자 화합물과 계면활성제가 검토되고 있다. 고분자 화합물에 의한 유동저항 감소는 톰스효과(Tom's effect)라 불리는 난류의 층류화 현상에 의하여 발생하는 것으로 알려져 있다. 톰스효과는 사슬모양의 고분자 화합물이 점성 저층에서 발생하는 난류덩어리를 잘 흡수함으로써 난류의 발달을 억제하는 것에 의하여 발생하는 것으로 알려져 있다 [3-4].

저분자 물질인 계면활성제의 경우는 분자구조가 친수성 그룹과 친유성 그룹으로 구성되어 지는데 특정 농도 이상에서 콜로이드성 화합체인 미셀(Micelle)이 형성되어 마찰저감이 발생되는 것으로 알려져 있다. 이때 미셀의 형상이 봉상(섬유상)인 형태에서 톰스 효과가 잘 발달되는 것으로 알려져 있다 [5-6].

일반적으로 앞에서와 같이 장거리 열수송에 소요되는 수송 동력을 감소시키기 위해서는 계면활성제가 효과가 있는 것으로 알려져 있었다. 그러나 지금까지 이것들이 80℃ 이상의 고온 범위에서 효율적으로 활용되는가에 대한 평가 연구는 없었다. 따라서 본 연구에서는 친환경 계면활성제인 Amine Oxide C_{18}을 활용하여 80~110℃ 온도범위에서 단기간 동안에 마찰저감 특성을 비교하고 장기간 동안 퇴화현상을 비교 평가함으로써 향후 지역난방 시스템에서 적용 가능성을 평가하였다.

2. 마찰저감특성

난방 시스템의 파이프에서 마찰저감제의 첨가여부에 따른 마찰저감율(Drag Reduction)을 나타낸 식은 (1)과 같다.

$$DR(\%) = \left(1 - \frac{\Delta P_A}{\Delta P_W}\right) \times 100 \quad (1)$$

(1)식에서 ΔP_A는 마찰저감제를 첨가한 경우의 압력 강하를 나타내며, ΔP_W는 마찰저감제를 첨가하지 않은 경우의 압력강하를 나타낸 값이다. 이때 D.R의 수치가 높을수록 마찰저감제의 효과가 높은 것을 의미한다.

3. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 마찰저감제의 성능 평가를 위한 실험장치의 사진으로 60 L의 축열조에는 7 kW 전기히터 두 개가 삽입되어있어 120℃까지 가열이 가능하며 55 L의 물을 채운 후 공급온도를 일정하게 유지하였다. 펌프는 3,750 RPM, 0.45 kW 출력의 가변속도 펌프를 사용하여 유량조절이 가능하도록 하였다. 본 시스템에서 배관 부분의 총 길이는 9.5 m이며, 내경이 15 mm인 SUS관을 사용하여 Scale 오염이 최소화 되도록 하였다. 실험장치의 배관부분에 1개의 유량센서와 차압센서를 설치하였다. 이때 유량센서는 KOMETER(KRT-550, 측정범위 0~4 ㎥/hr, 정확도 ± 0.25%) 차압센서는 SIEMENS(SISTRAN-PDS Ⅲ, 측정범위 0.05~5 kgf/㎠, 정확도 ± 0.25)의 제품을 사용하였다. 이와 같은 센서에서 측정된 아날로그 신호들은 데이터로거(Agilent 34970A)를 통하여 수집한 후 디지털 신호로 변환하여 PC로 저장하여 분석하였다.

Table 1에 나타내고 있는 것과 같이 친환경 계면활성제 Amine Oxide C_{18}을 마찰저감제로 사용했으며, 200~1500 ppm 사이의 농도에서 공급수의 온도와 유속을 증가시켜 단기성능 실험을 하였다. 데이터

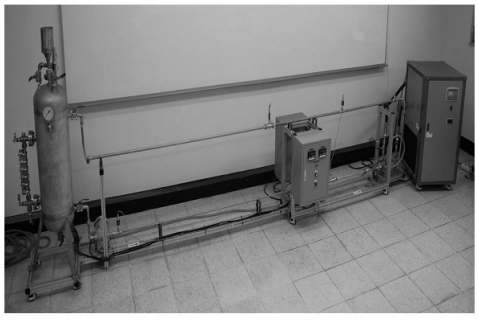

Fig. 1. 1 View of experimental.

Table 1. Experimental conditions.

구분	실험 조건
온수온도(℃)	80/90/100/110
유속(m/s)	0.8/ 1.1/ 1.4/ 1.7
농도(ppm)	200/500/1000/1500
계면활성제	Amine Oxide C_{18}

측정방법은 관내의 차압 변화를 3분동안 1초 간격으로 측정한 후 평균값을 사용하였다. 실험 오차와 센서 오차를 줄이기 위하여 여러 차례 측정된 실험 데이터를 확보하여 분석하였다. 장기성능 평가를 위한 실험 조건은 단기성능 실험과 동일한 마찰저감제를 사용하여 0.8 m/s의 유속에서 공급 온수의 온도를 80~105℃까지 높여가며 퇴화가 발생할 때 까지 파이프내의 차압을 1분 간격으로 측정하였다.

4. 단기성능 실험

친환경 계면활성제인 Amine Oxide C_{18}의 단기성능 특성을 분석하기 위하여 80℃~110℃의 온도에서 농도를 변화시키면서 마찰저감율을 측정하였다. Fig. 2는 80℃의 온도에서 Amine Oxide C_{18}의 농도를 증가시켜 실험한 결과로 그림에서 보는바와 같이 1000 ppm의 농도에서 가장 높은 30%의 마찰저감율이 나타났으며, 200 ppm의 농도에서는 1.4 m/s의 유속에서 마찰저감율이 감소하기 시작하여 1.7 m/s의 유속에서는 마찰저감율이 나타나지 않는 것을 알 수 있다.

90℃의 온도에서 실험한 결과를 보이는 Fig. 3에서는 친환경 계면활성제의 농도에 따른 마찰저감율이 최대 25%로 공급수의 온도가 80℃일 때의 실험보다 마찰저감율이 낮았다. 이때 200 ppm의 농도에서는 80℃의 실험에서와 같이 유속이 증감함에 따라 마찰저감율이 감소하기 시작하여 유속이 최대일 때 마찰저감율이 나타나지 않는 경향을 보였다. 결과적으로 공급수의 온도가 90℃일 때 보다는 80℃일 때 마찰저감율이 높았으며, 200 ppm의 농도에서는 마찰저감율이 유속의 영향을 받는 것으로 나타났다.

Fig. 4는 100℃의 온도에서 마찰저감제의 농도에 따른 마찰저감율을 보여주고 있다. 실험결과 최대 21%의 마찰저감율이 나타났으며, 200 ppm의 농도를 제외한 나머지 농도에서는 마찰저감율이 비슷한 경향을 보였다.

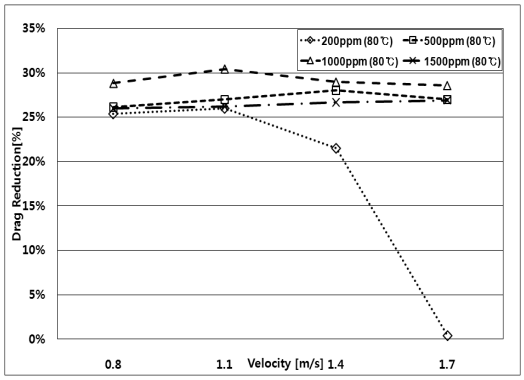

Fig. 2. DR on the variation of concentration in case of 80℃ fluid temperature.

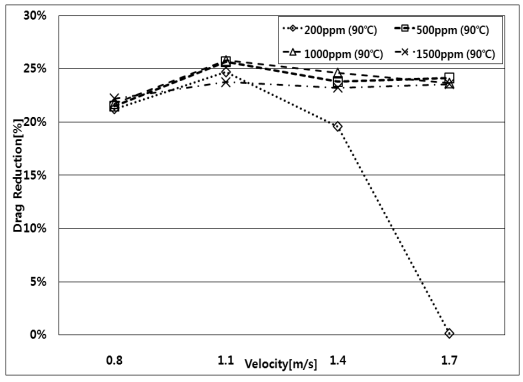

Fig. 3. DR on the variation of concentration in case of 90℃ fluid temperature.

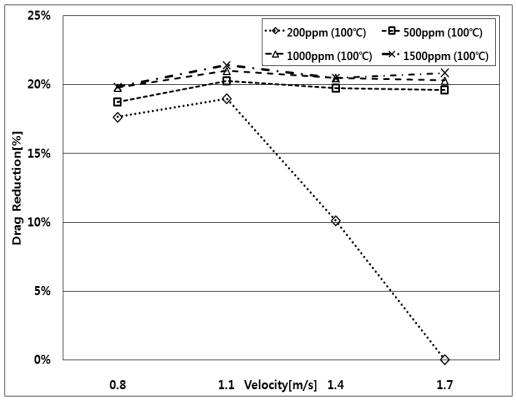

Fig. 4. DR on the variation of concentration in case of 100℃ fluid temperature.

공급수의 온도가 110℃일 때 농도에 따른 마찰저감율을 보여주고 있는 Fig. 5에서는 유속이 증가할수록 마찰저감율이 약간 상승하는 경향을 보였다. 1000 ppm과 1500 ppm의 농도에서는 마찰저감율이 비슷하게 나타났으며, 최대 18%의 마찰저감율을 보였다. 200 ppm

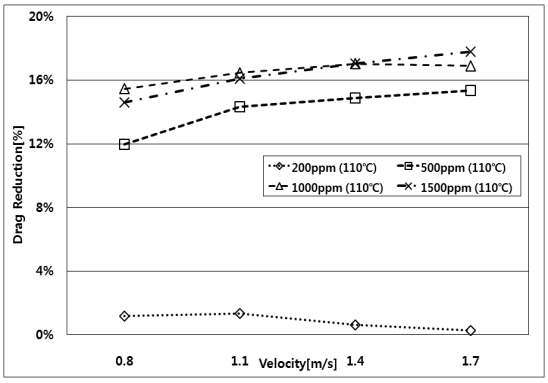

Fig. 5. DR on the variation of concentration in case of 110℃ fluid temperature.

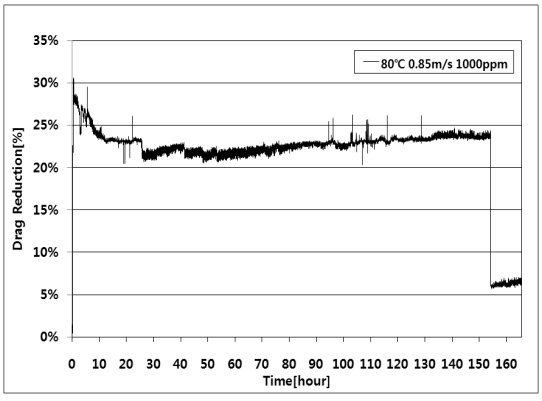

Fig. 6. Long term test in case of 80℃ fluid temperature.

의 농도에서는 마찰저감율이 거의 나타나지 않았다. 이는 온수가 110℃일 경우에는 계면활성제의 열적인 퇴화발생이 빨리 진행되는 것으로 보인다.

4-1. 장기성능 실험

Amine Oxide C_{18}의 장기성능 실험에서는 0.85 m/s의 유속과 1000 ppm의 농도에서 80~105℃까지 온도를 증가 시켜가며 실험하였다. Fig. 6은 80℃, 0.85 m/s, 1000 ppm의 농도에서 장기성능 실험한 결과로 그림에서 보는바와 같이 초기에는 약 28%의 마찰저감율을 보였으며, 시간이 경과하면서 마찰저감율이 서서히 감소하여 23%의 마찰저감율을 유지하면서 약 155시간동안 지속되었다.

Fig. 7은 90℃, 0.85 m/s, 1000 ppm의 농도에서의 실험 결과이며, 약 38시간 동안 마찰저감율을 유지하였다.

Fig. 8에서는 Amine Oxide C_{18}의 마찰저감율 지속시간이 많이 감소한 것을 알 수 있다. 초기에 28%의

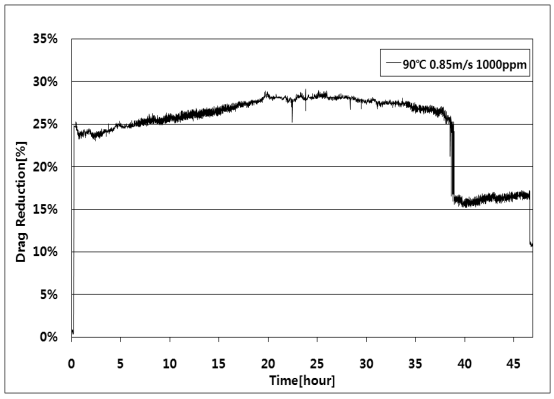

Fig. 7. Long term test in case of 90℃ fluid temperature.

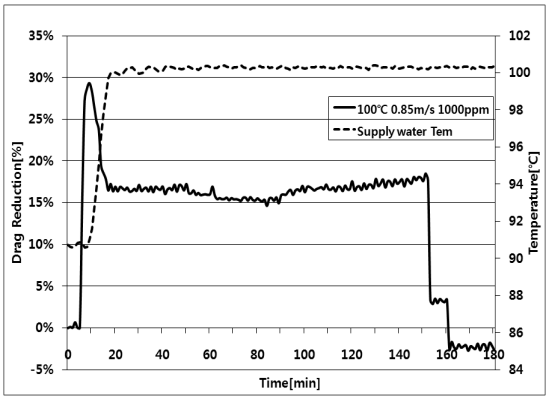

Fig. 8. Long term test in case of 100℃ fluid temperature.

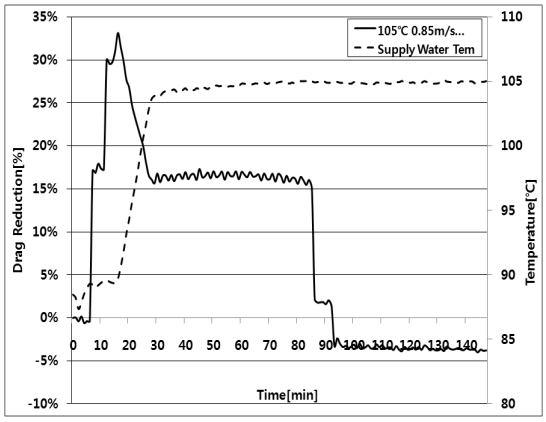

Fig. 9. Long term test in case of 105℃ fluid temperature.

마찰저감율이 나타났지만, 공급수의 온도를 가열하는 과정에서 퇴화가 발생하기 시작해 100℃의 온도에서는 약 17%의 마찰저감율을 보였다. 마찰저감율의 지속시간도 많이 감소하여 약 2시간 20분을 유지한 후 퇴화가 발생하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 9에서 보는바와 같이 105℃에서 Amine Oxide

C_{18}의 마찰저감율은 약 17%로 1시간가량 유지하다 퇴화가 발생하였다.

결과적으로 공급수 온도가 증가할수록 장기간의 마찰저감제 특성이 급속히 저하되는 경향을 나타내었다.

5. 결 론

지역난방 시스템에 마찰저감제를 활용함으로써 수송 동력을 저감할 수 있는 평가를 위하여 친환경 물질인 계면활성제 Amine Oxide C_{18}의 마찰저감 특성에 대해 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 친환경 물질인 계면활성제 Amine Oxide C_{18}은 80℃의 온도에서 1000 ppm의 농도일 때 최대 30%의 마찰저감율을 보였다. 온도가 높아질수록 마찰저감율이 감소하는 경향을 보였으며, 200 ppm의 농도에서는 유속이 증가할수록 마찰저감율이 낮게 나타났다.

(2) 장기간 성능 실험에서는 80℃, 0.85 m/s, 1000 ppm의 농도에서 최대 155시간동안 평균 23%의 마찰저감율이 지속되었지만 온도가 증가할수록 마찰저감율이 급속히 저하되는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 지경부 “광역에너지 이용 네트워크 구축” 과제 - 장거리 열수송 및 저장 최적화 기술의 일환으로 이루어진 것으로 본 연구의 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Lee. et al., Fluid and Heat Transfer Characterization of Surfactant Turbulent Pipe Flows, pp. 982-987 (2006).
2. Seong-Su Kim, Sung-Hwan Cho, Seok-Mann Yoon, Experimental Study on the Drag Reduction & Heat Transfer Ratio in the Circular Pipe with Swirl Generater, Proceeding of SAREK, Vol. 19, pp. 430-435(2008).
3. Lu B. et. al. “Effect of variations in counter ion to surfactant ratio on rheology and microstructures of drag reducing cationic surfactant systems”, Rheol. Acta, 37, 528 (1998).
4. Myska J. and Chara Z., “The effect of a Zwitterioninc and cationic surfactant in turbulent flows”, Experimental in Fluids 30, 229 (2002).
5. Sellin R. H. S. and R. T. Moses, Drag Reduction in fluid flows: Techniques for Friction Control, Ellis Horwood Limited Press, Chichester, England (1989).
6. S. M. Yoon et al, Characteristics of Drag Reduction Additives in the Application of District Heating System, Proceedings of the SAREK 1998 Summer Annual Conference, pp. 958~964 (1998).