

밀폐계 유동시스템내에서 고분자물질의 퇴화에 관한 실험적 연구

차 경 옥* · 김 재 근**

An Experimental Study on the Degradation of Polymer in Closed Flow System

K. O. Cha · J. G. Kim

Key words : Drag Reduction(마찰저항감소), Polymer Concentration(고분자 수용액), Mechanical Degradation(기계적퇴화), Thermal Degradation(열적퇴화), Pressure Drop(압축강하), Non-Boiling(비비등)

Abstract

This study is to investigate the effect of a substantial drag reduction caused by the polymer(A611P) when the working fluids flow to the vertical direction in the vertical cylindrical equipment of closed flow system. The drag reduction is associated with the mechanical degradation, thermal degradation and heat transfer. By ignore the heat flux within the closed system, the pressure drop due to the polymer concentration, the flow velocity and flow time have been measured. By taking into account the mechanical and thermal degradation in the closed system, an experiment has been focused on the determination of the condition which could improve the pump capacity in the heat union electric power plant. Under the condition of non-boiling, it has been found out that the change of heat flux has little influence on the drag reduction.

서 론

유체수송 시스템으로부터 에너지 절약이라는 관점에서 펌프 동력을 감소시킬 수 있는 방법이 연구의 대상으로 간주되어왔다. 특히 유체를 수송할 때 에너지 절약에 가장 밀접한 인자 중 하나인 압력강하 측면에서 많은 연구가 수행되고 있다. 그

동안 연구결과에 의하면 압력강하를 감소시킬 수 있는 방법은 미세 고체입자, 섬유입자, 합성고분자, 합성무기고분자, 계면활성제, 생물학적첨가제 등을 혼합하여 유동시키는 방법이 있으며, 이중 소량의 수용성 고분자를 유체 내에 용해시켜 물성치 변화를 일으키지 않고 난류저항을 감소시키는 방법이 가장 효과적이라고 알려졌다.¹⁾ 그러나 여러

* 명지대학교 기계공학과(원고접수일 : 99년 7월)

** 신성대학 자동차제일

고분자물질의 특성을 파악하지 않은 상태에서 현상학적인 접근을 하였으므로 실용화시키는데는 어려움을 지니고 있다. 한편 유체에 고분자물질을 첨가시켰을 때 유동 저항을 현격히 감소시킬 수 있다는 연구가 대부분이다. 또한 수용성 고분자물질을 물에 용해시켜 인장력, 전단력 등의 특성을 규명하기 위한 연구가 일부 레올러지학자 및 고분자공학자들에 의해 수행되어 왔다.⁽²⁾⁽³⁾ 고분자 수용액을 유동시키면 고분자물질의 퇴화는 필연적으로 발생되므로 이를 배제하기 위해 대다수 연구는 개방계에서 수행되었으며⁽⁴⁾⁽⁵⁾ 기계적 퇴화에 대한 연구도 일부는 수행되었다.⁽⁶⁾

밀폐계 시스템으로 구성된 각종 열교환기 및 열병합 발전소에서 난방시스템이라든지, 원유수송 네트워크 등 많은 산업 기기에서 유체를 수송할 때 펌핑동력에 막대한 비용이 소요되지만, 이처럼 수송관로에서 저항을 보다 효과적으로 감소시킬 수 있는 방법이 개발된다면 에너지절약 차원에서 매우 중요한 역할이 될 뿐 아니라 적용분야도 더욱 넓어질 것으로 예측할 수 있다. 그러나 비뉴턴유체의 난류유동시 난류 형성과 고분자물질의 동력학에 대한 이론이 미흡한 상태로서 이를 정량화 한다는 것은 매우 어려운 실정이다. 또한 지금까지 대다수의 마찰저항감소에 관한 연구는 주로 고분자수용액의 특성퇴화를 무시하고, 수송관을 수평관 개방계를 사용하였다.

본 연구는 밀폐계 수직원관 내에 순수 수용액과 고분자 수용액을 각각 수직상향에서 유동시켰을 때 저항 감소현상을 실험으로 수행하여 에너지를 얼마만큼 절약 할 수 있는가를 규명하고자 하며, 한편 고분자 수용액의 기계적 퇴화와 열적 퇴화를 실험을 통하여 분석함으로써 유동장에 주기적인 고분자물질을 투입하여 지속적인 저항 감소 효과를 취할 수 있도록 하는 것이 목적이다.

2. 관련이론

2. 1 고분자물질의 퇴화

고분자물질의 퇴화는 고분자 체인 내에서 결합이 끊어지고, 화학반응에 의해 물리적 성질이 변화

하는 현상을 말한다. 고분자물질의 퇴화종류는 개시반응의 형태에 따라 열적 퇴화, 기계적 퇴화, 화학적 퇴화, 생물학적 퇴화 등으로 구분할 수 있다.

본 연구에서는 고분자 수용액 중에 가해진 기계적 힘에 의해서 기계적 퇴화와 열적 퇴화가 주로 발생한다. 이때 기계적 퇴화는 비화학적 퇴화로서 고분자에 가해진 응력에 의한 것으로 예상된다. 기계적 퇴화는 고분자 체인(chain)이 주위 분자간의 미끄러짐(enthalpy relaxation)에 의한 것과 체인 구조의 변화로 화학결합이 끊어지는 것이다. 고분자물질이 기계적인 힘을 받았을 때 화학결합이 끊어지기 위한 임계조건은 하나의 고분자에 저장될 수 있는 탄성에너지의 양과 고분자 물질의 변형을 받은 상태가 지속되는 시간에 의존하며, 가해진 에너지가 결합해리에너지(bond dissociation energy)보다 크게 될 때 화학결합은 끊어지게 된다. 이와 같이 유동장에서 고분자첨가제에 의해 발생하는 난류 마찰저항 감소현상은 고분자 물질에 의한 기계적 퇴화 발생으로 지하시킨다. 이때 밀폐계에서 작동유체의 유동시간이 경과함에 따라 집진적으로 기계적 퇴화는 가속화되어 저항감소 현상을 저하시키는 중요한 원인이 되고 있다.

2. 2 마찰저항의 감소현상에 따른 방정식

일반적으로 난류유동에서 점탄성유체의 마찰계수는 뉴턴유체의 마찰계수보다 적게 관찰되고 있다. 그러나 마찰저항 감소율은 한계가 있다. 이 마찰저항이 최소가 되는 한계를 나타내는 선을 최소 저항 접근선이라고 한다. 이 접근선은 겉보기점성에 바탕을 둔 레이놀즈수(Re_a)와 무차원 길이(L/D)만의 함수이지만 완전 발달된 난류유동에서는 오직 레이놀즈수만의 함수가 된다. Virk⁽⁷⁾에 의하면 최소저항 접근선은 다음과 같은 식으로 표시된다. 즉

$$\frac{1}{f} = 19.0 \log(Re_a \sqrt{f}) - 32.4 \quad (1)$$

Cho등⁽⁸⁾은 실험적 연구를 통해서 위 식을 보다 간략하게 다음과 같이 정리했다. 즉

$$600 < Re < 6,000 \text{ 일 때, } f = 0.20 Re^{-0.46} \quad (2)$$

그러나 최근에 고분자물질의 종류, 농도, 분자량, 퇴화의 정도, 용해의 화학적 성분 등은 변수들에 의해 난류 마찰성능에 미치는 파라메타들로서 이들 영향을 설명하는데 사용되는 무차원 변수는 Weissenberg수이다. 이것은 유체의 특성(λ)과 유동의 특성시간(D/V)과의 비(ratio)로 정의되며 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$W_s = (\lambda V) / D \quad (3)$$

또한 완전히 발달된 난류의 마찰계수는 아래와 같다.

$$W_s < W_{sc} \text{ 일 때, } f = F(Re_a, W_s) \quad (4)$$

여기서 W_{sc} 는 최소저항 점근선에서의 임계 Weissenberg수이다. 식(4)는 Weissenberg수가 임계값보다 작을 경우 난류의 마찰계수는 Re_a 와 W_s 의 함수임을 타내며, 반대로 Weissenberg수가 임계값보다 클 때의 난류의 마찰계수는 오로지 Re_a 만의 함수가 된다. 집탄성 물질의 구조방정식(constitutive equation)에는 여러 가지가 있지만 그 중에서 관유동의 연구에 주로 사용되는 것이 Powell-Eyring의 식이다.

$$\eta = \eta_{\infty} + (\eta_0 - \eta_{\infty}) (\sinh^{-1} \lambda \gamma) / \lambda \gamma \quad (5)$$

여기서 η_{∞} 는 무한 전단율 점성계수이며, η_0 는 영전단율 점성계수이다. 식(5)으로부터 λ 를 실험적으로 구하면 식(3)으로부터 W_s 를 계산할 수 있다. 본 연구에서는 압력강하 실험결과를 이용하여 마찰저항 감소율에 대한 식을 다음과 같이 정의했다. 즉

$$D.R(\%) = \frac{\Delta P_{NP} - \Delta P_{AP}}{\Delta P_{NP}} \times 100 \quad (6)$$

여기서, ΔP_{AP} 와 ΔP_{NP} 는 유체 중에 고분자를 첨가했을 때와 첨가하지 않았을 때 시험부에서 계측한 압력강하이다.

3. 실험장치 및 방법

3. 1 실험장치

Fig. 1은 본 실험에서 사용한 실험장치의 개략도이다. 이 실험장치에서 순환회로는 수식관 시험

부의 내부에 기-액 2상류가 유동할 수 있도록 제작하였다. 실험장치는 공기압축기, 압력조절탱크, 압력조절기, 기-액 혼합부, 공기 및 물속도 계측부, 원심펌프, 기-액 분리탱크, 순환수 저장탱크, 시험부로 구성하였다. 액상의 순환회로에서 순환수 저장탱크내의 물을 용량이 3마력인 부식방지용 내산스테인레스 원심펌프에 의해서 순간유량계를 통과한 후 시험부로 유입시켰다. 또한 공기압축기에서 분사된 공기는 압력조절기에 의하여 일정한 압력을 조절된 후 순간 유량계를 통과하고 기-액 혼합부를 거쳐 시험부로 유입시켰다. 시험부를 통과한 2상류는 기-액 분리탱크에서 분리된 공기는 대기로 방출시킨 후 순환수를 저장탱크에 저장시키므로 일련의 순환회로를 완료시킨다. 이때 원심펌프와 순간유량계 사이에는 배수관을 순환수 저장탱크와 연결하였으며, 공기분사기와 압력조절기 사이에 공기저장탱크를 설치하여 압력파동을 안정화시킬 수 있도록 하였다. 공기와 순환수 유량은 시험부의 입구로부터 소정의 유동양식이 형성할 수 있도록 관로에 장치한 게이트 밸브로 각 상의 유량을 조절하였다. 각 상의 걸보기 속도계측용 순간유량계는 원심펌프와 공기압축기에서 각 상의 최대걸보기속도를 계산함으로써 그 범위에 유량계를 선정하였으며, 유량계의 보정은 단위시간당 관내에 흐르는 체적유량으로 검증하였다.

본 실험에서 사용한 액상의 작동유체는 물과 고분자수용액으로서 용량이 200L용량인 순환수 저장탱크에 저장하였다. 작동유체의 초기온도를 27°C로 일정하게 유지하기 위하여 기-액 혼합부와 공

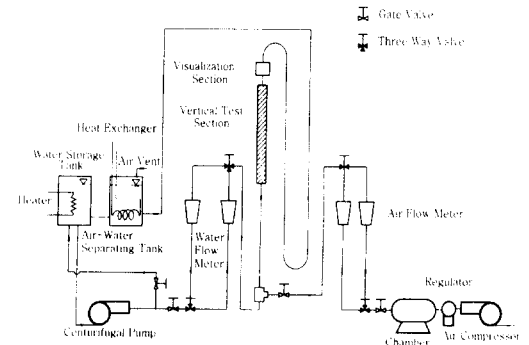


Fig. 1 Schematic diagram of the flow facility

기지장탱크사이의 유동 관로에 500W 열량의 레이프 가열기를 슬라이더스로 조절하여 소정의 온도로 예열시킨 후 공기분사기를 통해 시험부로 유입된다. 탱크내의 순환수는 3kW 열량의 가열기에 의해 예열된 후 펌프에 의해 기-액 혼합부를 거쳐 시험부에 유입시켰으며, 실험 중 작동유체의 온도 상승은 동관으로 제작한 열교환기를 순환수 저장탱크 내에 설치하여 조절하였다. 본 실험장치에서 가시화부를 제외한 모든 관은 부식을 방지하기 위하여 스테인레스관을 사용하였으며, 실험장치에서 열손실을 방지하기 위해 1300°C까지 견딜 수 있는 두께 25mm의 세라코울(CerakWool) 단열재를 사용하여 단열시켰다.

그 동안 선행된 연구에 의하면 저항을 감소시키기 위한 첨가제인 수용성 고분자물질은 PAA(Polyacrylamide)와 PEO(Polyethyleneoxide)이지만 밀폐계에서는 기계적 퇴화로 인하여 그 효과가 매우 낮았으나, 합성 고분자인 A611P(Co-polymer) 고분자물질은 저항감소 효과가 다수 우수하다고 규명된 연구^{(9), (10)}가 있었다. 그러나 분자량이 많은 고분자물질이 저항감소 효과가 우수하다는 연구결과가 있어 본 연구에서는 A611P 보다 분자량의 수가 평균 200만개가 많은 합성 고분자 물질인 A601P를 사용하였다. A601P는 분자량의 수가 1,600만~1,800만개로 구성되어 있으며, 다수의 레올리지학자들에 의해 실험적으로 shear-thinning 유체임이 제시되었다.^{(11), (12)}

3. 2 시험부 및 실험방법

Fig. 2는 시험부를 도시한 것으로 시험부는 내경 24mm, 두께 3mm, 길이 1,200 mm인 관을 사용하였다. 수직관 시험부는 기-액 혼합부로부터 1,400mm(L/D=58.3) 떨어진 위치에 설치하였고, 시험부 입·출구 1,100mm사이에서 차압계측구멍을 직경 3mm로 뚫어서 스트레인지이지 형식의 차압용 압력변환기(Druck, model PDCR 120/ WI.)를 장착하고 압력강하를 계측하였다. 이때 압력변환기의 측정범위는 ±35kPa이며, 최대·최소 압력차에 해당하는 허용주파수는 10.5kHz이나 압력강하를 계측해 본 결과 차압신호는 2kHz이하 이므로 압력변환기의 주파수응답 특성은 충분함을

확인하였다. 온도변화에 따르는 오차는 0~50℃ 범위 내에서 0.1%이내이다. 압력변환기에 의해 검출된 차압신호는 차압지시계(Druck, model DPI 260)에 의해 차압측정치를 디지털로 직접 나타내며 아날로그 신호는 A/D변환기(Dantek, model DAS-1600)로 입력시켰다. 계측된 신호가 정확한지를 가시적으로 판단하기 위해 A/D변환기 전단에 오실로스코프를 설치하고 관찰하였다. 이렇게 A/D변환기로 입력된 신호는 퍼스널 컴퓨터에 의해 최대 4,096개의 신호를 받아들여 저장시켰다. 입력된 신호는 프로그램에 의해 처리되어 프린터를 통해서 출력시켰다. 가열부는 길이가 800mm로서 특수 단열 박스를 제작·설치 하였다. 시험부에 열유속 변화는 C1카타리지 히타에 의한 전기적인 방법으로 최대열량은 15kW로서 TPR(thyristor power)장치를 이용하여 전력을 조절하였다. 시험부의 연결부는 열의 방출을 막기 위해 백크라이트로 플랜지를 제작하여 사용하였으

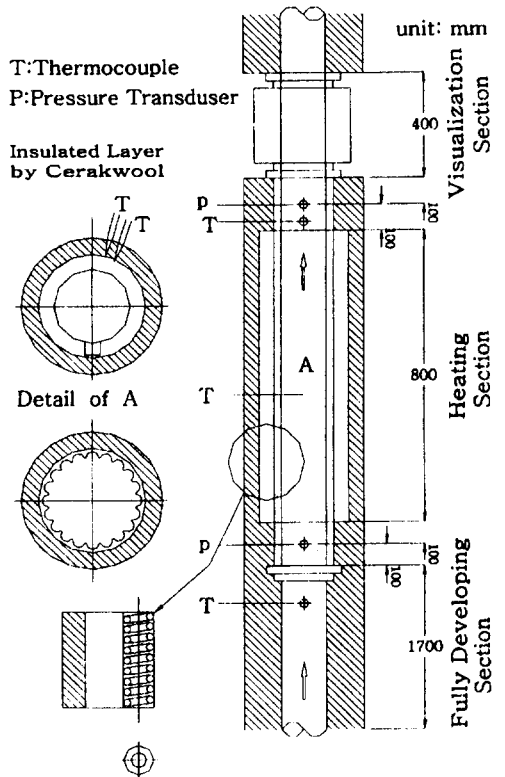


Fig. 2 Test section

며, 시험부에서 작동유체의 체적온도(bulk temperature)측정은 입구부와 출구부에서 T형 열전대로 계측하였다. 가열부의 온도구배 측정은 시험부의 입구로부터 축방향으로 지점 460, 560, 660mm에 반경방향으로 120° 간격에 K형 열전대를 설치하여 검출하였다.

4. 실험결과 및 검토

4. 1 저항감소와 기계적 퇴화

Fig. 3은 본 실험에서 사용한 고분자물질 A601P와 기존 밀폐계 실험장치에서 저항감소효과가 매우 우수한 것으로 판명된 A611P의 저항 감소효과를 비교 도시한 것이다. 고분자수용액의 유동조건은 순수수용액의 레이놀즈수와 동일하게 하고 순수수용액에 농도를 50ppm, 100ppm, 200ppm, 300ppm으로 첨가하여 각각 유동시켰을때 압력강하를 계측하고 이를 저항 감소율로 환산하여 도시한 것이다. 그림에서 농도가 동일할 경우 A611P수용액에 비해 A601P수용액이 저항감소효과 더 우수함을 볼 수 있다. 이때 두 물질의 물성치 차이점은 A601P가 A611P보다 분자량이 평균 200만개 더 많다. 따라서 분자량이 큰 고분자물질이 저항감소 효과가 좋음을 알 수 있다. 농도와 상관없이 실험시간 경과에 따른 저항 감소율은 초기시간에 다

소 급격히 감소되나 실험을 시작하여 30분이 경과한 후에는 30분 이전에 비해 미소한 감소현상을 볼 수 있다. 이는 밀폐계를 순환하는 고분자수용액은 실험장치중 펌프 및 유로의 형상 등에 의한 기계적 퇴화가 실험초기 시간에 다소 급속히 발생하지만 약 30분이 경과한 후에는 기계적 퇴화의 정도가 미소함을 알 수 있다. 이러한 기계적 퇴화가 진행됨에도 불구하고 $Re=3.0 \times 10^4$ 에서 농도가 300 ppm일 때 실험시작 후 30분이 경과한 후에도 최대 약 50%이상의 저항 감소율을 유지하고 있음을 알 수가 있다. 산업기계의 대다수는 밀폐계로 구성되어 있기 때문에 이와 같은 밀폐계 내의 작동유체에 물성치 변화를 거의 주지 않는 A601P와 같은 고분자물질을 첨가한다면 유체수송에 있어 펌핑동력을 크게 절감할 수 있게 된다. 그러나 유동장내 기계적 퇴화로 인해 저항 감소율을 지속적으로 유지하기 어려운 단점이 있으나 이를 보완하기 위해 유동장내 간단한 고분자물질의 첨가장치를 설치하고, 시간에 따라 고분자물질을 주기적으로 첨가한다면 이런 단점은 충분히 해소할 수 있다고 예측된다.

Fig. 4는 열을 가하지 않은 상태에서 A611P 고분자물질과 A601P 고분자 수용액의 농도가 200ppm일 때 $Re=3.4 \times 10^4$ 로 일정하게 유지하고, 시간에 따른 저항 감소율을 로그 좌표로 표시

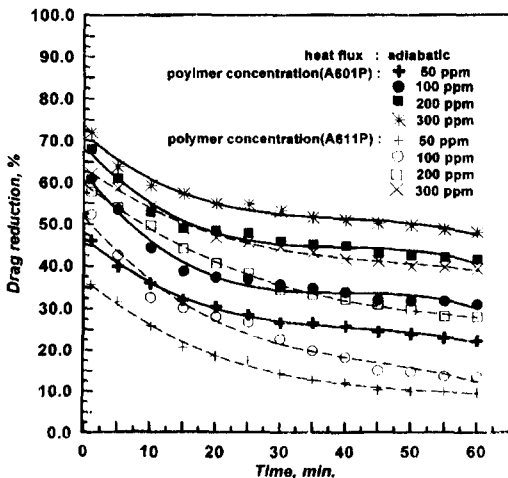


Fig. 3 Comparison of drag reduction for polymer kinds at $Re=3.0 \times 10^4$

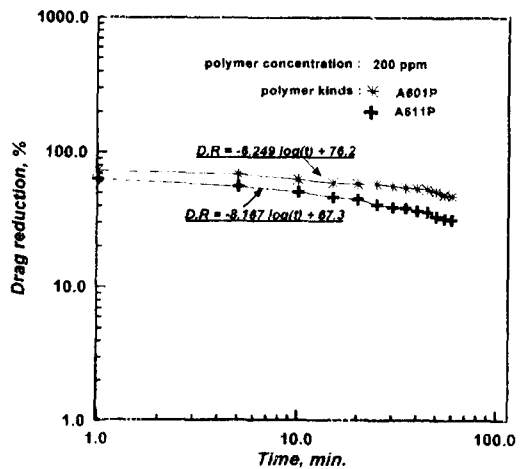


Fig. 4 Correlation of time versus drag reduction for polymer kinds

하여 상관 관계를 비교 도시한 것으로서 저항 감소율(D.R.)에 대한 곡선의 방정식은 다음과 같이 표시된다.

$$D.R. = - 8.167 \log(t) + 67.3 \quad (8)$$

$$D.R. = - 6.249 \log(t) + 76.2 \quad (9)$$

여기서 t는 유동시간을 나타낸다.

고분자 수용액은 유동시간에 따라서 기계적 퇴화가 발생하는데 A611P의 경우 유동시간 $\log(t)$ ^{8.167}에 비례하여 감소되며, A601P의 경우는 $\log(t)$ ^{6.249}에 비례하여 감소함을 볼 때 A601P 수용액이 A611P 수용액 보다 기계적 퇴화의 정도가 작음을 알 수 있다. 따라서 밀폐계에서 저항감소재료는 A601P가 A611P보다 우수하다고 할 수 있다. 또한 유동시간에 따른 기계적 퇴화를 고려하여 밀폐계 시스템에 고분자물질을 주기적으로 유동장에 첨가한다면 지속적으로 저항감소 효과를 유지할 것으로 예측된다. 또한 고분자 수용액 첨가장치는 매우 단순하게 구성할 수 있으므로 실질적으로 모든 유동장에서 막대한 에너지를 지속적으로 축적할 수 있다고 예상된다.

4. 2 저항감소와 열적 퇴화

Fig. 5~6은 $Re=3.4 \times 10^4$ 이며, A601P수용액

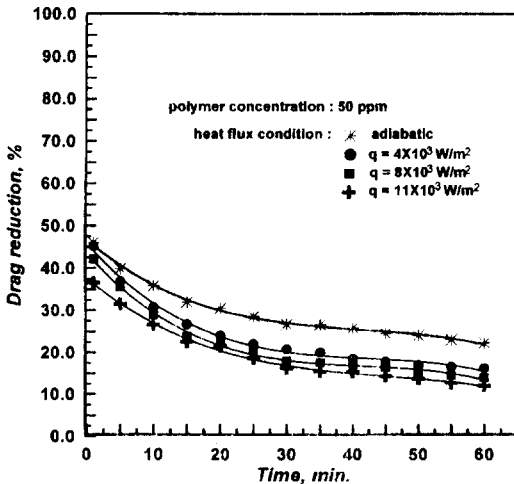


Fig. 5 Drag reduction versus time for heat flux at polymer concentration of 50ppm, $Re=3.0 \times 10^4$

의 농도가 50ppm과 200ppm일 때 열을 변화시키며 유동시간에 따른 저항 감소율을 도시한 그림이다. 이때 열을 가하지 않았을 경우와 열을 가했을 때 저항감소율을 비교 도시한 것으로, 열을 가하지 않았을 경우는 시간에 따라 기계적 퇴화만 발생한 것이나 열을 가하면 기계적 퇴화와 열적 퇴화가 동시에 복합적으로 발생한 것이다. 열을 가하지 않았을 경우보다 열을 많이 가할수록 저항감소율이 현격히 감소되고 있음을 알 수 있는데, 이는 열적 퇴화에 의한 것으로 판단된다. 농도가 50ppm의 고분자수용액이 시험장치를 순환한지 30분이 경과했을 때 열유속 변화에 따른 저항감소율의 감소치를 보면 열을 가하지 않았을 경우보다 열유속이 $4.0 \times 10^3 \text{ kW/m}^2$ 일 때 5.87%가 감소되었으며, $8.0 \times 10^3 \text{ kW/m}^2$ 일 때 8.66%가 감소되었다. 또한 $11.0 \times 10^3 \text{ kW/m}^2$ 일 때 10.38%가 더 감소되었다. 이와 같은 수치는 단지 열적 퇴화로 기인한 것으로 판단된다. 한편 $Re=3.0 \times 10^4$ 이며, 농도가 200ppm일 때 살펴보면 $4.0 \times 10^3 \text{ kW/m}^2$ 일 때 3.03%가 감소되었으며, $8.0 \times 10^3 \text{ kW/m}^2$ 일 때 5.45%가 감소되었으며, $11.0 \times 10^3 \text{ kW/m}^2$ 일 때 10.15%가 더 감소되었다. 이와 같은 결과로 볼 때 고분자 수용액의 경우 열적 퇴화는 농도가 낮을수록 민감함을 확인하였다. 따라서 열병합 발전소의 지역난방수와 같은 유동장에서는 고분자물질의 농도를 가급적 높일수

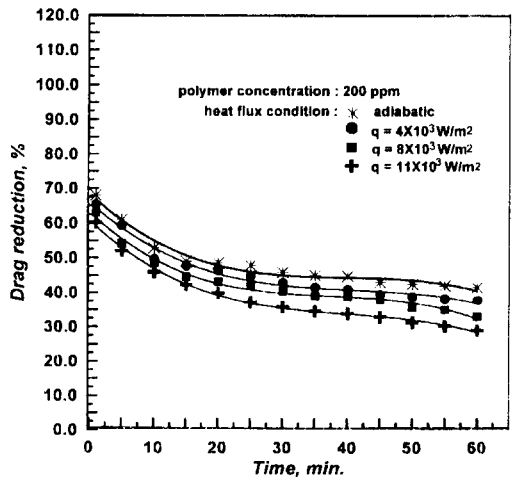


Fig. 6 Drag reduction versus time for heat flux at polymer concentration of 200ppm, $Re=3.0 \times 10^4$

록 열적 퇴화에 의한 저항감소율에 대한 감소치를 극복할 수 있을 것으로 판단된다. 이때 농도를 높인다 해도 고분자물질의 가격이 매우 저렴하므로 그 경제성이 좋을 것으로 판단된다. 본 실험장치에 고분자 수용액의 농도가 200ppm을 유동시킨 지 30분이 지난 후 실험의 최대 조건인 열유속 $11.0 \times 10^3 \text{ kW/m}^2$ 에서도 펌핑동력이 약 35%정도 절감된다는 점에서 매우 효과적임을 알 수 있다.

Fig. 7은 $Re=3.0 \times 10^4$ 이며 고분자 수용액의 농도가 200ppm일 때 시간에 따른 퇴화치를 도시하였다. 이때 퇴화치의 정의 식은 다음과 같은 식으로 산출하였다.

$$Degradation(\%) = D.R_{1분} - D.R_{유동시간} \quad (10)$$

여기서 $D.R_{1분}$ 과 $D.R_{유동시간}$ 은 고분자 수용액을 유동시킨 후 1분이 경과했을 때와 계속시간에 따른 저항감소율을 의미한다. 위의 식에서 산출된 퇴화치는 열을 가하지 않았을 때 고분자 수용액을 실험장치에 유동시킨 지 1분이 경과했을 때의 저항감소율을 기준으로 하여 유동시간 경과에 따른 저항감소율과의 차이를 퇴화치로 정의한 것으로 열을 가하지 않았을 경우의 퇴화치는 기계적 퇴화만을 의미하나 열을 가했을 때 퇴화치는 기계적 퇴화와 열적 퇴화가 복합적으로 공유한 퇴화로 판단된다. 이 그림으로부터 열을 가하지 않은 상태의

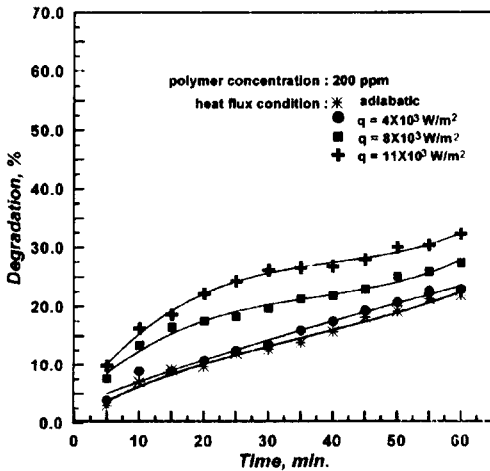


Fig. 7 Degradation versus time for heat flux at polymer concentration of 200ppm, $Re=3.0 \times 10^4$

퇴화치보다 열을 많이 가할수록 퇴화치가 커지는데 이 차이를 열유속에 의해 발생된 퇴화로 간주된다. 일반적으로 열을 증가할수록 그 차이는 열유속이 가장 큰 $11.0 \times 10^3 \text{ kW/m}^2$ 일 때 유동시간 30분 이전에는 퇴화치가 급격히 증가하지만 30분 이후는 비교적 완만함으로 퇴화의 임계점에 임하고 있음을 예측할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 밀폐계 수직상향 유동장에서 고분자물질에 의한 저항감소현상과 기계적 퇴화와 열적 퇴화를 실험적으로 연구하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 밀폐계 원관내로 A601P수용액을 수직 상향 유동시킬 경우 순수수용액에 비해 유동 저항이 현저하게 감소됨을 규명하였다. 따라서 동일 펌프의 동력으로 A601P수용액을 수송시킬 경우 순수수용액에 비해 단위시간당 배출 유량이 증가되기 때문에 유동 시스템을 소형화시키는데 크게 기여할 수 있을 뿐 아니라 유체 수송비용을 크게 절감할 수 있다.
2. 레이놀즈수가 일정할 때 기존 밀폐계 시스템에서 저항감소 효과에 관한 선행된 연구에서는 A611P고분자물질이 매우 우수한 저항감소소재로 확인하였으나, 분자량이 A611P보다 더 많은 A601P고분자물질이 더욱 우수한 저항감소재임을 실험을 통하여 확인하였다. 이는 앞으로 레올로지학자들이 이점을 고려하여 고분자물질을 개발한다면 저항 감소효과는 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 예측된다.
3. 밀폐계에서 저항감소 효과는 기계적 퇴화와 열적 퇴화와 밀접한 관계가 있음을 관찰하였다. 또한 기계적 퇴화를 고려한 저항감소율을 유동시간과의 상관 관계식을 개발하였다. 따라서 고분자 수용액 첨가장치는 매우 단순하게 구성할 수 있으므로 실질적으로 모든 유동장에서 막대한 에너지를 지속적으로 축적할 수 있다고 예상된다.

참고문헌

1. Sellin, R. H. J. Hoyt, J. W. and Scrivener, O. 1982, "The Effect of Drag REduction Additives on fluid flows and Their Industrial Applications. Part 1 : Basic Aspects.", J. Hydraulic Res. Vol. 20. No.29, pp. 235~292
2. de Gennes, P. G., 1990, "Introduction to Polymer Dynamics." Cambridge University Press, pp.34~54.
3. Tung, T. T. Ng, K. S. and Hartnett, J. P. 1978, "Influence of Rheological Property Changes on Friction and Convection Heat Transfer in Viscoelastic Polyacrylamide Solution.", in Proc. 6th Intl. Heat Transfer Conference, Vol. 5 pp. 329~333, Hemisphere Publishing Co., Washington D. C.,
4. Golda, J., 1986, "Hydraulic Transport of Coal in Pipes with Drag Reduction Additives.", Chem. Eng. Comm. Vol. 43, pp. 53~67
5. Burger, E. D., Chom, L. G., and Perkins, T. K., 1980 "Studies of drag reduction conducted over al broad range of pipeline condition when flowing prudhoe bay crude oil," J. Rheol., Vol. 24, pp. 603~626
6. Durst, F. Schmit, K. and Brunn, P. O., 1989 "The Critical Shear Stress and Degradation of Polymer Additives in Turbulent Pipe Flow.", 4th Int. Conference on Drag reduction, Davos, Switzerland
7. Choi, U. S. Cho, Y. I. and Kasza, K. E., 1987, "Screening and Degradation Tests of Linear-Polymer Additives for District Heating Applications." Report of Argon Notional Laboratory, ANL--87--49
8. Virk, P. S. Mickley, H. S. and Smith, K. A. 1970, "The Ultimate Asymptote and Mean Flow Structure in Toms' Phenomenon", Transactions of the ASME, Vol.92, No.2. pp. 488~493
9. Cha, K. O. and Kim, J. G., 1996, "A Study on the Drag Reduction with Polymer Additives. "SAREK, Vol.8, No.2, pp. 198~207
10. Cha, K. O. and Kim, J. G., 1996, " A Study on the Drag Reduction for Horizontal Two-Phase Flow", KSME, Vol. 20, No. 4, pp. 1470~1480
11. Kalashnikov, V. N., 1994, "Shear-rate Dependent Viscosity of Dilute Polymer Solutions.", The Society of Rheology, Vol. 38, No. 5, pp. 1385~1403
12. Mizunuma, H and Kato H., 1988, " Influence of Polymer Additives on Transitional Plane Poiseuille Flow. : , J. JAME Vol. 31. No. 2, pp.209~217

저 자 소 개



차경옥(車京玉)

1945년 1월생. 1972년 한양대학교 기계공학과 졸업. 1977년 단국대학 대학원 기계공학과 졸업(석사). 1984년 동대학원 졸업(박사). 1981년부터 현재 명지대학교 기계공학과, 교수, 당학회 회원



김재근(金在根)

1964년 10월생. 1989년 명지대학교 기계공학과 졸업. 1991년 동대학 대학원 기계공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 졸업(박사). 1997년부터 신성대학 자동차계열, 전임강사, 당학회 회원