

교류환기 개념을 이용한 숨쉬는 환기장치

Inhaling/Exhaling Heat Recovery Ventilator using the Concept of AC Ventilation

한화택/ 국민대학교 교수, 편집이사
백창인/ (주)인벤트 대표이사, 편집위원

들어가며

건물의 덕트시스템은 공조처리된 공기를 공급함으로써 건물의 냉난방부하를 감당하고, 신선외기를 공급함으로써 실내 오염부하를 제거한다. 외기를 도입하여 환기를 수행하는 과정에서 배기가 가지고 있는 에너지가 그대로 방출되기 때문에, 배기 열을 일부 회수하기 위하여 폐열회수 환기유닛이 사용되고 있다. 일반적인 경우 공간적으로 분리된 급기라인과 배기라인 사이에서 정상상태의 열교환을 통하여 배기로부터 열회수가 이루어진다.

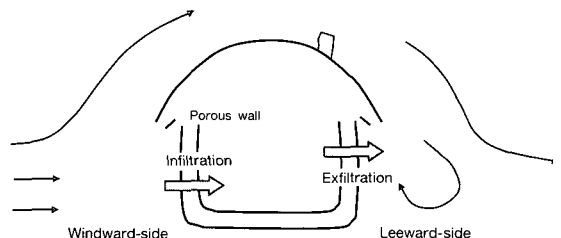
급기라인과 배기라인이 모두 존재하고 서로 인접해 있어야 상호 열교환을 이룰 수가 있다. 2종환기와 같이 급기만 있는 경우나 3종 환기와 같이 배기만 있는 경우에는 전형적인 급배기 사이의 열회수는 불가능하다. 최근 주거용 아파트에 환기장치를 설치하는 경우가 많아지고 있는데, 덕트설치는 큰 골칫거리 중의 하나이다. 급배기 라인이 하나만 설치할 수 있으면, 덕트설치에 있어서 많은 비용을 절약할 수 있고, 공간상의 제약조건을 크게 줄일 수 있을 것이다.

여기서 하나의 덕트를 사용하면서 열회수를 할 수 있는 방법으로 교류환기를 이용하여 시간적으로 급기와 배기를 분리하는 방법을 제안한다. 즉 덕트를 통하여 배기를 하는 동안 축열체를 이용하여 폐열을 저장하고, 방향을 바꾸어 급기를 하는 동안에는 축열체에 저장된 폐열을 회수하여 실내로 공급하는 것이다.

이와 같은 축열과 연계시킨 환기 메커니즘은 새로

운 것이 아니다. 그림 1과 같은 옛날 토담집의 경우가 그것이다. 토담은 다공성이 크기 때문에 실내외의 압력차에 의하여 공기가 쉽게 벽을 투과한다. 바람이 불어오는 쪽으로는 외기가 실내로 유입되고, 바람 반대쪽으로는 실내공기가 외부로 유출된다. 겨울철, 태양이나 실내공기에 의해서 가열되어 있던 토담벽을 통하여 실내로 들어오는 바람의 찬 공기는 외기보다 온도가 높아진 상태로 유입된다. 이러한 상태가 일정 시간 지속되면 벽체에 축적되어 있던 열이 방출되면서 온도는 서서히 떨어진다. 그러나 바람의 방향이 바뀌어 실내공기가 실외로 배출되기 시작하면서 벽체의 온도를 다시 실내온도에 가깝게 올려놓는다.

우리가 숨을 쉬는 메커니즘도 유사하다. 차가운 외기가 들어오면서 기도의 벽면으로부터 열이 전달되어 공기가 다소 데워진 상태에서 폐로 들어간다. 폐에 찬 공기가 직접 닿는 것을 방지할 수 있다. 숨을 들이쉬는 기간 동안에 기도 벽의 온도는 점점 내려간다. 반대로 숨을 내쉬기 시작하면서 폐에서 배출



[그림 1] 토담집의 다공성 벽면을 통한 열교환과 호흡 환기

되는 공기가 차가워진 기도 벽을 다시 데워 놓는다. 축열식 호흡(inhaling/exhaling) 폐열회수 장치인 썸이다.

지금까지의 일반적인 환기는 시간에 따라서 풍량과 풍향이 일정한 환기, 즉 직류환기(DC ventilation)라 할 수 있다. 이에 반하여 시간에 따라서 풍량과 풍향이 바뀌는 환기를 교류환기(AC ventilation)라고 한다. 본고에서는 교류환기의 개념과 종류에 관하여 소개하고, 직류환기와 비교하여 환기성능에 관하여 검토함으로써 향후 실제 응용가능성에 관하여 고찰해 보고자 한다.

교류환기방식의 종류

교류환기란 엄밀하게 주기적으로 풍향이 바뀌는 양방향 환기(two-way ventilation)로 볼 수 있으나 여기서는 풍향이 바뀌지 않더라도 주기적으로 풍량이 변동되는 경우, 즉 주기환기(periodic ventilation)에 해당하는 환기의 종류가 그림 2에 주어져 있다.

(1) 왕복환기 (Oscillating Ventilation)

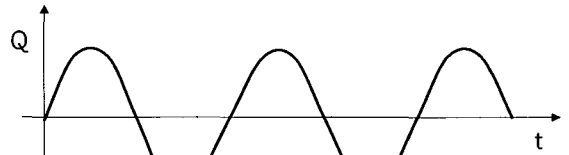
정현파 형태의 풍량 변화를 보이며 풍향이 주기적으로 바뀌는 교류환기로서 양방향 환기의 가장 기본적인 형태이다.

(2) 왕복동환기 (Reciprocating Ventilation)

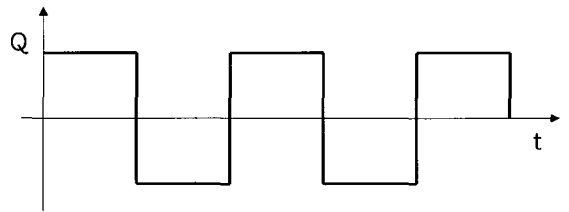
풍량이 일정한 상태에서 주기적으로 풍향만 전환되는 형태의 환기이다. 왕복환기에 있어서 풍향전환 주기가 상대적으로 긴 경우에 각 주기별로 풍향이 일정한 상태로 유지된다고 볼 수 있는 경우이다. 가장 단순한 형태의 양방향 환기이다.

(3) 맥동환기 (Pulsating Ventilation)

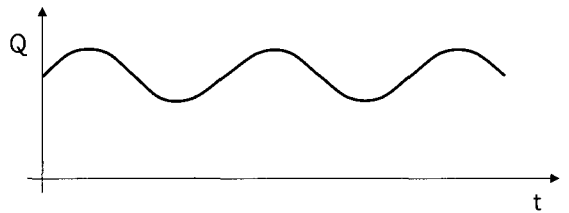
일방향 환기로서 풍량이 최대값과 최소값 사이를 주기적으로 변동되는 환기를 말한다. 기준적인 직류 풍량 성분이 유지되고 있고 여기에 정현파적인 맥동이 중첩된 것으로 볼 수 있는데, 맥동의 변화가 작아서 풍향은 바뀌지 않는 경우라고 이해할 수 있다. 풍향이 바뀌지 않는 일방향 환기(one-way ventilation)이므로 엄밀하게 교류환기는 아니다.



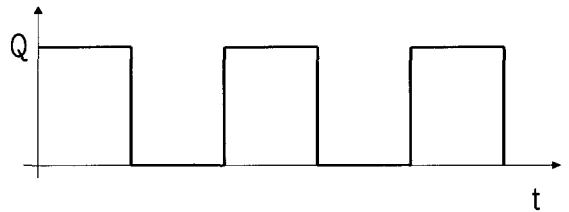
(a) Oscillating Ventilation



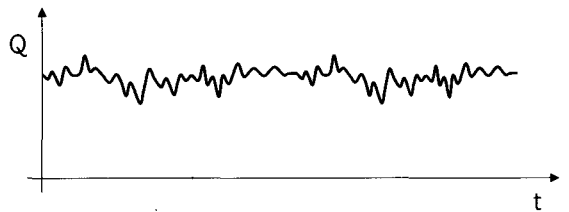
(b) Reciprocating Ventilation



(c) Pulsating Ventilation



(d) Intermittent Ventilation



(e) Chaos Ventilation

[그림 2] 교류환기의 종류

(4) 간헐환기 (Intermittent Ventilation)

기존의 직류환기 시스템에서 환기요구에 따라서 작동을 on/off 시키는 경우에 해당하며 on/off 환기(on/off ventilation)라고 한다. 이것은 주기적으로 가동/정지가 반복되는 일방향 환기이므로 엄밀하게는 교류환기가 아니다.

(5) 섭동환기 (Fluctuating Ventilation)

다양한 풍량 변동폭과 다양한 주기가 중첩되어 있는 형태의 환기를 말한다. 실제로 이러한 환기는 바람에 의한 자연환기시 나타나는 형태로서, 기계적으로 구현하는 것은 불가능하거나 불필요하다. 무작위적인 섭동성분이 다양하게 포함되어 있기 때문에 카오스환기(chaos ventilation)라고 한다.

교류환기에 의한 환기효과

풍량이 일정하게 공급되는 기존의 직류환기의 경우와 비교하여 교류환기에 의한 실내의 환기효과를 살펴보기로 한다. 직류환기의 경우에는 급기부근에는 항상 국소평균연령이 작은, 즉 신선한 공기가 머

물려 있고, 재순환영역과 같은 지점은 항상 환기상태가 불량한 상태로 머물러 있는 등 시간에 따라서 변화가 없는 환기조건이 주어진다. 표 1은 직류환기와 교류환기의 특성을 비교해서 보인다.

권 등의 수치해석연구에 의하면 환기 방향이 전환되었을 때, 약 150초 정도 지나면 기류 및 농도변화에 있어서 과도상태가 서서히 사그러지고, 직류환기와 유사한 상태에 이르는 것으로 나타났다. 방향이 전환된 초기에는 급기부근에 공급된 신선외기가 방향이 전환되어 도로 빠져 나가버린다. 따라서 실 전체적으로 보았을 때, 평균 환기효율이 떨어진다. 수치해석 결과에 따르면, 약 10% 정도의 환기효율의 감소를 가져오는 것으로 나타나고 있다.

그림 3은 급배기구가 천장에 위치한 경우에 대하여, 300초 간격으로 급기구와 배기구의 역할이 전환되는 교류환기에 의하여 실내의 환기효율의 변화를 수치해석한 결과를 보이고 있다. 실전체에 균일한 오염 발생원이 주어진 경우에 대한 농도변화를 해석한 결과이므로 국소공기연령의 결과와 동일하다고 볼 수 있다. 약 2000초 경과 후부터는 주기적 정상상태에 도달한 것을 볼 수 있다. 또 주기내에서 초기에

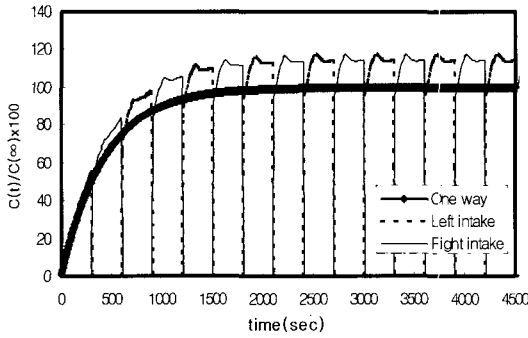
<표 1> 직류환기와 교류환기의 비교

	직류환기	교류환기
덕트	급기덕트와 배기덕트가 각각 필요하다.	덕트하나로 급배기를 수행한다.
송풍기	각 덕트 별로 일정한 풍량을 공급할 수 있는 송풍기가 필요하다.	덕트내에 풍향을 바꿀 수 있는 송풍기 한 대 또는 방향이 반대인 두 대의 송풍기가 필요하다.
폐열회수환기유닛	급기덕트와 배기덕트가 함께 연결되어야 하므로 배기구와 외기도입구가 서로 인접해서 설치되어야 한다.	두 장치는 서로 독립적으로 원거리에 배치할 수 있다.
환기유닛의 제어	실내부하에 따라서 송풍기를 on/off 제어한다.	두 대의 송풍기를 전기적으로 연동시켜 상호 반대방향으로 운전되도록 제어한다.
필터	필터에 분진이 장시간 퇴적된다	필터에 분진이 단시간 퇴적되었다가 바로 방출된다.
실평균 환기효율	급배기구 위치에 따라서 실평균 환기효율이 결정된다.	동일한 급배기 위치에 대하여 풍향이 바뀐 직후에 공급된 신선외기가 배기로 도로 빠져 나가므로 일시적으로 환기효율이 낮아질 수 있다.
국소환기효율	국소적으로 취약한 정체구간이 발생할 수 있다.	풍향이 바뀜으로써 정체된 구간을 효과적으로 혼합시킬 수 있다.
실내기류, 쾌적성	고정적인 실내기류가 형성된다.	일정시간 간격으로 실내기류가 변동된다.

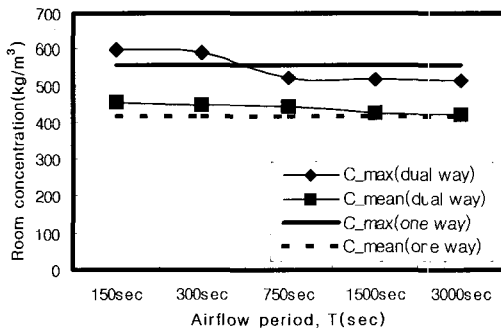
약간의 농도 상승이 있다가 정상상태로 복귀되는 것을 볼 수 있다. 교류환기의 경우 직류환기에 비하여 항상 농도가 높게 나오는 것, 즉 환기효율이 낮게 나오는 것을 그림 4에서도 확인할 수 있다. 방향 전환 주기가 길어짐에 따라서 직류환기 결과에 수렴하는 것을 볼 수 있다. 평균농도는 항상 높게 나타나지만, 반면 실내의 최고 농도는 교류환기일 때, 직류환기에 비하여 낮게 유지될 수 있음을 보인다. 이는 급기구에서 토출되는 제트가 방향이 전환되어 정체된 재순환영역을 깨고 실내공기와 혼합시켜 최고 농도를 줄일 수 있다는 가능성을 시사하는 것이다.

교류환기를 응용한 환기장치

기존의 폐열회수 환기유닛의 종류에는 관형, 로터리형, 모세관형 등이 있으나, 모두 급기라인과 배기라인을 연결하는 4개의 덕트 접속구가 있다. 그림 5



[그림 3] 교류환기에 의한 배기구에서의 무차원 농도변화

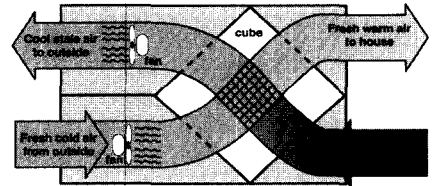


[그림 4] 교류환기 변동주기에 따른 실내 평균 및 최고 농도

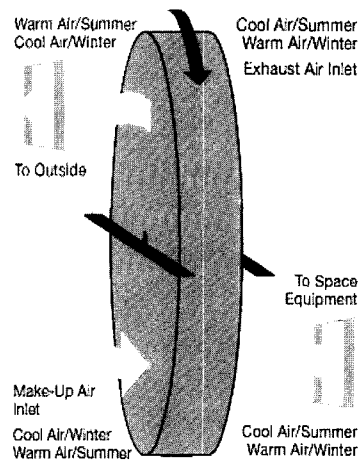
는 현재 가장 광범위하게 사용되고 있는 관형과 로터리형 폐열회수 환기유닛을 보인다. 급기와 배기가 하나의 유닛으로 모아져야 하기 때문에 천장내 급기라인과 배기라인은 복잡하게 얽히게 된다.

교류환기를 이용하여 하나의 덕트로 급배기를 동시에 해결하게 되면 덕트라인은 매우 간단해진다. 내부에 축열소자를 내장하여 배기시 폐열을 저장하였다가 급기시 방출한다. 송풍기가 주기적으로 풍향을 바꿀 수 있어야 한다. 두 대의 송풍기를 장착하는 방법과 회전방향을 변동시킬 수 있는 송풍기를 사용하는 방법을 생각할 수 있다.

그림 6은 교류환기를 이용한 폐열회수 환기장치의 예를 보인다. 원통형은 외벽 상단에 원형 구멍을 내고 베란다 천장공간을 가로질러 설치할 수 있다. 덕트가 전혀 없이 설치할 수 있으며, 실내 거실에 노출된 부분의 디자인을 다양하게 처리할 수 있다. 용량을 크게 할 수 없기 때문에 환기방향 변동주기를

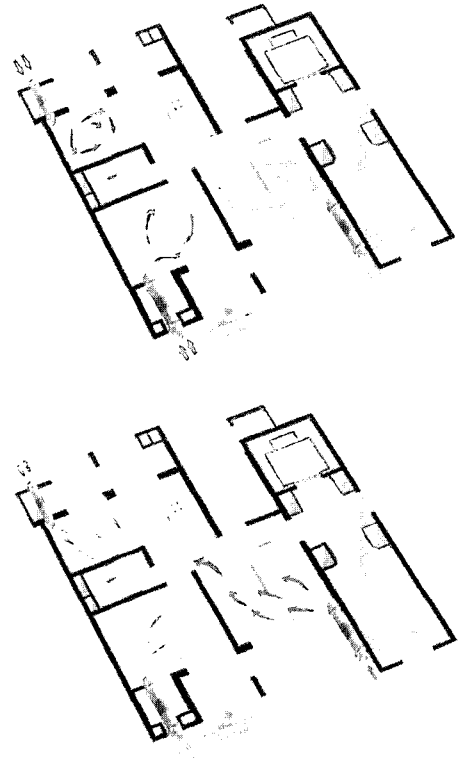
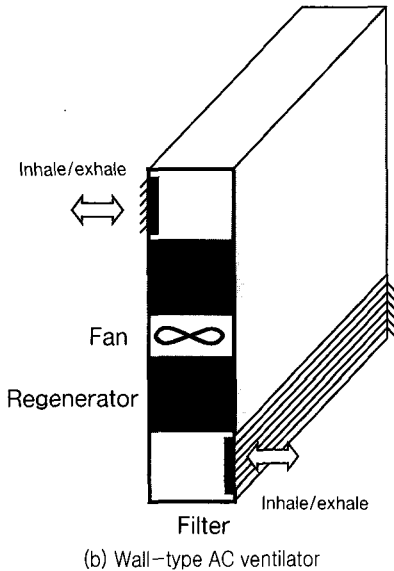
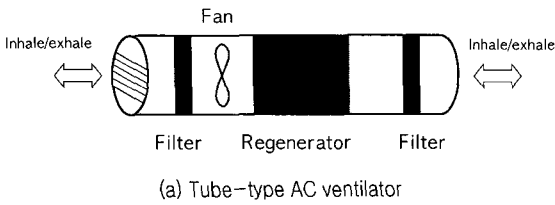


(a) Plate type (고정식)



(b) Rotary type (회전식)

[그림 5] 기존의 대표적인 폐열회수 환기유닛



[그림 6] 교류환기를 이용한 폐열회수 환기유닛의 예

[그림 7] 교류환기를 이용한 폐열회수 환기유닛의 주택 설치 예

자주 바꾸어 주어야 한다.

벽면 매물형은 건물의 외벽에 특정 크기의 공간을 비워놓고 벽체 대신 설치한다. 과거 토담집의 벽면과 같이 상당히 큰 축열용량을 활용할 수 있다. 기존에 철근이 들어가 있는 벽면에는 추가적인 설치가 용이하지 않다. 벽면형은 창호와 연계하여 창문의 일부분을 환기유닛으로 구성할 수도 있다.

그림 7은 실제 주택에 있어서 교류환기를 이용한 폐열회수 환기장치의 설치 예를 나타낸다. 그림에서와 같이 두 대이상의 장치를 설치하고, 급배기되는 풍량을 적절히 균형을 맞추어 주면, 세대 전체 환기 측면에서 보면, 동시 급배기형 환기장치와 동일한 효과를 얻을 수 있다. 이와 같이 두 대이상의 장치를 세대 내에 적절히 설치하여 운전하면, 동시급배기 효과뿐만 아니라 무덕트 방식의 환기시스템 구축이 가능하리라고 판단된다.

이들 환기장치들은 가급적 서로 실의 반대쪽 벽면에 설치하는 것이 실내기류 형성 및 환기성능 측면에서 유리하고, 또한 급배기의 누설이나 재유입을 줄일 수 있다. 또한 주방환기나 욕실환기 등과 연계하여 운용할 수도 있으며, 이 경우에는 실내외의 압력차를 측정하여 각각의 장치에 대한 유입/유출 방향을 결정하여야 한다.

나가며

최근 들어 일반인들의 실내공기질에 대한 관심이 높아지고 있다. 실내공기오염을 제어하는 방법으로 공기청정, UV코팅, 오존발생 등 여러 가지 방법이 제시되고 있지만 가장 근본적인 해결책은 역시 신선외기를 도입하는 환기에 의한 방법이다.

본고에서는 새로운 환기방식으로 교류환기 방식을

제안하였고 이를 응용한 환기장치에 관하여 살펴보았다. 교류환기의 가장 큰 장점은 급배기를 위한 덕트를 하나로 줄일 수 있다는 점이다. 실내평균 환기효율이 약간 감소되는 단점이 있지만, 반면 정체되지 않는 실내기류를 보임으로써 실내 최고 오염농도를 감소시킬 수 있는 가능성을 보였다. 현재 교류환기장치에 관한 연구는 전무한 실정이다. 앞으로 교류환기에 의한 실내 환기효과에 관한 연구가 시작되어야 할 것이고, 축열매체와 변동주기 등에 따른 시스템의 최적설계가 이루어져야 할 것이다.

새로운 환기방식에 따른 다양한 환기장치들이 개발됨으로써 쾌적한 실내환경을 제공하고 아울러 에너지 절약에 기여할 것으로 기대해 본다.

참고문헌

1. 권용일, 한화택, 2004, "교류환기에 의한 공기교환 성능에 관한 연구," 대한설비공학회 하계학술대회 논문집, pp. 189-194.
2. 이대영, 2001, "왕복유동 조건에서 다공성 물질의 비정상 열전달," 대한기계학회 논문집 B권, 제25권, 제3호, pp. 422-432.
3. 김민규, 한화택, 2003, "회전식 전열교환기의 누설 및 열교환특성에 관한 실험적 연구," 대한설비공학회 하계학술대회 논문집, pp. 200-205. 