

# 지형적 특성을 고려한 강릉지역 태풍 루사의 수분최대화비 산정

## Estimation of moisture maximizing rate considering an orographic property : Typhoon Rusa case in Gangneung region

김문현\*, 이혜란\*\*, 임은순\*\*\*, 권원태\*\*\*\*

Moon-Hyun Kim, Hye-Ran Lee, Eun-Soon Im, Won-Tae Kwon

### 요 지

본 연구에서는 2002년 태풍 루사(RUSA) 기간에 대한 강릉지역의 수분최대화비를 그 지역의 지형적인 특성을 고려하여 산정하였다. 수분최대화비는 최대가능강수(Probable Maximum Precipitation, 이하 PMP)를 추정하는데 가장 중요한 요소로써 최대 12시간 지속 1000 hPa 이슬점과 대표 12시간 지속 1000 hPa 이슬점에 따른 가강수량의 비로 계산된다. 각각의 이슬점을 결정하는 방법으로, 대표 12시간 지속 이슬점은 수분 유입 지역을 파악함으로써 계산되는데, 이 유입지역은 지상일기도, 지표 풍향, 850 hPa 수분속, 유선장등을 고려하여 선정되었다. 또한 최대 12시간 지속 이슬점은 과거 42년간(1961년~2002년)의 강릉지역 이슬점 온도 자료를 통해 방재연구소에서 제공하는 FARD2002 통계프로그램을 이용하여 구하였다. 이 프로그램에서 확률분포형으로는 Extreme Type I (Gumbel distribution)을 선정하였고 매개변수 추정방법으로 모멘트법을 사용하여 유의수준 10%에서 재현기간 50년 빈도 분석을 통해 이슬점 온도를 구하였다. 본 연구에서는 이와 같은 과정을 통해 재 추정된 수분최대화비와 기존에 제시된 호우전이비 및 DAD(Depth-Area-Duration) 분석결과를 이용하여 강릉호우의 소유역(3.76km<sup>2</sup>)에 대한 PMP를 산정하고 기존 결과와의 차이점을 제시하였다.

**핵심용어 : 수분최대화비, PMP, 이슬점, 확률분포형, 모멘트법**

### 1. 서 론

최근에 발생하는 빈번한 기상이변은 기상학적인 측면뿐만 아니라 수문학적으로도 큰 이슈가 되고 있으며, 그 피해들은 과거자료에서 찾아보기 어려울 만큼 강도와 규모면에서 증가하고 있다. 그 중 집중호우나 태풍으로 인한 국지적인 강수량의 증가는 댐과 같은 대형 수공구조물의 설계홍수량에 큰 영향을 미치므로 댐의 설계시에는 PMP를 고려하도록 되어있다. 그러나 2002년 여름 발생한 태풍 루사는 한반도를 통과하면서 전국에 걸쳐 강풍과 폭우를 동반하는 등 엄청난 피해를 주고 갔으며, 그 가운데 강릉지방에는 사상 초유의 강수량(870.5mm)을 기록하면서 그 지역 연평균 강수량(1,401.9mm)의 62%가 하루에 내리는, 기상청 관측 이래 가장 많은 일 강수량을 기록하게 되었다(2002년 홍수피해 종합 조사보고서, 2002). 그 결과 이상진 등(2004)은 루사로 인한 강릉지역의 집중호우가 기존 PMP 규모를 초과하였으므로 댐설계 기준에 대한 재고가 불가피 하다고 하였다. 국제적으로도 이러한 기상이변에 따른 수공학적인 기준 변화의 필요성이 제시되었다. Rezacova at al.(2002)은 최근 폭우사례를 통해 체코에서의 저수지 유출구조의 새로운 조치가 필요하다고 설명했고, Collier and Hardaker(1995)는 만약 물의 최고 수위점이 댐의 높이를 넘어간다면, 과거 만들어진 세계 모든 댐의 78% 정도가 무너질 것이라고 경고했다.

\* 정회원.기상연구소 기후연구실·E-mail : mhkim@metri.re.kr  
\*\* 일반회원.강원지방기상청 기후정보과·E-mail : lan98@kma.go.kr  
\*\*\* 정회원.기상연구소 기후연구실·E-mail : esim@metri.re.kr  
\*\*\*\* 정회원.기상연구소 기후연구실·E-mail : wontk@metri.re.kr

이러한 수공구조물을 위한 PMP를 산정하는 방법에는 수문학적, 통계학적, 경험적 방법이 있지만, 현재 많은 연구자들은 수문기상학적 방법으로 이를 추정하고 있다. 수문학적 방법은 WMO(1973, 1986)에서 제시한 것처럼 크게 수분최대화비, 호우전이비, 포락의 단계를 거치며, 그중 수분최대화비는 PMP를 추정하는데 주요 골간을 이루는 가장 중요한 요소라 할 수 있다(수자원 관리기법개발 연구조사 보고서, 1999).

본 연구에서는 태풍 루사기간의 강릉지역 수분최대화비를 계산하기 위해 그 지역의 지형적 특성을 고려한 대표 12시간 지속 1000 hPa 이슬점 온도를 산정하고(2.2절), 통계적 방법으로 최대 12시간 지속 1000 hPa 이슬점 온도를 산정하였다(2.3절). 궁극적으로 본 연구에서 산정된 수분최대화비와 기존 건설기술연구원에서 제시한 호우전이비 및 DAD 분석결과를 이용하여 강릉지역 소유역(3.67km<sup>2</sup>)에 대한 PMP를 추정하여(3장) 기존 PMP와 비교, 분석하였다.

## 2. 수분최대화비 산정

호우효율은 대기의 가강수량과 깊은 관계를 가지고 있으나, 가강수량을 직접 측정하기에는 많은 문제점이 있기 때문에, 가강수량과 지상 이슬점에 따른 상관관계로 호우효율을 평가하게 된다.

수분최대화비는 호우지대의 고도를 고려한 최대 12시간 지속 1000 hPa 이슬점에 의한 가강수량과 대표 12시간 지속 1000 hPa 이슬점에 의한 가강수량의 비로 산정되며, 이때 최대 12시간 지속 1000 hPa 이슬점은 호우 발생일 약 15일 전후에서의 최대 이슬점이다.

$$R_{IP} = \frac{W_{pm,si,se}}{W_{ps,si,se}}$$

여기서,  $R_{IP}$ 는 수분최대화비,  $si$ 는 호우위치,  $se$ 는 호우지대의 고도를 나타내며,  $W_{pm,si,se}$ 는 호우지대의 고도를 고려한 최대 12시간 지속 1000 hPa 이슬점에 의한 가강수량,  $W_{ps,si,se}$ 는 호우지대의 고도를 고려한 대표 12시간 지속 1000 hPa 이슬점에 의한 가강수량을 나타낸다.

### 2.1 가강수량 계산

가강수량은 대기의 수직 기둥에서 수증기의 총량을 나타내는 것이다. 즉, 그 수직 기둥에서의 수증기 모두 응결된다면 그 지표부터 누적된 물의 깊이를 뜻하며, 구하는 식은 다음과 같다.

$$W = \frac{\bar{q} \Delta p}{g\rho}$$

여기서,  $W$ 는 가강수량(cm),  $\bar{q}$ 는 기층의 평균비습(g/kg),  $\Delta p$ 는 상·하층의 기압차(hPa),  $g$ 는 중력가속도( $cm/sec^2$ ),  $\rho$ 는 수증기 밀도( $g/cm^3$ )를 나타낸다.

또한, WMO(1973, 1986)는 1000 hPa 이슬점 온도의 함수로써 포화 비단열 대기의 1000 hPa에서 200 hPa 까지 다양한 층의 가강수량 값을 계산하여 표로 제시하고 있으며, 본 연구에서도 그에 따라 가강수량을 구하였다.

### 2.2 대표 12시간 지속 1000 hPa 이슬점 산정

이 이슬점은 호우시 호우로 유입하는 공기의 최고 이슬점으로 산정되며, 만약 공간적으로 수분이 매우 적은 지역에서 유입된다면 한 위치상에서의 이슬점만으로 결정되어질 수 있지만, 일반적으로 2지점 이상에서의

값을 산술평균하여 사용한다. 또한 시간적 기준은 호우의 발생원인이 루사와 같은 태풍일 경우 호우 발생일의 이슬점을 대표 이슬점으로 선정하며, 본 연구에서는 2002년 홍수피해 종합 조사보고서(2002)에 따라 2002년 8월 30일을 기준으로 하였다.

호우의 수분유입지역 선택을 위해서 먼저 Fig. 1.과 같이 강릉지역 기상청 지표 관측 매시간 풍향 자료를 분석하였으며, 그 결과 8월 30일을 포함해 집중호우 전부터의 주요 풍향은 북서풍계열이었음을 알 수 있었다. 그러나 하층바람은 지형적인 요인과 구조물의 영향을 받기 때문에 Fig. 2.처럼 850 hPa의 수분속과 유선장에 대한 분석이 더불어 이루어져야 한다. 강원지방 기상청의 15호 태풍 루사 종합분석(2002)에 따르면, 태풍의 가장자리와 고기압 가장자리의 기류가 합류된 남동류가 남해상에서 동해상으로 계속 유입되었고, 북쪽한기를 동반한 북동류가 동해 중부해상에서 수렴되었다. 이러한 종관적인 기압계에서의 두 기류가 강원 중부해상에 위치하였고, 이것이 강한 북동풍에 의해 내륙으로 유입되면서 매우 빠르게 발달하였다. 또한 Fig. 3.과 같이 지형적인 영향에 의해 북동풍이 풍상측에서 산맥에 부딪쳐 돌아나가면서 강릉 지역은 북서풍이 유입되었고, 태풍전면에 의해 강한 동풍까지 이 지역에 합성되면서 수렴대는 더욱 발달하게 되었다.

이러한 강릉지역 지형에 따른 근거로, 호우로 유입하는 수분지역을 기존의 대관령이 아닌 동해, 속초, 공군기지 및 강릉으로 선정하여 이순탁 등(1986)과 같이 이 지점들의 대표 12시간 지속 1000 hPa 이슬점 온도를 산술 평균하여 대표이슬점을 산정하였다.

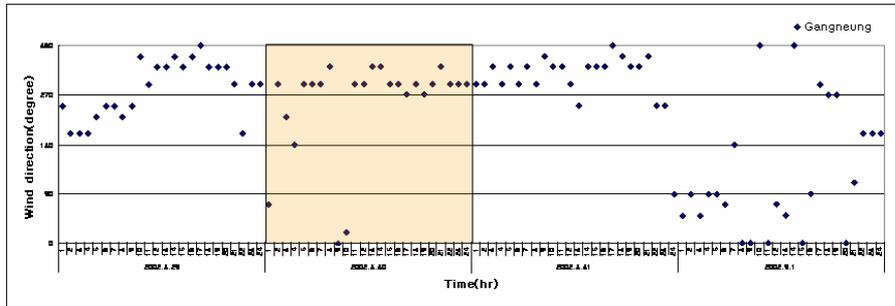


Fig. 1. 강릉지역 기상청 매시간 지표관측 풍향 (2002년 8월 29일 ~ 9월 1일)

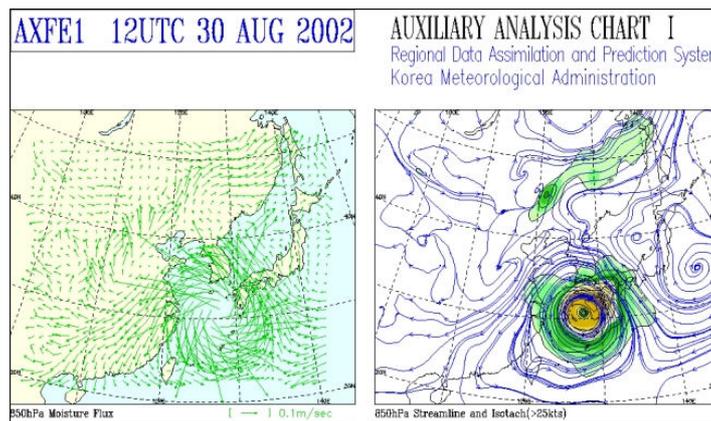


Fig 2. 2002년 8월 30일 12UTC 850 hPa 수분속과 유선

### 2.3 최대 12시간 지속 1000 hPa 이슬점 산정

이 이슬점은 일반적으로 대상지역의 여러 위치에서 약 50년 이상의 장기간의 기록으로부터 구하며, 일반적으로 15일 또는 10일별로 12시간 지속 1000 hPa의 최대 이슬점을 선정한다. 그러나 본 연구에서는 2002년 홍수피해 종합 조사보고서(2002)에 따라 1961년~2002년 까지 42년간의 8월 30일 강릉지역 자료를 사용하였

다. 또한 50년 이하의 기록년수의 이슬점은 최대 대기수분을 대표하는 최대값을 나타낸다고 볼 수 없기 때문에(수자원관리기법 개발연구조사 보고서, 2000) 방제연구소에서 제공하는 FARD2002 통계 프로그램을 이용하여 재현기간 50년 빈도 분석을 통해 최대 12시간 지속 1000 hPa 이슬점을 산정하였다. 여기서 확률분포형은 Extreme Type I으로 선정하였고, 매개변수 추정에는 모멘트법으로 하였으며, 유의수준 10%에서 이슬점 온도를 분석하였다.

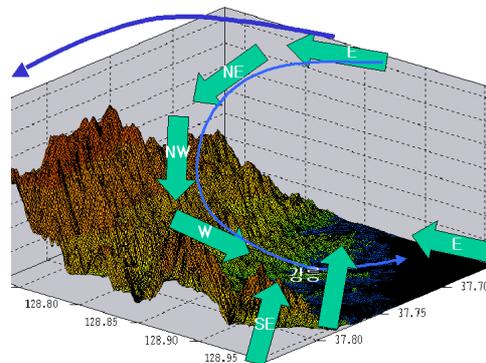


Fig. 3. 북동풍 유입시 강릉지역의 국지풍 모식도

### 3. 결과

수분최대화비의 임계값에 대해서, Miller et al.(1988)은 산악지형에서 호우데이터의 부족과 전이의 한계 때문에 기존 연구들에 의한 1.50에서 1.70으로 완화되어야 한다고 하였다. 또한 수자원 관리기법개발 연구조사 보고서(2000)에서도 1.70 이상 일 경우 기상학적 판단 및 자료에 의하여 주의하도록 하였기 때문에 본 연구에서도 상한계를 1.70으로 설정하였다.

Table 1은 본 연구와 기존 방법, 강릉지역 관측 이슬점 온도 중 태풍 루사 시(2002년), 그리고 그 이슬점 온도 중 가장 큰(1966년)값으로 산정한 수분최대화비를 비교하였다. 2002년에는 대표 이슬점 온도와 최고 이슬점 온도의 차이가 거의 없어 수분최대화비는 1.01이었으며, 1966년 관측값을 적용했을 때는 1.49로 산정되었다. 특히, 수문학적인 방법은 기존 1.29에서 1.70으로 0.41이 증가하여 나타났고, 이러한 변화의 가장 큰 원인은 수분 유입 지역의 변화에 따른 대표 12시간 지속 1000 hPa 이슬점 온도의 차이 때문인 것으로 분석되었다. 또한 이상진 등(2004)에 의해 계산된 강릉 소유역(면적 3.76km<sup>2</sup>) 태풍 루사의 호우전이비와 DAD분석 결과를 그대로 적용하여 총전이비와 24시간 PMP를 산정한 결과, Table 2와 같이 2002년 관측값은 801 mm, 1966년 관측값은 1,182mm, 수문학적 방법의 변화에 따라서는 1,023mm에서 1,349mm로 약 326 mm 정도 높게 산정되었다.

### 4. 요약 및 향후 계획

본 연구에서는 PMP 산정을 위한 과정으로 수분최대화비를 강릉지역 지형적 특성에 따른 기상학적인 요소들을 적용하여 재 산정하였으며, 여러 관측값 및 기존 연구를 바탕으로 다시 PMP를 추정하였다. 향후 강릉 지역 태풍 루사 사례에 대해 기상연구소 기후연구실에서 가동하고 있는 중규모 모형인 RegCM3(Regional Climate Model Ver. 3)을 이용하여 위의 요소들을 산정할 것이며, 이는 수문학적인 방법으로 산정한 수치들과 비교, 분석될 것이다.

Table 1. 태풍 루사에 따른 강릉 소유역 수분최대화비

분석	평균 표고	대표 1000 hPa 이슬점 (℃)	대표 가장수량 (mm)	대표 1000 hPa 평균표고 (mm)	최대 1000 hPa 이슬점 (℃)	최대 가장수량 (mm)	최대 1000 hPa 평균표고 (mm)	수분 최대화비	비고
2002년 보고서	30.00	23.00	68.00	0.6	25.98	87.86	0.75	1.29	
2002년 관측값	30.00	20.45	54.5	0.52	20.6	55.0	0.54	1.01	
1966년 관측값	30.00	20.45	54.5	0.52	25.0	81.0	0.6	1.49	
50년 빈도	30.00	20.45	54.5	0.52	26.9	94.45	0.75	1.70	

Table 2. 태풍 루사에 따른 강릉 소유역 24시간 PMP

	이상진 등(2004)	2002년 관측값	1966년 관측값	50년 빈도
PMP	1,023 mm	801 mm	1,182 mm	1,349 mm

### 감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

- 강원지방기상청, 2002: 제 15호 태풍 루사(RUSA) 종합분석, 119 pp.
- 건설교통부, 2000: 한국 가능최대강수량 추정, 수자원관리기법 개발 연구조사 보고서, 제2권
- 이상진, 최현, 신희범, 방상길, 2004: 수공구조물 설계를 위한 PMF 및 임계지속시간 분석, *한국수자원학회논문집*, **37(9)**, 707-718.
- 이순탁, 박정규, 1986: 하천유역의 설계 홍수량 결정을 위한 P.M.P.의 산정 및 적용, *한국수자원학회논문집*, **19(1)**, 75-86.
- 한국수자원학회, 2002: 2002년 홍수피해 종합조사 보고서
- Collier, C. G., and P. J. Hardarker, 1995: Radar and storm model-based estimation of probable maximum precipitation in the tropics. *Dams and Reservoirs*. **5(3)**, 17-21.
- Miller, J. F., E.M. Hansen, D. D. Fenn, L. C. Schreiner, and D. T. Jensen, 1988: Probable maximum precipitation estimates-United States between the continental divide and the 103rd meridian, *Hydrometeorological Rep.*, **55A**, Silver Spring, MD., 259 pp.
- Rezacova, D., Z. Sokol, and P. Pesice, 2002: Improvement of quantitative PMP estimation by including radar precipitation and NWP model outputs, *QPF Conference 2002 Proceedings*, 23.
- World Meteorological Organization, 1973: Manual for estimation of probable maximum precipitation, *Operational Hydrology Rep.* No. 1, **WMO-No. 332**, Geneva, Switzerland, 190 pp.
- World Meteorological Organization, 1986: Manual for estimation of probable maximum precipitation, *Operational Hydrology Rep.* No. 1, **WMO-No. 332**, Geneva, Switzerland, 269 pp.