

論文

비행 적합성 판별 및 소티수 산출 프로그램 개발

김영래*, 이상철**, 이진섭***, 류광수***

A Development of the Program for
Flight Suitability Distinction and Calculation of Available Sorties

Youngrae Kim*, Sangchul Lee**, Jin-sub Lee***, Kwang-su Ryu***

ABSTRACT

The flight test comes at the end of the aircraft development process and is an unique part. The purposes of the flight test are to evaluate the characteristics of the aircraft and validate its design in the real operating environment. Atmospheric considerations are key elements, when the planner of flight test establishes the flight test planning. The primary objective of atmospheric considerations is to ensure safety of the vehicle. The planning through atmospheric considerations can minimize flight cancellations caused by severe weather. In this paper, we present a program for flight suitability distinction, and develop a program for calculation of available sorties.

Key Words : Flight Test(비행시험), Weather Forecast(일기 예보), Surface Atmosphere(지표대기), Upper Atmosphere(상층대기), Wind Speed(풍속), Wind Direction(풍향), Sight(시정), Jet Stream(제트기류), Height of cloud ceiling(운고), Radiosonde(라디오존데)

1. 서 론

비행시험은 항공기 개발 과정 중 마지막 단계에 해당하며, 개발 항공기가 실제 운용환경 내에서 안전하게 비행 가능한 지를 입증하기 위한 것이다. 하지만, 비행시험에는 항상 위험 요소가 내재되어있어 사고 위험성이 따른다.

최근 이러한 이유 때문에 모델링 및 시뮬레이션을 이용한 비행시험의 비중이 점차 높아지고 있다. 모델링 및 시뮬레이션을 이용한 시험은 실제 비행시험의 위험요소를 제거함으로써 큰 위험 없이 항공기의 성능을 검증할 수 있는 장점이 있

다. 그러나 모델링과 시뮬레이션으로 대기조건 및 자연현상을 완벽하게 구현하는 것은 한계가 있으므로 실제 상황에 대한 항공기의 성능은 실제 비행을 통해서만 검증할 수 있다. 이러한 이유 때문에 비행시험은 항공기 개발에 있어서 필수 과정이라 할 수 있다¹⁾.

개발 항공기를 실제 운용환경에서 시험하는 것은 위험요소가 내재되어 있으므로 잠재적인 사고 가능성을 최소화하는 노력이 필요하다. 특히, 기상요소는 비행시험 수행 시 개발 항공기의 안전을 위협할 수 있기 때문에 필수적으로 고려되어야 하는 사항이다. 비행시험 과정 중 기상조건에 의한 사고를 방지하기 위해서는 비행시험 계획 단계부터 비행시험 장소의 체계적인 대기환경에 대한 분석이 뒤따라야 한다.

대기환경에 대한 분석을 통해 비행시험에 적절한 시기를 결정하게 되면 기상조건에 의해 비행을 취소하는 경우를 최소화할 수 있다. 미국

2011년 12월 2일 접수 ~ 2011년 12월 21일 심사완료

* 한국항공대학교 대학원 항공우주 및 기계공학과

** 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

*** 한국항공우주산업(주)

연락처, E-mail : slee@kau.ac.kr

경기도 고양시 덕양구 화전동 항공대길 100

항공우주국(NASA)은 효과적인 비행시험 계획 수립을 위해 오래전부터 라디오존데(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 있다. 비행시험 계획관은 이 자료들을 분석함으로써 항공기의 운용에 적합한 일정을 결정할 수 있을 뿐만 아니라 비행시험 계획을 효율적으로 수정할 수 있게 되었다²⁾.

본 논문에서는 기상청의 예보를 통해 비행시험 일정의 적합성을 미리 판별하는 비행적합성 판별 프로그램을 소개한다. 또한, 과거의 기상 데이터를 이용하여 비행 가능한 소티수를 산출하는 프로그램을 제시하였으며, 이를 사용하여 2010년 광주공항의 비행시험 가능 일수를 산출하였다.

2. 본 론

2.1 기상학적 고려요소

항공기 비행에 영향을 미칠 수 있는 기상학적 고려요소는 크게 지표대기 고려요소와 상층대기 고려요소로 구분된다. 지표대기 고려요소는 항공기의 이륙 및 착륙에 영향을 미칠 수 있는 요소를 말하며, 풍향 및 풍속, 시정, 운고, 강수가 포함된다. 상층대기 고려요소는 항공기의 상층 비행에 영향을 미칠 수 있는 요소를 말하며, 풍속이 이에 포함된다. 특히, 우리나라는 편서풍이 부는 지역에 속해있기 때문에 중고도 이상을 비행하는 항공기의 비행시험에는 제트기류에 대한 고려가 필수적이다.

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 1과 같다³⁾⁴⁾.

Table 1. 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 기상학적 고려요소 데이터 획득

지표대기 고려요소에 대한 데이터는 항공기상청 홈페이지로부터 획득할 수 있다. 항공기상청은 민간공항이 있는 지역에 대한 일기예보를 4시간 단위로 서비스를 하고 있다. 또한, 지표대기의 과거 데이터는 항공기상청 홈페이지의 과거자료 메뉴에서 열람할 수 있다. 이를 통해 민간공항의 시간별 기상요소 데이터를 획득할 수 있다⁵⁾.

[풍향/풍속(knot) | 광주공항 | 2010년 1월]

일별 시간	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
01	120/01	260/01	340/07	180/01	300/08	350/02	350/02	070/02	200/01	030/01	350/03	010/09	210/03	020/05	200/01	350/04	12
02	010/01	320/01	340/06	350/01	300/07	300/01	030/03	070/01	240/01	240/01	010/01	350/07	010/06	250/04	200/01	010/05	07
03	360/02	220/01	350/07	030/02	310/07	360/03	010/03	060/04	310/01	220/01	010/01	020/07	040/06	230/02	040/01	360/04	30
04	210/01	020/01	340/07	040/05	300/07	350/03	020/05	020/05	240/01	060/01	360/03	360/08	360/06	160/01	050/04	030/04	13
05	210/02	290/01	010/08	150/07	300/10	010/05	010/04	020/05	200/02	210/01	010/05	360/05	350/06	080/01	350/01	350/04	19
06	220/03	280/01	360/04	230/05	320/10	010/05	020/05	010/03	300/01	190/01	020/05	360/07	350/05	050/04	360/01	350/03	14
07	170/01	160/01	030/04	250/02	310/08	030/05	020/06	350/03	020/01	290/01	030/05	350/04	290/02	030/04	200/01	340/03	32
08	210/02	320/01	020/05	030/02	330/09	360/03	020/05	020/04	220/02	010/01	010/05	010/05	020/06	220/03	350/01	340/04	18
09	320/01	010/01	010/04	330/01	320/04	010/05	020/05	360/02	140/01	040/02	010/04	010/03	020/06	240/01	090/01	340/04	17
10	110/01	320/01	040/05	010/03	360/05	020/06	010/06	010/03	240/01	350/02	020/04	010/08	030/05	010/01	030/01	030/01	21
11	250/01	190/01	020/06	060/02	350/07	020/04	030/06	030/05	110/01	280/01	360/05	010/10	040/07	070/01	060/02	050/05	12
12	050/01	070/01	040/07	290/03	310/11	050/02	020/05	030/05	060/01	320/02	020/10	010/11	020/07	240/02	020/02	050/04	35
13	250/01	060/03	020/06	120/01	340/07	150/02	050/05	360/03	020/01	310/02	360/07	010/10	050/05	040/01	040/01	080/02	03
14	320/01	060/01	360/05	140/02	320/11	320/04	020/08	010/05	140/01	350/02	010/08	010/10	050/01	240/02	290/02	310/04	29
15	050/01	140/01	350/05	280/13	340/09	330/10	010/07	010/06	020/02	030/04	340/12	010/08	090/01	290/01	310/07	320/02	01
16	310/01	030/01	350/07	260/11	010/10	330/11	010/07	020/10	020/01	030/04	350/06	340/08	060/03	220/03	310/07	320/05	04
17	030/02	300/01	360/04	260/13	360/08	350/09	360/05	350/06	040/03	020/05	350/08	340/08	330/03	240/03	310/09	330/05	01
18	020/02	330/08	340/05	320/13	350/08	340/07	350/05	360/04	040/02	010/05	350/05	030/08	020/05	210/03	360/10	330/08	36
19	240/04	320/08	320/03	320/11	360/03	020/06	020/08	330/08	060/01	350/04	350/04	330/05	010/03	290/02	360/06	330/06	35

Fig. 1 항공기상청의 과거 데이터 예시(2010년 1월 광주공항)

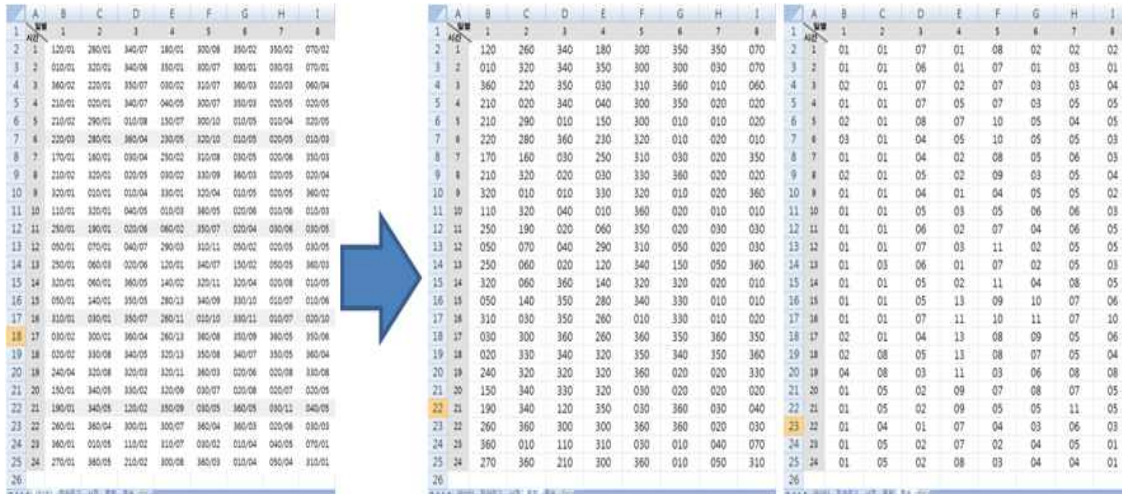


Fig. 2 지표대기 획득 도구

Fig. 1은 항공기상청에서 제공하는 과거 데이터 예시이다. 이 데이터는 풍향과 풍속이 같이 제공되고, 운고와 시정 자료는 단위가 통일되어 있지 않다. 그러므로 항공기상청 홈페이지의 과거 기상자료를 이용하기 위해서는 데이터 변환과정이 필요하다.

Fig. 2는 데이터 변환과정을 편리하게 수행하기 위해 개발된 지표대기요소 획득 도구이다. 항공기상청 홈페이지에 업로드 된 데이터를 복사하여 지표대기요소 획득 프로그램의 데이터 시트에 붙여 넣으면 풍향/풍속 자료는 풍향 시트와 풍속 시트에 각각 저장된다. 또한, 운고와 시정 데이터는 이 프로그램을 통해 단위가 동일하게 변환된다.

상층대기 고려요소에 대한 과거 데이터는 기상청으로부터 획득할 수 있다. 기상청은 레윈존데와 윈드프로파일러를 이용하여 상층대기의 기상정보를 수집하고 있다. 레윈존데는 라디오존데의 일종으로 소형 무선송신기를 장치한 기구를 공중에 띄워 상층대기의 대기요소를 관측하는 장치로서, 상층대기의 기압, 기온, 습도, 풍향 및 풍속 등을 측정할 수 있다. 기상청은 레윈존데를 포항, 제주, 백령도, 속초, 광주, 흑산도에서 운영하고 있다. 윈드프로파일러는 VHF(30~300MHz)와 UHF(300~3000MHz) 전파를 대기 중으로 방사하여 바람 및 대기상태를 측정하는 장비이다. 국내에 설치된 윈드프로파일러의 경우 0.2~5km 고도의 바람 및 대기상태를 측정할 수 있으며 설치 장소는 Table 2와 같다⁶⁾.

Table 2. 국내의 윈드프로파일러 설치 지역

설치 연도	설치 장소
2002년	해남
2003년	문산, 강릉
2004년	군산
2007년	울진, 원주, 추풍령, 철원, 서해종합기지

기상청의 상층대기 데이터는 UTC(Universal Time Coordinated) 기준으로 0시와 12시의 기압, 고도, 기온, 이슬점온도, 풍향, 풍속 데이터를 포함하고 있다. 또한, 약 15km의 고도까지의 기상자료를 제공한다. 하지만, 이 데이터를 이용하기 위해서는 지표대기 데이터와 마찬가지로 변환과정이 필요하다. 그리고 상층대기 데이터에는 풍속과 고도가 측정되지 않은 자료가 다수 존재한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 상층대기요소 획득 도구를 개발하였다. 상층대기요소 획득 도구는 풍속이 기록되지 않은 데이터를 삭제하며, 고도가 기록되지 않은 데이터는 기압을 이용해 고도를 산출한다. 또한, 상층대기요소 획득 프로그램은 사용자가 상층대기요소 데이터를 이용하기 쉽도록 데이터 형식을 변환한다.

$$h_p = \frac{T_0}{T_{gradient}} \times \left[1 - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{T_{gradient} \times \frac{R}{g}} \right] (m) \quad (1)$$

식 (1)은 압력을 이용해 고도를 산출할 때 사용한 수식이다. 여기서 T_0 , p_0 값은 각각 평균해수면의 온도와 압력, $T_{gradient}$ 는 고도에 따른 온도 변화율, R 은 기체상수, g 는 중력가속도이다⁷⁾.

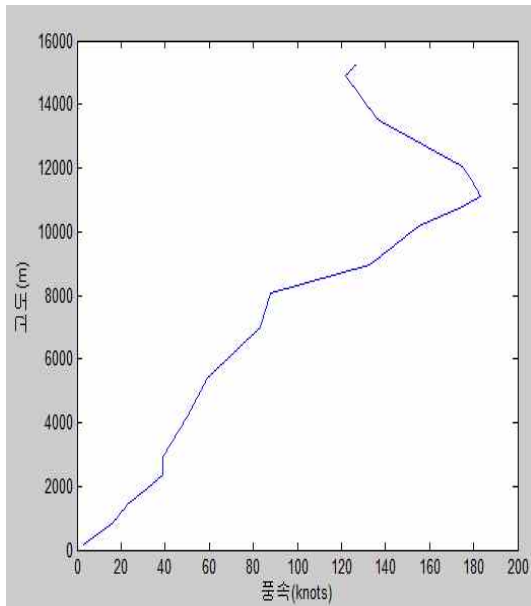


Fig. 3 2010년 1월 1일 0시(지표면 기준) 광주의 고도별 풍속

Fig. 3은 상층대기요소 획득 프로그램을 통해 변환된 데이터를 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에서 나타나듯이 약 11km에서 최대풍속이 나타난다. 이러한 현상은 대류권 상층인 약 10~15km에 나타나는 제트기류의 영향으로 볼 수 있다. 제트기류는 계절적 변동이 있어 겨울에는 바람이 더 강하고 여름에는 세력이 약화되고, 최대풍속도 계절에 따라 최대 180knots에서 40knots까지 변화를 나타낸다.

2.3 비행 적합성 판별 프로그램 개발

비행 적합성 판별 프로그램은 비행시험 일정의 기상요소가 비행에 적합한지를 판별하는 프로그램이다. 비행 적합성 판별은 비행시험 일정계획 프로그램의 기능 중 하나이며, Fig. 4는 비행 적합성 판별 흐름도이다. 또한, 비행시험 일정계획 프로그램의 메인 화면은 Fig. 5와 같다. 기상요소가 비행에 적합한지를 개발된 프로그램을 통해 판별하면 비행이 가능한 경우와 비행이 불가능한 경우로 나누어진다. 여기서 비행이 불가능

한 경우는 임무 변경을 통해 비행이 가능한 경우와 비행이 불가능한 경우로 구분된다. 개발된 프로그램은 기상요소에 의해 비행이 적합하지 않을 경우 비고란에 비행불가 원인이 출력되며, 임무를 변경하여 비행할 수 있는 방법을 추천하거나 비행이 가능한 일시를 알려줌으로써 사용자가 비행계획을 변경하기 쉽도록 개발되었다.

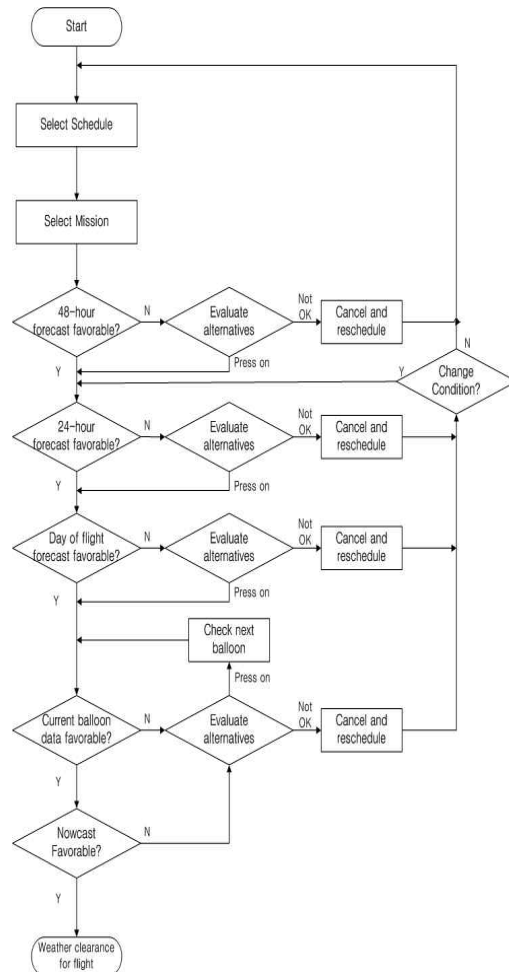


Fig. 4 비행시험 적합성 판별 흐름도

참고문헌 4는 비행 적합성 판별 프로그램의 상세 알고리즘과 비행이 가능한 경우, 임무 변경을 통해 비행이 가능한 경우, 비행이 불가능한 경우(취소 및 리스케줄)에 따른 시뮬레이션 결과를 수록하고 있다.



Fig. 5 비행시험 일정계획 프로그램의 메인 화면

2.4 비행 소티수 산출 프로그램 개발

비행시험 소티수 산출 프로그램은 과거 기상 데이터를 이용하여 단위기간동안 비행 가능한 소티수를 산출하는 프로그램이다. 비행시험 소티수 산출 프로그램은 단위기간 입력, 임무 입력, 비행 적합성 판별, 비행 가능한 일시 파악, 소티수 산출 순서로 진행된다. 단위기간은 월별 또는 연도별로 입력이 가능하며, 사용자는 업무 시간을 설정할 수 있어서 업무시간에 따른 비행 소티수를 산출할 수 있다. 또한, 임무 선택은 비행시험 대상 항공기의 운용시간, 운용고도, 이/착륙 방향, 이/착륙 방식(VFR, IFR)을 결정한다. 비행 적합성 판별 과정은 과거의 지표대기 요소 데이터와 상층대기 요소 데이터가 비행에 적합한지를 판별하는 과정이다. 이 과정을 통해 이륙, 착륙, 상층비행이 모두 가능할 경우 비행이 적합하다고 판단한다. 여기서 비행 적합성 판별 기준은 비행시험 대상 항공기의 운용 제한치에 의해 결정된다. Fig. 6은 비행 소티수 산출 흐름도이다.

비행 소티수 산출 시 지표대기 요소는 시간별 자료를 이용하였다. 하지만, 상층대기 요소는 기상청에서 오전 9시(UTC 0)와 오후 9시(UTC 12) 자료만을 제공하므로 상층대기는 업무시간(오전 8시~오후 6시) 동안 오전 9의 기상과 동일하다고 가정하였다. 그리고 이/착륙 방식은 IFR로 설정하였으며, 비행시험 대상 항공기는 Fokker-27 기종으로 선정하였다.

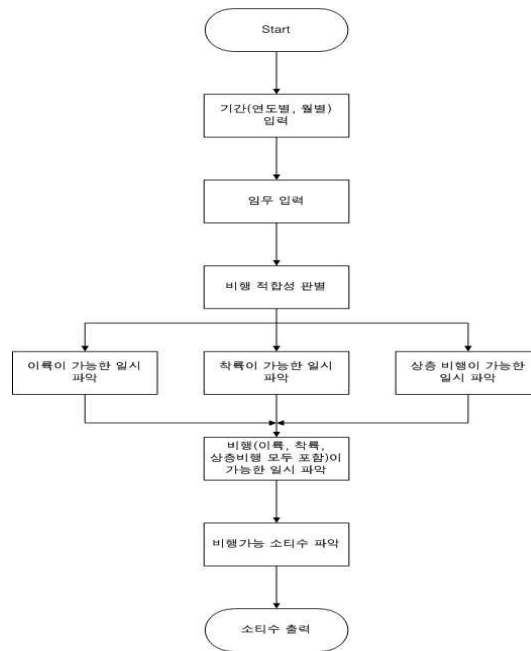


Fig. 6 비행시험 소티수 산출 흐름도

Table 3과 4는 각각 2010년 광주공항 최대운용고도 30,000ft와 50,000ft에서의 운용시간에 따른 월별 비행 가능한 일수이다. 이를 통해 여름보다 겨울에 비행가능 일수가 적은 것을 확인할 수 있

다. 이러한 원인은 제트기류가 겨울에 더 강해지는 계절적 변동인 것으로 판단된다. 또한, 운용시간이 길어질수록 비행가능 일수가 적어지는 것을 확인할 수 있다.

Table 3. 최대운용고도 30,000ft에서의 운용시간에 따른 월별 비행가능 일수

	2h	4h	6h	8h	10h
1월	20	19	16	14	13
2월	24	22	22	16	10
3월	26	23	21	19	13
4월	25	24	23	20	16
5월	25	25	25	21	18
6월	22	22	21	20	20
7월	28	28	25	23	22
8월	26	25	24	24	20
9월	25	24	23	23	23
10월	27	27	26	24	23
11월	23	22	20	18	18
12월	19	18	17	15	14
합계	290	279	263	237	210

Table 4. 최대운용고도 50,000ft에서의 운용시간에 따른 월별 비행가능 일수

	2h	4h	6h	8h	10h
1월	3	3	3	3	3
2월	9	9	9	7	4
3월	8	8	8	6	6
4월	10	10	9	8	8
5월	18	16	15	15	14
6월	21	20	18	18	16
7월	22	20	18	17	15
8월	20	17	17	15	15
9월	19	19	19	18	17
10월	10	9	9	9	8
11월	8	8	8	6	6
12월	5	5	4	4	4
합계	153	144	137	126	116

3. 결 론

비행시험 계획을 세우는데 있어 대기요소를 체계적으로 고려하여 임무에 따른 알맞은 일정을 결정하는 것은 시간절약 및 항공기의 안전성 확보 측면에서 매우 중요하다.

비행 적합성 판별 프로그램은 비행시험 계획관이 단기 계획을 수립할 때 도움이 된다. 특히,

대기요소에 의해 비행이 불가능할 경우 일정 변경에 드는 노력을 줄일 수 있다.

비행 소티수 산출 프로그램은 비행시험 기지의 월별 비행 소티수를 산출한다. 그러므로 비행 소티수 산출 프로그램은 비행시험 계획관이 장기적인 비행시험 계획을 세울 때 이용될 수 있다. 예를 들어 광주공항에서 고고도 비행시험을 수행하고자 한다면 여름에 비행시험을 더 많이 수행할 수 있다. 효율적인 비행시험 계획 수립을 위해서는 장기간의 기상자료 데이터베이스를 구축하여 비행시험 소티수를 산출하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

후기

본 연구는 한국항공우주산업(주) 지원으로 수행되는 '대기요소를 고려한 항공기 비행시험 일정계획 산출 알고리즘 및 프로그램 개발' 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 이봉근, 김찬조, "T-50 항공기 개발 경험으로 쓴 실전 비행시험", 청문각, 2007
- [2] Edward, H. T., and Casey, J. D., "Atmospheric Considerations for Uninhabited Aerial Vehicle(UAV) Flight Test Planning", NASA/TM-1998-206541, Jan. 1998
- [3] 김보희, "항공기상학", 한국항공대학교출판부, 1992
- [4] 김영래, 이정숙, 이상철, 고상호, 강자영, 최종욱, 성덕용, "대기요소 고려를 통한 무인항공기 비행시험계획 수립에 대한 연구", 한국항공운항학회지, 제 18권 4호, 2010.12
- [5] <http://kama.kma.go.kr/>
- [6] <http://www.kma.go.kr/>
- [7] 김영철, 박상환, "Radiosonde 자료를 이용한 항공기 난류 특성 분석", 한국항공운항학회지, 제.15권 4호, 2007, pp.94-99
- [8] 김영철, "KWRF를 활용한 한반도 항공기 난류 지수 특성 분석", 한국항공운항학회지, 제.18권1호, 2010, pp.91-101
- [9] 김영철, "수치예보를 이용한 구름 예보", 한국항공운항학회지, 제15권 3호, 2007, pp.57-62
- [10] 이봉준, "항공역학", 한국항공대학교출판부, 2005