

통신해양기상위성 추진시스템 시스템설계

박응식* · 한조영* · 채종원* · S. Bucknell**

System Design of COMS(Communication, Ocean and Meteorological Satellite) Propulsion System

Eung Sik Park* · Cho Young Han* · Jong Won Chae · S. Bucknell**

ABSTRACT

The COMS(Communication, Ocean and Meteorological Satellite) is the first developed three-axis stabilization multi-function satellite on geostationary earth orbit(GEO) in korea, presently scheduled to be launched in 2008. The COMS propulsion system provides the thrust and torque required for the insertion into GEO, attitude and orbit control/adjustment of spacecraft. In this paper, system design of propulsion system, basic functions and design requirement of components are described.

초 록

통신해양기상위성(COMS)는 국내 최초로 개발되는 3축 안정화 복합위성으로 2008년에 지구정지궤도(GEO, Geostationary Earth Orbit)에 발사될 예정이다. 통신해양기상위성 추진시스템은 위성체의 지구정지궤도 진입, 자세 및 궤도 제어/조정을 위하여 요구되는 추력과 토크를 제공한다. 본 논문은 통신해양기상위성 추진시스템의 시스템 설계 및 주요 부품의 성능에 관하여 기술하고자 한다.

Key Words: Communication, Ocean and Meteorological Satellite(통신해양기상위성), Propulsion System(추진시스템), System Design(시스템설계)

1. 서 론

통신해양기상위성(COMS, Communication Ocean and Meteorological Satellite)은 국내 최초로 개발되는 정지궤도 중형 인공위성으로

2003년에 개발에 착수되어 2008년에 발사될 예정이다. 위성의 임무는 5개 채널을 갖는 기상관측센서를 탑재하여 한반도와 전지구 기상관측을 수행하고 8개 채널을 갖는 해양관측센서를 탑재하여 한반도 주변과 해양관측을 수행한다. 그리고 전자통신연구원에서 국산화 개발하고 있는 Ka 밴드 통신중계기 및 안테나를 탑재하여 우주인증 및 통신서비스를 수행하는 임무를 가지고 있다.

* 한국항공우주연구원 통신해양기상위성사업단

** EADS Astrium

연락처, E-mail: espark@kari.re.kr

통신해양기상위성의 개략적인 형상은 아래 Fig.1에 나타난 바와 같으며 위성체의 목표 무게는 2.5ton이고 전력은 3kW의 중형급 위성으로 설계수명은 7년이다.

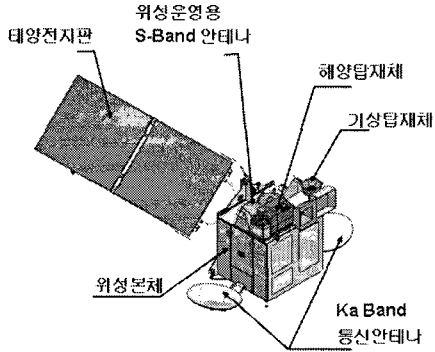


Fig. 1 통신해양기상위성 개략도

본 본문은 위성의 지구정지궤도 진입, 자세 제어 및 궤도제어/조정을 위하여 요구되는 추력(thrust)과 토크(torque)를 제공하는 통신해양기상위성 추진시스템의 시스템구성 및 주요구성품의 기초 요구성능에 관하여 기술하고자 한다.

2. 추진시스템 구성 및 기능

통신해양기상위성의 추진시스템은 Astrium사에서 개발한 Eurostar 3000의 추진시스템을 기본으로 하여 설계되고 있다. 통신해양기상위성 추진시스템은 궤도전이를 할 때에는 압력조절방식(Pressure Regulate Type)을 사용하고 임무궤도상에서는 밀어내기방식(Blowdown Type)을 사용하는 이원추진제 이중모드시스템(Bipropellant Dual-mode System)을 사용한다. 개략적인 형상은 Fig.2에서 보여주는 바와 같으며 크게 가압시스템과 압력제어시스템, 추진제저장 및 이송시스템, 추력기 시스템으로 크게 구분된다.

가압시스템은 가압제 저장시스템으로 실린더형 가압탱크 1개와 NC(Normally Closed) 파이로밸브(PV2, PV3)와 고압압력계(PT3), 추진제주입배출밸브(FDV1)로 구성되며 가압제로는 헬륨

을 사용한다. 가압탱크 바로 밑에 위치하고 있는 NC 파이로밸브(PV2, PV3)는 위성발사동안 가압제의 사전유입을 막기 위하여 장착된다.

압력제어시스템은 액체원지점엔진(LAE)이 작동되는 동안 고압의 가압제(He)의 공급을 통해 일정한 압력이 유지되도록 하는 압력조절기(PR, Pressure Regulator)가 장착된다. 압력조절기는 이중으로 자체에 백업역할을 하는 부압력조절기가 함께 내장되고 상단에 여과기가 함께 장착되어 시스템을 보호하는 역할도 수행한다. 압력제어시스템 하단에는 LAE의 작동전에 연료(MMH)와 산화제(NTO)의 증기가 혼합되어 폭발이 발생하지 않도록 NC 파이로밸브(PV4~7)와 역류방지밸브(Non-Return Valves, NRV1~4)를 사용하여 각 연료 탱크와 산화제탱크를 완벽하게 분리시켜 놓는다.

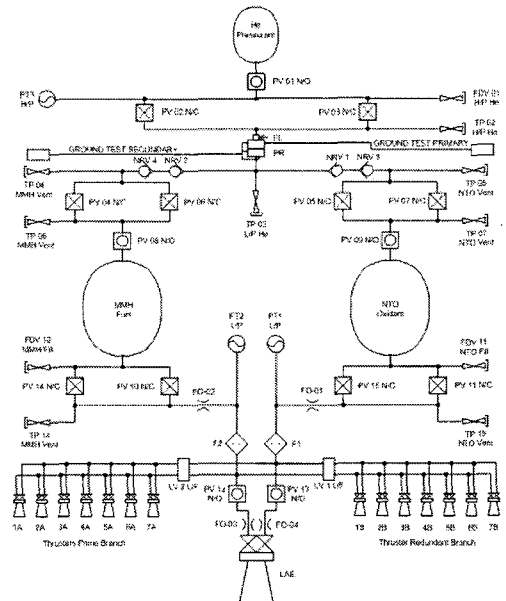


Fig. 2 통신해양기상위성 추진시스템 개략도

위성체가 발사체로부터 분리되면 위성시스템은 추력기제어밸브(FCV1A - 7B)와 액체원지점엔진(LAE) 제어밸브를 열어 배관을 비우고 NC 파이로밸브(PV10,11,14,15)를 열어 연료와 산화제가 배관을 채우고 래치밸브(LV1,2) 상단까지 추진제

를 준비하게 된다. 이후 6개의 파이로밸브(PV2-7)를 열어 탱크들안의 얼리지 압력은 일반적으로 17.0 bar의 작동압력수준까지 가압을 하게 된다.

그 하단에는 NO(Normally Opened) 파이로밸브(PV8,9)가 위치하고 같은 NO 파이로밸브는 가압탱크하단과 LAE 배관 상단에 위치한다. 이 NO 파이로 밸브는 LAE 작동이 완료되고 공급되는 조절압력은 LAE는 PV1,8,9,12,13에 의해 격리된다. 이러한 격리는 탱크간에 산화제나 연료의 이동을 차단하는 역할을 수행하고 얼리지의 이동을 막음으로써 정확한 잔여연료량 계산을 도울수 있다. 또한 이러한 격리는 더 이상 사용되지 않는 각 부품으로부터 가압제나 연료의 잠재적인 누출경로를 최소화함으로써 시스템의 궤도 운용상 신뢰도를 상승시킨다. 그럼으로 인하여 추진시스템은 보다 단순화되고 보다 신뢰성이 높은 형상을 갖게 된다.

궤도진입이 성공적으로 이루어지고 궤도상에서는 압력제어시스템과 액체원지점엔진(LAE)은 파이로밸브에 의해 격리되고 탱크에 남아있는 추진제는 임무수명 종료시까지 밀어내기모드(blowdown mode)로 전환되어 추력기(RCT)에 연료와 산화제를 공급하게 된다.

추력기들은 각각 7개의 추력기로 구성되는 주 추력기 부분과 부 추력기 부분으로 나뉘게 된다. 각 추력기 부분은 래치밸브로 분리되고 이 두개의 부분은 모든 예상되는 궤도제어 및 자세제어를 만족하게 된다. 주 추력기 부분과 부 추력기 부분은 각각의 래치밸브(LV1, LV2)로 제어된다.

연료탱크와 산화제탱크의 압력을 측정하기 위한 두 개의 저압압력계(PT1, PT2)를 각 탱크의 하단배관에 장착하고 산화제 라인과 연료 라인에 여과기를 장착하여 불순물을 제거하도록 한다.

추진제는 연료인 MMH(MonoMethyl Hydrazine, CH₃NHNH₂)와 산화제인 NTO를 사용하며 이러한 추진제의 주요 물성치는 아래 Table 1과 같다.

Table 1 추진제의 주요 물성치

	NTO	MMH
Melting point, °C	-11.2	-52.4
Boiling point, °C	21.2	87.7
Density of liquid, g/cc (lbm/ft ³)	1.433 (89.52)	0.8702 (54.325)
Vapor pressure of liquid, kPa (psia)	120.0 (17.4)	6.60 (0.957)
Viscosity of liquid, centipoise	0.396	0.778
Surface tension, dynes/cm	25.1	33.8
Thermal conductivity, cal/cm-sK	3.13×10 ⁻⁴	5.92×10 ⁻⁴
Heat of formation, kcal/mole	- 4.676	13.106

통신해양기상위성 추진시스템은 각 연료와 산화제가 접촉하는 모든 지점이 연료와 산화제의 동결온도(MMH : -52°C, NTO: -11.2°C)보다 항상 10°C 이상이 유지되도록 제어되어야 한다. 이를 위하여 추진시스템의 모든 지점은 히터, 열차단기, 저방사 테이프 등을 장착한다. 추진제 라인 전열기에는 여분의 회로가 부착되며 주회로는 항상 작동하게 되어야 한다. 액체원지점엔진 작동동안 cool down effect로 인하여 대부분의 가압제 시스템은 낮은 가스 온도에 노출된다. 그러므로 액체원지점엔진 작동기간동안 액체원지점엔진의 혼합비와 최적의 비추력을 유지하기 위하여 각 배관 및 추진제탱크는 10°C에서 27°C사이를 유지하도록 히터가 작동되어야 한다. 임무 궤도상에서 각 탱크의 압력상승을 위하여 일반적인 히터장착 외에 각 추진제탱크 위쪽의 반구에 추가적인 히터가 장착된다.

3. 추진시스템 주요부품 성능요구사항

통신해양기상위성 추진시스템의 주요 구성품은 Astrium의 Eurostar3000의 추진시스템에서 사용되었거나 다른 우주프로그램에서 사용된 Heritage가 있는 부품을 주로 사용할 예정이다. 주요 구성품의 요구성능 및 특성에 대하여 다음과 같이 나타내었다.

3.1 추력기(RCT)

통신해양기상위성의 자세 및 궤도제어를 위해 사용되는 추력기(RCT, Reaction Control Thrusters)는 연료와 산화제를 사용하는 이원추진제추력기를 사용한다. 이원추진제추력기는 엔진의 연소실내에서 연료와 산화제가 혼합될 때 자연발생적인 화학적 상호반응에 의해 원하는 추력과 토오크를 발생시킬 수 있다. 요구되는 추력기의 주요 성능으로 추력은 10N이며 비추력은 287초, 혼합비는 1.6이며 액체원지점엔진(LAE)의 문제발생시 궤도전이가 가능하도록 액체원지점엔진 백업기능도 갖추도록 성능을 갖추어야 한다.

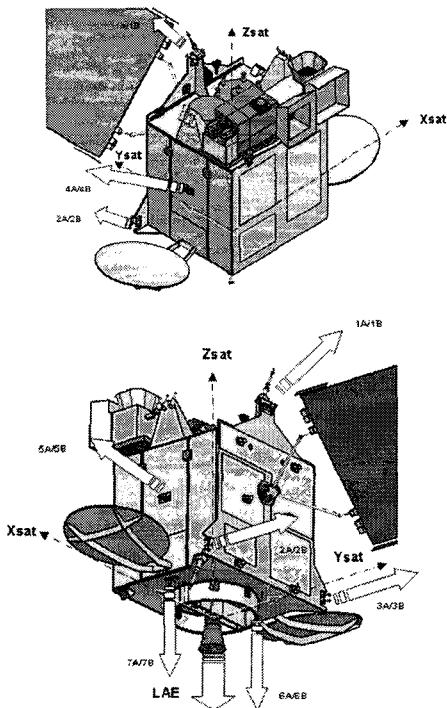


Fig.3 추력기(RCT) 및 LAE 위치

통신해양기상위성의 제어를 위해 총 14개의 추력기를 사용하는 데 이중 7개는 주(prime)추력기이고 7개의 보조(redundant)추력기로 구성된다. 추력기의 장착위치는 남북위치유지(North-South Stationkeeping)을 위해 위성체 남쪽 패널에 추력기 3기가 장착되며 동서위치유지(East-

West Stationkeeping)을 위해 동측패널에 1기가, 서측 패널에 1기가 장착된다. 액체원지점엔진(LAE)이 장착된 패널에도 2기가 장착되는데 이 추력기들은 궤도전이 전에 추력발생을 통해 액체원지점엔진 상단에 추진제를 준비하는 역할과 액체원지점엔진이 작동되지 않을 최악의 상황을 대비하여 액체원지점엔진의 백업역할을 하는 추력기이다. 위의 Fig.3은 추력기의 요구되는 주요 위치를 나타내고 있다.

3.2 액체원지점엔진(LAE, Liquid Apogee Engine)

통신해양기상위성과 같은 정지궤도위성은 발사체로부터 분리되어 한번에 임무궤도인 정지궤도로 진입하지 못하고 천이궤도에서 궤도전이를 통하여 임무궤도(36,000km)로 진입하게 된다. 이러한 궤도전이를 위해 액체원지점엔진(LAE)이 사용된다. 통신해양기상위성의 액체원지점엔진은 연료와 산화제를 사용하는 이원추진제엔진을 사용한다. 주요 성능으로는 490N의 추력과 315초의 비추력, 혼합비로는 1.65를 가지며 7×10^6 Ns의 총 임펄스를 필요로 한다. 아울러 작동압력은 14bar과 16bar사이에서 작동한다.

3.3 탱크

통신해양기상위성 추진시스템은 연료와 산화제, 가압제를 보관하기 위한 총 3개의 탱크가 필요하다. 연료탱크와 가압제탱크는 사용되는 액체에 부식성이 없어야 하고 실린더 형태의 탱크로 650리터의 용적을 가져야 하며 22.5bar의 MEOP를 가져야 한다. 또한 가압제없이 99%이상의 효율을 가지고 추진제를 배출할수 있는 추진제제어장치를 가져야 한다.

가압제탱크는 작동유체로 헬륨을 사용하며 60°C에서 310 bar의 MEOP를 갖는 97리터 용적을 갖도록 설계된다. 실제 산화제 탱크와 연료 탱크의 위치는 비대칭으로 장착되며 이는 추진제 및 가압제 탱크의 위치에 따른 무게의 불균형을 해소하기 위한 조치이다.

3.4 주요 밸브

3.4.1 압력조절기

압력조절기의 가능작동유체는 가압제인 헬륨이다. 압력조절기 입구의 가능한 작동압력은 25bar에서 310bar까지이며 출구의 가능한 작동압력은 약 17bar이다.

3.4.2 래치밸브

일반적으로 래치밸브는 영구자석에 의해 개폐 위치에 따라 공급되는 래칭력을 갖는 토오크 모터에 의해 작동된다. 통신해양기상위성 추진시스템에서는 작동반응 시간은 20m초 이하이며 3.0~13.8bar의 높은 BPR(back pressure relief) 특성을 갖는 래치밸브를 사용한다. 래치밸브는 연료와 산화제의 누출현상이 최소화 되어야 하며 추진제에 의한 화학작용이 없어야 한다.

3.4.3 파이로밸브

파이로밸브는 NC(Normally Closed)와 NO(Normally Opened)의 두 가지 밸브가 사용된다. NC는 작동전에는 닫혀있다가 파이로 밸브 작동후 영구히 열리게 되는 밸브이다. 즉 가압제 및 추진제의 유입을 위성발사시에 차단하다가 액체원지점엔진(LAE) 작동시 가압제 및 추진제의 유입을 가능케하는 밸브이다. NO는 작동전에는 열린 상태이다가 액체원지점엔진 작동 및 캐도진입 완료와 같은 임무종료시 가압시스템 및 액체원지점엔진을 추진시스템으로부터 완전격리하는 역할을 하는 밸브이다. 파이로밸브는 단 한번의 작동만 할 수 있으나 추진제 및 가압제 누출이 극히 적어야 한다. 통신해양기상위성 추진시스템에서는 1×10^{-6} scc/sec이하의 내외부누출규격을 갖는 NO, NC 두 가지 파이로밸브를 그 임무에 맞게 적절하게 사용하고 있다.

3.4.4 역류방지밸브(Non Return Valve)

역류방지밸브는 액체원지점엔진의 작동 중에 연료와 산화제 혹은 그 증기가 역류되고 서로 혼합되어 폭발이 발생하지 않도록 한다.

3.4.5 압력계

압력계는 추진제의 압력을 측정하는 저압력계와 가압제의 압력을 측정하는 고압력계로 총 3개가 장착된다. 저압력계를 통해 측정된 압력은 압력/체적/온도방법(PVT Method)을 이용하여 남아있는 추진제의 양을 계산하고 연료 및 산화제의 압력데이터를 이용하여 추력을 예측하는데

사용된다. 이러한 압력계는 연료와 산화제의 누출현상이 최소화 되어야 한다. 고압력계의 압력 측정 가능범위는 0bar에서 310bar까지이며 저압력계의 압력측정 가능범위는 0bar에서 20bar 까지이다.

3.4.6 여과기(Filter)

오염입자가 없는 추진제를 공급하기 위하여 간편하고 견고한 여과기가 사용되어야 한다. 요구되는 여과율(Filtration Rate)은 25microns 이하이어야 하고 여과기 역시 연료와 산화제의 누출현상이 최소화 되어야 한다.

3.4.7 주입배출밸브

가압제 및 추진제의 주입, 배출을 용이하게 하는 밸브로 추진제 주입 후 누수가 발생하지 않아야 한다.

4. 결론

본 논문에서는 통신해양기상위성 추진시스템의 주요 시스템구성 및 주요 구성품의 요구성능에 관해 논의하였다. 특히 추진시스템의 구성 및 그 작동순서에 따른 주요 부품의 기능과 역할을 중점적으로 제시하였다.

기본적으로 통신해양기상위성 추진시스템은 성능과 신뢰성을 최대화하는 설계방법을 택하고 있다. 고신뢰 추진시스템의 부품과 Heritage가 있는 우주용 부품의 사용과 어느 한 부품의 손실에도 추진시스템 임무가 수행될 수 있도록 설계됨으로써 통신해양기상위성이 7년 동안의 성공적인 임무를 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 “통신해양기상위성 시스템 및 본체 개발사업”의 지원 결과이며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. ..., "COMS System Requirement Review, Volume 2", 2005
2. ..., "COMS System Design Review, Volume 4", 2005