

자동우량경보시설 경보발령기준 검토 연구 - 수위, 유출량, 강수량의 관계를 중심으로 -

A Study on Warning Criteria Investigation of Automated Rainfall Warning System - Focused on Relationship of Water Level, Discharge and Precipitation -

안재찬* · 이종설** · 최우정*** · 이병주****

Ahn, Jae Chan · Lee, jong seol · Chol, Woo Chung · Lee, Byong Ju

Abstract

Automated rainfall warning system is a facility to prevent casualties who were recreating in the down stream region with operating lead broadcasting or signaling warning automatically when torrential rainfall occurs in mountainous area. But standard of conventional warning does not consider the characteristics of basin, and warning signal. Evacuation signal 1 and evacuation signal 2 are uniformly signaled when the 10minute moving total of observed rainfall is higher than 4 mm, 6 mm, and 8 mm respectively. therefore, local governments and relative agencies had re-established the standard of warning by analyzing the risk water level, critical discharge and reference rainfall, which are considering the characteristics of basin. In this study the standard of conventional and re-established warning of weolseong basin, which is available to acquire a real rainfall. There are analyzed by considering the risk water level, critical discharge and reference rainfall. Also this study compares rainfall of conventional and re-established warning standard and indentifies problems by analyzing adequacy of rainfall estimation for warning and proposes alternative. The standard of conventional warning which investigates with the converted rainfall(unit of a minute) issued too many alarm. The re-established standard upward has the necessity which will be regulated about the alarm announcement number of times. Considers the safety, upward regulation of alarm standard rainfall is a necessity which will be prudent.

Keywords : Automated rainfall warning system, Observed rainfall, Warning Criteria, critical discharge

요 지

자동우량경보시설은 산간계곡 집중호우시 상류지역의 강우상황을 관측, 하류지역 행락야영객에게 자동으로 경보를 발령하거나 안내방송을 실시하여 인명피해를 예방하기 위한 시설이다. 그러나 이 시설의 기준 발령 기준은 유역특성을 고려하지 않고 일률적으로 관측강우량의 10분간의 이동합이 4 mm, 6 mm, 8 mm 이상인 경우에 각각 경계경보, 대피 1경보, 대피 2경보를 발령하였다. 이에 2003년 지방자치단체 및 유관 단체에서는 유역특성을 고려하여 위험수위, 한계유출량, 기준강우량 등의 분석을 통하여 경보발령기준을 재설정하였다. 본 연구에서는 경보발령기준이 재설정된 지역중 실적 강우 취득이 가능한 경남 거창군 월성지구를 대상으로 기존 및 재설정된 발령기준을 위험수심, 한계유출량, 기준강우량 등을 고려하여 검토하였다. 또한, 기존의 발령기준 우량, 개선된 발령기준 우량 및 금회분석을 통해 산정된 발령기준 우량을 상호비교하였다. 1분단위 변환 실적강우로 발령기준을 검토한 결과 기존안은 너무 많은 경보를 발령하게 된다. 개선안도 경보의 발령횟수 측면에서는 기준을 약간 상향조정할 필요가 있다. 그러나, 경보기준우량의 상향조정은 안전측면에서 신중할 필요가 있는 것으로 판단된다.

핵심용어 : 자동우량경보시설, 관측강우량, 경보발령기준, 한계유출량

1. 서 론

자동우량경보시설은 산간계곡 집중호우시 상류지역의 강우 상황을 관측, 하류지역 행락·야영객에게 자동으로 경보를 발령하거나 안내방송을 실시하여 인명피해를 예방하기 위한 목

적으로, 1996년부터 지속적으로 운영하고 있는 시설이다. 현재 소방방재청에서는 자동우량경보시설 확충사업 5개년('05~'09) 종합계획을 수립하고 '05년도에 총 125개 지구중 12개 지구에 대하여 사업을 추진중에 있다.

시스템의 경보발령은 자동경보발령, 수동경보발령, 안내방

*정회원 · 소방방재청 복구지원과 토목연구소 (E-mail : jcan365@nema.go.kr)

**정회원 · 소방방재청 국립방재교육연구원 방재연구소 토목연구관

***정회원 · 소방방재청 국립방재교육연구원 방재연구소 토목연구사

****정회원 · 세종대학교 토목공학과 박사과정

송 등으로 이루어지며, 자동경보발령은 통제시설에서 매시간 관측되는 강우량이 일정치 이상인 경우, 우량관측시설에 일정치 이상의 강우량이 감지된 경우 및 수위관측시설에 일정치 이상의 수위가 감지되는 경우에 발령된다. 기존의 경보발령기준은 유역특성 및 강우 특성을 고려하지 않고 일률적으로 관측강우량의 10분간의 이동합이 4 mm, 6 mm, 8 mm 이상인 경우에 각각 경계경보, 대피1경보, 대피2경보를 발령하도록 되어있어 정량적인 근거가 거의 전무한 실정에 있다.

따라서, 이러한 문제점을 개선하고자 각 지방자치단체에서는 2003년 이후 강우 도달시간, 유역면적, 유로연장 등 수문학적 지역특성을 고려하여 위험수위, 한계유출량, 기준강우량 등의 분석을 통한 경보발령기준을 재설정한 바 있다. 그러나, 재설정된 경보발령기준 역시 수리·수문학적 분석에 의한 것으로 실제 강우에 따른 경보의 적절성에 대한 검토는 이루어지지 못하였다.

본 연구에서는 경남 거창군 월성지구를 대상으로 수리·수문학적 분석을 통해 경보발령기준 설정방법 검토 및 경보발령기준을 산정하였으며, 실적강우와 실적 경보 발령자료를 활용하여 경보발령기준의 타당성을 검토하고자 하였다.

2. 발령기준우량 산정을 위한 대상유역의 특성인자 산정

2.1 강우-유출해석을 위한 특성인자의 산정

홍수량 산정은 유역특성인자들을 기초 자료로 하여 산정 가능하며, 객관적인 유역특성인자들을 산정하기 위하여 GIS 분석 프로그램인 Arc/Info와 Arc/View를 이용하여 수치표고모델, 불규칙 삼각망, 흐름방향격자, 흐름누적격자, 누가거리격자, 하천망을 구축하였다. 수치표고모델은 공간해상도가 1 초 간격(30 × 30 m)인 DEM을 사용하였으며 수치표고모델을 구축하여 유역면적, 유역경계, 평균하상경사, 하천망 등을 추출하였다.

2.2 위험수심의 결정

미 지질조사국(USGS)에서는 “Rule of thumb”을 이용하여 어느 정도의 하천수심에서 사람이 안전한가에 대한 연구를 실시하였다. 그 연구결과 불안정 조건을 아래의 식과 같이 제시한 바 있다(소방방재청, 2004). 이 실험을 통해 제시된 결과는 유속과 수심의 곱이 10 ft²/s(≒ 0.929 m²/s) 이상일 때 불안정 조건에 해당되며, 계곡 또는 하천단면을 포물선형이라 가정하고 Manning의 유속공식을 적용하면, 통수단면적은 2/3bh, 윤변은 b이므로 동수반경은 2/3h가 되므로 수심에 대해서 정리하면 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$h = \left[\frac{0.929n}{C} \left(\frac{2}{3} \right)^{-2/3} S^{-1/3} \right]^{3/5} \quad (1)$$

여기서, h는 위험수심, b는 하폭, n은 Manning의 조도계수, C는 단위환산계수(SI 단위), S는 유로경사이다.

최초의 경보(안내방송)를 발령하는 기준수심은 조도계수 및 하상경사별 불안정 조건의 수심 관계를 나타낸 식(1)을 이용하여 위험수심을 0.57 m로 산정하였다. 이 값은 현재 적용되

고 있는 위험수심 0.5, 0.7, 1.0 m에 따라 경보, 대피1, 대피2를 발령하는 것으로 일반 성인의 무릎, 허벅지, 허리 정도에 해당하며, 일반적인 계곡에서의 행동제약 조건을 고려한 것으로서 현재의 상황에서는 타당성이 있다고 판단된다.

2.3 한계유출량 및 경보발령기준 산정

한계유출량을 산정하기 위해서는 부정류 수리모형을 적용하여야 하나, 시간별 하류경계수위, 하도단면자료 등 필요한 자료를 구할 수 없는 경우가 대부분이다. 본 연구의 대상지역도 이러한 자료를 획득할 수 없기 때문에 연속방정식에 의해 개략적으로 산정할 수 밖에 없다. 한계유출량을 산정하기 위하여 수리적으로 거친 흐름 마찰저항식은 Manning 공식을 적용하면 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q_d = \frac{1.486}{n} S_C^{0.5} B_b \left[\frac{Y_b}{m+1} \right]^{0.38} \quad (2)$$

여기서 S_C는 유역 하도 경사(ft/ft), B_b는 최대 하폭(ft), Y_b는 최대 수심(ft), n은 Manning 조도계수이며, Q_d는 한계유출량(ft³/sec), m: 형상계수이다(Jarrett, 1984). 각각의 매개변수중 조도계수와 하폭은 개선안 도출을 위한 용역보고서에서 관측 또는 산정한 값을, 하상경사는 GIS를 이용한 수치표고모델을 적용하여 산정한 하상평균경사를 적용하였다. 각각의 위험수위 0.5, 0.7, 1.0 m에 대응한 각 한계유출량은 20.02, 22.76, 26.06 m³/sec으로 조사되었다.

한계유출을 야기하는 지속시간별 강우량중 대피선행시간, 재현기간 등을 고려하여 특성 지속시간의 강우량을 발령기준우량으로 채택하게 된다(김운태; 2003, 신현석; 2004)

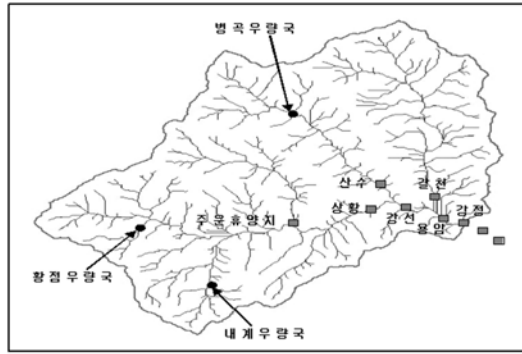
3. 대상유역 및 발령 기준 현황

3.1 대상유역의 현황 및 수문 분석

거창군 월성 지구는 경상남도 거창군의 마리면, 위천면, 북상면에 걸쳐 위치한다. 그림 1에 나타난 바와 같이 전체 유역은 부채꼴 형태의 유역 형상을 가지고 있으며, 세 개의 주지류가 유역출구점 부근에서 합류한다. 주하도는 황점우량국과 주운휴양지 경보국 강선경보국을 잇는 하도로써 서쪽에서 동쪽으로 흐르고 있다. 유역면적은 123.804 km², 유로연장은 17.08 km이고, 토지이용현황은 산림지역이 약 95%를 차지하는 산악지역이며, 토양은 배수 상태가 양호한 토양과 불량한 토양이 중간 정도로 섞여 있어 동일한 강우발생시 보통 정도의 유출이 발생하는 지형으로 알려져 있다. 경보발령을 위해 우량국 3개소, 경보국 15개소가 운영중 또는 계획중이며, 자동우량국의 위치는 관리 및 계산을 위하여 위치를 TM좌표와 경위도 좌표로 정리하면 그림 1과 같다(거창군, 2003).

그림 2은 각 대상유역별 구축된 지형자료를 도시한 것이며, 이 과정을 거쳐 추출된 유역특성인자는 표 1과 같다(이병주, 2003).

홍수도달시간(Time of concentration)의 경우 Kraven 공식, Rziha 공식과 하도와 지표면 흐름이 복합된 유역에 적용할 수 있는 Kirpich 공식을 적용하였으며, 적용결과 지표면 흐름



관측소 이름	구분	경위도 좌표		TM 좌표(중부원점)		표고
		경도	위도	x 좌표	y 좌표	
황점1우량국	제1우량국	127° 42' 56"	35° 45' 41"	264566.990	251953.910	650
병곡3우량국	제3우량국	127° 46' 26"	35° 48' 40"	257386.280	269673.821	424
내계2우량국	제2우량국	127° 44' 37"	35° 45' 20"	266684.130	248927.390	698

그림 1. 우량국과 경보국의 위치도 및 자동우량국 설치위치(거창군, 2003,12)

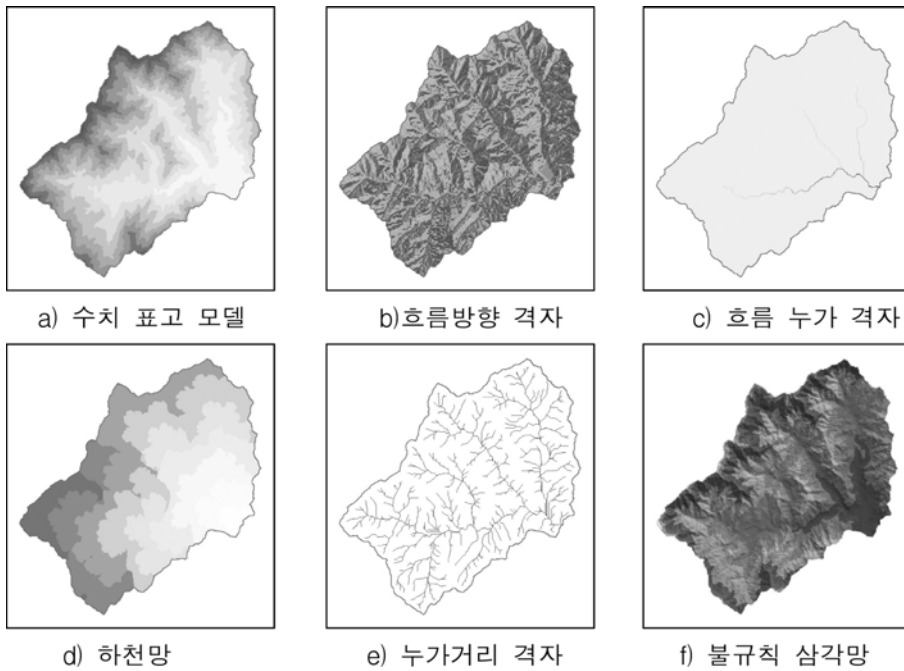


그림 2. 거창 월성지구의 지형자료

표 1. 대상유역별 특성 인자 산정

유역 \ 수문인자	유역면적 (Km ²)	유로연장(km)	조도계수	히폭 (m)	하상경사
거창 월성지구	123.804	17.068	0.078	40	0.06972

이 지배적인 본 사업지구의 특성을 고려하여 Rziha 공식으로부터 산정된 도달시간을 채택하였다.

CN값 산정은 농업과학기술원에서 제작한 1:25,000 축척의 정밀토양도를 제공받아 수문학적 토양군을 구축하였으며, 거창 월성지구는 type A, B, C, D가 모두 존재하며 type A와 D가 넓게 분포하고 있는 것으로 나타났다. 유역평균 CN

값 산정 결과 AMC II 및 AMC III에서 각각 66과 82의 값을 가지는 것으로 산정되었으며, 본 연구에서는 가장 위험한 상황을 유발할 수 있는 조건이 AMC III에 해당된다고 볼 수 있으므로 유출모의시 AMC III의 유역평균 CN값을 적용하였다.

그림 4는 거창 월성지구의 지속시간-강우량별 유출량을 도

표 2. 대상유역 도달시간 산정결과

대상유역	도달시간(min)			평균유속(m/sec)		
	Kirpich	Kraven	Rziha	Kirpich	Kraven	Rziha
거창군 월성지구	98.52	32.99	49.81	2.89	9.52	4.05

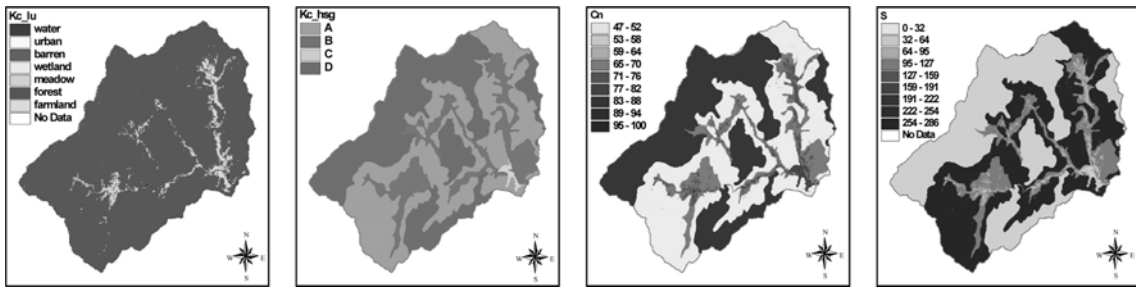


그림 3. 거창 월성지구 유출선지수 산정

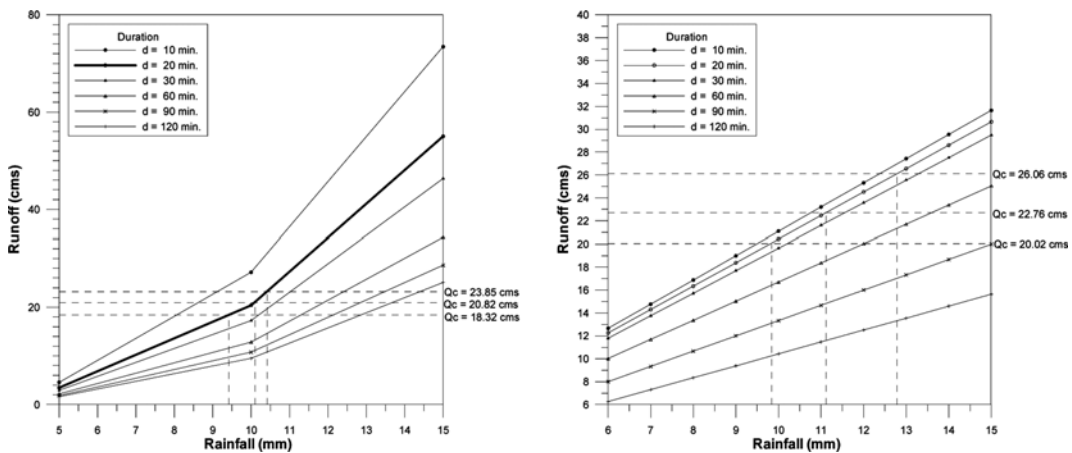


그림 4. 지속시간-강우량별 유출량의 개선안(좌) 및 금회분석(우) 결과

시한 것으로 개선안은 분포형(distributed) 모형인 GCUH (Geomorphoclimatic Unit Hydrograph)를 이용한 결과이며, 금회 분석 결과는 총괄(lumped)모형인 Clark 모형을 적용한 결과이다. 분포형 모형은 여러 개의 소유역으로 구분하여 지역특성인자 및 수문과정변수를 고려하여 개개 소유역별로 모의한 후 유역전체에 걸쳐 합성함으로써 전유역의 수문학적 반응을 알고자 하는 방법이며, 이에 반해 총괄모형은 유역을 동질의 배수역으로 공간적 변화가 없는 것으로 가정하여 강우-유출해석을 하는 모형이다.

4. 경보발령수량 산정 및 발령기준 검토

4.1 강우량-지속시간별 침투홍수량 산정

강우량-지속시간별 침투홍수량 산정을 위해서는 유역의 특성값 이외에 강우의 시간적 분포를 고려하여야 한다. 일반적으로 실제 강우는 시간에 따라 다양하게 발생하게 되므로 실무에서는 Huff 4분위법, Mononobe 법 등 여러 가지 강우의 시간분포 방법을 적용하여 실제와 유사한 강우사상을 재현한다. 그러나 본 연구에서는 한계유출량을 야기하는 강우량을 산정하는 것이므로, 지속시간별 강우량별 강우의 시간분포를

고려하는 경우 경우의 수가 너무 많을 뿐 아니라 경보발령기준이 30분이내의 강우를 기준으로 하고 있으므로 해당기간 동안 균등한 분포를 갖는다고 보아도 큰 무리는 없을 것으로 판단된다.

각 대상 유역에 대해 10분, 20분, 30분, 60분, 90분, 120분의 지속시간을 갖는 경우로 구분하여 침투홍수량을 산정하였으며, 강우량은 경보발령기준 우량을 고려하여 대상유역별로 5 mm~25 mm의 범위 내에서 계산을 수행하였다. 산정결과 동일한 강우에 대해서 지속시간이 짧을수록, 동일한 지속시간에 대해서 강우량이 클수록 침투홍수량이 크게 나타났다. 따라서 침투홍수량은 중첩의 원리에 따라 총강우량에 비례하여 증가하는 것으로 나타났다.

4.2 실적강우를 이용한 경보발령기준의 검토

4.2.1 발령기준비교

기존 발령기준은 유역특성 및 강우 특성을 고려하지 않고 일률적으로 10분간의 작은 누가강우량을 기준으로 한 반면 개선안은 이러한 특성과 침투유량 발생시간까지 고려하였기 때문에 물리적인 타당성이 충분히 큰 것으로 나타났으며, 본 연구에서 분석된 경보기준은 대피1, 대피2 기준우량이 개선

표 3. 유역별 강우량-지속시간별 침투홍수량

강우량 (mm)	지속시간(분)											
	10		20		30		60		90		120	
	Qp	tp(hr)	Qp	tp(hr)	Qp	tp(hr)	Qp	tp(hr)	Qp	tp(hr)	Qp	tp(hr)
6	12.66	2.23	12.26	2.33	11.79	2.45	10.02	2.83	8.00	3.22	6.26	3.63
7	14.77	2.23	14.30	2.33	13.76	2.45	11.69	2.83	9.33	3.22	7.30	3.63
8	16.88	2.23	16.35	2.33	15.72	2.45	13.36	2.83	10.67	3.22	8.34	3.63
9	18.99	2.23	18.39	2.33	17.69	2.45	15.03	2.83	12.00	3.22	9.38	3.63
10	21.10	2.23	20.43	2.33	19.65	2.45	16.70	2.83	13.33	3.22	10.43	3.63
11	23.21	2.23	22.48	2.33	21.62	2.45	18.37	2.83	14.67	3.22	11.47	3.63
12	25.32	2.23	24.52	2.33	23.58	2.45	20.04	2.83	16.00	3.22	12.51	3.63
13	27.43	2.23	26.56	2.33	25.55	2.45	21.71	2.83	17.33	3.22	13.55	3.63
14	29.54	2.23	28.61	2.33	27.51	2.45	23.38	2.83	18.67	3.22	14.60	3.63
15	31.65	2.23	30.65	2.33	29.48	2.45	25.05	2.83	20.00	3.22	15.64	3.63

표 4. 경보발령기준 비교

구분	경계경보 (위험수위 0.5 m)	대피1경보 (위험수위 0.7 m)	대피2경보 (위험수위 1.0 m)	하위경보 발령간격
기존발령기준	4 mm/10 min	6 mm/10 min	8 mm/10 min	60m in
개선안1(20분)	9 mm/20 min	10 mm/20 min	11 mm/20 min	"
개선안2(20분)	9 mm/20 min	10 mm/20 min	11 mm/20 min	240 min
금회분석안	9 mm/20 min	11 mm/20 min	12 mm/20 min	"

- 주) 1. 기존발령기준 : 2003년까지 운영되어온 발령기준
 2. 개선안1(20분) : 2004년 운영되고 있는 발령기준
 3. 개선안2(20분) : 현재 운영되고 있는 발령기준과 기존 강우량은 동일하나 동일경보 및 하위경보의 발령시간 간격을 60분에서 240분으로 연장
 4. '금회분석안'은 본 연구를 통하여 분석된 기준

안보다 1 mm 많은 11 mm, 12 mm로 나타났다.

되는 값으로 하여 1분단위의 우량으로 변환하는 방법이다. 1차 모멘트와 침투우량은 다음 식으로 산정하였다.

4.2.2 실적강우 검토를 위한 1분 단위자료의 변환

실적강우를 이용한 경보발령기준을 검토하기 위해서는 1분 단위의 실적강우자료가 요구되나, 현재 자동우량경보시설은 최소 10분 단위의 강우자료만을 1년 단위로 관리하고 있어 기존 검토를 위한 강우자료는 2004년도의 10분 자료만을 대상으로 할 수 밖에 없는 실정이다. 당해 지구에는 내계, 황점, 병곡 3개의 우량국이 있으며 이들 3개 우량국의 자료를 실적강우에 대한 발령기준 검토자료로 활용하였다.

경보는 발령기준 강우량의 지속시간에 해당하는 시간동안의 누적 강우량 즉, 지속시간 동안의 이동합(moving sum)이 경계, 대피1, 대피2 기준강우량을 초과하는 경우 발령하게 되므로, 경보발령기준을 실제 강우사상에 적용하기 위해서는 10분 단위의 강우자료를 1분 단위 자료로 변환할 필요가 있다. 10분 단위 강우자료를 1분 단위로 변환하는 방법은 여러 가지가 있을 수 있겠으나, 본 연구에서는 삼각형분포법과 선형보간법을 검토하였다.

삼각형분포법은 그림 5 (a)에 나타난 바와 같이 호우의 시작점을 중심으로 한 우량주상도의 1차 모멘트 \bar{t} 를 산정하여 이를 침투강우량이 발생하는 시간으로 하고, 침투강우량 h 는 10분단위 우량의 합과 삼각형 우량주상도의 면적이 동일하게

$$\bar{t} = \frac{\Delta t \left[\sum_{j=1}^n (j-0.5)r_j \right]}{\sum_{j=1}^n r_j} \tag{3}$$

$$h = \frac{2 \sum_{j=1}^n r_j}{t} \tag{4}$$

여기서, r_j 는 j 번째 우량주상도의 종거를 나타낸다.

선형보간법은 Δt 시간간격 우량주상도의 중간시간인 $\Delta t/2$ 에서 Δt 시간간격동안의 침투강우량이 발생하고 연속된 강우에 대해 선형적으로 변화한다고 가정하여 선형보간을 통해 다각형 우량주상도를 생성하고 10분 우량의 합과 다각형 우량주상도의 면적이 동일하게 되도록하여 다각형 우량주상도로부터 1분단위 우량을 산정하는 방법이다.

선형보간법과 삼각형분포법에 의한 1분 강우자료 분포도와 20분 이동합의 분포도를 이용하여 내계지점의 8월18일 14:30~20:20분, 황점지점의 7월 17일 12:40~14:10분,

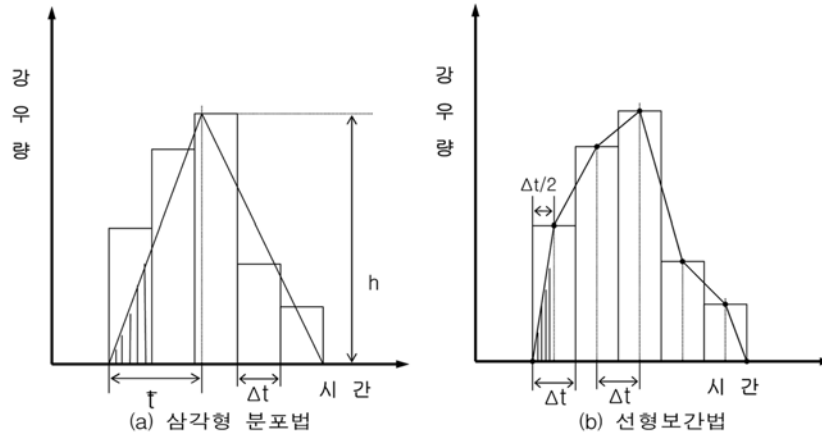


그림 5. 1분 강우 분포방법

병곡지점의 8월 5일 20:50~21:30분 사이의 강우사상을 검토하였으며, 'Method 1'은 선형보간법이며, 'Method 2'는 삼각형분포법, '10min Raifall'은 10분 실적 우량주상도를 나타낸 것이다.

내계지점의 경우(그림 6) 6시간 동안 장기간에 걸쳐 15:20, 16:20, 17:10, 18:30분경을 전후로 여러 개의 침두부가 발생하는 강우양상을 보이고 있는데, 그림 6 (a)에 나타난 비와 같이 삼각형 분포도는 여러 개의 침두부를 하나의 침두를 갖는 삼각형으로 가정하고 있기 때문에 전혀 다른 강우의 양상을 보이고 있으나 이에 반해 선형보간법에 의한 1분 강우분포는 실제 강우의 양상을 비교적 잘 반영하고 있는 것으로 보인다.

20분 이동합도 삼각형분포법의 경우 최대 중계가 발생하는 17:30경을 중심으로 최대가 발생하고 있으며, 15:30분경 실적경보와 선형보간법에서 포착하고 있는 경계경보와 대피1 경보를 전혀 포착하고 있지 못하며, 17:30분경 대피1, 대피2 경보 역시 제대로 포착하지 못하고 있음을 알 수 있다. 삼각형 분포법에 의해 16:20~16:50분 시간 동안에 포착된 경계, 대피1, 대피2 경보는 실제 경보와는 상당히 다른 상황에

서 포착된 경보임을 알 수 있다.

황점 지점의 경우 7월 17일 12:40분부터 발생한 강우사상은 강우의 시점과 강우의 시점으로부터 약 1시간 이후에 두 개의 침두를 갖고 있어 삼각형분포법은 시간에 따른 강우의 변화양상을 적절하게 재현하지 못하고 있다. 선형보간법은 13:10~13:30분 기간 동안 감소된 강우의 변화양상을 대체적으로 잘 표현하고 있는 것으로 나타났다.

병곡 지점의 경우 단일침두를 갖는 전방집중형 분포로서 단일침두인 경우 선형보간법과 삼각형분포법 모두 후방집중형이나 전방집중형, 중앙집중형 등 시간적 분포에 상관없이 10분 우량자료에 대한 1분 자료분포도가 강우의 전체적인 상승, 감소부를 잘 재현할 수 있는 것으로 나타났다.

표 5는 선형보간법 및 삼각형 분포법에 의한 1분 강우자료에 따른 경보 포착 횟수와 실적 경보 횟수를 비교한 것으로 선형보간법에 의한 경보 포착 횟수가 실적경보와 유사함을 알 수 있으나, 선형보간법은 실적경보를 완전하게 재현할 수는 없는 것으로 나타났다.

따라서 정확한 경보기준을 검토하기 위해서는 1분 단위의 자료가 반드시 요구되나 현실적으로 1분 단위의 강우자료를

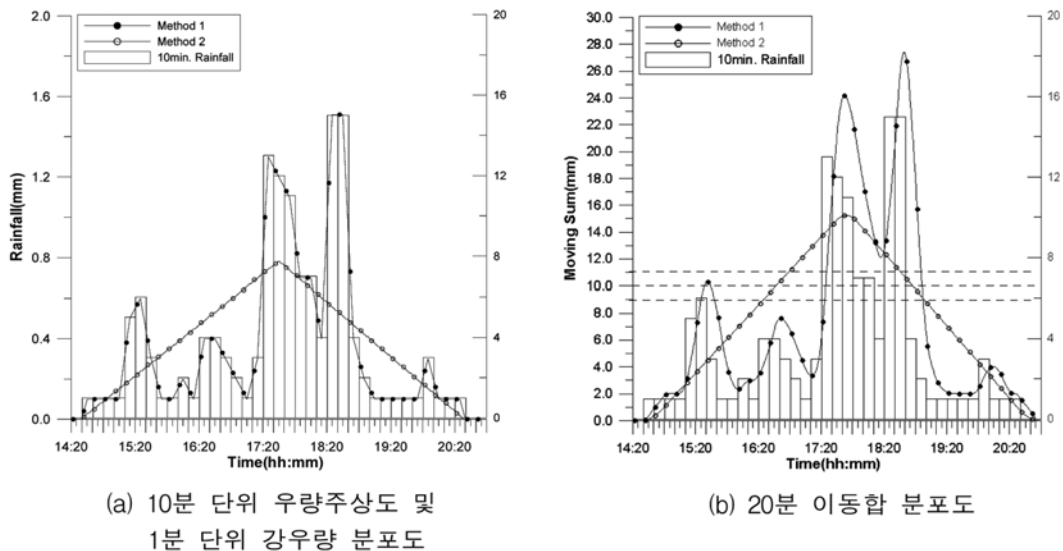


그림 6. 선형보간법과 삼각형분포법의 비교(내계 : 8.18 14:30~20:20)

표 5. 우량국별 경보발령회수

경보종류	내계우량국(회)			황점우량국(회)			병곡우량국(회)		
	실적경보	선형보간법	삼각형분포법	실적경보	선형보간법	삼각형분포법	실적경보	선형보간법	삼각형분포법
경보	8	6	5	10	10	9	11	11	10
대피1	7	5	4	7	5	6	10	9	9
대피2	4	4	2	5	4	4	7	7	6
합계	19	15	11	22	19	19	28	27	25

표 6. 발령기준별 발령회수 및 시간 비교

구분	기준발령기준		개선안1(20분)		개선안2(20분)		금회분석안		기준발령기준		개선안1(20분)		개선안2(20분)		금회분석안	
	일시	경보종류	일시	경보종류	일시	경보종류	일시	경보종류	일시	경보종류	일시	경보종류	일시	경보종류	일시	경보종류
내계지점	6.19 10:41	W0							7.17 12:07	W2	7.17 12:09	W2	7.17 12:09	W2	7.17 12:11	W2
	6.20 17:21	W0							7.17 14:14	W0						
	6.21 03: 5	W0	6.21 03:12	W0	6.21 03:12	W0	6.21 03:12	W0	8.02 19:25	W0	8.2 19:31	W0	8.2 19:31	W0	8.2 19:31	W0
	6.21 03:15	W1	6.21 03:15	W1	6.21 03:15	W1	6.21 03:18	W1	8.02 19:29	W1	8.2 19:32	W1	8.2 19:32	W1	8.2 19:32	W1
			6.21 03:18	W2	6.21 03:18	W2			8.02 19:34	W2	8.2 19:33	W2	8.2 19:33	W2	8.2 19:33	W2
	7.4 11:07	W0							8.15 03:03	W0						
	7.7 11:17	W0	7.7 11:25	W0	7.07 11:25	W0	7.7 11:25	W0	8.18 11:16	W0						
	7.7 11:24	W1	7.7 11:26	W1	7.07 11:26	W1	7.7 11:29	W1	8.18 11:59	W0						
			7.7 11:29	W2	7.07 11:29	W2			8.18 15:18	W0	8.18 15:26	W0	8.18 15:26	W0	8.18 15:26	W0
	7.16 07:54	W0	7.16 08:02	W0	7.16 08:02	W0	7.16 08:02	W0	8.18 17:20	W0	8.18 15:29	W1	8.18 15:29	W1	8.18 17:26	W1
	7.16 07:57	W1							8.18 17:23	W1	8.18 17:25	W1	8.18 17:26	W2	8.18 17:26	W1
	7.16 10:24	W0							8.18 17:25	W2	8.18 17:26	W2			8.18 17:27	W2
	7.17 12:02	W0	7.17 12:07	W0	7.17 12:07	W0	7.17 12:07	W0	8.18 18:25	W2	8.18 18:26	W2				
7.17 12: 05	W1	7.17 12:08	W1	7.17 12:08	W1	7.17 12:09	W1	8.23 00:27	W0							
								9.20 19:24	W0							
								27 회		18 회		16 회		14 회		
황점지점	6.21 03:16	W0	6.21 03:26	W0	6.21 03:26	W0	6.21 03:26	W0	8.4 16:23	W0						
	6.27 15:15	W0	6.27 15:18	W1	6.27 15:18	W1	6.27 15:18	W0	8.18 15:19	W0	8.18 15:30	W0	8.18 15:30	W0	8.18 15:30	W0
	6.27 15:16	W1	6.27 15:19	W2	6.27 15:19	W2	6.27 15:19	W1	8.18 16:25	W0	8.18 16:33	W0	8.18 16:36	W1		
	6.27 15:17	W2						6.27 15:20	W2	8.18 17:22	W0	8.18 16:36	W1	8.18 17:26	W2	
	7.4 11:10	W0							8.18 17:24	W1	8.18 17:26	W2			8.18 17:26	W1
	7.7 11:28	W0	7.7 11:37	W0	7.7 11:37	W0	7.7 11:37	W0	8.18 17:25	W2	8.18 18:26	W2			8.18 17:27	W2
	7.13 18: 6	W0	7.13 18:14	W0	7.13 18:14	W0	7.13 18:14	W0	8.18 18:25	W2						
	7.13 18: 9	W1	7.13 18:19	W1	7.13 18:19	W1			8.23 00:18	W0	8.23 00:26	W0	8.23 00:26	W0	8.23 0:26	W0
	7.16 07:41	W0	7.16 07:51	W0	7.16 07:51	W0	7.16 07:51	W0			8.23 00:31	W1	8.23 00:31	W1		
	7.17 13:36	W0	7.17 13:45	W0	7.17 13:45	W0	7.17 13:45	W0	9.17 15:21	W0	9.17 15:28	W0	9.17 15:28	W0	9.17 15:28	W0
	8.2 18:55	W0							9.17 15:29	W1	9.17 15:31	W1	9.17 15:31	W1	9.17 15:34	W1
	8.2 18:57	W1									9.17 15:34	W2	9.17 15:34	W2		
									22 회		18 회		16 회		14 회	
병곡지점	5.20 18:30	W0							8.3 17:12	W2	8.3 17:11	W2	8.3 17:11	W2	8.3 17:12	W2
	6.27 15:34	W0	6.27 15:42	W0	6.27 15:42	W0	6.27 15:42	W0	8.4 15:53	W0						
	6.27 15:37	W1	6.27 15:47	W1	6.27 15:47	W1	6.27 15:53	W1	8.4 15:56	W1						
	6.27 15:57	W2	6.27 15:53	W2	6.27 15:53	W2	6.27 15:57	W2	8.4 20:45	W0						
	6.27 16:41	W0	6.27 16:46	W0					8.5 20:58	W0	8.5 21: 7	W0	8.5 21: 7	W0	8.5 21: 7	W0
	6.27 16:44	W1	6.27 16:47	W1					8.5 21: 2	W1	8.5 21: 9	W1	8.5 21: 9	W1		
	6.27 16:46	W2	6.27 16:48	W2					8.10 18:29	W0	8.10 18:39	W0	8.10 18:39	W0	8.10 18:39	W0
	6.27 17:37	W0							8.10 18:33	W1	8.18 15:39	W0	8.18 15:39	W0	8.18 15:39	W0
	7.3 15:24	W0	7.3 15:34	W0	7.3 15:34	W0	7.3 15:34	W0	8.18 12:54	W0	8.18 15:42	W1	8.18 15:39	W0		
	7.7 11:26	W0	7.7 11:34	W0	7.7 11:34	W0	7.7 11:34	W0	8.18 15:33	W0	8.18 17:30	W1	8.18 15:42	W1	8.18 17:32	W1
	7.7 11:58	W1	7.7 11:37	W1	7.7 11:37	W1			8.18 15:37	W1	8.18 17:32	W2	8.18 17:32	W2	8.18 17:34	W2
	7.13 18:15	W0							8.18 16:40	W0	8.18 18:35	W2				
	7.17 12:47	W0	7.17 12:52	W0	7.17 12:52	W1	7.17 12:52	W0	8.18 17:22	W0						
	7.17 12:51	W1	7.17 12:53	W1	7.17 12:53	W1	7.17 12:54	W1	8.18 17:28	W1						
	7.17 12:54	W2	7.17 12:54	W2	7.17 12:54	W0	7.17 12:55	W2	8.18 17:40	W2						
	8.2 17:52	W0	8.2 17:58	W0	8.2 17:58	W1	8.2 17:58	W0	8.18 18:40	W2						
	8.2 17:56	W1	8.2 17:59	W1	8.2 17:59	W2	8.2 18: 0	W1	8.23 0:30	W0	8.23 0:40	W0	8.23 0:40	W0	8.23 0:40	W0
8.2 18: 0	W2	8.2 18: 0	W2	8.2 18: 0	W0	8.2 18: 1	W2	8.23 5:31	W0							
8.3 17: 3	W0	8.3 17: 9	W0	8.3 17: 9	W1	8.3 17: 9	W0	9.20 19:15	W0							
8.3 17: 9	W1	8.3 17:10	W1	8.3 17:10	W2	8.3 17:11	W1									
								39 회		27 회		22 회		20 회		

주) 'W0'는 경계 경보, 'W1'는 대피1 경보, 'W2'는 대피2 경보

저장관리하고 있지 않기 때문에 본 연구에서는 선형보간법에 의한 1분 자료를 기준으로 각 발령기준에 대한 검토를 수행하고자 한다.

4.2.3 실적강우에 의한 발령기준 검토

전술한 바와 같이 실적강우를 이용하여 발령기준을 검토하기 위하여 실적 10분 단위 강우자료를 선형보간법에 의한 1분 단위 환산 강우량을 적용하기로 한다. 선형보간법에 의한 1분 단위 환산강우량 적용시의 타당성을 전술하였으며, 여기서는 각각의 발령기준에 대해 발령횟수를 중점으로 검토하여 발령기준의 적정성을 분석하고자 한다. 검토대상은 표 7의 발령기준을 검토대상으로 하였다.

경보는 1년에 3~4차례 정도 발령되어야 하므로 2년 빈도 이하의 값을 가져야 하며 거창군(2003)의 보고서에서 나타난 바와 같이 거창관측소의 2년 빈도 10분, 20분 확률강우량이 각각 10.7 mm, 15.1 mm 이므로 표 4의 검토대상 발령 기준은 확률빈도 측면에서 모두 만족한다고 볼 수 있다.

내계지점의 경우 20분 강우량이 2년빈도를 초과하는 강우사상은 7월17일 1회, 8월18일 7회로써 이 기간 동안에는 대피2 정도의 경보가 발령되는 것이 타당하며, 개선1안, 개선2안과 금회분석안 모두 조건을 만족하고 있다. 황점우량국의 경우 지속시간 20분 강우량이 2년 빈도와 유사하거나 초과하는 경우는 6월27일 1회, 8월18일 6회로 내계우량국과 유사하다. 병곡우량국은 지속시간 20분 강우량이 2년 빈도를 초과하거나 유사한 경우가 6월27일 2회, 7월17일 2회, 8월2일

4회, 8월3일 3회, 8월18일 4회로 내계, 황점우량국에 비해 상당히 많은 횟수를 기록하고 있다. 이에 따라 개선1안의 경우도 27회, 개선2안 22회, 금회분석안 20회로 개선1안의 경우도 상당히 많은 경보가 발령되고 있음을 알 수 있다. 병곡지점의 6월27일의 경우 개선1안은 2회의 경보, 대피1, 대피2를 반복하고 있으나, 개선2안 및 금회 분석안은 1회만 각각 경보를 발령하고 있다. 이는 내계우량국의 8월18일 경우와 유사한 이유인 것으로 판단된다(표 6).

표 7은 거창 월성지구 3개 우량국의 1분단위 강우량을 Thiessen 법에 의하여 가중평균한 면적우량을 각각의 발령기준에 적용한 것이다. 면적비율은 내계우량국 0.21, 황점우량국 0.19, 병곡우량국 0.61로 병곡우량국의 유역면적이 가장 크다. 따라서, 병곡우량국의 강우량이 하류지역에 많은 영향을 미친다고 할 수 있다. 그러나 전체적인 경보발령횟수는 가장 발령횟수가 적은 황점우량국과 유사한 것으로 나타났다. 면적 평균우량을 적용한 경우 특이한 사실은 개선1안, 개선2안, 금회분석안이 거의 차이가 발생하지 않는다는 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 거창군 월성 지구를 대상으로 위험수심, 한계유출량, 기준강우량 등 발령기준의 산정절차 및 실적강우를 이용하여 발령기준을 검토하였으며, 이를 통해 얻을 수 있었던 결론은 다음과 같다.

(1) 위험수심은 유속과 밀접한 연관이 있으므로 0.5 m로 일

표 7. 발령기준별 발령횟수 및 시간비교(면적평균우량)

기준발령기준		운영 1		운영 2		운영 3		운영 4	
일시	경보종류	일시	경보종류	일시	경보종류	일시	경보종류	일시	경보종류
6.21 03:20	W0								
6.27 15:40	W0			6.27 16:02	W0	6.27 16:02	W0	6.27 16:02	W0
6.27 16:01	W1			6.27 16:04	W1	6.27 16:04	W1	6.27 16:06	W1
6.27 16:44	W0			6.27 16:06	W2	6.27 16:06	W2	6.27 16:08	W2
7. 7 11:25	W0			7. 7 11:33	W0	7. 7 11:33	W0	7. 7 11:33	W0
				7. 7 11:36	W1	7. 7 11:36	W1		
7.17 12:50	W0			7.17 12:55	W0	7.17 12:55	W0	7.17 12:55	W0
7.17 12:54	W1			7.17 12:57	W1	7.17 12:57	W1	7.17 12:58	W1
				7.17 12:58	W2	7.17 12:58	W2	7.17 13:00	W2
8. 2 17:57	W0			8. 2 18:05	W0	8. 2 18:05	W0	8. 2 18:05	W0
8. 2 18:24	W1			8. 2 18:07	W1	8. 2 18:07	W1	8. 2 18:11	W1
				8. 2 18:11	W2	8. 2 18:11	W2	8. 2 18:25	W2
8. 3 17:10	W0	8. 3 17:18	W0	8. 3 17:15	W0	8. 3 17:15	W0	8. 3 17:15	W0
8. 3 17:14	W1			8. 3 17:16	W1	8. 3 17:16	W1	8. 3 17:17	W1
8. 3 17:18	W2			8. 3 17:17	W2	8. 3 17:17	W2	8. 3 17:19	W2
8. 4 15:56	W0								
8.18 12:56	W0	8.18 17:28	W0	8.18 15:38	W0	8.18 15:38	W0	8.18 15:38	W0
8.18 15:32	W0	8.18 17:30	W1	8.18 17:26	W0	8.18 17:27	W1	8.18 17:28	W1
8.18 16:34	W0	8.18 18:32	W1	8.18 17:27	W1	8.18 17:28	W2	8.18 17:30	W2
8.18 17:21	W0	8.18 18:35	W2	8.18 17:28	W2				
8.18 17:25	W1			8.18 18:28	W2				
8.18 17:28	W2								
8.18 18:30	W2								
8.23 00:27	W0			8.23 0:39	W0	8.23 0:39	W0	8.23 0:39	W0
9.20 19:15	W0								
22 회		5 회		20 회		18 회		17회	

률적으로 결정하기보다는 본 연구에서 제시된 불안정 조건을 적용하여 결정하는 것이 보다 합리적이라고 판단된다.

- (2) 한계유출량 산정시에는 현장측량을 통한 하상경사, 하폭 등의 기하변수의 추출 및 하상재료, 하상형태 등에 대한 전문가의 현장조사를 통하여 적절한 조도계수 채택을 통해 오차를 최소화할 필요가 있다.
- (3) 우량관측 및 경보운영은 1분 단위 강우로 하고 있으나, 자료의 보관은 10분 단위로 하고 있어 향후 발령기준 개선을 위한 자료의 활용에 어려움이 있으므로 우량국의 우량자료 관리시스템이 개선되어야 할 것으로 판단된다.
- (4) 본 연구에서는 선형보간법과 삼각형분포법을 적용하여 1분 단위 강우자료를 생성하였으며, 분석결과 삼각형 분포법은 특히 2개 이상의 침투를 갖는 연속적인 강우사상은 재현할 수 없는 것으로 나타났으며, 단일침투 강우사상도 후방집중형만 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있었다. 선형보간법은 연속강우의 경우에도 1분 단위를 비교적 잘 재현하는 것으로 나타났으나, 단일호우인 경우 전방집중형과 10분 단위강우자료의 합이 기준우량과 동일하고 전후에 강우가 발생한 경우는 1분으로 분포시 침투가 감소하여 이동합의 침투가 경보기준우량에 도달하지 못하는 단점이 있다.
- (5) 1분단위 변환 실적강우로 발령기준을 검토한 결과 기준안은 너무 많은 경보를 발령하게 되며, 개선안도 1년 동안 18회~27회 정도의 경보가 발령되어 경보의 발령 횟수 측면에서는 기준을 약간 상향조정할 필요가 있는 것으로 판단된다. 그러나, 경보기준우량의 상향조정은 안전측면에서 신중할 필요가 있으며 더욱이 이 결과는 1년의 강우자료만을 적용하여 분석한 결과이므로 수년 동안의 자료축적이후 재검토가 필요한 것으로 판단된다.
- (6) 현재 경보발령 규칙은 60분이내에는 동일한 경보와 하위경보는 발령하지 않고 있으나, 기준강우량을 넘어선 강우가 지속되는 경우 동일한 경보가 1시간 단위로 지

속적으로 발령되는 문제가 있다. 이에 대한 개선책으로는 동일한 경보의 발령제한 시간은 60분으로 하되, 현재 시각의 강우가 이전 시각의 강우에 비해 증가추세에 있는 경우만 발령하도록 개선할 필요가 있다고 판단된다.

- (7) 우량국의 직접적인 영향 구역내의 경보국은 해당 우량국의 기준우량으로 발령하고 여러 개 우량국의 영향을 동시에 받는 우량국은 면적기중평균 우량을 이용하여 경보발령기준을 채택하는 것이 바람직한 것으로 판단되나, 안전측면에서 실적 자료 등을 통한 충분한 검토가 필요하다.

참고문헌

- 거창군, 한서대학교 (2003) **자동우량경보시설 보강사업 - 거창군 월성지구** -.
- 김운태, 배덕효, 조천호 (2002) 돌발홍수예보를 위한 미소유역의 한계유출량 산정. **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제35권, 제5호, pp. 553-561.
- 김운태 (2003) 수문학적 돌발홍수능 평가기법 개발, 석사학위논문, 세종대학교.
- 소방방재청 국립방재연구소 (2004) 국지성 집중호우의 조기대응시스템 개발(II).
- 신현석, 김홍태, 박무중 (2004) GIS 및 GCUH를 이용한 돌발홍수 경보발령기준우량 산정의 실유역 적용 연구. **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제24권, 제4호, pp. 311-319.
- 이병주 (2003) **위성영상 피복분류에 대한 CN값 산정**, 석사학위논문, 세종대학교.
- Interagency Advisory Committee on Water Data (IAWCD) (1982) **Guidelines for Determining Flood Flow Frequency**, Bulletin #17B, subcommittee, U. S. Geological Survey, Reston Virginia.
- Jarrett, R.D. (1984) **Hydraulics of High-Gradient Streams**. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 110, No. 11, pp. 1519-1539.
- U. S. Department of commerce (1997) **Automated Local Flood Warning Systems Handbook**. *Weather Service Hydrology Handbook No. 2*.

- ◎ 논문접수일 : 06년 03월 20일
- ◎ 심사의뢰일 : 06년 03월 22일
- ◎ 심사완료일 : 08년 06월 10일