

## Chitosan과 Acrylic Acid의 Graft 공중합체의 응집효과

김용범 · 정병옥 · 강용식\* · 김공수\*\* · 김진일\*\*\* · 김경호\*\*\*\*

서울산업대학 환경공학과 · \*중앙대학교 화학공학과

\*\*충북대학교 화학공학과 · \*\*\*한양대학교 공업화학과 · \*\*\*\*삼영전자(주) 삼성연구소  
(1988년 9월 30일 접수)

## Flocculation Effect of Chitosan Copolymer Flocculants Grafted with Acrylic Acid

Yong-Beom Kim, Byung-Ok Jung, Yong-Shik Kang\*, Kong-Soo Kim\*\*,  
Jin-Il Kim\*\*\*, and Kyoung-Ho Kim\*\*\*\*

*Dept. of Environmental Eng., Seoul National Polytechnic Univ., Nowon-Ku, Seoul 139-743, Korea*

*\*Dept. of Chem. Eng. Chungang Univ., Tongjak-Ku, Seoul 156-756, Korea*

*\*\*Dept. of Chem. Eng. Chung-Buk National Univ., Cheong Ju, Chung Buk 360-743, Korea*

*\*\*\*Dept. of Industrial Chemistry, College of Eng., Hanyang Univ., Sungdong-ku, Seoul 133-791, Korea*

*\*\*\*\*Material Research Lab., Sam Song Institute, Sam Young Electronic Co., Sung Nam, Kyungki 461-162, Korea*

(Received September 30, 1988)

요약 : 갑 오징어의 뼈로부터 chitin을 분리하여 chitosan을 제조한 후 ceric ammonium nitrate (CAN)를 사용하여 acrylic acid를 그래프트 공중합시켰다. 얻어진 그래프트 공중합체는 양이온 및 음이온성의 양쪽성 응집성을 나타내었으며, 그래프트 공중합체와 acrylic acid 단일 중합체의 분자량이 거의 같을 경우 전자가 훨씬 우수한 응집력을 나타내었다. 또한 합성한 그래프트 공중합체의 분자량이 증가할수록 좋은 응집력을 나타내었고,  $Al_2(SO_4)_3$ 와 병용 사용한 경우에는 pH 10 정도에서 가장 좋은 응집력을 나타내었다.

**Abstract :** Chitosan was prepared from chitin which was abstracted from the bone of cuttlefish. It was then grafted with acrylic acid by using ceric ammonium nitrate (CAN) as a reaction initiator. The grafted copolymer demonstrated an excellent ability of flocculation in both acidic and basic aqueous solutions exhibiting its zwitter ionic character, cationic and anionic. The grafted copolymer showed its superiority to the homopolymer of acrylic acid in the flocculation effect when it has the same molecular weight with that of the homopolymer. The efficiency of the grafted copolymer in flocculation increased with its  $\bar{M}_v$ , and it showed the highest efficiency at pH 10 when it was used with  $Al_2(SO_4)_3$ .

서 론

고분자 응집제는 각종의 폐수 특성에 적용된 많은 종류<sup>1~4</sup>가 있으며 수용액속에서 해리 상태에 따라 비이온성, 양이온성, 음이온성 및 양쪽성으로 대별된다.<sup>5,6</sup>

비닐중합 또는 고분자 반응에 의해 얻어지는 양이온성 중합체<sup>7~9</sup>는 합성시에 관능기의 몰(mole)비에 의해서도 성능이 다른 응집제가 얻어지며, 일반적으로 축합계 양이온성 중합체에 비하여 분자량이 크고 하전 밀도가 적고 제품 형태는 분말상 또는 액상이다. 한편 축합 반응에 의해 얻어진 양이온성 중합체는 중합체 주사슬중에 질소기를 갖는 분자 형태를 가지고 있으며, 분자량이 비교적 적고 하전 밀도가 더욱 큰 특징을 갖는다. 현재 수처리제로서 비교적 많이 사용되고 있는 양이온성 중합체로서는 dimethylaminoethylmethacrylate와 같은 양이온성 단량체를 함유하는 중합체, polyacrylamide의 mannich 반응물, 새우, 계등의 껍질에서 얻어지는 chitosan 등이 있다.

음이온성 또는 비이온성 중합체<sup>10</sup>는 상술의 양이온성 중합체에 비하여 종류도 적고 합성고분자 응집제로서는 폴리아크릴아미드계, 폴리아크릴산소오다, 폴리에틸렌옥사이드, 요소-포르말린수지, 폴리비닐알코올등이 있다. 음이온성 중합체의 하전은 치환기의 종류에 의해 변화하고 응집 성능에도 큰 영향이 있다.

고분자 응집제는 현탁콜로이드 입자에 대하여 소량 첨가하여도 응집 효과가 크고 입자의 조대화 현상이 나타나는 등 무기계 응집제에서는 볼 수 없는 특징이 있으며 가교흡착, 하전중화, 소수화등의 작용 기구가 제안되고 있다. 가교 흡착에 의한 응집기구 모델에 대하여서는 Ruhrwein 등<sup>11,12</sup>이 다음 Fig. 1과 같이 설명하였다.

Fig. 1에서 보면 현탁콜로이드 입자에 대하여 고분자 응집제 분자가 적량 존재하는 경우에는 입자간 가교 흡착이 유효하게 작용하여 floc.을 형성하며, 과잉으로 존재하는 경우에는 가교화에

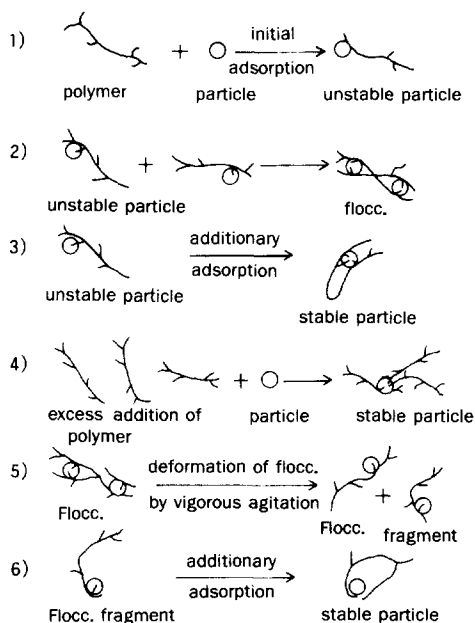


Fig. 1. Flocculation model derived from the polymeric flocculant behavior.

필요한 입자 표면의 흡착 활성점이 감소하기 때문에 가교가 곤란하게 되어 입자간 상호 반발에 의해 분산 현상이 일어난다.

본 연구에서는 갑 오징어의 뼈로부터 β-chitin을 분리하여 2번 탄소에 있는 acetyl기를 탈 아세틸화하여 chitosan을 제조한 다음, acrylic acid의 단량체를 그래프트 공중합하여 chitosan이 갖고 있는 양이온성 응집 특성과 polyacrylic acid (PAA)가 갖고 있는 음이온성 응집특성을 함께 갖는 새로운 응집제를 합성하여 특성을 고찰하였다.

실 험

시 약

Chitosan은 전보<sup>13</sup>와 같은 방법으로 제조하였으며, acrylic acid 단량체는 일본 Hayashi Pure Chemical Co. 제 1급 시약을 40mmHg, 66.2℃에서 감압 증류하여 사용하였다.

반응 개시제인 ceric ammonium nitrate (CAN)

및 기타 다른 시약은 전보<sup>13</sup>와 같이 정제하여 사용하였다.

**응집제의 제조**

전보<sup>14</sup>에서 합성한 공중합체를 사용하였으며 공중합체의 확인은 IR 스펙트럼과 전자현미경으로 확인하였다.

**침강속도 측정**

카올린 1g을 정평하여 내경 17mm, 길이 180mm의 25ml들이 침강관에 넣고 증류수를 가하여 잘 흔들어서 현탁시켰다. 다음으로 소정의 농도로 만들어 놓은 소정량의 응집제를 가한후 전액량이 25ml가 되도록 증류수를 다시 가한후 침강관을 강하게 20회 정도 흔들어 준 후 침강관을 수직으로 세워 침강면의 눈금을 일정시간 간격으로 읽어서 초기등속 침강부분의 속도를 산출하여 침강속도<sup>2,13</sup>를 구하였다.

**상등액의 투과도 측정**

침강속도 측정방법과 같은 방법으로 하여 침강관을 20회 정도 강하게 흔들어 준 후 수직으로 세워 10분간 정지한 다음 상등액의 흡광도를 분광광도계(Bausch and Lomb Spectronics 20)를 사용하여 증류수의 투과율을 100으로 하고 550nm에서 각 상등액의 투과율<sup>2,13</sup>을 구하였다.

**결과 및 고찰**

**응집제 첨가량에 따른 응집효과**

Fig. 2와 Fig. 3은 산성영역의 pH 4.4에서 0.4 wt.%의 카올린 현탁액에 대하여 분자량이 다른 PAA-1, PAA-2의 단일중합체와 제조한 그래프트 공중합체인 A<sub>2</sub>-4를 응집제 첨가량에 따른 응집 효과를 비교 검토한 것이다.

Fig. 2에서 보면 분자량이 425,000정도인 단일 중합체 PAA-1은 응집제 첨가량이 적은 경우에는 침강속도를 구할 수가 없었으며 첨가량이 8mg/l 부터 70mg/l까지는 거의 직선적인 증가를 보여주고 있다.

또한 분자량이 987,000 정도인 단일 중합체 PAA-

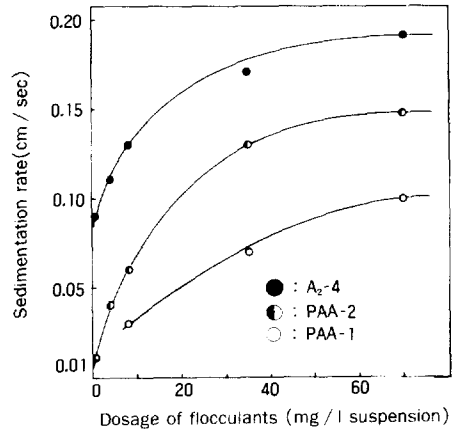


Fig. 2. Effect of dosage of flocculants on sedimentation rate in 0.4wt.%-kaolinite suspensions at pH 4.4 ( $\bar{M}_v$ : PAA-1=4.25×10<sup>5</sup>, PAA-2=9.87×10<sup>5</sup>, A<sub>2</sub>-4=4.35×10<sup>5</sup>).

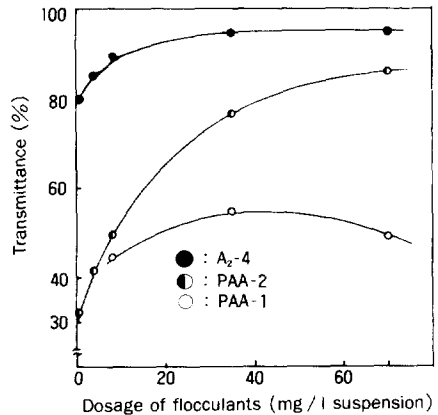


Fig. 3. Effect of dosage of flocculants on transmittance in 0.4wt.%-kaolinite suspensions at pH4.4 ( $\bar{M}_v$ : PAA-1=4.25×10<sup>5</sup>, PAA-2=9.87×10<sup>5</sup>, A<sub>2</sub>-4=4.35×10<sup>5</sup>).

2는 모든 범위에서 측정이 가능하였으며 첨가량이 35mg/l까지는 급격히 증가하다가 그 이상에서는 침강속도 증가가 둔화되어 거의 평행에 도달되었다.

본 연구에서 합성한 그래프트 공중합체인 A<sub>2</sub>-4는 단일 중합체인 PAA-2의 분자량에 1/2정도이며 PAA-1과는 거의 비슷한 값을 보이고 있는데 침강속도는 가장 좋은 결과를 보이고 있다. 이러한 현상은 산성용액내에서 chitosan내의 유

리 아미노기가 +하전으로 전리할 뿐만 아니라 분자내 수산기와 카르복실기가 전리하지 않은 단일 중합체인 PAA-1이나 PAA-2보다 훨씬 강한 흡착력을 작용하는 동시에 분기상 구조에 따른 피복을  $\theta$ 값이 선형 구조인 PAA-1, 2 보다 크고 입자에 부착한 응집제의 전하가 Zeta 전위 Z값을 떨어뜨리기 때문인 것으로 생각된다.<sup>15~17</sup>

Fig. 3의 경우를 보면 분자량이 작은 단일 중합체인 PAA-1은 응집제 첨가량이 35mg/l까지는 투과도가 약간 증가하다가 그 이상에서는 서서히 감소하는 경향을 보이고 있는데 이러한 이유는 선상 중합체인 응집제의 경우 분자량이 어느 한계점 이하의 경우에는 콜로이드성 분자입자에 응집제 분자가 과잉 흡착되어서 오히려 친수성을 갖는 응집제 입자가 분산을 초래하게 되어 투과도가 저하되는 것으로 사료된다.

또한 PAA-2의 경우는 응집제 첨가량이 35mg/l까지는 투과도가 급속히 증가하다가 그 이상에서는 증가가 둔화되는 경향을 보이고 있으며, A<sub>2</sub>-4의 경우에는 거의 일정하게 좋은 투과도를 보여주고 있다.

이러한 경향은 PAA-2의 응집제는 PAA-1의

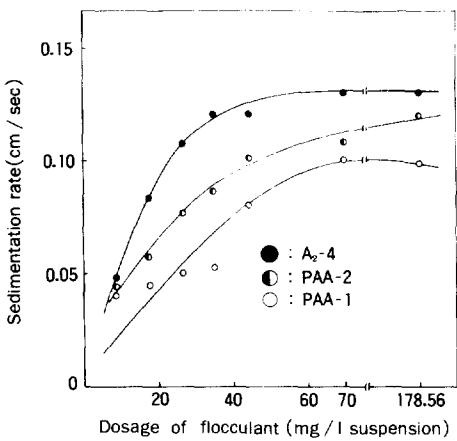


Fig. 4. Effect of dosage of flocculants on sedimentation rate in 0.4wt.-%-kaolinite suspensions at pH 9.7 ( $\bar{M}_v$ : PAA-1=4.25×10<sup>5</sup>, PAA-2=9.8×10<sup>5</sup>, A<sub>2</sub>-4=4.35×10<sup>5</sup>, amount of Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> added =0.8g/l).

응집제보다 분자량이 커서 과잉 흡착에 의한 분산이 없으며 A<sub>2</sub>-4의 경우는 분자내 전리기(-NH<sub>3</sub><sup>+</sup>)의 작용과  $\theta$ 값 및 Z값 등이 크게 작용하기 때문인 것으로 생각된다.

또한 0.4wt.-%-카올린 현탁액의 알칼리 영역에서는 PAA-1, PAA-2 및 A<sub>2</sub>-4의 단독으로는 응집 현상이 관찰되지 않았으며 응집 효과를 높이기 위해 0.8g/l의 Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>를 첨가한 후 pH 9.7에서 응집제의 투입량을 0.8mg/l부터 180mg/l까지 변화시키면서 침강속도와 투과도를 측정된 결과를 Fig. 4 및 5에 나타냈었다.

Fig. 4의 침강속도는 단일 중합체나 그래프트 공중합체의 모든 경우에 있어서 응집제량을 70mg/l 정도 첨가하였을 때 가장 좋은 침강속도를 보이고 있으며 그 이상에서는 거의 일정한 값을 보이고 있다. 또 침강속도는 PAA-1, PAA-2, A<sub>2</sub>-4의 순이었으며 이러한 경향은 chitosan에 그래프트된 아크릴산이 PAA-1이나 PAA-2처럼 카르복실기가 -하전으로 전리하여 분자내의 아미노기 및 수산기와 함께 강한 흡착 작용을 할 뿐만 아니라 분기상 구조 탓으로 피복을  $\theta$ 값을 크게 하기 때문인 것으로 생각되며, PAA-2가 PAA-1보다 침

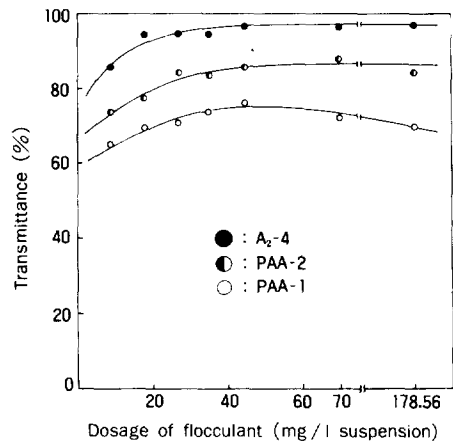


Fig. 5. Effect of dosage of flocculants on transmittance in 0.4wt.-%-kaolinite suspensions pH 9.7 ( $\bar{M}_v$ : PAA-1=4.25×10<sup>5</sup>, PAA-2=9.87×10<sup>5</sup>, A<sub>2</sub>-4=4.35×10<sup>5</sup>, amount of Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> added =0.8g/l).

강속도가 큰 것은 Stockes'law, 피복율  $\theta$ , Zeta 전위 Z값의 영향의 차이에서 기인된 것으로 생각된다.<sup>2,15~17</sup>

Fig. 5에서는 투과도를 비교한 것으로서 A<sub>2</sub>-4의 투과도가 제일 크고 그 다음이 PAA-2, PAA-1의 순으로 나타났으며, 이 경우 단일 중합체와 그라프트 공중합체의 응집제가 투과도에서 현저한 차이를 보여주고 있다.

이러한 경향은 pH 9.7의 알칼리 영역에서는 카올린의 콜로이드성 분산 입자와 Al<sup>3+</sup>은 먼저 정전기적 인력에 의하여 flocc.을 형성한 후 이 flocc.이 응집제 분자와 응집이 형성되는 것으로 판단된다. 투과도는 -COOH group의 관능기가 작용하는 선상 중합체의 PAA의 경우에는 분산 입자에 대하여 과잉 흡착되어서 오히려 선상 중합체가 갖는 특성으로 인하여 현탁액에 분산되어 투과도는 좋지 않은 결과를 보이고 있다.

**pH에 따른 응집효과**

0.4wt.%-카올린 현탁액을 묽은 HCl이나 묽은 NaOH 수용액으로 pH를 0.6부터 12.5까지 변화시키면서 응집제를 넣지 않았을때와 A<sub>2</sub>-4 응집제를 넣었을때를 비교 검토한 결과를 Fig. 6,7,8,9에 나타내었다.

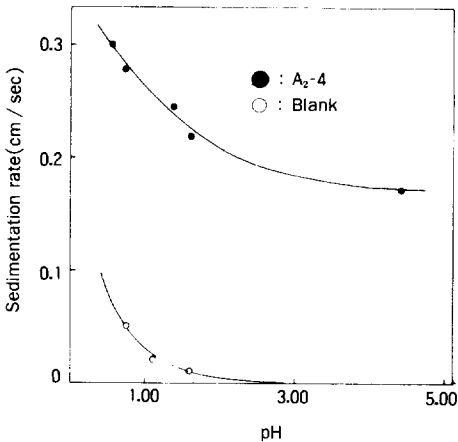


Fig. 6. Dependence of sedimentation rate on acidic pH values in 0.4wt.%-kaolinite suspensions (amount of A<sub>2</sub>-4 added:35.71mg/l).

Fig. 6과 7의 산성영역에서 보면 응집제를 넣지 않았을때와 넣었을 경우에 현저한 차이를 보이고 있다. A<sub>2</sub>-4 응집제 분자내에 있는 -NH<sub>2</sub> 관능기는 산성영역에서 -NH<sub>3</sub><sup>+</sup>을 나타내고 있기 때문에 이 -NH<sub>3</sub><sup>+</sup>가 음전하를 띠고 있는 카올린 콜로이드성 입자와 인력이 작용하여 응집 효과가 큰 것으로 사료된다. 또한 A<sub>2</sub>-4 응집제의 경우 투과도는 거의 일정한 높은 값을 나타내고 있는데 침강속도는 중성에 가까워질 수록 저하되나 어느정도 시간이 경과한후에는 콜로이드성 입자가 거의 응집이 된다고 사료된다.

알칼리성 영역에서는 A<sub>2</sub>-4 응집제만을 넣었을 때와 넣지 않았을 경우 모두 응집이 되지 않았으며, 무기질 응집제인 Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>을 첨가하여 카올린의 콜로이드성 입자와 전하를 형성시킨 후에 다시 A<sub>2</sub>-4 응집제를 첨가하여야 응집이 되었다.

Fig. 8과 9는 Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>을 넣었을때와 Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>을 0.8g/l 넣고 A<sub>2</sub>-4 응집제를 35.7mg/l로 일정하게 하였을때를 비교 검토한 결과이다.

A<sub>2</sub>-4 응집제의 경우 pH10 부근에서 침강속도가 가장 높았으며 투과도도 좋은 결과를 나타내고 있다. 그러나 pH10 이상에서는 침강속도가 급속히 저하하고 투과도도 떨어지는 경향을 알

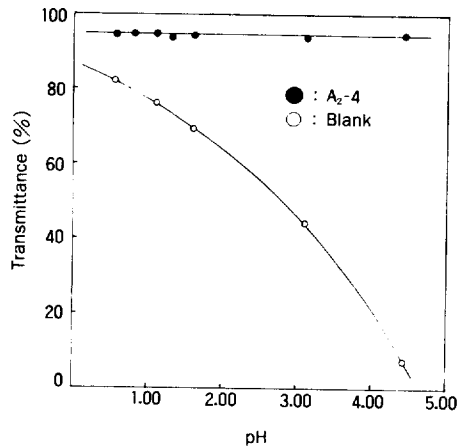


Fig. 7. Dependence of transmittance on acidic pH values in 0.4wt.%-kaolinite suspensions (amount of A<sub>2</sub>-4 added:35.71mg/l).

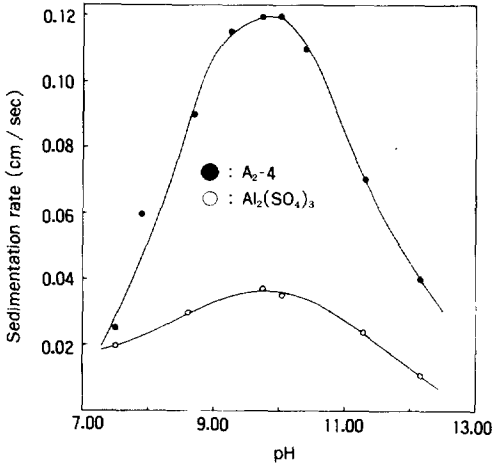


Fig. 8. Dependence of sedimentation rate on alkaline pH values in 0.4wt.%-kaolinite suspensions (amount of A<sub>2</sub>-4 added : 35.71mg / l, amount of Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> added : 0.8g / l).

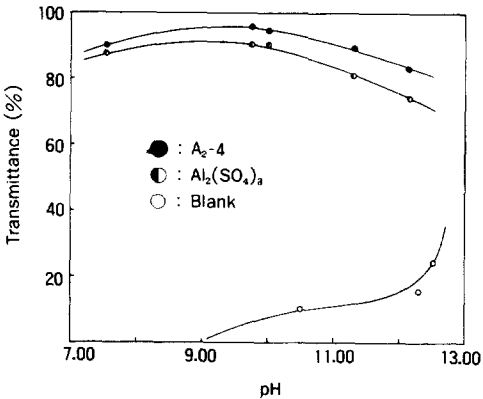


Fig. 9. Dependence of transmittance on alkaline pH values in 0.4wt.%-kaolinite suspensions (amount of A<sub>2</sub>-4 added : 35.7mg / l, amount of Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> added : 0.8g / l).

수 있다.

이러한 경향은 Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>가 갖고 있는 Al<sup>3+</sup>이 pH가 높아짐에 따라 현탁액속에 있는 OH<sup>-</sup>와 결합하여 Al(OH)<sub>3</sub>로 되기 때문에 Al<sup>3+</sup>이 콜로이드성 분산 입자와 작용하는 전하 상호교환이 저하되어서 결국 응집 특성이 적어지는 것으로 사료된다.

Fig. 9의 투과도는 Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>을 0.8g / l 넣고, A<sub>2</sub>-4 응집제를 35.7mg / l 넣었을때와 Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>만을 0.8g / l 넣었을 경우가 비슷한 경향을 나타내고 있다. Fig. 8에서는 침강속도가 pH10 부근까지는 급격히 증가하다가 그 이상에서는 급격히 감소하는 경향을 나타내고 있는 반면, Fig. 9의 투과도는 pH10 부근까지는 서서히 증가하다가 그 이상에서는 완만하게 감소하고 있다. 또한 blank의 경우에는 오히려 pH가 높아질수록 증가하는 경향을 알 수 있다.

분자량에 따른 응집효과

각기 다른 분자량을 갖는 그래프트 공중합체의 응집성을 검토한 결과를 Fig. 10,11,12,13에 나타내었다.

Fig. 10에 나타낸 바와 같이 pH4.4의 산성영역에서의 침강속도는 분자량이 작은 A<sub>2</sub>-1의 침강속도가 가장 느렸으며 첨가량이 10mg / l 정도까지는 거의 직선적인 증가를 나타내다가 그 이상에서는 거의 일정한 값을 보여주고 있다. A<sub>2</sub>-2와 A<sub>2</sub>-4의 경우에는 첨가량이 증가할수록 계속적으로 완만한 증가를 보여주고 있다. 또한 Fig. 11의 투과도는 모든 경우에 있어서 첨가량이 10mg / l 이상에서는 95% 정도의 우수한 특성을 나타내고 있다. 이러한 이유는 분기상 구조를 갖는 그래프트 공중합체의 분자거동에 의한 응집특성은 분자량의 크기에 따라 침강속도는 차이가 있지만 응집제 첨가 10분후에 측정된 응집특성에는 별다른 영향을 나타내지 않는 것으로 사료된다.

Fig. 12와 13은 pH 9.7의 알칼리성 영역에서는 A<sub>2</sub>-1, A<sub>2</sub>-2의 응집제는 첨가량이 증가할수록 급속한 증가를 나타내는 반면, A<sub>2</sub>-4의 경우에는 50mg / l를 첨가할때까지는 급격한 증가를 보이다가 그 이상에서는 거의 평형에 도달하였다.

Fig. 13의 경우에도 Fig. 11의 경우와 유사한 결과를 나타내었다. 이러한 경향은 분자량이 서로 다른 수용성 응집제를 동일량 첨가하였을 때에는 분자량이 클수록, 즉 응집제 입자 분자의 직경이 클수록 관능기의 정전기력 인력에 의한

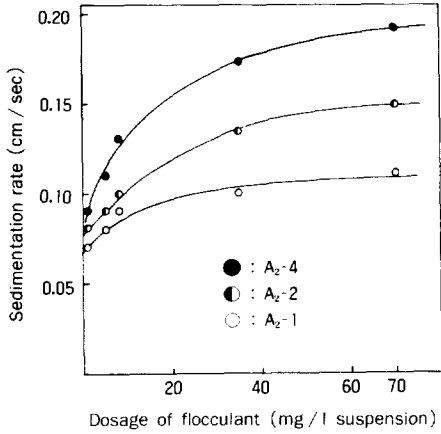


Fig. 10. Effect of dosage of flocculants on sedimentation rate in 0.4wt.%-kaolinite suspensions at pH4.4 ( $\bar{M}_v$ : A<sub>2</sub>-1=3.18×10<sup>5</sup>, A<sub>2</sub>-2=3.52×10<sup>5</sup>, A<sub>2</sub>-4=4.35×10<sup>5</sup>).

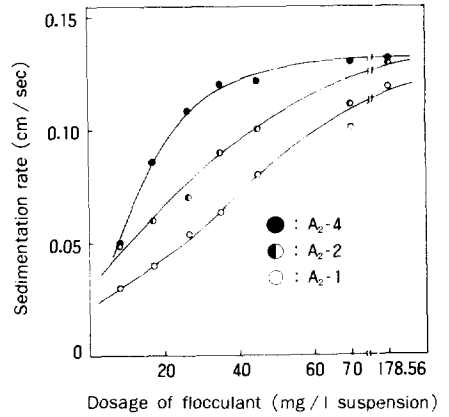


Fig. 12. Effect of dosage flocculants on sedimentation rate in 0.4wt.%-kaolinite suspensions at pH9.7 ( $\bar{M}_v$ : A<sub>2</sub>-1=3.18×10<sup>5</sup>, A<sub>2</sub>-2=3.52×10<sup>5</sup>, A<sub>2</sub>-4=4.35×10<sup>5</sup>, amount of Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> added : 0.8g/l).

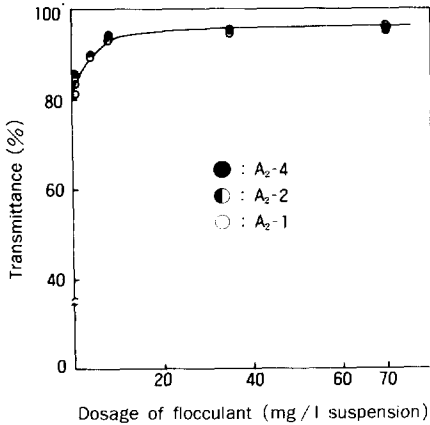


Fig. 11. Effect of dosage of flocculants on transmittance in 0.4wt.%-kaolinite suspensions at pH4.4 ( $\bar{M}_v$ : A<sub>2</sub>-1=3.18×10<sup>5</sup>, A<sub>2</sub>-2=3.52×10<sup>5</sup>, A<sub>2</sub>-4=4.35×10<sup>5</sup>).

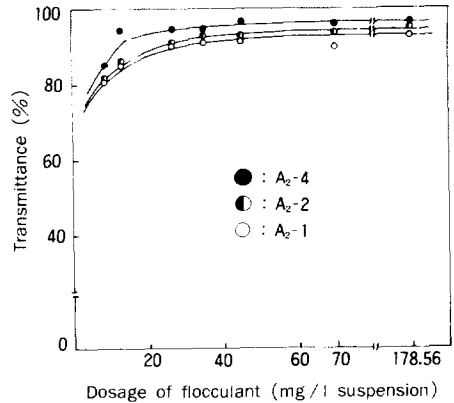


Fig. 13. Effect of dosage flocculants on transmittance in 0.4wt.%-kaolinite suspensions at pH9.7 ( $\bar{M}_v$ : A<sub>2</sub>-1=3.18×10<sup>5</sup>, A<sub>2</sub>-2=3.52×10<sup>5</sup>, A<sub>2</sub>-4=4.35×10<sup>5</sup>, amount of Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> added : 0.8g/l).

흡착이나 점착에 의한 응집력이 크다고 하는 Noda<sup>11</sup>의 이론과 일치하고 있다. 이러한 Noda의 이론은 정지유체 또는 층류에서 구상의 독립입자가 침강할때의 침강속도는 앞의 이론 부분에서 밝힌 Stokes'law<sup>2</sup>가 적용된다.

$$V = \frac{(\rho_p - \rho)g D_p^2}{18\eta}$$

침강속도 V는 입자의 직경 D<sub>p</sub>에 비례 관계가 있으므로 같은 조건하에서는 분자량이 큰 것에 응집된 입자가 분자량이 작은 것에 응집된 입자보다 입자의 직경이 크기 때문에 침강속도가 빨라진다고 사료된다.

결 론

참 고 문 헌

갑 오징어의 뼈로부터 chitin을 제조한 다음 2번 탄소의 아세틸아미노기를 탈 아세틸화하여 얻은 chitosan에 acrylic acid를 그래프트 공중합 시켜서 분기상의 고분자 응집제를 합성하여 응집 효과를 검토한 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Chitosan이 갖는 cation성 응집제와 poly(PAA)가 갖는 anion성 응집제의 특성을 함께 갖는 새로운 응집제를 합성하였다.

2. 산성영역인 pH4.4에서는 점도평균분자량이  $4.35 \times 10^5$ 인 A<sub>2</sub>-4 응집제를  $4.25 \times 10^5$ ,  $9.87 \times 10^5$ 인 PAA 단일 중합체와 응집효과를 비교한 결과 분자량이 A<sub>2</sub>-4보다 2배 이상인 PAA-2보다도 우수한 응집 효과를 나타내고 있으며 A<sub>2</sub>-4의 투과도도 응집제 첨가량에 따라서 거의 일정한 값으로 좋은 응집효과를 나타내었다. 알칼리성 영역의 pH9.7에서는 PAA-1, PAA-2 및 A<sub>2</sub>-4 단독으로는 응집 현상이 관찰되지 않았으며, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>을 0.8g/1 첨가시킨후 응집 실험을 한 결과 모든 것이 응집제를 70mg/1 첨가하였을 경우에 가장 높은 값을 보이고 있으며 그 이상에서는 거의 일정한 값을 나타내고 있다.

3. 알칼리성 영역에서는 Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>을 0.8g/1 넣었을 때와 A<sub>2</sub>-4 응집제 35.7mg/1를 함께 넣었을 경우를 비교 검토한 결과 pH10 정도에서 A<sub>2</sub>-4 응집제의 경우는 침강속도가 가장 높았으며 그 이상에서는 감소하였다.

4. 합성한 A<sub>2</sub>-1, A<sub>2</sub>-2, A<sub>2</sub>-4에 대한 침강속도는 분자량이 큰 A<sub>2</sub>-4가 산성 및 알칼리 영역에서 모두 가장 좋았으며 투과도는 거의 비슷한 값을 나타내었다.

1. 稻野光正, 工化, **71**, 1687(1968).
2. 稻野光正, 工化, **72**, 134(1969).
3. S. Kimura and M. Imoto, *Makromol., Chem.*, **41**, 140(1960).
4. *Brit. Pat.*, 809,745 (1959).
5. S. Gucho., "Waste Treatment with Polyelectrolyte and Other Flocculant", Data Co., p. 5, 1977.
6. 日本高分子學會編, "高分子水處理劑", 地人書館, p. 107, 1976.
7. 野中敬正, 江川博明, 日化, 121(1980).
8. T. Nonaka, E. Momono, and H. Egawa, *Bull. Chem. Soc. (Japan)*, **52**, 1147(1979).
9. 江川博明, 野中敬正, 池口信之, 日化, **1**, 184 (1972).
10. 野田道宏, 化學工業, **70**, 854(1977).
11. R. A. Ruhrwein, *Soil Sci.*, **73**, 485(1952).
12. E. F. Gloyna, *Water Resources Sym.*, **3**, 219 (1970).
13. K. H. Kim, K. S. Kim, and Y. B. Kim, *Polymer (Korea)*, **11**, 26(1987).
14. Y. B. Kim, B. O. Jung, Y. S. Kang, K. S. Kim and K. H. Kim, *Polymer (Korea)*, **12**, 678(1988).
15. E. D. Schroeder, "Water and Wastewater Treatment", International Student Edition McGraw-Hill, p.136-141, 1977.
16. 迫原修治, 海野肇, 明留高可, 化學工業論文集, **8**, 298, 533 (1982).
17. H. Unno, 化學工業, **74**, 178(1984).