

A Study of the Safety Assessment for Combustion Products in the Exposure Human Bodies Rounding Missile Ejection

Kee Hyeok Song · Sung-Hak Chung[†]

Agency for Defense Development

유도탄 사출시 연소 생성물의 인체 안전성 평가에 관한 연구

송기혁 · 정성학[†]

국방과학연구소

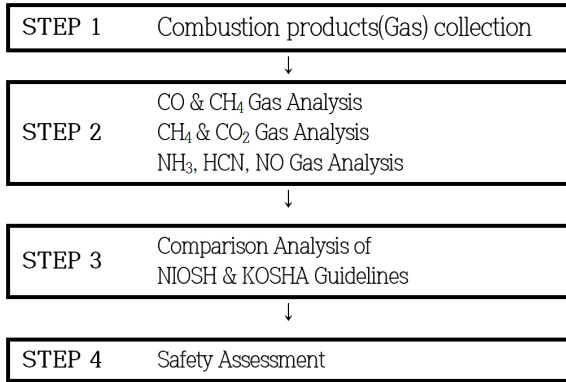
The objective of this study is to safety assessment for human body on the guided missile combustion products. This study is to verify the safety assessment when operating the interior missile ejection take on verify the safety of the human body. During the missile ejection of combustion products, this study is analyzed combustion products. Result are accepted NIOSH and KOSHA of the safe guideline, and 6 exposure gas to the specified values 42% (CO), 22% (CO₂), not detected (others) are within minimal exposures criteria of the reference value respectively. Contribution of these results supported that interior missile ejection during combustion products may have been ensured human safely. Therefore, the future for improving the environmental safety of the shooting projectile steel plate round, dust collector, ventilation and other facilities is to improve environmental safety and efficient renovated design needed by target focused areas.

Keywords : Safety Assessment, Exposure Combustion Products, Gas Chromatography, Guided Missile

1. 서 론

로켓모터에서 발생하는 연소 생성물이 인체에 미치는 영향에 대해서 많은 연구가 이루어지고 있다[3-9]. 국방부는 공군 제 5전술공수비행단 실내사격장 관리요원 혈액에서 기준치 이상의 납이 발견됐다는 지적이 제기됨에 따라 국방부가 208명의 실내사격장 관리요원에 대한 건강검진을 실시하였다. 실시결과, 즉시 진료가 필요한 직업병 소견자는 없었으나 47개 실내사격장 가운데 35개 사격장에서 납농도 기준치가 초과됐으며, 건강검진 시 납성분이 검출된 장병에 대해 순환보직 및 관리를 하기로 하고, 사격장 환경 개선을 시행하기로 했다[3]. 이에, 국

방부는 1단계로 기존 실내사격장에 대해 2014년도 전반 기까지 첩관피탄지, 집진기, 환기시설을 개선하고, 2단계로 시설설계표준안을 정립해 2015년도 하반기부터 신축하는 실내사격장에 적용한다고 한다[3]. 따라서 본 연구는 체계개발 과정에서 인체 안전성 평가를 수행하여 유해물질에 대한 검증 차원의 연구를 수행하게 되었다 [10-12]. 미국에서는 유도무기를 개발하면서 로켓 추진제 연소 생성물의 시료채취법과 분석방법연구, 화합물의 분석과 컴퓨터 모델링, 에어로졸과 납에 대한 영향, Javelin의 연소 생성물 노출 유해성 평가 연구 등의 로켓모터 연구가 이루어진 바 있다[13-16]. 본 연구에서는 로켓모터에서 발생하는 연소 생성물의 인체 위해요소를 분석함으로써 인체에 미치는 영향을 연구하였다. 또한, 로켓모터 연구사례를 바탕으로 로켓모터에서 발생하는 연소 생성물의 화학적 성분을 분석하였다[5, 6]. 연구의 흐름도는 다음의 <Figure 1>에서와 같다.



<Figure 1> Research Procedures

연소 생성물을 포집하여 GC(Gas Chromatography) 분석과 FTIR(Fourier Transform InfraRed) 분석을 수행하였다. 문헌연구를 통하여 기존의 유사 체계에서 수행하였던 연소 생성물의 분석방식과 동일한 방법과 절차로 연구를 수행하였다[7-14]. 한국표준과학연구원서 연소 생성물의 화학적 분석결과를 검증 및 확인하기 위해서 화학적 성분 분석을 함께 수행하였다.

2. 실험설계 및 분석방법

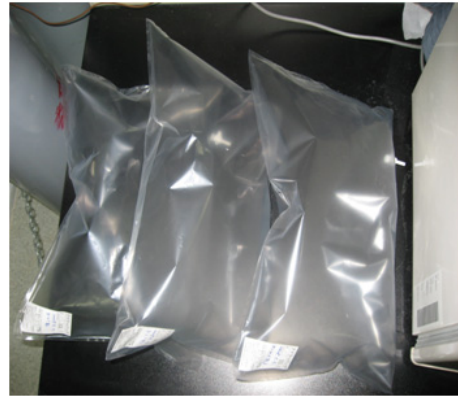
가스시료의 채취는 2013년 11월 26일에 국방과학연구소시험장에서 실시하였다. 가스 분석용 시료는 흡입 펌프를 이용하여 플라스틱 백에 포집하는 방법을 사용하였으며, 실내 발사장의 부사수 위치 및 후방 3m 지점 부근의 1m 높이 위치를 선정하여 시료를 <Figure 2>와 같이 채취하여 분석하였다.



<Figure 2> Device for the Combustion Gas

시료채취를 위해서 주입장치에 연결하여 100 mL/min 유속으로 흘러서 주입하였다. 가스 채취는 유도탄 사출전과 사출 시에 각각 실시하였다. 시료를 채취하는 과정에서의 오염을 방지하기 위하여 Oilless Diaphragm Pump

를 사용하였으며, 연동한 플라스틱 백(테프론 재질, 상품명 : Tedlar Bag)에 채취한 가스 시료를 GC(Gas Chromatography)로 분석하였다[17, 18]. 유도탄 사출 시 반복적으로 <Figure 3>과 같이 가스채취를 수행하였다.



<Figure 3> Gas Collection Using the Plastic Bag

유도탄 사출전과 사출 시의 가스 시료를 채취하여 가스 성분을 분석하였다. 각각의 검출된 가스 성분의 분석 프로토콜은 다음과 같이 수행하였다.

일산화탄소(CO)와 메탄(CH₄) 가스 분석에 사용된 장비는 Agilent사의 HP6890 GC-FID/Methanator(불꽃이온화검출기)이며, 분리 컬럼은 Molecular Sieve 5A, 3m, 1/8, 80~120Mesh를 사용하였고, Ni 촉매온도는 370℃, 오븐 온도는 80℃이었으며, Carrier Gas는 N₂ 70 mL/min, 그리고 Sample Loop는 2mL로 하였다.

메탄(CH₄)과 이산화탄소(CO₂) 분석에는 Agilent사의 HP-6890 GC-FID/Methanator(불꽃이온화검출기)를 사용하였으며, 분리 컬럼은 PP-Q 80/100(Packed Type, 12 ft)을 사용하였고, Ni 촉매온도는 370℃, 오븐 온도는 35℃, Carrier Gas는 N₂ 40psi, Sample Loop는 2.0mL, FID의 온도는 250℃로 설정하였다.

암모니아(NH₃), 사이안화수소(HCN), 산화질소(NO) 분석에 사용한 장비는 Bruker사의 IFS 120HR FT-IR(Fourier Transform Infrared)이다. 측정조건은 Resolution을 2cm⁻¹, Aperture는 4mm, Scan 횟수는 64회, Cell Length는 40m, 그리고 Cell Pressure는 1 bar로 설정하였다. NH₃는 900~1250cm⁻¹, HCN은 1,300~1,500cm⁻¹, NO는 1,550~1,650cm⁻¹ 파장에서 분석을 수행하였다.

3. 유도탄 사출시 연소 생성물의 분석결과

유도탄 사출전과 사출 시의 가스 시료를 채취하여 가스 성분을 분석하였다. 각각의 검출된 가스 성분의 결과

는 <Table 1>과 같다. 유도탄 사출전과 사출 시의 가스 시료를 채취하여 분석한 결과의 상대 T검정 결과 유의한 차이가 없었다($t = -1.630$, $p = 0.164$).

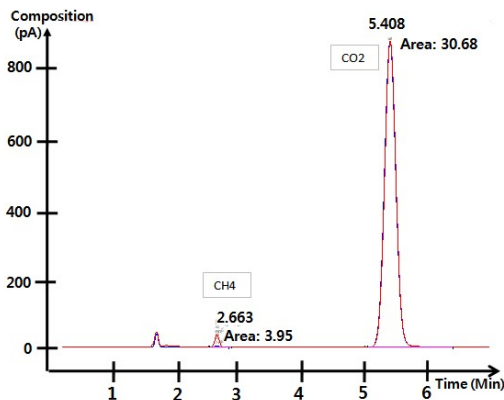
<Table 1> Result of Composition Concentrations

Components	Concentration (ppm, $\mu\text{mol/mol}$)			
	Pre Collection (blank)	Collection no.1	Collection no.2	Mean
CO	0.59	16.70	13.30	15.00
CH ₄	1.19	1.18	1.17	1.18
CO ₂	445	1,133	1,067	1,100
NH ₃	N.D	N.D	N.D	ND
HCN	N.D	N.D	N.D	ND
NO	N.D	N.D	N.D	ND

N.D : Not Detected.

3.1 일산화탄소(CO)와 메탄(CH₄) 분석결과

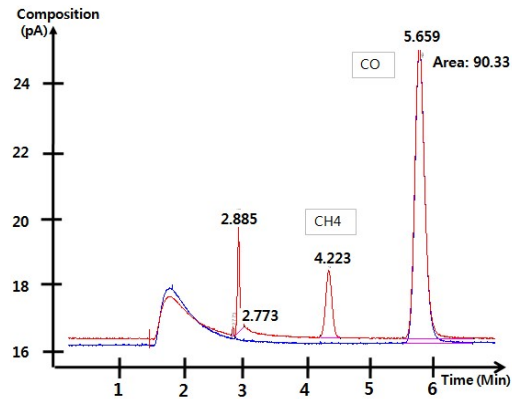
유도탄 사출시 연소 생성물인 가스 분석을 수행 하였다. 연소 생성물인 가스에 포함된 일산화탄소(CO : Carbon monoxide)와 메탄(CH₄ : Methane)가스를 GC 분석 하였다. 일산화탄소와 메탄의 분석결과는 다음의 <Figure 4>와 같다. 일산화탄소는 $15.00 \pm 2.40 \text{ ppm}$ 이며, 메탄은 $1.18 \pm 0.01 \text{ ppm}$ 으로 나타났다.



<Figure 4> Analyzing for the CO and CH₄ Using GC Method

3.2 메탄(CH₄)과 이산화탄소(CO₂) 분석

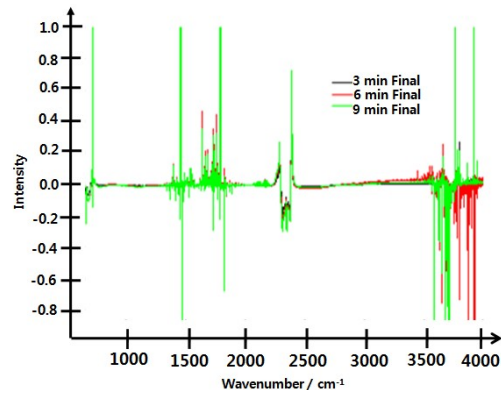
유도탄 사출시 연소 생성물인 가스 분석을 수행하였다. 연소 생성물인 가스에 포함된 메탄(CH₄ : Methane)과 이산화탄소가스(CO₂ : Carbon dioxide)를 GC 분석 하였다. <Figure 5>에는 메탄과 이산화탄소 분석결과를 도시한 결과이다. 메탄은 $1.18 \pm 0.01 \text{ ppm}$ 이고, 이산화탄소는 $1,100 \pm 46.67 \text{ ppm}$ 으로 나타났다.



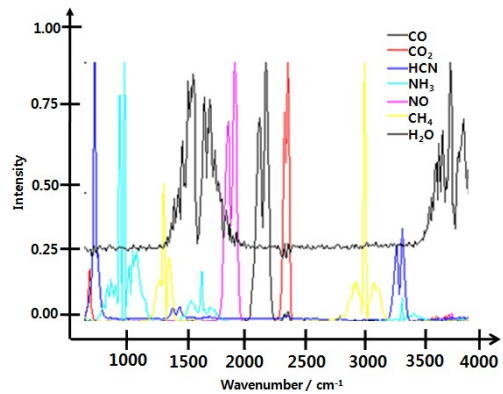
<Figure 5> Analyzing for the CH₄ and CO₂ Using GC Method

3.3 암모니아(NH₃), 사이안화수소(HCN)와 산화질소(NO) 분석

유도탄 사출시 연소 생성물인 가스 분석을 수행하였다. 연소 생성물인 가스에 포함된 암모니아(NH₃ : Ammonia), 사이안화수소(HCN : Hydrogen Cyanide), 산화질소(NO : Nitrous Oxide)를 GC 분석 하였다. <Figure 6>(a)에는 시료 가스를, <Figure 6>(b)에는 표준가스의 스펙트럼을 도시하였다.



<Figure 6a> FTIR Spectrum for the Collection Gas



<Figure 6b> FTIR Spectrum for the Standard Gas

4. 결 론

유도탄 사출전과 사출 시의 가스 시료를 채취하여 가스 성분을 분석하였다. 각각의 검출된 가스 성분의 결과는 <Table 2>에 정리하였으며, 미국 NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health) 8시간 가중평균치(8h Time Weighted Average Value)와 한국 KOSHA(Korea Occupational Safety and Health Agency)의 기준치를 함께 도시하였다[7, 11, 19-23]. 분석결과 노출기준에 적합한 것으로 나타났다.

<Table 2> Material Properties of Foam

Components	Concentration (ppm, $\mu\text{mol/mol}$)			
	NIOSH (8h-TWA)	KOSHA (8h-TWA)	Pre Collection (blank)	Collection gas mean(s.d)
CO	35	30	0.59	15.00(2.40)
CH ₄	-	-	1.19	1.18(0.01)
CO ₂	5,000	5,000	445	1,100(46.67)
NH ₃	25	25	N.D	N.D
HCN	4.7	4.7	N.D	N.D
NO	25	25	N.D	N.D

N.D : Not Detected.

유도탄 사출시에 따른 연소 생성물을 분석하였다. 분석 결과를 살펴보면, 연소 생성물인 가스는 한국 KOSHA와 미국 NIOSH의 노출 규정값에 CO는 0.42%, CO₂는 0.22%로 노출 기준치보다 매우 낮은 수치를 보였다. 또한, NH₃, HCN, NO는 검출되지 않았다. 본 측정결과는 유도탄의 추진제에서 발생한 유해가스가 미국 NIOSH의 노출기준과 한국 KOSHA의 기준치 모두에 합격하는 결과를 보였다. 따라서 로켓모타에서 발생하는 연소 생성물이 인체에 미치는 유해한 영향은 없을 것으로 판단되며, 유도탄 사출시 안전하다고 평가할 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구 결과는 실내사격장을 관리하는 요원들에게 환경안전의 개선지점을 선정함에 있어 개선해야 할 환경안전요소로 철 판피탄지, 집진기, 환기통로의 시설물 개선에 주력해야 한다는 시사점을 보여준다. 또한, 실내사격장 중점관리 대상을 표적지 중심으로 효율적인 관리체계 구축을 수행하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH) : Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, 8th Edition, 2011.
- [2] American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1993-1994 Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. ACGIH, 6500 Glenway Ave., Bldg. D-7, Cincinnati, OH 45211.4438, 1993.
- [3] American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Documentation for the TLVs, ACGIH, 6500 Glenway Avenue, Bldg D-7, Cincinnati, OH 45211-4438, 1980, p 343-345.
- [4] Bhattacharyya, M.H., Stebbings, J.H., Peterson, D.P., Johnson, S.A., Kumar, R., Goun B.D., Janssen I., and Trier, J.E., Lead Exposures and Biological Responses in Military Weapons Systems : Aerosol Characteristics and Acute Lead Effects among U.S. Army Artillerymen-Final Report, ANL-93/7, 1993.
- [5] David, L.G., Occupational Safety and Health for Technologists, Engineers, and Managers, 8th Editions, Prentice Hall, 2014.
- [6] Gergo, P.S. and Oscar, B., Rocket Propulsion Elements, 8th Editions, John Wiley and Sons, Inc., 2010.
- [7] Hamilton, A., Exploring the Dangerous Trades. Boston : Northeastern University Press. (Copyright 1943 by Little, Brown and Company, Reprinted by arrangement with Little, Brown and Company), 1985.
- [8] Health and Safety Executive (U.K.), Methods for the Determination of Hazardous Substances guidance, www.hse.gov.uk/pubns/mdhs, 2014.
- [9] Jenkins, R.A., Nestor, C.W., Ma, C.Y., Thompson, C.V., Tomkins, B.A., Gayle, T.M., and Moody, R.L., Characterization of Rocket Propellant Combustion Products-Chemical Characterization and Computer Modeling of the Exhaust Products from Four Propellant Formulations, ORNL/TM-11759, 1991.
- [10] Jenkins, R.A., Thompson, C.V., Gayle, T.M., Ma, C.Y., and Tomkins, B.A., Interim Report, Characterization of Rocket Propellant Combustion Products-Description of Sampling and Analysis Methods for Rocket Exhaust Characterization Studies, ORNL/TM-11643, 1990.
- [11] Kim, J. and Yoon, Y.G., Improved Test Methods to Evaluate Pedestrian Protection Affected by Passenger Cars. J. Soc. Korea Ind. Syst. Eng, 2012, Vol. 24, No. 2, p 103-115.
- [12] Korea Ministry of National Defense, News Release Environmental Improvements for the Interiors Shooting Range, Korea Ministry of National Defense Access web : www.mnd.go.kr, 2014.

- [13] KOSHA, KOSHA Guide_Work Environment Measurement and Anaysis Technical Guideline, www.kosha.or.kr, 2012.
- [14] Kwon, S.H. and Oh, H.S., Construction of Observational Locations for Measuring water Quality in the River Area. *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2012, Vol. 35, No. 3, p 187-191.
- [15] Lee, S.W. and Lee, J.Y., A Determination of the Optimal Blood-Issuing Polices. *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 1990, Vol. 13, No. 21, p 133-141.
- [16] Livermore Software Technology Corporation, LS-DYNA Use's Manual Ver. 950, 1999.
- [17] Lundy, D.O. and Langford, R.E., *Exposure Assessment of Javelin Missile Combustion Products*, TR-94-0002, 1994.
- [18] National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). U.S. Department of Health and Human Services, *The Industrial Environment-Its Evaluation and Control*, Washington, NIOSH, 1973.
- [19] National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH Manual of Analytical methods (NMAM), 4th edition, www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154, Jun 1, 2003.
- [20] Occupational Safety and Health Administration, Sampling and Analytical method, www.osha.gov/dts/sltc/methods/index.html, 2014.
- [21] U.S. Army Environmental Hygiene Agency, Aberdeen Proving Ground, MD. Letter, HSHB-OI-F, *Interim report, Special Study-M109 bore evacuator tests*, No. 55-35-0108-8, 1982.
- [22] U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration(OSHA). *Federal Register*, 1978, Vol. 43, p 54354-54509.
- [23] Zandbergen, B.T.C., *Solid Rocket Propellants and Their Properties*, web articles, Access web : www.lr.tudelft.nl 2004.