

「설계홍수량 산정요령」 소개



윤 용 남 |
(주)이산 상임고문
고려대학교 명예교수
ynyoona@korea.ac.kr



정 종 호 |
(주)하존이앤씨 대표이사
jhwater@hotmail.com



류 재 희 |
(주)이산 부장
hydroryu@hanmail.net

본고는 국토해양부 수자원정책관실의 수자원정책과가 한국수자원학회에 연구용역으로 의뢰하여 수행한 「수자원계획 체계 개선방안 연구」라는 정책과제에 포함시켜 별도과제로 수행되었다. 이에 학회는 연구팀을 구성하여 2011년 7월부터 2012년 9월까지 연구를 수행하였으며 그 연구 성과를 「설계홍수량 산정요령(국토해양부, 2012)」으로 발간하였고, 국토해양부는 산하 지방국토관리청과 유관 중앙행정기관, 광역지방자치단체 및 정부투자공사의 설계홍수량 산정 업무에 적극 참고하도록 이를 배

포한 바 있다(국토해양부 하천계획과-1598호 (2012.12.06)).

본 연구에서는 현재 국내 실무에서 설계홍수량 산정시 적용하고 있는 내용과 절차를 바탕으로 「설계홍수량 산정요령」으로 정리함으로써, 설계홍수량 산정시 문제가 되어왔던 설계자의 주관적 판단을 최소화하여 일관성 있는 설계홍수량 산정이 가능하도록 방향을 제시하였다.

본고의 내용은 위 연구용역의 주요 성과를 정리한 것으로 현재 진행되고 있는 설계홍수량 산정과 관련된 연구개발사업(「한국형 수문량 분석 선진화 기술개발」, 한국건설교통기술평가원, 2012~2015)이 완료되어 국내 실정에 맞는 설계홍수량 산정방법이 새롭게 개발되어 보급될 때까지 한시적으로 수문실무에 적용하는 것이 바람직할 것임을 부언하는 바이다.

1. 서론

1.1 목적 및 적용범위

본 산정요령은 수방구조물의 규모 등의 결정에 필요한 설계홍수량의 산정을 위해 국내 실무에서 적용하고 있는 각종 기준 및 이론 등을 검토하여 설계홍수량 산정시 국내에서 문제가 되어 왔던 주관

적 판단을 최소화함으로써 설계홍수량 산정에 대한 개관적이며 일관성 있는 기준 제시를 목적으로 하고 있다.

본 산정요령의 적용범위는 가능최대홍수량과 같은 최대치 개념의 설계홍수량을 채택하는 경우가 아니라 확률홍수량을 최적치 개념의 설계홍수량으로 채택하는 경우에 국한하였으며, 중·대규모 하천시설의 설계에 필요한 설계홍수량 산정요령을 제시하는 것으로 하였다.

1.2 설계홍수량 산정방법의 채택

확률홍수량으로부터 설계 재현기간에 대한 홍수량을 최적치 개념의 설계홍수량으로 결정하는 방법은 침투홍수량자료 시계열의 빈도해석 방법과 설계강우-유출 관계분석 방법으로 대별된다.

침투홍수량자료 시계열의 빈도해석 방법은 홍수량자료 계열을 직접 빈도해석하여 확률홍수량 및 설계홍수량을 산정하는 방법으로 이론적으로 가장 직접적이고 최상의 방법이라 할 수 있다. 하지만, 근본적으로 실측자료가 부족하며 실측 홍수량자료가 아닌 관측홍수위를 수위-유량관계곡선에 의해 환산하는 과정에서 수위-유량관계곡선의 신뢰도가 낮아서 홍수량자료 계열 자체부터 신뢰도가 낮고, 댐 건설 전·후 홍수량 자료가 갖는 불연속성을 고려한 빈도해석의 어려움 등이 곤란한 문제가 되고 있다.

설계강우-유출 관계분석 방법은 확률강우량을 산정한 후 유출 모형으로 유출량을 모의함으로써 확률홍수량 및 설계홍수량을 산정하는 방법으로 상대적으로 풍부한 강우자료를 활용할 수 있는 장점을 지닌 반면, 강우-유출 관계가 선형성을 가진다

는 가정을 전제로 하는 방법이다.

본 산정요령은 현재 국내 실무에서 주로 사용하고 있는 방법이며 홍수량자료 시계열의 빈도해석보다 실무 적용성이 높은 방법인 설계강우-유출 관계 분석에 의한 설계홍수량 산정 방법을 채택하고 적용 범위가 중·대규모 하천의 설계홍수량을 제시하는 것이기 때문에 유출모형으로는 단위도 방법을 적용한다.

1.3 설계빈도의 결정

확률홍수량 중에서 특정 설계빈도에 해당하는 홍수량을 최적치 개념의 설계홍수량으로 결정함에 있어서 설계빈도는 해당 수공구조물의 건설에 소요되는 비용과 구조물의 안전이 균형을 이루도록 하고 수공구조물의 파괴로 인한 피해를 함께 고려하며, 일반적으로 구조물의 중요도, 수명년한, 경제성 등에 따라 결정함이 원칙이다.

하천의 설계빈도 기준은 [표 1]과 같고 이와 같은 기준과 기존 유역종합치수계획 및 하천기본계획 등을 고려하여 설계빈도를 결정하고 있다.

2. 강우분석

2.1 우량관측소 선정

설계 대상 유역과의 거리, 시우량 관측년수, 표고, 수계에 의한 유역분리 등을 종합적으로 고려하여 우량관측소를 선정한다.

기상청, 국토해양부, 한국수자원공사, 한국농어촌공사 및 시·군 관할 우량관측소가 혼재되어 있

표 1. 하천 설계빈도

적용 하천범위	설 계 빈 도	관 리 자	비 고(과거의 구분)
국가하천의주요구간	200년빈도 이상	국토해양부장관	직할하천의 주요 구간(주요도시 관류)
국가하천	100~200년빈도	국토해양부장관	직할하천의 기타 구간(주요 지류)
지방하천	50~200년빈도	광역자치단체장	지방1급 및 2급하천(준용하천),도시하천

는 경우 기상청 혹은 국토해양부 우량관측소를 우선적으로 채택하며, 특별한 경우에는 다른 관측소를 직접 사용하거나 참고자료로 활용 가능하다.

2.2 강우량자료의 수집

2.2.1 고정시간 강우량자료의 수집

수집 대상 강우량자료는 임의시간 10분, 60분, 고정시간 1시간~48시간(1시간 간격, 유역면적 등에 따라 최장 지속기간은 24시간까지 또는 72시간까지로 조정)의 지속기간에 대한 연최대치 강우량이며, 단기간의 결측치는 가급적 RDS 방법(reciprocal distance squared method) 등을 이용하여 보완하여야 한다.

한편, 관측기간이 상이한 우량관측소 자료가 혼재된 경우 1950~1960년대 초반 이전의 자료는 제외하여 자료년수를 가급적 유사하게 조정하는 방안을 적용하고, 시우량의 자료년수가 너무 짧은 우량관측소와 결측자료가 많은 우량관측소 등은 가급적 채택 대상에서 제외한다.

2.2.2 임의시간 강우량자료로의 변환

수문학적 지속기간은 고정시간이 아닌 임의시간을 의미하지만 임의시간 강우량 자료를 수집하는 것이 곤란한 경우가 많으므로 고정시간-임의시간 환산계수를 적용하여 변환하는 방법을 적용한다.

최근 연구인 「확률강우량도 개선 및 보완 연구(국토해양부, 2011)」에서는 원자료를 이용한 환산계수와 확률강우량을 이용한 환산계수를 모두 제시하고 있으나, 이론적으로 타당하고 실무적으로도 합리적인 원자료에 적용하는 [표 2]과 같은 환산계수를 적용한다.

표 2. 고정시간-임의시간 환산계수

고정시간(시간)	1	2	3	4	6	9	12	18	24	48
임의시간(분)	60	120	180	240	360	540	720	1080	1440	2880
환산계수	1.136	1.051	1.031	1.020	1.012	1.007	1.005	1.004	1.003	1.002

이와 같은 고정시간-임의시간 환산계수는 일반적으로 다음과 같이 회귀식을 작성하여 적용하게 된다.

$$Y = 0.1346 \cdot X^{-1.4170} + 1.0014 \quad (1)$$

여기서 Y는 환산계수, X는 강우지속기간(hr)이다.

2.2.3 강우량자료의 검정

지속기간별 연최대 고정시간 강우량자료 계열이 작성되면 이상치 검정, 무작위성 검정, 경향성 검정 등을 실시하여야 한다. 강우량 자료계열의 무작위성과 경향성은 참고적으로 검정할 필요도 있으나, 이상치 검정은 반드시 수행하는 것이 필요하다.

이상치 검정 결과에서 확인한 이상치가 발견되면 원칙적으로 자료에서 제외하며 강우량자료의 문제로 상식 이하로 작은 연최대치가 저이상치로 발견되면 인근 관측소와 비교 등을 통하여 재검토하여야 한다.

2.3 지점확률강우량의 산정

최적 확률분포형으로 주로 Gumbel 분포를 채택하고 있으나 일부 GEV 분포 등을 채택하는 경우도 있다. Gumbel 분포와 GEV 분포에 의해 산정되는 확률강우량의 크기 차이가 크므로 지역적 불연속이 발생하는 것을 방지하기 위하여 Gumbel 분포로 통일하여 채택하는 것을 원칙으로 하고 과거 분석 결과보다 확률강우량이 작게 산정되더라도 확률분포형을 변경하여 이와 같은 역전현상을 막는 편법은 지양되어야 한다.

한편, 참고적으로 「확률강우량도 개선 및 보완 연구(국토해양부, 2011)」에서도 기상청 산하 69개

관측소의 적정 확률분포형을 모두 Gumbel 분포로 제시한 바 있다.

우리나라의 대표적인 지점확률강우량 산정 프로그램으로는 「강우분석 프로그램의 개선 및 활용(국립방재연구소, 2007)」의 FARD(Frequency Analysis of Rainfall Data)를 사용한다.

2.4 강우강도식의 유도

강우강도식은 해당 지속기간에 대한 확률강우량이 없는 경우에 내삽에 의한 보간을 하기 위하여 산정하는 것이 주 목적이며, 부수적으로 이러한 과정을 통하여 지속기간별 확률강우량 추이의 이상 유무도 검토할 수 있다.

강우강도식의 형태로는 Talbot형, Sherman형, Japanese형, Semi-Log형 등과 같은 2회귀상수 형태와 3회귀상수인 General형이 적용되어 왔으며, 최근 「확률강우량도 개선 및 보완 연구(국토해양부, 2011)」에서 제시되고 있는 전대수 다항식형 등이 제시된 바 있다.

이와 같은 여러 공식중 상관계수가 높게 나타나는 형을 채택하는 것이 원칙이며, 회귀상수의 개수가 많은 General형이나 전대수 다항식형의 상관계수가 상대적으로 높으므로 이들 두 가지 중에서 채택하는 것이 바람직하다.

$$\text{Talbot형} \quad : I(t) = \frac{a}{t + b} \quad (2)$$

$$\text{Sherman형} \quad : I(t) = \frac{a}{t^n} \quad (3)$$

$$\text{Japanese형} \quad : I(t) = \frac{a}{\sqrt{t + b}} \quad (4)$$

$$\text{Semi-Log형} \quad : I(t) = a + b \log(t) \quad (5)$$

$$\text{General형} \quad : I(t) = \frac{a}{t^n + b} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{전대수다항식형} : \ln(I) = & a + b \ln(t_h) \\ & + c(\ln(t_h))^2 + d(\ln(t_h))^3 + e(\ln(t_h))^4 \\ & + f(\ln(t_h))^5 + g(\ln(t_h))^6 \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 I(t)는 강우지속기간에 따른 강우강도(mm/hr), t는 강우지속기간(min), t_h는 강우지속기간(hr), a,b,c,d,e,f,g,n 등은 회귀상수이다.

전체 강우지속기간을 하나의 강우강도식으로 나타내기 곤란한 경우에는 단 · 장기간, 단 · 중 · 장기간으로 적절히 구분하여 강우강도식을 유도하여야 하며, 이와 같은 기간 구분시에는 임계지속기간 부근에서 구분할 경우 불연속에 의한 문제점이 발생할 수도 있으므로 임계지속기간 근처에서 구분하는 것은 지양하여야 한다.

2.5 면적확률강우량의 산정

현재 실무에서는 홍수량 산정지점별로 상류 유역 면적에 대하여 관측소별 지점확률강우량을 산정하고 이를 Thiessen 방법 등으로 가중평균한 지점평균확률강우량을 산정한 후, 여기에 면적우량환산계수(areal reduction factor, ARF)를 곱하여 면적확률강우량을 산정하는 방안을 채택하고 있다.

최근 연구인 「확률강우량도 개선 및 보완 연구(국토해양부, 2011)」에서는 4대강 권역별 면적우량 환산계수를 새로 유도하였으며, 본 산정요령에서는 상기 보고서의 일부 오류(지속기간 및 재현기간별 역전 발생)를 수정한 결과를 [표 3]에 제시하였다.

표 3. 면적우량환산계수 회귀식의 회귀상수

재현기간 (년)	권역	매개 변수	지속 기간(시간)											
			1	2	3	4	6	9	12	15	18	24	48	72
50	한강	M	1.1050	1.1335	1.2350	1.4127	2.0381	1.6059	1.4434	1.2088	1.3600	1.6150	1.1706	0.8810
		a	0.1012	0.1000	0.1001	0.1001	0.1055	0.1092	0.1047	0.1069	0.1110	0.1000	0.1091	0.1132
		b	0.3245	0.3063	0.2796	0.2529	0.1997	0.1992	0.2000	0.1997	0.1800	0.1750	0.1619	0.1652

표 3. 면적우량환산계수 회귀식의 회귀상수(계속)

재현기간 (년)	권역	매개 변수	지 속 기 간(시간)												
			1	2	3	4	6	9	12	15	18	24	48	72	
50	낙동강	M	1.0450	1.0233	1.3900	1.3584	1.5000	1.5500	0.9705	0.9070	0.8450	1.4241	1.0652	1.2984	
		a	0.1500	0.1500	0.1500	0.1492	0.1494	0.1490	0.1492	0.1490	0.1450	0.1487	0.1497	0.1494	
		b	0.2927	0.2663	0.2050	0.1990	0.1774	0.1690	0.2000	0.1990	0.2010	0.1500	0.1555	0.1384	
	금강	M	1.2075	1.3090	1.6500	1.7470	3.2680	4.3700	2.5669	1.9100	1.7179	1.5550	1.9300	1.0500	
		a	0.1002	0.1100	0.1140	0.1158	0.1250	0.1210	0.1007	0.1006	0.1010	0.0990	0.1050	0.1080	
		b	0.3160	0.2750	0.2320	0.2180	0.1570	0.1400	0.1854	0.1980	0.1989	0.1980	0.1630	0.1880	
	영산강	M	0.9100	1.0100	1.0460	1.2200	1.3942	1.8853	1.1700	0.7900	0.6700	0.6400	0.7160	0.6000	
		a	0.1494	0.1497	0.1500	0.1498	0.1432	0.1337	0.1330	0.1240	0.1200	0.1210	0.1162	0.0966	
		b	0.3587	0.2750	0.2450	0.2149	0.1885	0.1615	0.1881	0.2250	0.2420	0.2400	0.2230	0.2590	
	80	한강	M	1.0910	1.1350	1.1879	1.4128	2.0381	1.6059	1.4318	1.2229	1.3560	1.6280	1.1790	0.8810
			a	0.1005	0.1009	0.1005	0.1005	0.1058	0.1095	0.1068	0.1072	0.1110	0.1000	0.1091	0.1146
			b	0.3302	0.3064	0.2871	0.2533	0.2000	0.1996	0.1992	0.1990	0.1810	0.1750	0.1619	0.1646
낙동강		M	1.0480	1.0290	1.3400	1.3502	1.5080	1.5630	0.9892	0.9071	0.8530	1.4100	1.0810	1.2984	
		a	0.1500	0.1500	0.1500	0.1499	0.1494	0.1490	0.1498	0.1497	0.1450	0.1487	0.1500	0.1498	
		b	0.2939	0.2663	0.2100	0.1998	0.1774	0.1690	0.1989	0.1997	0.2010	0.1515	0.1548	0.1387	
금강		M	1.2000	1.2400	1.6600	1.7600	3.3000	2.8140	2.2991	1.9280	1.7200	1.5650	1.9500	1.0490	
		a	0.1004	0.1150	0.1140	0.1158	0.1250	0.1210	0.1008	0.1006	0.1009	0.0990	0.1050	0.1080	
		b	0.3180	0.2810	0.2320	0.2180	0.1570	0.1650	0.1928	0.1980	0.1997	0.1980	0.1630	0.1890	
영산강		M	0.9080	0.9500	1.1120	1.2230	1.7500	1.9200	1.1580	0.7850	0.6900	0.6530	0.7430	0.6110	
		a	0.1498	0.1550	0.1500	0.1500	0.1499	0.1337	0.1350	0.1240	0.1200	0.1210	0.1162	0.0966	
		b	0.3630	0.2880	0.2391	0.2150	0.1660	0.1610	0.1881	0.2260	0.2410	0.2400	0.2220	0.2590	
100	한강	M	1.0910	1.1200	1.1880	1.4128	2.0596	1.6220	1.4318	1.2230	1.3400	1.6310	1.1830	0.8800	
		a	0.1008	0.1000	0.1008	0.1007	0.1066	0.1103	0.1069	0.1073	0.1110	0.1000	0.1091	0.1146	
		b	0.3304	0.3108	0.2872	0.2533	0.1987	0.1984	0.1994	0.1992	0.1820	0.1750	0.1619	0.1649	
	낙동강	M	1.0550	1.0320	1.2530	1.3502	1.3460	1.5520	0.9880	0.9100	0.8580	1.4150	1.0810	1.2984	
		a	0.1500	0.1500	0.1500	0.1500	0.1499	0.1490	0.1500	0.1500	0.1450	0.1487	0.1500	0.1500	
		b	0.2939	0.2663	0.2190	0.2000	0.1880	0.1700	0.1994	0.2000	0.2010	0.1515	0.1550	0.1387	
	금강	M	1.2040	1.2550	1.6650	1.7350	3.3100	2.8290	2.2300	1.9370	1.6400	1.5950	1.9300	1.0300	
		a	0.1004	0.1150	0.1140	0.1158	0.1250	0.1210	0.1010	0.1006	0.1000	0.1010	0.1050	0.1080	
		b	0.3190	0.2800	0.2320	0.2200	0.1570	0.1650	0.1950	0.1980	0.2050	0.1950	0.1640	0.1905	
	영산강	M	0.9020	0.9880	1.0300	1.2050	1.7750	1.9200	1.1600	0.8080	0.6900	0.6550	0.7540	0.6150	
		a	0.1492	0.1592	0.1600	0.1490	0.1500	0.1340	0.1350	0.1240	0.1200	0.1210	0.1162	0.0966	
		b	0.3680	0.2780	0.2460	0.2180	0.1650	0.1610	0.1881	0.2240	0.2420	0.2410	0.2210	0.2600	
200	한강	M	1.0917	1.1253	1.1935	1.4127	2.0597	1.6221	1.4318	1.2233	1.3250	1.6400	1.1870	0.8840	
		a	0.1000	0.1000	0.1000	0.1001	0.1069	0.1098	0.1076	0.1077	0.1110	0.1000	0.1091	0.1146	
		b	0.3325	0.3108	0.2892	0.2551	0.1991	0.1996	0.1994	0.1992	0.1830	0.1750	0.1619	0.1649	
	낙동강	M	1.0469	1.0300	1.2097	1.3686	1.3100	1.5550	0.9880	0.9604	0.8630	1.4250	1.0623	1.2984	
		a	0.1500	0.1500	0.1500	0.1500	0.1499	0.1490	0.1500	0.1498	0.1450	0.1487	0.1500	0.1500	
		b	0.2974	0.2670	0.2241	0.2000	0.1911	0.1700	0.2000	0.1960	0.2010	0.1515	0.1568	0.1394	
	금강	M	1.2090	1.2570	1.4700	1.6430	3.4000	2.8190	2.2400	1.9885	1.6300	1.5900	1.9150	1.0400	
		a	0.1004	0.1150	0.1090	0.1150	0.1250	0.1210	0.1010	0.1004	0.1000	0.1010	0.1050	0.1080	
		b	0.3180	0.2800	0.2530	0.2270	0.1560	0.1660	0.1950	0.1971	0.2060	0.1960	0.1650	0.1905	
	영산강	M	0.8900	0.9880	1.0260	1.2190	1.7800	1.9050	1.1650	0.8300	0.6860	0.6540	0.7430	0.6030	
		a	0.1492	0.1592	0.1600	0.1490	0.1500	0.1350	0.1350	0.1240	0.1200	0.1210	0.1162	0.0966	
		b	0.3770	0.2790	0.2470	0.2170	0.1650	0.1610	0.1881	0.2220	0.2430	0.2420	0.2230	0.2650	

주) 유역면적 A km²에 대한 면적우량 환산계수 $ARF(A) = 1 - M \cdot \exp[-(aA^b)^{-1}]$

2.6 설계강우의 시간분포

설계강우의 시간분포를 위해 실무에서 주로 적용하고 있는 방법은 Huff 방법으로, 이 방법은 강우 기록의 통계학적 분석을 통하여 제시된 무차원누가곡선으로 강우를 분포시키는 방법이다. Huff 방법 적용시 중요한 분위 채택에 있어서 기존 「지역적 설계강우의 시간적 분포(건교부, 2000)」에서는 최빈분위 채택을 제시한 바 있으나, 최빈분위는 단지 강우의 산술적인 발생빈도가 약간 높은 정도이어서 높은 빈도의 홍수량 산정에서 이를 적용하는 것은 무의미하며, 대부분의 최빈분위인 2분위의 경우 초기손실이 많이 발생하여 홍수유출량이 작게 산정되는 문제점이 야기되어 왔다.

「확률강우량도 개선 및 보완 연구(국토해양부, 2011)」에서는 단지 강우분석만이 아니라 홍수량 산정 결과 등을 종합적으로 검토하여 3분위를 실무적 안전측으로 제시하고 있으며 이와 같은 제안이 합리적이라고 판단되므로 향후 Huff 분위는 3분위 채택을 원칙으로 제시하였다.

3. 홍수량 산정지점 선정 및 유역특성인자의 산정

3.1 홍수량 산정지점의 선정

홍수량 산정지점은 유역 상·하류의 홍수량 변화를 파악할 수 있을 정도의 구간 설정, 지류합류점 및 주요구조물 지점 등을 고려하여 선정하여야 하므로 다음과 같은 사항을 고려하여 선정하도록 한다.

- ① 과거 홍수량 산정지점, 주요 지류합류점, 수위표 지점, 치수계획에 필요한 지점을 중심으로 선정하며, 주요 지류와 본류의 합류점의 경우 지류의 영향을 검토할 수 있도록 합류 전·후 모두를 채택한다.
- ② 지형특성 및 하도특성을 고려한다.

- ③ 홍수량 산정지점 선정시 대유역은 국가하천과 지방하천의 중요지점, 특히 지방하천은 일정 규모 이상 하천의 하구부의 홍수량을 산정하고, 피해위험성이 큰 도시 및 인구밀집지역이 포함된 지류 하천의 경우 홍수방어대책수립이 용이하도록 산정지점을 좀 더 세분화하여 선정할 수 있다.

- ④ 홍수조절지, 방수로, 강변저류지 등과 같은 홍수방어대안이 계획되어 있거나 홍수조절효과를 판단할 수 있는 지점에 대해서도 산정지점으로 결정한다.

3.2 유역특성인자의 산정

유역특성인자로는 유역면적, 유로연장, 유로경사, 형상계수 등이 있으며 수치지형도를 이용하여 산정하여야 한다.

유로연장은 유역의 출구로부터 유역의 최원점까지의 연장을 채택하며, 유로경사는 적절한 구간별로 나누어 계산한 후 구간별 도달시간 산정시 이용한다.

4. 유효우량의 산정

현재 수자원실무에서 대부분 사용하고 있는 미국 SCS(현재 NRCS) 방법을 채택하고, 미국 SCS 방법의 우리나라 적용을 위한 개선된 방법을 적용한다.

4.1 토양군의 분류

우리나라 수문학적 토양군의 분류는 과거에는 「유출률 추정을 위한 토양 수문군의 분류(정정화와 장승표 등, 1995)」의 연구 결과를 이용하여 왔으나, 최근에는 이를 개선한 연구인 「투수속도 측정에 기반한 수문학적 토양유형의 분류(농업과학기술원, 2007)」의 분류 방법을 주로 적용하고 있다. 두 방

법의 결과가 다소 상이하게 나타나는 경우가 있으므로 일관성 확보 차원에서 최신 연구 결과인 농업과학기술원의 분류 방법을 적용하는 것으로 한다.

4.2 유출곡선지수 기준의 조정

우리나라 논외의 경우 홍수기에는 담수상태이므로 「논의 유출곡선번호 추정(임상준 등, 한국수자원학회 논문집, 제30권 제6호, 1997.8)」에서 제시한 바와 같이 토양군에 관계없이 CN II (AMC-II 조건)를 79로 적용한다.

지금까지 우리나라 실무에서는 산림의 수문학적 조건의 등급(Hydrological Condition Class, HC)을 유출이 가장 높은 HC=1을 대부분 적용하여 왔으나 이는 현재 우리나라의 산림의 조건과 차이가 크므로 개선이 필요하다. 미국 SCS에서 제시하고 있는 기준을 살펴보면 산림(forest)과 상대적으로 유사한 수림(woods)이 있으며, 우리나라는 설계안전 차원에서 수문학적 불량(poor) 조건을 채택하고 있으며 이 경우의 유출곡선지수가 [그림 1]에서

산림의 수문학적 조건 등급 HC=2.25로 나타나고 있음을 알 수 있다.

이를 토대로 산림의 유출률이 수림보다 상대적으로 높은 점 등을 감안한다면 산림의 수문학적 조건 등급(HC)은 수림보다 유출률이 높은 조건을 적용하는 것이 필요하며 또한, 유출률이 가장 높은 HC=1은 지나치게 과대한 점 등을 고려하여 산림의 수문학적 조건 등급 HC=2를 적용하는 것을 원칙으로 한다.

산림의 수문학적 조건 등급 HC=2를 적용할 경우 산림의 유출곡선지수는 [그림 1]에서 보는 바와 같이 A Type 48, B Type 69, C Type 79, D Type 85이다.

4.3 국내 토지이용 분류기준 적용시 유출곡선지수의 결정 방법

미국 SCS의 유출곡선지수 기준 및 토지이용 분류기준과 국내 실무에서 사용되는 기준 등을 종합적으로 고려하여 수치토지이용도 및 수치토지피복

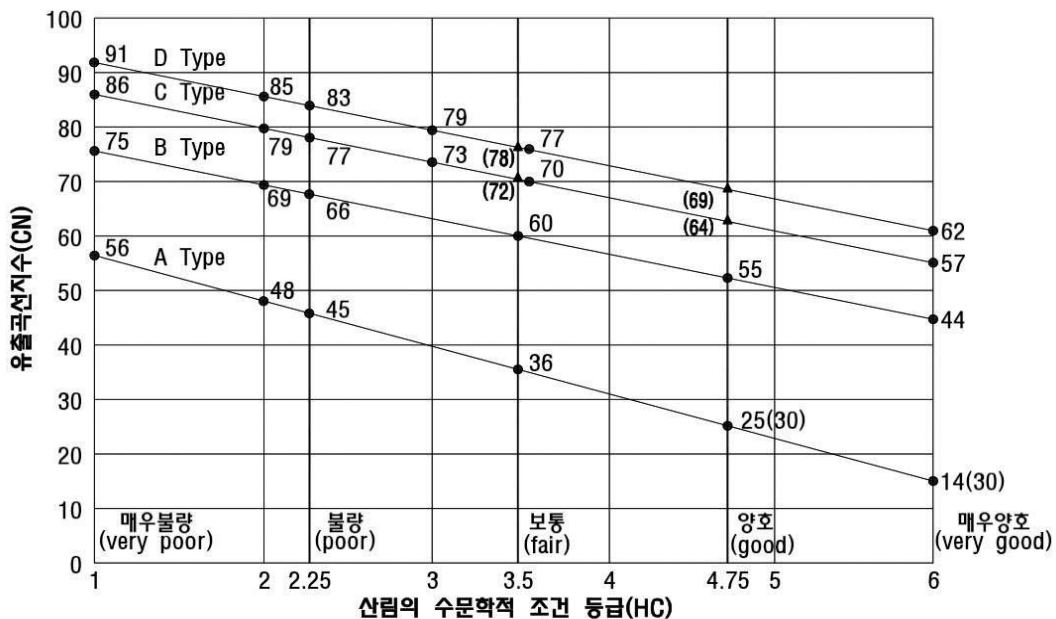


그림 1. 산림의 수문학적 조건 등급에 따른 CN 결정

도의 분류기준별 유출곡선지수를 결정할 수 있는 선지수 기준을 AMC-II 조건에 대해 [표 4]와 같이
 기준인 우리나라 토지이용 분류기준에 따른 유출곡 제시하였다.

표 4. 우리나라 토지이용 분류기준에 따른 유출곡선지수 기준(AMC-II 조건)

수치토지이용도		수치토지피복도		토 양 군				비 고 (SCS 분류기준 등)
세분류	코드번호	중분류	코드번호	A	B	C	D	
경지정리답	1110	논	210	79	79	79	79	별도 기준(논)
미경지정리답	1120			79	79	79	79	
보통, 특수작물	1210	밭	220	63	74	82	85	조밀 경작지, 등고선 경작, 불량
과수원기타	1220	과수원	240	70	79	84	88	이랑 경작지, 등고선 경작, 불량
자연초지	2110	자연초지	410	30	58	71	78	초지, 등고선경작, 양호
인공초지	2120	기타초지	430	49	69	79	84	자연목초지 또는 목장, 보통
침엽수림	2210	침엽수림	320	48	69	79	85	산림, HC=2
활엽수림	2220	활엽수림	310	48	69	79	85	
혼합수림	2230	혼호림	330	48	69	79	85	
골프장	2310	골프장	420	49	69	79	84	개활지, 보통
공원묘지	2320	기타초지	430	49	69	79	84	
유원지	2330	위락시설지역	140	49	69	79	84	
임벽및석산	2340	기타나지	620	77	86	91	94	개발중인 지역
일반주택지	3110	주거지역	110	77	85	90	92	주거지구, 소구획 500m ² 이하
고층주택지	3120			77	85	90	92	
상업, 업무지	3130	상업지역	130	89	92	94	95	도시지역, 상업 및 사무실지역
나대지및인공녹지	3140	기타나지	620	77	86	91	94	개발중인 지역
도로	3210	교통지역	150	83	89	92	93	도로, 포장도로(도로용지 포함)
철로및주변지역	3220			83	89	92	93	
공항	3230			83	89	92	93	
항만	3240			83	89	92	93	
공업시설	3310	공업지역	120	81	88	91	93	도시지구, 공업지역
공업나지, 기타	3320	기타나지	620	77	86	91	94	개발중인 지역
발전시설	3410	공공시설지역	160	61	75	83	87	주거지구, 소구획 500~1,000m ²
처리장	3420			61	75	83	87	
교육, 군사시설	3430			61	75	83	87	
공공용지	3440			61	75	83	87	
양어장, 양식장	3510			100	100	100	100	별도기준(수면)
채광지역	3520	채광지역	610	68	79	86	89	개활지, 불량
매립지	3530	공공시설지역	160	61	75	83	87	주거지구, 소구획 500~1,000m ²
광천지	3540	채광지역	610	68	79	86	89	개활지, 불량
가축사육시설	3550	기타재배지	250	68	79	86	89	자연목초지 또는 목장, 불량
갯벌	4110	연안습지	520	100	100	100	100	별도기준(수면)
염전	4120							
하천	4210							
호, 소	4310	내륙수	710	100	100	100	100	
댐	4320	공공시설지역	160	61	75	83	87	주거지구, 소구획 500~1,000m ²
백사장	4410	기타나지	620	77	86	91	94	개발중인 지역
-	-	하우스재배지	230	76	85	89	91	도로, 포장, 개거
-	-	내륙습지	510	100	100	100	100	별도기준(수면)
-	-	해양수	720	100	100	100	100	

한편, 우리나라 토지이용 세분류에 적합한 유출 곡선지수 기준의 세분화는 추후 연구과제에서 수행되어야 할 것이다.

여 유역도, 토지피복도 및 정밀토양도를 중첩하고 수문학적 토양군으로 분류하는 과정을 거쳐 소유역 별로 평균유출곡선지수를 산정한다.

4.4 선행토양함수조건의 고려 방법

선행토양함수조건은 설계안전을 고려하여 유출률이 가장 높은 AMC-Ⅲ 조건을 적용하여 유출곡선지수는 CNⅢ를 채택하는 것으로 한다.

4.5 소유역별 평균유출곡선지수의 산정절차

소유역별 평균유출곡선지수를 산정하는 절차를 도시하면 [그림 2]와 같으며, GIS 기법 등을 도입하

5. 홍수량 산정방법 채택 및 유역추적 매개변수의 산정

5.1 홍수량 산정방법의 채택

유역의 대표단위도는 다수의 호우 사상별 강우-유출 자료로부터 유도될 수 있으나, 실무에서는 자료의 제약 때문에 관측자료로부터의 단위도 유도가 곤란하므로 대부분의 경우 미세측 유역에 적용하는

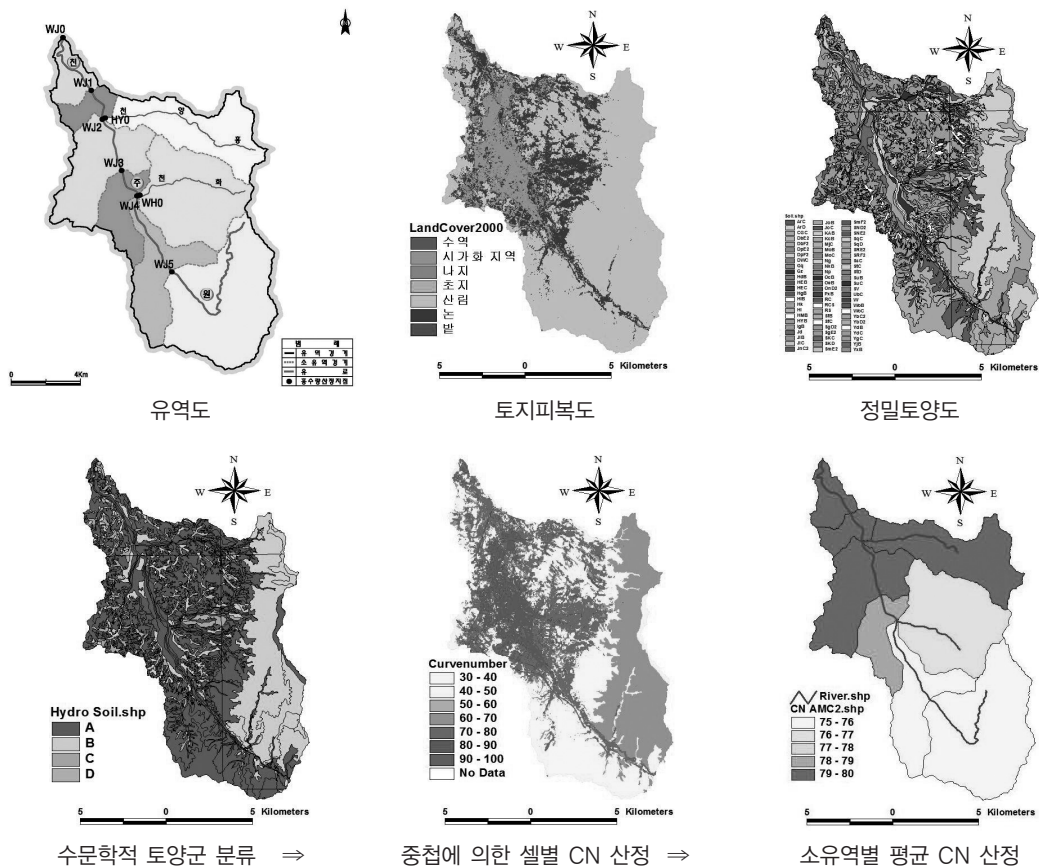


그림 2. 평균 유출곡선지수(CN) 산정 절차

합성단위도 방법을 사용하고 있으며, 국내 실무에서 사용되고 있는 합성단위도 방법에는 Clark, SCS, Snyder, Nakayasu(中安) 단위도법 등이 있다.

Clark 단위도법은 유도된 유역의 지역성을 띠는 다른 3가지 단위도법과는 달리, 순간단위도 원리를 이용한 유역추적방법으로 유역의 도달시간과 유역의 저류능을 대표하는 유역저류상수 등 2개의 매개변수의 결정만으로 단위도를 합성할 수 있을 뿐 아니라 다른 3가지 방법과는 달리 지역성을 가지지 않는 비교적 객관적인 방법이라 할 수 있다.

따라서 본 산정요령에서는 여러 가지 방법으로 산정한 홍수량의 비교·평가에서 오는 번잡함을 피하고 일관성과 객관성이 국내 실무에서 대체로 입증되어 온 Clark 단위도법을 홍수량 산정 방법으로 채택한다.

5.2 경험공식에 의한 유역추적 매개변수 산정

금회 채택한 Clark 단위도법은 유역의 도달시간(T_c)과 유역저류상수(K) 등 2개를 매개변수로 하는 단위도법이다. 이들 매개변수의 결정은 미계측유역에는 경험공식을 적용하여 산정하며, 계측유역의 경우는 매개변수 검정(calibration)을 통한 결과를 이용할 수도 있다.

5.2.1 도달시간 산정

현재 실무에서 가장 많이 사용되고 있는 Kraven(II) 공식의 경우 경사구간별 유속을 제시하고 있으므로 유속의 불연속이 발생하게 되며, 경사가 매우 완만한 구간 및 경사가

매우 급한 구간에는 적용하기 곤란한 문제점 등을 가지고 있다.

이를 보완하기 위하여 급경사부의 유속은 기존 소하천정비종합계획 내용을 참조하고 환경사부의 유속은 「금강유역종합치수계획 보고서(국토해양부, 2008)」에서 제시되고 있는 수정 Kraven(II) 공식의 결과 등을 참조하여 급경사부와 환경사부 유속을 보완하여 연속형 Kraven 공식으로 제안하였다.

연속형 Kraven 공식 형태는 Kraven 공식(II)과 동일하며 단지 경사구간별 유속을 급경사부와 환경사부로 나누어서 나타낸 결과는 [그림 3]과 같고, 평균유속 V 를 하도경사 S 의 향으로 표시한 회귀식은 다음과 같다.

$$\text{급경사부}(S>3/400): V = 4.592 - \frac{0.01194}{S}, \quad V_{\max} = 4.5\text{m/s} \quad (8)$$

$$\text{완경사부}(S \leq 3/400): V = 35,151.515S^2 - 79.393939S + 1.6181818, \quad V_{\min} = 1.6\text{m/s}$$

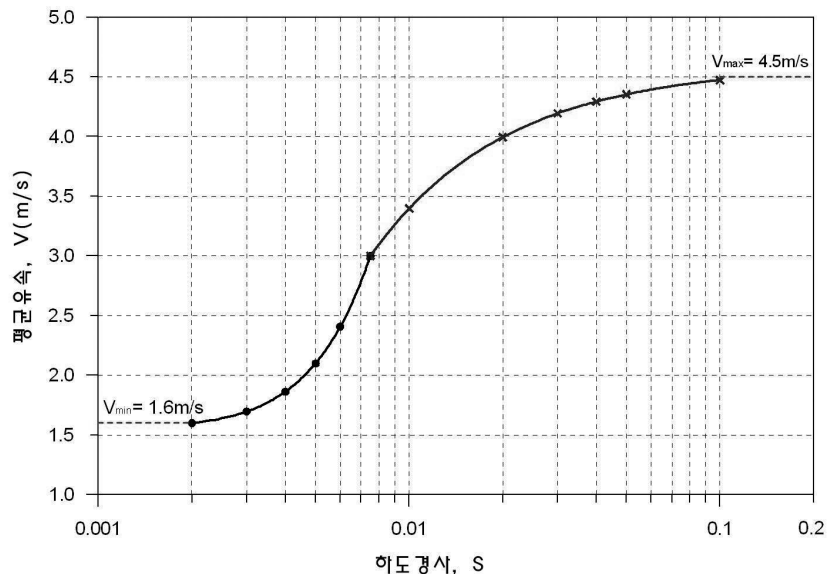


그림 3. 연속형 Kraven 공식 유도에 필요한 경사구간별 유속분포

5.2.2 유역저류상수의 산정

Clark 단위도법의 유역저류상수를 산정하기 위한 경험공식중 과거에는 Russel 공식의 형태를 채택하여 왔으나 최근 들어 식 (9)와 같은 Sabol 공식 (「Clark Unit Hydrograph and R-parameter (Sabol, 1988)」)을 많이 채택하고 있다. Sabol 공식은 유역규모를 고려하지 못하는 문제점은 Russel 공식과 동일하지만 유역형상을 형상계수의 역수 형태로 고려하므로 Russel 공식보다 합리적이라 할 수 있어서 Sabol 공식을 유역저류상수 산정 방법으로 채택하는 것으로 한다.

$$K = \frac{T_c}{1.46 - 0.0867 \frac{L^2}{A}} \quad (9)$$

여기서 K는 유역저류상수(hr), T_c 는 도달시간(hr), L은 유로연장(km), A는 유역면적(km²)이다.

6. 홍수수문곡선 계산

6.1 소유역별 홍수수문곡선 계산

대상 유역의 설계강우를 시간분포시켜 총우량주상도를 작성한 후 유역의 평균 유출곡선지수(CN)를 사용하여 SCS 방법에 의해 강우시간 구간별 유효우량을 산정하여 유효우량주상도를 작성한다. 유역에 내린 유효우량의 시간적 분포를 표시하는 유효우량주상도와 유효우량으로 인한 직접 유출의 전이를 고려해 주는 시간-면적곡선을 사용하면 유역 출구로 전이되는 직접 유입수문곡선을 계산할 수 있다. 직접유출 수문곡선은 해당 강우의 유효우량만에 의한 것이므로 여기에 기저유량을 더하여 홍수수문곡선(total flood hydrograph)을 계산한다.

미계측유역인 경우 유역의 특성이 유사하다고 판단되는 인근 유역 자료를 활용하여 산정하는 방법이 현재로서는 최선의 방법이며, 기저유량에 대한 구

체적인 연구는 아직 미흡한 실정으로 향후 연구과제 등에서 유역의 토양특성, 유출특성을 고려한 기저유량 산정 방법을 개발할 필요가 있다.

6.2 저수지 홍수추적 및 하도 홍수추적

6.2.1 저수지 홍수추적

저수지 홍수추적(reservoir flood routing)은 저수지로 들어오는 유입수문곡선을 저수지에서 나가는 유출수문곡선으로 전환시키는 절차로, 수문에 의해 조절되지 않는 단순저수지의 홍수추적을 위하여 수집하여야 하는 자료는 표고별 저류량곡선 및 표고별 유출량곡선 등이며, 일반적으로 Puls 방법 또는 저류지시법(storage indication method)으로 불리는 방법을 적용한다.

6.2.2 하도 홍수추적

하도 홍수추적(channel flood routing)은 어떤 하도구간으로 들어오는 유입수문곡선을 하도구간에서 나가는 유출수문곡선으로 전환시키는 절차이다.

하도 홍수추적 방법에는 Muskingum 방법과 Muskingum-Cunge 방법이 있으나 두 방법 모두 하도 홍수추적에 따른 침투홍수량 저감이 미미하므로 일반적으로 Muskingum 방법을 주로 사용하며, Muskingum 방법의 매개변수는 하도저류상수 K와 가중계수 x이다.

Muskingum 방법의 하도저류상수 K값으로 추적구간의 홍수파(flood wave) 통과시간을 주로 사용하며, 자연하천의 홍수파 통과시간은 하도의 유희시간의 2/3를 적용한다.

홍수의 저류효과(attenuation) 정도를 결정하는 무차원 가중계수 x값은 0~0.5의 범위를 가지며, x값은 민감도가 낮으므로 중간값인 0.2를 채택하면 무난하다.

6.3 소유역 분할에 의한 홍수수문곡선 계산

6.3.1 소유역 분할에 따른 홍수량 증가원인 및 문제점

홍수량 산정시 상류부 홍수량 산정지점부터 하류부 홍수량 산정지점으로 홍수량을 산정하여 내려오면서 홍수량 산정지점의 상류유역을 처리하는 방법은 상류유역을 1개의 단일유역으로 처리하는 하도추적 제외 방법과 소유역별 자체유역 홍수량을 산정하고 이를 하도추적 및 합성을 통하여 산정하는 하도추적 포함 방법으로 대별된다.

하도추적 포함 방법을 적용할 경우 홍수량이 커지게 되며 이의 원인은 소유역 분할로 홍수량 산정 대상유역의 면적이 작아지면 홍수도달시간이 짧아져서 단위도 종거의 침투치 증가로 인해 침투홍수량은 크게 증가되는 반면 하도의 저류효과로 인한 침투홍수량의 감소는 매우 작기 때문이다.

현재 실무에서는 하도추적 포함 방법 적용시 홍수량이 증가되는 부분을 조정하기 위하여 Clark 단위도법 적용시 홍수량이 주관적인 판단이나 기존 고시된 홍수량보다 크게 나오는 조건 등을 고려하여 산정된 유역저류상수를 임의 조정하고 있으므로 이 부분의 개선이 가장 필요하다.

6.3.2 소유역 분할에 따른 홍수량 증가문제 해소 방안

소유역 분할 기준은 단위도 적용에 적절한 유역면적 규모와 관련이 크므로, 유역규모에 따른 유출특성을 「Hydrology of Floods in Canada:A

Guide to Planning and Design(NRCC, 1989)」 등을 토대로 정리하면 [표 5]와 같다.

위의 표를 기준으로 대상 유역면적이 약 250km² 이하인 경우는 [표 5]에서 보는 바와 같이 하도저류효과를 무시할 수 있기 때문에 대상 하천의 모든 홍수량 산정지점에 대하여 하도추적 제외방법을 적용하여 설계홍수량을 산정하는 것으로 한다. 따라서 소유역의 분할이 필요 없고 홍수량 산정지점의 상류유역을 1개의 단일유역으로 취급하여 홍수량을 산정한다.

대상 유역면적이 약 250km² 이상인 경우는 [표 5]에서 보는 바와 같이 하도저류효과를 고려해야 하므로 하도추적 포함방법을 적용해야 한다.

따라서 [그림 4]에서 제시하고 있는 바와 같이 홍수량 산정지점(P-I-1, P-I-2, …, P-III-2 등)을 기준으로 여러 개의 소유역으로 분할하여 상류에서 하류 방향으로 유역추적과 하도추적을 반복하여 홍수량을 산정하게 된다.

하도추적 포함방법을 적용할 경우 분할된 소유역의 홍수도달시간이 짧아서 단위도의 종거가 커지기 때문에 침투홍수량이 커지지만 하도의 저류능력이 작아서 침투홍수량의 감소는 미미하므로 하류로 내려가면서 이 영향이 누적되어 홍수량이 정도 이상으로 커지는 문제가 발생한다. 이러한 문제점을 해소하기 위해 다음과 같은 하도추적 방법을 적용하는 것으로 한다.

- 1) [그림 4]에서와 같이 분석 대상유역의 홍수량 산정지점(P-I-1, P-I-2, …, P-III-2 등) 기준으로 여러 개의 소유역(A-I-1, A-

표 5. 유역규모에 따른 유출특성

구 분	소규모 유역	중규모 유역	대규모 유역
설계강우 지속기간동안 강우강도	일정	변화	변화
강우의 공간분포	균일	균일	변화
유출형태	표면류 흐름이 지배적	표면류흐름과 하도흐름으로 구성	하도흐름이 지배적
하도저류효과	무시	무시	고려
유역면적	25km ² 이하	25~250km ²	250km ² 이상
홍수량 산정방법	하도추적 제외방법		하도추적 포함방법

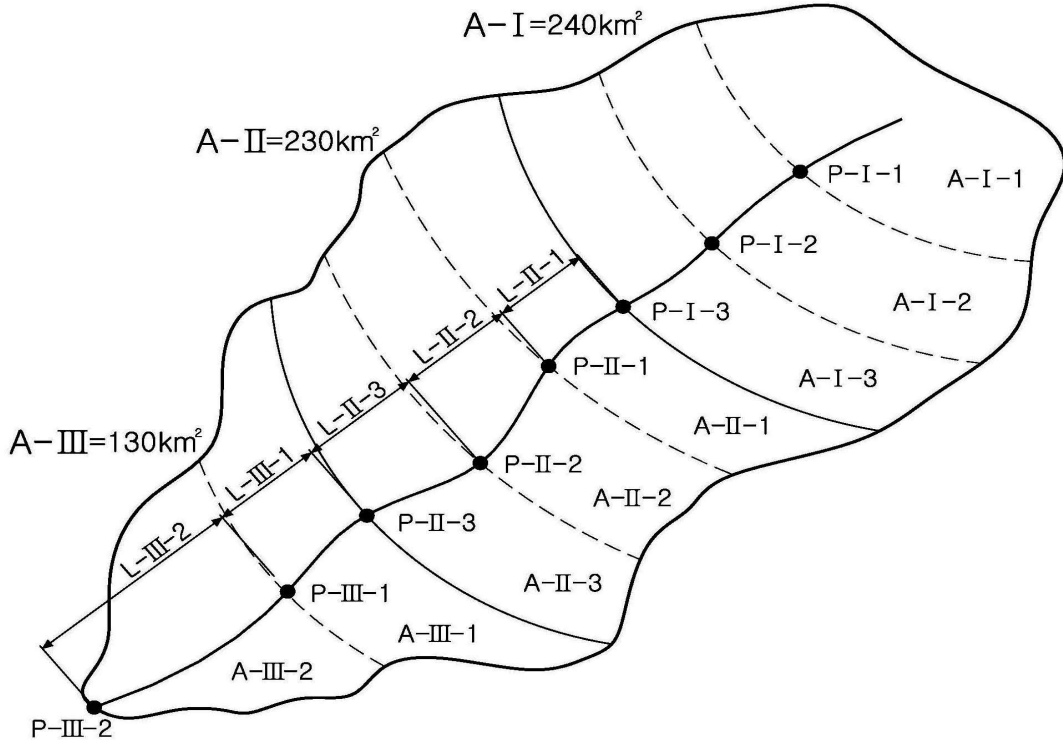


그림 4. 단위도 적용 상한계를 초과하는 경우의 소유역분할 및 홍수량 산정방법

I-2, …, A-III-2 등)으로 분할하기 이전에 전체 대상 유역을 상류로부터 하류 방향으로 유역면적이 약 250km² 이하인 몇 개의 중규모 유역(A-I, A-II, A-III 등)으로 분할하고 최상류 중규모 유역의 홍수량을 유역추적 제외방법으로 산정한 후, 이를 직하류 구간에 대한 하도추적 대상 홍수량으로 채택한다.

- 2) 하류 방향으로의 하도추적은 홍수량 산정지점 구간별로 순차적으로 시행하는 것이 아니라 분할된 직상류의 중규모 유역 홍수량을 홍수량 산정지점별 해당 하도구간에 대하여 한꺼번에 실시한다.
- 3) 하도추적후 합성되는 자체 소유역의 홍수량은 홍수량 산정지점별로 직상류 중규모 유역 출구지점에서 홍수량 산정지점까지의 면적에 대하여 한꺼번에 산정한다.

- 4) 만약, 대상 하천수계내에 홍수조절용량을 가진 댐이 위치하고 있을 경우에는 댐지점을 기준으로 하여 저수지 홍수추적을 실시하고 댐 직하류부터 하도추적을 계속해야 한다.

6.4 설계홍수량의 최종 결정

하천제방 등과 같은 홍수소통형 수공구조물의 설계홍수량 산정시 설계강우량의 지속기간 크기에 따라 산정되는 첨두홍수량의 크기는 변화하며, 첨두홍수량이 최대로 계산될 때의 강우지속기간을 수공구조물 지점유역의 임계지속기간이라 정의한다. 한편, 댐, 저류지 등과 같은 홍수저류형 수공구조물의 경우 임계지속기간은 홍수용적 혹은 저수위가 최대로 계산될 때의 강우지속기간이 된다.

수공구조물의 최종적인 설계홍수량으로는 여러

개의 가정된 강우지속기간(유역규모에 따라 1시간 혹은 10분 단위) 각각에 상응하는 설계강우량을 시간분포 시킨 후 전술한 바 Clark 단위도법에 의한 홍수수문곡선 계산절차에 따라 산정한 강우지속기간별 첨두홍수량 중 최대 홍수량을 채택하게 되며, 이에 해당하는 강우지속기간이 설계홍수량 산정지점의 임계지속기간이 된다.

감사의 글

본 연구를 위해 연구비를 지원해준 국토해양부 수자원정책관실에 감사를 드리며, 본 연구의 성과로 작성된 「설계홍수량 산정요령」을 실제의 다수 표본 유역에 적용하여 실용성을 검증하는 작업에 참여해주신 (주)삼안 문용주 이사와 (주)현대엔지니어링 이희철 차장, 그리고 연구기간 동안 간사로 수고해주신 (주)이산 김명수 차장의 노고에 감사드립니다. ☺