우수관로 계획시 확률강우량의 시간분포방법 선정

Decision of Rainfall Time Distribution Method for Storm Sewer Design

박종표*, 김문모**, 조민현***, 이경도****

Jong Pyo Park, Mun Mo Kim, Min Hyun Jo, Kyoung Do Lee

요 지

우리나라는 2000년대 이후, 하천 및 수공구조물 계획시 Huff 분포를 지배적으로 사용해 왔다. 그러나 Huff 방법은 호우선정, 평균방법, 지속기간별 동일분포 가정 등 여러 가지 문제를 가지고 있어 극치 호우사상을 적절히 모의하지 못하는 약점이 있다는 의견이 많았다. 본 연구에서는 하천, 수공구조의 계획시 국내에서 주로 사용해 왔던 강우량 시간분포 방법인 Huff 방법이 과연 하수도시설물 계획시 적정한가를 평가하고 중소규모 배수(排水)시설물 설계시 합리적이라고 알려져 있는 ABM 방법의 적용성을 비교, 평가하여 하수도시설물의 계획시 적정한 확률강우량의 시간분포 방법을 제안하고자 한다. 연구대상 지역은 삼척지역이며 기상청 산하 동해관측소 자료를 이용하여 연구를 수행하였다.

삼척지역의 지속기간별 확률강우량을 Huff 방법을 적용하여 시간분포하면 지속기간 2시간, 3시간 호우의 1시간 최대치의 경우 지속기간 1시간 최대치 보다 크게 산정된다. Huff 1분위의 경우 지속기간 1시간 호우는 55.3mm이나 지속기간 2시간, 3시간 호우의 1시간 최대치는 각각 61.8mm, 60.7mm 로 지속기간 1시간 호우보다 더 크게 평가되었다. 이러한 구간별 최다 강우량의 지속기간별 역전현상은 도달시간 1시간이내의 소유역이라 할지라도 지속기간 2, 3시간호우에서 첨두홍수량이 발생할 수 있는 문제점을 내포하고 있다.

지속기간의 개념을 고려하여 빈도별 홍수시 ABM, Huff 방법의 적용성을 검토하였다. ABM 방법의 경우 적용 유역면적(0.1～2,000ha) 전체에서 지속기간이 길어지면 첨두홍수량 결과가 수렴하는 것으로 검토되었다. 반면, Huff 방법의 경우 유역면적이 커짐에 따라 임계지속기간이 길어진다. 30년 빈도 홍수의 경우 유역면적 0.1～0.5ha 에서는 30분, 1～50ha 에서는 1시간, 80～300ha 에서는 2시간, 500～2,000ha 에서는 3시간이 임계지속기간인 것으로 분석되었다. 소규모 유역에서는 ABM과 Huff 방법의 홍수량 산정결과의 차이가 크지 않았으며 하수도시설물 계획시 적용성이 높은 강우량 시간분포 방법은 유역의 연속성을 고려할 수 있는 ABM 24시간 호우를 이용하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

핵심용어 : 확률강우량 시간분포, Huff 방법. ABM 방법

1. 서론

도시유역에서 유역유출모의를 통해 특정지점의 홍수량을 산정하고자 할 때 유출수문곡선의 형태, 첨두홍수량에 지배적인 영향을 미치는 인자는 유역 및 관로 특성인자와 산정된 확률강우량을 기초로 작성한 강우량의 시간분포, 즉 지속기간에 대한 우량주상도라 할 수 있다.

여기서, 배수구역 및 관로인자는 유역의 면적, 경사, 불투수면적비 및 관로의 형태, 크기, 길이, 경사 등으로 지형정보시스템이나 설계기준 등을 근간으로 비교적 객관적으로 추출하여 유역유출모형의 매개변수로 입력할 수 있다. 반면, 강우량의 시간분포(우량주상도)의 경우 Alternating Block Mehtod(ABM), Huff(1967)의 4분위법, Mononobe방법, Keifer and Chu(1957) 방법 등이 다양하게 제시되어 있으나 아직까지 강우분포에 대해 누구도 명시적으로 “어느 방법이 최선이다.”라고 대답하기 어려운 현실이다. 특히, 시

* 주식회사 헥코리아 이사 ・E-mail : jppark@hecorea.co.kr
** 신구대학교 교수 ・E-mail : munmo310@shingu.ac.kr
*** (주)건화 상하수도3부 전무 ・E-mail : minhyun_cho@nate.com
**** 주식회사 헥코리아 대표이사 ・E-mail : kdlee@hecorea.co.kr

간분포 방법별로 계산되는 유출수문곡선의 형태 및 첨두유출량(Qp)이 상이하므로 보다 합리적인 기준에 의하여 강우량의 시간분포 방법을 선정할 필요가 있다.

우리나라에서는 2000년대 이후, 하천 및 수공구조물(댐, 펌프장, 저류지)등의 계획시 Huff 분포를 지배적으로 사용하여 왔다. 그러나, Huff 방법은 호우선정, 평균방법, 지속기간별 동일분포 가정 등 여러 가지 문제를 가지고 있어 극치 호우사상을 적절히 모의하지 못하는 약점이 있다는 의견이 많았다. 한편, 하수도 시설 계획의 경우 합리식과 같은 매우 간단한 강우-유출모형을 주로 이용되었기 때문에 강우의 시간분포에 대한 고려의 필요가 없었다. 그러나 최근 집중호우로 인한 침수피해가 많이 발생함에 따라 하수도시설물들의 연계를 통한 침수해결이 필요하게 되었으며, 첨두유출량 뿐만이 아닌 유출수문곡선도 산정할 수 있는 강우유출모형을 설계에 도입해야 할 필요성이 증가되었다. 현재까지는 하수도시설물 설계시 강우유출모형에 의한 계획우수량 산정시 강우분포는 정형화된 방법이 없는 실정이다.

국토해양부(2011)에서 시간최대 강우량의 발생분위는 지속기간에 큰 차이를 보이지 않고 대부분 40~50% 사이에 위치하며 이는 일반적으로 사용하는 중앙 집중형이나 ABM의 시간배치 형태와 부합하여 최근의 국지성호우, 게릴라성 호우의 분포특성을 반영하기 위해서는 ABM 방법의 적용성이 높다고 분석하였다. 또한, 저류(貯流)능력이 작은 도심지 중소규모 배수(排水)시설물의 경우는 첨두유량이 시설물의 기능에 결정적인 영향을 미치고 기능 상실시 피해가 연쇄적임을 감안할 때 다소 첨두부가 과대 추정되는 경향이 있더라도 ABM을 적용하는 것이 합리적이라고 분석하였다.

본 연구에서는 하천 및 수공구조물의 계획시 국내에서 주로 사용해 왔던 강우량 시간분포 방법인 Huff 방법이 과연 하수도시설물 특히 우수관로 계획시 적정한가를 평가하고 ABM 방법의 적용성을 비교 평가하여 하수도시설물의 계획시 적정한 확률강우량의 시간분포 방법을 제안하고자 한다.

2. 연구방법

본 연구의 대상유역은 14년 하수도정비중점관리지역 침수예방사업 기본 및 실시설계 용역 대상유역인 삼척이며 지배우량관측소는 기상청 관할 동해관측소이다.

강우분석은 강우분포의 근간이 되는 확률강우량 자료를 이용하여 AMB, Huff 방법으로 분포한 후 지속기간별 확률강우량의 구간대별 최다강우량을 검토하고 최근의 국지성 호우, 게릴라성 호우를 반영할 수 있는 하수도시설물의 설계시 과연 어떤 시간분포 방법이 합리적인가를 고찰하였다. ABM, Huff 1-4분위 방법을 적용하여 배수구역 면적에 따른 유출특성을 비교하였으며 강우빈도별(10년, 30년, 50년), 시간분포방법별, 임의 배수구역 면적(0.1~2,000ha)에 대하여 SWMM 모형의 Runoff 모듈을 적용하여 첨두홍수량 및 홍수유출특성을 검토하였다. 확률강우량 시간분포는 재현기간 10년빈도, 30년빈도, 50년빈도의 확률강우량을 대상으로 지속기간 30분, 1시간, 2시간, 3시간, 6시간, 9시간 12시간, 24시간 총 8개 지속기간을 시간분포하였으며 30년빈도 지속기간 6시간 시간분포 결과를 아래 그림에 도시하였다.

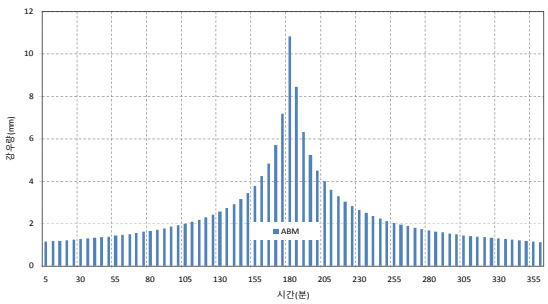

그림 1. ABM 지속기간 6시간 시간분포

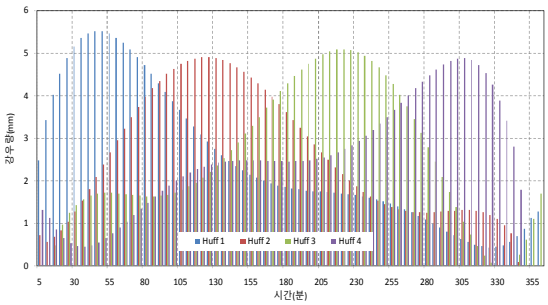

그림 2. Huff 1~4분위 지속기간 6시간 시간분포

표 1. SWMM 적용 유역면적 및 매개변수

유역 면적 (ha)	유역 폭 (m)	불투수 면적비 (%)	유역 경사 (m/m)	조도계수		지면저류		침투량 계수		
				불투수	투수	불투수	투수	종기 침투능 (mm/hr)	초기 침투능 (mm/hr)	감쇠계수 (α)
0.1	15.81	65	0.01	0.014	0.03	6.73	22.23	75.0	3.0	2.0
0.5	35.36	65	0.01	0.014	0.03	6.73	22.23	75.0	3.0	2.0
1.0	50.00	65	0.01	0.014	0.03	6.73	22.23	75.0	3.0	2.0
5.0	111.80	65	0.01	0.014	0.03	6.73	22.23	75.0	3.0	2.0
10.	158.11	65	0.01	0.014	0.03	6.73	22.23	75.0	3.0	2.0
30.	273.86	65	0.01	0.014	0.03	6.73	22.23	75.0	3.0	2.0
50.	353.55	65	0.01	0.014	0.03	6.73	22.23	75.0	3.0	2.0
80.	447.21	65	0.01	0.014	0.03	6.73	22.23	75.0	3.0	2.0
100.	500.00	65	0.01	0.014	0.03	6.73	22.23	75.0	3.0	2.0
150.	612.37	65	0.01	0.014	0.03	6.73	22.23	75.0	3.0	2.0
300.	866.03	65	0.01	0.014	0.03	6.73	22.23	75.0	3.0	2.0
500.	1118.03	65	0.01	0.014	0.03	6.73	22.23	75.0	3.0	2.0
1000.	1581.14	65	0.01	0.014	0.03	6.73	22.23	75.0	3.0	2.0
1500.	1936.49	65	0.01	0.014	0.03	6.73	22.23	75.0	3.0	2.0
2000.	2236.07	65	0.01	0.014	0.03	6.73	22.23	75.0	3.0	2.0

3. 강우의 시간분포방법별 적용성 검토

강우의 시간분포 방법별 특징과 적용성을 검토하고자 대상유역의 확률강우강도식 산정결과를 기초로 확률강우량을 시간분포하고 구간대별 최다강우량 자료를 검토 하였다. 확률강우량 시간분포는 5분 단위로 하였다.

지속기간 1, 2, 3, 6, 9, 12, 24시간 호우의 ABM, Huff 분위별 1시간 최다 강우량을 보면 ABM의 경우 지속기간별 1시간 최다 확률강우량의 합은 지속기간별로 동일하다는 것을 알 수 있다. 이는 설계 강우강도식에 의해 계산된 강우량을 지속기간의 중앙에 최대 설계강우량을 배치하고 그 다음 오른쪽, 다음은 왼쪽순으로 번갈아 배치하는 ABM 방법의 특징 때문이다. 반면 Huff 방법의 경우 지속기간별 1시간 최다값이 지속기간이 길어지면서 전반적으로 작아지는 경향을 보이는 것을 알수 있다. Huff 방법의 경우 지속기간 총강우량을 무차원으로 분포하기 때문에 강우지속기간이 길어지면 첨두우량의 강도가 약해지는 경향을 보이는 것이다.

그런데 주목하여 보아야 할 점은 삼척지역에 Huff 방법을 적용한 결과를 보면 지속기간 2시간, 3시간 호우의 1시간 최대치의 경우 지속기간 1시간 보다 확률강우량 최대치가 더 크다는 것이다. 표 2를 보면 Huff 1분위의 경우 지속기간 1시간 호우는 55.28mm이나 지속기간 2시간, 3시간 호우의 1시간 최대치는 각각 61.77mm, 60.74mm 로 지속기간 1시간 호우보다 더 크게 평가된다.

이러한 구간별 최다 강우량의 지속기간별 역전현상은 유역면적이 작은 유역의 경우 지속기간 1시간이 실제 임계지속기간인 유역이라 할지라도 1시간 최다 강우량이 발생하는 지속기간 2, 3시간에서 첨두홍수량이 발생할 수 있는 문제점을 내포하고 있다. 지속기간 1시간 강우량과 비교하여 지속기간 2시간 강우의 1시간 최다값이 크다는 것은 강우강도보다 큰 값으로 유역홍수량을 계산하게 되는 오류를 범할 수 있는 것이다. 이런 이유로 중소규모의 유역에 Huff 방법을 적용할 경우 강우강도를 초과하는 우량을 이용하여 시설물을 계획할 우려가 있다 하겠다.

표 2. 확률강우량 시간분포의 1시간 최다 강우량 분석

빈도	구 분	ABM (mm)	Huff			
			1분위 (mm)	2분위 (mm)	3분위 (mm)	4분위 (mm)
10년 빈도	지속기간 1시간 1시간최다	55.28	55.28	55.28	55.28	55.28
	지속기간 2시간 1시간최다		61.77	62.66	62.65	57.59
	지속기간 3시간 1시간최다		60.74	59.01	60.15	54.16
	지속기간 6시간 1시간최다		49.47	45.07	46.57	43.63
	지속기간 9시간 1시간최다		40.86	36.71	38.04	36.06
	지속기간12시간 1시간최다		35.13	31.40	32.58	31.04
	지속기간24시간 1시간최다		23.76	21.13	21.95	21.01
30년 빈도	지속기간 1시간 1시간최다	68.63	68.63	68.63	68.63	68.63
	지속기간 2시간 1시간최다		77.76	78.87	78.85	72.49
	지속기간 3시간 1시간최다		76.79	74.60	76.03	68.47
	지속기간 6시간 1시간최다		62.61	57.05	58.94	55.22
	지속기간 9시간 1시간최다		51.58	46.34	48.02	45.52
	지속기간12시간 1시간최다		44.22	39.52	41.00	39.06
	지속기간24시간 1시간최다		29.60	26.32	27.33	26.16
50년 빈도	지속기간 1시간 1시간최다	74.72	74.72	74.72	74.72	74.72
	지속기간 2시간 1시간최다		85.01	86.24	86.22	79.25
	지속기간 3시간 1시간최다		84.07	81.68	83.25	74.97
	지속기간 6시간 1시간최다		68.58	62.48	64.56	60.49
	지속기간 9시간 1시간최다		56.46	50.72	52.56	49.83
	지속기간12시간 1시간최다		48.36	43.22	44.84	42.72
	지속기간24시간 1시간최다		32.26	28.69	29.80	28.52

ABM, Huff 분포를 이용한 지속기간별 강우량 시간분포 적용시의 문제점을 유역차원에서 고려해보았다. 만약 하수도시설물 계획시 구조물이 상류, 중류, 하류에 다수 존재하고 있는 유역이 있다고 가정한다면 지점별로 홍수첨두가 발생하는 임계지속기간 강우량이 다르게 평가될 것이다. 예를 들어 설계자의 입장에서 하류 특정지역을 유역유출모델링 통해 산정한 임계지속기간이 24시간이라고 가정하였을 때 상류와 중류는 이보다 짧은 강우지속기간에서 첨두홍수량이 발생할 것이다.

ABM, Huff 방법을 이용한 지속기간별 확률강우량 적용은 10년, 30년, 50년 빈도를 적용하였으며 30년 빈도 홍수량에 대한 지속기간별 확률강우량 ABM, Huff 방법으로 시간분포 한 결과를 아래 그림에 정리하였다.

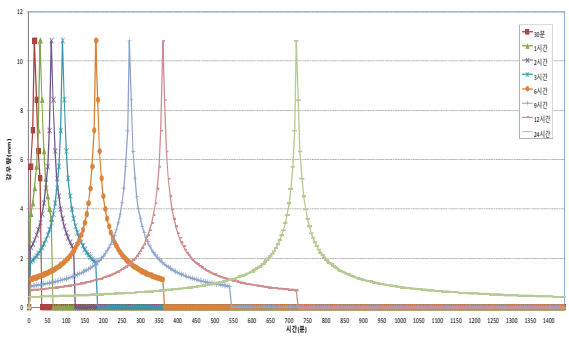

그림 3. ABM 강우분포

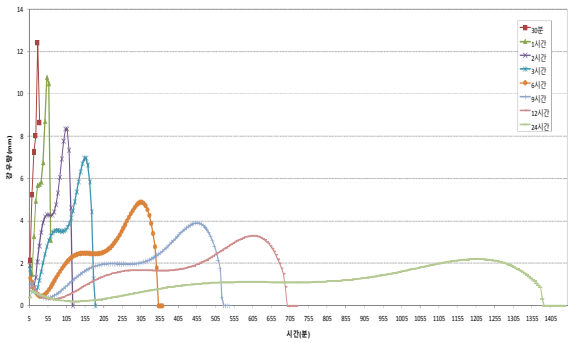

그림 4. Huff 4분위 강우분포

4. 유역면적에 따른 홍수유출특성 분석

국토해양부(2011)에 의하면 시간분포 방법에 대한 보다 정밀한 평가를 위해서 추가 연구를 통해 유출해석에 의한 민감도분석이 수반되어야 한다고 명시되어있다. 본 연구에서는 유역면적(0.1～2,000ha) 총 15개의 경우에 대하여 ABM, Huff 방법 적용에 따른 홍수량 계산결과를 비교, 검토하였으며 검토결과를 토대로 하수도시설물 계획시 적합한 확률강우량 시간분포 방법을 추천하고자 한다.

유역면적에 따른 30년 빈도 홍수의 경우 유역면적 300ha 이하에서 ABM이 Huff 방법보다 홍수량이 최대 0.83㎥/s 작게 산정되었으며 500ha 이상에서는 최대 14.43㎥/s ABM의 홍수량이 Huff 방법보다 큰것으로 분석되었다.

통상적으로 ABM의 경우는 홍수량이 크게 산정되어 안전성 면에서 높은 설계빈도를 요하는 구조물의 설계에 적용하는 것이 적절한 것으로 알려져 있다. 그러나 본 연구에서 계산된 Huff 방법은 300ha 이하에서 ABM 보다 크게 산정되었다. Huff 방법은 시간단위 자료를 이용하여 유도되었으므로 단위 시간간격을 시간단위 이하로 설정하여 외삽한 경우 산정결과의 불확실도가 커질 수 있다. 즉, 유역면적이 작고 지속기간이 짧은 경우 시간단위 이하로 강우량을 시간분포 하게 되므로 홍수량 산정의 불확실성이 높아지는 것이다. 또한, Huff 방법은 구간별 최다 강우량의 지속기간별 역전현상으로 강우강도보다 큰 값으로 유역홍수량이 산정되는 오류가 발생할 수 있다. 따라서, Huff 방법에 의한 홍수량은 유역면적이 작고 지속기간이 짧은 호우에서 부적절한 결과를 도출할 가능성을 내포하는바 ABM 분포를 적용하는 것이 타당한 것으로 사료된다.

표 3. ABM, Huff 방법 홍수량 산정결과 비교

30년빈도 홍수시								
구분	ABM (㎥/s)	Huff 1분위 (㎥/s)	Huff 2분위 (㎥/s)	Huff 3분위 (㎥/s)	Huff 4분위 (㎥/s)	Huff 최대치 (㎥/s)	ABM-Huff 차이 (㎥/s)	ABM/Huff 임계시간
0.1ha	0.09	0.09	0.09	0.11	0.09	0.11	-0.02	24hr/30min
0.5ha	0.30	0.30	0.31	0.36	0.32	0.36	-0.06	24hr/30min
1ha	0.52	0.51	0.54	0.61	0.57	0.61	-0.09	24hr/1hr
5ha	1.91	1.69	1.89	2.25	2.22	2.25	-0.34	24hr/1hr
10ha	3.46	2.97	3.29	3.89	3.94	3.94	-0.49	24hr/1hr
30ha	8.88	7.20	7.97	9.25	9.50	9.50	-0.62	24hr/1hr
50ha	13.71	10.80	12.17	14.08	14.04	14.08	-0.37	24hr/2hr
80ha	20.37	15.73	17.89	20.99	20.65	20.99	-0.62	24hr/2hr
100ha	24.56	18.91	21.44	25.33	25.04	25.33	-0.76	24hr/2hr
150ha	34.53	26.25	29.59	35.33	35.36	35.36	-0.83	24hr/2hr
300ha	62.21	45.54	52.07	61.34	62.46	62.46	-0.25	24hr/2hr
500ha	95.41	67.80	78.75	93.41	93.25	93.41	2.01	24hr/3hr
1000ha	170.04	118.38	135.71	163.22	165.48	165.48	4.56	24hr/3hr
1500ha	237.79	164.69	184.98	224.30	229.09	229.09	8.70	24hr/3hr
2000ha	300.99	207.40	234.54	278.88	286.56	286.56	14.43	24hr/3hr

아래 그림에 30년 빈도 홍수시 ABM, Huff 방법의 유역면적별, 지속기간별 첨두홍수량 및 지속기간홍수량/첨두홍수량의 비(무차원)을 도시하였다. 그림에 보는 바와 같이 ABM의 첨두홍수량은 지속기간 24시간에서 대부분 수렴하며 이러한 연구결과는 박철순, 유철상 등(2012)의 연구결과와 유사하다 할 수 있다.

ABM과 Huff 방법은 홍수량 산정결과의 차이가 크지 않다는 앞 절의 연구성과를 기초로 할때 하수도시설물 계획시 적용성이 높은 강우량 시간분포 방법은 유역의 연속성을 고려할 수 있는 ABM 24시간 호우를 이용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

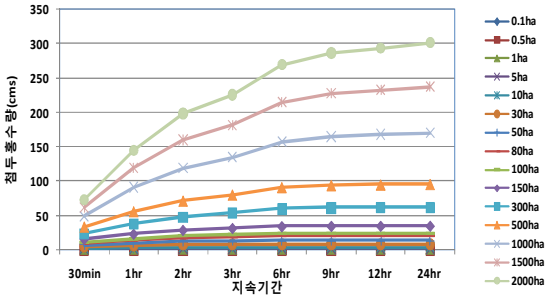

그림 5. ABM 지속기간별 첨두홍수량

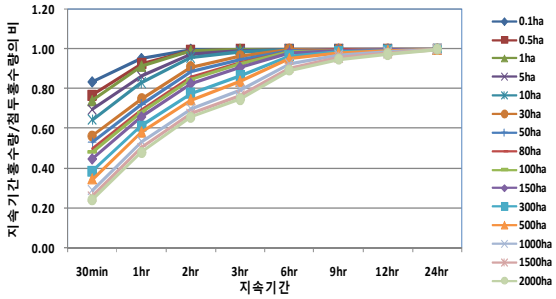

그림 6. ABM 홍수량/첨두홍수량 비

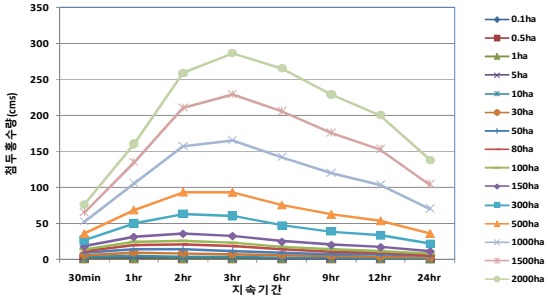

그림 7. Huff 4분위 지속기간별 첨두홍수량

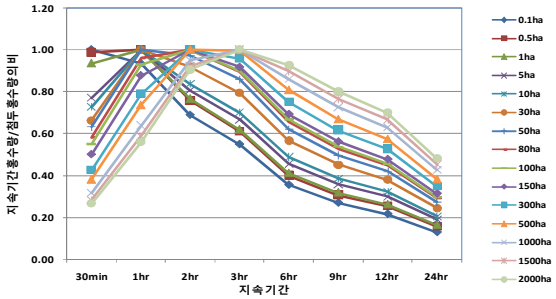

그림 8. Huff 4분위 홍수량/첨두홍수량 비

5. 결 론

본 연구는 소배수구역이 다중으로 결합된 도시 유역의 우수관로의 설계시 강우분포 적용성을 ABM, Huff 방법을 중심으로 살펴보았다. 하수도시설물 계획이라는 특징만을 고려해 볼 때 확률강우량 시간분포의 방법을 선택하기 위해 최근의 국지성 호우, 게릴라성 호우를 반영해야 하고 첨두홍수량 산정결과가 강우강도에 지배를 받는 배수구역을 다수 포함하고 있어야 하며 소배수구역의 연속성을 고려하여 계획(상류, 중류, 하류 전체의 우수흐름을 고려하여 계획)해야 한다.

시간최대 강우량의 발생분위가 ABM의 시간배치 형태와 유사한 결과를 보여주고 있고, 확률강우강도를 잘 반영하고 있다. 또한 하수도 시설은 소배수구역의 지선관로 및 소배수구역의 다중 결합에 의해 형성되는 간선관거를 동시에 고려하여 설계하여야 하므로 동일 지속기간의 확률강우량 시간분포를 적용하는 것이 합리적이다. ABM의 경우 24시간 분포의 경우 임계홍수발생량이 수렴하는 것으로 검토되어 ABM 24시간 시간분포를 적용할 경우 유역의 연속성을 고려한 안정적인 구조물 계획이 가능할 것이다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부(2000). 1999년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서: 지역적 설계강우의 시간적 분포.
2. 국토해양부(2011). 확률강우량도 개선 및 보완연구.
3. 박철순, 유철상, 전창현(2012). 독립 호우사상에 대한 이변량 강우빈도해석 및 강우-유출해석, 한국수자원학회논문집, 제 45권 제 7호, pp. 713-727.
4. Huff, F.A. (1967). “Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms.” Water Resources Research, Vol. 3, No. 4, pp. 1007-1019.
5. Keifer, C.J., and Chu, H.H. (1957). “Synthetic storm pattern for drainage design.” Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol. 83, No. HY4, pp. 1-25