

자동화된 조종실에서의 조종사 행동에 관한 연구

A Study on the pilot Behavior in the Automated Cockpit

권보현(대한항공), 김철영(한국항공대학교)

1. 서론

1. 연구 배경

Automation은 제 3의 Crew로 인정을 받으면서 비행 안전과 효율성에 기여를 해 왔다. 그러나 Automation의 발달은 운항 승무원들의 Situation Awareness 능력을 저하시키고 Automation에 대한 의존도를 높여 새로운 Error를 발생시키는 요인으로 대두되었다. 이제까지 많은 연구들이 Automation환경하에서 승무원들의 비행에 대한 태도와 적응 방법 등에 초점을 맞추어 왔다. 그러나 Automation으로 인한 사고 요인은 감소되지 않고 있는 추세이며 최근 Automation의 잘못된 사용으로 인한 사고와 준사고들이 발생하고 있다. 1994년 4월26일 나고야 공항 접근 중 추락한 China Airlines의 A300-600항공기를 비롯하여 크고 작은 사고들이 발생하고 있어 그 원인을 세밀히 분석하고 대응책을 제시할 필요가 있다. 또한 4년 전 운항 승무원들을 대상으로 실시한 FMAQ 자료와 비교하여 운항 승무원들의 Attitude와 Behavior의 변화를 살펴보고 Automation Policy와 교육의 효과를 측정하여 안전 운항과 효율성 제고를 도모하고자 한다.

2. 연구조사 방법 및 한계

설문 조사 도구는 'The Flight Management Attitudes Questionnaire'(FMAQ : Helmreich, Merritt, Sherman, Gregorich, & Wiener, 1993)를 사용하였고 분석 기법은 집단간의 차이를 분석하고자 할 때 사용하는 T-Test를 사용하였으며 설문은

대한항공에서 비행 중인 조종사(기장, 부기장, 항공 기관사)들을 대상으로 하였으며 전자 설문기법(대한항공 자체 개발 프로그램)을 활용하였다. 본 연구는FMAQ의 많은 부분 중 Automation에 대한 Attitude와 Behavior에 국한 하여 분석, 비교 하였다. 따라서 다른 요소에 의한 변화는 무시할 수 있는 수준으로 간주하여 취급하였으며 종합적인 분석은 차후 연구 과제로 남겨 둔다.

II.본론

1. Automation의 이해

산업을 발달하고 항공산업이 1,2차 세계 대전 을 거치며 비약적으로 발전함에 따라 항공기의 비행거리와 시간도 신장되게 되었다. 장시간 지속적인 비행 조작이 조종사의 집중력을 저하시키고 Workload를 증가시킴에 따라 비행 안전과 효율성, 쾌적성을 확보할 수 있도록 Automation System을 개발하게 되었다.

이러한 자동화 시스템은 인적 과실을 줄여 운항 안전과 효율성을 제고하는데 크게 기여하였다.(Wiener, Chidester, Kanki, Palmer, Curry, & Gregorich, 1991). 조종사들은 기능적인 역할을 자동화 시스템에 맡기고 비행에 관한 전반적인 계획, 관리와 의사 결정을 할수 있게 되어 업무 경감과 내실있는 비행을 할수 있게 된 것이다. 자동화 시스템이 광범위하게 적용되기 시작한 1980년대부터 전체적인 사고율은 감소하기 시작했다.(Paul J. Sherman, Robert L. Helmreich, & Ashleigh C. Merritt, 1999).

그러나 인간과 기계와의 상관 관계는 단순하지 않다. 2004년 발표된 Boeing 자료에 의하면 1959년에서 2003년까지 발생한 186건의 사고 분석 중 원인이 불명확한 50건을 제외한 136건

중 약 62%가 인적 요인에 의한 사고로 보고 있다.

현대식 조종실 구조가 도입된 이후 자동화 시스템이 조종의 많은 부분을 담당하게 된 이후로 운항 승무원에 의한 Error는 줄었지만 자동화로 인한 또 다른 문제점들이 발생하였다. ('Executive Summary' Report of the FAA Human Factor Team) 새로운 Error들이 생긴 이유는 다음과 같다.

첫째, 조종사들이 conventional type 항공기에 적용이 되어 있다가 Automated Cockpit에 적응하는 동안 Error를 발생시킨다. Conventional 항공기 조종 시에는 F/O, F/E, & Navigator들이 서로 Cross check을 하여 Error를 방지하는 역할을 하였다. 그러나 자동화 된 조종실 상황에서는 조종사 2명이 탑승하여 모든 Task를 수행하게 되었다. 잘 알려진 바와 같이 아직 Automation 발달 상황은 Operator가 입력한 Data에 의해 작동되고 있으며 예측 기능이나 사고 능력은 아직 없는 상태이다. 따라서 Automation은 비행의 주체가 아닌 보조자로서의 역할을 수행하는데 초점이 맞추어져 있다. 즉 비행 상황은 많은 외적요인(기상, ATC, 항공기 결함)에 영향을 받는 경우가 많기 때문에 FMC(Flight Management Computer)에서 작업한 Planning의 효용성이 저하될 수 있다.

또한 Automation 기능이 '저 기능화'(De-gradation)되었을 경우 운항 승무원이 알아채지 못한다면 더 큰 문제를 야기할 수도 있는 것이다.

2. Automation의 기능

Automation System을 크게 구분하면 다음과 같이 3가지 기능으로 구분할 수 있다. 그것은 관리 기능, 조종 기능, Monitoring & 경보(Alert) 기능이다

가. 관리 기능

관리 기능을 하는 대표적인 시스템은 FMC(Flight Management Computer)이다. 제공된 Flight Plan Data를 입력하면 최적 고도와 속도, 소요 시간이 계산되며 TOC(Top of climb), TOD(Top of descent)가 시현된다. 비행 중 항로 변경이나 Weather Deviation 시에도 지속적인 비행정보가 제공되고 One Engine Failure시에도 최적 고도와 속도 정보 등이 Display된다.

나. 조종 기능

고고도 비행 상황에서는 공기 밀도가 희박하므로 속도와 고도를 유지하기 위해서는 지속적인 Throttles control과 비행 경로(Altitude, Track) control을 해야 한다. 만약 운항 승무원이 이것을 계속 control 한다면 쉽게 피로해 질 것이며 정확도도 낮아져 ATC Violation을 하게 되거나 승객의 쾌적성을 보장해 줄 수 없을 것이다. 따라서 이러한 단순 반복 작업을 Auto pilot과 Auto throttles 기능에 맡기고 운항 승무원은 Monitoring과 Management를 해야 한다. 이러한 기능이 Control Function이라고 할 수 있다. 이 기능은 FMC와 FCU(Flight Control Unit)의 정보에 의해 작동된다.

다. Monitoring & Alert 기능

Monitoring 기능은 항공기 시스템이 정상적으로 작동하고 있는지 여부를 확인하고 비정상 발생 시 조치할 내용들이 Display되도록 설계되어 있고 평시에는 비행 상황과 시스템 상황이 Display된다. Alert 기능은 운항 승무원이 즉시 발견할 수 없는 결함 내용들을 Monitor나 Warning panel에 Display하고 절차에 따라 조치할 수 있도록 설계되어 있으며 조치가 끝났을 경우 최종적으로 Alert이 사라진다. 최근의 첨단 항공기는 E-check list 기능이 부가되어 운항 승무원들이 수행해야 할 절차를 빠트리거나 실수하는 Error를 방지해 주고 있다.

3. 자동화의 이점 Marianne Rudisill , *Crew/Automation Interaction in Space Transportation Systems : Lessons Learned from the Glass Cockpit.*, February, 2000

가. 경제적 효율성

자동화 시스템은 효율성 증대와 신뢰도 향상, 정비 수요감소 및 승무원 규모 축소를 가능하게 하여 운영 경비를 줄여 주고 있다.

나. 정밀도 향상

Automation은 정밀한 항법을 위한 guidance를 제공 해주고, 항공기 통제 능력을 향상시켜 보다 나은 energy management가 가능하게 해 준다.

다. 안전도 향상

Automation은 승무원을 대신하여 비상 상황 또는 항공기 시스템의 이상을 감지하여 정보를 제공함으로써 안전도를 향상시키고 있다. 또한 최신 항공기는 조종사들이 수행해야 할 절차나 조치들을 display해 줌으로써 인적 error를 줄여주는 기능이 있다. 또한 조종사들이 줄거나 의식 기능이 저하되어 일정 기간 항공기 조종 장치나 시스템을 조작하지 않을 경우 alarm을 주는 기능도 있다.

라. 효율적인 조종석 공간 확보

Glass cockpit에서는 정보의 효율적인 집적(集積)을 통해 계기판을 깔끔하면서도 필요한 정보를 많이 획득할 수 있게 해 준다. 구형 항공기에서는 수 많은 Analog계기를 배치해 놓아 복잡하고 비효율적이었던 반면 최신 Glass cockpit항공기에서는 PFD(Primary Flight Display)에 조종에 필요한 대부분의 정보를 전시해 준다. 따라서 이착륙 중 조종사가 Cross check해야 하는 부분이 줄어들어 외부 참조물을 많이 볼 수 있다. 또한 이륙 중 Critical한 부분인 V1 속도를 항공기에서 call-out하게 해 줌으로써 조종사의 판독 error를 줄여주고 있다. 마찬가지로 착륙 중에는 지면과 항공기간의 절대고도를 음성으로 알려 주어 조종사가 고도 판단을 시각적인 참조와 아울러 청각적인 참조점을 활용할 수 있게 해 준다.

마. 승무원 업무량 감소

Automation은 운항 승무원의 workload를 감소시켜 구형항공기에서 3명의 승무원(Captain, F/O, F/E)을 운영하던 것을 2명(Captain, F/O)으로 줄여 운영할 수 있게 해 주었다. 또한 FMC(Flight Management Computer)를 장착하여 항법의 부담으로부터 자유롭게 해 주었다. 마찬가지로 관제사와 조종사간의 통화도 문자 메시지를 이용하여 원활하면서도 정확한 정보를 교환할 수 있게 되었다. 특히 VHF Radio가 미치지 않는 HF Radio통신 구간에서는 Radio의 성능으로 인해 불명확한 의사전달과 소음에 시달려야 했으나 최신 CPDLC(Controller Pilot Data Link Communication)을 통해 조용한 Cockpit을 구현하였다.

4. Automation Philosophies

자동화 시스템을 설계할 때는 반드시 인간과의

인터페이스를 고려하여야 한다. 아무리 좋은 자동화 시스템도 사용하기에 불편하다면 효용가치가 떨어질 것이다. 자동화 시스템은 조종사에게 정보를 제공해 주고 조종사들의 업무량을 경감시켜주며 신뢰성을 주는 것이 중요하다. 만약 자동화 장비 사용을 강조하여 조종사들이 자신의 판단과 조작을 자동화에게만 맡긴다면 좋지 않은 결과를 초래할 수도 있다. 따라서 항공기 제작사에서는 자동화 설계에 대한 나름대로의 철학과 운영 원칙을 제시하고 있다. Boeing사와 Airbus사는 각자의 Automation에 대한 제작, 운영 철학을 제시하고 있다. 이러한 운영 철학의 가장 큰 공통점은 아직은 자동화 장비가 조종사를 우선하는 것이 아니라 조종사에게 정보를 제공해 주고 조종사를 보조하는 장비라는 점을 명시한 것이다. 하지만 최근 Airbus사는 A380항공기를 제작하면서 A380에 많은 자동화 장비를 장착하였고 이제까지 착륙 시 조종사의 업무량을 고려해 자동 착륙을 권장하던 단계에서 이제는 비상 시를 제외하고는 자동 착륙을 Recommendation하는 단계에까지 이르렀다.

5. FMAQ 분석

대한항공에서는 Airline 컨설팅 과정에서 1998년 운항 승무원을 대상으로 FMAQ 설문 조사를 하였다. 설문 조사 결과를 바탕으로 지난 6년 동안 비행안전과 교육을 위해 많은 투자를 하였고 운항 승무원은 FOM(Flight Operation Manual)의 발간을 포함한 절차와 제도의 정비를 경험하였으며 항공사 실정에 맞는 CRM 교육을 이수하였다. 또한 운항 승무원 노동조합이 설립되어 권익 향상을 도모하게 되었다. 따라서 FMAQ의 일환으로 실시된 'Survey for Automation'에서 Attitude와 Behavior의 변화를 측정하고자 하였다. 설문 문항 수는 Total 31 항목이며 신상 설문을 제외한 Automation관련 내용은 23개 항목이다. 이 연구에서는 설문을 'The Flight Management Attitudes Questionnaire'(FMAQ : Helmreich, Merritt, Sherman, Gregorich, & Wiener, 1993)를 활용하였으며 6개의 항목을 추가하였다. 분석 기법은 집단간의 차이를 분석하고자 할 때 사용하는 T-Test를 사용하였고 설문은 대한항공에서 비행 중인 운항 승무원을 대상으로 하였으며 Electronic survey기법을 활용하였다.

나. 분석

설문 분석은 항목에 따라 직급별, 국적별, 출신

별(Military, Civil)로 나누어 분석하였으며 각 분류 별로 significant association(<5%)이 중첩 발생한 항목에 대해 집중 분석하였다. 'Attitudes about Realistic/Discretionary Use of Automation'과 'Automation Over-reliance Item'에 대한 내용도 분석되었다. 또한 본 연구에서는 발견된 특이한 점은 '자동화 된 조종실에서는 보다 많은 대화가 필요하다'(Automated cockpits require more verbal Communication)에서 33.8%가 '동의'한다고 응답하였다. 그러나 질문을 바꾸어 '나는 자동 비행 상태와 관련하여 standard call-out하는 것은 필요하지 않다'(I feel that the standard call-outs related to the auto pilot system are unnecessary)라고 한 항목에서는 87.8%가 '동의 하지 않음'을 하여 두 항목간 응답자의 반응에 큰 차이가 있다. 즉 'Standard Call-out'은 반드시 필요한데 'Verbal Communication'은 별로 요구되지 않는다고 생각하는 것이다. 이러한 차이점에 유의하여 세부적인 분석을 실시하였다.

Attitudes about Realistic/Discretionary Use of Automation에 대한 연구 결과 'Automated cockpits require more verbal Communication' 항목에 대하여 직급별 차이점은 나타나지 않았으나 출신별로는 민간 출신 조종사, 국적별로는 10개 Category로 나눈 분류 중 한국 조종사들이, 기종별로는 MD82 조종사들이 'Disagree'를 한 비율이 높았다.

'I feel that the standard call-outs related to the auto pilot system are unnecessary.'라고 한 Item에서는 Rank별로는 기장, 국적별로는 Western Europe, 기종별로는 B747 조종사들이 'Agree'를 선택한 비율이 높았다.

그러나 'Automated Cockpit requires more monitoring' Item에 대해서는 81.8%가 'Agree'를 했다. 이 Item 역시 세부적으로 분석해 보면 Rank별로는 F/O, 출신별로는 민간출신, 국적별로는 Africa, 기종별로는 A330조종사들이 'Agree'를 많이 선택한 반면 Rank별로는 Captain, 출신별로는 Military출신, 국적별로는 Asia, 기종별로는 MD11조종사들이 'Disagree'를 많이 선택하였다. 이를 종합적으로 분석해 보면 'Automated Cockpit'에서 최소한의 Standard Call-out'과 'Monitoring'은 반드시 필요하되 Conventional Aircraft에 비해 더 많은 'Verbal

Communication'은 필요하지 않다고 생각하는 것이다.

Automation over-reliance 부분에서는 운항 승무원들이 확고한 Behavior를 갖고 있지 않은 것으로 판단된다.

'Effective pilot always uses the automation tools provided' Item과 'I try to use automation as much as possible during flight' Item에서는 비슷한 분포의 응답(80% 정도가 Agree)을 하고 있으나 'Pilots should avoid disengaging automation' Item에서는 'Agree'가 50%로 줄어들고 있다.

또한 'Use of automation will cause to lose flying skills' Item에서는 33.2%만이 'Agree'를 하였으나 'Maintain flying proficiency by disengaging automation' Item에서 71.3%가 'Agree'로 응답을 하였다.

세부적으로 살펴 보면 'Use of automation will cause to lose flying skills' Item에서는 Table-6에서와 같이 Rank별 분류에서는 기장, 국적 분류에서는 Western Europe(Northern America, Australia) 출신들이 'Agree'를 선택하고 있다. 이 부분은 1998년 때의 24% 'Agree'보다 약 9% 상승한 33.2%가 'Agree'한 것은 특이할 만하다. 특히 외국인 기장들은 약 41%가 'Agree'를 선택하고 있다.

'수동 비행을 통해 비행 기량을 유지하고 있다'(Maintain flying proficiency by disengaging automation)라는 항목에서는 한국인 기장이 어느 집단보다도 높은 비율(77.5%)로 'Agree'를 선택했다. 기종별로는 최신의 Glass Cockpit항공기 이면서 단거리 비행을 하는 B737-800/900 항공기 조종사들이 'Agree'를 많이 선택했다.

그 외의 항목에서 '나는 현재 발생한 비정상 상황에 대해 내가 알고 있는 지식과 항공기에서 지시해 주는 절차가 다를 경우 항공기에서 지시되는 절차를 따르겠다'. (I would follow the displayed procedures in the aircraft when there is an abnormality even if it differs from my knowledge on how to deal with the abnormality)' 라는 항목과 '나는 주어진 시간 안에서 사용할 자동화 수준을 결정하는데 부담을 느끼지 않는다'. (I feel free to select the level of automation at any given time)라는 항목에서는 직급, 국적에 따른 편차는 없었으나 기종별 분류

에서 B777 조종사들이 'Agree'를 많이 선택하였다. 이는 B777항공기의 Automation에 대한 조종사들의 신뢰 정도가 높음을 나타낸다고 볼 수 있다.

III. 결론

Automation을 어떻게 인식하고 사용할 것인가에 대한 해답은 인식과 행동의 차이를 어떻게 해결할 것인가와 동일한 문제이다. 항공기 제작사는 운항 승무원이 Error를 일으킬 수 있는 소지를 최대한 제거하고 승무원들의 행동에 대한 Feedback을 시각적, 청각적으로 정확히 해 주는 System을 개발하여야 한다.

항공사는 항공기 제작사의 Philosophy에 맞는 Policy와 Procedure를 수립하여 적절한 훈련을 실시 해야 하며 운항상 발생할 수 있는 Error와 Threat를 찾아내는 작업을 수행해서 정책 수립과 교육 훈련에 Feedback되어야 할 것이다. 이러한 Tool은 LOSA(Line Operation Safety Audit)와 LOFT(Line Oriented Flight Training)가 있다.

운항 승무원은 Automation을 비행의 주체가 아닌 보조 장비로 개발한 항공기 제작사의 Automation Philosophy를 이해하여야 한다. 즉 비행의 기본은 'Wheel & Rudder'인 것이다. 적절한 Automation의 사용을 위해서는 System의 작동 원리와 진행 상태를 이해하여야 하며 항상 Monitor하여야 한다. 깊은 신뢰는 자신에 대한 만족과 편안함을 줄 수 있을 지는 모르지만 비행 안전을 100% 보장 받지는 못할 것이다. 제 3의 Crew라고 일컬어지고 있는 Automation이지만 아직은 Thinking 기능과 예측 능력이 부족하며 현상에 대한 대응 능력 밖에는 갖추고 있지 못하다는 Situation Awareness가 필요하며 Automation Management에 대한 운항 승무원간 Crew Coordination 훈련이 병행되어야 할 것이다.

참고 문헌

Marianne Rudisill, Ph.D. (2000) *Crew/Automation Interaction in Space Transportation System s: Lessons Learned from the Glass Cockpit Proceedings of the Human Space Transportation & Exploration Workshop*, Galveston, TX.

Taxonomy of Flightdeck Automation Problems and Concerns

<http://flightdeck.ie.orst.edu/FDA/Phase1/fultax.html>

Asaf Degani, Earl L. Wiener *Design and Operation Aspects of Flight-Deck Procedure*

<http://www.engr.ku.edu/~rhale/ae510/websites/weibel/report.doc>

Sherman, P.J., Helmreich, R.L., & Merritt, A.C. *National Culture and Automation : Results of a multination survey*. International Journal of Aviation Psychology

Asaf Degani, Michael Shafto, Alex Kirlik., *Mode Usage in Automated Cockpits : Some Initial Observations*

Earl L. Wiener, Rebecca D. Chute & John H. Moses (1999) *Transition to Glass: Pilot Training for High-Technology Transport Aircraft* NASA/CR-1999-208784

John Wilhelm, William Hines & Robert Helmreich (1996) *Issues inCrew Resource Management and Automation Use : Data from Line Audits the University of Texas Aerospace Crew Research Project* Technical Report 96-2

John Sheehan (1999), *The Tyranny of Automation* <http://www.crm-devel.org>

Vince Mancuso (1995), *What is the Computer doing? Why did it do that? What is it going to do next?* Delta Air Line's flight Safety Magazine 3rd edition