

## KSR-III 비행시험 발사 시나리오 개발

신명호\*, 서진호\*\*, 김광수\*\*\*, 홍일희\*\*\*\*

### Development of Launch Scenario for KSR-III Flight Test

MyoungHo Shin\*, JinHo Seo\*\*, KwangSoo Kim\*\*\*, IlHi Hong\*\*\*\*

#### Abstract

Scenario is a guiding principle of launch operation and control for rocket and ground support systems. Therefore, developing a scenario is the first step to prepare for rocket launch, which is a critical task for success of KSR-III flight test. The launch scenario for KSR-III flight test is a procedural sequence of command and control signals to be given to rocket and ground support systems. In this paper, the UML object modeling method is applied to development of a launch scenario. First, the subsystems of the launch system are modeled by objects, and then the interfaces between each two subsystems are modeled by association links. The finally obtained object diagram of KSR-III launch system is used to analyzing flow of data and commands and control signals, and interactions. The scenario includes the sequences of pre-launch/launch operations and emergency operations.

#### 초 록

발사를 위해 로켓과 지상 장비를 작동시키고 제어하는 과정에서 시나리오는 운영 및 통제에 지침 역할을 한다. 따라서 시나리오를 작성하는 것은 로켓 발사 작업을 준비하는 첫 번째 작업으로서, 발사를 성공적으로 수행하기 위한 핵심적인 임무 중 하나이다. KSR-III 비행시험 시나리오는 발사를 준비하기 위해 로켓과 지상 장비를 작동시키는 순차적인 작업 명령의 시퀀스이다. 본 논문에서는 발사 시나리오 개발에 UML 객체 모델링 방법을 적용한다. 먼저, 발사 시스템의 각 서브시스템을 객체로 모델링하고 각 두 서브시스템 간의 인터페이스를 association link로 모델링한다. 이를 통해 얻어진 최종적인 KSR-III 발사 시스템 객체 다이어그램은 데이터와 명령의 흐름, 통제, 상호작용 등을 분석하는 데 사용된다. 전체 시나리오는 사전 시나리오, 본 시나리오, 비상시 조치사항 등으로 구성된다.

키워드 : KSR-III, 발사시스템(launch system), 객체 모델링(object modeling), 인터페이스(interface), 제약 조건(constraint), 비행시험 시나리오(launch scenario of flight test)

\* 설계종합그룹/myshin@kari.re.kr

\*\*\* 설계종합그룹/gudwill@kari.re.kr

\*\* 설계종합그룹/jhseo@kari.re.kr

\*\*\*\* 설계종합그룹/ihhong@kari.re.kr

## Abreivation

BATT	Battery
DAM	Data Aquisition Module
DAS	Data Aquisition System
FM	Flight Model
FTS	Flight Termination System
IG	Ignition
INS	Inertial Navigation System
KARI	Korea Aerospace Research Institute
KMCC	KARI Mission Control Center
KSR	Korea Sounding Rocket
MCC	Mission Control Center
OMG	Object Management Group
OMT	Object Management Technique
PCU	Power Control Unit
PLC	Programmable Logic Controller
PLSJ	Payload Side Jet
PSC	Propulsion System Controller
PTA	Propulsion Test Articles
RSJ	Roll Side Jet
SQT	Stage Qualification Test
TLM	Telemetry
TVC	Thrust Vector Controller
UML	Unified Modeling Language

## 1. 서 론

로켓 발사를 위한 시나리오를 개발하는 과정은 크게 두 단계로 이루어진다. 우선, 첫 번째 단계에서는 로켓과 지상 장비간의 데이터, 명령 및 제어 신호 등의 인터페이스에 중점을 둔 객체 모델링을 수행한다. 두 번째 단계에서는 로켓 발사 시스템의 객체 모델을 바탕으로 시나리오를 작성한다. 이 때, 시나리오는 각 모듈들의 기능적 제약조건, 시간 제약조건, 점검 리스트, 작업장 및 작업자의 안전, 작업의 우선 순위 및 필요성 등을 고려해서 작성된다.

전체 시스템은 추진기관, 공급설비, 구동장치,

추력기, 관성항법장치, 텔레메트리, 비행종단장치, 과학탑재부 등 독립적으로 운영되는 모듈들로 복잡하게 구성되어 있다. 따라서 시나리오 개발에서 모듈 사이에 교환되는 데이터와 제어 정보, 각 모듈간의 협력작업에 대한 상위레벨 모델링이 필수적이다. 본 연구에서는 로켓 발사 시스템 모델링에 UML 객체 지향 방법을 적용하였다. 객체 지향 모델링에 관한 연구는 1980년대에 시작되었다. Booch 방법과 OMT 방법 등이 개발되었고 [9], 1996년에 여러 방법들을 종합한 UML이 OMG의 표준 모델링 언어가 되었다. UML은 객체 메타 모델을 엄밀하게 기술할 수 있는 3세대 모델링 언어로, 객체 구조와 작용을 파악하는데 유용하게 사용되어 왔다. 최근에 Douglass는 엄밀한 시간 조건을 갖는 실시간 시스템에 적용 가능한 실시간 UML을 제안하였다 [6, 7]. 객체 지향 모델링은 설계 초기에 적용되어 개발/제작 단계에서 완료되는 것이 일반적이지만, 최근에는 시스템의 구조적인 특성과 작동의 특성을 통합할 수 있다는 장점 때문에 완성된 시스템의 신뢰도 향상을 위한 분석에도 널리 사용되고 있다 [5]. 본 연구에서는 KSR-III 발사 시나리오 개발을 위해 UML 모델링을 적용하였다. 로켓과 지상 장비에 대한 UML 객체 다이어그램을 작성하고, 이로부터 부문별 절차로 표현된 발사 시나리오를 만들어 낸다.

로켓 발사를 준비하기 위해 로켓과 지상 장비를 작동하고 제어하는 작업에서 시나리오는 운영 및 통제의 지침으로서 활용된다. 시나리오에는 발사 준비 작업을 위한 조직 구성도와 역할 분담, 각 담당 요원이 수행해야 할 임무와 점검 리스트 등이 작업 시간에 따라 지시되어 있다. KSR-III 비행시험의 운영 조직은 크게 통제원과 담당요원으로 구분되어 있다. 발사 준비 작업이 진행되는 동안 컨퍼런스를 통해 확인 지시와 확인 상태를 알리는 것은 통제원들이 수행하고, 실제 확인 작업 및 구동 작업은 해당 통제원 및 담당 요원이 수행한다. 로켓 발사 준비 작업은 발사통제, 추진, 전담, INS, 구동장치, 추력기, 텔레메트리 VAN, 비행안전, ED, 시험장, ADD 레이더 및 계측 장비 등의 부분으로 나누어서 수행한

다. 발사 시나리오는 조립타워를 이탈하고 발사대 구동시험을 수행하는 시점까지의 시나리오에 해당하는 사전 시나리오와 가압탱크 충전, 산화제 충전, 선가압, 엔진 점화까지의 시나리오에 해당하는 본 시나리오의 두 부분으로 구성되어 있다. 본 시나리오는 통제권이 항공우주연구원 책임통제원에서 ADD측 책임통제원으로 넘어가는 엔진 점화 1시간 전, 적색상태에 돌입하는 5분여 전과 후의 세 부분으로 구분된다. 발사 준비 작업 중 비상상황이 발생했을 경우의 조치 사항 및 담당자 등이 시나리오에 포함되어 있다.

시나리오는 로켓과 지상 장비를 구성하고 있는 모든 모듈들의 기능과 제약 조건, 발사를 위한 준비 작업 및 점검 리스트, 상호간의 인터페이스 등에 대한 정확한 자료를 바탕으로, 여러 그룹들간의 공동작업을 통해서 작성되었고, 계속적인 검사 작업과 확인 작업을 통해서 수정되었다. 본 연구는 KSR-III 비행시험 시나리오 개발에 적용되었던 방법을 단계별로 정리하고 일반화하여, KSLV-I 발사 시나리오 개발에 적용될 수 있는 체계적인 방법론을 수립하는 것을 목표로 하였다.

## 2. KSR-III 로켓 및 지상장비 모델링

### 2.1 KSR-III 로켓 시스템과 지상장비 구성

KSR-III 전체 로켓 발사 시스템은 로켓 시스템, 발사대, 공급설비, 텔레메트리 송수신 장비, 발사통제 시스템으로 구성되어 있다. 그림 1은 로켓 발사 시스템 구성도이다. 로켓 시스템은 2단으로 구성되어 있다. 1단은 액체추진기관, 추력 방향을 조절해서 피치와 요 제어를 수행하는 TVC 방식의 김발엔진 구동장치, 롤 제어를 수행하는 가스제트 분사방식의 롤 추력기 등으로 구성되어 있다. 로켓의 2단은 탑재부로 과학탑재시스템, 텔레메트리 송수신 장치 (TLM), 관성항법장치 (INS), 점화장치 (IG), 비행중단장치 (FTS), 탑재부 자세 제어 시스템 (PLS)로 구성되어 있다. 각 단에는 내부전원 공급을 담당하는 전원공

급제어장치 (PCU)와 배터리 (BATT), 각 부분의 데이터를 모으는 데이터획득모듈 (DAM) 등이 있다. 지상장비는 추진기관에 연료, 산화제, 가압가스 등을 공급하는 공급설비와 발사 전까지 전체 시스템의 상태를 모니터링하고 명령을 내리는 발사통제 시스템으로 구성되어 있다.

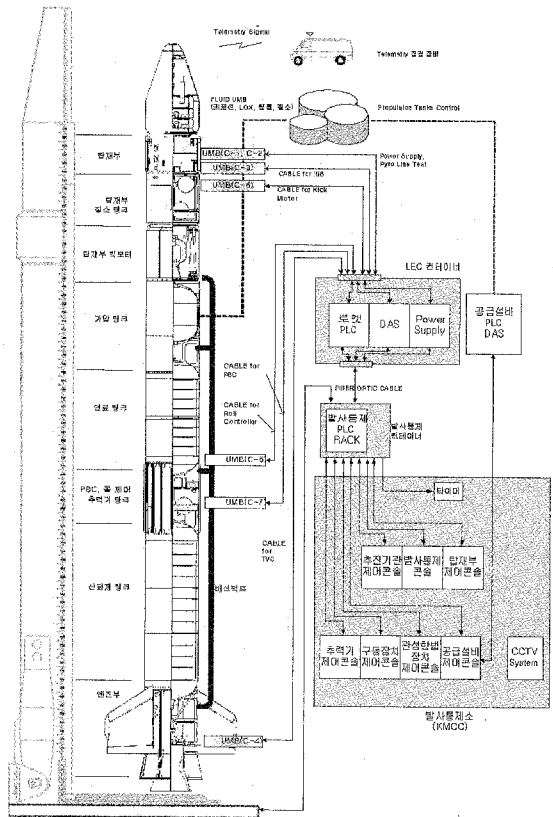


그림 1. KSR-III 로켓 시스템과 지상장비 구성도

발사통제 시스템은 임비리컬 라인을 통해 로켓 시스템에 외부전원을 공급하고 필요한 데이터를 다운로드 받아 로켓 시스템의 각 부분들을 모니터링하며, 시나리오에 따라 순차적으로 명령을 내려 발사 진행을 통제한다. 발사통제 시스템은 로켓 PLC와 데이터 처리 장치 (DAS), 전력분배기로 구성된 발사장비 컨테이너, 발사통제 PLC, 각 모듈에 해당하는 제어 콘솔, 로켓 시스템과 지상 장비와의 인터페이스에 해당하는 임비리컬

라인 등으로 구성되어 있다. 발사진행 작업을 위해 발사통제 시스템으로부터 로켓과 지상 장비를 향해 지시되는 순차적인 명령은 각 부분을 담당하는 통제원이 해당 제어콘솔을 통해 수동으로 내리는 경우와 발사통제 컴퓨터의 자동 시퀀스에 따라 자동으로 내려지는 경우의 두 가지 방식이 있다.

## 2.2 KSR-III UML 객체 다이어그램

본 연구에서는 KSR-III 발사 시나리오 개발에 UML 객체 모델링 방법을 적용하였다. 먼저, 그림 1에 나타난 로켓 발사 시스템의 각 시스템들을 객체로 모델링한다. 각 시스템간의 인터페이

스를 객체간의 연결 라인으로 모델링해서 상호작용이 명확히 나타나는 UML 객체 다이어그램을 작성한다. KSR-III 발사 시스템의 UML 객체 다이어그램은 그림 2와 같다. 각 화살표는 association 관계를 나타낸다. 화살표가 향하는 객체는 서버에 해당하고 화살표를 내보내는 객체는 클라이언트에 해당한다. 객체간 관계는 크게 전원공급라인, 데이터 라인, 지상장비와의 연결라인인 엄버리칼, 그리고 명령과 데이터가 전송되는 명령 및 데이터 라인으로 구분된다. 그림 2의 객체 다이어그램은 발사 이후 로켓의 비행까지 고려한 전체 다이어그램을 보여준다.

발사 시나리오는 발사 이전에 수행하는 테스트 작업 및 준비 작업을 지시하는 순차적인 명령

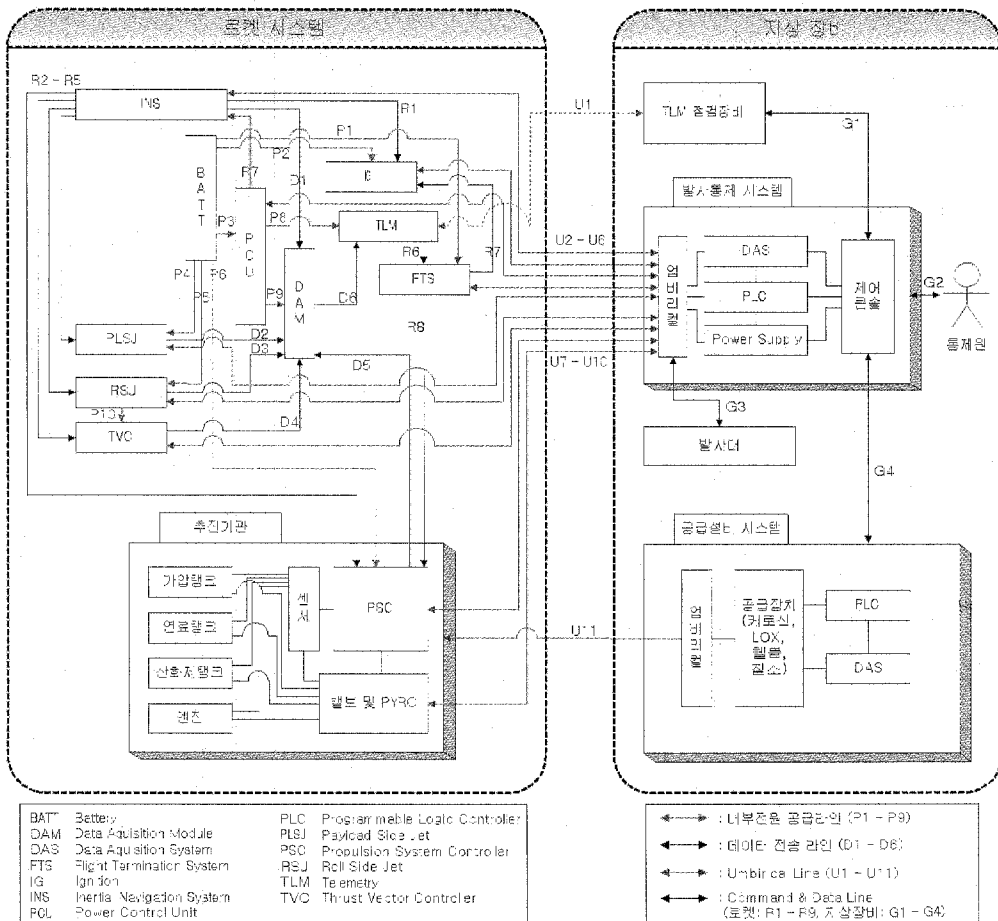


그림 2. KSR-III 발사시스템 UML 객체 다이어그램

들의 집합이므로, 발사 시나리오를 작성하는 데 있어서는 지상 장비와 로켓의 연결 라인인 임베리칼과 지상장비간 연결라인을 통해 전송되는 명령 및 데이터들에 대해서 분석하는 것으로 충분하다. 발사통제 시스템은 FTS, PCU, DAM, PLSJ, RSJ, TVC 등의 모듈로부터 상태를 모니터링 한 후, 외부전원공급, 배터리 충전, 내부전원 전환, 발사대 고각/선회각 고정, PYRO 점화, 엔진점화 등의 명령을 내린다. 발사 전 명령의 대부분은 발사대, 공급설비 시스템, 로켓내부의 추진기관과 On-Board 컴퓨터에 해당하는 INS에 부여되는 명령들이다. G3, G4, U2, U9, U10 등이 발사통제 시스템으로부터 발사대, 공급설비 시스템, INS, 추진기관 등으로 명령이 전송되는 연결라인이다. 각 라인을 통해 전달되는 명령의 내용은 표 1과 같다.

표 1-1. 그림 2의 객체 다이어그램 주요 Connection Line 설명 (1)

Connection 종류	Line Number	Client	Messages	Server
로켓 내부전원 공급라인 (P1 - P10)	P1 - P6	FTS, IG, PCU, PLSJ, RSJ, PSC	내부전원 ←	BAIT
	P7 - P9	INS, TLM, DAM	외부전원, 내부전원 ←	PCU
	P10	TVC	외부전원, 내부전원 ←	RSJ
데이터 전송라인 (D1 - D6)	D1	INS	로켓 가속도, 위치, 각속도, 자세각, Quaternion, 시간 →	DAM
	D2	PLSJ	1. 내/외부 공급 전압 2. PCU 출력전압 3. Regulator 전/후단 압력 4. 질소 탱크 압력, 온도 5. Pitch, Yaw, Roll, VSC, Spin 명령 6. Control, Spin enable 신호 →	DAM
	D3	RSJ	1. 내/외부 공급 전압 2. PCU 출력전압 3. Regulator 전/후단 압력 4. 질소 탱크 압력, 온도 5. Roll 명령 6. 추력기 켜버 압력 →	DAM

	D4	TVC	1. 유압 공급압력, return 압력 2. 배터리 전원 3. 센서 구동 전원 4. 모터 회전수 5. Pitch, Yaw 1, 2차속 압력 6. Pitch, Yaw 서보 압력 7. Pitch, Yaw 서보 밸브 제어 압력 8. Pitch, Yaw 액추에이터 변위 →	DAM
	D5	PSC	1. 가압탱크 압력, 온도 2. 연료탱크 압력, 내부온도, 레벨 3. 연료부 레귤레이터 하단 압력 4. 연료 분사구 압력 5. 연료 배추리 상하단 압력 6. 산화제탱크 압력, 내부온도, 레벨 7. 산화제 레귤레이터 하단 압력 8. 산화제 분사구 압력, 온도 9. 산화제 배추리 상하단 압력 10. 밸브 구동용 탱크 압력, 온도 11. 엔진내부압력 - 1, 2 12. Gimbal bay 상단 외기압력 13. 엔진단열막 내부온도 14. 엔진 외피 가속도 15. 배터리 전원 상태 →	DAM
	D6	TLM	D1 + D2 + D3 + D4 + D5 ←	DAM
로켓내부 Command & Data Line (R1 - R8)	R1	INS	1. 페어링 분리 신호 2. 탑재부 분리 신호 3. 키모터 점화 신호 →	IG
	R2	INS	1. 탑재부 자세제어 및 스피어링 enable 2. Pitch, Yaw, Roll 제어 명령 →	PLSJ
	R3	INS	Roll 제어 명령 →	RSJ
	R4	INS	1. TVC 작동 중단 명령 2. TVC Pitch, Yaw 제어 명령 →	TVC
	R5	INS	단분리전 엔진중단 명령 (정상명령) →	PSC
	R6	TLM	FIS 명령 →	FIS
	R7	FTS	시퀀스 enable (비상정지) →	IG
	R8	FTS	엔진차단 명령 (비상명령) →	PSC
지상장비 Command & Data Line (G1 - G4)	G1	발사통제 시스템 (제어콘솔)	D6 ← → 발사 후 비상정지 명령	TLM 송수신 장비
	G2	통제원	지상장비에서 모니터링하는 모든 신호 ← → 자동시퀀스 명령 외에 지상장비에서 나가는 모든 명령	발사통제 시스템 (제어콘솔)
	G3	발사통제 시스템	선회각, 고각 상태 ← → 1. 전원 공급 2. 선회각, 고각 명령 3. 가압탱크 헬륨주입 밸브, 선가압밸브 분리 명령	발사대

표 1-2. 그림 2의 객체 다이어그램 주요 Connection Line 설명 (2)

Connection 종류	Line Number	Client	Messages	Server
Umbilical Line (U1 - U8)	U1	TLM 송수신 지상장비	D6 ←	TLM
			→ 발사 후 비상 중지 명령	
	U2	발사통제 시스템	D1 ←	INS
			→ 1. INS power on 2. 초기화, alignment, standby 명령 3. INS 항법제어 시작 신호 4. 엔진진화 신호 (자동, PSC에 인가하는 정보 동일) 5. Liftoff 신호 (자동, INS timer 작동 시작)	
	U3	발사통제 시스템	피어링, 탭지부 분리, 킥 코어 점화 PYRO 확인 ←	IG
			→ 외부전원 Liftoff 신호 (자동)	
	U4	발사통제 시스템	← 외부전원 공급상태	PCU
			→ 외부전원 배터리 충전	
U5	발사통제 시스템	PYRO 및 FIS 상태 확인 ←	FTS	
		→ 외부전압		
U6	발사통제 시스템	1. 내/외부 공급전압, 배터리 전압 상태 2. PCU 출력 조압 3. PYRO on/off 상태 4. PYRO Safe/Arm connector 상태 5. 릴스탱크 온도/압력 6. Regulator 전/후단 압력 ←	PLS	
		→ 외부전원 배터리 충전, 내/외부 전원 전환		
U7	발사통제 시스템	1. 내/외부 공급전압, 배터리 전압 상태 2. PCU 출력 조압 3. PYRO on/off 상태 4. PYRO Safe/Arm connector 상태 5. 릴스탱크 압력/온도 6. Regulator 전/후단 압력 ←	RSJ	
		→ 외부전원 배터리 충전, 외/내부전원 전환		
U8	발사통제 시스템	1. 내/외부 조압 공급 상태 2. 배터리 출력전압, 센서부 및 모터 전원 공급 상태 3. 구동사각/중지 명령 모니터링 4. Pitch/Yaw 명령 모니터링 5. Pitch, Yaw 1, 2차 추 압력 6. Pitch, Yaw 서보 입력/출력 7. Pitch, Yaw 서보 밸브 제어 입력 8. Pitch, Yaw 역추에이커 단위 ←	TVC	
		→ 외부전원 공급, 내/외부 전원 전환		

Connection 종류	Line Number	Client	Messages	Server
Umbilical Line (U9 - U11)	U9	발사통제 시스템	1. 가압탱크 및 밸브구동용 탱크 압력, 온도 2. 연료탱크 압력, 내부온도, 레벨 3. 산화제탱크 압력, 내부온도, 하단 내부온도, 레벨 4. 산화제 주배관 내부온도 5. 엔진내부압력 1, 2 6. 밸브구동용 탱크 헬륨 퍼기 솔 밸브 작동 확인 7. 밸브구동용 탱크 헬륨 즈임 솔 밸브 작동 확인 8. 가압탱크 헬륨 퍼기 솔 밸브 작동 확인 9. 연료 주 불 밸브 작동 확인 10. 연료탱크 마기 불 밸브 작동 확인 11. 산화제 주 불 밸브 작동 확인 12. 산화제 공급라인 미출 불 밸브 작동 확인 13. 산화제탱크 마기 불 밸브 작동 확인 ←	FSC
			→ 1. 외부전원, 배터리 충전 전원 공급 2. 내/외부 전원 전환 3. 엔진 점화 및 차단 명령 4. 추진기관 PYRO 작동 명령 5. 밸브구동용 탱크 헬륨 퍼기 솔 밸브 작동 명령 6. 밸브구동용 탱크 헬륨 퍼기 솔 밸브 작동/차단 명령 7. 가압탱크 헬륨퍼기 솔 밸브 작동 명령 8. 연료 주 불 밸브 작동 명령 9. 연료탱크 마기 불 밸브 작동 명령 10. 산화제 주 불 밸브 작동 명령 11. 산화제 공급라인 미출 불 밸브 작동 명령 12. 산화제탱크 마기 불 밸브 작동 명령	
	U10	발사통제 시스템	1. PYRO 동작 상태 확인 2. 연료/산화제 주입 불 밸브 작동 확인 ← → 연료/산화제 주입 불 밸브 작동 명령	추진기관 밸브 및 PYRO
	U11	공급솔레 시스템	1. 헬륨주입, 선거압, 점화라인 퍼지 2. 연료/산화제 주입/미출, 밸브/퍼지 →	추진기관

### 3. KSR-III 비행시험 시나리오

#### 3.1 KSR-III 비행시험 시나리오

비행시험 당일에 사용되는 시나리오는 크게 사전 시나리오와 본 시나리오로 구분된다. 비행 시험 전 날 준비되어야 하는 조건들은 시나리오에 포함되어 있지 않다. 전날 준비되어야 하는 조건들로는 FM 기체 내부 배터리 충전, 추력기 탱크 충전, 각 부분 시스템별 준비 상태 확인 등이 있다. 비행시험 시나리오의 소요 시간은 총 7시간 30분이며, 가압탱크 및 산화제 충전, 내부전

원 공급, 선가압 등이 수행되는 본 시나리오는 4 시간 정도 소요된다.

시나리오 개발은 KSR-III 발사 시스템 객체 다 이어그램을 바탕으로, 각 부분 시스템이 갖는 다음과 같은 시간적인 제약 조건 및 기능적인 제약 조건을 고려하여 작업 진행 순서가 결정된다.

- 발사가능을 판단하기 위한 바람 측정은 적어도 60분이 소요된다.
- 파라미터 설정을 위한 바람 측정에는 파라미터 값을 계산하는 과정을 포함하여 105분 정도가 소요된다.
- TEAL Catridge 장착이 위험하므로, 발사가능 판단은 TEAL Catridge 장착 이전에 이루어져야 한다.
- 조립타워가 이탈된 이후에 기체 접근은 허용되지 않는다.
- 기체 전원 공급에 변화가 있을 때마다 INS의 상태를 점검해야 한다.
- INS Warming-up을 위해서 엔진 점화 1시간 전에 외부전원이 공급되어야 한다.
- INS 초기정렬은 발사대 고각, 선회각이 고정되고 난 후에 이루어져야 하며, 5분 정도 소요된다.
- 추진제 탱크를 해압하고 비상정지 및 Dry-run 수행하기 위해서는 밸브구동압이 있어야 한다. 1500 psia 정도를 1차로 먼저 충전한 후, 작업을 수행하는 것이 작업자의 안전을 보장하는 방법이다.
- 밸브구동용 지상공급밸브 분리는 작업자가 접근해서 수동으로 분리해야 한다. 따라서, 가압용 헬륨가스가 충전되기 전에 접근이 허용되는 안전한 상태에서 수행되어야 한다.
- 가압탱크의 압력이 엔진 점화시에 4400 psia가 되어야 하므로, 산화제 충전 완료 후 레벨 보정 전에 압력을 확인하고 추가 충전할 필요가 있다.
- 헬륨주입 공급라인 밸브 분리는 가압용 헬륨가스의 충전이 최종적으로 완료된 후 분리한다.
- 발사대 고각, 선회각 고정은 추진제의 충전이

종료되고 난 후에 이루어져야 한다. 그 이전에 이루어질 경우 레벨 센서로부터 읽어 들이는 추진제 레벨 값이 부정확하게 된다.

- 액체 산소는 불안정하기 때문에 충전하는 도중에 안정화 작업을 수행할 필요가 있다. 따라서, 산화제는 3차로 나누어서 충전하며, 각 충전사이에 10분간의 안정화 시간을 둔다.
- 각 산화제 안정화 시간에는 추진기관의 다른 작업들이 수행되지 않으므로, 동시동작으로 다른 시스템들의 점검 작업을 수행한다.
- 산화제충진이 완료되고 난 후 가압용 헬륨 가스 충전에 걸리는 시간으로 인해 산화제가 기화된다. 따라서, 최종 엔진 점화 시간을 고려하여 가압용 헬륨가스 최종 충전이 끝난 후 산화제 레벨 보정을 실시한다.
- 기체 내부전원으로 전환하는 시점은 엔진 점화 전 15분 이내에서 이루어져야 한다.
- 추력기 PRYO OPEN은 가압 PYRO가 OPEN되고 난 후 수행해야 한다. 최대한 엔진 점화 시점에 가압도록 해야 한다.
- 선가압은 엔진 점화 전 5분 이내에 시작되어야 한다.
- 헬륨 선가압 밸브 분리가 최종적인 지상공급라인 밸브의 분리작업이다.
- 발사 시퀀스는 자동으로 사통PLC에서 주어진 다. 엔진 점화 30초 전 FTS Output Enable 신호, 20초전 구동장치 유압 구동 신호, 10초 전 산화제 점화라인 N. C. PYRO 밸브 Open 신호를 보낸다.
- LIFT-OFF 신호는 C3 엄버리칼 케이블이 분리되면서 수신되며, 이 시점에 INS가 비행모드로 전환된다.

앞에서와 같은 제약조건을 반영해서 구성된 시나리오는 필요한 작업 수행 절차와 순서, 담당 통제원 및 요원이 따라야 할 작업 내용과 대사로 구성되어 있다. 시나리오는 SQT와 여러 연계시험을 통해 확정되었다. 표 2은 KSR-III 비행시험에 성공적으로 적용되었던 시나리오 중에서 각 파트별 작업 수행 순서를 정리한 것이다.

표 2-1. KSR-III 비행시험 시나리오 (1) - 사전 시나리오

순서	진여 시간	소요 시간	체 계	추 진 기 관	탑재VAN	구 동 장 치	추 력 기
사전 시나리오 - 발사 7시간 30분전							
0	7:30:00	1분	1차 카탈 측정 시작 (60분)				
1	7:18:00	1분					시험시작
2	7:17:00	1분					시험 운용시스템 및 프로그램 초기호 - 시동, 추진, 전압, VAN, INS, 구동장치, 추력기, 발사대 구동 유압기 가동
3	7:16:00	1분		가압탱크, 벨브구동용 헬륨탱크 해압 및 초기값 확인			
4	7:15:00	1분	기계상태 확인 및 발사중 1차 안정확인				
5	7:14:00	2분					기계 외부전원 공급상태 확인
				추진기관 외부전원 공급 및 확인			
							탑재부 외부전원 공급 및 확인
			INS 작동 상태 확인				
							과학탑재부 외부전원 차단
							구동장치 외부전원 공급 및 확인
							추력기 외부전원 공급 및 확인
							추력기 탱크 압력 확인
							구동장치 외부전원 차단
							추력기 외부전원 차단
							전자탑재부 PCU1, PCU2 외부전원 차단
6	7:12:00	1분		공급계 벨브 구동 및 퍼징용 질소 공급 압력 설정			
7	7:11:00	15분		헬륨주입 벨브 전기압벨브 분리 시험			
8	6:56:00	10분		벨브구동용 헬륨가스 1차 공급 (1500 psia)			
9	6:46:00	3분		추진계 탱크해압/Ofiser 및 E-Stop 조건 설정			
10	6:43:00	5분		비상정지 및 Dry-run 시험			
11	6:38:00	12분					PRYO 커백트 연결 - FTS
12	6:26:00	1분	비상조건 확인 (정상품, 고공품) 후 시험 진행 여부 판단				
13	6:25:00	30분		TEAL Catridge 장착			
14	5:55:00	5분					추진기관 및 추력기 PYRO 암 커백트 연결
15	5:50:00	3분					점화선 1차 점검 (FTS, 추진기관, 추력기)
			FTS 점화선 점검				
				추진기관 점화선 점검			
							추력기 외부전원 공급 및 확인
							추력기 점화선 점검
16	5:47:00	15분					점검장 조립
17	5:32:00	1분	조립타워 유압구동기 가동				
18	5:31:00	18분					연료충진 (96.3%)
19	5:13:00	8분					벨브구동용 헬륨가스 2차 공급 (3000 psia)
20	5:05:00	7분					벨브구동용 비상공급라인 해압 및 공급벨브 분리



21	4:58:00	1분				구동장치 외부전원 공급 및 확인	
						구동장치 저유기 충전압 확인	
						구동장치 외부전원 확인	
22	4:57:00	1분					추력기 탱크압력 확인 추력기 외부정원 차단
23	4:56:00	1분	대기조건 확인 (기온, 습도, 지상풍)				
24	4:55:00	15분	조립타워 이탈				
25	4:40:00	5분		추진계 공급설비 초기화			
26	4:35:00	15분	발사대 구동 시험				

표 2-2. KSR-III 비행시험 시나리오 (2) - 본 시나리오 (적색상태 선포 전)

순서	잔여 시간	소요 시간	체 계	추진 기관	탑재/VAN	구동 장치	추력기	
본 시나리오 - 발사 4시간 2분전								
1	4:02:00	1분	발사장 2차 안전 및 시험준비 확인					
2	4:01:00	2시간		가압탱크 헬륨가스 충전 (4500 psia)				
3	2:01:00	1분	2차 바람 측정 시작 (105분)					
4	2:00:00	2분	발사대 유압구동기 및 Circulation 밸브 점검					
5	1:58:00	5분	원격측정상태 및 INS 작동상태 확인 (외부/내부 전원 공급 상태)					
					탑재부 외부전원 공급			
					원격측정상태 확인			
			INS 작동상태 확인					
					탑재부 내부전원 전환/외부전원 차단			
					전자탑재부 내부전원 BATT 안정화			
					원격측정상태 확인			
			INS 작동 상태 확인					
					탑재부 외부전원으로 전환			
			INS 작동 상태 확인					
					과학탑재부 외부전원 차단			
6	1:53:00	1분				구동장치 외부전원 공급 및 확인		
7	1:52:00	1분					추력기 외부전원 공급 및 확인 추력기 탱크압력 확인	
						구동장치 외부전원 차단		
					전자탑재부 PCU1, PCU2 외부전원 차단			
8	1:51:00	3분	점화선 2차 점검 - FIS, 추진기관, 추력기					
			FIS 점화선 점검					
				추진기관 점화선 점검				
							추력기 점화선 점검	
9	1:48:00	1분	추진계 충전 준비 상태 확인					
			사통 및 구조 DAS 확인					
				추진기관 계측장비 확인				

순서	잔여 시간	소요 시간	체 계	추진기관	탑재/VAN	구동장치	추력기	
10	1:47:00	27분		산화제 배관누락 및 1차 충전 (40%)				
11	1:20:00	10분		산화제 1차 안정화				
12	1:19:00	1분	발사장 3차 안전 확인 (산화제 1차 안정화와 동시 진행)					
13	1:10:00	10분		산화제 2차 충전 (70%)				
14	1:00:00	10분		산화제 2차 안정화				
ADD 책임공정원이 발사진행 확인을 맡기 시작하는 시점 - 발사 1시간 전								
15	0:59:00	3분		발사시험 준비상태 및 진행상황 확인 (산화제 2차 안정화와 동시 진행)				
16	0:56:00	3분		기차 외부전원 공급 및 확인 (산화제 2차 안정화와 동시 진행)				
					탑재부 외부전원 공급			
					원격측정상태 확인			
			INS 작동상태 확인					
						구동장치 외부전원 공급		
							추력기 외부전원 공급상태 확인	
17	0:53:00	1분			FIS 및 RSDS 상태 점검			
18	0:50:00	10분		산화제 3차 충전 (98.6%)				
19	0:40:00	18분		산화제 3차 안정화				
20	0:39:45	15분		가압탱크 압력 확인 및 추가 충전				
21	0:24:45	1분		헬륨주입 지상공급라인 허합 및 발브 눈리				
22	0:24:00	45초	비람측정 완료 후 파라미터 설정 (산화제 2차 안정화와 동시에 진행)					
23	0:23:00	1분		슬수설비 가동				
24	0:22:00	3분		신호제팅크 레벨 보정 (98.6%)				
25	0:19:00	1분	ED Ready 신호 확인					
26	0:18:00	45초			최종 안전상황 확인			
27	0:17:15	5분	발사대 고조, 선회각 조정					
28	0:12:15	1분30초		기차 내부전원으로 전환 / 외부전원 차단				
				추진기관 내부전원으로 전환				
					전자급제부 PCU1, PCU2 내부전원으로 전환			
					과학탑제부 내부전원으로 전환			
					전자급제부 PCU1, PCU2 외부전원 차단			
						구동장치 내부전원으로 전환		
							추력기 내부전원으로 전환	
29	0:10:45	15초	INS 초기 정렬 시작					
30	0:10:30	30초			FIS 전원공급/RSDS 상태 확인			
31	0:10:00	15초		발브구동 헬륨탱크 압력 및 레귤레이터 하단 압력 확인				
32	0:09:45	15초					추력기 PYRO 전원 ON	
33	0:09:30	2분25초	원격측정 수신상태, 레이다, TLM, RSDS 상태 확인, INS 초기정렬 완료					
34	0:07:05	1분30초	최종 시험준비 상태 확인 - 원격측정 수신상태, 레이다, TLM, RSDS, INS 상태 확인 포함					
35	0:05:35	20초	적색상태 종료					

표 2-3. KSR-III 비행시험 시나리오 (3) - 본 시나리오 (적색상태 선포 이후)

순서	진여 시간	소요 시간	체 계	추 진 기 관	탑재/AVN	구 동 장 치	추 력 기
적색상태 - 발사 5분 15초전							
36	0:05:15	3분		전기압 (추진제탱크 E-Stop 판단 시작)			
37	0:02:15	30초		가압 PYRO Open			
38	0:01:45	20초		추력기 PYRO OPEN 및 Regulator 압력 확인			
			추력기 PYRO OPEN				
							추력기 Regulator 출구 압력 확인
							추력기 PYRO 전원 차단
39	0:01:25	15초		헬륨 전기압 펌프 분리			
40	0:01:10	15초	초읽기 시작 Setting (-35초)				
41	0:00:55	15초	발사가능 신호 송신				
			MCC 발사가능 신호 수신				
42	0:00:40		발사 서퀀스 시작 명령				
	0:00:35		발사 서퀀스 시작				
43	0:00:30		Countdown - 30초전		FIS Output Enable		
44	0:00:20		Countdown - 20초전				
	0:00:15					유압 구동 (Supply Pressure E-Stop 판단 시작)	
45	0:00:10		Countdown - 10초전	산화제 점화라인 N.C. PYRO 밸브 OPEN			
	0:00:00		엔진점화 - 0	연료 점화라인 N.C. PYRO 밸브 OPEN			
46	+0.2			연료 주 불 밸브 OPEN			
47	+0.5			산화제 주 불 밸브 OPEN			
48	X+0.0		Liftoff/비행모드 전환				
49	X+1.9		테일 이탈				
50	X+2.4		발사대 이탈				
51	X+3		자세제어 시작				
52	X+10		Kick-turn 시작				
53	X+17		중력 turn 시작				
54	X+53		자세제어 종료, 엔진 중단			TVC 종료	
55	X+120		AGP CAL 송신				
56	X+125		최고 고도 도달				
57	X+232		비행 종료				

### 3.2 KSR-III 비행시험 비상시 조치사항

비행시험 비상시 조치사항은 발사 전 준비 작업 중에 비행시험을 중단해야 할 상황이 발생했을 때 취해야 할 작업의 항목과 순서를 기록한

것이다. 비행시험을 준비하는 과정에서 긴장한 상태에 있는 담당자가 정확한 판단과 필요한 조치를 취하지 못할 경우를 대비하기 위한 것이다. 시나리오의 현재 진행 상황에 따라 조치를 취하는 시작 항목이 달라질 수 있지만, 수행되는 비

상시 조치사항의 순서는 변함이 없다.

비행시험을 중단해야 할 상황이 발생하면, 먼저 수동 E-Stop 버튼을 눌러서 추진제 탱크 주불 밸브를 차단한다. 다음 단계로 폭발의 위험이 있는 FTS 전원을 차단하고 연료탱크, 산화제탱크, 가압탱크의 순으로 해압한다.

유압구동 Motor를 off하고 기체의 모든 시스템을 외부전원으로 전환한다. 다음으로 추진제를 배출하고 발사대와 조립타워를 원위치로 놓은 다음 추진기관을 제외한 나머지 시스템의 전원을 차단한다. 최종적으로 TEAL Catridge와 접화선을 제거한다.

표 3. KSR-III 비행시험 비상시 조치사항

순서	항 목
1	수동 E-Stop
2	FTS Power Off
3	연료탱크 해압
4	산화제탱크 해압
5	가압탱크 해압
6	유압구동 Motor-off
7	추진 외부전원 전환
8	추력기 외부전원 전환
9	탑재부 외부전원 전환
10	구동장치 외부전원 전환
11	산화제 배출
12	연료 배출
13	발사대 원위치
14	조립타워 원위치
15	추력기 외부전원 차단
16	탑재부 외부전원 차단
17	구동장치 외부전원 차단
18	TEAL 카트리지, 접화선 제거

#### 4. 결 론

KSR-III는 국내에서 처음으로 시도된 액체추진

로켓으로 고체추진 로켓인 KSR-I, II 보다 훨씬 복잡하고 정교한 구성을 갖추고 있다. 지상공급 설비와 기체내의 각 부분 시스템과의 상호작용, 추진제 충전 및 구조적인 여러 제약 조건 등이 발사 전 준비작업을 어렵게 만드는 요인이다. KSR-III 비행시험 시나리오는 SQT와 FM 비행시험을 준비하면서 수행되었던 여러 종류의 자체 점검, 연계시험 등을 바탕으로 확정되었다.

KSR-III 비행시험 시나리오는 로켓 시스템과 지상 장비에 대한 기능적인 객체 다이어그램을 바탕으로 주어진 제약조건을 고려하여 작성되었다. 전체 시스템에 대한 객체 다이어그램은 시나리오를 구성하는 데 있어서 핵심적인 필수 요소로서 로켓 시스템과 지상 장비에 대한 상위레벨 객체 모델링을 통해서 얻어진다. KSR-III에서는 각 부분 시스템들이 독자적으로 개발됨으로 인해서 인터페이스와 종합에 많은 문제점을 야기시켰고, 이는 비행시험 시나리오 개발을 어렵게 했다. 이러한 시행착오는 개념 설계 단계 등의 초기 단계에서 인터페이스와 상호작용을 명확히 나타낼 수 있는 상위레벨 객체 모델링을 적용함에 의해 극복할 수 있다. 본 연구에서 다른 KSR-III 비행시험 시나리오 개발의 경우에는 최종적인 시험 준비 단계에 적용, 여러 번의 시행착오를 거쳐 확정된 후, 비행시험에 성공적으로 적용되었다. 현재 개발이 진행 중인 KSLV-I는 KSR-III에 비해 훨씬 더 크고 복잡할 것으로 추정되고 있다. 따라서 KSR-III 비행시험 시나리오 개발에 적용된 방법을 토대로, 초기 단계에서부터 인터페이스와 상호작용을 명확히 나타낼 수 있는 상위레벨 객체 모델링 방법을 KSLV-I 개념설계 단계에서부터 적용하는 것이 필요하다.

#### 참 고 문 헌

1. 김광수, 신명호, 서진호, 홍일희, 박정주, 조광래, "액체추진 과학로켓을 위한 발사통제 시스템 개발", 한국항공우주학회 추계학술 발표회 논문집, 2002, pp.882-885.

2. 신명호, 서진호, 홍일희, "UML 객체 모델링 방법을 이용한 KSR-III 발사 시나리오 개발", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2002, pp.2656 -2658.
3. 신명호, 서진호, 김광수, 홍일희, "KSR-III 전장시스템 고찰", 한국항공우주학회 추계 학술발표회 논문집, 2002, pp.886-889.
4. 한국항공우주연구원, 3단형 과학로켓 개발 사업 (IV), 2001.
5. M. Cepin, B. Mavko, "Fault tree developed by an object-based method improves requirements specification for safety-related systems", Reliability Engineering and System Safety, vol. 63, 1999, pp.111-125.
6. B. P. Douglass, Real-Time UML: Developing Efficient Objects for Embedded Systems, Addison-Wesley, 1998.
7. B. P. Douglass, Doing Hard Time: Developing Real-Time Systems with UML, Objects, Frameworks, and Patterns, Addison-Wesley, 1999.
8. W. E. Hammond, Design Methodologies for Space Transportation Systems, Reston: AIAA Inc., 2001.
9. J. Rumbaugh, M. Blaha, W. Premerlani, F. Eddy, W. Lorensen, Object-Oriented Modeling and Design, New Jersey:Prentice Hall, 1991.