

## 위성영상정보를 이용한 강우유출 해석에 관한 연구

박영기 · 이증석 · 박정규\*

경일대학교 토목공학과, \*혜천대학 건설정보과  
(2009년 12월 3일 접수; 2009년 12월 17일 수정; 2010년 1월 11일 채택)

### A Study on the Rainfall-Runoff Analysis of Using Satellite Image

Young-Kee Park, Jeung-Seok Lee and Jeong-Gyu Park\*

Department of Civil Engineering Graduate School, Kyungil University, Gyeongbuk 712-701, Korea

\*Department of Civil Engineering Graduate School, Hyecheon University, Daejeon 302-715, Korea

(Manuscript received 3 December, 2009; revised 17 December, 2009; accepted 11 January, 2010)

#### Abstract

Urban watershed can be found in the visible changes in technology, the most realistic satellite images is to use the data. Satellite image data on the indicators for progress on the nature of the change of land use is consistent and repetitive information, regular observation makes possible the detailed analysis of space-time. These remote sensing techniques and the type of course and, by using the time series history, the past, the dynamic model and the randomized prediction methodology for the conversion process if the city and river basin cooperation of the space changes effectively will be able to extrapolate.

For each of the main changes in river flow, depending on the area of urbanization as determined according to reproduce the duration of the relationship between the urbanization of the area and runoff can be represented as a linear polynomial expression was, if a linear expression in the two fast slew rate of 0.858 to 0.861 showed up, and fast slew rate of 0.934 to 0.974 for the polynomial are reported.

Change of land use changes in the watershed of the flow is one of the most affecting elements. Therefore, changes in land use of the correct classification of rivers is a more accurate calculation of the amount of the floodgate. In particular, using the Landsat images through the image of the land use category, land use past data and calculated using the Markov Chain model and predict the future land use plan in the water control project will be used for large likely.

**Key Words** : Markov Chain, Landsat, Transition probability

#### 1. 서론

급격한 산업화와 도시화의 영향으로 토지이용상태가 매우 급격하게 변화되었고, 이러한 토지이용상태 변화는 도시유역의 하천의 유출에 많은 영향과 피해를 주고 있다. 특히 도시화에 따라 불투수층 면적이 증

가로 도시화 이전보다 홍수도달시간은 현저히 감소되고 침투유량은 증가되었다. 뿐만 아니라 도시화에 따른 도시 배수시스템 재정비, 우수 관거 신설은 해당유역의 치수대책 및 하천정비계획 등에 직접적으로 영향을 미치게 되었다.

유출해석 연구는 이 등<sup>1)</sup>은 WMS HEC-1 모형을 이용하여 각각 경안천과 안성천 유역이 토지피복변화에 따른 수문경년변화를 연구하였으며, 이<sup>2)</sup>는 위성영상 자료를 이용하여 피복분류에 적합한 CN값을 제시함

Corresponding Author : Young-Kee Park, Department of Civil Engineering Graduate School, Kyungil University, Gyeongbuk 712-701, Korea  
Phone : +82-42-581-6344  
E-mail: park090@hcc.ac.kr

으로써 위성영상을 이용한 미계측 유역의 유출해석에 대한 객관성을 증가시켰다.

박<sup>3)</sup>은 경안천 유역의 토지이용 특성을 추출하고자 10년 주기의 수치항공사진을 생성하고 이를 이용하여 경년별 토지이용현황도를 작성하였고, 이를 통해 지난 20년간의 토지이용 현황 및 변화추이를 분석하여, 도시화의 확산방향 및 분포 특성을 분석하였다.

함<sup>4)</sup>은 실제 지형을 모형화하여 수문 환경에서 지형 인자를 GIS 기법을 이용하여 추출하였고, 이<sup>5)</sup>는 도시 유역의 개발로 인한 유출변화에 대하여 연구하였다.

토지이용이 변화에 의한 영향을 파악하는 연구로서<sup>6)</sup>은 안양천 유역분지를 중심으로 도시화가 본격적으로 이루어지기 이전의 하도를 재현하여 하도의 변화를 파악하고, 유역분지내 토지 이용패턴의 변화를 분석하였다.

따라서 본 연구에서는 도시하천 유역의 장래 토지 이용 변화모형을 구축하고 이를 예측하여 토지이용 변화에 따른 도시하천의 유출특성을 규명하기 위하여 과거시기의 위성영상(Landsat)자료를 영상분석 프로그램을 이용하여 토지이용을 분석하여 토지이용상태를 분리한 후 분석하였다. 분리된 토지현황을 Markov Chain 모형을 이용하여 토지이용상태를 전이행렬로 구성하여 장래토지이용 변화를 예측하고, 예측된 장래토지이용변화를 이용하여 수문모형에 적용하여 하천의 수문변화를 규명하고자 한다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1. Markov Chain 모형

마코브 분석은 어떤 변수들이 가지고 있는 과거의 통특성을 분석함으로써 그 변수들이 미래에 있을 변화를 연속적으로 예측하기 위한 수학적 기법이다. 마코브 분석은 바로 이전 단계의 시스템상태에 의해서만 현재의 시스템 상태가 영향을 받고 그 이전의 상태에 의해서는 전혀 영향을 받지 않는 마코브체인(Markov Chain)이라는 확률과정을 가정하고 있으며, 시스템간의 이동확률을 의미하는 전이확률(Transition Probability)로 구성된다.

전이확률(transition probability)  $P_{ij}$ 가 그 직전의 상태  $S_i$ 에만 관계되고 더 이전의 상태에는 관계가 없을

때 이런 확률 과정을 Markov Process라 한다.

$$P_{ij} = P\{X_n = S_j \mid X_{n-1} = S_i^p\}$$

$$= P\{X_n = S_j \mid X_{n-1} = S_j\}$$

여기서  $P$ 는  $n$ 회까지의 상태에 관한 명제이다.

다음 추이 확률  $P_{ij}$ 의 전이행렬(transition matrix)을  $P$ 라 하면,

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1k} \\ P_{21} & \cdots & P_{2k} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ P_{k1} & P_{k2} & \cdots & P_{kk} \end{pmatrix}$$

정방행렬로 나타나며

$$\text{여기서, } 0 \leq P_{ij} \leq 1 \sum_{j=1}^k P_{ij} = 1 \sum_{kj}$$

### 2.2. 유역추적법(Clark Method)

자연하도에서의 수문곡선은 하도의 저류효과와 수평 이동의 복합현상이라고 할 수 있다. Clark는 간단하게 유역출구에 1개의 가상적인 저수지가 있다고 가정하고 유하시간-유역면적으로 구한 수문곡선을 유입수문곡선으로 하여 저수지추적을 실시한 후 유역의 유출수문곡선을 얻었다. 또한 Clark는 저수지는 저류량과 유출량이 선형관계를 갖는 선형저수지(Linear Reservoir)라 가정하였다.

$$S = K \cdot O$$

여기에서,  $S$  : 저류량,

$O$  : 유출량,  $K$  : 저류상수

하천구간에서의 연속방정식  $(\bar{I} - \bar{O} = \frac{\Delta S}{\Delta t})$ 에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{I_1 + I_2}{2} \Delta t - \frac{O_1 + O_2}{2} \Delta t = K(S_2 - S_1)$$

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1$$

$$C_0 = C_1 = \frac{\Delta t}{2K + \Delta t}, C_2 = \frac{2K - \Delta t}{2K + \Delta t}$$

$$C_0 + C_1 + C_2 = 1$$

여기에서,  $I_1$ 은 홍수추적기간 시점의 유입량,  $I_2$ 는 홍수추적기간 종점의 유입량,  $O_1$ 은 홍수추적기간 시점의 유출량,  $O_2$ 는 홍수추적기간 종점의 유출량이다.

### 3. 분석 및 고찰

#### 3.1. 대상유역 선정

도시하천의 토지이용변화에 대한 보다 명확성을 확인하기 위해서는 시기별로 도시의 개발현상이 뚜렷이 나타나는 도시를 포함한 하천유역에 대한 조사가 필요하다. 따라서 대전광역시를 중심으로 도시의 발달과 더불어 도시하천으로의 조성이 지속되어온 갑천유역과 그 지류인 화산천, 진잠천, 반석천, 탄동천을 대상유역으로 하였다.

**Table 1.** Characteristics of the study area

Stream	Length (km)	Area (km <sup>2</sup> )	Basin width (A/L, km)	Shape factor (A/L <sup>2</sup> )
Gap-s	73.7	648.98	8.80	0.119
Hwasan	8.0	5.88	1.36	0.23
Banseok	8.35	15.6	1.86	0.22
Jinjam	8.6	26.38	3.07	0.36
Tandong	7.4	21.04	2.40	0.27

#### 3.2. 장래 유출특성 및 확률강우량 산정

위성영상자료와 Markov Chain 모형을 이용해 예측된 장래토지이용도를 이용하여 유역내 변화되는 유출량을 산정하기 위해, 유역내 강우분석, 유출곡선지수(CN), 임계시간을 산정하였다. 유역내 유출량 산정은 갑천과 지류하천(화산천, 반석천, 진잠천, 탄동천)의 하천정비 기본 계획에서 적용되는 Clark 방법을 이용하여 30년, 50년, 80년, 100년의 유출량을 산정하였다.

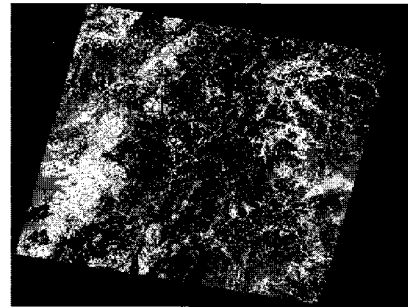
**Table 2.** Statistics of rainfall data in Daejeon station

Duration	mean	Standard deviation	variation	Distortion
10min	17.2	4.6	0.269	0.867
60min	47.5	12.0	0.252	0.130
120min	67.6	22.6	0.334	0.590
180min	78.2	27.4	0.351	0.671
360min	101.0	37.9	0.375	0.973
720min	130.6	53.5	0.409	1.516
1080min	144.8	58.4	0.404	1.258
1440min	156.0	65.8	0.422	1.438

#### 3.3 대상유역 영상자료획득 및 처리

##### 1) Landsat 영상자료 획득

Landsat 위성영상의 토지이용변화를 알아보고자 대전광역시를 중심의 하천유역을 연구대상지로 선정하고 1990년부터 2004년까지 영상을 이용하여 토지의 이용변화를 분석 하였다. Fig. 1은 대전광역시를 포함한 주변지역의 위성영상을 나타내고 있다.

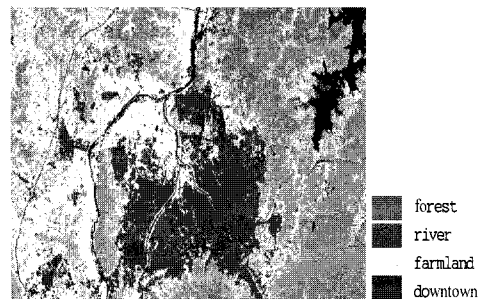


**Fig. 1.** Landsat Image.

10년, 20년, 30년, 50년, 80년, 100년의 각 지속시간별 확률강우량을 산정하였으며, 그 결과는 Table 3과 같다.

**Table 3.** Probability rainfall by duration (unit : mm)

return period (year)	rainfall duration(min)							
	10	60	120	180	360	720	1080	1440
10	23.4	64.2	98.8	115.6	151.3	199.2	221.0	240.5
20	26.1	71.4	112.2	131.7	173.0	228.7	253.8	276.9
30	27.6	75.5	119.9	141.0	185.4	245.6	272.7	297.8
50	29.5	80.7	129.5	152.6	201.0	266.8	296.3	323.9
80	31.3	85.4	138.3	163.2	215.2	286.3	317.9	347.9
100	32.1	87.6	142.5	168.2	222.0	295.5	328.1	359.2



**Fig. 2.** Image Categories.(1990's)

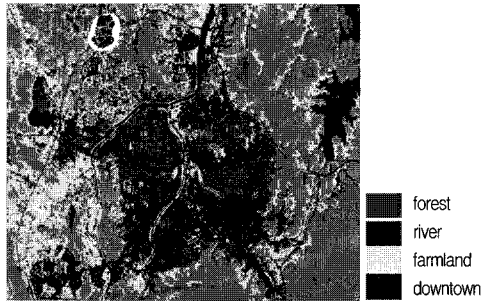


Fig. 3. Image Categories.(2000's)

3.4. 유출곡선지수(CN) 산정

유역의 수문학적 토양분류결과 A Type과 B Type 이 가장 많은 면적을 차지하였으며, 선행함수조건은 AMC-III 조건으로 갑천 유역은 1990년, 2000년, 장래 토지이용시 각각 72.6, 75.1, 77.9로 산정되었으며, 화산천 유역은 76.3, 77.2, 79.8 반석천 유역은 77.3, 78.5, 81.5. 진잠천 유역은 79.4, 80.4, 82.1 탄동천 유역은 78.5, 79.1, 80.8로 산정되었다.

Table 4. Runoff curve number(CN) of study area

basin	CN	Curve number	
		AMC- II	AMC- III
Gap-s	1990's	53.5	72.6
	2000's	56.8	75.1
	Future Land Us	60.2	77.7
Hwasan	1990's	58.3	76.3
	2000's	59.5	77.2
	Future Land Us	63.2	79.8
Banseok	1990's	59.7	77.3
	2000's	61.3	78.5
	Future Land Us	65.7	81.5
Jinjam	1990's	62.6	79.4
	2000's	64.1	80.4
	Future Land Us	66.6	82.1
Tandong	1990's	61.4	78.5
	2000's	62.1	79.1
	Future Land Us	64.7	80.8

3.5. 임계 지속시간 산정

각 유역의 홍수량 값이 가장 최대값을 산정하기 위해 임계지속시간을 Table 5와 같이 산정하였다.

Table 5. Critical duration of study area

item	area(km <sup>2</sup> )	length (km)	Critical time
Gap-s	648.98	73.7	1440
Hwasan-s	5.88	8.0	360
Banseok-s	15.6	8.35	300
Jinjam-s	26.38	8.6	340
Tandong-s	21.04	8.7	330

3.6. 유출량 산정

갑천의 임계시간은 24시간일때 첨두홍수량이 가장 큰것으로 분석되었고, 100년빈도 홍수량은 약 5%~8%의 유출량이 증가하는 것으로 나타났다.

Table 6. Runoff by return period(Gap stream) (unit: m<sup>3</sup>/s)

return period \ year	1990년	2000년	Future Land Use
30년	1,588.22	1,605.78	1,634.77
50년	1,748.65	1,766.49	1,795.65
80년	1,895.16	1,913.09	1,942.35
100년	1,966.06	1,984.03	2,013.34

화산천 홍수량(100년)은 약 8.6%의 유출량이 증가하는 것으로 나타났다.

Table 7. Runoff by return period (Hwasan stream)

return period \ year	1990's	2000's	Future Land Use
30년	39.05	40.04	42.99
50년	43.95	44.98	48.11
80년	48.57	49.69	52.92
100년	50.75	51.88	55.16

반석천 홍수량(100년)은 1990년 199.03 m<sup>3</sup>/s, 2000년 205.04 m<sup>3</sup>/s, 장래토지이용 220.03 m<sup>3</sup>/s로 약 10.5%의 유출량이 증가하는 것으로 나타났다.

**Table 8.** Runoff by return period(Banseok stream)  
(unit: m<sup>3</sup>/s)

return period \ year	1990's	2000's	Future Land Use
30년	153.28	158.82	172.77
50년	172.55	178.31	192.74
80년	190.64	196.58	211.40
100년	199.03	205.04	220.03

진잠천은 홍수량(100년)은 약 6.2%의 유출량이 증가하는 것으로 나타났다.

**Table 9.** Runoff by return period (Jinjam stream)  
(unit: m<sup>3</sup>/s)

return period \ year	1990's	2000's	Future Land Use
30년	257.45	264.66	276.95
50년	288.44	295.89	308.56
80년	317.55	325.21	338.18
100년	331.02	338.76	351.86

탄동천은 홍수량(100년)은 약 5.3%의 유출량이 증가하는 것으로 나타났다.

**Table 10.** Runoff by return period (Tandong stream)  
(unit: m<sup>3</sup>/s)

return period \ year	1990's	2000's	Future Land Use
30년	206.00	209.47	219.34
50년	231.04	234.64	244.83
80년	254.57	258.27	268.72
100년	265.48	269.22	279.79

유역에 대한 영상자료를 분류한 토지이용도로 부터 갑천, 화산천, 반석천, 진잠천, 탄동천 유역에 대한 1990년부터 2000년까지의 영상분류된 토지이용도를 이용하여 초기확률을 구축하고, Markov Chain 모형을 적용하여 장래 토지이용변화를 예측하였으며, 예측된 토지이용도를 이용하여 하천유역의 장래유출량을 산정하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1. 토지이용변화 검증

위성영상자료를 이용한 토지이용의 분류를 위하여 환경부의 분류표준을 근간으로하여 도심지, 농경지, 산림, 수계 등의 4가지 항목으로 분류하였으며, 영상 분류방법은 최대우도법(Maximum Likelihood Classification)을 사용하였다.

**Table 11.** input data by period

item	study area
input data	1990s
Transformation matrix	1990's - 2000's
standard image	2000's

장래토지이용도를 예측하기 위해 Markov Chain 모형을 이용하여 토지면적의 입력데이터를 기준으로 각 전이행렬 구성을 위한 기간을 설정하였고 예측기준영상에 대한 각 하천유역의 토지이용 모의를 실시하였다.

각 하천유역에 대한 90년부터 2000년까지의 전이행렬을 구성하여 2000년의 토지이용에 대한 예측결과 갑천유역의 경우 0.998의 상관성이 나타났으며, 화산천 0.997, 반석천 0.993, 진잠천 0.997, 탄동천 0.999의 상관성이 나타났다. Table 12는 각 하천별 실제 토지이용면적과 예측된 토지이용 결과를 나타냈다.

Table 12. Compared to predictions for the land use

Land use	1980		1990		Correlation
	Actual	Actual	Simulated		
Gap-s	Forest	407.1	392.9	378.9	
	River	6.9	7.0	7.5	
	Farmland	160.6	168.9	176.3	
	Downtown	74.3	80.1	86.2	
Hwasan	Forest	3.42	3.39	3.36	
	River	0.18	0.18	0.18	
	Farmland	2.17	2.07	1.98	
	Downtown	0.10	0.24	0.37	
Banseok	Forest	7.55	7.44	7.33	
	River	0.38	0.38	0.37	
	Farmland	7.20	6.74	6.33	
	Downtown	0.47	1.04	1.57	
Jinjam	Forest	8.97	8.89	8.81	
	River	0.73	0.73	0.74	
	Farmland	15.82	15.17	14.56	
	Downtown	0.86	1.59	2.30	
Tandong	Forest	8.92	8.85	8.78	
	River	0.44	0.44	0.44	
	Farmland	7.98	7.94	7.90	
	Downtown	3.70	3.81	3.91	

4.2. 토지이용변화 예측

Markov Chain 모형의 검정된 전이행렬을 이용하여 천이를 실시하여 수립될 때까지 확률 값을 구하였고, 이 중 각 지역의 개발제한구역 등 제한인자를 고려한 확률 값을 결정한 결과 감천, 화산천, 반석천, 진잠천, 및 탄동천의 경우 산림은 각각 0.381, 0.527 0.268

0.269 0.246 산정되었으며, 수계 0.015, 0.031, 0.024 0.028 0.021 농경지 0.370, 0.235 0.07 0.217, 0.270, 도심지 0.234 0.211 0.638 0.487 0.463로 예측 확률 값이 나타났으며, Markov Chain 모형의 실행후 예측 확률 값에 따른 장래 토지이용면적은 Table 13과 같다

Table 13. Markov model to calculate the results for the land use

(unit: km<sup>2</sup>)

	Stream	Forest	River	Farmland	Downtown
Gapcheon	Prediction	0.381	0.015	0.370	0.234
	Future Land Use	247.1	10.0	240.3	151.6
Hwasan	Prediction	0.527	0.031	0.235	0.211
	Future Land Use	3.10	0.18	1.38	1.24
Banseok	Prediction	0.268	0.024	0.070	0.638
	Future Land Use	4.19	0.37	1.09	9.95
Jinjam	Prediction	0.269	0.028	0.217	0.487
	Future Land Use	8.89	0.73	15.17	1.59
Tandong	Prediction	0.246	0.021	0.270	0.463
	Future Land Use	5.17	0.44	5.68	9.75

4.3. 토지이용변화에 따른 유출분석

토지이용 변화에 따른 갑천 유역에 대한 유출량을 산정한 결과 시간이 지남에 따라 도심지의 면적이 증가하게 되어 유역내 발생하는 유출량은 증가하였고, 재현기간 50년에 대한 장래토지이용 변화시 유출량은 1990년의 1,748.65 m<sup>3</sup>/s에서 1,795.65 m<sup>3</sup>/s로 2.6%의 유출량이 증가하는 것으로 나타났으며, 재현기간 100년에 대한 장래토지이용 변화시 유출량은 1980년의 2,173.6 m<sup>3</sup>/s에서 1,454.0 m<sup>3</sup>/s로 4.5%의 유출량이 증가하는 것으로 나타났다.

화산천 유역의 재현기간 50년에 대한 장래토지이용 변화시 유출량은 1990년 43.95 m<sup>3</sup>/s에서 48.11 m<sup>3</sup>/s로 9.4%의 유출량이 증가하는 것으로 나타났으며, 재현기간 100년에 대한 장래토지이용 변화시 유출량은 1990년의 50.75 m<sup>3</sup>/s에서 55.16 m<sup>3</sup>/s로 8.6%의 유출량이 증가하는 것으로 나타났다.

반석천 유역의 재현기간 50년에 대한 장래토지이

용 변화시 유출량은 1990년 172.55 m<sup>3</sup>/s에서 192.74 m<sup>3</sup>/s로 11.7%의 유출량이 증가하는 것으로 나타났으며, 재현기간 100년에 대한 장래토지이용 변화시 유출량은 1990년의 199.03 m<sup>3</sup>/s에서 220.03 m<sup>3</sup>/s로 10.5% 증가하는 것으로 나타났다.

진잠천 유역의 재현기간 50년에 대한 장래토지이용 변화시 유출량은 1990년 288.44 m<sup>3</sup>/s에서 308.56 m<sup>3</sup>/s로 6.9%의 유출량이 증가하는 것으로 나타났으며, 재현기간 100년에 대한 장래토지이용 변화시 유출량은 1990년의 331.02 m<sup>3</sup>/s에서 351.86 m<sup>3</sup>/s로 6.3% 증가하는 것으로 나타났다.

탄동천 유역의 재현기간 50년에 대한 장래토지이용 변화시 유출량은 1990년 231.04 m<sup>3</sup>/s에서 244.83 m<sup>3</sup>/s로 5.9% 증가하는 것으로 나타났으며, 재현기간 100년에 대한 장래토지이용 변화시 유출량은 1990년의 265.48 m<sup>3</sup>/s에서 279.79 m<sup>3</sup>/s로 5.4% 증가하는 것으로 나타났다.

Table 14. Reproduce the flow Calculation Period

(unit: m<sup>3</sup>/s)

return period	year	1990's	2000's	Future land use
Gapcheon	30's	1,588.22	1,605.78	1,634.77
	50's	1,748.65	1,766.49	1,795.65
	80's	1,895.16	1,913.09	1,942.35
	100's	1,966.06	1,984.03	2,013.34
Hwasan	30's	39.05	40.04	42.99
	50's	43.95	44.98	48.11
	80's	48.57	49.69	52.92
	100's	50.75	51.88	55.16
Banseok	30's	153.28	158.82	172.77
	50's	172.55	178.31	192.74
	80's	190.64	196.58	211.4
	100's	199.03	205.04	220.03
Jinjam	30's	257.45	264.66	276.95
	50's	288.44	295.89	308.56
	80's	317.55	325.21	338.18
	100's	331.02	338.76	351.86
Tandong	30's	206.00	209.47	219.34
	50's	231.04	234.64	244.83
	80's	254.57	258.27	268.72
	100's	265.48	269.22	279.79

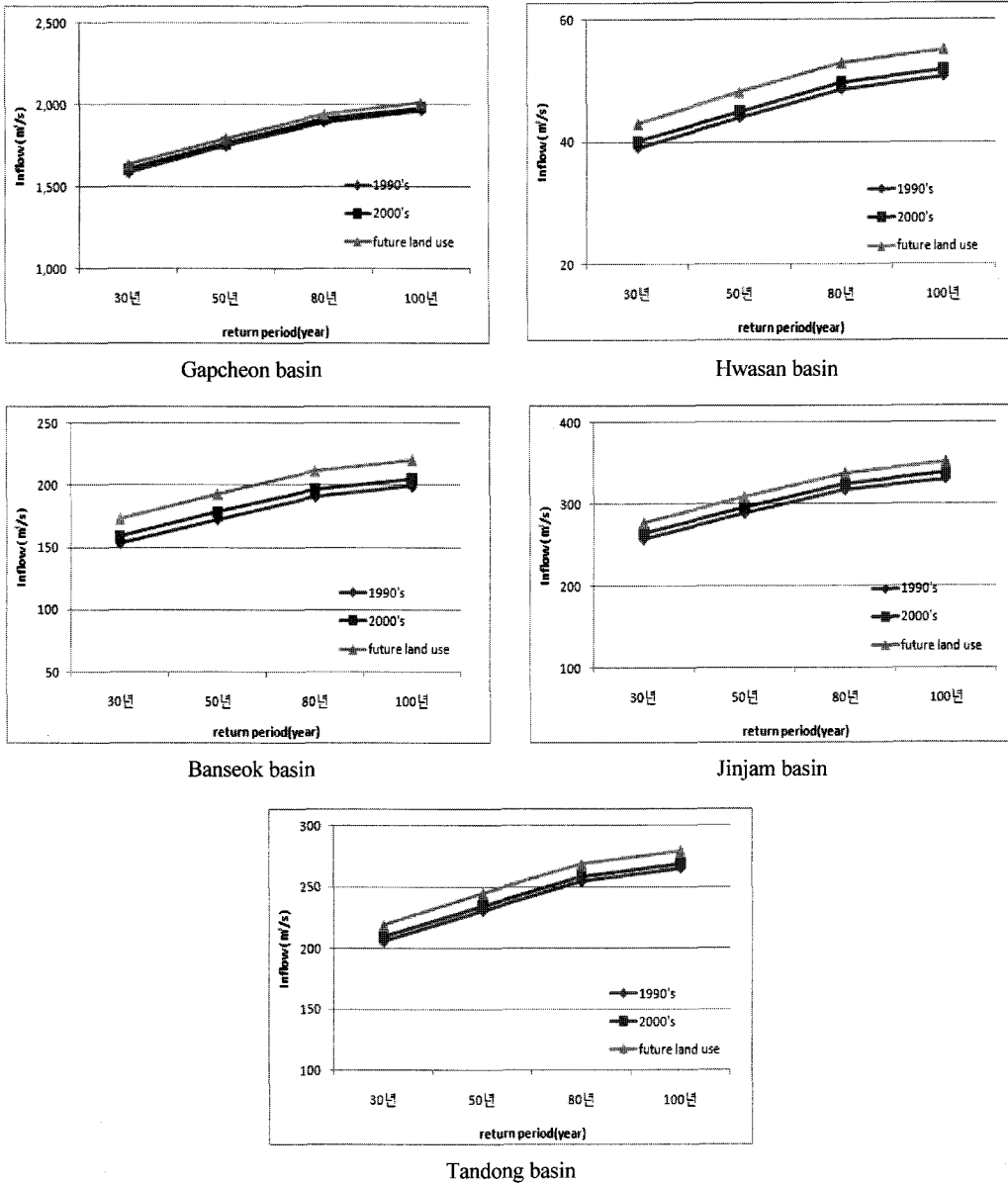


Fig. 4. Return period runoff in study area.

4.4. 도시화에 따른 유출량 변화 관계 분석

하천의 도시화면적과 홍수량과 관계를 각 재현기간 별로 나누어 구분하여 관계식을 선형식과 다항식으로 분석한 결과 상관성은 30년빈도 선형식 0.861, 다항식

0.974, 50년빈도 선형식 0.860, 다항식 0.973, 80년빈도 선형식 0.859, 다항식 0.973, 100년 빈도 선형식 0.858, 다항식 0.973의 상관성을 나타냈다.



Table 15. Urbanized area and relational runoff

return period	Relations	Correlation	remarks
30's	$y = 12.685 x + 160.660$	0.861	y: runoff x: Urbanization
	$y = -0.117 x^2 + 28.123 x + 73.274$	0.974	
50's	$y = 13.916 x + 180.142$	0.860	
	$y = -0.128x^2 + 30.91x + 83.9$	0.973	
80's	$y = 15.036 x + 198.451$	0.859	
	$y = -0.139 x^2 + 33.464 x + 94.138$	0.973	
100's	$y = 15.580 x + 206.918$	0.858	
	$y = -0.144 x^2 + 34.701 x + 98.688$	0.973	

5. 결 론

본 연구는 오늘날 대부분의 인간의 정주가 되고 있는 하천유역을 대상으로 위성영상 Landsat 자료를 이용하여 토지이용분석을 실시하고, 도시하천유역의 미래 토지이용 상태를 Morkov Chain 모형을 이용하여 예측하고 토지이용변화에 따른 도시하천 유역의 유출특성을 규명한 것으로서 결과를 정리하면 아래와 같다.

- 1) 분류된 토지이용도를 Markov Chain 모형을 이용하여 각 하천의 1990년 토지이용데이터를 기준으로 2000년의 검증을 실시하여 모형을 평가하였다.
- 2) 갑천유역에 대한 1990년을 기준으로 2000년의 10년간 모형 수행을 한 결과 상관계수 0.999로서 1990년대 토지이용변화를 잘 반영하였고, 화산천 유역의 경우 1990년을 기준으로 2000년까지 모형을 수행한 결과 상관계수 0.997를 나타내 2000년대 토지이용변화를 잘 반영해 주었다. 반석천유역은 0.993, 진잠천 0.997, 탄동천 0.999 상관성을 가지는 것으로 나타났다.
- 3) 각 하천의 토지이용면적을 Markov Chain 모형의 천이를 실시하여 수렴될 때까지 확률 값을 구하였고, 최종 장래토지이용에 대한 확률 값을 결정 한 결과 갑천은 산림 0.381, 수계 0.015, 농경지 0.370, 도심지 0.234로 예측 확률 값이 산정되었고, 화산천은 산림 0.527 수계 0.031, 농경지 0.235, 도심지 0.211, 반석천은 산림 0.268 수

계 0.024, 농경지 0.07 도심지 0.638로 산정되었다. 진잠천은 산림 0.269 수계 0.028, 농경지 0.217, 도심지 0.487, 탄동천유역은 산림 0.246 수계 0.021, 농경지 0.270, 도심지 0.463의 확률 값이 나타났다.

- 4) 하천의 1990년, 2000년, 장래토지이용 변화에 따른 각 유역의 CN값을 산정한 결과 갑천 72.6, 75.1, 77.7, 화산천 76.3, 77.2, 79.8, 반석천 77.3, 78.5, 81.5, 진잠천 79.4, 80.4, 82.1, 탄동천 78.5, 79.1, 80.8로 변화하는 것으로 산정되었다.
- 5) 하천의 1990년, 2000년, 장래토지이용의 변화에 따른 유출량 변화는 갑천 2.6%~4.5%, 화산천 8.6%~9.4%, 반석천 10.5%~11.7%, 진잠천 6.3%~6.9%, 탄동천 5.4%~5.9% 유출량이 증가하는 것으로 나타났다.
- 6) 각 하천토지이용 변화에 따른 유출량 변화의 주된 변화요인은 도시화 면적에 따라 유출량의 변화는 크게 좌우됨에 따라 재현기간에 따른 도시화 면적과 홍수량과의 관계를 선형식과 다항식으로 표현할 수 있었으며, 선형식의 경우 도시화와 홍수량의 관계에 대해 0.858~0.861의 상관성을 가지는 것으로 나타났으며, 다항식의 경우 0.934~0.974의 상관성을 가지는 것으로 나타났다.
- 7) 하천유역내 토지이용의 변화는 유역의 유출량 변화에 가장 큰 영향을 미치는 요소중 하나이다. 따라서 토지이용 변화의 정확한 분류는 하천의 보다 정확한 수문량의 산정이 가능하다. 특히

Landsat 영상을 이용한 과거 영상의 토지이용 분류를 통해 산정된 과거 토지이용 데이터와 Markov Chain 모형을 이용한 장래 토지이용도 예측은 향후 계획될 하천의 치수계획 활용 가능성이 클 것으로 기대된다.

### 참고문헌

- 1) 이준우, 2002, WMS HEC-1모형을 이용한 경안천 유역의 경년수문변화분석, 석사학위논문, 농공학과, 건국대학교, 서울.
- 2) 이병주, 2003, 위성영상 피복분류에 대한 CN값 산정, 석사학위논문, 토목환경공학과, 세종대학교, 서울.
- 3) 박소영, 2006, 고해상도 항공사진을 이용한 경안천 유역의 토지이용변화 특성추출, 산업대학원 공학석사 학위논문, 공간정보공학과, 부경대학교, 부산.
- 4) 함창학, 1996, 지형정보시스템(GIS)을 이용한 수문 지형정보 추출에 관한 기초적 연구, 박사학위논문, 토목공학과, 충북대학교, 청주.
- 5) 이증석, 안승섭, 박정규, 박영기, 2007, 도시유역의 개발에 따른 유출특성분석, 한국환경과학회 가을학술발표회 발표논문집, 16(2), 157-160.
- 6) 성효현, 1996, 수도권지역 개발에 따른자연재해 특징분석: 안양천 유역분지에서 잠재적 수해특성분석, 한국GIS학회지, 4(1), 21-44.