

후드 벤틸레이션

서동준

1. 개요

건조중에 증발된 물은 지필상에 습도가 높아져 증발 과정을 방해하지 않도록 순환공기에 의해 제거되어야 한다. 동시에 가열된 새로운 급기의 부피는 최소한으로 유지되어야 한다. 얼마나 새로운 공기의 취입량을 억제할 수 있는가는 공급된 공기량 톤당 건조되는 물의 무게로부터 판단될 수 있다. 효과적인 운전을 위한 방법은 드라이어 후드를 적절하게 환기시키는 것이며 이것은 적정 온도와 습도의 공기를 적절한 장소로 끌어들이는 것으로 달성 가능하다.

좋은 환기 시스템은 증발된 물을 배출하는데 필요한 공기의 적어도 85%를 공급해주는 것이다. 후드는 문의 윗부분까지는 미약한 진공상태로, 문의 바로 윗부분을 약간의 고압상태로 운전한다. 그러므로 습한 공기가 초지실로 빠져 나오지는 못하며 초지실로부터 후드로 침입해 들어가는 공기는 15%를 넘지 않는다. 대부분의 환기 공기는 드라이어 실린더 사이에 위치하는 하나 다음 그림 1과 같이 드라이어 패브릭 바깥쪽에 위치한 블로우 박스를 통해 도입된다.

드라이어 패브릭과 실린더 사이의 벌어지는 넓은 진공을 발생시키고 블로우 박스로부터 드라이어 포켓으

로 가열된 건조한 공기를 흡입한다. 동시에 포켓의 습한 공기는 패브릭 터닝롤 반대쪽의 패브릭과 실린더 사이의 좁아지는 틈에서 배출된다. 이러한 드라이어 포켓에 의한 자동 환기는 패브릭의 통기성과 포켓의 형태적 특성에 따라 달라진다. 공기흐름은 지필의 펄럭임을 일으킬 정도로 강해서는 안되며 포켓으로 들어가고 나오는 수평 공기흐름의 속도가 2 m/s를 넘지 않는 수준으로 충분히 균형을 이루어야 한다.

포켓으로 들어가고 나오는 공기의 유량은 균형을 이루어야 한다. 때때로 불균형은 패브릭 터닝롤을 약간 이동시켜 교정할 수 있다. 만일 패브릭을 통해 흡입되는 공기보다 많은 양이 패브릭을 통해 배출되면 공기는 초지기 양쪽 측면에서 포켓내로 흡입되고, 이것은 지필 양쪽이 과건조 되도록 한다. 블로우 박스는 여러 개의 단위로 나뉘어져 종종 습도가 더 높은 포켓의 가운데 부분에 더 많은 공기를 도입할 수 있도록 한다. 급기는 스팀에 의해 열교환기에서 80℃까지 가열된다. 스팀에 포함된 열과 비교할 때 공기에 포함된 열이 낮기 때문에, 급기 온도를 더 높게 하는 것으로 달성할 수 있는 잇점은 거의 없다.

2. 주요 설비 및 운전 조절 요소

2.1 Hood Frame

후드 프레임의 경우 최근의 초지기들은 대부분 드라이어부 전체를 완전히 밀폐시킨 전밀폐식 후드인 경우가 많다. 이전에는 개방형(Open Type), 반밀폐식(Half Closed) 방식도 이용되었으나 에너지 효율 측면과 후드 내부를 균일하게 유지할 수 있다는 점, 고속화에 따른 지필 주행성의 문제 등으로 인해 점차 전밀폐형으로 이전되는 추세이다. 후드 프레임은 스테인레스 또는 알루미늄판 사이에 단열재를 넣은 샌드위치

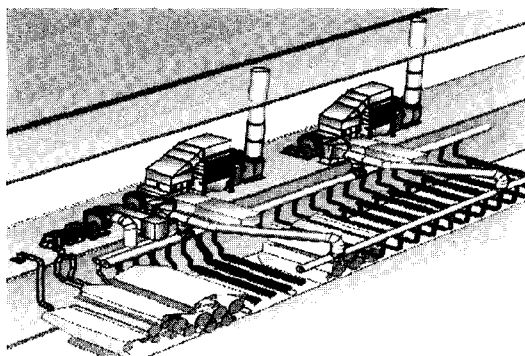


그림 1. 일반적인 밀폐형 후드 벤틸레이션 시스템

표 1. 후드 Type별 운전조건 계산 예

항목	개방형 후드	밀폐형 후드	고노점 후드
통상 배기 습도 kgH ₂ O/kgDA	0.04 ~ 0.07	0.12 ~ 0.14	0.16 ~ 0.18
노점 ℃	37 ~ 46	55 ~ 58	60 ~ 63
통상 배기 온도 ℃	50 ~ 60	75 ~ 85	80 ~ 90
배기에 대한 침입공기 질량비 %	50 ~ 70	20 ~ 40	20 ~ 30
물 1 kg을 제거하는데 필요한 배기량 kg DA	20 ~ 30	8 ~ 10	6 ~ 7

패널이 주류이며, 열전달을 최소화하여 에너지 손실을 줄일 수 있는 구조를 채택하거나 페놀 폼, 우레탄 폼 등의 고성능 보온재를 기존의 유리솜(글래스 울) 대신 사용하여 단열효과를 높인 고노점(高露点) 후드의 도입도 이루어지고 있다. 고노점 후드의 경우 전체적으로 후드내부로 들어오거나 나가는 공기의 양이 극도로 적어지므로 안정적인 환경을 유지할 수 있다는 장점이 있으나 반면 설비적인 보완 또는 개조를 해야하고 운전시의 관리도 철저히 해야할 필요가 있다. 고노점 후드의 특징은

- 후드의 단열성능을 향상시키기 위해 종래의 글래스울 보온재를 바꿔 페놀폼 보온재를 채용하며
- 후드의 통지 개구부를 가능한 한 폐쇄해 이 부분으로부터 공기의 유동을 가능한 한 적게 한다.
- 후드 급배기량의 관리를 정확하게 행하는 시스템으로 하여 열경제성을 유지 등을 들을 수 있다.

또한 장점으로는

- 후드 배기 노점온도를 60~65℃로 운전할 수 있다.
- 그 결과 증기소비량, 팬 전력량 등을 40%까지 절감할 수 있다.
- 고노점화에 의해 후드 내부 온습도의 불균일성이 작게되어 종이의 건조 불균일이 감소한다.

2.2 급기(Supply Air Line)

급기는 초지실내의 공기 또는 별도로 마련된 열풍실의 공기가 설정된 온도까지 가열되어 후드 내에서 각각의 용도에 따라 Pocket Ventilation(PV), Blower Box, Transfer Unit, Canvas 건조, Basement Supply 등으로 이용된다. 공기 온도는 배기와의 열교환기가 설치된 경우 그곳에서 약간의 온도상승이 이루어지며 대부분은 스팀코일을 통하여 가열되는데 100℃를 기준으로 운전되고 있다. 따라서 급기에 있어 조

절요소는 급기의 양(Damper 또는 Fan RPM)과 최종 공기의 온도(Steam Coil)가 될 것이다.

2.3 배기(Exhaust Air Line)

배기는 Hood 내의 공기가 위에 별도로 구분된 가천정(False Ceiling)을 통해 배기 Fan에 의해 외부로 배출되며 이때 급기와의 Air to Air 열교환(Economizer)이 이루어지거나 온수를 만드는데 이용되기도 한다. 최근에 설치된 초지기에는 전 단계의 균에 Vacuum Roll을 설치하는 Single Tier 방식이 도입되고 있는데 이

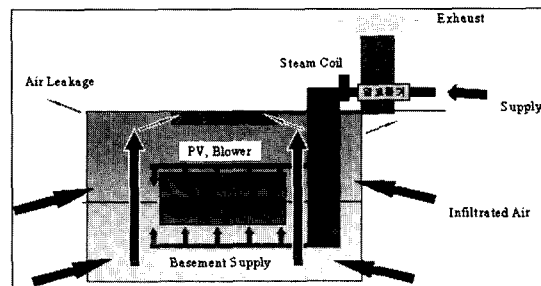


그림 2. Hood Ventilation 기본 개념도

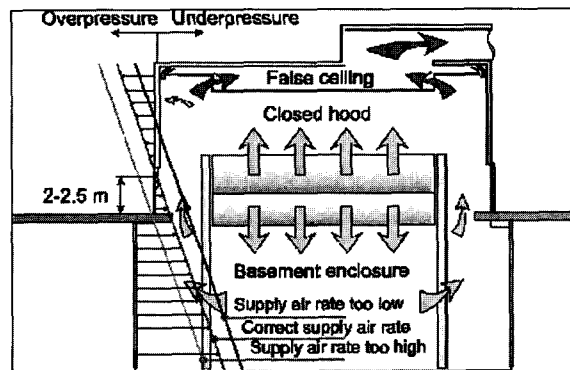


그림 3. 밀폐형 후드에서의 Air Balance 조절 원칙

경우는 이 Vacuum Roll을 통해서도 Hood 내의 공기가 배출될 수 있다.

2.4 제로 레벨(Zero-level)

밀폐 후드는 제한된 공간으로서 위쪽의 더운공기는 계속 위로 올라가려고 하는 성질이 있다. 공기는 더워지면 부피가 커지고 밀도가 작아져 밀도차에 의해 위로 상승하려고 하기 때문이다. 때문에 위쪽의 공기는 계속 위로 상승하려고 하는 힘이 생기고 이것이 제한된 공간이므로 아래 쪽의 공기를 끌어당기는 힘이 된다. 이 힘 때문에 하층 또는 틈새로부터 찬공기가 계속 유입되며 가만히 놓아 두어도 후드내에서는 아래에서 위로 공기가 흐르려는 성질이 있다. 이것을 “굴뚝 효과(Chimney Effect)”라고 한다.

이로 인해 후드 위쪽은 고기압적인 성질을 가지고 아래쪽은 저기압적인 성질을 가지게 되는데 후드 중간 어느 지점에선가 이것이 0이 되는 지점이 있고 이 지점을 Zero Level이라고 한다. 급배기의 균형이 맞추어지면 이 제로레벨을 지필이 주행하는 정도의 높이에서 맞출 수 있다고 하는데 즉 초지실 바닥으로부터 약 2 M 위 정도라고 한다. 그러나 Wet End 쪽에 가까울수록 제로 레벨은 낮고 뒤쪽으로 갈수록 높아지는 경향을 보이며 후드의 형태에 따라서 전측과 후측에 차이를 보이기도 한다.

2.5 공기흐름과 습도

위에서 설명한대로 후드내의 공기는 위쪽으로 상승

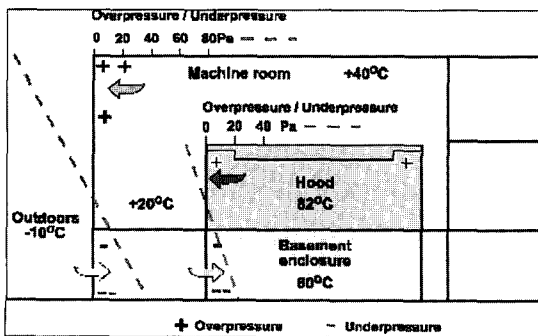


그림 4. 초지실과 드라이어 후드에서 Zero Level

하려는 성질이 있는데 이것이 후드내의 구조물에 방해를 받아 전체가 균일한 공기의 흐름을 가지지는 못한다. 예전의 후드에서는 하층과 초지기 프레임 사이의 공간으로 공기가 흘러 지필 떨림의 원인이 되기도 했으며 지필의 양끝쪽이 과건조되는 현상을 보이기도 했다. 요사이에는 프레임 양쪽으로 철망을 설치 공기흐름을 원활하게 해 이를 방지하고 있기도 하다.

2.6 포켓 벤틸레이션

1960년대 이전에는 드라이어 패브릭은 공기를 통과시키지 못했다. 결국 드라이어 포켓은 환기가 잘 안되었으며, 이를 해결하기 위해 전측 또는 후측에서 고속으로 공기를 분사하였다. 그러나 효과가 별로 없었으며 여러 가지 문제를 야기했다. 따라서 제품상의 수분 프로파일의 불량하기 쉬웠다. 이를 개선하기 위해 펠트롤을 통해 급기를 공급하거나 포켓내에 블로우어 박스를 설치해 급기를 공급하였으나 때로는 이것이 지질시 지필이 쌓이는 문제를 악화시키기도 했다.

최근에 공급되는 패브릭들은 통기성이 좋아 이러한 문제는 많이 해결이 되었다. 다음 그림 5는 드라이어 패브릭의 통기성에 따라 수분 프로파일이 어느정도 영향을 받는지를 나타내고 있다.

그러나 고속화가 진행되면서 이러한 패브릭의 통기성이 오히려 공기의 펌핑 작용을 불러 일으켜 지필의 펠름입과 주행성에 문제를 야기하고 심지어 수분 프로파일을 나쁘게 하는 경우도 발생하게 되었다. 물론 초지기가 점차로 광폭화되어 가는 것도 문제를 심화시켰다. 따라서 점차로 포켓 벤틸레이션의 중요성이 점차로 부각되고 있으며, 최신의 초지기술에서 가장 많은

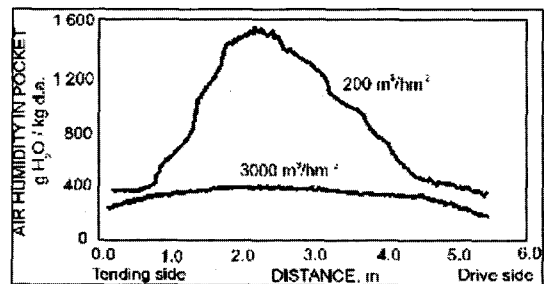


그림 5. 포켓내 절대 수분에 미치는 포켓 벤틸레이션 설비의 영향

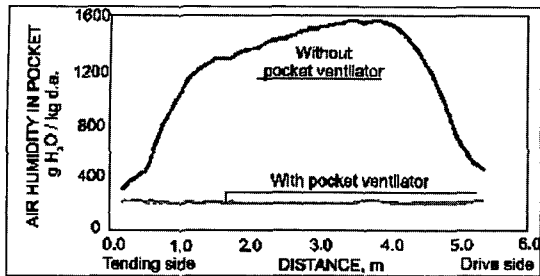


그림 6. 포켓내 절대 수분에 미치는 포켓 벤틸레이션 설비의 영향

변화와 개선이 이루어지고 있는 부분이 바로 포켓 벤틸레이션 관련 기술이다.

2.7 노점(露点, 이슬점, Dew Point)

공기는 온도에 따라 수분을 함유할 수 있는 양이 다르다. 온도가 높을수록 그 양은 크며 온도가 낮아질수록 그 양도 작아진다. 그때의 온도에서 최대한 기체상태로 포함할 수 있는 수분의 양을 포화 수증기량이라고 하며 포화 수증기량 이상의 수분을 가지고 있으면 수분은 더이상 기체로 존재하지 못하고 물로 맺히게 되는데 이때의 온도를 노점이라고 한다.

드라이어와 관련해서는 노점이 높다고 하는 것은 같은 온도의 공기라면 수분을 많이 포함하고 있는것을 의미하며 같은 양의 수분을 포함하기 위해서 보다 적은 양의 공기를 필요로 한다는 이야기이다. 때문에 에너지 효율적인 측면에서 후드내의 공기를 노점이 높게 관리하는 것은 중요한 것이다.

2.8 에너지의 흐름

일반적으로 건조공정에서는 종이의 가열, 증발, 급기의 가열, 포켓 벤틸레이션 등에 스팀을 사용한다. 지필에 포함된 수분 1 kg을 제거하는데 사용되는 에너지를 이러한 항목별로 분류해보면 다음의 표 2와 같이 된다. 이 표의 수치는 양호하게 설계, 운전되는 시스템의 수치이다.

증발에 사용되는 에너지는 정해진 것이다. 지필온도 가열에 사용되는 에너지도 백수온도에 달려 있으나 큰 변동은 없다 계절적인 요인으로 겨울철에 조금 더 많

표 2. 건조에 따른 항목별 에너지 소비 구성비

항목	에너지 소비(kJ/kg 수분제거)
지필 온도 가열	200
증발	2300
공기 가열	420
공기 제거	45
스팀 유출	0
총 합계	2965

이 필요하기는 하다. 후드내 공기온도를 적절하게 유지하는데 필요한 공기가열 에너지는 후드의 종류, 설계, 작업 환경에 따라 매우 큰 차이를 보일 수 있다. 위의 값은 평균치이며 나쁜 경우는 800 정도가 필요한 때도 있다. 또한 공기가 흐르지 못하고 정체되어 있는 경우는 전체 효율을 떨어뜨리는데 이것도 경우에 따라 달라지며 최고 500 kJ/kg 수분제거 까지 올라갈 수도 있다.(그림 7)

또한 스팀운용상 잘못으로 인해 스팀이 대기중으로, 컨덴서로 새나가는 경우가 있는데 이것도 최대한 1200 kJ/kg 정도지 될 수도 있다. 때문에 제대로 운전되고 있는 시스템과 최악의 시스템에서는 약 2배의 에너지가 소모되어 질 수도 있는 것이다.

3. 후드 디자인 일반적 고려사항

후드와 하층은 공기가 새들어가는 곳이 없도록 철저히 막혀있어야 한다. 후드내에 침입공기가 들어오는 경우 전체적으로 침입하는 것이 아니고 일부분으로 침투해 결론나 공정에 악영향을 미치는 경우가 대부분이기 때문이다. 또한 후드 상부의 틈을 통해 습한 공기가

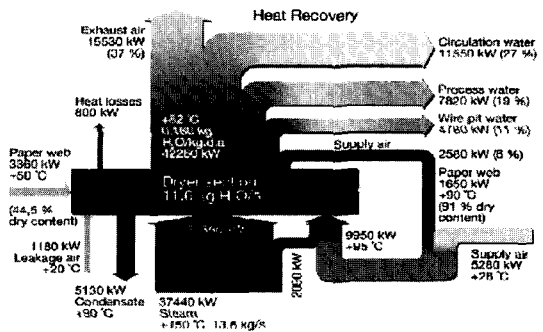


그림 7. 신문용지 초지기에 있어 에너지 흐름 (Sankey Diagram)

단열층에 흡수되어 응축되는 경우도 설비를 부식시키거나 물이 흐르는 등의 문제를 야기시킬 수 있다. 따라서 구동축이나 케이블, 덕트 등을 설치할 때 주의를 기울여야 한다.

후드 패널 또한 충분히 단열이 이루어지도록 일정 두께 이상의 우수한 단열재가 사용되어야 한다. 최근에는 양쪽의 금속면을 연결하는 재질을 통해 열이 전달되는 문제를 없애기 위해 리벳이나 볼트의 재질을 변경하거나 설계 변경을 통해 이를 해결하는 경우도 있다. 또한 후드 내벽에서 결로가 생기는 것을 방지하기 위해 충분히 온도를 높일 필요가 있으며 필요한 경우 Hot air로 에어 커튼을 설치하는 경우도 있다.

통상은 배기의 습도가 후드내부의 습도라고 생각해도 무방하지만 부분적으로는 평균적인 값보다 높은 경우가 발생한다. 이는 국지적으로 증발율이 높아지거나, 가천정의 댐퍼 조절이 불량하거나 하는 경우 설계치가 절대습도로 0.15 kg H₂O/kg DA 라고 하더라도 후드는 최소 0.2 kg H₂O/kg DA를 견딜수 있도록 설계되어야만 한다.

후드의 전측은 지절시, 청소시, 보수시에 완전히 열리도록 리프팅 도어가 설치되어 있다. 설계 뿐 아니라 설치시 또는 일정 기간을 두고 보수를 하여 틈이 벌어지는 것을 방지할 필요가 있으며, 만일 Lifting system에 문제가 발생하더라도 문이 아래로 추락하는 것을 방지하는 장치가 있어야만 한다.

후드의 구동축이나 하층에는 통상 슬라이딩 도어가 설치되는데, 밀폐가 필요하지만 원할 경우 신속하고 용이하게 내부로 들어갈 수 있도록 설계되어야만 한다.

드라이어 패브릭 교체를 위해 각 군마다 후드 벽면에 도어가 설치되어야 하며, 필요한 경우는 후드 천정에 설치하는 경우도 있다.

4. 벤틸레이션 관련 운전 기본원칙

4.1 급배기 조절

Dryer Hood는 하나의 밀폐된 계로 생각할 수 있다. 따라서 이 계로 들어가는 INPUT 요소와 나가는 OUTPUT 요소를 구별하는 것이 가능하고 각각의 입/출 요소의 경로도 명확하게 파악할 수 있는 장점이 있다. 들어가는 요소는 입구지필, 급기, 침입공기, Fresh Steam 등이 있고 나오는 요소로는 출구지필, 배기, 누출공기, 응축수(+Blow Through Steam) 등이 있다. 이것을 알기 쉽게 나타낸 것이 그림 8이다.

후드 Air System의 기본이 되는 것은 실제로 건조시켜야할 배출부하를 계산하는 것이다. 프레스로부터 드라이어로 들어오는 지필에 포함된 수분과 침입공기, 사이즈프레스에서 묻게 되는 전분 호화액 중의 수분,

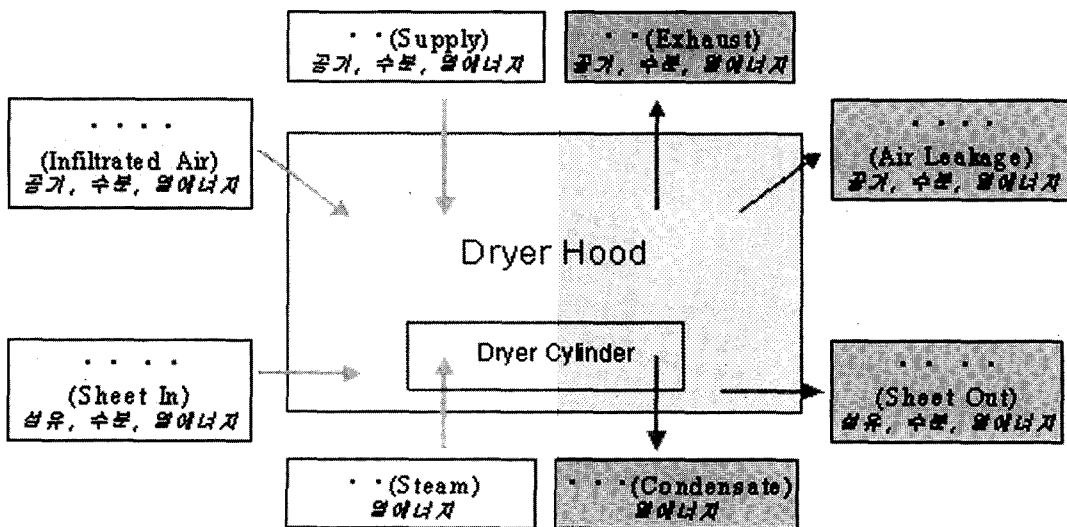


그림 8. Hood 관련 Balance Concept

급기에 포함된 수분, 후드내 스팀라인의 누출 증기등이 모두 배출 부하이다.(그림 8)

이 배출부하를 기준으로 후드내의 조건을 어느 정도의 조건으로 유지시킬 것인가를 결정한다. 이때 사용하는 것이 노점 또는 절대습도가 된다. 일반적으로 밀폐형 후드의 노점은 60℃ 정도면 양호하며, 절대습도는 0.12~0.15 kgH₂O/kgDA 정도가 권장되고 있다. 이 계산을 하고 나면 배기량을 계산할 수 있고 배기 Line의 수와 위치에 따라 어느 곳에 부하를 더 주고 덜 줄 것인가를 결정할 수 있다.(그림 9)

일반적으로 이러한 후드내 조건의 관리는 적절한 센서의 설치와 Damper 및 Fan 용량의 조절에 의해 자동적으로 이루어지는 것이 원칙이다. 이렇게 해야 계절적 요인, 지중이나 평량의 변동 등에 의해 후드내 조건이 변화하지 않게 된다.

급기의 경우는 배기량에 대해 비례조절을 하는 것을 원칙으로 한다. 개방형 Hood의 경우는 배기량의 30~40% 수준, 밀폐형 Hood나 고노점 Hood의 경우는 70~80% 수준을 급기로 넣어주는 것이 적당하다. 이렇게 할 경우 Hood 내의 Zero Level이 지필이 주행하는 높이인 1.5~2.0 m 에 형성되게 된다. Zero Level이 이 높이에 형성되게 되면 이 부근의 공기의 흐름이 완만하게 되어 지필 주행성이 양호해지고 따라서 Fluttering에 의한 지질 요인이나 건조불균일이 줄어들게 된다.

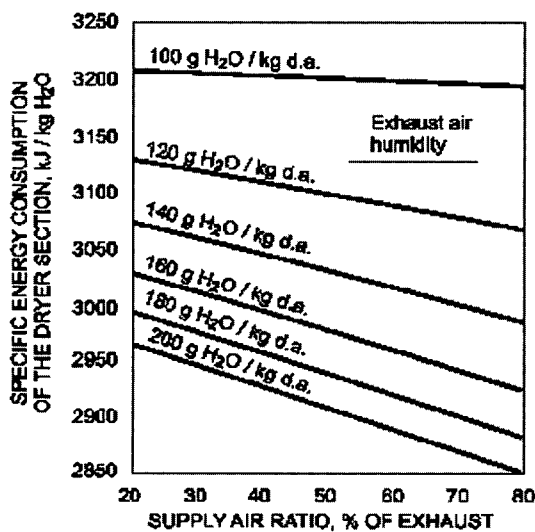


그림 9. 배기습도, Air Balance, 스팀 소비량의 관계

급기의 온도조절도 매우 중요해서 사용되는 부분에 따라 적절한 온도가 달라지게 되는데 지필에 직접 닿게되는 PV나 Blower Box의 경우는 최저 100℃를 유지해야 하며, Canvas 건조용이나 Basement Supply의 경우는 이보다는 낮은 온도로 운전해도 별 무리가 없으며 오히려 적절한 온도 이상의 급기를 사용하는 것은 에너지의 손실로 이어질 수 있다.

통상 배기량에 비해 급기량이 부족한 경우가 많으며 때문에 조절되지 않은 차가운 공기가 Hood의 틈새나 하층의 열린 공간을 통해 새 들어가게 되는데 이는 Hood 내 공기의 흐름을 교란시킬 뿐 아니라 에너지 효율면에서 불리하다. 따라서 적절한 Air Balance를 유지하는 것이 매우 중요한 요소가 된다.

4.1 조절 방법

신문용지나 티슈용지를 제외하고는 드라이어에서 건조해야할 지필의 조건이 수시로 바뀌게 되며 이에 따라 일일이 조절을 한다고 하는 것은 거의 불가능하다. 때문에 통상은 거의 조절을 하지 않거나(에너지 소비량이 많은 상태로) 조절요소가 있음에도 불구하고 한 두 가지로 고정시켜 사용한다.

잘 설계된 Hood라면 배기 Duct 내에 노점 Sensor나 수분(절대습도) Sensor를 설치하게 된다. 이 센서를 통해서 Hood 내의 조건을 Monitoring 하는 것이다. 이때 측정된 값은 Control Panel상에 표시되며 이 값을 앞서 배기 조건에 언급한 범위에서 유지되도록 조절하면 된다. Damper가 설치된 경우라면 Damper Opening으로 배기Fan에 Inverter가 설치되어 있는 경우라면 Inverter RPM을 이 센서신호와 물려 자동적으로 조절되게 하는 것도 가능하다.

급기량은 앞서 말한 급/배기 비율이 조절요소가 될 수 있다. 이를 위해서는 최신의 초지기에는 Zero Level을 계수화하는 센서들이 설치되어 있다. 수직으로 온도센서를 몇 개 설치해 연산하는 방법과 일정 높이의 압력을 감지해 이를 Zero Level로 환산한다. 이 값을 읽어들이어 급기 Fan의 속도나 Damper Opening을 조절하는 것이 기본적인이다.

4.2 에너지의 회수

초지기 옥상 위로 배출되는 배기를 보면 습도가 높

기 때문에 대기로 배출되자마자 결로가 일어나 하얀 수증기가 맺히는 것을 볼 수 있다. 이 배기는 엄청난 양의 에너지를 가지고 있으며 회수하지 않으면 그대로 대기 중으로 방출되어 버리는 것이다. 때문에 급기를 Steam Coil을 통과시키기 전에 배기와 열교환을 시켜 급기온도를 상승시키는데 이용해 에너지를 회수하거나 다음 단계에 Air to Water식(직접식, 간접식)의

열교환기를 설치하여 공정중 사용하는 Hot Water를 제조하는데 이용하는 등의 방법으로 적극적으로 에너지를 회수할 필요가 있다. 배기는 그다지 오염이 심하지 않으므로 직접 노즐로 물을 분사하여 응축을 일으켜 회수하는 것이 가장 에너지 효율면에서는 적극적이라고 할 수 있으나 전체적인 용수 사용처 및 위치를 고려하여야 한다.