실시간모니터링 시스템을 연계한 도시 소유역 수문예측모형 개발

Development of Hydrologic Forecasting Model Connected with Real Time Watershed and River Monitoring System

김미은* · 장영수** · 강봉권*** · 신현석****

Kim, Mi-eun · Jang, Young-su · Kang, Bong-gwon · Shin, Hyun-suk

Abstract

In recent, abnormal phenomena in nature occurs due to climate change, which result in increase of flood frequency and rainfall intensity by change of meteorologic and hydrological factors. Especially, flood inundation in urban watershed frequently happens on casualties expected and property damage. Scientific and technological adaptation are acutely needed for unexpected damage in nature, and that, it is considerably important to develop proper model of hydrological forecasting over the short periods and to build a real-time watershed monitoring system. One of important things for solving a variety of problems is to connect real-time watershed monitoring system with short term hydrologic forecasting model. In this research, Suyoung stream in Busan was determined as a study area. After that, real-time watershed monitoring system at ten minute interval has been established for flood warning and forecast in the field. The data from this system was applied to short-term hydrologic forecasting model based on the artificial neural network. When flood happens in urban, input data of forecasting model on each rainfall event was used. In conclusion, after establishing the model being possible to forecast water level from 10 to 60 minutes at 10 minute interval, as a result of simulating the model, the model performances are considerably good as RMSE 0.02~0.6 and R^2 more than 0.9. It makes possible effectively to manage the watershed in urban.

Key words : Development of short-term hydrologic forecasting model, Real-time watershed monitoring system, Artificial neural network

요 지

기후변화로 인한 기상 및 수문요소의 변화로 홍수빈도 및 강우강도 증가 등의 이상기후현상이 나타나고 있다. 특히 도시유역 내 홍수범람으로 인명 및 재산피해가 빈번히 발생하고 있다. 발생되는 피해에 대하여 과학적이고 기술적인 대응 방안이 필요하며 이를 위한 기술의 개발과 실시간 유역 모니터링 시스템과의 연계한 적정 방안이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 도시유역으로 부산 시 소재의 수영강 유역을 시범유역으로 선정하여 홍수예警보를 위한 10분 간격의 실시간 모니터링 시스템을 구축하였다. 이를 통한 DB를 활용하여 도시 유역 내 단기 수문예측모형을 인공신경망 기반으로 구축하였다. 홍수 시 강우사상별로 수문예측 모형의 입력자료로 활용하였으며 10분 간격으로 10분부터 60분까지 수위 예측을 실시한 결과 RMSE 0.02~0.6, R^2 0.9 이상의 높은 예측 정도를 보이는 수문예측모형이 구축되었다. 본 연구의 연계시스템의 구축으로 도시유역 내 효율적인 하천관리를 통한 인명 및 재산피해를 감소시킬 수 있을 것이다.

핵심용어 : 단기수문예측모형개발, 실시간유역모니터링 시스템, 인공신경망

1. 서 론

최근 들어 기후변화로 인한 이상홍수와 같은 물 관련 재해의 발생빈도가 증소하천 유역에서 특히 증가하고 있다. 이러

한 기후변화로 인하여 기상 및 수문 패턴에 변화를 일으켰으며, 이에 따라 물순환 체계에도 여러 가지 변화를 발생시켰다. 특히, 가뭄과 홍수의 빈도 및 강도가 증가하였으며 수질이 악화되어 수생태계에 치명적인 영향을 미쳤다. 하천환경관

*정회원. 부산대학교 토목공학과 박사수료(E-mail: way8210@naver.com)
Member. Ph.D Candidate, Department of Civil Engineering, Pusan National University

**부산대학교 토목공학과 박사과정
Member. Ph.D Candidate, Department of Civil Engineering, Pusan National University

***한국수자원공사 계획조사차장
General Manager, Korea Water Resources Corporation

****교신저자. 정회원. 부산대학교 토목공학과 교수(Tel: +82-51-510-2348, Fax: +82-51-517-3287, E-mail: hsshin@pusan.ac.kr)
Corresponding Author. Member. Professor, Department of Civil Engineering, Pusan National University.

리의 여건 변화는 새로운 차원의 하천환경관리 체계의 도입을 필요로 하고 있으며 이에 따라 현재 환경부 및 국토해양부 등으로 분산되어 수생태계, 하천환경에 대한 모니터링을 실시하고 있다. 자연재해로부터 안전하고 쾌적한 복지 사회 구현을 위하여 중소하천 유역의 홍수범람에 대한 실시간 모니터링과 예측에 관한 기법은 매우 중요하다 할 수 있다. 특히 중소규모 하천유역의 경우 홍수범람 시 도달시간이 짧으므로 실측 데이터를 기반한 홍수예경보시스템 개발을 통한 인명 및 재산 피해의 절감이 절실하다. 현재의 시점에서 새로운 환경여건에 합리적으로 대처하고 사회적 합의를 도출할 수 있는 중소하천 유역 통합홍수예경보 기술 기반의 실시간 모니터링 시스템의 구축과 이를 활용한 예측모형연계 개발이 중요하다. 기존의 연구사례를 살펴보면, lumped 모형, conceptual 모형, 강우-유출 physical 모형 등을 이용하여 강우 및 유출을 예측하고 있다. 특히 이러한 연구사례 중 실시간 수문 예측 시스템 구축 및 인공신경망을 기반으로 수문에 예측모형 구축에 관한 연구사례를 살펴보면 다음과 같다. Avinash et al.(2009)은 역전파알고리즘 기반의 인공신경의 입력자료로 1988-1989와 1992-1995년을 각각 교차검증과 검증의 기간 중 6/1~10/31의 일 및 주 단위의 강우 및 유량 자료를 이용하여 유량 및 유사 예측 모형을 개발하여 신경망 모형의 유효성을 검증하였다. 특히 신경망 모형은 Friedrich et al.(1992)은 다층 신경망을 구성한 후 오차 역전파알고리즘을 학습함으로써 강우의 공간분포 예측의 정확성이 높은 것으로 신경망의 예측 성능이 우수함을 밝힌 바 있다. Toth et al.(2000)은 실시간 홍수예측을 위한 단기간 강우예측모형을 ARMA(auto-regressive moving average) 모형과 ANN(artificial neural network) 이용하여 홍수예측정확도를 비교·분석한 바 있다. 국내의 경우, 이경도 등(2007)은 안양천 유역으로 대상으로 실시간 유역 수문모니터링 시스템을 기반으로 자료관리시스템을 개발한 바 있으며, 송영현(2008)은 온천천 유역을 대상으로 홍수예보시스템의 미비점을 보완하여 기존의 강우분석시스템 및 실시간 수문관측 모니터링시스템의 개선, 신경망 기법을 이용한 30분 및 60분 수위예측모형 개발에 관한 연구를 수행한 바 있다. 또한 박주성(2006)은 온천천 유역 내 실시간 수문관측시스템을 기반으로 하여 HEC-RAS 모형을 도시지역의 홍수유출 분석에 적용하는 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 수영강 유역 내 실시간 유역 모니터링 시스템을 설치할 통하여 효율적인 하천의 관리 및 질 좋은 데이터를 수집하여 DB화 하였다. 이를 바탕으로 실시간 유역 모니터링 시스템과 신경망 모형을 연계한 단기수문예측 모형을 구축하여 급격한 기후변화에 대한 적극적인 대응과 효율적인 하천 관리를 가능하고자 한다.

2. 실시간유역모니터링시스템 구축

경남 양산시의 웅산읍 동면의 경계지점에 발원하여 석대천, 송정천, 철마천, 임기천, 온천천이 합류되는 수영강 유역을 대상으로 실시간유역모니터링시스템을 설치하였다. 유역 내의

토지이용현황을 보면 임야 59.1%, 농경지 12.9%, 수계 1.9%, 초지 1.0%, 도시지역 25.1%로 구성되어 있다. 수영강은 유역연장 28.4 km, 유역면적 199.57 km², 유역평균 폭 7.02 km, 형상계수 0.25의 유역특성을 가지고 있다.

동래천 유역은 부산시 금정구 장전동 소정천 삼거리에 위치한 차집관로로 되어 있으며 온천천 배수 및 합류관으로 인한 대표 도시하수분구 유역이다. 완전화 도시화 유역이며 100%의 복개율을 가지고 있으며 이로 인하여 상습 홍수침수 피해지역이다. 세병교 지점은 부산시 연제구 거제동에 위치하여 있으며 대표적인 도시하천 유역으로 모든 지류가 합류식 관거로 이루어져있다. 청천 시 대부분의 유량이 수영하수처리장으로 유입되며, 강우에 따른 수위의 변동이 민감하게 반응한다. 특히 단 시간에 침두유량 도달하는 전형적인 도시유역의 특징을 가지고 있으므로 홍수예경보시스템 구축이 절실히 필요한 지역이라 할 수 있다. 이외 부산시 금정구 회동동에 위치한 신천교는 회동수원지와의 거리가 가장 가까운 교량으로 수위계 및 강우계 설치가 용이하며 하천의 상류 및 하류부에 인공구조물이 없어 일정한 흐름으로 전체 유량을 관측하고 고려하기에 적합하다.

즉, 수영강 유역은 도시유역의 특성을 갖는 동래천 유역에 유량계, 산지 및 저수지 유역의 특성을 갖는 신천교 지점에 수위계, 대표적인 도시하천 유역으로 모든 지류가 합류식 관거로 이루어져있는 세병교 지점에는 수위계를 설치하였으며, 장전동 부산대학교 건설관에 강우계를 설치하였다. 대상유역 및 설치지점에 대하여 Fig. 1에 나타낸 바와 같다. 수영강 내 설치된 측정계측기를 실시간 원격 송신을 통하여 Fig. 2와 같이 자료를 송수신하도록 설정하고 Fig. 3과 같이 실시간유역모니터링 시스템 구축을 완료하여 10분 간격으로 자료를 DB화 할 수 있도록 하였다.

Fig. 1. Map of Realtime Watershed and River Monitoring System

Fig. 2. Structure of Remote Monitoring System

Fig. 3. Webpage Created on Realtime Watershed and River Monitoring System

3. 도시 소유역 수문예측모형 개발

3.1 인공신경망의 이론

인공신경망은 인간의 뇌에 존재하는 생물학적 신경 세포와 이들의 연결 관계를 단순화시켜 수학적으로 모델링하여 인간의 두뇌가 나타내는 지능적 형태를 구현하는 것이다. 현재 인공신경망은 시스템 규명, 예측, 패턴 인식, 분류 및 공정 제어 등의 분야들에서 많이 활용되고 있다(Mjalli et al., 2007). 신경단위(neuron)들은 일반적으로 Fig. 2와 같이 다층 구조(multi-layer structure)로 병렬연결(parallel connection)되어 입력된 신호는 전방향(feed-forward)으로 전달이 가능하다. 이를 다층전방향 신경망(multi-layer feed-forward neural network; MFN)이라고 하며 이 네트워크는 입력층, 출력층, 은닉층으로 구성되어 있다. 입력정보 X 는 입력층으로 입력되어 신경단위들은 입력정보를 가중연결(weighted connection)하여 은닉층의 절점들로 전달한다. 각 은닉층의 절점들은 모든 입력층으로부터 각기 다른 연결강도(weight)에 의해 변환된 자료들을 받으며, Fig. 4에서 은닉층 절점으로 가중된 입력, h_j 는 다음 Eq. (1)로 나타낼 수 있다.

$$h_j = \sum_{i=1}^{N_I} w_{ij} X_i + \theta_j, j=1, \dots, N_H \quad (1)$$

여기서, N_H 는 은닉층 절점수, θ_j 는 은닉층 j 번째 절점의 편차(bias)입력, w_{ij} 는 입력층 i 번째의 절점과 은닉층 j 번째의 절점

Fig. 4. Structure of Back Propagation Algorithm of Neural Network

사이의 가중치를 나타낸다.

은닉층의 각 절점에서는 Eq. (1)에 의해 합산된 자료들을 대표적인 전달함수(activation function)인 시그모이드(sigmoid) 함수나 하이퍼볼릭탄젠트(hyperbolic tangent) 함수에 의해 비선형적으로 변환하여 가중연결에 의해 출력층으로 전달하며, 은닉층으로 부터의 출력값 H_j 는 전달함수를 사용하여 $f(H_j)$ 로 나타낼 수 있다.

각 출력층의 절점들은 모든 은닉층으로부터 각기 다른 가중치에 의해 변환된 자료들을 받으며, 각 절점은 합산된 자료들을 출력값의 목적에 따라 이전 값의 출력을 위한 결합함수, 즉 연속값의 출력을 위한 선형 또는 비선형 함수에 의해 변환하여 출력하며 그 값이 신경망의 목적하는 결과가 된다. 출력층으로의 가중되는 입력은 Eq. (2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_k = \sum_{j=1}^{N_H} w_{jk} H_j + \theta_k, \quad k=1, \dots, N_O \quad (2)$$

여기서, N_O 는 출력층 절점수, θ_k 는 출력층 k 번째 절점의 편차입력, w_{jk} 는 은닉층 j 번째 절점과 출력층 k 번째 절점사이의 가중치이다. 또한 출력층으로 부터의 출력값 Y_k 는 전달함수를 사용하여 $f(Y_k)$ 로 나타낼 수 있으며 이러한 역전파알고리즘의 특성을 본 연구에 적용하였다.

3.2 연구대상지역 및 입력자료

본 연구는 부산 금정구 구서동에서 시작하여 동래구 수영강 합류점 온천천을 대상으로 하였다. Fig. 5에 나타난 바와 같이 유역면적은 14.13 km², 유로연장은 55.04 km이다. 실시간 유역 모니터링 시스템이 구축되어 있는 세병교 지점의 수위계와 부산대 건설관에 설치되어 있는 강우계의 자료를 이용하였다. 부산대 실시간유역모니터링시스템(<http://pnuhydro.pusan.ac.kr>)의 10분 간격의 실측 강우, 수위 및 유량자료는 2006/06/14~2012/08/24 기간 중 6월부터 9월까지의 홍수기

Fig. 5. Description of Study Area

자료를 기반으로 수문예측시스템모형을 구축하고자 하였다. Table 1과 같이 강우의 시작시간과 종료시점, 그리고 강우지속시간 동안의 총 강우량에 대하여 강우의 event별로 정리하였다.

본 연구에서는 강우지속시간 동안의 강우량이 큰 event를 기준으로 선정하였으며, 신경망 모형의 특성을 고려했을 때 각 event별 자료의 개수가 많은 강우사상을 본 연구의 최적의 입력자료로 선정하였다. Table 1에서 음영으로 표기된 Event2, Event13, Event14, Event15의 강우 및 동일한 시간대의 수위자료를 사용하였다. 선정된 강우 event에 대한 동시간대 관측된 수위자료에 대한 시계열 곡선을 Fig. 6과 같이 도시하였다.

3.3 수문예측모형 구축

본 연구에서는 역전파알고리즘을 기반으로 하는 신경망 모

Table 1. Analysis of Observed Rainfall Data

Event	Starting Time	Ending Time	Amount of Duration Periods(mm)	Event	Starting Time	Ending Time	Amount of Duration Periods(mm)
1	2006/06/14 15:40	2006/06/15 01:50	105.0	9	2009/06/21 23:50	2009/06/22 14:50	92.0
2	2006/07/08 14:00	2006/07/09 10:00	197.5	10	2009/07/07 04:30	2009/07/07 17:10	220.5
3	2006/07/10 04:40	2006/07/10 15:50	169.0	11	2009/07/15 02:40	2009/07/15 12:50	108.0
4	2007-07/01 00:00	2007/07/02 02:10	89.0	12	2009/07/16 01:10	2009/07/16 13:20	182.0
5	2007/07/09 14:10	2007/07/10 06:30	87.0	13	2010/07/10 20:30	2010/07/11 23:20	175.0
6	2008/07/25 20:30	2008/07/26 05:20	84.0	14	2011/06/25 14:40	2011/06/26 19:50	162.5
7	2008/08/12 20:00	2008/08/13 01:40	99.0	15	2012/07/14 14:40	2012/07/15 23:50	211.0
8	2008/08/14 23:30	2008/08/15 05:50	80.0	16	2012/08/22 01:40	2012/08/24 14:40	113.5

Event2: 2006/07/08-07/09

Event13: 2007/07/10-07/11

Event14: 2011/06/25-06/26

Event15: 2012/07/14-07/15

Fig. 6. Observed Data on Rainfall and Water Level

Fig. 7. Structure of Flood Forecasting Model in Urban

Table 3. Input Data of Hydrologic Forecasting Models

Event	Periods of Data	Number of Data
Training	2010/07/10 20:30 - 2010/07/11 23:20	162
Test1	2006/07/08 14:00 - 2006/07/09 10:00	121
Test2	2012/07/14 14:40 - 2012/07/15 23:50	200
Validation	2011/06/25 14:40 - 2011/06/26 19:50	176

Table 4. Sensitivity Analysis for Short-term Water Level Forecasting Model

Variable	Lag time	Number of hidden layer
Rainfall	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	4, 6, 8, 10, 14
Water level	1, 2, 3, 4	

형을 이용하여 수영강 유역 내 세병교 지점을 대상으로 단기 수위예측모형을 구축하였다. 단기수위예측모형은 선행강우량과 선행수위를 입력변수로 하여 10분 간격으로 60분까지 수위를 예측하였다. Fig. 7는 도시유역 내 단기수위예측모형의 구조를 나타낸 것이다. 도시 유역 내 단기수문예측모형은 Table 3과 같이 2010/07/10~07/11 기간을 Training 자료로 2006/07/08~07/09와 2012/07/14~07/15 기간의 자료를 Test 자료로 사용하였고 마지막으로 단기수위예측모형의 정확성을

검증하기 위하여 2011/06/25~06/26이 자료를 사용하였다. 이때, 단기수위예측모형에 대한 민감도 분석을 위하여 Table 4와 같이 각 입력변수(강우 및 수위)에 대한 지체시간과 은닉층 수는 다음과 같으며, 지체시간의 경우 강우와 수위 계열 상관에 의하여 선정된 수치이며 은닉층의 경우 trial-and-error에 의하여 설정한 것이다. 실측치와 예측치에 대한 Table 5의 오차함수의 결과를 이용하여 최적모형을 선정하였다.

4. 결 과

수영강 유역 내 산지, 도시, 해수의 영향을 모두 고려할 수 있는 실시간유역모니터링시스템 구축을 완료하였으며, 특히 이러한 유역모니터링시스템의 DB를 활용한 단기간의 수위 예측이 가능하도록 신경망 모형 기반의 수문예측모형을 개발하였다. 즉, 실시간유역모니터링시스템과 단기수문예측모형의 연계 시스템을 구축하기 위하여 모니터링 시스템의 실측자료 기반으로 10분 간격의 10분에서 60분까지 수위예측모형을 구축하였다. 이에 대한 결과를 Table 6과 Fig. 8에 나타내었다. Table 6은 다양한 선행강우량과 선행수위를 고려하여 각 기간 별 수위예측정도를 RMSE 및 R^2 를 이용하여 모형을 평가하였다. 그 결과 선행강우의 지체시간이 2, 선행수위의 지체시간이 4, 이 때 수문예측모형의 은닉층의 수가 10일 때 가장 예측 성능이 우수한 모형이 구축되었다. Table 6에서와 같이 Training 기간에서 예측시간이 길어질수록 RMSE 값은 0.0258(10분 예측)에서 0.2601(60분 예측)로 약 1/10 정도로 정확도가 낮아졌으며, R^2 의 경우 역시 Lead Time이 1인 경우 0.9991, Lead Time이 6인 경우 0.7235로 약 5/7 정도 낮아진 예측 정확성을 보였다. Training 기간인

Table 5. Methods of Model Performances

Method	Basic equation	Description of variables
Root mean square error	$SE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum^N (\hat{Q}(t) - Q(t))^2}$	t : time N : the number of data
Determination coefficient	$R^2 = \frac{\sum^N (\hat{Q} - \bar{Q})^2}{\sum^N (Q - \bar{Q})^2}$	$\bar{Q}$: average of observed data

Table 6. Results of Model Performances for Hydrologic Forecasting Models

Class	Performance results	Lead time					
		1	2	3	4	5	6
Training	RMSE	0.0258	0.1233	0.1698	0.2069	0.2346	0.2601
	R^2	0.9991	0.9449	0.8894	0.8299	0.7749	0.7235
Test1	RMSE	0.1891	0.2398	0.2749	0.3345	0.4041	0.5221
	R^2	0.9926	0.9930	0.9945	0.9950	0.9953	0.9946
Test2	RMSE	0.1309	0.1771	0.2035	0.2543	0.3111	0.4126
	R^2	0.9880	0.9888	0.9915	0.9925	0.9917	0.9819
Validation	RMSE	0.0960	0.1429	0.1706	0.2176	0.2688	0.3584
	R^2	0.9961	0.9966	0.9974	0.9977	0.9976	0.9974

Fig. 8. Results of Short-term Hydrologic Forecasting Model in Urban Watershed

2010/07/10~07/11의 자료를 이용하여 모형을 구축하고 이를 검증하기 위하여 나머지 3개의 기간에 대하여 RMSE와 R^2 를 살펴 본 결과 대체적으로 Lead Time이 1인 10분 예측에서 Lead Time이 6인 60분 예측까지 R^2 가 0.98~0.99 범위 내의 높은 예측 정확성을 보임을 확인할 수 있다. 특히 Fig. 8의 기간별 실측치와 예측결과를 비교하여 나타낸 것이다. 관측치를 기준으로 예측 시간이 길어질수록 침투수위의 예측 정도가 어려우나 Event13, Event14, Event15에서 관측치와 예측치의 결과를 살펴보면 도시 유역 내 홍수예측을 위한 1시간 정도까지 수위예측 정도가 높음을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

실시간 유역 모니터링 시스템을 통한 도시유역 내 강우사상에 대한 단기수위예측모형을 구축하여 시뮬레이션 한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

부산시의 대표 도시하천 유역인 '온천천'유역을 대상으로 세병교 및 부산대학교 건설관에 설치되어 있는 실시간 유역 및 하천모니터링시스템에 의한 실측자료를 이용하여 2006~2012년, 6년간 관측된 자료를 기반으로 홍수기 내 강우사상으로 단기수위예측모형을 개발하였다.

- 1) 역전과 알고리즘을 기반으로 한 인공신경망 모형은 강우 및 수위 자료를 이용함으로써 도시 유역에 대한 10분 간격의 10분, 20분, ..., 60분의 수위예측모형을 개발하였다. 단기수위예측모형은 강우사상별 단기간 수위예측에 적절함을 알 수 있었다.
- 2) 실시간유역모니터링시스템에 의하여 DB화된 수문관측자료를 이용하여 역전과알고리즘 기반의 수위예측모형은 도시 유역 내 돌발홍수 및 범람에 대비할 수 있는 대안

책으로써 그 활용 가능성을 검증하였다.

- 3) 실시간유역모니터링시스템을 통하여 수집된 지점의 자료의 활용도가 높으며, 꾸준한 기기의 유지 관리를 통하여 수문 자료를 수집한다면 그 자료의 활용성은 수자원 관리 분야에서 매우 의미가 있는 유용한 자료로써 가치가 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서 구축된 도시유역 통합 실시간유역 모니터링 시스템과 수문예측모형과의 연계 연구는 특히 인구가 밀집되어 있는 도시유역에 홍수로 인한 침수, 인명, 재산피해를 최소화할 수 있는 유용하며 효율적인 방법이며, 수자원 분야의 물 관리 및 방재 부분에서 중요한 연구가 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발 사업인 '중·소하천 홍수 예·경보 체계 구축'과제의 일환으로 이루어졌습니다. 이에 감사드립니다.

References

- Avinash, A., Rai, R. K., and Alka, U. (2009) Forecasting of runoff and sediment yield using artificial neural networks, *J. Water Resource and Protection*, 1, pp. 368-375.
- Friedrich, R. Mark, F. Pia, H., and Yabunaka, K.I. (1994) Artificial neural network approach for modeling and prediction of algal blooms. *J. Ecological Modelling*, 96, pp. 11-28.
- Lee, K.D., Kim, Y.J., Kim, N.I., and Lee, K.S. (2007) Development of hydrologic data acquisition and management system (HDAMS) in Anyangcheon watershed, *Korea Water Resources Association*, pp. 2029-2033.
- Mjalli, F.S., Al-Asheh, S., and Alfadala, H. (2007) Use of artificial neural network black-box modelling for the prediction of waste-

- water treatment plants performance, *Journal of Environmental Management*, Vol. 83, No. 3, pp. 329-438.
- Park, J.S. (2006) *A study on the analysis of urban floods flow by real-time hydrological observation system*, Master, Pusan National University, Busan, Korea.
- Song, Y.H. (2008) *A study on urban flood forecasting model using neural network*, Master, Pusan National University, Busan, Korea.

Toth, E., Brath, A., and Montanari, A. (2000) Comparison of short-term rainfall prediction models for real-time flood forecasting, *Journal of Hydrology*, 239, 132-147.

© Received April 16, 2013

© Revised April 17, 2013

© Accepted May 1, 2013