

폭발형 고섬광 발생장치의 설계 변수에 관한 실험적 연구

김경식^{**} · 안재운^{*} · 양희원^{*} · 권미라^{*}
* (주)한화

Experimental Study on Design Parameters of Explosive-driven High-intensity Flash Generator

Kyung Sik Kim^{**}, Jae-Woon Ahn^{*}, Hui-Won Yang^{*} and Mi-Ra Kwon^{**}
* Hanwha Corp.

(Received November 19, 2015 ; Revised March 8, 2016 ; Accepted March 20, 2016)

Key Words: Non-lethal Weapon(비살상무기), High Intensity Flash(고섬광), Inert Gas(비활성 가스), Shock Wave(충격파), Plasma(플라즈마)

초록: 목표 대상을 치명적이거나 파괴하지 않고 제압할 수 있는 무기를 비살상무기라 하며, 그중 고섬광발생장치는 강한 섬광으로 적의 광학센서를 무력화시키거나 시력을 일시적으로 마비시키는 무기체계이다. 본 연구에서는 고폭화약에 의한 충격파로 인해 발생한 플라즈마를 이용한 폭발형 고섬광발생장치의 형상에 대한 설계 방안을 도출하여 시료를 제작하고 광학센서를 사용한 기초시험을 수행하였다. 또한, 시험결과를 분석하여 설계 변수에 따른 고섬광 효과를 최대화시키는 방안을 도출하고자 한다. 충전 가스 종류로 아르곤보다 제논의 경우 2배 가량 광도가 높게 나타났으며, 비활성가스가 광도에 미치는 영향을 알아보기 위한 비교로써 공기보다 제논의 경우 4배 가량 광도가 높게 나타났다. 또한, 화약량이 증가할수록 원주방향으로 전달되는 충격파가 도달할 수 있는 단면적이 증가할수록 광도가 증가함을 알 수 있었으며, 단일기폭보다 이중기폭의 경우 광원이 2배가 되어 광도도 2배됨을 입증하였다.

Abstract: A non-lethal weapon is a device that can subdue targets without causing death or mortal wounds. A high-intensity flash generator can negate electro-optical sensors and cause temporal flash blindness with a high intensity of light. In this study, we derive the design parameters of an explosive-driven high-intensity flash generator that uses the interaction of plasma caused by the detonation of explosives with surrounding inert gas. To determine the design parameters of the flash generator, we analyze test results measured using optical sensors. The experimental results show that the light intensity of xenon gas is about four times higher than that of air. In addition, the intensity increases with the weight of the explosive, and the inert gas cross-sectional area encountered a shock wave in the airframe. The light intensity caused by a double-initiation generator is about two times higher than that of the single-initiation generator.

- 기호설명 -

1. 서 론

- I : 광도 [cd]
- V : 광학센서에 입사한 측정 전압 [mV]
- α : 표준광량을 기준한 광학센서 교정치 [lx/mV]
- l : 광학센서와 시료와의 거리 [m]

현대전과 미래전의 양상은 전자 광학 기술의 발달로 정보전자전으로 급속하게 전환되고 있고, 이에 따라 전장에서는 육안관측장비, 열상장비 및 야시장비 등의 다양한 광학장비를 사용하여 표적을 획득하고 공격하는 전술운용을 하고 있다. 이런 전장 패러다임의 변화에 대응하여 점차

† Corresponding Author, letitbe@hanwha.com
© 2016 The Korean Society of Mechanical Engineers

목표 대상을 치명적이거나 파괴하지 않고 제압할 수 있는 무기체계인 비살상무기(Non-lethal Weapon)의 개발도 활발히 진행되고 있다. 이는 기존 재래식 무기에 비해 살상효과는 적은 방법으로 설계되어 목표에 손상을 입히기 보다는 감각 정보 획득 제한, 저항 의지 및 행동 불능 상태로 만드는 데 목적이 있다.^(1,2)

고섬광 발생장치는 운용환경에 따라 투발 수단을 달리 사용하여 여기서 발생하는 고섬광으로 적의 각종 광학장비의 센서 및 적군의 시력을 파괴·마비시키는 비살상 무기로서, 미래 전장에서 폭 넓게 사용될 것으로 예상되는 무기체계이다. 이것은 정보전자전으로 특성화되는 미래 전장에서 각종 광학장비, 영상장비, 열상장비, 야시장비, 탐색기 및 병사의 시력을 효과적으로 무력화시켜 적의 전장 정보 획득 능력을 무력화시킬 수 있으므로 전술적 효용성은 매우 클 것으로 사료된다.

고섬광 발생장치는 섬광의 발생방법에 따라 고폭화약 폭발로 발생한 충격파를 아르곤 혹은 제논 등의 비활성 가스에 가하여 생성되는 고온·고압의 플라즈마에 의하여 수 천만 ~ 수억 촉광 이상의 고섬광을 발생시키는 폭발형 고섬광 발생장치와 알루미늄 혹은 마그네슘 등의 금속분말과 산화제로 구성된 피로테크닉 조성물을 연소시켜 수 천만 ~ 수억 촉광 이상의 고섬광을 발생시키는 연소형 고섬광 발생장치가 있다.

현재 국내 개발된 조명탄 및 섬광탄은 주로 화학반응을 이용한 조명/섬광을 발생시키는 방식이며 섬광의 강도는 수백만 촉광 수준이다. 적외선과 밀리미터파 탐색기를 장착한 유도무기의 기만체계로서 적외선 섬광탄(IR Flare)과 채프탄(Chaff cartridge)이 이미 개발되어 군에서 운용되고 있으나, 유도무기체계에서 전자광학센서를 기만하거나 무력화시킬 수 있는 탄두는 국내에는 개발되지 않았다.⁽³⁾

본 연구에서는 고폭화약에 의한 충격파로 인해 발생한 플라즈마를 이용한 폭발형 고섬광발생장치의 형상에 대한 설계 방안을 도출하여 시료를 제작하여 포토디텍터(Photo detector)를 사용한 기초시험을 수행하였다. 또한, 시험결과를 분석하여 설계 변수에 따른 고섬광 효과를 최대화시키는 방안을 도출하고자 한다.

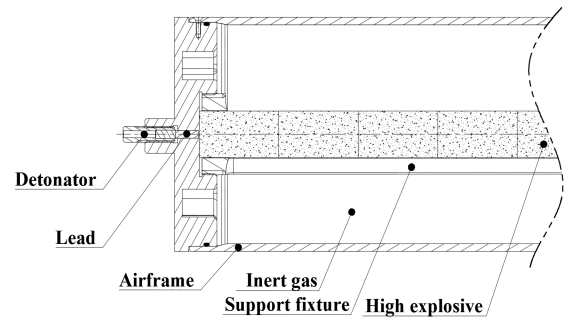


Fig. 1 Shape of the explosion type high intensity flash generator

2. 폭발형 고섬광 발생장치의 구조 및 실험 방법

2.1 구조

폭발형 고섬광 발생장치는 화약폭발 충격파가 비활성기체와 충돌하여 플라즈마를 형성하는 Los Alamos⁽⁴⁾의 연구 결과를 기반으로 설계하였으며, Fig. 1에 고섬광 발생장치의 형상을 나타내었다. 기본원리로 전기적 신호를 인가하고 기폭(Detonator)관과 연결관(Lead)이 접화하고 난 후, 맞닿아 있는 고폭화약(High explosive)이 연쇄적으로 폭발 반응을 일으킨다. 이때 폭발 반응에 의한 충격파가 투명한 탄체(Airframe) 안의 비활성기체(Inert gas)와 충돌하여 고온의 플라즈마 반응을 일으켜 고섬광이 발생하게 된다.⁽⁵⁾

폭발형 고섬광 발생장치의 형상은 고폭 화약의 충격파가 비활성가스에 최대한 직접적으로 전달 되도록 탄체의 중앙에 고폭화약을 위치하여 이를 고정하는 60계열의 알루미늄 지지대(Support fixture)를 개방형 구조로 설계하였다. 또한, 공중폭발 시, 고섬광 효과를 넓은 영역에 영향을 미칠 수 있도록 원주방향 고섬광이 방출될 수 있도록 방사형 구조로 제작되었다.

기본 구성은 충격파를 전달하는 고폭화약으로 HMX 계열의 폭속 8.77 km/s의 DXC-56이 적용되었으며, 충격파를 받아 고온의 섬광을 발생시키는 비활성 기체로서 밀도가 다른 아르곤(Ar)와 제논(Xe) 가스를 적용하였다. 또한, 비활성가스를 저장하는 역할을 하는 탄체로서 빛의 손실이 최소화할 수 있도록 투과도(Light transmittance) 좋으며, 탄의 후진관성력(Set-back)을 견딜 수 있는 내충격성을 가지는 폴리카보네이트(Polycarbonate)를 사용하였다.

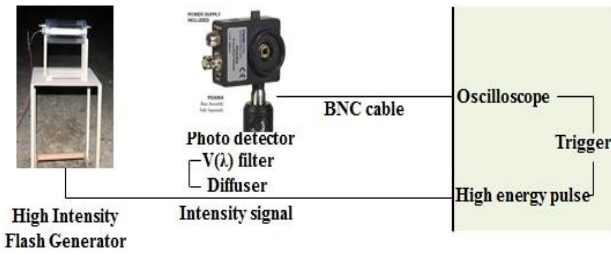


Fig. 2 Schematic drawing of experimental apparatus

2.2 실험 방법

주간의 태양광에 의한 노이즈를 제거하기 위해 야간 정치시험 실시하였다. Fig. 2에 고섬광 발생장치에 대한 시험계측 구성도를 나타내었다. 시료(고섬광 발생장치)는 방사형으로 방출되는 섬광이 지면에 의해 차단되지 않도록 지면에서부터 1.5m 높이의 시험대에 고정 설치하고 가시광선 영역인 350~1100 nm를 계측하는 6 ea의 광학센서를 시료로부터 각 거리별(30, 50, 70 m)로 레이저 조준경을 사용하여 중심선이 일치하도록 설치하였다. 이때 V(λ) filter는 사람 눈과 같은 기능을 하기 위해, 사람 눈에 가장 민감한 광도인 555nm 파장에 초점을 맞추어 계측되도록 하는 역할을 수행하며, Diffuser는 빛이 산란을 방지하여 한 지점에 집중되도록 하는데 사용한다. 또한 광학센서에 입사한 측정전압을 식 (1)에 의해 광도 값으로 환산한다. V는 광학센서에 입사한 측정 전압을 나타내며, l은 광학센서와 시료와의 거리이고 α는 광학센서 교정치로서 표준광원을 기준으로 광학센서 배율에 따른 빛의 입사량을 계측하여 교정하였다.

$$I = V \alpha l^2 \quad (1)$$

광학센서 중 1개의 측정값이 다른 1개와 비교하여 측정값의 편차가 50% 이상이면 센서 오작동으로 판단하여 데이터 값을 제외시켜 측정값의 신뢰성을 보증하였다. 섬광의 지속시간은 최대 광도 값 기준으로 상승 시 10% 지점부터 하강 시 10% 지점까지의 시간을 기록하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 섬광 발생 특성

Fig. 3은 고섬광의 고속촬영 영상이다. 기폭한 후 고폭화약이 폭발하는 동안, 자외선에서 가시

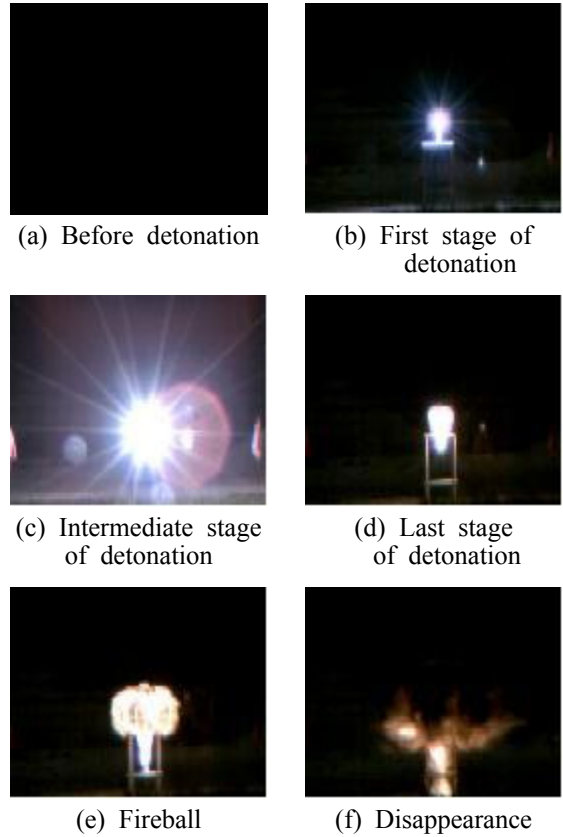


Fig. 3 High speed photography of high intensity flash

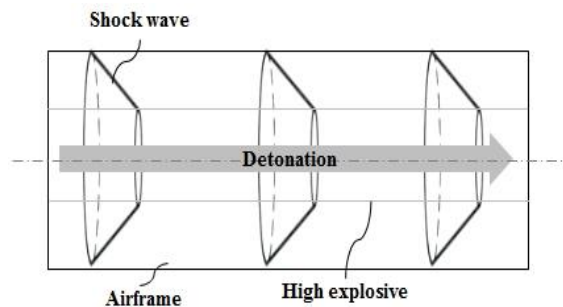


Fig. 4 A characteristic of flash emission

광선 영역까지 최대 광도의 섬광이 방출되고 그 후, 탄체가 파괴되면서 고온의 폭발생성가스에 의한 화염(Fireball)으로 인해 다시 적외선 영역의 섬광이 발생함을 알 수 있다.

이 같은 현상은 Fig. 4는 섬광 발생 모식도를 나타내었다. 폭발형 고섬광 발생장치는 기폭신호에 의해 기폭관, 연결관, 그리고 탄체의 중앙에 위치한 고폭화약 순으로 연쇄적으로 폭발하게 된다. 이때 고폭화약에서 방출되는 충격파는 탄체 안에 충전된 비활성가스와 원주방향으로 충돌하

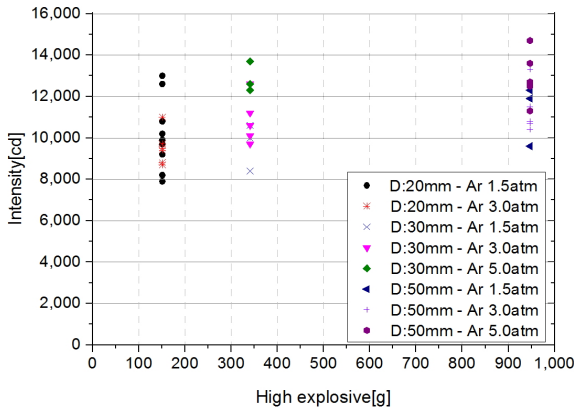


Fig. 5 Luminous intensity on the amount(diameter) of high explosives

며 고온고압의 플라즈마 현상이 일어나게 된다. 이 현상은 축방향으로 고폭화약이 폭발하면서 발생하므로 탄체의 길이는 광도의 지속시간과 관계된다.

3.2 설계 변수의 검증

폭발형 고섬광발생장치의 제약된 구조에서 고섬광의 광도를 최대화시키기 위한 설계 변수를 도출하고자 한다.

Fig. 5는 화약량과 비활성가스의 충전압력에 따른 광도에 미치는 영향을 나타내었다. 탄체 중앙에 위치한 화약 직경(D 20 mm, D 30 mm, D 50mm)에 따라 각각 151g, 341g, 947g의 화약량으로 정해진다. 그래프의 결과를 보면 화약량을 증가시켜도 광도가 크게 증가하지 않고 완만한 기울기로 거의 광도의 변화량이 작음을 알 수 있다. 또한, 화약 직경 D 20mm에서 D 30mm으로 화약량을 증가시켰을 때의 광도의 증가량보다 오히려 화약 직경 D 30mm에서 D 50mm으로 416g 만큼 화약량이 증가시켜도 광도가 크게 증가하지 않음을 알 수 있다. Fig. 4를 참조하면 광도는 화약에 의한 충격파(Shock wave)의 압력의 크기와 탄체 내부에서 발생하는 충격파가 비활성가스충돌하는 면적과 관계있다. 화약직경 20mm에서 30mm로 화약량이 증가하면 충격파의 압력이 증가하여 광도가 증가하나, 주어진 구속조건인 탄체의 직경(D 130mm, D 150mm)에서 화약직경 30mm에서 50mm로 화약량을 증가시킨 만큼 충격파와 비활성가스가 충돌하는 면적이 감소하여 화약 직경이 30mm인 경우에 비해 광도가 변함이 없거나 어떤 경우는 오히려 감소하는 경향을 보

Table 1 Properties of the Inert gas

Specification	Argon	Xenon
Molecular weight(g/mol)	39.95	131.3
Boiling point(°C, at 1atm)	-185.8	-108.1
Melting point(°C, at 1atm)	-189.2	-111.8
Specific gravity(air=1)	1.38	4.53

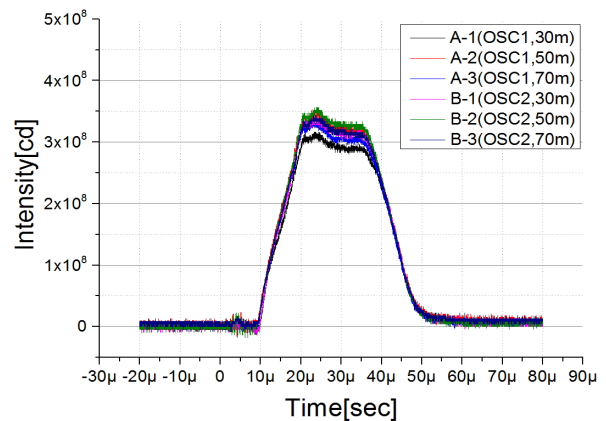


Fig. 6 Luminous intensity of single ignition with xenon gas(airframe diameter 150mm)

인다. 또한, Fig. 5의 결과를 보면 아르곤 가스의 충전 압력 증가시켜도 광도의 크기에 영향이 없음을 알 수 있다.

기폭형태에 따른 광도의 차이를 조사하기 위하여 단일기폭과 이중기폭에 의한 광도의 차이를 비교하였다. Fig. 6은 제논 가스를 충전하여 단일기폭의 광도의 결과를 나타내었고, Fig. 7은 동일한 탄체의 고속카메라 촬영결과로써 기폭되고 바로 사선형태의 충격파두가 형성되어 최대 섬광이 발생함을 알 수 있다.

Fig. 8은 아르곤을 충전하고 이중기폭을 한 결과를 나타내었고, Fig. 9는 이중기폭 경우의 고속카메라의 영상이다. 양쪽 단의 기폭관으로 동시 기폭되고 고폭화약의 폭발에 의한 사선 형태의 충격파두(Shock front)가 연쇄반응을 일으키며 탄체 중앙에 충격파두가 합쳐지는 지점에서 최대 섬광이 발생하게 된다. 충격파두가 사선형태를 띠는 것은 고폭화약이 폭속이 원주방향으로 퍼져나가는 충격파보다 더 빠르기 때문이다. 이 현상을 볼 때, 이중기폭의 경우는 광원이 2개가 되어 단일기폭보다 광도가 2배가 되며 이것은 포토디텍터의 광도측정결과와 일치한다. Fig. 6과 Fig. 8의 평균 광도는 각각 3.38억 축광, 3.53억 축광으

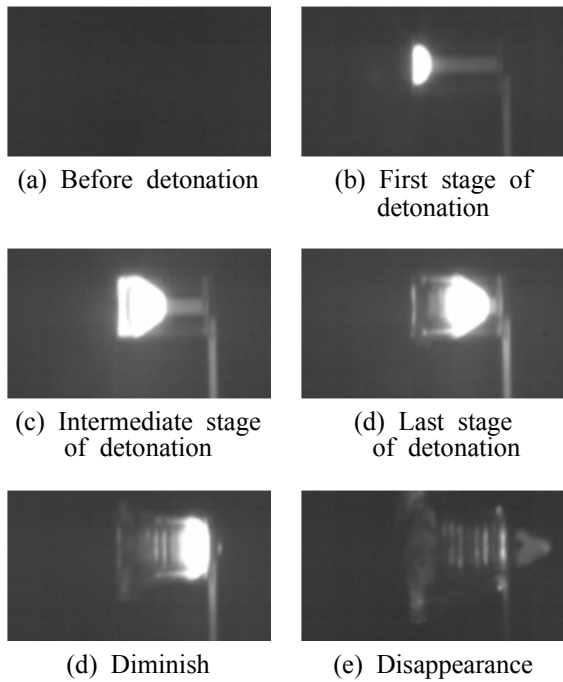


Fig. 7 Internal high speed photography of ignition with xenon gas(airframe diameter 150mm)

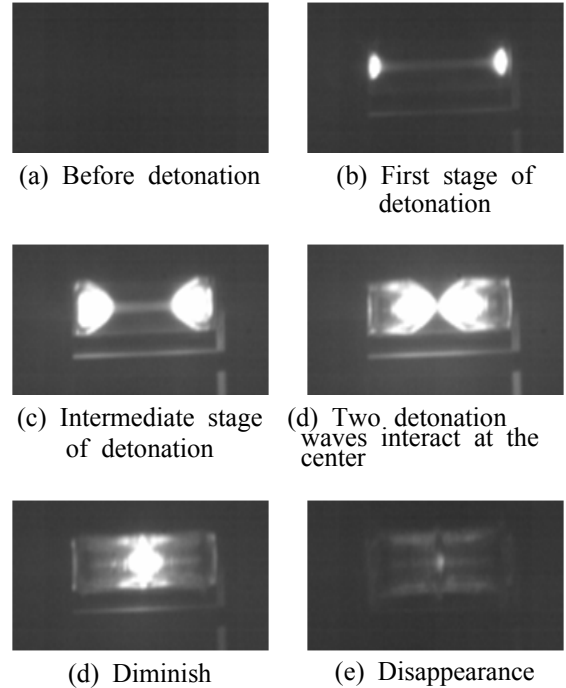


Fig. 9 Internal high speed photography of single ignition with argon gas(airframe diameter 150mm)

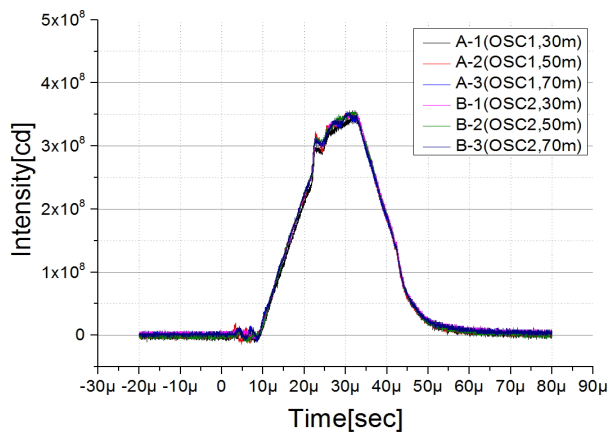


Fig. 8 Luminous intensity of double ignition with argon gas(airframe diameter 150mm)

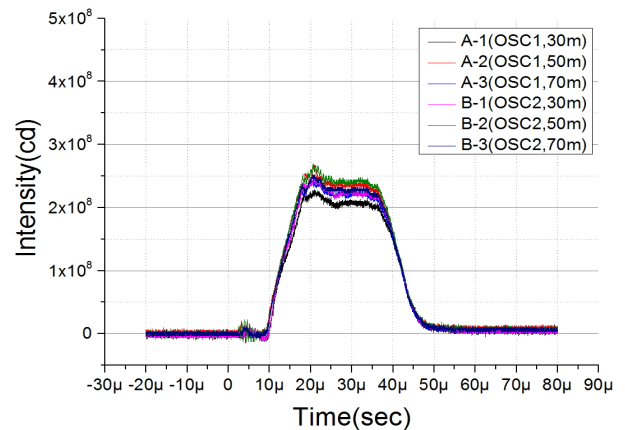


Fig. 10 Luminous intensity of single ignition with xenon gas(airframe diameter 130mm)

로 광도 값이 비슷한 것으로 나타났다. 이는 이중기폭에 의한 영향과 제논가스에 의한 영향이 비슷하다는 것을 시사해주고 있다. 이것은 Los Alamos⁽¹⁾보고서의 아르곤보다 제논의 광도가 약 2배 정도 높게 나타나며, 광도가 높은 것은 기체의 최대온도가 분자량의 제곱근에 비례하기 때문이라고 한 보고와 일치한다.

고폭화약의 폭발에 의한 충격과두와 반응하는 비활성가스의 단면적의 증가에 따른 광도변화를 조사하기 위하여 탄체 직경을 130mm와 150mm인

2종류 탄체를 시험하였다. 이때 탄체의 길이는 동일하며 탄체에 충전된 가스는 제논가스이다. Fig. 6과 Fig. 10은 각각 탄체 직경이 150mm, 130mm인 경우인데 이것은 직경 150mm 탄체는 충격과두와 반응하는 비활성가스의 면적이 33% 증가함에 기인된 것이다.

또한, Fig. 11은 공기가 채워진 고섬광 발생장치를 단일기폭시킨 경우의 측정치로써 평균 0.63억 촉광 결과가 나타났으며, Fig. 10의 광도 결

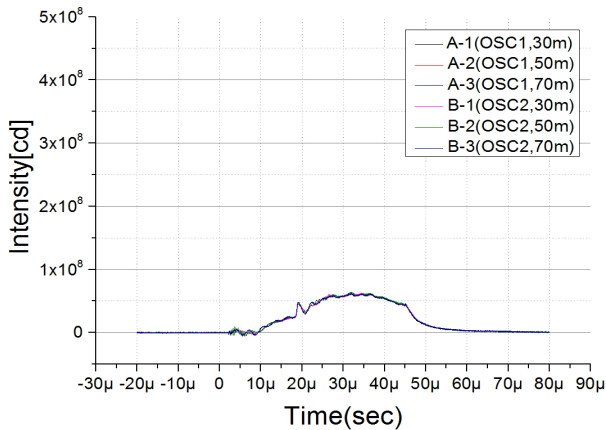


Fig. 11 Luminous intensity of single ignition with air(airframe diameter 130mm)

과와 비교하면 제논가스에 비해 0.25배 가량 광도가 낮아졌음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 고폭화약에 의한 충격파와 비활성가스의 충돌로 인한 고온고압의 플라즈마를 이용한 폭발형 고섬광발생장치를 포토디텍터를 사용한 기초시험을 수행하였다. 또한, 기초시험 결과를 분석하여 설계 변수에 따른 고섬광 효과를 최대화시키는 방안을 도출하였다.

(1) 화약량을 증가시킬 때 광도가 선형적으로 증가하지 않았으며, 이것은 화약 폭발에 의한 충격파와 충돌할 수 있는 비활성가스의 단면적과 관계가 있다.

(2) 기폭방법을 이중기폭으로 점화시킬 경우는 광원이 2개가 되어 단일기폭보다 광도가 2배로 증가한다.

(3) 아르곤 가스의 충전 압력 증가시켜도 광도의 크기에 영향이 없으며, 아르곤보다 제논의 광도가 약 2배 정도 높게 나타났다. 이것은 Los Alamos⁽¹⁾보고서의 광도가 높은 것은 기체의 최대

온도가 분자량의 제곱근에 비례하기 때문이라고 한 내용과 일치한다.

(4) 공기가 채워진 고섬광 발생장치를 단일기폭시킨 경우에 제논가스를 사용했을 경우 보다 0.25배 가량 광도가 낮아졌음을 알 수 있다.

(5) 고폭화약의 폭발에 의한 충격파와 반응하는 비활성가스의 단면적의 증가함에 따라 광도가 증가하며, 단면적 33%를 증가시킬 때 광도가 약 25% 증가하였다.

후 기

본 연구는 방위사업청과 방위산업기술지원센터의 연구비 지원 하에 (주)한화가 수행하였다.

참고문헌 (References)

- (1) Kim, H. J., Choi, S. W., Kwon, M. R., Hwang, J. S. and Chang, K. H., 2014, "A Pyrotechnic Mixture Composition and Design Verification of Bright Flash," *Journal of the KIMST*, Vol. 17, No. 3, pp. 289~295.
- (2) Evancoe, Paul. R., "Tomorrow's Weapons of Choice," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B, Military Technology MILTECH*, pp. 68~71 8/84.
- (3) Kwon, M. R., Ahn, J. W., Ham, W. S., Kim, S. S. and Bang, G. B., 2012, "A Study on the Pyrotechnic Shutter for Measuring the High Speed Flash," *KSAS*, pp. 1029~1032.
- (4) Jones, C. R. and Davis, W. C., 1982, "Optical Properties of Explosive-driven Shock Waves in Noble Gases," *Los Alamos LA-9475-MS*.
- (5) Kim, K. S., Ahn, J. W. and Chang, K. H., 2013, "Structural Design of Transparent Shell," *Conf. of KSME*, pp. 1702~1705.