

항공관제 시스템에서 항공기 공중충돌 경고기능의 설계 및 구현

The Design and Implementation of the Collision Avoidance Warning Function in the Air Traffic Control System

송진오* 심동섭* 김기형**
Jin-Oh Song Dong-Sub Sim Ki-Hyung Kim

Abstract

An aircraft collision accident is a disaster that causes great losses of inventories and lives. Though a collision avoidance warning function is provided automatically to pilots in the aircrafts by the enhancement of the aircraft capability, achieving fast decision-making to escape a collision situation is a complex and dangerous work for pilots. If an in-flight collision situation is controlled by the air traffic control system which monitors all airplanes in the air, it would be more efficient to prevent in-flight collisions because it can handle the emergency before the pilot's action. In this paper, we develop the collision avoidance warning function in the air traffic control system. Specifically, we design and implement the five stages of the collision avoidance function, and propose a visualization method which could effectively provide the operators with the trajectories and altitudes of the aircrafts in a collision situation. By developing an in-flight collision warning function in the air traffic control system that visualizes flight patterns through the state transition data of in-flight aircrafts on the flight path lines, it can effectively prevent in-flight collisions with traffic alerts. The developed function allows operators to effectively select and control the aircraft in a collision situation by providing the operators with the expected collision time, the relative distance, and the relative altitude while assessing the level of alert, and visualizing the alert information which includes the Attention-Warning-Alert phase via embodying the TCAS standard. With the developed function the air traffic control system could sense an in-flight collision situation before the pilot's decision-making moment.

Keywords : Collision Avoidance Warning(공중충돌 경고), Air Traffic Control System(항공관제 시스템), State Transition Data of In-Flight Aircraft(항공기 상태전이정보), Level of Alert(경고단계), Attention-Warning-Alert(관심-주의-경고), Expected Collision Time(충돌예상시간), Relative Distance(상대거리), Relative Altitude(상대고도)

† 2009년 1월 5일 접수~2009년 3월 20일 게재승인
* 공군작전전산소(Operational Computing Center, Air Force Operations Command)
** 아주대학교(Ajou University), kkim86@ajou.ac.kr
책임저자 : 송진오(yul1218@naver.com)

1. 서론

항공관제(Air Traffic Control)란 안전하고 질서있는 항공교통 흐름을 유지하기 위하여 권위있는 기관(전문 교육을 받은 관제사가 근무하는 기관)에 의해 제공되

는 업무를 말한다. 항공관제의 목적은 항공기 상호간 충돌을 방지하고 신속성과 질서를 유지하기 위하여 항공교통 흐름을 조절하고 통제하는 것이다. 그 중 항공기 상호간 공중충돌을 방지하는 업무는 엄청난 재산의 손실뿐 아니라, 대형 인명손실을 방지하고 더 나아가 항공사의 경쟁력을 보장하여 항공산업이 발전해 나갈 수 있는 기본적인 조건을 보장하는 중요한 업무라고 할 수 있다.

초기에는 공중충돌 사고예방을 위해 항공기의 성능을 개선하거나 조종사 측면에서 조종실 운용환경을 개선하는 데에 주안점을 두었다. 그러나 80년대를 기점으로 항공기의 기계적 성능이 거의 완벽에 가까울 정도로 개발이 되었다. 하지만 이런 기계적 성능 개선에도 불구하고 조종사에 의한 단독 의사결정만으로 공중충돌을 방지하는 것은 복잡하고 다양한 현재의 공중상황에서 그 한계를 보이고 있다. 이러한 이유로 공중충돌사고 방지를 위해 조종사의 운용환경 개선뿐 아니라 항공통제 시스템의 공중충돌 방지기능과 함께 통합적으로 운용할 수 있는 항공안전 운용방안에 대한 연구가 요구되고 있다.

항공기 기계적 성능개발의 지속적인 결과로 공중충돌 방지 장비인 TCAS(Traffic Alert and Collision Avoidance System)가 개발되어 현재 운용 중에 있다. TCAS는 제공되는 정보의 특성에 따라 세 가지 종류가 있으며 가장 높은 수준인 TCAS III의 경우에는 충돌경고 메시지와 함께 상승·하강 또는 좌·우 선회 지시메시지를 조종사에게 제공한다^[1]. 그러나 항공관제 시스템(이하 ATCS : Air Traffic Control System)에서 제공하는 공중충돌 방지기능은 상대적으로 미흡하다. 현재 운용중인 대부분의 ATCS에서 제공하는 정보는 비행중인 항공기의 고도, 속도, 방향정보 등의 일반 비행정보와 목적지, 사용 비행경로, 경유지 및 경유지에서의 대기시간 등의 비행계획정보가 대부분이다. 이러한 정보는 각 항공기의 개별적인 실시간 비행정보만을 제공할 뿐 복합적인 공중상황에서 항공기 상호간의 공중충돌을 예상하고 조치할 수 있는 예측정보로 처리되어 제공되지 않고 있다. 대부분의 공중충돌 상황은 ATCS 운용수의 운용능력에 의해 개별적으로 인지되고 처리되는 것이 현실이다. 다수의 항공기를 동시에 감시하고 통제하는 ATCS 운용수는 공중충돌 방지업무 수행을 위해 항공기 조종사보다 먼저 신속하고 정확하게 판단할 수 있는 공중상황 정보를 필요로 하고, 이러한 정보는 ATCS에서 효율적으로 운

용수에게 제공되어야 한다.

본 논문은 조종사와 ATCS 운용수의 통합적인 공중충돌 방지기능 수행을 위하여 ATCS 운용수에게 단계별 공중충돌 경고기능을 생성하는 알고리즘 연구에 중점을 두었다. 또한 효율적으로 단계별 공중충돌 경고정보를 제공하기 위하여 개선된 경고처리 시각화 기법을 제안한다. ATCS의 단계별 공중충돌 경고기능과 개선 시각화 기법으로 항공기 조종사보다 ATCS 운용수에게 우선 공중상황 위험정보를 제공하여 효과적으로 항공기 간 공중충돌 방지업무를 수행할 수 있는 ATCS 공중충돌 경고기능을 본 논문에서 제안한다.

2. 관련연구

지금까지 공중충돌 및 항공안전에 대한 연구는 다음 3가지 영역에 대해 진행되었다. 공중충돌 방지를 위해 항공기 성능을 향상하고 항공기에 장비를 직접 설치하여 조종사에게 경고정보를 제공하는 기능에 대한 연구가 진행되었고, 업무특성을 고려한 항공기 관제 디스플레이 디자인을 위해 ATCS의 생태학적 인터페이스에 대한 연구가 진행되었다. 더불어 비행패턴정보를 제공하기 위하여 비행경로 상태전이정보에 대한 연구가 진행되어 항공관제정보를 보다 효율적으로 제공할 수 있는 시각화 기법의 연구가 진행되었다.

가. 항공기 공중충돌 방지

일반적으로 항공기의 공중충돌 경고장비로 사용되고 있는 TCAS는 항공기와의 상대운동을 기준으로 Fig. 1과 같은 경고범위를 갖는다. 범위 내에서 충돌위험이 있는 항로상의 항공기가 20~48초 이내로 들어오면 위험경고(TA : Traffic Advisory)를 제시하며, 20~35초 이내로 들어오면 경고신호(RA : Resolution Advisory)와 함께 회피지시를 한다^[2].

항공기의 공중충돌 회피절차는 Fig. 2와 같으며, 일단 비행절차 및 ATC(Air Traffic Control)의 지시대로 비행하는 것이 우선이다. 이때 조종사는 충돌위험 발생시 공중충돌 경보장치인 TCAS가 제시하는 RA (Resolution Advisory) 지시대로 비행해야 한다^[2]. 그리고 마지막으로 사전 절차화된 과정으로 조종사가 회피기동을 수행하도록 설정되어 있다.

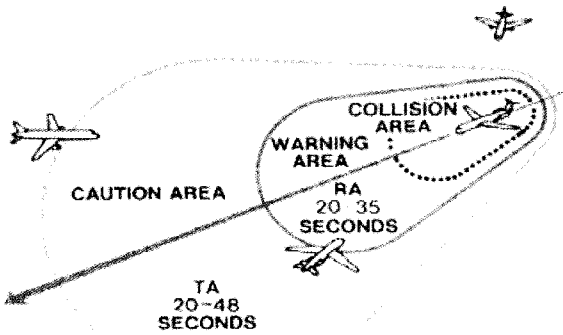


Fig. 1. TCAS 경고범위^[2]

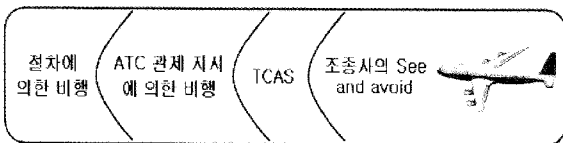


Fig. 2. 항공기 공중회피를 위한 우선순위^[2]

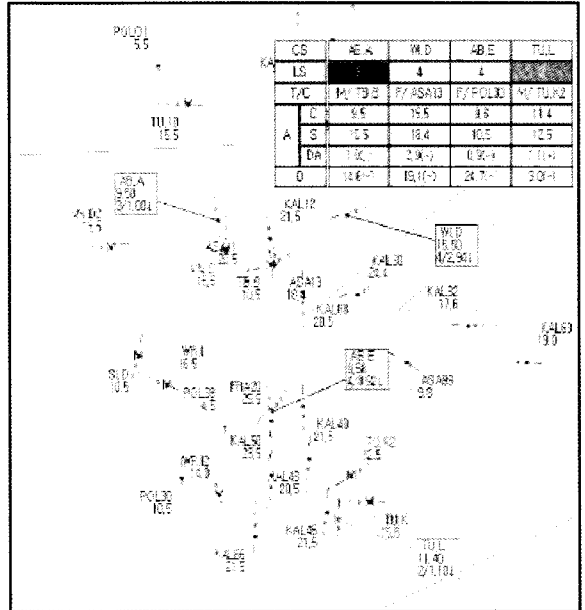


Fig. 3. 생태학적 관제 디스플레이 모델^[6]

나. 항공기 관제 디스플레이의 생태학적 인터페이스 부적절한 디스플레이의 디자인은 시스템의 안전에 치명적인 사고의 원인이 될 수 있다. 반면 효과적으로 디자인된 디스플레이는 작업자의 예러나 작업부하를 감소시켜 주고 역동적인 시스템의 복잡성을 극복하는데 많은 도움을 제공한다^[3]. 따라서 발전된 정보기술을 사용하여 더욱 효과적인 시각 정보 디스플레이를 디자인하는 연구가 진행되고 있다. 인터페이스를 통해 제공해야 할 정보가 무엇이고 그런 정보를 어떻게 시각화 할 것인가가 디스플레이를 디자인하는 디자이너가 해결해야 할 핵심 문제이다^[4]. 우수한 디자인의 사례들을 살펴보면 작업자들이 지식을 바탕으로 한 문제해결 정보를 제공하는 것에 디자인 초점을 맞추고 있다. 이런 디자인 접근방법에 있어 중요한 특성 중 하나는 디자인하는 디스플레이에 작업영역이 가지고 있는 본질적인 기능적 구조를 묘사하는 것이다^[5].

항공관제 영역에 대해서도 항공관제 시스템의 디스플레이(Display of Air Traffic Control System)를 효과적으로 디자인하기 위한 연구가 진행되었다. 항공관제 영역을 분석하여 작업영역 모델(Work Domain Model)을 개발하고, 디자인을 위한 요구 정보(Required Information)를 추출하여, 새로운 정보내용들이 포함된 ATCS의 관제 디스플레이를 Fig. 3과 같이 개발하였다^[6].

다. 항공기 상태전이정보를 이용한 비행경로 시각화 기법

공중상황에서의 비행경로 시각화 기법은 ATCS 운용수에게 비행패턴의 직관적 정보 제공을 위해 연구되었다^[7]. 시각화된 객체정보를 통해 운용수는 항공기의 직선·선회 비행, 상승·하강 비행, 가속·감속 비행을 인지하고, 인지된 정보는 공중상황에 대한 의사결정시 중요한 요소로 사용될 수 있음을 평가결과를 통하여 확인하였다.

시각화된 비행경로와 보고지점을 통해 직선·선회 비행 및 가속·감속 비행의 정보를 제공할 수 있었다. 시각화된 보고지점 간의 거리는 일정시간에 이동한 거리를 나타내게 된다. Fig. 4와 같이 시간이 경과함에 따라 지점간의 거리가 짧아지면 감속 비행을, 지점간의 거리가 길어지면 가속 비행을 예측할 수 있고, 지점간의 거리가 일정하면 동일한 속도로 비행하고 있음을 예측할 수 있었다. 시각화된 비행경로 상에서 색상의 채도 변화를 통해 밝아지거나 어두워지는 패턴으로 상승·하강 비행을 예측할 수 있었다.

이러한 기법을 통해 항공기가 비행하는 대부분의 패턴이 Table 1과 같이 분석되었고, 이를 통해 운용수는 통합 비행정보를 예측하고 공중상황 통제시 항공기 통제를 위한 기본정보로 활용할 수 있었다. 또한 운용수를 통해 인지된 비행패턴정보는 공중공간에서 항공기

비행안전을 위해 항공기 통제자료로 활용할 수 있음을 시스템 평가를 통해 확인하였다.

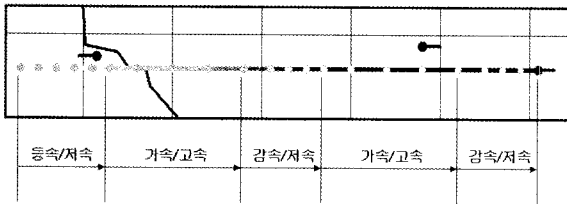


Fig. 4. 보고지점을 통한 가·감속비행 분석^[7]

Table 1. 비행경로 시각화를 통한 통합 예측^[7]

지점 간 거리	경로상 색상	경로 진행방향	통합정보
가속	상승	직진	가속 중 상승 직진 비행 가속 중 상승 선회 비행 가속 중 하강 직진 비행 가속 중 하강 선회 비행
감속	하강	선회	감속 중 상승 직진 비행 감속 중 상승 선회 비행 감속 중 하강 직진 비행 감속 중 하강 선회 비행

여 시각화함으로써 공중충돌 방지 경고정보를 효과적으로 생성, 전달할 수 있는 새로운 시각화 기법을 제시한다.

제안된 ATCS에서의 공중충돌 경고기능은 항공기에 설치되어 있는 TCAS 장비의 운용개념을 적용하여 구현한다. ATCS의 공중충돌 경고기능도 단계별 경고기능의 개념을 적용하여 관심-주의-경고(Attention-Warning-Alert)의 3단계로 설정한다. 이는 다수의 항공기에 대해 공중충돌 상황이 동시에 발생했을 경우 운용수가 우선 조치해야 할 항공기를 먼저 인지할 수 있는 세분화된 경고정보를 제공하기 위한 것이다. 경고전시 단계설정은 충돌예상시간, 상대거리, 상대고도를 통해 결정하고 Text, 도형, 색상 등을 이용한 개선 시각화 기법으로 운용수에게 공중상황 정보를 제공한다. 제안된 공중충돌 경고기능 구현을 위한 과정(Algorithm)은 다음과 같다.

- ① 공중충돌 경고 대상 항공기 필터링
- ② 충돌경로 항공기 간 충돌예상시간 계산
- ③ 충돌경로 항공기 간 상대거리 계산
- ④ 공중충돌 경고단계 생성 및 시각화
- ⑤ 상대고도 관련 비행경로 시각화

3. ATCS의 공중충돌 경고 시스템

본 논문에서는 항공기 내 설치되어 운용중인 TCAS의 경고처리 과정과 유사한 경고단계 설정기법을 ATCS 시스템에 적용한다. TCAS 경고기능(Caution-Warning-Collision Area)과 유사한 3단계 관심-주의-경고(Attention-Warning-Alert) 경고기능을 시스템 내에 구현하여 운용수에게 공중충돌 경고에 대한 정보를 제공하고, 이를 통해 ATCS에서 공중충돌 상황에서의 항공기 간 안전을 확보할 것이다. 이와 함께 항공기 관제 디스플레이(Air Traffic Control Display)의 효과적인 인터페이스 디자인을 위하여 연구된 항공기 관제영역에 대한 작업영역 분석(Work Domain Analysis)과 요구정보(Required Information)를 참고하여 경고단계의 설정기준을 제시한다. 항공기 비행의 기본요소인 현재위치-비행속도-비행고도를 처리하여 충돌예상시간, 상대거리, 상대고도를 계산하고, 이 예측정보를 경고단계 설정의 결정요소로 한다. 더불어 항공기 상태전이정보를 시각화하여 비행패턴 정보를 기본적으로 제공하고, 공중충돌 경고발생 상황에서 경고단계를 선별하

가. 공중충돌 경고 대상 항공기 필터링

제공중인 전 항공기에 대해 공중충돌 경고생성 기능을 수행하는 것은 시스템 운영 효율성 측면에서 부정적이다. 공중충돌 경고기능의 대상 항공기를 결정하고, 대상 항공기가 비행하는 경로상 항공기들에 대해 경고기능을 수행하는 것이 효과적이다.

대부분의 ATCS는 항공기 통제업무 절차상 운용수에 의해 항공기 개별적으로 식별부호를 부여하고 있다. 우군기, 적성기, 민항기, 전술기 등으로 식별하여 사용하는 것이 일반적이다. 본 논문에서는 ATCS가 항공기를 적성기, 민항기, 전술기 등으로 식별하여 통제하는 것으로 가정한다. 공중충돌 경고처리를 위해 급기동하는 전술기는 대상에서 제외하고, 비행경로를 따라 안전을 최우선하여 비행하는 민항기를 대상 항공기로 선택한다. 민항기를 중심으로 특정거리 내의 항공기 중에서 기종속도 이하의 저속 항공기, 공항 주변에서 이륙이나 착륙 중인 항공기는 제외한다. 공항 주변의 이륙·착륙 중인 항공기들 간의 공중안전은 해당공항 관제타워에서 임무를 수행하므로 경고기능 생성 대상에서 제외하였다. 또한 ATCS에서 비행경로 상

항공기 분리기준인 상대고도 3000ft.(feet) 이상의 항공기도 대상에서 제외한다.

Table 2의 TCAS 발생기준별 상대거리 중 TA발생 최소시간(45초)에 대한 최대 상대속도(900Knots)에서의 상대거리(11.2NM : Nautical Miles)를 대상 항공기에 대해서 충돌경로로 접근하는 위험 항공기 선별시 기준거리로 참고한다. 즉 경고발생 대상 항공기를 중심으로 특정거리(22.2NM = 상대속도 900Knots TA 최초 발생거리 * 2) 내의 항공기에 대해서 경고기능 생성을 위한 과정을 수행한다.

Table 2. 상대속도별 TCAS 경고 발생조건

구 분	RA		TA	
	충돌시간	상대속도	상대속도	상대속도
상대속도	20sec	30sec	35sec	45sec
230Knots	1.3NM	2.0NM	2.2NM	3.0NM
650Knots	3.6NM	5.4NM	6.3NM	8.1NM
900Knots	5.0NM	7.6NM	8.8NM	11.2NM

따라서 공중충돌 경고기능을 위한 대상 항공기 및 선별 항공기의 필터링은 다음과 같다.

- ① 대상 항공기 선정 : 식별부호 민항기
- ② 대상 항공기에 대한 기준거리(22.2NM) 내 항공기 선별
- ③ 선별 항공기 중 기준고도 이하 항공기, 이·착륙 항공기, 상대고도 3000ft. 이상 항공기 제외

이런 과정으로 선택된 대상 항공기와 충돌경로 상 항공기에 대해서 논문에서 제시한 항공기 간 충돌예상시간, 상대거리, 상대고도 처리의 과정을 수행한다.

나. 충돌경로 항공기 간 충돌예상시간

충돌경로 상의 항공기 간 충돌예상시간은 ATCS의 경고처리기능의 단계설정에 중요한 결정요소가 된다. TCAS의 경고단계도 충돌예상시간을 기준으로 처리하고 있고, 구현될 ATCS의 단계별 경고기능도 충돌예상시간을 계산하여 공중충돌 경고단계를 설정한다.

경고단계 설정을 위한 기준시간은 다음의 과정으로 처리한다.

- ① 대상 항공기 충돌경로 상 항공기 간 충돌예상시간 계산
- ② 조종사 조치시간, ATCS 자료처리시간을 보정한 경고단계 설정 기준시간 계산

우선 선정된 대상 항공기와 충돌경로 상에 있는 항공기 충돌예상시간은 보고된 시간에서의 위치 및 초(Second) 단위의 시간 보정을 위한 시간보정계수 등을 적용하여 다음과 같이 계산한다.

T_c : 충돌예상시간

a : 시간보정계수

(x_1, y_1) : 대상 항공기 위치

(x_2, y_2) : 충돌경로 상 항공기 위치

$V_{x_1} \cdot V_{y_1}$: 대상 항공기 속도

$V_{x_2} \cdot V_{y_2}$: 충돌경로 상 항공기 속도

$$T_c = a \times \frac{((x_2 - x_1) \times (V_{x_1} - V_{x_2}) + (y_2 - y_1) \times (V_{y_1} - V_{y_2}))}{(V_{x_1} - V_{x_2})^2 + (V_{y_1} - V_{y_2})^2}$$

제트엔진 장착 유인 항공기의 조종사가 비행 중 물체를 인식하는데 0.1초, 항공기 식별에 1.0초, 충돌코스 인지에 필요한 시간은 5.0초, 선회반경을 결정하는데 4.0초, 회피조작을 하는데 0.4초, 항공기가 반응하는데 2.0초, 이렇게 충돌회피에는 최소한 12.5초의 여유시간이 필요하다⁸⁾. 따라서 ATCS의 운용수에게 제공되는 개선된 공중충돌 경고기능은 항공기 조종사 조치시 소요되는 시간을 고려해야 한다. 이와 함께 ATCS 특성으로 레이더 자료를 전송받아 항공기 정보를 처리하는 과정 중의 자료처리 지연시간(Time Delay of Radar Input Processing)도 충돌예상시간 계산 중 고려할 것이다. 레이더 자료를 받아 처리하는 ATCS는 그 전송주기와 전송 후 자료가 처리되는 시간이 일반적으로 일정하다. 이런 장비의 특성도 경고단계 설정시 중요한 요소로 고려되어야 한다. 따라서 공중충돌 경고단계 설정을 위한 기준시간은 항공기 간 공중충돌 예상시간 외에 다음의 요소가 고려되어야 한다.

T_a : 회피기동 인지 및 조치 시간(12.5초 이상)

T_d : 자료처리 지연 시간(ATCS 시스템 특성값)

T_c : 항공기 충돌예상시간

T_s : 경고단계 설정 기준시간

$$T_s = T_c + T_a + T_d$$

본 논문에서는 최종 계산되어진 경고단계 설정 기준시간(T_s)을 경고기능의 각 단계별 설정을 위한 기준으로 사용한다.

다. 충돌경로 항공기 간 상대거리

경고단계 설정 기준시간(T_s)과 더불어 경고단계를 설정하는 중요요소로 충돌경로 상의 항공기 간 상대거리를 계산한다. 항공기가 저속과 고속을 반복하여 비행할 시 충돌예상시간만을 고려한 경고단계 설정은 속도변화에 의해 충돌예상시간이 수시로 변하여 예상치 못한 공중충돌 경고기능의 단계변경 가능성이 존재한다. 충돌경로에 있는 항공기 간 상대거리는 속도와 무관하게 감소하는 패턴을 가지므로 상대거리를 통한 경고단계 설정도 고려되어야 한다. 대상 항공기와 충돌경로 상의 항공기 간 상대거리는 다음과 같이 계산할 수 있다.

(x_1, y_1) : 대상 항공기 위치

(x_2, y_2) : 충돌경로 상 항공기 위치

D_s : 충돌경로 상 항공기 간 상대거리

$$D_s = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

계산된 상대거리(D_s)는 경고단계 설정 기준시간(T_s)과 함께 경고기능의 각 단계별 설정을 위한 기준으로 사용한다.

라. 공중충돌 경고단계 생성 및 시각화

ATCS의 경고기능은 항공기 TCAS에서의 공중충돌 경고 발생 이전에 생성되어 ATCS 운용수의 조치를 통해 공중안전을 보장할 수 있도록 제공되어야 한다. 따라서 각 단계별 발생기준은 TCAS의 공중충돌 발생조건 모두를 충족하고, ATCS의 시스템 특성과 운용수, 조종사의 반응시간을 고려하여 설정한다.

ATCS의 공중충돌 경고기능은 관심-주의-경고(Attention-Warning-Alert)로 구분하고, 조종사 충돌경로 인지 및 회피기동 조치 시간을 14초, ATCS의 자료처리 지연 시간을 6초로 하여 20초 동안의 시간지연(Time Delay)을 고려하여 경고단계 기준을 Table 3과 같이 설정한다. 상대속도는 항공기가 일반적으로 순항

하는 속도(350~400Knots)에서 충돌경로 상 비행을 기준으로 하여 800Knots로 설정한다.

Table 3. ATCS 경고단계 설정 기준

구 분	Attention	Warning	Alert
	TA + 20	RA + 20	RA + 6
Ts(sec)	65	50	36
Ds(NM)	14.4	11.1	8.0

상대속도 : 800Knots 기준

경고단계의 시각화 기법은 Fig. 5와 같으며, 대상 항공기에 대한 심볼 전시, 대상 항공기 간 참조선 전시, 단계별 경고 색상 점멸 등의 시각화 기법을 사용하여 정보를 제공한다. 이를 통해 사용자가 정확하고 신속하게 경고단계 정보를 인지할 수 있도록 구현한다. 경고전시를 위한 단계별 색상은 관심-주의-경고 단계에 대해서 Yellow-Orange-Red 색상으로 설정하고, 항공기 선택 심볼과 항공기 간 참조선 색상에 동일하게 부여한다. 제공되는 정보의 시각적 효과를 극대화하기 위해 각 전시 심볼에 대한 점멸기능도 함께 구현한다.

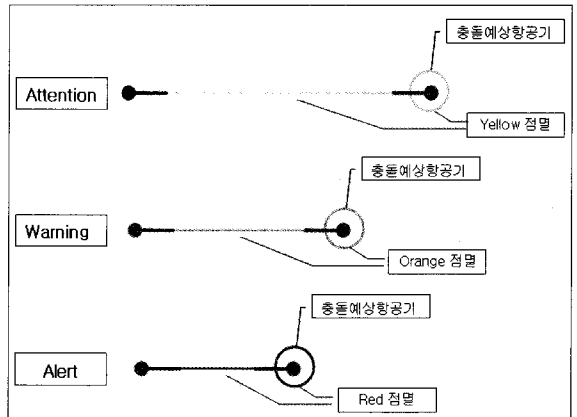


Fig. 5. 공중충돌 경고 단계별 시각화

마. 상대고도 관련 비행경로 시각화

설정된 경고단계와 함께 비행경로 정보를 제공함으로써 경고상황 발생시 항공기 조치를 위한 비행패턴 정보가 이를 통해 제공된다. 시각화된 비행경로는 직진·선회, 가속·감속, 상승·하강의 비행패턴 정보를 제공하고, 운용수는 제공된 정보를 통해 항공기의 비

행에측 및 공중충돌 상황시의 항공기 통제를 위한 기본정보로 사용한다. 특히, 공중충돌 상황 발생시 대상 항공기 간의 고도분리 정보를 비행경로를 통한 시각화 정보로 얻을 수 있다.

공중상황 안전이 보장되는 공중충돌 이전의 자료는 Fig. 6과 같이 비행경로를 통해 직진 및 선회비행이 시각화 되고, 경로상의 색상은 식별된 항공기의 기본색상으로 시각화하여 항공기의 고도정보 및 상승, 하강 비행정보를 시각적으로 제공한다. 공중충돌 경고발생 상황일 경우 충돌경로 상 항공기 비행경로의 색상 및 채도를 Fig. 7과 같이 대상 항공기 색상으로 변경하여 제공한다. 운용수는 충돌경로에 있는 두 항공기의 비행경로 색상을 비교하여 공중충돌 상황시 상대고도, 상승·하강 비행패턴 시각화 정보를 보다 효과적으로 인식할 수 있다. 대상 항공기와 충돌경로 상 항공기의 상태전이 비행경로 모두를 대상 항공기 색상으로 동일하게 시각화한다. 항공기 간 고도분리 정보는 두 항공기 간 동일색상에서의 채도 차이로 시각화되어 운용수에게 제공된다. 비행경로 상에서 밝아지는 패턴은 상승비행으로, 어두워지는 패턴은 하강비행으로 인지할 수 있으므로 공중충돌 경고가 발생하여 항공기에 대한 조치가 필요한 상황에서 상승 중인 항공기는 지속 상승비행을, 하강 중인 항공기는 지속 하강을 지시하여 공중충돌 상황을 효과적으로 통제할 수 있다.

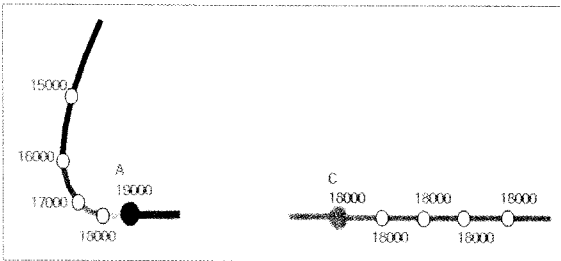


Fig. 6. 공중충돌 상황전 비행경로 시각화

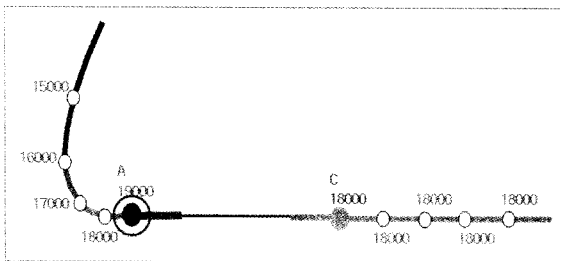


Fig. 7. 공중충돌 상황시 비행경로 시각화

4. 구현

ATCS의 공중충돌 경고 시스템은 HP J5000 장비를 사용하여 Unix 운영체제를 바탕으로 Ada, ANSI C 프로그래밍 언어를 통해 구현하였다.

공중충돌 경고단계는 관심-주의-경고(Attention-Warning-Alert) 단계에 대해서 Yellow-Orang-Red 색상으로 설정하였고, 항공기 선택 심볼과 항공기 간 참조선 색상을 동일하게 부여하였다. 더불어 시각적 효과를 극대화하기 위해 각 색상에 대한 점멸기능을 구현하였다. 구현된 시스템은 ATCS의 모의자료 생성 기능을 통해 생성된 가상의 항공기 자료에 대해 실험(Simulation)을 실시하였고, 공중상황에서 항공기 충돌상황 발생시 Fig. 8과 같이 공중충돌 방지(CA : Collision Avoidance) 경고를 대상 항공기 기본정보에 적색의 Text(CA2466, CA3063)로 생성하고, 제안된 경고 단계별 시각화 기법인 항공기 선택 심볼과 대상 항공기 간 참조선이 시현됨을 확인하였다.

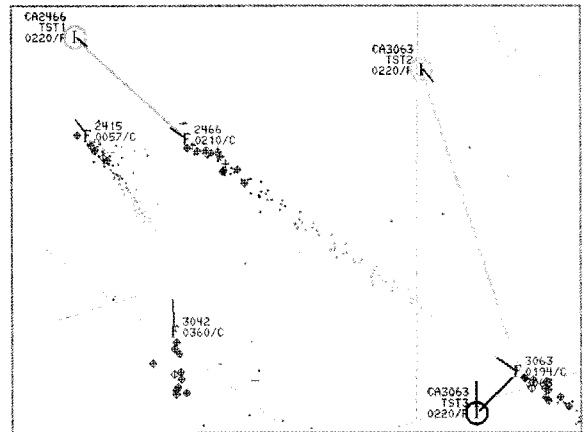


Fig. 8. ATCS 공중충돌 경고기능 구현

5. 시스템 평가

현재 운용 중인 ATCS에 제안된 단계별 경고생성기능을 구현하고, 모의자료를 활용한 Simulation으로 개선기능을 시현하여 그 효과를 실제 운용수들을 통해 확인하였다. 평가에 참여한 ATCS 운용수들에게 공중충돌 경고기능 운용환경의 개선 전·후 경고생성 및 시현의 기능상 차이를 설명하고 평가를 수행하였다. 평가는 하나의 항공기에 대해 발생하는 공중충돌 상

황과 다수의 항공기들에 대해 발생하는 복잡한 공중충돌 상황 하에서 기존의 ATCS 경고기능과 개선 ATCS 단계별 공중충돌 경고기능을 비교하여 다음의 7가지 항목에 대해 만족도(매우 불만족 : 1 - 매우 만족 : 10)를 조사하였다.

- ① 비행경로 예측
: 제공되는 정보로 비행경로 예측 가능한가 ?
- ② 상대속도 예측
: 공중충돌 대상 항공기들 간 상대속도가 예측 가능한가 ?
- ③ 상대고도 예측
: 공중충돌 대상 항공기들 간 상대고도가 예측 가능한가 ?
- ④ 경고발생 인지
: 공중충돌 경고발생 인지가 용이한가 ?
- ⑤ 대상 항공기 식별
: 공중충돌 대상 항공기 식별이 용이한가 ?
- ⑥ 충돌위험 우선순위 식별
: 다수 공중충돌 상황 하 우선처리 대상 항공기 식별이 용이한가 ?
- ⑦ 정보전달 효율
: 제공되는 정보가 충분하고 직관적인가 ?

Table 4. 개선 경고처리기능 평가

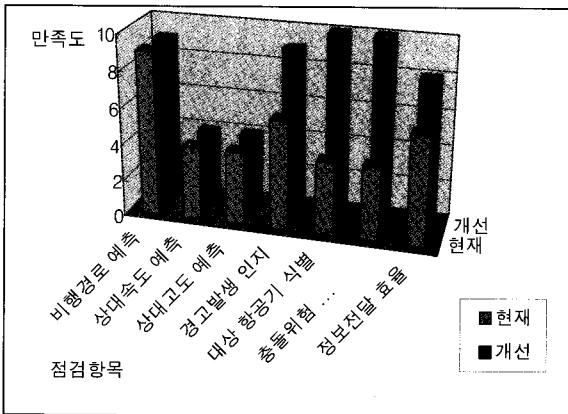


Table 4에서 비행경로 예측에 대한 정보는 현재 ATCS의 기능으로도 충분한 것으로 평가되었다. 상대속도, 상대고도 예측은 현재 시스템과 새로 구현된 시스템에서도 크게 개선되지 않았다. 이것은 추후 비행경로 상에서 속도, 고도정보를 시각화하는 기법을 추

가 구현하여 재평가를 수행할 것이다. 공중충돌 경고 발생 인지, 대상 항공기 식별, 충돌위험 우선순위 식별 등의 항목은 크게 개선된 것으로 평가되었다. 이것은 공중충돌 상황을 운용수가 바로 인식하고, 다수 공중충돌 상황 하에서 우선순위를 평가하여 대상 항공기를 식별하는데 커다란 개선효과가 있음을 나타낸다. 정보전달 효율성 측면에서도 단계별 경고정보를 통해 우선순위 인지(認知) 용이성(容易性)이 크게 개선된 것으로 평가되었다. 이상의 평가결과는 제안된 기법이 ATCS 운용수에게 다수의 공중충돌 상황에서 짧은 시간에 효과적으로 대상 항공기를 선별해 조치할 수 있는 정보제공에 효과적임을 입증하고 있다.

6. 결론

본 논문에서 공중상황의 항공기 충돌방지를 위해 TCAS 장비의 단계별 충돌 경고기능을 적용하여 ATCS 내 3단계 공중충돌 경고기능을 구현하였고, 기존에 연구되었던 비행경로 시각화 기법을 응용하여 충돌경로 상에서 대상 항공기 간 상대고도 변화 정보를 제공할 수 있는 시각화 기법을 제안하였다.

ATCS에 구현될 3단계 경고기능은 관심-주의-경고(Attention-Warning-Alert)단계로 구분하였다. 단계 설정은 대상 항공기와 충돌경로 상의 항공기 간 충돌예상 시간 및 상대거리를 계산한 후 설정된 각 경고 단계별 기준에 의해 해당하는 공중상황의 공중충돌 경고 단계를 처리하였다. 충돌예상시간과 함께 조종사의 공중상황 정보 인지 및 항공기 회피기동 시간, 일반적 ATCS의 자료처리 시간과 같은 인적, 시스템적 지연요소를 고려하여 경고단계 설정 기준시간을 제안함으로써 TCAS 경고 발생 이전에 공중충돌 상황이 효율적으로 조치될 수 있도록 구현하였다. 비행경로 시각화 기법을 개선하여 직진·선회, 가속·감속, 상승·하강의 기본적인 비행패턴 정보뿐만 아니라 공중충돌 상황 발생시 대상 항공기 간 고도분리 정보를 시각화 정보로 제공하여 효과적으로 조치가 이루어질 수 있도록 제안하였다.

이상의 경고단계 설정 및 시각화 기법을 통해 복잡한 공중충돌 상황에서 경고 단계별 정보를 ATCS 운용수에게 제공하고, 공중충돌 상황시 최우선 대상 항공기를 선별하여 조치할 수 있는 ATCS 공중충돌 경고 시스템을 구현하였다. 향후 제안한 개선 비행경로

시각화 기법을 구현하여 속도변화, 고도분리 및 상대 고도 정보가 직관적으로 제공되고, 사용자가 제공되는 정보를 효과적으로 인지하는지 검증할 것이다. 구현된 개선 비행경로 시각화 기법과 단계별 공중충돌 경고 처리기능의 통합성능 점검을 위해 시스템 및 사용자 인터페이스에 대한 평가원칙^[9] 연구를 추가적으로 진행할 것이다.

Reference

- [1] 한수철, “비례항법을 이용한 무인 항공기의 최적 충돌 회피 기동”, 한국과학기술원 기계공학과, 2004년 12월
- [2] 최주원, “민간 무인기의 충돌회피 기술개발 동향”, 항공우주산업기술동향, 제2권, 제1호, pp. 142~151, 2004년.
- [3] Woods, D. D., “The Cognitive Engineering of Problem Representations, In : Weir GR, Alty JL, Editors, Human-computer Interaction and Complex Systems”, New York : Academic Press, pp. 169~188, 1991.
- [4] Bennett, K. B., et al. “Visual display in : Salvendy G, Editor, Handbook of Human Factors and Ergonomics”, New York : Wiley, pp. 659~696, 1997.
- [5] Burns, C. M. and Vicente K. J., “Physical and Functional Displays in Process Supervision and Control(CEL 95-11), Technical Report”, Cognitive Engineering Group, University of Toronto, Department of Industrial Engineering, 1995.
- [6] 고승문, 명노해, “항공기 관제 디스플레이의 생태학적 인터페이스 디자인에 관한 연구”, 대한인간공학회, 제25권, 제4호, pp. 103~113, 2006년 11월.
- [7] 송진오, “항공기 상태전이정보를 이용한 비행경로 시각화 기법 연구”, 연세대학교 대학원 컴퓨터과 학과, 2008년 1월.
- [8] UVS TECH 2003, “Conference presentation”, 2003.
- [9] 이지연, “이용자 인터페이스 설계 원칙에 의한 정보시각화 시스템 평가 및 문제점 분석”, 정보관리연구, 제34권, 제2호, pp. 67~88, 2003년.