

# 기상변동과 기후변화에 대응한 농림기상 모델 개발

김규량<sup>1)</sup>  
국립기상과학원

## AgroMeteorological Modeling for Weather and Climate Variability

Kyurang Kim<sup>\*</sup>  
*National Institute of Meteorological Research, Jeju, Korea*

한국농림기상학회 2015년 연차학술대회  
2015. 8. 25. 전북대학교 농업생명과학대학

# 기상변동과 기후변화에 대응한 농림기상 모델 개발

국립기상과학원 김규량  
[krk9@kma.go.kr](mailto:krk9@kma.go.kr)



---

1) Correspondence to : [krk9@kma.go.kr](mailto:krk9@kma.go.kr)

## 기상변동, 기후변화 예측

- 예측은 모델에서
  - 모델은 관측에서...
- 기상이변은
  - 30년 빈도의 확률, extreme cases,  $|x - \bar{x}| > 2\sigma$
- 기상변동 : 단기간 내의 변화
- 기후변화 : 30년 이상의 주기
  - 기상-기후 예측 모델을 잘 개발하려면??
  - 관측-분석-모델링 스케일(규모)의 일치가 중요



## 농림기상 모델링

- 농림기상은 일반적인 기상과 어떤 차이?
    - 상세화/지역특이성/생명체와의 상호작용
- ⇒ 기상모델 상세화



⇒ 응용모델 : 농업 생물과 기상의 상호작용 모델링



## 농업 피해예측의 components

- 농업기상(현장) 관측  
+ 예측(기상예보) + 상세화
- 피해분석(예측) 모델
- 정보전달 시스템

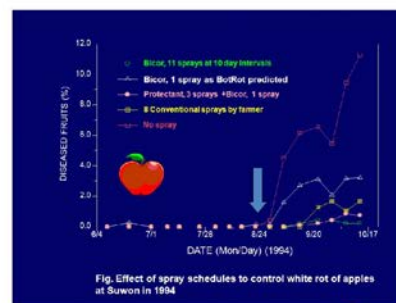
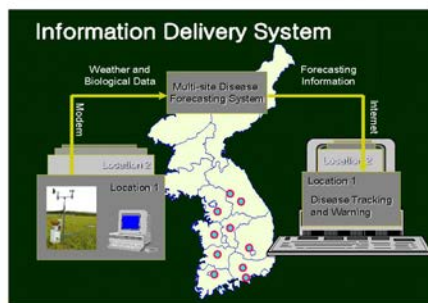
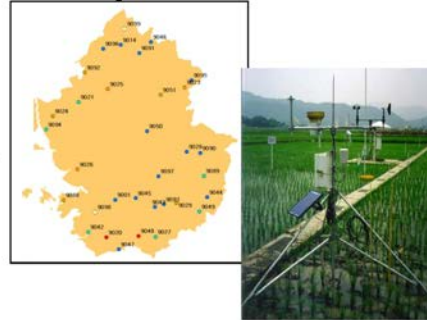


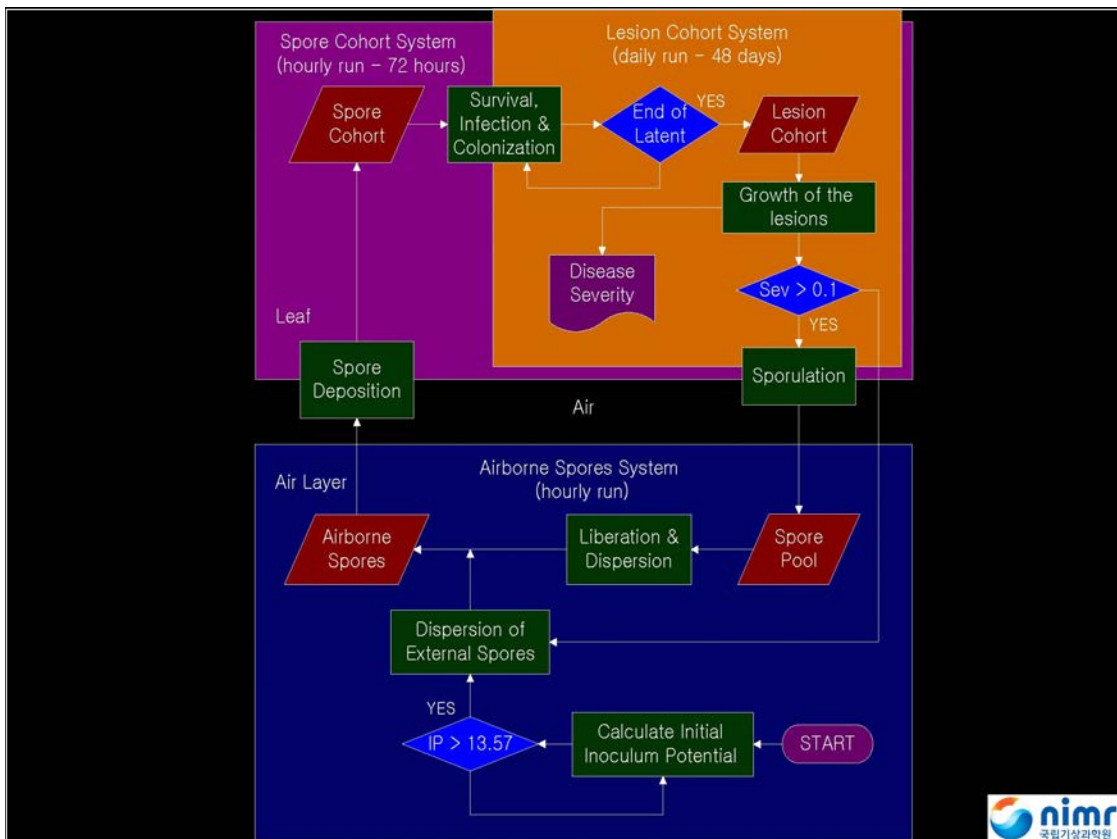
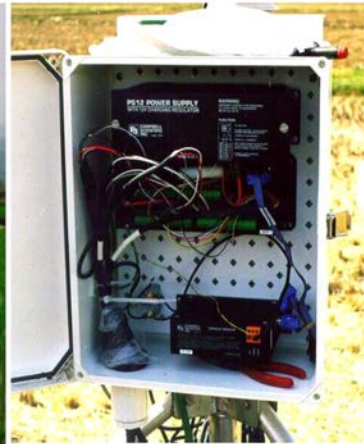
Fig. Effect of spray schedules to control white rot of apples at Suwon in 1994

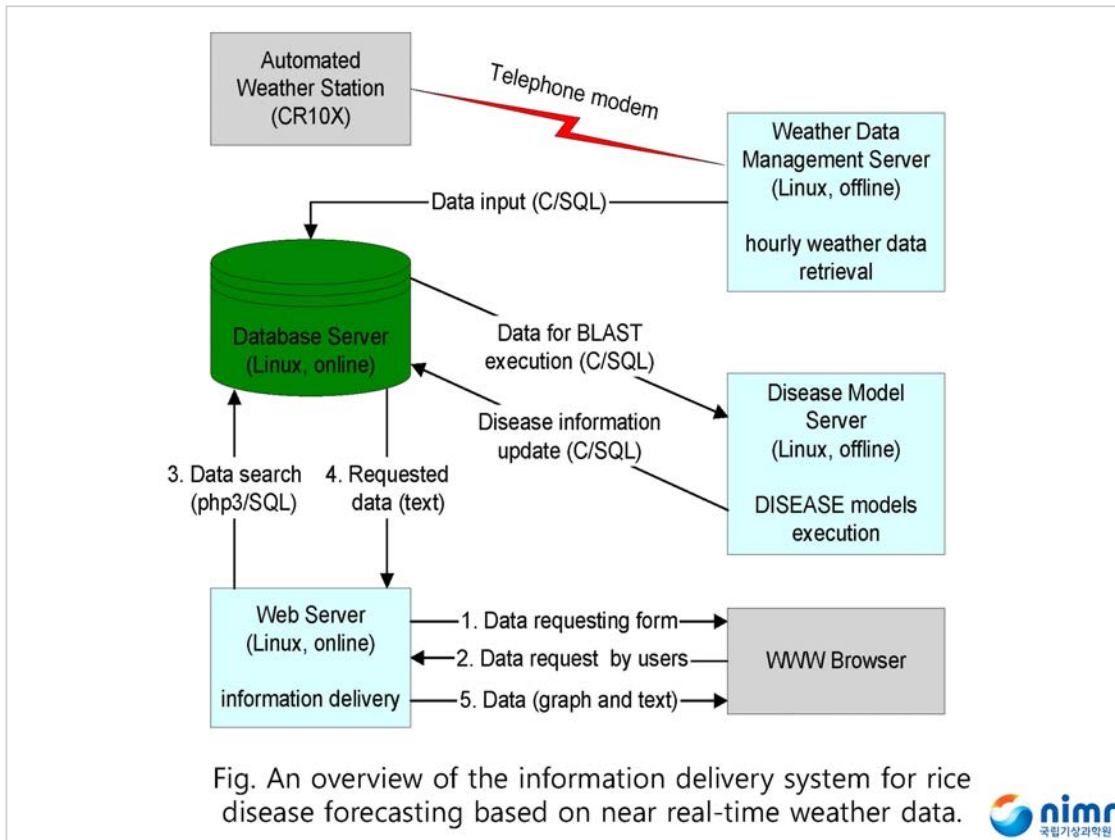


## 벼 도열병 예측 시스템의 예

- 관측: 예찰논 AWS(10여 지점)
- 모델링: 실내 실험(Yoshino, 1979 등)  
+ 포장 관측자료
- 정보전달: 개인용 컴퓨터, 인터넷








The left screenshot shows the 'Introduction' page of the Rice Disease Forecasting and Information Network. The right screenshot shows a detailed table of rice disease forecast information for various regions.

지역	지난 10일간				지난 7일간 평균				
	도열병		일집무늬마름병		세균성벼알마름병				
	경고 시간수	비상 포자수 (개)	병반늘이 증가 (cm)	병반뿔이 (cm)	발병 위험도 (0-3)	최고온 (C)	최저온 (C)	강우 (일)	
경기도원	16	6	1061	8.85	18.84	1	28.67	21.52	6
충청남도원	39	0	9	10.16	20.15	1	29.47	22.18	7
충청북도원	30	2	13	10.75	23.65	1	29.10	22.02	7
전라남도원	65	0	446	9.99	33.20	2	28.87	22.54	6
전라북도원	21	7	2698	8.89	56.30	1	29.48	22.19	4
경상남도원	17	3	0	10.98	31.25	2	27.07	22.43	7
경상북도원	65	13	0	10.01	30.43	2	27.98	22.71	6
강원도원	27	2	110	4.22	15.01	2	27.19	20.77	5
철원군센터	26	15	335	5.21	24.93	2	24.94	19.94	6



## 벼 도열병 예측 시스템의 예

- 관측: 예찰논 AWS(10여 지점)
- 모델링: 실내 실험(Yoshino 등) + 관측자료
- 정보전달: 개인용 컴퓨터, 인터넷

- 예측 기간은 실제로는 잠복기 but,
- 모델링과 예측의 스케일 차이는 크지 않음



## 꽃가루 알레르기 예측 시스템의 예

- 관측: KMA AWS, 화분채집기(10여 지점)
- 모델링: 다중회귀모델(v1) (월별 / 장소별 모델)
- 정보전달: 인터넷



# Pollen Observation Network in Korea

- **Method of Pollen observation**

- Pollen species identification & counting using *Burkard trap* and *microscope*
  - Pollens are attached on the drum (film) of the trap (replacement interval: 7 days)
  - Daily concentration of pollen species are determined by microscope

Burkard 7-day recording volumetric spore trap



- **The pollen observational network**

- 12 stations

Since	Station Location
1997	Seoul(2), Guri, Busan, Jeju, Daegu, Gwangju, Gangneung
2007	Daejeon
2009	Jeonju
2010	Chuncheon, Ulsan



다중회귀분석을 이용하여 개발된 꽃가루 예보식  
- 수목류(봄) 및 잡초류(가을)

Site	Month	Species	Daily Concentration Model (2001-2006)
Seoul	April	Trees	$0.494386 + 0.002296 * DD - 0.009812 * P - 0.012852 * Sh + 0.047051 * Ta$
	May	Trees	$3.734477 - 0.039974 * Ph - 0.032431 * Sh + 0.074371 * WS - 0.000864 * DD + 0.022925 * P - 0.037523 * Tmax$
	Sep.	Weeds	$-8.12693 + 0.00217 * DD + 0.07439 * Ta$
	Oct.	Weeds	$3.105090 - 0.000521 * DD - 0.011980 * Sh + 0.036886 * DTR + 0.025268 * P$



# 꽃가루 농도 위험지수 서비스(~2013)



## 꽃가루 알레르기 예측 시스템의 예

- 관측: KMA AWS, 화분채집기(10여 지점)
- 모델링: 다중회귀모델(v1) (월별 / 장소별 모델)
- 정보전달: 인터넷

- 모델 개발지점의 한계(충분한 자료 확보 필요)
- 스케일 차이 발생

- 각 지점의 기상청 기상관측 자료는 꽃가루 생산/확산/침적 장소와 동일하지 않기에 일별 꽃가루 양의 변화를 온전히 설명하기 어려움





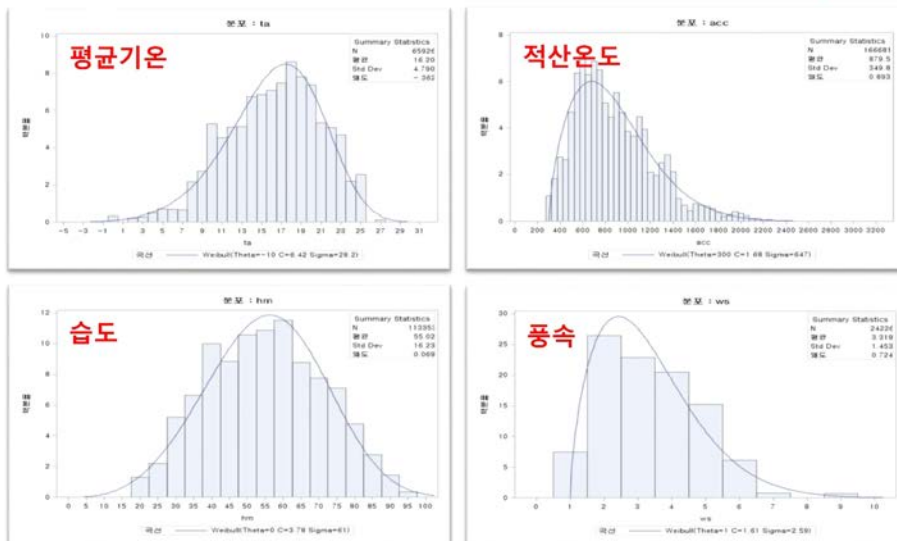
# 통계적 접근방법을 통한 모델 개선

- 모델의 적용 가능 지역 확장이 필요
  - 관측 가능한 모든 시공간 범위를 포함한 모델링
    - 기후 범위를 포함 -> 각 요인별 변동성이 포함되도록
    - 모든 지역의 장기 관측자료가 포함되도록...
- 생물학적(생리적) 의미를 갖는 모델
- 연속적인 독립변수로만 설명 가능한 모델
  - 기상변수만을 사용(지역, 시기 무시)
  - ⇒ 전국 꽃가루 알레르기 통합모델(v2)



## 전국 꽃가루 예보를 위한 기상자료 분석

□ 참나무 꽃가루: 기상요소별 최고 꽃가루 농도 및 모델(전국)



## 전국 꽃가루 예보 모델

### □ 이동된 와이불 분포(translated Weibull distribution)

- 모수(parameters)
  - 척도(scale) 모수 :  $\sigma$
  - 모양(shape) 모수 :  $c$
  - 위치(location) 모수 :  $\theta$
- 확률밀도함수(probability density function) :

$$f(x) = \frac{c}{\sigma} \left( \frac{x-\theta}{\sigma} \right)^{c-1} e^{-\left( \frac{x-\theta}{\sigma} \right)^c}$$

$$(x \geq \theta, c > 0, \sigma > 0, \theta > 0)$$



## 전국 꽃가루 예보 모델

### □ Weibull 함수를 이용한 요소별 최대 꽃가루 확률 추정식 모수 (2007~2008년, 3~6월)

요소(x)	참나무(Quer)		
	sigma( $\sigma$ )	c	theta( $\theta$ )
평균기온(ta, °C)	28.15971	6.415793	-10
적산온도(acc, °C)	647.0083	1.67894	300
최고기온(tmx, °C)	23.91149	4.460691	0
최저기온(tmn, °C)	33.4012	7.562633	-20
일교차(dtr, °C)	12.14135	2.749447	0
상대습도(hm, %)	60.96504	3.783608	0
풍속(ws, m/s)	2.585917	1.614563	1
7일일조시간(ss, hr)	50.93506	4.441332	0
강수량(rn, mm)	12.10731	1.036855	-1
날짜(date, 1~365일)	45.87258	1.787065	80

>> 로버스트 다중회귀분석을 통한 일별 꽃가루 농도 예측



# 전국 꽃가루 예보 모델

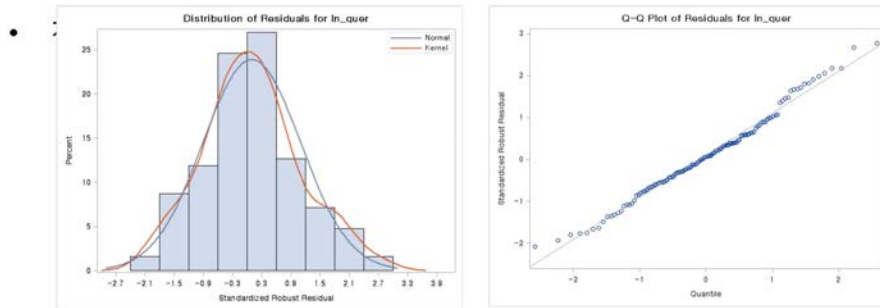
## □ 로버스트 다중회귀 참나무 꽃가루 농도예측 모델

- 예측식 :

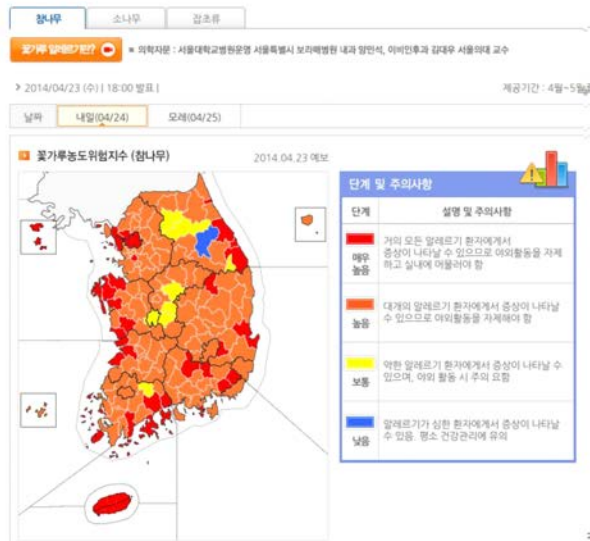
$Y$

$$= \exp\{0.0786 ta + 0.0099 hm + 1007.718 f_{acc}(acc) + 2.5371 f_{ws}(ws)$$

$$+ 8.3423 f_{rn}(rn) + 47.2167 f_{date}(date) + \frac{0.6354^2}{2}\} - 1$$



# 전국 꽃가루 위험지수 서비스(2014)



# 전국 꽃가루 예보 모델

## □ 로버스트 다중회귀 참나무 꽃가루 농도예측 모델 예측결과

- 관측등급과 모델등급의 비교(2009~2012년, 3~6월)

관측 등급	모델 등급				합계	
	1	2	3	4		
1	빈도	75.02%	700	91	3166	
	백분율	34.28	35.25	20.49	2.66	92.68
	평균 백분율	36.99	38.03	22.11	2.87	
	일 백분율	99.49	97.65	79.46	72.8	
2	빈도	4	88.98%	9	118	
	백분율	0.12	0.32	2.75	0.26	3.45
	평균 백분율	3.39	9.32	79.66	7.63	
	일 백분율	0.34	0.89	10.67	7.2	
3	빈도	1	12	80.88%	68	
	백분율	0.03	0.35	1.52	0.09	1.99
	평균 백분율	1.47	17.65	76.47	4.41	
	일 백분율	0.08	0.97	5.9	2.4	
4	빈도	1	6	89.07%	64	
	백분율	0.03	0.18	1.02	0.64	1.87
	평균 백분율	1.56	9.38	54.69	34.38	
	일 백분율	0.08	0.49	3.97	17.6	
합계		1177	1233	881	125	3416
		34.46	36.09	25.79	3.66	100

✓ 관측 꽃가루 농도의 채집 효율은 실험적으로 70±20%이므로 관측된 농도는 실제보다 낮음.

✓ 3, 4등급은 각각 68일, 64일 중 52일(76.47%), 22일(34.38%) 예측



## 통계적 접근방법을 통한 모델 개선

- 모델의 적용 가능 지역 확장이 필요
  - 관측 가능한 모든 시공간 범위를 포함한 모델링
    - 기후 범위를 포함 -> 각 요인별 변동성이 포함되도록
    - 모든 지역의 장기 관측자료가 포함되도록...
- 생물학적(생리적) 의미를 갖는 모델
- 연속적인 독립변수로만 설명 가능한 모델
  - 기상변수만을 사용(지역, 시기 무시)
  - ⇒ 전국 꽃가루 알레르기 통합모델(v2)

⇒ 관측과 모델링의 스케일 차이는 여전히 남아있음



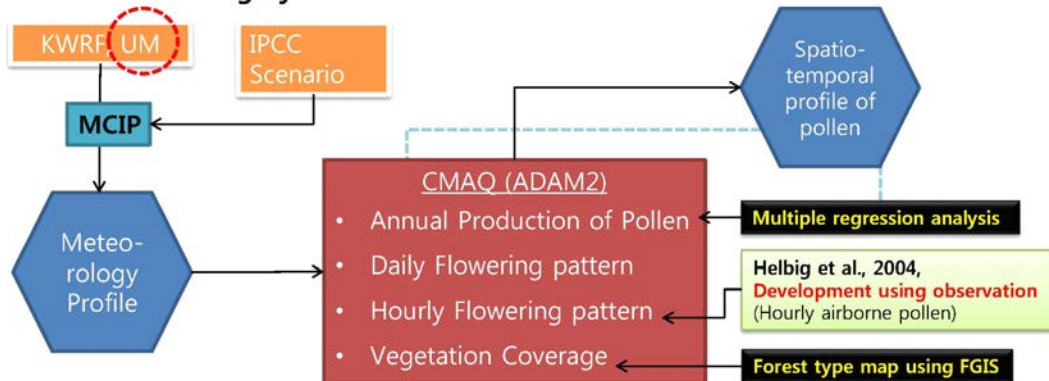
# 체계적 접근방법을 통한 모델 개선

- 기존 모델(v2)에 사용된 관측자료와 모델에는 시공간적 스케일 차이가 존재
  - 스케일 차이를 극복하기 위해서는 개화, 비산, 이동, 침적 등 단계별 시뮬레이션이 필요
    - UM-CMAQ-Pollen model
    - 임상도(꽃가루원) + 개화시기모델 + 확산모델



## 꽃가루 확산예측시스템

### ➤ Pollen Modeling System



R. Zhang et al., 2014

$P_a$ : Daily pollen emission potential (grains/m<sup>2</sup>)

$\epsilon_{sp}$ : pollen pool size (grains/m<sup>2</sup>)

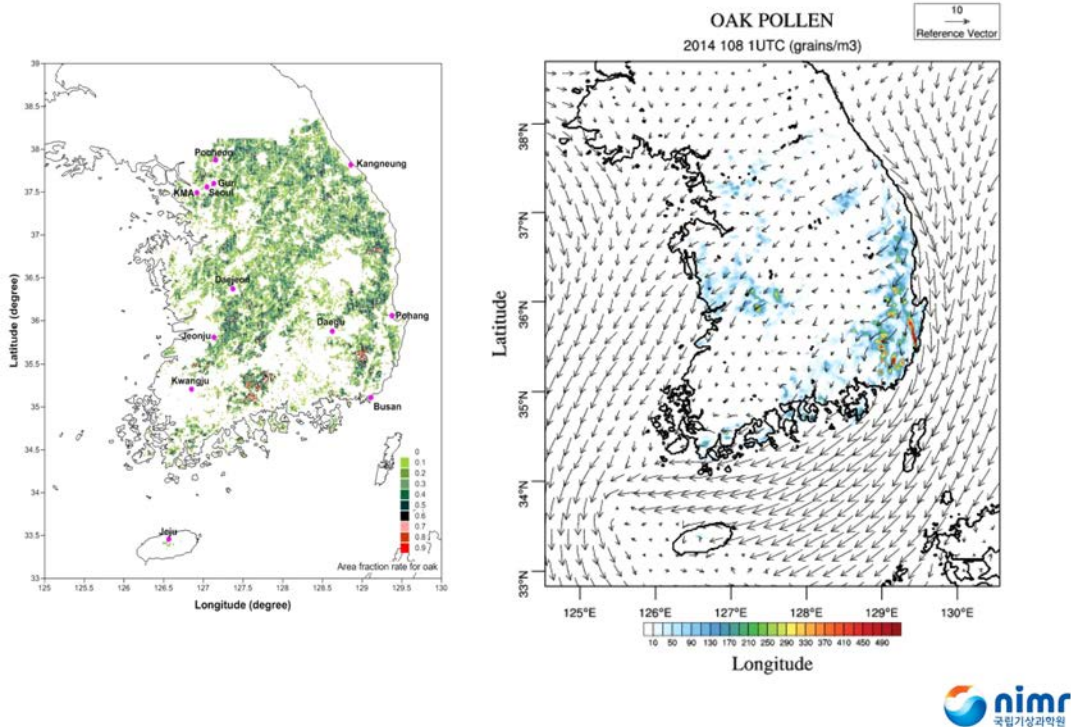
$\alpha_{P, TP}$ : coefficient with value between 0 and 1 that modifies the pool size according to either precipitation or both temperature and precipitation

$\gamma$ : total area occupied by species in a grid cell

$$P_a = \epsilon_{sp} \cdot \alpha_{P, TP} \cdot \gamma$$



# 꽃가루 확산예측시스템



## 체계적 접근방법을 통한 모델 개선

- 기존 모델(v2)에 사용된 관측자료와 모델에는 시공간적 스케일 차이가 존재
  - 스케일 차이를 극복하기 위해서는 개화, 비산, 이동, 침적 등 단계별 시뮬레이션이 필요
    - UM-CMAQ-Pollen model
    - 임상도(꽃가루원) + 개화시기모델 + 확산모델

⇒ 꽃가루예측 v3

임상도와 단계별 모델방정식(개화, 비산, 이동, 침적 등)을 이용하여 꽃가루 확산 사건을 격자별 모의

⇒ 스케일 차이는 작아짐

과거에 획득한 작황, 병발생 등 포장 관측자료에 대한 체계적 재분석으로 농업 생물 모델의 품질 향상 가능

## 요약 및 정리 (1) 농림기상 모델 개발

- 농림기상정보의 시공간 상세화
  - 동네예보 내삽(거리역산가중평균 등)
  - 상세화된 중규모 모델(지형, 해상도 등)
  - 상세 기후분석(GIS 방법)
  - 소규모 기류분석(CFD -> 악취, 병원균 확산)
- 농업 생물 모델
  - 실내 실험 결과(간단 모델)
  - 포장 관측결과 해석: 기온, 습도, 강우 등
    - 충분히 넓은 범위(장기간)의 관측자료 분석이 필요



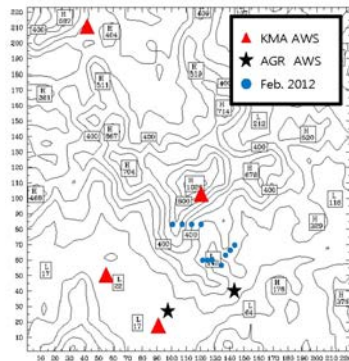
## 요약 및 정리 (2) 농림기상모델의 한계점 및 해결책

- 한계점
  - 품종, 경종법 등 실험/관측 외적 상황 발생
  - 모델 개발/활용의 환경요소(기상): 스케일 차이
    - 실내실험 배양기 온도 vs. 포장 인근 AWS 기온
- 해결책
  - 외부 환경 모형의 상세화
    - 경계조건(지형, 토지이용도 등)을 기상모델에 반영
  - 재분석장을 이용한 농업 생물 관측자료 재해석
    - 작물 관측의 시공간 스케일과 일치하는 상세 기상값
      - 농업 생물 모델의 스케일 문제 개선

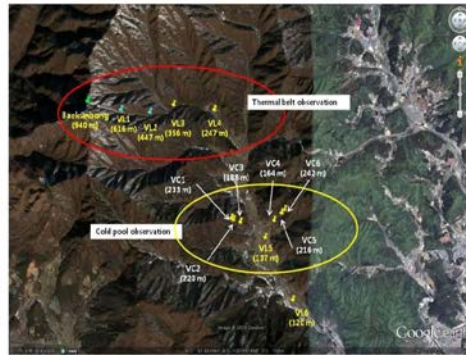


# AFS-WRF: 농업기상 분석 및 예측시스템

- **Special observational network** (Feb. 2012): Blue dots (12 sites)
- **KMA AWS network**: Triangle points (4 sites)
- **Gyeong-g-do Province ARES observational network**: Starred points (2 sites)
- **Verification variable**: Temperature
- **Verification period**: 21 LST 14 February 09 LST 26 February 2012
- **Method**: The observed and forecast temperatures in the D3 domain are compared



< Observation sites >

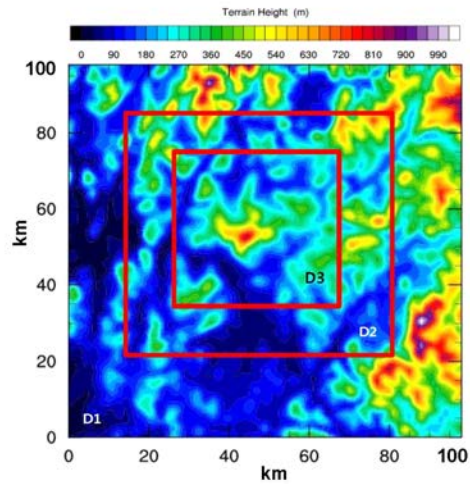


< Special observational network >



## AFS-WRF: Model Configuration

Item	Description
NWP Model	WRF v3.3
Initial & Boundary Conditions	Forecast data of KLAPS of KMA (5 km horizontal resolution)
Horizontal Resolution	1 km – 333 m – 111 m
Nesting	Two-way nesting between computational domains
Forecast length	12 hr
Initial time	00 UTC and 12 UTC
Turn around time	2.5 hr
Microphysics	WDM6
Radiation	Short wave: Goddard shortwave scheme Long wave: rrtmg scheme
PBL schemes	(MYJ) Mellor-Yamada-Janjic (Eta) TKE (MYNN) MYNN 2.5 level TKE (No PBL) No PBL
Surface scheme	Thermal diffusion scheme



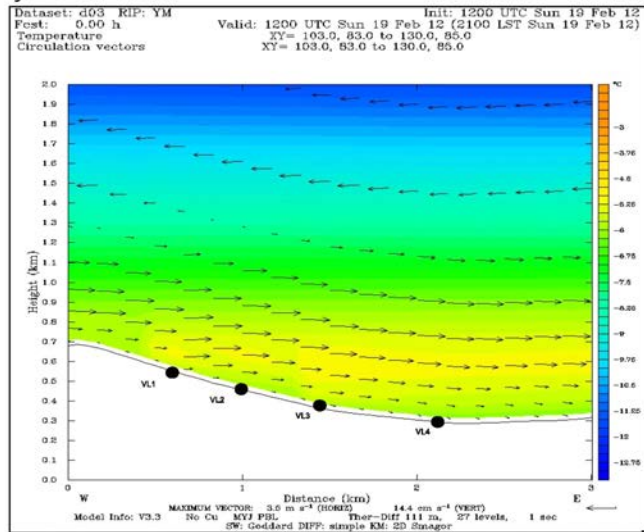
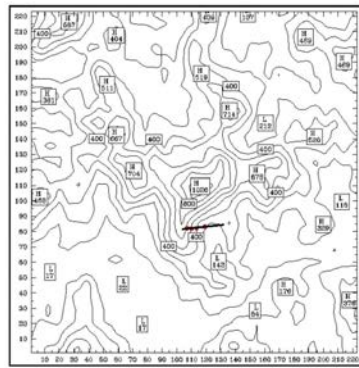
Forecast domains on topography





## AFS-WRF: Simulation result

Initial time: 12 UTC 19 February 2012



# 감사합니다.

- 서울대학교 식물병역학연구실
- 경희대학교 생태정보연구실
- 국가농림기상센터
- (주)에피넷
- 경기도농업기술원
- 각 도별 농업기술원 및 농업기술센터
- 국립농업과학원
- 코넬대학교 식물병역학연구실
- 국립기상과학원 응용기상연구과

