

스팀 / 응축수 시스템

서동준

1. 개요

그림 1은 단순화시킨 초지기의 스팀 / 응축수 시스템을 나타낸다. 초지기에서 가장 스팀 사용이 많은 부분이며 이 시스템의 가장 중요한 목적은 건조에 필요한 에너지를 충분히 공급하고 초지 방향으로 적절한 온도조절을 하는 것이다. 이를 위해서는 생성되는 응축수와 함께 스팀 및 공기를 효율적으로 배출시켜야 하며 또한 경제적으로 운용되어야만 한다.

멀티 실린더 드라이어의 경우 거의 대부분 캐스캐이드 시스템을 채택하고 있는데 이의 기본적 구조는 다음 그림 2와 같다.

2. 설계 기준

스팀 시스템의 설계는 응축수의 발생을 기준으로 하

여 설계하는 것이 일반적이다. 각 초지기 공급 업체나 드라이어 설비 관련 업체는 제각기 지중별로 드라이어 시뮬레이션 프로그램을 가지고 있으며, 설계시 이를 적극 활용하고 있다. 사용하는 스팀의 공급원, 생산하는 지중 등에 따라 다를 수 있으나 통상 습지필내의 수분 1 kg을 증발시키는데 1.1~1.3 kg의 응축수가 발생하는 것으로 되어 있다. 또한 생산하려는 전체 지중이나 평량 범위 그리고 향후 생산성 계획 등도 충분히 고려되어야 할 요소들이다.

스팀군의 구분은 위의 고려사항 외에도 사용하려는 사이폰의 종류, 시스템의 종류(캐스캐이드, 써모컴프레서) 등에 의해서도 달라질 수 있다. 일단 스팀군의 구분이 이루어지면 각 부분별 배관의 세부 설계가 이루어지며 다음과 같은 기준이 일반적으로 적용된다.

- 증증기 (메인 스팀 헤드에서 사용 지점까지) : 30 ~ 50 m/s
- 재증발 증기 (미량 응축수 포함, 저압) : 10 ~ 20 m/s

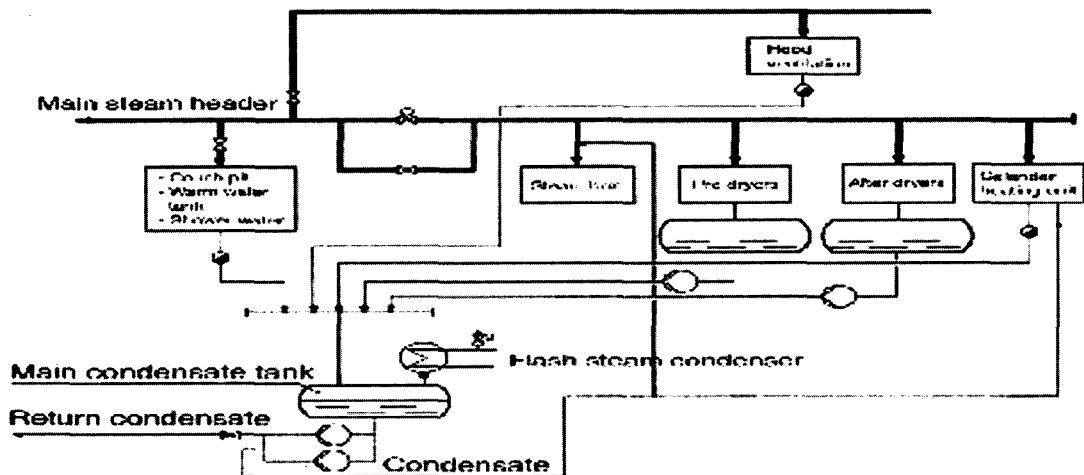


그림 1. 초지기의 스팀 / 응축수 시스템

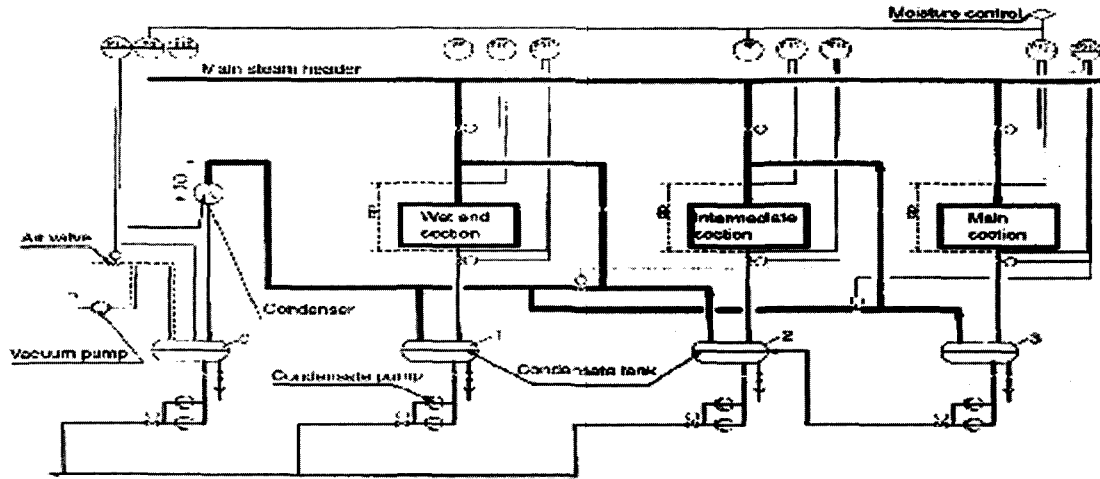


그림 2. 기본적인 캐스캐이드 시스템

- 재증발 증기 (응축수 약간 포함) : 5 ~ 10 m/s
- 응축수 (응축수 배출 펌프 흡입구쪽) : 1 m/s 이하
- 응축수 (응축수 배출 펌프 토출구쪽) : 1 m/s 이상

3. 사용 설비

일반적으로 스팀 시스템에 사용되는 설비는 다음과 같은 것들이 있다.

드라이어 실린더, 사이폰, 스포일러 바, 응축수 탱크(세퍼레이트 탱크), 컨덴서(열교환기), 응축수 배출 펌프, 진공펌프, 써모 컵프레서, 컨트롤 밸브, 안전 밸브, 체크 밸브, 응축수 트랩, 에어 트랩, 필터, 금속 호스 및 벨로우즈, 압력계, 온도계, 액위계, 유량계, Sight glass 등

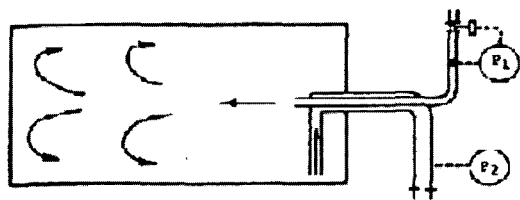


그림 3. 드라이어 실린더에서 스팀의 공급과 응축수의 제거

4. 응축수의 거동

그림 3은 너무 단순할지는 몰라도 하나의 실린더내에서 아직도 일반적으로 실린더로부터 응축수를 제거하고 실린더에 스팀을 공급하는데 이용되는 방법이다. 스팀은 뒷면의 연결대(journal)의 가운데 파이프를 통해서 유입된다. 응축수는 스팀과 함께 사이폰을 통해 스팀파이프와 동심원을 이루고 있는 파이프로 가게 된다. 폭이 넓은 초지기의 경우에는 사이폰은 실린더 양쪽에서 사용될 수도 있다.

4.1 응축수의 거동

여기에서 고민거리는 효율적으로 문제없이 응축수를 제거하는 것이다. 응축수는 실린더의 아래쪽에 고여있거나 회전하는 응축수 링으로 존재할 수 있다. 그림 4는 초속에 따라서 조건이 어떻게 변하는가를 설명한다. 물웅덩이에서 림으로의 변화는 실린더의 직경과 응축수 제거 효율에 달려있기는 하나 약 300 m/min 부근에서 일어난다; 이러한 변환은 흔히 부하의 변동을 동반하는데 이는 문제를 야기할 수도 있다. 실린더 직경이 클 경우 림을 형성하기 위해서는 더높은 속도가 요구된다. 림이 깨지는 것은 림이 형성되는 속도보다 낮은 속도에서 일어난다.

림이 발생하는 조건이 개시되어도 응축수 층 내에서는 상당한 요동이 아직 일어나며, 이는 열전달을 유지하도록 도와준다. 그러나, 속도가 증가하면서 응축수

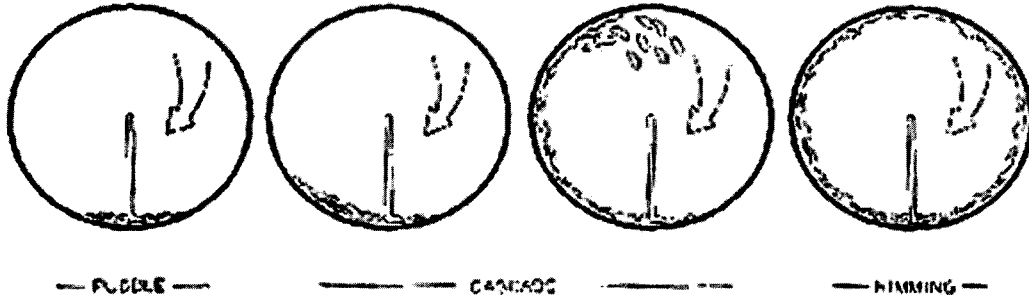


그림 4. 초지기 속도에 따른 드라이어 실린더 내부 응축수의 거동

층은 더욱 움직이지 않게 되며 응축수 층의 두께를 최소화하는 것이 더욱 중요하게 된다. 과학자들은 립이 윗쪽에서 단순히 중력 때문에 두꺼운 것을 깨달았으며 실험적으로도 손쉽게 확인되었다. 다음의 결론은 이 립은 매우 불안정해서 계산이 가능한 크기와 주기를 가지고 진동한다는 것이다. 이것 또한 실험적으로 입증되었다. 그림 5는 드라이어 실린더 내에서 진동하는 립을 나타낸다.

그림 6은 서로 다른 실린더 직경에서의 초지기 속도의 함수로 얻어진 위쪽과 아래쪽의 응축수 층의 두께이다. 같은 속도에서 보다 큰 직경의 실린더가 립의 변동이 더 크다. 두 가지 경우 모두에서 속도가 증가할수록 립 변동은 줄어들며, 그러나 없어지지 않는다.

5. 주요 설비 및 원리

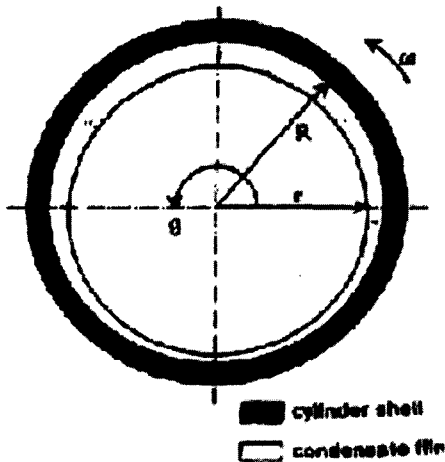


그림 5. 회전하는 실린더 내부 응축수 립

5.1 터블런스 발생 (스포일러 바)

과학자들은 응축수 립의 진동은 응축수 층 내에서 모다 요동을 발생하도록 이용될 수 있음을 깨달았다. 그들은 실린더 내벽상에 놓여진 일련의 바를 가로지르며 립이 깨지는 시스템을 구상해 내었다. 이것이 최근의 초지기에는 일반적으로 이용되는 스포일러 바(터블런스 바)이다.

바들은 단면이 3 × 20mm 이고 길이가 1m 이다. 최고의 효과를 내기위해 원주상에 설치되어야 할 수량은 수학적으로 최적화할 수 있다. 아래 그림7에 25개의 드라이어 바를 설치한 예를 설명하고 있으며 그러나 보다 많이 사용되는 개수는 30개이다. 바는 링에 의해 제자리를 유지하고 실린더 표면온도가 높은 곳에 설치하는 것이 유리하다. 일반적으로 실린더의 양 끝 쪽이 더 뜨겁기는 하지만, 바를 끝까지 닿도록 하지는 않는다. 주어진 스팀압에서, 실린더 온도는 통상 약 8~10℃ 까지도 증가될 수 있다.

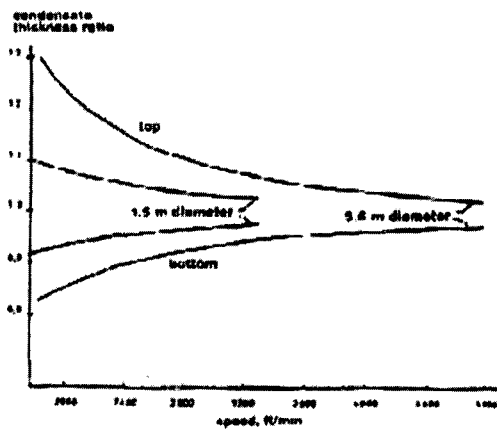


그림 6. 응축수 두께 (속도, 실린더 직경, 위 아래 영향)

표 1. 초지 속도별 건조능력에 대한 스포일러바의 효과

초지기 속도 m/min	건조능력 향상 %
150 ~ 365	0
365 ~ 460	0 ~ 5
460 ~ 610	3 ~ 10
610 ~ 760	5 ~ 12
760 ~ 915	10 ~ 15
915 이상	12 ~ 20

스포일러 바는 고속으로 운전되는 초지기일수록 더욱 효과가 큰데 왜냐하면 속도가 올라갈수록 림은 안정적이고 표면에 고정되어 자연적으로 발생하는 터블런스(불안정)가 작기 때문이다. 350 m/min 이하로 운전되는 초지기에 스포일러 바를 설치하는 것은 크게 건조능력 향상을 기대하기 어렵다.

5.2 응축수 제거

건조 능력을 최대한으로 유지하고 부하의 변동을 피하기 위해 드라이어 실린더가 응축수로 차는 것을 방

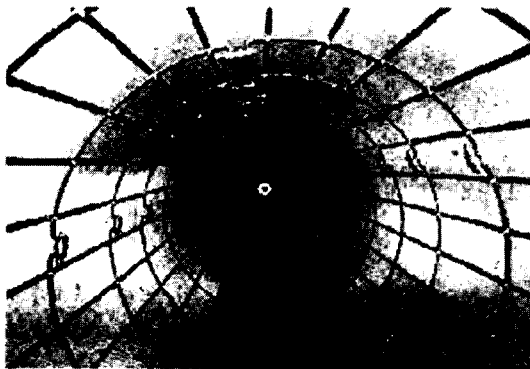


그림 7. 실린더 내부에 설치된 스포일러 바

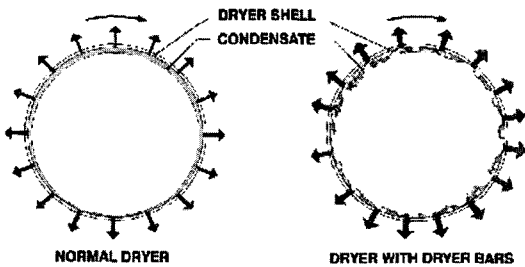


그림 8. 스포일러 바의 운전 원리

지하는 것은 중요하다. 사실 드라이어 내의 응축수 부피는 항상 최소화 되어야 한다. 이 목적을 달성하기 위해 응축수 제거에 영향을 미치는 요소들은 올바르게 선택되고 조절되어야만 한다. 보다 어려운 요소들 중 하나는 블로우 쓰루 스팀의 유속이다.

5.3 블로우 쓰루 스팀

여러 가지 이유로 응축수를 실린더로부터 액체 기동 상태로 제거하는 것은 가능하지 않다. 응축수를 불어 내는데 스팀이 이용되어야만 한다. 스팀은 또한 스팀과 함께 들어가서 실린더 벽상에 응축될 경우 흐름을 심각하게 감소시킬 비응축성 가스(주로 CO₂)를 불어 내기도 한다.

경제적으로는 “블로우 쓰루” 스팀의 흐름을 최소화 하는 것이 바람직하다. 그러나 동시에 모든 운전 조건 하에서 적절한 흐름이 유지되어야만 하며, 가장 주요한 어려움은 지질 발생시이다. (스팀흐름의 조절은 이상의 나중에서 논의한다.) 과도한 블로우 쓰루 스팀은 비용을 가중시키고, 배관 요소들을 마모시키며 스팀 시스템의 융통성을 감소시킨다. 전통적으로, 차압은 블로우 쓰루 스팀에 대한 조절 변수였다. 최신의 해답은 질량유량계를 이용하여 모든 스팀군에 적합한 수준의 블로우 쓰루 흐름 속도를 자동 조절하는 것이다.

아래 그림 9는 스팀군에 걸쳐 (적절한 응축수 제거를 위해) 적절한 압력하락을 유지하기 위해 응축수 배기통으로부터 충분한 스팀을 빼내줌에 의해 블로우 쓰루를 조절하는 전통적인 방법을 보여준다. 실린더 전의 헤더에서의 스팀압은 바라는 지필 건조도를 주기 위해 자동적으로 조절된다.

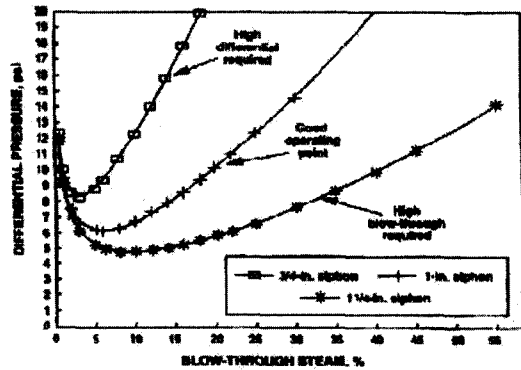


그림 9. 사이폰의 크기에 따른 블로우 쓰루 스팀의 양

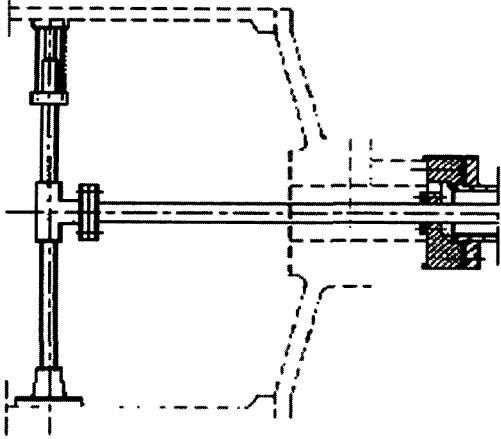


그림 10. Rotary Siphon

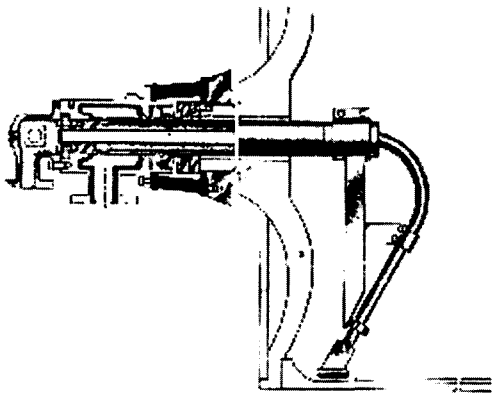


그림 11. 고속용 Stationary 사이폰

지질시에는 응축수 발생량이 정상운전시의 10%로 떨어지나 동시에 실린더 벽면을 가로지르는 온도 하락도 사라진다. 이것은 실린더 표면의 과열을 방지하고 실린더의 넘침을 방지하기 위한 즉각적인 조치를 요구한다. 오늘날에는 이것은 공정컴퓨터의 작업이다.

5.4 사이폰

사이폰은 실린더 내부에 설치되어 발생하는 응축수를 외부로 배출하는데 이용되는 설비이다. 형식에 따라 고정식(Stationary)과 회전식(Rotary)이 있다.

회전식 사이폰의 경우, 블로우 쓰루 스팀과 함께 제거되는 응축수는 중앙부의 출구 파이프를 나가기 위해 원심력을 극복해야만 한다. 이를 위해서는 일정값 이상의 스팀유속을 요구하게 된다; 제대로 크기가 정해

진 사이폰 직경이라면 해당하는 압력 강하는 크지 않을 것이다. 그러나, 실린더내에서 응축수 발생량이 많고 사이폰 배관이 응축수로 가득차 있다면 문제가 발생한다. 응축수를 배출하는데 빠른 초지기에서 가능한 압력차보다 훨씬 큰 차압을 요구하게 된다.

고정식 사이폰의 경우 훨씬 낮은 차압으로 운전이 가능하다는 잇점이 있으나 기계적인 안정성이 훨씬 요구된다. 최근 고속용의 설계가 개발되면서 사용이 확대되어지고 있다.

표 2. 사이폰 타입에 따른 장점 비교

Stationary Siphon의 장점	Rotary Siphon의 장점
- 낮은 차압을 요구함.	- 일정한 간극의 유지가 가능하며 기계적으로 내구성이 좋음.
- 블로우 쓰루 스팀양이 작음.	- 드라이어 폭방향 어느 위치에도 설치가 가능함.
- 광범위한 초속 범위에 대응가능.	- 스포일러 바가 설치된 곳에도 설치 가능.
- 한 가지 규격으로 전체 드라이어 부에 대응이 가능함.	
- 초지기 정지후 가동시 응축수배출 용이.	

5.5 스팀과 응축수 흐름의 조절

아래 그림 12는 4단계 스팀군으로 구성된 드라이어 부를 보여준다.

이 예는 몇 가지 점에서 구식일 수 있으나 원칙을 설명하기에는 충분하다. 압력이 250 kPa인 스팀이 처음 군과 두번째 군으로(릴에 가장 가까운) 들어가며, 스팀압의 조절이 필요할 경우 다른 군으로도 들어갈 수 있다. 처음 군과 두번째 군은 사이즈 프레스 후와

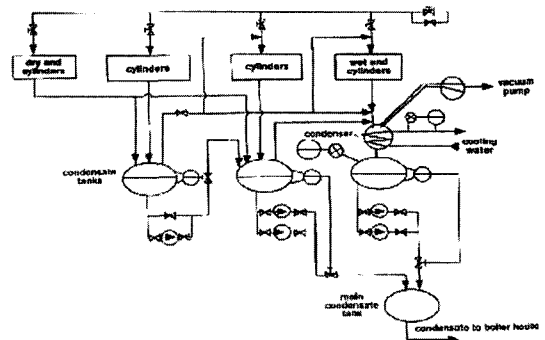


그림 12. 스팀/응축수 시스템의 운전 원칙

전에 위치한다(사이즈 프레스에서 종이는 물을 흡수한다). 응축수와 이물 군으로부터의 블로우 쓰루 스팀은 공통의 응축수 탱크로 들어가며 이곳에서 스팀은(약간의 재증발 증기를 포함해) 분리되어 세번째 군으로 공급된다. 세번째 그리고 네번째 스팀 군은 각각 응축수 받이를 가지고 있다. 세번째 군에서 분리된 스팀은 네번째 군과 마지막 군으로 공급된다.

마지막 스팀군은 단지 2에서 5개의 실린더를 가지며 낮은 실린더 온도를 보장하고 군간에 요구되는 압력 하락을 잘 조절하기 위해 20에서 40 kPa의 진공하에서 운전될 수도 있다. 이 군으로부터 제거된 응축수와 블로우 쓰루 스팀은 컨테서를 거쳐 감압 탱크로 가며 전체 초기기의 응축수 탱크로 모여진다. 그곳으로부터의 목적지는 보일러실이다. 이 시스템은 안정적으로 응축수를 제거하기 위해 군간에 충분한 압력 하락을 제공하도록 미세 조정이 되어야 한다.

지절시에는 응축수 발생량이 적으며 또한 초기기를 재가동 시킬 때에는 종이 품질 문제를 피하기 위해 실린더 온도가 낮아야 하는데 이 때에도 안정적으로 시스템이 운전되도록 특별한 주의를 기울여야 한다. 적절한 자동 조절 전략이 수립되어야 한다.

모든 응축수는 다시 보일러실로 재순환하며 스팀 공급을 위해 재가열된다. 소비되는 스팀 톤수는 초기기로 공급되는 스팀과 보일러실로 돌아가는 응축수의 열용량을 "정규(normal)" 스팀의 1톤이 가지는 열용량으로 나누는 값이라고 고려할 수 있다. 이론적으로 1.25 kg의 정규스팀(2830 kJ)이 1 kg의 물을 기화시키는데 필요로 한다. 실제로는 1 kg의 물을 기화시키는데 필요한 통상적인 스팀 사용량은 1.4~2.0 kg 범위에 있다.

최신식 초기기에서는 아래 그림에 보이는 스팀/응축수 시스템의 변형이 사용되고 있다. 예를 들면, 스팀

으로 가동되는 제트 방출기(thermo-compressor)가 블로우 쓰루 스팀 압력을 높여 같은 스팀군 내에서 사용될 수 있도록 하는데 이용된다. 이러한 배치를 하면 군간에 압력 강하를 최소로 해야할 필요가 없어진다. 단점은 전체 스팀 사용의 30%가 스팀압을 올리는데 소비되어 버린다는 것이다.

6. 압력과 차압의 조절

6.1 일반원칙

스팀압력을 조절하는 목적은 드라이어 실린더 표면 온도를 조절하기 위해서이다. 그러나 표면온도의 측정이 용이하지 않기 때문에 압력을 조절요소로 하여 운전을 하는 것이 일반적이 되어버렸다. 또한 차압은 실린더 내부에서 발생하는 응축수를 배출시키기 위해 필요한 조절로 엄밀히 말하자면 공급 head와 사이폰 배출구 사이의 압력차이를 말하는 것이다. 그러나 설비적인 구성 면에서 압력계가 공급 헤드와 배출 헤드에 설치되는 것이 일반적이므로 통상은 공급헤드와 배출헤드 사이의 압력차를 차압이라고 한다. 다음 그림 14는 위의 설명을 간략하게 보여주며 압력계들의 설치 위치를 나타내고 있다.

6.2 차압의 조절

차압을 조절하기 위해 밸브를 설치하는 방법은 다양하다. 다음 그림 15는 세 가지 사례를 표시하고 있다. 가장 일반적인 방법은 세 번째 C와 같은 방법이다. 차

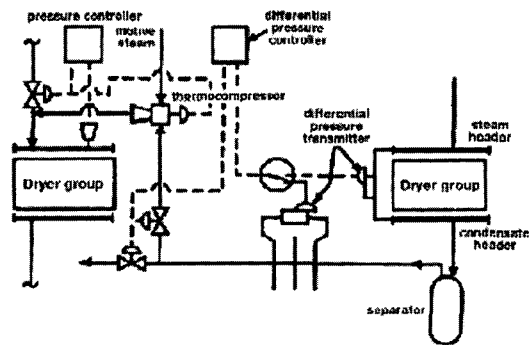


그림 13. 써모컴프레서를 이용하는 드라이어 구성

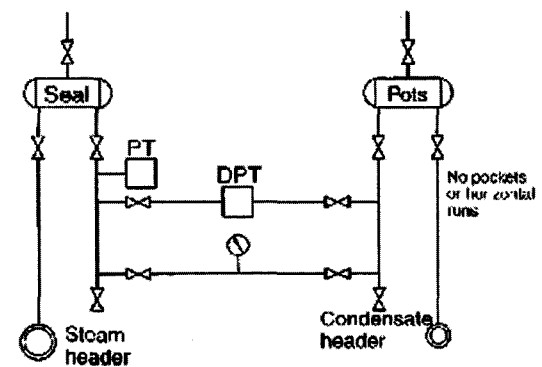


그림 14. 각 헤더와 설치 압력계

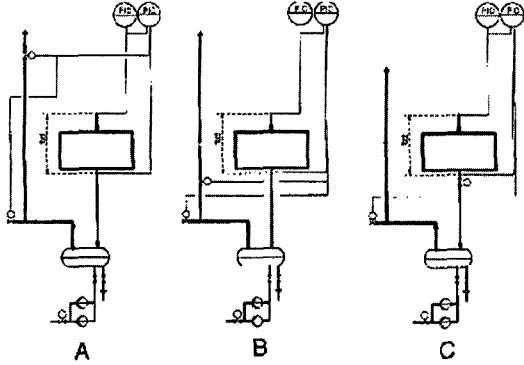


그림 15. 캐스캐이드 시스템에서 다양한 차압조절 밸브 위치

압밸브가 세퍼레이트 탱크 이전에 설치되어 있으며 이 방법의 장점은 여러군데에서 발생한 응축수를 하나의 세퍼레이트 탱크를 이용해 모을 수 있다는 것이다.

6.3 운전 및 설계 원칙

초지기의 드라이어 실린더는 크게 세 그룹으로 나뉜다(그림 21 참조). Wet-end 부분, 중간 부분, 메인 부분. 이 외에도 응축기와 진공펌프가 있을 수 있다. 메인 부분은 필요한 스팀을 메인 라인으로부터 받는다. 결국 이 부분의 스팀압력이 가장 높게 된다. 최고값으로 메인 스팀라인압에서 20 kPa 낮은 수준까지 사용

이 가능하다. 그러나 이것은 지종과 평량, 생산조건에 따라 달라지는 값이다. 전체 드라이어 실린더 개수 중 메인부분이 50 ~ 60 %를 차지한다. 운전의 용이성이나 압력 조절의 범위를 고려하여 이것을 다시 몇 개의 스팀군으로 나누어 구성할 수 있다.

여기에서 발생한 응축수와 블로우 쓰루 스팀은 No.3 세퍼레이트 탱크로 간다. 세퍼레이트 탱크에서 응축수와 블로우 쓰루 스팀이 분리되며, 압력차에 의해 재증발 증기가 발생되어 중간 부분의 스팀군으로 들어가게 된다. 또한 필요한 스팀압을 유지하기 위해 메인 스팀라인으로부터 생증기도 도입된다. 결국 실린더 내부의 응축수를 제거하기 위한 압력차(DP)와 초지방향으로의 균간의 스팀 흐름을 원활히 하기 위한 압력차(PF)를 적절하게 조절해야 최적의 운전변수를 찾아낼 수 있다. 일반적으로 최소한 필요한 PF는 앞선군의 DP + 15 kPa이다. 통상적으로 초지기에서 설정되는 PF는 50~100 kPa 이다.

같은 원칙이 중간 부분과 wet-end 부분의 스팀군 간에도 적용되며 경우에 따라서는 PF와 DP를 유지하기 위해 진공이 필요한 경우도 있다. 그러나 기본적으로 진공펌프의 역할은 계로부터 공기와 비 응축성 가스를 뽑아내는 것이다. 진공펌프의 석션파이프에 설치된 에어 밸브를 조작하여 콘덴서에서 필요로 하는 압력을 조절할 수 있다. 이것은 또한 스팀군의 차압과도 연동되어 운전될 필요가 있다.