

# 양이온성 PVAm - 음이온성 PAM 건조지력증강제 시스템의 크라프트지 적용 사례

조병욱 · 류정용<sup>1†</sup> · 손동진<sup>2</sup> · 송봉근<sup>1</sup>  
(2010년 8월 30일 접수: 2010년 9월 23일 채택)

## Application of Cationic PVAm - Anionic PAM Dry Strength Aids System on a Kraft Paper Mill

Byoung-Uk Cho, Jeong-Yong Ryu<sup>1†</sup>, Dong-Jin Son<sup>2</sup>, Bong-Keun Song<sup>1</sup>

(Received August 30, 2010; Accepted September 23, 2010)

### ABSTRACT

A mill trial was performed in a kraft paper mill in order to evaluate the possibility of utilizing dual polymer dry strength aids system consisting of cationic PVAm and anionic PAM. It was found that the cationic PVAm - anionic PAM dry strength additives can improve paper strength without significantly disturbing the stability of the kraft papermaking process when virgin UKP was used as a furnish. Tensile strength (25.3% in machine direction, 48.4% in cross machine direction), elongation of paper (31.6%, 15.6%) and tensile energy absorption (48%, 54%) were improved. Air permeability of the kraft paper was improved as well (22%). Tear strength was decreased with PVAm dry strength aids system, but it can be compensated with decreasing refining degree. In addition, the mill trial results indicate that highly air permeable kraft sack paper can be produced by the addition of PVAm dry strength agents at the stock with reduced freeness.

**Keywords** : Polyvinylamine (PVAm), Anionic polyacrylamide (PAM), Dry strength additives, Kraft paper

---

• 강원대학교, 산림환경과학대학, 제지공학과 (Dept. of Paper Science & Engineering, College of Forest & Environmental Sciences, Kangwon National University, Chuncheon, Gangwon-do, 200-701, Rep. Korea)

1 한국화학연구원, 산업바이오화학연구센터 (Chemical Biotechnology Research Center, Korea Research Institute of Chemical Technology(KRICT), P.O. Box 107, Yuseong, Daejeon, 305-600, Rep. Korea)

2 이양화학(주) (Eyang Chemical Co., Ltd., 426-18 Yeochun-dong, Nam-Ku, Ulsan, 680-090, Rep. Korea)

† 주저자(Corresponding Author): E-mail: jyryu@kRICT.re.kr

## 1. 서론

국내 크라프트지 제조업체들은 천연 UKP (unbleached kraft pulp)의 가격 상승에 따른 제조원가 상승과 수입 크라프트지의 저가 공세 때문에 경쟁력이 약화되고 있다. 국내 크라프트지 제조업체의 경쟁력을 강화시키는 한 가지 방법은 저가의 원료를 사용하여 제품 생산 원단위를 저하시키는 것이다. 현재 사용하는 원료보다 저급의 UKP를 사용하거나, 특히 저급, 저가의 원료인 OCC (old corrugated container, 골판지 폐지)를 사용하여 고가인 UKP를 대체하여 사용하면 제품 생산 원단위를 크게 저하시킬 수 있을 것으로 기대된다. 저급의 원료를 사용하는 데 있어서 발생가능한 문제점 중 하나는 종이의 강도가 저하된다는 것이다. OCC를 UKP로 대체하여 사용하는 경우, 재생펄프의 사용으로 인해 섬유가 각질화되고, 장섬유 함량이 줄어들고, 단섬유화가 가속화되면서 종이의 강도는 저하하게 된다<sup>1,2)</sup>.

종이의 강도를 향상시키는 방법에는 다음과 같은 대표적인 세 가지 방법이 있다. 기계적 처리 방법; 표면사이징 사용; 지력증강제 사용. 일반적으로 종이의 강도를 향상시키기 위해서 많이 사용하는 방법은 고해도를 높이는 것이다. 고해도를 증가시키면 대부분의 강도특성은 향상된다. 그러나, 인열강도가 감소하고, 종이의 bulk가 감소하는 단점이 있다. 또한 종이의 구조가 치밀해짐에 따라 종이의 광산란이 감소하여 불투명도와 백색도를 감소시키고, 특히 투기도가 저하하게 된다<sup>3)</sup>. 투기도의 감소는 시멘트 포대나 밀가루 포대 같은 고투기도를 요구하는 지대용지의 경우에는 치명적인 단점이 될 수 있다. 무엇보다 고해를 많이 하면 고해에너지가 증가하여 생산비가 증가하고, 치료 내 미세분의 함량이 증가하여 탈수 속도가 저하되고, 결과적으로 초지속도를 저하시키는 단점이 있다. 따라서 실질적으로 고해를 높이는 데는 한계가 있다 하겠다.

Wet pressing 시, 닙압(nip pressure)을 증가시켜도 강도가 증가되나, 닙압을 한계이상으로 올리면 고평량을 생산하는 경우, 특히 첫 번째 프레스 닙에서 지필의 crushing을 야기시킬 수 있다. 또한 닙압을 증가시키면, 종이의 벌크와 불투명도, 투기도를 감소시키는 단점이 있다<sup>4)</sup>.

라이너지 생산업체에서 종이의 강도를 향상시키기

위해서 전분을 표면사이징(surface sizing)을 하는 경우가 늘고 있다. 전분을 표면사이징 처리하면, 전분이 종이 내부로 침투해 섬유 간 결합을 늘려주어 종이의 강도가 증가하게 된다. 그러나 표면사이징 처리는 일단 건조된 종이에 다시 수분을 바르고 재 건조시킴에 따라 추가적인 건조비용이 소요되고, 종이가 젖음에 따라 온전성이 불량해지는 단점이 있다.

내침 지력증강제를 사용하면 위에 언급한 문제를 최소화하면서 종이의 강도를 향상시킬 수 있다. 내침 지력증강제로는 CMC (carboxyl methyl cellulose)나 vegetable gum, starch같은 천연 고분자 혹은 PAM (polyacrylamide)같은 합성고분자가 사용되어 왔으나, 가격대비 성능이 가장 우수한 양성전분 (cationic starch)이 가장 일반적으로 사용되고 있다. 그러나 이와 같은 지력증강제들은 양이온성 단일고분자시스템으로 구성되어 있어 많이 첨가하면 섬유 표면의 전하가 역전되는 등의 이유로 첨가량에 한계가 있다. 따라서, 기존의 내침 지력증강제로는 종이의 강도를 일정 수준 이상 증가시키는데 한계가 있었다.

최근에 PVAm (polyvinylamine)을 사용하는 건조지력증강제가 개발되어 적용되고 있다. PVAm이 습윤지력을 낸다는 것은 50여 년 전부터 알려진 사실이다<sup>5)</sup>. PVAm은 vinylformamide를 중합하여 poly(N-vinylformamide)(PNVF)를 제조한 후, 이를 가수분해해서 제조되어왔다<sup>6)</sup>. 이는 BASF에 의해서 상업화되어 공급되고 있다. 이 PVAm의 특성은 Pelton의 연구팀에 의해서 연구되어져 왔다<sup>7,8)</sup>. 또한 여러 연구자들에 의해서 PVAm이 셀룰로오스 표면에 흡착되는 현상과 kinetics가 연구되어져 왔다<sup>9-13)</sup>. PVAm이 습윤지력강도를 발현하는 기작은 DiFlavio등에 의해서 잘 설명되었다<sup>6)</sup>. 국내에서는 Son과 Kim에 의해서 PVAm을 건조지력증강제와 습윤지력증강제로 사용하였고, 여러 종류의 치료와 GPAM(glyoxalated polyacrylamide) 또는 APAM(anionic polyacrylamide)와 이중고분자시스템으로 사용하는 시스템을 시도하였다<sup>14, 15)</sup>.

PVAm은 또한 PAM (polyacrylamide)를 원료로 사용하여 Hofmann rearrangement에 의해서 카르보닐기를 제거하여 생산될 수 있다<sup>16)</sup>. SNF에 의해서 상업화된 Hofmann PVAm 지력증강제 시스템은 양이온성 PVAm과 음이온성 PAM의 이중고분자시스템으로 구성되어 있다. Vinylformamide를 기본으로 하는 BASF

의 PVAm과는 달리 Hofmann PVAm 지력증강제 시스템의 작용 기작에 관해서는 아직 많은 연구가 진행되지 못한 실정이다.

본 연구는 OCC를 사용하여 UKP를 대체하기 위한 연구의 일환으로써 수행되었다. 오염물과 미세분이 상대적으로 많은 OCC 지료를 사용하여 제조되는 종이의 강도를 PVAm 지력증강제 시스템을 사용하여 향상시킬 수 있는지를 평가하기에 앞서, 상대적으로 깨끗한 UKP 지료에서 먼저 실험 하고자 하였다. 양이온성 Hofmann PVAm과 음이온성 PAM으로 구성된 지력증강제 시스템을 사용하였고, UKP를 사용하여 크라프트지를 생산하는 공장에서 현장 실험을 하여, 종이의 강도와 공정의 안정성에 미치는 영향을 평가하고자 하였다. 또한 종이의 투기성을 향상시키기 위해서 지료의 고해도를 저하시키고, 약해진 강도를 PVAm 지력증강제를 사용해서 보완할 수 있는지 여부를 평가하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

크라프트지를 생산하는 공장에서 Fourdrinier papermachine을 활용하여 현장실험을 하였다. 주원료로 virgin UKP만을 사용하였으며 DDR (double disk refiner)을 사용하여 27 °SR로 고해하였다. 습부 첨가약품은 사이즈제와 지력증강제뿐이었다. 사이즈제로는 에멀전 로진과 알럼을 사용하였는데, 에멀전 로진은 머신체스트 (machine chest) 입구에, 알럼은 1번 팬펌프 (fan pump) 유입구에 투입하였다.

지력증강제로는 양이온성 PVAm과 음이온성 PAM을 사용하였다. PVAm 지력증강제 (SNF 제조)의 active content는 9%, 점도는 21 cPs이었고, 전하는 7.1 meq/g로 양전하가 높은 편이었다. APAM은 분지형이고, 농도는 15%, 점도는 4300 cPs로 높았고, 전하는 -4.35 meq/g로 음전하가 강했다. 양이온성 PVAm은 1번 팬펌프 입구에 투입하였고, 음이온성 PAM은 2번 팬펌프 입구에 투입하였다.

현장실험의 스케줄은 Table 1에 나타내었다. 사이즈제만 투입한 후 제품을 생산하다가, 2.3시간 후에 PVAm을 펄프 전건 무게 대비 0.270% 투입하였고, 2.5시간 후에 APAM을 펄프 전건 무게 대비 0.33% 적용하

**Table 1. Mill trial schedule**

Time (hr)	PVAm dosage (% on o.d. pulp)	A-PAM dosage (% on o.d. pulp)
0	0	0
2.30	0.270	0
2.50	0.270	0.330
4.33	0.297	0.330
6.00	0.149	0.165
7.07	0	0

였다. 4.33시간 후에 PVAm을 0.297%로 증가시켰고, 6시간 후에 두 약품의 투입량을 반으로 감소시켰다. 7시간 후에 지력증강제의 투입을 정지시켰다.

현장실험 이틀째에는 고해도를 24 °SR로 낮추고 PVAm 지력증강제를 첨가하여, 고투기성의 크라프트지를 생산할 수 있는지 가능성을 평가하였다. PVAm의 첨가량은 0.297%, A-PAM의 첨가량은 0.33%로 조절하였으며, 또한 비교를 위하여, 약품의 투입을 끊은 상태에서 종이를 생산하였다.

생산된 제품의 인장강도(ISO 1924-1), 신장율, 인장 에너지흡수 (TEA, tensile energy absorption)를 인장강도 측정기(L&W)를 사용하여 측정하였다. 또한 종이의 투기도(air permeability, ISO 5636-5)는 Gurley type의 측정기를 사용하여 평가하였다. 종이가 물의 침투에 저항하는 정도인 사이즈도 (sizing degree)는 Pocketgonimeter를 사용하여 증류수의 접촉각 (contact angle)을 측정하여 평가하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 공정 및 종이물성에 미치는 영향

PVAm의 사용이 공정의 안정성에 미치는 영향을 조사하기 위해서 종이의 평량과 지합(formation), 백수의 탁도(turbidity)를 측정하였다 (Fig. 1). 약품의 투입 상황이 바뀐 시간에 수직 점선으로 나타내었다. 약품 투입 이후 4시간까지는 백수의 탁도가 계속 증가한 것을 관찰하였다. 양이온성 PVAm과 음이온성 PAM의 비율이 맞지 않고, 이것이 미세분의 보류도를 저하시켜서 백수의 탁도가 증가한다고 판단하였다. 이에 따라 4.33시간에 양이온성 PVAm의 첨가량은 0.297%로 증가시

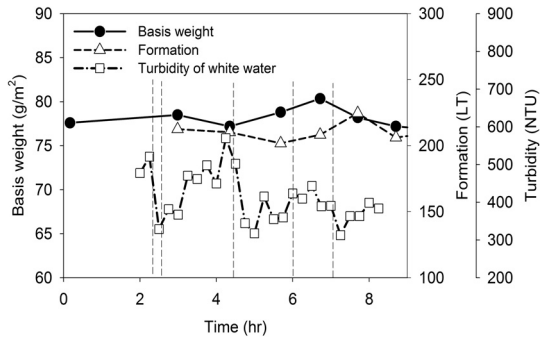


Fig. 1. Variations in basis weight, formation index, white water turbidity during the mill trial.

켰고, 이 후에 백수의 탁도가 안정화된 것을 관찰할 수 있었다. 이는 양이온성 PVAm과 음이온성 PAM의 비율 즉, 전하의 균형을 맞추는 것이 공정의 안정성에 중요하다는 것을 의미한다. 평량과 지합의 경우, PVAm의 첨가량을 0.149%로 조절한 6-7시간 사이에 평량이 조금 증가하고 지합이 조금 향상되나, 전반적으로 큰 변화는 없었다. 즉, 제대로 적용되는 한, virgin UKP를 원료로 사용하는 크라프트지 생산 공정의 안정성에 미치는 악영향은 적다고 판단된다.

인장강도는 PVAm과 음이온성 PAM 지력증강제 시스템을 사용함에 따라 뚜렷하게 개선된 것을 확인할 수 있었다 (Fig. 2). PVAm의 첨가량을 0.270%로 조절한 후에, 인장강도는 기계방향(machine direction, MD)에서 최대 25.3%, 폭방향(cross direction, CD)에서 48.4% 증가하였다. 기계방향에서의 인장강도가 폭방향에서보다 거의 두 배 이상 높은 것을 보아, 이 초기에서 섬유배향성이 높다는 것을 알 수 있다. 흥미로운

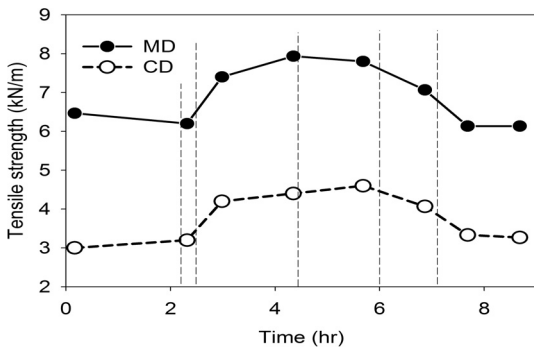


Fig. 2. Variations in tensile strength during the mill trial.

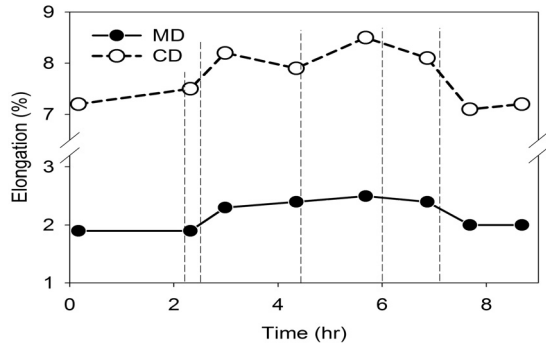


Fig. 3. Variations in elongation of paper during the mill trial.

점은 PVAm을 첨가한 후에 강도가 급격히 증가하고, 약품의 투입을 중단한 후에 강도가 급격히 감소되었다는 것이다. 이는 PVAm의 양전하밀도가 높아서 섬유 표면에 흡착이 빠르기 때문이라고 해석할 수 있다. 섬유 표면에서의 흡착이 잘 되기 때문에, 투입한 거의 모든 PVAm이 섬유에 흡착되어서 제품으로 배출되고, 탈수되는 물과 함께 공정수로 유입되는 것은 소량이라고 판단된다. 따라서 약품의 투입을 중단하면 백수의 short circulation에 잔존하는 PVAm 농도가 낮기 때문에 종이의 강도는 급격하게 감소하게 된다.

종이의 신장률도 PVAm을 투입하면 많이 증가되었다 (Fig. 3). 기계방향에서 31.6%, 폭방향에서 15.6%가 증가됨을 확인하였다. 섬유의 배향성때문에 폭방향에서의 신장률이 기계방향에서 보다 세 배 이상 높았다. 시멘트나 밀가루 지대 같은 경우에, 제품을 옮길 경우 강한 충격을 받는 경우가 많다. 충격을 받았을 때, 종이가 어느 정도 신장되어 충격에너지를 흡수하여야 포장

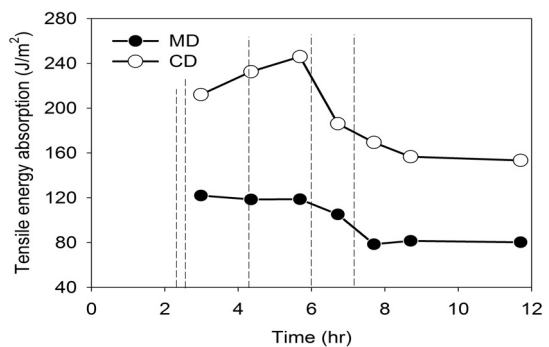


Fig. 4. Variations in TEA (tensile energy absorption) during the mill trial.

지가 터지거나 찢어지지 않기 때문에 지대용지는 어느 정도의 신장률을 지녀야한다. 또한 종이가 충격을 받았을 때 흡수할 수 있는 에너지가 높아야 하는데, 이는 인장흡수에너지(tensile energy absorption, TEA)로 나타낼 수 있다. PVAm을 0.270% 첨가하였을 때, 종이의 인장흡수에너지는 기계방향에서 48%, 폭방향에서 54% 증가하였다 (Fig. 4). 또한 높은 신장률 때문에 폭방향에서의 인장흡수에너지가 기계방향에서 보다 높은 것을 알 수 있다. 위의 결과들로 보아서, Hofmann PVAm 지력증강제 시스템은 신장률과 인장흡수에너지를 크게 증가시켜 줄 수 있어서 지대용지 같은 포장지를 생산하는데 적합한 지력증강제라고 판단된다.

일반적으로 고해도의 증가나 지력증강제의 사용에 의해서 섬유 간 결합이 향상되면, 종이를 찢을 경우에 섬유가 뽑혀지면서 인열에너지가 분산되지 못하고 좁은 면적에 집중되기 때문에 인열강도는 감소하게 된다<sup>3,17)</sup>.

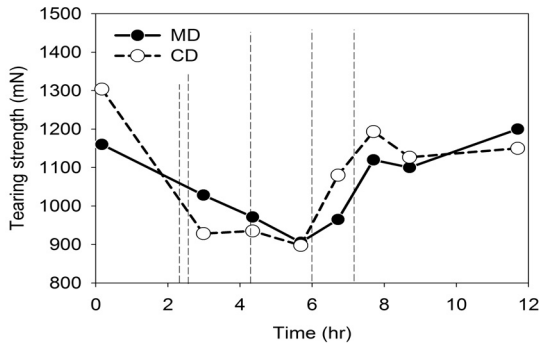


Fig. 5. Variations in tearing strength during the mill trial.

본 실험에서도 PVAm을 첨가하여 인장강도가 증가함에 따라 인열강도는 감소되었다 (Fig. 5).

종이의 신장률, 인장흡수에너지와 더불어 지대용지의 중요한 요구 물성 중 하나는 높은 투기도이다. 지대에 제품(시멘트나 밀가루 등)을 도입할 경우, 공기가 지대 내에서 밖으로 잘 배출되어야 하며, 투기도가 떨어지면 포장속도는 저하하게 된다. 또한 제품을 이송 중 충격을 받았을 때, 공기가 잘 빠지지 못하면 지대가 터지거나 찢어질 가능성이 높아지게 된다. PVAm 지력증강제 시스템을 사용하면, 종이의 투기도가 향상되는 것을 확인할 수 있었다 (Fig. 6). PVAm 지력증강제 시스템이 투기도에 미치는 영향은 다른 연구자들에 의해서도 아직 보고된 예가 없다. 양이온성 PVAm과 음이온성 PAM으로 구성된 지력증강제 시스템은 종이의 지합에 크게 영향을 미치지 않으나 (Fig. 1), PVAm과 PAM의 강한 전하때문에 섬유의 응집현상에 영향을 미쳐서, 섬

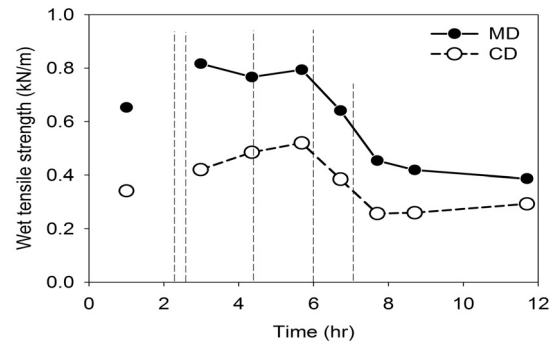


Fig. 7. Effect of the addition of Hofmann PVAm dry strength agents on wet tensile strength.

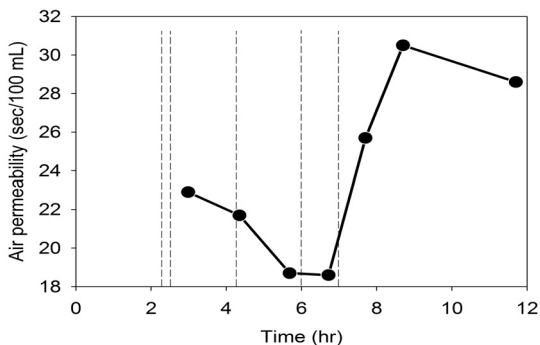


Fig. 6. Variations in air permeability during the mill trial.

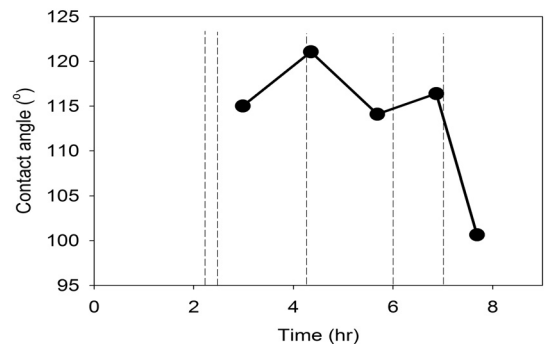


Fig. 8. Effect of the addition of Hofmann PVAm dry strength agents on contact angle of water.

유 플록의 미세구조에 영향을 미치지 않기 때문이 아닌가 사료된다.

현장실험 중에 broke pulper에서 파지가 잘 해리되지 않아 문제가 되었으나, 이는 디플레이커(deflaker)를 운전하여 쉽게 해결할 수 있었다. 파지가 잘 해리되지 않은 것은 PVAm을 사용하여 습윤강도가 발현되었고, 또한 종이의 사이즈도(sizing degree)가 증가되었기 때문이다. PVAm 지력증강제 시스템을 사용한 후, 4-6 시간 사이에 종이의 습윤인장강도가 높아졌고, 지력증강제를 투입하지 않은 7시간 이후에 습윤인장강도가 저하됨이 확인되었다(Fig. 7). DiFlavio등도 PVAm의 사용은 습윤지력을 증가시킨다고 보고하였다<sup>6)</sup>. 또한 종이의 사이즈도도 PVAm 지력증강제를 첨가함에 따라 증가하였다가, 지력증강제의 투입을 중지한 7시간 이후 감소되었다 (Fig. 8).

### 3.2 고투기성 크라프트지 생산 가능성 평가

종이의 투기성을 향상시키기 위해서 지료의 고해도를 27°SR에서 24°SR로 감소시키고, 저하되는 강도를 PVAm 지력증강제를 사용해서 보완하고자 시도하였다. 이 경우, 폭방향에서는 27°SR로 고해하고 약품을 첨가하지 않은 것(27-no chem)과 유사한 인장강도를 나타내었고 기계방향에서는 [27 - chem]과 유사한 인장강도를 나타내었다 (Fig. 9).

신장률은 폭방향에서 기계방향보다 세 배정도 높게 나타났다 (Fig. 10). 기계방향에서의 신장률 차이는 크지 않았다. 그러나 고해도를 줄였을 때 신장률이 다소 감소하였고, PVAm 지력증강제를 사용하면 27°SR로 고해한 종지와 유사한 신장률을 보일 정도로 조금 증가

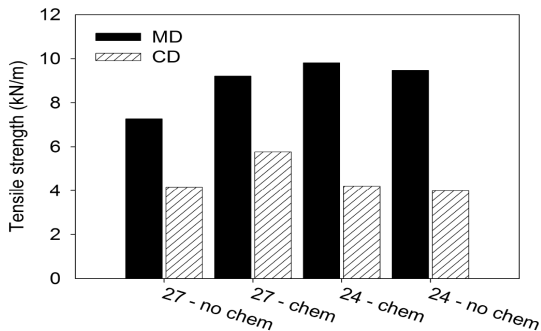


Fig. 9. Effect of PVAm dry strength agents and refining degree on tensile strength.

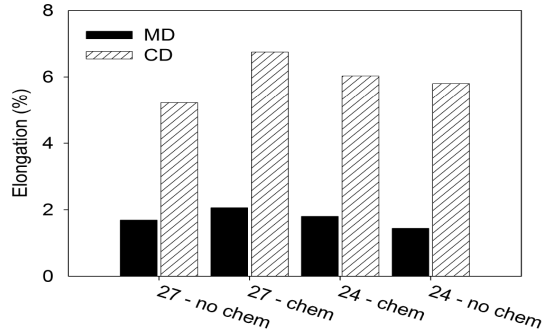


Fig. 10. Effect of PVAm dry strength agents and refining degree on elongation of paper.

하였다. 폭방향에서 고해도를 낮추고 PVAm을 첨가(24-chem)해서 신장률이 [27-no chem]보다 증가된 것을 알 수 있다. 인장에너지흡수(TEA)의 경우도 높은 신장률 때문에 폭방향에서 높게 나타났다 (Fig. 11). 기계방향과 폭방향 모두에서, 고해도를 27°SR에서 24°SR로 낮추면 인장에너지흡수가 감소하였고, 지력증강제를 첨가해서 다시 증가시킬 수 있었다. 지력증강제를 사용하지 않은 경우, 고해도를 27°SR에서 24°SR로 감소시키면서 인장강도는 감소되었다 (Fig. 12). 고해도가 낮은 경우에, 즉 섬유간 결합이 적은 경우에는, PVAm 지력증강제를 사용하면 27°SR로 고해하였을 경우와는 다르게 인장강도가 증가되었다.

투기도는 27°SR로 고해하고 지력증강제를 첨가하지 않은 경우에 22초이었고, PVAm 지력증강제를 0.297% 첨가한 경우, 17.1초로 향상되었다 (Fig. 13). 고해도를 24°SR로 감소시키면 투기도는 12.1초로 향상되고, 여기에 PVAm 지력증강제를 0.297% 첨가하

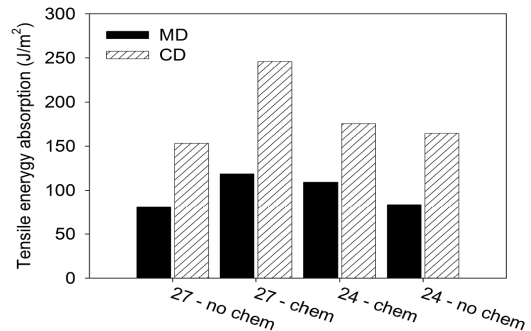


Fig. 11. Effect of PVAm dry strength agents and refining degree on TEA.

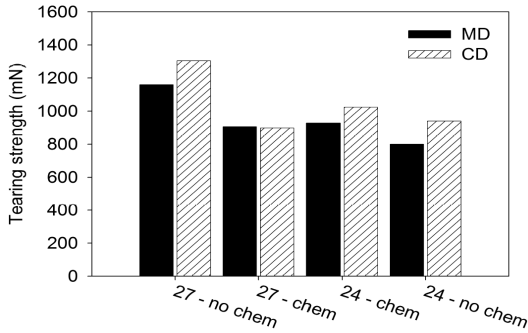


Fig. 12. Effect of PVAm dry strength agents and refining degree on tearing strength.

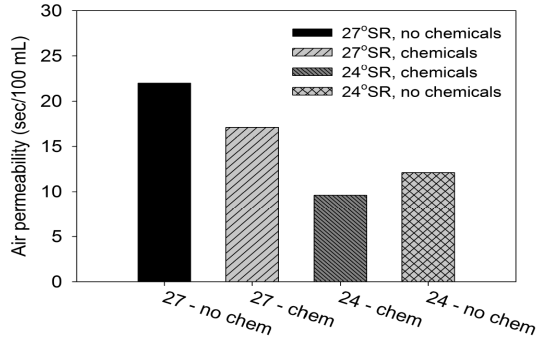


Fig. 13. Effect of PVAm dry strength agents and refining degree on air permeability.

면 9.6초로 더욱 향상되었다.

위의 결과로부터, 고해도를 감소시켜서 종이의 투기도를 향상시키고, 또한 고해동력을 절감할 수 있고, 감소된 고해도 때문에 야기되는 인장강도 등의 강도저하는 PVAm 지력증강제를 사용하여 충분히 보완할 수 있음을 확인하였다.

#### 4. 결론

새로 개발된 양이온성 Hofmann PVAm와 음이온성 PAM으로 구성된 dual polymer type의 지력증강제 시스템을 국내 크라프트지 공장에 적용하였다. 적용결과, 양이온성 PVAm과 음이온성 PAM의 투입비율이 잘 조절되었을 경우에 크라프트지 생산 공정의 안정성에는 큰 영향을 주지 않으면서, 인장강도 (기계방향에서 25.3%, 폭방향에서 48.4%), 신장률 (31.6%, 15.6%), 인장에너지흡수 (48%, 54%)를 증가시킬 수 있음을 확인하였다. 또한 고해도를 낮추고 PVAm 지력증강제를 사용하여, 종이의 강도 저하를 방지하면서 투기성이 높은 크라프트지를 생산할 수 있다는 가능성을 확인하였다. PVAm을 사용하면 섬유간 결합력의 증가로 인하여 인열강도가 감소하나, 이는 고해도를 감소시켜서 보충 가능할 것으로 판단된다.

#### 인용문헌

1. Kato, K.L. and Cameron, R.E., A review of the relationship between thermally-accelerated ageing of pa-

per and hornification, Cellulose 6:23-40 (1999).

2. Nazhad, M.M., Recycled fiber quality - a review, J. Ind. Eng. Chem. 11(3):314-329 (2005).

3. Scott, W.E., Principles of wet end chemistry, TAPPI Press, Atlanta, USA, pp. 49-59, (1996).

4. Paulapuro, H., Papermaking part 1 - Stock preparation and wet end, In Papermaking Science and Technology, Gullichsen J. and Paulapuro H. (ed.), Fapet Oy, Finland, pp. 284-340, (2000).

5. Weisgerber, C.A., Paper of high wet strength and processes therefor, USP 2,721,140 to Hercules Powder Company, October 18 (1955).

6. DiFlavio, J.-L. Bertoia, R., Pelton, R. and Leduc, M., The mechanism of polyvinylamine wet-strengthening, Proceedings of 13th Fundamental Research Symposium, Cambridge, UK, pp. 1293-1361 (2005).

7. Hong, H. and Pelton, R., The surface tension of aqueous polyvinylamine and copolymers with N-vinylformamide, Colloid Polymer Sci. 280:203-205 (2002).

8. Chen, X. Wang, Y. and Pelton, R., pH-dependence of the properties of hydrophobically modified polyvinylamine, Langmuir 21(25):11673-11677 (2005).

9. Geffroy, C., Labeau, M.P., Wong, K., Cabane, B., and Cohen Staurt, M.A., Kinetics of adsorption of polyvinylamine onto cellulose, Colloids and Surfaces 172:47-56 (2000)

10. Shulga, A., Widmaier, J., Pefferkorn, E. Champ, S. and Auweter, H., Kinetics of adsorption of polyvinylamine on cellulose fibers I - Adsorption from salt-free solutions, J. Colloid and Interface Science 258:

- 219-227 (2003).
11. Shulga, A., Widmaier, J., Pefferkorn, E. Champ, S. and Auweter, H., Kinetics of adsorption of polyvinylamine on cellulose fibers II - Adsorption from electrolyte solutions, *J. Colloid and Interface Science* 258: 228-234 (2003).
  12. Chen, W., Leung, V., Kroener, H. and Pelton, R., Polyvinylamine-phenylboronic acid adhesion to cellulose hydrogel, *Langmuir* 25(12):6863-6868 (2009).
  13. Notley, S.M., Chen, W. and Pelton, R., Extraordinary adhesion of phenylboronic acid derivatives of polyvinylamine to wet cellulose: a colloidal probe microscopy investigation, *Langmuir* 25(12):6898-6904 (2009).
  14. Son, D.J. and Kim, B.Y., Study of paper strength properties with polyvinylamine, *J Korea TAPPI* 37(4):26-31 (2005).
  15. Son, D.J. and Kim, B.Y., Improvement of wet-end performance and paper strength with polyvinylamine, *J Korea TAPPI* 37(5): 63-69 (2005).
  16. Tanaka, H. and Senju, R., Preparation of polyvinylamine by the Hofmann degradation of polyacrylamide, *Bulletin of the Chemical Society of Japan* 49(10):2821-2823 (1976).
  17. Institute of Paper Chemistry, Tearing strength of paper, *Instrumentation studies. XLVI, Paper Trade J.* 118(5):13-19 (1944).