

중·소하천 유역의 홍수량산정 영향 인자 분석

- 경기도 하천을 중심으로 -

Analysis of the Influence Parameters for Flood Discharge Computation in Small to Medium Sized Watershed in Gyeonggi-Do

박선희*, 원진영**, 송주일***, 윤세의****

Sun Hee Park, Jin Young Won, Ju Il Song, Sei Eui Yoon

요 지

현재 하천기본계획은 10년 주기로 수립되고 있다. 일반적으로 실무에서는 과거에 계산된 홍수량과 최근에 계산된 홍수량을 비교하여 큰 값을 설계홍수량으로 채택하는 경향이 있다. 동일한 유역에 대해서는 도시화와 산업화로 인하여 과거에 계산된 홍수량보다 최근에 계산된 홍수량이 대부분 클 것으로 예측되었으나, 실제로는 증가뿐만 아니라 감소하는 결과도 발견되고 있다. 따라서 본 연구에서는 이 증감의 원인을 분석하여 합리적인 설계홍수량의 채택에 기초자료를 제공하고자 한다. 이를 위하여 경기도 중·소하천 6개 유역을 대상으로 하여 수립된 하천기본계획 보고서를 기초자료로 강우자료의 채택방법(임의시간), 면적감소계수(ARF) 적용, 강우의 시간분포형 변화(Huff 4분위법), 유출곡선지수(CN) 변화, 도달시간공식의 변화, 임계지속시간의 적용에 따른 홍수량의 변화를 분석하였다. 분석 결과 홍수량 산정 시 임계지속시간 적용은 평균 60%, 유출곡선지수(CN)의 증가는 평균 10%, 강우자료 임의시간 채택은 평균 21%정도 홍수량을 증가시키는 것으로 나타났다. 반면에 홍수량을 감소시키는 인자는 강우의 시간분포형을 Huff의 4분위법으로 하였을 때 평균 62%, ARF를 적용 했을 경우 평균 5%정도 감소하는 것으로 분석되었다. 도달시간의 변화는 홍수량 증감에 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 홍수량 증가에 가장 크게 영향을 미치는 인자는 임계지속시간의 적용여부였고, 가장 큰 감소원인으로는 강우 시간분포형의 변화였다.

핵심용어 : 홍수량 산정, 하천기본계획, 중·소하천 유역

1. 서 론

경기도는 최근 10년간 인구가 약 400만명이 늘어났고 도시화율은 76.5%에서 87.3%로 높아졌으며, 도로포장율은 68.2%에서 86.5%로 증가하였다. 이는 경기도 하천 유역내의 불투수 면적을 증가 시켰고, 2002년과 2003년에 발생한 태풍 루사 및 매미 등과 같은 기록적인 강우 발생으로 인해 확률강우량이 증가되었다. 이와 같은 결과가 경기도내 하천유역에서의 유출량을 증가시켰을 것으로 판단되지만, 실제 과거에 수립된 하천기본계획상의 홍수량과 현재 수립된 하천기본계획에서의 홍수량을 비교해 보면 동일 유역면적임에도 불구하고 오히려 유출량이 감소하는 유역이 나타났다. 이러한 결과는 현재 기본홍수량을 산정함에 있어 과거에 비하여 강우자료의 채택방법, 강우의 시간분포, 유출곡선지수(CN), 도달시간(Tc) 등 유역자료 및 산정방법의 변화가 원인으로 판단된다. 여기서 문제점은 홍수량이 감소하게 되는 경우 과거의 홍수량을 사용한다는데 있다. 그동안 홍수량 산정 방법은 수리·수문학적으로 지속적인 발전을 거듭해왔고 이러한 연구결과를 반영한 최근의 홍수량이 작게 산정되는 경우 안전한 측면을 고려하여 과거의 홍수량을 채택하는 것은 필요 이상의 과대한 계획수립이 될 수 있다. 홍수량 산정의 방법 변화가 홍수량의 증감에 미치는 영향은 정성적으로

* 경기대학교 대학원 토목공학과·석사과정·E-mail : sun-e0402@nate.com

** 경기대학교 대학원 토목공학과·석사과정·E-mail : wjy30228@nate.com

*** 정회원·경기대학교 대학원 토목공학과·박사과정·E-mail : juilsong@kyonggi.ac.kr

**** 정회원·경기대학교 토목·환경공학부·교수·E-mail : syoon@kyonggi.ac.kr

예측이 가능하지만 정량적으로 분석되어 있지 않아 이러한 경향은 단시간에 개선되지 않을 것을 판단된다. 따라서 홍수량 변화에 영향을 주는 산정 방법 변화들에 대한 정량적인 분석이 필요하다.

본 연구에서는 경기도내 6개 중·소하천 유역을 대상으로 과거 수립된 하천기본계획과 최근 수립된 하천기본 계획 보고서의 자료를 근간으로 홍수량 변화를 분석하였고, 과거와 비교하여 현재 변화된 홍수량 산정 방법이 홍수량 증감에 미치는 영향정도를 분석하였다. 홍수량의 산정은 실무에서 주로 사용하는 HEC-1을 이용하였으며, 산정방법은 Clark의 유역추적법을 적용하였다. 또한 홍수량 산정 시 자료의 일관성을 위해서 임계지속시간의 적용여부에 관한 항목을 제외하고 나머지 항목 모두에는 임계지속시간을 적용하지 않은 경우만을 비교분석하였다.

2. 홍수량 변화 분석 대상유역

대상유역은 경기도의 중·소하천 중 건건천, 가일천, 금곡천, 관리천, 반월천, 사탄천 등 6개 유역이다. 대상유역의 선정은 유출량 변화에 유역의 물리적 특성변화의 영향이 최소가 될 수 있도록 그 변화가 미소한 지역으로 하였으며, 유역면적은 9.6~45.46km²로 다양한 유역면적에서 홍수량 산정 방법 변화에 따른 홍수량의 변화 경향을 파악하고자 하였다. 본 연구의 대상유역 특성은 <표 1>과 같고 과거와 현재의 하천기본계획에서의 설계홍수량의 변화는 <표 2>와 같다.

표 1. 대상유역의 유역특성

하 천	유역면적 (km ²)	유역연장 (km)	유역평균폭 (A/L, km)	평균경사 (%)
건건천	9.60	5.06	1.90	14.4
가일천	11.96	7.91	1.51	25.5
금곡천	17.68	8.29	2.13	9.6
관리천	34.42	18.24	1.88	10.2
반월천	40.90	12.69	3.22	19.5
사탄천	42.71	11.68	3.66	35.6

표 2. 설계홍수량의 변화

하천	과거 (m ³ /s)	현재 (m ³ /s)	증감 (%)
건건천	140	165	17.9
가일천	177	180	1.7
금곡천	240	224	-6.7
관리천	315	315	0
반월천	395	565	43.0
사탄천	631	604	-4.3

3. 홍수량 산정 방법 변화 영향 분석

3.1 강우자료의 채택

홍수량 산정에 필요한 확률강우량의 산정 시 강우자료는 과거에는 고정시간인 일최대강우량을 이용하였지만, 현재는 임의시간환산계수를 고려한 시강우량을 이용한다. 따라서 건건천 등 6개 하천에 대해 현재와 과거의 강우자료 채택 방법에 따른 홍수량 변화를 알아보기 위해 현재 하천기본계획 보고서 수립에 이용된 강우자료를 고정시간과 임의시간으로 강우자료를 추출하고 확률강우량을 각각 산정한 후 동일 유역 조건으로 홍수량을 산정하였다. 그 결과 과거의 고정시간을 적용한 홍수량 보다 현재의 임의시간을 적용한 홍수량이 <표 2>에서 보는 바와 같이 약 10~31% 증가하였다.

표 3. 강우지속시간의 변화에 따른 홍수량 변화

하 천	고정시간 적용 홍수량(m ³ /s)	임의시간 적용 홍수량(m ³ /s)	증 감(%)
건건천	64.4	82.3	27.8
가일천	82.0	107.4	31.0
금곡천	134.0	147.9	10.3
관리천	238.5	277.2	16.2
반월천	272.0	344.3	26.6
사탄천	321.0	368.4	14.8

3.2 면적감소계수(ARF)

강우지속시간 동안 유역의 평균강우강도는 유역면적이 커질수록 감소하므로 현재 유역면적이 26km² 이상인 유역에 대해서는 면적감소계수를 적용하여 면적확률강우량을 산정하고 있다. 이러한 면적감소계수 적용이

유역의 홍수량을 어느 정도 감소시키는지 확인하였다. 건건천, 가일천, 금곡천은 유역면적이 26km² 이하이므로 면적감소계수를 적용하지 않았고 관리천, 반월천, 사탄천 유역에서 면적감소계수를 적용한 결과 과거 홍수량과 비교하여 현재의 홍수량이 <표 4>와 같이 감소하였고 감소비는 약 0.7~10 % 였다.

표 4. ARF 적용여부에 따른 홍수량 변화

하 천	ARF미적용 홍수량(m ³ /s)	ARF 적용 홍수량(m ³ /s)	증 감(%)
관리천	279.08	277.16	-0.7
반월천	356.33	343.98	-3.5
사탄천	409.00	368.39	-9.9

3.3. 강우의 시간분포

설계홍수량 산정을 위한 설계강우는 강우의 시간적으로 분포시켜 설계우량주상도를 작성하게 되는데 우리나라는 강우자료부족 등으로 인하여 실제적인 주상도를 작성하는데 어려움이 있어서, Mononobe 방법, Huff의 4분위법, Yen & Chow 등의 분포방법을 사용하고 있다. 과거에는 대부분 Mononobe 방법에 의해 강우를 분포시켰으나, 현재는 Huff의 4분위법 중 각 유역에 적합한 1~4분위 중 선택하여 강우를 분포시키고 있다. 이러한 강우분포의 변화는 집중 강우의 시간대가 변화되기 때문에 홍수량에도 영향을 미치게 된다. 과거와 현재 사용되는 대표적인 강우분포 형인 Mononobe와 Huff 4분위법에 대한 홍수량의 변화를 확인한 결과는 <표 5>와 같다. 강우분포를 Mononobe에서 Huff 4분위법으로 변경면 홍수량이 약 43~76 % 정도 감소되는 것으로 나타났다.

표 5. 강우의 시간분포 변화에 따른 홍수량 변화

하 천	Mononobe적용 홍수량(m ³ /s)	Huff 4분위법 적용 홍수량(m ³ /s)	증 감(%)	비 고
건건천	266.1	82.3	-69.1	2분위
가일천	441.1	107.4	-75.6	4분위
금곡천	324.8	147.9	-54.5	4분위
관리천	485.6	277.2	-42.9	2분위
반월천	941.8	344.0	-63.5	2분위
사탄천	1073.0	368.4	-65.7	2분위

3.4 유출곡선지수(CN)

하천기본계획에서는 주로 NRCS방법을 적용하고 있으며, 유역의 수문학적 토양형, 토지이용과 처리상태 및 선행도양함수조건(AMC)을 이용하여 유출곡선지수(CN)을 산정한다. 과거에는 주로 AMCⅡ조건에서의 CN값을 적용하였고, 현재는 대부분 AMCⅢ조건에서의 CN값을 적용하고 있으므로 CN값의 변화에 따른 홍수량 증감을 확인하였다. 본 연구의 대상유역은 과거에 비교하여 CN값의 모두 증가한 것으로 나타났고, <표 6>에서 보는 바와 같이 CN값이 증가에 따라 홍수량은 1~20 % 정도 증가하였다.

표 6. CN의 변화에 따른 홍수량의 변화

하 천	유출곡선지수(CN)			홍수량(m ³ /s)		
	과 거	현 재	증 감(%)	과 거	현 재	증 감(%)
건건천	64.7	79.4	23	68.7	82.3	19.7
가일천	71.0	78.4	10	102.0	107.4	5.3
금곡천	75.0	77.8	4	145.4	147.9	1.7
관리천	78.0	89.0	14	257.4	277.2	7.7
반월천	51.0	70.5	38	312.4	344.0	10.1
사탄천	66.0	82.0	24	313.6	368.4	17.5

3.5 도달시간(Tc)

도달시간은 Kirpich 공식, Rziha 공식, SCS 공식, Kraven I 공식, KravenII 공식 중 유역특성에 맞는 공식

을 적용한다. 과거에는 주로 Kraven I 공식을 적용하였고, 현재는 주로 Kraven II 공식을 적용하고 있다. 분석 결과 도달시간의 산정 방법에 대한 홍수량의 증감 정도는 크지 않는 것으로 나타났다.

표 7. 도달시간(Tc) 공식의 변화에 따른 홍수량 변화

하 천	과 거		현 재		증 감(%)
	공 식	홍수량(m ³ /s)	공 식	홍수량(m ³ /s)	홍수량(m ³ /s)
건건천	Kraven I	82.4	평균유속공식	82.3	-0.12
가일천	Kraven I	107.7	Kraven II	107.4	-0.27
금곡천	Kraven I	147.8	Kraven II	147.9	0.04
관리천	Kraven I	276.7	Kraven II	277.2	0.17
반월천	Kraven I	344.3	평균유속공식	344.0	-0.09
사탄천	Rziha	368.3	Kraven II	368.4	0.02

3.6 임계지속시간

현재 설계홍수량의 산정은 치수적 안전성을 고려하여 설계대상 하천 및 구조물에 가장 큰 부하가 걸리는 지속시간의 홍수량을 설계홍수량으로 결정하고 있으며, 설계대상 구조물이 하천제방 등의 비저류용 구조물인 경우 침투홍수량이 최대로 산정되는 강우지속시간을 임계지속시간으로 결정하고 있다. 과거에는 홍수량 산정 시 강우자료에 고정시간을 적용하여 확률강우량을 산정하였기 때문 이러한 임계지속시간개념을 사용하지 않았다. 임계지속시간의 적용여부에 따른 홍수량의 변화를 분석한 결과 임계지속시간을 적용한 현재의 홍수량은 <표 8>과 같이 약 13~100 % 증가하는 것으로 나타났다.

표 8. 임계지속시간의 적용여부에 따른 홍수량 변화

하 천	임계지속 시간 미적용 홍수량(m ³ /s)	임계지속 시간 적용 홍수량(m ³ /s)	증감(%)	임계지속시간
건건천	82.3	165.0	100.5	220분
가일천	107.4	180.0	67.6	240분
금곡천	147.9	224.0	51.5	340분
관리천	277.2	315.0	13.6	610분
반월천	344.3	565.0	64.1	300분
사탄천	368.4	604.0	64.0	240분

4. 분석결과

분석 결과 홍수량 산정 시 임계지속시간 적용은 평균 60%, 유출곡선지수(CN)의 증가는 평균 10%, 강우자료 임의시간 채택은 평균 21%정도 홍수량을 증가시키는 것으로 나타났다. 반면에 홍수량을 감소시키는 인자는 강우의 시간분포형을 Huff의 4분위법으로 하였을 때 평균 62%, ARF을 적용 했을 경우 평균 5%정도 감소하는 것으로 분석되었다. 도달시간의 변화는 홍수량 증감에 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 홍수량 증가에 가장 크게 영향을 미치는 인자는 임계지속시간의 적용여부였고, 가장 큰 감소원인으로는 강우 시간분포형의 변화였다.

표 9. 과거와 현재의 자료 및 산정방법의 변화에 따른 홍수량 증감

case	영향 인자	자료 및 산정 방법의 변화		홍수량증감 평균(%)	
		과 거	현 재		
1	강우자료	일강우량(고정시간)	⇒	시강우량(임의시간)	21
2	ARF 적용	미적용	⇒	적용	-5
3	강우의 시간분포형	Mononobe 방법	⇒	Huff 4분위법	-62
4	유효유량	NRCS의 AMC II, III 조건 (평균 CN : 67.7)	⇒	NRCS의 AMC III 조건 (평균 CN : 79.5)	10
5	도달시간	Kraven I, Rziha	⇒	Kraven II, 평균유속공식	(-)2.7 ~ 0.17
6	임계지속시간	미적용	⇒	적용	60

관리천과 금곡천, 사탄천은 과거에 비교하여 최근 홍수량이 변화가 없거나 감소한 하천이다. 이들 3개 하천에 대한 산정방법들을 변화시키면서 분석된 홍수량의 증감량과 홍수량이 증가한 타 하천과 비교하여 홍수량 증감 총합의 비가 상대적으로 작게 나타났다. 그러나 상관관계는 뚜렷하지 않았다. 이는 본 연구에서는 과거 강우자료에서 시강우 자료를 획득 할 수 없어 산정방법의 변화에 따른 홍수량의 변화를 분석하기 위하여 최근의 강우자료를 이용한 영향으로 판단된다. 6개 하천 중 관리천만 홍수량의 증감 총합의 비가 (-)값을 갖는 것으로 나타났는데 <표 8>에 보는 것과 같이 관리천에서 임계지속시간을 적용하면 다른 하천에 비해 홍수량의 증감이 약3~7배 작기 때문이며, 이는 관리천의 임계지속시간이 610분으로 다른 하천에 비해 약 2~3배정도 길기 때문으로 판단된다.

표 10. 설계홍수량 산정 시 과거와 현재의 자료 및 방법의 변화에 따른 홍수량 증감(%)

하 천	하천기본계획의 설계홍수량			분 석 결 과						
	과거 (m ³ /s)	현재(m ³ /s)	증감 (%)	자료 및 방법의 변화에 따른 홍수량 증감(%)						홍수량 증감총합 (%)
				강우자료채택 방법(임의시간)	ARF 적용	강우의시간분포 (Huff4분위법)	CN의 변화	도달시간	임계지속 시간적용	
건건천	140	165	17.9	27.8	-	-69.1	19.8	-0.12	100.5	78.9
가일천	177	180	1.7	31.0	-	-75.6	5.3	-0.27	67.6	28.0
금곡천	240	224	-6.7	10.3	-	-54.5	1.7	0.04	51.5	9.0
관리천	315	315	0	16.7	-0.7	-42.9	7.7	0.17	13.6	-5.4
반월천	395	565	43.0	26.5	-3.5	-63.5	10.1	-0.09	64.1	33.6
사탄천	631	604	-4.3	14.8	-9.9	-65.7	17.5	0.02	64.0	20.7

5. 결 론

경기도의 중·소하천 중 건건천 등 6개 유역에서 설계홍수량 산정 시 유역자료 및 산정방법의 변화에 따른 홍수량을 분석하였다. 분석 결과 홍수량 산정 시 임계지속시간 적용은 홍수량을 평균 60% 증가시키는 것으로 나타났고, 강우의 시간분포형을 Mononobe방법에서 Huff의 4분위법으로 하였을 때 평균 62%정도 홍수량을 감소시키는 것으로 분석되어 임계지속시간 적용과 강우 분포형의 변화가 홍수량 변화에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 도달시간의 변화는 홍수량 증감에 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 산정방법의 변화가 홍수량의 변화와 상관성은 있었지만 그 상관관계가 뚜렷하지는 않았다. 이는 과거 하천기본계획 수립 시 사용된 강우자료에서 시강우자료를 획득 할 수 가 없어서 현재 강우자료만을 이용하여 분석한 결과로 판단된다. 따라서 시강우자료 획득이 가능한 강우자료로 하천기본계획이 수립된 유역에 대하여 과거와 현재의 홍수량 변화를 분석할 필요가 있다고 판단된다. 또한 홍수량의 변화에 임계지속시간의 적용과 강우 분포형의 변화가 60%이상의 영향을 미치는 것으로 분석되었으므로 임계지속시간을 산정하거나 Huff의 4분위법 중 유역에 적절한 분위수를 선택하는데 있어서는 설계자의 세심한 주의가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 경기도. 반월천수계 하천정비기본계획 보고서(2006).
2. 경기도. 벽계천수계 하천정비기본계획 보고서(2006).
3. 경기도. 성덕천 등 4개 하천정비기본계획 보고서(2008).
4. 경기도. 진위천수계 하천정비기본계획 보고서(2006).
5. 경기도. 청미천수계 하천기본계획 보고서(2008).
6. 김영오, 성장현 (2008) “설계홍수량 가이드라인 제정을 위한 제언”, 한국수자원학회지, v.41, no.4, pp. 55-59.
7. 윤여진(1998). “설계홍수량에 영향을 미치는 매개변수의 민감도 분석: 자연유역을 중심으로”, 한국수자원학회논문집, v.31, no.6, pp.695-708.
8. 이정민(2002). “시간분포에 따른 설계홍수량 산정에 관한 연구”, 한국수자원학회 학술발표회 논문집 (I), pp. 164-169
9. Chen C.-N. and Wong, T.S.W. (1993). "Critical rainfall duration for maximum discharge from overland palne." J. of Hydraulic Engineering, Vol. 119, No. 9, ASCE, pp. 1040-1045.
10. Huff, F. A (1967). Time distribution of rainfall in heavy storms, Water Resources Research, Vol. 3, No. 4, pp. 1007-1019.