

# 2010년 9월 21일 호우사상의 재현기간은 얼마인가?



유철상 |

고려대학교 건축사회환경공학부 교수  
envchul@korea.ac.kr

## 1. 서론

2010년 9월 21일, 수도권을 중심으로 발생한 호우는 서울의 종로구 광화문 사거리, 강서구 화곡동, 양천구 신월동, 관악구 사당4거리 및 인천시의 서구, 계양구, 남동구, 부평구 등에 심각한 침수피해를 남겼다. 이번 호우는 추석 전날 발생했다는 점과, 특히 서울의 주요 도로 및 지하 시설이 침수되었다는 점에서 언론에 큰 주목을 받았다. 특히, 광화문의 침수는 청계천 복원 사업과 연계되어 정치권의 논쟁거리로 비화되기도 하였다. 논쟁의 중심은 이번 호우가 어떤 재현기간(return period)을 갖느냐 하는 것이었다. 어떤 이는 설계빈도를 초과하는 강우가 내린 적이 없다고 하고, 어떤 이는 설계빈도를 훨씬 초과하는 100년 만의 호우라고 주장하기도 하였다.

이러한 논쟁은 10월 28일 오전 한국수자원학회 주관으로 열린 도시홍수 심포지엄에서도 계속되었다. 특히 광화문 광장의 침수와 관련한 강우의 빈도 해석 결과는 매우 혼란스럽기까지 했다. 예를 들어,

지속기간 1 - 2시간 정도를 고려하면 이번 호우의 재현기간은 10년 정도로 나타나지만, 지속기간을 2시간 이상으로 고려하면 재현기간은 50년 이상으로 크게 늘어난다. 반대로 지속기간을 30분 정도로 줄여서 고려하면 이번 호우의 재현기간은 5년 정도 밖에는 되지 않고, 더 줄여서 10분이나 20분을 고려하면 재현기간은 단지 수년(5년 이하)으로 나타난다는 것이다. 따라서 이번 호우의 재현기간에 대한 언론의 보도나 이해 당사자들의 주장은 모두 맞기도 하고 모두 틀리기도 하다.

그렇다면 우리는 이번 호우의 재현기간을 얼마라고 해야 하는 것인가? 사실 이런 질문에의 답은 매우 간단할 수도 간단하지 않을 수도 있다. 간단한 경우는 현행처럼 강우 지속기간에 따라 재현기간을 다르게 표현하는 것이다. 시작과 끝이 있는 하나의 호우사상을 고려하지 않고 주어진 지속기간 내에서의 강우만 고려하는 방법이다. 이러한 방법은 강우의 분석이 강우의 분석으로만 끝나는 경우에는 매우 유효하다. 그러나 유출까지를 고려하는 경우라면 유효할 수도 전혀 유효하지 않을 수도 있다.

본 논고에서는 호우사상의 재현기간을 홍수유출과 관련하여 언급하는 경우의 문제점을 지적해 보고자 한다. 그러나 이 문제는 단순히 호우사상의 재현기간 문제에서 끝나지 않는다. 무엇보다도 설계강우의 지속기간과 실제 호우사상의 지속기간을 어떻게 볼 것인가가 중요하다. 임계지속기간 또는 홍

수의 집중시간에 따라 다르게 고려되는 강우 지속 기간도 이 문제에 연결되어 있으며, 특히 유역의 규모가 큰 경우와 작은 경우의 차이는 현실과 비현실의 차이처럼 클 수 있다.

## 2. 독립 호우사상의 구분 및 그 지속기간

독립 호우사상이란 하나의 호우사상으로 간주할 수 있는 특징을 가지는 호우사상을 의미한다. 통계학의 개념을 이용하여 좀 더 기술적으로 표현하면 시계열로 표현된 강우기록이 보여주는 상관시간(correlation time) 이상 무강우로 구분된 호우사상을 독립호우사상이라 정의할 수 있다. 우리나라의 경우 대략 10시간 또는 12시간 정도가 이 기준에 해당한다(김남원, 1998; 권재호 등, 2004; Restrepo-Posada와 Eagleson, 1982). 즉, 12시간 동안 비가 오지 않았다가 다시 비가 오기 시작했다면 이 호우사상은 독립된 것으로 간주된다.

이렇게 분석하면 독립호우사상의 지속기간은 지수분포를 따르게 되는데, 서울지점의 경우 그 평균은 14.5시간 정도로 나타난다. 이 지속기간 동안 총강우량의 평균은 30.2 mm 정도가 된다. 즉, 우리나라의 평균 호우사상은 지속기간 14.5시간 동안 30.2 mm의 강우가 내리는 것이 된다. 이들 중 가장 큰 것이 연최대치 호우사상이다. 이 연최대치 호우사상의 결정에는 이변량 빈도해석이 동원되며, 재현기간이 가장 긴 호우사상이 연최대치 호우사상으로 결정된다. 서울지점의 경우 연최대치 호우사상의 지속기간이 대략 47.7시간정도 되고 총강우량은 220.6 mm 정도로 나타난다(박민규 등, 2010).

## 3. 대유역과 소유역에서 강우분석의 의미 차이

하천 유역과 같이 대유역을 대상으로 유출해석을 하는 경우 강우분석을 위해 고려되는 지속기간은

상대적으로 길다. 예를 들어 강우의 지속기간을 24시간이라고 가정하면 이 지속기간을 갖는 연최대치 강우자료는 연최대치 호우사상의 주요부분을 포괄할 가능성이 크다. 도시유역에서와 같이 소유역의 경우에도, 비록 한 시간 또는 그 이하의 짧은 지속기간을 고려하게 되기는 하나, 선택되는 강우강도가 연최대치 호우사상에서 나올 가능성은 여전히 크다. 물론 그렇지 않을 가능성이 24시간의 지속기간을 고려하는 경우 보다 커지게 된다.

추가로 생각해 보아야 할 내용이 강우의 시간분포이다. 강우의 시간분포 문제는 주어진 지속기간 동안 강우가 시간적으로 어떻게 분포되는지를 결정하는 것이다. 가장 그럴듯한 형태, 즉 자연적인 것이 되도록 강우를 분포시키는 것이 관건이다. 지속기간으로 24시간을 고려하게 되면, 비록 그보다 지속기간이 긴 연최대 호우사상의 일부분이 될지라도, 자연적인 형태의 호우사상이 될 가능성은 매우 크다. 강우 시점과 종점의 구분이 명확하고, 아울러 강우강도의 변화가 그럴듯하게 나타나는 호우사상의 모양을 갖출 가능성이 크기 때문이다.

그러나 지속기간으로 단지 몇 시간을 고려한다면, 이 자체가 어떤 호우사상의 작은 부분일 가능성이 크고, 따라서 이를 시간분포 시킨다면 자연적인 모양의 호우사상이 될 가능성은 매우 작아진다. 당초 주어진 강우강도는 어떤 호우사상의 일부분이고, 그 시점 전후로 그와 유사한 규모의 강우강도로 비가 내리고 있었던 상황이었기 때문이다. 따라서 두 경우가 매우 다른 상황이 됨을 이해할 수 있다. 하나는 자연적인 호우사상의 특성을 어느 정도 반영하고 있지만 또 다른 하나는 자연적인 호우사상의 특성을 전혀 반영하지 못한 가공의 수치가 되는 것이다(그림 1). 즉, 호우사상 전체를 고려한다면 빈도해석 후 시간분포된 호우사상의 모양은 실제 호우사상의 그것과 유사할 수 있으나, 호우사상의 일부만을 고려한다면 실제 호우사상의 모양을 재현하는 것은 불가능하다. 실제 발생 가능한 것이 아닌 가상의 것이 되는 것이다.

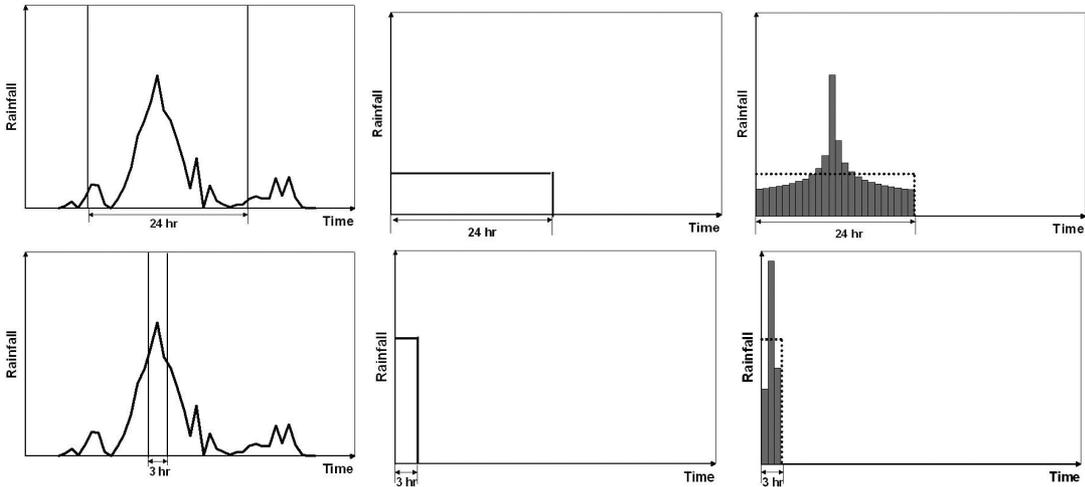


그림 1. 긴 지속기간과 짧은 지속기간을 갖는 호우사상의 분석에서 발생하는 차이 (지속기간 24시간(위) 및 3시간(아래)에 대한 경우분석 단위 및 분석된 강우의 시간분포)

#### 4. 대유역과 소유역에 동일하게 적용되는 홍수유출해석의 문제점

홍수유출해석은 주어진 지속기간에 대한 설계 강우강도의 결정 및 이의 시간분포로부터 시작된다. 대유역의 경우에는 상대적으로 지속기간이 깊어지므로 실제와 유사한 자연적인 모양의 시간분포를 갖는 강우자료가 만들어진다. 단위유량도를 이용하는 경우 시간분포된 강우자료로부터 침투 등 손실량을 차감한 후 중첩의 원리를 적용하여 침투홍수량을 결정하게 된다.

그러나 대유역의 경우에 있어서도 설계강우에 적용할 지속기간의 결정과정은 명확하지 않다. 국내에서 사용하는 임계지속기간의 개념도 어느 정도 타당하기는 하다. 주어진 재현기간을 갖는 다양한 지속기간의 호우사상을 고려해서 그 침투홍수량이 최대가 되는 것을 고르는 방법이다. 이 경우에도 물론 고려하는 지속기간을 갖는 독립호우사상을 선택하는 것이냐 또는 단지 강우량이 최대가 되는 임의 구간 값을 선택하느냐의 차이는 존재한다. 현재 국내에서 사용하는 개념은 후자의 것이다. 그러나 상대적으로 긴 지속기간을 고려하게 됨에 따라, 비록 후자의 개념을 적용하기는 하나, 전자의 경우와 아

주 큰 차이를 유발할 것 같아 보이지는 않는다.

도시유역에서와 같은 소유역의 경우에도 유출해석을 하기 위한 근본적인 방법은 동일하다. 소유역에서와 같이 홍수의 집중시간이 극단적으로 짧은 경우에는 분석에 사용되는 연최대치 계열 자체가 호우사상을 대변하지 못할 가능성이 크다. 관측 호우사상의 극히 일부분만을 이용하여 호우사상으로 재구성하는 형식이므로, 주어진 재현기간에 대한 설계강우는 동일한 조건의 독립호우사상의 그것과는 매우 다르게 된다. 이는 설계의 기준으로 주어진 재현기간에 부합하는 호우사상 형태의 강우 입력자료가 적절히 마련되지 못한다는 문제점을 의미하기도 한다.

#### 5. 24시간과 임계지속기간의 의미

사실 일단위 또는 24시간 정도의 지속기간을 고려하는 경우 호우사상의 크기를 판단하는데 큰 혼란이 없었다. 비록 독립 호우사상을 구분하는 기준을 12시간 정도의 무강우 기간이라고 정의하기는 하지만, 대상 호우사상의 총 지속기간 중 강우가 중단되거나 강우강도가 미미한 부분이 있기 때문이

다. 즉, 24시간 정도라면 강우의 시점 및 종점을 무강우 또는 의미없는 강우강도로 정의하는데 문제가 없는 기간이 된다.

그러나 시간단위 강우자료가 상당기간 축적되어 여러 수문분석에 응용되기 시작하면서 문제가 보다 복잡한 양상을 띠게 되었다. 먼저, 중소규모 하천 유역에서의 해석에 과연 어떤 지속기간을 사용해야 하느냐의 문제가 대두되게 된다. 과거에는 동일하게 24시간을 적용하는 것이 보편적이었다. 이는 물론 호우사상의 특성을 반영하는 것이다. 추가로 홍수 도달시간 또는 집중시간을 지속기간으로 고려하는 것도 가능했으나, 국내에서는 임계지속기간의 개념을 도입하여 홍수량을 최대로 하거나 또는 저수지의 수위를 최대로 하는 강우 지속기간을 결정하여 이용하게 되었다. 그러나 두 경우 모두 고려되는 강우가 실제 호우사상과는 다르게 될 가능성이 매우 크다는 점이 간과되었다. 미국의 경우에도 수공구조물의 설계 시 24시간 또는 유역의 크기를 고려하여 집중시간을 강우의 지속기간으로 사용하도록 제시하고 있기는 하나, 실제 연 최대치 규모의 홍수를 발생시키는 호우는 유역의 규모와 관계 없이 대부분 24시간 또는 그 이상의 지속기간을 가지고 있음이 확인된 바 있다(Levy와 McCuen, 1999).

홍수 도달시간 또는 집중시간과 같은 지속기간을 고려하여 설계 호우사상을 결정한다는 것은 실제 가능한 호우사상이 아닌 가상의 호우사상을 고려하게 될 수 있다는 가능성을 의미한다. 특히 임계지속기간의 결정을 위해서는 어떤 해에 발생한 하나의 커다란 호우사상의 일부분만을 연속적으로 떼어내 유출해석에 적용하게 될 가능성을 배제할 수 없다. 실제로는 그 호우사상 자체를 그대로 적용하여 홍수유출 해석하는 것이 더 나은 방법일 것 같은데도 말이다.

임계지속기간의 개념을 다시 한 번 상기해 보면 일면 의미 있는 결론을 유도하는데 유리할 수 있다는 점을 부인할 수 없다. 그러나 보다 정확한 개념

은 주어진 재현기간을 만족하는 다양한 지속기간의 독립 호우사상을 적용하여 최악의 상황을 가려내는 것이지, 하나의 홍수사상에서 일부분만을 적용하여 최악의 상황을 찾아내는 것은 아니라는 점에 주목하여야 한다. 이런 차이는 단변량 빈도해석 기법을 적용하느냐 이변량 빈도해석기법을 적용하느냐의 차이가 된다. 이변량 빈도해석을 통해 주어진 호우사상을 있는 그대로 평가할 수 있고, 또한 주어진 재현기간에 대해 매우 다양한 지속기간의 독립 호우사상을 유도해 낼 수 있다. 임계 지속기간의 개념이란 가능한 독립 호우사상을 모두 적용한 후 최악의 상황을 찾는 것이다.

따라서 저류지나 우수지와 같은 홍수조절 시설의 규모를 산정하는 경우에 의미 있는 설계호우는, 특히, 호우의 시작시점에서 종점까지의 총강우량을 고려한 것이어야 한다. 이는 강우시점부터 영향을 받아 저류지나 우수지로의 유입이 발생하고 이러한 영향이 통상적으로 강우 종점을 넘어서까지 계속되기 때문이다. 이 경우 기존의 전통적인 단변량 빈도해석에서의 연최대치 자료 구성방법으로 얻어진 설계호우는 실제 해당유역에서 발생 가능한 호우양상, 특히, 호우가 지속되는 정도를 고려하지 못할 뿐만 아니라, 설계호우의 총량에서도 실질적인 규모와 상당한 차이를 보일 수 있기 때문이다. 이러한 이유로 저류지 등의 설계호우로서 재현기간을 가지는 독립호우사상을 사용하고자 하는 연구가 지속적으로 이루어지고 있다(Adams와 Papa, 2000). 미국 EPA(1986)도 이미 저류지 설계 시 독립호우사상을 직접적으로 이용하도록 하는 방법론을 제시한 바 있다.

## 6. 2010년 9월 21일 서울지점에 발생한 호우사상의 재현기간은 과연 얼마인가?

박민규(2010)는 이변량 이수분포를 이용하여 연 최대치 호우사상 계열을 서울지점에 대해 작성하였

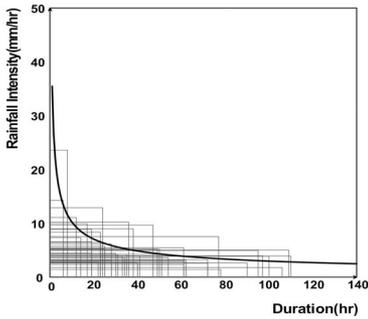


그림 2. 서울지점 연최대치 호우사상의 특성(박민규, 2010)  
다. 그림 2에서 볼 수 있는 것과 같이, 강우강도와 지속기간은 대체로 음의 상관을 갖는다. 즉, 강우강도가 크면 지속기간이 작고, 반대로 강우강도가 작으면 지속기간이 큰 형태이다. 평균적인 호우사상의 형태는, 강우지속기간이 1 시간인 경우에는 강우강도 32.7 mm/hr(총강우량 32.7 mm), 지속기간 24 시간인 경우에는 강우강도 9.7 mm/hr(총강우량 231.6 mm), 그리고 지속기간 48 시간인 경우에는 강우강도 7.4 mm/hr(총강우량 355.0 mm) 등이다. 이들의 재현기간은 물론 동일하게 2.33년 정도가 될 것이다.

단변량 빈도해석의 경우 비초과확률과 재현기간의 관계에 대한 통계적 개념이 잘 정립되어 있다. 그러나 이변량 빈도해석의 결과로 얻어진 재현기간을 이용해 수문사상을 이해하는 것은 그리 단순하지 않다. 먼저, 연 중 발생한 호우사상 중 최대의 것을 결정해야 하고, 이렇게 모아진 연 최대치 호우사상 계열을 빈도해석하여야 한다. 박민규 등(2010)에 의하면 연 최대치 호우사상의 결정에는 이변량 지수분포가, 결정된 연 최대치 호우사상 계열의 빈도해석에는 이변량 극치분포가 적절한 것으로 나타난다. 이변량 빈도해석의 결과는 단변량의 경우처럼 획일화되어 나타나지 않는다. 예를 들어 재현기간 10년에 대한 빈도해석 결과는 수 분에서 수십 시간까지 원하는 지속기간 모두에 대해 무한대의 경우로 나타나게 된다. 예를 들어 서울지점 1961년부터 2006년까지의 강우량자료에 대해 연최대 독립호우사상을 선정하고 이를 이변량 빈도해석한 결과

표 1. 서울지점의 이변량 빈도해석 결과

Return Period (years)	Probable Rainfall (mm)			
	6 hours	12 hours	24 hours	48 hours
2	28.0	55.9	103.5	152.2
10	61.7	117.4	194.2	278.2
30	92.6	166.6	267.7	384.5
50	109.7	193.4	310.1	443.8
100	136.1	235.7	379.2	543.6
200	167.0	287.7	466.8	671.2

를 정리하면 표 1과 같다(박민규 등, 2010).

2010년 9월 21일 호우사상의 우량주상도는 그림 3과 같다. 그림에서 살펴볼 수 있듯이 9월 20일에는 1 - 2 mm/hr의 아주 약한 강우 흔적이 나타나며, 본격적인 강우의 시작은 22일 오전부터이다. 이 호우사상에 대해 절단값(threshold)을 적용하지 않고 바로 독립 호우사상의 분리기준을 적용하면 강우의 지속기간은 총 25시간, 총 강우량은 260.5 mm 정도가 된다. 따라서 이 호우사상을 표 1에서 제시된 결과에 적용하면 재현기간은 약 30년 정도로 나타나게 된다. 그러나 간단히 절단값으로 약 2 mm 정도를 적용하면 강우의 지속기간이 12시간 정도로 줄게 되며, 따라서 이 호우사상의 재현기간은 약 100 - 200년이 된다. 사실 어떤 절단값을 어떻게 적용하느냐에는 여지가 있을 수 있다. 그러나 이 호우사상의 경우에는 총 강우량이 호우사상 중심에 크게 집중되어 있어 호우사상의 지속기간을 12시간 정도로 판단하는데 무리가 없어 보이며(총 강우량 255 mm 정도), 따라서 재현기간을 100 - 200년 정도로 판단하는 것이 타당한 것으로 보인다.

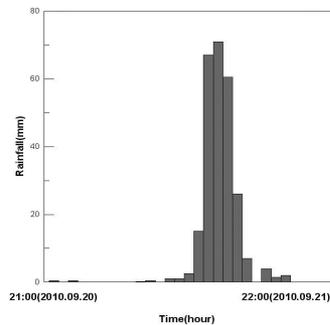


그림 3. 2010년 9월 21일 서울지점 호우사상의 우량주상도

## 7. 결 론

본 논고에서는 2010년 9월 21일의 호우사상과 관련하여 발생한 호우사상의 재현기간 문제를 특히 홍수유출과 관련하여 살펴보았다. 강우 지속기간에 따라 크게 다른 재현기간의 혼선은 사실 강우분석 자체의 문제가 아닌 홍수유출을 전제로 한 강우분석의 문제이다. 즉, 현행과 같은 강우분석 및 유출 해석이 대유역과 소유역에 동일하게 적용되는 경우 하나는 현실적인 결과를 또 하나는 비현실적인 결과를 유도할 가능성이 큰 것이다. 특히, 도시유역에

서와 같이, 호우사상의 일부분만을 잘라서 분석하게 되는 경우에는 이번 호우사상처럼 실제 발생한 호우사상의 유출해석 결과를 설계기준에 적용할 수 없게 되는 심각한 문제를 유발할 수 있음에 유의할 필요가 있다. 재현기간 자체는 좋은 설계기준이 될 수 있지만, 이를 홍수량으로 환산하는 현재의 해석 과정에는 비현실적인 결과가 도출될 수 있다는 문제가 있을 수 있는 것이다.

마지막으로 본 논고의 제목으로 제시한 2010년 9월 21일 홍수의 재현기간은 100 - 200년 정도가 되는 것으로 판단된다. ☞

## 참고문헌

1. 권재호, 박무중, 김중훈 (2004). "비점오염원 산정을 위한 강우 분석." 한국수자원학회 04 학술발표회, 한국수자원학회, pp. 666-670.
2. 김남원 (1998). "강우의 시·공간 분포특성 : 점 강우모형 매개변수 추정." 한국건설기술연구원.
3. 박민규 (2010). 극치 호우사상의 확률적 발생특성 및 기후변화에 따른 변동성. 박사학위논문, 고려대학교.
4. 박민규, 유철상, 김현준 (2010). "연최대 호우사상 계열을 이용한 측우기자료 및 현대자료의 비교." 대한토목학회논문집, 대한토목학회, Vol. 30, No. 2B, pp. 137-147.
5. Adams, B.J., and Papa, F. (2000). Urban Stormwater Management Planning with Analytical Probabilistic Models. John Wiley & Sons, INC., pp. 55-68.
6. EPA (1986). Methodology for Analysis of Detention Basins for Control of Urban Runoff Quality.
7. Levy, B. and McCuen, R. (1999). "Assessment of storm duration for hydrologic design." *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 4(3), pp. 209-213.
8. Restrepo-Posada, P.J., and Eagleson, P.S. (1982). "Identification of independent rainstorms." *Journal of Hydrology*, Vol. 55, pp. 303-319.