

KSLV-I 발사2호기 VEB 조합체 이송

최상현*, 박종찬**, 원유진***, 이수진****, 정의승*****

Transportation of KSLV-I FM unit 2 VEB Assembly

Sang-Hyeon Choi*, Jong-Chan Park**, You-Jin Won***, Soo-Jin Lee****, Eui-Seung Chung*****

Abstract

There are a lot of electrical and electronic components and pneumatic parts sensitive to vibration and shock in the VEB assembly which KARI directly transports among the KSLV-I upper stage transportation items. So, the special attention in the transportation is required. The transportation container with the apparatus for controlling environment was made in order to meet the requirements. The transportation tests using the engineering model were performed 4 times to verify the performance of the transportation container and to conform the transportation conditions(transportation velocity, route, etc.). In this document, the previous transportation history of the VEB assembly, the overview and the result of the KSLV-I FM unit 2 VEB assembly transportation are described.

초 록

KSLV-I 상단부 이송 항목 중 KARI가 직접 이송하는 VEB 조합체는 진동 및 충격에 민감한 전기 전자 부품과 유공압 부품을 다수 포함하고 있어, 이송에 특별한 주의가 요구된다. VEB 조합체 이송 요구 조건을 만족시키기 위해 환경제어장치가 구비된 이송 컨테이너를 제작하였다. 제작한 이송 컨테이너의 성능 검증 및 이송 조건(이송 속도, 이송 경로 등) 타당성 확인을 위해 엔지니어링모델을 이용한 4회의 이송 시험을 수행한 바 있다. 본 논문에서는 기존의 VEB 조합체 이송 이력과 발사2호기 VEB 조합체 이송 개요 및 결과 등을 정리하였다.

키워드 : 발사체(launch vehicle), 발사2호기(FM unit 2), VEB(vehicle equipment bay), 이송(transportation), 컨테이너(container), 가속도(acceleration)

1. 서 론

우주발사체 KSLV(Korea space launch vehicle)-I 상단부 이송 항목 중 KARI가 직접 이송하는 VEB(vehicle equipment bay) 조합체는 진동 및 충격에 민감한 전기 전자부품이나 유공

접수일(2010년 12월 16일), 수정일(1차 : 2011년 5월 20일, 2차 : 2011년 6월 15일, 게재 확정일 : 2011년 7월 1일)

* 체계종합팀/shchoi@kari.re.kr ** 체계종합팀/jcpark@kari.re.kr *** 체계종합팀/wonyj@kari.re.kr

**** 체계종합팀/sjlee@kari.re.kr ***** 체계종합팀/ces@kari.re.kr

압 부품들이 다수 들어가 있어, 이송에 특별한 주의가 요구된다.

외부 환경에 민감한 VEB 조합체를 위해 시스템 레벨의 이송 환경 요구 조건이 만들어졌으며, 그 요구조건들을 만족시키기 위해 환경제어장치가 구비된 이송 컨테이너를 제작하였다.[1]

제작한 VEB 조합체 이송 컨테이너의 성능 검증 및 최적의 이송조건 개발을 위해 EM(engineering model)을 이용한 4회의 이송 시험을 수행한 바 있으며[2], AC QT(assembly complex qualification test)를 위하여 QM(qualification model) VEB 조합체를 대전 KARI 발사체조립동에서 나로우주센터 PPB(payload processing building)로 이송한 바 있다.[3] 그리고, 실제 발사를 위하여 발사1호기와 발사2호기 VEB 조합체를 마찬가지로 PPB로 이송하였다. 본 논문에서는 발사2호기 VEB 조합체 이송 개요 및 결과 등을 정리하였다.

2. VEB 조합체 이송 개요

VEB 조합체 이송 컨테이너의 요구 조건, 이송 컨테이너의 제원, 구성 및 설계 등에 대해서 소개하고자 한다.

2.1 이송 대상 및 이송 요건

이송 대상인 KSLV-I 발사2호기 VEB 조합체는 그림 1과 같이 KM(kick motor) 및 위성을 제외한 2단 조합체이다.



그림 1. 이송 대상 (발사2호기 VEB 조합체)

외부 환경에 민감한 VEB 조합체 이송을 위해 설정한 시스템 레벨의 이송 환경 요구 조건은 표 1과 같다.

표 1. VEB 조합체 이송 환경 요구조건

List	Requirement
온도	5°C~35°C
상대습도	80%이하 @25°C
가속도	x/y/z축 각각 ± 2G 이하

2.2 이송 컨테이너 및 이송 차량 제원

VEB 조합체 이송용 컨테이너의 주요 제원은 다음과 같다.

- 컨테이너 너비 : 3,100 mm
 - 컨테이너 길이 : 6,300 mm
 - 컨테이너 높이 : 2,750 mm
 - 컨테이너 총중량 : 6,000 kg (내장품 포함)
 - 컨테이너 하부구조체 : 4,500 kg
 - 컨테이너 CAP : 1,500 kg
 - 컨테이너 핸들링 치구 중량 : 150 kg
 - 주요기능 : 자가 발전, 항온항습, 방진 기능
- 이송 차량으로 저상 베드 트레일러(low bed semi-trailer)를 사용하였다.
- Truck Head : Powertec440(현대), 440마력
 - Trailer : 저진동 로우베드(low bed air-suspention), 최대 25톤 적재 가능 (이송의 중요성을 감안하여 저진동 low bed trailer를 사용하기로 결정함.)



그림 2. 이송차량 및 이송컨테이너

2.3 이송 컨테이너 구성 및 설계

VEB 이송컨테이너의 구성은 전체적인 공간을

만드는 컨테이너 하부구조와 CAP 부분, 지상에서 올라오는 진동이나 충격을 잡아주는 VEB 지지 구조체, 온도와 습도 제어를 위한 항온항습기와 이를 위한 전원 제공을 하는 발전기, 그리고 측정을 위한 온, 습도 기록계, BNC cable 및 핸들링 치구 및 커버 등이다.

온도와 상대습도를 담당하는 항온항습기는 컨테이너 내부에 온도와 습도를 측정하는 센서가 내장되어 있어, 컨테이너 내부의 온습도가 규정된 범위 내에 들어오지 않을 경우 자동적으로 항온항습기가 작동하는 개념으로 설계되어 있다. 또한 발전기는 항온항습기를 위한 전원공급 및 이송컨테이너 내부에 필요한 추가적인 전원을 공급하는 기능을 한다.

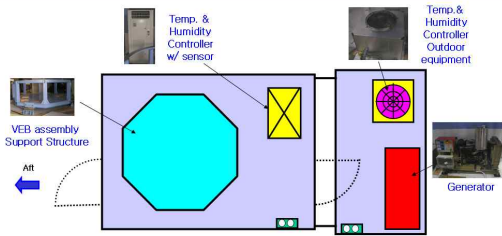


그림 3. 이송 컨테이너 구성 위치

진동 및 충격을 잡아주는 VEB 조합체 지지부는 위에서 보면 그림 4와 같이 정팔각형의 형태이다. upper angle에서 VEB 조합체와 adapter ring을 매개체로 한 인터페이스를 가지며, 총 4개의 WRI(wire rope isolator)로 방진을 한다.

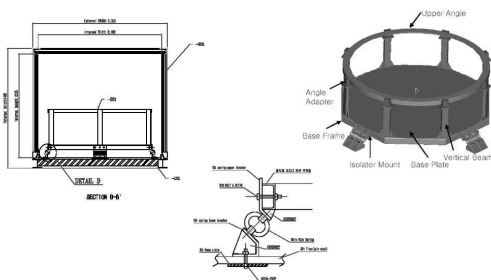


그림 4. VEB 조합체 지지부

이송 대상의 공진주파수의 1/3 이하의 고유주파수를 갖도록 WRI를 선정하는 것이 일반적이다. 2단 조합체의 횡방향 공진주파수는 14Hz이고, 2단 조합체와 이송 대상(2단 조합체에서 KM과 위성 제외)의 중량비를 감안하면 이송 대상의 공진주파수는 약 35Hz로 계산이 된다.

WRI가 지지하는 구조물의 중량을 이송 대상 약 300 Kg에 지지 구조물 500 kg, 그리고 더미 중량 200kg로 약 1000 kg으로 가정하였다. 총 4개의 WRI가 약 1000 kg을 지지하므로 1개당 지지하는 정적 하중은 각각 250 kgf(~550 lbs)가 된다. 45 deg compression/roll 마운트 조건에서 제작사가 제공한 WRI 특성 곡선을 참고하면 그림 5의 ①의 경우 약 8Hz 정도로 이송 대상 공진주파수(약 35Hz)의 1/3 이하 조건을 만족하므로 ①로 선정하였다.

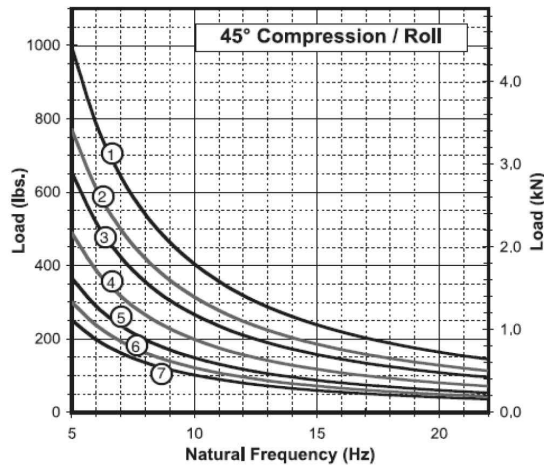


그림 5. WRI 특성 곡선

이를 해석적으로 확인하기 위하여 지지 구조물에 NASA SP-8077, Transportation and Handling Load[4]의 지상 이송 시 가속도 스펙트럼의 수학적 모델을 입력으로(그림 6) 하여 응답 해석을 수행하였다. 응답 해석에 있어서 isolator damping ratio를 15%로 가정하였으며, isolator damping 효과를 modal damping으로 고려하였다. 응답 해석 결과 그림 7과 같이 최대

1.49g로 요구조건 $\pm 2g$ 이내로 들어오는 것으로 확인하였다.

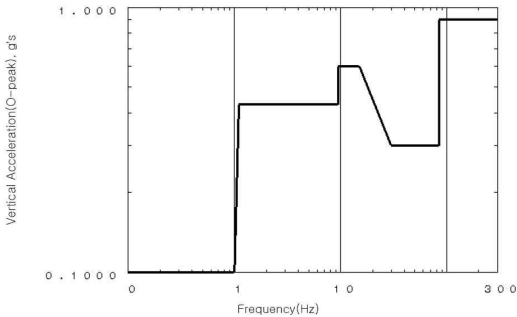


그림 6. 응답 해석 입력

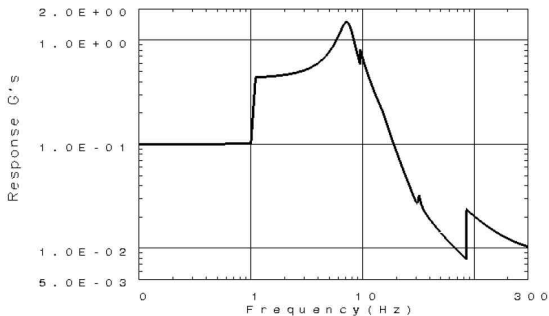


그림 7. 응답 해석 결과

2.4 계측기 및 센서

VEB 조합체 이송용 컨테이너의 성능을 점검하기 위해 1 종류의 계측기 및 총 12 채널의 센서를 설치하였다. 본 시험에 사용한 계측기는 MSR-3C(미국 IST)이며 아래와 같이 설정하였다.

- trigger level : $\pm 0.5 g$
- sampling rate : 1000 samples/sec
- max event length : 2 sec
- dead time after event : 1 sec
- max. event number : 100
- recording mode : overwrite

우선 피크 가속도 및 운습도를 측정하기 위해 설치한 계측기인 MSR-3C에 연결한 센서로는 컨테이너 내부에 피크 가속도 값을 측정하기 위한

센서 9채널(3축 2개 및 1축 3개)과 이송 중 컨테이너 내부의 환경조건을 측정하기 위한 운습도 센서 3채널을 설치하였다. 피크값 계측용 가속도계는 표 2와 같이 설치하였다. 그림 8은 센서의 전체적인 설치위치를 나타내었다.

표 2. 피크 계측용 가속도계 설치위치

센서번호	방향	위치
A-	x	이송 컨테이너 프레임면
	y	
	z	
B-	x	VEB 상부면 INGU(inertial navigation guidance unit) 앞
	y	
	z	
C-	x	VEB 상부면 330°
	y	AR(adapter ring) 60°
	z	VEB 상부면 150°

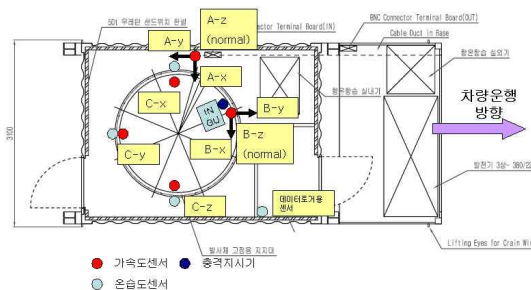


그림 8. 이송 컨테이너 내 센서 및 충격지시기 설치위치

계측기 off일 때(계측기가 VEB 조합체가 아닌 지지 구조체에 부착되므로 VEB 조합체를 크레인을 이용하여 이동 중일 때는 계측기 off 상태임) 피크가속도의 크기가 2g 이하인 지를 확인하기 위한 조치로 충격지시기 1set(수평방향 1ea는 차량 운행방향 및 차량 운행 수직방향 확인, 수직방향 1ea는 VEB 기축방향 확인)를 설치하였다.

3. EM/QM/발사1호기 VEB 이송

3.1 EM VEB 조합체 1차 이송 시험

1차 이송 시험의 이송 경로는 아래와 같으며, 계측한 최대 피크 가속도 값은 표 3과 같다.

○ 이송 경로 : 대전 KARI → 유성IC → 서대전JC → 산내JC → 진주JC → 순천IC → 호현삼거리 → 호형교차로 → 고흥 항공센터 (약 340km)

표 3. EM 1차 이송 시험의 최대 피크 가속도(2007/05/17)

Time of Event	Sensor Module	Peak X (g)	Peak Y (g)	Peak Z (g)
13:59:07 (A가 최대일 때)	A	-4.921	-8.931	-4.090
	B	-	-	-
	C	-	-	-
16:11:27 (B가 최대일 때)	A	-1.342	-1.530	-1.767
	B	-1.326	-0.930	-0.846
	C	-0.733	-1.040	1.123
14:28:07	A	-0.447	-0.740	1.060
14:28:08 (C가 최대일 때)	B	-	-	-
	C	-0.831	-0.644	-1.416

위의 이송경로에 대하여 상차/이송/하차 중 VEB 조합체(센서 B/C)에서의 최대 가속도 값은 1.416g로 최대 가속도 요구조건(2g 이하)을 만족함을 확인하였다. 또한 이송 컨테이너의 프레임에 설치한 센서 A의 경우 최대 계측 가속도가 약 9g까지 발생되었으나 이 때 센서 B와 C에서는 이벤트가 발생하지 않았으며, VEB 조합체에서의 최대 가속도 값은 1.416g로 노면이나 차량 자체에 의해 발생하는 큰 충격이 WRI를 거치면서 충분히 감쇄되는 것을 확인하였다.

3.2 WRI(wire rope isolator) 교체

1차 이송 시험에서 VEB에서 계측된 진동 파형은 16Hz의 주파수를 갖는데, WRI 제작사가 제공한 engineering report에서 예측한 주파수 (vertical: 6~10Hz, horizontal: 5~9Hz)와 상이하다.

서진주IC 부근에서 1분간 계측한 진동신호에 대한 스펙트럼 분석결과는 그림 10 ~ 11과 같다. 그림 10은 컨테이너 바닥프레임에서 계측된 진동 스펙트럼이고, 그림 11은 VEB 상부면 INGU 앞에서 계측된 진동 스펙트럼이다. 이송컨테이너 프레임의 진동특성은, “상하방향(vertical) > 진행방향(longitudinal) > 측면방향(transverse)”의 순으로 진동이 크며, 특히 차량운송에 따른 상하방향의 고유진동성분(2Hz)이 크며 컨테이너 내부의 진동저감지구조부의 공진(16Hz, 24Hz)으로 인해 연성효과(coupling)가 나타났다. 반면에 진동저감구조물에 위치한 VEB의 진동특성은, “측면방향(transverse) > 진행방향(longitudinal) > 상하방향(vertical)”의 순으로 진동이 크며, 특히 진동저감지구조부의 공진(16Hz, 24Hz)으로 인해 측면방향과 진행방향으로의 진동증폭현상이 발생하여 컨테이너에 비해 큰 진동이 나타났다. 본 진동저감부의 경우 충격형태의 진동에는 효과를 기대할 수 있겠지만 저주파수(~24Hz이하) 랜덤 진동에 대해선 오히려 악영향이 나타남을 확인하였고, 따라서 진동저감부의 설계변경이 필요함을 알았다.

이에 원인 파악을 위하여 WRI 압축을 통한 하중/변위 계측 시험을 수행하였으며 그 결과가 제작사에서 제시한 하중/변위 곡선과 상이함을 확인하였다.(그림 9 참고)

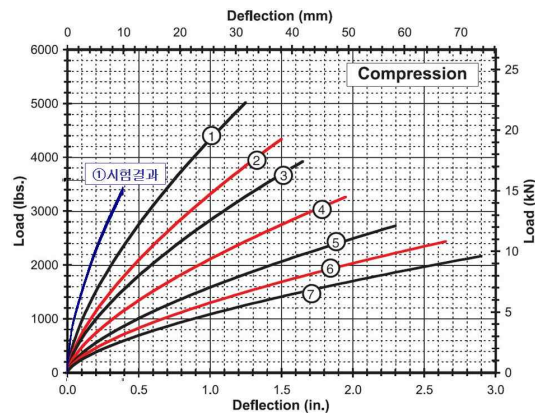


그림 9. WRI 하중/변위 계측 결과

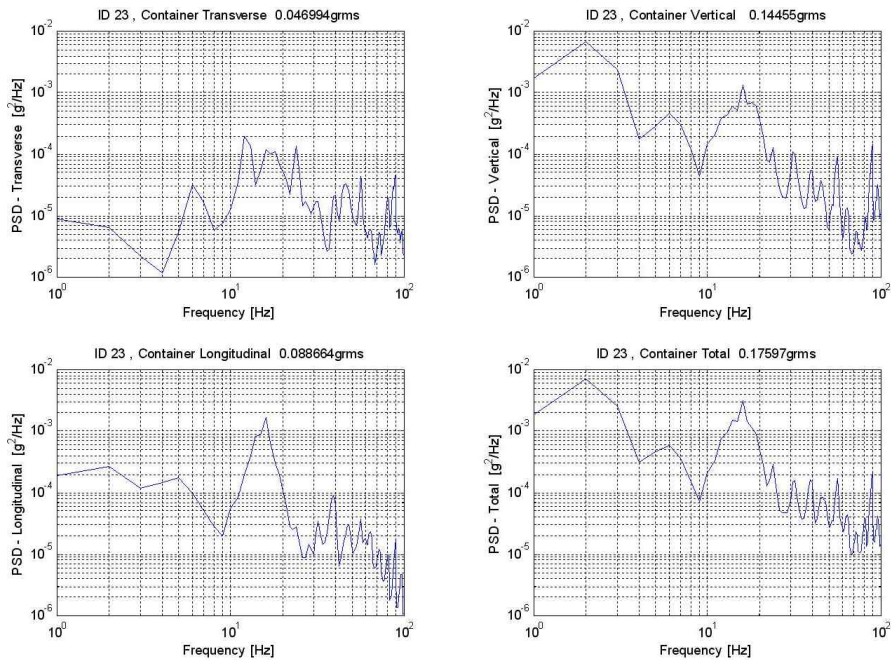


그림 10. ID23 구간(서진주IC 부근) 이동 중 컨테이너 바닥프레임에서 계측된 진동스펙트럼

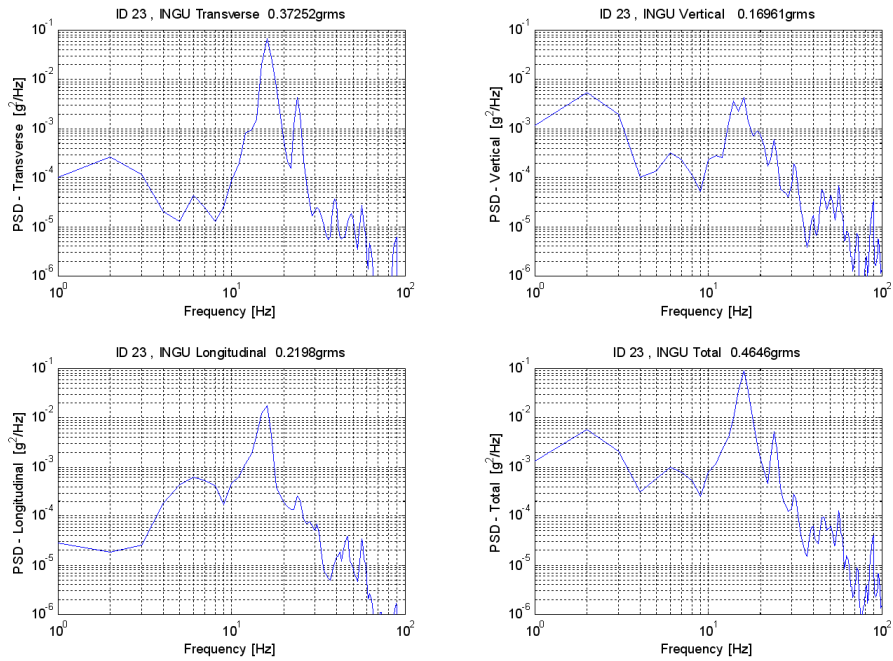


그림 11. ID23 구간(서진주IC 부근) 이동 중 VEB 상부면 INGU 앞에서 계측된 진동스펙트럼

시험 결과를 참고하여 WRI의 모델을 그림 9의 ①에서 ③으로 교체하는 것으로 결정하였다. (기존 WRI 모델로도 가속도 요구조건 2g 이하는 만족하나 저주파수(~24Hz이하) 랜덤진동에 대하여 악영향이 나타남을 확인하였기에 이송의 중요성을 감안하여 WRI 교체를 시도하는 것으로 결정하였다.)

3.3 EM VEB 조합체 2차 이송 시험

(1) 이송 경로

2차 이송 시험의 이송경로는 아래와 같다.

○ 이송경로 : 대전 KARI → 유성IC → 서대전JC → 산내JC → 진주JC → 순천IC → 호현삼거리 → 별교차로 → 호형교차로 → 나로대교 → 우주센터 LVAB(약 360km)

대전 북귀 시에는 대전고속도로 대신 호남고속도로로 이동하였는데, 가속도 계측 값이 유사하여 3차 이송시험부터는 거리가 짧은 호남고속도로를 이용하였다.

(2) 이송 시험 결과

EM 2차 이송 본시험에서 상차/이송/하차 중 계측한 최대 피크 가속도 값은 표 4와 같다.

표 4. EM 2차 이송 시험의 최대 피크 가속도(2007/12/18)

Time of Event	Sensor Module	Peak X (g)	Peak Y (g)	Peak Z (g)
11:45:32 (A, B가 동시에 최대일 때)	A	-1.036	-0.348	0.858
	B	-1.129	-0.636	-1.145
	C	-	-	-
11:30:05 (C가 최대일 때)	A	-0.543	-0.447	-0.858
	B	-	-	-
	C	-1.125	-0.941	0.928

VEB 조합체(센서 B/C)에서의 최대 가속도 값은 1.145g로 1차 시험과 마찬가지로 최대 가속도 요구조건(2g 이하)을 만족함을 확인하였다. 이송 컨테이너 프레임에서 계측한 센서 A의 가속도 값이 1차 이송시험 대비 저감되었으며 이는 컨테이너 고정방법의 개선(목재 위에 컨테이너 안착, chain block 및 라쳇벨트를 이용한 컨테이너 고

정) 때문으로 추정된다.

또한 VEB에서 계측된 진동 파형은 약 9~12Hz 정도의 주파수가 확인되었으며, 1차 이송 시험 시 약 16Hz의 주파수 특성을 가졌던 WRI를 새로운 WRI로 교체하여 공진 주파수가 다소 낮아지게 되었음을 확인하였다.

1, 2차 이송 시험에 대하여 VEB에 설치된 3축 센서인 B 센서의 이벤트 100개의 가속도 절대값의 평균은 표 5와 같다.

표 5. B 센서의 이벤트 100개의 가속도 절대값의 평균(EM1/2)

Test	Sensor Module	이벤트 100개 가속도 절대값의 평균		
		X (g)	Y (g)	Z (g)
EM1	B	0.980	0.649	0.493
EM2	B	0.628	0.682	0.602

1차 이송시험에서는 이벤트의 X방향(차량 진행 측면 방향) 평균값은 0.980으로 Z방향(지면 수직방향)의 평균값 0.493의 약 2배였는데 비해, 2차 이송시험에서는 X방향과 Z방향의 평균값이 유사하게 계측되었다. WRI 교체를 통해 1차 이송시험 시 나타났던 차량 진행의 측면방향 진동의 증폭현상이 완화되었음을 확인할 수 있었다.

3.4 EM/QM/발사1호기 VEB 이송

EM VEB 조합체 이송 시험(4회), QM VEB 조합체 이송(3회) 및 발사1호기 VEB 조합체 이송에 대한 상차/이송/하차 중 계측한 최대 피크 가속도 값은 표 6과 같다.

표 6. EM/QM/발사1호기 VEB 이송의 최대 피크 가속도

Sensor Module	Time of Event	Peak X (g)	Peak Y (g)	Peak Z (g)
EM1-C	2007-05-17 14:28	-0.831	-0.644	-1.416
EM2-B	2007-12-18 11:30	0.835	-0.930	-1.145
EM3-C	2008-01-14 09:13	-1.125	-1.238	-1.025
EM4-C	2008-02-25 09:32	-1.027	-1.238	-1.025
QM1-C	2008-05-28 08:57	-0.929	-1.238	-1.025
QM2-C	2010-01-14 14:32	0.635	-1.139	-0.635
QM3-B	2010-03-03 11:30	-1.326	-0.636	-0.647
FM1-C	2009-05-14 11:12	-1.125	-0.545	0.928

모든 이송에서 이송 요구조건인 $\pm 2g$ 이하를 충분히 만족함을 확인할 수 있다.

4. 발사2호기 VEB 이송

4.1 이송 경로

○ 이송경로 : 대전 KARI → 유성IC → 논산 JC → 장성JC (고창담양고속도로) → 대덕JC → 주암휴게소 → 순천IC → 호현삼거리 → 별교교차로 → 호형교차로 → 나로대교 → 우주센터 PPB (약 340km)

4.2 이송 결과

상차/이송/하차 중 계측한 최대 피크 가속도 값은 표 7과 같다. 발사2호기 VEB 조합체의 이송에서도 모든 이송구간에서 이송 요구조건인 $\pm 2g$ 이하를 충분히 만족함을 확인할 수 있다.

표 7의 데이터를 살펴보면 이번 시험 시 계측기에 기록된 가장 높은 가속도값은 컨테이너에 설치된 센서 모듈 A의 x 방향(차량 운행 횡방향)에서 -3.306g로 이송 당일 오후 1시 11분경에 계측되었다. 이 시점은 호남고속도 순천 요금소 통과 직전에 해당하는데 아마도 요금소 진입 시 노면의 요철에 의한 충격으로 인해 발생한 것으로 생각된다. 그림 12는 이 시점의 계측 이벤트 그래프를 나타내는데 전형적인 충격의 형태를 보인다.

표 7. 발사2호기 VEB 조합체 이송 최대 피크 가속도(2010/03/23)

Time of Event	Sensor Module	Peak X (g)	Peak Y (g)	Peak Z (g)
13:11:03 (A가 최대일 때)	A	-3.306	-1.143	-1.363
	B	-1.031	-0.441	-0.448
	C	-	-	-
8:27:11 (B가 최대일 때)	A	-2.625	-3.231	-1.969
	B	-1.424	-0.734	-0.747
8:27:10 (C가 최대일 때)	C	-1.027	-1.238	0.928

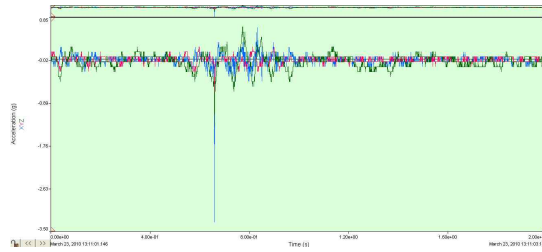


그림 12. 센서모듈 A의 최대 가속도 발생 시 그래프

이와 동일한 시점에 WRI 위에 설치한 나머지 두 센서 모듈에서의 계측 상황을 살펴보면 센서 모듈 B에서는 계측이 되었으나 센서 모듈 C에서는 계측이 되지 않았다. 이는 A 모듈 측정값 중 가장 큰 값인 차량 진행 횡방향(A-x 방향)의 가속도 값이 WRI를 거쳐 이송 대상체로 전달되면서 센서 모듈 B의 동일한 방향 센서인 B-x 가속도계에서 계측이 되었기 때문이다. 나머지 방향에 대해서는 진동저감 스프링을 거치면서 가속도 값이 0.5g 이하로 전달되었고, 특히 센서 모듈 C의 경우 세 가속도계가 모두 지면의 수직방향을 계측하도록 설치되어 있어 계측 이벤트가 발생하지 않은 것이다. 계측 이벤트를 유발한 B-x의 가속도 값은 -1.031g로 이송 요구조건인 $\pm 2g$ 이하를 충분히 만족한다. 이 시점의 센서 모듈 B의 진동 계측 그래프는 그림 13과 같다.

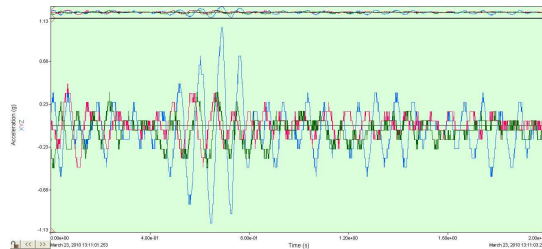


그림 13. 센서 A에서 최대 가속도 발생 시 센서 B의 진동 계측

이송 대상체에 대하여 이송 과정 중 최대 가속도 값은 오전 8시 27분경 센서 모듈 B의 x방향(차량 진동 횡방향)에서 -1.424g로 계측되었다. 이 시점에는 호남고속도 익산 IC 부근을 통과 중이었는데 부근의 고속도 차선 확장공사 구간을 통

과하면서 다소 높은 가속도값이 계측된 것으로 생각된다. 계측된 가속도의 주요 주파수값은 이송 컨테이너 프레임에서는 지면 수직 방향으로 2.5Hz 내외, VEB 조합체에서는 센서 방향에 따라 대부분 10~15Hz 정도로 계측되었으며 일부 이벤트에서는 최대 18Hz까지 계측되었다. 본 시험에서 계측된 최대 가속도값 및 주파수값 등은 기존에 수차례 수행한 이송시험의 경우와 유사함을 확인할 수 있다. 전체적으로 이번 발사2호기 VEB 조합체 이송은 모든 이송구간에서 3축 방향 ±2g 이하의 진동 요구조건을 충분히 만족하므로 이송은 정상적으로 잘 수행되었다고 평가할 수 있다.

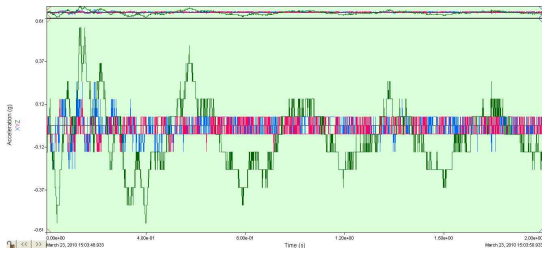


그림 14. 센서 모듈 A의 가속도 측정 그래프

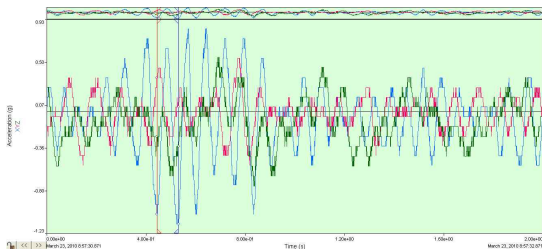


그림 15. 센서 모듈 B의 가속도 측정 그래프

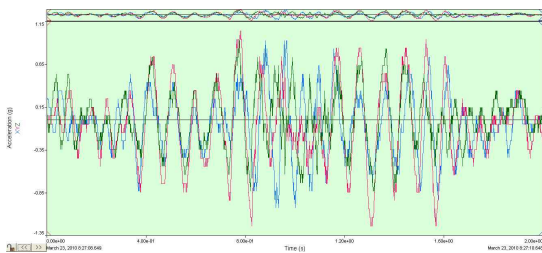


그림 16. 센서 모듈 C의 가속도 측정 그래프

표 8은 이송 시 각 구간별 및 센서 모듈별 이벤트 발생분포를 정리한 것이다.

표 8. VEB 발사2호기 구간별 및 센서별 이벤트 발생분포

구간 및 통과시간			이벤트 발생분포				
			센서 A	센서 B	센서 C	합 (비율)	개수 (1h)
KARI (7:04)	→ (도심도로 ~40km/h)	유성 IC (7:31)	0	0	0	0 (0.0%)	0.0
유성 IC (7:31)	→ (호남고속 ~70km/h)	정읍휴게소 (9:21)	23	21	25	69 (23.0%)	37.6
정읍휴게소 (9:44)	→ (호남고속 ~70km/h)	백양사휴게소 (10:10)	5	6	7	18 (6.0%)	41.5
백양사휴게소 (10:16)	→ (호남고속 ~70km/h)	대덕 JC (10:49)	9	2	7	18 (6.0%)	32.7
대덕 JC (10:49)	→ (호남고속 ~70km/h)	주암휴게소 (11:27)	19	11	16	46 (15.3%)	72.6
주암휴게소 (11:27)	→ (호남고속 ~60km/h)	순천휴게소 (11:49)	33	49	35	117 (39.0%)	319.1
순천휴게소 (13:02)	→ (호남고속 ~60km/h)	순천 IC (13:12)	3	7	4	14 (4.7%)	84.0
순천 IC (13:12)	→ (국도 ~40km/h)	호현삼거리 (13:34)	1	0	0	1 (0.3%)	2.7
호현삼거리 (13:34)	→ (국도 ~50km/h)	벌교교차로 (14:15)	1	0	0	1 (0.3%)	1.5
벌교교차로 (14:15)	→ (국도 ~60km/h)	우주휴게소 (14:28)	1	0	1	2 (0.7%)	9.2
우주휴게소 (14:40)	→ (국도 ~60km/h)	호형교차로 (15:05)	4	3	4	11 (3.7%)	26.4
호형교차로 (15:05)	→ (국도 ~40km/h)	PPB (16:34)	1	1	1	3 (1.0%)	2.0
계			100	100	100	300 (100%)	

전체 이벤트 발생건수에 대해 94%가 고속도로 구간에서 발생하였고, 나머지는 일반도로에서 발생하였다. 일반도로의 노면상태가 고속도로보다 불량하지만 속도를 낮추면 문제가 없다는 것을 확인하였다.

각 구간의 소요 시간이 다르므로, 각 구간 별 단위 시간(1h) 당 이벤트 개수 계산하여 표 8의 우측 열에 기록하였다. 단위 시간 당 이벤트 개수는 일반도로는 30개 이하이며, 고속도로 구간은 30개 이상이다. 특히 호남고속도로 주암휴게소부터 순천휴게소까지 약 20km 구간에서의 단위 시간 당 이벤트 개수는 319.1개로 가장 높으며, 전체 이벤트의 39.0%가 집중되어 있다. 이는 기존의 이송시험에서도 확인된 바로써, 이 구간의 노면이 타 구간의 노면에 비해 불량함을 주지할 필요가 있다. (노면 불량을 인지하여 제한 속도를 70km/h에서 60km/h로 변경한 바 있음.) 전체적으로 현재의 노선 및 운송 제한속도 등은 이송에 별다른 문제점은 없는 것으로 생각된다.

5. 결 론

본 논문에서는 기존의 VEB 조합체 이송 이력과 발사2호기 VEB 조합체 이송 개요 및 결과 등을 정리하였다. 발사2호기 VEB 조합체를 대전 KARI 발사체조립동에서 나로우주센터 PPB로 이송하였다. 측정 결과 최대 가속도 값은 1.424g로 이송 가속도 요구조건(2g 이하)을 만족함을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. 최상현, 박종찬, 이창배, 전영두, 정의승, “VEB 조합체 이송 컨테이너 제작 및 이송 시험”, 한국항공우주학회 추계학술발표회, November 2007, pp. 378-381
2. 최상현, 박종찬, 이창배, 김광수, 정의승, “KSLV-I EM VEB 조합체 이송 시험”, 한국항공우주학회 춘계학술발표회, April 2008, pp. 224-227
3. 최상현, 박종찬, 김광수, 정의승, “KSLV-I 인증 모델 VEB 조합체 이송”, 한국항공우주학회 춘계학술발표회, April 2009, pp. 492-495
4. NASA SP-8077, “Transportation and Handling Loads”, September 1971