

ADS-B 메시지를 이용한 충돌 경보 알고리즘에 관한 연구

A Study for Avoidance Alarm Algorithm with ADS-B Message

주요한¹ · 구성관² · 홍교영^{3*}

¹한서대학교 대학원 항공시스템공학과

²한서대학교 항공레저산업학과

³한서대학교 항공전자공학과

Yo-Han Ju¹ · SungKwan Ku² · Gyo-Young Hong^{3*}

¹Department of Aircraft System Engineering, Hanseo University Graduate School, Chungcheongnam-do 357-953, Korea

²Department of Aviation Leisure & Industry Management, Hanseo University, Chungcheongnam-do 357-953, Korea

³Department of Avionics, Hanseo University, Chungcheongnam-do 357-953, Korea

[요 약]

1990년대 말 미국에서는 미래 자유비행 기술개발 및 시험을 추진하였고, 이에 국내에서도 2017년까지 자유비행을 실현 할 계획을 수립하였다. 자유비행 실현을 위해서는 항공기 간 충돌의 예방을 위해 항공기 분리보증(separation assurance)이 필수적이다. 현대 대형 민간항공기는 분리보증을 위해 충돌회피장치(TCAS; traffic collision avoidance system) 운영 및 회피 기동 규칙이 있지만 경량항공기는 비용과 공간 문제로 TCAS를 적용하기 어렵기 때문에 이에 대한 대안이 필요하다. 이에 본 논문에서는 저비용으로 경량화 및 소형화되어 구성된 ADS-B 환경 하를 가정하여 소형항공기에 적합하도록 수정하였고 LABVIEW 프로그램으로 시뮬레이션하여 시험해보았다. 시뮬레이션은 국제항공민간기구에서 제시한 항공기 충돌상황에 대하여 수행하였고, 그 결과 TCAS 기준에 따라 경보발령을 100% 수행하였음을 확인하였다.

[Abstract]

In the end of 1990's, future free flight technology had been developed and tested in America and government established the plan for free flight until 2017. Aircraft separation assurance must be secured essentially to avoid collision between aircrafts before Free Flight comes true. Now, Civil aircraft has rules about avoidance activity with traffic collision avoidance system (TCAS) but it can't apply to light aircraft. So there is a need about alternative method to apply light-aircraft because it has space and price problem to use TCAS. In this paper, TCAS algorithm has been modified and verified by simulating with LABVIEW program under ADS-B condition to get miniaturization and weight lighting cheaply. By simulating, collision alert algorithm is analyzed and verified with collision situation proposed by ICAO, and 100% checked for performing the alert announcement on all cases by TCAS standards.

Key word : Automatic dependence surveillance - broadcast, Traffic collision avoidance system, Collision warning algorithm, Free flight.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2015.19.5.379>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<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.

Received 6 October 2015; Revised 6 October 2015

Accepted (Publication) 16 October 2015 (30 October 2015)

*Corresponding Author; Gyo-young Hong

Tel: +82-41-671-6232

E-mail: kiathgy@hanseo.com

I. 서론

미국 항공무선기술 위원회 (RTCA; radio technical commission for aeronautics) 제 3전담반은 1996년 8월 15일 항공기 운용자들이 계기비행 상태에서 실시간으로 자유롭게 항로를 선택 할 수 있도록 하는 신개념의 ‘자유비행 실행계획 (free flight action plan)을 도출하였다[1]. 자유비행은 더 효율적인 경로에 대한 가능성을 제공하는 때문에 항공기 연료절감과 대기오염 감소, 운항비용 및 항공교통관제 의존을 축소시킬 수 있는 가장 큰 대안으로 자리 잡았다. 하지만 자유비행의 실현을 위해서는 항공기 분리보증 (separation assurance)의 문제 해결이 선행 되어야 하며, 자유비행을 위한 주요 핵심 요구사항으로 국내외에서 여러 연구가 진행 되고 있다[2].

항공기 분리가 이루어지지 않았을 경우, 항공기간 충돌 상황인 것으로 간주하고 충돌을 예방 할 수 있는 방법과 회피기동에 대한 규칙을 국제적 규약으로 정해 시행하고 있다. 이러한 충돌 회피 규칙은 어디까지나 현행의 공역체계, 즉 정해진 항로를 이용하고 아직까지는 공역 용량이 포화상태가 아닌 조건에서만 통용 될 수 있는 규칙이다[3] 그리고 현재 운용 중인 충돌회피장치 (TCAS)는 비용과 공간의 제약 문제로 대형항공기에만 적용되어 사용되고 있는 실정이다. 따라서 향후 자유비행을 위하여 대형항공기에만 갖추어져 있는 충돌경보시스템을 소형항공기도 갖추어야 할 필요가 있으며 기존의 충돌회피시스템에서 소형화, 경량화 되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 TCAS 충돌 회피알고리즘을 분석하였고 이를 ADS-B (automatic dependance surveillance - broadcast) 환경에 적용하기 위하여 충돌예상시간과 항공기 간 거리 계산방법 등을 수정하였다. 이후에 ICAO에서 제시한 항공충돌상황에 대하여 시뮬레이션하여 계산결과와 기준에 따른 경보발령 여부 등을 검증하였다.

II. 관련연구

2-1 ADS-B

미국연방항공청 (FAA ; federal aviation administration)에서는 CAPSTON 프로그램을 기획하고 ADS-B 기술의 실현 및 응용을 위한 시험을 알래스카 지역에서 시범 운용하여 미국 안전 업무 운영평가에서 치명적인 사고율의 현저한 감소 효과를 입증하였다[5]. ADS-B는 1090ES와 UAT의 데이터 링크를 갖고 있다. 그림 1은 ADS-B의 개념도를 나타내고 있다. 개념도에서 설명하고 있는 것처럼 ADS-B는 자신의 위치정보를 100NM 이내 주변 항공기와 지상국에 방송하는 시스템이다. 따라서 ADS-B는 저비용의 수신기만 있어도 주변 항공기의 위도, 경도, 고도 등의 정보를 수집할 수 있으며 시스템을 위한 별도의 공간이 필요치 않아 소형항공기에 적합하다.

본 논문에서는 저비용으로 구성된 ADS-B 수신기를 통하여

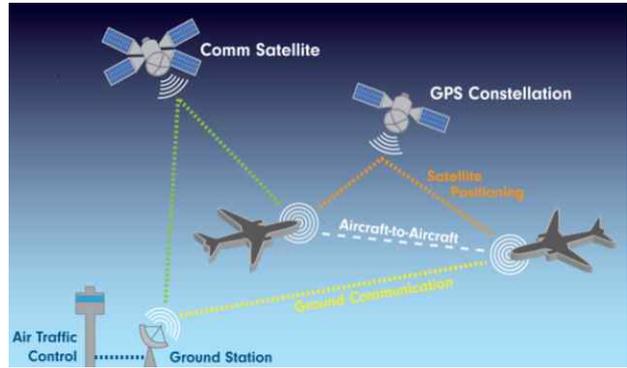


그림 1. ADS-B 개념도
Fig. 1. ADS-B conceptual picture.

얻은 주변 항공기 위치 정보를 이용하여 충돌위험 정도를 산출하는 알고리즘을 작성하였다. 알고리즘에 사용되는 정보는 위도, 경도, 고도정보이며 시뮬레이션 입력 값으로 사용된다.

2-2 TCAS 위험 판단 요소

충돌회피장치는 항공기 간 공중충돌을 방지하기 위한 핵심 시스템으로 기압고도계, 전방향 안테나, 지향성 안테나를 통해 주변 항공기의 현재 위치 정보를 획득한다. 따라서 주변 항공기 정보는 자항공기를 기준으로 하는 방위정보와 반경을 변수로 사용한다. TCAS는 접근하는 항공기에 대한 충돌위험을 판단하기 위해 거리테스트 (range test)와 고도테스트 (altitude test)를 수행한다. 각 테스트 결과는 최종적으로 TA (Traffic advisory)와 RA (Resolution advisory)를 결정하게 되며 RA의 위험도가 TA 위험도 보다 더 높다. 각 테스트 결과가 TA인 경우 TCAS는 조종사에게 음성과 함께 주의경보를 발령하며, RA인 경우 회피방향과 함께 위험경보를 발령한다.

한편, 고도테스트는 두 항공기 사이의 고도 차를 이용하여 위험 정도를 판단하며 위험 정도의 기준은 표 1과 같다.

표 1. 충돌회피 알고리즘의 Sensitivity Level[4]
Table 1. Sensitivity level of collision warning algorithm[4].

Own altitude	SL	tau (seconds)		dmod (nmi)		altitude threshold(feet)	
		TA	RA	TA	RA	TA	RA
< 1000	2	20	N/A	0.30	N/A	850	N/A
1000 ~ 2350	3	25	15	0.33	0.20	850	300
2350 ~ 5000	4	30	20	0.48	0.35	850	300
5000 ~ 10000	5	40	25	0.75	0.55	850	350
10000 ~ 20000	6	45	30	1.00	0.80	850	400
20000 ~ 42000	7	48	35	1.30	1.10	850	600
> 42000	7	48	35	1.30	1.10	1200	700

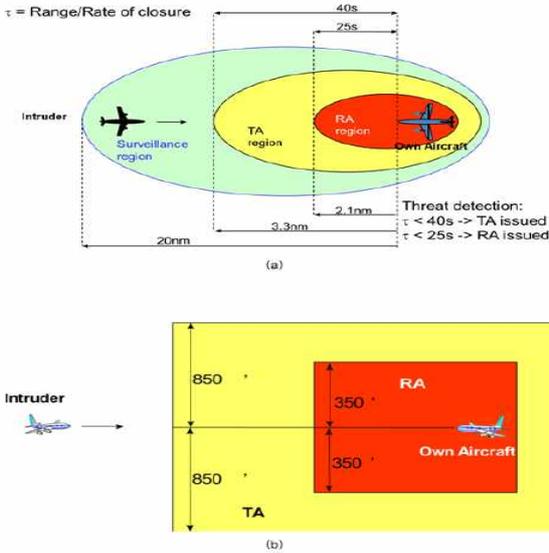


그림 2. 거리테스트와 고도테스트의 예시[4]
 Fig. 2. Example for altitude/range test[4].

거리테스트 결과는 τ (tau) 와 DMOD (distance modification) 2가지 변수로서 표현된다. 첫 번째 tau는 시간 개념의 접근법을 이용하여 조우예상지점 또는 최단접근지점 CPA (closest point of approach)에 대한 도달시간을 초 단위로 계산한 결과이다. 두 번째로 DMOD는 두 항공기가 서로 느린 속도로 접근할 때, 거리테스트의 시간개념 접근법에 의한 오류를 피하기 위해 도입된 파라미터로 두 항공기의 직선거리와 같다[4]. 고도테스트 결과와 마찬가지로 거리테스트 결과 또한 TA와 RA를 결정하게 된다. 다만 두 가지 변수 중에 위험도가 높은 것을 발령한다. SL이 5일 때 거리테스트 예시가 그림 2(a), 고도테스트의 예시가 그림 2(b)에 나타나있다.

2-3 TCAS 충돌회피 알고리즘

TCAS 충돌회피 알고리즘은 그림 3에 나타나 있다. 알고리즘 초기에는 자항공기를 중심으로 주변교통상황을 감시(surveillance)를 수행한다. 이후에 타항공기가 감시영역에 진입 시 자항공기의 위치정보와 타항공기의 위치정보를 이용하여 tracking하고 거리테스트와 고도테스트를 수행하여 조종사에게 주의경보(TA)를 발령한다. 주의경보가 발령되었음에도 불구하고 충돌위험이 감지 (threat detection)되면 상대항공기와 회피 방향을 최종 결정 후 회피기동(RA)을 지시한다. 주변항공기의 위치정보는 거리와 방위로서 표현되는데, 거리는 상대항공기에서 시간데이터를 송신한 시간과 자항공기가 이를 수신한 시간의 차이를 이용하여 계산한다. 이 때 TCAS 무지향성 안테나가 사용된다. 방위정보는 지향성 안테나의 회전 각 데이터를 통하여 획득한다. 각 안테나는 항공기 외부에 부착되어 운영되며, 소형항공기에서는 이와 같은 방법을 적용하기에 어려움이 있다.

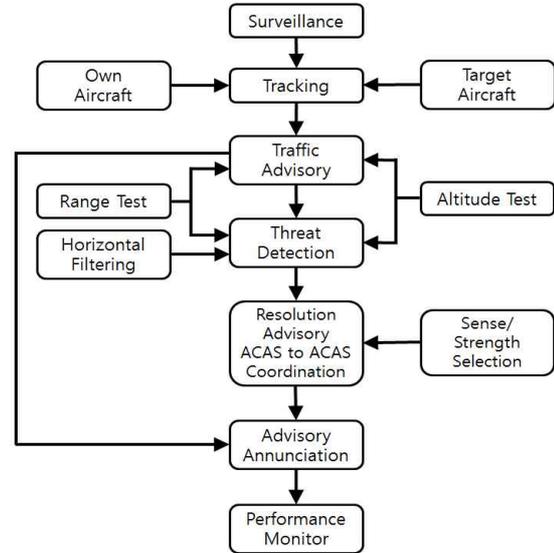


그림 3. TCAS 충돌회피 알고리즘[4]
 Fig. 3. TCAS collision avoidance algorithm[4].

2-4 충돌회피 알고리즘의 수정

본 논문에서 사용된 충돌경보 알고리즘은 그림 4에 표현되어 있다. 기존의 알고리즘에서 ‘sense/strength selection’은 TCAS의 안테나 전계강도를 이용하여 상대 항공기의 위치를 계산하기 위하여 필요한 것으로 ADS-B 데이터에서 GPS정보를 이용하는 본 논문에서의 충돌경보 알고리즘은 이를 삭제하였다. ‘traffic advisory’와 ‘resolution advisory’부분은 회피를 위한 과정으로 회피기동을 지원하지 않는 본 논문의 알고리즘에서는 동일한 강도의 경보수준을 적용하여 ‘caution level(주의단계)’와 ‘warning level(위험단계)’로 수정하였다. 또한 TCAS에서 주변 항공기 위치 정보를 수집하는 방법이 ADS-B에서 다르게 적용되므로 거리테스트와 고도테스트를 각각 수평적 위험도 측정 (horizontal risk measurement)과 수직적 위험도 측정 (vertical risk measurement)으로 수정하였다.

기존의 TCAS 알고리즘은 회피기동 지시기능을 포함하기

표 2. 수직적 위험도 측정결과가 ‘경고’ 일 때, 수평적 위험도 측정 결과

Table 2. Horizontal risk measurement result when altitude test is ‘caution’.

altitude test	dmod	tau	alert
caution	safe	safe	safe
caution	safe	caution	caution
caution	safe	warning	caution
caution	caution	safe	caution
caution	caution	caution	caution
caution	caution	warning	caution
caution	warning	safe	caution
caution	warning	caution	caution
caution	warning	warning	caution

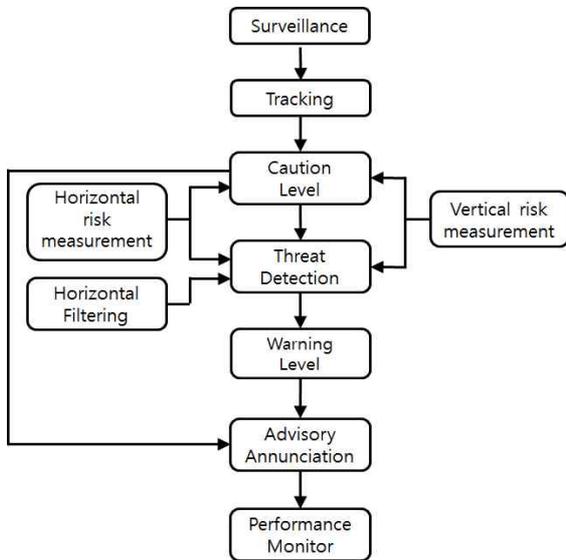


그림 4. 수정된 충돌경보 알고리즘
 Fig. 4. Modified collision alert algorithm.

때문에 ‘충돌회피알고리즘’이라 명명하였다면, 본 논문에서는 회피기동을 조종사의 몫으로 남겨두었기에 이하에서 ‘충돌경보 알고리즘’이라 하였다.

2-5 충돌경보 알고리즘 수평적 위험도 측정 기법

본 논문에서 수정한 충돌경보 알고리즘의 수직적 위험도 측정은 TCAS 충돌회피알고리즘의 고도테스트와 동일한 방법으로 측정한다. 하지만 수평적 위험도 측정은 항공기 위치 정보 수집 방법이 TCAS와 다르기 때문에 같은 방법으로 수행 될 수 없다. 따라서 본 논문에서는 ADS-B를 통하여 획득한 위도, 경도의 정보를 거리로 환산하여 수평적 위험도를 측정하였다.

일반적으로 위도에 따른 위도 및 경도 1도의 길이는 각각 식 (1)과 식 (2)와 같다[6].

$$Distance_{lat} = 111132.954 - 559.822 * \cos(2\Phi) + 1.175 * \cos(4\Phi) \quad (1)$$

$$Distance_{long} = \frac{\pi \cos(\Phi)}{180(1 - e^2 \sin^2(\Phi))^{1/2}} \quad (2)$$

수평적 위험도 측정은 표적항공기가 감시영역에 침입하게 되는 순간부터 시작하게 되며, 이 감시영역은 ADS-B 신호의 통달거리와 같다. 표적항공기가 감시영역에 침입하였을 때 현재 나의 위치를 ($long_1, lat_1$), 상대 항공기의 위치를 ($long_2, lat_2$)로 두었을 때 각 경도 거리 차($dlong$)와 위도 거리 차($dlat$)는 식 (3)과 식 (4)와 같다. 위도와 경도의 거리 차를 통해 표적항공기까지의 직선거리는 DMOD와 같다고 할 수 있으므로 DMOD는 식 (5)와 같이 구할 수 있다. i 시간 일 때 DMOD를 $DMOD_i$, 정보데이터 갱신 시간을 t 라고 한다면 CPA 도달시간 τ 는 식 (6)을 통해 구할 수 있다.

표 3. 수직적 위험도 측정결과가 ‘위험’ 일 때, 수평적 위험도 측정 결과

Table 3. Vertical risk measurement result when altitude test is ‘warning’.

altitude test	dmod	tau	alert
warning	safe	safe	safe
warning	safe	caution	caution
warning	safe	warning	warning
warning	caution	safe	caution
warning	caution	caution	caution
warning	caution	warning	warning
warning	warning	safe	warning
warning	warning	caution	warning
warning	warning	warning	warning

$$dlong = (long_2 - long_1) * Distance_{long} [km] \quad (3)$$

$$dlat = (lat_2 - lat_1) * Distance_{lat} [km] \quad (4)$$

$$DMOD = \sqrt{dlong^2 + dlat^2} [km] \quad (5)$$

$$\tau = \frac{DMOD_i * t}{DMOD_i - DMOD_{i-1}} [sec] \quad (6)$$

최종적으로 DMOD와 τ 는 TCAS 충돌회피 알고리즘과 마찬가지로 현재 자항공기의 고도에 따라서 주의단계와 위험단계로 판정 된다. 주의단계는 TCAS에서 TA와 동일한 위험수준을 갖으며 위험단계는 RA와 동일한 위험수준을 갖는다. 표 2는 수직적 위험도 측정 결과가 ‘주의단계’ 일 때 수평적 위험도 측정에 따른 가능한 경보단계(alert)를 나타낸다. 표 3은 수직적 위험도 측정 결과가 ‘위험단계’ 일 때 수평적 위험도 측정에 따른 가능한 경보단계(alert)를 나타낸다.

2-6 연구 목표

현재 대형 민간 항공기에서만 운영되고 있는 충돌회피시스템을 소형항공기에도 적용 할 필요성이 증대되고 있다. 하지만 소형항공기에 충돌회피시스템을 적용하기 위해서는 저비용으로 경량화, 소형화가 먼저 이루어져야한다.

본 논문의 목적은 저비용으로 구성된 ADS-B 환경을 가정하여 기존의 충돌회피알고리즘을 수정하고 수정된 충돌회피알고리즘을 시뮬레이션을 통해 검증하는 것이다.

이상의 내용에서 알고리즘 수정과정을 작성하였고 다음 장에서 시뮬레이션 방법과 결과를 작성하였다.

III. 시뮬레이션

3-1 시뮬레이션 구성

일반적으로 항공교통분야에서의 운영실험은 매우 제한적이



그림 5. 데이터 작성프로그램
Fig. 5. Data generating program.

고, 고비용과 고위험성을 동반하지만 시뮬레이션 실험은 상대적으로 저비용과 저위험성을 제공하게 된다. 본 논문에서 시뮬레이션은 ADS-B 운영환경을 가정하였고, GPS 위치데이터 또한 오차가 없음을 가정하였다.

시뮬레이터는 데이터 작성프로그램과 데이터 수신프로그램으로 구성되어 있으며, LABVIEW 프로그램을 이용하여 만들었다. 데이터 작성프로그램은 그림 5와 같으며, 데이터 수신프로그램은 그림 6과 같다. 작성프로그램에 초기 설정 값으로 각 항공기에 대한 위도, 경도, 진행방향, 속도, 고도, 상승률, id를 입력하면 매 초마다 이동한 항공기의 위치 데이터를 갱신하여 수신프로그램으로 송신한다. 수신프로그램은 이를 수신하여 위치데이터를 분석, 고도테스트와 거리테스트를 수행하여 충돌경보 LED에 표시한다. 또한 직관적인 경보 상황 인식을 위해 자신의 항공기는 흰색, 표적항공기는 빨간색으로 표시하였으며 표적항공기가 감시영역에 들어온 순간부터 계산하는 것으로 가정하였다.

3-2 시뮬레이션 상황 설정

본 논문에서는 유인소형항공기에 ADS-B 시스템이 장착된 상황을 가정하여 회피기동은 조종사의 몫으로 고려하였다. 따라서 TCAS 충돌회피 알고리즘에서 회피기동 보다는 충돌경보

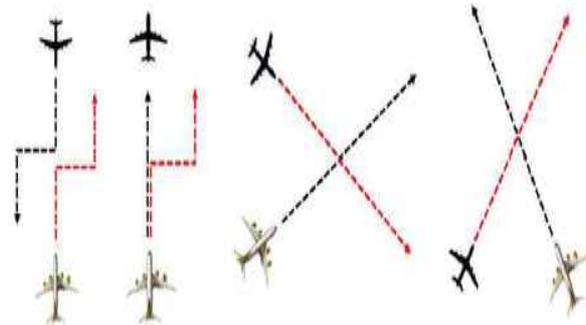


그림 7. ICAO에서 제시한 충돌 위험 상황
Fig. 7. Suggested collision threat situation from ICAO.

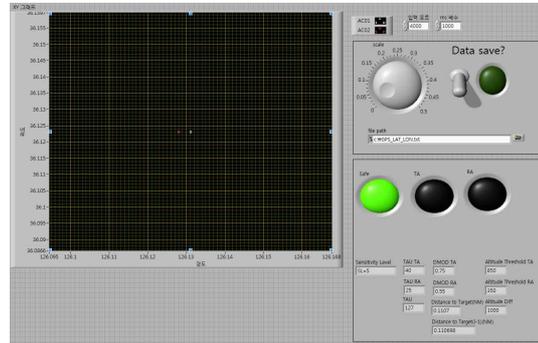


그림 6. 데이터 수신프로그램
Fig. 6. Data receiving program.

에 대한 알고리즘에 중점을 두어 분석을 수행하였다.

본 연구에서 경보의 단계는 크게 안전, 주의, 위험 단계로 나누었으며, 국제민간항공기구(ICAO ; international civil aviation organization)에서 제시한 충돌상황에 대해 TCAS에 적용된 최소분리기준과 수평분리기준 위반상황에 대한 경보 문제에 초점을 맞춰 수행하였다. 국제민간항공기구에서 제시한 충돌상황은 항공기가 서로 마주보며 접근하는 경우, 교차하는 경우, 추월하는 경우 3가지이며[7], 이는 그림 6에 나타나 있다.

각 충돌상황에 대해 분리기준을 적용하면 표 4와 같이 6개의 상황을 고려 할 수 있다. 항공기 고도 분리가 안전 단계에 있을 때에는 수평거리에 관계없이 안전 단계이므로 고려 대상에서 제외하였다.

분리기준 위반여부는 앞서 소개된 충돌경보 알고리즘을 통해 계산된 결과 값을 통해 확인하였으며 데이터는 오차가 없고 무결성이며 매 초 갱신되는 것으로 가정하였다.

3-3 시뮬레이션 결과

시뮬레이션에서는 표 4에서 언급한 각 상황을 구현하기 위하여 항공기의 설정치를 표 5와 같이 설정하여 구현하였다.

표 4. 시뮬레이션을 위한 상황 설정
Table 4. Considerable situation for simulation.

vertical separation condition	horizontal situation condition	CASE
two aircrafts are separated as 'caution level'	two aircrafts are facing	I-1
	two aircrafts are intersecting	I-2
	one aircraft is overtaking another one.	I-3
two aircrafts are separated as 'warning level'	two aircrafts are facing	II-1
	two aircrafts are intersecting	II-2
	one aircraft is overtaking another one.	II-3

표 5. 시뮬레이션을 위한 설정치

Table 5. Data setting for simulation.

	Own aircraft	case I-1	case I-2	case I-3	case II-1	case II-2	case II-3
	aircraft 1	aircraft 2					
latitude[degree]	36.123456	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.123456
longitude[degree]	126.123456	126.123456	126.123456	126.12	126.123456	126.123456	126.1
altitude[feet]	7000	6500	6500	6500	6800	6800	6800
speed[kn]	100	100	100	130	100	100	130
vector[degree]	0	180	135	90	180	135	90
descent rate[feet/s]	0	0	0	0	0	0	0
sensitivity level	5						
tau caution standard[sec]	40						
tau warning standard[sec]	25						
dmod caution standard [NM]	0.75						
dmod warning standard[NM]	0.55						
altitude caution standard [feet]	850						
altitude caution standard [feet]	350						

시뮬레이션 결과는 시간에 따라 항공기가 진행하면서 발령된 tau와 DMOD에 의한 경보를 그래프를 통해서 확인하였다.

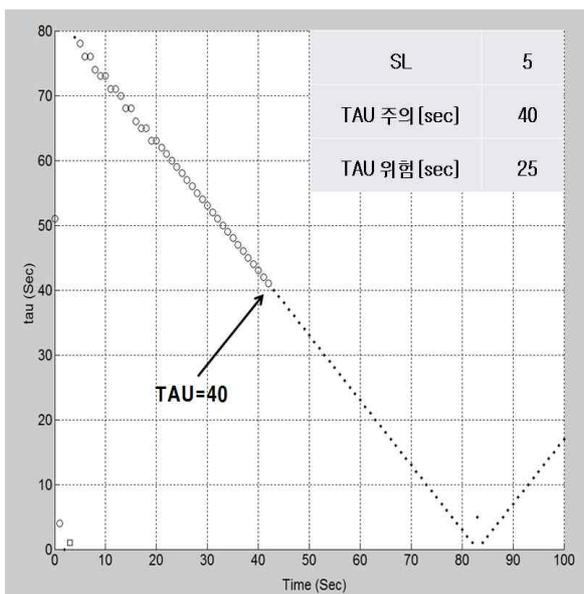
결과 그래프는 x축을 시간, y축을 tau와 DMOD를 각각 나타내고 있으며 주의경보와 위험경보가 나타난 시점을 포함하고 있다. 그래프는 안전단계는 원으로, 주의단계는 점으로, 위험단계는 사각형으로 표현되었다.

그림 8은 case I-1 시뮬레이션에 대한 결과를 나타낸다. case I-1은 고도분리가 주의단계에서 마주하여 접근하는 상황으로

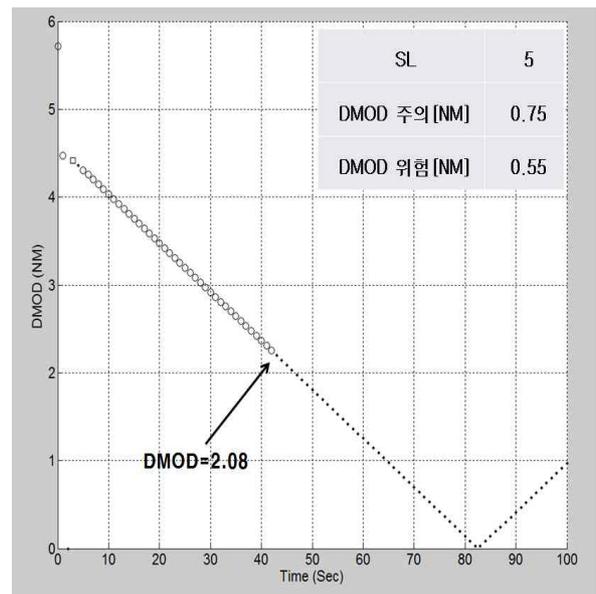
거리테스트 결과가 ‘위험단계’일지라도 고도테스트 결과에 의해 경보는 ‘주의단계’로 발령되었다. 그림 8(b)는 DMOD 그래프를 나타내며 DMOD가 2.08일 때 경보가 발령 되었다. 이는 tau에 의한 경보임을 그림 8(a) tau 그래프를 통해서 알 수 있다.

고도분리가 경보 단계이며, 두 항공기가 교차하는 상황을 구현한 case I-2에 대한 결과는 그림9에 나타나있다.

tau결과를 나타내는 그림 9(a) 에서도 40초 일 때 경보가 발령 되었으며, 경보발령 시 DMOD는 1.56NM이었다. case I-1과



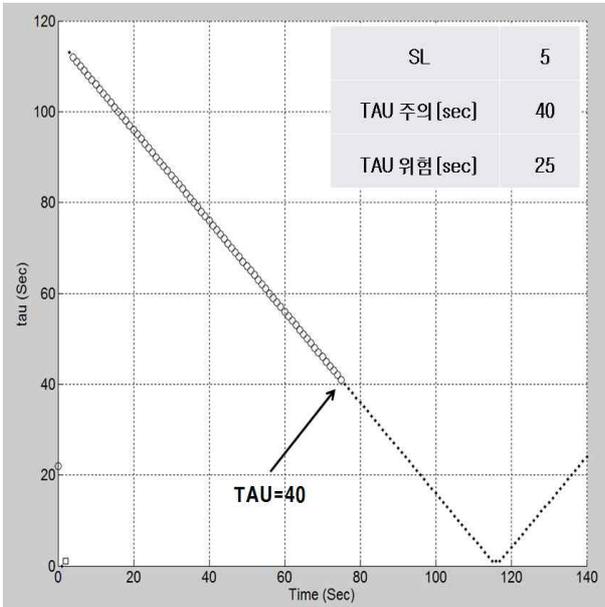
(a) tau-시간 그래프



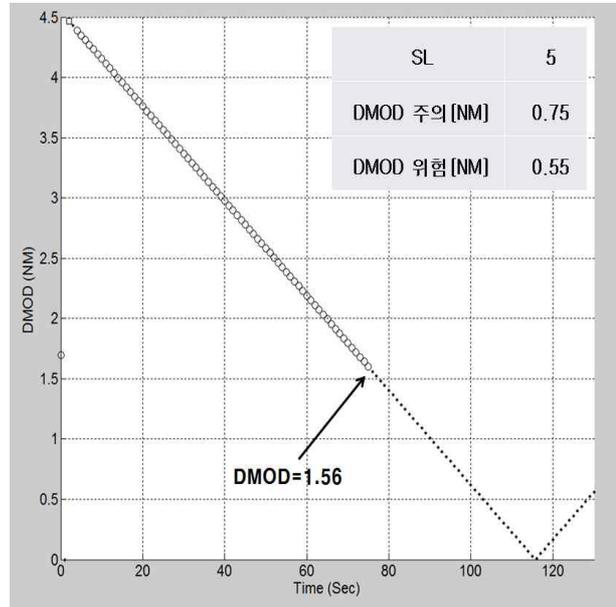
(b) dmod-시간 그래프

그림 8. Case I-1 시뮬레이션 결과

Fig. 8. Simulation result of case I-1.



(a) tau-시간 그래프



(b) dmod-시간 그래프

그림 9. Case I-2 시뮬레이션 결과

Fig. 9. Simulation result of case I-2.

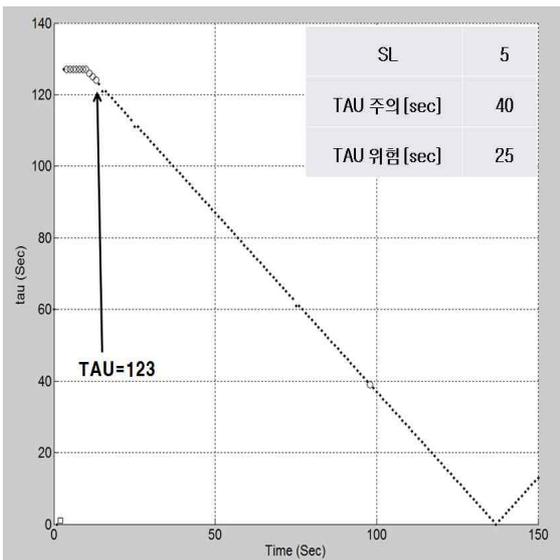
마찬가지로 고도분리가 주의단계까지 이루어져 있으므로 경보 최고단계는 주의단계가 되었다. 시뮬레이션 초기에 있는 위험 경보는 프로그램 구동 시 초기설정에 의해 나타난 것으로 프로그램이 안정된 후에는 나타나지 않았다

시뮬레이션 case I-3의 tau 결과는 그림 10(a)에 나타나 있으며 충돌예상지점 도달까지 123초의 시간이 있음에도 불구하고 주의경보가 발령된 것을 알 수 있다. 발령원인은 DMOD에 의

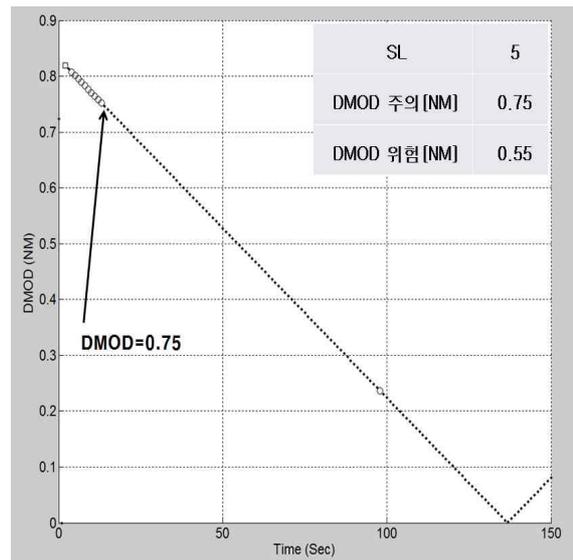
한 경보이며 이는 그림 10(b)에 나타나 있다. DMOD의 정의를 비추어 보았을 때 그 기능을 잘 수행하였다고 판단 할 수 있다.

앞의 상황들과 마찬가지로 고도분리가 주의단계로 이루어져 있으므로 최고 경보단계로 주의단계까지만 발령이 되었다.

고도분리가 위험단계로 설정되고 두 항공기가 마주하여 접근하는 상황을 구현한 case II-1의 tau결과는 그림 11(a)에, DMOD결과는 그림 11(b)에 나타나 있다. 두 항공기가 마주하



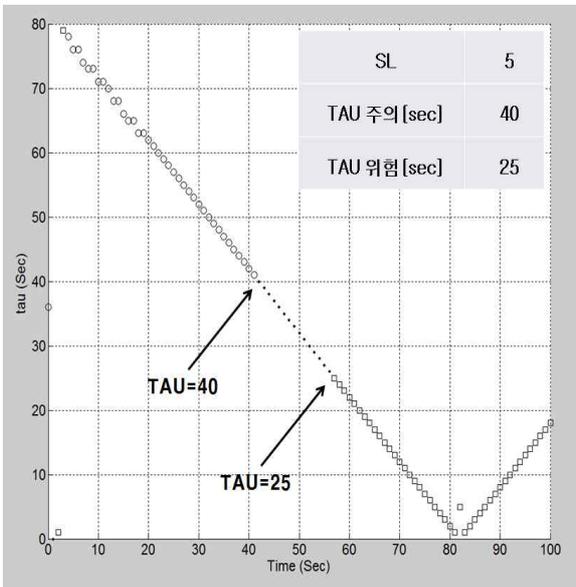
(a) tau-시간 그래프



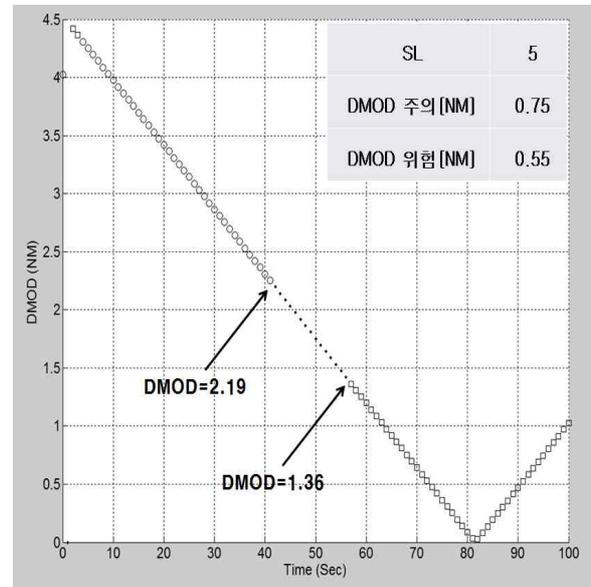
(b) dmod-시간 그래프

그림 10. Case I-3 시뮬레이션 결과

Fig. 10. Simulation result of case I-3.



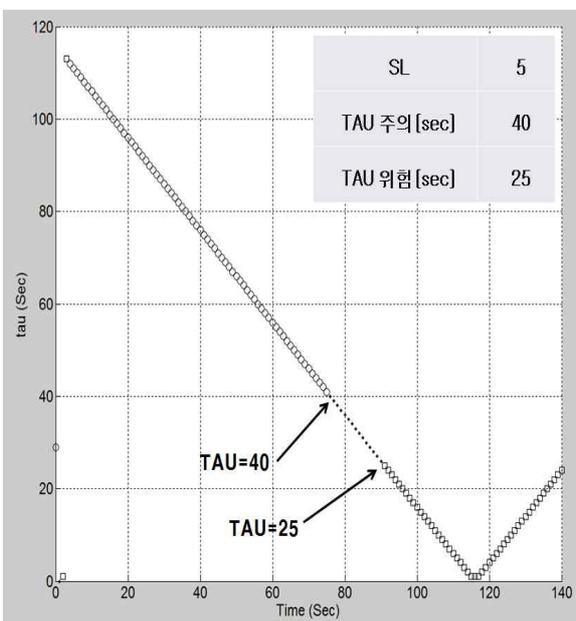
(a) tau-시간 그래프



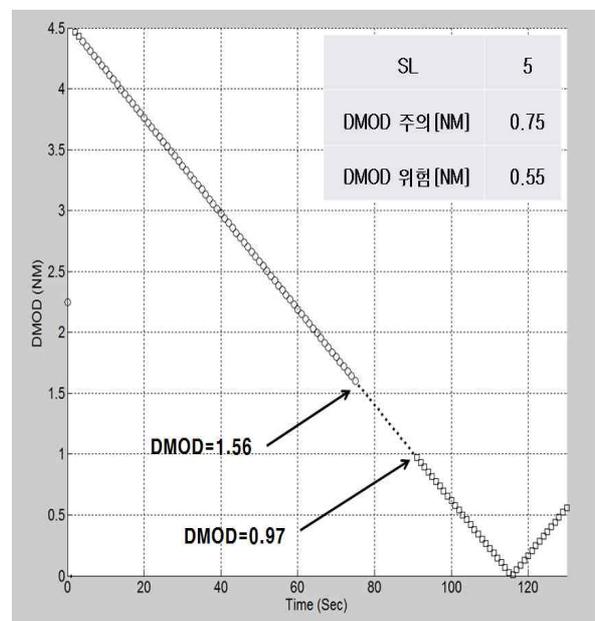
(b) dmod-시간 그래프

그림 11. Case II-1 시뮬레이션 결과

Fig. 11. Simulation result of case II-1.



(a) tau-시간 그래프



(b) dmod-시간 그래프

그림 12. Case II-2 시뮬레이션 결과

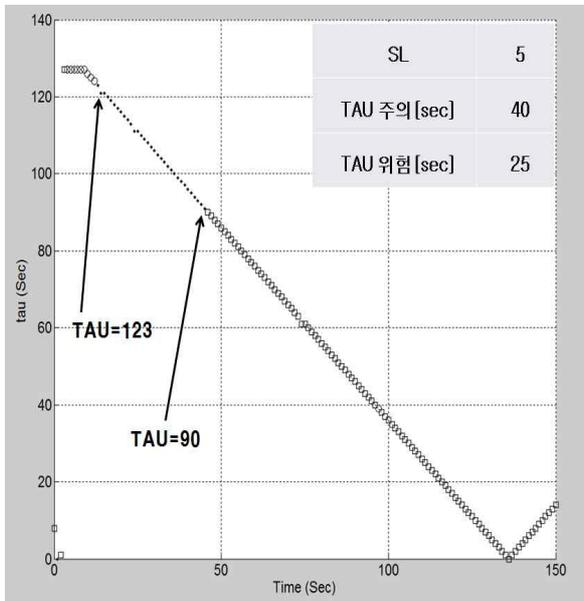
Fig. 12. Simulation result of case II-2.

여 접근하는 상황에서 주의경보는 tau가 40초 일 때 발령되었으며, 위험경보는 25초 일 때 발령되었다. 위험수준이 경고단계와 위험단계 모두 기준에 따라 발령된 것을 확인 할 수 있다.

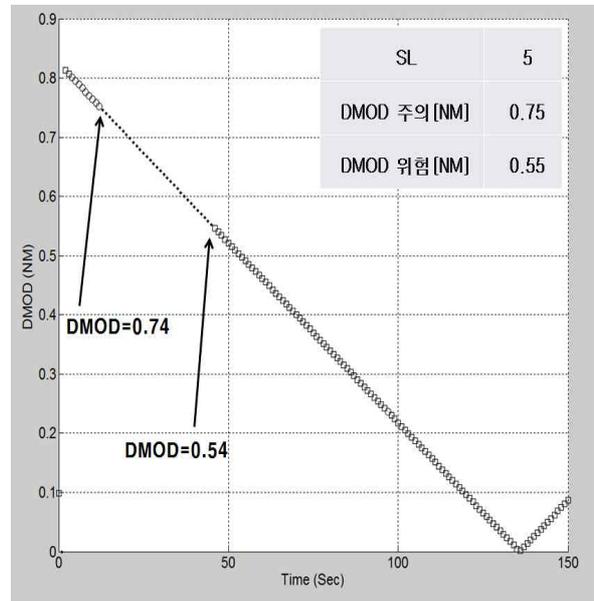
두 항공기의 고도분리가 위험단계이면서 서로 교차하는 상황을 묘사한 case II-2의 tau결과 그래프는 그림 12(a)에 나타나 있으며, 주의경보가 40초에, 위험경보가 25초에 각각 발령되었

다. 경보가 발령 되었을 때 DMOD는 각각 1.48 NM, 0.89 NM이었다. case II-1과 caseII-2를 통하여 tau에 의한 경고단계 및 위험단계 경보발령이 잘 이루어졌음을 확인 할 수 있었다.

마지막 case II-3은 고도분리가 위험단계로 이루어진 상황에서 다른 항공기가 뒤에서 추월하는 상황을 구현하여 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 해당 시뮬레이션에서 경보는 DMOD에



(a) tau-시간 그래프



(b) dmod-시간 그래프

그림 13. Case II-3 시뮬레이션 결과
Fig. 13. Simulation result of case II-3.

의해서 발령되었으며 tau 뿐만 아니라 DMOD에 의한 경보도 잘 수행 됨을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 TCAS 충돌회피 알고리즘을 ADS-B 환경 하에서 운영되는 소형항공기에 적용 가능하도록 수정하였다. 그리고 시뮬레이션 결과 제시된 모든 충돌상황에서 알고리즘은 정상적으로 경보발령을 수행하였고 이로써 제시된 알고리즘의 구현이 잘 되었다고 판단 할 수 있었다.

본 알고리즘을 통해서 기존의 TCAS와 대비한 ADS-B의 장점을 기대 할 수 있는데, 저비용으로 소형화 및 경량화를 이루어 낼 수 있다는 것이 그것이며, 탐지거리 또한 기존 TCAS의 40NM에서 ADS-B의 탐지거리인 100NM까지 확장 할 수 있을 것으로 기대 할 수 있다.

또한 ADS-B 메시지에 담겨 있는 추가 정보를 이용하여 항공기 항법에 응용하여 감시기능에 부가적으로 항법기능을 더 하여 사용 할 수 있을 것으로 예상된다.

하지만 본 연구에서는 GPS의 오차가 없는 것을 가정하였으므로 실제 GPS오차에 대한 보완방안 수립이 필요하다. 또한 위치데이터의 무결성을 가정하였으므로, 주변항공기들의 위치정보가 수집되지 않았을 경우에 대한 알고리즘 보완도 필요하다.

마지막으로 본 논문에서 수행된 시뮬레이션 검증은 몇몇 상황에서 대한 시뮬레이션 시험이 끝난 것으로, 좀 더 다양한 변수와 특수한 상황에 대한 추가 시험이 필요하며, 실제 항공기에 적용한 시험이 필수적이다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청 산학연 첫걸음기술개발사업 ‘경량항공기/초경량비행장치용 충돌 경보 시스템 및 비행 시험 기술 개발’ 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] J. Y. Kang, J. H. Han, and J. H. Kim “Free flight concept and implementation in U.S.A. and EU,” *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, Vol. 7, No. 7, pp. 25-28, June. 2007.
- [2] J. Y. Kang and D. Y. Lee, “Comparative analysis of free flight conflict detection and resolution algorithm,” *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, Vol. 19, No. 4, pp. 83-90, Dec. 2011.
- [3] J. H. Kim, “Cooperative level turn maneuver for free flight separation assurance,” Korea Aerospace University, Feb. 2011.
- [4] J. H. Kim, “A study for standard about performance improve of traffic collision avoidance system(TCAS-II),” Korea Transport Institute, Korea Aerospace Research Institute, Dec. 2012.
- [5] S. Y. Lee and M. S. Lee, “Next generation technology development for free flight,” Ministry of Construction and

Transportation, May, 1994

[6] Y. J. Seo and D. W. Lee, "Test of UAV tracking antenna system using Kalman filter based on GPS velocity and acceleration," *Journal of the Korean Society for Space and*

Aeronautics, Vol. 39, No. 9, pp. 883-888, Sept. 2011.

[7] ICAO, "Aircraft operations", ICAO, Document Sales Unit 999 University Street Montréal Quebec Canada, Doc 8168 Vol.1, 5th edition, pp. I-2-3-1 – I-2-3-3, Nov. 2006.



주요한 (Yo-Han Ju)

2014년 2월 : 한서대학교 항공기계학과 (공학사)
2014년 ~ 현재 : 한서대학교 항공기시스템학과 석사과정
※ 관심분야 : 항공기 시스템



구성관 (SungKwan Ku)

2014년 : 한국항공대학교 항공교통물류학과 박사수료
2009년 9월 ~ 2014년 2월 : 한국산업기술시험원 기계시스템본부 연구원
2014년 2월 ~ 현재 : 한서대학교 항공레저산업학과 조교수
※ 관심분야 : 항공교통, 시험평가인증, 시뮬레이션, 안전성평가



홍교영 (Gyo-Young Hong)

1993년 3월 ~ 2001년 : 대한항공 항공기술연구소 선임 연구원
2001년 9월 ~ 현재 : 한서대학교 항공전자공학과 교수
※ 관심분야 : 비행시험, 항공통신, 항공기 시스템