



The Design of Energy Management Training Using Abstraction Hierarchy

Hyun-Su Kim*

Department of Flight Operation, Chodang University

A B S T R A C T

Even experienced pilot, lack of energy recognition and management would lead to critical condition and fatal accident. The pilot should require aware of energy status of each flight phase and learning energy management. Basically, law of energy conservation on real flight maintains different way such as potential as a height, kinetic as a velocity and dissipation energy from chemical energy. In this study, it is shown the energy equations caused from energy status such as climb, decent, acceleration and deceleration for knowledge-based training. In order to understand how pilots can manage energy state on real flight, flight trajectories are displayed using the flowchart that explains the energy state of each flight phase. Also it is shown and compared with flight strategy single-input single-output and Multi-Input Multi-Output strategy using energy matrix. Multi-Input Multi-Output strategy helps student pilots to understand the energy management on knowledge-based training, it is explored the use of Work Domain Analysis of energy management. In order to provide a new way for effective flight training, skill-based and knowledge-based training program structures are designed using by abstraction hierarchy. Each training program structure based on whole-part is reclassified as structure based on goal-means domain analysis. This study shows that it is made the subject contents of the energy management which will be included in new curriculum for flight training, also each program structure of whole-part has been reclassified as structural goal-means.

© 2017 KKITS All rights reserved

KEYWORDS : Energy management, Law of energy conservation, Work domain analysis, Abstraction hierarchy, Flight training, Development of curriculum

ARTICLE INFO: Received 22 December 2016, Revised 23 January 2017, Accepted 10 February 2017.

*Corresponding author is with the Department of Flight Operation, Chodang University, 380 Muanro Muanup

Muangun Jealanamdo, 58530, KOREA.
E-mail address: lanshu94@hotmail.com

1. 서론

1.1 연구의 배경

2014년 7월 6일 미국 샌프란시스코 공항에서 발생한 국내 항공사의 NTSB(National Transportation Safety Board)사고조사보고서에 따르면 사고의 원인(probable cause)을 크게 수동 착륙 과정에서 고도 관리 불량, 의도치 않은 자동속도조절장치 해제, 항공기 속도 모니터링 불량, 복행 미실시로 요약하였다[1]. 2014년 7월 3일 부터 6일까지 4일 동안 사고항공기와 동일 편명 항공기들의 최종 2NM의 접근 경로에 대해 수집한 속도와 고도 자료를 보면 사고기의 경우 Threshold 1NM 전부터 깊은 강하각, 급하강 자세, 속도감소로 고도와 속도의 총 에너지양에 대한 적절한 관리가 이루어 지지 않고 있음을 보여준다[2].

2009년 4월부터 2010년 3월까지 실시된 사고 항공사의 FOQA(Flight Operational Quality Assurance) 분석에서 불안정 접근 및 UAS(Undesired Aircraft state)요인으로 높은 에너지 상태에서의 오조작을 지적하고, 불안정 접근의 대응 전략으로 표준준 고도 또는 에너지관리상태의 오류 식별을 우선적으로 제시하였다[3]. 에너지 관리는 비행경로에서 속도와 고도 유지를 위한 과정으로 에너지 상태의 정확한 인지는 직접적으로 항공기 안전과 효율적 운항에 많은 영향을 주며 비행 상태를 가장 효과적으로 유지하는 방법으로 에어버스나 보잉에서도 독립적인 교과로 교육된다. 그러나 국내 조종 교육에서는 항공역학이나 성능 교육으로 한 부분으로 취급하고 있다. 1994년부터 국제민간항공기구는 사고율 감소를 위해 조종사 교육 훈련 체계의 개선의 필요성을 주장하고 있다[4]. 이는 현재 조종교육의 패러다임이 단순한 기술적 교육에서 고도의 인

지작업 교육으로 전환하고 있으며 교육방법 역시 동일한 형태로 전환되어야 한다는 의미로 받아들일 수 있다.

1.2 연구의 목적

현재까지 조종교육 분야에서 에너지 관리의 연구는 에너지 상태 시현의 기능성에 주목하여, 기능적 목적만을 강조함으로써 실제 교육이 절실하게 필요한 학생조종사의 교육보다 숙련급 조종사의 오류 방지 모델을 위한 교육방법이 주로 연구되었다. 학생조종사의 경우 에너지의 개념 정립을 통한 올바른 에너지 관리는 조종에 대한 자신감 고취시키며 안정적 운항을 위한 정서적 안정을 유지하는데 도움이 된다. 그러나 많은 비행교본이나 지침서에도 학생조종사를 위한 에너지 관리에 대한 세부 내용이 거론 되지 않고 있어 학생조종사를 위한 에너지 관리 교육방법론 개발을 통해 수동조종능력 향상과 운항안전 확보를 목적으로 하였다[5].

1.3 연구의 방법

본 연구는 다음과 같은 단계로 수행하였다.

1. 학생 조종사 교육을 위해 수동 및 자동화 환경에서 적용 가능한 에너지 관리기법에 대한 개괄적인 이해와 항공기 조종에서 적용하는 에너지 상태를 물리적으로 접근하였다.
2. 실제 조종과정에서의 에너지 흐름과 제어 과정을 도식화하여 항공기 조종의 최종목적과 조종기법의 관계를 설명하고 도식화된 에너지 흐름을 기반으로 에너지 관리의 작업영역을 분석하여 추상화계층을 활용한 에너지 관리 교육의 기능적 목적을 제시하였다.
3. 에너지 관리 기법을 지식기반 교육체계와 기

술기반 교육체제로 이원화된 교수 계획을 설계하여 항공안전과 산업적 효율성을 모두 확보할 수 있는 조종교육 방안을 제시하였다.

2. 항공기 에너지 상태

에너지와 에너지 보존법칙은 항공기에도 적용되며 운항중인 항공기의 에너지는 <그림 1>과 같이 네 가지로 분류된다.

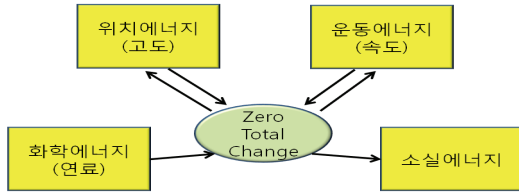


그림 1. 항공기의 에너지 보존
Figure 1. Energy Conservation of Airplane[6]

일반적으로 항공기의 고도에 비례하는 위치에너지, 속도의 제곱에 비례하는 운동에너지, 연료로 지칭되는 화학에너지, 대기의 마찰을 통해 소모되는 다양한 유형의 소산에너지로, 네 가지 에너지의 총량은 일정하며 에너지보존법칙에 의해 추가적으로 생성되거나 파괴되지 않게 된다. 이를 항공기 운항에 적용하면 운항중인 항공기가 가지고 있는 전체 에너지(E)는 운동에너지(E_k)와 위치에너지(E_p)의 합으로 정의하고 식 (1)과 같이 표현한다[6].

$$E = E_p + E_k = mgh + \frac{1}{2}mV^2 \quad (1)$$

운항중인 항공기의 총 에너지를 무게로 나누면 식(3)과 같은 비에너지(Specific Energy)를 얻을 수 있다.

$$h_E = h + \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

이를 시간에 미분하면

$$\frac{dh_E}{dt} = \frac{dh}{dt} + \frac{V}{g} \frac{dV}{dt} \quad (3)$$

속도가 V 이고 비행경로각 γ 일 때 수직속도는 다음과 같다.

$$\frac{dh}{dt} = V \sin(\gamma) \quad (4)$$

식 (3)을 식 (2)에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$\dot{h}_E = V \left(\frac{\dot{V}}{g} + \sin \gamma \right) \quad (5)$$

여기에서 $\left(\frac{\dot{V}}{g} \right) = \frac{d}{dt}$ 이다.

에너지 각 γ_E 을 도입하면 식 (8)의 총 에너지율은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\dot{h}_E = V \sin \gamma_E \quad (6)$$

식 (7)을 속도로 나누면 비무차원 총에너지 변화율(Specific Nondimensional Energy Rate)을 얻을 수 있다.

$$\dot{E}_{sn} = \sin \gamma_E = \frac{\dot{V}}{g} + \sin \gamma \quad (7)$$

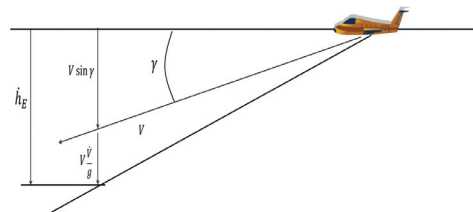


그림 2. 에너지율
Figure 2. Total energy rate[7]

속도(V) 및 비행경로각(γ)로 운동하는 항공기의 운동방정식을 안정좌표계에 대해 표현하면 다음과 같다.

$$T - D - W \sin \gamma = ma = \frac{W}{g} \dot{V} \quad (8)$$

식 (8)의 양변을 무게(W)로 나누고 정리하면

$$\frac{(T - D)}{W} = \sin \gamma + \frac{\dot{V}}{g} \quad (9)$$

식 (9)를 항공기의 단위 무게당 초과추력, 즉 비초과추력(Specific Excessive Thrust)을 나타내며, 식 (10)으로 표시되는 항공기의 비무차원 총에너지 변화율과 같음을 알 수 있다. 즉,

$$\dot{E}_{sm} = \frac{(T - D)}{W} = \sin \gamma + \frac{\dot{V}}{g} = \sin \gamma_E \quad (10)$$

식 (10)의 초과추력은 항공기의 상승, 하강, 수평 비행시 가감속에 관여한다. 초과추력은 항공기의 위치에너지와 운동에너지 변화이다.

항공기가 작은 비행경로각으로 운동을 할 경우, 즉 에너지 변화율이 작을 경우에는 식 (11)은 다음과 같아 된다.

$$\dot{E}_{sm} \approx \gamma_E = \gamma + \frac{\dot{V}}{g} \quad (11)$$

식 (11)에서 보는 바와 같이 에너지 각은 비행경로각과 무차원가속도 값의 합으로 경로각이 음의 값을 가질 때, 위치에너지가 감소하고, 에너지 각이 음의 값을 가질 때 총 에너지가 감소한다. 에너지 각이 비행경로각보다 더 작을 때는 항공기의 운동에너지가 감소하게 된다. 에너지가 일정하게 유지될 경우, 즉 에너지가 보존될 경우에는 식 (11)로부터 다음과 같은 식이 성립된다.

$$\gamma = -\frac{\dot{V}}{g} \quad (12)$$

식 (12)는 항공기의 초과추력이 0이 되는 경우에 항공기의 비행경로각은 항공기의 무차원가속도에

직접적으로 비례함을 알 수 있다. 무차원가속도가 증가하면 운동에너지가 증가하여 항공기의 위치에너지는 감소함을 알 수 있다[7].

실제 최종 접근단계에서 비행경로에 대한 총 에너지량은 바람 성분을 고려하면 식(13)과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{\Delta E_{tot}}{\Delta GD} = \tan \gamma WCF + \frac{1}{g} \frac{\Delta(CAS + WC)}{\Delta t} + \delta E \quad (13)$$

$$\delta E = E_{act} - E_{ref} = \delta E_{pot} + \delta E_{kin} \quad (14)$$

GD : Ground distance from threshold

WCF : wind correction factor

WC : wind component

2.1 에너지 관리 전략

에너지 관리에서 항공기의 에너지 총량은 스로틀에 의해 투입되고 승강타는 고도와 속도의 에너지를 교환을 위한 분배 된다. 승강타나 스로틀 모두 속도와 고도의 변화에 독립적으로 작용하지 않아 두 가지를 모두 사용한 조종전략이 추천된다. <그림 2>는 승강타와 출력레버를 활용한 조종전략으로 스로틀에 의해 만들어지는 총에너지 양(\dot{E})으로 실제 운항에서 에너지 오차(δE)는 식 (15)와 같다.

$$\dot{E} = E_p + E_k - \delta E \quad (15)$$

주요 비행경로 조종을 위해 <그림 3>은 조종흐름 순서도로 박스 다양한 연결고리를 통해 속도와 고도의 변화를 보여준다. <그림 3>의 박스 1은 승강타의 직접적인 투입으로 피치각의 변화(θ)로 피치율이 변화(θ')하게 된다. 일정 속도에서 받음각(α)의 변화는 양력의 크기 차이를 발생하며, 속도는 받음각(α)을 변화시킨다. 곧 수직 비행경로는 초기 피치각에 변화에 영향을 받게 된다.

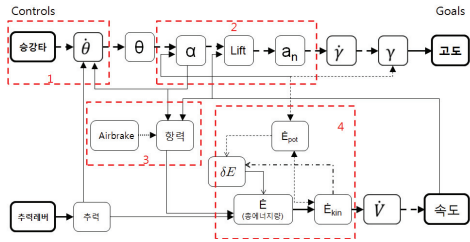


그림 3 다중 입출력
Figure 3. Multi-Input Multi-Out

〈그림 3〉의 아래 부분은 스로틀의 변화에 따른 속도의 변화를 보여주며 추력이 증가할 경우 강하각이 일정하다고 가정한다면 직접적으로 전환되는 운동에너지(E_{kin}^i) 즉 총 에너지량 (E)이 증가하게 된다. 수직 비행경로인 강하각(γ)의 경우 위치 에너지로 총에너지 율의 변화는 강하각이 일정할 때 운동에너지의 변화와 같다. 이는 중요한 원칙으로 비행 경로에서 가감속 변화는 추력의 변화와 동일하게 되며, 동시에 비행경로에서 엔진 추력에 따라 강하각(γ)는 변하게 된다.

〈그림 3〉에서 엔진에서의 추가된 총에너지가 수평 비행경로 즉 위치에너지(고도)가 변화하지 않아도 운동에너지(속도)의 변화율에 직접적으로 어떻게 기여하는 것을 보여준다. 반대로 피치율(θ')의 변화는 추력의 영향도 함께 받게 된다.

화살표는 추력 투입 값에 따른 피치의 변화를 보여주며, 〈그림 3〉의 박스 2와 박스 1의 관계는 받음각의 증가에 따른 피치율(θ')의 변화를, 강하각의 변화 따른 받음각의 변화를 보여준다[8]. 〈그림 3〉의 박스 3은 받음각과 피치의 변화, 속도의 변화 따른 총 항력의 변화와 항력장치 사용에 따른 추가항력의 변화를 보여준다. 〈그림 3〉의 박스 4는 위치에너지와 운동에너지의 에너지 오차가 총에너지에 변화에 어떻게 작용하는지를 보여준다. 이러한 형식의 입력을 MIMO(Multi Input Multi Out)라 한다. 〈표1〉의 SISO1(Single Input Single Out)는 최

소항력속도 보다 높은 속도로 수평 비행시 추력을 입력하면 속도를 유지하고, 승강타를 입력하여 고도를 획득하는 경우로 하나의 입력값(스로틀 또는 승강타)이 두 출력값(고도, 속도)에 서로 영향을 미치기 때문에 원하는 속도, 또는 고도를 얻기 어렵게 된다. 마찬가지로 SISO2는 최소항력속도보다 작은 속도로 비행시 추력을 입력하여 고도를, 승강타를 입력하여 속도를 얻고자하는 경우로 이 또한 입력값(스로틀 또는 승강타)이 두 출력값(속도, 고도)에 영향을 미치기 때문에 원하는 속도와 고도를 얻기 어렵게 된다. 그러나 MIMO의 경우 조절되는 출력을 이용하여 에너지를 조절하고 승강타로 고도와 속도를 분배함으로 SISO보다 좀 더 효율적으로 원하는 고도와 속도를 확보 할 수 있게 된다[9].

표 1. 조종전략
Table 1. Control strategy[9]

조종 전략	스로틀조종	승강타조종
SISO1	Airspeed	Altitude
SISO2	Altitude	Airspeed
MIMO	Total energy	E_{pot}, E_{kin} 분배

MIMO를 활용한 전략이 총에너지 조절 시스템(Total Energy Control System:TECS)으로 운용되는 자동항법장치의 경우 TECS전략을 사용한다[9]. 조절 시스템은 조종을 감지하고 스로틀을 사용하여 속도를, 승강타를 사용하여 고도를 조절한다. 낮고 빠르게 비행할 경우 조종사는 고도 확보를 위해 기수를 잡아당기고 이로 인해 속도가 감소하게 된다[8]. TECS의 경우 모든 비행단계에 대한 일반적인 MIMO전략을 가지고 있으며 속도조절 모드인 경우 승강타와 스로틀을 동시에 사용하거나 혹은 독립적으로 적용하여 항공기의 에너지 상태와 조종기능의 오류를 감지하여 승강타와 스로틀에서 발생하는 저효율 결과값을 제거한다. 비행경로와 속도 조절에 의한 스로틀과 승강타의 공유된 접근

경로는 연계된 성능 최적화로 제한된 추력으로 비행경로와 속도를 동시에 조절할 경우 원하는 비행경로의 우선순위에 기초하거나 정확하게 분배한다.

TECS모듈의 명령체계는 에너지 관리 기법을 기초로 하여 설계되었으며, 비독립적으로 승강타와 스로틀을 사용한다 이에 따라 초기 입력값이 비행경로(γ)인 경우, 명령 비행경로는(γ_c), 무차원 가속 $\frac{\dot{V}}{g}$ 인 경우, $\frac{\dot{V}_c}{g}$ 로 적용하며 명령값으로 이격된 무차원 에너지 오차 ($E'_{c,sn}$)를 계산한다.

이 경우 특정 무차원 에너지 분배율($L'_{c,sn}$)로 운동에너지와 위치에너지의 불균형을 감지한다. 에너지 분배율($L'_{c,sn}$)은 운동에너지와 위치에너지가 실제로 분배된 값이므로 항상 양의 값을 가진다.

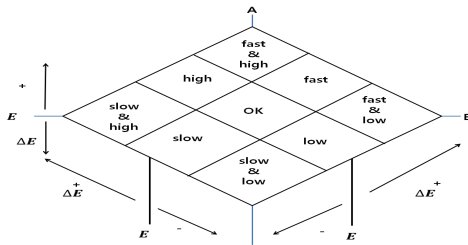


그림 4. 에너지 매트릭스
Figure 4. Energy Matrix[9]

<그림 4>와 같이 에너지 매트릭스에 기초하여 부족한 에너지 단계에서는 에너지를 초과 공급하고, 분배 오류 시에는 \dot{E} 을 이용하여 적절한 에너지 상태를 유지하게 된다. 요구 에너지를 0 상태로 유지하기 위해 승강타를 활용하고 \dot{L} 을 평형상태나 부족한 에너지 유형으로 재분배하게 된다. 따라서 에너지 상태의 증가감에 따른 고도와 속도의 변화는 결국 스로틀과 승강타의 동시 입력으로 얻어지게 된다.

3. 에너지 관리 작업영역 분석

조종사 교육목표는 조종사의 항공지식과 기술이란 인지적인 학업성취와, 조종사 상호간의 협조체계를 용이하게 하는 정의적 영역으로, 교육목표의 성취여부는 교과목에 대한 학습방법이며[10] 기술 발달로 조종 업무는 단순히 기계를 조작하는 조작 기술 이외에도 정보를 해석하고 통합하고, 개정하고, 상황에 가장 적합한 판단과 선택을 내려야하는 고도의 인지적 과제라고 정의하고 있다[11].

인지적 과제의 학습이란 결국 단순한 지식이나 기술의 습득보다 시스템의 기능과 원리에 대한 깊은 이해를 위한 의도적 학습 기회가 제공됨으로써 더 효율적으로 대처할 능력을 배양한다. 조종교육에서 에너지 관리 기법은 시스템의 기능과 원리를 구체적으로 제시하여 학생 조종사의 이해를 돕는 도구이며 비정상상황 같은 위험 상황에서 항공기를 통제하기 위한 의사결정의 주요 인자이다. 이를 위해 직무성취에 근거한 교수전략이 필요하며 인간의 심리가 요구되어지는 순서가 아니라 인지하는 순서대로 반응한다는 사실을 통해 얼마나 정확하게 상황 인지와 반응에 선행되어야할 과정으로 행동의 변화를 위해 지속적 인지작업과 훈련이 필요하다[12].

표2 추상화 체계의 단계적 기능
Table 2. Abstraction hierarchy's stage function[14]

추상화 수준	기능 및 속성	
기능적 목표	시스템이 설계된 궁극적인 목표 시스템	정상적 기능의 이유인
추상적 기능	흐름관점의 인과관계 하위의 일반적 기능들의 우선순위	
일반적 기능	기능적 목적을 달성하기 위해 구현된 기본적인 시스템 기능	
물리적 기능	기능적 목적을 달성하기 위한 구체적인 행위와 기능	
물리적 형태	가시적 구현 시스템의 물리적 형태 및 공간적 위치	

에너지 관리 교육을 위해 포함되어야 할 정보와 정보들 사이의 관계를 확인하기 위해 에너지 관리의 작업(Work)영역 분석을 실시하였다. 작업분석 방법으로는 일반적으로 직무분석과 인지직무분석, 인지작업분석 등이 있으나[13] 다양한 동적 변화를 요구하는 항공 운항의 특성을 고려하여 인지작업분석을 실시하고 수행도구로 작업영역의 목적을 달성하기 위해 필요한 기능을 계층적으로 분석하는 추상화 계층(Abstraction Hierarchy)을 사용하였다. <표 2>와 같이 작업영역분석에서 추상화 계층의 최상위 수준의 기능적 목표는 시스템 설계의 궁극적 목표 및 시스템이 그 환경과 상호작용할 때 고려되어야 하는 제약조건을 나타내며, 시스템의 목표는 단순하면서 정량적인 입력-출력의 관계식의 형태로 표현되며 제반 환경 하에서의 시스템의 기능 중심으로 표현된다.

<그림 5>는 에너지 관리를 활용한 조종교육의 추상화 계층으로 기능적 목표를 항공안전이라 설정하고 재설계한 것이다. 물리적 기능은 <그림 3>의 하부 구조인 개별단위의 시스템과 대기를, 물리적 기능의 경우 각각의 역학적 특성을, 일반적 기능은 항공기의 실제 운항 상태를 나타내주는 파라미터를, 추상적 기능은 각각의 파라미터들을 에너지 관리에 활용하는 전략과 기법으로 설정하였다.

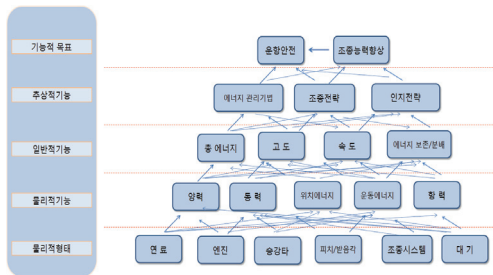


그림 5. 에너지 관리의 작업영역 분석 모델
Figure 5. Work Domain Model of EM

추상화 수준은 기능적 목표, 추상적 기능과 우선 추위, 일반 기능과 업무 활동, 물리적 기능, 과정

및 장비 목적의 물리적 형태, 물리적 형태 다섯 단계로 설정하였다.

추상적 기능의 경우 간소화를 위해 기능의 목적을 안전운항으로 설정하여 에너지 관리의 목적성을 항공안전의 범위에서 유연화 하였다. 추가적으로 교육공학적 접근 편의성을 위해 기능적 목표의 수단인 초기 학생 조종사의 수동조작 능력 향상에 초점을 맞추어 지식기반 교육체계와 기술기반 교육체계로 이원화하였으며 각 교육체계에서 에너지 관리 기법의 이해와 적용을 습득을 기능적 목표를 설정하였다.

4. 에너지 관리 교육체계 구성

교육적 활용이라는 점에 중점을 둔 수준설계를 위해 각 수준에서 이행되는 목적을 명확하게 설정하였다. 각 수준의 목적은 단일화된 소규모 수준으로 설정하여 각각의 수준이 다음 수준의 확대뿐 아니라 단일 수준을 이해함으로써 교육계획을 위해 단일 과정의 목표로 활용할 수 있도록 설계하였다.

교육의 추상화계층에서 파란색은 지식 기반 교육체계 중심을 흰색 배경의 경우 기술기반 교육체계 중심을 의미하며 노란색의 경우 두 가지 교육 체계에 모두 적용할 수 있거나 적용해야만 하는 것으로 최종적인 교과 과정에는 에너지관리기법의 이해를 위해 지식기반과 기술기반으로 구분하여 과정 계획을 수립하였다.

4.1. 지식기반 교육 체계 추상화 계층

지식기반의 교육체계의 추상화계층은 물리적 형태 수준을 에너지의 근원인 연료와 추력 발생 기관인 내연기관, 프로펠러, 승강타로 설정하고 그 기능을 에너지로 보고 전체를 총에너지 부분을 위치와 운동 에너지로 분류하였다.

표 3. 지식기반의 훈련 추상화 체계
Table 3. Abstraction hierarchy of Knowledge based training

추상화 수준	전체			부분
기능적 목표	에너지 관리			
추상적 기능	에너지 공식	에너지보존 법칙	에너지 저장도	
일반적 기능	동력	상승 하강	증속 감속	V_X, V_Y
물리적 기능	추력 항력	고도 속도		
물리적 형태	밀도	공기	내연기관	믹스처 스톱틀

일반적 기능의 경우 물리적 기능의 실제적 표현인 속도, 고도, 자세 등으로 분류하고 추상적 기능을 에너지의 상태로 기능적 목표를 에너지 관리기법의 습득으로 설정하였다.

(1) 기능적 목표

추상적 기능의 전체목표는 부분적인 목적으로 에너지 상태의 이해로 에너지 리저버와 에너지 높이 곡선을 설정하고 조종흐름도에 적용, 분석한다.

(2) 추상적 기능

항공기에 적용된 에너지공식의 수학적 이해하고 에너지 저장도와 작용원리와 적용된 에너지 관계도를 이해한다.

(3) 일반 기능과 업무 활동

항공기의 동력선도와 추력 항력 곡선을 이해하고 양항비 등 기본적인 힘과 에너지의 동력선도에 따른 잉여 동력과 v 값에 대한 정의와 이해를 목표로 한다.

(4) 물리적 기능, 과정 및 장비 목적

추력과 항력을 발생하는 외적요소, 소실 에너지 생성의 자연 유체에 대한 물리적 이해를 도모하고 고도와 속도의 유형과 내용을 분류하고 학생이 이해한다.

(5) 물리적 형태

항공기 운항에 적용되는 유체의 물리적 형태를 자연과학을 적용하여 이해하고, 대기 구성

요소와 기체에 대한 물리적, 화학적 원리를 이해하는 단계이다. 이 수준은 다른 교과목에 적용되거나 교육된 내용을 복습한다.

4.2. 기술기반 교육 체계 추상화 계층

기술기반 교육체계의 추상화계층은 실제 비행교육에 적용되는 방안으로 교관과 학생 조종사 사이에서 실제 교육을 위한 교과과정 설계이다. 기능적 목표를 부분 목표인 MIMO전략으로 하고 전체 목표를 초기 학생조종사의 조종능력향상으로 설정하여 에너지 변화에 따른 개별 조종전략의 이해와 실습을 통해 실제 조종에 적용하는 것을 추상적 기능으로 설정하였다. 일반적 기능의 이해는 현재 교육되고 있는 4가지 기본 기동과정(4 Basic)교육에 에너지 변화량에 따른 장주기, 단주기 운동성을 추가하여 물리적 형태인 피치, 동력, 받음각의 변화에 따른 항공기 조종특성으로 설정하였다. 추가적으로 지식기반의 교육 체계를 통해 습득한 물리적 형태의 기본 원리에 대한 복습과정을 통해 물리적 형태에 대한 교육을 재정립한다.

표 4. 기술기반의 훈련 추상화 체계
Table 4. Abstraction Hierarchy of Skill based training

추상화 수준	전체			부분
기능적 목표	조종능력 향상	MIMO 전략		
추상적 기능	에너지에 변화	on glide path		
일반적 기능	조종흐름도의 적용	증속	상승	감속
물리적 기능	비행	등속 하강	zoom	
물리적 형태	장주기 운동	단주기 운동	피치	동력 AOA

(1) 기능적 목표

전 단계의 추상적 기능을 기능적 목표로 설정하여 연료효율과 안전성 확보를 위한 안정

접근 교육을 위해 지식기반에서 습득한 동력 변화에 따른 에너지 흐름도를 비행 실기 교육에 적용한 에너지 관리 기동 절차를 수행한다.

(2) 추상적 기능

추상적 기능의 전체목표는 기능적 목표 달성을 위해 다양한 접근 절차를 통해 속도에 따른 조종전략의 변화를 숙지하고 최소항력곡선의 좌측에서의 변화된 기술전략을 기존 전략과 비교한다. 기능적 목표를 달성하기 위해 교육에 대한 피드백을 병행하여 다양한 적용 방안을 이해한다.

(3) 일반 기능과 업무 활동

에너지 상태를 이해 단계로 트림된 항공기의 등속 수평 비행에서 추력을 조절하여 등속 수평, 등속하강 등 부분적인 기동 절차를 수행하고 장, 단주기 형태 및 조종에 대하여 시범·실습식으로 실시한다.

(4) 물리적 기능, 과정 및 장비 목적

에너지, 양력, 동력, 속도, 고도 등 물리적 형태의 하위 구조를 이용한 변화율을 인지하는 단계로 물리적 형태의 다양한 변화를 통해 항공기에 적용되는 힘과 동력을 이해하고 에너지의 변화를 통해 항공기의 운동 특성의 변화를 체험한다.

(5) 물리적 형태

물리적 기능에 적용되는 요인들에 대해 지식기반 교육체계로 학습하고 연료 내연기관, 에어포일, 프로펠러 등에 대한 기본지식을 복습한다. 부분적으로 승강타의 구조와 목적, 시스템 설계 및 운영 원리를 이해하여 물리적 기능 변화에 대한 예측을 이해한다.

4.3. 최종 교육 체계 추상화 계층

에너지관리를 활용한 조종교육에 대하여 기능적 목표를 항공안전이라 설정한 최종 단계의 매트릭스이다.

표 5. 최종 목표의 추상화 체계
Table 5. Abstraction Hierarchy of Final goal

추상화 수준	전체	부분	
기능적 운항	안전	경제운항	조종 능력 향상
추상적 기능	안전성향상	비행단계별 조종전략	지식, 기량의 향상
일반적 기능	수동조종 (조종효율도)	에너지 관리 기법 TECS, MIMO	접근 착륙
물리적 기능	가용동력 동력 필요동력 초과동력	항력 추력	고도 속도
물리적 형태	항공기 시스템	내연기관 프로펠러	승강타 스로틀

추상화계층은 항공안전을 기능적 목표로 하는 최종 모델로 5단계로 나눈 것으로 <표 5>는 5단계를 전체와 부분으로 분할하여 최종으로 세부 분석 수준을 도식화한 체계도이다.

(1) 기능적 목표

조종교육에서 기능적 목표는 전체적으로는 안전운항과 부분적 목표를 경제성 지향으로 설정한다.

(2) 추상적 기능

추상적 기능의 전체목표는 소형항공기의 수동 조종 능력 향상으로 설정하고 부분적인 목적으로 하고 전보다 과거보다 안전하고 경제적인 운항을 부분적 목표로 설정하고 비교 값을 분석한다.

(3) 일반 기능과 업무 활동

항공기를 운항단계별로 적절하게 조종할 수 있는 세분화된 과정으로 각 비행단계별 항공기의 적절한 조종을 기능적 요소의 전체로 설정하고 출발, 항로, 접근, 도착 등 각 단계별로 적절하게 항공기를 조종할 수 있으며 접근 및 최종 착륙단계에서 항공기의 조종능력을 부분적 기능목표로 설정하고, 조종흐름에 따른 기본 조종전략을 이해한다.

(4) 물리적 기능, 과정 및 장비 목적

항공기 시스템에 물리적으로 적용된 에너지 관리 기법을 적용하여 일반항공에 사용되는 소형 항공기에서 에너지 양 변화에 따른 위치 및 속도 에너지의 변화량과 항력, 추력의 변화에 따른 동력 곡선 등이 시스템의 작동에 어떻게 작용하는지 항공기 운동특성에 어떻게 작용하는지를 학습한다.

(5) 물리적 형태

추력을 발생시키는 항공기의 엔진, 프로펠러, 양력과 항력을 발생시키는 다양한 장비의 작동 원리와 함께 승강대와 스톱틀의 작동원리, 외장 명칭 및 엔진 시스템 계통 등 서브시스템을 이해한다. 이 수준에서 에너지를 물리적 형태로 설정하여 일반적인 에너지 개념과 상태를 학습한다.

육은 시행되지 않고 있다[15].

숙련급 조종사의 경우에도 에너지 상태에 대한 이해와 관리의 부족은 치명적인 항공사고로 확대될 수 있으며, 자동화에 의존한 운항 패러다임 변화도 결국 수동조작 능력이 확보되지 않는다면 안전하게 적용될 수 없다.

본 연구에서는 에너지 관리기법의 단일 교과과정화 전략 수립을 위해 에너지 관리의 작업영역분석하고 추상화계층을 이용하여 기술기반, 지식기반의 교육 체계를 설계하고 각각의 체계에 전체와 부분을 목적과 수단으로 재분류하여 독립교육체계에 포함될 교과과정을 수립하였다[16].

제시된 교과과정 및 교육방법이 교육현장에서 적용되기 위해서는 많은 노력과 시간이 필요할 것으로 예상된다. 따라서 향후 실증적 연구방법을 통해 교육 주체인 교관과 학생의 교육 이해도와 효과를 측정하는 추가 연구가 필요할 것이다.

5. 결 론

항공기의 적절한 에너지를 관리하는 최초 및 최종 단계 책임은 조종사에게 있기 때문에 에너지상태를 정확히 인지하고 어떻게 관리할 수 있는가는 수동 및 자동 조종의 숙련도를 말해주는 기술적 지표라고 할 수 있다. 조종사의 인적오류는 항공사고 및 준사고로 이어질 가능성이 높다. 이를 방지하고 안전도 향상을 위해 조종사의 숙련도 제고는 필수적이다. 숙련도향상은 초기 학생조종사의 교육 목표와도 직결되는 것으로 에너지 상태에 대한 정확한 인지와 에너지 관리 능력은 학생조종사에서 운송용 조종사까지 모두에게 중요한 요소이며 학생조종사 교육과정에서 반드시 포함되어야 할 내용으로 판단된다.

그러나 현행 국내 교육과정에는 항공기 성능 부분으로 일부만 포함되어 있으며 에너지의 증감 및 분배에 관한 지식기반이나 기술기반의 독립적 교

References

- [1] XML resources http://www.ntsb.gov/news/events/Pages/2014_Asiana_BMG-Abstract.aspx 9, Nov. 2016.
- [2] XML resources <http://ko.flightaware.com/photos/view/786230-082f175ed06f2de3b60cd1683b43fc15aa10fef5/all/sort/date/page/1>, May 2014.
- [3] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, R&D Report. *Prevention of unstable approach for runway excursion*, p. 38. 2012.
- [4] I. K. Choi, J. H. Seo, and I.C. Kim. *Pilots' understandings on the pilot education curriculum and teaching-learning methods*. Journal Of The Korea Society For Aeronautical and Flight Operation, Vol. 8, No. 1, pp. 95-109. 2000.

- [5] J. R. Merkt, *Flight energy management training: Promoting safety and efficiency*, Journal of Aviation Technology and Engineering, Vol. 3, No. 1. p. 6. 2013.
- [6] XML resources <http://www.av8n.com/how/htm/energy.html>, Nov. 2016
- [7] J. R. Merkt, *Aerodynamics from the top-down*. Flight Training, Vol. 3, No. 12, p. 28, 1994.
- [8] M. H. Amelink, M. Mulder, M. M. Van Paassen, and J. Flach, *Theoretical foundations for A total energy-based perspective flight-path display.*, The International Journal of Aviation Psychology, Vol. 15, No. 3, pp. 205-231, 2005.
- [9] J. R. Merkt, *Flight energy management training: Promoting safety and efficiency.*, Journal of Aviation Technology and Engineering, Vol. 3, No. 1, p. 6. 2013.
- [10] N. Naikar, and P. M. Sanderson. *Work domain analysis for training system definition and acquisition*, The International Journal of Aviation Psychology, Vol. 9, No. 3, pp. 271-290. 1999.
- [11] M. H. Amelink, M. M. van Passen, M. Mulder, and J. M. Flach, *Total energy-based perspective flight path display for aircraft guidance along complex approach trajectories*, 12th International Symposium on Aviation Psychology, pp. 48-53, 2003.
- [12] T. K. Eom, and T. Y. Han, *The effect of experience emotion on pilot's risk perception: Interaction effects of emotion regulation*. Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics, Vol. 20, No. 4, pp. 57-69. 2002
- [13] T. S. Nam, R. Myung, and S-K. Hong, *The application of work domain analysis for the development of vehicle control display*, Journal of the Ergonomics Society of Korea, Vol. 26, No. 4, pp. 127-133, Nov. 2007.
- [14] D. H Ham, *Work domain analysis based on abstraction hierarchy: Modelling concept and principles for its application* J. Korea Saf. Manag. Sci, Vol. 15, No. 3, Sep. 2013.
- [15] S. B. Park, *A study on standards for pilot practical test; Focused on the references for flight training and evaluation*. Journal Of The Korea Society For Aeronautical and Flight Operation, Vol. 13, No. 1, pp. 1-8. 2005.
- [16] H. S. KIM, *Enhancing flight training effectiveness using energy management technique*, Master's thesis, Korea Aerospace University, 2014.

추상화 계층을 활용한 에너지 관리 훈련 설계

김현수

초당대학교 항공운항학과

요 약

조종교육에서 중점적으로 교육되지 않는 에너지관리기법을 활용하여 항공기의 고도와 속도, 에너지의 분배 및 증, 감을 지식기반에서 이해할 수 있도록 수학적 방법으로 분석하고 에너지 저장 및 분배 흐름을 체계화 하였으며 조종교육에 적용되는 기술기반의 교육의 이해도 향상을 위해 실제 항공기 조종시 에너지 흐름도를 이용하였다. 조종전략과 최종 목표를 도식화하고 각각의 변화를 설명하였다. 이를 통해 항공기의 조종기법에 대한 기술적 변화를 위한 방안으로 에너지 관리기법의 적용한 MIMO전략을 채택하고 교육에 적용 가능한 형태로 교과과정화 전략을 수립하였다. 교과 과정화 전략으로 산업공학에서 사용되고 있는 추상화계층을 이용하여 기술기반, 지식기반의 교

육 체계를 설계하고 각각의 체계에 전체와 부분을 목적과 수단으로 재분류하여 교과과정에 포함하게 될 세부 교육내용의 체계를 구성하였다.

후 기

본 논문은 저자의 석사학위 논문 ‘에너지 관리 기법을 활용한 조종교육 효과 향상방안 연구’의 수정 요약본임



Hyunsu Kim received the M.S. degree and processed the Ph.D. degree in the Department of Flight management from Korea Areospace University in 2016, respectively. He was a researcher at Griffith Research Institute from 2013 to 2014. Currently, He is a professor in the Department of Flight Operation at Chodang University.

E-mail address: lanshu94@hotmail.com