

## 技術論文

## ALQ-X ECM 포드 비행 적합성 인증

전승문\*, 임재문\*\*

## Flight Compatibility Certification of ALQ-X ECM Pod

Seung-Moon Jun\* and Jae-Moon Lim\*\*

## ABSTRACT

Flight compatibility certification is performed to substantiate the compatibility between ALQ-X ECM pod and KF-16D/RF-4C aircraft. A certification plan for the ALQ-X flight compatibility is established. Similarity analysis, mass/inertia analysis, structural analysis/test, and ground vibration test/flutter analysis are made to support the safety of MIL-HDBK-1763 Test 250 (Captive compatibility flight profile). Aircraft flew along flight envelope boundary with representative ALQ-X configurations. Handling qualities are evaluated by comparing flight characteristics of the aircraft with and without ALQ-X. Structural integrity and endurance is evaluated using measured flight test data. Results of these flight tests showed that ALQ-X is compatible with KF-16D/RF-4C without altering the flight envelope which has originally been certified for ALQ-88 and ALQ-119 ECM pods. ALQ-X certification program made following technical achievements: Type III certification for foreign designed fighter, flutter analysis program development using GVT results, and utilization of MIL-STD-1553B data bus in flight test.

## 초 록

ALQ-X ECM 포드를 KF-16D와 RF-4C 항공기에 장착하기 위한 비행적합성 인증을 수행하였다. MIL-HDBK-1763에 부합하는 외부장착 스토어 인증 절차를 계획한 후 유사성 분석, 기존 스토어 질량 및 관성모멘트 분석, 구조해석 및 시험, 지상진동시험 및 플러터해석을 수행하여 비행시험 수행에 대한 안전성을 확인하였다. ALQ-X 장착 형상을 대표하는 비행 형상으로 MIL-HDBK-1763 Test 250 비행시험을 하였다. ALQ-X 장착 전, 후의 비행 특성 차이를 분석하여 조종성을 평가 하고 구조건전성과 내구성은 계측데이터를 함께 분석하여 ALQ-X가 KF-16D 및 RF-4C와 적합성이 있음을 확인하였다. 그 결과로서 ALQ-X를 기존에 인증된 ALQ-88 및 ALQ-119와 동일하게 운용할 수 있음을 인증하였다. ALQ-X 비행인증 결과로서 도입 전투기에 대한 TYPE III 비행적합성 인증, 시험데이터를 사용한 플러터 해석 프로그램을 개발, MIL-STD-1553B 데이터버스를 사용한 비행시험 데이터를 획득할 수 있는 기법과 같은 기술적 성과를 거두었다. 본 비행인증 결과는 향후 국내에서 수행할 Type III 형식의 외부장착 스토어 비행인증의 모델케이스가 될 것으로 기대한다.

**Key Words :** ECM Pod(전자 방해장비 포드), Compatibility(적합성), Similarity Analysis (유사성 분석), Ground Vibration Test(지상진동시험, GVT), Captive Flight Profile Test(항공기 장착 비행시험, CFP)

† 2004년 11월 26일 접수 ~ 2005년 1월 10일 심사완료

\* 정회원, 국방과학연구소

연락처자, E-mail : smjun@add.re.kr

대전시 유성우체국 사서함 35-3, 3-3-1

\*\* 정회원, 국방과학연구소

## 1. 서 론

대부분의 군용항공기는 미사일, 폭탄, 연료탱

크 및 ECM(Electronic Countermeasures) 포드 등과 같은 스토어를 항공기 외부에 장착할 수 있도록 설계되고 있다. 이와 같은 스토어 장착은 항공기의 비행특성, 공력탄성, 전자기적 성능에 영향을 미칠 수 있다. 스토어의 강성, 장착위치 및 중량은 항공기 날개의 동적인 거동에 큰 영향을 준다. 그러므로 외부장착 스토어와 항공기 사이에 발생하는 복잡하면서도 특이한 현상에 대하여 항공기 안전을 보장하며 임무 달성 효과를 높이기 위하여 항공기와 스토어 사이의 적합성(Compatibility)에 대한 인증이 필요하다.

과거에 미군의 경우 항공기와 외부장착 스토어간의 적합성은 함공포함 탑재기를 제외하고는 큰 문제가 없었다. 베트남 전쟁 동안 그 당시 존재하던 거의 모든 스토어를 전투에 투입한 항공기에 장착할 수 있었다. 그러나 1970년대 이후 F-16 항공기를 배치하면서 외부장착 스토어를 만족스럽게 장착할 수 없는 일이 발생하게 되었다. 그리하여 미공군은 이러한 문제를 종합적으로 해결하기 위하여 AFSEO(Air Force Seek Eagle Office)를 1987년에 설립하였다. AFSEO는 항공기 장착 스토어의 적합성 인증 업무를 수행하는 미국내 유일한 기관 이다[1]. 이러한 사실은 항공전력을 원활하게 유지하는 데에 외부장착 스토어의 적합성 인증이 중요함을 보여주고 있다.

항공기 탑재장비의 발전에 따라 운용중인 항공기에 새로 개발한 ECM 장치, 적외선 탐지장비, 공대지/공대공 미사일 등의 외부장착 스토어를 추가하거나 교체하는 경우가 빈번히 발생한다. 이 경우 외부장착 스토어와 항공기의 적합성에 문제가 발생하지 않도록 하여야 한다. 특히 외국에서 도입하여 운용 중인 항공기에 대하여 이와 같은 개발을 하고자 할 때, 필요한 공학적 데이터가 가용하지 않은 경우가 대부분이다. 따라서 공학적 기술자료가 부족한 항공기의 외부장착 스토어 적합성 인증 방법이 필요하다.

Table 1. External Store Compatibility Design Types (MIL-HDBK-244)

Type	Store	Aircraft	Remarks
I	Inventory	Inventory	
II	Inventory	New, Future	XKO-1, T-50
III	New, Modified, Future	Inventory	ALQ-88, ALQ-X
IV	New, Modified, Future	New, Future	XKO-1, T-50

외부장착 스토어 적합성 인증 대상은 항공기와 스토어의 형태 따라 Table 1과 같이 분류할 수 있다. 국내의 외부장착 스토어 인증 경험은 통제기 개발 사업에서 Type II, IV 인증 경험이 있으며 T-50 항공기의 경우 비행시험을 진행 중에 있다. 또한 ALQ-88 ECM 포드를 외국 인증기관에 위탁하여 Type III 적합성 인증업무를 수행한 바 있다.

군용항공기에 대한 외부장착 스토어의 적합성 인증 절차에 대하여 MIL-HDBK-244[2] 및 MIL-HDBK-1763[3]과 같은 설계 가이드와 핸드북이 있다. 항공기에 외부장착 스토어를 장착하는 경우는 대단히 많은 조합이 가능하므로 외부장착 스토어를 인증하는 방법을 일반적으로 정의하기는 곤란하다. 그러므로 인증하고자 하는 외부장착 스토어에 대하여 인증절차를 어떤 방법으로 적용하는가 하는 것은 고도의 경험에 의거한 공학적 판단에 따르게 된다. 인증이라는 업무의 특성상 요구도를 공학적으로 입증하는 방법(Means of Compliance)이 한 종류만이 아닌 이유이다. 경험이 풍부한 기술 집단은 과거의 경험을 충분히 이용하여 경제적이고도 신속하게 인증을 수행할 수 있는 반면, 경험이 없는 집단은 많은 해석 및 시험을 수행해야만 하는 것이다.

최근에 국내 기술로 ALQ-X ECM 포드가 개발되었다. 기존의 전자전 포드를 대체하여 ALQ-X를 KF-16D과 RF-4C 항공기에 장착하려면 비행적합성을 인증할 필요가 있었다. 본 논문에서는 ALQ-X 전자전 포드를 전투기에 장착하기 위한 목적으로 수행한 비행적합성 인증 업무 내용을 기술하였다.

## II. 본 론

### 2.1 ECM 포드 및 장착 항공기

ECM 포드는 적 대공 위협무기(요격기 레이더, 지대공 유도탄, 대공포)로부터 야군 항공기 자기방어를 위해 적 방공망 레이더 및 미사일 신호를 수신, 분석, 식별하고 기만 또는 잡음 제밍신호를 방사하여 적의 레이더 및 미사일을 전자 방해시키는 역할을 한다. ALQ-X ECM 포드의 외형은 Fig. 1에 보인바와 같으며 길이 3.3m, 폭 0.254m, 장착용 걸림쇠를 포함한 높이가 0.557m이며 중량은 246Kg이다. AL6061 소재를 사용한 상하 프레임과 수직판으로 주구조를 형성하며 측면단개는 샌드위치 구조이다. 17-4PH(AMS5355)로써 제작된 장착용 2개의 걸림쇠는 상부 프레임과 10개

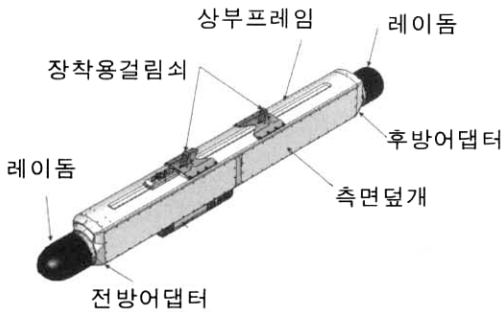


Fig. 1. ALQ-X Pod

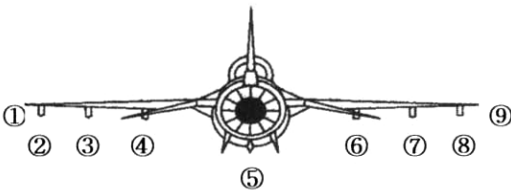


Fig. 2. F-16 External Store Stations

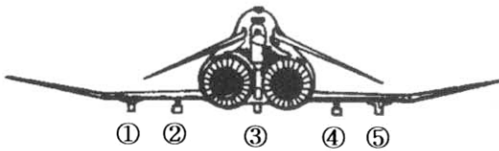


Fig. 3. RF-4C External Store Stations

의 볼트로써 각각 체결된다.

ALQ-X의 장착대상 항공기는 KF-16D와 RF-4C 항공기이다. KF-16D 항공기에는 9개소의 스토어 장착점(Fig. 2)이 있다. ECM 포드는 날개에는 3번과 7번 장착점, 동체에는 5번 장착점에 장착이 가능하다. RF-4C 항공기의 스토어 장착점 5개소 중에(Fig. 3) 2번, 4번 장착점에 ECM 포드 장착이 가능하다.

어느 특정한 외부 장착물 조합의 경우 항공기 비행영역이 대단히 제한되는 경우가 있다. 예를 들어 F-16 항공기의 1번, 9번 장착점에 AIM-9을 장착하고 2번, 8번에 AIM-9 장착, 3번 (또는 7번)에 ALQ-119 ECM 포드를 장착할 때 항공기 비행제한은 전혀 없다. 그러나 1번, 9번 AIM-9을 발사한 후에는 비행사는 최고 속도가 현저히 저하된다. 이와 같이 ECM 포드가 포함된 특정한 외부장착이 항공기 비행특성에 민감한 영향을 주는 경우가 있으므로 비행적합성 인증의 중요성이 더욱 강조되는 것이다.

## 2.2 적합성 인증 절차

외부장착 스토어와 항공기 사이의 적합성 인증에 필요한 업무 내역은 MIL-HDBK-1763A의 Appendix A와 B에 명시되어 있다. 이러한 업무는 유사성 분석(Similarity Analysis), 기존항공기/스토어 데이터 분석, 엔지니어링 해석, 지상시험 및 비행시험으로 분류할 수 있으며 그 흐름은 Fig. 4와 같다.

그러므로 각종의 필요업무에 대하여 적합성이 어떤 방법으로 입증할 것인가에 대한 검토가 필요하며 ALQ-X의 경우 ECM 포드의 운용환경을 고찰하여 비용과 시간을 최소화 하면서 기술적 위험도를 낮출 수 있는 입증방법을 선정하였다. 이 과정에는 고도의 경험에 의거한 공학적 판단이 필요하다. ECM 포드는 항공기에서 분리하지 않는 운용조건을 고려하고 장착대상 항공기의 외부장착 스토어 운용 제한조건, 이미 적합성이 인증되어 운용중인 ALQ-88 및 ALQ-119과 외형 및 질량특성의 차이점을 분석하였다. 이상의 결과를 항공기 운용부대 요원, 시험비행 수행자 및 기술분야별 전문가들이 함께 검토하여 Table 2에 도 시험바와 같은 각종 시험에 대한 입증방법을 정의하였다.

ALQ-X의 비행적합성 인증의 목표는 기존에 인증되어 사용하고 있는 ALQ-119 또는 ALQ-88

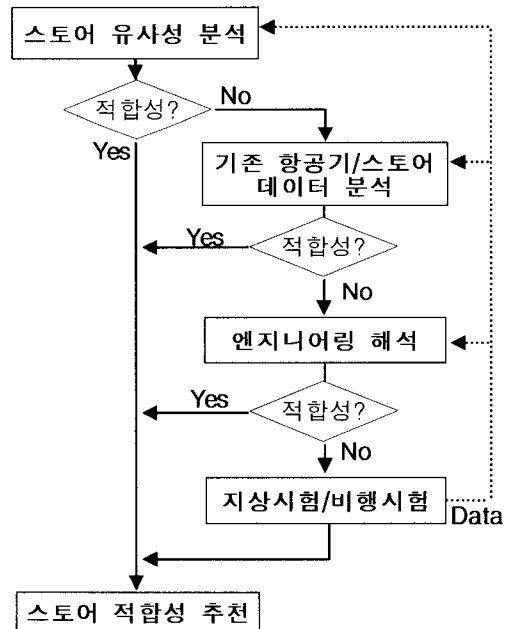


Fig. 4. Store Compatibility Certification Process per MIL-HDBK-1763

과 동일한 비행영역 안에서 사용이 가능한지를 입증하는데 있다.

Table 2. Means of Compliance of ALQ-X Compatibility Certifications Tests

GROUND TEST		FLIGHT TEST	
Test Item	MOC	Test Item	MOC
101 Fit Test	3	200 Inflight Loads Test	2
102 Function Test	3	210 Flutter Test	1
110 Static Ejection Test	0	221 Vibration Test	2
120 Aeroelastic GVT	3	222 Aeroacoustic Test	0
131 Structural Integrity Ground Test	3	Thermal Test	0
132 Carrier Suitability Test	0	EMC/EMI Flight Test	3
141 Effects Of A/C On Captive Stor/Sus Equip	1	230 Flying Qualities Test	2
142 Effects Of Captive Stor/Sus Equip On A/C	1	240 Perf And Drag Tests	2
143 Aeroelastic Effects Test	1	251 Handling Qualities Test	3
144 Separation Tests	0	252 Structural Integrity Test	3
151 Vibration Test	3	253 Endurance Test	3
152 Aeroacoustic Test	0	260 Carrier Suitability Test	0
153 HERO Test	3	270 Employment Tests	0
154 EMC/EMI Test	3	280 Jettison Test	0
155 Temp & Thermal Tests	0	290 Ballistics Test	0
161 Gun Firing Test	0		
162 Rocket/Missile Firing Test	0		

MOC(Means Of Compliance) Definition  
 0: Statements  
 1: Similarity Analysis/Engineering Analysis  
 2: Substituted By Other Test(s)  
 3: Conduct Test

### 2.3 해석 및 지상시험

#### 2.3.1 유사성 분석

ALQ-X가 항공기 비행특성에 미치는 영향성을 판단하기 위하여 기존에 사용하고 있는 ALQ-88 포드와 유사성을 분석하였다. ALQ-88 포드의 외형은 ALQ-X에 비하여 길이가 조금길고 전,후방형상에 약간의 차이가 있다. 이러한 경우 유사성 해석으로 공력특성의 차이점을 충분히 분석할 수 있다고 판단하여 통제기 개발 사업에서 외부장착 스토어 분리운동해석 시험으로 입증된 CFD 코드[4]를 사용 각 포드의 외형 데이터를 입력하여 공력 계수를 계산하였다. Fig. 5에 예시로 보인 바와 같이 두 포드의 공력특성은 마하수 변화에 따라서 동일한 변화 추세를 보여준다. 항공기 날개 면적을 기준 면적으로 한 공력계수 값의 차이를 비교할 경우 그 크기는 계산방법 오차범위에 있다. 항력 및 안정성, 조종/안정성 변화, 이/착륙 성능 변화, 강하 성능 변화에 대한 차이점을 분석한 결과, 기존에 인증된 ALQ-88 포드에서 ALQ-X 포드로 교체 장착에 따른 항공기 비행특성의 큰 변화는 없으리라고 예측하였다.

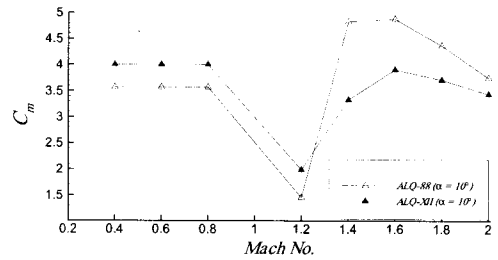


Fig. 5. Cm Comparison Between ALQ-X versus ALQ-88

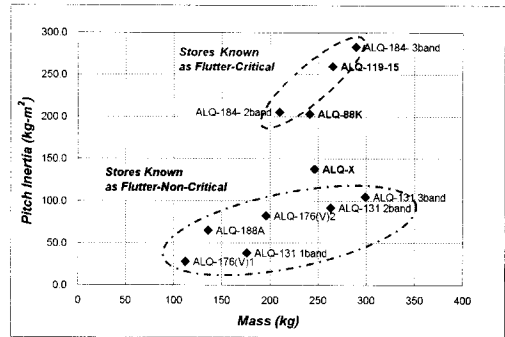


Fig. 6. Inertia versus Mass for Various ECM Pods

#### 2.3.2 기존 스토어 질량 및 관성모멘트 분석

기존의 ECM 포드에 대한 질량 데이터를 분석하였다. F-16 항공기 비행교범에 명시된 비행제한 데이터를 분석하면 ALQ-184, ALQ-119가 포함된 특정한 외장형상에 대하여 상당한 비행속도 제한이 명시되어 있음을 알 수 있다. 이것은 이들 ECM 포드의 질량특성이 항공기 플러터 특성에 밀접한 관계가 있음을 나타낸다. Fig. 6은 F-16에 장착가능한 각종의 ECM 포드의 질량데이터 비교 이다. 원제작사 자료에 따르면 [5] 대략 135-339 kg-m<sup>2</sup> 범위의 관성모멘트 값이 F-16의 플러터 특성에 영향을 준다. ALQ-X의 종방향 관성모멘트는 138 kg-m<sup>2</sup> 이다. 비행교범의 비행제한 자료와 원제작사 자료를 참고할 때 ALQ-X는 상대적으로 플러터 특성에 영향을 주지 않는 쪽에 가깝게 위치하고 있다고 말할 수 있다.

#### 2.3.3 구조 해석 및 시험

ALQ-X 포드에 대하여 하중해석, 정적강도 평가, 피로 수명 평가를 수행하였다. CFD 코드로써 공기력 분포를 계산하고 MIL-A-8591H [9] Procedure B의 하중조건을 분석하여 관성력과 공기력 조합을 선정하여 하중해석 조건으로 삼았

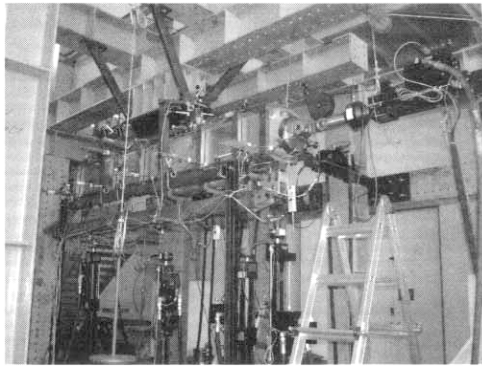


Fig. 7. Static Strength Test of ALQ-X Pod Structure

다. 선정된 하중해석 조건이 F-16 항공기의 비행 제어 법칙 Category III를 적용한 하중조건에 비교하여 보수적임을 확인하였다. RF-4C는 최대 기동 하중배수 및 롤 속도가 F-16보다 낮으므로 F-16에 대한 포드 설계조건을 두 항공기에 모두 적용하는 것이 가능하다. 정적강도 해석은 하중 해석 결과를 이용하여 유한요소해석으로 수행되었다. 이때 공력가열 영향을 해석에 고려하였다. 정적 강도 시험(Fig. 7) 치구에 MAU-12를 설치하고 포드 시편을 장착하여 실제 항공기 장착상태를 구현하였다. 설계극한하중 까지 하중을 부가하여 정적강도를 입증하였으며 구조 시험에서 획득한 데이터를 해석결과에 반영하여 최종 정적강도를 입증하였다. 전투 비행단의 ECM 포드 운용 자료를 사용하여 피로하중기준 및 응력스펙트럼 산출하고 및 정하중해석 결과를 이용하여 포드의 내구성 및 손상허용 해석을 수행하였다. 장착용 걸림쇠를 포함하는 상부 프레임 일부분에 대한 내구성 시험을 수행하여 이러한 해석결과의 안전성을 입증하였다.

**2.3.4 플러터 해석 및 지상진동시험**

외부장착 스토어와 항공기의 적합성 판단시 항공기의 진동 및 공탄성 안정성에 대한 공학적 검토와 입증에 필요하다. 그러나 외국에서 도입하여 운용 중인 항공기에 대하여 이와 같은 개발을 하고자 할 때, 필요한 공학적 데이터가 대부분 가용하지 않으므로 많은 비용을 지불하며 제작사에 의뢰하거나 위험성을 가지고 시험을 하는 실정이다. 따라서 공학적 기술자료가 부족한 항공기의 플러터 특성을 분석하기 위한 방법이 필요하다.

본 연구에서는 시험적 또는 해석적 방법으로 외부에서 얻은 모달 변수를 사용하여 MSC/

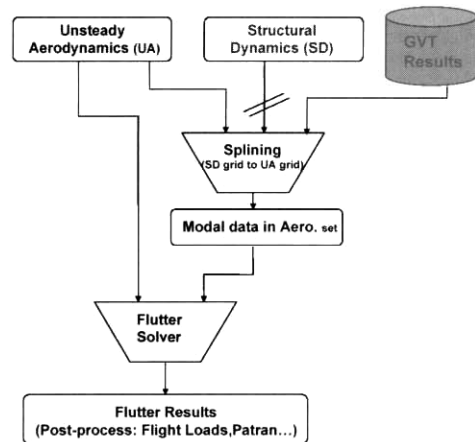


Fig. 8. Flutter Analysis Procedure Using Test Modal Data



Fig. 9. Ground Vibration Test of KF-16D

NASTRAN에서 플러터 해석을 수행할 수 있는 기법(Fig. 8)을 NASTRAN의 DMAP(Direct Matrix Abstraction Program)을 사용한 프로그램으로 개발하였다. 개발한 프로그램을 문헌[6]에 발표된 F-16 모달 자료를 이용, 플러터 해석결과를 재현하여 신뢰성을 검증하였으며, 저속통제기의 지상 진동 시험 결과[7]를 이용하여 본 프로그램의 적용성을 확인하였다.

MIL-HDBK-1763 Test120에 의거하여 KF-16D 항공기에 대한 지상진동시험을 수행하였다. 7종의 외부장착 형상을 선정하고 200여개의 가속도계와 8조의 가진기를 사용하였다(Fig. 9). ALQ-X와 ALQ-88 장착형상 이외에 질량특성을 시험목적에 알맞게 구현한 ALQ-119 장착상태에 대한 모달 데이터도 획득하였다. 기본형상에 대한 모달 데이터를 원제작사 자료[8]와 비교하여 시험결과의 타당성을 확인하였다. Fig. 10은 ALQ-X, ALQ-119, ALQ-88 장착한 F-16 항공기의 플러터

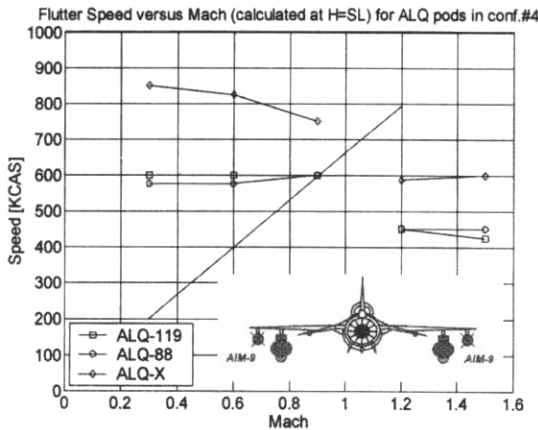


Fig. 10. Flutter Analysis Results Comparison (ALQ-X, ALQ-119, and ALQ-88)



Fig. 11. Flight Test of KF-16D with ALQ-X Pod

해석 결과 비교 예시이다. 해석 비행영역에 대하여 ALQ-88과 ALQ-119의 플러터 속도는 비슷한 반면 ALQ-X 장착형상의 플러터 속도는 상대적으로 높음을 보여준다. 즉 ALQ-X 장착 형상이 플러터 측면에서 기존의 ECM 포드 장착형상 대비 안전함을 보여주며 이것은 질량 및 관성 모멘트 비교에서 예측하였던 경향과 일치한다.

## 2.4 비행시험

MIL-HDBK-1763 Test 250에 의거 비행 적합성 (Captive Compatibility) 시험을 수행하였다(Fig. 11). 비행 적합성 시험은 Test 251 항공기 조종성 (Flying Quality), Test 252 구조건전성 (Structural Integrity) 및 Test 253 내구성 시험 (Endurance)으로 구분된다.

### 2.4.1 조종성

조종성 평가를 위하여 확인해야 하는 비행특성은 이착륙 특성 및 항공기 기본 성능, 세로 동안정성, 가로 및 방향 동안정성, 상반각 효과 및 방향 정안정성, 롤 특성, 기동 안정성, 그리고

Table 3. Flight Test Configurations for RF-4C With ALQ-X

고도 (ft)	속도	장착 점	외장	비 고
15K	350kts	2		Powered Approach
15K	On speed			
30K	M0.9	2		
30K	750kts M2.0	2		Throttle Chop
15K	750kts	2		
1K	M0.9	2		Speed Soak

ALQ-X     Fuel tank

Table 4. Flight Test Configurations for KF-16 With ALQ-X on Fuselage Store Station

고도 (ft)	속도	장착 점	외장	비 고
15K	350kts	5		Powered Approach
15K	On speed			
30K	M0.9	5		
30K	800kts M2.05	5		Throttle Chop
15K	800kts	5		
1K	M0.9	5		Speed Soak

ALQ-X     Fuel tank

속도 안정성이다. 각각의 안정성은 다양한 속도 영역에서 확인 되어야 하며, 조종사의 정성적인 평가를 통하여 이루어진다. 언급한 각각의 안정성을 확인하기 위한 비행시험 항목은 Steady Heading Side Slip, Short Period, Dutch Roll, Roll Performance, Wind Up Turn, Acceleration & Deceleration, Trim Change와 같다.

Table 3~5는 ALQ-X 장착 비행시험 형상이다.

**Table 5. Flight Test Configurations for KF-16 With ALQ-X on Wing Store Station**

고도 (ft)	속도	장착 점	외장	비 고
15K	350kts	3		Powered Approach
15K	On speed			
30K	M0.9	3		
30K	800kts M2.05	3		
15K	800kts	3		
1K	M0.9	3		Speed Soak

ALQ-X     Fuel tank

MIL-HDBK-1763 Test250 (Captive Compatibility Flight Profile)의 정의에 따른 비행시험결과를 시험비행 조종사의 정성적인 평가에 의하여 비행성 적합성을 판단한다. 이러한 시험에는 테스트 파일럿 교육기관에서 전문적인 시험비행 교육을 이수한 시험비행 조종사가 참여한다. Table 3~5의 외부장착 형상에서 ALQ-X 포드를 제거한 형상을 기본형상으로 하여 각 비행 시험 과목을 수행하고 비행특성을 테스트카드에 기록하고 또한 HUD(Head Up Display) 표시내용을 녹화한다. ALQ-X 장착 형상에 대하여 동일한 비행 시험 과목을 수행하고 비행특성을 기록한다. 시험비행 조종사가 ALQ-X 장착 전, 후의 비행특성 변화를 비행시험에서 기록된 자료를 바탕으로 판단하였다. 이때 확인 사항은 급작스런 조종입력에 대한 감쇠 특성, 조종입력에 대한 항공기 반응 선형성, 조종력과 기동하중배수(g)의 비례관계, 롤 기동시 한, 롤기동경로 이탈여부이다.

시험결과 KF-16D 항공기는 모든 시험조건에 대하여 급격한 조종입력에 즉시 또는 2회 이내 운동이 감쇠되었고, 조종입력과 항공기 특성의 선형성이 항상 존재 하였다. 조종력과 기동하중배수(g)의 비례관계 및 롤 특성도 ALQ-X 장착 전후에 시험비행 조종사가 인지할만한 변화가 없었다. RF-4C 항공기는 SAS(Stability Augmentation System) On, Off 상태에 대하여 각각 시험하였다. ALQ-X 장착 전, 후의 비행특성은 별 차이가 없었다. SAS

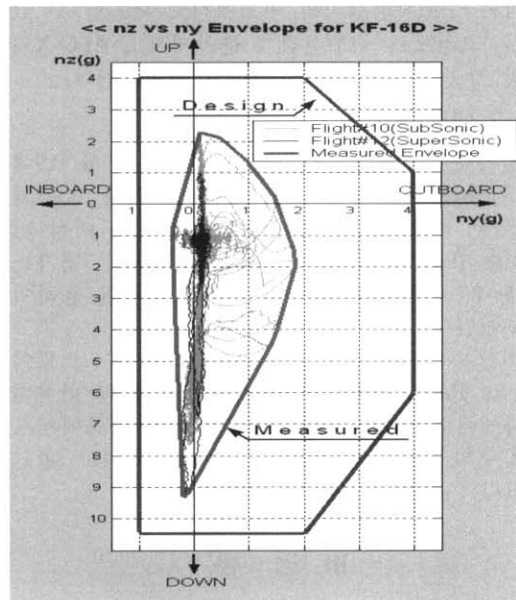
Off 상태에서 급격한 조종입력에 6회 이내에 운동이 감쇠되었고 이것은 MIL-HDBK-1763 Test 251에 명시된 7회 이내의 요구도를 만족한다. 두 항공기 모두 날개 장착 비대칭 형상에서 이륙, 착륙 및 저속에서 에일러론 및 러더의 사용이 필요하였다. 그러나 그 필요정도가 비행교범에 명시된 항공기 설계 비대칭 형상에 대한 요구량 이하이므로 비행교범의 수정은 필요가 없다.

이상의 비행특성 시험결과로 볼 때 ALQ-X 장착 전,후의 항공기 조종성 변화는 미소하며 ALQ-X 장착시 비행특성은 비행교범에 명시된 운용범위 안에 존재하므로 장착 항공기와 적합성이 있다고 판단하였다.

**2.4.2 구조건전성**

최대 허용 속도에서 최대 대칭 및 비대칭 하중배수까지 기동하였을 때 항공기, 장착물 또는 장착장비에 파괴나 손상 발생 여부로써 구조건전성을 평가한다. 언급한 각각의 안전성을 확인하기 위한 비행시험 항목은 Roller Coaster Maneuver, Roll Performance, Steady Heading Side Slip과 같다.

MIL-HDBK-1763에 따르면 비행시험 전후에 스토어, 스토어 Ejector Rack, 파일런에 대한 육안검사 및 비파괴 검사로써 구조건전성여부를 판단한다. 그러나 외국 도입 전투기에 대한 스토어 적합성 평가는 국내 최초로 수행되므로 일부 분



**Fig. 12. Load Factor Nz vs Ny envelop (KF-16D Flight)**

야에 대하여 정량적인 비행데이터를 확보하여 경험부족을 보완하고자 하였다. 신규 개발 항공기의 경우 비행시험을 위한 계측장비를 시제기 내부에 탑재하도록 설계하여 비행시험 자료를 획득한다. 그러나 개발이 완료되어 양산된 항공기를 사용한 비행 시험에서 데이터를 얻기 위해서는 별도의 계측 장치를 설계/장착하여야 하며 특히 국외도입 항공기를 사용하면 설계 자료부족으로 인하여 어려움이 배가된다. 이 문제를 해결하기 위하여 MIL-STD-1553B 데이터를 이용하여 KF-16 항공기 자체 센서 데이터를 추출하는 기법을 개발하였다. 동시에 스토어의 하중배수, 장착용 걸림쇠의 변형을, 스토어 표면 온도 측정 센서와 기록 장치를 내장한 계측용 포드를 개발하였다. MIL-STD-1553B에서 추출한 고도, 속도, 자세 및 하중배수와 같은 항공기 기본 자료와 포드에 설치한 센서에서 나오는 데이터를 기록하였다.

비행시험 전후에 ALQ-X 스토어, 스토어 Ejector Rack, 파일런에 대한 육안검사 및 비파괴 검사에서 특이점은 없었다. Fig. 12는 비행시험에서 계측한 하중배수 결과이다. 측정된 Nz 하중 배수는 -2.3g ~ 9.2g, Ny는 -0.5g ~ 1.7g 범위인 반면 스토어 설계하중배수는 Nz가 -4.0 ~ 10.6g, Ny는 -1.0g ~ 4.0g 범위이다. 그러므로 실제 측정된 결과에 비하여 설계하중배수가 여유를 가지고 있음을 확인할 수 있으며 이것은 변형을 측정 결과와 구조시험결과의 비교에서도 확인할 수 있었다. 그러므로 구조건전성 분야에서도 ALQ-X와 장착 항공기와 적합성이 있다고 판단하였다.

### 2.4.3 내구성

연속적이며 고른 진동이 발생하는 마하 0.9에서 기상과 안전이 고려된 실제적인 최저 고도(최대 평균 해수면고도 1000피트)에서 30분 이상 비행하여 (Speed Soak) 내구성을 평가한다. 평가는 비행 후 육안 구조검사 및 비파괴 검사를 통하여 이루어진다.

비행시험 전후에 ALQ-X 스토어, 스토어 Ejector Rack, 파일런에 대한 육안검사 및 비파괴 검사에서 특이점은 없으므로 내구성 항목에서도 ALQ-X와 장착 항공기와 적합성이 있다고 판단하였다.

## III. 결 론

ALQ-X ECM 포드에 대한 TYPE III 비행적합성 인증을 수행하였다. MIL-HDBK-1763에 부합

하는 외부장착 스토어 인증 절차를 이제까지 축적한 항공기 개발경험 및 시험비행 경험을 활용하여 계획하였다. 유사성 분석, 기존 스토어 질량 및 관성모멘트 분석, 구조해석 및 시험, 플러터해석 및 지상진동시험을 수행하여 비행시험 수행에 대한 안전성을 확인하였다. ALQ-X 장착 형상을 대표하는 비행시험 형상을 선정하고 비행영역 내에서 고도별, 속도별, 허용 하중배수 한계 내에서 비행시험을 하였다. ALQ-X 장착 전, 후의 비행성 차이를 분석하여 조종성을 평가 하고 구조건전성과 Speed Soak에 대한 내구성은 계측데이터를 추가하여 평가하여 ALQ-X가 KF-16D 및 RF-4C와 적합성이 있음을 확인하였다. 그 결과로써 ALQ-X를 기존에 인증된 ALQ-88 및 ALQ-119와 동일한 운용범위에서 사용이 가능함을 인증하였다.

ALQ-X 비행인증의 과정에 얻어진 기술적 성과는 다음과 같다. 국내기술로 도입 전투기에 대한 TYPE III 비행적합성을 인증하였다. 시험데이터를 사용한 플러터 해석 프로그램을 개발하여 설계 데이터가 부족한 도입항공기에 대한 해석에 적용이 가능하게 하였다. 끝으로 MIL-STD-1553B 데이터버스를 사용한 비행시험 데이터를 획득할 수 있는 기법을 개발하였다.

국내 기술로 수행한 본 비행인증 결과는 향후 국내에서 수행할 도입항공기에 대한 Type III 형식의 외부장착 스토어 비행인증의 모델케이스가 될 것으로 기대한다.

## 참고문헌

- 1) www.eglin.af.mil/afseo.
- 2) Anon., MIL-HDBK-244A Guide to Aircraft/Stores Compatibility, 1990.
- 3) Anon., MIL-HDBK-1763 Aircraft/Stores Compatibility: System Engineering Data Requirements and Test Procedures, 1998.
- 4) 이승수, 김상진, 김명성, "저속통계기 외부장착물 분리운동해석 및 비행시험", 한국항공우주학회지, 32권 5호, 2004, pp.24-29.
- 5) Shelton, D., Summary of F-16 flutter characteristics, Dec. 1997.
- 6) Denegri Jr., C. M., "Limit Cycle Oscillation Flight Rest Results of a Fighter with External Stores", AIAA-2000-1394, 2000.
- 7) 조창민, 변관화, "저속통계기 플러터 해석", MADC-401-030725, 2003.



- 8) Elrod, J. C., *F-16 No. 1 Initial Ground Suspension Equipment and Aircraft-Store Vibration Test*, F16PR422, 1976. Interface (Carriage Phase); General Design
- 9) Anon., MIL-A-8591H Airborne Stores Criteria for, 1994.