

대상유역에서 호우의 대표 이동방향 결정

Decision of Representative Moving Direction of Storm on Watershed

박창열*, 유철상**

Changyeol Park, Chulsang Yoo

요 지

본 연구에서는 하천유역에 대한 호우의 대표 이동방향을 결정하였다. 대상유역으로는 내성천 유역을 고려하였으며, 101개의 호우사상을 선정하여 각각의 호우사상별로 방향적 특성을 분석하였다. von Mises 분포의 주방향을 이용하여 모든 호우사상의 대표 이동방향을 결정하고, 이를 이용하여 내성천 유역에 대한 호우 대표 이동방향을 결정하였다. 아울러 호우 발생특성별(장마, 태풍, 대류성 강우)로 호우의 방향적 특성을 분류하여 각각의 특성이 구분될 수 있도록 하였다. 적용 결과, 태풍에 의한 호우의 이동방향은 기존 연구결과와 유사하게 주로 북동 방향으로 진행되었으며, 장마와 대류성 강우에 의한 호우가 대표방향 결정에 가장 큰 영향력을 갖는 것으로 나타났다. 아울러 대상유역에 대한 호우의 대표 이동방향은 mode의 특성이 뚜렷하게 한 방향으로 나타나며, 내성천 유역의 경우 대표 호우 이동방향은 59.45도로 결정되었다. 이러한 결과는 한반도에 발생하는 강우의 특성 과도 잘 부합하는 것으로 판단된다.

핵심용어 : 이동방향, 대표방향, von Mises 분포

1. 서론

유역 내 수문순환을 구성하는 제 요소는 모두 방향성(orientation or direction)을 갖는다. 지표면(또는 사면) 유출이 그러하고, 하천유출, 상부토양층에서 토양수분의 흐름, 지하수의 흐름도 그러하다. 유역에서의 강우-유출 해석에 입력자료로 사용되는 강우는 특히 그 방향성이 중요한 의미를 갖는다. 왜냐하면, 강우의 방향에 따라 상이한 유출응답이 발생하기 때문이다(Niemczynowicz and Jönsson, 1981; Niemczynowicz, 1988). 이러한 차이는 물론 사면과 하천, 그리고 강우의 방향성이 일치하느냐 또는 불일치하느냐의 영향으로 이해될 수 있다.

방향성과 관련한 수문분야의 연구는 매우 제한적이다. 수문순환을 구성하는 개개 요소들의 방향성에 대한 정량화조차 찾아보기 어렵다. 단지 강우의 방향성에 따른 유출응답의 차이를 분석하고 평가한 연구들이 있을 뿐이다(최계운 등, 2000; 한건연 등, 2004; Yen and Chow, 1969; Townson and Sim, 1974; Niemczynowicz, 1984; Anderson et al., 1991; Singh, 1998; Lima and Singh, 2002; Chang, 2007). 이러한 연구들도 대부분 모의실험에 근거하거나 관측된 호우사상의 분석들로서 보다 정량적인 이론적 해석은 아직 시도되고 있지 못한 상태이다. 그 이유는 물론 수문순환을 구성하는 제 요소들의 방향성을 정량화 할 수 있는 방법론의 부재에서 찾을 수 있다.

본 연구에서는 하천유역에 대한 호우의 방향성을 이론적으로 정량화하여 호우의 대표 이동방향을 결정하는데 목적이 있다. 이를 위해 내성천 유역을 대상으로 총 101개의 호우사상을 분석하여 이용하였다. 호우사상의 매 단위시간별 이동방향과 이동거리(이동속도)는 합성결합함수를 이용한 호우추적기법을 이용하여 결정하였다. 대상 유역에 대한 호우의 방향성은 von Mises 분포를 이용하여 정량화하였으며, 이를 통해 대상

* 정회원 · 고려대학교 건축사회환경공학과 박사과정 · E-mail: changyeol@korea.ac.kr

** 정회원 · 고려대학교 건축사회환경공학과 교수 · E-mail: envchul@korea.ac.kr

유역의 대표 이동방향을 결정하였다. 추가로 호우 발생특성(장마, 태풍, 대류성 강우)에 따른 호우사상의 대표 이동방향 특성을 파악하였다.

2. von Mises 분포를 이용한 방향성 자료의 정량화

방향성을 갖는 자료에 대한 확률밀도함수는 일반적인 자료에 대한 정량화와는 매우 다르다. 특히, 방향자료의 순환적 거동(cyclic behavior)이 고려되는 확률밀도함수의 적용이 중요하다. 다음은 방향 자료의 정량화에 가장 많이 이용되는 von Mises 확률밀도함수를 나타낸다.

$$f(\theta) = [2\pi I_0(\kappa)]^{-1} \exp[\kappa \cos(\theta - \mu)], \quad 0 \leq \theta < 2\pi, \quad 0 \leq \kappa < \infty \quad (1)$$

여기서,

$$I_0(\kappa) = (2\pi)^{-1} \int_0^{2\pi} \exp[\kappa \cos(\phi - \mu)] d\phi \quad (2)$$

von Mises 확률밀도함수의 매개변수로는 주방향(preferred or mean direction, μ)과 집중계수(concentration parameter, κ)가 있다. 그러나 von Mises 확률밀도함수의 적용과정에서 여러 개의 mode를 가정할 수 있으므로, 매개변수의 추정도 mode 수에 따라 다르게 된다. 각각의 경우에 대한 매개변수 추정방법은 Fisher(1993)에서 자세히 살펴볼 수 있다.

3. 대상 유역에 대한 호우의 방향성 정량화

3.1 대상유역 및 강우자료

본 연구에서는 내성천 유역을 대상으로 하였다. 내성천 유역은 형상계수(유역면적/유로연장²)가 0.14로 상대적으로 작아서(긴 막대 모양으로) 강우 방향성의 영향이 크게 나타날 수 있는 유역이다. 내성천 유역의 유역면적은 1,816 km²이며, 유로연장은 113 km이다(Fig. 1).

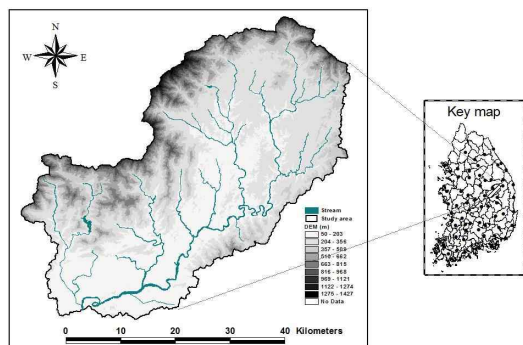


Fig. 1. Rainfall gauge network in study basin

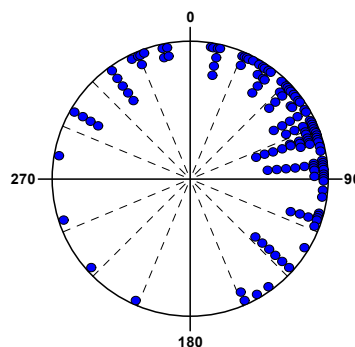


Fig. 2. Distributional characteristics of storm movement directions

본 연구에서는 대상유역에 대한 호우의 방향성을 정량화하기 위해 가용한 모든 호우사상을 이용하였다. 먼저, 내성천 유역 내 위치한 영주 지점에 대해 1978 - 2007년 사이의 강우자료를 수집한 후 총 101개의 호우사상을 선정하였다. 이때 호우사상 선정기준은 총강우량이 20mm 이상, 강우 지속시간이 24시간 이상으로 하였다. 또한 독립호우사상을 분리하기 위한 무강우 지속시간은 8시간을 고려하였다(국토해양부, 2000). 추가로, 본 연구에서는 호우사상을 그 발생특성에 따라 장마, 태풍, 대류성 강우로 분류하여 호우의 방향적 특성이 따로 정리되어 비교될 수 있도록 하였다. 여기서, 장마와 태풍기간은 기상청 홈페이지(www.kma.co.kr)를 참고하였으며, 대류성 강우는 장마와 태풍 기간을 제외한 나머지 기간으로 설정하였다.

3.2 내성천 유역에 대한 호우의 방향적 특성

내성천 유역에 대한 호우의 방향성은 대상 호우사상의 대표 호우이동방향을 근거로 한다. 각각의 호우사상들에 대한 대표 호우이동방향은 유철상과 박창열(2010)의 연구성과를 이용하여 결정하였으며, 본 연구의 대상 호우사상들에 대해 결정된 대표 이동방향을 장미그림으로 나타내면 Fig. 3과 같다. 그림에서 볼 수 있듯이 내성천 유역의 대표적 호우 이동방향은 남서쪽에서 동북방향으로 결정될 수 있다. 일반적으로 알려져 있는 호우 방향에 따른 유출규모는 호우의 이동이 유역의 상류에서 하류(유출구) 방향으로 발생할 때 최대 또는 극단적인 형태로 나타난다(Jensen, 1984; Singh, 1998; Lima and Singh, 2002; Chang, 2007). 내성천 유역의 대표 호우 이동방향은 동북 방향이므로 극단적인 유출규모를 나타낼 가능성은 적어 보인다(Figs. 1 and 6 참조). 오히려 전체적으로 내성천 유역의 하류에서 상류방향으로 호우가 이동해가는 특성을 나타낸다. 즉, 내성천 유역에서 정체강우로 추정된 설계홍수량은 실제 발생가능한 유출량에 비해 왜곡될 여지가 있다. 이 특성을 정량적으로 분석하기 위해서는 호우 이동방향에 따라 유출특성 평가가 이뤄져야 하며, 이는 다음 연구에서 다루기로 한다.

내성천 유역의 대표 호우 이동방향은 대상 호우사상에서 결정된 각각의 호우 이동방향을 von Mises 확률 밀도함수에 적용하여 결정할 수 있으며, 대표방향이 갖는 유의성은 대표방향의 신뢰구간을 이용하여 평가할 수 있다(유철상과 박창열, 2010). 이 결과를 요약하면 다음 표와 같다.

Table 1. The representative moving direction derived by applying the von Mises distribution (unit: degree)

Storm types	Representative direction	95% confidence intervals of representative direction	
		Upper value	Lower value
All storm events	59.4	50.8	68.1
Jang-Ma	71.1	56.2	86.0
Typhoon	31.9	18.7	45.1
Convective storm	69.6	56.4	82.4

본 연구에서 결정된 대상 호우사상들의 대표 호우 이동방향에 대한 분포는 mode가 하나인 von Mises 분포로 잘 표현될 수 있는 것으로 보인다(Fig. 3 참조). Mode가 하나인 von Mises 분포의 매개변수는 주방향 59.4도, 집중계수 1.841로 결정되었다. 따라서 내성천 유역의 대표 호우 이동방향은 59.4도로 결정되었으며, 유의수준 95%에 대한 신뢰구간은 59.4±8.6도로 나타났다. 대상 호우사상에서 결정된 이동방향 중 13.9%가 유의수준 95%에 대한 신뢰구간 안에 속하는 것으로 나타났다. 특히 주목해야 할 부분은 이 구간에 포함된 대부분의 호우가 장마와 대류성 강우에 의한 것이라는 점이다.

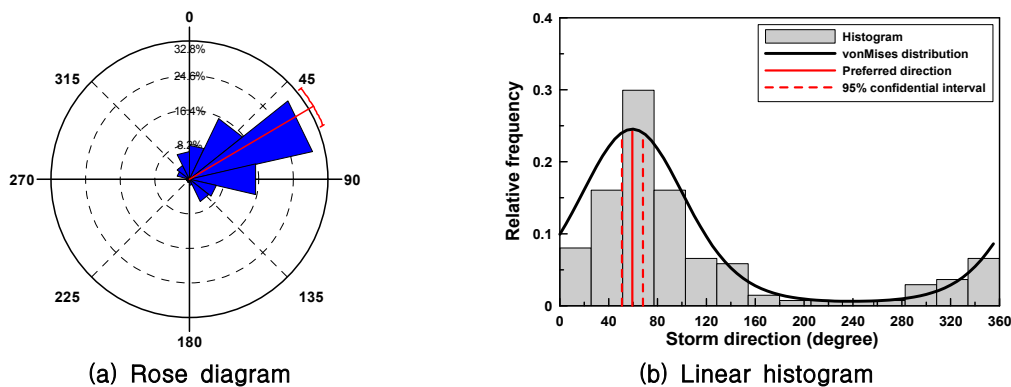


Fig. 3. Representative moving direction and quantifying of storm event direction using von Mises distribution for all storm events

내성천 유역에 대한 대표 호우 이동방향은 한반도에 발생한 강우의 이동패턴과도 유사함을 알 수 있다. 한반도에 영향을 미치는 호우는 어떤 방향에서 한반도내로 유입되어도 산맥과 지형의 영향으로 동해안 쪽으로 빠져나가게 된다(Choi and Kim, 2007; 이동규 등, 1992; 김진관 등, 2007; 박창용 등, 2008). 이러한 이유는 한반도내 주요 호우 발생과정인 장마전선(장마), 열대성 저기압(태풍), 아열대 고기압 세력(대류성 강우)의 이동패턴에서 찾아볼 수 있다. 장마의 경우 장마전선이 남북으로 진동하는 형태를 갖지만, 결국은 호우 이동이 서쪽에서 동쪽 방향으로 향하게 되고, 태풍이나 대류성 강우의 경우에도 결국 중국에서 한반도 서쪽으로 이동해 온 저기압의 영향을 받게 되어 한반도에 호우를 발생시키고 동쪽 방향으로 빠져나가게 된다. 그러나 호우 발생특성에 따라 이동방향의 차이는 분명히 발생하게 된다.

3.3 호우 발생특성별 방향적 특성 비교

본 연구에서는 내성천 유역에 호우의 대표방향 설정뿐만 아니라 호우 발생특성에 따른 호우의 방향적 특성도 비교하였다. 이를 위해 대상 호우사상을 호우 발생특성에 따라 구분하여 호우의 방향적 특성을 나타내면 다음 그림과 같고, 이에 대한 대표방향과 신뢰구간은 Table. 1에 정리하였다.

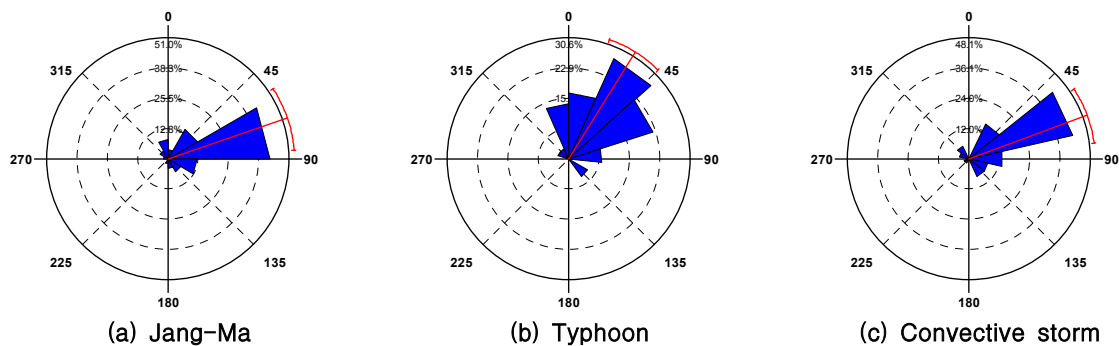


Fig. 4. Directional characteristics of three storm types considered

내성천 유역의 대표 호우 이동방향과 호우 발생특성별 대표 이동방향을 비교해보면, 가장 큰 차이를 보이는 경우는 태풍에 의한 호우의 이동방향이다. 이러한 차이는 대표방향 뿐만 아니라 대표방향의 신뢰구간에서도 살펴볼 수 있다. 이는 기본적으로 태풍의 특성이 매우 뚜렷하게 나타나기 때문이다. 일반적으로 태풍의 진로는 대표적인 몇몇 유형으로 나타낼 수 있다(박종길 등, 2006). 이로 인해 대표방향의 신뢰구간 범위가 가장 좁게 나타나는 것으로 보인다. 신뢰구간의 폭은 장마>대류성 강우>태풍 순으로 넓게 나타난다. 즉, 태풍에 의한 대표 이동방향의 유의성이 가장 높은 것으로 이해할 수 있다. 마지막으로 각 호우 발생특성별로 유도된 대표 이동방향이 기후학적으로 타당하다는 것은 기존의 연구를 통해서도 확인할 수 있다(Choi and Kim, 2007; 박종길 등, 2006; 김진관 등, 2007; 박창용 등, 2008)

4. 결론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 본 연구에서 고려한 von Mises 분포는 mode 수에 구애받지 않고 유연한 적용 결과를 보이며, 대상 호우사상의 모든 방향적 특성이 적절히 표현됨을 확인하였다. 적용결과 대상 호우사상의 mode 특성은 한 방향이 74개, 두 방향이 18개, 세 방향이 9개로 나타났다.

(2) 대상 호우사상의 대표 호우 이동방향 전체의 분포 형태는 하나의 mode 특성을 가짐을 확인하였다. 이에 대해 von Mises 분포를 적용한 결과 내성천 유역의 호우 대표 이동방향은 59.4도로 나타났다. 이러한 결과는 한반도에서 발생하는 대부분의 강수현상을 포함하는 것으로 기존 연구성과와도 유사함을 알 수 있다. 따라서 내성천 유역의 호우 대표 이동방향은 한반도에 발생하는 강우의 특성과도 잘 부합하는 것으로 판단된다.

(3) 호우의 이동방향은 그 발생특성에 따라 확연한 차이를 나타냄을 알 수 있었다. 특성별로 유도된 각 대표 이동방향은 한반도를 대상으로 한 기존의 연구성과와 비교하여 기후학적으로 타당함을 확인하였다. 이는 우리나라의 대표적 호우 이동특성이 내성천 유역에 반영되었음을 나타낸다. 따라서 한반도내에서 유역규모에 따른 호우의 방향 특성의 차이는 미미한 것으로 판단된다.

(4) 본 연구에서는 방향성을 갖는 대표적 수문인자인 호우의 이동특성을 von Mises 분포로 정량화할 수 있음을 확인하였다. 만일, 이와 같은 정량화 방안이 방향성을 갖는 다른 수문인자에도 적용될 수 있다면, 호우 이동방향에 따른 수문응답의 차이를 정량적으로 파악할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(KRF-2008-313-D01083). 연구지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 기상청 홈페이지 www.kma.co.kr
2. 김진관, 김민석, 양동윤, 임규호 (2007). 한국에서의 최근 태풍피해에 따른 태풍의 이동경로 및 강우분포에 대한 연구, 한국지형학회지, 한국지형학회, 제14권, 제1호, pp. 77-85.
3. 국토해양부 (2000). 1999년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서.
4. 박종길, 김병수, 정우식, 김은별, 이대근 (2006). 한반도에 영향을 주는 태풍의 통계적 특성 변화, 한국기상학회 논문집, 한국기상학회, 제16권, 제1호, pp. 1-17.
5. 박창용, 문자연, 차은정, 윤원태, 최영은 (2008). 최근 한반도 여름철 강수특성의 변화, 대한지리학회, 제43권, 제3호, pp. 324-336.
6. 유철상, 박창열 (2010). 호우사상의 대표 이동방향 결정, 한국방재학회 논문집, 한국방재학회, (계재확정)
7. 최계운, 강희경, 박용섭 (2000). GIS를 활용한 유역내 이동강우에 의한 유출특성 연구, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제33권, 제6호, pp. 793-804.
8. 한건연, 전민우, 최규현 (2004). 이동강우에 의한 유출영향분석, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제37권, 제10호, pp. 823-836.
9. Anderson, H.S., Jacobsen, P., and Harrmoës, P. (1991). The effect of rainfall movement on peak flow in sewers, *Atmospheric Research*, Vol. 27, pp. 129-135.
10. Chang, C.L. (2007). Influence of moving rainstorms on watershed responses, *Environmental Engineering Science*, Vol. 27, No. 10, pp. 1353-1360.
11. Choi, K.S., and Kim, B.J. (2007). Climatological characteristics of tropical cyclones making landfall over the Korean peninsula, *Journal of the Korean Meteorological Society*, Vol. 43, No. 2, pp. 97-109.
12. Fisher, N.I. (1993). *Statistical Analysis of Circular Data*. Cambridge University Press.
13. Jensen, M. (1984). Runoff pattern and peak flows from moving block rains based on linear time-area curve, *Nordic Hydrology*, Vol. 15, No. 3, pp. 155-168.
14. Lima, J.L.M.P.D., and Singh, V.P. (2002). The influence of storm movement on overland flow, *Advanced Water Resources*, Vol. 25, No. 7, pp. 817-828.
15. Niemczynowicz, J. (1988). The rainfall movement - A valuable complement to short-term rainfall data, *Journal of Hydrology*, Vol. 104, pp. 311-326.
16. Niemczynowicz, J., and Jönsson, O. (1981). Extreme rainfall in Lund 1979-1980, *Nordic Hydrology*, Vol. 12, pp. 129-142.
17. Singh, V.P. (1998). Effect of the direction of storm movement on planar flow, *Hydrological Processes*, Vol. 12, No. 1, pp. 147-170.