

지방하천 유역의 지속시간별 강우강도와 첨두수위 관계식 산정

Evaluation of Relationship between Rainfall Intensity for Duration of Watersheds and Peak Water Levels of Local Rivers

최 한 규* 공 지 혁** 백 효 선***
Choi, Han-Kuy Kong, Ji-Hyuk Baek, Hyou-Sun

Abstract

As the need for predicting the flood stage of river from torrential downpouring caused by climate change is increasingly emphasized, the study, centered on the area of Gangwon-do Inje-gun and Jeongseon-gun of local river, is to develop peak water level regression equation by rainfall. Through the correlation between rainfall and peak water level, it is confirmed that rainfall according to duration and peak water level have a high correlation coefficient. Based on this, a relational expression of rainfall and peak water level is verified and then the adequacy of the calculated expression is analyzed and the result shows that a very accurate prediction is not easy to achieve but a rough prediction of the change of water level at each point is possible.

키워드 : 강우강도, 첨두수위, 회귀분석

Keywords : rainfall intensity, peak water level, regression analysis

1. 서론

우리나라는 최근 지구온난화, 기상이변 등에 의한 집중호우로 매년 큰 재산적 피해를 입고 있다. 매년 반복적으로 일어나는 홍수피해는 국지적인 집중호우의 빈번한 발생으로 인해 하천의 수위 변동 예측에 관한 연구를 강조하고 있다.

일반적으로 수위예측은 유역별 급속한 유속과 토사이동에 의한 하상변동 그리고 잦은 기후변화로 인한 집중호우로 정확한 수위예측을 하는데 어려움을 따르고 있다. 이는 하천의 자연 및 인위적인 영향에 따른 원인이기도 하다. 호우 발생시 하

천의 수위범람을 사전에 예측하기 위해서 국가기관에서는 홍수예경보 시스템을 운영하고 있다. 이는 4대강의 대규모 유역을 중심으로 설치 및 운영되고 있다. 하천의 홍수위를 예측하기 위한 연구는 학계와 일부국가기관에서 다방면으로 연구를 진행하고 있으나 홍수위를 산정함에 있어 주 원인인 강우와 수위에 대한 직접적인 관계식을 갖는 분석자료는 아직 부족한 상황이다. 따라서, 강우와 수위의 관계식을 산정하여 홍수예경보 운영의 기초자료로서 활용될 필요성이 있다.

따라서, 본 연구는 한강의 상류유역인 정선군과 인제군의 지방하천을 중심으로 유역의 수문자료를 조사하여 강우강도와 첨두수위간의 관계를 분석하고, 이를 토대로 수위변동 예측 추정식을 제안하여 지방 중소하천의 홍수예경보 운영을 위한 기초자료를 제공하는데 본 연구의 목적이 있다.

* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사, 교신지자

** 강원대학교 대학원 토목공학과 공학석사

*** 강원대학교 대학원 토목공학과 박사과정수료

2. 이론적 배경

2.1 상관분석

둘 이상의 변량사이에 존재하는 어떤 상호 종속적인 관계나 그 관계의 강도를 통계적으로 분석하는 방법을 상관분석(correlation analysis)이라 한다. 모상관계수(population correlation coefficient)가 ρ 인 이변량 모집단으로부터 얻은 크기 n 의 확률표본을 $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$ 이라 할 때, X 와 Y 의 분산에 대한 불편추정량은 각각 다음과 같이 표현한다.

$$S_X^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

$$S_Y^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (1)$$

마찬가지로 X 와 Y 의 공분산에 대한 불편추정량은 다음 식과 같다

$$S_{XY}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \quad (2)$$

모상관계수는 모공분산 $\sigma_{XY} = \text{Cov}(X, Y)$ 와 모표준편차들 σ_X, σ_Y 에 대하여 $\rho = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y}$ 이므로 ρ 를 추정하기 위한 표본상관계수(sample correlation coefficient) r 을 다음과 같이 정의한다.

$$r = \frac{S_{XY}}{S_X S_Y} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (3)$$

여기서, S_{XY} 는 표본으로부터 얻어진 x 와 y 의 공분산이며, S_X 는 x 의 표본표준편차, S_Y 는 y 의 표본표준편차이다.

부분상관성계수 (partial correlation coefficient)는 두 변수간의 순수한 상관성을 찾기 위해 사용되는 방법으로 식 (2.4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$r_{x_1 x_2, x_3} = \frac{r_{x_1 x_2} - r_{x_1 x_3} r_{x_2 x_3}}{\sqrt{(1 - r_{x_1 x_3}^2)(1 - r_{x_2 x_3}^2)}}$$

$$r_{x_1 x_3, x_2} = \frac{r_{x_1 x_3} - r_{x_1 x_2} r_{x_2 x_3}}{\sqrt{(1 - r_{x_1 x_2}^2)(1 - r_{x_2 x_3}^2)}}$$

$$r_{x_2 x_3, x_1} = \frac{r_{x_2 x_3} - r_{x_1 x_2} r_{x_1 x_3}}{\sqrt{(1 - r_{x_1 x_2}^2)(1 - r_{x_1 x_3}^2)}} \quad (4)$$

여기서 $r_{x_i x_j, x_k}$ 는 x_k 의 영향력을 제거한 x_i 와 x_j 의 부분상관계수이고, $r_{x_i x_j}$ 는 x_i 와 x_j 의 상관계수이다.

순위로 평가하는 것이 용이한 경우에 상관계수 대응으로 쓰이는 것으로 순위상관계수가 있다. 다음과 같이 정의된다.

$$r_s = \frac{6 \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n(n^2 - 1)} \quad (5)$$

확률변수 X 가 평균이 μ 이고 분산이 σ^2 인 정

규분포를 따를 때 간단히 $N(\mu, \sigma^2)$ 으로 표현되며, 이 분포형을 표준정규분포의 확률변수 Z 로 표현하면 $Z(0,1)$ 이 되며 이러한 과정을 표준화라 하며 다음과 같다.

$$z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (6)$$

여기서 Z 는 표준정규 확률변수, X 는 확률변수, μ 는 평균, σ 는 표준편차를 의미한다.

2.2 회귀분석

회귀분석의 역할은 이론적으로 알고 있는 두 변수의 관계를 실제 현상에서의 확인해보는 것과 한 변수를 기초로 하여 다른 변수를 예측하는 것이다. 회귀분석에서 가장 간단한 것은 하나의 독립변수와 하나의 종속변수 사이의 관계를 분석하는 것인데, 이를 단순회귀분석이라 한다. 그러나 실제로는 여러 독립변수들이 종속변수에 어떤 영향을 미치는가를 파악해야 할 경우가 더 많이 있다. 어떤 경우의 회귀분석, 즉 하나의 종속변수와 여러 독립변수들 사이의 관계를 분석하는 것을 중 회귀분석이라 한다. 일반적으로 회귀식은 다음과 같이 독립변수 x 와 종속변수 y 의 관계를 식으로 표현된다.

$$y = \alpha + \beta x \quad (7)$$

독립변수 x 는 수학변수(mathematical variable), 종속변수 y 는 측정오차를 수반하는 확률변수, 측정오차들은 모든 x 에 대하여 서로 독립이다.

3. 대상유역 선정 및 자료조사

3.1 연구지점 선정

본 연구지점으로 선정된 한강수계의 지방하천은 인제군의 북천, 내린천, 인북천과 정선군의 오대천, 송천, 임계천 등으로 각 연구대상지점은 협준한 산악의 급경사 협곡을 이루고 있으며, 집중호우시 도달시간이 매우 빠른 특징을 지니고 있다. 또한, 하상 구성물질이 모래와 자갈 그리고 호박돌 등으로 구성되어 있어 토사이동이 매우 잦은 유출특성을 지니고 있다.

3.2 수문자료조사

3.2.1 인제군 수문관측소

인제군 관내에 위치한 우량관측소를 조사한 결과 국토해양부 관할의 백담사 관측소와 수자원공사 관할의 원통 관측소의 6개소 등의 우량자료를 수집하였으며, 수위 관측소 역시 선정된 우량관측소의 하류에 위치한 북천, 인북천, 내린천 수위 관측소의 수위자료를 수집하였다.



그림 3.2 인제유역 우량 및 수위 관측소 위치도

3.2.2 정선군 수문관측소

정선군의 우량관측소는 유역내에 위치한 임계, 유천 관측소 등 2개소와 유역의 인근에 위치한 평창군의 진부, 수향, 황계 관측소 그리고 강릉시의 왕산 관측소 등 총 6개소의 우량관측소를 선정하여 자료를 수집하였으며, 수위관측소 역시 각 유역의 하류에 위치한 수위관측소를 선정하여 수위 자료를 수집하였다.



그림 3.3 정선유역 우량 및 수위 관측소 위치도

3.2.3 유역별 티센계수

면적평균강우량산정 방법 중의 하나인 티센다가형법을 이용한 각 우량관측소가 미치는 유역면적별 티센망도를 설정해 티센계수를 산정하였다. 지점별 티센계수는 인제군과 정선군의 전체 유역면적을 각 연구대상 하천의 소유역 면적을 나눈값으로 단위는 무차원 단위이며 유역면적 평균강우량을 산정하기 위해 필요한 계수이다. 유역별 티센계수는 다음 표 3.1과 같다.

표 3.1 지점별 티센계수

유량	인제유역			유량	정선유역		
	북천	인북천	내린천		송천	임계천	오대천
백담사	0.39	0.13		진부			0.55
원통	0.27	0.13		황계	0.36		
현리			0.35	임계		1.0	
용대	0.34	0.13		수향			0.45
군량		0.07		유천	0.24		
상남			0.46	왕산	0.39		
귀둔			0.19	-			
서화		0.61		-			

3.2.4 유역별 특성현황

연구 대상지점의 유역별 유역면적, 유로연장, 하천폭, 도달시간 등을 고려해 유역 특성분석을 하였다. 유로연장과 하폭의 경우 한국수문조사연보와 각 지점별 하천정비기본계획의 자료를 참고하여 조사하였으며, 도달시간의 경우 강우시 강우사상으로 발생할 수 있는 수문곡선에서 강우강도에 따른 유효우량 중심도에서 침투수위까지의 거리를 도달시간으로 산정해 정리하였다. 유역면적의 경우 지점별 하천정비기본계획의 유역개황에서 확인할 수 있으나 1/25000 인공관 수치지형도로 유역을 본떠 유역면적을 산정하였다. 수치지형도를 이용하여 유역면적을 확인해 본 결과, 각 하천정비기본계획에서 조사된 유역면적과 큰 차이를 보이지 않았다. 일반적으로 유역특성 분석은 강우시 수위를 예측하고 유출현상을 해석하는데 있어 매우 중요한 자료이다. 연구 지점별 유역특성현황은 다음 표 3.2와 같다.

표 3.2 지점별 티센계수

지점	북천	인북천	내린천	오대천	임계천	송천
유역면적(km^2)	271.11	579.91	981.87	421.67	167.44	336.60
유로연장(km)	34.2	68.7	85.4	57.6	17.4	64.8
하폭(m)	140.0	95.5	134.0	104.5	160.0	70.0
도달시간(hr)	5.0	5.5	4.5	6.5	3.0	4.0

3.3 강우 및 수위자료 수집

본 연구를 위하여 선정된 관측소에 대하여 강우량 및 수위에 대하여 자료를 수집하였다. 강우자료는 2005~2009년(5개년) 까지의 자료를 수집하였으며, 티센계수를 적용해 유역면적 평균강우량으로 산정하여 정리 하였다. 수위자료의 경우 매년 강우사상 중 첨두수위를 선정해 첨두수위구간의 지속시간에 따른 강우강도를 산정하였다.

4. 분석 및 검증

4.1 지속시간별 강우강도 산정

선정된 관측소에 대하여 강우량 및 수위자료에 대하여 수집하였다. 수집한 강우자료는 유역면적 평균강우량 산정방법을 적용하여 매년 첨두수위구간에 대해서 지속시간 1시간부터 12시간까지 강우강도를 산정하였으며, 다음 표 4.1~4.6과 같이 정리하였다.

표 4.1 내린천 지속시간별 강우강도

날짜	09.7.12	08.7.25	07.8.09	06.7.15	05.6.27	
수위(m)	8.79	7.48	7.54	9.54	5.99	
강우강도 (mm/hr)	1hr	21.6	17.6	17.4	49.9	14.5
	2hr	21.5	14.2	13.1	32.4	11.0
	3hr	17.0	13.5	11.2	28.6	7.3
	4hr	15.8	12.6	10.8	25.2	5.5
	5hr	13.2	12.1	10.2	20.0	4.4
	6hr	11.7	11.3	9.8	18.5	3.7
	7hr	10.5	11.0	9.3	16.3	3.1
	8hr	10.1	10.2	9.0	15.2	2.7
	9hr	9.8	9.3	8.3	14.1	2.4
	10hr	9.1	8.5	8.1	12.2	2.4
	11hr	8.4	7.8	7.5	11.8	2.3
	12hr	8.0	7.2	7.1	11.1	2.1

표 4.2 인북천 지속시간별 강우강도

날짜	09.8.12	08.7.24	07.8.10	06.7.15	05.7.28	
수위(m)	4.96	4.10	6.03	6.55	2.14	
강우강도 (mm/hr)	1hr	17.0	16.5	28.5	37.7	15.1
	2hr	14.9	14.5	22.1	36.4	10.2
	3hr	13.8	13.2	20.6	25.5	8.5
	4hr	12.3	11.9	16.1	20.1	7.2
	5hr	10.9	9.1	13.2	17.2	6.5
	6hr	9.9	8.5	11.2	14.6	6.1
	7hr	8.7	8.0	10.2	12.6	5.2
	8hr	7.6	7.2	9.3	11.3	4.3
	9hr	6.0	6.1	9.0	10.8	3.6
	10hr	5.4	5.2	8.6	10.1	3.1
	11hr	4.8	4.0	8.1	9.2	2.7
	12hr	4.5	3.6	7.3	8.5	2.0

표 4.3 북천 첨두수위 및 강우강도

날짜	09.8.12	08.7.24	07.8.09	06.7.27	05.6.27	
수위(m)	3.04	2.71	2.91	2.48	2.23	
강우강도 (mm/hr)	1hr	32.7	26.4	25.1	20.1	16.5
	2hr	24.7	18.5	19.9	16.3	15.9
	3hr	23.6	15.6	16.3	14.7	11.9
	4hr	20.4	13.4	14.6	12.9	9.3
	5hr	18.7	12.5	13.6	11.2	7.6
	6hr	17.4	11.1	12.6	9.5	6.5
	7hr	16.1	10.8	12.3	9.2	5.5
	8hr	14.1	10.1	11.6	8.2	4.9
	9hr	12.5	9.5	10.3	7.9	4.3
	10hr	11.3	9.0	9.3	7.5	3.9
	11hr	10.3	8.2	8.4	6.8	3.5
	12hr	9.4	8.1	7.7	6.2	3.2

표 4.4 오대천 첨두수위 및 강우강도

날짜	09.7.12	08.7.25	07.9.15	06.7.13	05.7.11	
수위(m)	4.19	3.36	2.70	3.29	2.07	
강우강도 (mm/hr)	1hr	20.9	25.1	13.6	31.2	14.1
	2hr	18.2	20.2	12.3	26.9	10.8
	3hr	18.0	18.1	11.0	22.5	7.8
	4hr	17.5	14.8	9.2	19.4	7.2
	5hr	17.3	12.1	8.2	16.0	6.5
	6hr	16.6	10.4	7.3	13.6	6.0
	7hr	15.3	9.8	6.6	11.8	6.0
	8hr	13.9	8.8	6.2	10.4	5.3
	9hr	12.3	8.0	6.0	9.2	5.0
	10hr	11.1	7.2	5.6	8.3	4.2
	11hr	10.1	6.5	5.1	7.5	3.8
	12hr	9.3	6.0	4.6	6.9	2.0

표 4.5 임계천 첨두수위 및 강우강도

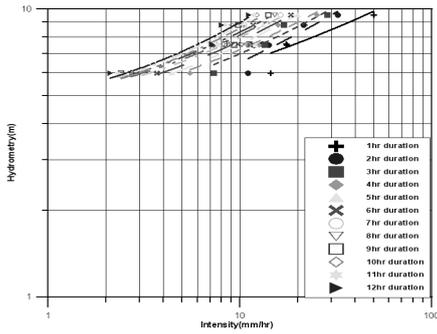
날짜	09.8.12	06.8.20	07.9.15	06.7.15	05.9.06	
수위(m)	1.02	1.19	1.05	1.72	1.11	
강우강도 (mm/hr)	1hr	9.0	22.0	12.0	49.0	13.0
	2hr	7.5	14.5	10.0	44.0	11.0
	3hr	7.3	13.0	8.7	34.7	10.0
	4hr	5.8	11.3	8.0	28.0	9.3
	5hr	5.6	10.0	6.1	24.0	7.1
	6hr	4.3	9.2	5.2	21.0	6.5
	7hr	4.0	8.9	4.3	19.4	6.0
	8hr	4.0	8.3	4.0	17.1	5.4
	9hr	3.9	7.5	3.5	15.3	5.0
	10hr	3.8	6.1	3.1	13.9	4.5
	11hr	3.8	5.6	3.0	12.9	4.1
	12hr	3.4	4.8	2.8	12.1	3.8

표 4.6 임계천 첨두수위 및 강우강도

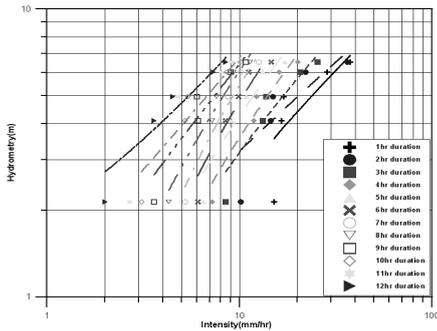
날짜	09.8.12	09.7.15	08.8.23	08.7.25	07.8.09	
수위(m)	2.37	2.65	1.76	2.99	2.15	
강우강도 (mm/hr)	1hr	12.6	16.4	7.4	15.9	11.0
	2hr	12.0	12.8	4.9	15.4	8.5
	3hr	10.8	10.0	4.2	14.9	6.4
	4hr	8.6	9.0	3.6	13.5	5.0
	5hr	7.0	8.3	3.1	12.7	4.2
	6hr	7.7	8.0	2.7	11.7	3.5
	7hr	7.0	7.6	2.4	11.0	3.4
	8hr	5.8	7.2	2.1	9.2	3.0
	9hr	4.5	6.8	1.9	8.5	2.8
	10hr	4.0	6.1	1.2	8.0	2.6
	11hr	3.6	5.3	1.0	7.3	2.3
	12hr	3.0	5.0	0.5	6.7	2.1

4.2 강우강도와 침투수위 회귀분석

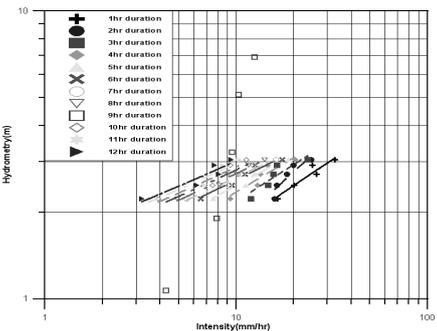
침투수위에 대한 지속시간별 강우강도를 이용하여 각 지점별 회귀분석을 하였다. 회귀분석결과, 높은 상관계수를 보이는 회귀식은 강우지속시간이 도달시간과 매우 밀접한 관련이 있음을 확인 할 수 있었으며, 각 연구 대상지점 모두 강우지속시간이 도달시간과 근접한 시간 때에 높은 상관계수를 보였다. 각 지점별 회귀분석 곡선도는 그림 4.1에 도시하였다.



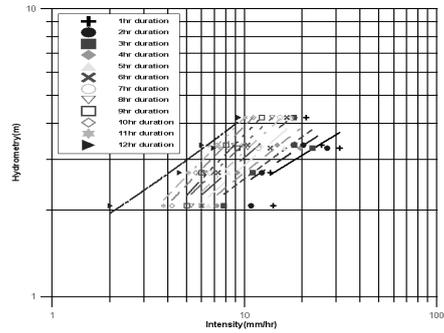
(1) 내린천 지점 회귀곡선도



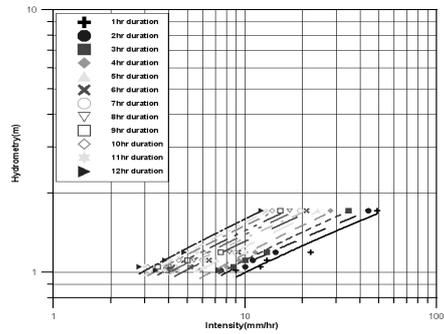
(2) 인북천 지점 회귀곡선도



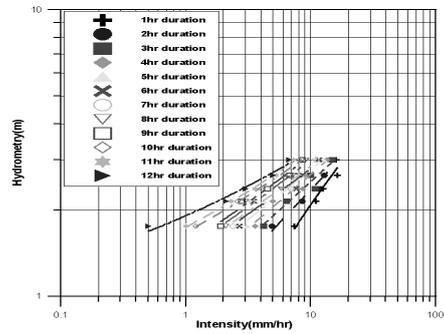
(3) 북천 지점 회귀곡선도



(4) 오대천 지점 회귀곡선도



(5) 임계천 지점 회귀곡선도



(6) 송천 지점 회귀곡선도

그림 4.1 지점별 회귀곡선도

각 지점별 회귀분석을 통하여 지속시간에 따른 회귀식을 산정한 결과 강우지속시간이 도달시간과 근접할수록 상관계수가 높게 나오는 것을 확인하였다. 각 지점별 지속시간에 따른 회귀식은 다음 표 4.7~4.12와 같다.

그림 4.1 지점별 회귀곡선도(계속)

표 4.7 내린천 지점 회귀식

지속시간	회귀식	상관계수
1	$\hat{h} = \epsilon^{0.47} + 3.51$	0.69
2	$\hat{h} = \epsilon^{0.55} + 2.94$	0.87
3	$\hat{h} = \epsilon^{0.55} + 3.40$	0.90
4	$\hat{h} = \epsilon^{0.57} + 3.53$	0.95
5	$\hat{h} = \epsilon^{0.60} + 3.51$	0.92
6	$\hat{h} = \epsilon^{0.60} + 3.73$	0.90
7	$\hat{h} = \epsilon^{0.61} + 3.89$	0.85
8	$\hat{h} = \epsilon^{0.62} + 3.98$	0.86
9	$\hat{h} = \epsilon^{0.63} + 4.05$	0.88
10	$\hat{h} = \epsilon^{0.67} + 3.94$	0.87
11	$\hat{h} = \epsilon^{0.68} + 4.01$	0.89
12	$\hat{h} = \epsilon^{0.69} + 4.09$	0.90

표 4.10 오대천 지점 회귀식

지속시간	회귀식	상관계수
1	$\hat{h} = \epsilon^{0.39} - 0.13$	0.35
2	$\hat{h} = \epsilon^{0.41} - 0.13$	0.42
3	$\hat{h} = \epsilon^{0.45} - 0.25$	0.64
4	$\hat{h} = \epsilon^{0.48} - 0.32$	0.74
5	$\hat{h} = \epsilon^{0.48} - 0.32$	0.74
6	$\hat{h} = \epsilon^{0.53} - 0.30$	0.90
7	$\hat{h} = \epsilon^{0.55} - 0.37$	0.91
8	$\hat{h} = \epsilon^{0.57} - 0.32$	0.94
9	$\hat{h} = \epsilon^{0.61} - 0.42$	0.95
10	$\hat{h} = \epsilon^{0.62} - 0.28$	0.96
11	$\hat{h} = \epsilon^{0.64} - 0.18$	0.96
12	$\hat{h} = \epsilon^{0.57} - 0.47$	0.96

표 4.8 인북천 지점 회귀식

지속시간	회귀식	상관계수
1	$\hat{h} = \epsilon^{0.58} - 1.26$	0.72
2	$\hat{h} = \epsilon^{0.56} - 0.45$	0.77
3	$\hat{h} = \epsilon^{0.65} - 1.31$	0.91
4	$\hat{h} = \epsilon^{0.72} - 1.64$	0.94
5	$\hat{h} = \epsilon^{0.75} - 1.36$	0.92
6	$\hat{h} = \epsilon^{0.81} - 1.68$	0.92
7	$\hat{h} = \epsilon^{0.85} - 1.66$	0.95
8	$\hat{h} = \epsilon^{0.86} - 1.17$	0.96
9	$\hat{h} = \epsilon^{0.82} - 0.22$	0.91
10	$\hat{h} = \epsilon^{0.82} + 0.20$	0.91
11	$\hat{h} = \epsilon^{0.81} + 0.66$	0.90
12	$\hat{h} = \epsilon^{0.82} + 0.95$	0.94

표 4.11 임계천 지점 회귀식

지속시간	회귀식	상관계수
1	$\hat{h} = \epsilon^{0.22} - 0.65$	0.94
2	$\hat{h} = \epsilon^{0.22} - 0.58$	0.99
3	$\hat{h} = \epsilon^{0.24} - 0.62$	0.99
4	$\hat{h} = \epsilon^{0.25} - 0.60$	0.97
5	$\hat{h} = \epsilon^{0.26} - 0.55$	0.99
6	$\hat{h} = \epsilon^{0.25} - 0.48$	0.96
7	$\hat{h} = \epsilon^{0.25} - 0.44$	0.95
8	$\hat{h} = \epsilon^{0.26} - 0.44$	0.94
9	$\hat{h} = \epsilon^{0.27} - 0.43$	0.94
10	$\hat{h} = \epsilon^{0.28} - 0.40$	0.96
11	$\hat{h} = \epsilon^{0.30} - 0.40$	0.96
12	$\hat{h} = \epsilon^{0.29} - 0.36$	0.98

표 4.9 북천 지점 회귀식

지속시간	회귀식	상관계수
1	$\hat{h} = \epsilon^{0.37} - 0.54$	0.91
2	$\hat{h} = \epsilon^{0.44} - 1.01$	0.84
3	$\hat{h} = \epsilon^{0.39} - 0.26$	0.80
4	$\hat{h} = \epsilon^{0.39} - 0.08$	0.86
5	$\hat{h} = \epsilon^{0.38} + 0.10$	0.92
6	$\hat{h} = \epsilon^{0.37} + 0.27$	0.94
7	$\hat{h} = \epsilon^{0.36} + 0.36$	0.95
8	$\hat{h} = \epsilon^{0.37} + 0.40$	0.97
9	$\hat{h} = \epsilon^{0.37} + 0.45$	0.93
10	$\hat{h} = \epsilon^{0.38} + 0.50$	0.89
11	$\hat{h} = \epsilon^{0.38} + 0.55$	0.89
12	$\hat{h} = \epsilon^{0.38} + 0.62$	0.86

표 4.12 승천 지점 회귀식

지속시간	회귀식	상관계수
1	$\hat{h} = \epsilon^{0.46} - 0.78$	0.90
2	$\hat{h} = \epsilon^{0.41} - 0.24$	0.93
3	$\hat{h} = \epsilon^{0.40} + 0.01$	0.92
4	$\hat{h} = \epsilon^{0.39} + 0.20$	0.87
5	$\hat{h} = \epsilon^{0.37} + 0.37$	0.81
6	$\hat{h} = \epsilon^{0.37} + 0.49$	0.80
7	$\hat{h} = \epsilon^{0.36} + 0.58$	0.77
8	$\hat{h} = \epsilon^{0.36} + 0.65$	0.76
9	$\hat{h} = \epsilon^{0.37} + 0.70$	0.76
10	$\hat{h} = \epsilon^{0.36} + 0.81$	0.80
11	$\hat{h} = \epsilon^{0.37} + 0.86$	0.81
12	$\hat{h} = \epsilon^{0.34} + 0.98$	0.84

4.3 강우강도-침투수위 예측 추정식 선정

본 연구를 통해 도달시간과 강우지속시간의 영향이 강우시 수위예측을 하는데 상당히 연관성이 있는 것을 확인할 수 있었는데, 각 지점별 0.9이상의 상관계수를 확인하기 위하여 강우지속시간을 12시간까지 산정하였다. 강우지속시간이 길어질수록 강우강도는 작아지며 이에 따라 수위역시 감소하는 것이 일반적이다. 즉 지속시간이 길어질수록 강우강도와 침투수위간의 상관계수가 높게 나오는 것

을 확인할 수 있었다. 또한 정선군의 오대천과 임계천, 송천 등은 침투수위간의 수위에 대한 오차가 크지 않아 인제군의 북천, 내린천, 인북천 등의 침투수위 구간의 각 수위의 오차가 큰 지점보다 일반적으로 상관계수가 잘 나오는 것을 확인할 수 있었다.

앞서 산정한 각 지점별 회귀분석에서 상관계수가 높은 산정식을 본 연구의 강우강도-침투수위 예측 추정식으로 선별하였으며, 선별된 추정식은 다음 표 4.13과 같다.

표 4.13 강우강도-침투수위 예측 추정식

지점	예측 추정식	강우지속시간	상관계수
인제군	내린천 $h = e^{0.57} + 3.53$	4	0.95
	인북천 $h = e^{0.86} - 1.17$	8	0.96
	북천 $h = e^{0.37} + 0.40$	8	0.97
정선군	오대천 $h = e^{0.57} - 0.47$	9	0.96
	임계천 $h = e^{0.26} - 0.55$	3	0.99
	송천 $h = e^{0.41} - 0.24$	2	0.93

수위가 실측수위보다 다소 낮게 나왔다. 내린천 지점 역시 예측수위가 관측수위보다 다소 높게 나왔으나 큰 오차는 보이지 않았다. 인제군 지점의 경우 전체적으로 예측수위가 관측수위보다 높게 나오는 것을 관찰할 수 있었으며, 예측수위와 관측수위의 실제수위 차는 1m 이내인 것을 검증결과 확인할 수 있었다. 따라서 인제군의 지방하천인 내린천, 인북천, 북천 지점은 강우강도-침투수위 예측 추정식에 대한 적정성을 보였다. 인제군 지점의 수위편차에 대한 비교 결과는 다음 표 4.14와 같다.

표 4.14 인제군 지점 수위편차 비교

지점	관측일	강우강도 (mm/hr)	예측수위 (m)	관측수위 (m)	편차 (%)
내린천	2010.09.12	5.4	6.15	6.14	-0.2
	2010.08.15	2.6	5.23	5.61	7.3
	2010.08.26	4.4	5.87	5.12	-12.8
인북천	2010.09.10	6.8	4.02	3.98	-1.0
	2010.08.13	3.8	1.98	1.69	-14.6
	2010.08.26	4.1	2.17	2.13	-1.8
북천	2010.08.25	5.2	2.24	2.52	12.5
	2010.09.10	3.1	1.93	1.96	1.6
	2010.05.23	3.3	1.95	1.72	-11.8

4.4 검증

본 연구를 통해 산정된 강우강도-침투수위 예측 추정식의 적정성을 확인하기 위하여 검증을 실시하였다. 검증 자료는 2010년도의 각 연구대상 지점의 강우 및 수위 관측소의 관측자료를 수집하여 검증을 실시 하였으며, 지순시간에 따른 강우강도 산정은 앞서 설명한 유역면적 평균강우량을 이용하여 산정하였다. 수위 자료는 2010년도 수위관측 자료에서 3사상의 침투수위를 선정하여 강우강도-침투수위 예측 추정식과 비교하여 수위의 편차를 확인하였다.

4.4.1 인제군지점 예측수위 및 관측수위 검증

인제군의 지방하천인 내린천, 인북천, 북천 지점의 산정된 강우강도-침투수위 관계식을 이용하여 각 수위관측소의 관측된 수위 자료와 비교하여 편차를 확인 하였다. 관측수위는 2010년도 수위자료에서 침투수위 3개를 선정하였으며 지속시간에 따른 강우강도는 유역면적 평균강우량을 산정방법을 적용하였다.

강우강도역시 12시간을 기준으로 산정하였으나 회귀분석 결과 상관계수가 가장 높은 강우지속시간때의 회귀식을 강우강도-침투수위 관계식으로 선정하였기 때문에 관계식에 적용된 강우강도 역시 상관계수가 높은 강우지속시간과 동일한 시간때를 적용하여 검증을 실시 하였다. 인제군 지점의 경우 인북천 지점이 내린천과 북천 지점 보다 예측수위가 실측수위보다 전체적으로 높게 나오는 것을 확인할 수 있었으며, 북천 지점의 경우 예측

4.4.2 정선군지점 예측수위 및 관측수위 검증

정선군의 지방하천인 오대천, 임계천, 송천 지점의 선정된 강우강도-침투수위 관계식을 이용하여 실측수위와 관측수위를 비교하였다.

정선군 지점의 경우 인제군 지점과 동일하게 강우강도를 산정하고 산정된 강우강도 중에 강우지속시간과 동일 시간 때의 강우강도를 적용하여 관측수위와 비교하여 편차를 확인하였다. 정선군 지점의 경우 임계천이 오대천과 송천 지점에 비해 예측수위가 관측수위보다 높게 나왔으며, 관측수위보다 작게 나온 경우 편차가 크지 않아 임계천 지점의 관계식이 다른 지점보다 가장 유의한 것을 확인할 수 있었다. 송천의 경우 예측수위가 관측수위보다 수위가 다소 떨어지는 경향을 보였으며, 오대천의 경우 예측수위가 관측수위보다 조금 높게 나왔으나 실제 큰 수위차는 보이지 않았다.

정선군 지점은 전체적으로 예측수위가 관측수위보다 작게 나온 경우와 비교하였을때 두 수위의 편차가 크지 않으며 실제 수위차가 1m 이내임을 확인 하였을 때 정선군 역시 강우강도-침투수위 관계식이 적정성이 크다는 것을 확인할 수 있었다. 정선군 지점의 예측수위와 관측수위의 수위편차 비교결과는 다음 표 4.15와 같다.

표 4.15 인제군 지점 수위편차 비교

지점	관측일	강우강도 (mm/hr)	예측수위 (m)	관측수위 (m)	편차 (%)
오대천	2010.09.12	13.6	3.95	3.82	-3.3
	2010.08.26	5.8	1.82	1.64	-9.9
	2010.09.22	7.9	2.10	2.44	16.2
임계천	2010.09.12	15.8	1.50	1.58	5.3
	2010.09.06	5.5	1.01	0.68	-32.7
	2010.09.22	7.0	1.11	0.88	-20.7
송천	2010.09.12	12.6	2.59	2.90	12.0
	2010.08.26	8.0	2.11	2.18	3.3
	2010.09.22	5.9	1.83	1.74	-4.9

5. 결론

본 연구는 강원도 인제군과 정선군 지역의 강우 관측소를 이용하여 연구지점별 수위 예측의 가능성에 대하여 연구를 수행하였으며, 산정된 지속시간에 따른 강우강도와 수위 대한 특성을 파악하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1) 연중 침두수위와 지속시간에 따른 강우강도에 대한 상관분석 결과, 상관계수가 0.93~0.99를 보여 회귀식의 유의함을 확인할 수 있었다.

2) 도달시간과 상관계수의 값을 관찰한 결과 각 지점의 도달시간과 강우지속시간이 동일한 경우 대부분의 연구 대상지점에서 가장 높은 상관계수가 보임을 확인할 수 있었으며, 각 지점의 강우강도-침두수위 관계식은 도달시간의 영향이 매우 중요함을 확인할 수 있었다.

3) 추정식의 검증결과, 실측 수위를 기준으로 오차율이 인제군의 경우 예측수위가 관측수위보다 높게 나온 경우 -0.2%~-14.6%, 반대로 낮게 나온 경우 1.6%~12.5%의 차이를 보였으며, 정선군의 경우 예측수위가 관측수위보다 높게 나온 경우 -3.3%~-32.7%, 반대로 낮게 나온 경우 3.3%~16.2%의 차이를 보였다.

4) 강우강도-침두수위 관계식의 검증을 통해 강우에 의한 수위변동 예측으로 중소하천 규모의 하천에서는 이를 이용한 홍수예경보의 응용이 가능함을 확인할 수 있었으나, 편차가 크게 발생한 임계천 지점의 경우 수문특성을 재고하여 크게 나오는 편차율에 대해 원인분석을 파악해야 할 필요성을 가져야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 한국건설기술연구소, 홍수관리종합운영시스템, 2005.
- [2] 강병주, “중랑천 지역의 실시간 수문관측자료

- 에 의한 홍수예경보 시스템”, 경기대학교 대학원, 2009.
- [3] 이배수, “집중호우시 강우분포 특성”, 연세대학교 대학원, 1982.
- [4] 허영범, “계획강우량 설정을 위한 강원권 확률 강우강도식 유도에 관한 연구”, 서울시립대학교 대학원, 2003.
- [5] 정선군, 하천정비기본계획, 2007.
- [6] 한국지방행정연구원, 강우에 의한 유출량 산정모형, 1996.
- [7] 건설교통부, 한강홍수예경보 시스템, 1998.
- [8] 인제군, 재해복구사업 분석 및 평가, 2010.
- [9] 윤상운 외 1인, 실용 통계학, 자유아카데미, 1996.
- [10] 이원환, 수문학, 문운당, 2004.
- [11] 이종형 외 2인, 하천공학, 구미서관, 2005.