L-THIA를 이용한 서울특별시 유출량 공간적 분석: 2011년 7월 27일 강우를 중심으로

Analysis of Spatical Distribution of Surface Runoff in Seoul City using L-THIA: Case Study on Event at July 27, 2011

전지홍^{*,†}

Jeon, Ji-Hong

ABSTRACT

Temporal and spatical surface runoff by heavy rainfall during 25~28 July, 2011 causing urban flooding at Seoul were analyzed using Long-Term Hydrologic Impact Assessment (L-THIA). L-THIA was calibrated for 1988~1997 and validated for 1998~2007 using monthly observed data at Hangangseoul watershed which covers 90 % of Seoul city. As a results of calibration and validation of L-THIA at Hangangseoul watershed, Nash-Sutcliffe coefficients were 0.99 for calibration and 0.99 for validation. The simulated values were good agreement with observed data and both calibrated and validated levels were "very good" based on calibration criteria. The calibrated curve number (CN) values of residential and other urban area represented 87 % and 93 % of impervious area, respectively, which were maximum percentage of impervious area. As a result of L-THIA application at Seoul city during 25~28 July, 2011, most of rainfall (54 %, 287.49 mm) and surface runoff (65 %, 247.32) were generated at 27 July, 2011 and a significant amount of rainfall and surface runoff were occurred at southeastern Seoul city. As a result of bi-hourly spatial and temporal analysis during 27 July, 2011, surface runoff during 2:00~4:00 and 8:00~10:00 were much higher than those during other times and surface runoff located at Seocho-gu during 6:00~8:00 represented maximum value with maximum rainfall intensity which caused landslide from Umyun mountain.

Keywords: L-THIA; surface runoff; hydrologic model; urban flooding; curve number

1. 서 론

최근 들어 기후변화에 대한 관심이 고조되고 있으며 이와 관련되어 다양한 분야에서 연구가 수행되고 있다. Kim and Kim (2009)은 우리나라 전역에 걸쳐 위치한 기상청산하 66개 관측소를 대상으로 기후변화가 극한강우발생에 미치는 영향을 분석한 결과 여름철에는 우리나라 동서방향 내륙전반에 걸쳐, 가을철에는 강원도 일부지역과 남해안 지역을 대상으로 강우량이 증가하는 경향을 나타내고 있는 것으로 보고되고 있다. Hwang et al. (2009)은 마코프 연쇄를 이용하여 서울지점 일강우의 발생특성 변화를 연구하였는데, 무강우 지속기간은 크게 차이를 보이지 않고 있으며, 강우지속기간은 감소하고, 강우량과 강우사상의 빈도,

강우강도가 증가하는 추세를 나타내는 것으로 보고하고 있다. 기후변화 중에서도 이상 폭우는 우리 생활에 있어 보다 직접적으로 영향을 미치고 있다. 2002년 태풍 루사 때는 영동지방에 큰 강우와 강풍을 동반하였는데, 일강수량이 200 mm 이상인 곳이 전국적으로 13지점에 달했고 400 mm 이상인 곳이 4지점에 달했다 (Kim, 2005). 특히 강릉지역은 일강수량이 870.5 mm를 기록하여 대한민국 사상 일강수량이 가장 큰 것으로 기록되었다. 이로 인한 인명피해와 재산피해는 124명이 사망하고 60명이 실종되었으며 재산피해액이 약 5조원에 이르는 것으로 보고되고 있다 (Kim 2005). 이듬해 2003년에는 태풍 매미가 남해지역에 강타하여 인명피해가 130명이었으며 재산피해는 4조원에 이르는 것으로 나타났다 (Gang 2003). 태풍으로 인한 강우량은 남해지역이 453 mm로 가장 높은 강우량을 기록했다 (Gang 2003). 이상 폭우로 인한 피해는 인명피해 뿐 아니라 주택 및 농경지 침수, 도로 교량 수리시설 등의 유실 및 파괴 등을 포함한다. 이상 폭우는 수질측면에서도 영향을 미치는데, 2002년과 2003년 폭우로 인하여 임하댐과 소양강댐에 다량의 유실된 토양이 댐이 유입되어 장

* 안동대학교 환경공학과

† Corresponding author Tel.: +54-820-5093

Fax: +54-820-6187

E-mail: jhjeon@andong.ac.kr

2011년 10월 17일 투고

2011년 11월 15일 심사완료

2011년 11월 22일 게재확정

기간동안 고탁도를 유발시켜 상수원 이용에 큰 불편을 주었다 (Jeon et al, 2011).

최근 여름철 기후변화로 극단적인 강수가 급격히 증가하는 추세를 나타내고 있으며, 특히 2011년에 이러한 경향이 뚜렷하게 나타났다. 일강수량 100 mm 이상의 집중호우가 내리는 빈도는 1980년대 43회에 불과했으나 2011년에는 102회로 급증했으며 시간당 강수량 30 mm 이상 집중호우는 1980년대에 60회에서 2011년 133회로 증가한 것으로 보고되고 있다 (Jung, 2011). 특히 2011년 7월 25일강우를 시작으로 28일까지 내린 우리나라 중부지방의 집중호우로 인하여 시간당 수심에서 113 mm의 비가 쏟아지면서 산사태, 하천범람, 하수구 역류 등으로 서울 도심이 물바다가 되어 막대한 피해가 발생하였는데, 서울시 서초구 우면동에 위치한 우면산에 산사태가 발생하여 18명이 사망한 것으로 나타나 수해방지대책의 필요성이 대두되고 있다. 체계적인 수해방지대책을 수립하기 위해서는 강수피해에 대한 원인분석이 선행되어야 할 것이다.

Long-Term Hydrologic Impact Assessment Tool (L-THIA)은 미국 퍼듀대학교에서 개발된 분포형 수문모델로 유출곡선식 (Curve number; CN)과 유량가중평균농도 (Event mean concentrations; EMCs)에 의해 유역에서의 지표유출량과 비점오염부하량을 계산하는 비교적 간단한 모델이다 (Engel, 2005). 입력자료가 간단하고 유출량과 오염물질부하량의 공간적인 분포분석이 가능하다는 장점이 있어 우리나라에서도 사용빈도가 비교적 높은 모델이다. Kim et al. (2009)은 우리나라의 환경부 중분류 토지이용코드를 그대로 적용할 수 있도록 L-THIA 모델을 수정하여 금호강 유역의 유출량 및 비점오염부하량의 공간적인 분포를 파악하였다. Shin et al. (2010)과 Kim (2006), Kim et al. (2009) 등은 각각 대청호 상류유역, 낙동강 유역, 금호강유역을 대상으로 유출량과 비점오염부하량의 공간적인 분포를 파악하였다. Kim et al. (2009)은 L-THIA 모델과 전역적 최적화 기법인 SCE-UA

를 연계 적용하여 유출량에 대하여 모델을 자동보정시킴으로써 L-THIA의 유출량 모의에 대한 정확성을 향상시켰다. Jeon et al. (2009, 2011) L-THIA와 SCE-UA 연계 적용함으로써 유출량을 예측한바 있다.

본 연구에서는 서울특별시를 대상으로 L-THIA를 이용하여 2011년 7월 25일에서 28일 사이의 이상폭우에 대한 일별 시간별 유출량을 모의하고 공간적인 분포를 파악하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상지역

강우와 유출에 대한 공간적인 분석은 서울특별시를 대상으로 하였으며, 서울특별시를 유역으로 한 유출량이 제공되어지지 않기 때문에 일별 유출량자료가 제공되어지는 한강서울중권역을 대상으로 모델의 검·보정이 이루어졌다 (Fig. 1). 한강서울유역은 서울특별시 면적의 90 %를 포함하고 있으며 한강서울유역과 서울특별시의 토지이용별 면적은 Table 1과 같다.

Table 1 Land use classification of Seoul city and Handgang-Seoul watershed (Unit: ha)

Land use classification	Seoul city	Handgangseoul watershed
Residential	23,240 (38 %)	32,362 (21 %)
Other urban	15,145 (25 %)	21,361 (14 %)
Paddy	1,146 (2 %)	7,376 (5 %)
Upland	1,741 (3 %)	12,086 (8 %)
Other Agricultural	13,386 (22 %)	67,134 (44 %)
Forest	1,340 (2 %)	3,126 (2 %)
Grass/pasture	2,242 (3 %)	4,929 (3 %)
Others	3,537 (3 %)	5,349 (3 %)
Total	60,777	153,723

Fig. 1 Study area

2. L-THIA 개요

Long-Term Hydrologic Impact Assessment (L-THIA)는 미국 퍼듀대학교에서 개발된 분포형 모델로 토지이용변화에 따른 유출량 및 비점오염부하량을 모의하는데 개발목적을 두었다. 유출곡선식 (Curve Number; CN) 토지이용별 유량가중평균농도 (Event Mean Concentrations; EMCs)에 의해 유출량과 비점오염부하량을 계산한다. 5일선행함수조건 (Antecedent moisture concentration; AMC)을 고려하여 AMC I (건기조건), AMC II (평균조건), AMC III (포화조건)에 따른 CN값을 조절하여 유출량을 계산한다 (Jeon et al., 2011). L-THIA 적용개요도는 Fig. 2와 같다.

Fig. 2 Overview of the L-THIA GIS system (Lim et al., 2001)

3. 모델입력자료 구축

L-THIA는 강수량, 토지이용도, 토양배수 등급도를 입력 자료로 사용한다. 강수량자료는 시간과 노력의 효율성을 위하여 모델 보정지역인 한강서울의 경우 기상청의 지상관측소의 자료를 이용하였다. 보다 상세한 공간적인 분포분석이 필요한 서울특별시의 경우에는 기상청의 지역별상세자료 (AWS)를 이용하였으며, ArcView 프로그램을 이용하여 내삽 (interpolation)에 의해 30 m × 30 m 격자크기의 그리드파일로 변환하여 분포형 강수량자료를 작성하여 모델에 적용하였다. 토지이용도는 환경부에서 제공하는 중분류 토지이용도를, 토양배수 등급도는 농촌진흥청에서 제공하는 정밀 토양도의 배수등급속성을 30 m×30 m 격자크기의 그리드파일로 각각 전환하였다 (Fig. 3).

4. 접근방법

모델적용은 크게 토지이용별 CN값 검·보정을 위한 한강서울 유역과 유출량의 공간적 분석을 위한 서울특별시지역을 구분하여 적용하였다. 서울특별시의 정확한 유출량모의를 위해서는 CN값의 검·보정을 필요로 하며, 서울특별시를 포함하는 한강서울 유역에서 유출량을 제공받아 모델을 보정할 수 있었기 때문이었다. 유출량 보정은 전역적 최적화 기법중의 하나인 SCE-UA와 L-THIA를 연계 적용하였다. SCE-UA는 토지이용별 토양배수 등급별 CN값을 선행연구 (Kim et al., 2009)에서 제시한 범위 내에서 최적의 값을 찾도록 하였다 (Table 2). 유출량에 대한 목적함수는 모델효율 (Nash-Sutcliffe coefficient; NS)를 이용하였으며, 모델의 검·보정에 대한 정확성은 모델효율, 결정계수

Fig. 3 GIS input files for L-THIA application

(coefficient of determination; R^2) 등과 같은 통계적인분석을 실시하였다. 모델효율과 결정계수는 1에 가까울수록 예측치가 실측치에 가깝다는 것을 의미한다.

그래프기법을 통하여 실측치와 예측치의 정확성을 나타낼 수 있는데, 시간에 따른 실측치와 예측치의 상대적인 비교그래프와 1:1 분산도를 그래프로 나타내어 분석하였다. 1:1분산도는 45도 기울기선 (1:1 선)에 밀집해 있을수록 예측치와 실측치가 유사한 값을 나타내는 것을 의미한다.

Table 2 The range of CN parameter for CN calibration (Kim et al., 2009)

Land use		Hydrologic soil group			
		A	B	C	D
Residential area	Min.	68	79	86	89
	Max.	90	93	95	96
Other urban area	Min.	80	87	91	93
	Max.	95	96	97	98
Paddy field	Min.	61	70	77	80
	Max.	72	81	88	91
Upland	Min.	51	67	76	80
	Max.	77	86	91	94
Other crops area	Min.	51	67	76	80
	Max.	77	86	91	94
Deciduous forest	Min.	30	55	70	77
	Max.	57	73	82	86
Coniferous forest	Min.	30	55	70	77
	Max.	57	73	82	86
Mixed forest	Min.	30	55	70	77
	Max.	57	73	82	86
Pasture	Min.	30	58	71	78
	Max.	68	79	86	89
Open space	Min.	39	61	74	80
	Max.	68	79	86	89

III. 결과 및 고찰

1. 모델 검·보정결과

한강서울유역에 대한 월별 유출량 보정 (1991~2000)과 검정 (2001~2008) 결과는 Fig. 4와 Table 3과 같다. 보정 및 검정에 대한 모델효율 (NS)은 각각 0.99, 0.99로 나타났으며, 결정계수는 각각 0.99, 0.99인 것으로 나타났다. Donigian (2002)은 일별·월별 모델효율에 따라 모델 모의에 대한 정확성을 제시하였는데, 이 기준에 따르면 보정과 검정 모두 매우 좋음 (Very good)인 0.85 이상인 것으로 나타났다.

월별 유출량에 대한 모델의 보정 및 검정 결과의 1:1 분산도는 Fig. 5와 같다. 1:1선에 밀집해 있을수록 예측치와 실측치가 유사한 값을 나타내는 것을 의미하며, 모델의 보정 및 검정 모두 1:1선에 밀집되어 있으며 1차 회귀식 또한 1:1선과 중첩되어 있는 것으로 나타나 예측치가 실측치를 잘 따르는 것으로 나타났으며, 신뢰성 있는 CN값이 도출된 것으로 판단된다.

2. 서울한강유역 대표 CN값

모델 검·보정 결과에 따른 서울한강유역 대표 CN값과 CN값에 따른 토지이용별 피복특성은 각각 Table 4와 Table 5와 같다. 주거지역과 기타 도시지역의 불투수층 면적비율은 각각 87 %, 93 %인 것으로 나타나 CN값 범위 내에 극값을 나타내었다. 이는 도시지역의 불투수층 면적비율이 가장 높은 값을 나타냄을 의미한다. 농촌지역 (임하댐 유역)을 대상으로 CN값을 최적화한

Table 3 L-THIA model performance for monthly simulation at Hangangseoul watershed

	Caibration	Validation
R^2	0.99	0.99
NS	0.99	0.99

Fig. 4 Calibration and validation results for monthly runoff simulation by L-THIA

Fig. 5 Scatter plots between monthly simulated and observed runoff by L-THIA

Table 4 Regionalized CN parameter by L-THIA at Hangang-Seoul Watershed

Land use	Hydrologic soil group			
	A	B	C	D
Residential area	90	93	95	96
Other urban area	93	95	96	97
Paddy field	67	77	84	87
Upland	68	82	90	93
Other crops area	64	77	84	87
Deciduous forest	39	62	71	76
Coniferous forest	44	70	81	87
Mixed forest	40	64	74	80
Pasture	51	72	82	87
Open space	48	64	73	87

결과 주거지역은 69 %, 기타도시는 73 %의 불투수층 비율을 나타내었으며 (Jeon et al., 2011), 대구광역시를 포함하는 금호유역과 같은 도시유역의 경우에는 주거지역과 기타도시는 각각 84 %, 93 %인 것으로 보고된 바 있다 (Jeon et al., 2009). Oh et al. (2005)는 서울시를 대상으로 토지이용별 불투수면적 비율을 산정하고 이를 바탕으로 CN값을 산정한 결과 주거지역이 86 %, 상업지역이 93 %, 공업지역이 92 %를 나타내어 본 연구에서 도출된 불투수층면적비율과 유사한 연구결과를 나타내었다.

3. 유출량 시공간적 분석결과

2011년 7월 25일~28일 사이 일별 유출량과 강우량의 공간적인 분포는 Fig. 6, Fig. 7, Table 6과 같다. 2011년 8월 25일~28일 사이 내린 총 강우량은 529.60 mm였으며, 378.16 mm의 유출량이 발생하였다. 서울지역 도시홍수를 유발시킨 이번 강우에서는 대부분의 강우 (272.32 mm)가 27일 발생하였으며 이에

Table 5 Cover type, treatment, and hydrologic condition for land use at Hangang-Seoul Watershed

Land use	Hydrologic characteristics
Residential area	Average percent impervious area is 87 %
Other urban area	Average percent impervious area is 93 %
Paddy field	Row crops with contoured treatment with crop residue cover and poor hydrologic condition
Upland	Row crops with straight row treatment and poor hydrologic condition
Other crops area	Row crops with small grain and poor hydrologic condition
Deciduous forest	Woods with fair hydrologic condition
Coniferous forest	Woods with poor hydrologic condition
Mixed forest	Woods and grass combination with fair hydrologic condition
Pasture	Pasture, grassland, or range-continuous forage for grazing with fair hydrologic condition
Open space	Open space with fair condition (grass cover 50 % to 75 %)

Table 6 Daily runoff and precipitation at Seoul city

	25 July	26 July	27 July	28 July	Total
Precipitation (mm)	13.04 (2 %)	129.72 (24 %)	287.49 (54 %)	99.35 (19 %)	529.60
Runoff (mm)	0.63 (0 %)	59.91 (16 %)	247.32 (65 %)	70.30 (19 %)	378.16

따라 총 유출량의 65 %인 247.32 mm가 발생하여 27일 집중강우에 의해 홍수피해가 커진 것으로 나타났다. 특히, 27일 강우량 및 유출량에 대한 공간적인 분포를 살펴보면, 한강을 기준으로 남쪽지역, 한강 남쪽 중에서도 서울의 동쪽에 위치한 지역에 많은 강우량 및 유출량을 나타내었는데 (Fig. 5 (c)), 강동구와 강남구, 송파구의 대부분의 면적에서 높은 유출량을 나타내었으며, 서초구와 관악구의 일부지역에서 높은 유출량을 나타내었다 (Fig. 6 (c)).

Fig. 6 Daily rainfall at Seoul city during 25~28 July, 2011

Fig. 7 Daily surface runoff at Seoul city during 25~28 July, 2011

Table 7 Rainfall and surface runoff at administrative districts of Seoul city during 25~28 July, 2011

Administrative district	Surface runoff (mm)	Rainfall (mm)	Surface runoff rate
Songpa-gu	297	316	94 %
Gangdong-gu	284	311	91 %
Seongdong-gu	275	292	94 %
Gangnam-gu	274	308	89 %
Gwangjin-gu	270	298	91 %
Dongdaemun-gu	266	289	92 %
Mapo-gu	263	284	93 %
Yeongdeungpo-gu	260	276	94 %
Yongsan-gu	260	279	93 %
Dongjak-gu	259	286	91 %
Jung-gu	254	280	91 %
Jungnang-gu	253	291	87 %
Yangcheon-gu	249	270	92 %
Gangseo-gu	242	264	92 %
Guro-gu	241	265	91 %
Seodaemun-gu	240	282	85 %
Secho-gu	239	294	81 %
Gangnak-gu	238	310	77 %
Geumcheon-gu	232	262	89 %
Jongno-gu	232	289	80 %
Seongbuk-gu	228	284	80 %
Eunpyeong-gu	222	311	71 %
Dobong-gu	213	282	75 %
Nowon-gu	212	278	76 %
Gangbuk-gu	196	278	70 %

강우가 가장 많이 내린 2011년 7월 27일에 대한 구별 평균 지표유출량은 Table 7과 같다. 송파구가 평균 유출량 297 mm를 나타내어 가장 많은 유출량을 나타내었으며, 다음이 강동구, 성동구, 강남구 순이었다. 우면산 산사태가 발생한 서초구의 경우에는 구별 평균 강우량 294 mm의 높은 강우를 나타내었으나 지표유출량은 239 mm를 나타내어 상대적으로 많은 양의 강우가 투수층의 토양으로 침투된 것으로 나타났다. 27일 강우에 대한 유출을 또한 구별 차이를 나타내었는데, 송파구와 성동구, 영등포구가 가장 높은 유출률 (94 %)를 나타내었으며, 강북구 (70 %), 은평구 (71 %), 도봉구 (76 %)로 상대적으로 낮은 유출률을 나타내었다.

집중강우가 발생한 27일 2시간별 강우량 및 유출량의 공간적인 분포는 Fig. 8, Fig. 9, Table 8과 같다. 2시~4시, 8시~10시 사이에 많은 강우가 발생하였다 (Fig. 6 (d)). 특히 6시에서 8시 사이에 발생한 강우는 서울특별시 전체 강우량으로는 많지

Table 8 Bi-hourly rainfall and runoff from Seoul during 27 July, 2011

Hour	Seoul		
	Rainfall (mm)	Runoff (mm)	Rate (%)
0:00~2:00	24.17	10.84	45
2:00~4:00	44.17	26.24	59
4:00~6:00	38.92	22.10	57
6:00~8:00	21.98	12.93	30
8:00~10:00	64.69	48.88	76
10:00~12:00	15.47	5.24	34
12:00~14:00	9.89	2.65	27
14:00~16:00	16.14	5.21	32
16:00~18:00	7.61	1.64	22
18:00~20:00	2.45	0.10	4
20:00~22:00	13.53	4.58	34
22:00~24:00	9.56	2.11	22

않으나 서초구에 국지적으로 가장 높은 강우강도를 나타내었으며 우면산 산사태가 27일 오전 7시에 발생한 것을 감안하면, 27일 오전 6시에 발생한 서초구의 국지적인 강한 강우에 의한 것으로 판단된다.

IV. 결 론

이상으로 L-THIA 모델을 이용하여 모델을 검·보정하고 2011년 7월 25~28일간의 강우에 의한 유출량에 대한 공간적인 분포를 파악한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 1988년~1997년 10년 동안의 월별 유출량에 대하여 L-THIA 모델을 전역적 최적화 기법인 SCE-UA와 연계 적용하여 자동보정을 실시한 결과 모델효율과 결정계수 모두 0.99를 나타내었으며, 1998년~2007년 10년 동안 월별 유출량에 대하여 검증한 결과 모델효율, 결정계수 모두 0.99를 나타내어 모델을 통한 예측값은 신뢰성이 높을 것으로 예측되었다.

2. 최적화된 CN값을 이용하여 도시지역의 불투수층면적비율을 고찰한 결과 주거지역과 기타도시지역의 불투수층 면적비율은 각각 82 %, 93 %를 나타내어 허용범위 내에 가장 높은 불투수층면적비율을 나타내었다. 이는 유사한 선행 연구결과와 비교해 볼 때 국내 다른 지역에 비해 서울특별시의 도시지역은 불투수층면적비율이 높은 것을 반영하고 있다.

3. 2011년 7월 25일에서 28일 동안의 강우량과 유출량의 시·공간적 분포를 분석한 결과, 대부분의 강우 (272.32 mm)가 27일 발생하였으며 이 기간 총 유출량의 65 %인 247.32 mm가 27일 발생하였다. 특히, 한강을 기준으로 남동쪽 높은 유출량을 나타내었다.

Fig. 8 Bi-hourly rainfall at Seoul during 27 July, 2011

(a) 0:00 ~ 2:00

(b) 2:00 ~ 4:00

(c) 4:00 ~ 6:00

(d) 6:00 ~ 8:00

(e) 8:00 ~ 10:00

(f) 10:00 ~ 12:00

Fig. 9 Bi-hourly surface runoff at Seoul during 27 July, 2011

4. 큰 강우가 발생한 27일에 대하여 두 시간별 강우 및 유출량에 대한 공간적인 분포를 고찰한 결과, 2시~4시, 8시~10시 사이에 많은 강우가 발생하였으며 특히 우면산 산사태가 발생한 6~8시 사이에 서초구 일부지역에 분석기간 동안 가장 높은 강우강도를 나타내어 이 강우에 의해 우면산 산사태가 발생한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 월별 유출량에 대하여 CN값을 검·보정한 후 일별 혹은 시별 유출량에 대하여 예측한 것에 있어서는 본 연구의 한계점을 가지고 있으며 시별 유출량을 이용하여 구조물을 설계 예를 들어 하수관거 설계에 있어서는 본 연구에서의 접근방법은 적합하지 않다. 그러나, L-THIA 모델의 입력자료 준비와 적용과정이 매우 간단하기 때문에 유출량의 공간적인 분포 혹은 시간별 유출량의 공간적 분포 변화 추이를 신속하게 파악하는데 본 연구에서의 접근방법은 큰 무리가 없을 것으로 판단된다.

REFERENCES

1. Donigian, Jr. A. S., 2002. Watershed model calibration and validation: The HSPF Experience. *WEF Speciality Conference Proceedings*, Phoenix, AZ. WEF National TMDL Science and Policy 2002.
2. Engel, B. A., 2005. L-THIA NPS version 2.3.
3. Gang, S. H., 2003. The improvement plan for flood control by local government caused by typhoon Rusa in 2002 and Maemi in 2003. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation* 3(4): 111-118
4. Hwang, S. H., J. H. Kim, C. S. Yoo, S. W. Jung, and J. G. Joo, 2009. A study on the change of occurrence characteristics of daily seoul rainfall using Markow Chain. *Journal of Korea Water Resource Association* 42(9): 747-758.
5. Jeon, J. H., D. H. Choi, J. J. Kim, and T. D. Kim, 2009. Regionalization of CN parameters for Nakdong Basin using SCE-UA algorithm. *Journal of Korean Society on Water Quality* 25(2): 245-255.
6. Jeon, J. H., T. Kim, D. Choi, 2011. Regionalization of CN values at Imha Watershed with SCE-UA. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 53(5): 9-16.
7. Jeon, J. H., 2010. Simulation of sediment yield from Imha Watershed using HSPF. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 52(6): 39-48.
8. Jung, K. Y., 2011. The Forum on heavy rainfall event by climate change, 6 Sep., 2011. Seoul, Korea.
9. Kim, B. G. and B. S. Kim, 2009. Analysis of impact climate change on extreme rainfall using B2 climate change scenario and extreme indices. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 29(1B): 23-33.
10. Kim, D. S., 2006. A study on the estimation of nonpoint source load using GIS and L-THIA models. master thesis, Yeungnam University.
11. Kim, G. S., 2009. A study on precipitation and runoff analysis of Gangneung area of Korea by the Typhoon Lusa in 2002. master thesis, University of Seoul
12. Kim, J. J., T. D. Kim, D. H. Choi, K. J. Lim, B. Engel, J. H. Jeon, 2009. L-THIA modification and SCE-UA application for spatial analysis of nonpoint source pollution at Gumho River Basin. *Journal of Korean Society on Water Quality* 25(2): 311-321.
13. Lim, K. J., B. A. Engel, Y. Kim, B. Bhaduri, and J. Harbor, 2001. Development of Long-term Hydrologic Impact Assessment (L-THIA) WWW System, International Soil conservation Organization in cooperation with the USDA and Purdue University, West Lafayette, Indianan.
14. Oh, K. D., B. H. Jun, G. G. Yang, W. S. Ahn, Y. H. Cho, 2005. Curve number for urbanized areas. *Journal of Korea Water Resource Association* 38(12): 1009-1020.
15. Shin, M. H., J. A. Lee, S. U. Cheon, Y. J. Lee, K. J. Lim, and J. Choi, 2010. Analysis of the Characteristics of NPS runoff and application of L-THIA model at upper Daechong Reservoir. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 52(61): 1-11.