

# 고해상도 위성영상을 이용한 도시유역의 소강우 유출해석 Runoff Analysis for Weak Rainfall Event in Urban Area Using High-Resolution Satellite Imagery

김진영<sup>†</sup> · 안경진  
Jin-Young Kim<sup>†</sup> · Kyoung-Jin An

도쿄대학교 도시공학과  
Department of Urban Engineering, The University of Tokyo

(2010년 10월 22일 접수, 2011년 6월 26일 채택)

**Abstract :** In this research, enhanced land-cover classification methods using high-resolution satellite image (HRSI) and GIS in terms of practicality and accuracy was proposed. It aims for understanding non-point pollutant origin/loading, assessment the efficiency of rainfall storage/infiltration facilities and sounds water-environment management. The result of applying enhanced land-cover classification methods to the urban region verifies that roof and road area are including various vegetations such as roof garden, flower bed in the median strip and street tree. This accounts for 3% of total study area, and more importantly it was counted as impervious area by GIS alone or conventional indoor work. The feasibility of the method was assessed by applying to rainfall-runoff analysis for three weak rainfall in the range of 7.1-10.5 mm events in 2000, Chiba, Japan. A good agreement between simulated and observed runoff hydrograph was obtained. In comparison, the hydrograph simulated with land-use parameters by the detailed land-use information of 10m grid had an error between 31%~71%, while enhanced method showed 4% to 29%, and showed the improvement particularly for reproducing observed peak and recession flow rate of hydrograph in weak rainfall condition.

**Key Words :** Urban Area, High-Resolution Satellite Imagery, Landuse Classification, Weak Rainfall

**요약 :** 본 연구에서는 도시 비점오염물질의 퇴적과 배출특성의 파악, 우수저류/침투 시설의 계획과 효율평가, 건전한 도시의 물환경관리 등의 관점에서, 고해상도 인공위성과 GIS를 병용한 도시내 상세 토지이용분류 방법을 제안하였다. 제안된 방법을 적용하여 도시유역을 네 종류의 지표면으로 분류하였으며, 기존의 실내조사방법이나 GIS만을 이용한 방법으로는 불투수면으로 파악되었던 전체 유역면적의 3%에 달하는 건물옥상이나 도로의 중앙분리대에 조성된 화단 등을 투수면으로 분류하였다. 강우유출모의의 정확도 향상에 있어서 토양피복별 분포 및 면적의 차이가 미치는 영향을 파악하기 위해, 추출된 각 토양피복에 강우손실 파라미터를 설정하여, 총강우량 7.1~15.0 mm의 강우사상에 대한 강우유출해석을 실시하였다. 기존의 10m 격자의 세밀토지이용 정보에 의한 토양피복 분류결과를 이용한 강우유출 해석에서는 관측유량과의 오차가 31~71%이었던 것이, 제안된 토양피복 분류기법을 이용한 강우유출 해석에서는 그 오차가 4~29%로 향상되었으며, 특히 강우규모가 적을 때의 유출수문곡선의 첨두유량과 유량증감부 등의 유출특성에 대한 재현성에 있어서 향상된 결과를 나타내었다.

**주제어 :** 도시유역, 고해상도 위성영상, 토지이용분류, 소규모강우

## 1. 서론

도시유역에서의 강우유출해석의 목적은 1)잠재적 홍수위험의 파악, 2)우수와 함께 배출되는 유해물질의 발생량과 배출특성의 파악,<sup>1,2)</sup> 3)강우에 의한 토양침식이나 해충의 번식 등 도시환경에의 영향파악,<sup>3,4)</sup> 등으로 정리할 수 있다. 이 중 1)은 일반적으로 설계강우에 따른 수문학적 홍수량 산정을 통해 수공구조물의 설계나 홍수위험도평가 등을 주요 목적으로 하는 가장 보편적인 강우유출해석이다. 반면, 2)와 3)의 경우, 수문학적 요소 이외에 환경, 생태 등의 다양한 목적에 따른 추가적인 정보를 필요로 하며, 유출량의 최대치가 의미 있는 정보로 간주되는 1)에 비해, 분석대상의 특성에 따라 전체적인 유출특성의 파악이 중요시 된다. 최근 비점오염원의 발생량과 배출특성의 파악, 건전한 물

환경의 구축, 지속가능한 수자원 확보 등을 위한 다양한 대책과 정책들이 계획 및 시행되고 있는 가운데, 2)와 3)을 목적으로 하는 강우유출해석의 필요가 증대되고 있다.

환경관련 유출해석을 성공적으로 수행하기 위해서는 소규모 강우나 강우의 초기와 같이 첨두유출유량(peak runoff flow)에 비해 상대적으로 적은 유출유량에 대한 모의의 정확도를 확보할 필요가 있다. 왜냐하면, 우수저류/침투시설과 같은 환경관련 시설들은 강우유출의 초기단계에서부터 정확한 유출특성의 모의가 수행되지 않으면 해당 시설에 대한 타당한 설계계획 및 효율성평가가 곤란하기 때문이다. 또한, 고농도 오염물질의 유출을 동반하는 초기우수유출(first flush) 해석<sup>5)</sup>에 있어서 유량에 대한 모의의 정확도는 오염물질의 농도 및 부하량 추정에 직접적인 영향을 끼치기 때문이다. 도쿄도(東京都)의 경우, 1961~2005년의 기간

<sup>†</sup> Corresponding author E-mail: gamnamuu@gmail.com Tel: +81-3-5841-6248 Fax: +81-3-5841-8536

에 발생한 강우사상(rainfall event)중에 총강우량 10 mm 이하의 강우사상이 70% 이상의 비율을 차지하고 있어, 적은 강우유출조건에 대한 해석의 정확도향상이 요구되고 있다.<sup>6)</sup>

그러나 소규모 유출량 조건하에서의 강우-유출해석의 필요성에도 불구하고, 아직 그 해석의 정확도는 높지 않은 실정이다. Fig. 1은 일본 도쿄도 오이즈미(大泉)지역에서의 우수침투시설 설치에 따른 지하수충전 및 오염물질의 유출저감효과를 분석한 예로서, 강우초기의 돌발적인 침투유량이 적절히 모의되지 못하고 있음을 나타내고 있다.<sup>7)</sup>

적은 유출량에 대한 해석의 정확도가 개선되지 못한 이유로서, 해석모델의 계산정밀도와 강우량 및 유량 관측기기의 측정정밀도의 한계, 토지피복별 유효강우 산정을 위해 활용 가능한 토지이용 데이터의 부족 등을 지적할 수 있다. 이러한 문제점들은 컴퓨터성능의 발달에 따른 강우유출해석모델의 정확도향상, 관측기기의 측정 정밀도의 향상, 그리고 지속적인 GIS 데이터의 구축 및 갱신에 따른 상세 토지이용데이터의 확충 등으로 많은 부분이 해결되었다.

그러나, GIS 데이터가 강우유출해석에 최적화된 토양피복에 관한 정보를 제공하지는 않으며, 건물과 도로 등의 불투수면(impervious area)에 관한 정보획득에는 유용한 반면, 식생이나 토양 등의 투수면(pervious area)에 관한 정보의 획득에는 그 한계가 있다.

인공위성 영상자료를 이용한 식생과 토양의 추출기법은 GIS 데이터를 이용한 토지이용분류의 한계를 극복하기 위한 좋은 보조수단이 될 수 있다. SPOT(공간해상도: 5~10 m)이나 LANDSAT(공간해상도: 7~15 m)과 같은 기존의 중해상도 위성영상은 도시내 식생 및 토양분포의 판독을 위해 필요로 하는 1~5 m의 공간해상도 조건을 충족할 수 없었지만,<sup>8,9)</sup> 1 m급 공간해상도를 갖는 위성영상의 제공이 가능한 IKONOS의 발사를 계기로, QuickBird나 GeoEye 등의 다양한 고해상도 위성영상의 이용이 가능하게 되었다.

본 연구에서는 강우사상별, 토지용도별 우수 및 오염물질의 유출특성 파악이나 유역자료정비에 관한 연구<sup>10-13)</sup> 등에 향상된 유량추정방법의 제공을 전제로, 소규모 유출유량 조건하에서의 강우유출해석의 정확도 향상을 그 목표로

하였다. 이를 위해, 불투수면과 투수면에 대한 분류방법의 개선을 통해 지표면 유출량 산정의 정확도향상을 도모하였다. 특히, 식생과 토양 등의 도시내에 복잡하게 분포하고 있는 투수면의 분포를 파악하기 위해서 고해상도 위성영상의 활용을 검토하였으며, 고해상도 위성영상과 GIS 데이터를 병용한 토지이용분류방법을 체계화하였다.

## 2. 연구 대상지역

일본 치바시(千葉市)의 56.2 ha의 배수유역을 연구의 대상지역으로 선정하였다. 대상유역은 단독 주택이 밀집되어 있는 전형적인 주택가에 위치하고 있으며, 대규모 공원과 학교 등의 비교적 넓은 투수면도 혼재하고 있다. 또한, 유역의 하수관거 말단에서 유량계측이 실시되고 있어, 강우유출해석의 결과검증이 용이한 지역이다. Fig. 2는 대상유역의 IKONOS 위성영상을 나타내고 있다. 이 지역은 합류식지역으로 설치된 관거의 제원 및 유역의 개요를 Table 1에 정리하였다.

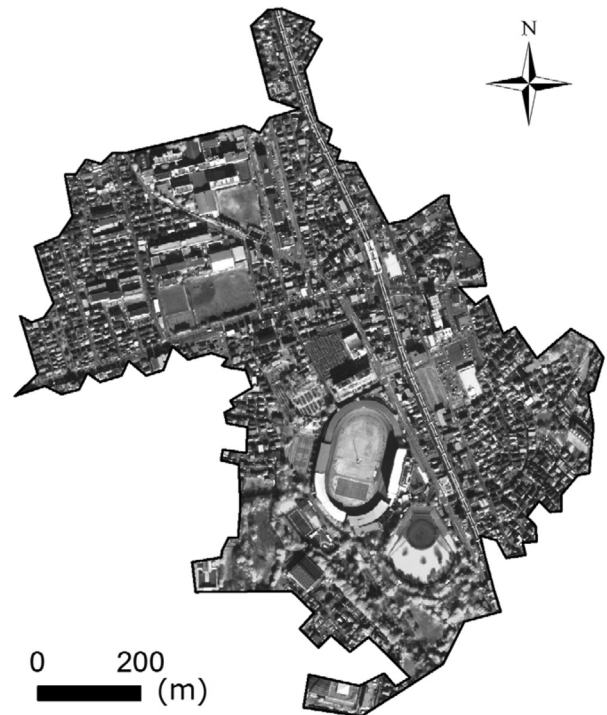


Fig. 2. IKONOS satellite image of study area.

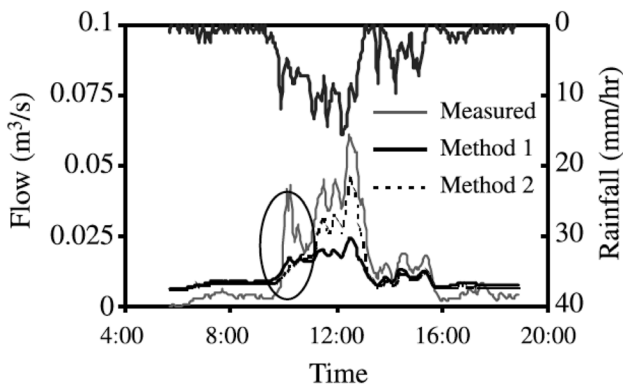


Fig. 1. Illustration of disagreement between measured and simulated flowrate in initial period of stormwater runoff.

Table 1. Brief overview of drainage system

Item	Value
drainage area	56,2 ha
population	5,518
total length of pipes	15,814 m
range of pipe diameter	200~1,200 mm
number of manholes	325

### 3. 이용 자료와 연구의 방법

#### 3.1. 이용 자료

##### 3.1.1. GIS 데이터

대상구역의 GIS 데이터는 2003년 갱신된 젠린사(Zenrin社)의 Zmap TownII의 치바시 데이터셋을 이용하였다. 젠린의 데이터는 자세한 속성정보를 포함하지 않는 폴리곤정보만을 이용하여 건물지붕과 도로의 면적을 계산하였다.

##### 3.1.2. 고해상도 인공위성 데이터

본 연구에 사용된 IKONOS 위성의 개요는 태양동기궤도에서의 고도 681 km, 궤도기울기는 98.1도이며, 주기는 3일이다. 미국 GeoEye사(구 Space Imaging사)가 세계최초로 상업용 1 m급 고해상도 위성영상을 제공하고 있다. 전정색영상(Panchromatic image)의 공간해상도는 1 m이고, 4 m의 다중분광영상(Multi-spectral image)의 획득도 가능하다. 다중분광영상은 가시광선 영역의 3밴드(청색, 녹색, 적색)와 근적외선 영역의 1밴드 등 총 4종류의 밴드에 지표면에서 반사된 빛의 강도를 수록한다.

분석에 사용된 영상자료의 촬영(데이터획득) 일시는 2003년 12월이다. 1 m 공간해상도로 처리된 다중분광영상을 이용하였으며, 위성영상의 메타데이터에 관한 정보를 Table 2에 정리하였다.

##### 3.1.3. 강우 및 유량 자료

2000년 1월 1일부터 12월 31일까지 1년간 관측된 5분 간격 강우자료를 이용하였다. 기록된 모든 강우자료로부터 선행강우(antecedent rainfall)가 6시간 이상 발생하지 않았을 경우를 독립된 강우사상으로 정의하여 총 64강우사상을 추출하였다. 강우사상별 총강우량(Total rainfall)과 최대강우강도(Maximum rainfall intensity) 특성을 이용하여 강우유출해석에 사용할 대상강우를 선정하였으며, 선택된 대상강우는 다음과 같다.

1) 지표면 손실량을 초과하여 하수관거를 통한 유출이 발생하는 최소 강우량을 갖는 강우사상 그룹 중에서 3월 4일의 강우를 선택하였다.

2) 비교를 위해, 3월 4일의 강우보다 총강우량과 최대강우강도 면에서 규모가 큰 두 강우사상을 추가로 선택하였다(6월 17일 강우와 4월 28일 강우).

64 강우사상들의 총강우량과 최대강우강도에 대한 분포를 Fig. 3(a)에 나타내었고, 총강우량과 최대강우강도의 구간별 연간 발생빈도를 Fig. 3(b)에 나타냈다. 그리고, 분석에 사용된 세 강우사상을 Fig. 3의 (a)와 (b)에 함께 표시하였으며, 그 특성을 Table 3에 정리하였다.

유량자료는 일본국토교통성이 대상구역 말단의 맨홀에서 강우자료와 동일한 기간에 관측한 5분 간격 유량 데이터를 이용하였다.

본 연구에서는 1998년과 2003년 사이에 치바현 주택면적의 변화가 3% 미만인 것으로부터,<sup>14)</sup> 강우 데이터(2000년 획득 후, 2003년까지의 토지이용의 변화는 무시하였다.

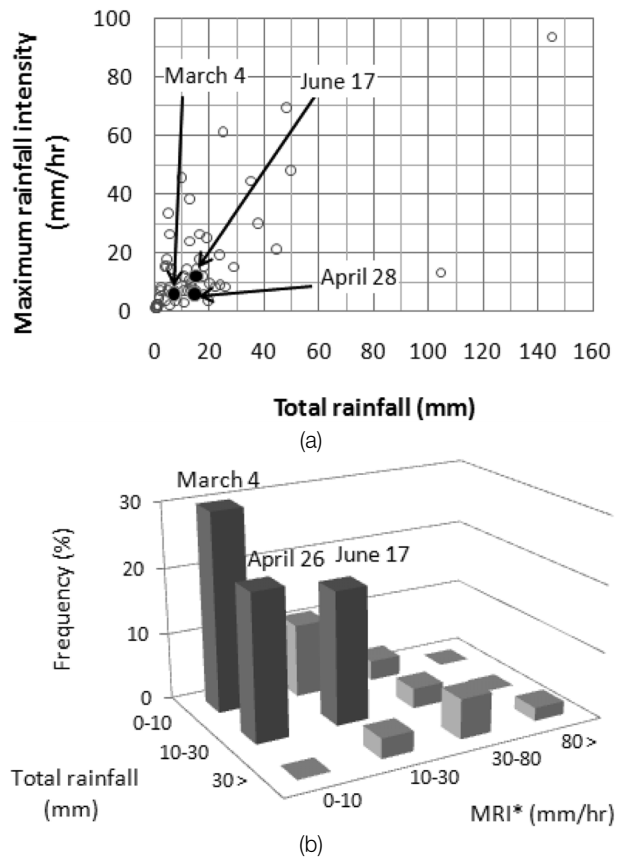


Fig. 3. A distribution of total rainfall and maximum intensity of the whole rainfall event during 2000 (a) and their occurrence frequency (b) (\*MRI refers to maximum rainfall intensity).

Table 2. Metadata of IKONOS satellite image used in the study

Item	Feature
Processing Level	Orthorectified, TOA <sup>a</sup>
Interpolation Method	Cubic Convolution
Multispectral Algorithm	Projective
MTFC <sup>b</sup> Applied	Yes
DRA <sup>c</sup> Applied	No
Stereo	Mono
File Format	GeoTIFF (11bits/pixel/band)

<sup>a</sup>TOA : Top Of Atmosphere

<sup>b</sup>MTFC : Modulation Transfer Function Compensation

<sup>c</sup>DRA : Dynamic Range Adjust

Table 3. Description of rainfall used for the rainfall runoff simulation

Event	Duration time (min)	Total rainfall (mm)	Maximum intensity (mm/hr)
March 4	290	7.1	6
April 26	1405	14.6	6
June 17	890	15.0	12

### 3.2. 강우유출해석을 위한 토지이용분류체계

#### 3.2.1. 일본의 토지이용분류체계

강우유출해석에 사용되는 토지이용의 기본분류체계는 대상유역을 토지피복별 강우손실의 특성에 따라 불투수면과 투수면으로 분류하는 것이 가장 일반적이며, 필요에 따라 세분화된 토지피복별 유출과파라미터를 설정하기도 한다.

일본국토지리원의 10 m 격자의 상세토지이용정보(Detailed landuse information of 10 m grid) 데이터는 일본에서 토지이용분류를 위해 사용되는 가장 일반적인 자료이다. 이 데이터는 10 m × 10 m의 격자마다 15종류의 토지이용에 대한 정보를 텍스트와 TIFF파일 형식으로 제공한다.

이 데이터는 10 m 격자에 대한 토지이용정보를 제공하기 때문에 각 격자내부의 상세한 토양피복구조를 알 수 없다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여, Hijioka et al.<sup>15)</sup>은 부지조성을 위한 건폐율 등의 관련 기준을 조사하여, 각 토지이용에 대한 건물지붕, 도로, 침투면의 비율을 설정하는 방법을 제안하였다. 설정된 비율의 적용성 및 유효성은 현장조사와 강우유출해석을 통해 검증되었다. 10 m 격자에 대한 토지이용정보 데이터의 각 토지이용항목에 대한 건물지붕, 도로, 침투면의 비율을 Table 4에 정리하였다.

#### 3.2.2. 개선된 토지이용 분류체계

본 연구에서는 토지피복별 분포 및 면적 산정의 차이가 우수유출해석에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 기존의 우수유출해석에 필요한 토지이용 분류체계를 따라, 대상유역을 식생과 토양의 투수면과 건물지붕과 도로의 불투수면으로 하여 분류하였다. 단, 불투수면 혹은 투수면으로 명확히 분류가 불가능한 토양피복에 대해서는 반투수면의 항목을 추가하여 분류하였다.

Table 4. Ratio of roof, road and pervious area for each grid of detailed landuse information

Landuse	Roof	Road	Pervious area
Forest	0	0	100
Paddy field	0	0	100
Crop field	0	0	100
Developed land	0	0	100
Vacancy land	40	30	30
Industrial area	40	10	50
House I <sup>a</sup>	50	10	40
House II <sup>a</sup>	85	5	10
House III <sup>a</sup>	60	10	30
Commercial area	90	10	0
Road	0	100	0
Park	0	0	100
Public establishment	60	30	10
River and lake	-	-	-
Sea	-	-	-

<sup>a</sup> house I, II, and III stand for low-rise apartment, low-rise apartment in density built-up, high-rise apartment, respectively.

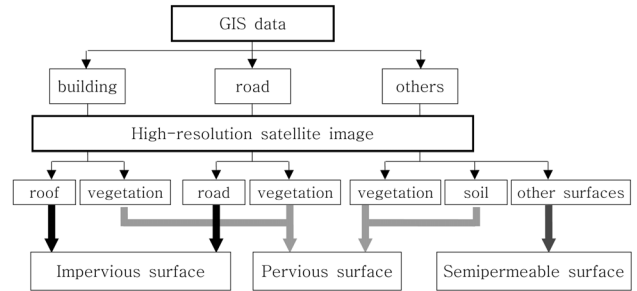


Fig. 4. A scheme of landuse classification for rainfall-runoff analysis.

GIS와 고해상도 위성영상을 이용한 도시내 토지이용분류 방법에 대한 분류 순서와 내용을 Fig. 4에 정리하여 나타내었으며, 그 구체적인 내용은 다음과 같다.

#### (1) 불투수면의 분류

건물지붕과 도로의 분류를 위해서 건축물 및 도로현황에 관한 GIS 데이터를 이용하였다. 이들 GIS 데이터에 의해 분류된 건물지붕과 도로는 인공위성에 의해 판독된 식생의 아래에 분포한다는 가정 하에, 위성영상을 통해 추출한 식생 분포를 지붕과 도로의 레이어 위에 중첩하여 중첩된 면적을 제거한 후, 각각의 면적을 산출하였다.

#### (2) 투수면의 분류

불투수면의 정보는 건축물대장 등의 전산화로 GIS 데이터로부터 쉽게 파악이 가능하지만, 토양과 식생으로 이루어진 도시내 투수면은 그 분포나 면적 등의 전산화가 대상유역에 대해서 이루어 지지 않고 있기 때문에, 투수면의 분류에 고해상도 인공위성을 이용하여 식생과 토양의 추출을 실시하였다.

#### 식생의 추출

고해상도 인공위성 영상으로부터 식생을 추출하기 위해서 식생지수(Vegetation Index)를 사용하였다. 위성영상은 지표면으로부터 반사되어 온 정보를 파장대(wavelength range) 별로 IKONOS 등의 고해상도 인공위성영상의 경우 4 개의 밴드에 나뉘어서 수록하고 있다. 식생은 근적외선 영역의 파장대에 대해 높은 반사율을 보이는 반면, 적색의 가시광선 영역에 대해서는 높은 흡수율을 보인다. 이러한 특정 파장대에서의 반사율의 상대적인 관계를 식으로 표현하여 식물의 반사특성을 규정한 것이 식생지수인데, 이 중, 가장 대표적인 식생지수가 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)이다. 이밖에도 배경토양이나 대기에 의한 간섭을 줄이기 위한 SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index), ARVI (Atmospheric Resistant Vegetation Index) 등 NDVI를 보완한 여러 식생지수들이 개발되었다. 하지만, 이러한 식생지수들을 이용하여 다른 토양피복과 구분되는 최적의 식생영역을 추출하기 위해서는, 원격탐사에 관한 전문지식이 필요하고, 식생과 다른 요소들을 구분하기 위한 역치(threshold value)의 결정은 광범위한 검증데이터를 필요로 하는

데, 이는 복잡한 지표면 구조를 가지는 도시지역에서는 거의 불가능하다. 본 분석에서는 식생의 활성도나 생체량 등의 정보보다는 식생자체의 존재여부 파악에 특화된 GBI (Green Bias Index)를 이용하였다. GBI는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$GBI = (NIR-G) / (NIR-R) \quad (1)$$

여기서, NIR은 근적외선 파장대에서의 반사율, G는 녹색 가시광선 영역에서의 반사율, R은 적색 가시광선 영역에서의 반사율을 나타낸다.

식생은  $0 < GBI < 1$ 의 범위로 정의하는데, 이러한 역치설정 불필요함과 더불어 GBI는 도시내 상세 식생추출에 다음과 같은 이점을 가진다.<sup>16)</sup>

- 기존의 식생지수로는(NDVI, SAVI, ARVI 등) 식별이 불가능 했던 단일 처리된 지붕(특히, 적색 혹은 청색 계열로 도색된 지붕)의 높은 식별능력(식별 오차가 0.2% 이내)
- 식생의 실제분포면적에 대한 위성영상의 공간해상도 이하의 추출오차(IKONOS의 경우 1 m 이하)
- 광범위한 시기의 영상에 대한 폭넓은 적용성(연녹색의 앞에서 탈색 전까지의 앞에 적용가능)

토양의 추출

도시내에 분포하는 토양은 학교 운동장이나 공원 내 일부 공터 등으로 한정되어 있으며, 이들은 쉽게 고해상도 위성영상의 목시판독을 통해 다른 토양피복과 쉽게 구분이 가능하다. 하지만, 본 연구에서는 위성영상데이터를 이용한 자동적인 토양의 추출을 모색하였다. 토양의 복잡한 구성성분과 습윤 조건 등으로 인해 인공위성데이터로부터 토양을 정확히 추출하는데 있어서의 한계를 극복하기 위해 의사결정나무모형(Decision tree model)과 토양의 분광특성을 이용한 방법을 병용하였다. 그 방법으로는 식생, 도로, 건물지붕의 분류를 실시한 후, 나머지 영역에 대한 인공위성 영상내의 픽셀(pixel)에 대해서 다음조건을 만족하는 영역을 토양으로 정의하여 추출하였다.<sup>17,18)</sup>

$$B - NIR < 300 \quad (2)$$

여기서, NIR은 근적외선 파장대에서의 반사율, B는 청색 가시광선 영역에서의 반사율을 나타낸다. 이 식은 청색파장대에서의 높은 반사율과 근적외선 파장대에서의 낮은 반사율을 갖는 토양의 분광특성을 이용하여 제안되었다.

(3) 반투수면의 분류

고해상도 위성영상과 GIS데이터를 이용하여 식생, 토양, 건물지붕, 도로의 분류를 실시 한 후, 해당분류항목에 포함되지 않는 영역에 대해서 기타지역으로 분류 하였다. 현장 조사와 고해상도 위성영상을 이용한 목시판독을 통해 이들 기타지역에 대한 피복특성을 조사한 결과, 기타 영역으로 분류된 지역에는 주로 건물과 건물사이의 빈 공간, 주택가

Table 5. Values of detailed rainfall loss parameters for each landcover type

Perviousness	Landcover	Initial loss (mm)	Horton's infiltration rate(mm/hr)
Impervious	roof	0	-
	road	2	-
Pervious	veg. & soil	6	6
semipermeable	others	2	1.2

의 좁은 골목길, GIS 데이터 갱신 이후에 개발이 이루어진 택지 등이 포함되어 있으며, 콘크리트 등의 불투수면과 작은 화분이나 화단의 토양이 혼재하고 있음을 확인하였다. 본 연구에서는 이들 지역에 대한 상세 분류를 생략하고 강우유출특성상 불투수면과 투수면의 중간의 성격을 가지는 반투수면으로 정의하여 분류하였다.

3.3. 강우-유출해석 모델

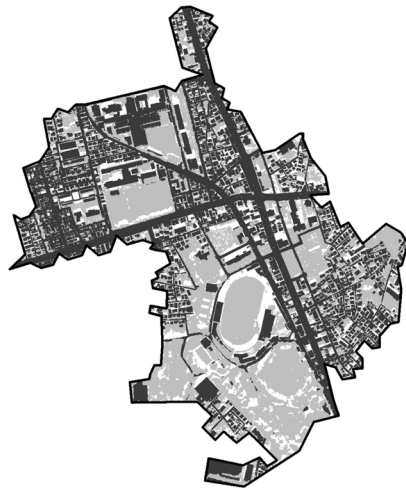
1975년에 영국의 수리연구국과 Wallingford사의 수리연구소에 의해 개발된 강우 및 오염물질의 유출해석모델인 InfoWorks CS (ver. 10.0, Wallingford Software Ltd.)를 강우 유출해석에 사용하였다. 이 모델은 강우손실, 지표면유출, 관내흐름, 범람 등의 4개의 기본 해석모델로 구성되어 있으며, 노드(node), 링크(link), 하위집수역(sub-catchment)에 대한 자료의 입력을 필요로 한다. 본 연구에서는 오염물질의 해석을 실시하지 않았으므로, 강우의 유출해석에 필요한 파라미터만을 설정하였다. 특히, 지표면 유출에 관한 파라미터는 토지이용별(불투수 및 투수면) 초기손실계산방법(Abs, Slope, SCS)과 지표면흐름계산방법(Wallingfrd, Large-Catch, Sprint 등)에 따라 입력 파라미터가 다르며, 본 연구에서는 토지이용별 초기손실량과 투수면에서의 우수침투량(Horton의 침투계수)에 대한 파라미터를 설정하였다. 토양 피복별 강우손실 파라미터를 Table 5에 정리하여 나타내었다. 각 설정치는 동일 대상구역에 대한 기존의 분석연구에서 사용된 파라미터를 채용하였다.<sup>15)</sup>

4. 결과

4.1. 토양피복 분류결과

GIS와 IKONOS 위성영상을 이용하여 대상유역을 투수면(식생+토양), 불투수면(건물지붕+도로), 반투수면으로 분류한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 분류된 각 토양피복의 전체 유역면적에 대한 비율을 Fig. 6에 나타내었으며, 이를 10 m 격자의 세밀토지이용정보를 이용하여 분류한 결과와 비교하였다.

10 m 격자의 세밀토지이용정보를 이용하여 분류된 건물지붕, 도로, 침투면의 점유비율은 각각 34%, 24%, 42%인 것으로 나타났다. 반면, IKONOS 위성영상과 GIS 데이터를 이용한 결과에서는, 건물지붕의 점유면적이 25%로 9% 감



■ Impervious □ Pervious □ Semipermeable

Fig. 5. Distribution of impervious, pervious and semipermeable areas estimated by proposed method.

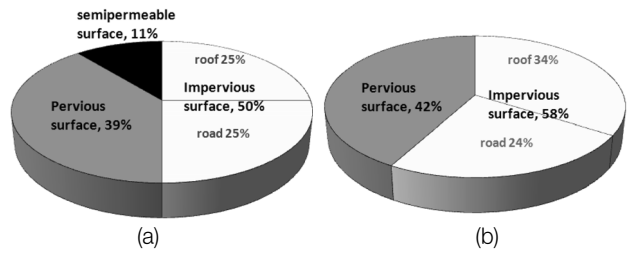


Fig. 6. Land-cover classification results by satellite image and GIS image (a) and detailed landuse information of 10 m grid (b).

소하였고, 이에 따라 전체 불투수면의 비율이 8% 감소한 50%로 나타났다. 투수면의 비율은 10 m 격자의 세밀토지이용정보를 이용한 결과와 비교해 각각 39%와 42%로 나타나 큰 차이는 보이지는 않았지만, 전체면적의 3%에 달하는 건물옥상의 화단이나 도로변의 가로수, 도로중앙분리대의 화단 등이 건물지붕이나 도로로부터 추출되었다. 건물이나

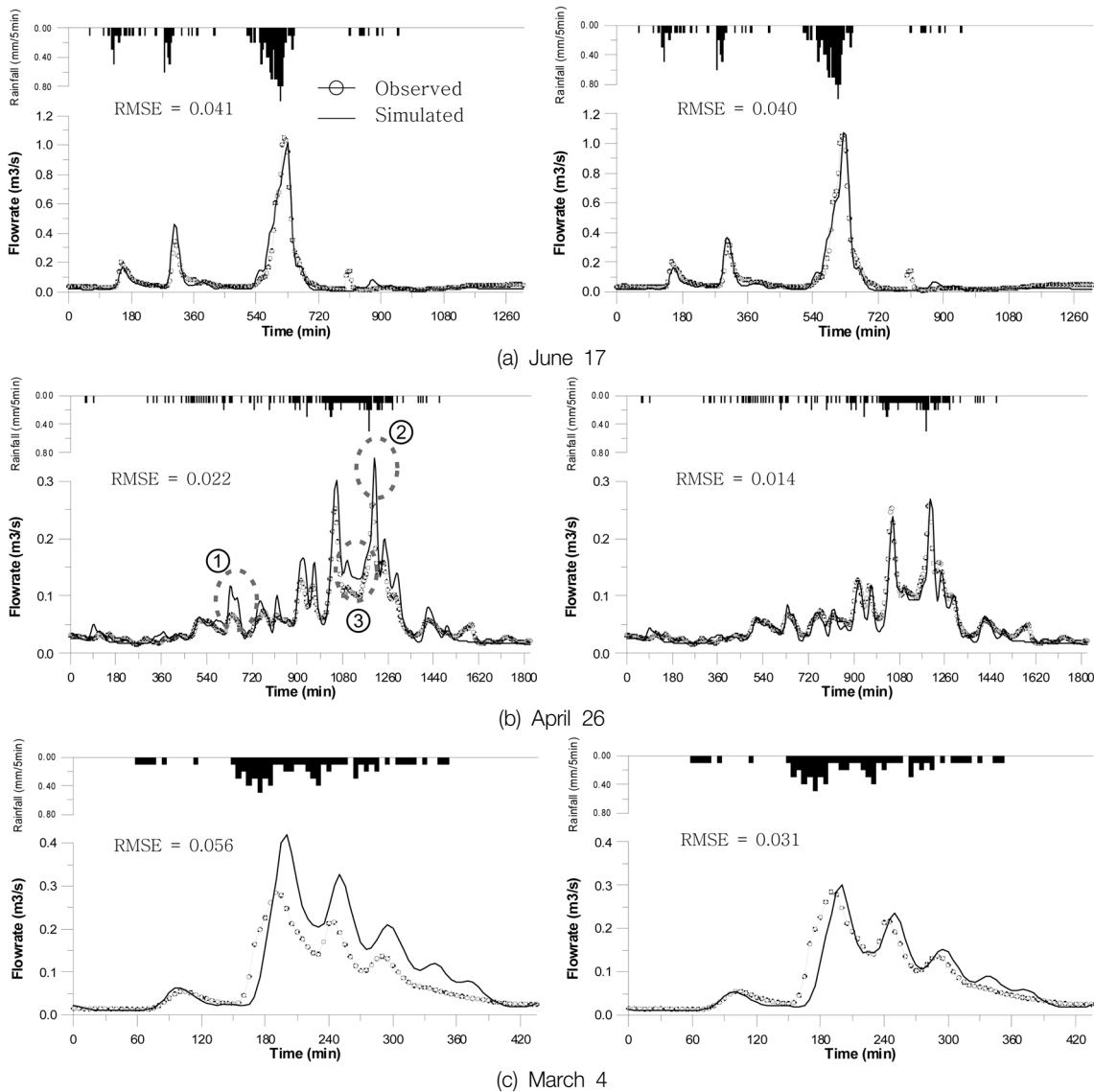


Fig. 7. Rainfall runoff hydrograph of Case I and Case II for each rainfall event.

**Table 6.** Flow rate comparison for event of April 26 in each method (unit: m<sup>3</sup>/s)

	Initial peak flow	Maximum peak flow	runoff recession
Observed value	0.07	0.26	0.12
Case I	0.12	0.34	0.16
Case II	0.09	0.27	0.11

도로 위의 식생들은 대부분 관목이나 잔디의 형태로 존재하기 때문에 투수면으로 분류되어야 할 지역이다. 식재된 지형과 강우조건에 따라 다르지만, 가로수 등의 나무는 초기 손실과 줄기를 통한 유출량(Stemflow)의 합이 총강우량에 대해 평균 15%에 달하고, 특히, 5 mm 이하의 소규모 강우에 있어서는 약 50%에 달하는 점을 고려하여,<sup>19,20</sup> 본 연구에서는 이들 나무로 덮여진 면적도 투수면으로 분류하였다.

#### 4.2. 강우-유출해석

강우유출해석은 불투수면과 투수면에 대한 강우손실 파라미터의 설정을 위한 다음의 두 가지 토지피복분류조건에 대해서 실시되었다.

- Case I : 10 m 격자의 세밀토지이용정보를 이용한 토지 피복분류
- Case II : IKONOS 위성영상과 GIS 데이터를 병용한 토지피복분류

2000년 3월 4일, 4월 26일, 6월 17일의 세 강우에 대한 강우유출수문곡선을 Case I 과 Case II에 대해서 Fig. 7에 나타냈다. 모의된 강우 중, 비교적 강우량이 많은 6월 17일의 강우에 대한 모의 결과는 Case I 과 Case II에서 모두 관측 유량을 적절히 모의하고 있다. 하지만, 강우량과 최대 강우 강도가 감소된 4월 26일 강우에 대한 모의의 경우, Case I 에서 관측유량을 적절히 모의하지 못하는 구간이 발생하였다. 강우초기의 돌발적인 유출첨두부(Fig. 7(b)의 ①), 전체 수문곡선에서의 첨두유출부(Fig. 7(b)의 ②), 두 첨두유출간 감소부(Fig. 7(b)의 ③) 등에 대해서 관측유량과 비교한 결과, Case I에서는 관측유량을 +71%, +31%, +33%의 유출량이 모의되었고, Case II에서는 +29%, +4%, -8%의 유출량이 모의되었다. 4월 26일 강우에 대한 각 Case 별 주요 유출량 값을 관측유량과 비교하여 Table 6에 정리하였다. 모의강우 중, 가장 적은 강우량과 작은 강우강도를 가지는 3월 4일의 강우에 대한 유출수문곡선에서는 보다 뚜렷한 차이가 발생하여, Case I의 경우, 유출수문곡선의 거의 전 구간에서 관측유량을 모의하지 못했다.

### 5. 결론

본 논문에서는 환경관련 유출해석을 성공적으로 수행하기 위하여 소규모 강우나 강우의 초기와 같이 첨두유출유량에 비해 상대적으로 적은 유출유량 모의에 대한 정확도

향상 방법이 논의되었다. 그 구체적인 방법으로 대상구역에 분포하는 침투면과 불침투면의 면적추정 방법을 개선하여 이를 모델의 유효강우산정을 위한 파라미터설정에 적용하는 것에 착안하여, 고해상도 인공위성영상과 GIS 데이터를 병용한 강우유출해석에 특화된 토양피복분류 방법을 제안하였다. 또한, 제안된 방법으로 분류된 토양피복분류결과를 강우유출해석에 적용하여 적은 강우유출상황에 대한 향상된 모의 결과를 확인하였다.

이상의 결과로부터 유출을 유발하는 매우 적은 강우량을 포함하는 다양한 강우사상에 대한 우수의 유출특성을 보다 정확히 장기적으로 파악하는 것이 가능하게 되었다. 이와 같은 연구 방법은 향후 우수와 함께 유출되는 오염물질의 발생량과 배출특성의 파악, 건전한 도시 물환경의 구축, 지속가능한 수자원확보 등을 위한 심화된 연구로의 활용이 기대된다.

본 분석에서는 기존 방법과의 비교를 위해서 토지피복 분류를 4항목으로 제한하여 실시하였지만, 고해상도 위성영상과 GIS를 이용한 방법은 연구의 목적에 따라 보다 세분되고 다양한 토지피복분류에의 적용이 가능하리라 사료된다. 특히 최근에는 0.5 m급 이하의 초고해상도(ultra-high resolution) 위성영상의 보급이 진행되고 있으며, 이들 위성영상을 지도제작 등의 한정된 용도뿐 만 아니라, 환경관련 유출해석에 적극적인 활용을 위한 심화연구가 필요하리라 사료된다.

KSEE

### 참고문헌

1. Mangani, G., Berloni, A., Bellucci, F., Tatano, F. and Maione, M., "Evaluation of the pollutant content in road runoff first flush waters," *Water, Air Soil Pollut.*, **160**, 213~228(2005).
2. Marsalek, J., Krishnappan, B. G., Exall, K., Rochfort, Q. and Stephens, R. P., "An elutriation apparatus for assessing settleability of combined sewer overflows (CSOs)," in Proceedings of 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen/Denmark, pp. 21~26(2005).
3. Marques, M. J., Bienes, R., Jimenez, L. and Rerez-Rodriguez, R., "Effect of vegetal cover on runoff and soil erosion under light intensity events. Rainfall simulation over USLE plots," *Sci. Total Environ.*, **378**, 161~165(2007).
4. Gresens, S. E., Belt, K. T., Tang, J. A., Gwinn, D. C. and Banks P. A., "Temporal and spatial responses of chironomidae (Diptera) and other benthic invertebrates to urban stormwater runoff," *Hydrobiologia*, **575**, 173~190(2007).
5. Bertrand-Krajewski, J., Chebbo, G. and Saget, A., "Distribution of pollutant mass vs volume in stormwater discharges and the first flush phenomenon," *Water Res.*, **32**, 2341~2356 (1998).
6. 일본 국토교통성, 기상청, <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
7. Furumai, H., Jinadasa, H. K. P. K., Murakami, M., Nakajima,

- F. and Aryal, R. K., "Model description of storage and infiltration functions of infiltration facilities for urban runoff analysis by a distributed model," *Water Sci. Technol.*, **52**(5), 53~60(2005).
8. Cosen, K. J. and Jensen, J. R., "Extraction and modeling of urban attributes using remote sensing technology, people and pixels," *Linking remote sensing and social science*, National Academy Press, Washinton D. C., pp. 164~188 (1998).
9. Hashiba, H., Kameda, K., Tanaka, S. and Sugimura, T., "Extraction of distribution for small-scale vegetation in urban area using high-resolution satellite data," *Doboku Gakkai Ronbunshuu.*, **685**(VII-20), 27~39(2001).
10. 김성수, 김종석, 방기연, 권은미, 정옥진, "경안천 유역의 강우사상별 비점오염원 유출특성 및 원단위 조사," *대한환경공학회지*, **24**(11), 2019~2027(2002).
11. 신창민, 최지용, 박철휘, "도시지역에서의 토지이용별 비점오염물질 유출특성," *대한환경공학회지*, **26**(7), 729~735 (2004).
12. 전형섭, 김태근, 조기성, 김환기, "GIS를 이용한 비점오염원의 원인지역 추출에 관한 연구," *대한환경공학회지*, **18**(4), 451~463(1996).
13. 김석구, 김영임, 강성원, 윤상린, 김소정, "강우에 의한 도로 비점오염원 유출 특성," *대한환경공학회지*, **28**(1), 104~110(2006).
14. 일본 총무성, 통계국, "주택·토지통계 조사," <http://www.pref.chiba.lg.jp/toukei/toukeidata/jutakutochi/index.html>
15. Hijioka, Y., Furumai, H. and Ichikawa, A., "Urban runoff analysis by a distributed model utilizing sewer ledger database and detailed land use data," *Jpn. Sewage Works Assoc.*, **38**(4), (2001).
16. Kim, J., Furumai, H. and Aramaki, T., "Practical identification method for vegetation in urban region using two spectral edge in high resolution satellite imagery," *Doboku Gakkai Ronbunshuu G*, **66**(1), 46~55(2010).
17. 일본 도쿄도 환경보전국 편집발행, "녹피울 표준조사매뉴얼," pp. 3(1988).
18. 일본 국토교통성, 국토기술정책종합연구소, "도시녹지조사를 위한 인공위성기술의 활용에 관한 조사," pp. 67 (2003).
19. Tobon Marin, C., Bouten, W. and Sevink, J., "Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazonia," *J. Hydrol.*, **237**, 40~57(2000).
20. Crockford, R. H. and Richardson, D. P., "Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate," *Hydrol. Proc.*, **14**, 2903~2920(2000).