

초공동 로켓 어뢰 Shkval 추진기술

김윤곤* · 나영인**

Propulsion Technologies of Supercavitating Rocket Torpedo, Shkval

Yoon-Gon, Kim* · Young-In Nah**

ABSTRACT

The supercavitating rocket torpedo SHKVAL was analyzed in view of its system operation procedure and the structure and performance. 3 different propulsion systems installed in SHKVAL were 1st solid rocket booster for launch and acceleration, 2nd solid rocket booster for further acceleration, and Mg-rich Hydroreactive fuel rocket propulsion system for cruising. The gas generator used to help generate the supercavitation bubble was composed of a solid propellant gas generator and a hydroreactive fuel one. The structures and their performance were described based on as much knowledge as we have obtained from cumulative information and up-to-date analysis.

초 록

초공동을 발생시켜 수중에서 초고속으로 날아가는 초공동 로켓 어뢰인 SHKVAL 체계가 어떻게 작동하는지와 이에 장착된 추진기관들과 초공동 발생 도중에 필요한 가스 발생기에 대해 조사/분석하였다. 본 체계의 추진기관은 발사 및 1차 가속용 고체로켓추진기관, 2차 가속용 고체 로켓 추진기관, 그리고 고농도 Mg이 함유된 해수반응연료 로켓 추진기관으로 구성되어 있으며, 가스 발생기는 초공동 발생 가속용 고체 가스 발생기와 항주용 해수반응연료 가스 발생기로 되어 있음을 밝히고, 이들에 대한 구조와 성능에 대해 현재까지 조사/분석된 바를 기술하였다.

Key Words: Supercavitation(초공동), Hydroreactive Fuel(해수반응연료), Propulsion system(추진 체계), Cavitator(케비테이터), Gas generator(가스 발생기)

1. 서 론

초공동 무기 체계 중 가장 관심사가 되고 있는 초공동 로켓 어뢰(실제로는 수중에서 날아가는 유도탄)의 추진기관은, 알려진 바와 같이, 일

반 공중을 날아가는 유도탄의 로켓 추진기관과 달리 해수를 산화제로 활용하는 방식의 특이한 형태의 추진기관과 함께 탄의 발사에서 항주에 이르는 과정에 여러 개의 추진기관이 작동하는 형태로 되어 있다. 또한, 초공동 발생으로 항력을 획기적으로 저감시킬 수 있도록 하기 위해 2가지 서로 다른 형태의 가스 발생기를 사용하고 있다.

* 국방과학연구소 1기술연구본부 6부

** 국방과학연구소 6기술연구본부 1부

† 교신저자, E-mail: wlovejc@naver.com

최근 들어 초공동 무기체계 기술발전 관련된 자료가 많이 눈에 띄는 가운데에서도 추진기술에 대한 내용은 극히 드물어 실체를 파악하기는 어려운 것이 현실이다.

본 논문은 미국과 독일을 위시하여 중국 등 몇몇 기술 선진국이 러시아의 초공동 로켓 어뢰인 SHKVAL의 개념을 따른 초공동 로켓 어뢰를 개발하려 많은 연구를 수행하고 있는 것으로 파악되고 있기는 하나, 추진기술에 대한 자료 노출은 거의 하고 있지 않은 가운데 얻어진 소수의 자료와 기초적 자체연구에 기반하여 파악된 SHKVAL 추진기술에 대해 정리하였다. SHKVAL은 직경 0.533 m, 길이 8 m, 무게 2722 kg, 사거리 10 km, 그리고 주행속도 100 m/s이상의 제원과 성능을 갖고 있다. 여기에서는 체계의 작동이 어떻게 이뤄지는지에 대해 먼저 살펴본 후, 발진용 추진기관과 초공동 발생용 가스 발생기에 대해 살펴보고자 한다.

한 가지 첨언할 것은, 본 자료는 주로 이란의 HOOT 시험에 관련하여 작성한 내용[1]에 근거하였는바, HOOT는 바로 SHKVAL일 것이라는 서방 전문가들의 판단에 따른 것이다.

2. 내 용

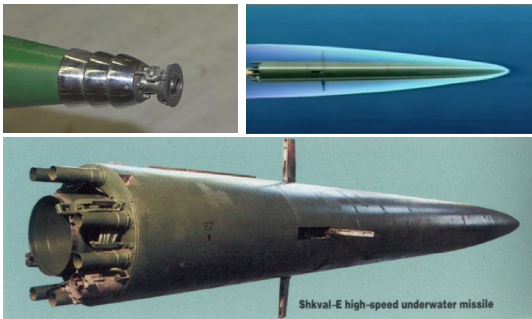


Fig. 1 탄 앞부분, 수중 주행, 및 SHKVAL 모습

2.1 체계 작동

Figure 1에서 보이는 바와 같은 SHKVAL은 전방에 위치한 초공동 발생 기능을 수행하는 cavitator로부터 주행방향 및 탄 자세 유도/제어 장치, 초공동 발생 도움용 가스 발생기, 탄두, 가

속용 부스터와 항주(cruising)용 특수형태 추진기관으로 구성된 메인 엔진, 최초 발사/가속용 부스터, 그리고 탄의 주행자세용 4개의 조종 날개 등으로 구성되어 있다. 이들 주요 부품별 위치는 Fig. 2와 같다.

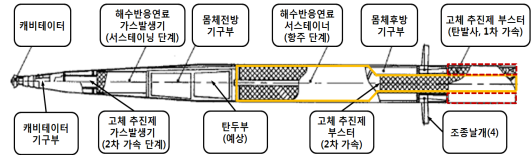


Fig. 2 SHKVAL 개념도 및 각 주요 부품별 위치

본 탄은 수중 또는 수상에서 발사할 수 있는 것으로서, 입수한 자료[1]에 의하면 수상에서 발사하는 것으로 되어 있는바, 이에 따라 설명하고자 한다. 먼저 제 1 부스터인 고체 로켓 모터가 작동하여 탄을 수면을 향해 발사하고 수중에서의 속도가 ~35 m/s가 되도록 가속시킨 후 몸체로부터 분리된다. 이어서 작동하는 메인 엔진 내의 제 2 부스터인 고체 로켓 모터 작동으로 탄의 속도가 ~100 m/s로 가속되고 메인 엔진 내 해수반응연료와 해수의 연소로 ~100 m/s의 속도를 유지하면서 사거리까지 주행하게 된다(Fig. 3 참조).

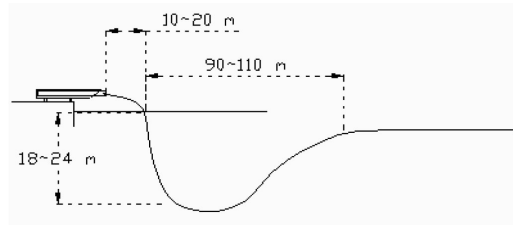


Fig. 3 탄 발사 초기 주행 거동

탄의 가장 중요 부품인 cavitator는 탄의 주행속도가 50~70 m/s가 됨으로 메인 엔진과 동시에 작동하는 2 단계에 걸친 가스 발생기의 도움을 받아 몸체 전체를 감싸는 초공동을 발생시키며, 탄이 직선 궤적을 유지하면서 항주할 수 있도록 양력도 발생케 하며, 탄의 회전각도를 유지할 수 있도록 최대 5.5~24.5°사이를 회전할 수 있는 구조로 되어 있다(Fig. 4 참조).

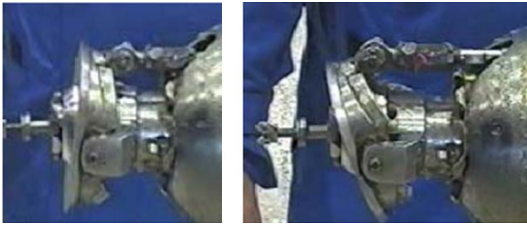


Fig. 4 회전구동이 가능한 cavitator

가스 발생기는 제 2 부스터가 작동한 직후에 점화되며, 먼저 고체 추진기관형의 가스 발생기가 작동하고 해수반응연료 추진기관이 작동할 때를 맞춰 해수반응연료 가스 발생기가 작동하는 2단계로 구성되어 있다. 발생되는 연소가스는 cavitator 뒤쪽의 3개의 유선형 덮개(fairing) 틀으로부터 몸체를 따라 분출된다. 탄의 주행방향 제어/조종에는 cavitator와 몸체 뒤쪽에 있는 4개의 조종날개가 담당하며 서로 독립되게 작동하도록 되어 있다. 초공동 발생 이전에는 4개의 날개 중 2개의 수직 날개는 탄의 자세와 주행방향 제어를, 2개의 수평날개로는 roll과 pitch를 제어하고, 초공동 발생 후에는 수평날개는 접히고 수직날개로는 roll을, cavitator로는 탄의 자세와 수심을 제어한다.

2.2 발사 및 주행용 로켓 추진기관

2.2.1 제 1 부스터

탄의 뒷부분에 환형(annular type)으로 끼워 맞춰져 있으며, 고체 추진제 로켓 모터이다. 발사 초기에 다량의 연기를 배출하며 날아가는 장면들로 판단할 때, composite 추진제를 사용하고 있는 것으로 추정된다. 그레인은 바퀴 모양의 두 덩어리 환형이 겹쳐져 있는 것으로 언급되고 있다[1]. 이는 연소시간 5초 동안 평균 3400 kgf의 일정한 형태의 추력을 발생시킨다. 추진기관의 형태에 맞춰 노즐도 2개씩 쌍을 이뤄 연소관 뒷면을 따라 총 4쌍이 90°의 간격으로 설치되어 있다(Fig. 5 참조).

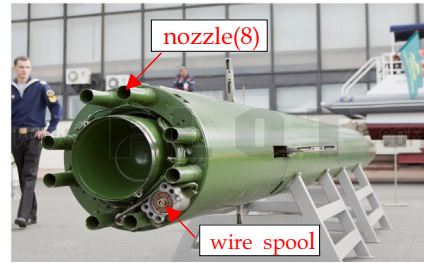
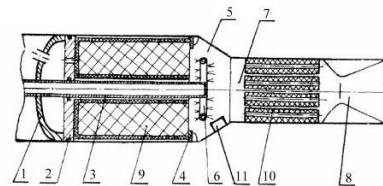


Fig. 5 탄의 뒷부분에 장착된 제 1 부스터

탄은 본 부스터로 주행속도 ~35 m/s로까지 가속된다. 연소가 완료된 부스터는 공 이어 작동된 메인 엔진으로부터 발생한 연소가스의 힘과 부스터 표면에 미치는 마찰력에 의해 본체로부터 분리된다. 이 부스터의 노즐 사이에 wire spool이 장착되어 있는데 이는 모선의 발사요원으로부터 wire를 통해 신호를 받아 작동되는 자동항법장치로부터 부스터 작동 및 수중 주행 초기에 탄의 비행자세를 제어하기 위한 것으로 판단된다.

2.2.2 메인 엔진

앞에서 언급했듯이 메인 엔진은 2 가지의 서로 다른 형태 추진 시스템이 연합되어 있다. 본 메인 엔진도 자동항법장치로부터 전기적 명령을 받아 작동된다. Fig. 6는 메인 엔진의 개념을 보여주고 있다.



1-the bottom; 2-the piston; 3-the water pipeline; 4-the supporting ring; 5-the combustion chamber; 6-the injectors; 7-the mixture process chamber; 8-the nozzle; 9-the main cartridge; 10-the starting cartridge; 11-the igniter.

Fig. 6 메인 엔진의 개념도[2]

제 1 부스터로 가속된 탄을 초공동이 발생될 수 있는 속도 이상으로 가속시키기 위해서 강력한 추진력을 낼 수 있는 또 다른 고체 로켓 모터인 제 2 부스터가 메인 엔진 연소실에 해당되는 후반부를 차지하고 있으며, 전반부에는 해수반응연료(실제로는 다량의 Mg을 함유한 농후 연

료 고체 추진제[1]) 그래인이 설치되어 있고 이의 뒤 끝면 가까이에 해수를 분사하는 분사기가 장착되어 있다. 이들 두 추진기관의 추력선도는 Fig. 7과 같다.

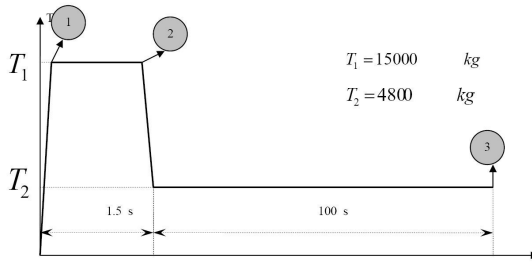


Fig. 7 메인 엔진 내 두 추진기관의 추력선도[1]

제 2 부스터용 추진제 그래인은 Fig. 8과 같은 크기의 원통형 튜브 12개를 한 덩어리로 묶어 놓은 형태이며 전체적으로 단열재가 발라져 있지 않아 모든 면에서 연소가 일어난다.

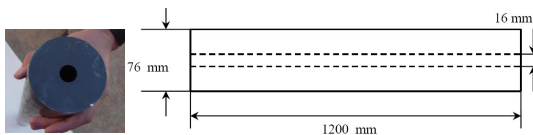


Fig. 8 제 2 부스터 원통형 그래인 튜브[1]

한 개당 7.5 kg이며 연소시간 1.5초, 12개 다발에 의해 15000 kgf의 추력이 발생된다. (이란의 HOOT에서는 1.3초와 18500 kgf, 그리고 연소실 압력은 35 bar인 것으로 언급되어 있다[1])

추진기관 중 가장 핵심인 메인 엔진의 항주용 해수반응연료 추진기관은 Mg이 50% 이상 함유된 Mg/AP/HTPB 혼합 형태의 농후연료 고체 추진제와 산화제인 해수를 혼합, 연소시켜 추진력을 발생시키는 것으로 판단된다[3]. 장착된 그래인은 후방 단면에서만 연소가 일어나는 end-burning 그래인으로, 유입되는 해수의 압력에 의해 그래인 전방에 설치된 피스톤이 그래인을 밀어대어 연소로 인해 줄어든 만큼 후방으로 이동함으로 연소공간은 항상 일정하게 유지된다. 또한 이때에 유입된 해수가 연소된 길이의 공간만큼을 채우게 되어 탄의 무게 중심이 크게 변

하지 않아 탄의 안정성을 유지하게 해준다. Fig. 9에서와 같이 직경 521 mm, 길이 2800 mm, 그리고 무게 1000 kg의 재원을 가지며 연소시간이 100초이므로 연소속도는 28 mm/s 이다. (한편 이란의 HOOT는 직경은 같고, 길이 2890 mm, 무게 1027 kg이며 연소속도는 28.9 mm/s 이다 [1]) 따라서 추진제 유동율은 10 kg/s 이다.

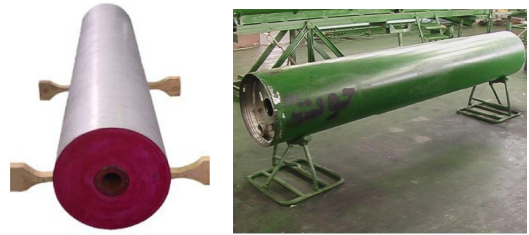


Fig. 9 해수반응연료 추진제 그래인과 충전체[1]

해수는 cavitator의 직경 33 mm인 구멍을 통해 50기압의 압력으로 유입되며 그래인의 내공을 통해 설치된 관을 통해 나와 이에 연결된 물 분사기로 부터 뿌려져 추진제의 농후 연료 연소가스와 혼합/연소되어 연소실 내에 24기압의 압력을 형성하게 된다.



Fig. 10 해수반응연료 추진기관의 물 분사기[1]

분사되는 물의 양은 추진제에 포함된 연료를 연소시키는 데에 필요한 양을 한참 넘어서 45 kg/s로 공급되는바, 연소뿐만 아니라 연소실 냉각, 연소가스 온도저하, 및 가스 유동을 증가에 의한 비추력 향상을 위함이다. 즉, 연료 연소에 필요한 양만 공급될 경우 1500 °C 수준이 되는 연소가스 온도를 500 °C 정도로 낮춰 연소실을 보호하고 전체 유동율을 증가시켜 추력을 향상시켰다. Fig. 11은 Mg/AP/HTPB 조합에서 수심 H=10 m이고 연소압이 SHKVAL과 유사한 조건에서 물/연소가스 무게 유동율 비 R_{wf} 에 따라

추진제 성분 내 Mg의 비율이 50, 55, 60 %인 경우에 대해 비추력 I_{sp} 이 어떻게 변하는지를 보여 준다[3]. 즉, 주어진 조건에서 $R_{wf} = 4.2\sim 4.5$ 의 범위에서 비추력이 가장 높은 값을 가짐을 알 수 있으며, SHKVAL의 경우에 물의 유동율이 왜 45kg/s인지를 판단할 수 있겠다.

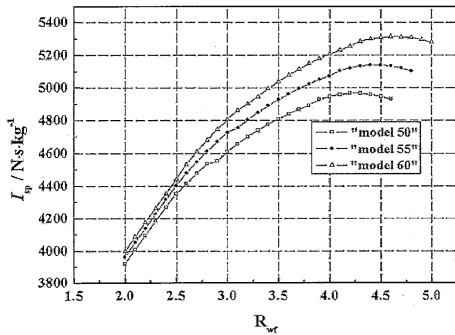


Fig. 11 물/연소가스 무게 유동율 비와 비추력의 관계(연소실 압력=25 bars, 수심=10 m)[3]

2.3 초공동 발생 도움용 가스 발생기

탄의 전방에 설치된 cavitator로 인해 발생하는 공동(cavity) 내에 가스를 주입하여 탄 전체를 감쌀 수 있는 충분한 크기의 기포가 만들어 질 수 있도록 메인 엔진의 가속기(제 2 부스터)가 작동이 개시된 시점에서 0.8초 후에 작동하는 가스 발생기는 메인 엔진과 같이 두 가지로 되어 있다. 우선적으로 고체 추진제 가스 발생기가 가스 유동율 2.0 m³/s로 1.5 s 동안 작동하여 공동을 형성하고, 이어서 해수반응연료 가스 발생기가 가스 유동율 0.8 m³/s로 100 s 동안 작동하여 주행 중 지속적으로 공동이 형성되도록 하는 역할을 수행한다.

고체 추진제 가스 발생기는 짧은 시간에 많은 양의 가스를 일정 수준으로 발생시킬 수 있도록 두 개의 원환 형으로 되어 있으며 이의 전방에 있는 점화기로 점화/연소된다. 이에 이어서 곧바로 해수반응연료 가스 발생기가 100 s 동안 작동되어 초공동 발생이 지속되도록 한다. 가스 발생기의 연소압은 35 bar, 연소온도는 500 ℃ 수준이다. 발생된 가스는 3개의 튜브를 통하여 전방 원추에 쏘여져 있는 3개의 fairing 틈을 통해 몸체 후방 쪽으로 분출된다.

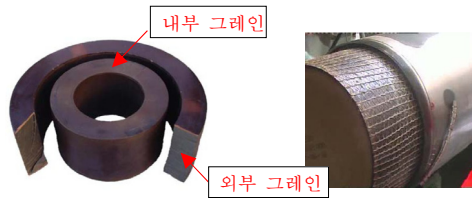


Fig. 12 고체 추진제 가스 발생기(왼쪽)와 해수 반응연료 가스 발생기(오른쪽)[1]

Table 1. HOOT의 가스 발생기(gg) 제원

종 류		연소 시간(s)	무게 (g)	외경/내경/길이 (mm)
고체 추진제 gg	내부	1.5	1405	144/84.3/84.2
	외부		2685	236.3/175.4/82
해수반응연료 gg		105	?	?

3. 결 언

초공동을 발생시켜 그 속에서 날아가는 초공동 로켓 어뢰 SHKVAL은 기존의 어뢰나 유도탄과 다른 특수 형태의 추진기관을 갖고 있고 수중에서 작동하는 점을 적극 활용함으로써 속도와 사거리 측면에서 혁신적 성능을 발휘할 수 있었음을 알 수 있었다. 본 무기체계의 기술연구는 어뢰뿐만 아니라 또 다른 초공동 무기체계 개발에도 많은 기여가 될 것이다.

참 고 문 헌

1. <http://www.fas.org/nuke/guide/iran/missile/hoot/>, Iran's Hoot / Russia's Shkval: "Shkval torpedo specs and testing reports"
2. I.V. Garanin, "The Hydro-reacting Marine Solid Fuel Rocket Engines(in *Thermal to Mechanical Energy Conversion: Engines and Requirements*. (Ed. Oleg N. Favorsky)), 2008
3. Ya-jing Yang and Mao-gang He, "A Theoretical Investigation of Thermodynamic performance for a Ramjet Based on a Magnesium-water Reaction", Proc. IMechE Vol. 224 Part M: J. Engineering for the Maritime Environment, 2010. pp.61-72