KSR-Ⅲ 김발엔진 구동 시스템의 전자파 환경시험

이희중*, 박문수**, 민병주***

Electomagnetic Interference and Electomagnetic Compatibility Test of Gimbal Engine Actuation System of KSR-Ⅲ

Hee-Joong Lee*, Moon-Su Park**, Byeong-Joo Min***

Abstract

Electronic equipments can make other electronic systems to operate abnormally by means of electromagnetic interference, or can operate abnormally themselves by electromagnetic interference of other electronic systems. Therefore, electronic equipments are required to reduce their electromagnetic interference as small as for other systems to operate properly and operate properly within electromagnetic interference from other electronic systems. In order to prove that electronic equipments meet such requirements, they should undergo electromagnetic environmental test.

In this study, we introduce electromagnetic environmental requirements, test procedures and test results of gimbal engine actuation system of KSR-III

초 록

전자 장비들은 전자파 간섭을 통해 다른 시스템에 영향을 주어서 오작동을 야기할 수도 있고 혹은 다른 시스템에 의해 자신이 오작동을 일으킬 수도 있다. 따라서 전자 장비들은 다른 시스템이 오작동을 일으키지 않는 범위에서 전자파 간섭을 주고 다른 시스템에서 전자파 간섭을 일으켜도 오작동을 일으키지 않도록 설계되어야한다. 전자 장비들이 이러한 조건을 만족하는지를 확인하기 위해서는 전자파 환경시험을 하여야 한다.

본 논문에서는 KSR-III 김발엔진 구동 시스템에 있는 전자 장비들의 전자파 환경 규격과 시험 절차 및 결과를 소개하고자 한다.

키워드 : 로켓(rocket), 전자파 간섭(electromagnetic interference), 전자파 적합성(electromagnetic compatibility), 전도 방사(conducted emission), 복사 방사(radiated emission), 전도 내성(conducted susceptibility), 복사 내성(radiated susceptibility), 김발엔진(gimbal engine)

* 유도제어그룹/heejlee@kari.re.kr
** 유도제어그룹/mspark@kari.re.kr
*** 유도제어그룹/bjmin@kari.re.kr

1. 서 론

전자 장비들은 전자파 간섭을 통해 다른 시스템에 영향을 주어서 오작동을 야기할 수도 있고 혹은 다른 시스템에 의해 전자파 간섭을 받아서 자신이 오작동을 일으킬 수도 있다. 따라서 전자 장비들은 다른 시스템이 오작동을 일으키지 않도록 하는 범위 내에서 전자파 간섭을 주고 다른 시스템에서 전자파 간섭을 야기해도 오작동을 일으키지 않도록 설계되어야한다. 이러한 이유로 전자파 간섭을 규제하고 전자파 적합성을 나타내기 위해서 각각의 시스템에 대해서 규정한 것이 전자파 환경 규격이다. 그러므로 모든 전자 장비들은 이러한 전자파 환경규격을 만족하는지를 확인하기 위해서는 전자파 환경시험을 하여야 한다.

일반적으로 전자파 환경은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 전자파 간섭(electromagnetic interference)과 전자파 적합성(electromagnetic compatibility)으로 나누어지는데 전자파 간섭은 다른 시스템에 전자기적 영향을 주어 그 시스템의 동작에 영향을 주는 것이고 전자파 적합성은 다른 시스템의 전자파 간섭을 받아도 시스템이 정상적으로 잘 동작하는 것을 말한다.

전자파 환경 규격서는 전자파 간섭의 종류를 4가지로 분류해서 각각에 대해 시험항목, 시험규격, 시험절차, 시험방법 등을 규정하고 있다. 4가지 분류에는 전도 방사(conducted emission : CE)와 복사 방사(radiated emission : RE), 전도 내성(conducted susceptibility : CS)과 복사 내성(radiated susceptibility : RS)이 해당된다.

본 논문에서는 위의 4가지 분류에 해당하는 전자파 간섭 항목을 바탕으로 KSR-III 김발엔진 구동장치 시스템에 있는 전자 장비들에 해당하는 전자파 환경 규격과 시험 절차 및 결과를 소개하고자 한다.

2. 본 론

김발엔진 구동장치(Gimbal Engine Actuation System)은 관성항법장치(Inertial Navigation System)의 명령에 따라 엔진을 김발링하고 텔레메트리 신호들의 출력범위를 PCM encoder의 허용입력 범위에 적합하도록 처리하는 유압식 구동장치 시스템으로 전자파환경시험과 관련된 것은 제어기, 유압펌프 구동용 모터, 서보 밸브, 위치센서, 압력센서, 각종 케이블들이다.

2.1 전자파 시험 항목

김발엔진 구동장치의 전자파 환경시험은 미국 군사규격인 MIL-STD-461D와 MIL-STD-462D에 근거해서 수행하게 된다. 따라서 김발엔진 구동장치는 과학 로켓에 사용되는 시스템이므로 MIL-STD-461D에서 시스템 종류에 따라 요구되는 시험항목을 규정해 놓은 표에서 발사체를 포함한 우주 비행체에 해당하는 부분만을 골라서 시험을 수행하였다. 다음의 표1은 김발엔진 구동장치에 적용할 시험항목을 적은 것이다.

표 1. 전자파 간섭 시험 항목

항 목	목 적	시험대상
CE102	전원선에 대한 전도방사 시험	전원 입력선
CS101	전원선에 대한 전도내성 시험	전원 입력선
CS114	접속 케이블에 대한 전도내성 시험	전원 입력선, 신호/제어선
CS115	접속 케이블에 대한 전도내성 시험	전원 입력선, 신호/제어선
RE102	피시험체와 접속케이블에 대한 복사방사 시험	GEAS 및 접속케이블
RS103	피시험체와 접속 케이블에 대한 복사내성 시험	GEAS 및 접속케이블

2.2 전자파 시험 규격

2.2.1 전도방사 CE102 시험

피시험체가 정상 동작할 때 입력 전원선에서

방출되는 10kHz~10MHz 주파수 영역의 전자파를 측정하기 위한 시험이다. 피시험체인 구동장치 시스템의 입력 전원이 28V이므로 시험 규격 한계치는 그림 1의 Basic curve 에 해당한다.

2.2.2 전도내성 CS101 시험

피시험체의 입력 전원선에 30Hz~50 kHz의 전자기 에너지를 가할 때 피시험체에 나타나는 오동작 또는 성능저하를 확인하기 위한 시험이다. 구동장치 시스템의 입력 전원이 28V이므로 시험 규격 한계치는 그림 2의 Curve #2 에 해당한다.

2.2.3 전도내성 CS114 시험

피시험체의 모든 연결 케이블에 대해 10kHz~400MHz의 전자기 에너지를 가할 때 피시험체에 나타나는 오동작 또는 성능저하를 확인하기 위한 시험이다. 구동장치 시스템이 우주비행체(space system)이므로 시험 규격 한계치는 그림 3의 Curve #3 에 해당한다.

2.2.4 전도내성 CS115 시험

피시험체의 모든 연결 케이블에 대해 임펄스 신호를 가해줄 때 피시험체에 나타나는 오동작 또는 성능저하를 확인하기 위한 시험이다. 그림 4에 임펄스 신호의 특성이 나타나있다.

2.2.5 복사방사 RE102 시험

정상적으로 작동하는 피시험체와 그 연결 케이블에서 방출되는 10kHz~18GHz범위의 전기장을 측정하기 위한 시험이다. 시험 규격 한계치는 그림 5의 ARMY(INTERNAL & EXTERNAL) and NAVY & AIR FORCE(EXTERNAL)에 해당한다.

2.2.6 복사내성 RS103 시험

피시험체가 10kHz~18GHz 주파수 범위의 전기장에 대해 오동작 또는 성능 저하가 있는지 확인하기 위한 시험이다.

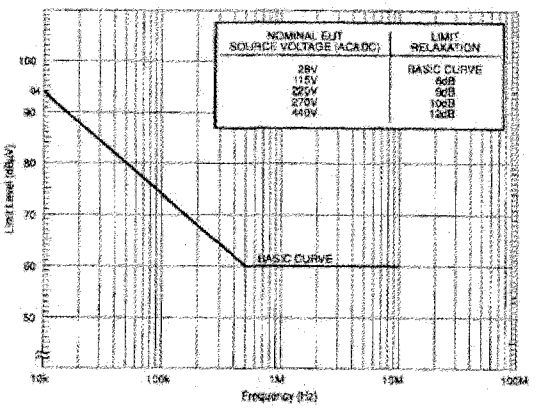

그림 1. CE102 시험규격

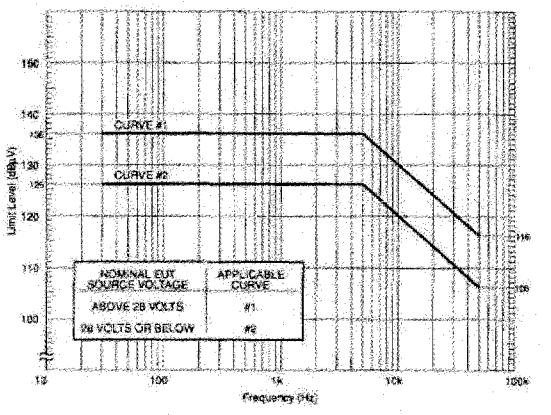

그림 2. CS101 시험규격

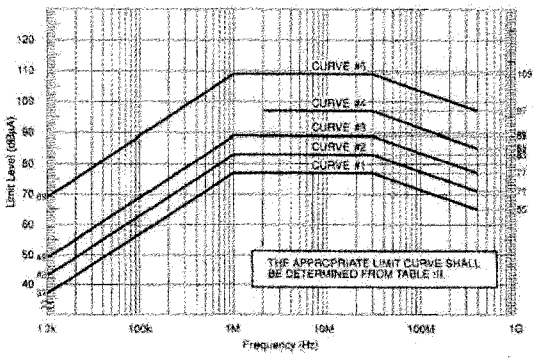

그림 3. CS114 시험규격

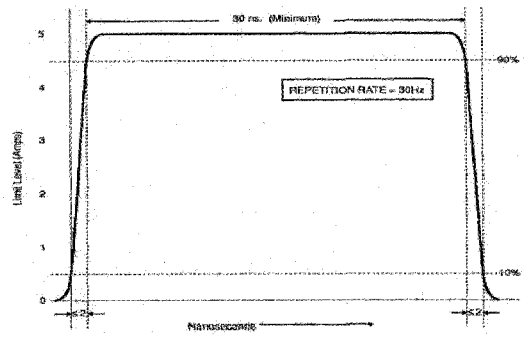

그림 4. CS115 교정신호 특성

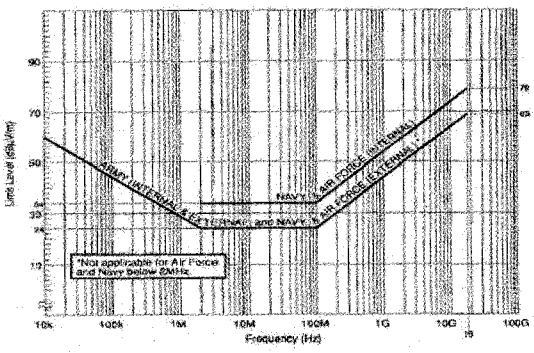

그림5. RE102 시험규격

2.3 전자파 시험 장비

전자파 시험을 위해 시험장소와 시험장비, 주위환경 등에 관해 몇 가지 조건이 있다. 우선 그라운드 면적은 2.25 m^2 이상이어야 한다. 한쪽 변의 길이는 76 cm 이상이어야 한다. 표면 저항은 0.1 mΩ/square 이하이어야 한다. 차폐실과 접속 저항은 2.5 mΩ 이하이어야 한다. 금속 접속 스트랩을 사용한다. 차폐실의 바닥 또는 벽과 접지면의 간격은 1 m로 한다.

시험전의 환경측정을 위해서 주위 전자파 잡음수준을 측정한다. 피시험체의 전원을 off 상태에서 주변 장비에서 방사되는 양을 측정하여 둔다. 이때 측정된 전자파 잡은 수준은 시험 한계치보다 6 dB이하이어야 한다. 그리고 전자파 간섭 시험을 위한 시험 장비의 요구 조건들은 MIL-STD-462D 4절에 규정된 사항들을 만족해야 하며 모든 장비는 MIL-STD-462D에 의거하여 장비를 교정하여야 한다. 전자파 시험 담당자와 피시험체 담당자는 모든 시험 장비 교정에 대하여 확인한다.

2.4 시험구성 및 결과

2.4.1 시험구성

전자파환경 시험실의 전파 무향실에서 전도방사, 전도내성, 복사방사, 복사내성 시험을 수행하였다. 시설 접지와 김발엔진 구동장치 사이에 접지는 항상 2.5mΩ 이하를 유지하였고, 이들 장비의 그라운드는 MIL-STD-1541A에 의거하여 이루어졌다. 각각의 시험시의 구성은 시험내용과 연계하여 설명하기로 한다.

2.4.2 시험결과

2.4.2.1 CE102 시험

CE102 시험은 피시험체를 정상 동작시켜 최소 측정 시간에 따라 10kHz~10MHz 주파수 구간의 전자파를 측정하는 시험으로 구동장치 시스템과 전자파 시험 장비를 그림 6과 같이 구성하고 MIL-STD-462D에 따라 시험 장비를 교정하고 CE102 시험을 수행하였다. 그림 7은 실제 시험 수행 장면을 촬영한 것이다. 시험 수행시에 구동장치 시스템의 오동작의 판별은 구동장치 제어기 내부 신호 기록 확인과 출력 전압신호의 왜곡 확인을 통해 수행하였다. 이후의 다른 시험에서도 같은 방식으로 구동장치의 오동작을 판별하였다.

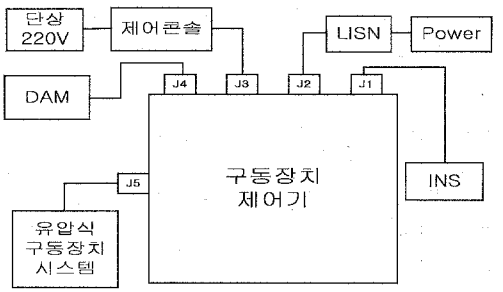

그림 6. CE102 시험 구성

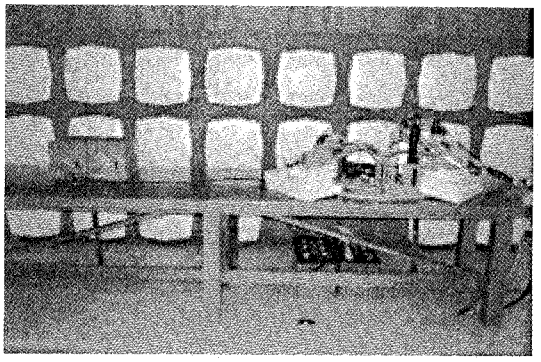

그림 7. CE102 시험 모습

CE102 시험 결과는 그림 8에 나와 있듯이 100kHz ~ 800KHz 사이에서 규격을 넘었다. 원인을 분석해보면 제어기 내부에 정전압용 소자로 사용하는 DC-DC 컨버터의 스위칭으로 인해 생기는 잡음을 제어기 내부의 필터가 완전히 제거해주지 못하기 때문인 것으로 파악된다. 그래서 스위칭 주파수가 약 250KHz 근처인 DC-DC 컨버터의 스위칭 잡음을 줄이기 위해 전원필터를 새로 설계한 후 실험한 결과를 보면 그림 9에서 볼 수 있듯이 규격을 만족함을 볼 수 있다.

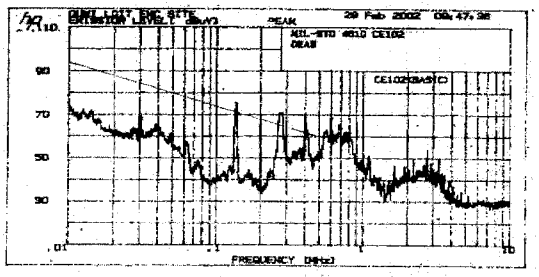

그림 8. CE102 시험결과

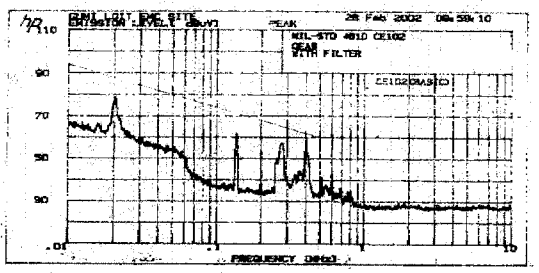

그림 9. CE102 시험결과(필터수정 후)

2.4.2.2 CS101 시험

CS101 시험은 피시험체의 전원 입력선에 30Hz~50kHz의 전자파를 가할 때 피시험체에 나타나는 오동작이나 성능저하를 측정하기 위한 시험으로 구동장치와 전자파 시험장비를 그림 10과 같이 구성하고 MIL-STD-462D에 따라 시험장비를 교정하고 시험을 수행하였다. 그림 11은 실제 시험장면이다.

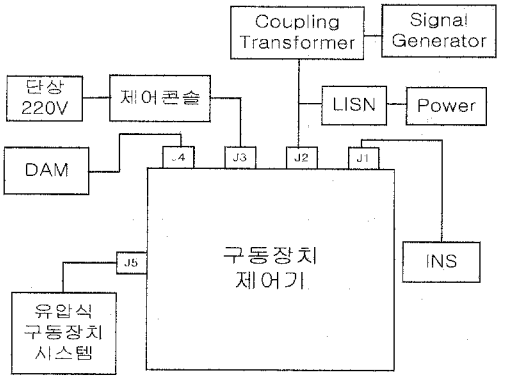

그림 10. CS101 시험구성

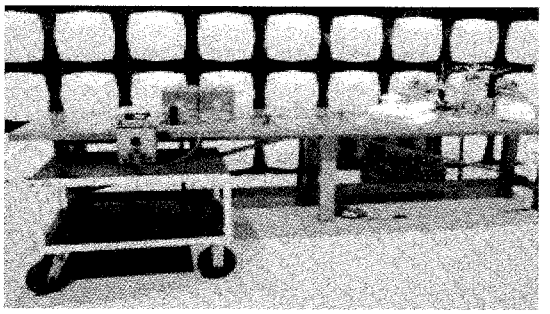

그림 11. CS101 시험 모습

시험을 위해서 신호 발생기를 최소 주파수로 맞추고, 입력 전원선에 요구되는 전압이나 전력이 인가되도록 입력 신호값을 조정하고 표 2와 같은 주파수 변화율에 따라 주파수를 변화시키면서 구동장치의 오동작 및 성능 저하를 측정하였다. 시험결과 구동장치는 정상적으로 작동하여 CS101시험에 대해 적합판정을 내렸다.

표 2. CS101 시험 결과

주파수 (kHz)	요구규격 (V)	입력신호 (V)	시험결과
0.03	2	2.12	합격
0.05	2	2.10	〃
0.07	2	2.13	〃
0.1	2	2.16	〃
0.15	2	2.14	〃
0.2	2	2.10	〃
0.25	2	2.12	〃
0.3	2	2.14	〃
0.4	2	2.11	〃
0.6	2	2.09	〃
0.8	2	2.16	〃
1	2	2.11	〃
1.5	2	2.08	〃
2	2	2.10	〃
3	2	2.10	〃
5	2	2.06	〃
7	1.6	1.62	〃
10	1	1.05	〃
18	0.6	0.63	〃
25	0.4	0.44	〃
30	0.36	0.40	〃
40	0.25	0.26	〃
50	0.2	0.21	〃

2.4.2.3 CS114 시험

CS114 시험은 피시험체의 모든 접속 케이블에 대해 10kHz~400MHz의 전자파를 가할 때 피시험체에 나타나는 오동작이나 성능저하를 측정하기 위한 시험으로 그림 12와 같이 시험장비와 구동장치를 설치하고 MIL-STD-462D에 따라 시험장비를 교정하고 시험을 수행하였다. 그림 13은 실제 시험장면이다.

시험을 위해서 신호 발생기를 50% 듀티비를 가지는 1kHz 펄스파로 변조시킨 10kHz로 조정하고 유도 전류를 감지하면서 교정시에 결정된 forward power level을 주입 전류 프로브로 인가한 뒤 표 3에 있는 대로 주파수를 변화시키면서, 구동장치의 성능저하나 오동작을 관찰하였다. 5개의 케이블에 대해 위와 같은 과정을 반복하여 실험하였다. 표 3은 그중에서 전원 케이블인 J2에 대한 시험결과를 적은 것이다. 시험결과 구동장치가 정상 작동하여 CS114 시험에 대해 적합 판정을 내렸다.

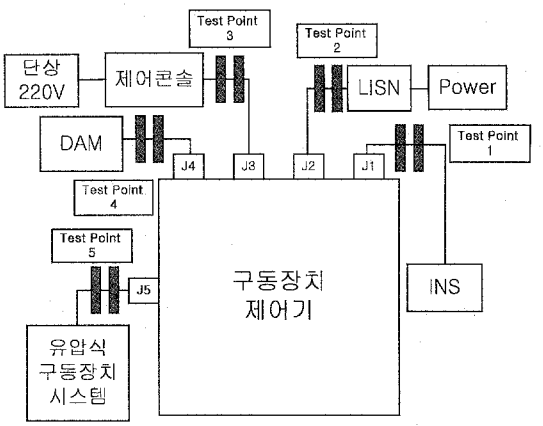

그림 12. CS114 시험구성

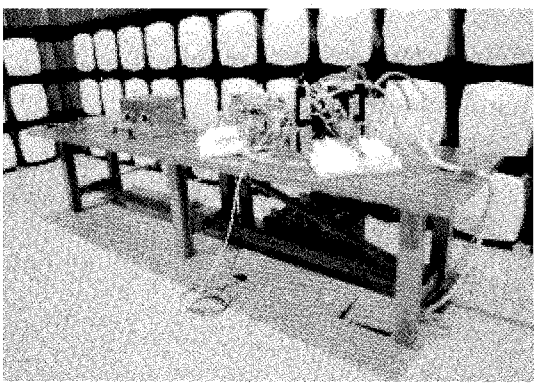

그림 13. CS114 시험 모습

표 3. CS114 시험결과(J2)

주파수 (MHz)	요구규격 (dBμA)	forward power (dBm)	측정전류 (dBμA)	시험결과
0.01	57.73	25.27	49.00	합격
0.02	59.93	21.73	55.02	〃
0.04	62.08	18.10	61.04	〃
0.08	67.84	18.18	67.06	〃
0.1	74.12	26.55	69.00	〃
0.2	75.88	22.71	75.02	〃
0.4	81.17	22.55	81.04	〃
0.8	91.29	27.81	87.06	〃
1	94.09	29.36	89.00	〃
2	91.20	24.22	89.00	〃
4	92.24	25.09	89.00	〃
6	94.12	26.92	89.00	〃
8	94.12	26.95	89.00	〃
10	89.91	22.72	89.00	〃
15	90.19	22.65	89.00	〃
20	90.07	22.43	89.00	〃
30	91.10	23.15	89.00	〃
40	91.11	22.87	87.67	〃
80	87.52	19.42	84.46	〃
100	87.14	18.93	83.42	〃
200	85.28	17.78	80.21	〃
300	83.34	7.29	78.33	〃
400	78.86	4.64	77.00	〃

2.4.2.4 CS115 시험

CS115 시험은 피시험체의 모든 접속 케이블에 대해 정해진 규격의 임펄스 신호를 가할 때 피시험체의 오작동이나 성능저하를 확인하기 위한 시험으로 그림 14와 같이 시험장비와 구동장치를 구성하고 MIL-STD-462D에 따라 시험 장비를 교정한 뒤 시험을 수행하였다. 그림 15는 실제 시험장면이다.

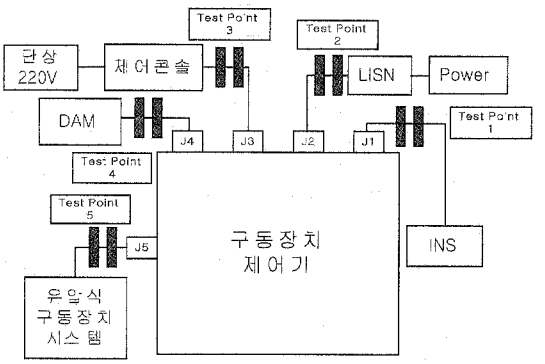

그림 14. CS115 시험구성

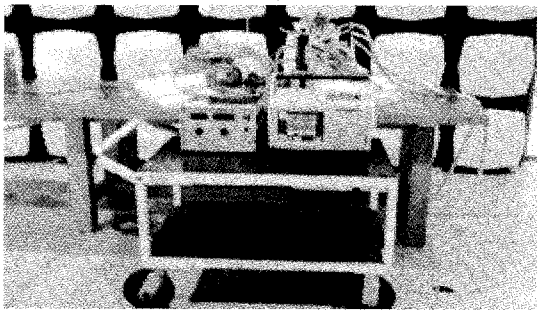

그림 15. CS115 시험 모습

시험을 위해 구동장치의 모든 접속 케이블에 대하여 그림 4와 같은 시험 규격의 펄스 신호를 1분 동안 30Hz의 rate로 인가하면서, 구동장치의 오동작과 성능 저하를 감시하고 정상 동작시의 감응 레벨을 표4에 기록하였다. 시험결과 구동장치가 정상 작동하여 CS115 시험에 대해 적합판정을 내렸다.

표 4. CS115 시험 결과

케이블	요구규격 (A)	인가전류 (A)	측정전류 (A)	시험결과
J1	5	5.06	1.108	합격
J2	5	5.06	0.65	〃
J3	5	5.06	1.234	〃
J4	5	5.06	1.342	〃
J5	5	5.06	1.278	〃

2.4.2.5 RE102 시험

RE102 시험은 피시험체에서 방사되는 10kH~18GHz 범위의 전기장을 측정하기 위한 시험으로 그림16과 시험장비와 구동장치를 구성하고 MIL-STD-462D에 따라 시험장비와 안테나를 설치하고 교정한 후 시험을 수행하였다. 그림 17은 실제 시험장면이다.

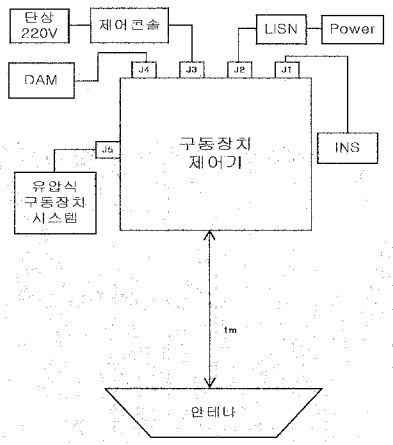

그림 16 RE102 시험구성

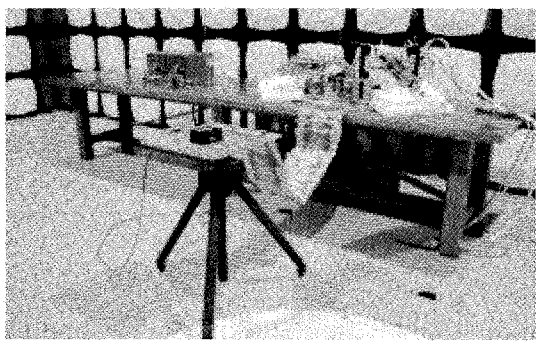

그림 17. RE102 시험 모습

시험을 위해서 10kHz~18GHz 주파수 범위를 정해진 비율에 따라 변화시켜가며 전기장을 측정하였다. 30MHz 이하의 경우는 수직방향에서만 측정하고 30MHz 이상의 경우 수평방향과 수직방향을 모두 측정하였다. 안테나의 위치는 MIL-STD-462D를 참조하였다.

RE102 시험결과는 그림 18, 19에서 볼 수 있듯이 부적합 판정이 나왔지만 시험중에 구동장치의 오동작이나 성능저하는 발생하지 않았다. 그림에서처럼 규격을 만족하지 못한 주원인은 유압펌프 구동용 DC모터 구동시에 나오는 잡음 때문이다. 규격을 만족하기 위한 대책으로 모터를 별도 구조물내에 완전히 차폐하고 전원 입력단에 관통형 커패시터가 내장된 EMI 필터를 사용해야 하고 EMI 필터 내장형 커넥터에 완전 실드형 케이블을 사용하여야 한다. 그러나 구동장치 시스템의 구조적 한계와 모터의 정격이 28V, 315A로 전류용량이 크기 때문에 잡음을 완전히 없애기 위한 대책을 수립하는데 현실적으로 한계가 있다.

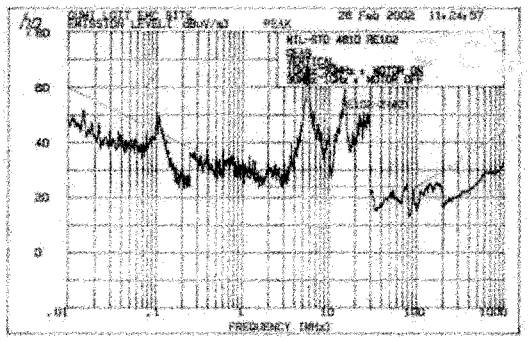

그림 18. RE102시험결과(수직편파)

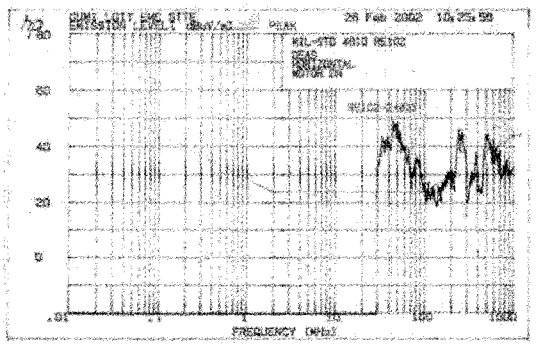

그림 19. RE102 시험결과(수평편파)

2.4.2.6 RS103 시험

RS103 시험은 피시험체가 10kHz ~ 18GHz

주파수 범위의 전기장에 대해 오동작이나 성능저하를 일으키는 지를 확인하기 위한 시험으로 그림 20과 같이 시험장비와 구동장치를 설치하고 MIL-STD-462D에 따라 시험장비와 안테나 설치 및 교정한 뒤 시험을 수행하였다. 그림 21은 실제 시험장면이다.

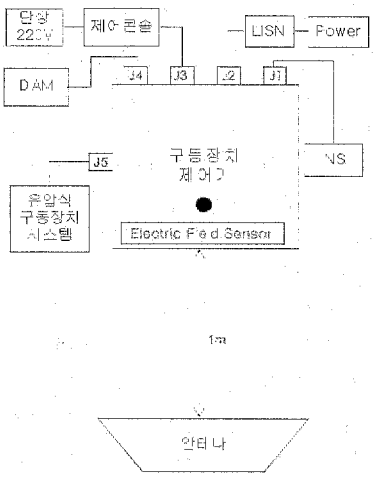

그림 20. RS103 시험구성

시험을 위해서 10kHz~18GHz주파수 범위를 정해진 비율에 따라 변화시켜가며 전기장을 발생하였는데 30MHz 이하의 경우는 수직편파만 만들었고 30MHz 이상의 경우 수평편파와 수직편파를 모두 만들었다. 안테나의 위치는 MIL-STD-462D를 참조하였다. 각 주파수 범위에서의 전계강도는 표 5에 정리되어 있다. 시험 결과는 표 6, 7에 정리하였다. 시험결과 구동장치는 정상 작동하여 RS103 시험에 대해서 적합 판정을 내렸다.

표 5. RS103 시험 한계치

주파수 범위	전계강도	비 고
10 kHz ~ 18 GHz 2255.5MHz 9197.5MHz 3202.5MHz	20V/m 25V/m 80V/m 80V/m	f < 30MHz : 수직편파 적용 f ≥ 30MHz : 수직 및 수평 편파 적용

표 6. RS103 시험결과(수직편파)

주파수 (MHz)	요구규격 (V/m)	측정강도 (V/m)	시험결과	주파수 (MHz)	요구규격 (V/m)	측정강도 (V/m)	시험결과
0.01	20	20.5	합격	550	20	20.4	합격
0.02	20	20.5	〃	600	20	20.2	〃
0.04	20	20.7	〃	650	20	20.5	〃
0.08	20	20.5	〃	700	20	20.4	〃
0.1	20	20.8	〃	750	20	20.2	〃
0.4	20	20.1	〃	800	20	20.5	〃
1	20	20.5	〃	850	20	20.7	〃
2	20	20.5	〃	900	20	20.5	〃
4	20	20.2	〃	950	20	20.7	〃
8	20	20.1	〃	1000	20	21.3	〃
10	20	20.5	〃	2000	20	21.3	〃
20	20	20.4	〃	2255.5	25	26.7	〃
30	20	20.7	〃	3000	20	20.1	〃
40	20	20.7	〃	4000	20	20.8	〃
50	20	20.5	〃	5000	20	21.3	〃
60	20	20.2	〃	6000	20	20.8	〃
70	20	20.8	〃	7000	20	20.5	〃
80	20	21.2	〃	8000	20	22.0	〃
100	20	20.7	〃	9000	20	21.6	〃
150	20	20.2	〃	9197.5	80	81.5	〃
200	20	20.8	〃	9200	20	22.0	〃
250	20	20.5	〃	9202.5	80	84.2	〃
300	20	20.7	〃	10000	20	20.8	〃
350	20	20.4	〃	12000	20	20.8	〃
400	20	20.8	〃	14000	20	21.3	〃
450	20	20.5	〃	15000	20	20.5	〃
500	20	20.4	〃	18000	20	20.1	〃

표 7. RS103 시험결과(수평편파)

주파수 (MHz)	요구규격 (V/m)	측정강도 (V/m)	시험결과	주파수 (MHz)	요구규격 (V/m)	측정강도 (V/m)	시험결과
30	20	20.7	합격	850	20	20.7	합격
40	20	21.3	〃	900	20	20.5	〃
50	20	20.2	〃	950	20	20.7	〃
60	20	20.5	〃	1000	20	21.3	〃
70	20	20.5	〃	2000	20	21.3	〃
80	20	21.2	〃	2255.5	20	27.0	〃
100	20	20.7	〃	3000	20	20.1	〃
150	20	21.2	〃	4000	20	21.3	〃
200	20	20.2	〃	5000	20	21.3	〃
250	20	20.4	〃	6000	20	20.8	〃
300	20	20.7	〃	7000	20	21.3	〃
350	20	20.4	〃	8000	25	20.5	〃
400	20	20.5	〃	9000	20	21.3	〃
450	20	20.5	〃	9197.5	20	81.9	〃
500	20	20.7	〃	9200	20	20.8	〃
550	20	20.5	〃	9202.5	20	82.2	〃
600	20	20.5	〃	10000	20	20.8	〃
650	20	20.4	〃	12000	20	20.8	〃
700	20	20.7	〃	14000	20	20.1	〃
750	20	20.7	〃	15000	80	20.1	〃
800	20	20.7	〃	18000	20	20.5	〃

4. 결 론

KSR-III에 탑재되어 추력벡터제어에 사용될 김발 엔진 구동장치 시스템이 로켓에 탑재되어 다른 전자장비에 전자파 간섭을 일으키는지 혹은 다른 장비로부터 전자파 간섭을 받아 오동작을 일으키는지를 알아보기 위해 전자파 환경시험을 수행하였다.

전자파 환경시험결과 내성은 크게 영향을 받지 않는 것으로 보여서 MIL-STD-461D에 근거하여 외부 전자파에 의한 성능저하는 없을 것으로 판단된다.

문제가 되었던 전도방사의 경우는 구동장치 시스템에서 방출되는 잡음의 주파수 특성을 파악하여 적절한 전원필터를 설계함으로써 구동장치가 규격을 만족하도록 하였다.

복사방사의 경우는 일부 주파수 대역에서 제한규격을 넘었다. 그러나 구동장치의 오동작이나 성능저하는 일어나지 않았다. 현실적으로 완전한 전자파 차폐를 위한 대책 마련이 쉽지 않은 현 상황에서는 시험결과에 대해 판단하기 위해서는 추가로 다음의 사항들을 고려하는 것이 바람직한 것으로 생각된다.

우선 구동장치 시스템을 비행체에 탑재한 상태에서 모터를 연속적으로 구동하면서 구동장치의 안정성 시험을 하고 모터에서 발생하는 잡음에 의해 구동장치 시스템의 성능에 미치는 영향을 평가하여야 한다. 그리고 동시에 주위에 있는 다른 전자 장비들이 오동작을 일으키지 않는지를 확인하여야 한다.

참 고 문 헌

1. T. L. Clark, M. B. McCollum, D. H. Trout and K. Javor, "Marshall Space Flight Center Electromagnetic Compatibility Design and Interference Control Handbook", Marshall Space Flight Center, June 1995.
2. MIL-STD-461D, "Military Standard, Require -ments for the Control of Electromagnetic Interference Emissions and Susceptibility", 11 January 1993.
3. MIL-STD-462D, "Military Standard, Measure -ment of Electromagnetic Interference Charac -teristic", 11 January 1993.
4. MIL-STD-461E, "Department of Defense Interface Standard, Requirements for the

Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equip -ment", 20 August 1999.
5. MIL-STD-1541A, "Military Standard, Electro -magnetic Compatibility Requirements for Space Systems", 30 December 1987.
6. 채연석 외, "3단형 과학로켓 개발사업(III)" 과학기술부 연구보고서, 2000.
7. 채연석 외, "3단형 과학로켓 개발사업(IV)" 과학기술부 연구보고서, 2001.