

수송류 항공기용 금속계 제동패드의 역설계 절차

Reverse Engineering Procedure of Metal Brake Pad for Part 25 Aircraft

김민지·김경일·김경택*
한국생산기술연구원 뿌리기술연구소

Min-ji Kim · Kyung-il Kim · Kyung-taek Kim*

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

[요 약]

본 연구는 항공기용 부품 및 장비품 중 치명성 부품인 수송류 항공기용 금속계 제동패드의 부품등제작자증명 및 부가형식증명을 위한 원 부품 등과 개발품의 설계 동일성 입증에 위한 역설계 절차를 도출하였다. 역설계 절차에 대한 규정은 우리나라의 경우 부품등제작자증명 지침에 의해 규정되며, 미국의 경우 AC No; 21.303-4에 규정되어 있다. 제동패드의 역설계 절차는 각 구성품별 샘플 수량, 치수공차, 기계적 물성 측정, 자재, 무게 및 부피특성 등의 동일성 확인 항목을 선정하여 각각의 세부 절차를 정의하였다. 아울러 우리나라 및 미국의 연방항공규정을 분석한 결과, 우리나라의 경우 수송류 항공기용 제동장치의 기술표준품 표준서 및 비행시험과 관련된 규정의 제정이 필요하다.

[Abstract]

This study derived a reverse engineering procedure for verifying the design identity of original parts and developed parts for PMA(Parts Manufacturer Approval) and STC(Supplemental Type Certificate) of metal brake pads for transport aircraft, which are critical parts among aircraft parts and equipment. In Korea, the regulations for reverse engineering procedures are regulated by the Parts Manufacturer Approval Guidelines, and in the United States, AC No. 21. 303-4. In the reverse engineering for the brake pad, the detailed procedures for each component were determined by selecting verification test items to confirm identity based on sample quantity, dimensional tolerance, mechanical property measurement, material, weight and volume characteristics for each component. In addition, as a result of analyzing the regulation of Korea and United States, in the case of Korea, it is necessary to establish technical standards for braking systems for transport aircraft and regulations related to flight tests.

Key word : Part 25 Aircraft, Brake pad, Parts Manufacturer Approval, Reverse Engineering, Supplemental Type Certificate.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2023.27.5.621>



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 20 September 2023; Revised 12 October 2023
Accepted (Publication) 25 October 2023 (30 October 2023)

*Corresponding Author; Kyung-taek Kim

Tel: +82-32-850-0213
E-mail: kkt@kitech.re.kr

I. 서론

항공산업은 전 세계적으로 약 2.7조 달러 규모의 경제적 이익을 창출하는 등 생산유발효과 및 부가가치율이 매우 높은 대형 복합시스템 산업으로서 산업기반을 선진국형의 지식기반산업으로 발전시킬 수 있는 국가 핵심산업으로 인식되어 있다[1]. 그러나 항공산업의 구조적 특징인 국가 간 상호인증이 생태계 시장을 지배하는 배타적 협력과 경쟁 산업으로 상호인증 제도로 인한 높은 진입장벽과 장기적 대규모 투자가 요구되어 미국 및 유럽 등의 완결기 제조업체를 보유한 일부 선진 국가가 기술과 시장을 독점하고 있는 실정이다.

또한, 2030년 1,100억 달러의 시장으로 성장할 것이 예측된 항공 정비(MRO; Maintenance, Repair and Overhaul)산업의 경우, 중국 및 싱가포르 등이 미국과 중대형 항공기 개조에 대한 항공안전협정(BASA; Bilateral Aviation Safety Agreement)를 확대하여 아시아 시장의 확보기반 구축과 함께 시장 점유율을 높여가고 있지만 우리나라의 경우에는 항공안전협정에 대한 체결 확대 중에 있어 장비품·부품의 시장진입에 많은 제약을 받고 있다[2].

아울러 항공운송 분야에 있어서 우리나라는 세계 7위권의 항공운송 강국임에도 불구하고 항공운항에 필요한 항공정비 및 장비품·부품을 전량 해외에 의존하고 있어 최근 국가차원에서 ‘항공기 개조 인증기술개발’사업을 통하여 항공기 정비품·부품 및 개조분야의 기술자립으로 단계적 시장진입을 계획하고 있으며, 특화 사업으로 항공기 정비사업도 진행하고 있다.

이에 본 연구에서는 대표적인 치명성 부품(Critical parts) 등으로 분류되어 있으며, 상기 항공기 개조 인증기술개발사업의 일환으로 진행 중에 있는 수송류 항공기용 금속계 제동패드의 부품등제작자증명(PMA; Parts Manufacturer Approval) 및 부가형식증명(STC; Supplemental Type Certificate)을 위한 기술기준의 적용 및 설계승인 방법에 대하여 국내 및 미국의 연방항공규정(FAR; Federal Aviation Regulation)의 분석을 진행하여 원 부품 등과 개발품의 설계 동일성 입증을 위한 역설계 절차를 도출하였다.

II. 우리나라의 규정 분석

우리나라의 부품등제작자증명절차는 항공안전법 제28조(부품등제작자증명) 및 같은 법 시행규칙 제61조 내지 제64조에 세부절차를 규정하고 있으며, 본 장에서는 원 부품 등의 역설계를 통한 설계적합성 확인 절차의 도출을 위하여 국토교통부 훈령인 ‘부품등제작자증명 지침’과 국토교통부 고시인 ‘부품등제작자증명 기준’을 중심으로 분석하였다.

그리고 국내 항공기 기술기준 Part 21 ‘항공기 등, 장비품 및 부품 인증절차’와 Part 25 ‘감항분류가 수송(T)류인 비행기에 대한 기술기준’ 및 항공기 기술표준품 표준서(KTSO-C26d) ‘항

공기 휠, 브레이크 및 휠-브레이크 조립품’을 참고하였다.

2-1 부품등제작자증명 지침 분석

부품등제작자증명을 위한 설계승인 방법은 제5조 ‘기술기준의 적용 등’에 면허계약을 통한 설계 동일성 입증, 면허계약이 없는 상태에서 설계 동일성 입증, 시험 및 분석을 통한 설계 적합성 입증 및 부가형식증명을 통한 설계 적합성 입증 등을 통하여 국토교통부장관이 인정할 수 있도록 규정하고 있다[3]. 역설계에 대한 설계적합성 확인은 제11조 ‘역설계에 대한 적합성 확인’에 규정되어 있으며, 제10조 3항 6호 ‘비교에 의한 분석을 위하여 원 부품 등에 대한 역설계 방법을 사용할 수 있다.’와 연계되어 있다[4].

역설계를 통한 설계 적합성 확인은 역설계 방법 및 기법의 요건 만족여부, 원 부품 등의 설계와 동등여부 및 감항성 유지 요구조건 등을 적합하게 규정하고 있는 지를 확인하고 평가하도록 규정하고 있다. 역설계 방법 및 기법에 대한 요건은 제11조 1항에 샘플수량, 치수공차, 자재, 무게 및 부피특성 등으로 크게 분류하고 있으며, 2항에 역설계에 대한 적합성 확인 항목을 규정하고 있다.

샘플은 승인받은 신규제품으로 구매요구서 및 감항성 인정서 등에 의해 추적성이 유지되는 샘플로 규정하고 있으며, 개별적 로트, 생산작업과정 및 서로 다른 모집단에서 추출하도록 규정하고 있다.

샘플의 수량은 공칭치수, 공차, 자재특성 및 제조공정 등의 주요 설계특성을 정확하게 파악할 수 있는 충분한 수량으로 결정하도록 규정한다.

치수공차는 측정값의 변동량과 수락 가능한 공학적 방법으로 결정하고 원 부품 등에서 측정된 최댓값 및 최솟값을 초과하지 않아야 하며, 초과한 경우에는 추가적인 입증을 요구하고 있다.

자재에 있어서는 기초부품, 하위부품, 추가된 용접 및 코팅 등을 포함하여 원 부품 등의 자재와 동등하여야 하며, 검증된 시험소에서 파괴시험을 통하여 자재의 성분, 자재특성(강도, 피로특성, 경도, 결정구조 등), 자재의 형태(주조, 단조, Bar Stock, 박판 등), 특수공정(니트로딩, 열처리, 쇼트피닝 등)의 사용 및 이들이 자재특성에 미친 영향 등의 정보를 제공하도록 규정하고 있다.

무게 및 부피 특성에 있어서는 원 부품등과 당해 부품등간의 무게 차이를 고려하여 무게 및 부피 특성이 차 상위 조립품 및 항공기 등에 미치는 영향을 평가하도록 규정한다.

2-2 부품등제작자증명 기준 분석

부품등제작자증명 기준은 부품등제작자증명 지침에 기반하고 있으며, 기준의 내용 중 별지1의 ‘부품등제작자증명 제출자료 요구조건’에 부품등제작자증명을 위해 제출하는 문서, 정보 및 자료 등의 요건을 규정하고 있다[5].

장비품 및 부품의 식별서에는 해당 부품 등이 장착되는 형식증명을 받은 항공기 등에 대한 제작자명, 모델명, 시리즈 및 항공기 등의 일련번호와 형식증명소지자의 원 부품 등에 대한 부품명칭, 부품번호, 도면번호 및 개정번호 등의 식별 정보를 기술하도록 규정한다.

인증계획서에는 부품등제작자증명의 원활한 진행에 필요한 신청자에 대한 소재, 해당 부품의 설계 및 품질관리체계, 인증기준, 설계승인 방법, 적합성 입증방법, 치명성 또는 수명제한 부품에 대한 기술, 합치성 시험 및 검사 방법, 감항성 유지 방법과 인증일정 및 인증담당자의 책임과 업무 및 연락처 등의 충분한 정보들을 기술하도록 규정한다.

면허계약 입증자료는 형식증명, 부가형식증명 또는 기술표준품 형식승인 소지자가 해당 부품 등에 적용되는 설계자료의 사용권한을 신청자에게 허가하는 문서화된 내용과 합치성 검사를 지원하기에 충분한 정보를 포함하도록 하고 있다.

설계도면 및 규격서는 면허계약에 의한 설계동일성을 입증하는 경우를 제외하고 부품 등의 형상, 구조강도 및 치수, 공차, 자재와 식별정보 등 설계특징을 규정하는 공정규격서 및 관련 특성을 규정하는 기타 기술자료 등이 포함되도록 하고 있다. 치명성 부품 등의 경우에는 제조작업지침서, 치구 요구조건, 공정서, 자재 취급과 저장 요건 및 국토교통부 장관이 필요하다고 판단하는 검사 요구조건 등이 포함되어야 한다. 또한 해당 부품 등의 형상과 제작을 적절하게 관리하는지 판단하는데 필요한 원천도면 및 규격서와 공급자제공품목에 대한 관리 절차를 제출토록 규정하고 있다.

검사 및 시험절차는 비교 또는 일반적인 분석을 위한 시험의 필요성, 형태 및 시험범위 등을 해당 부품 등의 치명성과 복잡성에 따라 별도로 정할 수 있으며, 시험계획서에는 시험목적, 시험대상 및 시험장치에 대한 물리적 기능적인 사항과 시험대상에 대한 정보 및 수량, 시험조건 및 시험절차의 관리 등의 내용이 포함되도록 규정하고 있다. 시험기준에 있어서는 비교에 의한 시험인 경우에는 형식증명 또는 부가형식증명을 받고 사용시간이 없는 원 부품 등에 대해 해당 부품 등과 동일한 시험절차와 조건에서 수행하고 일반적인 시험인 경우에는 해당 부품 등이 해당 기술기준과 해당되는 경우 기술표준품 표준서의 요구조건을 만족하는 지 검증하도록 규정하고 있다.

시험결과는 해당 품목 등의 설계특성과 승인근거에 적합하여야 하며, 시험은 승인받은 계획에 따라 수행토록 규정하고 있다. 아울러 해당 검사 및 시험결과는 해당 부품 등이 형식설계에 합치하고 감항성이 있음을 입증하기에 충분하여야 하며, 치명성 부품 등의 경우에는 설계승인을 위해 추가적인 검사 및 시험이 요구될 수 있음을 규정하고 있다.

2-3 항공기 기술기준 분석

국내 항공기 기술기준의 법적근거는 항공안전법 제19조(항공기기술기준)에 의해 절차기준, 환경기준 및 감항분류별 기준에 의해 규정되어 있으며, 본 절에서는 Part 21 ‘항공기 등,

장비품 및 부품 인증절차’와 Part 25 감항분류가 수송(T)류인 비행기에 대한 기술기준’을 중심으로 분석하였다.

항공기 휠, 브레이크 및 휠-브레이크 조립품에 대한 항공기 기술표준품 표준서(KTSO-C26d)는 Part 23, 27 및 29의 소형 항공기 및 회전익기의 휠, 브레이크 및 휠-브레이크 조립품에 대한 최소성능표준을 규정하고 있어 Part 25급 항공기의 기술표준품 표준서의 제정이 필요하다[6].

Part 21 ‘항공기 등, 장비품 및 부품 인증절차’는 항공안전법 제20조 내지 제28조까지 및 제30조에 의한 항공기, 엔진, 프로펠러 및 부품의 감항성 인증에 대하여 형식증명서의 교부 및 변경, 제작증명서의 교부 시 적용되는 절차적 요건, 증명서 소지자의 준수사항과 자재, 부품, 공정 및 장치품의 승인 시에 적용되는 절차적 요건 등을 규정하고 있다[7].

Part 25 ‘감항분류가 수송(T)류인 비행기 기술기준’은 최대 이륙중량이 5,700 Kg 초과하는 비행기에 대하여 적용하며, 증명을 받고자 하는 비행기가 Part 25의 해당기술에 적합하다는 것을 증명하도록 규정하고 있다. 기술기준은 8개의 Subpart로 구성되어 있으며, 제동장치 및 제동계통과 관련된 규정은 Subpart B 성능의 규정에 25.101 일반 (i) 25.109 및 25.125항에서 규정하는 가속정지거리와 착륙거리는 허용 가능한 마모범위 내의 최대 마모 한계에서 비행기의 차륜 제동장치가 모두 있는 상태로 규정하고 있다[8]. 이와 함께 Subpart D 설계 및 구조의 규정 착륙장치 항목에서 인입장치, 차륜, 타이어 및 세목 25.735에 제동장치 및 제동계통을 규정하고 있다[9].

25.109 가속정지거리의 규정에는 활주로의 상태에 따른 가속정지거리의 정의, 제동장치의 상태 및 최대 제동운동에너지에 대한 제동 마모 범위를 10% 미만인 상태로 규정하고 있다 [10]. 25.125 착륙의 규정에는 비행기의 착륙조건 및 제동장치 압력은 브레이크 제조사가 명시한 기준치의 준수 및 바퀴제동장치 이외의 감속장치를 사용할 수 있는 조건을 규정하고 있다[11]. 25.735 제동장치 및 제동계통 규정의 주요 내용은 주차 제동장치, 제동장치 마모 지시계, 과열 과열 방지 및 호환성 등 제동장치의 구성과 운동에너지 용량을 규정하고 있다. 제동운동에너지의 용량은 설계착륙정지, 최대 운동에너지 가속정지, 가장 엄격한 착륙정지 및 고 운동에너지 동력계 정지 후의 제동장치 조건 등을 규정하고 있다[12].

III. 미국의 규정 분석

미국의 항공관련 법령은 우리나라의 항공안전법에 해당하는 연방항공청(FAA)의 Title 14, Code of Federal Regulations(14 CFR) ‘Aeronautics and Space’ 에 기반하여 Order(지침/훈령) 및 Advisory Circular(권고회람/기술기준) 등을 통하여 세부적인 규정을 정하고 있다.

본 장에서는 표 1에 나타난 바와 같이 제2장의 우리나라 규정 분석에서 국내 규정이 아직 마련되지 않은 항공기 기술표

준품 표준서를 중심으로 분석하였다.

3-1 Application For Parts Manufacturer Approval Via Test And Computations Or Identity(AC No; 21. 303-4) 분석

본 권고회람은 14 CFR part 21 Certification Procedures for Products and Articles - Subpart K Parts Manufacturer Approvals 에 기반 하여 면허계약이 없는 부품 또는 제품의 부품등제작 자증명을 위한 시험 및 계산 또는 동일성 입증절차에 대한 지침을 규정하고 있으며, 26. Reverse Engineering 항목에 표본의 크기, 표본의 출처, 치수공차, 치수특성 및 데이터, 재료, 무게 및 질량 특성 등 역설계에 대한 6개 항목의 고려사항을 기술하고 있다[13].

역설계에 대한 주요 고려사항은 앞서 기술한 2-1 부품등제작자증명 지침 분석의 역설계에 대한 적합성 확인 항목과 동일하지만 신규 부품에 대한 역설계만을 허용하는 우리나라의 규정과 달리 중고부품에 대한 역설계에 있어서도 부품의 사용으로 인한 성능 저하 특성을 제외한 일반특성을 인정하고 있는 것이 특징이다.

표 1. 우리나라 및 미국의 항공관련 규정

Table 1. Aviation-related regulations in Korea and the United States

Classification	Korea
Managing Department	- Ministry of Land, Infrastructure, and Transport
Regulation	- Aviation Safety Act
Order	- Supplemental Type Certificate Procedures - Part Manufacturer Approval 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"
Classification	United States
Managing Department	- FAA(Federal Aviation Administration)
Regulation	- CFR(Code of Federal Regulation) Title 14 "Aeronautics and Space"
Order	- 8110.4C "Type Certification" - 8120.22A "Production Approval Procedures" - 8110.42D "Part Manufacturer Approval Procedures" - FAR §25.735 "Brake and Braking Systems" - TSO-135a "Transport Airplane Wheels and Wheel and Brake Assemblies"
Advisory Circular	- AC21-40A "Guide for Obtaining A Supplemental Type Certificate" - AC21-43A "Production Under CFR 14 Part 21"

3-2 항공기 기술표준품 표준서(TSO-C135a) 분석

TSO-C135a(Transport Airplane Wheel and Wheel and Brake Assemblies)는 FAA에서 신청자가 TSO 승인 또는 설계승인서(LODA; Letter of Design Approval)의 신청을 위하여 충족해야 하는 수송류 항공기용 휠 및 제동장치 등의 최소성능표준(MPS; Minimum Performance Standards)을 제시한 지침이다.

TSO-C135a의 APPENDIX 1은 수송류 항공기의 유압식 휠 및 휠-브레이크 조립품에 대한 최소성능표준을 규정하고 있다. 이에 해당하는 유압식 부품의 최소성능표준을 입증하기 위한 시험조건 및 성능 기준을 항공기 제조업체에서 일반적으로 정의하고 있으며, 해당하는 최소성능표준을 입증하기 위한 시험을 진행하도록 규정되어 있다[14].

휠 시험(WHEEL TESTS)은 휠 샘플이 다음과 같은 방사하중 시험(radial load test), 방사하중 및 측면하중 조합 시험(combined radial and side load test), 휠 롤 시험(wheel roll test), 롤-온-림 시험(roll-on-rim test), 과압 시험(overpressure test) 및 확산 시험(diffusion test)의 요구사항을 충족하는지 입증해야 한다. 휠-브레이크 조립품 시험(WHEEL AND BRAKE ASSEMBLY TESTS)은 설계착륙 제동시험(design landing stop test), 가속-제동 시험(accelerate-stop test), 가장 엄격한 착륙정지 시험(most severe landing stop test), 구조적 토크 시험(structural torque test), 휠 과 브레이크 간 간극 시험(wheel to brake clearance) 및 결합 제한 하중 휠 과 브레이크 간극 시험(combined limit load wheel and brake clearance test)의 요구사항을 충족하는지 입증해야 한다. 제동시험은 항복 및 과압시험(yield & overpressure test), 내구성 시험(endurance test), 피스톤 유지(piston retention), 극한 온도 담금질 시험(extreme temperature soak test) 및 누설 시험(leakage test)의 요구사항을 만족하는지 입증해야한다.

APPENDIX 1 MPS 규정을 적용하는 TSO 신청자는 장비 승인 신청서와 함께 휠 등급(wheel ratings), 휠-브레이크 및 브레이크 등급(wheel/brake and brake ratings), 해당하는 경우 휠 또는 브레이크의 무게(the weight of the wheel or brake, as applicable)와 사용된 유압오일의 사양(specification of hydraulic fluid used, as applicable) 등의 데이터를 제공해야 하며 시험성적서 한 부에 시험요구사항 준수를 표시하도록 명시되어 있다.

APPENDIX 2는 수송류 항공기의 전기식 휠 및 휠-브레이크 조립품에 대한 최소성능표준을 규정하고 있다. 이에 해당하는 최소성능표준을 입증하는 시험은 휠 시험(WHEEL TESTS), 휠-브레이크 조립품 시험(WHEEL AND BRAKE ASSEMBLY TESTS) 및 브레이크 시험(BRAKE TESTS)이 있으며 휠 시험과 휠-브레이크 조립품 시험의 경우 APPENDIX 1과 동일하게 시행하도록 규정되어 있다[15].

APPENDIX 2의 브레이크 시험은 다음과 같은 한계 및 극한 하중 시험(limit and ultimate load test), 내구성 시험(endurance test), 극한 온도 담금질 시험(extreme temperature soak test) 및

브레이크 조립품 보전(brake assembly integrity)을 충족하는지 입증하도록 규정되어 있다.

APPENDIX 2 MPS 규정을 적용하는 신청자는 장비 승인 신청서와 함께 휠 등급(wheel ratings), 휠-브레이크 및 브레이크 등급(wheel/brake and brake ratings), 시험 중 사용되는 전압 및 전류 공급 제한 사양(specification of the voltage and current supply limitations used during the tests), 해당하는 경우 휠-브레이크 조립품의 무게(the weight of the wheel and brake assemblies, as applicable)와 I_{BMAX} , L_{BMAX} , L_{DL} , L_{LMT} , P_{BMAX} 및 V_{BMAX} 를 입증하는 분석 또는 데이터(analysis and/or data substantiating I_{BMAX} , L_{BMAX} , L_{DL} , L_{LMT} , P_{BMAX} and V_{BMAX} , as appropriate) 등을 제공해야 하며 시험성적서 한 부에 시험요구 사항 준수를 표시하도록 명시되어 있다.

수송류 항공기(B737)의 경우 유압식 시스템을 사용하고 있으므로 APPENDIX 1 MPS 규정이 적용되며 해당 규정에 따라 휠 및 제동장치 등의 최소성능표준을 입증해야 한다.

IV. 금속계 제동패드의 역설계 절차 도출

4-1 역설계 절차의 개요

역설계 절차서의 구성은 개요, 목적, 적용 범위 및 기준과 대상제품의 정의와 함께 샘플링 및 역설계 절차를 기술하였으며, 각 부품별 역설계 절차에 대한 세부내용으로 구성하였다.

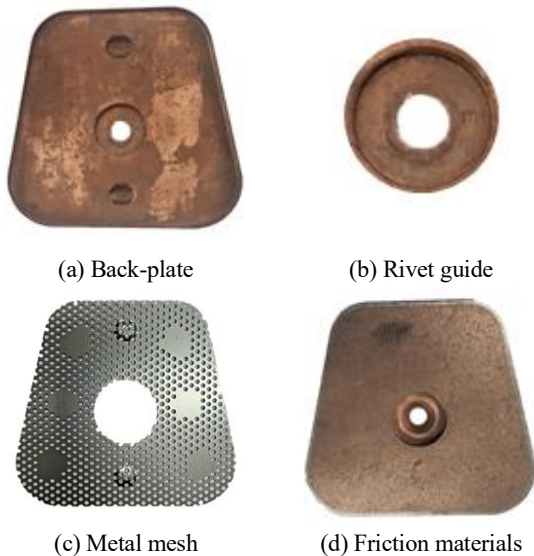


그림 1. 금속계 제동패드의 주요 구성품
Fig. 1. Main components of metal brake pad

대상제품은 원 제작자에 의하여 승인 및 판매되는 제품으로 한정하고 그림 1에서 볼 수 있듯이 제동장치의 회전 디스크에 부착되는 마찰패드로서 백플레이트, 리벳 가이드, 타공판 및 마찰재로 구성된다. 샘플링은 적절한 절차에 따라 구입된 제품으로 롯데(Lot)별로 구분하여 최소 3차에 걸쳐 구입하거나 롯데확인이 어려울 경우 최소 3개월의 간격을 두고 3개를 구입하여 고유번호를 기재하여 관리 및 보관토록 하였다.

역설계 절차는 치수 측정 절차, 기계적 물성 측정 절차 및 재질과 가공방법 결정 절차 등으로 세부내용을 구성하였다.

치수 측정 절차는 대상 부품의 형상을 설계하는 데 필요한 수치로서 길이, 거리, 지름, 호, 두께, 깊이, 높이 및 각도 등을 포함하며, 기본 치수와 치수 공차를 측정토록 하였다. 치수의 측정은 3차원 측정기를 사용하여 측정하며, 필요시 마이크로미터 또는 버니어캘리퍼스 등 다른 측정수단을 이용하여 최소 3개의 포인트에서 측정하고 절단된 단면의 치수는 광학현미경 및 주사전자현미경을 이용하여 측정토록 하였다. 기준 치수는 측정된 치수의 값에서 중간값 또는 평균값으로 하고 치수공차는 측정된 치수의 최대값(최대 허용 치수)에서 최소값(최소 허용 치수)을 뺀 값으로 하며, 치수의 하한치(아래 치수 허용차)는 기준 치수에서 치수 공차의 1/2을 뺀 값으로 하며, 치수의 상한치(위 치수 허용차)는 기준 치수에서 치수 공차의 1/2를 더한 값으로 정의하였다.

기계적 물성의 측정 절차는 각 대상 부품의 중량을 포함한 표면 경도, 굽힘강도 및 인장강도 등을 측정토록 하고 각 대상 부품별로 측정 가능한 물성을 선정하도록 하였다. 경도의 측정은 표면 및 절단한 단면에서 측정하고 적용 규정은 로크웰 경도, 브리넬 경도 및 비커스 경도의 측정을 위하여 각각 KS M ISO 6508-1, KS B 0805 및 ASTM E 92-82를 적용토록 하였다. 강도의 측정은 인장시험과 굽힘시험에서 각각 KS B 0802 및 KS B 0803을 적용토록 하였다. 측정된 기계적 물성의 기준 값은 측정된 값들에서 중간값 또는 평균값으로 정하고 허용범위 값은 측정된 최대값에서 최소값을 뺀 값으로 하여 최소값은 기준값에서 허용범위 값의 1/2을 뺀 값으로 하며, 최대값은 기준값에서 허용범위 값의 1/2을 더한 값으로 하였다.

재질 및 가공방법의 결정 절차는 미세조직 분석과 구성 성분 및 구성 성분별 함유량을 포함한 재질의 결정 절차와 가압·가공 및 열처리 등 부품을 형성하는 가공방법에 대한 결정 절차를 정의하였다. 미세조직 분석은 각 대상 부품의 연마된 표면 또는 단면에 대하여 광학현미경 또는 주사전자현미경을 이용하여 진행토록 하고 성분분석은 해당 부품의 항목에서 기재하도록 하였다. 가공방법의 결정은 재질 분석결과로부터 가공방법을 결정하는 과정을 보고서에 기재토록 하였다.

원 데이터(Raw Data)의 관리는 측정장치에서 출력되는 원 데이터에 대상 제품의 고유번호를 기입하여 보관 및 관리하고 보고서에 이미지로 첨부하는 것을 원칙으로 하였다. 원 데이터가 출력되지 않는 경우에는 측정 과정에 대한 사진 또는 동영상을 촬영하여 출력(동영상의 경우 파일 저장)한 후 대상 제품의 고유번호를 기입하여 보관 및 관리토록 하였다.

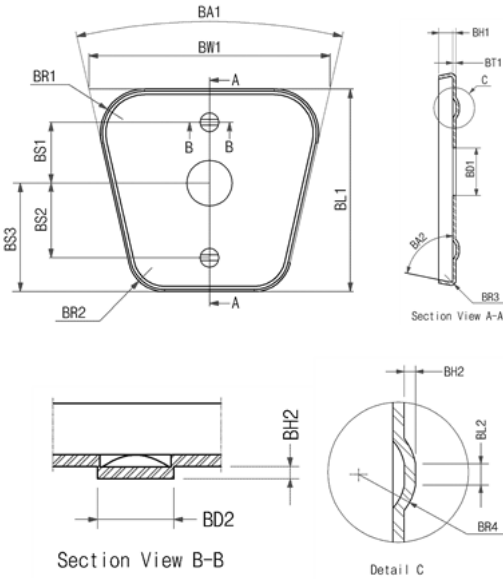


그림 2. 백플레이트 치수측정 개요도
 Fig. 2. Schematic of Back-plate dimension measurement

4-2 백플레이트의 역설계

백플레이트는 치수측정, 기계적 물성측정, 성분·미세조직 분석 및 재질과 가공방법 등과 함께 본체와 표면에 코팅되어 있는 도금층으로 구성되어 있음을 감안하여 도금층의 두께와 재질을 추가하여 분석하도록 하였다.

치수측정은 그림 2에서 볼 수 있듯이 길이(BL), 폭(BW), 거리(BS), 높이(BH), 두께(BT), 직경(BD), 호 반경(BR) 및 각도(BA) 등을 측정하도록 하였다. 도금층의 두께 측정은 KS D 0246에 규정된 현미경 단면 시험법에 따라 측정하고 길이 방향과 폭방향의 중앙부 4개 위치의 측면을 절단하여 외측면의 두께를 측정하도록 하였다.

기계적 물성측정은 로크웰 경도(HRB) 측정을 기본으로 하고 시편 채취가 가능할 경우 인장강도를 추가로 측정할 수 있도록 하였다. 측정위치는 외측면의 4개 지점에서 측벽 외측면의 도금층을 제거한 후 표면경도를 측정하고 내부는 절단면의 표면에서 측정하도록 하였다.

성분 및 미세조직의 분석은 백플레이트 본체와 표면의 도금층에 대하여 진행하며, 본체의 성분분석은 KS D 1658에 따라 진행하고 도금층의 성분은 도금층의 두께 측정 위치에서 주사전자현미경을 통하여 분석하도록 하였다.

4-3 리벳 가이드의 역설계

리벳 가이드는 치수측정, 기계적 물성측정, 성분·미세조직 분석 및 재질과 가공방법 등과 함께 본체와 표면의 도금층으로 구성되어 있음을 감안하여 도금층의 두께와 재질을 추가하여 분석하도록 하였다. 치수측정은 그림 3에서 볼 수 있듯이

높이(RH), 직경(RD), 각도(RA), 두께(RT) 및 모따기(RC) 등을 측정하고 기계적 물성은 경도를 측정하도록 하였다. 성분 및 미세조직분석은 백플레이트와 동일하게 진행토록 하였다.

4-4 타공판의 역설계

타공판은 그림 4에서와 같이 타공 부재와 타공홀로 구성되어 있으며, 치수측정과 재질분석을 진행하도록 하였다. 치수측정은 그림 4에서 알 수 있듯이 길이(PL), 폭(PW), 거리(PS), 두께(PT), 직경(PD), 호 반경(PR) 및 각도(PA)측정하고 두께는 수직 절단면에 대하여 광학현미경으로 측정하도록 하였으며, 재질분석은 주사전자현미경(EDAX 또는 EPMA)으로 분석하도록 하였다.

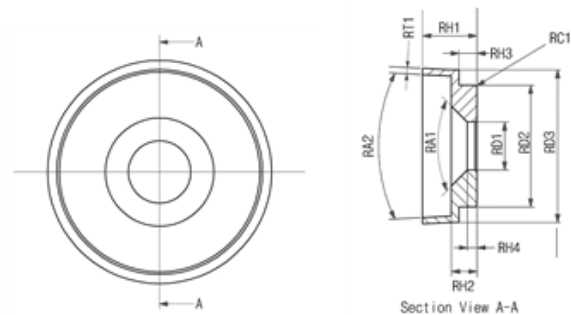


그림 3. 리벳가이드 치수측정 개요도
 Fig. 3. Schematic of Rivet guide dimension measurement

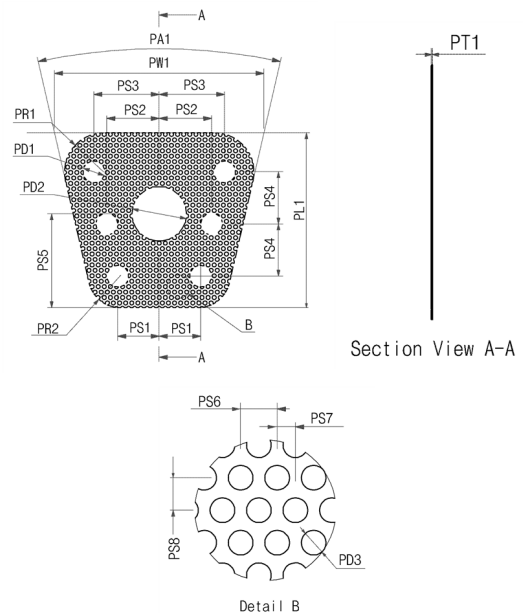


그림 4. 타공판의 치수측정 개요도
 Fig. 4. Schematic of Metal mesh dimension measurement

4-5 마찰재의 역설계

마찰재는 금속 재질의 기지소재와 기지소재에 분산되어 있는 다수의 입자 물질을 포함하고 있는 복합재료로서 백플레이트와 리벳 가이드의 공간에 분말상태로 충전되어 소결되므로 치수측정은 불필요하여 마찰재의 구성성분과 함량 및 입도와 기계적 물성으로 경도를 측정하고 소결체임을 감안하여 밀도를 측정하도록 하였다.

경도의 측정은 마찰재 상단 및 하단의 중앙부 표면 4곳에서 로크웰(R-Scale; HRR)로 측정하며, 밀도측정은 KS D 0033에 따라 경도측정 위치에서 15×15 mm의 시료를 채취하여 측정하도록 하였다.

구성성분 및 함량의 분석은 경도 및 밀도의 측정 위치에서 측정하고 구성성분의 전체 함량은 1,000배 이상의 배율에서 후방산란전자(BSE mode) 검출을 통하여 구분되는 동일상 내 에너지 분산 X선 분광법(EDS) 또는 파장 분산 X선 분광법(WDS)을 이용하여 면 분석으로 3회 이상 측정하도록 하였으며, 구성성분별 함량은 100배의 배율에서 EDS 또는 WDS를 이용하여 면 분석을 통하여 분석하도록 하였다. 구성성분별 함량은 무게단위의 %를 기본으로 하여 필요에 따라 원소 비율을 계산하고 전체 함량은 100%가 되도록 결정하도록 하였다.

구성성분별 입도분석은 주사전자현미경의 BSE 모드에서 100~1,000배의 배율에서 EDS/WDS mapping을 통해 구분되는 구성성분의 이미지를 50개 선별하여 수평지름(D₁)과 수직지름(D₂)의 평균값을 산출한다. 구리(Cu)는 소결 시 기지재로 형성되므로 입도측정이 어려울 수 있어 측정하지 않는다.

V. 분석결과 및 검토

수송류 항공기용 금속계 제동패드의 부품등제작자증명과 부가형식증명을 위한 우리나라와 미국의 기술기준 및 설계승인 방법에 대하여 양국의 법령 및 규정 등을 분석한 결과, 최상위 법에 있어서 우리나라는 항공기의 안전하고 효율적인 항행을 위한 항공안전법에 한정되어 있으나, 미국의 경우에는 우주를 포함한 포괄적인 법이 제정되어 있어 우리나라도 최근 항공 우주청의 신설 등과 함께 항공안전법에 대한 확대 제정이 필요할 것으로 사료된다.

원 부품의 역설계를 통한 개발품의 동일성 입증에 대한 절차는 동일하게 규정되어 있으나, 우리나라는 부품 및 장비품에 대한 최소 성능을 규정하는 기술표준품 표준서가 회전익기를 포함한 소형 항공기용 일부 품목에 한정되어 있어 수송류 항공기용 부품 및 장비품에 대한 기술표준품의 선정 및 표준서의 제정이 필요할 것으로 판단된다. 기술표준품의 선정 및 기술표준품 표준서는 향후 미국과의 항공기 개조에 대한 항공안전협정의 확대를 위해서도 시급히 진행되어야 할 사안으로 판단된다. 이와 함께 부품등제작증명과 부가형식증명에 있어서 중대 항공기 개조 및 설계변경의 경우, 비행시험을 통한 부품 및 장비품

의 최종 성능 및 감항성 입증은 양국 모두 법령 및 규정에 따라 요구하고 있지만 우리나라의 법령 및 규정 등이 미흡하고 특히, 비행시험을 위한 항공기 및 비행장 등 기반 여건이 매우 취약한 한계를 가지고 있어 비행시험을 위한 규정 마련 및 기반 여건의 확충이 시급하다.

VI. 결 론

본 연구에서는 항공기용 부품 및 장비품 중 대표적인 치명성 부품 등으로 분류되어 있는 수송류 항공기(B737)용 금속계 제동패드의 부품등제작자증명을 위한 기술기준의 적용 및 설계 승인 방법에 대하여 국내 법령 및 규정과 미국의 연방항공규정의 분석을 진행하여 원 부품 등과 개발품의 설계 동일성 입증에 위한 역설계 절차를 도출한 결과 다음과 같다.

(1) 원 부품 등과 개발품의 설계 동일성 입증에 위해서는 면허계약 외에 시험 및 분석을 통한 역설계와 부가형식증명을 통한 설계 적합성 인증이 가능하다.

(2) 역설계에 대한 설계 동일성 검증은 역설계 방법 및 기법의 요건 만족여부, 원 부품 등의 설계와 동등여부 및 감항성 유지 요구조건 등을 적합하게 규정하고 있는 지를 확인하고 평가하도록 규정하고 있다.

(3) 역설계 방법 및 기법에 대한 요건은 부품등제작자증명 지침 제11조 1항에 샘플수량, 치수공차, 자재, 무게 및 부피특성 등으로 크게 분류하고 있으며, 2항에 역설계에 대한 적합성 확인 항목을 규정하고 있다.

(4) 우리나라의 경우, 수송류 항공기용 제동장치 기술표준품 표준서 및 비행시험과 관련한 규정제정과 기반 여건의 확충이 필요하다.

Acknowledgments

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

References

- [1] Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement, *Aircraft Modification and Certification Technology Development R&D Report*, KAIA, pp. 12, 2020
- [2] Korea Aerospace Industries Association, "MRO demand forecast by Global Region in 2020", *AEROSPACE INDUSTRY*, No. 146, pp. 44-47, Spring 2020

- [3] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Guidelines for Parts Manufacturer Approval, Directions 1021, pp. 3, May 2018
- [4] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Guidelines for Parts Manufacturer Approval, Directions 1021, pp. 6-7, May 2018
- [5] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Standards for Parts Manufacturer Approval, Notification 2018-316, pp. 13-15, May 2018
- [6] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Aircraft Wheels and Wheel-Brake Assemblies, Korean Technical Standard Order(KTSO-C26d), pp. 1-5, Apr. 2013
- [7] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Certification Procedures for Product and Parts, Korean Airworthiness Standards Part 21, pp. 17-19, Aug. 2020
- [8] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Certification Procedures for Product and Parts, Korean Airworthiness Standards Part 25, pp. 2-7, Apr. 2013
- [9] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Certification Procedures for Product and Parts, Korean Airworthiness Standards Part 25, pp. 70-74, Apr. 2013
- [10] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Certification Procedures for Product and Parts, Korean Airworthiness Standards Part 25, pp. 7-10, Apr. 2013
- [11] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Certification Procedures for Product and Parts, Korean Airworthiness Standards Part 25, pp. 14-15, Apr. 2013
- [12] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Certification Procedures for Product and Parts, Korean Airworthiness Standards Part 25, pp. 73-74, Apr. 2013
- [13] U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, Application For Parts Manufacturer Approval Via Test and Computations Or Identity AC No; 21. 303-4, pp. 11-13, Mar. 2014
- [14] U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, Technical Standard order Transport Airplane Wheels and Wheel and Brake Assemblies TSO-C135a, pp. 17- 26, Jul. 2009
- [15] U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, Technical Standard order Transport Airplane Wheels and Wheel and Brake Assemblies TSO-C135a, pp. 33- 41, Jul. 2009



김민지 (Min-ji Kim)

신소재공학과 공학석사
※관심분야: 금속 3D 프린팅, 인증체계 및 특성평가



김경일 (Kyung-il Kim)

재료공학과 공학박사
※관심분야: 금속재료 미세조직 분석 및 제어, 인증체계 및 특성평가



김경택 (Kyung-taek Kim)

금속공학과 공학박사
※관심분야: 시스템 엔지니어링, 인증체계 및 특성평가