

룸에어컨 내부 유동의 과도현상에 대한 수치적 연구

서현석*, 김진백**, 김윤제***

Transient Flow Characteristics of the Room Air Conditioner

Hyeon-Seok Seo*, Jin-Baek Kim** and Youn-Jea Kim***

Key Words : RAC(룸에어컨), Transient Phenomena(과도현상), Turbulent Flow(난류유동), CFD(전산유체역학)

Abstract

Air Conditioner has become a popular comfort providing device since two decades, whether in an office or home especially for warm and wet climate countries. The RAC (Room Air Conditioner) is widely used in various working spaces and residences. It composed of heat exchanger, cross-flow fan, stabilizer, rear guider and blade of diffuser region, etc. In this study, numerical analyses based on the prediction of transient phenomena were carried out to investigate the flow characteristics in the RAC, including the impeller, the rear guider, the stabilizer and the blade of the diffuser region. Using a commercial code, FLUENT, the velocity, pressure and streamlines were obtained with unsteady, turbulent flow and no-slip condition. The angular velocities of impeller are located in the 900 rpm. Turbulent closure was achieved using a standard k- ϵ model. A moving reference frame (MRF) approach was adopted to simulate the flow field generated by impeller in the RAC. Results were graphically depicted with various geometrical configurations and operating conditions.

1. 서론

룸에어컨(Room Air Conditioner, RAC)은 열교환기, 회류팬, 스테빌라이저, 리어가이더 등으로 구성된다. 특히 회류팬은 임펠러의 길이만을 증가시킴으로써 필요한 유량을 얻을 수 있기 때문에 에어컨용 팬으로 사용하는 데 잇점이 있다. 그렇지만, 비교적 간단한 구성임에도 불구하고, 회류팬의 직경, 스테빌라이저와 리어가이더의 형상 및 설치각 등에 따라 공력 성능과 소음이 민감하게 변화하기 때문에 연구에 어려움이 있다¹⁾.

회류팬 연구는 1954년 Eck²⁾이 회류팬 내부의 유동가시화를 행하여 팬 내부유동을 구성하는 편심와류의 구조를 발견하면서 활발하게 진행되고 있다. Hiromu 등^{3,4)}은 수조 가시화와 PTV(Particle Tracking Velocimetry) 등을 이용하여 회류팬 내부의 유선, 속도 분포, 편심 와류 등에 대한 연구를 수행하였고, 박동섭 등⁵⁾은 회류팬에 대한 전반적인 실험적 연구를 통하여 회류팬 시스템의 인자들이 성능에 미치는 영향 및 스케일 효과 등을 무차원화 하여 분석하였다. 해석적 연구에 대한 내용을 살펴보면, 최근 전산유체역학의 발달로 자체 개발 코드 또는 상용코드 등을 이용하여 회류팬 시스템의 유동을 규명하려는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 조용과 문영준 등⁶⁾은 자체 개발 코드로 유동 해석을 시도하여 공력 특성 및 이산 소음 예측을 시도하였고, 허남건 등⁷⁾은 상용 코드를 이용하여 회류팬 내부의 유동을 해석하고 실험결과와 비교하여 그 타당성을 검증하였으며, 김동원 등⁸⁾은 회류팬의 스테빌라이저 각도와 임펠러 입출구각 변화

에 따른 유동특성 분석을 통하여 회류팬 내부의 성능 특성을 파악하고자 하였고 리어가이더 곡선의 설계이론을 정립하고 설계 형상에 대한 성능평가를 수행하였다.

본 연구에서는 전산유체 해석프로그램인 FLUENT를 이용한 비정상 상태 유동해석 방법을 이용하여 룸에어컨 내부의 과도유동 특성 연구를 수치적으로 수행하였다.

2. 수치해석 방법

2.1 해석 모델 및 격자계

RAC의 구조는 Fig. 1과 같이 열교환기, 임펠러, 스테빌라이저, 리어가이더 및 블레이드로 구성되어 있다. 본 연구에서는 열교환기를 제외한 나머지 부분과 임펠러 회전에 의하여 발생하는 내부 공간의 기류 분포를 파악하기 위하여 기존 모델을 단순화

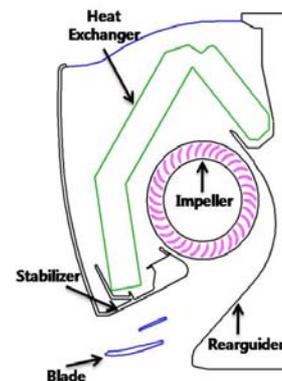


Fig. 1 Schematic diagram of the RAC unit

* 성균관대학교 대학원, bbashya@skku.edu
** 삼성전자 (주), jinbaek.kim@samsung.com
*** 성균관대학교 기계공학부, yjkim@skku.edu.

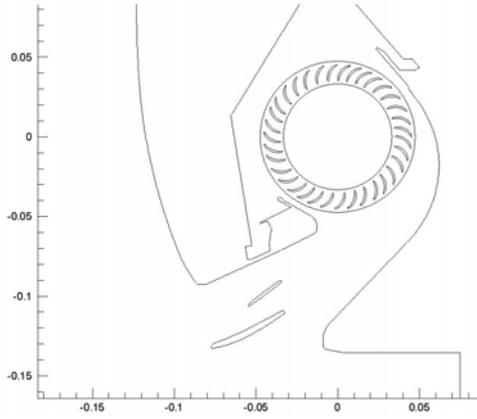


Fig. 2 Schematic diagram of analysis model

하였고 충분한 실내 공간을 모델링하여 격자를 형성하였다 (Fig. 2 참조).

격자계 형성은 수치해석 프로그램인 Fluent의 전처리 프로그램인 Gambit을 이용하여 경계를 형성한 후 임펠러 회전효과를 나타내기 위한 회전영역과 이러한 회전에 의하여 영향을 받는 정지영역 두 부분으로 나누어 격자를 형성하였다. 이는 상용코드 프로그램인 Fluent에서 제공하는 MRF(Moving Reference Frame)기법을 사용하기 위하여 인위적으로 경계를 나눈 것이며, Fig. 3에 형성된 격자계를 나타내었다. 임펠러가 회전하는 부분은 유동이 많이 생기는 영역이기 때문에 격자를 다른 부분에 비하여 좀 더 조밀하게 구성하는 미세 격자계 (Fine Grid System)를 사용하였고, 기류 분포를 파악하기 위한 실내 공간은 사각형 모양으로 일정하게 형성하였으며, 격자수는 총 60,000~70,000로 구성하였다.

2.2 해석 방법

2.2.1 지배방정식

지배방정식은 비압축성 2차원 Navier-Stokes 방정식을 사용하였고, 임펠러의 고속 회전으로 인한 난류 영향을 고려하기 위하여 Launder와 Spalding 등⁹⁾에 의해 1978년에 제안된 표준 $k-\epsilon$ 모델을 사용하였다. 본 연구의 열유동 해석을 위한 지배방정식은 다음과 같다.

Continuity:

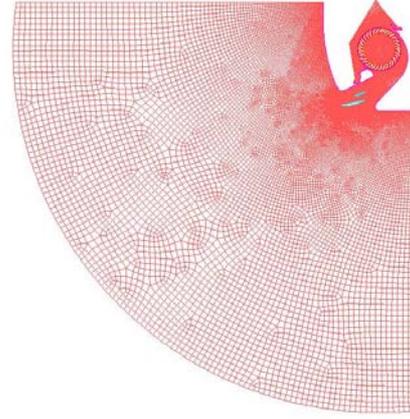
$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

Momentum:

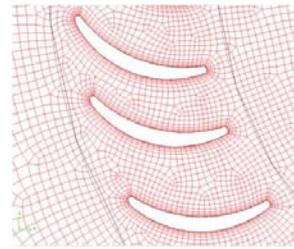
$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) = \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_i} (-\rho \overline{u'_i u'_j}) \quad (2)$$

$k-\epsilon$ turbulence model:

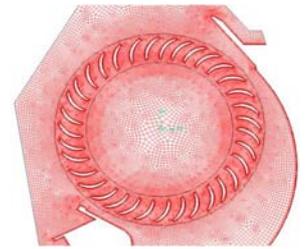
$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) \\ = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho E \end{aligned} \quad (3)$$



(a) Stationary zone



(b) Impeller blade



(c) Moving zone

Fig. 3 Grid systems

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) \\ = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} G_k \frac{\epsilon}{k} - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \end{aligned} \quad (4)$$

2.2.2 해석조건

본 연구는 RAC 내부 유동 특성에 영향을 미칠 수 있는 여러 가지 변수 중 임펠러 회전수 변화에 따른 내부유동 특성에 대한 과도현상을 해석하는 것으로서 총 30회전하도록 해석을 수행하였다.

입구 영역 경계조건은 임펠러 회전 속도가 변화할수록 토출되는 기류의 속도 또한 변하기 때문에 수치해석 프로그램에서 제공하는 inlet vent조건을 적용하였고, 출구 영역은 대기압 조건을 부여하였다. 또한 임펠러는 900 rpm의 속도로 회전하고 있다. 수치 해석을 수행함에 있어 RAC 내 임펠러 회전 효과를 표현하기 위하여 임펠러를 형성하는 벽 경계면에 각운동량에 의한 회전 속도를 부여하였고, 유체 유동은 비정상 상태, 난류유동으로 가정하였다. 수치해석은 상용코드인 Fluent를 사용하였고 이산화 방법은 SIMPLE 알고리즘을 이용하여 해석을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

RAC 내부 유동의 비정상성과 임펠러 회전에 의한 해석을 수행하였고, 그 결과를 Figs. 4~5에 도시하였다. 임펠러가 총 30회 회전하도록 해석을 수행하였으나, 그림에서 볼 수 있듯이 6회전 이후부터는 유동이 안정되면서 준정상 상태를 나타낼 수 있다. 처음 2회전까지는 임펠러 회전에 의해 와류가 회전축과 거의 동심형으로 발생하면서 관통류가 발생하지 않지만, 3회전을 넘기면서부터 관통류가 발생하였다. 관통류가 발생하면서 와류는 중심에서 점점 편심되기 시작하는데, 4회전에서는 와류

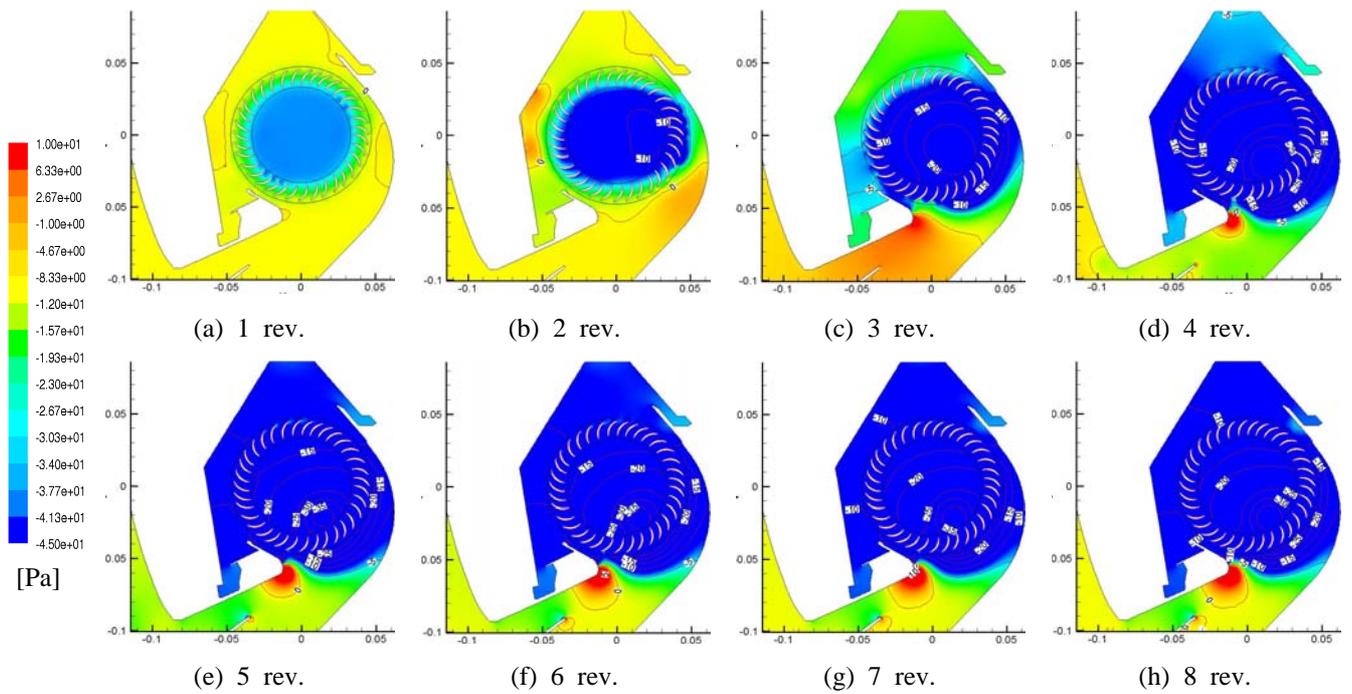


Fig. 4 Transient pressure distributions

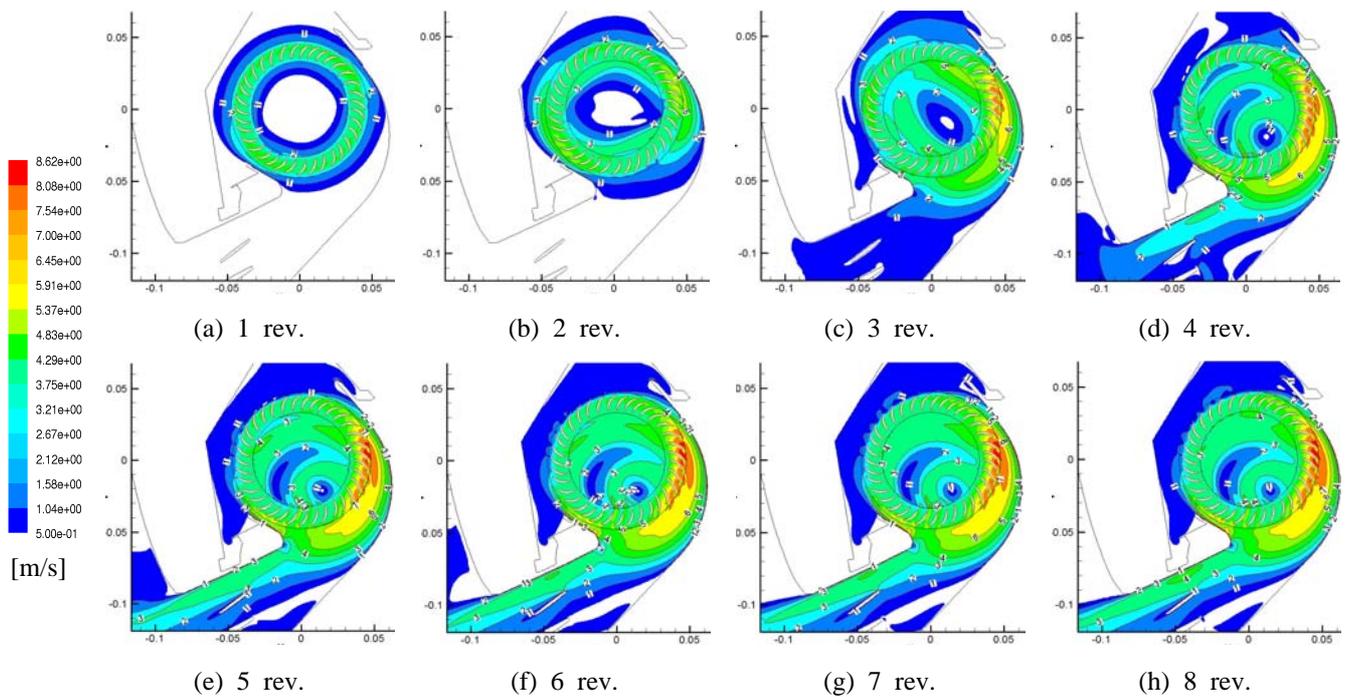


Fig. 5 Transient velocity distributions

가 아래쪽으로 이동하면서 임펠러 날개 내부에 편심와류가 생성됨을 알 수 있다. 또한 임펠러에서 토출된 유동은 편심와의 영향으로 스테빌라이저를 따라 흐르게 됨을 알 수 있다. 이러한 편심와류에 의해 임펠러 내부 유동은 큰 곡률을 그리며 휘게 되고, 작동유체인 공기는 임펠러를 두 번 통과하면서 나가게 된다. 5회전이 넘어가면서 와류의 위치와 크기는 일정하게 유지되며, 그에 따라 임펠러를 통과한 작동유체의 주유동이 점차 리어가이더 쪽으로 편향됨을 알 수 있다. 이러한 현상은 와류에 의한 재순환 유동에 의해 스테빌라이저 근처는 저운동량 영역이 발생하여 유로 폐쇄를 이루게 되어 형성되는 것으로 판단된다. 8회전이 넘어가면서 임펠러의 회전에 따른 약간의 변동 외에 유동 특

성에는 큰 변화 없이 준 정상 상태에 도달한다고 판단할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 RAC 내부의 비정상 유동해석을 수행하여 임펠러의 회전속도가 900rpm 일 경우 각 회전당 내부 유동 특성에 대하여 수치적으로 모사하였고, 얻어진 결과들을 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 임펠러 회전이 진행될수록 와류의 크기 및 위치는 안

정됨을 확인할 수 있으며, 이러한 와류의 영향으로 인하여 RAC 내 주유동이 발생하게 됨을 알 수 있다.

(2) 8회전 이후 유동 특성은 크게 변화가 없음을 알 수 있었으며, 이를 통해 볼 때 본 연구에서 적용한 수치 해석시 15회 이상의 회전 후엔 준정상 상태에 도달할 것으로 판단할 수 있다.

후 기

본 연구는 2007년도 미래가전연구센터 (SFARC) 연구기금 (과제번호: 2006-0956-000) 및 2007년도 2단계 두뇌한국(BK)21 사업에 의하여 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 정문기, 진심원, 조관식, “분리형 RAC 실내기의 비정상 수치 해석 및 설계 응용”, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집 (2001), pp. 1038~1042
- [2] Eck, B., "Fans", Pergamon Press(1973)
- [3] Hiromu T., Hirofumi S., Yoshinobu T. and Yoshiki Y., "Study of Cross-Flow-Fan Internal Flow by Flow Visualization(Discussion of Measured Results by Particle Tracking Velocimetry), JSME International Journal, Vol. 39, No. 3 (1996)
- [4] Hiromu T., Yoshinobu T., Yoshiki Y. and Koichi K., "Visualization Measurement and Numerical Analysis of Internal Flow in Cross-Flow Fan", Journal of Fluids Engineering, Vol. 119 (1997)
- [5] 박동섭, 맹주성, 이상환, “횡류팬 스테빌라이저 설계를 위한 실험적 고찰”, 공기조화 냉동공학회 하계학술발표논문집 (1995), pp. 238~246.
- [6] 조용, 문영준, “횡류팬 블레이드 피치 변화에 따른 비정상 유동 특성과 소음 변화에 관한 전산 해석 연구”, 공기조화 냉동공학회 하계학술발표회 논문집 (1999), pp. 1407~1414
- [7] 허남건, 김욱, 강신형, “Cross Flow Fan의 유동해석: Blade 형상의 변화에 대한 영향 연구”, 유체기계연구개발협회 강연회 및 연구개발 발표회 논문집 (1997), pp. 125~132
- [8] 김동원, 김형섭, 윤태석, 박성관, 김윤제, “스테빌라이저 위치 및 리어가이더 형상변화에 따른 횡류팬의 성능특성 연구”, 유체기계공업학회 유체기계저널, Vol. 7, No. 4 (2004), pp. 9~15
- [9] Launder, B. E., Spalding, D. B., "Lecture in Mathematical Models of Turbulence," Academic Press (1978)