

다축 핀틀 추력기 구동 메카니즘의 특허 분석

김성수* · 허환일**† · 이호성***

Patent Review on Drive Mechanism of Multi-Axis Pintle Thrusters

Seongsu Kim* · Hwanil Huh**† · Ho-sung Lee***

ABSTRACT

For DACS system which controls pintle position to change nozzle throat area, one actuator has been used for each modulatable pintle thruster. This ten actuator system drove to complex system structure and complicated control mechanism. In order to overcome this shortcomings, international patents were reviewed, analysed and presented.

초 록

DACS 시스템은 핀틀 구조물로 노즐목 면적을 변화시켜 가변 추력을 발생시키는 가변형 핀틀 추력기가 사용되는데, 지금까지 개발된 DACS의 경우 핀틀을 움직이기 위한 구동기가 추력기마다 장착이 되어 있다. 그러나 이러한 구조는 10개 구동기 동시 제어의 어려움과 복잡한 시스템 구조를 가지게 되는 단점이 있다. 본 논문에서는 구동기 수의 최소화 방안을 제시하기 위한 기초 연구로서 국외 특허를 중점 분석하였으며 이에 대한 구동기 최소화의 가능성과 극복해야 할 문제점들에 대해 제시하였다.

Key Words: Divert Thruster(궤도천이용 추력기), Drive Mechanism(구동 메카니즘), Modulatable Thruster(가변 추력기), Pintle(핀틀), Patent Review(특허 분석)

1. 서 론

요격 미사일과 같은 비행체의 궤도천이와 자세제어를 위한 서브시스템인 DACS(Divert and Attitude Control System)는 총 10개의 추력기로

구성되어 있으며 Fig. 1과 같이 무게 중심 상에 4개의 궤도천이용 추력기(DCS, Divert Control System)가 장착되어 있고, 후단에는 6개의 자세제어용 추력기(ACS, Attitude Control System)가 장착되어 있어 비행체의 3축 자세제어를 담당하게 된다[1].

* 충남대학교 대학원 항공우주공학과

** 충남대학교 항공우주공학과

*** 국방과학연구소

† 교신저자, E-mail: hwanil@cnu.ac.kr

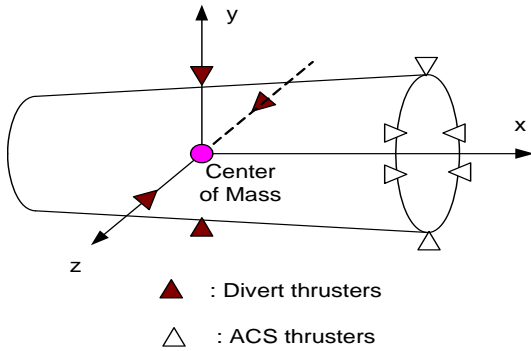


Fig. 1 DACS Thruster Configuration[1]

DACS 시스템은 핀틀 구조물로 노즐목 면적을 변화시켜 가변 추력을 발생시키는 가변형 핀틀 추력기가 사용되는데, 지금까지 개발된 DACS의 경우 핀틀을 움직이기 위한 구동기가 추력기마다 장착이 되어 있다. 그러나 이러한 구조는 10개 구동기 동시 제어의 어려움과 복잡한 시스템 구조를 가지게 되는 단점이 있다.

본 논문에서는 구동기 수의 최소화 방안을 제시하기 위한 기초 연구로서 국외 특허를 중점 분석하였으며 이에 대한 구동기 최소화 가능성과 극복해야 할 문제점들에 대해 제시하였다.

2. DACS의 작동과 설계 개념

DACS는 고체추진제 연소관, 10개의 핀틀 추력기와 구동기, 제어로 구성되며, 작동 개념은 연소실 압력을 유지시키면서 노즐목 면적의 조절을 통해 원하는 방향으로의 추력을 발생시키는 것이다. 중요한 점은 추력과 압력 제어를 동시에 수행하기 위해서 추력을 발생시키고자 하는 추력기의 핀틀이 움직일 때 다른 추력기의 핀틀 또한 반대로 움직여 전체적인 총 노즐목 면적을 유지해야 하는 것이다. 요구되는 구동을 위해 10개의 추력기에서의 추력 분배, 핀틀의 위치에 따른 노즐목 면적의 변화, ACS를 이용한 자세제어 등을 동시에 제어해야 하기 때문에 고도의 제어 알고리즘 기술을 필요로 한다[2].

핀틀 추력기의 추력변화는 Fig. 2과 같이 비선

형적이다. 핀틀 형상에 따른 추력 특성에 대한 연구는 국방과학연구소[3,4]와 충남대학교[5,6,7] 등에서 수치해석기법과 공압 실험을 통한 분석이 활발하게 이루어지고 있다.

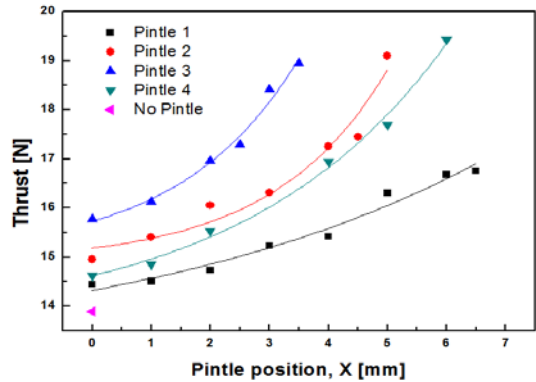


Fig. 2 Thrust by pintle position[8]

따라서 구동기 수의 최소화를 위해서는 이러한 다축 핀틀 추력기의 움직임을 동시에 제어할 수 있는 구동 메커니즘에 대한 아이디어를 제시하는 것이 중요하다.

3. 국외 특허 분석

3.1 특허 분석 개요

구동기 수의 최소화 방안에 대한 기초 연구로 국외 특허 자료에 대한 분석을 수행하였다. 일반적으로 ACS는 자세제어 용도로만 사용되기 때문에 대부분의 DACS 관련 특허에서의 구동 메커니즘은 DCS의 4개 추력기를 중심으로 하고 있다. 이와 관련하여 대표적인 국외 특허자료로서 일본과 프랑스의 특허를 분석하였으며, 이는 구동기 수의 최소화 방안에 대한 아이디어를 제시하고 시스템 적용상의 한계점 또한 잘 보여줄 수 있기 때문에 선정하게 되었다.

3.2 일본[9]

본 특허는 가스 발생기를 공유하는 측추력기에 관한 것으로 DCS 추력기 4개의 핀틀을 구동

함에 있어 Fig. 3와 같이 중심부에 3차원 형상의 캠(Cam)을 배치시켜 동시에 4개의 핀들을 구동하는 메카니즘이다. 즉, 추력 분배는 캠의 단면 형상에 의해 결정되며 이는 곧 추력 분배에 대한 핀들의 움직임을 설계 이전에 미리 파악하여야 한다는 것으로 분석할 수 있다.

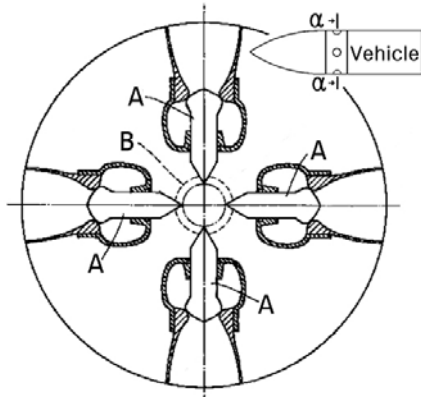


Fig. 3 Cam and thruster configuration
(Sectional view α - α)[9]

캠의 형상은 Fig. 4와 같은 3차원적 형상을 가져야 하는데 높이에 따른 단면마다 정해진 추력 분배에 대한 기록이 저장되어 있기 때문이다. 그러나 이러한 3차원적 캠을 설계하고 제작하기 위해서는 1축 핀틀 추력기의 추력 특성을 미리 파악하여야 하며 4축의 핀틀 추력기가 결합되었을 때의 추력 특성과 추력 분배를 위한 핀틀의 위치 등을 모두 계산 또는 실험을 통하여 얻어 내야 한다는 어려움이 있다.

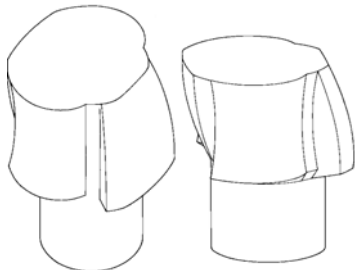


Fig. 4 Profile form of the cam[9]

구동 원리는 Fig. 5를 통해 분석하였다. 캠의 높이에 따른 단면에는 추력 분배에 대한 기록이 저장되어 있기 때문에 캠의 높이 변화로 4개의 추력기의 추력을 분배량이 결정되고, 다른 하나의 구동기로 캠을 회전시켜 추력 벡터를 결정한다. 특허상으로는 2개의 구동기만을 이용하여 4개 추력기로의 추력 분배가 가능하다.

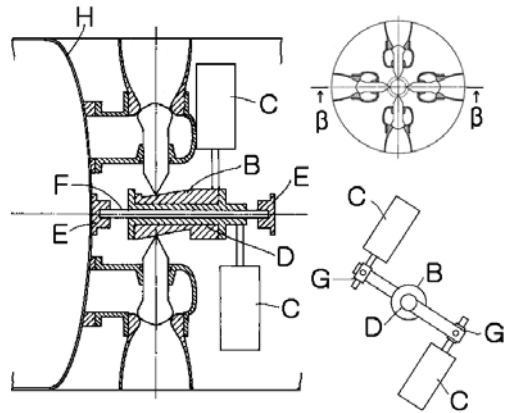


Fig. 5 Drive mechanism (Sectional view β - β)[9]

그러나 서로 다른 단면으로 이동하기 위해서는 중간에 있는 단면들을 모두 거쳐 가야 한다는 문제점이 발생한다. 또한 단면만을 통해 제어가 이루어져야 하기 때문에 3차원 캠을 통해 기록되어야 하는 추력 분배 경우의 수가 매우 많아지는 단점이 있다.

일본 특허의 그림에 표시된 기호들에 대한 명칭은 아래 Table 1과 같으며 특허상에 나타난 명칭과 동일하다.

Table 1. Description of tag (Japan patent)

기호	명칭	기호	명칭
A	Pintle	E	Bearing
B	Cam	F	Screw shaft
C	Servo motor	G	Ball screw
D	Cylinder	H	Chamber

3.3 프랑스[10]

본 특허는 회전 밸브를 이용해 유로를 열고 닫는 개념의 측추력기에 관한 것이다. 핀틀 추력

기가 아님에도 분석한 이유는 밸브 구동 메카니즘이 핀틀 추력기에 적용 가능한 시스템을 가지고 있기 때문이다. 아래 Fig. 6에서와 같이 4개의 노즐을 회전형 밸브가 막고 있으며 구동 메카니즘에 의해 이러한 밸브가 회전함으로써 유로가 생성되거나 닫히게 되는 원리이다.

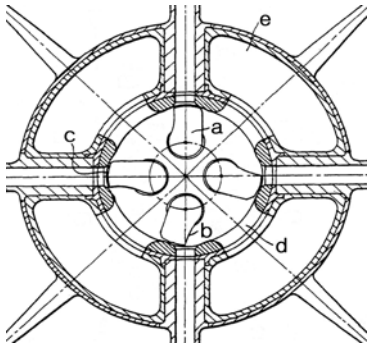


Fig. 6 A partial longitudinal section of the vehicle[10]

본 특허의 핵심은 회전형 밸브의 구동 메카니즘이며 하나의 회전형 밸브를 움직이기 위한 시스템은 Fig. 7과 같다. 회전형 밸브는 피스톤에 의해 작동되며 피스톤의 상단에는 연소가스가 유입되고 배출구 끝에는 모터가 있어서 이러한 배출구를 막거나 열 수 있다. 하단부에는 비압축성 유체가 채워져 있으며 모터가 작동하여 배출구를 막게 되면 피스톤의 상단부에 연소가스 압력이 작용하게 되고 피스톤을 아래로 밀게 된다. 이렇게 밀려난 유체는 다른 피스톤으로 압력을 전달하여 피스톤을 위로 밀게 된다.

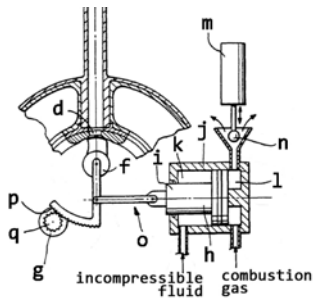


Fig. 7 Piston system for rotational valve (close)[10]

피스톤이 아래로 움직이게 되면 구조적인 메카니즘을 통해 밸브를 회전시키게 되고 이와 연결된 측정 장치를 통해 회전각을 피드백 받아 제어를 하게 되는 방식이다.

프랑스 특허의 위 그림에 표시된 기호들에 대한 명칭은 아래 Table 2와 같으며 특허상에 나타난 명칭과 동일하다.

Table 2. Description of tag (France patent)

기호	명칭	기호	명칭
a	valving member	j	cylinder
b	lateral face	k	bottom chamber
c	external longitudinal face	l	upper chamber
d	peripheral opening	m	motor
e	duct	n	ball
f	shaft	o	mechanical connection
g	measuring element	p	circular rack
h	piston	q	gear
i	piston rod		

전체적인 구동 메카니즘은 아래 Fig. 8과 같다. 피스톤의 상단은 연소가스의 유입구와 배출구로 구성되어 있고 하단은 비압축성 유체로 채워져 있으며 각 피스톤간에 연결이 되어 있다. 즉, 연소가스에 의한 피스톤의 움직임은 유로의 크기를 조절하는 역할을 수행하며 비압축성 유체는 전체 측추력기 시스템에서 발생하는 유로의 총 면적을 조절하는 역할을 한다.

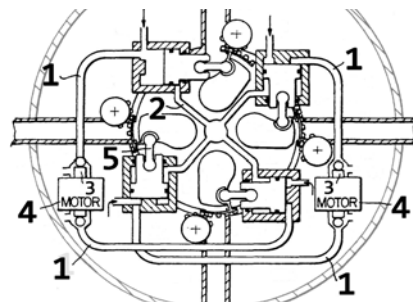


Fig. 8 Piston actuation system[10]

다음으로는 연소실 내의 압력 조절에 대한 것으로 Fig. 9을 통해 분석하였다. 추진체의 압력

지수가 높은 경우 연소실 압력에 의한 연소 속도가 크게 변화하는 특징을 가지게 되는데 이 경우 연소실의 압력을 조절하기 위해서는 더 많은 양의 연소 가스를 배출시켜야 할 필요성이 있다. 이를 위해 비압축성 유체를 배출할 수 있는 별도의 배출구가 있으며 내부 압력이 필요 이상으로 증가되는 경우 밸브를 열어 외부로 비압축성 유체를 배출하게 되는 방식이다.

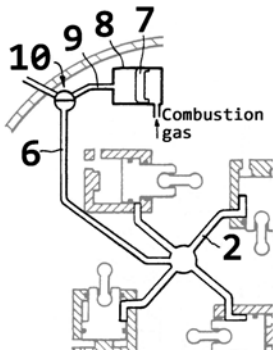


Fig. 9 Incompressible fluid system[10]

그러나 이는 유체를 배출시켜 압력을 낮추는 효과는 기대할 수 있지만 예비 유체의 양은 한정되어 있어 유체를 계속 채워 넣을 수는 없기 때문에 연소실의 압력을 지속적으로 조절할 수는 없다. 따라서 이러한 방식은 연소실 압력 제어라고는 할 수 없으며 필요에 따른 연소실 압력 조절의 개념이라 볼 수 있다.

프랑스 특허의 위 그림에 표시된 기호들에 대한 명칭은 아래 Table 3과 같으며 특허상에 나타난 명칭과 동일하다.

Table 3. Description of tag (France patent)

기호	명 칭	기호	명 칭
1	exhaust duct	6	connection
2	duct	7	piston
3	elongate core	8	reserve
4	motor	9	connection
5	mechanical connection	10	valve

3.4 특허상 메카니즘의 적용성과 한계

일본과 프랑스의 다축 추력기 구동 메카니즘에 대한 분석을 수행한 결과, DACS에서의 궤도 천이용 추력기(DCS)의 구동기 수 최소화를 위한 기계식, 유압식에 대한 아이디어를 얻을 수 있었다. 두 개의 특허 모두 추력 조절이 가능하고 구동기의 수가 기존 4개에 비하여 줄어드는 하였으나 DACS의 핵심 운용 개념인 압력 제어라는 측면에서는 한계점을 확인하였다. 결국 DACS에 이러한 방식들의 구동 메카니즘을 적용하기 위해서는 압력 제어를 위한 추가적인 구동기를 필요로 하게 된다.

4. 결 론

DACS는 4개의 궤도 천이용 추력기로 추력 제어와 압력 제어를 동시에 수행하고 나머지 6개의 추력기는 자세제어를 수행하게 되는데, 압력 제어에 활용되지 않는 이유는 무게 중심으로부터 떨어진 위치에서 압력 제어를 수행하게 되면 모멘트 힘이 발생하게 되어서 원치 않는 비행체 자세 변화가 생길 수 있기 때문이다. 궤도천이용 추력기의 구동기 수를 최소화하기 위해서는 비선형적인 핀틀의 움직임에 대하여 다축 추력기의 핀틀을 동시에 가변적으로 제어할 수 있어야 한다. 이러한 구동 메카니즘은 기계식, 유압식, 공압식 등의 여러 방식이 존재할 수 있다.

결과적으로 추력 제어를 위한 구동기 수를 줄이는 방법은 특허 분석을 통해서 가능성을 확인하였지만 앞서 소개했던 내용처럼 DACS의 운용을 위해서는 압력 제어가 병행되어야 하기 때문에 이에 대한 보완 또는 추가적인 구동기가 필요하다는 것을 알 수 있었다. 즉, 구동기 수의 최소화는 추력 제어와 압력 제어를 동시에 수행할 수 있는 추가적인 방안을 모색한다면 DCS 구동기 수의 최소화는 가능하다고 판단된다.

후 기

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다. (계약 번호 UD110093CD)

참 고 문 헌

1. 이용우, 허환일, "DACS 기술을 적용한 미사일 방어 시스템의 개발현황 및 전망," 한국추진공학회 춘계학술대회 논문집, 2010, pp.402-405
2. 이원석, 방효충, 은연주, 이호성, 이도윤, 박종승 "적응제어 기법을 이용한 가변추력 고체추진기관 압력제어", 한국항공우주학회 추계학술발표회 논문집, 2010, pp.686-689
3. 이지형, 장홍빈, 고현, "핀틀 노즐의 비정상 특성연구", 한국추진공학회 추계학술발표회 논문집, 2011, pp.662-665
4. 이호성, 이도윤, 박종승, 김중근, "상온기체 모사장치를 이용한 가변추력 고체추진기관의 압력제어 연구", 한국항공우주학회지, 제 37권 제 1호, 2009, pp.76-81
5. 왕승원, 허환일, "SNECMA 가변노즐목 추력기에 대한 수치적 연구", 한국추진공학회 추계학술발표회 논문집, 2010, pp.616-617
6. 최재성, 허환일, "노즐목 가변 추력기 적용 목적의 핀틀 형상에 대한 정상상태 실험 연구", 한국추진공학회 춘계학술발표회 논문집, 2011, pp.153-156
7. 최재성, 허환일, "노즐목 가변 추력기의 압력제어 기법에 관한 예비실험 결과", 한국추진공학회 추계학술발표회 논문집, 2011, pp.18-21
8. 최재성, 허환일, "노즐목 가변 추력기 적용 목적의 핀틀 형상에 대한 정상상태 실험 연구", 한국추진공학회 춘계학술대회 논문집, 2011, pp.153~156
9. Sugimine Masanori, "SIDE THRUSTER FOR FLYING BODY", JP Patent 2003- 240500, 2003
10. Jean-Pierre Morgand, "SYSTEM FOR STEERING A MISSILE BY MEANS OF LATERAL GAS JETS", US Patent 5,123,611, 1992