

# 중대형 보일러용 FD FAN의 베인 댐퍼 구조 개선에 관한 연구

강봉성<sup>†</sup>, 박을민, 김성문, 정순재, 유민경, 장성철  
삼원기술(주) 기술연구소

## A Study on Efficiency Improvement of Vane Damper of Marine Boiler FD FAN

Bong Sung Kang<sup>†</sup>, Yool Min Park, Sung Moon Kim, Soon Jae Jung,  
Min Gyung Yoo, Sung Cheol Jang  
<sup>†</sup> Samwon Tech co.,LTD, Gimhae 586-1, Korea

**ABSTRACT:** This study have processed the developing of vane damper with accurate control by using gear which is a flow-control equipment of marine boiler's FD fan on this research. For the developing of vane damper, we have corrected some problem from welding & assembly process by changing the design, and for the case of an emergency case, we have applied the easy disassembly & assembly on that vane damper. Compared to Rink type vane damper in current, we have focused on high efficiency with low price of that new developing damper. For selection of actuator, we have tried to find the propriety with our developing focus. Also, we have developed a jig of assembly processing for high productivity with quality, it caused the best assembly performance with heat-treated & processed parts.

**Key words:** Forced Draft Fan(강제통풍휨), Gear Type Vane Damper(기어식 베인 댐퍼), Pinion (소기어), Flow Rate(유량)

### 1. 서 론

강제 통풍 휨(이하 FD FAN이라 함)에서 댐퍼는 선박 보일러 내부의 완전 연소를 위하여, 베인의 개폐 각도를 조절하여 공기의 흡입 유량을 제어하는 유량조절장치이다. 선박 기자재에서도 최근 에너지 절감의 필요성이 증대됨에 따라 FD FAN 역시 동력 소모가 적은 동시에 효율이 높은 제품이 개발되고 있다. 따라서 FD FAN은 동력 소모를 줄이기 위하여 외부 부하 조건의 변동에 따라 공기의 유량 조절이 가능하도록 개발되는 것이 바람직하다<sup>1,2)</sup>. 이와 같은 FD FAN이 선박에 사용되면 운항 중에 외부 부하 조건의 변화가 심하더라도 효과적으로 외부 부하를 조절할 수 있기 때문에 동력 절감 효과가 크게 나타난

다.

현재 자사에서 생산되어 선박 보일러에 설치되는 FD FAN의 형상은 링크식이 주류를 이루고 있다.

Vane에 연결된 12개의 축을 링크로 연결하여 액추에이터의 동력을 전달하여 제어하는 형태로, 이러한 경우 간단한 기구학적 연결 알고리즘을 통한 정밀한 제어가 가능하지만 실제 가공 및 조립상 발생하는 변형 및 정밀도에 따른 오차가 발생할 경우 정확한 제어가 어렵게 되며 오작동을 할 수 있으며, 링크볼의 수명문제와 원형구조에 따른 링크볼의 오버스펙 등으로 인한 짧은 수명의 단점이 발견되었다.

이러한 문제점을 개선하기 위해 링크식을 기어식으로 변경할 경우 보다 정밀한 제어가 가능하게 되며 수명과 내구성이 우수해진다. 그러나 기어식으로 변경할 경우 기어의 고유 특성인 기어 헐거움(backlash)이 발생하게 되는 단점을 가지고 있다<sup>3,4,5)</sup>. 기존의 링크식을 대체하기 위해 기

<sup>†</sup> Corresponding author  
Tel.: +82-55-340-7185; fax: +82-55-343-9038  
E-mail address: bskang@31tech.com

어식 Vane Damper는 조립과정 시 발생하는 생산기술 측면의 문제점이 발생할 수 있기 때문에 기어 자체 및 조립 시 발생할 수 있는 문제점을 해결하는 것이 본 연구의 주된 관심영역으로 초기 개발모델에 대한 불합리한 조건들을 수정 및 보완하여 구조개선에 따른 품질향상을 기대하고 나아가 생산성 향상에 기여할 수 있도록 설계하는 것을 목표로 하고 있다.

## 2. 베인 댐퍼의 구조개선

Fig. 1(a)는 개선된 Vane Damper의 형상을 나타내며 (b)는 금형에 의해 제작 되어진 Vane의 형상이다. (c)는 기어식 Vane Damper의 분해도를 보여주고 있다. 작동원리는 Actuator에 의하여 1개의 Pinion이 동력을 전달 받아 회전을 하면 Spiral Gear가 회전하여 나머지 11개의 Pinion에도 동력을 전달받아 회전을 하게 되며 12개의 Vane을 동시에 열고 닫을 수 있는 제어를 할 수 있다.

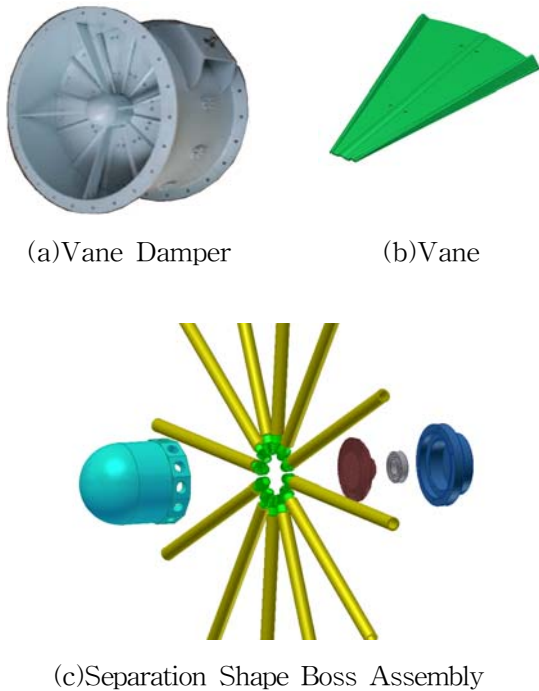


Fig. 1 Schematic Diagram of Vane Damper

### 2.1 Spiral gear

기어의 형태에 따라 Fig. 2(a)의 스트레이트 형

식에 비해 Fig. 2(b)의 Spiral gear 형식이 동력 전달이 뛰어나고 운전 중 소음 및 진동이 적게 발생 한다<sup>4)</sup>.



(a)Straight (b)Spiral

Fig. 2 Gear & Pinion

Table. 1은 Spiral Gear의 스펙이다. CAE와 CFD를 통한 연성해석을 수행한 후 결과를 참조하여 설계를 하였다.

Table. 1 Spiral gear data

Parameter		Pinion	Gear
Number of teeth	N	13 ea	68 ea
Speed	rpm	1	0.2
Torsional moment	N·m	11.8	52.4
Transmission ratio	i	4.5	
Angle of shaft axes	$\Sigma$ [°]	90	
Transverse pressure angle	$\Phi$ [°]	20	
Module	$m_{et}$	2.0	
Face with	F	20 mm	
Pitch cone angle	$\delta$	12.528	77.472
Tip diameter	$D_{am}$ [mm]	31.375	126.759
Pitch diameter	$D_m$ [mm]	23.661	106.476
Root diameter	$D_{fm}$ [mm]	23.9	125.089
Cone length	$C_m$ [mm]	62.625	12.292

Table. 2는 Spiral gear의 소재의 물성치를 나타낸 것이다.

Table. 2 Material properties

Material properties	SCM415 (JIS)
Tensile Strength (Ultimate) [MPa]	799.79
Tensile Strength (Yield) [MPa]	599.84
Tooth Hardness - core [HB]	237
Tooth Hardness - side [HB]	645
Allowable Bending Stress [MPa]	380
Allowable Contact Stress [MPa]	1300
Young's Modulus [GPa]	206.842
Poisson's Ratio	0.3

## 2.2 Boss Assembly

Boss에 12개의 Bush와 pinion을 조립하게 되면 Fig. 3에서와 같이 기어와 Bearing이 위치하게 되며 마지막에 면압조절부가 조립된다.

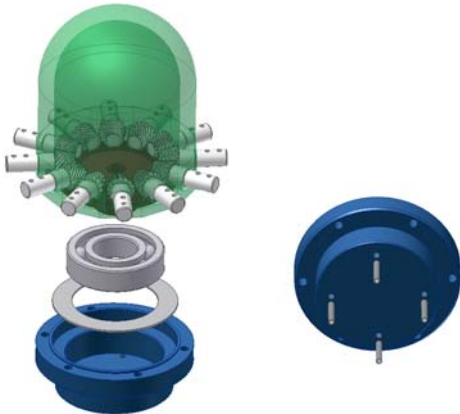


Fig. 3 Boss Assembly

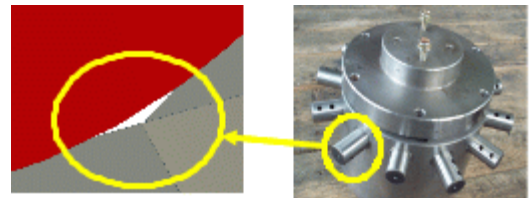
### 2.2.1 면압 조절부

Boss 내부에 pinion과 gear를 조립한 후 Bearing과 Bearing plate을 위치시키고 면압조절부를 보스의 탭에 볼트로 체결하면 pinion과 gear의 거리가 최대가 된다. 이 때 회전력은 적지만 헐거움 상태가 커짐에 따라 Backlash도 커지게 된다. 이러한 기어의 높이를 조절하기 위해 면압조절부에 있는 무두볼트를 조이게 되면 베어링 하부에 있는 베어링 판을 밀면서 기어의 높이를 조절할 수 있게 되는 것이다. 이러한 구조는 대량생산과 요소들에 대한 가공과정과 정밀도에 따라서 기어의 조립상태와 성능에 큰 영향을 미

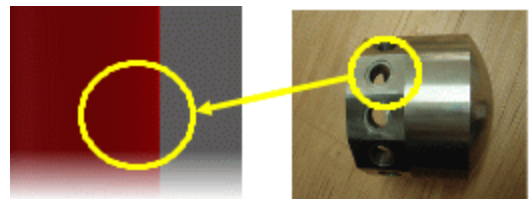
치기 때문에 조절이 가능하도록 하는 구조를 가지게 된 것이다.

### 2.2.2 Air Gap

Fig. 4(a)에서 Boss와 Vane을 조립하였을 때 Air Gap이 발생하여 누설 유량이 발생하고 일종의 Vane Contractor가 되기 때문에 유속의 증가가 빨라져 소음 발생의 원인이 되는 것으로 파악된다. Fig. 4(b)와 같이 Boss에 12면체 가공을 하여 Air Gap을 없앴으로써 소음 저감과 누설 유량을 최대한 억제 하였다.



(a)Circle Type



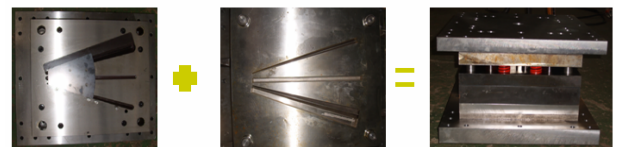
(b)Angle Type

Fig. 4 Boss & Vane Assembly

## 2.3 Vane & Shaft Clamping

### 2.3.1 Vane

Fig. 5(a)는 Vane을 제작하기 위한 금형을 개발한 사진이다. Fig. 5(b)는 개선 전의Vane의 형상과 금형에 의하여 제작 되어진 개선된 Vane의 사진이다. 개선된 Vane은 금형에 의하여 일정한 제작품이 나오므로 불량률을 줄일 수가 있다.



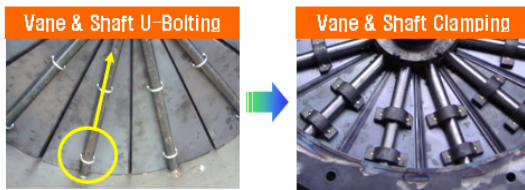
(a)Metal Mold of Vane



(b)Improvement of Vane  
Fig. 5 Vane Mold & Vane

### 2.3.2 Shaft Clamping

Fig. 6(a)는 Shaft와 Vane을 체결시켜 누설 유량을 차단하고, 정비성을 대폭 강화하였으나 U-볼트의 미끄러짐 발생과 구조적 취약점을 가지고 있어 이를 보완하기 위해 Fig. 6(b)에서와 같이 Clamp를 적용하여 Vane을 단단히 구속시켰다.



(a)U-Bolt Type      (b)Clamping Type  
Fig. 6 Vane & Shaft Clamping

### 2.4 Flange & Outer Hinge

Fig. 7은 기어식 Vane Damper의 전체 조립된 모습이다. Flange 중앙에 Boss가 위치하게 되며 Flange 외부에 Outer Hinge가 Vane Shaft의 내면을 구속하게 되는데 내면은 연삭가공 되어지며 Outer hinge 역시 연삭가공이 된다. 결국 Boss부에서는 pinion의 축과 vane shaft가 2개의 spring pin으로 연결되며 flange쪽은 Outer Hinge가 구속하여 축은 회전하게 되는 것이다.



Fig. 7 Gear Type Vane Damper

총 12개의 Vane Shaft중 1개만 액추에이터의 동력을 받아서 회전하면서 나머지 11개의 Vane Shaft를 회전하면서 Vane의 각도를 제어하게 된다. 하지만 Flange를 제외한 나머지 요소들은 가공품이어서 최소 1/10mm의 정밀도를 유지할 수 있는데 반해 Flange는 롤 밴딩 가공을 거쳐 CO<sub>2</sub> 용접하여 제작하게 되는데 이 공정 후 용접으로 인한 심각한 열 변형이 따르게 된다.

이때 발생한 열 변형 때문에 정확한 원형이 제작 될 수가 없는 게 현실이다. 열 변형이 가해진 Flange에 일정 수준의 정밀도가 따르는 가공품을 정확한 수직/수평을 유지하면서 조립하여 생산하기는 현실적으로 불가능하다. 물론 공차를 크게 주면서 조립하게 되면 조립은 가능하겠지만 제품의 품질이 많이 떨어진다. 그러한 이유로 더 뛰어난 품질의 Damper를 제작할 수 있도록 아래와 같은 수행과정을 거쳐 형상에 대한 연구를 계속한 결과 조립이 용이하고 열 변형을 받은 Flange에 대해서 어긋난 부분을 보정할 수 있는 구조를 완성하였다.

Fig. 8에서 보는바와 같이 원형 안에서 Shaft Length는 모두 같은 길이가 나와야 하지만 용접되어진 부분과 용접부와 떨어진 부분이 일치하지 않는다.

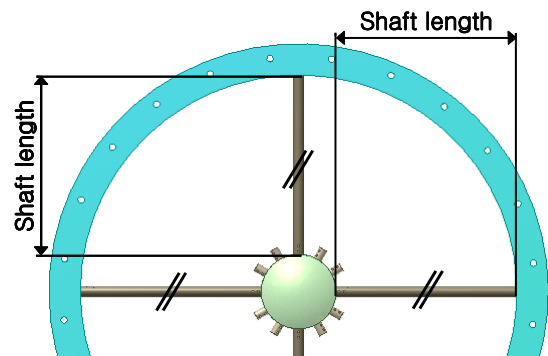


Fig. 8 Top View

또한, Flange 외부에 있는 Vane Shaft 홀의 중심과 Boss의 홀 중심이 12개가 전부 일치하지 않기 때문에 엇갈린 조립이 되어 회전이 아주 부드럽지 못하고 작동조차 되지 않는 문제가 발생된다. 초반 개발단계에서는 Outer Hinge를 Fig. 9(a)와 같이 용접을 하였으나 분해조립이 되지 않으며, 용접으로 인한 열변형 때문에 원활한 회

전운동이 되지 않았다. 그래서 용접을 최소화 하는 Fig. 9(b)와 같은 형태로 제작을 하였지만, 기존의 전체 용접부 보다는 변형이 적었지만 분해/조립의 단점이 있어서 결국 Fig. 9(c)에서 처럼 전부 조립이 가능하고 Flange의 중심과 Boss의 중심을 보정하여 조정이 가능한 Bolting type Outer Hinge 설계를 하여 제작하게 되었다.

등근머리 볼트 2개는 Flange에 나있는 탭을 이용하여 최종고정을 하는 볼트이며, 나머지 4개의 무두볼트는 방향을 360°로 네등분 하여 Boss부분의 중심을 기준으로 볼트의 회전에 따른 높이를 이용하여 Vane Shaft 중심을 Flange에 맞도록 조정이 가능하게 하였으며 무두볼트 끝단에는 추가로 너트를 채워 진동에 풀리지 않도록 보강하여 조립하였다.



(a) Full Welding type Outer Hinge



(b) local Welding type Outer Hinge



(c) bolting type Outer Hinge

Fig. 9 Outer Hinge

## 2.5 송출덕트

Fig. 10과 같이 KS B 6311의 규격에 의하여 송풍기의 시험 및 검사 방법에 따라 송출량에 근거하여 Duct를 설계 및 제작을 하였다.



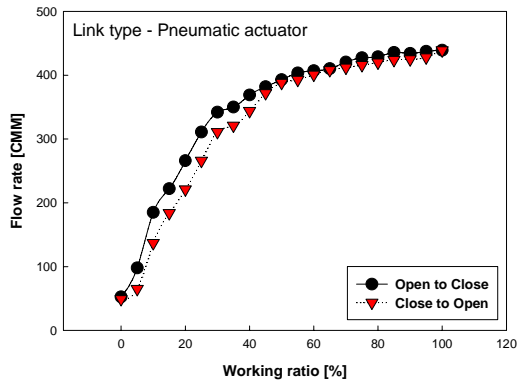
Fig. 10 Duct for Fan Test

## 2.6 Actuator

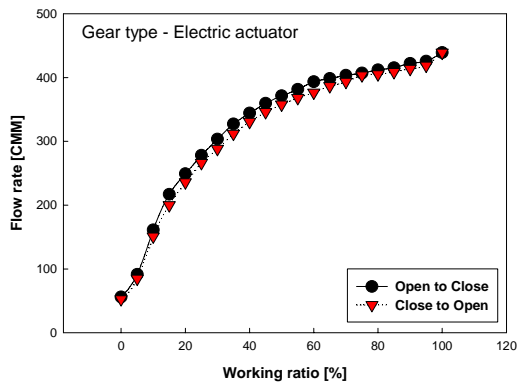
FD Fan에서 Damper를 제어하는 액추에이터는 일반적으로 Pneumatic타입이 일반적으로 사용되고 있다. 그러나 Pneumatic타입의 액추에이터는 electric 타입의 액추에이터에 비해 열고 닫는 시간은 빠르지만 그 외적인 부분에는 손실이 아주 많다. 첫째, 인스톨 시 필요한 공압 라인을 필요하게 됨에 따라 발생하는 비용이 발생한다.

둘째, 공압식 액추에이터 특성상 렉 & 피니언 타입이나 Vane타입밖에 없으며 두 타입 모두 압축성 유체를 사용하기 때문에 용량이 대형인 FD Fan이 작동할 때 Vane의 각도가 45°에서 충격힘을 받을 때 순간적으로 압축을 하여 제어가 불안정하게 되며 충격순간 발생하는 힘을 액추에이터에서 견디지 못해서 Damper에 역회전력이 전달되어 무리를 주게 된다.

셋째, 제어할 수 있는 각도에 대한 1 step의 값이 크며 일정치 않은 이유로 정확한 제어가 어렵다. 이러한 여러 가지 이유로 FD Fan의 연구를 수행하면서 인스톨이 용이하고, 역회전력에 대한 힘을 견딜 수 있는 워 기어를 적용한 Electric 액추에이터로 대체하게 되었다. Fig. 11에 기존의 Pneumatic Actuator와 Electric Actuator의 특성을 비교하였다.



(a)Pneumatic Actuator



(b)Electric Actuator

Fig. 11 Efficiency of Flow Rate

### 3. 결론

본 연구에서는 선박 보일러용 FD Fan의 기어식 Vane Damper의 성능 개선 및 생산/조립 시 발생할 수 있는 문제점을 개선하기 위하여 구조를 개선하여 설계한 후 제작 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Gear와 Pinion이 분해 조립이 가능할 수 있도록 보스 내부의 공간을 확보하였으며, 면압조절부를 적용하여 Spiral Gear의 헐거움 정도를 조절할 수 있도록 설계하였다.

2. Vane과 Shaft 조립 시 총 12개의 요소가 동일하게 조립하기 위해서 Clamp를 사용하였으며 용접부위를 최대한 줄여 분해/조립이 가능하도록 하였다.

3. Flange나 Hinge 등이 용접으로 인한 열 변형이 직접 제작하는 과정에서 아주 큰 영향을 미

치는 것을 알 수 있었으며, 열 변형이 된 Flange에 가공품의 요소들이 조립되면서 중심이 엇갈리는 문제를 Outer Hinge에서 볼트로 방향을 조정하여 해결할 수 있도록 제작하였다.

4. 제품을 조립할 때 정확하게 조립할 수 있도록 조립 지그를 설계하여 적용하였으며 액추에이터 선정도 0~90° 제어시 토크가 일정한 Electric 액추에이터가 Vane Damper에는 용도가 맞는 것을 확인 하였으며 가격과 제어관련 정밀도에서도 기존 공압식에 비해서 아주 만족스러운 결과를 얻을 수 있었다.

### 후 기

본 연구는 2008년 연구개발사업화지원사업의 일부로 수행된 것을 함께 정리한 것으로, 위 기관 및 관계자 여러분의 후원에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

1. 장성철, 남태희, 정희원, 윤강로, 조현덕, 김남경, "FD FAN에서 링크식을 대체한 기어식 베인 댐퍼의 개발", 2007년 한국기계가공학회 춘계 학술대회 논문집, pp.104-109.
2. 장성철, 윤강로, "댐퍼식 유량조절장치", 특허
3. Dudley, D.W., 1984, Handbook of Practical Gear Design, McGraw-Hill.
4. ANSI/AGMA 2003-A86, 1988, Rating the Pitting and Bendinf Strength of Generated Straight Bevel, ZEROL Bevel, and Spiral Bevel Gear Teeth.
5. ANSI/AGMA 2005-B88, 1988, Design Manual For Bevel Gears.
6. Choong Hyun Kim, Hyo Sok Ahn and Tae Hyong Chong, "On a Method for the Durability Enhancement of Plastic Spur Gear Using Finite Element Analysis", Transactions of the KSME A, Vol. 27, No. 2, pp.223-230, 2003.
7. H.Y.Lee, H.T.Yeo, K.D.Hur, "Design and analysis of Reduction Gear with Double Reduction Planetary Gears" Conference Proceedings of KSME Fall Annual Meeting, pp. 12-16, 2006.