

격자기반의 자동 강우장 탐색기법을 활용한 용담댐 유역 DAD분석

송미연¹ · 정관수² · 이기하³ · 김연수^{1*} · 신영아¹

DAD Analysis of Yongdam Dam Watershed Using the Cell-Based Automatic Rainfall Field Tracking Methods

Mi-Yeon SONG¹ · Kwan-Sue JUNG² · Gi-Ha LEE³
Yeon-Su KIM^{1*} · Young-A SHIN¹

요 약

본 연구에서는 지점강우를 면적평균강우로 변환하는데 이용되는 DA(Depth-area)관계를 보다 효율적이고 정확하게 구축할 수 있는 자동 DAD분석기법을 국내의 유역에 적용하고 그 성능을 평가하는데 목적이 있다. 우선, 제안된 자동 DAD분석기법에는 격자기반의 공간강우분포를 호우중심으로부터 추적하는 방법으로 Box-tracking, Point-tracking, Advanced point-tracking으로 구분된다. 세 가지 방법을 용담댐 유역에서 발생한 호우 중 대표적인 10개의 호우사상에 대하여 적용한 결과, Advanced point-tracking을 적용하였을 경우가 다중호우중심을 가진 각 호우분포 형상을 정확히 고려하고, 보다 정확한 누적 시간별 누적 면적별 면적최대강우량(MAAR)을 산정할 수 있음을 확인하였다. 게다가, Advanced point-tracking이 선정된 여러 개의 호우중심으로부터 면적증가에 따른 각각의 MAAR을 동시에 산정하고 비교할 수 있어, 이에 따른 오차를 효과적으로 감소시킬 수 있음을 확인하였다. 마지막으로, 용담댐 유역의 10개의 호우사상에 대한 DAD 분석을 토대로 해당 유역의 DAD곡선을 누적시간별로 추출하였다.

주요어 : DAD분석, 자동 DAD분석기법, 격자, Advanced Point-Tracking

2014년 5월 9일 접수 Received on May 9, 2014 / 2014년 6월 30일 수정 Revised on June 30, 2014 /
2014년 7월 14일 심사완료 Accepted on July 14, 2014

1 충남대학교 국제수자원연구소 International Water Resources Research Institute, Chungnam National University

2 충남대학교 토목공학과 Department of Civil Engineering, Chungnam National University

3 경북대학교 건설방재공학부 Department of Construction & Disaster Prevention, Kyungpook National University

* Corresponding Author E-mail : yeonsu0517@gmail.com

ABSTRACT

This study aims to apply and evaluate the automatic DAD analysis method, which is able to establish the depth-area relationship more efficiently and accurately for point-to-areal rainfall conversion. First, the proposed automatic DAD analysis method tracks the expansion route of area from the storm center, and it is divided into Box-tracking, Point-tracking, Advanced point-tracking according to tracking method. After applying the proposed methods to 10 events occurred in Yongdam-watershed area, we confirmed that the Advanced point-tracking method makes it possible to estimate the maximum average areal rainfall(MAAR) more accurately with consideration of the storm movement and the multi-centered storm. In addition, Advanced point-tracking could reduce the errors of the estimated MAAR induced by increasing the area because it can estimate MAAR for each storm center and compare them at the same time. Finally, the DAD curve for the study area could be derived based on the DAD analysis of the selected 10 events.

KEYWORDS : DAD Analysis, Automatic Rainfall Field Searching Method, Grid, Advanced Point-Tracking

서론

지구온난화로 인한 급격한 기후변화에 따라 다양한 재해가 발생하고 있으며, 집중호우의 빈도 및 강도 증가로 인한 홍수재해는 물 관련 자연재해 중 약 50%에 이른다(Kim, 2009). 홍수재해 방지를 위하여 수문학적 해석의 정확도를 향상시키는 것이 필수적이며, 이를 바탕으로 홍수피해를 저감시킬 수 있는 수공구조물을 적절히 설계하고 설치하여야 한다. 특히, 수공구조물 설계시, 구조물의 규모를 선정함에 있어 빈도별 홍수량 혹은 가능최대홍수량(PMF, Probable Maximum Flood)이 사용되고 있지만, 이를 산정하기 위해서는 많은 불확실성을 갖는 강우분석의 정확도를 향상시키는 것이 선행되어야 한다.

대상유역의 집수량을 산정하기 위하여 활용되는 공간강우장은 지상에 위치한 강우관측소 자료를 각종 내·외삽기법에 의하여 생성되기 때문에 내·외삽기법에 의한 많은 불확실성을

포함하게 된다. 공간강우장의 공간적 불확실성을 개선하고, 평가하기 위하여 각종 내·외삽기법에 대한 연구(Kim and Choi, 1995; Choi *et al.*, 2010; Son *et al.*, 2013)가 수행되었으나, 내·외삽기법을 활용하는 방법에는 실질적인 강우의 공간분포를 고려하는 것에는 한계가 있다.

S-band와 C-band에 이어 최근 X-band 이중 편파 레이더의 도입에 따라 강우의 공간적 분포를 고려할 수 있는 능력이 향상되었으며, 강우의 공간적 분포를 활용하여 유출량 평가를 수행한 연구가 수행되고 있다(Kim *et al.*, 2008; Park *et al.*, 2008; Ahn *et al.*, 2014). 따라서, 각종 내·외삽기법을 이용하여 작성된 등우선을 활용한 기존의 강우분석 방법을 대신하여, 레이더를 활용하여 관측된 격자기반의 강우데이터를 효율적이고 정확하게 처리할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요한 실정이다. 특히, 대규모 수공구조물의 설계시 사용되는 가능최대강수량(PMP, Probable Maximum Precipitation)에 대한 추정에 앞서, 강우깊이-

면적-지속기간 관계(rainfall depth-area-duration: DAD)에 대한 분석이 필수적이다.

Hansen *et al.*(1982)은 within/without-storm개념을 도입하여 등우선 값을 계산하였고, Kim and Won(2004)은 일반적으로 활용되고 있는 유역중심의 DAD분석이 호우가 일정한 이동성향을 갖는 경우 효율적이지만, 태풍과 같이 호우의 이동이 뚜렷한 경우에는 기존의 방법을 이용하여 DAD분석을 수행하는 것이 어려움을 지직한 바 있으며, Kang *et al.*(2010)역시 다중호우중심을 갖는 이동성 호우에 대한 동시 추적은 수행되지 않았다. Gill(2005) 또한 다중호우중심을 고려한 DAD분석의 어려움을 지직한 바 있다.

이러한 기존의 연구에서 고려할 수 없던 사항을 개선하기 위하여 강우장의 시간별 공간분포를 고려할 수 있는 레이더를 활용하여 측정된 격자기반의 강우자료를 활용할 수 있는 DAD 분석 방법에 대한 연구가 Shin *et al.*(2013)과 Kim *et al.*(2014)에 의하여 수행되었다. Shin *et al.*(2013)은 Box-tracking, Point-tracking 그리고 Advanced Point-tracking 등의 DAD산정프로그램을 개발하여 일본의 쿠마노강 유역에서 X-밴드 레이더를 활용하여 측정된 강우자료에 대한 분석을 수행하였다. Kim *et al.*(2014)은 개발된 DAD산정 프로그램이 다중호우중심을 갖는 이동성호우를 고려할 수 있는지 평가하였고, 이를 기존의 DAD분석 방법론과 비교하여 기존의 방법에 비하여 강우의 시공간적 분포를 더 효율적으로 고려할 수 있음을 보인 바 있다.

따라서, 본 연구에서는 강우의 시공간적 분포를 고려하여 분석에 객관성과 정확도를 향상시킬 수 있고, 동시에 호우의 이동과 형태를 고려할 수 있는 DAD산정프로그램에 대한 적용성 평가를 수행하였다. 용담댐 유역에서 발생한 10개의 호우사상에 대한 DAD분석을 수행하고, 이를 바탕으로 대상유역에 대한 DAD곡선을 도출하였다.

DAD 해석을 위한 자동 DAD분석기법

자동 DAD분석기법은 시·공간적으로 변화하는 강우분포에 대하여 DAD분석을 수행함에 있어 두 가지 측면에서 장점이 있다. 첫째, 다중호우중심을 갖는 이동성 강우에 대하여 DAD분석을 수행함에 있어 기존의 면적고정방법의 문제점을 개선하였다(Kim *et al.*, 2014). 둘째, 기존의 등우선을 활용하는 방법에서 고려할 수 없는 누적시간별 누적강우량에 대한 다양한 형상을 고려하여 자동적으로 DAD값을 추출할 수 있도록 프로그래밍하여 계산의 효율성을 향상하였다.

비록, 제안된 방법은 공간분포를 고려할 수 있는 레이더를 활용하여 측정된 자료에 대한 분석을 위한 것이지만, 현재까지 국내에서 레이더를 활용하여 측정된 강우자료의 정확성이 낮고, 데이터의 양이 적은 관계로, 20개 지점의 지점강우자료를 역거리법을 활용하여 공간분포시킨 강우장을 활용하였다.

GIS기반의 자동 DAD분석기법은 Box-tracking, Point-tracking, Advanced point-tracking으로 구별되며(Shin *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2014), 세 기법 모두 격자기반의 시계열 강우장(time series rainfall field)을 입력 자료(그림 1의 좌측)로 하여 특정 지속기간(Sub-duration, 그림 1의 우측) 및 유역면적에 대한 최대강수량을 추정하며, 이를 기반으로 DAD 분석을 실시한다. 연속적으로 누적된 시간별 누적 강우의 분포 형상을 고려하기 위하여 부분누적시간(Sub-duration)에 대한 개념을 도입하였다. 예를 들어, 강우가 오전 1시에서 오전 6시까지 발생하였을 경우, 누적시간 4시간에 해당하는 3개의 부분누적시간을 고려할 수 있다(그림 1).

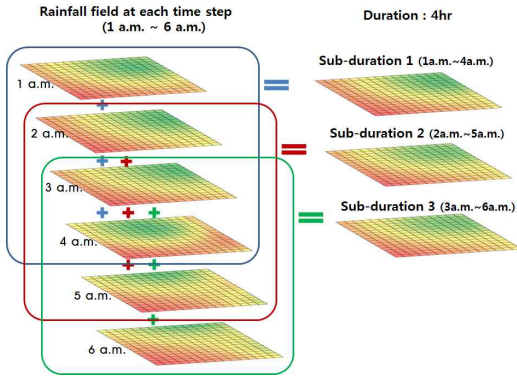


FIGURE 1. The concept of "sub-duration" from the rainfall field at each time step

1. Box-tracking

Box-tracking은 세 가지 방법 중 가장 간단한 방법으로 그림 1의 각 Sub-duration에 대한 최대값을 격자의 크기를 1×1, 2×2 등의 정방형 형태로 확장하면서, 유역면적별 지속시간별 면적평균최대강수량(MAAR)을 추정하는 기법이다(Kim *et al.*, 2014).

2. Point-tracking

Point-tracking은 Box-tracking과 마찬가지로 GIS기반의 자동 DAD분석기법이지만 정방형 형태로 유역면적을 증가시키는 Box-tracking과 달리 전체 격자 중 최대값을 갖는 지점을 호우중심으로 누적강우 격자에 대하여 4방향의 격자의 수치 비교를 통하여 면적을 확대하는 방식으로 실질적인 강우장의 형태를 고려하여 MAAR을 산정한다(그림 2). 그러나, 각 Sub-duration에서 면적을 증가시킴에도 호우

중심이 일정함에 따라, 다중 호우중심에 대한 고려가 어렵다. 즉, 각 Sub-duration별로 하나의 호우중심에 대한 강우분포의 형상 변화만을 고려할 수 있다. 그림. 2와 같이 1×1 MAAR 지점에 해당하는 격자를 기준으로 수직(위, 아래) 및 수평(오른쪽, 왼쪽)으로 확대(1×2: 2km² 또는 2×1: 2km²)된 면적을 강우 총 지속기간동안 탐색하여 그림 2에 묘사된 바와 같이 Searching step과 Selecting step을 거쳐 증가된 면적에 대한 MAAR을 산정한다. 이와 같은 방법으로 격자를 한 개씩 증가시켜 면적을 증가시키고, 이에 대한 MAAR을 유역전반에 걸친 강우장에 대해 반복적으로 계산하게 된다. 이와 같은 탐색과정은 지속시간별 각 Sub-duration에 대하여, 총 지속기간 동안 반복적으로 Point-tracking이 수행하여 대상 호우사상에 대한 DAD분석을 수행한다.

3. Advanced Point-tracking

Box-tracking이 다중호우중심에 대한 고려는 가능하나 호우의 형태에 대한 고려는 어렵다. 반면에, Point-tracking이 각 Sub-duration별로 호우의 중심을 찾고, 호우 중심으로부터 면적을 넓혀감에 따라 Sub-duration별로 하나의 호우중심만을 고려하여 MAAR을 추정한다. 이에 대한 단점들을 보완하기 위하여, Advanced Point-tracking은 각 Sub-duration별로 여러 개의 호우중심을 선정한 후 각 호우중심으로부터 면적을 확대함에 따라 MAAR을 산정한다.

구체적으로, 호우중심의 선택을 위하여 sub-duration별 강우장 전체에 대한 평균값을 계산

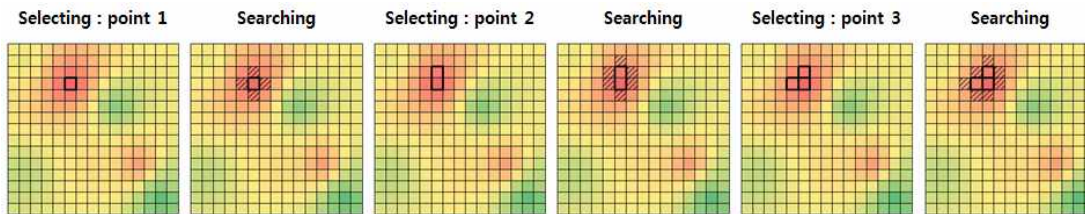


FIGURE 2. The concept of point-tracking

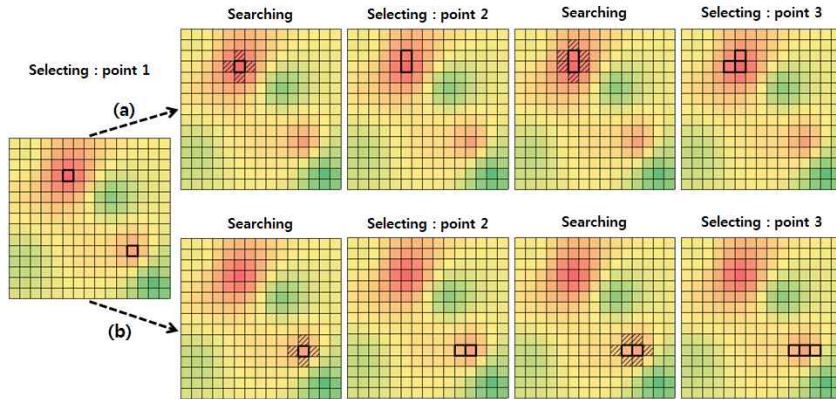


FIGURE 3. The concept of advanced point-tracking

한 후, 평균 강우값 이상의 크기를 갖는 여러 개의 분포에 대하여 각 분포의 최대값이 위치한 지점을 각 분포의 호우중심으로 선정한다. 각 분포로부터 호우중심을 선택하기 위하여 인접한 8개의 격자와의 경사를 비교하여 경사가 0보다 작은 격자를 제거(음의 경사를 갖는 인접격자 제거)하여 호우중심으로 선택된다. 추정된 여러 개의 호우중심에 대하여 가장 큰 값부터 5km (유역의 크기를 고려하여 선정)이내에 존재하는 격자를 제거하고, 제거되지 않은 격자의 값을 내림차순으로 배열하여 최상위 3개의 격자를 호우중심으로 point-tracking과 같은 방법으로 집수면적을 넓혀가며, 3개의 MAAR 값 중 큰 값을 해당 집수면적 및 Sub-duration의 MAAR로 산정한다(그림 3).

시점과 종점 사이를 하나의 호우사상으로 결정하였다. 이렇게 선택된 호우사상 중 강우 지속 기간이 10시간 이상인 사상을 최종 선택하였으며, 호우 발생원인의 검토를 위하여 2011년 기상청 산하 국가태풍센터에서 발간된 태풍백서를 바탕으로 2007년 이후 금강권역에 영향을 준 태풍을 선택하였고, Kwon et al.(2008)에 제시된 바와 같이 크게 두 가지로 태풍과 집중 호우로 분류하였다. 이상과 같이 본 연구에서 선정된 호우사상은 표 1과 같다.

대상유역 및 호우사상

본 연구에서는 금강 최상류에 위치한 용담댐 유역(그림 4)을 대상유역으로 선정하였으며, 유역면적은 약 927km²으로 금강유역면적의 약 9.5%에 해당한다. 용담댐 유역 내외 20개 강우 관측소를 대상으로 2007년에서 2011년까지의 시계열자료를 나열하여 강우 관측소의 강수량이 0에서 변하기 시작하는 시점을 호우발생 시점, 강우가 지속되다가 강수량이 다시 0이 되는 시간을 강우가 끝난 종점으로 가정하여

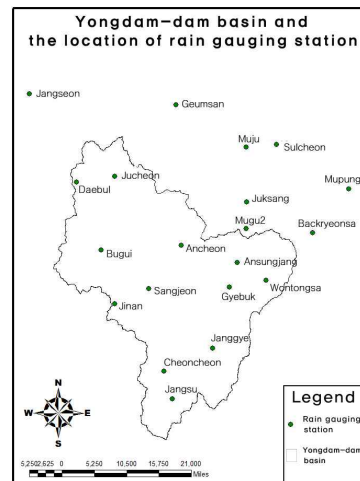


FIGURE 4. Yongdam-dam basin and the location of the rain gauging station

TABLE 1. Selected 10 events for the applications of the proposed methods

Date	Selected event	Duration of event(hr)	Type
14th Sep. ~ 18th Sep. in 2007	E1 6am on 14th Sep.~4pm on 15th Sep.	34	Typhoon (Nari)
	E2 6am on 16th Sep.~5am on 17th Sep.	26	
	E3 4am on 7th July~2pm on 7th July	10	
7th July ~ 16th July in 2009	E4 0am on 9th July~8pm on 9th July	20	heavy rain
	E5 6pm on 11th July~9pm on 12th July	27	
	E6 2pm on 14th July~6am on 15th July	16	
	E7 3am on 16th July~3pm on 16th July	12	
7th July ~ 16th July in 2011	E8 10pm on 9th July~0am on 13th July	74	heavy rain
6th Aug. ~ 10th Aug. in 2011	E9 8pm on 7th Aug.~8am on 8th Aug.	12	Typhoon (Muifa)
	E10 5am on 9th Aug.~10pm on 9th Aug.	17	

모형의 적용 및 분석

GIS기반의 호우 탐색기법인 Box-tracking, Point-tracking, Advanced Point-tracking을 이용하여 DAD 분석을 수행하기에 앞서, 10개의 대상 호우사상(E1~E10)에 대한 시단위 공간분포형 강우장을 생성하기위해 각 우량관측소의 시계열 지점강우량을 역거리법을 이용하여 분포시켰다. Shin *et al.*(2013)의 연구에서 용담댐 유역에 대하여 격자 크기의 변화에 따

른 결과의 비교를 수행하였으나, 큰 차이가 발생하지 않았으며, NDMI(2013)에 따르면, 호우의 공간적 변동성과 유역평균강수량을 정확히 표현하기 위해서는 1km이하의 격자를 사용하는 것이 적절하다고 평가하고 있다. 따라서 본 연구에서는 내삽자료를 사용한 관계로 차후 이용될 수 있는 레이더의 격자해상도와 계산 속도를 고려하여 격자크기는 1km×1km으로 결정하였다(그림 5).

그림 5는 각 호우사상 중 Sub-duration이

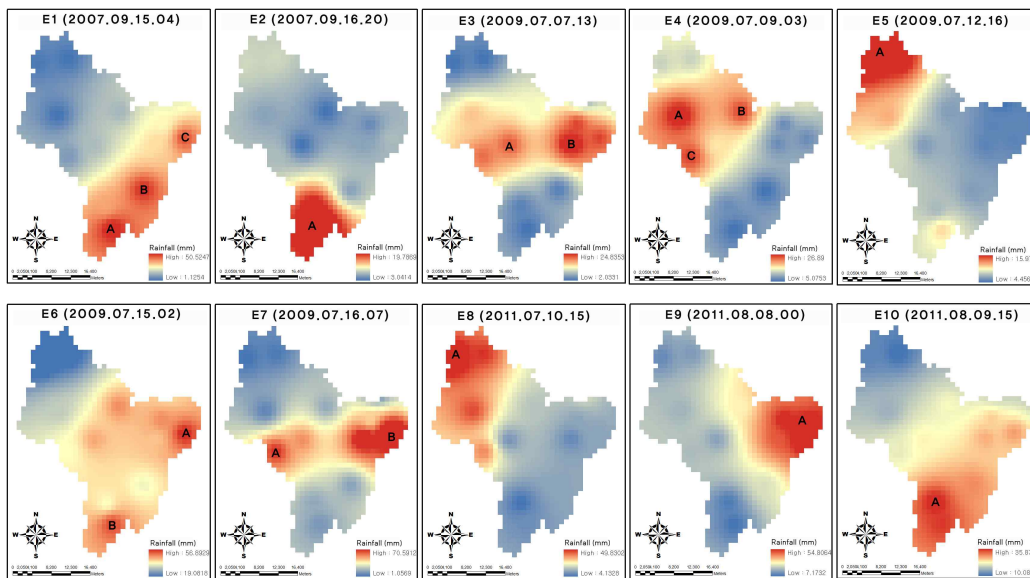


FIGURE 5. Storm center of the distributed rainfall field at each event

TABLE 2. Maximum precipitation at each storm center marked by A, B, and C(mm)

Center \ Event	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
A	50.5	19.8	18.7	26.9	16.0	56.9	43.6	49.8	54.8	35.9
B	47.8	-	24.8	23.8	-	53.7	70.6	37.8	-	-
C	43.8	-	-	23.9	-	-	-	-	-	-

1시간인 경우 각 시계열 중 최대값이 존재하는 강우장을 나타낸 것으로, 태풍에 의하여 발생한 호우사상의 일부에서 두 개 이상의 호우 중심이 존재하는 것을 확인할 수 있으며, 그 지점에 대한 강수량을 표 2에 정리하였다.

본 절에서는 그림 5에 보인 바와 같이 공간적으로 분포된 강우장을 활용하여 지속시간 1시간에 대한 Box-tracking, Point-tracking 및 Advanced Point-tracking을 활용하여 추정된 MAAR을 비교하고, 그 특성을 비교 및 검토하였다. 또한, 이를 바탕으로 각 호우에 대한 누적시간별 누적면적별 DAD분석을 수행하여, 최종적으로 대상유역에 대한 DAD곡선을 작성하였다.

1. 지속시간 1시간에 대한 DA분석

지속시간 1시간에 대한 Box-tracking, Point-tracking, Advanced Point-tracking의 MAAR 산정 결과, Point-tracking과 Advanced Point-tracking의 결과값은 거의 일치하는 것으로 나타났으나, 일부에서 약간의 차이를 나타내고 있는 것을 확인할 수 있다. Box-tracking의 경우 전체적으로 강우면적 약 10km²까지는 거의 차이가 발생하지 않지만, 면적이 증가할수록 Point-tracking과 Advanced Point-tracking에 비하여 MAAR이 작게 산정됨을 확인할 수 있다. 이는 Box-tracking이 정방형 모양의 강우 형상만을 검색함으로 인하여 강우의 실질적인 호우형상을 고려하지 못하여 발생하는 차이로 판단된다.

그림 6은 E1에서 E10까지 10개의 호우사상(그림 5)에서 지속시간 1시간에 대한 Box-tracking, Point-tracking 그리고 Advanced Point-tracking을 수행한 결과를 보여주고 있

으며, 각 호우사상에 대한 Point-tracking과 Advanced Point-tracking 방법을 활용하여 추정된 결과의 차이는 표 3에 정리하였다. Point-tracking과 Advanced Point-tracking의 MAAR값을 비교한 결과, 가장 큰 차이가 발생한 호우사상은 E6이며, E1 및 E4에서의 차이는 미미하였고, 나머지 호우사상에서는 Point와 Advanced Point-tracking의 결과가 거의 일치하였다. 상기의 두 방법을 적용하여 차이가 발생하였던 E1, E4, E6의 경우, 그림 5의 강우 분포도를 통하여, 둘 이상의 호우중심을 갖는 경우임을 확인할 수 있다. 특히, Point-tracking과 Advanced Point-tracking의 결과값에 가장 큰 차이가 발생한 E6의 강우 분포도를 통하여 용담댐 유역의 동쪽 끝부분에 위치한 호우중심 A(56.9mm)와 남쪽 끝부분에 위치한 호우중심 B(53.7mm)가 비슷한 크기의 강수량 값을 가지고 있는 것을 확인할 수 있으며(표 2), 다른 호우사상에 비하여 호우중심 간의 거리가 멀고, 집수면적의 변화에 따라 호우중심의 위치가 변화하는 것을 확인할 수 있었다. Point-tracking의 경우 최대값인 56.9mm의 호우중심 A만을 고려하여 검색을 시작하였고, Advanced Point-tracking의 경우 호우중심 A와 B를 모두 고려하였기 때문에 면적구간 약 200km²에서 450km²까지의 검색 결과에서 Advanced Point-tracking이 더 큰 MAAR값을 검색할 수 있다. 호우사상 E1과 E4 역시 비슷한 크기의 호우중심을 두 개 이상 가지고 있지만, 지상관측소의 강우데이터를 내삽한 자료를 활용하여 Point-tracking과 Advanced Point-tracking의 결과값에 큰 차이가 발생하지 않는 것으로 판단된다. 강수량 값을 확인해보면 호우사상 E1의 강우분포도에서 확인되는

호우중심은 용담댐 유역의 남서쪽에 나란히 위치한 A, B, C 3개로 각각 50.5mm, 47.8mm, 43.8mm의 강수량 값을 갖는다. 역시 호우사상 E4의 강우분포도에서 예상되는 호우중심은 유역의 북서쪽에 위치한 A, B, C로 각각 26.9mm, 23.8mm, 23.9mm의 강수량 값을 갖는 것으로 확인되며, 그 크기가 유사하다.

반대로 먼저 강우분포도로 호우 중심의 수를 확인해 보았을 때, 명확하게 하나의 호우중심만을 가지고 있는 호우 사상은 E2, E5, E9, E10이라 할 수 있다. 이러한 호우 사상은 Point-tracking과 Advanced Point-tracking의 검색 결과가 완전히 일치하는 것으로 나타났다. 이는 Point-tracking과 Advanced Point-tracking 모두 하나의 호우중심에서 검색을 시작했기 때문이다.

E3, E7, 그리고 E8의 강우분포도에서는 두 개의 호우 중심을 갖지만, Ahn *et al.*(2014)에 보인 바와 같이 지상강우의 내삽으로 작성된 자료는 레이더에 의하여 측정된 자료와 달리 관측소 지점에서 최대값을 갖으며 면적이 증가함에 따라 호우의 중심이 변화하지 않기 때문에 Point-tracking과 Advanced Point-tracking의 결과에는 차이가 발생하지 않았다.

먼저 E3의 경우, 강우분포도상에서 확인되는 호우중심은 두 개이지만, 동쪽에 위치한 호우중심 A의 영향이 호우중심 B에 비하여 더 크기 때문에 Point-tracking과 Advanced Point-tracking의 결과값에는 차이가 발생하지 않았다. 실제로 두 호우중심의 강수량 값은 24.8mm와 18.7mm로 E1, E4, E6에 비하여 비교적 큰 차이가 있다. 호우사상 E8 또한 호우중심 A는 49.8mm, 호우중심 B는 37.8mm로 강수량 값에 큰 차이를 나타내고 있다. 호우사상 E7의 강우분포도를 통하여 호우중심이 두 개인 강우사상이라고 생각할 수 있지만, A와 B 두 호우중심의 강수량은 각각 43.6mm와 70.6mm로 상당한 차이를 갖고 있다. 따라서 Point-tracking과 Advanced Point-tracking 모두 호우중심 B에서 검색을 실시하였고, 그 결과 동일한 검색 결과값을 나타냈다.

10개의 호우사상에 대한 분석으로 Advanced Point-tracking은 비슷한 크기의 강수량 값을 갖는 둘 이상의 호우중심을 동시에 고려할 수 있는 분석방법이라 판단할 수 있으며, 둘 이상의 호우중심을 고려했을 때 Advanced Point-tracking은 Point-tracking에 비하여 더 큰 MAAR을 검색할 수 있었다.

TABLE 3. The gap of the maximum values estimated by point-tracking method and advanced point-tracking method for each event

Event	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
gap	0.63	0.01	0.03	0.33	0.01	0.99	0.37	0.23	0.11	0.04

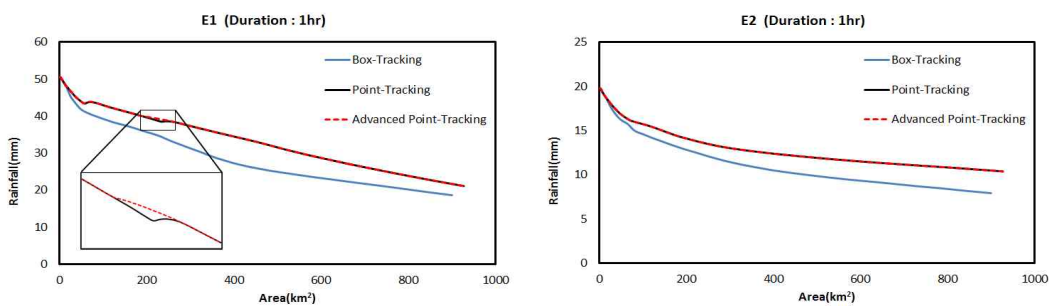


FIGURE 6. DA analysis for each event(sub-duration=1hr)

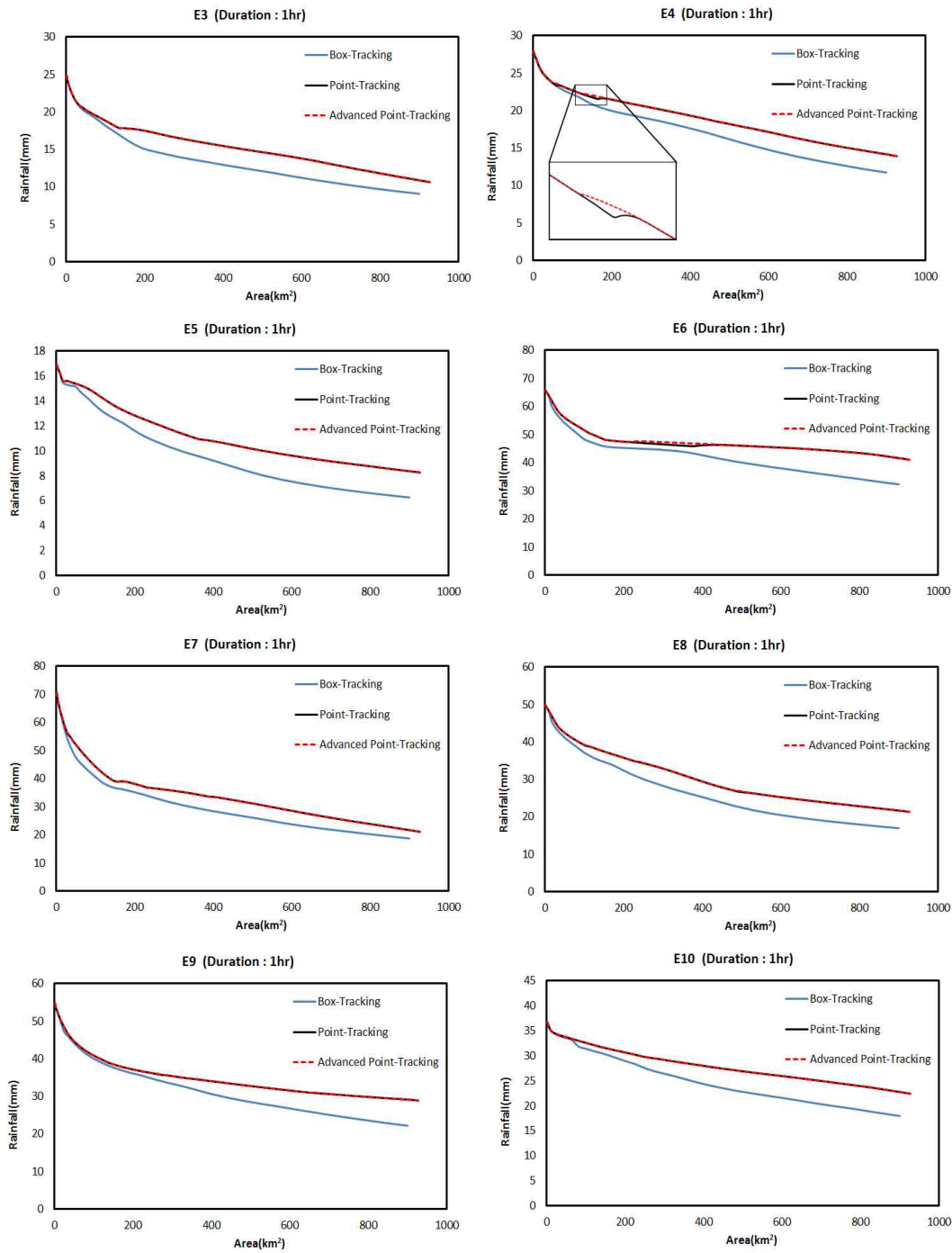


FIGURE 6. Continued

2. 호우사상별 DAD분석

E1에서 E10까지 각각의 사상별 특성을 살펴 보기 위하여, 10개의 호우사상에 대해 각각 DAD 분석을 실시하였다. 가장 긴 지속기간을 갖는 호우사상은 E8으로 2011년 7월 9일 22 시에서 7월 13일 0시까지 74시간이며, 가장 짧은 지속기간을 가진 호우사상은 E3으로 2009년 7월 7일 4시에서 7월 7일 14시까지 10시간이다. Box-tracking, Point-tracking 그리고 Advanced point-tracking의 세 가지 방법 중 호우의 형상을 고려할 수 없는

Box-tracking의 결과를 제외하고, Point-tracking과 Advanced point-tracking의 MAAR 결과값에 대하여 DAD분석을 실시하였다. 그림 7은 E1에서 E10까지의 호우사상에 대한 Point-tracking과 Advanced Point-tracking의 DAD 분석 그래프이다.

각각의 호우사상에서 Point-tracking과 Advanced Point-tracking의 결과값을 비교해 보았을 때 대부분의 경우 같은 값을 나타내지만, 일부에서 Advanced Point-tracking의 MAAR이 더 크게 추정되는 것을 확인할 수 있었으며, 4.1절의 그림 5와 표 2에 보인 바와

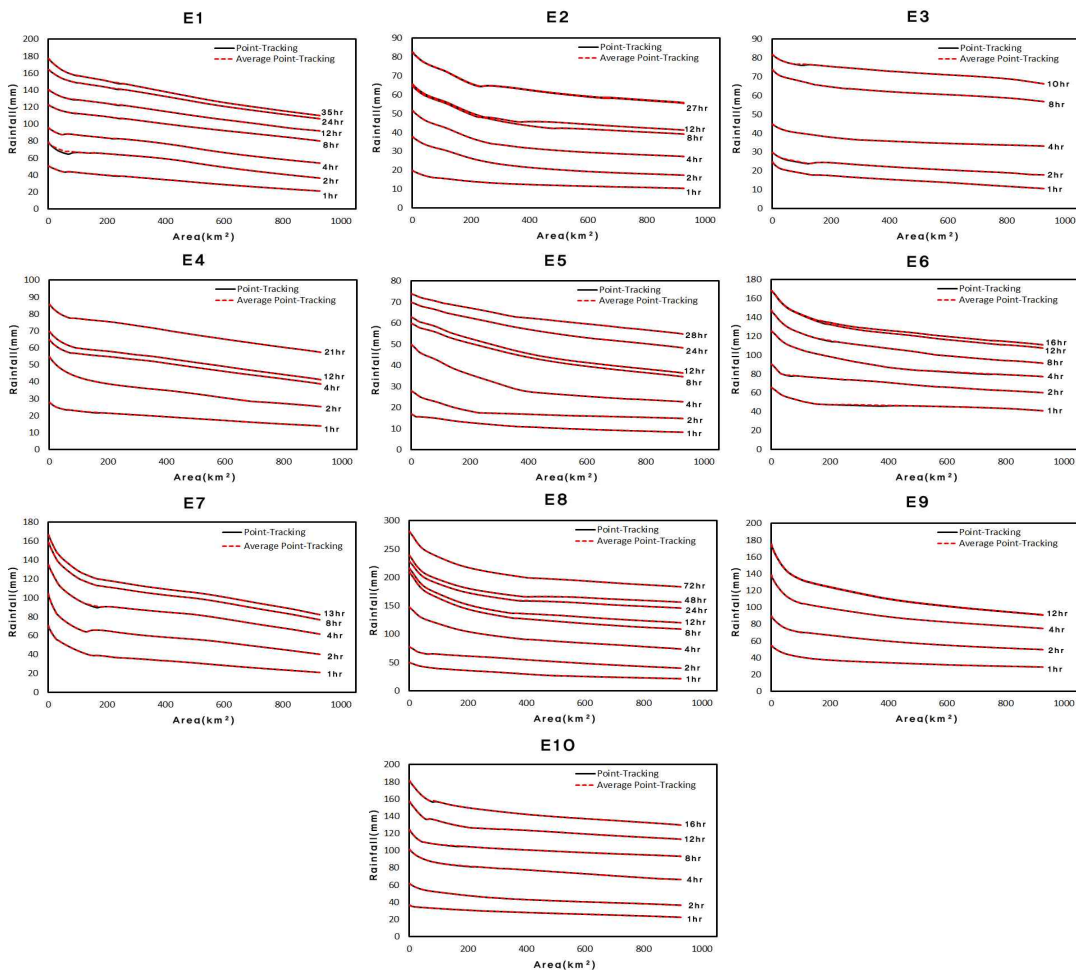


FIGURE 7. DAD curve for each event

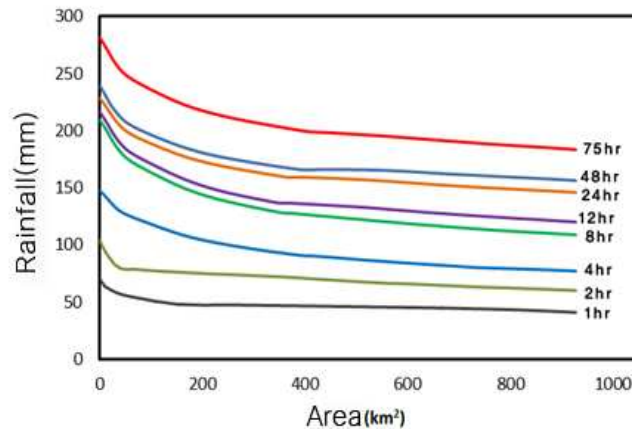


FIGURE 8. DAD curve for the study area based on the analysis of 10 events

같이 다중호우중심에 따른 영향으로 판단된다. 왜냐하면, 2.1~2.3절에 서술한 바와 같이 Point-tracking은 Advanced Point-tracking과 달리 각 Sub-duration에서 하나의 호우중심을 선정하고 그 중심으로부터 면적을 확장해 가며 분석을 수행하나, Advanced Point-tracking은 여러 개의 호우중심을 대상으로 분석을 수행하기 때문이다. 즉, DAD분석을 실시함에 있어서 Advanced Point-tracking이 Point-tracking에 비하여 다양한 호우중심을 고려하여 좀 더 정확한 결과를 도출할 수 있는 것으로 평가하였다. 마지막으로, Advanced Point-tracking을 이용하여 추출된 각각의 DAD곡선을 중첩하여 지속시간별 집수면적별 최대값을 추출하고, 그 값을 활용하여 대상유역에 대한 DAD곡선을 작성하였다(그림 8).

결론

국내에서 발생하는 대규모 홍수의 경우 태풍의 영향인 경우가 많으며, 태풍은 이동성향이 크고 여러 개의 호우중심을 갖는 특성이 있다. 이에 따라 지점강우량을 면적평균강우량으로 변환하는데 이용되는 DAD관계(Depth-Area-Duration)를 수립함에 있어 호우의 공간적 분

포를 정확히 고려할 수 있어야 한다. 따라서, 본 연구에서는 강우의 공간분포를 고려할 수 있는 격자기반의 자동 DAD분석기법(Box-tracking, Point-tracking 그리고 Advanced point-tracking)을 국내의 용담댐 유역에서 발생한 10개의 호우사상에 대하여 적용하여 각 분석방법의 특성을 검토한 후, 대상유역에 대한 DAD곡선을 제시함으로써 ARF(Areal Reduction Factor)계산을 위한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있으며, 본 연구의 주요 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 제안된 세 가지 방법을 선택된 10개의 사상에 적용한 결과를 세 가지 측면(다중호우중심, 호우의 이동성 그리고 호우의 형상)에서 검토를 수행하였다. Shin *et al.*(2013)과 Kim *et al.*(2014)에 제시된 바와 같이 Box tracking은 다중호우중심 및 호우의 이동성을 고려하는데 있어, Point-tracking은 호우의 형상을 고려하는데 있어 장점이 있음을 다시 확인할 수 있었다. 또한, Advanced Point-tracking은 Box tracking을 이용하는 경우 모든 Sub-duration층의 다양한 호우중심을 고려할 수 있는 장점과 Point-tracking을 이용하는 경우 호우 형상을 고려할 수 있는 장점을 갖고 있음을 확인하였다.

둘째, 지속기간 1시간의 DA분석과 강우분포도를 활용하여 세 가지 방법의 적용결과를 비교한 결과 Advanced point-tracking을 이용하는 경우 다중호우중심을 갖는 복합호우사상의 DAD분석의 정확도를 개선할 수 있음을 확인하였다.

셋째, 적용된 격자기반의 분석개념을 프로그램화하여 자동화를 수행하였으며, 병렬처리를 통하여 많은 수의 데이터를 동시에 처리하는데 있어 계산의 효율성 역시 향상하였다.

넷째, Yoon(2009)에서 제시된 바와 같이 강우의 공간적 변화특성을 고려할 필요가 있는 26km²이상의 유역면적에 대하여 DAD분석을 수행하는 경우 본 연구에서 제시된 방법이 유용하게 이용될 것으로 판단된다. 특히, NDMI (2013)에서 호우의 공간적 변동성과 유역평균 강수량을 정확히 표현하기하여 1km이하의 격자를 사용하는 것이 적절하다고 제시하였고, Shin *et al.*(2013)에서도 다양한 크기의 정방형격자에 대한 검토 역시 수행되었으나, 레이더 자료에 대한 연구가 수행되지 않아 차후 정확도가 높은 레이더 자료를 활용하여 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

향후 시공간적인 분포를 고려할 수 있는 레이더를 이용하여 측정된 격자기반의 강우자료를 활용하여 DAD분석을 수행하는 경우, Advanced point-tracking을 사용함으로써 강우자료에 대한 분석능력을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 해양수산부/한국해양과학기술진흥원의 연구과제(PJT200538)로 수행된 연구임.



REFERENCES

- Ahn, S.R., H.S. Park, M.S. Han and S.J. Kim. 2014. Applicability of Sobaek radar rain for flood routing of Chungju dam watershed. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 17(1):129-143 (안소라, 박혜선, 한명선, 김성준. 2014. 충주댐 유역 홍수추적을 위한 소백산 레이더 강우자료의 적용성 검토. *한국지리정보학회지* 17(1):129-143).
- Choi, Y.J., Y.S. Kim, G.H. Lee and J.C. Kim. 2010. The verification of application of distributed runoff model according to estimation methods for the missing rainfall data. *Journal of the Environmental Sciences* 19(12):1375-1384 (최용준, 김연수, 이기하, 김주철. 2010. 결측강우보완방법에 따른 분포형 유출모형의 적용성 검증. *한국환경과학회지* 19(12):1375-1384).
- Gill, T.D. 2005. Transformation of point rainfall to areal rainfall by estimating areal reduction factors using radar data. Master Thesis, Univ. of Texas A&M, Texas, USA. 4-10pp.
- Hansen, E.M., L.C. Schreiner and J.F. Miller. 1982. Application of probable maximum precipitation estimates: United States east of the 105th meridian. Hydrometeorological Report No. 52, U.S. Dept. of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration and U.S. Dept. of the Army, Corps of Engineers, Washington, D.C., USA, pp.3-10.
- Kang, D.K., Y.J. Kim, S.K. Park and Y.O. Kim. 2010. Development of automatic program for PMP estimation. *Proceedings of Korea Water Resources Association Conference*. pp.350-356 (강동균, 김영진, 박상권, 김영오. 2010. 가능최대강수량(PMP) 산정 자동화 프로그램 개발. *한국수*

Ahn, S.R., H.S. Park, M.S. Han and S.J. Kim. 2014. Applicability of Sobaek

- 자원학회 학술발표회초록집. 350-356쪽).
- Kim, B.S. 2009. Adaptation strategies for extreme flood to cope with future climate change. *Journal of Korean Society of Civil Engineers* 59(9):27-41 (김병식. 2009. 미래의 기후변화에 따른 홍수대응 방안. *대한토목학회지* 59(9):27-41).
- Kim, B.S., Y.H. Bae, J.S. Park and K.T. Kim. 2008. Flood runoff simulation using radar rainfall and distributed hydrologic model in Un-Gauged basin ; Imjin River basin. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 11(3):52-67 (김병식, 배영혜, 박정술, 김경탁. 2008. 레이더 강우와 분포형 수문모형을 이용한 미계측 유역의 홍수 유출 모의; 임진강 유역. *한국지리정보학회지* 11(3):52-67).
- Kim, N.Y. and H.K. Choi. Study of interpolation and extrapolation error in rainfall frequency analysis. *Proceedings of Korean Society of Civil Engineers Conference, Seoul, Oct. 20-21, 1995.* pp.29-32 (김남원, 최한규. 1995. 강우빈도분석시 내외삽 오차에 대한 고찰. *대한토목학회 학술발표회초록집*. 29-32쪽).
- Kim, N.Y. and Y.S. Won. 2004. DAD analysis on storm movement. *Journal of Korea Water Resources Association* 37(5):437-448 (김남원, 원유승. 2004. 호우이동을 고려한 DAD 분석방법. *한국수자원학회논문집* 37(5):437-448).
- Kim, Y.S., M.Y. Song, G.H. Lee and K.S. Jung. 2014. Development and application of automatic rainfall field tracking methods for depth-area-duration analysis. *Journal of Korea Water Resources Association* 47(4):357-370 (김연수, 송미연, 이기하, 정관수. 2014. DAD 분석을 위한 자동 강우장 탐색기법의 개발 및 적용. *한국수자원학회논문집* 47(4):357-370).
- Kwon, H.H., T.S. Oh and Y.I. Moon. 2008. Analysis of rainfall due to typhoons and summer precipitation forecast model building. *Magazine of Korea Water Resources Association* 42(6):89-97 (권현한, 오태석, 문영일. 2008. 태풍으로 인한 강우특성 분석 및 여름강수 예측모형 구축. *한국수자원학회지* 42(6):89-97).
- NDMI(National Disaster Management Institute). 2013. Establishing Technology for Contralling Flood and Managing Drought based on Remote-Sensing (국립재난안전연구원. 2013. 원격탐사기반 선진형 홍수관리 및 가뭄대응 기반기술 구축).
- Park, J.H., B.S. Kang and G.S. Lee. 2008. Application analysis of GIS based distributed model using radar rainfall. *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System* 16(1):23-32 (박진혁, 강부식, 이근상. 2008. 레이더강우를 이용한 GIS기반의 분포형모형 적용성 분석. *한국지형공간정보학회지* 16(1):23-32).
- Shin, Y., K. Takara and M. Ostric. 2013. Depth-area-duration analysis in a Korean river basin. *Annual Journal of Hydraulic Engineering JSCE* 57:151-156.
- Son, A.R., K.Y. Han and S.H. Bae. 2013. Temporal and spatial characteristics analysis of rainfall in Seoul. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation* 13(3):83-95 (손아롱, 한건연, 배성환. 2013. 서울지역 강우의 시공간적 특성 분석. *한국방재학회지* 13(3):83-95).

WMO. 1986. Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation. Second Edition. World Meteorological Organization. Operational Hydrology Report. No.1, Geneva, Switzerland.

Yoon, Y.N. 2009. Hydrology. Cheong Moon Gak Publishing CO. Paju-si, Gyeonggi-do, Korea, pp.1021-1050 (윤용남. 2009. 수문학. 청문각. 1021-1050 쪽). [KAGIS](#)