

TEM을 적용한 항공기 정비분야의 Human Error 예방대책에 관한 연구

The Study on the Human Error Prevention in the Aircraft Maintenance by TEM

김천용* (대한항공), 김철영(한국항공대학교)

1. 서 론

항공사고의 조사결과 발표된 사고 원인으로는 특정요소가 개별적이고 독자적인 원인으로 작용하여 발생하기보다는 다양한 위험 요소가 복합적으로 결합하여 일어나고 있으며, 안전 위해 요인들이 관리기준과 규칙의 부재 그리고 무관심함과 안이한 자세로부터 연관되는 인적 요인에 의한 결과가 대부분을 차지하고 있다. 따라서 항공기 사고를 감소시킬 수 있는 바람직한 대안으로는 이미 알려진 위험 요소들이 다른 위험 요소들과 결합하지 못하도록 이를 제거하거나 회피시킬 수 있다면 사고발생을 현저히 감소시킬 수 있을 것이다.¹ 이러한 관점에서 최근 IATA는 산하연구 기관을 통하여 항공안전을 위한 교육프로그램을 개발하고 있으며, 그 일환으로 제 6세대 CRM 과정을 개설하여 각 회원사에 활용을 권고하고 있는데, 1981년 제 1세대 CRM을 시작으로 항공안전 교육 프로그램으로 정착한 CRM은 1996년에 제 5세대 CRM(Error Management Course)으로 발전시켰고, 많은 성과에도 불구하고 미흡한 점을 보완하는 연구가 계속되던 중 2002년 제 5세대 CRM을 보완한 TEM(Threat and Error Management)이라 불리는 제 6세대 CRM이 IATA의 후원으로 개발되었다.² 그러나, 기존의 연구 발표된 TEM의 사례들이 전반적으로 광의적인 개념적 접근을 통한 광의의 항공기 안전운항을 확보하기 위한 관리체계를 다루고 있으며, 이러한 취지에서 국내 외적으로 활발한 연구와 발표들이 진행되고 있으나, 세부적으로는 주로 조종, 관제 및 공항 시설 등에 주안점을 두고 있고, 정비 및 객실분야

에 대한 내용은 항공기 운항(조종)의 측면에서 보면 하나의 위협요인으로 취급되어 있을 뿐이다. 이러한 점들을 보완하기 위해 본 연구에서는 항공정비 업무의 특성과 기존에 연구 발표된 TEM과 Human Factors 모델들에 대해서 고찰해보고, 항공기 정비 분야와 TEM의 접목을 위한 기초 연구로서 정비 부문에서 발생했던 항공기 지상 사고 등을 중심으로 잠재된 실수요인들을 발췌하고 분석하여 TEM이론의 기초단계인 위협요인으로 변형하여 SHELL 모델에 적용시켜 분석함으로써 정비분야 TEM의 연구 및 개발의 발전적 기초를 마련하고자 한다.

2. TEM과 Human Factors 모델에 관한 이론적 고찰

1. Threat and Error Management (TEM)

Captain Dan Maurino³는 Canadian Aviation Safety Seminar에서 Threat and Error Management (TEM)는 모든 것에 우선하는 항공운항과 인간의 능력을 고려한 안전개념으로 혁명적인 개념은 아니지만, 인적요소 지식의 실용적인 통합을 통해서 항공 운항의 안전마진의 개선을 꾸준히 추진해온 결과로 점차적으로 발전되어 왔으며, TEM Model은 동적이고 도전적인 운영상황에서의 운영전망부터 시작하여 인적 행동과 안전의 상관성 이해를 돕는 개념적인 구조라고 소개하였다.

1-1. TEM 모델의 구성요소

TEM 모델은 운항승무원의 관점에서 위협, 실수 및 비 정상적인 항공기 상태 등 3가지 기본

1김맹선, 민간항공 안전의 체계적 개선에 관한 연구, 항공진흥 제 38호, p76.

2배병홍, CRM의 발전과 전망, 제9회 항공안전과 HUMAN FACTOR 세미나, 항공안전본부

3Coordinator, Flight Safety and Human Factors Program - ICAO

구성요소로 되어 있다. 모델은 위협(Threats)과 실수(Errors) 모두가 비 정상적인 항공기 상태(Undesired States)를 생성하는 잠재력을 가지고 있기 때문에 위협과 실수가 승무원에 의해 관리되어야 하는 매일매일의 항공 운항의 일부분이라는 것을 제시한다.

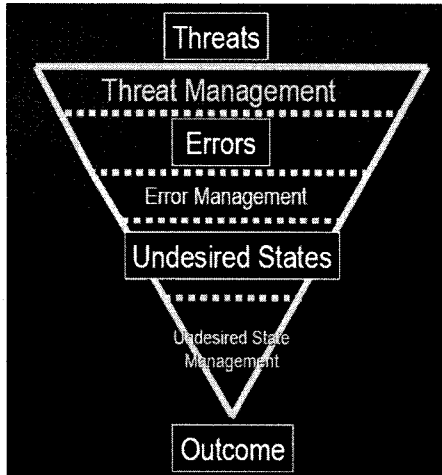


그림 1. TEM 모델의 구성요소

비 정상적인 항공기 상태는 위험한 결과를 초래할 수 있는 잠재력을 갖고 있으므로 비 정상적인 항공기 상태 또한 승무원이 관리 하여야 한다. 비 정상적인 상태 관리는 위협과 실수 관리가 중요한 만큼 TEM모델의 본질적인 구성요소이다. 비 정상적인 항공기 상태관리는 운항중에 위험한 결과를 회피하고, 안전 한계를 유지하는 마지막 기회를 주로 기술한다.

2. 항공정비분야의 Human Factors

항공정비와 연관된 각종 사건이나 사고의 요인 별 비율 분석을 해보면, 인적 요소에 의한 실수, 즉 Human Error에 의한 사건, 사고가 기계적 요인에 의한 것보다 점점 더 큰 비중을 차지하고 있다. 1960년대에 대략 20% 이하에서 1990년대는 80% 이상을 차지할 만큼 큰 폭으로 증가하는 양상을 보이고 있다⁴.

2-1. SHELL 모델

1975년 네덜란드 KLM 항공의 기장 출신인 Frank. H. Hawkins는 Elwyn Edwards가 고안한 SHEL 모델을 수정하여 새로운 SHELL 모델을

을 <그림2>와 같이 제시하였다. 이는 많은 항공기 사고에서 밝혀진 원인을 뒷받침할 수 있는 이론적 근거를 제공하는 유용한 수단이 되었으므로 ICAO에서 추진하는 인적 요소에 대한 이론적 모델이 되었다.⁵

항공정비사의 업무와 관련하여 Hawkins의 SHELL 모델을 고찰하면 중앙에 있는 'L'은 Liveware의 약자로 항공정비사를 나타내며, 하단의 또 다른 'L'도 Liveware로서 항공정비사의 주변에서 항공정비업무와 직접적으로 관련되는 사람이다. 예를 들면 함께 팀을 이루어 작업하는 동료 항공정비사, 감독자 및 검사원들을 말하며, 이를 정비사 이외의 인원들과 관련시키면, 항공정비사의 점검결과를 바탕으로 항공기를 운항하는 운항승무원 및 항공관제사, 항공기 출발, 도착 시에 항공기 주변에서 항공정비사와 함께 항공기 운항을 위한 각종 작업을 수행하는 지상 조업 요원과 승객을 탑승시키고 하기시키는 운송 요원의 관계 등을 말할 수 있다.

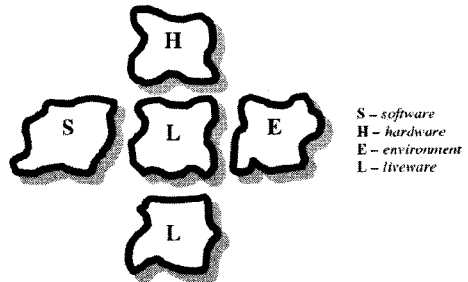


그림 2. SHELL 모델

그림에서의 'H'는 Hardware로 항공기를 포함하여 항공기 정비를 위한 각종 시설, 장비, 공구 등을 나타내는 것이다. 즉, 중앙의 항공정비사와 Hardware의 관계를 나타내는 것으로 설명될 수 있으며, 'S'는 Software의 약자로 항공기 정비에 관련된 법, 규정, 절차, 각종 매뉴얼, Job Card, Check List 등을 의미한다. 즉, 중앙의 항공정비사와 Software의 관계를 의미한다.

'E'는 Environment로서 정비작업과 관련된 주변 환경으로서 날씨, 기온 등은 물론 작업장 내 조명, 습도, 온도, 소음 등 물리적인 환경들도 포함된다. 이와 같이 항공정비사를 중심으로 한 주변의 모든 요소들은 항공정비와 직접적인 관련성을 가지고 있으므로 정비 업무의 능률성과 효율성 및 안전성 확보를 위하여 항공정비사들은

4정비에러와 인적 요인, 교통안전공단, 1998. 8, p

5김철영 외, 항공안전관리론, 한국항공대학교 출판부, 2005.9 p8

업무에서 이들의 상호 연관성을 항상 최적의 상태로 유지한 가운데 업무를 수행하여야 한다는 것과 이러한 요소들의 통합이 인적 요소의 이론적인 배경이다.

2-2. MEDA(Maintenance Error Decision Aid)

Rankin과 Allen(1995)의 연구에 의하면, 비행 중 엔진정지(In Flight Engine Shut Down)의 20%~30%가 정비결함에 기인하였고, 경제적 손실은 엔진 정지 당 약 \$500,000에 이르고 있으며, 엔진과 관련된 비행지연과 결항(Engine Related Flight Delays And Cancellations)의 경우에는 약 50%가 정비결함에 원인이 있었으며, 지연의 경우에는 시간당 \$10,000, 결항의 경우에는 결항당 \$50,000의 비용이 발생한다고 발표하였다. 6 이에 대응하여, Boeing사는 정비업체가 결함 발생요인을 찾아내고 예방책을 강구하는데 도움이 되고자 MEDA(Maintenance Error Decision Aid) 프로세스를 개발하였다.

2-2-1. MEDA Philosophy

과거의 전형적인 정비 결함의 조사절차는 실수를 범한 정비사를 조사하는 것에 초점을 맞추는 경우가 많았다. 그렇게 되면 그 정비사는 방어적인 자세를 취하게 되고, 결국 징계와 재훈련을 받게 된다. 그러나 재훈련으로 지식이 늘어나는 것은 아니며 이는 추후 결함예방에 결코

도움이 되지 않는다. 게다가 실수한 정비사가 밝힐 때까지 결함유발 요인에 관한 정보를 얻을 수 없고 그 결함유발 요인은 그대로 남아 있기 때문에 같은 결함이 또 일어날 수 있다. 이른바 ‘책임을 묻고 훈련시키는(Blame And Train)’ 과정을 순환하게 되는 셈이다.7 그러나 MEDA는 신중한 정비사도 실수를 범할 수 있다는 가정에서 시작함으로써 결함에 관련된 정비사들의 적극적인 참여를 유도하고 있다.

3. 지상사고 관련 위협요인의 분석

항공기 지상사고(Aircraft Ground Damage Incident)는 항공기를 취급하는 인원들에 의해 발생하는 지상 손상사고로서 지상에서 항공기가 위치해 있는 주변이나 Ramp에서 정비행위 과정에서 발생하는 사고를 말한다. 이러한 사고들은 원상 복원을 위한 비용과, 스케줄 변경에 따른 승객의 불편 및 추가적인 정비 Manpower등 항공사로 하여금 유, 무형의 손실을 초래한다. 그러므로 이러한 지상 손상사고가 일어나는 것을 예방하는 것이 궁극적인 비용절감이다.

1. 항공기 정비작업의 특성

항공기 정비에서 “안전”이라는 용어는 2가지 의미를 내포하고 있는데, 하나는 항공기를 다루는 정비사와 시설 및 장비의 보호를 위한 산업 안전과 보건위생에 대한 강조이며, 두 번째는

Hazard pattern	Number of incidents		% of Total
1. Aircraft is Parked at the Hangar/Gate/Tarmac	81		62
1.1. Equipment Strikes Aircraft	51		39
1.1.1. Tools/Materials Contact Aircraft	4		3
1.1.2. Workstand Contacts Aircraft	23		18
1.1.3. Ground Equipment is Driven into Aircraft	13		10
1.1.4. Unmanned Equipment Rolls into Aircraft	6		4
1.1.5. Hangar Doors Closed Onto Aircraft	5		4
1.2. Aircraft (or Aircraft Part) Moves to Contact Object	30		23
1.2.1. Position of Aircraft Components Changes	15		12
1.2.2. Center of Gravity Shifts	9		7
1.2.3. Aircraft Rolls Forward/Backward	6		4
2. Aircraft is Being Towed/Taxied	49		38
2.1. Towing Vehicle Strikes Aircraft	5		4
2.2. Aircraft is Not Properly Configured for Towing	2		2
2.3. Aircraft Contacts Fixed Object/Equipment	42		32
2.3.1. Aircraft Contacts Fixed Object/Equipment	13		10
2.3.2. Aircraft Contacts Moveable Object/Equipment	29		22
Total	130	130	100%

표 4. Ground Damage Incidents Hazards Patterns

6William Rankin, Development and evaluation of the Maintenance Error Decision Aid (MEDA) process, International Journal of Industrial Ergonomics 26 (2000), p. 261-26

7송석훈 역, Boeing AERO Magazine 0호 항공기술과 정보, 한국항공기술협

항공정비사가 운항을 위해 감항성이 있는 항공기를 제공하는 것을 보증하기 위한 과정이다.

2. SHELL 모델을 이용한 위험요인 분석

뉴욕대학의 Caren A. Wenner와 Collin G. Druly의 연구에 의하면, 미국 메이저 항공사에서 발생한 130개의 지상손상사고를 분석한 결과, <표4>와 같이 12개의 뚜렷한 위험 패턴

(Active Failure를 포함하는)이 가려졌고 3개의 위험 패턴이 전체 지상 손상의 81%를 차지하고 있었으며, 다른 9개의 위험 패턴은 깊은 부분에서 많은 잠재 위험과 관련이 있는 것을 발견하였다⁸.

이러한 형식의 분석은 잠재위험을 쉽게 위험 패턴으로 인식할 수 있게 해줄 뿐만 아니라 항

SHELL category	잠재적 위험 요인	위험요인 개요
Hardware	<ul style="list-style-type: none"> 불충분한 장비 ● 작업수행에 맞지 않는 장비 ● 기계적인 문제가 있는 장비 	작업을 수행하기 위한 필요장비가 미비된 상태. <ul style="list-style-type: none"> ● 정비작업을 수행하는 데 있어서 부적합한 장비를 사용하거나 부적절한 장비가 사용하게 된다. ● 작업에 사용되는 장비가 오작동을 일으키는 원인이 되는 기계적인 결함을 가지고 있을 수 있다.
Environment	<ul style="list-style-type: none"> 불충분한 작업공간 ● 혼잡한 작업공간 ● 작업하기 부적합한 공간 	공간의 부족으로 인하여 작업공간이 충분치 않을 경우. <ul style="list-style-type: none"> ● 기타장비, 항공기등이 뒤엉켜있는 공간에서 작업 수행시 주의집중이 이루어지지 않는다. ● 수행되어야 할 작업에 비해 공간이 부적당할 때에는 작업의 품질이 저하된다.
	<ul style="list-style-type: none"> 도색 된 가이드 라인 문제 ● 존재하지 않는 가이드 라인 ● 격납고의 외부와 연결되지 않은 가이드 라인 ● 기종에 적합하지 않은 가이드 라인 	항공기를 위치시키는 가이드 라인에 문제가 있는 경우. <ul style="list-style-type: none"> ● 항공기 위치표시가 되어 있지 않아, 정비를 하는 정비사가 어렵짐작으로 항공기를 위치시키게 된다. ● 항공기를 위치시키는 가이드라인이 격납고의 문에서부터 바로 시작하는 경우, 정비사는 항공기를 격납고 안으로 어렵짐작으로 토잉을 하게 된다. ● 가이드 라인이 그려져 있으나, 다른 기종을 위한 가이드 라인만이 그려져 있는 경우로서 적합하지 않은 가이드 라인의 설정은 충돌사고의 원인이 된다.
Liveware (개인)	위험/장애의 인식 결여	정비사가 자신의 행동과 관련되어 발생할 수 있는 위험을 예지하지 못하는 인식의 결여는 사고의 원인이 된다.
Liveware-Liveware	부적절한 의사소통 <ul style="list-style-type: none"> ● 개인간 의사소통 부족 ● Shift간 의사 소통 부족 	정비사 간의 정보전달의 문제로서 이러한 정보의 결핍은 사고로 이어진다. <ul style="list-style-type: none"> ● 동일 Shift에서 함께 일하는 작업자 간 정보전달의 문제. ● 서로 다른 교대 근무자들 간의 정보전달의 문제
	동시 작업에 대한 인식 부족	항공기의 한 부분에서 일하고 있는 정비사가 항공기의 다른 쪽 편에서 작업하고 있는 다른 사람(다른 부서 또는 조업사 등)을 인식하지 못하는 경우. 이러한 인식의 결여는 사고를 유발할 수 있다.
	정시 출발 유지 압박	정비사는 비용적인 측면에서 개인별 차이는 다소 있지만, 스케줄을 지키려는 압박감을 갖는다. 이러한 압박은 정비사의 결정에 오류를 범하게 하고, 이러한 오류는 사고로 이어진다.
	Pushback 정책이 엄격하지 않음	항공사의 운영절차 안에 문서화 되어있는 Pushback 정책이 항상 지켜지도록 규제되지 않고, Pushback방법이 회사 관행에 따라서 실시되는 경우로서 이러한 관행들은 운영절차를 준수하지 않은 개인으로 인해 사고가 발생할 때까지 모든 사람들이 다르게 되고, 조직에서 또한 문제 삼지 않고(오히려 격려하는 경우도 있음) 행해진다. 정당한 절차를 따르지 않고 그날 그날에 따라 이러한 회사 관행과 타협하여 수행할 경우에는 사고로 이어질 수 있다.

표5. 항공기 지상사고의 위험요인의 분류

후 지상 손상 사고를 미리 예방하는 방법의 개발을 발전시킬 수 있다. 이러한 잠재된 위험 패턴들을 시나리오를 만들어서 검증해 보고, SHELL 모델에 적용하기 위해 요인 간의 분석을 실시한 결과, Software측면에서 발생한 사례는 없었고, <표 5>와 같이 Hardware, Environment, Liveware, Liveware-Liveware로 정리할 수 있었다.

4. 결 론

안전관리 체계란 높은 안전성과를 달성하기 위해 조직 전반에 걸쳐 위험요소를 통합적으로 관리하는 시스템이다. 업무의 각 요소뿐만 아니라 요소 간의 상호연관성을 중시하는 체계이론(Systems Theory)에 입각한 접근법으로서 조직, 구조, 책임, 인적자원, 시설, 절차 등 업무의 전 분야와 단계에 걸쳐 위험요소를 관리하고 감독한다. 즉, 안전관리 체계를 통하여 오류 또는 실수 발생의 가능성을 파악하고, 그러한 잠재적 문제점이 사건, 사고를 초래하지 않도록 겹겹의 방어벽을 설치함으로써 궁극적으로 최선의 업무 방식 실행과 조직 내 안전문화 정착을 지향하는 것으로 정의될 수 있다.⁹ 이러한 관점에서 조종이나 관제에 국한하지 않고 전 부문으로 확대된 통합적인 CRM/TEM 프로그램의 개발은 안전문화의 정착에 크게 이바지할 것이라는 기대는 매우 크다고 할 수 있다. 그러나, 항공기 운항에 안전을 위협하는 요인들을 발체하고 분석할 수 있는 프로그램의 개발에 대해서는 많은 어려움이 예상된다. 즉, 항공운송의 특성상 다직종 다 기능의 인력이 운영되고 있으며, 이에 따라서 안전운항을 위한 위험 및 실수관리 측면에서 운항, 정비 및 객실뿐만 아니라, 화물을 탑재하고, 연료를 보급하는 조업사를 비롯해서, 화물, 운송, 캐터링 등 램프에서 활동하는 모든 종사자들의 실수는 곧 지상사고로 이어진다는 것

을 감안할 때 좀더 실질적이고, 전 부문이 공유할 수 있는 프로그램의 개발을 위한 종합적인 검토가 필요하다.

이를 위해 부문별 사고사례 등을 적극적으로 분석하고 검증함으로써 잠재위험을 쉽게 위험 패턴으로 인식할 수 있게 해줄 수 있는 통합적인 프로그램의 개발을 발전시킬 수 있다.

참 고 문 헌

- 김맹선, 민간항공 안전의 체계적 개선에 관한 연구, 항공진흥 제 38호.
- 배병홍, CRM의 발전과 전망, 제9회 항공안전과 HUMAN FACTOR 세미나, 항공안전본부
- Captain Dan Maurin, Threat and Error Management (TEM), Canadian Aviation Safety Seminar
- 김철영 외, 항공안전관리론, 한국항공대학교 출판부, 2005.9
- Safety Management Manual, DOC 9859, ICAO, 2005
- William Rankin, Development and evaluation of the Maintenance Error Decision Aid (MEDA) process, International Journal of Industrial Ergonomics 26 (2000)
- 송식훈 역, Boeing AERO Magazine 03호, 항공기술과 정보, 한국항공기술협회.
- Caren A. Wenner, Collin G. Druly, Analyzing human error in aircraft ground damage incidents, International Journal of Industrial Ergonomics 26, (2000)
- 한은경, 안전관리체계(Safety Management System), 항공진흥 제 33호
- 정비에러와 인적 요인, 교통안전공단, 1998. 8
- 김천용, Maintenance Human Factors, 정비업무관리, 대한항공 정비훈련원, 2006. 4

⁸Caren A.Wenne, olli G. Druly, Analyzig human error in aircraft groun damage incidents, International Journal of Industrial Ergomics 26, (2000) pp177-19

⁹한은경, 안전관리체계(Safety Management System), 항공진흥 제 33호, p92