

폐열회수환기를 위한 열교환장치의 경제성 평가

An economic evaluation of heat exchanger for heat recovery ventilation

박 용 호 이 상 범
Park, Yong-Hyo Lee, Sang-Bum

Abstract

Recently, The high Air-Tightness and high heat insulation for building construction cause a ventilation air volume deficiency.

Also, Worldwide high energy price is strongly urging to economize the air conditioning energy. Therefore Heat Recovery Ventilation is used for the satisfaction of ventilation air volume and building energy saving.

Accordingly, this study dose the heat exchanger performance evaluation and economic efficiency evaluation of Heat Recovery Ventilation. And, we wish to make a basic study about HRV System application of HVAC System and Multi System Air-conditioning.

키 워 드 : 폐열회수환기장치, 공기조화시스템, 열교환기, 열교환효율, 알루미늄, 종이
Keywords : HRV(Heat Recovery Ventilator), HVAC System, Heat Exchanger, Aluminium, Pulp

1. 서 론

최근 경제발전과 기술의 발전으로 건축물이 초고층화, 대형화 되면서 건축물의 고기밀화 고단열화로 인한 환기량 부족 현상이 발생하고 있다. 또한 고유가 시대로 냉난방 에너지를 절약하기 위한 노력이 이루어지고 있다.

환기량의 부족으로 발생하는 문제점은 심각하게 나타나고 있다. 특히 새집증후군이라는 새로운 병이 발생하고 있으며 이는 사람들 건강에 악영향을 미치고 있다. 건축 재료에서 발생하는 휘발성유기화합물과 포름알데히드가 실외로 배출되지 못하고 실내에 머무르고 있어 문제는 더 심각해지고 있다. 이러한 오염물질의 피해를 막기 위해 친환경건축자재들이 개발되고 오염물질 저감을 위한 광촉매와 같은 물질들이 개발되고 있으나 오염물질을 가장 효과적으로 제거 할 수 있는 방법은 환기에 의한 오염물질의 제거 방법이다.

이로 인하여 다중이용시설등의 실내공기질 관리법이 개정되면서 오염물질의 기준 농도 및 용도별 필요 환기량을 권고하고 있다. 실 용도별 환기횟수와 인당 필요환기량으로 환기량을 규정하고 있으나 위와 같이 건축물의 기밀성이 향상되면서 환기량이 권고 기준을 만족하지 못하고 있는 실정이다.

이러한 건축물의 필요 환기량을 만족시키기 위하여 환기시스템을 도입하여 강제 환기를 시키고 있다. 기존의 강제 환기

시스템은 열교환기가 내장되어 있지 않으며 단순히 외부공기를 불러넣어주고 내부공기를 밖으로 빼는 형태로 운전된다. 이는 자연환기와 같이 외기도입으로 인하여 실내 열량손실이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 최근에는 열교환기가 내장된 환기시스템이 개발되어 사용되고 있다.

일반적으로 폐열회수환기장치나 전열교환유니트로 불리어지고 있으며 HRV(Heat Recovery Ventilator)라 표기되어지고 있다. 열교환기가 내장된 HRV는 환기시 열교환이 이루어지므로 자연환기와 일반 강제 환기와 달리 실내 열량손실을 최소화하여 냉난방기기의 부하를 줄여 에너지를 절약할 수 있다. HRV는 기존에 설치된 공조시스템에 적용이 간단하며, 최근 많이 사용하고 있는 개별공조시스템인 시스템에어컨에도 함께 사용할 수 있다. 일정 규모 이상의 건축물에서는 HRV System 의무 사용화로 다양한 형태의 HRV가 개발되고 있으므로, 보다 높은 열교환 효율과 저소음 등으로 HRV의 성능을 판단하게 되므로 이에 대한 성능 평가가 이루어져야 한다.

따라서 본 연구에서는 열교환기 성능 평가와 HRV 경제성 평가를 통하여 중앙공조시스템과 개별공조시스템에 HRV System 적용에 대한 기초 연구를 하고자 한다.

2. 폐열회수환기장치의 특성 및 성능 평가

2.1 폐열회수환기장치의 특성

* 서번산업엔지니어링(주)
** 동의대학교 건축공학과, 공학박사

폐열회수환기장치는 강제환기를 하기 위한 시스템으로, 현재 많이 사용되고 있는 폐열회수환기장치의 구조는 FAN, 열교환기, 공기여과기, 케이싱으로 크게 구별되고 있으며, 내장된 열교환 소자에 의해 구별된다. 열교환 소자는 판형과 로터리 타입이 있으며 판형은 얇은 판의 적층구조로 판의 형상에 의한 유로로 공기가 교차하면서 공기의 열교환이 이루어지며 로터리 타입은 열교환 소자로 구성된 휠이 회전하면서 공기의 열 교환이 이루어진다.

로터리 타입은 판형보다 효율은 높으나 FAN 운전동력 이외에 열교환 소자를 회전시키기 위한 동력이 필요하며, 회전에 의한 열교환이 이루어지므로 외기와 내기가 서로 섞이게 되어 오염된 공기가 환기시 실내로 유입되므로 많이 사용되지 않는다. 현재 많이 사용하고 있는 폐열회수환기장치는 판형 열교환기가 내장된 것으로 판과 판사이로 외기와 내기가 교차하므로 오염된 공기가 섞이지 않게 된다.

판형열교환기는 열교환 소자 재질에 따라 크게 알루미늄, 펄프, 폴리프로필렌등이 있다. 각 재질에 따라 장단점을 가지고 있으며, 판의 박판 형태도 다양하게 나타나고 있다.

판형열교환기의 성능은 판의 열전도율, 판의 두께, 판 사이 간격, 박판 형태에 따른 유로에 의해서 성능이 다르게 나타난다. 열교환기의 성능은 열교환 효율이 높을수록 환기에 의한 냉난방 열량 손실을 최소화 할 수 있고 냉난방기 부하를 줄임으로써 에너지를 절약할 수 있다.

표 1. 열교환 소자 형태 비교

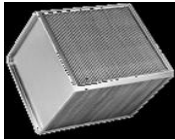


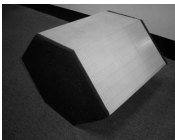
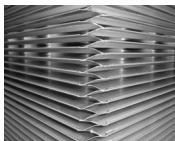
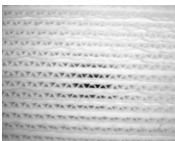
| 구분 | 알루미늄 | 펄프 |
|------|---|---|
| 직교류형 |  |  |
| 대향류형 |  |  |
| 적층구조 |  |  |

표 1.과같이 판형열교환기는 크게 알루미늄과 펄프재질로 되어 있으며 공기의 흐름에 따라 직교류형과 대향류형으로 구분되어 지며, 적층 구조도 재질에 따라 차이를 나타내고 있다. 동일 재질의 판으로 이루어진 열교환기도 직교류형보다 대향류형이 유로에 의하여 열교환 효율이 높게 나타나고 있다.

2.2 폐열회수환기장치의 성능 평가

폐열회수환기장치는 열교환 소자에 따라 열교환 효율이 다르게 나타나므로 이에 대한 성능평가를 통하여 폐열회수환기장치의 경제성 평가를 하고자 한다.

표 2. 열교환기의 특징

| 항목 | 알루미늄 판형 열교환기 | 펄프 판형 열교환기 |
|--------|--|--|
| 특징 | 1.소용량 : 대향류, 직교류 2.대용량 : 직교류 3.공기 누설이 없음 | 1.소용량 : 대향류, 직교류 2.대용량 : 사용불가 3.차압 발생시 공기 누설 |
| 에너지 절감 | 1.난방시 우세(온도교환) | 1.냉방시 우세하나 수분교환에 따른 열교환기 수명 단축 |
| 쾌적성 | 1.난방시 유입공기: 20 ℃ 2.혹한기 동파 우려 없음 | 1.난방시 유입공기: 12 ℃ - Cold Draft 발생 2.외기온도 -5℃이하 : 동파우려 3.저온 사용 시 히터 장착 - 부가적인 에너지 소요 |
| 유지 보수 | 1.열교환 소자 : 반영구적 2.분진적층 최소 3.열교환 효율 유지 4.유분적층최소 5.유로 폐쇄 우려 없음 | 1.열교환소자 : 주기적 교체 2.분진 적층 3.열교환 효율 감소 4.유분적층 - 유로 폐쇄 |
| 화재시 | 1.불연소 | 1.연소 - 화재에 취약 |

표 2.는 폐열회수환기장치를 열교환기 소자에 따라 알루미늄 열교환기와 펄프 열교환기로 나누어 정성적 평가를 한 것으로 각 소재의 특장점을 비교하였다.

알루미늄열교환기는 펄프열교환기 보다 사용 범위가 넓으며, 난방시 열교환 성능의 우수함과 내구성이 뛰어나다. 그러나 펄프열교환기 보다 잠열에 대한 열교환 효율이 다소 부족한 것으로 나타나고 있다. 이는 펄프 재질의 특성으로 공기 내 수분이나 열교환에 의한 응축수를 펄프가 흡수되기 때문이다.

그러나 종이열교환기의 이러한 특성으로 전체 엔탈피 효율이 향상되나 반복된 수분의 흡수와 건조를 통하여 판의 결합구조가 손상되어 누기의 원인이 되며 열교환 효율의 저하로 일정한 주기마다 열교환기의 교체가 필요하다.

3. 경제성 분석 평가 대상 시스템 개요

폐열회수환기장치의 경제성 분석을 위하여 부산지역 일반 오피스 6층 건물의 모델링 하였으며, 표3.과 같이 중앙공조시스템 방식과 개별공조시스템 방식으로 나누어 모델링 하였다. 기존의 냉난방 방식인 중앙공조시스템에서 개별공조방식인 System 에어컨을 사용한 공조방식이 많이 사용되고 있으므로 이에 대한 경제성 평가를 함께 실시하였다.

표 3. 냉난방 부하 계산 모델링

| 구분 | MODELING | 비 고 |
|-----------|---------------------------|-----|
| 용도 | 일반 오피스빌딩 | |
| 지역 | 부산 | |
| 건축구조 | 철근콘크리트조 | |
| 층수/실수 | 6층 / 30실 | |
| 연면적 | 3,300 m ² | |
| 공조 대상 실면적 | 66m ² × 30실 | |
| 냉방부하 | 140 kcal/m ² h | |
| 난방부하 | 150 kcal/m ² h | |
| 실부하 | 9,240 kcal/h | |
| 공조방식 | 중앙 / 시스템 | |
| 공조시간 | 하루 8 시간 기준 | |

중앙공조시스템은 일반적인 흡수식냉온수기와 공기조화기를 사용한 것으로 표4와 같이 장비를 선정하였다.

개별공조시스템의 장비선정은 표5와 같이 각 실의 개별제어를 위하여 4-WAY 방식의 실내기 30대와 각층의 실내기를 담당하는 실외기 6대로 장비를 선정하였다.

표 4. 중앙공조시스템 장비 선정

| 구 분 | 사 양 | 수 량 |
|-------|-----------------------------|-----|
| 공기조화기 | 1,250 CMM | 1 |
| 냉동기 | 흡수식 냉온수기 | 1 |
| | 210 USRT 531,300 kcal/h | |
| 냉각탑 | 대향류 원형 | 1 |
| | 585,000 kcal/h 1,950 LPM | |

표 5. 개별공조시스템 장비 선정

| 구 분 | 사 양 | 수 량 |
|-----|-----------------------|------|
| 실내기 | 4 HP - 9,460 kcal/h | 30 대 |
| 실외기 | 20 HP - 49,900 kcal/h | 6 대 |

표 6. 공조시스템 경제성 분석 결과(LCC 15Y)

| 구 분 | 중앙공조시스템 | 개별공조시스템 |
|--------|-------------|-------------|
| 형태 | 흡수식 + 공기조화기 | EHP 시스템에어컨 |
| 초기 투자비 | 277,700,000 | 178,000,000 |
| 유지관리비 | 392,600,000 | 187,200,000 |
| 총 비용 | 670,300,000 | 365,200,000 |

표 6.은 대상건물인 일반 오피스건물의 중앙공조시스템과 개별공조시스템의 15년 동안의 경제성 분석을 실시한 것으로 중앙공조시스템의 총 투자비용이 개별공조시스템보다 약 1.8 배 높게 나타나고 있다. 이는 중앙공조시스템의 특성상 고가의 장비비와 덕트 설치, 기계실과 같은 설비시설의 비용이 많이 발생하게 되므로 초기 투자비가 높게 나타나고 있다. 또한 유지관리비 측면에서의 실질적인 에너지 비용은 개별공조시스템과 비슷하나 중앙공조시스템은 개별공조시스템과 달리 별도의 운전 및 유지관리를 하기 위한 인원이 필요하므로 유지관리비가 높게 나타고 있다. 중앙공조시스템은 소규모 건축물의 적용에 있어서 개별공조시스템보다 부적합하며, 단일 대공간 및 대형 건축물에 적합한 것으로 사료된다.

표 7. 폐열회수환기장치 장비 선정

| 열교환기 재질 | 알루미늄 | 펄프 |
|-----------|-----------------|----------|
| 풍 량 | 500 CMH | 500 CMH |
| 열교환기 재질 | 알루미늄(Aluminium) | 종이(Pulp) |
| 소비전력 | 0.276 kW | 0.276 kW |
| 전열교환 효율 | 64% | 71% |
| 열교환기 교체주기 | 없음 | 2년 |

위와 같이 대상건물의 폐열회수환기장치의 적용을 위하여 각실에 개별 제어가 가능하도록 500CMH 풍량을 가지는 환기장치를 열교환 소자를 달리 하여 선정하였으며 알루미늄 열교환기의 열교환 효율이 펄프열교환기 보다 약 7% 낮게 나타났다.

4. 폐열회수환기시스템 경제성 분석

4.1 경제성 분석 개요

폐열회수환기장치의 경제성 분석을 위하여 표 7.과 같이 선정된 장비의 초기투자비와 교체주기 및 이자율, 물가상승율 등의 경제성 분석을 위한 조건은 아래 표 8.과 같다.

표 8. 폐열회수환기장치 경제성 분석 조건

| 열교환기 재질 | 알루미늄 | 펄프 |
|-----------|-----------|-----------|
| 수량 | 1 | 1 |
| 소비전력 | 0.276 kW | 0.276 kW |
| 생애주기 | 15년 | 15년 |
| 교체주기 | 15년/회 | 2년/회 |
| 초기투자비용 | 1,500,000 | 1,300,000 |
| 열교환기 교체비용 | 150,000 | 60,000 |
| 인건비 | 60,000 | 60,000 |
| 물가상승율 | 3 % | |
| 이자율 | 6 % | |
| LCC기간 | 15 년 | |

폐열회수환기장치의 경제성 분석 기간은 15년으로 현재의 가치와 미래의 가치를 현재가치로 변환한 현가법에 의한 분석을 실시하였다.

발생하는 반복비용 중 상승율이 있는 항목은 아래 식(1)을 사용하였으며,

$$P = A \times \frac{[\frac{1+e}{1+i}] [(\frac{1+e}{1+i})^n - 1]}{(\frac{1+e}{1+i}) - 1} = A \times (PWA') \quad (1)$$

여기서 i : 이자율, e : 물가상승율, n : 년수 로 나타낸다. 비반복적으로 발생하는 항목에 대한 분석은 아래와 같은 식을 사용하였다.

$$P = F \times \frac{1}{(1+i)^n} = (F \times PW) \quad (2)$$

표 9. 폐열회수환기장치 경제성 분석 결과

| 열교환기 재질 | | 알루미늄 | 펄프 |
|-------------|------------|-----------|-----------|
| 교체 횟수(회) | | 0 | 7 |
| 초기투자비 | | 1,500,000 | 1,300,000 |
| 열교환기 교체비 | 기말지불액 | 0 | 840,000 |
| | 현재가치 | 0 | 541,455 |
| 운전비 | 기말지불액(원/년) | 96,971 | 96,971 |
| | 현재가치(15년) | 1,164,985 | 1,164,985 |
| 총 투자비 | | 2,664,985 | 3,006,440 |
| 에너지 절감액 | 기말지불액(원/년) | 298,921 | 321,108 |
| | 현재가치(15년) | 3,591,158 | 3,857,707 |
| 15년 총 발생 비용 | | - 926,173 | - 851,267 |

표 10. 폐열회수환기장치 경제성 분석 결과

| 열교환기 재질 | 알루미늄 | 종이 |
|----------|--------------|--------------|
| 투자금액(1대) | 2,664,985 | 3,006,440 |
| 절감금액(1대) | 3,591,158 | 3,857,707 |
| 총투자비용 | - 926,173 | - 851,267 |
| 수량 | 30 대 | 30 대 |
| LCC 15년 | - 27,785,190 | - 25,538,010 |

표 10. 1대에 대한 폐열회수환기장치의 열교환 효율에 따른 에너지 절감량으로 경제성 분석을 실시하였을 때, 열교환 효율에 따라 에너지 절감량은 다소 차이가 있으나 크게 차이가 나지 않으며, 최근에 사용되는 열교환 소자의 열교환 효율을 향상시키기 위하여 많은 노력을 하고 있어 대부분의 폐열회수환기장치의 효율이 비슷하게 나타나고 있다. 본 연구에서 건물 전체에 적용된 환기시스템에 대한 경제성 분석을 통하여, 중앙공조시스템 총 투자비용의 약 4%, 개별공조시스템 총 투자비용의 약 7%가 비용이 절감되는 것으로 분석되어진다.

또한 환기에 의한 부하가 많이 발생하는 건축물의 적용 시 폐열회수환기장치의 열교환에 의한 폐열회수로 건축물의 공조 부하를 줄여 공조시스템의 용량을 줄임으로써 공조시스템의 초기투자비와 유지관리 비용을 줄일 수 있을 것으로 사료되며, 이에 대한 연구도 이루어 함께 이루어져야 할 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구는 폐열회수환기장치의 특성 및 성능평가를 통하여 공조시스템의 환기시스템 적용성을 폐열회수환기장치의 경제성 평가로 분석하였다.

경제성 평가 결과는 아래와 같다.

- 1) 초기 투자비는 알루미늄 열교환기가 종이 열교환기보다 알루미늄의 고가의 특성으로 높게 나타났다.
- 2) 생애주기 15년 기준으로 각 장비의 유지관리 비용은 동

일 소비전력으로 운전비용은 같으나 종이 열교환기의 특성상 2년 마다 종이열교환기를 교체하여야 하므로 교체 비용이 발생하게 되어 유지관리 비용이 위 표9와 같이 추가 발생하게 된다.

- 3) 열교환 효율에서 알루미늄 열교환기는 현열교환기이며 종이열교환기는 전열교환기이므로 종이열교환기가 알루미늄열교환기보다 약 7~8% 높아 에너지 절감액이 높게 나타나고 있다.
- 4) 선정된 건축물의 15년 동안 경제성 평가를 실시한 결과 폐열회수환기 장치에 의해 절약된 금액은 알루미늄 열교환기가 약 27,800,000원으로 종이 열교환기의 25,600,000원 보다 약 9% 높게 나타나고 있으며 이는 종이 열교환기의 특성인 교체의 필요성 때문으로 사료된다.
- 5) 향후 연구 계획은 폐열회수환기장치가의 열교환 소자 변화에 따른 열교환 효율의 실험연구와 폐열회수환기장치가 적용된 건축물의 에너지 부하 계산에 의한 냉난방 부하 절감량을 통하여 공조시스템에 대한 설비 용량 절감과 이에 대한 경제성 분석을 하고자 한다.

참 고 문 헌

1. 공기조화설비에 있어서의 전열교환기 효과
2. 대한건축학회, 최고층 아파트의 전열교환기 내장 환기시스템 성능평가, 2003.
3. 대한설비공학회, KS/JIS 규격에 따른 전열교환기 성능 특성, 2004.
4. 대한설비공학회, 열회수형 환기장치의 운전조건에 따른 경제성 평가에 관한 연구, 2004.
5. 대한설비공학회, 종이 열교환기를 사용한 환기시스템의 성능에 관한 연구, 2005.
6. 대한설비공학회, 폐열회수환기유닛의 인증제도 및 성능시험방법, 2004.
7. 대한설비공학회, 폐열회수환기장치의 성능평가, 2005.
8. 대한설비공학회, 플라스틱 판형열교환기를 이용한 배열회수용 환기장치의 성능에 관한연구, 2003.
9. 설비공학논문집, 종이 물성에 따른 판형 전열교환기의 성능, 김내형 외, 2008.
10. 한국건설기술연구원, 새집증후군 저감을 위한 공동주택 및 다중이용시설의 환기설비 설치기준 해설서, 2006