

반류제어장치의 선박성능요소에 미치는 영향에 대한 고찰

이연승[†]*, 최영복*

대우조선해양(주), 기본설계팀, 선형연구개발*

Study on the Effect of Wake Control Devices on Ship Performance Components

Yeon-Seung Lee[†]* and Young-Bok Choi*

Hydrodynamics R&D, DSME Co., Ltd.*

Abstract

The DSME guide plate(GP) has been developed with the target to improve the cavitation and vibration performance when used with discharging cooling water around the outlet of LNG carrier. It was proven that it could as well be applied as a powerful wake control device on its own, even without discharging cooling water. However, it has to be taken into account that it inevitably results in speed loss. This study shows the possibility to design a GP which simultaneously improves both vibration and speed performance. The study intends to outline how to design the preliminary GP configurations from both the vibration and the speed performance points of view. Further, the study offers design guidance for the hull form and the propeller when adapting GP as a wake control device.

※Keywords: Wake control device(반류유동제어장치), Wake peak zone(최대반류영역), Cavitation(캐비테이션), Pressure fluctuation(변동압력), Speed performance(속도성능), Cooling water(CW, 냉각수), Outlet(배출구), Guide plate(GP), Vortex generator(VG, 와류생성기)

1. 서론

선박의 대형화 및 고속화 추세에 따라 최근 신조 가스운반선(LNG Carrier)은 비교적 볼륨이 크고 높은 파위에서 보다 빠른 속도로 운항하도록 설계

다. 또한 스팀터빈형 가스운반선의 경우 메인 콘덴서의 냉각을 위한 냉각시스템이 운항 중 지속적으로 구동되어야 하기 때문에 프로펠러 과부하에 따른 캐비테이션 및 진동 문제 등이 부각되고 이에 적절한 디자인 프로펠러를 설계하는 것 외에도 반류유동제어장치의 활용이 요구되고 있다(Son et al. 2004, Han et al. 2004, Choi et al. 2005).

스팀터빈 메인 콘덴서의 냉각수(Cooling Water,

접수일: 2009년 6월 23일, 승인일: 2009년 8월 18일

†교신저자: yslee132@dsme.co.kr, 016-550-4592

CW) 배출구 주위에 부착되어 프로펠러 유입류를 가속 및 균일화시키도록 개발된 DSME Guide Plate(GP)는 이러한 캐비테이션 및 변동압력을 감소시키고 프로펠러의 효율을 증가시킬 수 있는 효과적인 반류유동제어장치로 활용될 수 있다. GP는 vortex generator(VG)와 더불어 프로펠러 및 선미형상 설계만으로 극복하기 어려운 프로펠러 진동 및 소음 문제를 해결할 수 있는 가장 강력한 방법이지만 동시에 선체 및 추진 효율 등에 영향을 주어 선박의 속도성을 저하시키는 요인으로 작용하기도 한다(Lee et al. 2004, Jang et al. 2006).

본 연구에서는 최근 수주되어 설계 개발된 스팀터빈형 DSME 160,500 M³ LNG를 대상선으로 다양한 GP 설계안(alternatives)에 대한 모형시험을 수행하고 프로펠러 캐비테이션 및 진동 성능, 그리고 속도성능의 변화를 살펴보았다. GP 설계안들이 선박성능에 미치는 요소 별 영향도를 정성적 정량적으로 분석하여, 두 가지 성능을 동시에 고려한 GP 설계방법을 제시하고 나아가서는 GP와 같은 반류유동제어장치를 채택할 경우 선형 및 프로펠러 설계 가이드라인을 제공하고자 하였다.

2. DSME Guide Plate

2.1 Guide Plate 작동 개념

일반적으로 배출된 냉각수는 상대적으로 주변 유동보다 느린 유동으로 프로펠러 면에서의 종 방향 유속을 급격히 감소시켜 캐비테이션 및 진동 성능을 저하시킨다. 일반적으로 냉각수에 의한 변동압력의 증가는 약 40%에 이르며 속도성능에도 영향을 준다.

반류제어장치로서의 GP는 냉각수 배출구 주위에 설치되어 경계층 내부로 운동에너지(kinetic energy)를 더해줌으로써 종 방향 박리(separation) 유동현상을 줄이고 선미 유동장 속도를 증가시켜 경계층 두께를 감소시키는 역할을 한다. 또한 Fig. 1에서 보는 바와 같이 선체외부로 방출된 냉각수의 속도와 흐름방향을 제어하여 프로펠러 상방 최대반류영역(wake peak zone)의 유속을 효과적으로 제어할 수 있다. 즉, 프로펠러 면으로 흘러 들

어가던 저속의 냉각수 유동이 GP에 의해 급격하게 가속되고 흐름의 방향이 선체 상부로 이동되면서 프로펠러 상방의 유속이 상당히 호전됨을 볼 수 있다(Brunet et al. 2006, Jang et al. 2004).

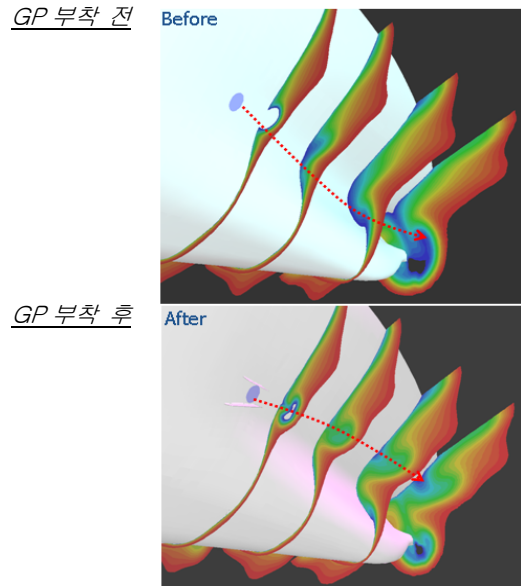


Fig. 1 Variation of stern flow characteristics with GP

2.2 Guide Plate 설계

DSME Guide Plate(GP)는 스팀터빈 메인 콘덴서의 냉각수가 선체외부로 배출될 때 발생하는 프로펠러 진동문제를 해소하기 위해 개발되었고 이후 표준화되어 스팀터빈용 LNG 선박에 주로 이용되고 있다. GP 표준화를 위해 당사에서는 2006년부터 GP 형상, 각도, 위치 등에 대한 이미 방대한 양의 실험적 해석적 민감도 해석을 수행하였다(Kim et al. 2007). DSME GP는 Fig. 2와 같이 배출구 주위 상하로 구분된 두 개의 사각형 판으로 구성되며 일반적으로 유선흐름과 평행하게 설치하도록 되어 있다. 본 연구에서는 선미형상이 동일한 유사선의 세가지 GP 형상과 5가지 설계각(5도~20도) 등의 10가지 조합 중 저항 및 진동 성능이 우수한 것으로 판단되는 GP 형상과 각도 GP1: 5도, GP2: 10도를 초기 설계안으로 채택하였다. 또한 GP의 크기 및 위치는 냉각수의 유량

및 유속 뿐 아니라 배의 속도 및 선미 형상에 따라 적절하게 결정되어야 한다.

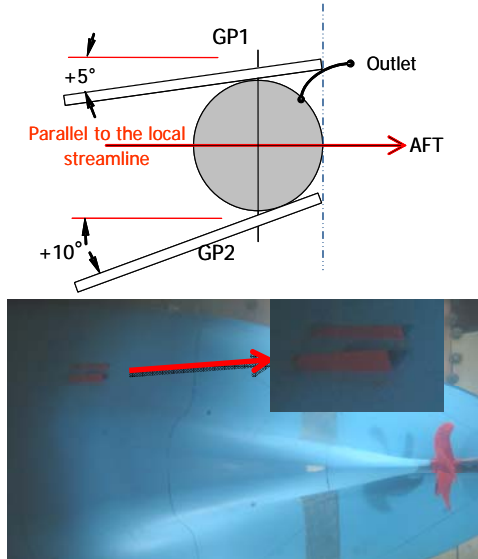


Fig. 2 Configuration of the standard GP

3. GP의 성능 특성

GP가 캐비테이션 및 변동압력에 미치는 영향과 속도성능에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 SSPA에서 캐비테이션 터널시험과 예인수조 시험을 수행하였다. 냉각수(CW)가 선체외부로 배출될 때 혹은 배출되지 않을 때 GP가 선미 유동장 및 프로펠러 성능에 미치는 영향을 다음과 같은 4가지 조합에 대해 조사하였다.

- C0 : w/o GP w/o CW
- C1 : w/o GP w/w CW
- C2 : w/w GP w/o CW
- C3 : w/w GP w/w CW

3.1 캐비테이션 및 변동압력 특성

위 4가지 조합에 대한 캐비테이션 및 변동압력 특성을 알아보기 위하여 SSPA 대형캐비테이션 터널에서 각각의 경우에 대한 비교시험이 수행되었다. Fig. 3은 4가지 조합에 대한 1, 2차 성분 최대 변동압력의 계산값(computed)과 실험값(measured)을 보여준다. 계산결과와 실험결과

의 정성적 경향은 매우 유사하다.

GP가 없는 경우 냉각수(CW)에 의해 느려진 유속은 약 40% 이상 변동압력을 증가시킨다(C0 & C1). 여기에 GP를 달면 변동압력 1차 성분이 약 2 kPa, 즉 160% 이상 감소하여 진동문제가 전혀 발생하지 않는 수준이 된다(C1 & C3). 이러한 GP의 영향은 냉각수(CW) 배출과 무관하게 같은 수준을 유지한다(C2 & C3).

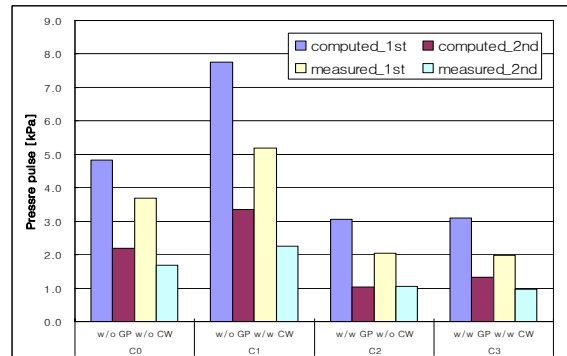
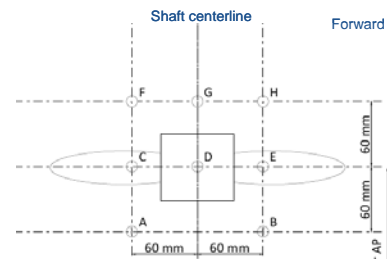
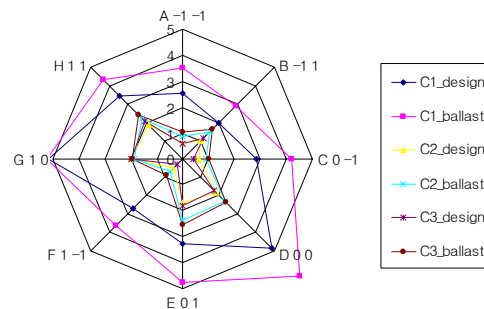


Fig. 3 Pressure pulses with GP and CW



(a) Positions of the transducers



(b) Distribution of the first pressure pulses measured at each transducer

Fig. 4 Characteristics of the pressure pulses as a function of GP and CW

Fig. 4 는 프로펠러 상부 8 개의 변동압력 센서로부터 계측된 변동압력 크기 및 그 분포를 각각 다른 로딩조건(design condition, ballast condition)에서 보여주고 있다. 먼저 GP 가 있는 C2 와 C3 의 경우 C1 보다 변동압력이 현저하게 감소하지만 냉각수(CW) 의 유무에는 거의 영향을 받지 않는다. 특히 GP 에 의한 변동압력 감소폭은 변동압력 센서 중 GP 가 장착된 좌현 A, C, F 에서 가장 크고 그 영향도가 우현방향으로 서서히 감소되기 때문에 GP 의 영향은 최대 변동압력 및 캐비테이션 발생 위치를 변화시킨다(Fig. 5 참조). 또한 GP 는 각각 로딩조건(design & ballast conditions) 에 따른 변동압력 변화를 완화시킨다. 즉 GP 는 선미 형상 및 선박 자세 등이 후류에 미치는 영향보다 더 큰 정도로 후류의 속도와 위치에 영향을 주는 것으로 판단된다.

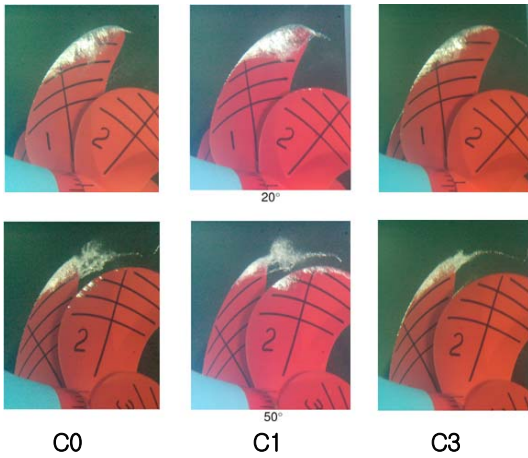


Fig. 5 Cavitation behavior with GP and CW

결론적으로 GP 의 영향은 정량적으로 냉각수(CW) 가 반류에 미치는 영향보다 훨씬 크며 이와 같은 현상은 변동압력뿐 아니라 캐비테이션 거동에도 나타난다. 따라서 GP 는 냉각수(CW)가 없는 경우에도 단독으로 이용되어 효과적인 반류유동제어 장치로 활용될 수 있으며 그 효과는 프로펠러나 선미형상 설계로 제어할 수 있는 범위보다 훨씬 큰 것을 알 수 있었다.

3.2 속도성능 특성

GP 의 변동압력 및 캐비테이션 성능상 개선에도 불구하고 여전히 속도 성능에 미치는 영향을 무시할 수 없다. 따라서 위의 4 가지 조합에 대한 저항 및 자항 시험을 수행하고 냉각수(CW) 와 GP 의 속도성능에 미치는 영향을 Table 1 에 정리하였다. 냉각수(CW)와 GP 에 의한 속도 손실은 각각 약 -0.2 knots, -0.1 knots 정도로 추정되며 두 개의 장치가 함께 작동할 경우 속도는 거의 산술적으로 감소했다.

Table 1 Level of speed performance with GP or CW

Effects based on C0		Differences in %		Differences	
		EHP(%)	DHP(%)	Vs (Kts)	RPM
CW	C1/C0	3.3	3.4	-0.2	-1.0
GP	C2/C0	-0.2	1.9	-0.1	0.5
CW+GP	C3/C0	1.5	4.5	-0.3	0.4

속도성능에 대한 저·자항 성분의 영향도를 살펴보면 냉각수(CW)에 의한 속도 저하는 거의 저항증가에 기인하며 GP 의 속도성능저하는 추진효율의 변화에 크게 영향을 받은 것으로 보인다. 또한 GP 장착에 의해 저항이 미소하지만 감소했다. 추진효율의 변화는 GP 로부터 가속되어 프로펠러 면으로 유입되는 반류로부터 선체효율이 급격히 감소하여 발생된다.

결국 속도성능상 최적인 GP 를 설계한다는 것은 선체효율이 급격히 감소하지 않으면서 변동압력이 감소할 수 있는 반류분포를 찾는 것과 저항증가가 적거나 오히려 저항이 감소하도록 GP 의 위치와 각도 및 크기 등을 찾는 것이다. 즉 프로펠러 상부 최대반류영역(wake peak zone)의 유속만을 국부적으로 증가시키면서 반류에는 크게 영향을 주지않거나 감소하더라도 반류변화가 저항감소를 수반하는 형태의 GP 를 설계하는 것이다.

4. 다양한 GP 에 따른 성능 요소별 영향

이와 같이 GP 의 속도관점 설계를 위해서는 적절한 변동압력수준을 만족시키면서 최소저항을 갖

는 GP 형상, 위치 및 각도 등에 대한 체계적인 조사가 필요하다. 본 논문에서는 GP 설계를 위한 준비단계로 실험범위를 단일 및 이중 판으로 구성된 GP 를 좌현, 우현 및 양쪽에 배치시켰을 때 GP 에 따른 유동장 변화와 그에 따른 성능별 영향도를 정성적, 정량적으로 조사하는 것으로 제한하였다. 즉, 아래 4 가지 조합의 GP 가 반류분포에 미치는 영향을 예측하고 이를 이용하여 프로펠러 작동시 변동압력 및 속도성능에 미치는 영향을 조사하였다. DGPP 는 3 장의 C2 와 동일한 경우이다.

- SGPP : Single GP at Port side
- DGPP : Double GP at Port side
- DGPS : Double GP at Starboard side
- DGPB : Double GP at Both sides

4.1 반류 분포

4 가지 조합의 GP 가 반류분포에 미치는 영향을 Fig. 6 에서 비교하였다. GP 로 인해 반류 유동장은 비대칭성이 되며 유속은 전체적으로 증가한다. Table 2 에서 보는 바와 같이 공칭반류비(nominal wake fraction)는 GP 가 없을 때 가장 크고 SGPP, DGPP, DGPB 의 순서로 감소한다. 반면 프로펠러 상방(0deg) 최대반류영역(wake peak zone)에서의 전진방향 속도(V_x/V_s)는 GP 가 없는 경우 가장 느리지만 SGPP 와 DGPP 모두 DGPB 보다 빨라진다. 좌현과 우현의 비대칭성 유동장이 프로펠러 상방 최대반류영역(wake peak zone)에 영향을 주며, GP 가 단일판인 경우와 이중판인 경우 반류분포에 미치는 영향의 차이는 미소하다.

Table 2 Comparison of nominal wake fractions according to GP alternatives

GP	Wn (%)	Vx/Vs at top(0 deg)			
		0.4R	0.64R	0.88R	1.12R
w/o GP	1.00	1.00	0.89	0.80	0.76
SGPP	0.91	1.11	1.09	1.02	1.01
DGPP	0.90	1.14	1.14	1.11	1.03
DGPB	0.83	1.11	1.08	1.00	0.92

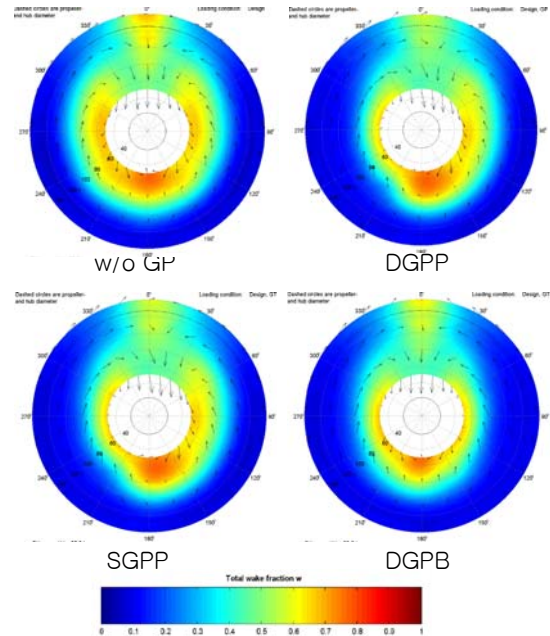


Fig. 6 Wake distribution of each GP alternative (looking forward)

4.2 최대반류(wake peak) 와 변동압력 변화

계측된 4.1 의 4 가지 반류분포를 이용하여 좌우 대칭형 반류 SGPS, DGPS 를 추가하고 6 가지 경우의 변동압력을 계산하였다. 계산결과와 시험 결과의 정성적 경향의 신뢰도는 제 3.2 장에서 확인한 바 있으며 그 계산 결과를 Fig. 7 에 GP 가 없는 경우(w/o GP)의 변동압력에 대한 백분율로 나타내었다.

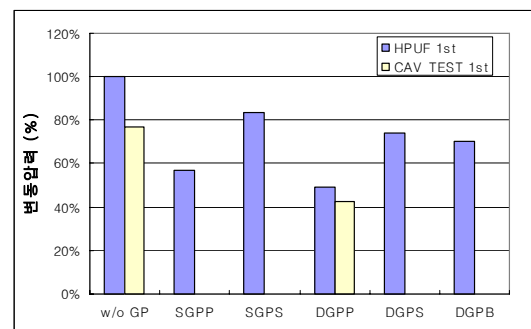


Fig. 7 Level of the pressure pulses of diverse GP alternatives

GP 를 장착하면 변동압력은 감소한다. GP 를 좌현에 배치했을 경우 DGPP, SGPP 에서 변동압력치는 최저치를 갖는다. 이중판인 경우 단일판보다 변동압력 감소효과가 크지만 차이는 미소하다. 이중판 GP 를 우현에 배치했을 경우(DGPS) 양쪽에 배치한 경우(DGPB)보다 변동압력은 커진다.

즉 변동압력은 거의 전적으로 프로펠러 상방 최대반류(wake peak) 크기에 비례하기 때문에 이러한 측면에서 보면 대칭형 보다는 시계방향 회전 프로펠러인 경우 좌현에 반류제어장치를 장착함으로써 최대반류(wake peak)를 줄이고 변동압력도 큰 폭으로 감소시킬 수 있다. 단일판으로도 변동압력을 감소시키는 역할을 충분히 할 수 있으며 이로부터 저항이 적은 GP 를 정할 수 있다.

4.3 GP 에 따른 저항 및 자항 성능

SGPP, DGPP, DGPS 와 DGPB 에 대한 저항 및 자항 시험을 수행하였다. Fig. 8 은 각각의 저항 성분과 GP 가 없는 경우(w/o GP) 에 대한 백분율로 보여주고 있다. 반류 감소폭에 따른 선체효율 감소비와 그에 따른 프로펠러 단독효율 증가비 및 추진효율 감소비 등의 경향을 볼 수 있다. SGPP 와 DGPP, 즉 좌현에 GP 를 장착시킬 경우 저항이 감소되고 단일판(SGPP)의 경우 이중판(DGPP) 보다 선체효율 감소가 적으며 프로펠러 단독효율도 미소 증가하여 결국 유효마력이 감소하였다. 즉 GP 에 따라 속도 및 진동 성능이 동시에 향상되는 설계가 가능하다는 것과 그러한 설계

를 위한 최소한의 설계조건들에 대한 경향을 확인하였다.

정량적으로 보면 결국 속도성능을 유지하기 위해 가장 중요한 성분은 저항감소이며 진동성능의 향상이 GP 형상에 비교적 덜 민감한 것을 감안한다면 GP 설계는 주로 저항 관점에서 최적화 될 필요가 있어 보인다.

5. 결론

GP 는 냉각수(CW)가 없는 경우에도 단독으로 이용되어 효과적인 반류유동제어장치로 활용될 수 있으며 그 효과는 프로펠러나 선미형상으로 제어할 수 있는 범위보다 훨씬 크다. GP 는 전반적으로 프로펠러에 입사되는 전진방향 평균유속을 증가시키며 특히 프로펠러 상방 최대반류영역(wake peak zone) 에서의 개선효과가 두드러져 프로펠러 캐비티 양을 줄이고 변동압력을 줄이는데 효과적으로 이용될 수 있다.

하지만 자항 관점에서 본다면 경계층 내 반류는 추력감소계수(thrust deduction fraction) 보다 큰 폭으로 감소되어 선체효율 감소에 직접적인 영향을 준다. 또한 유속증가와 더불어 균일반류 분포는 상대회전효율을 감소시키는 경향을 보여준다. 이로부터 자항 성능은 감소하게 되고 일반적으로 약 1~2% 속도성능 저하가 나타난다.

결국 속도성능상 최적인 반류유동제어장치로서 GP 를 설계한다는 것은 선체효율이 급격히 감소하지 않으면서 변동압력이 감소할 수 있는 반류분포를 찾는 것과 저항증가가 적거나 오히려 저항이 감소하도록 GP 의 위치와 각도 및 크기 등을 찾는 것이다.

또한 반류 변화에 따른 선체효율 변화량과 설계프로펠러 효율의 정량적 변화량에 따라 추진효율이 결정되므로 초기설계단계에서 GP 장착이 유력하다면 프로펠러 설계 시 이를 고려하여 최대효율을 갖도록 설계하는 것이 좋다. 특히 프로펠러 설계로부터 진동문제를 해결할 수 있는 효과는 정량적으로 GP 의 영향보다 훨씬 적기 때문에 오히려 최대효율관점에서 프로펠러를 설계하고 GP 를 장착하는 것이 진동성능뿐 아니라 속도성능 면에서 효

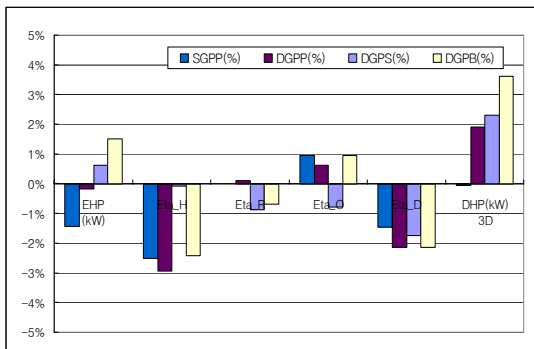


Fig. 8 All components of the speed performance of the GP alternatives

과적인 방법이라 할 수 있다.

참 고 문 헌

- Brunet, V., Francois, C., Garnier, E. and Pruvost, M., 2006, “ Experimental and Numerical Investigations of Vortex Generators Effects,” 3rd AIAA Flow Control Conference, California, AIAA 2006-3027.
- Choi, S.K., Choi, S.H., Ahn, S.M. and Han, J.M., 2005, “ Development of Vibration Reduction Device for LNG Carrier with Cooling Outlet Flow,” Proceeding of the Annual Spring Meeting, SNAK, pp. 53-58.
- Han, J.M., Kim, J.H., Son, H.J. and Seo, J.S., 2004, “ Influence of Cooling System for LNG Carriers on the Propeller Cavitation Behaviors,” Proceeding of the Annual Autumn Meeting, SNAK, pp. 510-516.
- Jang, J.H., Choi, S.H., Rhyu, S.S., 2004, “ Effects of Vortex Generator on Wake Distribution,” Proceedings of the Annual Autumn Meeting, SNAK, p. 256.
- Jang, Y.H., Park, J.J., Kim, B.G. and Choi, Y.B., 2006, “ Notes on the Design and Application of Vortex Generators,” Proceeding of the Annual Autumn Meeting, SNAK, pp. 467-472.
- Kim, S.P., Jun, D.S. and Choi, Y.B., 2007, “ Development of the Wake Control Devices for Improvement of the Vibration Performance of 150,000 Class LNG Carriers,” Presentation material, KTTC Workshop.
- Lee, C.J., Park, I.R., Lee, Y.H. and Byeon, S.H., 2004, “ A Study on the Performance Affected by Vortex Generator for DWT 40,000Ton Product Carrier,” Proceeding of the Annual Autumn Meeting, SNAK, pp. 257-263.
- Son, S.H., Lee, K.H., Jung, S.H., Han, B.W., Choi, J.E., 2004, “ Development of the Outlet Shape of Scoop Cooling System for LNG Carrier,” Proceedings of the Annual Autumn Meeting, SNAK, pp. 733-739.



< 이 연 승 >

< 최 영 복 >