

# C-PAM에 의해 구조화된 GCC의 레올로지 특성과 종이의 물성

임완희, 이학래, 윤혜정, 서동일  
서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부

## Rheological property of Flocculated GCC by C-PAM and paper property

Wan Hee Im, Hak Lae Lee, Hye Jung Youn and Dongil Seo  
Dept. of Forest Sciences, CALS, Seoul National University

### 1. 서론

천연펄프를 수입에 의존하고 있는 국내 제지 산업은 펄프 원료 절감을 위한 방안을 끊임없이 모색하고 있다. 천연 펄프를 주된 원료로 사용하는 인쇄용지 산업이 펄프 섬유를 절감하기 위해서는 비섬유상 물질, 즉 충전물의 활용을 통한 섬유원료 절감 방안을 활용할 수 있다. 또한 종이를 구성하는 섬유는 수소결합을 발생시켜 강도가 발현되지만 종이를 펄프 섬유만으로 제조하게 된다면 표면평활성이 낮고 인쇄 및 필기적성이 불량한 제품이 생산될 수밖에 없다. 이러한 문제점들을 보완하고자 충전물이 사용되고 있다.

반면에 충전물의 함량이 증가함에 따라 광학적 성질은 개선되지만 섬유와 섬유간의 수소결합을 방해함으로 인장강도 및 내부결합강도 등의 제반 물성은 감소하게 되며 초지 공정 중 탈수성 저하와 같은 문제점들이 발생할 수 있다. 이런 문제점을 해결하고 충전물의 보류율을 높이기 위한 방법으로 충전물 구조화 방법이 활용되고 있다. 충전물 구조화에 영향을 미치는 인자로는 전단력, 고분자의 특성, 충전제의 농도 등이 있다.<sup>1)</sup>

이 가운데 실제 공정 중 발생하는 전단력과 충전물의 농도는 크게 변화시키기 어려운 이유로 인해 고분자의 효능을 평가하고 이에 따른 구조체의 전단 안정성을 평가하는 것이 무엇보다 중요한 인자가 될 수 있다.<sup>2)</sup>

본 연구에서는 분자량이 다른 두 종의 C-PAM (cationic polyacrylamide)을 사용하여

형성된 구조체의 전단력에 따른 안정성을 유변특성의 관점에서 평가하였으며, 유변특성을 평가하였으며, 이로부터 얻은 유사한 크기의 구조체가 최종 종이물성에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

본 연구에서는 구조화 현상을 관찰하기 위한 충전물로 GCC (ground calcium carbonate, Hydrocarb 75F)를 사용하였다. GCC 평균 입도는 2.0  $\mu\text{m}$  이며 구조화 현상 관찰시 GCC를 50%로 희석하여 사용하였다. 응집제로는 분자량과 전하밀도가 다른 C-PAM A와 B를 0.05%로 희석하여 사용하였다. Table 1에 구조화 현상을 관찰하기 위해 사용된 C-PAM의 특성을 나타내었다.

Table 1. The characteristics of C-PAM

	Molecular weight (g/mol)	Charge density (meq/g)
C-PAM A	7,000,000	0.48
C-PAM B	12,000,000	1.17

공시 펄프는 활엽수 표백 크라프트 펄프(Hw-BKP)를 사용하였으며, 실험실 벨리 비터를 이용하여 여수도 450 mL CSF 를 갖도록 고해하여 사용하였다.

### 2.2 실험방법

#### 2.2.1 충전물 구조체의 형성 및 입도 측정

비슷한 구조체 크기와 입도 분포를 갖는 조건을 알아보기 위해 분자량이 큰 C-PAM B의 투입량은 전건 GCC 대비 0.03%로 고정하고 C-PAM A의 투입량에 변화를 주어 구조체 크기의 변화를 관찰하였다. 구조체의 입도와 분포는 배플 용기에서 1분간 2000 rpm으로 교반시킨 후 Malvern 사의 Mastersizer 2000을 사용하여 측정하였다.

#### 2.2.2 충전물 구조체의 유변특성

동일한 양의 C-PAM이 투입되었을 때의 유변특성을 평가하여 구조체의 안정성을 간

접적으로 평가하고자 하였다. 구조체의 유변특성을 평가하기 위해서는 고형분 함량이 높은 샘플이 준비되어야 하기 때문에 GCC는 52%, C-PAM은 0.5% 로 희석하여 최종 농도가 약 50% 가 되도록 구조체를 제작하였다.

구조체의 유변특성을 평가하기 위해 Rheometric Scientific사의 ARES (Advanced Rheometric Expansion system) 장비를 사용하였으며 steady sweep 모드로  $0.1 \text{ s}^{-1} \sim 1 \text{ s}^{-1}$  사이의 전단력에 따른 구조체의 유변특성을 평가하였다.

### 2.2.3 수초지 제작

수초지는 평량  $80 \text{ g/m}^2$ 으로 사각 수초기를 이용하여 제작하였다. 구조체는 전건 섬유 대비 25, 30, 35, 40%를 투입하였다. 실린더 드라이어에서 건조된 수초지는 물성을 평가하기 위해  $23^\circ\text{C}$ , 50% RH의 항온 항습 상태에서 24시간 이상 조습처리한 후 TAPPI test method에 의거하여 회분 함량, 인장강도 및 백색도, 내부결합강도를 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 충전물 구조체의 형성과 입도 측정

충전물의 구조체는 고분자의 투입량과 교반속도에 따라 다양한 입도와 분포를 갖게 된다. 따라서 투입량과 교반속도는 일정하게 유지하여 고분자의 영향에 의한 구조체의 변화 양상을 평가하였다.

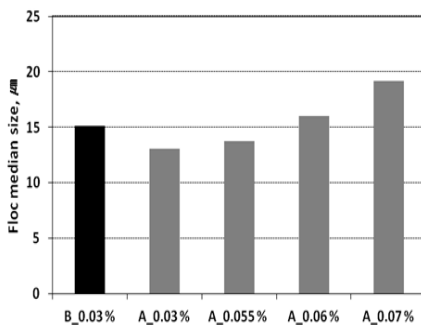


Fig. 1. Median size of flocculated GCC with different C-PAM dosage.

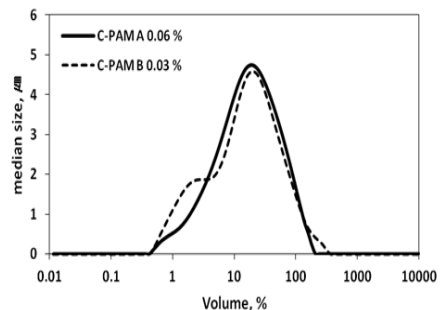


Fig. 2. Particle size distribution of flocculated GCC.

Fig. 1은 분자량이 큰 C-PAM B의 투입량을 0.03%로 고정시키고 C-PAM A의 투입량을 변화시켜 가며 입도를 측정하는 것이다. GCC에 전진 GCC 대비 동일한 양의 고분자를 투입하였을 때 평균입도는 C-PAM A의 경우 약 15  $\mu\text{m}$ , C-PAM B의 경우 약 13  $\mu\text{m}$ 의 구조체를 형성하였다. C-PAM A는 투입량이 0.06%가 되었을 때 비슷한 응집체 입도를 가졌다. 또한 이 조건에서 구조체의 입도분포를 Fig. 2에 나타내었다. C-PAM B의 경우 고분자 분자쇄의 길이가 길어 고분자가 영향을 미칠 수 있는 범위가 증가하게 되며 충전물 입자를 응집시키는 능력이 높은 것을 알 수 있다.

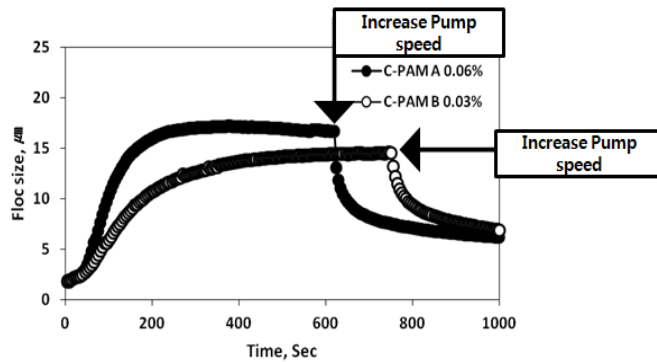


Fig. 3. Flocculation and deflocculation of GCC

Fig. 3은 비슷한 분포와 구조체 입도를 갖는 조건에서 mastersize 2000을 이용하여 시간에 따른 구조체의 응집 및 분산현상을 나타낸 것으로 초기 펌프의 속도는 1300 rpm으로 유지하다가 구조체의 크기가 안정화되었을 때 펌프의 속도를 2500 rpm으로 올려 구조체의 크기가 감소되는 현상을 평가한 것이다. C-PAM A로 만들어진 응집체의 경우 C-PAM B의 구조체에 비해 RPM이 증가할 때 응집체의 크기 감소가 더욱 빠르게 일어나는 것을 확인 할 수 있다. 또한 C-PAM A의 경우 고분자의 분자쇄의 길이가 짧아 동일한 구조체 입도를 갖도록 제작하기 위해 다량의 투입량을 투입하였기 때문에 초기의 응집되는 속도는 빠르지만 작은 분자량에 의해 전단력에 견디지 못하고 빠르게 입도가 작아지는 것이라 사료된다.

### 3.2 충전물 구조체의 유변특성

Fig. 4와 Fig. 5는 C-PAM A와 B의 투입량에 따른 구조체의 점도를 나타내고 있다. C-PAM A를 사용한 구조체의 경우 초기 저전단 조건에서는 높은 점도를 나타내고 있지만 전단력의 증가에 따라 급격하게 점도가 감소함을 알 수 있다. 반면 C-PAM B를 사용한 구조체의 경우 초기 점도는 낮지만 전단의 증가에 따른 점도의 감소폭이 작음을 알 수 있다. 이것은 C-PAM B에 의해 응집된 구조체의 경우 긴 고분자 체인에 의해 강한 구조체가 형성되어 전단력에 안정성이 있는 구조체가 형성되었을 것이라 사료된다.

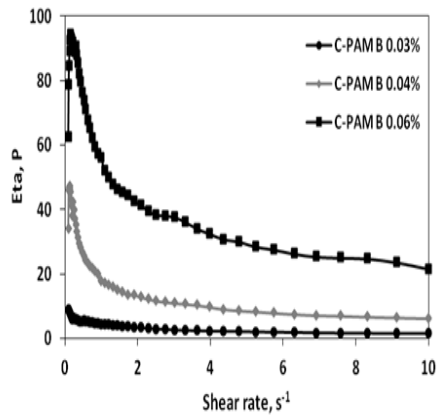
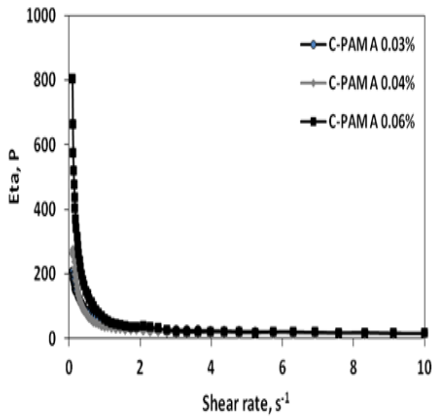


Fig. 4. Viscosity of GCC floc with C-PAM A as a function of shear rate. Fig. 5. Viscosity of GCC floc with C-PAM B as a function of shear rate.

### 3.3 수초지 물성

#### 3.3.1 인장강도

분자량이 다른 고분자를 이용하여 구조체의 크기가 유사하였을 때의 수초지의 인장강도에 미치는 영향을 Fig. 6에 나타내었다. 인장강도의 경우 섬유간 상대결합면적에 크게 영향을 받는다. 따라서 구조체의 함량이 증가함에 따라 인장강도는 감소하는 경향을 보였다..

초기 구조체의 크기가 비슷하였음에도 불구하고 분자량이 큰 C-PAM B의 구조체로 수초지를 제작하였을 때 인장강도가 더 높게 나타났다. 이는 C-PAM A로 만든 구조체

의 전단안전성이 B에 비해 떨어지기 때문에 수초지 제작 중 발생하는 전단력에 의해 응집체의 크기가 다소 감소하게 되고 섬유 간 상대결합면적에 영향을 미쳤기 때문이다.

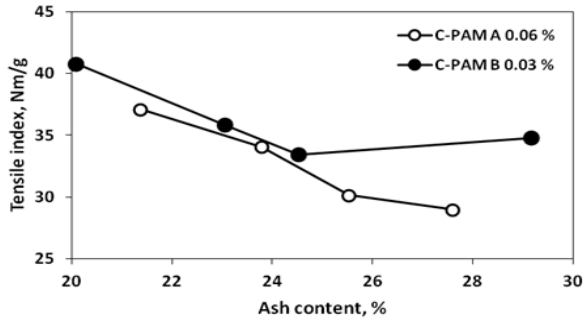


Fig. 6. Tensile index as a function of ash content.

### 3.3.2 내부 결합강도

C-PAM에 의해 응집된 구조체들은 그 크기가 증가함에 따라 비표면적이 작아지게 되며 섬유 간에 결합력에 미치는 영향이 일반 충전물에 비해 작아지게 된다. 내부 결합강도의 경우 두께 방향으로 결합되어 있는 섬유간의 결합력을 측정하게 되는데 만약 충전물의 비표면적이 크다면 섬유간 결합력에 미치는 영향이 커져 강도가 감소하게 된다. Fig. 4는 수초지의 내부결합강도를 나타낸 것으로 두 고분자의 구조체 모두 구조체의 함량이 늘어남에 따라 내부결합강도가 줄어드는 경향을 보이며 전단안전성이 우수하여 비교적 본연의 구조체 크기를 유지하고 있는 C-PAM B의 경우에서 높은 내부결합강도 값을 나타내었다.

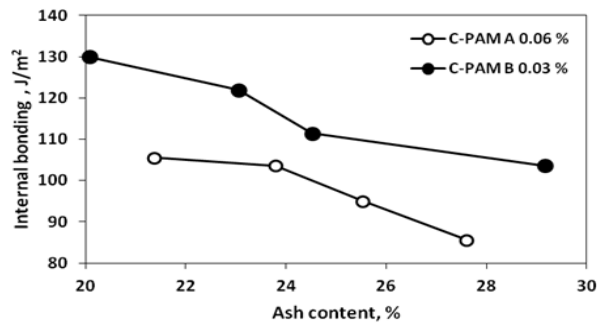


Fig. 7. Internal bond strength as a function of ash content.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 분자량이 각기 다른 C-PAM을 이용하여 GCC를 구조화시켰을 때 분자량에 따른 차이를 확인하고자 구조체의 유변특성 및 전단 안전성, 수초지 물성에 미치는 영향을 평가하였다.

분자량이 상대적으로 큰 C-PAM의 경우 동일한 투입량에서는 큰 구조체를 형성시키며 분자량이 작은 C-PAM에 비해 전단력에도 안정성을 가지고 있어 종이의 물성에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 동일한 크기를 가지더라도 수초지 제작과정 중 구조체의 크기가 변해 수초지 물성이 변화될 수 있었다. 구조체의 크기가 클수록 비표면적이 작아져 섬유간 결합력을 방해하는 정도가 작아지게 되어 높은 인장강도 및 내부결합강도를 보였다.

#### 인용문헌

1. Kyong Ho Lee, Hak Lae Lee, Preflocculation of GCC with Cationic PAM and Cationic starch and the Influence of Their dosage and Shear rate on Prefloc size, J. Korea TAPPI 38(4): pp.1-9 (2006)
2. Goto, S. and Pelton, R., The link between strength and shear sensitivity for filler flocs formed with retention aids., TAPPI J. 82(10): 1-9 (2000)
3. Barnes., Rheology of emulsions a review, Colloids and Surfaces A: physicochem. Eng Aspects 91, pp. 89-95 (1994)
4. Choi Eun Heui., Kim Chae Hoon , Hak Lae Lee., Effects of PVA and CMC addition on rheological Characteristics and curtain stability of GCC based curtain coating colors, J. Korea TAPPI 42(5): 74-82 (2010)

#### 사 사

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No.2010T100200471)