

설계강우의 임계지속시간에 미치는 수문요소들의 영향에 관한 연구

- 위천 유역을 중심으로 -

A Study on Effects of Hydrological Factors on Critical Duration of Design Storm - Centering on the Wi-Cheon Stream -

이정규*, 양희성**, 장기환***

Jong-Kyu Lee, Hee-Sung Yang, Ki-Hwan Jang

요 지

수공구조물의 설계를 위해서는 해당 수공구조물의 중요도에 따른 설계빈도 및 설계유량과 설계수위 등의 설정이라는 과정이 필요하다. 설계빈도는 하천설계기준에 제시되어 있는 바와 같이 시설물의 입지조건과 중요도에 따라 기준이 제시되어 있으며 설계홍수량은 확률강우량을 기초로 한 설계강우를 결정하고, 결정된 설계유량에 의한 유출량의 산정작업이 필요하다. 이와 같은 설계홍수량의 산정에 있어서 설계강우의 지속시간 설정은 매우 중요한 작업이다. 일반적으로 동일한 설계빈도의 홍수량은 지속시간에 따라 많은 차이를 보이고 있다. 따라서 설계강우의 지속시간 설정은 매우 중요한 설계인자가 되므로 본 연구에서는 IHP유역인 위천유역을 대상으로 최근 권장되고 있는 설계강우의 지속시간 설정을 위한 개념인 임계지속시간을 산정하여 임계지속시간에 영향을 미치는 수문인자들에 대해 살펴보고자 한다.

본 연구에서는 IHP 유역인 위천 유역(동곡 외 4개 소유역)을 대상으로 설계홍수량의 첨두유출량이 최대로 발생하는 강우지속시간을 임계지속시간으로 설정하였으며, 설계홍수량의 산정시 설계강우로부터 홍수량을 산정하기 위한 일련의 절차에서 이용되는 각종 수문요소들, 즉 강우시간분포와 유효우량 산정방법, 유출모형 그리고 면적의 변화에 따른 임계지속시간의 변화를 연구하였다.

본 연구에서는 임계지속시간의 개념을 고려한 설계강우의 지속시간을 산정하기 위해 필요한 각 수문요소별 산정방법은 국내 자료로부터 제안된 방법을 우선 사용하였으며, 임계지속시간의 개념에 따른 설계강우의 지속시간 산정을 위해 확률강우량 산정, 강우의 시간분포(Huff 분포, Yen & Chow의 삼각형 분포), 유효우량 산정방법(AMC-II, AMC-III, CN37), 대표단위도와 6가지 합성단위도법을 적용하였다.

산정된 결과로부터 임계지속시간 산정에 영향을 주는 각 수문인자 중 강우시간분포와 유효우량 산정방법 그리고 유출모형에 대해 각각 검토하였으며, 최종적으로 면적에 따른 임계지속시간과 유출량의 변화를 검토해 보았다.

핵심용어 : 임계지속시간, 설계강우, 설계홍수량, 강우의 시간분포, 유효우량 산정방법, 유출모형

1. 서 론

본 연구에서는 IHP 유역인 위천 유역(동곡 외 4개 소유역)을 대상으로 설계홍수량의 첨두유출량이 최대로 발생하는 강우지속시간을 임계지속시간으로 설정하였으며, 설계홍수량의 산정시 설계강우로부터 홍수량을 산정하기 위한 일련의 절차에서 이용되는 각종 수문요소들, 즉 강우시간분포와 유효우량 산정방법, 유출모형

* 정희원 · 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수 · E-mail : leejk@hanyang.ac.kr

** 정희원 · 제일엔지니어링 수자원부 · E-mail : yhs0709@hotmail.com

*** 정희원 · 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정 · E-mail : zestjang@ihanyang.ac.kr

에 따른 임계지속기간의 변화를 연구하였다.

단, 재현기간은 각 재현기간별로 임계지속기간의 변화양상이 일정하다는 한국건설기술연구원(2001)의 보고서 결과와 일반적으로 지방 2급 하천 제방 설계시 사용되는 재현기간인 50년을 사용하였으며, 강우의 시간분포의 경우 Huff 분포의 무차원 누가 곡선과 Yen & Chow 삼각형 분포의 무차원 매개변수 값은 시간분포의 일관성을 기하기 위하여 건설부 관측소인 의성 지점의 강우시간분포특성을 이용하였다.

본 연구는 각 수문요소들 별로 임계지속기간의 변화 양상을 분석함으로써 미계측유역에서 임계지속기간을 고려한 수공구조물의 설계 시 적절한 각 수문요소들의 선택에 그 목적이 있다.

2. 연구방법

2.1 대상유역선정

본 연구를 위해 적용한 유역은 IHP 대표유역인 위천 유역으로 낙동강의 제 1지류이며 경상북도 군위군에 위치하고 있다. 위천유역은 무성 수위관측소 이상의 유역을 IHP대표유역인 위천유역으로 정의하며, 유역의 경계부가 산악으로 둘러 쌓여 있고 본류를 중심으로 상류는 깊은 계곡을 이루고 있으나 하류부는 비교적 평탄한 구릉을 형성하면서 소규모의 평야지대를 이루고 있다. 각 소유역별 유역면적은 45.37~467.37 km²로서 중·소규모의 특성을 갖는 유역이라고 볼 수 있다.

최종 유출지점에서의 총 유역면적은 467.37km²이고, 유역 내 6개의 수위관측소와 11개의 강우관측소를 가지고 있으나 그림 2-1과 같이 우량관측소 4개 지점(현서, 신령, 의흥, 장천)과 수위관측소 5개 지점(동곡, 고노, 미성, 병천, 무성)를 이용하였다.

위천유역의 지형학적 특성을 나타내는 유역특성인자에는 유역면적, 유로연장, 유로중심장, 유로경사, 표고차, 하천차수 등 여러 가지 많은 요소들이 있으나 본 연구에서는 유역특성값을 도출하기 위해 Digitizer를 이용하여 위천 유역 일대의 1:50,000 지형도를 수치지도화 하였다. 그 결과 유역면적, 유로연장, 유로경사 등을 산정하였으며, 위천유역에 대한 유역특성인자는 표 2-1과 같다.

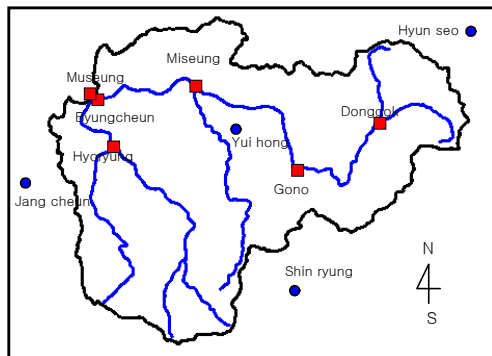


그림 2-1. 유역개황도
(■ 수위관측소, ● 우량관측소)

표 2-1. 유역특성인자

구분	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	유로 중심장 (km)	유로경사	Curve Number	
					AMC-II	AMC-III
동곡	45.37	8	4.06	0.01894	76.2	88.0
고노	112.70	18.9	9.7	0.00754	73.1	86.2
미성	168.91	30.9	18.9	0.00417	69.2	83.8
병천	303.18	40.65	17.1	0.00369	66.9	82.3
무성	467.37	42.83	20.6	0.00353	65.8	81.6

2.2 분석방법

본 연구에서는 임계지속기간의 개념을 이용하여 각 소유역별, 각 수문요소별 지속기간에 따른 홍수량을 산정하였으며, 산정결과에 따라 이용된 수문요소별 영향을 검토하였다. 선정된 대상유역은 국제수문개발계획(IHP)의 대표유역인 위천유역의 동곡지점 등 총 5개 지점이다.

본 연구에서 이용한 각 수문요소는 다음과 같다.

- 재현기간 : 50년 빈도
- 강우 시간분포 : Huff 방법 4가지(1, 2, 3, 4분위) 및 Yen & Chow 삼각형분포법 3가지(전방집중형, 중앙

집중형, 후방집중형) 총 7가지

○ 유효우량 산정 : SCS 방법의 AMC-II 조건, AMC-III 조건 및 CN37 방법 3가지

○ 유출모형 : 지점 대표단위도, Snyder 합성단위도, KICT 합성단위도, Clark 유역추적법, 수정 SCS 방법, 수정 Nakayasu, Nakayasu 방법 총 7가지

각 수문요소별 임계지속시간을 산정하여 비교 검토하였다.

3. 임계지속시간 산정

3.1 입력자료 구축

위천유역내 5개 지점에 대한 시간 분포의 일관성을 위해 경상북도 의성군 의성을 의성군청에 위치하고 있는 건설부 관측소인 의성 지점의 강우시간분포특성을 이용하였다. 시간분포 된 총 우량으로부터 유출에 직접적으로 기여한 유효우량을 분리하기 위해 본 연구에서는 SCS 유출곡선지수법을 이용하였으며 유출계산을 위해 표 3-1의 도달시간과 저류상수값을 산정하여 합성단위도법에 적용하였다. 산정 결과 공식에 따라 많은 차이를 보이고 있으나 도달시간은 Kirpich 공식, 저류상수는 Sabol 공식에 의해 산정한 값이 가장 적합하다고 판단되어 적용하였다.

표 3-1. 도달시간과 저류상수 (단위 : hr)

구 분	t_c		k	
	Kirpich 공식	Kraven 공식	Sabol 공식	Russel 공식
동곡	1.15	0.46	3.12	8.36
고노	4.18	1.73	4.08	9.68
미성	7.67	3.84	5.30	10.28
병천	9.94	5.39	6.00	11.84
무성	10.52	5.81	5.96	13.34

3.2 임계지속시간 산정 결과

위천 유역 5개 지점(동곡, 고노, 미성, 병천, 무성)에 대한 임계지속시간을 산정하였다.

그림 3-1은 무성지점에 대해 시간분포형별 강우지속시간-첨두유출량 관계를 나타낸 것이다. 각 시간분포형에 따라 지속시간에 따른 설계홍수량이 모두 다르게 나타나고 있다. 이를 통해 임계지속시간은 시간분포에 영향을 받고 있음을 알 수 있으며, 이러한 경향은 대상지점에 모두 동일하게 나타나고 있다.

그림 3-2는 AMC-III 조건에서 무성지점의 유출모형별 지속시간에 따른 첨두유출량을 도시한 것이다. 임계지속시간에서의 유출모형별 첨두유출량은 매우 많은 차이를 보임을 알 수 있다. 이런 결과는 특정 지점에서의 임계지속시간이 단위도의 특성에 영향을 받는 것으로 판단된다.

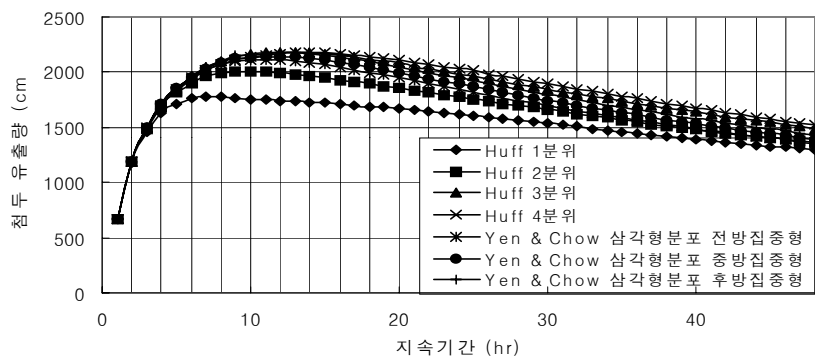
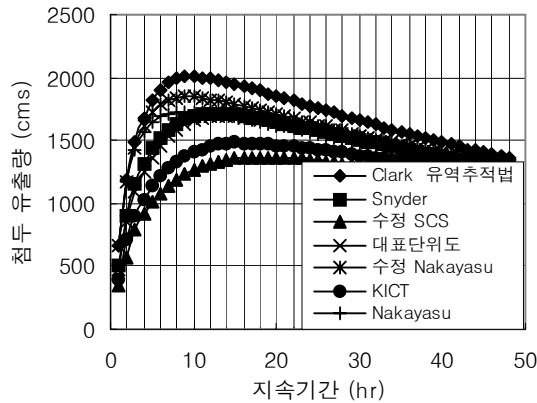
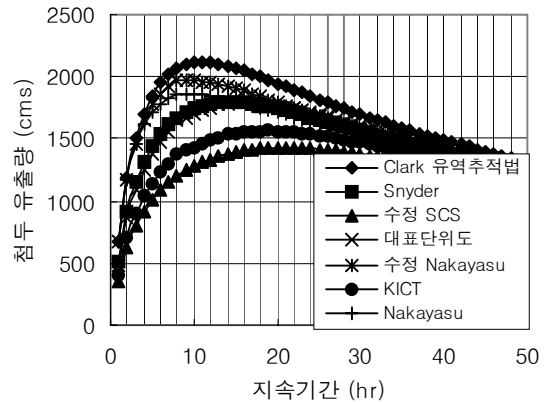


그림 3-1. 지속시간별-첨두홍수량량 관계 (무성지점, AMC-III, Clark 방법)



(a) Huff 2분위 분포



(b) Yen & Chow 전방집중형분포

그림 3-2. 유출모형별 지속시간에 따른 침투유출의 변화 (무성지점, AMC-III 조건)

4. 비교 · 고찰

4.1 임계지속기간의 비교 검토

4.1.1 강우의 시간분포

Pilgrim(1987)은 침투유출량 및 홍수수문곡선의 형상이 강우시간분포에 따라 최대 50%까지 편차를 나타내고 있다는 결과를 통해 시간분포의 중요성을 간접적으로 제시한 바 있다. 설계에서 중요한 의미를 갖는 시간분포 방법에 따른 임계지속기간의 변화 양상을 파악하기 위해 시간분포 방법별 임계지속기간 산정결과를 비교 검토하였다.

표 4-1은 각각의 시간 분포형별 침투강우의 위치에 따른 임계지속기간 산정결과를 비교한 결과이다.

표 4-1. 침투강우위치에 따른 지점별 임계지속기간의 변화 (AMC-III, 대표단위도, 재현기간 50년)

구분	침투강우 위치에 따른 임계지속기간 산정결과													
	Huff 2분위 기준								Yen & Chow 전방위 기준					
	1분위	비	2분위	비	3분위	비	4분위	비	전방	비	중앙	비	후방	비
동곡	7	0.70	10	1	12	1.20	13	1.30	11	1	12	1.09	13	1.18
고노	7	0.70	10	1	15	1.50	14	1.40	13	1	14	1.08	13	1.00
미성	9	0.90	10	1	15	1.50	15	1.50	13	1	14	1.08	13	1.00
병천	9	0.90	10	1	15	1.50	15	1.50	14	1	14	1.00	14	1.00
무성	10	0.71	14	1	18	1.29	18	1.29	16	1	16	1.00	18	1.13

Huff 분포에 있어서 침투강우 위치에 따른 임계지속기간의 변화양상을 판단해 보면, 2분위 결과를 기준으로 비교하였을 경우, 각 지점에 관계없이 대체적으로 1분위 2분위 3분위 그리고 4분위 순으로 나타남을 알 수 있다. 이러한 결과는 3분위와 4분위 경우 침투강우가 중·후반에 집중되어 유효우량 산정시 손실우량에 의한 영향을 덜 받기 때문인 것으로 판단된다.

또한, Yen & Chow 삼각형분포의 경우에는 전방집중형을 기준으로 중앙집중형은 평균 5%정도 크게 산정되고 있으며, 후방집중형은 전방위 분포와 비슷하게 평균 6%정도 크게 산정되는 결과를 나타내고 있다. 이러한 결과가 나타난 이유는 Yen & Chow 삼각형분포는 Huff 분포에 비해 상대적으로 단순모형이고 또한 침투점을 나타내는 무차원 변수 값인 a^0 의 영향으로 인한 결과로 판단된다.

4.1.2 유출곡선지수 조건별 검토

따라서
본
임계지속기간에
수
비교하였다.
산정된



(a) Huff 분포

(b) Yen & Chow 삼각형분포

경우
있으며,
수 있다.
판단된다

유출모형별

따라

있다.

2
나타내고

표 4-2. 유출모형별 임계지속기간의 변화 (Huff 2분위분포와 Yen & Chow 전방위분포)

구 분	임계지속기간 산정비율(대표단위도 기준, AMC-III)						구 분	임계지속기간 산정비율(대표단위도 기준, AMC-III)						
	Clark	Snyder	수정 SCS	수정 Nakayasu	KICT	Nakayasu		Clark	Snyder	수정 SCS	수정 Nakayasu	KICT	Nakayasu	
Huff 2분위	동곡	0.70	0.90	0.90	0.50	1.00	0.40	전방 집중형	0.73	0.82	0.91	0.64	1.09	0.45
	고노	0.80	1.00	1.30	0.80	1.10	0.60		0.69	0.92	1.15	0.62	1.15	0.46
	미성	0.80	1.00	1.50	0.80	1.30	0.70		0.69	0.92	1.31	0.62	1.15	0.62
	병천	0.90	1.10	1.70	1.00	1.00	0.80		0.64	0.93	1.36	0.57	0.64	0.57
	무성	0.71	0.93	1.36	0.71	1.07	0.71		0.69	0.88	1.31	0.56	1.19	0.50

각
따라
유출모형별로 산정된
~70%정도의 편차
를 보이며 이러한 결과는 시간분포 방법과 관측지점에 관계없이 동일하게 나타나고 있다.

이와 같은 결과는 각 유출모형별로 사용되는 단위도의 폭과 단위도의 침투시간 위치에 의한 영향인 것으로 판단된다. 즉, 계산되는 홍수량뿐만 아니라 임계지속기간 또한 유출모형의 영향을 크게 받는다고 볼 수 있으며, 이러한 결과는 적용된 단위도의 특성으로 인해 나타나는 결과로 판단된다.

4.1.4 유출모형별 임계지속기간에서의 침투유출량 비교

본 연구에서는 대표단위도를 이용하여 해당 지점에서의 임계지속기간에서 산정된 홍수량을 기준으로 나머지 합성단위도법을 통해 산정된 홍수량과 비교하였다. 이를 위해 나머지 수문요소조건들은 각각 재현기간 50년, AMC-III, Huff 2분위 및 Yen과 Chow 전방집중형으로 제한시켜 유출모형에 따른 침투유출량의 변화를 비교, 검토하였다. 표5-6에 나타난 결과를 살펴보면 시간분포방법 및 유역면적에 관계없이 각 유출모형에 따라 산정된 임계 지속기간에서의 침투유출량은 대표단위도에 의한 결과를 기준으로 약 -25~75%의 차이를 나타내고 있음을 알 수 있다. 각 유출모형별 결과를 살펴보면 Nakayasu 합성단위도법을 이용하여 산정된 침투유출이 가장 크게 나타나고 있으며, 다른 합성단위도법은 약 -10~30% 정도의 차이를 보이고 있다.

표 4-3. 각지점별 임계지속기간의 침투유출량 비교 (Huff 2분위분포와 Yen & Chow 전방위분포)

구 분	임계지속기간 산정비율(대표단위도 기준, AMC-III)						구 분	임계지속기간 산정비율(대표단위도 기준, AMC-III)					
	Clark	Snyder	SCS	수정 Nakayasu	KICT	Nakayasu		Clark	Snyder	SCS	수정 Nakayasu	KICT	Nakayasu
Huff 2분위	1.20	0.99	1.14	1.36	0.91	1.75	전방 집중형	1.20	0.99	1.15	1.35	0.91	1.72
	1.16	1.00	0.90	1.16	0.90	1.30		1.15	1.00	0.90	1.15	0.90	1.28
	1.18	0.99	0.81	1.14	0.87	1.14		1.17	0.99	0.81	1.13	0.87	1.11
	1.15	1.02	0.76	1.08	0.98	1.05		1.15	1.02	0.77	1.07	0.96	1.03
	1.19	1.00	0.79	1.12	0.87	1.07		1.18	1.00	0.79	1.11	0.87	1.05

이러한 결과는 적절한 유출모형의 선택에 대한 기술자의 판단이 필요함을 알려주는 결과라고 판단된다.

6. 결 론

본 연구에서 임계지속기간에 영향을 주는 인자로 강우의 시간분포모형과 유효우량 산정방법인 CN 값, 유출모형등이 침투유출량과 임계지속기간에 미치는 영향에 대해 살펴보았다.

그 결과 강우의 시간분포모형과 유효우량 산정방법인 CN 값보다 유출모형의 선택에 따라 침투유출량과 임계지속기간의 변화가 가장 두드러진 것으로 나타났다.

따라서 수공설계자가 미계측유역에서 임계지속기간을 고려한 수공구조물을 설계할 경우 유출모형의 결정이 중요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 안경수, 한광두, 김인식, 조길문, "임계지속기간을 고려한 최적 설계 수문량 산정에 관한 연구", 대한토목학회 2000년도 학술발표회 논문집(III), pp.491~494. 2000
2. 윤여진, 정순우, 전병호, 김재한, "강우분포형태에 따른 임계지속기간의 변화 연구:산본유역을 중심으로", 한국수자원학회논문집, 제 31권, 제 4호, pp.375~384, 1998
4. Debo, T. N. and Reese, A. J., Municipal Storm Water Management, CRC Press, Inc, p.212, 1995
5. Meynink, W. J. C. and Cordery, I., "Critical Duration of Rainfall for Flood Estimation, W.R.R, Vol. 12, No. 6, pp.1209~1214. 1976
6. Pilgrim, D. H and Cordery, I., "Rainfall Temporal Patterns for Design Floods", Journal of Hydraulics Division, ASCE, No. HY1, pp. 81~95, 1975