

최근의 기상변동과 PMP의 변화

The Change of PMP According to Recent Meteorological Variation

김남원*, 원유승**

Nam Won Kim, Yoo Seung Won

요 지

“1999년도 수자원관리기법개발연구조사보고서”(건설교통부, 2000b)에서는 1969년부터 1999년까지 우리나라에서 발생한 132개의 주요호우를 분석하여 전국적으로 일반화된 PMP를 추정(건설교통부, 2000a)하였다. 그러나 1999년 이후, 2002년 태풍 루사(Rusa) 등의 극치호우가 발생하였으며, 이로 인해 기 추정된 PMP에 영향을 주었을 가능성이 크다. 따라서 본 연구에서는 2000년부터 2003년까지 발생한 주요 호우의 DAD 관계를 분석하였고, 이들 호우에 대한 크기와 규모를 정량적으로 평가하였으며, 이를 이용하여 2000년 이후 발생한 호우가 PMP에 어느 정도 또는 어떠한 형태로 영향을 줄 것인지를 분석하였다.

핵심용어 : PMP, DAD, 호우의 크기와 규모, 태풍 루사

1. 서론

1990년대 후반 이후 우리나라에 발생한 주요 호우는 그 이전에 발생한 호우에 비해 규모와 크기가 거대화되었고, 이로 인한 홍수피해규모 역시 크게 증가하고 있는 추세이다. 1995년 이후에 우리나라에서 발생한 주요 호우는 1995년 태풍 제니스(Janis), 1996년 집중호우, 1998년 게릴라성 집중호우와 태풍 예니(Yanni), 1999년 경기북부지방 집중호우, 2002년 8월 중순에 발생한 전국규모의 호우와 태풍 루사(Rusa), 2003년 태풍 매미(Maemi) 등이다. 이상의 최근 10여년간 발생한 태풍이나 호우는 1969~1995년 사이에 기록된 호우에 비해 상대적으로 크며, 기왕의 150 mm 이상 호우에 대해 DAD 관계를 분석한 결과(건교부, 2000b)를 크기 순으로 정렬하면 기왕 최대규모이거나 이에 상응하는 크기와 규모를 나타냈다.

“1999년 수자원관리기법연구조사보고서” 중 “한국의 주요호우”(건교부, 2000b)에는 1969~1999년까지 우리나라에 발생한 주요 호우에 대한 DAD 분석결과가 수록되어 있다. 따라서 본 연구에서는 1999년 이전까지는 한국의 주요호우에 대한 DAD 분석결과를 활용하였고, 1999년 이후 즉, 2000~2003년에 우리나라에 발생한 주요 호우에 대하여 DAD 분석을 수행하였다. 2002년에 발생한 전국규모의 호우는 8월 4일부터 17일까지 14일 동안 지속된 호우로써 전국에 걸쳐 광범위하게 발생한 호우였으며, 그 해 8월 30일 ~ 9월 1일에는 태풍 루사(Rusa)가 우리나라를 통과하면서 전국에 걸쳐 강풍과 폭우로 많은 피해가 발생하였으며, 특히 강릉지방에 지속시간이 24시간 이내의 기록적인 폭우가 집중적으로 발생하여 많은 인명과 재산피해를 일으켰다. 2003년 9월 11일 ~ 13일 사이에 태풍 매미(Maemi)가 우리나라의 경남 사천지역과 경북 울진을 거쳐 동해상으로 빠져나갔는데, 실제로 태풍 매미가 우리나라에 상륙하여 빠져나간 시간은 불과 7시간 내외이나 태풍의 영향으로 경남남해안 지역에 큰 피해가 발생하였고, 태풍의 이동경로가 아닌 영동지역에서도 짧은 지속기간에 대해 기록적인 규모와 크기를 가진 호우가 발생하였다.

“1999년 수자원관리기법연구조사보고서” 중 “한국의 가능최대강수량 추정”(건교부, 2000a)에서는 “한국의 주요호우”(건교부, 2000b)에서 분석된 DAD 분석결과를 이용하여 호우를 수분최대화시킨 다음, 전국적으로 일반화된 격자 PMP도를 작성하였다. 그러나, 2000년 이후 면적규모별, 지속기간별로 극치호우에 가까운 호우들이 여러 차례 발생하였기 때문에 이들 호우가 PMP에 영향을 주었는지의 여부를 판단해 볼 필요가 있

* 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원 · E-mail : nwkim@kict.re.kr

** 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : yswon@kict.re.kr

다. 따라서 본 연구에서는 1969~1999년까지 분석된 주요호우에 대하여 2000년 이후 우리나라에 발생한 주요호우의 규모와 크기를 정략적으로 평가하였고, 이들이 PMP에 미치는 영향을 검토하였다.

2. 2000년 이후 발생한 주요호우의 DAD 분석

한국의 주요호우(건교부, 2000b)에서는 1969~1999년까지 31개년에 대하여 총 우량이 150 mm 이상의 호우를 대상으로 우리나라에서 발생한 132개의 주요호우를 분석하였고, 호우의 이동특성을 고려할 수 있는 DAD 분석 프로그램을 개발하였다. 본 연구에서는 기 개발된 DAD 분석용 프로그램을 이용하여 2000년 이후 발생한 주요호우에 대한 DAD 분석을 수행하였다.

2.1 2002년 8월 전국규모의 호우(8월 4일 ~ 17일 호우 (14일간))

2002년 8월에 발생한 이 호우는 8월 4일경에 시작하여 8월 17일까지 14일 동안 장기간에 걸쳐 한강유역과 낙동강 유역을 중심으로 전국에 걸쳐 발생하였다. 8월 4일 서울지역을 중심으로 발생한 호우는 8월 7일까지 한강유역과 낙동강 상류지역인 중부지방으로 호우중심이 이동하였고, 8월 8일부터 8월 11일까지 낙동강 유역인 경상도를 중심으로 경남북서쪽에서 경남남동해안, 경남남서해안으로 호우중심이 이동하였다. 이후 잠시 소강상태를 보인 호우는 우리나라 남서해안에서 다시 시작하여 경남 북서지역과 남서지역을 오가면서 17일까지 지속되었다. 장마전선에 의한 호우가 2002년 8월에 발생한 것처럼 이동성이 강하고, 광범위한 지역에 걸쳐 장기간 발생한 경우는 현재까지 국내 호우의 경험으로는 극히 드문 사례이다. 이러한 호우의 이동성향 및 조건 그리고 이에 따른 호우의 독립성을 분석하기 위해서는 기상자료로부터 수분의 유입상태, 장마전선의 특성분석과 강우량 자료를 이용한 강우량의 시·공간 특성분석이 필요하다.

김남원과 원유승(2002)은 약 12시간의 독립호우 분리시간을 이용하여 이 호우를 8월 4일~11일, 8월 12일~17일 두 개의 호우로 분리하였고, 기상상황과 호우의 공간적 분포를 고려하여 8월 4일~11일 호우를 8월 4일~8월 7일 20시 호우와 8월 7일 20시~8월 11일 호우로 세분하였다. 이렇게 분리된 3개의 호우 중 8월 12일~17일 호우는 상대적으로 규모가 작아 분석에서 제외하였으며, 분석에 이용한 관측소는 기상청의 측후소 및 관측소와 건설교통부 및 한국수자원공사의 T/M 관측소인 364개 지점 자료를 이용하였다. 그림 1과 2는 8월 4일~7일 20시와 8월 7일 20시~11일의 DAD 분석결과를 나타낸 것으로 8월 4일~7일 20시의 호우는 한강유역, 8월 7일 20시~11일의 호우는 낙동강 유역에 집중적으로 발생한 호우이다. 그림 1과 2의 주요한 특징은 호우의 크기도 크지만, 유역면적이 증가해도 평균강우량이 크게 감소하지 않는다는 것이다. 이는 우리나라 전역에 걸쳐 많은 양의 강우가 계속되어 큰 면적규모에서 일정한 이상의 강우가 전국적으로 분포하였음을 의미한다.

표 1과 2에는 1969~1999년까지 132개의 DAD 분석결과로부터 8월 4일~7일 20시, 8월 7일 20시~8월 11일 호우의 지속기간별 면적별 순위를 나타낸 것이다. 표 1에 제시된 바와 같이 8월 4일~7일 20시 호우는 유역면적이 커질수록 호우규모의 크기 순위가 5위 이내로 진입함을 볼 수

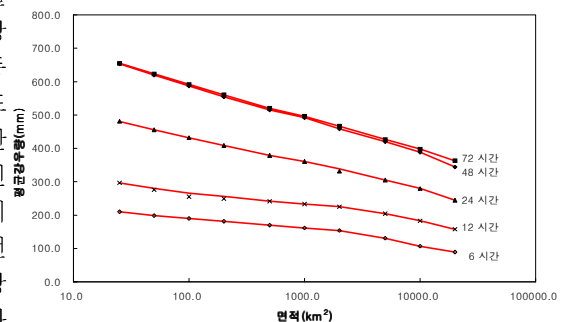


그림 1. 8월 4일 ~ 7일 20시 호우의 DAD

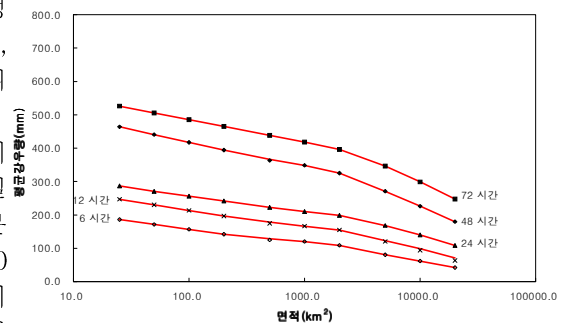


그림 2. 8월 7일 20시 ~ 11일 호우의 DAD

표 1. 8월 4일~7일 20시 호우의 크기와 규모

유역면적 (km²)	지속기간 (hr)				
	12	18	24	48	72
2,000	10	10	9	7	8
5,000	9	10	8	6	7
10,000	8	6	6	5	5
20,000	3	4	4	4	5

표 2. 8월 7일 20시~11일 호우의 크기와 규모

유역면적 (km²)	지속기간 (hr)				
	12	18	24	48	72
2,000	40	35	38	16	12
5,000	52	35	43	22	12
10,000	65	56	48	23	10
20,000	83	64	58	24	15

있다. 또한 지속기간이 12시간 이상이고, 유역면적이 2,000 km² 이상인 경우 대부분이 10위 이상의 크기와 규모를 보이고 있으며, 지속기간이 48시간 이상이고 유역면적 10,000 km² 이상인 경우 5위 이상의 크기와 규모를 보여, 한강 유역(호우중심은 낙동강 상류)에 발생한 호우가 대규모 호우였음을 짐작할 수 있다. 반면, 낙동강 유역인 우리나라 남부지방을 중심으로 발생한 8월 7일 20시~11일 호우는 지속기간 24시간 이하에서는 호우의 크기와 규모가 30위권 이하였으나, 지속기간 48시간에서 20위권, 지속기간 72시간에서 10위권 정도로 나타났다. 즉, 지속기간이 24시간 이하일 경우는 소규모 호우였다가 지속기간이 증가하면서 호우의 규모와 크기가 크게 증가하는 특성이 있다(표 2 참조).

2.2 태풍 루사(2002년 8월 30일~9월 1일 (3일간))

태풍은 일반적으로 해수면 온도가 낮은 고위도로 북상할수록 힘을 잃고, 내륙의 산악 등의 지형에 부딪치면서 급격히 힘을 잃는 것이 보통이다. 그러나 태풍 루사는 거의 최상의 힘을 유지한 채 우리나라에 상륙했는데, 태풍 루사가 괴력을 유지할 수 있었던 것은 남해상의 해수면 온도가 평년보다 높아 바다로부터 지속적으로 에너지를 공급받았기 때문이다. 여기에 한반도 동서로 놓인 북태평양 고기압의 상층에서 부는 편서풍이 이례적으로 약해 태풍의 이동속도와 방향전환을 막았던 것으로 분석되고 있다. 이로 인해 루사는 한반도를 길게 관통하며 초속 30~50 fm의 강풍과 일최고강수량 871.0 mm라는 경이적인 기록을 세우며 전국을 초토화 시켰다. 태풍이 북상하면서 북태평양 고기압의 가장자리에 위치한 강원도 영동지방으로 저온다습한 동풍이 지속적으로 불어 강릉 부근에 "습윤대"가 형성된 상태에서 지상 1.5 km 상공의 찬 공기와 태풍이 몰고 온 열대해상의 더운 공기가 강릉 상공에서 만나 집중적인 비를 뿌린 것으로 분석됐다. 또한 수증기를 많이 포함한 북동기류가 태백산맥에 부딪쳐 상승하면서 강릉과 속초·동해 등 강원 영동 지방에 많은 비를 뿌린 반면, 바람이 내려가는 강원 영서 지방은 상대적으로 강수량이 적었다.

DAD 분석에 이용된 강우관측소는 기상청 측후소 및 관측소와 AWS 312개, 건설교통부와 한국수자원공사의 T/M 관측소 266개, 행정자치부 13개 지점의 관측자료를 이용하였다. 또한, 김남원 등(2002)은 태풍 루사에 의해 영동지역에 집중적으로 발생한 강우의 분포가 매우 좁은 면적에 집중된 성향을 고려하여 지점강우량의 지배면적을 1 km²로 제한하였으며 DAD 분석결과를 그림 3에 제시하였다.

표 3은 1969~1999년의 주요호우에 대한 DAD 분석결과로부터 태풍 루사의 DAD 순위를 나타낸 것이다. 표 3에 제시된 바와 같이 유역면적 2,000 km² 이하에서 태풍 루사에 의한 호우는 대략 1~4위 정도이고, 지속기간이 24시간인 경우는 유역면적 1,000 km²까지 기왕 최대호우로 평가되었다. 또한, 유역면적이 1,000 km², 2,000 km²로 증가하면서 태풍의 크기 순위가 증가하는 경향이 있는 것으로 보아, 태풍에 의해 발생한 호우는 작은 면적에 집중하였음을 알 수 있다.

2.3 태풍 매미(2003년 9월 11일~13일 (3일간))

9월 11일부터 태풍 매미의 간접적인 영향으로 우리나라

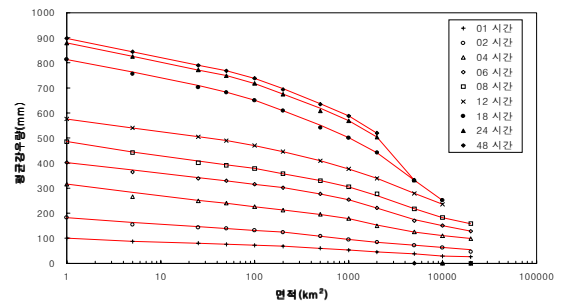


그림 3. 태풍 루사에 의한 DAD 관계
표 3. 태풍 루사의 규모와 크기

유역면적 (km ²)	지속 기간 (hr)			
	6	12	24	48
25	2	2	1	2
100	2	2	1	2
200	2	2	1	2
1,000	2	3	1	4
2,000	2	3	2	4

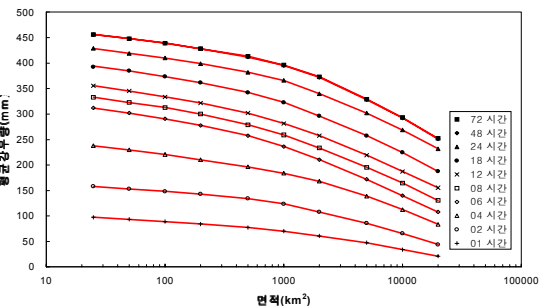


그림 4. 태풍 매미에 의한 DAD 관계
표 4. 태풍 매미의 규모와 크기

유역면적 (km ²)	지속 기간 (hr)				
	1	4	6	12	24
25	5	8	6	10	13
50	4	6	4	9	13
100	3	4	3	8	12
200	2	2	3	7	12
500	2	2	3	7	11
1,000	2	2	3	9	10
2,000	2	2	3	9	9
5,000	2	2	3	10	10
10,000	2	2	2	7	8
20,000	1	2	2	6	7

라 남해안부터 강우가 시작되었으며, 9월 12일 20시경 경남 사천지역으로 상륙하여 경남 함안, 대구광역시, 경북 울진을 거쳐 13일 03시경 우리나라를 빠져나간 이후, 13일까지 강우가 지속되었다. 태풍 매미에 의한 강우의 공간분포로부터 호우지역 및 호우중심지역 등을 면밀히 검토한 결과 영동산간지역, 남해안, 경남서부 지역에 호우가 집중하였고, 태풍의 이동과 호우의 시간분포로부터 두 번의 강우첨두가 발생했음을 알 수 있었다. 또한, 태풍 매미가 우리나라에 상륙하여 빠져나가기까지의 시간이 대략 7시간 정도이고, 태풍의 이동경로가 아닌 영동지역에 짧은 지속시간에 대해 기록적인 규모와 크기의 호우가 발생하였다. DAD 분석에 이용된 강우관측소는 기상청 측후소 및 관측소와 AWS 422개, 건설교통부와 한국수자원공사의 T/M 관측소 252개 지점의 자료를 이용하여 DAD 분석이 수행하였고, 결과를 그림 4에 제시하였다.

태풍 매미에 의한 강우의 규모와 크기를 정량적으로 평가하기 위해 1969~2002년까지 34개년에 대하여 총 강우량이 150 mm 이상인 136개 호우를 대상으로 수행한 DAD 분석결과와 비교하여 표 3에 제시하였다. 표 3에 제시된 바와 같이 지속시간이 6시간 이하의 경우 1~8위 정도이고, 면적이 증가할수록 순위가 증가하며, 유역면적이 100 km² 이상에서 1~4위, 지속시간 1시간, 유역면적 20,000 km²에서 기왕최대호우였다. 그러나, 지속시간이 6시간 이상으로 증가하면 순위는 크게 떨어지는데, 지속시간 12시간의 경우는 6~10위, 지속시간 24시간의 경우는 7~13위 정도로 분석되었다. 이로부터 태풍 매미에 의해 발생한 호우는 지속시간이 6시간 이하에서 최대형태의 규모였음을 알 수 있고, 태풍이 우리나라를 빠져나간 시간이 대략 7시간 정도임을 고려할 때 지속시간이 짧고 큰 면적(경남, 영동지역)에 강우가 집중하였음을 알 수 있다.

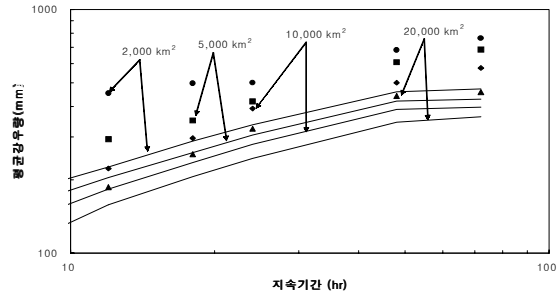


그림 5. 2002년 8월 4일 ~ 7일 20시까지의 호우와 최대 DAD(~1999)

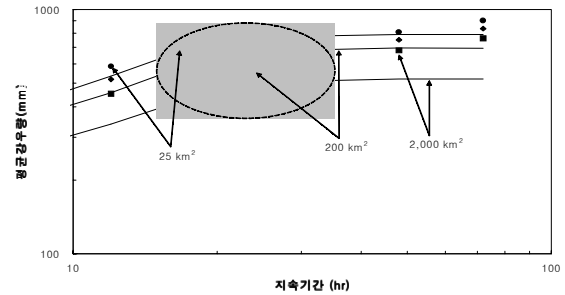


그림 6. 태풍 루사와 최대 DAD(~1999)

3. DAD 분석결과의 비교

전 절에서 2002년 8월 중순호우와 태풍 루사, 2003년 태풍 매미에 의한 호우의 크기와 규모를 정량적으로 파악하기 위해 DAD 분석을 수행하였다. 이들 호우 중 2002년 8월 4일~7일 20시까지 한강유역에 집중적으로 발생한 호우와 태풍 루사, 2003년 매미에 대한 DAD 분석결과와 1969~1999년까지 주요호우에 대한 최대 DAD를 그림 5~7에 비교하였다. 그림 5~7에서 ●, ■, ◆, ▲등으로 표시된 것은 1969~1999년도까지의 최대 DAD 값이며, 실선은 2000년 이후에 발생한 3개의 주요호우에 대한 DAD 분석결과이다. 그림 5에 제시된 2002년 8월 4일~7일 20시까지 호우는 지속시간이 길고, 유역면적이 큰 경우에 호우의 규모와 크기가 상대적으로 큰 것으로 분석되었으나, 1999년까지의 최대 DAD 보다는 작은 것으로 평가되었다. 그러나, 그림 6과 7에 제시된 바와 같이 태풍 루사와 매미는 1999년까지의 최대 DAD 값을 초과하였는데, 태풍 루사의 경우는 2,000 km² 미만의 유역면적에서 지속시간이 18~24시간인 경우에 1999년까지의 최대 DAD 값보다 상당히 크고, 태풍 매미의 경우는 유역면적이 크고, 지속시간이 10시간 미만으로 짧은 경우

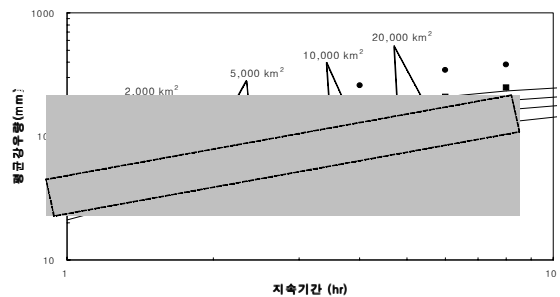


그림 7. 태풍 매미와 최대 DAD(~1999)

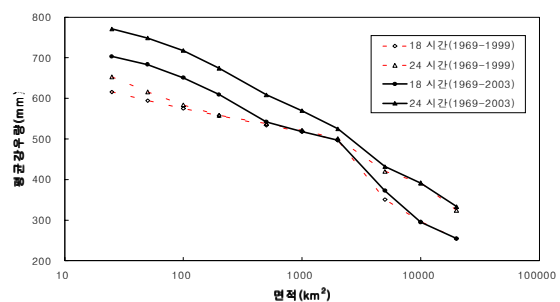


그림 8. 최대 DAD의 변화

에 1999년까지의 최대 DAD 값에 근접하거나 초과한다. 또한 태풍 루사에 의해 1999년까지 최대 DAD를 초과한 양에 비해 태풍 매미에 의해 초과된 양은 상대적으로 미미하며, 두 개의 태풍이 최대 DAD를 초과한 지속기간별 면적에 대해 음영으로 처리하였다(그림 6과 7 참조).

그림 8은 1999년까지의 최대 DAD와 2003년까지의 최대 DAD를 비교한 것이다. 진술한 바와 같이 태풍 매미의 영향으로 지속기간이 짧고 면적규모가 큰 경우에 1999년까지의 최대 DAD에 근접하거나 약간 초과하는 경향이 있으나, 그 영향이 미미하여 그림 8에는 주로 태풍 루사에 의해 최대 DAD가 크게 변한 18시간과 24시간의 최대 DAD를 비교하였다. 1999년까지의 최대 DAD는 면적규모 2,000 km² 이하에서 지속기간이 18시간인 경우와 24시간인 경우의 차이가 거의 없었으나, 태풍 루사에 의해 18시간과 24시간의 지속기간에 대한 최대 DAD 값의 구분이 뚜렷이 나타나고, 모두 크게 증가하였다. 2,000 km² 이상의 면적규모에서도 약간의 변화를 찾을 수 있는데 이는 태풍 매미의 영향이다.

4. DAD 분석결과와 PMP

PMP를 산정하기 위해서는 DAD 관계가 필수적이다. 즉, 임의지점의 PMP는 주요호우에 대하여 지속기간별 면적별 평균강수량에 수분최대화비와 전이비를 곱해 얻어진 값의 최대치로 산정된다. 만약, 1969~1999년 도까지의 PMP도 작성에 이용된 시기별 최대 12시간 지속 1000 mb 이슬점의 지역변화와 평균 100년-24시간 확률강우량 등이 크게 바뀌지 않았다면, 2000년 이후 발생한 주요호우에 의한 PMP는 수분최대화비를 산정할 때 이용되는 대표 12시간 지속 1000mb 이슬점과 호우의 발생시기에 따라 결정되는 최대 12시간 지속 1000mb 이슬점으로 결정될 수 있다. 대표 12시간 지속 1000 mb 이슬점은 호우지대와 수분공급원과의 관계에 의해 결정되며, 이를 위해서는 호우발생 전의 이슬점 관측치가 필요하다. 시기별 최대 12시간 지속 1000 mb 이슬점의 지역변화가 1999년까지의 분석결과와 동일하다면 최대 12시간 지속 1000 mb 이슬점은 호우의 발생시기만으로 결정될 수 있고, 이 값은 수평전이비와 수직전이비에 영향을 준다. 일반적으로 최대 12시간 지속 1000 mb 이슬점은 7월 말과 8월 초에 최대가 되므로 9월 중순에 발생한 태풍 매미에 의한 전이비는 2002년 8월 4일 ~ 7일 20시와 8월 말에 발생한 태풍 루사의 전이비보다 상대적으로 작을 것이다. 또한 최대 12시간 지속 1000 mb 이슬점과 대표 12시간 지속 1000 mb 이슬점의 비로 결정되는 수분최대화비는 대표 이슬점에 대한 분석이 이루어지지 않아 뭐라 단정할 수는 없으나, 대략 1.2~1.8 정도의 값을 갖는다. PMP 산정시 영향이 제일 큰 수분최대화비를 알 수 없음에도 불구하고, 그림 8에 제시된 바와 같이 태풍 루사가 최대 DAD에 영향을 주었을 가능성이 크므로, 기 작성된 PMP(건교부, 2000a)의 수정은 불가피한 것으로 판단된다. 태풍 루사에 의해 면적규모가 2,000 km² 이하이고, 지속기간 18시간과 24시간에 대한 PMP가 변한다면, 추정된 PMP의 일관성 유지를 위해 수행되는 포락과정에서 지속기간 18시간과 24시간 전·후의 PMP 값에 큰 영향을 미칠 수 있고, 이로부터 포락된 PMP-DAD의 형태가 크게 변할 가능성이 있다.

5. 요약 및 결론

2000년 이후 우리나라에서 발생한 호우 중 전국적 규모의 2002년 8월 중순호우와 태풍 루사, 2003년의 태풍 매미에 의한 호우에 대하여 DAD 분석을 수행하였으며, 이로부터 얻어진 결과를 1969~1999년까지의 최대 DAD와 비교하였다. 이로부터 태풍 루사는 유역규모 2,000km² 이하이고, 지속기간이 18시간과 24시간인 경우의 PMP에 영향을 주었을 가능성이 크고, 2002년 8월 4일~8월 7일 20시 호우와 태풍 매미 역시 1999년까지의 최대 DAD에 근접하거나 초과하는 경향이 있으므로 기 작성된 PMP를(건교부, 2000a)를 재검토할 필요가 있다.

참고문헌

1. 건설교통부(2000a). 수자원관리기법개발연구조사 보고서 : 제2권 한국가능최대강수량 추정
2. 건설교통부(2000b). 수자원관리기법개발연구조사 보고서 : 제2권의 별책 2권 한국의 주요호우
3. 김남원, 김창원, 우효섭(2002). 태풍 루사(Rusa)의 강우 특성과 홍수피해 특성, 2002년도 대한토목학회 정기 학술대회 발표 논문집, pp. 15-22.
4. 김남원, 원유승(2002). 2002년 8월 호우의 특성, 2002년도 대한토목학회 정기 학술대회 발표 논문집, pp. 128-131.