

토지이용 분포를 고려한 유출량 산정기법

Runoff Estimation with Consideration of Land-Use Distribution

손광익*

Son, Kwang Ik

Abstract

The Natural Resource Conservation Service Curve Number(NRCS-CN) method is one of the widely used methods for computation of runoff from a basin. However, NRCS-CN method has a weak point in that the spatial land use distribution characteristics are ignored by using area-weighted CN value. This study developed a runoff estimation algorithm which can reflect the spatial land-use distribution. The algorithm consists of Moglen's theory and a developed flow accumulation estimation program in FORTRAN. Comparisons between the results from area-weighted CN method and this study showed reasonably good agreement with measured data of experimental watersheds. The developed program predicted lower runoff than the conventional NRCS-CN method. As a conclusion, this study proposes a new design direction which can simulate real runoff phenomena. And the developed program could be applied into runoff minimization design for a basin development.

Key words : NRCS-CN, land use distribution, flow accumulation, runoff characteristic

요 지

최근 유역으로부터의 유출량을 산정기법으로 NRCS-CN기법이 많이 활용되고 있다. 그러나 NRCS-CN 기법은 면적가중치 개념을 도입함으로써 토지이용의 공간적 분포에 따른 유출특성을 반영하지 못하는 단점을 내포하고 있다. 따라서 본 연구에서는 저류를 반영하는 Moglen(2000) 이론을 FORTRAN을 이용해 개발한 흐름누적 산정 알고리즘에 도입함으로써 CN의 공간적 분포를 반영할 수 있는 기법을 개발하고자 한다. 본 연구에서 개발된 기법과 기존의 area-weighted CN기법을 시험유역에 적용하여 비교검토를 실시하였으며 그 결과 토지이용 변화에 따른 유출특성을 개념적으로 잘 반영하고 있음을 확인하였다. 또한 개발된 기법은 기존의 기법에 비해 유출량을 작게 예측함도 알 수 있었다. 결론적으로 본 연구에서는 실제 유출현상에 보다 더 근접한 유출예측을 가능하게 하는 새로운 기법을 제안하였으며 본 연구결과는 향후 유역개발을 위한 유출최소화 설계에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : NRCS-CN, 토지이용도, 흐름누적, 유출특성

1. 서 론

급격한 도시화는 도시주변 기후변화, 홍수지체시간의 감소, 침투 및 총 유출량의 증가, 기저유출의 변화, 수질악화, 침투능 및 증발산량의 감소 등과 같은 다양한 문제를 유발시키고 있다. 특히 투수성지역이 불투수성지역으로 변화함에 따라 초기순실우량의 감소와 유출량 증가를 동반하여 기존의 물순환 체계에 큰 변화를 초래한다. 유역개발에 따른 수문학적 영향을 최소화하는 방법으로 과거에는 강우로부터 발생하는 유출을 단시간에 대상유역으로부터 배제하는 개념으로 설계되어 왔다. 이와 같은 설계개념은 해당유역의 홍수배제에는 효과가 있으나 해당 유역내의 지하수위 저하로 인한 수자원의 양적 고갈 및 수질악화 문제를 야기하게 되었고 하류에는 더 빠른

도달시간과 더 큰 침투 유출량을 발생하는 결과를 초래하게 된다. 따라서 최근에는 저류지 등의 설계를 통하여 개발 이후의 침투 유량이 개발 이전의 침투 유량보다 크지 않도록 우수배제시스템을 설계하고 있다. 그러나 이러한 설계기법은 주로 유출저감 시설을 유역출구에 설치함으로써 침투유량만 개발이전의 수준으로 조절할 뿐 개발로 인해 증가되는 유역으로부터의 총 유출량은 감소시키지 못하고 홍수도달시간도 개발이전 보다 빨라지는 문제점을 내포할 뿐만 아니라 도시 개발과 같이 불투수층 증가로 인하여 발생하는 지하수자원의 고갈 등 유역 내 수문순환 개선에는 도움이 되지 못한다.

따라서 최근에는 LID(Low Impact Design), BSD(Better Site Design) 등 유역개발 시 토지이용도 배분 및 토지이용의 공간적 분포를 최적화시킴으로써 우수관리는 물론 개발에

*정회원 · 영남대학교 건설환경공학부 교수 (E-mail: kison@yu.ac.kr)

다른 유역의 수문학적 영향을 최소화 할 수 있는 유역개발 설계기법에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 토지이용을 지표화 할 수 있는 대표적인 기법으로는 NRCS-CN기법이 널리 알려져 있으며 최근에는 GIS나 인공위성영상을 이용한 토지이용도를 NRCS-CN 계수로 표현하는 연구도 활발히 이루어지고 있다(김경탁; 2003, 김현식; 2004, 배덕효 등; 2003, 채종원; 2004). 그러나 NRCS-CN기법 자체는 area-weighted CN 개념을 활용하므로써 토지이용의 공간적 분포 특성을 무시하고 토지이용별 누적 면적에 의한 가중치만을 적용하고 있어 토지이용 분포를 고려한 유역의 유출특성을 기술할 수 없는 단점을 내포하고 있다(Tang et al, 2005). 즉, NRCS-CN 기법을 활용하여 아래 그림 1과 같은 두 개의 유역으로부터의 총 유출량을 산정할 경우 동일하게 산정되나 실제에 있어서는 Basin 'A'의 총 유출량이 Basin 'B'보다 더 작게 발생하는 오류가 잠재해 있다.

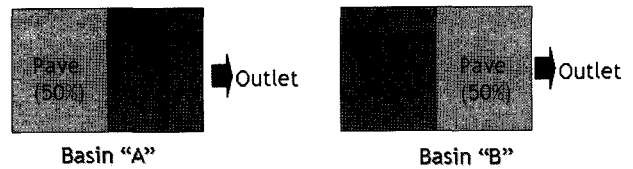


그림 1. 유역의 토지이용도 분포 예

TR-55기법(USDA, 1986)의 경우 면적가중기법에 의한 NRCS-CN기법에 의한 유출량 산정이 앞에서 기술한 바와 같이 토지이용 분포변화를 고려치 못하는 단점을 보완하고자 connected impervious area에 대한 CN값 조정과정을 포함시키고 있으나 실제유역에서 각 토지이용도 별로 이러한 connected impervious area의 비가 몇%인지 판단하는 것은 쉽지 않아 실무에서는 범용적으로 활용되지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 유역의 토지이용 분포변화에 따라 유출이 변화하는 물리적 현상을 반영할 수 있는 Moglen 이론을 이용하여 유역으로부터의 유출총량을 산정할 수 있도록 single flow direction 알고리즘을 이용한 분포형 모형을 개발하고자 한다. 또한 이 모형을 가상유역에 적용하여 유출현상 예측에 대한 정성적 분석과 함께 실측 유출량 자료가 있는 두 유역에 적용한 결과를 비교 검토함으로써 정량적 적용 가능성을 검토하고자 한다. 본 연구 결과는 유역개발에 따른 수문학적 변화를 최소화하거나 토지이용의 공간적 재배열에 따른 수자원확보 등 유역수문환경을 최적화 시킬 수 있는 설계가 가능케 될 것으로 기대된다.

2. 연구동향 및 알고리즘 개발

2.1 연구동향

NRCS-CN(USDA, 1986) 공식은 :

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (1)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

여기서, Q (단위 : mm)는 유출량, S (단위 : mm)는 잠재 최대 저류량, I_a (단위 : mm)는 초기 손실량이다.

NRCS-CN 기법을 GIS와 연계한 대표적 프로그램으로는 L-THIA(Grove 등; 2001, 윤라영 등; 2006)가 있다. 이 프로그램은 토지이용의 변화에 따른 수문학적 영향평가를 위한 간단한 분석도구로서 유역의 장기간의 강우기록 데이터, 토지이용도, 토양도, CN(curve number)값 등을 이용해 산정된

일 유출량을 토대로 평균표면유출량, 비점원오염량 등을 구할 수 있다. 또한 area-weighted CN법을 적용시킨 모형으로서 토지이용도와 토양도를 이용하여 셀별 CN값과 발생하는 유출체적을 구하고 모든 셀별 유출체적을 모두 더하여 총 유출체적을 구하는 방법이다. 수년간의 기후데이터를 사용해 토지 이용변화에 따른 평균값에 초점을 두고 장기간의 유출 특성을 빠르고 쉽게 평가를 할 수 있다는 장점을 가진다. 그림 2는 ArcView L-THIA extension에서 유출량과 비점원오염량을 산정하는 과정을 보여주고 있다.

Moglen(2000)은 NRCS-CN 기법의 강우 P 대신 상류로부터 유입되는 유량과 강우량의 합으로 수정해야 한다는 제안을 하였다. 즉, 하위 셀로의 총유입량은 상위 셀로부터의 유입량과 해당 하위 셀로 떨어지는 강우량의 합으로 표현할 수 있으며 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$R_d = \frac{[(\sum R_u + P) - I_a]^2}{(\sum R_u + P + S_d - I_a)} = \frac{[(\sum R_u + P) - 0.2S_d]^2}{(\sum R_u + P) + 0.8S_d} \quad (3)$$

여기서 R_d (단위 : pixel-mm)는 특정 셀의 유출량이며 $\sum R_u$ (단위 : pixel-mm)는 모든 인접 상위 셀로부터의 유입량의 합이고 S_d (단위 : pixel-mm)는 특정 셀의 최대 잠재 저류량이다. 즉, 식 (3)의 R_d 는 상류유역으로부터 유입되는 누적유입총량을 pixel-mm단위로 표현하고 있다. 유역 출구 점에서의 R_d 를 유역 내 총 셀의 수로 나누면 이 값은 전체 유역에 대한 각 셀의 R_d 값을 고려해 산정하는 NRCS의 면적평균 유출고(Q)와 같은 개념이 된다. 그러나 가장 중요한 것은 이식을 사용한 경우 유역 출구 점에서의 면적평균 유출

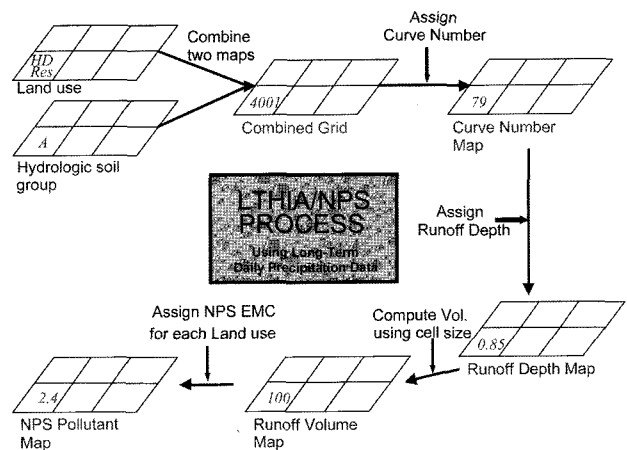


그림 2. L-THIA GIS 개요

량이 유역 내 CN의 공간적 분포에 따라 그 결과가 달라진다는 것이다. 즉, 유역 출구 점에서의 면적 평균 유출고는 공간적으로 다양한 분포를 가지는 토지이용도를 고려한 유역의 최종유출량이 된다.

2.2 산정 알고리즘 개발

본 연구에서 GIS를 이용한 유출량 산정을 위해 개발한 FORTRAN 프로그램은 식 (3)에서 언급한 Moglen(2000)공식을 활용하여 각 셀별 유출량과 유입량을 산정하였으며 대상유역의 DEM을 이용해 흐름의 방향을 나타내는 Flow Direction Map과 흐름의 누적개수인 Flow Accumulation Map을 GIS를 이용하여 산정하였다. 토지이용도와 토양도는 그리드 파일로 변환한 후 산정된 흐름방향 및 흐름누적격자, 그리드로 변환된 토지이용도와 토양도를 Arc/Info를 이용해 ASCII파일로 변환한 후 각 ASCII파일을 본 연구에서 개발한 FORTRAN 프로그램의 입력 자료로 이용하였다. 최종적으로 토지이용도와 토양도를 조합해 격자 단위의 CN값, 최대잠재보류수량 S를 계산하고 흐름방향 및 흐름누적격자를 이용해 최종 유출점에서의 유역 전체에 대한 직접 총 유출량을 산정하였으며 산정과정은 그림 3에 나타나 있다.

3. 연구방법 및 범위

본 연구에서는 유역 내 토지이용분포에 따른 유출특성 변화를 표현할 수 있는 기법을 활용하여 적용 가능성을 분석하였다. 토지이용분포에 따른 유출의 변화를 분석하기 위한 방안으로서, GIS와 Moglen(2000)기법을 활용하였으며 이를 이용해 토지이용분포에 따른 유출량산정프로그램을 개발하고 개발된 프로그램을 이용하여 유출변화 양상을 모의하고, L-THIA GIS 프로그램을 통한 산정결과와 비교분석하였다.

3.1 단순화 가상유역에 대한 적용

간단한 토지이용분포에 대한 예를 통한 유출량 산정 및 유출특성을 검토하여 본 연구결과의 타당성을 개념적으로 검증하였다. 단순화된 가상유역은 아래 그림과 같이 단위 폭의

가상유역을 선정하고 유역의 토지이용도를 단순히 잔디 식생 지역 50%와 포장지역 50%로 구성하되 아래 그림 4와 같이 상류 50%가 식생이며 하류 50%가 포장인 경우(CASE A) 또는 그 반대로 토지이용 분포가 구성된 경우(CASE B) 상·하류 25%씩이 식생지역이며 중류 50%가 포장인 경우(CASE C) 그리고 그 반대로 토지이용 분포가 구성된 경우(CASE D)의 네 가지 경우에 대하여 분석하였다.

분석결과의 비교를 위해서 Area-weighted 기법에 따른 유출량 산정은 L-THIA GIS를 활용하였으며 토지이용의 공간적 분포를 고려한 유출량 산정기법은 본 연구에서 개발된 프로그램을 활용하였다. 해석을 위하여 가상유역은 단위 폭을 가진 100 pixel의 일 방향 흐름이며 강우량은 P는 70mm로 가정하였다. 또한 잔디식생은 CN=78, 포장지역은 CN=98로 가정하였다.

위 그림 5에서 R (pixel-mm)은 상류 셀의 유출량이 누적되어 해당 셀에서 발생하는 최종유출량을 나타내며 유역으로부터의 총 유출 체적은 R과 1개 셀의 면적을 곱하여 구할 수 있다. 또한 Q (mm)는 해당 셀의 유출량에 영향을 미치는 상류 셀 개수와 해당 셀의 합으로 나눈 셀별 평균 유출 고로써 Q와 유출 점 상류의 셀의 개수를 곱함으로써 R값을 구할 수 있다.

L-THIA 등 과거의 NRCS-CN기법을 적용하여 산정한 R값을 나타낸 그림 5(a)와 Q값을 나타낸 그림 5(c)를 보면 유출점(100번째 pixel)에서의 유출량이 네 가지 경우 모두 동일하게 R = 4424.31 pixel-mm, Q = 44.24 mm를 나타내고 있어 공간적 토지이용 분포변화에 따른 유출을 실제와 동일하게 모의하지 못하고 있음을 알 수 있다. 그러나 그림 5(b)와 그림 5(d)에서 보는 바와 같이 본 연구에서 개발한 프로그램의 경우 Case A의 최종유출량은 3376.02 pixel-mm, Case B는 2479.20 pixel-mm, Case C는 2992.29 pixel-mm, Case D는 2576.63 pixel-mm로 나타났으며 최종유출총량에 대한 과거의 NRCS-CN기법과 본 연구결과에 대한 비교는 아래 표 1과 같다.

표 1에서 보는 바와 같이 과거의 NRCS-CN기법을 적용하여 산정한 유출량과 본 연구결과는 크게는 44%까지 차이를 보이고 있어 NRCS-CN기법의 유출량산정에 대한 개념적 재

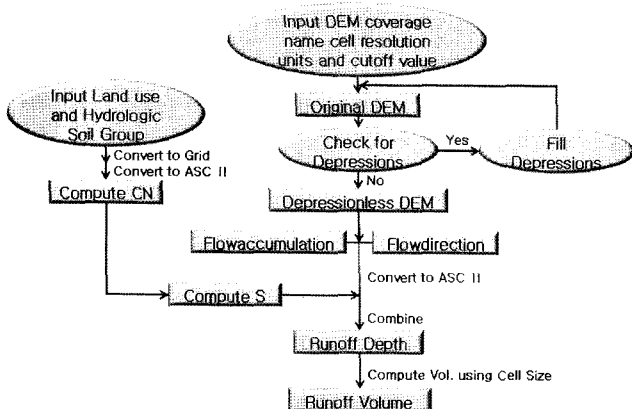


그림 3. 본 연구 유출량 산정 알고리즘

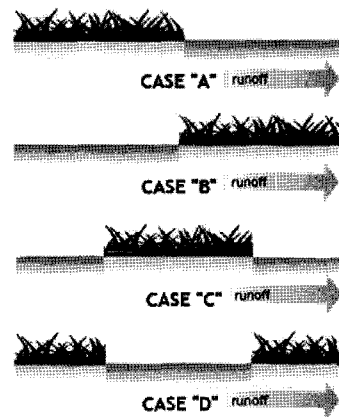
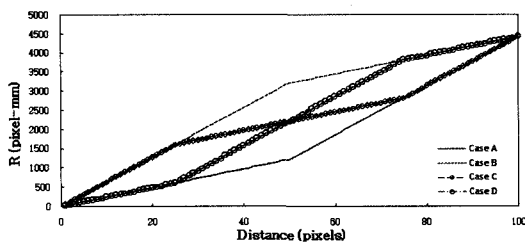
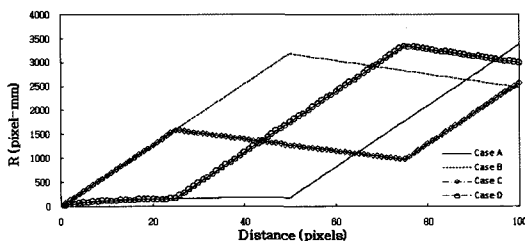


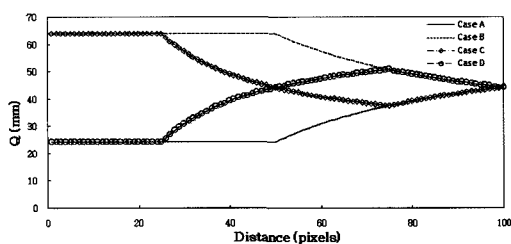
그림 4. 가상유역 토지이용 분포도



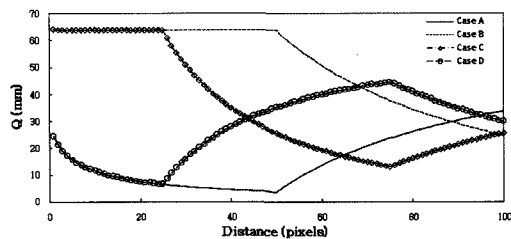
(a) R 산정결과 (L-THIA GIS)



(b) R 산정결과 (본 연구 결과)



(c) Q 산정결과 (L-THIA GIS)



(d) Q 산정결과 (본 연구 결과)

그림 5. 기상유역에 대한 기법별 유출량 산정결과

표 1. L-THIA와 본 연구의 유출량(R) 비교

	L-THIA (pixel-mm)	본 연구 (pixel-mm)	비율 (%)
Case A	4424.31	3376.02	76.3
Case B		2479.20	56.0
Case C		2992.29	67.6
Case D		2576.63	58.2

접근이 필요함을 확인할 수 있다. 또한 본 연구에 의하면 Case B와 Case A는 약 27%의 차이를 나타내고 있어 최종 유출량만을 고려할 경우 동일한 비율의 토지이용도를 가진다 하더라도 공간적으로 어떻게 토지이용분포를 배치하는가에 따라 유역으로부터의 유출량은 추가적인 우수관리시설 없이 유출량을 많이 감소시킬 수 있음을 알 수 있다. 뿐만 아니라

표 2. 시험유역의 지형학적 특성

유역	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	유역평균폭 (km)	형상계수 (A/L ²)	유역 평균경사
경산	3.82	2.89	1.33	0.463	7.23
중랑천	299.6	31.17	8.06	0.480	8.80

그림 5(b)와 그림 5(d)에서 보는 바와 같이 식생지대를 지나 는 동안 R값이 감소하는 경향을 나타내고 있어 정량적인 검증은 현재 곤란하지만 정성적으로는 본 연구결과가 실제상황 과 유사한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이상의 유출 예측 결과는 일반적인 유출현상에서 쉽게 예측할 수 있는 결과와 개념적으로 잘 일치되며 area-weighted CN기법이 재현 할 수 없는 유출특성을 잘 나타내고 있음을 보여주고 있다. 또한 Case A, B, C, D의 1부터 100 pixel 번째까지의 R 또는 Q값의 크기를 보면 유역 내에 저류지를 설치할 경우 어느 지점에 설치하는 것이 가장 효율적인가를 예측할 수도 있어 본 연구의 활용도는 예상외로 다양할 것으로 판단된다.

3.2 실제유역 적용 및 비교검토

가상유역에 대한 적용에 이어 본 연구결과를 시험유역에 적용하여 본 연구결과와 실제유역에 대한 적용 가능성을 검토하였다. 시험유역의 선정기준은 도시화된 유역 또는 도시화 가 진행되고 있는 유역인 동시에 현장 접근성과 실측치와의 비교분석이 가능한 유역을 선정하였다. 유역면적 또한 중요한 고려대상으로 본 연구에서는 위 조건을 만족하면서 유역면적이 비교적 작은 경산유역과 유역면적이 상대적으로 큰 중랑 천 유역을 대상유역으로 선정하였다.

유역으로부터의 총 유출량 산정결과를 비교 검토하기 위하여 본 연구에서 개발한 프로그램을 적용하여 산정한 유출량 과 L-THIA (Grove 등, 2001)를 동일 시험유역에 적용한 윤 라영 등(2006)의 연구결과와 비교하였다. 표 2는 시험유역에 대한 지형학적 특성을 요약한 것이며 그림 6-9는 시험 유역의 토지이용도 및 토양도이다. 그림 10은 경산시험유역 의 강우량 및 유출량 실측치를 중심으로 대상강우와 강우 시 추정 유출수문곡선을 타나내고 있다. 그림 11은 중랑천 유역 의 강우 및 실측 유출수문곡선이다.

표 3, 표 4는 본 연구와 L-THIA 그리고 실측 유출총량에 대한 비교결과이다. 경산유역의 경우 유역면적 4km² 미만의 소유역으로 도시화가 진행되고 있는 유역이다. 대상 강우에 대한 실측유출량이 본 연구나 L-THIA 예측결과보다 작게 나 타났으며 본 연구는 실측치와 5.8%의 오차를 보이고 있는 반면 L-THIA의 경우 11.2% 이상의 오차를 보이고 있음을 알 수 있다. 또한 중랑천 유역의 경우 유역면적 약 300km² 의 중규모 이상의 서울시 중심부에 위치한 도시유역으로 본 연구는 실측치보다 약 18.4% 작게 나타났으나 L-THIA의 경우 11.6% 크게 나타났다. 이 두 유역에서 나타나는 다소 상반된 비교결과는 여러 이유로 해석이 가능하다. 첫 번째, 본 연구와 L-THIA는 모두 도시지역의 배수관망을 고려치 않은 모델특성상 도시유역에 적용할 경우 오차는 필연적으로

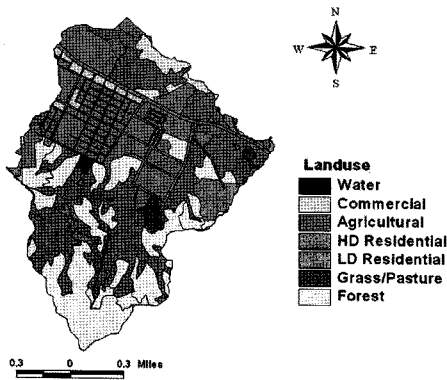


그림 6. 경상유역 토지이용도

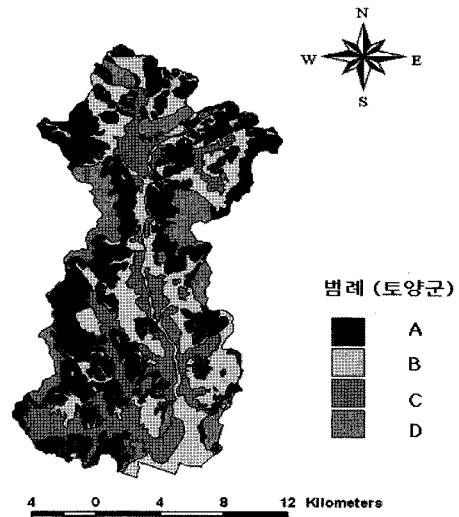


그림 9. 중랑천유역 토양도

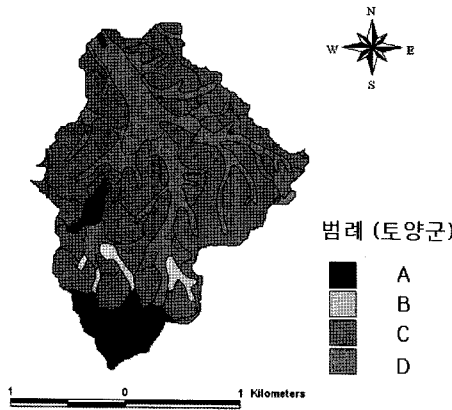


그림 7. 경상유역 토양도

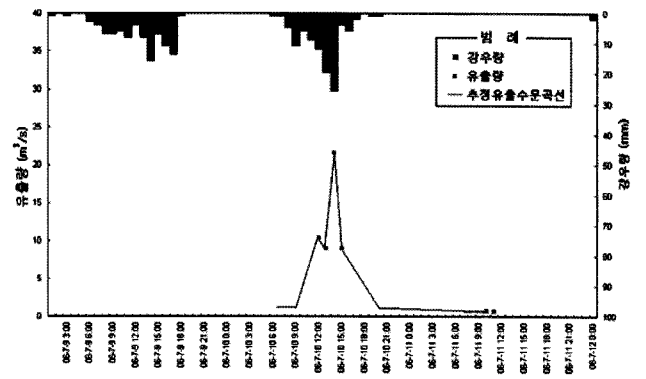


그림 10. 경상유역 유출량 산정 대상 강우 및 유출수문곡선 (2006년 7월 9일-11일)

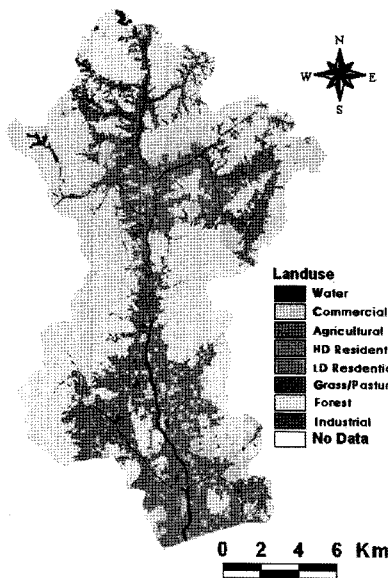


그림 8. 중랑천유역 토지이용도

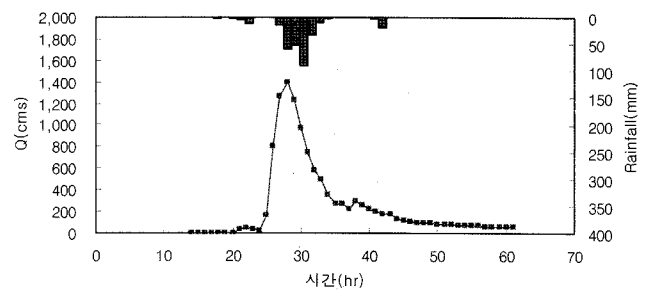


그림 11. 중랑천유역 유출량 산정 대상 강우 및 유출수문곡선 (2001년 7월 14일-15일)

표 3. 경상유역에 대한 유출량 산정결과 및 비교검토

	실측	본 연구	윤 리영 등(2006)
유출량 (m ³)	253,422	268,203	281,902
실측치에 대한 비율 (%)	100	105.8	111.2

발생한다. 두 번째, 본 연구에서 적용한 이론 및 개발된 기법은 유출경로 상의 지표면 상태에 따라 저류를 허용하고 있으나 도시유역의 경우 배수관망을 통한 배수로 사실상 배수관로 유입 후 저류가 불가능한 점 또한 실측치와의 비교 검토에서 고려해야할 사항이다.

이러한 이유로 중규모 또는 대규모 유역에 비해 관망의 영향이 작게 미치는 소유역에 대한 본 연구기법의 적용성이

토지이용 분포를 고려한 유출량 산정기법

뛰어날 것으로 기대된다. 따라서 경상유역의 경우와 중랑천유역의 규모로 볼 때 경상유역에 대한 적용성이 더 우수할 것으로 예상할 수 있으며 아래 표 3과 표 4에 나타난 결과도 예상과 동일하다. 그러나 이러한 정성적인 해석 외에도 정량

표 4. 중량천유역에 대한 유출량 산정결과 및 비교검토

	실측	본 연구	윤 라영 등(2006)
유출량 (m ³)	41,678,879	34,022,940	46,501,174
실측치에 대한 비율 (%)	100	81.6	111.6

적인 분석을 위해서는 본 연구기법 적용성이 우수한 유역의 범위나 도시화 정도에 대한 보다 심층적인 추가적 연구가 요구된다.

4. 결 론

본 연구에서는 종래의 NRCS-CN 기법을 이용한 Area-Weighted CN기법이 재현하지 못하던 유역 내 토지이용의 공간적 분포특성에 따른 유출량 산정기법을 개발하고자 저류를 허용하는 Moglen 이론을 이용하고 GIS상에서 일반유역에 적용 가능한 알고리즘을 개발하였다. 개발된 기법을 이용하여 가상유역에 대한 유출변화 양상을 모의하고, 현재 유출량 산정 시 이용되고 있는 Area-Weighted CN기법과 정성, 정량적인 비교분석을 실시하였다. 본 연구결과는 공간적 토지이용 변화에 따른 유출량의 변화가 개념적으로 실제의 물리적 현상과 잘 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

또한 실제유역에 대한 적용 가능성 확인을 위하여 실측자료를 보유하고 있는 경산유역과 중량천 유역에 종래 기법과 본 연구에서 개발한 기법을 적용하여 실측된 유출특성과 비교분석하였다. 그 결과 현재 직접유출량 산정 시 이용되고 있는 area-weighted CN기법은 공간적 토지이용분포변화를 반영한 유출특성을 나타내지 못하는 오류를 범하고 있음을 재확인할 수 있었다. 반면, 본 연구는 CN값의 공간적 분포특성을 개념적으로 잘 반영하고 있음을 확인할 수 있었으나 두 기법 모두 도시화유역의 특성인 배수관망을 고려치 않고 있어 도시화 유역에 대한 적용성 범위에 대한 추가적 연구가 요구된다. 아울러 본 연구결과는 유출의 효율적 조절을 위한 저류지 최적 위치 선정에도 적용할 수 있음을 확인하였다.

본 연구는 전 유역에 걸친 유출총량 산정에 대한 연구로써 공간에 따른 유출변화는 고려하고 있으나 시간에 따른 유출 변화는 고려하지 못하고 있다. 따라서 본 연구결과의 실무적 활용을 위해서는 시간에 따른 유출변화도 산정할 수 있는 추가적 연구가 요구된다. 또한 유역면적 및 도시화에 따른 적용 신뢰도 향상 또는 보정계수 개발에 대한 추가적 연구가 추후 필요한 것으로 사료된다

이상의 연구결과는 유역개발에 따른 수문학적 변화를 최소

화하거나 토지이용의 공간적 재배치에 따른 효율적 치수는 물론 수자원확보 등 유역수문환경을 최적화 시킬 수 있는 설계에 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

This research was supported by the Yeungnam University research grants in 2004.

참고문헌

- 김경탁 (2003) 정밀도양도를 이용한 CN 산정에 대한 제안. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제36권, 제4호, pp. 45-53.
- 김현식, 오윤근, 윤연중, 김한준 (2004) GIS 기법을 활용한 유출곡선지수(CN) 산정. 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 221-221
- 배덕효, 이병주, 정일원 (2003) 위성영상 피복분류에 대한 CN값 산정(I). 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제36권, 제6호, pp. 985-997.
- 윤라영, 손광의, 김동희, 권혁현, 신승철 (2006) GIS L-THIA를 이용한 도시화에 따른 유출과 비점원오염 영향 평가. 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 1802-1806.
- 채중훈, 정인주, 김상용 (2004) GIS를 이용한 CN 산정시스템 구축. 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 223-223.
- Grove, M., J. Harbor, B.A. Engel, and S. Muthukrishnan (2001) Impacts of Urbanization on Surface Hydrology, Little Eagle Creek, Indiana, and Analysis of LTHIA Model Sensitivity to Data Resolution. *Physical Geography*, Vol. 22, pp. 135-153.
- Moglen, G. E. (2000) Effect of Orientation of Spatially Distributed Curve Number in Runoff Calculations. *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 36, No. 6, pp. 1391-1400.
- Tang, Z., B.A. Engel, B.C. Pijanowski and K.J. Lim (2005) Forecasting Land Use Change and its Environmental Impact at a Watershed Scale. *Journal of Environmental Management*, Vol. 76, pp. 35-45.
- United States Department of Agriculture (1986) *Urban Hydrology for small watersheds*. Natural Resources Conservation Service Technical Release 55.
- USDA (1986) *Technical Report - 55 'Urban Hydrology for Small Watersheds'*. Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture.

- ◎ 논문접수일 : 2007년 08월 13일
- ◎ 심사의뢰일 : 2007년 08월 14일
- ◎ 심사완료일 : 2007년 11월 21일