침투능-강우강도를 고려한 유효우량산정 기준

Estimation of Effective Rainfall Guidance Considering Infiltration Capacity-Rainfall Intensity

강영복* · 김봉진** · 박수진*** · 최한규****

Kang, Young Bok · Kim, Bong Jin · Park, Soo Jin · Choi, Han Kuy

Abstract

This study investigated the effect of the lag time on the concentration time and the change in effective rainfall depending on the infiltration capacity and rainfall intensity by the status of land use to research the relevance of infiltration capacity-rainfall intensity and the effective rainfall by land categories according to the characteristics of the drainage basin. As a result of analysis, deviation in the lag time is significantly occurring from two hours to nineteen hours and fifty-five minutes depending on the rainfall intensity and the form of the flood hydrograph rising limb is being determined by this. It has been analyzed that the forest land is divided into the region where runoff does not occur even with the rainfall of more than 500 mm/hr and the region where runoff occurs 100% with the rainfall of more than 80 mm/hr and there is an upland field area where runoff does not occur even with the rainfall of more than 120 mm/hr and the area where runoff occurs 100% if the rainfall of more than 20 mm/hr occurs while runoff may occur 100% in the land and rice paddy with the rainfall of 20 mm/hr. As the infiltration capacity varies according to the soil series and status of land use, the objective application of the runoff coefficient of rational method and runoff curve number is needed.

Key words : Infiltration capacity, Rainfall Intensity, Effective rainfall, Rational method, Runoff curve number

요 지

본 연구는 유역특성에 따른 지목별 침투능-강우강도와 유효우량의 연관성을 연구하기 위해 지체시간의 변화가 도달시간에 미치는 영향과 토지이용현황별 침투능과 강우강도에 따른 유효우량의 변화를 연구하였다. 분석 결과 지체시간이 2시간에서 19시간 55분으로 강우강도에 따라 편차가 크게 발생하고 있으며 이로 인해 홍수수문곡선 상승부 형태가 결정되고 있다. 임야는 500 mm/hr 이상 강우에도 유출이 발생하지 않는 지역과 80 mm/hr 이상 강우에 100% 유출이 발생하는 지역으로 구분되고, 밭 지역은 120 mm/hr 이상 강우에도 유출이 발생하지 않는 지역과 20 mm/hr 이상 강우 발생 시 100% 유출이 발생하는 지역이 있으며 대지와 논 지역은 20 mm/hr 이상 강우에 100% 유출이 발생할 수 있는 것으로 분석되었다. 침투능이 토양통과 토지이용현황에 따라 다르므로 합리식의 유출계수와 유출곡선지수는 객관적 적용이 필요하다.

핵심용어: 침투능, 강우강도, 유효우량, 합리식, 유출곡선지수

1. 서 론

최근 국지성 집중호우에 의한 피해가 빈번하게 발생하고 있기 때문에 돌발홍수에 대한 관심도 높아지고, 다양한 부분에서 이에 대한 원인규명과 예측을 위해 연구가 진행되고 있다. 그 예로서 돌발홍수 및 강풍 등 기상재해의 가능성이 높

아지고 있는 만큼 국지성 기상관측을 위한 저고도 및 고해상도 관측에 대한 연구가 세계적으로 활발하게 진행되고 있다 (임상훈 등, 2012).

이뿐 아니라 확률강우량을 적용하는데 있어서의 실효성에 많은 의문이 제기되고 있는 가운데 이상강우 및 확률강우량에 대한 다양한 연구가 진행되고, 이에 대한 연구에서는 관

*정회원. 강원대학교 토목공학과 박사과정수료(E-mail: kukil002@empas.com)
Member. Ph.D Candidate, Department of Civil Engineering, Kangwon University

**정회원. (주)국일건설엔지니어링 수자원부 부장
Member. Director, Department of Water Resources, Kukil Construction Engineering

***정회원. 강원대학교 산학협력단 박사후 연구원
Member. Ph.D Candidate, Department of Civil Engineering, Kangwon University

****교신저자. 정회원. 강원대학교 토목공학과 교수(Tel: +82-33-250-6232, Fax: +82-33-435-6755, E-mail: hankuy@kangwon.ac.kr)
Corresponding Author. Member. Professor, Department of Civil Engineering, Kangwon University

Table 1. Characteristics of the Hongcheon River Watershed

하천명	유역 면적 (km ²)	수원으로 부터 거리 (km)	하도 경사 (H/L)	유역 평균 폭 (km)	형상 계수 (A/L ²)	하천 밀도	유역평균 경사 (%)	하폭 (m)	조도 계수	계획 홍수량 (m ³ /s)
홍천강	880.64	78.70	1/799	11.19	0.142	0.351	21.6	33~227	0.030~0.035	862~3,279
내촌천	342.00	54.50	1/361	6.27	0.115	0.159	20.10	28~236	0.035~0.040	435~1,935

측최대강우량, 자료기간증가영향, 경년변화영향, 호우발생원인 영향, 기후변화와 도시화영향 등을 고려한 확률강우량 등 설계강우량에 대하여 많은 제안을 하였다(조덕준 등, 2012).

그러나 지금까지 실제 지형특성에 따라 유출되는 유효우량에 대한 연구와 조사는 미진한 상태이고 확률강우량의 통계 분석의 정확성에만 치중되었다.

최근 유동훈 등(2011)은 도달시간 산정식에서 강우강도는 고려되어야 할 매우 중요한 요소이지만 일반적으로 강우강도식의 복잡함 때문에 도달시간 산정에서 강우강도를 충분히 고려하지 못하고 있는 실정으로 도달시간 계산의 정확성을 높이기 위하여 강우강도와 재현기간을 도달시간 산정식의 유도에 포함시켰으며 소하천 및 중소유역 하천의 수공구조물 설계와 저수지의 설계에 유용하게 사용 수 있도록 강우강도를 고려한 도달시간 산정식에 대한 연구를 하였다.

이상호 등(2008)은 제주지역 현장 침투능 시험을 실시한 결과 초기침투능이 최대 576 mm/hr, 중기침투능이 최대 288 mm/hr가 발생하는 지역을 확인하였고, 김지호(2003) 활엽수림지의 침투능은 272 mm/hr까지 침투가 될 수 있는 연구결과를 인용하였다.

유효우량산정방법중 가장 많이 사용하고 있는 NRCS방법은 초기손실을 제외한 초기강우부터 유출이 발생하지만 침투곡선식은 토양의 침투능을 초과하는 강우강도의 강우가 발생하기 전에는 유출이 없다가 침투능을 초과하는 강우에 유출이 발생하여 집중호우시 홍수량 급증과 연관성이 있고, 실제 토양의 조건에 따라 투수지역의 침투능을 초과하는 강우가 발생하게 되면 불투수지역화 되어 유출량이 급증하는 것으로(강영복 등, 2012) 강우강도와 유효우량의 관계에 대한 연구를 하고자 하였다.

따라서 본 연구에서는 최근 기후변화로 발생하는 홍수에 대한 기상예측과 확률강우량분석 및 적용방법, 도달시간 산정식 적용 등 다양한 연구가 진행되고 있지만 유역특성에 따른 지목별 침투능-강우강도의 관계와 유효우량과의 연관성에 대한 연구 사례가 없음을 착안하여 실제토양조건에 따른 침투능 실측자료로 산정된 침투능곡선식과 강우강도의 관계를 고려한 유효우량 산정기준을 제시하고자 하였다.

2. 대상유역 및 연구방법

2.1 홍천강 유역특성조사

대상유역(Table 1)은 홍천강 홍천교지점을 기점으로 하여 유역특성조사를 실시하였으며 대상유역면적은 880.64 km²이고, 유로연장은 78.7 km, 유역평균폭은 11.19 km로 형상계수가 0.142 km이다. 하도경사가 1/799로 완경사이고 최상류 최소

하천폭은 33 m이지만 기점으로부터 29 km지점까지는 100 m~227 m로 하폭이 넓고 최상류 6 km구간의 하폭이 50~99 m 정도이다. 하도내에는 자갈, 모래가 많아 조도계수는 0.030~0.035이다(강원도, 1990).

홍천교에서 상류 22.4 km 지점에서 합류되는 제1지류 내촌천은 지방하천으로 유로연장이 54.5 km, 유역면적 342.0 km²로 대상유역의 38.8%를 차지하고 있는 하천이다(홍천군, 1994).

2.2 연구 방법

본 연구는 홍천강 상류지역을 대상유역으로 선정하여 홍천

Table 2. Overview of Survey Points and Number of Preceding Rainy Days

번호	토양통	조사위치 (강원도 홍천군)	지목	조사일시 (12년)	날씨	5일 선행 강우량 (mm)	AMC조건	
							비 수 기	성 수 기
1	외산1	홍천읍 장전평리	전	04.24	맑음	60.4	III	III
2	외산2	화촌면 장평리	임	05.02	맑음	0.0	I	I
3	외산3	서석면 어론리	임	04.26	맑음	73.9	III	III
4	외산4	서석면 수하리	임	05.02	맑음	0.0	I	I
5	송산1	화촌면 굴운리	임	04.25	비	72.4	III	III
6	송산2	내촌면 물걸리	임	05.02	맑음	0.0	I	I
7	송산3	내촌면 물걸리	임	05.02	맑음	0.0	I	I
8	송산4	서석면 청량리	임	04.26	맑음	73.9	III	III
9	덕산1	화촌면 굴운리	대	04.25	비	72.4	III	III
10	덕산2	두촌면 천현리	임	04.30	맑음	13.5	II	I
11	덕산3	두촌면 천현리	임	04.30	맑음	13.5	II	I
12	덕산4	서석면 풍암리	임	04.26	맑음	73.9	III	III
13	삼각1	동면 덕치리	임	04.27	맑음	21.4	II	I
14	삼각2	서석면 상군두리	답	04.26	맑음	73.9	III	III
15	청산	화촌면 송정리	임	04.25	비	72.4	III	III
16	수암1	동면 개운리	임	04.27	맑음	21.4	II	I
17	수암2	동면 노천리	전	04.26	맑음	73.9	III	III
18	지곡	서석면 하군두리	전	04.26	맑음	73.9	III	III
19	매곡	두촌면 자은리	답	04.30	맑음	13.5	II	I
20	무등	서석면 어론리	임	04.26	맑음	73.9	III	III
21	안통	홍천읍 하오안리	답	04.23	맑음	60.0	III	III
22	하빈	서석면 수하리	답	05.02	맑음	0.0	I	I
23	아산	화촌면 송정리	임	04.25	비	72.4	III	III
24	상주	서석면 청량리	답	04.26	맑음	73.9	III	III
25	남계	동면 덕치리	답	04.27	맑음	21.4	II	I
26	강서	동면 덕치리	답	04.27	맑음	21.4	II	I
27	월곡	동면 개운리	답	04.27	맑음	21.4	II	I
28	과천	두촌면 자은리	대	04.30	맑음	13.5	II	I
29	고천	내촌면 물걸리	답	05.02	맑음	0.0	I	I

Table 3. Results of Infiltration Capacity Test by Soil Series

번호	토양통	토지 현황	시험장비	침투능(cm/s)		시험시간 (min)
				초기	종기	
1	외산1	전	1.8inch	6.670E-04	6.600E-04	260.00
			12inch	3.000E-04	1.500E-04	300.00
			24inch	1.900E-04	1.300E-04	300.00
	외산2	임	1.8inch	5.180E-02	5.500E-03	76.33
	외산3	임	1.8inch	1.000E-02	5.300E-03	135.00
2	외산4	임	1.8inch	3.430E-02	2.760E-02	61.55
	송산1	임	1.8inch	1.800E-03	7.000E-04	82.00
	송산2	임	1.8inch	3.630E-02	1.480E-02	74.87
	송산3	임	1.8inch	1.337E-01	2.890E-02	73.32
3	송산4	임	1.8inch	3.000E-03	1.300E-03	50.00
	덕산1	대	1.8inch	2.300E-03	1.100E-03	90.00
	덕산2	임	1.8inch	1.073E-01	8.020E-02	43.35
	덕산3	임	1.8inch	7.150E-02	2.150E-02	42.02
4	덕산4	임	1.8inch	4.400E-02	2.210E-02	80.08
	삼각1	임	1.8inch	1.104E-01	9.300E-03	80.08
5	삼각2	답	1.8inch	7.700E-03	3.900E-03	56.00
			1.8inch	5.390E-03	2.330E-03	236.00
			12inch	3.000E-04	1.800E-04	270.00
6	청산	임	24inch	2.000E-04	1.300E-04	270.00
			1.8inch	4.310E-02	6.900E-03	80.35
7	수암1	임	1.8inch	5.100E-03	4.600E-03	75.00
	수암2	전	1.8inch	1.000E-03	4.000E-04	63.00
8	매곡	답	1.8inch	1.400E-03	2.000E-04	95.00
9	무등	임	1.8inch	4.300E-03	3.200E-03	75.00
10	안룡	답	1.8inch	4.000E-04	3.950E-04	182.00
			12inch	2.000E-05	1.000E-05	172.00
			24inch	1.000E-05	4.000E-06	172.00
11	하빈	답	1.8inch	1.200E-03	5.000E-04	70.00
12	아산	임	1.8inch	1.400E-03	9.000E-04	60.00
13	상주	답	1.8inch	1.700E-03	1.000E-03	35.00
14	남계	답	1.8inch	4.700E-03	1.700E-03	210.00
15	강서	답	1.8inch	6.000E-04	1.000E-04	60.00
16	월곡	답	1.8inch	4.310E-02	7.000E-03	64.30
17	과천	대	1.8inch	1.155E-01	3.300E-02	64.20
18	고천	답	1.8inch	9.000E-04	6.000E-04	78.00

강 홍천교 수위관측자료와 우량관측자료(한강홍수통제소)를 이용하여 지체시간(lag time, t_L)의 변화와 유역의 하도경사, 하천연장, 유속 등을 고려한 도달시간(time of concentration, t_c)과의 상관성을 조사하여 토지이용현황별 침투능과 강우강도에 따른 유효우량의 변화에 대한 연구를 실시하였다.

침투능 자료는 토양 특성조사를 실시한 후 선정된 토양통(Soil Series)에 대한 현장침투시험을 실시한(강영복 등, 2012)결과를 이용하였다(Table 2, Table 3).

3. 분석 및 고찰

3.1 지체시간과 도달시간의 상관분석

집중호우의 영향을 조사하기 위하여 국토해양부에서 관측한 자료를 이용하여 지체시간의 변화를 조사하기 위해 강우자료 및 수위(유량)자료를 비교분석하였다(Table 4).

지체시간은 최소 2시간에서 최대 19시간 55분으로 편차가 크게 발생하고 있다. 지체시간의 변화를 정리하면 강우강도가 15 mm/hr미만일 때 18시간 이상이며 15 mm/hr이상 20 mm/hr미만은 선행강우량에 관계없이 지체시간이 9시간 40분에서 10시간 15분 이내이지만 20 mm/hr이상 40 mm/hr 이하는 3시간에서 8시간 15분으로 많은 양의 강우가 발생할 때 강우강도와 선행강우량에 따라 큰 편차를 나타내고 있다.

하천의 하상경사와 수위관측지점의 동수경사를 고려한 평균유속(Manning 공식적용)은 하천수위에 따라 유속의 분포가 최소 1.66 m/s에서 최대 4.97 m/s까지 나타났다. 높은 강우강도에서 유속이 빠르고 지체시간도 짧아 침투유량이 크게 나타나고 있다.

조사기간 중 최대 강우강도를 나타내는 2006년 7월 15일 집중호우로 인한 강우강도가 60 mm/hr이며 지체시간이 2시간으로 하천의 유량이 급속히 증가하는 현상을 나타났다.

홍천군 관내 각 읍면별 국토해양부 우량관측소의 강우량이 일부지역에서 3시간 연속강우가 117 mm(두촌면), 128 mm(내촌면) 발생하고, 각각 최대 최대강우강도는 60 mm/hr(홍천), 43 mm/hr(서석), 42 mm/hr(삼포), 40 mm/hr(도촌), 66 mm/hr(노천), 56 mm/hr(내촌), 홍천 기상청 관측강우량은 88 mm/hr의 호우가 발생하였다(Fig. 1).

Fig. 1. Status of Hourly Rainfall by Observatory (July 15 - July 16, 2006)

Table 4. Rainfall and Water Level (Flow) Data

번호	강우사상 기간		선행 강우량 (mm/5일)	강우량 (mm)	강우 지속시간 (hh:mm)	최대 강우강도 (mm/hr)	침투 유량 (m³/sec)	최고 수위 (m)	침투유량 발생시간 (hh:mm)	지체 시간 (hh:mm)	평균유속		유하 거리 (km)	유입 시간 (hh:mm)
											(m/s)	(km/hr)		
1	2006년	7월12일	39.0	126.0	06:00~20:30 (14:30)	23.0	1,819.93	3.81	21:30	08:15	3.71	13.4	78.70	2:22
2		7월15일	196.0	74.0	12:00~15:00 (03:00)	60.0	3,647.77	5.58	15:30	02:00	4.97	17.9	35.8	-
3		7월15일	278.0	174.0	00:00~15:00 (15:00)	30.0	2,811.79	4.84	10:00	03:00	4.46	16.1	48.2	-
4	2009년	7월01일	18.0	184.0	03:50~14:20 (10:30)	40.0	2,162.22	4.19	16:10	07:05	4.00	14.4	78.70	1:37
5		7월04일	159.0	215.0	01:10~13:20 (10:30)	30.0	2,502.10	4.54	14:20	07:15	4.25	15.3	78.70	2:06
6		8월12일	74.0	97.0	04:00~10:30 (06:30)	29.0	994.08	2.72	11:40	04:25	2.80	10.1	44.4	-
7	2010년	5월18일	0.0	42.0	00:20~12:10 (11:50)	8.0	353.95	1.60	5월19일 02:20	19:55	1.74	6.3	78.70	7:22
8		8월15일	49.0	29.0	04:00~04:20 (00:20)	34.0	855.78	2.50	08:40	04:30	2.59	9.3	41.9	-
9		9월21일	37.0	54.0	14:20~20:50 (06:30)	18.0	314.08	1.51	9월22일 04:00	10:15	1.66	6.0	61.4	-
10	2011년	4월30일	47.0	55.0	14:50~21:40 (06:50)	12.0	519.26	1.92	5월01일 03:10	18:15	2.00	7.2	78.70	7:19
11		6월29일	114.0	83.0	02:20~16:40 (14:20)	18.0	754.97	2.64	19:10	09:40	2.72	9.8	78.70	1:38

평균유속과 홍천강의 하도연장(78.70 km)을 고려한 유하시간을 검토한 결과 2010년 9월 21일 강우사상을 제외하고는 모두 고강도 강우발생시 유하시간이 짧아지고 있다. 지체시간이 7시간 이상인 강우사상은 하도연장의 평균유속보다 긴 지체시간이 발생하는 것은 유입시간의 변화로 판단된다.

강우강도가 20 mm/hr이하에서는 선행강우량과 관련성 없이 지체시간이 하도내 유속과 유역특성을 고려할 때 거의 일치하지만 20 mm/hr이상 일 때는 큰 차이가 발생하는 원인은 침투능에 따른 유효유량의 변화라고 판단된다.

기저유출은 항상 일정하지 않고 강우량에 따라 변동이 발생하는 부분이 있으므로 홍수시 기저유량 유출에 관한 연구는 다른 연구와 연계하여야 하므로 추후 연구과제로 두고자 한다(강영복 등, 2012).

3.2 지목별 침투능과 강우강도의 관계

지목별 토지이용현황에 따라 침투시험결과를 정리하여 침투곡선식을 유도하였다(Fig. 2).

(a) Upland Field 1과 (c) Forest 1, (f) Rice Paddy는 침투시험을 300분까지 실측한 자료를 이용하여 600분까지 침투능 추세선을 추정하였으며 (b) Upland Field 2, (d) Forest 2, (e) Land는 초기침투능이 감소하는 기울기의 변화가 토양의 특성에 따라 다르지만 60분 이후로는 감소가 둔화되는 경향이 있었으므로 침투시간을 60분 전후로 실측하여 이후 시간에 대한 침투능은 추정하여 사용하였다.

본 연구는 많은 침투시험데이터를 축적하여 결정계수를 높

여 침투곡선식의 신뢰를 높여야 하지만, 기간과 예산의 한계로 시험횟수가 부족하고 일부 시험지점에서 측정값의 연속성이 떨어져 신뢰도가 낮아지는 원인이 되었다.

Table 5에서 대지 전1은 유의차가 인정되지만 임야2, 전2, 임야1, 답은 기각되었다. 토양의 투수특성과 시간의 지수함수 관계에서 초기침투능에서 중기침투능까지 수렴하는 시간을 수학적으로 표현하는 것은 본 연구단계에서 한계성이 있다. 그러나 유역의 토양통에 따라 지질특성이 비슷하므로 수문학적 토양분류를 위한 침투능의 차이가 크지 않는 것으로 판단되어 본 연구에서는 토양통별 침투능 변화와 토지이용현황에 따른 차이를 고찰하였다(강영복 등, 2012).

Fig. 3과 Table 5에서와 같이 임야2 지역의 경우 침투능이 500 mm/hr이상으로 매우 좋아 거의 유출이 발생하지 않는 지역으로 토양통은 외산, 송산, 덕산, 삼각, 수암 지역이다.

임야1 지역의 침투능을 보면 80 mm/hr이상의 강우가 발생하게 되면 100%유출이 발생할 수 있는 지역으로 분석되었으며 토양통은 외산, 송산, 청산, 무등이 포함된다.

전2 지역은 침투능이 120 mm/hr이상으로 임야지역을 개간하여 농경지와 주거지로 이용하고 있는 지역으로 토양통은 수암 지역으로 임야2 지역의 수암 토양통과 같다. 따라서 같은 토양통이라도 지목별 현황에 따라 침투능이 다른 것은 기존 산지지역을 개간하여 밭이나 주거지로 이용하게 되어 일어난 현상으로 판단된다.

대지지역과 답 지역, 전1 지역은 20 mm/hr이상 강우에 100%유출이 발생할 수 있는 것으로 조사되었다.

Fig. 2. Infiltration Capacity Comparison of the Measured values and trend values by Status of Land Use

Table 5. Infiltration Capacity Curve by Land Category

토지 현황	침투능곡선식	유의확률 (p)	결정계수 (R ²)	토양통
임야2	$y = 2.179 X^{-0.205}$	0.000	0.2288	외산, 송산, 덕산, 수암, 삼각
전2	$y = 21.946 X^{-0.098}$	0.514	0.2597	수암
임야1	$y = 202.79 X^{-0.163}$	0.000	0.1148	외산, 송산, 청산, 무등
대지	$y = 146.63 X^{-0.338}$	0.052	0.8432	덕산, 아산, 과천
답	$y = 94.642 X^{-0.283}$	0.000	0.1641	삼각, 매곡, 안룡, 하빈, 상주, 남계, 강서, 월곡, 고천
전1	$y = 49.034 X^{-0.158}$	0.021	0.5550	외산, 지곡

20 mm/hr 강우강도를 기준으로 대지, 답, 전 지역이 불투수화 되어 유출이 발생하고, 80 mm/hr 강우강도이상일 때는 일부 임야지역도 불투수화 되어 유출이 발생하는 것으로 나타났다.

침투능-강우강도를 고려한 유효우량산정 기준

Fig. 3. Comparison of Infiltration Capacity by Land Use

3.3 유효우량산정 기준

함리식에서는 토지이용도에 따른 유출계수 범위가 답의 경우 0.7~0.8, 전은 0.1~0.6, 대지는 0.3~0.75, 임야는 0.3~0.8을 적용하고 있고, NRCS 유효우량산정을 위한 유출곡선지수(CN)의 경우 식생피복 및 토지이용 상태에 따라 답의 경우

62~91, 전은 59~88, 대지(주거지역)는 46~92, 임야는 25~83을 적용하고 있다(한국수자원학회, 2009).

20 mm/hr이상의 강우강도가 발생하는 빈도가 커지고(Table 4) 연속강우가 자주발생하고 있으므로 토양의 침투능을 고려한 유출계수의 적용과 유효우량산정법의 개선이 요구된다.

답, 대지의 경우 합리식과 유출곡선지수에서 다소 낮은 값을 적용하고 있고, 산지를 개간하여 전으로 이용하는 지역은 기존 적용 값과 비슷하지만 적용기준이 명확하지 않아 객관성이 떨어지고 있으므로 침투시험을 통한 토양의 침투 특성을 고려하여 적용하는 것이 바람직 할 것이다. 특히 임야지역은 지역에 따라 침투능이 7~10배의 차이를 보이고 있으므로 적용시 주의가 필요하다.

4. 결 론

본 연구는 홍천강 유역을 대상으로 현장 침투능 시험결과와 강우강도를 고려한 유효우량산정 기준을 제시하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 본 연구 대상유역인 홍천강유역면적은 880.64 km²로 대규모 하천에서의 유출현상을 조사한 결과 강우강도에 따라 하천의 유량변동이 달라 지체시간이 약 10배 정도의 편차가 나타나고 있으며 강우강도 60 mm/hr이상 강우와 연속강우 발생 시 지체시간 2시간에서도 침투우량이 발생하고 있다. 이는 토양의 침투능과 관련이 있으며 포화된 토양 때문에 직접유출고가 증가되는 현상으로 판단된다.
- 2) 조사된 침투곡선식을 지목별로 정리하였다. 대지, 답, 전 지역은 강우강도 20 mm/hr이상의 강우가 지속되거나 일정량의 선행강우 후 집중호우가 발생하게 되면 토양이 포화되어 침투량이 감소하고 직접유출고가 증가하고 있다.
- 3) 임야지역은 침투능의 편차가 10배 정도이므로 일률적인 유출계수 및 유출곡선지수 적용보다는 현장침투시험결과에 따라 객관적인 값을 적용하여 직접유출고의 정확성을 높여야 한다.
- 4) 토양통(Soil Series)이 같더라도 토지이용에 따라 침투능이 다르므로 토양통과 토지이용을 병행한 조사와 침투시험을 실시하여 수문학적 토양분류의 기준 제시가 필요하다.
- 5) 본 연구에서 실시한 현장 침투능 시험결과가 대체로 상관관계가 낮아 신뢰도가 떨어지는 원인은 자연산지의 토양단면도(Soil Profile)를 보면 표토층에 오랜 기간 동안 퇴적된 유기물질로 구성된 표토층과 무기물질로 이루어진 부식토층이 발달되어 있다. 이로 인한 유효토심 깊이가

가 증가되고 이로 인해 침투방향과 표면적 증가로 인해 공급되는 수량보다 침투능이 높은 지역이 나타나고 있다.

- 6) 물의 침투방향은 중력과 토양의 흡입수두에 따라 수직·수평방향으로 이동하게 되므로 흡입수두가 악화 되는 시점까지 일정 반경의 토양을 먼저 습윤 조건으로 만들어야 한다. 또한 선행 강우량이 없는 경우에는 시험 위치 주변토양과 측정 장비에 물을 같이 공급해야 하는 어려움이 있다.
- 7) 토양의 침투특성과 시간과의 함수관계를 정립하기 위해서는 향후 많은 예산과 시간을 투자하여 많은 침투량 실측자료를 확보 할 수 있도록 연구를 지속적으로 진행함이 타당할 것이다.

References

- Gangwon-do (1990) *Basic Maintenance Plan for the Hongcheon River*.
- Hongcheon-gun County Office (1994) *Basic River Maintenance Plan for the Naecheon Stream*.
- Jo, D.J. and Jeon, B.H. (2012) *Analysis on the Characteristics of Exceeding Probability Rainfall Events*. Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 12, No. 2, pp. 309-313.
- Kang, Y.B., Kim, B.J., Park, S.J. and Choi, H.K. (2012). *Estimation of Infiltration Curved Formulas by using Infiltration Capacity Experiment in the Hongcheon-River Watershed*. Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 12, No. 5, pp. 215-223.
- Kim, J.H. (2003) *A Study on runoff Coefficient Estimation of Rational Method in the Korean River Basins*. Doctor's dissertation. Hongik University.
- Korea Water Resources Association (2009) *River Design Criteria-Commentary*. Construction and Transportation Journal Co., Ltd.
- Lee, S.H., Kang, T.W., Lee, D.Y. and Jung, T.H. (2008) *Report on the Monitoring of Field Infiltration of the Jeju English Education City Conduct Design Service*. Busan· Ulsan·Gyeongnam Branch of the Korean Society of Civil Engineering.
- Lim, S.H., Lee, D.R. and Hwang, S.H. (2012) *Utilization of a Small Weather Radar for the Control of Flash Flood*. Journal of the Korea Water Resources Association. Korea Water Resources Association Vol. 45, No. 78, pp. 8-14.
- Yoo, D.H., Kim, J.H., Lee, M.H. and Lee, S.H. (2011) *Estimation Formula Considering Rainfall Intensity*. Journal of the Korea Water Resources Association. Korea Water Resources Association. Vol. 44, No. 7, pp. 591-599.

◎ 논문접수일 : 2012년 11월 23일
 ◎ 심사의뢰일 : 2012년 11월 26일
 ◎ 심사완료일 : 2012년 12월 10일