

KSLV-I 킥모터 시스템 추력 축 정렬

이한주*, 정동호**, 오승협***

KSLV-I Kick Motor System Thrust Axis Alignment

Han Ju Lee*, Dong Ho Jung**, Seung Hyub Oh***

Abstract

The thrust axis alignment of the launch vehicle is very important because of the misalignment causes the unstable attitude control and results in mission failure. Generally, optical methods such as digital theodolite and laser tracker and mechanical method such as turn table method are used to align thrust axis to vehicle axis. This article deals with the simple method of thrust axis alignment of Kick Motor.

초 록

발사체의 기체 축과 추력 축이 요구 조건에 맞게 정렬되지 않을 경우엔 자세 제어 오차가 허용 범위를 초과할 수 있으며, 심각할 경우 미션 실패로 이어질 수 있다. 일반적인 발사체의 추력 축 정렬에는 테오도라이트와 레이저 트래커를 사용하는 광학적 방법과 턴테이블을 이용하는 기계적 방법이 사용된다. 본 논문에서는 3차원 측정 결과로부터 획득된 형상 정보에 기반하여 경사도계를 사용하는 킥모터 시스템의 추력 축 정렬 방법에 대해서 다룬다.

키워드 : 킥모터 (Kick Motor, KM), 추력 축 정렬 (thrust axis alignment)

1. 서 론

발사체는 탑재물과 제어 시스템, 구조체와 추진기관 시스템으로 구성된다. 추진기관 시스템의 역할은 안정된 추력을 발생시켜 발사체가 비행할 수 있도록 하는 것인 반면 제어 시스템의 기능은 발사체가 원하는 궤도로 날아가도록 제어를 하는 것이다. 발사체의 자세 제어 오차에 영향을 미치는 주요한 인자 중 하나는 발사체의 기체 축과 추력 축 간의 비정렬 오차이다.

발사 준비 과정에서 수행되는 추력 축과 기체 축과의 정렬이 제대로 수행되지 않을 경우, 두 축 간의 어긋난 상태는 초기 자세 제어 오차를 발생시키게 된다. 이 상태로 이륙이 된다면 발사 초기 자세 제어가 안 되어 임무 실패를 경험하거나 초기 이륙에는 문제가 없을지라도 비행 중 제어 명령대로 발사체의 자세 제어가 안 되어 과도한 자세 제어 에너지 손실과 추력의 손실이 발생되어 임무 성공의 가능성을 낮출 수 있다. 또한 지상연소 시험에서

접수일(2010년 1월 12일), 수정일(1차 : 2010년 4월 9일, 2차 : 2010년 6월 17일, 게재 확정일 : 2010년 10월 1일)

* 추진기관체계팀/leehj@kari.re.kr ** 추진기관체계팀 /neopa@kari.re.kr ***추진기관체계팀/shoh@kari.re.kr

는 초기 정렬이 제대로 안되면 어긋난 추력 축으로 인해 정확한 추력 계측이 되질 않아 결과 분석에 추가적인 노력이 필요할 수 있다. 이렇게 시스템 차원에서는 정렬이 상당히 큰 비중을 차지하고 있기 때문에 정확한 정렬의 중요성 또한 크다 할 수 있다.

KSLV-I 상단 추진기관 시스템인 키크모터 시스템은 고체 추진기관으로서 위성을 지구 저궤도에 투입하는 역할을 수행하게 된다. 키크모터 시스템은 점화기와 점화안전장치로 구성되는 점화구동부, 복합재 케이스, 추진제 및 TVC (Thrust Vector Control) 구동이 가능한 잠입형 노즐 등으로 구성되어 있다.

일반적으로 발사체에 사용되는 추력 축 정렬 방법은 기체 축과 추력 축을 설정하는 데 있어서 비접촉식 방법인 데오도라이트와 레이저 트래커를 사용하는 광학 측정 방법과 턴테이블을 이용하는 기계적 방법으로 나눌 수 있다. 또한 본 논문에서 다룰 접촉식 프루브를 사용하는 3차원 측정 결과를 이용하는 방법이 있다. 비행용 키크모터 시스템의 경우엔 데오도라이트를 사용하는 방법과 3차원 측정 결과를 이용하는 방법 모두 적용을 하였다. 형상 정보를 얻은 후에는 경사도계를 사용하여 기체 축과 추력 축의 비정렬 각도를 보정하게 된다. 지상 시험용의 경우엔 3차원 측정 결과에 기반한 정렬 방법을 사용하였다.

본 논문에서는 KSLV-I 상단 추진기관 시스템인 키크모터 시스템의 지상 시험용 모델의 추력 축 정렬 방안에 대해 다루고자 한다.

2. 본 론

2.1 기체 축과 추력 축의 정의

기체 축은 발사체의 중심축을 의미한다. 이는 구조체의 외형을 3차원 측정하거나 부분적인 측정 결과를 합하여 알 수 있다. KSLV-I 상단 시스템의 경우 추진기관 시스템, 전자탑재부, 위성 및 페어링으로 구분된다. 상단의 각 섹션별 제작 오차가 각기 다르기 때문에

기체 축이 명확하게 하나의 축으로 표현되지는 않고, 측정 결과를 정리하여 평균값을 취하던 제일 앞부분과 제일 뒷부분의 축만을 이용하여 기체 축으로 선정하던 고유한 특성을 고려하여 기체 축을 선정해야 한다.

키크모터 시스템은 위성 및 페어링을 포함하는 전체 상단시스템의 무게 대비 약 63%에 해당하며, 그 자체가 구조체의 역할도 수행하게 되는데 키크모터 시스템의 기체 축을 전체 상단의 기체 축으로 정의하여도 큰 무리가 없다. 특히 지상 연소 시험의 경우에는 키크모터 시스템 자체만으로 정렬을 수행하기 때문에 더욱 그렇다. 그림 1 (a)는 KSLV-I 상단의 기체 축을 표현한 것이고 그림 1 (b)는 키크모터 시스템의 기체 축을 나타낸 것이다. 키크모터 시스템의 경우 충전체의 전, 후방 중심을 연결한 가상의 축이 키크모터 시스템의 기체 축이 된다. 이러한 키크모터 시스템 기체 축의 정보는 접촉식 프루브를 사용하는 3차원 측정을 통해 알 수 있다.

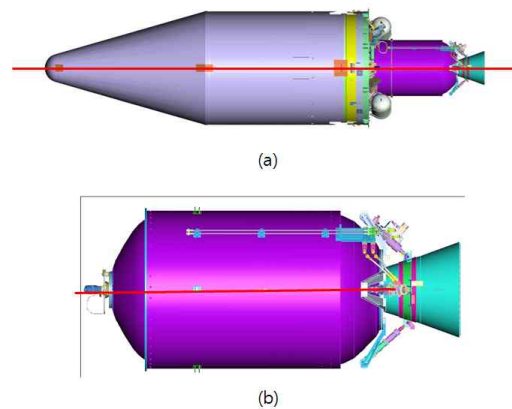


그림 1. 기준 축 : (a) 발사체 기체 축
(b) 키크모터 시스템 기체 축

추력 축은 연소 시 발생하는 화염의 중심축을 의미한다. 화염의 중심축은 연소될 때가 아니면 알 수 없지만 기하학적으로는 노즐 목과 노즐 끝단의 중심을 연결한 가상의 축을 추력 축이라고 정의하며 그림 2에 도시하였다.

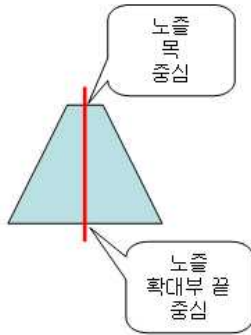


그림 2. 킥모터 시스템 추력 축

2.2 추력 축 정렬

기체 축과 추력 축의 정렬을 수행하기 위해서는 킥모터 시스템과 TVC 구동기가 조립되어 정상 작동 할 수 있는 상태이어야 하며, 기체 축과 추력 축에 대한 형상 정보는 정렬 수행 전에 3차원 측정을 통해 확보되어야 한다.

추력 축 정렬에 사용되는 경사도계는 지구 중력 방향과 수직한 방향을 0°로 나타낸다. 이 절대값을 나타내는 경사도계를 이용하여 정렬하는 개념이 지금 소개하려는 정렬 방안인데, 이 방안을 적용하기 위해서는 경사도계를 장착할 수 있는 브라켓이 충전체와 노즐에 장착되어 있어야 한다. 이러한 브라켓과 같은 구조물은 비행 시험 혹은 지상 연소 시험 전에 제거되는 부품들이다.

본 정렬 방법을 적용하기 위해서는 킥모터 시스템에 기준면을 설정해야 하는데, 이 기준면은 상단 추진기관 시스템의 전방부로서 기체 축과 수직을 이루어야 한다. KSLV-I 상단부의 기준면은 전자탑재부와 킥모터 시스템이 결합되는 면인 전방스커트링 면으로 정의한다. 이 기준면과 킥모터 시스템의 기체 축과 이루는 각도 차이를 정확히 파악하는 것이 중요하다. 또한 기준면에 경사도계를 장착하기 위한 치구도 3차원 측정을 통해서 사전에 형상 정보를 획득해 둔다. 킥모터 시스템의 기준면에 장착되는 치구와 경사도계가 장착되는 면이

이루는 각도를 사전에 확인해야 한다.

노즐부는 고깔 모양을 하고 있기 때문에 추력 축과 경사도계 장착 브라켓이 조립되는 면의 관계를 명확히 하기가 어렵다. 따라서 노즐의 경우에는 미리 경사도계를 장착할 수 있는 브라켓을 만들어 노즐에 조립하고, 3차원 측정을 하여 경사도계 장착 면과 추력 축과의 각도 성분으로 나타내야 한다. 이렇게 확인된 각도 성분들을 가지고 정렬을 수행할 수 있는데, 그 개념은 그림 3과 같다.

그림 3의 정렬 방안의 이해를 돕기 위해 A~D의 부호를 설명하면 다음과 같다.

- A : 경사도계 장착 면과 노즐의 추력 축이 이루는 각.
- B : 경사도계가 지구 중력 방향에 대해 지시하는 값.
- C : 킥모터 시스템의 경사도계 장착 면과 킥모터 시스템의 기체 축에 수직한 기준면이 이루는 각.
- D : 기준면에 장착된 경사도계가 지구 중력방향에 대해 지시하는 값.

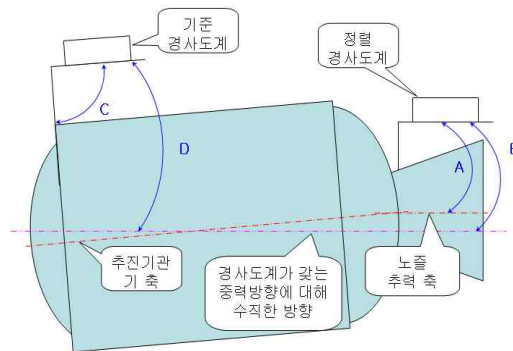


그림 3. 경사도계를 사용하는 추력 축 정렬 개념

여기서 킥모터 시스템 전방에 장착되는 경사도계를 편의상 기준 경사도계라 하고, 노즐에 장착되는 경사도계는 정렬 경사도계라 한다. 그림 3을 바탕으로 기준 경사도계가 지시

하는 각도와 키크모터 시스템의 기체 축과의 관계를 알아보면 그림 4와 같이 표현 할 수 있다. 그림 4는 기준 경사도계의 각도 성분을 간략히 도시한 그림으로 이 그림으로부터 아래와 같은 식을 구할 수 있다.

$$\alpha = 90 - (C - D) \quad (1)$$

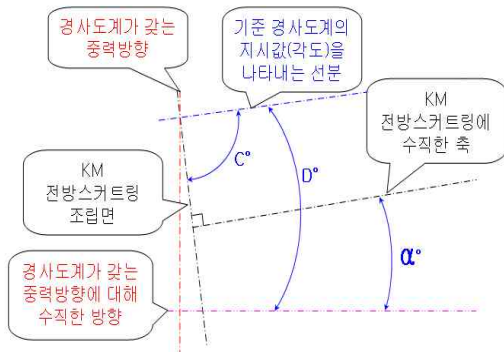


그림 4. 키크모터 시스템 전방부에 설치된 기준 경사도계 관련 각도

지금까지의 결과로 키크모터 시스템의 기체 축과 중력 방향에 수직한 경사도계의 기준 축과의 관계를 알 수 있었다. 이제 정렬 경사도계가 가리키는 값이 포함하고 있는 각도 성분을 알아보면 다음과 같다. 그림 5는 정렬 경사도계의 각도 성분을 간략히 도시한 것으로 A와 B의 관계를 통해 베타를 구할 수 있는데 그 관계식은 식 (2)와 같다. 이렇게 구해진 알파와 베타를 가지고 정렬을 수행하면 되는데, 앞서 언급 하였듯이 정렬의 개념이 키크모터 시스템의 기체 축에 노즐부의 추력 축을 동일 축 선상에 놓이도록 하는 것이므로 기준 값인 알파는 그대로 두고, 정렬 값인 베타를 알파와 같은 각이 되도록 한다. 참고로 정렬에 사용하는 경사도계는 시계 방향으로 경사도계가 회전하면 마이너스 값으로 표시되고 반시계방향으로 회전하면 플러스 값으로 표시되는 특성이 있다. 경사도계의 회전 방향에 따른 +/- 각도 표시에 따라 위의 식들을 이용해 계산한

결과 값이 달라지므로 유의해야 한다.

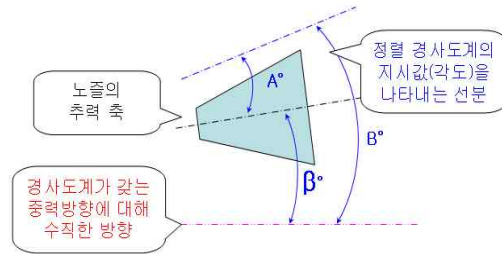


그림 5. 키크모터 시스템 노즐부에 설치된 정렬 경사도계 관련 각도

$$\beta = B - A \quad (2)$$

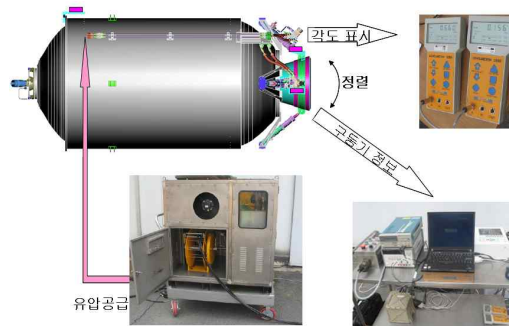


그림 6. 추력 축 정렬 시험을 위한 구성

일반적으로 발사체는 피치 축과 요 축에 대해 별도의 TVC 구동을 수행한다. 지금까지 설명한 정렬은 한 축에 대해 설명한 것으로 두 축의 정렬을 위해서는 키크모터 시스템을 90° 회전하여 동일 한 방법으로 정렬을 수행하면 된다.

2.4 지상 연소 시험에서의 추력 축 정렬

상술한 정렬 개념은 노즐부 구동 장치를 적용하는 KSLV-I 키크모터 시스템의 지상 연소 시험에 적용하여 성공적으로 정렬을 수행하였다. 아래 그림 7은 실제 정렬을 수행하는 상황으로 전방에는 기준 경사도계가 장착되어 있고,

노즐부에는 정렬 경사도계가 장착되어 있는 것을 확인 할 수 있다. 지상 연소시험에서 수행된 피치 및 요 방향의 정렬 요구 각을 그림 8에 도시하였다. 이 정렬 방식은 지금까지 수행한 여러 차례의 지상 연소시험에서 정렬 요구 조건을 만족함을 그림 9를 통해 확인할 수 있다. 그림 9의 최대 비정렬 오차는 정렬 요구 조건과의 비로 표시하였다.



그림 7. 키크모터 시스템 지상 연소시험을 위한 추력 축 정렬

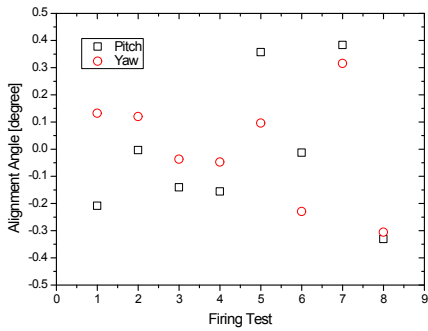


그림 8. 키크모터 시스템 지상 연소 시험 시 정렬 요구 각

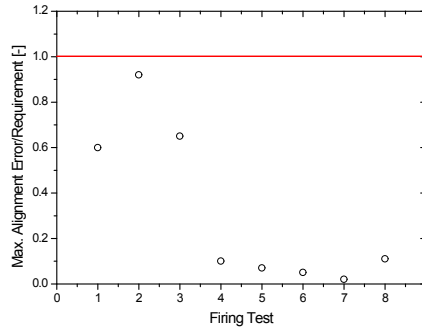


그림 9. 키크모터 시스템 지상 연소 시험 시 최대 비정렬 오차

3. 결 론

발사체의 기체 축과 추력 축이 요구 조건에 맞게 정렬되지 않을 경우엔 자세 제어 오차가 허용 범위를 초과할 수 있으며, 심각한 경우 미션 실패로 이어질 수 있기 때문에 지상 시험 및 비행 시험 수행 전 추력 축 정렬이 수행되어야 한다.

3차원 측정을 통해 키크모터 시스템의 기체 축과 추력 축, 기준 경사도계 및 정렬 경사도계의 관계를 파악할 수 있으며, 실제 정렬 시에는 경사도계만 장착하여 각도 차이를 확인하고 추력 축을 기체 축에 일치시키는 방향으로 정렬을 수행한다. 이러한 추력 축 정렬 방법을 적용한 키크모터 시스템의 지상 연소 시험을 통해 추력 축 정렬 요구 조건을 만족함을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. 정동호, 이한주, TROPSP0P0025, 2010, pp.1-7
2. 정동호, 김지훈, 이한주, 오승협, "지상 연소 시험을 위한 키크모터의 추력 축 정렬", 5차 한국유체공학학술대회, pp.389-392