

# 기상기술정책

METEOROLOGICAL  
TECHNOLOGY &  
POLICY



## "항공기 관측과 활용"

### 칼럼

- 기상 관측·연구용 항공기 도입과 활용

### 정책초점

- 무인항공기 개발 현황 및 응용 방안
- 해외 기상관측용 항공기 운영 및 활용 실태
- 항공기를 이용한 대기물리 관측 체계 수립 방안
- 효과적인 항공기 유지 관리 방안
- 공군에서의 항공관측 현황과 전망
- 항공기를 이용한 대기환경 감시
- 항공/위성 정보를 활용한 재해 피해 조사

### 논단

- 유/무인항공기를 이용한 기후변화 감시

### 해외기술동향

- 미국의 첨단 기상관측 항공기(HIAPER) 운영 현황
- 미국의 탄소 추적자 시스템 개발 현황 및 전략
- 미국의 우주기상 예보와 발전 방향

### 뉴스 포커스

- 한국, IPCC 부의장국에 진출



기 상 청  
Korea Meteorological Administration

# 『기상기술정책』

제1권 제3호(통권 제3호)

2008년 9월 19일 발행

등록번호 : 11-1360395-000017-09

『기상기술정책』지는 범부처적으로 기상 및 기후 분야의 정책 수요에 적극적으로 부응하고 창의적인 기상기술 혁신을 위한 전문적인 연구 조사를 통해 기상 및 기후업무 관련 분야의 발전에 기여할 목적으로 발간 기획되었습니다.

본 『기상기술정책』지는 기상과 기후 분야의 주요 정책적 이슈나 현안 과제에 대하여 집중적으로 논의하고, 이와 관련된 해외 정책동향과 연구 자료를 신속하고 체계적으로 수집하여 제공함으로써 기상청의 정책 입안과 연구개발 전략 수립에 기여하고자 정기적으로 발행하고 있습니다.

본지에 실린 내용은 집필자 자신의 개인 의견이며, 기상청의 공식의견이 아님을 밝힙니다. 본지의 내용은 출처와 저자를 밝히는 한 부분적으로 발췌 또는 인용될 수 있습니다.

## 원고모집

『기상기술정책』에서는 기상과 기후분야의 정책이나 기술 혁신과 관련된 원고를 모집하고 있습니다. 뜻있는 분들의 많은 참여를 부탁드립니다. 편집위원회의 심사를 통하여 채택되신 원고에 대해서는 소정의 원고료를 지급하고 있습니다.

- ▶ 원고매수: A4 용지 10매 내외
- ▶ 원고마감: 수시접수
- ▶ 보내실 곳 및 문의사항은 발행처를 참고 바랍니다.

## 『기상기술정책』 편집위원회

발행인 : 정순갑  
편집기획 : 국립기상연구소 정책연구팀  
편집위원장 : 최치영  
편집위원 : 권원태, 김백조, 김성균, 서명석,  
전용수, 조석준, 최영진  
편집간사 : 김지영

## 발행처

주소 : (156-720) 서울시 동작구 기상청길 45 기상청  
전화 : (02) 6712-0235 팩스 : (02) 849-0668  
E-mail : jykim@kma.go.kr

인쇄 : 미래미디어

# Contents



## "항공기 관측과 활용"

### 칼럼

- 기상 관측 · 연구용 항공기 도입과 활용 / 정순갑 1

### 정책초점

- 무인항공기 개발 현황 및 응용 방안 / 오수훈, 구삼욱 6
- 해외 기상관측용 항공기 운영 및 활용 실태 / 김금란, 장기호 19
- 항공기를 이용한 대기물리 관측 체계 수립 방안 / 오성남 35
- 효과적인 항공기 유지 관리 방안 / 김영철 46
- 공군에서의 항공관측 현황과 전망 / 김종석 57
- 항공기를 이용한 대기환경 감시 / 김정수 67
- 항공/위성 정보를 활용한 재해 피해 조사 / 최우정, 심재현 75

### 논단

- 유/무인항공기를 이용한 기후변화 감시 / 윤순창, 김지영 85

### 해외기술동향

- 미국의 첨단 기상관측 항공기(HIAPER) 운영 현황 / 김지영, 박소연 94
- 미국의 탄소 추적자 시스템 개발 현황 및 전략 / 조천호 100
- 미국의 우주기상 예보와 발전 방향 / 곽영실 109

### 뉴스 포커스

- 한국, IPCC 부의장국에 진출 / 허 은 118

## 기상 관측·연구용 항공기 도입과 활용

정 순 갑

기상청장

skchung@kma.go.kr

### 서 언

최근 들어 지구촌 곳곳에서 발생하는 기상재해의 규모가 커지고 있는 것은 지구 온난화의 영향을 배제할 수 없을 것이다. 기본적으로 지구 온난화에 따라 상승한 기온이 태풍의 강도를 더욱 강하게 하거나 국지성 호우의 발생 빈도를 높일 것이라는 것이 기상전문가들의 공통된 의견이다. 실제로 우리나라의 전국 강수량조사에 의하면 1954년~1963년(10년간)까지 일 강우량이 80mm 이상인 일수가 연 23.5일에서 최근 1996년~2005년(10년간)까지 연 36.7일로 1.7배 증가하였다. 또한 서울의 연간 황사 발생일수를 보면 1980년대에 3.9일에서 2000년 이후 12.8일로 증가하였다. 그뿐만이 아니라 2004년 3월 5일에는 충청지방에 폭설이 내려 대전에 49cm의 적설을 기록하기도 하였다. 여름과 겨울의 계절 지속기간에 변화를 보이고 있어 1960년대 이후 여름 지속기간은 길어지고 겨울 지속기간은 짧아지는 경향을 보이고 있다.

한편, 국민들은 생활수준의 향상과 주 5일 근무제도 확산으로 여가시간이 늘어남에 따라 더욱 정확하고 상세한 기상정보에 대한 요구가 증대하고 있다. 이러한 국민의 요구에 부응하기 위해서는 과거의 기상재해예방을 위한 재해기상서비스는 물론, 국민의 여가생활 활용과 생산성 향상에 도움이 되는 웰빙 기상서비스 향상에 더욱 박차를 가하지 않으면 안 되게 되었다.

이를 위해 기상청은 예보구역을 5km 정방형으로 바둑판 같이 촘촘하게 나누는 일명 동네예보를 금년 중 시행하고자 준비를 하고 있다. 이 동네예보가 당장에 예보정확도를 향상시켜 주는 것은 아니지만 국민들이 거주하는 우리고장의 날씨를 상세히 알 수 있다는 장점이 있다. 그리고 예보정확도를 향상시키기 위한 일환으로 현재 사용하고 있는 수치예보모델을 영국 기상청의 수치예보모델로 교체하는 사업을 추진 중에 있으며 2010년부터 본격적으로 운영하게 될 것이다.

## 새로운 패러다임의 기상관측

기상예보정확도를 높이기 위해서는 수치예보모델의 개선과 예보관의 능력향상, 그리고 무엇보다도 수치예보모델에 입력되는 기상관측자료의 품질 향상과 양적인 증가가 필수적이며, 특히 다양한 관측자료가 중요하다. 선진국에서는 예보정확도 향상을 위해 수치예보모델에 투입되는 지상관측자료 뿐만 아니라 레윈존데, 윈드프로파일러, 항공기 관측 등의 고층관측자료, 그리고 기상위성, 기상레이더 등 다양한 자료의 수평 및 수직적인 공간분포를 균형 있게 처리함으로써 수치예보모델 운영결과를 향상시키고 있다.

우리나라는 육상에서 많은 기상관측 자료를 획득할 수 있으나, 서해와 남해 등 해상에서는 기상관측자료를 획득하기 매우 어려우므로 광범위한 해상이 관측공백지역으로 남아 있다. 해상에서의 관측자료를 입수하기 위해서 해양기상관측용부이나 기상관측선박을 이용하기도 하지만 이러한 경우에도 해상에서의 고층관측에는 큰 한계에 부딪치게 된다. 특히, 태풍은 막대한 피해를 일으키는데 비해 그 메카니즘이 아직도 잘 밝혀지지 않고 있어 이를 위한 연구가 활발한데 태풍의 연구에는 항공기가 크게 이용되고 있다. 최근 세계기상기구(WMO)에서 주도하고 8개 회원국가가 참여하는 국제공동특별관측실험이 금년 8월 1일부터 10월 4일까지 수행되고 있다. 이 실험은 적도 부근에서 발생한 태풍이 일본을 빠져 나가 소멸할 때까지 태풍의 일생을 단계별로 관측하고 있으며, 우리나라도 참여하고 있다. 태풍관측실험에 있어서 항공기 관측이 매

우 중요한 역할을 담당하게 되나 우리나라는 항공기가 없기 때문에 실제적인 항공기 관측에는 참여하지 못하고 해남의 악기상 집중관측센터와 제주도의 고산에서 고층관측을 통하여 지상 및 고층관측 분야에 참여하게 되어 추후에 관련 자료를 입수할 수 있겠으나 항공기를 이용한 관측기술을 터득할 중요한 기회를 갖지 못해 안타까운 측면이 있다.

## 항공기를 이용한 선진국의 기상관측

항공기를 이용한 기상관측은 1960년대 초 미국 기상청(NOAA)에 의하여 시작되어 왔고, 1970년 후반 미국 항공우주연구소(NASA)와 협력하여 제작한 NOAA의 Elica 항공기 등은 지금까지 호우 등 악기상 관측과 인공강우 cloud seeding을 위하여 크게 이용되고 있다. 일본의 경우 기상연구소(MRI)의 사업으로 1987년 2월 동부 산악지역의 강설효과를 증가시키기 위하여 항공기 실험이 시작되었다. 이후 20년이 지난 지금까지 항공기 관측이 주축이 된 위성과 레이더 및 지상기상관측망을 구성하고 있으며 2004년부터는 구름의 응결핵을 관측하는데 항공기를 크게 이용하고 있다. 즉, 기상예보 정확성을 향상시키기 위한 수치예보 모델의 상세격자 입력 자료로 항공기 관측을 이용함에 있어 미국 등 선진국의 시도가 계속되어 왔다.

선진국에서는 지상에서 수행하는 관측 외에도 항공기를 이용하여 대기의 수평 및 수직 상태를 동시 관측함으로써 보다 정확하고 신뢰성 있는 직접관측 자료를 이용하여 기상예보 및 응용기상에 활용

하고 있다. 관측요소에는 기온, 습도, 바람, 대기의 구조, 구름의 특성 등이 있으며 응용분야는 기상조절, 인공강우, 악기상(집중호우와 태풍 그리고 강설 현상 등) 및 대기현상(미세먼지, 황사 등) 관측 등을 포함한다.

### 항공기를 이용한 기상업무 활용분야

대기현상과 대기의 수직구조 상태를 관측하는 방법에는 지상관측을 비롯하여, 레윈존데 및 윈드프로파일러를 이용한 고층기상관측, 차량이동 관측(Mobile Platforms), 항공기를 이용한 관측(Aircraft measurements), 로켓을 이용한 측정(Rocket measurements) 등이 있다. 지상관측에 있어 지형에 따른 특성이 장애가 되므로 구름관측 등에는 정확한 조사를 위해 기상레이더나 기상위성 관측이 병행되어야 한다. 차량이동 관측이나 선박 관측은 악기상 탐지에 매우 유용하나 시공간적인 제약이 있으며 항공기를 이용한 관측은 측정된 자료의 정확성이 높고 광범위한 관측영역이 가능하다. 다만 비용적인 면에서 항시 관측이 불가능한 단점이 있으나 기상조절, 인공강우, 대기오염 관측 등 응용분야 활용은 지상관측보다 수십 배의 효과가 있는 것으로 나타났다.

기상업무에서 항공기를 이용하는 주요 활용분야는 첫째, 관측공백(서해 등)지역 등에서의 정기적인 비행관측을 통해 집중호우 감시, 태풍의 이동경로 감시, 폭설 감시 등 악기상 발생지역 탐측에 이용할 수 있다.

둘째, 서해와 남해상에서 갑자기 발생하는 구름과 강수에 대한 목표 관측을 수행할 수 있다.

셋째, 황사 발생시 공간적 분포 및 이동 상황 감시에 이용할 수 있다.

넷째, 인공증설, 안개소산, 인공증우 등 기상조절 실험에 이용할 수 있다.

다섯째, 통신해양기상위성자료 및 기상레이더자료 등 원격관측자료의 검증에 위해 이용할 수 있다.

여섯째, 온실가스 플럭스 연직프로파일, 온실가스 농도 측정 등 기후변화 감시에 이용할 수 있다.

### 맺음말

우리나라는 인공강우 실험연구에 항공기를 이용한 경험은 있으나 항공기를 정기적으로 이용한 기상관측은 할 수가 없었다. 항공기를 이용하여 관측하기 위해서는 항공기에 관측기기를 장착하여야 하나 군용기를 지원받거나 민간용 항공기를 임차하는 경우에는 항공기의 외형적인 설계의 변경을 초래하기 때문에 관측기기를 장착하기 어렵다. 이 때문에 항공기를 이용한 기상관측을 위해서는 관측 전용 항공기가 필요하다.

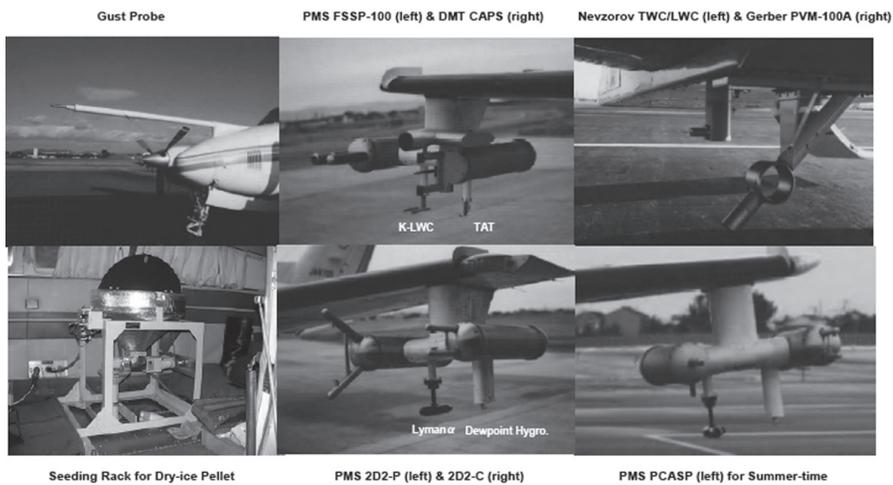
기상전용 항공기를 도입하기 위해서는 예산이 수반되어야 하고 항공기를 운영하는데 필요한 경험과 기술이 필요하다. 하지만 현재 국내에는 산림청을

비롯하여 해양경찰청 등 항공기를 도입하여 각 기관의 고유 목적에 다양한 성과를 이루고 있는 기관들이 많이 있다. 우리나라도 선진국들이 보유하고 있는 특수한 기상관측기술이나 실험연구기술을 습득하고 개발하기 위해서는 기상전용 항공기의 도입

을 신중히 고려하여야 할 것이다. 기상청은 항공기 관측 활용분야의 기획연구를 실시하고 이를 바탕으로 항공기를 이용한 관측기술 및 운영방안에 관하여 기본계획을 수립하여 추진할 예정이다.



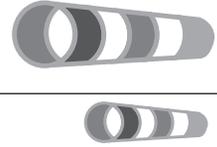
[허리케인관측용 항공기(Gulfstream IV-SP, 미국)]



[인공강우 항공기에 장착된 관측장비(일본)]

# 정책 초점

무인항공기 개발 현황 및 응용 방안 / 오수훈, 구삼옥  
해외 기상관측용 항공기 운영 및 활용 실태 / 김금란, 장기호  
항공기를 이용한 대기물리 관측 체계 수립 방안 / 오성남  
효과적인 항공기 유지 관리 방안 / 김영철  
공군에서의 항공관측 현황과 전망 / 김종석  
항공기를 이용한 대기환경 감시 / 김정수  
항공/위성 정보를 활용한 재해 피해 조사 / 최우정, 심재현



# 무인항공기 개발 현황 및 응용 방안

오 수 훈 / 구 삼 옥

한국항공우주연구원 스마트무인기사업단

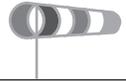
oshtiger@kari.re.kr / sam@kari.re.kr

## 1. 서론

무인항공기는 사람이 탑승하지 않고 원격 명령이나 미리 부여된 비행계획에 따라 임무를 수행하는 항공기이다. 조종사와 승무원들은 지상에 있는 관제 장비의 컴퓨터 모니터를 보면서 임무를 수행할 수 있기 때문에, 위험하거나 장시간의 지루한 비행 또는 오염지역 비행과 같은 나쁜 환경에서의 임무비행과 같은 소위 3D(dangerous, dull, dirty) 임무를 수행하는데 있어서 최적의 시스템으로 기대를 모아 왔다. 특히 컴퓨터, 전자 및 통신 기술이 급격하게 발전하게 된 20세기 말에 이르러 사람을 대신할 탑재장비들이 고성능, 저비용, 소형화 되면서 더욱 보편화 되게 되었고, 근래에 들어서는 일반인들이 취미생활용 과학 완구용 부품들을 조합해서 구현 가

능한 무인항공기도 등장하게 되었다.

그러나 무인항공기는 유인항공기에 비하여 개발의 역사가 짧기 때문에 항공기로서의 비행 안전성 확보에 대한 기술적, 제도적 숙제가 아직도 많이 남아 있다. 따라서 근래에 들어 매우 높아지는 활용성에 대한 기대감과 첨단기술의 보편화에도 불구하고 군사용으로 그 수요가 편중되어 왔는데, 점차 농업용에서부터 기상관측이나 대기과학 연구, 해양 순찰 등의 민수 및 공공용으로도 그 활용 영역이 확장되고 있다. 본 글에서는 스마트무인기 기술개발 사업<sup>1)</sup> 과정에서 정리한 국내외 무인항공기 기술 개발과 활용 동향을 소개한다.



## 2. 해외의 무인항공기 동향

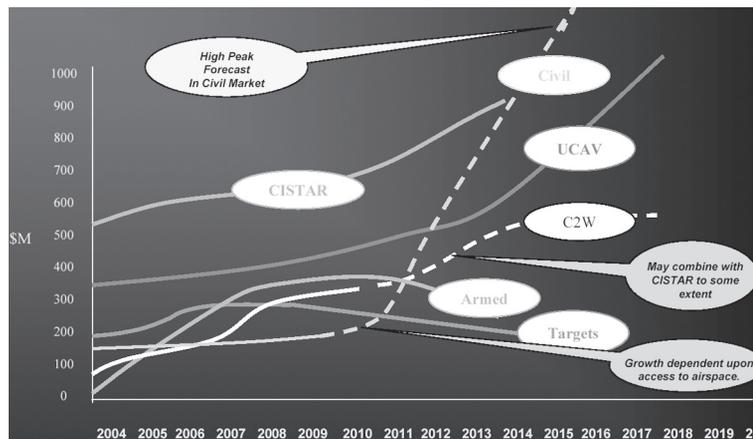
무인기의 활용은 70년대의 중동전에서 진가가 발휘되기 시작하였으나 코소보, 아프가니스탄에 이어 근래의 이라크 전쟁에서 활용도가 본격적으로 입증됨으로써 무인기 시장은 군사용을 중심으로 급격히 팽창하게 되었다. 현재의 무인기 시장 규모는 향후 10년 동안 3배 이상 성장할 것으로 예측되고 있으며, 안전성 및 유인기와의 공역 공유 문제가 해결되면 민수용 무인기 시장의 성장률이 군사용 무인기 시장 성장률을 추월할 것으로 예상하고 있다.

무인항공기는 임무와 용도에 따라 크기, 비행고도와 속도, 탑재 임무장비 등이 다르기 때문에 매우 다양한 종류가 개발되고 있는데, 대표적인 내용을 간추리면 다음과 같다.

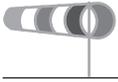
### ① 대형/고성능 무인기 (MALE / MALE+ / HALE)

체공시간 및 임무장비 탑재능력을 향상시킴으로써 유인기 대비 경제성과 운용효율성을 향상시키는 것으로 중/고고도 정찰용 무인기가 이 범주에 해당된다. 운용비용 감소, 연속 정찰시간 증가, 위험지역 운용 시에도 인명피해 부담이 없는 등 장점이 뚜렷하기 때문에 결국에는 현재 운용 중인 대부분의 유인정찰기를 대체할 것으로 예상된다.

현재 미국만이 보유하고 있는 HALE(High Altitude Long Endurance, 고고도 장기체공형)급 무인기인 Global Hawk와 MALE(Medium Altitude Long Endurance, 중고도 장기체공형)급 무인기인 Predator는 대표적인 대형 정찰용 무인기이다. 그 외에 이스라엘은 MALE급 무인기인 Heron을 개발하여 자국 수요 이외에 인도 및 터키에 수출하고 있고, 유럽에서는 EuroHawk, 프랑스 육군은 이스라엘의 Heron에 EADS에서 개발한 임무장비를 탑재하는 Eagle One 사업을 수행 중이다.



[무인기 시장 예측-Forecast International, 2004]



[Global Hawk]



[Predator B]



[Heron TP]

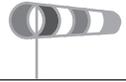
## ② 초장기 체공형 무인기

장시간의 임무수행을 위하여 기존의 화석연료를 이용한 추진보다는, 낮에는 태양열 에너지를 이용하고 밤에는 연료전지로부터 동력을 끌어내는 등 체공시간의 확장을 위한 다양한 연구가 진행되고 있다.

Boeing과 Aurora Flight Sciences사는 성층권에서 4일간 체공이 가능한 Orion 고고도 장기체공 무인기를 개발하고 있으며, NASA의 Helios에 기반하여 액체수소를 연료로 사용하는 AeroVironment사의 Global Observer는 성층권에서 7일간 체공하는 것

을 목표로 개발되고 있고, Northrop Grumman사는 한 달간 체공이 가능한 U-HALE(Ultra-HALE) 초장기체공 무인기 개념을 연구하고 있다. 최근 DARPA는 태양전지를 이용하여 수개월간 체공이 가능한 무인기를 개발하는 Vulture 프로그램을 시작하였다.

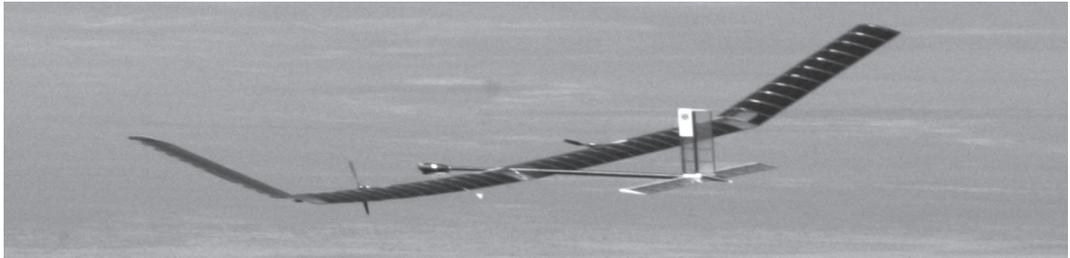
영국 QinetiQ사는 태양전지와 충전 가능한 배터리를 이용하는 Zephyr를 개발하고 있는데, 최근에 83시간 이상(비공식) 연속 비행에 성공하였다고 발표한 바 있다.



[Orion HALL]



[Global Observer]



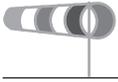
[Zephyr]

### ③ 소형 무인기

최근 극소형 전자 및 기계 부품기술의 발전과 배터리와 연료전지의 효율이 좋아지면서 이를 동력으로 활용하는 소형 무인기도 실용화되고 있다. 언덕 넘어 또는 건물 뒤의 영상 또는 음성정보를 수집하는 단순화된 임무를 수행하는 장비로, 저가에 획득이 가능하고 운용이 편리하여 교육훈련 비용 및 기간의 부담이 없으므로 운용유지비를 절감할 수 있다. 대표적인 기종으로는 미국의 5,000대 이상 인도되었고 향후 수천대의 추가 수요가 계획된 AeroVironment사의 Raven으로서 총중량이 1.9kg에 불과하다. Raven과 비슷한 손으로 던져 이륙시



[Raven]



[Skylark]

키는 전기추진식 무인기로, 이스라엘 IAI사의 Bird Eye와 Elbit사의 Skylark이 있다. Bird Eye의 경우 총 중량 5.5kg에 체공시간은 60분이며, Skylark은 총 중량은 4.5kg에 체공시간은 90분이다.

#### ④ 수직이착륙 무인기

활주로나 없거나 함상, 야지 등 좁은 공간에서 이

착륙이 가능한 수직이착륙 무인기의 수요도 많다. 덕티드 팬(Ducted Fan) 방식의 무인기로 미국 Honeywell사의 Micro Air Vehicle, Aurora Flight Sciences사의 GoldenEye 등이 있고, 헬리콥터 방식으로는 Northrop Grumman사의 Fire Scout, Boeing사의 Hummingbird, 오스트리아 Schiebel사의 Camcopter S-100, 스웨덴 Saab사의 Skeldar, EADS의 Orka등이 있다.

#### ⑤ 무인전투기 (UCAV)

조종사가 타지 않는 전투기가 조만간 공군력의 주역이 될 전망으로 보인다. 미 공군과 해군 무인전투기로서 Boeing사의 X-45C와 Northrop Grumman사의 X-47B가 있고, 유럽은 프랑스 Dassault사 주도로 이태리 Alenia Aeronautica, EADS, 스위스 Ruag Aerospace, 스웨덴 Saab, 프랑스 Thales사가 공동 진행하는 Neuron 프로그램이 있다.



[Micro Air Vehicle]



[GoldenEye]



[Fire Scout]



[Hummingbird]



[Camcopter S-100]



[Skeldar]



[Orka]

국제 공동개발 사업 이외에도 영국 BAE Systems 사의 Corax, 독일 EADS사의 Barrakuda, 이태리 Alenia Aeronautica사의 Sky-X, 스웨덴 Saab사의

Filur 등 독자적인 UCAV 개발 프로그램들도 진행 중이다.



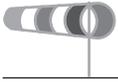
[X-45]



[X-47]



[Neuron]



[Corax]



[Barrakuda]



[Sky-X]

### ⑥ 민수/공공용 무인기

일본 야마하 사가 농약 살포 및 파종 목적으로 개발하기 시작한 농업용 무인 헬기는 가시권 내의 자동조종 비행이라는 한계는 있지만 민수용 무인기의 대표적인 성공사례로 기록되고 있다. 야마하에서는 1999년 가시권 밖으로도 자동비행할 수 있는 개량형을 개발하여 2000년 우수 화산관측, 2001년 미야케지마 화산관측에 활용하는 등 활용 영역을 넓혀가고 있다.

1998년 무인기 최초로 대서양 횡단에 성공했던 Aerosonde는 기상학 연구에 이용되고 있다. 태풍의 내부에 접근하여 자료를 수집할 수 없었던 기상

학자들은 무인기를 이용한 접근방식으로 태풍 연구의 새로운 지평을 열어가고 있는데, 2007년 11월 Aerosonde는 허리케인 Noel의 내부에 접근하여 기상자료를 수집하고 실시간으로 전송하는 임무 수행에 성공하였다. 이전에도 태풍에 근접하여 기상자료를 수집했지만 태풍 내부의 핵심(태풍의 눈과 경계층)에 접근한 것은 처음이었다<sup>1)</sup>.

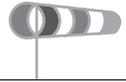
미국 해안경비대(Coast Guard)는 Deepwater Program 이라고 불리는 통합 해안 경비 프로그램을 추진하고 있는데, 미국 해안경비대의 노후 장비를 최신의 통합정보망(C4ISR)으로 개량하는 사업으로서 지상 운용 무인기로는 Northrop Grumman



[R-MAX]



[Aerosonde]



[미 해안경비대의 Deepwater Program 개념]

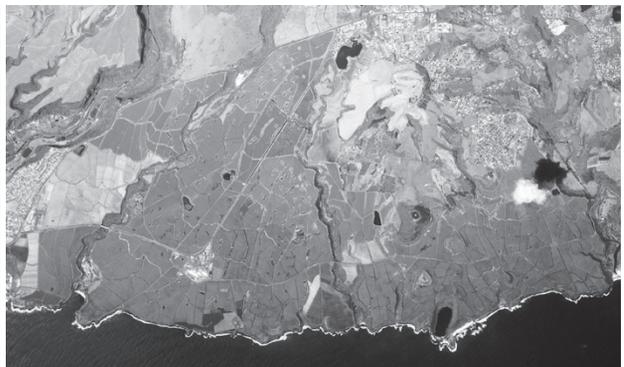
사의 Global Hawk가 고려되고 있으며, 함상 운용 무인기로는 Bell사의 틸트로터 무인기인 Eagle Eye의 선정이 유력시되었으나, 최근 함상 운용 무인기의 선정을 수년간 연기하는 것으로 발표하였다.

AeroVironment사는 무선통신에 무인기를 활용하기 위하여 SkyTower라는 자회사를 설립하였

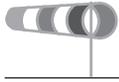
다. 동사의 고고도 장기체공 플랫폼인 HAPS(High Altitude Platform Station)는 60,000피트 상공의 성층권에서 한 달까지 체공할 수 있으며, 2002년 HDTV와 IMT-2000(제3세대 이동전화) 서비스를 시연하였다. 현재 통신 능력은 5 GigaBits/s 이며, 상업화시 위성의 절반 비용으로 광역 통신 서비스를 제공하는 것이 목표이다.



[SkyTower]



[커피 농장의 영상]



2002년 NASA는 Pathfinder-Plus 무인기를 하와이의 KAUII 커피 농장 작황 조사에 이용하였다. 고해상도의 디지털 칼라 다중스펙트럼(Multi-Spectral) 영상장비가 장착되어 실시간으로 커피의 작황을 지상으로 전송하였으며, 전송된 다중 스펙트럼 영상을 이용하여 커피 열매의 익은 정도와 잡초가 번성한 지역을 분석함으로써 수확, 관개 및 시비가 필요한 지역을 구분해내는데 성공하였다[4].

미국 DHS(Department of Homeland Security)는 남부 국경의 밀입국을 감시하기 위하여 Predator와 Hermes 450 무인기를 이용하고 있으며, 알래스카 주는 불법어로 감시에 무인기 사용을 고려중이다. 허리케인 Katrina 이후 미 공군과 FAA는 재난지역에서의 무인기 운용을 허가하는 협정을 맺음으로써 향후 재난지역에서 피해상황을 파악하고 붕괴된 통신망을 재구축하는데 무인기가 이용될 예정이다. 로스앤젤레스 경찰청은 감시, 도망자 추적, 실종자 수색에 이용할 목적으로 SkySeer 무인기를 구입하여 관할 특수기동대에서 시험 중에 있다[5].

유럽의 경우, 벨기에 정부는 북해에서의 불법 기름 유출 감시에 무인기를 이용하고 있으며 유럽 의회는 불법이민이 성행하는 지중해와 발칸반도 연안 감시에 무인기 이용을 고려중이다. 러시아도 국경 감시에 무인기를 이용할 계획이며, 스페인은 바스크 지역의 어로 감시에 무인기를 이용하고 있다. 이스라엘 경찰은 교통법규위반 감시에 무인기를 이용할 계획인데 5대의 순찰차에 실시간 영상을 제공하는 AeroStar 무인기를 이용하여 고속도로에서 교통법규 위반을 적발하는데 성공하였다[5].

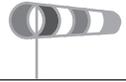
### 3. 국내의 무인항공기 동향

우리나라는 항공산업 분야에 있어서 후발국이지만 항공 기술과 정보통신 기술의 융합체인 무인항공기 분야에 있어서는 선진국과의 기술격차를 재빨리 줄일 수 있는 강점을 가지고 있다. 1991년부터 국방과학연구소는 한국항공우주산업(주)와 함께 군단급 정찰용 무인기를 개발하여 현재 배치 운용 중에 있는데, 이 과정에서 고정익 무인기 기체, 임무장비 및 통제장비 등이 국산화 되었으며, 관련 기반시설, 기술 및 인력 등이 주관기관 및 참여업체에 양호하게 구축되었다.



[KAI/ADD Night Intruder]

한편 민수용 무인기 핵심기술 개발 또한 항공우주연구원을 중심으로 활발히 진행되고 있다. 1999년 항공우주연구원은 소형 장기체공 무인기(일명 두루미)를 시작으로 민수용 무인기 개발연구를 시작할 이래, 2004년에는 산-학-연이 협력하여 우천 시의 운용을 포함한 기상관측 무인기의 가능성을 시험하였고, 성층권 무인비행선 프로그램 또한 2001년



[존데 센서를 장착한 KARI 무인기'두루미']



[KARI 50m급 축소형 무인 비행선]

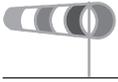
부터 본격적으로 수행되어 50미터급 무인비행선과 통신, 지상관제 등의 개발을 완료하고 1 km 상공에서 정점 채공 시범을 보임으로써 관련 산학연의 기술개발에 중심 역할을 하고 있다.

또한 대한항공은 2004년 산업자원부의 지원을 받아 해안/산불 감시 등 다목적 용도로 사용될 근접감시용 무인기 시스템 기술개발사업에 착수하여, 운용거리 40km 이상, 운용시간 2시간 이상의 성능목표를 충족시킴으로써 3년간의 1단계 연구개발을 성공적으로 종료하였고,

이후 2년간 이어지는 2단계에서 운용거리 80km, 운용시간 6시간 이상으로 목표를 상향시켰다.



[근접감시용 UAV]



리모아이- 002 (중/소대급)	리모아이- 006 (연/대대급)	리모아이- 015 (근거리용)	리모아이- 050 (사단급)	리모에이치- 100 (민수용 방제헬기)	리모에이치- 120 (군용 정찰헬기)
.비행시간 : 1시간 .운용자 : 1인 .비행거리 : 10Km .투척 이력, 자동착륙 .주/야간 감시용	.비행시간 : 90분 .운용자 : 2인 .비행거리 : 15Km .투척 이력, 자동착륙 .주/야간 감시용	.비행시간 : 3시간 .운용자 : 4인 .비행거리 : 20Km .발사, 활주이/착륙 .주/야간 감시용	.비행시간 : 5시간 .운용자 : 6인 .비행거리 : 60Km .발사이력, 수직착륙 .주/야간 감시용	.비행시간 : 1시간 .운용자 : 2인 .비행거리 : 300m .수직 이/착륙 .방제 및 감시용	.비행시간 : 0시간 .운용자 : 0인 .비행거리 : 00Km .자동 수직 이/착륙 .주/야간 감시용
개발 완료	개발 완료	개발 완료	개발 중	개발 완료	개발 중
군수용	군수용	민/군수용	군수용	민수용	군수용

[유콘시스템의 무인기]

2001년에 설립된 유콘시스템(주)는 스마트 무인기 및 근접감시용 무인기 사업 등 국내에서 진행되고 있는 무인기 개발 사업에 지상통제장비 개발업체로 참여하고 있으며, 이러한 기술력을 바탕으로 무인기 기용 지상통제시스템을 UAE에 수출한 바 있다. 지

상통제장비 분야 기술개발에 그치지 않고 성우엔지니어링과 공동으로 다양한 종류의 소형 UAV와 농업용 무인헬기 등을 개발함으로써 무인기 시스템 개발업체로 도약하고 있다.

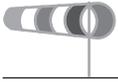


[로봇항공기 대회 전광판]



[대회 참가 무인기]





연구 기관에서 수행되고 있어서, 스마트 무인기뿐만 아니라 향후 다양한 종류의 무인기와 관련 시스템에 적용이 가능한 기술이 준비되고 있다.

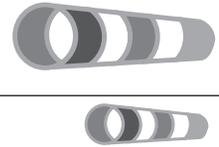
#### 4. 맺음말

과학기술의 급격한 발전에 따라 로봇이 사람을 대신하여 다양한 업무를 수행할 수 있게 되었는데, 무인항공기는 하늘의 로봇에 비유될 수 있다. 지난 100년간 진화해 온 항공기 기술이 최근의 컴퓨터, 전자, 통신, S/W 기술과 같은 첨단 신생 기술과 결합하면서 하늘을 나는 로봇 즉, 무인항공기 기술은 비약적으로 발전하는 기술융합형 신산업의 하나가 되고 있고, 세계 각국은 앞을 다투어 이 분야에 뛰어들고 있는데, 우리나라도 예외는 아니다. 무인항공기는 비록 군사적 활용도가 매우 높아 그 수요나 개발 방향이 편향된 측면이 있긴 하지만 민수 및 공공용, 과학 실험 및 관측용 등으로 그 활

용도가 지속적으로 확대되어 나가고 있다. 장차 관련 기술의 개발과 운용 및 안전성 확보와 관련한 제도의 확립이 이루어지면 본지 독자들의 주요 관심사로 예상되는 기상학 연구에 있어서도 태풍관측이나 제한된 공역에서의 대기 환경 관측을 넘어서 상상 밖의 무궁한 기여를 할 수 있을 것으로 기대한다.

#### 참고문헌

- [1] “스마트무인기 체계종합기술개발 사업계획서,” 한국항공우주연구원 스마트무인기사업단, 2008
- [2] “World Unmanned Aerial Vehicle Systems – Market Profile and Forecast,” Teal Group, 2007
- [3] <http://www.aerosonde.com/drawarticle/146>
- [4] <http://www.nasa.gov/centers/ames/research/factsheets/FS-020901ARC.html>
- [5] “The Market for UAV Reconnaissance Systems Through 2016,” Forecast International, 2007



## 해외 기상관측용 항공기 운영 및 활용 실태

김 금 란

국립기상연구소 지구환경시스템연구팀장  
kkl@kma.go.kr

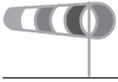
장 기 호

국립기상연구소 지구환경시스템연구팀 기상연구관  
khchang@kma.go.kr

### 1. 서론

기상관측자료는 기상 현황뿐 아니라 기상 예측 및 예보를 위해 중요한 자료이다. 기상예보에서 중요한 역할을 하는 수치모형이 초기 기상관측자료에 크게 의존하기 때문이다. 그러나 해양에는 관측장비 설치 및 운용이 어렵기 때문에 삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라는 3차원적인 기상현황 파악과 예보에 어려움을 가지고 있다. 위성, 레이더 등의 원격장비는 서해, 남해, 그리고 동해지역에서 구름 상태 등이 관측가능하나 온·습도·바람 프로파일 등의 기상정보를 주지 못하기 때문에 원격자료에서 출현한 비구름셀이 성장할지 소멸할지에 대한 예측이 어려운 상황이다.

특히 황사, 태풍, 집중호우 등과 같은 악기상이 해양에서 내륙으로 진입할 때 관측정보의 부족으로 인하여 악기상 예·경보가 어렵다. 황사는 위성자료에서 동아시아를 대상으로 실험 관측자료가 있으나 황사의 두께, 높이 등에 대한 정보를 얻을 수 없으며, 해양에서 이동하는 태풍 역시 바람프로파일, 수분상태 등의 정보를 얻기 어렵다. 레이더 자료는 지구곡률에 기인하여 먼 바다에서 강한 에코가 출현하더라도 내륙으로 상당히 접근해 왔을 때야 하층을 포함한 연직관측이 가능하므로 그 에코의 특성을 자세히 파악할 수 있다. 이러한 해양에서의 악기상에 대한 구조적 관측정보의 부족은 악기상의 강도 및 이동방향에 대한 향후 전개 방향을 예측하기 어렵게 만들고 있다.



편서풍을 따라 중국 등지에서 유입될 수 있는 환경 오염물질과 기후변화 영향물질들은 안면도, 광주, 고산 등지에서 꾸준히 감시되고 있으나 입체적 감시에 한계를 보이고 있다. 지상관측만으로는 환경 오염물질 및 기후변화영향물질의 장거리 이동 경로 파악에 어려움을 가지고 있다. 오염물질이 발견되더라도 어디에서 발생하여 이동한 것이고 초기 강도는 어느 정도인지 한두 지점의 지상관측자료로 파악하기는 쉽지 않다.

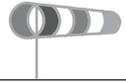
기존 관측과 감시의 한계를 극복하기 위한 최선의 대안 중 하나가 항공기를 이용한 관측이다. 빠른 속도를 가진 항공기는 서해상 등으로 진입하는 악기상에 대한 풍부한 정보를 신속하게 줄 수 있다. 봄철에는 라이다, 카메라 등을 장착한 기상항공기로 서해등지로 유입되는 황사층에 대한 연직구조 정보를 얻을 수 있을 것이며, 여름철에는 항공레이더를 이용하면 서해상에 출현한 강수 셀의 구조 및 성장 가능성에 대한 정보를 얻을 수 있을 것이다. 악기상이 심하지 않은 가을에는 전국 레이더 편차보정, 위성자료 검보정 등에 활용할 수 있을 것이며, 겨울에는 봄가뭄 대비를 위한 인공강우(설) 실험에 활용될 수 있을 것이다. 상시적으로는 Drop-Sonde나 환경감시장비를 이용한 항공관측으로 서해지역의 수치모델 입력용 삼차원 기상자료와 장거리 이동 환경오염 및 기후변화영향 물질 감시 등에 큰 기여를 할 수 있을 것이다.

미국은 1961년 미국 태풍연구 프로젝트의 일환으로 탄생된 연구비행시설인 RFF (Research Flight Facility) 창설 이후 약 50년간 항공기상

관측을 수행해왔다. 현재는 미국의 기상관련 주요기관 NASA( National Aeronautics and Space Administration) , NCAR(National Center for Atmospheric Research), 그리고 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)가 각각 14, 2, 6 대의 기상관측실험용 항공기를 보유하고 있으며, 각 기관의 기상항공기 운용의 주 목적은 우주항공센서시험, 항공관측연구, 그리고 기상예보 현업지원이다. 영국, 캐나다, 독일, 호주, 일본, 그리고 중국도 각각 기상관측 및 인공강우실험 전용항공기를 운용하고 있다.

우리나라는 산림청 2대, 해양경찰청 1대, 한서대 12대의 전용항공기와 전담조직을 보유하고 있는 것으로 조사되었다. 산림청은 산불감시, 해경청은 배타수역 선박감시, 한서대학은 조종사 훈련용으로 주로 사용화 되고 있다. 최근 국립기상연구소와 국립환경연구원은 항공기를 임차하여 기상 및 환경관련 관측·실험을 수행하고 있다. 국립기상연구소는 인공강우 실험, 황사 연직구조 관측 실험 등을 수행하였으며, 국립환경과학원은 장거리 대기오염물질 이동 관측을 수행하였다.

최근 기상청은 항공기를 이용한 대기관측, 에어리솔 및 기상연구 업무의 필요성이 증대하고, 수치예보 모델입력 자료의 다양화로 인하여 예보 정확도 향상과 태풍, 집중호우, 폭설, 황사 등 악기상 발생시 관측 선행시간 연장을 위하여 기상항공기 도입 기본계획(2008. 7. 10)을 수립하였다. 연구용 기상항공기를 우선 도입하여 관측공백지역에 대한 입체관측, 악기상 관측 선행시간 확보 등에 대한 선행연



구를 수행하고 이 연구 결과에 따라 본격적인 현업용 기상항공기를 도입·운영하려는 계획이다. 이에, 향후 도입·운영할 기상항공기의 활용 극대화를 위해 국내외 기상항공기 활용현황을 요약 정리하고자 한다.

## 2. 국외 기상관측용 항공기 활용

### 1) 미국

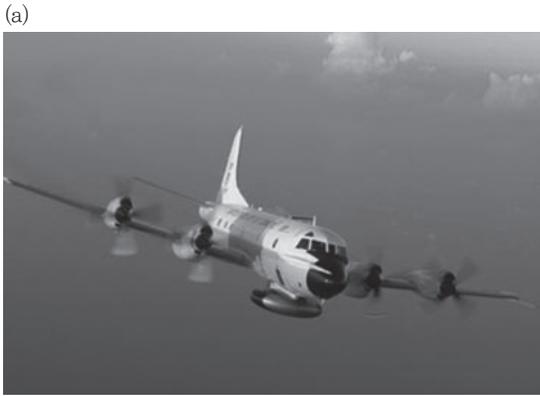
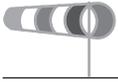
미국은 기상분야의 선진국으로 1961년 태풍연구 프로젝트의 일환으로 NOAA에 창설한 연구비행시설인 RFF를 기점으로 항공기를 이용한 기상관측을 다양하게 수행해 왔다. 현재 미 정부기관, 대학, 연구소, 기상관련 기업 등에서 항공기를 이용한 기상관측 프로젝트가 활발하게 수행되고 있으며, 항공관측을 수행하는 대표적인 기관은 NASA, NCAR, NOAA로서 각 기관은 자체적인 항공기단(Aircraft fleet) 및 담당조직을 운영하고 있다.

NASA는 1960년 자체 비행연구소 FRC(Flight Research Center)를 창설 1963년 비행실험을 시작으로 항공공학과 우주항공분야에 활발한 연구 활동을 하고 있으며 오늘날 전 세계적으로 우주항공 분야를 선도해오고 있다. NASA의 초기 비행연구소인 FRC는 현재 DFRC(Dryden Flight Research Center)로 명칭이 변경되어 NASA의 대기비행연구와 운영을 전담하고 있으며 유·무인 항공기 개발 및 대기과학 연구와 우주항공지원을 위해 14대의 항공기를 자체 운영 하고 있다. 또한 NASA는 지구

과학부서인 ESD(Earth Science Division)에서 항공과학프로그램(Airborne Science Program)을 운영하며 기상관측과 위성 및 장비 검·보정을 위한 프로젝트를 수행하고 NASA 내부 및 관련 정부기관 등에 항공기 및 관련시설을 지원하고 있다. 주요 활용 분야는 구름물리, 에어로솔, 기후변화 감시, 위성 및 항공장비 검·보정, 대기관측, 대기질, 지형변화 관측 등으로 다양하며 현재 31개 프로젝트가 관련되어 있다.

미국 국립대기연구소 NCAR의 산하기관인 지구관측연구팀 EOL (Earth Observing Laboratory)은 미국국립과학기금 NSF(National Science Foundation)의 지원 아래 자체 연구비행시설인 RAF (Research Aviation Facility)를 운영하고 있으며 EC-130Q Hercules과 Gulfstream-V 2대의 항공기를 보유하고 있다. 최근 NCAR는 RAF의 기상항공기를 이용한 태평양 대기질 연구인 PASE(Pacific Atmospheric Sulfur Experiment) 프로젝트와 에어로솔의 장거리 수송 및 대기오염에 관한 PACDEX(PACific Dust EXperiment) 프로젝트에 활용하고 있으며 이외 응용분야로 대기관측, 구름물리, 기후변화, 에어로솔, 대기질, 위성 검·보정, 지형탐색 등에 항공기를 활용하고 있다.

미국 해양대기청 NOAA의 경우 1961년 미국 태풍연구 프로젝트의 일환으로 탄생된 연구비행시설인 RFF를 1975년 NOAA의 산하 환경연구소 ERL(Environmental Research Lab)에 통합한 후 초기 DC-6 2대, B-57A 1대, DC-4 1대로 대기 연구에 광범위하게 활용하여 왔다. 현재 RFF는



[그림 1] 미국 해양기상청(NOAA) AOC 보유의 (a) Lockheed WP-3D Orion과 (b) 부착된 항공센서

NOAA의 OMAO (Office of Marine and Aviation Operation)내 비행운영센터인 AOC (Aircraft Operation Center)로 통합되어 항공기 11대와 헬기 2대가 운영되고 있으며 태풍, 대기환경, 구름물리, 기후변화, 기상예보 향상에 활용되고 있다.

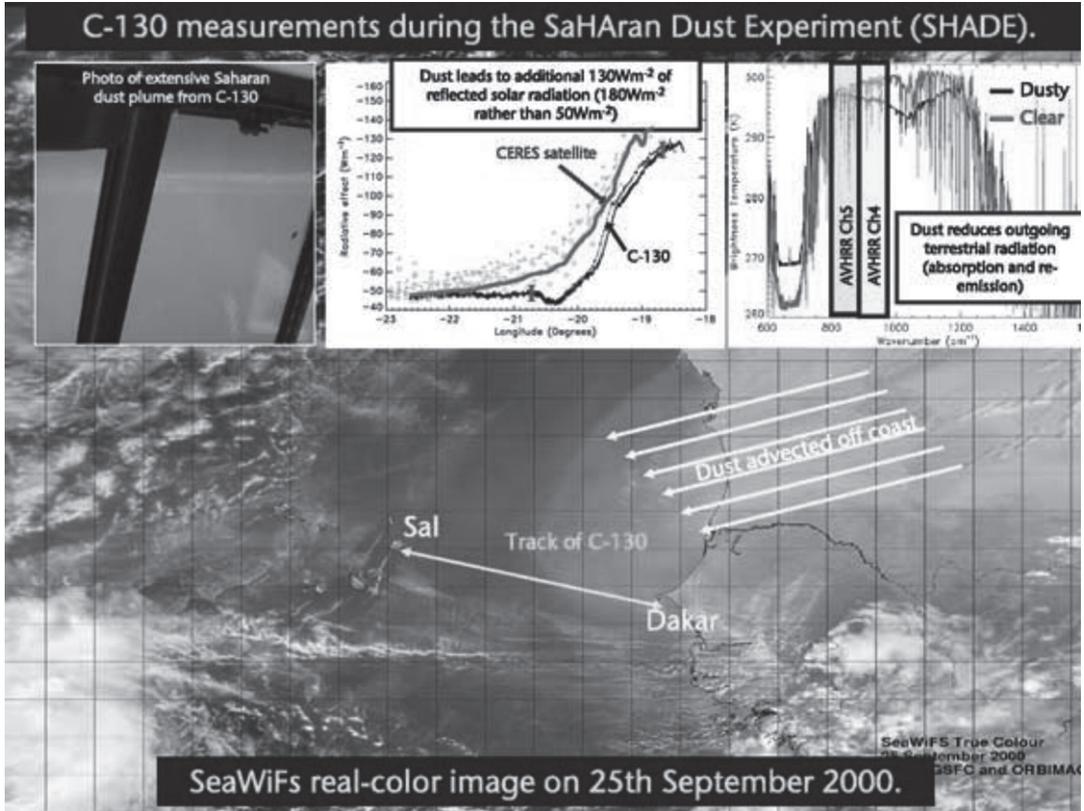
## 2) 영국

영국기상청은 C-130, A722, B073와 BAe 146의 비행기를 보유하고 있으며, 이들을 활용한 연구는 구름물리, 대기 에어러솔, 기후변화, 복사 관측과

WMO에서 주관하는 THORPEX(The Observing System Research and Predictability Experiment) 사업에 활용하고 있다. THORPEX 프로젝트의 경우에는 WMO의 10년 사업으로 전 세계적으로 연구가 이루어지고 있으며 총 6개의 프로젝트로 이루어져있다. 이 연구 사업은 미국, 영국, 프랑스, 일본, 노르웨이, 캐나다, 한국, 그리고 중국이 지원하고 있다. 대기 에어러솔 관측은 ACE-2 (Aerosol Characterisation Experiment-2)와 SHADE (SaHAran Dust Experiment)에서 수행하였으며, 산불로 발생하는 에어러솔에 대한 프로젝트



[그림 2] 영국 기상청에서 보유하고 있는 (a) 라디오미터를 장착한 BAe 146 항공기와 (b) 관측 경로 예



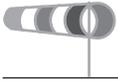
[그림 3] 2000년 9월 25일에 영국 기상청이 아프리카 해안에서 C-130을 이용한 황사 관측결과 및 항공기 경로

(Southern African regional science initiative)를 수행한 바 있다. 또한 구름 속의 수적과 빙결입자들을 관측하고 에어러솔의 화학적 성분과 수농도를 관측하기 위해 항공기를 활용하기도 한다. 영국의 기후적 특성상 여름철에 발생하는 대류성 적운을 관측하기 위하여 BAe 146와 C-130에 마이크로 라디오미터를 장착하여 관측한다. [그림 2] (a)는 BAe 146 항공기에 라디오미터를 장착한 것을 나타내고 [그림 2] (b)는 항공기의 관측경로를 나타낸다.

영국의 경우에는 [그림 3]에서처럼 영국 지역이외의 지역에서 발생하는 에어러솔 (산불 및 황사)에 의한 대기 변화 및 에어러솔의 연구를 수행하여 이러한 요소들이 태양 복사에 미치는 연구 프로젝트를 수행하고 있다.

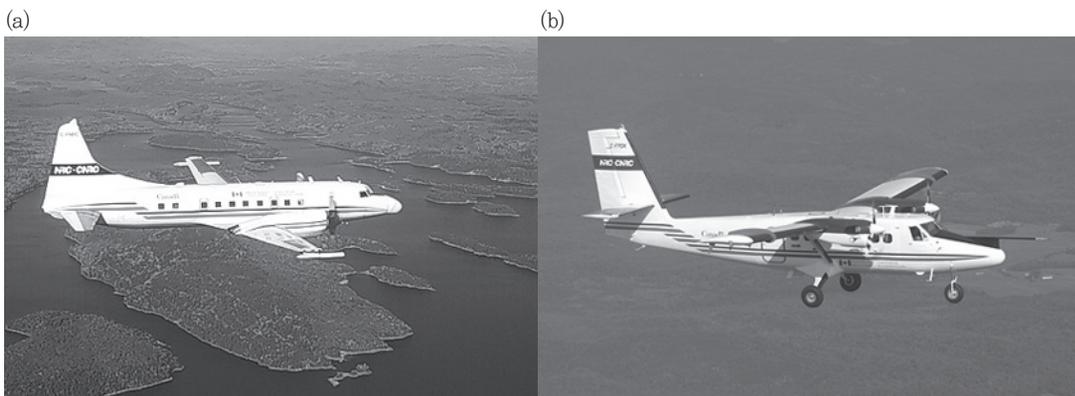
### 3) 캐나다

캐나다의 국립연구협회(National Research Council Canada)는 1916년에 설립되었으며, 1980년 후반에

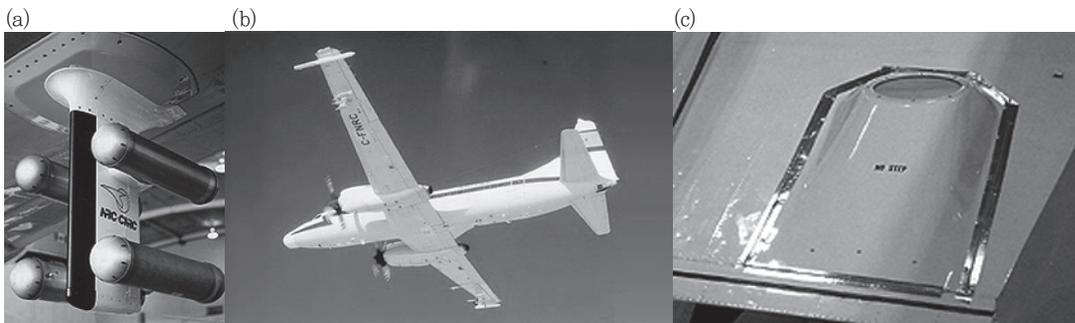


항공기에 관련한 연구를 시작하였고, 본격적인 항공관측은 1999년 가을에 Convair 580에 구름관측 레이더시스템(Cloud Profiling Radar)을 장착하면서 시작되었다. 캐나다 국립연구협회의 항공기연구실(Flight Research Lab.)에서는 원격관측이나 대기관측에 필요한 항공기 연구 및 구름물리, 에어리솔, 태풍, 대기화학 연구 등을 수행하고 있다. 항공기연구실은 Convair 580, Twin Otter, Falcon 20, T-33과 Harvard를 보유하고 있으며, Falcon 20,

T-33과 Harvard의 항공기들은 항공기에 관련한 연구 및 조종사 양성 교육에 활용된다(그림 4). 그리고 Twin Otter는 대기관측, 오염물질 추적과 같은 연구를 수행하며, Convair 580은 태양복사, 구름물리, 대기화학, 태풍경로 추적과 관측을 수행한다. 또한 대기관측연구와 위성관측자료의 검토 정에도 활용된다. Convair 580의 경우에는 대기관측, 구름물리, 태풍 경로 추적을 위하여 35GHz (8.6mm)의 밀리미터웨이브 레이더를 장착하고 있



[그림 4] 캐나다 국립연구협회에서 주도적으로 사용하는 항공기. (a) Convain 580, (b) Twin Otter



[그림 5] Convain 580에 장착 기상장비들. (a) 구름입자통합관측시스템, (b) Convain 580 양 날개에 장착된 구름 입자관측시스템과 (c) CPR (Cloud Profiling Radar)를 장착한 모습

다. 또한 구름입자 관측시스템(Particle Measuring System)과 구름입자촬영기(Cloud Particle Imager)를 양쪽 날개에 장착하고 있어 구름물리, 태풍 관측 활용도를 높이고 있다(그림 5).

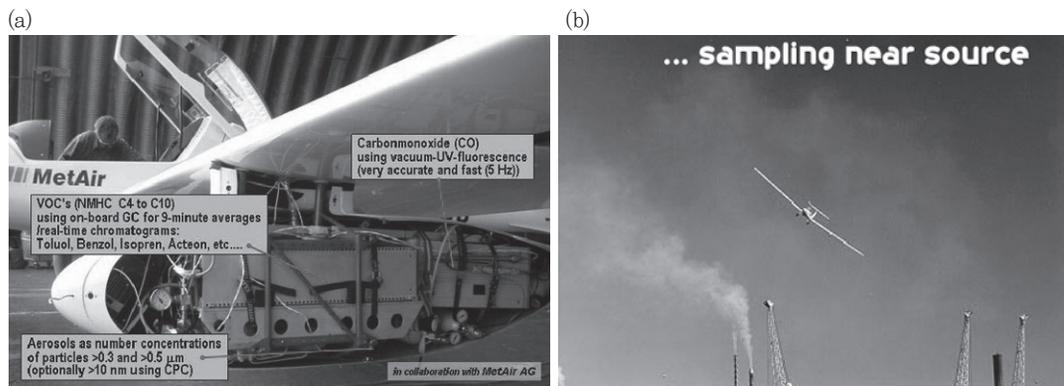
#### 4) 독일

독일의 DLR(Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt)의 Fraunhofer-Institute는 FFB(Flight Facility Braunschweig), FFO(Flight Facility Oberpfaffenhofen)을 산하에 두고 있으며 총 8대의 비행기와 2대의 헬리콥터를 보유하고 있다. FFB는 보유한 항공기를 유럽의 대기 연구와 지구관측을 수행하는 유럽지역 연구소에 지원을 하고 있으며 하부 조직으로는 비행실험팀, 항공전자공학팀, 전기시스템과 유지보수팀으로 나누어져 있다. 주요 보유 항공기는 ATTAS, Dornier 228-101, LFU 300과 DR400 이다. FFO 역시 항공 관측에 직접적인 관여는 하지 않으나, 올해 2008년 4월에 에어러슬, 구름과 기후의 상호작용에 관련한

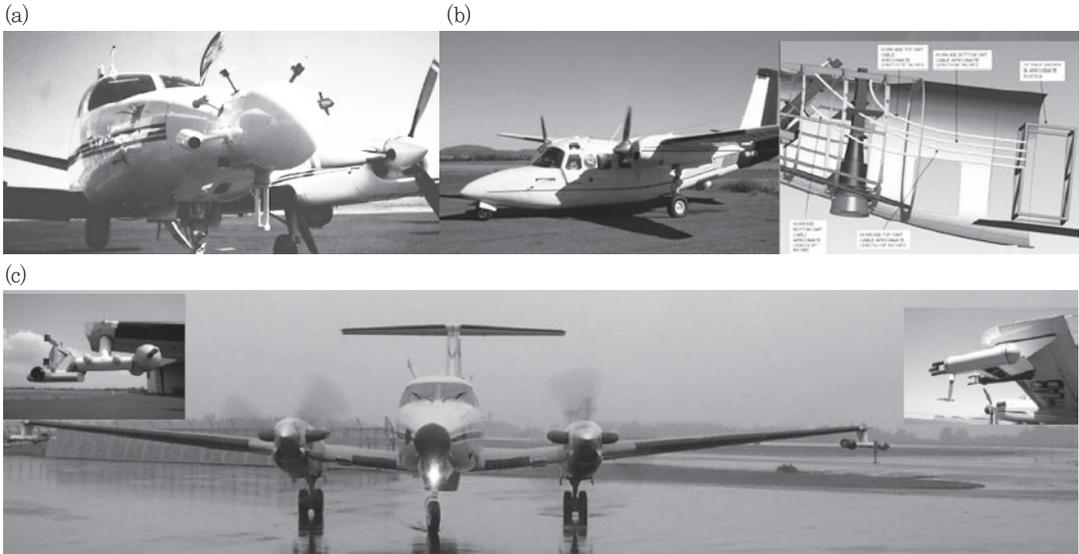
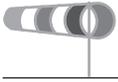
연구(EUCAARI: European Integrated Project on Aerosol, Cloud and Climate Interactions)를 수행한 바 있으며, 항공기 유지 및 수리, 항공 관측에 필요한 관측장비 장착 및 개조에 관련한 연구를 하고 있다. 또한 유럽, 미국과 아시아 일부지역에 항공 관측 및 지원을 하는 FFO은 항공기 운영팀, 관측센서와 자료를 담당하는 팀, 기술지원팀을 운영하고 있으며, Falcon 20-E5, Cessna C 208B와 Dornier DO229-212의 항공기를 보유하고 있다. Falcon 20-E5는 우리나라의 국립기상연구소가 지원하는 T-PARC 2008(THORPEX Pacific Asian Regional Campaign 2008) 프로젝트에 참가하고 있다.

#### 5) 호주

ARA(Airborne Research Australia)는 Flinders 대학과 호주 국립 연구기관 (National Research Facility)에 의해 1996년에 설립되었다. 보유한 주요항공기로는 Grob G520T Egrett, Grob



[그림 6] ECO-Dimona에 장착된 대기질 관측장비와 대기질 관측 수행 모습

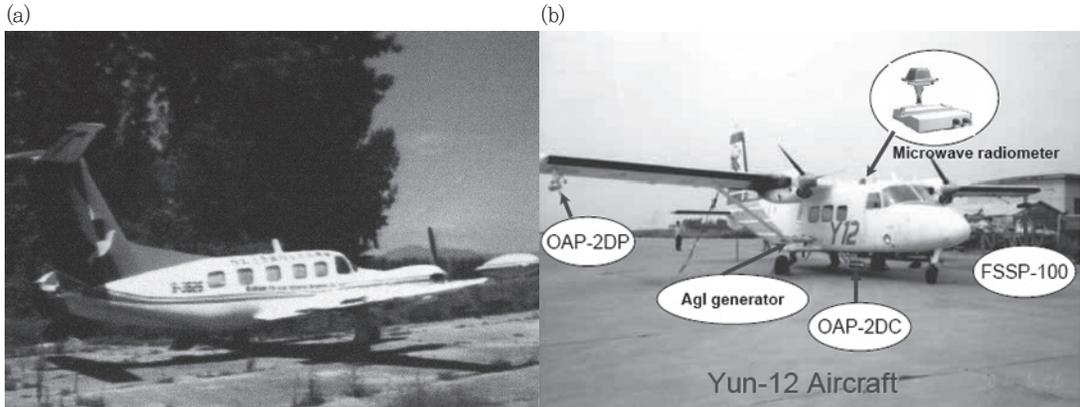


[그림 7] 대기 관측을 수행하는 ARA의 항공기들. (a) Cessna 404, (b) L-Band 안테나를 장착한 AeroCommander 690, (c) 구름물리 관측 장비를 양날개에 장착한 B200T Super King Air

G109B, ECO-Dimona, B200T Super King Air, AeroCommander 690와 Cessna 404를 보유하고 있다. 호주는 물부족으로 인해 인공강우 항공실험을 1964년부터 꾸준히 수행하고 있다. 기상조절 실험 이외에 대기질, 에어러솔, 지형탐사, 태풍과 구름물리 관측 등을 수행하고 있으며, 최근 10년간 수행한 프로젝트만도 50개가 넘는다. 가장 많이 이용되고 있는 항공기는 ECO-Dimona와 G109B로써, 대기질인 CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NO<sub>y</sub>, O<sub>3</sub>, CO 및 다른 대기화학 성분을 관측하며, B200T Super King Air, Cessna 404와 AeroCommander 690은 대기 관측 센서를 장착하여 구름물리와 태풍 관측 및 경로 추적에 활용되고 있다.

## 6) 중국

50년의 기상조절 역사를 자랑하는 중국은 시딩물질(요오드화은, 드라이아이스, 액체질소)의 살포와 FSSP-100, OAP-2DC, OAP-2DP와 같은 구름물리 관측기기를 장착한 34대의 기상조절 전용 비행기를 보유하고 있으며, 항공기 종류로는 Xian MA-60, Antonov An-26, Viking Air Twin Otter DHC-8, Ilyushin IL-14, Yun-12, Yun-8, Piper Cheyenne III-A, 그리고 Yun-7가 있다. 전용항공기 등을 이용하여 베이징 대기오염 절감을 위한 인공강우와 올림픽 개막식을 위한 역인공강우 실험을 수행하였으며, 구름물리, 태풍, 대기질, 에어러솔 관측도 전용 항공기들을 이용하여 수행하고 있다. 특히 기상조절 실험검증을 위한 구름 미세물리 관



[그림 8] 중국 과학협회에서 구름물리관측과 기상조절실험에 사용되는 항공기들. (a) 구름물리 관측용 Cheyenne-III, (b) 기상조절실험 및 미세구름물리관측용 Yun-12

측장비로 FSSP-100 (3~31 $\mu$ m, 수적관측), PCASP-100x (0.1~3.0 $\mu$ m, 에어로솔 관측), KLWC-5 (LWC 관측), GA2 (30~1860 $\mu$ m, 구름 형태관측)과 GB2 (150~9300 $\mu$ m, 강수형태관측)의 장비를 Cheyenne-III에 장착하여 입자크기 전영역의 구름입자관측을 수행하고 있다. 일반적으로 각 지역의 기상조절센터는 구름물리와 기상조절실험에, 대기물리연구소(Institute of Atmospheric Physics)는 구름물리, 대기질, 에어로솔 관측과 연구에 기상조절용 항공기

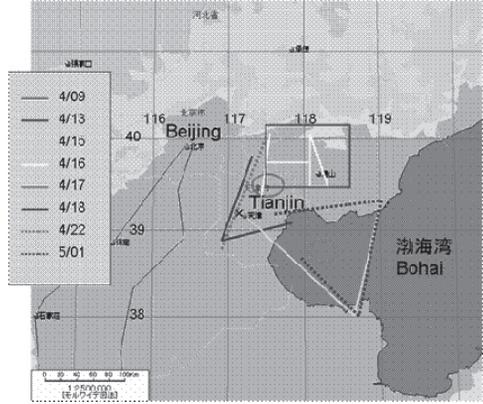
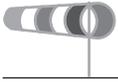
를 활용하고 있다.

### 7) 일본

일본의 항공기 활용은 일본기상연구소와 국립환경연구소로 나눌 수 있다. 일본 기상연구소는 10인승의 Cessna 404 타이탄에 Gust Probe (난류 특성 및 현열/잠열 플럭스 관측), PMS FSSP-100과 DMT CAPS(구름입자크기분포 관측), Nevzorov



[그림 9] 일본 국립기상연구소의 인공강우(설) 실험용 비행기(좌)와 장착된 실험 및 구름물리 관측기기(우)



[그림 10] 일본 국립환경연구소의 Yun-12(좌)와 중국오염측정 비행 관측 경로(우)

TWC/LWC & Gerber PVM-100A(구름수액량 관측), PMS 2D2-P와 2D2-C(구름과 강수입자 형태 관측), PMS PCASP(에어로솔 관측)을 장착하여 구름 물리 특성 변화 관측과 인공강우 실험에 활용하고 있다(그림 9). 국립 환경연구소에서는 대기질과 에어로솔 관측 및 이동 경로에 관한 연구에서 Yun-12를 활용하고 있다. 대표적인 예로 2006년 4월 9일부터 5월 1일까지 Beijing과 Tianjin 주변에서 대기 오염물질(일산화탄소, 이산화황 등)과 에어로솔의 비행관측을 수행하였다(그림 10).

### 3. 국내 기상 항공기 활용 현황

#### 1) 국립기상연구소

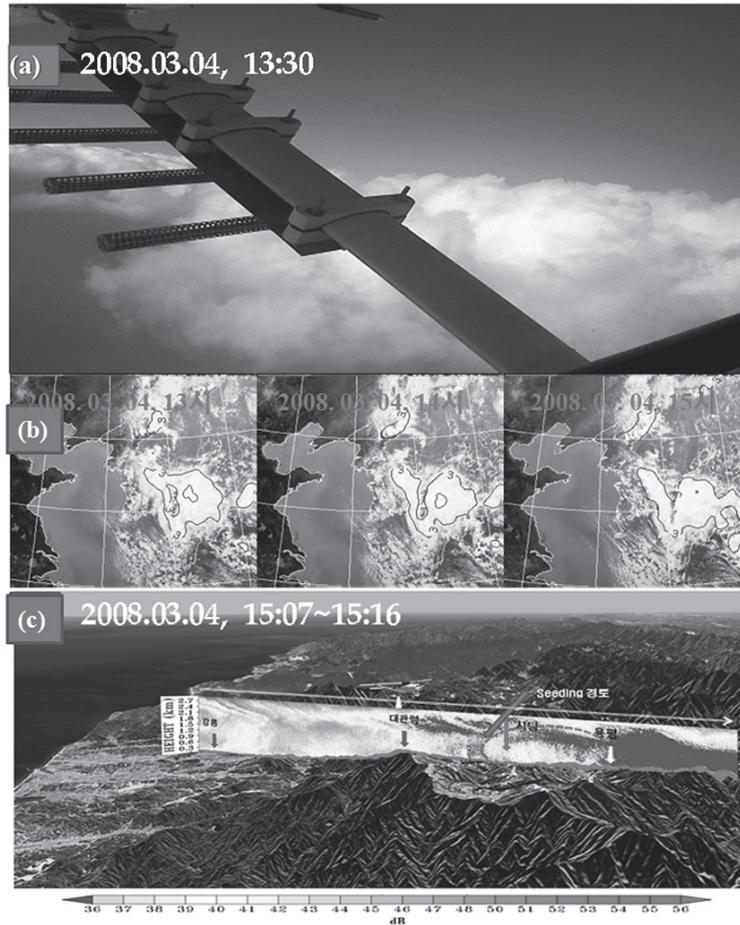
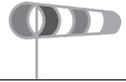
##### (가) 인공강우(설) 비행 실험 및 관측

기상청 산하기관인 국립기상연구소(National Institute

of Meteorological Research) 지구환경시스템연구팀에서는 선진기상선도기술개발 사업의 일환으로 민간 항공기인 미국 Piper사의 Cessna-205 항공기를 임차하여 2008년 3월 3차례에 걸쳐 항공레이더 시험 관측 및 인공강우 항공실험을 실시하였다. 탑재 관측 장비로는 광주과학기술원의 Ka-밴드 레이더와 국립기상연구소 입자수 농도기인 OPC (Optical Particle Counter)를 이용하여 김포에서 용평간 대기 입자계수를 측정하였으며 강원도 용평지역 인공강우 항공 실험 및 레이더 관측을 수행하였다. 또한 인공강우 실험 시료로는 요오드화은(AgI) 연소탄을 사용하였다. [그림 11]에 소개된 바와 같이 국립기상연구소는 인공강우 항공실험의 분석 결과로 시딩(Seeding) 실험 후 실험한 위치에서 증가하는 Ka-밴드 레이더 반사도 관측결과를 얻었다.

##### (나) 황사입체감시

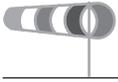
국립기상연구소의 황사연구팀에서는 2008년 5월에



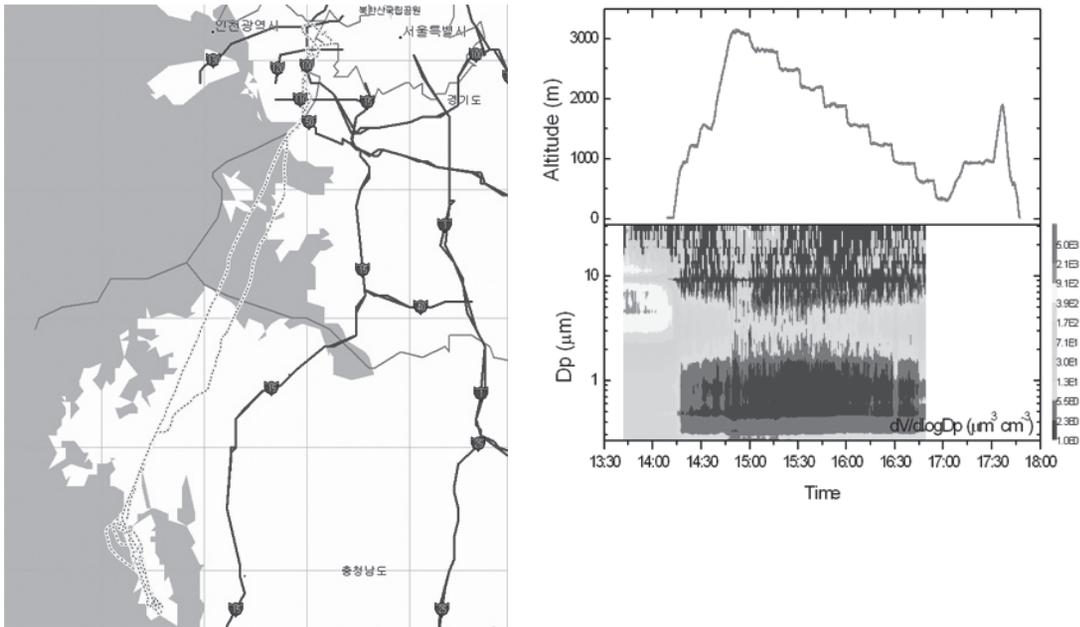
[그림 11] 2008년 3월 4일 (a) 인공증설 항공실험 지역의 구름상태, (b) MTSAT-1R 운정고도 등치도, (c) 인공강우 항공실험 및 항공레이더 관측 결과

Cessna-205를 임차하여 안면도 부근에서 황사 입체감시 실험을 수행하였다. 중국에서 발생하는 황사 관측을 위하여 국내 항공사에서 Cessna-205를 임차하였으며, 에어러솔 관측을 위하여 한쪽 날개에 0.25~32 $\mu$ m의 입자를 관측할 수 있는 Grimm #107를 장착하였다(그림 12). 황사관측은 국내에서 국립환경과학원에서 수행하였던 장거리 대기오염물

질 이동조사 이후로 두 번째로 수행하는 항공 에어러솔 관측이다. 황사 비행관측은 총 3번의 비행으로, 우리나라 서해안의 에어러솔 이동 경로 및 수농도 관측을 수행하였다. 2008년도 황사 입체감시 실험결과에서 황사가 지상 1.2km 이내에 집중되어 있는 결과를 얻었다.



[그림 12] 황사 입체감시 실험을 수행하였던 Cessna-205(좌)와 에어러솔 관측 장비(우)

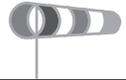


[그림 13] Cessna-205 비행경로(좌)와 비행고도, 에어러솔 관측 결과(우)

(다) T-PARC 2008

국립기상연구소의 예보연구팀에서는 T-PARC 2008프로젝트의 일환으로 2008년 8월부터 2009

년 3월 (1차: 2008년 8월 1일~10월 4일, 2차: 2009년 1월~3월)까지 우리나라 주변의 악기상, 태풍 관측 및 경로추적에 관련한 실험을 수행하고 있다. T-PARC은 THORPEX Pacific Asian Regional



Campaign으로 우리나라 주변국 및 미국, 호주, 독일 등 여러 나라가 참여하는 국제공동 관측 실험이다. THORPEX (THE Observing system Research and Predictability EXperiment)는 세계기상기구(WMO)가 추진하는 국제연구 프로그램으로 관측 시스템연구 및 예측가능성 실험으로 1. 전지구 대기현상이 국지적인 현상의 발달 또는 예측성에 미치는 영향, 2. 전지구 관측 시스템의 새로운 디자인 실험, 3. 관측의 자동화와 모델의 초기입력기법의 개선, 4. 개선된 예측이 사회 경제 환경에 미치는 영향평가라는 주제를 가지고 수행된다. T-PARC 2008에 사용되는 비행기는 독일의 DLR FFO에서 지원되는 Falcon 20-E5 1대와 미공군 C-130 3대로 4시간동안 10~15개의 드롭존데 관측을 태풍의 주변과 고민간도 주역에서 실시하게 된다. 또한 항공기에 장착된 편파라이더로 태풍외벽의 바람장 분석까지 가능할 것으로 보인다.

## 2) 국립환경과학원

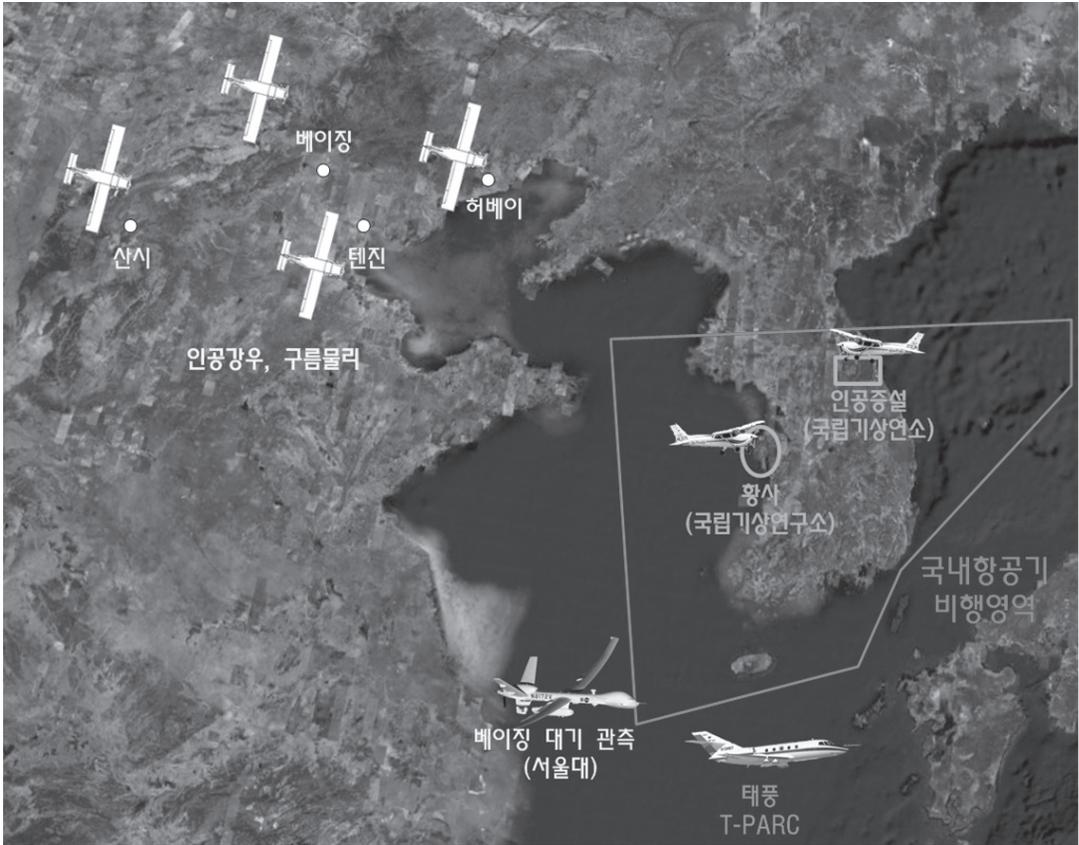
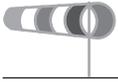
국립환경과학원 산하 지구환경연구소에서는 한중일 국제공동연구사업의 일환으로 미국 Piper사의 Chieftain PA-31 8인승 쌍발 항공기를 임차하여 항공기를 이용한 장거리 대기오염물질 이동조사를 5월과 10월 두 차례에 걸쳐 실시하였다. 한차례 실시 때마다 8~10일간 6회씩 실시하였다. 국립환경과학원의 항공기를 이용한 대기오염 관측 현황은 본 호에서 별도의 원고로 자세하게 소개될 예정이다.

## 4. 결론

[표 1]에는 지금까지 기술된 국내의 기상항공기 활용 상황을 요약하였다. 전 세계적으로 기상관측을 위한 전용 항공기와 담당조직을 운영하는 나라는 미국, 영국, 캐나다, 독일, 호주, 일본, 그리고 중국으로, 이 중 미국은 NASA, NCAR, 그리고 NOAA 모두가 전용 항공기와 조직을 가지고 선도적인 연구·개발·활용을 수행하고 있었으며, 그 활용 범위는 대기관측, 구름물리, 기후변화, 에어로솔, 대기질, 위성 검보정, 태풍연구, 기상예보 향상 등 매우 광범위하였다. 우리나라와 같이 인접 해안을 가지고 있는 영국은 여름철에 항공기를 이용한 대류성적인 관측을 활발하게 수행하며, 일본은 인공강우(설) 및 구름물리관측, 그리고 대기 및 환경 관측에 기상항공기를 적극 활용하고 있었다.

기상선진국들은 기존 관측망(위성, 레이더, 지상관측망)에 전용 항공기 관측 및 실험자료를 추가하여 태풍 등의 악기상 감시, 수치모델 입력관측자료 생산, 대기환경 (황사, 대기질) 감시, 인공강우 등에 입체적 활용하고 있다. 각 나라의 기관들은 각각의 목표에 따른 중점 분야(미국 NOAA는 허리케인 감시, 중국은 인공강우 등)에 주로 활용되며 기후변화 요소 감시 등 다양한 분야로 활용성을 확대하고 있다.

[그림 14]는 2008년에 실시되거나 실시 예정된 한반도 주변의 기상관측 전용 항공기 활용 상황을 보여주고 있다. 2008년 봄철에 실시된 국립기상연구소의 인공증설 비행실험과 황사관측 실험, 중국의 올림픽 대기오염물질저감을 위한 인공강우 비행실험,



[그림 14] 2008년도 한반도 주변 기상항공기 활용 주요현황도.

서울대의 무인관측항공기를 이용한 베이징 올림픽 전후 대기환경변화관측, 그리고 태풍관측을 주목적으로 하는 T-PARC 등으로 최근 들어 한반도 주변에서 항공기를 활용한 기상 관측 및 실험이 매우 활발하게 이루어지고 있음을 알 수 있다.

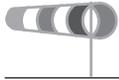
항공기를 활용한 기상관측 및 실험을 체계적으로 활성화하기 위해서는 기상관측 항공기를 연구 목적으로 우선 도입할 필요가 있다. 연구용 기상관측

항공기를 통하여 서해 등 관측공백지역의 삼차원 관측, 약기상 감시 선행시간 연구, 위성 및 레이더 자료 검보정, 인공강우 힘 등의 항공기 활용을 위한 선행연구를 수행하고, 이 연구에서 얻어진 결과를 바탕으로 현업용 기상항공기들의 도입 및 운용을 추진해야 할 것이다. 현업용 기상항공기가 서해 등지에서 본격적으로 가동된다면 한반도 주변에 대한 삼차원적 기상 및 환경 감시 강화를 위한 획기적인 전기가 마련될 것이다.



[표 1] 미국 기상관측 항공활용 현황

국가	기관	항공기종	주요활용 (주요테마: 프로젝트수)	기타
미국	NOAA/AOC	King Air C-90 Twin Otter P3-Orion RP3A Aero Commander-2 Citation 550 Turbo-Commander	- 구름물리: 5 - 기후변화: 4 - 태풍: 24 - 대기환경: 1	
	NASA/ASP	ER-2 WB-57 P-3B DC-8 Twin Otter B-200 Caravan J-31 S-3B T-34C Learjet 23 Learjet 25 G-III G-I	- 구름물리: 3 - 에어로솔: 6 - 기후변화: 7 - 위성 검보정: 7 - 대기관측: 1 - 대기질: 1 - 지형변화: 4 - 장비 검보정: 2	
	NCAR/RAF	Gulfstream V C-130 Hercules Electra L-188C	- 구름물리: 2 - 에어로솔: 2 - 위성 검보정: 2 - 태풍: 1 - 대기관측: 4 - 대기질: 1 - 지형탐색: 2	
영국	Meteorological Office	C-130 BAe 146 A722, B073	- 구름물리: 4 - 에어러솔: 4 - 기후변화: 1 - 위성 검보정: 3 - 관측시스템연구, 예측가능성 실험: 6	THORPEX
캐나다	NRC·CNRC - Flight Research Lab. -	Convair 580 Twin Otter Flacon 20 T-33 Harvard	- 구름물리: 3 - 에어러솔: 1 - 태풍: 2 - 위성 검보정(복사 관측): 2 - 대기 화학: 1	
독일	DLR Fraunhofer-Institute	ATTAS, LFU205 Dornier 228-101 DR400, DG300	- 대기 관측: 1 - 관측시스템: 6	
호주	ARA	Grob G520T Egrett Grob G109B ECO-Dimona B200T King Air 500S, Cessna 404	- 대기질: 2 - 대기 관측: 21 - 대기 에어러솔: 4 - 구름물리: 5 - 태풍: 1 - 위성 검보정: 1	



[표 1] Continued.

나라	기관	항공기종	주요활용 (주요테마: 프로젝트수)	기타
일본	National Institute for Env. Studies	YUN-12	- 대기 에어러솔: 3	
	Meteor. Res. Institute	404 Cessna	- 기상조절 실험: 1 - 구름물리 관측: 1	
중국	기상조절센터	MA-60, An-26 DHC-8, IL-14, YUN-12, YUN-8 등 34대 보유	- 기상조절 실험: 다수 - 구름물리 관측: - 대기 관측: - 대기질:	
국내	국립기상연구소	205S Cessna	- 상시중설테스터 실험 - 봄철 황사 관측 - 관측시스템연구, 예측가능성 실험	임차
	국립환경과학원	PA-31	- 대기질 및 에어러솔:3	임차
	산림청	KA-31 KA-32 L410UVP	산불감시, 항공방재, 산악화물수송, 산악구조등으로 활용	
	해양경찰청	CL-604 BELL-412 AS-565	EEZ 200해리 감시, 수색 구조, 해양오염 감시, 범죄단속등으로 활용	
	한서대학교	King Air C-90 Cessna	교육용으로 사용	

## 5. 참고자료

### ○ 미국

NASA/DFRC - <http://www.nasa.gov/centers/dryden/home/index.html>

NASA/ASP - <http://airbornescience.nasa.gov/index.html>

NCAR/RAF - <http://www.eol.ucar.edu/raf/>

NOAA/AOC - <http://www.aoc.noaa.gov/default.htm>

### ○ 영국

<http://www.metoffice.gov.uk/research/obr/index.html>

<http://www.metoffice.gov.uk/research/obr/radtran/radtran.html>

### ○ 캐나다

CNRC - [http://iar-ira.nrc-cnrc.gc.ca/flight\\_main\\_e.html](http://iar-ira.nrc-cnrc.gc.ca/flight_main_e.html)

### ○ 독일

DLR - <http://www.dlr.de/fb/en/desktopdefault.aspx/>

### ○ 호주

ARA - <http://www.airborneresearch.com.au/aircraft.htm>

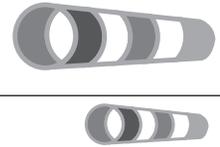
### ○ 일본

MRI - <http://www.mri-jma.go.jp/Welcome.html>

NIES - <http://www.nies.go.jp/index.html>

### ○ 중국

CAS - <http://www.iap.ac.cn/english/iap/index.htm>



## 항공기를 이용한 대기물리 관측 체계 수립 방안

오 성 남

한국과학재단 전문경력인사  
대구의대학교 환경학과  
연세대학교 지구환경연구소  
snoh@yonsei.ac.kr

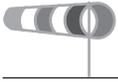
### 1. 서론

항공기를 이용한 기상관측의 궁극적 목적은 대기의 수직, 수평구조를 시공간적으로 조밀하게 측정하는 것이다. 기능면에 있어서는 순발력이 있어 중소형 상업용 항공기를 가장 많이 이용하고 있다. 그러나 비행고도와 비행시간의 한계로 관측할 수 있는 기상요소는 극히 제한적이다. 시공간적 규모에서 뿐만 아니라 기상현상의 형성과정(process)에서 서로 상이한 역학과정(dynamic process)이 있기 때문이다.

항공관측의 경우 작계는 100 micro sec 내에서 크게는 수 시간 내에 발생하는 기상현상을 측정해야 하므로 측정 가능한 요소는 기온과 습도, 바람, 기

압 등 기본적인 요소와 대기의 전기장, 번개, 적운계 구름현상 대기의 난류 현상, 태풍, 강수, 구름의 강수과정, 대기의 미세입자와 성분기체 등이다. 항공기의 기상요소 측정시 고려하여야 할 사항과 사례를 몇 가지 살펴보면 다음과 같다.

먼저 항공기의 동체(skin of the aircraft)는 공기와 마찰이 높으므로 열이 발생하고 공기압이 매우 높다. 기온의 측정시 공기의 마찰과 항공기 동체에서 내뿜는 온도를 제거한 순수 기온을 측정하도록 고안하여야 한다. 또 기체가 전진하면서 받는 공기의 압력(dynamic)과 동체의 연직방향으로 미치는 압력(pitot-static pressure)을 보정하여 대기압을 측정하여야 한다.



항공기를 이용한 기상관측은 1960년대 초 미국 기상청(NOAA)에 의하여 시작되어 1970년 후반 미국 항공우주연구소(NASA)와 협력하여 제작한 NOAA의 Elica 항공기 등은 지금까지 호우 등 악 기상 관측과 인공강우 cloud seeding 을 위하여 크게 이용되고 있다. 한편 기상예보 정확성을 향상시키기 위한 수치예보 모델의 상세격자 입력 자료를 위하여 항공기 관측을 이용함에 있어 미국 등 선진국의 시도가 계속 되어 왔다. 우리나라의 경우 편서 기류가 서해를 통과함에 있어 기단의 수분특성과 대류운의 강도가 변할 때 구름의 발달은 짧은 시간 내에 이루어진다. 집중호우 발생과 태풍의 이동에 대한 분석은 국지규모의 단시간 예측을 필요로 하므로 강우 구름에 연관된 기상관측은 항공기와 같은 직접적인 방법이 중요한 역할을 한다.

기상관측과 응용연구를 위한 항공기 활용은 다음과 같이 구분할 수 있다.

- (1) 기상요소 상세 관측 및 호우, 태풍 등 악 기상 항공감시
- (2) 기상조절 등 응용분야 항공기 이용
- (3) 대기오염 측정 등 대기환경감시

## 2. 구름의 물리적 특성 관측

구름의 이동과 강우를 예측하기 위한 구름의 물리적 특성을 조사하기 위해서는 구름내부의 물리적 요소를 시공간적으로 상세하게 관측하여야 한다.

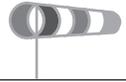
지상 관측의 경우 광학적 측기와 레이더의 이용이 전부이다. 대표적 측기로서 구름의 수분 양과 강우 강도를 측정하는 마이크로레인 레이더(Micro Rain Radar, MRR)와 강수입자의 낙하속도와 크기를 측정하는 광학 디스드로메타가 있다. 이들 측기는 레이더의 경우 강우 입자의 분포와 종단속도 및 구름의 수액 량 측정은 구름 내에 고도 6 km 까지 한 계이고 더구나 오차의 폭이 높아 실용성에 의문이 제기 되고 있다. 또 광학 디스드로메타는 바람에 의한 강우 입자의 날림 영향이 강수량과 종단 속도를 산정하는데 오차를 초래하고 있어 이를 보정하는 표준화된 항공측정이 요구된다.

구름의 물리적 특성은 (1)구름 내부의 수함량과 구름 입자의 분포, (2)강수입자의 구름 내 분포와 종단 속도 그리고 (3)구름의 응결핵 (Cloud Condensation Nuclei)과 빙정 상태 등의 자료가 해당된다.

### (1) 구름 및 강수 입자의 분포 측정

항공기를 이용한 구름 및 강수입자의 특성을 측정하는데 있어서 반드시 지상의 측정 값과 비교되어야 하며 이를 위하여 지상에서의 강수 구름의 입자와 분포 등에 대해서는 다음과 같은 측정과 분석이 필요하다(Behrendt, et al., 2007).

구름에 포함되어 있는 강수입자의 수직 분포와 강우강도를 파악하는 것은 구름의 발달을 이해하고 정량적 강수 예측 모델개발을 위하여, 그리고 구름의 빙결고도 (freezing level)를 기준으로 강설과 강우의 공존에 대한 정확한 입자의 물리적 특성



을 밝히는 것은 강수 예측 모형과 위성의 강수관측 알고리즘 개발에 크게 이바지 되고 있다 (Yuter, et al., 2006). 구름의 강수 입자의 크기(size)와 형태(phase) 그리고 입자분포 (particle size distribution, PSD)와 종단속도 (terminal velocity)에 대한 관측 정보는 입자의 광 산란과 흡수에 따른 대기의 복사에너지 소산효과와 대기의 복사에너지 전달을 산정하게 함으로서 구름의 복사효과를 이해하는 데 매우 중요하다 (Tenorio, et al., 2003, Yuter, et al., 2006).

강수의 정량적 추정(Quantitative Precipitation Estimates, QPE)은 구름 반사도의 수직분포를 입자의 특성에 따라 측정함으로써 그 정확성을 높일 수 있다. 즉 강수와 반사도의 관계를 추정하는 Z-R 관계를 얼마나 오차 없이 도출하는가에 따라 강수 QPE의 정확성이 결정된다. 도플러 레이더에 의한 강수 구름의 관측에서 입자의 수직 분포를 상세히 나타내기에는 종관규모에서는 아직은 가능하지 못하다. 또 이중편파 도플러레이더는 구름 내에 강우수적과 우박이나 싸락눈(graupel)의 혼합을 파악하게 할 수는 있지만 우박과 graupel의 정확한 구분에는 아직은 초보적 단계로서 관측이 용이하지 않다(Williams, et al., 2005).

Jameson(2001)과 Loffler-Mang and Joss(2000)의 선행연구에서 항공기를 이용한 조대입자 ( $D > 4\text{mm}$ ) 또는 강설입자 관측 시 흡입에 따른 입자의 파괴로 인해 정확한 관측이 용이하지 않음을 밝힌 바 있다. 따라서 항공기의 착빙(aircraft icing)효과 때문에 구름 속 녹는 고도에서의 비행시간이 한정되

어 있어 강수 입자의 정확한 측정을 위해서는 오히려 장애가 된다. 그 대안으로서 지상 광학 관측 방법에 의한 강수 입자의 분포와 종단속도 등에 대한 측정은 혼합강수 (mixed precipitation)의 강우 및 강설을 모두 파악하게 할 뿐만 아니라 구름입자의 물리적 특성과 구름 발달의 영향에 대한 정확한 정보가 될 수 있다.

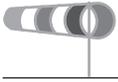
대기입자 항공 관측 시에 발생할 수 있는 입자의 문제점을 해결하고 지상 광학기기에 의한 측정의 장점을 이용하여 비교할 수 있는 항공용 입자 측정 기기들이 속속 개발되어지고 있으나 고가 등의 이유로 아직 일반화되지 않고 있다.

## (2) 항공탐재용 구름물리 측정기기

항공 탐재 구름물리 특성 측정기기는 구름 수액의 양과 입자의 농도, 형태, 크기 등을 측정하며 구름의 특성을 파악함으로써 초단시간 강우예보 뿐만 아니라 인공강우 등에도 보다 과학적인 실험을 수행할 수 있다. 구름물리 특성 파악에 사용되는 항공기 탐재용 측기는 다음과 같다.

### a. 구름입자 측정 탐재기기

구름입자의 정밀한 측정은 일반적으로 구름의 형태와 조건하에서 발견되는 넓은 범위의 크기, 모양, 농도 때문에 매우 복잡하다. 일반적으로 흐린날 구름 입자의 직경은  $0.1\mu\text{m}$  정도이며 이는 구름 빙정 입자의 크기와 유사하다. 이들 입자는 1cm 이상인 싸락눈이나 빙정의 뭉쳐진 덩이에 비교되며, 이



러한 입자들의 농도는 작은 입자의 경우  $1,000\text{cm}^{-3}$  이상이며 아주 큰 입자의 경우는  $0.1\text{L}^{-1}$ 보다 이하이다. 입자들은 대체로 구형의 수적이거나 불규칙한 얼음 결정체들이다. 항공관측에 의한 이러한 모든 형태의 입자들을 정성적 및 정량적으로 분석하기 위해서는 언제나 하나 이상의 측정기기가 필요하다. Particle Measurement System(PMS) Inc. 는 직경이  $0.12\mu\text{m}$ 에서  $3.1\mu\text{m}$  범위에 있는 에어로졸 입자들은 Active Scattering Aerosol Spectrometer Probe(ASASP)를 이용하여 크기와 입자 개수를 측정하며 직경이  $0.5\mu\text{m}$ 에서  $45\mu\text{m}$ 범위에 있는 수적 입자들은 Forward Scattering Spectrometer Probe(FSSP)를 이용하여 측정한다. 직경이 10에서  $4,500\mu\text{m}$ 범위에 있는 수적 또는 빙정 입자들은 One-Dimensional Optical Array Probe(1D OAP) 들을 이용하여 크기와 갯수를 측정한다.

### b. 구름 수함량 측정 기기

구름의 주어진 체적에 포함된 수함량(liquid water content)은 입자 관측기에 의해 측정된 입자 분포의 질량적분을 통하여 결정되어진다. 열선(hot-wire)probe를 이용하여 수함량을 직접적으로 측정하는 관측기도 있다. 즉 관측기는 가열된 감지선의 저항변화와 센서에 닿는 구름입자의 증발에 의해 야기되는 냉각률과의 관계를 이용하고 있다.

과냉각 구름의 수함량은 Rosemount착빙 감지기로 측정한다. 이러한 센서로부터 추정된 수함량이 비록 열섬 probe 방식에 의한 것보다 정확하지 않고 하더라도 훨씬 더 작은 수액의 양까지도 감지할

수 있다. 착빙 감지기는 특히 얼음과 수적이 혼합된 상태에서 효과를 발휘하는데 이는 다른 측정기들이 빙정 입자들에 의해 영향을 많이 받기 때문이다.

### c. 구름의 착빙 측정 장비

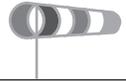
과냉각된 구름의 착빙율은 FSSP와 같은 측기에 의하여 관측된 입자 크기 및 수함량으로부터 추정되어질 수 있다. 그러나 착빙율의 직접적인 측정을 위하여 Rosemount Engineering Co. 가 제작한 MODEL 871 착빙 감지기를 사용할 수 있다. 이 감지기는 실린더 내에 응축된 얼음에 비례하여 전압이 변화하도록 되어 있고 실린더 내의 얼음은 기류 내의 과냉각 수적의 양을 나타낸다.

### d. 입자의 공간 분포 측정기기

구름입자 분포의 소규모 공간구조를 Particle Spacing Monitor (PSM)로부터 측정한다. FSSP또는 1D OAP에 의해 측정된 각각 입자들간의 도착 시간을 기록함으로써 입자들 사이의 간격을 직접적으로 측정한다. 1D0-OAP역시 관측된 2차원 영상으로부터 입자들간의 간격을 관측할 수 있다.

### e. 구름 입자 크기 및 수 농도 측정

광학측정(Optical and Visual Techniques)에 의한 구름 내부의 수액과 입자 측정은 항공 관측에서 주로 사용되며 위성에 의한 반사도 측정이 구름의 특성 조사를 위해 보조로 사용된다(Barthazy,



et al., 2004). 구름입자들의 농도는 작은 입자의 경우  $1000\text{cm}^{-3}$  보다 크며 아주 큰 입자의 경우는  $0.1\mu\text{m}$  보다 작다. 입자들은 대체로 구형의 수적이거나 복잡한 얼음 결정체들이다. 이러한 모든 형태의 입자들을 정성적 및 정량적으로 분석하기 위해서는 언제나 하나 이상의 관측 장비가 필요하다. 대표적 항공기탑재 구름입자 측정기는 Particle Measurement System(PMS) Inc.의 Active Scattering Aerosol spectrometer probe (ASASP) 으로서 직경이  $0.12\mu\text{m}$  에서  $3.1\mu\text{m}$  범위에 있는 에어로졸 입자들의 크기와 입자 개수 측정에 효과적이다.

### 3. 태풍 및 악기상 관측

태풍 등 악기상에 대한 항공 관측은 열대저기압의 특성과 진로에 대한 실시간 정밀 정보를 파악하

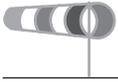
게 하여 진로와 강도 등에 대한 예측 능력을 크게 향상시킨다. 태풍의 눈과 같은 저기압의 와류 중심은  $200\sim 300\text{km}$  직경이어서 이 정도의 항로거리는  $6\sim 8$ 시간 비행지속이 가능한 항공기가  $5\sim 10$ 회 운항할 수 있는 거리이다.

태풍관측은 운항고도에서 Dropsonde와 같은 기상 측정기기를 낙하시켜 대기와 해양의 상태를 관측한다. 일반적으로 열대 저기압 중심지역은  $5\sim 10\text{cm}$  파장 규모의 기상레이더 관측영역 내에 있다. 항공기 탑재 기상레이더는 상대적으로 전력의 소비가 적은 소형안테나를 부착하고 있지만 열대저기압의 폭풍우를 상세하게 관측하기 위하여 폭풍우를 가로질러 운항하며 관측할 수 있어야 한다.

Doppler 레이더를 탑재한 항공기의 기상관측은 이중도플러 바람장의 관측 자료를 생산하기 위한 위



[그림 1] NOAA의 허리케인 감시를 위하여 사용하고 있는 Gulfstream Jet Prop Commander 1000(695A) 항공기



치 좌표 상을 비행할 수 있는 장점이 있다. NOAA의 경우 항공기 운영 센터에서 보유하고 있는 WP-3D 터보프로펠러 항공기는 매년 허리케인 관측을 위해 사용되고 있다. 또 1997년부터 양산되고 있는 Gulfstream IVSP jet 항공기 [그림 1]의 활용 목적은 허리케인 주위 환경의 종관기상 정보를 수집 관측하여 허리케인 진로 추적의 예측기술을 향상시키기 위함이다.

#### 4. 방재기상 항공관측 체계

방재기상을 위한 항공기 활용 체계에 대한 대표적 사례를 미국 기상청(NOAA)의 산불 예방 방재 기상 예측 프로그램(Witsaman, *et al.*, 2005)에서 찾아볼 수 있다.

##### (1) 개요

미국 기상청(NOAA)은 산불 등 재해 방재를 위하여 일기상예보를 하고 있다. NOAA에서 개발한 산불예방을 위한 기상 예측 모델은 지상과 상층 기상관측 값에 따라 동화된다. 즉 재해예방을 위한 수치모델자료(HAZMAT)의 바탕자료는 현지의 기상관측 부서(IMEDTS)와 NOAA의 기상서비스센터(NWS) 예보국(WFOS)에서 공급한다. 관측 규모로 볼 때 산불 기상예측 모델의 운영과 정확한 기상예측을 위하여 수집되는 지상과 상층기상관측의 정규 및 비정규 관측으로부터 공급된다.

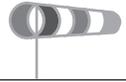
지상관측은 NOAA의 지상원격자동기상관측시스

템(RAWS)의 운영과 IMETS요원들의 직접적인 현지 기상측정으로부터 얻어진다. 따라서 지상관측 자료는 공간적으로 16~40km 간격과 시간적으로 한 시간 간격으로 측정되어 공급된다. 그러나 상층기상관측은 대부분 Rawinsonde관측에 의존되어 있어 미국 내 315km 정도의 공간 간격과 일 2회(0000,1200 UTC) 측정된다. 이와 같은 성긴 상층관측 격자 시스템에도 불구하고 미국 NOAA의 종관 기상 예보팀은 산불 등 재해 발생 실시간(Real Time) 현지 기상 예보를 수행하여야 한다.

이에 따라 NOAA는 상층대기의 구조가 지상의 기상조건을 지배하는 상황에서 모델의 정확성을 위하여 시공간적 조밀한 관측시스템을 구축하는 일환으로 Hazardous Incident Rapid In-flight Support Effort(HI-RISE) 개념(Witsaman, *et al.*, 2005)을 도입하고 이에 따른 항공측정 계획을 수립하였다. HI-RISE 계획에는 NOAA 뿐만 아니라 미국 농무성(USDA), 산림청(USMFDA)과 텍사스주 등 해당 지방자치 정부 및 대학 관련 연구기관 등이 포함되어있다. 일일 산불기상 예측을 위한 정규적 HI-RISE 항공관측을 위한 관측계획, 항공기, 기상측기, 자료 분석모델, 소프트웨어, 분석자료 송수신 시스템 등은 다음과 같다.

##### (2) 항공기 측정 운영

NOAA에서는 과거 수십년 동안 정규 상층기상관측을 위하여 여러 가지 목적으로 항공기를 사용하여 왔지만 이에 따른 비용 문제가 항상 제기되어 왔다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 장착된 측정기기



를 자동화 하였고 지상과의 교신기술을 대폭 향상시켜 왔다. 이후 개선된 항공기 기상 관측의 대표적 사례는 다음 Table 1과 같다. 사용된 항공기[표 2]의 측정 시 상하향 상승 하강 율은 305m/min이며 매 25m 고도 간격으로 5초간 평균된 기상 값을 측정 기록한다. 수평관측은 1.2km간격으로 62ms<sup>-1</sup>속도로 관측하며, 400초 동안 순항 한 후 100초 동안 상승 또는 하강 비행한다.

### (3) 측정기기 및 지상 교신 장비

HI-RISE 계획에 사용된 항공기 탑재 기상 측정시스템(Aircraft-Integrated Meteorological Measurement System, AIMMS-20)은 완전히 구비된 Turnkey System 이다. 바람 등 벡터 관측 자료는 GPS 실시간 값과 역학적 병합으로 계산하여 기록되고 자료의 수집과 전송은 지상 780km 궤도의 이리듐 통신궤도 위성에 연결되어 지상에 수신된다 [그림 2]. 매 15분마다 항공기 상부에 설치된 송신

안테나로부터 위성에 측정 자료가 송신된다. 관측 값은 수평순항기간 동안에 매 20초 동안 그리고 상승 또는 하강 시 5초 동안 평균한 값이 AIMMS-20 시스템에 기록된다.

### (4) 고층기상 관측 자료 분석

대기의 수직 고도별 항공 관측 기상 자료를 분석하기 위한 소프트웨어로서는 Rawinsonde Observation(RAOB)프로그램을 이용한다. RAOB 소프트웨어는 기본 분석 모듈과 응용 분석 및 해석 모듈, 자료의 보관법 및 편집 기능을 포함한 완벽한 자료 분석 프로그램이다. 2005년 소개된 소프트웨어는 NOAA의 악기상 관측, 겨울 폭설 및 결빙 관측, 산불 예측 기상 관측 자료 해석에 주 활용되고 있다.

산불예방을 위하여 분석되는 항공 관측 기상장은 지상 일기도 뿐만 아니라 850hpa, 700hPa,

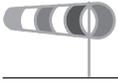
[표 1] NOAA의 방재 기상 계측 프로그램

프로그램	관측목적	항공기	효과 및 고도	시행부서
ACARS	실시간 대기층 기온 및 바람 관측	상업용 항공기	7620m 이상 자료 수집	NOAA /FSL
TAMDAR	실시간 대기층 기온 및 바람 관측	상업용 항공기	7620m 이하 자료 수집	NOAA /FSL
	실시간 기온 풍향, 풍속 습도 난류 icing 등 측정	64 turbo-Prop Saab 340 항공기	HI-RISE 자료 공급 및 소형 비행장 활용 가능성 타진	NOAA /FSL

\*ACARS : Aircraft Communications Addressing and Reporting System

\*TAMDAR : Tropospheric Airborne Meteorological Data Report

\*GLFX : Great Lakes Flight Experiment



500hPa 고도장의 일기도와 함께 비교 분석되며 고도장의 건조선(dryline)과 온도차와 대류운 등 구름의 물리적 특성이 분석된다.

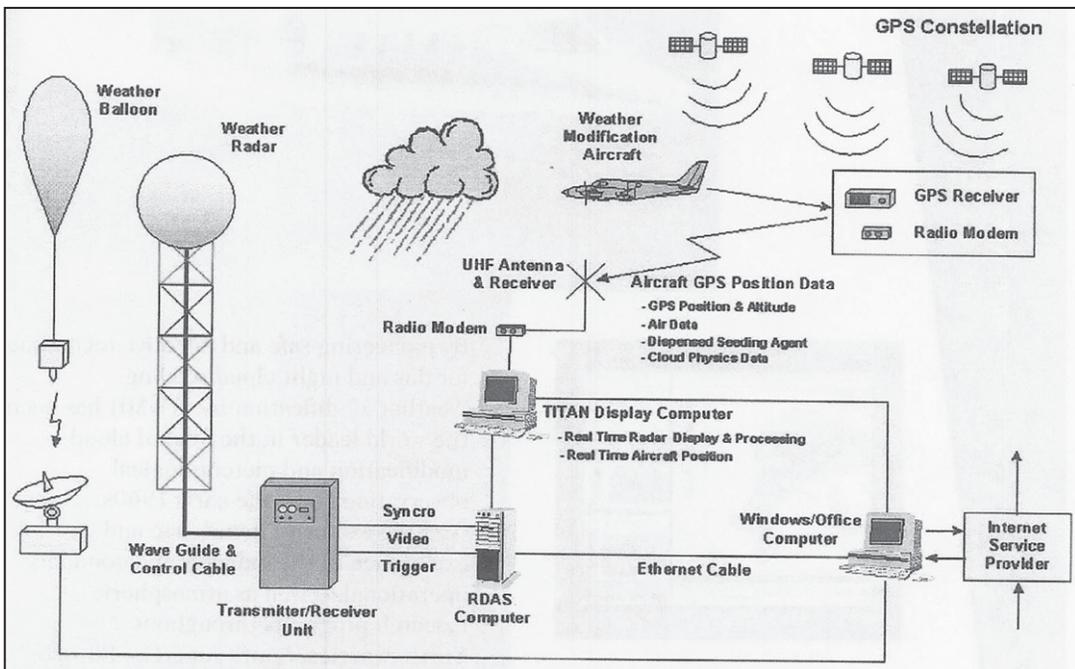
[표 2] NOAA의 HI-RISE 방재 프로그램 항공기 관측

항공기	Air Tractor AT-402B(소형)
탑재장비	(₩기상센서 등 (항공기운항점검 완료)
최대고도	3,962m
상승률	305m min <sup>-1</sup>
비행시간	3시간(매 1회 관측시)

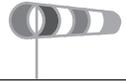
(5) 소결론

산불예방 기상예측을 위한 지상 및 항공 관측 프로그램인 HI-RISE는 산불 예방을 위한 대책으로서는 매우 유용하다. 그러나 소규모 산불의 예방과 진화에는 시공간 규모의 차이에 의하여 아직은 비효과적이다. 산불진화(Controlled burn)를 위한 항공기 활용에도 고정익 항공기 외에 회전익 항공기와 헬리콥터 등의 사용을 고려하여야 한다.

산불 기상예측 외에 겨울철 폭설과 여름철 호우 등에 대비한 중규모 모델 자료를 위한 항공기 사용과 분석을 위한 RAOB 프로그램의 효율적 활용을 위



[그림 2] 항공기 관측 자료 통신 시스템 - 항공기에서 지상으로 직접 통신



하여 지상의 IMET laptop 컴퓨터의 탑재와 종관 상층 기상 관측 분석은 기본사항이다.

## 5. 항공기와 측정기기 선정을 위한 기본사항

일반적으로 항공기는 날개형태에 따라 고정익기와 회전익기로 구분되며, 엔진형태에 따라서는 프로펠러기, 제트기 등으로 그리고 총 이륙중량에 따라 소형기, 중형기, 대형기 등으로 구분할 수 있다. 이렇게 세분화된 항공기 중에서 임무를 적절히 수행할 수 있는 항공기를 선택하는 것은 철저한 검토가 필요하다.

항공기는 연간 1,000시간 운용을 기준으로 30년간 운용이 가능하여야 하며 제작사는 항공기 인도시기를 기준으로 동 기간 정비운용 지원체제를 유지하여야 한다. 임무 상 주간 시계비행과, 계기비행, 야간비행이 가능하여야 하며, 날개 등의 결빙 조건 하에서 운항이 가능하여야 하고, 시계가 좋지 않은 저시정 운항을 위하여 정밀접근이 가능하여야 한다. 정밀접근 수준은 국내공항 여건을 고려하여 정할 수 있다.

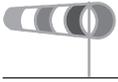
기상청과 같은 관측 또는 연구를 목적으로 항공기를 활용할 때는 어떤 임무를 어떻게 수행할 것인지에 대한 명확한 기준이 우선 선정되어야 한다. 항공기가 만능이라고 생각하여 다목적 항공기를 구매하려는 추세가 일반적이는데 이는 위험한 발상이다. 물론, 다양한 용도를 만족하는 항공기를 선택하는 것이 사용자의 입장에서는 필요하지만, 항공기의

경우 다양한 임무를 수행하기 위해서는 항공기가 대형화되고, 도입가격 및 운용비 증가의 요인이 되기 때문에 운용의 효율성을 고려하여 임무 분야를 세분화하여 적절히 설정하는 것이 필요하다.

수행할 임무에 따라 항공기의 형상은 대략 결정되어 진다. 우선 속도가 빠른 태풍에 대한 정찰 및 연구를 수행하기 위해서는 제트기가 프로펠러기보다는 유리할 것으로 판단되며, 운용고도는 고고도 운용이 유리할 것으로 판단된다. 그러나 황사 이동 등을 감시하기 위해서는 빠른 속도를 요하지 않을 것으로 판단되며 이러한 임무수행을 위해서는 제트기보다는 프로펠러기가 유리할 것으로 판단된다. 그리고 프로펠러기를 도입하는 경우, 기상자료를 얻기 위해서 지상보다는 해양에서 운용하는 경우가 많을 것으로 추정되므로 단발이 아닌 쌍발을 도입해야 한다.

유상하중(payload)은 항공기 기체 무게를 제외하곤 탑재하는 인력, 임무장비 등의 무게를 말하는데 항공기 총 중량을 결정하는데 가장 중요한 요인이며, 항공기 가격 결정에도 중요한 역할을 한다. 우선, 중량 측면에서 유상하중은 크게 임무를 수행하기 위한 레이더 또는 열상장비, 장비 설치를 위한 console, 조종사 및 운용자수 그리고 임무수행을 위한 연료량으로 구성된다.

항공기 총 이륙중량은 유상하중의 대략 4배정도이다. 또한 항공기 도입 시 가격은 크게 항공기 가격과 임무 장비 가격으로 구분되며 이 두개의 가격 비율은 거의 1:1이다. 만약 기상청의 특수임무를 수



행하기 위하여 임무장비 탑재를 위한 항공기 기체를 변경하려면 이에 필요한 비용을 지불하여야 하며 경우에 따라서는 감항 당국(우리나라의 경우 국토해양부의 항공안전본부)의 인증을 득해야 한다.

항공기 성능을 나타내는 지표는 순항속도, 항속거리 및 체공시간, 상승성능, 이/착륙성능 등이 있다. 이/착륙성능은 기상측정용 항공기를 운용하는 공항의 활주로에 따라 정할 수 있으며, 항공기 임무수행단계(mission profile)에 따라 순항속도(필요시 최고속도), 항속거리 및 체공시간 등의 성능 요구 조건을 정할 수 있다.

속도가 매우 빠른 태풍 등의 관측을 위해서는 최대 순항속도 및 상승성능이 가장 중요한 인자가 될 수 있으며, 인공강우 cloud seeding 등의 임무수행에는 항속거리 및 체공시간 능력이 중요한 인자라고 생각된다. 또한 악기상 상황에서 항공기 운항을 하여야 하는 상황이 예상되므로, 기상측정용 항공기 임무를 수행하기 위해 가장 중요한 성능 인자에는 이/착륙 시 강풍에 대한 운용능력이 포함되어야 할 것으로 판단된다.

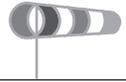
기상관측 항공측정 임무수행을 위한 대기측정기, 기상레이더 등의 측정 기상센서 선정은 항공기 성능과 연관되어야 하며 항공기의 안전성을 고려한 선정과 탑재 장치가 설계되어야 한다.

## 6. 항공기 안전성과 인증제도

항공기의 안전성 미확보로 인한 사고 시 그 피해 규모가 상당하며 불특정 다수에게 인적 물적 피해를 입힐 수 있기 때문에 각 국가마다 민간 감항 당국에서 항공기의 안전성을 법적으로 요구하고 있다. 그 방법이 인증제도이다. 이에 민간항공용으로 항공기를 운용하기 위해서는 개별 항공기 자체에 감항증명(Airworthiness Certificate)이 있어야 하며, 감항증명을 발급 받기 위해서는 해당 항공기 설계가 감항기술 기준에 적합함을 입증하여 발급된 형식증명(Type Certificate)이 있어야 한다. 본 민간항공기의 인증제도는 국제민간항공조약에 따라 각 국가들 마다 국제항공기구(ICAO)에서 정한 동등한 체계와 제도로 구성 및 유지되고 있다.

## 7. 결론

수치기상예보의 정확도를 향상하는 데는 모형의 초기입력 자료의 양과 품질을 격상시키는 것이 중요하다. 특히 서해상에서 급격히 발달하는 대류운의 경우 자료의 부족으로 모형의 정확도를 떨어뜨리는 원인이 된다. 이와 같은 경우 백령도와 흑산도의 고층기상관측 지점을 축으로 모형에 적합한 격자간격으로 dropsonde 등을 이용한 항공관측을 실시한다면 관측 결여의 공백을 채울 수 있고 수치예보의 정확성을 향상 시킬 수 있겠다. 따라서 항공관측 시각을 여름철에는 오전 9시, 밤 9시를 기준으로 정규적인 관측을 하고 그밖에 계절엔 중기예보 모형의 시그널을 참조 하면서 특별관측을 실시한다면 겨울철 폭설 예보에도 도움이 될 것이다.



기후변화에 의한 한반도 지역의 강수 수자원 공급 구조는 미래에 필요한 수자원의 충분한 확보가 선행되어야 한다. 한반도는 지형이 좁고 기류가 빠르며 층운형 대류운이 발달하는 지역이므로 항공기에 의한 인공강우 cloud seeding은 수자원 공급을 위한 최적의 방법이 되겠다.

항공기를 이용한 기상관측과 응용 연구 시대의 장이 우리나라에서 열리게 될 것을 확신하면서 항공기와 탑재장비의 선정에 보다 전문가적인 견해를 도입하기를 바란다. 비용적인면 만 고려하여 무조건 다목적 항공기를 선호한다든지 레이더와 같은 탑재 장비는 유사하중이나 측정 범위와 항공기의 성능을 철저히 고려한 측정기기를 선정하여야 한다.

기상관측을 위한 항공기의 비행에는 우리나라의 지리적 군사적 조건에 따라 시간과 비행영역의 제한이 있을 수 있어 가장 합당한 비행장을 선정함도 중요한 고려 사항이다.

### 감사의 글

본 연구를 위하여 자료를 제공한 한국항공우주연구원 스마트무인기사업단 임철호 단장과 직원들에게 감사드린다.

### 참고문헌

Barthazy, E., S. Goke, and R. Sheford, and D. Hogl, 2004: An optical array instrument for shape and fall velocity measurements of hygrometers, *J. of Atmospheric and Oceanic Technology*, American Meteorological Society, 21, 1400-1416.

Behrendt, A., V. Wulfmeyer, P. D. Girolamo, C. Kiemle, H. S. Bauer, T. Schibel, D. Summa, D. N. Whiteman, B. B. Demoz, E. V. Browell, S. Ismail, R. Ferrare, S. Kool, G. Ehret, and J. Wang, 2007: Intercomparison of water data measured with Lidar during IHOP 2002, Part I: Airborne to ground-based Lidar system and comparisons with Chilled-Mirror hygrometer radiosondes, *J. of Atmospheric and Oceanic Technology*, 24, 3-21.

Gunter, R. L., and Boatman, 1989: Aircraft measurements of pollution species near Bermuda and the east coast of the United States during Case-WATOX, NOAA Technical Memorandum ERL, ARL-176, 21pp.

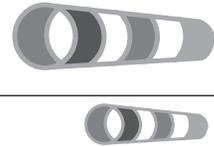
Jameson, A. R., and A. B. Kostinski, 2001: What is a raindrop size distribution? *Bulletin of American Meteorological Society*, 82, 1169-1176.

Loffler-Mang, M., and J. Joss, 2000: An Optical Disdrometer for measuring Size and Velocity of Hydrometer, *J. of Applied Meteorological and Climatology*, American Meteorological Society, 17, 130-139.

Tenorio, R. S., M. C. da, S. Moraes, D. de, A. Quintao, B. H. Kwon, and L. H. Yoon, 2003: Estimation of the Z-R Relation through th Disdrometer for the Coastal Region in the Northeast of Brazil, *J. Korean Earth Science Soc.*, 24, 30-35.

Witsaman, P. G., J. W. Zietler, M. C. Oaks, G. P. Murdoch, S. R. Nagle, W. C. Hoffmann, B. K. Fritz, 2005: HI-RISE-Hazardous incident rapid in-flight support effort: Use of asynoptic upper-air data to improve weather forecasts at wildland fires & other hazardous incidents, 12th conference on Aviation, 4,3.

Yuter, S. E., D. E. Kingsmill, L. B. Nance, and M. Loffler-Mang, 2006: Observations of Precipitation Size and Fall Speed Characteristics within Coexisting Rain and Wet Snow, *J. of Applied Meteorological and Climatology*, American Meteorological Society, 45, 1450-1464.



## 효과적인 항공기 유지 관리 방안

김영철

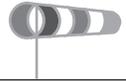
한서대학교 항공운항학과 교수

yckim@hanseo.ac.kr

### 1. 서론

기상분야와 항공 산업은 이미 오래 전부터 밀접한 관련을 맺어왔다. 즉, 대기 속을 비행해야 하는 항공기는 기상 조건에 민감하게 반응하며, 심한 경우에는 악기상 현상으로 인한 치명적인 항공기 사고를 초래하기도 한다. 현재까지의 각종 항공기 사고 통계 자료에 의하면 기상 현상이 직접적인 원인이 되어 발생하는 항공기 사고가 전체 사고의 20-30%에 달하며, 간접적인 원인이 되는 경우까지 합하게 되면 훨씬 더 많은 사고와 관련이 되어있다. 따라서 항공기 운항의 안전성과 경제적인 면을 고려하여 항공기상을 담당하는 분야가 생겨나 항공기상 관측과 예보를 생산하고, 이를 조종사, 관제사 등 항공종사자들이 이용하고 있는 것이다. 그

리나 이와는 반대로 항공기를 이용하여 구름의 미세물리량을 관측하거나 인공강우 연구를 위한 수단으로 사용하는 활동이 1940년대부터 시작되었으며, 이미 기상 선진국에서는 항공기를 이용한 기상관측과 연구가 일반화되고 있다. 이것은 항공기를 기상 현상을 규명하는 연구에 투입하는 한편, 관측된 기상자료는 보다 더 정확한 예보를 생산하는데 필수적인 자료로서 활용하게 된 것이다. 그러나 이렇게 항공기를 기상 분야에서 사용하기 위해서는 가격과 유지관리 측면에서 많은 제약이 따르게 된다. 항공기 가격 면에 있어서는, 기상으로 인한 재해로 발생하는 국가의 손실과 비교해 보았을 때 어느 정도 수용이 가능하지만, 유지관리는 그 나라의 항공 산업의 인프라에 의해 무무가 결정될 수 있다. 우리나라는 국력이나 기상청의 규모로 보



아 이제는 항공기를 기상 분야의 관측 및 연구도 구로 이용할 수 있는 위치에 도달한 것으로 판단된다. 또한 매년 발생하는 기상재해나 기상예보의 정확성 향상을 위해서는 항공기를 이용한 관측과 연구가 예보 정확도 향상에 획기적인 전기가 될 것으로 생각된다. 그러나 도입된 항공기의 적절한 유지관리를 위해서는 우리나라 항공분야의 구조를 통해서 적절한 방안을 모색하여야 할 것이다. 따라서 이 글에서는 기상분야에서 항공기를 이용하는 외국의 사례를 살펴보고, 현재 우리나라 항공 분야의 구조 속에서 기상 관측 항공기를 효과적으로 유지관리하기 위한 적절한 방안을 살펴보았다.

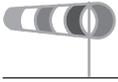
## 2. 대기과학(환경) 분야에 있어서 항공기의 역할

현재 전 세계적으로 항공기를 이용하여 다양한 기상관측과 연구가 수행되고 있다. 이를 간략하게 정리해보면 다음과 같다.

- 해상이나 사막 등 유인 관측이 어려운 지역에서 기상 요소 관측
  - 관측 공백 지역에 dropsonde 투하하여 지상 및 고층지상 자료 관측
  - 집중호우, 폭설 등 악기상 예보를 위한 기본자료 확보
  - 수치예보 모델 초기자료에 필수적 자료
- 구름물리 및 인공강우 연구 및 실험
  - 구름입자 크기분포, 수농도, 수액량 등 관측

- 요오드화은, 드라이아이스 등 seeding 물질 살포
- 안개소산 연구
- 그 밖에 기상조절 연구
- 태풍연구 및 예보
  - 태풍의 강도, 진행 방향 예측을 위한 주변장 관측
  - 태풍과 관련된 해양운동의 변화 관측
  - 태풍 내부나 상부로 비행하면서 태풍구조 파악
  - 해양에 관측브이나 dropsonde 투하 관측
- 환경 및 지구온난화 연구
  - 대기중에 부유하는 각종 오염물질 농도 관측
  - 황사예보를 위한 황사입자 농도 관측
  - 지구온난화를 유발하는 온실기체 관측(이산화탄소의 연직분포)

이밖에도 대기 속에서 발생하는 각종 대기현상의 연구에 응용이 가능한 도구로서 항공기가 사용될 수 있다. 우리나라에서는 지난 90년대 중반 이후 인공강우 실험에 공군의 군용 항공기를 몇 차례 투입한 바 있으나 지속적인 활동이 이루어지지 못하였다. 그러나 우리나라의 대기환경이 점차로 아열대화 되면서 집중호우나 폭설 등의 강도가 증가되고 예측이 쉽지 않아서 오보에 따른 사회적 비난이 문제가 되고 있는 실정이다. 이러한 문제는 여러 가지 원인이 있겠지만 가장 심각한 문제로 대두되는 것은 서해상 관측 자료의 공백을 해결 해야만 하는 것이다. 이를 위해서 해상 관측 장비인 브이나 해양 관측선을 운영하고는 있지만 관측 공백 지역을 해결하기에는 너무나 역부족이다. 따라서 이 문제를 해결할 수 있는 최선의 방법은 항공기를 이용한 관

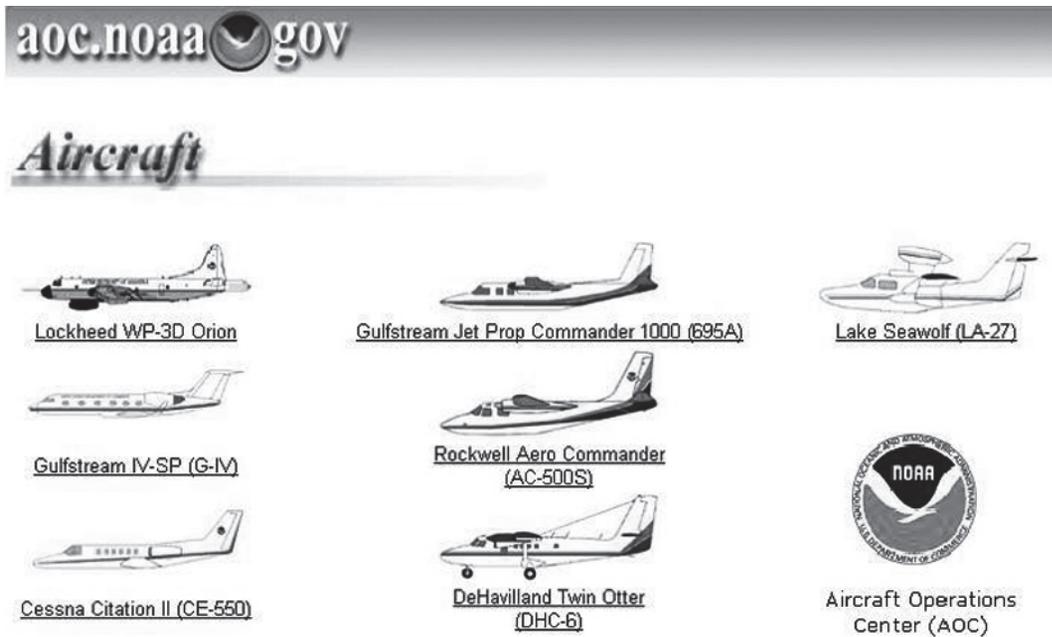


측이라고 생각된다. 그동안의 집중호우 오보 사례를 분석하면 서해상에서 갑자기 생성되거나 변화하는 대기상태를 알 수 없기에 예측할 수 없거나 오보를 할 수 밖에 없는 경우가 허다하다. 수치예보의 경우도 마찬가지이다. 서해상의 자료가 없어서 발생하는 오차가 모델의 정확도를 저하 시킬 수밖에 없는 것이다. 따라서 우리나라는 여름철에 자주 겪게 되는 집중호우 피해를 줄이고 수치예보 정확도 향상을 위한 최선의 방안으로 항공기를 이용한 서해상 관측 공백지역의 자료 확보에 있다고 생각된다. 기상관측용 항공기를 도입하여 활용하는 방안이 기상분야의 시급한 정책과제로 고려되어야 할 것이다.

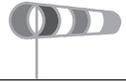
### 3. 외국의 사례-미국을 중심으로

현재 기상관측과 연구에 항공기를 이용하고 있는 국가는 미국, 캐나다, 독일, 호주, 중국, 일본 등으로, 기상 선진국에서는 대부분의 항공기를 기상관측과 연구에 사용하고 있다. 그 중에서도 제일 활발하게 항공기를 이용하고 있는 국가는 미국이다. 따라서 미국의 사례를 살펴봄으로써 우리나라에서 기상 관측용 항공기의 운영유지에 관한 방안을 도출할 수 있을 것으로 생각된다.

#### 3.1 미국의 항공기 이용 역사



[그림1] AOC에서 운영중인 항공기들



미국은 이미 1961년에 NOAA 산하에 항공기 운영 센터로서 Research Flight Facility(RFF)를 설립하여 허리케인 연구에 항공기를 이용하기 시작하였다. 물론 항공기 운영기관을 설립하기 이전에도 인공강우나 뇌우의 연구에 항공기를 이용한 사례도 있었다. RFF 설립 시 도입된 항공기는 두 대의 DC-6, B-47, DC-4였다. 그리고 1970년에는 미 공군에서 WC-130을 도입하여 Stormfury project에 투입하였다. 60년대와 70년대를 거치면서 많은 항공기를 이용한 연구가 진행되었고, 1983년에는 NOAA에서 운영되는 항공 자산의 통합 관리를 위하여 OAO(the office of aircraft operations)를 설립하였다. 여기서는 항공기, 조종사, 예산, 시설 등을 통합 관리하여 항공기의 효율적인 운영이 되도록 임무가 부여 되었으며, 두 대의 WP-3D Orions, DHC-6 Twin Otter, C-90 King Air 등 고정익 항공기 7대와 2대의 헬리콥터를 운영하였다. 이후 1990년대 초반 명칭을 Aircraft Operation Center(AOC)로 변경하였으며, 1993년 초 플로리다주 Tampa의 MacDill 공군기지로 이동하여 현재에 이르고 있다. 현재 미국의 AOC는 기존의 항공기에 Gulfstream IV-SP(G-

IV), Cessna Citation II(CE-550) 등 제트항공기를 보강하여 총 13대(고정익 11대, 헬리콥터 2대)의 항공기를 기상 관측 및 연구에 투입하고 있다.

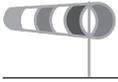
### 3.2 주요 항공기의 임무 및 연구 사례

- WP-3D Orion
  - 주로 허리케인의 연구조사와 정찰(매년 120일)
  - 대규모 research에 투입(BAMEX, SALLJEX)
    - BAMEX(The Bow Echo and Mesoscale Convective Vortices Experiment)
    - SALLJEX(The South American Low Level Jet Experiment)
- Gulfstream IV-SP
  - 국립허리케인센터(NHC)의 종관 관측 임무
    - 허리케인 주변 환경의 연직 대기 자료 관측
  - 겨울철 폭풍 연구
    - 겨울철 스톰의 발생지역과 강도예측, 항공기를 이용한 목표 관측을 통하여 10~20% 예보 정확률 향상을 달성

#### Lockheed WP-3D Orion



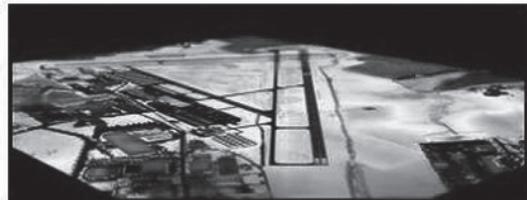
[그림2] WP-3D 항공기 및 장착된 기상관측장비



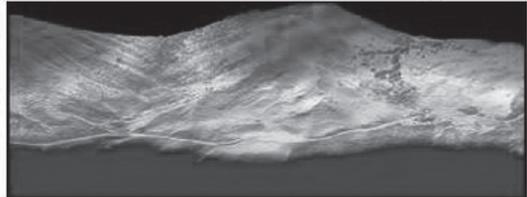
[그림3] Gulfstream IV 항공기

- Cessna Citation II(CE-550)
  - 주로 원격탐사(Remote Sensing) 임무 수행
  - 허리케인 계절에 emergency responder 역할

### Cessna Citation II (CE-550)

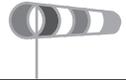


Airport Obstruction Survey

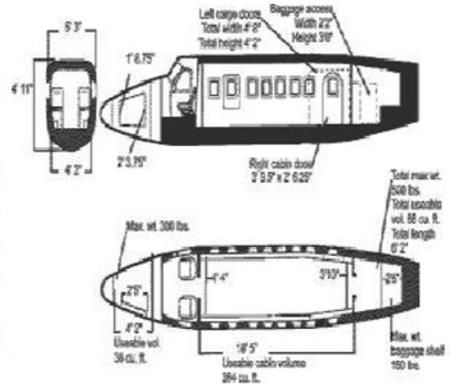


Digital Surface Model

[그림4] Cessna Citation II 항공기 및 영상자료



### DeHavilland Twin Otter (DHC-6)



[그림5] Twin otter 항공기 및 내부구조

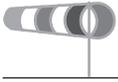
- DHC-6 Twin Otter
- 대기화학 관측
- 대기의 에디 플럭스 측정

### 3.3 AOC 운영

앞에서 언급된 바와 같이 미국의 AOC는 미 공군 기지에 사무실과 항공기를 수용하고 있다. 즉, NOAA의 기관인 AOC가 공군 기지의 일부를 공동으로 사용하고 있는데, 이것은 미국 사회를 유지하는 큰 흐름의 하나인 협동정신에 근거한다고 볼 수 있다. 그렇지만 AOC를 구성하는 조종사를 비롯한 정비사, 각종 엔지니어들, 기상학자들은 NOAA의 직원들로서 운영되고 있다. 이 중에서 가장 핵심 멤버인 조종사는 NOAA Corps의 멤버(Commissioned Officer Corps)들로서 구성된다. NOAA Corps란 우리나라 식으로 표현하자면 사관학교인 셈이다. 즉,

NOAA 사관학교를 통하여 기상교육과 조종교육을 받은 엘리트들을 양성하며, 이는 AOC 구성원의 30% 정도를 차지하고 있다. 이것은 항공기를 통한 기상관측 임무에 고난도의 조종기술과 기상학적 지식이 요구되기 때문에 국가가 나서서 양성하고 있는 것이다. 그래서 이들은 허리케인 속으로 비행하거나 아주 위험한 저고도 비행을 할 수 있는 자격을 갖춘 조종사로 양성되어 AOC의 비행 임무에 투입되는 것이다. 요원들은 풍부한 경험과 경력을 쌓은 후에 NOAA를 운영하는 상층부로 진출하기도 하는데, 해군 장교의 계급으로 관리가 되며, NOAA Corps의 최고 책임자는 해군 소장의 계급을 부여 받는다.

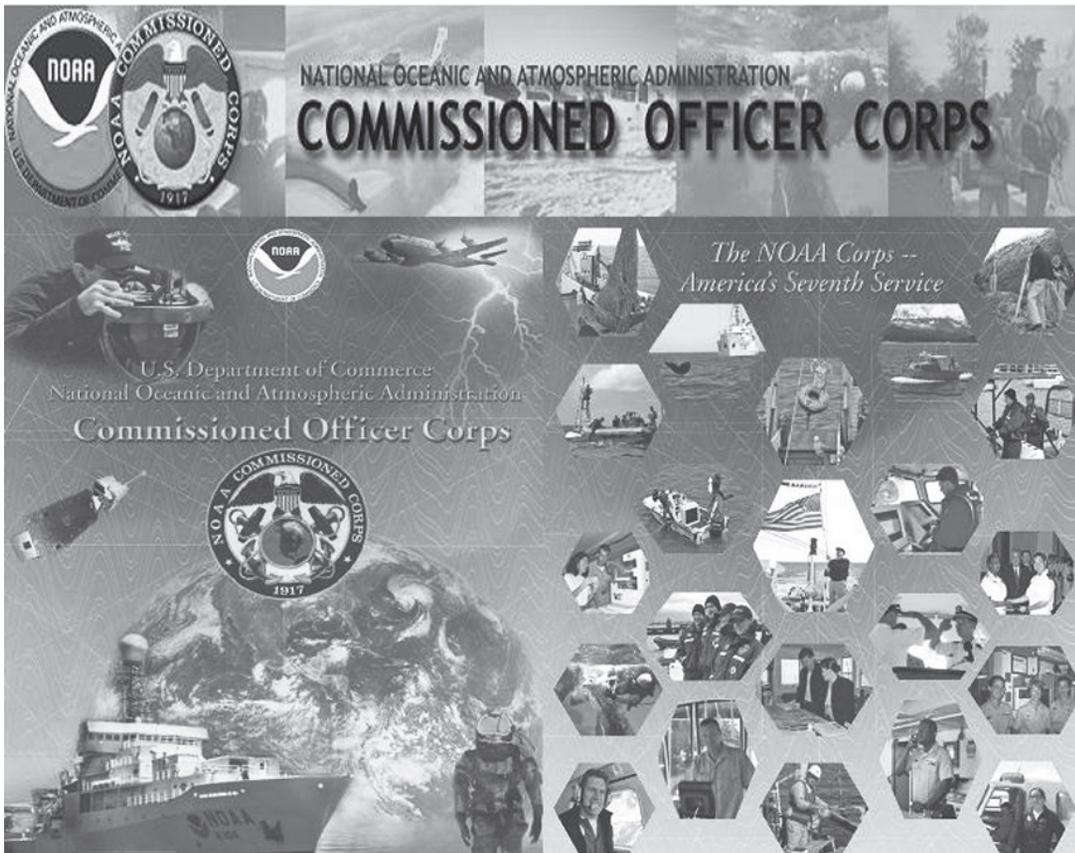
결론적으로, 미국의 AOC는 비행장은 공군시설을 공동으로 사용하나 그밖에 모든 항공자원의 유지 및 관리는 AOC 자체적으로 수행하고 있다.



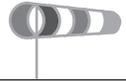
#### 4. 우리나라 현황 및 운영방안 검토

우리나라는 대부분의 항공 관련 시설이나 제도가 군·관 위주로 운영되고 있고, 한반도의 지리적인 위치나 분단국가로 남아 있는 실정이다 보니 일반적인 비행 분야가 활성화되지 못하고 있다. 대부분의 비행장은 군 비행장이거나 국가가 운영하는 비행장으로 구성되어 있다. 물론 공항 운영을 민영화하려는 정책이 제기되고 있기는 하지만 앞으로도

해결해야할 문제가 많이 남아 있다. 또한 민간 항공 분야에 있어서도 대한항공이나 아시아나항공을 제외하고는 상당히 영세한 상태로 운영이 되고 있으며, 특히 부정기 항공회사의 경우에는 항공기 운영이나 정비 측면에서 열악한 상태로 유지되고 있는 실정이다. 이러한 우리나라의 여건에서 기상관측용 항공기를 도입하여 운영하기란 쉽지 않은 상황이다. 과거에도 인공강우 실험에서 국방부의 협조를 얻어서 공군의 항공기를 사용해본 경험이 있



[그림6] NOAA CORPS 소개자료



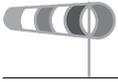
지만 효율적인 관측이나 연구를 하기가 어려웠다. 그래서 당시에도 항공기를 도입하려는 시도를 해보았으나 운영 유지 할 수 있는 방안이 도출되지 않아서 포기할 수밖에 없었다. 그러나 지구온난화 더불어 우리나라의 기상재해는 더욱 커지고 있으며 머지않아 슈퍼 태풍이 우리나라에 내습할 수도 있다는 경고가 나오고 있는 실정이다. 따라서 우리나라도 기상 분야에서 항공기를 이용해야 한다는 당위성이 부각되고 있지만 비록 도입은 한다 할지라도 유지관리의 문제는 해결이 쉽지 않은 문제이다. 그러나 포기하고 지낸 지난 10년 동안에 미약하나마 해결이 가능 할 수 있는 시그널이 우리나라 항공 분야에서도 생겨나고 있어서 이 글을 통해서 항공기의 유지관리 방안을 제시하고자 하는 것이다.

첫 번째로 검토해야 할 것은, 기상관측 임무를 수행하기 위한 항공기가 이·착륙할 비행장의 선정이다. 과연 우리나라의 여러 비행장 가운데 어느 곳이 최적의 비행장일까? 이것은 우리나라의 기상환경 조건과 크게 관련이 된다. 앞에서 지적한 바와 같이 우리나라의 기상 현상은 대부분 서쪽에서 다가오고 서해상의 관측 공백 때문에 예보가 실패함을 뼈저리게 예보관들은 느끼고 있다. 따라서 서해상을 잘 관측할 수 있는 위치에 있는 비행장이 최적의 비행장이다.

두 번째로는 조종사와 정비사 등 비행 관련 종사자들의 확보 방법이다. 미국처럼 국가에서 양성하기에는 우리나라의 실정이 너무 요원하고 규모의 경제에 맞지 않는 일이다. 이미 자격을 갖춘 조종사와 정비사를 기상청 직원으로 채용하는 방법이 있

지만 이것 역시 기상청에서 관리하기에는 너무 다른 분야로서 제약이 따르게 된다. 게다가 정비 시설을 갖추기에는 항공기 수에 비해 효율성이 빈약하다. 우리나라에서 운영할 수 있는 기상관측용 항공기는 1대에서 시작하여 최대로 잡아도 5대 정도인데 이를 위해 정비조직을 갖춘다는 것은 너무 비경제적이다. 결국 우리나라의 실정에서 항공기를 기상분야에서 활용하기 위해서는 항공기 운영 부문을 위탁하는 방법이 가장 최적의 방법으로 고려될 수 있다. 따라서 위탁 운영 할 수 있는 시설이나 역량을 갖춘 항공기관이나 항공회사를 찾는 것이 새로운 문제로 대두된다. 공군을 비롯한 경찰청, 산림청 등 항공기를 운영하는 기관에서 자신들의 목적과 다른 항공기를 운영유지 해주기에는 우리나라의 공공부문 문화 환경에서는 쉽지 않은 일이다. 그렇다고 우리나라의 영세한 부정기 항공회사에 관리를 위탁하기도 쉽지 않은 형편이며, 공익 목적의 항공기 운영이 상업적인 부분과의 충돌이 예상된다. 인원과 시설 면에서 간략하게 운영유지 방안을 검토해 보았지만 이 부분의 해결이 없이는 기상 관측용 항공기 도입은 요원하다.

필자는 지난 30여년 가까이 기상과 항공 분야에서 일하면서 언젠가 우리나라도 기상 관측용 항공기를 도입하여 운영하는 꿈을 꾸어 왔으나 번번이 좌절할 수밖에 없었지만, 최근에 하나의 대안이 될 수 있는 환경이 만들어지고 있다. 비록 필자가 속해 있는 학교이지만 기상관측용 항공기를 운영 유지하는데 있어서, 앞에서 언급되었던 제반 문제점들을 해결 가능하기에 한서대학교의 태안 비행장을 활용하는 방안을 최상의 대안으로 제시하게 된다.



### 학부현황 - 시설현황 (항공교육시설)

<b>본관 강의동</b>	부속실, 행정실, 운항실, 시뮬레이터실, 관제탑, 항공교통관제교육원, 비행교육원, 항공기술교육원, 항공기술연구소, 항공우주의학안전연구소
<b>제 1 실습동</b>	청업보육센터, 현서우주항공사 외 11개 업체
<b>제 2 실습동</b>	비행교육원, 현생군사훈련단, 격납고
<b>활주로,기숙사</b>	1,100미터×25미터 F급 활주로,33-15 방풍, 450인 수용 기숙사

### 학부현황 - 장비현황

구분	장비명
항공기	C172S : 11대 SENECA : 1대, KING AIR : 1대 Enstrom 480B : 2대(헬리콥터)
초경량 비행장치	EUROSTAR : 2대 KITBOX, BINGO 503 : 각2대
모의비행장치	frasca 142 : 1대 ELITE : 4대 FMS FTDB747-400 Model)
관제훈련 장비	ATC Simulator(Tower) ATC Simulator(RADAR)
항공관계 장비	관제통신장비 자동기상관측장비(AMOS) 녹음장비(8채널) 항공회시실 제어장비 비행정동대(R/B) 항공신호등(SIGNAL LIGHT)
항공유 탱크로리	3,000L : 1대





[그림7] 태안비행장 시설 및 장비 현황

## 5. 대안으로서의 한서대학교 태안비행장

태안비행장은 태안반도 남단에 위치한 사설 비행장이다. 아시아에서도 유일하고 세계적으로도 몇 개 되지 않는 대학이 소유한 비행장이다. 태안 비행장은 1200m의 활주로, 유도로, 주기장, 격납고, 그

리고 관제탑을 갖추고 있으며 현재 20여대의 항공기를 이용하여 조종 교육을 실시하고 있다. 태안비행장은 우리나라 기상 관측용 항공기의 모기지로서 사용하기에 최적의 위치에 있으며, 더욱이 조종교육 목적으로 만들어진 비행장이므로 상업적인 부문에서 발생할 수 있는 문제점은 생각할 필요가 없



[그림8] 교육용 항공기 CESSNA172 및 PIPER SENECA

다. 비록 사설 비행장이지만 현재와 같은 훌륭한 시설을 교육용 비행장으로만 사용하지 않고 공익 목적의 기상관측용 항공기를 운영 유지하는 비행장으로 공동 사용한다면 국가적인 면에서도 더욱 바람직하다.

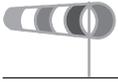
또한 비행장에는 지정 전문 교육기관 지정을 받은 비행교육원, 관계교육원, 기술교육원이 있어서 베테랑 조종사와 관제사들이 근무하며, 격납고는 물론 정비조직인증을 받은 정비실을 운영하고 있어서, 항공기 운영 유지를 위하여 조종사, 정비사 및 정비 시설을 확보해야만 하는 문제점을 간단하게 해결할 수 있다. 따라서 기상 관측용으로 도입된 항공기를 한서대학교 태안 비행장에 위탁·관리하게 되면 일체의 항공기 운영 유지에 관한 문제를 한번에 해결할 수 있으리라고 생각된다.

## 6. 결론

현재 우리나라에서 발생되고 있는 기상재해의 증가와 관련된 연구나 기상예보의 정확도 향상을 위하여 기상관측용 항공기 도입의 필요성을 제기하였다. 또한 이 항공기는 환경부나 해양 연구소 등의 각종 연구 분야에서도 공동 사용이 가능하다. 그러나 필요성은 인정하지만 항상 운영유지 문제가 항공기를 확보하는데 걸림돌로 작용하였다. 따라서 우리나라 항공분야의 여러 가지 현황을 고려할 때 한서대학교 태안비행장에서 기상관측용 항공기를 위탁 관리하는 방안을 최적의 방안으로 제시하게 되었다. 비행에 관련된 모든 기본 시설들이 이미 갖추어져 조종 교육이 이루어지고 있는 시설이므로 기본적인 투자비용이 전혀 필요하지 않으며, 목적에 맞는 비행에 필요한 비용만을 확보하면 운영이 바로 가능한 준비된 비행장이다. 이 점을 고

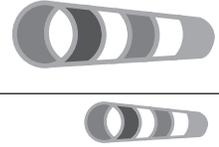


[그림9] 태안비행장 위치 및 전경



려하여 기상관측용 항공기를 도입하고 효과적으로 유지 관리하는 방안을 정리해보면 다음과 같다. 기상청은 가칭 대한민국 기상관측용 항공기 운영센터(Korea Meteorological Observation Aircraft Operation Center, KMOAOC)를 태안비행장에 설립하는데, 이 기관은 기상관측 및 연구 기본 계획을 수립하고 관리하는 기상전문가와 항공기를 운영하는 전문가가 공동으로 임무를 수행하는 역할을 한다. 설립 시기는 항공기 도입 계획 단계부터 설립하는 것이 효과적이라고 판단된다. 왜냐하면 적절한 항공기를 도입하기 위해서는 항공전문가의 도움이 필수적이기 때문이다. 그렇지 않으면 항공기가 직접 도입 때에 맞추어 설립 할 수도 있다. 설립된 센터에서는 년 간 사용할 항공 자원을 계획하고 할당하고 관측된 자료들을 관리하는 임무를 수행하며, 또한 항공기 운영 부분과의 협조업무를 담당한다.

다. 한편 항공기 유지관리는 태안비행장의 항공전문가 그룹이 담당하여 조종, 관제, 정비 등을 계획에 맞추어 수행한다. 항공기 운영에 관련된 비용의 문제는 기본적으로 수행해야 할 관측과 연구에 필요한 비행에 관련된 예산을 기상청이 확보하여 운영유지 부분과 공동으로 사용하며, 특별한 연구나 타 기관 연구과제에서 항공기 사용은 각 과제별로 반영된 항공기 사용비용을 센터가 받아서 수행한다. 현재 기상청에서는 항공기 도입을 위하여 장기 계획을 작성하여 준비하고 있다. 그러나 우리나라가 처한 기상 환경 상황을 고려해 볼 때 좀 더 시급하게 항공기 도입을 추진해야하며, 특히 항공기 운영유지와 관련된 좋은 기회가 형성된 현재의 조건을 잘 고려하여 가시적인 활동이 이루어지기를 기대해본다.

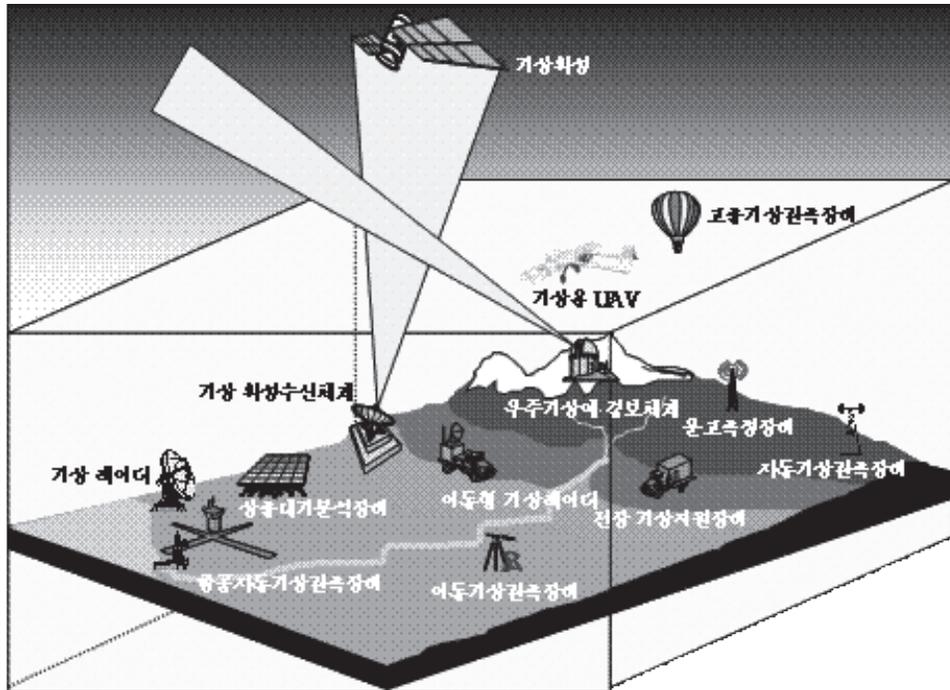


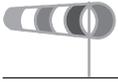
## 공군에서의 항공관측 현황과 전망

김 종 석

공군 제73기상전대 중앙기상부장 대령

wx10brfg@yahoo.com





## 들어가는 말

2500년 전 손자가 행한 “천기(天氣)를 알면 전쟁에서의 승리는 결정적이다”라는 말은 동서고금을 관통하는 진리로 통한다. 바람의 방향을 바꾼 제갈공명의 시대에서부터 최첨단 전천후 무기로 무장한 최근 전쟁에 이르기 까지 전쟁의 계획 단계에서부터 전투 단계까지 기상정보는 지휘관의 의사결정에 있어서 가장 우선되는 고려 요소로 남아있다. 이라크 전쟁을 준비하는 과정에서 미군은 수년전부터 기상 관측시설을 구축하고 각종 통계자료들을 분석하여 중동지역의 기후와 기상 특성 그리고 이들 요소들이 전쟁에 미치는 영향을 분석하여 작전, 보급, 후방지원 계획 등을 준비하였다.

기상정보도 과학기술의 발전에 따라 크게 발전하였지만 관측, 분석, 예측 및 전파라는 체계는 여전히 유지되고 있다. 결국 관측은 기상업무의 근간이 되는 요소라고 할 수 있다. 특히 시간과 3차원 공간을 이용하는 공군의 활동에 있어서 정확한 기상관측은 작전의 성패를 결정하는 요인이기 때문에 보다 빠르고 정확한 항공기상 관측 및 전파체계의 구축은 필수 불가결한 요소가 되었다. 이제부터 공군의 항공관측 현황과 발전 방향에 대해서 알아보기로 하겠다.

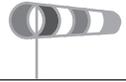
### 1. 공군 항공기상관측 특징 및 체계

공군 항공기상관측은 고도와 속도를 가지는 항공작전의 특성과 안전을 우선 고려해 다양한 안전

장비를 구비한 민간항공기와 달리 기동성과 전투능력을 고려하여 최소한의 안전장비를 구비한 군용항공기의 특성에 따라 적시성(timely)과 정확성(accuracy)을 특징으로 하고 있다. 정해진 고도와 항로를 따라 비행하는 민간항공기와 달리 공군은 훈련시에는 주어진 공역에서 짧은 시간동안 체공하면서 다양한 기동을 실시하고 전시에는 정해진 시간 내에 목표물을 타격해야 하기 때문에 적시성과 정확성은 최우선 기상정보 요구도라고 할 수 있다. 이러한 기상정보요구도에 부응하기 위해 기상전대는 일반 민간 기상관측과 구분되는 다양한 항공기상관측 체계를 유지하고 있다.

### 가. 지상관측

현재 공군은 15개의 비행장, 18개의 관측소, 2개의 고층관측소, 67대의 자동기상관측장비를 운영하고 있다. 지상관측은 자동항공기상관측장비(AMOS)와 자동기상관측장비(AWS)를 통해서 매 1분마다 새로운 기상정보를 관측하고 이를 실시간 수집 분석하여 기상전산망을 통해서 전파하고 있다. 비행장에서는 매 시간 WMO와 ICAO의 규정에 따라 정시 관측을 실시하며, 바람, 시정, 강수, 뇌우 등 돌변 기상이 발생하면 특별 관측을 실시하여 이를 전파하고 있다. 현재 공군은 WMO가 지정한 2개의 고층관측 지점을 운영하고 있다. 상층대기정보의 중요성에 따라 공군은 1일 4회 고층관측을 실시하고 있다. 고층관측을 통해서 바람, 온도, 습도 등 기본 요소뿐만 아니라 착빙, 난류, 역전, 불안정 지수 등 다양한 정보를 생산하여 사용자들에게 제공하고 있다. 고층관측은 관측 지점뿐만 아니라 광범위한



영역을 대표할 수 있기 때문에 제한된 관측 자료를 통해서도 대기의 현재와 미래 상태를 파악하는데 중요한 정보를 제공한다. 자동기상관측 장비를 이용한 관측만큼 중요한 것이 사람에 의한 목측이다. 적절한 장비와 관측환경이 보장되지 않은 상태에서도 정확한 관측을 통해서 필요한 기상정보를 제공하기 위해서는 고도로 훈련된 관측 요원들이 필요하기 때문에 공군은 기상관측 전문 병사와 부사관을 양성하여 실무에 활용하고 있다. 이들은 주어진 임무에 따라 필요한 시간과 장소에서 군 작전에 필요한 기상관측을 실시하고 전파할 수 있도록 교육되고 있다.

#### 나. 원격탐사

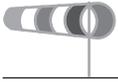
군 작전이 원하는 기상정보의 적시성과 정확성을 보장하기 위해서 공군은 독자적인 레이더 관측망과 기상위성 수신체계를 구축하고 있으며, 상층대기의

정확한 상태를 실시간 파악하기 위한 상층대기분석 시스템의 도입을 추진하고 있다. 기상레이더는 재래식 레이더에서 도플러 레이더 체계로 전환하여 구축 중에 있으며 향후에는 이중편파 기능을 구비한 레이더를 도입 운영할 계획이다. 공군 기상레이더는 전국 단위의 관측망의 구축에 중점을 둔 기상청의 레이더 관측망과 달리 공항과 공역에서 발생할 수 있는 난류, 뇌우 등 중규모 기상현상들에 신속하게 대처할 수 있는 체계로 구성되어 있다. 또한 기상청, 미군 등 유관기관의 레이더 자료를 수집하여 합성함으로써 전국 단위의 레이더 관측망도 구성하여 광범위한 영역에서 활동하는 육군과 해군의 작전에 필요한 정보도 수집 운영하고 있다.

공군 기상위성 수신체계는 GOES-9, MTSAT, FY 등 정지위성과 NOAA, EOS 등 궤도위성 정보를 실시간 수집 분석하는 체계를 구축하고 있으며, 미공군과의 협약을 통해서 군사기상위성(DMSP)의 영상



[그림 1] 야전기상관측

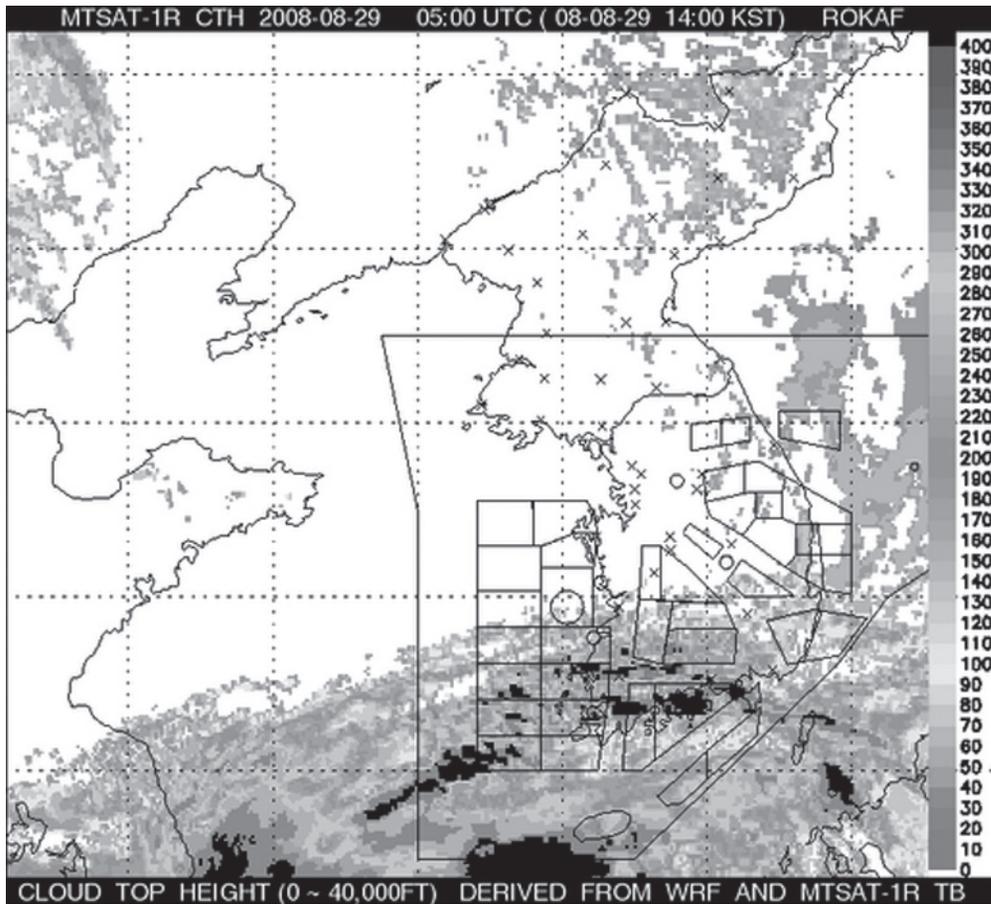


및 분석 자료를 동시에 활용하고 있다. DMSP 자료는 현재까지는 영상과 분석 자료만을 활용하고 있지만 향후에는 직접 원시자료를 수신하여 분석하는 체계로 발전시켜 나갈 것이다. 현재 공군은 자체 개발한 알고리즘을 통하여 지상관측, 수치예보 자료를 활용하여 하층운, 중층운, 상층운의 구분과 함께 각 구름 층 사이의 공간(between area)을 계산하여 제공하고 있다. 구름 층 사이의 공간 정보

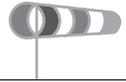
는 항공작전 운영에 있어서 필수적인 요소로 공군 사용자들의 좋은 반응을 이끌어 내고 있다.

#### 다. 조종사 기상보고(PIREP)

조종사는 비행하는 동안 항로상이나 공역에서 조우하는 실링 5천 피트 이하, 시정 5마일 이하의 기상현상과 뇌우, 난류, 착빙 등 다양한 악기상 현

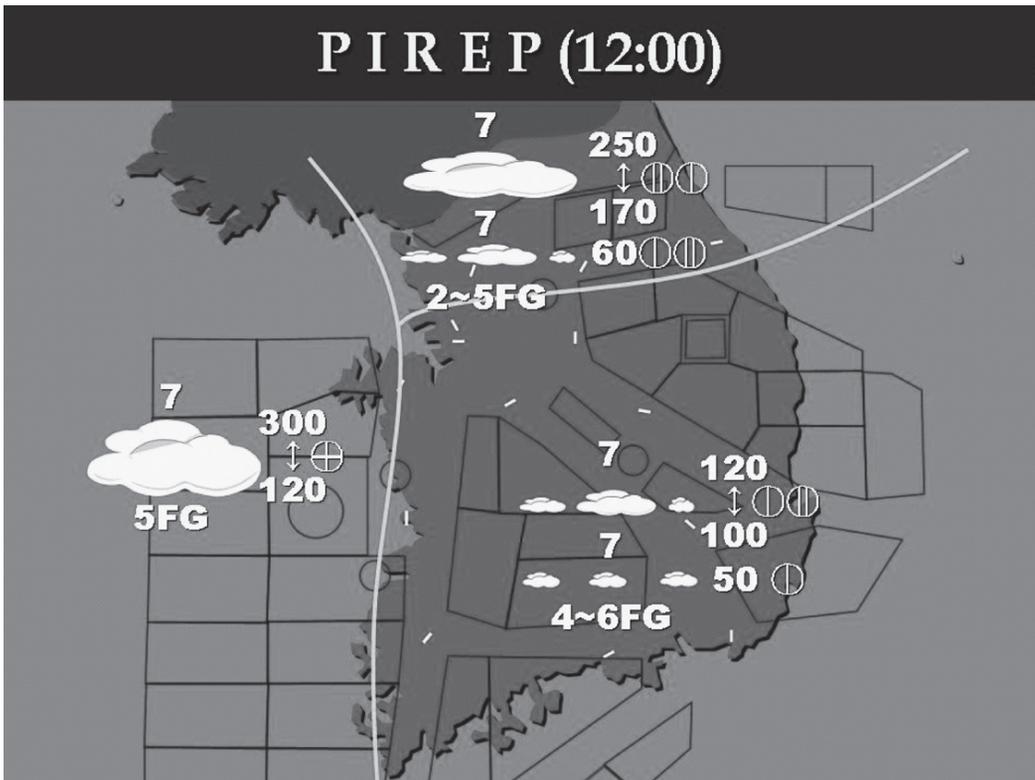


[그림 2] 구름 복합층 분석 영상

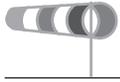


상에 대해서 보고하도록 규정되어 있다. 과거에는 조종사 기상보고를 접수한 기상대에서 이를 전문화하여 기상전산망에 입력하고 이를 문숫자(alphanumeric)로 전파하는 체계를 이용하였지만, 최근에는 조종사들의 이해도 증진과 실시간 전파를 위해서 공군 중앙관제통제소에 위치한 기상장교들이 직접 조종사 기상보고를 수신하여 그래픽과 문숫자로 동시에 전파하는 체계를 구축 활용하고 있다.

조종사 기상보고 영상은 고도별 공역별 악기상 현상, 구름의 연직 분포, 시정뿐만 아니라 조종사의 공간혼란(vertigo)을 방지하기 위한 정보를 동시에 포함 전파해서 항공작전에서 기상으로 인한 위험요인을 최소화하는데 주력하고 있다. 최신 항공기는 자체적으로 고도별 바람을 관측할 수 있는 시스템을 가지고 있으며, 수송기는 자체 기상레이더를 가지고 있다. 항공기의 이착륙 기간 동안의 고도별 바람자료는 공항 주변의 기류를 실시간 관측할 수 있기 때문에 향후 이 자료들을 활용하는 방안도 모색하고 있다.



[그림 3] 조종사 기상보고 그래픽



라. 교육 현황

혀져 있어 기상요소에 의한 사고를 사전에 예방 가능토록 시스템화 되어 있다.

공군은 창군 이래 기상반이 만들어져 각 기종별/조종사 자격별 항공기 운용에 따른 기상 제한치를 설정하여 항공작전에 적합한 기상정보를 제공하고 조종사 역시 기상정보를 확인하는 습관이 몸에 익

이러한 항공기상관측은 공군이 운영하고 있는 기상 교육부대에서 병사, 부사관들에게 초급과정의 기상 교육 과정 중 일정시간의 항공기상관측을 위한 기

[표 1] 공군 기상교육대 항공기상관측 교육시간

부	내 용	교 과 목 및 교 육 시 간
제 1 부 항공기상관측	1. 과정 소개(1 : 1/0)	
	2. 기상 교리	(1 : 1/0)
	3. 기상 부대 운영	(2 : 2/0)
	4. 지상관측	(50 : 24/26)
	가. 일반적인 절차	(6 : 6/0)
	나. 바람	(4 : 2/2)
	다. 시정	(4 : 2/2)
	라. 대기현상	(8 : 4/4)
	마. 하늘상태	(8 : 6/2)
	바. 기온	(4 : 2/2)
사. 기압	(4 : 2/2)	
아. 관측표 기입법	(12 : 0/12)	
	5. 상층풍관측	(12 : 4/8)
	6. 고층기상 관측장비	(2 : 2/0)
	7. 고층기상 관측 및 절차	(4 : 4/0)
	8. 전문 작성법(전산입력)	(4 : 2/2)
	9. 기상장비(작동법)	(6 : 2/4)
	10. 기상영어	(2 : 2/0)
소 계		84시간 (44/40)
제 3 부 종합실습	1. 일기도 기입 및 기상지원	(8 : 0/8)
	2. 지상 및 상층풍 관측	(18 : 0/18)
	가. 지상관측	(10 : 0/10)
	나. 상층풍관측	(8 : 0/8)
소 계		26시간 (0/26)
총계		200시간 (이론: 61 실습: 86 기타: 53)

상요소와 육안 및 장비에 의한 관측방법, FAA와 ICAO에서 요구하는 보고 방법 등을 교육(표1참조)함으로써 관측요원으로서의 자격을 부여하게 되고 부대에 배속 후에는 기지 국지관측을 별도 교육함으로써 완벽한 항공관측요원이 되는 것이다. 또한 부사관들에게는 중급과정, 고급과정등을 실시하여 항공관측기사의 역할을 담당하게 함으로써 관측의 품질을 높이고 있다. 아래 표는 공군 기상교육대 항공기상관측 교육시간표이다.

## 2. 항공관측 발전 방향

### 가. 미국 항공관측 현황

항공관측은 고정된 지점에서 대기의 움직임을 수동적으로 관측하는 단계를 넘어 기상관측 장비를 탑재한 항공기를 원하는 장소와 시간에 직접 투입하여 필요한 기상정보를 획득 활용할 수 있는 능동적인 관측 체계를 말한다.

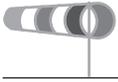
최근 제주도 군 비행장에서 갈색구름(ABC)과 오염물 관측을 위한 무인항공기 관측이 실시하는 등 항공관측이 점차 활성화되고 있지만 아직까지 우리나라의 항공관측 수준은 장비와 인력 그리고 조직적인 관측 체계 측면에서 보면 대단히 초보적인 수준에 머물러 있다고 볼 수 있다. 반면 미국은 민간군이 협동하여 자연재해 예방을 위한 항공관측 체계를 구축하고 있다.

미국 연방기상조정국(OFCM)의 문서에 의하면 미국 상무성, 국방성, NOAA는 협약을 통해서 허리케인, 대규모 전선 등의 발생에 능동적으로 대처하기 위해서 최소 1일 5회 이상의 항공관측을 실시하도록 규정하고 있다.

“허리케인 사냥꾼”이라는 별칭을 가지고 있는 미공군 AFWA 소속 53기상관측대대는 열대성 저기압이 발생하면 WC-130J 수송기를 활용하여 열대성 저기압 내부와 외부의 온도, 습도, 바람, 기압 등에 대한 생생한 기상정보들을 수신하여 지상으로 송



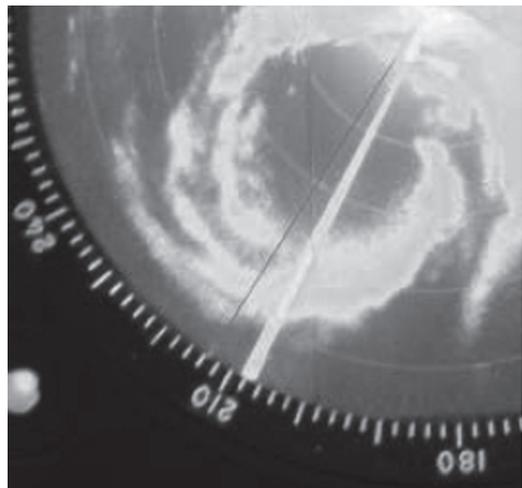
[그림 4] 미공군 기상관측용 수송기 WC-130J와 미국 NOAA 항공관측용 P-3기



신하며, 레이더 관측을 통해서 열대성 저기압의 중심에 대한 영상정보를 제공한다. 또한 드롭존데를 통하여 열대성 저기압 내부 대기의 연직분포를 관측하고 열대성 저기압 중심을 관통하면서 각종 정보를 수집하여 국립 허리케인센터로 제공함으로써 정확한 허리케인 중심 위치를 결정하고 이동 방향과 강도를 예측하는데 결정적인 기상정보를 제공하고 있다. 항공기상관측대대는 여름철 열대성 저기압 뿐만 아니라 대규모 저기압이 발생할 경우에도 특별 관측을 실시하여 고도별 와도 중심과 위치, 지상에서부터 고도별 기압, 바람, 3차원 도플러 시선 속도, 가강수량 등을 관측하여 정보를 제공하고 있다. NOAA도 미해군과의 협정을 통하여 대잠수함 항공기인 P-3기를 항공기상감시용으로 개조하여 운영하고 있다.

열대성 저기압에 대한 항공관측은 NOAA 산하 국립허리케인센터가 태평양 허리케인센터와의 조율을 통하여 향후 24시간 동안의 열대성 저기압 발달 경향을 분석할 수 있도록 항공관측을 요청하고 태평양 허리케인센터는 국립허리케인센터의 요구에 따라 정해진 절차와 관측요소들에 대한 관측을 수행하게 된다. NOAA는 대서양, 멕시코만, 캐리비안해, 중부태평양 지역에서 위치한 열대성저기압이 해안선으로부터 550마일 이내로 접근하기 시작하면 6시간 마다 1일 4회 항공관측을 실시하고, 미본토나 하와이, 푸에르토리코, 버지니아섬에 300마일까지 접근하면 매 3시간 마다 1일 8회 관측을 실시한다. 또한 열대성저기압의 상륙이 임박해지면 2시간 마다 24시간 항공관측체제를 유지한다. 미국 공군은 NOAA의 요구가 있거나 자체적인 판단에 의해

서 항공관측을 실시한다. 보통 각 기관별로 항공관측을 요구할 때에는 항공통제를 위하여 16시간 이전에 비행계획을 수립할 수 있도록 조치하지만 열대성저기압이나 폭풍우가 갑자기 발달하는 긴급한 상황시에는 선행시간을 최소화할 수 있는 체계도 구축되어 있다. 이렇게 관측된 열대성저기압에 대한 고해상도 기상자료는 관측시간, 관고도, 위경도 정보를 포함하여 기압, 지위고도, 해면기압, 기압하강, 온도, 노점온도, 10초 평균 비행고도 바람, 마이크로 라디오미터 추정 강수량 등을 포함한 자료를 평균 30초마다 자동으로 국립허리케인 센터로 자동 송신하는 데이터 링크를 구축하고 있다. 또한 필요시에는 수치예보모델링에 활용할 수 있도록 원하는 지점에서의 연직프로파일을 요청하거나 3차원 도플러 시선속도장을 요청하기도 한다.

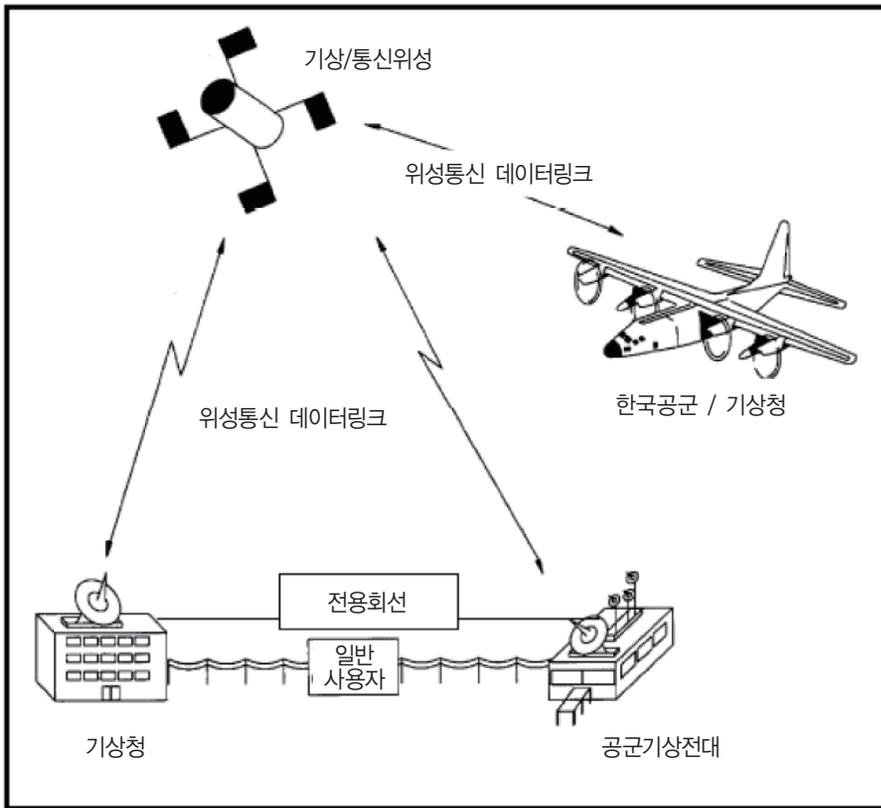


[그림 5] 미공군 WC-130J 기상레이더에서 관측된 태풍의 눈

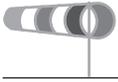
나. 우리나라 항공관측 발전 방향

단기간 내에 막대한 비용을 기상분야에 투자하는 미국의 현업용 항공관측 체계를 도입 운영하는 것은 현실적으로 불가능할 것으로 판단된다. 또한, 광범위한 영토를 가진 미국과 달리 한반도는 삼면이 바다로 둘러싸여있고 한국, 일본, 중국 방공식별구역(ADIZ; Air Defence Identification Zone)이 서로 맞닿아 있는 남해와 서해상에서의 원거리 항공관측이 제한을 받을 수

밖에 없기 때문에 항공관측의 범위가 레이더 관측의 범위를 넘어서지 못하는 한계를 가지고 있다. 또한 한반도 상공도 민간 및 군용 공역이 대부분을 차지하고 있어 민관군의 긴밀한 협조가 없이는 항공기를 운영하기 곤란하다. 따라서 단기간 내에 항공관측용 항공기를 독자적으로 운영하기에는 다양한 장애물이 존재하는 상황에서 현실적인 대안으로 이용할 수 있는 것이 무인항공기(UAV)에 기상관측용 센서를 탑재하여 운영하는 방법이 될 것이다. UAV는 이착륙 거리가 짧고 공간 활용 능력이 뛰어나



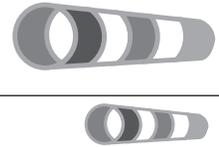
[그림 6] 항공관측 및 데이터링크 개념도



나기 때문에 돌발 악기상이 자주 발생하는 한반도에서 큰 위력을 발휘할 것으로 예상된다. 공군도 장기적으로 국방목적의 UAV 사업의 진척 상황을 고려하여 기상관측용 UAV 확보를 추진하고 있다. 한반도 주변의 정세가 변화하고 한중일 3국간에 공동 기상관측을 위한 협력 체계가 구축되어 항공관측용 항공기의 방공식별구역 통과가 자유로운 단계에 이르게 되면 대형 항공기를 이용한 항공관측 체계의 운영이 가능할 것으로 예상된다.

기상청과 연구기관에서 독자적으로 항공관측용 UAV나 항공기를 확보한다고 하더라도 이를 독자적으로 운영하기는 곤란한 것이 현실이다. 먼저 유·무인 항공기를 막론하고 한국방공식별구역(KADIZ) 내에서 기상관측활동을 하기 위해서는 건교부와 국방부의 승인과 통제를 받아야 하는 어려움이 있다. 평상시 한반도 상공에 무수한 항적들이 존재하는 상황에서 돌발 악기상을 관측하기 위해서 원하는 지역으로 UAV나 항공기를 보내는 것은

대단한 위험성을 내포하고 있기 때문에 현실적으로 불가능하다. 따라서 항공관측 체계의 구축은 단일 정부부처나 연구기관에서 일방적으로 도입을 추진한다고 하더라도 비용 대 효과, 활용성 측면을 종합적으로 고려할 때 효율성이 극히 뒤떨어질 것으로 예상된다. 따라서 태풍, 홍수, 대설 등 각종 악기상과 직접적인 관련성을 가지는 건교부, 행자부, 국방부 등 정부 관련 부처들 간의 긴밀한 업무 협조와 민관군 공동 운영 형태로 추진되어야 할 것이다. 또한 독자적인 항공기를 도입 운영하는데 막대한 비용이 소요되는 만큼 공군이 현재 보유하고 있는 수송기나 UAV에 기상관측용 센서를 구비하고 이들 장비를 활용하기 위한 민관군 합동 기상관측팀을 구성 상시 운영하는 체계를 구축할 필요가 있다. 항공관측뿐만 아니라 모든 기상관측 체계는 국민의 생명과 재산에 직결되는 만큼 단일 부처나 기관의 이익이 아니라 국가적 차원의 이익을 최대화할 수 있는 방향으로 구축되어야 할 것이다.



## 항공기를 이용한 대기환경 감시

김 정 수

국립환경과학원 지구환경연구소 소장

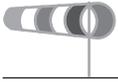
jsookim@me.go.kr

지난 8월8일부터 중국의 북경에서 열린 올림픽에서 초반부터 우리나라 선수들이 좋은 성적을 거두어 국민들에게 많은 감동과 즐거움을 주었다. 그러나 금번 올림픽은 준비단계에서 많은 어려움이 있었다. 그 중 하나로써 북경의 나쁜 대기환경 때문에 많은 나라에서 개최 자체가 불투명하다는 우려를 나타내기도 하였으며 일부 선수들은 경기 불참을 선언하기도 하였다. 따라서 중국 당국에서도 자동차 2부제 등 특단의 조치를 취하였으며 이러한 노력과 더불어 날씨도 대체로 쾌청하여 대기오염에 대한 문제없이 무난히 대회를 마칠 수 있었던 것은 참으로 다행한 일이었다.

또한 이 기간 중 우리나라 제주도에서는 ABC (Atmospheric Brown Cloud) 프로그램의 전문가들

이 모여 작은 행사를 가졌다. 이 행사의 관심은 북경올림픽 기간중 인위적인 대기오염 저감 정책이 어떤 효과가 있는 가를 무인항공기를 이용하여 관측하는 것이었다.

이와 같이 대기오염물질은 국가간 이동하여 다른 나라에 영향을 주므로 인접국가에서 많은 관심을 갖게 된다. 특히 편서풍지대에 위치한 우리나라는 최근 급성장하고 있는 중국의 풍하측에 위치하므로써 중국의 영향을 피할 수가 없다. 우리나라는 1988년의 서울올림픽을 전후하여 대기환경 개선을 위하여 도시가스 등의 청정연료 보급을 통해 수도권 지역의 주요 오염물질이던 이산화황 오염도를 획기적으로 개선한 바 있으며 최근에는 『수도권 대기환경개선에 관한 특별법』을 제정하는 등 지속적인



개선노력을 해 오고 있다. 그러나 이러한 우리 자체만의 노력에도 불구하고 중국으로부터 다량의 오염물질이 이동해 오면 대기질 개선은 어려움에 봉착하게 되는 것은 분명하다. 따라서 환경부 국립환경과학원에서는 동북아지역 대기오염 장거리이동 현상을 체계적으로 조사하고 개선하기 위하여 1990년대 초반부터 본격적으로 연구를 수행해 오고 있으며 그 내용 중에는 항공기를 이용하여 서해상공에서의 고도별 대기오염 이동상태를 조사하는 것도 포함되어 있다.

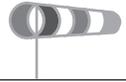
이와 같이 항공관측을 하는 이유는 대기오염물질은 지상부근으로만 이동되어 오는 것이 아니므로 고도별 입체관측이 필요하며 특히 풍향변화가 매우 불규칙한 지상측정 자료만으로는 장거리이동여부를 판단하기 곤란하므로 비교적 균질한 상층 관측 자료가 필요하며 이러한 결과는 추후에 예측 모델링 결과의 검증에도 매우 중요하게 활용된다.

본 자료에서는 국립환경과학원에서 1995년부터 수행해 오고 있는 항공관측 사업에 대하여 설명하고, 2007년에 측정한 사례를 중심으로 부분적으로 소개하고자 한다.

항공관측은 단시간 내에 넓은 지역을 조사할 수 있다는 점과 다른 방법으로는 수행하기 어려운 상층에 대한 신속한 조사 및 시료 채취 등이 가능하며 특히 3차원공간에 대한 대기질 정보를 파악할 수 있는 장점이 있다. 반면에 많은 비용이 소요되고 일정 및 경로 선정이 자유롭지 못하며 비행시간, 측정 범위의 제한, 탑재장비의 중량, 안정한 측정기의 가동을 위한 충분한 전원 확보, 탑재 가능한 측정기의 크기 제한, 그리고 측정기의 응답시간 제한 등의 단점이 있다. 본 사업을 위해 매년 임차하고 있는 항공기는 국내의 (주)창운항공이 소유하고 있는 미국 Piper사의 Chieftain PA-31-350 쌍발 프로펠러 기종으로 조종석을 포함 총 10인승이며 다음 [표 1] 에 항공기의 제원을 요약 정리하였다.

[표 1] 현재 국립환경과학원에서 활용중인 항공기 제원

제작사	USA, PIPER	연료 적재량	192 US gal (727 ℓ)
모델명	CHIEFTAIN	최대순항속도	250 mph (402 km/h)
소속사	(주)창운항공	평균순항속도	232 mph (373 km/h)
엔진 모델	T10-540-J2BD	장거리순항속도	196 mph (315 km/h)
엔진출력	350 HP	상승율	1,390 lpm (424 m/min)
길이	10.55 m	비행거리	1,225 mile (1,971 km)
높이	3.96 m	비행시간	6.9 hr
폭	12.40 m	상승고도	28,300 ft (8,626 m)
착륙중량	7,000 LB	순중량	3,991 lb (1,810 kg)
이륙중량	7,000 LB	적재하중	3,009 lb (1,365 kg)



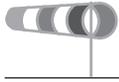
상층비행 중 오염물질의 채취는 가스상 물질 및 입자상 물질 등으로 나누어 stainless steel 재질의 서로 다른 크기의 노즐 3개(TSP 측정용, Gas 측정용 및 Canister와 air-bag sampling 용)를 항공기의 바닥면에 진행방향으로 향하도록 하여 측정비행 중 양쪽 날개부분에 장착되어 있는 프로펠러와

배기가스의 영향을 받지 않도록 제작, 설치하였다. 측정에 사용된 항공기와 설치된 장비의 모습, 그리고 항공기 내부의 세부적인 모습을 [그림 1]에 나타내었다.

항공기 내부에는 가스상 측정기(SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>,



[그림 1] 항공관측에 이용된 10인승 쌍발기와 내부에 탑재한 관측용 장비. 항공기 하부에 새로 설치한 노즐을 통해 외부공기를 흡인하여 채취한 시료는 실시간 또는 실험실에서 분석한다.



O<sub>3</sub>)와 VOCs용 tube, Aldehyde용 카트리지 및 air-bag을 탑재하며, 입자의 크기분포를 보다 정확히 파악하기 위하여 입자개수측정기(Aerodynamic particle sizer)를 탑재한다. 또한 비행고도가 변화하는 경우 생길 수 있는 흡입유량의 변동을 제거하기 위하여 가스상 측정기에 각각 자동유량조절시스템(Automatic Mass Flow Control System)을 설치한다.

항공관측 중 측정기에 안정적인 전원공급을 위하여 항공기용 직류/교류 변환기인 Inverter를 1.6kW 용량 1대와 3kW 용량 2대를 연결하여 사용한다. 또한 비행시간에 따른 고도, 위도 및 경도 측정용의 GPS를 항공기내부에 탑재하고 sensor는 항공기 외부에 노출·장착하여 측정의 정확도를 유지하도록 하고 있다. 측정 자료의 저장과 실시간 농도자

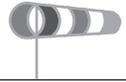
료의 계산을 위하여 Data logger를 이용하며 가스상 자료와 GPS data의 경우 5초 간격, 입경별 입자개수농도의 경우 1분 간격으로 저장한다.

측정항목은 가스상 물질과 입자상 물질로 나누어지며 [표 2]에 측정항목 및 분석방법을 정리하였다. 가스상 물질은 primary pollutants인 SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> 이외에도 이들을 산화시키는데 관여하는 O<sub>3</sub>를 연속으로 측정한다. 기기의 보정은 항공기에 설치하는 조건과 동일하게 하여 관측 전후로 실시한다.

대기 중 오염물질들이 산화되는 과정에서 오존 생성의 전구물질로 중요한 역할을 하는 VOCs와 카르보닐 화합물 중 aldehyde를 2000년도부터 측정하고 있다. VOCs는 Teflon bag으로 채취하여 실험실에서 GC-FID로 분석하였으며 aldehyde는 DNPH

[표 2] 측정항목 및 분석방법

측정항목	분석방법	측정범위	반응시간	정밀도
SO <sub>2</sub>	UV fluorescence / TEI (Trace Level 43C)	<100 ppb	80 sec (10 sec ave.)	0.2 ppb
NO <sub>x</sub>	Chemiluminescence / TEI (Trace Level 42C)	<100 ppb	60 sec (10 sec ave.)	0.05 ppb
O <sub>3</sub>	UV Photometric / TEI (Trace Level 49C)	<100 ppb	20 sec (10 sec ave.)	1 ppb
CO	NDIR / TEI (Trace Level 48C)	<10 ppm	60 sec (10 sec ave.)	0.04 ppm
입자수농도	Particle Counter / Grimm-1,108	<100 ug/m <sup>3</sup>	(60 sec ave.)	0.3 um
좌표 및 고도	GPS / Garmin, GPS-II	-	5 sec	-
입자농도	High Volume Sampler / Kimoto	-	-	-
Aldehyde	UV detection / HPLC(HP110)	-	-	-
VOCs	GC-FID / Perkin- Elmer	-	-	-

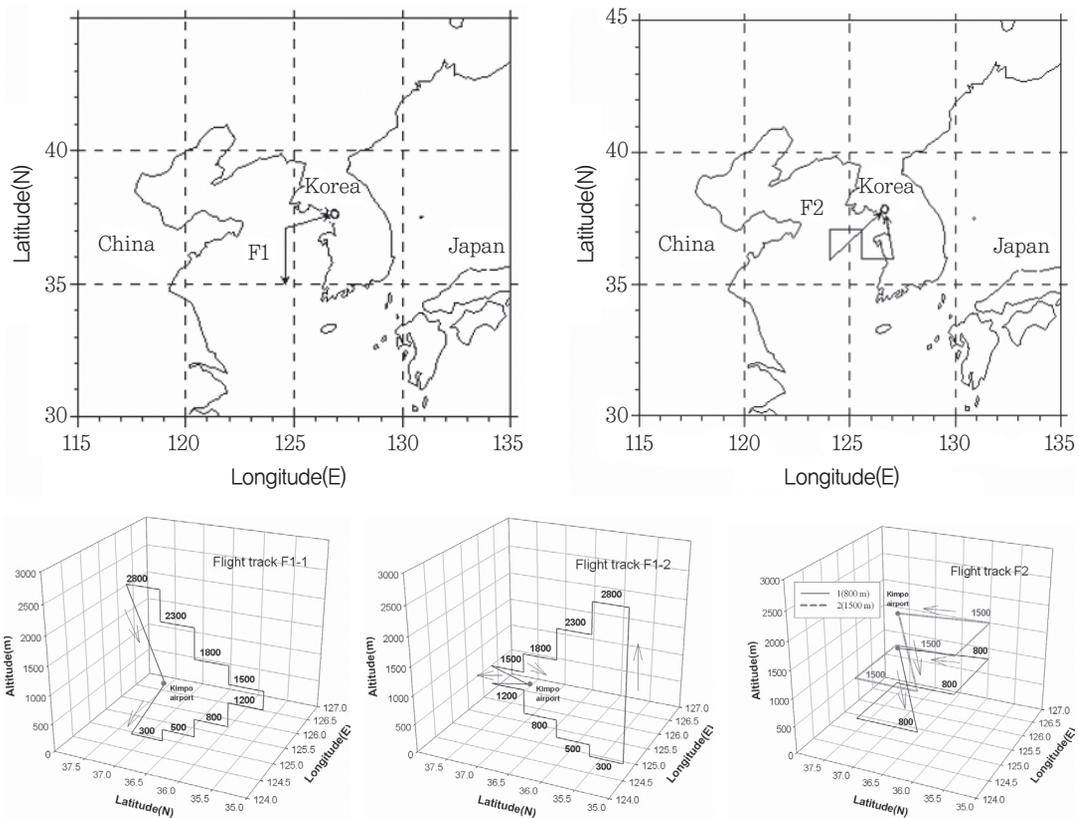


카트리지에 포집하여 전처리 과정을 거친 뒤 HPLC 로 분석한다.

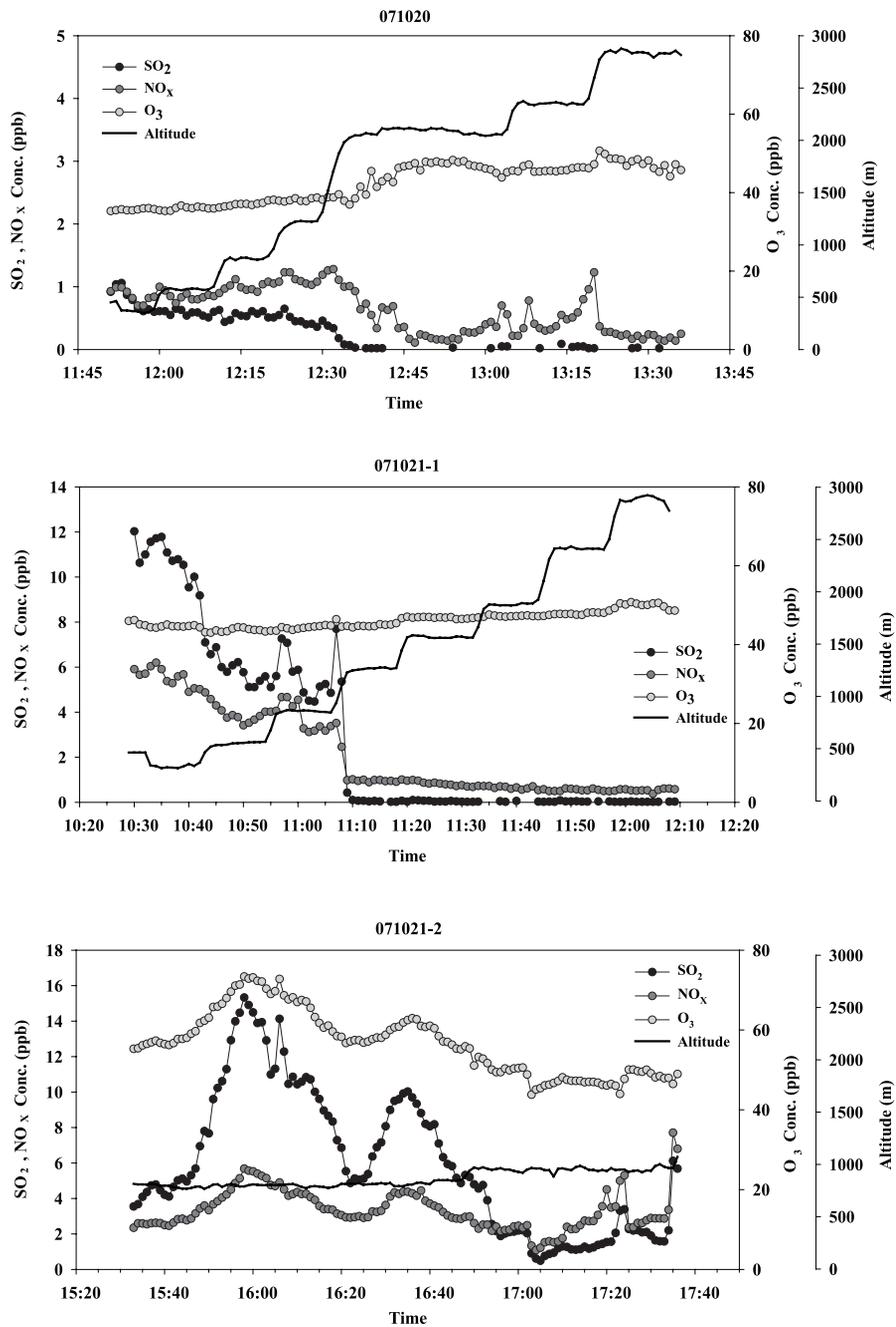
측정은 매년 조금씩 다르나 일반적으로 봄철과 가을철에 주로 수행하며 작년(2007년)에는 4월과 10월에 각각 6회씩 실시하였다. 장거리이동 오염물질의 분석 및 이동량 산정을 위하여 주로 서풍계열의 기상조건에서 측정하였으며 국내의 영향을 배제하기 위하여 최대한 국내연안에서 떨어진 해상에서 측정을 실시하였다.

각 측정경로는 [그림 2]에 F1, F2로 나누어 각 비행경로의 세부적인 위, 경도 및 고도 등을 나타내었다.

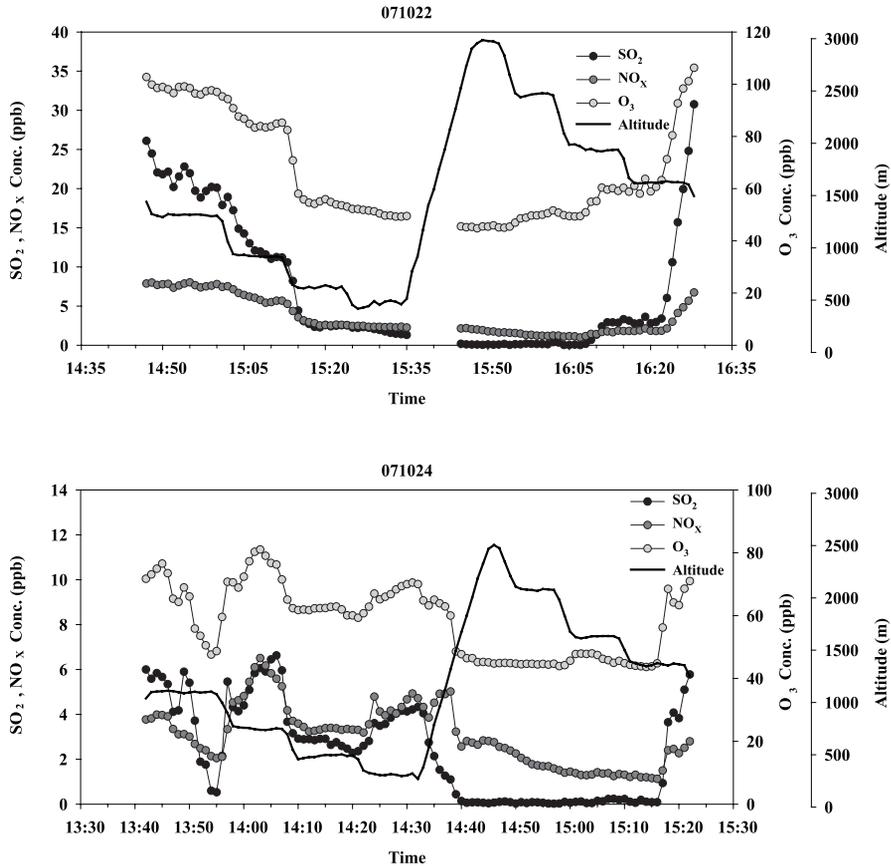
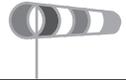
경로 F1은 서해상의 장거리이동 오염물질의 연직 분포현상을 관측하기 위하여 김포공항을 출발하여 경도 124°30'E 선상을 따라 위도 37°00'N에서 35°00'N까지 왕복하며 고도를 300~2800m까지 순차적으로 변화시키며 관측을 실시하는 경로이고, F2는 서해상의 장거리이동 오염물질의 이동에 따른 공간적 분포현상을 관측하기 위하여 경도



[그림 2] 서해상에서의 항공관측경로. 목적에 따라 동일 경도 또는 위도상에서 고도를 변경해 가며 측정한다.



[그림 3] 2007년 10월의 항공관측 결과



[그림 3] 계속

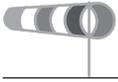
124°10'N, 125°30'N, 127°00'N을 기준으로 위도 37°00'N ~ 36°00'N의 구간을 고도 800m와 1500m 중 한 고도를 선택하여 관측하는 경로이다.

10월에 측정된 결과를 [그림 3]에 나타내었다.

SO<sub>2</sub>와 NO<sub>2</sub>는 대체로 낮은 농도를 나타내지만 SO<sub>2</sub>의 경우 10ppb 이상의 높은 농도가 500~1000m

고도에서 관측되기도 하며 오존은 40~100ppb 정도의 고농도가 감지되었다. 특히 10월 21일 오전의 경우는 당시 측정된 상층기상관측자료에 의하면 1000m 고도를 경계로 강한 역전층이 형성되어 상하층간 오염물질 이동경로가 다른 특징을 확인할 수 있었다.

아울러 항공관측자료를 이용하여 동북아지역에서



이동되는 오염물질의 유출·입량도 추정하고 있다. 대기경계층 내 대기오염물질 이동량(F)은 다음과 같은 식에 의해 산정할 수 있다.

$$F = C \cdot H \cdot U \cdot L \dots\dots\dots (1)$$

F = 대기오염물질의 이동량 (ton/hr·km)  
 C = 대기오염물질 (μg/m<sup>3</sup>)  
 H = 대기 경계층의 높이 (m)  
 U = 평균풍향과 비행방향이 이루는 각에 대한 보정값 (m/sec)  
 L = 비행구간의 수평거리 (km)

따라서, 오염물질의 이동량은 항공측정시 단위시간당 비행경로를 통과하는 오염물질의 양으로 정의된다. 식(1)에 포함된 변수들은 비행구간별로 측정된 값들을 평균한 것으로 flux 계산을 하기위해 각 농도는 경계층내의 농도 수준을 대표하는 값이고, 풍향, 풍속 역시 경계층 내의 대표값이라는 가정이

필요하다. 풍향, 풍속 자료는 확보를 위해 태안 파도리에서 라디오존데 측정을 병행하였다.

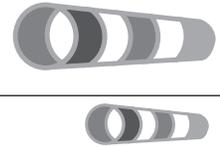
유출입량을 계절별로 산정한 [표 3]에 의하면, 대부분의 오염물질이 겨울철과 봄철에 많이 유입되는 것으로 확인되었다. 이는 겨울철 난방이나 계절풍의 영향과도 연관된 것으로써 타당성이 있는 연구 결과로 풀이된다.

앞으로도 장거리 이동되는 대기오염 현상규명을 위해 측정기기 탑재 용량이 더 큰 항공기를 활용해 나가는 방안을 검토중이며 ABC, CAPMAX, ARM 프로그램등 다양한 국제 관측 캠페인에 참여하여 자료공유와 선진측정기술 습득은 물론 우리나라의 연구결과 발표를 통한 위상 제고에도 노력해 나갈 예정이다.

[표 3] 계절별 대기오염물질의 유출입량(SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> for 1997~2007)

계절 \ 물질	SO <sub>2</sub>		NO <sub>x</sub>		O <sub>3</sub>	
	유입량	유출량	유입량	유출량	유입량	유출량
봄	0,227	-0,017	0,311	-0,168	3,225	-1,722
여름	0,003	-0,016	0,025	-0,101	0,590	-1,528
가을	0,197	-0,068	0,066	-0,070	1,706	-0,554
겨울	0,244	-0,120	0,253	-0,070	2,627	-0,520

Unit : ton/(hr·km)



## 항공/위성 정보를 활용한 재해 피해 조사

최 우 정

국립방재연구소 시설연구사  
choiwj@nema.go.kr

심 재 현

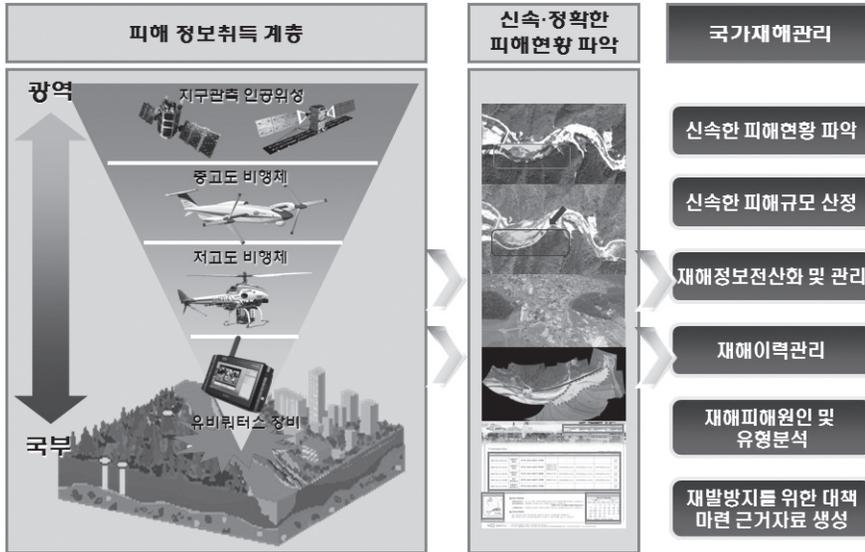
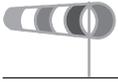
국립방재연구소 연구기획팀장  
shim1001@nema.go.kr

### 1. 서 론

지구온난화와 이상기후 등의 기상이변으로 인해 예상치 못한 집중호우, 대형 태풍, 산불, 지진 등과 같은 자연재해의 발생빈도 및 피해규모가 증가하고 피해양상이 매우 다양해지며, 이로 인해 인명 및 재산피해가 점점 커지고 있는 현 시점에서 재해를 효과적으로 예방·대비·대응·복구하기 위한 GIS, IT 등 영상공간정보와 첨단기술을 활용하여 재해 정보체계 구축에 주요 관심사가 되고 있다. 특히, 최근에는 위성영상, 디지털 항공영상, LiDAR, 지상 촬영 영상 등의 고해상도 위성 및 다양한 탐측센서의 개발과 유비쿼터스 관련 인프라 기술의 확대, 그리고 인터넷 및 데이터베이스 등 관련 기술의 발달에 따라 피해지역의 공간영상정보의 취득 기회

를 획기적으로 증가시켰으며, 이러한 다양한 공간 정보는 피해지역의 재해분석에 핵심자료로서 활용될 수 있다.

따라서 소방방재청 국립방재연구소에서는 신속하고 과학적인 재해피해 현황파악 및 조사를 위해 위성 및 항공영상을 저고도, 중고도, 고고도로 구분하여 적용하고 수치지도, 지적도, 토양도 등 각종 GIS 정보를 연계·통합하는 연구를 추진 중에 있으며, 저고도 영상은 국부적 피해조사를 위해 무인항공기(UAV, Unmanned Aerial Vehicle), 중고도 영상은 최근 국내외적으로 활용도가 높고 해상도가 좋은 유인항공기, 고고도 영상은 광역적인 피해조사를 위해 위성영상을 적용하였다.



[그림 1] 항공/위성 정보를 활용한 재해 피해 조사 방안

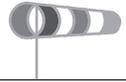
본 고에서는 이와 같은 주요연구결과를 토대로 각각의 적용방법별 장단점을 분석하고 향후 보다 과학적인 재해관리를 위한 공간영상정보의 활용방안에 대해 기술하였다.

## 2. 저고도 UAV의 활용

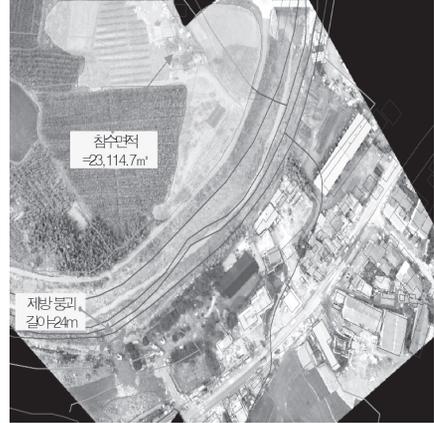
2006년 7월에 태풍 에위니아 피해지역인 진주지역에 대해, 무인헬기로 촬영된 Video 영상을 통해 침수지역과 제방붕괴 지역을 폴리곤 및 라인으로 피해범위를 표현하였다.

UAV 촬영시스템은 기존의 항공기와 달리 고성능의 GPS(Global Positioning System)나 INS(Inertial

Navigation System), IMU(Inertial Measurement Unit) 등과 같은 정밀한 항법장비가 탑재되어 있지 않아 비행 당시의 정확한 telemetry 정보(위치 및 자세정보)를 취득하기가 어렵다. 따라서 전처리된 영상과 대상지역내 지상기준점(Ground Control Point)을 취득하여 부등각사상 변환식을 사용하여 기하보정을 수행하였다. [그림 2]는 저고도 still 영상을 추출하여 기하보정한 것으로 하천 범람으로 인한 제방 붕괴 지점 및 침수 지점을 보여주고 있으며, 제작된 피해지역의 영상지도를 수치지형도나 피해전 위성 및 항공영상 등을 중첩·활용하여 [그림 3]과 같이 피해지역의 침수, 제방붕괴의 피해규모를 판별하여 폴리곤 및 라인 형태로 피해정보를 표현하고 피해 면적과 길이를 추출하였다.



[그림 2] still 영상에서의 재해피해 모습



[그림 3] 재해 피해규모 추출

### 3. 중고도 유인항공기의 활용

2006년 7월 강원도 인제군 집중호우로 많은 인명피해와 재산피해가 발생하였으며, 유인항공기에서 촬영된 1/15,000 항공영상을 통해 홍수피해와 산사태 지역을 확인하고 라인 및 폴리곤으로 피해범위를 표현하였다.

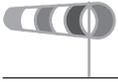
피해규모추출과정은 피해 후 항공사진의 경우, 촬영당시 GPS/INS 기술을 적용하여 촬영되었는데, GPS/INS 기술을 적용할 경우 항공사진 기하보정을 위한 외부표정요소( $\omega, \phi, \kappa, X_0, Y_0, Z_0$ )가 동시에 취득된다. 이를 통해 기하보정을 수행하였으며, 피해 전 항공사진은 기하보정된 피해 후 항공사진 자료로부터 기준점을 취득하고 부등각사상변환 기법을 적용하여 기하보정을 하였다. 이는 두 종류의 항공사진에서 시각적 판단에 의해 피해시설을 검출하는데 있어 동일지역을 검색하는데 용이하도록 하

기 위한 것이다. 그런 다음 피해 후 항공사진을 모자이크 처리하여 피해시설을 확인하고 하천시설물 및 산사태 피해규모를 분석하였다.

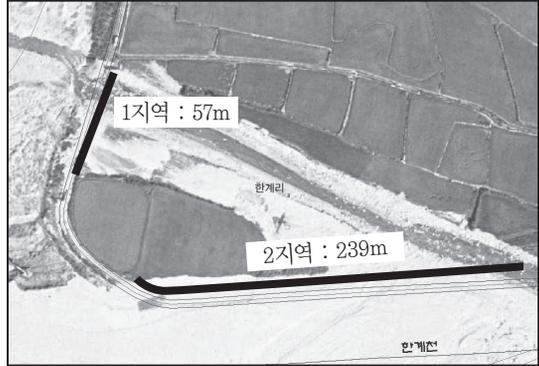
#### 3.1 홍수 피해조사

하천의 피해유형은 대부분 급류에 의해 호안블럭 유실이나 제방붕괴 형태로 나타나며, 하천이 사행을 이루는 구간에서 제방이 많이 파괴된다. 제방이 붕괴되어 인근 농경지 및 마을로 토사가 유입될 경우, 항공사진에서는 쉽게 판독이 가능하나 호안블럭 유실은 0.4m의 공간해상도를 가진 항공사진에서는 판독이 쉽지 않을 수 있으며, 호안의 돌망태, 돌붙임, 사석 등의 유실은 피해 전 항공사진과 비교분석을 통해 판독이 가능할 수도 있을 것으로 판단된다.

[그림 4] 및 [그림 5]는 제방이 완전히 붕괴되어 인근



[그림 4] 제방 피해 전 항공사진



[그림 5] 제방 피해규모 추출

농경지로 토사가 흘러들어간 피해지역의 피해 전·후의 항공영상으로써 이를 비교·분석하여 피해규모를 판별하여 라인 형태로 피해정보를 표현하고 피해 길이를 추출하였다.

### 3.2 산사태 피해조사

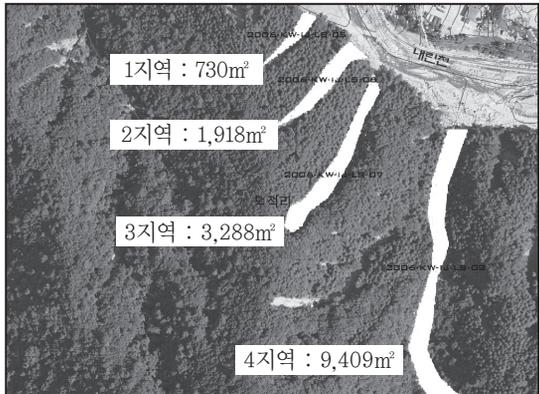
산사태 피해의 경우 피해규모에 따라 다르겠지만,

식생분포가 변화됨으로써 항공사진 상에서 쉽게 식별이 가능하고 피해규모가 크다면, 피해 전 항공사진 없이 피해여부를 어느 정도 확인할 수 있다.

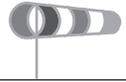
[그림 6] 및 [그림 7]과 같이 산사태 피해전후의 항공사진을 비교·분석하여 피해지역을 식별하고 피해 범위를 폴리곤으로 도시하고 폴리곤 연산을 통해 피해 길이 및 면적 등을 자동으로 추출하였다.



[그림 6] 산사태 피해 전 항공사진



[그림 7] 산사태 피해규모 추출



#### 4. 고고도 영상공간정보 활용

광역적인 피해조사를 위해 RADARSAT-1 SAR, SPOT, 아리랑 2호 위성영상의 영상공간정보를 활용하여 홍수, 산불, 산사태 피해에 대하여 피해지역에 분석 및 면적을 산출하였다.

홍수 피해지역은 RADARSAT-1 SAR 위성영상을 이용하여 2005년 8월 전라북도 정읍지역에 발생한 홍수피해를 분석하였다. SAR 위성영상은 전파를 이용하기 때문에 구름으로 지표면이 가려진 날씨뿐만 아니라 야간에도 피해지역의 촬영이 가능한 장점을 갖고 있어 홍수 및 태풍시 활용이 가능할 것으로 판단된다. 분석에 활용된 취득영상은 피해당시 최대 강우량을 보인 시점과 동일하다.

산불 피해지역은 SPOT 다중분광 위성영상을 이용하여 2005년 4월 강원도 양양지역에 발생한 산불피해를 분석하였으며, 산불의 피해면적 산출은 전정색 위성영상과 다중분광 위성영상에 대해 정확도 향상을 위해 영상융합 한 영상을 이용하였으며, 산불 피해현황은 융합영상의 식생지수의 차를 이용하여 피해면적을 산출하였다.

마지막으로 산사태 피해지역은 아리랑 2호 위성영상을 이용하여 2008년 7월 경상북도 봉화지역에 발생한 산사태 피해를 분석하였으며, 산사태의 피해면적 산출은 고해상도 전정색 위성영상과 다중분광 위성영상에 대해 정확도 향상을 위해 영상융합 한 피해 전·후의 위성영상을 이용하여 산사태 피해지역을 확인한 후 피해지역을 폴리곤으로 면적을

산출하여 산정하였다.

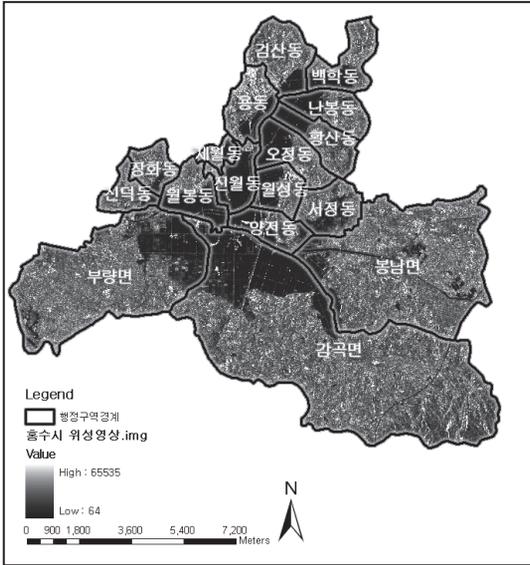
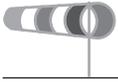
##### 4.1 홍수지역 피해조사

SAR 위성영상은 GammaMap 필터를 적용한 스펙클 노이즈 제거 및 영상중첩을 통해 전체 영상에서 홍수피해 발생 예상지역을 추출한다. R,G,B 밴드에 어떤 시계열 영상을 지정하느냐에 따라 홍수발생지역의 색깔 패턴은 다르게 나타나며, 홍수지역의 분석을 위한 자료처리 과정은 사용된 영상이 SLC 영상이 아니라 SGF 영상이므로 몇 가지의 전처리 과정은 수행할 필요가 없다. 홍수시와 홍수후 영상에 대해 수치지형도에서 등고 레이어를 추출하여 TIN(Triangulated Irregular Network)모형을 생성하고, 그것으로부터 DEM(Digital Elevation Model)을 생성하여 지상기준점과 함께 기하보정 한 후 영상모자이크에 대한 자료처리를 수행하였다.

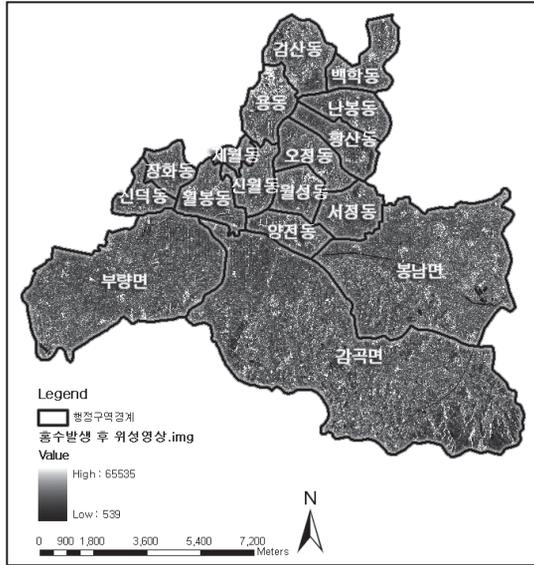
[그림 8]은 전라북도 정읍지역에 홍수시 침수지역에 대해 SAR 위성영상을 촬영하였으며, 침수피해 지역의 자료처리 및 분석한 결과로 [그림 11]과 같은 붉은색으로 침수피해 규모를 추출하였다.

##### 4.2 산불 피해조사

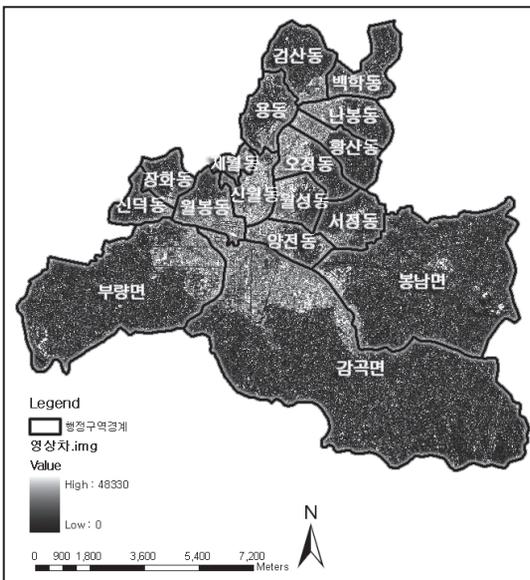
산불 피해면적 산출은 산불 전후 SPOT-4 전정색 위성영상과 다중분광 위성영상에 대해 정확도 향상을 위해 영상융합을 하고 기하보정을 수행한 후, 수치지형도에서 등고 레이어를 추출하여 TIN 모형을 생성하고, 그것으로부터 DEM을 생성하여 지상기준점과 함께 지형보정을 수행하였다. ERDAS



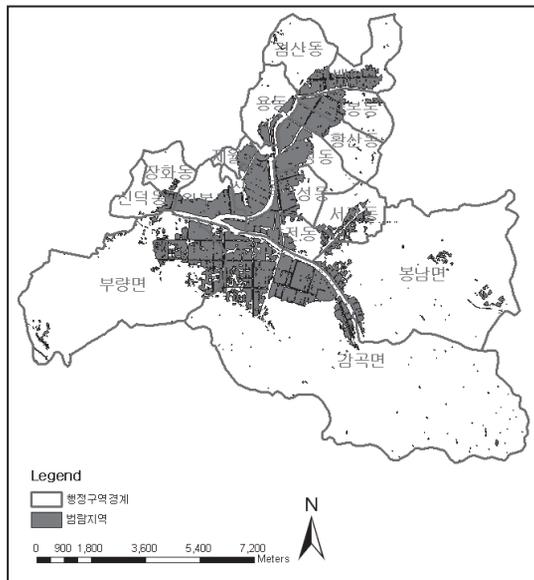
[그림 8] 홍수 시 위성영상



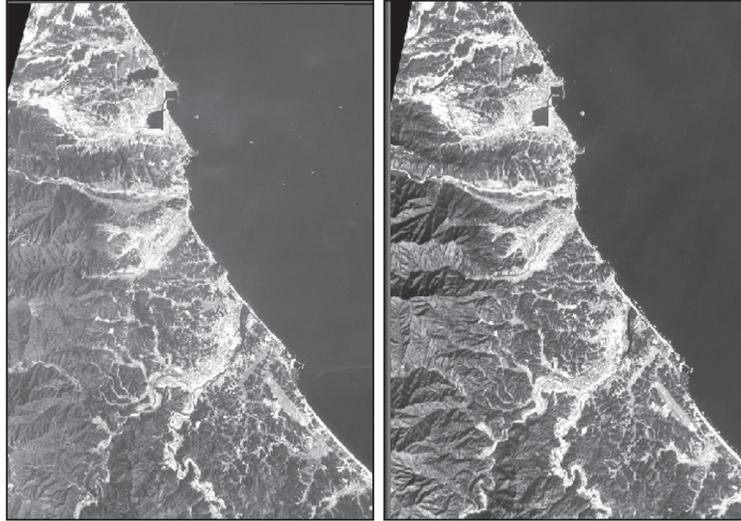
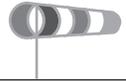
[그림 9] 홍수 후 위성영상



[그림 10] 영상차



[그림 11] 침수피해 규모 추출

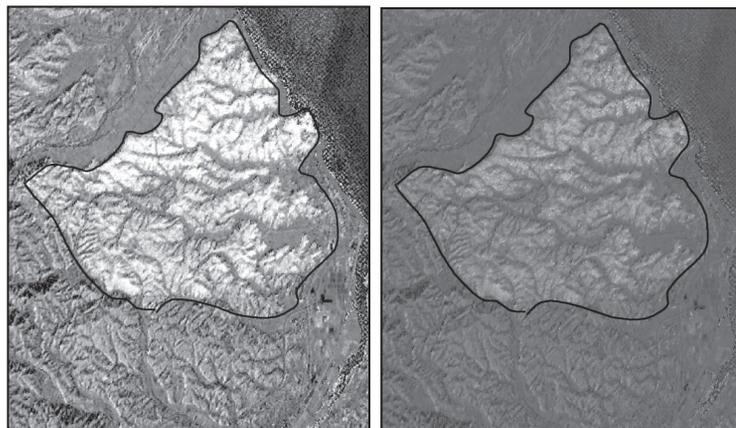


[그림 12] 산불 전·후 정사영상

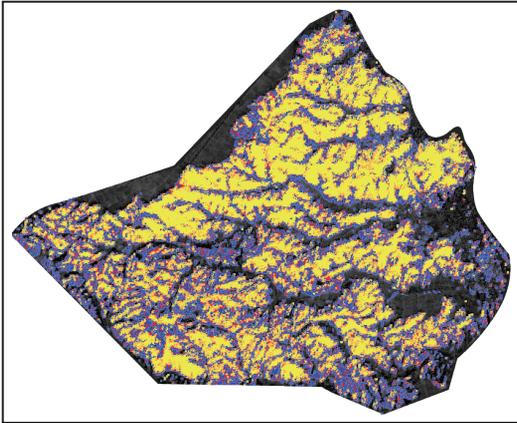
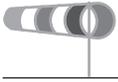
IMAGINE S/W를 사용하여 산불 전·후에 취득한 영상에 대해 DEM의 높이 정보와 기준점으로 정사 영상을 생성하였다.

그런 다음 산불 전·후 다중분광 위성영상을 이

용하여 식생지수치를 계산한 후 산불 피해지역을 추출하여 산불 피해면적을 산출하는 과정에서 정확도를 향상시키기 위해 웨이블릿 변환을 이용한 영상융합 과정을 거쳐 고해상도 다중분광 위성영상을 생성하였다. [그림 13]은 식생지수



[그림 13] 산불 전·후 식생지수 영상소차 영상



임계값	표시 색깔	면적(ha)
0,1 이상	파란색	1232,61
0,15 이상	빨간색	898,07
0,2 이상	노란색	588,23

[그림 14] 산불 피해규모 추출

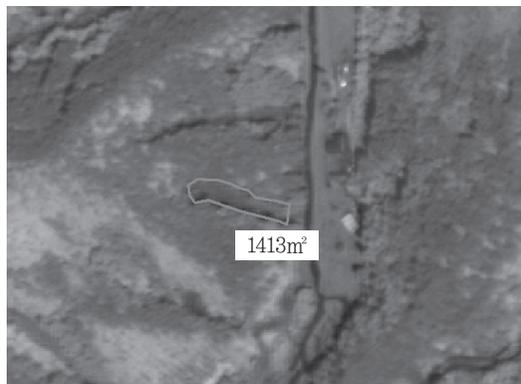
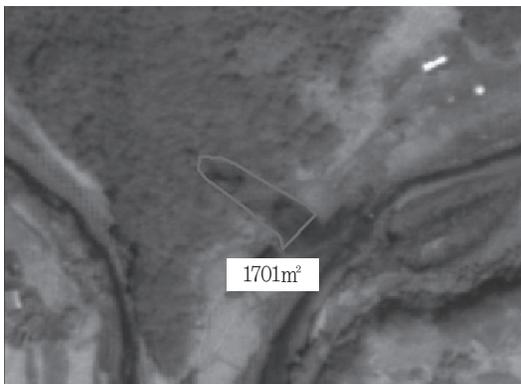
(NDVI:Normalized Difference Vegetation Index)를 이용하여 피해지역을 분류하였다.

[그림 14]는 산불 후 식생지수 영상의 영상소에서 산불 전 식생지수 영상의 영상소의 값을 분석하여 산불 피해 지역으로 추정되는 영상에서 임계 값을 조정하여 산불 피해면적을 추출하였다.

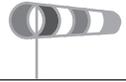
### 4.3 산사태 피해조사

산사태 피해면적 산출은 산사태 피해 전후 아리랑 2호의 전정색 위성영상과 다중분광 위성영상에 대해 정확도 향상을 위해 영상융합을 하고 기하보정을 수행한 후, 수치지형도에서 등고 레이어를 추출하여 TIN 모형을 생성하고, 그것으로부터 DEM을 생성하여 지상기준점과 함께 지형보정을 수행하였다.

[그림 15]는 산사태 피해 전후 퓨전 위성영상을 비교·분석하여 피해지역을 식별하고 피해범위를 폴리곤으로 도시하고 폴리곤 연산을 통해 피해 길이 및 면적 등을 자동으로 산출하였다.



[그림 15] 산사태 피해규모 추출



## 5. 결론

본 고에서는 저고도, 중고도, 고고도에 이르는 다양한 공간영상정보를 기반으로 재해피해조사 등 재해 업무에 활용할 수 있는 방안을 강구하였으며, 도출된 결론은 다음과 같다.

첫째, 최근 군사, 농업, 영화촬영 등 다양한 분야에서 활용되고 있는 무인항공기는 재해정보의 취득이 용이하고 고해상도의 영상을 제공하기 때문에 국부적이고 정밀한 재해피해조사에 활용가능할 것으로 분석되나 피해지역이 광범위한 경우 촬영고도 등의 제약으로 효율성이 저하될 수 있어 재해유형 및 규모에 따라 적용여부를 판단하여야 할 것으로 판단된다. 특히 최근 국내에서도 한국항공우주연구원을 중심으로 HAPS 시스템과 스마트무인항공기를 개발하고 있으며, 많은 민간 부분에서도 무인항공기 개발에 관심을 기울이고 있어 향후 재해업무에 활용이 기대된다.

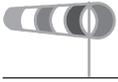
둘째, 유인항공기는 GPS/INS를 이용하여 공간영상의 자료를 생산하는데 효율성과 경제성을 향상시키고 있고 일반적으로 30cm 정도의 고해상도의 영상취득이 가능하여 재해피해 현황 및 조사에 매우 유용할 것으로 판단된다. 특히, 최근 도입되고 있는 항공 LiDAR 기술은 정확한 3차원 지형정보 취득이 가능하므로 도심지역의 건물, 지형, 공공시설에 대한 3차원 위치 정보를 취득함으로써 보다 고차원의 피해정보추출이 가능할 것으로 판단된다. 그러나 항공영상은 기상상태에 영향을 받고 광범위한 촬영에 상당한 비용이 수반되어야 하기 때문에 피

해규모를 고려하여 접근이 곤란하거나 피해가 극심한 지역에 적용가능할 것으로 판단된다.

셋째, 위성영상은 전 세계적으로 지구관측위성에 대한 기술 개발을 지속적으로 추진하고 있으며, 우리나라도 우주개발 중장기 개발 계획 하에 2007년에 다목적실용위성 2호를 성공적으로 발사하였고, 2010년에 아리랑 5호(SAR)가 발사됨에 따라 다양한 종류의 위성영상을 통해 광역적으로 발생하는 대규모 재해피해 현황과 피해규모를 신속하고 효과적으로 파악이 가능할 것으로 판단된다. 현재까지는 유무인항공기에 비해 영상의 해상도가 낮아 주택 및 소규모 피해 등에 대해서는 정밀한 분석이 다소 어려울 것으로 판단되나, 향후 고해상도 영상 기술의 발달과 실시간적인 위성영상 수신 및 분석 시스템 구축이 구축된다면, 재해상황관리 및 대응, 대피 등의 방재의사결정을 지원하고, 피해 조사 및 원인 분석과 이에 따른 대책 수립에 크게 기여할 것으로 판단된다.

넷째, 이와 같은 항공 및 위성영상은 수치지형도, 지적도, 토양도 등 GIS 정보와 통합·운영하여 재해 피해지역의 길이 및 면적 등 피해규모와 함께 보다 세부정보인 지번, 토지이용, 시설물내역, 식생 등을 취득하게 함으로써 피해조사자 및 운영자에게 보다 과학적이고 시스템적인 피해조사 방법을 제공하기 위하여 공간영상정보의 재해추출기법 개발과 함께 각종 GIS DB를 통합적으로 운영하는 응용기술의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

마지막으로, 미국과 일본은 현재 다양한 항공영상



과 지구관측 위성영상을 운영하고 있어 허리케인 및 지진과 같은 재해가 발생했을 때 피해 지역의 공간영상정보 확보가 비교적 용이한 실정이며, 이를 활용하여 각종 피해 정보 지도나 대피안내도 같은 재해 업무에 적극 활용하고 있다. 따라서 우리나라에서도 항공 및 위성영상을 관리·운영하는 중앙

부처 및 지자체, 관련 전문기관들이 보다 효율적으로 협력 체계를 구축하고, 이를 통해 다양한 공간영상정보의 활용이 가능해진다면, 재해 발생시 효과적인 대응과 피해조사 및 원인분석을 통해 피해 주민의 조기 안정 도모와 국가 방재역량 강화에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

## 유/무인항공기를 이용한 기후변화 감시

윤 순 창

서울대학교 지구환경과학부 교수

yoons@snu.ac.kr

김 지 영

국립기상연구소 정책연구팀 기상연구관

jykim@kma.go.kr

### 1. 들어가며

지상관측이나 원격탐사로는 얻을 수 없는 대기의 물리, 화학, 광학적 성질에 대한 자료를 획득하기 위하여 유/무인 항공기를 이용한 관측이 기상 선진국을 중심으로 활발하게 진행되고 있다. 유/무인 항공기를 이용한 대기 관측(이하 항공 관측)의 장점은 비록 항공기 운항에 매우 위험한 기상상태나 공역확보 등의 제한이 있음에도 불구하고 관측자(또는 연구자)가 원하는 시간에 원 위치에서(in situ)의 관측을 할 수 있다는 점일 것이다. 특히 대기의 기상학적(예로, 기온, 습도, 바람) 또는 물리·화학적 성질(예로, 다양한 기체성분 별 농도, 에어로솔이나 구름의 미세물리적 성질) 또는 광학적 성질에 대한 공간분포(즉, 연직 프로파일이나 비행경

로에 따른 분포)는 기상 레이더나 인공위성 등 지상 기반(ground-based) 및 우주 기반(spaceborne)의 원격탐사 자료를 객관적으로 검증하는데 중요한 역할을 하며, 수치모델을 통하여 산출된 다양한 예측자료(예로, 수치예보자료, 황사나 특정 대기성분의 공간적 분포 등)를 역학적 검증(dynamic verification)하는데 효과적으로 활용될 수 있다. 특히, 온실가스나 에어로솔 등 기후변화 원인물질에 대한 감시를 위해서 항공 관측의 필요성이나 중요성이 최근들어 크게 증가하는 추세에 있다. 본 원고에서는 유/무인 항공기를 이용한 기후변화 감시에 대한 국내외 현황을 주요 사례를 중심으로 소개하고, 이 분야의 발전을 위한 앞으로의 방향에 대한 정책제안을 하고자 한다.

## 2. 유인 항공기 관측

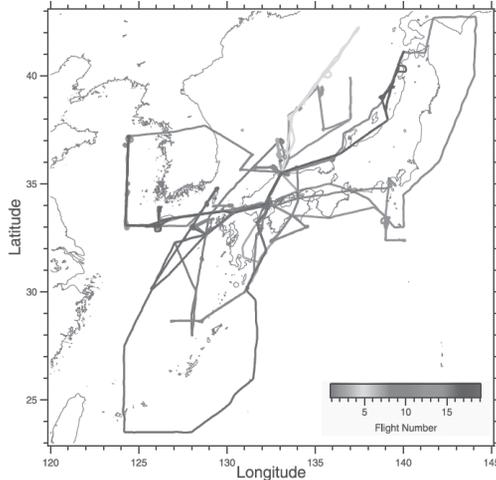
한반도 부근에서 실시된 기후변화 감시를 위한 유인 항공기 관측의 대표적인 사례로 2001년 봄철에 실시된 아시아-태평양지역 에어러솔 특성 집중관측 실험(ACE-Asia, Asia Pacific Regional Aerosol Characterization Experiment)을 들 수 있다(Huebert et al., 2003). ACE-Asia 집중관측 기간 동안 총 3대의 항공기가 동원되었다. 미국 과학재단(NSF, National Science Foundation)이 보유하고 미국 국립대기과학연구소(NCAR, National Center for Atmospheric Research)의 RAF(Research Aviation Facility)에서 운영하는 NSF/NCAR C-130 항공기([그림 1] 참조)와 미국 해군 소속의 CIRPAS Twin Otter 항공기가 일본의 이와쿠니 기지(운영 지휘 본부가 설치됨)에서 이륙하여 우리나라의 제주도 고산, 서해안, 중부내륙 지역 등을 경유하는 등의 다양한 경로를 따라 에어러솔, 미량기체, 대기 복사 플럭스 등 기후변화의 원인이 되는 물질의 농

도분포와 성질을 관측하였다([그림 2] 참조). ACE-Asia 집중관측의 일환으로 C-130을 통한 총 19회의 관측 비행(운영기간: 2001년 3월 31일부터 5월 4일까지)이 실시되었고, Twin Otter는 3월 31일부터 4월 30일까지 총 19회의 비행을 통해 운영되었다.

C-130은 전구기체(SO<sub>2</sub>, 하이드로카본, 오존 등), 에어러솔 화학(OC, EC, 비유기성분), 에어러솔 형태(SEM, TEM), 크기별 개수분포(SMPS, OPC, APS), 광학성질(산란, 흡수, 라이다 소산/후방산란 비), f(RH), 라이다, 파장 별 에어러솔 광학 깊이(AOD), 복사 플럭스 등을 관측하였다. C-130의 상승한계 고도는 약 6km였으며, 제주도 고산 상공 약 100m를 비행하며 지상과의 비교 관측도 수행하였다. 이는 고속으로 움직이는 항공기에 탑재된 에어러솔 측정용 흡입구 부근에서 생길 수 있는 난류나 측정 장비 내에서 발생할 수 있는 관측 자료의 오류를 점검하기 위한 것이다. 이때 지상의 안정적인 관측환경에서 측정된 값이 항공기에서의 관측 값과의



[그림 1] ACE-Asia 기간에 사용된 NSF/NCAR C-130 항공기



[그림 2] 2001년 4월에 실시된 ACE-Asia 관측기간 동안의 미국 NSF/NCAR C-130 항공기의 비행 트랙(총 19회)  
그림출처: Huebert et al.(2003)

비교 시 더 신뢰할 수 있는 값으로 사용된다.

또한 ACE-Asia 관측은 봄철 아시아 대륙 내에서 발생하는 황사의 물리화학적 특성규명과 기후에 미치는 복사강제효과 산정을 주요 목적의 하나로 삼았기 때문에 황사의 입자 크기 범위의 수퍼마이크론(크기가 1 $\mu$ m 이상인 입자) 에어러솔의 관측이 중요시 되었다. 그러나 기존의 항공기 관측 시 제기되었던 수퍼마이크론 에어러솔 측정 시의 문제점을 해결하기 위하여 새로운 저난류 흡입구(LTI, Low Turbulence Inlet, [그림 3] 참조)를 사용하여 관측을 수행하였다. 이와 같이 항공기를 이용한 에어러솔 등의 관측에는 지상에서와는 다른 고속 및 빠른 압력 변화의 환경에 따른 영향을 최소화하여 정확한 관측이 이루어질 수 있도록 하는 것이 매우 중요하다. 또한 선진국에서는 항공기에 탑재할 수 있

는 새로운 기기개발을 지속적으로 함으로써 기후변화 감시 기술력을 향상시키고 있다. 사실 새로운 과학적 발견과 지식의 진보는 새로운 관측 장비의 개발 및 관측 기술의 확보와 밀접한 연관성을 가지고 있다.

미국 해군 소속의 CIRPAS Twin Otter([그림 4] 참조)도 C-130과 유사한 관측을 실시하였다. 라이다, 하이드로카본/할로카본, CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> 등에 대한



[그림 3] 황사와 같은 수퍼마이크론 입자의 시료 채취를 위해 설계된 LTI (Low Turbulence Inlet), ACE-Asia 기간 동안 C-130 항공기에 장착되어 사용되었다. 미국 Denver 대학 (DU)의 B. Lafleur과 R. Seebaugh가 개발자이다.

사진출처 : B.J. Huebert 제공



[그림 4] 미국 해군 소속의 Twin Otter 항공기

측정이 이루어 졌다. 또한 첨단 에어러솔 측정 장비인 Aerodyne aerosol mass spectrometer(AMS)을 통해 황산염 등 여러 종류의 에어러솔에 대한 신속한 측정이 이루어졌다. Twin Otter에서는 모든 측정 장비의 시료를 운반하기 위해 단일의 긴 흡입구를 사용하여 측정을 하였다. Twin Otter의 상승한계 고도는 약 3.7km였다.

또한 호주의 ARA Kingair가 구름에 대한 에어러솔의 영향을 조사할 목적으로 4월 8일부터 5월 1일까지 총 12회의 비행을 통해 운영되었다. Kingair는 가고시마 공항에서 이착륙을 하였고 일본에서 주관한 APEX 실험과도 병행하여 관측에 참여 하였다.

ACE-Asia 기간 동안에는 항공관측과 위성자료와의 비교분석을 위한 비행이 여러 차례 실시되었다. C-130의 경우 MODIS와 9차례, MISR과 6차례, MISR/Local mode와 3차례, SeaWiFS와 7차례, NOAA 14호와 2차례, NOAA 16호와 4차례의 비교

관측을 위한 비행이 있었다. Twin Otter의 경우는 MODIS와 6차례, MISR과 4차례, SeaWiFS와 7차례, NOAA 14호와 2차례 등의 비교 관측을 위한 비행이 실시되었다. 이와 같이 위성이나 기타원격탐사(레이다, 라이더, 섀포토미터 등) 자료와의 비교를 위한 항공기 관측 자료의 가치와 중요성은 매우 크다.

### 3. 무인 항공기(UAV) 관측

유인 항공기 관측과 더불어 무인 항공기를 이용한 기상관측이나 기후변화 감시 연구가 최근 들어 매



[그림 5] Nature지 표지에 소개된 무인항공기를 이용한 기후변화 감시 연구. 대기갈색구름(ABC)가 기후온난화를 증가시킨다는 연구결과가 소개된 바 있다

우 활발하게 수행되고 있다 (그림 5 참조). 무인항공기를 이용한 관측은 유인 항공기와는 달리 항공기 관측을 위한 비용이 적게 들고, 위험한 기상상황에서도 관측이 가능하다는 등의 장점이 있다. 그러나, 항공기에 탑재할 수 있는 장비의 무게에 한계가 있고, 측정 장비가 소형의 제품으로 개발되어야 하고, 관측구역 확보를 위한 별도의 허가과정을 거쳐야 하는 등의 단점이 있다. 그러나 우리나라와 같이 항공기 관측을 위한 재정적 및 시설환경적 지원조건이 열악한 환경에서도 항공관측을 통한 자료 확보를 위해서는 무인항공기를 이용한 기후변화 감시가 현 수준에서의 좋은 대안이 될 수 있을 것이다.

2005년부터 우리나라 제주도 고산에서 실시되고 있는 대기갈색구름(ABC, Atmospheric Brown Cloud) 관측 캠페인은 아시아지역의 에어러솔 등 대기오염 물질이 기후에 어떠한 영향을 주는가를 파악할 목적으로 관측 및 모델연구가 진행되고 있다. 우리나라에서의 ABC 캠페인은 한국과 미국의 주도 하에 진행되고 있는데, ABC 캠페인의 일환으로 실시되고 있는 CAPMEX(Cheju ABC Plume-Asian Monsoon Experiment) 프로그램은 2008년 8월초부터 본격적인 관측을 시작하였다. CAPMEX는 베이징 올림픽 기간 중 중국의 대기오염 저감 효과가 대기와 기후에 어떠한 변화를 가져오는지를 규명하는 것이 연구의 주 목적이다. CAPMEX에서는 지상 관측과 더불어 무인항공기(UAV, Unmanned Aerial Vehicle)를 이용한 기후변화 감시 연구를 추진하고 있다(그림 6 참조). 미국 스크립스 해양 연구소의 V. Ramanathan 교수팀과 공동으로 수행 중인 CAPMAEX 캠페인은 세계에서 두 번째로 실시되는

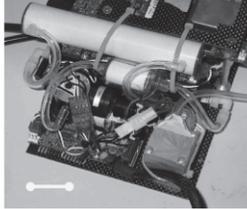
UAV를 이용한 기후변화 감시 연구로서, 대기중에 분포하는 에어러솔이나 구름의 성질을 관측하고 대기의 고도 별 대기복사 플럭스 변화를 측정함으로써 에어러솔과 구름이 기후에 미치는 영향을 연구한다.

CAPMEX 기간 동안에 사용된 UAV에 장착된 주요 관측장비와 UAV의 주요 규격사항은 [그림 7과 표 1]에 제시하였다. 앞서 간단하게 언급한 바와 같이 무인항공기는 항공기에 탑재할 수 있는 유효 탑재량에 한계가 있기 때문에 소형으로 특수 제작된 관측 장비를 사용하여야만 한다. 이러한 관측 장비의 개발 기술은 일부 선진국의 주도로 진행되고 있으며, 앞으로 우리의 기술력을 높여서 따라가야 할 새로운 도전 영역이라 할 수 있다.

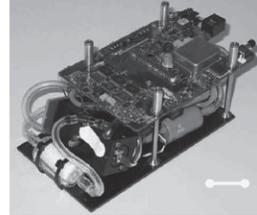


[그림 6] CAPMEX 기간 동안에 사용된 무인항공기(UAV). 앞에서부터 차례로 구름, 복사, 에어러솔 관측용 UAV 플랫폼이다.

# UAV instruments

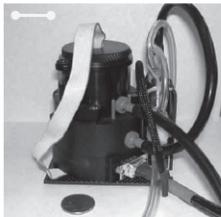


**Optical Particle Counter (580 g)**  
→  $N_{OPC}$ ;  $0.3 < D_p < 3 \mu m$

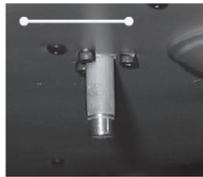


**Condensation Particle Counter (870 g)**  
→  $N_{CN}$ ;  $D_p > 10 nm$

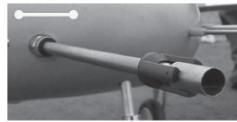
[=] 1 inch



**Aethalometer (820 g)**  
→ absorbing aerosol



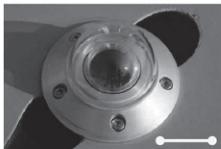
**T/RH probe (50 g)**  
→ Temperature & RH



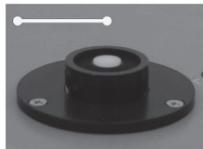
**Aerosol inlet & splitter (150 g)**  
→ unbiased aerosol sampling



**Cloud Droplet Spectrometer (1.4 kg)**  
→ distr.  $1 < D < 50 \mu m$



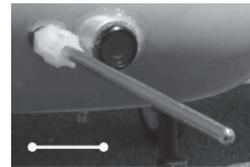
**Pyranometer (190 g)**  
→ irradiance  $0.3 - 2.8 \mu m$



**PAR radiometer (45 g)**  
→ irradiance  $400 - 700 nm$



**LWC probe (450 g)**  
→ Cloud water ( $g m^{-3}$ )



**Gust probe (400 g) & video camera (280 g)**  
→ turbulence & cloud targeting

[그림 7] CAPMEX 기간에 사용된 UAV에 장착된 주요 관측 장비  
자료출처: V. Ramanathan 교수 제공

## 4. 상업용 항공기를 이용한 관측

상업용 항공기를 이용한 기후변화 감시의 대표적인 예로 CARIBIC(Civil Aircraft for the Regular Investigation of the Atmosphere Based on an Instrument Container)을 예로 들 수 있다. 1997년부터 2002년까지 보잉 767을 이용하여 대륙간 비행에 자동화된 측정 컨테이너를 탑재하여 미량기체와 에어러솔의 분포를 관측한 이후, 2004년 12월에는 이전 보다 확장된 정규관측 비행이 CARIBIC을

통해 실시되었다([그림 8과 9] 참조, [www.caribic-atmospheric.com](http://www.caribic-atmospheric.com)). 에어버스 A340-600 항공기를 사용하여 이전 보다 강화된 항공관측이 독일의 Lufthansa 항공사를 통하여 가능하게 되었다. 새로운 CARIBIC 시스템의 수명은 2005년 기준으로 약 10년으로서 앞으로도 수 년간 계속적으로 운영이 될 계획이다.

유럽과 일본의 과학자들은 여객용 항공기를 이용한 다양한 대기화학 연구 및 감시용 프로젝트를 개

[표 1] CAPMEX 기간 동안 사용된 UAV의 주요 사양

**Manta B Specifications**

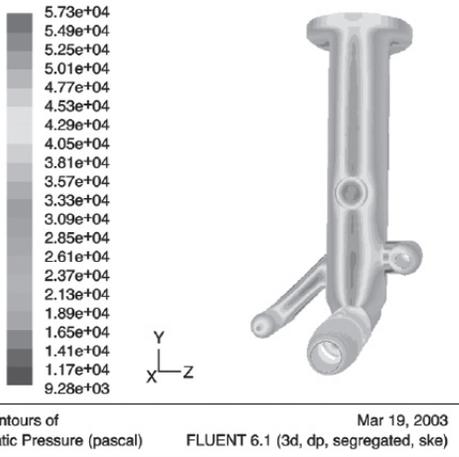
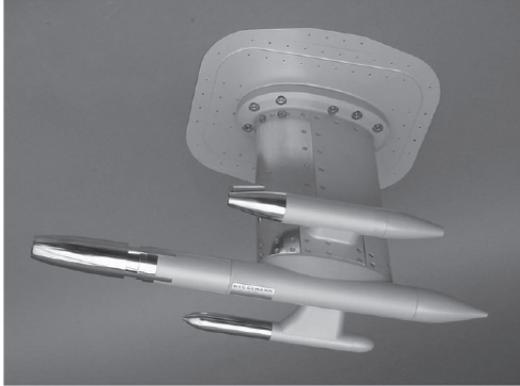
Parameter	Value (U.S.)	Value (Metric)
Maximum Gross Takeoff Weight (MGTW)	52 lbs	23.5 kg
Nominal Mission Takeoff Weight (NMTW)	45 lbs	20.4 kg
Nominal Mission Endurance (87 octane gasoline)	6+ Hours	
Fuel Type	50:1 Gasoline/Oil Pre-Mix	
Airspeed (Cruise @ NMTW)	39 - 70 knots	72 - 130 kph
Airspeed (Dash - Level Flight @ NMTW)	70 knots	130 kph
Airspeed (Max. Endurance @ NMTW)	39 knots	72 kph
Airspeed (Stall @ NMTW)	35 knots	64 kph
Airspeed (VNE @ NMTW)	110 knots	203 kph
Navigation	DGPS/GPS, DGPS/GPS/INS <sup>1</sup>	
Service Ceiling	16,000 feet MSL	4,870 meters
Launch	Wheeled, Vehicle Based, or Launcher (Coming Soon)	
Recovery	Parachute or Gear	
Payload (EO)	PTZ Daylight Camera	
Payload (IR)	PTZ IR camera	
Command and Control Radio (C2)	Up to 2 Watt, Discrete/Frequency Agile, Military Band / ISM Band Radio Modem (TX/RX)	
Command and Control Radio Range	15-20 nm, Line of Sight (LOS)	24-32 km, Line of Sight (LOS)
Video Transmitter	2 Watt (Optional 5W), S-Band FM Video TX With Optional 19.2kbps Data Carrier	
Video System Range	15-20 nm, LOS	24-32 km, LOS
Payload Capacity	Up To 15.0 lbs	Up To 6.8 kg
Onboard Power	BA5590 LiSO2 Battery (One or two batteries can be installed)	
Onboard Power Capacity	14.4V, 15 or 30 AH	
Nominal Mission Fuel Capacity	1.9 Gallons	7.2 Liters
Engine	2-Stroke Reciprocating Gasoline Engine (87 Octane) Reverse Rotation	
Ignition	Electronic, Capacitive Discharge	
Propulsion	18x12, Tractor Propeller (In Reverse Rotation)	
Starting Method	Hand-Held Electric Starter (12V)	
Shipping Container Size	49" x 52" x 24"	1.24m x 1.3m x 0.61m

<sup>1</sup> - GPS/INS option available Q1, 2006



3292 East Hemisphere Loop • Tucson, Arizona 85706  
T: 520.573.6300 • F: 520.573.2057 • www.aertucson.com

050620

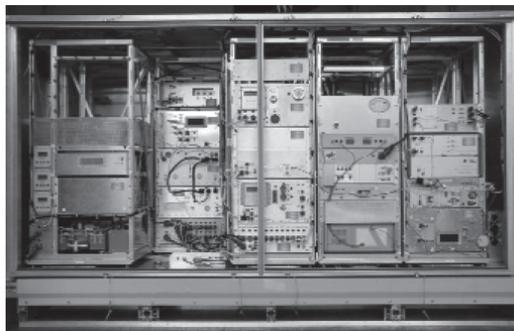


[그림 8] 상업용 항공기에 탑재된 H<sub>2</sub>O, 에어러솔, 미량기체 측정을 위한 3개의 개별 프로브  
 자료출처: Brenninkmeijer et al.( 2005).

발하고 있다. 이는 집중관측이 특정지역의 단시간에 대한 항공기 관측 결과를 제공하는 한계를 벗어나, 전지구적이고 장기적인 감시를 가능하게 한다.

CARIBIC은 한 달에 1 또는 2회에 걸쳐 전체 규모의 자동화된 항공기 탑재 실험실 컨테이너를 운반하는 한 대의 항공기를 사용한다.

MOZAIC(Measurement of Ozone and Water Vapor by Airbus In-Service Aircraft; [www.aero.obs-mip.fr/mosaic](http://www.aero.obs-mip.fr/mosaic))이나 JAL 재단([www.jal-foundation.or.jp/](http://www.jal-foundation.or.jp/))는 대기화학 관측을 위한 항공관측의 다른 프로그램들이다. MOZAIC은 5대의 Airbus 340-300기를 이용하여 관측을 시작하여 2001년에는 NO<sub>y</sub>나 CO 분석기를 탑재한 관측으로 확장한 바 있다. MOZAIC은 유럽위원회(European Commission)의 지원을 받으며 보다 다양한 기체성분이나 에어러솔 관측을 위한 계획을 지속적으로 발전시켜나가고 있다. JAL은 일본의 기상연구소와 국립환경과학원이 주축이 되어 일본과 호주 간에 운행되고 있는 보잉 747 항공기에 이산화탄소 측정을 위한 시료채취를 미국 NOAA와 협력하여 수행하고 있다.



[그림 9] 상업용 항공기에 탑재된 자동 관측용 컨테이너. 3.1m의 폭과 1450kg의 무게를 가짐.

## 5. 맺는 말

기상이나 기후변화 감시를 위한 관측기술이 급속하게 발전함에 따라 그와 병행하여 자연 현상에 대한 이해와 예측 능력(혹은 모델링 능력)도 크게 발전하고 있다. 지금까지 우리나라에서는 지상관측에 대부분 의존하고 있고(제한된 범위에서 기상레이더 등 원격탐사 관측 자료가 사용가능 함), 외국으로부터 수신한 위성자료 등에 대부분 의존하고 있는 실정이다. 최근에 들어서는 인공강우, 황사, 대기환경 감시를 위한 항공기 관측이 부분적으로 실시되고 있고, 미국의 연구팀과의 공동연구를 통한 UAV를 이용한 관측이 성공적으로 진행되고 있다.

항공기를 이용한 대기의 상태(온도, 습도, 바람 등)나 구름관측(구름의 미세물리적 특성 등), 에어리솔(물리적 특성, 화학이나 광학적 특성)이나 기체성분(온실가스, 1차 또는 2차 오염물질 등) 관측, 대기복사 플럭스 또는 이들 간의 다양한 상호작용의 관측과 이해는 대기과학의 근간을 발전시키고 수치예보나 화학수송모델링(CTM, Chemical Transport Modeling) 기술을 진단하고 검증시키며, 새로운 모델 기법을 시험하고, 향상시키는데 핵심적인 역할을 할 수 있다. 또한 원격탐사에 사용되는 자료를 가장 잘 복원(retrieval)시키는데도 항공 관측이 핵심적인 기여를 할 수 있다. 그러나, 항공기에 탑재된 장비를 효과적으로 운용하고, 질적으로 충분히 검증된 자료를 확보하기 위하여 향후에 다양한 노력이 필요할 것으로 사료된다. 항공기 관측을 위한 기술력을 조기에 확보하기 위하여 기상관측 전용 항공기의 도입이 시급하며, 대규모의 국제공동 관

측 캠페인에 적극적으로 참여하여 최신의 항공기를 이용한 대기관측 기술을 습득하는 것이 중요할 것이다. 또한 무인항공기(UAV)를 이용한 대기관측이 보다 광범위하게 실시될 필요가 있다.

## 사사

이 연구는 2008년도 국립기상연구소 정책연구팀의 주요사업 “기상기술 전략 개발 연구”의 일환으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- Blomquist et al., 2001: An evaluation of the community aerosol inlet for the NCAR C-130 Research Aircraft. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 18, 1387-1397.
- Brenninkmeijer et al., 1999: CARIBIC-Civil aircraft for global measurement of trace gases and aerosols in the tropopause region. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 16, 1373-1383.
- Brenninkmeijer et al., 2005: Analyzing atmospheric trace gases and aerosols using passenger aircraft. *EOS*, 86 (8), 77-88.
- Huebert, B.J., et al., 2003: An overview of ACE-Asia: Strategies for qualifying the relationships between Asian aerosols and their climatic impacts. *J. Geophys. Res.*, 108, doi:10.1029/2003JD003550.
- Ramanathan, V., M.V. Ramana, G. Roberts, D. Kim, C. Corrigan, C. Chung, and D. Winker, 2007: Warming trends in Asia amplified by brown cloud solar absorption. *Nature*, 448, 575-578.



## 미국의 첨단 기상관측 항공기(HIAPER) 운영 현황

김 지 영

국립기상연구소 정책연구팀 기상연구관  
jykim@kma.go.kr

박 소 연

국립기상연구소 정책연구팀 연구원  
imsyeon@metri.re.kr

### 1. HIAPER 란?

HIAPER(High-performance Instrumented Airborne Platform for Environmental Research)는 미국 국립과학재단(NSF, National Science

Foundation)과 국립대기과학연구소(NCAR, National Center for Atmospheric Research)가 1980년대 초부터 기획하여 2001년 Gulfstream과 계약을 체결한 뒤 2005년 완성시킨 고성능의 연구용 기상 관측 전용항공기이다(<http://www.hiaper.ucar.edu/>).



[그림1] Gulfstream V의 “Green” (basic) : HIAPER 기체



오랜 기간 동안 이루어져 온 항공기를 이용한 기상 관측 기술의 발전과 병행하여, 연구용 항공기 또한 발전을 거듭하여왔다. HIAPER는 그동안의 계속적으로 반복·제기되어 온 과학적 요구의 대안으로 미국에서 만들어진 최신의 연구용 항공기로 콜로라도 보울더에 있는 NCAR에 의해 운영되고 NSF를 통해 지원되고 있다. 본 원고에서는 미국의 최신형 연구용 기상 관측 항공기의 운영 현황을 살펴 봄으로써 앞으로 국내에 도입될 계획인 기상관측 전용항공기 도입에 필요한 정보를 제공하고자 한다.

## 2. HIAPER의 구상 배경 및 기획·개발과정

### 1) 구상 배경

미국 NSF와 NCAR는 대기와 해양에 대하여 좀 더 정확한 과학적인 연구를 수행할 목적으로 중소형 제트 항공기를 이용한 지구 대기의 연구를 구상하게 되었고, 실제적으로 접근하기 어려운 기상환경(예로, 심한 악기상 발생지역 등)에 대한 연구의 과학적인 대안을 위해 NSF는 ‘환경연구를 위한 고성능 항공기반프로젝트(HIAPER)’를 제안했다. 1997년 8월, NSF는 국립과학위원회(NSB, National Science Board)에 HIAPER 개발 프로젝트 계획을 제출한 뒤 2001년 항공기 개발 프로젝트의 승인을 받아 이에 맞는 고성능의 항공기 개발 프로젝트를 시행하게 되었다.

### 2) 기획·개발과정

- 1980년대 초 : NSF, NCAR등이 기반 과학의 필요성을 거듭 표명
- 1998년 : NSF가 주요 연구 장비 및 시설을 위한 자금을 보증
- 2000~2001년 : 초기 자금 수여 - HIAPER 프로젝트 시작
- 2001년 : Gulfstream과 협상을 체결, 국립과학위원회(NSB)가 승인
- 2002년 : NSF의 주요 연구 장비와 설비건설 기금을 통해 구입 승인, 워크샵 개최
  - ※ 광학문서가 적용되는 포트, 조리개 접시, 동체 하드 포인트, 앞쪽의 동체 패드, 윙 하드 포인트, 연구 전원 시스템 완료
- 2003년 : 나머지 자금 수여
  - ※ 완료시 HIAPER과 새로운 연구 기계사용 관련 비용(약 8천만 달러)
- 2004년~2005년 : 항공기의 인테리어와 외관을 완성
  - ※ 데이터 수집 시스템, 데이터 표시 및 소프트웨어, 위성 통신 시스템 등
- 2004년 : 탑재 기계 개발에 따른 14명의 주요 연구자에 대한 수상을 함([표 1] 참조).
- 2005년 : HIAPER 첫 번째 연구가 완료
  - ※ 자문기구로 구성된 대학, NCAR, NSF그리고 NOAA로부터 상황 보고를 하고 과학적 감시와 지도는 HIAPER 자문 위원회(HAC, HIAPER Advisory Committee)의해 실시한다.
  - ※ NCAR의 HIAPER 프로젝트 연구소(HPO, HIAPER Project Office)에서 항공기의 기본적인 사항을 관리·책임 운영한다.



[표 1] NSF HIAPER 기계 개발 AWARDS

기계	주요연구자	설명
Small ice detector (SID)probes	A.Heymysfield (UCAR/NCAR)	빛 산란 입자를 측정하는 기계, 입자의 크기를 1 μm ~ 70 μm 분류하여 나누고 구름 혼합계에서 과냉각 물방울과 빙정을 식별
HIAPER Atmospheric Radiation Package (HARP)	R. Shetter (UCAR/NCAR)	스펙트럴 라인 측정과 파장별 복사량 측정
Fast ozone instrument	T. Campos (UCAR/NCAR)	질소산화물과 함께 오존의 화학발광성의 반응 방법을 사용하여 5 Hz일때 오존의 혼합비 정량
Trace Organic Gas Analyzer(TOGA)	E. Apel (UCAR/NCAR)	OVOCs, NMHCs, Halocarbons 측정
HIAPER Advanced Whole Air Sampler (AWAS)	E. Atlas (University of Miami)	미량 기체 화학 추적 분석과 동위원소 구성 분석을 위해 대기 중의 공기 시료 채취
Quantum Cascade laser spectrometer for HIAPER	S. Wofsy (Harvard University)	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> 및 CO (N <sub>2</sub> O optional)의 시간대별 농도
Autonomous airborne ozone photometer for the HIAPER aircraft	T. Rawlins (PSI, Inc.)	오존의 혼합비 시간대 측정(자료 전송속도는 1 Hz)
High spectral resolution lidar	E. Eloranta (University of Wisconsin, Madison)	구름보정 및 수직단면과 에어리솔의 광학적 깊이, 후방산란, 편광소멸 등 측정
GPS multistatic and occultation instrument for HIAPER	J. Garrison (Purdue University)	대류권에서의 수증기 분포 측정, 해수면 및 토양 수분 측정
Vertical Cavity Surface Emitting Laser (VCSEL)Hygrometer	M. Zondlo (Southwest Sciences)	대류권과 성층권 하부에서 최소 주파수 25Hz때 수증기농도 측정
Time-of-Flight Aerosol Mass Spectrometer(ToF-AMS)	J. Jimenez (University of Colorado at Boulder)	반응성을 갖은 종의 전체 PM1성분의 질량측정, 반응성을 갖은 종의 PM1성분의 분해된 크기, 떠다니는 단일미립자, 산란된 빛 속에서의 상관 현상 등을 측정
Microwave Temperature Profiler (MTP)	M. J. Mahoney (JPL/Caltech)	55.5 GHz와 58.8 GHz 사이 주파수 사용, 항공기 비행고도에서의 온도에 대한 연직분포 검색
Chemical Ionization Mass Spectrometer (CIMS)	G. Huey (Georgia Institute of Technology)	질산염 등, 표준 음이온 속의 이산화황의 측정, 양이온 속의 메탄올, 아세트알데히드, 아세토니트릴, 아세톤과 같은 유기물 측정
2D-S (Stereo) and Cloud Particle Imager (CPI) Probe	P. Lawson (SPEC, Inc.)	미립자의 직교하는 두 개의 물질 제공, 미립자의 8개 조각부분 제공



[표 2] HIAPER 항공기의 세부 사항

항공기의 성능			
최대 범위 <sup>1</sup>	6,500 nm	12,046 km	
장거리 순항 속도	Mach 0,08	459 ktas	851 km/h
이륙 거리 <sup>2</sup>	5,990 ft	1,826 m	
최대 허용 마하수	Mach 0,885		
착륙 거리 <sup>3</sup>	3,170 ft	966 m	
초기 순항 고도	41,000 ft	12,497 m	
최대 순항 고도	51,000 ft	15,545 m	
<sup>1</sup> Mach 0,80, 8 passengers, 4 crew, NBAA IFR reserves			
<sup>2</sup> SL, ISA, MTOW			
<sup>3</sup> SL, ISA, MLW			
항공기 무게			
최대 이륙 중량	90,500 lb	41,051 kg	
최대 착륙 중량	75,300 lb	34,156 kg	
최대 영 연료 중량	54,500 lb	24,721 kg	
기본적인 운영 무게 <sup>1</sup>	48,000 lb	21,773 kg	
최대 페이로드	6,500 lb	2,948 kg	
최대 연료 탑재량	1,600 lb	726 kg	
최대 연료 무게	41,300 lb	18,734 kg	
Allowance for outfitting/ operating items	8,500 lb	3,856 kg	
항공기 디자인 기준			
엔진 (2)	BMW Rolls-Royce BR710		
등급 이륙 추력 ea	14,750 lb	65,6 kN	
최대 승객	19		
승객 <sup>1</sup>	13-15		
기내 압력 차	10,17 psid, 6,000 ft cabin at 51K ft		
<sup>1</sup> Typical Outfitting			
항공기 인테리어			
기내 출입문 치수	36 in × 60 in	91,4 cm × 152,4 cm	
기내 길이	50 ft 1 in	15,3 m	
기내 높이	6 ft 2 in	1,9 m	
기내 너비	7 ft 4 in	2,2 m	
기내 볼륨	1,669 ft <sup>3</sup>	47,3 cu m	
수화물 칸	226 ft <sup>3</sup> 226	6,4 cu m	
항공기 외부			
길이	96 ft 5 in	29,4 m	
높이	25 ft 10 in	7,9 m	
날개	93 ft 6 in	28,5 m	



[표 3] HIAPER 항공기내 시스템

기능	설명
고속 저출력 프로세서	
데이터 샘플링	효율적 표본 추출 및 처리
녹음, 출력, 항공기 관성항법체계, GPS	
데이터 표시 및 액세스	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전류 및 기획 기능 소프트웨어 포함</li> <li>· 샘플의 실제 시간데이터 표시제공</li> <li>· 샘플의 데이터 품질 체크 제공</li> <li>· 불량데이터 값 표시</li> <li>· 지상에서 원격으로 유통 및 이미지를 기록</li> <li>· 디지털 비디오카메라 표시/ 이미지 저장</li> </ul>
의사 소통 시스템(ICS)	설치된 8개 방송국에 시스템을 제공
상태 매개 변수와 공기 모션 감지 시스템	돌풍(3차원바람)시스템, 주변 압력 및 온도, 이슬점 감지
위성 통신 시스템	목소리 및 팩스 통신, 데이터 전송

### 3. 탑재장비

#### 1) HIAPER 항공기의 성능

HIAPER는 약 6000 파운드의 유효탑재량(payload)과 함께 약 22분안에 41,000피트를 올라갈 수 있는 기동성을 가지고 있다. 항공기의 순항 고도로 인증된 최대 높이는 51,000 피트이다. 얼마만큼의 고도에 어느 정도의 유효탑재량(payload)을 가지고 대류권계면 가까이 갈 수 있는냐 하는 것은 대기를 연구하는 과학자들에게 매우 중요한 요소이다.

다음의 [표 1]은 HIAPER 항공기의 성능, 무게, 디자인, 인테리어, 기체 외관 등의 세부 사항이다.

각각 날개 아래에 3개의 하드 포인트와 다른 형태

의 센서(예를 들면, 에어러솔과 구름 입자 샘플링 기계장치들)가 설치된 환경연구를 위한 설계가 이루어졌다. 몇 개의 동체 하드 포인트와 다양한 물건을 배치해 놓고, 안테나, 소형 장비 및 기타 필요에 따른 항공기 기내에 설치될 좌석과 선반을 설치했으며, 연구용 장비 전원 및 자료 전송을 위한 배선이 설치 되어있다.

#### 4. HIAPER의 연구 분야

HIAPER는 지구 환경에 대한 이해를 증진시키는 중요한 열쇠 역할을 한다. 향상된 예측의 개선을 통해 지구 대기의 화학종, 에어러솔, 구름 입자 등의 상호작용에 따른 환경변화를 관측 및 수집하고 분석하여, 지표, 바다와 빙하 등의 환경뿐만 아니라



방사선 정보 또한 추적이 가능하다.

대류권과 성층권 영역에서 대류 시스템 등을 이해할 수 있으며, 이러한 맥락에서 이 항공기를 사용하여 대기 화학 및 기후시스템, 생물권구조의 모니터링을 할 수 있다.

- 날씨와 물의 순환 : 강수량의 예측이 가능하며, 사이클론과 강우전선 등의 향상된 물리적 특성의 이해를 통한 수치모델예측을 향상 시킨다. 또한 폭풍 시스템, 열, 수증기의 수송 매커니즘 등에 대한 예측이 가능하다. HIAPER는 항공기의 특성과 성능을 현대의 현장에 원격 센서를 통하여 다양한 고도에서 측정하고 수집하여 이러한 필요를 만족시킨다.
- 대규모 기상 시스템 : HIAPER관측 연구를 통해 대류권계면과 성층권 부근에서의 대형 폭풍 시스템과 넓은 범위의 상호 작용과 관련된 중력과 과정을 관찰하여 대기역학을 보다 잘 이해할 수 있게 한다.
- 인공위성 센서를 통한 항공기 관측 : 글로벌 수증기 측정을 통한 데이터를 수집하며, 주간 또는 야간의 사이클론과 전체 대류권 수증기의 연직분포를 측정한다. 이러한 측정은 전지구 모델에 활용되며, 화학물질이나 미세 물질의 구체적인 수명을 알 수 있게 한다.
- 화학종 및 에어러솔 측정 : 에어러솔의 직간접적인 영향에 따른 기후 변화와 성층권 전역과 대

류권 오존, 탄화수소, 할로겐 화합물 등의 전지구적 및 지역 분포와 대기 오염 배출 등의 공간적 범위를 파악한다.

- 광범위한 첨단기계의 사용 : 과학 방송국, 커뮤니케이션 기술, 그리고 많은 원격 감지 응용 프로그램을 지원한다.

## 5. 맺는 말

본 원고에서는 미국의 NSF/NCAR에 운용중인 최신의 첨단 기상연구 전용 항공기인 HIAPER의 기획과정, 주요 자원과 활용현황에 대하여 간단하게 살펴보았다. HIAPER에 탑재된 센서의 종류나 기능들, HIAPER가 참여하는 관측 프로그램에서의 역할, HIAPER의 유지관리와 운영 시스템, 학계의 연구자들의 참여와 활용을 위한 창구 협력 등은 앞으로 도입될 우리나라의 연구용 기상 관측 전용 항공기의 도입·운영·활용의 극대화에 좋은 지침서가 될 것이다. 특히, 연구용으로 운영되는 항공기에 관련된 정보는 앞으로 미국의 기상기술력 발전 방향과 투자 전략을 파악할 수 있는 좋은 계기가 될 수 있기 때문에 우리가 더욱더 예의주시하여야 할 것으로 생각된다.



## 미국의 탄소 추적자 시스템 개발 현황 및 전략

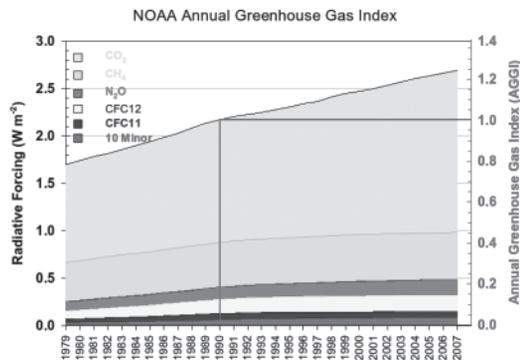
조 천 호

NOAA/ESRL Global Monitoring Division에 파견 중  
choch@metri.re.kr

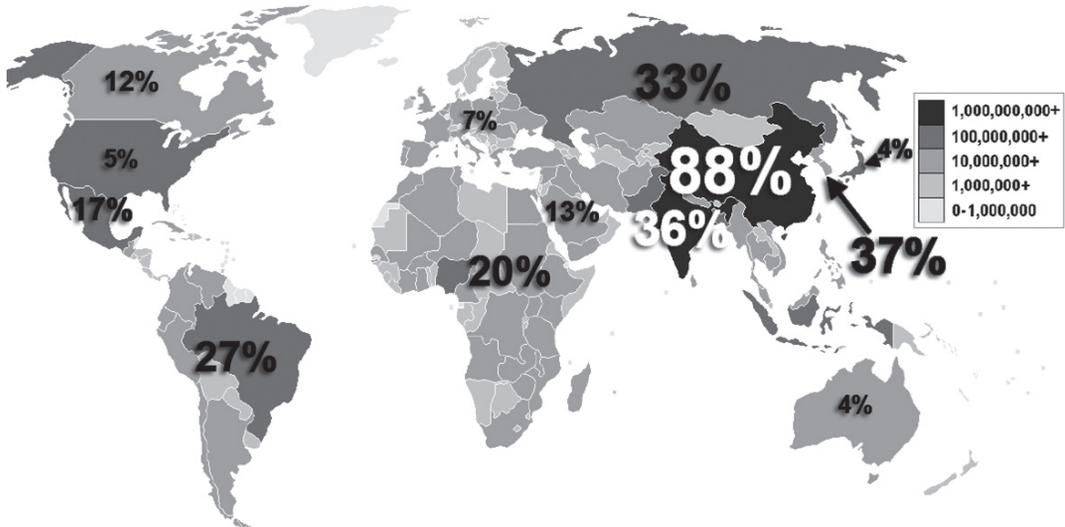
이산화탄소 현재 농도에 왜 대기과학이 연  
관되는가?

산업혁명 이후, 특히 최근 들어 급격히 온실 가스  
농도가 증가하여 이에 따른 지구 온난화에 관심이

커지고 있다. 이 온실 효과는 복사량의 변화로 평  
가할 수 있다([그림 1]). 미국 해양 대기청 지구시스  
템 연구원(NOAA/ESRL)에서 전 세계 온실 가스  
농도 자료를 이용하여 복사 강제력과 온실 가스 지  
수(Annual Greenhouse Gas Index: AGGI)를 매



[그림 1] 1750년 이후 증가된 온실 가스의 복사 강제력. NOAA 온실 가스 지수는 오른쪽 축에 1990년을 1로 기준한다.  
출처: NOAA/ESRL Global Monitoring Division



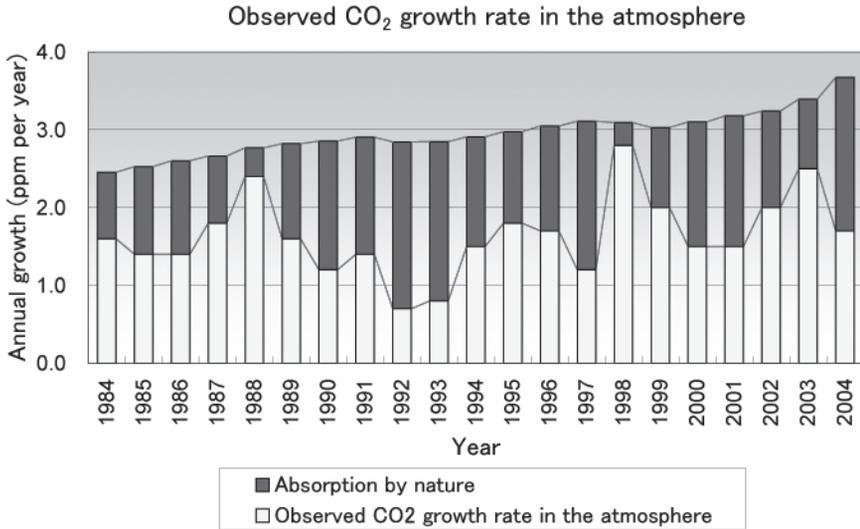
[그림 2] 국가별 인구와 앞으로 10년 동안 인구 1인 당 필요한 총 에너지의 증가율.  
출처: U.S. Census Bureau, International Data Base, U.S. Energy Information Administration, International Energy Outlook 2006.

년 발표하고 있다 (Hofmann D. J. et al.,(2006)). 이에 따르면, 5 종류의 주요 온실 가스가 산업혁명 이후 증가한 직접적인 복사 강제력에 약 97%를 기여한다. 나머지 3%는 10 종류의 미량 불화 가스가 차지한다. 주요 5 종류의 온실가스 중 CO<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub>O가 최근까지도 지속적으로 증가하고 있다. 온실 가스에 의한 복사 강제력은 1990년과 비교해 2006년에 약 22%증가 (~0.5 watts m<sup>-2</sup>)하였고 이 중 CO<sub>2</sub>가 이 증가량 기여의 약 80%(~0.4 watts m<sup>-2</sup>)를 차지한다.

온실 효과의 대부분을 차지하고 있는 CO<sub>2</sub> 농도 증가에 대한 국제적 대응으로 ‘기후변화협약’과 ‘교토 의정서’와 같은 저감 정책들이 수립되었다. [그림 2]

에 국가별 인구와 앞으로 10년 동안 인구 1인 당 필요한 총 에너지의 증가율을 나타내었다. 우리나라는 앞으로 필요한 에너지 증가율이 중국 다음으로 높다. 이는 국제적인 온실 가스 저감 정책이 실질적으로 발효되는 경우, 우리나라는 국제적 관심과 저감 정책으로 인한 어려움이 커질 가능성이 있음을 의미한다.

이러한 저감 정책의 기초 자료로서 현재 화석연료 연소에 의한 CO<sub>2</sub> 배출로 인한 순환의 교란을 파악해야 하는데 이 때 대기과학의 지식이 기반이 된다. 이를 설명하기 위하여 [그림 3]에 화석 연료의 배출량으로부터 계산한 CO<sub>2</sub> 농도 증가율과 실제 대기 CO<sub>2</sub> 농도 증가율의 경년 변동을 나타내었다.



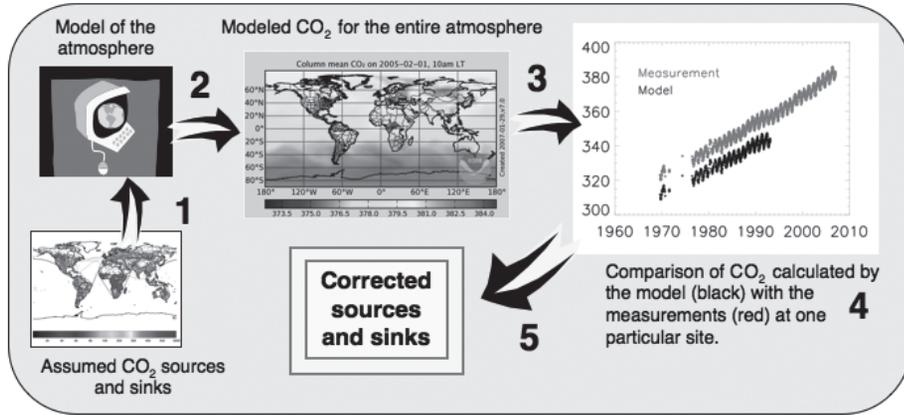
[그림 3] 인위 기원 의한 배출량에서 예상되는 CO<sub>2</sub> 농도의 년 증가율 (막대그림의 높이)와 실제 관측된 대기 중 CO<sub>2</sub> 농도의 년 증가율 (황색 부분)과 자연에 의해 흡수된 CO<sub>2</sub> 부분 (녹색 부분)의 경년 변동. CO<sub>2</sub> 배출량은 미국 CO<sub>2</sub> 정보 분석 센터(CDIAC)가 에너지 배출량으로 부터 환산한 값이며 관측 농도 년 증가율은 세계 온실가스 진단 센터(WDCGG)의 분석 결과이다. 출처: 일본기상청(JMA)

인위적으로 배출된 CO<sub>2</sub>가 그대로 대기 중 CO<sub>2</sub> 농도의 증가에 반영되지 않는다. 대기 중 CO<sub>2</sub> 증가율은 화석연료 배출에 의한 증가율보다 작으며, 해마다 배출 증가율은 변동이 작은 반면 관측된 대기 CO<sub>2</sub> 증가율은 크게 변동한다. 이는 배출된 CO<sub>2</sub>가 해양이나 식생·토양에 흡수·축적되며 그 양이 기후 조건이나 해수온도 등에 의해 매년 바뀌기 때문에 대기과학과의 연계가 필수적이다.

### 탄소 추적 시스템은 어떻게 작동하는가?

CO<sub>2</sub>가 언제 어디서 얼마나 어떻게 배출·흡수되는

지를 정확하게 산출하기 위해서는 대기와 다른 탄소 저장소간의 CO<sub>2</sub> 순환을 알아야 한다. 그러나 불행하게도 CO<sub>2</sub> 순환은 여러 시공간 규모에서 일어나므로 정확하게 측정하는 것이 불가능하다. 그러므로 CO<sub>2</sub>와 대기·해양의 상태에 대한 여러 부분의 한정된 정보를 종합하는 시스템 도구를 통해 이 순환들을 추론할 수 있어야 한다. 그 가능성의 첫 번째로 관측된 대기 CO<sub>2</sub> 농도의 시공간 분포 안에는 탄소 저장소의 순환 정보가 포함되어 있다. 두 번째로 이 들(때론 성기거나 불완전한) 관측 자료와 일치하는 물리·생지구화학 과정을 통합 처리할 수 있는 시스템이 개발되었다.

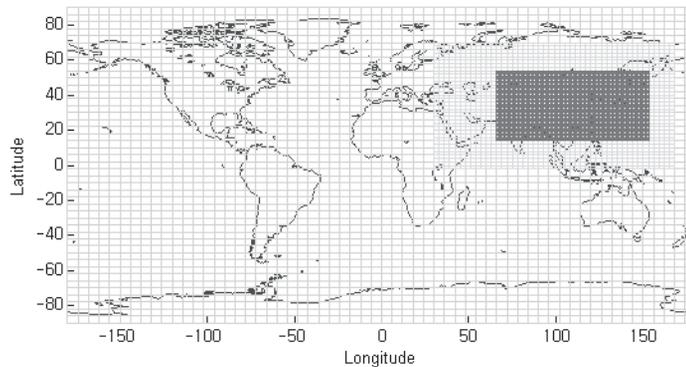


[그림 4] 탄소 추적 시스템의 자료 처리 과정  
출처: NOAA/ESRL Global Monitoring Division

NOAA/ESRL Global Monitoring Division의 탄소 순환 그룹에서는 전 세계 온실가스 관측망을 구축·운영하고 있고 이들 자료를 기반으로 CO<sub>2</sub> 순환을 규명하기 위해 탄소 추적 시스템 (CarbonTracker) 을 개발하였다. 이 탄소 추적 시스템의 자료 처리 과정을 [그림 4]에 나타내었다. 이 시스템은 CO<sub>2</sub> 배

출·흡수원인 “초기 추정 플럭스”의 산출로부터 시작되는데 이는 육상 광합성(CO<sub>2</sub> 제거, 즉 흡수원)과 호흡(CO<sub>2</sub> 배출원)에 대한 모형, 대기와 해양간의 CO<sub>2</sub> 교환 모형, 그리고 화석 연료와 산불로부터 CO<sub>2</sub> 배출 인벤토리로 구성된다(1 단계). 산출된 초기 플럭스를 대기 수송 모형에 입력하여 대기 농도

### Horizontal Resolution of the TM5 - Asia



[그림 5] 탄소 추적 시스템의 아시아에 중심을 둔 3 중 그물망의 수평 격자 체계



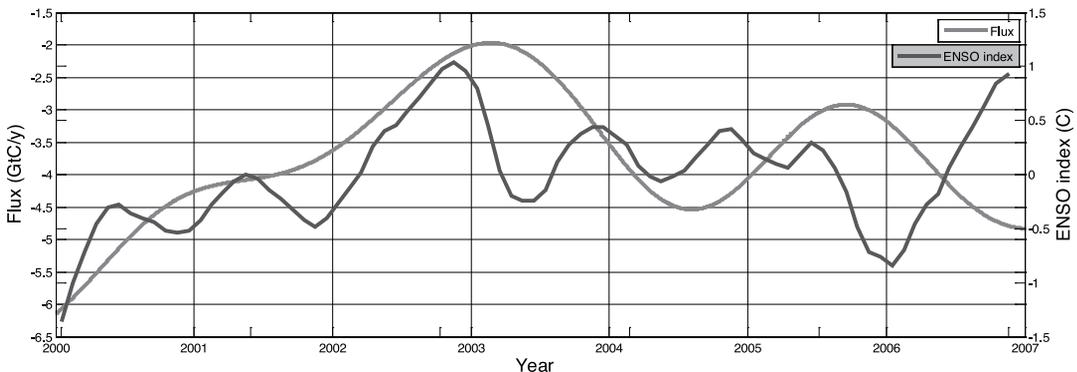
를 모사한다(2 단계). 관측이 있는 위치와 시각에서 그 모사된 값을 추출한다(3 단계). 그 다음 추출한 모사 CO<sub>2</sub> 농도를 관측농도와 비교한다(4단계). 이 농도 차이는 모사할 때 기여하였던 배출·흡수량의 차이 때문에 발생한다. 모사된 농도와 관측 농도간의 차이를 최소화하기 위하여, 역분석(inversion) 기법을 이용하여 식생과 해양의 플렉스를 최적화한다(5단계). 이와 같은 자료동화를 통해 전 지구적으로 격자화된 플렉스와 3차원 농도 분포를 산출하고 대기과 다른 탄소 저장소간의 CO<sub>2</sub> 순환을 실제에 가깝게 재구성할 수 있다.

탄소 추적 시스템은 3중 그물망의 수평 격자 체계로 구성되어 있고(그림 5), 연직 25층을 가지고 있다. 전 세계적으로 CO<sub>2</sub> 관측망이 어느 정도 구축된 2000년부터의 자료를 2007년부터 산출하기 시작했으며 매년 새로운 자료로 갱신된다.

### 탄소 추적 시스템으로 무엇을 알 수 있나?

#### 과학적 측면

탄소 추적 시스템은 CO<sub>2</sub> 순환이 기후와 환경 변화에 어떻게 반응하는가에 대한 이해를 증진시킬 수 있다. 그 예로서 탄소 추적 시스템을 이용하여 산출된 전 지구 CO<sub>2</sub> 플렉스와 엘니뇨 감시 지수의 시간 변화를 그림 6에 나타내었다. 플렉스는 생물권, 해양과 산불을 더한 값이다. 엘니뇨 시기(2002~2003년)에 약간 늦게 플렉스 흡수량이 감소하였다. 엘니뇨 현상은 적도 동부 태평양에서 CO<sub>2</sub>를 많이 포함하고 있는 심층수의 용승을 억제하므로 해양에서 대기로 CO<sub>2</sub> 배출을 억제하는 반면, 열대 지역을 중심으로 고온과 건조 현상으로 인해, 식물 호흡, 토양 유기물 분해 작용 증진과 광합성 활동 억제로 육상 생물권에서 대기권으로 CO<sub>2</sub> 배출을 크게 한다. 전체적으로는 후자의 효과가 더 커서 엘니뇨 현상 발생 이후 대기 CO<sub>2</sub> 농도가 높아



[그림 6] 탄소 추적 시스템에서 산출된 계절 변동이 제거된 전 지구 CO<sub>2</sub> 플렉스(생물권+해양+산불)와 5개월 이동 평균 ENSO 지수의 시간 변화



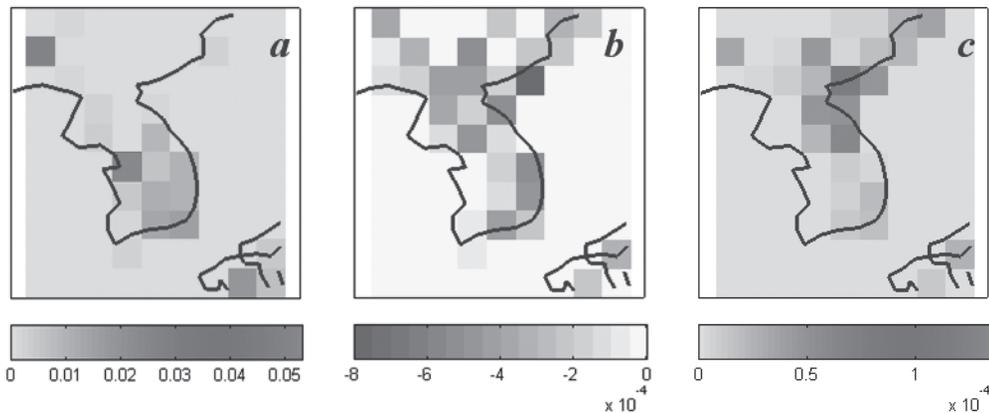
진다. 2005~2006년에는 엘니뇨 현상이 아니라 라 니냐 현상이 일어났음에도 불구하고, 플렉스 흡수량이 감소하였다. 이는 세계 평균 기온이 기록적으로 높았기(북반구에서 2005년 1위, 2006년 3위) 때문으로 생각하고 있다 (JMA,2008).

기후와 탄소 순환을 함께 고려하면, 온난화와 건조화가 식물 광합성을 감소시키고 토양 유기물의 분해를 증가시켜 육상 생태계의 탄소 저장 능력을 감소시킨다. 여기에 해양 순환이 약화되면 해수면 탄소의 깊은 바다의 수송이 감소되어 대기에서 해양으로의 플렉스가 감소되어 해양의 탄소 저장 능력이 떨어진다. 그러므로 온난화는 탄소 흡수 능력을 감소시키고 이는 다시 온난화를 가속시킨다. 이러한 양의 되먹임은 대기 온실가스의 안정화를 위해서 인위적 온실 가스 배출의 저감을 위해 더욱 많은 노력이 필요함을 의미한다(Friedlingstein, 2008).

정책적 측면

전 세계적인 온실가스 억제 및 격리 계획 등이 일반화되면 국가 간에 탄소 배출량(carbon credit)이 거래될 것이다. 이를 위해, CO<sub>2</sub>가 어디서 배출되며 어디서 흡수되는지 그리고 배출을 감소시키는 노력이 어디서 이루어지는지를 판단할 수 있어야 한다. 현재 대기 중 이산화탄소 농도는 ~385ppm이며 빠르게 증가하고 있다. 그러나 이 값은 전 지구 평균이며 온실 가스 배출의 지역 분포에 대해서는 아무런 정보를 주지 못한다. 그러므로 지역적인 탄소 배출·흡수량 (플렉스)에 대한 객관적인 정량화 작업이 필수적이다. 이는 화석 연료 사용량으로 추정된 CO<sub>2</sub> 배출량의 정확성을 확인할 수 있게 한다. 그러므로 플렉스의 산출은 온실가스 배출 저감 정책의 효과를 판단할 수 있게 한다.

[그림 7]은 탄소 추적 시스템으로 부터 산출한



[그림 7] 2000~2006년 동안 연 평균 CO<sub>2</sub>의 (a) 화석 연료 연소에 의한 배출량, (b) 식생에 의한 흡수량과 (c) 산불에 의한 배출량의 분포도 (단위, GtC/y)



2000~2006년 동안 연 평균 CO<sub>2</sub>의 화석연료 연소에 의한 배출량, 식생에 의한 흡수·배출량과 산불에 의한 배출량의 우리나라 영역의 분포도이다. 화석 연료에 의한 배출량은 CDIAC(Carbon Dioxide Information Analysis Center)에서 유엔 에너지 통계를 기초로 환산한 조사기록 (inventory)이다. 산불에 의한 배출량은 CASA 생지구화학 모형으로부터 계산된 전 지구 산불 방출 자료집(GFEDv2)을 이용한다. 산불 영역은 MODIS 위성 관측으로 결정하고 그 지역의 식생 특성을 고려하여 CASA 모형으로 배출 가스의 종류와 양이 산출된다.

[표 1]은 연도별 우리나라에서 CO<sub>2</sub>의 식생에 의한 흡수량과 산불과 화석연료에 의한 배출량이다. 식생에 의한 흡수량의 변화는 기후 조건에 따라 크게 변화한다.

남북한을 비교해 보면, 화석연료 사용에 따른 배출은 남한에서 크고 식생에 의한 흡수는 북한에서 크다. 이와 같이 탄소 추적 시스템을 이용하여 장기간 동안 지역적인 인위와 자연의 흡수·배출원을 추적할 수 있다.

### 탄소 추적 시스템의 개선을 위해 무엇을 해야 하는가?

현재 지상 CO<sub>2</sub> 농도 측정 기술은 플럭스 산출에 요구되는 정확도를 달성할 수 있지만, 그 측정 수는 불충분하다. CO<sub>2</sub> 관측 공간 분포로는 연간 대륙 규모의 CO<sub>2</sub>플럭스를 분해할 수 있을 정도이다. 따라서 보다 성공적인 탄소 저감 정책을 위해서는 보다 작은 영역에서 분해되는 플럭스가 필요하다 - 우리나라와 일본 정도의 크기로 아시아 영역의 분해, 유

[표 1] 우리나라 영역에서 탄소 추적 시스템으로 산출된 연도별 CO<sub>2</sub>의 식생에 의한 흡수량, 산불과 화석 연료에 의한 배출량 (단위: 억톤 CO<sub>2</sub>)

(남한)

	2000	20001	2002	2003	2004	2005	2006
식생	-0.030	-0.106	-0.041	-0.117	-0.141	-0.028	-0.088
산불	0.001	0.001	0.004	0.001	0.003	0.002	0.006
화석연료	4.408	4.531	4.581	4.673	4.792	4.935	4.972

(북한)

	2000	20001	2002	2003	2004	2005	2006
식생	-0.057	-0.242	-0.120	-0.192	-0.116	-0.016	-0.366
산불	0.039	0.031	0.008	0.005	0.013	0.018	0.005
화석연료	0.837	0.879	0.835	0.860	0.887	0.907	1.096



럽 각 국별 영역의 분해와 미국 각 주별 크기로 분해. 탄소 추적 시스템과 같은 자료동화의 격자 규모는 현재 약 100km 이상인데 이는 주로 전산자원의 한계 때문이다. 성긴 온실가스 자료로는 배출원의 변동이 매우 넓은 공간 규모와 잘 일치한다는 가정을 해야 한다. 반면, 더욱 많은 관측값들은 자료동화의 결과가 더욱 관측 자료에 강제되게 하여 더 좋은 자료를 산출하게 만든다. 그리고 대기 수송 모형은 분해능이 증가될 것이며 이를 통해 자료동화의 편향을 감소시킬 것이다. 즉, 먼·가까운 배출·흡수원간의 구별 능력은 수송 모형이 관측소 주변의 지형, 바람, 그리고 대기 혼합을 얼마나 정확하게 묘사하는가에 달려있기 때문이다.

국가별 온실가스 배출 조사 기록(inventory)은 탄소 추적 시스템의 주요 기초 자료이다. 이 조사 기록은 대부분 경제 통계에 기반하며 이는 각 온실가스가 대기로 들어오는지 또는 떠나는지를 산출하는데 사용된다. 대부분의 선진국에서는 화석연료로부터 CO<sub>2</sub> 산출을 정확(약 10% 미만의 오차)하게 수행하고 있다. 그러나 개발도상국이나 지역 규모에 대해서는 그 정확도가 떨어진다. 그리고 산림 벌채와 같은 다른 CO<sub>2</sub> 배출원의 조사기록도 신뢰도가 낮다(Marquis and Tans, 2008).

자료동화의 개선을 막는 가장 큰 장애물은 성긴 관측 자료이다. 현재 측정은 플라스크 공기 채집, 연속적인 타워 측정과 항공 관측으로 구성된다. 높은 타워에서 관측된 미량 가스 농도는 수 백 km 반경의 정보를 제공하므로 실질적으로 타워 관측이 가장 중요하다. 항공기에 의한 연직 구조의 관측은

수송 모형에서 경계층과 자유 대류권 간의 교환의 묘사를 향상시키는데 필수적이다.

현재 위성에서 산출된 대기 CO<sub>2</sub> 농도는 지역 농도와 플릭스를 결정하는데 필요한 정확도, 정밀도와 연속성이 부족하다. 그러나 위성 측정은 전지구 영역을 관측하는데 있어 필수적이다. 궤도 탄소 관측(Orbiting Carbon Observatory, OCO)를 탑재한 앞으로의 위성과 온실가스 관측 위성(GOSAT)은 보다 정확한 CO<sub>2</sub> 측정을 제공할 수 있을 것이다. OCO 위성에 대한 사양은 1~2 ppm의 정확도인데 이는 앞서의 위성에 비해서는 엄청난 발전이지만 아직 지역 플릭스 산출을 위해서는 부정확하다. 앞으로 위성자료로부터 CO<sub>2</sub>를 산출하는 기술의 개발·개선에 많은 시간이 필요할 것이다(Marquis and Tans, 2008).

이러한 모든 CO<sub>2</sub> 측정에 대해 정밀성이 필요하다. 예를 들어, 미국에서 화석 연료 연소로 인하여 매년 385 ppm의 배경 농도 수준에 1 ppm 미만을 증가시킨다. 이는 CO<sub>2</sub> 농도 측정에 대해 0.1 ppm의 정밀도가 필요함을 의미한다. 그러나 현재 WMO 관측망에 참여하는 세계 각 기관들은 0.2 ppm의 정밀도 수준이므로 아직 부정확성이 남아 있다. 그리고 관측에 의해 강제되는 온실가스의 배출·흡수원의 정확한 정량화를 위해서, 관측지점은 현재 전 세계에 분포된 약 100개에서 1000개 정도로 증가시켜야 한다. 또한, 이러한 감시망의 성공을 위해서는 GEOSS(Global Earth Observation System of Systems)의 한 부분으로서 국제적인 협력과 국가 차원의 지원이 필요하다(Marquis and Tans, 2008).



## 참고문헌

1. Hofmann D. J. et al., Tellus B, 58B, 614 (2006).
2. 気候変動監視レポート2007, JMA, (2008)
3. Friedlingstein P., Nature 451, 298 (2008).
4. Melinda Marquis and Pieter Tans, Science 320, 460 (2008).



## 미국의 우주기상 예보와 발전 방향

곽 영 실

한국천문연구원 태양우주환경연구그룹 선임연구원

yskwak@kasi.re.kr

### 1. 들어가는 말

오늘날 인류의 공간이 우주공간으로 확장됨으로써, 인공위성이 운행되는 영역인 전리층으로부터 나아가 행성간 공간에 이르러는 우주환경은 인류의 사회·경제적 문제와 직결되는 공간이 되었다. 태양에서 발생하는 플레어와 코로나물질방출 등의 폭발현상은 엄청난 양의 전자기파와 고에너지 입자들을 방출하여 우주환경의 급격한 변화를 일으킨다. 태양활동에 따른 우주환경의 급격한 변화는 무선 및 위성 통신, 위성체, 위성궤도 그리고 지상 전력시스템 등과 같이 우주공간 및 지상에 설치된 최첨단 기기의 성능과 신뢰성에 영향을 미칠 뿐만 아니라, 우주비행사 및 비행 승무원을 비롯한 인간의 안전을 위협하는 등 인류에게 다양한 경제-사회적인 손실을 유발한다.

미국은 해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration; NOAA), 미공군(United States Air Force; USAF), 항공우주국(National Aeronautics and Space Administration; NASA), 내무부(Department Of Interior; DOI), 에너지부(Department Of Energy; DOE) 그리고 미국과학재단(National Scientific Foundation; NSF) 연합으로 우주환경 감시와 예보의 필요성을 인식하고, 국가우주환경 프로그램(National Space Weather Program, 1997)을 수립하여 꾸준히 기술개발을 추진하고 있다. 미국 콜로라도 주의 볼더에 소재하고 있는 NOAA 산하 우주환경예보센터(Space Weather Prediction Center; SWPC, 구 우주환경 센터: Space Environment Center; SEC)[사진 1]이 실제 우주환경예보 서비스를 담당하고 있



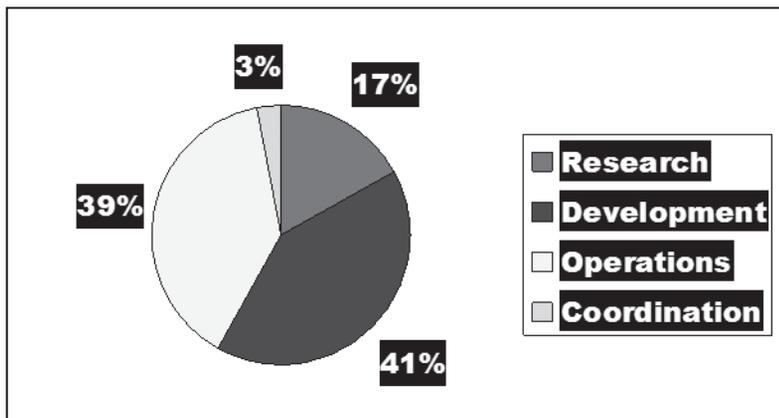
[사진 1] 미국립해양대기청(NOAA) 전경

다. 본 원고에서는 NOAA/SWPC의 우주환경 연구 현황을 소개하고, 볼더에 소재하는 우주환경 관련 연구기관들과의 협력 상황도 간단히 소개하고자 한다.

## 2. NOAA/SWPC의 우주기상 연구 현황

NOAA의 SWPC(<http://www.swpc.noaa.gov>)는 우주기상의 정보를 담당하는 국가기관으로서 태양

및 지구물리 현상을 실시간 관측, 예보하고, 태양-지구간 물리에 대한 연구를 수행하며, 태양 및 지구물리의 교란을 예보하는 기술을 개발하는 일들을 수행하고 있다. 이 기관은 콜로라도 주의 볼더에 본사를 두고 있으며, NOAA 내의 국립환경예보국(National Weather Service; NWS) 중 환경예측 센터(National Centers for Environmental Prediction; NCEP)에 속해 있다. NOAA/SWPC는 크게 우주환경 운영부(Space Weather Operation Division), 연구부(Research Division), 개발부



[그림 1] NOAA/SWPC의 활동 분포도



(Development Division) 그리고 코디네이션부 (Coordination Division)로 구성되어 있다(그림 1).

NOAA/SWPC는 미공군과 공동으로 우주환경 자료 생산, 수집, 자료 센터 운용, 연구 지원 및 예·경보 업무를 수행하고 있으며, 관련 자료 및 정보의 교환 등 매우 밀접하게 상호협력하고 있다. 특히 SWPC의 우주환경 운영센터는 NOAA와 미공군에 의해 공동으로 운영되며, 우주환경에서 작업하는 사람과 장비에 영향을 줄 수 있는 교란에 대해 예보하고 있다. NOAA/SWPC는 NASA와 같은 주요 우주관련 정부기관 뿐만 아니라 일반인들에게도 우주환경자료 서비스를 제공하고 있다.

### 1) 태양 및 지구물리 현상의 실시간 관측

NOAA/SWPC는 현재 NOAA에서 운용하고 있는 GOES(Geostationary Operational Environmental Satellites)와 POES(Polar Operational Environmental Satellites)로부터의 태양 및 지구 주변 우주환경 관측 자료를 실시간으로 자료를 제공하고 있다. 또한 미항공우주국(NASA)이 발사한 ACE(Advanced Composition Explorer)의 태양풍 관측 자료와 STEREO(Solar TERrestrial RELations Observatory)의 태양 및 태양권 관측 자료를 수집하여 실시간으로 제공하고 있다. 뿐만 아니라, NOAA 산하의 국립지구물리 자료센터(National Geophysical Data Center; NGDC)와 긴밀한 협조하에 여러 가지 태양 및 지구물리 관측 자료들을 수집하여 제공하고 있다.

GOES: GOES-10, -11 관측으로부터의 X-선과 양성자 자료를, 그리고 GOES-12로부터의 전자와 자기장 관측 자료를 실시간으로 제공하고 있다. 특히 GOES-12와 -13에 탑재된 태양 X-선 영상관측기로부터 태양의 X-선을 모니터링하고 있다. 이러한 태양 X-선 영상관측 및 모니터링은 지구주변 우주환경에 영향을 주는 태양 플레어나 코로나질량방출과 같은 현상들의 초기 관측을 위해서 매우 중요하다.

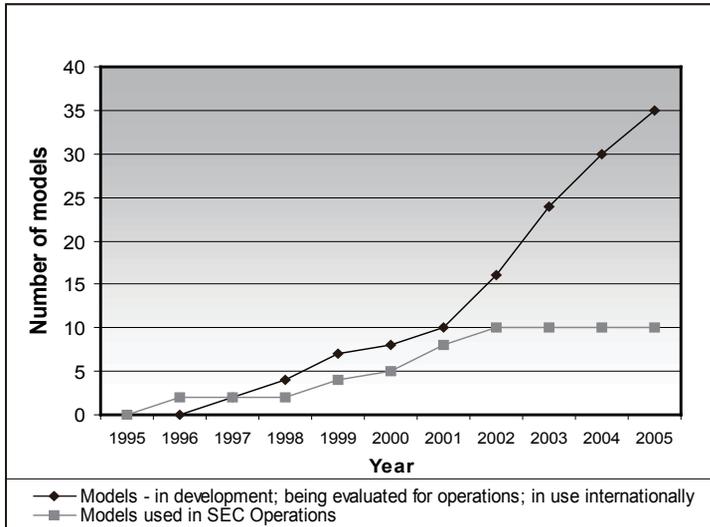
POES: POES에서 측정되는 지구 대기로 입사해서 오로라를 일으키는 양성자 및 전자에 수반되는 power 플럭스를 실시간으로 제공하고 있다.

ACE: ACE에 탑재된 측정기로부터의 태양풍 관측 자료 즉 지구로 입사되는 전자 및 양성자 자료, 자기장 벡터자료, 고에너지 입자 플럭스 자료 그리고 태양풍 입자 자료를 수집하여 실시간으로 제공하고 있다.

STEREO: STEREO로부터는 태양풍 플라즈마, 고에너지 입자, 자기장, EUV 영상, 코로나 그래프, 태양권 영상 그리고 태양 전파 방출 현상에 대한 관측 자료를 수집하여 실시간으로 제공하고 있다.

### 2) 태양-지구간 물리에 대한 연구 수행

NOAA/SWPC는 실시간으로 수집되는 태양 및 지구 주변 우주환경에 대한 관측 자료를 분석하여 태양-지구간 환경 및 현상에 대한 물리적인 과정을 연구하고 있다. 또한 이러한 관측 자료 및 분석 결과들을 바탕으로 우주환경예보를 위한 모델 개



[그림 2] 개발되어 검증되고 있는 모델 수(검은 선)와 NOAA/SWPC에서 실제로 운용되고 있는 모델 수(회색 선)

발 및 검증도 수행하고 있다. 그림 2는 매년 개발되어 운용을 위해 검증되고 있는 모델 수(검은 선)와 SWPC에서 실제로 운용되고 있는 모델 수(회색 선)를 보여 주고 있다. SWPC 내에 콜로라도대학(CU)의 환경과학협력연구소(Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences; CIRES)가 부속으로 상주하며 태양-지구간 물리에 대한 연구를 주도해 나가고 있다.

### 3) NOAA/SWPC의 우주환경 예보 서비스

현재의 우주환경, 온라인 자료 제공, 사용자 서비스 등이 있다.

현재의 우주환경 ([그림 3]): 실시간으로 관측된 다양한 파장에서 본 태양 전면 영상, 태양활동영역,

ACE 위성이 관측한 실시간 태양풍 데이터, NOAA 위성이 관측한 오로라 영역 등의 관측 데이터와 이로부터 유추한 우주환경 상태, 태양 복사의 D-영역 흡수, 우주환경 예보 및 경보 등을 제공한다. 또한 우주환경의 변화를 태양복사(X선) 활동, 태양입자 활동(프로톤 현상) 그리고 지자기 활동으로 구분하여 예보하고 있다. 이 기준에 따르면, 태양복사 활동은 미국 GOES 위성이 측정하는 1~8 Å(0.1~0.8 nm)과 0.5~4.0 Å (0.05~0.4 nm)에서의 단위 면적당(m<sup>2</sup>) X-선의 5분 평균 세기(Watt)에 따라 R1에서 R5까지 5단계로 나누어 분류하고 있다. 그리고 태양입자활동은 GOES 위성 관측을 통해 측정된 단위 면적(cm<sup>2</sup>), 시간(sec), 입체각(sr) 당 프로톤(10 Mev 이상) 입자수 (Proton Flux Unit: pfu)를 S1에서 S5의 5단계로 나누어 분류하고 있다. 마지막으로 지자기 활동은 미국 볼더 관측소 외에도 전 세



**National Weather Service**

## Space Weather Prediction Center

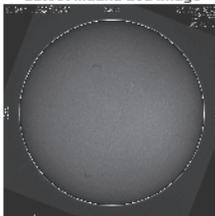
Site Map      News      Organization

**Top News of the Day:** Aug. 18, 2008 --SWPC Web access was disrupted from 16:30 to 18:30 UT due to high NWS Hurricane Center web traffic. At this time, service has returned to normal.

### Current Space Weather Conditions

----- Satellite Displays -----
----- Popular Pages -----

**Latest Mauna Loa Image**

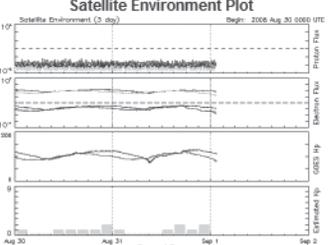


**NOAA Scales Activity**

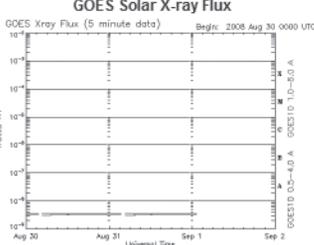
Range 1 (minor) to 5 (extreme)

NOAA Scale	Past 24 hours	Current
Geomagnetic Storms	none	none
Solar Radiation Storms	none	none
Radio Blackouts	none	none

**Satellite Environment Plot**



**GOES Solar X-ray Flux**



**Space Weather Topics:**  
 Alerts / Warnings, Space Weather Now, Today's Space Wx, Data and Products, About Us ,  
 Email Products, Space Wx Week, Education/Outreach, Customer Services, Contact Us

[그림 3] NOAA/SWPC에서 제공하고 있는 현재의 우주환경

계 8개의 지자기 관측소의 자료를 사용하여 결정된 지구적인 지자기 활동지수 Kp가 5 이상부터 9까지인 경우를 G1에서 G5까지 나누어 분류하고 있다. 그리고 각 활동규모에 따라 예상되는 무선통신 및 항법시스템, 위성체 및 위성운동, 그리고 지상 전력 시스템 및 송유관에 미치는 세부적인 영향을 우

주환경기준(NOAA Space Weather Scales, <http://www.swpc.noaa.gov/NOAAscales/>)을 통해 제시하고 있다.

온라인 자료: 실시간 자료를 웹과 FTP 사이트를 통해 제공한다. 이 자료에는 관측 자료 뿐 아니라



[표 1] NOAA/SWPC의 사용자 서비스 정보 및 세부 항목

구분	세부 항목
항법(Navigation) 시스템	GPS와 Loran-C 시스템 운용자 위한 지자기 활동 지수(K 지수), 오로라 발생지역 분포도(그림 4), 양성자 플럭스 분포 제공
전파운용(Radio)	Current Conditions의 자료, 호주의 전리층예보센터(IPS) 링크
전력시스템(Electric Power)	전력 시스템 관련 예측, 자료, 문서 등을 제공 (링크)
위성운용(Satellite Ops)	위성장애요인으로 그림 5의 3가지 우주환경영향을 제시, 실시간 GOES 위성으로부터의 양성자 및 전자 플럭스와 자기장 수평성분 자료 제공, 1996년부터의 자료, 지난 45일간 자료, 기타 우주환경 자료 및 문서를 링크
오로라(Aurora) 관측	오로라 관측 가능 지역, 지자기 활동 지수(Kp 지수), POES 위성으로부터의 오로라 관측 분포
뉴스미디어(News Media)	미디어를 위한 관련 문서, 이미지, 차트, 그래프를 제공

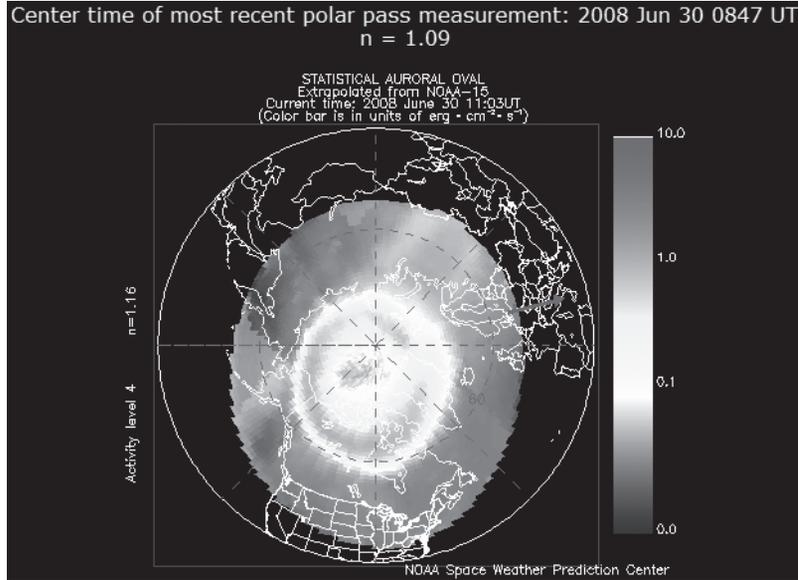
우주환경 예보 및 경보, X-선 플럭스, 지자기활동 지수 Kp 등의 여러 우주환경 지수, 우주환경 요약 보고서, 우주환경 예측을 위한 모델자료를 사용한 결과, 사용자 그룹을 위한 자료 등이 있다. 또한 자료들을 그룹으로 묶어서 우주환경, 기기(센서), 자료의 포맷 등으로 나누어 찾기 쉽도록 나열되어 있다.

**사용자 서비스:** 사용자에게 필요한 여러 가지 정보를 제공하기 위한 것으로, 각 사용자를 항법시스템, 무선통신, 전력시스템, 위성 운용자, 오로라, 뉴스미디어 등의 사용자 그룹으로 나누어 각 그룹에 필요한 정보를 제공하고 있다 ([표 1]).

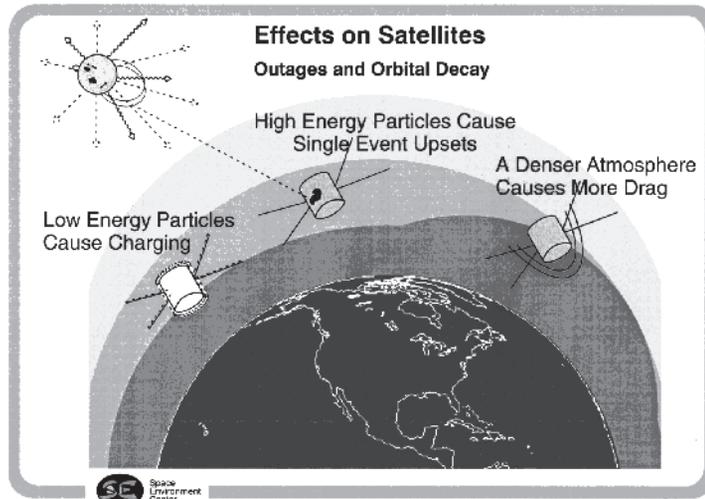
### 3. 다른 기관과의 우주 기상 연구 협력

미국 콜로라도 주 볼더에는 NOAA/SWPC 이 외에도 미국립대기과학연구소(National Center for

Atmospheric Research; NCAR)의 고층대기연구소(High Altitude Observatory; HAO)[사진 2]를 비롯하여 콜로라도대학(CU) 산하 대기우주물리연구소(Laboratory for Atmospheric and Space Physics; LASP), NorthWest Research Associates Inc/Colorado Research Associates(NWRA/CoRA) 등 우주기상연구와 관련한 여러 기관들이 소재하고 있다. 특히 미국과학재단(National Science Foundation; NSF)으로부터 재정적인 지원과 대기과학연구대학연합(University Corporation for Atmospheric Research; UCAR)의 운영 하에 있는 NCAR/HAO는 세계의 과학자 및 과학기구의 협력 연구를 통해 태양 및 태양-지구간 연구의 주축을 이루고 있다. 이 기관의 연구 분야로는 태양 내부 및 태양 저층 대기 물리, 코로나 구조 및 역학, 태양풍 물리, 지구의 플라즈마권, 자기권, 전리층 및 고층대기 물리 및 화학 등이다. 이러한 연구를 위해 ACOS(Advanced Coronal



[그림 4] NOAA POES 위성이 촬영한 가장 최근의 오라로 발생지역,  $n$ 이 1.0에 가까울수록 map 의 신뢰도가 높다. 단위는  $\text{erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  이다.



[그림 5] 인공위성 장애의 주요 요인(표면 및 내부 대전, 단일 사건효과, 항력 등)



Observing System), CEDAR(Coupling, Energetics and Dynamics of Atmospheric Regions), PSPT(Precision Solar Photometric Telescope), STARE(STellar Astrophysics & Research on Exoplanets) 및 TIMED(Thermosphere Ionosphere Mesosphere Energetics and Dynamics)와 같은 지상 및 위성 관측을 통한 자료를 수집하고 분석한다. 무엇보다도 NCAR/HAO는 고층대기를 비롯한 지구 주변 우주환경에 대한 많은 모델을 개발하여 연구에 활용하고 있다. 이러한 모델로는 AMIE(Assimilative Mapping of Ionospheric Electrodynamics), GSWM(Global Scale Wave Model), TIEGCM(Thermosphere Ionosphere Electrodynamic General Circulation Model),

TIMEGCM(Thermosphere Ionosphere Mesosphere Electrodynamic General Circulation Model), CMIT(Coupled Magnetosphere Ionosphere Thermosphere model), WACCM(Whole Atmosphere Community Climate Model) 등이 있다.

NOAA/SWPC는 태양-우주환경의 실질적인 실시간 예보 및 경보를 중점적으로 담당하는 반면, NCAR/HAO는 관측자료와 모델을 이용하여 태양 및 지구주변의 우주환경에 대한 연구를 주로 하는 기관이다. 두 기관에서 주로 수행되는 임무를 기상과 관련된다고 가정하여 우리나라 기상청 및 기상연구소에 비유해 본다면, NOAA/SWPC는 기상청에, 그리고 NCAR/HAO는 기상연구소에 비유된다



[사진 2] NCAR/HAO 전경



고 할 수 있겠다. 기상청 산하에 기상연구소가 있는 우리나라와는 달리 두 기관은 엄연히 서로 독립된 기관이다. 그럼에도 불구하고 두 기관은 긴밀한 협력관계를 유지하고 있다. NOAA/SWPC는 NCAR/HAO 뿐만 아니라, 우주환경과 관련된 다른 여러 연구 기관과도 다양한 연구 계획들을 공동으로 수행하고 있다.

#### 4. 맺는 말

우리가 통상적으로 살아가고 있는 공간인 대기의 상태 즉 기상을 연구하여 그 변화를 예측하고 예보하는 것이 인류에게 중요한 것은 두 말 할 나위가 없다. 마찬가지로, 오늘날 인류의 공간이 인공위성이나 우주선이 운행되는 우주공간으로 확장됨으로써 근지구 우주의 상태인 우주기상을 연구하고 나아가 태양활동에 따른 우주환경 변화를 예측하고 예보하는 것이 상당히 중요한 부분으로 대두되었다. 근래에는 우주환경 변화가 지구기후변화와도 깊은 상관성이 있다는 연구가 보고되고 있다(e.g., Tinsley, 2000; Tinsley et al., 2007).

본 원고에서는, 우주환경 감시 및 예보에 대해 세계적인 중심이 되는 기관인 미국의 해양대기청(NOAA)

산하 우주환경예보센터(SWPC)의 우주환경 연구 현황을 소개하고, 볼더에 소재하는 미국립대기과학연구소(NCAR)의 고층대기연구소(HAO) 외 우주환경 관련 다른 연구기관과의 협력 상황도 간단히 소개하였다.

우리나라에서도 우주환경 또는 우주기상을 연구하는 기관으로 필자가 소속되어 있는 한국천문연구원을 비롯하여 몇몇 대학의 관련 학과들이 있다. 국내 우주환경 연구 현황에 대해서도 소개될 기회가 오기를 기대해 본다.

#### 5. 참고문헌

- National Space Weather Program, Implementation Plan, FCM-P31-1997, Washington, D.C., 1997.
- Tinsley, B. A., Influence of solar wind on the global electric circuit, and inferred effects on cloud microphysics temperature, and dynamics in the troposphere, Space Science Reviews 00: 1-28, 2000.
- Tinsley, B. A., G. B. Burns, and L. Zhou, The role of the global circuit in solar and internal forcing of cloud and climate, Advances in Space Research, No. 40, 1126-1139, 2007.

## 한국, IPCC 부의장국에 진출

허 은

기상청 기후국 기후정책과장  
huheun@kma.go.kr

지난 9월 3일 스위스 제네바에서 열린 제 29차 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC) 총회에서 이회성 교수(63, 계명대)가 IPCC 부의장으로 선출되었다. 이에 따라 앞으로 우리나라는 IPCC 부의장국으로서 기후변화와 관련된 연구와 국제협력에 보다 중심적 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다. 이번 IPCC 총회에서 진행된 차기 의장단 선거에서, 우리나라 대표단(수석대표 윤성규 기상청 차장)의 적극적인 득표활동으로 우리나라가 역대 최초로 IPCC 부의장국에 진출하는 성과를 올리게 되었다. 이번 총회에서 선출된 IPCC 의장(1인), 부의장(3인), 4개 실무그룹 별 공동의장(9인) 및 부의장(17인) 등 총 30인은 앞으로 2014년까지 제5차 IPCC 평가보고서 작성 등 IPCC 의장단으로서의 역할을 수행하게 된다.

이회성 교수는 1992년부터 1997년까지 IPCC 실무그룹 III (기후변화 완화분야)의 공동의장을 역임한 바 있고, 제3, 4차 평가보고서 주저자 등으로 활동하여 2007년에 IPCC가 노벨평화상을 수상하는데 기여한 공로로 IPCC로부터 인증서를 받은 등 국제적으로 에너지와 기후변화분야에서 높은 평가를 받고 있는 전문가이다.

기상청은 이번 제29차 총회를 앞두고, 주요 관련국들에 지지를 호소하는 등 의장단에 진출하기 위해 다각적으로 노력을 기울여 왔고, 현지에서도 각 국 대표단과 활발한 지지교섭 활동을 하였다. 이번 선거에 앞서 합의로 부의장을 선출하려고 다양하게 시도하였으나 결렬되어 경쟁후보였던 스리랑카 대표(당시 부의장)와 IPCC 20년 사상 처음으로 표 대결에 붙여져 당선되었다.



[그림 1] 제29차 IPCC 총회에 참가한 대한민국 대표단. 오른쪽부터 윤성규 기상청 차장(수석대표), 이회성 교수, 박정규 기상청 기후변화감시센터장, 권원태 기후연구팀장 등이다.

이회성 교수가 부의장으로 피선됨에 따라 앞으로 5 과 활동에서 우리나라의 역할과 기여가 크게 증대  
 차 IPCC 평가보고서 발간 등 각종 IPCC 프로그램 될 것으로 기대된다.

※ 이회성 IPCC 부의장 약력

학 력	1964 경기고등학교 1969 서울대학교 상과대학 상학과 (학사) 1975 미국 러트거스(Rutgers)대학교 대학원 (경제학박사)
주요경력	1986 ~ 1995 에너지경제연구원 원장 1992 ~ 1997 IPCC 실무그룹 III 공동의장 1999 세계에너지경제학회 회장 2000 ~ 2004 아시아 에너지 연구원 부원장 2002 ~ 현재 계명대학교 교수
주요저서	한국경제와 에너지정책 기후변화협약과 한국경제 기후변화와 경제사회적 영향 경제



하늘을 친구처럼,  
국민을 하늘처럼

# Meteorological Technology & Policy

Volume 1, Number 3

서울시 동작구 기상청길 45  
Tel. 02-6712-0235 / Fax. 02-849-0668  
<http://www.kma.go.kr>