

도시하천에서 추계학적 모의강우에 의한 수질예측

○강 태 호*, 이 재 준**, 이 종 태***

1. 서 론

도시구역의 개발 및 인구집중 현상으로 인한 인근 도시하천의 오염부하가 날로 증가됨에 따라 하천계획 및 수질관리 측면에서 오염부하량의 예측은 필수적이다. 본 연구에서는 장래의 오염부하량 예측을 위하여 추계학적 방법에 의해 도시구역의 강우도달시간을 고려한 시간 단위 강우량을 발생시켜 기존의 검증된 실측 강우-유출-수질모형에 적용함으로써 장래의 도시하천의 오염부하량의 예측을 가능토록 하였다.

2. 강우-유출-수질 모형

도시수문학 분야에서 잘 알려진 SWMM 모형을 이용하여 실측 강우-유출-수질 사상에 대한 유출 및 수질 매개변수를 추정하였다. 실측치에 적합한 유출 및 수질 매개변수 추정 과정은 이종태 등(1997)이 연구 발표한 바 있다. 표 1은 유출 매개변수 추정과정을 수록한 것이며, 표 2는 SS에 대한 수질 매개변수 추정과정을 수록한 것이다. 설정된 최적 매개변수를 사용한 SWMM 모형에 의해 실측 강우사상에 대한 모의결과는 그림 1에 도시한 바와 같다.

표 1. 흥제천 유출 매개변수 결정과정(97/5/12)

		추 정 값 (%)				
회수		1	2	3	4	실측치
인자						
	불투수면적비	120	100	100	100	
	유역폭	150	140	120	100	
	관조도	120	100	100	100	
	Q _v	162200	135500	135200	135000	130000
	Q _p	13.59	11.7	11.58	11.44	10.9
상대	Q _v	24.8	4.23	4.00	3.8	
오차	Q _p	24.7	7.34	6.26	4.3	

Q_v ; 유출용적(m³) Q_p ; 첨두유량 (m³/s)

3. 시강우의 모의발생

도시수문학 분야에서 강우는 중요한 유출원이며 또한 오락부하량 발생의 근원이 되기도 한다. 그러므로 강우의 특성과 발생량의 분석이 연구되어야만 한다. 도시구역에서의 강우의 도달시간 등을 고려해 볼 때 시강우 이하의 단위로 예측 분석되어야 한다. 시강우의 발생에 있어서 본 연구에서는 threshold를 수문학적 강수의 기준치인 0.1mm로 택하며, 건습과정(wet-dry process)은 계절적인 변동을 보이고 있으므로 매 월별로 분리하여 해석하기로 한다.

강수발생 과정에서 건습계열은 교대재생과정(alternating renewal process) 모델로 모형화하기로 하

* 경기대학교 토목공학과 박사과정
 ** 금오공과대학교 토목환경시스템공학부 교수
 ***경기대학교 토목공학과 교수

표 2. 흥제천 수질(SS · BOD) 매개변수 결정과정(97/5/12)

추 정 값 (%)							추 정 값 (%)						
회수 인자	1	2	3	4	5	실측치	회수 인자	1	2	3	4	5	실측치
C_0	200	150	125	100	100		C_0	200	150	125	100	100	
k	50000	500	250	125	100		k	50000	500	250	125	100	
s	150	120	100	100	100		s	150	120	100	100	100	
P_v	484100	244000	140700	8388	67200	130000	P_v	42200	16740	7240	3886	3140	6590
P_p	22870	5160	2819	1750	1388	10.9	P_p	1942	331.1	133	72.17	57.6	58.0
상대 오차	P_v	2482	75	1.22	93.9	51.6	상대 오차	P_v	540	154	9.86	41.03	52
	P_p	1456	271	102.9	25.9	0.07		P_p	3248	470	129.3	24.43	0.7

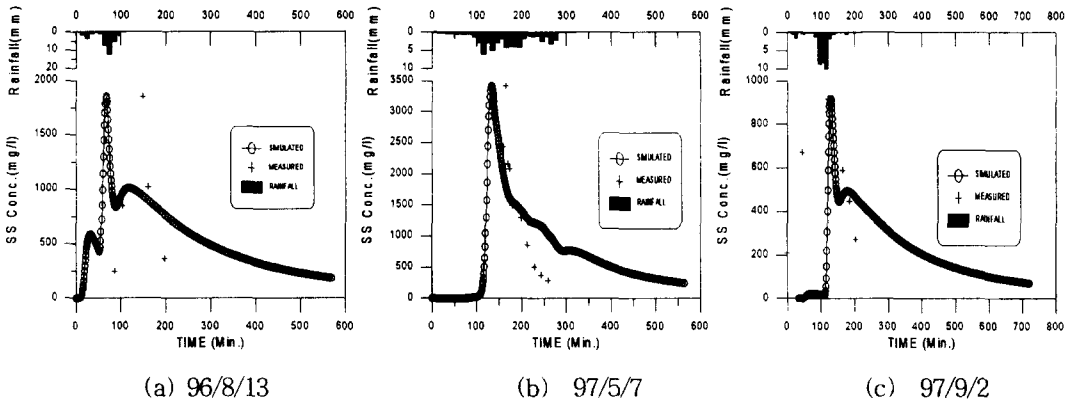


그림 1. 흥제천유역 오염도곡선(SS)

며, 그림 2는 강수발생 과정 모델의 구조를 개요화한 것이다. 이 모델에서는 연속하는 습윤 계속 기간(wet spells)과 건조 계속기간(dry spells)의 길이는 서로 독립이라고 가정한다. 각각의 계속기간에 대하여 4가지의 이산형분포를 적용하여 적합한 분포형을 구하고 Monte Carlo simulation에 의해 교대로 건습 계속기간을 발생시킨다. 여기서 이산형분포로는 4가지의 이산형 분포(TBD, TPD, TNBD, LSD)를 사용하기로 한다. 또한, 강수발생과정은 5월에서 10월까지 호우기로 한다.

습윤 계속기간에 적합시킨 TBD, TPD, TNBD, LSD의 분포형중에서 가장 적합도가 좋은 분포형의 모수 추정치와 χ^2 값 및 대수우도를 표 3에 나타냈다. 그림 3은 5월의 습윤 계속기간 표본에 가장 잘 맞는 TNBD를 관측빈도와 추정된 분포의 기대빈도를 통해 비교한 것이고, 그림 4는 건조 계속기간 표본에 가장 잘 맞는 6월에 대한 LSD 도시한 것이다.

표 3과 그림 3에서 보면 전반적으로 우기인 5월에서 10월 중 TNBD와 LSD가 반반으로 표본에 적합함을 보이고 있으며, 그외의 TPD, TBD는 적합함을 나타내지 않았다. 5, 7, 10월에서는 TNBD가 그리고 6, 8, 9월은 LSD분포형이 적합함을 보여 주었다. TNBD와 LSD가 서울지방의 습윤 계속기간에 잘 맞는 것으로 생각된다.

습윤 계속기간의 길이에 적용한 4가지의 이산형 분포를 건조 계속기간의 경우에도 적용하였으며, 건조 계속기간에 적합시킨 TBD, TPD, TNBD, LSD의 분포형중에서 모수 추정치와 χ^2 값 및 대수우도로 가장 적합도가 좋은 분포형을 선정하였다.

표 3과 그림 3~4에서 비교해 보면, 건조 계속기간에 대한 적합도가 약간 떨어짐을 알 수 있다. 이는 건조 계속기간의 변량분포가 습윤 계속기간에 비해 광범위하고, 계속기간의 길이가 증가함에 따라 실적자료의 발생빈도가 반드시 감소하고 있지 않는 반면에 이론적인 분포형은 감소분포이기 때문이다. 따라서 건조 계속기간의 불규칙성은 습윤 계속기간에 비해 훨씬 더 심함을 알 수 있다.

표 3. 시강우자료의 습윤계속기간 이산분포 최적분포형

월	5	6	7	8	9	10
모수	TNBD P = 9.75617 N = 0.20769	LSD $\theta = 0.9220$	TNBD P = 6.79699 N = 0.29015	LSD $\theta = 0.9070$	LSD $\theta = 0.9040$	TNBD P = 5.00975 N = 0.34839

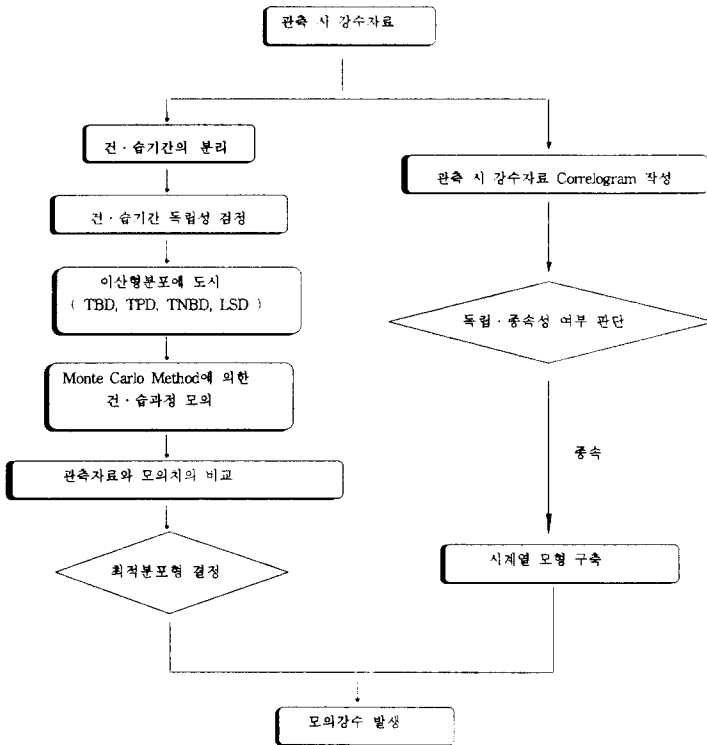


그림 2. 강수발생 과정의 흐름도

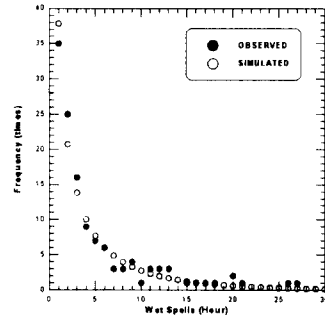


그림 3. 습윤계속기간의 비교 (TNBD)

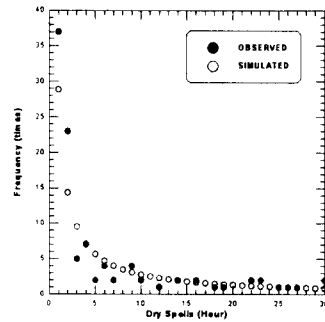


그림 4. 건조계속기간의 비교 (LSD)

그림 5는 ARP 모델에 의한 습윤 계속기간계열의 결과를 비교한 것으로서 관측계열과 모의발생 계열은 전체적인 경향이 비교적 일치하고 있다. 그림 6은 건조 계속기간에 적합시킨 이산형 분포의 적합도에서 엇볼 수가 있듯이 건조 계속기간의 경우는 자료의 불규칙한 분포로 인해 9월, 10월은 습윤 계속기간의 경우보다 적합도가 좋지 않았으나, 각 월간의 적합도를 볼 때 습윤 계속기간은 과 건조 계속기간 모두 9월, 10월의 경우 적합도가 떨어지는 경향을 보였고, 다른 달은 비교적 일치하고 있는 경향을 보였다.

습윤시간의 강수량 발생을 위한 연속사상간의 독립성 검정하기 위하여 계열상관을 구하고 유의성을 검정하였다. 습윤 계속기간내의 강수량의 계열상관계수는 식(1)에 의하여 산정하였다. 독립성 검정에는 1차 계열상관계수 γ_1 에 대한 Anderson의 유의성 검정을 이용하였다. Anderson은 유의수준 α 에 대한 신뢰한도 $CL(\alpha)$ 를 다음 식으로 제안하였다.

$$\gamma_1 = \frac{\sum_{i=1}^T (X_i - \bar{X})}{\sum_{i=1}^T (X_i - \bar{X})^2} \quad (1)$$

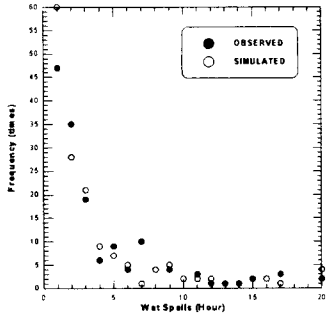


그림 5. ARP 모델에 의한 습윤 계속시간계열의 비교

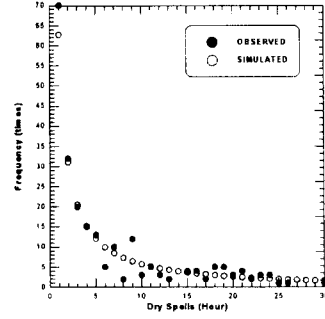


그림 6. ARP 모델에 의한 건조 계속시간계열의 비교

$$CL(\alpha) = \frac{-1 \pm n_{\alpha} \sqrt{n - \tau - 2}}{n - \tau - 1} \quad (2)$$

여기서, n_{α} ; α 에 대한 정규분포의 표준편차($\alpha=5\%$ 일 때 1.96)

n ; 표본의 크기

τ ; 지체시간

식 (1)로 구한 계열상관계수의 분포는 그림 7에서 보는 바와 같이 지체시간에 따라 종속성을 나타냄으로 강수량 발생 모델로는 시계열 모형으로 정하였다.

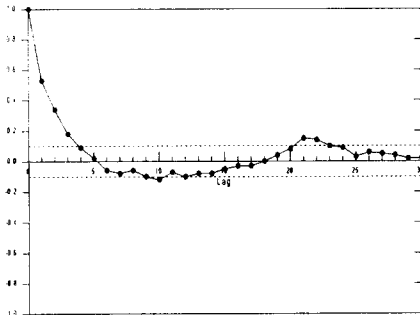


그림 7. 시 강수량 계열상관도(6월)

강수량계열의 모의발생 모델의 검정을 위해 대상 통계량으로 월 평균 강수량과 표준편차를 택하여 비교하였다. 그림 8은 ARMA(1,1)모델에서 얻어진 모의발생 결과에 대한 월평균 강수량과 관측 월평균 강수량을 비교 도시한 것이며, 그림 9는 표준편차를 비교한 것이다.

그림 8에서 모의발생 월평균 강수량은 모든 달에서 관측치의 특성을 값을 잘 재현하는 적합도를 보였다. 한편, 그림 9는 월 강수량에 대한 표준편차를 비교한 것인데 7월, 8월은 모의 발생 결과의 표준편차가 실측자료보다 약간

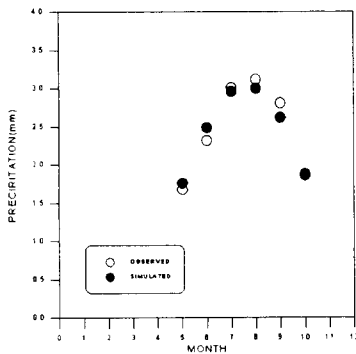


그림 8. 월 강수량 평균치 비교

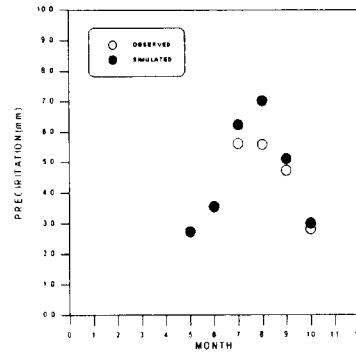


그림 9. 월 강수량 표준편차 비교

큰 값을 보이고 있으며, 이외의 달은 잘 일치함을 보여 월별 경향은 거의 그대로 재현하고 있음을 알 수 있다. 실측자료의 통계적 특성에 바탕을 둔 추계학적 모의발생 모델에서는 일반적으로 극치 발생의 결여로 보통 표준편차가 약간 과소함을 보이나 본 연구의 시강우에서는 약간 과대한 경향을 확인할 수 있었다.

시 강수량의 지속성을 비교하기 위해 관측계열과 ARMA(1,1)모델에 의한 모의발생 계열의 correlogram을 그림 10에 도시하였다. 시강우 시계열의 예측은 결정된 최적 모형을 이용하여 구한 7월 강수량을 실측치와 추정치를 그림 11에 도시하였다. 7월 시강우의 1252개중 400번째 자료에서부터 600개 자료까지 추정하였다. 실측치와 추정치를 비교한 결과 매우 양호하여 대체적으로 추정치와 실측치를 비교해 본 결과 시계열 변동경향(Trend)을 잘 기술하고 있음이 보여진다.

4. 모의발생 시강우로부터 수질예측

검증된 모의 발생강우를 가지고 안정화 된 매개변수를 가진 강우-유출-수질모형으로 장래의 유출과 수질을 모의하였다. 이 때 사용된 매개변수는 실측한 강우사상에 가장 잘 적합한 유출 및 수질 매개변수이다. 그림 12는 임의 모의년 6월의 모의발생 강우를 SWMM 모형을 통해 예측한 유출 수문곡선이며, 그림 13은 SS성분에 따른 모의 수질을 도시한 오염도곡선이다.

표 4는 1997년 6월 25일 실제사상과 6월 모의강우를 지속기간과 강우량을 나타내었다.

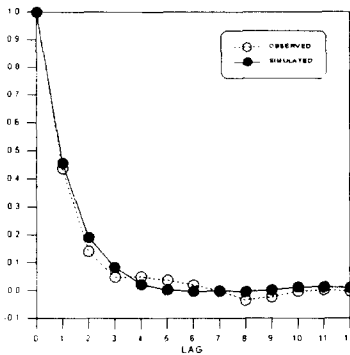


그림 10. 시강우량 상관도 비교(7월)

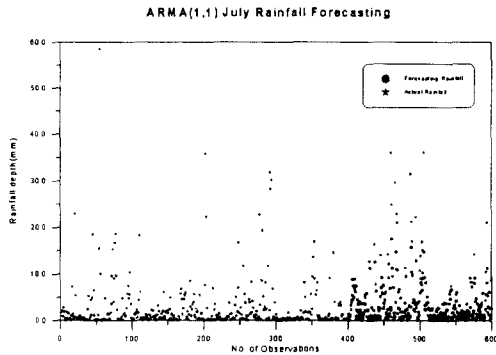


그림 11. 최적모형에 의한 강우 모의발생

표 4. 실제사상과 모의 발생강우의 비교(6월)

모의강우 시간	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	총강우량
모의발생 강우량 (mm)	0.5	5.8	11.2	3.0	0.1	0.3	1.9	0.2	0.3	0.6	1.9	30.5
실제사상 시간	13	14	15	16	17	18	19	20	21			총강우량
실제사상 강우량 (mm)	0.5	0.5	0	0.5	0.9	6.9	5.4	16.5	0.5			31.7

5. 결 론

모의 발생된 강수를 강우-유출-수질모형(SWMM)에 입력하여 장래 발생강우에 대한 오락부하량을 산정하였다. 또한, 모의 발생된 시 강우계열을 도시하천인 서울 홍제천에 적용하여 그 적합성을 확

