

지표대기모형 BATS를 이용한 농업기상정보 자동산출시스템 개발

신현철¹ · 서애숙² · 이선미³

¹기상청 수치예보과, ²기상연구소 원격탐사연구실, ³기상청 수원기상대
(1999년 10월 2일 접수)

The Development of Automatic Production System of Agricultural Weather Information Using the Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS)

Hyun-Cheol Shin¹, Ae-Sook Suh² and Sun-Mi Lee³

¹Numerical Weather Prediction, KMA,

²Remote Sensing Lab., Meteorology Research Institute

³Suwon Meteorological Office, KMA

(Manuscript received 2 October 1999)

ABSTRACT

The information on agricultural weather over the Korean Peninsula was produced, using the Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme(BATS). We modified the input and output portions of BATS such that the whole processes can be executed as a package. Based on this approach, automatic production system of agricultural meteorology information was developed. The results of this model was compared with the observed data. The differences between the model results and observed data for surface temperature, rooting zone temperature and top soil temperature were 2.0°C, 2.0°C and 2.6°C, respectively.

Key words : BATS, information on agricultural meteorology, automatic production system

I. 서 론

작물의 생장환경 중에서 일사량, 지면온도, 토양온도 및 토양수분 등의 농업기상요소는 다른 어떤 환경요소보다도 중요한 요소이다. 이에 따라, 우리나라에서는 1960년대부터 농업기상관측을 실시해 오고 있으나, 관측소 및 장비, 인력의 부족으로 세밀한 농업기상 정보를 원하는 수요자들의 요구를 제대로 충족시켜 주지 못하고 있다(농업기상 관측소는 수원, 철원 등을 포함, 총 10지역에 불과, 73개의 관측소와 400여대의 AWS로 구성된 일반 종관기상관측망과는 큰 대조를 보이고 있다).

특히, 농업기상요소가 관측되지 않는 대부분의 지역에서는 상당한 거리가 떨어져 있는 인근 지역의 농업

기상관측소 자료로부터 농업기상정보를 추정해 내야 하며, 그 과정에서 발생하는 많은 오차를 감내 할 수 밖에 없는 것이 현실이다. 정확한 농업기상 정보의 산출 및 제공이야말로 농업발전에 가장 기본이 되는 전제임을 감안할 때, 관측을 보완할 수 있는 모형이나 통계적 방법 등의 새로운 방향이 모색되어야 한다는 주장이 설득력 있게 제기되고 있다.

본 연구에서는 농업기상정보 산출을 위해 미국에서 개발된 지표대기모형 BATS를 도입하였다. BATS에서 산출되는 결과물들이 대부분 농업기상요소라는 점에 착안, BATS모형의 결과들로부터 농업기상요소를 자동 산출해 낼 수 있는 시스템을 개발하였다. 또한, 개발된 시스템을 한반도 사례에 적용하여 그 정확도를 평가해 보았다.

BATS 모형은 지표-대기간의 상호작용을 자세히 조사하고 있으며 그 과정에서 일반적으로 쉽게 구할 수 있는 기온, 기압, 강수량 등의 중관기상 관측자료로부터 토양온도, 토양수분, 일사량 등의 농업기상요소를 산출할 수 있도록 해 준다. 당초 이 모형은 지표 부근에서 이루어지는 물리과정을 상세히 묘사하여 그 결과를 GCM 등 기상모형에 제공해 줄 목적으로 개발되었으나, 본 연구에서는 이 모형을 농업기상정보 산출에 활용해 보고자 한 것이다.

BATS 모형을 이용한 국내 연구 사례로는 환경부/과학기술처(1995, 1996)가 주관이 되어 실시된 열대우림지와 활엽수림지에 대한 BATS 자립판의 열수지와 물수지 묘사 및 민감도 조사, 전과 김(1997)에 의해 연구된 수원지방의 지표조건에 따른 BATS모형의 민감도 연구, 김 등(1998)에 의해 연구된 '정점 미기상 관측자료를 이용한 지표모형 BATS의 검증' 등이 있다. 전과 김(1997)의 연구에서는 수원지방의 대기 및 지표 상태를 초기값으로 하여 BATS모형을 10일간 수치적분한 후 윗토양층 온도를 관측값과 비교하였는데, 4일 이후의 적분값이 관측값과 비슷한 분포를 보였다. 김 등(1998)의 연구에서는 BATS에서 산출된 순복사, 잠열, 현열자료를 일본에서 관측된 에너지속 자료와 비교하였는데 순복사와 잠열속의 경우, 관측과 유사한 값이 산출되었으나, 현열속은 매우 다르게 나타났다.

모형을 통한 농업기상요소 산출 방법이 실용화 되면, 일반중관기상관측이 가능한 곳이라면 어디에서든지 농

업기상요소를 산출해 낼 수 있게 됨으로서 관측망이 부족한 현실에서 이를 보완할 수 있는 좋은 방법으로 활용될 수 있으리라 기대된다(Fig. 1).

II. BATS 모형의 개요

BATS(Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme)모형은 지표 부근에서 일어나고 있는 물리과정을 상세하게 묘사하여, 기후변화에 민감한 영향을 주는 지표와 대기기간의 상호작용을 규명하고자 설계되었다(Fig. 2).

BATS는 지표-대기간의 상호과정을 자세히 묘사하고 있으며 이 과정에서 특정 지점의 기온, 기압, 바람 등의 일반적인 기상요소들로부터 지표층 및 식생의 온도, 수분 함량, 그리고 대기로의 현열 및 잠열 수송 등을 산출하는 것이 가능하도록 되어 있다.

BATS는 지표 형태를 식물의 종류와 지표의 상태에 따라 18가지로 구분하며, 토양을 모래로부터 진흙까지 12종류로, 토양의 색깔은 옅은 색으로부터 짙은 색까지 8단계로 나눈다(Table 1). 토양은 세 층으로 나누어 지표로부터 약 10 cm까지를 윗토양(top soil)층, 1 m까지를 뿌리대층(rooting zone), 10 m까지를 총토양층(total soil)으로 구분한다.

이 연구에서 사용된 BATS모형의 입력자료는 기온, 기압, 바람장 등의 일반중관기상요소와 주변지역의 식생 및 토양상태에 대한 정보이며 출력자료로는 토양 온도, 토양수분, 에너지 속, 총유출량 등 농업기상과

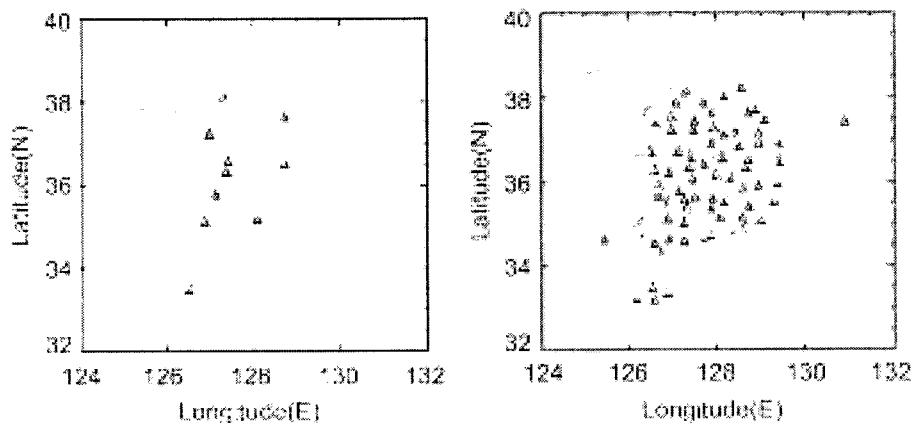


Fig. 1. (a) The regions where the agricultural meteorology information is produced currently. (The 10 agricultural meteorological observatories are at Suwon, Cheju, Andong, Kwangju, Jeonju, Daejeon, Cheongju, Jinju, Chulwon, and Daekwalryeong) (b) The regions where the agricultural meteorology information can be produced, using BATS(73 meteorological observatories of the Korea Meteorological Administration.)

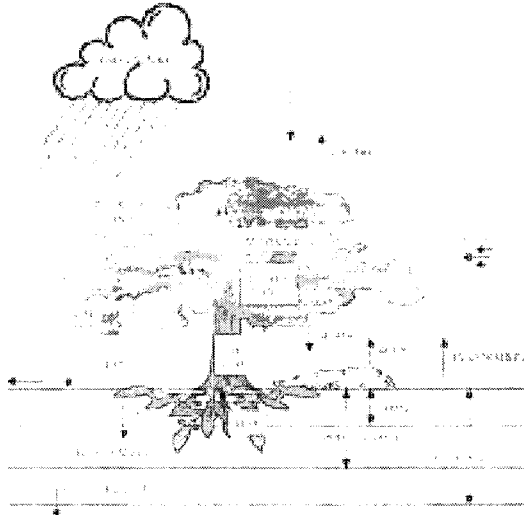


Fig. 2. The interaction between atmosphere and biosphere described by BATS (Dickinson et al., 1993).

Table 1. Type of vegetation and soil which is classified in BATS

식생형태	토양종류	토양색깔
1. Crop/mixed farming	1. Sand	1. Light
2. Short grass	2.	2.
3. Evergreen needleleaf tree	3. ↓	3. ↓
4. Deciduous needleleaf tree	4.	4.
5. Deciduous broadleaf tree	5.	5.
6. Evergreen broadleaf tree	6. Loam	6. ↓
7. Tall grass	7.	7.
8. Desert	8.	8. Dark
9. Tundra	9. ↓	
10. Irrigated crop	10.	
11. Semi-desert	11.	
12. Ice cap/glacier	12. Clay	
13. Bog or marsh		
14. Inland water		
15. Ocean		
16. Evergreen shrub		
17. Deciduous shrub		
18. Mixed woodland		

Table 2. Input and output data of BATS used in this study

입력자료	평균기온, 평균기압, 강수량, 풍향, 풍속, 토양 및 식생 정보
출력자료	지면온도, 윗토양층 온도, 뿌리대층 온도, 잎온도, 순태양복사속, 현열속, 잠열속, 적외복사속, 순복사, 잎의 수분함량, 총토양층 수분함량, 상부토양층 수분함량, 뿌리대층 수분함량, 총유출

관련된 총 14가지 요소들을 들 수 있다(Table 2).

III. 자료 및 방법

지표대기 모형 BATS를 한반도 사례에 적용하여 한반도 전지역에 대한 농업기상 정보를 산출하였다. 기상청 산하 73개 관측소 및 기상대에서 관측된 평균기온, 기압, 강수량, 풍향, 풍속자료를 직접 기입 혹은 기상청 데이터 베이스(DB) 접근 등을 통해 모형에 입력하였으며, 입력자료의 특성 및 단위는 모형의 변수 환경에 맞도록 조정하였다. 또한, 각 기상대 및 관측소에 문의하여 주변 식생분포(식생의 종류 및 피복률)와 토양성질에 대한 정보를 입수, 이를 자료 파일로 작성하여 모형에 입력하였다.

2일 이상의 적분을 하는 경우, 기온이나 일사량 등의 주요 기상요소들은 모형에서 적분된 값 대신 해당 일의 관측값이 새로 입력되도록 처리해 주었다. 입력자료 수집에서부터 결과 표출에 이르는 전과정을 좀 더 간단히 처리할 수 있도록 자동산출 시스템을 개발하였으며, 모형의 검증을 위해 7개 사례를 선정, 사례 실험을 실시하였다.

IV. 결 과

4.1. 농업기상요소 자동산출시스템 개발

모형의 입력과 출력부분을 개선하고 그래픽 S/W를 모형과 접합시킴으로 농업기상정보를 자동으로 산출, 영상화할 수 있는 시스템을 개발하였다.

본래 UNIX 용으로 컴파일되어 있는 BATS모형의 소스코드(Fortran 프로그램)를 PC 용으로 컴파일하여 일반 PC에서도 구동될 수 있도록 하였다. PC 용으로 실행 파일을 생성하기 위해 BATS 소스코드에 대한 구조적이고 문법적인 수정이 이루어졌다. PC용 컴파일

리는 split된 프로그램들을 연결하여 처리할 수 없으므로 우선 split 처리되어 있던 각 subroutine을 통합하여 Main 프로그램에 연결된 하나의 프로그램으로 만들었다. 또한, Include 문에 의해 불리어지는 각 변수 선언문들도 프로그램 본문 안에서 직접 선언되게 하였으며 몇가지 프로그램 구문들도(Open문이나 Do문 등) PC용 컴파일러가 인식할 수 있는 형식으로 바꾸었다.

소스코드의 입출력 부분에도 수정을 가하였다. 입력 부분에서는 사용자가 실행명령을 입력함과 동시에 필요한 입력 정보들을 컴퓨터가 사용자에게 직접 질의할 수 있도록 하였다. 따라서, 사용자는 시스템에서 요구하는 정보를 요구하는 형식과 순서에 따라 입력하기만 하면 자동으로 모형이 수행된다. 출력부분에서는 모형의 결과를 정리하여 표나 그림으로 자동 표출되도록 하였다. 표나 그림을 그리기 위해 추가적인 조치가 필요치 않으며 최초 실행명령의 입력만으로 이러한 후처리 과정들이 자동 수행된다.

사용자가 자신의 필요에 맞게 모형의 결과를 이용할 수 있도록 하기 위해 모형의 전과정이 대화방식과 일괄처리방식이라는 두가지 모드로 수행될 수 있도록 하였다. 대화방식은 어떤 한지역에 대한 농업기상정보를 신속히 알고 싶을 때, 일괄처리방식은 농업기상요소의 전국적인 분포를 알고 싶을 때 이용될 수 있다.

Fig. 3는 자동산출 시스템의 주요구조를 나타낸 것이고, Fig. 4은 자동산출시스템에 의해 생성된 주요 결과들을 나타낸 것이다.

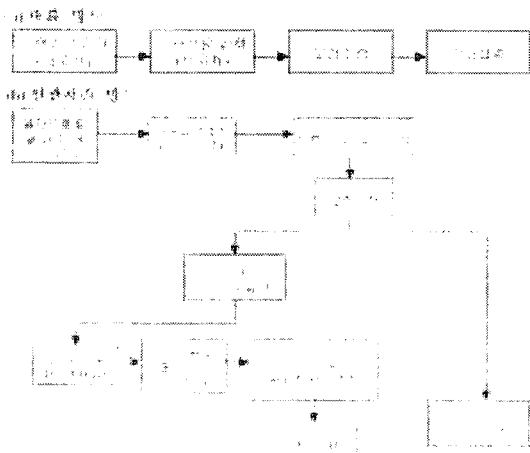


Fig. 3. The structure of automatic production system of agricultural meteorology information.

Fig. 4에서 surface temperature는 지표면 온도(°C)를 나타내며, leaf temperature와 water depth on leaf는 해당지역의 식물군이 가지는 평균적인 잎의 온도(°C) 및 잎의 수분량(mm)을, net solar flux는 상향복사속과 하향복사속의 차(10 W/m²)를 나타낸다.

(1) 대화 방식(Interactive mode)

사용자가 어떤 한 지역에 대한 종관기상정보를 가지고 있고 이로부터 그 지역에 대한 농업기상요소값을 신속히 알고 싶을 때, 대화방식으로 모형을 수행시킬 수 있다.

시스템과 사용자간에 정보를 묻고 답하는 대화가 가능하도록 모형의 소스코드에서 입력부분을 수정하였다. 수정된 프로그램을 PC에서 컴파일 시켜 실행파일을 만들었다. 만들어진 실행파일을 디스켓(3.5인치) 한 장에 담아 어떤 PC에서건 디스켓의 있는 내용을 복사함으로써 BATS모형의 수행환경이 조성될 수 있게 하였다. 대화방식의 수행과정을 간략히 설명하면 다음과 같다 (Fig. 3(a)).

먼저, 실행파일이 담겨진 디스켓을 PC에 넣고 그 내용을 PC에 복사한 후, 실행명령을 입력한다. 실행명령을 입력받은 컴퓨터는 모형 수행에 필요한 종관기상정보를 기온, 기압, 강수량, 풍향, 풍속 순으로 질의한다. 사용자가 정보를 차례로 제공해 주면 컴퓨터는 모형을 수행하여 농업기상정보(토양온도, 토양수분, 에너지 수지 등)를 화면에 표출해 줌과 동시에 세부정보를 모아 하나의 결과 파일을 생성한다.

(2) 일괄처리 방식(Automatic mode)

사용자가 한반도 전역에 대한 종관기상정보를 가지고 있고, 이로부터 농업기상요소의 전국적인 분포를 영상화하고 싶은 경우 일괄처리 방식으로 모형을 수행시킬 수 있다.

사용자가 원하는 날짜를 입력하면 바로 그 날짜에 해당하는 종관기상자료(전국 73개 관측소에서 관측된 자료)를 검색하여 읽어들이도록 모형의 입력부분을 수정하였다. 또한, 모형의 실행파일 다음에 후처리 과정을 위한 subroutine을 삽입하고 그래픽 소프트웨어를 접합시켜 모형결과가 바로 영상으로 표출되도록 하였다. 후처리 과정에서는 73개 지점에서 random하게 산출되는 결과 자료들을 내삽(주변자료들을 거리에 대해 단순내삽)하여 격자화된 자료로 만드는 과정이 포함되어 있다. 격자화된 자료는 그래픽 프로그램의 입력자

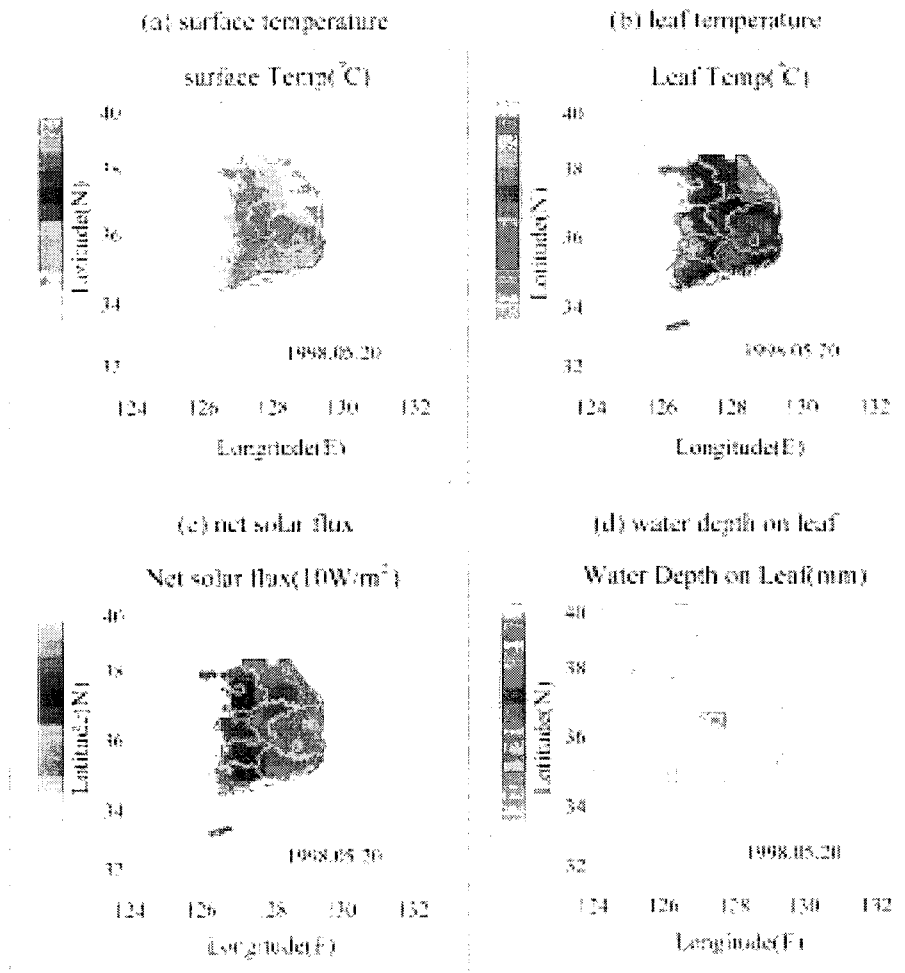


Fig. 4. The examples of products of automatic production system using BATS.

료로 이용된다.

일괄처리방식은 모형 실행 파일에서부터 후처리 subroutine, 그래픽 프로그램까지 전 과정이 디스켓 하나에 담겨져 있다는 점에서 대화방식과 마찬가지로 전국적인 자료를 처리하여 이를 영상으로 표출하는 것을 목적으로 하고 있기 때문에 이 방식으로 모형을 수행하기 위해서는 그래픽 S/W가 구축되어 있어야 하고 원하는 날씨의 전국 기상관측자료에 대한 DB가 확보되어 있어야 한다는 점에서 대화방식과 차이가 있다. 일괄처리 방식의 수행과정은 다음과 같다(Fig. 3(b)).

먼저, 실행파일이 담겨진 디스켓의 내용을 PC에 복사한 후, 실행명령을 입력한다. 실행명령을 입력받은 컴

퓨터는 사용자에게 날씨를 입력해 줄 것을 요구한다. 사용자가 날씨를 입력하면 컴퓨터는 기상청 DB에서 받아온 자료를 검색하여 잘못 입력되거나 누락된 자료를 보완하는 품질 개선 작업을 수행한다. 품질검사가 끝나면, 컴퓨터는 DB에서 받아온 원시자료로부터 입력 데이터 파일을 만들어 모형을 수행하고 모형의 수행을 통해 얻어진 자료를 정리하여 농업기상정보 표를 생산함은 물론 결과자료들을 격자화하여 그래픽 데이터 파일(그래픽 프로그램을 위한 입력 자료)을 생성한다. 그래픽 데이터 파일이 생성되면 그래픽 소프트웨어가 자동으로 load되고 사용자가 원하는 관측요소와 표출방법에 따라 해당코드를 입력하면 컴퓨터는 이미 산출된 그래픽 데이터 파일에 접근하여 원하는 자료를

Table 3. The results of case studies using BATS

사 례	기상특징	오차 (모형결과 - 관측값)		
		지면 온도 (°C)	토양표면 온도 (°C)	뿌리대층 온도 (°C)
사례 1(98.4.1-4.3)	전국에 걸쳐 비, 영동산간에 눈	2.0	3.5	3.5
사례 2(98.5.20-5.22)	맑은 날씨, 고온현상	3.0	2.4	1.4
사례 3(98.6.28-6.30)	장마전선의 영향으로 전국에 걸쳐 비	1.8	2.3	0.7
사례 4(98.7.1-7.3)	장마전선의 영향으로 전국에 걸쳐 비	1.5	2.6	1.0
사례 5(98.8.3-8.5)	서울·경기에 집중호우	1.4	1.9	0.7
사례 6(98.9.11-9.13)	맑은 날씨, 고온현상	3.3	2.1	1.6
사례 7(98.10.19-10.21)	맑은 날씨, 저온현상	1.1	3.1	5.3
	평균오차	2.0	2.6	2.0

수집하고 그 결과들을 영상화시켜 자동으로 표출해 준다(한가지 요소만을 화면전체에 띄울 수도 있고 속성이 비슷한 4-5가지의 기상요소를 동시에 한 화면에 표출할 수도 있다.).

4.2. 검증

모형의 결과를 관측값과 비교하기 위해 1998년 4월부터 10월까지 중에서 7개의 사례를 선정, 3일간 모형적분을 수행하였다. 현재, 농업기상요소 관측을 수행하고 있는 10개 지역에 대한 지면온도, 윗토양층 온도(지면에서 10 cm 깊이까지의 평균온도), 뿌리대층 온도(10 cm에서 1 m 깊이까지의 평균온도) 등의 관측 값을 수집하여 모형의 결과와 비교하였다(Table 3).

총 7개 사례(21일)에 대한 모형결과를 분석한 결과 관측값과의 평균오차가 지면온도와 뿌리대층 온도의 경우에는 약 2.0°C, 윗토양층 온도의 경우에는 약 2.6°C인 것으로 나타났다.

V. 결 론

5.1. 요약

지표대기 모형 BATS를 한반도 사례에 적용하여 좀 더 상세한 농업기상 정보를 산출할 수 있는 농업기상 정보 자동산출 시스템을 개발하였다. 입출력방식에 따라 대화방식과 일괄처리방식의 두가지 형태로 모형이 수행되도록 하였으며, 산출된 결과를 자동표출할 수 있도록 그래픽 S/W를 모형에 접합하였다. 새로 개발

된 농업기상정보 자동산출 시스템은 모형의 결과들을 효과적으로 정리하고 영상화하여 이를 일반수요자들에게 신속히 제공해 줌으로 산출된 자료의 이용가치를 크게 높여주리라 기대된다.

모형의 검증을 위해 1998년 4월부터 10월까지 총 7개 사례를 선정, BATS 모형에 대한 사례실험을 실시하였다. 실험결과, 관측값과의 평균오차가 지면온도와 뿌리대층 온도의 경우에는 약 2.0°C, 윗토양층 온도의 경우에는 약 2.6°C로 나타났다.

5.2. 기대 효과

(1) 고밀도의 농업기상 정보 제공

현재 농업기상 관측소는 10곳에 불과, 상세한 농업기상정보를 제공하기에는 부족한 상태이며, 그나마 생산되는 자료 또한 토양온도만으로 국한되어 있다. 관측소 보강을 통해 고밀도의 농업기상정보를 산출하기 위해서는 관측소의 증설이 필요하며, 기존 관측소도 관측장비와 인력을 보강, 토양온도 이외에 에너지 수지나 토양수분 등 좀 더 다양한 농업기상정보를 산출할 수 있도록 해야 한다. 이는 엄청난 예산이 드는 일이며, 혹 예산이 준비된다 하더라도 농업기상관측을 위한 전문인력 양성이라는 또 하나의 어려운 과제를 해결해야만 하는 부담이 따른다.

반면, 모형을 통한 농업기상요소 산출 방법은 간단한 전산장비만으로 우리 나라 전역에 대한 상세한 농업기상정보의 제공을 가능케 해줄 뿐 아니라 실용화될 경우, 농업종사자 및 관련 연구인들이 원하는 지역,

원하는 날짜에 대한 농업기상정보를 쉽게 제공받을 수 있도록 도울 수 있다. 본 연구에서 개발된 농업기상정보 자동산출시스템을 이용하면 일반 종관기상정보가 산출되는 곳이라면 어디에서든 간단하게 농업기상 정보를 산출할 수 있게 된다. 현재 기상청에서는 73개 관측소와 400여대의 AWS 장비를 운영하고 있는데 이 시스템을 이용하면 이들 지역 모두에서 농업기상정보를 산출할 수 있게 될 뿐 아니라, 산출되는 요소 또한 토양온도 이외에 토양수분, 에너지 수지 등으로 다양해질 수 있을 것이다.

(2) 농업기상예보 현실화

모형이 관측에 비해 갖는 장점 중 하나는 미래에 대한 예측이 가능하다는 것이다. 현재 기상청에서 3일을 주기로 수행하고 있는 단기예보의 예상 자료(내일과 모레의 예상최저기온, 예상최고기온, 예상강수량 등)들을 이 시스템에 입력한다면, 내일과 모레의 농업기상요소 예상값 산출이 가능해질 수 있다.

(3) 기상모형의 입력개선

BATS모형은 지면부근에서 이루어지는 에너지 수지를 자세히 모사하고 있는 만큼 모형의 결과들을 잘 개발하면 일반 기상모형의 입력도 개선될 것으로 보인다. 실제, BATS모형은 지표부근에 대한 좀 더 상세한 정보를 GCM모형의 입력자료로 제공해줄 목적으로 개발되었으며 BATS모형을 이용함으로써 GCM모형의 결과가 개선되었음을 입증하는 연구도 있다. 따라서, BATS모형의 결과들을 잘 처리하여 현재 운용중인 기상모형에 응용하면 기상모형의 결과 또한 향상될 수 있으리라 본다.

이 연구에서는 그 중요성에 비해 소홀히 다루어지고 있는 농업기상관측의 열악한 현실을 지적하고 이 관측의 공백을 보완하기 위한 또 다른 방법으로 모형을 활용하는 방법을 소개하였다. 또한, 모형의 입출력부분을 수정하고 전후처리 과정을 자동화함으로써 모형 결과로부터 손쉽게 농업기상정보를 산출, 가공해 낼 수 있는 기술적 준비를 완료하였다.

물론, 관측대신 모형의 결과들을 전적으로 활용하는 것은 커다란 위험부담을 안고 있다. 모형의 결과들이 아무리 좋다 할지라도 그것은 관측값과 비교해 볼 때 근사적인 값에 불과하기 때문이다. 이번 연구에서 나타난 오차범위 2.0-2.6°C는 비교적 크지 않은 오차라

할 수 있겠지만, 만약 이 오차가 작물의 생장에 중요한 영향을 줄 수 있는 한계온도 부근에서 발생하였다면, 이는 작물의 생사여부에 영향을 줄 수 있는 큰 오차일 수도 있다. 따라서, 모형을 통한 농업기상정보 산출방법은 앞으로 좀 더 많은 시간을 두고 검증되어야 할 것이며, 오차를 극소화하기 위한 모형개선 노력도 지속적으로 이루어져야 할 것이다. 관측자료를 모형의 결과에 반영시키기 위해 모형결과와 관측자료와의 동화 과정을 첨가 한다면, 관측값과의 통계처리 방법 등을 추가로 고려하는 방법들을 생각할 수 있겠다.

VI. 적 요

지표대기 모형 BATS를 한반도 사례에 적용하여 한반도 전지역에 대한 농업기상정보를 산출하였다. 자료 입력에서 출력까지의 전 과정이 일괄적으로 수행될 수 있도록 모형의 입출력 및 전후처리 과정을 수정하였으며 이를 토대로 간단한 조작만으로 쉽게 농업기상요소들을 생산해 낼 수 있는 농업기상정보 자동산출시스템을 개발하였다. 모형의 결과와 관측값을 비교해 본 결과 지면온도와 뿌리대층 온도는 약 2.0°C, 윗토양층 온도는 약 2.6°C의 오차를 보이는 것으로 나타났다.

인용문헌

- 김승배, 전혜영, 김준, 1998: 정점 미기상 관측자료를 이용한 지표모형 BATS의 검증. 한국기상학회지. **34(4)**, 602-612.
- 전혜영, 김승배, 1997: 수원지방의 지표조건에 따른 BATS 모형의 민감도 연구. 한국기상학회지. **33(3)**, 521-534.
- 환경부/파악기술처, 1995: 대기/해양 접합 GCM개발. G7 프로젝트 제 1단계 3차년도 연차보고서: 408.
- Dickinson, R. E., A. Henderson-Sellers, P. J. Kennedy and M. F. Willson, 1993: 'Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme(BATS) version 1e as coupled to the NCAR Community Climate Model'. NCAR Tech. Note/TN-387+STR.
- Wilson, M. F., A. Henderson-Sellers, R. E. Dickinson and P. J. Kennedy, 1987: Sensitivity of the Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme(BATS) to the inclusion of variable soil characteristics. *J. Climate Appl. Meteo.*, **26**, 341-362.