

자연환기 벤틸레이터의 댐퍼 형태별 환기량 조절능력 평가

김태형^{1†} · 하현철² · 박승철³

¹창원대학교 환경공학과 · ²벤텍 · ³대우조선해양(주)

Evaluation of Airflow Control Capability of Natural Ventilators with Various Dampers

Tae-Hyeung Kim^{1†} · Hyun-Chul Ha² · Seung-Chul Park³

¹Department of Environmental Engineering Changwon National University

²VENTECH Corp

³Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd.

Natural ventilation technique could be the substitute for or the complement to the local exhaust ventilation system in the sense of protecting work environment. Moreover, it has many strong points ; almost no mechanical parts, no energy use and no noise. If applied appropriately, it could have the very high ventilation rate and save a lot of energy expense. But, it depends on the outdoor environment, especially temperature and wind speed/direction. Predicting the capacity of natural ventilation is not an easy job because it comes from both buoyancy and wind effect. Another problem is too much flow through the ventilator especially in winter time due to too much difference between indoor and outdoor temperature. Thus some ventilators in industries are sealed by door or plastic sheet, resulting in bad work environment. Various types of dampers are used to control the flow rate through ventilators. The capabilities of flow control

by damper has not been estimated. In addition, it was not tested whether the damper could obstruct the flow through ventilator when fully opened. To answer these questions, 4 types of dampers were tested by using computational fluid dynamics. 10 different configurations includes no damper, full open and half open. Flow rates were estimated and airflow fields were analysed to clarify the before-mentioned questions. The dual type damper was the best choice for controlling the capability of ventilator. In addition, the upward grill type damper was the best for not obstructing the air flow when fully opened.

Key Words : natural ventilation, gravity ventilator, computational fluid dynamics, damper, flow control capability

I . 서론

자연환기는 동력을 사용하지 않고 바람에 의한 풍력과 실내 · 외 온도차에 의한 부력을 이용하여 작업장 내부 유해물질을 환기시키거나 작업장 내부 온 · 습도를 조절한다

(ACGIH, 2004; 하현철, 2002). 과도한 에너지 비용과 소음문제가 발생하는 국소배기와는 달리 송풍기를 사용하지 않기 때문에 에너지 비용이 없고 소음문제가 발생되지 않는 장점이 있지만, 외부 기상조건과 작업장 내부 조건에 의해 환기량이 크게 변하기 때문에 작업환경을 일정하게 유지시킬 수

접수일 : 2006년 8월 9일, 채택일 : 2006년 11월 29일

† 교신저자 : 김태형(경남 창원시 사림동 창원대학교 환경공학과,

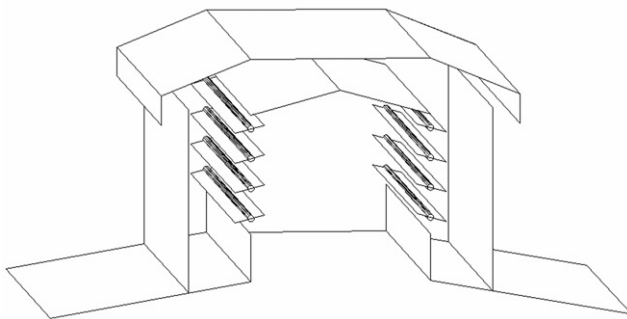
Tel: 055-279-7565, Fax: 055-281-3011, E-mail: thkim@sarim.changwon.ac.kr)

없는 단점이 있다(ACGIH, 2004). 이러한 단점을 극복하고 효율적인 자연환기력을 유지하기 위해서는 풍향·풍속, 작업장 내·외부 온도차, 그리고 환기량 조절을 위한 댐퍼 등을 고려한 자연환기 전략을 수립해야 한다(Boulard et al., 1998). 최근에는 이러한 인자들을 복합적으로 고려하여 벤틸레이터(ventilator)를 이용한 자연환기량 증가 방안이 연구되고 있다(하현철 등, 2002(a); 하현철 등, 2002(b); 하현철 등, 2002(c)).

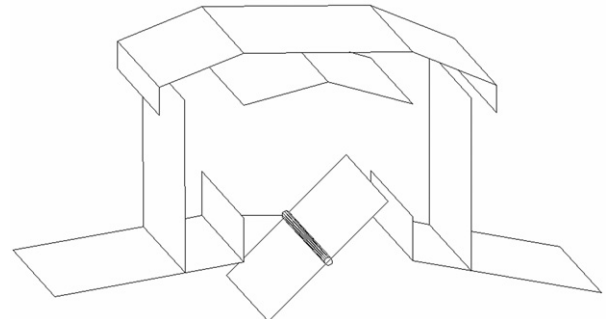
공장 내부에 열원이 있는 경우에 벤틸레이터를 이용한 자연환기가 가장 일반적으로 사용되는 환기 방법이다. 열원이 있는 공장에 자연환기를 적용하는 목적은 여름철 고온의 열기를 원활하게 배출시켜 냉방비를 절약함과 동시에 오염물

질을 배출시키고, 겨울철에는 적정 유량으로 고온의 열기를 배출시켜 작업장 내부 온도와 작업환경을 적절하게 유지하는데 목적이 있다.

하지만, 실내외 온도차가 클수록 환기력이 증가되는 자연환기 벤틸레이터의 특성상(하현철 등, 2002(a)), 많은 배기유량이 필요한 여름철에는 실내외 온도차가 크지 않아 환기량이 부족하거나, 배기유량 조정이 필요한 겨울철에 높은 실내외 온도차에 의한 과도한 환기력이 발생되어 필요 이상으로 환기를 시켜 막대한 난방비가 소요되는 경우가 있다. 이렇게 겨울철에 적정 환기량을 유지시키지 못하면 출입문이나 창문으로 차가운 외기가 유입되어 추위문제가 발생하기 때문에, 실내 온도를 적정하게 유지시키기 위해서 자연환

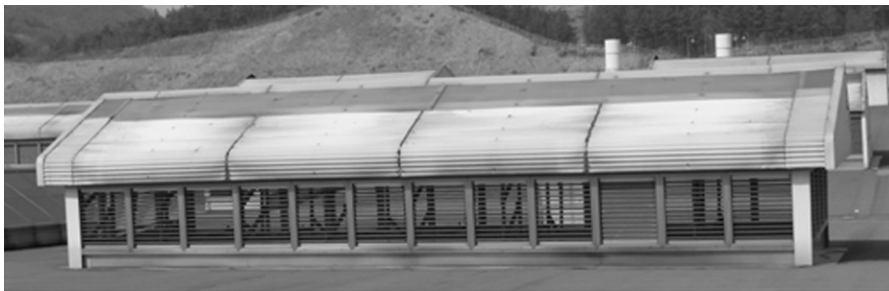


(a) grill type damper



(b) butterfly type damper

Fig. 1. Schematic diagrams of grill and butterfly type damper.



(a) full opened grill damper during summer



(b) full closed grill damper during winter

Fig. 2. Seasonal operating conditions of grill damper.

기 벤틸레이터 내부에 다양한 형태의 유량 조절용 댐퍼를 설치하고 있다. 자연환기 벤틸레이터의 배기 유량을 조절하기 위해 설치되는 댐퍼는 Fig. 1과 같이 그릴(grill)형과 버터플라이(butterfly)형이 일반적이다.

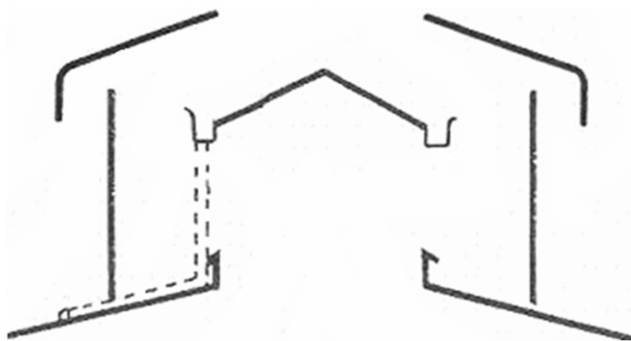
그릴형은 유량 조절의 목적도 있지만, 외부에서 비가 유입되는 것을 방지하기 위한 목적도 병행 하고 있다. 이에 반해 버터플라이형 댐퍼는 유량 조절용으로 설치되는 것이 일반적이다.

Fig. 2는 타이어 공장 지붕에 그릴형 댐퍼가 설치된 창문형 자연환기 벤틸레이터 모습인데, 여름철에는 그릴을 100% 개방하고 겨울철에는 완전 밀폐하여 사용 중에 있다. 이 공장에서는 현재 설치된 그릴형 댐퍼의 유량 조절이 원활하게 이루어지지 않아 겨울철에 댐퍼를 완전히 밀폐한 채로 사용하고 있어, 작업장 내부의 작업환경이 급격하게 악화되는 원인이 되고 있다.

또한 버터플라이형 댐퍼도 많은 공장에서 설치되고 있지만, 환기량 조절 능력 및 특성을 파악하지 못해 효율적으로 사용하지 못하는 경우가 많다. 기존 연구에서는 자연환기 벤틸레이터의 환기 효율을 증가시키는데 대부분 관심이 있었는데, 실제 계절적인 특성에 따라 자연환기 벤틸레이터의 유량을 적절하게 조절하지 못할 경우에는 자연환기를 포기하고 강제환기를 추가 설치하는 경우가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 적절하게 계절별로 유량조절이 가능한 댐퍼를 선정하는 것이 무엇보다도 중요하지만, 현재 댐퍼 형태에 따른 환기 특성을 평가한 자료는 전무한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 다양한 형태의 유량 조절용 댐퍼의 환기효율을 평가하여 여름철에 환기량 감소가 없고 겨울철에 환기량 조절이 원활한 댐퍼 형태를 선정하고자 한다.

II. 재료 및 방법



(a) Schematic diagram of gravity ventilator



(b) Gravity ventilator installed on the top of industrial building

Fig. 3. Gravity ventilator type for this study (Sungsan engineering, 2004).

1. 자연환기 벤틸레이터 및 댐퍼 선정

(1) 자연환기 벤틸레이터 선정

댐퍼 형태별 자연환기 벤틸레이터 환기량 조절능력 평가를 위해 최근 국내에서 많이 적용되고 있는 벤틸레이터를 선정하였다. 이 벤틸레이터는 벤틸레이터 내부 구조가 간단하기 때문에 하현철 등(2002(b))의 연구에서 제시된 일반형 벤틸레이터보다 환기량이 우수한 것으로 알려져 있어 강한 열원이 존재하는 용해공정 등에 많이 적용되고 있다(Fig. 3).

(2) 댐퍼 선정

본 연구에서는 댐퍼 설치에 따른 유량 변화 및 댐퍼의 유량 조절 능력을 평가하기 위해 가장 널리 사용되기도 하며 효율이 좋을 것으로 판단되는 총 4가지 댐퍼를 선정하였다. Fig. 4는 댐퍼 개방 면적을 조정하면서 유량을 평가한 9가지 댐퍼를 개략적인 그림으로 나타낸 것이다. (a)는 댐퍼가 설치되지 않은 자연환기 벤틸레이터 모습이다. (b)~(f)는 버터플라이(butterfly)형 댐퍼, (g)~(j)는 그릴(grill)형 댐퍼의 모습이다. (b)~(d)와 같은 싱글(single) 버터플라이형 댐퍼는 벤틸레이터 목 부분에 하나의 판형태로 댐퍼가 설치되어 있는 것이 특징이다. 환기량이 많이 필요한 경우에는 댐퍼를 수직으로 유지하여 벤틸레이터 목 개구면적을 가능한 넓혀주고, 겨울철이나 환기량 조절이 필요한 경우에는 댐퍼 각도를 적절하게 조절하여 환기량을 변화시킨다. 환기량은 외기 조건에 따라 영향을 많이 받기 때문에(하현철 등, 2002(a)) 싱글형 버터플라이 댐퍼의 회전방향과 외기 바람 방향에 따라 환기량 차이가 발생할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 (c)와 (d)처럼 바람이 오른쪽에서 왼쪽으로 불 때 댐퍼 회전 방향에 따른 환기량 평가도 실시하였다. (e)와 (f)는 듀얼(dual)형 버터플라이 댐퍼인데, 벤틸레이터 목 너비가 넓은 경우에 적용된다. (e)는 완전히 개방된 상태이고 (f)는 환기량 조절을 위

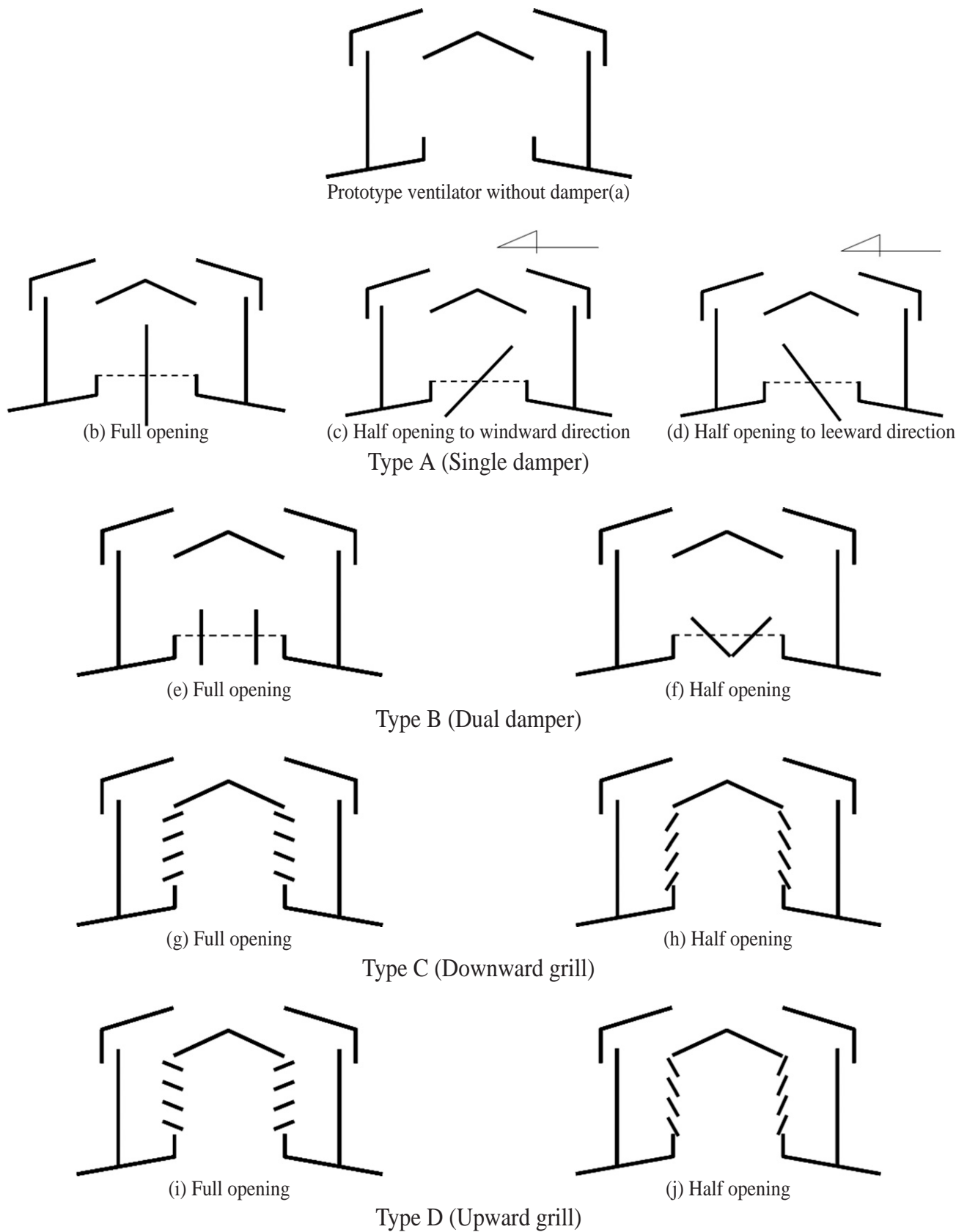


Fig. 4. Schematic diagrams of various damper types.

해 댐퍼 부분을 50 % 닫은 형태이다. 그릴형 댐퍼도 그릴 방향이 하방형(g, h)과 상방형(i, j)로 나누어지는데 하방형은 비 유입 방지효과가 우수하고, 상방형은 환기량이 많은 것으로 알려져 있다. 기존의 루버형 댐퍼는 대부분 하방형으로 설치하는 것이 일반적이었는데 최근에는 상방형 그릴의 설치가 증가하고 있는 추세이다.

2. 수치해석 방법

(1) 건물 및 제어체적

Fig. 5는 본 연구에 사용된 건물 및 제어체적으로 하현철 등 (2002(b))이 벤틸레이터 형태에 따른 환기량을 평가한 연구에 적용한 것과 동일하게 설정하였다. 건물 체적은 50 m×25 m×9.5 m (L×W×H)이고, 해석을 위한 제어체적은 100 m×75 m×25 m (L×W×H)이다. 개구면인 창문의 면적은 건축법에서 채광과 환기를 위해 바닥면적 1/20 이상으로 되어있기 때문에(건축법시행령 제 51조 2항) 바닥면적(50 m×25 m)의 1/20인 62.5 m²로 설정하였고, 설치위치는 지상으로 부터 1.5 m 지점으로 하였다.

(2) 경계조건

댐퍼는 열원이 다수 분포하여 자연환기력이 강한 작업장에서 환기량 조절을 위해 사용되기 때문에 기존 연구를 통해

자연환기력을 최대화 할 수 있는 조건하에서 댐퍼의 환기량 조절능력을 평가하였다. 하현철 등(2002(a))의 연구에서 실내외 온도차가 클수록, 풍향은 건물과 맞은편에서 불어오고, 풍속이 높을수록 환기량이 많아진다는 결론을 얻었는데, 본 연구에서도 이를 고려하여 경계조건을 설정하였다. 실내외 온도차를 설정하기 위해 작업장 바닥에 열원을 두었고, 바닥면과 외기 온도 차이는 30 ℃로 설정하였다. 풍향은 건물을 중심으로 건물의 맞은편에서 불어오는 90°, 풍속은 국내 연간 평균풍속인 2 m/s로 설정하였다. Table 1에 열원 존재 시 댐퍼 형태별 환기량 조절능력 평가를 위해 사용된 수치해석 조건을 정리한 것이다.

수치해석 경계조건(Boundary condition)은 바람이 불어오는 풍상 지역을 Inlet으로 두고 속도경계조건 (fixed velocity condition)을 주어 풍속을 변화시켰고 풍하 지역은 Outlet으로 두고 압력경계조건 (fixed pressure condition)을 주어 미지 변수들의 변화량을 고려하지 않았다(Fig. 6).

(3) 수치해석 방법

벤틸레이터를 통해 유·출입되는 기류를 정확하게 예측하기 위해서는 벤틸레이터 부분에 대한 정확한 경계조건이 필요하다. 벤틸레이터에서 발생하는 압력손실은 모형실험으로 측정하는 방법도 있지만(명현국, 1997), 본 연구에서는 벤틸레이터의 기류가 흐르는 부분에 최소 4개 이상의 격자를 생성시켜 급격한 기류 변화에 의해 발생할 수 있는 오차를 최

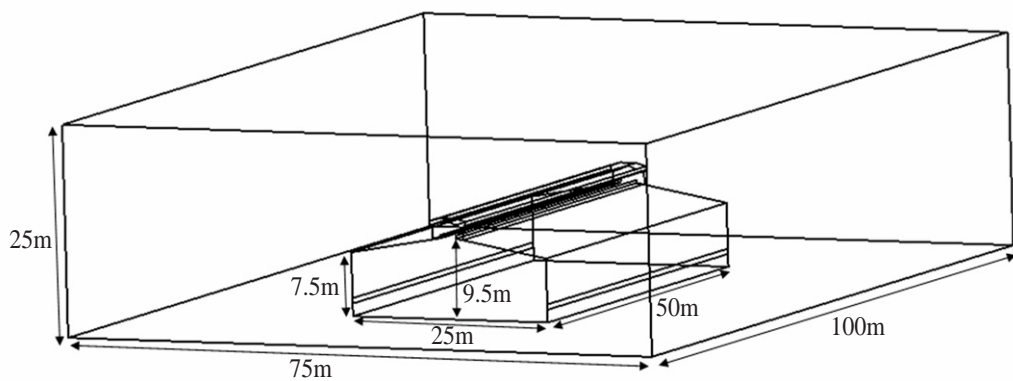


Fig. 5. Control volume and model building.

Table 1. Numerical variables used in this study

Variables	Conditions
Temperature difference between building floor and outdoor air (℃)	30
Wind speed (m/s)	2
Wind direction (degree)	90

소화하도록 한 후 직접 모델링하는 방법을 선택하였다. 바닥 전체를 열원으로 가정한 경우 댐퍼 형태인 Type A와 B는 45만여 개, 그릴 형태인 Type C와 D는 55만여 개의 격자를 생성시켜 수치해석을 실시하였다(Fig. 7).

본 연구에서는 상용 소프트웨어인 AIRPAK (Ver. 2.1)을 사용하였고, 이산화 방법으로 유한체적법 (finite-volume method)을 사용하였다. 유한체적법은 적분 후에 이산화하기 때문에 항상 그 미소 영역내의 운동량 등의 출입을 고려하게 되어 보존 법칙을 확실하게 만족시키는 이산화율을 얻을 수 있는 장점이 있다. 모든 수치 해석은 상류 차분 도식(upwind differencing scheme)을 이용하여 수행하였다. 압력장을 구하기 위해 연속 방정식과 운동량 방정식을 조합시키는 방법으로 SIMPLE (Semi-Implicit Method Pressure-Linked Equations) 알고리즘을 사용하였다(명현국, 1997; 이재현, 1997).

대수방정식의 반복해를 얻는 과정에서 반복과 반복 사이에 종속변수값의 변화를 느리게 하거나 빠르게 하는 것이 필

요한 경우가 있다. 변수들의 변화를 느리게 할 경우를 하향 이완이라 한다. 이 방법은 비선형성이 강한 문제를 반복 계산에 의하여 푸는 경우 발산을 막기 위하여 종종 사용된다. 수치해석에 필요한 기본 방정식이 비선형이므로 반복에 의한 해의 수렴이 필요하다. 반복 계산 시 종속변수들의 수렴 정도를 점검하기 위하여 잉여치 (Residual : R), R값을 체크하면서 잉여치가 10^{-3} 이하에 도달하면 수렴된 것으로 간주하였다.

3. 환기효율 평가방법

댐퍼 형태에 따른 환기량을 평가하기 위해 모델링을 실시한 후 벤틸레이터 목 부분에서 배기 유량을 측정하였다. Fig. 8과 같이 벤틸레이터 목(neck)구간에서 가로 0.2 m, 세로 1 m 간격으로 총 500지점에서 Y방향 유속을 샘플링하여 벤틸레

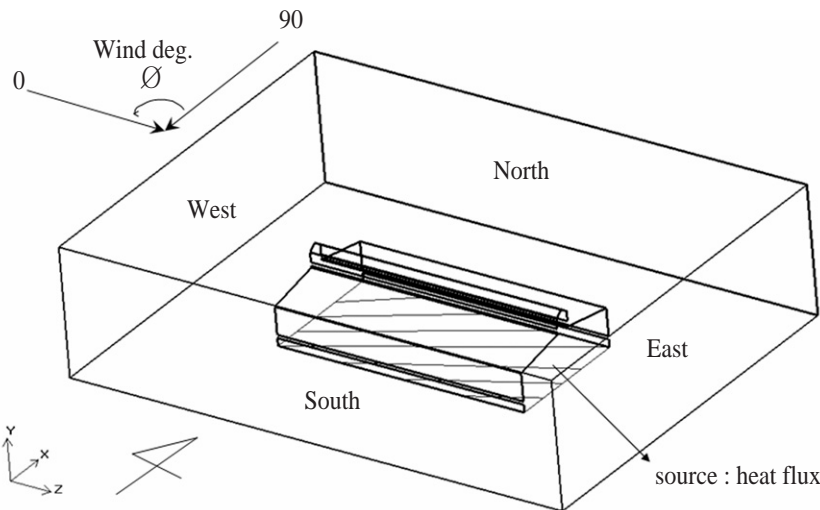
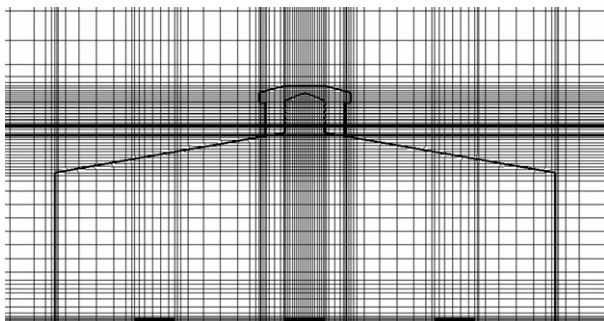
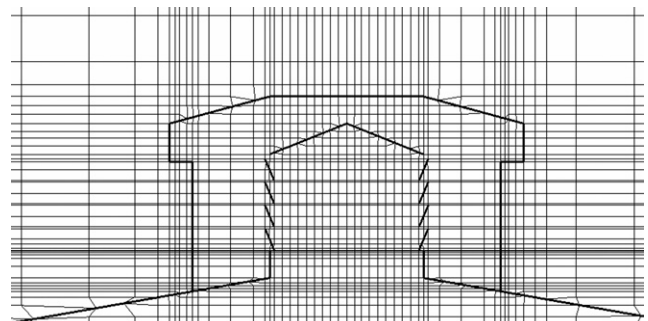


Fig. 6. Boundary conditions for numerical simulations.



(a) cross-sectional domain of building



(b) domain of ventilator neck

Fig. 7. Mesh generation scheme (Type D).

이터 단위면적당 환기량($\text{m}^3/\text{min}/\text{m}^2$)으로 나타내었다.

III. 결과 및 고찰

1. 댐퍼 설치 시 환기량 변화

Table 2와 Fig. 9는 실내의 온도차 30°C , 풍향 90° , 풍속 2 m/s 일 때 댐퍼 형태별 환기량 산정결과를 정리한 것이다. Fig. 4에서 댐퍼가 50% 개방된 조건에서 Type A는 바람 방향에 따라 2가지 형태를 제시하였듯이, 연구결과에서도 Type A의 댐퍼 50% 개방 조건에서는 바람방향에 따라 (c) 풍하방향으로 50% 개방 조건과 (d) 풍상방향 50% 개방 조건으로 구분하여 정리하였다.

Table 2와 Fig. 9에서 알 수 있듯이 댐퍼가 설치되지 않은 벤틸레이터(prototype)의 환기량은 벤틸레이터 단위면적당 $19.4\text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ 으로 예측되었다. Type A~Type C 댐퍼의 경우에는 댐퍼를 설치하지 않았을 때 보다 환기량이 줄어드는 것으로 나타났다. 하지만, Type D의 경우에는 댐퍼를 설치한 후 오히려 환기량이 증가하는 것으로 예측되었다. 댐퍼를 100% 열었을 때와 벤틸레이터만 설치했을 때 유량을 비교해보면, Type A와 Type C는 유량이 크게 감소하는데 반해 Type B와 Type D는 유량이 크게 감소하지 않는 것으로 예측되었다. Table 3은 댐퍼가 설치되지 않았을 때 환기량을 기준으로 하여 댐퍼 설치 후 댐퍼를 100% 열었을 때 환기량 변화를 백분율로 나타낸 것이다. 댐퍼 Type A와 Type B는 약 20% 이상의 유량 감소가 발생하였고, 댐퍼 Type B는 거의 유량 감소가 발생하지 않았다. 하지만, 댐퍼 Type D는 댐퍼 설치 후 오히려 20% 정도 환기량이 증가하는 것으로 나타났다.

유량 조정용 댐퍼 설치시 환기량이 감소하여 여름철 열배

기에 문제가 발생할 수 있기 때문에 환기량 감소를 최소화할 수 있는 댐퍼 선택이 필수적인데, 댐퍼 형태에 따른 유량 변화를 예측해 본 결과 Type B(dual damper)와 Type D(upward grill) 형태의 댐퍼가 가장 적합한 것으로 나타났다.

2. 댐퍼 형태에 따른 유량 조절 능력

Table 4는 댐퍼 형태에 따른 환기량 조절 능력을 정리한 것이다. 댐퍼를 100% 열었을 때와 50%만 열었을 때 환기량 변화를 백분율로 정리하였다. Table 4에서 살펴보면, 풍상 방향으로 댐퍼가 개방된 Type A(c)와 Type D는 댐퍼를 100% 열었을 때 보다 댐퍼 50% 개방 시에 환기량이 오히려 증가하는 것을 알 수 있다. 특히, 풍상 방향으로 댐퍼를 개방한 Type A(c)의 경우에는 환기량이 24% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 이에 반해, 풍하 방향으로 댐퍼를 개방한 Type A(d)와 Type B 그리고, Type C는 댐퍼를 닫았을 때 유량이 감소하는 것으로 나타났다. 특히, Type B의 경우에는 34% 정도 환기량이 감소하여 댐퍼를 이용한 환기량 조절이 가장 용이한 형태임을 알 수 있다.

자연환기 벤틸레이터 설치 시 겨울철 과도한 배기유량으로 난방비가 증가되는 것을 방지하기 위해서는 댐퍼를 이용한 유량 조절이 반드시 필요하다. 댐퍼 형태에 따른 유량 조절 능력을 평가한 결과 Type B가 가장 적합한 형태의 댐퍼임을 알 수 있었다. 특히, Type A 댐퍼는 외기 바람 방향에 따라 환기량의 변화가 매우 크기 때문에, 유량을 조절해야 하는 공장에는 Type A 댐퍼가 적합하지 않은 것으로 판단된다. 또한, Type D는 댐퍼 개방에 따른 유량 조절 능력이 거의 없기 때문에 사계절 환기량을 많이 필요로 한 곳에 적합한 것으로 판단된다.

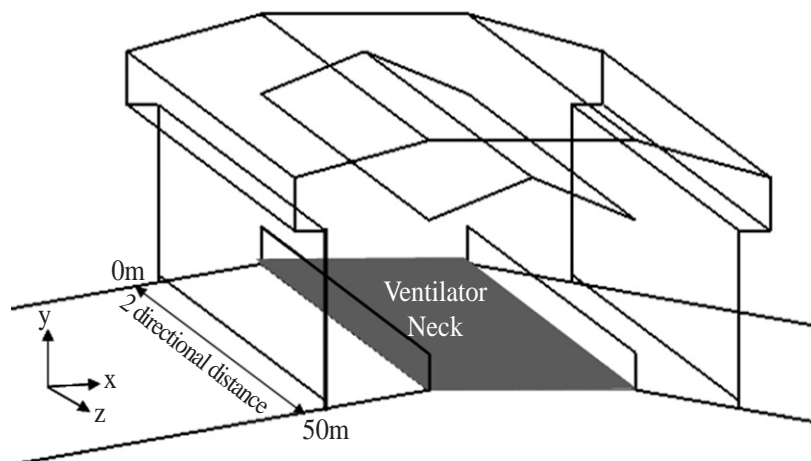


Fig. 8. Y direction velocity sampling points for flow rate calculation.

3. 댐퍼 형태에 따른 기류 예측 결과

각 댐퍼 형태별로 환기량 변화 원인을 파악하기 위해 Z(벤틸레이터 길이방향) 방향 25 m 단면(건물 중앙 단면)에서의 기류 흐름을 살펴보았다.

① Type A 댐퍼

Type A 댐퍼의 경우에 댐퍼 설치 시 환기량 감소가 크고, 댐퍼와 외기 방향에 따라 환기량 변화가 매우 큰 것으로 나타났다. 특히, Table 4에서 살펴보면 댐퍼 개방 방향과 외기 방향에 따라 30 % 이상의 유량 변동이 생기는 것을 알 수 있다. Fig. 10은 댐퍼 방향에 따른 벤틸레이터 내부 기류 흐름을 나타낸 것이다. 풍상방향 쪽(c)으로 댐퍼를 조정할 경우의 배기 유량이 댐퍼를 100 % 개방했을 때 보다 증가한 원인은

Table 2. Estimated ventilation rates (m³/min/m²) with various damper types ($\angle t=30^{\circ}$, wind angle 90° , wind speed 2m/s)

Damper opening rate	Damper types opening						
	Prototype -without damper (a)	Type A			Type B	Type C	Type D
		(b) Full opening	(c) Half opening to windward direction	(d) Half opening to leeward direction			
50%	19.4	—	18.9	13.6	12.7	14.1	23.7
100%		15.2	15.2	15.2	19.1	14.7	23.2

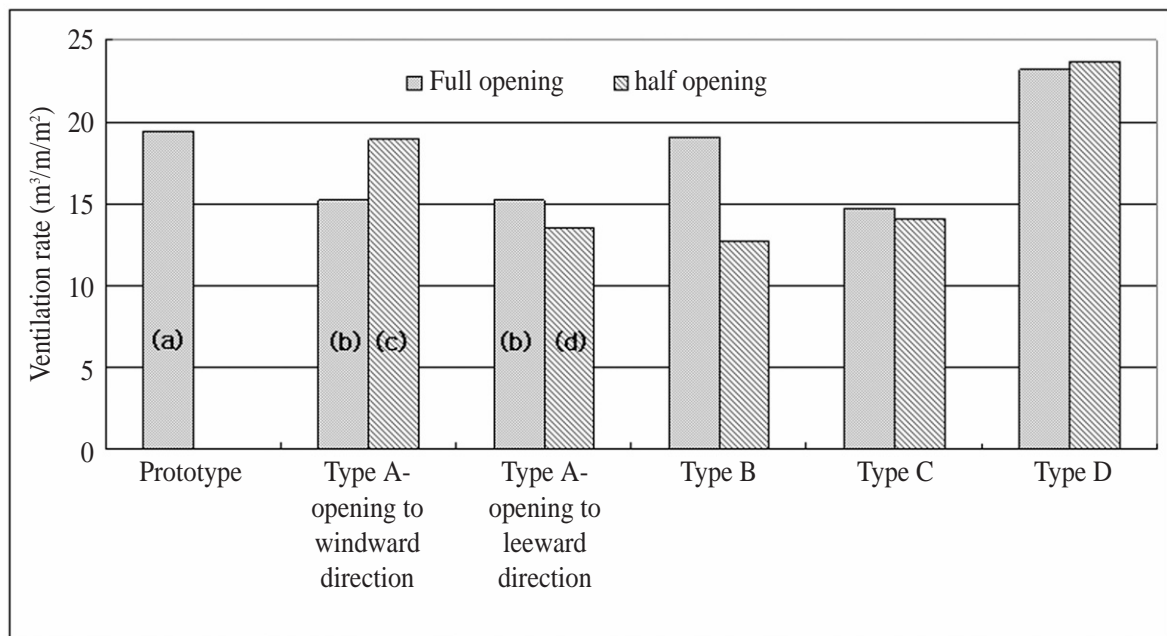


Fig. 9. Ventilation rates with various damper types and opening rates.

Table 3. Flow rate variations compared with prototype ventilator

Damper types	Estimated ventilation rates of full opening(m ³ /min/m ²)	Percentage flow rates compared with prototype ventilator(%)
Prototype	19.4	0
Type A	15.2	78
Type B	19.1	98
Type C	14.7	76
Type D	23.2	120

벤틸레이터 내부 기류를 해석함으로써 쉽게 알 수 있다. 댐퍼가 안내 날개 역할을 해서 작업장 내부 기류를 벤틸레이터 오른쪽 구석으로 유도하고(①), 벤틸레이터 오른쪽에서 유입된 외기와 함께 벤틸레이터 지붕면을 따라 배출되는 것을 볼 수 있다(②). 즉, 벤틸레이터 외부 기류가 작업장 내부 기류를 쉽게 배출 시킬 수 있도록 댐퍼가 안내 날개 역할을 하기 때문에 배기 유량이 증가하는 것으로 나타났다.

이에 반해, 댐퍼 개방 방향인 풍하 방향(d)으로 하면 환기량이 급격하게 감소하는데 그 원인은 댐퍼가 작업장 내부 기류가 배출되는 것을 방해하기 때문이다. 벤틸레이터 내부 기류를 살펴보면, 댐퍼를 따라 작업장 내부 공기가 벤틸레이터 왼쪽 구석으로 유도되는데(③), 이 기류가 벤틸레이터 외부로 배출되기 위해서는 오른쪽으로 방향전환을 해서 벤틸레이터 상부로 배출되어야 한다. 하지만, 벤틸레이터 내부로 유입된 외기와 작업장 내부에서 상승된 기류가 벤틸레이터 상부에서 부딪히면서(④), 작업장 내부 기류가 벤틸레이터 외부로 배출되지 못하는 것을 알 수 있다.

이상의 기류 흐름에서 보았듯이, Type A 댐퍼는 댐퍼 회전 방향에 따라 벤틸레이터 내부 기류에 큰 차이가 발생하고, 결과적으로 환기량 차이로 이어지게 된다. 따라서, Type A 댐퍼는 공장의 주풍이 항상 일정하거나, 계절별 주풍 방향이 뚜렷하게 구분되는 공장에 적용하면 여름철 환기량 증가와 겨울철 환기량 조절 역할을 모두 수행할 수 있다. 하지만, 우리나라와 같이 계절별 주풍이 있더라도 일중 풍향 변화가 심한 곳에서는 적합하지 않은 댐퍼 형태라고 할 수 있다.

② Type B 댐퍼

Type B 댐퍼는 댐퍼를 100 % 개방했을 경우에는 유량 감소가 거의 발생하지 않고, 댐퍼를 50 % 개방했을 때 유량 조절이 아주 잘 되는 형태의 벤틸레이터로 나타났다. Fig. 11은 댐퍼 개방 면적에 따른 Type B 댐퍼가 설치된 벤틸레이터 내부 기류 흐름을 나타낸 것이다. 댐퍼를 100 % 열었을 경우에는 작업장 내부 기류를 유도하여 벤틸레이터 상부를 통해 원활하게 배출되는 것을 알 수 있다. 댐퍼를 50 %만 개방한 경우

에는 작업장 내부에서 상승된 기류가 벤틸레이터 양 끝 쪽으로 이동 하고, Type A에서 나타난 현상과 동일하게 벤틸레이터 오른 쪽으로 이동한 공기는 외기를 따라서 원활하게 배출되고, 벤틸레이터 왼쪽으로 이동한 기류는 잘 배출되지 못하는 것으로 나타났다. 댐퍼를 50%만 개방한 경우에는 벤틸레이터 목 부분의 면적이 줄고 벤틸레이터 왼쪽으로 이동한 공기가 원활하게 배출되지 못하면서 전체적인 환기량이 감소하는 것으로 나타났다.

Type B 댐퍼는 환기량 감소가 거의 없으면서 필요에 따라 풍향에 관계없이 환기량 조절이 잘 되는 형태로 냉 · 난방비 절감을 목적으로 할 때 가장 적합한 댐퍼로 판단된다.

③ Type C 댐퍼

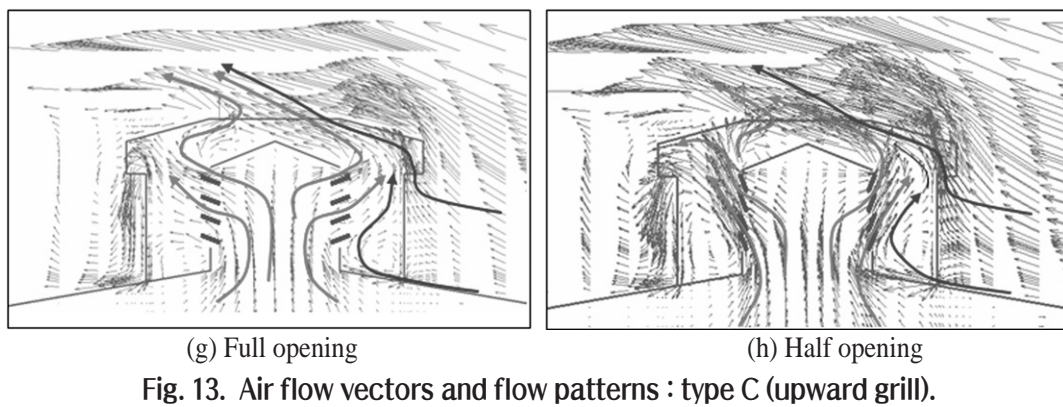
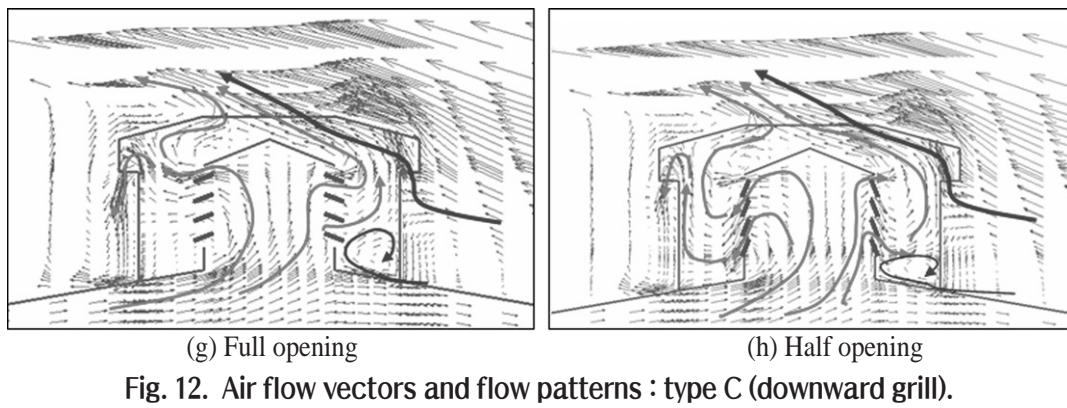
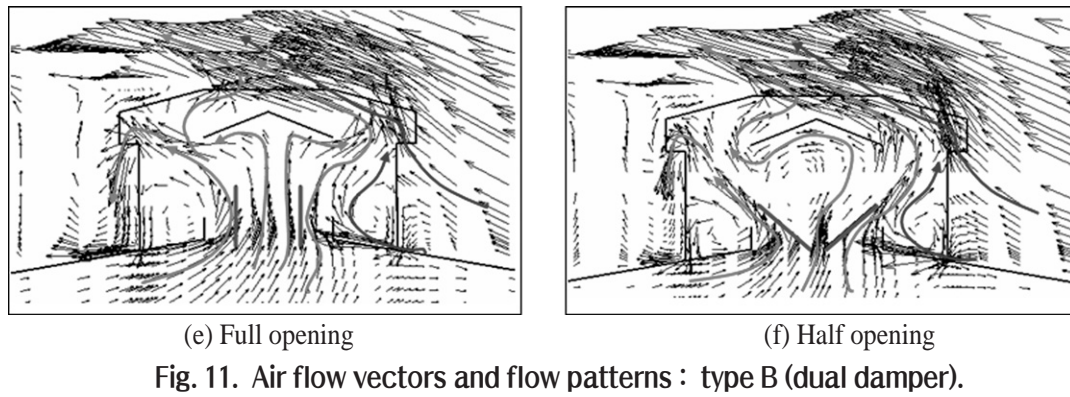
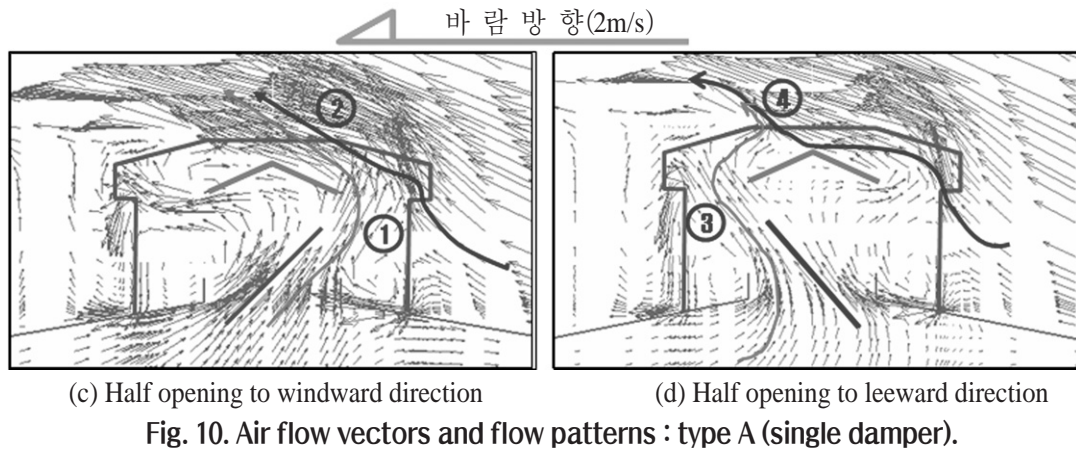
Type C는 벤틸레이터 내부 지붕과 벤틸레이터 목(neck) 사이에 하향 그릴을 설치한 형태로 Fig. 12에서보는 바와 같이 목부분을 통과한 기류가 하향 그릴을 거쳐 하부로 유도되었다가 다시 상승하여 배기되는 형태이기 때문에 그릴 통과 시 많은 압력손실이 발생되어 댐퍼 설치 후 환기량이 크게 감소하는 것을 알 수 있다. 댐퍼를 50 %만 개방할 경우에 작업장 내부에서 상승된 기류가 댐퍼를 통과하면서 약간 더 큰 와류를 형성하지만 환기량 변화는 크게 발생하지 않은 것으로 나타났다.

④ Type D 댐퍼

Type D는 그릴을 상향으로 설치한 형태인데, Fig. 13을 살펴보면 그릴 방향이 위쪽으로 향하고 있어 작업장 내부에서 상승한 기류가 그릴 댐퍼를 따라 원활하게 상승하고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 이유 때문에 상방향 그릴 댐퍼를 설치하면 댐퍼를 설치하지 않았을 때 보다 유량이 약 20 % 정도 증가한 것으로 나타났다. 댐퍼를 50 % 닫으면 그릴 사이에 통과 면적은 줄어들지만, 그릴 방향이 벤틸레이터 상부 쪽으로 향하면서 작업장 내부 기류가 상승 기류를 형성하는 것을 도와주기 때문에 환기량이 오히려 약간 증가하는 것으로 나타났다.

Table 4. Ventilation rates control capability by damper types

Damper types	Estimated ventilation rates (m ³ /min/m ²)	Flow rate variation (%)	
	Full opening①	((②-①)/①) × 100 Half opening②	
Type A(c) - opening to windward direction	15.2	18.9	24
Type A(d) - opening to leeward direction	15.2	13.6	-11
Type B	19.1	12.7	-34
Type C	14.7	14.1	-4
Type D	23.2	23.7	2



즉, Type D 댐퍼는 환기량을 많이 필요로 한 곳에 적합한 형태이고, 계절적으로 환기량을 조절해야 하는 곳에는 적합하지 않은 형태이다. 또, 그릴 방향이 상부로 향하고 있기 때문에 비가 유입될 가능성이 있어 그에 대한 대비가 필요한 형태이다.

IV. 결론

자연환기 벤틸레이터의 환기량 조절을 위해 일반적으로 설치되는 4가지 형태의 댐퍼에 대해서 환기량 조절 능력을 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 예측하였다. 댐퍼 개폐에 따른 조건 등 총 10개 경우에 대한 모델링 실시 결과는 다음과 같다.

(1) Type A

댐퍼를 완전히 개방하였을 때에는 댐퍼를 설치하지 않았을 때와 비교했을 때 환기량이 약 20 % 정도 감소하였고, 환기량 조절을 위해 댐퍼를 닫을 경우 회전방향과 외기 방향에 따라 환기량 변화가 30 % 정도로 나타났다. 특히, 풍상 방향으로 댐퍼를 회전시켜 50 %를 닫은 경우에는 댐퍼를 100 % 열었을 때와 댐퍼가 없을 때 보다 오히려 환기량이 증가하는데 반해, 풍하 방향으로 댐퍼를 회전시켜 50 % 닫은 경우에는 환기량이 급격하게 저하되었다. 댐퍼가 설치된 공장의 주풍이 변하지 않는 조건에서는 계절별로 댐퍼 개방 위치를 고정하면 환기량도 우수하고 환기량 조정 능력도 뛰어난 댐퍼 형태지만, 실제 주풍의 방향이 수시로 변하기 때문에 환기량 조정용 댐퍼로는 적합하지 않은 것으로 판단된다.

(2) Type B

버터플라이형 댐퍼를 두 개로 나누어 설치한 Type B는 완전히 개방했을 때, 댐퍼를 설치하지 않은 벤틸레이터에 비해 환기량 감소가 거의 발생하지 않고, 댐퍼를 50 % 닫았을 때 환기량이 34 % 정도 감소하는 등 댐퍼 설치에 따른 환기량 감소도 거의 없고 환기량 조절 능력도 다른 댐퍼에 비해 아주 우수한 것으로 예측되었다.

여름철과 겨울철에 환기량을 많이 조절해야 하는 공장에서는 Type B 형태의 댐퍼를 설치하는 것이 냉·난방비 절감 및 작업환경 개선을 위해 매우 유리할 것으로 판단된다.

(3) Type C

현장에서 가장 많이 설치하여 사용하는 하방형 그릴 댐퍼 형태인데, 환기량 산정 결과 댐퍼 설치 시 댐퍼가 없는 경우보다 20 % 이상 환기량이 감소하는 것으로 나타났다. 댐퍼

개방 면적에 따른 환기량 변화는 크지 않았다. 여름철 많은 환기량이 필요한 공장에는 적합하지 않은 댐퍼 형태인 것으로 판단된다.

(4) Type D

상방형 그릴 댐퍼는 댐퍼 자체가 안내날개 역할을 하여 댐퍼를 개방하였을 때나 닫았을 때 모두 댐퍼를 설치하지 않았을 때보다 환기량이 20 % 정도 증가하는 것으로 나타났다. 하지만, 댐퍼 개방에 따른 환기량 변화는 거의 없어 환기량 조절 능력은 매우 떨어지는 댐퍼 형태이다. 상방형 그릴 댐퍼는 여름철과 겨울철 모두 환기량을 많이 필요로 하는 공정에 적합한 댐퍼 형태이고, 댐퍼 구조상 비 유입이 우려되므로 그에 대한 대책이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 에너지관리공단의 에너지절약, 청정에너지 및 자원 기술개발사업과제 및 경남지역환경기술개발센터의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

REFERENCES

- 건축법시행령 제 51조 2항; 1994. 12. 23. 개정
- 명현국. 수치유체공학. 한미; 1997.(163-179쪽.)
- 성산 ENG. 제품홍보책자; 2004
- 이재현. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. 대한 교과서 주식회사; 1997.(16-17쪽.)
- 하현철. 자연환기 벤틸레이터 환기효율 평가 및 환기량 산정. 창원대학교; 2002. (1-4쪽.)
- 하현철, 정유진, 김태형. 일반형 자연환기 벤틸레이터 배기유량 산정. 한국산업위생학회지 2002(a);12(1):27-34
- 하현철, 김태형. 자연환기 벤틸레이터 형태에 따른 환기 특성. 한국산업위생학회지 2002(b);12(1):35-45
- 하현철, 김태형. 자연환기 벤틸레이터 형태에 따른 환기효율 평가. 설비공학회논문집, 2002(c);14(7):543-551
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists : Industrial Ventilation a Manual of Recommended Practice 25th Edition, 2004. p. 10:1-2
- Boulard T, Kittas C, Papadakis G, Mermier M. Pressure field and airflow at the opening of a naturally ventilated greenhouse. J Agric Engng Res. 1998; 71:93-102.