

상용 추진기를 사용하는 무인잠수정의 추진성능 추정

이종무* · 최현택* · 김기훈* · 여동진** · 이관묵*

*한국해양연구원 해양시스템연구부

**한국해양연구원 해양안전방계기술연구부

The Estimation of the Propulsion Performance of a UUV Using Commercial Thruster

Chong-Moo Lee*, Hyun-Taek Choi*, Kihun Kim*, Dong Jin Yeo** and Pan-Mook Lee*

*Ocean Engineering Research Department, KORDI, Daejeon, Korea

**Marine Safety & Pollution Response Research Department, KORDI, Daejeon, Korea

KEY WORDS: Autonomous underwater vehicles(AUV) 자율무인잠수정, Thrust 추력, Propulsion performance 추진성능, Properller open water(POW) test 추진기 단독성능 시험, Maximun speed 최고속도

ABSTRACT: The previously developed method of estimating the propulsion performance of a UUV was applied to the high speed UUV, which is propelled by commercial thrusters. The thrusters were selected with an overdesign mentality; in other words, their capacities were excessive. At that point, the designer's concern was focused on a question regarding at what rpm the UUV could reach the design speed. Because the developed method required thrust coefficient curve data, the researchers asked for the POW data of the thrusters from the manufacturer. From the data, the researchers extracted the thrust coefficient and estimated the rpm value of design speed for the UUV. Finally, the researchers compared the estimated value and the result from a self-propulsion test using a VPM (Vertical planar motion mechanism) test at a towing tank in MOERI.

1. 서 론

수중에서 운용되는 무인잠수정의 개발에서 가장 먼저 검토되는 것이 무인잠수정의 사용목적과 사용 수심이다. 이에 따라 기동성과 속도를 결정하는데 무인잠수정의 속도는 추진 시스템의 설계에서 가장 중요한 요소이며 추진 시스템은 가장 많은 전력을 소모하므로 전체의 시스템 설계에서도 다른 서브시스템에 많은 영향을 미치는 요소이다(이종무, 2007).

원격제어무인잠수정(ROV)은 항주 성능보다는 자기의 현재 위치를 유지하는 성능으로 설계하므로 추진기의 경우도 정지시의 최대 추력으로 단순하게 설계한다. 그러나 자율제어 무인잠수정(AUV)과 같이 항주성능을 중시하는 무인잠수정은 외형도 유선형으로 설계하며 추진기의 경우도 최대 속도에서의 추진기 성능을 대상으로 설계한다(이종무, 2008). 특히 최대속도가 일반적으로 5kts 이상의 성능을 요구하는 무인잠수정의 경우는 처음 설계 단계에서부터 추진성능에 중점을 두고 선형과 추진 시스템을 설계한다.

한편 무인잠수정의 수요가 증가함에 따라 전 세계의 시장에는 무인잠수정에 적합한 추진기들이 출시되어 판매되고 있어

예전처럼 추진 시스템을 자체적으로 개발하거나 여의치 않은 경우 모형 항공기용의 프로펠러를 채용하거나 가공하기 쉬운 방법으로 제작하여 사용하는 일은 사라지고 있는 것으로 보인다. 현재 한국해양연구원 해양시스템안전연구소에서는 최대 속도가 7kts인 무인잠수정을 개발하고 있으며 원격제어무인잠수정이지만 최대속도를 얻기 위해 케이블을 가늘게 하여 저항을 줄이도록 선체 내에 배터리를 탑재하고 있어 기본적인 선체의 구성은 자율무인잠수정과 같은 방법으로 설계되었다.

이 무인잠수정은 개발기간의 제약이 있어 추진 시스템을 별도로 개발하지 않고 현재 가장 많이 쓰이고 있는 Tecnova 사의 Tecnydyne 추진기를 채택하였다. 또한 저항의 추정 오차나 추가적인 부가물에 의한 저항 증가로 최대속도가 줄어드는 것을 대비하여 설계 값보다 큰 용량의 모델을 선정하여 여유를 충분히 확보하도록 하였다.

본 논문에서는 이전에 발표하였던 추진성능 추정기법을 사용하여(이종무, 2009) 상용추진기를 사용하는 경우에도 이러한 방법이 유용함을 보일 것이며, 본 무인잠수정의 조종성능을 평가하기 위한 VPM 시험에서 수행된 저항시험 결과와 비교하여 추진성능 추정기법의 유효성을 보여 주고자 한다.

교신저자 이종무 : 대전광역시 유성구 장동 171, 042-866-3811 jmlee@moeri.re.kr

본 연구는 방사청 사업에서 수행된 연구결과 중 일부임을 밝히며, 대상이 되는 무인잠수정의 상세한 제원을 밝히지 않는 점에 대한 양해를 바라는 바이다.

2. 추진성능 추정

본 절에서는 설계 시의 추진기 선정과 이전에 개발된 추진성능의 추정 방법을 이용하는 과정을 설명 한다.

2.1 선체 저항의 추정

이전에 개발된 추진성능 추정 방법에서 선체저항 추정은 프로펠러의 자항점을 결정짓는 중요한 요소이다. 다만 설계 초기에는 추진 시스템을 설계하기 위해 계획된 무인잠수정의 기본 형태에 대해 저항을 추정하고 이를 바탕으로 소요마력과 운용 시간에 따라 전력원의 용량을 설정한다.

본 연구에서는 과거에 수행한 유선형 선체를 갖는 무인잠수정의 저항추정을 위한 CFD 해석의 결과를 근거로 하여 선체 전면의 투영면적 대비 저항계수를 0.17로 설정하였다(Hoerner, 1965). 이는 이전의 연구 결과에서 유사한 선형인 ISIMI AUV의 경우 0.15로 나왔던 것에 대해 부가물과 선형의 차이를 감안한 값이다(이종무, 2007). 이 때 선체저항은 316N(약 71lbs)으로 추정 되었다.

2.2 추진기의 선정

최대속도에서의 추정된 선체저항으로부터 필요한 추력을 갖는 추진기를 선정하게 된다. 이 때 부가적인 저항의 증가분을 고려하여 추력이 충분한 여유를 갖도록 선정하게 되며 제작자의 자료를 이용하여 검토하게 된다. 또한 상용추진기의 성능은 대표적으로 정지 상태(Bollard pull)에서의 추력을 표시하므로 속도별 추력에 대한 자료로부터 선정하는 것이 적합하다.

본 연구에서는 두 개의 추진기를 주 추진기로 사용하는 것으로 설정하였으며 저항의 두 배의 정지추력을 내는 모델로 선정하였다. 선정된 모델은 2010으로 정방향 최대추력은 93kgf(약

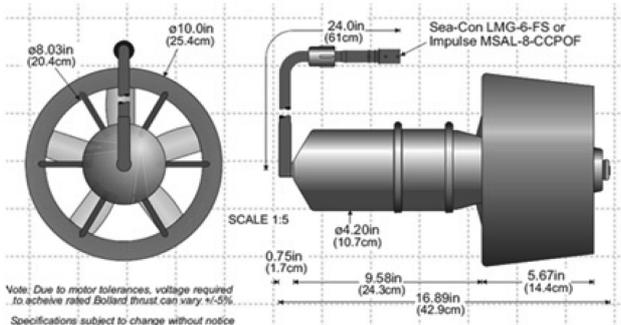


Fig. 1 Model 2010 thruster (Tecnova Inc.)

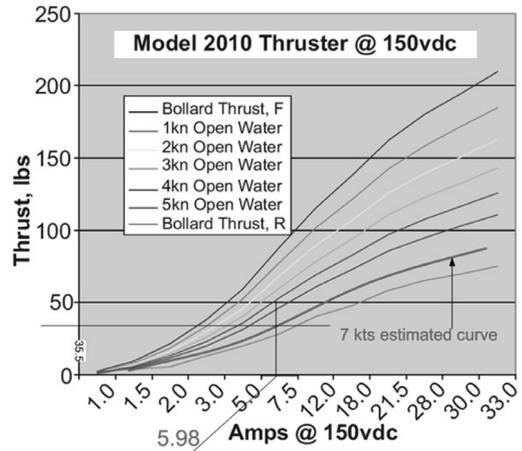


Fig. 2 Thrust with advance velocity change of Model 2010 thruster (Tecnova Inc.)

912.3N) 이다. 앞의 Fig. 1은 제작사인 Tecnova사의 홈페이지에 게시된 자사 상품 소개 자료의 일부로서 본 연구에서 선정된 추진기의 사진과 주요 크기를 보여주고 있다. Fig. 2는 모델 2010의 추력 성능을 나타내는 그래프로 용량의 설정을 돕기 위해 직류 150V를 인가했을 때 전류에 따른 추력을 나타내고 있다. 제작사는 5kts까지의 측정 결과를 제공하고 있어 그림의 최하부 역방향 추력의 바로 위에 곡선은 7kts에 대하여 추정된 곡선이다. 두 개의 추진기를 사용하므로 최대 속도에서 한 개의 추진기가 감당해야 하는 추력은 35.5lbs(약 16kgf)이고 전류량은 6A 이므로 이 추진기는 900W를 소모한다.

2.3 추진기의 단독성능

이전에 개발된 추진 성능추정 방법에서는 반드시 추진기의 단독성능으로부터 구한 추력계수의 곡선을 알아야 한다. 즉 추력계수와 전진비의 관계인 $K_T - J$ 곡선으로부터 자항점의 전진비 J_s 를 얻어야 하므로 추진기의 회전수와 전진속도에 의해 결정되는 전진비 J 의 변화에 따른 추력을 측정할 자료가 있어야 한다.

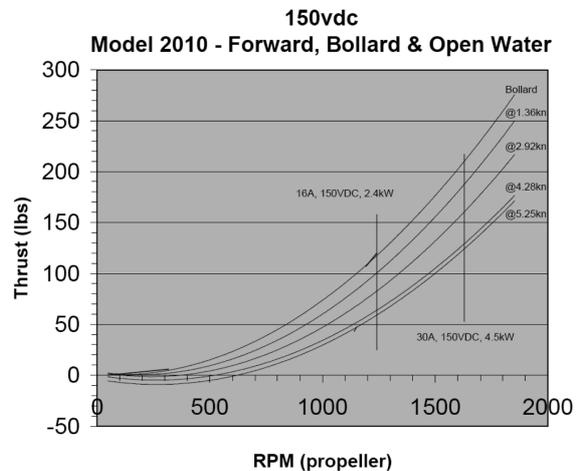


Fig. 3 POW data of Model 2010 thruster (Tecnova Inc.)

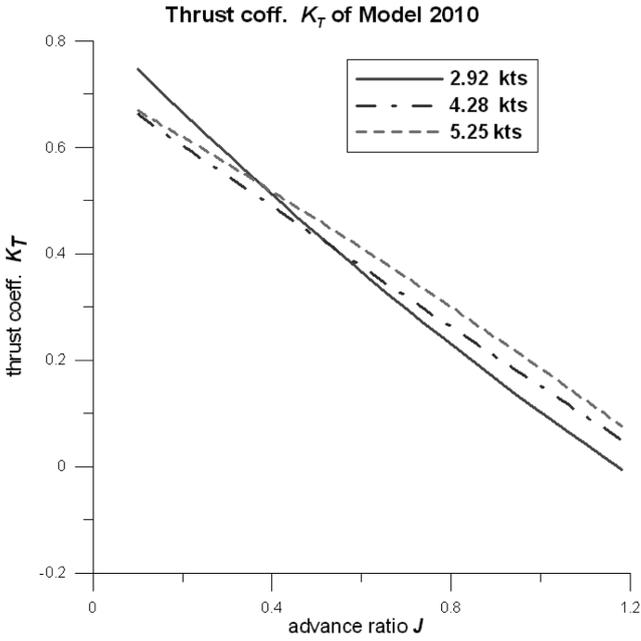


Fig. 4 Extracted thrust coefficient of Model 2010 thruster

추진기의 프로펠러 직경은 외부 덕트의 내경이 20.4cm로 표시되어 있어 덕트와 프로펠러 끝단의 간격을 감안하여 20cm로 하였다. 회전수와 전진속도에 따른 추력 측정값이 필요하므로 제작사에 이에 대한 자료를 요청하였다. Fig. 3은 제작사에서 보내온 POW 시험 자료이다. 이 그래프에도 7kts까지의 자료는 나타나 있지 않고 정지 상태에서 5.25kts까지 5단계의 자료만 나와 있다. J의 값들을 각각의 속도에서의 자료로부터 조합하여 각 전진 속도별 K_T 곡선을 작성하였으나 이 곡선들 간의 차이가 발생하였다.

Fig. 4는 세 가지 속도에서 추출한 추력계수들을 보여주고 있으며 각각의 속도별 추력계수들의 차이는 하나의 속도에서 예인하면서 각 시험조건의 차이가 발생한 것으로 추측된다.

2.4 최대 속도 성능추정

이제 얻어진 추진기의 단독 성능 결과의 추진계수와 앞서서 추정된 선체의 추정된 저항으로부터 최대속도인 7kts에서의 추진기 회전수를 추정하고자 한다. 이전의 연구로부터 선체저항의 정보를 포함하는 추력계수를 표현하는 식은 다음과 같다(이종무, 2009).

$$K_T = \frac{C_T S \cdot J^2}{2d^2(1-t)} = const \cdot J^2 \quad (1)$$

여기서 $const = \frac{C_T S}{2d^2(1-t)}$ 이고

- t: 추력감소계수
- C_T : 선체 저항 계수
- S: 선체 표면적 또는 투영면적
- K_T : 추력 계수
- d: 추진기 직경
- J: 전진비

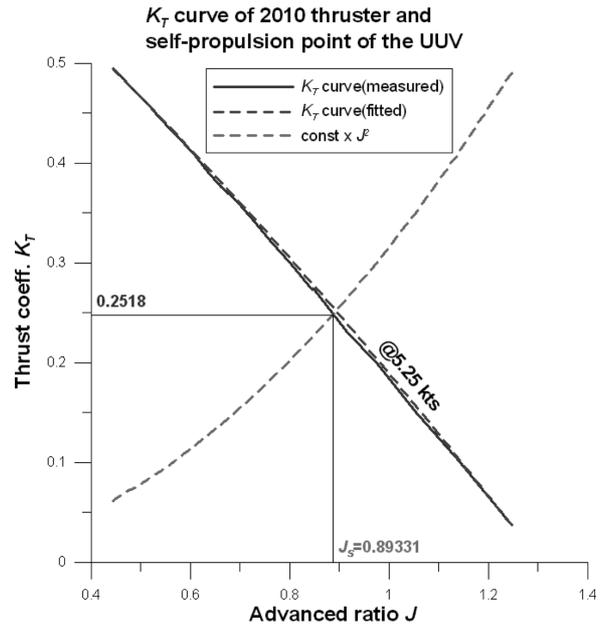


Fig. 5 The estimated self-propulsion point of the UUV

식 (1)에서 const에 해당하는 모든 값들은 앞 절에서 설명한 값들을 사용하면 전진비(J)에 대하여 원점을 지나는 2차 곡선의 추력계수 곡선을 얻을 수 있으며 이 곡선과 만나는 추력계수는 5.25kts에서 얻어진 결과로부터 추출한 추력계수를 사용하였다. 이전의 연구에서 설명한 바와 같이 이 때 추력계수 곡선은 이 곡선 상의 임의의 세 점으로부터 얻어진 계수를 이용하여 다시 2차식으로 맞추어서 2차방정식의 근의 공식으로부터 자항점에 해당하는 전진비 J_s 를 얻게 된다.

얻어진 자항점 J_s 로부터 전진비의 정의에 의해 다음의 식과 같이 최대속도 7kts(V)에서의 회전수를 얻을 수 있다.

$$n = \frac{V}{J_s d} \quad (2)$$

이 과정으로부터 얻어진 추진기의 최대속도에서의 회전수는 약 1,210RPM 이었다. 이 결과는 다음절에서 설명하는 VPMM (Vertical planar motion measurement) 시험에서 수행한 자항시험의 결과와 비교될 것이다.

3. 추진성능 시험

수조시험의 경우 자항점을 찾기 위해서는 별도의 시험을 수행하지만 무인잠수정의 경우 제어를 위한 선형 계수들을 찾아내기 위해 VPMM 시험을 수행하며 이 시험과정에서 자항시험을 실시하여 자항점을 확인한다.

3.1 VPMM 시험

운동 상태(자세각, 속도, 가속도) 변화에 대한 동유체력 계측을 목적으로 하는 VPMM 시험에서는 저항시험, 자항시험, 추진기 작동시험을 같이 수행한다.

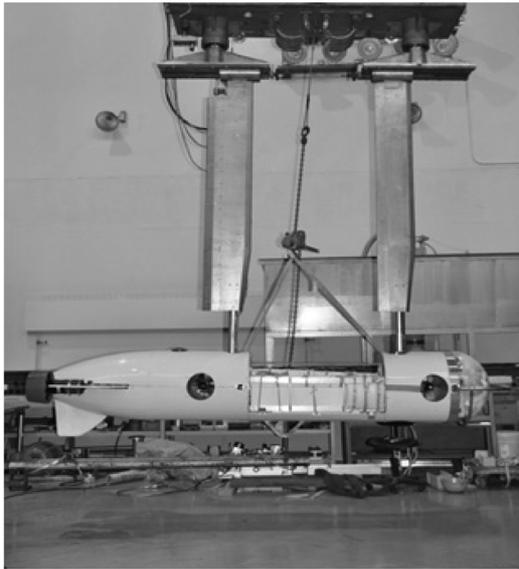


Fig. 6 The photo of UUV linked to VPMM

한국해양연구원 해양시스템안전연구소에서 보유하고 있는 VPMM 장치는 두 개의 스트럿으로 잠수체를 고정하게 되어 있으며 피시험 대상 잠수체의 선체 내부에 분력계가 설치되어 작용하는 힘을 측정하도록 되어 있다. 따라서 추진기를 작동시켜 저항점을 찾는 저항 시험(대한조선학회, 1993)도 수행할 수 있는 것이다. Fig. 6의 사진은 VPMM 장치에 장착된 무인잠수정을 보여 준다.

3.2 최대속도 성능시험

VPMM 장치에 장착된 상태에서 저항시험을 수행하였다. 다만 VPMM 장치 내의 힘을 측정하는 센서의 용량이 한계가 있어 최대 속도인 7kts까지는 측정할 수가 없었다.

저항시험에서는 각 속도별 저항 추진기 rpm을 얻을 수 있었으며(Lewis, 1988) 그 결과를 Fig. 7에 나타냈다. 그림의 결과는 저항과 추력이 같아지는 추진기의 회전수를 각 속도별로 측정

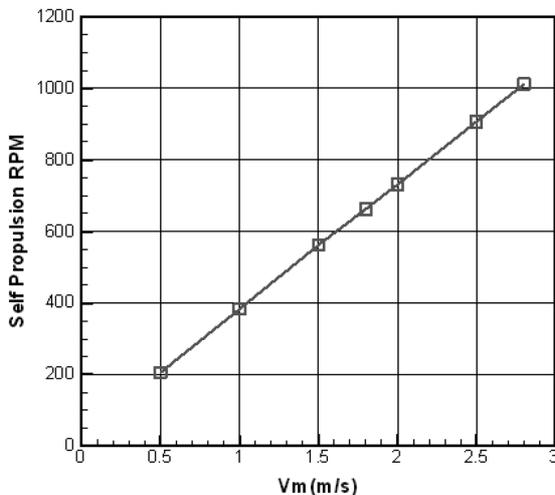


Fig. 7 The self-propulsion test result of the UUV

한 것이다. 저항시험은 예인속도 2.8m/s(약 5.44kts)까지 수행되었으며 이때의 결과를 근거로 외삽을 통해 추정하면 주 추진기의 회전수 1,290rpm에서 약 7knots의 속도를 확보할 수 있을 것으로 예상된다. Fig. 7에서도 볼 수 있는 것처럼 선체에 달린 추진기는 그 회전수와 속도가 선형적인 관계를 보이며 그 직선의 기울기를 결정짓는 요소가 바로 식 (2)에서 알 수 있는 것처럼 저항점의 J_s 가 되는 것이다.

4. 결 론

본 논문에서는 이전에 발표한 AUV의 추진성능 추정기법을 이용하여 요즘 널리 사용되는 상용 추진기의 성능을 추정하였고 이후에 수행한 저항시험을 통해 추정된 성능과 비교하였다. 설계단계에서 추정된 설계 최대속도에서의 회전수는 1,210rpm이었으며 저항시험 결과로부터 추정된 최대속도에서의 추진기 회전수는 1,290rpm이었다.

이러한 근소한 차이는 추정기법에서 가정한 저항계수가 상수가 아니라 실제로는 속도에 따라 변하는 값이라는 점과 (Newman, 1977) 추력감소계수의 정확한 값을 알 수 없다는 점이(Carlton, 2007) 저항점의 값을 결정하는 데 미치는 영향과 관련이 있을 것으로 생각되며 추진기의 POW 자료로부터 추출한 추력계수 K_T 의 추정오차에서도 영향을 줄 수 있는 것으로 생각된다.

추가적으로, 본 논문에서 설명한 방법으로 추진기의 성능을 추정하기 위해서는 추진기의 회전수를 알아야 하는데 본 논문에서 이용한 상용 추진기는 비교적 대용량의 모델로 추진기의 회전수가 내장된 앰프에서 디지털 값으로 정확하게 출력되지만 동일한 제작사의 소용량 모델들은 잠음이 심한 아날로그 값으로 출력되어 정확한 추진기의 회전수 측정이 매우 어렵다는 점을 밝힌다. 또한 상용 추진기는 추진기의 모터와 프로펠러가 조화되도록 설계, 제작되어 있어 최대속도에서의 추력이 선체저항의 값을 넘어설 만큼 충분하지 여부에 대한 검토를 통하여 무인잠수정에 대한 사용 선정이 가능하다.

참 고 문 헌

대한조선학회 (1993). 조선해양공학개론, 동명사, p 80.
 이종무 (2009). "AUV의 추진성능 추정기법 연구", 한국해양공학회지, 제23권, 제4호, pp 47-51.
 이종무 (2008). "자율 무인잠수정의 추진성능 추정", 선박해양기술, 제46호, pp 53-60.
 이종무 (2007). "소형 무인잠수정의 추진시스템 설계 및 성능 검증", 선박해양기술, 제44호, pp 45-52.
 Carlton, J.S. (2007), Marine Propellers and Propulsion, MPG Books Ltd, Bodmin Cornwall, Great Britain, pp 65-71.
 Hoerner, S.F. (1965). Fluid-Dynamic Drag, Published by The Author, Great Britain, pp 6-15-20.
 Lewis, E.V. (1988). Principles of Naval Architecture Volume

II, 2nd rev., The Society of naval Architects and Marine Engineers, NJ, pp 153-164.

Newman, J.N. (1977). Marine Hydrodynamics, The Massachusetts Institute of Technology, pp 13-20.

2010년 9월 9일 원고 접수

2011년 1월 17일 심사 완료

2011년 2월 10일 게재 확정