

최신 연구 하이라이트

재생섬유 공정의 스티키 문제

「펄프·종이기술」에서는 이번 호부터 제지 분야의 주요 논문을 선정하여 독자 여러분께 소개하는 최신 연구 하이라이트 코너를 시작합니다. 본 코너에서는 연구 결과를 전달하는데 그치지 않고, 해당 기술이 주목받는 배경과 핵심 원리를 살펴보고 생산 현장에서 활용할 수 있는 정보를 함께 소개하고자 합니다. 이를 통해 펄프·제지 분야의 기술 동향을 파악하고, 새로운 연구 주제와 현장문제의 해결 방향에 참고가 될 수 있는 자료를 제공하고자 합니다.

그 첫 번째 시도로 NCSU의 Martin A. Hubbe 교수가 2026년 BioResources에 발표한 “Stickies in Recovered Paper Fiber Suspensions: A Tutorial Review.”를 선정하여 소개합니다. 자세한 내용은 BioResources, 21(3), 8932–8999, DOI: 10.15376/biores.21.3.Hubbe.에서 찾아보실 수 있습니다.

1. 스티키에 의해 발생하는 공정상의 문제는?

- (1) 폐지를 재활용하면 섬유와 함께 라벨 접착제, 포장용 핫멜트 접착제, 도공층의 바인더 등 다양한 점착성 이물질 즉 stickies가 공정에 유입됩니다. 스티키란 이물질 가운데 점착성을 나타내거나 공정 조건에서 점착성을 띠게 되는 물질을 말합니다. 스티키는 종이에 반점이나 얼룩을 만들며, 와이어, 프레스 펄트, 롤, 건조실 린더 표면에 쌓여 지절과 설비 세척을 유발합니다.
- (2) 스티키 관리는 오래전부터 다루 온 과제이지만, 공정으로 유입되는 물질과 운전 조건은 계속 달라지고 있습니다. 폐지 원료의 구성이 변하고 도공 및 포장 소재가 다양해지며, 공정수 재이용이 늘어나면 작은 오염물도 계 내에 축적될 수 있습니다. 특히 최근들어 수성 배리어 코팅을 적용한 포장재가 재활용 공정에 유입되면 새로운 스티키 관리 문제가 발생할 수 있습니다. 따

라서 새로운 코팅 소재를 개발할 때는 사용 중 성능뿐 아니라 재해리와 재활용 과정에서 어떻게 거동하는지도 함께 평가해야 합니다.

2. 스티키의 주요 발생원과 분류

- (1) 스티키의 대표적 발생원은 감압접착제, 핫멜트 접착제, 도공용 바인더입니다. 감압접착제는 라벨 등에 사용되며 높은 점착성을 갖도록 설계됩니다. 핫멜트 접착제는 골판지 상자 등의 접착에 사용되고 온도에 따라 거동이 달라질 수 있습니다. 도공용 바인더는 도공지가 재해리될 때 공정에 유입되며, 그 양이 많을 수 있습니다. 이처럼 발생원과 물질의 특성이 다르므로 모든 스티키에 동일한 관리 방법을 적용하기는 어렵습니다.
- (2) 스티키는 입자 크기와 발생 과정에 따라 다음과 같이 구분합니다.

표. 스티키의 분류

구분	의미	공정상 중요한 점
매크로스티키 (Macrostickies)	스크린에 걸릴 만큼 큰 입자	스크리닝으로 제거할 가능성이 높지만 제품 결점의 원인이 될 수 있음
마이크로스티키 (Microstickies)	스크린을 통과하는 작은 입자	공정수에 남거나 축적될 수 있어 별도의 관리가 필요함
2차 스티키 (Secondary stickies)	작은 입자 등이 이온·고분자·온도 등의 영향으로 응집하거나 표면에 퇴적되는 스티키	처음 측정한 입자 크기만으로 이후의 문제를 예측하기 어려움

3. 스티키가 생산성과 품질에 미치는 영향

- (1) 스티키 문제는 크게 제품 결점과 설비 오염으로 나타납니다. 종이 표면에 남은 스티키는 눈에 보이는 반점이 될 수 있습니다. 또한 지필에서 설비 표면으로 조금씩 전이된 스티키는 초지 패브릭, 프레스 펠트, 롤, 건조 실린더 등에 축적됩니다. 프레스 펠트의 오염은 탈수를 저하시키며, 롤이나 건조부의 침적물은 지필 이송을 불안정하게 만들어 지절로 이어질 수 있습니다. 이로 인해 생산 중단과 설비 세척 시간이 늘어납니다. 즉 스티키의 양이 적더라도 운전 중에 퇴적이 누적될 수 있습니다. 또한 스티키 입자 수나 크기만으로 위험성을 모두 설명할 수는 없습니다. 입자의 점착성, 공정 온도, 접촉하는 설비 표면에 따라 같은 양의 스티키도 서로 다른 결과를 낼 수 있기 때문입니다.

4. 작은 입자가 큰 문제로 바뀌는 과정

- (1) 스티키는 대체로 소수성을 띠므로 서로 뭉치거나 표면에 부착하려는 경향이 있습니다. 그러나 실제 공정수에서는 입자 표면의 전하와 흡착 물질이 스티키를 일시적으로 분산 상태로 유지할 수도 있습니다. 이 균형이 깨지면 작은 입자가 응집하여 2차 스티키 문제로 이어집니다.
- (2) 특히 칼슘 등 다가 이온은 입자 표면의 음전하 작용기를 연결하여 응집을 촉진할 수 있습니다. 양이온성 고분자는 조건에 따라 작은 스티키를 섬유에 붙여 종지와 함께 공정 밖으로 내보내는 데 도움이 됩니다. 반면 스티키가 섬유와 충분히 접촉하기 전에 서로 응집하면 설비 상에 퇴적을 유발할 수도 있습니다.
- (3) 따라서 약품의 종류뿐 아니라 첨가 위치, 혼합 상태, 투입량이 중요합니다. 같은 약품도 조건에 따라 스티키의 안정적인 보류를 돕기도 하지만, 반대로 퇴적되기 쉬운 응집체를 만들 수도 있습니다. 온도 역시 스티키의 점착성과 변형 가능성에 영향을 미치므로, 온도가 높아질수록 문제가 반드시 증가하거나 감소한다고 일반화하기는 어렵습니다.

5. 문제의 원인을 파악하기 위한 측정 방법

- (1) 스티키를 관리하려면 먼저 측정 목적을 정해야 합니다. 원료에 스티키가 얼마나 들어 있는지, 어느 공정에서 제거되는지, 남은 입자가 설비에 얼마나 잘 달라붙는지는 서로 다른 질문입니다.
- (2) 스티키 측정 방법은 크게 다음과 같이 분류할 수 있습니다.
 - ① 염료를 이용한 가시화 및 계수법
스티키는 일반적으로 강한 소수성을 나타내며, 육안 또는 스캐너에 의한 직접 관찰이 용이하지 않다는 특징이 있습니다. 따라서, 이를 보완하기 위하여 염료를 이용한 가시화 기법이 광범위하게 활용되고 있습니다.
 - ② 스크리닝-여과지법 (Screening-filtration methods)
표준 슬롯 스크린(진동 스크린)을 이용하여 재생 섬유 현탁액으로부터 매크로 스티키를 포집한 후, 뷰흐너 깔때기(Büchner funnel)를 통해 여과지 표면에 전착시키고 스캐너 이미지 분석으로 정량하는 방법입니다. 소수성 염료를 병용할 경우 스티키의 가시성을 더욱 향상시킬 수 있습니다. 이 방법은 제지 공장에서 스티키 제거의 첫 번째 단위 공정으로 활용되는 스크리닝 설비와 동일한 원리를 적용한다는 점에서 현장 대표성이 높다고 할 수 있습니다.
 - ③ 여과법 (Filtration-based methods)
재생 섬유 현탁액을 여과하여 스티키를 수집하고 정량하는 방법입니다. 여과에 의해 포집된 스티키는 여과지 표면에서 수지로 검사되거나, 용매 추출 후 중량법으로 정량되는 경우도 있습니다.
 - ④ 침착 시험법 (Deposition test)
실제 초지기 공정 조건을 모사한 장치를 이용하여, 재생 섬유 현탁액 중의 스티키가 forming fabric 또는 금속·플라스틱 판 등의 수용 표면에 침착되는 정도를 정량하는 방법입니다. 대표적인 장치로는 왕복패들방식의 PIRA 침착 시험기가 있으며, 이미지 분석 또는 용매 추출-중량법으로 침착량을 정량화하게 됩니다. 이 방법은 공정 조건(온도, 교반 강도, 체류 시간, 약품 처리 등)에 따른 스티키 침착 거동의 평가에 특히 유용합니다.
 - ⑤ 점착성 측정법 (Tackiness measurement)
스티키 자체의 점착 특성을 정량화하는 방법으로, 건조기의 가열 금속 표면과 종이 시료 사이의 점착력을 일정 장력 하에서 이탈각(peel angle)으로 측정하는 장

치입니다. 이 방법은 온도 상승에 따른 스티키 점착성 변화를 평가하는 데 활용될 수 있습니다.

6. 제거할 수 있는 스티키부터 제거하기

- (1) 스티키 대응 기술을 크게 제거, 점착성 완화, 남은 입자의 안정적인 보류입니다. 그 중 첫 단계는 비교적 큰 입자를 가능한 한 분리하는 것입니다.
- (2) 스크리닝은 매크로스티키 제거의 핵심 공정입니다. 다만 스티키가 부드러거나 압력에 의해 변형되면 슬롯을 통과할 수 있습니다. 해리나 분산 과정에서 큰 스티키가 잘게 쪼개져 스크리닝으로 잡기 어려워질 수도 있습니다. 따라서 해리 강도와 스크리닝 조건 외에도 두 공정의 순서도 함께 검토해야 합니다.
- (3) 하이드로사이클론은 입자의 밀도 차이를 이용합니다. 가벼운 오염물에는 리버스 클리너를, 무거운 오염물에는 포워드 클리너를 활용할 수 있습니다. 그러나 스티키는 조성이 다양하고 밀도가 물과 비슷한 경우도 있으므로 한 종류의 클리너로 모든 입자를 분리하기는 어렵습니다.
- (4) 부상분리는 작은 소수성 입자를 기포에 부착시켜 물에서 분리하는 방법입니다. 스크린을 통과한 마이크로스티키를 다루는 수단으로 부상분리 또는 용존공기부상법(DAF)을 활용할 수 있습니다.

7. 제거되지 않은 스티키의 관리

- (1) 모든 스티키를 경제적으로 제거하기는 어렵습니다. 따라서 남은 입자의 점착성을 낮추고, 설비 대신 섬유에 안정적으로 붙여 종이와 함께 공정 밖으로 내보내는 방법도 필요합니다.
- (2) 탈크나 벤토나이트 같은 무기입자는 스티키 표면을 덮어 입자 간 접촉과 설비 부착을 줄이는 비점착화제로 활용될 수 있습니다. 친수성과 소수성 부분을 함께 가진 고분자는 소수성 부분으로 스티키에 흡착하고 친수성 부분을 물 쪽으로 향하게 하여 입자 간 응집을 방해합니다. 이후 적절한 보류 시스템을 적용하면 처리된 작은 입자를 섬유에 부착시킬 수 있습니다. 다만 이 방법을 적용하려면 스티키가 제품에서 눈에 띄는 결점이 되지 않을 만큼 작고, 점착성도 충분히 낮아야 합니다.
- (3) 효소 처리도 가능합니다. 일부 스티키 성분에 존재하

는 에스터 결합을 효소로 분해하여 표면 성질을 바꾸는 접근입니다. 다만 효소의 효과는 대상 물질뿐 아니라 처리 시간, 온도, 투입량에 좌우되므로 개별 공정에서 성능을 확인해야 합니다.

- (4) 분산 처리는 특히 적용 순서가 중요합니다. 큰 스티키를 잘게 만들면 종이에서 눈에 띄는 결점은 줄어든 수 있습니다. 그러나 동시에 새로 노출되는 점착성 표면이 늘고, 입자가 스크린을 통과하기 쉬워집니다. 따라서 큰 입자를 제거하기 위한 스크리닝 전에 분산 처리를 하거나, 분산 후 작은 입자를 처리할 수단 없이 운전하는 경우에는 결과를 신중히 평가해야 합니다. 논문은 비점착화 처리와 분산을 연계하거나, 분산 후 부상분리로 작은 입자를 제거하는 방안을 소개합니다.

8. 연구와 현장에서 활용할 수 있는 내용

- (1) 이 총설은 하나의 새로운 실험 결과를 보고하는 것이 아니라, 여러 연구와 현장 사례, 특허를 묶어 스티키 관리의 전체 구조를 설명하고 있습니다. 따라서 개별 기술의 성능 수치를 모든 제지공장에 그대로 적용하기보다는, 어떤 문제에 어떤 측정 방법과 공정 기술이 대응하는지 파악하는 자료로 활용하는 것이 적절합니다.
- (2) 특히 재생섬유 공정에서는 다음 세 가지를 살펴볼 필요가 있습니다.
첫째, 스티키의 총량과 함께 크기 분포 및 설비 퇴적 가능성을 확인해야 합니다.
둘째, 스크리닝·분산·약품 처리의 효과를 각각 평가하는 데 그치지 않고 앞뒤 공정에 미치는 영향까지 살펴야 합니다.
셋째, 새로운 점착제나 배리어 코팅을 설계할 때에는 제품의 사용 성능과 더불어 재활용 공정에서 분리되거나 안정적으로 처리될 수 있는지도 평가해야 합니다.
- (3) 결국 스티키 관리는 한 공정에서 한 번 제거하는 것으로 끝나지 않습니다. 유입 원료를 파악하고, 공정 중 입자의 변화를 측정하며, 제거되지 않은 입자의 점착성과 이동 경로를 지속적으로 관리해야 합니다.
- (4) 본 리뷰 논문은 ① 스티키의 발생원 확인 ② 측정 방식 ③ 제거 방안 ④ 비점착화 ⑤ 보류 및 설비 보호의 흐름으로 정리되어 있기 때문에, 재생섬유 공정에서 스티키 문제를 진단하고 개선 방향을 검토할 때 좋은 참고자료라고 판단됩니다.

이에 관한 내용은 학회 홈페이지에 사진과 함께 블로그 형식으로 게재합니다. 사진 자료를 함께 보고 싶은 경우에는 학회 홈페이지를 참고하시기 바랍니다.

■ **작성 및 정리:** 임완희 (펄프종이기술 편집 부위원장)
이학래 (펄프종이기술 편집위원장)