

로터 피치각 변화에 따른 Pod형 워터제트 성능비교

김 준 흥^{*1}, 박 원 규^{*2}, 전 호 환^{*3}, 김 문 찬^{*3}

Effect of Pitch Angle Variations On Performance Of Pod Type Waterjet

J. H. Kim, W. G. Park, H. H. Chun and M. C. Kim

고속 선박을 추진하는 한 방법으로 널리 사용되는 물분사 추진은 물을 내부 덕트로 빨아들여 임펠러로 물을 가속시켜 노즐을 통해 분사시킴으로써 입출구의 운동량차이에 의해 추력을 얻는 추진장치이다. 선박의 목적에 따라 사용되는 다양한 형태의 물분사 추진기의 개발을 위하여 모형실험을 통하여 그 성능을 검증하는 부분에서 로터의 피치각 변화에 따른 추진기의 성능 실험을 하는 것은 많은 비용과 시간이 따른다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 연구에서는 추진기 내부의 유동장을 4가지 피치각에 따라 추진력을 3차원 비압축성 Navier-Stokes 방정식을 이용하여 해석하였다. 로터의 회전을 고려하여 슬라이딩 다중 격자기법을 적용하였고 추력계수, 토크계수, 그리고 모멘텀을 해석 결과와 비교 분석을 통하여 추진기의 성능과 효율을 추정하였다.

Key Words: RANS Equations (RANS 방정식), Waterjet (물분사), Sliding multiblock technique (슬라이딩 다중격자기법), Propulsive performance(추진성능)

1. 서 론

물분사 추진장치는 내부 덕트로 빨아들인 물을 펌프내의 임펠러로 가속시켜 노즐을 통해 분사시킴으로 운동량차이에 의해 추력을 얻는 추진장치로서 워터제트에서 가장 일반적인 분류법은 비속도에 의한 분류를 들 수 있다. 이는 유체량과 압력에 대한 비라 할 수 있는바 이 비속도가 크면 시간당 유량이 클수록 유리하고 반대의 경우는 압력차이를 크게 하여야 효율적인 워터제트가 될 수 있다. 이 비속도의 크기에 따라 축류형, 혼합형, 사류형 워터제트로 분류하고 있으며 이는 일반 펌프에서의 분류 방법에 따른 것이다. 즉 축류형의 경우 압력차에 의한 추진보다는 유체의 유량을 많이 분사시켜 추력을 얻는 개념의 워터제트로서 사류형에 비하여 짧고 단순

한 덕트 구조를 하고 있다. 최근 이의 성능 해석을 위해서 실험적 방법과 수치적 방법이 각각적으로 수행되어왔다. 그리고 로터에서 피치각도를 조절함으로써 원하는 유량과 압력 얻을 수 있고 프로펠러의 손상 억제 등의 효과를 얻을 수 있다. 따라서 피치각에 따른 압력과 추진력 등과의 관계를 규명하는 것은 매우 중요한 일이며, 실제에 적용되는 물분사 추진기에서 피치각에 따른 성능을 예측하는 것은 효율적인 물분사 추진기의 운전과 성능에도 많은 도움이 될 것이다. 하지만 이런 원하는 특성을 만족할 정도까지 반복 실험을 한다는 것은 많은 시간과 비용 그리고 노력이 필요하므로 실험이 아닌 전산해석 방법을 통한 결과를 설계 자료로 활용하게 되었다.

2. 추진기 설계 및 실험

2.1 추진기 로터 설계

설계과정에서 전호환 등[1]은 전체적인 효율 및 필요마력 등을 기존의 유사 모형시험 결과 및 모우멘텀 이론에 의해 개략적으로 추정하여 그 결과를

*1 학생회원, 부산대학교 대학원 기계공학과

*2 정회원, 부산대학교 대학원 기계공학부

*3 부산대학교 조선해양공학과

*E-mail : wgpark@pusan.ac.kr

토대로 덕트형 프로펠러의 대한 자료[2]를 이용하여 기본제원(평균피치, 전개 면적비, 날개수)으로 사용하였다. 이 과정에서 얻어진 몇가지의 피치각 대해서 성능실험을 통한 방법으로 최적의 로터 피치각을 선정하기에는 많은 비용과 시간이 필요하므로 전산해석 방법을 사용하여 설계데이터로 이용하였다. 본 연구에서의 목적인 피치각의 변화 따른 성능 해석을 하기 위해서는 앞서 개발한 유동 해석프로그램[3,4]을 이용하여 주어진 마력과 조건에 부합될 때까지 반복적으로 해석을 하였고 Fig. 2에서 보는 바와 같이 4가지의 로터의 피치각의 경우에 대해서 수행하였고 피치각은 Table 1에 나타내었다. 본 연구에서의 설계 과정을 Fig. 3에 나타내었고 이 과정을 거친 후에 최종적으로 최적의 피치각을 도출하였다.

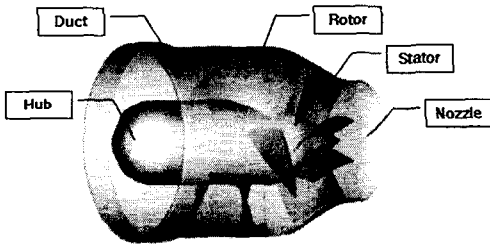


Fig. 1 추진기의 전체구성

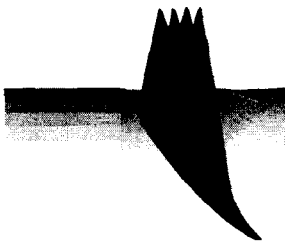


Fig. 2 각 Case별 피치각 변화

Table 1 각 Case 별 로터의 피치각 분포

Case No.	Pitch Angle at r/R = 0.7	Section
Case 1	13.3°	NACA66
Case 2	16.3°	
Case 3	19.3°	
Case 4	22.3°	

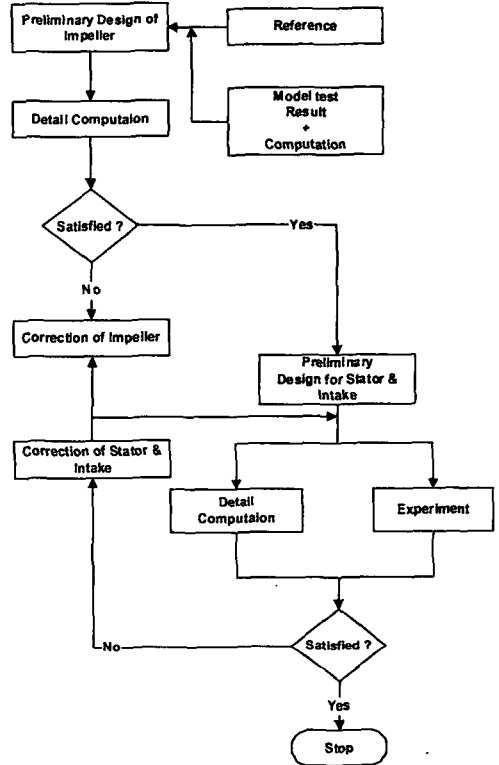


Fig. 3 반복설계 과정도

3. 성능 해석

3.1 지배방정식 및 수치해석방법

3차원 비정상상태 비압축성 점성 유동의 지배방정식은 N-S방정식으로, 이를 무차원화 한 후 일반화된 곡선좌표계로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial \xi} (\bar{E} - \bar{E}_v) + \frac{\partial}{\partial \eta} (\bar{F} - \bar{F}_v) + \frac{\partial}{\partial \zeta} (\bar{G} - \bar{G}_v) = 0 \quad (1)$$

여기서, \bar{q} 는 유동벡터, \bar{E} , \bar{F} , \bar{G} 는 대류항이며, \bar{E}_v , \bar{F}_v , \bar{G}_v 는 점성항을 의미한다. 식 (1)의 해를 구하기 위해 반복 시간행진 방법(Iterative Time Marching)[4,5] 사용하였다.

3.2 격자계

물분사 추진기 내부 유동해석을 위한 격자는 총 19개의 블록으로 격자수는 550,350개로 구성되었으며 구성된 모습을 Fig. 4에 보였다.

Table 2 블록 격자계의 구성

UNIT	Block 수	격자수
Upstream	1	25x41x67
Inlet	1	25x41x25
Rotor	5	53x29x25
Stator	11	49x17x25
Nozzle	1	34x41x25
Total	19	550,350

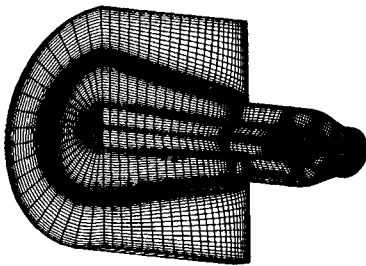


Fig. 4 Grid System

4. 결과 및 고찰

수치 해석은 워터제트 pod형 워터제트 추진기의 흡입부인 덕트, 로터, 스테이터 및 노즐의 전 영역에 있어서 유동해석을 수행하였다. 피치각에 따른 임펠러의 설계를 검증하기 위하여 임펠러에 대한 압력 분포와 유선분포를 살펴보았다. Case 3의 경우에 Fig. 4에서 볼 수 있는 바와 같이 압력면에서의 압력 분포를 살펴보면 팁에서의 피치를 상당히 작게 설계 하였음에도 불구하고 다소 높은 압력을 볼 수 있는데 이는 로터의 회전에 의한 원심력과 외부케이싱의 역할 때문에 날개 끝 방향으로 가면 갈수록 높은 압력을 보여 주는 것이다. 유선의 모습을 살펴보면 전체적으로 박리현상 없이 잘 흐르고 있음을 알 수 있으며 흡입면에서의 날개 끝 방향으로 흐르는 흐름은 큰 허브를 타고 오는 유체의 원심력적인 힘이 발생하는 현상이며 일반펌프나 워터제트에서 흔히 발생되어진다. Case 1, 2의 경우 피치각이 작아짐으로 인해 실속이 발생하고 그것으로 인한 앞날 흡입면에서 압력이 증가한 것과 과도한 유동 박리현상이 나타남을 Fig. 7에서 확인 할 수 있었다. 로터의 기준이 되는 0.7R에서의 로터 후방에서의 속도 분포를 Fig. 8, 9, 10에 나타내었다. 피치각이 커진 Case 4의 경우 축방향, 반경방향 속도 성분이 다른 경우에 비

해 크게 나타남을 알 수 있고 Case 2, 3의 경우에는 다른 경우와 비교해 접선방향과 반경방향 속도성분이 작다는 것을 알 수 있다. 그리고 Case 1의 경우는 팁방향으로 갈수록 모든 방향으로의 속도가 증가하였다. 즉, 이 Case의 피치각은 피해야 된다는 것을 알 수 있다.

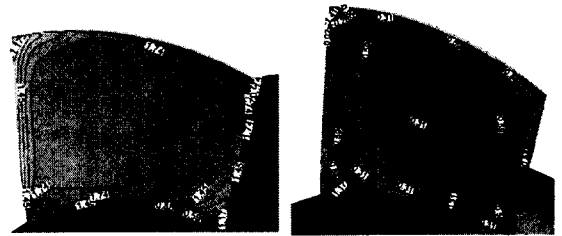


Fig. 5 Case 3 일때 압력면과 흡입면의 압력분포

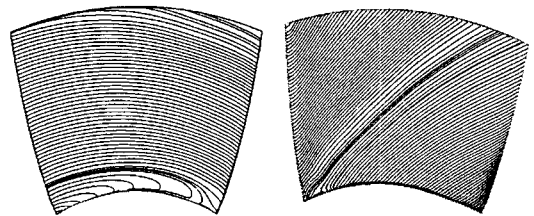


Fig. 6 Case 3 일때 압력면과 흡입면의 한계유선

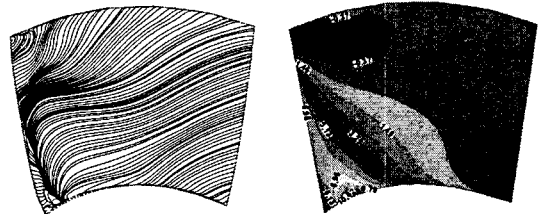


Fig. 7 Case 2 일때 흡입면의 유선과 압력분포

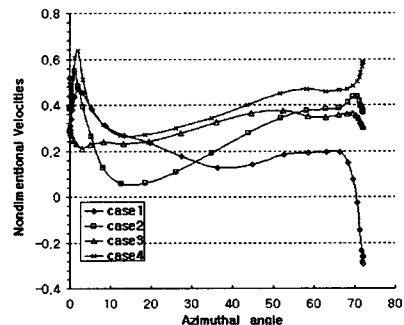


Fig. 8 로터 후방에서의 축방향 속도

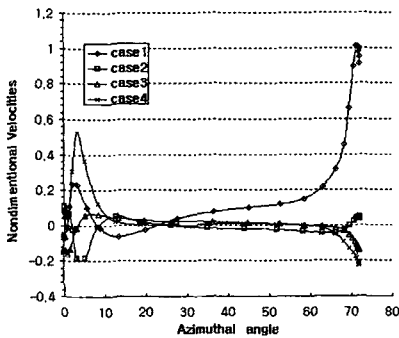


Fig. 9 로터 후방에서의 접선방향 속도

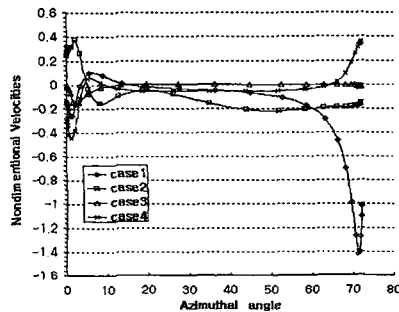


Fig. 10 로터 후방에서의 반경방향 속도

일의 토크의 실선화하여 필요마력을 추정하면 약 70PS로 설계 마력 100PS보다 많이 작아 노즐에서의 모우멘텀은 10km/h에서 원하는 값이 나왔으므로 실제 10km/h를 상회할 것으로 생각된다.

Table 3 물분사 추진기 로터의 주요 치수

Diameter(mm)	A_B/A_0	No. of blades
330	0.6	5
P/D(Root)	P/D(0.7R)	P/D(Tip)
0.87	0.76	0.70
ϕ (Root)	ϕ (0.7R)	ϕ (Tip)
32.2°	19.3°	12.6°

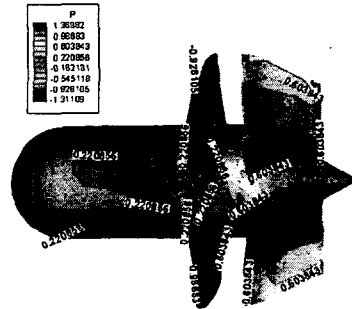


Fig. 11 추진기 펌프부의 전체 압력분포

Case 3의 피치각이 사용된 로터의 제원은 아래의 Table 3과 같으며 여기서 A_B/A_0 는 확장 면적비를 의미한다. Fig. 11에서는 추진기의 펌프부에 해당하는 곳에서의 모든 압력 분포를 나타내었다. 그리고 Fig. 12에서는 로터의 위치에 따라 스테이터에 유입되는 유동 및 압력이 다르며, 스테이터를 지나는 유동 역시 다름을 확인할 수 있다. Fig. 13에서는 노즐 단면의 압력분포와 속도를 비교해 보면 출구 중앙에서의 축방향 속도가 낮음에도 불구하고 압력값은 낮게 나타남을 알 수 있는데 이는 중앙에서 강한 swirl로 인한 축방향 속도보다는 접선 속도가 크게 나타나고 있음을 나타내는 것이다. 모우멘텀과 토크에 대한 계산 결과를 실험결과를 비교하여 Table 4에서 보였다. 여기서 M1 과 M7은 Inlet 입구에서의 모우멘텀과 노즐 출구에서의 모우멘텀을 나타낸다.

노즐에서의 모멘텀은 잘 일치하나 토크의 경우가 다소 차이가 많으며 입구에서의 차이는 계산에 있어서 실제 차량에 장착되는 추진기와의 형상의 상이함으로 인한 오차라고 추정한다. 토크의 차이에 대하여는 실험과 이론 모두 더 깊은 연구가 필요하리라 생각된다. 이러한 차이에도 불구하고 모형 스케

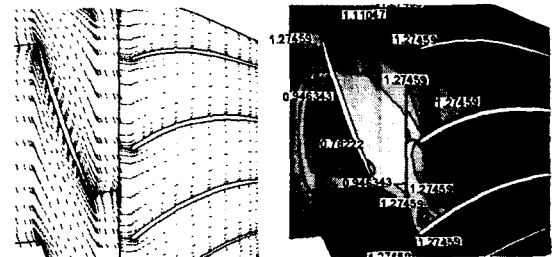


Fig. 12 로터 와 스테이터의 속도벡터와 압력분포

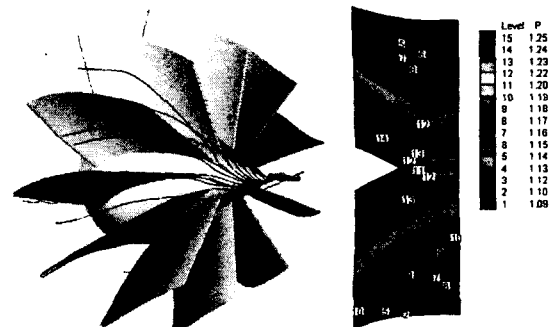


Fig. 13 노즐에서의 유선 및 압력분포

Table 4 입출구 운동량 비교

RPM 2600의 경우	Experiment	Computation	Rel. error
M1(N)	36.87	39.93	8.29%
M7(N)	79.08	79.22	0.82%
Torque(Nm)	0.97	1.21	24.9%
RPM 3000의 경우	Experiment	Computation	Rel. error
M1(N)	46.56	50.76	9.02%
M7(N)	99.86	99.68	0.19%
Torque(Nm)	1.29	1.59	22.8%
RPM 3400의 경우	Experiment	Computation	Rel. error
M1(N)	59.26	64.36	8.60%
M7(N)	127.12	126.08	0.82%
Torque(Nm)	1.64	1.92	16.8%

5. 결 론

3차원 비압축성 Navier-Stokes 방정식을 기초하고 개발된 물분사 추진장치의 성능을 해석하는데 사용하여 서로 다른 피치각을 가지는 물분사 추진시스템을 전산해석하고 그 결과를 실험과 비교하였다.

본 연구에서는 (1) 피치각이 작을수록 날개로 들어오는 유동으로 인해 날개 전연 근방의 흡입면으로부터 흐름방향의 박리선이 존재한다는 것을 확인 하였고 (2) 피치각이 줄어 들수록 박리점이 하류로 이동함을 알 수 있었다. 그리고 (3) 해석된 Case로 성능을 예측하였으며 실험을 통하여 결과가 비교적 잘 일치함을 확인하였다. 따라서 내부유동의 경우 압력의 누수를 방지하기 위하여 허브를 크게하고 허브쪽에서의 피치각을 통상의 프로펠러보다 매우 크게 설계하여야 하며 이는 회전수가 증가하고 직경이 작아 질수록 더 피치각을 크게 해야함을 확인 할 수 있었다. 그리고 로터의 피치각이 변함에 따라 달라지는 유동현상으로 인해 스테이터의 변화도 함께 고려해야 될 것이다.

참고문헌

- [1] 전호환 외, 2003, "R1 Pod형 워터제트 추진 시스템 연구," 연구보고서 No. 2003.-01-09, 첨단조선공학연구센터.
- [2] Van Manen, J. D., 1962, "Effect of Radial Load Distribution on the Performance of Shrouded Propellers," RINA Spring Meeting, pp.185-196.
- [3] 정영래, 2002, "로터-스테이터 상호작용이 포함된 수중 추진기의 Tip 간극변화에 따른 유동특성에 관한 연구," 부산대학교, 공학박사학위논문.
- [4] J. H. Jang, W. G. Park, J. S. Boo, H. H. Chun, M. C. Kim, 2004, "Numerical Flow Simulation of Waterjet with Rotor-Stator Interaction," The 10th of International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery.
- [5] 장진호, 박원규, 전호환, 김문찬, 2005, "워터제트 추진 시스템의 유동 및 성능 해석," 대한 조선학회 논문집, 제 41권 제 6호, pp.8-13.
- [6] Taylor T.E and Kerwin J.E, 1998, "Waterjet Pump Design and Analysis Using a Coupled Lifting-Surface and Rans Procedure," Waterjet Propulsion Latest Developments Proceedings.