설계홍수량 변화에 따른 4대강 살리기 사업 이후 하천 시설물 관리를 위한 고려 요소

맹승진
충북대학교 지역건설공학과 부교수
maeng@chungbuk.ac.kr

송기헌
한국농어촌공사 충북본부 괴산지사 팀장
songkey@ekr.or.kr

연규방
충청대학교 토목과 교수
gbyeon@ok.ac.kr

1. 서론

소방방재청의 발표 자료에 의하면 최근 10년간 자연재해 피해액이 17조원에 이르고 있으며 연간 1조원 이상의 홍수 피해발생 횟수가 1998년을 비롯하여 1999년, 2001년, 2002년, 2003년, 2004년, 2006년에 걸쳐 7회에 달하고 있다. 1998년 8월 경기북부지역의 홍수를 시작으로 전국에 걸친 호우피해와 1999년에 발생한 경기북부지역 홍수 및 2001년 낙동강 유역의 태풍 오사마이에 의한 피해도 매우 컸다.

특히 2002년 8월 31일 부터 9월 1일 사이에 우리나라를 통과한 태풍 루사의 영향으로 강릉지역에서 24시간 최고 870.5mm의 강우가 쏟아져 가능최대강우량(probability maximum precipitation, PMP) 수준의 강우량을 기록하며 사망 209명 실종 37명으로 합계 246명의 인명피해는 물론 5조 1,500여억원의 재산피해를 보게 되었고 복구비만도 무려 8조원 상당이 투입되었다.

이듬해인 2003년 9월 11일 남해안 지역으로 상륙하여 9월 13일 빠져 나간 태풍 매미에 의해 사망 및 실종 132명의 인명피해와 4조 2,225억원의 엄청난 재산피해를 가져왔고, 2006년 7월 14일에서 9월 21일 까지 약 3개월 동안에는 태풍 에위니아와 태풍 빌리스 및 산산의 영향으로 오래 동안 장마전선이 형성되었고 이 때 발생

한 강원지역의 집중호우는 62명의 인명손실과 약 1조 5,000억원의 홍수피해를 가져 왔다.

이상과 같이 역사상 10위권 내에 속한 대형 자연재해가 모두 최근 태풍에 의한 강수량 증가와 돌발성 집중호우의 내습으로 인하여 발생하였음을 알 수 있다(최홍식, 2008).

전술한 바와 같이 우리나라의 기상여건에 의해 거의 매년 발생하는 막대한 인명과 재산의 피해를 줄이기 위해 홍수의 항구적인 대책이 수립되어야 한다. 이를 위해 근본적으로 선행되어야 할 것은 용수공급을 위한 각종 댐 및 수리구조물의 설계지침인 적정 설계홍수량을 유도하는데 있다.

수리구조물의 설계를 위해 사용되는 설계홍수량은 크게 2가지로 구분된다. 하나는 가능최대홍수량(probability maximum flood, PMF)에 의한 설계이며, 다른 하나는 빈도별 홍수량에 의한 설계이다.

PMF에 의한 설계는 우리나라가 2002년 태풍 루사의 피해를 경험한 이후 저수지의 재해대비 설계기준에 반영하였다. 그러나 PMF를 적용하게 되면 사회적, 경제적으로 과다 설계될 가능성이 있다.

빈도별 홍수량을 유도할 때 관행의 방법은 관측시작 시부터 현재까지의 관측된 자료를 사용하여 통계 분석함이 통상적이었다. 그러나 이러한 방법의 큰 단점은 관측 기록년 이후에 기록된 수문량 보다 월등히 큰 수문량이 발생한다면 과거의 자료에 기초하여 추정한 설계홍수량의 신뢰성은 급격히 저감된다. 대표적인 예로서 2002년 태풍 루사의 내습으로 인해 강원도의 동막저수지와 장현저수지는 여수로 배제능력의 1.7~4.8배에 해당하는 홍수량을 감당치 못하고 붕괴되는 상황에 이르게 되었다.

이러한 점에 착안하여 본고에서는 우리나라 주요 수계의 19개 유역을 선정하고 관측된 유출량으로 연최대홍수량계열의 점진적 구성을 통해 유역에 따른 빈도별 홍수량을 추정하였다.

유역별로 연최대홍수량계열의 점진적 구성에 의한 자료는 선정된 적정분포와 L-모멘트법에 의해 설계홍수량을 산정한다. 산정된 설계홍수량은 변동률 분석에 의해 유역 및 재현기간별 변동특성을 파악하고 고찰한다.

이러한 과정을 거쳐 우리나라 기후 변화에 따른 적절한 수리구조물의 설계 조건 변경시기를 추정해 냄으로서 수리구조물의 설계기준 변경을 위한 기초자료를 제공하고자 함과 동시에 연최대홍수량의 발생에 대한 대안으로 사용하는 PMF를 적용하는 설계방법이 아닌 빈도분석에 의한 설계홍수량 추정에 관한 내용을 중심으로 분석하고 이에 따른 4대강 사업 이후의 하천 시설물 관리 방안을 위한 주요 요소를 제시하고자 한다.

2. 적용 이론

일반적으로 설계홍수량을 산정하기 위해 사용되는 분포는 10여 가지에 이르나 본고에서는 자연현상을 비교적 잘 모의할 수 있는 매개변수가 3개인 확률분포를 대상으로 하였다.

본고에서 우리나라의 주요 지점별 설계홍수량의 변동특성을 분석하기 위해 적용한 분포는 Gumbel(GUM), Pearson type 3(PT3), Generalized extreme value(GEV), Generalized logistic(GLO), Generalized pareto (GPA) 및 Generalized normal(GNO)이다. 적용분포 중에서 매개변수가 2개인 Gumbel 분포는 Generalized extreme value 분포 계열이기 때문에 적용분포에 포함하여 분석하기로 하였다.

적용되는 확률분포의 매개변수 추정법은 모멘트법,

최우법, 혼합모멘트법 등이 있으나 확률가중모멘트법의 선형조합으로 인해 편의가 제거된 모멘트를 구하는 방법인 L-모멘트법의 효용성이 검증되었다.

따라서 본고에서는 적용 분포의 매개변수를 L-모멘트법에 의해 산정하기로 한다.

3. 사용 수문자료

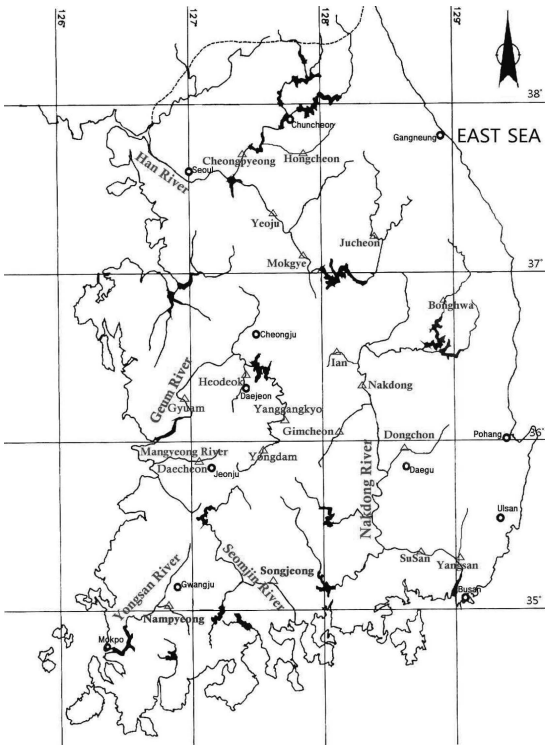

그림 1. 수위관측소 위치도

본고에서는 설계홍수량 변동 특성을 분석하기 위해 우리나라 전국을 대상으로 한강수계의 25개 유역, 낙동강수계의 46개 유역, 금강수계의 23개 유역, 섬진강수계의 8개 유역, 영산강수계의 8개 유역 및 기타수계 8개 유역으로 총 118 유역의 홍수량 자료를 사용하였다.

118개 유역에서 사용된 연최고수위와 수위-유량 곡선식은 국가수자원관리 종합정보시스템(http://wamis.go.kr)에서 제공하는 자료를 활용하여 연최대홍수량 계열을 구성하였다.

구성된 연최대홍수량 계열은 후술할 연최대홍수량 계열의 점진적 구성을 위한 시작년을 기준으로 1년씩 추가된 연최대홍수량 계열을 작성하여 독립성, 동질성 및 Outlier 검정을 통한 통계학적 분석여부를 판정하였다. 그 결과 최종적으로 그림 1과 같이 19개 유역이 선정되었다.

4. 결과 및 분석

4.1 강우량 변동 기준년 및 연최대홍수량 점진적 구성 시작년 설정

본고에서 L-모멘트법에 의한 설계홍수량 변동 특성을 분석하기 위해서는 연최대홍수량의 점진적 구성을 실시하여야 한다. 연최대 홍수량의 점진적 구성을 하기 위해 우선적으로 유출에 직접적인 영향을 미치는 강우량의 변동 기준년을 파악한다.

강우량 변동 기준년을 설정하는데 있어서는 우리나라에 영향을 미치는 태풍의 수와 관련이 있을 것으로 판단된다.

강우관측이 전국적으로 개시된 1961년부터 2004년까지의 연강우량을 3개년과 5개년에 걸친 이동평균법과 우기인 6월부터 9월까지의 누가강우량을 3개년과 5개년에 걸친 이동평균법에 의해 분석하여 우리나라 강우량의 변동 기준년을 설정하였다.

연강우량 및 3개년과 5개년 이동평균법에 의한 결과를 도시한 것은 그림 2와 같고 우기강우량 및 3개년과 5개년 우기 이동평균법에 의한 결과를 도시한 것은 그림 3과 같다.

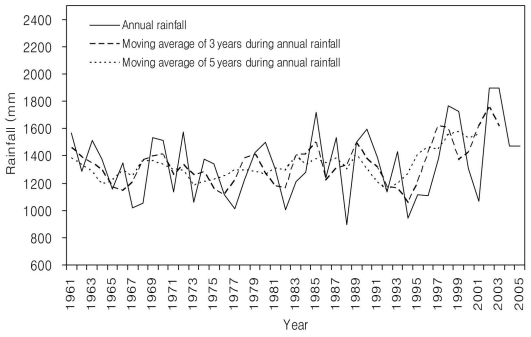

그림 2. 이동평균법에 의한 연강우량의 변동

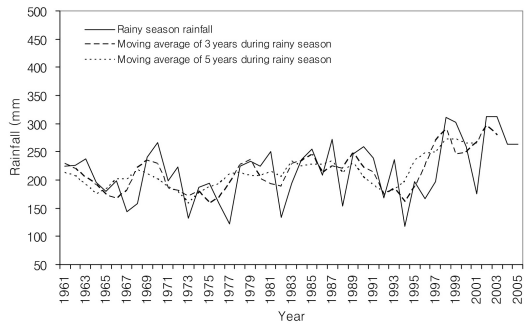

그림 3. 이동평균법에 의한 우기강우량의 변동

그림 2와 그림 3에서 보는바와 같이 최근 우리나라의 강우량 변동이 1994년을 기준으로 현저하게 증가하고 있는 것으로 나타남에 따라 강우량 변동 최초 기준년을 1994년으로 설정하였다.

따라서 본고에서는 대상유역별로 관측개시년도에서부터 1994년을 기준으로 1년씩 증가한 년도의 연최대홍수량에 대한 빈도분석을 실시한다. 그러나 1994년 이전의 설계홍수량 변동 특성을 반영하고 이에 대한 원활한 분석을 위해 타년에 비해 태풍의 영향을 비교적 많이 받기 시작한 1990년을 연최대홍수량 계열의 점진적 구성을 위한 분석 시작년(이하 '분석 시작년' 으로 칭함)으로 정한다.

19개 대상유역별로 관측개시년도 부터 분석 시작년인 1990년까지의 연최대홍수량 계열에 대한 빈도분석을 실시하고, 관측개시년도부터 1990년을 시작으로 점진적으로 매 1년씩 증가된 년도까지의 연최대홍수량에 대한 빈도분석을 실시하고자 한다.

4.2 사용수문자료의 기본통계치 분석

한강수계의 여주, 청평, 목계, 홍천, 주천, 낙동강수계의 수산, 낙동, 동촌, 봉화, 김천, 이안, 양산, 금강수계의 규암, 양강교, 용담, 회덕, 섬진강수계의 송정, 영산강수계의 남평, 만경강수계의 대천유역에 대한 기본통계치인 평균치, 표준편차, 왜곡도계수, 변동계수 및 첨예도를 각 유역별로 구하였다.

4.3 연최대홍수량 계열의 독립성, 동질성 및 Outlier 검정

본 분석에서는 전절에서 구성된 유역 및 분석기간별 연최대홍수량 계열의 통계학적 분석 여부를 판단하기 위해 독립성 및 동질성 검정을 각각 Wald-Wolfowitz 및 Mann-Whitney 방법에 실시한다. 또한 구성된 자료의 통계학적 분석을 실시하고자 할 때 극치자료를 포함하여 분석하면 결과가 왜곡될 가능성이 커지기 때문에 이를 방지하기 위한 방편으로 상한과 하한의 극치자료가 포함되었는지의 여부를 판단하는 Outlier 검정 방법인 Grubbs-Beck Test를 실시하였다.

분석 결과에서 대상유역 및 분석기간별로 구성된 연최대홍수량 계열의 독립성과 동질성이 모두 인정되었고 및 Outlier가 없음이 검정되었다.

4.4 L-모멘트비에 의한 L-변동계수, L-왜곡도 및

L-첨예도 산정

본고의 적용분포인 GUM, PT3, GEV, GLO, GPA 및 GNO 분포의 매개변수와 L-모멘트비도에 의한 적합도 검정을 위해서는 L-왜곡도 및 L-첨예도의 산정이 필요하다. 본 분석에서는 확률가중모멘트의 선형조합인 L-모멘트값을 유역 및 연최대홍수량 계열 구성 기간별로 구하고 L-모멘트값의 비인 L-왜곡도 및 L-첨예도를 구하였다.

4.5 적합도 검정

4.5.1 L-모멘트비도에 의한 방법

본고에서 선정된 대상유역들의 연최대홍수량 구성 기간별에 따른 적정 확률분포의 선정은 전절에서 산정된 L-모멘트비에 의해 L-모멘트비도를 도시함으로써 이루어질 수 있다.

따라서 본 분석에서는 사용된 GUM, PT3, GEV, GLO, GPA 및 GNO 분포의 L-왜곡도와 L-첨예도의 관계인 L-모멘트비도를 도시하고, 각 대상유역 및 구성 기간별 연최대홍수량에 대한 L-왜곡도와 L-첨예도를 구한다.

구해진 L-왜곡도는 축에, L-첨예도는 축에 플로팅하여 L-모멘트비도를 작성함으로써 이를 근거로 적정한 확률분포를 선정한다. 대상유역에 대한 구성 기간별 연최대홍수량의 L-모멘트비인 L-왜곡도와 L-첨예도를 구하였다.

대상유역 및 구성 기간별 연최대홍수량을 대상으로 산정된 L-모멘트비와 L-모멘트비의 평균값을 L-모멘트비도에 도시한 결과는 그림 4와 같다.

그림 4에 나타난 바와 같이 대상유역 및 구성 기간별 연최대홍수량을 L-왜곡도와 L-첨예도의 무차원 L-모멘트 플로팅 포지션점이 GEV 분포의 곡선 주변에 고루 산재해 있으며, L-모멘트비의 평균값에서 L-왜곡도의 평균값이 0.202로써 타 확률분포의 L-모멘트비 곡선보다 GEV 분포의 L-모멘트비 곡선에 보다 근접되어 있음을 볼 수 있다.

결론적으로, 대상유역 및 구성 기간별 연최대홍수량에 L-모멘트법을 적용하여 L-모멘트비를 플로팅한 결과 GEV 분포가 적정한 확률분포로 나타났다.

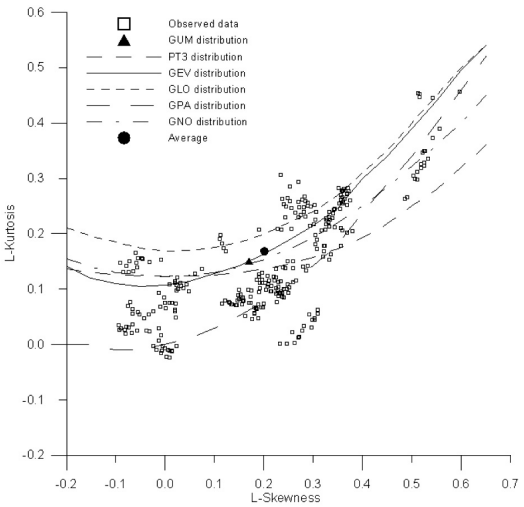

그림 4. L-모멘트비도

4.5.2 Kolmogorov-Smirnov 검정

유역 및 연최대홍수량 계열 구성 기간별로 L-모멘트법에 따른 6개 확률 분포에 대한 적합도 판정을 위해 전절에서 분석한 L-모멘트비도에 이어서 비매개변수 방법인 Kolmogorov-Smirnov(K-S) 검정을 이용하였다. 5% 유의수준에서 유역 및 연최대홍수량 계열 구성 기간별 연최대홍수량 자료가 GEV, GLO, GPA, GNO 및 PT3 분포를 따르는 것으로 인정되었다.

4.5.3 적합도 검정 결과에 의한 적정 분포 선정

2개의 적합도 검정인 L-모멘트비도에 의한 검정과 K-S 검정을 수행한 결과 적용된 6개 확률분포 중 GEV 분포가 타 확률분포에 비해 적정한 것으로 검정되었다.

이와 같은 사실에 비추어 양 방법에서 유일하게 적정 확률분포로 판정된 GEV 분포를 최종적으로 선정하였다.

4.6 L-모멘트법에 의한 GEV 분포의 매개변수 산정

본 분석에서는 적정 확률분포로 선정된 GEV 분포에 대한 유역 및 연최대홍수량 계열 구성 기간별 설계홍수량을 유도하기 위해 GEV 분포의 매개변수인 위치매개변수(), 척도매개변수() 및 형상매개변수()를 L-모멘트법에 의해 각각 추정하였다.

4.7 GEV 분포의 L-모멘트법에 따른 설계홍수량의 유도

본 분석에서는 적정 확률분포로 선정된 GEV 분포에 대한 유역 및 연최대홍수량 계열 구성 기간별 설계홍수량을 전절에서 추정된 매개변수에 의해 유도하였다.

표본 예로 한강수계의 홍천, 낙동강수계의 봉화, 금강수계의 용담에 대한 결과는 표 1~표 3과 같다.

표 1~표 3에서 보는 바와 같이 각 유역별로 연최대홍수량 계열의 구성 기간에 따른 설계홍수량은 재현기간별로 다소의 차이가 있으며 이러한 차이는 재현기간이 증가함에 따라 점차적으로 커지는 경향을 나타내었다.

농업용 저수지의 설계척도인 200년 빈도 홍수량은 한강수계의 홍천, 금강수계의 용담 및 만경강수계의 대천유역에서 연최대홍수량 계열의 구성 기간이 증가함에

표 1. 한강수계 홍천유역의 설계홍수량 산정 (단위 : ㎥/s)

관측기간	재현기간						
	2	5	10	20	50	100	200
1963-1990	814.05	1,593.70	2,433.15	3,616.99	5,990.46	8,706.85	12,608.86
1963-1991	838.27	1,637.05	2,483.39	3,661.66	5,989.21	8,615.87	12,342.96
1963-1992	870.51	1,699.95	2,560.23	3,737.54	6,017.94	8,543.71	12,069.71
1963-1993	844.60	1,658.61	2,505.22	3,666.41	5,921.35	8,425.00	11,927.54
1963-1994	819.14	1,620.35	2,455.05	3,601.43	5,831.04	8,310.19	11,782.88
1963-1995	867.77	1,733.59	2,612.29	3,794.03	6,037.77	8,476.11	11,824.13
1963-1996	848.85	1,687.97	2,547.33	3,711.47	5,940.26	8,381.62	11,756.99
1963-1997	830.06	1,643.89	2,484.73	3,631.89	5,846.06	8,290.24	11,692.35
1963-1998	810.43	1,603.33	2,428.26	3,559.99	5,758.36	8,199.88	11,616.32
1963-1999	818.29	1,606.01	2,420.33	3,531.78	5,678.09	8,048.48	11,349.23
1963-2000	800.56	1,568.57	2,367.94	3,464.98	5,596.80	7,965.28	11,280.58
1963-2001	787.17	1,533.56	2,316.21	3,396.71	5,510.77	7,874.81	11,202.68
1963-2002	826.17	1,626.09	2,445.96	3,557.32	5,686.63	8,020.66	11,249.61
1963-2003	833.65	1,629.37	2,439.94	3,533.27	5,616.23	7,887.18	11,014.17
1963-2004	875.30	1,725.26	2,571.31	3,691.57	5,781.11	8,013.65	11,034.16
1963-2005	855.60	1,690.03	2,525.45	3,636.81	5,720.81	7,958.80	11,000.10

표 2. 낙동강수계 봉화유역의 설계홍수량 산정 (단위 : ㎥/s)

관측기간	재현기간						
	2	5	10	20	50	100	200
1963–1990	566.14	890.92	1,120.72	1,352.89	1,671.49	1,924.37	2,189.04
1963–1991	549.38	874.38	1,107.01	1,344.19	1,673.01	1,936.63	2,214.93
1963–1992	533.28	859.32	1,094.43	1,335.52	1,671.95	1,943.39	2,231.53
1963–1993	535.67	855.62	1,084.95	1,319.00	1,643.87	1,904.62	2,180.16
1963–1994	520.94	842.86	1,074.27	1,310.99	1,640.41	1,905.47	2,186.19
1963–1995	528.20	846.34	1,071.34	1,298.59	1,610.34	1,857.68	2,116.49
1963–1996	516.49	830.75	1,057.18	1,289.25	1,612.87	1,873.81	2,150.64
1963–1997	520.26	829.64	1,050.48	1,275.15	1,585.86	1,834.37	2,096.17
1963–1998	535.22	849.04	1,067.66	1,285.88	1,581.26	1,812.57	2,051.89
1963–1999	550.41	883.81	1,118.97	1,355.98	1,680.32	1,937.06	2,205.15
1963–2000	554.71	883.65	1,113.44	1,343.32	1,655.24	1,900.11	2,153.99
1963–2001	552.03	875.86	1,103.09	1,331.18	1,641.89	1,886.74	2,141.42
1963–2002	548.20	933.00	1,251.87	1,616.74	2,193.10	2,717.87	3,335.96
1963–2003	564.63	970.15	1,306.25	1,690.91	2,298.63	2,852.04	3,503.96
1963–2004	557.98	956.78	1,289.66	1,672.77	2,281.87	2,839.96	3,500.89
1963–2005	556.83	949.05	1,276.81	1,654.37	2,255.27	2,806.39	3,459.64

표 3. 금강수계 용담유역의 설계홍수량 산정 (단위 : ㎥/s)

관측기간	재현기간						
	2	5	10	20	50	100	200
1963–1990	667.50	961.22	1,106.24	1,217.10	1,328.49	1,393.30	1,445.39
1963–1991	663.41	953.55	1,098.12	1,209.42	1,322.13	1,388.23	1,441.70
1963–1992	666.79	950.68	1,090.84	1,197.98	1,305.63	1,368.27	1,418.60
1963–1993	684.28	964.16	1,097.81	1,197.41	1,294.67	1,349.67	1,392.81
1963–1994	667.44	957.60	1,094.69	1,196.02	1,294.08	1,349.04	1,391.81
1963–1995	681.86	964.84	1,094.17	1,187.38	1,275.10	1,322.88	1,359.19
1963–1996	688.91	964.94	1,088.79	1,176.79	1,258.33	1,302.03	1,334.81
1963–1997	704.14	977.75	1,097.75	1,181.55	1,257.73	1,297.77	1,327.31
1963–1998	716.52	983.06	1,096.51	1,173.95	1,242.60	1,277.77	1,303.16
1963–1999	699.09	974.27	1,094.55	1,178.32	1,254.24	1,294.04	1,323.32
1963–2000	705.19	974.07	1,089.66	1,169.16	1,240.22	1,276.95	1,303.65
1963–2001	690.30	968.82	1,088.03	1,169.74	1,242.52	1,279.99	1,307.15
1963–2002	682.26	961.65	1,083.57	1,168.38	1,245.14	1,285.33	1,314.86
1963–2003	676.50	955.34	1,078.74	1,165.51	1,244.99	1,287.09	1,318.35
1963–2004	661.33	948.37	1,076.84	1,167.95	1,252.20	1,297.26	1,330.99

따라 감소하는 경향을 나타내었으며, 낙동강수계의 봉화, 섬진강수계의 송정, 영산강수계의 남평유역에서는 연최대홍수량 계열의 구성 기간이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 각 유역 및 연최대홍수량 계열의 구성 기간에 따라 극치의 연최대홍수량이 포함되었기 때문인 것으로 판단된다.

한강수계의 여주, 청평, 목계 및 주천유역, 금강수계의 규암, 양강교 및 회덕유역에 대한 200년 빈도 홍수량은 연최대홍수량 계열의 구성 기간이 점진적으로 증가함에 따라 감소하였다. 이는 관측개시년부터 분석 시작년을 기준으로 점진적으로 구성된 연최대홍수량 계열에서 극치의 연최대홍수량이 포함되지 않음을 의미한다.

낙동강수계의 수산, 낙동, 동천, 김천, 이안 및 양산유역에서는 분석 시작년을 기준으로 연최대홍수량 계열의 구성이 점진적으로 증가함에 따라 200년 빈도 홍수량이 증가하였다. 이러한 경향은 연최대홍수량 계열의 구성 기간에 따라 유역별로 극치의 연최대홍수량이 포함되었기 때문인 것으로 판단된다.

이상에서 나타난 바와 같이 우리나라는 수계별로 연최대홍수량 계열의 구성 기간이 변함에 따라 설계홍수량의 값이 증가하거나 감소하는 뚜렷한 변화를 보여주었다.

4.8 연최대홍수량 계열 구성 기간에 따른 설계홍수량 변동 특성

본 분석에서는 각 유역별로 연최대홍수량 계열의 구성 기간을 달리하여 L-모멘트법에 의해 산정된 빈도별 홍수량의 변화를 파악하고자 한다.

4.8.1 연최대홍수량 구성 기준년도를 중심으로 한 설계홍수량의 변동

각 유역별로 관측개시년도부터 1990년의 연최대홍수량 계열에 대한 빈도별 홍수량과 관측개시년도부터 1990년에서 1년씩 증가된 년도의 연최대홍수량 계열이 포함된 빈도별 홍수량간의 재현기간별 홍수량 변동 특성을 구할 수 있는 변동률 식 (1)에 의해 규명하고자 한다.

$$R_u = \frac{(Q_{y',t} - Q_{y,t})}{Q_{y,t}} \times 100 \quad (1)$$

여기에서 R_u는 변동률, $Q_{y,t}$는 관측개시년부터 분석 시작년까지의 연최대홍수량에 의해 산정된 재현기간 t년의 홍수량, $Q_{y',t}$는 관측개시년부터 분석 시작년을 중심으로 1년씩 증가한 분석년까지의 연최대홍수량에 의해 산정된 재현기간 t년의 홍수량이다.

변동률의 값이 양의 값이면 관측개시년부터 분석년까지의 연최대홍수량에 의해 산정된 재현기간 t년의 홍수량이 관측개시년부터 분석 시작년까지의 연최대홍수량에 의해 산정된 재현기간 t년의 홍수량보다 크다는 것을 의미하며, 음의 경우에는 반대로 작다는 것을 의미한다.

따라서 본 분석에서는 각 유역별로 연최대홍수량 계열의 구성 기간에 따른 변동률을 산정하였다. 표본 예로 한강수계의 홍천, 낙동강수계의 봉화, 금강수계의 용담유역에 대한 재현기간별 변동율의 결과는 그림 5~그림 7과 같다.

그림 5~그림 7에서 보는 바와 같이 각 유역별로 연최대홍수량 계열의 구성 기간에 따른 설계홍수량의 재현기간별 변동률은 재현기간이 증가함에 따라 전반적으로 커짐을 알 수 있다. 이는 재현기간이 증가함에 따라 설계홍수량간의 값에 대한 편차가 커짐을 나타내며, 사용된 연최대홍수량 계열에서 최대값이 확률론적 분석에서는 재현기간이 큰 설계홍수량 산정에 미치는 영향이 크다는 것을 의미한다.

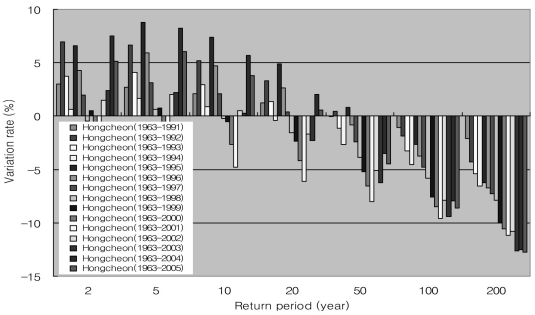

그림 5. 한강수계 홍천유역의 설계홍수량 변동률

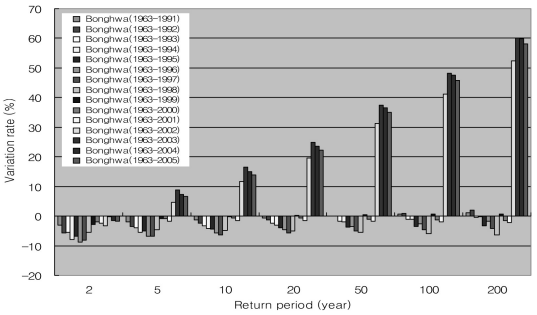

그림 6. 낙동수계 봉화유역의 설계홍수량 변동률

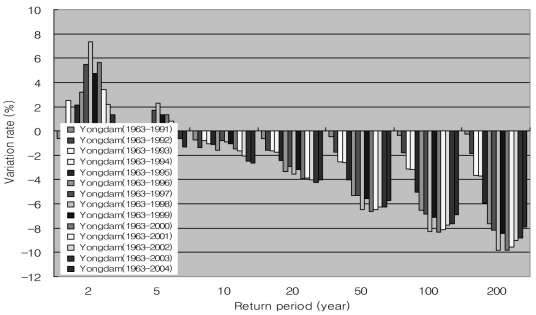

그림 7. 금강수계 용담유역의 설계홍수량 변동률

그림 5와 같이 한강수계의 홍천유역에서는 관측개시년부터 분석 시작년인 1990년까지의 연최대홍수량 계열에 의해 산정된 설계홍수량(이하 기준 설계홍수량)을 중심으로 연최대홍수량 계열 구성 기간의 점진적 증가에 따라 산정된 설계홍수량(이하 대상 설계홍수량)과 비교한 변동률은 재현기간 20년 이하에서는 전반적으로 양의 값을 나타내며 재현기간이 50년 이상에서는 음의 값을 나타내었다.

그림 6과 같이 낙동강수계 봉화유역에서의 변동률은 모든 재현기간에서 2001년까지 음의 값을 나타내며, 이후 급격히 증가한 양의 값을 나타내었다.

그림 7과 같이 금강수계 용담유역에서의 변동률은 재현기간 5년 이하에서 양의 값을 나타내며, 10년 이상의 재현기간에서는 음의 값을 나타내었다. 특히 재현기간이 증가함에 따라 변동률의 감소는 심화되었으나 2000년부터 반대의 양상을 나타내었다.

또한 섬진강수계 송정유역에서의 변동률은 재현기간 20년 이하에서는 전반적으로 음의 값을 나타내며, 50년 이상의 재현기간에서는 전반적으로 양의 값을 나타내는데 있어 2002년부터 급격한 양의 값을 나타내었다. 영산강수계 남평유역에서의 변동률은 재현기간 전반에 걸쳐 양의 값을 나타내며, 특히 1998년을 중심으로 이전에는 양의 값이 감소하다가 이후에는 급격히 증가하는 경향을 나타내었다. 만경강수계 대천유역에서의 변동률은 재현기간 20년 이하에서는 음의 값을 나타내며, 50년 이상의 재현기간에서는 양의 값을 나타내었다.

이상의 결과를 수계별로 분석하면, 한강, 금강 및 만경강수계의 경우 재현기간이 커짐에 따라 기준 설계홍수량에 비해 대상 설계홍수량이 감소하는 경향을 보였으며, 낙동강, 섬진강 및 영산강수계의 경우 재현기간이 커짐에 따라 기준 설계홍수량에 비해 대상 설계홍수량이 급격히 증가하는 경향을 나타내었다.

특히 낙동강, 섬진강 및 영산강 수계에 속한 유역에서는 2002년 이후의 대상 설계홍수량에서 뚜렷하게 증가

하는 양상을 나타내었다. 즉 2002년의 태풍 루사에 의해 대상 설계홍수량이 증가한 것은 우리나라 전 수계에 걸친 것이 아니라 경상남도, 경상북도 및 남해안 지역에 위치한 낙동강, 섬진강 및 영산강 수계에 직접적인 영향을 미친 것으로 분석되었다.

5. 4대강 사업 하천시설물 설치 계획

제1차 국토계획(1972년~1981년)에서 4대강 유역 개발을 추진하여 치수와 이수분야에서 성과를 거두었으나 급격한 도시화 · 산업화 과정에서 수질오염, 집중호우와 물부족 등의 문제가 일부 발생하고 있다. 또한 홍수 피

표 4. 4대강 살리기 사업 주요 하천 시설물

강	구간	길이 (km)	보높이 (m)	관리수위 (EL. m)	저류량(백만m³)		
					전	후	증가
한강	팔당댐~이포보	36.5	–	25.0	227.9	231.7	3.8
	팔당댐~이포보	11.7	6.0	28.0	1.7	17.0	15.3
	여주보~강천보	9.8	8.0	33.0	2.8	12.8	10.0
	강천보~섬 강	11.7	8.0	38.0	1.4	11.5	10.1
	섬 강~충주댐	44.6	–	–	9.6	10.3	0.7
낙동강	하구둑~함안보	75.7	–	0.3	174.6	316.2	141.6
	함안보~합천보	42.9	13.2	7.5	11.5	127.1	115.6
	합천보~달성보	29.0	9.0	10.5	12.2	66.6	54.4
	달성보~강정보	20.4	10.5	14.0	6.2	56.0	49.8
	강정보~칠곡보	25.2	11.5	19.5	5.9	107.7	101.8
	칠곡보~구미보	27.3	12.0	25.5	3.2	93.6	90.4
	구미보~낙단보	18.1	11.0	32.5	2.5	55.4	52.9
	낙단보~상주보	14.9	11.5	40.0	1.0	34.3	33.3
	상주보~영 강	13.0	11.0	47.0	1.1	28.7	27.6
	영 강~안동댐	67.7	–	–	6.3	10.8	4.5
금강	하구둑~부여보	58.6	–	1.0	136.0	152.3	16.3
	부여보~금강보	23.4	7.0	4.2	5.4	23.5	18.1
	금강보~금남보	18.7	7.0	8.8	4.9	15.3	10.4
	금남보~미호천	8.0	4.0	11.4	2.5	3.8	1.3
	미호천~역조정지	21.7	–	–	3.0	3.0	0.0
영산강	하구둑~죽산보	48.6	–	–1.35	218.0	224.1	6.1
	죽산보~승촌보	19.1	8.85	3.50	2.6	25.2	22.6
	승촌보~광주천	12.4	9.00	7.50	0.7	9.7	9.0
	광주천~담양댐	31.5	–	–	2.0	2.0	0.0

자료) 국토해양부, 4대강 살리기 추진본부, 4대강 살리기 마스터 플랜, 2009

해가 급증하고 사전예방투자가 부족하여 수해복구에 과다한 비용이 발생하였다. 연간 홍수피해액은 1970년대 0.17조원에서 최근 2.7조원(2002~2006)으로 증가하였고 연간 홍수예방투자는 1.1조원, 복구비는 4.2조원으로 국가 재정에 심각한 부담 요인으로 작용하고 있다. 또한 COD와 부영양화를 초래하는 TP 등의 오염도 비중이 높아지고 있는 실정으로 오염원의 집중관리가 절실한 실정이다.

하천에는 이수 · 치수 · 환경 · 친수 · 지역발전 등 다양한 기능이 있어 강별로 일관되게 종합계획을 수립하고 시행해야 할 필요가 있으나 과거에는 하천관련 계획들 간의 연계성 부족하여 4대강 살리기 사업에서 추구하는 효과를 거두기에는 미흡하였다.

4대강 살리기 사업에서 건설되는 주요 하천시설물로는 보와 농업용 저수지 증고(96개)가 있으며 이에 대한 개요는 다음과 같다.

6. 시설물 관리를 위한 고려 요소

수리구조물의 설계를 위해 사용되는 설계홍수량은 크게 2가지로 구분된다. 하나는 가능최대홍수량(probability maximum flood, PMF)에 의한 설계이며, 다른 하나는 빈도별 홍수량에 의한 설계이다.

PMF에 의한 설계는 우리나라가 2002년 태풍 루사의 피해를 경험한 이후 저수지의 재해대비 설계기준을 정비하여 유역면적 2,500ha, 총저수량 500만톤 이상의 저수지로서 유사시 하류지역의 재산 및 인명피해가 클 것으로 예상되는 곳에는 PMF를 설계홍수량으로 적용하고 있다. 이것은 기존 설계기준 홍수량에 비하여 평균 2.1배에 달하는 것(농어촌연구원 뉴스레터, 2006)으로 분석되는데 이와 같이 빈도분석에 의한 설계홍수량을 사용하지 않고 PMF를 적용할 경우에는 사회적, 경제적으로 비용에 대한 기대수익 효과에 대하여는 보다 많은 연구가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

빈도별 홍수량에 의한 설계는 저수지의 홍수방어를 위해 유역면적이나 총 저수량별로 저수지 규모를 세분화하여 등급을 정한 후 200년, 300년 및 500년 등의 빈도 홍수량을 적용하고, 저수지의 운용관리 면에서도 비상대처계획(emergency action plan, EAP)을 수립하여 저수지 운영 및 관리기법을 개선할 필요가 있다. 현재 EAP는 저수지 하류지역의 안전성 확보를 위해 2005년 관련법을 정비하여 100만톤 이상의 저수지로서 하류지역에 대한 잠재적 피해량이 큰 저수지부터 적용하여 수립하고 있다.

본고에서 우리나라 설계홍수량 변동 특성을 분석한 결과 태풍 루사와 매미 모두 우리나라 전역에 강한 호우를 동반했으나 그 중에서도 남해안, 경상도 및 영동지방에 극치의 호우를 발생시켰다. 최근 지구온난화에 따른 우리나라 기후 변화를 고려한 적절한 수리구조물의 설계 조건 변경시기는 2002년 전후로 하되 차후에 수문경제학적 분석이 함께 수행됨으로써 최적설계재현기간의 결정에 의한 설계홍수량 제시를 위해 지속적인 관심이 요구된다. 이러한 결과로 인해 증고 대상인 저수지에 대해 설계 당시의 조건과 최근의 수문상황이 고려된 설계홍수량을 면밀히 검토하여 시공하여야 할 것이다.

이상의 내용을 바탕으로 4대강 사업이후 하천시설물의 관리 방안을 제도, 재원, 조직적 측면으로 구분하여 제시할 필요성이 있다. 예를 들면, 제도적 측면에서는 수리권, 운영 및 관리에 관한 법률 조항이 포함된 4대강 수법 제정이 필요하며, 재원적 측면에서는 4대강 사업 이후 관리를 위한 4대강 특별세가 국고와 지방세로 구분하여 마련되어야 할 것이며, 관리적 측면에서는 보와

농업용 저수지의 증고에 따른 사후 관리를 위한 별도의 조직이 중앙기관, 지방자치단체 및 물관리 기관에 신설되어야 할 것이다. 신설된 조직은 관리 시설물에 대한 수문관측 업무를 포함하여 유지 관리하여야 할 것이다. 향후 하천 시설물 관리를 위해 다방면으로 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

국토해양부, 4대강 살리기 추진본부, (2009) 4대강 살리기 마스터 플랜

농어촌연구원 뉴스레터, (2006) 재해대비 설계기준 개정내역과 과제

박창용, 문자연, 차은정, 윤원태, 최영은, (2008) "최근 한반도 여름철 강수특성의 변화", 대한지리학회지, Vol 43, No. 3, pp 324~329.

송기헌, (2009) "연최대 홍수량의 점진적 구성에 따른 L-모멘트法에 의한 설계홍수량 특성", 충북대학교 박사학위 논문.

최홍식, (2008) 수리시설 정비 및 안전관리 세미나 자료.

American Water Works Association, (1996) Spillway Design Practice, AWWA Manual No. M13, New York.

Biswas, A. K. and S. Chatterjee, (1971) "Dam Disasters, An Assessment", Journal Engineering Institute of Canada, Vol 54, No. 3, pp. 3~8.

Hosking, J. R. M., (1994) "The Four Parameter Kappa Distribution", IBM J. Res. Develop., Vol. 38, No. 3, pp. 251~258.

Hosking, J. R. M. and J. R. Wallis, (1996a) The U.S. National Electronic Drought Atlas; Statistical Data Analysis with GIS-Based Presentation of Results, IBM Research Division T.Y. Watson Research Center Yorktown Heights, NY 10598.

Hosking, J. R. M. and J. R. Wallis, (1996b) Regional Frequency Analysis of floods in Central Appalachia, IBM Research Division T.Y. Watson Research Center Yorktown Heights, NY 10598.

Hosking, J. R. M. and J. R. Wallis, (1997) Regional Frequency Analysis, Cambridge University Press,.

Hosking, J. R. M., (2006), "On the Characterization of Distribution by Their L-Moments," Journal of Statistical Planning and Inference, 136, 193-198.

Maidment, D. R., (1992) Handbook of Hydrology, McGraw-Hill, Inc., pp. 17.1 ~17.55.

World Meteorological Organization, (1989) Statistical Distributions for Flood Frequency Analysis, pp. A4.1~A4.14.

국가 수자원관리종합정보 시스템, http://wamis.go.kr/

이정택, (2007) 우리나라 기후특성, http://blog.naver.com/ssc0625/20035244902

쉬어가는 자리 - 명언

- 프랑스의 여성은 배반당하면 라이벌을 죽인다. 이태리 여성은 속인 쪽의 남자를 죽인다. 영국여성은 잠자코 관계를 끊는다. 그렇지만 모두 다른 남자의 위로를 받고 싶어한다. - 서양 격언
- 젊은이를 비난하는 것은 늙은이의 건강에는 빼놓을 수 없는 요소이다. 혈액순환을 좋게 하는데 도움이 된다. - 스미스