정책정보노트(2012-02)

# 영국기상청(Met Office) 과학계획(Science Plan) 2012/16

2012. 6.

nimr National Institute of Meteorological Research 국립기상연구소 정책연구과

# 목 차

전략 3
주요 혜택들 4
소비자 요구사항 5
현재 역량 7
주요 목적들 10
프로그램 구성에 대한 개요 11
공통주제(Cross Cutting Theme): 대기-해양 결합 모델링 12
공통주제: 경계층 구름과 안개 13
공통주제: 대기 조성 14
공통주제: 이음새없는(Seamless) 산출물 16
공통주제: 위험기상 17
내부 연관성 19
공동연구와 외부 연계성 20
성공평가 및 목표 22
위험요소와 기회 24
관리 25
이전 계획에서의 변화 26

## 전략

기상과 기후는 국내와 해외에 있는 영국 국민들의 삶에 지대한 영향을 미친다. 매년 영국에서 발생하는 위험기상(hazardous weather)으로 인한 실제 피해는 인명피해와 더불어 연간 수십억 파운드의 재산피해가 포함되어 있으며, 이 중 업무상 손실과 건강을 해친 양이 훨씬 더 많이 포함된다. 기상예보와 이로 인해 예상되는 영향은 생명과 재산을 더 잘 보호하고, 삶의 질을 향상시키며, 업무에 더 많은 경쟁력을 가질 수 있도록 한다. 또한 영국기상청 과학 전략(Met Office Science Strategy)에 상세히 설명한 것과 같이 기후변화 정보에 대해 지속적으로 증가하는 수요가 존재한다.

한 지역에서의 기상예보와 기후예측에 있어 세계 정상급의 기술을 보유한 영국기상청은 유일하게 과학과 기상 및 기후예측 모델링 사이에 시너지 효과의 이점을 취할 수 있는 위치에 있다. 영국기상청의 주요 목표는 기상과 기후 및 이들의 영향에 대해 보다 상세하고, 정확하며, 신뢰할 수 있는 예보를 통해 소비자들에게 제공하는 서비스들의 가치를 향상시키는데 있어 이러한 역량을 이용하는 것이다.

정확성과 신뢰성의 향상은 모든 선행 시간에 있어서 영국기상청 전략의 중심에 있지만, 단기예보는 부분적으로 자동화로의 지속적인 업무전환을 지원하고, 전략적 개입(Strategic Intervention) 역량의 개발을 구축하며, 수요자 맞춤형 예보 자문 이외에 다른 모든 수동적인 예보 수정에 대한 지속적인 철폐가 중요하다.

일 단위에서 계절 단위의 기상예보에 있어 예보 개선 달성을 위한 영국기상청의 전략은 영국기상청 통합 모델(Met Office Unified Model) 시스템의 트윈 구성(twin configuration)-단기예보에서 계절예보까지는 전지구 중규모 앙상블로, 2일 이전까지는 영국 대류규모(convective-scale) 결합 앙상블 예보-을 활용하는 방향으로 전환됨으로써 영국기상청의 모델링 역량을 강화하는 것이다. 각각의 구성은 상호 연관성 있는 육지와 해양의 과정들에 대한 결합적 표현들과 대기 중 화학 조성의 적절한 양상을 포함할 것이다. 가능한 한 두 구성이 각각에 대해 일관성을 유지할 것이며, 역학적 규모축소(dynamical downscaling)와 통계적 조정(statistical adjustment)의 통합이 모델 결과로부터 예보를 생산하는데 이용될 것이다.

2012년 초 중간 사용연한(mid-life) 슈퍼컴퓨터의 업그레이드 이후 이를 달성하기 위한 다음 단계가 2012-13년 동안 추진될 것이다.

• 영국 예보를 위한 지역 모델링 시스템
  - 2.2km 격자로 하루 전에 6시간 마다 영국 앙상블 예보
  - 1.5km 격자로 최소 7시간 전(≥ 7시간) 영국 남부지방에 대해 시험적으로 1시간 마다 확정예보 (deterministic forecasts)
  - 12km 격자로 2일 전 6시간 마다 유럽 앙상블예보
  - 대륙붕(Continental Shelf) 해양, 파도 & 폭풍해일 모델 + 중첩된(nested) 지역 폭풍해일 모델
  - 12km 격자로 5일 전 12시간 마다 영국 대기질 예보

• 영국 & 전지구 예보를 위한 전지구 모델링 시스템
  - 20km 격자 이하(≤ 20km)로 5일 전 12시간 마다 확정예보
  - 20km 이하(≤ 20km)/연직 70개 층의 격자로 2일 전 6시간 마다 확정예보
  - 45km 이하(≤ 20km)/연직 70개 층의 격자로 15일 전 매일 확정예보
  - 전지구 해양 및 파도 예보 + 중첩된 해양분지(ocean basin) 모델

## 주요 혜택들

• 모든 선행시간에서 인명 손실을 일으킬 수 있는 극한의 사건에 대한 예측 개선
• 대기오염에 대한 긴급대응 개선
• 상층 대류권과 성층권 내 바람과 온도에 대한 분석 및 예측 개선
• 산출물 생산을 위해 명확하게 정의된 “최상의” 데이터 소스와 함께 과대오차(gross error)의 경우 대체가능한 모델 솔루션의 선택에 있어 예보관들의 개입을 제한하는 보다 자동화된 예보 과정
• 통합 관측과 초단기예보(very short range forecast)에 기초한 영국의 기상감시 역량 종합
• 더욱 광범위한 환경 및 사회-경제적 변수들과 이와 관련된 위험들에 대해 더욱 정확하고 상세한 예보를 제공할 수 있도록 영국기상청 통합 모델링과 후처리시스템(post-processing system) 확장

- 정기적 분석과 연구관측, 모델 시뮬레이션을 통해 구해지는 모든 시간규모에서의 기상현상 및 관련 과정들에 대한 이해와 지식 개선
- 향상된 대기, 육상 및 해양 모델링 역량과 전술적 의사결정 지원(tactical decision aids)의 개발을 통하여 전세계 영국 군사 작전을 위한 환경상황(environmental context) 설명서 개선
- 혁신적 산출물들의 시의적절한 전달에 대한 유료서비스(profitable service)
- 과학 전문가, 소비자 참여 및 시의적절한 결과 전달의 활용을 통한 유료자문(profitable consultancy)

## 소비자 요구사항

기초과학, 기상과학 및 관측 R&D의 다수를 포함하는 영국기상청 과학의 약 45%는 소비자 그룹을 통한 공공기상서비스(Public Weather Service through its Customer Group, PWSCG)에 의해 예산이 지원된다. 추가적으로 약 40%는 해들리센터 기후프로그램(Hadley Centre Climate Programme)을 통해 환경·기후변화부(Department for Environment and Climate Change, DECC)로부터 자금을 받는다.

부가적인 업무는 정부와 상업적 사용자 양측에 의해 직접 수주를 받는다. 주요 내부 소비자는 예보 서비스 전달(Forecasting Service Delivery, FSD) 프로그램이다.

공공기상서비스(Public Weather Service, PWS)는 국민들의 기본 요청사항인 기상정보와 기상경보를 전달한다. 과학 프로그램의 일환으로 PWS 프로그램과 관련한 결과들은 다음과 같다:

- 영국의 재해기상(high impact weather) 예보
- 해외 영국 시민들을 위한 재해기상(high impact weather) 예보
- 영국의 특정 장소(site-specific) 기상예보
- 해외 영국 시민들을 위한 특정 지역 기상예보
- 전세계 임의 장소로부터 오염 확산 예보
- 영국과 전세계에 대한 해양 파도 예보

과학은 기상과 이로 인한 피해에 대해 보다 정확한 예·경보를 제공하는데 활용되는 향상된 NWP 시스템들을 개발함으로써 PWSCG의 요구사항들을 주로 충족시킨다.

**해들리센터 기후 프로그램**은 미래 기후변화에 관한 정책을 형성하는데 있어 정부가 기후변화에 대해 이용 가능한 조언 중 최상의 것을 활용할 수 있도록 DECC에서 예산을 지원받는다.

이 프로그램은 다양한 복잡성에 대한 전지구 규모의 기후모델 개발 및 활용과 현재 기후에 대한 감시를 통해 이루어진다.

**예보서비스 전달 프로그램**(Forecasting Service Delivery Programme) 업무는 사사업화 프로그램(Business Programme)을 대신하여 소비자들에게 예보산출물들을 전달하는 것이다. 이 업무는 입력 자료로 최상의 자동화가 가능한 산출물들을 필요로 한다.

일상의 반복적인 작전 개입(routine tactical intervention)에서 특정 대상에 대한 전략적 개입(targeted strategic intervention)으로의 전환을 지원하는데 있어 과학은 특정 예보 오차의 발생 정도를 줄이고, 영국에 대한 초단기 예보에서 과대오차(gross error) 발생 시 대체 예보 소스를 사용할 수 있도록 전략적 개입 체계를 개발할 것이다.

**국방연구 프로그램**(Defense Research Programme)은 최상의 활용 가능한 정보를 해외 작전 중에 있는 영국 군대에 제공할 수 있고 영국 내에서의 군작전에 대한 비용효과를 높일 수 있도록 하기 위하여 국방부(MoD)에서 예산을 지원한다.

과학은 영국 군대의 작전에 필요한 사항들을 지원하는 향상된 모델들을 보급하고 미래 국방부 전략을 기획하는데 이용되는 과학적 조언을 제공함으로써 국방부의 요구사항들을 충족시킨다.

**항공 R&D**(Aviation R&D)는 주로 영국의 항공교통정책과 서비스를 각각 담당하고 있는 민간항공관리국(Civil Aviation Authority)과 국립항공교통서비스(National Air Traffic Services)를 위해 수행된다.

과학은 전세계 민간항공의 안전과 효율성을 지원하는 향상된 모델 개발; 안전한 항공운항을 지원하기 위하여 화산재 등 항공 위험요소들에 대해 개선된 예보 제공; 기상예보 서비스의 비용을 줄이는 자동화된 예보 제공과 미래 민간항공 전략을 기획하기 위한 과학적 근거를 제공함으로써 CAA와 NATS의 요구사항들을 충족시킨다. 향후 수년 동안 특별 관심사는 유럽 공역 내 운항과 관련한 미래 항공 교통 관리 절차들을 명시할 유럽 SESAR(Single European Sky ATM Research, 단일유럽공역항공교통관리연구) 프로그램의 참여가 될 것이다.

과학은 표준 예보의 전환 속에 있는 과학적 지식을 넓은 범위의 가치가 더해진(value-added) 소비자 맞춤형(customer-specific) 산출물들에 적용하고 기상과 관련한 산출물들의 운영 관점에서 과학적 자문을 제공함으로써 다른 정부와 상업적 소비자들의 요구사항들을 충족시킨다.

## 현재 역량

컴퓨터 기반의 대기 수치모델을 사용하는 기상예보는 자전하는 기준계(frame of reference) 속에서 고전적인 공기역학 방정식들을 기반으로 매우 잘 정립되어 있다. 현재 영국기상청의 모든 기상예보 서비스들이 통합모델(Unified Model, UM)의 결과에 직·간접적으로 기초한 것처럼 정확성에 있어 커다란 개선이—수치기술의 발전, 연산력의 증가, 위성 정보 증가의 주도로—과거 50년 동안 이루어져 왔다.

영국기상청 UM의 대기 성분은 수평으로 일반 위-경도 격자를 사용하고 연직으로 지표면 부근에서 지형에 따라(terrain-following) (해수면 위) 모델 최상부에 일정한 높이로 변화하는 높이에 기초한 격자를 사용하는 격자점, 준내삽(semi-implicit), 준라그랑지안(semi-Lagrangian) 공식이다. 다른 환경설정(configuration)에 의해 적용되는 해상도가 표 1에 나열되어 있다. 작년에 주요 변화는 5일보다 더 이전에 전지구 모델의 내삽을 지원하기 위해 자료동화 없이 UK 4km 모델의 장기 실행을 추진해오고 있는 것이다.

UM은 격자 중간층들에서 연직와도와 온위를 구할 수 있도록 연직으로 Charney-Phillips 격자 교차(grid staggering)를, 수평으로는 Arakawa C 격자 교차를 이용한다. UM의 지역 환경설정(regional configuration)은 전체 적분 영역 상에 준균질(quasi-uniform) 격자 길이를 보장하는 회전 위-경도 격자를 이용한다. 지역예보의 경계조건은 지역모델 좌표 상에 내삽된 전지구 예보장에 의해 제공된다. 여덟 지점들까지 결합한 지역은 5×1.0, 0.75, 0.5 및 0.25의 가중치를 둠으로써 가능하다. 따라서 효과적인 경계는 다섯 지점들을 LAM(Limited Area Model, 한정영역모델) 지역으로 위치시키는 것이다.

UK 12km의 환경설정은 대기질 예보를 위하여 화학과 에어러솔을 포함하여 2일 이전부터 실행된다. 5일 이전까지의 확장은 현재 최종 시험 중에 있다.

〈표 1〉 주요 영국 대기 환경설정(configuration)에 사용되는 해상도

| | 수평해상도 | 수평격자(동서-남북) | 연직층 |
|---|---|---|---|
| 전지구 | ~25km N512(0.35°×0.24°) | 1024×769 | 70 |
| 전지구-EPS[1] | ~60km N216(0.84°×0.56°) | 426×320 | 70 |
| NAE[2] | 12km | 600×360 | 70 |
| NAE-EPS | 18km | 400×240 | 70 |
| UK | 4km | 288×360 | 70 |
| UK-V(5) | 4km-1.5km | 744×928 | 70 |
| HADGEM3[3]-EPS | ~140km N96(1.875°×1.25°) | 192×145 | 85 |
| (GloSea4)[4] | 해양 해상도 L75 | | |

1) : Ensemble Prediction System – 앙상블예측시스템

2) : North Atlantic European – 북대서양 유럽

3) : Hadley Centre Global Environmental Model – 해들리센터 전지구 환경모델

4) : Global seasonal forecasting system – 전 지구 계절예보시스템

영국기상청에서 운영되는 해양모델들이 표 2에 요약되어 있다. WaveWatchIII 모델은 해양파도예보를 생성하는데 사용된다. FOAM(Forecasting Ocean Assimilation Model) 시스템은 NEMO(Nucleus for European Modelling of the Ocean) 해양 모델을 이용하여 외해(open ocean)의 온도와 염도, 해류에 대한 3D 예보를 산출한다. 이 모델은 현재 LIM2 해양-해빙 모델(Louvian-le-Neuve sea-ice model)을 사용하며, 바다 속 연직관측자료(in situ profile data, 즉 Argo), (위성고도계로부터) 해수면 온도와

해수면 높이 자료를 동화한다. 향후 P7로 슈퍼컴퓨터를 업그레이드한 후 CICE(Los Alamos sea ice) 모델로 전환할 것이다. 전지구 예보와 더불어 지역모델 3개가 1/12° 격자 상에서 실행된다. 작년에는 NEMO를 사용하기 위하여 3D 대륙붕 해양모델들(shelf seas models)이 업그레이드되었고 관측된 SST의 자료동화가 추진되었다. NOC(L)(National Oceanography Centre(Liverpool), 국립해양센터(리버풀))에 의해 영국의 순압폭풍해일예보시스템(barotropic storm surge forecast system)이 유지·발전하였다. 여기에는 Bristol Channel과 South Coast 지역에 대한 고해상도 중첩 시뮬레이션(nested simulation)이 포함된다. 해일 앙상블에 맞추어 파도 앙상블을 수행하기 위한 작업이 예산상 문제로 지연이 되었으며 현재 2012년에 추진될 것으로 예상된다.

〈표 2〉 영국기상청에서 운영 중인 해양모델들

| | 수평격자간격 | 연직층 | 업데이트 빈도 | 사용된 모델 |
|---|---|---|---|---|
| 전지구 해양 파도 | ~30km | 25 주파수, 24 방위 | 1일 2회 | WaveWatch III |
| NAE 해양 파도 | ~12km | 25 주파수, 24 방위 | 1일 4회 | WaveWatch III |
| 전지구 해양 | 0.25°×0.25° | 50 | 매일 | NEMO, LIM2 |
| 지역해양(북대서양, 북인도양, 지중해) | ~9km 1/12°×1/12° | 50 | 매일 | NEMO, LIM2 |
| 대륙붕 해양 물리 | ~6km | 34 | 매일 | NEMO, ERSEM[5] |
| 영국 폭풍해일 | ~12km | 1 | 1일 4회 | NOC (CS3[6]) |
| 영국 폭풍해일-EPS | ~12km | 1 | 5일까지 1일 2회 | NOC (CS3) |
| 국지 폭풍해일 | ~1.2km | 1 | 1일 4회 | NOC |

5) : European Regional Seas Ecosystem Model – 유럽지역해양생태계모델

6) : Continental Shelf Model – 대륙붕 모델

대기오염물질 확산예보는 NAME(Numerical Atmospheric-dispersion Modelling Environment) 라그랑지안 확산모델을 이용하여 수행된다. 이 모델은 배출 특성과 규모에 따라 입자와 연기(puff) 모드 양쪽으로 수행될 수 있다. 2010년 4월 Eyjafjallajokull 화산 폭발 이후 화산재 농도예측을 할 수 있도록 화산재 확산을 위한 신속한 환경설정 개발을 필요로 하게 되었다. 농도예측의 물리적 기초는 현재까지 수행되어 왔으며 2011년 5월 Grimsvotn 화산폭발 동안 보급된 VVAC(Volcanic Ash Advisory Centres, 화산재자문센터) 산출물들의 기초로 활용되었다.

## 주요 목적들

진단연구(diagnostic study)는 불충분한 관측자료, 자료 활용 및 모델 자체에 있어서의 결함을 포함하여 커다란 또는 지속적인 예보 오류의 원인들을 밝히는데 활용된다. 연구는 후자의 사항을 직접적으로 다루는 것을 목표로 하고 전자를 완화하기 위해 관측 네트워크에 대한 조언을 제공한다. 모델링 시스템의 모든 부분들이 현재의 결점들에 기여하지만 일부 사항들이 다른 것에 비해 더 중요하다는 것이 연구를 통해 밝혀졌다. 따라서 업무는 핵심 이슈들을 목표로 설정하고 일반적인 개선을 위한 손쉬운 기회(easy opportunity)들의 포착 모두가 될 것이며, 이것은 모델과 함께 결과적으로 소비자들에 대한 혜택을 극대화하기 위해 선택된 결합이다. 업무 수행 상 특정 취약점이 확인된 곳에는 그 원인을 진단하고 수정하기 위한 노력에 초점을 두어 다학제 팀(multi-disciplinary team)들이 배치된다.

현재의 예보업무의 개선과 더불어 본 계획은 보조 모델들과의 목표 지향적 후처리뿐만 아니라 통계 및 물리적 진단 관계의 적용을 통하여 소비자들의 상세한 요구사항들을 충족시키는 것을 목표로 한다. 이들 요구사항들은 시간에 따라 빠르게 변하고, 주요 모델 개발 업무보다 더 빠르고 더 유연한 대응을 필요로 한다.

많은 새로운 과학적 주요 이슈들이 전략방향에 핵심이 되는 것으로 확인되어졌다. 각각의 이슈들은 미래 방향의 기초가 되는 근거를 제공하기 위하여 기본적인 과학적 연구를 필요로 한다:

- 초단기 뇌우예보, 특히 도플러 레이더와 같은 새로운 자료 제공처의 활용과 4D-Var 및 자료동화에 앙상블 접근의 이점을 정량화하는 것을 포함하여 향상된 자료동화에 대한 수요
- 야간 경계층구조 예보, 특히 구름의 발달과 지형 변동성에 대한 반응
- 예보불확실성 예측을 위한 앙상블예보 이용방법의 개선과 앙상블 기반 자료동화기술을 통한 관측자료 활용 개선
- 초병렬 컴퓨터 구조(massively parallel computer architecture) 상에서 효율적으로 모델과 자료동화 코드를 실행
- 수 시간에서 수개월 이전까지 완벽한 예보 생산 역량을 나타낼 수 있도록 후처리시스템 개선
- 예보의 진단적 조정(diagnostic adjustment)을 위한 기술 개선

• 기상예보의 예상되는 피해에 대한 경보를 지원하기 위하여 후처리(post-processing)를 보다 첨단화
• 모든 시간 규모에서 전 지구 및 지역 환경설정에 대한 대기, 지표면 수문, 해양 파도 & 해양 역학의 결합
• 대기복사와 구름물리 과정을 개선하고 시정과 대기질 예측을 위하여 대기 조성에 대한 표현을 개선

## 프로그램 구성에 대한 개요

본 계획은 주제별로 구성되어 있다. 상세한 콘텐츠는 각 주제에 대한 부록에 제시되어 있으며 재원과 목적, 각 주제별 핵심 성과물들이 본 서론의 끝에 있는 표로 요약하였다. 이들 주제들에 대한 주요사항들은:

• 전지구 모델 평가 & 진단
• 지역 모델 평가 & 진단
• 역학기법들
• 위성자료 활용 개선
• 자료동화 & 앙상블예보
• NWP 시스템 유지관리 & 모니터링
• 대기조성 & 확산
• 해양예보 R&D
• 관측연구 시설들의 유지관리
• 후처리 & 영향예보(impact forecasting)
• 관측 R&D

이들 주제들이 업무를 구성하는데 있어 손쉬운 방안이 되는 반면 핵심적인 발전은 주로 협력적인 방법을 통해 몇몇 주제들의 전문지식들을 적용함으로써 이루어진다. 본 기획 기간에 다섯 가지 공통주제(cross cutting theme)들이 확정되었다. 아래의 설명은 각각의 주제들과 관련된 업무에 대한 전략적 개요와 조언들을 제시한다.

## 공통주제(Cross Cutting Theme): 대기-해양 결합 모델링

본 주제의 목표는 몇 시간에서 수 십 년에 이르는 시간규모의 모든 날씨와 기후에 적용될 수 있는 결합 대기-해양-파랑-해빙 예측 시스템(coupled Atmosphere-Ocean-Wave-SeaIce prediction system)을 개발하는 것이다. 이것은 일관성 있는 예측을 위한 영국기상청의 과학 전략과 일치한다. 전 지구 예측을 위해 우리는 2011년 12월부터 2015년 3월까지 진행될 모델 개발 프로젝트인 INTEGRATE(ImproviNg model errors, TELeconnections, and predictability Globally and Regionally Across TimEscales)의 일환으로 대기-해양-파랑-해빙 결합 시스템의 개발을 계획하고 있다. 해양모델은 NEMO와 해빙 모델인 CICE, 그리고 WaveWatchIII를 기반으로 한 파랑모델이 될 것이다. 현재 개발 중인 표준 시스템은 연직 85층 N216의 Atmosphere와 75층 0.25도 해양격자의 ORCA(new ocean model)이다. 이것은 중·단기 수치예보와 계절 예측을 가능케 하는 결합 앙상블예측시스템(EPS)을 위한 핵심 모델링 시스템을 형성하게 될 것이다. 저해상도 버전(N144 또는 N96)도 차세대 지구시스템 모델인 HadGEM3-ES의 핵심을 구성하게 될 것이다. 또한 해양-대기 결합에 따른 성능은 고해상도의 전 지구 NWP 확정예보 시스템(N786 Atmosphere, 1/12도 NEMO ocean)에서 평가될 것이다. 이러한 결합 시스템들의 중요한 요소는 대기와 해양 자료동화 팀들 내에서 결합 초기화(coupled initialization) 스킴(scheme)의 개발이 될 것이다. 또한 본 공통연구의 주제는 NERC(Natural Environmental Research Council) 연구팀으로부터의 주요 입력자료, 예를 들면 NOC의 NEMO 해양모델 개발과 NCOF(National Centre for Ocean Forecasting, 국립해양예보센터)의 작업을 통해 포함될 것이다. 초기 실행은 MyOcean2의 목표를 달성하기 위해 2013년 3월로 예정되어있다.

NEMO 대륙붕 모델의 세부해상도(fine resolution) 환경설정과 고해상도 파도를 통합하여 완전히 결합된 대기-해양 시스템을 제공하는 것 또한 수 km 규모의 지역 예측을 위한 목표이다. 초기 실험들은 오프라인 예보 결합을 위해 달성 가능한 중간 목표(interim aim)로서 작은 규모의 SST 아노말리에 대한 민감도를 테스트하기 위하여 OSTIA(Operational SST and sea Ice Analysis, 현업 SST 및 해빙 분석) 해수면 온도 분석장을 사용하고 있다. 완전한 결합은 10년 안에 현업 수행을 목표로 전 지구 역량이 확립된 이후에 개발될 것이다.

본 공통주제는 (아래에 제시된) 몇 가지 과학 주제들로 나타나고 PWSCG와 HCCP(Hadley Centre Climate Programme) 프로그램 모두의 목표들을 지원한다.

- 주제 1: 전 지구 모델 평가와 개발 - INTEGRATE 프로젝트 내에서 결합모델을 개발·평가하고, 모든 시간규모에서 성능을 평가(Sean Milton)
- 주제 5: 자료 동화 & 앙상블 예보 - 결합 초기화와 결합 EPS 시스템 개발(Dale Barker)
- 주제 6: 모델 모수화 과정 - 결합 예측 시스템 내에서 구동되는 대기 모델 배포(Roy Kershaw)
- 주제 10: 해양 예보 R&D - 단기간(1-5일) 현업 예측에 사용하기 위한 해양 자료 동화 요소들을 포함한 결합 지역 & 전 지구 시스템(수 km 규모) 개발 및 평가(Mike Bell)

## 공통주제: 경계층 구름과 안개

과학적으로 층적운과 안개에 대한 예보가 매우 어렵지만 구름과 지표면 온도의 예보 정확도에 대한 많은 소비자의 요구를 고려해볼 때 중요성이 매우 높다고 할 수 있다. 2009년에 이러한 능력을 향상시키기 위한 전략이 MOSAC(Met Office Science Advisory Committee)에 제시되어 환영을 받았다. 이후 연직 해상도와 물리 모수화, 자료동화에서의 변화들은 (특히 갇힌 조건(blocked condition)에서) 구름과 안개, 온도 예보에 상당한 개선을 가져다주었다. 그러나 확실히 해야 할 일이 여전히 존재한다. 우리는 UKV(variable resolution UK model)의 수행능력을 모니터링 하고 유의미한 야외 관측실험들과 비교하여 UM을 평가하기위해 많은 노력을 기울여왔다. 이것은 추진하고 있는 모수화, 자료동화, 위성자료 활용과 같은 다양한 이슈들을 발굴해왔다.

### 모델 물리과정과 평가

VOCALS(VAMOS(Variability of the American Monsoon System) Ocean-Cloud-Atmosphere-Land Study) 야외관측 자료를 이용한 최근의 연구는 UM 내 강수와 이슬비 증발에 대한 물리과정 개선을 이끌었다. 그럼에도 불구하고 이슬비 생성 과정에 구름 속 물방울의 아격자 변동성(subgrid variability)을 설명하는데 있어 여전히 이슬비 생성에 연구가 필요한 것은 분명하다. 작은 물방울의 수 농도에 대한 수정된 안개 처리과정을 포함하여 UKV에서 에어러솔과 미시적 물리학 사이의 관련된 개선은 겨울철 안개에 대한 과대 예보(over forecasting)를 감소시키는 결과를 가져왔다. COLPEX(Cold-air Pooling

Experiment) 관측 자료들과 계곡을 볼 수 있는(valley-resolving) 해상도에서 안개에 대한 모델링은 이슬의 소산과 포착을 설명하는데 추가적인 개선의 필요성을 뒷받침 한다. COLPEX 모델링 또한 연직해상도의 개선이 도움이 될 수 있는 것으로 나타났다. 다른 관련 작업은 UKV 모델에서 아격자규모(subgridscale) 운량의 대체가능한 묘사(표시)의 평가와 층적운 관측을 위해 영국 전역에서 항공기와 지상관측을 결합한 최근의 야외관측 프로그램(COALESC)의 구성을 포함한다. 또한 물리과정에 대한 발전은 진단과 검증 연구에 정보를 제공하기 위하여 지속될 것이다.

### 자료 동화와 구름 관측 자료 활용

강한 역전의 존재하는 곳에 대한 자료 동화가 매우 어려운 문제지만 일부에서는 상당한 진전을 가져왔다. 개선된 연직격자를 역전이 있는 지역 부근에 사용하는 것이 도움이 되었고, 대칭 구름 관측 오류(symmetric cloud observation error)들의 활용은 초기 시간 운량에 대한 편향(bias)을 줄였다. 편향(bias)들의 발생을 방지하기 위해 MOPS(Moisture Observation Pre-processing system) 구름 분석에서 구름 최상부 고도 지정에 있어 추가적인 개선이 필요하다는 것이 최근 분석에서 나타났다. 계획은 이 시스템을 3차원 구름 변화 분석 시스템으로 대체하는 것이다. 또한 실황예보 시연 프로젝트(Nowcasting Demonstration Project)와 관련해서 4DVar에 대한 연구가 진행되고 있다.

## 공통주제: 대기 조성

기체 상태의 화학적 성질과 에어러솔 활동이 복사평형, 구름과 강수, 가시거리, 대기 질과 인간의 건강 및 식생에 영향을 미치고 있다. 그래서 영국기상청은 대기 조성 연구를 통해 관심과 관련성을 가지는 기체 상태의 화학적 성질과 에어러솔 활동을 포함하고 있다. 발전 전략은 영국기상청 과학 전 분야에서 수행된 연구를 어느 쪽이 안내할 것인가에 대해 개발되어 왔다.

전 지구 기후 모델링의 경우, 개발의 주안점은 UKCA-CHEM과 UKCA-MODE를 구성하는 UKCA(UK Chemistry and Aerosols)이다. UKCA-CHEM은 온라인 상에서 계산된 산화제(online oxidant)들을 이용하는 종합 기체 상태 화학 스킴이다. UKCA-MODE는 현재의 CLASSIC(Coupled Large-scale

Aerosol Simulator for Studies In Climate) 에어러솔 스킴 상에서 상당히 발전된 에어러솔 스킴으로 세부적인 에어러솔 과정을 명확하게 설명한다.

전 지구 NWP 모델링의 경우 먼지(dust) 예측에 있어 CLASSIC의 단순화된 버전을 사용하여 현재까지 구현되고 있다. 여기에는 초기 해염입자와 인간 활동에 의한 검뎅(black carbon)에 대해 추가적인 에어러솔 종류들의 예측을 수행하기 이전에 UKCA-MODE의 축약(cut-down) 버전으로의 이전이 계획되어 있다.

AQUM(Air Quality in the UM)은 지역 대기질 예보를 위해 UKCA-CHEM과 CLASSIC 에어러솔을 이용하여 개발되었다. 이것은 최근 5일로 확장된 12km 격자 UK 구성으로 시행되었다. 이 구성은 현재 다른 사용가능한 모델에 대해 경쟁력이 있는 오존과 미립자 예보를 생산하고 있다. NWP 모델로부터 시정예보를 위한 에어러솔 입력 자료는 고(high) 스펙트럼 해상도 단일 추적자인 MURK(대기 시정 예측에 이용되는 단일 추적 에어러솔 스킴) 에어러솔 스킴을 통해 제공되고 이것은 시정 관측 자료 동화에 이득이 된다. 장기적으로 본 주제의 목표는 MURK 스킴과 CLASSIC 에어러솔 모두를 UKCA-MODE의 축약 버전으로 교체하고, 궁극적으로 대류 규모의 UK NWP 모델 내에 완전한 AQUM 성능을 포함할 수 있을 때 두 접근법들을 통합하는 것이다.

긴급대응 확산예측에서 NAME의 가치는 지난해 Grimsvotn 화산재, 일본의 지진과 쓰나미 이후 후쿠시마 원전 유출 당시에 충분히 증명되었다. 주요 개선사항들은 화산재의 농도 예측을 위한 물리적인 기초를 제공할 수 있도록 NAME 환경설정 부문에서 추진되었다. 또한 공기기둥 내 적재된(column loading) 양적인 유추와 연기의 꼭대기 높이는 이미 1D-Var 접근법을 활용한 SEVIRI(Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager) 영상으로부터 개발되었다. 현재 NAME 개발은 발생량 추정을 업데이트 하는데 관측 자료가 활용될 수 있도록 할 자동화된 자료 동화 능력에 초점을 두고 있다. NAME은 도시경계층과 세정처리(washout treatment)에 대한 성능개선에 초점을 둔 향후 개발과 더불어 긴급대응과 일부 정책지원 업무를 위해 전 지구 또는 지역모델로부터 입력 자료를 지속적으로 활용할 것이다. 가까운 미래에는 모든 대기질 예보업무를 AQUM으로 교체하기로 계획하고 있다.

## 공통주제: 이음새없는(Seamless) 산출물

본 주제의 핵심은 초기에 0-15일 시간규모를 다루는 "최상의 자료(Best Data)"를 제공하는 것이다. 이용 가능한 (시간규모) 선택은 영국에서부터 지역 및 전 지구까지 다양한 규모의 확정 모델(deterministic model)과 ECMWF를 포함한 지역과 전 지구 규모 모두에 대한 앙상블 모델들을 포함하며 각각의 모델에 대해서는 최근, 이전, 시차평균(lagged average)을 선택할 수 있다.

검증에 대한 연구들은 각각에 대한 "최상의 자료" 선택을 결정하게 될 것이다. 확정예보 산출물(deterministic product)이 선호되는 곳에서 이들 가치연구는 오차구간(error-bar)과 같이 가치가 더해지는 요소들을 제공하기 위하여 앙상블 기반의 산출물들에 의해 보완될 것이다. 영국기상청의 목표는 산출물 생산을 용이하게 하기위해 야외 또는 특정 장소(site-specific)에 관계없이 같은 형식으로 사용할 수 있도록 하는데 기여하는 모델링 시스템의 산출물을 생산하는 것이다. "이음새없는(seamless)"의 목적을 달성하기 위해 모델 후처리 과정은 예보기간에 걸친 일관성, 야외와 특정 장소 산출물 사이의 일관성, 모델 수행 시 더 많은 시간적 일관성을 목표로 할 것이다.

지난 한 해 동안 확정예보의 "최상의 자료"는 5000 UK와 5000 전 지구 특정지점 위치에서 변수의 부분집합에 대해 T+15일까지 정의되었다. 일관된 "최상의 자료"는 같은 위치의 확률적 온도에 대해서도 정의되었다. 격자 자료는 표준화하는 것이 더 어렵지만, UK 확정예보 자료에 대한 잠정적인 정의가 이루어졌다. 전략적 개입(strategic intervention)의 첫 번째 단계 이행과 관련하여 총괄예보관(chief forecaster)은 심각한 장애가 발생했을 때 현재 실행되는 기본설정(default) 최상의 자료를 이전 실행에서 관련 선행시간 예보들로 대체할 수 있다.

내년에 앙상블이 가능한 UK 대류모델 실행은 더 많은 변수에 대해 시간 내에 확률적 "최상의 자료"의 확장을 용이하게 할 것이다. 그것은 또한 심각하게 잘못된 최근의 확정 예보 대신에 가장 최근의 앙상블(6시간 미만) 멤버의 선택을 허용하는 두 번째 단계의 전략적 개입 이행을 가능하게 할 것이다.

본 공통주제는 후처리과정 주제와 평가 및 진단 주제 사이에서 체계적인 노력이 필요하다. 이러한 업무는 예보검토(Forecasting Review)를 지원하고 부가적인 수혜자들은 소비자를 직접 상대하는 주제(상업/

컨설팅, 항공 및 국방) 내에서 검증된 개발들을 의뢰하고 있는 외부 소비자들이다. 이 업무를 촉진하기 위해 기술(Technology)의 지원이 요구된다. 기후서비스(Climate Service)가 개발된 것과 같이 "최상의 자료" 개념은 계절 시간규모 이상으로 확장되어질 것이다.

본 주제에 대한 기여 활동(contributing activity)은 다음과 같다:

주제 1 전 지구 모델링 평가와 진단

- (이음새없는 예측 시스템을 향하여) 중기예보의 전 지구 모델 수행능력의 평가와 개선

주제 2 지역 모델링 평가와 진단

- 새로운 예보정책, 기업, 공공기상서비스의 요구를 만족시키는 검증 개발
- 전략적 개입 능력
- 고해상도 대기/해양 커플링

주제 12 후처리과정과 영향

- 규모축소/실황예보 과학의 개선
- 개선된 KFMOS(Kalman Filter Model Output Statistics) 처리과정
- 특정 지점 예보시스템의 개발
- 앙상블 후처리과정 개발

## 공통주제: 위험기상

위험기상 예보의 제공과 경보서비스에서 우리의 핵심 능력의 성장은 영국기상청 계획의 핵심 구성요소이다. 본 목표의 달성은 외부에 있는 다수의 과학 및 서비스 기관의 공동 개발에 달려있다. 위험기상 예보에 요구되는 지식을 발전시키는 기초과학은 이미 대부분의 영국기상청 과학들과 관련되어있다. 특히 지구시스템 기후 모델링 부분에 대해 관측적인 측면은 점점 더 기상학에서 이용되는 유사한 기술을 사용하는 위성을 통해 관계를 가지고 있다. 이 분야의 역사적인 발전은 대부분 대기 반응으로 유도된 환경적인 측면이나 대기에 의해 유도된 환경 영향에 대해 개별적으로 추진되어왔다. 또한 개발은 일반적으로 날씨와 기후에 대해 개별적으로 개발되었다. 이처럼 접근법들이 다양해진 이유는 제한되고 단기적인 자금지원, 특히 피해영향에 대한 업무의 역사적 맥락에서 모두 이해할 수 있다. 그러나

다양화가 핵심 역량이 되기 위해서는 외부에서 개발된 전문지식들을 예보체계 속으로의 현명한 통합이 가능하도록 최소 수준의 전문지식들이 영국기상청에서 요구된다. 지표면과 대기조성에 대한 전략 모두 미래 모델 환경설정에 있어 이러한 방법들을 통합하는 것과 이를 달성하기 위한 로드맵 설정에 대한 필요성을 인식하고 있다.

전 분야에 걸쳐 광범위하게 검토했을 때 현재 고려되고 있는 주요 위험기상은 다음과 같다:

- 기존 국가 위험기상 경보서비스는 바람, 눈, 안개, 폭우를 포함한 몇 개의 위험 기상 상태에 대해 경보를 제공한다. 조기 경보에 대한 모델 입력은 주로 지역 및 전 지구 앙상블로 얻어진다. 새로운 후처리 보정 기능은 현재 평가되고 있는 MOGREPS-W(Met Office Global and Regional Ensemble Prediction System-W)로 불리는 목적을 위해 개발되었다. 실제 경보는 단기 대류규모 UK 모델의 결과에 크게 의존하고 있다. 영국 앙상블의 구현은 이러한 목표를 위한 지침에 앞서 중요한 단계를 제공할 것이다.
- 기존 항공기상 차트는 뇌우, 청천난류, 빙정 등을 포함하는 여러 위험 요소에 대한 경보를 제공한다. 이러한 차트로 자동화된 자료 입력은 전 지구 모델로부터 생산된다. 개선된 산출물들은 NCEP과 영국기상청에서 개발된 알고리즘들의 결합을 이용하여 현재 고안되고 있는 중이다. 목표는 향후 5년 이내에 이러한 산출물들을 완전히 자동화하는 것이다. 이러한 기능들은 후처리 단계에서 추진된다.
- 육상 홍수: 현업에는 전국 규모의 홍수예보에 대해 UM 수문학과 G2G를 위한 JULES(Joint UK Land Environment Simulator)을 현재 이용한다. 핵심 전략은 최첨단(leading-edge) 홍수 예보 역량을 위한 JULES(Joint UK Land Environment Simulator) 업그레이드를 위해 CEH와 공동연구를 하는 것이다.
- 산불: 영국에 대한 단기 예보는 캐나다 산불 위험 모델을 사용하고 기후 영향에 대해서는 호주 산불 위험 모델을 현재 사용한다. 영국 기상청의 전략은 캐나다 모델의 더 많은 요소들을 예측하는 것과 이러한 접근방식을 표준화하기 위하여 JULES를 향상시키는 것이다. 또한 영국 기상청은 위성 자료를 활용할 것이다. 이 기능은 현재 후처리 과정에서 구현되었지만 장기적인 목표는 이 기능을 핵심모델에 통합하는 것이다.
- 바람: 단지 위험을 결정하는 물리적 요소뿐만 아니라 추정되는 장애의 수준에 대한 예상이 가능할 수 있도록 도로 활용을 위한 정보를 결합하는 바람 피해 위험 모델(wind impact risk model)을 현재 개발하고 있다. 이 연구는 후처리 단계에서 추진될 예정이다.

➤ 결빙: 도로 상에 빙판의 발생 가능성에 대해 조언을 제공하는 영국기상청의 기능은 1-D 도로 표면 에너지 균형 모델을 기반으로 한다. 모델은 지역의 지형, 식생, 건물 등의 복사(방사) 효과의 개선된 사양으로 인해 최근 몇 년 동안 상당히 향상되었다. 서비스의 가치는 도로 처리 행태에 대한 전문 기술들을 도입하는 것과 더 많은 관측 자료를 결합시키는 것에 의해 높일 수 있다. 이 연구는 후처리 단계에서 추진된다.

➤ 화산재: 영국기상청은 화산재 예보를 위한 기초를 형성한 NAME과 같이 전 세계적으로 인정받는 확산 모델링 역량을 보유하고 있다. 최근의 발전은 농도의 양적인 추정을 가능토록 하였다. 이후 핵심 개선사항은 하강기류 관측 자료를 사용하여 예상되는 자료사양을 업데이트할 수 있는 자료동화 스킴을 개발하는 것이다. 더 나아가 위성자료 복원(satellite retrieval)에서의 발전은 자료동화에 이들 자료를 이용하는데 초점을 맞출 것이다. NAME 기능은 필요할 때마다 오프라인으로 실행된다.

➤ 취약한 대기질: 영국 전역에 대한 대기질 예보를 제공하기 위하여 AQUM 모델이 개발되고 있다. 최근의 평가에서는 인체 피해의 핵심 지표인 지표면 부근 오존을 예측하는데 있어 사용가능한 최고의 모델들과의 경쟁력을 나타내었다. AQUM 구성 관점들에 대한 기초는 UKCA 화학 스킴이다. 현재 에어러솔 스킴은 Classis이지만 곧 개발이 완료될 UKCA-MODE로 교체될 계획이다. 장기적인 목표는 핵심 예보 모델 내에서 이러한 기능을 통합하는 것이다.

➤ 우주기상: 영국기상청의 전문지식이 주로 상층대기에 있는 반면에 태양과 지자기 입력 자료는 현재 NOAA의 우주기상예측센터(Space Weather Prediction Centre, SWPC)와의 협력으로부터 입수되고 있다. 관측과정과 자료 동화, 모델링을 포함한 전리층 예보 역량의 개발을 통해 영국기상청의 전문성을 발전시킬 계획이다. 이러한 역량은 초기에 핵심 대기 환경설정과 별개로 개발될 것이지만 전체 대기 모델(deep atmosphere model) 내에 궁극적인 통합 가능성은 지속될 것이다.

## 내부 연관성

- 관측 프로그램은 현재 예보의 품질을 유지하고 계획된 개선 사항들을 산출하기 위해 관측 입력을 제공한다. 관측 R&D 계획은 현재 과학 계획의 구성요소이다.
- 과학 기술 & IT 서비스 프로그램은 과학 및 컨설팅 업무를 지원하기 위한 IT 기반시설(슈퍼컴퓨터, MASS, 사무용 컴퓨터&서버 등)을 제공한다. 이 계획에서 설명하는 작업은 슈퍼컴퓨터 시간과 대용량

저장장치에 대한 접근에 크게 의존한다. 또한 기술 및 IT 서비스 프로그램은 입력과 출력 데이터베이스(변환 & 프로그램 구축)와 슈퍼컴퓨터의 교체를 위해 필요한 개선을 포함하는 미래 NWP 시스템을 지원하기위해 요구된 개선사항을 제공한다. 특정 연관성은 아카이브와 사무용 컴퓨터에 대한 상호보완적인 업그레이드와 함께 2011/12 4분기까지 중간 사용연한(mid-life) 슈퍼컴 업그레이드의 성공적인 구현이다. 먼 훗날을 봤을 때, 단기 예보 생산 시스템은 입력 관측자료 데이터베이스, 특히 MetDB와 산출된 "최상의 자료" 데이터베이스, UKPP(격자) 및 SSPA(특정 지점)로 라이프사이클에 대한 업그레이드에 달려있다.

- 인력 자원은 채용과 직원 관리를 위한 지원을 제공한다. 주요 연계성은 연간 약 15명의 연구원에 대한 시의적절한 외부 채용을 위해 HR(인적자원)로부터 지원을 받고 있다. 교육훈련 또한 중요한 연계성이다.

## 공동연구와 외부 연계성

일기예보와 기후예측의 진보는 전 세계 여러 기관에서 일하고 있는 과학자들의 공동 노력에 달려있다. 영국기상청은 이러한 목적을 달성하기 위해 여러 기관들과 협력하여 공동연구를 한다.

영국기상청은 관심 분야를 다루는 연구 프로그램의 영향력과 연구 시 영국기상청 통합 모델의 사용 가능성, 새로운 통합모델 코드 결과의 구현을 후원 하는 등 이러한 활동 내에서 그들의 연구 성취를 가능하게 하는 영국 대학 내 기상연구소들과의 공동연구를 위해 힘쓰고 있다. 이러한 공동연구는 특히 다음과 같은 특정 협력을 통해 집중된다.

- Exeter, Reading, Leeds 대학의 공동 의장(학과장)은 이 대학교들의 주요 분야에 대한 전문 기술이 영국기상청에서 더욱 과학적인 연구와 개발 작업으로 연결되는 것을 통한 협력관계의 중심이다.
- 세 개의 영국기상청 연구팀은 Reading 대학교의 기상학, 수학 연구팀과 국립지구관측센터(National Centre for Earth Observation, NCEO)와 함께 주로 대류 규모 예보의 다양한 문제에 대해 연구하고 있다.
- NERC와 함께 FAAM(Facility for Airborne Atmospheric Measurement) 항공기에 대한 공동 소유 및 운영은 영국기상청에 적당한 비용으로 중요한 실험 장비를 사용할 수 있게 제공하고, 훨씬 더 큰 규모의

국내외 현장 실험에 참여를 가능하게 한다.

- 영국 기상청은 Cardington의 경계층 연구 시설에 관하여 NERC와 유사 목적의 비슷한 협정에 대해 결론을 내리는 과정에 있다.
- 몇몇 대학교에서 CASE, DEng, GWR의 대학원장학금이 미래의 영국기상청 예보 계획에 있어 중요한 연구 분야를 이해하는 작업에 지원된다.
- 영국기상청은 미래 예보 발전에 있어 중요한 과학 영역의 발전을 도모하기 위해 스톰 및 물 순환 변화(NERC)와 FRMRC(EPSRC)와 같은 주요 연구 협의회 프로그램의 콘텐츠를 결정하는데 참여한다.
- 영국기상청과 NERC는 날씨 및 기후 공동연구 프로그램(Joint Weather and Climate Research Programme, JWCRP)을 통해 함께 일을 한다. 이러한 협력은 영국기상청의 슈퍼컴퓨터(MONSOON)의 공유된 파티션을 사용하는 공동 프로젝트에 의해 촉진된다.

대기화학, 수문학, 해양학 등과 같이 관련된 과학 분야의 전문지식에 대한 접근은 영국 및 국외의 주요 센터들과의 공동연구를 통해 이루어진다. 영국 및 해외 주요 센터들로는 미국 NCAR, CEH (Wallingford), 대기화학에 대한 대학들 간 UKCA 컨소시움, 몇몇 영국 해양학 연구소와의 NCOF 공동연구, 영국 동물보건연구소(Institute of Animal Health, IAH), 영국 보건국(Health Protection Agency, HPA) 등이 있다.

영국기상청은 다른 국가의 기상 서비스(National Meteorological Services, NMSs)와 허가를 받은 영국기상청의 통합모델을 가진 연구소(노르웨이, 남아프리카, 호주, 인도, 한국, 뉴질랜드)에서 수행된 연구로부터 혜택을 보고 있다.

특히 영국기상청은 다른 방법으로 다른 NMS들과 공동연구를 하는데, 특히 수치모델링 전문기술을 교환하기 위한 EUMETNET(grouping of 29 European National Meteorological Services) SRNWP(Short Range Numerical Weather Prediction) 프로그램을 통해 이루어 진다. 또한 영국기상청은 연장된 기간 동안 일본기상청으로부터의 연구원 파견근무와 관련된 현재 진행 중인 공동연구를 통해 이득을 보고 있다.

영국기상청은 기존 프로그램 목표를 달성하는데 필요한 작업에 적합한 EU 기반의 프로그램 프로젝트에

참여하고 있다. 현재 참여하고 있는 프로젝트로는 해양서비스를 개발하는 MyOcean, 지역 재분석 기능을 만드는 EURO4M(European Reanalysis And Observations For Monitoring) 등이 있다. 현재의 기반 구조는 이러한 항목들에 대해 영국기상청의 보다 폭넓은 참여를 제한한다.

위성시스템의 개발에 필수적인 국제적인 공동 협력을 위해서는 대규모 투자가 요구되고, 이것이 가공되지 않은 측정 자료로 부터 산출물을 제공하는 처리시스템으로 점점 확장된다. 영국기상청은 EUMETSAT(European Organisation for Exploitation of Meteorological Satellites) 위성활용시설(Satellite Application Facilities, SAF) 중에 세 곳과 관계를 맺고 있으며 NWP SAF를 이끌고 있다. 영국기상청 직원은 위성 자료의 사용 및 미래의 임무에 대한 요구사항을 구체적으로 명시하는 다른 예보 센터와 함께 적극적으로 참여한다.

예보과정은 WMO의 국제 협력 구조를 통해 유지관리 및 업데이트 되는 인프라 위에 구축된다. 영국기상청 직원은 다양한 직급에서 국제 실무 그룹(International Working Group) 등의 참여에 자주 초청된다. 이러한 참여는 영국기상청의 특정 목표와 그룹의 목적들이 잘 일치할 수 있도록 지원한다. 한 예로 TIGGE(THORPEX Interactive Grand Global Ensemble) 멀티모델 앙상블 활동에 상당한 기여를 하고 있는 THORPEX(The Hemispheric Observing-system Research and Predictability Experiment) 프로그램을 들 수 있다.

비교할만한 국제 조직들은 특히 항공 및 국방 등 예보 활용 분야에 존재하고, 유사한 대응은 이러한 분야에서 기회로 만들어진다.

## 성공평가 및 목표

모든 프로젝트와 관련 활동들이 즉각적인 현업 개선을 목표로 하지 않기에 WFS (Weather and Foundation Science)의 성공 여부도 예측능력(forecast Performance)을 검증하는 다양한 방법을 통해 측정되어 진다.

과학 결과물의 종합적인 질적 수준은 MOSAC(Met Office Science Advisory Committee)에 의해서 평가되어 진다.

정확도(accuracy)는 최고 및 최저 온도와 강수확률(Probability of Precipitation, PoP)을 포함해서 자동화된 산출물별 정확도 점수(score) 등 전구 및 지역(UK) 모델의 정확도에 대하여 수치예보 지표로 요약되어 진다. 전구 지표는 분석장과 라디오존데를 참고하여 주요 상태변수(5일 전의 지상 기압과 상층 고도, 바람, 온도 및 습도 등)의 정확도 측정을 요약하고, 지역(UK) 지표는 지상 관측을 참고하여 주요 지역 날씨 변수(2일 전의 백엽상 온도, 바람, 구름, 강수 및 시정)의 정확도 측정으로 요약되어 진다. 영국에 대한 강수의 2일 확률예보는 BSS(Brier Skill Score)를 사용하여 평가된다. 이러한 2011/12 측정 목표는 다음과 같다 :

- 전구 지표 : 2.9 포인트 상승
- 지역(UK) 지표 : 0.7 포인트 상승
- 강수확률(PoP) 지표 : 0.8 포인트 상승

영국기상청 웹사이트의 기본적인 공공 예보(public forecast)의 자동화에 따라, PWSCG 요구 사항은 1-2일의 온도, 바람, 후처리된 모델 결과에 대한 날씨를 목표로 설정하고 있다. 또한 PWSCG 목표는 해수면 온도와 파랑 예보에 대해 설정되고, CAA 목표는 북반구의 상층 온도와 바람 예보에 대해 설정된다.

연구의 완수는 예보과정에 대한 개선으로 발생한 지난 5년 간(노력의 측면에서) 완료된 WFS (Weather and Foundation Science)를 통해 측정되고 NWP 지수에 대한 개선 또는 운영 수행능력의 다른 측면에 대하여 측정된다. 전년도와 마찬가지로, 우리는 운영 개선 연구의 75-90% 완수를 목표로 한다 (프로그램에 추측에 근거한 작업에 대한 충분한 공간을 보장하기 위하여 100% 미만으로 상한을 제한). 과학의 진실성을 유지하기 위하여, 상호 검토된 논문의 의미 있는 영향을 나타내는 두 가지 측면 (지난 1년 동안 게재된 논문의 수와 지난 10년 동안 게재된 논문의 수(최소 15회 인용된))을 측정한다. 영국기상청 과학의 다른 부분의 통합을 통해 새로운 기준은 Web of Science의 정보로 그려진 2011년에 설정되고 있다.

또한, 측정지표(metrics)는 계획된 산출물의 달성을 위해 설정된다. 2011/12에서 목표는 우선순위 A 산출물의 100%(최소 1백만 파운드(£1m)의 비즈니스 영향을 가진 사람), 우선순위 B 산출물의 80%(최소 25만 파운드(£250k)의 비즈니스 영향을 가진 사람), 우선순위 C 산출물의 70%(최소 7만 파운드(£70k)의 비즈니스 영향을 가진 사람)를 전달하는 것이다.

## 위험요소와 기회

- 예산 삭감은 개선된 차세대 모델을 위한 새로운 기반 지식 습득 프로그램을 위축시킬 것이다. 이러한 감축은 불확실성과 영향 분석 분야를 확장해보고자 하는 것도 위협할 것이다. 이런 위험 요소는 가장 높은 우선순위에 대한 집중에 의하여 대응할 수 있다.
- 프로그램은 전문 지식에 달려있으며, 여러 세계적인 수준의 전문가를 포함한다. 이들 중 어떤 것이 부족하다면 연구의 질과 명성을 감소시킨다. 이러한 전문가들과 함께 모든 분야에서 모델의 개발과 활용에 대한 전문기술(지식)의 임계량을 유지하는 것은 중요하다. 그러므로 지속적인 신규채용과 고학력 직원의 유지에 대한 위협은 심각한 위험이다. 또한 경쟁력 있는 급여를 지급하는 것과 매력적인 근무환경을 제공하는 것도 중요하다. 이러한 위험은 모든 직원이 즐겁게 일을 하는 것과 독자적인 전문기술(지식)을 인정하고 확산시키는 것에 대한 보장, 지연 없는 결원의 충원, 매력적인 급여와 근무환경에 대한 요구의 홍보 등에 의해 대응할 수 있다.
- 기상 연구는 국제적이고 협력적인 작업이다. 상업주의와 경쟁은 미래 역량을 손상시켜 협력적인 개발을 방해할 수 있다. 이러한 위험은 유효한 공동 기구를 통해 작업하는 것으로 대응할 수 있다.
- 연구는 당연히 추측에 근거한 요소를 포함하고, 일부 분야는 예상된 운영 개선점들을 성공적으로 제공하지 않을 수도 있다. 이러한 위험은 다른 곳에서 사용되는 기술에 가능한 많이 의존하는 것과 상호 의존적이지 않은 개별 프로젝트를 보장하는 계획 수립으로 줄일 수 있다. 시스템 생산 버전의 유지 관리의 지속성은 절대 새로운 개발에 의존하는 것만으로는 유지 되지 않을 것이다.
- 연구 수행하거나 완료하는 것은 사무용 컴퓨터와 슈퍼컴퓨팅 시스템에 대해 필요한 투자를 지속하는데 의존한다. 특정 위험은 특히 관측과 자동화된 예측 데이터베이스에 대한 전후처리(front-end processing) 시스템의 연속성이다. 컴퓨터 시스템의 이송 위험은 하드웨어 업그레이드로 기술 개발 분리에 의해 최소화하고 있다.

- 수치예보는 국제 관측 네트워크에 의존하게 된다. 예를 들어 경비 절감 때문에 네트워크의 기능을 상실하는 것은 예측의 정확성을 위협한다. 이것은 보다 쉽게 처리하기 위해 사용할 수 있는 관측 자료에 대한 변경을 허용하는 소프트웨어의 유연성을 증가시키는 것과 어떤 관측에서 얻어진 더 많은 값을 정하는 관측 처리과정과 자료 동화의 개발에 의해 관리되어질 것이다.
- 해양 예측(예보)도 국제 관측 네트워크에 의존하고 있다. 이러한 네트워크 백업분 부족으로 인한 어떤 기능의 손실은 예보 기술의 감소로 바로 이어질 것이다. 그러므로 완화(mitigation)는 네트워크의 능력을 유지하고 증가시키는 데 초점이 맞추어져있다.
- 차세대 컴퓨터는 방대한 수의 프로세서를 포함할 것이고, 그들을 효과적으로 사용할 수 있는 새로운 모델링 접근 방식이 필요하다. 즉, 2016년 이후 공급될 차세대 컴퓨터를 과학계 활용을 극대화 하지 못할 위험이 있다.

## 관리

업무는 영국기상청 수석연구원의 관리 하에 날씨, 기초, 기후 과학(Weather Science, Foundation Science, Climate Science)의 부회장과 함께 과학청장(Head of Science Administration)에 의해 지원되는 협력관계의 책임자들에 의해 관리된다.

업무는 영국기상청의 사업관리 시스템에 따라 관리된다. 고객 output을 이용한 활동은 보통 “light touch” 방법을 사용한 영국기상청의 프로젝트&프로그램 관리 절차에 따라 관리된다. 프로그램 간의 복잡한 상호작용으로 수반된 프로젝트들 사이에 중복되는 부분은 “projects”로 식별되고, 자격을 갖춘 프로젝트 매니저를 포함하는 거대 프로젝트 관리 접근법의 사용이 요구될 것이다. 공식적인 프로젝트 관리에 부적합한 활동들은 영국기상청의 연구 품질 시스템 정책에 따라 관리되고, 문서화되며, 다음의 주소에서 볼 수 있다.
http://www01/teams/research/Research_Quality_Management.htm

계획의 과학적인 내용은 영국기상청의 과학자문위원회(Met Office Science Advisory Committee, MOSAC)에 의한 연간조사로 인해 달라질 수 있다.

과학프로그램의 재정적 측면은 매년 영국기상청의 전체 예산 검토 과정의 부분으로 재검토된다. 월별 예산 검토를 시행하고, 변칙이 나타나면 프로젝트 수준으로 축소될 수도 있다. 그렇지 않으면, 프로젝트 보고는 제외된다.

과학은 주요 사업 프로젝트들(특히 TIS는 전달 파트너이다)의 일반적인 이해에 대해 우선시 되는 산출물 개발 업무를 보장하기 위하여 the cross-Office Product Portfolio Group의 체제 내에서 작동할 것이다.

## 이전 계획에서의 변화

- 올해의 주요 변경사항은 전통적인 단기 예보의 소관을 넘어서는 과학적인 부분에 대해 수행된 작업의 자세한 내용을 포함하기 위하여 계획의 범위를 확장하는 것이었다. 결과는 아직 종합적이지 않으나, 추가적인 내용이 도움이 되기를 기대한다.
- 기반시설 테마는 통합 모델 시스템의 날씨 요소뿐만 아니라 기후에 대한 지원을 포함하기 위해 추가되어졌다.
- 해양 예측 테마는 단기 예보 뿐만 아니라 기후를 지원하는 광범위한 활동을 포함하기 위해 추가되어졌다.
- 전지구 평가와 진단 테마는 특히 기후에 대해 수행된 작업(연구)을 포함하기 위해 추가 되어졌다.
- 모델 모수화 및 테마 처리과정의 지표면 요소는 단기 예보 뿐만 아니라 지구시스템 모델링 지원을 위한 지표면 모델 개발을 포함하기 위해 연장되었다.
- 관측 R&D 프로그램 계획은 새로운 테마로 과학 계획에 추가되었다.

〈표 3〉 과학계획의 주제별 목적

| 주제 | 목적 |
|---|---|
| 전지구 모델 평가 및 개발 | · 기법 또는 물리 모수화의 잠재적 개선점 평가, 시간규모로 시험 운영을 하고, 운영 시스템 및 기후 서비스 내에 새로운 전 지구적 요소를 도입<br>· 새로운 전지구 모델 구성에 따라 기존의 툴과 새로운 툴을 사용하는 전 지구 모델의 성능에 대한 진단 연구<br>· 변화하는 고객의 니즈를 충족하기 위해 (해상도 또는 강화된 지구시스템의 복잡한 특징 수정) 모든 시간규모에 대해 적용할 수 있는 새로운 전 지구 모델 구성을 정의<br>· 고객의 제품에 원활한 전환의 보장 |
| 지역 모델 평가 및 진단 | · 수치 기법 또는 물리 모수화의 잠재적 개선점 평가, 시험 운영 및 성능이 검증되면 현업화 도입<br>· 기존의 툴과 새로운 툴을 사용하는 전 지구 모델의 성능에 대한 진단 연구<br>· 변화하는 고객의 요구를 충족하기 위해 (해상도와 도메인 수정) 새로운 모델 구성을 정의<br>· 소비자 제품들로의 지향(pull-through)을 보장. 이것은 그 지점의 특정 예보 데이터베이스 및 후속의 의존 모델을 통해 한쪽과 다른 한쪽을 잇는 테스트를 필요로 함 |
| 역학 기법 | · UM(Unified Model)의 역학 코어를 구현<br>· 기존 모델의 지속적인 개선 및 개발<br>· UM의 역학 코어로의 재처리는<br>– 분석 방정식의 특성을 더욱 정확하게 유지<br>– 컴퓨터 자원을 효율적으로 활용하게 함<br>– 운영상의 실패를 줄임<br>– 광범위한 NWP 규모를 지원<br>– 대류 규모에서 성공적으로 실행<br>· 특히, 슈퍼컴퓨팅 개발 방향과 관련하여 역학 코어의 향후 개발을 위해 강점/약점 및 가능성을 정의 |
| 위성자료 활용 개선 | · MetOp 데이터의 혜택을 NWP로 넘겨줌<br>· NWP의 AMSU, AIRS, SSMIS, MSG 그리고 라디오파 차폐(radio occultation) 자료로부터의 더 많은 영향을 전달<br>· 초기 NWP에 NPP 데이터의 혜택을 넘겨줌<br>· ADM과 같이 최근에 이용가능하게 된 다른 위성 데이터를 NWP에 활용 |
| 자료 동화 & 앙상블 예보 | · 운영 중인 전 지구 자료동화 시스템을 개발 및 업그레이드하도록 도와주는 대규모의 테스트 수행<br>· 효율적인 관측 전처리 및 자료동화 소프트웨어 시스템 유지<br>· 운영 중인 전 지구, 지역 및 영국 앙상블 예측 시스템의 개발, 테스트 및 업그레이드 수행<br>· 자료동화 내의 불확실성 평가 제공을 위해 앙상블 예보의 유용성 극대화<br>· 운영 중인 영국 1.5km 자료동화 시스템 업그레이드 수행 및 개발을 돕는 대규모 테스트 수행<br>· NWP/기후 어플리케이션을 위한 지표면 자료동화 시스템의 개선을 테스트 및 개발<br>· 유럽 지역 재분석 시스템의 개발, 테스트 그리고 구현<br>· 지표면 변수와 경계층 구름의 확률 예보 개선을 목적으로 지면 조건의 변동 및 확률 물리학(stochastic physics) 개발 도입<br>· 앙상블 예보 평가를 위한 통계적 유의수준의 범주 개발 및 유지<br>· UM의 역학 코어 및 물리 모수화의 새 버전을 가지고 작업을 효율적으로 수행하는 4D-Var의 개발 및 유지<br>· 효율적이며 일관된 예보오차 공분산 모델 및 최소화 기법의 설계 및 개발 |

| 주제 | 목적 |
|---|---|
| 자료 동화<br>& 앙상블 예보 | · 층적운의 향상된 표현, PBL 구조와 같은 최우선 분야에서의 자료동화 R&D를 안내하기 위한 진단 수행<br>· 멀티모델 앙상블 기법 사용의 장점에 대한 향후 연구를 포함하는 THORPEX에 기여하는 Met Office를 위한 지원<br>· 수반행렬(adjoint-based)에 근거한 관측 민감도 도구의 개발 및 적용을 포함하는 관측 시스템 네트워크 최적화에 요구되는 연구 수행 |
| 모델 모수화 및 처리 | · 구조적 오차를 줄이기 위한 모수화 방법의 개발을 통해 지면 부근 온도, 경계층 구름 및 안개 예보를 개선<br>· 대류 모사가 가능한 UM의 앙상블 및 확정 예보로부터 얻어진 최상의 고객 혜택이 가능하게 하는 적절한 물리학의 제공<br>· 물리학적 기반의 새로운 후처리 기법 개발<br>· 동일한 비용으로 더욱 정확한 예보를 얻을 수 있게 하는 복사 전달 방식의 정확성과 효율성 개선<br>· 동일한 모델로 날씨, 계절 및 기후 예측을 지속적으로 가능하게 하는 장 · 단기 전 지구 모델 성능 개선<br>· 위 사항의 수행으로 대기 과정의 이해 증진 |
| NWP 시스템을 위한<br>소프트웨어 인프라 | · 선택된 현업 구성을 위해 최소한의 실행가능시간과 IBM 슈퍼컴퓨터 자원의 최적 활용<br>· 현업과 연구 분야 고객 모두의 요구를 지원하기 위한 시스템 개발. 특히 향후의 과학적 개발을 용이하게 하기 위함<br>· 향후 비용을 최소화하기 위해 시스템의 노후화 갱신 |
| NWP 시스템의<br>유지관리 | · 관측 모니터링 활용은 관측 네트워크상의 아노말리를 확인하고 교정하는데 필요<br>· 예보 모니터링은 즉각적인 교정 작용이 불가능한 곳에서의 과학 연구 활동에 정보를 주거나 NWP 제품이 가진 가능성 있는 문제를 확인 및 교정. 모니터링 서비스의 활동은 부분적으로 NWP 품질 관리 그룹으로부터의 정보 입력(input)에 따라 결정됨<br>· 정기적인 검증 대책은 예보 모니터링을 용이하게 함 |
| 대기 확산 & 조성 | · 대기 확산을 지배하는 대기 과정의 이해 개선<br>· 오염물질의 수송, 변형 및 감소를 제어하는 핵심적인 대기 과정의 모수화 개선<br>· 대기확산모델 NAME 개발 및 유지<br>· 대기확산 및 합성을 설명하기 위한 통합모델(Unified Model) 개발 및 유지<br>· 기상학에 대한 합성 피드백을 설명하기 위한 통합모델(Unified Model) 시스템 개발<br>· 모델 간 상호 비교 및 관측 값의 비교를 통해 확산 모델 테스트 및 검증<br>· 필요에 따라 대기확산 긴급 상황에 대응할 수 있는 역량 유지<br>· 대기 중에 배출된 오염균의 영향에 대한 전문가 조언의 주요 제공자로서, 정부에 의해 보여줄 수 있는 긴급 대응력을 증대시킴<br>· 동물과 식물 건강분야에서 공동 연구 활동 수행 및 인도<br>· 향후 상품 검증을 목적으로 DECC/Defra에 의해 사용될 지역 배출량 추정 능력 개발<br>· Defra로 우리의 대기질 정책 조언의 중요성을 확장<br>· 영국기상청이 소비자들에게 제공하는 상담 서비스 증대<br>· 대기질, 천식, 심혈관 질환 및 다발성 경화증과 관련된 새로운 보건 서비스의 개발 지원 |

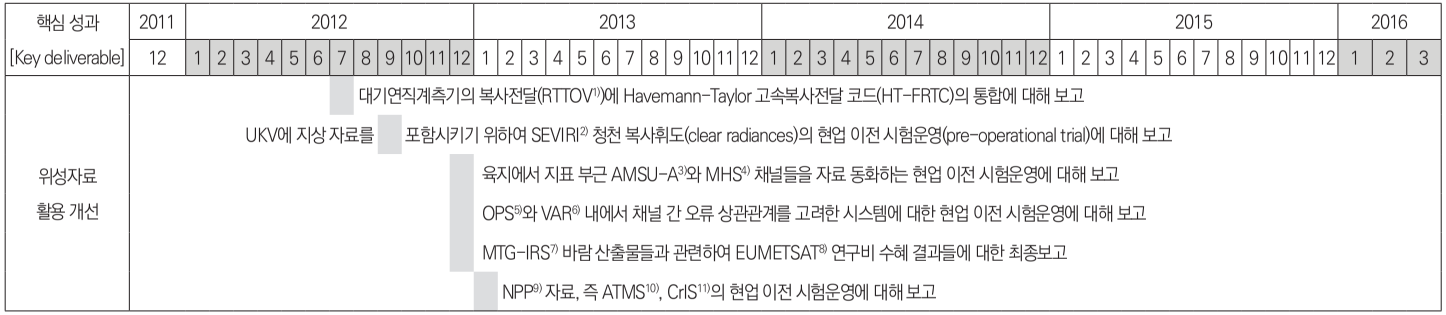
| 주제 | 목적 |
|---|---|
| 해양 예보 연구개발 | · 특정 고객과 목적을 위해 제품의 적합성에 대한 평가와 소통<br>· 현재의 고객을 위해 예측 개선<br>· 직원의 기술력과 과학적 스킬, 명성을 유지하고 개선<br>· National Centre for Ocean Forecasting(NCOF)내 협업을 통해 R&D의 효과적인 개선<br>· 유럽 해양 핵심 서비스 사업에서 이익과 그 안에서 적절한 역할을 함<br>· 다른 정부 부처(특히, Cefas와 Defra Marine & Fisheries, 환경부와 MCA)와 상업적 사업에 의해 만든 우리의 예측을 개선하기 위해 비즈니스 프로그램과 협력 |
| 관측 연구시설 유지 | · Met R&D 프로그램을 위한 양질의 관측연구를 위해 효과적인 비용과 시의적절한 접근<br>· 무엇이든 적절한 관측 자료 세트를 사용하기 위해 지적 이해와 경험을 갖춤<br>· Met R&D 프로그램의 니즈를 충족하기 위해 효과적인 국제 프로그램을 구축하여 지원하고 다른 관측 연구 그룹 프로그램에 영향을 미치는 최고의 위치가 되었음 |
| NWP 후처리 및 영향 | · 위험 기상의 초단기 예보로 개선된 관측과 실황 예보 기술을 통합<br>· 확률 예보를 최적화하고 예보 돌출(forecast jumpiness)을 감소시키기 위하여 시간차의 결정론적 예보와 멀티모델의 확률 예보를 포함하는 다양한 소스와 다양한 규모에서의 결정론적 예보와 확률 예보를 포함하는 이질적인 모델링 소스로부터의 정보는 통합되어 시설에 제공<br>· 통계적 후처리 개선과 특정 장소에 대한 해결책의 최적 개발<br>· 위험 기상 자동 경보를 개선하는데 있어 정보사용을 특히 강조하는 대류규모 예보 후처리에 대한 효과적인 방법들을 개발<br>· 사회적 측면에서 위험한 날씨의 영향과 위험요소 안에서 위험기상 확률의 변환에 대한 이해 개선 |
| 관측 R&D | · 노후화를 방지하고, 필요한 곳에 확장성을 더하면서 현존하는 영국 네트워크들의 지속성을 보장<br>· 좀 더 알맞은 장비와 적절한 관측을 통해 경계층 관측의 해상도와 범위 향상<br>· 현재 장비의 역량을 향상시킴으로써 현존하는 영국 네트워크들로부터 최대의 가치 도출<br>· 영국 지표관측을 통해, 날씨에 대한 인간의 경험을 모사하는 것을 목표로 하는 측정으로부터 탈피하고 NWP의 니즈에 더 적합한 물리적 계수에 초점을 둠<br>· NWP 관측역량의 최대가치를 도출하기 위해서 관측의 특성과 불확실성을 이해하기 위한 자료동화와 검증작업<br>· 저렴한 운영비의 새로운 기술 개발 및 배포를 통한 운영비의 감소<br>· IPR의 조언 및 작성물의 제공을 통해 수익개선에 기여<br>· 국제적인 협력관계를 활용하여 NWP와 예보서비스의 부가적인 전지구 관측을 위한 니즈에 대응<br>· 어떤 변경활동을 통해 보존된 기후기록의 확신을 제공<br>· 공동의 목적(국가적인 위협 등)과 비즈니스프로그램(극한기상의 영향, 화산의 에어러솔 등)으로부터 생겨나는 요구에 대응할 새로운 관측 역량 개발<br>· 기타 NMS와 함께, 장비 및 설비의 비용절감을 위한 산업 내 경쟁 촉진 |
| 국방 R&D | · NWP는 국방 제품, 어플리케이션, 자문 서비스의 모든 역량에 활용됨<br>· NWP시스템의 품질은 국방을 목적으로 하는 사용자들을 위해 적절한 검증을 함<br>· 제품과 어플리케이션으로 만들어진 영향예측은 국방을 목적으로 하는 사용자들을 위해 적절한 검증을 함<br>· 이들 제품, 어플리케이션, 자문서비스의 사용자들에게 과학적 지원과 조언 제공 |

| 주제 | 목적 |
|---|---|
| 항공 | · (1)고객들이 어떻게 기상자료를 사용하고, (2)그들의 니즈를 충족시키고, 최소한의 수동 작업을 위해 우리가 제공하는 제품들과 자료를 어떻게 최적화 시키는지에 대한 이해<br>· 지속가능한 개발과 성장, 수익성 있는 정부사업, 상업적 고객을 위해 영국 기상청이 할 수 있는 새로운 제품개발 과정과 제품 합리화의 방침 채택<br>· 주목할 특정 분야:<br>– 유럽의 항공교통 관리와 공항 운영 지원을 위한 기상자료 제공<br>– 고부가가치 제품을 포함하여 2013년까지 WAFC 전자동화를 가능하게 하는 항공장해기상 자동화 역량 개발<br>– 더 많은 상업 서비스를 효과적인 비용으로 전달하기 위해 자동화된 공항지역 예보역량 개발<br>– GRIB2 제품을 지원하고 유지하기 위해 WAFC Washington과 협력<br>– CAA 항공 연구 착수<br>– 현재의 운영제품을 지원하기 위한 역량 유지: 최적항로 예측, 비행 소요 시간 예측의 오류 |

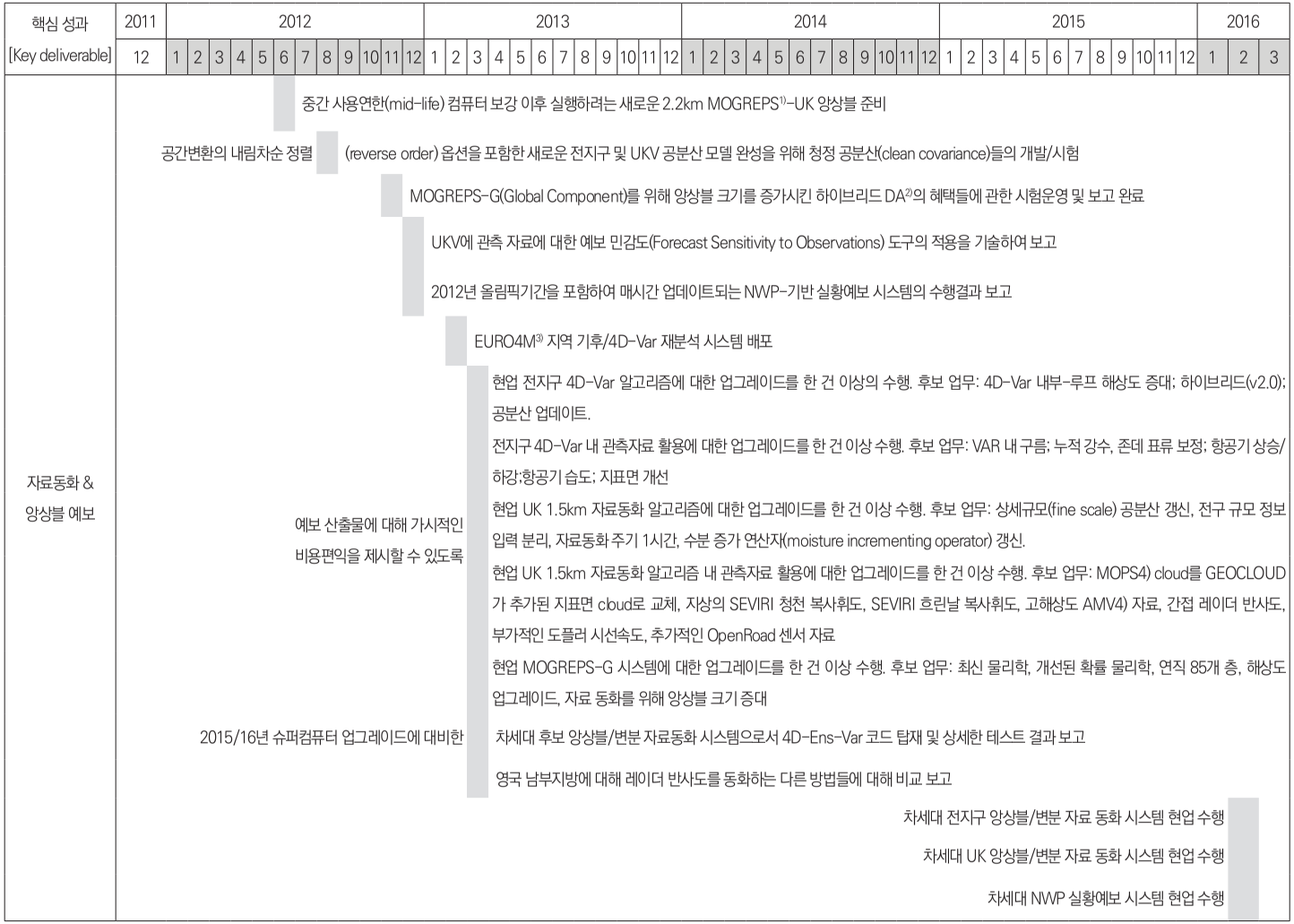

핵심 성과
[Key deliverable]
2011
2012
2013
2014
2015
2016
12
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 1 2 3
전지구 모델
평가 및 개발
기후 및 NWP 시간규모 상에서 blocking 지수들을 비교
GA5.0에 포함하기 위해 시험평가 된 해상도(L85 & 20km)와 역학 업그레이드
열대저기압 검증시스템을 리눅스 데스크톱에 포팅하고 모델 시운전 자료와 함께 시스템을 사용하기 위한 패키지와 문서 제작
(UM 사용자 워크숍 결과들을 기초로) GA4.0 평가, GA 문제점들 우선순위, PEGS 검토한 보고서 작성
"성층권 표현이 대류권 예보에 미치는 영향 - 모델 개발 권고"에 대한 박사학위 논문 완성
현업 전지구 모델들의 업그레이드에 관해 영국 기상청 과학자문위원회(MOSAC)에 보고
(다른 GMED 하부 주제인 INTEGRTAE와 결합된) 최종 배포판에 앞서 초기 결합예보 시험판을 GA5.0 베타버전 평가판에 통합
NWP 시간규모 상에서 아시아 몬순 에어러솔 상호작용에 대해 연구하는 SAPRISE 프로젝트에 관한 보고
현업 운영(GA 5.0)에 앞서 병렬체제에서 완벽하게 시험하고 준비된 모델 물리 업그레이드
장애물에 대해 모수화된 비산악파(non-orographic wave)를 평가하기 위한 기법 개발 및 문서화
전지구 및 지역 환경설정의 비교수행에서 특히 관심을 가지는 UM 내 중위도 종관예보 에러 발달에 대한 보고
(UM 사용자 워크숍 결과들을 기초로) GA4.0 평가, GA 문제점들 우선순위, PEGS 검토한 보고서 작성
(WG3와 연계하여) 결합모델과 시작된 초기 평가에 도입된 3방향 대기-파동-해양 물리적 결합
현업 전지구 모델 업그레이드에 대해 MOSAC에 보고
긴 시간 규모 에러의 전조이며 물리적 메커니즘에 제시된
대기-해양 상호작용과 관련하여 맹렬히 발달하는 모델 에러에 대한 논문 작성
(계절/MOGREPS/THORPEX/FOAM/MyOcean2와 연계하여) 대기-해양 상호작용 연구에서부터 현업 중기와
계절 예측 및 해양예보를 위한 향상된 이음새 없는 시스템까지 초기 종합체계(pull-through)
현업시스템에 가능한 실행/연직 환경설정에 대한 지속적 실험에 대한 권고를 포함하여
차세대 전지구 모델을 위해 업그레이드된 연직 해상도에 대한 조사 보고



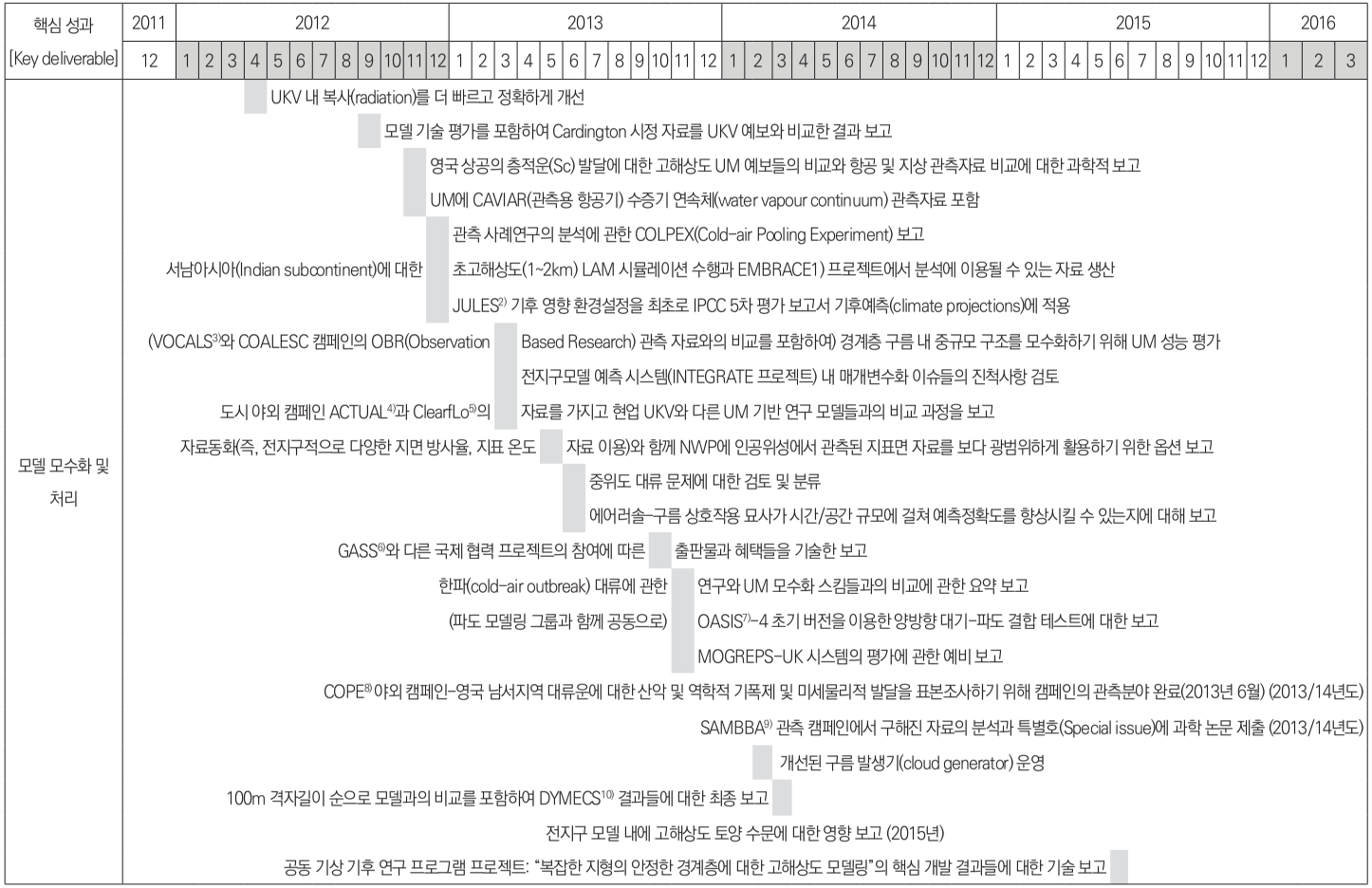

1) : Bussiness Performance Measurements




1) : Radiative Transfer for TIROS Operational Vertical sounder
2) : Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager
3) : Advanced Microwave Sounding Unit-A
4) : Microwave Humidity Sounder
5) : Observation Processing System
6) : 4D-Var Data Assimilation
7) : Meteosat Third Generation-Infrared Sounding
8) : European Organisation for Exploitation of Meteorological Satellites
9) : NPOESS(National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System) Preparatory Project(NPP)
10) : Advanced Technology Microwave Sounder
11) : Cross-track Infrared Sounder




1) : Met Office Global and Regional Ensemble Prediction System
2) : Data Assimilation
3) : European Reanalysis and Observations for Monitoring
4) : Moisture Observation Pre-processing system
5) : Atmospheric Motion Vectors

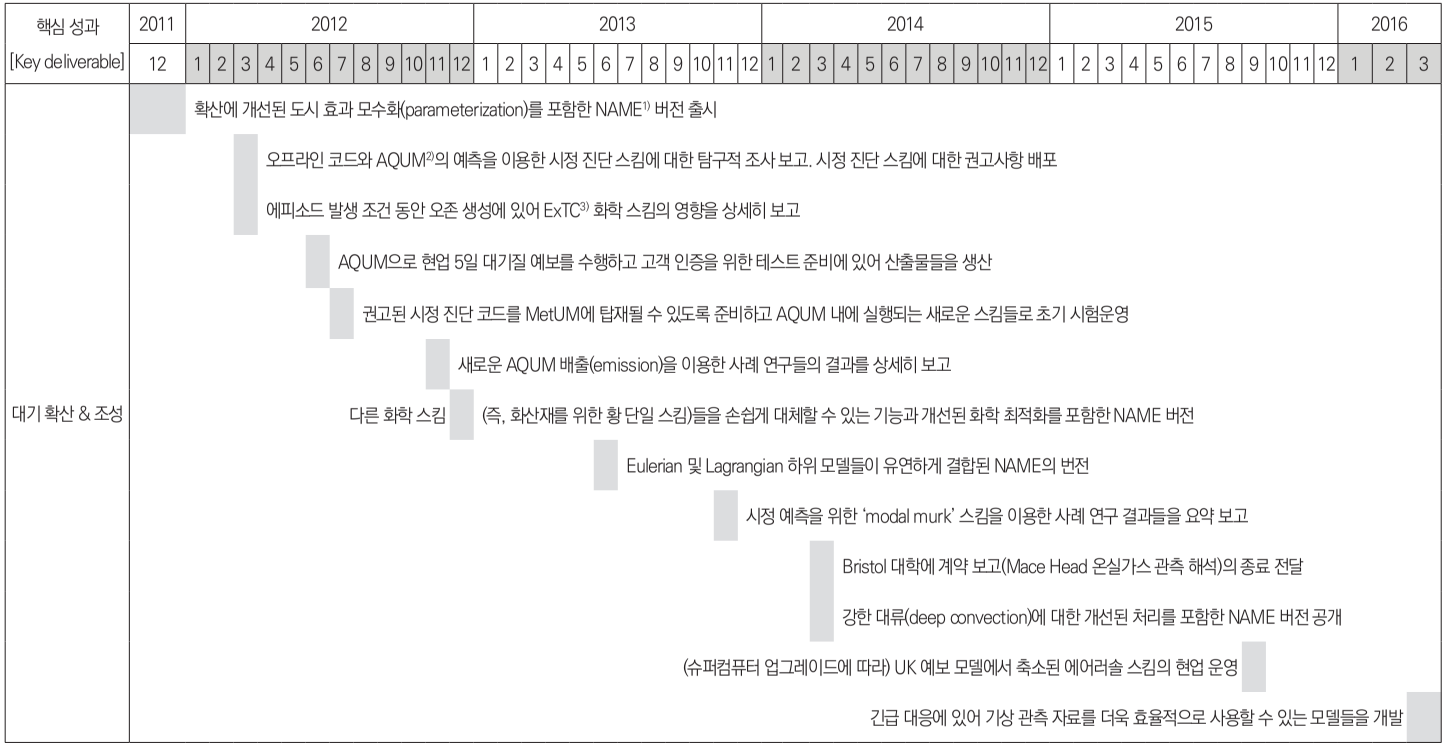



1) : Earth System Model Bias Reduction and Assessing Abrupt Climate Change
2) : Joint UK Land Environment Simulator
3) : VAMOS(Variability of the American Monsoon System) Ocean-Cloud-Atmosphere-Land Study
4) : Advanced Climate Technology Urban Atmospheric Laboratory
5) : Clean Air for London
6) : Global Atmospheric System Studies
7) : Ocean Atmosphere Sea Ice Soil
8) : COnvective Precipitation Experiment
9) : South American Biomass Burning Analysis
10) : DYnamical and Microphysical Evolution of Convective Storms

| 핵심 성과 [Key deliverable] | 2011 | 2012 | | | | | | | | | | | | 2013 | | | | | | | | | | | | 2014 | | | | | | | | | | | | 2015 | | | | | | | | | | | | 2016 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 |
| NWP 시스템을 위한 소프트웨어 인프라 | | | | | 진단 결과 메시지(diagnostic output message)들의 합리적 개선을 포함한 UM8.2 출시 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 후속 product suite(PS30 – 영국기상청 현업모델 운영 체계)에 입력되는 UM 자료 재구성 착수 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | Power 7(IBM 슈퍼컴퓨터) 상에 UM 성능과 확장성에 대한 사후실행 보고 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 모델링 환경에 더 나은 인터페이스를 제공하기 위한 1단계 주요 구조적 변화를 포함한 UM 8.3 출시 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 과학 사용자(Science User)들에게 새로운 Suite Control System(현업모델 운영 체계 제어 시스템) 출시 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 2012 MASS 자료 분류 훈련을 위한 장소에 소프트웨어 지원 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 모든 이용 가능한 플랫폼에서 주요 영국 기상청 코드의 성능과 확장성의 재검토 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 모델링 환경에 더 나은 인터페이스를 제공하기 위한 2단계 주요 구조적 변화를 포함한 UM 8.4 출시 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 현업에 이용할 수 있는 검증 코드들(ABV/SBV1))의 연차 주요 배포(annual major release) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 현업 및 외부 활용을 위해 자료동화 코드(OPS/VAR2))들의 연차 주요 배포(annual major release) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | MASS에 새로운 자료 포맷 지원 제공 (2013-2014) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 승인된 격자화 자료 전략에 따라 15일 이전까지 영국, 유럽, 전지구에 대한 확정(deterministic) 및 확률(probabilistic)이 결합된 "최상의 자료(Best data)"의 종합적 격자 확률 데이터베이스 배포 (2013-2014) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 사용자 테스트가 가능하도록 새로운 검증시스템(New Verification System) 1단계 추진 (2013-2014) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | NWP 내 모든 MetDB 필요사항들을 대체할 수 있는 소프트웨어 배포 (2013-2014) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NWP 시스템 유지관리 | | | | | PS30 현업 운영을 위한 사전준비 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | PS31 현업 운영을 위한 사전준비 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | PS32 현업 운영을 위한 사전준비 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

[1] : area-based verification/station-based verification

[2] : Observation Processing System/Variational Data Assimilation System




1) : Numerical Atmospheric-dispersion Modelling Environment

2) : Air Quality in the UM

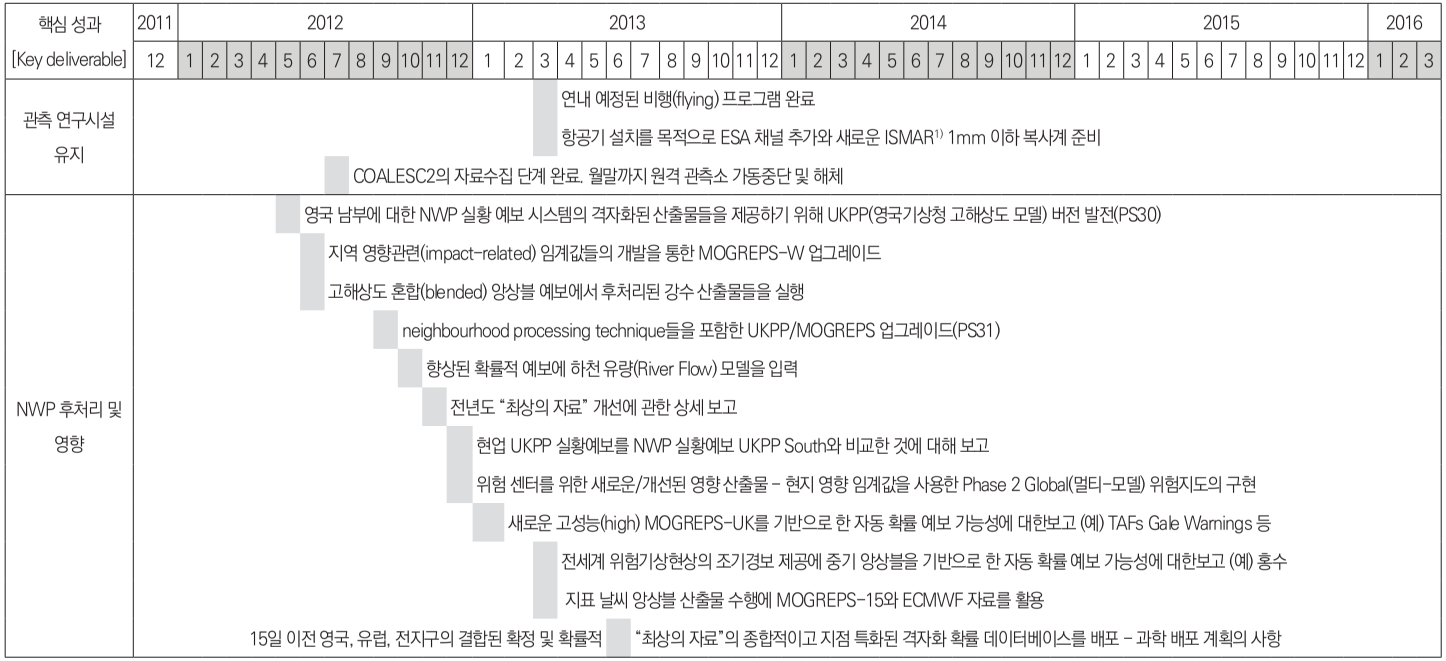
3) : extended tropospheric chemistry

| 핵심 성과 | 2011 | 2012 | | | | | | | | | | | | 2013 | | | | | | | | | | | | 2014 | | | | | | | | | | | | 2015 | | | | | | | | | | | | 2016 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [Key deliverable] | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 |
| 해양 예보 연구개발 | 전지구/유럽 10년 파도 과거예보(hindcast) 및 관련 산출물 도구들 배포 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 올림픽 요트 경기를 위해 웨이머스 만(Weymouth Bay) 파도(wave) 모델 실행 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 전지구 FOAM 및 GloSea의 협업 운영을 위해 3D NEMOVAR(NEMO를 위한 자료동화 체계) 준비 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 슈퍼컴퓨터의 중간 사용연한(mid-life) 업그레이드 이후 전지구 파도(wave) 모드의 스펙트럼 해상도 업그레이드 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 유럽과 영국 해일(Tidal wave) 모델들을 NAE로 교체 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | (PS31): FOAM 주요 업그레이드. L75, CICE를 포함하도록 계획 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | (PS31): 전지구 현업 FOAM 체제에 3D NEMOVar 포함 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | FOAM의 페르시아 만 환경설정에서 ERSEM과 SPM(Suspended Particulate Matter, 부유입자물질) 모델 요소들을 실행 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | (PS32): POLCOMS[1] 퇴역 이후 NEMO 페르시아만 현업 수행 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | (ESA SST CCI[2] 프로젝트를 위한) 새로운 OSTIA 재분석 버전의 보급 준비 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 재편된 항해 예측 시스템(surf forecast system) 출시 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | FOAM ORCA1 전지구 환경설정에서 ESA CCI OC[3] 산출물들을 동화 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | HADGEM3-ES 환경설정의 생물지구화학 모델 요소에 대한 권고사항 제시 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | (발간된 2권의 보고서와 함께) MyOcean에 대해 완벽하게 정립된 분기별 검증 보고 과정 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Global/European 앙상블 파도 모델에 대한 검증 시험 착수 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | (지역 및 대륙붕 해역을 포함하여) 나머지 모든 FOAM 환경설정 내에서 현업 운영을 위한 3D NEMOVAR 준비 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 비정렬 격자(unstructured grid) 전지구 파도 모델을 현업시스템과 대비하여 검증 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 현업적으로 새로운 MyOcean 매트릭스(metrics)를 생산하고, 사용자와 산출센터에 유용한 정보를 제공 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

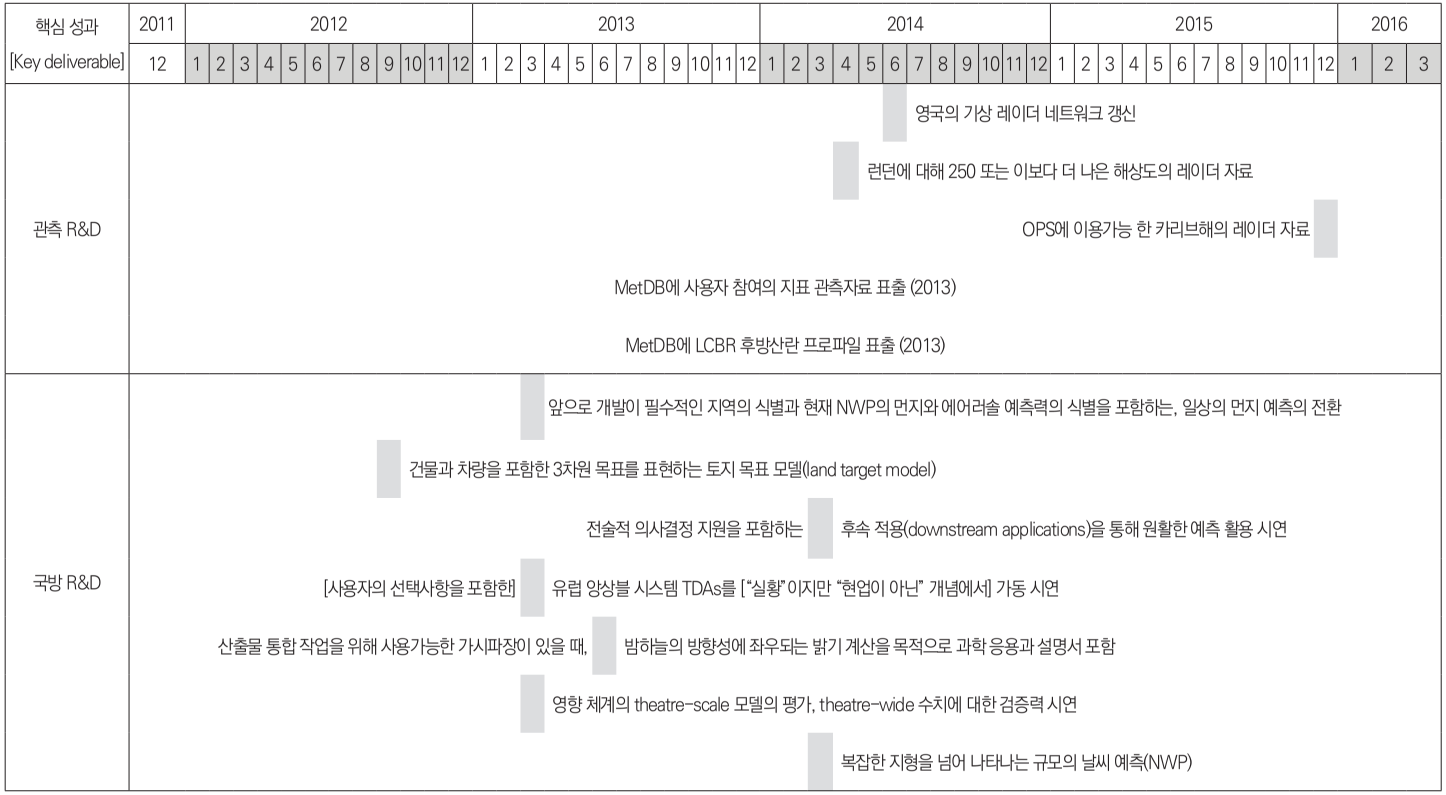
[1] : Proudman Oceanographic Laboratory Coastal Ocean Modeling System

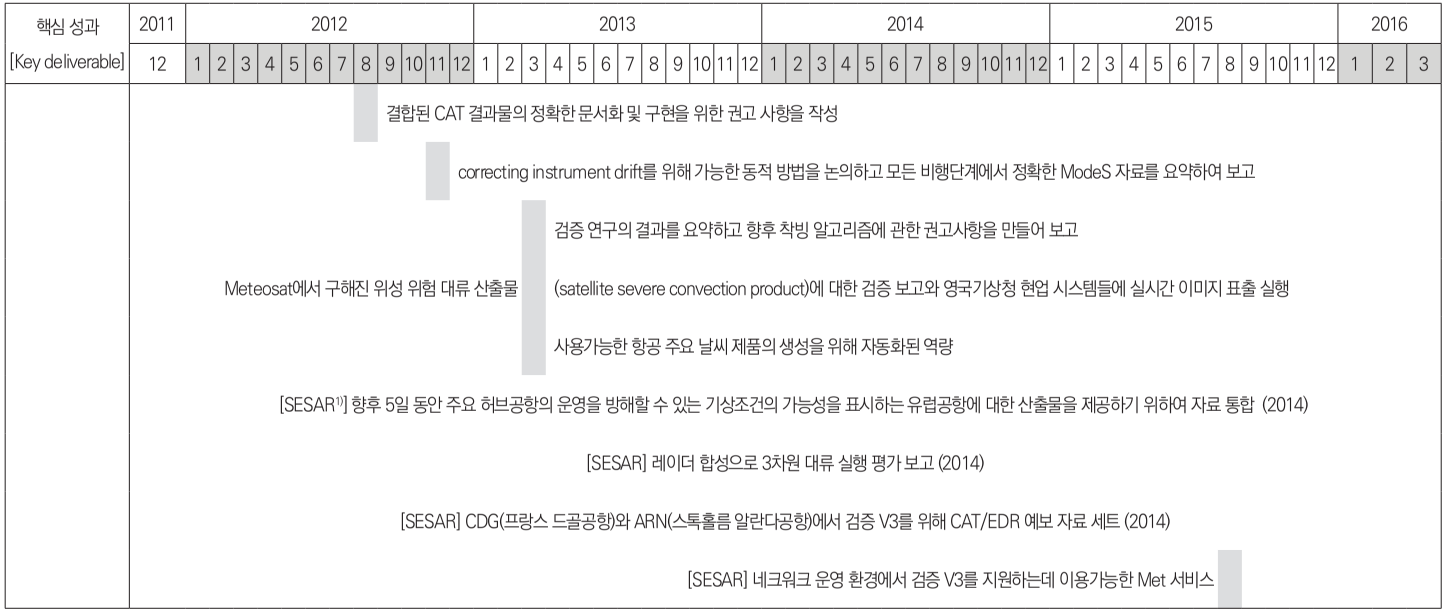
[2] : European Space Agency Sea Surface Temperature Initiative Ocean Colour

[3] : European Space Agency Climate Change Initiative Ocean Colour




1) : International SubMillimetre Airborne Radiometer


핵심 성과
[Key deliverable]
2011
2012
2013
2014
2015
2016
12
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
1 2 3
관측 R&D
영국의 가상 레이더 네트워크 갱신
런던에 대해 250 또는 이보다 더 나은 해상도의 레이더 자료
OPS에 이용가능 한 카리브해의 레이더 자료
MetDB에 사용자 참여의 지표 관측자료 표출 (2013)
MetDB에 LCBR 후방산란 프로파일 표출 (2013)
국방 R&D
앞으로 개발이 필수적인 지역의 식별과 현재 NWP의 먼지와 에어러솔 예측력의 식별을 포함하는, 일상의 먼지 예측의 전환
건물과 차량을 포함한 3차원 목표를 표현하는 토지 목표 모델(land target model)
전술적 의사결정 지원을 포함하는
후속 적용(downstream applications)을 통해 원활한 예측 활용 시연
[사용자의 선택사항을 포함한]
유럽 앙상블 시스템 TDAs를 ["실황"이지만 "현업이 아닌" 개념에서] 가동 시연
산출물 통합 작업을 위해 사용가능한 가시파장이 있을 때,
밤하늘의 방향성에 좌우되는 밝기 계산을 목적으로 과학 응용과 설명서 포함
영향 체계의 theatre-scale 모델의 평가, theatre-wide 수치에 대한 검증력 시연
복잡한 지형을 넘어 나타나는 규모의 날씨 예측(NWP)




1) : Single European Sky ATM Research