

고지재생 시뮬레이션 기술에 의한 최적 탈묵제의 공업적 이용

남 기 대

충북대학교 공과대학 공업화학과
(1994년 4월 25일 접수)

Industrial Applications of Optium De-inking Agent by Waste-paper Recycling Simulation Technology

Ki-Dae Nam

Dept. of Ind. & Chem. Eng., Chung Buk Nat'l Univ., Cheongju 360-763, Korea
(Received April 25, 1994)

요 약: 고지 재생 시뮬레이션 기술에 의한 최적 탈묵제의 개발에 관해서 개략적으로 소개하였다. 금후에도 지구환경 보호차원과 자원의 효율적 이용의 측면에서 재생 펄프의 필요성은 더욱 높아짐과 동시에 품질면에 있어서도 보다 한층 고 품질의 펄프가 요구된다고 생각된다. 그리하여 고성능 탈묵제 및 탈묵시스템의 개발에 주력하여 고지 처리기술의 진보와 고 품질 펄프의 재생에 다스나마 공헌하고자 한다.

Abstract: In this paper, we briefly introduce industrial applications of optimum de-inking agent by waste-paper recycling stimulation technology. From the aspects of environmental protection and efficient use of natural sources, requirement of recycle paper and higher quality pulp will be increasing. By developement of high-performance de-inking agents and its system, we would like to contribute for advance of waste paper treatment technology and higher quality pulp recycling.

1. 서 론

신문, 잡지, 복사용지 및 그밖의 여러 종류의 폐지를 탈묵시켜 종이 내의 인쇄잉크와 그외의 비섬유물질을 제거하여 virgin pulp의 대감 재생펄프를 제조한다는 것은 오늘에 이르러 천연펄프자원이 절대 부족한 국내 제지업계는 수입펄프 비용절감의 경제적 측면뿐만 아니라 산업폐기물로 인한 공해문제가 매우 심각하기 때문에 폐지를 다시 공업적으로 이용하는 수단으로서 그 중요성을 인식해야 할 것이다.

이미 오래 전부터 인쇄잉크를 계면활성제와 그의 화학약품을 이용하여 탈잉크 처리하여 재생펄프로

사용하여 왔는데[1~4], 오늘에 이르러서는 인쇄잉크의 복잡성, 인쇄기술의 향상 및 가공지의 증가 등에 의하여 폐지로부터 완전히 잉크 및 그외의 오염성분을 제거하는 일 즉, 탈묵시키는 것이 매우 어려운 문제로 대두되고 있는 것이 현재의 실정이다. 지금까지 일반적으로 사용되고 있는 탈잉크약품으로는 무기약품, 표백제 및 계면활성제로 구별된다[5~10]. 즉, 무기약품으로는 알칼리금속수산화물, 촉합인산염, 규산염, 탄산염 등이 이용되고, 표백제로서는 과산화물, 차아염소산염 그리고 계면활성제로는 비누, alkyl benzene sulfonate, olefin sulfonate, paraffine sulfonate, 고급지방산알코올 황산에스테르,

polyoxyethylene alkyl ether 및 수용성 고분자화합물 등이 이용되어 왔다. 이들은 일반적으로 폐지의 분해공정에서 첨가되어 분쇄된 폐지는 정확히 분리되어 세정 또는 부유선별에 의해 인쇄잉크 및 그외의 오염물질이 제거되었다. 이와 같이 무기약품, 표백제, 계면활성제의 사용은 폐지의 종류 즉, 신문, 잡지, 전화번호부, 최상급 모조지, 색상고지 및 복사지 등의 처리 조건에 따라 뚜렷히 구별된다. 특히 계면활성제를 사용하는 것은 폐지를 처리하더라도 인쇄잉크 및 그외의 성분을 만족하리 만큼 제거되지 않을 뿐 아니라, 계면활성제의 종류에 따라 인쇄잉크를 섬유질로부터 탈리하여 수중에 분산하는 능력은 우수하지만 부유법에 있어서는 잉크의 포집능력이 떨어지며, 때에 따라서는 그의 반대 효능이 있어 최종적으로는 탈묵효과가 떨어진다는 결점을 갖고 있다[11-14]. 또한 계면활성제 중 비누 이외의 것은 기포성이 커서 즉, 소포성이 나쁘기 때문에 탈묵공정 중 물의 사용량이 많아지고 펄프의 폐수 중 배출량이 증가하여 재생 펄프의 원료에 대한 수득률이 떨어진다. 그리고 전형적인 탈묵공정이 이용되어 왔지만[15-17], 요즈음에 이르러 부상법 탈잉크의 공정기술[18]이 개발되고 있다. 그런데 수득률을 높이기 위하여 소포제를 사용하면 기포성은 저하되지만 탈묵효과도 저하되어 회수 펄프의 품질이 떨어지므로 상품가치를 현저하게 떨어뜨린다. 특히 탈묵제로서 사용되는 계면활성제가 수질오염에도 커다란 영향을 줄 수 있다는 점 등을 고려하여 연구가 지속적으로 진행되어야 한다. 오늘날 탈묵처리기술은 지구환경보호의 관점과 자원의 유효 이용 및 그 축진의 측면에서 보다 고도의 처리기술이 요구되고 있다.

품질향상을 위해 최근 탈묵제 개발 및 처리과정의 설비는 기계적 잉크 박리력의 향상과 미세잉크와 기포의 접촉기회를 증대시키는 프로테이타의 개발 등 눈부신 진보를 이루고 있다[19-22]. 그에 따라 탈묵제도 사용하는 탈묵처리 설비의 기능을 충분히 고려해야 하고 탈묵제가 계면과학적인 특징을 가지며 또한 재생지의 품질 향상이나 약품 원단위의 저렴화에 기여하는 것이 중요한 문제로 되어있다.

그리하여 본고에서는 오랫동안 축적된 탈묵기술을 기초로 각 공장의 탈묵처리 설비의 기능과 특성에 적합한 탈묵제를 개발하는 입장에서 그 처리설비의 기능과 특성을 실험실에서 재현시킬 목적으로 탈묵제의 선정에 실시하고 있다. 즉 탈묵처리, 특히 탈묵

공정에 있어서 중요한 해리공정과 프로테이션공정에 착안점을 가지고 화학공학수법을 사용하여 그 기능과 특성을 실험실적 수준으로 재현시키는 방법과 관련한 것을 새로이 고안했기 때문에 탈묵공정에 있어 새로운 모델을 소개하고자 한다.

2. 탈묵제 개발의 처리방법

탈묵제의 개발에 있어 종래의 탈묵제 처리방법을 계면과학 즉, 잉크와 펄프, 물, 공기 등의 계면특성을 파악하여 그 특성을 최대한 발휘하는 계면활성제의 연구에 중점을 두고 있어 이 분야에 대해서는 현재나 미래에 있어서 그 연구방법의 중요성에는 변화가 없을 것이다. 그러나 오늘날의 환경변화 즉 자연보호, 리사이클의 추진, 재생지의 고도이용 등 일체의 사항이 보다 높은 고지 처리기술을 요구하여 고지 처리기술은 고도화되어야 한다. 그리하여 고지 처리기술의 진보에 따라 탈묵제의 처리도 처리장치의 기능과 특성에 적합한 계면특성을 부여한 것이 요구되고 있다. 따라서 처리장치의 기능을 이론적으로 해석하여 탈묵제의 개발 특히 탈묵제의 선정에 부족하지 않은 평가방법이 도입될 필요가 있다. 다시 말하면 탈묵제의 성능을 판단하는 경우 실제 처리장치의 기능과 특성을 이론적으로 재현한 평가방법이라는 사실이 중요하게 된다.

탈묵제의 성능평가는 Fig. 1에 나타낸 단계로 대별할 수 있다. 일반적으로 탈묵제 개발에 있어서는 실험실적 규모로 성능평가가 현실적으로 실현가능한 단계인 경우가 많고, 생산 능력단위로 치환하면 실제 공장의 수만분의 일에 불과하다. 그러나 그 평가방법에서 실제의 처리장치의 기능과 특성이 이론적으로 재현되어 있지 않으면 탈묵제의 올바른 성능평가라고는 말할 수 없으며 공장에 있어서 실제 수준으로 성능평가의 기회가 주어지지 설계대로 성능이 발휘되지 않아 목적을 달성할 수 없는 경우가 많다.

고지처리장치 중에서 주요한 공정을 처리하여 그 조작 기능을 이론적으로 해석하는 방법을 화학공학적으로 분류해 보면 Fig. 2와 같이 정리할 수 있다. 각각의 처리공정에는 많은 단위조작이 복잡하게 관련되어 있으며 그 기능해석을 하는 것은 매우 어렵다. 고지처리 공정을 분류하면 다음과 같다.

- 1) 펄프화: 해리에너지의 산출과 잉크물질수지
- 2) 프로테이타: 조내 혼합도의 산출과 발생하는

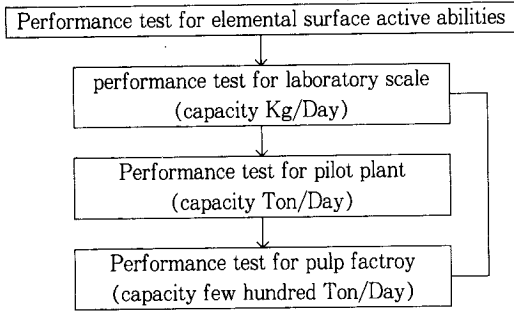


Fig. 1. Flowchart of performance test for de-inking agent.

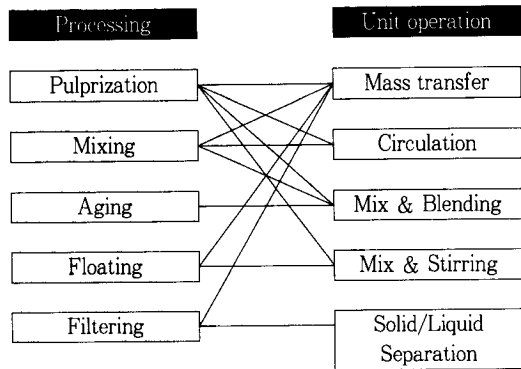


Fig. 2. Processing analytical method for waste-paper.

기포크기 및 그의 거동

여러 방면에 걸친 고지처리공정 중 특히 그 조업 상태가 최종생산품의 품질에 미치는 영향이 크다고 하는 펄프화와 프로테이타에 관해서는 위 부분에 그 개념을 도입하는 것이 우선적이다.

이런 개념을 이용하여 이론적으로 펄프화, 프로테이타를 해석하는 것에 의해 기능, 능력 및 기중에 관계없이 모두의 실험장치를 실험실적 규모로 이론적인 의미를 두어 재현할 수 있는 것이다. 이와 같이 실제의 고지처리 설비의 기능과 특성을 이론적으로 정밀하게 재현한 실험실적 평가법을 확립한 것으로 그 기능과 특성을 활용한 최적의 탈묵제를 효율적으로 개발하는 것이 처음으로 가능하게 되었다. 따라서 고지처리설비를 이론적으로 해석하여 그 기능과 특성을 정량적으로 표현하는 방식을 구축할 수 있다고 말할 수 있다. 다시 말하면 Fig. 3과 같이 구축한 장치해석의 방법과 계면과 수법의 양면에서 최

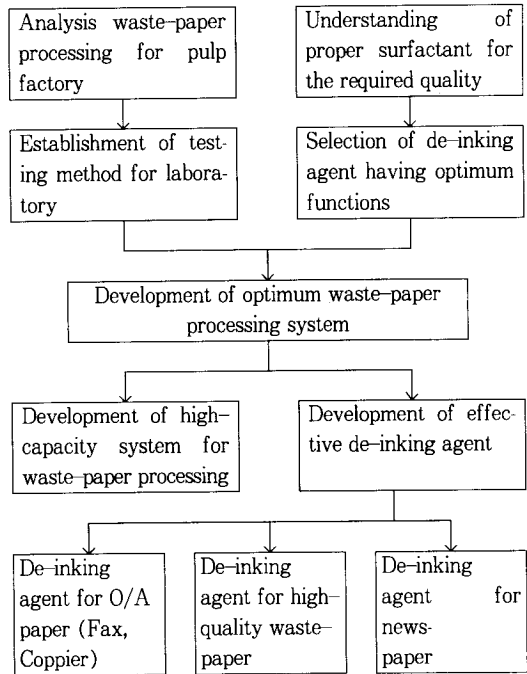


Fig. 3. Searching method for de-inking agent development and its prospect

적 고지 처리시스템에 결부시켜 고지처리기술의 진보와 고품질 재생지의 제조에 다소나마 공헌하고자 한다.

3. 탈묵방법과 그의 공업적 응용성

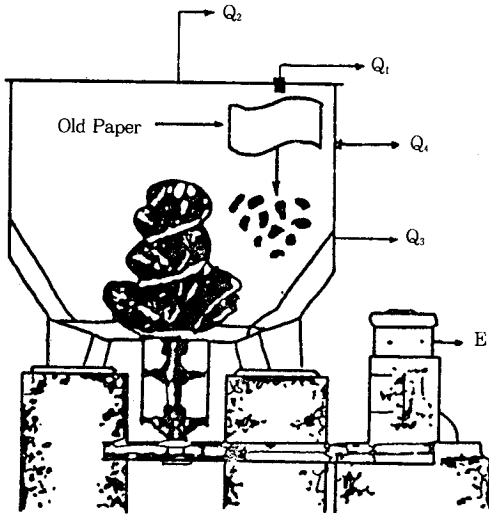
3. 1. 펄프화

3. 1. 1. 펄프화의 에너지 변화

해리에너지 즉 원료폐지를 해리하는 에너지라고 정의하며 이 에너지를 산출하는데는 펄프화에 있어서 에너지 변화를 명확히 할 필요가 있다. 펄프화의 에너지 변화해석의 방식에는 Fig. 4와 같이 나타낸다. 즉 전동모터 등에서 펄프화에 제공된 동력에너지는

- ① 원료고지의 해리에 소비되는 에너지
- ② 펄프 슬러리의 온도상승에 소비되는 에너지
- ③ 장치의 온도상승에 소비되는 에너지
- ④ 발열하는 에너지

위 4종류의 에너지로 변화되어 소비되거나 생산된다. 동력에너지는 원래 ②, ③, ④의 에너지가 전류, 전압, 비열, 온도 및 온도변화, 중량, 시간 등을 측정하는 것으로 계산할 수 있다. 펄프화 변화로부터 동



$$Q_{in} = K(Q_2 + Q_3 + Q_4)$$

Fig. 4. Energy variables of pulprization.

- Q₁ : Shifting energy
- Q₂ : Temp. arise energy of slurry
(specific heat, temp., gravity, time)
- Q₃ : Optimum temp.-arise energy
(specific heat, temp., gravity, time)
- Q₄ : Radiated heat energy
(temp., time)
- E : Energy(current, voltage, time)

력에너지와 ②, ③, ④의 에너지 값을 계산하는 것으로 해리에너지를 산출할 수 있다.

Fig. 4에 나타난 형식 이외의 펄프화로서는 회전드럼형 펄프의 낙하충돌에너지를 구하는 것으로 산출할 수 있다. 펄프화의 능력, 회전드럼의 회전속도, 회전드럼의 경사각도, 원료고지의 충전량으로부터 회전드럼 내 원료고지 및 펄프집합체의 움직임을 나타내는 식을 유도하여 회전드럼에서의 낙하개시점과 낙하회수를 예측 계산하고 있다. 회전드럼 내에 있어서 낙하거리와 낙하회수로부터 원료고지가 투입에서 배출까지 가해진 에너지 즉 해리에너지를 계산할 수 있다.

이상과 같이 원료폐지를 해리하기 위해 소비된 에너지 즉 해리에너지를 구함으로써 펄프화의 형식, 능력, 기능 및 특성에 관계없이 실제조작에 있는 모든 펄프화를 이론적으로 상관성을 갖게 하여 실험실적 규모로 재현하는 것을 가능하도록 하였다. 또 해리에

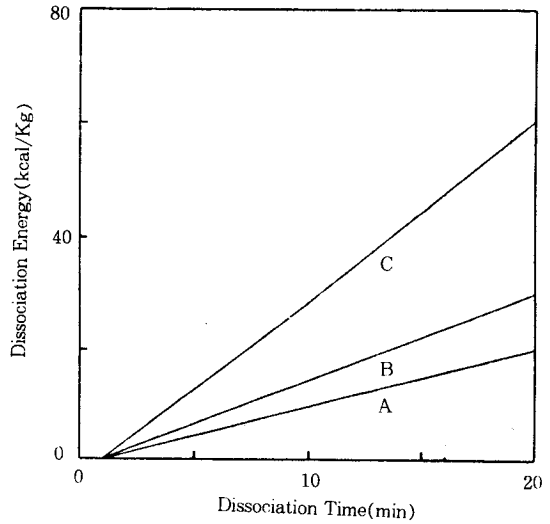


Fig. 5. Dissociation energy variations by dissociation conditions.

- A : Rotary type drum : pulprization conc. 12%
- B : Mixier type drum : pulprization conc. 5%
- C : Mixier type drum : pulprization conc. 15%

너지의 개념을 도입함으로써 현재 가동중인 펄프화의 해리상태를 실험실에서 재현가능하도록 했을 뿐만 아니라 펄프화 가동조건의 변경(예를 들면, 생산능력변경에 따르는 해리시간이나 펄프농도의 변화 등)에 의한 해리상태가 서로 달라도 효율적으로 보다 정밀한 예측이 가능하게 되었다.

실제로 가동하고 있는 펄프화를 실험실적 규모로 재현하는대는 실제 펄프화의 해리에너지와 실험실적 펄프화의 해리에너지가 같은 값이 되도록 실험조건을 설정하면 좋다. 또한 그외의 조건 즉 펄프농도, 해리농도, 약품조건 및 pH 등을 가능한 한 같은 값으로 설정하는 것이 보다 한층 정밀도가 높은 상관관계를 갖고 재현성을 얻을 수 있다.

3. 1. 2 해리에너지와 잉크 물질수지

동일한 교반형 펄프화에 있어서 펄프농도를 변화시켜(5%, 10%) 해리할 때의 해리에너지와 회전드럼형 펄프화의 해리에너지(펄프농도 12%)를 Fig. 5에 나타내었다. 해리시간과 같이 해리에너지는 증가하고 교반형 펄프화에 있어서는 해리시간이 같은 값이면 펄프농도가 높은 만큼 보다 많은 해리에너지가 소요될 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한 교반형 펄프화

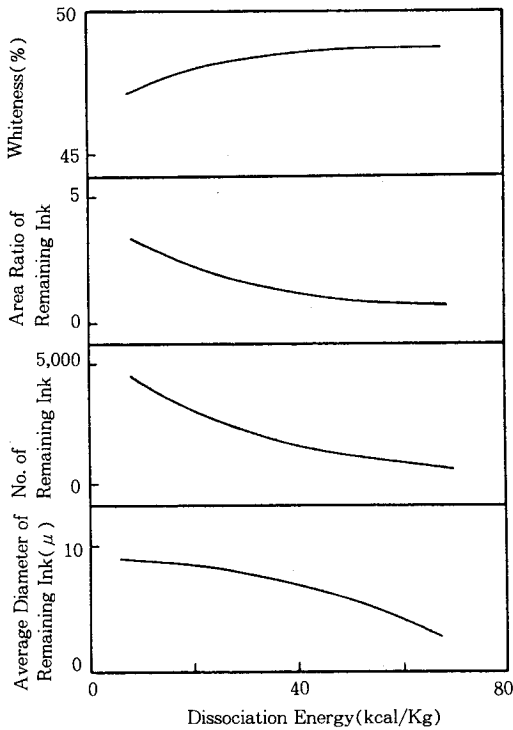


Fig. 6. Quality variations by dissociation energy.

와 회전 드럼형 펄프화를 비교하면, 교반형 펄프화가 많은 해리에너지를 제공할 수 있다는 것은 Fig. 5에서 명확히 알 수 있다.

펄프화에 의해 제공된 해리에너지와 해리후(탈묵제 첨가없이)의 재생지의 품질(펄프 2.6g을 물 20ℓ에서 세정한 것) 관계를 Fig. 6에 도시하였다. 해리에너지를 많이 제공함으로써 백색도가 높고 잔여 잉크면적률이 낮아 잔여 잉크계수가 적은 재생지가 얻어진다. 그리하여 잔여잉크 평균입경은 작아지는 경향이다.

3. 1. 3. 펄프화에 있어서 탈묵제의 평가

해리에너지의 개념을 도입함으로써 실제 펄프화에 있어서 해리상태를 동일한 척도로 비교하는 것이 가능하게 되었다 예를 들면 현재 전세계적으로 가동하고 있는 모든 펄프화의 해리 상태는 해리에너지라는 개념으로 정리하면 Fig. 6과 같이 가로축은 원료고지에 제공된 해리 에너지 양으로서 플롯트하여 나타내었다.

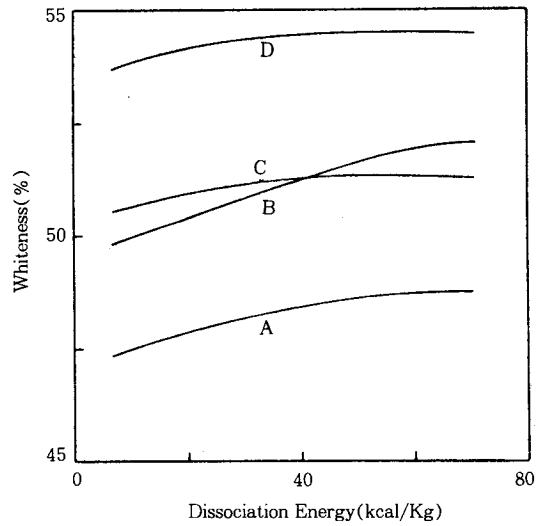


Fig. 7. Optimization of de-inking agent by dissociation energy.

- A : Non de-inking agent
- B : SDA-305
- C : SDA-405
- D : Optimum de-inking agent

폐사의 대표적인 탈묵제로는 신우(주)에서 개발된 OMP 탈묵제 SDA-305와 CPO 탈묵제 SDA-405에 관해서 해리에너지와 백색도의 관계를 정리한 것이 Fig. 7이다. 비교적 낮은 해리에너지가 제공된 해리상태에서는 SDA-305의 해리에너지가 높다. 종축의 평가지표로서 백색도 이외에도 Fig. 6에 나타난 잔여 잉크 면적률, 개수, 평균입경 등을 선정하는 것으로 탈묵제의 특성을 파악할 수 있다.

탈묵제의 선정에 있어서는 산출된 실제 펄프화의 해리에너지와 탈묵제의 해리에너지에 대한 특성을 충분히 고려한 후 판단하는 것이 중요하다.

탈묵제의 연구개발에 있어서 앞으로는 해리에너지의 양에 좌우되지 않은 어떤 경우에도 높은 평가가 얻어질 수 있는 탈묵제(Fig. 7 참조)의 개발이 매우 중요시되는 과제라고 할 수 있다.

3. 2. 프로테이타

3. 2. 1. 프로테이타의 해석하는 방식(Fig. 8)

프로테이타의 기능 특성을 나타내는 지표로서는 다음에 열거한 4가지로 설정한다.

- ① 공기를 함유한 펄프슬러리와 프로테이타조 내

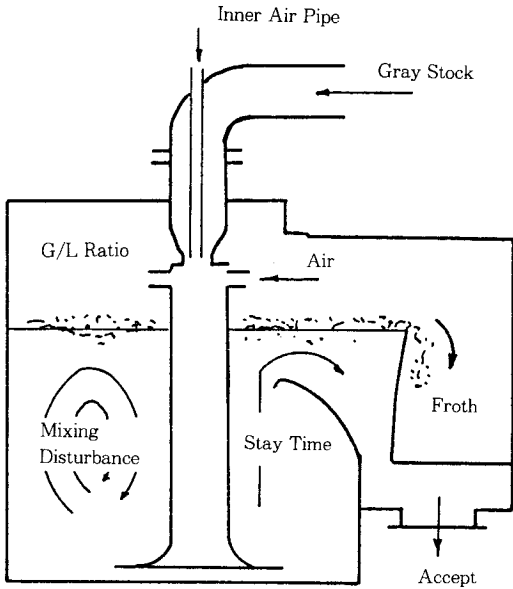


Fig. 8. Analysis for floating machine process.

- 로 도출에 의한 혼합도 C [-]
 - ② 펄프슬러리의 평균체류시간 T [min]
 - ③ 에어레이션된 공기와 펄프슬러리의 비율 즉 공액비 G/L [-]
 - ④ 에어레이션된 공기에 의해 발생하는 기포직경 d [m]
- 또한 이들 지표는 여러 가지 식으로 표현된 항을 측정 계산함으로써 구할 수 있다.

혼합도(C)=[반응기의 계수][체류시간][나오는 유량]/[반응기의 용적] (1)

평균체류시간(T)=[반응기의 용적]/[나오는 유량] (2)

기액비(G/L)=[가스유량]/[펄프슬러리 유량] (3)

평균 기포직경(d)=각종 평균 기포직경 계산식 (4)

프로테이타를 구성하는 기능을 대별하면 다음 4가지가 된다[23~26].

- ① 기포 발생
- ② 펄프슬러리와 기포의 혼합
- ③ 펄프슬러리와 기포의 분리
- ④ 액면상의 기포의 제거

프로테이타에는 수많은 종류가 있으며 여러 특성은 상기한 ①~④와 서로 다르다고 말할 수 있다. 평균 체류시간, 공액비에 관해서는 특성이 다른 프로테이타에서도 같은 방식으로 계산하는 것이 가능하다. 평

균기포직경에 관해서는 그 기포 발생원리에 의해 평균기포직경 및 기포직경분포가 다르기 때문에 계산에 이용되는 평균기포크기의 상관관계식도 최적의 식을 선정할 필요가 있다. 또 혼합도에 대해서는 반응기 계수의 항이 포함되어 있는 것으로부터 평균기포크기의 계산과 같이 최적의 반응기의 계수값을 정할 필요가 있다.

반응기의 계수는 프로테이타의 구조, 기능에서는 펄프슬러리와 기포의 혼합·분리기능에 의해 결정된다. 종래의 프로테이타는 펄프슬러리와 기포의 혼합·분리의 기능이 구조적으로도 명확히 설정되어 있는 것으로 기록되었다. 따라서 반응기의 계수값이 크고 혼합도로서의 수치는 높게 되지만, 분리 효율면에서는 반드시 양호한 것은 아니었다. 요즘에 이르러 구조적으로 펄프슬러리와 기포의 혼합·분리도 효율 높은 프로테이타가 개발되어 있다. 분리부에 있어서 펄프슬러리의 흐름이 원탑 내 회류하여 거의 층류에 가까운 상태로 분리 가능한 프로테이타이다. 특히 원탑 내에 펄프슬러리가 회류하는 형태에 관해서 기능 및 특성을 해석하여 실험실적 규모의 프로테이타를 제작하여 프로테이타의 기능 및 특성을 충분히 해석함으로써 반응기의 계수 설정의 정밀도가 높아지고 실제로 가동하고 있는 프로테이타를 실험실적 규모로 재현시키는 경우 상호관련성이 한층 높아진다. 혼합도 평균체류시간 기액비 평균기포크기를 같은 값으로 설정함으로써 실제 공장에서 가동하고 있는 프로테이타를 실험실적 규모로 재현시킬 수 있지만 그외 프로테이션 조건 즉 펄프농도, 약품, pH 및 온도 등을 동일하게 설정하는 것으로 보다 높은 재현성을 얻는 것이 가능하다.

이상과 같이 하여 실험실에서 재현된 프로테이타의 실험조건의 한 예를 Fig. 9에 나타내었다. 교반형 프로테이타로 재현시킨 것에서 어떤 기액비에 있어

$$[\text{교반축 회전수}][\text{체류시간}] = \text{정수}$$

의 식으로 표현된다. Fig. 9에서는 실제 프로테이타의 기액비가 2.4~5.6까지 변화한 경우의 실험실적 프로테이타의 실험조건의 범위를 가리키고 있다. 즉 두 개의 곡선에 둘러싸인 부분이 실제 프로테이타를 실험실적으로 재현한 상태라고 말할 수 있다.

3. 2. 2. 프로테이타에 있어서 탈묵제의 평가

실제 공장에 있어서 프로테이타의 유출기포량이 작

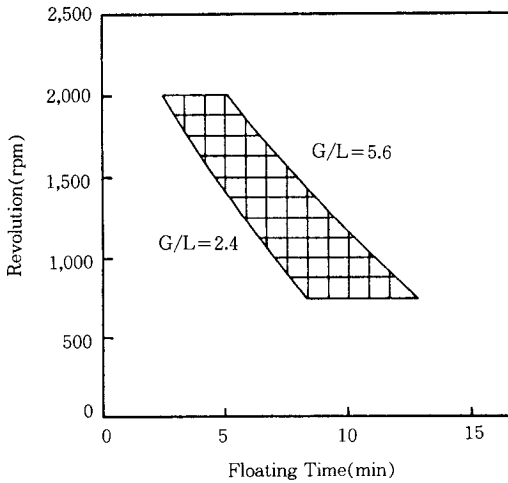


Fig. 9. Floating treat conditions.

업상 문제가 되는 일이 많다. 유출기포량이 적기 때문에 프로테이타 제거 잉크량이 적고, 재생지의 품질이 저하하는 경우와 재생지의 목표하는 품질은 만족하지만 프로테이타의 유출기포량이 많아 생산성이 저하하거나 프로테이타에서 넘쳐흐름 등 작업상 문제가 있다. 따라서 탈묵제의 평가는 프로테이션에 있어서 적절한 유출기포량과 얻은 재생지의 목표품질에 두고 실시된다. SDA-305 와 SDA-405 에 관해서 Fig. 9 에 나타난 영역에서 프로테이션 실험을 실시한 영역에, 프로테이션 실험을 실시한 결과를 Fig. 10에 나타내었다. SDA-305는 비교적 저 발포형 프로테이션에 적합하고 잉크제거에 충분한 유출기포량을 확보하여 양호한 재생지를 얻을 수 있는 탈묵제라고 말할 수 있다. 또 SDA-405는 고발포형 프로테이션에 적합하고, 프로테이션에서 기포의 넘쳐흐름 등의 기포문제를 발생시키지 않고 작업에 최적의 유출기포량으로 효율적으로 잉크를 제거하는 것이 가능하여 양호한 재생지를 얻을 수 있는 탈묵제라고 할 수 있다.

탈묵제의 평가지표로서 Fig. 10의 세로축에 백색도 이외, 가령, Fig. 6에 나타난 잔여잉크면적률, 개수 및 평균 입자크기 등을 선정하는 것으로 탈묵제의 프로테이션 특성을 파악할 수 있다. 또한 금후, 적은 기포량(프로테이션 초기상태)에서 백색도상승률이 높고 최종 도달 백색도가 높은 탈묵제(Fig. 10 참조)의 개발이 과제라고 할 수 있다.

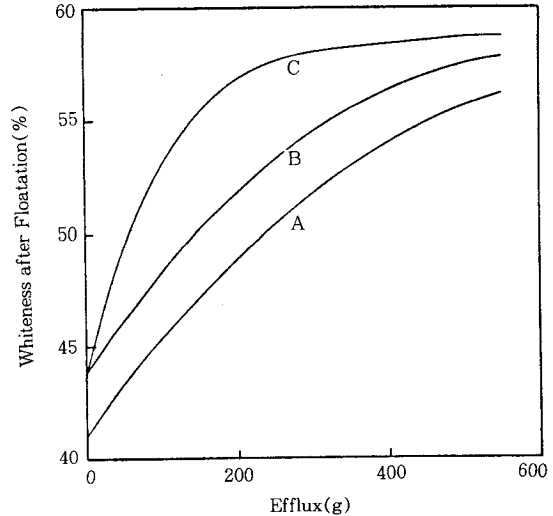


Fig. 10. Optimization of de-inking agent by efflux.

A : SDA-305, B : SDA-405, C : Optimum de-inking agent.

4. 결 론

탈묵제의 개발에 있어서 그의 처리 방법에 대하여는 재생지의 고도 이용에 있어 보다 높은 고지 처리 기술을 요구하여 탈묵제의 처리공정과 처리장치의 기능과 특성에 적합한 계면특성을 부여한 것이 개발되어야 한다. 그리하여 처리장치의 기능을 이론적 해석과 탈묵제의 선정에 있어 평가방법을 새로이 도입할 필요가 있다. 즉 탈묵제의 성능을 판단하는 경우 실제처리 장치의 기능과 특성을 이론적으로 재현한 평가방법이 중요하다. 폐지처리공정에서는 우선 펄프화에서 해리에너지의 산출과 잉크물질수지의 선별이 선행되어야 하고 프로테이타 처리가 이루어져야 한다. 이런 개념을 이용하여 폐지처리 공정에서 기능, 능력 및 기종에 관계없이 실험적 규모의 이론적인 체계를 이루어 그의 기능과 특성을 활용한 최적의 탈묵제를 효율적으로 개발하는데 접점이 된다.

참고 문헌

1. CMC Report No. 9 News Paper Processing Agent. 4. CMC Co., Ltd., 1967. 6.
2. T. Okada, *Yukagaku*, **18**, 53 (1969).
3. Y. Nanba, 'Surfactant Handbook' 314, Kogyo

- Toshio Co., Tokyo (1968).
4. T. Kariyone, 'Characteristics and Application of Surfactants', 517, Saiwai Shobo Co., Tokyo (1980).
 5. 岩崎, 紙へ特協誌, **38**, 39 (1984).
 6. 門屋, 白田, 才江, 製紙化學, 440 (1982).
 7. J. A. Bristow, *Svensk Papperstidn*, **70**, 623 (1967).
 8. 趙南, '界面化學과 펄프 製紙産業 製紙界', **179**, 42 (1987).
 9. W. K. Forester 'UV-경화잉크의 탈잉크 제거제', **198**, 26 (1989).
 10. *J. the TAPPIK* **21** 자료 '복사용지 탈묵시 탈묵제가 종이강도 및 효과에 미치는 영향 MAN UP', **22**, 75 (1990).
 11. H. Masaki, 'Magazine of Paper & Pulp Textile Technology Association' **20**, 17 (1966).
 12. W. Kimura et al., 'Magazine of Textile Technology Association' **12**, 130, 137, 266, 270 (1959).
 13. W. Rapson, *P. & P Magazine, Can* **57**, 147 (1956).
 14. D. Meata, *TAPPL*, **43**, 927 (1960).
 15. H. Mack, *TAPPL*, **46**, 141A (1963).
 16. F. Waltsch, *TAPPL*, **46**, 147A (1963).
 17. H. Ortner, *TAPPL*, **48**, 3A (1965).
 18. 富極, 形部, 紙へ特協誌, **39**, 747 (1985).
 19. 平岡, 紙ヘルプ技術 타임스, **40**, 23 (1987).
 20. 平岡, 紙へ特協誌, **42**, 523 (1988).
 21. D. R. Crow and R. F. Secor, '탈잉크의 10단계' 技術情報 製紙界, **201**, 29 (1989).
 22. E. Okada의 번역 製紙界 **198**, 27 (1989).
 23. 化學工學の進歩 16 [氣泡.液滴.分散工學] 化學工學協會編, 書店 (1982).
 24. 化學工學, **48**, (1984) 特集[氣泡・液滴・分散技術].
 25. 케미칼·엔지니어링, 1984年 12月 特集號 [氣泡塔의 進歩와 新しい利用].
 26. 케미칼·엔지니어링, 1986年 9月 特集號 [多樣化する氣泡塔의 設計와 問題點].