

홍수량 산정 표준지침(안) 마련 연구 소개



안재현

서경대학교 토목공학과 교수
wrr21@naver.com



주경원

연세대학교 토목공학과 박사과정
kwjyl@yonsei.ac.kr

1. 연구개요

최근 홍수량 산정과 관련된 국토부의 연구개발사업(첨단기술 기반 하천 운영 및 관리 선진화 연구단 3세부 연구과제-한국형 수문량 분석 선진화 기술 개발)에서는 한국형 설계수문량 기술을 개발 및 제시하였다. 이를 바탕으로 현재 국내 실무에서 홍수량 산정 시 적용하고 「설계홍수량 산정요령(국토부, 2012)」을 국토교통부의 R&D 연구성과와 '전국 하천 유역 홍수량 산정 용역'을 통해 개정하고, 국내 실정에 맞는 최적의 홍수량 산정 표준지침을 마련함으로써 한국형 홍수량 기술의 선도, 효율성 확대, 신뢰도 향상 등을 도모하고자 한다.

2. 홍수량 산정방법의 국제적인 실무적용 현황

2.1 미국

설계홍수량 산정을 위해 전국적으로 사용되는 지침이 없다. 강우-유출관계 모형에 설계강우를 적용하여 설계홍수량을 산정하는 방법으로는 미국 육군 공병단의 수문공학연구소(Hydrologic Engineering Center, HEC)에서 개발·관리하고 있는 HEC-HMS 모형을 이용하는 것이 대표적이다. 이 모형의 입력자료는 확률강우주상도이며 합성단위도를 사용하여 확률홍수수문곡선을 계산하게 된다. 합성단위도로는 Clark 유역추적법, Snyder 합성단위도, SCS 단위도 등이 사용되며 단위도의 매개변수는 미국유역에서 도출된 경험공식을 사용하여 결정하고 있다. 홍수빈도 분석방법에 의한 설계홍수량 추정방법은 Bobee and Ashkar(1991)가 개발한 HFA(Hydrological Frequency Analysis)와 미국 수자원평의회(US Water Resources Council)에서 개발한 Bulletin 17B가 있다.

2.2 영국

표준화된 설계홍수량 산정 지침은 영국의 Institute of Hydrology(1999)가 개발한

FEH(Flood Estimation Handbook)로서 Institute of Hydrology(1975)에서 처음 발간한 FSR(Flood Studies Report)을 보완한 것으로서 영국에 일반화 되어 있는 절차이다.

FEH는 5개의 Sub-Program으로 구성되어 있으며 Volume-1(확률홍수량 산정에 관한 개요 및 권고사항) Volume-2(강우빈도 분석), Volume-3(홍수빈도 분석을 위한 통계적인 절차), Volume-4(강우-유출관계 모형에 의한 방법, ReFM), Volume-5(유역특성 매개변수의 산정을 위한 프로그램)으로 이루어진다.

영국의 방법은 홍수량이 예측된 권역에 대해서는 홍수빈도 분석방법을 적용하여 홍수빈도 곡선을 만들어 지역화에 의해 미계측 유역에 적용할 수 있도록 하며, 홍수량 자료가 전혀 없는 지역에서는 강우빈도 분석결과와 단위도 개념의 강우-유출관계 모형을 사용하여 설계홍수량을 산정한다.

2.3 호주

설계홍수량 산정을 위한 가이드라인(지침)은 Institution of Engineers(1998)가 발간한 ARR(Australian Rainfall-Runoff, A Guide to Flood Estimation)로서 전체 8권(제1권-서론, 제2권-설계강우, 제3권-설계홍수량 산정 방법의 선택, 제4권-설계 침투홍수량의 산정방법, 제5권-설계홍수수문곡선의 계산, 제6권-대규모 및 극한홍수량의 산정방법, 제7권-수리학적 설계, 제8권-도시홍수관리)으로 구성되어 있다.

호주의 경우도 단위도 개념의 강우-유출 모형에 의한 방법과 홍수빈도 분석결과와 지역화에 의한 방법을 함께 사용하여 설계홍수량을 산정하고 있으며, 이는 홍수량 자료의 품질 및 가용 여부에 따라 방법의 선택이 이루어지고 있음을 알 수 있다.



그림 1. 한국형 수문량 분석 선진화 방안 연구 구성

3. 한국형 수문량 분석 선진화 기술 개발의 성과

3.1 연구목적

향후 예상되는 하천환경 변화와 기후변화에 대응하기 위해 ‘한국형 수문량 선진화 기술 개발’ 연구를 추진하였으며, 우리나라 여건에 적합한 설계수문량 산정기술을 개발하고 미계측 지점에서의 홍수량 산정방법의 제시를 통해 홍수량 산정의 신뢰성을 제고하면서 효율적이고 경제적인 기준을 확립하는데 그 목적이 있다.

3.2 연구성과

국토부의 연구개발사업은 총 7개의 세부 단위과제로 구성되어 연구가 추진되었으며 세부 단위과제별 연구성과는 다음과 같다.

4. 홍수량 산정 표준지침(안)

4.1 지침개요

홍수량 산정방법은 첨두홍수량 자료의 시계열에 대한 빈도해석 방법이 이론적으로 가장 적절한 방법이라 할 수 있지만, 국내 여건상 관측된 실측자료가 충분하지 못한 실정이다. 또한 과거 관측홍수량을 유량으로 환산하는 과정의 신뢰도가 낮고, 댐 건설 전·후 홍수량 자료가 갖는 불연속성을 고려한 빈도해석의 어려움 등이 있어 본 지침(안)에서는 현재 실무에서 사용하고 있는 설계강우-유출 관계 분석에 의한 설계홍수량 산정 방법을 채택하였으며 적용범위는 국가하천과 지방하천으로 제한하였다.

4.2 지침의 주요 내용

(1) 강우자료 구축

강우자료는 기상청, 국토교통부, 한국수자원공사, 한국농어촌공사 등에서 관리하고 있는 우량관측소

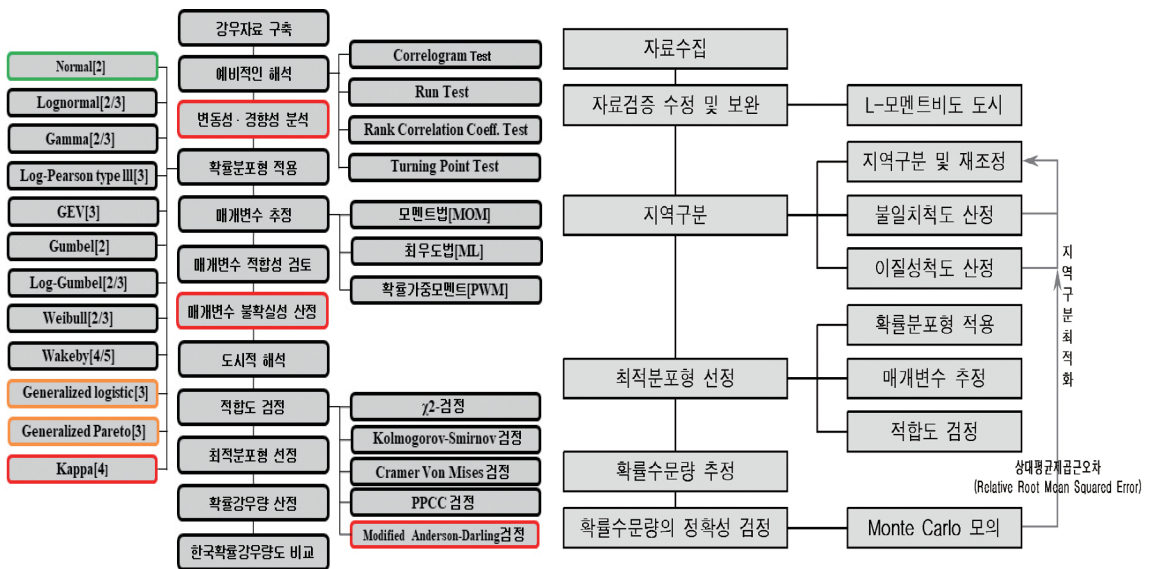


그림 2. 지점빈도 해석과 지역빈도 해석의 절차

자료를 활용한다. 강우자료의 구축은 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)에서 제공하고 있는 표준지점 번호를 사용하여 구축하는 것을 권장한다. 또한 보통의 자료 특성을 벗어난 기록치를 검토할 필요가 있으며, 이상치 자료는 확인하여 검·보정한다. 관측소별-지속기간별 연최대강우량을 구축하고 고정시간-임의시간 환산계수를 적용하여 임의시간 강우량 자료로 변환한다.

(2) 확률강우량 산정 및 강우강도식 유도

확률강우량은 지역빈도 해석과 지점빈도 해석을 통해 산정할 수 있다. 하천 계획·설계에 필요한 홍수량은 원칙적으로 지역빈도 해석을 적용하되 일부 관측소(백령도, 울릉도 등 L-moment 계산 불가지역), 산지·해안·도시 지역은 지점빈도해석 결과와 비교·검토를 통해 결정할 수 있다.

지역빈도 해석은 자료의 수집 및 검증·수정·보완의 과정을 거쳐 지역구분, 최적분포형 선정, 확률수문량의 정확성 검증 과정을 통해 수행된다. 금회 연구에서는 우리나라 전체 강우관측소에 대해 지역구분 최적화 과정을 통해 강우관측소 615개를 채택하고 26개의 지역으로 구분하였다. 지역빈도 해석의 최적 확률분포형은 GEV 분포형으로 결정하였으며 채택된 615개 강우관측소의 지역빈도 해석결과(확률강우량)는 지침(안)에 부록으로 수록하였다.

강우강도식은 해당 지속기간에 대한 확률강우량이 없는 경우에 내삽에 의한 보간을 하기 위하여 산정하는 것으로 「한국 확률강우량도 개선 및 보완 연구(국토부, 2011)」에서 제시한 전대수 다항식이나 3회귀상수인 General형 중 하나를 채택하는 것이 바람직하다. 단, 전대수 다항식의 경우 단기 지속기간(1시간 미만)에서 외삽에 의한 역전현상이 발생할 수 있으므로 주의를 요한다. 또한 강우지속기간을 하나의 강우강도식으로 나타내기 곤란한 경우에는 단·중·장기간으로 적절히 구분하여 강우강도식을 유도한다.

(3) 면적확률강우량 산정 및 설계강우 시간분포

유역면적 25.9km² 이상인 경우에는 면적우량환산계수(Areal Reduction Factor, ARF)를 적용하며 홍수량 산정지점을 기준으로 지점평균확률강우량에 ARF를 곱하여 면적확률강우량을 산정한다.

면적우량환산계수를 실제유역에 적용할 경우 재현기간별-지속기간별 면적우량환산계수를 산정한 후 이를 면적별 강우지속기간-면적우량환산계수 형태의 회귀곡선으로 유도하여 사용한다. 면적우량환산계수는 「한국 확률강우량도 개선 및 보완 연구(국토부, 2011)」를 참고하여 본 지침에 수록할 예정이다. 다만, 회귀상수가 제시되지 않은 지속기간에서는 인접 지속기간의 면적우량환산계수를 보간하여 산정해야 한다.

확률강우량의 시간분포는 Huff 4분위법을 적용하며 Huff 분위는 3분위 채택을 원칙으로 한다. 본 지침에서는 지역빈도 해석을 통해 집중호우 기준(시강우량 30mm 이상, 일강우량 80mm 이상, 일강우량이 연강우량의 10% 이상의 강우를 포함하는 강우상)으로 작성된 무차원 누가곡선식(전국 26개 무차원 누가곡선식)을 제공할 예정이다.

(4) 홍수량 산정지점 선정 및 유역특성인자의 산정

홍수량 산정지점은 유역 상·하류의 홍수량 변화를 파악할 수 있을 정도의 구간 설정, 지류합류점 및 주요구조물 지점 등을 고려하여 선정한다. 유역특성인자는 유역면적, 유로연장, 유로경사, 형상계수 등이 있으며 하천측량 자료 및 수치지형도를 이용해서 산정해야 한다.

(5) 유효우량 산정

유효우량은 단위도를 이용해서 직접유출수문곡선을 계산하기 위해 설계우량의 시간적 분포에서 침투에 의한 손실우량을 제외하는 방식으로 산정한다. 현재 실무에서 대부분 사용하고 있는 미국 NRCS 방법을 채택하고 미국 NRCS 방법의 우리나라 적용을 위해 개선된 방법을 적용한다.

• 유출곡선지수-논

: 우리나라 논외의 경우 홍수기에 담수상태이므로 「논외의 유출곡선번호 추정(임상준 등, 한국수자원학회 논문집, 제30권 제6호, 1997.8)」에서 제시한 바와 같이 토양군에 관계없이 CN-I, CN-II, CN-III를 70, 79, 89로 적용한다.

• 유출곡선지수-산림

: 「한국형 수문량 선진화 기술 개발」에서 제시한 AMC-II 조건에서 산림에 적합한 유출곡선지수 Type-A 55, Type-B 72, Type-C 82, Type-D 85를 적용한다.

(6) 홍수량 산정방법 채택

유역 대표단위도는 다수의 호우사상별 강우-유출자료로부터 유도될 수 있으나 실무에서는 대부분 미계측유역에 적용하는 합성단위도 방법을 사용하고 있다. 국내실무에서 사용되고 있는 합성단위도 방법에는 Clark, SCS, Snyder, Nakayasu(中安)법 등이 있다. 이 중 Clark 단위도법은 유도된 유역의 지역성을 가지는 다른 단위도법들과는 달리 순간단위도 원리를 이용한 유역추적방법으로, 유역의 도달시간과 유역의 저류능을 대표하는 유역저류상수 등 2개의 매개변수만으로 단위도를 합성할 수 있다. 또한 지역성을 가지지 않는 비교적 객관적인 방법이라 할 수 있다.

따라서 본 지침에서도 기존의 「설계홍수량 산정요령(국토부, 2012)」에서와 같이 Clark 단위도법을 홍수량 산정방법으로 채택하여 전체적인 일관성을 유지하고자 했다. 단, 도시하천과 같이 자연하천의 유출특성과 상이한 유역의 홍수량은 도시유출모형(SWMM 등)을 고려하여 설계홍수량을 결정할 수 있다.

(7) 유역추적 매개변수의 산정

「한국형 수문량 선진화 기술 개발」 연구에서 우리

나라의 유역특성을 대표하는 신뢰도 높은 유역추적 매개변수 공식을 유도하기 위하여 60~1,000km²까지 다양한 자연하천의 유역면적 65개 지점의 강우-유출사상을 이용하였으며, 본 지침에서는 상기 연구에서 제시한 공식을 활용한다. 단, 대유역 및 도시하천, 소하천, 소규모 유역 등에 적용할 경우에는 기존 경험식과의 비교·검토를 통해 적용한다.

• 도달시간 공식(서경대 도달시간 공식)

$$T_c = 0.339 A^{0.282} \frac{L^{0.318}}{H^{0.078}}$$

여기서, T_c는 도달시간(hr), A는 유역면적(km²), L은 유로연장(km), H는 고도차(m, 유역 최원점 표고·홍수량 산정지점 표고)

• 저류상수 공식(서경대 저류상수 공식)

$$K = 1.075 \frac{L^{0.472}}{A^{0.188}} T_c^{0.655} \quad (3.2)$$

여기서, A는 유역면적(km²), L은 유로연장(km), T_c는 도달시간(hr)

(8) 홍수수문곡선 계산

유역의 설계강우를 시간분포시켜 총우량주상도를 작성한 후 유역의 평균 유출곡선지수(CN)를 사용하여 강우시간 구간별 유효우량주상도를 작성한다. 유역에 내린 유효우량의 시간적 분포를 표시하는 유효우량주상도와 유효우량으로 인한 직접유출의 전이를 고려해주는 시간면적곡선을 사용하면 유역출구로 전이되는 직접유입수문곡선을 계산할 수 있다. 직접유출수문곡선은 해당강우의 유효우량만에 의한 것이므로 여기에 기저유량을 더하여 홍수수문곡선(Total Flood Hydrograph)을 계산한다.

유역의 홍수량 산정 시에는 소유역별 홍수수문곡선을 계산하게 되며 이를 위해 전체 유역을 여러 개의 소유역과 하도로 분할한다. 각각의 단일 소유역

에 대하여 Clark 유역추적법으로 계산한 홍수수문곡선은 저수지가 있을 경우는 저수지 추적, 하도로 유출될 때에는 하도추적을 하류방향으로 하게 되며, 이 과정에서 측방유입은 본류의 홍수수문곡선과 합성하게 된다. 유역면적이 약 250km² 이하인 경우는 하도저류효과를 무시할 수 있기 때문에 대상 하천의 모든 홍수량 산정지점에 대해 하도추적 방법 없이 설계홍수량을 산정한다. 따라서 소유역 분할이 필요없고 홍수량 산정지점의 상류유역을 1개의 단일유역으로 취급하여 홍수량을 산정한다. 유역면적이 250km²을 초과하는 유역에서의 유출계산은 전체 유역을 적절한 개수의 소유역과 하도구간으로 분할하여 소유역에 단위유량도를 적용하고 하도구간에 대해 홍수추적을 축차적으로 실시해서 수문곡선을 합성한다.

임계지속기간은 하천과 같은 비저류구조물은 침

두홍수량이 최대일 때, 댐과 같은 저류구조물은 저류용량이 최대가 되는 강우지속기간이며, 유역의 규모에 따라 1시간단위 또는 10분단위의 임계지속기간을 홍수량 산정지점에 대해 결정한다.

5. 향후 계획

금번 연구의 성과가 국내 실정에 맞는 홍수량 산정방법이 될 수 있도록 학계, 업계 등을 대상으로 공청회, 전문가 간담회, 설명회 등을 통한 다양한 의견 수렴 과정을 거쳐 결정될 예정이다. 현재는 국가(지역)수자원관리위원회, 하천관리청의 수자원 전문가를 대상으로 자문회의를 진행 중에 있으며, 완성된 홍수량 산정 표준지침은 마지막 공청회를 거쳐 오는 5월말에 최종 확정될 예정이다.

참고문헌

1. “설계홍수량 산정요령”, 국토해양부 2012
2. “하천설계기준·해설”, 한국수자원학회, 2009
3. “확률강우량도 개선 및 보완 연구”, 국토해양부, 2011
4. “한국형 수문량 분석 선진화 기술 개발 연구”, 첨단기술 기반 하천 운영 및 관리 선진화 연구단, 2017