

조선/해양용 다단 블레이드 I.G.G 블로워의 개발

장성철*, 박래방⁺, 허남수⁺⁺

(논문접수일 2012. 04. 09, 수정일 2012. 05. 30, 심사완료일 2012. 06. 04)

The Development of Multi-Blades I.G.G Blower for Shipbuilding & Ocean

Sung-Cheol Jang*, Rae-Bang Park⁺, Nam-Soo Hur⁺⁺

Abstract

I.G.G is abbreviation for inert gas generator high temperature in cargo tank it desulfurize, exhaust and froze the gas that combined brimstone element and soot, then supply inert gas by blower and mack tank inside incombustible range this is equipment that nip in the bud the explosion. The blower for suppling inactivated gas has big impeller with heavy weight to achieve the high pressure, it causes a delay for first operation time and too much load is delivered to motor, total destruction by fire of motor is happen frequently. On this research, we will reduce the size and weight of impeller and install it with several stage, it makes an effect for reducing the first operation time. We also intend to contribute to efficient I.G.G. blower design by research a flow rate and pressure specialty from the diameter of impeller number of blades and size of casing.

Key Words : I.G.G blower(IGG 블로워), Impeller(임펠러), Blade(날개), Casing(케이싱), High temperature(고온)

1. 서론

현재 대한민국의 조선업계는 세계1위를 차지하고 있다고 하나, 내부 사정을 살펴보면 고부가가치의 조선기자재 장비는 기존의 해외 선진업체로 인해 국내업체가 설 곳이 많지 않은 것이 현실이다. 그중에서 고부가가치이면서 핵심부부품인 IGG(Inert Gas Generator)⁽¹⁾는 원유 및 LNG 선박 등의 카고 탱크 내로 고온의 유황성분, 그을음 등을 포함한 배기가스를 탈황, 탈진, 냉각하여 블로워를 통해 산소 농도가 5%이내인 불활성 가스(Inert gas)를 공급하여 탱크 내 상태를 불연성 범위로 만들어 폭발을 방지하기 위한 장치를 말한다. 선박 보일러와 같은 연소기의 경우 덴마크의 올보그 인더스트리즈사가 전체 시장의 60%를 차지하고 있으며, 일본의 미쯔비시 중공업이 약 20%

정도를 차지하고 있으며, 국내의 강림중공업이 10% 내외를 차지하고 있다. 현재 불활성 가스를 공급하는 블로워는 높은 압력을 얻기 위해 임펠러의 지름과 중량이 커서 초기 가동시간이 늦어지고 그에 따라 모터에 부하가 많이 발생함으로써 모터가 전소되는 사례가 자주 발생하게 된다⁽²⁻³⁾.

IGG 블로워에 관한 연구는 2,000년대 중반에 들어와서 본격적으로 시작되어 응용사례가 국내외의 기업체에서만 일부 발표되고 있는 실정이다⁽²⁻³⁾.

본 연구에서는 실제 제작에 앞서 소형 2단 블로워의 유량 및 압력을 측정하는 실험을 수행하였고, 유동해석을 통해 기본적인 성능을 예측하여 최적형상을 도출한 후 IGG 블로워 임펠러의 지름을 줄여 다단으로 설치하고, 중량을 감소시켜 초기 가동 시간을 최대한 줄이는데 중점을 두고 시제품을 개발하였다.

* 한국폴리텍특성화대학 항공캠퍼스 항공메카트로닉스과 (scjang@kopo.ac.kr)

주소: 경남 사천시 이금동 438

+ 한국폴리텍VII대학 부산캠퍼스 메카트로닉스과

++ 경남과학기술대학교 기계공학과

2. 기초실험 및 수치해석

2.1 수치해석

2.1.1 지배 방정식

수치해석을 위해 열 및 유체 분야에 널리 사용되는 상용 CFD 코드 STAR-CD 3.26 및 STAR-CCM+ 2.10을 이용하였다. 수치해석에 사용된 지배방정식은 질량에 대한 연속방정식, 운동량 보존 방정식, $k-\epsilon$ 난류 에너지 방정식, 그리고 난류 소산 방정식이며, 이들 각각은 식 (1)~(4)에 표기하였다. 본 연구의 수치계산은 상용 프로그램을 이용한 것이므로 해석의 과정에서 필요한 각종 계수와 물리량 및 첨자, 그리고 계수 등은 프로그램의 매뉴얼에 따라 전산해석이 수행되었다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \tilde{u}_j) = S_m \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \tilde{u}_{ij} - \tau_{ij}) = -\frac{\partial p}{\partial x_j} S_i \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t}(\sqrt{g} \rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \tilde{u}_j k - \frac{\mu_{eff}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j}) \\ & - \mu_t (P + P_B) - \rho \epsilon \frac{2}{3} (\mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \rho k) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + P_{NL} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t}(\sqrt{g} \rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \tilde{u}_j \epsilon - \frac{\mu_{eff}}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j}) \\ & = C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} [\mu_t (P + C_{\epsilon 3} P_B) - \frac{2}{3} (\mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \rho k) \frac{\partial u_i}{\partial x_i}] \\ & - C_{\epsilon 2} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + C_{\epsilon 1} \rho \epsilon \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} P_{NL} \end{aligned} \quad (4)$$

여기에서 ρ 는 밀도, p 는 압력, S 는 잔류량, u 는 각 방향의 주속도, X 는 방향을 나타내는 좌표를 표시하며, 그 물리량들의 방향성은 하첨자(i, j, k)등으로 나타내었다.

Mesh model은 송출구 쪽에 가상의 환경(Virtual ambient)을 두어 유동을 안정화 시키고 완전발달구간이 잘 나타나도록 하여, 실제 환경과 근접하도록 모델링하였다. 계산격자는 Hexa type의 1/4 Tetra type의 1/9 수준으로 메모리 및 시간을 절약할 수 있는 다면체격자(Poly hyderal mesh)를 사용하였다.

2.1.2 수치해석 검증

IGG 다단 블로워 개발에 앞서 수치해석을 검증하기 위해 소형 2단 블로워의 유량 및 압력을 측정하는 실험을 수행하였고, 실험 장치는 Fig. 1과 같다. 이와 더불어 수치해석의 정확성을

기하기 위하여 IGG 멀티 블로워와 유사한 실험 장치를 구비하여 기초 데이터를 계속하였다. Fig. 2는 Fig. 1의 테스트 모델을 분해한 후, 실측하여 유동영역만 3D 모델링 한 것이다⁽⁴⁻⁵⁾.

Fig. 3은 소형 블로워의 속도와 전압의 수치해석 결과를 나타낸다. 해석시 솔리드 영역은 유동이 계산되지 않는 구간이기 때문에 CFD에서는 리지드 바디로 가정하여 유동이 지나가는 구간인 유동영역만 모델링하여 계산을 수행하였다. 입구속도는 26.19m/s 출구속도는 20.65m/s 이며, 이는 Table 1의 실험 데이터와 비교하여 거의 일치함을 알 수 있다.



Fig. 1 Two-stage blower test

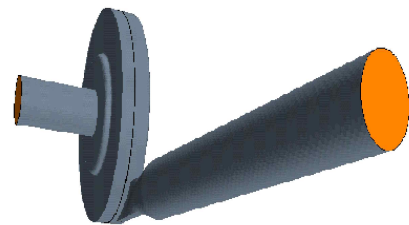


Fig. 2 CFD modeling for 2nd stage multi blower

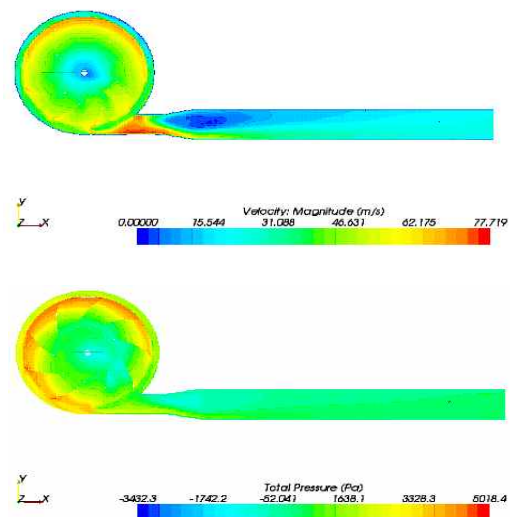


Fig. 3 Velocity & total pressure contour

Table 1 Compare with CFD & experiment data

		Velocity [m/s]		Total Pressure [Pa]
		inlet	outlet	
CFD data		26.19	20.65	6217.41
Experiment data	1st	28.31	21.23	6168.38
	2nd	27.95	21.05	6105.64
	3rd	28.12	20.89	6203.33

3. 3단 블로워의 설계

Table 2 는 설계모델에 대한 제원표로, 실제 요구되는 압력은 3,000mmAq, 풍량은 75CMM이다.

Fig. 4는 수치해석을 바탕으로 설계한 2차원 도면이며, Fig. 5는 3개의 임펠러와 2개의 가이드 벤 형상을 나타내고 있다. 제품 테스트 시에는 Fig. 6과 같이 흡입구 및 송출구에 흡입 및 송출 덕트를 제작하여 설치하였다. Model setting에 관한

Table 2 Specification of design

Inlet Temperature	300 (K)	
Total Pressure	3000 (mmAq)	
Capacity	75 (CMM)	
Number of Blades	11	
Motor	63KW ,440V ,60Hz ,2P	
Material	Casing/Base	Impeller
	SS400	AL

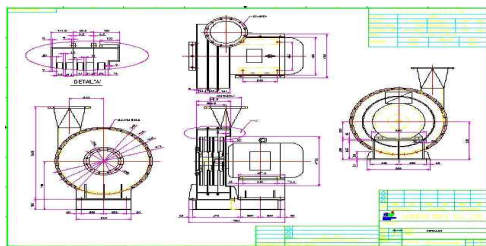


Fig. 4 2D modeling by autocad 2007

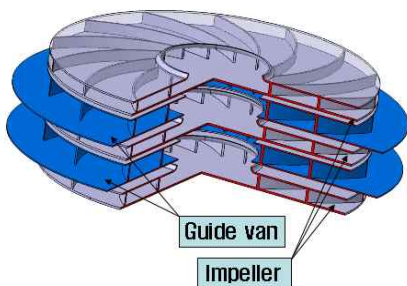


Fig. 5 Geometry of 3rd stage impeller and guide van



Fig. 6 Mesh model(impeller&casing)

Table 3 Model setting

Dimension	3D
Impeller rotation	M.R.F
Time domain	Steady state
Density	Ideal gas
Flow type	Turbulent
Turbulent model	Standard $k - \epsilon$

내용은 Table 3⁽⁶⁻⁷⁾과 같다. 블로워는 회전차가 고속회전하기 때문에 내부유동은 정상상태(Steady)로 가정하고 회전하는 임펠러 영역의 유동장을 다좌표계로 설정한 후, 임펠러의 회전수를 경계조건으로 설정하여 수치해석을 수행하였다.

4. 결과 및 고찰

실제 개발대상 시제품을 제작하기 앞서 수치해석에 대한 검증을 통해 같은 방법으로 유동해석을 통해 설계시 발생할 수 있는 시행착오를 줄이고자 하였다. 따라서 다음과 같은 설계모델에 대한 유동해석 결과를 획득할 수 있었다.

Fig. 7은 블로워 내부 임펠러 중심단면에 대한 전압 분포를 나타내고 있다. 계산결과 송출 덕트 내의 압력 평균값은 1.55×10^4 [Pa] 정도 발생하였고, 이를 수두로 환산하면 약 1,580mmAq로 설계제원 3,000mmAq의 절반에 해당하는 결과를 얻을 수 있었다.

Fig. 8은 앞서 언급된 Fig. 7의 지점에서 속도코기를 나타내고 있다. 여기서 회전하는 임펠러 주위의 유동 속도가 약 100m/s 정도로 가장 빠르게 나타나고, 형상이 사각에서 원형으로 급변하는 송출구 주위에 심한 와류가 생성됨을 확인할 수 있었다. 송출 덕트 내의 평균속도는 14.3m/s정도 발생하였고, 이를 유량으로 환산하면, 68CMM으로 요구치 75CMM에 조금 못 미치는 정도이다. 따라서 속도에너지 보다 압력에너지에 의해 송출되는 블로워 특성상 현재 설계된 모델의 경우 용량이

적음을 알 수 있었다. 따라서 추후 임펠러 직경이나 임펠러 날개 개수를 조절하거나 케이싱에 대한 설계변경이 요구됨을 확인할 수 있었다.

또한 다단 블레이드의 임펠러 입구 Cone부에서 유속이 빨라져 흡입 부압(-)이 크게 발생하였고, Volute에서 압력이 회복되어 정압(+)이 발생하여 Outlet으로 토출됨을 알 수 있다.

Fig. 9는 상온상태인 입구온도 300K로 흡입되어 각각의 임펠러를 거친 불활성 가스가 압축되어 점차 온도가 상승함을 볼 수 있다. 송출 덕트 내의 평균온도가 약 336K로 흡입온도대비 약 36K 정도 상승함을 알 수 있었다. 이는 지배방정식에서 밀도항을 이상기체로 가정하고, 압력과 온도에 관한 함수로 설정하였기 때문에 작동유체의 압축에 따른 온도상승이 발생한 것으로 판단된다. 따라서 고압으로 압축되어 작동유체의 온도가 급상승할 경우 이에 대비한 적절한 방열대책 또한 설계시 반영

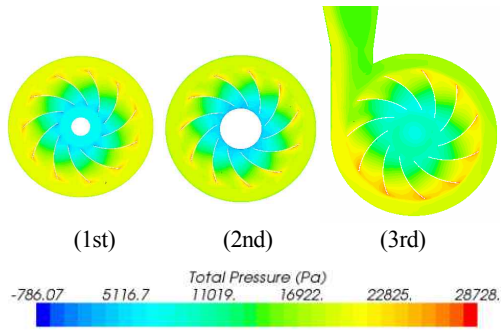


Fig. 7 Result of total pressure

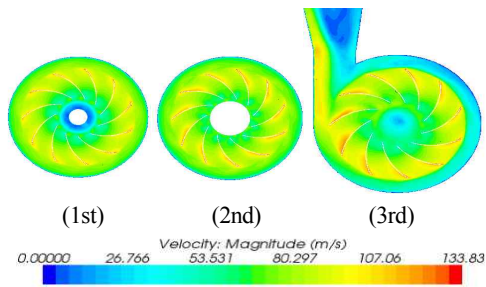


Fig. 8 Result of velocity Magnitude

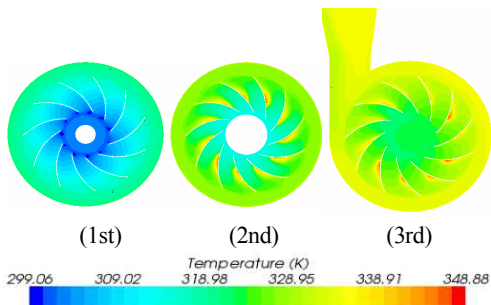


Fig. 9 Result of temperature

되어야 될 것으로 사료된다.

Fig. 10은 임펠러 입구와 출구 중심에서 센서를 설치하여 획득한 결과 값을 나타내고 있다. 설치된 센서는 총 6개를 설치하였으며, 압력 및 속도와 온도에 대한 정량적인 데이터를 추출하여 Fig. 11과 같이 나타내었다.

센서에서 획득한 압력분포를 보면 흡입구를 거친 유체가 첫 번째 임펠러에서부터 세 번째 임펠러로 갈수록 차례로 압력이 증가함을 볼 수 있다.

속도분포를 보면 유체가 임펠러에 흡입된 직후 좁은 단면적에 의해 속도가 증가하고, 단면적이 넓어지는 블레이드 형상에 의하여 순간적으로 속도가 낮아진다. 임펠러 출구로 갈수록 원심력의 증가로 인하여 속도가 급격히 상승하고, 임펠러 끝단에서 원심력을 가진 블레이드의 영향력을 벗어나면서 다시 속도가 감소한다. 온도분포를 보면 300K의 대기온도가 흡입되고 첫 번째 임펠러에서 압축되어 11K정도 상승하고, 두 번째 임펠러에서 11K, 마지막 3번째 임펠러에서 14K상승되어 최종적으로 약 336K의 온도로 송출된다. 이것은 작동유체의 압축에 따른 온도상승이 발생한 것으로 판단된다.

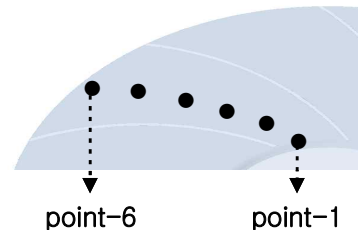


Fig. 10 Sensing point position

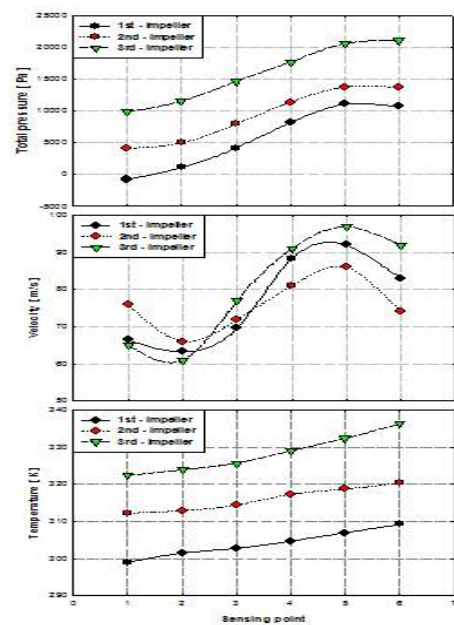


Fig. 11 Comparisons of result data at sensing point

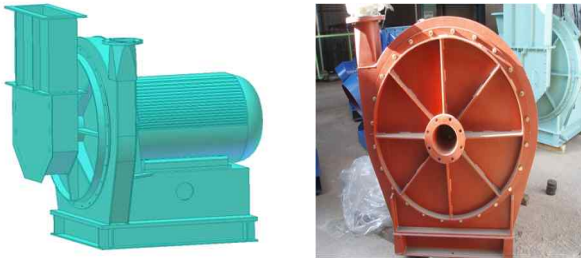


Fig. 12 IGG blower unit

Fig. 12는 소형 2단 블로워의 유량 및 압력을 측정 후 수치 해석 결과를 바탕으로 제작된 IGG 블로워의 시제품 형상을 나타낸 것이다. 추후 체계적인 실험을 통하여 보다 진보된 최적형상을 도출할 예정이다.

5. 결론

본 연구에서는 소형 2단 블로워를 구매하여 유량 및 압력을 측정하는 실험을 수행하였고, 유동해석을 통해 기본적인 성능을 예측하여 최적형상을 도출하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 당초 목표했던 3000mmAq에 절반수준인 1580mmAq 정도의 압력값을 획득할 수 있었으며, 추후 임펠러에 대한 설계변경이 이루어져야 함을 알 수 있었다.
- (2) 요구유량인 75CMM에 못미치는 68CMM을 획득할 수 있었으며, 속도에너지보다 압력에너지를 상승시킬 수 있는 임펠러 블레이드 개수를 조절할 필요성을 확인 할 수 있었다.
- (3) 작동유체의 압축으로 인해 온도가 상승하였고, 고압으로 압축될 경우 방열대책이 수반되어 설계가 이루어져야 할 것으로 판명되었다.

후 기

이 논문은 2012년도 경남과학기술대학교 기성회 연구비 지원에 의하여 연구되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Korean Industrial Standards, 2001, *Testing Methods for Fans and Blowers*, KS B 5311.
- (2) Kim, C. K., 2010, "Effect of Scroll on the Performance Characteristics of Sirocco Fan," *KSME Spring Conf.*, B, pp. 576~581.
- (3) Shim, C. Y., 2005, "Numerical Evaluation of Flow and Performance of Hydrogen Recirculation Blower for Fuel Cell Vehicle," *KSAE Spring Conf.*, Vol. 11, pp. 1395~1400.
- (4) Choi, J. S., 1999, "Experimental Study for the Effect of Dimensional Parameters on the Performance of Small Centrifugal Fans," *KFMA*, Vol. 2, No. 1, pp. 50~55.
- (5) Bag, K. W., and Kim, Y. Y., 2000, "Analysis of Flow Characteristics in an Automotive HVAC Blower Using CFD Techniques," *KSAE Spring Conf.*, Vol. 11, pp. 1079~1087.
- (6) Park, J. W., 2005, *A Study on Characteristics of Design Parameters for In-line Duct Fan*, A Thesis for a Doctorate, Cheju University, Republic of Korea.
- (7) Choi, Y. K., 2005, *Flow Analysis for the Performance Improvement of the Centrifugal Fan in a Vacuum Cleaner*, A Thesis for a Doctorate, Chunnam University, Republic of Korea.
- (8) Wright, T. G., 1999, *Fluid Machinery*, CRC press, New York.