

## KSLV-I 킥모터 시스템 형상 공차

이한주\*, 정동호\*\*, 오승협\*\*\*

### Configuration Tolerance for KSLV-I Kick Motor System

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

#### Abstract

We can acquire the criteria of configuration tolerance on the Kick Motor system, KSLV-I upper stage propulsion system from the analysis results of the initial controllability on the KSLV-I upper stage. Also we can assign configuration tolerances on each subsystem from the configuration tolerance on the Kick Motor system. This article deals with the Kick Motor system configuration tolerance criteria and the results of configuration management on the both ground test models and flight test ones.

#### 초 록

KSLV-I 상단 추진기관 시스템인 킥모터 시스템에 대한 형상 공차 기준을 설정하기 위해서는 임무 수행을 위한 초기 제어성 분석 결과를 바탕으로 각 하위 서브시스템에 대한 형상 공차를 부여하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 킥모터 시스템의 형상 공차 기준과 지상시험용 및 비행시험용 모델에 대해 시스템 차원에서 수행된 형상 관리 결과에 대해 다룬다.

키워드 : 킥모터 (Kick Motor, KM), 형상 공차 (Configuration Tolerance), 형상 관리 (Configuration Management)

#### 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. KSLV-I 상단에는 TVC(Thrust Vector

Control) 와 RCS(Roll Control System), 두 제어 시스템이 적용되었다.

위성을 원하는 궤도에 투입하기 위한 임무 수행 시 제어성을 고려하여 상단 전체에 대한 초기 보정 가능한 오차를 분석하고 이를 바탕으로 각 서브 시스템의 형상에 대한 허용 공차를 개발 초기 단계에 부여하게 되며, 각 서브 시스템별로 할당된 허용 공차 범위 내에서 제작이 완료될 수

접수일(2011년 1월 8일), 수정일(1차 : 2011년 4월 9일, 2차 : 2011년 6월 14일, 게재 확정일 : 2011년 11월 1일)

\* 발사체추진기관팀/leehj@kari.re.kr \*\* 발사체추진기관팀/neopa@kari.re.kr \*\*\*발사체추진기관팀/shoh@kari.re.kr

있도록 형상 관리가 수행된다.

KSLV-I 상단 추진기관 시스템인 키크모터 시스템은 고체 추진기관으로서 위성을 지구 저궤도(300 km~1500 km)에 투입하는 역할을 수행하게 된다. 키크모터 시스템은 점화기와 점화안전장치로 구성되는 점화구동부, 복합재 케이스, 추진제 및 TVC 구동이 가능한 잠입형 노즐 등으로 구성되며, 직경은 1 m, 길이는 2.3 m에 달한다.

키크모터 시스템 전체에 대한 형상 공차 범위를 설정하기 위해서는 키크모터 시스템의 추력 비정렬 오차, 무게중심 오프셋(C.G. offset) 허용 범위, 그리고 횡방향 체결 오차를 검토해야 하며 그 결과 [1, 2]를 바탕으로 각 하위 서브시스템에 대한 형상 공차 범위를 세분화하여 형상 관리를 수행해야 한다. 본 논문에서는 KSLV-I 상단 추진기관 시스템인 키크모터 시스템의 형상 공차 기준과 지상시험용 및 비행시험용 모델에 대한 시스템 차원의 형상 관리 결과에 대해 다루었다.

## 2. 본 론

### 2.1 기준축의 정의

키크모터 시스템의 형상 공차를 설정하기 위해서는 우선 기준면과 기준축을 설정해야 한다. 기준면은 상단 추진기관 시스템의 전방부로서 기체 축과 수직을 이루어야 한다. KSLV-I 상단부의 기준면은 전자탑재부와 키크모터 시스템이 결합되는 면인 전방스커트링 면으로 정의한다.

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 취하든 제일 앞부분과 제일 뒷부분의 축만을 이용하여 기체 축으로 선정하든 고유한 특성을 고려하여 기체 축을 선정해야 한다.

키크모터 시스템은 위성 및 페어링을 포함하는 전체 상단시스템의 무게 대비 약 63%에 해당하

며, 그 자체가 구조체의 역할도 수행하게 되는데 키크모터 시스템의 기체 축을 전체 상단의 기체 축으로 정의하여도 큰 무리가 없다. 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.

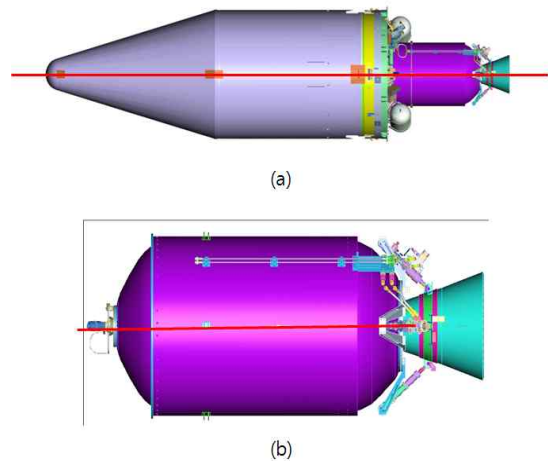


그림 1. 기준 축: (a) 발사체 기체 축  
(b) 키크모터 시스템 기체 축

또한 추력 비정렬 오차로부터 부여되는 형상 공차를 설정하기 위해서는 추력 축을 설정하여야 한다. 추력 축은 연소 시 발생하는 화염의 중심축을 의미한다. 기하학적으로는 노즐 목과 노즐 끝단의 중심을 연결한 가상의 축을 추력 축이라고 정의하며 그림 2에 도시하였다.

### 2.2 추력 비정렬 및 횡방향 무게중심 오프셋에 의한 형상 공차

키크모터 시스템의 형상 공차는 추력 비정렬 오차 범위와 키크모터 시스템의 횡방향 무게중심(C.G.) 오프셋 허용 범위 따라서 정의될 수 있다.

[3] 참고로 그림 3에는 키크모터 시스템 엔지니어링 모델(EM)의 횡방향 무게 중심이 축에 대해 편심된 양을 표시한 것으로 오프셋 허용 범위 대비 최대 35% 미만인 것으로 확인되었다.[4]

키크모터 시스템의 추력 비정렬 오차는 그림 1의 기준축과 그림 2의 추력축이 어긋난 정도로 표현되는 바, 케이스부의 평행도와 노즐의 동심도로 표현할 수 있다. 여기서 케이스부의 평행도는 기준면인 전방 스킵트링 평면에 대한 후방보스 끝단면의 평행도를 의미하며, 그림 4의  $\alpha$ 와  $l_1$ 에 해당한다.

또한 노즐의 동심도는 노즐 목 기준 노즐 끝단 동심도를 의미하며, 그림 5의  $\gamma$ 와  $l_3$ 에 해당한다. 추력 비정렬 오차  $\varepsilon$ 은 케이스부의 동심도 공차  $\alpha$ 와 노즐 동심도 공차  $\gamma$ 의 합으로 나타낼 수 있다.

제어성에 영향을 미치는 횡방향 무게중심 오프셋 허용 범위는 케이스의 동심도와 노즐목 중심 오프셋으로 표현할 수 있다. 여기서 케이스의 동심도는 기준면인 전방 스킵트링 평면 중심에 대한 후방보스 끝단면 중심의 동심도를 의미하며, 그림 6의  $\beta$ 와  $l_2$ 로 나타낼 수 있다. 또한 노즐목 중심 오프셋의 의미는 케이스의 후방보스에 조립되는 노즐조합체의 체결면을 기준면으로 설정했을 경우, 노즐목 중심이 벗어나는 범위를 의미한다. 다시 표현하면 노즐 조립면의 기준원 대비 노즐목의 동심도를 나타내며, 그림 7의  $l_4$ 로 표현된다.

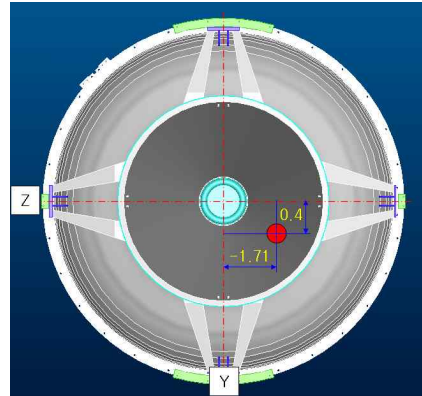


그림 3. KM EM의 횡방향 C.G. 위치  
[단위 : mm]

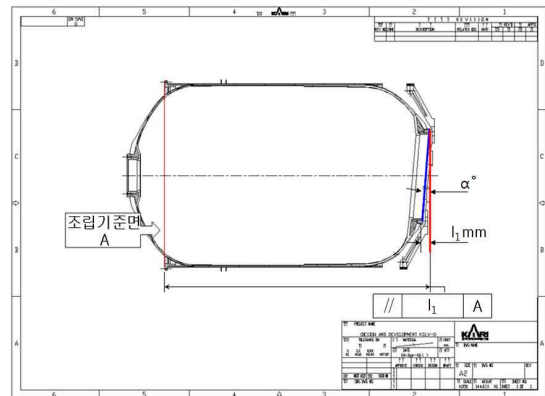


그림 4. 케이스 평행도

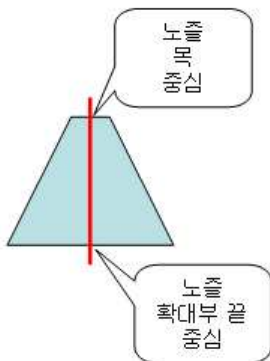


그림 2. 키크모터 시스템 추력 축

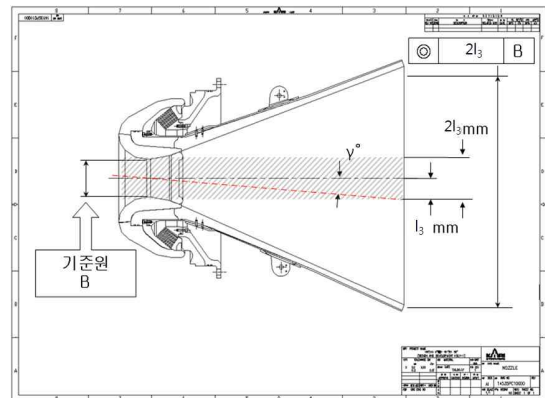


그림 5. 노즐 동심도(노즐 목 기준 노즐 끝단의 동심도)

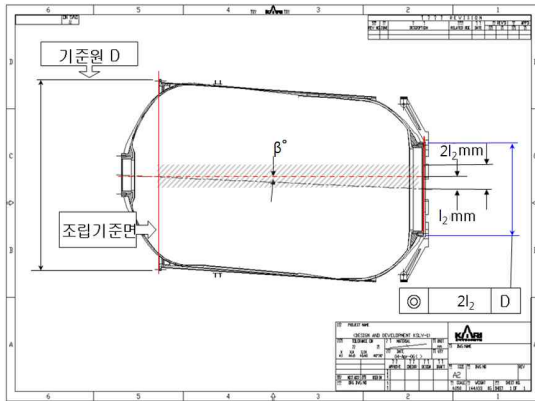


그림 6. 전방 스킨링의 조립부 기준원 D에 대한 후방보스의 동심도

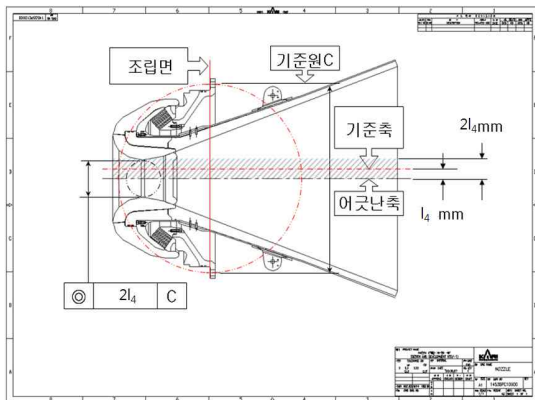


그림 7. 노즐 조립면의 기준원 C를 기준한 노즐 목 동심도

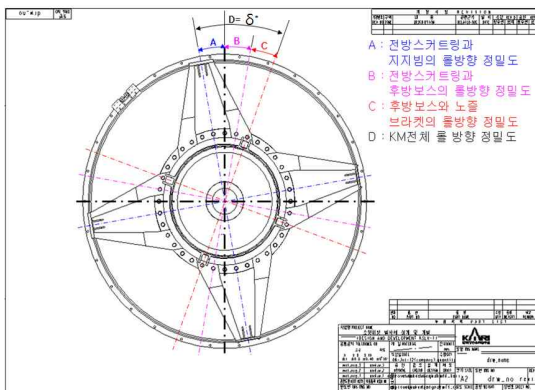


그림 8. 키크모터 시스템 롤 방향 허용 오차

## 2.3 구동기 체결 오차에 의한 형상 공차

상단 전체 롤 체결 오차의 최대치 대비 키크모터 시스템에 부여된 롤 방향 오차는 약 53% 수준이다. 이러한 롤 방향 오차가 발생할 수 있는 부분은 케이스 후방보스 체결 오차, 구동기 조립을 위한 지지빔과 노즐부 브라켓 링 체결 오차를 들 수 있다. 이러한 3가지 오차가 모두 한 방향으로 누적되었을 때의 최대값이  $\delta$ 가 되도록 규제하며 그림 8과 같이 표현될 수 있다. 참고로 키크모터 시스템 EM의 경우, 누적 롤 방향 공차는 최대 허용 오차 대비 약 1/3 수준인 것으로 확인되었다.[5] 그 외 키크모터 시스템을 구성하는 부품 수준의 형상 공차는 제작도면의 공차를 만족하여야 한다.

## 2.4 키크모터 시스템 형상 관리

상기 정의된 형상 공차 항목들은 시스템 차원에서 관리되어 지는 주요한 형상 관리 항목들로서, 키크모터 시스템의 형상 공차 관리 기준을 만족시키지 못할 경우에는 지상시험 및 비행시험에 적용될 수 없다. 그림 9에는 확대비 15인 단축형 노즐을 적용한 지상시험용 모델 8기와 확대비 35인 노즐을 적용한 모델 6기, 총 14기의 키크모터 시스템에 대한 형상 공차 모니터링 결과를 도시하였다. y축은 측정치를 기준치로 무차원화하여 나타내었으며, 모든 결과가 허용 공차 한계 내에 있음을 알 수 있다. 즉, 모든 키크모터 시스템 모델들이 허용 공차 내에서 제작되었음을 확인할 수 있다.

## 3. 결 론

KSLV-I 상단 추진기관인 키크모터 시스템은 대형 시스템으로써 개발 초기부터 시스템 차원의 형상 관리 항목을 설정하여 관리하게 된다.

키크모터 시스템 전체에 대한 형상 공차 범위를 설정하기 위해서는 키크모터 시스템의 추력 비정렬 오차, 횡방향 무게중심 오프셋 허용 범위, 그리고 롤방향 체결 오차에 의한 영향을 검토하여 그 결

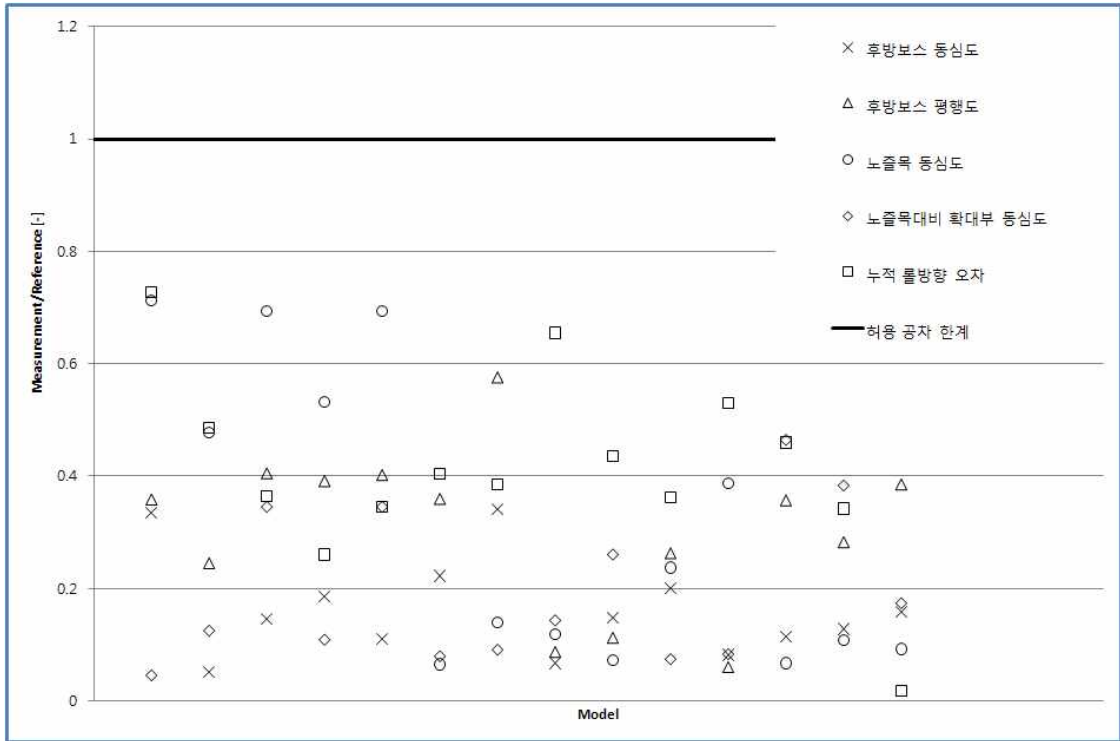


그림 9. KSLV-I 킥모터 시스템 형상 관리 결과

과를 바탕으로 각 하위 서브시스템에 대한 형상 공차 기준을 설정해야 한다.

지상시험용 및 비행시험용 모델 14기에 대한 시스템 차원에서 수행된 형상 관리 결과, 모든 모델들이 허용 공차 한계 내에서 제작되었음을 알 수 있다.

## 참 고 문 헌

1. 박용규, 선병찬, DR62230PA-A00000-0007, 2006, pp.1-8
2. 박용규, 선병찬, DR62230PA-A00000-0008, 2006, pp.1-8
3. 김지훈, GD14530PA00000-0001(B), 2006, pp.1-8
4. 전영두, TR51520PA00000-0001, 2006, pp.1-7
5. 정동호, 김지훈, 이한주, DR0PSG0P0002, 2006, pp.1-5