

# 비선형 증발량 및 증발산량 시계열의 모형화를 위한 신경망-유전자 알고리즘 모형

## 2. 불확실성 분석에 의한 최적모형의 구축

Neural Networks-Genetic Algorithm Model for Modeling of Nonlinear  
Evaporation and Evapotranspiration Time Series.

2. Optimal Model Construction by Uncertainty Analysis

김성원\* / 김형수\*\*

Kim, Sungwon / Kim, Hung-Soo

### Abstract

Uncertainty analysis is used to eliminate the climatic variables of input nodes and construct the model of an optimal type from COMBINE-GRNNM-GA(Type-1), which have been developed in this issue(2007). The input variable which has the lowest smoothing factor during the training performance, is eliminated from the original COMBINE-GRNNM-GA (Type-1). And, the modified COMBINE-GRNNM-GA(Type-1) is retrained to find the new and lowest smoothing factor of the each climatic variable. The input variable which has the lowest smoothing factor, implies the least useful climatic variable for the model output. Furthermore, The sensitive and insensitive climatic variables are chosen from the uncertainty analysis of the input nodes. The optimal COMBINE-GRNNM-GA(Type-1) is developed to estimate and calculate the PE which is missed or ungaged and the ETr which is not measured with the least cost and endeavor. Finally, the PE and ETr maps can be constructed to give the reference data for drought and irrigation and drainage networks system analysis using the optimal COMBINE-GRNNM-GA(Type-1) in South Korea.

**keywords** : Uncertainty analysis, Regression analysis, Smoothing factor, Map construction

### 요 지

본 논문에서는 본 연구논제(2007)에서 개발된 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)으로부터 최적형태의 구조를 가진 모형을 구성하고, 입력층노드의 기상인자를 제거하기 위하여 불확실성 분석을 실시하였다. 훈련과정중에 가장 최소의 평활인자를 가진 입력층변수는 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)에서 제거되었으며, 변형된 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)은 기상학적 변수의 새로운 최소 평활인자를 구하기 위하여 재훈련된다. 최소 평활인자를 가지는 입력층 노드는 모형결과치에 대하여 가장 유용하지 않는 기상인자인 것을 암시하고 있다. 게다가, 민감하거나 민감하지 않은 기상인자들이 불확실성 분석을 통하여 선택되어진다. 최적 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)은 최소

\* 동양대학교 철도토목학과 조교수

Ph.D./P.E., Assistant Professor, Dept. of Rail. and Civil Engr., Dongyang University, Yeongju, 750-712, South Korea.  
(e-mail: swkim68@phenix.dyu.ac.kr)

\*\* 인하대학교 환경토목공학부 부교수

Ph.D., Associate Professor, School of Civil and Environ. Engr., Inha University, Incheon, 402-751, South Korea.  
(e-mail: sookim@inha.ac.kr)

비용과 노력으로 결측 혹은 미계측 증발접시 증발량과 계측되고 있지 않은 알팔과 기준증발산량을 산정하기 위하여 개발되었다. 마지막으로 최적 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)을 이용하여 우리나라에서 전반적인 가뭄해석 및 관개배수 시스템 구축을 위한 참고자료를 제공할 수 있는 증발접시 증발량 지도 및 알팔과 기준증발산량 지도도 구축되어질 수 있다.

**핵심용어 :** 불확실성 분석, 회귀분석, 평활인자, 지도구축

## 1. 서론

기본 매개변수들 중에서 한번에 하나씩 일정한 비율로 변화를 주어서 모형결과치의 변동을 검토하는 전통적인 민감도 분석(Sensitivity analysis)은 많은 연구자들에 의하여 검토되었으나, 모형결과치에 가장 영향을 끼치는 불확실성(Uncertainty)의 원인을 판단하는데 가장 적합한 방법은 아닌 것으로 나타났으며, 좀 더 섬세한 연구를 요구하고 있다(Beck, 1987; Yeh and Tung, 1993). 또한 주어진 매개변수에 대한 민감도계수는 그 매개변수가 최적값과 다르다는 우도(Likelihood)를 설명하지 않으며, 낮은 불확실성으로 알려진 높은 민감도를 가진 매개변수는 높은 불확실성을 나타내는 민감도가 적은 매개변수보다 모형결과치의 불확실성에 끼치는 영향이 적다.

공학에서 불확실성은 매개변수 및 지배적인 예측모형을 정의하는데 애매함(Ambiguity)과 모호함(Vagueness)에 주로 기인한다. 애매함과 관련된 불확실성은 일반적으로 비인지적인(Noncognitive) 원인에 있으며, 이러한 원인들은 물리적인 무작위성, 매개변수의 특성을 추정하는데 있어서 표본정보의 사용에 의한 통계적인 불확실성과 시스템 혹은 공정과정의 지식부족, 해석적모형, 예측모형, 단순화된 방법론 및 실제과정의 이상적인 표현에 있어서 단순화된 가정으로부터 기인하는 모형의 불확실성을 포함하고 있다(Johnson and Ayyub, 1996; Ayyub, 1998). 공학적인 문제의 불확실성을 해석하는데 있어서 일반적으로 확률론적 방법, 퍼지이론, 그레이방법(Gray method) 및 구간산술법(Interval arithmetic method)등을 포함한 많은 방법론과 이론이 적용되어 왔다(Moore, 1979; Ayyub and Gupta, 1997; Pedrycz and Gomide, 1998; Guyonnet et al., 1999). 그러나 엄격히 수학적 배경에 기초를 둔 확률론적 이론이 불확실성 예측 및 모형화 과정에 가장 유용하게 사용되고 있는 실정이다.

신경망이론을 기본으로 하는 불확실성은 모형화 과정뿐만 아니라 신경망모형의 훈련에 사용된 제한된 자료에 기인한다고 할 수 있다. Kim and Cho(2003)는 중

소하천유역에서 시간지체형태의 신경망모형을 이용하여 홍수위예측을 위한 불확실성 분석을 시도하였으며, Kim and Kim(2006)은 엘만이산순환신경망모형(Elman discrete recurrent neural networks model, EDRNNM)을 이용하여 민감도분석에 의한 입력자료의 불확실성 분석을 통하여 홍수위예측의 신뢰성분석을 시도하였다. 본 연구에서는 임의의 물리적인 배경은 포함하지 않은 실질적인 접근법에 많은 장점을 가지고 있는 신경망모형을 적용하지만, 신경망모형의 구조적인 측면과 입력자료에 대하여 어느 정도의 불확실성을 내포하고 있다. 또한 은닉층 및 은닉층 노드수를 포함한 적절한 신경망모형의 구조를 선택하여 훈련과 검증과정에 유의하여 적용한다면 신경망모형의 구조배열에 관련된 불확실성은 미미한 문제로 취급될 수 있으며, 입력자료의 불확실성만 부각될 수 있다.

선행연구를 통하여 급속한 경제성장과 도시화로 인해 국내에서 증발접시 증발량의 관측이 중단된 주요 14개 기상관측소에서 증발접시 증발량의 확충과 알팔과 기준증발산량의 산정을 위하여 유전자 알고리즘 연산과정이 내재되어 있는 세 가지 종류의 GRNNM-GA를 개발하여 적용하였다. 그 결과 일단위의 평균기온, 최대기온, 최소기온, 평균이슬점온도, 최소 상대습도, 평균 상대습도, 평균풍속, 최대풍속 및 일조시간으로 구성된 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)가 가장 양호한 결과치를 유도하여 이용할 수 있는 기상자료의 수가 많을수록 모형결과치는 양호한 것으로 분석되었다(김성원과 김형수, 2007). 그러나 우리나라에서 구입할 수 있는 기상자료를 전부 이용한다는 것은 자료의 수집에 많은 비용과 시간을 낭비하는 결과를 유도한다. 따라서 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)의 경우 모형 훈련과정동안 각 입력층 노드와 모형결과치의 상관성을 나타내는 평활인자(Smoothing factor)가 존재하고, 그 값이 영에 가까울수록 모형결과치에 영향을 거의 끼치지 않는 입력층 노드임을 나타내고 있으며, 그 값이 영보다 크면 클수록 모형결과치에 영향을 많이 끼치는 입력층 노드임을 나타내고 있다. 따라서 본 연구를 통하여 최초 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)의 입력층 노드에

대한 불확실성 분석을 통하여 가장 영향을 끼치지 않는 입력층 노드를 단계별(Step-by-step)로 제거하여 14개 기상관측소에 대한 각 최적 COMBINE-GRNNM-GA (Type-1)을 설정하고자 한다. 또한 실측된 증발접시 증발량 자료와 산정된 알팔파 기준증발산량 자료에 대해 각 관측소별로 최적의 상관관계를 간단하게 유도하는 통계학적 모형을 제시하고, 궁극적으로 우리나라에서 신뢰성있는 증발접시 증발량과 알팔파 기준증발산량에 대한 2차원 및 3차원지도를 구축하여 가뭄해석 및 관계 배수 시스템 구축을 위한 기준자료를 제공하고자 한다.

## 2. 입력층 노드의 불확실성 분석

Monte Carlo 모의기법 및 1차 신뢰성분석(First-order reliability analysis, FORA)과 같은 다중모의기법에 기초를 둔 신뢰성분석 기법은 모형예측 불확실성에 영향을 끼치는 주요 매개변수들의 결정에 있어서 매개변수 민감도와 매개변수 불확실성의 혼합된 효과를 고려하고 있다. 일반적으로 모의기법(Simulation-based method)은 주요 매개변수를 추정하기 위하여 두 가지의 접근법을 이용한다. 첫 번째는 매개변수와 모형 출력치 사이의 상관성이 평가되는 것인데, 의미있는 양(+) 혹은 음(-)의 상관성을 가진 매개변수가 결정되어진다. 매개변수와 모형 출력치 사이의 단순 상관계수와 부분 상관계수는 매개변수와 모형 출력치 사이의 선형관계를 검토하기 위하여 계산되어진다(Gardner, et al., 1981; Jaffe and Ferrara, 1984). 두 번째는 주요 매개변수를 결정하기 위하여 지역적인 민감도분석(Regional sensitivity analysis, RSA)을 적용하는 것이다(Hornberger and Spear, 1981). 지역적인 민감도분석에서는 모형출력치에 대한 이상적인 범위가 가정되어야 한다. 이상적인 범위에서 출력을 나타낸 모의에 대한 매개변수를 A 그룹이라고 가정하고, 이상적인 범위밖에서의 출력을 나타낸 모의에 대한 매개변수를 B 그룹이라고 할 경우에, 각 그룹에서 모의에 대한 매개변수 값의 경험확률분포(Empirical probability distribution, EPD)가 개발되어진다. 이러한 경험확률분포는 예를 들면 Kolmogorov-Sminov 검정법을 이용하여 비교되어 질 수 있다. 모의기법과 비교하여 1차 신뢰성분석(FORA)기법의 가장 큰 장점은 단순함에 있다. 테일러 급수확장이 기본변수의 평균값을 취할 경우에는 기본변수의 처음 2개의 통계학적 모멘트와 단순 민감도 계산이 FORA 기법에서는 반드시 필요하다. 그러나 FORA 기법이 공학적인 설계문제에 적용되면 FORA 기법은 이론적인 그리고 개념적인 문제점을 가지게 된다(Melching, 1992). FORA 기법의 주요문제점은 기본

변수의 중앙값에서 모형 출력함수의 선형화가 전체의 변수값에 대한 모형출력치의 통계학적 특성을 나타낸다고 가정하는 것이다. 비선형시스템에서의 이러한 가정은 기본변수가 중앙값에서부터 시작함으로써 정확도가 좀 더 떨어지게 된다.

따라서 본 논문에서는 선행연구를 통하여 개발된 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)의 훈련과정시에 발생하는 각 입력층 노드의 평활계수와 훈련 및 테스트과정의 결과치에 대한 상관성분석을 이용하여, 최소 평활계수를 나타내는 입력층 노드를 단계별로 하나씩 제거하여 모형을 재구성하는 모의기법을 이용해 입력층 노드, 즉 기상인자의 불확실성 분석을 실시하였다.

### 2.1 최적 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)의 구성

선행연구를 통하여 개발된 COMBINE-GRNNM-GA (Type-1)은 9개의 입력층 노드와 2개의 출력층 노드로 구성되어 있다. 그리고 구성된 모형의 훈련과정에서 유전자 알고리즘(GA)이 내재됨으로써 각 입력층 노드에 대한 최적 평활인자 및 전반적인 평활인자의 값이 결정된다. 훈련과정을 통하여 입력층 노드의 평활인자 값이 영에 가까울수록 선택된 입력층 노드가 모형결과치에 미치는 영향이 작다는 것, 즉 입력층 노드의 불확실성이 크다는 것을 의미하고 있으며, 평활인자의 값이 영보다 훨씬 크다는 것은 선택된 입력층 노드가 모형결과치에 미치는 영향이 크다는 것, 즉 입력층 노드의 불확실성이 작다는 것을 나타내고 있다(Neuroshell 2, 1993). 따라서 본 연구에서는 각 입력층 노드에 대한 단계별 형태로 불확실성 분석을 시도하였다. 먼저 선행연구과정을 통하여 개발된 초기 COMBINE-GRNNM-GA (Type-1)의 훈련결과 산정된 최소 평활인자 값을 나타내는 입력층 노드를 제거하고, 모형을 8개의 입력층 노드를 가진 수정 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)으로 재구성한 후에 재 훈련한다. 재 훈련결과 산정된 통계 분석 결과치와 선행 단계인 초기의 통계분석 결과치를 비교한 후, 통계지표 중에서 증발량 및 증발산량의 상관계수 값의 변동이  $\pm 1\%$ 이내 즉, 허용오차 범위 이내 일 경우에는 재 산정된 평활계수 중에서 최소 평활계수를 나타내는 입력층 노드를 제거한 후, 모형을 다시 재 구성하여 7개의 입력층 노드를 가진 모형을 재 훈련하는 과정을 가진다. 만약 허용오차 범위를 초과할 경우에는 더 이상의 입력층 노드의 제거를 통한 불확실성 분석을 실시하지 않고, 선행 단계의 입력층 노드수를 가진 모형을 최적 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)으로 선정한다. 다음 Fig. 1은 입력층 노드에 대한 단계별 형태의 불확실성 분석과정을 나타내고 있다.

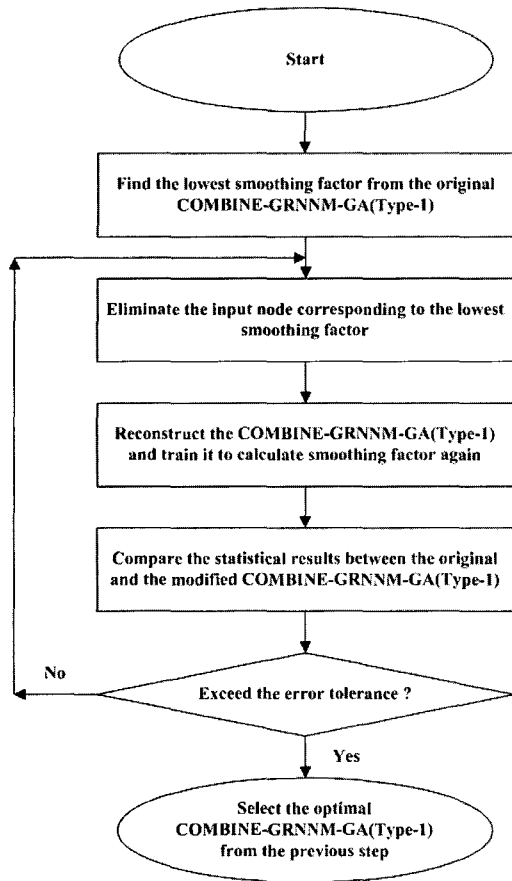


Fig. 1. The uncertainty analysis for input layer nodes using simulation-based step-by-step/one-by-one method

## 2.2 최적 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)의 분석

본 연구에서 입력층 노드의 불확실성 분석과정을 통하여 선정된 최적 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)의 통계분석 결과 최초 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)의 결과치보다 미소하게 양호한 결과치를 발생하는 기상관측소도 존재하고, 최초의 결과치보다 양호하지는 않지만 신뢰할 수 있는 범위 이내인 것으로 판단되는 기상관측소도 존재한다. 다음 Table 1은 14개 기상관측소에서 입력층 노드에 대한 단계별 형태의 불확실성 분석결과를 나타내고 있다. Table 1에 의하면 광주관측소의 경우 첫 번째 제거된 입력층 노드는 평균 이슬점온도, 두 번째로 제거된 입력층 노드는 최소 상대습도, 세 번째로 제거된 입력층 노드는 최소기온, 마지막으로 제거된 노드는 평균기온이며, 최적 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)은 5개의 입력층 노드로 재 구성된다. 즉 5개의 입력층 노드를 가진 최적 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)의 훈련, 테스트 및 재현 결과치는 최초 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)의 결과치와 비교하면 허용오차 범위 이내 인 것으로 설명 할 수 있다. 또한 14개 기상관측소의 전반적인 분석결과를 검토하면 최대기온과 일조시간은 증발접시 증발량 및 알팔파 기준증발산량의 산정에 반드시 필요한 기상인자로 분석되었으며, 평균풍속 및 평균 상대습도의 기상인자도 많은 지점에서 분석에 필요한 기상인자로 판단된다. 그리고

Table 1. The results of uncertainty analysis for input layer nodes using simulation-based step-by-step/one-by-one method

Input Node Station	Climatic Variables									
	Mean Temperature	Maximum Temperature	Minimum Temperature	Mean Dewpoint Temperature	Minimum Relative Humidity	Mean Relative Humidity	Mean Wind Speed	Maximum Wind Speed	Sunshine Duration	
Gwangju	4(√)	●	3(√)	1(√)	2(√)	●	●	●	●	
Gunsan	●	●	●	2(√)	1(√)	●	●	3(√)	●	
Daegu	3(√)	●	1(√)	2(√)	4(√)	●	●	●	●	
Buyeo	3(√)	●	2(√)	●	1(√)	●	●	4(√)	●	
Seoul	3(√)	●	1(√)	2(√)	4(√)	●	●	●	●	
Seongsanpo	3(√)	●	1(√)	●	●	●	●	2(√)	●	
Ulsan	●	●	3(√)	2(√)	●	4(√)	●	1(√)	●	
Wonju	●	●	1(√)	3(√)	4(√)	●	●	2(√)	●	
Inje	●	●	●	3(√)	2(√)	●	1(√)	●	●	
Jeonju	●	●	●	2(√)	3(√)	●	●	1(√)	●	
Cheongju	3(√)	●	●	●	1(√)	●	2(√)	●	●	
Tongyoung	3(√)	●	●	1(√)	●	4(√)	●	2(√)	●	
Pohang	●	●	2(√)	3(√)	1(√)	●	●	●	●	
Haenam	2(√)	●	●	1(√)	3(√)	●	4(√)	●	●	

[ Note ] √ : Elimination, ● : Selection

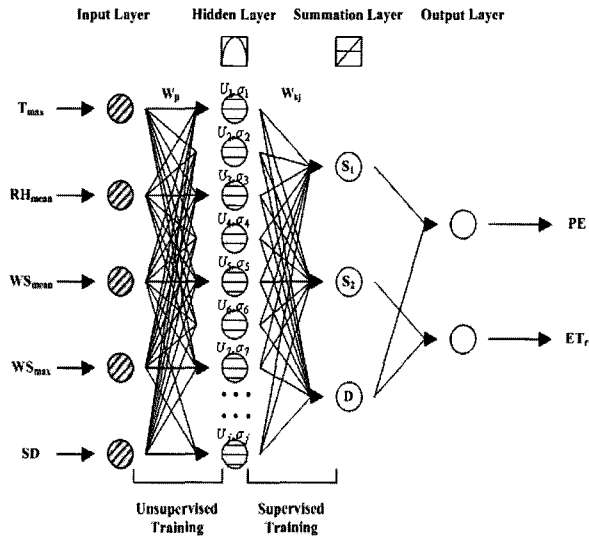


Fig. 2. The architecture of optimal COMBINE-GRNNM-GA(Type-1) for Gwangju station

평균 이슬점온도와 최소 상대습도의 경우는 많은 지점에서 불필요한 인자로 분석되었다. 따라서 입력층 노드의 불확실성 분석과정을 통하여 각 기상관측소별 최적 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)을 구성할 수 있으며,

필요한 기상인자는 기상관측소별로 차이가 있는 것으로 분석되었다. 다음 Fig. 2는 광주관측소의 최적 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)의 구조를 나타낸 것이다. Fig. 2의 입력층 노드의 변수는 일단위로서  $T_{max}$ 는 최대기온,  $RH_{mean}$ 는 평균상대습도,  $WS_{mean}$ 는 평균 풍속,  $WS_{max}$ 는 최대풍속이고 SD는 일조시간에 해당된다. 또한 출력층 노드의 변수는 일단위로서 PE는 증발접시 증발량이고  $ET_r$ 은 PM 공식에 의해 산정된 알팔과 기준증발산량에 해당된다. 또한 Fig. 3의 (a)~(d)는 14개의 기상관측소 중에서 주요 관측소인 광주, 대구, 서울 및 성산포관측소에 대한 최초 및 최적 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)의 훈련 및 테스트결과 증발접시 증발량의 관측치(Observed)와 계산치(Original and Optimal)의 비교결과를 나타낸 것이며, 다음 Fig. 4의 (a)~(d)는 14개의 기상관측소 중에서 주요 관측소인 광주, 대구, 서울 및 성산포관측소에 대한 최초 및 최적 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)의 훈련 및 테스트결과 알팔과 기준증발산량의 관측치(PM method)와 계산치(Original and Optimal)의 비교결과를 나타낸 것이다. 또한 다음 Fig. 5의 (a)~(d)는 14개의

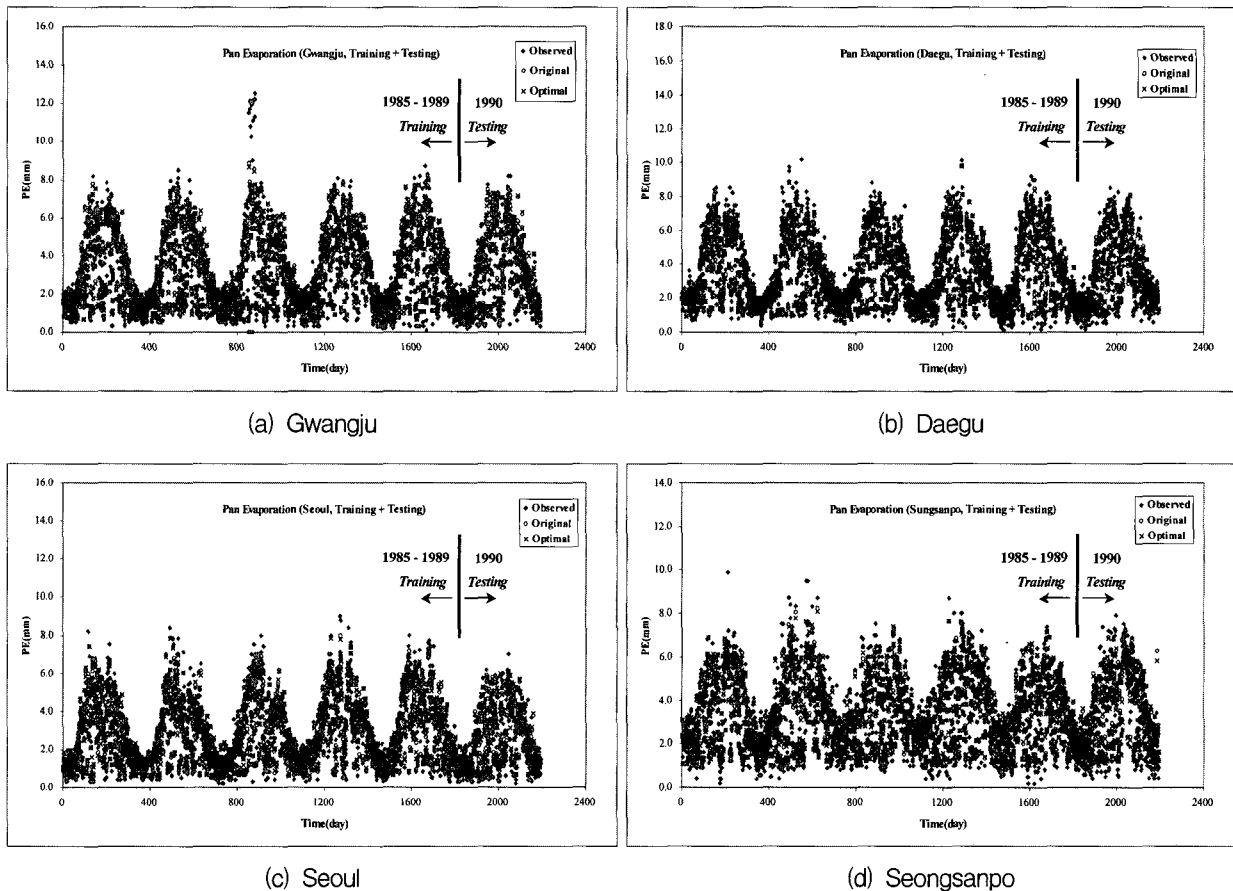


Fig. 3. The comparison of the observed and calculated data for pan evaporation

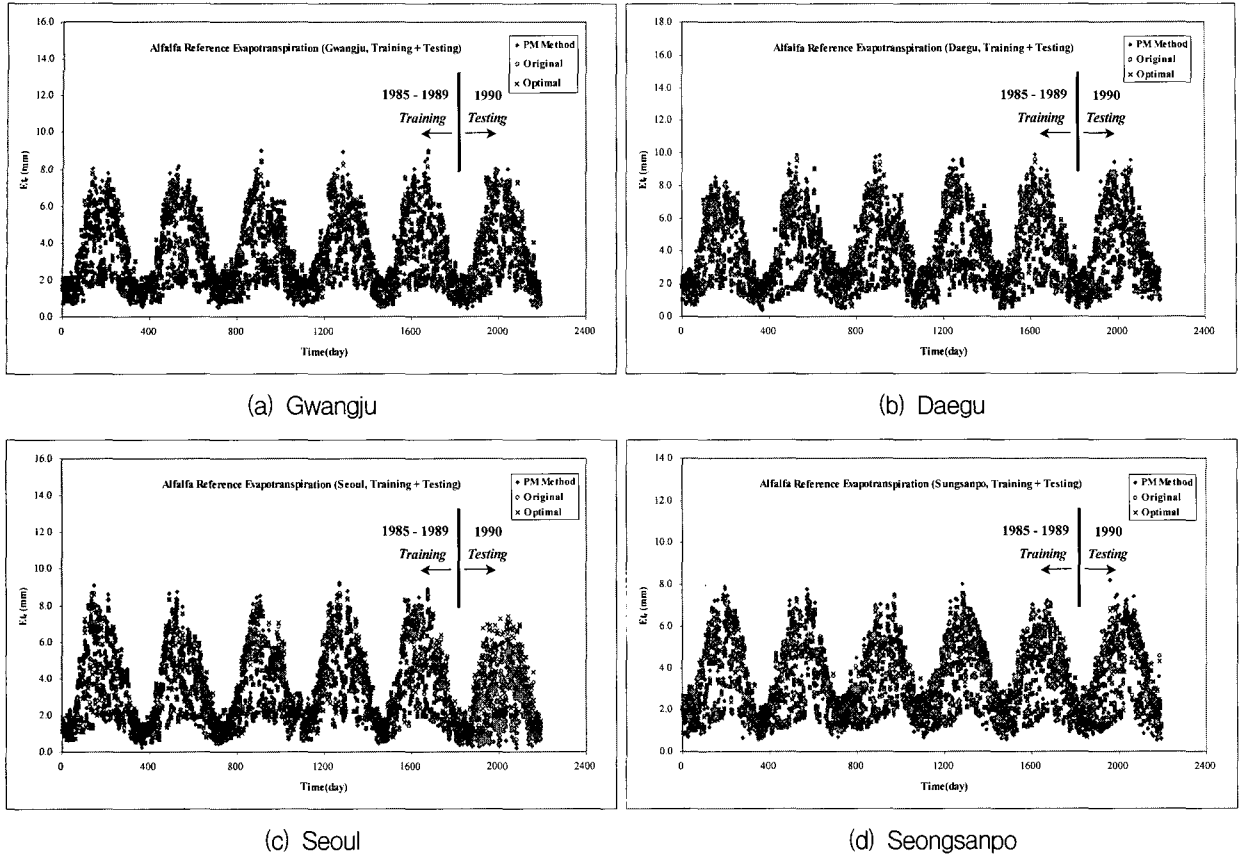


Fig. 4. The comparison of the observed and calculated data for alfalfa reference evapotranspiration

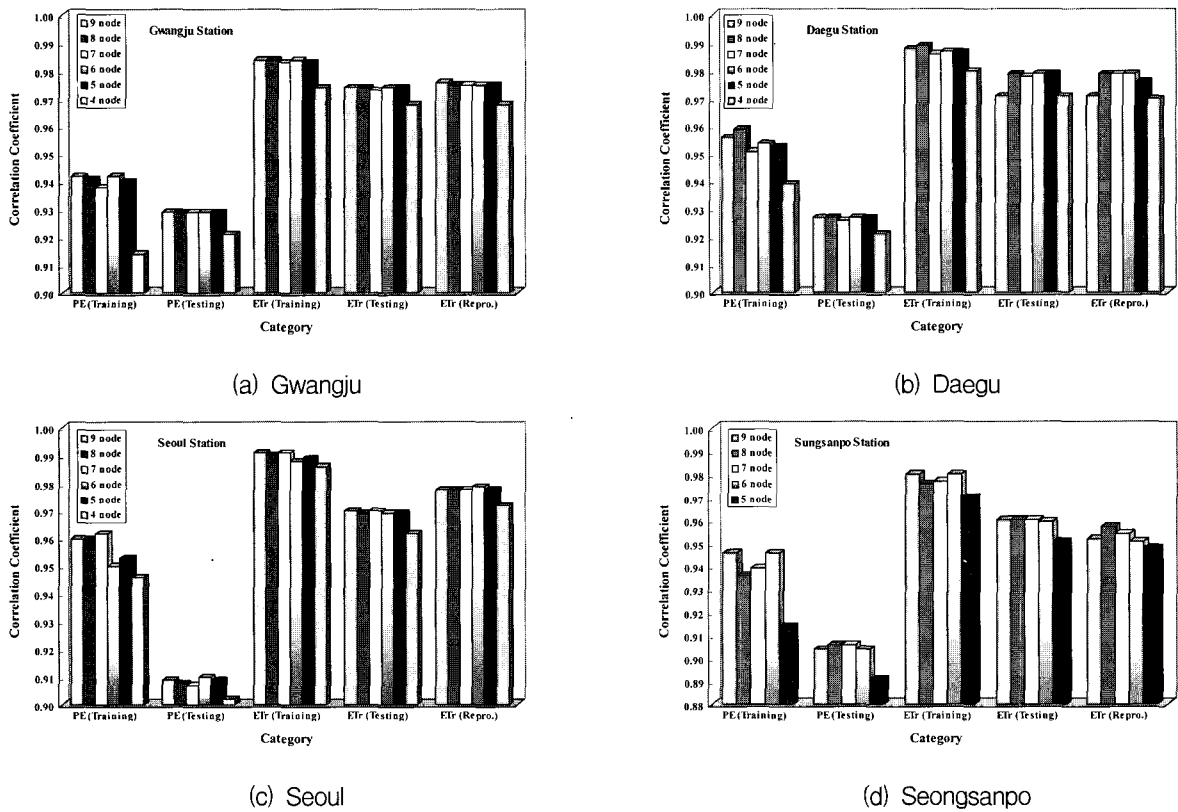


Fig. 5. The comparison of correlation coefficients perturbation

기상관측소 중에서 주요 관측소인 광주, 대구, 서울 및 성산포관측소에 대한 각 입력층 노드수에 따른 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)의 통계분석 결과 중에서 상관계수의 비교를 나타내고 있다. 특히 성산포 관측소의 경우는 3개의 입력층 노드를 제거한 후에 최적 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)이 구성되므로 4개의 입력층 노드를 제거한 후의 상관계수 결과치까지만 비교되어 있다.

### 3. 동질성검증 및 선형모형의 구성

선행연구에 의하면 우리나라에서는 알팔과 기준증발산량에 대한 실측자료가 존재하지 않기 때문에 이를 대체하기 위한 기준방법론(FAO, 1990)으로 고려되고 있는 Penman-Monteith(PM) 공식에 의하여 알팔과 기준증발산량을 산정하였다. 따라서 PM 공식에 의해 산정된 알팔과 기준증발산량은 비록 관측자료는 아니지만, 자료의 신뢰성은 상당히 높아서 실측자료에 근접한다고 평가할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 14개 기상관측소에서 관측된 증발접시 증발량과 그에 해당하는 알팔과 기준증발산량의 상관성을 분석하기 위하여 선형회귀분석모형을 제시하였으며, 그 결과로써 미계측 알팔과 기준증발산량의 경우 실측 증발접시 증발량으로부터 간단히 산정할 수 있다. 먼저, 최초 및 최적 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)의 모형화과정에 의하여 재현된 1991년 및 1992년의 미계측 증발접시 증발량 자료와 1985년부터 1990년까지의 실측 증발접시 증발량 자료에 대한 동질성검증(Homogeneity test)을 실시한 후에 1985년부터 1990년까지의 실측 증발접시 증발량 자료와 그에 해당하는 알팔과 기준증발산량 자료를 이용하여 이변량 선형회귀분석모형(Bivariate linear regression analysis model, BLRAM)을 구성해 증발접시 증발량과 알팔과 기준증발산량의 상관성을 유도할 수 있다.

#### 3.1 재현된 증발접시 증발량 자료의 동질성검증

본 연구에서는 최초 및 최적 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)에 의해 재현된 증발접시 증발량자료가 각 14개의 기상관측소에서 관측된 실측 증발접시 증발량과 비교하여 동일 모집단에서 추출된 자료인지를 검토하는 동질성검증을 실시하였다. 동질성검증은 14개 기상관측소의 각 증발접시 증발량자료의 평균과 분산에 대한 일원분산분석(One-way analysis of variance, ANOVA)을 실시하였다(McCuen 1993; Salas et al., 2001). 먼저 평균에 대한 일원분산분석은 총 실측 증발접시 증발량 자료와 최초 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)의 모형

화과정에 재현된 증발접시 증발량자료로 구성된 A 그룹에 대하여 일원분산분석을 실시하였으며, 다음으로 총 실측 증발접시 증발량자료와 최적 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)의 모형화과정에 의해 재현된 증발접시 증발량자료로 구성된 B 그룹에 대하여 일원분산분석을 실시하였다. 분석은 이표본 t-검증(Two-sample t-test)을 이용하여 검증통계량(Test statistics) 및 자유도(Degrees of freedom)를 산정하였으며, 유의수준(Level of significance) 5%에서 임계 검증통계량(Critical test statistics)을 산정하여 두 표본에 대한 평균은 동일하다는 귀무가설(Null hypothesis)의 채택(Accept) 혹은 거절(Reject)하는 과정을 실시하였다. 그 결과 A 및 B 그룹에서 군산 및 인제관측소에서는 5%의 유의수준에서는 귀무가설이 거절되고, 10%의 유의수준에서는 채택되었으나, 그 외 나머지 기상관측소에서는 5%의 유의수준에서는 모집단의 평균이 동일하다는 귀무가설이 채택되었다. 또한 분산에 대한 일원분산분석의 경우 A 및 B 그룹에 대하여 5%의 유의수준에서 F-검증통계치(F-test statistics)을 계산하였으며, 임계 F-검증통계치와의 비교를 통하여 모집단의 분산이 동일하다는 귀무가설을 채택 혹은 거절하는 과정을 실시하였다. 그 결과 A 및 B 그룹에 대하여 5%의 유의수준에서 부여 및 통영 기상관측소에서는 귀무가설이 거절되었고, 그 외 나머지 기상관측소에서는 5%의 유의수준에서는 모집단의 분산이 동일하다는 귀무가설이 채택되었다. 따라서 본 연구에서 재현된 증발접시 증발량은 실제 증발접시 증발량과의 동질성 검증을 통하여 동질의 모집단을 가지는 자료군으로 채택되어 질 수 있는 것으로 판단된다.

#### 3.2 이변량 선형회귀분석모형의 구성

본 연구에서는 알팔과 기준증발산량을 실측 증발접시 증발량자료로 간단히 산정하고, 산정된 결과치를 비교검토하기 위하여 보편적인 통계학적 모형으로 이변량 선형회귀분석모형을 채택하였다. 이변량 선형회귀분석모형은 각 기상관측소에서 실측 증발접시 증발량자료를 이용하여 개략적인 알팔과 기준증발산량을 간단하게 산정할 수 있는 보편적인 모형이다. 이변량 선형회귀분석모형의 관계식은 다음 Eq. (1)과 같이 나타낼 수 있다(Ayyub and McCuen, 1997; 김성원, 2003).

$$\hat{Y}_t = b_0 + b_1 X_t \quad (1)$$

여기서  $X_t$ 는 독립변수로서 실측된 증발접시 증발량,

$\hat{Y}_i$ 는 종속변수로서 추정된 알팔파 기준증발산량을 나타내고 있으며, 반면에  $Y_i$ 는 실측된(PM 공식) 알팔파 기준증발산량에 해당된다. 그리고  $b_1$ 는 경사계수이고 회귀분석 결과로 산정된 값이므로 회귀계수라고도 한다. 본 연구에서는 1985년부터 1990년까지의 실측 증발접시 증발량과 PM 공식, 최초 및 최적 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)을 이용하여 산정한 알팔파 기준증발산량의 회귀분석을 통하여 상관성을 검토하였다. 그 결과 아주 양호한 결과를 유도하여 간단하게 알팔파 기준증발산량을 산정할 수 있는 통계학적 모형을 제공할 수 있게 되었다. 다음 Table 2는 14개 기상관측소에서 최적 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)으로 산정된 알팔파 기준증발산량에 대한 이변량 선형회귀분석모형과 적합도검증 및 회귀계수분석 결과치를 나타내고 있다. 다음 Table 2의 분석결과를 검토해 보면 광주관측소의 경우, 이변량 선형회귀분석모형에서 회귀계수가 0.7876이라는 것은 증발접시 증발량이 1mm 증가하면 알팔파 기준증발산량은 0.7876mm 증가한다는 것을 의미하고 있다. 또한  $R^2=0.823$ 는 알팔파 기준증발산량의 총 변동(Total variance)이 82.3%에 해당되고 있다는 것을 설명하고 있으며, 표준추정오차(Standard error of estimate, SSE)의 비에 해당하는  $S(e)/S(y)=0.420$ 의 값은 아주 양호한 정도를 나타내고 있다. 그리고 표준추정오차는 1.657mm( $S(y)$ )에서 0.696mm( $S(e)$ )로 감소하고 있으며, 여기서  $S(y)$ 는 실측된(PM 공식) 알팔파 기준증발산량의 표준편차(Standard deviation),  $S(e)$ 는 추정된 알팔파 기준증발산량의 표준오차

(Standard error)를 나타내고 있다. 전반적인 편차가 거의 0의 값을 나타내고 있으며, 이러한 경향은 선형회귀 분석모형의 경우에는 항상 발생하는 현상이다. 또한  $b_1$ 의 표준오차를  $Se(b_1)$ ,  $b_0$ 의 표준오차를  $Se(b_0)$ 라고 나타내고  $b_1$ 와  $b_0$ 의 표준오차비가 각각 0.026과 0.120의 값을 각각 나타내고 있으며, 이는  $b_1$ 이 상대적으로  $b_0$ 보다 좀 더 정확하다는 것을 나타내고 있다. 다음 Fig. 6(a)~(d)는 14개의 기상관측소 중에서 주요 관측소인 광주, 대구, 서울 및 성산포관측소에 대하여 실측 증발접시 증발량 자료와 최적 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)으로 산정된 알팔파 기준증발산량 자료와의 이변량 선형회귀분석모형에 의한 분석결과를 나타내고 있다.

#### 4. 최적모형에 의한 등고선 및 표면지도의 구축

본 연구에서는 우리나라 14개의 주요 기상관측소에서 증발접시 증발량과 알팔파 기준증발산량의 산정을 위하여 최적 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)을 구성하였으며, 그 결과 아주 양호한 결과를 유도하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구결과를 이용하여 우리나라의 결측된 연도별에 해당하는 연간 증발접시 증발량 지도와 이에 해당하는 알팔파 기준증발산량 지도를 작성할 수 있다. 다음 Fig. 7(a)~(d)는 최적 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)에 의해 재현된 1991년과 1992년의 연간 증발접시 증발량 자료를 이용하여 2차원 형태의 등고선지도(Contour map)와 3차원 형태의 표면지도(Surface map)를 구축하였으며, Fig. 8(a)~(d)는 이에

Table 2. The regression analysis of alfalfa reference evapotranspiration (Optimal COMBINE-GRNNM-GA (Type1))

Station	BLRAM	Goodness-of-fit test			Regression coefficient analysis	
		S(e)(mm)	S(e)/S(y)	R <sup>2</sup>	Se(b <sub>1</sub> )/b <sub>1</sub>	Se(b <sub>0</sub> )/b <sub>0</sub>
Gwangju	ET <sub>r</sub> = 0.7876 PE + 0.8021	0.696	0.420	0.823	0.026	0.120
Gunsan	ET <sub>r</sub> = 0.9218 PE + 0.2899	0.709	0.442	0.799	0.035	0.406
Daegu	ET <sub>r</sub> = 0.9158 PE + 0.7089	0.796	0.394	0.848	0.026	0.153
Buyeo	ET <sub>r</sub> = 0.8262 PE + 0.8966	0.893	0.574	0.657	0.034	0.224
Seoul	ET <sub>r</sub> = 1.0253 PE + 0.5160	0.845	0.379	0.856	0.032	0.173
Seongsanpo	ET <sub>r</sub> = 0.8083 PE + 0.6222	0.721	0.468	0.767	0.033	0.201
Ulsan	ET <sub>r</sub> = 0.8670 PE + 0.7506	0.731	0.431	0.800	0.028	0.123
Wonju	ET <sub>r</sub> = 0.8379 PE + 0.3285	0.651	0.363	0.863	0.030	0.193
Inje	ET <sub>r</sub> = 0.7853 PE + 0.5572	0.729	0.472	0.757	0.043	0.218
Jeonju	ET <sub>r</sub> = 0.8533 PE + 0.4790	0.652	0.378	0.858	0.034	0.209
Cheongju	ET <sub>r</sub> = 0.9736 PE + 0.3087	0.604	0.356	0.872	0.028	0.964
Tongyoung	ET <sub>r</sub> = 0.8806 PE + 0.6338	0.882	0.531	0.697	0.029	0.181
Pohang	ET <sub>r</sub> = 0.7870 PE + 0.8857	0.742	0.461	0.769	0.030	0.190
Haenam	ET <sub>r</sub> = 0.8706 PE + 0.6123	0.709	0.411	0.839	0.032	0.181



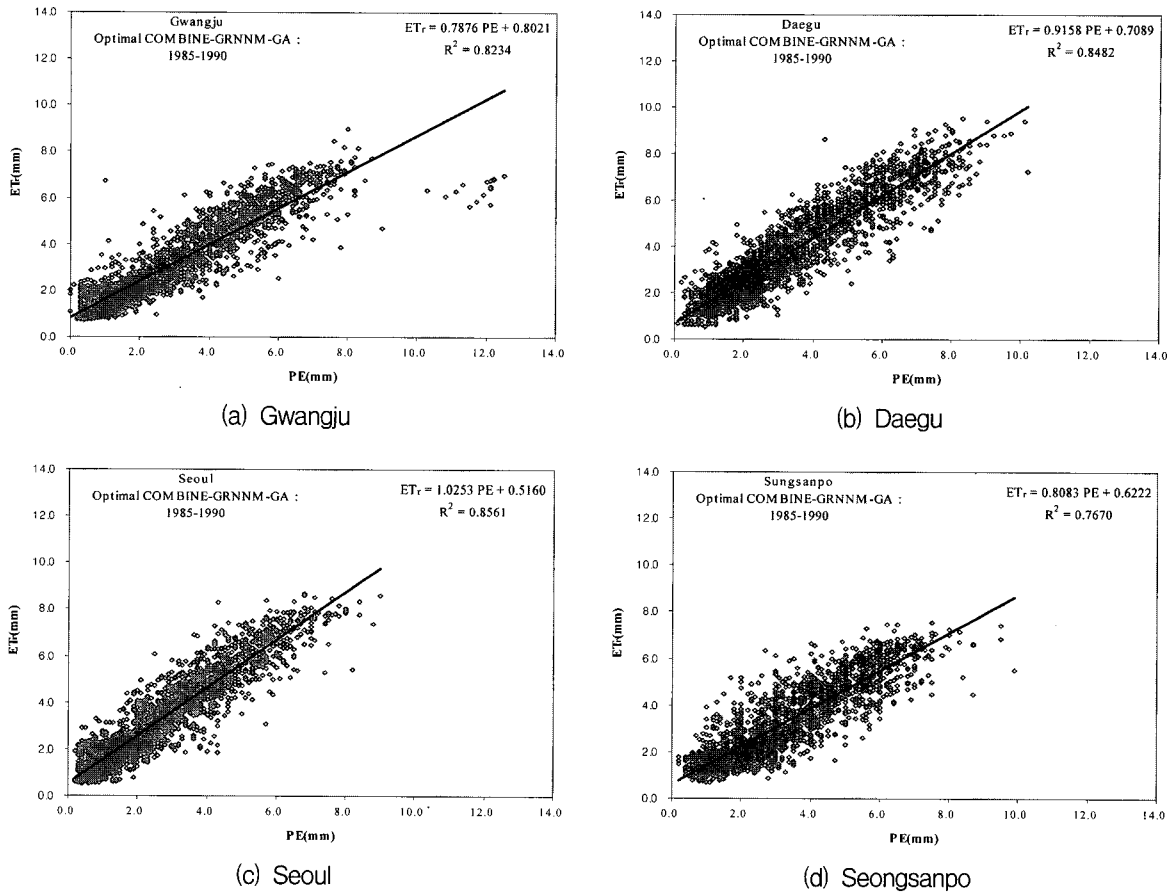


Fig. 6. The results of BLRAM between pan evaporation and alfalfa reference evapotranspiration

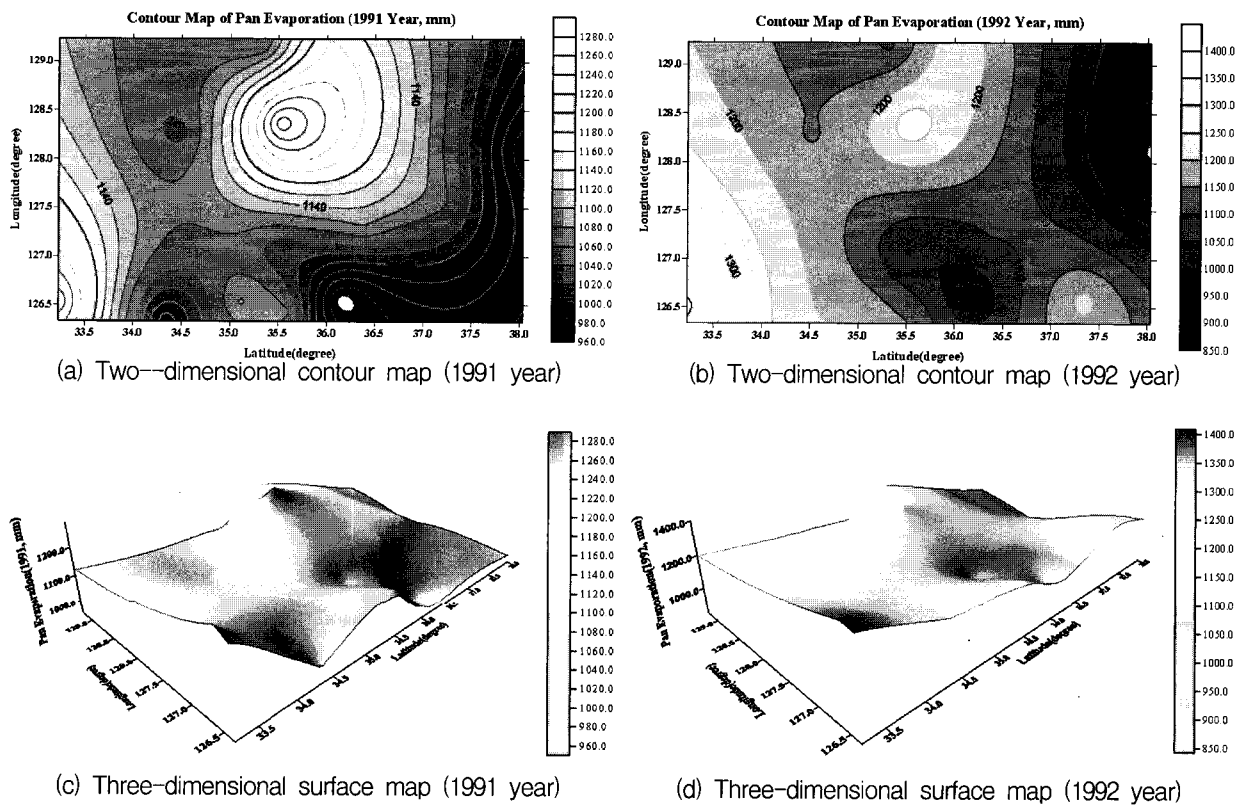
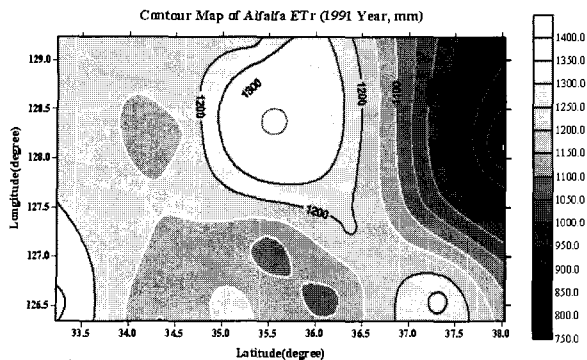
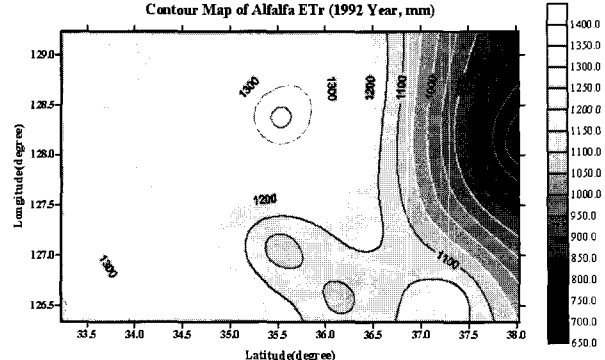


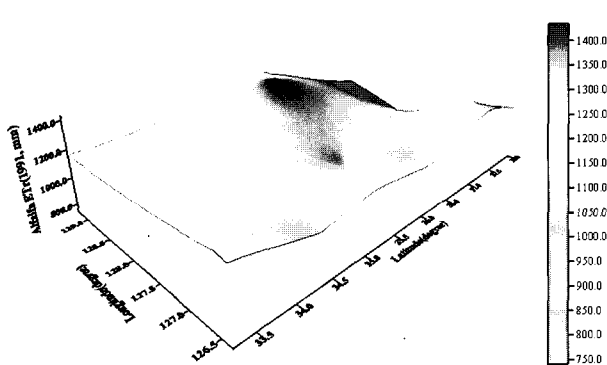
Fig. 7. Pan evaporation map of 14 meteorological stations



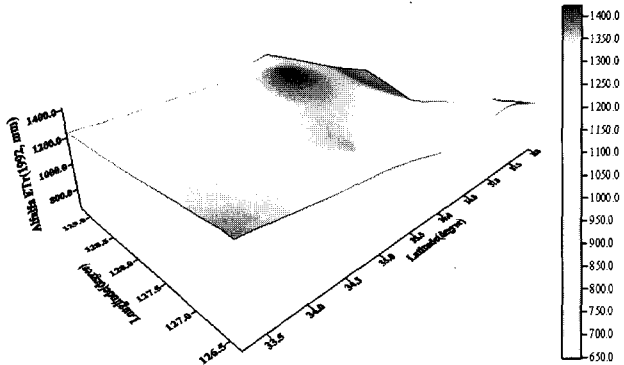
(a) Two-dimensional contour map (1991 year)



(b) Two-dimensional contour map (1992 year)



(c) Three-dimensional surface map (1991 year)



(d) Three-dimensional surface map (1992 year)

Fig. 8. Alfalfa reference evapotranspiration map for 14 meteorological stations

해당하는 알팔파 기준증발산량 자료를 이용하여 2차원 형태의 등고선지도(Contour map)와 3차원 형태의 표면지도(Surface map)를 구축하였다. Fig. 7(a)~(d)과 Fig. 8(a)~(d)은 우리나라의 주요 14개 기상관측소 자료를 이용하여 구축된 지도를 의미하고 있어서, 우리나라 전국도에 비교할 경우에는 그 정도가 다소 떨어진다고 할 수 있다. 그러므로 전국에 산재된 기상관측소 자료를 전부 이용할 경우에는 좀 더 정도가 높고, 신뢰성 있는 지도제작을 유도할 수 있을 것으로 판단된다.

### 5. 결론 및 제시

본 논문에서는 본 연구논제(2007)를 통하여 개발된 증발점시 증발량과 알팔파 기준증발산량을 동시에 산정할 수 있는 유전자알고리즘이 내재된 신경망모형인 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)에 대한 입력층 노드의 불확실성 분석을 통하여 최적 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)을 구성하였다. 최소값의 평활인자를 가지는 입력층 노드를 제거하는 과정을 통하여 이용할 수 있는 기상인자 중에서 최대기온과 일조시간은 최적 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)의 구성에 반드시 필요한 기상인자로 분석되었으며, 평균풍속 및 평균 상대

습도의 기상인자도 많은 기상관측소에서 모형화에 필요한 인자로 분석되었고, 평균 이슬점온도와 최소 상대습도의 경우는 많은 기상관측소에서 불필요한 인자로 분석되었다. 이러한 불필요한 기상인자의 제거는 경제적인 측면에서 비용절감 효과가 있으며, 시간과 노력낭비를 방지할 수 있다. 따라서 본 연구를 통하여 우리나라 전역에 위치한 기상관측소로부터의 기상자료를 이용하여 미세측 증발점시 증발량 및 각 기상관측소에서의 알팔파 기준증발산량을 동시에 산정할 수 있는 최적모형 시스템을 구축할 수 있다. 게다가 본 연구에서 개발된 최적 COMBINE-GRNNM-GA(Type-1)의 결과치를 이용하여 가뭄해석을 위한 기초자료를 제공할 수 있는 증발점시 증발량 지도 및 알팔파 기준증발산량 지도의 구축이 가능하며, 이와 동시에 우리나라에서 관개배수 시스템 구축을 위한 기본자료를 제공하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업 (03산학연C03-01)에 의한 도시홍수재해관리기

술연구사업단의 연구성과입니다.

## 참고 문헌

- 김성원 (2003). "추계학적모형과 신경망모형을 연계한 병렬저수지군의 유입량산정." **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제36권, 제2호, pp. 195-209.
- 김성원, 김형수 (2007). "비선형 증발량 및 증발산량 시계열의 모형화를 위한 신경망-유전자알고리즘 모형 1. 모형의 이론과 적용." **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제 40권, 제 1호, pp. 73-88.
- Ayyub, B.M.(1998). *Uncertainty modeling and analysis in civil engineering*, CRC Press LLC, Salem, MA.
- Ayyub, B.M., and Gupta, M.M. (1997). *Uncertainty analysis in engineering and sciences : Fuzzy logic, statistics and neural network approach*, Kluwer Academic, Boston, MA.
- Ayyub, B.M., and McCuen, R.H. (1997). *Probability, Statistics, and Reliability for Engineers and Scientists*. Chapman & Hall/CRC, New York, NY.
- Beck, M.B. (1987). "Water quality modeling : A review of the analysis of uncertainty." *Water Resour. Res.*, Vol. 23, No. 5, pp. 1393-1441.
- Food and Agriculture Organization(FAO). (1990). *Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirement*. Land and Water Devel. Div., Rome, Italy.
- Gardner, R.H., O'Neill, R.V., Mankin, J.B., and Carney, J.H. (1981). "A comparison of sensitivity and error analysis based on a stream ecosystem model." *Ecological Modeling*, Vol. 12, pp. 173-190.
- Guyonnet, D., Come, B., Perrochet, P., and Parriaux, A. (1999). "Comparing two methods for addressing uncertainty in risk assesment." *J. Environ. Engr.*, ASCE, Vol. 125, No. 6, pp. 660-666.
- Hornberger, G.M., and Spear, R.C. (1981). "An approach to the preliminary analysis of environmental systems." *J. Envir. Mgmt.*, Vol. 12, pp. 7-18.
- Jaffe, P.R., and Ferrara, R.A. (1984). "Modeling sediment and water column interactions for hydrophobic pollutants : Parameter discrimination and model response to input uncertainty." *Water Res.*, Vol. 18, No. 9, pp. 1169-1174.
- Johnson, P.A., and Ayyub, B.M. (1996). "Modeling uncertainty in prediction of pipe scour." *J. Hydraul. Engr.*, ASCE, Vol. 122, No. 2, pp. 66-72.
- Kim, S., and Cho, J.S. (2003). "Uncertainty analysis of flood stage forecasting using time-delayed patterns in the small catchment." *Intr. Symp. on Disaster Mitigation and Basin-Wide Water Management Niigata 2003*, IAHR/AIRH, Niigata, Japan, pp. 465-474.
- Kim, S., and Kim, H.S. (2006). "Reliability analysis of hydrological time series using neural networks model 2. Uncertainty analysis of input data information." *Submitted to J. of American Water Resources Association*.
- Melching, C.S. (1992). "An improved first-order reliability approach for assessing uncertainties in hydrologic modeling." *J. Hydrol.*, Vol. 132, pp. 157-177.
- Moore, R.E. (1979). *Method and applications of interval analysis*. SIAM, PA.
- McCuen, R.H. (1993). *Microcomputer applications in statistical hydrology*. Prentice Hall, NJ.
- Neuroshell 2 (1993). Ward systems group. Inc., MD.
- Pedrycz, W., and Gomide, F.(1998). *An introduction to fuzzy sets : Analysis and design*. Cambridge, MA.
- Salas, J.D., Smith, R.A., Tabios III, G.Q., and Heo, J.H. (2001). *Statistical computing techniques in water resources and environmental engineering*. Unpublished book in CE622, Colorado State University, Fort Collins, CO.
- Yeh, K.C., and Tung, Y.K. (1993). "Uncertainty and sensitivity analyses of pit-migration model." *J. of Hydraul. Engr.*, ASCE, Vol. 119, No. 2, pp. 262-283.

(논문번호:06-91/접수:2006.08.23/심사완료:2006.12.22)