

상용 CFD코드를 이용한 공조기 입구 형상 설계

최영석* · 주종일** · 이용갑*** · 주원구****

Inlet Shape Design of Air Handling Unit Using Commercial CFD Code

Young-Seok Choi*, Jong-Il Ju**, Yong-Kab Lee***, Won-Gu Joo****

Key Words: Commercial CFD Code (상용 CFD코드), Air Handling Unit (공조기), Inlet Flow Concentrator (입구유로부), Performance Parameter (성능변수)

ABSTRACT

A commercial CFD code is used to compute the 3-D viscous flow field within the inlet flow concentrator of the newly developed AHU (Air Handling Unit). To improve the performance of the AHU, the inlet air needs to be gradually accelerated to the fan's annular velocity without causing turbulence or flow separation. Three major geometric parameters were selected to specify the inlet shape of the AHU. The performance of the AHU could be measured by the inlet and outlet flow uniformity and the total pressure loss through the inlet flow concentrator. Several numerical calculations were carried out to determine the influence of the geometric parameters on the performance of the AHU. The best geometric values were decided to have efficient inlet shape with analyzing CFD calculation results.

1. 서 론

공조기는 공조설비의 핵심이라고 할 수 있으며, 공조대상 공간으로 보내지는 공기의 온·습도 및 청정도를 요구하는 상태로 조정하는 장치이다⁽¹⁾. 공조기의 성능은 각 구성요소들의 성능이 우선적으로 중요함은 자명한 것이지만 같은 성능의 구성부품이라 하더라도 어떤 유로시스템에 장착되어 효율적으로 사용되느냐에 따라 공조기의 성능은 달라질 수 있다. 여기서 말하는 공조기의 성능은 에너지효율, 소음진동, 차지하고 있는

공간 등이 중요한 변수라 할 수 있다.

본 연구에서 대상으로 하고 있는 공기조화기 시스템은 기존의 공조기와는 개념이 다른 입구부 형상 및 출구부 형상을 가지고 있어서 공간 절약 및 소음/진동의 감소, 에너지 효율의 증대가 가능한 공조기이다. Fig. 1에 공조기의 기본형상을 나타내었다. 입구 유로시스템의 경우 공기(외기 또는 순환공기)를 여러 방향에서 공조기 내로 유입시키는 것이 가능하여 기계실의 바닥 면적을 축소시켜 기존의 일반형 보다 최대 50%이상 공간 절약의 효과를 낼 수 있다. 또한 공기의 유입에 있어 공기역학적인 구조를 적용시켜 공기의 흐름을 방해하는 요소를 제거하고, 각 단계별(필터, 코일 등) 공기의 통과속도를 점진적으로 가속시켜 흡입시 발생하는 유동손실을 감소시키며, 또한 유로 자체가 흡음재로 구성되어 있어 소음 및 진동을 감소시키는 구조이다.

* 한국생산기술연구원 신에너지환경팀
** 한국생산기술연구원/연세대학교 대학원
*** CFX Korea
**** 연세대학교 기계전자공학부
E-mail : yschoi@kitech.re.kr

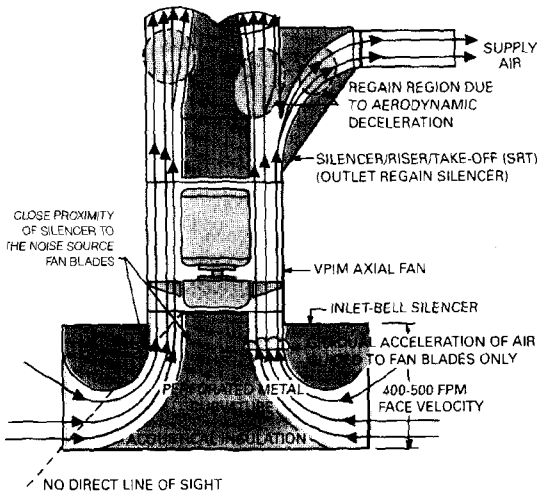


Fig. 1 Cross-section of the AHU

출구 유로시스템은 공기의 토출 속도를 완만하게 감속시키며, 흡음재를 통해 소음을 흡수한다. 완만한 통과 속도의 감속은 곧 동압의 증가로 나타나, 전체적인 송풍기의 효율을 향상시켜서 소요 동력의 감소로 에너지 절감의 효과가 있게 된다.

이러한 공조기의 유로시스템의 핵심중의 하나인 입구 유로 형상을 어떤 관점에서 어떤 설계를 하느냐는 공조기의 성능에 중요한 영향을 미친다. 따라서 본 연구에서는 공조기 입구형상의 설계변수 및 성능변수를 정립하고 설계변수의 변화에 따른 유동해석을 수행하여 그 결과를 분석하여 최적의 설계변수를 도출하고자 한다.

2. 유동해석 기법

본 연구에서는 상용 CFD 해석 코드인 CFX TASCflow를 사용하였다⁽²⁾. 난류모델은 벽법칙을 사용한 $k-\epsilon$ 난류모델을 사용하였다. 유동은 축대칭 정상유동으로 가정하였으며 계산영역의 입구에는 절대과표계의 질량유량, 난류강도, 길이척도(length scale) 등이 주어지고, 출구에는 종속변수의 구배가 0인 조건이 주어진다.

3. 공조기 입구부 형상변수의 결정

본 연구에서는 최적의 공조기 입구형상을 선정하기 위해 설계변수 중 a/b (송풍기 쉬라우드와 연결되는 타원의 장축과 단축의 비), xL (출구와 입구에서 송풍기 쉬라우드와 연결되는 축방향 직선구간길이), rL (공조기

Table 1 Description of the geometry parameters

B_i	Inlet height
B_l	$R_s - R_h$
R_h	Axial fan hub radius
R_s	Axial fan shroud radius
R_i	Inlet radius
xL	Axial distance of ellipse B
rL	Radial distance
a	Major axis of ellipse B
b	Minor axis of ellipse B

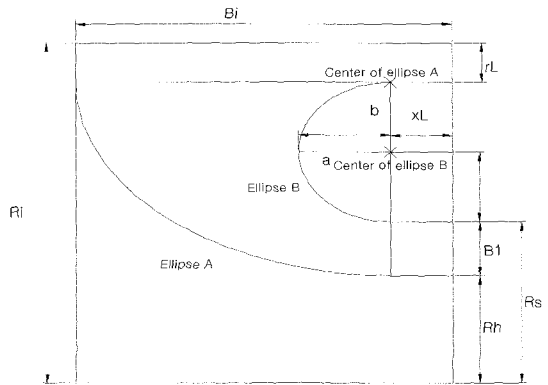


Fig. 2 Geometry of the inlet flow concentrator

입구부 반경방향 간격)을 변화시켜가며 각각의 경우에 대해 축대칭 점성유동계산을 수행하였다. 설계점에서의 유량은 60000 CMH이다. 공조기 입구부 형상의 설계변수와 자오면 형상을 Table 1과 Fig. 2에 나타내었다.

3.1 입구부 형상 성능평가 변수

입구부 형상의 최적화된 설계 결과를 판단하는 변수로는 입구와 출구(송풍기의 입구부)에서의 유동의 균일성과 입구부를 통과하는 유체의 유동손실로 설정할 수 있다. 입구부 속도분포의 균일성은 공조기 입구부에 설치되는 필터와 코일을 효율적으로 사용할 수 있게 하는 척도이며, 출구부 속도분포는 송풍기의 작동 성능에 영향을 미치는 요소이다^{(3)~(4)}. 또한 입구부 형상에 따라 가급적 통과유동손실이 적게 설계하는 것도 하나의 중요한 척도가 될 것이므로 이 세 가지 성능평가 변수를 도입하였다.

입구부와 출구부의 속도의 균일성을 판단하는 성능변수로 V_{NU} 를 다음과 같이 정의하였다.

$$V_{NU} = \left| 1 - \frac{V}{V_{ID}} \right| \quad (1)$$

여기서 V_{ID} 는 평균속도를 나타내며, V_{NU} 는 CFX의 2차원 점성유동해석 결과로 얻어진 입구와 출구에서의 각 위치에서의 속도가 평균속도와 벗어난 정도를 나타내며 이는 유동의 균일성을 알 수 있는 척도로 사용할 수 있다.

통과하는 유체의 유동손실은 ht 로 나타내었으며 입구부 전압에서 출구부 전압을 뺀 양을 나타낸다.

3.2 설계변수 xL/Bi 가 성능에 미치는 영향

본 연구에서 정의한 설계변수 중 xL/Bi 에서 xL 은 송풍기의 쉬라우드와 연결되는 타원의 중심과 출구와의 축 방향거리를 의미하며 송풍기 연결지점까지 곡물이 없는 유로의 길이를 의미한다. xL/Bi 의 변화에 따른 영향을 살펴볼 때 a/b 는 1로 rL/Bi 는 0으로 고정시켰다.

Fig. 3에 나타내었듯이 xL/Bi 가 커지면 출구의 속도형상이 균일해지고 있다. 그러나 xL/Bi 가 0.2이상의 값에서는 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 출구에서의 V_{NU} 는 xL/Bi 가 0.2이상의 값에서는 거의 변하지 않으며 0근처의 값으로 균일성이 상당히 좋음을 알 수 있다. 그림에는 나타내지 않았지만 손실 ht 는 xL/Bi 가 증가함에 따라 선형적으로 증가하고, 입구 V_{NU} 는 xL/Bi

가 증가할수록 입구에서는 직선구간에 의한 유로폐색으로 비균일성이 커지게 된다.

3.3 설계변수 a/b 가 성능에 미치는 영향

설계변수 a/b 는 공조기의 입구유로를 형성하는 송풍기의 허브와 쉬라우드로 연결되는 곡면 중 쉬라우드 연결곡면 타원의 x 축 (a)과 y 축 (b)의 비를 나타낸다. 앞 절의 결과를 바탕으로 $xL/Bi = 0.2$ 로 고정하고 a/b 를 변화시켰다.

Fig. 4에서와 같이 a/b 가 커짐에 따라 공조기 입구형상의 출구부분에 완만한 곡물의 유로가 형성되므로 출구속도의 균일성이 향상될 것으로 예상하였으나, 출구에서의 V_{NU} 값에서 큰 차이가 없었으며 출구에서의 속도분포도 거의 변하지 않았다. 이는 먼저 검토한 변수인 $xL/Bi = 0.2$ 정도로 출구의 속도를 안정시키는데 충분한 직선구간 유로가 확보되어 a/b 의 변화가 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다. 그림에 나타내지는 않았지만 입구속도의 비균일성은 a/b 가 커짐에 따라 선형적으로 증가하며 손실은 $a/b = 1.0$ 부근에서 전압차 9.5Pa 정도인 최소의 값을 가진다.

3.4 설계변수 rL/Bi 가 성능에 미치는 영향

또 다른 설계변수 rL/Bi 에서 rL 은 입구면에서 쉬라

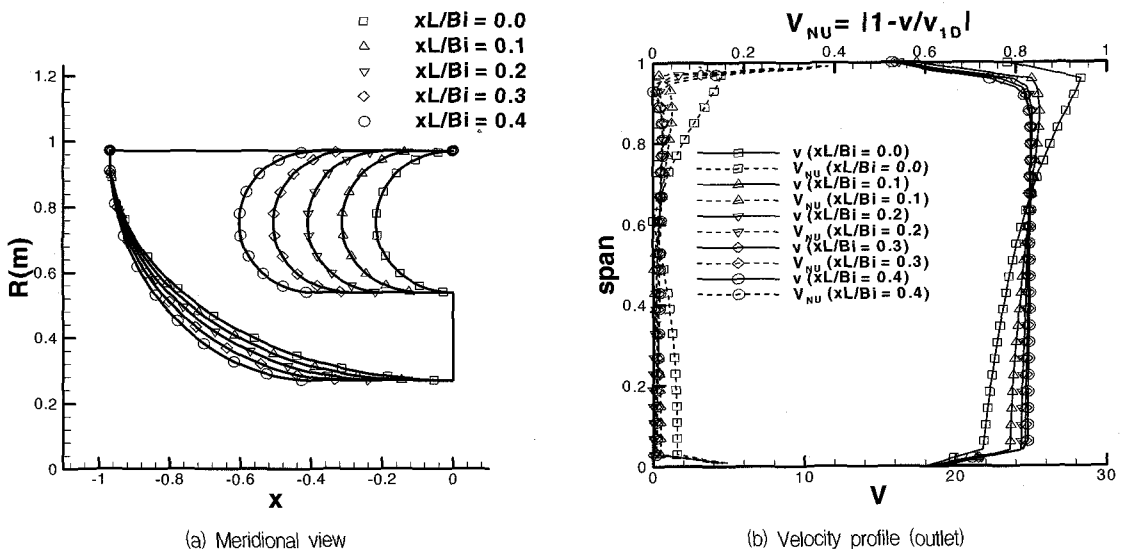
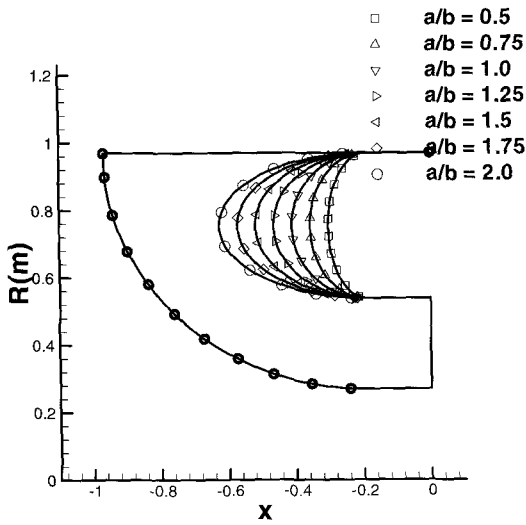
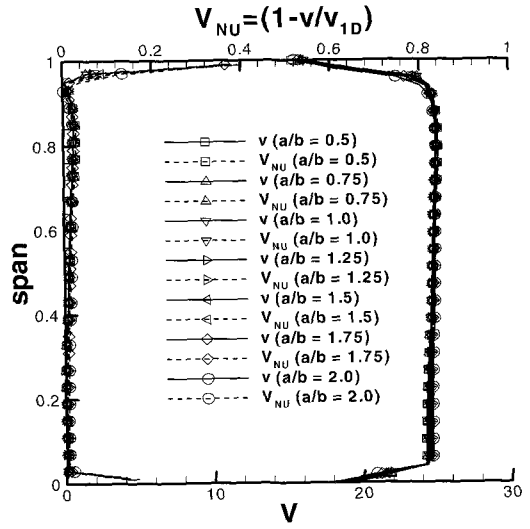


Fig. 3 Meridional view and velocity profiles with the xL/Bi variations

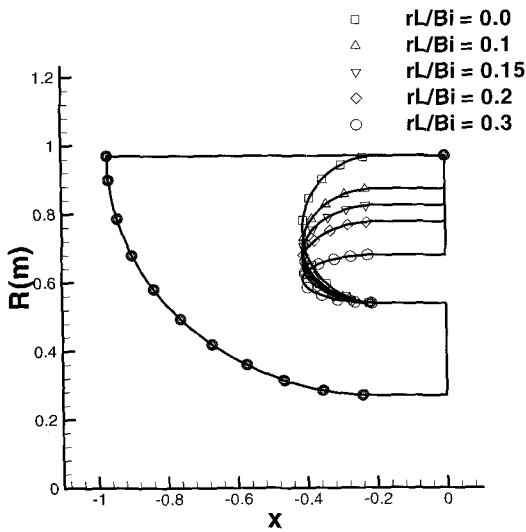


(a) Meridional view

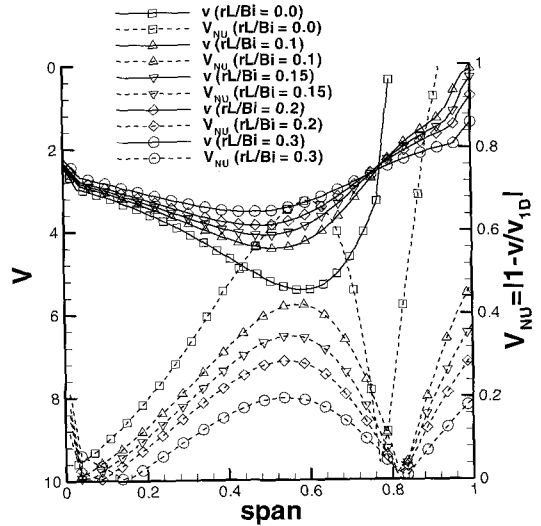


(b) Velocity profiles (outlet)

Fig. 4 Meridional view and velocity profiles with the a/b variations



(a) Meridional view



(b) Velocity profiles (inlet)

Fig. 5 Meridional view and velocity profiles with the rL/Bi variations

우드의 타원부분이 반경방향으로 떨어진 거리를 나타낸다.

Fig. 5에 rL/Bi 의 변화에 따른 결과를 나타내었다. Fig. 5의 입구속도 분포도에서와 같이 rL/Bi 가 커짐에 따라 입구에서의 속도형상이나 균일성 등은 크게 향상됨을 알 수 있다. 하지만 그림으로 나타내지 않았지만 손실과 출구속도의 비균일성은 $rL/Bi = 0.2$ 이상

이 되면 급격히 악화되고 있다.

4. 공조기의 최적형상 선정

앞의 결과를 토대로 공조기의 성능을 평가하는 함수로서 공조기 입구유로의 출구부에서 속도의 비균일

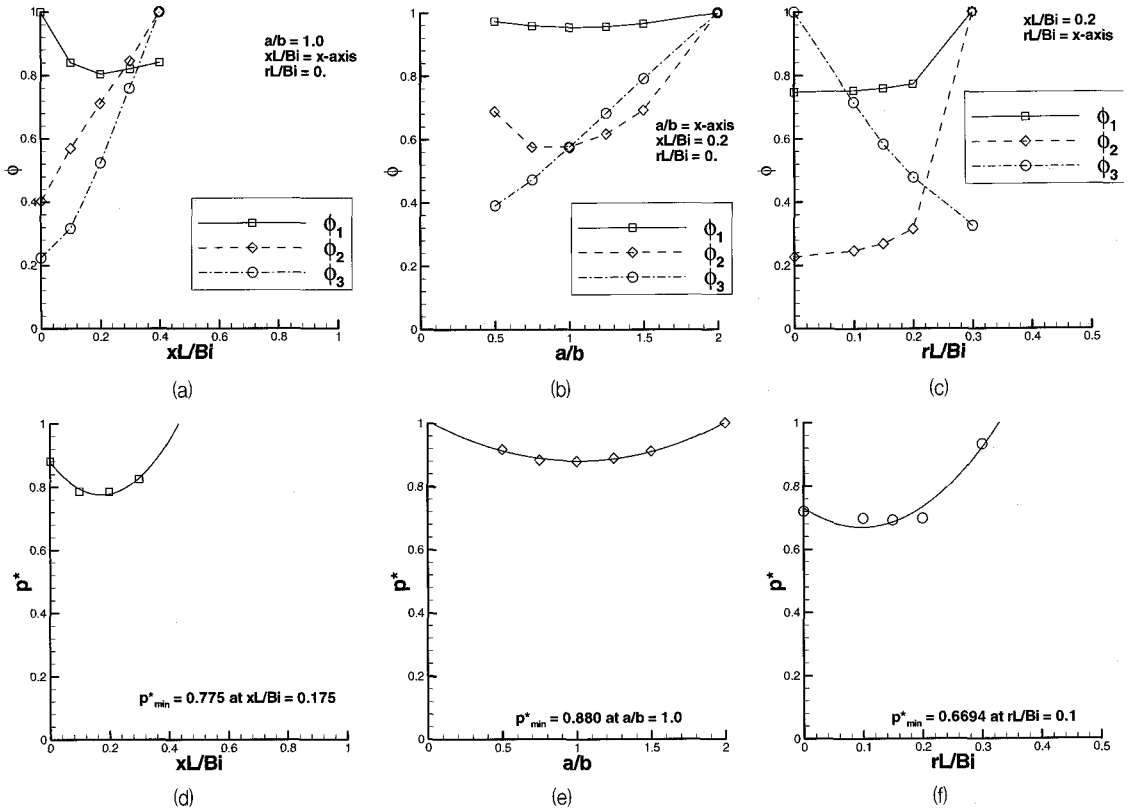


Fig. 6 Predicted performance with the various geometry parameters

성 (ϕ_1), 전수두손실(ϕ_2), 입구유로의 입구속도 비 균 일성(ϕ_3)으로 다음과 같이 정의하였다.

$$\begin{aligned} \phi_1 &= \frac{\overline{V_{NU_{out}}}}{V_{NU_{out\ max}}} \\ \phi_2 &= \frac{ht}{ht_{\max}} \\ \phi_3 &= \frac{\overline{V_{NU_{in}}}}{V_{NU_{in\ max}}} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 $\overline{V_{NU}}$ 는 각 위치에서 평균된 무차원 속도값을 나타낸다. 이 세 함수에 가중치를 주어 새로운 함수 p^* 를 정의하고 그 최저값을 가지는 xL/Bi , a/b , rL/Bi 로 최적의 공조기 형상을 결정하였다. 이때 주어지는 가중치에 의해 최적의 공조기 형상은 달라지게 된다. 함수 p^* 는 다음과 같이 정의된다.

$$p^* = f_1\phi_1 + f_2\phi_2 + f_3\phi_3 \quad (3)$$

여기서 f_1, f_2, f_3 는 가중치이다.

Fig. 6(a)에 xL/Bi 의 변화에 따른 ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 의 경향을 보면 앞의 3.2절의 결과가 잘 나타나 있음을 알 수 있다. xL/Bi 가 증가할수록 ϕ_1 은 일정한 값으로 수렴하고 ϕ_2, ϕ_3 는 선형적으로 증가함을 보여주고 있다. 그림 5(d)는 ϕ_1 에 80%의 가중치를 주고 ϕ_2 에 20%의 가중치를 주었을 때 함수 p^* 를 나타낸 것이다. ϕ_3 에 대한 가중치를 0으로 준 것은 $rL/Bi = 0$ 으로 ϕ_3 의 영향을 평가할 수 없기 때문이다. Fig. 5(d)에 나타냈듯이 $xL/Bi = 0.175$ 일 때 p^* 는 최소값을 가진다.

Fig. 6(b)는 a/b 의 변화에 따라 ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 의 경향을 나타낸 것이며 3.3 절의 결과를 잘 보여주고 있다. a/b 의 변화에도 ϕ_1 은 변화가 거의 없으므로 출구의 유동이 a/b 에 큰 영향을 받지 않는다는 것을 나타내고 있다. ϕ_2 는 $a/b = 1.0$ 근처에서 최소 값을 가지며 a/b 가 1보다 크거나 작은 경우 유로의 급격한 변화에 의한 손실이 증가함을 보이고 있다. a/b 가 커짐에 따라

유로형상이 반경이 줄어들며 따라 급격히 좁아지는 영역이 커지게 되고 따라서 입구유동의 비균일성이 커지므로 ϕ_3 는 선형적으로 증가하고 있다. Fig. 6(e)에 (d)에서와 동일한 가중치를 적용한 함수 p^* 를 나타내었다. ϕ_3 의 영향은 고려되지 않았고 ϕ_1 의 변화가 미미하므로 함수의 형태는 ϕ_2 의 영향을 크게 받으며 $a/b = 1.0$ 일 때 최소값을 가진다.

Fig. 6(c)는 rL/Bi 의 변화에 따른 각 함수의 변화를 나타낸 것이다. 3.4절의 결과에서 보였듯이 rL/Bi 가 커짐에 따라 ϕ_3 가 작아져 입구유동의 균일성은 좋아지지만 $rL/Bi = 0.2$ 이상에서 ϕ_1, ϕ_2 의 값이 크게 증가하므로 출구유동의 비균일성과 손실이 증가함을 나타내고 있다. Fig. 6(f)는 ϕ_1 에 가중치를 80%로 유지하고 ϕ_2 와 ϕ_3 에 각각 10%의 가중치를 주었을 때의 p^* 를 나타낸 것이며 $rL/Bi = 0.1$ 일 때 최소값을 가진다.

이상의 결과에서 출구유동의 균일성을 중시한 설계의 경우 최적의 설계 예로써 $xL/Bi = 0.175, a/b = 1.0, rL/Bi = 0.1$ 과 같은 형상설계 값을 얻을 수 있었다. 이외의 설계변수인 Ri, Bi, Rh, Rs 등은 공조기가 설치되는 장소나 유량 등에 의해 선정되는 필터나 코일, 송풍기의 크기에 의해 결정된다.

5. 결 론

공간절약형 공조기 입구부 형상의 최적 설계를 위한 설계인자의 도출 및 설계인자가 공조기 성능에 미치는 영향에 관하여 유동해석을 사용하여 분석하였다.

해석결과로부터 세 가지 형상변수와 성능변수와의 관계를 살펴보면, xL/Bi 의 경우는 출구유동의 비균일성에 가장 큰 영향을 미쳤으며, a/b 는 xL/Bi 가 적절히 선정된 경우 출구유동의 비균일성에는 큰 영향이 없는 반면 유로손실에 영향을 미쳤으며, rL/Bi 는 입구유동의 비균일성에 가장 큰 영향을 미침을 알 수 있었다. 적절한 가중치를 고려하여 공조기 성능을 최적화하기 위한 형상변수의 값을 결정할 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하는 산업기술개발사업의 일부로 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 한국설비기술협회, 1996, *냉동공조기술(상권)*, pp. 382~389.
- (2) 최영석, 이용갑, 홍순삼, 강신형, 2001, "상용 CFD 코드를 이용한 원심펌프 임펠러의 성능해석," 유체기계저널 제 4권 1호, pp. 38~45.
- (3) Duvenhage, K., Vermeulen, J. A., Meyer, C. J., Kroger, D. G., 1996, "Flow Distortions at the Fan Inlet of Forced-Draught Air-Cooled Heat Exchangers," *Applied Thermal Engineering*, Vol.16, No. 8/9, pp. 741~752.
- (4) Wallis, R., 1983, *Axial Flow Fans and Ducts*, Wiley-Interscience Publication.