

항공기용 타이어의 인증기술동향

글/박근영 parkv@kari.re.kr, 최주원, 이경철, 진영권

한국항공우주연구원 항공우주안전·인증센터 제품보증팀, 항공인증팀

초 록

항공기용 타이어는 지상에 있는 경우에 항공기의 중량을 견뎌야 하고, 활주 및 착륙 과정에서는 열발생 및 마모에 견디면서 탑승객에게 안정감과 안락함을 제공할 수 있어야 한다. 따라서 타이어 구조는 항공기 하중뿐 아니라 높은 각속도에서 발생하는 작용력을 견뎌야 하며 착륙시에는 브레이크에 의한 높은 동적 제동하중을 지면에 전달하는 동시에 지면과의 충돌충격을 흡수할 수 있는 능력이 요구된다. 이러한 모든 기능은 타이어의 수명기간동안 신뢰성 있게 유지되어야 한다.

현재 항공기에 사용되는 타이어는 바이어스 타이어가 주류를 이루고 있지만 최근 개발되는 신규 항공기를 중심으로 래디얼 타이어의 사용이 증가하고 있다. 이러한 최신의 산업동향을 반영하여 항공기용 타이어에 대한 안전기준이 보완되고 있다. 본 글에서 항공기용 타이어에 대한 기술표준품표준서를 기준으로 최신 인증기술동향에 대하여 고찰하고자 한다.

주제어 : 기술표준품형식승인, 항공기용 타이어, 래디얼 타이어, 바이어스 타이어

1. 서론

기술표준품 표준서는 항공기에 사용되는 제품의 특성 중에서 표준화할 수 있는 성능 및 안전성과 관련된 사항을 기술표준품표준서 및 최소성능표준으로 규정한 것이다. 기술표준품 형식승인 제도는 관련된 표준서에서 규정하는 제품을 설계·제작하고자 하는 신청자가 자발적으로 설계에 대한 적합성을 입증하고, 이를 대량으로 양산할 수 있는 품질시스템을 법적기준에 준하여 구축한 후 인증을 신청하는 제도이다. 기술표준품을 특정 항공기에 장착하기 위해서는 별도의 장착승인 과정이 요구된다.

본 글을 통해 항공기용 타이어에 대한 기술표준품표준서를 기준으로 최신인증기술동향을 살펴본다.

2. 산업동향

항공기용 타이어의 크기는 적용되는 항공기의 하중에 따라 결정된다. 주타이어는 항공기 총하중의 약 90%를 감당하며, 노즈타이어는 8-15%의 하중을 담당한다. 이중 노즈타이어가 상대적으로 이륙시 높은 동적 하중에 노출된다. 일반적으로 여객기로 사용되는 대형 항공기는 그림1(f)와 같이 안전성을 고려하여 1개의 타이어가 파손되어도 착륙시스템의 기능을 수행할 수 있도록 리던던시 개념이 적용된 보기형이 사용된다.

현재 사용되는 항공기용 타이어 약 80%가 바이어스 타이어이며, 전체 사용량 중 약 75%가 재생되어 사용된다. 항공기 및 사용조건에 따라 다르지만 타이

이러한 산업환경에서 항공기용 타이어는 당분간 바이어스 타이어가 시장의 대부분을 차지하겠지만 점진적으로 래디얼 타이어가 시장의 주류로 자리 매김할 것으로 예상된다.

3. 인증기술동향

3.1 항공기용 타이어의 인증기준

세계의 모든 감항당국이 추구하는 가장 중요한 목표는 지속가능한 항공안전(COS : Continued Operational Safety)을 확보하는 것이다. 이를 위해서는 항공제품의 설계·제조 단계에서부터 항공기 장착, 양산, 운용, 수리 및 정비의 모든 단계에서 안전에 대한 개념을 적용하여야 한다.

표 1. 항공기용 타이어 관련 FAA 규정

FAA 조직	단 계	규 정	비 고
항공기 인증국 Aircraft Certification Services	설계 (Design)	FAR TSO-C62	기술 표준품 형식 승인
	제조 (Manufacturing)	FAR TSO-C62	
	장착 (Installation)	FAR Order 8110.8	
비행 표준국 Flight Standards Services	운용 (Operation)	FAR AC 20-97	감항성 유지
	정비 (Maintenance)	AC 20-97 FAR 121.35 FAR 121.133 FAR 135.427	
	수리 (Repair)	FAR AC 145-4 AC 43.13-1	

출처 : Aircraft Tire Approval Process, FAA

미연방항공청은 기술표준품 표준서의 제·개정 업무를 담당하는 조직을 두어 항공산업계의 필요성을 검토하고 SAE¹⁾, RTCA, ARAC 등의 단체와 협력하여 꾸준히 신규 및 기존 품목에 대한 규정

- 1) Society of Automotive Engineers
- 2) Radio Technical Commission for Aeronautics
- 3) Aviation Rulemaking Advisory Committee, U.S.
- 4) Technical Standard Order

을 제정·개정하는 업무를 수행하고 있다. 또한, 세계의 항공기 인증체제 및 관련 규정의 제정에 선구자적 역할을 하고 있으며, 항공기용 타이어와 관련된 설계·제조·운용 규정 또한 미연방항공청에서 개발한 규정들이 국제적인 표준으로 인식되고 있다. 미연방항공청은 항공기용 타이어의 산업동향을 고려하여 관련 규정의 최신화를 도모하고 있으며, 이를 위해 운용 관련 AC 20-97B, “Aircraft Tire Maintenance and Operational Practices”, 수리 재생 관련 AC 145-4A, “Inspection, Retread, Repair, and Alterations of Aircraft Tires”, 설계 관련 TSO-C62e를 개정하였다.

3.2 기술표준품(TSO-C62) 제정 현황

표 2. TSO-C62 개정 현황

개정	명칭	유효 일자	기인증 타이어의 유효성	비고
TSO -C62	Aircraft Tires	'61. 4.15	정격속도160mph 이상 타이어	인증신청 불가
-C62a	Aircraft Tires	'62. 3.20	- '82.12.31 이후 TSO 표식 불가	“
-C62b	Aircraft Tires	'62. 9.1	- '79.12.31 이후 제조 불가	“
-C62c	Aircraft Tires	'84. 9.12	TSO 표식 및 제조 가능	“
-C62d	Tires	'90. 9.7	TSO 표식 및 제조 가능	'07.3.29限 제한적 신청가
-C62e	Aircraft Tires	'06. 9.29	TSO 표식 및 제조 가능	'06.9.29 이후 신청

항공기용 타이어에 관한 기술표준품 표준서(TSO)의 개정이력은 표.2와 같다. 현재 TSO-C62d의 기준에 따라 타이어를 개발하기 위해 감항당국과 인증협의를 진행하고 있는 경우 TSO-62e가 공포된 후 6개월 내('07.3.29)에 개발을 완료하고 법적기준에 준하는 품질시스템을 구축한 후 TSO-C62d에 의한 기술표준품 형식승인을 신청하여야 한다. 이러한 유예기간 동안 인증을 신청하지 못하는 경우, 제작업체는 최신 개정에 따라 제품을 재개발해야 한다.

3.3 개정 동향

3.3.1 표준서 양식의 표준화

미연방항공청은 기존까지 발행된 방침(Policy)과 안내서(Guidance)를 종합하여 Order 8150.1, "Technical Standard Order Procedures"를 제정하여 인증담당자의 역할 및 책임, 업무절차, 평가범위, 평가방법, 설계변경업무, 감항성유지업무 등 기술표준품 관련 인증업무를 표준화하여 왔다.

표 3. 개정 목차

TSO-C62d	TSO-C62e
a. Applicability	1. Purpose
	2. Applicability a. Effective date of previous TSO b. Effectiveness of TSOA c. Major Design Change d. Previously Approved Articles
	3. Requirements a. Effective date of TSO b. Deviations
b. Marking	4. Marking
c. Data Requirements	5. Application Data Requirements
d. Data to be Furnished with Manufactured Units	6. Manufacturer Data Requirements
e. Previously Approved Articles	7. Furnished Data Requirements
f. Availability of Reference Documents	8. How to Get Referenced Documents
Appendix 1. MPS	Appendix 1. MPS

TSO-C62e도 표3과 같이 Order 8150.1B의 표준지침을 반영하였다. 기술표준품 형식승인서 발행 후 중대한 설계변경(TSO-C62e, 2.c)이 발생하는 경우 새로운 모델번호로 인증을 재신청하도록 명시하였다. 대체방법에 의한 최소성능표준을 입증할 수 있도록 하는 성능규격불일치(TSO-C62e, 3.b)에 대한 요건도 추가되었다.

기술표준품형식승인의 중대설계변경사항은 FAR §21.611(b)에, 성능규격불일치는 §21.609에 이미

기술되어 있으나 개별 표준서에 해당 내용을 다시 한 번 구체적으로 기술하고 있다. 해당 요건들은 인증 실무에서 이미 적용되고 있는 인증 개념이다.

3.3.2 표식

표식요건에 의해 항공기용 타이어는 표.4와 같이 표준서에서 규정하는 정보를 읽기 쉽고 영구적인 방법으로 표시되어야 한다. 개정을 통해 SAE AS4833의 내용이 반영되었으며, 결과적으로 균형점표시(Balance Marker), 플라이정격(Ply Rating), 타이어형식(Tire Type)에 대한 표식요건이 추가되었다. 해당 표식요건들은 항공기용 타이어의 식별에 필요한 중요한 정보이며, 항공기용 타이어 업계는 필요에 의해서 해당 표식을 이미 적용하고 있는 경우가 대부분이다.

표 4. 표식

표식요건(Marking)	비고
a. 기술표준품 번호 (TSO-C62X), c. 상품명, 제조자명 또는 등록상표 d. 생산일자 식별정보, e. 부품번호 f. 생산공장 식별표시, h. 일련번호 i. 크기 및 정격하중, j. 스키드 깊이 k. 정격속도, m. 재생불가표시	TSO-C62d 요건
b. 균형점표시, g. 플라이 정격 l. 타이어 형식(튜브형 또는 튜브리스형)	TSO-C62e 추가요건

특징적인 것은 TSO-C62d와 SAE AS4833에서는 TRA²⁾ 또는 ETRTO에서 규정하는 표준 타이어 형식에 한해서 TSO 인증을 신청할 수 있도록 제한하고 있는 반면, 개정본에서는 해당 규정에서 규정하고 있지 않은 타이어 형식일지라도 인증추진과 동시에 TRA/ETRTO에 통보하여 표준타이어로 등록하고 있는 경우 인증을 받을 수 있도록 하는 유연한 접근법을 채택하고 있다는 것이다.

3.3.3 인증 신청 자료

미국의 항공기인증체계를 기술하고 있는 FAR Part 21의 §21.605(a)(1) 규정에 의하여 기술표준

2) Tire and Rim Association

3) European Tyre and Rim Technical Organization

폼형식승인 신청자는 적합성기록서(Statement of Conformance)와 표5에 해당하는 기술자료를 함께 첨부하여 인증을 신청하여야 한다.

수리정비지침서 요건은 TSO-C62d에서 규정하는 내용(운용시 검사기준, 비파괴검사기법, 재생절차, 수리방법) 외에 감항성유지 측면의 내용이 강화되었다. 수리정비지침서의 정보를 통해 FAR §21.3항에서 규정하는 보고의무에 따라서 운용중인 타이어와 관련하여 항공안전에 영향을 미칠 수 있다고 알려진 또는 잠재적인 문제점들을 감항당국에 보고하도록 요구하고 있으며, 항공기에 장착되어 사용되는 타이어가 TRA 또는 ETRTO에서 규정하고 있는 타이어 치수(외경, 솔더직경 등) 공차범위 내에서 운용하는 데 필요한 정보를 제공하도록 요구하고 있다.

표 5. 인증신청 자료

인증신청 자료(Application Data)	비 고
a. 크기, b. 플라이 정격, c. 정격속도 d. 정격하중, e. 정격팽창압력, f. 타이어외경, g. 단면폭, h. 금형스키드깊이 i. 솔더부 직경/폭 정보 또는 솔더부 도면 j. 공칭하중반경 및 허용공차 k. 시험용 타이어의 실측 하중반경 l. 무게, m. 파열압력인증자료, n. 시험용 타이어의 정적 불균형 o. 휠림 식별번호, p. 제조번호 q. 1.5배 하중변형선도 r. 동력계시험용 하중-속도-시간 그래프 t. 수리정비지침서 v. 별도의 장착승인이 필요함을 명시하는 안내문구	TSO-C62d 요건 ※ a, b, c, d, e, h, j, l, o, p, t 는 납품문서임
s. 재료규격서 및 공정절차서 목록 u. 타이어 운용한계(Limitation)	TSO-C62e 추가요건

타이어의 형식설계를 결정하기 위하여 필요한 재료규격서 및 공정절차서 목록에 대한 요건도 추가되었다. 또한, 타이어 운용한계(Limitation)에 대한 자료 요건이 추가되었다. 형식승인을 받은 타이어의 인증조건이 항공기 운용조건에 부합하는 지를 결정하기 위하여 필요한 정보에 대하여 기술하고, 추가적인 항공기급 시험, 분석, 또는 장착승인 과정에서 확인되어야 함을 명시하고 있다.

3.3.4 제조자 기술자료에 대한 접근성

항공기용 타이어의 인증신청시 제출하여야 하는 기술자료 이외에, 형식설계에 합치하는 제품이 지속적으로 생산될 수 있는 지를 확인하기 위하여, 감항당국의 인증담당자가 확인해야 할 자료 목록에 대한 요구조건이 신설되었다. 해당 자료 목록은 Order 8150.1B의 표준지침 중 기계요소와 관련된 제품의 요구조건을 반영한 것이다.

타이어의 정비절차서는 수리정비지침서를 의미한다. Order 8150.1B는 정비절차서 개정안을 기술표준폼형식승인 인증서 발행 후 12개월 이내에 제출하도록 요구하고 있다.

표 6. 제조자 기술자료

제조자 기술자료(Manufacturer Data)	비 고
a. 개별제품 기능검증절차서	TSO-C62e 신규 요건 ※ c, d는 납품문서임
b. 장비 검교정 절차서	
c. 정비절차서 최신본	
d. 개략도 또는 타이어 단면사진	
e. 재료규격서 및 공정절차서	

3.3.5 타이어 납품문서

TSO-C62e는 납품문서 요건이 구체적으로 명시되어 있다. 기술표준폼형식승인 인증을 획득한 타이어를 1개 이상 사용자(항공사, 정비사업소 등)에게 납품하는 경우 표5 및 표6에 제시된 납품문서를 반드시 제공하여야 한다. 납품문서의 일부인 정비절차서의 경우, 납품시의 최신본을 제공하여야 한다.

3.4 최소성능표준 개정

타이어에 대한 최소성능표준(MPS, Minimum Performance Standards)은 TSO-C62의 부록(Appendix 1)에 기술되어 있다. TSO-C62는 바이어스 타이어와 래디얼 타이어 형식을 포함하는 모든 항공기용 타이어에 적용된다. 단, 그림1.(b)의 테일휠타이어는 적용대상이 아니다.

본 절에서는 최소성능표준의 주요 개정내용을 고찰한다.

3.4.1 소재

TSO-C62d는 타이어에 사용되는 소재가 의도된 목적에 합당하여야 하며, 이에 대한 적합성은 충분한 운용이력 또는 동력계시험을 통해서 입증하도록 요구하고 있다.

TSO-C62e에서는 SAE AS4833의 내용을 반영하여 이러한 타이어 소재에 대한 적합성 입증을 위해 사용온도(타이어의 극한 사용조건인 -40°F와 +160°F에 24시간 노출된 후에도 소재의 물리적 특성저하가 없을 것)와 휠림온도(Wheel-rim heat, 비드시트가 300°F에서 1시간 노출된 후에도 자재의 특성저하가 없을 것) 요건을 적용함을 명시하였다.

3.4.2 타이어 외형측정

TSO-C62d는 '90년에 제정 당시 바이어스 타이어에 초점을 맞추어 최소성능표준요건을 기술하였다. TSO-C62e는 래디얼 타이어의 치수측정 요건을 추가 반영하였다.

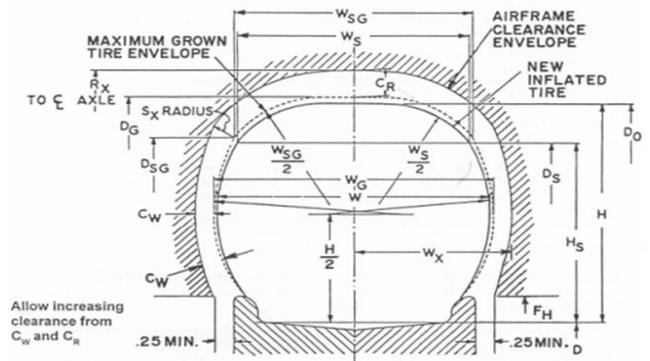
바이어스 타이어는 초기에 정격압력을 인가한 후 12시간이 지난 시점에 다시 정격압력을 인가했을 때의 치수인 그림4.(a)의 사진을 기준 치수로 잡는다. 바이어스 타이어는 그 특성상 외형치수가 지속적으로 성장한다. 상대적으로 초기변형에 강한 래디얼타이어는 그림4.(b)와 같이 이륙사이클(50회), 택시사이클(10회), 초과하중이륙사이클(1회)를 모두 마친 후 정격압력을 재인가 후의 외형치수를 기준으로 측정한다.

바이어스 및 래디얼 타이어의 치수측정 기준을 그림4에 제시하였다. 항공기용 타이어의 크기는 운용과정에서 지속적으로 성장한다. 따라서 타이어 운용시 TRA에서 제한하는 최대 성장값 이내로 관리되도록 하여야 하며, 이를 벗어나는 경우 타이어를 교체하여야 한다.

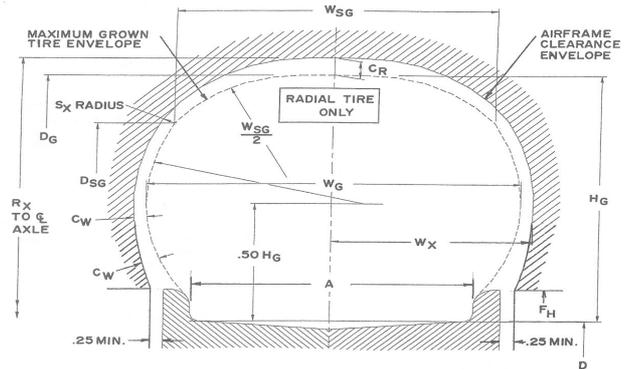
3.4.3 균형

TSO-C62d에서는 주타이어 및 보조타이어에 동일한 균형값(0.025 D²)만을 제시하고 있으며, 기준 균형값을 벗어난 타이어에 대한 처리방법에 대한 기준은 제시되지 않았다.

개정내용에서는 SAE의 적용기준을 대부분 참조하였다. 보조타이어의 경우 균형값 관리기준이 완화되었으며, 또한 균형값을 교정할 수 있도록 하였다. 제작업체의 균형값 교정절차는 반드시 감항당국의 승인을 받도록 요구하고 있다.



(a)바이어스 타이어



(b)래디얼 타이어

출처 : 2006 Aircraft Year Book, TRA

그림 4. 항공기용 타이어 치수측정 개략도

표 7. 타이어 균형값 관리기준

D : 타이어 외경(inch)

분 류	관리기준 (inch-ounces)	
	M=0.025 D ²	M=0.035 D ²
TSO -C62d	주타이어 및 보조타이어	NA
TSO -C62e	보조타이어	주타이어 및 직경46inch 이상인 타이어
SAE AS4833	보조타이어	주타이어

균형값의 적용기준으로 보조타이어(Auxilliary Tire)와 주타이어(Main Tire)를 구분하여 제시하

였다. 보조타이어는 주타이어와 테일휠타이어를 제외한 모든 타이어를 말하며, 노즈타이어가 이에 해당한다. 이륙시 동적하중을 많이 받는 보조타이어의 관리기준은 TSO-C62d의 수준으로 유지하면서 상대적으로 동적하중을 작게 받는 주타이어에 대해서는 적용기준을 완화하였다. 또한, 직경 46inch 이상인 경우에도 완화된 균형값(0.035 D²)으로 관리하도록 하였다.

3.4.4 동력계시험

TSO-C62e에서 동력계 시험과 관련된 가장 주요한 특징은 표8 및 표9에 제시된 바와 같이 SAE AS4833에서 사용하고 있는 이륙사이클 50회, 택시사이클, 10회, 초과하중 이륙사이클 1회로 구성되는 동력계시험법을 기본시험으로 채택한 것이다. 이를 위해 정격속도 120 및 160mph 타이어에 대한 택시사이클 요건이 표10와 같이 제시되었다. 또한, 정격속도 120mph로 구분되던 저속타이어 및 고속타이어의 구분도 사라졌다.

정격속도가 120mph인 타이어의 경우, 61회 동력계 사이클에 의한 시험법이 기본으로 채택되어, 저속타이어에 대한 200회 사이클 시험방법으로 사용되던 고정질량 플라이휠을 이용한 시험법은 역사속으로 사라지게 되었으며 가변질량 플라이휠을 이용한 시험법은 대체시험방법(TSO-C62e,5.b.)으로 이관되었다.

정격속도가 160mph인 타이어의 경우, 이륙사이클 50회 시험을 위해 TSO-C62d에서는 그림 52.(b)에 따라 시험을 수행하였으나, TSO-C62e에서는 그림5.(a)에 따라 시험을 수행하게 되었다. 결과적으로 그림5.(d)의 빗금친 부분에 해당하는 만큼 시험조건이 완화되었다고 할 수 있다. 또한, 택시사이클 시험요건인 최소 롤 거리 요구조건도 35,000ft에서 25,000ft로 하향 조정되었다.

정격속도가 190mph 이상인 경우, 개정전·후의 시험요건은 동일하다. 타이어의 운용환경에 대한 하중-속도-시간 그래프를 정확하게 추출할 수 있는 경우에는 이륙사이클 그래프로 그림5.(c)을 사용할 수 있다.

군용규격의 성능규격화 전환과정의 일환으로

개정된 군항공기용 타이어 규격인 MIL-PRF-5041J ('98.4.30)에서 동력계 시험요건으로 SAE AS4833를 인용하기로 하였으며, 속도기준도 knot 단위에서 mph 단위로 변경하였다. 최근 TSO-C62e의 개정과 함께 민군 항공기용 타이어에 적용되는 동력계 시험방법이 단일화되었다.

표 8. 타이어 정격속도 및 동력계 시험속도

이륙 최대속도(mph)		정격속도 (mph)	동력계 시험속도 (mph)
이상	이하		
0	120	120	120
120	160	160	160
160	190	190	190
210	225	225	225
225	235	235	235
235	245	245	245

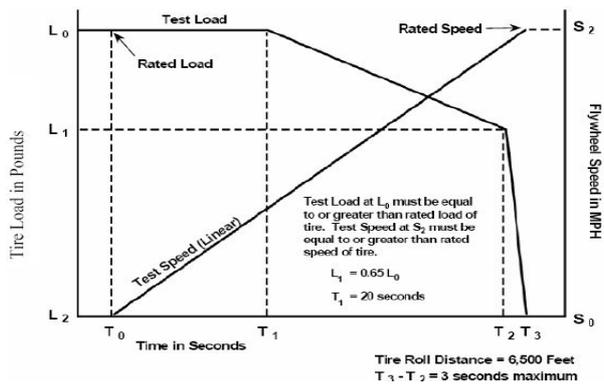
표 9. 항공기용 타이어 동력계시험

RS : 정격속도(mph), FW : 플라이휠 종류, () : 대체시험

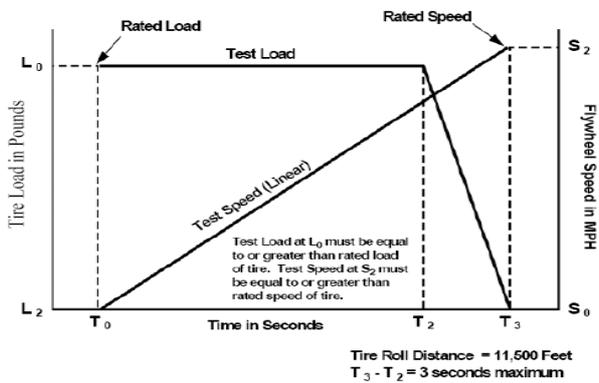
분 류	정격속도(Rated Speed, mph)		
	120	160	190-245
TSO-C62d '90.9.7	6.2.3 가변FW 6.2.4 고정FW 중 택1 200cycles	6.3.3 그림2.(b) 61cycles	
		(6.3.4) 200cycles	
TSO-C62e '06.9.29	5.a.(2) 그림3.(a) 61 cycles	5.a.(2) 그림3.(a) 61 cycles	5.a.(2) 그림3.(b) 61 cycles
	(5.b 가변FW) 200cycles		
SAE AS4833 '00.10	5.3.2 그림3.(a) 61 cycles	5.3.2 그림3.(a) 61 cycles	5.3.2 그림3.(b) 61 cycles
	(5.4 가변FW) 200cycles		

표 10. 택시사이클

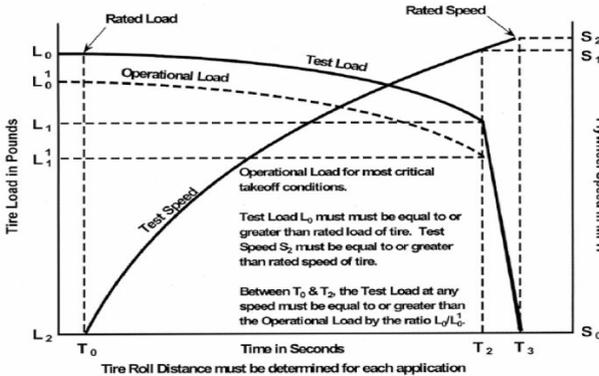
횟수	시험 하중 lbs	최소 속도 mph	최소롤거리 ft (RS 120, 160)	최소롤거리 ft (RS 160초과)
8	정격 하중	40	25,000	35,000
2	정격하중 × 1.2	40	25,000	35,000



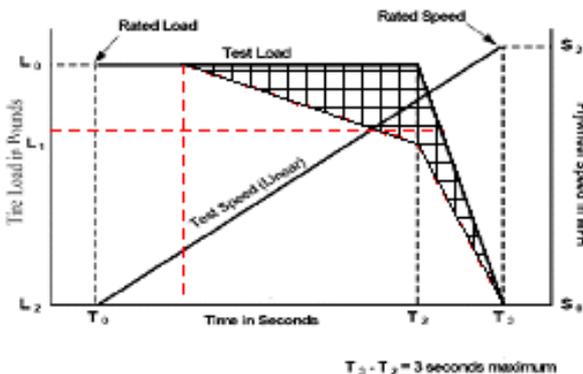
(a)



(b)



(c)



(d) 그래프 (a)-(b) 비교

그림 5. 동력계시험(이륙사이클) 시간-속도-하중 그래프

4. 결론

수만개의 부품으로 이루어진 항공기의 안전을 확보하기 위해서는 설계·제작단계에서부터 안전성과 신뢰성을 확보하고, 운용·정비 단계에서 지속적인 안전성 유지를 위한 프로그램을 운용하여야 하며, 이는 타이어도 예외일 수 없다.

신규로 항공기를 중심으로 활발하게 적용범위를 넓혀나가고 있는 래디얼 타이어 기술은 바이어스 타이어에 초점을 맞추어 관리하던 항공안전 분야에도 많은 영향을 미치게 될 것이다. 항공기용 타이어에 대한 형식승인 업무를 추진하고, 항공안전을 도모하기 위해서는 항공기용 타이어에 대한 최신평가기술동향 및 인증동향에 대한 지속적인 연구가 선행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. FAA TSO-C62d, Tires, 1990.9.7
2. FAA TSO-C62e, Aircraft Tires, 2006.9.29
3. FAA AC 20-97B, Aircraft Tire Maintenance and Operational Practices, 2005
4. FAA AC 25-22, Certification of Transport Airplane Mechanical systems, 2000, pp.19-30
5. FAA AC 145-4A, Inspection, Retread, Repair, and Alterations of Aircraft Tires, 2006
6. Aircraft Tire Approval Process, FAA 비디오 교재
7. SAE AS 4833, Aircraft New Tire Standard - Bias and Radial, 2000
8. FAA Order 8150.1B, Technical Standard Order Program, 2002
9. Aircraft Year Boo, 2006, TRA (The Tire and Rim Association, Inc.)
10. Aircraft Tire Engineering Design Information, 2006, TRA (The Tire and Rim Association, Inc.)
11. Aircraft Design: A Conceptual Approach, Daniel P. Raymer, 1992, pp.229-239