

'96년 7월 한탄강유역 집중호우의 특성 분석

Hydrometeorological Characteristics of the Heavy Storm of July, 1996 in the Hantan Basin

윤 용 남* · 김 재 형**

Yoon, Yong Nam · Kim, Jae Hyung

Abstract

The heavy storm of July 26-28, 1996, which occurred over the Northern Kyungi Province and Western Kangwon Province, is analyzed to investigate the hydrometeorological characteristics and frequency of occurrences of the storm. The study region is limited to the watershed area of Hantan River on which the partially destructed Yeonchon Dam is located. Hourly rainfall data at 21 rain gauging stations in and near the Hantan river basin are collected and the cumulative rainfall mass curves constructed and compared each other to judge the credibility and consistency of rainfall data at nearby stations. In order to analyze the spatially moving characteristics of rain storm the isochrones based on real time are constructed using the several fixed-percentage cumulative rainfalls at the stations. The basin average rainfalls of various durations are computed for Yeonchon dam and the return period of July/1996 storm are evaluated based on the rainfall frequency curves at Cheolwon and Yeonchon rain gauging stations. A comparison is also made between the July/1996 storm and PMP of the region, which demonstrated the severity of the heavy storm.

요 지

1996년 7월 26일~28일에 걸쳐 경기북부 및 강원영서 지방에 내린 기록적인 집중호우를 대상으로 연천댐 붕괴의 원인이 된 한탄강유역 호우의 수문기상학적 규모와 발생특성을 분석하였다. 한탄강유역 및 인근에 위치한 21개 우량관측소의 시간 우량자료를 수집하여 지점별, 지속시간별 누가우량곡선을 작성·비교함으로써 자료의 일관성과 적용가능성을 검토하였으며, 지점별 백분율누가우량의 발생 동시간선도를 작성함으로써 호우의 공간적 이동특성을 분석하였다. 또한, 연천댐유역에 내린 지속시간별 유역 평균 연속강우량을 철원 및 연천우량관측소의 빈도우량과 비교하였을 뿐 아니라, 이 지역의 지속시간별 가능최대강수량(PMP)과도 비교함으로써 '96년 7월 호우가 이 지역에서는 기왕 최대기록 호우임을 입증하였다.

Keywords : frequency of occurrence, hydrometeorological characteristics, isochrone, PMP

* 고려대학교 공과대학 토목환경공학과 교수

** 고려대학교 대학원 토목환경공학과 박사과정

1. 서 론

1996년 7월 26일부터 28일 오전까지 경기 북부지역과 강원 영서지역에 내린 집중호우시 철원, 연천, 적성 지역에서는 하루에 최대 400mm 이상, 3일 동안에 700mm정도의 비가 쏟아져 1995년 8월 중부지방 대홍수시의 최대 일강수량 362mm(우효섭 등, 1996a)를 훨씬 초과하는 전대미문의 집중폭우를 기록했다. 이와 같은 집중호우가 발생된 임진강유역은 6.25동란 이후 '집적지역'으로 인한 전반적인 치수방재 대책이 소홀하였으며, 수문자료 정보의 체계적인 확보에 의한 홍수에 경보체계가 구축되지 않았고 재해관리시스템이 미흡하여 홍수피해가 가중되었던 것으로 보인다.(우효섭 등, 1996b; 윤용남 등, 1996) 본 연구에서는 막대한 홍수피해를 야기했던 '96년 7월 집중호우의 수문기상학적 규모를 규명하고, 호우의 공간적 분포와 이동 특성이 유역의 지형학적 인자와 결합되어 홍수피해에 미치는 영향을 파악하기 위하여 홍수피해 우심 지역인 경기도 연천군, 포천군, 양주군 및 동두천시와 강원도 철원군을 포함하는 한탄강 유역을 중심으로 기상상황의 파악, 강우자료의 수집 및 적용가능성 분석, 지점별 강우량 분석 및 공간적 이동 특성 분석, 빈도 추정, 가능최대강수량 산정 및 비교 분석 등을 실시하였다.

2. 7월 26일~28일의 기상상황

기압계의 흐름을 살펴보면 우리 나라는 7월 24일부터 북태평양 고기압의 가장자리에 놓이게 되어 대기가 불안정한 상태가 되었고, 수증기를 포함한 남서풍이 계속 반도로 유입되어 광범위한 지역에 강한 소나기구름이 계속 생성됨으로써 천둥과 번개를 동반한 소나기 현상이 나타났었다. 한편, 북위 40° 부근에서는 열의 남북수송이 활발한 "남북류형"이 오랜 시간 지속되었고, 이로 인해 우리 나라 북쪽에는 정체성이 강한 찬 저기압이 계속 유지되었으며, 우리 나라 상공에는 찬 공기가 머물게 되어 소나기구름이 발달할 수 있는 불안정한 상태가 계속되었다. 전국적인 날씨형태를 보면, 남부지방은 대체로 맑고 낮 기온이 35°C 내외의 무더운 날씨를 보였으며, 중부지방은 구름이 많이 끼고 간간히 강우현상을 보였다. 기상위성으로 본 구름사진에서는 웅진반도와 원산을 연결하는 축으로 휴전선 북쪽에 있던 소나기구름들이 7월 25일 16시부터 점차 남하하여 23시경부터는 강화지방을 시작으로 경기 북부지방으로 동진하였다. 개성과 통천지방을 잇는 북한의 남부지방에 형

성되어 있던 소나기구름들이 7월 26일 오전 8시부터 남하하여 경기북부 일원과 강원 영서지방을 중심으로 계속 발달과 쇠약을 거듭하였으며 7월 28일 오전 8시부터 11시까지 경기북부 및 강원 영서지방을 통과하면서 점차 약화되었다. 기상청의 '96년 7월 26일 09시 지상일기도에서는 한·중 국경 부근에 장마전선이 보이며, 우리 나라는 북태평양 고기압의 연변에 위치하며 아열대 지역에 태풍 클로리아와 허브가 좌우로 나타나 있음을 볼 수 있다. 따라서, '96년 7월 경기 북부 및 강원 영서지방의 집중호우현상은 고온 다습한 북태평양 고기압의 연변에서 대기의 불안정으로 강한 소나성 강우대가 형성되었으며, 서해상의 수증기 유입에 의한 강우시스템이 발달되었고 우리 나라 상공에 찬 공기가 머물러 강한 대류운동을 유발시킬 수 있는 조건이 형성되어 좁은 지역에 강한 비구름대가 정체되면서 계속 발달하였기 때문에 3일간에 걸친 대규모 집중호우가 발생되었다고 할 수 있겠다(윤석환, 1996). 또한 아열대 태평양에서 접근했던 태풍의 영향으로 북태평양 고기압이 동쪽으로 약화되고 이 결과 북상했던 장마전선의 갑작스런 남하로 경기 북부의 강우대가 형성되었을 가능성도 있다고 할 수 있겠다.

3. 강우자료 수집 및 자료의 적용 가능성 분석

3.1 강우자료의 수집

본 연구분석에 적용한 강우량 자료는 그림 1에 나타

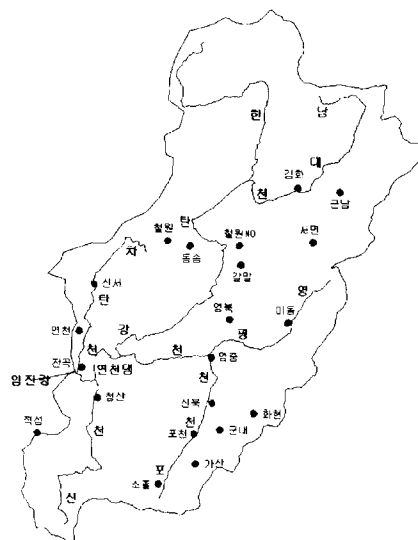


그림 1. 우량관측소 위치평면도

넌 바와 같은 철원기상대, 한국건설기술연구원 시험구역의 적성우량관측소 및 19개 지점의 내무부 산하 우량 관측소 등 21개 지점의 실측자료이다. 이중 신서, 청산, 전곡지점은 일부 시간구간이 결측된 바 있으나 본 연구 대상구역의 전반적인 우량관측소 밀도를 고려하여 본 분석대상에 포함시켰으며, 이들 관측소의 강우량 누가백분을 분포가 인접한 연천지점의 분포와 거의 동일하였음을 감안하여 결측 시간구간의 연천지점 강우분포형을 적용하여 보완한 후 본 연구 분석에 적용하였다.

강우량의 점빈도분석을 위한 지속시간별 연최대강우량 계열 자료는 표 2와 같이 장기간 자료를 보유하고 있는 철원과 연천지점의 1915~1996년 기간 중 관측기록이 있는 강우량 자료(건설교통부, 1995)를 적용하였다.

3.2 자료의 적용가능성 분석

기상청 및 한국건설기술연구원 시험구역의 강우자료는 전문기관에 의해 수집된 자료로 공신력이 큰 반면 내무부 산하 우량관측소의 자료들은 전문기관이 아닌 지방행정관서로부터 수집된 자료로서 이들 자료의 적용여부를 판단하기 위하여 적용가능성 분석을 실시하였다. 이를 위하여 구역내의 등우선도를 그림 2와 같이 작성하였고, 시간별 누가강우량 곡선과 시간별 누가강우

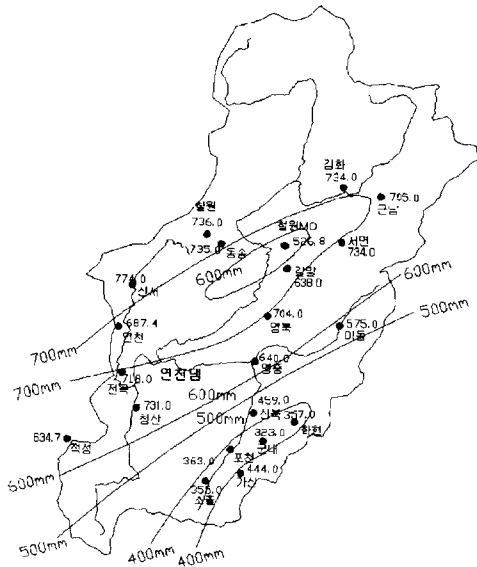


그림 2. '96.7.26 ~ 7.28일 강우의 등우선도

량의 백분율 곡선을 그림 3과 그림 4와 같이 작도하여 전문기관에 의한 자료들과의 유사성을 검토하였으며, 전술한 강우량 자료를 이용하여 연구했던 문헌들에 한 조사를 병행하였다.

그림 2의 등우선도를 보면 연천댐 지점에서의 구역면적이 1,865km²의 소유역임에도 불구하고 북쪽으로 갈수록 지점 강우량이 커지는 일정한 성향을 보이는 등 상당히 합리적인 결과를 보여주고 있으며, 그림 4의 철원군 지역 누가강우량 백분율곡선을 살펴보면 강우의 시간분포가 철원기상대의 자료와 거의 일치하고 있고, 또한 연천군 지역의 누가강우량 백분율곡선도 인접 4개지점의 분포와 대략 일치하고 있음을 볼 수 있어 각 지역별, 시간별 강우분포가 거의 동일한 형태로 발생하였음을 알 수 있다. 철원기상대의 강우량이 내무부 관측소들에 비해 약 200mm 정도 적은 강우량을 기록하였으나 그림 2에서 보는 바와 같이 철원기상대에 가장 인접한 갈말관측소는 영북과 철원기상대의 사이에 위치하며, 그 강우량은 638mm를 기록하여 영북 및 서면관측소의 강우량과 철원기상대 강우량의 중간 정도로 철원기상대 인근에서 국지적인 강우량의 과소현상이 발생했던 것으로 사료된다.

한편, 윤용남 등(1996)의 연구에서도 본 연구와 동일한 강우량자료를 이용하여 연천댐 지점에서의 홍수량을 산정한 바 있으며 이 홍수량을 적용하여 하류부 전곡수위표 지점까지의 하도추적을 실시하여 검정해본 결과 실측 수위에 상당히 접근하는 결과를 도출하여 강우량 자료의 전반적인 타당성을 입증한 바 있다. 따라서, 내무부 산하 우량관측소 각각의 지점강우량의 신뢰성을 정확하게 확인할 수는 없으나, 구역전반에 대한 강우자료의 적용가능성은 충분하다고 판단된다.

다만, 포천지방의 누가강우량 백분율곡선이 지점별로 상당히 편차를 보이고 있으나, 관측지점의 위도 분포 편차가 크며 전체적으로 북쪽에서 남쪽으로 누가강우량 분포가 작아지며, 금회의 강우를 야기시켰던 소나기구름의 가장자리에 위치하고 있다는 점을 감안하면 포천지방의 관측소별 자료도 전반적으로 적용성이 있는 것으로 판단되었다.

4. 지점별 강우량 분석

4.1 지점별, 지속시간별 누가강우량 분석

'96년 7월말 경기북부지역에 발생한 집중호우는 26일 새벽에 시작하여 28일 오전까지 거의 계속되었는 바,

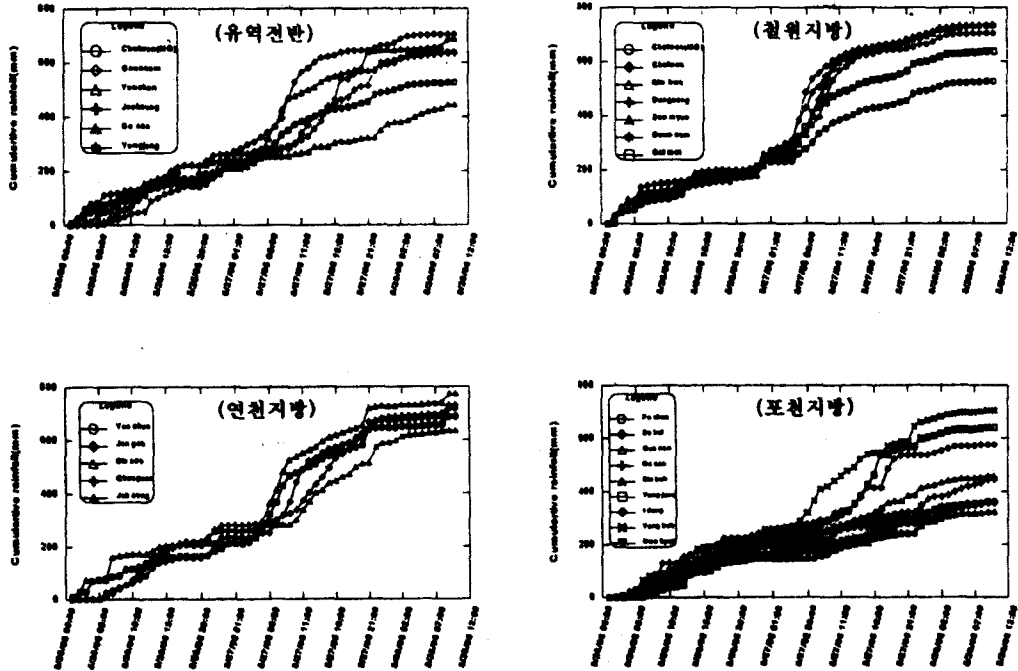


그림 3. 시간별 누가강우량 곡선

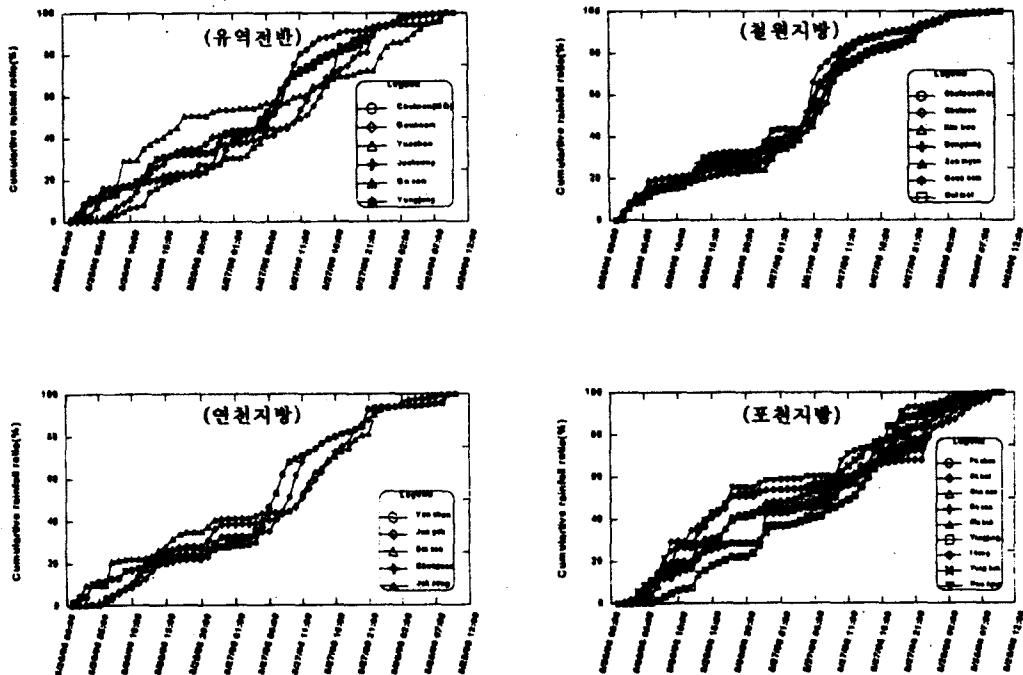


그림 4. 시간별 누가강우량 백분율 곡선

표 1. 지점별 강우량 현황

(단위:mm)

지점별	26일	27일		28일		연평균강수량에 대한비율(%)			비 고
		당일	누계	당일	누계	1일 최대	2일 최대	3일 최대	
철원MO	224.7	268.1	492.8	34.0	526.8	21	39	41	연평균 강수량은 우리나라 평균치인 1,274.4mm 를 적용
철원	236.0	468.0	704.0	32.0	736.0	37	55	58	
김화	214.0	490.0	704.0	30.0	734.0	38	55	58	
동송	232.0	470.0	702.0	33.0	735.0	37	55	58	
서면	259.0	435.0	694.0	40.0	734.0	34	54	58	
근남	244.0	420.0	664.0	41.0	705.0	33	52	55	
갈말	242.0	359.0	601.0	37.0	638.0	28	47	50	
연천	210.0	436.0	646.0	41.4	687.4	34	51	54	
전곡	234.0	440.0	674.0	44.0	718.0	35	53	56	
신서	214.0	514.0	728.0	46.0	774.0	40	57	61	
청산	280.0	407.0	687.0	44.0	731.0	32	54	57	
적성	262.8	328.5	591.3	43.4	634.7	26	46	50	
포천	161.0	158.0	319.0	43.0	362.0	13	25	28	
소흘	191.0	106.0	297.0	58.0	355.0	15	23	28	
군내	148.0	138.0	286.0	37.0	323.0	12	22	25	
가산	239.0	133.0	372.0	72.0	444.0	19	29	35	
신북	223.0	198.0	421.0	38.0	459.0	17	33	36	
영중	236.0	368.0	604.0	36.0	640.0	29	47	50	
이동	245.0	293.0	538.0	37.0	575.0	23	42	45	
영북	257.0	410.0	667.0	37.0	704.0	32	52	55	
화현	208.0	112.0	320.0	37.0	357.0	16	25	28	
최고	280.0	514.0	728.0	72.0	774.0	40	57	61	
평균	226.7	331.0	557.7	41.0	598.7	26	44	47	
최저	161.0	106.0	286.0	30.0	323.0	12	22	25	

본 연구 대상구역의 21개소 우량관측소 강우량을 표 1에 나타내었다. 전술한 바와 같이 일부 기간 결측자료들을 연천지점의 강우분포를 기준으로 보완한 전곡, 신서, 청산 우량관측소 지점을 제외한다 하더라도 3일간의 호우기간동안 총 323~736mm의 강우량을 보이고 있다. 우선 일최대강우량을 고려해보면, 김화의 경우 우리나라 연평균 강수량의 38%인 490.0mm가 하루에 집중되었으며, 전체 21개 지점의 평균치는 연평균강수량의 26%를 기록하였고 일강우량이 400mm를 초과하는 지점이 10개소로 거의 절반을 차지하여 집중호우 규모를 짐작케 한다.

2일 연속 최대강우량은 철원, 김화가 704.0mm이고 연강우량의 절반정도인 600mm를 초과한 지점이 12개소로 유역의 절반 이상을 상회하고 있다. 1987년 7월 21일~22일 사이에 우리나라의 2일 연속 최대강우량을 기록했던 서천의 658.0mm(우효섭 등, 1996b)를 상회하는 지점 또한 9개소로 엄청난 규모를 보여주었다. 3일 연속 최대강우량은 철원(내무부)지점이 736.0mm로 가장 많은 강우량을 기록하였는데 연강우량의 58%가 단지 3일 동안 집중되었다. 전체적으로는 연강

우량의 1/2에 근접하는 47%가 3일 동안에 집중되었다.

표 2는 철원, 연천지역의 과거 연도별, 지속기간별 최대강우량 자료로서, 연천의 경우 이번 집중호우가 1925년(을축년) 대홍수 때보다 3일 연속강우량이 거의 200mm 정도 더 큰 강우량을 기록하였고, 철원의 경우도 2일 연속강우량의 경우 을축년 대홍수의 강우량을 초과하였다.

이번 한탄강 하류의 근남, 전곡수위표 지점에서의 최고 수위가 27일 19시경에 발생한 사실을 고려하면 이번 호우 지속기간 중에서 가장 큰 피해를 유발한 경우는 2일 연속강우였다고 볼 수 있으며, 26일~27일의 2일 연속강우량은 철원, 연천 모두 을축년 대홍수를 초과하고 있다. 그림 2는 표 1에 나타난 지점들의 26일~28일 사이의 총강우량을 기준으로 작성한 등우선도이며, 등우선도를 기준으로 한탄강 본류부와 차탄천의 거의 전 유역이 700mm등우선을 상회하고 있고, 영평천의 경우 대략 600mm의 등우선을 따르며, 포천천은 400~500mm의 등우선을, 신천은 500~600mm 등우선을 따르고 있어 지류별 홍수피해 상황을 개략적으로 짐작할 수 있다.

표 2. 철원, 연천지점 연도별 지속시간별 최대강우량 현황

(단위 : mm)

년 도	철 원			연 천			비 고
	1 일	2 일	3 일	1 일	2 일	3 일	
1915	74.9	95.5	139.1	-	-	-	* 1915~1941년 (연천, 철원) 자료는 건설부 자료임.
1916	73.0	117.0	121.9	-	-	-	
1917	230.0	310.0	311.5	205.0	220.0	227.0	
1918	94.5	136.0	136.0	110.0	170.8	170.8	
1919	101.0	105.0	111.0	127.3	128.3	128.3	
1920	126.0	189.0	213.5	108.0	124.8	155.3	
1921	107.0	152.7	173.7	60.6	90.3	108.7	
1922	154.0	246.0	279.0	133.5	244.9	275.4	
1923	115.0	131.0	145.5	132.9	152.6	163.6	
1924	228.0	282.0	310.1	130.0	211.8	237.8	
1925	283.0	488.1	638.1	240.6	377.3	490.8	
1926	103.1	151.7	181.7	105.4	138.5	166.2	
1927	211.0	223.2	282.1	118.3	218.3	270.0	
1928	73.5	131.5	156.2	99.0	140.8	175.1	
1929	169.3	170.3	181.3	166.3	199.0	209.7	
1930	193.5	233.7	241.9	155.5	184.3	195.8	
1931	180.5	204.9	232.1	196.6	203.1	252.7	
1932	161.2	185.5	197.4	126.0	142.2	183.0	
1933	88.7	116.0	126.0	107.0	187.5	196.7	
1934	112.0	123.8	130.0	116.0	118.1	118.1	
1935	162.1	240.1	284.1	140.0	258.0	258.0	
1936	99.0	144.0	191.3	108.0	142.8	188.4	
1937	147.2	183.0	183.0	118.5	153.2	168.2	
1938	75.5	94.5	121.3	77.6	84.8	104.2	
1939	73.0	90.0	90.0	80.5	99.0	99.0	
1940	191.1	269.0	339.4	183.0	265.3	324.8	
1941	163.0	168.8	168.8	148.0	153.5	153.5	
1976	-	-	-	125.2	-	-	* 1976~1996년(연천)은 연천 군청 자료임.
1977	-	-	-	109.4	-	-	
1978	-	-	-	173.1	-	-	* 1988~1996년(철원)은 기상청 자료임.
1979	-	-	-	244.5	-	-	
1980	-	-	-	110.8	-	-	
1981	-	-	-	175.4	-	-	
1982	-	-	-	193.1	-	-	
1983	-	-	-	107.2	-	-	
1984	-	-	-	138.6	-	-	
1985	-	-	-	137.0	-	-	
1986	-	-	-	91.0	-	-	
1987	-	-	-	97.0	-	-	
1988	177.0	207.5	222.2	158.0	-	-	
1989	110.4	153.8	154.6	137.2	-	-	
1990	149.7	282.9	320.2	167.0	-	-	
1991	161.6	169.4	191.0	149.1	-	-	
1992	102.0	109.4	109.4	97.2	-	-	
1993	82.3	116.0	116.0	61.0	-	-	
1994	114.1	114.1	114.1	77.0	-	-	
1995	143.4	160.9	216.8	-	-	-	
1996	268.1	492.8	527.2	436.0	646.0	687.4	

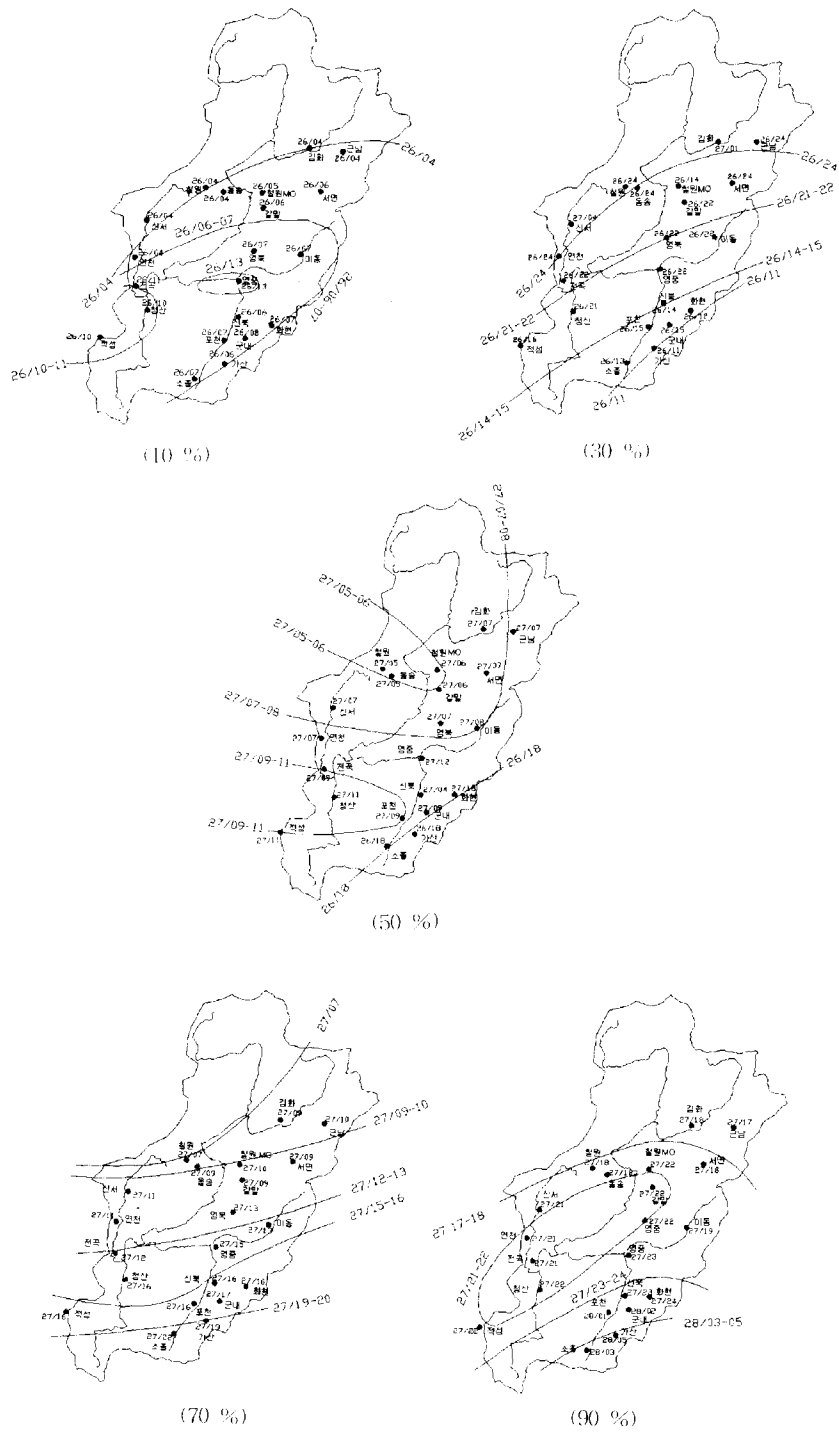


그림 5. 지점별 누기강우량의 10-90% 우량 발생 등시간선도

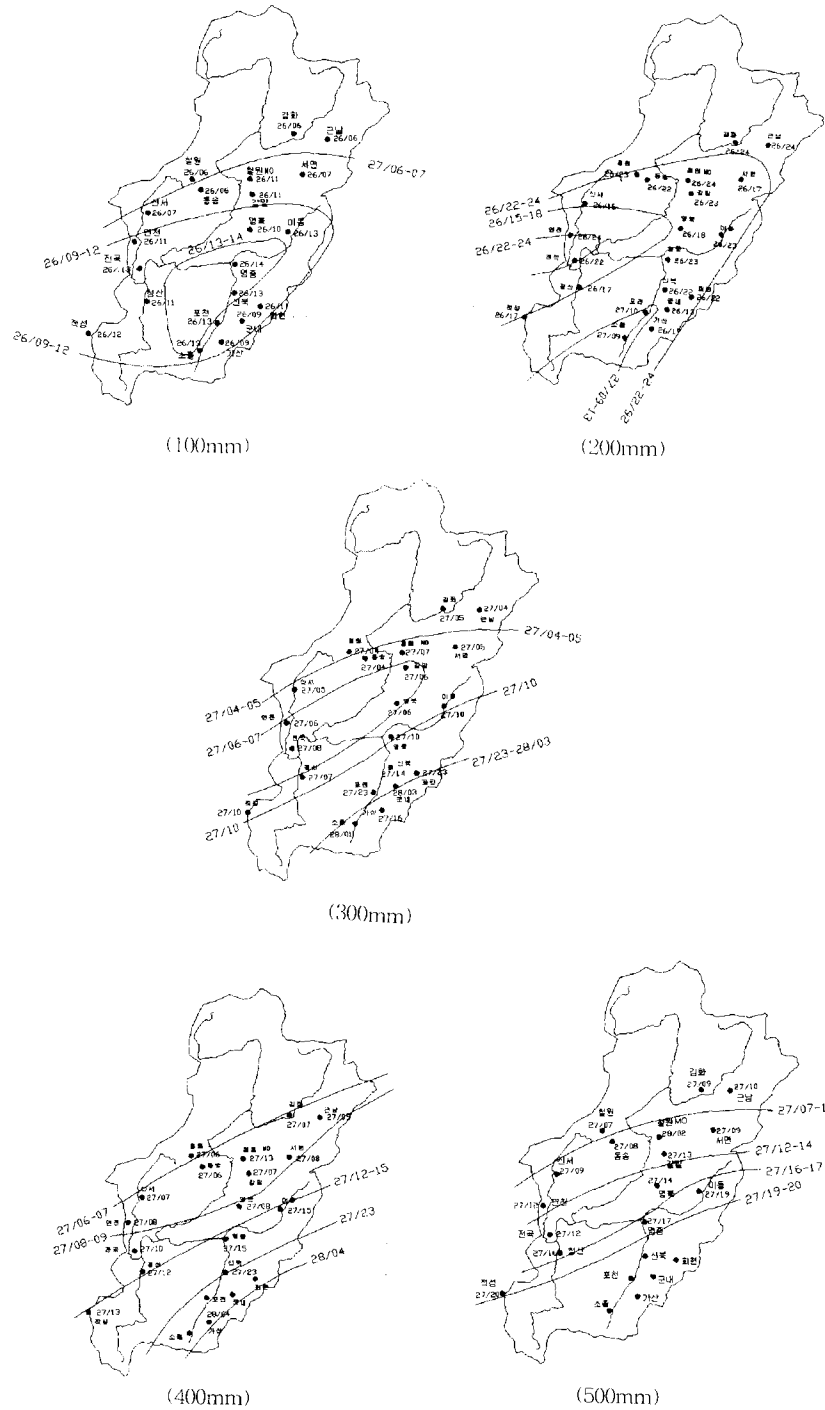


그림 6. 강우량 100~ 500mm 발생 등시간선도

4.2 지점별, 누가강우량별 발생시간 변화 및 집중호우의 공간적 이동 분석

지점별 누가강우량의 10~90% 강우량이 발생한 시간과 100~500mm 누가강우량에 도달한 시간 자료를 이용하여 그림 5, 그림 6과 같이 누가강우량의 10~90%강우량 발생 등시간선도 및 100~500mm강우량 발생 등시간선도를 작도하였다. 지점별 누가강우량 발생시간 분포를 보면 강우 초기인 10%강우 및 100mm의 발생시간은 차탄천의 경우 유역 중·상류부인 신서, 연천이 26일 04시경이며 댐유역의 하류인 전곡에서의 발생시간은 26일 11시경으로 유역출구로부터 멀리 떨어진 상류로부터 점차 하류로 강우가 이동·발생하였음을 알 수 있으며, 연천댐 지점 유역의 경우 유역의 최북단인 철원, 근남, 동송, 김화 등에서의 발생시간은 26일 04시경, 유역 중류부인 근내, 소흘, 가산 등에서의 발생시간은 26일 06시경이며 유역출구에 위치하는 청산, 전곡 등에서는 26일 10시~11시경에 발생되었음을 알 수 있으며, 강우초기의 강우의 개략적인 진행 방향은 유역의 상류부와 중류부에서 시작하여 유역출구쪽의 방향으로 이동하였음을 또한 알 수 있다. 즉, 강우가 유역의 상류부로부터 유역출구 방향으로 이동하면서 발생함에 따라 유하하는 홍수와 방향이 일치되어 초기의 홍수를 가중시켰을 것으로 판단된다. 이번 강우 발생기간의 중반기 이후인 50% 및 300mm강우의 발생 시간을 보면 북쪽에서 남쪽으로 거의 일정한 간격으로 이동하고 있다. 즉, 유역의 상류인 철원지역과 유역 출구인 연천댐지점(전곡, 영중지점 참조)과 대략 3~6시간 정도의 차이를 유지하면서 발생하였다. 따라서 상대적으로 많은 강우량을 보인 유역 상류의 철원지방과 유역출구의 강우 발생시간이 3~6시간의 차이를 두고 있으며,

홍수의 유하시간과 강우의 남진이 중첩되는 효과를 보여 홍수를 가중시켰던 것으로 판단된다. 특히, 최고의 강우량이 집중되었던 철원지방의 경우 평야지대로 하상경사가 완만(건설교통부, 1995)하여 유달시간이 4~5시간으로 이번 강우 발생시간 방향의 간격과 거의 비슷하여 홍수를 가중시켰던 또 하나의 요인으로 볼 수 있겠다. 따라서, 금번 홍수의 경우 강우초기의 강우발생 시간 분포, 북쪽에서 남쪽방향으로 3~6시간의 간격을 두고 발생한 전반적 강우시간 분포, 최대의 강우가 집중되었던 철원지방의 지형적인 완만함과 이에 따른 유달시간의 지체가 을축년을 상회하는 막대한 강우량과 조합되어 최악의 홍수피해를 유발시킨 것으로 추측된다.

5. 지속시간별 유역평균 연속강우량의 빈도 추정

5.1 지속시간별 지점강우량의 빈도 추정

'96. 7. 26~7. 28일 3일간의 강우량과 과거 강우량의 기록을 이용하여 1일, 2일, 3일 연속 최대강우량에 대한 빈도분석을 전술한 바와 같이 철원, 연천 지점에 대하여 실시하였으며, 이들 두 지점에 대한 과거지속시간별 최대강우량 자료는 표 2에 수록한 바 있다.

연최대치 강우계열 빈도분석에 적합한 것으로 잘 알려진 2변수 대수정규분포, 3변수 대수정규분포, 제1형 극치분포, 3변수 Gamma분포 등 4가지 분포형을 선정(건설부, 1993a; 윤용남, 1994)한 후 유의수준 5%(신뢰도 95%)를 기준으로 Kolmogorov-Smirnov 검정을 실시하였으며 그 결과 2변수 대수정규분포가 가장 적합한 것으로 판단되었다. 2변수 대수정규분포형을 적용하여 빈도분석을 실시한 결과는 표 3에 나타내었으며 철원의 경우는 1일 강우의 경우 약 30년 빈도, 2일 강우는 약 200년 빈도, 3일 강우는 약 90년의 빈도를 각각 보였으며, 연천의 경우는 1일 강우는 약 2,000년 빈

표 3. 지속시간별 확률 강우량

(단위:mm)

빈 도 (yr)	철 원			연 천			비 고 ('96.7 강우)
	1일	2일	3일	1일	2일	3일	
10	214.9	293.0	336.1	206.7	303.3	344.9	
30	265.4	369.3	428.7	252.6	384.7	439.2	철원1일(268.1)
50	288.7	404.9	472.3	273.6	422.9	483.5	
90	315.6	446.3	523.2	297.6	467.4	535.4	철원3일(527.2)
100	320.4	453.8	532.5	302.0	475.5	544.8	
200	352.5	503.8	594.3	330.5	529.3	607.4	철원2일(492.8)
500	395.7	571.7	678.9	368.8	602.8	693.6	연천2일(610.0), 연천3일(687.4)
1,000	429.1	624.8	745.3	398.3	660.4	761.0	
2,000	463.2	679.4	814.0	428.3	719.8	830.7	연천1일(436.0)
3,000	483.6	712.2	855.3	446.1	755.4	872.5	

도, 2일 강우 및 3일 강우는 약 500년 정도의 빈도를 각각 나타내어 지점별, 강우 지속시간별로 상당히 큰 편차를 보였다. 그러나 이들 지속시간 중에서 본 유역에 대해 가장 극심한 홍수를 유발한 지속시간 강우는 전술한 바와 같이 2일 연속강우로서 대체적으로 200년~500년 정도의 빈도를 보여주고 있으며, 그 피해정도를 개략적으로나마 짐작할 수 있게 해준다.

5.2 지속시간별 유역평균 강우량의 빈도 추정

유역의 여러 지점별 과거 강우량자료가 풍부할 경우 관측점-기록년 방법(station-year method) 등에 의한 지역빈도해석(윤용남, 1994; Viessman 등, 1977)을 실시하여 유역의 지속시간별 강우량의 빈도를 결정할 수 있다. 그러나 본 유역의 경우 표 2에 나타낸 바 있는 철원, 연천의 강우량 자료와 김화(17~44, 28개년), 동송(68~94, 27개년), 포천(28~45, 79~94, 34개년)의 강우량 기록이 있으나(건설교통부, 1995) 다른 관측점에 비해 짧은 관측 기록을 가진 관측점의 자료를 보완하기 어렵고 철원, 김화 지방은 평야지대이나 기타 지역은 대부분 산악구릉으로 구성되어(건설교통부, 1995) 지형학적 동질성 가정이 어려울 것으로 생각되어 본 연구에서는 연천댐지점 유역에 대하여 이번 호우의 지속시간별 유역평균 연속강우량을 Thiessen법에

표 4. 지속시간별 유역평균 최대강우량 및 빈도

구 분	1 일	2 일	3 일
강우량(mm)	382.71	608.45	645.15
빈도(년)	철 원 400	900	330
	연 천 670	500	260

표 5. 연천댐유역 지속시간별 가능최대강우량과 '96호우의 비교

지속 시간 (hr)	가능최대 강우량 (mm)	'96.7.26 ~ 7.28 유역평균강우량(mm)	비율(%)
6	324	-	-
12	457	-	-
24	600	383	63.83
48	694	608	87.61
72	717	645	89.96

의해 산정한 후 그 결과를 철원, 연천지점의 점빈도분석 결과와 비교하여 간접적으로나마 지속시간별 유역평균 연속강우량의 빈도를 검토하였다. 즉, 철원, 연천지점의 지속시간별 빈도강우량을 확률지에 도시하여 지속시간별 대연속강우량의 빈도를 추정하였으며 그 결과는 표 4에 나타낸 바와 같다. 표 4에 나타낸 바와 같이 1일 유역평균 최대연속강우량을 철원, 연천지점에서의 강우량 빈도 곡선에 적용시킨 결과는 각각 400년, 670년 빈도를 나타냈으며, 2일 유역평균 최대연속강우량의 경우는 철원지점에서 900년 빈도, 연천지점에서 500년의 빈도를 보이며, 3일 유역평균 최대연속강우량은 철원지점에서 330년, 연천지점에서 260년의 빈도를 보여 그 결과가 상당히 불규칙함을 알 수 있으며, 전반적으로 철원, 연천지점의 점빈도 해석에 의해 계산된 빈도를 상회하고 있다.

5.3 가능최대강우량의 비교 분석

연천댐 유역의 가능최대강우량(PMP) 산정(건설부, 1993a ; 건설부, 1993b)은 1988년 12월 건설부에서

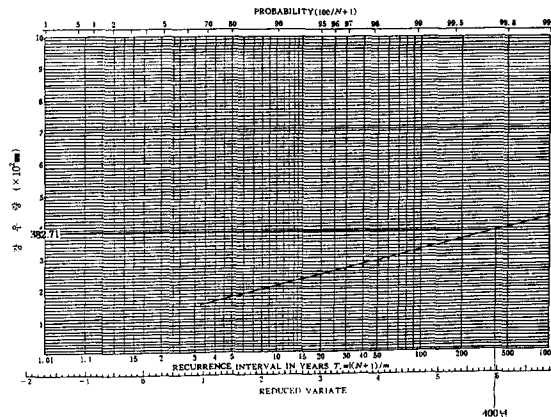


그림 7. 철원 1일 연속강우량의 확률지상 도시

발간한 바 있는 한국가능최대강수량도(건설부, 1988)를 참조하여 면적 1,000km², 3,000km², 7,000km², 10,000km²의 지속시간 6시간, 12시간, 24시간, 48시간, 72시간 각각에 대한 PMP도를 사용하였으며, 그 결과는 표 5에 나타내었으며 '96년 7월의 집중호우와 비교하였다.

표 5에서 보는 바와 같이 연천댐 유역의 지속기간별 PMP를 '96.7.26~7.28일에 내린 지속기간 1, 2, 3일 인 유역평균 연속최대우량(표 4)과 비교해보면 1일, 2일과 3일 연속최대우량은 PMP의 약 64~90%에 달하는 엄청난 강우량을 알 수 있다.

6. 결 론

1996년 7월 26일부터 28일 까지 3일에 걸쳐 경기 북부지역에 내린 집중호우의 특성을 분석하기 위하여 수집된 강우량 자료의 적용가능성 분석, 지점별·지속시간별 누가강우량 분석, 지점별·누가강우량별 발생시간 변화 분석 및 집중호우의 공간적 이동 분석, 지속시간별 유역 평균강우량의 빈도 추정 및 가능최대강수량과의 비교분석 등을 실시하였으며 분석을 통해 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 내무부 산하 19개 우량관측소 강우량 자료의 적용가능성 분석을 실시한 결과 등우선도의 누가강우량 분포가 북쪽으로 갈수록 커지는 일정한 경향을 보이며, 누가강우량 백분율 곡선이 전문기관 관측 강우량의 분포와 거의 일치하고 있다. 또한 누가강우량의 10%~90% 우량 발생 등시간선도 및 100~500mm 강우량 발생 등시간선도 또한 일관성 있는 결과를 보여주고 있으며, 전술한 바와 같은 문헌조사 등의 결과로 미루어 각 지점별 강우량 자료의 신뢰도는 확인이 불가능하지만 유역 전반적인 적용가능성은 충분할 것으로 판단되었다.

(2) 본 분석에서 적용한 19개소의 우량관측소 자료중 철원(내무부 산하) 지점에서 736.0mm로 가장 많은 강우량을 기록하였고 유역 전체적으로 3일 동안 우리나라 연평균강수량의 47%가 집중되었다. 이와 같이 올해를 상회하는 막대한 양의 강우와 강우 초기의 강우 발생시간 분포, 북쪽에서 남쪽방향으로 3~6시간의 간격을 두고 발생한 전반적 강우시간 분포, 최대의 강우가 집중되었던 철원지방의 지형적인 완만함과 이에 따

른 유달시간의 지체가 조합되어 최악의 홍수피해를 유발시킨 것으로 추정된다.

(3) 이번 분석 대상인 '96.7.26.~7.28일 3일간의 강우량과 과거 강우량의 기록을 이용하여 1일, 2일, 3일 연속 최대강우량에 대한 빈도분석을 철원과 연천지점에 대하여 실시하였으며 이중 이번에 가장 극심한 홍수를 유발시킨 강우는 2일 연속강우로서 철원에서는 200년 빈도에 근접하였으며, 연천에서는 500년 빈도를 상회하였다.

(4) 연천댐 유역의 1, 2, 3일의 가능최대강수량을 산정한 결과 각각 600, 694, 717mm이었으며 '96.7.26~7.28일에 내린 지속시간 1, 2, 3일의 유역평균 최대우량은 가능최대강수량의 약 64~90%에 해당하는 엄청난 강우량으로 막대한 홍수피해를 유발시킨 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 건설교통부 (1995). 임진강 유역조사(1차)보고서. pp. 85-134.
- 건설부 (1993a). 댐 시설 기준. pp. 128-135.
- 건설부 (1993b). 하천 시설 기준. pp. 349-436.
- 건설부 (1988). 한국가능최대강수량도.
- 우효섭, 김양수, 이동률, 신현민, 김현준, 김원 (1996a). 1996년 7월 임진강유역 대홍수. 건기 연 96-020, 한국건설기술연구원.
- 우효섭 김양수, 이동률, 신현민, 김현준, 김원 (1996b). " '96년 7월 경기·강원 북부지역 홍수피해." 한국수자원학회지, 제29권, 제4호, pp. 50-56.
- 윤용남 (1994). 공업 수문학. 청문각, pp. 42-488.
- 윤용남, 김중훈, 이종태 (1996). 1996년 7월 경기 북부지역의 홍수상황 조사 분석. 연구보고서, 고려대학교 부설 방재과학기술연구소.
- 윤석환 (1996). "서울·경기 북부 및 강원 영서지방 집중호우." 한국수자원학회지, 제29권, 제4호, pp. 45-49.
- Viessman, Jr., W., Knapp, J.W., Lewis, G.L., and Harbaugh, T.E. (1977). *Introduction to Hydrology*. Harper & Row Publisher Inc., New York, pp. 30-42, 213-220.

<최종본 도착일 : 1997년 8월 1일>