LAPS와 관측자료를 이용한 고해상도 경기도 농업기상정보 분석시스템

천지민¹ · 김규량^{1*} · 이선용¹ · 강위수² · 박종선² · 이채연¹ · 최영진¹ · 박은우² · 홍순성³

¹국립기상연구소 응용기상연구과, ²서울대학교 농생명공학부, ³경기도 농업기술원

(2011년 10월 6일 접수; 2012년 6월 5일 수정; 2012년 6월 15일 수락)

High Resolution Gyeonggi-do Agrometeorology Information Analysis System based on the Observational Data using Local Analysis and Prediction System (LAPS)

Jimin Chun¹, Kyu Rang Kim^{1*}, Seon-Yong Lee¹, Wee Soo Kang², Jong Sun Park²,
Chae Yon Yi¹, Young-jean Choi¹, Eun Woo Park² and Sun Sung Hong³

¹Meteorological Application Research Laboratory, National Institute of Meteorological Research,

²College of Agriculture and life Sciences, Seoul National University

³Gyeonggi-do Agricultural Research and Extension Services

(Received October 6, 2011; Revised June 5, 2012; Accepted June 15, 2012)

ABSTRACT

Demand for high resolution weather data grows in the agriculture and forestry fields. Local Analysis and Prediction System (LAPS) can be used to analyze the local weather at high spatial and temporal resolution, utilizing the data from various sources including numerical weather prediction models, wind or temperature profilers, Automated Weather Station (AWS) networks, radars, and satellites. LAPS has been set to analyze weather elements such as air temperature, relative humidity, wind speed, and wind direction every hour at the spatial resolution of 100 m × 100 m for Gyeonggi-do on near real-time basis. The AWS data were revised by adding the agricultural field AWS data (33 stations) in addition to the KMA data. The analysis periods were from 1 to 31 August 2009 and from 15 to 21 February 2010. The comparison of the LAPS output showed the smaller errors when using the agricultural AWS observation data together with the KMA data as its input data than using only either the agricultural or KMA AWS data. The accuracy of the current system needs improvement by further optimization of analyzing options of the system. However, the system is highly applicable to various fields in agriculture and forestry because it can provide site specific data with reasonable time intervals.

Key words: LAPS (local analysis and prediction system), High resolution weather data, Agro-meteorology information system

I. 서 론

세계기상기구(WMO)는 21세기 지속농업 구현을 위한 농업기상의 역할 중 우선 순위가 높은 분야로 농

업기상정보망의 개선 및 강화, 현장활용 농업기상정보의 자료원 개발, 조기경보 및 감시시스템의 확립과 강화, 지리정보시스템 등을 들고 있다. 기상정보의 활용도를 높이고 기상조직의 경영효율화를 도모하기 위해

* Corresponding Author : Kyu Rang Kim
((krk9@korea.kr))

서는 수요에 따라 전문화된 기상정보를 생산하고 여기에 필요한 조직, 인력 그리고 시설을 최적화하는 작업이 필요하다(Jung, 1989). 특히, 농업분야에 활용되는 기상정보는 그 분석과 예측 정확도에 따라 생산성이 크게 좌우 되므로 전문화된 농업기상정보를 요구한다. 최근에는 지구환경변화와 더불어 기상이변이 빈번히 출현하고 있어 농업기상연구의 역할은 더욱 증대되고 있다. 따라서 정확한 농업기상정보의 생산을 위해 여러 가지 연구가 수행되어 왔다. Ahn *et al.*(2000)은 기상정보의 예측을 위하여 PSU/NCAR(Pennsylvania State University/National Center for Atmospheric Research) MM5V3(5th generation Mesoscale Model Ver.3) 모형을 이용해 남한을 5km 격자로 적분한 결과 기온의 패턴은 잘 묘사하고 있었으나 일정형태로 과소 모의하는 경향을 보이고 있어 상세화 된 기상 모형의 필요성을 제시하였다. 특히 작물 병해충의 경우, 기상 환경 변화에 따라 발생 생태가 달라지고, 이에 따른 발생 가능성이 커지고 있어 정확한 작물병 발생 예측정보 생산을 위한 연구가 수행되고 있다(Yun *et al.*, 1998, Cha *et al.*, 2001). 이러한 연구들은 대부분 식물군락 내부의 실시간 기상관측자료를 바탕으로 병 발생 가능성을 예측하는 시스템으로 구성되어 있어, 기상관측장비가 설치된 지역뿐만 아니라 읍, 면 단위 이하의 소규모 지역을 대상으로 하는 지역 특이적이며 정확한 기상예측정보 생산이 필요한 실정이다. 이와 같이, 농업기상자원의 효율을 극대화시키기 위해서는 지역별 농업 기후 요소의 특성을 파악하여 국지적인

성격이 고려된 고해상도의 단기 농업 기상 정보가 제공되어야 한다. 본 연구에서는 그 동안 축적된 기상청의 관측 자료와 국지규모기상분석시스템(LAPS: Local Analysis and Prediction System)을 이용하여 농업관련 기상정보를 실시간 고해상도로 분석하는 시스템을 구축하였고, 분석결과를 관측 값과 비교하여 LAPS분석 자료의 특성을 알아보려고 하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 국지규모 기상자료 분석시스템(LAPS)의 개요

Local Analysis and Prediction System(LAPS)는 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration) 산하 GSD(Global Systems Division)에서 개발한 기상 분석 알고리즘이다(McGinley *et al.*, 1991, Birkenheuer, 1992, Albers, 1995, Albers *et al.*, 1996). LAPS의 알고리즘은 미국 NOAA/GSD/FAB(Forecast Applications Branch)에서 1987년 처음 개발을 시작하였으며, 짧은 시간 내에 여러 종류의 관측 자료들을 취합하여 유용한 형태로 분석, 동화함으로써 예보자의 필요에 따라 자유자재로 기상자료를 표출할 수 있도록 하는 시스템이다. LAPS분석은 지상기상분석, 3차원 온도, 바람, 구름, 그리고 습도 및 강수량과 토양 분석과정으로 구성되어있다. LAPS에 대한 자세한 설명은 McGinley *et al.*(1991), Birkenheuer(1992), Albers(1995), 그리고 Albers *et al.*(1996)을 참조하기 바란다.

Fig. 1. (a) Distribution of meteorological observation sites in Gyeonggi-do, (b) Picture of an Automatic Weather Station in agricultural fields, and (c) LAPS analysis result of temperature at 2000 LST 17 February 2010.

2.2. 고해상도 경기도 농업기상 분석시스템

LAPS의 분석이 수행되기 위해서는 초기 추정치로 이용되는 기상청 수치예보과의 6시간 간격 10km 해상도 지역예보장(Regional Data Assimilation and Prediction System: RDAPS)이 LAPS 격자점으로 내삽되고, 여기에 GTS, 위성, AWS(Automated Weather Station) 관측 자료들이 첨가되는 과정을 거친다. AWS는 기상청 자료(167개 지점)에 농업현장 AWS자료(33개 지점)를 추가하여 사용하였다(Fig. 1(a and b)). AWS자료는 정시자료의 온도, 습도, 풍속자료를 이용하였으며 기상청 AWS자료 중 습도자료는 총 167개 관측소 중 9개 관측소(동두천, 문산, 서울, 수원, 양평, 이천, 문산, 서울기상청)의 자료로 분석되었다. 분석영역은 서울 주변지역을 포함하여 100m 격자 간격의 1400×1550 개의 수평 격자수의 영역으로 설정하였다. 좌하단 원점의 위치는 36.86182N, 126.2828E이다. 기온, 상대습도, 바람벡터를 연직 28개 층으로 분석하였고, 이 결과 중에서 지표층에 대한 자료로부터 경기도 전역의 100m 격자 해상도 기온, 상대습도, 풍향/풍속의 분석자료가 만들어졌다. 분석기간은 여름과 겨울 두 기간을 선정하여, 2009년 8월 한 달 그리고 2010년 2월 17-21일을 대상으로 사례 분석하였다. 여름에는 고온과 많은 강수량으로 인해 농가에 피해가 많이 발생할 수 있으며, 또한 2월 사례기간은 2010년 2월 중 최저기온이 나타난 시기로 동해의 위험이 큰 시기이다.

이 두 사례를 통하여 LAPS의 정확성을 평가하고자 하였다. 국립기상연구소의 서버에 구축되어 있는 LAPS를 개선하여 기존의 입력자료에 경기도 농업현장 AWS 자료를 추가하여 구동시켰다. 농업용 AWS 관측자료는 경기도 농업기술원에서 논, 밭, 잔디밭에 설치하여 운영 중인 35개 AWS의 관측자료를 AWS 관측자료 품질 관리시스템(Real time Quality control system for Meteorological Observational Data: RQMOD)의 검증을 거친 후 이용하였다. 기상청에서 구축한 RQMOD는 관측자료의 종류별로 현장/실시간/비실시간/수동 품질 관리를 할 수 있는 시스템이다(Aho *et al.*, 2006). LAPS로 분석된 자료의 기온값은 실제 AWS가 설치된 위치 주위의 3개 격자점의 값을 평균하여 추출하였다. 관측값에 따른 LAPS 분석결과를 알아보기 위하여 기상청 AWS 자료만으로 생성한 LAPS 분석 결과, 농업용 AWS 자료만으로 생성한 LAPS 분석결과, 기상청 AWS와 농업용 AWS 자료를 모두 이용하여 생성한 LAPS 분석결과를 관측값과 비교하여 정확도를 분석하였고, 이 세 가지 분석결과를 서로 비교하였다(Fig. 1c).

III. 결과 및 고찰

3.1. LAPS 분석값과 관측값의 비교

2010년 2월은 지표 온도, 습도, 풍속에 대해, 2009년 8월은 온도에 대한 결과를 알아보았다. LAPS 분

Fig. 2. LAPS analysis versus observed temperature (a), relative humidity (b), wind speed (c) during February 2010, and temperature (d) during August 2009.

Fig. 3. A simple linear regression of temperature (a), relative humidity (b), wind speed (c) during February 2010, and temperature (d) during August 2009.

Fig. 4. LAPS air temperature differences (LAPS-Obs.) during February 2010 (solid line) and during August 2009 (dashed line).

석값을 관측값과 비교한 결과, 2월의 온도 오차는 평균 0.53도, 상대습도 오차는 약 3%, 8월의 온도 오차는 약 0.43도로 나타났다(Fig. 2).

온도의 분석값은 실험기간 내내 관측값과 거의 일치하였고, Linear regression 에서 일치도 $r^2 = 0.9$ 이상으로 기울기가 거의 1:1 관계로 나타났다(Fig. 3). 기온은 연속적인 변수로 대부분 조건에서 시간, 공간에

따라 유연하게 변하는데 이러한 변화는 대기역학이나 지표 특징에 따라 예측이 가능하기 때문에 잘 분석된 것으로 판단된다. Fig. 4에서 2월과 8월 온도차를 비교해 보면, 8월이 2월보다 온도차와 기온 추정 오차가 작게 나타났다. 특히 2월 농업용AWS지점에서 관측과 LAPS분석값의 차가 크게 나타났다. 이것은 LAPS는 온도가 낮을 때 오차가 크게 나타나기 때문이며, LAPS에서 온도 계산 시 계절의 영향을 받고 있는지의 여부를 알아보기 위해서는 좀 더 장기적인 분석이 필요한 것을 알 수 있다.

상대습도 분석값 역시 관측값과 잘 일치하였다(Fig. 3b, $r^2 = 0.98$). 기울기가 1보다 작고 절편이 0보다 크기 때문에 LAPS가 습도를 관측보다 낮게 추정하는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 상대습도는 온도와는 다르게 공간적인 변동이 적고 30km이하에서 급격히 변하는 특성을 보이는데 이러한 변동성에도 불구하고 상대습도의 관측값과 LAPS분석값의 상관관계가 크게 나타났다. 풍속은 온도와 상대습도와는 달리 값들이 더 많이 분산되어 나타났다. LAPS에서 분석한 풍속은 관

Table 1. Simple statistics of observed and LAPS-analyzed data

			Obs.	ALL	KMA	AGR
Feb. 2010	Temperature (°C)	Mean	-2.17	-2.24	-2.02	-2.91
		Min	-5.10	-4.56	-4.69	-4.84
		Max	1.21	0.15	-0.13	-1.27
		SD	1.42	1.18	1.19	0.94
	Relative humidity (%)	Mean	66.00	65.13	63.75	64.34
		Min	54.82	54.64	53.87	56.03
		Max	73.36	70.58	73.56	68.91
		SD	4.62	3.87	5.14	4.04
	Wind Speed (m/s)	Mean	1.39	2.66	2.79	2.94
		Min	0.26	1.53	1.53	1.81
		Max	3.06	5.97	6.03	6.94
		SD	0.48	0.79	0.78	0.94
Aug. 2009	Temperature (°C)	Mean	24.74	24.66	25.00	25.03
		Min	21.50	22.39	22.67	22.71
		Max	27.08	26.27	25.74	25.78
		SD	1.04	0.81	0.45	0.45

Obs.: Observation data

ALL : 기상청관측자료 + 농업기상관측자료

KMA : 기상청관측자료

AGR : 농업기상관측자료

측값보다 더 낮게 계산하는 경향을 보였다. 그리고 높은 풍속에서 낮은 풍속보다 일치도가 더 좋게 나타났다. 바람은 지형의 영향을 많이 받아 지표에 가까울수록 급격히 변하는 특성을 가지는데 관측소는 대부분 지표와 가까이 위치하고 있기 때문에 관측값과 LAPS분석값의 관계가 낮게 나타난 것으로 생각된다(Fig. 3c).

3.2. 입력 관측값에 따른 LAPS 분석 결과

LAPS로 분석된 기간에 대해 입력 자료에 따른 정량적인 분석성능의 차이를 살펴보고자, 각 지점별, 입력자료 별 Root Mean Square Error(RMSE)를 계산하였다. 검증용 위한 관측자료로는 정시 AWS 온도, 습도, 풍속자료를 이용하였다. LAPS에 입력된 AWS 관측자료의 종류에 따른 분석결과의 정확도는 온도와 풍속의 경우 기상청 AWS 관측자료와 농업용 AWS 관측자료를 모두 LAPS의 입력자료로 이용하였을 때가 가장 높았고 기상청 AWS만 사용한 경우, 농업용 AWS만 사용한 경우의 순으로 정확도가 높게 나타났다. 상대습도의 경우 농업용 AWS를 사용한 경우가 기상청 AWS를 사용한 경우보다 정확도가 높게 나타났는데 이것은 농업용 AWS(33개 지점)보다 기상청 AWS(9개 지점)에서 관측된 상대습도자료가 더 적었기

Fig. 5. Distribution of RMSE differences depend on input data. (T: temperature, WS: wind speed, RH: relative humidity)

때문이다. 이를 통해 LAPS 분석의 정확도는 관측 자료의 수가 많아질수록 높아지는 것을 알 수 있었다.

3.3. LAPS의 추정정확도

LAPS가 관측 자료가 없는 지점의 값을 얼마나 잘 추정해 내는지 알아보기 위하여 농업현장 AWS 중 예찰답에 위치한 10개 지점(Table 2)을 선정하여 추정 대상 지점의 AWS관측 자료를 제외하고 분석하여 보

Table 2. Characteristics of the 10 selected agricultural AWS sites

Station name	RMSE	Distance between nearest KMA site (km)	Filed type	Zone
Gyeonggi	2.83	1.69	Paddy	Southern seashore
Youncheon	1.15	3.34	Paddy	Northern borderland
Paju	1.83	1.75	Paddy	Northern seashore
Gapyoung	1.82	2.00	Paddy	Northern inland
Gimpo	1.51	5.80	Paddy	Northern seashore
Siheung	1.55	2.15	Paddy	Northern seashore
Ansung	2.15	1.55	Paddy	Southern seashore
Yicheon	1.01	5.67	Paddy	Southern inland
Pocheon	1.23	1.32	Paddy	Northern borderland
Hwasung	1.09	10.69	Paddy	Southern seashore

Fig. 6. A simple linear regression between estimated and observed temperature (a), a scatter plot of hourly deviation of the temperature differences between the estimated and observed temperature (b).

왔다. 그 결과, LAPS의 분석시 온도변화의 경향은 잘 계산해내고 있었다(Fig. 6a). 그리고 2009년 8월 11, 12일의 온도는 관측값과 전혀 일치하지 않았는데

Fig. 7. Comparison between simple regressions of LAPS estimated and observed temperature at 9001 agricultural station (empty circle) and that of at KMA Taean weather station (solid circle).

이때는 강수가 있었던 날이다. LAPS에 기본적으로 들어가는 초기 추정장으로 RADPS 예보장을 사용하는데 이 배경장에서 미리 강수를 예측하지 못했기 때문에 이러한 큰 오차가 발생했을 가능성이 있다. LAPS에서 출력된 결과를 선정된 10개 지점 중에서 관측값과의 RMSE가 가장 크게 나타나는 격자점의 LAPS 추정값을 농업 AWS 9001 지점과 가장 근접한(약 1.6km) 기상청 기상관측소(태안관측소)의 값과 비교하여보았다(Fig. 7). 그 결과 9001지점 가까이에서 존재하는 태안 AWS의 관측값과의 일치도가 더 높게 나타났다. 이것으로 보아 그 지점의 관측값이 존재하지 않을 경우 가까이에 위치하는 AWS의 영향을 크게 받는다는 것을 알 수 있었다. 그리고 하루 중 시간 별로 (LAPS-AWS)의 산점도를 Fig. 6b에 나타내었

는데 그 결과 오차는 평균적으로 0에 가까운 값을 나타내었지만, 야간에 관측값보다 과대추정하고 있는 것을 알 수 있었다. 그리고 온도의 오차는 지역별로 다르지만 크게는 2도 이상 차이 나는 지역도 있었다 (Fig. 6b).

3.4. 지표이용도와 고도에 따른 오차

고도는 상대습도 및 풍속과 관계가 있는데 고도가 높아질수록 LAPS분석값과 관측값의 상관관계가 작아진다. 이러한 오차의 이유는 높은 고도에는 설치된 관측소가 적고 LAPS에 입력되는 배경장의 한계로 지형이 복잡해지거나 고도가 높아질수록 계산하기가 힘들어지기 때문이다. 고도에 대한 오차는 LAPS 동화 (assimilation)가 격자단위로 수행되기 때문에 특히 산악지형 같은 경우에 LAPS값과 관측 값의 차이가 존재하므로 이를 고려해 주어야 한다. 고도와 온도, 습도, 풍속의 상관관계를 살펴본 결과 유의수준 0.05에서 유의한 것으로 나타났다. 차후 연구를 통하여 고도와 온도, 습도, 풍속과의 관계를 좀 더 자세히 알아볼

Fig. 8. Temperature difference by GIS classes for August 2009 (a), February 2010 (b), all periods (c). (100: Urban area, 200: Agricultural area, 300: Forest area)

Fig. 9. The differences of temperature difference on GIS classes for more than 60% occupied area with the homogeneous land cover (a and c), less than 40% occupied area (b and d). The box plots display the median (solid line), and 10th, 25th, 75th, and 90th percentiles of the values.

Fig. 10. The differences of temperature by synoptic meteorology daily mean wind speed (a), daily mean precipitation (b), and daily mean cloudiness (c).

필요가 있다.

또한 지표의 특성은 지역 날씨에 영향을 주고, 일 변동에도 영향을 주는 등 기상인자에 중요한 역할을 하는데, LAPS와 관측 자료의 차이가 land cover와 어떠한 관계가 있는지 분석하여 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 크게 2월과 8월로 나누어 분석해 보았는데 8월은 산림지역에서 오차가 크게 나타났고, 2월은 농업지역에서 오차가 크게 나타났다. 그리고 전체기간에서는 농업지역에서 오차가 크게 나타났다(오차평균 100: 0.51, 200: 0.58, 300: 0.50). 그리고 지표이용도가 균일한 지점은 이용도에 따라 오차의 차이가 뚜렷하게 나타났고(Fig. 9a and c), 주로 식생이 존재하는 농업 및 산림지역은 여름철의 오차가 작으며, 상업, 위락, 교통지역은 그 반대로 여름철의 오차가 크게 나타났다. 이와 같이 지표이용도 별로 오차가 다르게 나타나기 때문에 고해상도 land cover 자료를 사용하여 LAPS 분석의 정확도를 향상 시킬 필요가 있다.

3.5. 종관기상에 따른 영향

관측지점에 따라 LAPS가 온도를 과대 또는 과소 추정하는 경향이 있어 이를 종관기상 상태와 도시화율(관측지점 반경 1km 내의 시가지건조지역이 차지하는 비율)이 높은 관측소와 비교해 보았다. 그 결과, 오차는 풍속과 반비례했고, 운량과는 비례하는 특징을 나타냈다. 그러나 도시화율과 지역적 온도차에서는 뚜렷한 상관관계가 나타나지 않았다(Fig. 10).

3.6. 농업기상AWS 설치장소에 따른 특성

농업 분야는 여타 산업 분야들 가운데 기상 정보의 활용도가 비교적 높기 때문에 기상청의 관측망과는 독립적으로 다수의 AWS를 농작물의 재배지에 설치하고 작물 군락 내 미기상을 관측하여 활용해 오고 있다. 경기도 농업기술원에서는 경기도 내 33개 지역에 농업용 AWS를 설치하여 풍향풍속, 일사, 일조, 온습도, 결로, 강우량을 측정하고 있다. 설치 위치는 토지이용

Table 3. Simple statistics of the difference between observed and LAPS-analyzed data categorized by the main landuse of the sites for agriculture

Landuse		August 2009	February 2010
Paddy (n=15)	Mean	0.610	0.905
	Min	0.961	2.350
	Max	0.339	0.110
	SD	0.192	0.699
Orchard (n=16)	Mean	0.423	0.663
	Min	0.921	2.316
	Max	0.030	0.014
	SD	0.287	0.659
Grass (n=2)	Mean	0.366	0.459
	Min	0.509	0.460
	Max	0.223	0.457
	SD	0.202	0.002

형태로부터 예찰답(n=15), 과수원(n=16), 기상관측소(n=2)로 구분할 수 있다. 설치 위치별로 LAPS와 관측값의 온도차를 비교해 보았는데(Table 4) 평균 오차는 관측소에서 가장 낮게 나타났고, 예찰답이 오차가 가장 크게 나타났다. 그리고 2월이 8월보다 온도차가 크게 나타났으며, 토지이용 형태별 오차의 크기는 전체 평균의 순서와 같이 기상관측소 관측노장 < 과수원 < 예찰답의 순으로 나타났다.

적 요

고해상도 기상자료 제공과 농림 분야에서의 요구를 충족시키기 위하여 LAPS를 이용하여 경기도 지역을 100m 해상도로 분석하였다. 구축된 시스템은 수치예보 과정에서 생산되는 6시간 간격 예측자료를 초기추정치로 사용하고, 각 관측자료를 동화하여 지표 온도와 습도 바람을 분석한다. 기존 분석시스템의 기상관측자료의 수집 방식을 개선하여 자료 수집에 소요되는 시간을 성공적으로 단축시킴으로써 약 20분 내에 기온, 상대 습도, 풍향, 풍속에 대한 고해상도 분석결과 제공이 가능하게 되었다. 그러나 앞으로 LAPS 분석결과를 이용하여 관측이 가능한 지역 이외에 어느 지역에서도 정확한 농업기상정보를 산출할 수 있게 하려면 다양한 기상자료의 활용과 지표이용도의 개선, 관측지점의 영향반경을 최적화 시키는 과정들이 추가로 연구되어야 할 것이다. 현재 구축된 시스템의 분석결과 정확도는 떨어지지만 LAPS의 내부 알고리즘에 대한 미세한 조

정으로 향상이 가능하므로 농업기상요소 생성을 위한 최적화 작업들을 수행한다면 정확도 향상을 꾀할 수 있을 것이다. 또한 다양한 기상요소에 대한 분석이 가능하기 때문에 특별한 기상요소들을 필요로 하는 농림 분야의 요구를 충족 시킬 수 있도록 분석요소의 확장이 가능 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국립기상연구소의 주요 연구과제 “신생 활 · 산업기상 기술개발연구” 과제의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Agresti, A., 1996: An introduction to categorical data analysis, Wiley, 103-110pp.
- Ahn, J. B., E. S. Lim, J. K. Park, and W. T. Yun, 2000: The study of agricultural meteorology prediction system, *Korean Journal of Meteorological Society* 7(2), 105-107.
- Aho, S. J., S. W. Lee, J. H. Lee, B. H. Huh, D. B. Yu, J. A. LEE, and N. C. Park, 2006: Real time Quality control system for Meteorological Observational Data: RQMOD(I), *Korean Journal of Meteorological Society* 7(2), 244-245.
- Ahrens, C. D., 2003: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment. Meteorology Today (7th ed.) Thomson/Brooks/Cole, 624pp.
- Albers, S. C., 1995: The LAPS wind analysis. *Weather Analysis and Forecasting* 10, 342-352.
- Albers S., McGinley, J., Birkenheuer, D., and Smart, J., 1996: The Local Analysis and Prediction System (LAPS): Analyses of clouds, precipitation, and temperature. *Weather Analysis and Forecasting* 11, 273-287.
- Birkenheuer, D. L., 1992: The LAPS specific humidity analysis. NOAA TechMemo. EFL-FSL-1, NOAA Forecast Systems Laboratory, Boulder, CO. 39pp.
- Cha, K. H., Y. H. Lee, S. J. Ko, S. K. Park, and I. J. Park, 2001: Influence of Weather Condition at Heading Period on the Development of Rice Bacterial Grain Rot Caused by *Burkholderia glumae*, *The Korean Society of Plant Pathology* 7(3), 123-175.
- Chung, U. R., H. H. Seo, K. H. Hwang, B. S. Hwang, and J. I. Yun, 2002: Minimum Temperature Mapping in Complex Terrain Considering Cold Air Drainage, *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 4(3), 133-140.
- Hwang, K. H., J. I. Yun, S. O. Hur, and K. M. Shim, 2001: Characteristics of Nocturnal Cooling at a Pear Orchard in Frost - Prone Area, *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 3(4), 206-214.
- Jung, G. W., 1989: Development of an Operational Weather

- Information System for Agricultural Applications in Cheju Island, National institute of meteorological research report. 1-15pp.
- Kim, J. Y., Y. S. Ghim, and K. Y. Chung, 2000: Analysis of Wind Data Characteristics of Automatic Weather Stations in Seoul and Incheon Areas, *Korean Journal of Meteorological Society* **36**(2), 153-166.
- Kim, Y. S., S. E. Hwang, and J. H. Oh, 2000: The implementation and test of LAPS for Korean peninsula, *Korean Journal of Meteorological Society* **4**, 235-238.
- Lee, B. L., 2000: Agro Meteorological Prognosis and Information Communication System, *Korean Journal of Crop Science* **45**(11), 46-78.
- McGinley, J. A., 1989: The local analysis and prediction system. Preprints, 24th Conf. on Weather Analysis and Forecasting, Monterey, CA, *American Meteorology Society*, 15-20.
- McGinley, J. A., S. Albers and P. Stamus, 1991: Validation of a composite convective index as defined by a real time local analysis system. *Weather Analysis and Forecasting* **6**, 337-356.
- National institute of meteorological research report, 2009: Advanced Research on Meteorological Sciences, 385pp.
- Yun, J. I., K. S. Cho, K. H. Hwang, E. W. Park, and S. I. Cho, 1998: Estimating Microclimatic Elements of a Fully Developed Paddy Rice Canopy Based on Standard Weather Data, *Korean Journal of Meteorological Society* **5**(1), 177-356.