

드라이어 진단에 의한 에너지 효율 개선

Energy Efficiency Improvement of Papermachine Dryer Part by Process Diagnosis

이 영준 · 최 병학 · 서 동준
한솔기술원 제지연구소

1. 서론

제지공정에서 드라이어부는 프레스부로부터 50~55% 정도의 수분을 포함하고 넘어온 습지필을 열에너지로 가열하여 전폭에 걸쳐 정해진 균일한 수분함량으로 건조시키는 것을 목적으로 하고 있다. 이때 건조에 필요한 열에너지는 통상 스팀형태로 실린더 내부에 직접 공급되거나, Hood Supply Line에 설치된 열교환기를 통해 급기 온도를 상승시키는데 이용된다. 드라이어부에서 사용되는 열에너지는 공정에 따라 다소 차이는 있으나 제지공정 전체 에너지 소비의 약 60% 이상을 차지할 뿐 아니라, 그 에너지의 회수가 어렵다고 하는 점에서 효율을 극대화 할 필요가 있다. 그러나 대부분의 초지기에서는 프로파일 관리의 어려움, 지절우려 등을 이유로 Hood 내부를 적절한 노점 이하로 유지하며, 과건조시키는 경향이 있으며 이 때문에 에너지 사용 효율이 낮은 경우가 많다.

당사에서는 제지연구소에서 약 1년간 진단장비, 프로그램, 기법 등을 자체적으로 구축하여 이를 장항공장 드라이어부 설비 및 운전방법에 대하여 각 호기별로 정밀 공정진단을 실시하고 이에 따른 문제점의 개선 및 운전변수의 조절을 통해 에너지 효율을 대폭 향상시켰으며, 이를 통해 에너지 비용(원단위)의 감소를 달성하였다.

2. 드라이어 진단 절차 및 항목

2.1. 드라이어 진단 절차

드라이어부의 공정진단은 표 1과 같은 절차와 항목에 의해 이루어지며, 원칙적으로는 공정 설비 및 현재 운전상태에 대한 상세 보고서를 제출하는 것으로 완료되나, 대부분의 경우 문제시되는 설비에 대한 진단을 실시하므로 그 문제점에 대한 해결방법을 도출/제시하는 것 또한 공정진단의 내용에 포함된다.

2.2. 드라이어 진단 항목

진단 항목은 크게 나누어 Hood Air Ventilation System, Steam & Condensate System, Profile Variation, 그리고 Trouble-shooting¹⁾ 요소로 나눌 수 있다. 경우에 따라 이들 전부를 실시하거나 일부 항목만을 선별하여 실시할 수도 있다.

각각의 항목들은 다시 측정항목과 계산항목으로 구별이 가능하다. 측정항목은 항목별로 특화된 설비를 사용해 측정된 값을 의미하며, 측정항목과 별도로 조사한 현장 변수를 기초로 계산을 실시해 계산항목의 값들을 얻어낼 수 있다. 이를 정리하면 표 2의 내용과 같다.

표 1. 드라이어부 공정진단 항목 및 사용설비

대항목	실시 항목	사용 설비
준비	각 설비의 성능 Specification 확인 항목별 설계기준치 파악 운전현황, 도면 및 현장자료 입수(DCS 화면 등), 분석실시 현장 관계자와의 토의를 통한 문제점 확인	진단프로그램 입력Sheet 작성
측정 및 현상파악	초지기 주변 및 후드내 온도/습도 상태 측정 Hood Air Ventilation System 측정 (급배기 유량 및 절대습도) Steam & Condensate System 측정 (응축수 유량, 차압 등) 드라이어 각 부분 지필온도, 실린더 표면온도 측정 Cylinder Pocket 건/습구 측정 및 수분계산 드라이어 입출구 지필수분 각 Separator Tank 응축수 발생량	건습구계 Pitot tube유량계 / 건습구계 초음파유량계 열화상측정기 / Pyrometer Psychrometer 적외선 수분계(Handy Type)
계산 및 결과산출	Air, Moisture, Energy Balance 응축부하 및 적정 차압 지중별 Drying Rate 급배기 Ratio (Mass & Volume) 에너지 사용 효율	진단프로그램 계산Sheet 구동
문제점 및 개선안 제시	설비적 문제점 (용량, Line 연결, 센서위치, 부분 설비이상 등) 운전방법상 문제점 (온도, Damper 조절, 급배기 비 등)	

표 2. 드라이어부 공정진단 항목 및 사용설비

구분	측정항목	계산항목
Hood Air Ventilation System	Hood 내외 각 부분의 온도, 공기흐름 Supply / Exhaust 공기유량, 건습구 온도 각 Cylinder Pocket에서의 건/습구 온도 열교환기(Economizer)의 입출구 공기 건습구 및 유속	Air Balance 및 급배기 Ratio Moisture Balance Energy Balance 실린더 포켓내 절대습도 변화 ²⁾ 열교환기 효율
Steam & Condensate System	각 드라이어 실린더 표면온도 각 Open draw 구간에서의 지필온도 스팀군별 응축수 발생량 드라이어 Hood 입출구 지필 수분	각 군별 적정 차압 군별 응축부하 Drying Rate 증발부하
Profile Variation	Press Felt 수분 Profile 드라이어 실린더 표면온도 변화(열화상, Pyrometer) 지필 노출 부분의 지필 수분 Profile Dryer Canvas Permeability	
Trouble Shooting	열화상 측정에 의한 문제부분 확인	에너지 사용 효율

3. 장항공장 PM21 진단사례

3.1 설비 개요

장항공장의 PM21은 MHI 설비이며, 드라이어부의 경우 전형적인 멀티 실린더 방식의 밀폐형 Hood를 채용하고 있다. 사이즈 프레스를 전후로 Pre Dryer와 After Dryer로 구성되며, Pre Dryer 전반부는 고속에서의 습지필의 안정성을 확보하기 위해 Suction Roll을 설치한 Single Tier 방식의 Bel-Run 구간으로 되어있다. 급기는 배기라인과 교차부에 설치된 열교환기에 의해 1차로 가열되며, 스팀코일로 최종 설정 온도까지 가열된다.

Dryer Air System 측정 Sheet			
DATE 99년 10월 27일			
고객 한솔제지			
위치 대한민국 충청, PM22			
SYSTEM #1 Supply Duct(열풍열)			
측정점소 #1 Supply Duct Steam Coil 이후			
AIR TEMPERATURE DATA			
DRY BULB	°C	43	
WET BULB	°C	30	
DUCT SECTION DATA			
관경	mm	3200	
노즐 직경	mm	650	
노즐 FACTOR		1.00	
공통	mm	2.08	
PSYCHROMETRIC DATA			
고분자	mm Hg dry air	0.910	
과제변수1		4.283	
과제변수2		0.027	
열대함량	kg H2O/kg dry air	0.022	
습도비	%	58.9	
		1%	

그림 1. 드라이어 진단 프로그램 측정 Sheet 예 (Supply Air 유속 및 유량)

Dryer Section 진단결과 Summary			
측정일자	99년 10월 27일	측정공정	PM22
대상장비 및 측정기	측정장비	CAS	195 gsm
측정자	이희준, 정영환		
1. 열산량		518	kg BDF/min
관형 열산량		533	kg Paper/min
관형		195	gsm
노즐 직경		570	mm
노즐 직경		500	mm
사이클론 직경		4.49	g/m ²
물 수분		3.3%	%
2. 물량 부하		581	kg H2O/min
관형량		576	kg BDF/hr
드라이어 노즐 수분		5.0%	%
물 수분		3.3%	%
사이클론 직경		25.0%	%
다구 열산량 수분 함량		1.7%	kg H2O/kg BDF
3. Hood Water Balance		530	kg H2O/min
지붕로부터 침투된 수분		590	kg H2O/min
Exhaust Air에 포함된 수분		990	kg H2O/min

그림 2. 드라이어 진단 프로그램 결과 Sheet 예 (Summary)

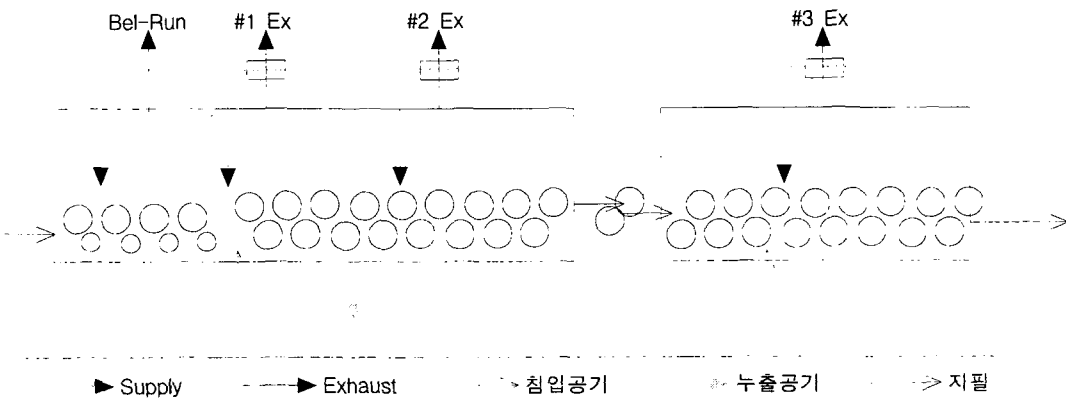


그림 3. 장항공장 PM21 Dryer Part 개략도

3.2 진단 주요 결과

진단을 통해 나타난 주요 결과들을 요약해 보면 다음과 같다.

- 1) Air Balance 결과를 통해 배기량이 최대부하치를 기준으로 필요량보다 20% 정도 많이 배출되고 있었으며,
- 2) 급기량은 전체적으로 균형이 흐뜨러진채 절대량이 부족하게 공급되어 많은 양의 공기가 후드 외부로부터 침입하고 있는 상태로 나타났다³⁾(급기/배기 비 = 30%).
- 3) 급기 온도는 실측치와 DCS 화면상의 수치가 크게는 20℃ 까지 차이가 나는 경우가 있어 필요 이상으로 가열하는 것을 발견하였고,
- 4) 스팀관간에 차압이 과도하여 상당히 많은 스팀이 Blow Through Steam 형태로 소비되고 있었다⁴⁾.
- 5) 설계개념상으로는 급기, 배기 모두 자동운전을 하도록 되어 있으나, 몇 가지 Control 변수가 잘못 설정되어 자동운전을 실시치 못하고 수동운전에 의존해 잦은 지중교체나 평량교체시 신속한 대응이 미흡하도록 되어 있었다.

이러한 문제점들을 현장 관계자들과 협의를 통해 내용을 공유하고 개선계획을 수립, 약 1개월간에 걸쳐 실시 하였으며, 이외에도 Trouble-shooting적인 측면에서 배관의 연결, 증

기누출, 스포일러 바 운영상태 등을 점검하여 신속한 처리를 행하였다. 또한 자동운전과 관련해서는 계장관련 요소의 변경, 추가 설비의 설치 등 시간을 요하는 내용들로 구성되어 장기간의 과제로 실시키로 정하고 현재 진척중에 있다.

4. 장항공장 PM21 개선결과

이러한 개선의 결과로 여러 가지 드라이어 운전관련 수치들에서 개선된 점을 발견할 수 있었는데 요약해보면 다음의 표 3과 같다. 1차 측정 시기가 8월말, 2차 측정 시기가 11월 초로 계절적인 요인을 고려한다면 개선폭은 훨씬 큰 것을 알 수 있다.

표 3. 장항공장 PM21 Dryer Part 운전개선 내용

항 목		개선 전	개선 후
Supply/Exhaust Ratio(%)	Pre-Dryer	27.4	47.7
	After-Dryer	33.4	60.5
Infiltrated Air Flow(kg DA/min)		4523	2725
Lost Energy by Infiltrated-Air(kJ/min)		278,464	145,241
Supply Air Fow(kg DA/min)		1844	2575
Supply Air Temperature(°C)	P.V.	123	105
	Basement	137.5	95
Exhaust Air Flow(min/hr)		6304	5151
Exhausted Energy(kJ/min)		2,031,543	1,784,677
Exhaust Air Moisture(g H ₂ O/kg DA)		105.6	116

결과적으로 이러한 드라이어부 운전관련 수치의 개선은 에너지 효율 증가로 나타나게 되었으며 이를 항목별로 구분하면

- 1) 급기온도 조절에 따른 에너지절감 : 117,357 kJ/min
- 2) Air balance 조절에 따른 에너지 절감 : 침입공기량 감소 107.9 ton/hr
 절감에너지량 : 2.865 ton(steam)/hr
- 3) Exhaust Air Moisture 조절에 따른 스팀원단위 감소량 :
 2.100 ton(steam)/ton(products) → 1.818 ton(steam)/ton(products)
- 4) 배기량 감소에 따른 Hood내 공기흐름 개선으로 종이의 fluttering이 줄고 지필 주행성 개선되었다.

참고 문헌

1. John A. Charles and John A. Tybrski : Practical Aspects of Pressing and Drying Seminar, pp. 145(1993)
2. Relative Humidity : Themodynamic Charts, Tappi Press
3. Valmet Pansio Dryer Section Operation Instructions (1998)
4. Robert D. Perrault : "Operation of the Dryer Section Techniques for Problem Solving", Practical Aspects of Pressing and Drying Short Course (1997)