

슬림형 룸에어컨 설계 인자에 관한 연구

신 종 진[†], 이 희 술, 김 중 문, 민 준 기, 오 상 경

(주) 삼성전자 시스템가전 사업부 가전연구소

Numerical and Experimental Analysis of Design Parameters of a Slim Room Air-conditioner

Jong-Jin Shin[†], Hee-Sool Lee, Jong-Moon Kim, June-Kee Min, Sangkyoung Oh

DA R&D Center, Samsung Electronics Co., Ltd., Suwon 442-742, Korea

(Received July 20, 2004; revision received October 8, 2004)

ABSTRACT: Numerical simulations and experiments were conducted to analyze the design parameters for a slim room air-conditioner. These design parameters included a fan shape, a front panel, a scroll shape, a bell mouth, a distance between a fan and a heat exchanger, etc. Each design parameter was analyzed numerically and / or experimentally in terms of the flow rate and the sound pressure level, which should be the most influential factors for developing the slim room air-conditioner. The fan with a uniform height showed a better performance than that with a linearly varying height. It is recommended to use a front grill rather than a front panel according to sound pressure levels since the front panel itself is a huge resistance to the inlet flow. A redesigned scroll shape by changing the rotational direction of a fan also contributed a lot to lowering the sound pressure level. There existed a distance between a fan and a heat exchanger, where flow rates increased effectively.

Key words: Slim air-conditioner (슬림형 에어컨), Turbo fan (터보팬), Scroll (스크롤), Bell mouth (벨마우스), Front panel (전면 패널), Sound pressure level (소음레벨)

기 호 설 명

cmm : 풍량 단위 [m³/min]

RPM : 팬의 분당 회전수

Φ : 팬 또는 열교환기의 직경 [mm]

1. 서 론

에어컨에 대한 소비자의 만족도를 높이기 위해

공조업체들은 꾸준히 다양하고 새로운 시도를 하고 있다. 이러한 시도와 노력으로는 에너지 소비 전력 저감과 공기 청정 기능과 같은 부가 기능 첨가 등을 들 수 있다⁽¹⁾. 이와 더불어 에어컨 실내기의 소음저감과 슬림화도 에어컨의 큰 개발 방향 중의 하나가 되고 있다. 특히, 룸에어컨의 경우 실내기의 미적 감각을 높인 인테리어 에어컨의 보급률이 높아지고 있는 실정이다. 미적 감각을 높임과 동시에 룸에어컨 실내기의 슬림화는 또다른 관점에서 소비자에게 어필할 수 있는 마케팅 포인트로 활용할 수 있다. 실내기의 설치 공간 축소와 같은 실용적인 면과 제품 기술력을 대외적으로 과시할 수 있는 장점이 동시에 있기

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-218-5042; fax: +82-2-218-5196

E-mail address: jongjin.shin@samsung.com

때문에 슬림화가 앞으로의 개발 방향의 한 축을 담당하게 될 것으로 판단된다.

이에 본 연구는 슬림형 룸에어컨 실내기 개발을 위하여 실내기의 두께를 최소화할 수 있는 여러 가지 설계 인자를 분석하고 설계 가이드를 제공하는 것을 목적으로 하였다. 개선대상인 기본 사양의 룸에어컨으로는 현재 당사에서 판매중인 룸에어컨을 기준으로 하였으며, 이는 터보팬 2개를 사용하고 에어컨 가동시 전면패널이 앞으로 나와 공기를 흡입하는 전면 흡입 시스템을 채택하고 있다. 토출부는 위쪽을 제외한 3방향 토출이며 좌우 팬 사이에는 벽이 존재하여 서로 독립적으로 기류를 토출한다. 이러한 실내기를 기본으로 슬림형 룸에어컨 실내기 제작을 위한 설계 인자를 수치해석과 실험을 통해 분석하였다.

2. 수치해석 / 실험 방법

2.1 수치해석 방법

본 수치해석은 상용소프트웨어를 사용하여 수행하였으며 수치해석을 위한 모델은 Fig. 1과 같다. 해석모델은 팬, 덕트 및 열교환기로 구성되어 있으며, 계산영역은 총 80 만 여개의 비정렬격자(unstructured grid)로 구성되어 유동장을 해석하였다. 유동은 비압축성 난류유동(turbulent flow)으로 정상상태(steady state) 해석을 수행하였으며, 난류모델은 standard k- ϵ 을 사용하였다⁽²⁾. 또한 경계조건으로 입구측은 total pressure = 0, 출구측은 static pressure = 0 를 적용하여 계산을 수행하였다.

본 수치해석에서는 기본적인 팬으로 별다른 언급이 없으면 backward-curved 형상, 직경 293 mm, 날개수 14개, 팬 높이 32 mm인 터보팬을 사용하였다. 팬의 회전방향은 시계방향이며, 벨마우스는 없고 팬과 열교환기 사이의 거리는 6 mm이며 1000 RPM에서 수치해석을 수행하였다.

수치해석의 정확성을 알아보기 위해 실제 실험을 통한 풍량과의 차이를 알아보았다. 터보팬 1개를 사용하고 위의 기본사양에 벨마우스를 추가한 경우에 대해 수치해석 및 실험을 수행하였으며 팬의 회전은 523 RPM으로 하였다. 수치해석 결과 풍량이 5.57 cmm이 나와 실험을 통한 풍량 값보다 14 % 많은 풍량을 보였다. 이러한 차이가

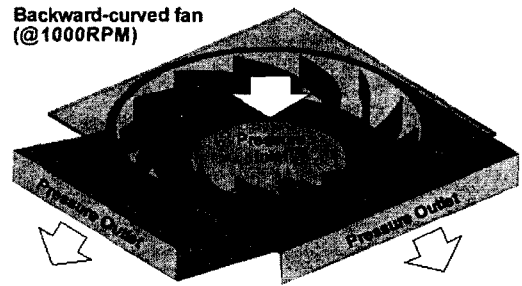


Fig. 1 Schematic diagram of an air-conditioning system for numerical simulations.

나타난 이유로는 수치해석에서 토출구의 그릴에 의한 저항 요소를 고려하지 못한 점과 입출구 측의 해석 영역 협소로 인한 경계 조건의 부정확성을 들 수 있다.

2.2 실험 방법

본 실험에서는 룸에어컨 실내기를 직접 제작하여 실험을 수행하였으며, 주요 측정 항목으로 팬의 RPM, 풍량 그리고 소음을 들 수 있다. 측정 장비로는 stroboscope를 사용하여 팬의 RPM을 측정하였고, fan tester를 사용하여 풍량을 측정하였다. 소음은 B&K Pulse 장비를 사용하여 압소음 19.5 dBA인 청음실에서 측정하였으며, 송풍 모드만을 사용하여 실내기에서 전방 1 m에 마이크로폰을 설치하여 측정하였다⁽³⁾. 따라서, 본 연구에 나오는 소음레벨은 룸에어컨 실내기의 냉방시 소음이 아니라 냉매 소음이 없는 송풍 소음만을 측정된 값을 나타낸다.

3. 수치해석 / 실험 결과 및 고찰

3.1 설계 변수

슬림형 룸에어컨 개발시 필요한 설계 인자는 여러가지가 있으나, 그 중 팬의 변화, 전면 패널, 스크롤, 벨마우스, 팬과 열교환기의 거리를 주요 변수로 하여 수치해석 및 실험을 한 결과를 나타내고 이에 대한 고찰을 수행하였다.

룸에어컨 실내기의 슬림화는 실내기를 이루고 있는 각 요소 부품인 팬, 열교환기 및 모터의 슬림화와 또한 각 요소 부품과의 거리를 최대한 줄

이는데 있다. 이러한 부품 슬립화 및 공간 축소로 인해 발생할 수 있는 성능 저하 및 소음 상승을 최대한 억제하여 기존과 동등한 수준의 성능, 소음을 가지도록 하는 것이 중요하다. 성능은 풍량과 열교환기의 전열면적에 관한 연구로 볼 수 있으며, 가장 문제시 되는 부분은 실내기 슬립화에 따른 유동 소음이며 본 연구에서는 풍량에 따른 소음에 초점을 맞추어 수치해석 및 실험을 수행하였다. 본 연구에서 수행한 팬, 전면 패널, 스크롤, 벨마우스, 팬과 열교환기 사이의 거리에 대한 수치해석 및 실험 결과는 다음과 같다.

3.2 팬의 변화

본 연구에 사용한 터보팬에 대한 사양은 당사의 기준에 맞도록 설계 되었으며, 본 논문에서는 두가지 팬의 경우에 대해 분석한 결과를 기술하였다. Fig. 2와 같이 두 터보팬의 경우 모두 backward-curved 형상이며 직경 293 mm, 날개 수 14개, 팬 높이 32 mm인 터보팬이다. 차이점으로는 팬 (a)의 경우는 팬 높이가 32 mm로 일정한 반면, 팬 (b)의 경우에는 팬 높이가 회전축에 가까운 쪽에서 32 mm, 바깥쪽으로 가면서 점차 줄어들어 20 mm 높이의 형상을 가진다. 팬 높이 32 mm는 기존 제품에서 사용하던 팬 높이 52 mm보다 상당히 작은 수치이다. 그러나, 팬 높이의 감소로 인해 같은 RPM에서의 풍량은 감소하며 동일 풍량을 내기 위해서는 더 높은 RPM을 필요로 한다. 이는 유동 소음이 증가하게 되는 주요 원인으로 작용한다.

3.2.1 팬 수치해석

Fig. 3의 위쪽 그림은 열교환기에서 열교환기에 수직한 방향인 z 방향으로의 속도 분포를 나타낸 것으로, 동일한 1000 RPM에서 팬 (a)의 경우 5.1 cmm의 풍량이 나왔고 팬 (b)의 경우 4.3

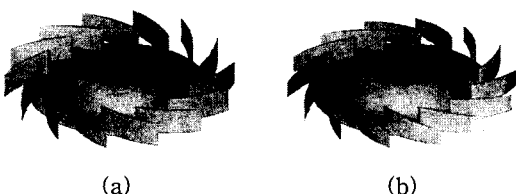


Fig. 2 Fan type : (a) BC Φ 293 x 32 x 14 blade, (b) BC Φ 293 x (32/20) x 14 blade.

cmm으로 감소하였다. 이러한 풍량의 감소는 팬 (b)의 경우 회전축에서 멀어질수록 팬높이가 감소하여 팬 끝단에서 공기를 밀어내는 면적이 줄어서 생기는 것으로 판단된다. Fig. 3의 위쪽 그림에서 옅은 회색은 열교환기로 들어가는 풍속을 나타낸 것이며 짙은 회색은 역류하는 풍속을 나타낸 것인데, 아래 그림에서와 같이 스크롤 벽에서의 압력 상승으로 인해 스크롤 벽부분에서 역류하는 풍량이 있음을 수치해석 결과로부터 알 수 있다. 이러한 역류 문제를 해결하기 위해서는 벨마우스 설치 및 스크롤 개선이 요구된다.

3.2.2 팬 소음해석

위의 수치해석을 통해 같은 RPM에서 팬 (a)의 경우가 풍량이 많이 나온다는 것을 알 수 있었고, 이로부터 동일 풍량 대비 소음레벨을 비교하면 팬 (b)의 경우 RPM이 더 높아야 팬 (a) 만큼 풍량이 나오므로 동일 풍량 대비 소음레벨이 상승할 것이라는 예상을 할 수 있다. 소음레벨은 상용소프트웨어 해석으로부터 구할 수 없으므로 직접 실험을 수행하여 풍량별 소음을 구하였다.

실험을 통한 풍량별 소음레벨을 구한 결과는 Fig. 4와 같으며, 본 실험에서의 실험값은 모두 인간의 청각 기관이 느끼는 소음레벨을 고려한

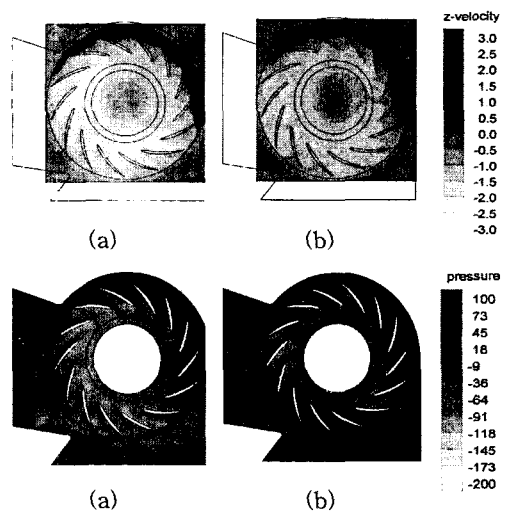


Fig. 3 Z-velocity [m/s] contours (upper) and static pressure [Pa] contours (lower) : (a) uniform fan height (b) linearly varying fan height.

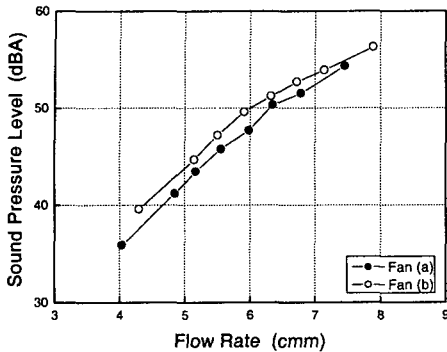


Fig. 4 Comparison of sound pressure levels as a function of flow rate according to fan types.

A 가중치를 부가한 전체 소음레벨로 나타내었다. 대략 6평형대의 실내기에 해당되는 풍량인 6 cm/m의 경우 팬 (a)은 47.8 dBA이고 팬 (b)의 경우 49.9 dBA가 나와 2.1 dBA 정도 차이가 존재한다. 실험 결과로부터 모든 풍량 구간에 대해 팬 (a)의 경우 동일 풍량별 소음레벨이 낮게 나와 팬 (b)보다 소음적인 성능이 우수함을 알 수 있다. 따라서, 팬 (a)의 경우가 실내기의 슬립화에 적합한 팬임을 알 수 있다.

3.3 전면 패널

실내기 소음의 주요원인은 팬의 RPM 증가에 있으며 팬 RPM의 증가는 시스템 저항과 강한 상관관계가 있다. 전면 패널은 에어컨의 미적 감각을 높이고 유동 소음이 밖으로 나오는 것을 어느 정도 줄일 수 있게 하는 장점이 있는 반면, 흡입 저항을 높여 공기 유입을 어렵게 만드는 저항 요소이다. 본 연구에서는 전면 패널이 존재할 때와 전면 패널을 제거한 경우에 대해 풍량별 소음을 측정하여 전면 패널에 의한 소음 상승 정도를 알아 보았다. Fig. 5는 전면 패널이 존재할 때와 전면 패널이 없을 경우의 풍량별 소음 정도를 나타낸 것으로, 전면 패널이 없는 경우가 소음 측면에서 풍량 6 cm/m에서 1.4 dBA 유리함을 알 수 있다. 따라서, 본 결과로부터 슬립형 실내기의 소음을 저감하기 위해서는 전면 패널을 대신할 수 있는 전면 그릴을 사용하는 것이 유리하다고 판단된다. 전면 그릴의 경우에는 그릴 사이로 공기가 흡입될 수 있어 전면 패널보다 흡입 저항이

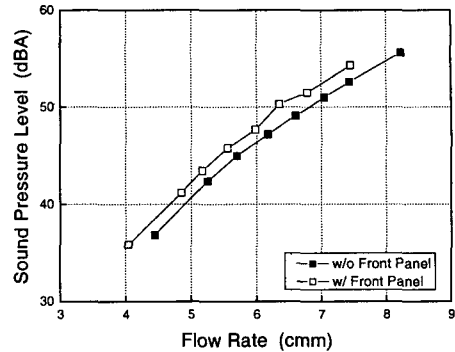


Fig. 5 Comparison of sound pressure levels as a function of flow rate between w/ and w/o a front panel.

작은 장점이 있다. 전면 그릴의 성능은 최대한 발휘되었을 때 전면 패널이 없는 경우의 성능과 비슷할 것이라 판단된다.

3.4 스크롤 변경

3.4.1 스크롤 수치해석

기존의 경우 Fig. 6 (a)와 같이 팬의 회전방향이 시계방향임으로 공간상의 제약으로 인해 스크롤부를 좁게 만들 수 밖에 없었다. 따라서, 이 부분에서의 압력이 높아져서 소음적인 측면에서 불리하고 또한 역류도 발생하였다. 이에 대한 개선책으로 Fig. 6 (b)와 같이 팬의 회전방향을 반시계방향으로 하여 같은 공간에서 유동이 자연스럽게 흘러갈 수 있도록 스크롤을 개선하였고 그 결과 압력 분포 측면에서 개선된 점을 볼 수 있었다. 또한, 같은 1000 RPM에서 (b)의 경우 6.0 cm/m의 풍량이 나와 스크롤 개선전에 비해 18%의 풍량 향상을 도모할 수 있었다. Z 방향 속도 분포에서 짙은 회색으로 보이는 영역인 열교환기 쪽으로 역류하는 기류가 스크롤 개선으로 상당 부분 감소하였으나 역류는 여전히 존재하여 이 부분에서 좀 더 개선이 필요함을 알 수 있었다.

3.4.2 스크롤 소음해석

Fig. 7은 전면 패널이 없을 경우의 소음실험 결과이며, 스크롤 개선이 되었을 때 동일 6 cm/m 풍량에서 3.4 dBA의 소음저감 효과를 가져올 수 있었다.

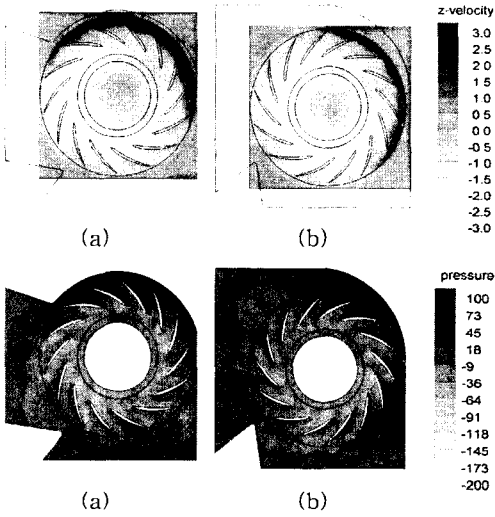


Fig. 6 Z - velocity [m/s] contours (upper) and static pressure [Pa] contours (lower) : (a) standard scroll (b) redesigned scroll.

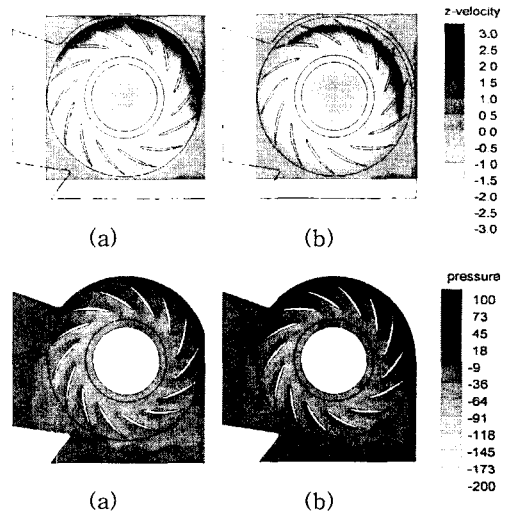


Fig. 8 Z - velocity [m/s] contours (upper) and static pressure [Pa] contours (lower) : (a) without bell mouth (b) with bell mouth.

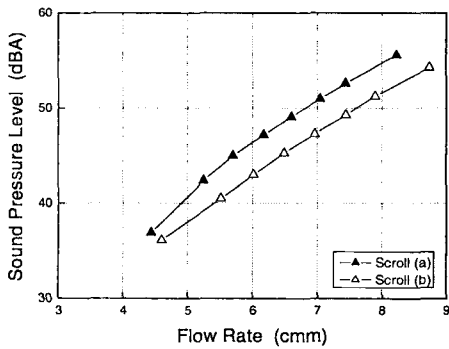


Fig. 7 Comparison of sound pressure levels as a function of flow rate according to scroll shapes.

3.5 벨마우스

일반적으로 벨마우스는 팬의 효율을 높여주며 또한 증발기쪽으로 역류할 수 있는 기류를 줄여주는 역할을 수행한다⁽⁴⁾. 그러나, 실내기의 슬림화에서는 벨마우스의 효과가 크지 않으면 벨마우스가 없는 시스템을 채택하여 그 두께만큼을 줄일 수도 있다.

본 수치해석에는 총 15 mm의 벨마우스를 사용하였고, 이 중에서 10 mm가 팬의 가장자리를 가리는 부분이다. Fig. 8에서와 같이 벨마우스의 사용으로 증발기쪽으로 역류하는 기류는 많이 줄어들음을 알 수 있으나, 풍량적인 측면에서는 1000 RPM에서 4.9 cm/min이 나와 4%의 풍량 감소가 있었다. 이러한 풍량 감소는 벨마우스로 인한 흡입구쪽의 면적이 줄어들어 생기는 효과라고 판단된다. 또한 압력분포에서 스크롤 쪽의 압력이 같이 상승함을 알 수 있다. 그러나, 수치해석을 통해서 팬 효율 향상에 대한 평가를 수행할 수 없어 벨마우스 필요성에 대한 정확한 평가를 내리기는 어렵다.

3.6 팬과 열교환기 사이의 거리

팬과 열교환기 사이의 거리 또한 전체적인 실내기의 두께에 많은 기여를 하는 부분이며, 이에 따른 풍량의 변화를 수치해석을 통해 알아보았다. 기본 수치해석 사양인 6 mm에서 11 mm, 16 mm의 세가지의 경우에 대해 풍량을 알아보았으며, 결과는 Table 1과 같다. 팬과 열교환기의 거리가 11 mm일때는 기준 사양과 거의 같은 풍량을 보여주는 반면, 16 mm일 경우에는 기준에 비

Table 1 Changes of flow rate as a function of a distance between a fan and a heat exchanger

Distance between fan and core (mm)	Flow rate (cmm)	Flow rate percentage (%)
6 (base)	5.1	100
11	5.2	102
16	6.7	131

해 31 %의 풍량 증가를 보였다. 따라서, 본 수치 해석으로부터 팬과 열교환기는 적정 거리 이상에서 효과적인 영향이 나타남을 알 수 있다.

3.7 그 외 변수의 영향

앞에서 분석한 변수 외에 열교환기의 축소, 팬 모터의 축소 등에 대한 연구도 함께 수행하였다.

열교환기의 경우는 에어컨 실내기의 평수에 따라 필요한 전열면적이 정해지며 이에 따라 열교환기의 두께에 결정적인 역할을 하는 튜브의 지름 및 열수가 정해지게 된다. 열교환기의 필요 성능을 만족시키는 범위 내에서 가능한 튜브 지름을 작게 하며 열수 또한 줄일 수 있는 것이 좋으며, 본 연구에서는 5Φ, 2열에도 충분히 필요 성능을 만족시키면서 열교환기의 두께를 최소로 할 수 있음을 실험으로 알 수 있었다.

팬 모터의 경우에는 기존에 사용하고 있는 AC 모터 대신 BLDC 모터를 사용하여 모터 두께를 줄이고자 하였으며, 기존 사용중인 AC 모터와 비교할 때 40% 정도의 두께를 저감하는 것이 가능하였다.

4. 결론

본 연구에서는 룸에어컨 실내기의 슬립화를 위한 여러가지 설계 인자를 수치해석과 실험을 통해 분석하고 실내기 슬립화에 대한 설계 가이드를 제시해 주었다. 실내기 슬립화시 가장 문제가

되는 부분은 유동 소음 상승이며, 이는 공간협소 및 팬 RPM 증가로 인한 영향에 기인한다. 풍량 및 소음 측면에 초점을 맞추어 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 본 연구에 사용된 두가지 종류의 팬 중에서 일정한 팬 높이를 가지고 있는 팬이 수치해석 결과 높은 풍량을 보였으며 또한 실험결과에서도 풍량별 소음 측면에서 유리함을 알 수 있었다.
- (2) 전면 패널을 사용할 경우 디자인 측면으로는 유리한 반면, 소음 측면에서는 흡입구 면적 감소로 인해 풍량 및 소음 측면에서 상당히 불리하므로 전면 그릴을 사용하는 것이 슬립화에 좀 더 적합한 것으로 판단된다.
- (3) 팬의 회전방향을 바꾸어 팬이 회전하는 방향으로의 스크롤 면적을 넓혀주는 방향으로 스크롤을 개선하여 소음적인 측면에서 향상을 도모할 수 있었다.
- (4) 팬과 열교환기의 거리는 어느정도 이상 거리가 존재하여야만 높은 풍량을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Cho, H. M., Chee, S. K., Park, S. K., and Oh, S. K., 2003, Effects of the discharge system of the standing type air-conditioner on the flow pattern and temperature distribution, Proceedings of the SAREK 2003 Summer Annual Conference, pp. 657-662.
2. Fluent Inc., 2003, Fluent 6.1 User's Guide, Fluent Inc.
3. ASHRAE, 1997, 1997 ASHRAE Fundamentals Handbook: Sound and Vibration, ASHRAE, pp. 7.1-7.10.
4. Bleier, F. P., 1998, Fan Handbook: Selection, Application, and Design, McGraw-Hill, New York.