

강원도 산간 지역 하천을 대상으로 한 강우강도에 따른 수위 변동 관계식 작성

Relational expression of rainfall intensity by the water level fluctuate in the mountain region river of Gang won-do

최한규* , 공지혁** , 이익상*** , 조현종 **** , 박계원*****

Choi Han-Kuy, Ji-Hyuk Kong, Yik-Sang Lee, Hyun-Jeung Cho, Je-Wan Park

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.

핵심용어 : 강우강도, 첨두수위, 회귀분석

Keywords : *rainfall intensity, peak water level, regression analysis*

1. 서 론

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 하천의 수위범람을 사전에 예측하기 위해서 국가 기관에서는 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

* 정희원강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사-E-mail : hankuy@kangwon.ac.kr
** 비희원강원대학교 산업대학원 토목공학과 공학석사
*** 비희원강원대학교 산업대학원 토목공학과 공학석사
**** 비희원-도우엔지니어링 전문이사
***** 비희원강원대학교 대학원 토목공학과 석사과정

갖는 분석자료는 아직 부족한 상황이다. 따라서, 강우와 수위의 관계식을 산정하여 홍수예정보 운영의 기초자료로서 활용될 필요성이 있다.

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

2. 대상유역선정 및 연구방법

2.1 연구지점 선정

본 연구지점으로 선정된 한강수계의 지방하천은 인제군의 북천, 내린천, 인북천과 정선군의 오대천, 송천, 임계천 등으로 각 연구대상지점은 험준한 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.

2.2 수문자료조사

2.2.1 수문관측소

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

정선군의 우량관측소는 유역내에 위치한 임계, 유천 관측소등 2개소와 유역외 인근에 위치한 평창군의 진부, 수향, 황계 관측소, 강릉시의 왕산 관측소 등 총 6개소의 우량관측소를 선정하여 자료를 수집하였으며, 각 유역 하류에 위치한 수위관측소를 선정하여 수위자료를 수집하였다.

2.2.2 유역 특성 및 유역별 Thiessen계수

면적평균강우량산정 방법 중의 하나인 Thiessen 다각형법을 이용한 각 우량관측소가 미치는 유역면적별 Thiessen방도를 설정해 Thiessen계수를 산정하였다.

단위는 무차원 단위이며 유역면적 평균강우량을 산정하기 위해 필요한 계수이다.

일반적으로 유역특성 분석은 강우시 수위를 예측하고 유출현상을 해석하는데 있어 매우 중요한 자료이다.

표 1 지점별 Thiessen계수

유역 지점	인제군			유역 지점	정선군		
	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		-			

표 2 지점별 유역특성

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

2.3 강우 및 수위자료 수집

강우자료는 2005 ~ 2009년(5개년)까지의 자료를 수집하였으며, Thiessen계수를 적용해 유역면적 평균강우량으로 산정하여 정리 하였다. 수위자료의 경우 매년 강우사상 중 침투수위를 선정해 침투수위구간의 지속시간에 따른 강우강도를 산정하였다.

3. 분석 및 검증

3.1 지속시간별 강우강도 산정

수집한 강우자료는 유역면적 평균강우량 산정방법을 적용하여 매년 침투수위 구간에 대해서 지속시간 1시간부터 12시간까지 강우강도를 산정하였으며, 다음 표 3 ~ 8과 같이 정리하였다.

표 3 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 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 5 북천 침투수위 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 6 오대천 침투수위 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 7 임계천 침투수위 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 8 임계천 침투수위 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

3.2 강우강도와 침투수위 회귀분석

침투수위에 대한 지속시간별 강우강도를 이용하여 각 지점별 회귀분석을 하였다. 회귀분석결과, 높은 상관계수를 보이는 회귀식은 강우지속시간이 도달시간과 매우 밀접한 관련이 있음을 확인할 수 있었으며, 강우지속시간이 도달시간과 근접한 시간 때에 높은 상관계수를 보였다.

표 9 내린천 지점 회귀식

지속 시간	회귀식	상관 계수
1	$= i^{.47} + 3.51$	0.69
2	$h = i^{0.55} + 2.94$	0.87
3	$h = i^{0.55} + 3.40$	0.90
4	$h = i^{0.57} + 3.53$	0.95
5	$h = i^{0.60} + 3.51$	0.92
6	$h = i^{0.60} + 3.73$	0.90
7	$h = i^{0.61} + 3.89$	0.85
8	$h = i^{0.62} + 3.98$	0.86
9	$h = i^{0.63} + 4.05$	0.88
10	$h = i^{0.67} + 3.94$	0.87
11	$h = i^{0.68} + 4.01$	0.89
12	$h = i^{0.69} + 4.09$	0.90

표 10 인북천 지점 회귀식

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

표 11 북천 지점 회귀식

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

표 12 오대천 지점 회귀식

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

표 13 임계천 지점 회귀식

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

표 14 송천 지점 회귀식

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

3.3 강우강도-침투수위 예측 추정식 선정

본 연구를 통해 도달시간과 강우지속시간의 영향이 강우시 수위예측을 하는데 상당히 연관성이 있는 것을 확인 할 수 있었는데, 각 지점별 0.9이상의 상관계수를 확인하기 위하여 강우지속시간을 12시간까지 산정하였다. 지속시간이 길어질수록 강우강도와 침투수위간의 상관계수가 높게 나오는 것을 확인할 수 있었다. 또한 정선군의 수위에 대한 오차가 크지 않아 인제군의 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 15와 같다.

표 15 강우강도-침투수위 예측 추정식

지점		예측 추정식	강우 지속시간	상관 계수	지점		예측 추정식	강우 지속시간	상관 계수
인제군	내린천	$= i^{.57} + 3.53$	4	0.95	정선군	오대천	$h = i^{0.57} - 0.47$	9	0.96
	인북천	$h = i^{0.86} - 1.17$	8	0.96		임계천	$h = i^{0.26} - 0.55$	3	0.99
	북천	$h = i^{0.37} + 0.40$	8	0.97		송천	$h = i^{0.41} - 0.24$	2	0.93

3.4 예측수위 및 관측수위 검증

본 연구를 통해 산정된 강우강도-침투수위 예측 추정식의 적정성을 확인하기 위하여 검증을 실시 하였다. 검증 자료는 2010년도의 각 연구대상 지점의 강우 및 수위 관측소의 관측자료를 수집하여 검증을 실시 하였으며, 지속시간에 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.

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.

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.

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

정선군 지점은 전체적으로 예측수위가 관측수위보다작게 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.

표 16 인제군 지점별 수위편차 비교

지점	관측일	강우강도 (mm/hr)	예측수위 (m)	관측수위 (m)	편차 (%)
내린천	10.09.12	5.4	6.15	6.14	-0.2
	10.08.15	2.6	5.23	5.61	7.3
	10.08.26	4.4	5.87	5.12	-12.8
인북천	10.09.10	6.8	4.02	3.98	-1.0
	10.08.13	3.8	1.98	1.69	-14.6
	10.08.26	4.1	2.17	2.13	-1.8
북천	10.08.25	5.2	2.24	2.52	12.5
	10.09.10	3.1	1.93	1.96	1.6
	10.05.23	3.3	1.95	1.72	-11.8

표 17 정선군 지점 수위편차 비교

지점	관측일	강우강도 (mm/hr)	예측수위 (m)	관측수위 (m)	편차 (%)
오대천	10.09.12	13.6	3.95	3.82	-3.3
	10.08.26	5.8	1.82	1.64	-9.9
	10.09.22	7.9	2.10	2.44	16.2
임계천	10.09.12	15.8	1.50	1.58	5.3
	10.09.06	5.5	1.01	0.68	-32.7
	10.09.22	7.0	1.11	0.88	-20.7
송천	10.09.12	12.6	2.59	2.90	12.0
	10.08.26	8.0	2.11	2.18	3.3
	10.09.22	5.9	1.83	1.74	-4.9

4. 결론

본 연구는 강원도 인제군과 정선군 유역의 강우관측소를 이용하여 연구지점별 수위 예측의 가능성에 대하여 연구를 수행하였으며, 산정된 지속시간에 따른 강우강도와 수위 대한 특성을 파악하

여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- 1) 연중 침투수위와 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-침투수위 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-침투수위 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 유역의 실시간 수문관측자료에 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.