

AIR JET SYSTEM에 의한 공장난방 및 환기

Heating and Ventilation for Factory(Large Premises)

주 성 완*
Seong Woan Joo

1. 머리말

공장의 환경개선은 경제성장으로 인한 생활 수준의 향상에도 불구하고 지금까지 국내에서 심각하게 받아들여지지 않았던 것은 사실이다. 작업자를 위한 설비보다는 고작 생산기기의 보존에 역점을 둔 아주 초보적인 냉·난방 설비가 제공되었을 뿐이며 공장자체의 작업환경 개선은 등한시 되고 후진성을 못면하고 있는 실정이다.

그러나 이로 인한 직업병 또는 작업자들의 요구에 의한 사회적 문제의 발생 등은 막대한 시설비와 연료비가 요구되에도 불구하고 작업환경 개선을 위한 다양한 방법을 모색하고 있다.

그러나 공장내 작업환경 개선의 요점이 되는 난방 및 환기 문제는 난방과 환기라는 두 가지 상반된 개념 때문에 충분한 환기량 확보를 위한 불필요한 난방 Energy의 소모, 또는 그 반대의 경우로 인한 작업환경 개선보다는 낭비나 무리 등의 역효과를 내고 있는 실정이다. 물론 한가지의 System으로 상기 두 가지의 목적달성은 불가능하나, System의 적절한 배합과 효과적인 공기분배 방식의 적용으로 상기 문제는 의외의 결과를 얻을 수 있다.

공장환기 및 난방은 그 내용이 광범위하여 이것을 바로 이해, 해결하려는 것은 용이하지 않다. 그러나 여기서는 공장 난방 및 환기의 한 방법으로 국내외에 기 설치, 가동중인 Air Jet System에 의한 방법을 소개하고, Energy 절감 및 효과적인 환경개선을 유도하여 공장 작업 환경개선에 방법을 제시하고자 한다.

2. 공장건물의 특성

일반 건축물과는 달리 공장건축물의 건축적 특성은,

- 1) 작업 공정상 필요한 공간확보를 위하여 층고가 높고(7m이상)
- 2) 외피(shelter) 구조가 경량구조로 보은 상태가 불량하며,
- 3) 자연채광을 이용한 작업면의 조도를 얻기 위해 천정에는 천창(sky light)이 많이 설치되고
- 4) 공장내 물품 반입 및 빈번한 출입으로 출입구 등의 개구부 폐쇄상태가 극히 불량하며
- 5) 바닥, 보, 기둥면에 생산시설 및 Overhead Crane 등의 설치로 필요난방 및 환기 기구의 설치에 제약이 많고

* 정회원, ㈜가메리우스 엔지니어링 코리아

6) 작업자는 생산 Line 에 따라 배치됨으로써 작업구역이 편중되어 있다.

따라서 설비적으로는 위와 같은 건축적 여건으로 인하여,

1) 공장의 층고가 높음으로 인하여 수직 높이차에 따른 온도성층 현상(thermal stratification)이 나타나고

2) 외피구조가 경량구조이고 천공이 많이 설치되는 관계로 건물의 외피부하(skin load)가 증가하며

3) 기기 설치에 제약이 많아 효과적인 난방 및 환기가 극히 어렵고

4) 출입구의 폐쇄 상태가 불량하고, 건물의 기밀도가 나빠서, 또한 실내온도 성층현상으로 인한 외기침입 부하(infiltration load)가 증가하는 특성이 있다.

이러한 여러가지 설비적 요인을 고려하여 볼 때 대형공장에 있어서 효과적인 난방과 환기 방식의 계획은 일반건물과는 달리 간단하지가 않음을 알 수 있다.

3. 설계조건의 검토

공장내 작업환경 개선을 위한 공기조화 설계를 함에 있어서는 System에서 요구되는, 또한 작업자의 요구를 충족시키는 구체적인 설계조건에 필요한 몇 가지 조건이 있다.

특히 공장의 경우는 일반 빌딩이나 주택과는 사정이 다른, 여러 종류의 유해 Gas, 증기, 분진 그리고 연기 등이 작업 공정중에 발생하여 그대로 방치하면 주위 공기에 확산되어 모든 면에서 악영향을 미칠 뿐 아니라 이들 조건들은 부하계산, 그외 장비들의 결정요인도 되지만 우선 작업자들의 작업능력이나 사고율 그리고 공기 청정도 향상에 의한 작업자의 건강에 직결되는 중요한 것이다.

1) 온도(temperature)

작업조건이 작업 전체에 영향을 미치는 것은 주지하고 있는 바이다. 특히 작업온도는 작업자의 행동과 그에 따른 작업능력에 직접적이고 결정적인 요인이다.

이러한 작업온도에 따른 작업능력 및 사고율의

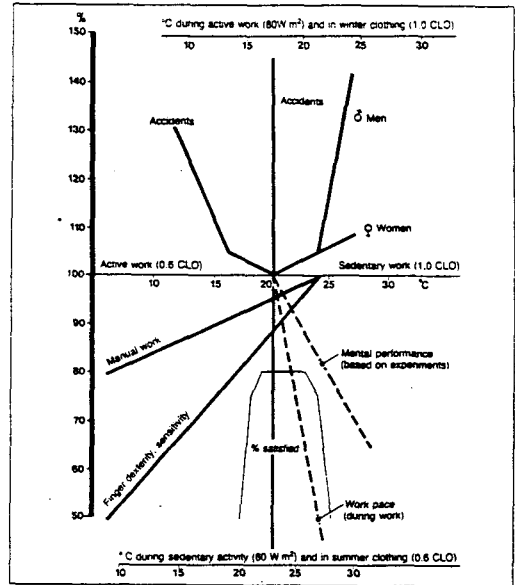


그림 1. 작업장내 온도가 작업에 미치는 영향

변화에 대한 연구의 예를 들면, 상기 그림 1에서 동절기때 작업온도가 16°C 이하 혹은 24°C 이상이 될 경우 사고율은 급상승함을 보여주고 있다. 또한 그에 상응하는 일의 능력도 저하됨을 알 수 있다. 따라서 작업자의 능력 및 사고율 감소를 위하여 동절기의 작업온도는 16°C 이상이 좋을 것을 알 수 있을 것이다.

2) 잔류 풍속(mean air velocity)

온도조건의 유지에도 불구하고 draft 발생에 의한 작업자의 불만족도는 매우 중요한 사항이 될 수 있다.

이때 잔류풍속(mean air velocity)이 높을 경우 이에 따른 작업자들의 불만족도는 일반

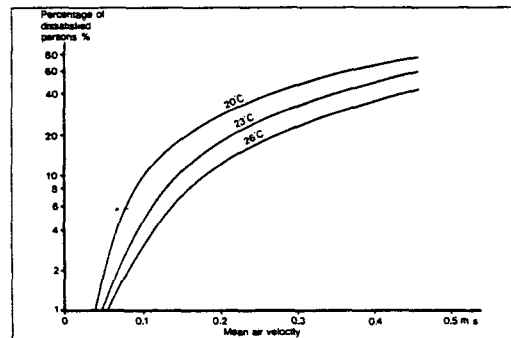


그림 2. Draft 에 의한 작업자 불만족도

적으로 아래와 같다.

그림 2에서 20°C 상태에서의 풍속은 약 0.15 m/s 이하가 요구되어 진다. 만일 국내 공장의 경우처럼 동절기 실내온도가 15°C~18°C 일 경우, Draft에 의한 작업자의 불만족도를 고려시 매우 낮은 잔류풍속이 요구되어 진다.

3) Gas

공장 등 산업체 건물에는 작업 공정중에 유독 Gas가 발생되며 이는 바로 작업자들의 건강과 직결될 것이다. 이런 유독 Gas들은 가능한 많이, 빨리 제거되어야 하고, 특수한 배기 방법이 고려되어야 함은 물론 공장전체에 잔류 확산되는 것을 방지하여야 할 것이다.

Hood 등에 의한 직접제거는 물론, 잔류 유독 Gas를 제거할 수 있는 효과적인 환기 System의 필요성은 당연한 것이다. 아주 많은 량의 외기를 도입하여 공장내 보내주는 방법도 효과적이기는 하나 내부의 온도, 에너지 소모 등을 동시 고려할 때 경제성을 따지지 않을 수 없을 것이다.

4) 오염물질(Oil-mist, Fiber 등)

Gas에 의한 오염과는 별도로 오염물질(particulate) 또한 작업장에 문제가 된다. 급기축, 즉 외부공기에 의한 오염보다는 공장내 생산 시설에서 발생하는 Oil-Mist나 바닥에서의 분진 등이 더 문제가 되며 만일 효과적인 환기를 할 경우(Heat Recovery 사용 등) 외부공기 도입에 의한 Energy의 증가 비용도 감소시킬 수 있다.

그러나 일반적인 공장이나 산업체 건물은 유독 Gas나 오염물질들을 동시에 포함한 상태이며 필요한 외부공기를 급기하여 유독물질들의 농도를 급속히 희석시키고 Energy 절약을 위하여 열 교환기를 사용하는 것도 한 방법이 될 것이다.

4. 공장의 일반 난방방식

일반적으로 적용되는 난방방식은

1) 고온수, 증기, 열매체 등에 의한 Ceiling Panel 방식

2) Unit Heater, 온풍기 그리고 Duct,

Diffuser 등에 의한 대류 난방방식

3) 적외선 복사 난방방식(Infrared Radiant Heating) 등이다.

여기서는 상기의 각각의 방식에 대한 간단한 특징 및 적용방법들을 살펴보기로 한다.

4.1 Ceiling panel 방식

직접 난방에 쓰이는 열매는 거의 증기와 온수에 한정되어 있다. 이들을 살펴보면,

1) 고온수 방식

고온수 보일러를 이용한 온수난방의 장점으로 온수온도를 계절적으로 중앙기계실에서 자동적으로 용이하게 조절할 수 있고, 연속운전시 종합 열손실이 적게 되는 것, 보수가 용이한 것 등을 들 수 있다. 그러나 이에 대하여 열용량이 크기 때문에 시동시 시간이 걸리며, 간헐운전에 부적당한 것, 한냉지방에서의 동결 방지대책을 필요로 하고 증기난방설비보다 일반적으로 설비비가 많이 되는 것 등의 결점이 있다.

2) 증기방식

증기난방은 보일러에서 발생하는 증기압력에 의하여 복사 Panel 입구에서 6~8 kg/cm². G 정도의 포화증기를 사용한다.

장점으로는 온수에 비하여 배관내 열용량이 적기 때문에 시동이 빠르고 간헐운전에 적합하다. 또한 배관의 증설공사도 용이하다. 그러나 중앙기계실에서 밸브의 조절이 일반적으로 용이하지 않고 외기온도가 비교적 높을 때 실내과열 현상이 일어나며 또한 방열기의 온도가 높기 때문에 실내의 상하방향에 온도변화가 크게 된다. 중규모 이상의 시설에서는 종래 증기가 사용되고 있는 곳이 많으며 이것은 간헐운전의 습관이 많다는 점에서 상기한 장점이 고려되기 때문이라 생각할 수 있다.

3) Ceiling Panel 난방의 장단점

고온복사 Panel 난방의 장단점을 요약하면 다음과 같다. 우선 장점으로는,

(1) 수직온도분포가 비교적 작다.

(2) 대류식의 송풍기 등의 구동부가 거의 없어서 소음 및 고장에 의한 취급 및 보수가 용이하다.

(3) 대류에 의한 먼지 발생이 없이 실내가 청결하여 제품청결도 및 작업자 보건위생에 유리하다.

(4) 국소 난방이 가능하여 건물전체 보다는 작업자 위주의 난방이 되고 보온상태가 양호하지 못한 건물의 경우, 상하온도편차 감소에 따른 불필요한 열손실을 막을 수 있다.

(5) 시동과 동시에 효과가 있어서 대류식과 같은 예열운전이 필요없고 정지후에도 효과가 지속된다.

그러나 이에 반해 단점으로는,

(1) 난방효과가 Panel 과 작업자 사이에 방해물이 있을 때는 급격히 감소한다.

(2) 열원의 온도변화에 따른 난방효과가 영향이 크다.

(3) 복사면의 청결유지가 요구되며, 습기나 분진이 많은 공장에는 적용이 곤란하다.

(4) 환기 설비 장치가 별도로 필요하다.

(5) 바닥 단열을 강화하여야 실전체의 난방효과가 있다.

(6) 실내 기류의 풍속이 클 경우 불쾌해진다.

4.2 대류난방

1) 대류난방의 개요

공기의 대류를 이용한 대류난방 방식은 난방기로부터의 피가열체가 공기이므로 일반 복사난방 방식과는 달리 실내의 건구 온도가 높다. 이들 방법으로는 ①Unit Heater를 공장의 천정이나 벽 그리고 기둥에 설치하는 방법, ②온풍기를 설치하는 방법, 그리고 ③중앙 공급식 난방으로 Duct 를 사용하여 필요한 장소에 급기하는 방법으로 대별될 수 있다.

상기 방법중 공사비가 저렴하고 설치가 용이한 Unit Heater 방식이 많이 채택되었으나 공장의 크기, 천정고 그리고 공장 자체의 특성(단열상태, 설치위치의 제한) 등으로 인해 거의 재기능을 발휘 못하는 경우가 많다. 또한 Propeller Fan Unit Heater의 경우에는 Fan에 의한 소음문제도 심각한 것이다.

때로는 Unit Heater를 벽에 설치를 하고 천정에는 Air Jet System을 도입하는 등, 같은

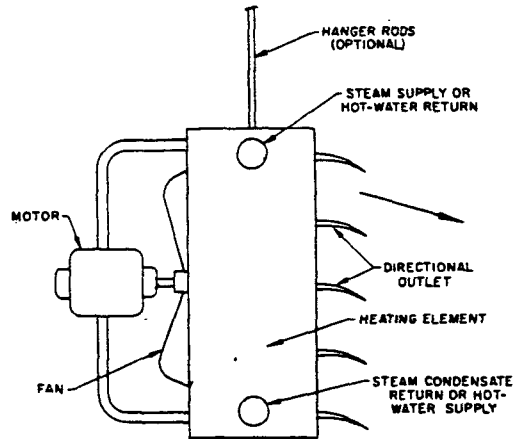


그림 3. Propeller Fan Unit

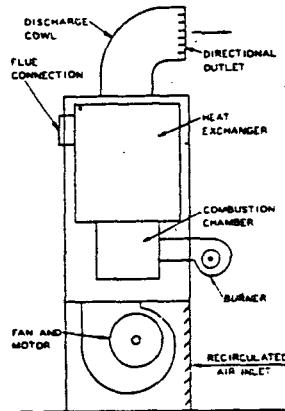


그림 4. 온풍기

개념으로 온풍기외에 Air Jet System을 추가 설치하여 난방개선을 유도하는 방식을 채택하고 있다.

대류난방은 복사 Panel 방식에 비해 오랜동안 공장 등에 적용되어져 왔고 그 원리는 이미 잘 알려진 바이다.

이러한 대류난방에 국내에서 가장 많이 사용하는 Type으로는 아래와 같은 것이 있다.

그림 3의 Unit Heater는 공장내 공기오염도가 심각하지 않은, 즉 공기정화장치(Filtration)가 필요치 않은 곳에 많이 사용되는 것으로 Horizontal Blow Unit와 Down Blow Unit 종류가 있다.

Horizontal-Blow Unit가 공장내 3~5m벽 높이에 설치가 되고 있으나 기 언급한바대로

효율은 극히 나쁘며 Filtration, 설치위치, 기류방향이나 도달거리 등이 검토되지 않은 채 설치되는 경우가 많다.

그림 4의 온풍기(Gas, Oil 전기사용)의 경우는 난방부하나 공장 Volume이 클 경우 Duct를 연결하여 작업자에 기류를 보낼 수 있고 작업자 주위에 설치할 경우 난방효과에 의한 만족감이 증가된다. 그러나 불필요한 Energy의 손실이 크다.

상기 두 가지 방식 모두 송풍기, Filter, 코일 등의 유지관리 개소가 많고 송풍기 등의 구동부에 의한 소음 및 진동발생이 문제가 된다.

2) 대류난방의 장단점

복사난방 방식과 비교할 때 대류난방은 다음의 몇 가지 장단점을 생각할 수 있다.

장점으로는,

- (1) 중앙 공급식 난방의 경우 환기설비와 결합할 수 있고
- (2) 작업과 위주의 설치를 할 경우 난방효과와 만족감이 증가되고
- (3) 추후 냉방설비가 요구될 때 중앙공급식의 경우 융통성이 크며
- (4) 단열이 잘되고, 기밀도가 좋은 건물의 전체난방에 효과적이며
- (5) 전체적인 공간이 난방되므로 고온복사 난방보다는 난방 환경개선이 될 수 있으나

단점으로는,

- (1) 공장 높이에 따른 온도차가 크므로 불필요한 Energy 손실이 크고
- (2) 구동부에 대한 소음, 방진 대책이 필요하고
- (3) 예열시간이 길어지고
- (4) 단열, 기밀성이 좋지 않은 건물에는 부적합하고
- (5) Duct를 연결시 구조물에 의한 제약으로 취출구 위치선정에 문제가 발생되어 쾌적한 공간이 줄어들 수 있다.

4.3 적외선 복사난방(Infrared Radiation Heating)

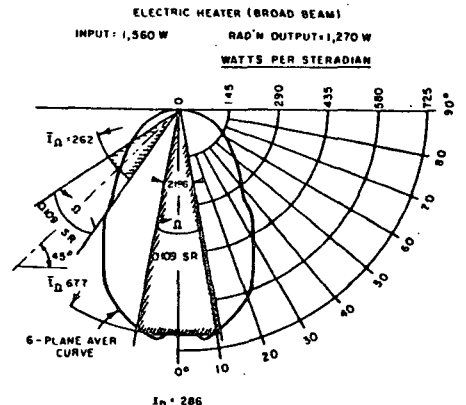
가스나 전기에 의하여 적외선을 방출시켜

복사난방을 하는 것으로서 적외선 난방기의 열원의 온도범위는 260°C~2,760°C 내외이다.

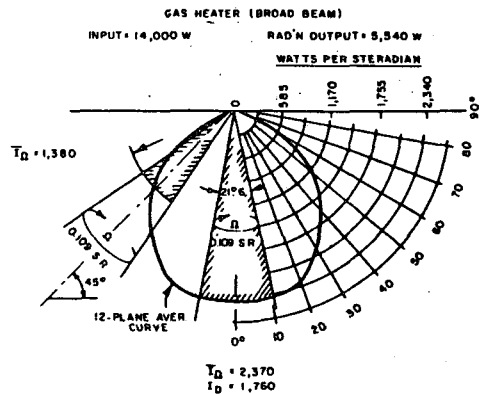
난방의 특성이나 장단점들을 일반 Ceiling Panel (고온수 복사 Panel) 방식과 거의 유사하다고 할 수 있으나 국소난방(spot Heating)에 특히 효과적으로서 격납고, 공장, 창고 등과 외부식당 그리고 수영장 등에도 사용된다.

또한 적외선 난방장치는 상당량의 가시광선을 포함하므로 난방과 조명의 이중효과를 얻기도 한다.

그리고 적외선 난방장치는 Reflector가 설치되어 일정한 형태의 복사열 분배를 하고 있다. 적외선 복사난방기로부터 방출된 적외선



(a) 전기 Heater



(b) Gas Heater

그림 5. 적외선 복사 난방 종류에 따른 효율 비교

은 고온으로서, 강한 방향성을 갖고 있으며, 차폐물이 있으면 복사효과가 급격히 감소되고 역시 대류난방 방식에 비하여 공기온도가 낮다.

이러한 적외선 복사난방기의 종류로는 Gas Infrared 방식, Electric Infrared 그리고 Oil Infrared 방법이 있다.

상기의 일반적인 Gas 와 Electric Type 의 적외선 복사난방기는 아래 그림에서 보듯이 Electric Infrared 의 소요 Energy 대비 70~80%의 효율에 비해 Gas Infrared 는 약 40%의 효율만을 갖는다.

5. 공장의 환기 방식

환기란 말그대로 공기를 순환하는 것으로 대별하여 다음의 2종류로 분류된다.

- 1) 자연 환기(그림 6 참조)
- 2) 강제 환기(그림 7 참조)

자연환기에는 자연의 풍력과 공장내외의 온도차를 이용한 Monitor 가 옛부터 이용되고 있다. 또한 창이나 문의 개폐도 자연통풍을 이용한 자연환기로서 설비비가 저렴하고, 보수, 운전비 등의 면으로 보아 극히 유리한 방법으로 지금까지 많이 사용되었다. 그러나 이 자연환기 방법은 자연력을 이용한 것으로 안정되고, 계획적인 환기를 기대하기가 곤란하기 때문에 절대 환기가 필요한 공장에서는 강제 환기를 하지 않을 수 없다. 공장에 있어서 단위 면적당의 생산량이 늘고, 입지조건이 충족치 못한 오늘날, 환경문제의 심각화도 함께 고려되어 강제환기를 채용하는 공장이 늘어난 것은 자연적인 현상이라 하겠다.

여기서 강제환기에 따른 정상적인, 충분한 환기량을 확보하여, 또한 보다 좋은 작업환경을 달성하기 위한 노력이 병행되어 Monitor 대신에 Roof Fan(그림 7-a)이 설치되고 또한 환기문을 설치하는 것도 같은 맥락에서 나온 것이다. 그러나 이것으로서 공장 환기의 목적이 달성된다면 아무 문제가 없겠으나 문제는 그리 간단치 않았다.

오염물질들을 후드 등에 의해 직접 제거하는 방법은 오염물질의 실내확산을 방지하는 효

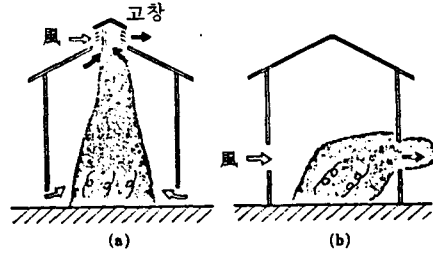


그림 6. 자연환기

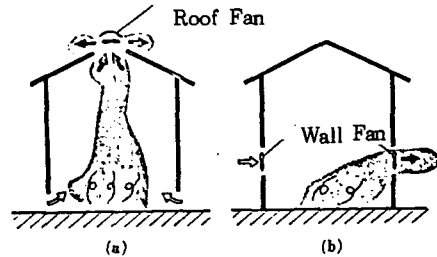


그림 7. 강제환기

과적인 방법이나 오염물질의 배출시설, 작업 방법 그리고 방해기류에 의한 역효과 등 실제로는 그 방법의 적용이 매우 곤란한 경우가 많다. 따라서 국소배기(Hood 사용) 및 급기에 의한 희석방법이 병행하여 사용되는 경우가 대부분이다.

그러나 급기에 의한 희석방법은 직접 외기를 도입하여 급기할 경우 실내 온도조건을 적절히 유지하기가 곤란하므로 적절한 처리가 필요하다. 특히 대형의 공장전체의 적절한 온도유지와 효과적인 환기의 동시유지를 이루기 위하여는 난방 및 환기설비의 투자비 및 막대한 운전비가 소모될 것이다.

1) 일반적인 환기 방법

가장 일반적이고 많이 있는 방식으로 3m 상부에 급기구를 설치하고 Roof에 Fan을 설치하는 방식으로서 3m 이하의 작업구역에는 어느 정도의 온도조건과 공기량이 존재하나 상층부로의 열손실이나, 환기가 전혀 고려되지 않는다. 따라서 설치후 공장 상층부의 오염과 Energy 손실이 크다.

2) 국소배기 방법

환기를 요하는 작업구역에 Hood, Canopy 등을 설치하여 유해 Gas의 확산을 방지하고

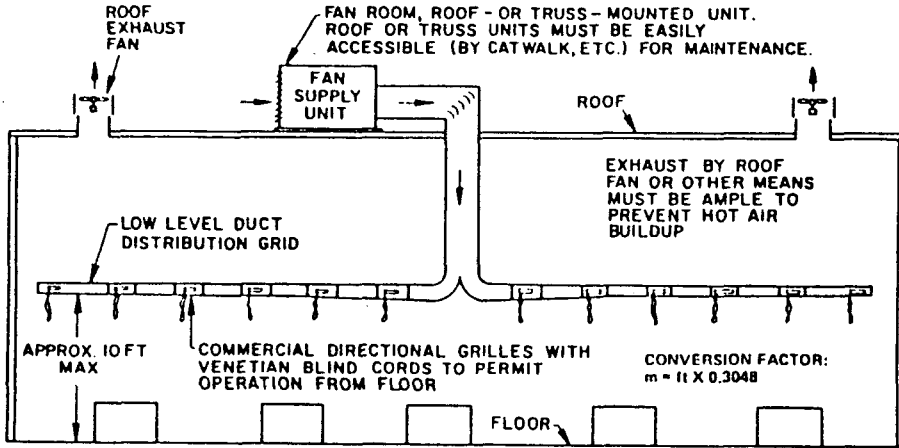


그림 8. 공장 적용 일반 환기방식



그림 9. 국소배기의 예

작업자에 항상 쾌적 환경을 유지하는 방법으로, 집진장치, Gas 처리, 수처리 등의 시설을 병행하여 대기중에 공해기준 이하의 배기Gas를 방출하는 방식이다. 만일 (a)와 같이 작업자의 청정역이 확보될 경우 아주 합리적인 Hood라 할 수 있으나 (b)와 같이 방해기류에 의해 오염 Gas의 확산으로 효율이 저하되는 경우가 대부분이다.

3) 전체 희석환기 방법

희석환기(dilution Ventilation) 방법은 공장내 오염농도를 Fresh Air로, 또는 Recirculation Rate를 증가시켜 낮추는 방식으로서 2)의 국소배기 방식에 비해 약간 효과는 떨어진다.

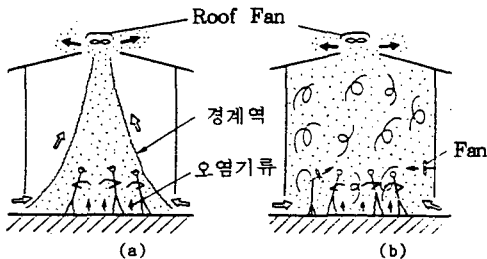


그림 10. 전체 희석 환기의 예

어진다. 또한 (b) 방법처럼 별도의 Fan을 설치하여 공장내 공기를 혼합한다고 하더라도 환기량이나 설치위치 등의 제한으로 용이하게 균일한 공기희석을 할 수 없다.

그러나 만일

- (1) 용접장처럼 Gas 발생원의 이동이 많고
- (2) 전체공장에 걸쳐 Gas 발생지역이 퍼져 있으며
- (3) 구조특성으로 인한 국소배기 방식이 적용불가능할 경우 대형 공장의 환기에 효과적이라 할 수 있다.

6. Air Jet System에 의한 공장난방 및 환기

6.1 Air Jet System의 개요

Air Jet System(DIRIVENT System)은 Sweden의 FLÄKT사가 1978년에 선박의 무더운 Engine Room의 작업환경을 개선할 목적으로 개발한 공조환기 방식으로서 소구경의 Air Jet Nozzle 과 원형(spiral) Duct 그리고 Fan Unit로 구성되어 Nozzle로부터 불어내는 고속의 운동량을 이용하여 조화된 공기를 실내 전체에 운송하여 난방 및 환기를 동시에 행하는 설비이다.

공장의 경우 난방설비 설계시 더운 공기는 위로 올라간다는 사실은 무시된 채, 동시에 온도의 분포는 바닥에서 천장까지의 높이를 고

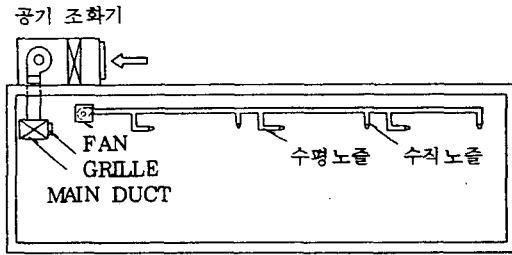


그림 11. Air Jet System의 구성

려하지 않은 채 동일하게 취급, 계산되었다. 그러나 천정고에 따른 수직온도편차에 의한 난방부하의 과도한 손실과 Infiltration 부하등의 증가는 공조기기의 선정 및 난방부하의 과대설정 등으로 Energy비용의 증가를 초래하였다. 또한 공장 등 넓은 공간의 공조에는 난방부하가 크기 때문에 큰 Duct를 이용하게 마련이나 천정의 Truss 구조나 Overhead Crane 또는 Space상의 문제가 있어 Duct의 설치가 곤란하고 토출구의 위치가 제한되어 만족할만한 난방 및 환기를 못하게 되고 결국 과도한 설계, 설치비에 비해 작업환경 개선에 문제를 많이 내포하고 있었다.

Air Jet System (DIRIVENT System)은 소구경의 Nozzle로부터 불어내는 Jet 기류(30m/s 이상)의 Impulse (kg m/s²)를 이용하여 공조 Duct에서의 공기조화된 공기(primary air)를 수평형 Nozzle에 의하여 반송하고 수직 Nozzle(Vertical Nozzle)로서 거주역에 유인하는 System으로서 재래식 공조방식의 문제점을 해결할 수 있으며 또한 Oil Mist, 용접 Fume 등이 발생되는 공장에서도 난방과 환기라는 상반된 요구사항을 만족시킬 수 있는 System이라 사려된다.

6.2 기본 이론

1) Impulse Flow

Air Jet Technique은 작은 직경의 그러나 아주 고속의 Air Jet(Z-기류)가 저속의 공기조화된 공기를 공장 전체내 필요한 곳까지 인도해 간다는 것에 기본을 두고 있다.

이러한 Air Jet Technique의 기본 이론은 모멘트(momentum), Impulse 그리고 Imp-

ulse Flow이다.

그의 관계식은 아래와 같다.

$$F = Q_i \cdot \rho \cdot (V_i - V_o) \dots \dots \dots (1)$$

여기서,

- F = Impulse Flow kg·m/s²
- Q_i = Air Flow m³/s
- ρ = Density kg/m³
- V_i = Inlet Velocity m/s
- V_o = Surrounding Velocity m/s

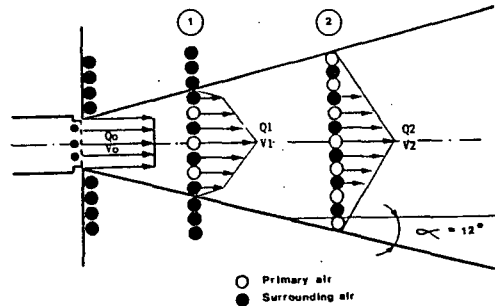


그림 12. Impulse Air Flow

상기 그림에서 각 구간 1, 2에서의 Impulse Flow는 Q₁ · ρ · V₁ = Q₂ · ρ · V₂ = Q₃ · ρ · V₃로 동일하게 된다.

2) Air Jet의 유인공기량

Jet Nozzle에 의한 유인 공기량은 만일 주위공기가 Beam이나, 그의 구조물 등에 의하여 방해받지 않을 경우 아래와 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q_x = 0.2 \times \frac{X}{D_i} \dots \dots \dots (2)$$

X = Outlet 으로부터의 거리(m)

D_i = Outlet 구경(m)

Q_x = 거리 × m에서의 유인 공기량(m³/s)

Q_i = Nozzle에서의 풍량(m³/s)

예를 들어 아래의 경우,

Nozzle Outlet 구경 D_i = 30mm

Air Flow Q_i = 21 l/s (0.021 m³/s)

거리 X = 10m일 경우, Zet Nozzle 1개의 유인 공기량은

$$Q_x = \frac{0.2 \times 10 \times 0.021}{0.03} = 1.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

이는 Air Jet Nozzle에 의한 유인 공기량은 Q_i 에 비하여 수십배에 달하는 것을 알 수 있다.

물론 유인공기량의 증가만을 위하여 거리 X (m)를 멀게만 하면 거리 X (m)에서의 속도 (V_x)는 극도로 감소되고 요구되는 일정한 Impulse는 얻기 힘들 것이다.

3) Core Speed의 감소

Air Speed는 거리 X 가 멀어질수록 당연히 감소할 것이다. 이런 거리 X (m)에서의 Air Speed V_x (m/s)는 아래와 같은 식으로 표현 될 수 있다.

$$\frac{V_x}{V_i} = 4.5 \times \frac{D_i}{X} \dots\dots\dots (3)$$

X = Outlet에서의 거리(m)

V_i = Outlet 속도(m/s)

V_x = 거리 X 에서의 Core 속도

물론 계수로 사용된 4.5는 주위 여건에 따라 (Beam, 구조물의 조건 등) 바뀔 수 있다. 또한 Air Jet System의 경우 수개의 Supply Device가 설치되게 되며 이때의 경우,

$$\frac{V_x}{V_i} = K \times 4.5 \times \frac{D_i}{X} \dots\dots\dots (4)$$

K 라는 새로운 보정계수의 고려가 필요하다.

4) Zet-Bending

상기의 (1) Impulse Flow, (2) 유인량 그리고 (3) Core Speed의 고려외에 필히 고려되어야 할 사항은 공기는 더우면 위로 뜨고 차가우면 아래로 가라앉는다는 아주 초보적인 개념이다.

Mr. H. Gritmitlin (LUFT-UND Kaltetechnik, 1970/5)에 의하면 축류형 토출구에서의 비등온(취출구의 온도와 실내 공기온도가 다른 경우) 토출시의 기류분포에 관한 관계식은 아래와 같다.

$$\frac{H}{d_i} = \pm 0.0022 \frac{(t_i - t_r) d_i}{V_i} \times \frac{x}{d_i} \dots\dots\dots (5)$$

H : 중심에서의 처짐(상승) 거리

t_r : 실내 온도

또한 일반적으로 적용되는 축류형 토출구 (Punkah Louver Type Diffuser, Air Jet Nozzle)의 자유공간에서 비등온 토출시의 기

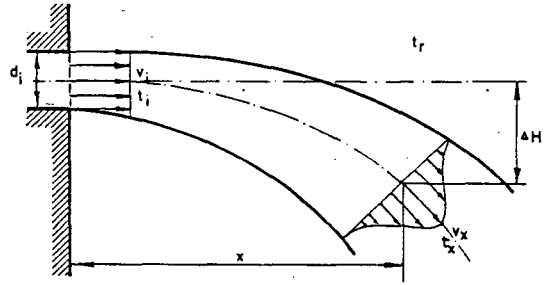
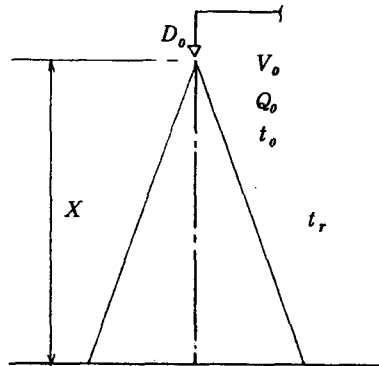


그림 13. Zet Bending

류분포 이론식은 아래와 같다.

$$V_x = V_o (1 - 1.9 (B_o / K) \times (X / D_o)^2)^{1/3} (K / (X / D_o)) \dots\dots\dots (6)$$

$$B_o = g \cdot \Delta t \cdot D_o / ((273 + t_r) \cdot V_o^2) \dots\dots\dots (7)$$



- B_o : 부력계수
- K : 토출구 정수
- X : 도달 거리(m)
- D_o : 토출구 구경(m)
- V_x : 중심속도 ($\times m$ 후)m/s
- V_o : 토출속도 m/s
- t_r : 실내온도 $^{\circ}C$
- t_o : 토출온도 $^{\circ}C$

그림 14. 축류형 기류분포

5) 기본식들의 고찰

식(7)의 부력계수는 전술한 냉난방 계획에 따라 각기 적용되어진다. 이 경우 Nozzle diffuser를 사용하는 일반공조 방식과 Air Jet System에서의 부력계수를 비교하여 보면,

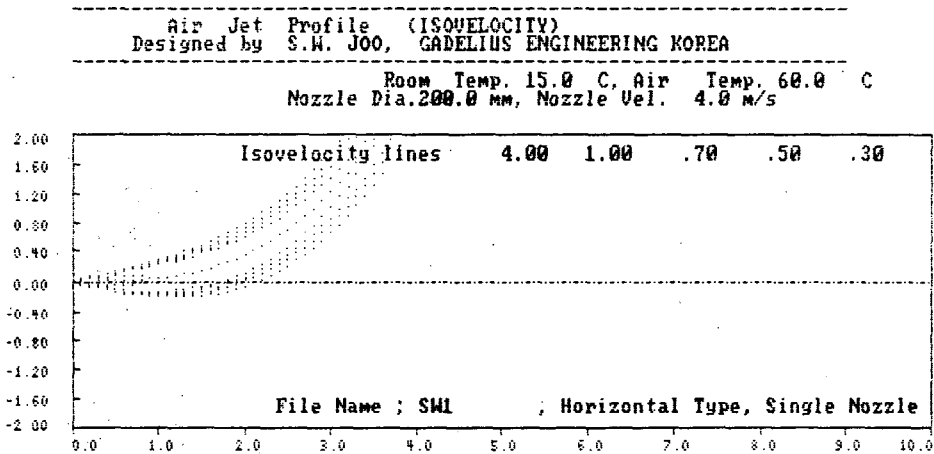
다음에서 보듯이 Air Jet System에서의 부력계수(B_o)는 종래 System보다 매우 작으며,

난방 방식	조 건	부력계수 (B_0)
종래 System	$\Delta t = t_o - t_r$ $= 60 - 15 = 45^\circ\text{C}$ $V_o = 4\text{m/s}$ $D_o = 0.2\text{m}$	0.019141
Air Jet System	$\Delta t = t_o - t_r$ $= 21 - 15 = 6^\circ\text{C}$ $V_o = 30\text{m/s}$ $D_o = 0.03\text{m}$	0.000007

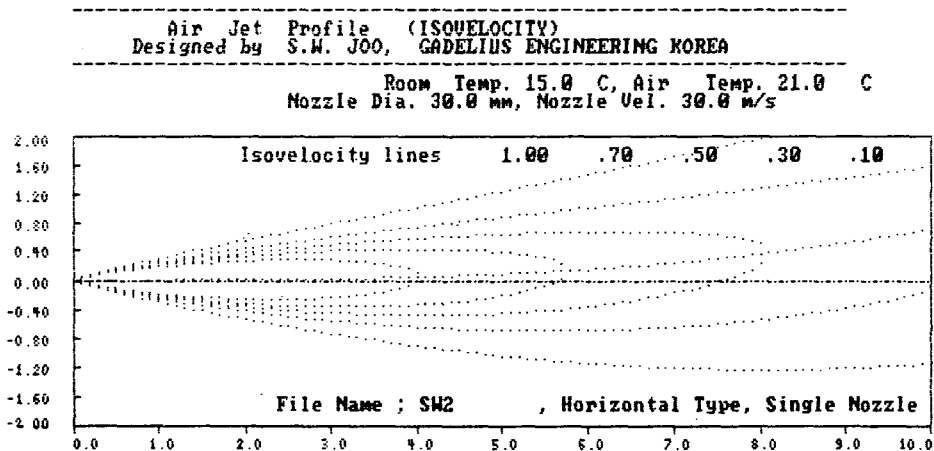
한편 식(3) 및 (6)에서 부력계수(B_0)가 커질수록 기류도달거리 X (m)는 짧아진다는 것을 알 수 있으며 식(2)에서 기류도달거리 X (m)가 짧아질수록 유인비(Q_x/Q_0)는 작게 된다는 것도 알 수 있다.

결국 위의 공식들에서 유인비(Q_x/Q_0)는 부력계수(B_0)가 작고, 기류도달거리 X (m)가 길며 취출구의 Nozzle 구경이 작을수록 증가하며, 유인비가 클수록 실내온도편차는 작아지는 것을 알 수 있다.

상기 예를 Graph 화 하여보면 다음과 같다.



(a) 종래 System



(b) Air Jet System

그림 15. 각 System 별 Isovelocity line의 변화

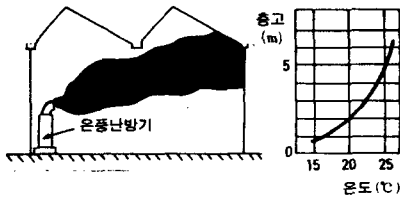
따라서 소구경의 Air Jet Nozzle을 사용하여, 도달거리 $X(m)$ 를 길게 하며 유인비(Q_x/Q_0)를 키워서 상하온도편차를 줄여 열손실을 줄이고 Infiltration을 감소시켜 궁극적으로 Energy Saving을 하며 많은 유인비, 유인공기로 오염된 공기를 빨리 희석 환기시키는 System이 바로 Air Jet System인 것이다.

7. Air Jet System (DIRIVENT System)과 종래 System의 비교

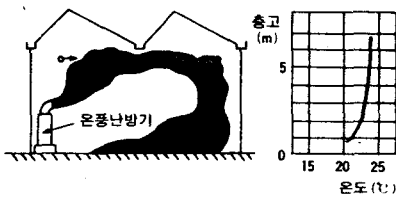
7.1 난방부하(열손실)

1) Transmission Loss

벽, 바닥 그리고 천정 등 전체 공장의 외피를 통하여 발생하는 열손실은 실내 온도(t_r)와 외기온도(t_o)의 차이에 의한 것이다. 그러나 Temperature Gradient (수직온도편차)에 의한 열손실의 발생은 매우 심각한 것으로 아래의 그림을 검토하면 그림 16-a의 종래 System은 수직온도 편차가 $2^\circ C/m$ 로 Air Jet System의 수직온도 편차($0.5^\circ C/m$)에 비해 상당히 크며 부하계산의 일반식 $Q=K \cdot A \cdot \Delta t$ 에서 만일 $\Delta t(^\circ C)(t_o - t_r)$ 를 줄일 수 있다면 필요한 열손실은 피할 수 있을 것이다.



(a) 종래 방식



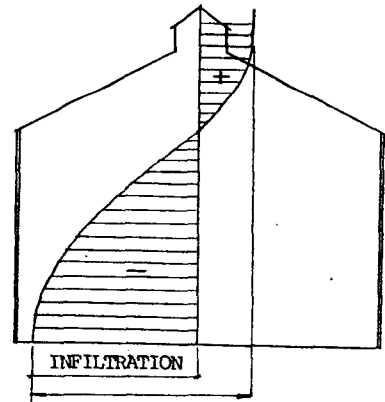
(b) Air Jet System

그림 16. 각 System 별 수직온도 변화

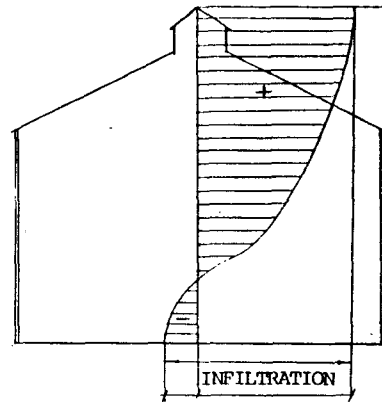
2) Infiltration Load (외기침입부하) 및 Stack Effect (굴뚝현상)

일반 공장에서의 Stack Effect는 실내공기온도와 외기온도의 차이에 의하여 발생된다. 즉 실내의 공기온도의 차이는 밀도의 차이를 의미하며 더운 공기의 압력은 외부의 차가운 공기 압력보다 낮게 되어 궁극적으로 외부의 차가운 공기와 내부로 침입하는 Infiltration이 발생하게 된다.

그러나 Air Jet System은 공장 높이에 따른 수직온도 편차(Temperature Gradient)를 최소화하여 주고 더운 공기의 높이에 따른 압력 차이를 줄여 외기 침입량을 감소시킬 수 있다(20~30% 정도의 감소효과).



(a) 종래 방식



(b) Air Jet System

그림 17. 상하온도 차이에 따른 Infiltration Flow

3) Heat Emission (전등, 생산기계등)

공장의 경우 아주 많은 량의 잠열이 공장내 사람, 생산기계 그리고 전등 등에 의하여 발생되고 있다.

일반적인 경우 이러한 열부하들은 주위공기에 대류되어, 상승하고 결국 외피를 통하여 나갈 것이다. 이는 또한 Infiltration 손실을 유발시킨다. 그러나 Air Jet System은 이러한 열부하를 작업구역으로 다시 회수시켜 작업온도의 상승은 물론 열원기기의 가동없이도 일정시간 요구작업온도를 유지시킬 수 있을 것이다.

7.2 Air Jet System에 의한 공장환기

5항에서 기 언급된 바대로 공장에서는 여러 종류의 유해 Gas, 증기, 분진 그리고 Fume이 작업과정중에 발생되고 만일 이들을 그대로 방치하면 주위공기에 확산되어 작업자는 물론 시설물에 악영향을 미칠뿐 아니라 결과적으로 매우 나쁜 작업조건을 초래하게 되는데 Air Jet System의 적용시 이러한 Gas 등은 많은 유인 공기량에 의해(궁극적으로 Recirculation Rate의 증가) 빨리 희석되고(Dilution) 배기되어 작업공간내 조건을 향상시킬 것이다.

이러한 Air Jet System에 의한 환기 방법의 특징은,

1) 기본적으로 Jet Nozzle에 의해 실내공기의 유인과 더불어 외기를 배기구 쪽으로 밀고가서 환기시키는 직렬관계의 System이다. 공장환기와 마찬가지로 개념인 주차장의 경우를 생각하면 종래 배기 System의 경우 급배기

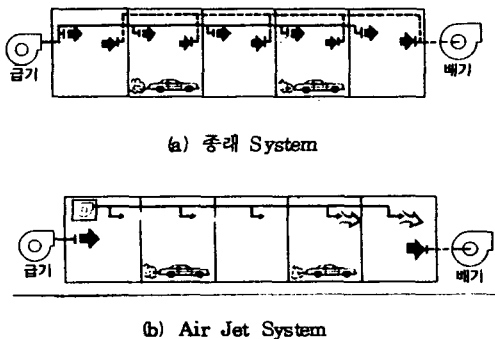


그림 18. 각 System별 환기 개요도

Duct가 병렬관계에 있다.

2) 언급한 바와 같이 Jet Nozzle에 의한 공기의 흐름을 형성하므로 Gas 등의 국소적인 정체현상이 발생되지 않는다. 종래 Duct 방식의 경우 급배기구 사이에는 공기류가 형성되어 급배기구에서 떨어진 곳에서는 유독 Gas 등이 안정, 정체되는 현상이 발생되어 결국 공장 구조물에 손상은 물론 작업자에게 불쾌감을 유발시킬 것이다.

3) 공장 전체의 환기시 일반적으로 공조부하가 크기 때문에 급배기용 Duct 크기가 커지기 마련이며 천정의 Truss 구조나 Overhead Crane 또는 Space 상의 문제가 있어 Duct의 설치가 곤란하여 환기에 문제가 있으나 Air Jet System은 이를 해결할 수 있다.

4) Air Jet System은 당초 선박 Engine Room의 환기를 목적으로 개발된 것으로 생산 Line이 복잡한 공간의 환기에도 유효한 것이다.

5) Air Jet Nozzle의 유인 공기량을 고려시 공장내 Air change 횟수의 증가로 환기 효과를 증대시킬 것이다.

6) 그러나 Air Jet System의 경우에도 제약은 있다. 예를 들어 동시에 고온의 아주 많은 Gas가 발생되는 Source가 있을 때 고온의 Gas는 부력작용에 의해 급속히 상승하게 되어 Air jet에 의한 환기를 할 경우 공장 전체에 전파될 위험이 있으므로 이때에는 아래와 같은 별도의 Canopy 설치와 별행된 Air Jet Nozzle의 설치가 요망된다.

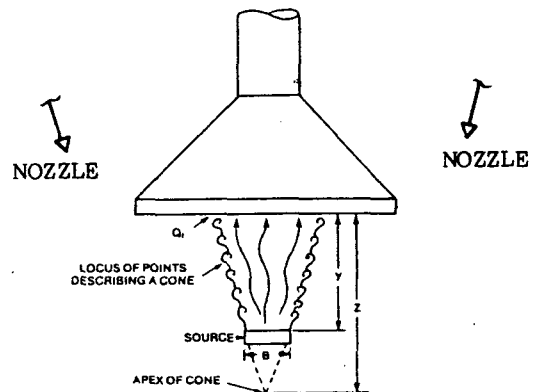


그림 19. 국소배기를 위한 Canopy의 설치

7.3 종래방식과 Air Jet System의 비교

구분	Conventional System	Air Jet System																
1. System 개요	<p>작업구역을 대상으로 하는 국소 공조국소방식으로서 대상 공조구역은 FL+3.000 이하의 수직공간과 작업 동선을 수평 공간으로 한다.</p>	<p>공장 전체를 대상으로 하는 전역 공조방식으로서 대상 공조 구역은 FL+7.0 이하의 전수직공간과 전공장 면적을 수평공간으로 한다.</p>																
2. System 구성	H. V. Unit+Main Supply Duct+Branch Supply Duct+Register	H. V. Unit+Main Supply Duct+D. Fan+Branch+D. Nozzle																
3. 건물 높이에 따른 온도 구배																		
4. 난방용 에너지 비용	<p>1) 손실 열량 계산 K-Value : 0.5kcal/h·m² C로 가정함. 외기온도: -7°C, 내기온도: 15°C Infiltration : 1.0T/h</p> <table border="1"> <tr> <td>지붕</td> <td>$72 \times 72 \times 0.5 \times (32+7) = 101,088$ kcal/h</td> </tr> <tr> <td>벽</td> <td>$2,880 \text{ m}^2 \times 0.5 \times (22+7) = 41,760$ kcal/h</td> </tr> <tr> <td>외기 침입량</td> <td>$51,840 \text{ m}^3 \times 1.0 \times 1.2 \times 0.24 \times (22+7) = 432,968$ kcal/h</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>575,816 kcal/h</td> </tr> </table> <p style="text-align: right;">(100%)</p>	지붕	$72 \times 72 \times 0.5 \times (32+7) = 101,088$ kcal/h	벽	$2,880 \text{ m}^2 \times 0.5 \times (22+7) = 41,760$ kcal/h	외기 침입량	$51,840 \text{ m}^3 \times 1.0 \times 1.2 \times 0.24 \times (22+7) = 432,968$ kcal/h	Total	575,816 kcal/h	<p>1) 손실 열량계산 K-Value : 0.5kcal/h·m² C로 가정 외기온도: -7°C, 내기온도: 15°C Infiltration : 0.7T/h (Dirivent System의 경우 Infiltration Rate가 감소됨)</p> <table border="1"> <tr> <td>지붕</td> <td>$72 \times 72 \times 0.5 \times (20+7) = 69,984$ kcal/h</td> </tr> <tr> <td>벽</td> <td>$2,880 \text{ m}^2 \times 0.5 \times (17+7) = 34,560$ kcal/h</td> </tr> <tr> <td>외기 침입량</td> <td>$51,840 \text{ m}^3 \times 0.7 \times 1.2 \times 0.24 \times (17+7) = 250,823$ kcal/h</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>355,367 kcal/h</td> </tr> </table> <p style="text-align: right;">(62%)</p>	지붕	$72 \times 72 \times 0.5 \times (20+7) = 69,984$ kcal/h	벽	$2,880 \text{ m}^2 \times 0.5 \times (17+7) = 34,560$ kcal/h	외기 침입량	$51,840 \text{ m}^3 \times 0.7 \times 1.2 \times 0.24 \times (17+7) = 250,823$ kcal/h	Total	355,367 kcal/h
지붕	$72 \times 72 \times 0.5 \times (32+7) = 101,088$ kcal/h																	
벽	$2,880 \text{ m}^2 \times 0.5 \times (22+7) = 41,760$ kcal/h																	
외기 침입량	$51,840 \text{ m}^3 \times 1.0 \times 1.2 \times 0.24 \times (22+7) = 432,968$ kcal/h																	
Total	575,816 kcal/h																	
지붕	$72 \times 72 \times 0.5 \times (20+7) = 69,984$ kcal/h																	
벽	$2,880 \text{ m}^2 \times 0.5 \times (17+7) = 34,560$ kcal/h																	
외기 침입량	$51,840 \text{ m}^3 \times 0.7 \times 1.2 \times 0.24 \times (17+7) = 250,823$ kcal/h																	
Total	355,367 kcal/h																	

구분	Conventional System	Air Jet System
항목	2) 연간 에너지 비용 $575.816 \text{ kcal/h} \times 1,000 \text{ HR} \times 70$ (평균부하율) = $4.03 \times 10^8 \text{ kcal/year}$ ① B-C Oil 환산 $4.03 \times 10^8 \div (9,500 \text{ kcal} \times 0.8) \times 105 \text{ 원}$ = 5,570,000원 ② 전력 환산 $4.03 \times 10^8 \div 860 \text{ kcal} \times 44 \text{ 원} =$ 20,620,000원 ** 평균 에너지 비용 13,095,000원 (100%)	2) 연간 에너지 비용 $355.367 \text{ kcal/h} \times 1,000 \text{ HR} \times 60\%$ (평균부하율) = $2.13 \times 10^8 \text{ kcal/year}$ ① B-C Oil 환산 $2.13 \times 10^8 \div (9,500 \text{ kcal} \times 0.8) \times 105 \text{ 원}$ = 2,943,000원 ② 전력 환산 $2.13 \times 10^8 \div 860 \text{ kcal} \times 44 \text{ 원} =$ 10,900,000원 ** 평균 에너지 비용 6,921,500원 (53%)
5. 난방효과	국소공조 방식이므로 공장전체의 균일한 온도분포면에서는 불리, 또한 불필요한 Energy 손실이 많이 발생	전역공조 방식이므로 공장전체에 균일한 온도분포면에서는 유리, 온도차를 줄여 Energy가 절약됨.
환기효과	작업자 구역을 대상으로 하는 집중환기 방식으로 작업공정에서 발생하는 유해가스는 작업자 영역의 높이 이상으로 상승되므로 작업 구역의 청정도 유지 가능하나 효과적인 배기 시설이 없을시 Gas 나 분진이 누적되어 불리	전역공조 방식이므로 작업공정중 발생하는 유해가스가 극히 많을 경우는 다른 작업공정 지역으로 전파되므로 불리하지만 유해가스가 적게 발생하는 경우는 주위 공기와 급속하게 희석되므로 문제되지 않음(이 경우 별도의 배기설비요: 일반 Conventional System도 동일).
유통성	Branch Duct가 Truss에서 하부로 내려와 작업자 상부에 설치되므로 생산공정 Line 과의 간섭현상 등이 발생할 우려가 있으므로 불리 국소공조 방식이므로 생산 공정 변경시 이에 대한 대응면에서 불리	Branch Duct가 Truss 상부에 설치되므로 공정 시설물과의 간섭현상 문제 등에서는 유리 전역공조 방식이므로 생산 공정 변경시에도 이에 대한 대응면에서 유리
시공성	저속 Duct 방식으로 Duct Size가 크게 되므로 불리 국소공조 방식이므로 Duct 보온을 하여야하기 때문에 시공이 어려움	고속 Duct 방식으로 Duct Size가 작게 되므로 유리 전역공조 방식으로 Duct 보온이 없으므로 시공이 간단
제어성	공장 크기에 따라 급배기를 위한 Duct 크기가 커져서 H.V Unit의 수량이 증가되며 그와 달리 H.V Unit가 생산 Line 별로 여러 대가 설치되므로 H.V Unit의 고장시 전체적인 실내환경 악화현상이 작으므로 유리	H.V Unit를 소용량 혹은 대용량으로 설치 가능하나 전역공조 방식이므로 공장의 일부 설치가 불가하며 때로는 Air Jet Nozzle 만 가동시킴. 여러 대의 D. Fan이 설치되므로 Fan 고장시 공기유동 상태가 비정상
보수관리성	H.V Unit의 수량이 많으므로 보수, 유지개소가 증가되어 불리	H.V Unit의 수량이 적으므로 보수, 유지가 간편하여 유리

8. Air Jet System 가동 결과 보고서

8.1 설치기기 및 측정방법

본 Test Report의 실험대상으로 가동중인

경남 H주식회사의 공장만을 선정하였으며 그 건물의 개요는 다음과 같다.

1) 실험대상

* 건물 소재지 : 경남 울산시 H주식회사 공

작반

- * 건물 연면적 : 610평 (72mL×28mW)
- * 건물 층고 : 7m(바닥에서 트러스 하부까지의 높이)
- * 기존 설비 :

- ① 온풍기(효율 50%)
200,000kcal/h×1unit
100,000kcal/h×3units
- ② Nozzle Diffuser(5m/s, 45°C)
60개, Dia=200φ

2) 추가 설치

- ① Air Jet Fan : 4대
 - Gadpac 370×3 sets (60m³/min, 160mmAq)
 - Gadpac 220×1set (45m³/min, 160mmAq)
- ② Air Jet Nozzle : 123개(φ30, 600Pa, 27m/s)

3) 온도 측정 방법

즉 1)항의 공장 온방 방식중 가장 간단하고 일반적인 Conventional System으로 온풍기(Warm air furnace)를 실내에 설치하고 이곳에서 가열된 고온의 공기(60°C)를 각형 저속 Duct로 반송하여 작업구역 상부에는 취출구를 설치하고 고온 공기를 작업구역으로 송풍하는 기존 설치설비에 고속 급기 Fan(Air Jet Fan)과 원형 고속 Duct(Spiral Duct) 그리고 Air Jet Nozzle을 공장 최상부에 설치하는 Air Jet System을 추가 설치하여 실내온도

측정은 아래의 조건하에서 장비 배치와 작업상 방해가 되지 않는 10개 장소를 선정하여 각 측정 장소별로 수직 높이 1.5m, 3m, 5m 7m 지점의 온도를
첫째, Conventional System만 가동시
둘째, Conventional System+Air Jet System 가동시로 측정하였다.

9. 맺음말

Air Jet System은 기 언급한 Sweden의 F-LAKT사에 의하여 개발된 것으로서 현재 국내에서는 대단위 공장(자동차 공장)의 난방 및 환기 시설에 적용중이며 그의 환기목적의 지하주차장 설비에도 적용되고 있다.

Air Jet System은,

- 1) 공장내 상하 온도차(Temperature Gradient)를 줄여 Energy 절약과 난방 효과를 얻을 수 있다.
- 2) 폐열 회수 설비(Heat Recovery Unit)를 사용하여 Payback 기간을 단축한다.
- 3) 전체 작업 구역의 온도를 균일하게 유지하고 또한 Nozzle Damper 조절로 Draft를 느끼지 않는다.
- 4) 환기회수의 증가로 효과적인 환기가 가능하다.
- 5) 기존의 설비에 추가로 적용 가능하여 작업환경을 개선시킬 수 있다.
- 6) 여름의 경우 많은 유인량과 혹은 Air

— Temperature Check Data of Conventional System and Air Jet System(°C)

Point	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Mean	Temperature Gradient	
온풍기 ON Air Jet System OFF	1.5(m)	14.4	14.7	14.5	14.1	15.1	14.5	14.9	14.3	14.7	15.7	14.7	1.55 °C/m
	3	19.3	18.9	18.8	18.6	18.9	19.1	18.9	18.9	18.5	18.8	18.9	
	5	22.5	23.1	22.7	21.8	21.9	22.6	23.1	22.5	22.0	21.8	22.4	
	7	23.7	23.4	23.0	22.9	23.0	23.7	23.3	23.1	22.9	22.8	23.2	
온풍기 ON Air Jet System ON	1.5(m)	19.8	20.4	19.2	18.3	19.6	19.9	20.3	20.9	18.6	19.3	19.6	0.33 °C/m
	3	20.2	20.8	19.6	19.6	20.1	20.7	20.8	21.1	19.3	19.7	20.2	
	5	20.8	21.6	20.1	20.5	20.8	21.2	21.3	21.6	19.9	21.1	20.9	
	7	21.5	22.2	20.7	21.1	21.5	21.6	21.4	21.6	20.4	21.5	21.4	

Jet Fan의 외기 연결로 공장 전체에 외기 도입량을 증가시킬 수 있다.

7) 공장 전체 공조방식이므로 작업 Lay Out 변경에 쉽게 대처할 수 있다.

이상과 같이 공장의 난방과 환기의 여러가지 방법중 Air Jet System을 검토하였으나 그 설계를 위해서는 넓은 지식과, 경험 그리고 기술이 요구되어지며 아래의 사항들이 종합적으로 고려되지 않으면 안된다. 그렇지 않으면 직접적으로 보이지 않는 낭비와 무리가 따르고 결국 노동재해에도 관련됨을 심각히 받아들이지 않으면 안된다. 따라서,

- 1) 항상 그 공장에 유효 적절한 Air Jet System을 선정할 것
 - 2) 최적설계로서 설치, 시공상에 무리가 없을 것
 - 3) 초기설비비, 운전비, 보수관리비 등을 종합적으로 고려하여 설계할 것.
 - 4) 작업성 향상을 위하여 노력할 것
- 공장 공조는 그 내용이 광범위하며 공장의 작업내용, 요구되는 환경조건 그리고 공장기 기 Lay Out의 다양성 때문에 효과적인 공장 난방과 환기 방식은 계속 연구검토 되어야 하겠으나 Air Jet System(DIRIVENT System)은 일단 상기의 모든 문제들을 풀어 나갈 수

있는 하나의 공조방식으로서 공장의 난방 및 환기문제에 일익을 담당할 수 있으리라 본다.

참 고 문 헌

1. Flakt Review No.71, Indoor Climate system.
2. Flakt DIRIVENT System Manual, 1982.
3. ASHRAE Handbook of Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 1985.
4. ASHRAE Handbook and Product Directory System, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 1984.
5. ASHRAE Handbook of Equipment Volume, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 1987.
6. Faye C. McQuiston and Jeraled D. Parker, Heating, Ventilating and Air Conditioning, John Wiley & Sons, 1977.
7. 空氣調和・衛生工學會, 工場換氣, 昭和63年4月.