유동 가시화 기법을 이용한 RAC의 이슬 맺힘 특성에 관한 연구

이아미† · 김동원* · 라선욱* · 고한서**

A Study on Characteristics of Condensation for RAC Using Flow Visualization Technique

A-Mi Lee, Dong-Won Kim, Seon-Uk Na and Han Seo Ko

Key Words: RAC (룸에어컨), PIV (입자 영상 속도계), Cross-flow fan (횡류팬)

Abstract

Although noise of a RAC can be reduced effectively by decreasing RPM, condensation problems can occur to reduce reliability of the RAC for low RPM. Thus, this research has been performed to propose a design guideline of the RAC for low-noise RPM with high reliability. The internal and external flows of the RAC have been visualized and analyzed by a PIV technique to solve the condensation problem at an outlet and impeller. Then, the design guideline has been proposed by the analyzed results and confirmed by wind-tunnel and noise tests to reduce the condensation problem. Finally the shapes of the outlet with reduced condensation problem and the impeller with low noise have been obtained in this study.

1. 서 론

하루의 대부분을 실내에서 보내는 현대인들에게 쾌적한 실내 환경을 조성하기 위하여 에어컨은 일상생활에서 빼놓을 수 없는 필수품이 되었다. 또한 개인 공간을 중요시하는 현대인들의 생활 문화로 인하여 RAC(Room Air Conditioner)의 보급이 점차 확대됨에 따라 소비자들이 소음에 대해 민감한 반응을 보이고 있다. 이에 따라 에어컨의 소음 저감에 대한 기술 개발 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

횡류팬을 이용한 RAC의 구조는 Fig. 1과 같이 횡류팬과 스태빌라이저, 리어가이더 및 열교환기 등으로 이루어진다. 스태빌라이저는 횡류팬 내부의 편심와의 위치를 고정시키며 리어가이더는 공기의 토출을 형성하는 역할을 한다.

이러한 설계 인자들은 상호 연관되어 있어서 에어컨의 소음에 관한 연구는 제한된 설계 인자에 대한 연구가 주로 진행되어 왔다. 구형모[1,2]는 횡류팬 블레이드 취부각, 확산각, 스태빌라이저 설치각이 성능과 소음에 미치는 영향에 대한 실험적인 연구를 수행하였고 진심원[3] 등도 블레이드 취부각과 확산각에 대한 실험을 통해 각 설계인자의 상호 관련성을 연구하였다. 또한 조용[4, 5, 6]등은 수치해석을 통해 횡류팬의 성능, 소음 특성 예측과 블레이드 피치변화에 따른 소음 변화 및 블레이드의 이산 소음 분석에 관한 연구를 수행하였다.

에어컨의 소음을 저감시키는 방법은 여러 가지가 있지만 가장 효과적이며 간단한 기술은 팬의 회전수를 낮추어 유동 소음을 줄이는 방법이다.

† 성균관대학교 기계공학과 대학원
E-mail : prettyami@skku.edu
TEL : (031)299-4752 FAX : (031)290-7676
* 삼성전자
** 성균관대학교 기계공학부

그러나 RAC 의 유량, 소음, 이슬 맺힘 특성은 복합적으로 관련되어 있으므로 회전수를 낮추면 소음은 특성은 개선되나 이슬 맺힘과 같은 신뢰성 저하 문제가 발생한다.

따라서 유동 가시화 기법이나 수치해석과 같은 접근 방법으로 RAC의 유동과 소음 및 이슬 맺힘 등의 상관관계를 체계적으로 파악하고 원인을 분석하여 이슬 맺힘 신뢰성을 갖춘 저소음 RAC를 실현하려는 노력이 필요하다.

본 연구는 대표적인 유동 가시화 기법인 PIV (Particle Image Velocimetry)를 이용하여 RAC의 주요 이슬 맺힘 부위인 토출구와 횡류팬의 유동을 측정 및 분석하여 각 부위의 이슬 맺힘 원인을 파악하였다. 또한 성능과 소음 특성에 영향을 미치지 않으며 이슬 맺힘을 저감할 수 있는 설계안을 제시하고 이를 풍동, 소음, 이슬 맺힘 실험을 통해 검증하였다.

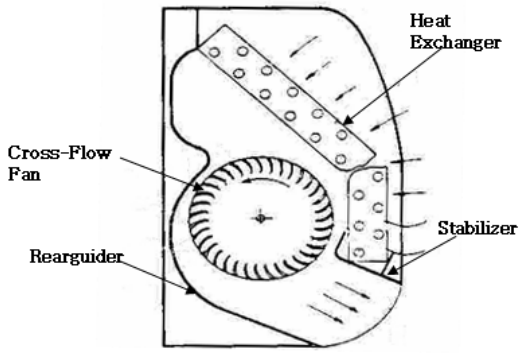


Fig. 1 Schematic of indoor unit of RAC

2. 실험장치 및 방법

Fig. 2는 본 연구에 사용된 PIV system을 나타낸다. PIV system은 광원인 레이저, 입자 영상을 취득하는 카메라, 레이저와 카메라를 동기시키는 동기화장치(synchronizer), 영상처리 및 계산용 컴퓨터로 구성된다. 레이저는 50mJ의 dual-head Nd:YAG 레이저를 사용하였고, 유동 조건에 따라 2개의 Laser 펄스 사이의 시간간격 Δt는 10~100μs로 설정하였다. 영상획득을 위한 CCD 카메라는 2k×2k의 해상도를 가지며, 1초에 15장의 영상을 획득하였으며 CCD 카메라의 수직 동기 신호를 기준 신호로 사용하여 pulse delay generator에서 레이저에 일정한 시간 간격 (Δt) 을 갖는 trigger 신호를 보내 카메라와 레이저를 동기화시켰다. CCD 카메라로 촬영한 영상은 TSI사의 INSIGHT 3G 프로그램을 이용하여 2-Frame Cross-correlation에 의해 속도 벡터를 계산하였고 standard deviation 필터를 사용하여 에러 벡터를 제거하였다.

추적 입자로는 Olive oil을 사용하였고 Laskin nozzle generator를 사용하여 이를 2~3μm 크기로 입자화 시켰다. 또한 유체와 입자를 충분히 혼합시키기 위해 많은 개수의 작은 구멍을 가지는 분배기를 사용하여 RAC 시험 모델 주변에 균등하게 분포되도록 하였다. 또한 실제 RAC의 외부 조건에 최대한 맞추기 위하여 PIV 실험은 개방된 공간에서 이루어졌다. 따라서 RAC 내·외부에 충분한 추적 입자의 공급이 어려우므로 속도장 측정 이전에 seeding하여 입자의 양을 확인한 후 실험을 수행하였다.

실험에 사용한 RAC 시험 모델은 가정용 RAC의 실 치수를 적용하였으며 횡류팬은 5 개의 블록으로 구성하여 장착하였다. 또한 가시화를 위해 시험 모델의 측면을 투명 아크릴로 제작하여 내부가 보이도록 하였으며 RAC의 내·외부의 벽면 및 횡류팬에는 촬영 시 빛의 반사를 막기 위해 흑색의 Paint를 도포하였다 (Fig. 3).

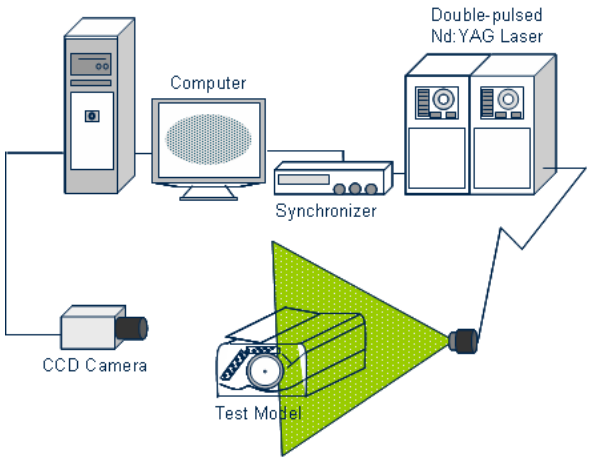


Fig. 2 Schematic diagram of PIV system

Fig. 3 RAC test model

3. 실험 결과

3.1 토출구 실험 결과

토출구의 이슬은 이슬 맺힘 실험을 통하여 토출구의 4면에 고르게 맺힘을 확인할 수 있었으며 토출구의 이슬 맺힘 현상의 원인을 파악하기 위하여 토출 유동을 가시화하고 분석하여 이슬 맺힘의 원인을 규명하고, 이슬 맺힘을 저감시키는 토출구 형상을 제안하고자 하였다.

Fig. 4는 RAC의 토출구 주변 유동을 가시화 한 결과이다. 저온의 토출 공기와 고온의 주변 공기가 토출구의 주요 이슬 맺힘 부위인 끝 단 경계면에서 혼합되는 것을 확인할 수 있으며 이는 토출구에서의 이슬 맺힘의 주원인으로 판단되어진다. 따라서 토출구 끝 단에 쐐기 형상의 블록을 부착하여 저온 공기와 고온 공기가 만나는 경계면을 토출 벽면에서 이탈시켜 이슬 맺힘을 제거하고자 하였다.

Fig. 5는 쐐기형 블록 부착 시의 토출 유동 분포를 나타내었다. 저온 공기와 고온 공기의 혼합 영역이 토출구 벽면에서 이탈되어 쐐기형 블록의 끝 단으로 이동한 것을 확인할 수 있다. 경계면 이동에 따른 이슬 맺힘 저감 효과를 파악하기 위하여 쐐기형 블록을 토출구에 부착하여 칼로리미터에서 이슬 맺힘 실험을 수행하였고 그 결과 이슬이 제거됨을 확인할 수 있었다.

또한 풍동 실험과 소음 실험을 수행하여 기존의 토출구와 쐐기 형상의 블록을 부착한 수정 토출구의 유량과 소음 특성 비교를 통하여 수정 토출구의 효과를 파악하였다.

Fig. 6 에서와 같이 수정 토출구는 기존의 토출구와 비교하여 볼 때 유량과 소음이 거의 동일한 수준이므로 유량과 소음에 영향을 미치지 않으며 이슬 맺힘 특성을 개선시킬 수 있는 형상이라 판단된다.

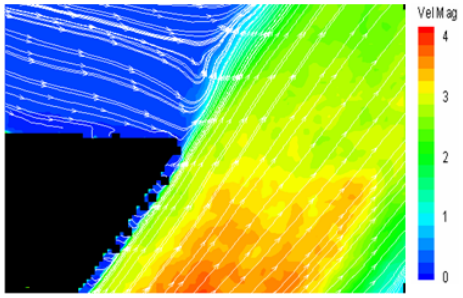


Fig. 4 Flow distribution of conventional outlet

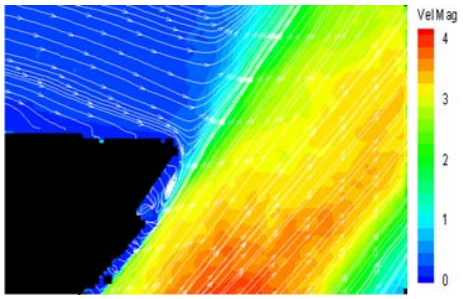


Fig. 5 Flow distribution of new outlet with wedge-shaped block

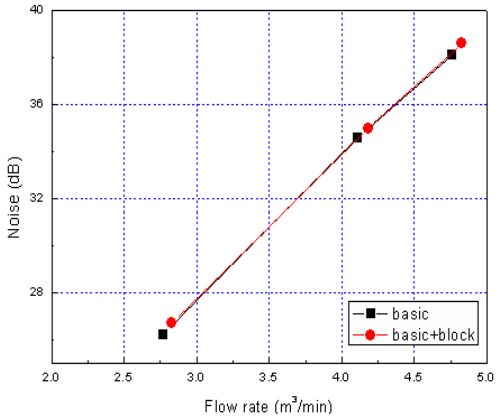


Fig. 6 Noise characteristics of outlet with wedge-shaped block

3.2 횡류팬 실험 결과

이슬 맺힘 실험을 통해 임펠러에서 맺히는 이슬 맺힘 현상은 블록과 블록의 연결부인 리브에서 발생하기 시작하여 시간이 지날수록 블레이드 및 팬 전체에 확대되어지며 회전수가 증가할수록 이슬 맺힘 양 또한 증가함을 확인할 수 있었고 이슬 맺힘 위치가 유동의 후류나 정체 영역에서 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 PIV 실험을 통해 기존의 리브 및 블레이드에서의 유동을 측정하고 분석하며 유동과 이슬 맺힘과의 상관성을 파악하고 이슬 맺힘 특성을 향상시키고자 하였다.

Fig. 7은 회전수 변화에 따라 기존 리브에서의 토출 유동 분포를 나타내었다. 회전수가 증가할수록 후류 영역은 확대되어짐을 보인다. 즉 회전수가 증가할수록 후류 영역의 확대로 리브에서의 이슬 맺힘이 증가할 것이라 예상된다.

또한 후류 영역은 이슬 맺힘 특성 뿐 아니라 소음에도 영향을 미치므로 리브의 후류 영역을 축소시키기 위하여 간단한 수치해석을 통해 여러 형상을 제안하였으며 PIV 실험을 통해 토출 유동을 측정하고 분석하여 최적 형상을 선정하였다.

내경을 확대시킨 수정형 리브는 기존 리브와 비교하여 볼 때 Fig. 8에서와 같이 전 회전수에서 유동이 안정적이고 후류 영역이 감소함을 확인할 수 있으며 이는 리브의 길이를 줄임으로써 공기와 마찰 저항을 줄인 결과라고 예상되어진다. 따라서 수정형 리브는 이슬 맺힘 및 소음 특성에서 유리할 것이라 판단된다.

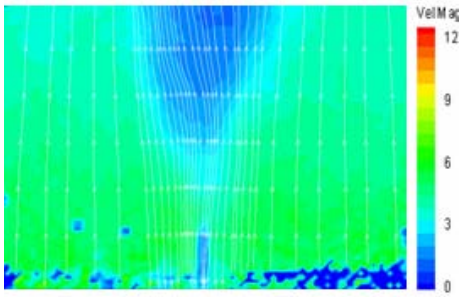
횡류팬의 블레이드에 맺히는 이슬 맺힘 현상과 유동과의 관계를 분석하기 위하여 블레이드 부분에서의 유동을 측정한 결과를 Fig. 9에 나타내었다.

회전하는 팬 내부의 유동을 정확하게 파악하기 위하여 카메라가 팬과 함께 회전하여야하나 장비 한계로 인하여 불가능하므로 팬 내부의 절대 속도를 PIV 기법으로 측정한 뒤 각 속도벡터에서 해당 원주 속도를 빼줌으로써 상대 속도를 구하였다.

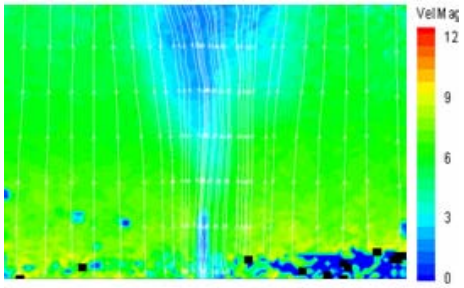
Fig. 9에서와 같이 팬에서의 토출 공기가 블레이드 면을 타고 흐르다가 블레이드 끝단 하부에 정체됨을 확인할 수 있으며 정체영역은 회전수가 증가할수록 확대되어짐을 파악할 수 있었다.

따라서 횡류팬 블레이드에서의 이슬 맺힘의 원인은 열 교환이 충분히 되지 않은 공기가 팬으로 유입되어 팬의 차가운 블레이드 면을 타고 흐르다가 블레이드 끝단 하부에 정체되면서 이슬이 성장하여 발생한 것으로 예상된다.

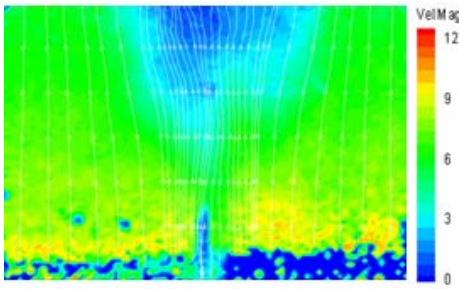
실험 결과를 바탕으로 정체 영역을 축소시켜 이슬 맺힘을 저감시킬 수 있는 임펠러 블레이드의 입구각과 출구각을 제시하여 시험 팬을 제작하여 실험을 통해 새로운 입·출구각의 타당성을 검증하였다.



(a) 790 rpm

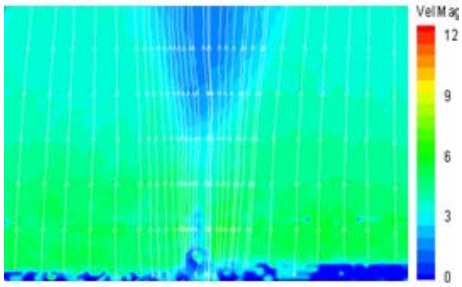


(b) 1070 rpm

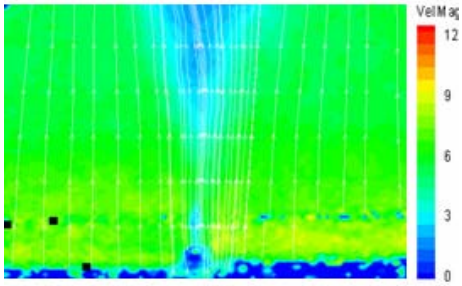


(c) 1210 rpm

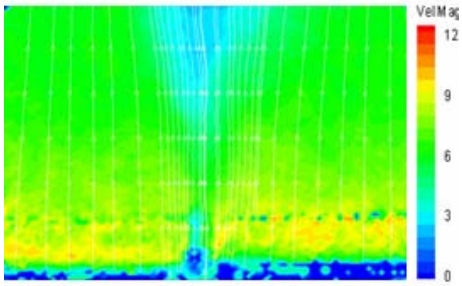
Fig. 7 Flow distribution of conventional rib with rpm



(a) 790 rpm

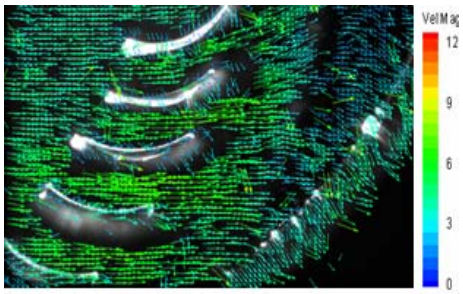


(b) 1070 rpm

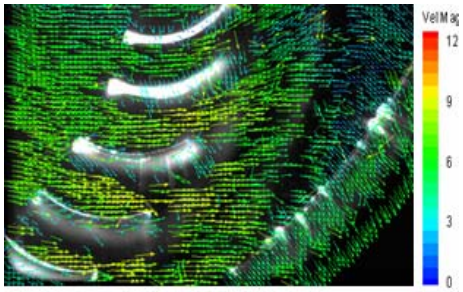


(c) 1210 rpm

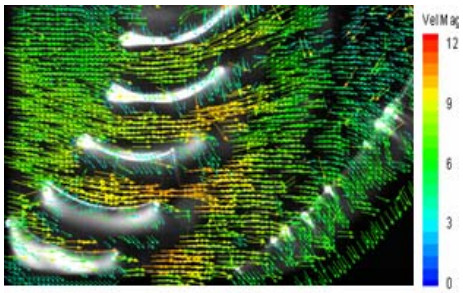
Fig. 8 Flow distribution of modified rib with rpm



(a) 790 rpm



(b) 1070 rpm



(c) 1210 rpm

Fig. 9 Flow inside blade channel with rpm

실험 및 수치해석 등을 통해 제시된 수정형 리브와 블레이드의 새로운 입·출구각의 이슬 맺힘 저감 효과를 파악하기 위하여 리브 형상, 입구각 및 출구각을 변경한 팬을 제작하여 풍동, 소음 실험을 수행한 결과 기존의 팬과 비교할 때 유량과 소음 특성이 개선됨을 확인하였다 (Fig. 10). 그러나 이슬 맺힘 특성은 기존의 팬과 비교하여 볼 때 약간 저감되어지는 수준이므로 팬에서의 이슬 맺힘 관련 연구는 유동뿐만 아니라 열교환기의 싸이클 매칭을 고려하여 추가적으로 수행되어져야 할 것으로 판단되어진다.

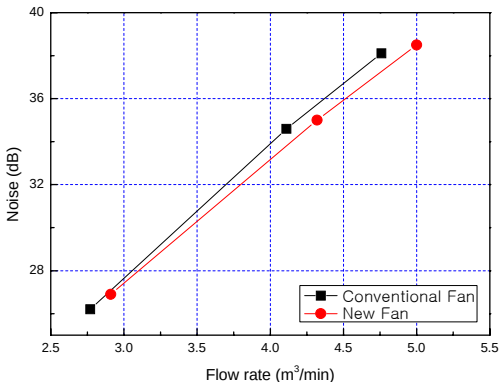


Fig. 10 Noise characteristics of modified fan

4. 결론

저소음 및 이슬 맺힘 신뢰성을 갖춘 RAC 설계 가이드라인을 제시하기 위하여 RAC의 실제 내·외부 유동을 가시화하는 기법을 마련하였고 이를 통해 주요 이슬 맺힘 부위인 토출구와 횡류팬에서의 이슬 맺힘 현상의 원인을 규명하고 이슬 맺힘을 저감시키기 위한 형상 설계안을 제시하였다.

토출구의 이슬 맺힘 현상은 PIV 실험을 통하여 저온의 토출 공기와 고온의 외부 공기의 경계면에서 발생함을 규명하였으며 경계면을 토출구 벽면에서 이탈시켜 이슬 맺힘을 저감시키고자 하였다. 그 결과 기존 토출구와 소음수준은 동일하나 이슬 맺힘 특성을 향상시키는 형상을 제시하였고 이는 공조 기기 전체에 확대 적용 가능할 것이라 예상된다.

횡류팬의 이슬 맺힘을 저감시키기 위해 리브와 블레이드의 유동을 각각 측정하여 분석하였고 실험과 수치해석을 통해 후류 및 정체 영역을 축소시키는 리브 및 블레이드의 형상을 제시하여 풍동, 소음, 이슬 맺힘 실험을 통해 형상을 검증한 결과, 유량과 소음 수준은 기존 팬과 비교할 때 개선됨을 보였으나 이슬 맺힘은 미비하게 저감됨을 확인하였다. 따라서 횡류팬의 이슬 맺힘 현상은 열교환기의 싸이클 매칭과 밀접한 관련이 있음을 파악하였고 이와 관련된 연구는 추후 진행될 예정이다.

후 기

본 연구는 2005년도 미래가전연구센터(SFARC) 연구기금(과제번호: 2005-0750-000)으로 수행되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

(1) 구형모, 2000, “직교류 휀의 설계인자가 성능 및 소음 특성에 미치는 영향에 대한 실험적 연구”, 한국소음진동공학회지, Vol. 20, No. 3, pp. 430-436

(2) Seuraeg-Jung, Hyeongmo-Koo, Sangkyeong-Oh and Hongwon-Lee, 1992, "An Experimental Study for the Design of a Cross Flow Fan in Room Airconditiner", Proceedings of the 2nd JSME-KSME thermal engineering conference, No. 2, pp. 337-340.

(3) 진심원, 이진하, 서상호, 이내영, 임금식, 1995, “에어컨용 횡류휀의 고성능화에 대한 실험적 연구”, 공기조화 냉동공학회, 추계학술발표 논문집, pp. 234-231

(4) 조용, 문영준, 진심원, 1999, “횡류휀의 비정상 유동 전산해석에 의한 성능 및 소음 특성 예측”, 대한기계학회 1999년도 춘계학술대회 논문집 B, pp. 417-422

(5) 조용, 문영준, 1999, “횡류휀 블레이드 피치 변화에 따른 비정상 유동 특성과 소음 변화에 관한 전산해석 연구”, 공기조화 냉동공학회, 1999년도 하계학술대회 논문집, pp. 1406-1414

(6) 조용, 문영준, 2000, “횡류휀 블레이드의 이산 소음 분석에 관한 연구”, 공기조화 냉동공학회 2000년도 하계학술대회논문집, pp. 417-423.

(7) Sang Joon Lee, 2002, "PIV velocity field measurement techniques and applications", Postech.