

산지유역의 돌발홍수 위험지역 평가기법

이정호^{1*}

¹국립한밭대학교 토목공학과

An Assessment Method for Hazardous Region of Flash Flood in Mountainous Areas

Jung Ho Lee^{1*}

¹Department of Civil Engineering, Hanbat National University

요 약 홍수방어에 대한 과거의 연구들은 대부분 대규모 하천 유역에 집중되어왔으나, 최근 경제력의 향상을 통한 산악지역으로의 레저영역의 확대는 돌발홍수 발생에 대비한 추가적인 방재활동의 필요성을 증대시키고 있다. 따라서 본 연구에서는 돌발홍수로 인한 인명 및 재산 피해를 최소화하기 위하여 다양한 지표들을 고려하여 산지유역에서의 돌발홍수 발생 위험을 평가하기 위한 기법을 제시하였다. 이를 위해 본 연구에서는 돌발홍수 위험지역을 평가하기 위하여 지역특성, 강우특성 및 지형특성을 평가지표로서 선정하였으며, 이들 요소들의 특성을 평가하여 돌발홍수 경보 시스템 설치를 위한 적정 지점을 평가 및 선정하는 기법을 제안하였다. 제안된 평가 기법은 봉화군에 적용되었으며, 이를 통하여 제안된 기법의 적용 과정을 설명하였다.

Abstract Most prevention efforts have been made for relatively large watersheds near to channel flow. However, as economical development and the expansion of leisure areas to mountainous region, human casualty by flash flood occurs frequently, requiring additional prevention activity. Therefore, to minimize the damage of human lives and property by flash flood, we develop a methodology to assess the risk of flash flood occurrence for mountainous areas considering various factors involving it. For accomplishing the task, we selected the assessment indexes such as the characteristics of region, rainfall and land in mountainous area. And considering the characteristics of these indexes, the assessment method was suggested to assess and select the reasonable points for flash flood warning system. The suggested method was applied to BongHwa region and the application process of this method was explained.

Key Words : Flash Flood, Assessment Method, Flash Flood Warning System

1. 서론

최근들어 기상 이변으로 인한 국지성 집중호우의 빈번한 발달로 돌발홍수(Flash Flood)의 피해 발생이 잦아지고 있다. 대하천의 경우에는 각 홍수 통제소에 의한 홍수 예경보시스템(Flood Warning System)을 통하여 본류 구간에서의 인명 및 재산 피해가 가중되고 있는 실정으로, 따라서 기존의 홍수예경보시스템이 아닌 돌발홍수에 대한 홍수 예경보의 필요성이 증대되고 있다[1,5,6].

과거 우리나라 홍수예측에 관한 연구의 목적은 느린

홍수위 상승으로 인한 대하천 침수시간 및 지역의 예측과 보호에 집중되어왔다. 그러나 최근 경제력의 향상 및 인간 활동영역의 확대로 인하여 여가생활을 위한 소하천 및 산악지역의 이용도가 높아지고 있다. 따라서 비록 경제적으로는 대하천 홍수의 피해가 복잡적이고 클 수 있으나, 산지유역에서의 돌발홍수의 특성이 짧은 시간에 많은 인명 피해를 발생시킨다는 점에서 대하천 홍수 예경보와 연계 혹은 별도의 적절한 산지하천 돌발홍수 예측 및 예경보 시스템이 필요한 실정이다. 행정부에서는 이러한 산지하천에서의 돌발홍수 발생에 대비하여 자동우량

*교신저자 : 이정호(leejh@hanbat.ac.kr)

접수일 10년 08월 20일

수정일 10년 09월 28일

게재확정일 10년 11월 19일

국과 경보국을 설치하여 운영하고 있으나, 경보 발령 지점의 선정 및 그 기준에 대한 구체적 근거가 부족한 실정이다[2].

돌발홍수의 발생과 관련하여 중요한 요소는 지속시간과 강우강도이며 특히 지형적 특성과 선행강우와 관련된 토양 및 지표면의 조건도 큰 영향을 미치게 된다. 넓은 의미의 돌발홍수는 댐 또는 제방의 붕괴 또는 얼음(Ice Jam)에 의해 물의 갑작스런 방출로 인한 것까지 포함하나, 국내에서는 몇 십 분에서 몇 시간동안의 집중호우에 의한 것을 의미한다. 이러한 집중호우에 의한 돌발홍수는 국지적으로 발생하기 때문에 피해지역은 그리 넓지 않다. 그러나 엘니뇨 혹은 라니냐 등에 의한 이상 기상현상에 의하여 특정지역에 발생하는 국지적 집중호우에 의해 돌발홍수가 과거보다는 자주 조사되고 있다. 최근에 발생한 피해를 분석해 보면 인명의 피해가 대규모로 발생한 특징을 발견할 수 있으며 이는 적절한 돌발홍수 예경보에 의하여 상당부분 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

국내의 경우 돌발홍수에 대비한 경보는 주로 인명피해를 최소화하는 것을 목적으로 하고 있다. 그러나 앞서 언급하였듯이 돌발홍수 예경보를 위하여 현행 관리되고 있는 자동우량국 및 경보국은 설치 지점에 대한 명확한 판단 근거가 부족하여 그 효용성에 대한 평가 자체가 모호한 현실이며, 이러한 문제점으로 인하여 향후 돌발홍수 예경보 지점의 추가 선정 및 적합성의 판단에 있어서 명확한 기준 마련이 절실한 실정이다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하고 예경보지점 선정 기준 마련을 위하여 돌발홍수 발생 위험지역에 대한 평가 지표의 선정과 위험지역 선정 기법을 마련하였다.

2. 돌발홍수 위험지역 평가지표

효과적인 산지 돌발홍수 예경보 지점의 선정을 위해서는 유역에 대한 명확한 위험도 평가가 이루어져야 하며, 이를 위해서는 돌발홍수 발생과 관련된 평가 지표의 선정 및 분석 체계의 수립이 필요하다. 돌발홍수의 발생 위험과 관련하여 고려될 수 있는 평가 요소로는 지역특성인자, 강우특성인자 및 지형특성인자로 대별할 수 있다. 이상의 인자들은 돌발홍수로 인한 피해 발생이 주로 이루어지는 산지유역의 위락지구 현황, 사람의 입수가 가능한 하폭 및 돌발홍수 발생을 야기시킬 수 있는 한계우량 등으로 전국적인 돌발홍수 위험의 지표화 및 예경보지점 선정을 위한 대규모의 데이터 처리 분석이 가능한 범위 내에서 선정되었다.

2.1 지역특성인자

돌발홍수 위험지역을 평가하기 위한 인자로서 돌발홍수로 인한 인명 및 재산의 피해가 발생 가능한 지역특성 요소가 우선적으로 검토되어야 한다. 돌발홍수로 인한 인명피해는 과거에 비하여 여가생활이나 여행의 빈도가 커지고 계곡을 찾는 사람의 수가 증가함에 따라 함께 증가하고 있다. 돌발홍수 위험지역에 대한 평가에 고려되어야 할 지역특성 인자로서 주거단지, 위락지구, 관광지, 야영장 등 사람들이 쉽게 모이는 곳일수록 돌발홍수 발생 시 인명피해의 발생 위험이 상대적으로 높아질 수밖에 없다. 따라서 돌발홍수 발생 위험이 높으며 예경보가 요구되는 지점의 선정을 위해서는 돌발홍수로 인한 인명피해 발생이 가능한 지역적 특성 인자가 고려되어야 한다.

2.2 강우특성인자

돌발홍수 위험지역 평가를 위한 또 다른 요소로서 강우특성인자로서의 한계우량 재현빈도에 대한 고려가 이루어져야 한다. 특정 지점에서 돌발홍수를 야기하는 강우량이 정량적으로 산정된다면 그 강우 발생의 적정성을 판별함으로써 해당 지점의 위험도를 상대적으로 평가할 수 있다. 즉, 돌발홍수 발생 가능 우량의 재현기간이 짧을수록 상대적으로 위험도는 커질 수밖에 없으므로 이에 대한 평가가 정량적으로 이루어진다면 보다 명확한 위험지역 평가 및 효과적인 예경보 지점의 선정이 가능할 것이다. 한계우량의 재현빈도를 고려한 위험지역의 평가는 다음과 같은 분석 절차를 통하여 이루어진다.

첫째, 하천 지점에서의 돌발홍수 발생 가능한 한계우량을 분석한다. 일반적으로 돌발홍수의 발생 수심은 인명의 피해가 발생 가능한 수심 0.5m로 가정하고 있으며[4], 따라서 해당 지점에서의 돌발홍수가 발생되기 시작하는 수심 0.5m에서의 하천유량 값이 한계유량에 해당한다. 그리고 한계우량은 한계유량을 발생시키기 위한 최소의 강우량 값으로 정의된다. 하천 지점에서의 한계유량에 대한 한계우량이 산정되어지면, 해당 유역에 대한 확률강우량으로부터 해당 한계우량의 재현기간을 산정할 수 있다. 하천측량 성과가 있는 경우에는 홍수량별 수위를 HEC-RAS를 적용하여 수위-우량관계를 구성하고 홍수량 산정단면에서의 수심이 0.5m 발생하게 되는 경우의 홍수량을 한계유량으로 정의할 수 있다. 그러나 돌발홍수는 주로 측량성과가 없는 상류하천의 미세측 유역에서 발생하므로 이에 대한 대안으로 대표단면을 이용하여 수심이 0.5m가 되는 경우의 홍수량을 다음의 식과 같이 Manning의 공식을 이용하여 한계유량으로 결정하였다.

$$Q_d = \frac{1.486}{n} S_c^{0.5} B_b \left[\frac{Y_b}{m+1} \right]^{0.38}$$

여기서 S_c 는 유역 하도 경사(ft/ft), B_b 는 최대 하폭(ft), Y_b 는 최대 수심(ft), n 은 Manning 조도계수이며, Q_d 는 한계유량(ft³/sec) 이다.

한계유량의 경우 역시 돌발홍수의 발생 지역 특성상 미계측유역에서의 적용에 적합한 지형기후학적 단위유량도(GeomorphoClimatic Unit Hydrograph, GCUH)를 이용하여 해당 하천 지점에서 한계유량을 발현시키는 한계유량을 역산하여 계산하였다.

둘째, 강우빈도를 고려한 돌발홍수 위험지구를 평가한다. 지점에서의 한계유량에 대한 재현기간이 분석되어지면 산출된 재현기간에 대한 적정성을 판단할 수 있다. 즉, 한계유량의 재현기간이 장기간의 재현기간을 갖는다면 해당 지점에서의 돌발홍수 발생 위험은 그만큼 희박해진다. 반면, 한계유량의 재현기간이 1년 혹은 2년 등 단기간이라면 그 위험도는 상대적으로 높다는 것을 알 수 있다.

2.3 지형특성인자

돌발홍수 위험지역 평가를 위하여 고려되어야 할 지형적 특성은 산지유역에서 급격한 유출의 발생을 유발하는 요소들과 동일하다. 즉, 산지유역에서의 돌발홍수는 유역 경사, 하도경사, 하도폭 등의 영향을 지배적으로 받으며 대부분 상류지역의 급격한 경사지역에서 큰 피해를 발생시킨다. 자연유역에서 유출에 영향을 미치는 지형적 요소로는 토지 피복 상태, 유역의 조도계수, 하천의 조도계수, 잠재보유수량 등 다양한 요소들이 있으며, 이러한 요소들을 고려한 수문학적 유출의 분석은 매우 복잡한 과정을 거쳐야 한다. 그러나 돌발홍수가 주로 발생하는 산지의 급경사 지역은 대부분 미계측 유역으로 다양한 수문학적 지형 특성들을 모두 고려하는 것은 불가능하다. 또한 이러한 미계측 유역에서는 유출에 대한 관측자료의 부재 등으로 분석 결과의 타당성을 검증하는 것이 매우 어렵다.

실제 미계측 유역에서의 이러한 유출 해석은 거의 불가능하므로 수집 가능한 자료의 범위 내에서 최대한 그 오차를 줄일 수 있도록 분석이 이루어져야 한다. 따라서 돌발홍수에 대한 유역의 위험도 분석에 있어서는 지형적 특성 데이터가 수집 및 재처리에 용이해야 한다. 특히, 전국적인 위험도의 분석 및 위험지역의 분류를 위해서는 대단위의 정보 처리가 가능한 지형적 요소들로 압축 선정되어야 한다. 본 연구에서는 돌발홍수 위험지역 평가를

위하여 일반적으로 하천 내 사람들의 유입이 용이한 하천폭을 지형특성 인자로서 선정하였다.

3. 산지유역 돌발홍수 위험지역 평가

산지돌발홍수의 예측은 선행시간을 확보하여 유역 내 강우량에 따른 유출 발생량을 모의하고 모의된 결과를 바탕으로 예경보를 발령함으로써 산지유역에서의 인명 및 재산의 피해를 최소화하는데 그 목적이 있다. 이러한 산지돌발홍수의 예경보에 있어서 홍수모형의 적용상의 문제점은 신뢰할만한 유출 해석의 문제를 우선으로 하지만 이와 함께 유출해석을 통한 경보 발령이 어느 지점을 기준으로 하여야 하는가의 문제를 가지고 있다. 즉, 미계측 유역내의 돌발홍수에 대한 위험도의 평가를 통하여 예경보가 발령되어야 할 주요 지점에 대한 선정의 문제가 우선 해결되어야 한다. 본 연구에서는 과거 돌발홍수 피해 발생 사례가 보고된 봉화군 일부 유역에 대한 위험지역 평가를 통하여 돌발홍수 위험지역에 대한 평가 방법을 제안하였다.

3.1 지역특성인자 분석

산지유역에서 발생하는 돌발홍수는 인명 및 재산의 피해를 야기하며, 관광객들이 밀집되는 도립공원 및 관광지들은 피해 가능성이 높은 위험지구로 분류되어야 한다. 따라서 돌발홍수의 경보가 발령되어야 할 지점 또한 돌발홍수 발생 시 피해가 발생할 여지가 있는 곳을 위주로 선정되어야 한다.

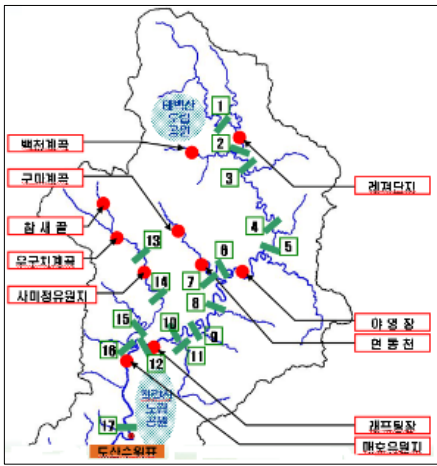
돌발홍수로 인한 인명 및 재산의 피해가 발생 가능한 지역에 대하여 경보 발령 지점에서의 선정 및 위험도의 평가를 위해서는 전체 유역을 적정한 단위로 분할하여야 한다. 분할된 유역 단위에서 돌발홍수의 위험도에 대한 평가를 위해서는 각 분할 유역별 인구밀도, 토지이용도, 잠재피해능 등의 데이터를 통한 종합적인 평가가 이루어져야 한다. 그러나 실제 어떤 유역에 대한 인구밀도 등에 대한 자료의 수집은 쉬운 일이 아니므로 전국 단위의 유역에 대한 위험지구의 선정을 위한 특성지표로 선정되기 위해서는 포괄적인 평가 작업이 가능하도록 데이터의 처리가 가능한 지표여야만 한다. 본 연구에서는 우선적으로 표 1과 같이 봉화군 유역 내 주요 관광지 현황을 조사하여 돌발홍수 발생 가능 유량인 한계유량 및 한계유량의 선정을 위해 주변관광지, 하천 합류점 등을 고려하여 위험지역 평가 대상 17개 지점을 선정하여 그림 1에 나타내었다.

[표 1] 주요 관광지 현황(봉화군)

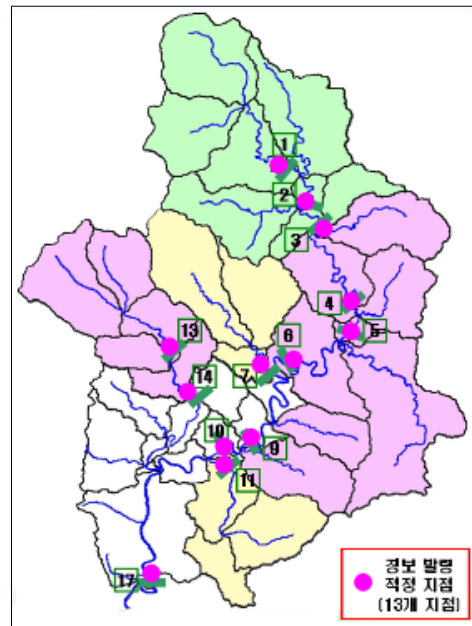
주요 관광지	주소지
청량산 도립공원	경북 봉화군 명호면 관창리
태백산 도립공원	강원도 태백시 소도동
백천계곡	경북 봉화군 석포면 대현리
구마계곡	봉화군 소천면 고선2리
참새골	경북 봉화군 춘양면 애당2리
우구치 계곡	봉화군 춘양면 우구치리
사미정 유원지	경상북도 법전면 소천2리
매호 유원지	봉화군 명호면 도천1.4리
레프팅장	경북 봉화군 명호면
사시청류 현동천	봉화군 소천면 현동리
학생야영장	경북 봉화군 소천면
레저단지	강원도 태백시 동점동

[표 2] 지점별 한계우량의 재현빈도 분석

지점	한계우량 (m ³ /sec)	한계우량 (mm)	재현기간	적정성 여부
1	34.42	17.30	3년	●
2	41.50	19.71	2년	●
3	47.07	20.84	5년	●
4	61.45	21.32	10년	●
5	62.58	23.89	10년	●
6	89.12	22.55	20년	●
7	17.79	16.62	30년	●
8	87.81	27.92	20년	●
9	104.49	25.28	30년	●
10	106.75	25.87	50년	●
11	25.58	12.09	100년	
12	113.51	26.26	50년	●
13	32.47	23.44	50년	●
14	36.68	24.99	70년	
15	50.11	26.99	80년	
16	43.70	27.12	80년	
17	135.44	25.43	50년	●



[그림 1] 주요 관광지 현황(봉화군)



[그림 3] 강우특성인자를 고려한 위험지역

3.2 강우특성인자 분석

각 지점별 한계우량의 재현빈도 분석 결과는 표 2와 같다. 여기서 한계우량은 Manning 공식을 이용하였으며, 한계우량은 GCUH를 이용하여 산정하였다. 돌발홍수에 대한 한계우량의 산정을 통하여 재현빈도를 분석한 결과 2년빈도부터 100년 빈도까지 다양한 값이 산정되었다. 이때 한계우량의 재현빈도가 짧을수록 돌발홍수의 발생 가능성은 높아지며, 따라서 예경보 지점으로서의 적정성이 상대적으로 판단되어질 수 있다.

위험지역에 대한 판단 및 적정성 평가 요소로서의 재현빈도에 대한 기준 빈도는 다양한 측면을 고려하여 선정되어야 하며, 본 연구에서는 미세측 유역에 대한 유출 해석 과정에서의 불확실성을 고려하여 그 기준 빈도를 50년으로 설정하였다. 따라서 한계우량의 발생 가능성이 50년 미만인 지점은 상대적으로 위험지역으로 분류되어 돌발홍수 예경보가 필요한 지점으로 평가하였으며, 그 결

과 봉화군 유역 내 13개 지점에 해당하는 유역이 위험지역으로 평가되었다. 그림2에서 음영으로 처리된 부분에 이에 해당하는 유역을 나타내고 있다.

3.3 지형특성인자 분석

하천 지점에서의 하천폭은 다음의 식과 같이 김홍태 (2005)[3]의 연구결과에서 도출된 하천폭(B_c) 산정식을 이용하였다.

$$B_c = 2.9772 \times A^{0.620} \quad (A : \text{유역면적}(\text{km}^2))$$

돌발홍수로 인한 피해 위험이 높은 지역의 분류 및 예경보 필요 지점 선정을 위한 하천폭의 기준은 해당 하천 폭 산정식과 실제 현장과의 오차를 고려하여 100m로 기준하였다. 하천폭이 100m 이상인 지점에서는 일반적으로 관광객들의 입수가 현실상 이루어지지 않으므로 돌발홍수 예경보가 불필요한 지점이다. 봉화군 유역 내 최고 차 하천 평균 하폭을 고려한 경보발령 적정 지점을 검토한 결과 표 3과 같이 총 9개 지점이 적정한 지점으로 선정되었다.

[표 3] 지점별 하천폭 분석

지점	하천폭 (m)	적정성 여부	지점	하천폭 (m)	적정성 여부
1	61.6	●	10	180.6	
2	79.3	●	11	194.9	
3	93.2	●	12	47.0	●
4	114.4		13	51.8	●
5	102.2		14	58.5	●
6	147.6		15	66.6	●
7	53.0	●	16	73.6	●
8	166.4		17	233.0	
9	172.7				

3.4 돌발홍수 위험지역 선정

이상의 지역특성인자, 강우특성인자 및 지형특성인자에 대한 분석 결과를 토대로 위험지역을 종합 평가하여 돌발홍수 예경보 필요 지점을 선정한 결과 봉화군 유역 내 총 6개 유역이 위험지역으로 분류되었으며 따라서 해당 지점들은 돌발홍수 예경보가 필요한 지점으로 분석되었다. 표 4에 이러한 결과를 수록하였다.

또한 돌발홍수 예경보 필요 지점으로 최종 선정된 6개 유역 중 13번 유역의 경우 과거 2008년 돌발홍수로 인한 피해발생 이력이 있으며, 따라서 본 연구를 통한 위험지역 선정 결과의 타당성을 검증할 수 있다.

[표 4] 돌발홍수 예경보 필요 지점의 선정

지점	주요 관광지 유무	한계우량 재현빈도 검토		하천폭 검토		예경보 적정 지점
		빈도 (년)	적정성 여부	하천폭 (m)	적정성 여부	
1	●	3년	●	61.6	●	●
2	●	2년	●	79.3	●	●
3	●	5년	●	93.2	●	●
4		10년	●	114.4		
5		10년	●	102.2		
6	●	20년	●	147.6		
7	●	30년	●	53.0	●	●
8		20년	●	166.4		
9		30년	●	172.7		
10		50년	●	180.6		
11	●	100년		194.9		
12	●	50년	●	47.0	●	●
13	●	50년	●	51.8	●	●
14	●	70년		58.5	●	
15		80년		66.6	●	
16	●	80년		73.6	●	
17		50년	●	233.0		

4. 결론

돌발홍수는 사망피해를 발생시킬 수 있는 위험성을 내포하고 있으므로, 돌발홍수가 발생할 가능성이 있는 지역에서는 돌발홍수에 의한 피해를 최소화할 수 있는 대책이 필요하다. 이러한 대책의 일환으로써 돌발홍수 경보발령 시스템이 전국적으로 145개 지점에 설치되어 있으며, 향후 추가적인 경보발령시스템 설치가 계획되고 있다. 본 연구에서는 이러한 경보발령 적정 지점의 선정에 있어서 돌발홍수의 발생 요인 및 피해 가능 요인을 고려하여 지역특성, 강우특성, 지형특성 등의 선정 기준 지표들을 제안하였으며, 이러한 지표들에 따른 평가 기법을 마련하였다.

본 연구의 내용은 소규모의 단일유역에서의 돌발홍수 위험도에 대한 정밀한 분석이 아닌 전국단위에서의 대규모 데이터 처리와 이를 통한 개략적인 돌발홍수 위험지역의 평가를 염두에 둔 선행적 연구에 해당한다. 따라서 본 연구에 의한 평가 기법은 향후 돌발홍수 경보발령시스템의 설치를 위한 1차적인 평가 기준에 해당하며, 이후 보다 정량적인 평가 결과를 산정할 수 있는 기법에 대한 연구가 지속되어야 한다.

참고문헌

- [1] 국립방재연구소, “지리산 일원 호우피해 조사 및 분석”, 행정자치부, pp.89-95, 1998.
- [2] 국립공원관리공단, “자동우량 경보시설 확충-보상설정에 따른 조사용역”, 2003.
- [3] 김홍태, “GIS기반 지형수문유역모형 개발 및 미세측유역 돌발홍수예측 적용에 관한 연구“, 박사학위논문, 부산대학교, 2005.
- [4] 신현석, 김홍태, 박무중, “GIS와 GCUH를 이용한 돌발홍수 기준우량 산정의 타당성 검토 연구: 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제37권, 제5호, pp.407-424, 2004.
- [5] 이종태, “‘98년 홍수 재해 원인과 하천 관리의 문제점”, 수자원학회지, 한국수자원학회, 제31권, 제5호, pp.20-32, 1998.
- [6] 이종태, “‘99년 경기 북부의 홍수”, 수자원학회지, 한국수자원학회, 제32권, 제5호, pp.20-23, 1999.

이 정 호(Jung Ho Lee)

[정회원]



- 2003년 2월 : 고려대학교 공과대학원 토목환경공학과 (수공학석사)
- 2008년 8월 : 고려대학교 공과대학원 토목환경공학과 (수공학박사)
- 2008년 9월 ~ 2009년 8월 : 고려대학교 부설 방재과학기술연구센터 연구교수
- 2009년 9월 ~ 현재 : 국립한밭대학교 토목공학과 전임강사

<관심분야>

상하수도공학, 수공학