



Received: 2026/04/05
Revised: 2026/04/16
Accepted: 2026/05/18
Published: 2026/06/30

***Corresponding Author:**

Songhui Kim

369, Sangdo-ro, Dongjak-gu, Seoul 06978,
Republic of Korea

Tel: +82-2-820-0257

E-mail: joowonlee@ssu.ac.kr

항공 정비 인적요인에 관한 연구

Human Factors Management for Aircraft Maintenance

김승희^{1*}, 문종오¹, 이준원²

¹숭실대학교 안전보건융합공학과 박사과정

²숭실대학교 안전보건융합공학과 교수

Songhui Kim^{1*}, Jong O Moon¹, Junwon Lee²

¹Ph.D. student, Dept. of Safety & Health Convergence Engineering,
Soongsil University

²Professor, Dept. of Safety & Health Convergence Engineering,
Soongsil University

Abstract

본 연구는 군의 항공 정비 사고와 이벤트 발생의 원인이 되는 기여요인을 식별하고 이를 통하여 정비 분야의 예방적 안전관리에 도움을 주기 위해 수행되었다. MEDA(정비오류 판별기법: maintenance error decision aid) 모델을 활용하여 공군 항공기 정비사고 및 이벤트를 분석하였으며, 정비결함 현황과 기여요인들이 구체적으로 밝혀졌다. 이러한 결과는 해군의 항공기 정비 분야에도 유용하게 적용할 수 있음을 시사한다. 또한 모든 군에서 사고나 이벤트의 기여요인을 사전에 파악하여 제거하거나 관리한다면 항공기 정비 결함 감소에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

This study aimed to identify contributing factors underlying military aviation maintenance accidents and events and to support preventive safety management in aircraft maintenance. Air Force aircraft maintenance accidents and events were analyzed using the Maintenance Error Decision Aid (MEDA) model, and the status of maintenance defects and contributing factors was systematically characterized. The findings indicate that the approach is applicable to naval aircraft maintenance. In addition, aircraft maintenance defects can be reduced if the factors contributing to accidents or events are identified, removed, or managed in advance.

Keywords

항공정비인적요인(Aircraft Maintenance Human Factors),
항공정비결함(Aircraft Maintenance Defects),
항공정비인적에러(Aircraft Maintenance Human Error),
정비오류판별기법(Maintenance Error Decision Aid (MEDA)),
기여요인(Contributing Factors)

1. 서론

최근 12년간(2010~2022) 공군에서 발생한 항공기 사고 31건 중 인적요인 관련 정비결함 사고는 5건(중사고 2건, 경사고 1건, 준사고 2건)이며, 이는 전체 사고의 약 16%를 차지한다. 정비 분야에서 사고로 이어지지 않은 사례를 포함하면 모두 60건이 인적 에러와 관련이 있었다. 항공정비 분야에서 인적 에러를 줄이는 도구 MEDA(maintenance error decision aid: 정비오류 판별기법)가 사용되고 있으며, 수년간 정비 인적 요인 사고 감소에 효과가 있음이 증명되었다. 이에를 활용하여 정비결함으로 일어난 사고와 이벤트(event)를 분석하고 제시함으로써 인적 에러로 인한 항공기 정비결함을 줄이는데 도움을 주고자 한다.

2. 본론

2.1 분석모델 MDEA(정비오류 판별기법)

MEDA는 정비 인적요인을 체계적으로 조사·관리하기 위해 고안된 안전관리 기법으로 정의된다. 1992년 보잉(Boeing)사와 미국 연방항공청(Federal Aviation Administration, FAA)이 공동으로 개발하였으며, 그 결과물인 사용자 안내서(user guide)와 MEDA 결과 양식(result form)이 1995년에 모든 민간항공사에 보

급되었다[1]. 초기 단계에서는 정비 오류 판별에 초점을 맞추었으나, 2000년대 초반에는 사내 정책·프로세스 위반 등의 요인이 추가됨에 따라 사건조사 과정(event investigation process)으로 기능이 확장되었다.

2.2 MEDA의 철학

MEDA는 정비 작업에서 발생하는 오류와 규정 위반이 단순히 개인의 의도적 행동에 기인하는 것이 아니라, 작업 환경이 제공하는 기여요인(contributing factor)에 의해 유발된다는 인식에 근거한다. 이러한 관점은 정비사가 옳은 일을 수행하려는 상황에서도 시스템적·조직적 요인에 의해 비의도적 에러가 발생할 수 있음을 강조한다. 따라서 MEDA는 오류 자체를 비난하기보다는 오류를 유발한 작업장 요인을 체계적으로 식별·관리함으로써, 향후 더 심각한 이벤트의 재발을 방지하고자 한다.

2.3 에러와 위반

에러는 작업자가 기대했던 행동이나 동작에서 의도치 않게 이탈한 인간 행동을 의미하고, 위반은 동일한 기대 행동을 의도적으로 어겨 규정·정책·절차 등을 위배하는 것을 말한다. 위반은 일상적, 상황적, 예외적으로 구분된다.

2.4 기여요인(Contributing Factors)

기여요인(contributing factor)은 인간의 수행능력에 영향을 미치는 모든 요소를 뜻하며, 정비시스템 모델에서는 정비사가 업무를 수행하는 과정에서 영향을 받는 모든 요소를 의미한다. Fig. 1에서 개인은 조직이 개발한 정책과 절차에 따라 감독 중인 직접적 작업환경에서 일한다는 것을 알 수 있다. 개인은 직접적 환경요인 안에서 작업을 하고 각각의 주요 요소는 그 위 단계 요소들의 영향을 받는다. 따라서 직접적 환경요인은 관리자(책임자), 조직의 요소들로부터 영향을 받게 된다. 초기 MEDA 테스트 결과 기여요인은 평균적으로 약 4개가 관련되어있음이 발견되었으며, 에러가 일련의 기여요인에서 비롯된다고 말한다. 위반 또한 기여요인이나 일련의 기여요인 때문으로 보고 있다. 정비사 개인은 전체 시스템의 한 부분이

며, 따라서 정비사에게만 모든 초점(focus)을 맞추는 것을 지양하고 모든 기여요인을 고려해야 한다[2].

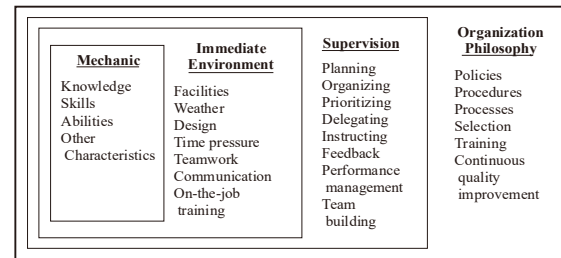


Fig. 1. Contributing factors

2.5 MEDA 에러 모델

Fig. 2와 같이 기여요인은 이벤트를 일으키는 위반 또는 에러를 발생시킨다. 이때 기여요인이 반드시 이벤트를 일으키는 것이 아니므로 기여요인의 존재와 이벤트의 발생을 확률적 관계로 보아야 한다. 에러와 위반은 기여요인의 다양한 조합에 의해 발생한다.

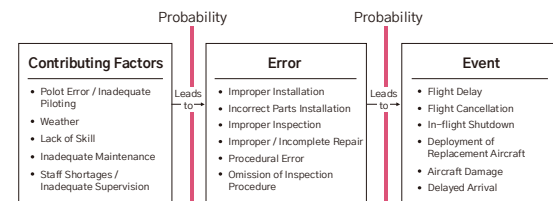


Fig. 2. MEDA model (MEDA user's guide)[3]

2.6 MEDA Result Form(정비에러 작성양식)

MEDA는 정비사 또는 검사자에 관련된 정비 이벤트의 원인을 조사하는 데 사용되는 프로세스이다. MEDA result form은 6개의 section으로 구성되어 있으며, 각 섹션별 작성 내용은 Table 1과 같다. 본 연구에서는 MEDA result form을 공군 정비사고 및 이벤트 분석에 적합하도록 기여요인을 재분류하여 ‘정비에러 작성양식’으로 변경하여 사용하였다.

3. 분석대상 및 방법

3.1 분석 대상

2011년부터 2022년까지 발생한 공군의 항공 정비

Table 1. MEDA result form [4]

Section I	General Information Create general information such as date of event, aircraft type and registration symbol, etc
Section II	Event Check for events such as cancellations, turnovers, aircraft damage, rework, etc. and describe the cause of the defect
Section III	Maintenance System Failure Select and Check maintenance defects that have caused problems with the aircraft and describe maintenance errors
Section IV	Contributing Factors Checklist It consists of the fundamental contributing factors that caused the maintenance system error, and all applicable matters are checked
Section V	Error Prevention Strategies list the system barriers that failed to prevent the error and recommendations for prevention strategies to prevent the error from occurring again
Section VI	Summary of Contributing Factors, Error, and Event summary of the whole incident, including the contributing factors.

관련사고 및 이벤트 75건을 분석하였다. 그 중 정비 결함요인에 해당하지 않은 6건을 제외하고 69건의 정비사고(5건) 및 이벤트(64건)를 분석하였다.

Table 2. Number of maintenance related accidents and events

Year	Number of events
2011	9
2012	6
2013	3
2014	9
2015	2
2016	2
2017	8
2018	7
2019	5
2020	6
2011	7
2022	8
Total	72

3.2 분석 방법

공군 정비사고 및 이벤트 분석에 적합하도록 기여 요인을 재분류한 ‘정비에러 작성양식’을 사용하여 공군에서 최근 12년간 발생한 사건 중에 정비 인적요인

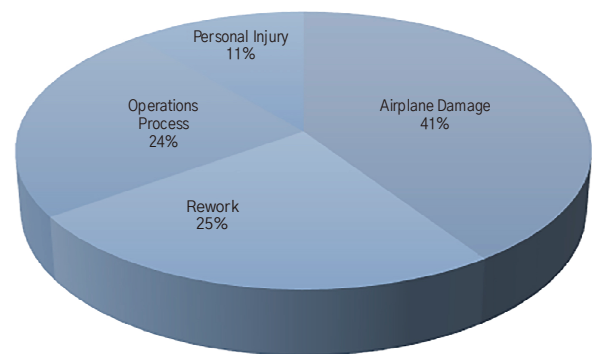
으로 분류된 사고와 이벤트를 분석하였다. 사고조사 결과 보고서는 공군 항공안전단 안전조사실의 협조를 받은 공식적인 사고조사 결과 보고서를 사용하였고, 사고에 포함되지 않은 사례들은 각 비행단의 정비 품질관리담당의 협조를 받아 수집된 결과 보고서를 분석하였다.

기여요인 분석의 경우 수집된 결과 보고서만으로는 식별의 한계가 있어 당사자의 인터뷰 내용과 블랙박스 음성녹음 기록 등을 참고하였다.

4. MEDA 분석 결과

4.1 이벤트 분석 결과

비행에 영향을 미침, 항공기 손상, 인명 손상 또는 재작업(rework) 등과 같은 항공기 이벤트에 대하여 다중선택 분석 결과 89건이 발생하였다. 이 중 항공기 손상이 36건으로 전체 이벤트의 40.4%로 가장 많았으며, 재작업 22건(24.7%), 비행에 영향을 미침 21건(23.6%), 인명 손상 10건(11.2%) 순이었다. 비행에 영향을 미치는 요인을 상황별로 구분해 보면, 비행 취소와 이륙 후 긴급귀환이 각각 6건으로 가장 많았으며, 비행 지연 4건, LCI에서 return이 3건, 비행 중 엔진 flame out과 대체비행장에 착륙이 각각 1건으로 나타났다.

**Fig. 3.** Aircraft event status

4.2 정비결함 현황

항공기 이벤트를 유발하는 69건의 정비결함을 분석한 결과 장착결함이 24건(34.8%)으로 가장 많았으며, 특히 완전하게 장착하지 않은 사례가 9건으로

가장 많았다. 항공기, 장비 손상이 19건(27.5%), FOD 8건(11.6%), 부적절한 고장탐구, 검사 및 기능검사 7건(10.1%), 인명 손상 5건(7.2%), 서비스 미흡 4건(5.8%), 부적절, 불완전한 수리 2건(2.9%) 순이었다.

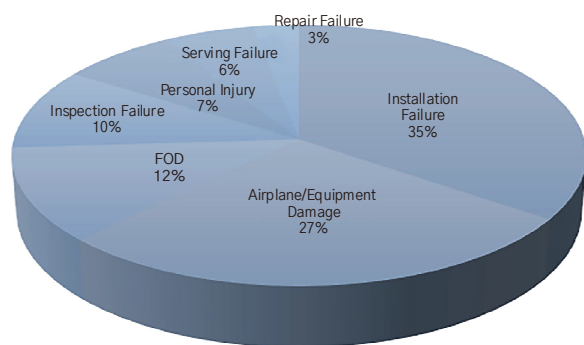


Fig. 4. Maintenance system failure

4.3 기여요인 분석 결과

정비 결함에 기여하는 요인 10가지를 분석한 결과 총 335건으로 나타났다. 정비사의 작업 수행에 영향을 미치는 환경적 요인이 163건, 정비사의 행동에 영향을 미치는 행동적 요인이 172건으로 나타났으며, 환경적 요인에서 정비정보는 즉, 기술도서, 작업카드, 기술회보, 부품도해목록(IPC) 등의 요인이 17건, 정비사의 작업수행능력과 안전에 영향을 미치는 장

비, 공구, 안전 장구요인이 29건, 정비사의 접근이 어려운 설계, 외장, 부품에 관한 요인이 8건, 단순 반복 작업이거나, 복잡하고 혼동을 초래하는 업무, 작업순서 등의 직무 요인이 17건, 기온이나 날씨, 조명 등 작업장에서 정비사의 정비능력수행에 영향을 미칠 수 있는 환경, 시설 요인이 25건, 절차를 지키지 않거나, 인원 부족, 잘못된 조직문화 등 조직적인 요인이 67건으로 나타났다. 정비사 행동에 영향을 주는 요인에서는 기술적인 기량 및 직무계획 등 정비사 기술지식, 숙련도 요인이 22건, 피로, 시간 제약, 체면, 자만심, 기억실패 등 개인적인 요인이 63건, 조직적인 요인과 관련이 깊은 리더십, 감독 요인이 51건, 그리고 개인 간 부서 간 등의 서면 또는 구두 의사소통 요인이 36건으로 나타났다.

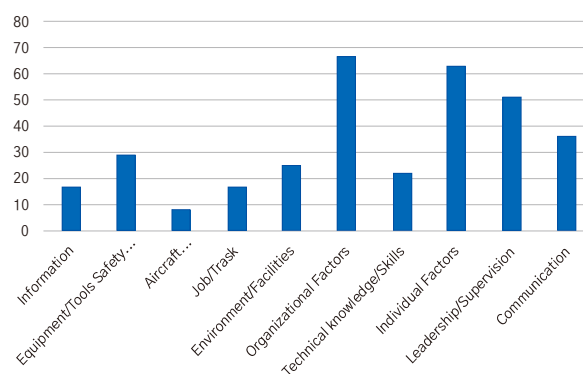


Fig. 5. Contributing factors

Table 3. Maintenance error * contributing factors

Contributing Factors	Maintenance System Failure							Total
	Installation Failure	Serving Failure	Repair failure	Inspection failure	Foreign Object Damage	Airplane / Equipment Damage	Personal Injury	
Information	4	1	1	5	2	2	2	17
Equipment/Tools Safety Equipment	11	0	0	3	3	4	8	29
Aircraft Design Configuration/Parts	5	0	0	0	0	3	0	8
Job/Task	5	1	0	3	2	5	1	17
Environment/Facilities	5	1	1	1	0	15	2	25
Organizational Factors	19	1	3	6	9	20	9	67
Technical Knowledge Skills	8	1	2	3	2	3	3	22
Individual Factors	30	1	1	6	4	16	5	63
Leadership/Supervision	7	4	2	5	9	18	6	51
Communication	7	5	2	4	6	8	4	36
Total								335

4.4 기여요인과 정비결함 관계 분석

기여요인은 에러를 유발하고 에러는 이벤트를 발생시킨다는 MEDA 이론에 입각하여 이벤트를 유발한 기여요인에 대해 분석한 결과 각각의 정비결함에 기여하는 상위 요인은 장착 결함에는 개인적인 요인(30건)과 조직적인 요인(19건)이었으며, 서비스 미흡은 의사소통(5건), 리더십, 감독(4건), 부적절하거나 불완전한 수리는 조직적인 요인(3건)과 정비사 기술지식 및 숙련도(2건), 의사소통(2건)이 주요 상위 요인으로 나타났다. 부적절한 고장탐구, 검사 및 기능점검은 조직적인 요인(6건)과 개인적인 요인(6건), 리더십, 감독(5건), 정비 정보(5건)가 상위 기여요인으로 나타났으며, FOD 발생은 조직적인 요인(9건), 리더십, 감독(9건), 의사소통(6건)으로 나타났다. 항공기, 장비 손상은 조직적인 요인(20건), 개인적인 요인(16건), 환경 및 시설(15건), 의사소통(8건)이 상위 기여요인으로 나타났으며, 마지막으로 인명 손상에서는 조직적인 요인(9건), 장비, 공구, 안전 장구(8건)가 상위 기여요인으로 나타났다.

업무절차, 관행 등과 관련이 있는 조직적인 요인이 장착 결함, 부적절하거나 불완전한 수리, 부적절한 고장탐구, FOD, 항공기 및 장비 손상, 인명 손상에 상위 기여요인으로 작용하였다. 작업 환경, 시설 요인은 항공기, 장비 손상의 상위 기여요인으로 작용하였으며, 개인적인 요인은 장착결함, 서비스 미흡, 부적절한 고장탐구, 검사 및 기능점검, FOD, 항공기, 장비 손상의 상위 기여요인으로 작용하였다. 권한위임이나 감독요인을 포함하는 리더십, 감독 요인은 FOD 발생의 상위 기여요인으로 나타났으며, 정비사 기술지식, 숙련도의 기여요인은 부적절, 불완전한 수리의

상위 기여요인으로 작용하였다. 끝으로 부적절한 의사소통은 서비스 미흡과 부적절, 불완전한 수리의 상위 기여요인으로 작용하였다.

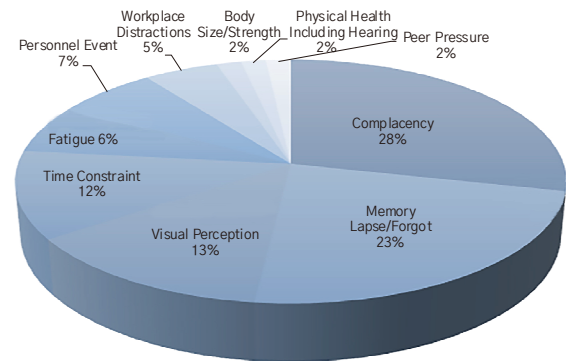


Fig. 7. Contributing factors - Individual factors

항공기 장비 손상, 장착 결함, 부적절하거나 불완전한 수리, FOD, 인명손상 등의 각 정비 결함에 상위 기여요인으로 가장 크게 작용한 조직적인 요인을 세 부적으로 보면 절차를 따르지 않음이 36건(53.7%)으로 가장 높았으며, 절차 없음이 16건(23.9%), 인원부족이 7건(10.4%) 대부분의 사람들이 절차를 지키지 않음이 5건(7.5%), 업무절차 3건(4.5%) 순이었다.

장착결함, 부적절한 고장 탐구, 항공기, 장비 손상에 가장 큰 기여요인으로 나타난 개인적인 요인을 분석한 결과 총 63건 중 자만심이 20건으로 가장 많았으며, 기억실패가 22.2%(14건)로 뒤를 이었다. 시각적 착각은 12.7%(8건), 시간 제약이 11.1%(7건), 피로는 6.3%(4건)로 인원 부족에 따른 업무량 증가로 피로감을 느꼈으며, 개인적 사건은 6.3%(4건), 작업 수행 중 단절은 4.8%(3건)이며, 신체 크기 및 힘, 동료 압박, 신체적 건강 등이 각각 1건으로 뒤를 이었다.

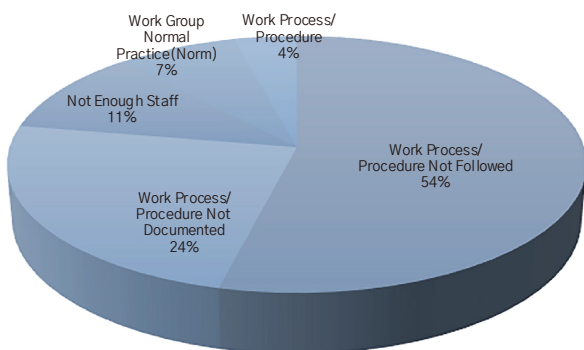


Fig. 6. Contributing factors - Organizational factors

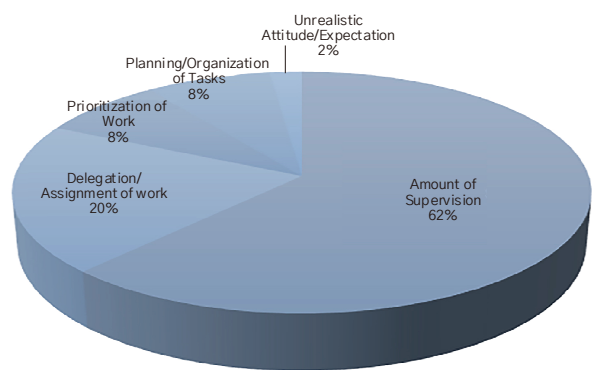


Fig. 8. Contributing factors - Leadership/supervision

항공기 및 장비, 인명손상과 부적절한 고장탐구의 상위 기여요인으로 작용한 감독, 리더십 요인은 감독 미흡이 60.8%(31건)로 가장 많이 나타났으며, 작업 수행에 부적절한 인원배정 2.6%(11건), 작업 우선순위 부적합 7.6%(4건), 계획 미비 7.8%(4건), 불합리한 기대 2.0%(1건)로 나타났다.

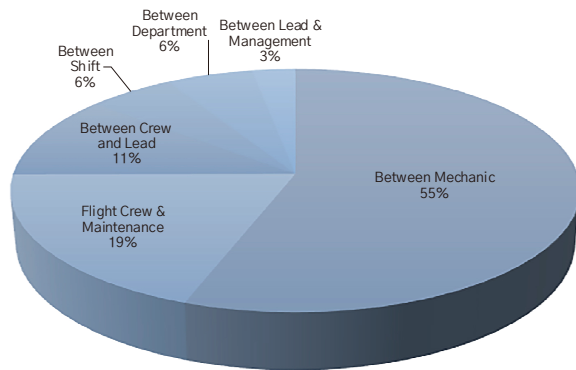


Fig. 9. Contributing factors - Communication factors

특정 정비결함에는 크게 작용하지 않았지만 전체적인 정비결함에 고루 작용한 의사소통 요인을 분석한 결과 총 36건의 기여요인이 정비시스템 결함을 일으키는데 작용하였다. 그중 개인, 기장·기부 간 의사소통 부적절이 55.6%(20건)로 가장 많았으며, 승무원과 정비사 간 의사소통 부적절 19.4%(7건), 작업자와 반장 간 의사소통 부적절이 11.1%(4건), 작업 조 간 의사소통 부적절 5.6%(2건), 부서 간 의사소통 부적절이 5.6%(2건), 반장과 관리자 간 의사소통 부적절이 2.8%(1건)로 나타났다.

5. 결론

정비사고 및 이벤트를 분석한 결과 정비 결함 현황과 그 기여요인들이 구체적으로 나타났다. 각 정비결함에 작용하는 상위 기여요인이 다르게 분포하고 있

음이 나타났으며 그 중에서 조직적인 요인, 개인적인 요인, 감독, 리더십 요인이 다른 요인들에 비해 상위 기여요인으로 작용하고 있음이 나타났다.

정비사의 작업 수행 능력과 행동에 영향을 주는 기여요인을 분석한 결과 하나의 항공기 이벤트에는 평균 약 5개의 기여요인이 존재했으며, 항공기 사고 또는 이벤트가 단 하나의 요인에 의해서 발생하는 경우는 없었다. 모두 여러 가지 기여요인이 복합되어 발생했으며 사고와 이벤트의 기여요인들은 또 서로의 기여요인이 되었다. 어느 순간 의도치 않게 여러 요인과 여러 또는 위반이 복합되어 발생하면 항공기 사고나 이벤트로 이어지게 된다[5].

그러므로 사고나 이벤트가 일어나기 전에 기여요인을 식별하여 제거하는 것이 사고와 이벤트 발생 예방에 중요하다. ‘정비에러 작성양식’을 사용하여 정비 작업장에서의 기여요인이 어떠한 것들인지를 파악하여 제거하거나 관리한다면 항공기 정비 결함 감소에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] William L. Rankin & J. P. Allen, ‘Boeing introduces MEDA: Maintenance Error Decision Aid,’ *Airliner*, April-June 1996, pp. 20-27.
- [2] William L. Rankin, Scott Shappell, & Douglas Wiegmann, ‘Chapter 7: Error and Error Reporting Systems,’ In *Human Factors Guide for Aviation Maintenance and Inspection*, FAA, 2012, pp. 137-170.
- [3] Boeing, *Maintenance Error Decisionaid (MEDA) User’s Guide*, 2007.
- [4] William L. Rankin, ‘MEDA Investigation,’ BODING.COM/COMMERCIAL/AEROMAGAZINE Boeing, 2007, MEDA Result Form Rev h
- [5] C. Y. Kim, ‘A Study on Contributing Factors to Aircraft Maintenance Failure,’ *KSAA Journal*, Vol. 26, No. 3, 2017, pp. 81-88.