

## Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2023.31.2.081>  
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

## APMS 활용을 통한 항공기 연비향상 및 기대효과

유재림\*

## Aircraft Fuel Efficiency Improvement and Effect through APMS

Jae Leame Yoo\*

## ABSTRACT

SHM (Structural Health Monitoring) technique for monitoring aircraft structural health and damage, EHM (Engine Health Monitoring) for monitoring aircraft engine performance, and APM (Application Performance Management) is used for each function. APMS (Airplane Performance Monitoring System) is a program that comprehensively applies these techniques to identify the difference between the performance manual provided by the manufacturer and the actual fuel mileage of the aircraft and reflect it in the flight plan. The main purpose of using APMS is to understand the performance of each aircraft, to plan and execute flights in an optimal way, and consequently to reduce fuel consumption. First, it is to check the fuel efficiency trend of each aircraft, check the correlation between the maintenance work performed and the fuel mileage, find the cause of the fuel mileage increase/decrease, and take appropriate measures in response. Second, it is to find the cause of fuel mileage degradation in detail by checking the trends by engine performance and fuselage drag effect. Third, the APMS is to be used in making maintenance work decisions. Through APMS, aircraft with below average fuel mileage are identified, the cause of fuel mileage degradation is identified, and appropriate corrective actions are determined. Fourth, APMS data is used to analyze the economic analysis of equipment installation investment. The cost can be easily calculated as the equipment installation cost, but the benefit is fuel efficiency improvement, and the only way to check this is the manufacturer's theory. Therefore, verifying the effect after installation and verifying the economic analysis is to secure the appropriateness of the investment. Through this, proper investment in fuel efficiency improvement equipment will be made, and fuel efficiency will be improved.

**Key Words** : APMS(항공기 성능 모니터링 시스템), Fuel Efficiency(연료효율), SHM(구조상태 및 손상 모니터링), EHM(엔진 성능 모니터링), PIP(성능향상 패키지)

## 1. 서 론

항공기 운용 시 실제 연비는 제작사에서 제공하는 성능 매뉴얼과 다르게 나타나는 경우가 많이 발생한다. 이러한 차이점을 파악하여 비행계획에 반영하는 프로

그램을 성능관리프로그램 또는 APMS(Airplane Performance Monitoring System)라고 한다. APMS 사용의 주요 목적은 각 항공기의 연비 성능을 파악하여 최적의 방식으로 비행을 계획하여 실제 비행과의 연료 소모 오차를 줄이는 것이다. 이러한 절차는 각 항공기의 실제 연료 소모량을 측정하여 상호 비교하는 방식으로 수행되며, 이는 부수적으로 비행계획의 신뢰도가 높아지게 되고 불필요한 추가연료 탑재량을 최소화하여 연료 소모량을 줄임으로써 경제적 운항이 가능하도록 한다.

Received: 07. Apr. 2023, Revised: 18. Apr. 2023,

Accepted: 15. Jun. 2023

\* 청주대학교 항공운항학과 조교수

연락처 E-mail : jlyoo@cju.ac.kr

연락처 주소 : 충청북도 청주시 청원구 대성로 298

누구나 아는 바와 같이 항공기의 비행성능은 물리적 특성에 의해 결정되며, 항공기 제작사의 매뉴얼에는 공학적 이론을 바탕으로 수많은 비행 시험 결과를 기준으로 항공기의 비행성능이 기술되어 있다. 그러나 실제 항공기를 운항하는 과정에서는 정기적인 항공기 유지 보수에도 불구하고 항공기를 장시간 운영함에 따라 엔진의 성능 저하, 스포일러 오작동, 동체의 항력증가 등이 발생한다. 따라서 성능 변화를 매일 또는 매주 모니터링하여 특정 시점에서 예상치 못한 급격한 변화(성능 저하)를 대비하는 것은 항공기 관리 측면에서 매우 중요하다 할 수 있다.

또한 항공기 노후와 관련없이 발생하는 성능저하는 일반적으로 엔진 및 동체 표면과 같은 항공기 구성요소의 문제와 관련이 있는 경우가 발생하게 되는데 APMS는 사전적 예방차원에서 실제의 연비와 성능 매뉴얼의 이론 연비를 비교하여 실제 비행에 반영하고, 동체, 엔진 및 기타 항공기 시스템의 상태를 정비관리 측면에서 추론하는 데 사용할 수 있는 정보를 제공하게 된다. 이와 관련하여 본 연구에서는 APMS의 주요 사용 목적인 연비향상을 위한 동체 항력, 엔진성능 경향 확인과 정비작업 수행 의사결정 절차를 살펴보고, 항공사가 장비 장착 투자에 대한 경제성 분석 등에 응용하여 적용할 수 있도록 B737NG 항공기 Boeing Blended Winglet 설치와 B777-200ER 항공기 성능 향상 패키지 장착 후 효과 분석 사례 등을 통해 APMS의 주요 사용 목적과 그 중요성을 도출하고자 한다.

## II. 이론적 배경

### 2.1 APMS와 항공기와의 관계

실제 운항 중인 항공기는 유체역학 및 비행 특성을 저하하는 동적 하중에 노출된다. 따라서 특정 범위, 내구성 및 기타 비행성능 저하가 향후 운용 및 항공기 유지 관리 절차에 영향을 미칠 수 있으므로 항공기 성능 변화를 모니터링하는 것은 매우 중요하다. 항공기 성능 저하와 관련된 가장 일반적인 문제는 구조의 노후화이다. 이와 관련하여 체계적인 항공기 구조상태 및 손상 모니터링을 위한 방법으로 SHM(Structural Health Monitoring)<sup>1)</sup> 기법이 알려져 있다. 구조물의 노후화 모니터링 방법에는 소재 및 구조물의 강도 변화에 따른 소재 진동 특성 및 변화 측정이 포함된다. 높은 동

적 하중 하에서 공탄성 효과는 비행 제어 표면의 구조적 변화를 일으켜 효율성을 감소시킬 수 있다. SHM의 목적은 적시 유지보수 및 효율적인 운영을 확보하는 것이다. 또한 비행 중인 항공기의 엔진 성능을 확인하는 것을 EHM(Engine Health Monitoring)이라고 한다. EHM은 터보팬엔진의 경우 N1 및 N2의 RPM, 연료 소모량, EGT(배기가스 온도)와 같은 개별 구성요소의 주요 상태 지표 측정을 기반으로 한다. 한편 Airbus사와 Boeing사는 개별 공기역학적 특성의 기여를 분리하지 않고 종합적으로 공기역학적 성능저하 수준을 측정할 수 있도록 SHM과 EHM 등 다양한 기법이 포함된 비행성능 모니터링 시스템인 APMS를 통해 설정된 지속적인 성능 추적을 하고 있다.

항공기 성능 저하는 항공기 물리적 특성의 원하지 않는 변화를 발생시킬 수 있다. 이러한 변화는 유체역학적 동체 표면 취급 부주의, Seal 누락 또는 손상, 조류 충돌 또는 패치(Patch)로 인한 거칠거나 변형된 표면, 부서진 페인트, 표면이 오염된 항공기 등이 포함될 수 있다.

항공기 제작 후 다양한 비행 테스트는 항공기의 최종 성능 매개변수를 결정하는 데 도움이 된다. 이러한 성능 매개변수는 본 논문에서 살펴볼 수 있듯이 다양한 그래프 및 표의 형태로 표시되는 값이며, 비행 매뉴얼 또는 컴퓨터 프로그램에 포함되며 시간이 지남에 따라 성능 편차로 이어지는 변화가 발생한다. 이러한 변화에 대비하여 Airbus사와 Boeing사 항공기의 경우 APMS를 통해 지속적으로 성능을 추적하고 있는 것이다.

### 2.2 APMS 업무 프로세스

항공기 제작사에서 제공하는 성능 매뉴얼은 항공기 인가 시 수많은 시험비행을 근거로 다양한 데이터를 수집한 후, 데이터를 분석하고 유체역학과 엔진성능을 확인하여 성능 매뉴얼을 작성한다. 항공기를 운영하는 항공사는 실제 비행 조건(동일한 중량, 온도, 고도, 속도 등)에 대한 성능 매뉴얼의 이론적 성능과 실제 성능 간의 차이를 통계적으로 비교 확인한다. 종합적인 연비(Fuel Mileage) 차이는 “엔진성능(Fuel Flow)” 차이와 “동체항력(Thrust Required)” 차이를 반영하여 산정하게 된다.

1) SHM(Structural Health Monitoring)은 물리적인 측정량을 평가하여 구조물의 건전성을 평가하는 방법이다.

## 〈Fuel Mileage 산정〉

$$a. \% \Delta FM = \left[ \frac{FM_{\text{observed}} - FM_{\text{database}}}{FM_{\text{database}}} \right] \times 100 \quad ('+' = \text{good})$$

$$b. \% \Delta F_{N \text{ Req'd}} = \left[ \frac{F_{N \text{ Observed}} - F_{N \text{ Database}}}{F_{N \text{ Database}}} \right] \times 100 \quad ('+' = \text{bad})$$

$$c. \% \Delta FF = \left[ \frac{FF_{\text{observed}} - FF_{\text{database}}}{FF_{\text{database}}} \right] \times 100 \quad ('+' = \text{bad})$$

위 Fuel Mileage 산정은 APMS 분석의 결과물인 Fuel Mileage, Thrust Required, Fuel Flow를 수식화한 것으로 Fuel Mileage는 양수(+)가 클수록 실제 연비가 이론적인 연비보다 크기에 좋다는 의미이다. 반면, Thrust Required와 Fuel Flow에서 양수(+)가 크다는 것은 실 비행에서의 각 변수가 크다는 것이므로 좋은 성능을 나타내는 것은 아니다.

### 2.3 APMS 신뢰도 향상

반복되는 내용이지만 항공기의 연비 분석결과를 보면 항공기의 이론 성능과 실제 성능의 차이가 나타나는 경우가 많다. 연비는 비행계획에서 매우 중요하며, 비행계획 시스템은 연비를 사용하여 항공기가 특정 항로를 비행하는 데 필요한 연료를 계산하게 된다. 연료의 양은 항공기의 성능과 직접적인 관련이 있다. 즉 항공기의 성능이 낮으면 같은 거리를 비행하는데 더 많은 연료가 소모되며, 연료 효율이 계획보다 나쁠 경우 연료가 부족하여 안전 문제가 발생할 수 있다. 반면, 실제 연비가 계획보다 좋으면 필요하지도 않은 연료를 추가로 탑재하는 상황이 될 수 있어 무게 증가에 의한 필요없는 연료가 소모되는 경우가 생긴다. 따라서 항공기의 성능을 면밀히 추적하고 정확한 연비를 유지하면 안전성이 향상되고 연료가 절감된다.

정교한 비행계획은 운항관리사와 운항승무원의 신뢰에 큰 도움이 되며 결과적으로 추가연료 탑재량을 줄일 수 있다. 이러한 차원에서 APMS는 항공사에서 구성원간의 신뢰도 향상과 아래와 같이 흔히 발생하는 오류와 문제를 해결하기 위한 필요성에 의해 연구되고 적용되고 있다.

1) 기술적 결함에 의한 이벤트 및 엔진 교체는 단기간에 성능 요소에 상당한 변화를 가져온다. 이는 수백에서 수천 킬로그램의 연료 소모량에 해당하며 상황에

따라 불필요한 연료가 수백에서 수천 킬로그램 탑재되거나, 많은 연료가 추가 소모되어 비행계획에 대한 운항승무원의 신뢰도가 떨어져 운항승무원은 빈번하게 추가연료를 요구하게 된다. 따라서 항공사가 성능 계수를 한 달 또는 3개월에 한 번 업데이트하는 것보다 자주 업데이트할수록 더욱 필요없는 연료를 줄일 수 있는 것이다. 즉 연비를 지속해서 모니터링하고 업데이트하여 항공기의 실제 성과와 매우 근접하게 일치시킬 수 있으며, 실제 성능을 알면 연료 계획이 더 정확해지고 안전성이 향상되며 연료가 절감된다.

특히, 엔진 교체의 경우 새로운 성능 계수가 신속하게 지속적으로 업데이트되면 보다 정밀한 연료 탑재 계획을 수립할 수 있다.

2) 휴대수하물을 포함한 승객의 실제 중량이 정확하게 얼마인지 판단하기 어렵다. 승객 중량의 추정치와 실제와의 차이에서 오는 오류는 APM(Application Performance Management)<sup>2)</sup> 부정확성의 가장 큰 원인이다. 이는 출발/도착 공항 또는 계절에 따라 다를 수 있다. 오류가 가장 높은 출발 및 도착 공항을 식별하여 적절하게 조치하고 가중치를 조정한다. 이러한 실질적인 알고리즘은 비행실적 데이터와 기계 학습을 활용하여 시간 경과에 따른 각 출발 및 도착 공항의 총 중량 오차를 계산한다.

3) 항공기의 CDL(Configuration Deviation List)은 일부 부품이 불량하거나 제외된 비행을 허용하는데 이는 종종 연료 소모에 불이익을 준다. 이는 항력의 증가 또는 추가 연료 연소 백분율로 제시되는데 때로는 CDL이 수정되기까지 몇 주 또는 몇 달이 걸릴 수 있다. 이 경우 CDL과 APM 성능 계수를 혼합하면 이중 페널티가 발생한다. 성능 계수는 CDL로 인해 발생하는 페널티를 수용하고 페널티를 현실적인 최소값으로 줄이기 위해 조정될 수 있다.

## III. APMS의 적용사례를 통한 연비향상 방안

### 3.1 연비 경향 확인

APMS의 개선된 사용은 동일 기종 항공기의 APMS를 Fig. 1과 같이 관리함으로써 장기적인 성능 저하의 경향을 식별하고, 더 우수한 항공기와 더 불량한 항공기를 식별할 수 있다는 것이다. 항공기 기번별로 Fig. 2

2) APM(Application Performance Management): 애플리케이션 성능관리 또는 응용 프로그램 성능관리라고도 하며 응용 소프트웨어의 성능과 서비스 이용성을 감시하고 관리하는 데 초점을 두고, 안정적인 시스템 운영을 위한 도구로써 부하량, 장애진단, 통계, 분석 등을 목적으로 한다.

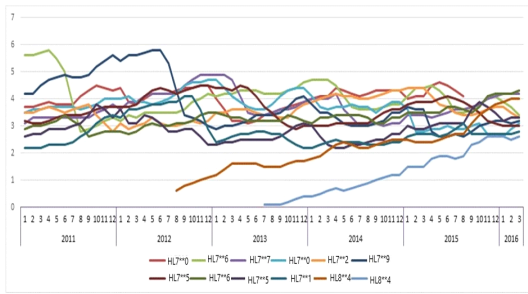


Fig. 1. APMS trend management by aircraft type

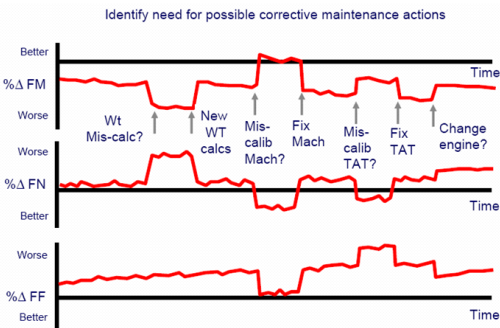


Fig. 2. Correlation between maintenance work and fuel economy change

와 같이 그동안 수행된 정비작업과 연비변화의 상관관계를 확인하여, 연비저하의 원인을 찾고, 이에 대응하여 적합한 조치를 한다. 엔진 교체, 속도계/온도계 영점 조정 등의 정비작업을 통해 연비 변화가 가능하다. 항공기 중량 및 계기의 정확도 점검, Aerodynamic Sealing 점검, 조종면의 리깅 점검, 공기압 계통 누출 점검 등의 정비작업은 연비향상을 위해 필요하다.

3.2 동체항력과 엔진성능 경향 확인

항공기의 연비(Fuel Mileage)는 엔진성능 요인과 동체항력 요인의 영향을 받는데 APMS를 활용해서 연비 저하 항공기에 ‘엔진 성능’ 과 ‘동체 항력’ 효과를 구분해 별도의 정비작업이 필요한지 확인한다. 즉 연비가 저하된 항공기의 각 요인에 집중적으로 점검하여 연비를 개선함으로써 연료 효율성을 향상할 수 있다.

1) 엔진성능은 좋지만, 동체 항력이 높은 항공기는 정밀점검을 통해 항공기 자체 항력을 줄이는 것이 중요하다. 정확한 리깅 및 세심한 누수 점검 등 유체역학적 검사와 동체 세척 등이 필요하다.

2) 엔진성능은 좋지 않지만, 동체항력이 적은 경우라면 연비를 높게 유지할 수 있다. 항력 감소로 연료효율이 높은 것으로 판단하고, 수행하였던 공통적인 정비작

업 확인하여 모범사례로 활용한다. 항공기의 운항시간이 길어질수록 연비는 감소하는 경향이 있지만, 잘 관리하면 더 이상의 연비 저하 없이 유지 또는 개선할 수 있다. 저연비 항공기에 대한 정기적인 모니터링을 기본으로 원인분석/개선으로 연료소모량을 줄일 수 있고, 최소의 연료탑재 추가로 유상탑재량을 증대할 수 있게 된다. 동일 유상탑재량이면, Fig. 3와 같이 운항가능거리 및 만석 탑승 가능 거리를 증가시킬 수 있다.

항공기 가동시간 증가에 따른 연비 저하를 당연하게 여기며, 아무 조치가 없으면 연료 효율성은 떨어진다. 일정 거리 비행 시의 연료 소모량은 많아지게 되고, 일정 거리를 초과한 구간에서는 유상탑재량에 제한이 발생한다. 연비가 저하된 항공기는 원인분석을 하고, 해당 원인에 따라 적절한 조치를 하여 항력을 감소함으로써 연비를 개선해야 한다. 인력과 시간 투입에 따른 경제성을 확인하고, 허용하는 한 항력 감소를 위한 정비작업으로 지속적인 선순환을 이룰 수 있다.

APMS의 결과인 각 항공기별 엔진성능과 동체항력 요인을 Fig. 4와 같이 2차원으로 포지셔닝한 후, 그 위치에 따라 사실 확인하여 연비를 향상하는 도구로 활용할 수 있다.

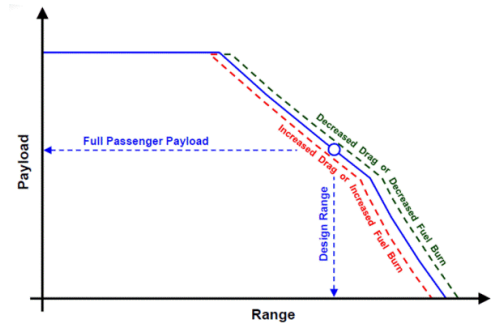


Fig. 3. Range effect of drag

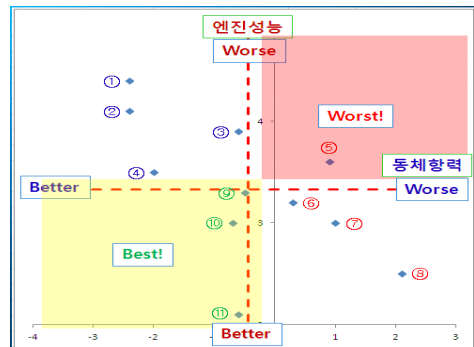


Fig. 4. 2D positioning of engine performance and body drag

- 1) 1사분면 위치 기번: 엔진성능이 좋지 않고, 동체항력은 많음으로 최악의 조건을 갖고 있음.
- 2) 2사분면 위치 기번: 동체항력은 적으나, 엔진성능이 좋지 않음.
- 3) 3사분면 위치 기번: 엔진성능 우수하고, 동체항력은 적음으로 최고의 조건임.
- 4) 4사분면 위치 기번: 엔진성능은 우수하나, 동체항력이 많음.

이후 Fig. 5와 같이, 1, 2, 4사분면에 위치한 기번을 3사분면으로 이동될 수 있도록 정비작업을 진행하고, 작업 수행 후 위치 변화를 확인하도록 한다.

### 3.3 정비 작업 수행 의사 결정에 활용

고연비 항공기를 유지하기 위해서 적절한 정비작업은 필요한데, 경제성 분석이 요구되기에, 항공기 제작사에서는 Fig. 6과 같이 APMS를 이용하여 정비작업 수행의 의사를 결정하는 프로세스를 아래와 같이 제시하였다.

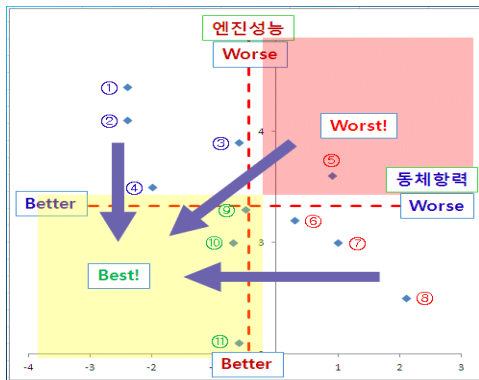


Fig. 5. Direction of progress by APMS factor

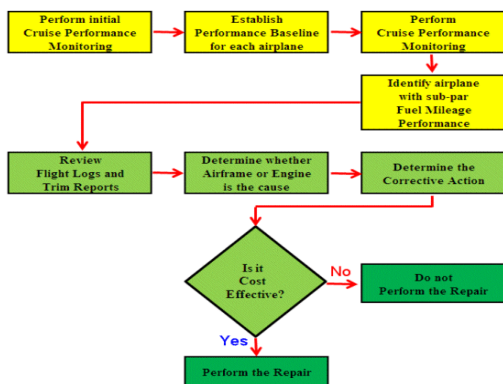


Fig. 6. Decision making for maintenance work using APMS

- 1) 항공기별로 초기 APMS 수행
- 2) 항공기별로 성능 기준(Baseline) 수립
- 3) 일정 시간 후, 항공기별로 APMS 수행
- 4) Baseline과 비교하여 평균 이하의 연비를 갖는 항공기 식별
- 5) Flight log 및 Trim reports 검토
- 6) 연비 저하 원인 확인(동체 혹은 엔진)
- 7) 적절한 시정조치 결정

특히 시정조치에 발생하는 비용이 효율적인지 확인을 하고, 효율적이라면 수리를 수행한다. 또는 수리를 수행하는 과정에서 얻어지는 효과가 미미하고, 상대적으로 수리 수행에 필요한 인력, 시간, 장비 투입 비용이 높다면 경영적 측면에서 필요에 따라 수리를 미루거나 수행하지 않고 추후 변화에 대비한 모니터링을 하도록 한다.

### 3.4 투자 효과 분석

#### 3.4.1 Winglet 장착 효과 분석

일부 사람들은 B737NG 항공기에 Boeing Blended Winglet을 설치한 주된 이유가 비행기의 외관을 개선하기 위한 것으로 생각할 수 있다. 하지만 Blended Winglet 장착의 의사 결정은 훨씬 더 복잡하고 개별 항공사 입장에서 장비 장착 결정은 장비 투자에 대한 경제성 분석이 선행된다. 비용은 장비 장착 비용으로 쉽게 산정이 가능하지만, 유익은 연료효율의 향상인데 이를 확인할 방법은 제작사의 이론만이 있을 뿐이다.

따라서 Blended Winglet 장착 후에 그 효과를 확인하여 경제성 분석을 입증하는 것이 항공사의 투자에 대한 적절성을 확보하는 것이다. 실제 항공사의 한 사례를 살펴보면 미국의 Southwest 항공사는 수개월 간의 경제성 분석 후, B737-700 항공기에 Blended Winglet을 장착하기로 했는데, 이러한 연료 절감 효과를 확인하는 데 사용된 실제 검증 프로세스로 APMS를 이용하였다.

Fig. 7과 같이 항력의 변화 외에도 연비는 엔진 성능과 직접적인 관련이 있다. 엔진 성능을 모니터링하고 경향을 파악하는 것이 중요하다. Fig. 8의 엔진성능 변화를 보면 엔진 성능에 큰 변화가 없음을 보여준다. 즉, Blended Winglet 장착 전/후의 엔진 성능이 동일함으로, 엔진 성능의 급격한 변화는 없었던 것으로 본다. 안정적인 순항 비행을 유지하는 데 필요한 추력의 양이 항공기에서 생성되는 항력과 같기 때문에, Thrust required는 항력의 지표가 된다.

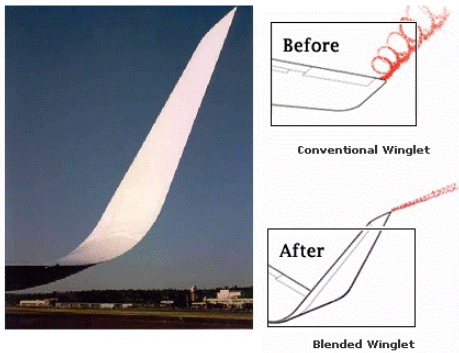


Fig. 7. Wingtip vortex type for conventional winglet and blended winglet

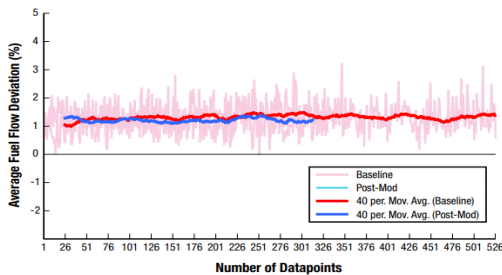


Fig. 8. Changes in engine performance after installing winglet

Fig. 9는 Blended Winglet 장착 전/후의 Thrust Required인데, Blended Winglet 장착 후 추력 요구량이 감소하였고, 결과적으로 항력이 감소하였음을 나타낸다.

Fig. 10은 Blended Winglet 장착 전/후의 연비인데, Blended Winglet 장착 후 연비가 향상되었음을 보여준다. 종합하면, Winglet 장착 전/후로 엔진성능

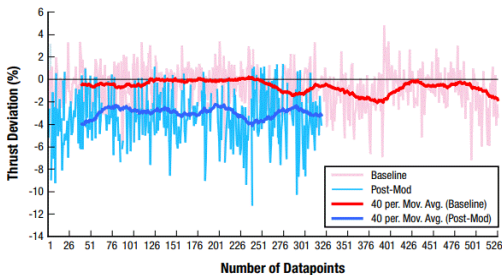


Fig. 9. Change in drag after winglet installation

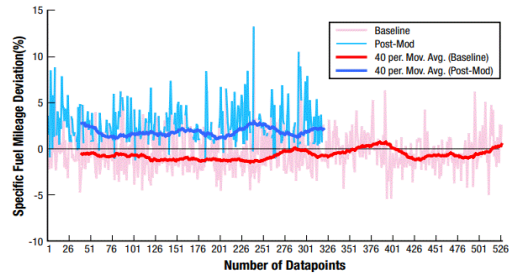


Fig. 10. Fuel efficiency change after installing winglet

의 변화는 없지만, Winglet 장착 후 항력은 감소하였고, 결과적으로 연비가 향상되었음을 확인하였다.

항력의 감소와 그에 따른 연료 소모의 감소는 윙렛이 장착된 항공기의 운항 가능 범위를 증가시킨다. 미국 Southwest 항공사의 B737-700 항공기에 Blended Winglet을 장착하였을 때 나타난 분석데이터를 보면 154,500lb의 최대이륙 중량과 137명의 탑승객의 항공기의 운항 가능 범위 능력은 Fig. 11과 같이 약 80nm 증가하였다.3) 137명의 승객을 태울 수 있는 윙렛이 장착된 항공기는 약 80nm를 더 이동하거나 추가로 815lb의 유상탑재량을 운반할 수 있다. Blended Winglet 장착은 항공사 운영에 큰 이점으로 입증되었다. B737-700 항공기에 장착한 Blended Winglet은 길이가 8feet, 아랫면 너비가 4feet이며, 끝에서 약 2feet로 좁아진다. Wing Span을 5feet 증가하였으며, Winglet을 설치하기 위해 추가된 무게는 약 480lbs이다.

2) 성능 향상 패키지 장착 효과분석

B777-200ER 기종4)에 적용되는 성능향상 패키지5)

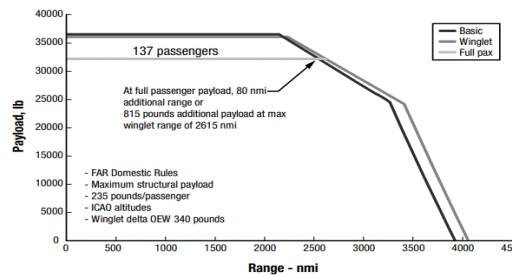


Fig. 11. Increased flight distance after installing winglet

- 3) Brian Gleason, "Blended Winglet-One Operator's Perspective", Southwest Airlines, <http://www.smartcockpit.co>
- 4) 성능향상 패키지는 B777ER 항공기는 설계시에 개발된 기본 사양이나 B777-200, 200ER, 300항공기는 Retrofit으로 적용할 수 있다. 사례로 제시된 것은 B777ER 항공기를 대상으로 분석한 것으로 MTOW 혹은 Seat Configuration과는 무관하게 작업이 가능하다.
- 5) B777 PIP(Performance Improvement Package): Aileron Droop, Vortex Generator Redesign, Ram Air System Redesign 등이 있다.

는 세가지의 정비작업으로 구성되어 있다.

Aileron 위치를 조절하고, Vortex Generator를 개선된 것으로 교체하고, Ram Air System에 Louver를 추가로 장착하는 것으로 전반적인 항력감소로 연료효율성을 좋게하는 것이다. 이처럼 B777-200ER에 성능 향상 패키지를 장착하면, 연비가 1% 향상된다고 한다.

성능 향상 패키지 장착 전, 후의 APMS 자료를 이용하여 연료효율 향상 내용을 확인할 수 있다. Fig. 12의 엔진성능 변화를 보면, 성능 향상 패키지 장착 후의 엔진성능은 1.3% 저하되었다. 이는 장착한 엔진 영향으로 성능 향상 패키지와 무관한 사항이다.

Fig. 13의 항력 변화를 보면, 성능 향상 패키지 장착 후의 항력은 0.8% 개선되었다.

반면, 연비 변화는 Fig. 14에서 볼수 있듯이 0.3% 저하되었다. 전체적인 연비는 저하된 것은 사실이지만, 그 원인은 엔진 성능 저하에 의한 것이다. 비록, 성능 향상 패키지 장착 후의 항력 감소치가 제작사에서 제시한 것보다 작기는 하지만, 항력이 감소된 것은 확인하였다. 더 많은 기간의 실적 자료를 이용하여 항력감소와 연비향상 결과 확인까지 투자의 경제성 판단은 유보한다. 이는 B777-200ER에 성능 향상 패키지 투자는 실패라고 평가할 수 있다.



Fig. 12. Changes in engine performance after installing the performance enhancement package

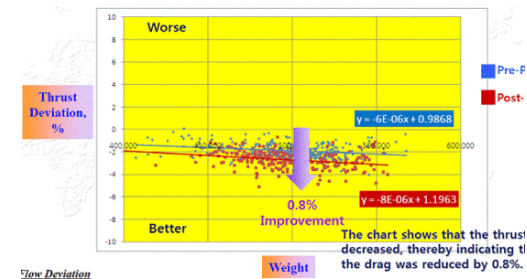


Fig. 13. Change in drag after installing the performance enhancement package

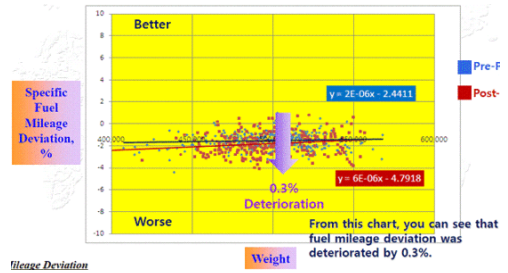


Fig. 14. Changes in fuel efficiency after installing the performance enhancement package

#### IV. 결 론

APMS 실행 절차는 다양한 비행운용 환경에서 각 항공기의 실제 연료소모량을 측정하여 상호 비교하는 방식으로 수행되며, 이는 비행계획의 신뢰도를 향상시켜 줌으로써 쓸모없는 추가 연료탑재를 제한하여 최종적으로는 연료 소모량을 줄임으로써 경제적 운항이 가능하도록 한다.

또한 위와 같이 비행계획에 반영하는 것 외에도, APMS 결과물을 항공기 개조나 새로운 장비 구입 시 즉 새로운 투자를 위한 효과 분석 등 다양한 용도에 객관적인 근거로 활용될 수 있음을 실제 사례를 통해 제시하였다.

결국 본 논문에서는 APMS의 사용목적은 다음과 같이 크게 4가지로 나누어 정리할 수 있다.

첫째, 각 항공기별로 연비변화 경향과 수행된 정비 작업과의 상관관계를 확인하여, 연비 저하의 원인을 찾고, 이에 대응하여 적합한 조치를 하는 것이다.

둘째, 엔진성능과 동체항력의 요인별 경향을 확인하여, 연비저하의 원인을 세부적으로 발견하여 원인에 따라 적절한 정비작업 수행으로 연비를 향상 관리한다.

셋째, APMS를 정비작업 수행 의사 결정에 사용하는 것이다. APMS를 통해 평균 이하의 연비를 갖는 항공기를 식별하고 연비 저하 원인 확인 및 적절한 시정 조치를 결정한다. 시정조치에 발생하는 비용이 효율적인지 확인을 하고, 비효율적이라면 수리를 수행한다.

넷째, 항공사는 APMS 자료를 근거로 새로운 장비 장착시 나타날 수 있는 경제성 분석에 활용할 수 있다. 결론적으로 모든 항공사가 APMS를 적극적으로 활용하여 항공사 운영 시 평균 40% 정도의 비용을 차지하는 항공기 연료의 소모량을 줄이고, 나아가 지구온난화의 주요 원인인 온실가스(GHG: Greenhouse Gases) 발생을 감소시키는 데 적극적으로 동참해 주기를 기대한다.

## 후 기

이 논문은 2022.3.1.~2023.2.29.에 청주대학교 산업과학연구소가 지원한 학술연구조성비(특별연구과제)에 의해 연구되었음.

## References

1. Airbus, "Getting to Grips with Aircraft Performance Monitoring", Airbus, Blagnac, 2002.
2. openairlines.com, "Three benefits of air craft performance monitoring to improve your operations", Available: <https://blog.openairlines.com/three-benefits-of-aircraft-performance-monitoring-to-improve-your-operations>, accessed on 21 June, 2023.
3. Airbus, "Getting Hands on Experience with Aerodynamic Deterioration", Airbus, Blagnac, 2001.
4. Krajček, K., Nikolić, D., and Domitrović, A., "Aircraft performance monitoring from flight data", *Tehnički Vjesnik*, 22(5), 2015, pp. 1337-1344.
5. Anderson, D., "Cruise Performance Monitoring", *Aero. The Web version* (2006), 24. Available: [https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr\\_4\\_06/article\\_02\\_1.html](https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_4_06/article_02_1.html), accessed on 21 June. 2023.
6. storkjet.com, "5 Popular actions on how to improve APM and save fuel", Available: <https://storkjet.com/storkjet-tip-4-5-errors-in-apm/>, accessed June 21. 2023.
7. Jang, S. W., Chang, H. S., and Yoo, K. E., "Airline's approach to enhance fuel efficiency", *Journal of the Aviation Management Society of Korea*, 16(6), 2018, pp.19-27.
8. Brian Gleason, "Blended Winglets - One Operator's Perspective", Southwest Airlines, Available: [https://www.smartcockpit.com/docs/Blended\\_Winglets.pdf](https://www.smartcockpit.com/docs/Blended_Winglets.pdf), accessed on 21 June. 2023.
9. Jang, S. W., Lee, Y. J., Kim, K. W., Yoo, J. L., and Yoo, K. E., "Verification of winglet effect and economic analysis using actual flight of A321 sharklet model", *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, 49(4), 2021, pp.273-279.
10. Jang, S. W., Cho, Y. H., Yoo, J. L., and Yoo, K. E., "Performance improvement package application effect analysis", *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, 29(3), 2021, pp.44-51.