

연속가변 추력제어 추진기술 연구동향

하동성* · 임성택*

Research Trends in Propulsion Technology for Divert and Attitude Control System

Dongsung Ha* · Seongtaek Lim*

ABSTRACT

The research trends and major technologies of the divert attitude control system(DACS), which is the core of the anti-missile system, are described. The operating concept and characteristics according to the fuel used are summarized. The characteristics of typical weapon system applying solid(SM3 Block IB/IIA) and liquid(THAAD) fuels were discussed. In the future, it will be necessary to study various types of DACS in the strategic concept of the defense weapon system.

초 록

대탄도탄 방어 무기체계의 핵심인 직격요격비행체 위치자세제어시스템(DACS, Divert Attitude Control System)의 연구 동향 및 주요 기술에 대해 서술하였다. DACS의 기본 구성을 정의하고 사용 연료별 DACS의 종류 및 운영개념, 특징을 정리하였다. 고체(SM3 Block IB/IIA) 및 액체(THAAD) 연료를 적용한 대표적인 무기체의 운용 개념 및 주요 특징을 살펴보았다. 향후 방어무기체계의 전략적 차원에서 다양한 형태의 DACS의 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Key Words: Divert Attitude Control System(위치 및 자세제어 시스템), Kill Vehicle(직격 요격체), Intercept Basket(요격 바스켓)

1. 서 론

적으로부터 날아오는 탄도미사일을 요격하는 미사일 개발의 핵심은 빠른 속도로 비행하는 탄도미사일을 직접 충돌하여 파괴하는 기술이다. 고속으로 비행하는 미사일의 운동에너지를 이용

하여 높은 충격에너지가 발생하도록 하는 비행체를 직격요격비행체(KV, kill Vehicle)라 하며, 직격요격비행체는 부스터에 의하여 가속되어 목표된 속도와 지점에서 부스터로부터 분리된다. 이상적으로는 요격미사일은 지상 사격통제체계가 표적하는 한점으로 비행하여 KV를 부스터로부터 분리하지만, 실제 비행에서는 레이더오차, 항법오차, 탐색기 오차 등으로 인하여 자유비행만으로 적의 탄도미사일을 요격할 수 없게 된다.

* 국방과학연구소 4기술연구본부

† 교신저자, E-mail: hadong@add.re.kr

따라서 직접 요격할 수 있는 교전 범위내로 이동하기 위해서는 직격요격비행체의 궤도 및 자세제어가 필요하다. 따라서 KV이 가져야할 능력은 이동거리(Divert), 속도증분(ΔV), 가속도 형태로 정의되며, 이를 기준으로 DACS의 Sizing 설계가 진행된다. Fig. 1은 미사일 직격요격비행체의 미사일 방어 개념을 보여주고 있다.

Fig. 1의 요격 바스켓(Intercept Basket) 내에서 적의 탄도 미사일을 직접 타격하기 위한 운동에너지를 제공하는 장치가 필요하며, 이것을 위치 및 자세제어 시스템(DACS, Divert Attitude Control System)이라고 하며 운용 고도 및 운용 범위 등의 시스템 요구조건에 따라 다양한 추진기술이 적용 될 수 있다.

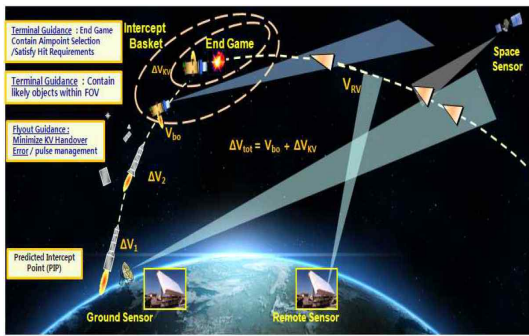


Fig. 1 Ballistic missile defence concept

유도무기 개발 선진국에서는 전략미사일 및 우주비행체 등에 적용되고 있는 첨단 추진기술을 혁신적으로 발전시켜 고성능의 액체 및 고체 추진 위치 및 자세제어 시스템(DACS)으로 적용하여 사용하고 있다. 본 논문에서는 DACS의 기본 구성을 정의하고, 사용 연료별 DACS의 종류 및 운용 개념/특징을 정리하고자 한다.

2. 본 론

2.1 직격요격비행체 개요 및 구성

직격요격비행체(KV)는 부스터에서 분리된 후 탄도미사일을 타격하는 운동체를 말하며, 직접 충격 요격체(Hit-to-Kil Vehicle)와 파편형 탄두

(Blast Fragmentation Warhead)로 분류된다. 대다수의 요격비행체는 큰 운동에너지를 가지고 완전 파괴에 효과적인 직격충격요격체로 KV를 적용하고 있다. KV은 고체 혹은 액체 DACS 추진기관과 그의 페이로드인 탐색기, 유도조종장치 등으로 구성된다. KV의 탐색기는 오차거리 최소화를 위하여 분해능이 우수해야 하며, 모든 전자 부품 및 장비들은 최소 공간에 배치 설계될 수 있도록 컴팩트한 설계가 되어야 한다. 또한 부스터 비행중 탐색기를 보호하는 슈라우드 및 KV 기체구조물도 경량화 설계기술이 적용되어야 한다. 이와 같이 효율적인 요격 비행체 설계를 위해서는 직격요격비행체를 구성하는 모든 부품들의 소형/경량화 설계가 필수적이며, 이는 DACS의 추력 요구 성능에 영향을 미치게 된다.

DACS는 4개의 Divert 추력기로 DCS(Divert Control System)을 구성하며, 가능한 KV의 무게 중심에 위치하도록 설계되어야 한다. 비행 방향에 수직한 면에 십자 배열로 배치되어 요격을 위한 궤도 이동이 신속하게 이루어질 수 있도록 한다. 6개의 Attitude 추력기로 ACS(Attitude Control System)를 구성하며, KV의 자세제어(pitch, yaw, roll)를 할 수 있는 추력을 발생시키며, 무게 중심 변화 및 DCS 추력 발생에 따른 자세 변화를 보상해주어야 하는 기능을 수행한다.

Fig. 2는 미국의 SM-3 Block IA 요격미사일의 KV 단면을 나타낸다. KV 탐색기 조립체, DACS 조립체, 유도조종 조립체 등으로 구성되며, 구형의 복합재 연소관 전방돔에 4개의 DCS 밸브조립체가 십자 배열로 배치되어 있다. ACS 밸브조립체는 연소관 후방돔에 6개로 구성되어 있다. 복합재 연소관 내부에는 end-burning 형태의 그레이너로 구성되어 있으며, 총 3개로 구성되어 펄스 그레이너 1은 KV 비행 초기 궤도 수정에 사용되며 이후 sustain 그레이너만으로, 비행중 자세제어가 이루어진다. 최종적으로 KV 충돌 직전에 궤도 수정을 위해 펄스 그레이너 2가 점화되어 임무를 수행한다. SDACS(Solid DACS)는 DCS가 On-Off 형태로 작동되며 KV 비행 초기 및 충돌 직전에 고기동의 궤도 수정을 위하여 펄스 그레이

인을 작동하는 방식이다. Fig. 3은 2015년 생산, 배치가 되고 있는 SM-3 Block-IB 유도탄 형상 및 고체추진 TDACS 주요구성을 보여준다. TDACS는 최초로 추력제어 핀틀-노즐을 적용하여 연소관 압력 및 추력을 핀틀 위치 제어를 통해 제어하는 방식이다. 내부에는 하나의 end-burning 그레이너로 설계되어 있으며, 복합재 연소관 전방돔에 4개의 DCS 밸브조립체, 후방돔에 6개의 ACS 밸브조립체가 적용되어 있다.

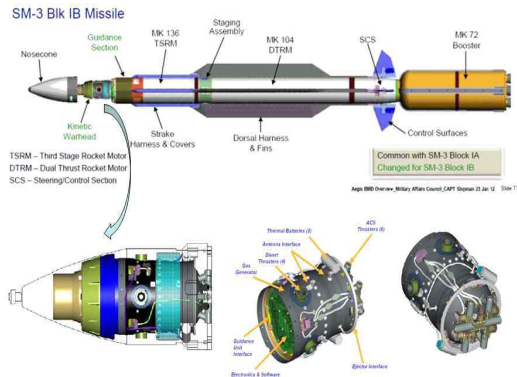


Fig. 2 SM-3 Block IB (TDACS)

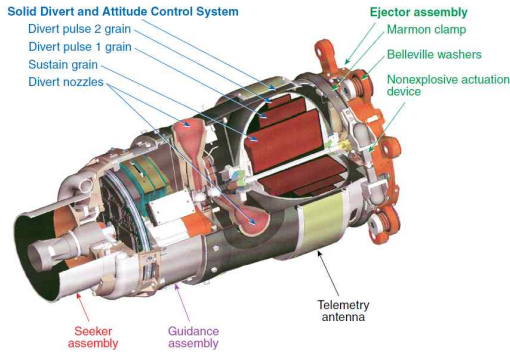


Fig. 3 SM-3 Block IA (SDACS)

2.2 DACS의 종류 및 특성

2.2.1 고체 연료 DACS

DACS 추진기관은 사용하는 연료에 따라 크게 액체연료 추진방식의 LDACS(Liquid DACS)와 고체 연료 추진방식 SDACS(Solid DACS)로 구분된다. 고체 연료 추진방식 중에서 핀틀 노즐을

적용하여 자동차 가속 페달처럼 연소실 압력을 스로틀링(Throttling)하여 제어하는 방식을 TDACS로 구분한다. 그동안 고체 추진기술로는 추력조절이 불가능한 것으로 인식되어 왔으나, 핀틀을 적용한 노즐목 면적 조절 방식으로 추력조절이 가능한 기술로 발전시켰다. 특히 SM-3 Block IB 및 IIA 에 적용되고 있는 TDACS 기술은 고온가스밸브 및 특수내열재료, 경량 복합재 기술, 소형 고응답 구동기, 추력제어 알고리즘 등 첨단 융/복합 기술을 적용하고 있다.

고체 추진 DACS 기술은 액체 추진 DACS에 비하여 기술발전이 느리며, 80년대 초 Navy LEAP 개발시점부터 본격적으로 기술 발전이 있었다. 현재에도 막대한 개발비를 들여 진보된 미래형 DACS 기술을 추구하고 있다.

TDACS는 연속 추력제어가 가능한 핀틀을 적용하여, 정밀한 위치 및 자세제어를 제공하고 추진 에너지 효율화 측면에서 연속적인 압력 제어 및 추력 분배가 필요하다. 고체 추진기관의 가스 발생량은 내부 압력에 의해 결정되는데, TDACS에서는 큰 추력이 필요하지 않은 coasting 구간에서는 노즐 목면적을 최대한 개방하여 연소실 내부 압력을 최저 수준까지 낮추어 추진제 소모량을 최소화 한다. 위치나 자세제어를 위한 추력이 필요할 경우에는 목표 추력 생성을 위한 압력을 만들기 위해 노즐 목면적을 조절하여 압력을 상승시키고 원하는 방향으로 추력을 발생시킬 수 있도록 핀틀에 연결된 구동기를 작동시켜 추력을 조절한다. 이러한 시스템은 핀틀 구동에 의하여 정밀한 추력제어가 가능하다는 장점이 있다. Fig. 4는 스로틀링 DACS의 추력 운용 개념을 나타낸 그림이다.

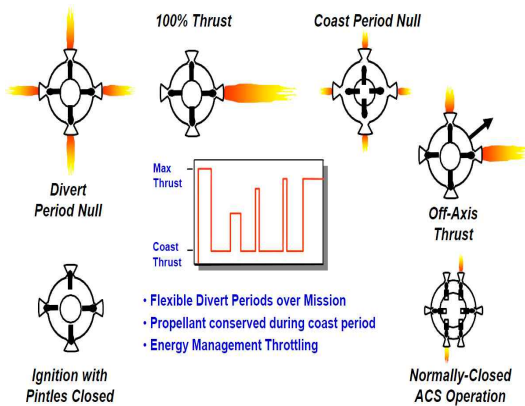


Fig. 4 Thrust & Pressure control of TDACS[1]

TDACS 시스템은 DCS 밸브조립체의 배치 위치에 따라 밸브 내삽형과 밸브 외삽형으로 구분된다. SM-3 Block IB 가 대표적인 밸브 외삽형 개념이며, 프랑스의 Aster Block II(개념설계) 가 대표적인 밸브 내삽형 개념이다. 내삽형의 경우에는 고온의 연소실 내에 밸브조립체 및 구동기 조립체가 배치되어 있기 때문에 구동기의 내열 설계 및 소회화 기술이 반드시 필요하며, 밸브 조립체의 내열특성이 우수해야 한다. 외삽형은 연소실 밖에 DCS 밸브조립체를 적용하는 개념으로 전방뿔에 장착한다. 외삽형의 경우에는 핀틀로 유입되는 유동의 대칭성 확보가 안되기 때문에 이에 따른 성능 손실이 발생하게 된다.

고체 추진제를 이용한 DACS 설계에 있어서 에너지를 효율적으로 사용하고자 함은 시스템 설계에 있어서 대단히 중요한 설계 요소이다. coasting 구간에서 추진제를 사용하지 않고 추진제를 적게 사용하면서 필요한 시점에만 사용할 수 있다는 장점이 있다. 고체 추진제를 액체 연료와 같이 필요한 경우에만 사용할 수 있는 개념의 연구이며, 고체 추진제를 소화(extinguish)하고 재점화(re-ignition)하는 방식이다. 소화-재점화 방식은 KV의 비행과정에서 궤도 수정을 하지 않는 중기 유도 비행 중에 연소를 중단하여 추진제 소모를 최소화하여 DACS의 에너지를 효율적으로 사용할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 소화성 추진제에 대한 연구 및 다수의 재점

화를 위한 점화 방식에 대한 연구 등 아직까지 본격적인 연구가 진행되고 있지는 않은 것으로 보인다. Fig. 5는 소화-재점화 방식을 이용한 TDACS 운용 개념을 나타내주는 그림이다.

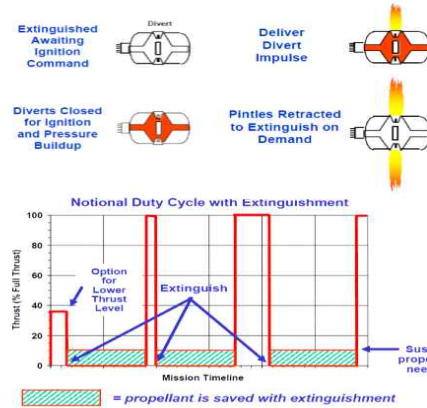


Fig. 5 Extinguish & re-ignition of TDACS[2]

2.2.2 액체 연료 DACS

액체 연료를 사용하여 DACS를 운용하는 대표적인 무기체계는 미국의 THAAD가 있으며, 높은 비추력과 신속한 점화를 고려하여 MMH/NTO 와 같은 고성능 추진제를 적용한다. 고체 추진제를 이용한 TDACS에 비하여 독성의 연료를 사용하며 누설 및 취급의 어려움으로 지상에서 운용하여 사용하고 있다. 액체 DACS가 적용된 체계로는 중간 단계 지상기반 요격미사일(GBI)용 EKV와 종말단계 상층방어 요격미사일 THAAD가 있다. EKV에서는 별도의 Cold Gas 자세제어 추력기를 사용한 반면에 THAAD DACS에서는 이원추진제(MMH/NTO)를 DCS 및 ACS 밸브에 공통으로 사용하였다. Fig. 6은 액체연료를 적용한 THAAD 요격 미사일의 형상을 보여주고 있다. TDACS와 비교하여 효율적인 에너지 관리 관점에서 연료 공급을 제어하여 연료 소모량을 최소화 할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 상온 저장, 점화의 용이성, 독성 연료 사용에 따른 취급의 위험성 등으로 인하여 운용 활용성에 한계가 존재한다.

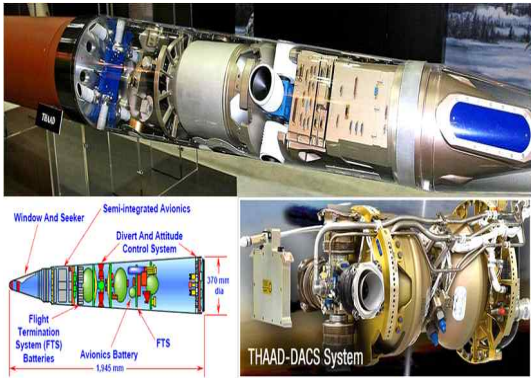


Fig. 6 DACS structure of THAAD missile

Gel 추진제를 적용한 방식은 액체 연료의 단점인 누설, 취급의 위험성을 해결할 수 있는 시스템이며, 액체 연료의 장점인 연료 공급량 제어가 가능한 장점을 가지고 있다. 액체 추진제를 Gel화 하여 사용하므로 추진제의 누설 및 취급 측면에서 장점을 가지고 있으나, Gel 연료를 가압하는 시스템 및 구조의 복잡성으로 인해 아직까지 DACS에 적용되어 개발된 사례는 전혀 없으며, 개념연구 수준에서 연구가 진행되고 있는 수준이다. Fig. 7 은 Gel 추진제를 이용한 DACS의 개념연구 형상을 나타낸 그림이다.

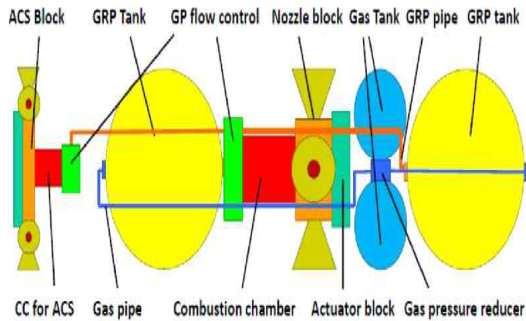


Fig. 7 Gel DACS concept[3]

DACS 추진기관에 사용하는 연료에 따른 DACS의 구분 및 특징에 관련하여 Table 1에 정리하였다.

Table 1. DACS 종류

Type	Liquid DACS	Solid DACS	Throttling DACS
연료	이원계	Solid	Solid
추력조절	소화/재점화	Pulse형	연속형
구성	연료공급, 탱크 등	로켓모터, 밸브조립체	로켓모터, 밸브조립체
적용	GBI EKV THAAD	SM-3 Block IA	SM-3 Block IB/IIA

4. 결 론

탄도미사일 방어체계의 핵심기술인 직격요격 비행체(KV)의 추진기관인 DACS의 개념 및 관련 기술을 정리하였다. DACS 추진시스템의 설계 유연성을 확보하기 위해서는 현재 적용되고 있는 TDACS 기반 DACS가 적절한 것으로 판단된다. 그러나 향후 전략적 차원에서 진보한 DACS의 적용이 필요할 것이며, 이를 대비하기 위하여 무독성 액체 기반 DACS 및 Gel DACS 연구 등이 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. N. Cucco, "Solid DACS architecture and technologies for endo-atmospheric interceptor," 10th 3AF Missile Defence Conference, Mainz, Germany, 2014.
2. Will Hansen et al., "Extinguishment and Re-ignition of Controllable Solid Propellant Systems in applications for Missile Defence Interceptor TDACS," 6th AAAF International Conference on Missile Defense Lisbon, Portugal, 2010.
3. K.W.Naumann et al., "Application of Rocket Motors and Gas Generators with Gelled Propellants for BMD Interceptors," 10th 3AF Missile Defence Conference, Mainz, Germany, 2014.