

친환경추진제 “과산화수소”의 특성과 응용

임하영* · 안성용* · 권세진*

Characteristics and Applications of Green Propellant "Hydrogen Peroxide"

Hayoung Lim* · Sungyong An* · Sejin Kwon*

ABSTRACT

As the interest of environment was increased recently, the environment friendly propellants are required in space community, The hydrogen peroxide is the most suitable propellant for this because it requires very low development cost and has very low environmental impact. In this paper the chemical characteristics, advantage/disadvantage as a propellant, historical applications and recent developments were discussed.

초 록

최근 환경에 대한 관심이 높아지면서 우주분야에서도 친환경 추진제의 요구가 높아지고 있다. 과산화수소는 이에 가장 적합한 추진제로서 적은 비용으로 개발이 가능한 매우 친환경적인 추진제이다. 본 논문에서는 과산화수소의 화학적 특성과 장단점을 소개하였고, 역사적 적용 사례와 최근 국내외 개발 동향에 대하여 소개하였다.

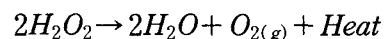
Key Words: Hydrogen Peroxide(과산화수소), Catalyst(촉매), Decomposition(분해), Propellant(추진제)

1. 과산화수소의 화학적 특성

과산화수소는 화학식이 H₂O₂로 물보다 산소원자가 하나 더 있는 물질로서 1818년 프랑스의 화학자인 Louis Jacques Thenard가 발견하였다 [1]. 무색무취이며 물에 극히 잘 녹으며 소독제, 표백제, 산화제, 유도체 제조 등에 광범위하게 사용되고 있다. 대표적인 용도로는 표백제로 섬

유염색공업, 제지펄프공업에서 대량으로 사용되고 있으며, 최근에는 산화제로서 인쇄기판 에칭용, 반도체 제조 및 폐수처리 분야에서 널리 사용되고 있다.

과산화수소는 촉매와 접촉하면 아래와 같은 화학반응을 일으키며 고온의 가스를 만든다.



100%의 과산화수소는 2884.47kJ/kg 또는 의 열이 나오는 발열반응이며 67% 이하에서는 발생

* 한국과학기술원 항공우주공학과
연락처, E-mail: melody@kaist.ac.kr

열이 모두 물의 증발에 소요되기 때문에 100℃ 이상의 고온이 발생하지 않는다. 보통 추진제로는 80% 이상의 농도를 사용하며 보통 85% 이상의 과산화수소를 high test peroxide(HTP), high strength peroxide 또는 rocket grade peroxide라고 부른다. 100%의 과산화수소는 대기압 하에서 -11℃에서 얼고 150℃에서 끓으며, 물보다 점도가 조금 높다. 농도 및 온도에 따라 반응가스의 온도가 결정되며 농도별 특성은 table 1과 같다 [2],[3],[4].

Table 1 과산화수소의 농도별 분해 특성

농도	100%	98%	95%	90%	75%
밀도 (kg/m ³)	1,450	1,430	1,420	1,400	1,330
연소온도(K)	1,285	1,225	1,165	1,015	630
비열비	1.25	1.251	-	1.266	-
비추력(sec, sea level)	163	161	155	148	117
특성속도 (m/sec)	1,045	1,020	1,000	930	740

일반적으로 구할 수 있는 과산화수소의 최대 농도는 50%~70%로 추진기관에 적용하기 위해서는 증류를 통해 고농도의 과산화수소를 얻는다. 과산화수소를 분해하는 대표적인 방법은 아래와 같이 3가지로 구분할 수 있다.

- 액체/액체 접촉

연소기에 과산화수소와 촉매를 포함하는 액체를 분사 /혼합시켜 반응을 일으킨다. 주로 과망간산칼륨 계열(칼슘, 칼륨, 나트륨)의 촉매를 사용하며 확실한 작동을 보장하나 촉매가 포함된 액체를 공급하는 시스템이 추가로 필요하여 다른 방법에 비해 다소 복잡하고, 주로 물에 촉매를 녹여 사용하므로 성능이 저하되는 단점이 있다.

- 펠릿(pellet) 촉매 베드

과산화수소가 망간산염 계열 또는 이산화망간이 코팅된 펠릿을 지나면서 반응이 일어나는

방식이다. 촉매가 코팅된 substrate는 주로 세라믹이 사용된다. 분해가 일어나면서 열 충격에 의해 substrate가 손상되기 때문에 과산화수소의 농도가 높아질수록 수명이 단축되는 단점과 촉매 접촉 면적이 적다는 단점이 있다.

- 스크린 촉매 베드

은 스크린/메쉬 또는 은이 코팅된 스테인레스 메쉬를 여러 장 적층시킨 후 압축한 것을 촉매로 사용하는 방식으로 부피가 작고, 진동에 강한 장점이 있어 가장 많이 사용된다. 70~90% 농도의 과산화수소에 주로 사용되며 92% 이상의 농도에서는 분해온도가 은의 녹는점보다 높아 사용이 제한되는 단점이 있다.

2. 과산화수소의 장단점

100%의 과산화수소가 단일추진제로 사용될 때 163sec의 비추력을 가지며 케로신을 연료로 사용할 경우엔 약 350sec의 비추력을 가진다. 이는 230sec 내외의 비추력을 가지는 하이드라진에 비해 약 25~30% 정도 작다. 과산화수소의 장점이 환경적으로 매우 깨끗하다는 것과 단순한 취급에 따른 저개발비용이나 좀 더 구체적인 장점은 아래와 같다[1],[2],[3],[4],[5],[7].

- 고밀도

100%의 과산화수소는 1.45의 비중을 가지며 이것은 액체산소의 비중 1.14 보다 23% 정도 크며 1.01인 하이드라진보다 44%가 크다. 따라서 추진제 탱크의 크기와 무게를 줄일 수 있으며 90% 농도의 과산화수소 시스템은 동일한 조건의 하이드라진 시스템에 비해 밀도비추력(density specific impulse)이 약 6% 정도 더 높다. 높은 밀도비추력은 과산화수소의 단점인 낮은 비추력을 보완해준다.

- 저장성

과산화수소는 상온에서 액체 상태를 유지하며 적절한 용기에서 장기간 보관이 가능하므로 액체산소처럼 저장탱크, 배관 등에 단열을 할 필요가 없다.

- 무독성

대부분의 저장성 추진제들이 강력한 독성을 가진 것과 달리 과산화수소는 사람의 호흡기관에서 자연적으로 분해 되고 생성되기도 한다. 3% 농도의 과산화수소를 소독약으로 쓰기도 하듯이 인체에 아무런 해를 입히지 않는다. 매우 낮은 증기압으로 인해 상온에서 증기가 발생하기 어려우며 환기만 잘해주면 되며, 연소 생성물 또한 물과 산소로 아무런 독성을 가지지 않는다. 독성이 없기 때문에 취급이 용이하다.

- 대기와 반응하지 않는다.

과산화수소는 대기의 어떤 성분과도 화학적으로 반응을 하지 않으므로 과산화수소를 사용하는 추력기 등에 공기가 유입되어도 특별한 문제를 일으키지 않는다. 반면 하이드라진은 이산화탄소와 반응을 하여 화합물을 생성하기 때문에 하이드라진 시스템에 공기가 유입되지 않도록 각별한 주의를 기울여야 한다.

- 높은 혼합비

과산화수소를 산화제로 사용할 경우 동일한 연료에 대하여 다른 산화제에 비해 비교적 높은 혼합비를 갖는다.(85%농도를 케로신에 적용할 때 약 8의 혼합비) 높은 밀도와 높은 혼합비를 가지기 때문에 추진제 탱크의 부피를 줄일 수 있으며 결과적으로 탱크 무게를 줄여준다.

- 낮은 증발 압력

과산화수소는 액체산소에 비해 대단히 낮은 증발압력을 가지기 때문에(90% 농도의 경우 30℃에서 0.2kPa, LOX는 -118℃에서 5,080kPa) 터보펌프를 가지는 추진시스템에 적용할 경우 입구압력이 낮아도 되므로 추진제 탱크의 두께가 얇아지며 결과적으로 무게를 줄여준다.

- 높은 비열

과산화수소는 물과 비교할 수 있을 만큼 높은 비열(100% 농도에서 0.6 cal/g·℃)을 갖기 때문에 재생냉각에 사용할 경우 매우 시스템을 매우 단순하게 만들 수 있다.

- 물과의 친화성

과산화수소는 물과 반응하지 않기 때문에 시스템 개발시 물을 referee fluid로 이용하여 다양한 시험을 수행할 수 있으므로 이소프로필 알코

올 또는 프레온을 referee fluid로 사용하는 NTO/MMH 시스템에 비해 개발이 용이하다.

- 다양한 활용성

과산화수소를 발사체 상단의 산화제로 사용할 경우 터보펌프 구동, RCS 구동 및 추진제 탱크 가압에 사용할 수 있으므로 발사체 시스템을 단순화 시킬 수 있다.

3. 적용사례

과산화수소를 추진시스템 또는 동력시스템에 적용하기 시작한 것은 2차세계대전시 독일의 Walter가 잠수함의 동력원으로 400마력의 터빈 구동 시스템에 적용하면서부터이다[1]. Walter는 80% 과산화수소와 과망간산염을 액체 분사하는 방법을 사용하였으며 성능을 높이기 위해 자기 착화가 가능한 연료를 사용하는 엔진을 개발하여 Komet이라 불린 Messerschmit Me163 로켓 비행체의 추진기관에 사용하였다. 과산화수소는 V-2 로켓의 터보펌프 구동용 가스발생기, V-1의 사출기(catapult) 그리고 어뢰의 추진시스템에 사용되었으며 주로 액체 형태의 촉매를 과산화수소와 혼합시키는 방식을 취했다.

2차 세계대전 이후 독일의 과산화수소 기술은 전승국으로 넘어가 영국에서는 항공기용, 항공기

Table 2 RCS Thruster

Vehicle	Remark
X-1	90%, Isp=104sec, ~75lbf
Centaur	
X-15	90%
Mercury capsule	108N-6기, 49N-6기
Scout	
Little Joe II	
Burner	
SATAR	
SYNCOM II, III	
ASSET	
Early Bird	

Table 3 과산화수소/케로신 엔진

Engine	Thrust(vac, kgf)	Isp
AR1	2,270	-
RD-161P	2,498	319
AR2-3	2,992	245
RS-82	4,534	320
Gamma2	6,958	265
BA-3200	1,440,000	259

용 보조추력장치, 잠수함 및 어뢰에 사용되었고, Black Knight 와 Black Arrow 로켓의 주엔진으로 사용되었다. 미국에서는 주로 RCS Thruster 와 항공기용 추력장치, 그리고 어뢰에 적용되다가 단일추진제로 사용되는 분야에선 하이드라진으로 대체되고, 이원추진제 분야에선 액체산소로 대체되었다. Table 2와 3은 과산화수소의 적용 예이다[1],[6].

과산화수소가 가장 많이 적용된 분야 중 하나는 가스발생기이다. 단순한 시스템으로 고온의 가스를 만들 수 있고 배출 가스의 온도 조절이 용이하여 V-2, X-1, Redstone 등의 많은 로켓엔진의 터보펌프 구동용으로 사용되었다.

4. 최근 개발 동향

1960대 냉전을 거치며 비용과 환경보다는 성능을 최우선시하면서 과산화수소의 활용이 미미하다 1990년 이후 환경을 고려하기 시작하면서 다시 과산화수소에 대한 관심이 높아지기 시작했다. 미국에서는 퍼듀 대학에서 촉매 분해 및 열분해(thermal decomposition)에 대한 활발한 연구가 진행되고 있으며[8], General Kinetics는 은 스크린 촉매를 이용한 다양한 종류의 추력기, 가스발생기 등의 제품을 개발하였다[1]. Orbital Sciences Corp.에서는 과산화수소를 liquid propellant booster로 사용하는 과제를 수행하고 있으며[9], Aerojet에서는 bonded catalyst bed에 대한 개발을 하였다[10]. 영국 서레이 대학에서는 위성체의 추진시스템으로 과산화수소/케로신

추력기와 과산화수소의 장기저장에 대한연구를 수행하고 있다[11].

국내에서는 경북대에서 은 스크린을 이용한 100N급 추력기 개발을 하였고[12], 한국과학기술원에서는 고온용 촉매를 개발하여 이에 대한 연구를 수행하고 있다[13].

5. 결 론

과산화수소는 친환경적이고, 취급이 용이하며, 여러 장점을 가지고 있는 추진제로 최근 관심이 높아지고 있다. 과산화수소가 가지고 있는 장점들을 활용하기 위한 다양한 연구가 진행 중이며 1960년대 하이드라진과 액체산소가 과산화수소를 대체하였듯이 앞으로는 과산화수소가 이들의 영역을 일부 대체해 나갈 것으로 판단한다.

참 고 문 헌

1. E. Wernimont, M. Ventura, G. Garboden and P. Mullens, "Past and Present Uses of Rocket Grade Hydrogen Peroxide", 2nd international Hydrogen Peroxide Propulsion conference, Purdue University, Nov 7-10, 1999, pp.45-67
2. www. h2o2.com
3. http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_peroxide
4. www.astronautix.com/props/h2o2.htm
5. www.astronautix.com/props/hydazine.htm
6. www.astronautix.com/props/h2oosene.htm
7. Mark C. Ventura, "Long Term Storability of Hydrogen Peroxide," 41th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, Tucson, AZ, July 10-13, 2005
8. T.R. Beutien, S.D. Heister, J.J. Rusek, S. Meyer, "Cordierite-based Catalytic Beds for 98% Hydrogen Peroxide," 38th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, 7-10 July 2002, Indianapolis, Indiana

9. www.orbital.com
10. James Ponzo, "Small Envelope, High Flux 90% Hydrogen Peroxide Catalyst Bed," 39th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, 20-23 July 2003, Huntsville, Alabama
11. D. Gibbon, M. Paul, P. Jolley, "Energetic Green Propulsion for Small Spacecraft," 37th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, 8-11 July 2001
12. 이수림, 박주혁, 이충원, "100N급 H₂O₂ 단일 추진제 로켓 엔진의 개발," 2005 한국추진공학회 춘계학술대회 pp.159-167
13. 량성민, 안성용, 권혁모, 권세진, "K₂MnO₄/Al₂O₃ 촉매를 이용한 과산화수소 기화기의 성능평가," 2006 한국추진공학회 추계학술대회 pp.329-334