

수치해석에 의한 스플리터 부착 원심송풍기 성능특성 연구[§]

장춘만^{*†}, 최가람^{*}, 양상호^{**}

^{*} 한국건설기술연구원 설비플랜트연구실, ^{**} 삼원이앤비㈜

Performance Analysis of a Centrifugal Fan with Splitters

Choon Man Jang^{*†}, Ka Ram Choi^{*} and Sang Ho Yang^{**}

^{*} Plant Research Div., Korea Institute of Construction Tech.,

^{**} Samwon E&B

(Received April 12, 2011 ; Revised July 27, 2011 ; Accepted July 28, 2011)

Key Words : Centrifugal Fan(원심송풍기), Splitter(스플리터), Pressure(압력), Efficiency(효율), Numerical Simulation(수치해석)

초록: 본 연구에서는 생활폐기물 관로이송 설비에 사용되고 있는 원심송풍기의 성능향상을 위해 임펠러 날개 압력면과 부압면 측에 스플리터를 각각 설치하고, 스플리터의 코드길이 변화에 따른 성능특성을 삼차원 나비에-스톡스 방정식을 이용한 수치해석으로 분석하였다. 수치해석을 통한 기초연구를 바탕으로 날개 부압면측에서 발생하는 역류현상을 억제할 수 있는 스플리터의 익간설치를 고려하였으며, 주요설계 변수로는 코드길이를 설정하였다. 이를 통해 날개 부압면 측에 설치한 스플리터의 코드길이가 길어질수록 원심송풍기 압력 및 효율특성이 설계유량 조건 뿐만 아니라 유량증가에 따라 향상됨을 알 수 있었다. 설계유량 조건에서 스플리터 부착 원심송풍기에 의해 효율 및 압력은 기존대비 각각 4% 및 18% 향상되었다.

Abstract: This paper describes the performance of a centrifugal fan used for refuse collection systems according to the chord length of the splitters installed near the blade suction and pressure surface sides. The fan performance is analyzed by three-dimensional Navier–Stokes analysis and is compared to the results obtained experimentally. Throughout the numerical simulation of the fan with splitters, it is found that the reverse-flow region observed near the suction side of the blade can be reduced by installing a splitter. The fan performance is successfully improved by controlling the chord length of the splitter installed near the blade suction side. Under the designed flow condition, the efficiency and pressure of a fan with splitters increase by up to 4% and 18%, respectively, compared to the reference fan.

1. 서 론

고압력 특성을 갖는 산업용 원심송풍기는 환경 플랜트를 중심으로 사용범위가 다양하다. 쾌적한 생활환경을 위하여 신도시를 중심으로 대단위 주거단지에 도입되고 있는 생활폐기물 관로이송 설비의 핵심요소 부품으로 산업용 원심송풍기가 사용되고 있다.⁽¹⁾

생활폐기물 관로이송 설비용 원심송풍기는 장거리 이송관을 통해 쓰레기를 이송시키기 때문에 많은 운전에너지가 필요하며, 설비 시스템 전체에서 사용되는 에너지의 90 퍼센트 이상을 차지하고 있다. 시스템의 운전에너지 절감을 위해서는 원심송풍기의 효율향상과 함께 안정적인 압력특성 유지가 중요하다.

원심송풍기의 고효율 설계를 위한 주요 설계인자로는 입구가이드 베인, 임펠러 입출구각, 볼류트 케이싱의 확대각/폭 그리고 임펠러 두께분포 등이 있다.⁽²⁻⁴⁾

생활폐기물 관로이송 설비용 원심송풍기는 쓰레기 투입구와 집하장까지의 거리가 변화하기에 사

§ 이 논문은 2011년도 대한기계학회 유체공학부문 춘계 학술대회(2011. 4. 15.-16., 포항공대) 발표논문임

† Corresponding Author, jangcm@kict.re.kr

© 2011 The Korean Society of Mechanical Engineers

Table 1 Design specifications of a test fan

Name	Value
Flow Coefficient (Design Point)	0.175
Pressure Coefficient (Design Point)	1.06
Rotational Frequency of Impeller	3550 rpm
Efficiency	76.1 %
Outlet diameter of impeller	885 mm
Inlet diameter of impeller	465 mm
Blade thickness	3.2 mm
Number of blade	11 ea

Table 2 Comparisons of reference fan and new design fan having splitters

Design conditions of impeller	Reference fan	Fan having splitters
Blade Numbers	11	7
No. of Splitter 1	-	7
No. of Splitter 2	-	7

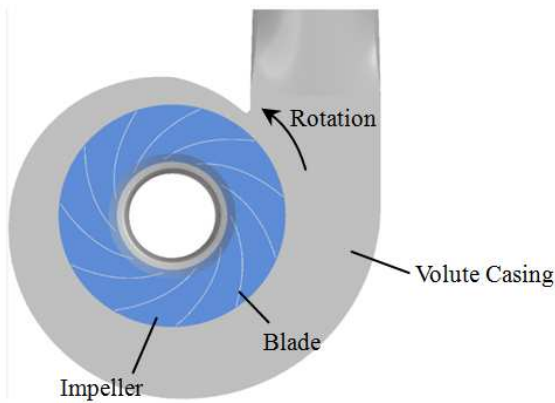
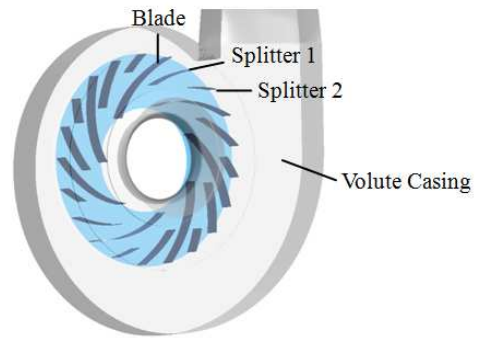
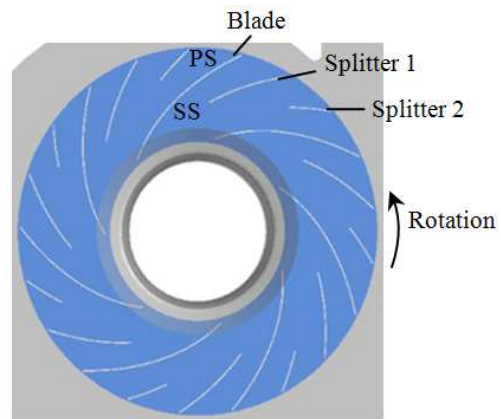


Fig. 1 Front view of a test fan



(a) Perspective view of a test fan



(b) Definition of splitters

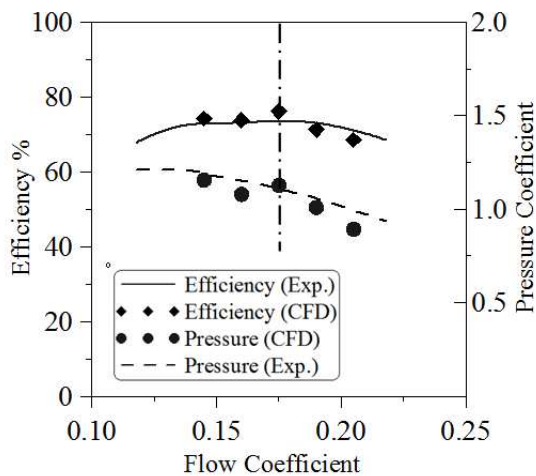
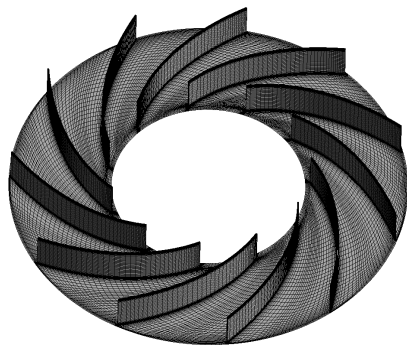


Fig. 2 Comparison of fan performance between experimental measurement and numerical simulation⁽³⁾

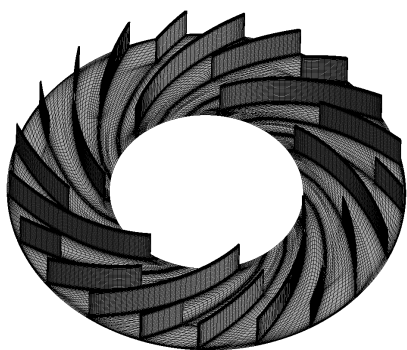
Fig. 3 Definition of splitters in an impeller

용되는 유량범위도 원심송풍기의 설계유량의 5% 범위 정도에서 변화하며 운전한다. 원심송풍기의 작동영역이 크기에 일정 유량변화에도 압력변동이 작은 임펠러 설계가 필요하다. 원심펌프⁽⁵⁾ 및 원심 압축기^(6,7) 등에서는 스플리터를 익간에 설치하여 압력특성을 향상시키는 연구가 많다.

연구에서는 원심송풍기가 일정 유량변동에서도 상대적으로 안정적인 압력특성을 갖는 임펠러



(a) Reference impeller



(b) Impeller having splitters

Fig. 4 Computational grid system for impeller

를 설계하기 위하여 임펠러에 스플리터를 설치한 원심송풍기의 성능 특성을 고찰하였다. 즉 임펠러의 날개 수는 줄이고, 익간에 두 개의 스플리터를 설치하고 수치해석을 이용하여 성능 및 내부유동장 특성을 분석하였다.

2. 원심송풍기 및 스플리터(Splitter)

2.1 원심송풍기 설계사양

본 연구에서는 생활폐기물 관로이송 설비용 원심송풍기를 대상으로 하였으며, 원심송풍기의 정면도는 Fig. 1에 나타나 있다. 본 원심송풍기는 입구 가이드베인, 임펠러 및 볼류트 케이싱으로 구성되며, 설계유량조건에서 기본 설계사양은 Table 1에 나타낸다. 설계점에서의 유량 및 압력계수는 0.175 및 1.06이며, 임펠러의 날개 수는 11매이다. 설계유량점 근방에서 측정된 원심송풍기 성능특성은 Fig. 2에 나타나 있다. 그림에서 일점쇄선의 위치는 설계유량점을 의미한다.

2.2 임펠러 스플리터 설계사양

스플리터를 부착한 원심송풍기를 설계하기 위하

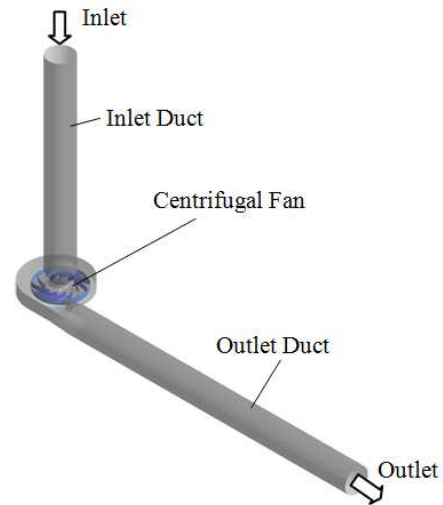


Fig. 5 Computational domain

여 임펠러 재료무게 및 제작성 등을 고려, 임펠러 날개 개수를 기존의 11매에서 7매로 줄였다. Table 2에 나타낸 것과 같이 임펠러 회전방향으로 등간격을 유지시키면서 임펠러 익간에 각각 2매의 스플리터를 설치하였다. 날개 부압면 쪽에 스플리터 1 (splitter 1)을 압력면 쪽에 스플리터 2 (splitter 2)를 각각 설치하였으며, 스플리터가 부착된 원심송풍기의 형상도는 Fig. 3에 나타나 있다. 그림에서와 같이 스플리터 1은 60퍼센트 코드를, 스플리터 2는 30퍼센트 코드를 각각 적용하였다. 스플리터 2의 경우에는 예비계산을 통하여 결정하였다.

3. 수치해석 및 경계조건

3.1 계산격자 및 해석영역

수치해석에 사용된 기존 및 스플리터 설치 임펠러부의 해석격자는 Fig. 4에 각각 나타나 있다. 볼류트 케이싱에 대해서는 격자 생성 전용 프로그램인 ICEM CFD를 이용하여 비정렬격자로 생성하였으며, 임펠러부의 격자는 Turbo-grid를 적용한 정렬격자로 구성하였다. 입구와 출구 덕트는 정렬격자로 구성시켜 계산부하를 줄였다.

각 격자에 대한 수치해석은 상용 소프트웨어인 Ansys CFX 12를 사용하였다.⁽⁸⁾ 임펠러부의 고속유동장을 고려하여 압축성 유동으로 수해해석을 수행하였다. 난류모델은 유동의 박리현상 해석에 유용한 전단응력이송 (Shear stress transport) 모델을 사용하였다.⁽⁹⁾

계산영역은 Fig. 5에 나타낸 것과 같이 볼류트

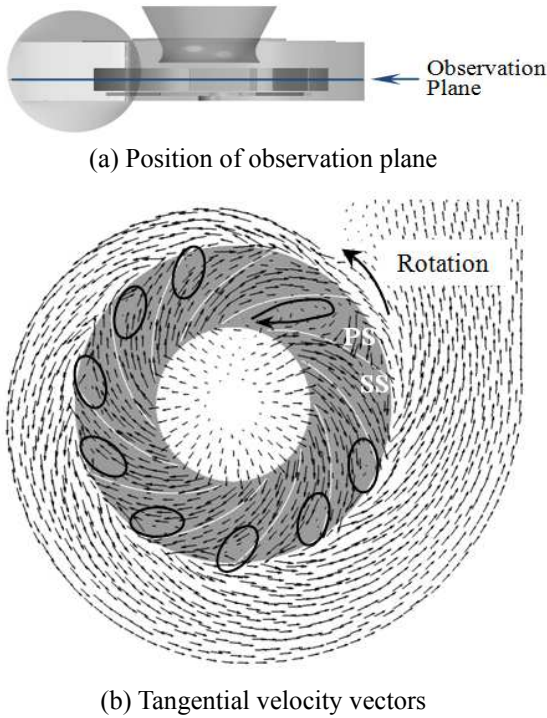


Fig. 6 Velocity vectors on the mid-height of an impeller (reference fan)

케이싱의 입구와 출구에서 직선 관로를 이용하여 입출구 영역을 연장함으로써 안정된 입출구 조건이 되도록 설정하였다. 본 수치계산에서 입구덕트의 길이는 관경의 6 배, 출구덕트는 12 배가 되도록 하였다.

3.2 경계조건

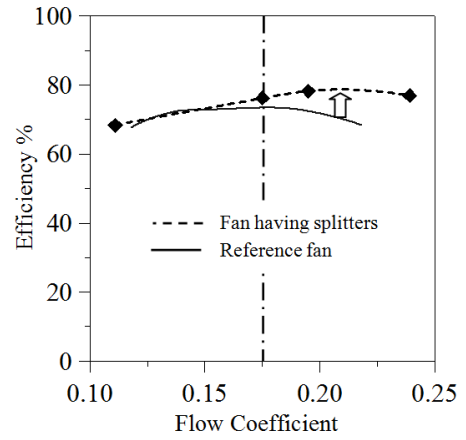
고정영역인 볼류트 케이싱 부분과 회전영역인 임펠러 디스크 두 개의 영역으로 설정하여, 각 영역간의 경계 계산은 프로즌 로터(Frozen-rotor)방법을 적용하여 수행하였다. 기존형상의 터보블로어 전체 계산격자 수는 2,700,000 노드이며, 스플리터 부착형은 이에 상관하는 조건으로 설정하였다.

입구의 경계조건은 압력(-1500 mmAq) 및 상온 조건을, 출구에서는 질량유량 조건을 각각 적용하였다. 입구면과 출구면을 제외한 전 벽면에서는 점착조건을 적용하였다. 임펠러의 회전조건은 설계회전수인 3550 rpm 으로 하였다.

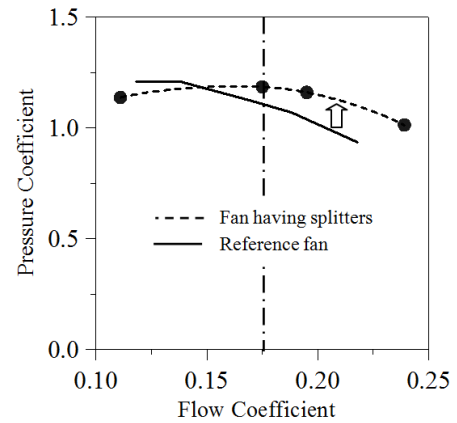
4. 결과 및 고찰

4.1 수치해석 타당성 검토

수치해석의 타당성 검토를 위하여, Fig. 2 에 설



(a) Efficiency



(b) Pressure coefficient

Fig. 7 Performance comparison for reference fan and new fan having splitters

계유량점 근방에서의 원심송풍기 성능시험결과와의 비교를 나타낸다. Fig. 2 의 비교곡선에서 점선과 실선은 실험값을 각각 나타내며, 임펠러의 회전수는 3550rpm 을 기준으로 하였다. 그림에서 알 수 있듯이, 일점쇄선으로 나타낸 설계 유량점 근방에서 실험값과 수치해석 결과가 최대 5 % 오차 이내에서 잘 일치함을 알 수 있다.

4.2 스플리터 설치 임펠러의 성능특성

Fig. 6 의 기존 원심송풍기의 속도벡터에서 알 수 있듯이, 스플리터가 없는 기존 원심송풍기에서는 날개 부압면(SS)의 끝단부(그림에서 타원부분)에 역류영역(reverse flow region)이 다수 존재함을 알 수 있다. 즉 날개 부압면 근방에서의 넓은 역류영역은 송풍기의 성능저하를 가져오기에, 본 연

Table 3 Design specification for the fan having splitters

	Fan A	Fan B	Fan C
Chord percentage of Splitter 1 (%)	90	60	30
Chord percentage of Splitter 2 (%)	30	30	30

Table 4 Results for the new fan having splitters

	Fan A	Fan B	Fan C
Pressure coefficient	1.25	1.18	1.09
Efficiency (%)	79.2	77.5	75.8

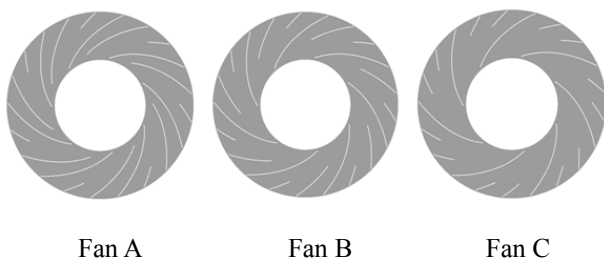
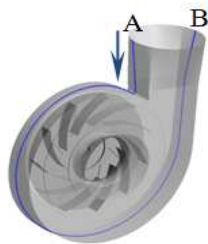
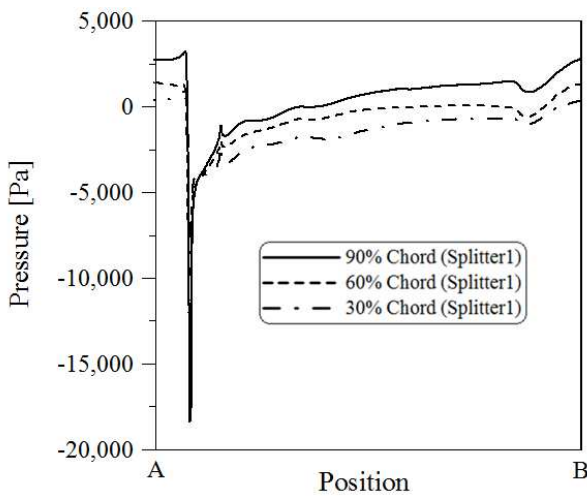


Fig. 8 Front view of three types of test fan having splitters



(a) Position of observation line



(b) Pressure

Fig. 9 Pressure along an observation line (splitter 2 has 30% chord for all cases)

구에서는 날개 부압면에 Fig. 3 에서와 같이 60 퍼센트 코드를 갖는 스플리터를 장착하여 송풍기의 성능특성을 분석하였다.

Fig. 7 은 기존 원심송풍기와 스플리터를 장착한 원심송풍기의 성능특성 비교를 나타낸다. 그림에서 일점쇄선은 설계유량을 나타내며, 설계유량점을 기준으로 고유량영역에서 기존 송풍기에 비하여 상대적으로 압력 및 효율 특성이 향상됨을 알 수 있다. 특히 유량변화에 비해 압력변동이 작아야 하는 생활폐기물 관로이송용 원심송풍기의 요구 특성에 보다 효율적인 적용이 가능하다.

4.3 스플리터 형상에 따른 송풍기 성능특성

Fig. 7 에서 알 수 있듯이, 스플리터를 부착한 원심송풍기의 경우에는 기존형상의 송풍기에 비하여 설계유량점보다 큰 유량 영역에서 압력 및 효율특성이 모두 향상됨을 알 수 있었다. Fig. 6 에서와 같이 임펠러 날개 부압면측의 역류특성을 고려하여 날개 압력면 측의 스플리터 코드길이는 30 퍼센트 코드로 고정하고 날개 부압면 측에 설치된 스플리터 1 (Fig. 3 참조)의 코드길이를 기본 익형코드의 30, 60 및 90 퍼센트로 변화시켜 원심송풍기의 성능특성을 검토하였다. 스플리터 코드길이 및 형상도를 각각 Table 3 및 Fig. 8 에 나타낸다. Fig. 8 에서 Fan A, B 및 C 는 스플리터 1 의 코드길이가 각각 30, 60 및 90 퍼센트인 경우를 의미한다.

Fig. 9 는 Fig. 9(a)에서와 같이 케이싱면 외측폭 중앙에서의 압력상승 특성을 나타낸다. Fig. 9(b)에서는 3 종의 스플리터 1 의 코드에 대한 압력특성을 나타내며, 볼류트 케이싱 커트오프 영역에서 모두 급격한 압력강하 특성을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 스플리터 1 의 코드길이가 증가할수록 전 케이싱영역에서 압력특성이 향상됨을 알 수 있다.

설계 유량점에서의 압력 및 효율값 결과를 Table 4 에 나타낸다. Fan C 의 경우에는 스플리터 1 이 30 퍼센트 코드를 갖는 경우에만 효율특성이

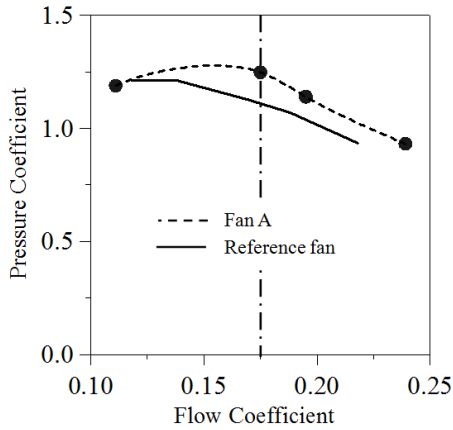


Fig. 10 Pressure for reference fan and Fan A

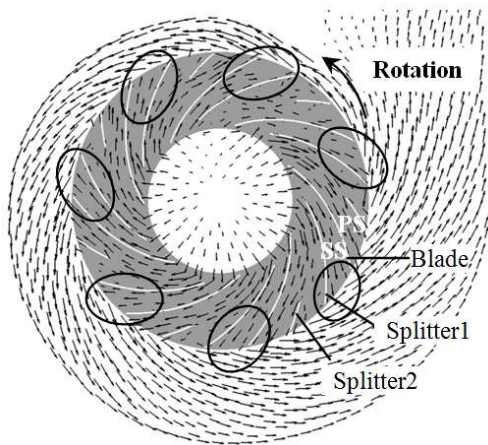


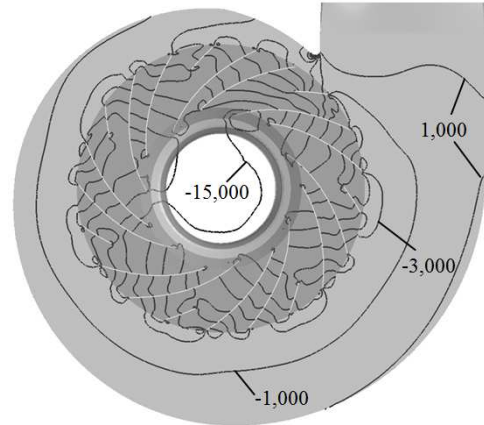
Fig. 11 Velocity vectors on the mid-height of an impeller (Fan A)

기존 임펠러 보다 감소하지만 스플리터 1의 길이가 길어짐에 따라 효율특성이 기존보다 향상됨을 알 수 있다.

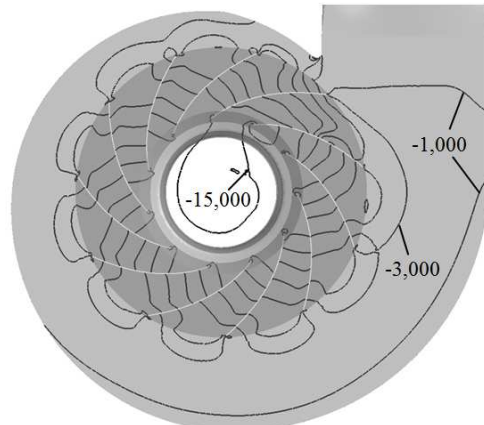
Fig. 10은 Fan A 및 기존 원심송풍기에 대한 성능특성을 나타낸다. Fan A의 경우 주어진 유량범위의 전 영역에서 기존 송풍기보다 성능이 향상됨을 알 수 있다. 그러나 설계 유량점(유량계수: 0.175)보다 큰 유량에서는 60% 코드를 갖는 스플리터 1(Fig. 7 참조)를 장착한 송풍기 보다 압력의 감소율이 상대적으로 크게 나타남을 알 수 있다.

3 가지 형상의 스플리터 중에서 효율과 압력특성이 가장 좋은 Fan A의 임펠러 중간단면(Fig. 6(a) 단면)에서 속도분포를 Fig. 11에 나타낸다.

Fan A에서의 속도분포는 Fig. 6에 나타난 기존 임펠러와 달리 날개 부압면(SS)의 끝단부(그림



(a) Fan having splitters (Fan A)



(b) Reference fan

Fig. 12 Pressure contours on the mid-height of an impeller (interval of contours: 2 kPa, unit: Pa)

에서 타원부분, 주날개와 스플리터 1 사이)에 역류영역이 상대적으로 줄어들었음을 알 수 있다.

Fig. 12는 Fig. 6(a)의 임펠러 중간단면에서 기존 임펠러 및 스플리터가 부착된 Fan A 임펠러의 압력특성 비교를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 기존 임펠러에 비해 스플리터가 부착된 임펠러가 볼류트케이싱을 따라 압력상승값이 큼을 알 수 있다. 이는 임펠의 날개 부압면 측의 역류영역을 스플리터 1에 의해 저감하여 나타난 결과라고 평가된다.

이상의 연구를 통하여 날개 압력면과 부압면측에 스플리터 부착 원심송풍기가 효율의 향상뿐만 아니라 설계유량점 이상에서 압력특성도 향상됨을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 원심송풍기의 성능향상을 목적으

로 임펠러 내부에 스플리터를 설치하고, 삼차원 나비에-스톡스 방정식을 통한 수치해석 방법으로 유동장 특성을 상세히 고찰하여 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 원심형 송풍기의 임펠러 날개 부압면 측에 압력면 측에 비하여 상대적으로 큰 역류영역이 존재한다.

(2) 날개 부압면의 유동특성을 개선하기 위하여 부압면과 압력면 측에 각각 스플리터를 장착한 결과 설계 유량점에서 압력은 18%, 효율은 4% 각각 향상됨을 알 수 있었다.

(3) 또한 스플리터 부착 원심송풍기가 설계유량점 이상에서도 압력특성이 기존 임펠러에 비해 상승함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 2009 년도 지식경제부의 재원으로 한국산업기술평가관리원의 지원을 받아 수행한 연구결과입니다. (과제번호:10032063)

참고문헌

- (1) Jang, C.-M., Kim D.-W. and Lee, S.-Y., 2008, "Performance Characteristics of Turbo Blower in a Refuse Collecting System According to Operation Conditions," *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 22, pp. 1896~1901.
- (2) Bayomi, N. N., Abdel Hafiz, A. and Osman, A. M,

2006, "Effect of Inlet Straighteners on Centrifugal Fan Performance," *Energy Conversion & Management*, Vol. 47, pp. 3307~3318.

- (3) Jang, C.-M., Lim, S.-J. and Yang, S.-H., 2011, "Performance Analysis for Turbo Blower According to Inlet-Vane Angle," *Journal of the KSME B*, Vol.35, No. 3, pp. 301~307.
- (4) Kim, K.-Y. and Seo, S.-J., 2006, "Application of Numerical Optimization Technique to Design of Forward-Curved Blades Centrifugal Fan," *JSME International Journal-Series B*, Vol. 49, No. 1, pp. 152~158.
- (5) Cui, B.-L., Zhu, Z.-C., Jin, Y.-Z. and Li, Y., 2010, "Numerical Simulation of Flow in Centrifugal Pump with Complex Impeller," *Proceedings of the Third Asian Joint Workshop on Thermophysics and Fluid Science*, pp. 57~62.
- (6) Kang, S. H. and Shin, Y. S., 1989, "Numerical Calculation of Flows Through Impeller of Centrifugal Compressors by Streamline Curvature Method," *Journal of Air Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol.1, No. 1, pp. 87~96.
- (7) Kim, J.-H. and Kim, K.-Y., 2010, "Numerical Study on Effects of Geometrical Variables on Performance of a Centrifugal Compressor," *Proceedings of the Fifth National Congress on Fluids Engineering*, pp. 152~155.
- (8) CFX-12 User Manual, 2008, Ansys inc.
- (9) Mente, F. and Esch, T., 2001, "Elements of Industrial Heat Transfer Predictions," *Proceedings of 16th Brazilian Congress of Mechanical Engineering (CPBEM)*, CD-ROM.