

技術論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 43(8), 739-747(2015)

DOI:http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2015.43.8.739

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

항공관제시물레이터를 이용한 항공기간 회피 기동의 위험도 분석

정세훈, 오혜주, 최기영, 이학태*

Human-in-the-Loop Simulation Analysis of Conflict Resolution
Maneuvers Using an Air Traffic Control Simulator

Se hun Jeong, Hyeju Oh, Keeyoung Choi and Hak-Tae Lee*

Department of Aerospace Engineering, Inha University

ABSTRACT

With rapid growth in the technologies and demand of Remotely Piloted Aircraft Systems (RPASs), integration of such systems into the existing airspace system is becoming an issue in many countries. RPAS have different flight performances, communication characteristics, separation assurance mechanisms, and human machine interfaces from manned aircraft. To establish rules and regulations for RPAS integration, it is important to understand the impacts of RPASs on the airspace system. A simulation system that integrates manned aircraft, air traffic control, and RPASs is developed in Inha University to investigate these impacts through Human-in-The-Loop (HiTL) simulations. Three conflict resolution scenarios between a manned aircraft and a Remotely Piloted Aircraft (RPA) were constructed and tested. Human factors such as the response times of pilots and controllers were measured and analyzed as well as the risk of each maneuver.

초 록

무인항공기시스템 수요의 증가와 기술의 급격한 발전에 따라, 많은 국가들에서 기존의 공역 시스템에 무인항공기를 통합하려는 시도가 이루어지고 있다. 통합 운용을 위한 규정을 제정하기 위해서는 비행성능의 차이, 통제와 통신의 특징, 항공기간 분리 방법, 인간과 기계의 상호작용과 같은 무인항공기의 통합이 전체 시스템에 끼치는 영향에 대한 이해가 중요하다. 인하대학교에서는 공역 내에서의 무인항공기의 영향을 실제 운용 인력이 참여하는 Human-in-The-Loop(HiTL) 시뮬레이션을 통하여 연구할 수 있는 항공관제시물레이션 시스템을 개발하였다. 본 논문에서는 이를 이용하여 무인항공기와 유인기가 조우하는 3가지의 시나리오를 설정하고, 관제사의 관제명령을 통하여 위험 상황을 해결하는 시험을 진행하여 조종사와 관제사의 반응 속도와 각 기동에 대한 위험도를 분석한 과정과 결과를 제시한다.

Key Words : Remotely Piloted Aircraft System(무인항공기 시스템), Human-in-The-Loop Simulation, Conflict Resolution(분리 유지), Air Traffic Control Simulator (항공교통관제 시물레이터), Risk Analysis(위험도 분석)

† Received : May 13, 2015 Revised : June 30, 2015 Accepted : July 21, 2015

* Corresponding author, E-mail : haktae.lee@inha.ac.kr

I. 서 론

최근의 무인항공기의 발전과 수요의 증가에 따라 많은 국가에서 유인기의 공역에 무인항공기를 통합하여 운용하는 방안이 대두 되고 있다. 이를 위해 전 세계적으로 항공법, 인증기술기준, 운항기술기준 등의 제도적 기반을 만들고 장기적인 통합에 대한 계획을 수립하고 있다. International Civil Aviation Organization(ICAO)의 경우 2007년부터 18개국 11개 기관이 참여한 Unmanned Aircraft System Study Group(UASSG)을 구성하고, 2023년 ~ 2028년에 유인기와 무인항공기의 공역통합을 목표로 관련 규정을 제정하고 있고, 유럽의 경우 ICAO의 공역통합 시기에 맞춘 무인항공기의 통합운용에 관한 로드맵의 최종 본을 발표하였다[1]. 또한, 미국의 경우 2013년 민간 무인항공기의 공역통합에 대한 로드맵 초안을 발간하는 등 많은 국가에서 무인항공기의 유인기 공역 내 운용에 관한 준비를 진행 중에 있다[2]. 그러나 유인기와 무인항공기의 동일 공역 내 통합 운용을 위해서는 안전성의 검증과 무인항공기 시스템의 영향에 대한 이해가 요구된다. 또한, 통합공역에서 관제사의 업무 부담을 증가시켜 관제사의 상황인식 및 의사결정 능력을 저하시킬 수 있기 때문에 이에 대한 검증도 필요하다.

항공교통관제는 항공기의 운항에 필수적인 요소로 비행 중인 항공기의 조종사와 관제사간의 지속적인 교신을 통해 항공기의 이륙과 착륙 등을 통제하고, 항공기 간 분리를 유지함으로써 안전한 비행을 유도하는 업무를 말한다. 이를 위해서는 관제사와 조종사 간의 원활한 통신이 필수적으로 요구된다[3]. 만약 업무환경 또는 통신 상태에 따른 인적요소(Human Factor)에 의해 관제사가 조종사에게 잘못된 명령을 전달하거나 명령의 처리시간에 지연이 발생할 경우 항공기의 분리가 상실될 수 있으며 중단에는 항공기 간의 공중 충돌로 이어질 수 있다.

무인항공기의 경우 기체의 크기나 형태가 광범위하여 비행 성능의 편차가 크고, 조종사가 지상에 있기 때문에 통제와 통신이 더 복잡하며, 조종사가 직접 육안으로 주변 항공기에 대한 상황인식을 할 수 없기 때문에 이를 보조할 수 있는 기술들이 요구된다. 또한 관제사와 지상의 조종사가 사용하는 인터페이스에 대한 영향도 받게 된다.

이렇게, 조종사와 관제사 등 인적 요소를 포함한 운용 시스템의 개발과 검증을 위해서는 실제

운용 인력이 시뮬레이션의 일부분이 되는 Human-in-The-Loop(HiTL) 시뮬레이션을 반복적으로 수행하여 결과를 분석해야 한다. 인하대학교에서는 중앙 통제 서버에 유인기, 무인항공기, 그리고 관제 시스템이 연동되어 HiTL 시뮬레이션을 수행할 수 있는 유연성과 확장성을 갖춘 항공관제시뮬레이터를 개발하였다.

본 연구에서는 시뮬레이터 개발 단계에서의 검증과 그리고 향후 필요한 대규모의 시뮬레이션에 대비하는 테스트의 일환으로, 무인항공기와 유인기가 조우하는 상황을 설정하여 관제사가 상황을 인식하고 통신을 통하여 전달된 관제 명령을 조종사가 수행하는 HiTL 시뮬레이션을 설계하고 시험을 진행하였다. 그 과정에서 인적 요소로서 관제사와 조종사의 반응 및 처리 시간을 측정, 분석하였고, 두 가지의 지표를 도입하여 위험도를 분석하였다.

II. 본 론

2.1 항공관제시뮬레이터 시스템

항공관제시뮬레이터는 기존의 관제 훈련목적이외에 새로운 기술 또는 개념에 대한 적용 및 분석을 위한 목적으로 사용된다. 해외의 경우 NASA의 MACS(Multi Aircraft Control System)와 EUROCONTROL의 Eurocontrol Simulation Capacity and Platform for Experiment(ESCAPE)가 개발되어 안전한 항공기의 운항을 위한 기술의 적용, 검증 및 분석을 위한 도구로 활용되고 있고, 국내의 경우 한서대, 항공대, 항공기술연구원, 인천공항공사 등에서 관제사 양성과 업무기량유지를 위한 도구로 상용 항공관제시뮬레이터를 활용하고 있다[4-6]. 본 논문에서 활용한 항공관제시뮬레이터는 인하대학교에서 자체적으로 개발한 시스템으로, Fig. 1과 같이 구성되어 있다.

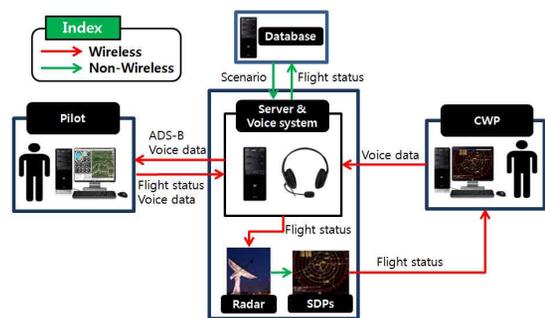


Fig. 1. Air Traffic Control Simulator Structure

시물레이션에서의 모든 데이터 통신은 TCP/IP방식을 통해 실시간으로 전송 및 처리되며, 외부에서 개발된 클라이언트도 쉽게 접속할 수 있도록 데이터 패킷에 대한 Interface Control Document (ICD)도 개발하였다[7].

2.1.1 서버

서버는 각 클라이언트들의 데이터 전송을 중계해 주고, 전송받은 데이터를 분석을 위한 자료로 활용하기 위해 데이터베이스로 저장하는 역할을 한다. 시물레이션을 위한 시나리오 데이터베이스를 생성하여 시물레이션 시작 전, 시나리오에 따른 초기 항공기 정보와 궤적, 레이더 정보 등을 각각의 클라이언트에게 전송하고, 시물레이션 시작 후, 항공기 모델로부터 계산되어 전송된 비행 데이터를 레이더로 전송한다. 서버는 인천공항 접근관제소에서 최대 수용 가능한 항공기 1,200대와 30대의 레이더를 수용할 수 있도록 설계하였고, 전송 받은 항공기의 상태 데이터를 이용하여 일정 거리 내 주변항공기 정보를 각 조종사 스테이션에 전송한다.

2.1.2 조종사 스테이션

조종사 스테이션은 시나리오에 따른 다수의 항공기를 운용하며, 동시에 최대 1,000대의 항공기 운용이 가능하다. 항공기의 운동은 5자유도 모델을 기반으로 하고 있으며, 실제 운용되고 있는 등급별 항공기의 데이터를 이용하였다.

Figure 2는 구현된 조종사 스테이션의 구조도로 조종사 스테이션은 크게 서버로부터 받은 항공

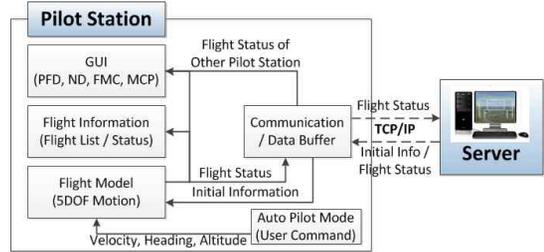


Fig. 2. Pilot Station Structure

기 초기정보를 이용한 5자유도 운동 모델의 구동 및 모델의 운동에 따라 생성되는 항공기의 상태정보를 전송하는 통신 시스템, 사용자가 직접 항공기에 명령(속도, 고도, 방위각)을 전달하는 Auto Pilot Mode, 항공기 정보를 수치적 및 시각적으로 확인할 수 있는 UI로 구성되어 있다. 또한 하나의 서버에서 다수의 조종사 스테이션이 운용될 경우, 서버를 통해 각 조종사 스테이션에서 운영되는 항공기 정보를 전달 받을 수 있다.

조종사 스테이션 User Interface(UI)의 각 모듈은 독립적으로 운용되고, 실제 조종사석과의 유사성을 고려하여 조종사석에서 운용되고 있는 실제 장비의 형태와 기능을 구현하였다. 조종사 스테이션의 UI는 Flight List와 PFD(Primary Flight Display), ND(Navigation Display), FMC(Flight Management Computer), MCP (Mode Control Panel)로 구성되어 있으며, Table 1은 조종사 스테이션의 UI에 대한 각 기능별 설명에 대한 내용이다.

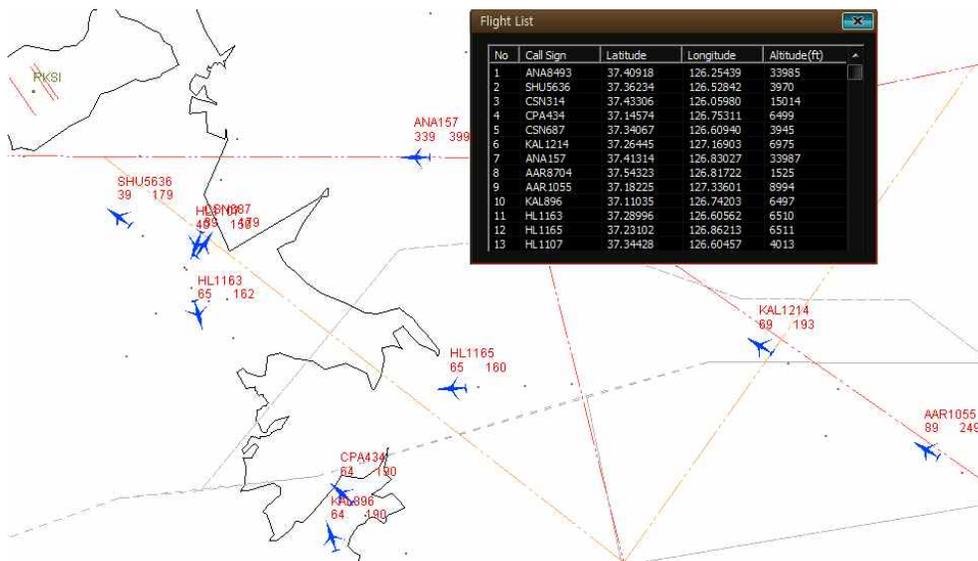


Fig. 3. Controller Station UI

Table 1. Description of pilot station module

Module	Description
Flight List	운용중인 항공기의 운항 상태, 센서 데이터, 경로점 정보 표시
PFD	명령/현재 속도, 고도, 방위각 정보 표시
ND	항공기 비행경로 및 주변 항공기 정보, 항행시설물 표시
FMC	항공기의 비행계획 설정 및 수정
MCP	항공기 고도, 속도, 방위각 명령 설정

2.1.3 관제사 스테이션

관제사 스테이션은 관제사가 관제명령을 생성하기 위한 기반이 되는 항공기의 실시간 운항 상태를 시각적으로 나타낸 프로그램이다. 관제사 스테이션의 관제 화면은 국내의 Aeronautical Information Publication(AIP) 문서에 정의된 공역, 공항, 항로정보를 반영하였으며, 관제사 스테이션에서 사용되는 항공기 정보는 레이더와 Surveillance Data Processing System(SDPS)로부터 보정된 항공기 위치 결과를 활용한다. Fig. 3은 운용 중인 관제사 스테이션 UI로 관제 영역은 인천 Flight Information Region(FIR) 공역을 범위로 설정하였다. 관제 화면에서 관제사는 항공기의 이동 궤적과 위치, 고도, 속도 등의 정보를 확인할 수 있고, 주어진 정보를 이용하여 관제사는 항공기의 위험상황을 예측하고 이에 대한 적절한 명령을 생성하여 음성통신을 통해 조종사에게 전달할 수 있다.

2.1.4 레이더 및 SDPS

레이더와 SDPS 모듈은 하나의 프로그램으로 구성되어 있으며, 프로그램 내에서 각 모듈은 독립적으로 운용된다.

레이더는 항공기의 운항 상태를 감지하는 2차 감시레이더 역할을 수행하기 위해 개발되었다. 본 항공관제시물레이터에서는 AIP문서에 정의된 인천공항 주변의 레이더 3기를 활용하였으며, Server로부터 전송 받은 항공기 정보를 바탕으로 레이더 알고리즘을 통해 항공기와 레이더 간의 거리, 수평각(Azimuth), 수직각(Elevation)을 계산한다.

SDPS는 레이더로부터 계산된 감시데이터로부터 관제사에게 전달하기 위한 항공기의 항적데이터로 계산하는 역할을 수행하며, 레이더로부터

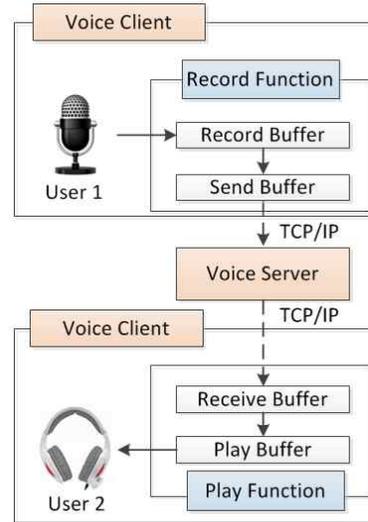


Fig. 4. Voice Communication Structure

계산된 감시데이터의 오차 및 바이어스를 보정하기 위한 필터가 적용되어 있다[8].

2.1.5 음성통신

조종사와 관제사간의 의사소통은 음성통신을 통해 수행된다. 음성통신을 위한 시스템은 별도의 서버 및 클라이언트 구조로 구성되어 있으며, 음성서버에 접속하는 모든 클라이언트는 별도의 ID를 보유한다. 음성데이터의 전송은 TCP/IP 통신으로, 클라이언트 UI에 표시된 클라이언트 ID로부터 음성데이터의 목적지를 설정함으로써 데이터를 실시간으로 전송한다. Fig. 4는 항공관제시물레이터에 구성된 단방향 음성통신 구조도로, 각각의 클라이언트에는 음성데이터의 기록과 재생을 위한 Windows Wave API의 내장함수가 구현되어 있다. 또한, 음성데이터를 지속적으로 기록 및 재생하기 위해 Double Buffering 기법을 적용하여 음성데이터의 전송을 위한 Buffer와 기록 및 재생을 위한 Buffer를 구분하여 운용한다.

2.2 위험도 지표

항공기의 안전 운항을 위해 항공기 간의 수평 및 수직분리는 필수적으로 고려해야 할 요소이다. 수평 및 수직분리의 손실은 항공기 사이의 거리가 규정된 최소 거리 요건을 만족하지 않음을 의미하는데 이렇게 최소 분리 요건만을 이용할 경우 분리 기준 만족과 불만족의 2가지 상태만 존재하여, 위험한 정도를 정량적으로 분석하는 데에 어려움이 있다.

본 논문에서도 항공기의 위험도를 판정하기

위한 첫 번째 기준으로 항공기 간 수평 및 수직 거리를 고려하였다. 위험도를 수치적으로 나타내기 위해 식 (1)과 같이 NASA에서 이용한 Conflict Intrusion Parameter(CIP)를 설정하였다 [9].

식 (1)에서 CIP는 항공기간 수평 및 수직거리가 분리기준으로 지정된 거리 내로 들어올 경우 계산된다. 분리기준으로 사용되는 S_{std} 와 h_{std} 는 국제 기준에 따라 각각 5nmi와 1,000ft로 설정하였다. CIP의 최대값은 1, 최소값은 0이며, CIP가 1일 경우 분리기준을 완전히 상실한 것을 의미하는 것으로 충돌에 의해 사고로 이어질 가능성이 매우 높음을 의미한다.

$$CIP = 1 - 0.5 \times \left\{ \min_{t_{soc} \leq t \leq t_{eoc}} \left(\frac{\Delta s(t)}{S_{std}} + \frac{\Delta h(t)}{h_{std}} \right) \right\} \quad (1)$$

where,

- t_{soc} : Start of conflict time
- t_{eoc} : End of conflict time
- $\Delta s(t)$: Relative horizontal distance
- $\Delta h(t)$: Relative vertical distance
- S_{std} : Horizontal distance standard(5nmi)
- h_{std} : Vertical distance standard(1000ft)

기존의 유인기 간에는 분리 실패로 인해 충돌이 예상될 경우, Traffic Collision Avoidance System(TCAS)을 통해 충돌 위험을 회피한다. TCAS 시스템에서는 항공기의 위치를 중심으로, 고도를 기준으로 하는 Traffic Advisory(TA)영역과 Resolution Advisory(RA)영역을 설정한다. 각 영역은 고도에 따른 항공기간 수평, 수직거리 및 예측 시간을 바탕으로 결정된다.

무인항공기의 경우는 분리에 실패한 이후 충돌회피 시스템이 작동하기 전에 Well clear라는 보호 장치를 추가하여 안전을 도모하는 개념으로 연구가 진행되고 있다. 유인기의 경우 항공법에 도입된 Well clear의 개념이 정량적으로 정의되어 있지 않고 조종사가 판단해야 하나, 무인항공기의 경우 정량적인 정의가 필요하여, TCAS에서 사용하는 정의와 유사하게 식 (2)의 조건을 모두 만족하는 경우를 Well Clear Violation (WCV)이라 정의하고 있다[10-11]. 참고로 유럽의 경우 수평의 경우 0.5nmi, 수직의 경우 500ft로 거리만을 고려한 기준을 제시하고 있다[12].

본 논문에서는 두 번째 위험도 지표로 WCV를 채택하였고, CIP와 같이 이를 연속적인 지표

로 만들기 위해 조건 완화를 이용하였다. 식 (2)에 제시된 수평분리 거리기준 6,000ft, 시간 기준 30초, 수직분리 거리기준 475ft, 시간 기준 20초에 대하여 이 기준을 모두 x % 증가 시켰을 때 WCV에 해당이 된다면, 이 중 최소의 x 값을 계산하였다. 즉 x = 0 이면 실제 WCV가 발생한 것이고, x가 10 ~ 20% 정도의 작은 수이면, WCV가 일어나지는 않았지만 매우 근접한 위험한 상태라고 판단할 수 있다.

$$\begin{cases} R_{xy} \leq 6000 \text{ ft or } (P_{cpa} \leq 6000 \text{ ft and } 0 \leq \tau_{mod} \leq 30 \text{ sec}) \\ R_z \leq 475 \text{ ft or } (0 \leq T_{coa} \leq 20 \text{ sec}) \end{cases} \quad (2)$$

where,

- R_{xy} : Relative horizontal range(ft)
- P_{cpa} : Predicted horizontal range at time of closest point of approach(ft)
- $\tau_{mod} \begin{cases} \frac{(R_{xy}^2 - 6000^2)}{R_{xy} R_{xy}} & (R_{xy} \geq 6000 \text{ ft}) \\ 0 & (R_{xy} < 6000 \text{ ft}) \end{cases}$: Modified time constant(sec)
- R_z : Relative altitude(ft)
- $T_{coa} = -\frac{R_z}{R_z}$: Time to same altitude of 2flights

2.3 시나리오

개발한 항공관제시물레이터를 이용하여 위험도를 측정하기 위한 예시로 3가지의 조우 상황 시나리오를 설정하였다. 시나리오는 2015년 2월 10일 PM 12:00의 Flightaware.com에서 제공하는 인천 국제공항 주변 항공기 15대의 정보를 이용하여 구성하였으며, 위험상황이 발생할 수 있도록 무인항공기를 추가하였다. 또한 운항 중인 항공기의 기종은 유인기의 경우 실제 운항 항공기의 기종에 따른 항공기의 등급에 따라, 항공관제시물레이터의 시나리오 데이터베이스에 저장된 동일 등급의 기종으로 대체하였으며, 무인항공기의 경우 현재 많이 사용되는 무인항공기의 운동 성능이 경비행기와 유사하기 때문에 Cessna로 설정하였다. 각각의 위험상황에 대해 관제사가 상황을 인지하고 방위각 또는 고도 명령 중 선택하여 전달하도록 하였다. 인적 요소 분석을 위하여 관제 명령의 내용, 명령을 마친 시간, 조종사가 명령을 처리한 시간을 측정하였고, 이에 따른 비행 궤적은 서버에 자동으로 저장되었다. 데이터의 획득을 위해 동일한 시나리오에 대한 반복적인 시험을 수행하였으며, 시험에 사용한 항공관제시물레이터의 사용법과 관제 명령에 대한 간단한 교육을 받은 다수의 학생을 통해 데이터를 획득하였다. 또한 시험의 진행에 있어 별도의 시나리

Table 2. Initial state of case 1

Flight	Manned	Unmanned
Callsign	SHU5636	HL1163
Latitude(deg)	37.2819	37.2495
Longitude(deg)	126.6641	126.6588
Altitude(ft)	3,525	2,500
Bearing(deg)	315	330
Velocity(knot)	173	135
Initial risk occurrence time(sec)	1.3	

Table 3. Initial state of case 2

Flight	Manned	Unmanned
Callsign	CSN687	HL1107
Latitude(deg)	37.2305	37.44893
Longitude(deg)	126.5096	126.654
Altitude(ft)	4,325	2,500
Bearing(deg)	66	200
Velocity(knot)	214	130
Initial risk occurrence time(sec)	84.2	

Table 4. Initial state of case 3

Flight	Manned	Manned
Callsign	CPA434	KAL896
Latitude(deg)	37.0436	36.9633
Longitude(deg)	16.8898	126.8055
Altitude(ft)	9,425	10,875
Bearing(deg)	327	335
Velocity(knot)	241	272
Initial risk occurrence time(sec)	28.4	

오 설명은 진행하지 않았으며, 위험상황에 대한 내용은 비공개로 진행하였다.

Tables 2-4과 Figs. 5-7은 3개의 위험상황에 대한 항공기의 초기상태 및 정보와 항공기간 거리가 최소가 될 때까지의 궤적으로, 실선은 항공기간 위험상황이 발생하지 않았을 때의 궤적, 점선은 항공기간 위험상황이 발생한 이후 항공기간 거리가 최소거리가 될 때까지 관제명령이 없을 때의 궤적이다.

첫 번째 위험상황은 시뮬레이션 시작 1.3초 후에 발생하며, 유인기(SHU5636)가 특정 경로점으로 이동 중이고, 무인항공기(HL1163)가 동일한 경로점으로 고도를 상승하며 접근 중인 상황으로 유인기의 속도가 무인항공기의 속도보다는 빠르

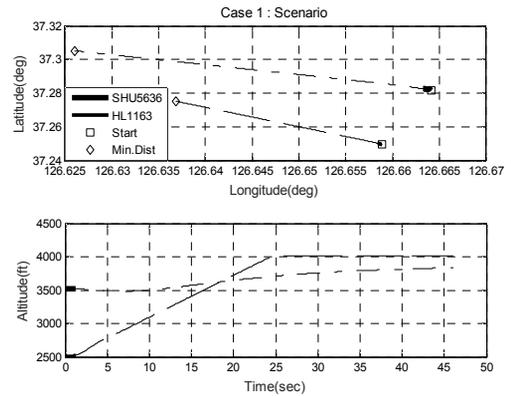


Fig. 5. Original Scenario (Case 1)

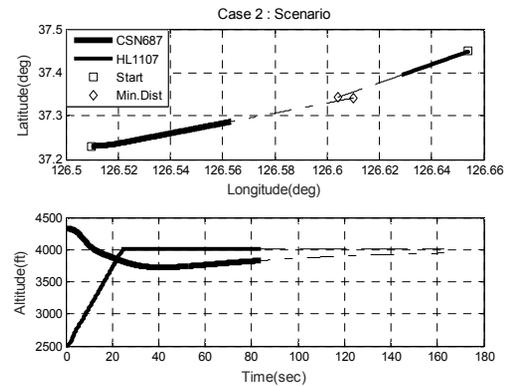


Fig. 6. Original Scenario (Case 2)

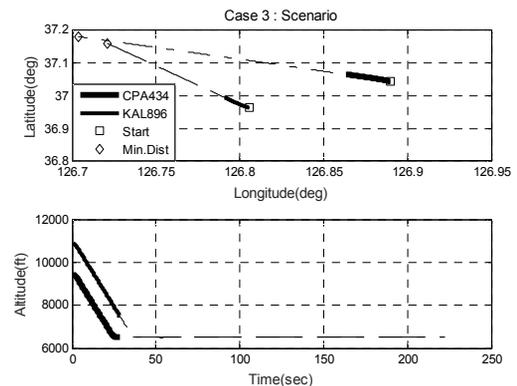


Fig. 7. Original Scenario (Case 3)

지만, 최소 분리 거리 이내에 있기 때문에 관제사 관제 명령이 필요하다.

두 번째 위험상황은 시뮬레이션 시작 후 84.2초 후에 발생하며, 하나의 경로점으로 유인기(CSN687)와 무인항공기(HL1107)가 마주보며 이동하고 있는 상황이다. 시뮬레이션 상 두 항공기

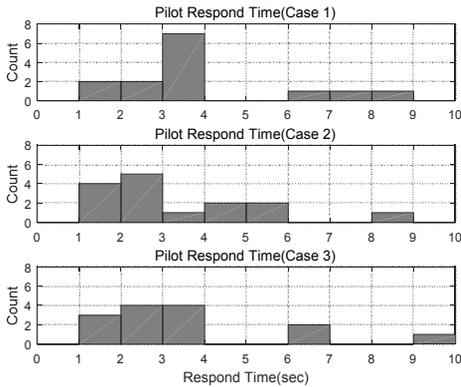


Fig. 8. Pilot Respond Time

Table 5. Average Respond Time

Case	Respond Time(sec)	
	Average	Standard Deviation
1	3.9154	2.0133
2	3.3907	1.9385
3	3.7188	2.3597
Total	3.6683	2.0687

가 정면으로 충돌하지는 않으나, 항공기 간 거리가 짧아 위험도가 높으며, 실제 비행의 경우 와류에 의한 후류나 조종사의 심리적 영향으로 인해 항공기의 운항이 매우 위험해 질 수 있다.

세 번째 위험상황은 시뮬레이션 시작 후 28.4초 후 발생하며, 하나의 경로점으로 두 대의 유인기(CPA434, KAL896)가 접근 중인 상황이다.

III. 시뮬레이션 결과

주어진 상황에 따른 항공기의 위험도를 판정하기 위해 총 45개(관제 명령 없는 시험 2회 포함)의 각 Case별 관제사의 명령과 관제 명령의 시작 시간과 전달시간, 조종사의 행동에 대한 시간을 측정하였다. 측정된 데이터를 이용하여 관제사 및 조종사에 관한 인적요소결과를 분석하였고, 항공기들의 궤적정보를 바탕으로 CIP 및 WCV 여부를 판단하였다.

3.1 인적요소 분석

3.1.1 조종사 반응속도

조종사의 반응속도는 관제명령이 끝난 시점부터 조종사가 비행제어 컴퓨터에 관제 명령을 완료하기까지의 시간으로 측정하였다. Fig. 8은 주어진 시나리오의 각 Case별 조종사의 반응속도

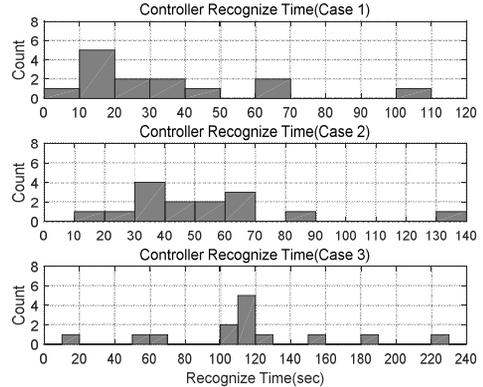


Fig. 9. Controller Recognize Time

Table 6. Average Recognize Time

Case	Recognize Time(sec)	
	Average	Standard Deviation
1	35.0666	25.6058
2	53.8053	29.2824
3	115.0728	53.2788

의 분포로, 조종사의 명령 실행에 따른 항공기의 반응 지연 시간은 고려하지 않았다. Table 5는 각 Case 및 전체 결과에 대한 조종사의 평균반응속도 및 표준편차를 보여준다. 3가지의 경우 모두에 대해서 비교적 고른 평균과 표준편차를 보여주며, 전문 운용인력이 아님에도 불구하고 평균 4초 정도에 완료할 수 있음을 알 수 있다.

3.1.2 관제사 인지속도

관제사의 인지속도는 주어진 상황에 대한 관제사의 인지 및 상황판단능력에 따라 달라질 수 있다. Fig. 9는 각 Case별로 시뮬레이션의 시작부터 관제사가 관제명령을 내리기 시작하기까지의 시간 분포이고, Table 6은 각 Case에 대한 관제사 인지속도의 평균 및 표준편차를 보여준다.

Figure 9에서 볼 수 있듯이, 10초 이내에서 4분 까지 분포가 매우 큰 편차를 보여 준다. 따라서 조종사의 반응 시간과 비교할 때, 관제사 역할을 하는 인원의 숙련도가 더 중요함을 알 수 있다. 상황인식과 명령이 늦은 경우 안전에 어떤 영향을 끼치는지는 뒤에 위험도의 분석과 연관하여 기술되어 있다.

3.2 위험도 분석

3.2.1 Conflict Intrusion Parameter(CIP)

CIP의 계산을 통해 항공기간 수평 및 수직 상대거리를 바탕으로 위험도를 수치적으로 표현할

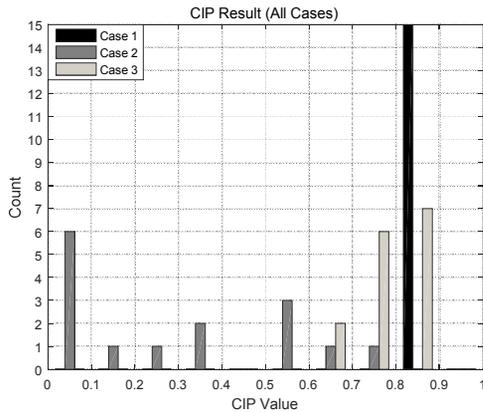


Fig. 10. CIP Result(All Cases)

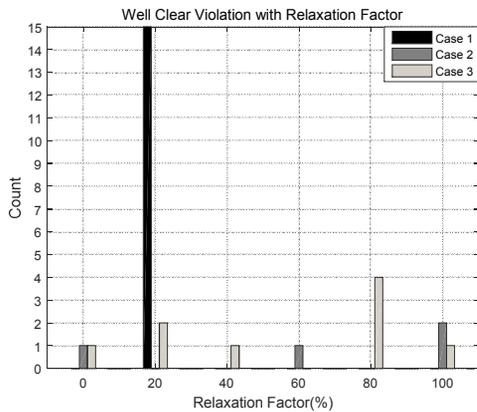


Fig. 11. WCV With Relaxation Factor

수 있다. Fig. 10은 각 Case별 CIP의 계산 결과이다.

Case 1과 Case 3의 경우 전체 시험에서 높은 CIP값을 나타내고 있다. Case 1의 경우는 관제사의 상황인식시간 및 관제명령이 CIP결과에 영향을 주지 않으며, 해당항공기의 운항 상태가 이미 위험함을 의미한다. Case 3의 경우는 관제사의 상황인식시간이 넓은 시간범위에 분포되어 있음에도 불구하고 위험도 수치가 높게 계산되었다. 이는 관제사의 상황인식 시간이 늦었거나, 관제사의 명령이 적절하지 못했음을 의미한다. 반대로, Case 2의 경우 비교적 항공기의 분리가 안정적으로 수행되었다고 볼 수 있다.

3.2.2 Well Clear Violation

Figure 11은 WCV 조건을 0 - 100%까지 완화를 했을 때, 각 Case 별로 언제 WCV가 발생하는가를 기술한 그래프다. Relaxation Factor가 0% 일 때는 실제 WCV가 발생하였다는 것이고 이는

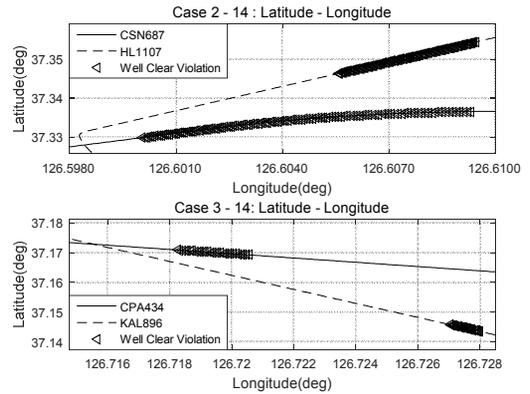


Fig. 12. Trajectory with WCV

Table 7. Command and Process Data

Case	Callsign	Command	
2	CSN687	Hdg 210	
3	KAL896	Alt FL20	
Case	Command Time(sec)		
	Controller		Pilot
	Start	End	Processing
2	136.364	144.235	5.565
3	185.826	193.302	6.398

공중충돌이 유발될 수 있는 매우 위험한 상황임을 의미한다.

Case 1의 경우 모든 경우에 대해 20% Relaxation Factor의 경우 WCV가 발생하는 수평 및 수직거리 조건은 각각 1.185nmi과 570ft다. 따라서 CIP에서의 결과와 마찬가지로, Case 1의 항공기는 충돌위험이 높은 상태를 알 수 있다.

Case 2와 Case 3의 경우 Relaxation Factor 0%에서 WCV가 발생하는 경우가 존재한다. Table 7은 이에 대한 관제사 및 조종사의 명령 및 명령의 처리시간을 나타낸 데이터이다. 이 경우 CIP의 최대값도 각각 0.7995와 0.8042로 계산되었다. 이 두 가지의 경우는 Fig. 9에서도 볼 수 있듯이 관제사가 상황을 인식하여 명령을 내리는 시간이 가장 크게 지연된 상황들임을 알 수 있다. Fig. 12는 해당 시험에서 WCV가 발생한 구간에서의 궤적정보이다.

IV. 결 론

본 논문에서는, 클라이언트와 서버 형태로 구성되어 다양한 항공교통상황을 시뮬레이션을 수

행할 수 있는 항공관제시물레이터의 구성을 제시하고, 이를 이용하여 향후 무인항공기가 유인기 공역에 통합될 경우 끼치는 영향을 연구 분석할 수 있는 시물레이션의 수행 결과를 기술하였다.

시물레이션을 통하여 무인항공기의 비행 성능, 통신과 통제, 분리의 유지와 관리, 그리고 관제와 조종 인터페이스에 대한 영향을 실제 운영 인력이 참여하여 연구 분석할 수 있게 된다. 이렇게 분석된 결과는 차후 법규와 규정의 제정, 그리고 Detect And Avoid(DAA) System처럼 안전의 보장을 위해 개발이 필요한 시스템에 대한 요구 조건을 설정하는 기반이 될 수 있다.

본 논문에서는 이러한 시물레이션의 전 과정을 포함하는 단순한 조우 시나리오를 설정하여, 관제사의 상황인지 시간, 조종사의 반응시간 등 핵심이 되는 인적 요소를 측정하였으며, 서로 다른 상황의 위험도를 정량적으로 계측할 수 있는 지표 2가지를 제시하였다. 또한, 비숙련 인력을 이용한 시물레이션에서도, 조종사의 반응은 비교적 고른 시간 분포를 보였고, 관제사의 상황 인식 시간은 큰 편차를 보여, 상황 인식과 관제명령이 지연될 경우 WCV라는 매우 위험한 상황이 발생할 수 있음을 보여주었다.

본 논문에서는 결과 값에 대한 의미보다 시험에 대한 일련의 과정을 수행하여 분석하는 방법론을 개발하는데 중점을 두었다. 따라서 추후 시험에서는 실제 관제 경험이 있는 인력을 활용하여 보다 통계적으로 의미 있는 결과를 도출하고, 다양한 시나리오를 통하여 무인항공기의 운동성능이 끼치는 영향과 DAA와 같은 차세대 항행 보조 시스템의 영향을 연구할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 국토교통부 항공기술연구사업의 연구비지원(과제번호 14ATRP-C071525-02-000000)에 의해 수행되었습니다.

Reference

1) Seong, K. J., Ahn, S. M, "Technical Developments for UAS Airspace Integration", *Aerospace industrial technology trend*, Vol. 12, Dec. 2014, pp.35~42.
 2) FAA, "Integration of Civil Unmanned Aircraft System(UAS) in the National Airspace

System(NAS) Roadmap", 2013.

3) P. Belobaba, C. Barnhart, A. Odoni, "The Global Airline Industry", Wiley & Sons. Ltd, May. 2009, pp.377~379.

4) Thomas, P., Nancy. S., Everett. P., Joey. M., Paul. L., Todd. C., Jeffrey. H., "The Airspace Operations Laboratory(AOL) at NASA Ames Research Center", *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit*, Aug. 2006, pp. 1~30.

5) Renée, S. M., "Comparison of Different Workload and Capacity Measurement Methods Used in CEATS Simulations", *Erocontrol*, 2003.

6) Hong, S. B., "The Study on the Direction of Developing an Aerodrome Traffic Control Simulator for the Air Traffic Controller", *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 18(2), Apr. 2014, pp.114-120.

7) Jeong, S. H., Cho, H. H., Oh, H. J., Choi, K. Y., Lee, H. T., "Implementation of Aircraft Control Simulator Server and Pilot Station Considering of Next Generation Navigation System", "*Fall conference of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*", Nov, 2014.

8) Jeon, D. G., Eun, Y. J., Kim, H. K., Yeom, C, H., "Development of Multi-Sensor Data Processing Software for Air Traffic Control", "*Conference book of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*", Vol. 11, Nov, 2012, pp.608-614.

9) K. D. Bilimoria, H. Q. Lee, "Properties of Air Traffic Conflicts for Free and Structured Routing", "*AIAA Guidance, Navigation, and Control (GNC) Conference*", Aug, 2001.

10) C. Muñoz, A. Narkawicz, J. Chamberlain, "A TCAS-II Resolution Advisory Detection Algorithm", "*AIAA Guidance, Navigation, and Control (GNC) Conference*", Aug, 2013.

11) Park, C., Lee, S. M., E. R. Mueller., "*Investigating Detect-and-Avoid Surveillance Performance for Unmanned Aircraft System*", "14th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference", June, 2014.

12) J. Farjon, S. Sellen-Delmar, "MID-air Collision Avoidance System(MIDCAS) Concept of Operations (CONOPS)", MIDCAS Project, July, 2012.