

수중폭발을 이용한 충격신관 작동 계측

최 시 흥^{*,1)}

¹⁾ 국방과학연구소 종합시험본부

Measurement of the Impact Fuze Phenomena using the Underwater Explosion

SiHong Choi^{*,1)}

¹⁾ Defense Systems Test Center, Agency for Defense Development, Korea

(Received 20 February 2014 / Revised 30 June 2014 / Accepted 11 July 2014)

ABSTRACT

In this paper, This study shows the content on the impact fuze test and the measurement using underwater explosion phenomena. The impact fuze has both a delay function and a super quick. Up to now, nothing but the naked eye of the observer has been used to verify performance of the impact fuze. The observer has determined the performance by the shape of the plume created from the explosion phenomenon. However, it is extremely difficult to use that method at a long range. In order to solve the problem, the measurement using the underwater explosion phenomena was tried.

Key Words : Underwater Explosion(수중폭발), Super Quick(순발기능), Plume(물기둥), Impact Fuze(충격신관)

1. 서론

신관은 탄두가 표적지점에 도달할 때 또는 미리 설정한 시간에 작동하여 폭약을 폭발시키는 점화장치이다. 신관은 장착위치, 작동형태 및 기능 등에 따라 다양하게 구분된다. 장착위치에 따라서는 탄두, 탄저 그리고 탄두발화 탄저신관으로 분류된다. 작동형태 및 기능에 따라서는 충격(순발, 지연)신관, 시한신관, 접근신관 등으로 구분된다.

이렇게 다양한 신관중에서 충격신관은 탄두가 표적에 충돌하는 순간 또는 충돌 후 미리 설정해둔 시간만큼 지연된 후 작동한다. 이 충격신관은 충격 후 반응시간에 따라 순발과 지연기능으로 구분되는데, 순발기능은 탄두가 표적에 충돌할 때 발생하는 충격력에 의해 기폭하여 표적 충돌 후 100 μ s 이내에 폭발한다. 그리고 지연기능은 표적 충돌 후 지연관에 있는 지연제가 점화되어 미리 설정된 시간에 폭발하므로 주로 목표물 관통에 사용된다.

본 논문에서는 충격신관 중 양산수락시험에 비교적 많이 운용되고, 탄두 충전제로 TNT가 사용되는 K519 충격신관에 대해 살펴보겠다. Fig. 1은 K519 충격신관

* Corresponding author, E-mail: 158550@add.re.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

및 신관의 작동원리를 보여주고 있다. 수면충격 기능을 확인하는 시험에서 신관의 작동 유무 확인은 관측관이 탄착지점 부근에 가서 육안 또는 청각을 통해 판단하는 것이 일반적이다.

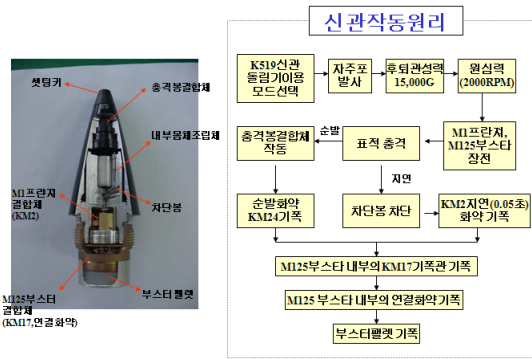
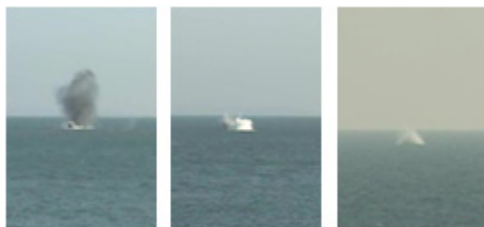


Fig. 1. K519 impact fuze

Fig. 2는 충격신관의 수면에서의 작동 결과를 나타낸 것으로서, (a)는 K519의 순발기능(super quick), (b)는 지연기능(delay) 그리고 (c)는 탄두의 신관이 전혀 작동하지 않고 탄두 자체가 수면으로 입수하는 비작동 신관(dud)에 의한 결과이다. 충격신관의 순발기능은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 수면에서 작동하기 때문에 지연기능과 비작동 신관에 의한 결과와는 물기둥의 크기와 형태가 확연하게 다르다. 그리고 지연기능과 비작동 신관의 형상은 물기둥의 크기와 형태가 크게 차이 나지 않는다. 그러므로 2 km 이상 떨어진 곳에서 육안으로 관측을 하면 지연기능과 비작동 신관에 의한 결과의 구분이 모호할 수가 있다.



(a) super quick (b) delay (c) dud

Fig. 2. Result of Impact fuze

따라서 본 논문에서는 충격신관의 기능을 확인하기 위한 해상 사격 시, 이러한 모호성을 해결하여 신관 작동 유무 판단의 오류를 줄이고 시험계측의 신뢰성을

확보하고자 수중음향센서를 이용한 계측 방법을 제시 하였다.

2. 수중폭발 특성

수중에서 고에너지원이 폭발하게 되면 주위 매질에 급속한 변화가 생기고, 이러한 변화에 의한 불연속 현상으로 수중에는 고압 가스구체가 형성된다. 이 고압 가스구체는 주위 수압과의 불균형으로 주기적인 팽창 및 수축의 맥동운동과 부력에 의해서 수면으로의 상승 운동을 한다.

수중폭발로 발생된 고압 가스구체는 충격파(shock wave)와 함께 매우 높은 압력(bubble pulse)으로 수중으로 전파되는데, Fig. 3에서 보는 바와 같이 충격파가 수면에 도달하면 물안개(spray dome)가 형성되고, 일정 시간 뒤 높은 압력이 수면에 도달하면 물기둥(plume)이 형성된다. 이 물기둥은 폭발의 깊이와 화약의 양에 따라 서로 다른 높이의 다양한 형태로 나타날 수 있으며, 매우 깊은 수중에서 폭발할 경우에는 수면에 물기둥이 거의 나타나지 않을 수도 있다^[1].

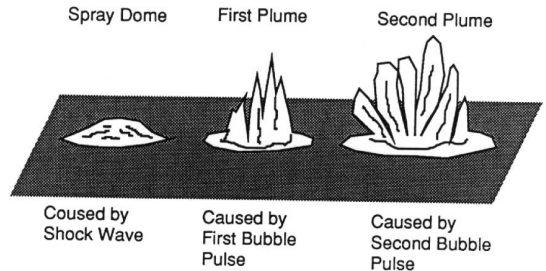


Fig. 3. Phenomenon of water

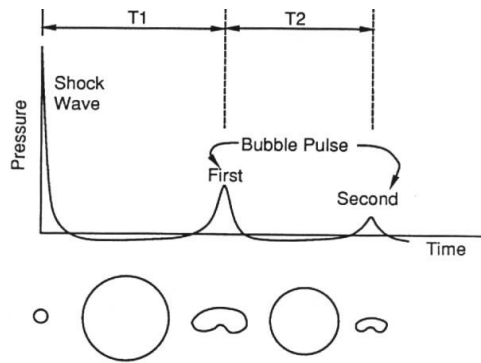


Fig. 4. Bubble pulse and period

Fig. 4는 수중에서의 폭발로 인해 발생하는 압력의 주기와 특성을 나타내고 있다.

이러한 수중폭발 현상을 첨두압력(peak pressure)과 기포주기(first bubble period)를 매개변수로 하여 그 특성을 식 (1) 및 식 (2)와 같이 나타낼 수 있으며, 관련 상수들은 Table 1에 정리하였다. 식 (1)은 일반적으로 폭발물 반경의 1,000 배 이내에서 적용이 가능하며 신관 기능을 확인하는 수락시험의 환경에서는 유효하지 않지만 신관작동여부를 확인하기 위한 참고 자료로 활용하고자 한다.

$$P_0 = K1 \left(\frac{W^{1/3}}{R} \right)^\alpha \quad (1)$$

$$T = K2 \times \frac{W^{1/3}}{(H + H_0)^{5/6}} \quad (2)$$

여기서, K1과 α 는 화약종류에 대한 특정상수, R은 폭발지점까지의 거리, W는 화약중량, K2는 기포주기, H는 수중폭발 깊이(m), 그리고 H_0 는 1대기압에 해당되는 물의 깊이 9.8 m 이다.

Table 1. Constant of references

구 분	A ^[3]	B ^[4]
Peak pressure	Mpa	psi
K1 (constant, TNT)	52.4	3.6×105
α (constant, TNT)	1.13	1.13
First bubble period	A ^[3]	B ^[4]
K2 (bubble-period coefficient, TNT)	2.11	-
H_0 (atmospheric head)	9.8 m	-

기포의 주기는 신관이 폭발하는 수심에 따라 서로 다르므로 수중음향센서로 계측된 물리적인 현상을 이해하기 위해서는 수중으로 입사된 탄두의 운동 특성에 의한 기포주기와 실제 계측 값 사이의 비교분석이 필요하다. 식 (3)과 식 (4)는 수직 입사 시 수중에서의 탄두 속도와 깊이를 나타낸 것이며, 식 (5)는 탄두가 수면에 입사할 때의 낙각을 고려한 수정식이다.

$$V_p = V_i \exp(-\beta z_b) \quad (3)$$

$$z_b = \frac{1}{\beta} \ln(\beta V_i t + 1) (M), \quad \beta = \frac{\rho_w A_0 C_d}{2M} \quad (4)$$

$$z_b' = \frac{1}{\beta} \ln(\beta V_i t + 1) \times \sin\theta (M), \quad \beta = \frac{\rho_w A_0 C_d}{2M} \quad (5)$$

여기서 V_i 는 입수 속도(m/s), β 는 속도감쇠계수, z_b 는 물의 깊이(m), ρ_w 는 물의 밀도, A_0 는 투영면적, C_d 는 항력계수(비압축성 유체 가정 시 일정), M은 탄두 무게(kg)를 각각 의미한다. 관련 상수들은 Table 2에 정리하였다.

Table 2. Equation input value

구분	내 용	비 고
V_i	321 m/s	사표 및 계측자료
ρ_w	1027 kg/m ³	시험당일 수온 고려 적용
A_0	0.0755 m ²	탄두 직경(155 mm)
C_d	0.19	GWSD-319-93724L(1993) 참조
M	46.4 kg	K307 중량(신관 포함)
z_b'	$z_b \cdot \sin\theta$	낙각 고려 (60도, 40도)

Fig. 5와 Fig. 6은 식 (5)를 이용한 결과로서 수중에서의 시간경과에 따른 탄의 속도와 수중에서의 깊이를 나타내고 있다.

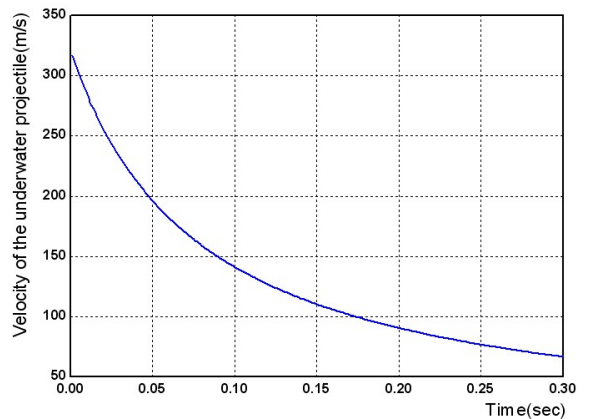


Fig. 5. Relations with water depth and velocity

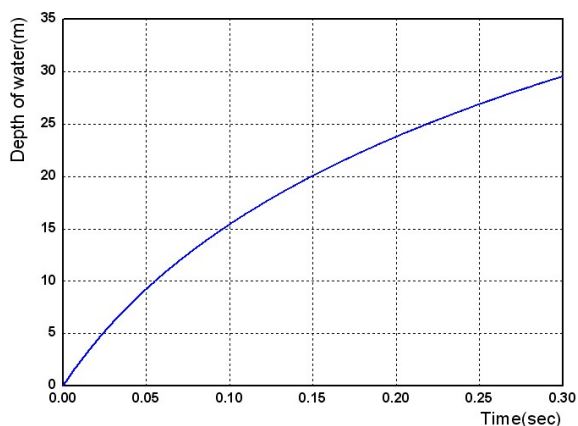


Fig. 6. Relations with water depth and time

3. 수중음향센서를 이용한 계측 및 결과

충격신관 K519의 작동 기능을 계측하기 위하여 실제 사격 시험 시 예상탄착지 부근으로 선박을 이용하여 접근하여 계측을 수행하였다. 데이터 획득을 위해 샘플링을 200 kHz, 계측 시간은 포에서 발사한 시점부터 탄착 후 20 초까지로 하였다. Fig. 7은 충격신관 K519의 작동현상을 계측하기 위한 개념도이다. 이는 탄의 비행궤적에 따른 위험과 수면 및 수중폭발 시 발생할 수 있는 위험을 방지하고자 예상 탄착지점에서 약 5 km 이상 떨어진 곳에 배를 정박시키고 계측을 수행하였다. 여기서 해상 시험 여건상 조류 및 파도에 의한 오차는 무시하기로 한다. 탄착지의 수심은 선박에 설치된 수심기를 활용하여 예상탄착지역의 수심을 측정하였으며, 지연기능의 작동 예상 수심은 규격에 명시된 지연기능의 범위를 참고하여 식 (2)와 식 (5)를 이용하여 추정하였다.

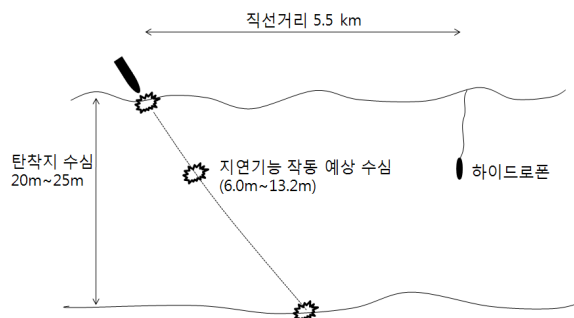


Fig. 7. Measurement concepts

순발기능, 지연기능, 신관 비작동에 의한 수중폭발 압력 계측 결과는 Fig. 8 ~ Fig. 10과 같다.

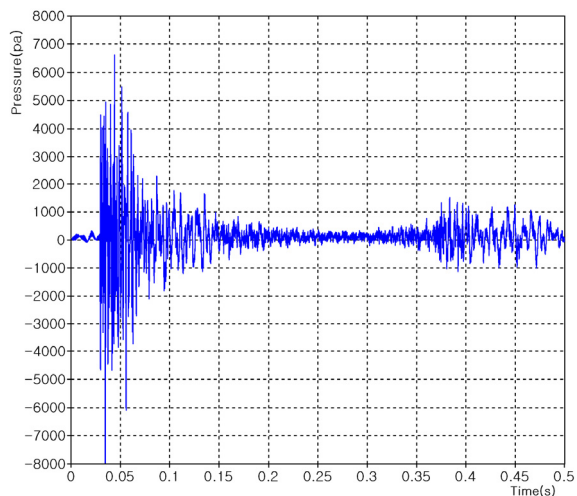


Fig. 8. Result of impact fuze delay

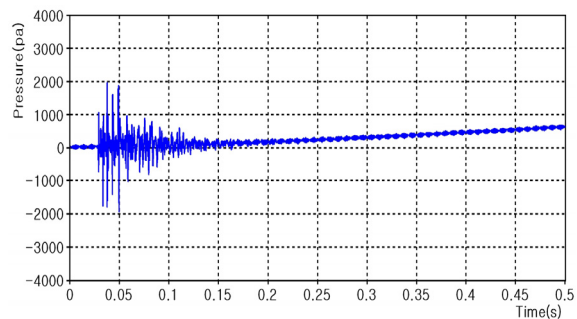


Fig. 9. Result of impact fuze super quick

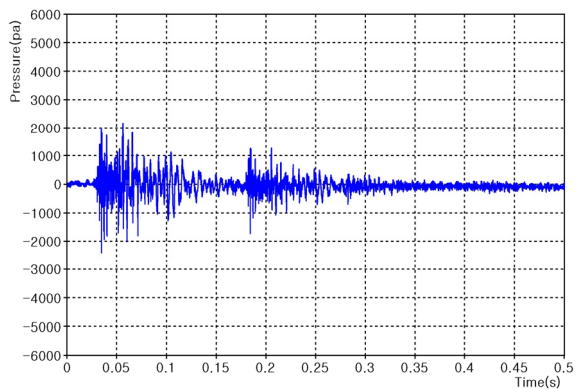


Fig. 10. Result of dud

Fig. 8에서 보는 바와 같이 지연기능의 경우 압력값 6,000 pa ~ 8,000 pa을 가지며 두 신호간 약 0.35초의 주기를 가진다. Fig. 9는 전형적인 순발기능으로 약 2,000 pa 정도의 압력값을 가지며 단일 신호로 나타난다. Fig. 10은 전형적인 비작동 기능의 계측 형상으로 압력값은 약 2,000 pa 정도이며, 신호간격은 약 0.15초로 나타난다. 순발기능에서 압력값이 작게 나타나는 이유는 탄두가 수면에서 폭발하기 때문에 폭발에너지는 수중으로 전파되지 않고 대기 중으로 확산 소멸되는 것으로 보인다. 이는 비작동 기능시의 압력값과 유사한 크기를 보이는 것으로도 짐작할 수 있다. 순발과 비작동의 경우 수면에 충돌될 때의 충격량이 수중으로 전파된 것으로 보이며, 비작동의 경우 압력신호가 두 개 이상으로 나타나는 것은 탄두의 수면 충돌음과 수중에서 운동 후 해저에 부딪히는 충격음으로 추정할 수 있다.

3.1 침투압력 분석

Table 3은 수중에서 TNT가 폭발할 때의 침투 압력값을 나타낸 것으로서 식 (1)를 적용하여 참고 문헌의 특정 상수값과 폭발지역으로부터 계측지까지의 실측 거리, 탄두제원에서 확인한 TNT중량을 토대로 지연기능의 침투 압력을 pa 단위로 추정하였으며, 실제 계측값과 비교하였다. Table 3에서 보는 바와 같이 실제 계측값과 추정값 사이의 차이의 원인으로는 원거리로의 에너지 전달측면에서 볼 때 근거리에서 유효한 관계식보다 에너지가 많이 손실되었음을 직관적으로 알 수 있다.

Table 3. Peak pressure estimated value and measured value

구 분	이론값		계측값(지연 8발)	
	A ^[3]	B ^[4]	평 균	표준편차
Peak pressure	7,610 pa	7,650 pa	7,100 pa	667 pa
W (K307 TNT)	23.72 lb	23.72 lb		
R	5,500 m	216,535 in		

3.2 신관 비작동에 의한 계측자료 분석

Table 4에는 비활성 신관으로 사격하였을 때 충격과 간 시간차이를 나타낸 것으로 침투압력의 시간 차이 0.150초, 0.152초 이다. 이 시간을 탄두가 수면에 충돌했을 때부터 해저에 부딪히는 순간까지의 시간으로 가정하여 식 (5)를 이용하여 수심을 계산할 수 있다. 수심을 계산한 결과 약 20 m로 시험당일 선박에 장착된 수심기로 확인한 탄착지역 수심과 거의 유사하다. 따라서 식 (5)에 따른 수중에서의 탄두 운동특성을 잘 반영 한다고 할 수 있으며 탄착지역 수심과 사격제원에 따라 차이가 있겠으나 지연기능과는 압력값과 시간간격이 확연하게 다른 것을 알 수 있다.

Table 4. Dud measured value and estimated value

구 분	계측값	추정값(식5)
	충격파 간 시간(sec)	수심(m)
비활성-1	0.150	20.06
비활성-2	0.152	20.23

3.3 지연기능 계측자료 분석

비활성 탄두의 계측 결과 분석에서 보듯이 식 (5)가 수중에서 탄두 운동특성을 잘 반영하고 있어 지연기능에서 계측된 기포주기 값으로 지연작동 수심을 유추해 보기로 한다. Table 5에는 충격신관 K519의 KM2지연 화약의 지연 범위에 따른 기포 주기와 수심을 식 (2)와 식 (5)를 이용하여 추정한 값으로 지연기능 범위 (0.025초 ~ 0.065초)에서 탄두가 폭발할 경우 기포주기는 최대 0.456초에서 최소 0.334초를 범위를 나타내며, 이때의 수심은 약 6 ~ 13 m 범위를 보일 것으로 예측 된다.

Table 5. Delay operating range and estimated value

지연기능 작동범위 (sec) ^[2]	기포주기(sec)		수심(m) (식5)
		(식2) ^[3]	
하한	0.025	0.462	6.03
목표	0.005	0.375	10.76
상한	0.065	0.341	13.16

Table 6은 실제 계측한 지연기능 8발에 대한 기포주기 식 (2)을 적용하여 지연작동 수심을 구하고 식 (5)로 이용하여 지연작동 시간을 구하였다. 8발에 대한 지연작동 시간은 문헌에서 제시된 기포주기 상수를 적용하였을 때 최소 0.519초에서 최대 0.629초로 규격에 규정되어 있는 지연기능 작동범위 0.025 ~ 0.065초를 만족한다.

Table 6. Delay measured value and estimated value

구 분	계측값 (sec)	추정값 (작동수심/지연시간)	
		수심(m) (식5)	지연시간 (sec) (식2) ^[3]
지연-1	0.353	12.31	0.0595
지연-2	0.354	12.23	0.0590
지연-3	0.356	12.09	0.0581
지연-4	0.360	11.80	0.0563
지연-5	0.349	12.61	0.0614
지연-6	0.346	12.84	0.0629
지연-7	0.363	11.57	0.0549
지연-8	0.355	12.15	0.0585
평균	0.355	12.20	0.0588
표준편차	0.00548	0.407	0.00257

4. 결 론

K519 충격신관 양산 수락 시험 수면 충격 시험 시 발생하는 문제점을 분석하고 이를 개선하기 위해 수중 음향 센서를 이용하여 계측을 수행하였다. 계측 데이터와 계산된 이론을 이용하여 비작동, 충격신관 순발기능, 지연기능을 구분할 수 있으며, 지연기능의 경우 폭발수심과 신관작동시간을 추정할 수 있었다. 비정량적인 육안관측이 아닌 센서를 이용한 정량적 데이터 확보를 통해 시험의 신뢰성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구의 내용은 향후 해상사격을 통한 신관시험의 작동유무 판단 기준으로 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Jeong, Jeong-Hun, "Damage of A Naval Ship Induced by An Underwater Explosion," Bulletin of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 47, No. 4, pp. 16-18, 2010.
- [2] KDS 1390-1030, "Delay Element M2 Loading, Assembling and Packing," ADD, 1982.
- [3] Michael M. Swisdak, Jr., "Explosion Effects and Properties; Part II-Explosion Effects in Water," NSWC/WOL TR 76-116, 1978.
- [4] Paul W. Cooper, "Explosives Engineering," Wiley-VCH, 1996.