

이동설계강우의 적용성 연구

Application of Moving Design Storm for Rainfall-Runoff Simulation

오경두*, 이순철**, 안원식***, 전병호****, 류재희*****
Kyoung Doo Oh, Soon Cheol Lee, Won Sik Ahn, Byong Ho Jun, Jae He Ryu

요 지

홍수량산정과 관련하여 국내 실무에서 어려움을 겪는 가장 큰 문제는 설계강우의 결정이다. 설계강우와 관련하여 세부적으로 살펴보면 크게 강우의 시간분포(예를 들면 Huff, Mononobe, 교호블록 등), 강우의 공간분포(ARF 적용 등)의 두가지 문제로 집약될 수 있다. 본 논문에서는 강우의 시간분포와 공간분포에 관련된 문제를 동시에 해결할 수 있는 방법으로 교호블록형 이동설계강우에 대한 적용 방법을 제안하고 그 적용성을 검토하였다. 본 연구에서는 국내에서 연구된 강우의 이동속도와 여름철 저기압기단과 태풍의 이동속도 등을 감안하고 나아가 표준화된 방법으로서 적용의 용이성 등을 고려하여 강우의 이동속도 $v = 10\text{km/hr}$, $\Delta = 10\text{km}$ 간격으로 직사각형 띠 형태로 연결되는 이동강우를 채택하였다. 강우의 이동방향은 서→동, 남→북, 남서→북동의 3가지 방향을 기준하였다. 유역특성 이동강우 3가지(서→동, 남→북, 남서→북동)와 정체강우 2가지(유역평균, 유역특성) 등 총 5가지 경우에 대하여 100년 빈도 48시간 설계강우를 한강유역의 분포형 강우-유출 모형에 적용하여 그 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 정체강우에 있어서 유역평균강우와 유역특성강우에 대한 홍수량 비교를 통하여 해당 유역의 홍수량과 강우량과의 관계를 판단할 수 있었다. 충주댐유역의 경우 한강유역 전체에 대한 평균 100년 빈도 강우가 내린다면 23,000cms까지도 발생할 수 있으나 충주댐유역 100년 빈도에 해당하는 강우량으로는 18,000cms 정도의 홍수량이 발생하여 상대적으로 강우량이 적은 지역으로 나타났다. 반면에 임진강하류부는 한강유역평균강우 보다 더 많은 강우량이 내림으로 인하여 홍수량이 증가하는 유역임을 알 수 있었다.

(2) 이동설계강우에 대하여 분석한 결과 유역이 매우 크거나 매우 작으면 강우의 이동방향에 대한 영향이 상대적으로 감소해가는 반면에 중규모 유역에서 상대적으로 영향이 크게 나타났다. 한강하구와 같은 대유역의 경우 여러 방향의 유역들이 유출에 기여하기 때문에 강우의 이동방향에 대한 영향이 상쇄되기 때문으로 분석되었다. 반면에 매우 작은 소유역의 경우는 전체 유역이 단일 강우강도의 영향권에 놓이게 되므로 이동방향의 영향이 나타나지 않는 것으로 나타났다.

(3) 정체설계강우와 이동설계강우의 비교를 통하여 한강하구와 같은 대유역의 이동강우에 대한 ARF 효과를 간접 측정할 수 있었다.

(4) 정체설계강우 보다 이동설계강우가 오히려 더 큰 첨두홍수량을 발생시키는 유역들이 있었다. 이와 같은 수문현상은 기존 정체형 설계강우로는 분석이 어려운 현상으로서 강우와 유역특성에 대한 보다 심층적인 연구 필요성을 제기하고 있다.

핵심용어 : Moving Design Storm, Rainfall-Runoff, Distributed Model, ARF, Vflo

* 정회원 · 육군사관학교 토목환경학과 · E-mail : okd0629@kma.ac.kr
** 정회원 · 수원대학교 박사과정 · E-mail : sclee@hanmail.net
*** 정회원 · 수원대학교 토목공학과 교수 · E-mail : wsan@suwon.ac.kr
**** 정회원 · 육군사관학교 명예교수 · E-mail : 64junbh@hanmail.net
***** 정회원 · (주)남원건설엔지니어링 차장 · E-mail : hydroryu@hanmail.net

1. 서론

과거의 치수정책은 하천의 주요 지점별로 해당 빈도의 홍수량을 산정하여 계획홍수량을 결정하고 이에 따라 하도를 개선하거나 제방을 축조하는 하도 중심의 “선적(線的) 치수계획”이었으며 따라서 하도를 따라 홍수량산정지점별로 각각 홍수량을 산정하여 적용해도 아무런 문제가 없었다. 그러나 앞으로의 미래지향적인 치수정책은 유역종합치수계획이나 홍수량할당과 같이 상류 유역의 토지이용변화나 저류/침투시설의 설치 등 유역관리가 데미지센터(damage center)가 포함된 하류지역에 어떻게 영향을 미치는지 상하류를 일관하는 정량적인 분석을 바탕으로 유역단위의 “면적(面的) 치수계획”을 수립하는 방향으로 나가고 있다. 즉, 앞으로는 “물줄기가 같은” 유역 단위로 상류 소하천에서 하류 대규모 또는 중규모하천 본류 구간까지 마치 한방울 한방울의 피가 실핏줄에서 정맥을 거쳐 대정맥으로 흘러들어가는 일련의 혈액순환과정처럼 단일 호우사상으로부터 발생한 강우가 유역 상류부터 하류까지 하나의 수문순환시스템을 형성하여 흘러나가는 과정을 종합적으로 일관성 있게 분석하여 치수계획을 수립하도록 요청받고 있다.

그러나 이것은 현재까지 적용해 온 ARF 기반의 홍수량산정지점별 설계강우 적용 방법으로는 불가능하다. 기존의 ARF를 적용한 홍수량산정방법은 마치 실핏줄에 흐르는 피와 정맥에 흐르는 피, 대정맥에 흐르는 피가 모두 달라서 서로 상관이 없는 것처럼 각각 별도로 분석하는 것이다. 홍수량 산정지점마다 달라지는 설계강우가 아니라 유역 전체를 아우르는 단일 설계강우의 적용이 없이는 “물줄기가 같은” 소하천-중규모하천-대하천을 일관하는 수문순환과정을 총체적인 단일시스템적으로 해석하여 홍수량을 산정하는 것은 불가능하다. ARF를 적용하는 순간 그 강우는 그 지점에만 적용이 가능한 강우가 되는 것이다. 따라서 ARF를 인위적으로 적용하지 않으면서도 유역 전체적으로는 ARF 효과가 발생하는 이동강우를 적용하지 않고는 이 문제의 해결이 사실상 불가능하다.

한편, 이동강우의 경우 호우의 중심에서 바깥쪽 방향으로 호우의 강도가 급격히 약해질 뿐만 아니라 유역을 통과할 때 방향성을 가지고 이동하기 때문에 동시강우에도 강우가 강하게 내리는 지역과 거의 내리지 않는 지역이 유역 강우의 시공간적 분포로 나타나게 된다. 즉, 이동강우의 경우 ARF 효과가 물리적으로 반영되므로 인위적으로 ARF를 별도로 적용할 필요가 없다. 그리고 상하류 지점의 홍수량은 단일 호우사상에 의한 것으로서 상하류간에 직접적인 연관성을 갖게 되며 이와 같은 강우-유출해석은 자연현상을 물리적으로 적절히 반영한 것이다. 그러나 국내에는 이동강우에 대한 표준이 없을 뿐만 아니라 현재 국내에서 적용하고 있는 집중형 모형에서는 이동강우를 모의할 수 없다는 것이 큰 제한점이다. 따라서 이러한 이동강우에 대한 표준을 시급히 정립하고 이를 반영할 수 있는 분포형 모형의 적용을 검토할 시점에 이르렀다.

2. 표준이동강우의 개념

Hoblit 등(2004)의 연구는 이동설계강우의 적용에 대한 구체적인 방법론을 제공하고 있다는 점에서 큰 의미가 있다. 레이더를 통하여 관측된 900,000개 이상의 호우에 대한 강우강도의 공간적인 변화로부터 ARF를 결정하였으며, 이동속도와 방향 자료를 통계분석하여 중앙값(median)을 이동설계강우의 초기 값으로 결정하였다. 그러나 저자들은 관측된 호우를 기반으로 결정된 이 값이 설계에 적합한 값은 아니라는 점을 시사하고 있다.

즉, Hoblit 등(2004)은 설계의 궁극적인 기준은 IDF 곡선식에서 교호블록방법으로 구한 빈도별 우량주상도이며, 이동강우의 속도를 변화시켜 이와 비슷한 우량주상도를 얻을 수 있음을 보여주었다. 다시 말해서, 이동강우는 지상관측소 자료에 기반한 불확실성이 많은 ARF를 적용해야 하는 문제를 해결하는 방법이 될 수 있음을 보여준 것이다. 이들의 연구에 의하면 이동강우는 시간에 따른 호우의 공간분포를 반영하는 방법일 뿐 정량적인 문제 즉, 지속기간별 최대 누적강우량은 어디까지나 IDF 곡선식에서 교호블록방법으로 구한 우량이 기준이 되어야 함을 보여주고 있다. Hoblit 등(2004)이 제시한 이동강우는 타원형으로 호우의 형태를 묘사하고 있다. 그러나 타원형 동심원 형태의 호우분포는 장축과 단축의 비에 대한 결정이 쉽지 않을 뿐만 아니라, 호우 중심이 지나가는 궤적상에 위치한 점들을 제외하고는 호우의 이동 경로에 따라 유역 내 각 지점의 우량주상도가 제각각 달라지게 된다. 이론적으로 어떤 유역에 대하여 호우의 이동 경로가 무수히 많을 수 있으므로 무수히 많은 우량주상도가 생길 수 있다. 이 문제를 해결하기

위한 방법으로는 최계운 등(2000), 한건연 등(2004), 조용우 등(2005)이 제시한 직사각형 띠 형태 (rectangular strip-type)의 이동강우를 적용하는 방법이 해결방안이 될 수 있다.

Hoblit 등(2004)은 타원형 호우의 중심으로부터 바깥쪽으로 동심원 형태의 ARF 분포를 레이더 관측 호우로부터 구하였다. 그러나 일반적으로 레이더 관측호우로부터 ARF 분포를 결정할 정도의 자료를 구하기가 쉽지 않을 뿐만 아니라 궁극적으로 어느 지점에 내린 우량주상도의 최종적인 기준은 교호블록방법으로 구한 우량주상도여야 하므로 별도로 레이더 ARF를 적용한 우량주상도를 적용할 필요 없이 교호블록방법으로 구한 이동형 우량주상도 자체를 적용하는 것이 오히려 가장 정확한 방법이라고 할 수 있다

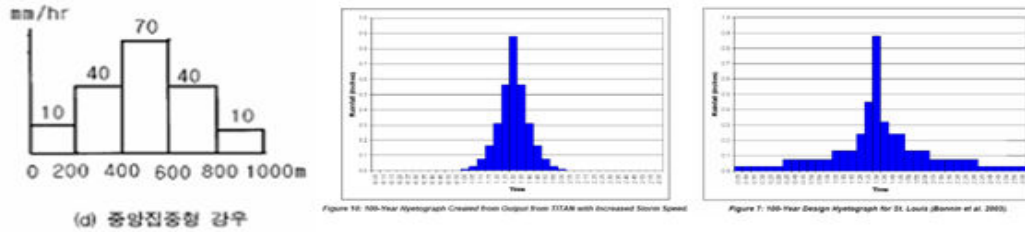


그림 1. (a) 한건연 등(2004)의 이동강우 (b) Hoblit 등(2004)의 이동강우로부터 구한 우량주상도 (c) 교호블록 우량주상도

그림 1에 제시한 한건연 등(2004)의 이동강우는 폭 200m에 총길이가 1,000m인 이동강우이다. 만일 이 호우가 단위시간 Δt 시간동안 200m씩 이동한다면 영역내의 위치별로 강우강도와 발생시간의 차이가 반영되면서도(즉, ARF 효과가 나타나면서도) 영역내의 어느 점에서나 최종적인 우량주상도의 형태는 그림 1(a)와 동일한 호우를 얻게 될 것이다. 나아가 이러한 좌우 대칭형인 우량주상도 대신에 영역의 설계빈도에 대한 IDF 곡선으로부터 교호블록방법에 의하여 구한 좌우 비대칭인 이동강우를 적용한다면 영역내의 어느 지점에서나 위치별로 강우강도와 발생시간의 차이가 반영된 교호블록방법에 의한 우량주상도를 얻게 될 것이다. 즉, Hoblit 등(2004)과 같이 호우의 이동속도를 변경시켜가면서 교호블록방법에 의한 우량주상도에 최대한 가까운 우량주상도가 얻어지도록 조정하는 것이 아니라 원하는 교호블록방법에 의한 우량주상도를 그대로 정확하게 얻을 수 있게 된다는 것이다.

본 연구에서는 이재형 등(1998) 국내에서 연구한 호우의 이동속도와 여름철 저기압기단과 태풍의 이동속도 등을 감안하고 나아가 표준화된 방법으로서 적용의 용이성 등을 고려하여 호우의 이동속도 $v = 10\text{km/hr}$, $\Delta l = 10\text{km}$ 간격의 직사각형 띠 형태로 연결되는 이동강우를 제안하였다. 호우의 이동방향은 서->동, 남->북, 남서->북동의 3가지 방향을 기준하였다.

그림 2는 폭이 B이고 길이가 L인 이동강우가 좌에서 우로 일정한 방향과 속도 v 로 영역을 통과할 때 영역내 임의의 한 지점에 발생하는 우량주상도를 개념적으로 나타낸 것이다. 이 경우 호우의 이동속도 $v = 10\text{km/hr}$ 이고 $\Delta l = 10\text{km}$ 간격으로 이동강우의 띠를 연속적으로 배치하면 영역에 발생하는 우량주상도의 시간간격 $\Delta t = \Delta l / v = 1\text{hr}$ 인 우량주상도가 구해진다.

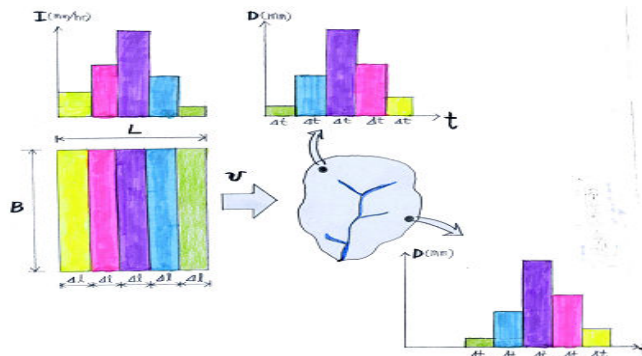


그림 2. 교호블록형 이동강우 개념도

유역면적이 증가하면 지역별로 강우분포와 총강우량의 차이가 발생할 수 있으며 이에 따라 교호블록형 우량주상도의 형태도 약간씩 달라지게 된다. 본 연구에서 제안하는 방법은 전체유역에 대하여 유역을 대표하는 한 지점의 교호블록형 우량주상도를 기준우량주상도로 채택하는 것이다. 예를 들어 한강의 경우 서울지점의 교호블록형 우량주상도를 기준으로 선택하였다. 이를 위해서는 자료의 신뢰성과 더불어 단기 침투우량(burst)의 적절성을 함께 고려하는 것이 바람직하다. 한강유역에 대한 100년 빈도 호우를 예로 들면 1시간 지속기간 최대 누적우량이 100mm 이내인 지점은 침투우량 측면에서 적절치 않다고 판단된다. 서울은 100년 빈도 1시간 최대강우량이 115mm 정도이며 통계적인 분석에 필요한 충분한 자료가 축적된 지점이다.

다음 단계로 유역내 각 우량관측소에 대한 기준지속기간에 대한 총강우량을 이용하여 유역에 대한 티센망을 구축한다. 구축된 티센망에 대하여 기준지점(예를 들면 서울관측소)의 총강우량으로 나누어 상대적인 티센비율을 구한다. 각 시간대별로 유역내의 임의의 지점으로 이동해오는 기준우량주상도(이 경우 서울지점 교호블록형 우량주상도)에 대하여 해당 지점의 상대적인 티센비율을 곱하여 해당 지점의 우량주상도를 구한다. 실제 적용에 있어서는 유역을 셀로 세분하여 셀별로 상대적인 티센값을 부여하고 이와 같이 기준우량주상도에 대한 각 셀별 티센비율을 곱하여 해당 지점의 우량주상도를 구하게 된다. 이와 같이 셀별로 구해진 교호블록형 우량주상도는 분포형 모형의 각 셀별 강우입력자료가 된다.

3. 표준이동강우 및 정체강우의 적용

본 연구에서는 유역특성 이동강우 3가지(서->동, 남->북, 남서->북동)와 정체강우 2가지(유역평균, 유역특성) 등 총 5가지 경우에 대하여 100년 빈도 48시간 강우를 한강유역에 적용하고 그 결과를 표 1에 정리하였다. 이 유량은 댐 효과가 반영되지 않은 자연유량이다.

표 1. 100년 빈도 48시간 표준이동강우 및 정체강우에 대한 홍수량

산정지점	집수면적	경험식	정체강우		이동강우		
			유역평균	유역특성	서->동	남->북	남서->북동
한강하구	34,152	-	69,360	70,300	53,630	54,270	55,010
한강(임진강합류전)	25,980	-	57,010	53,730	41,910	41,160	43,290
팔 당	23,590	-	56,000	52,110	41,440	40,780	43,190
북한강하구	10,650	24,520	30,990	34,950	27,980	24,140	29,880
임진강하구	8,160	20,310	16,330	20,180	20,490	15,690	17,020
충주댐지점	6,610	17,500	22,560	17,950	14,450	13,900	13,260
달천하구	1,580	6,360	9,950	4,660	4,940	6,610	6,300
안양천하구	286	1,890	2,590	2,470	2,170	3,140	2,650
가오천하구	2.5	-	35	27	27	27	27

4. 결론

본 연구는 홍수량산정과 관련하여 국내 실무에서 어려움을 겪는 가장 큰 이유는 설계강우의 결정이라는 문제 의식으로부터 출발하였다. 설계강우와 관련하여 다시 세부적으로 살펴보면 크게 강우의 시간분포(예를 들면 Huff, Mononobe, 교호블록 등), 강우의 공간분포(ARF 적용) 두가지 문제로 집약될 수 있었다.

- (1) 교호블록형을 제외한 기존의 타 강우분포형은 분위나 침투강우위치에 따라 일정지속기간에 대한 최대강우강도 자체가 달라져서(배덕호, 2004) 일관성있는 홍수량산정이 어려운 것으로 나타났다.
- (2) 교호블록형을 제외한 기존의 타 강우분포형은 지속기간별 최대 누적우량이 확률강우량과 상이하며, 일

관성이 없어서 유역 상하류를 일관하는 단일 설계호우로는 적용이 불가능한 것으로 나타났다.

(3) Huff 분포를 포함한 기존의 강우분포모형은 홍수량산정지점별로만 적용이 가능할 뿐 유역 상하류를 일관하는 홍수량을 구할 수 없기 때문에 유역종합치수계획 등 유역을 일관하는 종합적인 치수계획수립에 적합하지 않은 것으로 나타났다.

본 연구에서는 이러한 강우의 시간분포와 공간분포에 관련된 문제를 동시에 해결할 수 있는 방법으로 교호블록형 이동강우에 대하여 표준화된 기준과 적용 절차를 제안하였다. 한강유역을 대상으로 이동강우와 정체강우를 작성하여 홍수량을 비교 검토하였으며 물리적으로 의미있는 결과를 얻었다

(1) 정체강우에 있어서 유역평균강우와 유역특성강우에 대한 첨두홍수량을 비교해 보면 해당 유역이 상대적으로 강우량이 많은 지역인지 또는 적은 지역인지를 판단할 수 있었다. 예를 들어 충주댐유역의 경우 한강유역 전체에 대한 평균 100년 빈도 강우가 내린다면 23,000cms까지도 발생할 수 있으나 충주댐유역 100년 빈도에 해당하는 강우량으로는 18,000cms 정도의 첨두홍수량이 발생하였다. 달천유역의 경우도 이와 같은 현상을 보이고 있다. 반면에 임진강하류부는 한강유역평균강우 보다 더 많은 강우량이 내림으로 인하여 홍수량이 증가하는 유역임을 알 수 있었다.

(2) 이동강우에 대하여 검토해보면 유역이 매우 크거나 매우 작으면 강우의 이동방향에 대한 영향이 상대적으로 감소해가는 반면에 중규모 유역에서 상대적으로 영향이 크게 나타나고 있다. 한강하구와 같은 대유역의 경우 여러 방향의 유역들이 유출에 기여하기 때문에 강우의 이동방향에 대한 영향이 상쇄되기 때문으로 판단된다. 한편, 매우 작은 소유역의 경우는 각 시간대별로 거의 전체 유역이 단일 강우강도의 영향권에 놓이게 되므로 이동방향의 영향이 거의 나타나지 않는 것으로 판단된다.

(3) 정체호우와 이동호우를 비교해보면 한강하구와 같은 대유역의 경우 정체호우는 70,000cms 정도의 첨두홍수량을 나타내며, 이동호우는 55,000cms 정도의 첨두홍수량을 나타내어 이동호우의 ARF 효과는 약 0.78 정도이다. 한강하구와 같은 초대규모 유역을 제외하고는 정체호우와 이동호우를 모두 고려하는 방안을 검토할 필요가 있다고 보인다. 특히 비구조적인 대책을 중심으로 치수계획을 수립해야 하는 유역종합치수계획에서는 강우의 이동과 관련한 다양한 시나리오를 고려하여 대피계획 등의 비상대책을 수립하는 방안을 생각해 볼 수 있을 것이다. 임진강하구나 안양천유역과 같이 정체호우 보다 이동호우가 오히려 더 큰 첨두홍수량을 발생시키는 경우도 생길 수 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 수문현상은 기존의 집중형모형으로는 분석이 불가능한 사항이다.

결론적으로 본 연구에서 제안한 이동호우를 채택한 분포형 강우유출 모형 적용시 매우 작은 소규모 유역을 포함한 중권역단위의 하천정비계획 수립은 물론 한강과 같은 초대형 유역까지를 일관하는 유역종합치수계획수립까지 하나의 강우유출모형 시스템구축(단일설계강우와 단일유출모형)으로 가능하게 되어 치수사업의 기본인 홍수량산정의 효율성과 일관성 및 신뢰성을 크게 높일 수 있는 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 국토해양부(2007). 치수정책수립을 위한 강우-유출모형의 적용성 분석연구.
2. 배덕효, 이정식. 도시 강우특성조사 및 지상강우관측 수집체계 구축. 도시홍수재해관리기술연구사업단. 건설교통부/한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업 FFC03-06, 2004.
3. 이재형, 전일권, 임용택(1990). 호우역의 이동특성. 한국수자원학회 학술대회지, 수공학논총 제32권, pp. 53-60.
4. 조용수, 전민우, 김훈(2005). 유역형상에 의한 이동강우의 유출분석. 한국수자원학회 '05 학술발표회 논문집, pp. 649-653.
5. 최계운, 강희경, 박용섭(2000). GIS를 활용한 유역내 이동강우에 의한 유출특성 연구. 한국수자원학회 논문집, 제33권 제6호, pp. 793 ~ 804.
6. 한건연, 전민우, 최규현(2004). 이동강우에 의한 유출영향분석. 한국수자원학회논문집, 제37권 제10호, pp. 823 ~ 836.
7. Hoblit, B. Zelinka, S. Castello, C., and Curtis, D(2004). Spatial Analysis of Storms Using GIS. ESRI 2004 GIS User Conference Proceedings, <http://gis.esri.com/library/userconf/proc04/abstracts/a1891.html>