

호우이동을 고려한 DAD 분석방법

DAD Analysis on Storm Movement

김 남 원* / 원 유 승**

Kim, Nam Won / Won, Yoo Seung

Abstract

The traditional fixed areal DAD(rainfall Depth-Area-Duration) method, generally quoted in most hydrology texts, is a simple and useful procedure when watersheds are small and storm movement is not an important factor of consideration. However, it is difficult to obtain satisfactory results for the more apparent forms of storm movement such as typhoons, or for large watershed. In the latter case, especially, the margin of error for the areal average rainfall increases proportionally to the area of study, causing biased result.

To overcome these limitations, this study focuses on the storm-centered DAD analysis(moving area DAD method) developed and programmed by the isohyetal concept to obtain accurate and objective results. By comparing and analyzing the observed rainfall rates through both method, it was proved that the currently proposed method more accurately reflected the average rainfall rate. In short, through this new method, approximately 130 storm events nationwide from 1969 to 1999 was analyzed and compared with the fixed areal method results.

Keywords : fixed areal DAD method, storm centered DAD method, isohyetal concept, areal average rainfall, rainfall of spatial distribution

요 지

수문학 교과서를 통해 널리 알려진 기존의 유역중심 DAD 분석방법은 유역면적이 작거나 호우이동이 거의 없는 경우에 매우 유용한 방법으로 계산이 비교적 간단하다. 그러나, 태풍과 같이 호우이동이 뚜렷한 경우에는 DAD 관계를 명확히 표현하기 어려우며, 특히 유역면적이 증가함에 따라 평균면적강우량의 오차도 증가하므로, 분석자의 혼란을 야기시킬 수 있다.

이에 본 연구에서는 기존의 유역중심 DAD 분석방법의 단점을 보완코저 호우중심 DAD 분석방법을 개발하였고, 객관적인 DAD 분석결과를 얻기 위해 이를 프로그램화하였다. 관측강우량을 이용하여 기존의 방법과 비교·검토를 수행한 결과 제안된 방법이 평균면적강우량을 보다 적절하게 표현함을 알 수 있었다. 따라서 개발된 프로그램을 이용하여 우리나라의 전국단위 호우분석(1969년부터 1999년까지 약 130여 개 호우)을 수행하였으며, 그 결과를 유역중심 DAD 분석결과와 비교·검토하였다.

핵심용어 : 유역중심 DAD 분석방법, 호우중심 DAD 분석방법, 등우선법, 평균면적강우량, 강우의 공간분포

* 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원
Research Fellow, Water Resources Research Dept., KICT, Goyang-Si, Gyeonggi Do, 411-712, Korea
(E-mail : nwkim@kict.re.kr)

** 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원
Researcher, Water Resources Research Dept., KICT, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-712, Korea

1. 서론

수문학에서의 최종적인 관심사는 유출에 있으며, 유출분석에 있어 기본적인 입력항은 강우라고 할 수 있다. 강우의 특성은 많은 연구자에 따라 여러 각도로 파악되어 왔으며, 이것은 강우현상이 복잡 다양할 뿐만 아니라 연구목적에 따라 그 현상을 정량화 또는 정성화하여 수자원의 평가나 계획 그리고 설계에 기여하려는 점에 있다. 일반적으로 강우는 어느 특정한 지점에서 우량계를 통하여 측정된 것을 시간별, 일별, 또는 월별, 년별로 집계하여 자료화되며 분석상황에 따라 여러 각도로 이용된다. 수공구조물 계획 및 설계에는 주로 사성성 강우가 주로 이용되며 따라서 시간 강우자료가 중요하게 된다. 이러한 강우특성을 나타내는 주요소로는 총 강우량, 지속기간, 최대강우강도, 시간적인 분포, 공간적인 분포이며 이를 포괄적으로 표현한 것을 강우사상(rainfall event) 또는 호우(storm)라고 한다(Arnell 등, 1984).

수문학적 관점에서 보면 호우의 평가는 단순히 점 강우량에 의한 것이 아니라 호우의 면적과 강우지속기간에 의해서 이루어진다. 이것은 유출의 관점에서 유역에 내린 강우가 유역출구에서 모이기 때문이며 따라서 어느 특정지점의 강우량 크기보다는 유역에 내린 평균 강우량 또는 면적강우량이 중요하게 된다. 즉, 유출에 영향을 미친 강우는 점강우량이 아닌 유역평균강우량이라는 뜻이다. 그러나 이러한 면적강우량을 해당유역에서 직접 알 수 있는 방법은 없으며, 유역내 강우관측소에서 관측한 값, 즉 점강우량을 이용하여 적당한 방법으로 공간적인 평균을 하여 면적강우량을 산정한다. 면적강우량을 추정하는 방법은 등우선법, 티센가중법 등 여러 가지가 있으나 그 정밀도는 강우관측소의 밀도와 구조, 유역형상 등 여러 가지 상황에 따라 다르다(한국건설기술연구원, 1991). 일반적으로 면적강우량은 면적이 증가할수록 그 깊이가 작아지며, 지속기간이 증가할수록 강우깊이는 커지면서 강우강도가 작아지는 형태를 나타낸다. 특정호우에서 이를 가장 잘 나타낸 것이 강우깊이-면적-지속기간 관계(rainfall depth-area-duration: DAD)라고 하며 이를 수립하는 작업을 소위 DAD 분석이라 부른다. 호우별 DAD 결과는 구조물의 설계나 계획 등 제반 수문학적인 문제 해결에 대단히 유익하다(윤용남, 1986).

국내호우에 대한 DAD 해석은 대체로 크게 2가지 형태로 나누어 이루어졌다. 첫 번째는 가능최대강수량의 연구를 위해 진행된 기초자료 분석으로 조희구(1970, 1972), 이광호(1976), 이순탁과 박정규(1986), 건설부

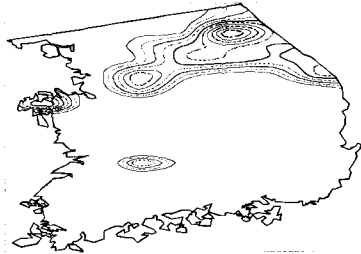
(1988) 등에 의해 이루어졌고, 두 번째는 특정 조사사업의 수문학적인 평가해석으로 1993까지 이루어진 IHP 조사사업(건설부, 1993)에서 이루어진 분석을 대표적인 형태로 들 수 있다. 여기서 사용한 DAD 해석방법은 공히 WMO(1969)에 기초한 윤용남(1986), 선우중호(1983), Gupta(1989) 등의 기준교과서에 실린 고정된 방법(fixed-weighting, fixed-area method)을 모두 이용하고 있으며, 단순히 해석을 위해 사용되었을 뿐 방법론 자체에 대한 특별한 언급이 없다. 또한 면적강우량의 지속기간별 변화특성에 대한 연구는 Gray(1973) 등 많이 있으나, DAD 분석방법론에 대한 연구는 WMO(1969) 이외에는 특별한 문헌을 찾을 수 없다. 본 연구에서는 기존의 고정된 방법에서 발생할 수 있는 문제점이 호우이동을 고려하지 못하고, 이로 인하여 한정적인 작은 유역면적에서 아주 다른 정보를 제공하고 있다는 것을 감안하여, 호우이동을 고려할 수 있도록 DAD 분석방법의 보완을 시도하였다. 또한 우리나라 전국단위의 호우 분석을 위하여 DAD 분석 프로그램을 작성하여 대규모 DAD 분석이 가능토록 하였다.

2. 기존 DAD분석 방법의 장·단점

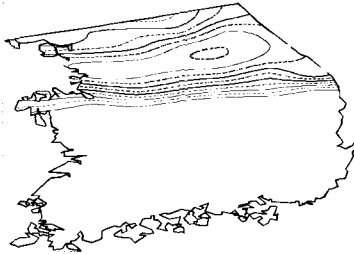
호우의 DAD 분석결과는 수문학적 유출과정을 파악할 수 있는 중요한 단서이기 때문에 그 해석의 결과는 객관적인 분석에 의해서 도출된다. 따라서 그 분석을 용이하게 하기 위하여 WMO(1969)에서 제시하고 있는 방법에서 유역면적을 고정할 경우 즉, 특정유역에서 DAD 결과를 얻기 위한 방법이 많이 이용된다. 일반적인 분석절차는 첫째, 유역내 각 관측점에 있어서의 누가량곡선(mass curve)을 구하고 전유역을 등우선 혹은 티센 다각형에 의해 몇 개의 소구역으로 나눈 후 둘째, 각 소구역에 대한 평균 누가량곡선을 산정하고 셋째, 소구역의 누가면적에 대한 평균누가량곡선을 결정한 후 넷째, 각종 지속기간에 대한 최대 평균우량 깊이를 소구역의 누가면적별로 결정하여 이들을 반대수지에 표시하여 DAD 곡선을 얻는다(윤용남, 1986). 이 방법은 일정한 소구역으로 나누고 그 소구역의 평균우량을 구하기 위하여 기여한 관측점에 일정한 가중을 부여하고 있다. 따라서 유역내의 호우가 일정한 성향으로 이동하거나 또는 이동치 않는 경우는 다량의 자료를 빠르게 해석할 수 있기 때문에 매우 간편하며 정확도를 보장할 수 있다. 따라서 소유역내 강우의 공간적 변화가 크지 않는 경우 적당한 방법이라고 할 수 있다. 중규모 요란을 가지는 전선성, 저기압성의 호우의 경우는 호우의 이동이 크지 않기 때문에 실제로 이 방법이 아주 적합한 방법이라고 할 수 있다.

소유역이 아닌 대유역인 경우 호우의 이동이 확연하거나, 유역면적을 고정하지 않고 호우를 중심으로 한 DAD 분석의 경우는 이러한 방법으로 여의치 않으며, 그 결과 값은 과대 또는 과소의 불확실한 값을 가진다. 예로 그림 1과 같이 유역내 지속기간이 증가하면서 호우이동 성향이 완전히 달라진 경우와 그림 2와 같이 호

우이동이 완전한 경우는 사실상 고정 면적법을 이용하여 DAD 분석을 수행할 경우, 완전히 다른 면적우량을 나타나내며 이러한 것은 대유역내 작은 면적에서 그 경향이 뚜렷하게 된다. 따라서 이동성 호우의 경우는 기존의 고정된 면적법으로 DAD 해석을 할 경우 상당히 잘못된 정보를 얻을 수 있다.



(a) 1시간 지속 지점최대

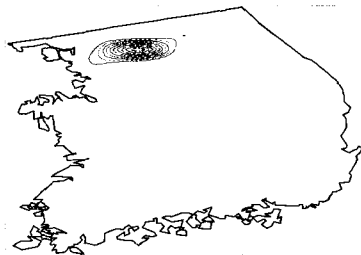


(b) 24시간 지속 지점최대

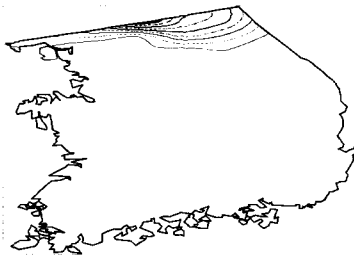


(c) 48시간 지속 지점최대

그림 1. 1990년 9월 9일 호우



(a) 1시간 지속 지점최대



(b) 24시간 지속 지점최대



(c) 48시간 지속 지점최대

그림 2. 1996년 7월 26일 호우

3. 호우이동을 고려한 DAD 분석방법과 프로그램

3.1 DAD 분석 방법

호우이동으로 인하여 점강우량이 최대일 때와 평균 강우량이 최대일 때가 다르며, 지속기간에 따른 호우의 공간적인 패턴이 다른 경우의 DAD 분석을 위해서는 특정지속기간의 유역면적을 고정하는 기존의 방법이 적당치 않음을 논리적으로 고찰한 바 있으나, 특정지속기간에서 최대 면적강우량을 산정한다는 대전제는 같다. 따라서 특정지속기간의 면적강우량을 산정하는 기본원리를 이용하여 면적별로 평균면적강우량이 최대가 되는 기간을 찾는 형태로 다음과 같은 단계적인 DAD 분석 방법을 개발하였다.

1단계) 호우내 전 관측지점의 시간자료를 호우의 개시시간부터 종료시간까지 일정한 형태, 즉 동시우량형태로 구축한다.

2단계) 관측개시부터 원하는 지속기간의 누기우량을 작성하고, 등우선을 작성하여 등우선내에 포함되는 평균강우깊이를 계산하고, 등우선 면적을 넓혀가면서 강우깊이-면적(rainfall depth-area ; DA) 곡선을 작성한다.

3단계) 같은 절차로 다음 시간으로 이동하여 다시 반복하여 DA 곡선을 작성하는 것을 계속적으로 반복한다.

4단계) 관측 개시시부터 종료시까지 주어진 지속기간에 따른 DA 자료 중 각 면적별로 최대치를 작성한 후, 면적별 포락을 실시하여 최종적인 DA 곡선을 작성한다. 여기서 포락이란 어떤 자료군에서 최대값을 찾기 위한 절차이다.

5단계) 다른 지속기간을 선택하여 2단계로 돌아간다.

이 방법은 해당지속기간에서 임의의 주어진 면적의 최대 평균면적우량을 찾기 위한 일종의 시행착오법이라고 할 수 있다. 그러나 실제로 주어진 호우조건이 주어진 지속기간내의 특정 면적에서 최대평균우량을 나타내

지 못하기 때문에 그러한 조건을 찾기 위해 여러 시간 구간의 값을 추적하여 포락한다.

3.2 DAD 분석 프로그램

이 절차는 유역중심이 아닌 호우중심으로 DAD를 분석하기 위한 것으로 호우이동에 그 초점을 맞추었으나, 많은 계산을 요구하기 때문에 컴퓨터에 의존할 수밖에

없다. 등우선을 작도하고, 또한 등우선내 면적을 계산하며, 그에 따른 평균강우깊이를 계산하는 과정을 반복수행하기 위해서는 수작업으로 불가능하게 된다. 최근 소형 컴퓨터의 용량이 대형화되고 자료처리속도가 빨라지며, 또한 각종 소프트웨어가 발달됨에 따라 이의 계산이 가능하게 된다. 본 연구에서 제안한 방법의 프로그램 흐름도는 그림 3과 같다.

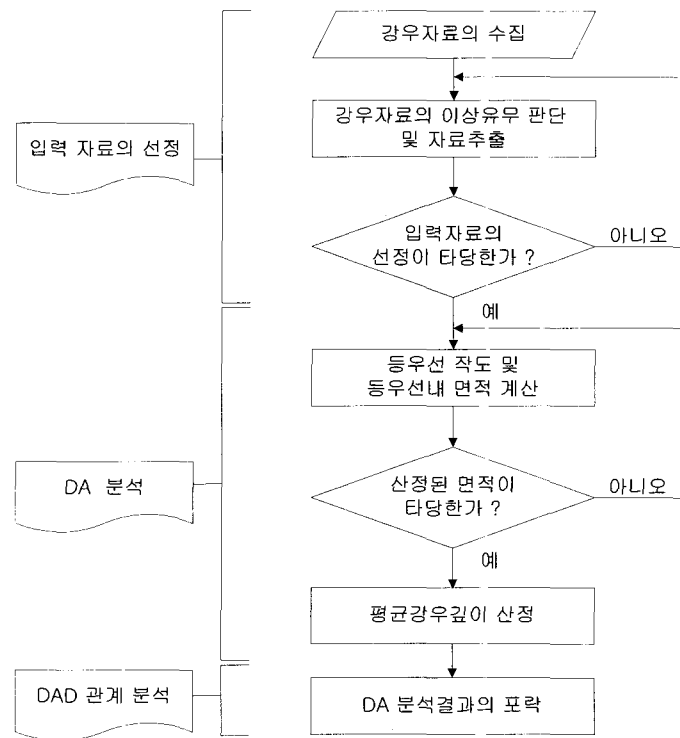


그림 3. DAD 분석 프로그램의 흐름도

여기서 제안된 호우중심 DAD 분석방법은 순수히 등우선법을 중심으로 제안된 방법이다. 물론 제안된 단계 중 2단계에서 등우선법을 사용하지 않고 삼각형법이라든지 Thiessen방법 등 다른 방법을 사용할 수 있으나, 여기에서는 그에 대한 논의를 생략한다.

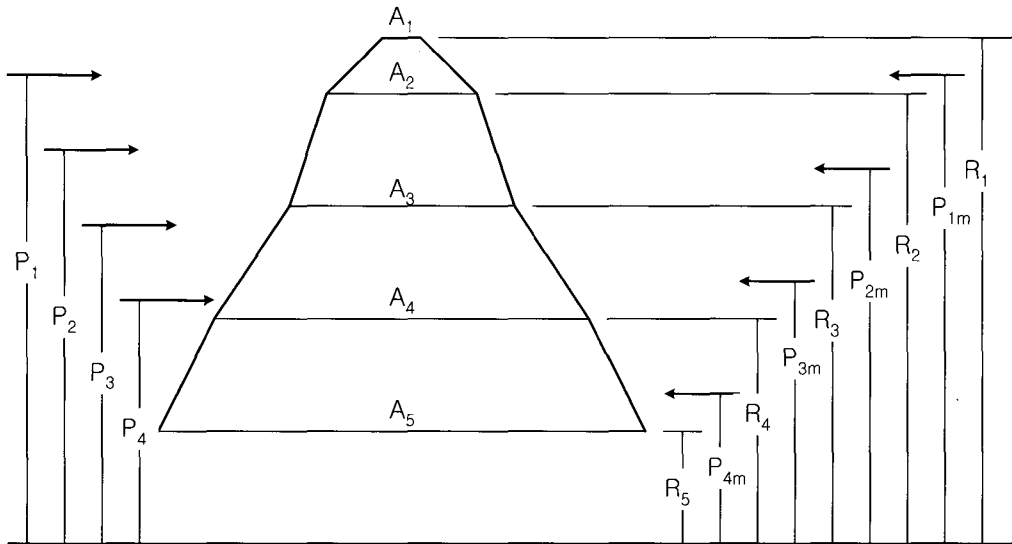
따라서 등우선을 작도하는 것과 등우선내의 면적을 구하는 것에 대한 사항이 매우 중요하나, 이러한 세부적인 분석사항은 DAD 분석을 위한 프로그램 개발자의 취향에 따라 서로 다른 형태의 방법을 사용할 수 있고, 사용자의 취향에 따라 여러 가지 형태로 구축될 수 있기 때문에 본 연구에서 실제 호우해석을 위해 사용된 세부 절차는 다음에서 기술한다. 한편 등우선법 내의 평균강우깊이 산정방법은 보통 두 등우선간의 평균값을 사용하나, 이는 실제로 등우선의 간격과 가중계수의 관계로 매우 임의적일 수 있기 때문에 그림 4와 같은 면적과 등우선의 강우깊이를 이용한 1차 모멘트를 이용하였다. 등우선간의 평균강우깊이는 체적중심이어야 하나,

본 연구에서는 모든 등우선이 같은 형태로 유지되는 것으로 가정(그림 4(b) 참조)하여 면적중심을 평균강우깊이로 가정했음을 부연한다. 면적중심으로 인한 오차는 호우중심보다는 우리나라 경계에 접하게 되는 즉, 등우선의 강우량이 작고 호우중심으로부터 먼 호우의 외곽지역에서 주로 발생할 수 있다. 그러나 과거 우리나라에 발생한 호우형태는 타원형에 가깝고(건설교통부, 2000), 호우의 외곽지역에 발생한 작은 강우량은 호우중심 지역의 큰 강우량에 비해 상대적으로 중요하지 않으므로, 계산이 복잡하고 많은 시간이 소요되는 체적중심보다 면적중심이 효율적이라 판단하였다. 평균강우깊이를 산정하기 위해 먼저, 등우선의 면적 $A_1, A_2, A_3, \dots, A_i$ 를 산정한 후, 이를 이용한 두 인접 등우선간의 1차 모멘트(평균강우깊이)는 다음과 같이 산정할 수 있다.

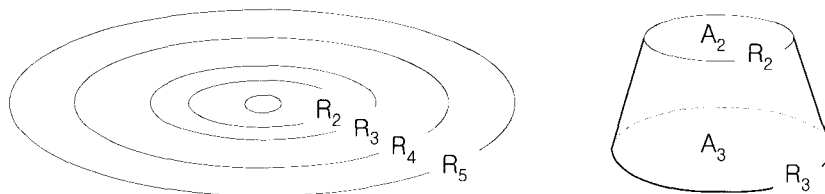
$$P_{im} = \frac{(R_i - R_{i+1})(2A_i + A_{i+1})}{3(A_i + A_{i+1})} \quad (1)$$

여기서, P_{im} (mm)은 두 인접 등우선간의 면적에 대한 평균강우깊이, R_i (mm)는 각각의 등우선 값(강우량), A_i (km^2)는 강우량 R_i 에 의해 그려진 등우선의 내부 면적이다. 유역의 평균강우깊이 P_m 은 식 (1)에

의해 산정된 두 인접 등우선의 평균강우깊이 P_{im} 과 그림 4에 나타난 바와 같이 두 인접 등우선의 면적과 강우량으로 구성된 사다리꼴의 면적 A_{Ri} 를 가중시켜 산정할 수 있다.



(a) 평균강우깊이 산정



(b) 등우선 형태의 가정

그림 4. 면적에 따른 평균강우깊이 산정

$$A_{Ri} = \frac{(R_i - R_{i+1})(A_i + A_{i+1})}{2} \quad (2)$$

여기서, 지점우량에 해당하는 지배면적 A_1 은 26 km^2 로 가정(WMO, 1986)하여 사용하였고, 유역의 평균강우량은 식 (1)과 식 (2)로부터 다음과 같이 산정된다.

$$P_m = \frac{A_{R1}P_{1m} + A_{R2}P_{2m} + \dots + A_{RN}P_{im}}{A_{R1} + A_{R2} + \dots + A_{RN}} \quad (3)$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^N A_{Ri} P_{im}}{\sum_{i=1}^N A_{Ri}}$$

4. 호우 분석에 의한 방법비교 및 토의

본 연구에서 논의하고 있는 초점은 평균면적우량을 정확히 산정하는 방법에 대한 것이 아니라, 일괄적으로 강우지속기간-면적-강우깊이를 해석할 수 있는 DAD 분석방법에 대한 것이다. 또한, 이동하는 호우의 특성을 반영하지 못하는 기존의 유역중심 DAD 분석방법에 내재된 문제점을 해결하고자 호우중심의 DAD 분석방법을 제안하였다. 따라서 본 절에서는 기존방법으로 호우를 해석할 때 발생하는 문제를 몇 개의 호우에 대하여 예시하고, 본 연구에서 제안된 방법을 중심으로 호우분석상황에 대하여 토의하였다.

4.1 등우선과 면적계산 그리고 평균강우깊이

유역이 아닌 호우를 중심으로 하는 DAD 관계를 작성한다는 것은 공간적인 대상이 호우범위 전체라는 것이며, 상대적으로 긴 지속기간의 경우 호우의 범위가 우리나라 전역을 포함할 가능성이 크며 따라서 해안선 경계가 마치 등우선 분석 끝이 될 수 있다. 기존의 방법이든 새로이 제안된 호우중심 방법이든 호우를 해석하기 위해서는 등우선의 작도 방법과 등우선내 면적계산방법의 선택이 필요하다. 호우중심 방법은 계속적으로 등우선을 작도하여야 하기 때문에 이에 대한 특별한 방법보다 공개된 contour(Firmin, 1988)의 소스코드를 수정하여 이용하였으며, 각 관측소별 좌표값과 강우값에 의해 등우선을 작도하였다. 등우선내 면적은 먼저, 등우선과 우리나라 해안경계로서부터 폐합다각형을 형성한 후, 폐합다각형내의 면적을 계산하였다. 일반적으로 면적은 다음과 같이 적분하여 산정할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 A &= \oint_A f(x, y) dA \\
 &= \int_a^b \left[\int_c^d f(x, y) dy \right] dx \\
 &\text{or} \int_c^d \left[\int_a^b f(x, y) dx \right] dy
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

식 (4)를 이용한 등우선내 면적은 그림 5와 같이 각 등우선과 우리나라의 해안경계로부터 폐합다각형을 형성하고, 사다리꼴 법칙을 이용하여 $f(x, y)$ 의 근사다항식을 2점을 지나는 직선으로 가정함으로써 산정할 수 있다. 각 등우선을 형성하는 폐합다각형의 x, y 좌표는 개발된 프로그램상에서 추출할 수 있으며, 이를 이용하면 등우선내 면적을 산정하는 식 (4)는 식 (2)와 유사한 형태로 나타낼 수 있다.

$$A = \sum_{i=1}^N \frac{(x_{i+1} - x_i)(y_{i+1} + y_i)}{2}
 \tag{5}$$

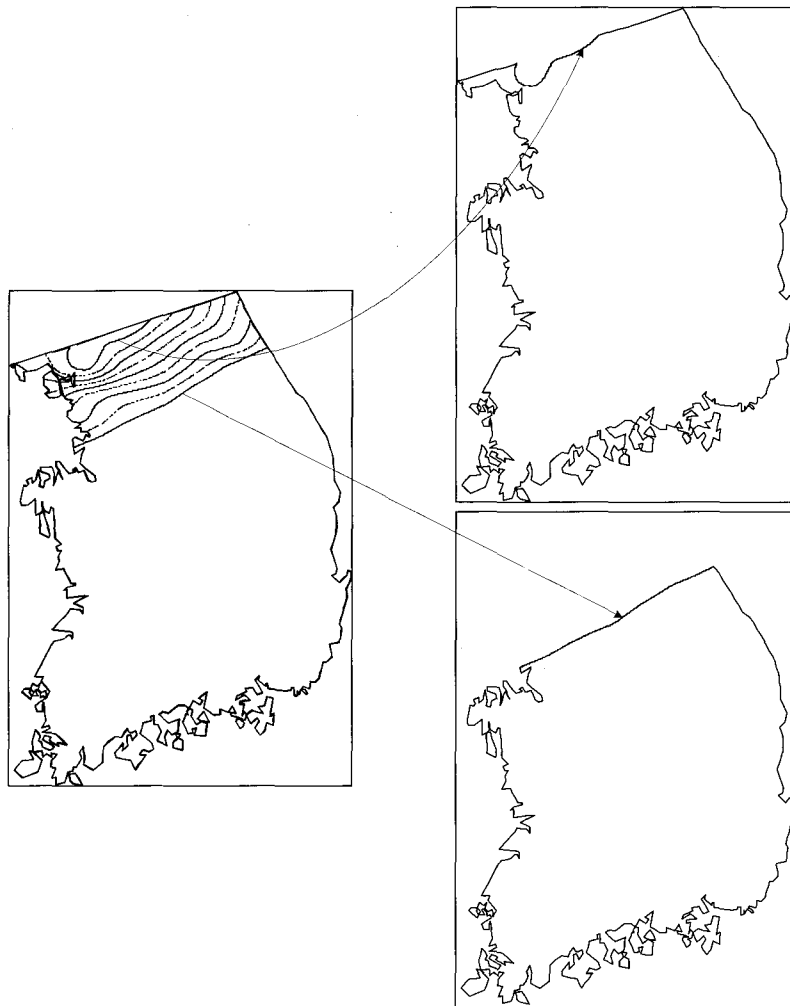
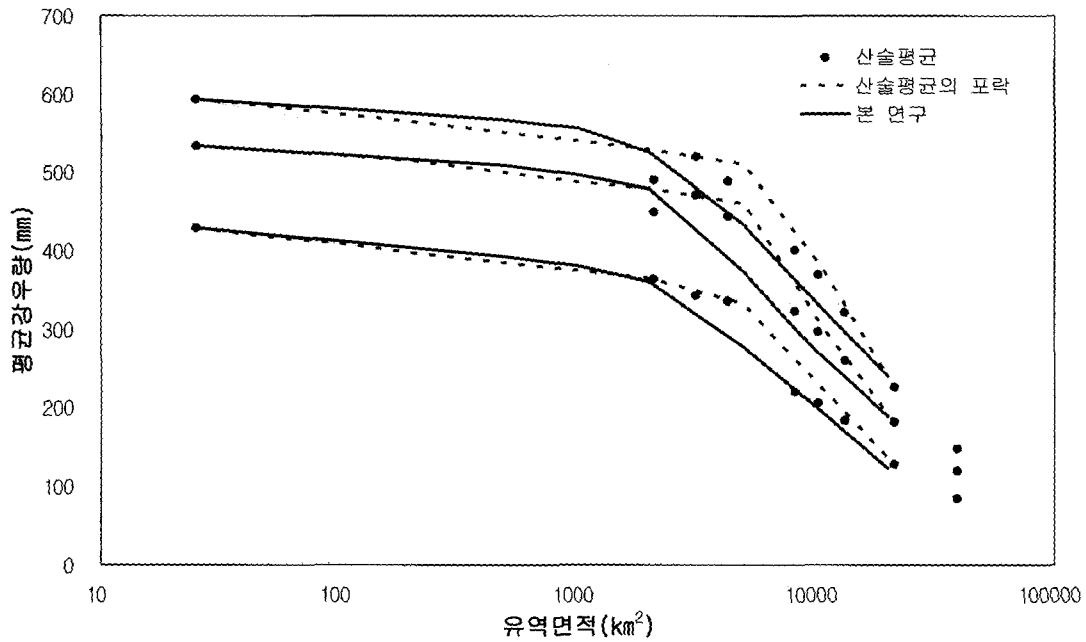


그림 5. 등우선 작도 예(1999년 7월)

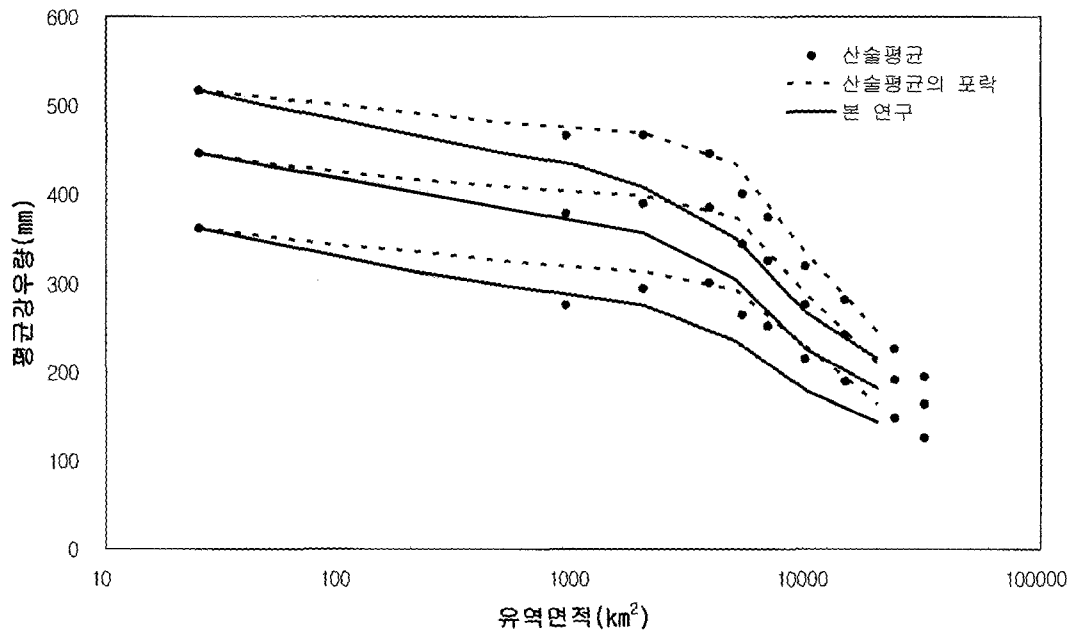
4.2 자료에 의한 방법의 비교분석

호우자료에 의한 DAD 방법별 일반적인 비교를 위하여 특별한 기준 없이 임의로 2개의 호우를 선택하였으며, 하나는 1981년 9월 1일부터 4일간 남부지방에 내린 태풍성 호우이고, 다른 하나는 1991년 8월 21일부터 5일간 영남지방에 내린 태풍성 호우이다. 분석에 포함된

관측자료는 기상청, 건설교통부, 한국수자원공사에서 관측하고 있는 전 자료이며, 두 호우 공히 약 190여 지점 이상 동시우량자료로 표현되고 있다. 그림 6은 두 호우의 DAD 분석결과 중 두 방법에 의한 차이를 나타내는 대표적인 경우라고 할 수 있으며, 가는 실선과 점선은 기존방법에 의해 굵은 실선은 본 연구에서 제안하고 있는 방법을 나타내고 있다.



(a) 1981년 9월 1일 호우



(b) 1991년 8월 21일 호우

그림 6. 기존 방법에 의한 DAD 분석자료 해석

기존 유역중심방법으로 호우를 해석할 경우 상대적으로 작은 호우면적에서의 DAD의 성향을 충분히 표현하지 못할 뿐만 아니라 그림 6의 실선과 같이 면적이 증가해도 강우깊이가 작아지거나 또는 같아지는 등의 잘못된 정보를 나타낸다. 물론, 이러한 현상은 면적이 증가함에 따라서 점차로 사라지나 작은 값의 영향을 계속적으로 받고 있음을 감안할 때 호우면적에 따른 오차 내에 강우량이 도달할 때까지는 그 영향이 계속됨을 알 수 있다. 따라서 이러한 기존방법의 단점을 해결하기 위하여 소위 포락의 형태로 평균강우량 값을 점선과 같이 조정하게 되는데 실제로 이 조정은 매우 주관적이며 따라서 분석자에 따라 여러 형태로 나타낼 수 있다. 물론 이러한 조정을 수행한다고 해도 단지 DAD 성향을 따를 뿐 호우를 명확히 해석하고 있다고 할 수 없다. 그림 6의 두 호우를 통해 유추 해석하면 기존방법에 의해 호우를 분석할 경우 이러한 형태의 오류 및 주관성이 계속 내재해 있다는 것을 알 수 있다. 호우지속기간을 통한 누가강우량의 등우선이 형성하는 면적에 큰 영향을 받기 때문에 대체로 그림 7과 같이 과다한 값을 나타내며 호우면적이 증가함에 따라 그 값의 차이는 크지 않게 된다.

반면 호우중심 DAD 해석의 결과는 이러한 오류와 주관적인 형태를 나타내고 있지 않다. 그림 7에서 알 수 있듯이 방법별 지점 최대 강우량의 값은 같다. 이는 지점 최대값을 세 방법 모두 실측된 최대값으로 대치하였기 때문이다. 그러나 기존 방법인 산술평균이나 Thiessen 방법으로 산정된 DAD 분석결과는 본 연구에서 제안한 호우중심의 DAD 분석 결과보다 크게 분석

되었음을 알 수 있다. 이러한 경향은 그림 6에서도 찾아 볼 수 있는데 주로 유역면적 $1,000\text{km}^2 \sim 10,000\text{km}^2$ 에서 가장 큰 차이를 보이고 있다. 이 면적은 현재 우리나라에 건설된 대부분 댐의 유역면적이 포함되므로 DAD 분석결과는 실제 설계에서 더 많은 영향을 줄 수 있다.

4.3 면적-강우깊의 포락과 계산방법

호우중심 DAD 분석방법은 호우 개시시간부터 종료 시간까지 주어진 지속기간에 걸쳐 반복적인 계산을 수행하여야 하며, 계산된 강우량을 면적-강우깊이 곡선상에서 포락하여야 한다. 이 과정은 그림 8과 같이 지속기간별, 면적별 강우깊이를 정확히 계산할 수 있게 하지만 반면 많은 계산 시간을 요하기 때문에 실제 사용에 한계가 있게 된다.

그림 8에서 알 수 있듯이 강우깊이-면적 곡선상에서 포락을 실시하기 때문에 매 면적에 따른 값이 전부 필요하지 않고 적당한 면적 간격에 대한 강우깊이만으로 정교한 DA 값을 작성할 수 있다. 따라서 먼저 최소면적의 계산을 위해서 호우내 지점최대가 발생하는 시간의 호우상황, 그리고 중간규모의 면적의 계산 위해 3지점 강우량이 최대가 되는 시간의 호우상황, 그리고 제일 큰 면적의 경우는 호우내 전체 상황을 설정하여 각 상황에서 최고 강우깊이 3순위까지로 한정하였다. 각 상황에 대한 호우의 공간적인 변화는 그림 9와 같으며, 호우의 공간분포가 같은 경우가 있고 다른 경우도 있다. 그림 9(a)는 1987년 8월 22일 01시부터 13시까지의 누가우량으로 호우내 지점최대, 3지점 강우량 최대, 전

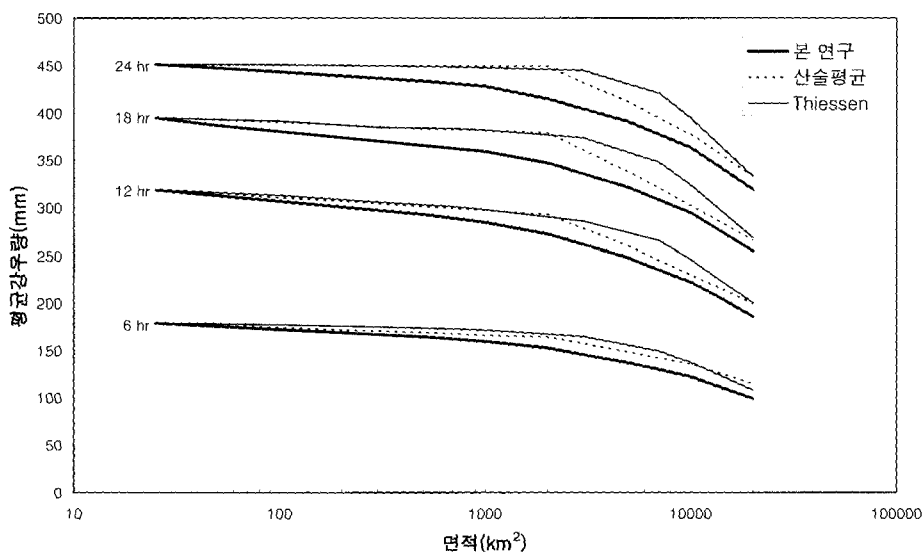


그림 7. 방법에 따른 DAD 결과의 비교(1972년 8월 18일 호우)

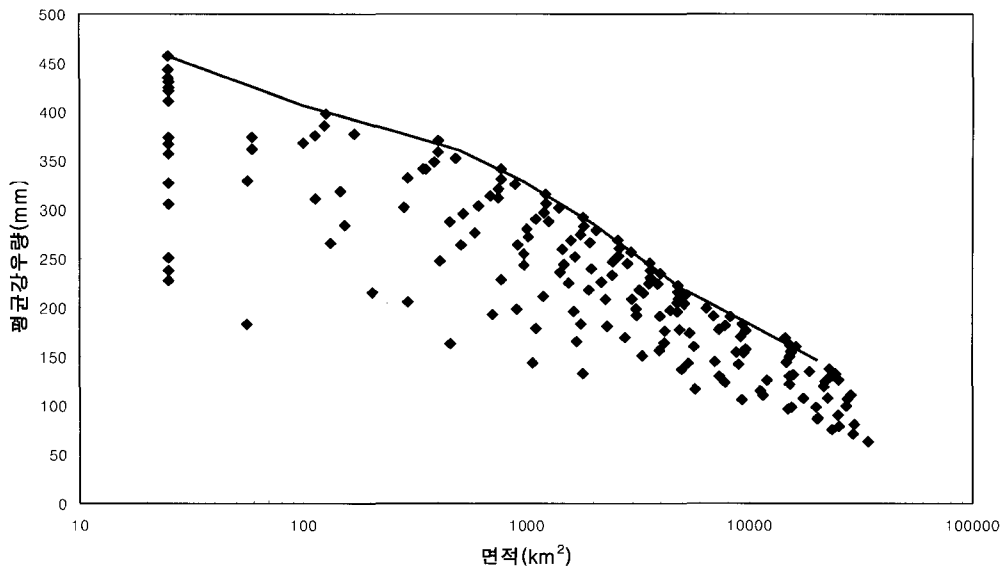


그림 8. 전기간을 통한 강우깊이-면적관계 계산 예
(1987년 7월 21일 호우, 지속기간 12시간)

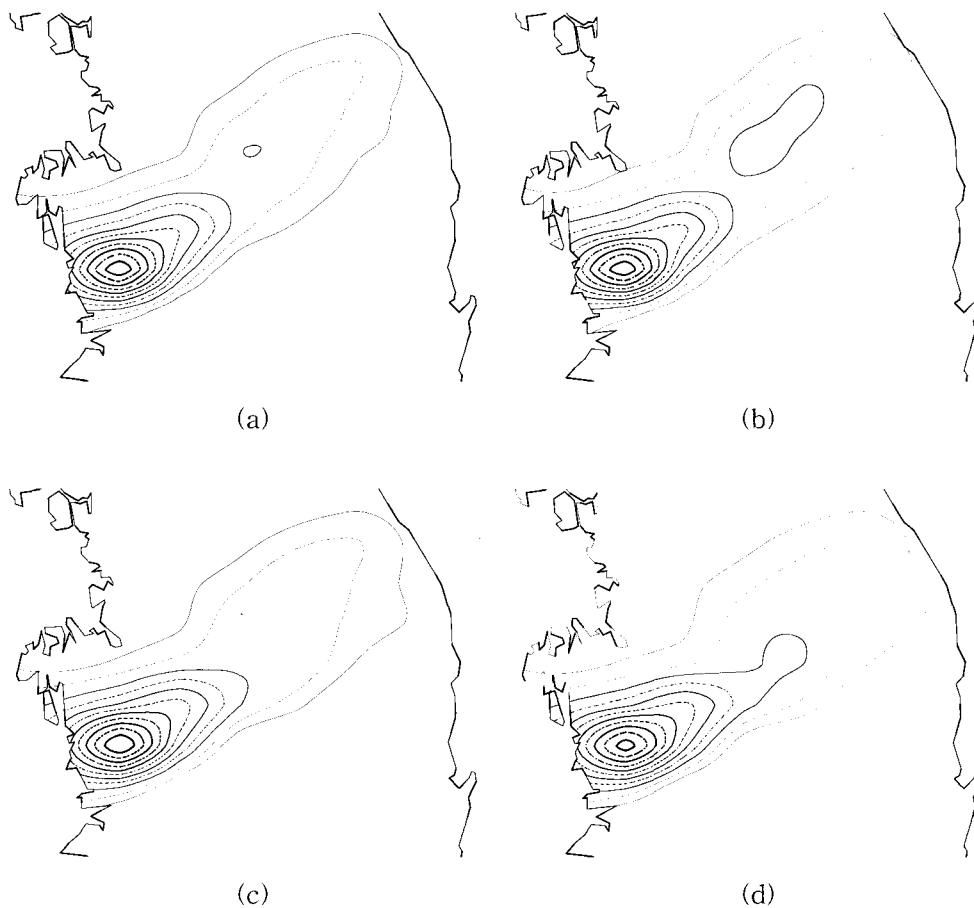


그림 9. 최대강우깊이의 상황에 따른 공간분포(1987년 7월 21일 호우, 지속기간 12시간)

지점최대에 대하여 1순위이며, 그림 9(b)는 1987년 8월 21일 24시부터 12시까지의 누가우량으로 호우내 지점최대, 전 지점최대 대하여 2순위, 3지점 강우량 최대에 대

하여 4순위이고, 그림 9(c)는 1987년 8월 22일 02시부터 14시까지의 누가우량으로 호우내 지점최대, 전 지점최대에 대하여 3순위, 3지점 강우량 최대에 대하여 2순위

이고, 그림 9(d) 1987년 8월 22일 03시부터 15시까지의 누가우량으로 3지점 강우량 최대에 대하여 3순위를 나타냈다.

따라서 한 지속기간에서 강우깊이-면적계산은 최대 4번을 수행하고 호우이동이 거의 없는 경우는 지점최대가 발생하는 시간에서 3지점 최대 및 전지점 최대가 발생하기 때문에 즉, 그림 9의 네 개의 호우 중 호우형태가 같은 경우를 고려하여 강우깊이 1, 2순위만 계산하면 최소 3번을 수행하게 된다. 이와 같은 분석을 통하여 포락을 실시하면 그림 10과 같으며, 이를 그림 8의 포락선과 비교하면 사실상 거의 일치함을 알 수 있다.

본 연구에서 예로 제시한 1987년 호우는 저기압에 의한 호우로 그림 9에 제시된 바와 같이 호우이동이 거의 없는 경우이다. 그러나 태풍과 같이 호우의 이동성향이 뚜렷한 경우는 지점 최대, 3지점 최대, 전지점 최대의 2순위뿐만 아니라, 3순위나 5순위의 호우가 DAD 포락선에 영향을 줄 수 있다고 판단하여, 지속기간별 지점최대 5순위, 지점최대 5순위를 제외한 3지점 최대 5개, 지점최대와 3지점 최대 10개를 제외한 전지점 최대 5개 등 총 15개의 호우를 추출한 후, DAD 분석을 수행하였으며 이로부터 포락을 실시하였다.

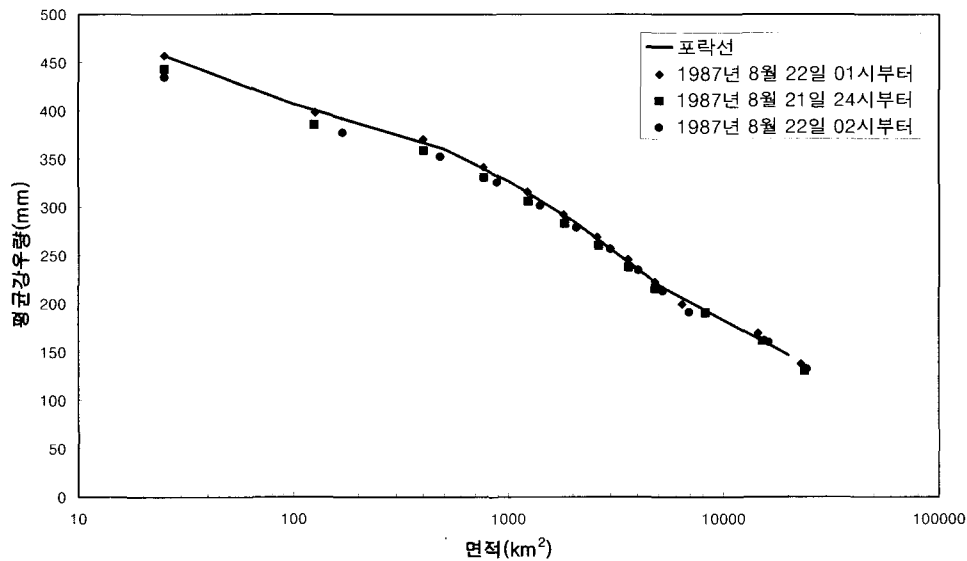


그림 10. 단순분석을 통한 강우깊이-면적관계 계산 예 (1987년 7월 21일 호우, 지속기간 12시간)

표 1. 1999년 7월 31일~8월 3일호우의 DAD 결과

25	97.0	175.0	271.0	320.0	357.0	427.0	521.5	587.0	809.5	900.8
50	89.2	148.6	247.5	299.4	325.0	409.3	504.8	567.0	790.5	879.3
100	81.4	136.3	228.5	278.7	309.8	391.5	488.2	547.0	771.5	857.9
200	73.6	123.9	209.4	258.0	294.6	373.8	471.5	526.9	752.5	836.4
500	63.5	112.7	188.2	236.6	274.6	350.9	449.5	500.5	727.4	808.1
1,000	60.8	107.0	180.7	226.4	259.5	336.3	432.8	480.7	708.4	786.8
2,000	54.3	92.9	164.4	204.0	244.2	314.1	409.4	452.1	681.4	762.5
5,000	39.4	68.2	130.1	171.9	210.8	279.0	350.5	382.3	608.0	685.6
10,000	24.5	47.8	86.6	124.3	156.6	213.7	269.1	290.7	493.2	575.4
20,000	11.0	25.5	50.8	68.8	84.9	113.3	150.7	193.5	310.1	418.7

4.4 호우분석의 형태 및 토의

어느 방법이든 호우별 DAD 분석을 위해서는 몇 가지 선행조건이 필요하다. 호우역의 범위를 어느 형태로 규정할 것인가와 선행호우 및 후행호우를 구분하는 것이다. 또한 강우깊이-면적관계를 위해서 많은 등우선이 필요하기 때문에 호우별 등우선의 간격 및 호우 면적 한계 등에 대해서도 일정한 기준이 성립되어야 한다. 호우역의 경우는 공간적인 기준에 대하여 기존의 연구 문헌을 찾을 수 없기 때문에 특별한 기준을 두지 않았다. 단지, 등우선이 너무 많으면 계산시간이 많아지기 때문에 호우내 최대값의 15%와 최소값을 비교하여 등우선의 경계를 설정하여 이 최대값과 등우선 개수가 최대 12개에서 최소 10개의 등간격이 이루어지도록 하였다. 반면 선행호우와 후행호우의 구분은 호우이동과 호우중첩의 문제이며 또한 호우형태의 구분이다. 따라서 강우과정을 포아슨 과정을 따른다고 가정하여 독립호우 사상에 대하여 고찰한 김남원(1998)의 결과를 이용하여 약 8~15시간의 무강우 가정을 고려하여 독립호우를 규정하였다.

이와 같은 분석에 의해 20세기말 우리나라 중부지방에 최고의 비를 퍼부은 1999년 7월 31일~8월 3일에 내린 호우를 분석한 결과는 표 1과 같다. 이 분석에 이용된 관측소는 기상청, 건교부, 수공, 건기연, 지자체관할 전 관측소이며, 그 수는 183개이다. 여기서 기술한 호우 중심 DAD 분석방법을 이용한 1969년 이후 1999년까지 31년간 우리나라에 내린 주요 호우 131개에 대한 공간 분포와 DAD 분석결과는 '한국의 주요호우'(건설교통부, 2000)에 자세히 수록되어 있다.

5. 요약 및 결론

최근에 집중호우로 기록적인 호우가 자주 발생하고 있으며 이로 인하여 홍수피해 규모가 급작스럽게 증가하는 현상을 보이고 있으며, 예전 호우와는 다르게 국지적으로 호우가 집중되고 다발적으로 발생하고 있다. 그러나 이러한 호우에 대한 정량적인 평가는 쉽게 이루어지지 않고 있다. 그 원인 중 중요한 원인으로 호우면적-호우지속기간-강우깊이의 정량적인 분석을 들 수 있으나, 현재 이를 분석하는 방법의 주관성 및 계산의 복잡성 그리고 수작업의 오류 등의 여러 문제가 내재해 있다. 본 연구에서 기존 방법을 이용하여 호우를 평가할 때 많은 문제점이 방법상에서 나타남을 고려하여, 호우를 중심으로 한 단계적인 DAD 분석방법을 제안하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 기존의 유역중심 DAD 방법은 유역면적이 작게 주어진 경우 그 계산이 간편하기 때문에 아주 유용한 방법이나 면적이 증가하거나 호우이동이 뚜렷한 경우 유역을 고정하는 한계로 인해 DAD 관계가 명확히 표현되지 않고 있음을 나타내었다.
- 2) 유역중심 방법에 의한 결과는 주관성을 배제할 수 없으며, 또한 DAD 결과는 과다 추정됨을 알 수 있었다.
- 3) 새로운 호우를 중심으로 한 DAD 방법을 제시하였으며, 또한 계산의 주관성과 간편성을 위한 컴퓨터 프로그램에 근거한 해석방법을 제안하여 객관적인 호우해석에 편리하도록 하였다.

수문학적으로 강우의 값은 단순 측정되는 것이 아니며 면적과 지속기간의 함수로 나타내고 있는 반면 그 과정 또한 면적과 지속기간의 함수로 모식되어야 한다. 본 연구의 결과가 이러한 강우 과정을 규명하는데 기틀이 되기를 기대한다. 특히, 우리나라 호우평가나 공간강우과정, 면적감소계수 산정 등 물리적인 수문과정과 가능최대강수량과 같은 설계 수문량의 평가에 기초자료가 되기를 기대한다.

감사의 글

본 연구는 1999년도 수자원관리기법개발연구조사사업 일환으로 이루어진 것으로 건설교통부의 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 건설교통부(2000). 한국의 주요 호우, 1999년도 수자원관리기법연구개발조사 보고서 제2권 별책 제2권, 한국건설기술연구원.
- 건설부(1988). 한국 가능최대강수량추정, 수자원관리기법 연구개발 보고서 제3권, 한국건설기술연구원.
- 건설부(1993). 국제수문개발계획(IHP) 대표유역연구조사 보고서.
- 김남원(1998). 강우의 시·공간 분포특성: 점 강우모형 매개변수 추정, 한국건설기술연구원 책임연구과제 보고서, 건기연 98-155.
- 선우중호(1983). 수문학, 동명사.
- 이광호(1976). "낙동강유역의 최대 DAD에 관하여", 한국수문학회지, Vol. 7, No. 2, pp. 92~98.
- 이순탁, 박정규(1986). "하천유역의 설계 홍수량 결정을 위한 PMP의 산정 및 적용", 한국수문학회지, 제 19권, 제1호, pp. 75~86.

- 윤용남(1986). 공업수문학, 청문각.
- 조희구(1970). "우리나라 호우의 최대 DAD 분석", *한국 기상학회지*, Vol. 6, No. 2, pp. 79~82.
- 조희구(1972). "최대홍수량의 산정에 있어 수문기상학적 고찰", *한국수문학회지*, Vol. 5, No. 1, pp. 18~26.
- 한국건설기술연구원(1991). 면적우량과 우량의 공간변화 해석 -면적우량 환산계수를 중심으로-, 한국건설기술연구원 연구보고서, 건기연 91-WR-113.
- Arnell, V., Harremoes, P., Jensen, M., Johansen, N. B. and Niemczynowiz, J.(1984). "Review of Rainfall Data Application for Design and Analysis", *Water Science Tech*, Copenhagen, Vol. 16, pp. 1~45.
- Firmin J. O.(1988). *Contouring on The Sun Workstation*, Department of Oceanography, University of Hawaii.
- Gray, D. M.(Editor)(1973). *Handbook on The Principles of Hydrology*, Water Information Center Publication, The North Shore Atrium.
- Gupta(1989). *Hydrology and Hydraulic Systems*, Waveland Press, Inc., New Jersey.
- WMO(1969). *Manual for Depth-Area-Duration Analysis of Storm Precipitation*, WMO No. 237, Technical Paper 129, Geneva.
- WMO(1986). *Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation*, Second Edition, WMO, Operational Hydrology Report No. 1, Geneva, Switzerland.

(논문번호:04-31/접수:2004.03.20/심사완료:2004.04.30)