

〈論 文〉

CWM 관수송의 저항 감소현상에 있어서 고분자첨가제의 퇴화 영향에 관한 연구

송창환* · 김종보** · 김인석*** · 최형진****

(1992년 5월 16일 접수)

The Effects of Polymer Degradation on the Drag Reduction in CWM Transport

C.H. Song, C.B. Kim, I.S. Kim and H.J. Choi

Key Words : Drag Reduction(마찰 저항 감소현상), Polymer Additives(고분자첨가제), Mechanical Degradation(기계적 퇴화), CWM(Coal Water Mixture)

Abstract

A significant drag reduction in the turbulent flow of CWM(Coal Water Mixture) adding minute amounts of high molecular weight polymer additives has been obtained and it was compared with pure CWM. However, the rate of drag reduction could come down with flow time, which is caused by polymer degradation. The rate of drag reduction and polymer degradation is affected by polymer type, concentration, molecular weight, and flow velocity. In the present investigation, these important parameters were evaluated for their influences on polymer degradation in order to find out stable conditions for CWM transportation with time. It was necessary to determine the more effective type of polymer additives to guarantee the optimum conditions for CWM transport. Experiments were undertaken with a test section of pipe diameter 9.8 mm and pipe length 3500 mm(L/D=357) in a closed loop, and polyacrylamide and Polyethylene oxide were utilized as polymer additives. The tests were carried out under the conditions of 200, 400, 700 ppm of polymer concentrations. CWM concentrations utilized were 5% and 10% with flow velocities of 4.9 m/s and 6.1 m/s. Experimental data show that polyethylene oxide degraded faster than polyacrylamide in CWM transport, and polyacrylamide is considered to be a more effective candidate as additive for long time-CWM transport. Polymer degradation is also found to be more likely at lower polymer concentrations, at higher flow velocities, and higher CWM concentrations.

기 호 설 명

C_c	: CWM 농도 [%]	D	: 파이프 직경 [mm]
C_p	: 고분자 농도 [ppm]	DR	: 마찰저항 감소율 [%]
		f	: 마찰계수
		L	: 파이프 길이 [mm]
		$PAAM$: 폴리아크릴아마이드
		PEO	: 폴리에틸렌 옥사이드
		Re_a	: 겔보기 레이놀즈수

*퍼시픽 컨트롤즈(주)

**정회원, 인하대학교 기계공학과

***정회원, 명지대학교 기계공학과

****인하대학교 고분자공학과

- V : 유속 [m/sec]
 ΔP_p : 고분자를 첨가했을때의 압력강하
 [kg/cm²]
 ΔP_s : 고분자를 첨가하지 않았을때의 압력강하
 [kg/cm²]

1. 서 론

고체연료인 석탄을 액체연료와 유사한 방법으로 사용하려는 시도로서 출발한 CWM(coal water mixture)은 석탄과 물의 혼합물로 60-70%의 석탄을 함유하고 있는 연료이며 고체-액체 서스펜션으로 특히 물에 비하여 점도가 높고 비뉴톤 유체의 성격을 띠고 있다.^(1,2) 최근 CWM이 유류의 대체 연료로서 각광을 받으면서 그 활용에 관한 관심이 증가하고 있으나, 기존 교통수단을 이용한 수송방법은 경제적인면이나 환경오염 등의 문제점을 가지고 있기 때문에 액체연료화한 CWM의 관을 이용한 수송방법은 이러한 문제점들을 해결하여 줄 수 있으며, 실제로 관을 이용한 CWM의 원거리 수송은 길이가 265 km인 소련의 Belovo-Novosibirsk coal slurry system의 경우에서 이미 그 실용성이 입증되고 있다.^(3,4) 그러나 CWM의 원거리 수송에는 높은 동력의 펌프와 큰 직경의 관이 요구되므로 이러한 시스템의 설치와 유지에는 큰 비용과 에너지가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 수송에 따른 CWM의 유동성을 증가시켜주기 위하여 고분자첨가제(polymer additives)에 의한 마찰저항 감소현상(drag reduction)을 CWM의 경우에 적용하였다. 고분자첨가제에 의한 마찰저항 감소현상이란 유체가 난류상태로 매끈한 원형관을 흐를때 분자량이 매우 높은(약 $10^5 \sim 10^7$) 고분자첨가제 극소량을 유체에 첨가시켜 줌으로써 유동 중의 난류를 억제시켜 마찰저항을 감소시키고, 그로인하여 수송에 필요한 펌프의 용량을 대폭 줄여줄 수 있으며, 단위 시간당 유량의 증가효과는 관직경의 감소효과로도 활용할 수 있다. 고분자첨가제에 의한 마찰저항 감소현상은 용매로 물을 사용하였을 경우에는 80% 이상까지 마찰저항 감소효과를 주는 것으로 보고되고 있다.⁽⁵⁾

이와 같은 고분자첨가제에 의한 마찰저항 감소현상의 연구는 1948년에 B.A.Toms⁽⁶⁾가 소량의 폴리메틸메타크릴산(polymethyl methacrylate)을 모노클로로벤젠(monochlorobenzene) 속에 용해시켜

난류 상태로 원관 내를 흐를때 순수한 용매에 비하여 동일 유량에서 현저한 저항감소를 발생시킨다고 보고한 이후, P.S. Virk를 비롯한 다수의 연구자^(7~11)에 의하여 다각적인 연구가 이루어져 왔다. 그러나 이러한 마찰저항 감소현상을 실제로 산업화하는데는 심각한 문제점이 동반되는데, 그것은 바로 마찰저항 감소율이 유동시간 경과에 따라 점차로 줄어들어 초기 마찰저항 감소율과는 현저한 차이를 나타낸다는 것이다. 그러한 현상은 난류저항을 감소시켜주는 고분자첨가제의 기계적 퇴화(mechanical degradation)가 그 원인이며, 효과적인 마찰저항 감소율을 얻기 위해서는 주기적으로 고분자첨가제를 계속하여 투입해 주어야만 한다. 결국 경제성을 고려해 볼때, CWM의 원거리 수송에 있어서도 고분자첨가제의 기계적 퇴화가 마찰저항 감소를 일으키는 유동에 미치는 영향에 대한 구체적인 연구의 필요성이 있다.

유동시간이 경과함에 따른 고분자의 기계적 퇴화에 관한 연구는 Tung 등^(12~13)에 의해서 연구되어졌으며, Cho와 Hartnett 등^(14,15)은 수용액에서 Polyethylene oxide와 Polyacrylamide의 기계적 퇴화에 관하여 비교하여 연구하였다. U.S. Choi 등^(5,16)은 온도변화에 따른 고분자의 기계적 퇴화와 열적 퇴화에 관하여 연구하였고, 특히 1985년에 J. Golda⁽¹⁷⁾는 입자의 크기가 2 mm 이상인 석탄을 혼합한 Coal Water Mixture에 50 ppm에서 440 ppm까지의 Polyacrylamide를 첨가시켜 직경 40 mm(L/D=118)의 관을 통해 계속 재순환하면서 실험할 때의 마찰저항 감소현상 및 고분자의 퇴화에 따른 결과를 보고하였다.

본 연구에서는 수용액의 경우에서 마찰저항 감소용 고분자로 큰 효과가 있는 것으로 알려진 Polyacrylamide와 Polyethylene oxide 두 종류의 고분자를 CWM에 첨가하여 수송할때 이들 고분자의 기계적 퇴화가 마찰저항 감소현상을 나타내는 CWM의 유동에 미치는 영향과 그 퇴화 경향을 비교하고 CWM의 수송에 적합한 마찰저항 감소용 고분자를 선정하여 고분자의 퇴화에 따른 유동의 영향을 고찰하는 것을 목적으로 하고 있다.

2. 실험

2.1 마찰저항 감소율의 측정

본 퇴화실험장치는 직경이 9.8 mm이고 길이가

3500 mm인 Stainless Steel관을 Test section으로 사용하였고 무차원 길이(L/D)는 357이다. 유체가 순환하는 전체 Loop의 길이는 16 m로 계속하여 재순환하는 방법을 사용하였다. 압력의 측정은 Test Section의 입구와 출구에 있는 압력변환기로 측정하였으며, 실험결과를 사용하여 마찰저항 감소율을 결정하는 식⁽¹⁷⁾은 다음과 같이 정의된다.

$$DR = [1 - (\Delta P_p / \Delta P_s)] \times 100 \quad (1)$$

DR : 마찰저항 감소율 [%]

ΔP_p : 유체중에 고분자를 첨가 했을때의 압력강하

ΔP_s : 유체중에 고분자를 첨가하지 않았을때의 압력강하

2.2 실험방법

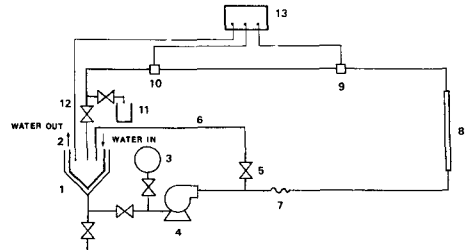
실험에 사용한 고분자는 이미 수용액에서 효과적인 마찰저항 감소현상을 나타낸 것으로 보고된 Polyacrylamide와 Polyethylene oxide이며 실험전에 고농도의 Stokes용액을 만들어 놓은 후 저장탱크 내에서 CWM과 혼합하여 각각 200 ppm, 400 ppm, 700 ppm의 경우에 대하여 퇴화실험을 진행하면서 두 고분자의 마찰저항 감소현상에 대한 퇴화경향을 살펴보았다.

CWM중에 포함된 석탄은 매우 고운 분말형태(200 mesh pass 82%)이며 CWM중의 석탄의 농도는 유동성을 고려하여 5%와 10%에 대하여 실험하였다. 유속은 4.9 m/s, 6.1 m/s로 하여 유속에 따른 Polyacrylamide의 퇴화경향을 보았다. 열에 의한 고분자의 퇴화를 방지하기 위하여 실험중의 유체는 일정 온도를 유지해야하므로 본 실험에서는 관형 열교환기를 설치하여 유체의 온도를 27°C로 유지하였다.

실험데이터는 각각의 실험에 대하여 최소한 두 번 반복하여 그 평균치를 사용하였으며, 실험데이터에 대한 신뢰도를 높이도록 하기 위하여, 데이터 수치가 서로 접근하지 않을 때는 제3, 제4의 실험을 반복하여 접근하는 수치를 채택하여 평균치를 사용하였다.

2.3 실험장치

Fig. 1은 본 연구를 위하여 사용한 실험장치의 개략도이다. 실험은 CWM을 저장탱크[1]에 넣은 다음 미리 준비해 놓은 고농도의 고분자용액을 첨가시켜 원하는 CWM의 농도와 고분자의 농도를 맞추고 펌프[4]를 가동하여 유체를 순환시키면서



- | | |
|-------------------|-----------------------------|
| 1. Storage Tank | 7. Flexible Tube |
| 2. Heat Exchanger | 8. Acryl Tube |
| 3. Water Tank | 9, 10. Pressure Transmitter |
| 4. Wesco Pump | 11. Flow Meter |
| 5. Ball Valve | 12. Thermocouple |
| 6. By-path Line | 13. Data Logger |

Fig. 1 The drag reducing additives degradation test loop

Test Section의 입구와 출구에 있는 압력변환기[9, 10]로 유동중의 압력을 측정하였다. 기록은 Data Logger(Fluke, 2280B, USA)로 자동기록 하였다. 저장탱크 안에는 관형열교환기[2]를 설치하여 실험도중의 작동유체가 일정한 온도를 유지하게끔 하였고 온도는 K-type의 열전대[12]를 이용하여 측정하였다. 그리고 실험은 일정 유량에서의 압력차를 측정하였는데, 유량의 조절은 볼밸브[5]와 펌프의 회전속도로써 조절하였고 유량계[11]를 통해 10초간 받아서 측정하였다. 압력 측정시 관의 진동을 최소화하기 위하여 Flexible Pipe[7]을 설치하여 펌프의 진동이 Test Section으로 전파되는 것을 최소화하였다. 또한 Test Section전의 관 내부를 관찰하기 위해 직경 20 mm, 길이 1000 mm의 투명한 아크릴관[8]을 설치하였다. 물탱크[3]은 관내 세척용으로 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 고분자 종류에 따른 퇴화경향 비교

Fig. 2에서는 Polyethylene oxide와 Polyacrylamide가 각각 400 ppm이 첨가된 5%의 CWM을 6.1 m/s의 일정한 유속으로 240분동안 순환시킬때 두 고분자의 퇴화경향을 비교하였다.

실험유체의 유동성을 고려하여 CWM의 농도는 5%로 하여 사용하였고, 고분자를 첨가하면 마찰저항 감소현상의 발생으로 인하여 갑자기 유량이 증가하는데 이때 PUMP의 회전속도를 조절하여 줄으로써 실험도중에는 일정유량이 TEST SECTION

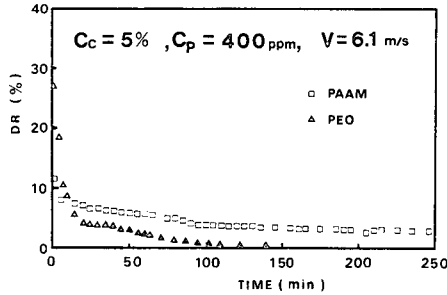


Fig. 2 Comparisons of polymer degradations with polyacrylamide and polyethylene oxide for 5% CWM at 400 ppm

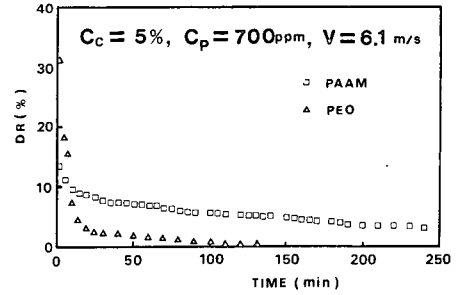


Fig. 3 Comparisons of polymer degradations with polyacrylamide and polyethylene oxide for 5% CWM at 700 ppm

을 통과하게끔 하였다. 그럼으로써 일정유량에서 고분자를 첨가한 CWM과 고분자를 첨가하지 않은 CWM의 압력강화의 차이로 마찰저항 감소의 정도를 측정하였다. 본 실험에서도 수용액의 경우에서와 마찬가지로 Polyacrylamide와 Polyethylene oxide는 기계적 퇴화에 대하여 각기 다른 퇴화경향을 보이는데, Polyethylene oxide는 고분자첨가 초기에는 26.8%의 마찰저항 감소율을 보였고 Polyacrylamide는 12.3%의 초기 마찰저항 감소현상이 발생하였다. 그러나 재순환 유동시간이 경과하면서 PEO는 기계적 퇴화에 민감한 현상을 보이며 15분이 경과해서는 4.5%로 급격하게 마찰저항 감소현상이 줄어들었으며 이후 완만한 퇴화경향을 보이며 점차 줄어들어 120분이 되어서는 마찰저항 감소현상이 나타나지 않았다. 반면에 Polyacrylamide는 전체적으로 PEO에 비하여 완만한 곡선으로 기계적인 퇴화가 이루어졌는데, 첨가 초기 12.3%의 마찰저항 감소율에서 시간에 따라서 안정된 퇴화경향을 보이며 120분 후에는 Polyethylene oxide가 전혀 효과가 없었던 것과는 달리 3.6%의 마찰저항 감소현상이 발생했고, 240분이 경과한 후에도 거의 일정한 값인 2.6%의 마찰저항 감소율을 보였다. 이 두 경우를 비교하여 볼때, 고분자첨가 초기부터 12분 경과까지는 Polyethylene oxide가 Polyacrylamide보다 높은 마찰저항 감소현상이 발생하지만 그후에는 기계적퇴화에 안정된 Polyacrylamide가 더 높은 마찰저항 감소율을 보이고 있다.

Fig. 3은 Fig. 2와 동일한 조건에서 고분자의 농도를 700 ppm으로 증가하였을 때의 Polyethylene oxide와 Polyacrylamide의 퇴화경향이다. 고분자의 농도가 증가함으로써 PEO는 30.9%, PAAM은

13.2%로 초기 마찰저항 감소율이 증가하였으며, 두 고분자의 퇴화경향은 역시 Polyethylene oxide는 고분자첨가 초기 30.9%에서 20분 후 3.6%로 Fig. 2에서와 같이 급격히 기계적 퇴화가 발생하여 마찰저항 감소율이 현저히 감소하고 그후 130분경과 후는 마찰저항 감소현상은 전혀 나타나지 않았다. Polyacrylamide는 첨가 초기에 13.2%의 마찰저항 감소율에서 20분 경과후에는 8.7%의 마찰저항 감소현상을 유지하였고, 130분 경과후에는 5.0%, 240분 경과후에도 3.1%의 마찰저항 감소율로 완만한 곡선을 그리며 퇴화하고 있다.

이러한 결과로써 CWM의 원거리 수송에 있어서 에너지 절감에 기대되는 Polyethylene oxide와 Polyacrylamide 두 고분자를 적용시키는 것을 비교하여 고찰해 보면, 초기 마찰저항 감소율은 Polyethylene oxide가 월등히 우수하지만 기계적 퇴화에 민감함을 보여 시간에 따라 마찰저항 감소현상이 현저히 줄어들기 때문에 장시간 사용할시 계속적인 마찰저항 감소현상의 효과를 유지하기 위해서는 고분자의 첨가주기를 갖게 가져야 한다는 단점을 갖게 된다. 반면 Polyacrylamide는 초기 마찰저항 감소율에 있어서는 Polyethylene oxide보다 적은 값을 갖지만 유동 시간경과에 따른 기계적 퇴화에 안정된 경향을 보이고 장시간 경과 후에도 일정량의 마찰저항 감소율을 유지하고 있는 것은 Polyacrylamide가 갖는 매우 유익한 장점으로써 경제적으로 원거리 수송하는데 유리한 면을 가지고 있다고 사료된다.

그러나 CWM에서의 고분자첨가에 의한 마찰저항 감소현상에 관한 본 실험의 결과는 이미 보고된 수용액에서의 고분자 첨가에 따른 마찰저항 감소현상의 양에 비하여 훨씬 적은 양의 마찰저항 감소량

을 보이고 있기때문에, 동일한 퇴화실험장치에서 수용액에 PEO, PAAM 두 고분자를 첨가하여 실험한 결과를 Fig 4.에 나타내었다.

Fig. 4는 수용액에 Polyethylene oxide와 Polyacrylamide 200 ppm을 각각 첨가하여 6.1 m/s의 일정한 유속으로 순환시킨 결과 두 고분자첨가제의 수용액에서의 퇴화경향을 비교하여 나타낸 것이다. Polyethylene oxide는 첨가 초기에 55%의 마찰저항 감소현상을 보였고, PAAM는 77%의 마찰저항 감소현상을 보였는데, Fig 3.의 CWM에 첨가하였을때의 30.9%, 13.2%에 비하여 월등히 높은 마찰저항 감소현상이 발생하였다.

두 고분자의 수용액에서의 퇴화경향은 PEO는 역시 기계적 퇴화에 민감하여 시간경과에 따라 급격한 퇴화경향을 보이며 110분이 경과해서는 마찰저항 감소현상이 사라져 버렸다. Polyacrylamide는 기계적 퇴화에 안정하여 77%의 초기 마찰저항 감소현상 이후 완만한 퇴화경향을 보이며 110분 경과 후에는 56%가, 240분이 경과한 후에도 43%의 마찰저항 감소현상을 유지하고 있다. 수용액에서의 실험결과는 경향성에 있어서는 CWM에서의 결과와 동일한 퇴화경향을 나타내고 있지만 마찰저항 감소율은 CWM의 경우에 비하여 월등히 높은 값을 보이고 있음을 알 수 있다.

고분자첨가에 의한 마찰저항 감소현상에 대한 기존의 보고에서 레이놀즈수의 증가에 따라 마찰저항 감소율은 증가하는 것으로 보고되고 있기 때문에, 더 큰 유속을 얻기 위해 펌프의 성능을 향상시키고 고분자가 석탄분말에 흡착하는 문제를 해결한다면 CWM에서도 더욱 높은 마찰저항 감소율을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

그러므로 이후의 실험은 퇴화에 영향을 미치는 인자인 고분자의 농도, CWM의 유속, CWM의 농

도 등을 변수로 하여 PAAM의 퇴화경향을 살펴보겠다.

3.2 고분자의 농도가 퇴화에 미치는 영향

5%의 CWM의 비교적 안정성 있는 퇴화현상을 보이는 Polyacrylamide의 농도를 200, 400, 700 ppm으로 변화시켜가면서 첨가하였을때의 퇴화경향은 Fig. 5에서 보여주고 있는 바와 같다. 사용된 유속은 6.1 m/s이다. Polyacrylamide의 첨가 초기에는 700 ppm일때 13.2%, 400 ppm일때 12.3%, 200 ppm일때 8.9%의 마찰저항 감소현상이 발생하여 고분자의 농도가 증가할수록 마찰저항 감소현상이 증가하는 경향을 보이는데, Golda⁽¹³⁾의 결과에서는 2.3 m/s로 실험하였을때 고분자의 농도가 증가함에 따라 200ppm까지는 마찰저항 감소현상이 증가하고 그 이상의 농도에서는 마찰저항 감소현상이 오히려 감소하는 경향을 보였다. 각 농도에서의 퇴화경향을 보면 유동시간 100분 경과후에 700 ppm은 초기치의 40.8%(마찰저항 감소현상 5.4%), 400 ppm은 초기치의 31.4%(마찰저항 감소현상 3.9%), 200 ppm은 초기치의 30%(마찰저항 감소현상 2.7%)로 마찰저항 감소현상이 감소하였고, 유동시간 200분 경과한 후에는 700 ppm은 초기치의 27%(마찰저항 감소현상 3.6%), 400 ppm은 초기치의 24%(마찰저항 감소현상 3%), 200ppm은 초기치의 22%(마찰저항 감소현상 2.1%)로 마찰저항 감소현상이 줄어들어 고분자의 농도가 높을수록 기계적 퇴화에 안정된 경향을 보이고 있다. 전반적인 퇴화경향은 고분자를 첨가한 후 초기에는 고분자의 기계적 퇴화가 활발하여 빠르게 마찰저항 감소율이 줄어들고 그 후에는 비교적 완만한 경향을 유지한다.

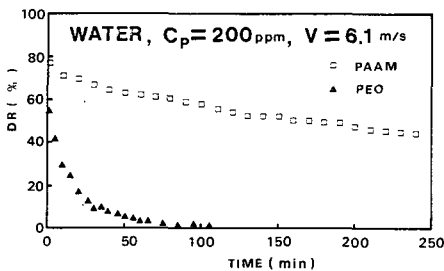


Fig. 4 Comparisons of polymer degradations with polyacrylamide and polyethylene oxide for water at 200 ppm

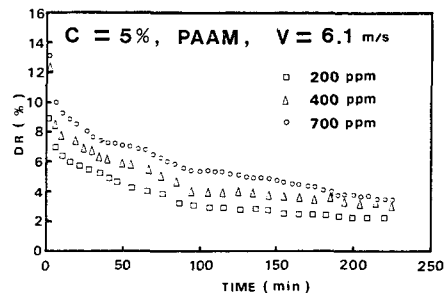


Fig. 5 Influence of polyacrylamide concentrations on polymer degradation for 5% CWM

3.3 유속이 고분자의 퇴화에 미치는 영향

5%의 CWM에 400 ppm의 Polyacrylamide를 첨가했을 때 유속변화에 따른 고분자의 퇴화경향을 Fig. 6에 나타내었다. 펌프의 용량의 한계로 사용된 유속은 6.1 m/s와 4.9 m/s이다. 두 유속에 대한 마찰저항 감소율을 보면 고분자첨가 초기 마찰저항 감소율은 6.1 m/s에서는 12.3%로 4.9 m/s의 경우보다 약 6%정도가 크나, 100분 경과 후에는 1% 차이만 나고, 200분 경과 후에는 거의 일치하고 있다. 6.1 m/s에서 고분자의 퇴화곡선은 4.9 m/s의 경우에 비하여 비교적 급한 퇴화경향을 보이고 있다. 즉 유속이 빠를수록 퇴화는 빨리 진행되고 있음을 알 수 있다. 이것은 유속이 빠를수록 작용하는 유체의 전단력이 커져 고분자의 기계적 퇴화를 촉진시켜 결과적으로 마찰저항 감소율이 빠르게 줄어드는 것으로 사료된다. 유속이 빠를수록 초기에 큰 마찰저항 감소율을 얻게되는 장점은 있으나 다른 한편으로는 퇴화가 빨리 진행되는 단점도 가지고 있음을 알 수 있다.

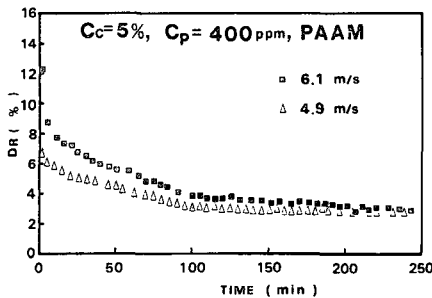


Fig. 6 Influence of flow velocities on polymer degradation with polyacrylamide for 5% CWM

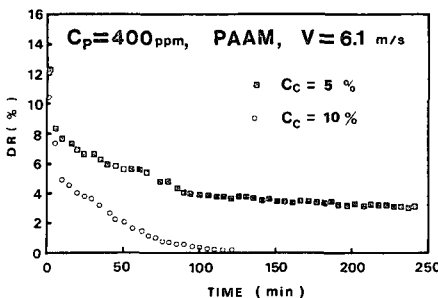


Fig. 7 Influence of coal concentrations on polymer degradation with polyacrylamide

3.4 CWM의 농도에 따른 퇴화경향 비교

Fig. 7은 CWM의 농도가 고분자의 퇴화에 미치는 영향을 알아보기 위하여 5%와 10% CWM에 각각 400 ppm의 Polyacrylamide를 첨가하였을 때의 퇴화 경향을 비교한 것이다. 초기 마찰저항 감소율은 5% CWM은 12.3%, 10% CWM은 10.4%이지만, 120분이 경과해서는 5% CWM은 3.6%의 마찰저항 감소율을 보이는데 비하여 10% CWM은 마찰저항 감소현상이 사라져 버린다. 이 결과에 의하면, 석탄 농도의 증가는 고분자의 퇴화율을 증가시키고 아울러 초기 마찰저항 감소율도 감소시키는데, 이는 Polyacrylamide와 같은 고분자는 고체의 표면에 흡착(adsorption)하는 성질을 가지고 있기 때문에 석탄의 농도가 증가할수록 고분자가 흡착할 수 있는 면적이 넓어져 많은 흡착이 이루어지는데 그 원인이 있다고 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 CWM의 효율적인 원거리 수송을 위하여 수용액에서 마찰저항 감소현상을 발생시키는 고분자첨가제인 Polyethylene oxide와 Polyacrylamide를 CWM에 첨가시켰을 때의 퇴화경향 비교와 고분자의 농도, CWM의 농도, 유속 등에 따른 Polyacrylamide의 퇴화경향을 재순환 실험장치를 통하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 물의 경우와 마찬가지로 매우 작은 석탄 입자들을 포함하고 있는 CWM에서도 고분자첨가에 의한 마찰저항 감소현상이 나타나며 유속 6.1 m/s에서 Polyethylene oxide는 최대 30.9%, Polyacrylamide는 최대 13.1%까지의 마찰저항 감소율을 보였다.

(2) Polyethylene oxide는 첨가 초기에는 큰 마찰저항 감소율을 보이나 고분자 퇴화의 진행이 빠르게 이루어져 단시간에 그 효과를 잃어 버린다. 반면 Polyacrylamide는 첨가 초기에는 Polyethylene oxide보다는 적은 마찰저항 감소율을 보이나 퇴화에 안정성을 보여 CWM의 원거리 수송에 유리한 장점을 가진 고분자임을 알 수 있다.

(3) CWM에 첨가된 200, 400, 700 ppm의 Polyacrylamide는 농도가 높을수록 보다 큰 마찰저항 감소효과를 보이며, 퇴화에 보다 안정된 경향을 보여주고 있다.

(4) CWM의 유속은 빠를수록 고분자 첨가 초기

의 마찰저항 감소율은 증가하나 고분자의 퇴화가 빨리 진행되는 경향을 보이고 있다.

(5) 10% CWM은 동일 조건에서의 5% CWM 보다 초기 마찰저항 감소율이 적고 고분자의 퇴화가 빨리 진행되는 경향을 보이고 있다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구지원과제 (91-0200-05)의 연구비 일환으로 연구되었으며 관계제위께 심심한 사의를 표합니다.

참고문헌

- (1) Phulgaonkar, S.R., 1986, "Standardized Rheology Measurement for Coal-Water Slurries," Paper of American Inerican Institute of Chemical Engineers.
- (2) Dooher, J., Gilmartin, B. and Albert, D., "Handling Properties of coal/Water Slurries".
- (3) Snamprogetti, S.P.A., 1986, "Hydrotransport 10," Paper A3, 10th International Conference on the Hydraulic Transport of Solid in Pipes, Innsbruck, Austria : 29-31 October.
- (4) Ercolani, D., Carniani, E. and Snamprogetti, S.p.A., 1988, "Hydrotransport 11," Paper E1, 11th International Conference on the Hydraulic Transport of Solid in Pipes, Stratford-upon-Avon, UK : 19-2 October.
- (5) 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 Argonne National Laboratory, ANL-87-49.
- (6) Toms, B.A., 1948, "Some Observations on the Flow of Linear Polymer Solutions through Straight Tubes at Large Reynolds Numbers," Proc. 1st Int. Congress on Rheology, Vol.2, pp. 135~141.
- (7) Virk, P.S., Merrill, E.W., Mickley, H.S., Smith, K.A. and Chritensen, M., 1967, "The Toms Phenomenon: Turbulent Pipe Flow of Dilute Polymer Solutions," J. Fluid Mech., Vol.30, Part 2, pp. 305~328.
- (8) Goren, Y. and Norbury, J.F., 1967, "Trubulent Flow of Dilute Solutions," Trans. ASME, J. basic Eng., Vol.89, pp. 814~822.
- (9) Virk, P.S., Mickley, H.S. and Smith, K.A., 1970, "The Ultimate Asymtote and Mean Flow Structure in Tom's Phenomenon," Trans. ASME, J. Applied Mechanics, Vol.37, pp. 448~493.
- (10) Lee, W.K., Vaseleski, R.C. and Metzner, A.B., 1974, "Turbulent Drag Reduction in Polymeric Solutions Containing Suspended Fibers," AIChE J., Vol.20, pp. 128~133
- (11) Virk, P.S., 1975, "Drag Reduction Fundamentals," AIChE J., Vol.21, No.4, pp.625~656
- (12) Tung, T.T., Ng, K.S. and Hartnett, J.P., 1978, "Influence of Rheological Property Changes on Friction and Convection Heat Transfer in a Viscoelastic Polyacrylamid Solution," in Proc. 6th Int. Heat Transfer Conference, Vol.5, pp. 329~333, Hemisphere Publishing Co., Washngton D.C..
- (13) Paterson, R.W. and Abernathy, F.H., 1970, "Turbulernt Flow Drag Reduction and Degradation with Dilute Polymer Solutions," J. Fluid Mech., Vol.43, Part 4, pp. 689~710
- (14) Cho, Y.I. and Hartnett, J.P., 1982, "Non-Newtonian Fluids in Circular Pipe Flow," in Advances in Heat Transfer, Vol.15, pp.59~141, Academic Press, New York
- (15) Kenis, P.R., 1971, "Turbulent Flow Friction Reduction Effectiveness and Hydrodynamic Degradation of Polysaccharides and Synthetic Polymers," J. Applied Polymer Science, Vol.15, pp. 607~618.
- (16) 유상신, 엄정섭, 전찬열, 1989, "저항감소현상을 나타내는 폴리머 용액의 퇴화영향에 관한 실험적 연구," 제17권, 제3호 pp. 14~25.
- (17) Golda, J., 1985, "Hydraulic Transport of Coal in Pipes with Drag Reducing Additives," Chem. Eng. Commun., Vol.43, pp. 53~67.