Review Article

4차 산업혁명 시대의 CRM: 인간과 자율 시스템의 협업 관점에서

윤선이 · 우사이먼성일

성균관대학교 인공지능융합학과교실

Crew Resource Management in Industry 4.0: Focusing on Human-Autonomy Teaming

Sunny Yun, Simon Woo, Ph.D.

Department of Applied Artificial Intelligence, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea

Received: August 5, 2021
Revised: August 12, 2021
Accepted: August 23, 2021

Corresponding Author

Simon Woo
Department of Applied Artificial Intelligence,
Sungkyunkwan University, 2066 Seobu-ro,
Jangan-gu, Suwon 16419, Korea
Tel: +82-31-399-4799
Fax: +82-31-299-6505
E-mail: swoo@g.skku.edu

ORCID

<https://orcid.org/0000-0002-8983-1542>

ABSTRACT In the era of the 4th industrial revolution, the aviation industry is also growing remarkably with the development of artificial intelligence and networks, so it is necessary to study a new concept of crew resource management (CRM), which is required in the process of operating state-of-the-art equipment. The automation system, which has been treated only as a tool, is changing its role as a decision-making agent with the development of artificial intelligence, and it is necessary to set clear standards for the role and responsibility in the safety-critical field. We present a new perspective on the automation system in the CRM program through the understanding of the autonomous system. In the future, autonomous system will develop as an agent for human pilots to cooperate, and accordingly, changes in role division and reorganization of regulations are required.

Keywords: Automation, Crew resource management, Artificial intelligence

I. 서 론

4차 산업혁명 시대에는 인공지능이 초연결 사회의 방대한 데이터를 학습함으로써 지적 업무를 수행할 수 있게 된다는 점에서 과거와 큰 차이를 보인다. 각 산업 분야에서의 지능화 혁신은 전통적 산업 구조의 변화를 이끌어내고 있을 뿐만 아니라 산업 현장에서 인간이 직무를 수행하는 방식을 바꾼다. 경험에 의존했던 기존의 업무 해결 방식에서 벗어나, 데이터와 인공지능을 활용한 최적의 해결방법을 도출하는 방식으로 업무 형태가 진화하고 있다[1]. 첨단 기술의 집합체인 항공기 운영에 있어서도 이러한 변혁의 시

대에 맞추어 미래를 준비하여야 할 필요성이 대두되고 있다. 4차 산업혁명의 핵심인 네트워킹 기술은 지능화된 항공기와 외부 장비 간의 실시간 소통뿐만 아니라 항공기 내 센서 간의 유기적인 연결을 가능하게 하여 그동안 경험하지 못한 작업환경을 인간에게 제공한다.

타 분야의 적용 사례와 연구 내용을 토대로 본 논문에서는 변화할 미래에 유연하게 대처할 수 있도록 새로운 개념의 승무원 인적 관리(crew resource management, CRM)를 제안한다.

II. 배 경

1. 자율 시스템

1950년대 이후 생산 효율성을 향상시키기 위해 발전되어 온 자동 제어 기술은, 1980년대에 이르러 통신 기술과 컴퓨터 기술의 급속한 발전과 함께 상당한 부분이 자동화(automation) 되었다. 21세기 들어서 정보기술의 발달로 센서 기술, 컴퓨터 및 지능형 기술, 통신 기술, 제어 기술을 포함한 정보 통신 기술(information & communication technology, ICT)가 개발되어 자동화 기술 또한 발전하였으나, 더욱 복잡해진 시스템을 지원할 다양한 의사 결정 과정을 만족시키기엔 역부족이었다. 자동화 시스템이 인간에 의존하는 비중을 줄여 시스템이 독립적으로 작업을 수행할 수 있게 하기 위해 2010년대 이후 자율 시스템(autonomous system, autonomy)이 개발되기 시작하였다[2,3].

자동화 시스템(automation systems)과 자율 시스템(autonomous systems)의 가장 큰 차이점은 시스템이 스스로 학습하고 진화할 수 있는지 여부이다[4]. 자동화 시스템은 정해진 규칙에 따라 오류 없이 작동해야 하는 반면, 자율 시스템은 외부 개입 없이 자체 권한 하에 결정하고 작동할 수 있다. 목표를 달성하기 위해 자율 시스템은 작업에 대한 이해뿐만 아니라 환경, 시스템 상태를 정확하게 인식하고 판단하여 시스템 자체와 상황을 추론하고 다른 행동을 공식화하고 선택할 수 있어야 한다. 자율성(autonomy)은 지능적이며 더 높은 기능을 갖춘, 확장된 형태의 자동화라고 할 수 있다[5,6].

2. 자율 시스템 적용 현황

1) 자율주행차

(1) 기술 현황

자율주행차는 1956년 GM 모터쇼에서 자율주행(automated highway systems)에 대한 개념을 선보인 이후 유럽과 미국을 중심으로 연구되어 왔고, 2004년 미국 국방성 방위고등연구계획국(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)이 주최한 무인자동차 경주 대회(DARPA Grand Challenge)를 기점으로 본격적으로 개발이 진행되었다. 이후 전통적인 자동차 제조업체들 외에도 ICT 업체들도 개발에 참여하고 있으며, 많은 업체들이 2021년 완전 자율주행차 개발을 목표로 하고 있다[7].

항공우주, 자동차 종사자들이 활동하고 있는 국제 자동차 기술 자협회(Society of Automotive Engineers International, SAE International)와 국제 표준화 기구(International Organization for Standardization, ISO)에서는 2018년에 자율 주행 표준인 J3016 개정안을 발표하였으며, 이는 타 분야에서도 자동화의 레벨을 평가하는 기준으로 사용되고 있다. 개정안에서는 자동화를 6단계로 구분하였으며, 레벨 0은 비자동화 단계, 레벨 1-2는 운전자 지원 단계, 레벨 3-5는 자동화 단계이며, 마지막 5단계는 완전 자동화 단계로 구분된다(Fig. 1) [8].

(2) 사고 사례와 규정 정비의 필요성

2018년 우버의 자율 주행차 테스트 중 무단횡단 하는 사람을 치어서 사망에 이르게 한 사고가 있었다. 자율주행차 센서는 충돌 6초 전에 무단횡단 하는 사람을 인지했지만, 무단횡단 가능성을 배

Fig. 1. Levels of driving automation (Society of Automotive Engineers International [SAE] J3016). Adapted from the article of On-Road Automated Driving (ORAD) Committee (https://doi.org/10.4271/J3016_201806) [8].

제하고 주행속도를 줄이지 않았다. 충돌 1.3초 전에 자율 주행 시스템은 충돌을 완화하기 위해 긴급 제동 기동이 필요하다고 판단하였으나(Fig. 2), 차량 운전자에게 아무런 경고도 하지 않았고, 긴급 제동 기동 또한 활성화되지 않았다. 미연방 교통 안전 위원회(National Transportation Safety Board, NTSB)의 보고에 따르면, 우버의 자율주행차 사업부는 안전 부문 관리자가 없을 뿐 아니라 안전 계획이나 표준화된 운영 절차(standardized operations procedure, SOP)와 안전에 대한 지침 문서 또한 없었다[9]. 이는 자율주행차의 안전과 관련된 알고리즘 및 관리를 제작사에 일임함으로써 발생한 사고이며, 기술 발전 속도를 관련 규정이 쫓아가지 못한 사례라고 할 수 있다.

2) 항공 분야

(1) 항공기 시스템

에어버스 사는 2009년 유럽항공안전기구(European Union Aviation Safety Agency; EASA)에서 A380 항공기에 대한 새로운 자동 공중 충돌 방지 장치(autopilot/flight director traffic collision avoidance system, AP/FD TCAS) 사용을 인증받았다. 자동 비행 컴퓨터는 TCAS에서 정보에 맞게 항공기의 수직 속도를 제어함으로써, 조종사의 개입 없이 자동으로 올바른 TCAS 기동을 수행하여 잠재적인 공중 충돌로부터 항공기를 벗어나게 한다[10]. 새로운 TCAS는 정해진 규칙에 따른다는 제약은 있지만, 외부 개입 없이 자체 권한하에 결정하고 작동한다는 점에서 항공기 내 자율 시스템의 가능성을 보여주는 예라고 할 수 있겠다.

Fig. 2. View of the self-driving system data playback at about 1.3 seconds before impact, when the system determined an emergency braking maneuver would be needed to mitigate a collision. Yellow bands are shown in meters ahead. Orange lines show the center of mapped travel lanes. The purple shaded area shows the path the vehicle traveled, with the green line showing the center of that path. Adapted from the article of National Transportation Safety Board (<https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/HWY18MH010-prelim.pdf>). [9].

다. 에어버스 항공기에서는 TCAS 시스템 외에도 상황 판단의 기준을 제공하는 많은 시스템들이 이미 운영 중에 있으며, 아직 자율적인 기동에 대한 권한은 부여받지 못한 상태이다.

(2) 자율운항 프로젝트

에어버스 사에서는 공항이나 위성 시스템의 도움 없이 항공기 스스로 지상 활주, 이착륙을 할 수 있도록 하는 자율운항(autonomous taxi, take-off and landing demonstrator) 기술을 개발 중에 있다. 계기 착륙 시스템(instrument landing system, ILS)이나 GPS 신호와 같은 외부 인프라 없이 인공지능으로 학습한 비전(vision) 알고리즘만으로 지상 활주, 이착륙을 할 수 있는 기술을 개발하는 것이 목표이다. 2018년 해당 프로젝트를 시작하였으며, 2020년에는 비전 알고리즘 기반의 이륙 테스트를 성공하였다. 지상 활주, 착륙 테스트도 진행 중에 있다[11].

(3) 유럽항공안전기구 인공지능 로드맵

2020년에 유럽항공안전기구(EASA)에서는 항공 분야에서 인공지능 개발과 관련된 안전 및 윤리적 차원에 대한 초기 비전을 제시하는 내용을 담은 인공지능 로드맵 1.0을 발표했다. 2025년에 인공지능 기반 시스템의 첫 번째 인증을 받는 것을 시작으로, 차후 자동착륙시스템 자율운항 인증, 관제 시스템, 무인 항공기 등과 관련된 항공 분야 전반에서 인공지능 기반 시스템을 구축하는 것을 목표로 하고 있다[12].

3. 승무원 인적 관리 프로그램

1970년대에 개발된 CRM은 항공 분야 운영 과정에서 발생할 수 있는 안전 위해 요소들을 관리해왔다. CRM 프로그램은 끊임없는 발전을 거듭하여 훈련의 대상을 조종사(cockpit crew)에서 캐빈 승무원, 운항관리사, 정비사 등으로 확대하여 교육함으로써 항공 안전에 기여를 하고 있다. 각 개인의 행동과 상호 작용 등에 초점을 맞추었던 1세대 CRM에서 시작하여 현재의 6세대 CRM으로 진화하는 과정에서 팀 빌딩(team building), 상황 인식, 의사 결정, 스트레스 관리 등에 대한 구체적인 훈련 기법을 개발하고, 절차를 표준화하는 등의 방법으로 운영 과정에서 필요한 모든 자원(resource)을 관리하고 있다[13].

III. 인간과 자율 시스템 협업에 필요한 요건

현재 항공사에서 운영 중인 CRM에서는 자동화 시스템을 감시(monitor)해야 하는 대상으로 지정하고 이에 맞는 훈련을 하고 있으며, 자동화 시스템을 신뢰하지 못하여 만든 절차를 여러 부분의 운영 절차에 반영하고 있다. 하지만, 4차 산업혁명 시대에 들어 급격한 기술의 발전으로 항공기에 적용되는 첨단 기술의 신뢰도가 매우 높아졌을 뿐만 아니라, 항공기에 적용되는 새로운 장비들은 자동화를 넘어 자율 시스템으로 개발되고 있다.

그리고, 대부분의 사람들이 인간의 명령 없이 스스로 상황 판단을 하고 기동하는 장비를 다루는 방법에 대해서 아직 경험하지 못한 상태이다. 자율 시스템의 판단과 인간 조종사의 판단이 다를

경우 어떤 결정을 해야 하는지, 자율 시스템의 신뢰도가 얼마나 되는지, 자율 시스템을 따르라고 명시되어 있는 경우에도 인간 조종사가 다른 행동을 할 권한이 있는지 등 근본적으로 해결해야 할 문제가 산적해 있다. 분명한 것은 앞으로 개발될 자율 시스템은 과거의 자동화 시스템처럼 조종사가 불신하고 언제나 스위치를 꺼버려도 되는 수준의 장비가 아니라는 점이다. 항공기의 자율 시스템은 기술적인 신뢰도가 보장된다면, 피로나 주의 결핍에서 자유롭고 조종사의 인지적인 부담을 경감시켜주는 역할을 할 수 있다는 사실만으로도 앞으로 조종사와 동등한 위치에서 협력할 대상이 될 것이다[5].

인간 조종사와 항공기의 자율 시스템이 한 팀으로 협업하는 문제에 대한 자료를 미항공우주국(National Aeronautics and Space Administration, NASA)에서 진행 중인 연구에서 찾을 수 있었다[14]. 2012년 NASA에서는 정기편 여객기를 1인 조종사로 운영(single pilot operations)하는 가능성에 대한 연구를 시작하였다. 시작 초기에는 조종사와 지상국, 항공기를 유기적으로 연결하여, 줄어든 1명의 조종사를 대체할 방법을 찾는 것이 연구의 주목표였으나, 근래에는 자율 시스템과 인간이 팀으로 협업하는 방법을 연구하는 방향으로 진행되고 있으며 이 과정에서 CRM의 중요성이 부각되고 있다. CRM은 안전한 비행 운영을 위해 사용 가능한 모든 자원을 효과적으로 사용하는 것을 의미한다. CRM에서 사용된 의사 결정, 커뮤니케이션, 상황 인식, 안전 저해 요소 관리 등의 방법들은 사람이 아닌 모든 자원과의 상호 작용에도 적용된다[14]. 인간 조종사와 항공기의 자율 시스템이 협업을 수행하기 위해 요구되는 사항들을 확장된 CRM 개념에서 검토할 필요가 있으며, 주요 사항들은 다음과 같다[14-20].

1. 인간과 자율 시스템과의 양방향 통신

현 항공기 시스템에서도 조종사에게 자동화 시스템에 대한 정보를 제공하는 것이 가능하지만, 제공하는 정보가 복잡하여 그 내용이 모호한 경우가 많을 뿐 아니라, 의도적으로 정보의 양을 줄여서 표시하는 경우도 있다. 자율 시스템의 정보와 의도가 충분히 표시되고 전달될 수 있어야 하며, 자율 시스템 또한 인간을 이해할 수 있어야 한다. 뇌전도(Electroencephalography, EEG)나 기능적 근적외선 분광법(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS) 등을 이용하여 조종사의 신체 정보를 자율 시스템에 제공하는 방법도 제시되고 있다. 또한, 각 단계에서 서로의 피드백을 제대로 제공받는 것 또한 중요한 문제이다.

2. 권한과 책임 관계의 명확성

자율 시스템은 점점 더 높은 수준의 책임이 인간에서 시스템으로 옮겨가는 패러다임으로 이동하고 있으며, 정상 및 비정상 상황별로 권한과 책임의 주체를 정하여야 한다.

3. 역할 분담

자율 시스템과 조종사 간의 권한과 책임 관계 및 능력에 따라 절

차를 재설계할 필요가 있다. 자율 시스템과 조종사가 원활하게 상호 작용할 수 있도록, 인간과 기계 상호 작용에서 발생하는 새로운 유형의 오류를 고려하여 그 역할을 명확하게 할 필요가 있다.

4. 훈련

자율 시스템의 능력에 대한 교육 외에도 조종사와 자율 시스템이 서로를 명확하게 이해할 수 있도록 동일한 용어집에 대해 교육을 받아야 한다.

5. 규정

우버 자율주행차 사고 사례에서 볼 수 있듯이, 자율 시스템 운영에 관련한 안전 계획이나 SOP, 안전에 대한 지침 문서 정비 또한 중요한 문제이다. 항공 분야에서도 자율 시스템의 본격적인 운영에 앞서, 자율 시스템 신뢰도 확보를 위한 기술 요구 사항 및 안전 표준이 필요하다.

IV. 결 론

인간 조종사와 자율 시스템이 팀을 이루어 항공기를 운영하는 것이 먼 미래의 일로 여겨질 수도 있다. 하지만, 조종사와 항공기 자율 시스템이 동등한 위치에서 협업을 해야 하는 상황이 수십 년 후의 일이라고 미뤄두기에는 기술 혁신의 속도가 너무 빠르다. 당장 현실에서 맞닥뜨리는 첨단 장비 사용에도 신중하지 않을 수 없다. 사용 가능한 모든 자원을 효율적으로 사용하여 안전한 운항을 목표로 하는 CRM에서, 자율 시스템뿐만 아니라 첨단 장비의 사용은 반드시 고려되어야 할 사항이다. CRM에 사용된 기술은 대상이 사람이 아닌 경우에도 여전히 적용 가능하다[14]. 즉, 의사 결정, 상황 인식, 커뮤니케이션, 리더십 등의 모든 기술은 조종석 내부 혹은 외부에서 제공되는 모든 자원과의 상호 작용에 유효하다.

이미 많은 분야에서 4차 산업혁명 시대에 따른 변화를 경험하고 있고, 변화에 맞추어 시스템을 정비하고 있다. CRM 또한 4차 산업혁명과 같은 변혁의 시대에 맞춘 확장된 형태에 대한 연구가 필요한 시기이다.

CONFLICTS OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

ORCID

Sunny Yun, <https://orcid.org/0000-0002-9907-8785>

Simon Woo, <https://orcid.org/0000-0002-8983-1542>

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization: SY. Data curation: SY. Analysis and interpretation: SY. Writing the original draft: SY. Critical revision of the article: SY. Final approval of the article: SY. Overall responsibility: SW.

REFERENCES

1. Presidential Committee on the Fourth Industrial Revolution. Recommendations to the government for the fourth industrial revolution [Internet]. Seoul: Presidential Committee on the Fourth Industrial Revolution; 2019 [cited 2019 Oct]. Available from: [https://www.4th-ir.go.kr/cdn/recommendation\(eng\).pdf](https://www.4th-ir.go.kr/cdn/recommendation(eng).pdf).
2. Chen H, Wen Y, Zhu M, Huang Y, Xiao C, Wei T, Hahn A. From automation system to autonomous system: an architecture perspective. *J Mar Sci Eng* 2021;9:645. <https://doi.org/10.3390/jmse9060645>
3. Ouellette RP, Thomas LW, Mangold EC, Cheremisinoff PN. Automation impacts on industry. Ann Arbor (MI): Ann Arbor Science; 1983.
4. Veres SM, Molnar L, Lincoln NK, Morice CP. Autonomous vehicle control systems — a review of decision making. *Proc Inst Mech Eng Part I J Syst Control Eng* 2011;225:155-195. <https://doi.org/10.1177/2041304110394727>
5. Murphy R, Shields J. Task force report: the role of autonomy in DoD systems. Washington, D.C.: Defense Science Board; 2012. pp. 13.
6. Clapper JR Jr, Young JJ Jr, Cartwright JE, Grimes JG. Unmanned systems roadmap 2007-2032. Washington, D.C.: U.S. Department of Defense; 2007. p. 188-206.
7. Kim MY. Latest technology trends and commercialization of autonomous vehicles (trend report) [Internet]. Daejeon: KOSEN; 2018 [cited 2018 Sep 21]. Available from: <https://doi.org/10.22800/kisti.kosenexpert.2018.10>.
8. On-Road Automated Driving (ORAD) Committee. Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles [Internet]. Warrendale (PA): SAE International; 2014 [updated 2021 Apr 30; cited 2018 Jun 15]. Available from: https://doi.org/10.4271/J3016_201806.
9. National Transportation Safety Board. Preliminary report highway HWY18MH010 [Internet]. Washington, D.C.: National Transportation Safety Board; 2018 [cited 2018 May 24]. Available from: <https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/HWY18MH010-prelim.pdf>.
10. Botargues P. Airbus AP/FD TCAS mode: a new step towards safety Improvement [Internet]. Leiden: Airbus; 2009 [cited 2009 Feb]. Available from: https://safetyfirst.airbus.com/app/themes/mh_newsdesk/documents/archives/airbus-ap-fd-tcas-mode.pdf.
11. Airbus P. Is autonomy the future of aerial mobility?: autonomous technologies are showing real promise in the development of more autonomous aircraft [Internet]. Leiden: Airbus; 2020 [cited 2020 Jan]. Available from: <https://www.airbus.com/newsroom/stories/autonomy-aerial-mobility.html>.
12. European Union Aviation Safety Agency (EASA). EASA artificial intelligence roadmap 1.0 [Internet]. Cologne: EASA; 2020 [cited 2020 Feb 7]. Available from: <https://www.easa.europa.eu>.
13. Civil Aviation Authority. CAP 720: flight crew training: cockpit resource management (CRM) and line-oriented flight training (LOFT) [Internet]. Crawley: Civil Aviation Authority; 2002 [cited 2002 Aug 1]. Available from: <http://publicapps.caa.co.uk/docs/33/CAP720.PDF>.
14. Comerford D, Brandt SL, Lachter J, Wu SC, Mogford R, Battiste V, et al. NASA's single-pilot operations technical interchange meeting: proceedings and findings. Moffett Field (CA): Ames Research Center; 2013.
15. Tokadlı G, Dorneich MC, Matessa M. Toward human-autonomy teaming in single-pilot operations: domain analysis and requirements. *J Air Transp* 2021. <https://doi.org/10.2514/1.D0240> [Epub ahead of print]
16. Jay SR, Brandt SL, Lachter J, Matessa M, Sadler G, Battiste H. Application of human-autonomy teaming (HAT) patterns to reduced crew operations (RCO). In: Harris D, editor. *EPCE 2016: engineering psychology and cognitive ergonomics*. Cham: Springer; 2016. p. 244-255.
17. Johnson EN. Methodology to support dynamic function allocation policies between humans and flight deck automation. Hampton (VA): NASA Langley Research Center; 2010.
18. Matessa M, Strybel T, Vu K, Battiste V, Schnell T. Concept of Operations for RCO SPO. Moffett Field (CA): NASA; 2017.
19. Shively RJ, Lachter J, Brandt SL, Matessa M, Battiste V, Johnson WW. Why human-autonomy teaming? In: Baldwin C, editor. *AHFE 2017: advances in neuroergonomics and cognitive engineering*. Cham: Springer; 2018. p. 3-11.
20. Vierhauser M, Md Nafee Al I, Agrawal A, Cleland-Huang J, Mason J. Hazard analysis for human-on-the-loop interactions in sUAS systems. In: Spinellis D, Gousios G, Chechik M, Di Penta M, editors. *ESEC/FSE '21: 29th ACM Joint European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering*. New York (NY): Association for Computing Machinery; 2021. p. 8-19.