

Dryer 운전 조절에 의한 에너지 효율 향상

최 병학¹ ·곽동수¹ ·서동준¹ ·임정우²

¹ 한솔기술원 제지연구소 · ² 한솔파텍(주)

1. 서론

초지공정은 여러 단계의 단위공정이 연속적으로 결합하여 제품을 생산하고 있으며 이 중 어느 한 단계라도 적절하게 운전되지 못하면 그 부분이 속도결정 단계가 되어 전체 생산성의 하락을 유발하게 된다. 그러나, 실제 운전되는 초지기에서 어느 부분에 생산성 저하의 원인이 있는가를 알아내는 것은 쉬운 일이 아니며 정밀한 측정에 근거한 계산을 통해 원인분석이 가능하다.

초지기 건조부도 일반적으로 과량의 스팀과 고온공기를 이용하여 생산성에 악영향을 주지 않도록 운전되는 경우가 많다. 이 경우 건조부의 운전안정성은 확보할 수 있으나 에너지 효율측면에서는 손실이 발생되며 초지기 전체에서 가장 많은 에너지를 소모하는 건조부에서의 에너지 효율 저하는 전체 초지기 에너지 효율에도 큰 영향을 주게 된다.

본 과제에서는 공정진단에 따른 설비 조정 및 운전방법 개선을 통해 상당한 스팀사용량 절감 및 에너지 효율 향상을 이룰 수 있었으며, 결과적으로 초지속도를 상승시킬 수 있었다. 드라이어 진단은 여러 항목의 측정 및 분석, 문제 항목의 선정 순으로 이루어진다. 현장 측정에 의한 측정값뿐만 아니라 가동설비 및 생산현황등에 대한 정보가 요구된다. 이를 근거로 조절가능한 항목 및 수준을 결정할 수 있게 된다. 이때 참고로 이용되는 권장값은 TAPPI TIP 상의 지종별 guide line 및 초지기 Maker의 설계 기준값, 동일 지종의 고효율 설비의 운전값 등이 될 수 있다.

실시된 드라이어 진단은 이미 발표된 드라이어 진단시스템⁹⁾ 이용하였으며 진단보고서의 제출뿐 아니라 직접적인 조절 및 소규모의 설비보완을 통하여 기존 스팀사용량의 10~20% 절감효과를 거두었다. 총 3개월에 걸쳐 진단과 조절이 실시되었는데 진단 자체는 1주일 정도가 소요되었고 그 이후의 과정은 진단시 도출된 조절항목에 대한 조절 및 설비보완에 소요되었다.

2. 드라이어 진단 및 조절

2-1. 배경

진단이 이루어진 초지기는 B.C유 보일러에서 발생된 스팀을 사용하고 있으며 연소시 발생하는 배기가스 처리설비의 용량 부족으로 인해 한정량 이상의 스팀을 발생시킬 수 없

는 상황에 있었다. 따라서 초지기 운전속도의 상승을 통한 생산성 향상을 위해서는 배기가스 처리설비의 투자를 결정해야만 했다. 이런 시점에서 추가투자 없이 생산량 증대를 목적으로 bottleneck인 스팀량 부족을 에너지 효율향상으로 해결기로 결정하였으며 기존에 구축된 드라이어 진단시스템을 이용하여 설비 및 운전상황을 파악하고, 문제점의 도출 및 개선항목을 선정하였다.

1차 진단 결과 몇 가지 운전조건이 기준값에서 벗어나있고, cascade방식의 드라이어에서 요구되는 스팀압과 차압이 부적절하게 설정되어 있는것을 확인하고 이에 대한 개선안을 마련하였다. 개선안의 실시후에는 추가적인 진단이 이루어졌고 효과파악 및 개선활동의 적절성을 검증하였다.

2-2. 설비 구성

- Multi cylinder : Pre dryer(29cylinders) + After dryer(10cylinders)
- Cylinder : 1524mm(직경) × 3800mm(면장)
- Reel width : 3370mm
- 스팀압 조절 방식 : Cascade differential pressure control
- 급배기 에너지 회수 : Air to Air Heat exchanger
- PV hot air supply line : 2(pre) + 1(after)
- Basement make-up air supply : 2(pre) + 1(after)
- Air flow control : interter에 의한 fan rpm control
- 실린더내 스팀배출 및 효율 향상 : Rotary syphon + spoiler bar
- 평균 Machine speed : 610m/min
- 생산지종 평균 평량 : 45g/m²

2-3. 조절전 운전현황

2-3-1 Steam & condensate section

응축수 회수율

- 총사용 스팀 대비 약 80%의 회수율로 좋은 수준의 회수율을 나타내고 있음
- 스팀 및 응축수 배관의 부적절, 누증/누수에 의한 스팀/응축수의 심각한 손실은 발생되지 않음
- 회수율이 나쁠시에는 보일러에서의 추가적인 보충수의 공급으로 인한 추가 사용스팀 발생

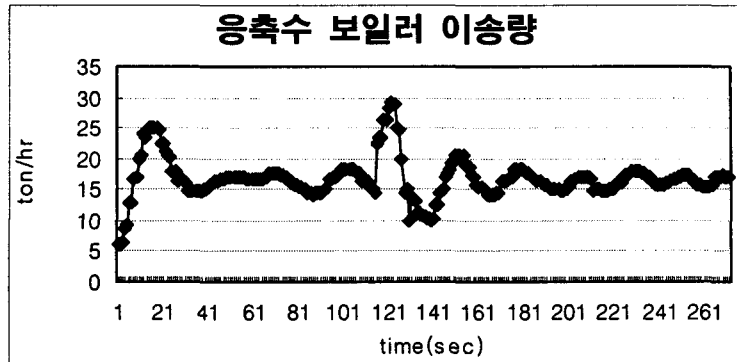


Fig 1. 초음파 유량계를 이용한 응축수 회수량 측정값.

지필, 실린더, 스팀온도

- 실린더표면온도의 급락현상이 나타나지 않는것으로 보아 응축수배출의 문제는 보이지 않음⁽³⁾
- Pre-dryer 20번이후 증발이 거의 완료되어 공급된 열량이 불필요하게 지필의 온도 상승에 이용

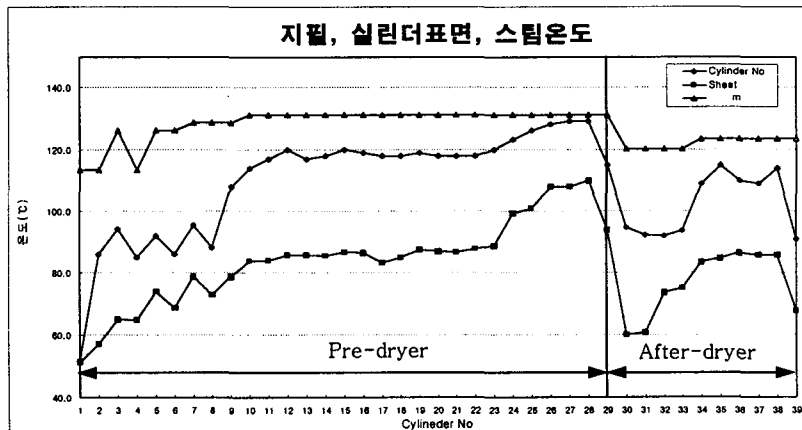


Fig 2. Steam, Cylinder and Sheet 표면온도 측정결과

2-3-2 Hood ventilation system section(Pre-dryer 조절)

- Supply/Exhaust air flow ratio = 40%
- 배기절대습도 = 0.08kg(H₂O)/kg (dry-air)
- 급기온도 = 120℃

2-4. 문제점

- DCS 화면상 수치와 실제 설비값과의 편차 발생
- 응축수 배출이 원활하지 못해 구동부하 상승
- 재증발증기의 계외 방출 및 미활용
- 스팀군간 압력배분 불균일
- 과도한 차압설정
- 배기량 과다로 인한 침입공기 유입으로 후드 열손실 발생



Fig 3. 재증발증기의 계외방출

2-5. 공정 조절내용

2-5-1 Steam & condensate system section

- 응축속도와 초지속도를 기준으로 아래의 그래프를 이용하여 적정차압 선정 및 조절

표 1. 각 스팀군별 응축속도 및 권장차압

스팀군	1	2	3	4	5
응축속도(kg/hr·cyl)	239.0	584.7	320.3	482.5	234.7
권장차압(kPa)	30	35	30	35	30

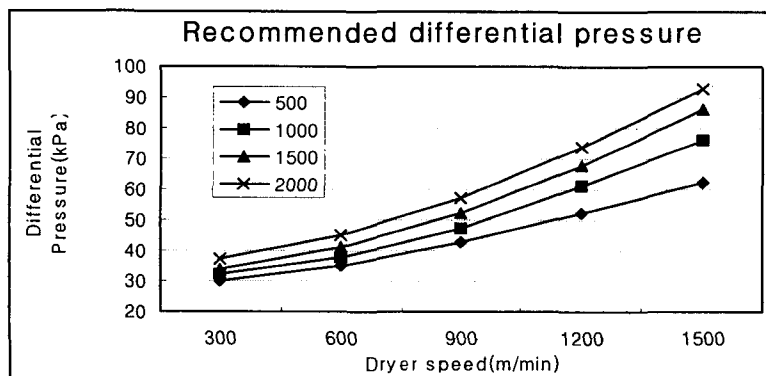


Fig 4. Differential pressure - rotating syphon⁽¹⁾

- 스팀군간 압력 배분 재조정
- 저압군의 압력을 낮춰 재증발증기 활용

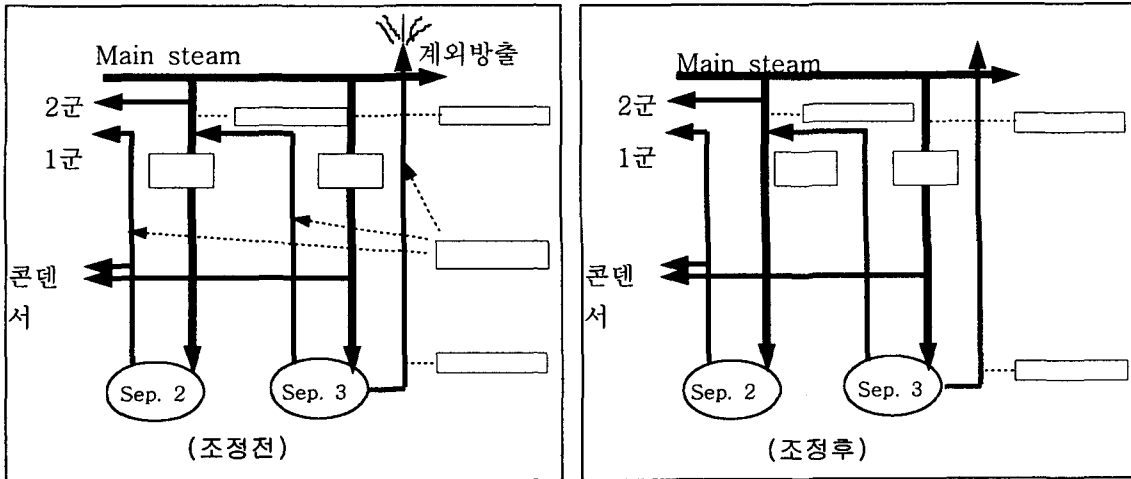


Fig 5. 스팀압 및 차압조절을 통한 재증발증기의 활용

2-5-2 Hood ventilation system section

아래그림은 hood ventilation system의 진단 및 조절절차에 대한 개략도를 나타낸 것이다. 조절시에 우선적으로 배기량의 조절에 의한 배기습도의 조절이 이루어진후 이때 선정된 배기량을 기준으로 적정 급/배기비가 되도록 급기량을 조절한다.

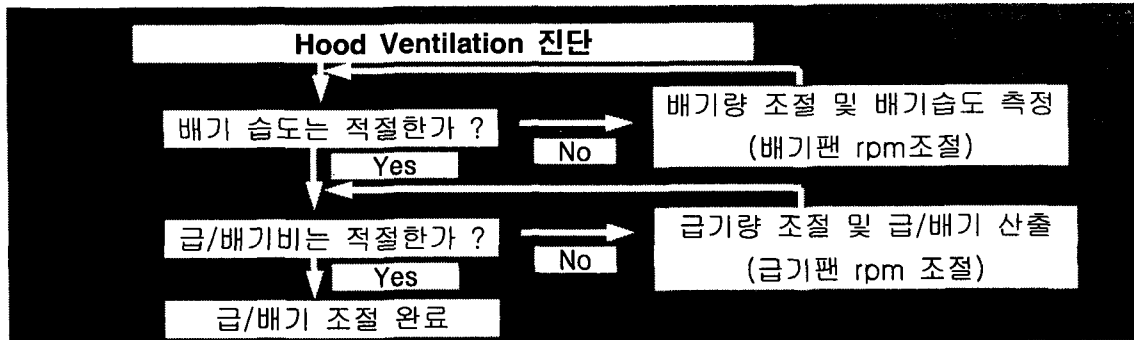


Fig 6. Hood ventilation 급기, 배기량 조절절차

2-5. 조절결과

- 재증발증기의 활용에 따라 스팀사용량 감소 : 18ton/hr → 15ton으로 17%의 스팀 절감

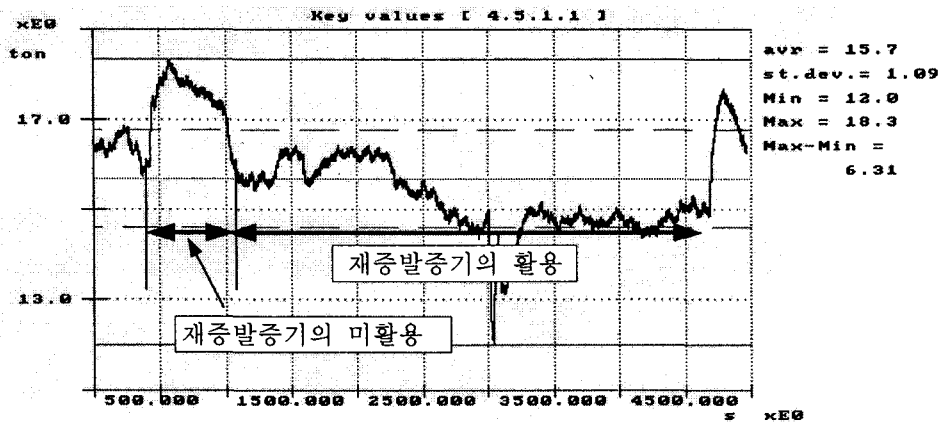


Fig 6. 스팀압 및 차압조절에 따른 스팀사용량 변동

- 배기량 감소를 통한 배기습도 상향과 급/배기비 개선 : 40% → 70%
- 절대습도 상승 : 0.089 → 0.104 kg H₂O/kg DA
- 스팀사용량 절감 : 스팀유량 감소(14.4톤/h → 13.4톤/h)

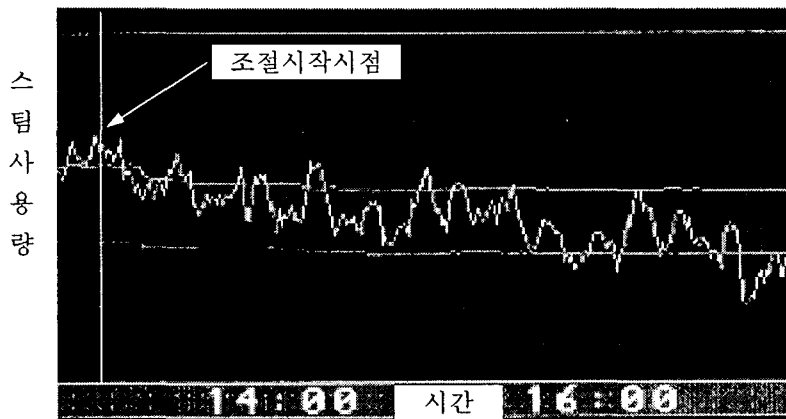


그림 7. Pre-dryer 급/배기비 조절에 따른 스팀유량 Trend의 DCS화면

3. Conclusion

- Cascade multi-cylinder type의 dryer에서 구간 스팀압의 배분과 차압조절을 통한 재증발증기의 활용으로 20%의 스팀사용량이 감소됨
- Hood ventilation system에서 배기습도와 급/배기비의 조절에 의해 5%의 스팀사용량이 절감됨

- 드라이어진단 시스템을 통한 조절은 단기간내 수치화된 기준을 가지고 이루어짐으로 장기간의 테스트에 의한 현장조절보다 시간 및 경비면에서 강점을 가지고 있다.

4. 참고문헌

1. TAPPI, "Technical Information Paper No. 400's"
2. Robert D. Perrault, Operation of the dryer section techniques for problem solving, 1997 Practical aspect of pressing & drying
3. Kenneth C. Hill, " Analyzing the dryer section's steam and condensate system", Tappi J. 76(6), p105-114
4. Kenneth C. Hill, " Modern dryer drainage system design for advanced control of the dryer section", 1999 TAPPI Proceedings, p1289-1291
5. Thomas A. Gardner, " Advanced dryer drainage systems", 1999 TAPPI Proceedings, p1279-1287
7. Jeffrey R. Reese, " Observations from testing dryer section performance", 1992 Tappi Engineering Conf., p629-637
8. David B. Hall, " Application of stationary and rotary syphons", Tappi J. 76(8), p97-105
9. D. J. Seo, " Energy efficiency improvement of paper machine dryer part by process diagnosis", 1999 K. Tappi Spring Conf., p45-48