

Part 25급 항공기용 금속계 제동패드의 비행시험 항목

Flight Test Items of Metal Brake Pad for Part 25 Aircraft

김민지 · 김경택*

한국생산기술연구원 지능화뿌리기술연구소

Minji Kim · Kyung-taek Kim*

Research Institute of Intelligent Manufacturing & Materials Technology, Korea Institute of Industrial Technology, Incheon, 21999, Korea

[요약]

본 연구에서는 우리나라 및 미국의 항공관련 법령 및 항공기 기술기준과 기술표준품 표준서의 분석을 통하여 수송급 항공기용 금속계 제동패드의 비행시험을 위한 계측항목 및 비행시험 항목을 도출하였다. 비행시험 시 계측항목은 항공기 고도 및 속도와 항공기 상태 등 항공기 및 조종실에서 출력되는 항목과 풍향 및 풍속과 기온 등 지상에서 출력되는 항목을 상시 계측하여야 한다. 제동패드의 비행시험 항목은 착륙 시 정지성능, 퓨즈 플러그 작동 검증, 이륙중지 상황에서의 정지 성능, 미끄럼 방지 착륙 적합성 및 주차 제동성능 등을 정량적으로 평가하여야 하며, 각 시험조건에서 비행시험 조종사의 항공기 조향특성에 대한 정성적 평가가 필요하다. 비행시험 전에 각 시험항목별 위험요소의 식별과 위험요소의 완화방안을 사전에 승인받아야 하며, 비행시험 중에도 비행시험의 적합성 유지를 위한 위험요소의 재평가를 수행하고 그 결과를 문서화하여야 한다.

[Abstract]

In this study, the flight test measurement data and flight test items for metal-based brake pads for transport aircraft were derived through the analysis of Korea and the U.S. aviation-related regulations, technical standards and airworthiness standards. During the flight test, the measurement items should be measured at all times, such as aircraft altitude, speed, aircraft condition, wind direction, wind speed, and air-temperature. The flight test items of the brake pad should be quantitatively evaluated for stopping performance during landing, fuse plug integrity, stopping performance at reject take-off situations, anti-skid compatibility during landing and parking brake capability. Additionally, qualitative evaluation of the flight test pilot's aircraft steering characteristics under each test condition is required. The identification of risk factors for each test item and measures to mitigate risk factors must be approved in advance before the flight test, and the risk factors must be reevaluated to maintain suitability for the flight test during the flight test, and the results must be documented.

Key word : Brake pad, Flight test, Part 25 aircraft, Parts manufacturer approval, Supplemental type certificate.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2024.28.5.670>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 27 September 2024; Revised 26 October 2024

Accepted (Publication) 29 October 2024 (31 October 2024)

*Corresponding Author; Kyung-taek Kim

Tel: *** - **** - ****

E-mail: kkt@kitech.re.kr

I. 서 론

민간 항공기용 장비품 및 부품은 항공기의 성능, 감항특성 및 안전성에 영향을 미치는 경우, 치명성 부품으로 분류하여 매우 높은 수준의 인증절차를 요구하고 있으며, 개조장착을 위한 정비품 및 부품에도 동일한 인증절차를 요구하고 있다. 항공기의 감항특성 및 승객의 안전과 직결되는 치명성 부품은 개조장착 시 중대한 변경으로 규정하고 있으며, 부품인증을 위해서는 부가형식증명, 부품등제작자증명 및 감항증명 등이 필요하다 [1]-[3].

부가형식증명 절차는 형식증명 및 제작증명을 받은 기존 장비품 또는 부품과의 동일성 증명, 항공기 기술기준의 적합성 증명 및 비행시험을 통한 합치성 증명과 감항성증명 등이 대표적인 인증절차이다. 부품등제작자증명 절차는 부가형식증명을 받은 정비품 또는 부품의 제작기술, 설비, 인력, 감항성 유지 및 품질관리체계 등을 증명하는 인증절차이다.

우리나라의 민간 항공기 인증체계는 1980년대 말에 항공법에 형식증명제도를 추가하면서 항공기 인증체계를 구축하기 시작하여 항공기 타이어와 소형항공기의 국가 간 항공안전협정 시범인증 등을 통하여 선진국 수준의 인증체계를 구축하였으나, 수송류 항공기에 대한 인증체계는 여전히 미흡한 실정이다.

우리나라는 항공운송 강국임에도 불구하고 항공기 제조사를 보유하고 있는 일부 선진국의 인증체계를 기반으로 한 높은 시장진입 장벽으로 인하여 항공부품 및 항공정비 산업에 소요되는 정비품 및 부품의 해외 의존도가 매우 높아 국내 항공산업의 활성화를 위하여 산업자원부의 항공우주부품기술개발사업을 통하여 기술개발이 진행되고 있으며, 국토교통부의 항공기 개조인증기술개발사업을 통하여 인증체계의 선진화를 위한 국가 차원에서 연구개발이 진행되고 있다.

Part 25급의 수송류 항공기는 우리나라 및 미국의 연방항공청 규정에 따라 수송인원 120명 내외의 수송급인 항공기로 분류되고 제동패드를 포함한 제동장치는 치명성 부품으로 정의되어 있으며, 상기의 국가 연구개발사업을 통하여 수송급 항공기용 금속계 제동패드의 개발과 인증체계 개발이 진행되고 있다 [4]-[7].

본 연구에서는 대표적인 수송류 항공기인 B737용 금속계 제동패드의 부가형식증명 및 감항증명을 위한 비행시험과 관련된 국내 규정 및 미국 연방항공청(FAA)규정의 분석을 통하여 비행시험항목을 도출하였다.

II. 우리나라의 비행시험 관련 규정 분석

우리나라의 항공관련 법령은 항공안전법을 최상위 법령으로 시행규칙 또는 훈령 등으로 하위 법령을 구성하고 있으며, 법령에 대한 항공기별 분류체계에 따라 항공기 기술기준을 규

정하고 있다. 표 1에 본 장에서 분석한 우리나라의 법령 및 기술기준을 나타내었다[8]-[13].

2-1 우리나라의 법령 및 지침 분석

우리나라의 항공기 관련 법령과 지침 등은 국토교통부의 항공기 관련 법령, 국토교통부령 및 국토교통부훈령 등을 통하여 규정하고 있으며, 국토교통부훈령을 통하여 당국, 심사자 및 신청자의 책임 및 인증절차 등을 규정하고 있다.

항공안전법은 항공기 관련 최상위 법령으로서 「국제민간항공협약」 및 같은 협약의 부속에서 채택된 표준과 권고되는 방식에 따라 항공기, 경량항공기 또는 초경량비행장치의 안전하고 효율적인 항행을 위한 방법과 국가, 항공사업자 및 항공종사자 등의 의무 등에 대한 사항을 법률로 규정하고 있으나, 비행시험과 관련된 항목은 규정되어 있지 않다.

항공안전법 시행규칙은 국토교통부령으로서 항공안전법 및 같은 법 시행령에서 위임된 사항과 그 시행에 필요한 사항을 규정하고 있으나, 비행시험과 관련된 항목은 규정되어 있지 않다.

부품등제작자증명 지침은 국토교통부훈령으로서 항공안전법 제28조 및 같은 법 시행규칙 제61조 내지 제64조에 따른 부품등제작자증명에 필요한 세부절차를 규정하고 있으며, 인증업무의 효율화 및 부품등제작증명 절차의 국제적 대응성을 규정하고 있으나, 비행시험과 관련된 항목은 규정하지 않고 있다.

제작증명 및 생산승인지침은 국토교통부훈령으로 항공기 등의 제작증명, 기술표준품 형식승인 또는 부품등제작자증명을 위한 생산승인에 필요한 세부절차와 인증관리 요건을 규정하고 있으나, 비행시험과 관련된 항목은 규정하고 있지 않다.

항공기 기술표준품 형식승인 절차 규정은 국토교통부훈령으로 항공안전법 제20조 및 같은 법 시행규칙 제39조 내지 제41조의 규정에 의거하여 국토교통부장관이 정하여 고시하는 항공기 기술표준품의 형식승인 업무에 필요한 세부절차를 규정하고 있으나, 비행시험과 관련된 규정은 정하지 않고 있다.

표 1. 항공관련 법령 및 규정

Table 1. Aviation-related regulations in Korea.

Classification	Regulations
Regulation	- Aviation safety act
Order	- Enforcement rules of the aviation safety act - Part manufacturer approval procedures - Production certification and production approval guide - Type approval of aircraft technical standard - Issuance and management of airworthiness improvement order - Supplemental type certificate procedures - Korean technical standard order (KTSO-C26d "Aircraft Wheels and Wheel-Brake Assemblies")
Advisory Circular	- Korean airworthiness standards Part 21 "Certification procedures for products and parts" - Korean airworthiness standards Part 25 "Certification procedures for transport airplane products and parts"

항공기 기술표준품 표준서(항공기 휠, 브레이크 및 휠-브레이크 조립품)은 항공안전법 제20조 및 같은 법 시행규칙 제40조에 의거하여 제정되었으며, 항공기 기술기준 Part 23, 27 및 29에 규정된 항공기의 휠, 브레이크 및 휠-브레이크 조립품이 만족하여야 하는 최소성능표준과 K-TSO 표시에 대한 사항을 규정하고 있다. 하지만 수송급 항공기인 Part 25급의 기술표준품 표준서와 비행시험관련 규정은 제정되어 있지 않다.

감항성개선지시서 발행 및 관리 지침은 국토교통부훈령으로서 항공안전법 제15조 제8항에 따라 항공기의 감항성을 지속적으로 유지하기 위하여 항공기를 소유하거나 임차하여 사용할 수 있는 권리가 있는 소유자 등에게 감항성개선지시서를 발행하고 이행여부를 확인하는 방법과 구체적인 절차를 규정하고 있으나, 비행시험과 관련된 항목은 규정하고 있지 않다.

항공기 등의 부가형식증명 지침은 국토교통부훈령으로서 항공안전법 제20조 제4항 및 같은 법 시행규칙 제23조의 규정에 의한 항공기 등의 형식증명 소지자가 설계를 변경하고자 하거나 장비품 또는 부품을 장착하기 위하여 설계를 변경하고자 하는 등 국토교통부장관이 발급하는 부가적인 형식증명승인의 발행을 위한 세부절차와 검증방법 등을 규정하고 있다.

동 지침 제16조(합치성 증명자료의 제출)에 비행시험의 신청 등에 대한 규정을 정하고 있으며, 제17조(비행시험)에 기술기준의 적합성 여부를 검증하기 위한 인증비행시험과 신청자가 비행적합성 확인, 비행자료획득 및 계기 검·교정 등을 위하여 실시하는 개발비행시험을 규정하고 있다. 이와 함께 제18조(비행시험조종사)에 항공안전법 제35조 제1호 내지 제3호의 규정에 의한 자격증 소지자를 비행시험조종사로 규정하고 있다.

이와 같이 우리나라의 법령 및 규정에는 항공기 등의 부가형식증명 지침에 규정된 비행시험관련 규정이 있으나, 수송급 항공기용 기술표준품 표준서가 제정되어 있지 않아 이에 대한 규정 마련이 필요하다.

2-2 우리나라의 항공기 기술기준 분석

우리나라 국토교통부의 항공기관련 법령, 국토교통부령 및 국토교통부훈령 등을 통하여 규정하고 있는 법령에 대하여 항공기 기술기준(KAS; korean airworthiness standards)을 고시하고 있다. 비행시험과 관련된 항공기 기술기준은 Part 21 및 Part 25에 규정되어 있다.

항공기 기술기준 Part 21(항공기 등, 장비품 및 부품인증 절차)는 항공안전법 제20조 내지 제28조까지 및 제30조에 의한 항공기, 엔진, 프로펠러 및 부품의 감항성 인증에 대한 세부절차를 예비항목을 포함하여 총 20개의 서브파트로 구성되어 있다.

비행시험과 관련된 주요 규정은 서브파트 B(형식증명) 조항에 국토교통부장관은 형식증명 신청자가 관련 규정에 의해 적합성을 확인하기 위한 검사, 비행시험 및 지상시험을 수행할 수 있도록 해야 함을 규정하고 있으며, 특히 Part 25급 인증을 위한

비행시험시험 보고서에는 인증절차에서 요구하는 비행시험을 수행할 수 있는 적절한 자격증을 소지한 조종사의 서명을 요구하고 있다.

항공기 기술기준 Part 25(감항분류가 수송류인 비행기에 대한 기술기준)은 총 8개의 서브파트로 구성되어 있으며, 최대이륙중량 5,700 kg을 초과하는 수송류 비행기에 적용하고 형식증명 신청자가 Part 25의 해당 기술기준에 적합하다는 것을 증명토록 규정하고 있다. 비행시험과 관련된 규정은 서브파트 B(비행)과 D(설계 및 구조 비행-착륙장치)에 규정되어 있다.

서브파트 B의 비행 조항에는 비행시험 중 중량, 하중(중량중심과 관성), 대기속도, 동력 및 바람 등과 같은 시험 상 중대한 변수들의 수치는 공차범위 내에 있어야 하며, 활주로의 상태 및 속도 등에 따른 가속-정지거리에 대한 정의와 계산식 등을 규정하고 있다. 이와 함께 항공기의 착륙과 관련된 정의 및 기준과 항공기의 방향 안정성 및 조종상태를 규정하고 있다.

서브파트 D의 설계 및 구조 비행 조항에서는 제동시스템의 용량, 주차제동장치 및 운동에너지 용량에 따른 정지성능을 규정하고 있으며, 제동 중 제동장치의 온도상승으로 인한 휠의 결합 발생 및 타이어 파열 등을 방지할 수 있는 장치의 설치를 규정하고 있다.

III. 미국 연방항공청의 규정 분석

미국 연방항공청의 항공관련 최상위 법령은 Title 14, Code of federal regulations(14 CFR) 'Aeronautics and space'로서 우리나라의 항공안전법에 해당하며, 하위 훈령, 지침 및 고시 등에 해당하는 Order, Advisory circular 및 Guide 등의 법체계를 가지고 있다. 본 장에서는 표 2에 나타난 수송급 항공기의 비행시험과 관련된 미국의 법령을 분석하였다[3], [14]-[17].

3-1 Title 14 CFR 및 TSO-C135a 분석

14 CFR에서 규정하는 제동장치의 인증절차는 Parts 23, 25, 27 및 29의 서브파트를 통하여 감항성 요구사항 및 적합성 입증 절차를 규정하고 있으며, 수송급 항공기의 비행시험과 관련된 규정은 Part 25 Airworthiness standards, transport category airplanes의 Subpart B-Flight 및 D-Design and construction에 규정되어 있다.

Part 25 Subpart B-Flight 규정은 크게 일반, 성능 및 활주로 상태에 따른 조항특성에 대한 규정을 정의하고 있다. 일반부분에서는 §25.23 Load distribution limits, §25.25 Weight limits 및 §25.27 Center of gravity limits에 주요 장비품 및 부품의 중량에 대한 규정을 기술하고 있으나, PMA 정비품 및 부품은 기존 제품과의 동일성 입증을 위한 비행시험으로서 형상, 규격 및 무게 등 주요 제원이 기존 제품과 동일하여야 한다.

성능부분에 있어서는 §25.107 Takeoff speed에 대한 정의 및 계산식 등에 대한 부분을 기술하고 있으며, §25.109 및 §25.125

에 가속-정지 시 항공기 및 활주로 상태 등에 대한 정의와 계산식 및 착륙속도에 대한 규정을 정의하고 있다. §25.233 Directional stability and control 부분에서는 이륙을 위한 주행 시 조향특성에 대한 규정을 정의하고 있다.

Part 25 Subpart D-Design and construction 규정은 §25.735 Brakes and braking system 부분에서 제동시스템의 성능, 제어, 주차제동, 제동에너지 등에 대한 규정을 기술하고 있으며, 기술 표준품 표준서(TSO-C135a)에 제시된 최소성능을 만족해야함을 규정하고 있다.

Technical standard order, Transport airplane wheels and wheel and brake assemblies(TSO-C135a)는 14 CFR §21.619 (b) Design changes 및 §25.735(f)(1~3) Brakes and braking systems에 기초하여 규정된 지침으로서 기술표준품의 승인 및 개조장착 승인을 위한 기술표준품 표준서의 적용 규정에 따라 휠 및 타이어를 포함한 제동장치에 적용되는 최소 성능표준을 제시한 지침이다. 제동장치의 비행시험과 관련된 주요 시험항목은 설계착륙-정지 시험, 가속-정지 시험 및 최대 하중상태의 착륙-정지 시험 등을 수행하도록 규정하고 있다. TSO-C135a의 상세한 분석은 Min-ji Kim 등이 연구한 ‘수송류 항공기용 금속계 제동패드의 역설계 절차’ 및 ‘수송류 항공기용 금속계 제동패드의 다이나모시험 절차’에 기술되어 있다[4], [5].

3-2 Flight test guide for certification of transport airplanes(AC No. 25-7D) 분석

AC No. 25-7D는 14 CFR의 Part 25, Subpart B, Flight를 기준으로 수송급 항공기의 성능 및 취급과 조정에 대한 비행시험 기준을 제시한 규정으로 각 부품에 대하여 총42개의 장으로 구성되어 있다. 제동장치 및 제동부품의 비행시험은 Chapter 4 Flight performance, Chapter 9 Flight ground and water handling characteristics와 Chapter 15 Design and construction에 규정하고 있다.

Chapter 4 Flight performance의 규정은 14 CFR §25.109 및 §25.125에 기반하여 4.3절에 가속-정지거리와 4.11 절에 착륙에 대하여 각각 기술하고 있다. Chapter 9 Flight ground and water handling characteristics의 규정은 14 CFR §25.233에 기반하여 비행시험은 항공기의 구조적 설계 한계 상황 이하에서 진행하며, 항공기의 주행, 이륙 및 착륙 시 비행형태에 대하여 기술하고 있다. Chapter 15 Design and construction의 규정은 14 CFR §25.735에 기반하여 Retraction mechanism, Wheels, Tires, Brakes 및 Skid 등에 대하여 5개의 세부내용을 기술하고 있다.

제동장치의 비행시험에 있어서 가장 중요한 성능평가 요소인 가속-정지 성능 및 착륙거리 등에 대한 비행시험 규정을 기술한 4.3절에서는 세부항목을 통하여 활주로 조건에 따른 시험 절차와 제동패드 및 항공기의 조건 등을 제시하고 있다. 주요 세부항목의 내용은 최대 제동에너지 흡수능의 평가를 위하여 최대 추력인가 상태에서 3-miles taxiing 및 3 Full stop 이상의 시험을 수행토록 제시하고 있으며, 엔진 고장상태에 있어서의

가속-정지 시간지연에 대한 정의와 젖은 상태의 활주로 조건에서 제동성능 입증절차와 함께 Anti-skid system의 성능 입증절차를 제시하고 있다.

항공기의 착륙과 관련된 정의 및 적용 규정 등과 함께 시험 절차 및 조건 등을 기술한 4.11절에서는 착륙 시 거리 및 속도 등에 대한 정의와 기준 등을 기술하고 있으며, 착륙 시 제동천이 구간 및 정지거리에 대하여 다음의 그림 1에 나타난 바와 같이 ① 구간에서는 항공기가 착륙 후 조종사가 1차 감속장치를 활성화하기까지의 비행시험 평균시간을 나타내며, ② 구간에서는 1차 감속장치의 활성화로부터 2차 감속장치 활성화까지의 비행시험 평균 시간을 나타낸다. 결과값은 1초 또는 시험시간 중 긴 시간을 선정하고 6회 이상 측정하도록 규정하고 있으며, 측정값에 대한 계산식 및 예제를 제시하고 있다.

항공기의 주행, 이륙 및 착륙 시 비행시험 형태 등에 대하여 기술한 9.3절에서는 항공기의 구조 설계 한계 내에서 비행시험을 진행하며, 제동장치의 경우에는 조종사 등의 인적요소가 항공기의 제어를 방해하지 않는 정상적인 착륙조건으로 다양한 활주로의 조건에서 시험을 통하여 제동성능을 평가하도록 규정하고 있다. 이와 함께 비행시험 시 90° 측풍의 풍속은 20 knots 또는 0.2 Vsro(최대 설계 착륙하중)에서 25 knots를 초과하지 않는 범위 내에서 시험하도록 규정하고 있다.

표 2. 미국의 항공관련 법령 및 규정
Table 2. Aviation-related regulations in the United States.

Classification	Regulations
Regulation	- CFR(Code of federal regulation) Title 14 "Aeronautics and space"
Order	- 4040.26B "Aircraft certification service flight test risk management program" - 8110.4C "Type certification" - 8120.22A "Production approval procedures" - 8110.42D "Part manufacturer approval procedures" - FAR §25.735 "Brake and braking systems" - TSO-C135a "Transport airplane wheels and wheel and brake assemblies"
Advisory Circular	- AC25-7D "Flight test guide for certification of transport category airplanes"

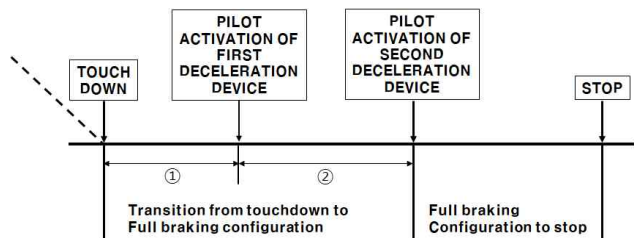


그림 1. 착륙과정 및 시간 지연 정의 [16]

Fig. 1. Landing sequence and time delays definition [16].

제동장치 및 제동패드의 비행시험과 관련된 규정을 14 CFR §25.735 Brakes and braking system에 기반하여 기술한 15.4절에서는 제동장치의 조건, 시험항목 및 횡수 등을 기술하고 있으며, 제동패드의 교체는 일반적으로 중대한 변경으로 구분됨을 규정하고 있다. 세부적인 내용으로는 15.4.2항에서 제동에너지 흡수능은 최대 착륙중량의 다이내모시험을 통하여 합치성이 입증된 80% 마모상태의 제동패드로 시험하며, 마모한계 상태의 제동패드를 이용하여 이륙중지(RTO; Reject of takeoff) 상황에서의 제동에너지 흡수능, 가속 정지 시험 및 착륙 거리 등의 제동성능을 검증하도록 규정하고 있다.

아울러 최대 이륙엔진 상태에서 항공기의 미끄럼(구름) 성능평가를 위한 주차제동 시험과 고에너지 상태에서 비상정지 시험을 통한 제동장치의 과열에 의한 타이어 폭발 가능성을 평가하기 위한 퓨즈 플러그(Wheel fuse plug) 작동 검증 시험의 수행을 규정하고 있다.

15.4절에서 요구하고 있는 제동장치 및 제동패드의 비행시험은 기본적으로 TSO-C135a에서 규정한 최소성능을 평가하도록 규정하고 있다.

3-3 Aircraft certification service flight test risk management program(Order 4040.26B) 분석

FAA Order 4040.9 Aircraft management program Chapter 6 Safety program의 특수 요소항목을 규정한 Order 4040.26B는 비행시험에 관여하는 비행시험 조종사 및 전문가와 시험참여 인력 등을 대상으로 한 위험요소 관리방안 규정을 기술하고 있다. 또한 41 CFR 102.33 Management of government aircraft, 41 CFR 102.33.180 What standards should we establish or require for aviation safety management 및 41 CFR 33.185 What standards must we establish or require for responding to aircraft accidents and incidents에 기반하여 비행시험 전, 비행시험 중 및 비행시험 후의 비행시험 단계별 위험요소 관리에 관한 요구사항을 기술하고 있다.

비행시험 전 단계에서의 위험요소 관리는 비행시험의 방법 식별 및 비행시험 방법에 따른 위험도를 식별하고 비행시험에 참여하는 인력의 경험, 훈련 및 건강 문제 등의 식별과 비행시험 준비정도 및 일정 등에 따른 위험을 식별하도록 규정하고 있다. 아울러 비행시험에 따른 위험의 원인과 영향을 식별하도록 규정하고 있다. 이와 함께 비행시험 의뢰자의 주관적 위험도 평가를 각 위험요소의 발생 확률 및 심각도를 평가하고 모든 위험요소를 허용 가능한 수준으로 완화할 수 있는 통제 수단의 개발과 위험발생을 대비한 비상상황에서의 절차를 기술하도록 규정하고 이상의 모든 기술자료는 비행시험 당국의 승인을 받도록 규정하고 있다.

비행시험 중에는 위험요소 관리 방안에 대하여 비행시험에 참여하는 인력에게 비행시험 전에 브리핑하고 비행시험 전 검토항목을 점검하도록 규정하고 있으며, 비행시험 적합성의 유지와 함께 지속적인 위험요소의 재평가를 요구하고 있다.

비행시험 후에는 비행시험 결과에 대한 보고와 비행시험 중 확인된 보완 및 권장사항을 문서화하도록 규정하고 있다.

이와 함께 8개의 부록을 통하여 상세한 내용을 기술하고 있으며, 대표적인 양식을 제공하고 있다. 특히 부록 G. Typical examples of flight tests at various risk levels를 통하여 위험요소를 구분하고 있으며, 제동장치의 경우에는 최대 에너지 상태에서의 RTO 시험 시 휠 및 제동장치의 화재 가능성으로 인하여 고위험 요소로 판단하고 있다.

IV. 급속계 제동패드의 비행시험 항목

본 장에서는 국내 및 미국의 비행시험관련 기술기준과 기술표준품 표준서의 분석을 통하여 선정된 수송급 항공기용 급속계 제동패드의 비행시험 항목에 대하여 기술한다.

4-1 비행시험의 개요

비행시험은 신규 급속계 제동패드가 다양한 에너지 레벨에서 항공기의 제동성능 및 특성과 짝은 활주로 특성을 포함하는 미끄럼 방지 호환성 및 퓨즈 플러그의 성능이 FAA의 제동패드 성능 요구사항인 TSO-C135a의 최소성능을 만족함을 입증하기 위한 시험이다. 우리나라는 수송급 항공기용 제동패드의 기술표준품 표준서 및 비행시험관련 규정과 기준이 아직 제정되지 않아 이에 대한 기반 여건의 확충이 필요하다.

제동패드의 비행시험을 위해서는 FAA의 기술표준품 표준서인 TSO-C135a에 규정되어 있는 제동패드의 최소성능기준을 만족함을 다이내모시험을 통하여 FAA에 입증하여야 한다. FAA는 다이내모시험 결과와 제동패드의 도면 적용 및 특성평가 절차와 결과를 기존 제동패드와 동일성을 평가하고 비행시험 계속장비의 기능검사 및 교정상태의 검증을 통하여 FAA에서 규정한 법령 및 규정의 적용이 적합할 경우, Experimental airworthiness의 발행을 통하여 비행시험을 허가한다.

비행시험에 요구되는 인력 및 장비는 비행시험을 요청한 기관에서 비행시험 전에 준비하여야 하며, 장비는 비행시험용 항공기와 계측시스템 및 FAA의 Part No.를 획득한 휠과 타이어 등을 포함한다. 비행시험인력은 비행시험용 항공기의 조종 및 정비 등급을 가진 조종사와 정비사 및 FAA의 권한을 위임 받은 비행시험 분석가와 계측시스템 운영자 등을 확보하여야 한다.

이와 함께 3-3절에 기술한 FAA order 4040.26B의 규정에 따라 비행시험 항목별 위험요소를 평가하고 완화조치 계획을 제시하여야 한다.

4-2 비행시험 요구 데이터 선정

제동패드 비행시험 전후의 시험환경 및 시험결과 분석을 위하여 요구되는 데이터를 데이터의 출처에 따라 표 3에 나타

내었다. 데이터의 출처는 크게 항공기에서 출력되는 요소와 조종사의 수동인가 항목에 따라 출력되는 요소 및 관제탑(지상)에서 출력되는 요소로 구분하였다.

항공기의 계기에서 출력되는 주요 요소는 항공기의 고도와 대기속도, 지상속도와 거리, GPS 위치와 활주로의 조건 등이 있으며, 제동압력 및 제동장치의 온도와 휠 속도 등이 있다.

조종석에서 조종사의 수동인가 항목은 전체 엔진의 출력 상태, 플랩 및 스포일러 상태와 스로틀 레버의 위치 등과 함께 인가시간 및 유지시간 등이 요구된다. 또한 조종사는 비행시험 데이터 취합 시 이벤트 표시를 위해 수동인가 항목에 대한 인가시점을 전달해야 한다.

지상인 관제탑에서 출력되는 데이터는 바람의 방향과 속도, 대기온도와 압력 및 타이어의 압력 등이 있다.

4-3 비행시험 항목 선정

제동패드의 비행시험은 FAA의 법령 및 기준에 따라 기존의 휠에 적용 및 대체 가능한 새로운 제동패드에 부품번호를 부여하기 위한 최종 검증시험이다. 이를 위하여 TSO-C135a에서 규정하고 있는 다양한 이착륙 에너지 상태와 RTO 상황 및 활주로 상태에서의 제동성과 제동상황에서의 항공기 제어 특성을 검증할 5개의 시험항목을 표 4에 나타내었다.

아울러 기존 제동패드의 제동성과 항공기 제어특성의 합치성을 검증하기 위하여 5개의 시험항목 중 기존 제동패드를 이용한 2개의 시험항목(표 4의 비행시험 항목 중 별표)를 선정하였다.

착륙 시 정지 성능(Stopping performance during landing) 및 특성은 14 CFR 25.125(b) 및 25.233(c)에 기반하여 새로운 제동패드가 기존의 제동패드와 동등한 성능과 특성을 확보하고 있는지를 평가하는 시험으로서 정량적인 제동거리와 감속도를 포함하여 제동상황에서 항공기의 제어 및 조향특성에 대한 조종사의 정성적 평가가 이루어진다. 시험 시 항공기는 미끄럼 방지 기능이 작동되는 상황이어야 하며, 항공기의 중량 및 무게 균형은 항공사의 제작 매뉴얼에 제시된 중량과 무게 균형을 만족하여야 한다.

퓨즈 플러그 작동 검증(Fuse plug integrity) 시험은 14 CFR 25.125(b) 및 25.233(c)에 기반하여 정상 제동상태에서 착륙 시 제동디스크와 제동패드의 마찰열에 의한 화재발생을 방지하기 위한 퓨즈 플러그의 작동상태를 검증하는 시험으로서 제동장치 및 제동패드의 온도를 정량적으로 측정하며, 착륙 및 주행을 멈춘 후 최소 90분간 화상 모니터링을 진행한다. 시험 시 항공기는 미끄럼 방지 기능이 정상적으로 작동되어야 하며, 항공기의 중량 및 무게 균형은 항공사의 제작 매뉴얼에 제시된 중량과 무게 균형을 만족하여야 한다.

RTO 상황에서의 정지 성능(Stopping performance during RTO) 및 특성은 14 CFR 25.109(a)(2) 및 25.233(c)에 기반하여 RTO 상황에서 새로운 제동패드가 기존의 제동패드와 동등한 성능과 특성을 확보하고 있는지를 평가하는 시험으로서 정량

적인 제동거리와 제동패드의 온도를 포함하여 RTO 제동상황에서 항공기의 제어 및 조향특성에 대한 조종사의 정성적 평가가 이루어진다. 시험 시 항공기는 미끄럼 방지 기능이 정상적으로 작동되어야 하며, 항공기의 중량 및 무게 균형은 항공사의 제작 매뉴얼에 제시된 중량과 무게 균형을 만족하여야 한다. RTO 상황에서의 정지 성능 및 특성 시험은 최대 이륙 에너지 조건과 최소 및 중간 이륙에너지 상태에서 각각 시험하며, 최대 이륙 에너지 조건에서의 제동패드는 90% 이상 마모된 상태의 제동패드를 이용한다.

미끄럼 방지 착륙 적합성(Anti-skid compatibility landing) 시험은 FAR 25.125(b) 및 25.233(c)에 기반하여 젖은 활주로 상태에서 시험하며, 제동거리는 정량적으로 측정하고 조종사의 정성적 평가가 이루어진다. 시험 시 항공기는 미끄럼 방지 기능이 정상적으로 작동되어야 하며, 항공기의 중량 및 무게 균형은 항공사의 제작 매뉴얼에 제시된 중량과 무게 균형을 만족하여야 한다.

표 3. 비행시험 요구 데이터

Table 3. Required data for flight test.

Data sources	Data required
Instrumented aircraft parameters	Altitude & airspeed
	Ground speed & distance
	Brake pressure & temperature
	Pilot's metered brake pressure
	Wheel speeds
	GPS position
Cockpit manual parameters	Runway data
	All engines status
	Flap & spoiler position
	Throttle lever position
Ground station	Time
	Wind direction & velocity
	Ambient air temperature
	Ambient air pressure
	Tire pressure

표 4. 비행시험 항목

Table 4. Flight test items.

Flight test items	Measurement items
Stopping performance during landing*	Braking distance
	Deceleration
Fuse plug integrity	Pad temperature
	Brake temperature
	Plug status
Stopping performance during RTO*	Braking distance
	Pad temperature
Anti-skid compatibility landing	Braking distance
Parking brake capability	Position distance

표 5. 비행시험 무게한계 및 시험환경 오차범위
Table 5. Weight limitations and tolerances for flight test.

Weight limitations	Weight(kg)
Maximum taxi weight	79.3
Maximum takeoff weight	79.0
Maximum landing weight	66.4
Maximum fuel weight	62.7
Items	Tolerance
Maximum taxi weight	-5%, +0%
Maximum takeoff weight	-5%, +0%
Center of gravity limit	±7%
Ground speeds	3 knots
Wind speeds(head/tail wind)	±5 knots(desirable)
Wind speeds(cross wind)	5 knots(max.)

주차 제동능력(Parking brake capability)시험은 이륙 출력상태에서 한 개의 엔진으로 시험하며, FAR 25.735(d)에 기반한다. 시험은 새로운 제동패드에 대해서만 진행한다. 항공기의 중량 및 무게 균형은 선택사항으로 항공기가 시험 중에 미끄러지는 것을 방지할 만큼의 중량으로 가능한 한 무게 중심은 후방에 위치하도록 한다.

4-4 비행시험 결과의 평가

수송급 항공기용 금속계 제동패드의 비행시험 결과에 대한 객관성 확보를 위해 시험용 항공기의 무게한계와 시험환경의 주요 오차범위를 표 5에 나타내었다.

시험용 항공기의 무게한계는 TSO-C135a에 제시된 기준이며, 개발부품이 적용되는 항공기에 따라 항공기 제조사가 제시한 무게한계를 적용하여야 한다. 시험환경에 있어서는 역풍(head wind) 및 순풍(tail wind)의 풍속은 ±10 knots도 인정되지만 측풍(cross wind)의 풍속은 5 knots 이하로 제한하고 있다.

비행시험 결과의 평가는 표 4에 나타난 측정항목에 대한 정량적인 목표값을 정하지 않고 대상부품의 특성과 비교하여 합치성을 평가하도록 규정되어 있으며, 각 시험항목별 항공기의 조향특성은 시험 조종사의 주관적인 평가를 통하여 대상부품과의 상대평가가 이루어진다.

V. 결 론

본 연구에서는 국내 및 미국의 항공관련 법령 및 항공기 기술기준과 기술표준품 표준서의 분석을 통하여 수송급 항공기용 금속계 제동패드의 비행시험 요구 데이터 및 비행시험 항목을 도출한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 제동패드를 포함한 제동장치는 치명성부품으로 정의되어 있으며, 중대한 변경으로 분류되어 부가형식증명 및 부품등

제작증명이 동시에 요구되며, 비행시험을 통한 기존 제품과의 합치성 검증이 요구된다.

(2) 비행시험 시 측정항목은 항공기 고도 및 속도와 항공기 상태 등 항공기 및 조종실에서 출력되는 항목과 풍향 및 풍속과 기온 등 지상에서 출력되는 항목을 상시 측정하여야 한다.

(3) 제동패드의 비행시험 항목은 착륙 시 정지성능, 퓨즈 플러그 작동 검증, 이륙중지 상황에서의 정지 성능, 미끄럼 방지 착륙 적합성 및 주차 제동성능 등을 정량적으로 평가하여야 하며, 각 시험조건에서 비행시험 조종사의 항공기 조향특성에 대한 정성적 평가가 필요하다.

(4) 비행시험 전에 각 시험항목별 위험요소의 식별과 위험요소의 완화방안을 사전에 승인받아야 하며, 비행시험 중에도 비행시험의 적합성 유지를 위한 위험요소의 재평가를 수행하고 그 결과를 문서화하여야 한다.

(5) 수송급 항공기용 장비품 및 부품의 적합성 및 합치성 검증을 위한 우리나라의 기술표준품 표준서에 대한 규정제정 및 비행시험을 위한 기반 여건의 확충이 요구된다.

Acknowledgments

본 연구는 국토교통부 항공기 개조인증기술개발 사업(과제 번호; 21AIRC-C163454-01)의 지원에 의하여 이루어진 연구로서 관계부처에 감사드립니다.

References

[1] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, *Korean airworthiness standards Part 25: Certification procedures for product and parts*, June 2021.

[2] U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, *Code of federal regulations Title 14: Aeronautics and space*, Subpart A-General, Jan. 2020.

[3] U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, *TSO-C135a: Technical standard order transport airplane wheels and wheel and brake assemblies*, July 2009.

[4] M. -J. Kim, K. -I. Kim and K. -T. Kim, "Reverse engineering procedure of metal brake pad for part 25 aircraft," *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 27, No. 5, pp. 621-628, Oct. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.12673/jant.2023.27.5.621>.

[5] M. -J. Kim, K. -I. Kim and K. -T. Kim, "Dynamometer test procedure of metal brake pad for part 25 aircraft," *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 27, No. 6, pp. 821-827, Dec. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.12673/jant.2023.27.6.821>.

- [6] D. -G. Lee, K. -I. Kim, G. -S. Cho and K. -T. Kim, "Evaluation of wear characteristics of low-alloy steel brake discs for high capacity," *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 28, No. 4, pp. 532-537, Aug. 2024. DOI: <http://doi.org/10.12673/jant.2024.28.4.532>.
- [7] H. -H. Kim, M. -J. Kim and K. -T. Kim, "Surface treatment of backplate for part 25 aircraft metal brake pads," *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 28, No. 4, pp. 544-551, Aug. 2024. DOI: <http://doi.org/10.12673/jant.2024.28.4.544>.
- [8] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, *Aviation safety act*, June 2021
- [9] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, *Enforcement rules of the aviation safety act*, June 2021.
- [10] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, *Korean airworthiness standards Part 21: Certification procedures for product and parts*, pp. 9-12, June 2021.
- [11] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, *Directions 1025: Supplemental type certification aircraft*, pp. 1, May 2018.
- [12] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, *Directions 1021: Guidelines for parts manufacturer approval*, May 2018
- [13] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, *Korean airworthiness standards Part 25: Certification procedures for product and parts*, pp. 84-88, Apr. 2013.
- [14] U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, *Code of federal regulations Title 14 Aeronautics and space PART 21: Subpart O-Technical standard order approvals*, pp. 174-176, Jan. 2020.
- [15] U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, *Code of federal regulations Title 14 Aeronautics and space Part 25: Subpart D-Design and construction*, pp. 276-277, Jan. 2020.
- [16] U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, *AC No; 25-7D: Flight test for certification of transport category airplanes*, pp. 48-58, May. 2018.
- [17] U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, *Order 4040.26B: National policy aircraft certification service flight test risk management program*, pp. 2-35, Jan. 2012.



김민지 (Minji Kim)

2020년 2월 : 강원대학교 신소재공학과(공학사)
 2022년 2월 : 인하대학교 대학원 신소재공학과(공학석사)
 2023년 3월~현재 : 인하대학교 대학원 첨단소재공정공학과(박사과정)
 ※ 관심분야 : 금속 3D 프린팅, 인증체계 및 특성평가



김경택 (Kyung-taek Kim)

1990년 2월 : 인하대학교 금속공학과(공학사),
 1992년 2월 : 인하대학교 대학원 금속공학과(공학석사)
 2005년 2월 : 인하대학교 대학원 금속공학과(공학박사)
 1995년 3월~현재 : 한국생산기술연구원 지능화뿌리기술연구소 수석연구원
 ※ 관심분야 : 시스템 엔지니어링, 인증체계 및 특성평가