

인적오류에 의한 항공정비의 안전과 관리방안에 관한 연구

박세종*, 전언찬**,#

*동아대학교 대학원 기계공학과, **동아대학교 기계공학과

A Study on the Safety and Management Plan of Aviation Maintenance due to Human Error

Se-Jong Park*, Eon-Chan Jeon**,#

*Graduate School of Mechanical Engineering, DONG-A UNIV,

**Department of Mechanical Engineering, DONG-A UNIV.

(Received 29 May 2020; received in revised form 28 July 2020; accepted 30 July 2020)

ABSTRACT

The proportion of airline accidents caused by human factors is steadily increasing. The aviation industry has made considerable progress in reducing the accident rate; however, since the early 1980s, the accident rate has remained constant. Due to airspace congestion, the safety margins of these existing safety promotion methods are gradually decreasing; thus, new methods to prevent accidents and quasi-accidents must be devised. Causative factors of aviation accidents include increased air traffic due to increased air demand, increased cumulative working hours due to long-distance flights, and complicated flight environments. Accidents often occur when several small errors accumulate in the normal course of operation, rather than after a single error. Accordingly, in this study, the impacts on air navigation due to human error by aviation maintenance personnel and varying international standards (i.e., KOCA vs. F.A.A vs. EASA) analyzed, and the relationship between human decision-making and behavior was investigated. The resulting safety analysis and alternatives were presented to prevent aviation maintenance accidents and cognitive ergonomics errors.

Key Words: Human error(인적오류), Decision Making(의사결정), Safety Analysis(안전분석), Cognitive Ergonomics Error(인지적 인간공학 오류)

1. 서 론

항공안전 향상을 위한 항공안전기술은 항공기의 안전성(Safety)과 신뢰성(Reliability)을 기반한 감항성(Airworthiness)이 필수적인 요소이며, 항공운송 산업의 안전운행을 위해 전사적 자원관리(Enterprise resource planing)와 기술전략(Technology

strategy)이 기반 선행되어 불안정한 요인을 사전에 제거하기 위한 시스템의 재구축 또한 불가결한 요소로 적용된다^[1]. 1980년대 부터 항공사고율이 일정한 수준을 유지하며 Table 1과 같이 큰 변화 없이 정체현상을 나타내고 있는데, 이는 사고(Accident) 및 준사고(Incident)를 막을 수 있는 새로운 방법을 모색해야 함을 암시한다^[2].

항공정비안전을 위한 기술적 요소들이 개선되고 있지만 항공운송산업의 수요 증가에 따른 항공 교통량 증가와 장거리 비행의 누적근무시간에 대한

Corresponding Author : ecjeon@dau.ac.kr

Tel: +82-51-200-7644, Fax: +82-51-200-7659

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Table 1 Number of accidents by year

Year	The Number of Occurrence	Casualties	Accident Classification				
			Accident	Hijacking	Criminal	Other	Unknown
1990	232	1,184	173	38	9	7	5
1991	231	1,820	165	20	22	20	4
1992	253	2,069	200	11	7	25	10
1993	263	1,547	195	36	7	21	4
1994	242	1,762	185	27	6	20	4
1995	242	1,634	221	12	5	4	0
1996	222	2,604	197	17	1	4	3
1997	222	1,609	198	12	4	4	4
1998	217	1,581	176	14	6	18	3
1999	226	981	185	13	11	16	1
2000	202	1,468	160	27	2	11	2
2001	212	4,007	177	11	7	17	0
2002	214	1,348	187	10	1	15	1
2003	210	1,128	182	9	3	15	1
2004	185	669	173	4	4	4	0
2005	202	1,351	179	1	1	21	0
2006	204	1,198	183	3	1	17	0
2007	203	910	179	6	6	12	0
2008	200	788	181	2	0	17	0
2009	189	1,013	178	4	2	5	0
2010	173	1,045	153	1	1	18	0
2011	165	689	144	1	4	16	0
2012	156	693	138	4	1	12	1
2013	185	355	173	1	2	9	0
2014	190	1,219	149	3	24	14	0
2015	192	839	162	0	12	18	0
Total	5,431	35,511	4,593	287	149	360	43

피로도 그리고 복잡해지는 비행환경에서 발생하는 사고 요인들로서 항공사고요인은 상시 존재하고 있다. 지속적으로 개발되는 항공정비전산관리 시스템은 인적 요소의 문제점들을 사전에 제거하기 위해 안전성과 신뢰성의 향상을 목표로 하고 있으며^[3], 4차 산업혁명 시대 AI(Artificial intelligence)기반 항공정비관리 시스템의 핵심 주제는 인간의 실수를 어떻게 보완할 것인가에 대한 방안을 모색함으로써 모든 측면에서 인적오류를 최소화하는데 그 초점이 맞춰져 있다고 하겠다. 항공정비 작업은 운항을 앞둔 항공기에서 결함이 발견 되었을 때 정확하고 효율적인 정비를 위해 최대한 신속한 조처가 요구되지만 긴박한 상황에서 전달되는 기술 지원이 명확하지 않을 때 주어진 시간에서 느끼는 압박과 긴장감이 정비작업 현장에 일반적인 인간의 실수 경향과 상황적 특성으로 인한 다양한 형태의 오류를 낳게 한다. 결국 사고란 한 가지 과오에 의한 것이 아니라 여러 가지 작은 과오들이 누적되었을 때 발생한다^[4].

이에 본 연구에서는 항공정비사의 인적오류로 인한 항공운항에 미치는 영향과 우리나라와 F.A.A(Federal aviation administration), EASA(European union aviation safety agency)의 인

적오류로 인한 사고와 미국과 유럽의 국제기준 관계를 비교 분석하여 인간의 의사결정과 행위의 관계에 대해 인간공학의 범주에서 안전영향을 재해석하고 관리방안에 대해 제시하였다.

2. 인간공학

인적 오류로 인한 사고의 근본적인 성격은 인간이 일으킬 수 있는 불안정한 행위(Unsafe acts)를 의미하는데 아래 Fig. 1에서 크게 오류(Error)와 위반(Violation)으로 나눌 수 있고 오류는 일반적으로 실수(Slip), 기억실패(Lapse), 착오(Mistake)의 3가지로 구분이 되며 인적 오류(Human error)가 발생했다는 것은 의도한 목적을 이루기 위해 계획한 행위들이 실패하여 의도하지 않은 결과를 낳았다는 것을 의미한다.

계획은 적절한데 행위가 계획대로 이루어지지 않은 경우를 실수(Slip)라고 하고 계획이 부적절하여 실패한 경우를 착오(Mistake)라고 한다. 그리고 기억의 문제로 생긴 오류를 구분하여 기억실패(Lapse)라고 한다. 또한 위반은 안전하고 효율적인 작업을 위해 만들어진 규칙, 규정, 절차, 지시로부터 벗어난 것을 의미한다^[5].

실수는 주의나 인식의 실패와 관련된 것으로 대부분 신속히 발견이 가능하여 손실로 이어지는 않지만 기억실패의 경우는 실수보다 내면적이고 발견하기 어렵기 때문에 더 위험하다^[6]. 작업을 마친 후 더 이상의 점검이 불필요하다고 생각할 때 문제가 악화될 가능성이 있다. 기억실패보다 착오가 더

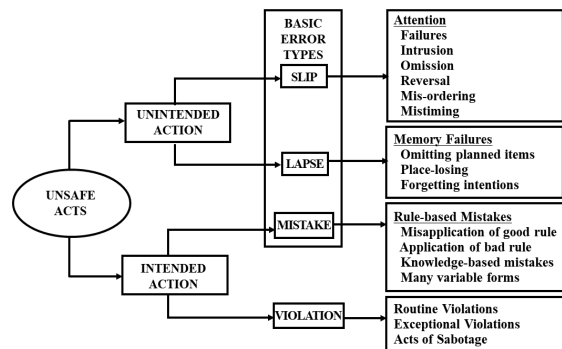


Fig. 1 Reason(1990) classification of unsafe behavior

위험하며 작업 수행자가 착오를 했을 때 자신이 작업을 정확히 수행하고 있다고 생각하여 자신의 잘못에 관한 내용들이 무시되기 때문이다^[7]. 인간은 무엇인가에 몰입할 때는 중요한 자극이 있음에도 불구하고 무시하거나 버리게 되어 적절한 행동을 취할 수 없게 되는 상황에 이르게 된다. 그리고 복합적으로 나타난 문제 상황은 의도치 않은 무의식적인 행동에 의한 결정을 유발하며 이로 인한 결과는 실수 이상의 사고로 연결된다^[5].

인간은 수용 가능한 한계를 초과할 때 불안정한 행동을 유발하며 오류의 다면적 특성을 내포한 인간이 실수를 초래하는 것은 당연하다^[8]. 현재 산업 현장에서 인적오류에 의한 사고 요인을 예방하기 위해 여러 가지 시스템이 활용중이며 본 연구에서는 FTA(Fault tree analysis) Fig. 2, 3, 4에서 시스템의 오류를 발생시키는 원인들과의 관계를 논리적으로 사용하여 나뉘어가지 모양으로 나타낸 Fault tree를 만들고 이에 의거하여 인적오류로 인한 사고사례를 근거로 인간공학에서 사용되는 연구의 범주에서 취약 부분을 찾아내어 시스템의 신뢰도를 개선하는 정량적 고장해석 및 신뢰성 평가 방법을 적용하고 이에 대한 결과를 도출하였다.

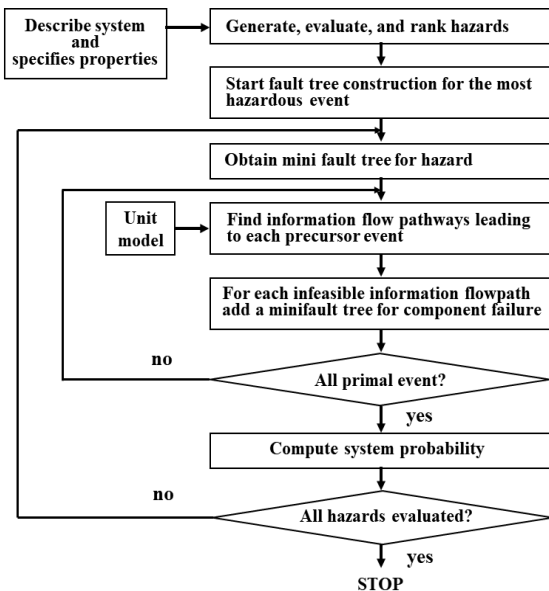


Fig. 2 FT Creation strategy algorithm

■ Fractional Dead Time

The average probability of the system being in a failed state. [Dimensionless]

The mean fraction of time in which a component or system is unable to operate on demand.

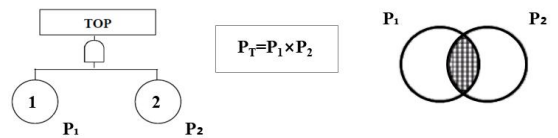
$$FDT = 1/2 \times \theta \times T \text{ If } \theta \times T \ll 1 \text{ [Times/yr] [yr]}$$

■ Hazard rate

The Frequency with which hazards occur.

$$\text{Hazard rate} = \text{Demand rate} \times FDT = D \times (1/2) \times \theta \times T \text{ If } \theta \times T \ll 1 \text{ [Times/yr] [yr]}$$

a) AND Gate



b) OR Gate

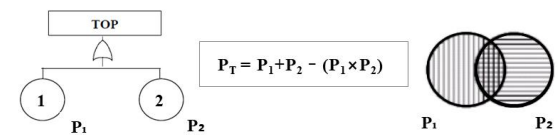


Fig. 3 FTA: Fault tree analysis (Boolean algebra)

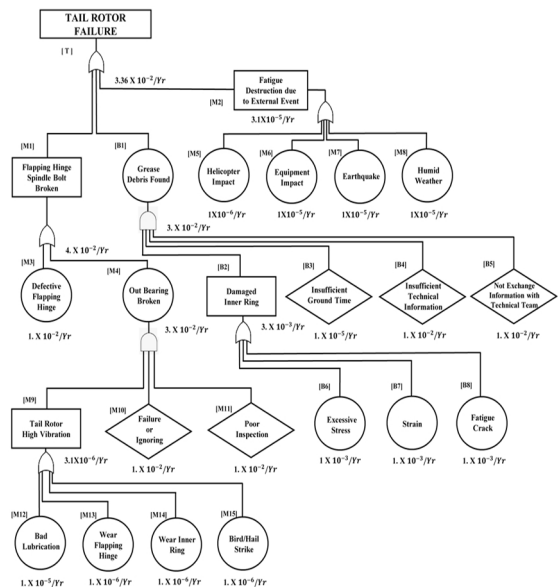


Fig. 4 Accident case fault tree analysis

Fig. 4의 정량적 평가에서 M1과 M4로 인한 결합이 가장 큰 위해 요소로 작용 되었다. 그리고 결합 빈도와 교정 조치 작업은 M1 및 M4에서 가장 생산적이며 최상위 이벤트 [T]까지 결합빈도 및 확률이 테일로터 결합 발생의 원인이 되는 M10, M11, M12는 B3, B4, B5가 바탕이 된 B1에서 테일로터의 결합이 그리스에 검은 금속 Debris를 발견한 후 약 3주 뒤 도래하는 계획 점검일에 검사하려는 해당 사고기 확인정비사의 판단이 불안정한 행위를 낳게 되며 실수와 착오를 저지르게 된다. 이에 결합수 분석법을 적용하여 분석한 결과 잠재적 결합과 안전성에 대한 위험요소의 식별이 가능함을 알 수 있었다.

3. 인적오류 규제 기준

3.1 미연방항공청(FAA: Federal aviation administration)

1988년 미국 Aloha항공의 B737 항공기 사고 이후 항공정비의 Human Factors 분야에 관심을 갖기 시작한 이래 미국, 유럽 등에서 해당 연구를 지속해 왔고, 보잉사에서는 Fig. 5와 같이 항공정비 인적오류를 판별할 수 있는 MEDA(Maintenance error decision aid) 모델을 개발하여 항공운항 및 정비 분야 실무에서 활용하고 있다. 항공운항중 발생하는 Event는 오류(Error)나 위반(Violation) 또는 오류와 위반의 조합에 의해 발생하는 기여 요인들은 의도성이 없으며, 위반의 경우는 의도적인 금지 행위에 대한 기여 요인들에 의해 발생하게 된다.

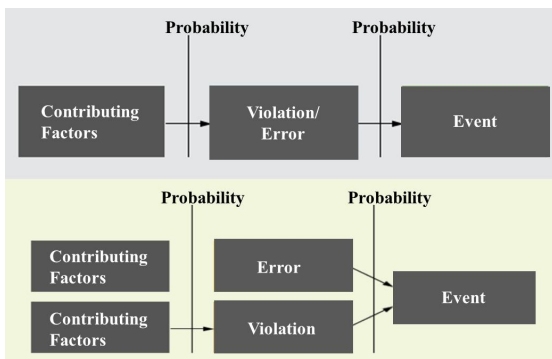


Fig. 5 MEDA event model

FAA의 항공우주의학실은 항공안전 인적요인 연구 프로그램 개발과 항공정비관련 인적요인 정책 FAA Order 9550.8A, 항공정비와 검사에 대한 인적요인 지침서, 항공정비 및 공항운영 관련 인적요인 운영자 매뉴얼, 항공정비인적요인 훈련 프로그램을 연구 개발하고 있다⁹⁾.

3.2 유럽연합항공안전본부(EASA: European union aviation safety agency)

EASA IR(Implementing rule) Part 145와 Part 66 (2003)에서 인적요인과 관련된 규제를 구체적으로 명시하고 있다. Part 145에서는 항공사 조직이 항공정비사를 포함한 항공종사자 인적요인에 대한 교육을 받아야 한다고 명시하고 있으며 Part 66에서는 항공정비사 자격시험에 응시하기 위해서는 인적요인에 대한 교육훈련을 받아야 한다. 항공정비사는 자신의 육체적 또는 정신적 상태가 인가된 자신의 업무를 수행하는데 부적절 하다고 판단이 되면 그러한 업무를 수행하여서는 안 된다고 명시하고 있다. EASA GM 145.A.30(Training syllabus for initial human factors training)에서는 10개의 모듈(Module)과 58개의 서브토픽(Subtopic)으로 인적요인 훈련프로그램을 구체적으로 갖추도록 권고하고 있다¹⁰⁾.

3.3 한국 국토교통부(MOLIT : Ministry of land, infrastructure and transportation)

우리나라 항공법에는 제74조의3(운항기술기준의 준수)에 의거, 소유자등 및 항공종사자는 제74조의2에 따른 운항기술기준을 준수하도록 되어 있으며 항공정비인적요인에 관련된 규제는 ICAO 기준(Annex 1: 자격분야, Annex 6: 운영분야)에 맞춰서 운항기술기준과 항공기 기술기준에 반영되어 있다.

운항기술기준에 따르면 항공기 정비프로그램과 검사프로그램에 인적요인을 반영하고 인적요인의 적용에 관한 지침은 ICAO Doc 9683(Human factors training manual)과 ICAO Doc 9758(Human factor principle)을 참조하도록 명시하였으며 제6장 정비조직의 인증서에는 정비 분야 인적요인(Human factors in aviation maintenance), 교육훈련의 요건(Training requirements), 정비훈련프로그램은 인적 수행능력

(Human performance)에 관한 지식과 기량에 대한 교육을 포함하여야 하고 정비요원과 운항승무원과의 협력에 대한 교육을 포함하여야 한다라고 명시되어 있다. 항공정비인적요소 훈련시간은 년 4시간 이상 실시해야 한다. 인적요소 교육은 원칙과 절차를 이해하는데 필요한 지식을 제공하며 해당 작업을 수행하는 항공정비사의 안전의식 수준을 높인다 [9].

4. 인적오류에 의한 사고사례

2017년 11월 8일 14시 29분, Fig. 6과 같이 일본의 T 항공서비스 소속 아에로스파시알 AS332L 헬기 (등록번호 : JA9672)가 비상착륙을 시도하다가 Tail-boom(헬기꼬리부분)이 통째로 떨어져 나가 군마현 다노군 우에노무라 소재 하천 부근에 추락했다.

Fig. 7에서 보는 바와 같이, 5개의 테일로터 블레이드(날개) 중 1개의 블레이드에서 결함이 발견되었으며, 블레이드 플래핑 힌지의 스핀들 볼트가 부러져 블레이드가 어긋나 있었다.



Fig. 6 JA9672 accident

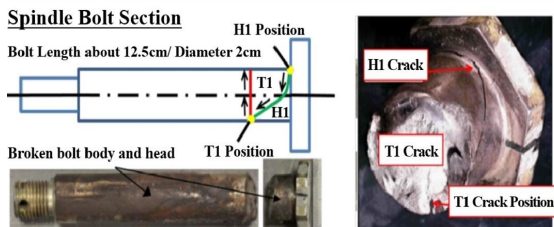


Fig. 7 Broken spindle bolt

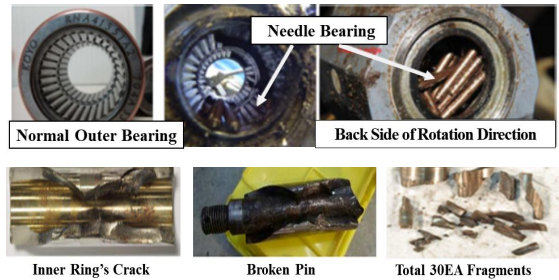


Fig. 8 Damaged outer bearing

Fig. 8에서 스핀들 볼트와 이를 감싸고 있는 내부 금속 링이 파괴되어 있었으며, 내부 금속 링을 빙글빙글 도는 니들롤러 베어링의 몸체가 고착되었고 충격(비틀림 힘)으로 인해 내부 금속 링과 볼트가 파괴된 것으로 분석되었다. 사고 헬기는 사고 5개월 전인 2017년 6월 중순경부터 테일로터 내부 Grease에 금속가루가 섞여 들어가 검게 변색되는 현상이 식별되었으나, T 항공서비스사는 테일로터 계통의 정밀점검을 수행하지 않았다.

또한 사고 1개월 반 전인 9월말에 정비를 받던 중 내부 금속링이 수개의 조각으로 파괴되어 있는 중대하고 비정상적인 상태(Fig. 9)가 확인되었으나 정비사는 단순히 문제의 링을 교체하는 것으로 정비를 마쳤으며 이러한 상황을 사내 기술팀이나 제조사(에어버스 헬리콥터)에 보고하지 않았다.

한편 제조사의 매뉴얼은 이러한 현상을 중대한 현상으로 규정하고 있었으나 이 사실이 T 항공서비스사의 정비사들에게는 전달되지 않았으며 사고 헬기는 사고 일주일 전인 10월 31일에 테일로터 계통 결함인 것으로 추정되는 비정상적인 진동이 있었음에도 12월 정기 점검때 규명하기로 미루며 즉각적인 원인규명 행위는 이루어지지 않았다.

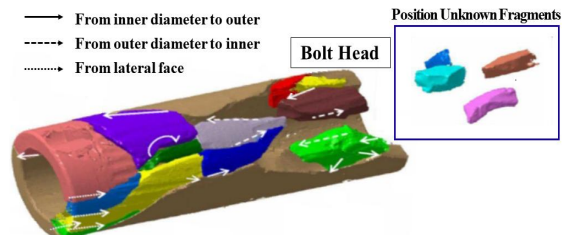


Fig. 9 Damaged inner ring

결론적으로 테일로터가 정비 과정에서 이상 징후를 보였으나 결함수정 조치가 되지 않아 결국 스핀들 볼트가 부러져 심한 진동이 발생했으며 이로 인해 조종사가 급감속을 하고 비상착륙을 시도하던 중 테일로터의 불균형이 심화되어 과도한 응력이 가해져 테일로터가 통째로 떨어져 나가면서 사고가 발생한 것이다. T 항공서비스 JA9672 헬리콥터의 사고과정을 통해 인적오류는 인간의 불안정한 행위에서 야기된다는 것을 알 수 있다. 기계의 진동 발생은 매커니즘 내부의 손상이 진행되고 있음을 감지하고 정밀점검이 요구 되었지만 T 항공서비스 사내 기술팀과의 내부 교류가 없이 정기점검 때 점검하기로 결정하고 지속 운영 중에 사고를 초래했다. 사고기 확인정비사의 기술적 지식의 부족함은 없었지만 해당 사실을 공유하며 사고기 제작사에 기술정보를 요청했다면 사고를 미연에 예방할 수 있었을 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 항공정비사의 인적오류가 항공안전에 어떠한 영향을 미치는지 사례를 분석하여 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 인간공학적 관점에서 항공정비사의 임의 판단으로 인한 실수와 착오 등의 인적오류가 규정 위반으로 이어지는 것 또한 사고와 직결됨을 알 수 있었다.
2. 인적오류에 의한 사고를 예방하기 위해서 인적요소를 분석한 항공기술정보를 휴대용 스마트폰 기기의 블록체인 시스템으로 접속되어 언제 어디서나 확인 가능 하도록 항공사와 유관부서 간 공유가 원활하도록 개선이 필요하다.
3. 국내 민·관·군 항공부서 조직은 다양하고 많으나 적기에 전문적이고 체계적인 항공안전교육을 받을 수 있는 곳이 부족하므로, 항공정비안전 전문강사 양성과 인프라를 확충할 수 있도록 정부의 정책적인 지원이 필수적이라 하겠다.

Human Factors Models for Aviation Accident Analysis and Prevention, Ashgate Publishing, pp. 206-209, 2015.

2. Lee, Y. H., "A Revisit to the Technical Issues and Approaches for the Investigation of Human Error Events," Journal of the ESK, Republic of Korea, Vol. 44, No. 1, pp. 3-4, 2019.
3. Balbir, S. D., Human Reliability, Error, and Human Factors in Engineering Maintenance, CRC Press Publishing, pp.80-86, 2009.
4. Choi, Y. C., Kim, Y. K. and Kim, C. Y., "A Study on the Detailed Classification and Empirical Analysis of Human Error," Journal of the KSAA, Republic of Korea, Vol.10, No.1, pp.4-5, 2002.
5. Kim, C. Y., Aviation and Human Factors, Korea Aerospace University Publication, pp.323-350, 2012.
6. Park, S. A., Son, Y. W., Kwon, B. H., Seol, J. W., Kim, Y. S., Kim, D. H., Kim, K. T. and Jang, S. W., Aviation Psychology - Psychological Understanding of Human Factors, Hakjisa Publication, pp. 154-177, 2006.
7. Chung, Y. H., "Research Trend of Communication Analysis and Human Error," Journal of the ESK, Republic of Korea, Vol. 30, No. 1, pp. 2-4, 2011.
8. Moon, W. C. and Kim, W. Y., "Establishing the Importance Institution for Prevention of Human Error," Journal of the KONI, Republic of Korea, Vol. 17, No. 4, pp. 3-5, 2019.
9. Kim, C. Y., Aviation Human Factors and Maintenance Safety, Node Media Publication, pp. 31-34, 2016.
10. Lee, K. H., Kim, J. H., Bae, E. S., Lee, D. H. and Ham, D. Y., "The Road map of Analysis System for Potential Cause of Aviation Accident," Journal of the KSAS, Vol. 33, No. 10, pp. 5-7, 2005.

REFERENCES

1. Thomas, G. G., Mark, S. Y. and Neville, A. S.,