

Mechanism of Bonding Strength Enhancement by Bonding Agents: Effect of Conductivity on the Tensile Strength of Paper

Eunyoung Kim* · Hiroki Nanko** · Byung-Ho Yoon*

*Kangwon National University, Korea

**Institute of Paper Science and Technology, USA

1. 서론

종이는 수소결합을 통하여 강도를 형성한다. 하지만 그 자체로는 충분한 강도를 발현할 수 없으므로 고해공정과 같은 물리적 처리 및 지력증강제 등의 화학약품을 첨가 등을 통하여 강도 개선 효과를 부여한다. 그러나 고해의 경우 섬유간 결합을 향상시켜 종이의 밀도 증가, 불투명도 감소 등의 결과를 야기하고, 동력을 소모해야 하는 특징을 지니고 있다. 지력증강제 첨가의 경우 종이의 물리적 및 광학적 성질에는 영향을 주지 않지만, 강도 향상에는 긍정적 역할을 하므로 종이 제조공정에 많이 사용되고 있다. 이러한 건조지력증강제는 친수성으로서 천연고분자 물질과 합성고분자 물질로 나뉜다. 대표적으로 천연고분자 물질에는 Starch와 Vegetable Gum이 있으며 합성고분자 물질에는 Polyacrylamide(PAM)가 있다. 건조지력증강제로는 종이의 강도 향상에 있어서 PAM이 Starch보다 발현효과가 우수하다고 알려져 왔다. 그러나 일정수준의 첨가량 이상에서는 C-PAM이 C-Starch보다 종이의 강도 증강에 효과적인 결과를 나타내지 못한다. 따라서 본 연구에서는 C-PAM이 C-Starch보다 종이의 인장강도 개선에 영향을 미치지 못하는 원인을 구명하고자 하였다. 본 연구의 접근방법으로 전기 전도도를 미리 알고 있는 합성수를 사용하여 이온강도가 고분자의 흡착구조 및 섬유와의 결합에 어떠한 영향을 미치는가를 평가하고자 하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 재료

2.1.1 Pulp

본 실험 과정에서는 표백 침엽수 크라프트 펄프(SW-BKP), 미표백 침엽수 크라프트

펄프(SW-UKP), 표백 활엽수 크라프트 펄프(HW-BKP), 미표백 활엽수 크라프트 펄프(HW-BKP)를 사용하였다.

2.1.2 Bonding Agents

지력증강제로서 Cationic PAM(Linear PAM, Low and High charge density, Arakawa Company), Cationic Starch(Potato Starch, EKA Chemical)을 사용하였다.

2.1.3 Water

본 실험에서는 deionized Water, Synthetic water(Na_2SO_4 solution을 일정량의 Deionized water에 넣어 Conductivity를 조절), Tap water(conductivity: $50\ \mu\text{S}$)를 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 수초지제조

펄프를 PFI mill을 사용하여 여수도 조건에 따라 고해를 실시하고, Deionized water와 Synthetic water를 사용하여 약 1분 동안 bonding agents와 반응시킨 후 희석하여 TAPPI Method에 의거하여 평량 $80\text{g}/\text{m}^2$ 의 종이를 수초하였다. bonding agents의 투입량은 표 1의 조건과 같다.

Table 1. Addition conditions of bonding agents

C-Starch(%)	0	0.3	0.5	1.0	2.0
C-PAM(%)	0	0.2	0.3	0.5	1.0

2.2.2 수초지의 물성측정

제조된 수초지는 TAPPI Standard T402 om-88에 따라 preconditioning atmosphere(10-30% RH and $22-40^\circ\text{C}$)와 conditioning atmosphere($50.0\% \pm 2.0\%$ RH and $23.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$)에서 24시간씩 조습처리 후 인장강도 및 밀도, 광학적 특성을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1, Fig. 2, Fig.3은 deionized water system에서 여러 조건의 건조지력증강제를 사용하여 수초한 시트의 인장강도, 겉보기 밀도, 산란계수를 나타낸 것이다. Fig. 1의 결과에서와 같이 C-PAM을 첨가한 경우에서보다 C-Starch의 첨가가 종이의 강도 발현에 우수한 효과를 나타내었다. 그러나 0.3%이하의 범위에서는 C-PAM을 첨가한 종이의 강도에서 우수한 효과를 나타내다가, 0.3%를 기준으로 초과했을 경우 인장강도는 반대의 결과를 나타내었다.

Fig. 2는 종이의 밀도를 나타낸 것으로서 C-Starch와 C-PAM 모두 비교적 균일한 경향을 나타냈다. 이러한 결과는 건조지력증강제가 섬유자체의 결합에는 영향을 미쳤으나 섬유의 결합면적에는 영향을 주지 않는다는 것을 나타낸다. Fig. 3의 산란계수 또한 비교적 일정한 범위 내에서 유지됨을 보여준다. 이러한 결과를 통하여 bonding agents는 종이의 강도 증강에는 영향을 미치지만 종이의 광학적 성질에는 영향을 미치지 못하는 것을 알 수 있다.

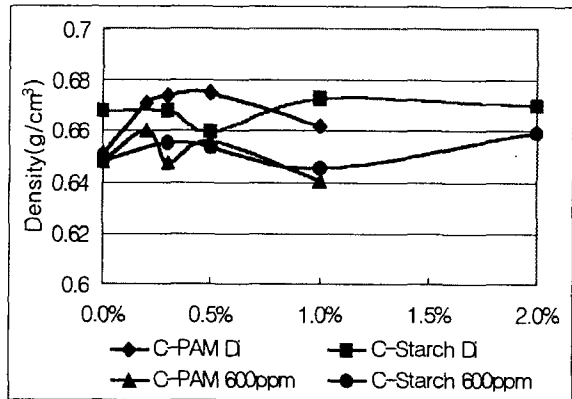
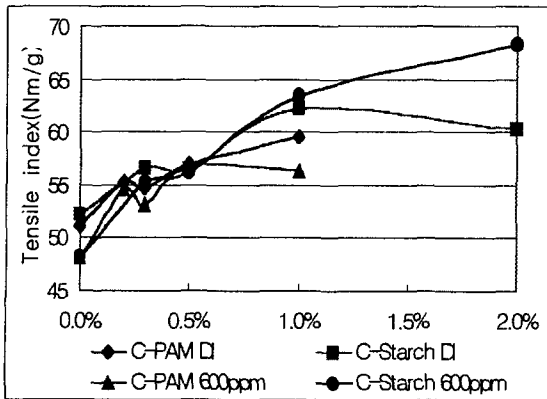


Fig.1 Changes in Tensile index(Nm/g) by addition amounts of bonding agents and water

Fig.2 Changes in Apparent Density by addition amounts of bonding agents and water

(C-PAM: Cationic PAM, C-Starch: Cationic Starch)

(Di: Deionized water, 600ppm: 600ppm Na₂SO₄ Solution in Deionized water- 300 μ S)

(Bleached Kraft Softwood Pulp)

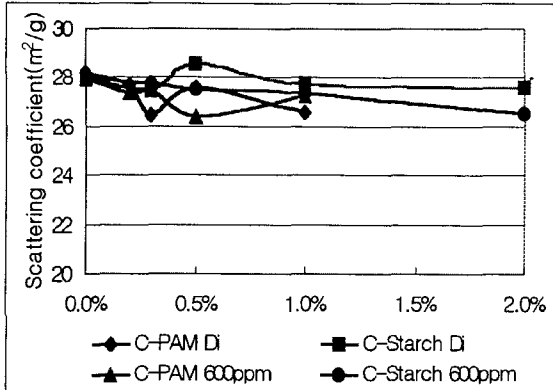


Fig.3 Changes in optical property of paper by addition amounts of bonding agents and water

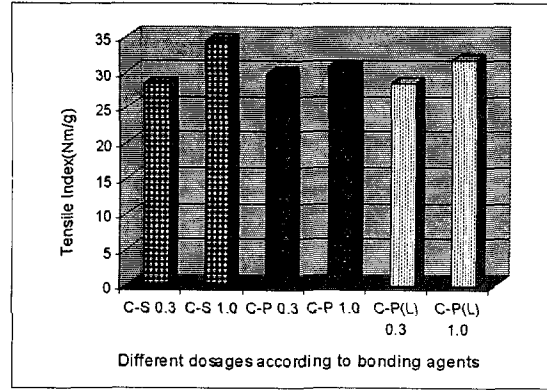


Fig.4 Changes in Tensile Index of LBKP (CSF 400) according to different dosage (C-S: Cationic Starch, C-P: Cationic PAM, C-P(L): C-PAM of low charge density)

Fig.4는 표백 활엽수 크라프트 펄프(CSF 400)에 건조지력증강제를 0.3%, 1.0% 조건으로 투입하여 수초한 시트의 인장강도 변화를 나타냈다. 여기에서 C-S는 C-Starch, C-P는 C-PAM, C-P(L)은 전하밀도가 0.23meq/NV로 기존의 C-PAM(0.46meq/NV)보다 전하밀도(Charge density)가 낮은 관계로 "L"로 표시하였다. 결과에서와 같이 C-Starch가 C-PAM보다 종이의 강도개선에 우수한 효과를 나타내고 있음을 보여준다.

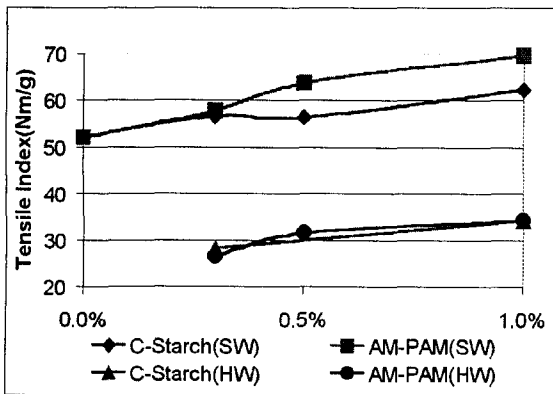


Fig.5 Tensile Index of Paper using C-Starch and AM-PAM on different pulp (AM-PAM: Amphoteric PAM) (SW: Softwood pulp, HW: Hardwood pulp)

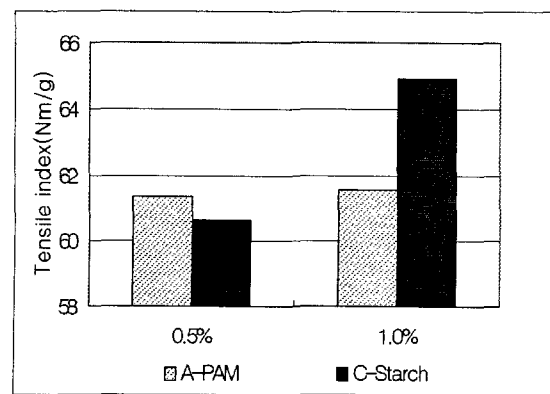


Fig.6 Tensile Index of Paper using A-PAM and C-Starch on Bleached Kraft Softwood pulp (A-PAM: Anionic PAM)

Fig. 5는 Amphoteric PAM과 Cationic Starch를 첨가하여 수초한 시트의 인장강도를 비교한 결과이다. 활엽수 표백펄프에 적용했을 경우 인장강도가 거의 유사한 결과를 나타냈으나 침엽수 표백펄프에서의 경우 Amphoteric PAM 0.3%를 첨가한 이후부터 C-Starch에 비해 인장강도가 증가하는 경향을 나타냈다.

Fig. 6에서는 Alum과 A-PAM을 첨가하여 수초한 종이의 인장강도를 비교하였다. 그림에서와 같이 0.5%의 투입량에서는 두 조건 모두 유사한 강도개선을 나타냈으며, 첨가량을 증가시키기에 따라 C-Starch를 첨가한 종이의 강도가 증가되는 경향을 나타냈다. 이러한 결과는 펄프 섬유가 음전하를 띠기 때문에 양전하를 띤 Starch가 지료 내부에 침투되어 종이의 강도 증강에 영향을 미친 것으로 사료된다.

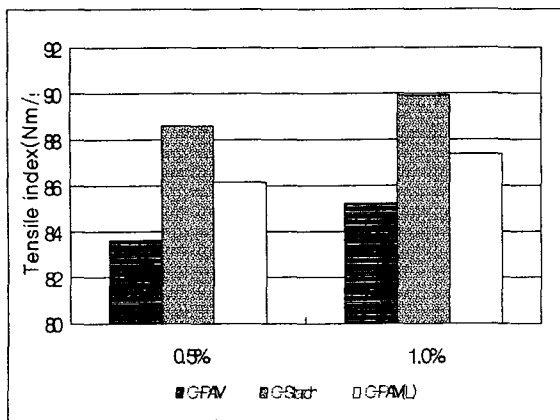


Fig.7 Tensile index of paper using various bonding agents on deionized water system (Unbleached Kraft Softwood Pulp, CSF400)

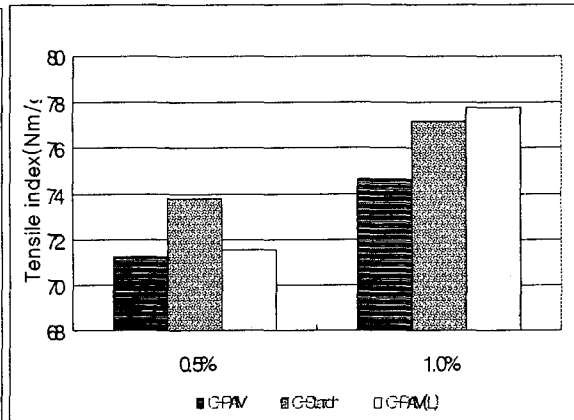


Fig.8 Tensile index of paper using various bonding agents on deionized water system (Unbleached Kraft Hardwood Pulp, CSF 400)

Fig. 7과 Fig. 8은 동일한 조건 하에서 침엽수 미표백펄프와 활엽수미표백 펄프를 사용하여 수초한 종이의 인장강도를 비교한 것이다. 침엽수 미표백펄프를 사용한 경우 C-Starch를 첨가한 종이의 인장강도가 높게 나타났으나, 활엽수 미표백펄프의 경우 낮은 전하밀도를 지닌 C-PAM의 인장강도 증가율이 가장 높게 나타났다.

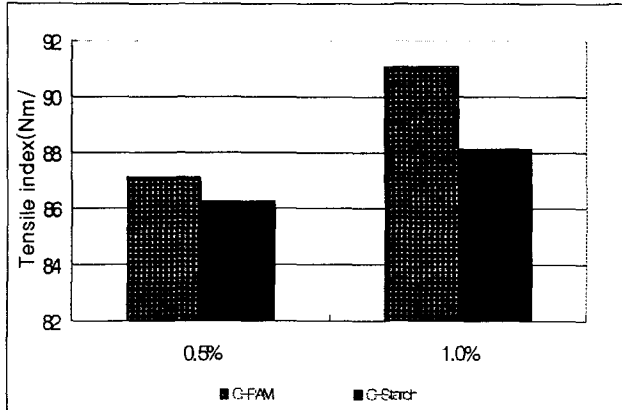


Fig.9 Tensile index of paper using different bonding agents
(Unbleached Kraft Softwood Pulp, CSF400)
(Temperature: 45~50°C Conductivity: 50 μ S)

Fig. 9에서는 C-PAM과 C-Starch를 각각 0.5%, 1% 첨가한 결과로서 C-PAM이 1.0% 조건에서 C-Starch보다 종이의 인장강도가 우수한 결과를 나타냈다. 이것은 수초지 시 현장 조건으로 적용하기 위해 온도 범위를 45~50°C로 조절한 결과와 tap water 내의 전도도(50 μ S)가 영향을 미쳤을 것으로 사료된다. 지력증강제는 폴리머이므로 상온보다 고온일 때 효과가 우수하다.

4. 결론

본 실험에서는 C-PAM이 C-Starch 보다 0.3% 이상의 투입 조건에서 강도개선 효과를 나타내지 못하는 원인을 구명하기 위하여 여러 종류의 펄프와 사용한 용수의 조건, 온도 등의 인자를 조절하여 결과를 분석하였다. 미표백 활엽수 펄프의 경우 낮은 전하 밀도의 C-PAM을 사용한 종이에서 인장강도의 증강효과가 나타났다. 또한 수초지 시 온도를 현장 조건과 유사한 45~50°C로 조절했을 때 C-PAM이 C-Starch보다 종이의 강도개선에 양호한 효과를 나타내었다. 이때 사용한 tap water의 conductivity가 50 μ S였으므로 수초지 시 전도도의 조절이 종이의 강도에 미치는 영향을 파악할 수 있었다.

따라서 본 연구의 결과를 기포로 하여 고온의 수초지 조건에서 다양한 펄프와 water condition을 적용시켜 수초지의 조건을 조절함으로써 그 원인을 구명할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

Davison, R.W., Dry Strength Additives. TAPPI Monograph, 9(1980)

Grief, D.S. and Gasper, L.A, Dry Strength Additives, TAPPI Monograph, 95 (1980)

감사의 글

여름방학 동안의 internship program에 많은 도움을 주신 IPST 교수진 및 학생, 연구원들에게 깊은 감사를 드립니다.