

# CFD를 이용한 선박용 IGG Blower 개발에 관한 연구

이 종 진 이 중 섭<sup>†</sup>, 정 순 재, 장 성 철, 김 치 원\*

삼원기술(주) 기술연구소, 경남대학교\*

## A Study on the Development of 3rd Stage IGG Blower for Shipbuilding Using CFD

Jong Jing Lee , Chung Seub Yi<sup>†</sup> , Soon Jae Jeong\* , Sung Cheol Jang , Chi Won Kim\*

<sup>†</sup> Samwon Tech co.,LTD, Gimhae 586-1, Korea

\*Division of Mechanical Engineering, Kyungnam University, Masan 449, Korea

ABSTRACT: I.G.G is abbreviation for Inert Gas Generator, High temperature in Cargo Tank it desulfurize, exhausted 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 happening frequently.

On this research, we will reduce the size & 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 IGG blower design by research a flowing & pressure specialty from the diameter of impeller, number of blade, and size of casing.

Key words: IGG(Inert Gas Generator)비활성가스발생기, Centrifugal Blower(원심송풍기), CFD(전산유체역학) Standard k-ε turbulence model (표준 k-ε 난류모델), Wind Tunnel(풍동)

### 1. 서 론

현재 대한민국의 조선업계는 세계1위라고 해도 과언이 아닐 정도의 수준에 다다랐다. 그러나 내부 사정을 보면 고부가가치의 조선기자재 장비는 기존의 해외 선진업체로 인해 국내업체가 설 곳이 많지가 않은 것이 현실이다. 그중에서 보일러, IGG(Inert Gas Generator), N2 Generator가 대표적이다. 현재 선박 보일러와 같은 연소기의 경우 덴마크의 AALBORG INDUSTRIES 사가 전체 시장의 60%를 차지하고 있으며, 일본의 MITSUBISHI INDUSTRIES사가 약 20% 정도 차지하고 있다.

IGG는 원유 및 LNG선박 등의 카고 탱크(Cargo Tank) 내로 고온의 유황성분, 그을음 등을 포함한

배기가스를 탈황, 탈진, 냉각하여 블로워를 통해 산소(O<sub>2</sub>) 농도가 5%이내인 불활성 가스(Inert gas)를 공급하여 탱크 내 상태를 불연성 범위로 만들어 폭발을 방지하기 위한 장치를 말한다.

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.

본 연구에서는 IGG 블로워 임펠러의 지름을 줄여 다단으로 설치하고, 중량을 감소시켜 초기 가동시간을 최대한 줄이는데 중점을 두고 개발하고자 하였다. 따라서 실제 제작에 앞서 유동해석을 통해 기본적인 성능을 예측하여 최적형상을 도출하는 자료로 활용하고자 한다.

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-55-340-7183; fax: +82-55-342-9038

E-mail address: cs\_yi@hotmail.com

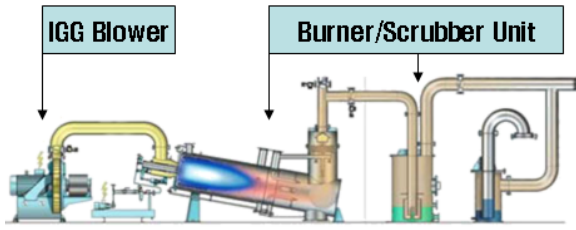


Fig. 1 Inert gas system layout

## 2. 수치해석

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.

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

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

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

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

여기에서  $\rho$ 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 절약 할 수 있는 다면체격자(Poly hyderal mesh)를 사용하였다.

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 절약 할 수 있는 다면체격자(Poly hyderal mesh)를 사용하였다.

## 3. 3단 블로워의 설계

본 연구에 사용된 2D모델은 AutoCad, 3D모델은 CATIA V5를 사용 설계하였다. Table.1 은 설계모델에 대한 제원표로, 실제 요구되는 압력은 3000mmAq, 풍량은 75CMM이다.

Table. 1 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

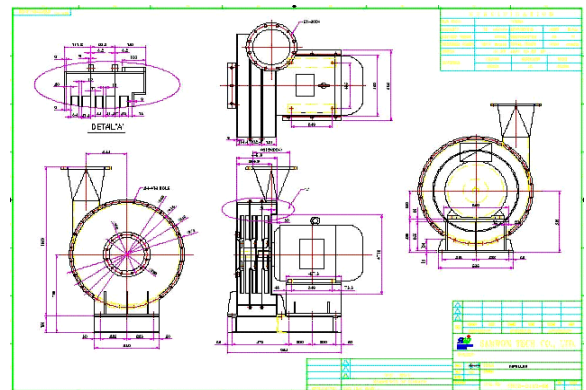


Fig. 2 2D modeling by autocad 2002

Fig.2 는 수치해석을 바탕으로 설계한 2차원 도면이며, Fig.3 은 3개의 임펠러와 2개의 가이드벤 형상을 나타내고 있다. 제품 테스트 시에는 흡입구 및 송출구에 흡입 및 송출 덕트를 제작 설치하였다.

Model setting에 관한 내용은 Table.2 와 같다. 블로워는 회전차가 고속회전하기 때문에 내부유동은 비정상(Transient)이나 운전이 일정시간 지나면 정상상태(Steady)로 가정하고 회전하는 임펠러 영역의 유동장을 다좌표계( MRF : Multiple Reference Frame)로 설정하고, 임펠러의 회전수를 경계조건으로 설정하여, 수치해석을 수행하였다.

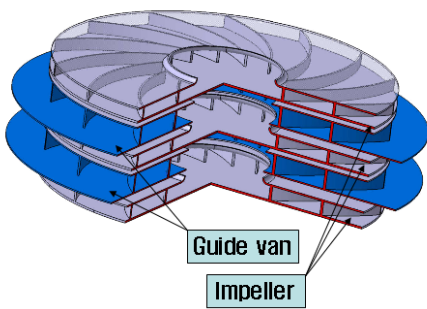


Fig. 3 Geometry of 3rd stage impeller and guide vane



Fig. 4 Mesh model (impeller & casing)

Table. 2 Model setting

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

#### 4. 결과 및 고찰

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

Fig. 5 블로워 내부 임펠러 중심단면에 대한 전압 분포를 나타내고 있다. 계산결과 송출 덕트 내의 압력 2850mmAq로 설계제원 3000mmAq의 95%에 해당하는 결과를 얻을 수 있었다.

Fig. 6는 앞서 언급된 Fig. 5의 지점에서 속도크기를 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. 또한 토출유동의 균일화 및 안정화를 위하여 토출구 내부에 기하학적 형상을 가진 구조물을 설치하면 유동의 균일화 및 안정화됨을 예상할 수 있다. 송출 덕트 내의 평균속도는 14.3m/s정도 발생하였고, 이를 유량으로 환산하면, 68CMM으로 요구치 75CMM에 조금 못 미치는 정도이다. 따라서 추후 임펠러 직경이나 임펠러 날개 개수를 조절하거나 케이싱에 대한 설계변경이 요구됨을 확인할 수 있었다.

Fig. 7은 상온상태인 입구온도 300K로 흡입되어 각각의 임펠러를 거치 압축되어 점차 온도가 상승함을 볼 수 있다. 송출 덕트 내의 평균온도 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 설계 시 반영되어

야 될 것으로 사료된다.

Fig. 8은 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. 9와 같이 나타내었다.

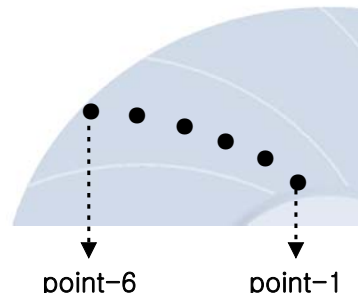


Fig. 8 Sensing point position

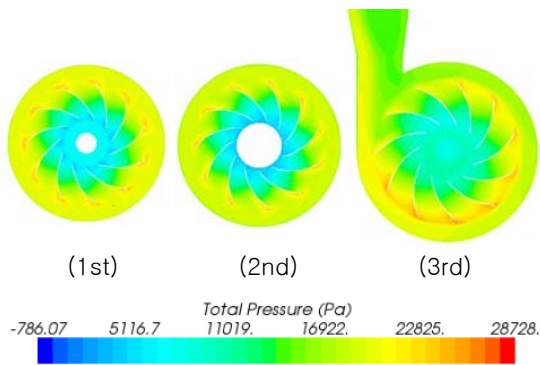


Fig. 5 Results of total pressure distribution

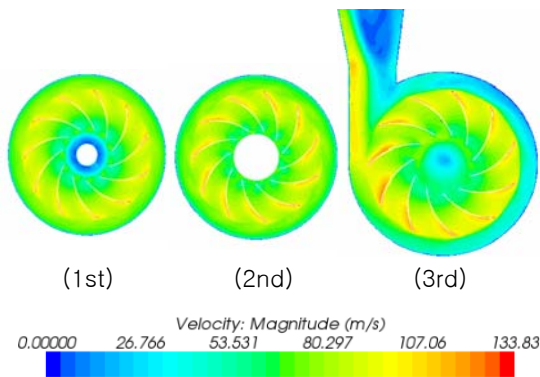


Fig. 6 Results of velocity magnitude distribution

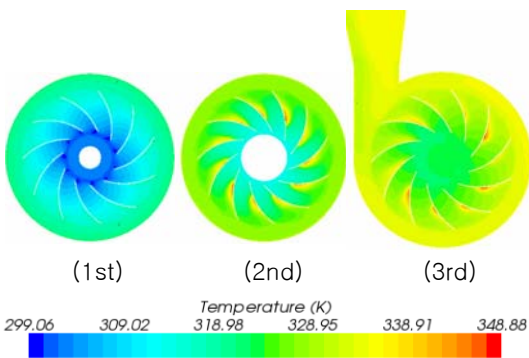


Fig. 7 Results of temperature distribution

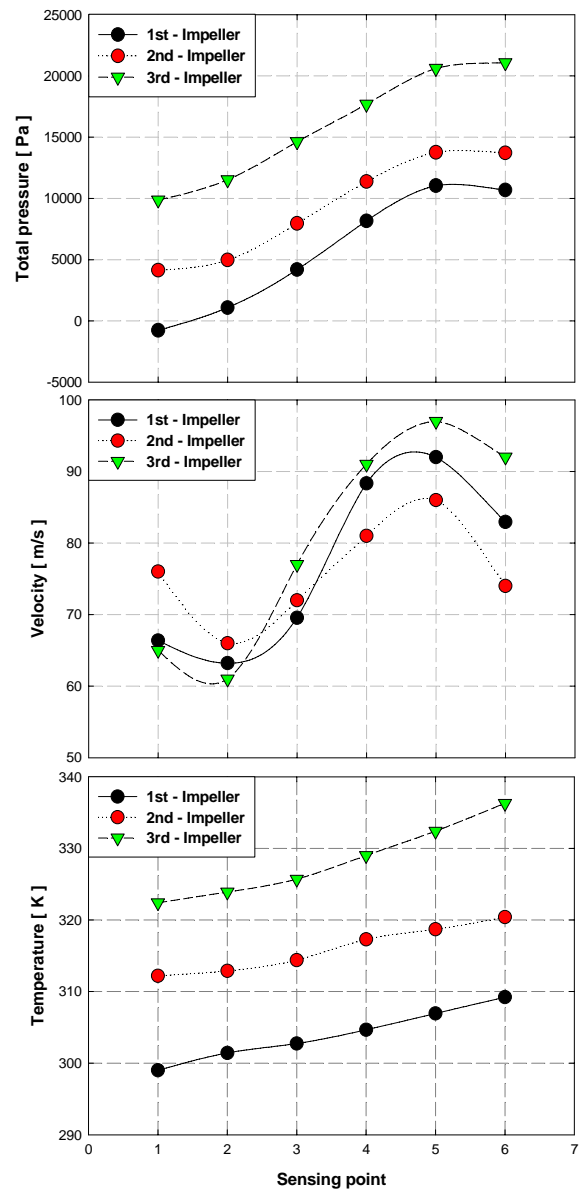


Fig. 9 Comparisons of result data at sensing point

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 약336K의 온도로 송출된다.

Fig. 10은 송출덕트의 스톱밸브 개도를 점차 개방하여 유량이 증가될 때의 전압효율을 나타낸 곡선으로 유량 85CMM까지 증가 후 감소한다.

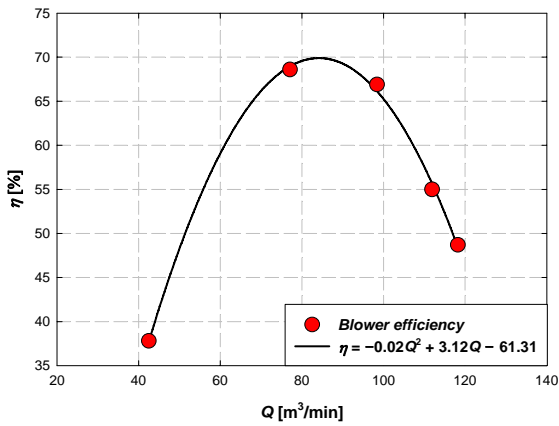


Fig. 10 Distribution of performance curve

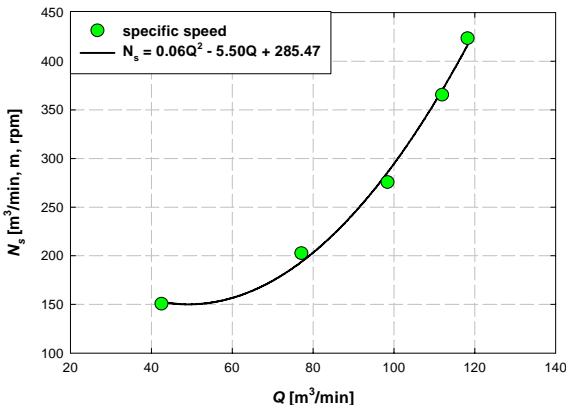


Fig. 11 Distribution of specific speed

Fig. 11은 비속도와 토출유량에 대한 개략적인 그래프로, 식 (5)를 이용하여 계산하였다.

$$n_s = \frac{N \times \sqrt{Q}}{\left(\frac{H}{Z}\right)^{\frac{3}{4}}} \quad (5)$$

여기서 N은 임펠러의 회전수 rpm, Q는 흡입으로 환산한 풍량  $m^3/min$ , H는 단열수두 m, Z는 임펠러의 개수를 표시한다. 임펠러의 형식만을 생각하면,  $n_s$ 의 범위는 80-120정도가 일반적이거나, 본 연구에서의 다단 블로워는 400이상이 나타남을 알 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 Single type 임펠러를 가진 기존 I.G.G. 블로워와 설계기법이 다른 Multi type 임펠러를 가진 블로워의 설계 기법을 시도해보았으며, 그 과정에서 CFD를 활용하여 시제품 제작과 더불어 초기 설계 모델에 대해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 당초 목표했던 3000mmAq에 95%수준인 2850mmAq정도의 압력값을 획득할 수 있었다.
- 2) 요구유량인 75CMM에 못 미치는 68CMM을 얻을 수 있었다. 따라서 추후 임펠러 블레이드 개수 및 임펠러에 대한 설계변경이 이루어져야 함을 알 수 있었다.
- 3) 작동유체의 압축으로 인해 온도가 상승하였고, 고압으로 압축될 경우 방열대책이 수반되어 설계가 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

추후 임펠러에 대한 설계변경과 아울러 케이싱 및 안내가이드에 대한 재검토가 이루어져야 할 것으로 사료되며, 임펠러 회전에 대한 수치기법을 이동격자(Moving mesh)를 사용하여 블로워 내부에 유동 및 압력이 정체되는 구간을 정확하게 파악하여 요구조건에 맞는 블로워를 개발하고자 한다.

## 후 기

본 연구는 2007년 중소기업혁신기술개발사업 (과제번호:S1021577)의 일부로 수행된 것을 함께 정리한 것으로, 위 기관 및 관계자 여러분의 후원에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Korea Standards, Industrial fans - performance testing, (KS B 6311), KSSA,2001
2. ASHRAE Standard, Laboratory Methods of Testing Fans for Rating, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers,1985
3. Kim, H, "Development of Optical LED for Air Cleaner," Report for RRC-ACCT.,(2002),P.363-375
4. Wright, T.G., Fluid Machinery, CRC press, New York,1999
5. Cau, G.,Mandas, N., Manfrida. G. and Nurzia, F., "Measurement of Primary and Secondary Flows in an Industrial Forward-Curved Centrifugal Fan." J. Fluids Engineering, Vol.109,1987, p.353-358
6. Ayder, E. et al, "Experimental and Theoretical Analysis of the Flow in a Centrifugal Compressor Volute", ASME J. of Turbomachinery, v115,1993,p.582-589
7. ASME PTC 10, 1997, "Performance Test Code on Compressors and Exhausters", ASME