

論文

대기요소 고려를 통한 무인항공기 비행시험계획 수립에 대한 연구

김영래*, 이정숙*, 이상철*, 고상호*, 강자영**, 최종욱***, 성덕용***

A study on the Unmanned Aerial Vehicle(UAV) Flight Test Planning Establishment through Atmospheric Considerations

Yeong-Rae Kim*, Jeong-Suk Lee*, Sang-Cheol Lee*, Sang-Ho Ko*, Ja-Yeong Kang**, Jong-Uk Choi***, Deoky-Yong Seong***

ABSTRACT

Flight test is the final and a mandatory process for the development of unmanned aerial vehicles(UAVs) as well as manned. Since most UAVs fly in a low speed and are prone to adverse weather conditions such as air turbulence, atmospheric weather environment around flight test regions will be a critical item to be considered for a flight test planning for UAVs. In this paper, we suggest a decision method for a UAV flight test schedule based on weather conditions of surface and upper atmospheres and also introduce a program for an effective flight test planning through weather forecasts.

Key Words : Flight Test(비행시험), UAV(무인항공기), Surface Atmosphere(지표대기), Upper Atmosphere(상층대기), Wind Speed(풍속), Wind Direction(풍향), Precipitation(강수), Sight(시정), Jet Stream(제트기류), Endurance(최대운용시간)

1. 서 론

무인항공기의 비행시험 계획을 수립하기 위해서는 비행시험 장소의 대기환경에 대한 분석이 뒤따라야 한다. 대기환경에 대한 분석을 통해 비행시험에 적절한 장소 및 시기를 결정함에 따라 기상조건에 의해 비행을 취소하는 경우와 위험요소를 최소화할 수 있다. 또한, 이를 통해 효과적인 비행계획을 수립할 수 있다. 유인항공기 역시 대기환경에 대한 분석을 필요로 하지만 대부분의 무인기의 경우 비교적 낮은 속도로 비행하며, 바람 및 난기류 등의 악조건에 취약한 특성이 있기 때문에 기상조건에 대한 특별한 관심을 필요로 한다. 미국 항공우주국(NASA)은 효과적인 비행시험 계획 수립을 위해 오래전부터 라디

오존데(Radiosonde)와 SODAR(Sonic Doppler Acoustic Radar) 등의 장비를 이용하여 기상예보 시스템을 구축하였다. 비행시험 계획관은 기상예보 시스템을 통해 축적된 기상 데이터와 최신의 대기상태에 대한 자료를 얻을 수 있게 되었으며 이 자료들을 분석함으로써 무인항공기의 운용에 적합한 일정을 결정할 수 있게 되었을 뿐만 아니라 비행시험 계획을 효율적으로 수정할 수 있게 되었다.

위와 같은 과정을 통해 미국 항공우주국은 1997년 7월 7일 하와이의 카우아이(Kauai)에 있는 바킹샌드(Barking Sand) 비행시험센터에서 무인항공기 패스파인더(Pathfinder)의 비행시험을 성공적으로 수행하였으며, 패스파인더가 상공 71,500ft에 도달했을 때 대기는 거의 무풍상태로 비행시험에 매우 적합한 상태였다.[1]

본 논문은 기상요소 고려를 통해 무인항공기 비행시험의 일정 결정방법을 제안하고자 한다. 또한, 기상예보를 통해 비행시험 일정의 적합성을 미리 판별하여 비행 불가 시 일정 및 임무를 조절함으로써 효율적으로 비행시험 계획을 작성할 수 있는 프로그램에 대해 소개하고자 한다.

2010년 11월 14일 접수~2010년 12월 20일 심사완료

* 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

** 한국항공대학교 항공운항학과

*** 국방과학연구소 제 7기술본부 4부 4그룹

연락처자, E-mail : slee@kau.ac.kr

경기도 고양시 덕양구 화전동 항공대길 100

II. 본 론

2.1 비행시험 계획을 위한 대기요소 고려

2.1.1 대기요소 고려의 필요성

일반적으로 유인항공기 비행시험의 경우 착륙 시의 기상요소 고려에 대한 중요성이 무인항공기에 비해 상대적으로 적은 편이다. 임무에 따라 다르지만 유인항공기 비행시험의 경우 항공기 운용시간이 대체로 짧기 때문에 이륙시의 기상요소와 착륙시의 기상요소가 크게 변하지 않는다. 하지만 장기체공을 목적으로 만들어진 무인항공기의 경우에는 이륙시의 기상요소와 착륙시의 기상요소가 변할 가능성이 있다. Fig. 1은 유인항공기와 무인항공기의 비행시험을 비교한 그래프이며, Table 1은 미국의 장기체공 고고도 무인항공기 글로벌 호크(Global Hawk)의 비행시험을 요약한 것이다. 글로벌 호크의 전체 소티수와 전체 비행시간을 보면 평균적으로 1소티에 11.7시간의 비행을 수행하였다.[2] 글로벌 호크와 같은 장기체공 무인항공기는 운용시간이 보통 10시간 이상이므로 이륙 시와 착륙시의 대기환경이 변경될 수 있다.

Table 1. Global Hawk의 단계별/항공기별 비행시험 프로그램 요약 (소티수/비행시간)

단 계	항공기1	항공기2	항공기3	항공기4	항공기5	합 계
II	12/102.9	9/55.1				21/158.0
III	13/225.4		9/121.8	11/167.8	4/39.0	37/554.0
III+					5/25.1	5/ 25.1
합계	25/328.3	9/55.1	9/121.8	11/167.8	9/64.1	63/737.1

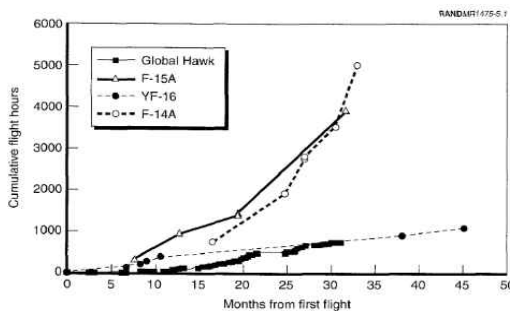


Fig. 1 항공기 비행시험 프로그램별 비교

2.1.2 기상학적 고려요소

비행시험 계획을 위한 주요 기상학적 고려요소는 크게 지표대기 고려요소와 상층대기 고려요소로 구

분된다. 지표대기는 100m 이하의 대기를 말하며, 고려요소에는 이륙 및 착륙에 영향을 미칠 수 있는 풍속 및 풍향, 시정, 운고, 강수가 포함된다. 상층대기는 100m 이상의 대기를 말하며, 고려요소에는 풍속이 포함된다.

지표대기의 풍속 및 풍향은 이륙과 착륙뿐 아니라 비행 전후의 지상조종에도 영향을 미친다. 특히, 항공기 이륙 및 착륙 시의 측풍과 배풍에 대한 고려를 필요로 한다. 시정은 항공기의 이륙 및 착륙이 가능한지를 결정하는 중요한 요소로서 항공기 비행방식(VFR, IFR)에 따라 시정 제한치가 변한다. 운고는 항공기의 착륙을 결정짓는 중요한 기상학적 고려요소이다. 착륙 시 운고가 낮을 경우 목시로 지상시설(활주로, 등화 등)을 확인하지 못하므로 착륙이 불가능할 수 있다. 마지막으로 강수는 시정, 활주로 마찰계수 등에 영향을 미칠 수 있다.[3]

상층대기의 풍속은 무인항공기 비행시험 운용에 있어 상당한 제한요소가 될 수 있다. 특히, 고고도를 비행하는 무인항공기의 경우 상층대기의 제트기류는 무인항공기 운용측면에서 충분한 위험요소가 될 수 있다.

2.1.3 기상학적 고려요소 데이터 획득

지표대기 고려요소 중 풍향 및 풍속, 강수에 대한 데이터는 기상청 홈페이지로부터 얻을 수 있다. 또한, 항공기상청 홈페이지로부터 풍향 및 풍속, 시정, 운고, 강수에 대한 데이터를 획득할 수 있다. 기상청 홈페이지의 경우 전국 모든 지역의 예보 서비스를 제공하지만 항공기상청의 경우 지표대기 고려요소에 대한 정보를 모두 얻을 수 있으나 민간공항이 있는 지역만을 제한적으로 서비스하고 있다. 일반적으로 기상청의 예보는 3시간, 항공기상청의 예보는 4시간 단위로 서비스를 제공하며 보간법을 이용하여 1시간 단위로 예보 데이터를 가정하였다.

상층대기 바람은 우리나라가 중위도 지방에 위치하여 편서풍의 영향을 받아 대체적으로 270° 인 서풍이 분다. 그러나 여름의 경우 20km 이상의 고도에서 동풍으로 겨울과는 반대의 바람이 불어오는 특성이 있다.[4] Fig. 2,3 에서 보는바와 같이 대체적으로 고도가 높아질수록 풍속이 증가하는 경향이 있으며, 최대풍속은 제트기류의 중심인 약 12km의 고도에서 나타나는 것을 확인할 수 있다.

이러한 현상은 대류권 상층인 약 10~15km에 나타나는 제트기류의 영향으로 볼 수 있다⁵⁾. 제트기류는 계절적 변동이 있어 겨울에는 바람이 더 강하고 여름에는 세력이 약화됨에 따라 최대풍속도 계절에 따라 최대 140knot에서 최소 40knot까지 변화를 나타낸다.[6]

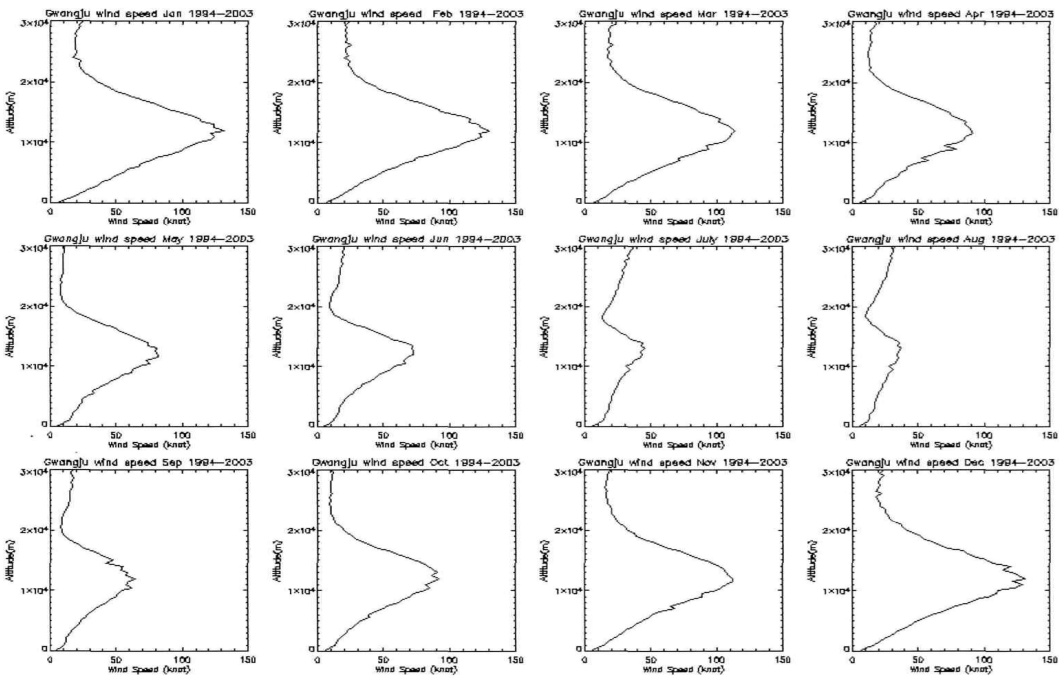


Fig. 2 1994~2003년 광주 월별 풍속

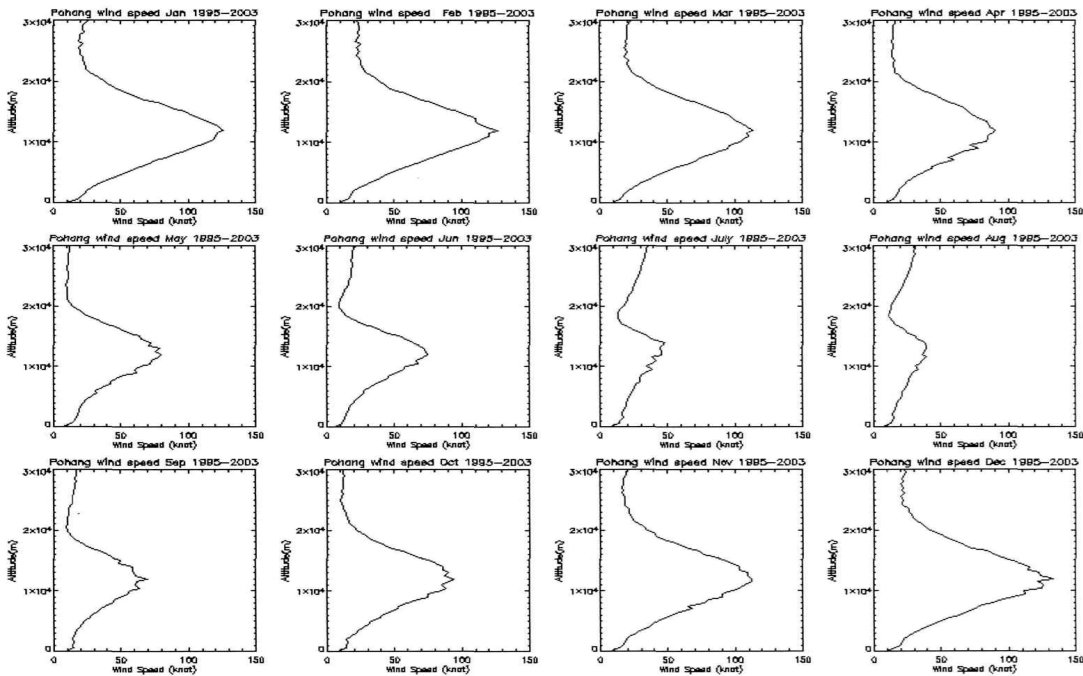


Fig. 3 1995년~2003년 포항 월별 풍속

2.1.4 기타 고려요소

활주로 마찰계수는 기상에 관한 요소는 아니지만 항공기의 이륙 및 착륙에 있어 중요한 변수가 된다. 강수현상 등으로 인해 활주로의 마찰계수가 변함에 따라 항공기 이륙 및 착륙 시 요구되는 측풍에 대한 제한치가 변하기 때문이다. 마찰계수와 측풍 제한치의 관계는 Table 2와 같다.

Table 2. 마찰계수와 측풍 제한치의 관계

활주로 상태	마찰계수	DC-8 (knot)	Fokker-27 (knot)
마른 상태	-	25	30
젖은 상태	0.501~	25	26
	0.401-0.50	25	24
	0.301-0.40	20	20
	0.251-0.30	15	18
	0.201-0.25	10	14
	0.151-0.20	-	10
	~0.15	-	-

2.2 비행시험 적합성 판별 흐름도

전체 흐름도는 스케줄 선택, 임무선택, 이륙 48시간 전 예보에 대한 적합성 판별, 이륙 24시간 전 예보에 대한 비행 적합성 판별, 당일예보에 대한 비행 적합성 판별, Balloon 데이터(고도 별 풍속)에 대한 비행 적합성 판별, 현재 예보에 대한 비행 적합성 판별 순으로 진행된다. 스케줄 선택의 입력요소는 이륙 및 착륙 일시가 포함되며, 임무 선택은 운용시간, 운용고도, 이/착륙 방향, 이/착륙 방식(VFR, IFR)을 결정한다. 당일예보와 Balloon 데이터는 이륙 2시간 전의 자료를 통해 비행 적합성을 판별하며, 현재 예보는 이륙 직전의 자료를 통해 비행 적합성을 판별한다.

만일, 예보에 대한 비행 적합성 판별 과정에서 비행이 불가능할 경우 Evaluate Alternative 단계로 진행되어 임무를 변경하여 비행이 가능한지를 확인한다. 임무변경의 예시는 다음과 같다.

- 운용고도: 최대 운용고도의 비행이 불가능할 경우 최대 운용고도를 2,500ft 줄여서 비행
- 운용시간: 계획된 운용시간에서 마지막 1시간의 비행이 불가능할 경우 운용시간을 1시간 줄여서 비행
- 이/착륙 방향: 지표대기 고려요소 중 후풍에 의해 이/착륙이 불가능할 경우 이/착륙 방향 변경

- 이/착륙 방식(IFR/VFR): 지표대기 고려요소 중 시정에 의해 이/착륙이 불가능 할 경우 이/착륙 방식을 변경

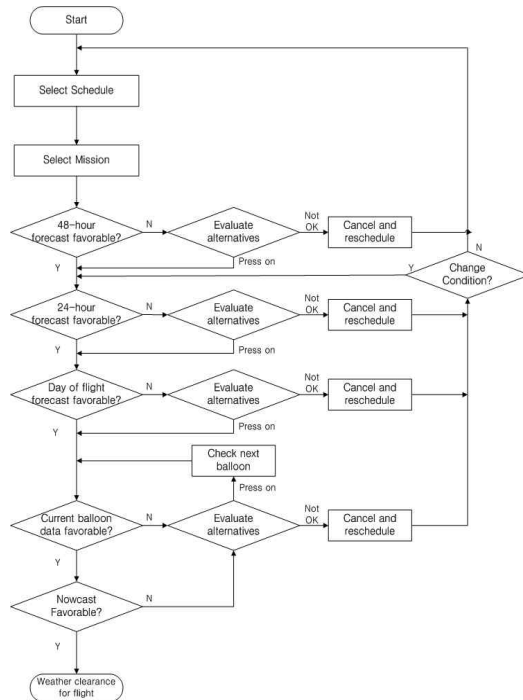


Fig. 4 비행시험 적합성판별을 위한 흐름도

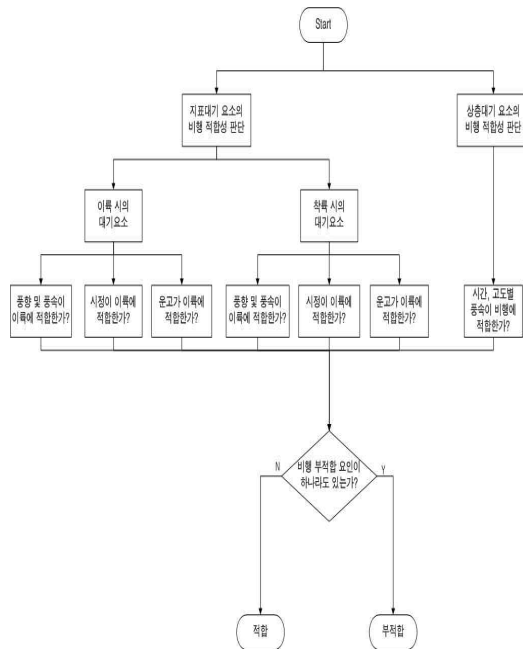


Fig. 5 예보에 대한 비행 적합성 판별 흐름도

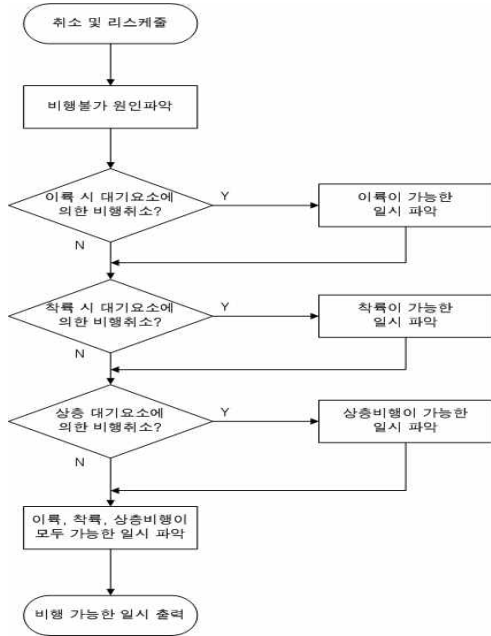


Fig. 6 비행 취소 및 리스케줄을 위한 흐름도

임무변경이 적합하지 않을 경우 취소 및 리스케줄(Cancel and Reschedule)로 진행된다. 취소 및 리스케줄 단계에서는 예보를 이용하여 비행 가능한 일시를 출력하여 비행시험 계획관이 비행시험 계획을 효율적으로 수정할 수 있도록 돕는다.

2.3 비행 적합성 판별 프로그램의 개발

대기요소를 고려하여 비행의 적합성을 판별하는 프로그램을 개발하였다. 프로그램을 이용하기 위해서는 개발된 GUI(Graphical User Interface) 화면에 비행일정, 임무선택과 비행시험에 이용할 항공기의 운용 제한치를 입력해야한다. 여기서 운용 제한치는 지표대기 운용 제한치와 상승대기 운용 제한치로 구분된다. 입력을 마친 후 시작 버튼을 누르면 프로그램은 Fig. 4의 흐름도에 따라 기상요소를 고려하여 비행 적합성을 판별한다. 개발된 프로그램은 적합한 예보 데이터를 자동으로 로드하여 이용하며, 데이터 확인 버튼을 누르면 로드된 데이터를 사용자가 확인할 수 있도록 제작하였다.

기상요소가 비행에 적합한지를 개발된 프로그램을 통해 판별하면 크게 비행이 가능한 경우와 비행이 불가능한 경우로 나누어진다. 여기서 비행이 불가능한 경우는 임무 변경을 통해 비행이 가능한 경우와 비행이 불가능한 경우로 구분된다. 개발된 프로그램은 기상요소에 의해 비행이 적합하지 않을 경우 비고란에 비행불가 원인이 출력되며, 임무를 변

경하여 비행할 수 있는 방법을 추천하거나 비행이 가능한 일시를 알려줌으로써 사용자가 비행계획을 변경하기 쉽도록 개발되었다.

개발된 프로그램의 평가를 위해 비행이 가능한 경우, 임무변경을 통해 비행이 가능한 경우, 비행이 불가능한 경우의 시뮬레이션을 수행하였다. 각각의 시나리오에 대한 입력 데이터와 예보시점은 Table 3, Table 4, Table 5와 같다. Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9는 각각의 시나리오에 대한 결과 화면으로써, 입력한 일정의 비행 적합성을 판별하여 출력하는 것을 볼 수 있다.

Table 3. 비행이 가능한 경우 임무, 일정 및 예보 시점(시나리오 1)

이륙 일시	2010.09.28 12시
착륙 일시	2010.09.28 21시
운용 시간	9시간
운용 고도	30,000ft
이/착륙 방향	남 → 북 / 북 → 남
이/착륙 방식	IFR / IFR
이륙 48시간 전 예보	2010.09.26 12시
이륙 24시간 전 예보	2010.09.27 12시
당일예보	2010.09.28 10시
Balloon Data	2010.09.28 10시
현재예보	2010.09.28 12시

Table 4. 임무변경을 통해 비행이 가능한 경우 임무, 일정 및 예보시점(시나리오2)

이륙 일시	2010.09.28 12시
착륙 일시	2010.09.28 21시
운용 시간	9시간
운용 고도	30,000ft
이/착륙 방향	남 → 북 / 북 → 남
이/착륙 방식	VFR / VFR
이륙 48시간 전 예보	2010.09.26 12시

Table 5. 비행이 불가능한 경우(취소 및 리스케줄) 임무, 일정 및 예보시점(시나리오3)

이륙 일시	2010.09.25 14시
착륙 일시	2010.09.25 23시
운용 시간	9시간
운용 고도	50,000ft
이/착륙 방향	남 → 북 / 북 → 남
이/착륙 방식	IFR / IFR
이륙 48시간 전 예보	2010.09.25 14시
이륙 24시간 전 예보	2010.09.25 14시

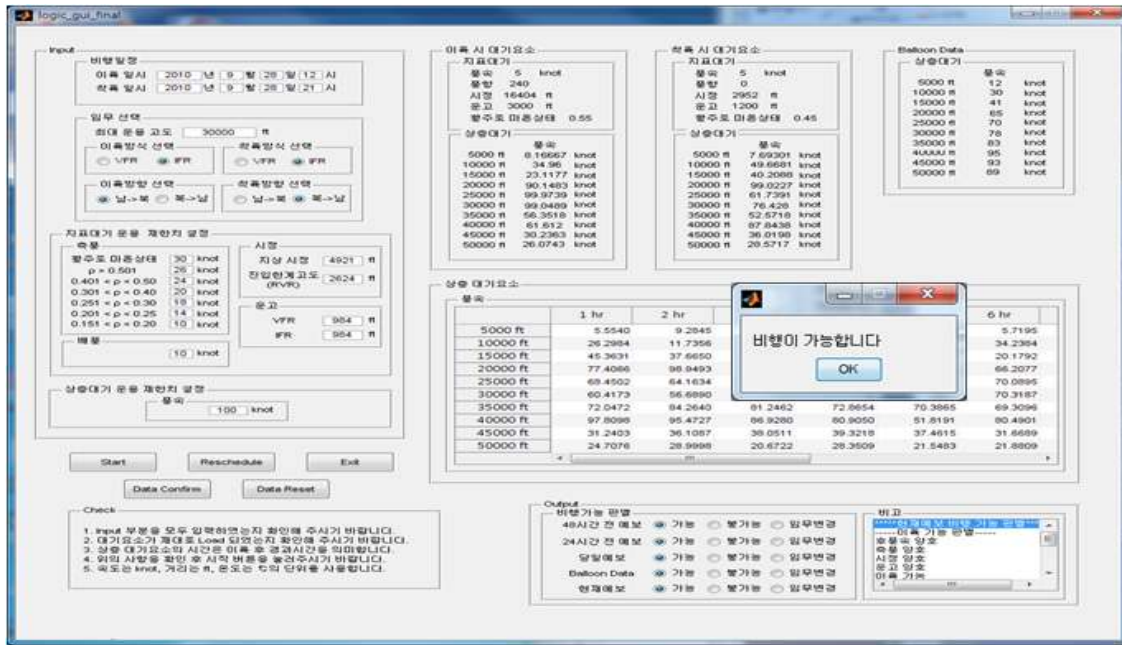


Fig. 7 시나리오 1의 시뮬레이션 결과



Fig. 8 시나리오 2의 시뮬레이션 결과

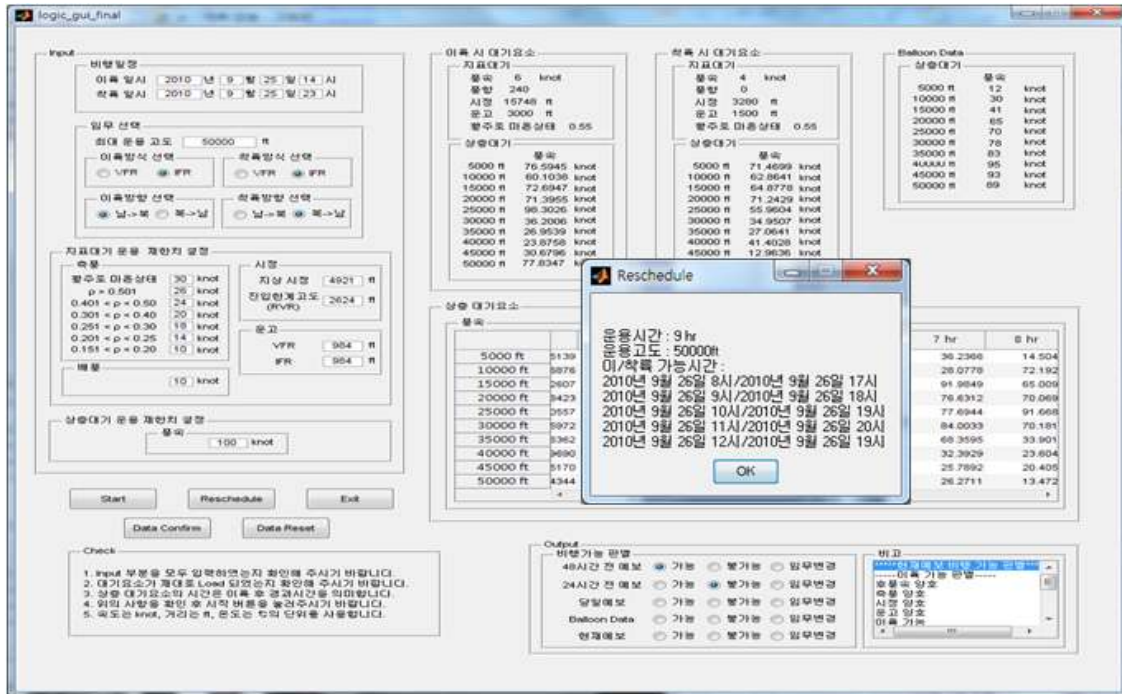


Fig. 9 시나리오 3의 시뮬레이션 결과

III. 결 론

무인기 비행시험 계획을 세우는데 있어 대기 요소를 체계적으로 고려하여 알맞은 일정과 임무를 결정하는 것은 자원절약 측면에서 매우 중요하다. 앞에서 소개된 비행시험 적합성 판별 프로그램은 비행시험 계획관이 비행시험 일정을 계획하는데 도움이 될 것으로 생각된다. 특히, 대기 요소에 의해 비행이 불가능할 경우 일정을 변경에 드는 노력을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

향후 과거의 대기요소에 대한 자료가 구축된다면 단위기간(연도,월)과 임무에 따른 비행 가능 소티수를 구할 수 있다. 비행시험 계획을 작성할 때 비행이 가능한 소티수를 미리 알 수 있다면, 비행시험 계획관이 시험계획을 작성하는데 있어 큰 도움이 될 것으로 생각된다.

후 기

본 연구는 국방과학연구소 지원으로 수행되는 계약번호 UD090002JD 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] Edward, H. T., and Casey, J. D., "Atmospheric Considerations for Uninhabited Aerial Vehicle(UAV) Flight Test Planning", NASA/TM-1998-206541, Jan. 1998
- [2] Jeffrey, A. D., "Global Hawk and Darkstar", U.S. Air Force, Vol. 2, 2002.
- [3] 김보희, "항공기상학", 한국항공대학교출판부, 1992
- [4] 윤순창, 김성삼, 정창희, "한반도 대기의 3차원적 평균 구조에 관한 연구", 한국기상학회지, 1989, 제 25권 4호, pp.271~275
- [5] Song Yang, K. M. Lau, K. M. Kim, "Wintertime East Asian Jet Stream and Its Association With the Asian", NASA
- [6] 김준, 국방재, 문경정, 이재화, 구자호, 박상서, 이효근, "외나로도 우주센터의 기상특성", 한국항공우주학회지, 2009, 제 37권 3호, pp.314~327