韓國水資源學會論文集
第47卷 第1號·2014年 1月
pp. 1～10

J. KOREA WATER RESOURCES ASSOCIATION
Vol. 47, No. 1:1-10, January 2014
http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2014.47.1.1
pISSN 1226-6280 • eISSN 2287-6138

CAT 모형을 이용한 울산지역 주요 하천유역의 물순환 분석

Analysis of Water Cycle at Main Streams in Ulsan Using CAT Model

이 상 현* / 조 홍 제**

Lee, Sang Hyeon / Cho, Hong Je

Abstract

This study aimed to analyze water cycle at Taehwa river, Dongcheon, Hoiya river and Cheongryang cheon in Ulsan city using CAT model developed by Korea Institute of construction technology. To apply CAT model, we separated Teahwa river into 25, Dongcheon into 11, Hoiya river into 17 and Cheongryangcheon into 5 subbasins and discriminated between contribution runoff basins and source basins. The results of water cycle analysis performed using rainfall datas measured from 1975 and 2008 and hydrologic datas of change of land use etc. were that surface runoff increase and interflow decrease, caused by the increase of impervious area. The increases of surface runoff at the basin of Taehwa river and Dongcheon which is a tributary of Taehwa river were small and similar to each other respectively as 1.7% and 2.4%, and increased high rate of 3.2% and 7.7% in Hoiya river and Cheongryangcheon including subbasins which are having high rate of urbanization.

Keywords : CAT model, water cycle analysis, runoff, urbanization, dividing subbasin

요 지

본 연구는 태화강을 비롯한 동천, 회야강 및 청량천 등 울산의 주요 하천유역을 대상으로 최근 한국건설기술연구원이 개발한 CAT모형을 이용하여 물순환 분석을 실시하였다. CAT모형의 적용을 위해 태화강은 25개, 동천은 11개, 회야강은 17개 그리고 청량천은 5개의 소유역으로 분할하여 유출기여유역과 함양유역으로 구분하는 개념을 적용하였다. 대상유역에서 1975년도와 2008년에 실측된 강우량과 토지이용도 변화 등의 수문자료를 이용하여 물순환 분석을 실시한 결과, 4개 하천유역 모두에서 도시화에 따른 불투수 면적의 증가로 인해 표면유출은 증가하고 중간유출은 감소하는 것으로 나타났다. 태화강과 태화강의 지천인 동천유역의 표면유출 증가는 1.7%와 2.4%로서 비교적 적고, 회야강과 청량천은 3.2%와 7.7%로 증가폭이 큰 것은 유역의 개발에 따른 도시화율 증가의 정도를 잘 반영하는 것으로 분석되었다.

핵심용어 : CAT 모형, 물순환분석, 유출, 도시화율, 소유역분할

1. 서 론

"물순환(Water cycle)"이라 함은 지구의 표면 위와 아래에 존재하는 물의 지속적인 움직임으로 강수, 증발, 침투, 유출 등의 일련의 연속된 과정을 의미하며, 이러한 물순환 시스템은 인간생활에 직·간접적 영향을 미친다. 최

*울산발전연구원 환경안전연구실 선임연구위원 (e-mail: shlee@udi.re.kr)
Ulsan Development Institute, 915, Saneop-ro, Buggu, Ulsan 683-804, Korea
** 교신저자, 울산대학교 공과대학 건설환경공학과 교수 (e-mail: hjcho@mail.Ulsan.ac.kr, Tel: 052-259-2262)
Corresponding Author, Dept. of Civil & Environmental Engrg., Ulsan Univ., Ulsan 680-749, Korea

근 도시화로 인해 물순환 시스템의 양상이 빠르게 변화하고 있어 이에 대한 대응방안 마련이 필요한 상태이다. 도시화에 따른 불투수면적의 증가로 인해 표면유출이 빠르게 증가하고 있으며, 이는 침투수량을 감소시켜 전체 물순환계에 악영향을 미치게 된다. 또한 집중호우 시 홍수유출량을 빠른 속도로 증가시켜 하천시설물 피해는 물론 하천범람 등의 피해로 이어지고 있다. 특히 도시지역의 경우 기존의 실개천이나 도랑의 역할을 하수관과 우수관이 대신함에 따라 일시적 하천유출을 증가시켜 홍수발생의 우려를 가중시키고 있으며, 표면유출의 증가와 더불어 침투수량의 감소는 평상시 하천유량을 감소시켜 하천 건천화의 직접적 원인이 되는 등 많은 문제점이 대두되고 있다.

최근 한국건설기술연구원이 개발한 CAT (Catchment hydrologic cycle Assessment Tool)모형은 기존 개념적 매개변수 기반의 집중형 수문모형과 물리적 매개변수 기반의 분포형 수문모형의 장단점을 최대한 보완하여, 도시유역 개발 전·후의 장·단기적인 물순환 변화 특성을 정량적으로 평가하고 물순환 개선시설의 효과적인 설계를 지원하기 위한 물순환 해석 모형이다(KICT, 2011). CAT 모형은 수문학적으로 균일하게 판단되는 범위를 소유역으로 분할하여 지형학적 요인에 의한 유출특성을 객관적으로 반영할 수 있으며, 개발공간 단위별로 침투, 증발, 지하수 흐름 등의 모의가 가능하도록 하는 Link-Node 형식으로 구성되어 있다. 따라서 도시개발에 따른 물순환 체계의 변화를 기존의 모형들 보다 쉽고 간편하게 확인할 수 있는 장점이 있다. 그동안 국내에서 도시지역 물순환 해석을 위해 적용하였던 모델은 USEPA의 SWMM모델, USDA의 SWAT모델, 일본하천협회의 SHER모델 그리고 일본국토성이 개발하였던 WEP모델 등이 있다. 각각의 모델마다 수질모의, 하천유출자료의 적용가능 여부, 관망해석 가능성 등 장단점을 가지고 있다. 이들 모델을 이용한 국내외 연구동향을 조사하였다. WEP (water and Energy Transfer Process) 모델을 청계천 유역에 적용하여 국내 유역에 대한 적용성을 검토하고, 물순환 경향을 분석한 사례가 있으며(Noh et al., 2005), 유역개발에 따른 도시하천의 유출량 및 도달시간 변화에 관한 연구를 SWMM (Storm Water Management Model)을 이용하여 수행한 바 있다(Seo et al., 1996). 그리고 팔공산 산지소유역을 대상으로 물순환 모델인 HYCYMODEL를 활용하여 유출성분과 특성을 분석하였으며(Park et al., 2000), SWAT 모델을 이용하여 경안천 유역을 특성과 수질관리 영향에 관한 연구를 수행하였다(Jang et al., 2010). 국외의 경우 SWMM 모델을 활용하여 도시지역의 유출 특성과 수질을 예측한 연구를 수행하였다(Baffaut, 1990; Liong, 1991; Rahmat, 2006; Jang et al., 2007). 도시개발 지역의 장기간에 걸친 물순환의 변화를 예측하고 물순환을 개선시키는 대안시설의 효과를 사전에 평가할 수 있도록 개발하였던 CAT 모형을 적용하여 LID (Low Impact Development) 계획과 그에 따른 효과를 평가할 수 있음을 확인하였다(Jang and Kim, 2012). CAT 모형에서는 Weir Type 물꼬를 사용하고 있으나, 영산강 수계인 함평지역의 소규모 논유역에서 Orifice 형식의 수리특성을 갖는 플라스틱 파이프로 된 배수공을 사용하고 있는 현장여건을 고려하여 배수공을 위한 모듈을 추가하여 분석하였으며(Lee et al., 2011), 농업용 저수지의 영향을 반영하여 관개용수 공급에 따른 저수지 수위를 모의한 바 있다(Jang et al., 2012).

본 연구에서는 CAT 물순환 모형을 이용하여 울산지역 4개의 주요 하천유역에 대한 도시화 이전의 과거 상태를 비교대상으로 하고, 현재의 물순환 건전성을 판단하여 미래의 대책수립에 필요한 정량적·정성적 근거를 제시하는 데 목적이 있다.

2. CAT 모형의 기본이론

2.1 CAT 모형 개요

CAT 모형의 구동시스템은 Fig. 1과 같으며, GIS를 이용하여 토지이용도나 지형을 분석하고 기상이나 하천 및 지하대수층 등의 자료를 실측 또는 문헌을 통해 수집하게 된다. 구축된 모든 자료를 이용하여 CAT 모형으로 모의한 후, 그 결과는 다시 GIS 시스템으로 표 및 그래프 등으로 분석하게 된다. CAT 모형은 수문학적으로 균일하게 판단되는 범위를 소유역으로 분할하여 지형학적 요인에 의한 유출특성을 객관적으로 반영할 수 있게 한다. 토양층에 따라 침투, 증발, 지하수흐름 등의 모의가 가능하며, 투수역과 불투수역으로 구분하여 유출을 모의하도록 하고 있다. 또한 물순환 대안 시설들의 선택 폭을 다양하게 제시하도록 하였고, 도시 물순환해석에 필수적인 관개용수나 침투시설, 저류시설 등을 고려하여 보다 현실에 가까운 모의가 가능하도록 개발되었다. CAT 모형에서는 유역을 지하수 심도나 지형 등에서 수문학적으로 균일하다고 보는 블록으로 구분하고, 그 블록을 다시 불투수역과 투수역 및 논으로 분할하였다. 지표면의 토지이용에 따른 CAT 모형내 대응모듈은 Table 1과 같다.

지표면에서 침투가 가능한 지역은 크게 투수역 모형(일반적으로 하천으로의 유출은 표면유출과 중간유출)과 지하수 모형으로 구성되며, 표층토양 내에서는 Richards

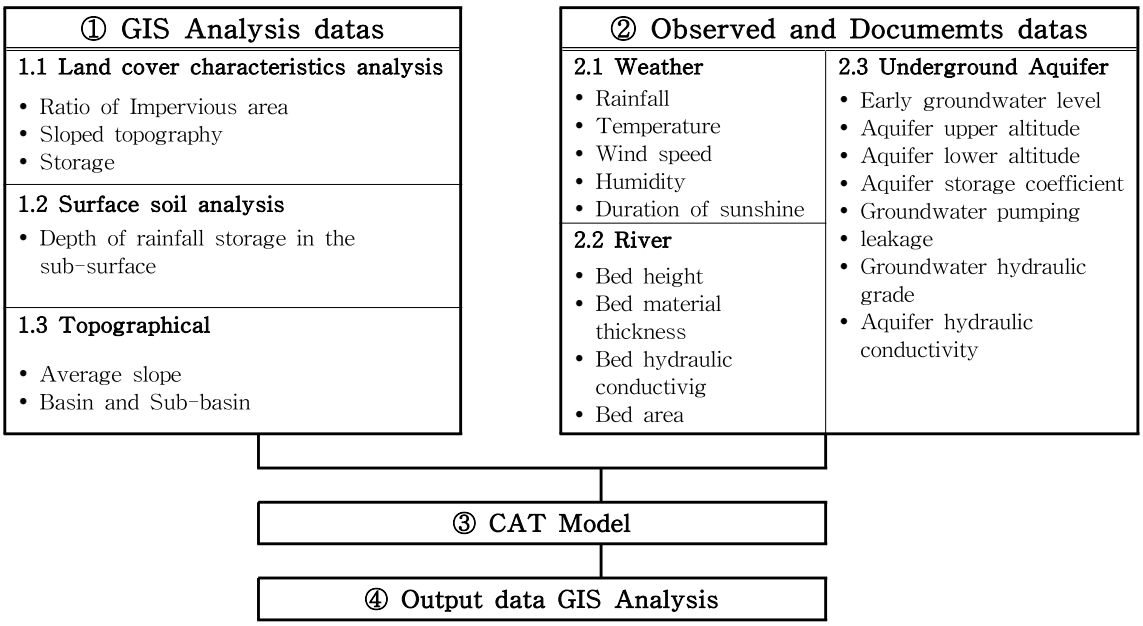


Fig. 1. Calculation Procedure of CAT Model

Table 1. Counterpart Module in CAT Model by the Interflow Classification

Land surface classification	Outline	Counterpart module
Impervious area	Roof and road	Impervious module
Pervious area	Forest, glassland, green areas of urban, etc	Pervious module
Paddy	Paddy. Paddy is divided according to speciality of soil	

식을 기초식으로 하여 간단한 수치해석법으로 수분량을 추적할 수 있다. 불투수역은 증발산량 계산시 사용자의 편의에 따라 직접 입력한 값이나 Penman-Monteith 방법을 사용할 수 있도록 하였으며, 블록간의 하도추적 방법으로는 Muskingum 방법, Muskingum-Cunge 방법, Kinematic wave 방법 그리고 하도추적을 사용하지 않는 등의 옵션을 사용자 목적대로 정의할 수 있도록 되어 있다. CAT 모형의 물순환 개념은 Fig. 2와 같다.

2.2 CAT 모형 기본방정식

2.2.1 투수지역 유출 기초식

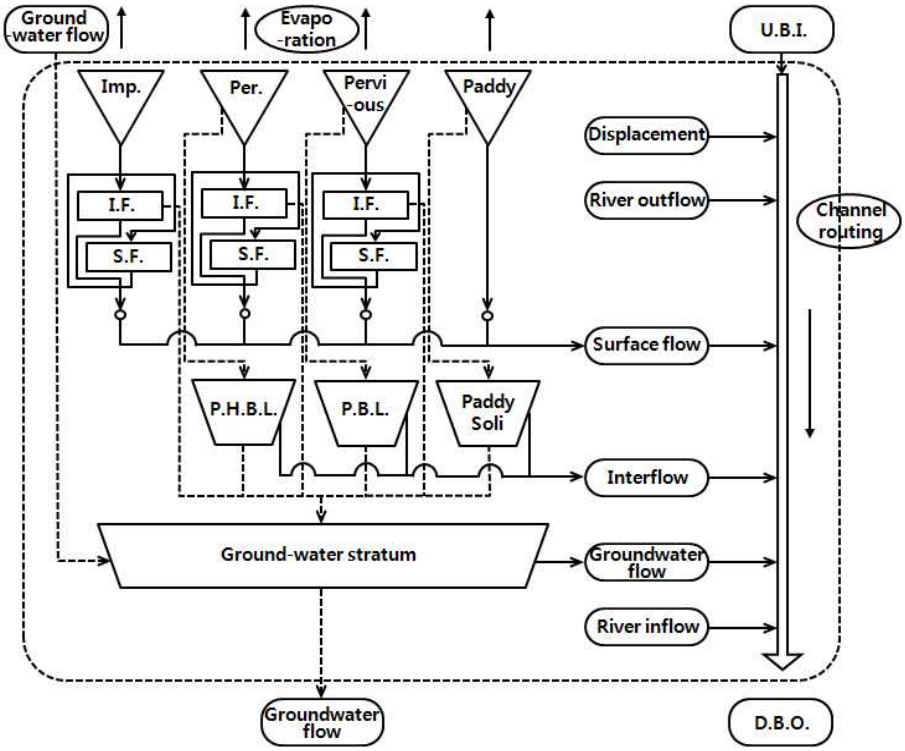
투수역에서는 저류량을 웅덩이 저류지, 표층 토양 및 지하수층 등의 세 종류로 나누어 생각하고 다음 Eqs. (1a)~(1c)를 기초로 한다.

$$\frac{dS_1}{dt} = U_s - E_1 - D_s \tag{1a}$$

$$\frac{dS_2}{dt} = P - E_2 - R - U_s + P_{a1} \tag{1b}$$

$$\frac{dS_g}{dt} = R - D_g - P_{a2} \tag{1c}$$

여기서, S_1: 웅덩이 저류지의 저류량(mm), S_2: 표층토양내의 저류량(mm), S_g: 지하수층내 저류량(mm), D_s: 표면유출량(mm/hr), E_1: 웅덩이 저류지로부터의 증발량(mm/hr), E_2: 표층토양내로 부터의 증발량(mm/hr), P: 지층토양에의 침윤량(강수량)(mm/hr), R: 지하수 함양량(강하 침투량)(mm/hr), I: 중간유출량(측방 침투류)(mm/hr), U_s: 지표면에의 복귀량(mm/hr), D_g: 지하수 유출량(mm/hr), P_{a1}: 표층토양에 침입하는 인공계 물순환 수량(mm/hr) (관개수량(논의 경우만), 상수도 누수량 등의 합계), P_{a2}: 대수층으로부터 뽑아지는 인공계 물순환 수량(mm/hr) (우물 양수량, 하수도 관거에의 침입수량 등의 합계)



Imp.: Inpervious Area, **Per.**: Pervious base land, **I.F.**: Infiltration facility, **S.F.**: Storage facility, **P.H.B.L.**: Pervious hand base land, **P.B.L.**: Pervious base land, **U.B.I.**: Upstream block inflow, **D.B.O.**: Downstream block outflow

Fig. 2. Outline Map of Water Cycle Modelling

2.2.2 불투수지역 유출 기초식

강수량과 웅덩이 저류능을 비교하여 강수량이 많으면 그 잉여분을 표면유출로 처리하며, 지표면상의 수심과 웅덩이 저류능을 비교하여 웅덩이 저류능을 상회하는 부분의 수량을 표면유출로 취급한다.

불투수역 모듈은 다음 Eq. (2)를 기초로 한다.

$$\frac{dS_{imp}}{dt} = P - D_{imp} - E_{imp} \quad (2)$$

여기서, P: 강수량(mm/hr), S_{imp}: 불투수역 웅덩이 저류지의 저류량(mm), D_{imp}: 불투수역으로부터의 표면유출(mm/hr), E_{imp}: 불투수역 웅덩이 저류지로부터의 증발량(mm/hr)

그리고 CAT 모형은 우리나라 논에서의 유출과정을 모의할 수 있도록 논의 특성을 반영한 논 유출기초식을 제안한 바 있다(Lee et al., 2012). 이를 위해 유역의 침투역과 동일하게 토양층과 지하수층으로 구분하였고, 논에서의 암거배수를 반영하기 위하여 인공적인 배수시설을 토양층에 포함하였다. 지표면의 유출은 논에서 물꼬관리를 통하여 이루어지는 점을 반영하여 월별 물꼬높이를 지정하도록 하였으며, 우리나라 일부지역에서 물꼬배수와 병행하여 파이프를 통한 배수를 사용하고 있는 점을 고려할 수 있도록 하였다.

3. 울산지역 주요 하천유역에 대한 적용

3.1 대상지역 현황

본 연구의 적용대상 지역으로 울산지역의 주요 4개 하천인 태화강, 동천, 회야강 및 청량천 유역을 선정하였다. 태화강의 유역면적(동천 포함)은 646 km^{2}이고, 동천의 유역면적은 164 km^2, 회야강의 유역면적은 219 km^2 그리고 청량천의 유역면적은 61 km^{2}이다. 기상자료는 잠재증발산량 산정에 필요한 강우, 기온, 풍속, 습도 및 일조시간 등을 보유하고 있는 울산관측소의 2007년에서 2011년까지 5년간의 자료를 이용하였다. 연구대상지역의 현황은 Fig. 3과 같다.

3.2 소유역 분할 및 적용모형 구축

각 하천에 대한 소유역 분할과 토지이용도 등 제반 지형자료들에 대한 해석은 수치지도와 지리정보시스템(GIS)을 이용하였다. 각 하천별 도시화에 따른 1975년과 2008년에

대한 불투수 면적의 변화를 Table 2 및 Fig. 4에 나타내었다. 전체 유역중 불투수면적이 각각 태화강은 2.9%, 동천은 5.6%, 회야강은 6.3% 그리고 청량천은 11.5%로 확대된 것으로 나타났다.

각 하천에 대한 지표면의 토지이용 구분은 환경부 토지피복도(1/25,000)를 이용하였고, CAT 모형의 구분은 도시(Urban), 숲(Forest), 논(Paddy)으로 전지역 단위로 분석 후 유역단위로 추출하였다. 지표면 조건에 대한 입력자료는 지표면경사, 불투수면적률 및 웅덩이 저류량(Depression Storage) 등과 같이 대부분 토지피복특성에 따른 변수이며, 본 연구에서는 환경부에서 제공되는 중분류 토지피복정도를 기준으로 지표면 조건에 대한 매개변수를 구축하였다. 웅덩이 저류량의 경우는 경험적으로 수역이 0 mm, 불투수역의 대부분이 2 mm 정도이며, 투수역은 3~5 mm의 범위로 적용하였다. 표층토양의 깊이 및 매개변수에 대한 정보는 농촌진흥청의 1 : 25,000 정밀토양도 속성을 기준으로 각 토양별 구분을 위해 미국 USDA에서 분류하고 있는 12개의 토성으로 구분하여 소유역별로 평균하여 사용하였다. 표층토양의 개념은 지표부근에서 사면방향의 중간유출이 생겨 토양 중에 우수를 일시 저류가능한 정도의 공극이 존재하는 범위를 의미한다. CAT 모형에서는 토양에서의 침투 및 증발산 등을 토양의 물리적 특성에 근거하여 해석하게 되며, 이를 위해서는 표층토양에 대한 매개변수의 자료 구축이 필요하다. 그리고 지하수 및 하천유출 모의는 지하수위와 하천수위의 상호관계를 이용하였으며, 지하수 양수량도 고려하였다. 누수량은 투수역의 표층토양에 유입되며, 대수층간의 지하수 유동도 고려하였다. 하도 제원은 각 하천유역의 하천정비기본계획보고서 등을 이용하였다. CAT 모형에서는 지하수위와 하천수위의 관계를 현실적으로 규명하기 위해 부분 유출기여역의 개념을 고려하였다. 즉 평지의 지하수 심도가 낮은 지역에서는 유출응답이 다른 것을 재현할 수 있다. 이를 위해 소유역 분할은 하천 부근과 그 바깥 부분으로 분할하는 것을 기본으로 하였으며, 유출기여유역과 함양유역 개념을 적용하였다. 각 하천별 소유역 분할 현황은 Table 3과 같고, 소유역 구분도는 Fig. 5와 같다.

Fig. 3. Map of Selected Rivers in Ulsan

4. 물순환 해석결과

CAT 모형으로 울산지역 4개 주요 하천유역에 대해 구성한 물순환 모형에 1975년도와 2008년도의 물순환 상태

Table 2. Change of Impervious Area

River	Surface condition	1975 year		2008 year		Change ratio (%)
		Area (km^2)	Area ratio (%)	Area (km^2)	Area ratio (%)	
Teahwa river	Impervious	21.2	4.4	35.2	7.3	△ 2.9
	Pervious	460.6	95.6	446.5	92.7	
Dongcheon	Impervious	3.9	2.4	13.1	8.0	△ 5.6
	Pervious	160.3	97.6	151.0	92.0	
Hoiya river	Impervious	0.3	0.1	14.1	6.4	△ 6.3
	Pervious	218.4	99.9	204.4	93.6	
Cheongryangcheon	Impervious	0.3	0.4	7.3	11.9	△ 11.5
	Pervious	60.9	99.6	53.8	88.1	

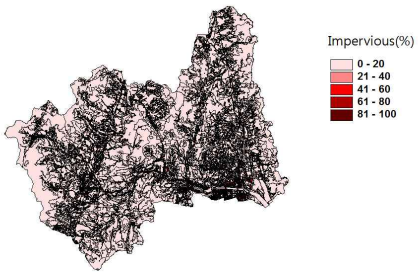
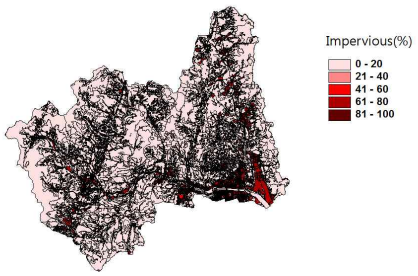
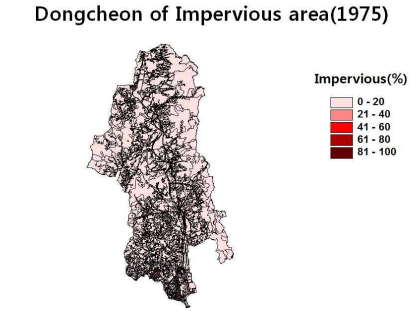
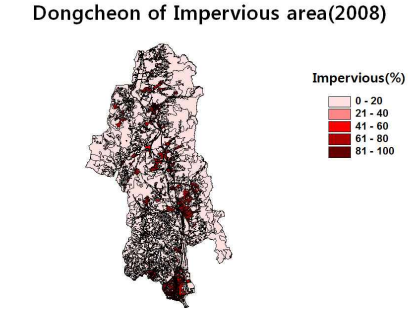
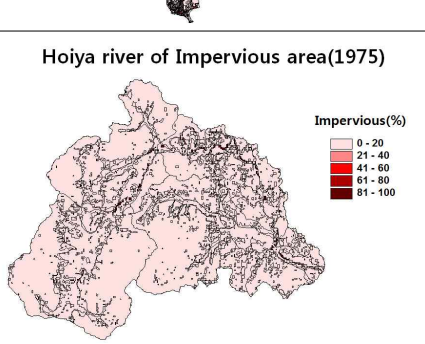
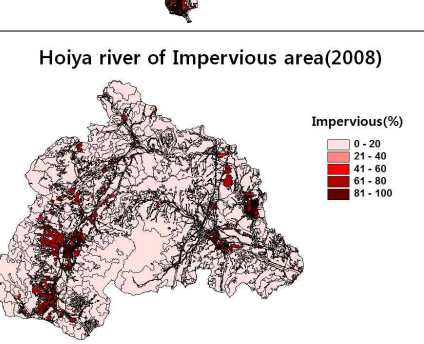
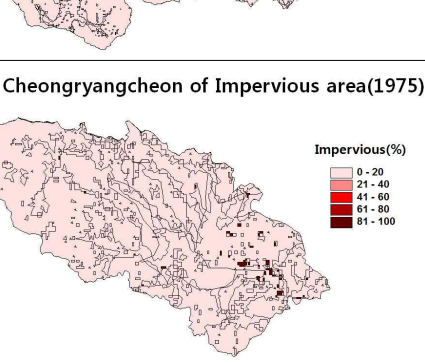
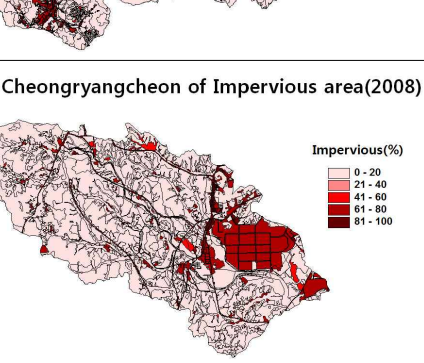
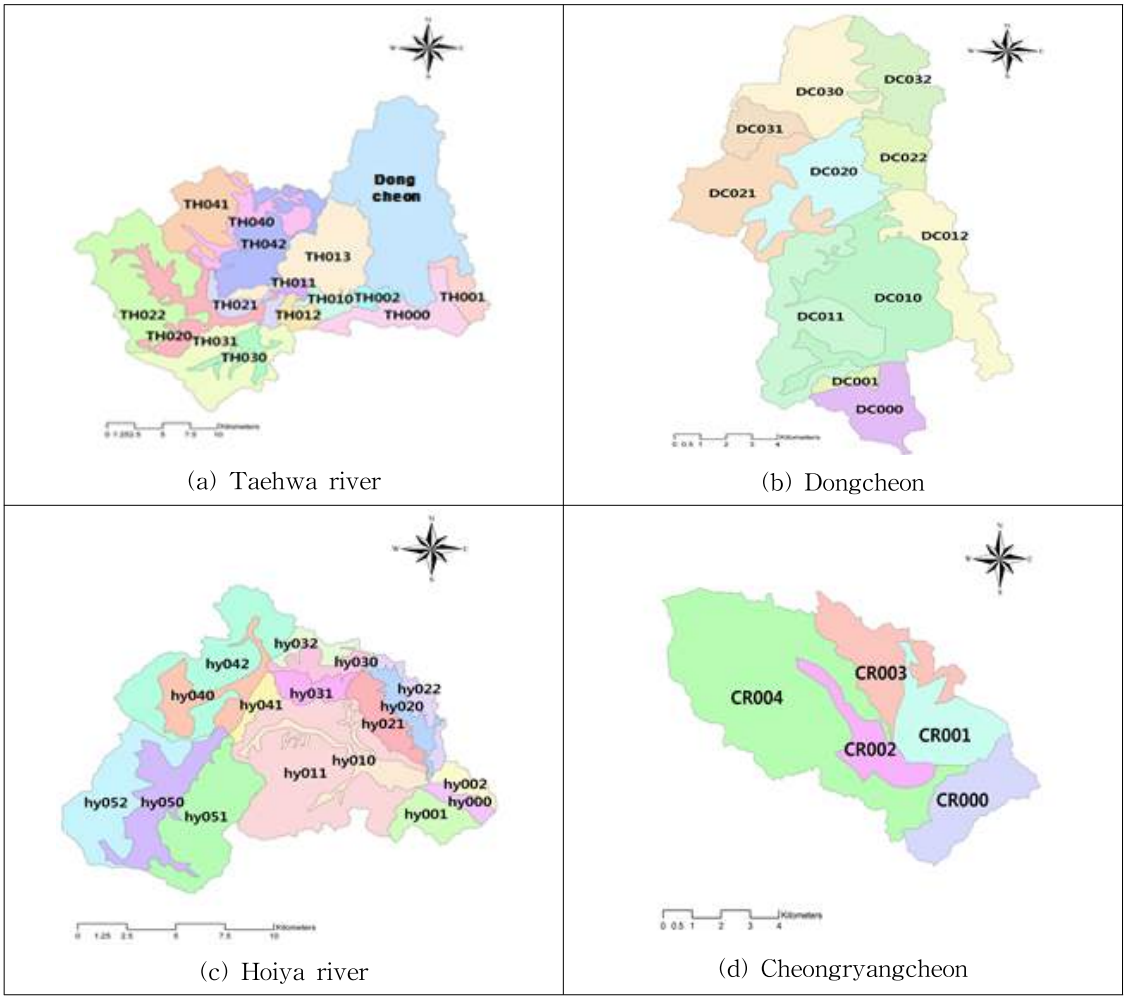
River	1975 year	2008 year
Teahwa river		
Dongcheon		
Hoiya river		
Cheongryangcheon		

Fig. 4. Change of Impervious Area

Table 3. Dividing Subbasin

River	No. of subbasin	No. Runoff basin	No. Source basin
Taehwa river	25 (Including Dongcheon 11)	12 (Dongcheon 4)	13 (Dongcheon 7)
Dongcheon	11	4	7
Hoiya river	7	11	6
Cheongryangcheon	5	3	2

를 비교하였으며, 그 결과를 Tables 4~8과 4개 하천중 대표적으로 태화강의 물순환 분석결과를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6은 Table 8 중 태화강의 분석 결과를 GIS를 이용하여 각 소유역별 물순환의 변화를 나타낸 결과이다. 1975년도와 2008년의 각 하천에 대한 물순환 분석결과는 Tables 4 and 5와 같다. 총강우량에 대한 총유출량이 1975년도에 태화강 54.3%, 동천 49.7%, 회야강 54.7%, 그리고 청량천 54.4%였으며, 2008년도에는 태화강이 55.5%, 동천 51.7%, 회야강 56.8% 그리고 청량천 58.2%로 증가하였다. 이는 과거 산지 또는 농경지 였었던 투수지역이



(a) Taehwa river (b) Dongcheon

(c) Hoiya river (d) Cheongryangcheon

Fig. 5. Subbasins Maps of Study Rivers

Table 4. Runoff Rate in 1975

River	Total pre. (mm)	Evapotranslation (mm)	Infiltration (mm)	Runoff state				Runoff rate (%)
				Surface flow (mm)	Interflow (mm)	Ground water flow (mm)	Total runoff (mm)	
Taehwa river	1,138	520	321	297	257	64	618	54.3
Dongcheon	1,044	526	259	259	234	26	519	49.7
Hoiya river	1,183	535	407	241	315	93	649	54.7
Cheongryangcheon	1,170	534	340	296	232	108	636	54.4

개발에 따른 토지이용도 증가로 인해 불투수지역이 늘어난 것의 결과로 판단된다. 그리고 Tables 6 and 7에는 각 하천별 총 유출량에 대한 유출구성을 나타내었다. 1975년과 2008년의 표면유출은 회야강이 37.1%와 40.3%로서 가장 적고 나머지 3개 하천은 1975년에는 46.5~49.9%로서 그리고 2008년에는 49.8~54.3%로서 서로 비슷한 경향을 보였다. 중간유출은 1975년과 2008년에 청량천이 36.5%와 31.6%로서 가장 적고, 나머지 3개 하천은 1975년에 41.6~48.5%, 그리고 2008년에 40.3~46.1%로서 서로 비슷한 경향을 보였다. 지하수 유출은 회야강이 1975년과 2008년에 5.0%와 4.6%로서 가장 적고, 1975년에 10.4~17.0% 그리고 2008년에 10.0~14.2%로서 서로 비슷한 값을 보였다. 도시화에 따른 불투수성 지역 증가에 따른 표면유출은 증가하였으나 중간유출과 지하수유출은 감소하는 것으로 나타났으며, Table 8에 각 유출의 증감을 비교하였다. 1975년도 대비 2008년에 대해 표면유출은 태화강이 1.7%로서 가장 적게 증가하였고 청량천이 7.8% 증가하였다. 중간유출은 태화강이 1.2%로 가장 적게 감소하였고 청량천이 4.9%로 가장 크게 감소하였다. 그리고 지하수유출은 태화강과 동천이 0.4%로서 같은 감소를 보였으며, 청량천이 2.8% 감소하는 것으로 나타났다. CAT 모형을 이용한 물순환 분석으로 도시화나 도시개발에 따른 물순환의 변화를 파악할 수 있었으며, 현재의 물순환 정도를 파악할 수 있어 미래 물이용의 대책수립에 필요한 정량적 분석이 가능하게 되었다.

Table 5. Runoff Rate in 2008

River	Total pre. (mm)	Evapotranslation (mm)	Infiltration (mm)	Runoff state				Runoff rate (%)
				Surface flow (mm)	Interflow (mm)	Ground water flow (mm)	Total runoff (mm)	
Taehwa river	1,137	506	317	314	254	63	631	55.5
Dongcheon	1,044	504	256	284	231	25	540	51.7
Hoiya river	1,180	510	400	270	309	91	670	56.8
Cheongryangcheon	1,166	488	310	368	214	96	678	58.2

Table 6. Runoff Rate and State in 1975

River	Runoff rate (%)		
	Surface flow	Interflow	Groundwater flow
Taehwa river	48.1	41.6	10.4
Dongcheon	49.9	45.1	5.0
Hoiya river	37.1	48.5	14.3
Cheongryang cheon	46.5	36.5	17.0

Table 7. Runoff Rate and State in 2008

River	Runoff rate (%)		
	Surface flow	Interflow	Groundwater flow
Taehwa river	49.8	40.3	10.0
Dongcheon	52.2	42.8	4.6
Hoiya river	40.3	46.1	13.6
Cheongryangcheon	54.3	31.6	14.2

Table 8. Change of Runoff Rate and State

River	Change of runoff rate (%)					
	Surface flow	I.&D.	Interflow	I.&D.	Ground water flow	I.&D.
Taehwa river	1.7	△	1.2	▽	0.4	▽
Dong cheon	2.4	△	2.3	▽	0.4	▽
Hoiya river	3.2	△	2.4	▽	0.8	▽
Cheongryangcheon	7.7	△	4.9	▽	2.8	▽

I.&D.: Increase and Decrease.

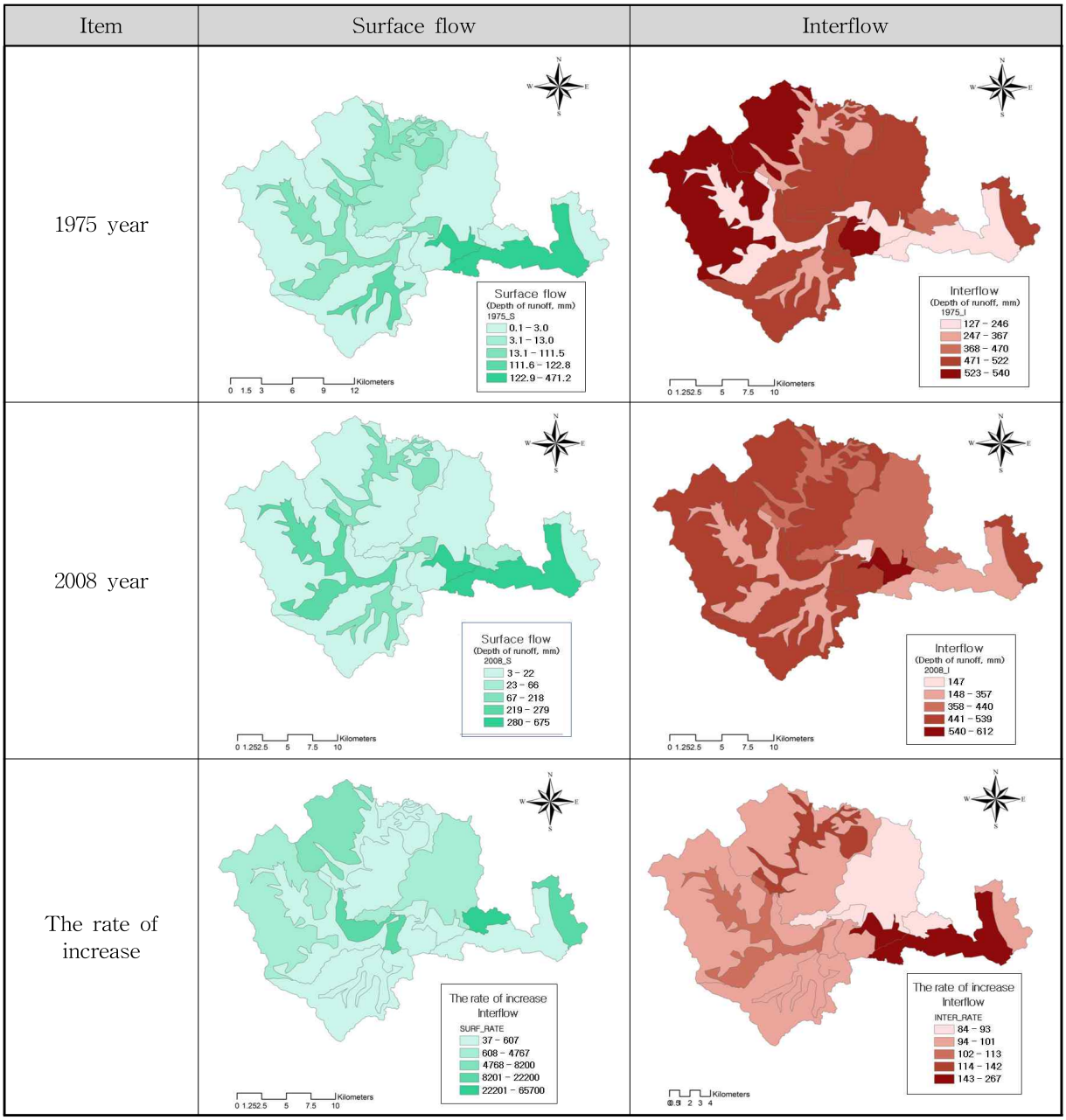


Fig. 6. Analysis Result of Taehwa River Basin

5. 결 론

2012년 한국건설기술연구원이 개발하였던 CAT 모형을 울산지역 주요 4개 하천유역에 적용하여 물순환의 변화를 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1) CAT 모형은 하천유역의 물순환 분석에 효과적으로 적용할 수 있으며, 정량적 성과를 이용하여 미래의 물이용에 대한 대책수립에 활용할 수 있을 것으로 판단되었다.
2) 태화강유역을 비롯한 울산지역 주요 하천유역은 도시화로 인한 불투수지역 증가로 인해 표면유출은 증가하였으나 중간유출과 지하수유출은 감소하는 것으로 나타났다.
3) 태화강유역과 태화강의 지천인 동천유역의 표면유출 증가는 1.7%와 2.4%로 비교적 적고, 회야강과 청량천은 3.2%와 7.7%로 증가폭이 큰 것은 유역의 개발에 따른 도시화율 증가의 정도를 잘 반영하는 것으로 분석되었다.
4) CAT 모형은 대상유역을 다수의 소유역으로 분할하여 유출기여유역과 함양유역으로 구분하여 적용하므로, 빗물이용시설 등과 같은 수리구조물을 각 소유역에 계획하는 경우 홍수유출 저감이나 유지용수 확보 등 효과적 물이용의 방안 수립이 가능할 것으로 판단된다.

References

Baffaut, C., and Delleur, J.W. (1990). "Calibration of SWMM runoff quality model with expert system." *J. of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 116, No. 2, pp. 247-261

Jang, C.H., and Kim, H.J. (2012). "Analyzing the effect of LID (Low Impact Development) using the CAT (Catchment hydrologic cycle Assessment Tool)." *2012 Conference of Korean Water Resources Association*, pp. 278-278.

Jang, C.H., Kim, H.J., and Kim, J.T. (2012). "Prediction of reservoir water level using CAT." *J. of Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 54, No. 1, pp. 27-38.

Jang, J.H., Yoon, C.G., Jung, K.W., and Kim, H.C. (2010). "Evaluation of the impacts of water quality management in Kyongan stream watershed using SWAT model." *J. of Korean Society on Water Quality*, Vol. 26, No. 3, pp. 387-398.

Jang, S., Cho, M., Yoon, Y., Kim, G., and Aksoy, H. (2007). "Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment." *Desalination*, Vol. 212, pp. 344-356.

Korea Institute of Construction Technology. (2011). Catchment Hydrologic Cycle Assessement Tool.

Lee, K.S., Choi, D.H., Jeong, J.H., Jung, J.W., and Yoon, K.S. (2011). Application of CAT Model for Paddy Field Using Surface Drainage Pipe, 2011 Conference of Korean Water Resources Association, p. 69.

Liong, S.Y., Chan, W.T., and Lum, L.H. (1991). "Knowledge-based system for SWMM runoff component calibration." *J. of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 117, No. 5, pp. 507-524.

Noh, S.J., Kim, H.J., and Jang, C.H. (2005). "Application of WEP model to the Cheonggyecheon watershed." *J. of Korean Water Resources Association*, Vol. 38, No. 8, pp. 645-653.

Park, J.C., and Lee, H.H., (2000). "Analysis of runoff characteristics for a small forested watershed using HYCYMODEL-At a watershed in Mt. Palgong -." *J. of Korean Forest Society*, Vol. 89, No. 5, pp. 564-575.

Rahmat, S.N., Yusop, S., and Abustan, I. (2006). Modeling of storm water quality from residential catchment using SWMM, National Conference-Water for Sustainable developed towards a developed nation by 2020, Malaysia, pp. 1-8.

Seo, K.W., Bae, D.H., Shim, J.H., and Lee, J.J. (1996). "A study on the variation of runoff and travel time in urban stream due to watershed development." *J. of Korean Water Resources Association*, Vol. 29, No. 3, pp. 207-216.

논문번호: 13-082	접수: 2013.10.07
수정일자: 2013.10.25/11.04	심사완료: 2013.11.04