

# 공기흐름을 이용한 무동력 환풍장치 개발

## Development of Ventilator without Power using Air Flow

김범석\* · 권택주\*\* · 정지현\*\*\*\*  
Bum-Suk Kim\*, Taek-Joo Kwon\*\* and Ji-Hyun Jeong\*\*\*\*

(Received 14 January 2016, Revision received 29 March 2016, Accepted 29 March 2016)

**Abstract:** The studies on the efficient ventilator to reduce fire and save energy have been proceeded actively. The purpose of this paper is to design a ventilator used in residential wood stove. The ventilator consists of rotation and support part, and it is operated by natural wind without power. The shape of rotation part of the ventilator is like airfoil to reinforce pressure drop. We designed direction controller for the rotation part to track the direction of wind continuously. The rotation and support part have point-contact each other to minimize a friction. We verify the properties of the proposed ventilator though simulation and experiment. The results show the proposed ventilator can exhaust safely combustion gas of the stove more than other ventilator.

**Key Words :** Ventilator, Wood Stove, Natural Wind, Direction Controller

### 1. 서 론

현재 세계 각국은 지구 온난화에 대비하여 온실가스의 감축, 에너지 및 환경문제의 해결, 지속 가능한 에너지 개발을 위한 대안으로 신·재생에너지의 보급을 서두르고 있다. 2008년 8월 국가에너지위원회는 1차 국가에너지 기본계획(2008~2030)을 발표하여, 2030년까지 태양광에너지, 풍력에너지, 풍력 및 지열에너지 등, 신·재생에너지의 비중을 11%까지 증대하고 신·재생에너지 설비 및 연구개발에 집중 투자하기로 하였다<sup>1)</sup>. 생물을 의미하는 바이오(bio)와 양을 나타내는 매스(mass)와의 합성어인 바이오매스(biomass)는 가격이 저렴하고 온실가스 배출량을 제외하도록 하고 있어

대체연료로 사용량이 증가하고 있는 추세이다. 또한 바이오매스 중 장작과 펠릿, 목재칩 등과 같은 목질 바이오매스의 직접 연소를 통해 에너지를 얻는 화목난로 및 화목보일러의 전국 사용 대수는 각각 126,830대와 45,447대(2013년 기준)로 목질 바이오매스의 난방용 사용에 대한 관심이 점점 높아지고 있다<sup>2,3)</sup>.

화목난로 및 화목보일러의 연료에 산소 공급과 연기배기의 목적으로 사용되는 환풍장치에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 대표적인 것으로 건축물에 사용되는 전기 환풍장치를 적용시킨 것이 있고, 태양전지를 동력원으로 사용한 것이 있으며, 베르누이(Bernoulli)법칙을 이용하여 내부의 공기가 압력차에 의해 외부로 배출시키는 환풍기

\*\*\*\* 정지현(교신저자) : 제주대학교 기계공학전공

E-mail : badaro@jejunu.ac.kr, Tel : 064-754-3627

\*\*권택주 : (주) 한알사

\*김범석 : 제주대학교 대학원 풍력공학부

\*\*\*\* Ji-Hyun Jeong(corresponding author) : Major of

Mechanical Engineering, Jeju National University.

E-mail : badaro@jejunu.ac.kr, Tel : 064-754-3627

\*\*Taek-Joo Kwon : Hanalsa co. Ltd.

\*Bum-Suk Kim : Faculty of Wind Energy Engineering, Jeju National University.

등이 있다<sup>4,5)</sup>. 그러나 일반적으로 설치된 전기 환풍기는 한번 설치하면 수명이 다할 때까지 방치하는 경우가 많으며, 연소된 가스를 배출시키다 보니 항상 먼지나 카본이 날개(fan) 표면이나 커버(grill) 전면에 묻어 있게 마련이다. 특히 갑자기 날개에 이상이 발생되면 전원이 공급되는 모터에 급격한 부하가 걸리면서 열이 발생하여 열과 먼지, 카본 등에 의한 화재가 많이 발생하고 있다<sup>6,7)</sup>. 건물의 정화조 환기에 사용되는 원형 회전 무동력 환풍기가 화목난로에 적용된 경우, 화로의 개폐문을 열 때 연소가스가 역류하여 실내로 연기나 불꽃이 들어오는 경우가 많다. 따라서 환풍기에 사용되는 에너지를 절약하고 화재위험을 줄임과 동시에 사용하기 편리한 무동력 환풍장치가 필요하다.

본 연구에서는 무동력 환풍장치의 형태를 비행기의 날개 단면모양인 익형(airfoil)과 유사하게 설계하고 바람이 불어오는 방향으로 일정한 위치를 유지할 수 있도록 방향조정기를 설계한다. 또한 기존에 사용되고 있는 환풍덕트(연통)에 적용 가능하도록 덕트 삽입부를 추가적으로 설계한다. 상용 CFD코드인 STAR-CCM+를 이용하여 설계한 환풍장치의 형태에 대한 유동장 특성을 해석하고, 실험을 통해 제작한 환풍장치의 유용성을 찾아보고자 한다.

## 2. 장치 모델링 및 설계조건

### 2.1 환풍장치 설계

무동력 환풍장치는 모터를 사용하지 않아 소음이 없고 전력비나 유지비가 전혀 들지 않는 장점을 가지고 있다. 그러나 일반 가정, 가게, 아파트나 고층건물, 공장 등에 광범위하게 적용·설치되어 있는 원형 회전 무동력 환풍장치는 다수의 만족편과 회전동체로 형성된 것으로, 돌풍이 부는 경우에는 연통을 타고 바람이 역류하여 내부로 불어 들어오는 경우가 발생한다. 따라서 화목난로의 연소공기 배출용으로 사용했을 경우 연소효율이 떨어지고 화재위험도 발생할 수 있다.

본 연구에서 제안하는 환풍장치의 구성은 Fig. 1

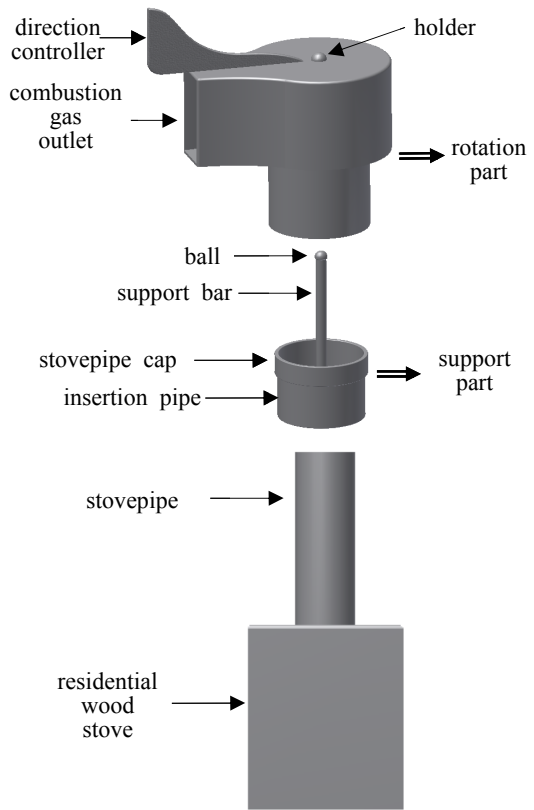


Fig. 1 Design of Ventilator for Residential Wood Stove

과 같이 화목난로의 연통(stovepipe)에 삽입되는 지지부(support part)와 바람과 같은 방향을 유지할 수 있도록 설계된 회전부(rotation part)로 크게 두 부분으로 나뉜다. 회전부의 형상을 익형과 유사하게 설계하여 연기 출구부(combustion gas outlet)에 압력이 강해질 수 있도록 설계하였다. 이것은 불어오는 바람이 회전부의 전면부에서 회전부의 형상에 의해 양쪽으로 나뉘지면서 회전부 양쪽측면에서부터 연기 출구부까지 속도에너지가 증가할 것이다. 따라서 연기 출구부의 압력은 떨어져서 화목난로의 연소가스를 외부로 원활히 배출시키는 작용을 할 것으로 판단한다. 또한 회전부의 전면부가 항상 바람의 방향으로 향할 수 있도록 회전부 최상측에 방향조정기(direction controller)를 설계하였다. 회전부의 내부는 빈 공간으로 되어 있으며, 재질을 알루미늄으로 제작하면 무게를 최소

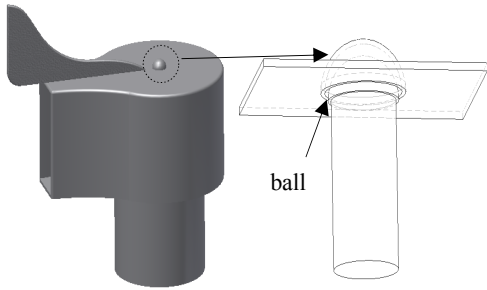


Fig. 2 Detail drawing of contact part between holder and ball

화시커 바람에 의한 회전부의 각운동을 도울 수 있다. Fig. 2와 같이 회전부의 상측중앙에 홀더(holder)를 설치하여 지지부의 지지대(support bar) 끝단에 있는 볼(ball)과 회전부가 점접촉을 할 수 있도록 하였다. 회전부는 지지부와 점접촉을 하기 때문에 회전저항이 최소화 되어 바람이 약하게 불더라도 방향조정기에 의해 회전부의 전면부는 바람방향으로 쉽게 향할 수 있다.

지지부의 구성은 Fig. 1과 같이 삽입통(insertion pipe)과 연통캡(stovepipe cap), 지지대와 볼로 구성되어 있다. 연통캡과 삽입통의 사이에는 Fig. 3과 같이 일정한 간극(gap)을 두어 환풍장치 설치 시 화목난로의 연통끝단이 이 간극사이에 들어가서 움직이지 못하게 된다. 볼과 연결된 지지대는 하부지지대(under support bar)와 연결되고 하부지지대는 삽입통과 견고히 연결되어 회전부를 지지할 수 있도록 설계하였다. 또한 회전부와 지지부의 결합시 회전부의 하부는 지지부의 삽입통 내부로 들어가며, 삽입통 내부에 설치된 다수의 작은 볼 베어링과 접촉하도록 설계하였다.

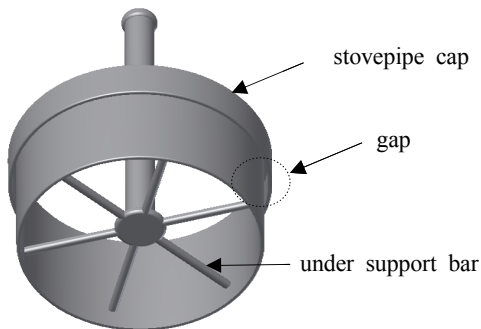


Fig. 3 Detail drawing of support part

## 2.2 모델링 및 경계조건

제안된 화목난로용 환풍장치는 수치해석의 수렴성 등을 고려하고 수치해석결과에 영향을 미치지 않는다고 판단되는 부수적인 영역이외의 방향조정기와 홀더부분 그리고 내부 공간은 생략하고 구조는 간략화 하였다.

Fig. 4는 수치해석 유동장의 제안된 환풍장치 모델을 기반으로 생성한 공기의 유동해석용 3차원 계산격자계를 나타낸다. 격자계는 전체 유동장 중 환풍장치 모델의 회전부를 포함하는 영역에 대한 격자계이며, STAR-CCM+에서 제공하는 트리머(trimmed mesh)와 경계층 격자(prism layer)를 사용하였다. 경계층 근접 격자 간격은  $y+ \leq 15$ 로 설정하여 계산의 수렴성을 고려하였다.

유동해석을 위한 전체유동장의 노드(node)수는 약 10만개로 설정하였다. 입구경계조건은 풍속 2~12 m/s로 유입되는 것으로 하였고 난류강도는 5%로 설정하였으며, 출구만 개방(open)조건으로 설정하였다. 난류유동은 RANS(Raynolds Averaged Navier-Stokes) 방정식을 적용하였으며, 지배방정식은 유한체적법(Finite Volume Method)에 의하여 이산화 된다.

난류 유동장의 수치해석기법은 점성저층영역에서의 경계층 박리 예측 등이 부정확하지만 압력구배가 작은 자유난류영역에서 난류의 거동을 정확히 해상하는 k-ε 난류모델을 사용하여 해석하였다<sup>8)</sup>.

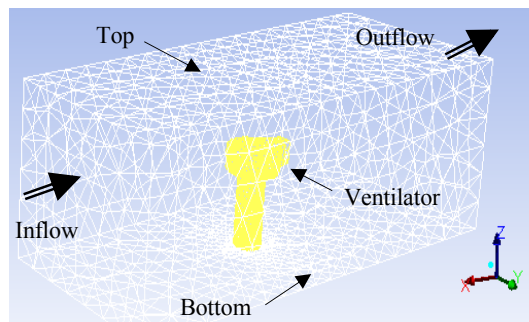


Fig. 4 Overall view of flow field boundary conditions of 3-D numerical flow field

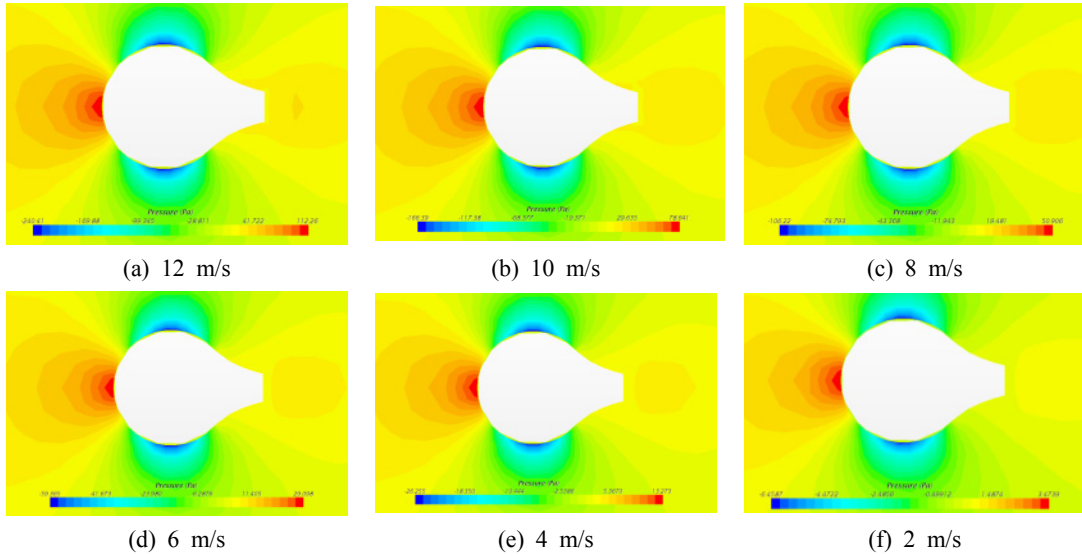


Fig. 5 Pressure analysis of the proposed ventilator

### 3. 시뮬레이션 및 결과 고찰

본 연구에서는 건물의 환풍장치에 일반적으로 사용되는 알루미늄 재질로 정하고 정격 풍속을 적용시켰기 때문에 환풍장치의 회전부는 구조적으로 바람에 안정하다고 가정하고 형상에 따른 바람의 유동영역만 해석하였다.

Fig. 5는 제안된 환풍장치의 회전부 주변 압력 분포로 입구경계조건을 풍속 2 m/s부터 12 m/s까지 단계적으로 증가시켜 유동해석한 결과를 나타낸다. 바람이 불어오는 좌측 방향에서부터 환풍장치의 회전부 모형을 따라 표면압력이 변화함을 알 수 있다. 입구경계조건인 모든 단계에서 환풍장치 회전부 중간의 양측면에서는 압력강하가 확연히 발생함을 알 수 있었다. 그러나 실제 화목난로의 내부 발생연기를 배출시키는 역할을 하는 회전부의 연기 출구부에서의 압력강하는 풍속의 강약에 상관없이 거의 미미함을 알 수 있었다.

시뮬레이션 결과 익형과 유사하게 설계한 회전부의 형상은 화목난로의 내부 발생연기 배출에 도움을 주는 연기출구부의 압력강하에 영향을 거의 미치지 않음을 알 수 있었다.

### 4. 실험 및 결과 고찰

Table 1 Specification of trial product

Items	Spec.
Scale	325 x 365 x 200 [mm]
Material	EGI 0.8 [mm]
Total Weight	1.2 [kgf/cm <sup>2</sup> ]

제안된 무동력 환풍장치의 설계도를 이용하여 Fig. 6과 같이 시작품을 제작하였으며, 시작품의 사양은 Table 1에 정리하였다.

시작품의 성능실험은 일반적으로 사용되고 있는 화목난로의 환풍덕트 끝단(높이 7 m)에 원형 회전 무동력 환풍기와 제작한 시작품을 교대로 설치하고, 각각 10일 동안 화목난로 입구에서 풍속계측기(CMM/CFM Thermo-Anemometer)로 측정한 후 평균 체적유량을 비교분석하였다.

Fig. 7에는 화목난로에 장작을 태우지 않고 환풍기만 장착을 한 후 측정한 결과를 나타내었다. 바람이 거의 없거나 순간적으로 강하게 불어오는 경우는 제외하고 3분 이상 일정한 풍속(환풍장치로 불어오는 풍속)을 유지하는 경우만을 고려한

결과 풍속의 평균 최소치를 2.3 m/s, 최고치를 4.2 m/s로 결정하고 화목난로 내부로 유입되는 공기의 체적유량을 분석하였다. 원형 회전 무동력 환풍장치 환풍기의 체적유량은 풍속 2.3 m/s에서 21.34 m<sup>3</sup>/h이었으며 풍속이 증가함에 따라 유량 또한 점차적으로 증가하여 풍속 4.2 m/s에서 32.83 m<sup>3</sup>/h까지 나타났다. 동일한 풍속조건에서 제작한 시작품의 경우 체적유량이 최소치 24.07 m<sup>3</sup>/h에서 최대치 35.97 m<sup>3</sup>/h로 원형 회전 환풍기보다 최대 3.14 m<sup>3</sup>/h의 체적유량 차이를 보였으며, 풍속이 커질수록 체적유량의 차이도 커짐을 알 수 있었다.

조건에서 장작을 태우지 않은 경우보다 장작을 태운 경우에 최대 38.44 m<sup>3</sup>/h의 체적유량 차이를 보였다.

실험결과 일반적으로 가정이나 음식점에서 화목난로의 연기 배출용으로 사용되고 있는 원형 회전 무동력 환풍기에 비해 역풍방지를 위해 제작한 시작품의 체적유량이 측정풍속 전 구간에서 많음을 알 수 있었다. 본 실험결과 이외에도 시작품의 회전부에 대한 풍향 추종성능과 방수테스트 결과 등은 원형 환풍기와 성능을 비교할 수 없는 자료로 판단되어 생략하였다.



Fig. 6 Trial product for experiment

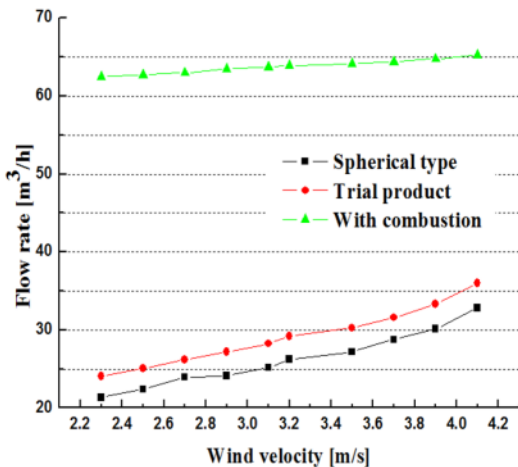


Fig. 7 Trial product for experiment

또한 제작한 시작품을 환풍기로 장착한 후 화목난로에 장작을 태우면서 풍속에 대한 유량을 계측하여 Fig. 7에 나타내었다. 동일한 풍속

## 5. 결론

본 연구에서는 환풍기에 사용되는 에너지를 절약하고 화재위험을 줄임과 동시에 사용하기 편리한 익형 무동력 환풍장치를 개발하였다. 바람이 불어오는 방향으로 일정한 위치를 유지할 수 있도록 방향조정기를 설계하고, 기존에 사용되고 있는 환풍덕트에 적용 가능하도록 덕트 삽입부를 추가적으로 설계하였다. STAR-CCM+를 이용하여 환풍장치 주위의 유동장 특성을 해석하였으며, 시작품을 만들어 성능을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 제안된 환풍장치는 화목난로의 연통에 삽입되는 지지부와 바람과 같은 방향을 유지할 수 있도록 설계된 회전부로 나누어 서로 점접촉에 의해 연결되도록 설계한 새로운 형태의 환풍장치이다.

2) 환풍장치의 형태를 비행기의 날개 단면모양인 익형과 유사하게 설계하였으나 시뮬레이션 결과 이러한 형상은 화목난로의 내부 발생연기 배출에 도움을 주는 압력강화와 관계가 거의 없음을 알 수 있었다.

3) 시작품에 대한 실험 결과 원형 회전 환풍기에 비해 측정풍속 전 구간에서 체적유량이 많음을 알 수 있었다.

4) 따라서 제작한 익형 무동력 환풍장치를 화목난로의 연소가스 배출용으로 사용한다면 화재위험을 줄이고 환풍기에 사용되는 에너지를 절약할 수 있을 것으로 기대된다.

## 후 기

이 논문은 2015학년도 제주대학교 학술진흥연구비 지원사업에 의하여 연구되었음.

## References

1. J. S. Lee, 2009, "Second-Generation Biofuel Technology Development Status and Prospects", Biotech Information Portal, Technical Report 2009-11, pp. 1-11.
2. A. Eisenraut, 2010, "Sustainable Production of Second-Generation Biofuels", IEA Information Paper.
3. B. I. Ahn, C. H. Kim, J. Y. Lee, S. W. Shim, H. S. Jo, G. S. Lee and J. Y. Lee, 2012, "Analysis on the Trend of the Utilization of Woody Biomass", Journal of Korea TAPPI, Vol. 44, No. 4, pp. 32-42.
4. J. G. Part, G. S. Jang, Y. D. Jung and Y. H. Jang, 2010, "Design of Multipurpose Ventilator for a Vehicle Using Air-Multiplier", Proceedings of KSPE 2010 Spring Conference, pp. 1131-1132.
5. Y. U. Park, H. G. Jeong, J. H. Cho, J. Y. So, D. H. Jung and D. K. Kim, 2013, "Development of Single-Phase Brushless DC Motor with Outer Rotor for Ventilation Fan", Journal of KIIEE, Vol. 28, No. 8, pp. 35-41.
6. Jejunews, <http://www.jejunews.com/news/article-View.html>, Accessed February 03, 2015.
7. E. P. Lee, 2007, "The Cause of Fire and Prevention Plan for Heating Appliances", Expert Column, Risk Management, Samsung, pp. 26-35.
8. B. S. Kim, C. N. Kang and J. H. Jeong, 2014, "A Study on High Efficiency Dryer for Food Waste", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 18, No. 6, pp. 153-158.