



## 접촉점화성 추진제 안전기준 및 상호반응성 분석

†이응우 · 신안태\* · 조상연 · 박병문\*

한국항공우주연구원 발사체연구소, \*한국항공우주연구원 나로우주센터  
(2023년 4월 11일 접수, 2023년 8월 27일 수정, 2023년 9월 13일 채택)

## Analysis of Safety Regulation and Chemical Reactivity of Hypergolic Propellant

†Eungwoo Lee · Ahntae Shin\* · Sangyeon Cho · Byeongmun Park\*

Launch Vehicle Research Directorate, Korea Aerospace Research Institute

\*Naro Space Center, Korea Aerospace Research Institute

(Received April 11, 2023; Revised August 27, 2023; Accepted September 13, 2023)

### 요약

하이드라진은 우수한 액체추진제이지만 독성과 반응성이 높아 저장 및 취급 시 주의가 요구된다. 발사장 안전을 확보하기 위해서는 화학물질의 누출로 인한 상호반응성을 고려한 안전지침을 수립하여야 한다. 본 연구에서는 해외 발사장의 하이드라진 충전시설 현황에 대해서 조사하고 저장 및 취급과 관련된 안전기준을 검토하였으며, 발사장에서 주로 취급되는 화학물질과 위험물안전관리법상 유별 혼재기준에 따라 혼합 보관이 가능한 물질을 선정하여 하이드라진과의 상호반응성을 분석하였다. 분석 결과 발사장에서 취급되는 화학물질에는 연료유를 제외하고는 상호반응성이 있는 것으로 분석되었으며 혼재가 가능한 위험물과도 상호반응성이 있는 것으로 나타났다. 그렇기 때문에 발사장에 하이드라진 전용의 저장소 구축이 필요함을 강조하며, 충전 작업 중에는 저장용기와 처리 장비에 사용되는 물질과의 상호반응성을 피하기 위한 세심한 관리의 중요성을 강조한다. 이러한 분석 결과를 바탕으로 발사장에서 하이드라진 저장·보관 및 취급 시 발사장 안전을 확보하기 위한 기초자료로 활용할 예정이다.

**Abstract** - Although hydrazine is an excellent liquid propellant, caution is required during storage and handling due to its high toxicity and reactivity. Safety guidelines should be established in consideration of the chemical reactivity by unintended leakage. In this study, the status of hydrazine facilities at launch site and safety standards for storing and handling were investigated and then, the reactivity between chemicals and hydrazine was analyzed. As a result of the analysis, hydrazine has reactivity with the exception of fuel oil. This paper emphasizes the imperative nature of constructing a dedicated hydrazine storage facility. Ensuring compatibility between hydrazine and the materials used in storage containers and handling equipment is crucial to prevent undesired reactions that could compromise safety. It was intended to be used as basic data to secure the range safety when handling hydrazine.

**Key words** : hypergolic propellant, hydrazine, chemical reactivity, launch site safety

### 1. 서론

접촉점화성 추진제인 하이드라진(Hydrazine)은 우주분야에서 추진시스템의 연료로 널리 사용되어왔다

[1]. 사용 방식에 따라 단일추진제와 이원추진제로 분류되며, 단일추진제로 무수하이드라진(Anhydrous hydrazine)이 사용되며 이원추진제로 연료인 모노메틸하이드라진(MMH, Monomethyl hydrazine), 비대칭 디메틸하이드라진(UDMH, Unsymmetrical dimethyl hydrazine)과 산화제인 산화질소(NTO, Nitrogen tetroxide)가 사용되고 있다. 하이드라진은 암모니아와

†Corresponding author:safety@kari.re.kr

Copyright © 2023 by The Korean Institute of Gas

비슷한 냄새가 나는 투명한 액체로 장기간 보관 시 열과 추위에서도 안정적인 액체이다[2]. 액체 추진제 중에 성능이 우수하고 신뢰도가 높은 추진제임에도 불구하고[3], 하이드라진-공기 혼합물의 연소범위는 일반적으로 4.7 ~ 100 vol.%, 화학양론농도에서의 최소 점화에너지는 1 J로 알려져 있다. 또한, 산업안전보건법에서 취에 대한 4시간 동안의 흡입실험에 의하여 실험동물의 50%를 사망시킬 수 있는 물질의 농도[LC<sub>50</sub> (취, 4시간 흡입)]가 2,500 ppm 이하를 급성 독성 물질로 정의하고 있는데 하이드라진 증기의 경우 LC<sub>50</sub>(취, 4시간 흡입)이 570 ppm으로 독성이 매우 높다. 이렇듯 추진제로서의 하이드라진을 저장 및 취급하기 위해서는 물리화학적 특성을 이해하고 안전관리지침을 수립하는 것이 발사장안전(Launch site Safety)을 확보하는데 중요한 요소라고 할 수 있다. 이를 위해, 해외 발사장의 하이드라진 저장 및 취급과 관련된 안전 규격을 비교 분석하고 사고를 예방하기 위한 설비적 관리 방안에 대한 검토가 필요하다.

또한, 이러한 대책 외에도 하이드라진과의 반응성을 중요하게 고려하여야 한다. 두 가지 이상의 화학물질이 의도치 않게 혼합될 때 반응성으로 인해 안전사고를 야기할 수 있다[4-7]. 하이드라진은 연료 충전을 위해 일정기간에 앞서 발사장으로 반입되어 옥내 또는 옥외저장소에 보관되어 있다가 발사에 임박하여 연료 충전시설로 옮겨져 환경조건이 유지된 상태에서 위성 등에 충전하게 된다. 하이드라진 저장용기(container)의 금속 또는 비금속 재질에 대한 양립성과 하이드라진 추력기 성능 개발에는 많은 연구가 수행되어 왔지만[2, 8-9], 하이드라진 저장 및 취급 시 발생할 수 있는 화재, 독성물질 흡입 등의 사고를 예방하기 위한 안전과 저장 시 혼재 기준과 저장 화학물질과의 상호반응성에 대한 국내 연구는 매우 미비한 실정이다. 하이드라진을 매우 드물게 소량 취급할 상황이 발생할 수 있으며 이러한 경우 기 구축된 위험물저장소에서 혼재하여 저장할 가능성이 있다. 그렇기에 위험

물의 혼재 기준을 검토하고 의도치 않은 누출로 인해 액체 또는 증기가 다른 화학물질과 접촉 반응하는 시나리오를 선정하여 반응성에 대한 분석이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 하이드라진으로 인한 안전사고를 예방하기 위하여 저장 및 취급관련 해외 안전기준을 비교 검토하여 발사장에서 필요한 설비적·관리적 안전기준을 분석하고, 발사장에서 주로 취급되는 가스류 및 화학물질과의 상호반응성을 분석하여 발사장에서 하이드라진 운송, 저장 및 취급 시 화학물질 안전관리 기준을 수립하고자 하였다.

## II. 안전기준 및 상호반응성 분석 방법

### 2.1. 해외 안전기준 분석

하이드라진과 관련된 안전기준을 분석하기 위하여 발사운용 안전, 추진제 충전 장비, 세척, 화재 위험성, 사고사례 등의 항목으로 구분하여 세부적인 안전기준을 검토하였다. 구체적으로 발사운용시 충전작업 취급안전에 대해서는 일본 우주항공연구개발기구(JAXA, Japan Aerospace Exploration Agency)의 규정을 참조하였고, 하이드라진 추진제 충전시설 현황에 대해서는 케이프 커내버럴 우주군 기지(CCSFS, Cape Canaveral Space Force Station)에 적용중인 기준을 조사하였다. 설비 세척에 대해서는 유럽우주국(ESA, European Space Agency)의 규정을 참조하였고, 화재 위험성 및 사고사례 등은 미국 항공우주학회(AIAA, American Institute of Aeronautics and Astronautics)와 미국 항공우주국(NASA, National Aeronautics and Space Administration)의 기술문서를 검토하였다. 본문된 검토에서 참조한 하이드라진 관련 규정을 Table 1에 나타내었다.

### 2.2. 상호반응성 분석을 위한 화학물질 선정

하이드라진과 저장시 혼재기준을 검토하기 위하여 발사장에서 주로 취급하는 가스류 및 화학물질을

**Table 1.** List of regulations and technical documents for storage and handling of hydrazine

Category	Document No.	Title	Remarks
Launch Operation	JERG-1-007	Safety Regulation for Launch Site Operation	JAXA
Support Equipment	KSC-STD-Z-0006	Design of Hypergolic Propellants GSE	NASA
Cleaning	ECSS-E-ST-35-06C	Cleanliness requirements for spacecraft propulsion hardware	ESA
Safety Hazards	SP-084-1999	Fire, Explosion and Safety Hazards of Hypergols	AIAA
Accidents	TP-2009-214769	Hypergolic Propellant Related Spills and Fires	NASA
General	SP-4-44-S	Liquid Propellants Safety Handbook	NASA

**Table 2.** List of chemical for reactivity analysis

CAS No.	Chemical	Formula	NFPA 704 classification by CRW			
			Health	Flammability	Reactivity	Other
302-01-2	Anhydrous Hydrazine	N <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	4	4	3	
60-34-4	MMH	CH <sub>6</sub> N <sub>2</sub>	4	3	2	
57-14-7	UDMH	C <sub>2</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub>	4	3	1	
10544-72-6	NTO	N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	3	0	0	Ox
8008-20-6	JET A-1(Fuel oil No.1)	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> ~C <sub>18</sub> H <sub>34</sub>	2	2	0	
7782-44-7	Oxygen	O <sub>2</sub>	3	0	0	Ox
97-93-8	Aluminum Triethyl	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>3</sub> Al	3	4	3	W
64-17-5	Ethanol	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> )OH	2	3	0	
68334-30-5	Oil, [Fuel, 1-D]	C <sub>12</sub> H <sub>23</sub>	1	2	0	

선정하였다. 일부 화학물질은 위험물저장소가 아닌 옥외 전용의 탱크에 저장되어 있지만 하이드라진과의 상호반응성을 분석하기 위하여 위험물질에 포함하여 선정하였다. 화학물질의 명칭 및 NFPA 704[10], CAS No.에 따른 분류기준을 Table 2에 나타내었다. 하이드라진은 위험물안전관리법상 제4류 위험물에 해당한다. 위험물의 저장 및 취급에 관한 기준에서는 유별을 달리하는 위험물은 동일한 저장소에 저장을 금지하고 있으나 일부 예외규정으로 위험물을 유별로 정리하여 저장하는 한편 서로 1m 이상의 간격을 두는 경우에는 동일한 저장소에 보관을 허용하고 있다. 동 기준에서 제4류 위험물은 제2류 위험물 중 인화성 고체와 혼재가 가능하며, 알킬알루미늄을 함유한 제4류 위험물은 제3류 위험물 중 알킬알루미늄 등과 혼재가 가능하다고 규정하고 있다. 각 유별 위험물의 대표적인 화학물질 9종을 선정하여 하이드라진과의 반응성을 분석하였다. 구체적으로, 2류 위험물에서는 알루미늄분, 카드뮴분, 철분, 마그네슘분, 망간분, 은분, 주석분, 티타늄분, 아연분을 선정하였으며 3류 위험물에서는 알킬알루미늄, 금속의 수소화물, 금속의 인화물, 칼슘 및 알루미늄의 탄화물, 알칼리금속을 선정하였다.

### 2.3. 반응성 분석

화학물질 반응성 예측분석은 특정 화학물질이 다른 화학물질과 상호작용할 때 어떠한 반응이 일어날지 예측하는 과정이다. 화학물질의 반응성은 분자 구조, 화학 결합 등의 화학적 특성에 따라 결정된다. 이러한 화학물질의 반응으로 인해 반응물과 생성물 간에 발열 반응, 독성 물질의 생성, 반응폭주 등이 발생

할 수 있으므로 이에 대한 예측은 의도치 않은 안전사고를 예방하기 위해 필수적인 과정이라고 할 수 있다.

화학물질 반응성 분석을 위한 프로그램으로 CRW (Chemical Reactivity Worksheet)와 CAMEO (Computer-Aided Management of Emergency Operations)가 널리 활용되고 있다. CAMEO는 미국 해양대기청 (NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration)에서 개발한 프로그램이며 CRW는 미국화학공학회 (AIChE, American Institute of Chemical Engineers)에서 개발한 프로그램으로 화학물질 혼합으로 인한 위험을 예측하고 비상대응을 대비하여 화학사고를 예방하는데 도움이 되도록 설계되었다. CRW는 화학물질의 우발적인 혼합으로 인해 어떤 위험이 발생할 수 있는지 예측하는데 활용할 수 있다.

이러한 반응성 예측을 수행하기 위하여 CRW는 각각의 화학물질을 64종의 반응그룹으로 할당하여 분류하고 이종의 화학물질간 혼합과정에서 반응성과 생성물질 등을 예측하는 과정을 거치게 된다. 그렇지만, 반응성 예측수행과정에서 반응 온도 및 압력 등은 고려하지 못하는 한계를 지니고 있다.

CAMEO 역시 수천가지 화학물질에 대한 광범위한 화학물질 데이터베이스를 보유하여 물리화학적 특성, 소방, 응급처치 및 유출 대응에 대한 권장 사항을 제공한다[11, 12]. 본 연구에서는 CRW 4.0 프로그램을 활용하여 반응성 분석을 수행하였다.

## III. 안전기준 및 상호반응성 분석 결과

### 3.1. 해외 발사장 하이드라진 취급 설비 현황

케이프 커내버럴 우주군 기지(CCSFS)에서 하이드

라진 취급시설은 소방설비, 안전보안 설비, 배기설비, 세척설비, 전기통신설비로 구분할 수 있으며 시설 내 모든 전기기계기구는 방폭형으로 설치되어 있다.

구체적으로, 소방설비로는 화재감지기, 소화기, 비상조명등, 공기호흡기 등이 갖추어져 있으며 안전보안설비로는 누출감지기와 출입통제 시스템 그리고 CCTV 등이 갖추어져 있다. 누출감지기는 시설의 벽면에 고정형으로 설치되어 있으며 감지기 프로브(probe)는 필요에 따라 작업구역 근접까지 위치해 감지할 수 있도록 구성되어 있다. 또한, 작업수행자의 경우 별도의 휴대용 감지기를 착용하여 작업을 수행한다. 취급시설은 배기장치에 연결되어 습식 스크러버에 의해 희석 후 배출되도록 조치하고 있다. 스크러버 운영과정에서 중화액으로 14% 구연산 수용액을 활용하였으나 배출구를 통해 폼 형태의 누출 사례가 발생한 이슈사항이 발생하였다. 원인 조사 결과 고유량의 경우 구연산이 거품을 형성할 수 있고 이에 따라 중화액에 소포체를 첨가하고 세라믹 패키징을 폴리프로필렌 살저 구조(Sulzer structure)로 변경한 사례를 보고하고 있다[13].

추진제 충전 완료 후에는 충전키트, 배관 등의 장비는 별도의 세척시설로 이동하여 오염제거작업을 실시하고 있다. 마지막으로 전기통신설비로는 무정전 전원공급장치, 접지, 통신설비 등을 갖추어 비상사태에 대응하고 있다.

작업수행자는 Fig. 1과 같은 전용의 보호복인 SCAPE



Fig. 1. Examples of Fueling Hydrazine Operation [14]

(Self - Contained Atmospheric Protective Ensemble) 착용하고 버디시스템(2인 1조)으로 작업을 수행하며 작업을 완료한 후 안전복장을 착용한 상태에서 취급 설비 외부에 위치한 비상사위설비에서 1분 이상 샤워를 실시하고 복장을 해제한다.

### 3.2. 안전기준 검토

#### (1) 발사 운용(Launch Operation) 취급 안전

다네가시마 우주센터에서 적용되는 발사운용 안전기준[15]을 참조하여 하이드라진 취급 관련 주요 안전기준을 발췌하면 다음과 같다.

하이드라진 관련 취급작업 시 추진제가 충전되어 있는 용기로부터 15 m, 추진제가 충전되어 있는 지상 설비, 장치 및 이송배관으로부터 8 m의 안전거리를 유지한다. 발사장 안전관리부서의 확인을 받은 보호복을 착용하고 SCAPE 착용이 필요할 경우 Fig. 2와 같이 착용자의 연속 최대 작업시간은 3시간, 그 후 1시간의 휴식을 취하고 누적 작업시간은 하루 6시간을 초과하지 않는다. 동일한 작업자가 다음날 작업을 수행하기 전에는 최소 8시간의 비근무 휴식을 제공하여야 한다. 하이드라진의 누출이 발생한 경우 봉상주수를 실시하지 않는다. 하이드라진을 운송하는 경우에는 선도차량이 도로 상황을 확인하며 지정된 도로를 사용하고 경고 등의 조치를 취한다.

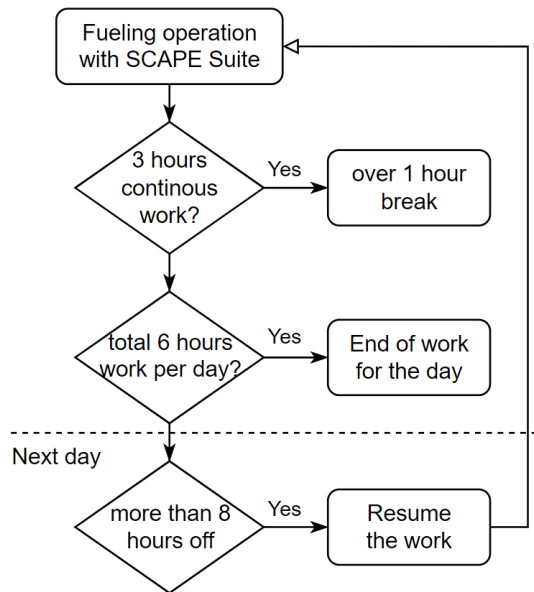


Fig. 2. Work flow for hydrazine fueling operation

(2) 지상지원장비(GSE, Ground Support Equipment) 안전기준

케네디 우주센터에서 적용 중인 안전기준[16]를 참조하여 지상지원장비 관련 주요 안전기준은 다음과 같다.

20리터 이상의 하이드라진이 취급되는 지점에는 누출감지기가 모니터링 되어야 한다. 지상지원장비의 연결부 하부에는 드립팬을 활용하여 바다 및 배수로로 흘러가기 전에 1차적인 조치를 수행한다. 유체에 따라 색상으로 구분된 태그를 설치한다. 연료의 경우 노란색으로 산화제의 경우 녹색으로 구분한다. 추진제의 혼합 방지를 위하여 연료 및 산화제의 증기는 별도의 시스템을 통해 배출되어야 한다. 지상지원장비 설계시에는 액트랩을 방지하기 위한 조치가 고려되어야 한다. 추진제와 접촉하는 모든 스테인리스강 재료는 산세척 및 부동태화 되어야 한다. 누출된 추진제는 외부로 흘러나가지 않도록 격리조치가 필요하며 저장용기 최대 취급량의 3배 이상의 방재용수가 공급될 수 있도록 조치가 필요하다.

(3) 세척 안전기준

하이드라진을 추진제로 사용하는 추진시스템에 적용되는 세척 기준[17]에 따르면 청정도 요구조건에 대한 입자수 기준과 적용 가능한 세척액을 제시하고 있다. 이를 참조하면, 물은 세척액으로 사용이 가능하며 이소프로판올, 메틸알코올, 에틸알코올, 아세톤 역시 세척액으로 사용이 가능하나 산화제 라인에는 적용을 제한하고 있다. 또한, Henkel TURCO 3878, 4181, 4215와 같은 알칼리성 세척액도 사용이 가능하다고 언급하고 있다.

3.3. 상호반응성 분석

(1) 발사장 취급 화학물질과의 반응성

발사장에서 주로 취급하는 화학물질과 하이드라진의 반응성을 평가하기 위해 CRW 4.0 프로그램을 이용하여 반응성을 분석하였다. 단일추진제(Monopropellant)와 이원추진제(Bipropellant)로 구분하였으며 양립성 차트를 Fig. 3에 나타내었다. Y는 상호 반응성이 낮아 혼재 등이 가능하다는 것을 의미하며 N은 이와 반대로 반응성이 높아 저장, 취급 등에 주의가 요구됨을 의미한다. 그리고 C는 주의를 요구함을 의미한다. 분석 결과, 하이드라진은 등유 및 경유를 제외한 화학물질과 반응성이 높은 것으로 나타났다. 추진제 등이 전용의 저장설비에 보관되어 있으므로 혼화될 위험성은 낮다고 할 수 있다. 그럼에도 불구하고 취급 시 이러한 위험성을 인지하고 혼축되지 않도록 주의가 요구된다. 하이드라진은 산소와도 반응성이 높은

데, 이는 하이드라진이 강한 환원제로 공기 또는 산소에 노출되면 발생하는 산화열로 인해 자연발화될 가능성이 있기 때문이다. 하이드라진의 자연발화온도는 270 °C로 알려져 있다. 해외에서 하이드라진 취급 시 발생한 사고사례를 참조하면[18], 하이드라진 연료 공급라인에서 0.2 L 연료가 누출 후 화재가 발생한 사고를 보고하고 있다. 사고 보고서에는 정확한 점화원을 추정하지 못하고 정전기 또는 스탠드 부식 등에 의한 점화로 추정하고 있다. 하이드라진의 인화점은 38 °C 이기 때문에 실내에서는 인화하기에는 충분하

Print Chart				Chemical Pairs					
Export Chart Data				ALUMINUM TRIETHYL	ETHANOL	FUEL OIL, [NO. 1]	HYDRAZINE, ANHYDROUS	OIL, [FUEL, 1-D]	OXYGEN
NFPA	Health	Flammability	Instability	Range Safety Compatibility Chart					
				ALUMINUM TRIETHYL	ETHANOL	FUEL OIL, [NO. 1]	HYDRAZINE, ANHYDROUS	OIL, [FUEL, 1-D]	OXYGEN
3	4	3	2	ALUMINUM TRIETHYL					
2	3	0		ETHANOL	N				
2	2	0		FUEL OIL, [NO. 1]	Y	Y			
4	4	3		HYDRAZINE, ANHYDROUS	N	N	Y		
1	2	0		OIL, [FUEL, 1-D]	Y	Y	Y	Y	
3	0	0		OXYGEN	N	N	N	N	N

(a) Monopropellant

Print Chart				Chemical Pairs							
Export Chart Data				1,1-DIMETHYLHYDRAZINE	ALUMINUM TRIETHYL	ETHANOL	FUEL OIL, [NO. 1]	METHYLHYDRAZINE	NITROGEN TETROXIDE	OIL, [FUEL, 1-D]	OXYGEN
NFPA	Health	Flammability	Instability	Bipropellant Compatibility Chart							
				1,1-DIMETHYLHYDRAZINE	ALUMINUM TRIETHYL	ETHANOL	FUEL OIL, [NO. 1]	METHYLHYDRAZINE	NITROGEN TETROXIDE	OIL, [FUEL, 1-D]	OXYGEN
4	3	1		1,1-DIMETHYLHYDRAZINE							
3	4	3	2	ALUMINUM TRIETHYL	N						
2	3	0		ETHANOL	N	N					
2	2	0		FUEL OIL, [NO. 1]	Y	Y	Y				
4	3	2		METHYLHYDRAZINE	N	N	C	Y			
3	0	0		NITROGEN TETROXIDE	N	N	N	N	N		
1	2	0		OIL, [FUEL, 1-D]	Y	Y	Y	Y	Y	N	
3	0	0		OXYGEN	N	N	N	N	N	C	N

(b) Bipropellant

Fig. 3. Compatibility chart of chemicals used in launch site with hydrazine. (a) Monopropellant, (b) Bipropellant



나타났다. 발사장에서 취급되는 화학물질 중 TEA도 3류 위험물에 해당된다. 앞서 살펴본 바와 같이 TEA 역시 혼재가 안 된다.

발사장에서 TEA는 별도의 위험물 옥내 저장소를 구축하여 저장 중에 있다. 위험물안전관리법상 혼재 기준만을 참조하여 동일 옥내 저장소에 TEA와 하이드라진 용기를 함께 보관할 수 있으나 보관용기의 손상 등에 의하여 의도치 않는 누출이 발생하여 혼화될 경우 가연성, 독성가스의 생성과 발열반응으로 인해 안전사고가 발생할 위험이 높다. 따라서, 발사장에서는 TEA와 하이드라진을 상호 반응성을 고려하여 저장 시 분리 보관하는 안전지침이 수립되어야 할 것이다.

하이드라진과 3류 위험물간 혼화 발생 시 예상되는 반응생성물로는 암모니아, 탄화수소, 수소, 황화수소, 포스핀, 실란 등이 생성될 우려가 높다. 모든 반응 생성물은 독성이 강하므로 주의가 요구된다.

마지막으로 위험물간 상호 반응성 외에도 하이드라진 자체의 독성으로 인체에 대한 노출평가가 중요하다. 하이드라진은 폐, 피부, 눈 및 소화기관을 통하여 인체에 흡수될 수 있다. 인체보호되지 않은 사람에게 하이드라진 흡입은 대단히 위험하다. 하이드라진은 환원성이 강한 염기성 화학물질로 소량의 하이드라진도 조직과 체액에 빠르게 작용하여 파괴적일 수 있다. 하이드라진 증기를 흡입하지 말고, 눈 또는 피부에 닿지 않도록 주의가 필요하다.

#### IV. 결 론

액체추진제 중에 하이드라진은 성능이 우수하고 신뢰도가 높은 추진제임에도 독성 및 반응성이 높아 저장, 취급 시 주의가 요구된다. 발사장 안전을 확보하기 위해서 발사장에서 주로 취급되는 화학물질과, 위험물안전관리법상 혼재가 가능한 2류 및 3류 위험물을 선정하여 하이드라진과의 반응성을 분석하였다. 분석 결과, 발사장에서 주로 취급되는 화학물질과는 연료유를 제외하고는 발열반응과 가연성가스의 생성을 초래할 수 있었다. 그리고 위험물안전관리법상 혼재가 가능한 2류 위험물과 3류 위험물과도 열방출을 수반하는 반응과 가연성, 독성가스의 생성을 초래함을 확인할 수 있었다. 따라서, 하이드라진을 취급하는 발사장에서 위험물 저장소에 혼재하여 보관하는 것은 의도치 않는 혼합으로 인해 안전사고를 유발할 수 있으므로 별도의 분리 보관된 저장시설을 구축하여 저장하는 것이 타당하리라 판단된다. 나로우주센터에서는 하이드라진 단일추진제를 위성에 충전하기 위한 작업을 예정하고 있다. 발사장에서는 이러한 분석 결과를 바탕으로 하이드라진 추진제 전용의 저장

소를 구축하고 액체추진제인 하이드라진 저장 및 취급관련 안전지침을 수립하는데 기초자료로 활용할 예정이다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 수행된 한국형발사체 고도화사업의 연구결과이며 이에 감사드립니다.

#### REFERENCES

- [1] I.T. Kim, J.W. Lee, K.W. Jang, and M.J. Yu, "Technology trend & its future for the space application of hydrazine," *Korean Soc. Propuls. Eng. Spring Conf.*, 17-22, (2006)
- [2] J. S. Kim, H. Jung, H. D. Kam, H. S. Seo, and H. Su, "A Development of the Thrusters for Space-Vehicle Maneuver / ACS and Their Application to Launch Vehicles," *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers*, 14(6), 103-120, (2010)
- [3] AIAA-SP-084-1999, "Fire Explosion Compatibility And Safety Hazards of Hypergols- Hydrazine"
- [4] Z. X. Liu, Y. M. Wei, C. Zhou, W. Li, and Y. T. Cong, "Compatibility of an elastomeric material with hydrazine propellant," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, 479(1), 012098, (2019)
- [5] J. Sales, F. Mushtaq, M. D. Christou, and R. Nomen, "Study of major accidents involving chemical reactive substances analysis and lessons learned," *Process Saf. Environ. Prot.*, 85(2) B, 117-124, (2007)
- [6] C. Wilrich, E. Brandes, H. Michael-Schulz, V. Schröder, S. Schwarz, and K. D. Wehrstedt, "UN-GHS — Physical hazard classifications of chemicals: A critical review of combinations of hazard classes," *J. Chem. Heal. Saf.*, 24( 6), 15-28, (2017)
- [7] D. Quigley, F. Simmons, H. Whyte, L. Boada-Clista, and J. C. Laul, "Use and misuse of chemical reactivity spreadsheets," *J. Chem. Heal. Saf.*, 13(5), 29-34, (2006)
- [8] J.H. Kim, H. Jung, and J.S. Kim, "Test and Evaluation for the Configuration Optimization of Thrust Chamber in 70 N-class N<sub>2</sub>H<sub>4</sub> Thruster", *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers*, 18(1), 42-49, (2014)



- [9] S. H. Won, S. K. Kim, H. Y. Jun, J. H. Lee, S. H. Park, and J. W. Lee, "Life Firing Test of 1 N-class Monopropellant Thruster Development Model", *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers*, 18(6), 59-67, (2014)
- [10] NFPA 704, "Standard System for the Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response", 2022 Edition, (2022)
- [11] J. Farr et al., "Expanded Chemical Reactivity Worksheet (CRW4) for Determining Chemical Compatibility, Past, Present, and Future," *Process Saf. Prog.*, 36, 24-29, (2017)
- [12] D. Gorman et al., "Enhanced NOAA Chemical Reactivity Worksheet for Determining Chemical Compatibility," *Process Saf. Prog.*, 33, 4-18, (2014)
- [13] <https://llis.nasa.gov/lesson/3596>
- [14] Fueling the Spacecraft, NASA Solar Dynamics Observatory Multimedia Gallery, last modified Jan 11. 2010, [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/sdo/multimedia/gallery/10-01-07.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/sdo/multimedia/gallery/10-01-07.html)
- [15] JAXA-JERG-1-007E, "Safety Regulation for Launch Site Operation Rev.E", (2009)
- [16] KSC-STD-Z-0009, "Standard for Design of Cryogenic Ground Systems and Ground Support Equipment Rev. E", (2021)
- [17] ECSS-E-ST-35-06C, "Cleanliness Requirements for Spacecraft Propulsion Hardware Rev.1", (2008)
- [18] B. Nufer, "A Summary of NASA and USAF Hypergolic Propellant Related Spills and Fires," *in SpaceOps 2010 Conference*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, (2010)