

論文

항공 수송 임무의 기능 분석에 관한 연구

송윤섭*

Functional analysis of air transport mission

Youn-Seob Song*

ABSTRACT

Functional analysis of air transport mission is conducted to establish the performance requirements of the commercial transport designs. The analysis process begins by making a top-down analysis to the aircraft system level mission functions. Correctly interpreting the top-level performance requirements is the first step in designing and building an aircraft system. Each function and sub-function is allocated and examined to the aircraft level and flight operations phase to optimize the system performance and design requirements, such that these lower-level requirements can be traced back to the top-level requirements they are designed to fulfill. Special attention is given to making sure all interfaces, both internal and external, are addressed. The results are also in good resources of functional hazard assessment involved in certification processes.

Key Words : Functional analysis(기능 분석), Air transport mission(항공 수송 임무), Operational view(운용적 관점), Flight operations functions(운항 기능), Functional hazard assessment(기능 위험 평가)

1. 서 론

신속, 정확, 안전하게 항공 수송 임무를 수행할 수 있는 상업용 항공기를 설계, 제작 및 운용하기 위해서는 그 임무를 수행하는데 필요한 활동 즉 여러 기능들을 보다 더 명확하게 분석할 필요가 있다. 특히 항공기 개발은 신규 제품 개발에 따른 기술적, 재정적인 위험, 항공사의 재정적인 건전성 문제와 같은 환경적인 요인과 항공기 개발의 복잡한 본성 등으로 인해 상용기를 포함한 여타의 항공기 개발에서 각 기능의 한계를 분명하게 규정해야 한다.

또한 이러한 한계는 보통 기능에 포함되어 있는 활동의 영역과 시간으로 규정되며 이러한 개념의 중요성은 모든 비행 운용(운항) 단계에서

더욱 더 분명해진다. 그러므로 성공적인 시스템을 설계하기 위해서는 시스템의 운용 단계를 포함한 전체 라이프사이클을 강조하는 시스템공학적 관점에서 바라볼 필요가 있다.

따라서 본 연구는 항공기 시스템의 개발, 생산, 운용 및 폐기를 포함한 항공기 라이프사이클 기능 흐름에 유의하여 상업용 항공기 개발에서 필수적인 성능 요건 확립을 위한 기본 자료를 확보함을 목표로 비행 운용(운항)적 관점을 중심으로 항공 수송 임무 수행에 필요한 기능을 분석하였다. 본 연구를 통해 얻어진 자료는 설계적 관점에서 항공기 설계 과정에서 요구되는 성능 요건을 확립하는 주요 선결요소 및 잠재적인 위험 평가를 위한 기본 자료로 활용할 수 있으며, 부가적으로 항공기 운용적인 측면에서 항공기 설계에 필요한 방법과 절차를 이해하는 계기가 될 수 있을 것으로 판단된다.

† 2008년 11월26일 접수 ~ 2008년12월22일 심사완료

* 전북대학교 공과대학 항공우주공학과

연락처자, E-mail : yssong@chonbuk.ac.kr

전라북도 전주시 덕진구 덕진동1가 664-14

II. 항공기 시스템 수준의 기능 분석

2.1 기능분석 절차

기능분석의 목적은 전체 시스템 요건을 하위 수준의 하위 시스템으로 풀러내려가게 하는 것이다. 즉 높은 수준의 기능을 분리된 과업 혹은 활동에 할당할 수 있도록 하기 위하여 여러 가지 하위 기능으로 분해하는 것이다. 각 기능과 하위 기능이 일련의 성능 및 설계 요건으로 할당된다. 이때 외적 및 내적 모든 인터페이스가 확실히 강조되도록 특수한 주의가 요청된다.

기능분석이 상용기를 비롯한 항공기 설계 과정에서 중요한 이유는 첫째로, 기능분석이 성능 요건의 완전함을 확립하는 주요한 기법 중의 하나이기 때문이다. 기능과 성능 요건간의 이러한 관계는 항공기 시스템뿐만 아니라 모든 시스템에서 유효하다. 둘째로, 상용기 인증 지침인 ARP 4754에서 전체 항공기의 광범위한 기능분석에 기초하여 기능 위험 평가(FHA)를 요구하고 있기 때문이다[1]. 기능분석의 일반적인 방법을 요약하면 다음과 같다.

- 먼저, 설계하고자 하는 하위 시스템의 최상위 시스템을 선택하여 그 시스템 임무의 기능분석을 수행한다.
- 최상위 시스템의 임무를 수행하는데 필요한 모든 인적 및 물적 요소의 활동을 열거한다.
- 브레인스토밍한 기능을 계층적 구조로 정리하고 그 계층의 적절성을 조사한다.
- 속성별로 분류하고 열거하며 비교분석 연구를 수행한다.
- 각 항목별로 과정을 반복한다.
- 최상위 시스템의 임무에 대한 기능분석을 완료한 후에, 하위 시스템에 대해서 동일한 절차를 반복한다.

2.2 항공기 시스템 수준의 임무 기능 분석

항공 수송 임무를 수행하는 기능을 분석하기 위해서는 시스템적인 관점에서 항공기 시스템을 이해할 필요가 있다. 이를 통해 설계하고자 하는 하위 시스템인 항공기와 다른 하위 시스템간의 인터페이스 및 상관관계를 알 수 있기 때문이다.

모든 제품 혹은 서비스 시스템의 개발 및 사용은 일반적인 라이프사이클 단계를 따른다. 항공기 라이프사이클과 전통적인 시스템 공학(SE) 라이프사이클 기능을 비교하면 Table 1.과 같다.

Table 1. Comparison of life-cycle functions

Traditional SE lifecycle functions	Aircraft life-cycle functions
Development	Market analysis, Development aircraft concept, Initial marketing, Initial design, Market aircraft, Design and development
Manufacturing	Manufacturing, procurement, and assembly
Verification	Design and development, Certification
Deployment	Operate aircraft
Operations	Operate aircraft
Support	Sustainment
Training	Sustainment
Disposal	Remove aircraft from service

Table 1.의 항공기 라이프사이클 기능은 상용기의 라이프사이클의 여러 가지 측면을 강조하고 있으며, 이를 구체화하여 전형적인 시스템공학 라이프사이클 기능 흐름으로 제시하면 Fig 1.과 같다[5].

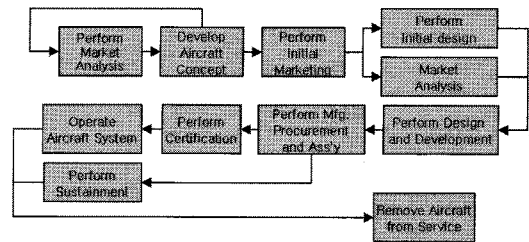


Fig 1. SE life-cycle functional flow for a commercial aircraft system

항공기 시스템은 항공기 이상으로 구성된다. 항공기 자체는 항공기와 모든 항공기 지원 시스템을 포함하는 항공기 시스템이라고 부르는 높은 수준의 시스템에 종속된다. 논의 목적상, 항공기 시스템은 Fig 2.에서 보는 바와 같이 항공기와 모든 지원 장비, 훈련 장비, 항공기 시설을 포함하여 규정할 수 있다. 여기서 항공기는 그 중 하나의 요소일 뿐이다. 이러한 계층은 국제항공수송협회(IATA)에서 규정한 것과 동일하다[6].

이러한 하위 시스템 각각은 그에 종속되는 세부계통으로 분해할 수 있으며, 이들은 각 기능을 갖고 전체 항공기 시스템의 임무를 지원한다.

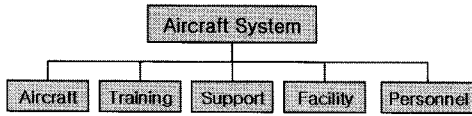


Fig 2. Hierarchy of Aircraft system

대안으로, 계층은 선택적 조직 구조에 따라 Fig 3.과 같이 세분할 수 있다.

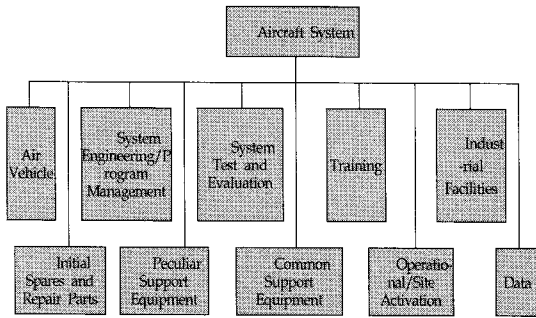


Fig 3. Alternative architecture

항공기 시스템의 기능과 항공기 자체의 기능을 동시에 식별할 필요가 있다. 이는 항공기 개념이 일부 훈련, 지원 장비 및 항공기가 사용하는 시설에서 변화가 필요하며, 이러한 다른 비항공기적인 요소와의 인터페이스가 항공기 자체의 설계에 영향을 주기 때문이다. 항공기 자체가 아닌 다른 요소의 경우 대부분의 기능은 유지 기능을 수행하는 하위 기능이 된다.

2.2.1 훈련 기능

전형적인 훈련 기능에는 비행 및 지원 승무원에 부여되는 훈련이 포함된다. 비행 승무원에 부여되는 훈련 기능은 새로운 시뮬레이터로 귀결되며, 항공기적인 관점에서 항공기 자체는 훈련 기능을 수월하게 하기 위하여 특수한 훈련 특징이 필요할 수 있다는 점이 중요하다. 따라서 조종사에게 부여되는 훈련으로부터 기인되는 요건을 항공기 요소에 할당할 수 있다.

2.2.2 지원 기능

전형적인 지원 기능에는 불박이 시험장비(BITE)와 같이 on-aircraft 지원을 위해 공급되는

것과, 지상 전기 및 유압 공급장치와 같이 off-aircraft 지원을 위해 공급되는 것이 포함된다. 지원 기능은 항공기 자체를 제외하고는 가장 중요하고도 매우 광범위한 항공기 시스템의 기능으로 정비, 서비스, 보급 등을 포함하여 많은 활동을 망라한다. 정비 기능은 특수 정비 공구 혹은 시험 장비와 같은 다른 장비가 필요한가를 결정하며 이러한 기능은 화물 수송 장비와 다른 서비스 장비의 설계에 영향을 준다.

2.2.3 시설 기능

전형적인 시설 기능에는 항공기의 보관 및 정비를 위해 공급되는 시설과 항공기에 출입하는 승객에게 공급되는 시설이 포함된다. 급진적으로 항공기 치수가 바뀌게 되면 시설 기능 결정에 영향을 주게 된다.

2.2.4 항공기 기능

항공기의 기능을 이해하기 위해서는 그 계층의 본질 구조를 알아야 한다. 항공기를 하위 시스템 요소로 분해하는 여러 가지 방법이 존재하며 Fig 4.와 같이 분해하는 것이 전형적이다.

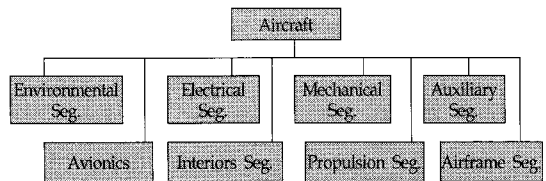


Fig 4. Aircraft architecture

대안으로, 항공기는 기체, 추진장치, 항공기 응용 소프트웨어, 항공기 시스템 소프트웨어, 통신/식별장치, 항법장치, 유도장치, 중앙 컴퓨터, 화재 통제장치, 데이터 표시 및 통제장치로 세분할 수 있다[7].

같은 방법으로, 항공기 하위 시스템은 그 기능 수행을 지원하는 차하위 시스템으로 세분되며 항공전자 장비 하위 시스템의 예는 Fig 5.와 같다.

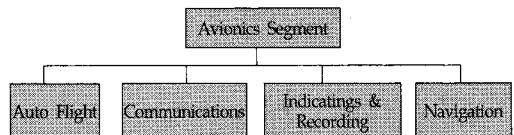


Fig 5. Avionics subsystem architecture

III. 항공기 수준의 기능 분석

3.1 운용적 관점의 항공 수송 임무 기능

여러 가지 다른 임무 프로파일이 존재한다. 예를 들어 Air Superiority Mission, Simple Cruise Mission, Low Level Strike Mission, Commercial Transport Mission 등이 그 예이다[8].

이중 상용기 임무(Commercial Transport mission) 기능은 Fig 6.에서 보는 바와 같이 항공 수송 임무를 수행하는 활동이다. 그러나 Fig 6.은 모든 최상위 수준의 기능을 보여주지 않으며 운용 단계적 관점의 기능만을 보여주고 있다. 실제로 항공 수송 임무 수행을 위한 하위 기능은 다차원적이므로 Fig 6.에서 나타낸 4가지 각 비행 기능은 Fig 7.과 같이 3가지 다른 기능적 차원에 대해 행렬화할 수 있다. 그러나 이 행렬에서 모든 기능의 조합이 반드시 존재할 필요는 없다. 각각의 항공기 기능과 기능간의 조합으로 얻어진 자료는 차후 항공기 인증 과정의 핵심 요소인 안전 평가를 위한 소중한 자료로 활용할 수 있다.

비행 기능을 고려할 때 기능을 정밀하게 규정하는 개념이 특히 중요하다. 한계를 잘못 규정하게 되면 부정확한 요건이 되며 이는 부적절한 해법으로 귀결되기 때문이다.

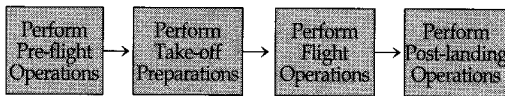


Fig 6. Air transport mission function from an operational view

3.2 운용 단계 기능

비행 단계는 Fig 7.에서 보는 바와 같이 4가지 기본 단계로 분해할 수 있다. 이들은 Fig 6.의 항공 수송 임무 기능 수행에서 규정한 기본 단계와 동일하다.

그러나 특정의 하위 시스템을 분석할 때에는 비행 단계를 더 작은 단계로 분류할 필요가 있다. 각 단계와 관련한 외적 환경을 규정하는 것이 비행 단계 기능의 핵심 측면이 된다.

비행 전 운용 기능은 항공기가 정비 시설 혹은 공항 주기장에 있을 때 모든 서비스 활동 및 정비 활동이 이루어진다는 점에서 Fig 1.의 지원 기능과 관련된다. 정비 기능은 진입로의 제거 및 교체와 같은 항공기 설계에 영향을 준다.

활주로 횡단, 항법 및 통신 관련 요건이 이륙 준비 단계에서 설정된다. Fig 8.에서 보는 바와 같이 운반, 제동 및 조종 기능의 제공이 이륙 준비 기능 수행의 하위 기능이 된다. 이 기능의 요건을 실행하는 1차 하위 시스템은 랜딩기어 및 브레이크 하위 시스템이다.

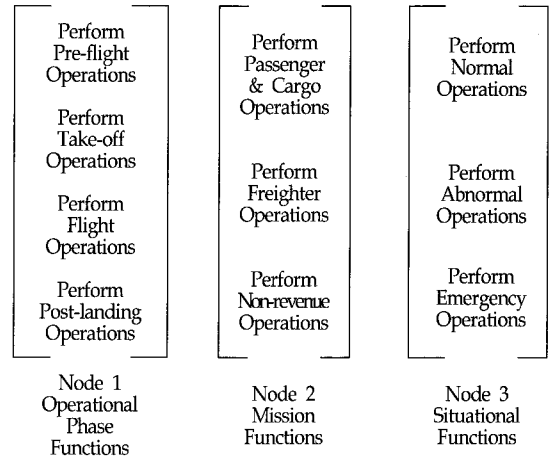


Fig 7. Expanded matrix of the perform air transport mission function

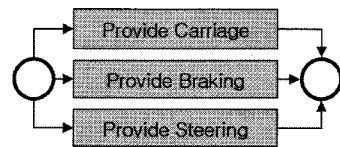


Fig 8. The provide carriage, braking, and steering function

운항(비행 운용) 시기에 이륙, 상승, 순항, 강하, 진입 및 착륙과 같은 많은 하위 기능이 나타난다. 이들 각각의 하위 기능이 항공기 사이징에서 중요하다. 여러 가지 하위 시스템의 요건을 규정할 때 추가적인 하위 기능을 규정할 수 있다.

착륙 후 운용 단계에서 규정한 요건은 이륙 준비 단계에서 확인한 것과 유사하다. 이 기능은 운항 기능의 하위 기능의 대부분을 제공할 뿐만 아니라 운반, 제동 및 조종 하위 기능 Fig 8.을 제공하는 것이 포함된다.

3.3 임무 기능

임무 기능은 Fig 7.에 나타난 절점 2의 3가지 임무 기능을 별도로 혹은 결합하여 적용할 수 있다.

승객 및 화물 운용은 항공사의 일상적인 기능 모드로, 항공사 시설에서 승객과 화물을 운송하는데 필요한 모든 운용이 포함된다.

화물 수송기 운용은 항공사가 화물만을 운송할 목적으로 항공기를 운항하는 기능이다.

그러나 항공사가 항공기를 승객과 화물 형상을 화물 수송기 형상으로 바꾸기를 원할 경우에는 승객 및 화물 운용 기능을 결합하여 생각해야 한다.

모든 항공기는 때로 비수익 모드로 운항하는 것이 필요하다. 즉 승객 혹은 화물을 탑재하지 않고 한 지점에서 다른 지점으로 비행해야 한다.

3.4 상황 기능

이 그룹의 기능은 항공기와 승객의 안전과 관련하여 다양한 상황에 처한 항공기의 기능적 운용을 반영한다.

정상운용은 항공기가 모든 비행 단계에서 예상한 대로 운항되는 기본 기능 모드이다. 비정상 운용은 항공기 혹은 항공기의 일부 하위 시스템이 정상으로 작동되지 않지만 승객 혹은 승무원에게 위협이 존재하지 않을 때의 기본 운항 모드이다. 이 기능은 예비 시스템의 요건을 확립할 때 중요하다. 비상 운용은 치명적인 사건이 발생할 가능성이 있을 때의 기능 모드이다. 이는 예상되는 환경에서 생존하기 위한 요건을 확립할 때 중요하다. 이 기능은 또한 객실 여압 부족 혹은 비상 착륙 조작과 같은 비상 상태에서 승객을 보호할 책임이 있다.

IV. 비행 운용(운항) 단계의 기능 분석

비행 운용(운항) 기능의 수행은 4가지 운용 단계 기능 중의 하나이다. Fig 9.는 비행 운용(운항) 기능 수행의 하위 기능을 보여주고 있다. 이러한 하위 기능이 상용기 설계의 핵심이다. 이들은 하위 시스템이 아닌 기능으로 각 기능이 여러 항공기 부문에 할당된다. 비교분석 연구를 통해 항공기 수준에서 시스템이 최적화되도록 노력해야 한다. 항공기 수준에서 최적화되지 못하면 하위 시스템 수준에서 최적화 되므로, 결국은 최적화되지 않은 시스템이 될 수 있기 때문이다.

4.1 공기역학적 성능 제공

공기역학적 성능 제공 기능은 Fig 10.에서 보는 것과 같이 주요 하위 범주로 분해할 수 있다. 이 기능과 관련한 요건을 수행하도록 할당된 1차 항공기 부문은 기체 부문이다.

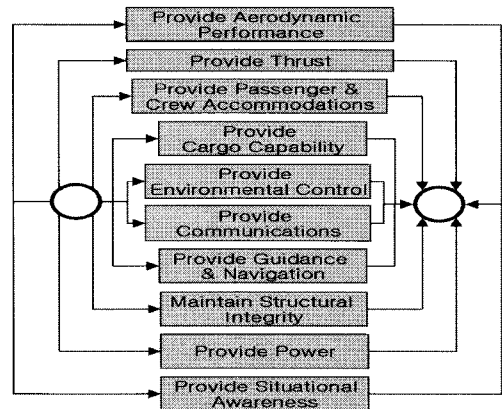


Fig 9. The perform flight operations function

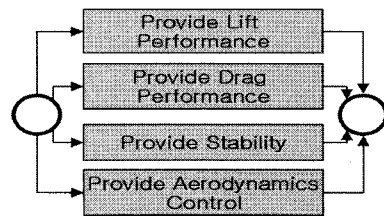


Fig 10. The provide aerodynamic performance function

4.2 추력 제공

추력 제공 기능의 기본 하위 기능은 Fig 11.에서 나타난 것과 같이 전진 추력과 후진 추력 제공이다. 하위 기능에는 엔진 시동과 엔진 정지가 포함한다. 엔진은 보통 블리드 공기 제공 및 기계적 토크 제공과 같은 많은 기능을 제공한다. 이 기능과 관련한 요건을 수행하도록 할당된 1차 항공기 부문은 추진 부문이다.

4.3 승객 및 승무원 공간 제공

수많은 하위 기능이 있으며, 이러한 기능 중에서 중요한 기능은 승객 및 승무원 공간, 화장실

좌석, 취사실 좌석, 오락 제공이 포함된다 Fig 12. 인테리어 부문이 이 기능과 관련한 요건을 충족하는데 1차적인 책임을 진다.

기체 부문은 승객 및 승무원의 공간을 제공한다. 비상 승객 설비는 상황 기능 중의 하나인 비상 운항 기능을 수행하여 확립한다.

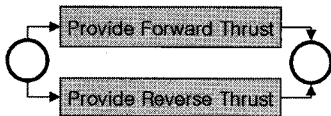


Fig 11. The provide thrust function

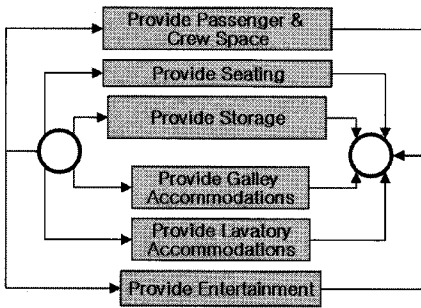


Fig 12. The provide passenger and crew accommodations function

4.4 화물 적재 성능

이 기능과 연관된 1차 하위 기능은 화물 공간 제공이다. 또한 화물 적재 하위 기능을 제공하는 것이 포함된다. 이 하위 기능에는 항공기가 화물을 반출/입하는 성능이 포함된다 Fig 13. 이 기능과 관련한 요건을 수행하도록 할당된 1차 항공기 부문은 기체 부문이다.

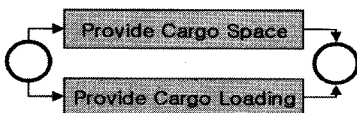


Fig 13. The provide cargo capability function

4.5 환경 제어

항공기가 승객과 승무원과 관련하여 제공해야 할 1차 환경 하위 기능은 공기 조화, 여압, 산소 제공 기능이다. 공기조화는 온도, 습도, 공기 품질 제어로 세분할 수 있다. 많은 하위 기능은 환경 제어에 기여하며 또한 환경 제어장치에 기여한다. 승객 및 승무원의 환경을 제어하는 것에 부가하여 항공기는 방빙과 제우와 같은 항공기 자체 환경을 제어해야 한다. Fig 14. 이 기능과 관련한 요건을 수행하도록 할당된 1차 항공기 부문은 환경 부문이다.

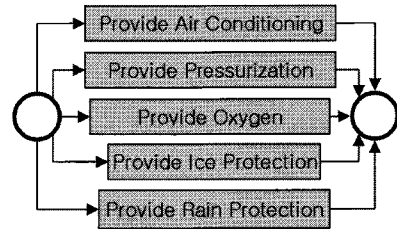


Fig 14. The provide environment control function

4.6 통신 제공

모든 통신 기능은 상황 경보 최상위 수준의 기능을 제공하는 하위 기능으로 두 가지 기본 통신 유형은 Fig 15.와 같이 외부 및 내부 통신 제공 기능이다. 이러한 기능과 연관된 요건이 통신 하위 시스템의 주요한 책임이다. 이 기능과 관련한 요건을 수행하도록 할당된 1차 항공기 부문은 전자장비 부문이다.

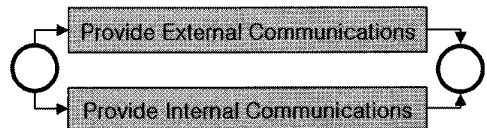


Fig 15. The provide communication function

4.7 유도 및 항법 제공

이 기능은 항공기의 위치, 자세, 속도 및 방향 선정 그리고 비행 관리 제공 등의 여러 가지 기본 하위 기능을 갖는다. 이러한 기능 요건의 대

다수는 항공전자장비 부문의 책임이다. Fig 16. 지정된 하위 시스템과 관련한 매개변수와 관련된 조건은 필요한 정확도, 정보 기준점, 안전에 필요한 잉여도에 따른다.

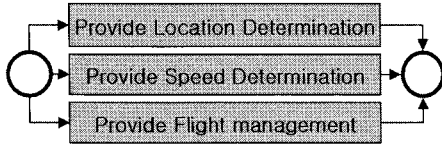


Fig 16. The provide guidance and navigation function

4.8 구조 건전성 유지

구조 건전성을 유지하는 두 가지 주요한 하위 기능은 Fig 17.에서 보는 바와 같이 하중을 지지하고 압력을 유지하는 것이며, 이 둘은 기체 부문이 1차 책임을 진다.

구조는 반입 및 반출 허용과 같은 다른 하위 기능을 가질 수 있으며, 이러한 하위 기능은 설계시에 개구부와 창문에 적용된다.

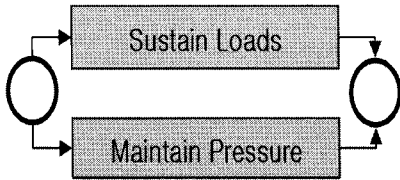


Fig 17. The maintain structural integrity function

4.9 동력 제공

모든 항공기 하위 시스템은 작동하기 위해 동력이 필요하다. 가장 일반적인 동력 유형은 전기이다. 이 기능과 관련한 요건을 수행하도록 할당된 1차 항공기 부문은 전기 부문이다. 전기 동력 외에 항공기는 유압 및 공기압을 사용하며 이들이 유일한 해법이다. Fig 18. 그러므로 Fig 18.의 3가지 기능 중 하나는 존재하지 않을 수 있다. 필요시 항공기는 유일한 동력원으로 작동될 수 있으므로 최적의 동력원을 선정하기 위한 비교분석연구가 요구된다.

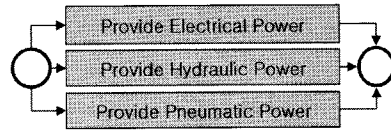


Fig 18. The provide power function

4.10 상황 인식 제공

조종사가 항공기를 안전하게 비행하고 항공기 하위 시스템의 기능 장애 혹은 위험 조건과 같은 상태를 모니터링 하도록 조종사에게 충분한 정보를 제공하는 기본 기능이다. 또한 지시 및 기록 하위 시스템은 항공기 상태와 관련한 대부분의 정보를 제공한다. 그러나 비행 조종장치 하위 시스템이 상황 인식 기능을 제공한다. Fig 19. 이 기능과 관련한 요건을 수행하도록 할당된 1차 항공기 부문은 전자장비 부문이다.

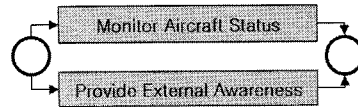


Fig 19. The provide situational awareness function

V. 결론

상용기 설계를 위한 기본 자료를 확보하기 위해 운항적 관점을 중심으로 항공 수송 임무 수행에 필요한 기능을 분석하였다. 본 연구를 통해 얻어진 결과는 다음과 같다.

[1] 항공기 설계를 위한 계층을 생성하고 순화하기 위해 항공기 라이프사이클 기능에 기초하여 항공기와 항공기 시스템 기능을 규정하였다. 이를 통해 항공기 자체의 설계에 영향을 주는 다른 비행공기적인 요소와의 상호관계를 알 수 있다.

[2] 운항적 관점에서 항공 수송 임무에 필요한 기능 분석을 통해 항공기 수준의 기능을 일련의 성능 요건과 설계 요건으로 할당하였다. 임무 기능을 운용 단계, 임무 및 상황별 다차원 기능으로 확대 행렬화 하여 기능, 요건, 시스템 구조라는 계층간의 경로와 내/외적 인터페이스를 규명

할 수 있다.

[3] 상용기 설계의 핵심인 운항 기능을 공기역학적 성능 및 추력 제공, 환경 제어, 구조 건전성 유지, 상황 인식 제공 등과 같은 여러 하위 기능으로 분해하였다. 시스템의 최적화를 위해 이들 각 기능을 여러 항공기 부문에 할당하고 비교분석 연구를 위한 토대로 마련하였다.

[4] 하위 시스템의 체계적이고 포괄적인 검사로 전체 시스템의 위험 영향을 평가하는 기능 위험 평가를 위한 기본 자료를 확보하였다. 항공기 각 기능과 기능간의 조합으로 얻어진 자료는 차후 항공기 인증 과정의 핵심 요소인 안전 평가를 위한 유용한 자료로 활용할 수 있다.

참고문헌

- [1] Scott Jackson, "Systems Engineering for Commercial Aircraft", Ashgate, 1997, pp. 7~34.
- [2] Jack W. Hunter, "Engineering the System Solution", Prentice Hall PTR, Engelwood Cliffs, 1995, pp. 61~71.
- [3] Cary R. Spitzer, "Digital Avionics Systems", McGraw-Hill, 1993, pp. 6~18.
- [4] David E. Stem, Michael Boito, and Obaid Younossi, "Systems Engineering and Program Management", RAND, 2006, pp. 1~19.
- [5] Y. S. Song, "Aircraft Systems Engineering", Cheongmungak, Seoul, 2008, pp. 42~62.
- [6] IATA, "Specification for Manufacturer's Technical Data, Specification 100, Revision 28", USA, 1989
- [7] DOD, MIL-STD-881B, "Work Breakdown Structures, USA, 1993
- [8] Daniel P. Raymer, "Aircraft design: A conceptual Approach", AIAA, 1999, pp. 18~20.