

효과적인 유역관리를 위한 CN기법 기반의 침투량 산정 및 기저유출량 분석

김희원 · 신연주 · 최정현 · 강현우 · 류지철 · 임경재[†]

강원대학교 지역건설공학과

Estimation of CN-based Infiltration and Baseflow for Effective Watershed Management

Heewon Kim · Yeonju Sin · Jungheon Choi · Hyunwoo Kang · Jichul Ryu · Kyoungjae Lim[†]

Department of Regional Infrastructure Engineering Program, Kangwon National University

(Received 14 January 2011, Revised 11 May 2011, Accepted 12 May 2011)

Abstract

Increased Non-permeable areas which have resulted from civilization reduce the volume of groundwater infiltration that is one of the important factors causing water shortage during a dry season. Thus, seeking the efficient method to analyze the volume of groundwater in accurate should be needed to solve water shortage problems. In this study, two different watersheds were selected and precipitation, soil group, and land use were surveyed in a particular year in order to figure out the accuracy of estimated infiltration recharge ratio compared to Web-based Hydrograph Analysis Tool (WHAT). The volume of groundwater was estimated considering Antecedent soil Moisture Condition (AMC) and Curve Number (CN) using Long Term Hydrologic Impact Assessment (L-THIA) model. The results of this study showed that in the case of Kyoung-an watershed, the volume of both infiltration and baseflow seperated from WHAT was 46.99% in 2006 and 33.68% in 2007 each and in Do-am watershed the volume of both infiltration and baseflow was 33.48% in 2004 and 23.65% in 2005 respectively. L-THIA requires only simple data (i.e., land uses, soils, and precipitation) to simulate the accurate volume of groundwater. Therefore, with convenient way of L-THIA, researchers can manage watershed more effectively than doing it with other models. L-THIA has limitations that it neglects the contributions of snowfall to precipitation. So, to estimate more accurate assessment of the long term hydrological impacts including groundwater with L-THIA, further researches about snowfall data in winter should be considered.

keywords : Base runoff, Direct runoff, Infiltration, L-THIA, NRCS-CN, WHAT

1. 서론

우리나라는 강우가 7월과 8월에 집중되는 기후 특성을 가지며 유량변동계수(하상계수)의 값이 매우 크게 나타나 하천의 이용에 어려움을 겪고 있다(이재수, 2009). 이와 더불어 1970년대 이후 급속한 산업발전으로 경제규모가 커지고 사회가 고도산업화 되어가면서 특정지역으로 인구가 집중되었다. 이로 인해 도시 주변의 논, 밭, 산림지 등에서의 주택개발을 허용하게 되면서 토지이용도가 달라져 불투수면이 증가하게 되었다(최병용, 2001). 이러한 불투수면의 증가는 강우 발생 시 토양 침투량의 감소를 초래하게 되었고 침투량이 감소함에 따라 지하수 함양이 낮아지게 되어 갈수기에는 하천의 건천화 현상을 가져오게 하였다(이승종 등, 2005). 또한 최근 강원도 산간지방의 경우 4월, 5월에 물 부족 현상을 겪고 있으며, 무분별한 수자원 사용으로 인하여 물 부족 문제는 더욱 심각해지고 있다(조용생 등, 2009).

이러한 문제들을 해결하기 위해 강우량에 따른 지하수 함양량을 정확하게 파악하면서 효율적으로 이용하는 방법을 모색하는 것이 무엇보다 중요하다. 현재, 김만일 등(2006)이 제시한 지하수 함양량 산정 방법은 시간적 및 공간적으로 매우 다양한 값을 보이는 지하수위를 직접 측정해서 통계자료를 분석하는 방법이기 때문에 지하수 함양량을 정확하게 파악하기 어렵다. 또한, 박찬제와 김태철(2002)은 Kim (1992)에 의해 개발된 Daily Watershed Streamflow Model (DAWAST) 모형을 이용한 방법으로 지하수 함양량을 산정하였다. 이 방법은 지하수층의 토양특성을 단순히 포화층과 불포화층으로 분류하여 지하수 함양량을 산정하였기 때문에 다양한 토양특성이 고려되지 않아 정확한 산정이 어려웠다. 그리고 포화층에 대한 침투율을 고려하지 않고 계산하였기 때문에 정확하게 파악하기 어렵다. 이외에도 배상근과 김용호(2006)는 NRCS-CN방법과 Mayboom의 지수방정식 형태의 기저유출 감소곡선식을 이용한 기저유출 분리법을 사용하여 지하수 함양량을 산정하였으나 실측 자료와의 검토가 부족하여 실제로 적용하는데 어려움이 있었다. 이처럼 지하수 함양량 산정에 대한 많은 방법들이 제시되고 있지만, 그 방법이 어렵고 실측자료와의 검토가

[†]To whom correspondence should be addressed.
kjlim@kangwon.ac.kr

부족하여 정확성을 판단하기 어려워 본 연구는 위의 여러 가지 지하수 함양량 산정 방법 중 가장 많이 사용되는 NRCS-CN방법을 이용하여, 간단한 입력자료 만으로 침투량 및 직접유출량을 산정하였다. NRCS-CN 방법은 침투 및 유효우량의 크기에 영향을 미치는 인자로 토양의 종류, 토지이용상태, 식생의 피복상태 및 선행토양함수조건을 고려하여 유역의 유출량자료가 없는 경우에 침투량과 직접유출량을 산정할 수 있는 방법이다(이재수, 2009). 하지만 이를 이용하여 장기적으로 침투량을 산정하는 것은 어려움이 있기 때문에 간단하면서 장기적으로 평가할 수 있는 시스템이 필요하다.

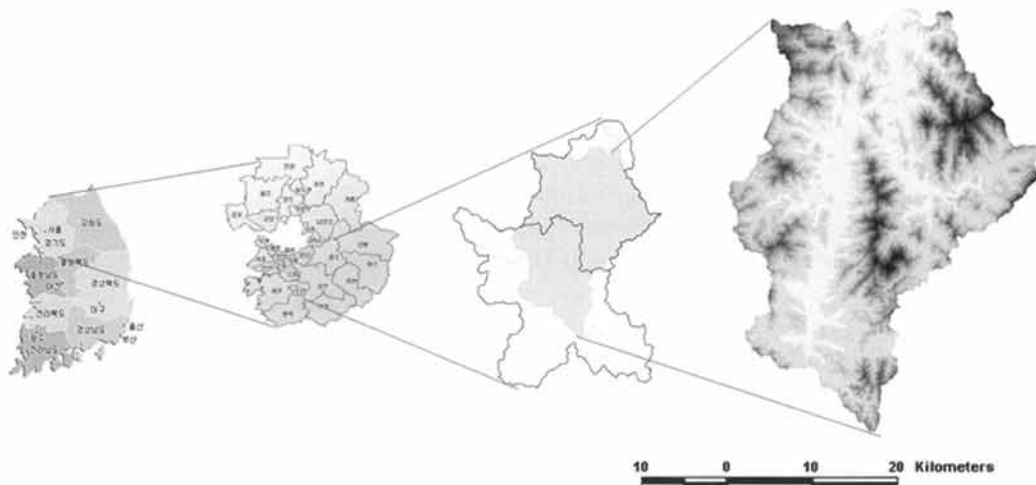
따라서 본 연구의 목적은 간단한 입력자료를 이용하여 장기적으로 평가 할 수 있는 시스템을 구축하여 침투량을 산정하는 것이다. 또한, 실측유량자료에서 분리된 기저유출량을 이용하여 침투량 중 기저유출량으로 발생하는 비율을 비교함으로써, 효과적인 수자원관리가 이루어 질 수 있도록 하는 것이며, 유역특성이 다른 두 유역의 총 강우량에서

분리된 직접유출량과 기저유출량의 비율을 살펴봄으로써, 유역특성에 따라 알맞은 유역관리가 이루어질 수 있도록 하는 것이다.

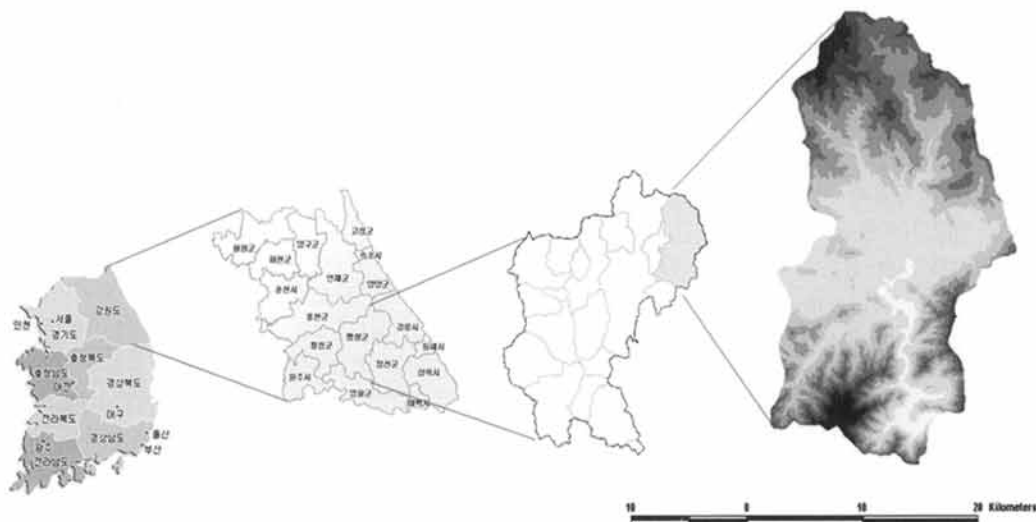
2. 연구방법

2.1. 연구대상지역선정

본 연구에서는 경사도에 따른 침투량 비교와 연평균 강수량에 따른 침투량을 비교하기 위해서 Fig. 1(a)에서와 같이 경기도 용인시 처인구 호동·모현면·초월면·경안동 일대와 경기도 광주 일대에 위치하고 있는 경안천유역과 Fig. 1(b)에서와 같이 강원도 평창군 도암면 일대에 위치하는 도암댐 유역을 선정하였다. 경안천 유역은 연강수량이 1,300 mm 내외인 곳이며 유역면적은 561.02 km²로 산림 및 초지가 65.4%를 차지하고 농지 및 습지는 13.9%를 차지한다. 이 유역은 경사도 10% 이하의 지역이 120.77 km²에 해당하며 전체 유역면적에 약 22%를 차지하고 있다. 도암댐 유역은



(a) Kyoungan-river watershed



(b) Doam-dam watershed

Fig. 1. Digital Elevation Model (DEM) of watersheds.

Table 1. Analysis of slope in Kyoungan-river and Doam-dam

	Kyoungan		Doam	
	Over 10%	Less than 10%	Over 10%	Less than 10%
Area (km ²)	440.25	120.77	133.54	15.88
Ratio (%)	78.48	21.52	89.37	10.63

연평균강수량이 1,800 mm 내외로 비교적 많은 곳이나 2004년과 2005년에는 연강수량이 연평균강수량에 비해 적었다. 유역면적은 149.42 km²으로 이 중 농지 및 습지는 각각 31.9%를 차지하며 산림 및 초지는 64%를 차지하는 지역이다. 도암댐 유역의 경우, 경사도 10% 이하인 지역이 15.88 km²이며 이는 전체 유역면적에 11%를 차지한다. 각 유역의 토지 피복도는 환경부 환경지리정보에서 제공하는 자료를 이용하였다(Environmental Geographic Information System: EGIS). 경사도는 국가 수자원관리종합정보 시스템 (<http://www.wamis.go.kr>)의 자료를 이용하였으며 연구 유역의 경사도를 분석하여 Table 1에 나타내었다. 선정된 연구 지역의 지형특성을 분석한 결과 두 유역 중 비교적 농경지와 초지가 많은 경안천 유역을 평탄하고 강우가 많은 지역으로 판단하였고, 산림지가 많은 도암댐 유역은 경사가 높고 강우가 적은 지역으로 판단하였다.

2.2. 연구분석방법

본 연구에서는 침투량과 기저유출량을 분석하고 이를 선정된 경안천, 도암댐 유역에 적용하여 유역특성에 따른 비교를 하기 위하여 다음과 같은 순서로 직접유출량 보정과정을 통해 각 유역의 토지이용도와 토양에 대한 CN값을 보정하였다. 이렇게 보정된 CN값을 각 유역에 적용하여 그 유역의 다른 연도에 적용함으로써 정확성을 판단하였다. 그리고 각 유역의 침투량을 계산하여 기저유출량과 비교한 후, 지형특성이 다른 두 유역에 대하여 적용해 보았다. 이를 요약하면 Fig. 2와 같다.

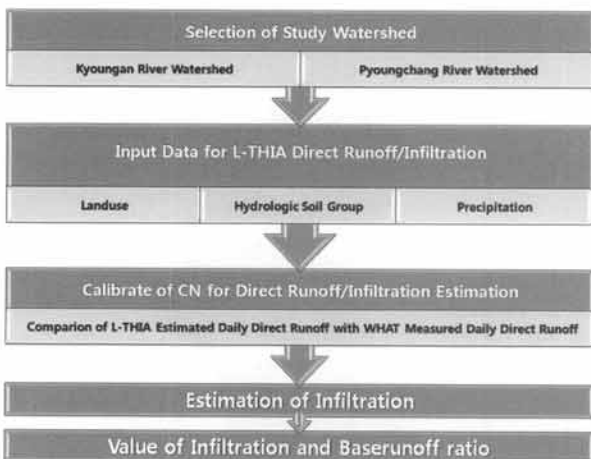


Fig. 2. Process of the study.

2.2.1. L-THIA 모형개요

L-THIA 모형은 간단한 입력 자료를 통해 장기 직접유출 모의가 가능하여 현재 전 세계적으로 많은 사용자들이 이

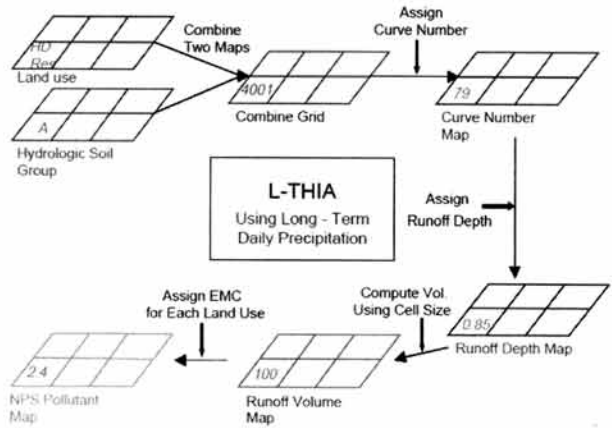


Fig. 3. Overview of the L-THIA GIS system (Lim et al., 1999).

용하고 있다(김종건 등, 2007a, 2007b; Lim et al., 1999, 2005a; Ma, 2004). L-THIA 모형은 토지이용도, 토양도, 일별 강수량 자료를 이용하고 NRCS-CN방법을 이용하여 직접유출량을 산정한다(Habor, 1994). 또한 Web을 통하여 이용할 수 있도록 L-THIA WWW 모형(<http://www.ecn.purdue.edu/runoff/>) 기반의 L-THIA 시스템이 Lim 등(1999)에 의해 개발되어 사용자들에 의해 보다 편리하게 이용되고 있다. 이러한 L-THIA 모형은 일 단위 유출 모형으로 토지 이용의 변화가 직접유출량에 미치는 영향을 분석하기 위해 사용될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 L-THIA를 이용하여 장기간의 강우자료와 토지이용도, 수문학적 토양특성을 이용함으로써 직접유출량 산정을 모의하였다.

2.2.2. L-THIA 이용한 침투량 산정

원래의 L-THIA 모형은 직접유출량을 모의하는 모델이다. 이러한 L-THIA 모형을 수정 보완하여 김종건 등(2007a, 2007b)은 Spreadsheet를 구축하여 L-THIA의 데이터와 연결시켜 수식으로 나타내었다. 이를 이용하여 본 연구에서는 침투량 산정을 할 수 있도록 Spreadsheet를 구축하였다.

2.2.2.1. L-THIA 모형 입력자료

2.2.2.1.1. 토양특성

경안천 수계 내 토양특성은 농촌진흥청 농업과학기술원에서 제공해 주는 정밀토양도(1:25,000)를 사용하였다. Fig. 4(a)는 경안천 수계 내 토양특성을 NRCS 분류방법으로 토양의 침투능에 따라 나타낸 것이다. 이 방법은 Table 2와 같이 침투능이 7.62~11.43 mm/h인 토양을 침투율이 높은 그룹 A로 하고 침투능이 0~1.27 mm/h인 토양을 침투율이 낮은 그룹 D로 하여 토양그룹을 구분지어 나타냈다. 위와 같이 토양그룹에 따라 구분된 경안천 수계 내 토양특성은 A타입이 61.4%, B타입이 35.1%, C타입이 2.9%, D타입이

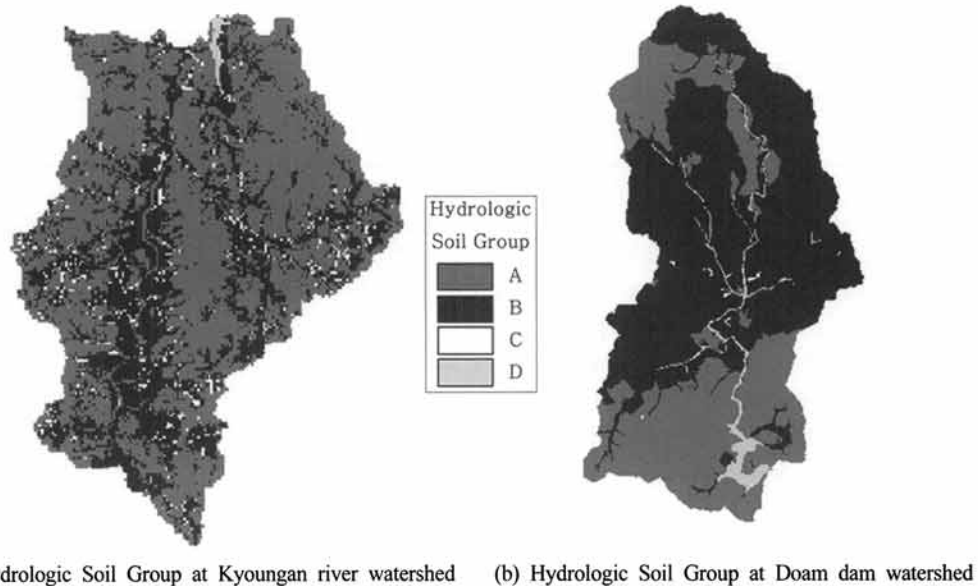


Fig. 4. Hydrologic Soil Group at the Study Watersheds.

Table 2. Hydrologic soil group with drainage condition of detailed soil map (NRCS, 1972)

Hydrologic soil group	Drainage condition	Infiltration rate (mm/h)
A	Very well drained	7.62 ~ 11.43
B	Well drained	3.81 ~ 7.62
C	Moderate drained	1.27 ~ 3.81
D	Poorly drained	0 ~ 1.27

0.7%를 차지한다.

도암댐 수계 내 토양속성은 농촌진흥청 농업과학기술원에서 제공하는 정밀토양도(1:25,000)를 사용하였으며, Fig. 4(b)는 도암댐 수계 내 토양속성을 경안천과 같은 방법으로 분리한 것으로 A타입이 35.1%, B타입이 61.9%, C타입이 0.2%, D타입이 2.8%를 차지한다.

2.2.2.1.2. 토지이용도

각 지역의 수계 내 토지이용현황은 환경부 환경지리정보(Environmental Geographic Information System: EGIS)에서 제공하는 대부분류 수치 피복도 자료를 이용하였다. 경안천 유역의 토지이용 분류는 산림 및 초지 65.4%, 농지 및 습지 13.9%, 시가화 7.6%, 나지 6.8%, 상업 및 공업단지 3.4%, 수역 2.7%를 차지하고 있다(Fig. 5(a)). 도암댐 유역의 토지이용 분류는 수역 1.1%, 농경지 및 습지 31.9%, 시가화 1.9% 나지 1%, 산림 및 초지 64%를 차지하고 있다(Fig. 5(b)).

2.2.2.1.3. 강수자료

본 연구에서는 국가 수자원관리종합정보 시스템(<http://www.wamis.go.kr>)에서 제공하는 일강우자료(mm)를 L-THIA 모형 직접유출 모의에 이용하였다. 경안천의 경우 경안 관

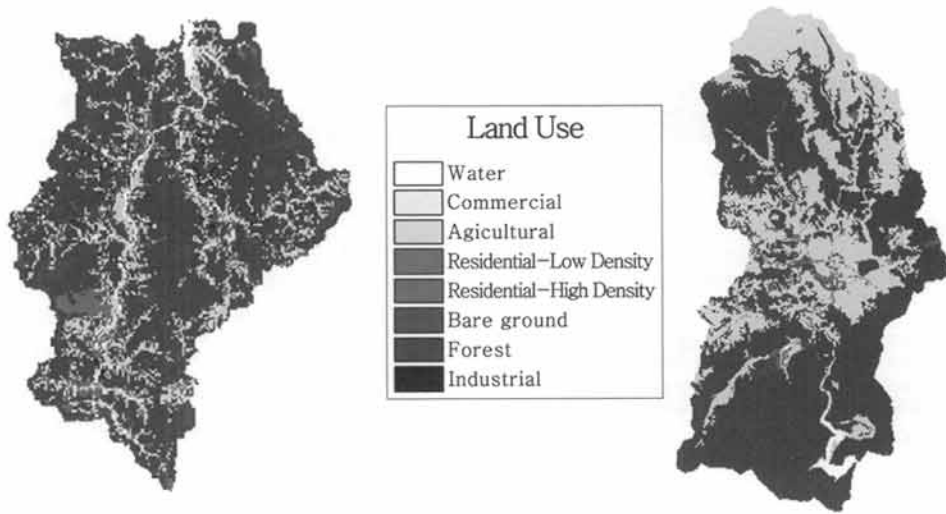


Fig. 5. Landuse of watersheds.

측소에서 측정된 2006년 1월 1일부터 2007년 12월 31일까지 자료를 이용하였으며 도암댐의 경우 대관령 관측소에서 측정된 2004년 1월 1일부터 2005년 12월 31일까지의 자료를 이용하였다.

2.2.2.2. 실측유출자료를 이용한 L-THIA 모형의 정확성 평가 방법

L-THIA 모형은 토지이용도, 토양도, 일별 강우량 자료와 같은 간단한 입력자료만으로 직접유출량을 산정하는 모형이다. 이러한 L-THIA모형은 NRCS-CN방법을 이용하여 직접유출량을 산정하게 되는데, NRCS 방법을 적용하기 위해 먼저 선행강우를 고려해야 된다. 이는 유역에 동일한 강우가 내릴 경우 선행강우가 많다면 토양이 함유하고 있는 수분이 많으므로 선행강우가 있었던 유역에 침투량이 감소하기 때문이다. 따라서 총강우량과 유효우량의 분석에 있어 선행강우는 중요한 역할을 하며 NRCS방법에서는 5일 선행강우를 적용하고 있다. NRCS 방법에서는 선행토양함수 조건(AMC)을 Table 3과 같이 세 가지로 구분하고 1년을 성수기와 비성수기로 구분하여 5일 선행강수량의 크기에 따라 결정하고 있다(NRCS, 1972). 본 연구에서는 1년 중 성수기(growing season)를 4월 15일~10월 15일, 비성수기(dormant season)를 1월 1일~4월 14일, 10월 16일~12월 31일로 구분하였다. 이렇게 유효우량을 산정하기 위해 구분된 AMC는 토양도 및 토지이용도를 이용하여 CN값을 산정하는데 이용된다.

미국의 토양 보전국에서는 자연 초지지역과 시가지로 크게 구분하여 식생 피복 상태와 토양의 종류에 따라 AMC II의 조건하에서 CN값을 정하고 있다. CN II의 값은 AMC II의 조건하에서 식생피복 및 토지이용 상태에 따른 값을 나타낸다. 즉, 토양의 수분과 유출율이 보통인 상태인 AMC II 조건에서는 CN II의 값을 적용하고, 선행강우로 인하여 토양이 포화상태로 유출율이 높은 상태인 AMC III 조건에서는 CN III을 적용한다. 마찬가지로 토양이 건조하여 유출이 낮은 상태인 AMC I 조건에서는 CN I을 적용한다. 따라서 AMC II 조건에서의 CN II의 값을 AMC I 또는 AMC III 조건에 맞는 CN I과 CN III로 변경하는 방법은 아래의 식 (1)과 (2)를 이용한다. Table 3의 기준과 아래의 식을 이용하여 일별 AMC 조건을 나누어 CN값을 산정하였다(NRCS, 1972).

$$CN I = \frac{4.2CN II}{10 - 0.058CN II} \quad (1)$$

$$CN III = \frac{23CN II}{10 + 0.13CN II} \quad (2)$$

이렇게 AMC 조건에 맞게 산정된 CN값은 정확한 모의를 위해 L-THIA 모형과 실측자료와의 검토 과정에서 실제 유역과 비슷한 값을 가지도록 보정되어진다.

L-THIA 모형에서 산정된 직접유출량과 WHAT 시스템을 이용하여 실측유출자료에서 분리한 직접유출량과 비교한 후, 경안천 유역의 2006년도 자료를 이용하여 AMC를 고려한 유출곡선지수(CN)값을 조정하였으며, 경안천 유역의 2007년도 자료에 적용해봄으로써, 정확성을 판단하였다. 위와 같이 도암댐 유역의 2004년도 자료를 이용하여 CN값을 조정하였으며, 도암댐 유역의 2005년도 자료에 적용해봄으로써, 정확성을 판단하였다. 이 때 사용되는 WHAT 시스템은 Lim 등(2005b)에 의해 개발된 것으로 미국 지역의 경우 사용자가 입력 자료를 직접 준비할 필요 없이 미국국립지리국의 유량 자료를 실시간으로 질의하여 수문분석을 수행할 수 있는 사용자 중심의 시스템이다. 기타이외지역의 사용자들일 경우에는 일우량 자료를 WHAT 시스템에 직접 업로드 하여 입력함으로써 웹브라우저만을 이용하여 손쉽게 직접유출과 기저유출을 분리할 수 있는 시스템이다(Lim et al., 2005b). 이러한 WHAT 시스템은 기존의 수문분석방법인 지하수 감수 곡선법, 수평직선 분리법, N-day법, 수정 N-day법, 가변 경사법 등과 같이 분석자에 따라 결과의 차이를 보이는 방법을 보완하기 위하여 디지털 필터링(Digital filtering) 방법을 사용하였다(임경재, 2006). 이에 따라서 본 연구에서도 직접유출과 기저유출의 분리를 객관적이고 효율적으로 할 수 있도록 WHAT 시스템을 이용하였으며, 연구에 이용한 Eckhardt 필터의 BFImax값은 0.80이다. 이는 항상 하천이 흐르고 공극이 많은 대수층일 경우 사용하는 기본 값이며 Eckhardt (2005)는 이를 권장하고 있으므로 BFImax 값을 0.80으로 하여 직접유출과 기저유출을 분리하였다.

또한 이 연구에서는 국가 수자원관리종합정보 시스템(<http://www.wamis.go.kr>)에서 제공하는 실측유출자료를 이용하였다. 경안천의 경우 경안 관측소에서 측정된 2006년 1월 1일부터 2007년 12월 31일까지 자료를 이용하였고, 도암댐의 경우 대관령 관측소에서 측정된 2004년 1월 1일부터 2005년 12월 31일까지의 자료를 이용하였다.

2.2.2.3. 침투량 산정

본 연구에서는 강우에 따른 침투량을 산정하기 위하여 NRCS에 의해서 제시된 호우 중 침투량 F_a 의 값을 이용하였다. 침투량 F_a 를 구하는 식 (3)은 식 (4)와 (5)를 이용하여 유도하였다.

$$F_a = \frac{S(P - I_a)}{P - I_a + S} \quad P \geq I_a \quad (3)$$

Table 3. Classification of antecedent moisture condition (AMC) (NRCS, 1972)

AMC	Total 5-day antecedent rainfall, P_5 (mm)	
	Growing season	Dormant season
I	$P_5 < 35.56$	$P_5 < 12.70$
II	$35.56 \leq P_5 < 53.34$	$12.70 \leq P_5 < 27.94$
III	$P_5 \geq 53.34$	$P_5 \geq 27.94$

여기서, F_a 는 침투량을 나타내고, S 는 최대잠재보유수량, I_a 는 손실우량, P 는 강우량을 나타낸다.

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \quad (4)$$

여기서, P_e 는 유효우량을 나타낸다(NRCS, 1972).

$$P = P_e + I_a + F_a \quad (5)$$

3. 결과 및 고찰

3.1. 침투량 산정 결과

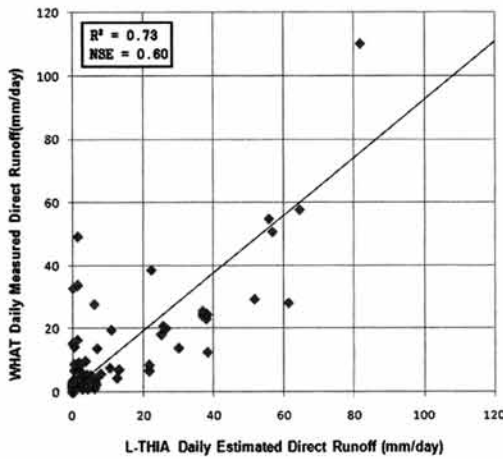
3.1.1. 직접유출량 산정 정확성 평가

본 연구는 지역특성에 맞게 보정한 CN값을 적용하여 L-THIA 모형에서 산정된 직접유출량과 WHAT 시스템에서 분리된 실측 직접유출량 값과 비교하였다. 그 결과 Fig. 6(a)에서와 같이 2006년 경안천의 결정계수 값은 0.73, 유효지수(NSE)값은 0.60의 값을 얻었다. 2007년 경안천의 경우는 Fig. 6(b)와 같이 결정계수 값은 0.66, 유효지수(NSE)값은

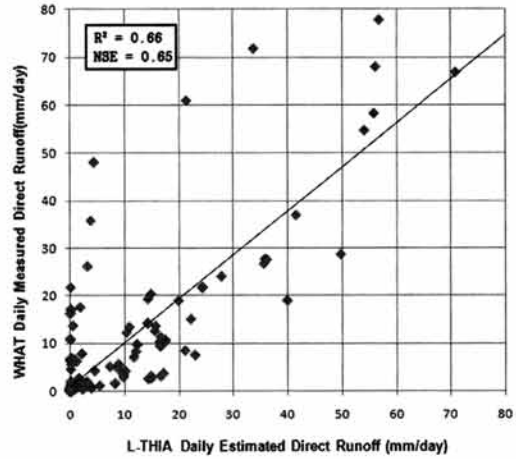
0.65의 값을 얻었다. 도암댐 유역의 경우 2004년은 Fig. 6(c)와 같이 결정계수 값은 0.73, 유효지수(NSE)값은 0.60의 값을 얻었고 2005년도에는 Fig. 6(d)와 같이 결정계수 값은 0.68, 유효지수(NSE) 값은 0.50의 값을 얻어 모의한 결과가 상당 부분 실측자료를 잘 반영하고 있음을 보여준다.

3.1.2. 유역별 침투량 산정 및 기저유출량 분석

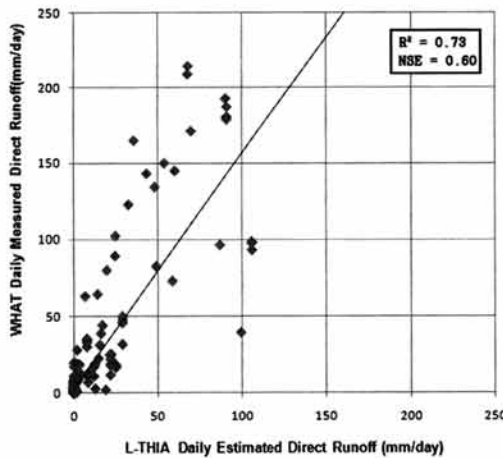
본 연구 방법을 토대로 경안천유역의 2006년, 2007년과 도암댐 유역의 2004년, 2005년의 각 일별 강우자료를 이용하여 산정된 침투량을 기저유출량과 비교하여 침투량 중 기저유출량이 차지하는 비율을 Table 4, 5와 같이 산정해보았다. Table 4의 경우 경안천의 2006년, 2007년도의 총 강우량과 그에 대한 침투량을 나타내었다. 또한 효과적인 수자원관리를 위해 총 침투량에 대해 WHAT에서 분리한 기저유출량과 비교하여, 침투량 중 기저유출량으로 발생하는 비율을 산정해보았다. 그리고 WHAT에서 분리한 직접유출량과 기저유출량이 총 강우량에 대하여 차지하는 비율을 산정함으로써 유역 특성이 다른 두 지역을 비교해 유역 특성에 따라서 알맞은 유역관리가 필요함을 보였다. 이와 같은 방법으로 도암댐 유역의 2004년, 2005년도 자료를 이용하여 Table 5와 같이 산정하였다.



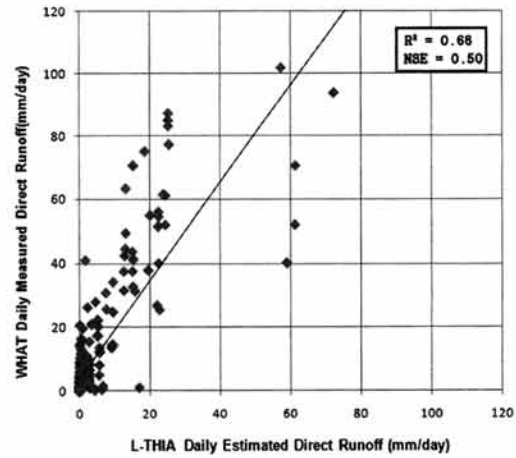
(a) Kyoungan-river 2006



(b) Kyoungan-river 2007



(c) Doam-dam 2004



(d) Doam-dam 2005

Fig. 6. Comparison of L-THIA estimated direct runoff with WHAT separated direct runoff.

Table 4. Kyoungan-river

	2006 (year)	2007 (year)
Precipitation (mm)	1491	1041
F_a (mm)	272.97	132.15
WHAT direct runoff (mm)	475.09	259.61
WHAT base runoff (mm)	127.80	44.50
The ratio of WHAT direct runoff to precipitation recharge (%)	31.86	24.94
The ratio of WHAT base runoff to precipitation recharge (%)	8.57	4.28
The ratio of Base Flow to infiltration recharge (%)	46.99	33.68

Table 5. Doam-dam

	2004 (year)	2005 (year)
Precipitation (mm)	1377	1266.5
F_a (mm)	409.37	314.53
WHAT direct runoff (mm)	730.15	538.04
WHAT base runoff (mm)	137.08	74.40
The ratio of WHAT direct runoff to precipitation recharge (%)	53.02	42.48
The ratio of WHAT base runoff to precipitation recharge (%)	9.95	5.87
The ratio of Base Flow to infiltration recharge (%)	33.48	23.65

3.2. 연구대상 지역의 적용

3.2.1. 연평균 강우량별 침투량과 기저유출량비교

Table 4를 보면 경안천 유역의 경우 총 강우량에 대한 기저유출량을 비교해보면 2006년도에 8.57%, 2007년도에는 4.28%로 2006년도에 더 많다는 것을 알 수 있다. 또한 침투량과 실측 기저유출량을 비교해보면 2006년이 총 46.99%로 2007년의 총 33.68%로 2006년에 비해 더 적다는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 도암댐 유역의 경우에도 비슷한 경향을 나타내고 있다. Table 5를 보면 도암댐 유역의 총 강우량에 대한 기저유출량을 비교해 보면 2004년도의 경우 9.95% 2005년도의 경우 5.87%로 2004년도에 더 많다는 것을 알 수 있다. 또한 침투량과 실측 기저유출량을 비교해보면 2004년 33.48%, 2005년 23.65%로 2004년에 더 많다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과로 볼 때, 총 강우량이 증가함에 따라 기저유출량과 침투량과 실측기저유출량의 비율도 증가함을 볼 수 있는데, 이는 강우량이 많을수록 더욱 효과적인 수자원 관리가 중요함을 보여준다.

3.2.2. 경사도별 침투량과 기저유출량비교

경사도별 침투량과 기저유출량의 비율의 차이는 Table 4와 Table 5를 비교해보면 알 수 있다. 경안천 유역의 경우 침투량과 기저유출량의 비율이 각각 2006년도에 46.99%와 2007년도의 33.68%로 도암댐 유역의 2004년도 33.48%와 2005년 23.65%보다 침투량에 대한 기저유출량이 많이 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 Table 1과 비교하여 살펴보았을 때, 경사도가 상대적으로 낮은 경안천 유역에서 침투량에 대한기저유출이 더 많이 발생한 것을 보여주고 있어 각 유역특성에 알맞은 유역관리가 필요함을 보여주고 있다.

4. 결론

최근 발생하는 하천 건천화현상과 수자원 부족현상으로

인해 정확한 지하수 함양량을 산정하는 방법이 절실히 요구되고 있다. 이러한 지하수 함양량은 지표면으로부터 침투한 물과 하부 토층으로 침투된 물로 인해 생성된다(이재수, 2009). 따라서 침투량의 감소는 지하수 함양량의 감소를 초래하게 되므로 정확한 침투량 산정은 효과적인 유역관리의 시발점이라고 할 수 있다. 이러한 침투량은 강우량, 토양특성, 토지이용도 등에 따라 달라지기 때문에, 침투량 산정에 있어서 이러한 조건들을 고려하는 것이 무엇보다 중요하다. 따라서 본 연구에서는 L-THIA 모형을 이용하여 침투량을 산정하였고 실측자료에 가장 가까운 모형을 만들어 정확성을 판단하였다.

이러한 방법으로 비교된 모형의 직접유출량과 실측직접유출량의 동일함을 이용하여 기저유출량도 동일하다고 가정하였다. 그리고 L-THIA 모형을 통해 산정된 침투량과 WHAT를 통해 산정된 기저유출량을 이용하여 강우량별 모의와 경사도별 모의를 하여 아래의 결과를 얻었다. 각 유역의 연평균 강우량이 많을 때 직접유출량, 기저유출량이 더 많이 발생하고, 침투량에 대한 기저유출량 또한 더 많이 증가함을 볼 수 있다. 경안천 유역을 살펴보면 상대적으로 연강수량이 많은 2006년과 연강수량이 적은 2007년을 비교한 본 연구를 통해서도 동일한 결과를 얻었다. 또한 도암댐 유역의 2004년 결과와 2005년도의 결과를 비교함으로써 더 정확한 결과를 얻을 수 있었다. 이러한 결과를 볼 때 본 연구의 정확성이 높다고 판단되어지며, 이를 통해 효과적인 수자원관리가 필요함을 나타내며 더 나아가서는 수자원관리를 할 때 이용가능하다고 판단된다. 또한, 유역의 지형이 상대적으로 급한 경사면일수록 빠른 지표면 유출을 초래하여 침투가 발생할 시간적 여유가 없으므로 침투량이 감소하게 된다(이재수, 2009). 이는 비교적 경사도가 낮은 경안천유역과 비교적 경사도가 높은 도암댐 유역의 침투량에 대한 기저유출량의 비율을 비교한 본 연구에서도 동일한 결과를 얻을 수 있다.

따라서 본 연구는 L-THIA 모형을 이용하여 침투량과 침투량에 대한 기저유출량을 산정하고 그에 따른 각 유역에 대하여 강우량별 모의와 경사도별 모의를 한 결과, 그 정확성이 상당히 높다고 판단된다. 그러므로 간단한 강우자료와 토양특성, 토지이용도만으로 정확도 높은 침투량을 산정하여 특성이 다른 여러 유역에 적용하는데 편리하며, 이를 통해 효과적인 수자원관리와 유역관리를 할 수 있을 것이다.

그러나 L-THIA는 강우자료만을 이용하는 모델이므로 겨울철 강설량에 대한 모의를 하는 데에는 어려움이 있다. 즉, 본 연구에서 사용된 강우자료는 강수자료를 사용하였기 때문에 보다 정확한 모의를 할 수 있는 연구가 필요할 것이다 또한, L-THIA 모형은 미국에서 개발된 모델로 미국의 연평균 강우량인 1,000 mm를 기준으로 하고 있어 우리나라 홍수량에 대한 모의를 하는 데에는 어려움이 있다. 따라서 우리나라의 특성에 맞추어 정확한 모의를 할 수 있는 연구가 필요할 것이다.

사 사

본 연구는 강원대학교 농업과학연구소의 지원으로 수행되었습니다. 이에 심심한 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

- 김만일, 김진훈, 장광수, 석희준, 김형수(2006). 지하수위 변동곡선 및 물수지분석 기법을 적용한 소유역 지하수 함양량 산정에 관한 연구. *춘계학술발표회 논문집*, 한국지하수토양환경학회, pp. 350-354.
- 김종건, 박윤식, 전지홍, Bernard A. Engel, 안재훈, 박영곤, 김기성, 최중대, 임경재(2007a). 선행토양함수조건(AMC)을 고려한 L-THIA WWW 직접유출 모의 정확성 평가. *수질보전 한국물환경학회지*, **23**(4), pp. 474-481.
- 김종건, 임경재, 박윤식, 허성구, 박준호, 안재훈, 김기성, 최중대(2007b). 경사도에 따른 CN보정에 의한 L-THIA 직접유출 모의 영향 평가. *수질보전 한국물환경학회지*, **23**(6), pp. 897-905.
- 박찬제, 김태철(2002). 유역물수지 분석에 의한 지하수 함양량 추정. *학술발표회 발표논문집*, 한국농공학회, pp. 265-268.
- 배상근, 김용호(2006). NRCS-CN방법과 기저유출 분리법을 이용한 지하수함양률 산정. *한국환경과학회지*, **15**(3), pp. 253-260.
- 이승중, 김영오, 이상호, 이길성(2005). 도립천 유역을 위한 침투증진시설의 효과분석. *학술발표회 논문집*, 한국수자원학회, pp. 1-5.
- 이재수(2009). 수문학, 구미서관.
- 임경재(2006). 수문모델의 정확성 평가를 위한 Web GIS 기반의 수문분석 툴, WHAT의 소개. *한국관계배수지*, **13**(2), pp. 303-309.
- 조을생(2009). 지역단위 하수재이용 활성화를 위한 기초연구. *한국환경정책평가연구원 기초연구*. *한국환경정책평가연구원*, **2009**(10), pp. 1-61.
- 최병용(2001). L-THIA 모형을 이용한 한강 상류 유역의 유출량 평가. *공학석사학위논문*, 강원대학교대학원 농공학과.
- Eckhardt, K. (2005). How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrological Processes*, **19**(2), pp. 507-515.
- Habor, J. (1994). A practical method for estimating the impact of land-use change on surface runoff, groundwater recharge and wetland hydrology. *Journal of American Planning Association*, **60**, pp. 91-104.
- Kim, T. C. (1992). Manual of the DAWAST model. Institute of Agricultural Science. Institute of Agricultural Science.
- Lim, K. J., Engel, B. A., Kim, Y. S., Bhaduri, B., and Habor, J. (1999). Development of the long-term hydrologic impact assessment (L-THIA) WWW system. Agricultural and Biological Engineering Department Report. Purdue University.
- Lim, K. J., Engel, B. A., Tang, Z., Muthukrishnan, S., Choi, J., and Kim, K. (2005a). Effects of calibration on L-THIA GIS runoff and pollutant estimation. *Journal of Environmental Management*, **78**, pp. 1-9.
- Lim, K. J., Engel, B. A., Tang, Z., Choi, J. D., Kim, K. S., Muthukrishnan, S., and Tripathy, D. (2005b). Automated web GIS based hydrograph analysis tool. WHAT. *Journal of the American Water Resources Association*, **41**(6), pp. 1407-1416.
- Ma, Y. S. (2004). L-THIA: Useful hydrologic impact assessment model. *Nature and Science*, **2**(1), pp. 68-73.
- NRCS (1972). *Hydrology SCS National Engineering Handbook* Section 4.