

Technical Paper

DOI: <http://dx.doi.org/10.6108/KSPE.2018.22.4.117>

기술집약형 항공엔진 정비산업과 부품인증제도에 관한 고찰

이강이^{a,*} · 박주환^b

Study on Technology Intensive MRO and PMA for Aircraft Engine

Kang-Yi Lee^{a,*} · Joo-Hwan Park^b

^aAviation Certification Division, Korea Institute of Aviation Safety Technology, Korea

^bAdvanced Aviation Division, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea

*Corresponding author. E-mail: kylee@kiast.or.kr

ABSTRACT

USA and Europe are leading the transport airplane industry. In Asia-Pacific region, air transportation and MRO industries are forecasted to be grown up rapidly. Furthermore, Japan and China entered into design and manufacture state of regional airplane, while developing countries entered into severe struggle competition for MRO industry. Global aircraft MRO and engine MRO industries are forecasted 3.4% and 7% annual growth respectively in the next decade. In this paper, authors propose promotion strategy for technology intensive MRO of aircraft engine to create a higher value-added business.

초 록

미국과 유럽은 대형 항공기 산업을 선도하고 있으며, 아시아-태평양 지역에서는 몰동량이 증가하면서 운송산업과 정비산업이 크게 발전할 것으로 전망된다. 또한, 일본과 중국은 중소형 항공기 분야에서 설계·제작국에 진입하였으며, 후발국가의 정비산업도 경쟁이 더욱 가속되고 있다. 향후 10년간 세계의 항공기 정비산업은 연평균 3.4%로 성장하고, 엔진 정비산업은 7%씩 성장할 것으로 전망된다. 본 논문을 통하여 고부가가치를 창출할 수 있는 기술집약형 항공엔진 정비산업 육성 방안을 제시하고자 한다.

Key Words: Aircraft Engine(항공기 엔진), Certification(인증), MRO: Maintenance, Repair and Overhaul(정비산업), Parts Manufacturer Approval(부품제작자증명), Technology Intensive(기술집약형)

1. 서 론

Received 8 June 2017 / Revised 3 November 2017 / Accepted 7 November 2017

Copyright © The Korean Society of Propulsion Engineers
pISSN 1226-6027 / eISSN 2288-4548

[이 논문은 한국추진공학회 2017년도 춘계학술대회(2017. 5. 31-6. 2, 라마다프라자 제주호텔) 발표논문을 심사하여 수정·보완한 것임.]

지난 10년 동안 세계 항공산업 시장은 크게 변화하였다. 세계 항공산업을 선도하는 미국은 대형 수송급 항공기를 제외하면 중소형 항공기

산업에서 어려움 겪고 있으며, 부품산업도 크게 위축되었다. 반면에 아시아-태평양 지역의 국가는 항공물동량이 크게 증가하면서 일본과 중국이 중형 항공기 개발을 완료하였고, 부품산업도 크게 성장하고 있다.

우리나라의 경우에는 지난 2008년에 항공기 타이어를 개발하여 미국과 항공안전협정(BASA: bilateral aviation safety agreement)을 처음으로 체결하였고, 2014년에는 KC-100 소형 비행기에 대한 시범사업을 통하여 항공안전협정을 확대하였다. 그러나, 이와 같은 국내 개발 항공제품이 수출로 이어지지 못하고, 국내 항공산업은 군수 위주로 발전하고 있다.

향후 10년 동안 세계 항공산업은 군수 분야보다 민수 분야가 더욱 발전할 것으로 전망되며, 그 중에 엔진 제조산업과 정비산업이 차지하는 비중이 더욱 높아질 것이다.

본 논문에서는 세계의 항공엔진 정비산업을 분석하고, 그 경쟁력을 강화할 수 있는 부품제작 자증명 제도를 고찰함으로써 기술집약형 정비산업을 육성할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

2. 항공기 엔진 정비산업

2.1 엔진 정비산업 시장동향

상용 항공기 정비(MRO: maintenance, repair and overhaul)는 승객과 화물을 안전하게 수송하기 위하여 형식증명을 통해서 확인된 감항성을 유지하기 위한 일련의 과정을 말한다.

세계적으로 상용 항공기 정비업체는 463개 이상에 이르며, 다음의 Table 1에 제시된 20개 기업이 정비산업을 선도하고 있다[1]. 또한, 항공엔진 정비산업은 11개 기업이 시장을 선도하고 있다[2]. 우리나라의 경우에 대한항공과 한화테크윈에서 많은 물량의 정비사업을 수행하고 있지만, 각각 자가 정비와 군용 엔진에 대한 정비가 주를 이루고 있으므로 세계시장의 상용 정비업체로 분류되지 않는다.

상용 항공기 정비산업 시장은 세계적으로 유행되는 항공기 기단의 규모, 항공기 이용률, 그

리고 항공교통량의 증감 등과 같은 외부적인 요인에 따라 변화를 겪게 된다. 항공기 정비산업은 세계적으로 둔화하는 경향을 보이면서 경제적으로 도전에 직면해 있으며, 대부분의 정비산업체가 수익이 감소하는 경향을 나타내고 있다. 그러나, 아시아-태평양 지역과 중동 지역은 향후 10년 동안 항공물동량이 크게 증가할 것으로 예상되며, 이에 따라 정비산업에 대한 중 단기 성장동력이 될 것으로 전망된다[3].

Forecast International에 따르면 세계의 항공분야 제조산업 시장은 2024년까지 연평균 3.4%로 성장하여 7,391억 달러에 이를 것으로 전망하고 있다. 여기에서 군용기 분야는 연평균 1%씩 감소하고, 민항기 분야는 3.5%씩 성장하여 현재의 80%에서 86%까지 확대될 것으로 보고 있다[4]. 항공분야 전체 정비산업은 위의 Fig. 1에서 보는 바와 같이 2025년까지 연평균(CAGR: compound annual growth rate) 4.1%로 성장하여 960억 달러로 전망되며, 이중에 엔진 정비산업은 연평균 4.4%씩 크게 성장할 것으로 예상된다. 특히, 항공기 개조산업(modification)은 전체 정비산업의

Table 1. Leading MRO companies.

Leading MRO Companies	Engine MRO Companies
<ul style="list-style-type: none"> · AAR Corporation · Air ChinaTechnic (Ameco) · Air France Industries (KLM) · Airbus · Boeing Company · British Airways Eng. · Delta TechOps · Fokker Technologies · GE Aviation · Hong Kong Aircraft Eng. · Iberia Maintenance · Lufthansa Technik · MTU Maintenance · Rolls Royce Holdings PLC · SIA Engineering Company · SR Technics · ST Aerospace · TAP Maintenance & Eng. · Turkish Technic · United Technologies Corp. 	<ul style="list-style-type: none"> · GE Aviation · Honeywell Aerospace · Pratt & Whitney Division · Rolls Royce · Hong Kong Aero Engine · Singapore Aero Engine · Delta TechOps · Ameco · Eagle Services Asia · Evergreen Technologies · MTU Maintenance

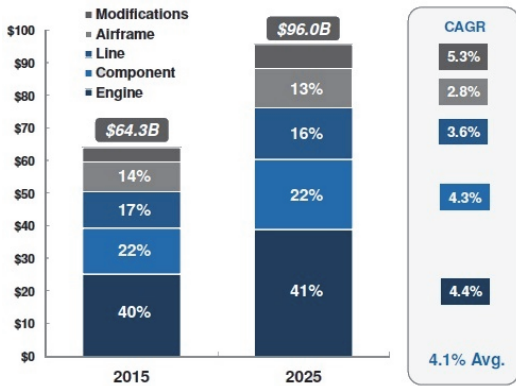


Fig. 1 Global MRO demand growth forecast.

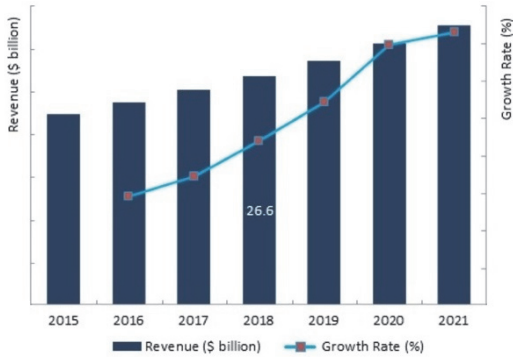


Fig. 2 Global engine MRO growth forecast.

8% 정도에 불과하지만, 연평균 5.3%씩 가장 크게 성장할 것으로 전망되고 있다[3].

엔진 정비산업에 대하여 2021년까지 단기 전망을 살펴보면 Fig. 2에 제시된 바와 같다. 즉, 전세계 엔진 정비산업은 연평균 7%의 성장률을 보일 것이며, 특히 아시아-태평양 지역은 가장 높은 9%까지 성장할 것으로 전망된다[2].

2.2 엔진 정비산업 운영체계

항공산업에서 정비(MRO)는 항공기와 이에 장착된 엔진 및 장비품의 운용수명을 결정하는 핵심적 활동에 해당한다. 즉, 정비(MRO)를 통하여 고가의 항공기 시스템이 설계 당시의 기능과 안전성을 장기간 유지할 수 있도록 하는 것이다.

항공기 엔진 정비(MRO) 작업은 다음의 Fig. 3과 같이 라인정비(maintenance), 오버홀(overhaul),

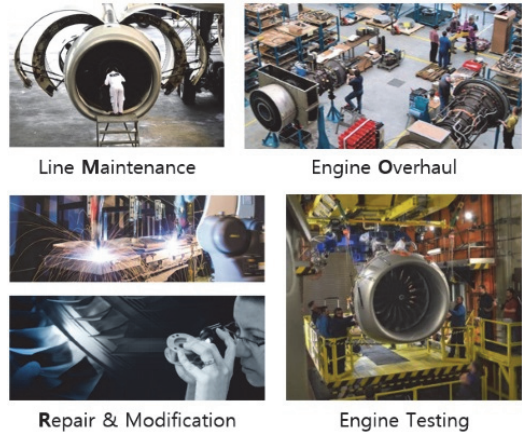


Fig. 3 Scope of aircraft engine MRO.

수리(repair)만을 지칭하지만, 설계기술이 필요한 개조(modification)와 대형 설비가 필요한 시운전(testing)도 광의의 정비 범위에 포함된다.

엔진을 포함하여 항공기 정비산업의 운영체계(MRO system)는 최소의 비용으로 항공기 이용률(availability)과 운항 안전성 목표를 달성하기 위한 것으로 산업환경과 기술이 복합적으로 조합된 형태(complex socio-technical system)로 볼 수 있다. 이와 같은 복합적 정비산업은 환경적 배경, 조직구성, 경영관리, 정비인프라, 정비인력, 그리고 기술수준에 따라서 크게 영향을 받을 수 있다.

MIT 대학의 Boon Seh Choo[5]는 현재의 상용 및 군용 항공기 엔진 정비산업을 분석하고 이를 더욱 발전시킬 수 있는 개념을 정립하여 다음과 같이 6가지 실행지침을 제시하였다.

(1) 외주정비(Outsourcing)

- 중요한 정비작업은 이용률과 안전성을 직접 관리할 수 있어야 한다.
- 정비조직의 규모와 특성을 고려하여 외주정비 여부를 결정해야 한다.
- 개별 정비사업자에게 현실성 있는 아웃소싱의 대안으로 공용 보급창 등을 들 수 있다.

(2) 정비인프라(Infrastructure)

- 정비용 부품에 대한 중간보급지 수를 줄이고, 결합품을 신속하게 배송할 수 있어야 한다.

- 계획정비가 필요한 항공기가 착륙할 수 있는 정비기지를 마련할 필요가 있다.
- 장비품, 부품, 작업자, 장비의 이동을 최소화할 수 있는 셀 방식의 작업장을 갖춘다.

(3) 정비계획(Maintenance Schedule)

- 계획정비 대상 항공기가 정비기지에 착륙하면, 신속하고 효과적인 프로세스를 진행한다.
- 고장진단장비 및 모니터링장비를 적극 활용하여 비계획정비를 최소화하도록 한다.
- 엔진의 설계단계에 정비방식과 부품교체주기를 고려하면 운용수명 비용을 줄일 수 있다.

(4) 보급관리(Inventory Management)

- 운항정비용 부품을 적시에 정확하게 공급하기 위하여 제조자원계획시스템(MRP: manufacturing resource planning), 적시생산기법(JIT: just-in-time), 제약조건이론(TOC: theory of constraint)을 활용한다.
- 불시의 긴급히 소요되는 부품에 대해서는 전용(cannibalization)이나 병렬공급(lateral supply)을 통하여 일시적인 자재부족을 해소한다.

(5) 정비인력(Manpower)

- 조직의 목표공유, 지식공유, 상호존경을 통해 관계적 연계성을 유지하고 성과를 달성한다.
- 직무 수행에 인적 요소를 반영하여 효과적이고 안전하게 업무성과를 달성한다.
- 기술·규칙·지식기반 행동론을 적용할 수 있는 인지도구와 교육훈련을 제공한다.

(6) 기술과 연구(Technology and Research)

- 최신의 기술을 활용함으로써 조직의 성과를 향상시키는 역할을 할 수 있다.
- 정보시스템을 구축하여 정보를 효과적으로 관리하고 기술발전과 변화에 대응한다.
- 정비조직의 발전을 위해 연구와 교육에 충분한 관심과 자원을 투입해야 한다.

위와 같은 Boon Seh Choo[5]의 논문에서 정비산업 운영체제로 정비인프라, 경영관리 및 정비인력 등에 관한 사항을 제시하였지만, 이보다 중요한 사항은 개별 조직의 배경이나 상황에 적합한 운영체제를 갖추어야 한다는 점이다.

또한, 항공기 및 엔진의 정비는 본래의 감항성

을 유지하는 것이 목적이므로 이를 위한 업무적, 기술적 체계를 갖추는 것이 무엇보다 중요하다고 할 수 있다.

3. 항공엔진 부품인증제도

3.1 부품제작자증명 대상 부품

항공기 및 엔진의 개발자는 그에 대한 안전성을 보장하기 위하여 형식증명과 제작증명을 받아야 한다. 또한, 감항당국에서 지정하여 고시한 기술표준품에 대해서는 기술표준품 형식승인을 받아야 하고, 그 이외의 부품에 대해서는 부품제작자증명(PMA: parts manufacturer approval)을 받아야 해당 항공기나 엔진에 장착하여 사용할 수 있다[6].

부품제작자증명(PMA)은 특정한 항공기 및 엔진의 형식증명 당시에 사용된 부품과 동일한 형상과 기능을 갖도록 제3자가 제작하는 부품을 대상으로 하기 때문에, 정비산업(MRO)과 가장 밀접한 관계가 있다. 다음의 Fig. 4와 같은 엔진 관련 부품은 기술적 난이도가 높지만, 고수익 창출이 가능한 제품에 해당한다.

항공법의 관점에서 부품(parts)이라 함은 항공기, 엔진, 프로펠러, 기술표준품을 제외한 그 밖의 구성요소 또는 이를 구성하는 부품을 말한다.

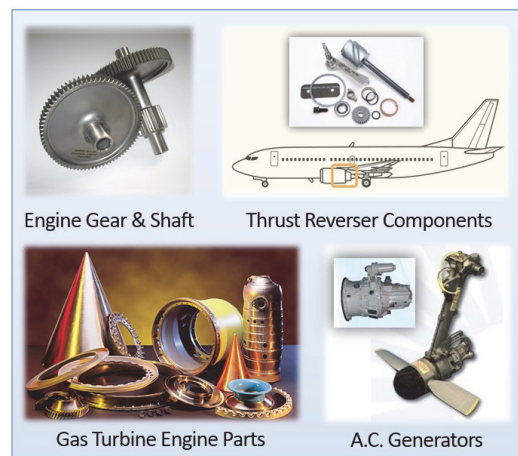


Fig. 4 Example of aircraft engine PMA parts.

따라서 항공기 구성에 필요에 모든 부품이 부품 제작자증명(PMA)의 대상이 될 수 있다.

항공기 소유자나 운용자의 입장에서는 정비를 위한 교체용 부품(replacement parts)을 해당 항공기 제작자를 통해서 공급받거나 부품제작자증명을 받은 부품업체로부터 직접 구매하여 장착할 수 있다. 부품업체의 관점에서는 원칙적으로 형식증명을 받은 항공기 제조업체에만 해당 부품을 공급할 수 있지만, 부품제작자증명을 받은 후에는 항공기 운용자에게 직접 판매(direct shipping)할 수도 있다. 또한, 항공기 및 엔진 제작자와 아무런 관계가 없는 제3자도 특정한 부품을 자체적으로 설계·제작하여 부품제작자증명을 받은 후 항공기 운용자 또는 정비사업자에게 판매할 수도 있다.

3.2 부품의 인증기준 및 절차

부품제작자증명에 대한 법적인 요건은 항공안전법규와 국토교통부 훈령 및 고시에서 규정하고 있다. 미국의 경우, 연방항공규정 FAR Part 21의 Subpart K와 FAA Order 8110.42C에 세부 절차를 규정하고 있다[7].

부품제작자증명을 받기 위한 인증기준은 해당 부품이 장착될 항공기나 엔진에 대한 감항기준(airworthiness standards)의 해당되는 요건을 선별하여 적용하게 된다. 이는 해당 부품이 기존에 형식증명을 통하여 안전성이 입증된 항공기 등의 설계에 위해한 영향을 주지 않아야 한다는 취지에도 부합하는 것으로 볼 수 있다.

부품제작자증명을 위한 감항기준에 대한 적합성(compliance) 입증에는 그 부품이 장착될 항공기 및 엔진의 형식설계에 대한 적격성(eligibility)과 그 부품의 설계에 대한 합치성(conformity)을 포함하여야 한다. 즉, 부품제작자증명은 설계승인과 생산승인 과정으로 이루어지고, 증명서 발급 후에는 인증관리 및 감항성 유지활동을 수행하여야 한다.

부품제작자증명을 위한 인증과정 중에 설계자료 승인방법(approval methods)은 해당 부품의 설계 확보 및 안전성 입증 유형에 따라서 다음과 같이 4가지 방법으로 분류한다.

- ① 면허계약에 의한 동일성 입증 : 형식증명서, 부가형식증명서(STC), 기술표준품 형식승인서 소지자가 이미 승인받은 설계를 사용하도록 허용하는 면허계약서를 제출한다. 이는 해당 부품의 원제작사로부터 설계권을 구매하여 생산하는 방식을 말한다.
- ② 면허계약이 없는 동일성 입증 : 형식증명서, 부가형식증명서, 기술표준품 형식승인서 소지자가 이미 승인받은 설계와 동일한 부품임 나타내는 설명서를 제출한다. 단, 치명성 부품(critical parts)이나 원제작사 고유공정이 포함된 경우에는 시험 및 계산 방법으로 분류된다. 이는 항공기, 엔진, 프로펠러 또는 그 구성품의 원제작사로부터 해당 부품을 하청생산 하다가 독립적인 PMA 생산자가 되는 방식을 말한다.
- ③ 시험 및 계산에 의한 적합성 입증 : 부품의 재료, 제조공정, 시험규격, 호환성, 정비지침을 포함하는 설계자료를 제출하고, 해당 감항기준에 대한 적합성 입증을 위한 시험 및 계산을 직접 수행해야 한다. 이는 원제작사에 지불해야 하는 설계권 비용이나 기술자료 사용 및 제3자 판매에 대한 동의가 필요하지 않으며, 독자적으로 부품을 개발하여 자유롭게 판매하는 방식을 말한다.
- ④ 부가형식증명에 의한 적합성 입증 : 항공기 등에 대한 부가형식증명서(STC) 소지자 또는 신청자가 부품제작자증명을 함께 신청하는 경우, 그 신청서에 해당 부가형식증명서 번호만을 기재하여 제출한다. 이는 해당 부품을 장착하기 위하여 항공기나 엔진의 중대 설계변경이 필요한 경우에 STC와 PMA를 하나의 신청서류와 인증과정으로 진행하는 방식을 말한다.

이와 같은 부품제작자증명을 위한 4가지 승인 방법은 해당 부품의 설계, 생산, 판매 방식에 대한 신청자의 여건과 상황에 따라서 선택되는 것이다. 다만, 기술력이 뛰어난 신청자는 시험 및 계산에 의한 방법을 선택하여 기술료 지불에 대한 부담을 줄이고 기술집약형 고부가가치 부품

을 생산할 수 있으며, 그렇지 않은 경우에는 수익성이 저하되더라도 면허계약에 의한 방법이나 원제작사의 하청생산 기술을 바탕으로 PMA 부품을 생산할 수도 있는 것이다. 부가형식증명에 의한 방법은 기술적 범위와 인증의 범위가 넓어 지지만, 인증이 완료되면 곧바로 항공기에 장착하여 사용할 수 있고 수익성을 가장 높일 수 있는 방법으로 볼 수 있다.

한편, 부품제작자증명 신청자가 설계승인을 받은 부품을 생산하기 위해서는 자기의 조직과 품질시스템을 설명하는 문서를 감항당국에 제출하여야 한다. 품질시스템에는 설계자료 관리, 문서 관리, 공급업체 관리, 제조공정 관리, 검사 및 시험, 검사·측정·시험장치 관리, 검사 및 시험, 불합치품 관리, 시정 및 예방조치, 취급 및 저장, 품질기록 관리, 내부 감사, 운용 중 결함통보 처리, 품질시스템 이탈품 처리 등을 포함해야 하고, 이를 품질매뉴얼로 작성하여야 한다.

부품제작자증명을 받은 부품에는 읽기 쉽고 영구적인 방법으로 제작자 명칭, 상표, 심벌, 부품번호, "FAA-PMA"를 표시하여야 한다.

4. 기술집약형 엔진 정비산업

4.1 엔진 정비산업의 특징

항공기 제조산업에서 엔진은 약 25%의 비용을 차지하는 것이 일반적이다. 정비산업에서는 다음의 Fig. 5와 같이 35%를 차지하고 있다[8].

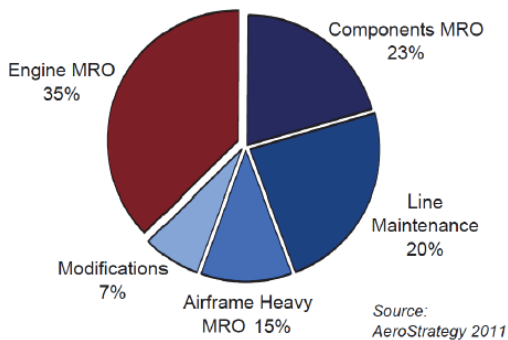


Fig. 5 MRO cost breakdown overview.

항공기 엔진은 그 특성상 재료, 특수가공, 구조강도, 내열성, 내구성, 전자제어 등의 첨단기술이 복합적으로 적용된 고가의 제품으로 우리나라 산업특성을 고려할 때, 적극적인 육성이 필요하다고 볼 수 있다.

또한, 엔진 정비산업에 부품제작자증명을 받은 엔진부품을 사용하는 경우, 원제작사(OEM: original equipment manufacturer)에서 공급하는 부품을 사용할 때보다 정비 비용을 30%에서 60%까지 현저하게 낮출 수 있어 시장 경쟁력을 높일 수 있다[9]. 이를 위해서 기술적 난이도가 높은 PMA 부품을 적극 개발하고 이를 사용하는 정비체계를 갖추으로써 기존의 노동집약적 정비산업에서 기술집약적 정비산업으로 전환할 필요가 있다.

4.2 엔진 정비산업 기술개발

우리나라 정비산업은 인건비 비중이 높고 정비기술의 해외 의존도가 심화되어 세계시장에서 경쟁력을 잃은 상태로 볼 수 있다. 이러한 시점에서 항공기 및 엔진에 대한 정비산업 발전을 위해서는 산업적 환경에 대한 분석뿐만 아니라, 정비기술에 대한 연구개발이 중요하다고 할 수 있다.

즉, 해외로부터 기술이전이 곤란한 애로기술을 해소하고, 기술적 난이도가 높은 고부가가치 정비비용 부품 개발이 필요하다. 이와 같은 목적으로 우리나라 산업체는 다음과 같은 3가지 엔진관련 정비분야 연구과제를 제안하고 있다.

- 저비용항공사(LCC: low cost carrier) 등이 공동 활용 가능한 엔진 창정비 시설 구축 및 정비기술 개발
- 소형 비행기 왕복엔진의 창정비 수리능력 확보 및 친환경 엔진(바이오연료, 자동차가솔린, 디젤연료)의 수리개조 기술개발
- 헬리콥터용 메인기어박스에 대한 창정비 수리기술 개발

이와 같은 산업체의 제안과제는 국토교통부의 항공기 제작·정비 인증기술 개발사업을 위한 중

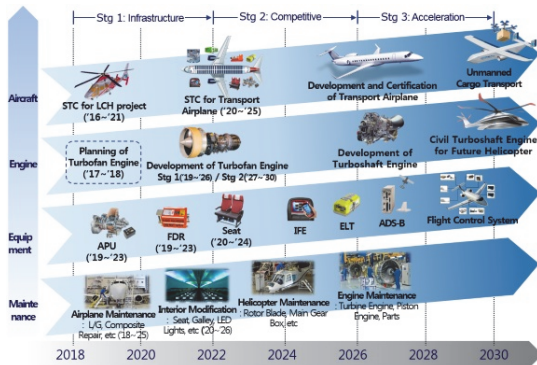


Fig. 6 Roadmap for aviation industry development.

장기 로드맵에 Fig. 6과 같이 정비기술 항목의 일부로 반영되었으나, 구체적인 기술개발 범위와 수행내용은 아직 제시되지 않은 상태이다. 향후에 세부내용을 수립하는 단계에서 본문의 Fig. 4에 제시된 바와 같은 PMA 부품을 개발하여 사용함으로써 부가가치를 높일 수 있을 것으로 기대된다.

또한, 엔진 정비에 적용되는 플라즈마 스프레이 코팅기술, 블레이드 팁 재생기술, 내열 및 내구성 부품 수리기술, 수명제한부품 관리기술 등과 같은 핵심정비기술을 개발하고, PMA 부품을 적극 개발하여 사용함으로써 고부가가치 기술집약형 정비산업으로 전환할 수 있다.

5. 결 론

항공기 및 엔진에 대한 안전성은 설계, 제작, 운용 및 정비 단계에서 공통적으로 고려되어야 한다. 본 논문에서는 항공기 엔진에 대한 정비산업 특성을 분석하고, 이에 소요되는 부품을 보다 경제적으로 공급할 수 있는 부품제작자인증 제도에 대하여 살펴보았다. 항공기 엔진은 제조산업 뿐만 아니라 정비산업에서도 그 비중이 월등히 높아 우리나라가 집중 육성해야 하는 분야로 볼 수 있다.

기술집약형 고부가가치 정비산업을 위해서는 부품제작자인증으로 인증 받은 부품을 사용할 필요가 있으며, 부가형식증명을 통한 개조사업가

지 확대함으로써 기술적 경쟁력을 갖출 수 있다. 부품제작자증명을 위한 설계자료 승인방법 4가지는 부품 개발자의 기술적 환경에 따라 적합한 방법을 선택할 수 있으며, 이를 엔진관련 정비분야 연구과제에 반영할 필요가 있다.

항공제품의 안전성을 향상시키는 동시에 인증 절차와 방법을 간소화하기 위해 인증제도를 선진화하고, 설계, 제작, 정비분야의 전문가 제도를 도입할 필요가 있다. 또한, 항공기 및 엔진에 대한 제조산업과 정비산업 육성을 위해 사업체를 집단화하여 공동으로 사용할 수 있는 보급시설, 핵심시설, 연구시설, 교육시설 등의 인프라를 갖출 필요가 있다.

후 기

본 연구는 항공안전기술원의 항공기 및 엔진에 대한 형식인증승인 과제의 일환으로 수행되었습니다.

References

1. Visiongain Ltd., "Commercial Aircraft Maintenance, Repair & Overhaul Market Report 2016-2026," AVI0022, 2016.
2. Market Research Future, "Aircraft Engine MRO Market Research Report - Global Forecast to 2023," AERO/1027-CRR, 2017.
3. Michaels, K., "MRO Industry Outlook," MRO Conference, ICF International, Montreal, Canada, pp. 1-40, Apr. 2016.
4. Forecast International Inc., "Civil Aircraft Forecast," PS018, 2016.
5. Choo, B.S., "Best Practices in Aircraft Engine MRO: A Study of Commercial and Military Systems," MSc Thesis, Department of Aeronautics and Astronautics, MIT, Cambridge, M.A., U.S.A., 2004.
6. Lee, K., Lee, B., Chung, H. and Ryoo C., "A

- Study on Certification Procedures for Aircraft Parts Manufacturer Approval," *Journal of KSAS*, Vol. 42, No. 12, pp. 1073-1079, 2014.
7. Federal Aviation Administration, "Parts Manufacturer Approval Procedures," FAA Order 8110.42C, 2008.
 8. Seemann, R., Langhans, S., Schilling T. and Gollnick, V., "Modeling the Life Cycle Cost of Jet Engine Maintenance," *Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress (DLRK)*, Hamburg, Germany, pp. 233-240, Sep. 2011.
 9. Visiongain Ltd., "Commercial Aircraft Parts Manufacturer Approval Market Forecast 2015-2025," AVI0007, 2016.