

NRCS 유효우량 산정방법의 국내유역 적용을 위한 적정 선행강우일 결정 방안

Determination of Suitable Antecedent Precipitation Day for the Application of NRCS Method in the Korean Basin

이명우⁺·이충성^{**}·김형수^{***}·심명필^{****}

Lee, Myoung Woo⁺·Yi, Choong Sung^{**}·Kim, Hung Soo^{***}·Shim, Myung Pil^{****}

:: Abstract ::

Generally the estimation of effective rainfall is important in the rainfall-runoff analysis. So, we must pay attention to selecting more accurate effective rainfall estimation method. Although there are many effective rainfall estimation methods, the NRCS method is widely used for the estimation of effective rainfall in the ungauged basin. However, the NRCS method was developed based on the characteristics of the river basin in USA. So, it may have problems to use the NRSC method in Korea without its verification. In the NRCS method, the antecedent precipitation of 5-day is usually used for the estimation of effective rainfall. The main purpose of this study is to investigate the suitable antecedent precipitation day in Korea river basin through the case study. This study performs the rainfall-runoff simulation for the Tanbu river basin by HEC-HMS model under the condition of varying the antecedent precipitation day from 1-day to 7-day and performs goodness of fit test by Monte Carlo simulation method. The antecedent precipitation of 2-day shows the most preferable result in the analysis. This result indicates that the NRCS method should be applied with caution according to the characteristics of the river basin.

Keywords: rainfall-runoff simulation, effective rainfall, NRCS method, antecedent precipitation, HEC-HMS

:: 요 지 ::

우리나라에서 유효우량의 산정방법으로 NRCS(Natural Resources Conservation Service)의 유효우량 산정방법이 널리 사용되고 있다. 그러나 NRCS 방법은 미국내 유역의 특성을 반영하여 개발된 것으로 미국과 우리나라 유역간의 차이에 대한 별도의 검증 없이 이를 그대로 사용하는 데에는 문제

+ To whom correspondes should be addressed. moo97@inhaian.net

* 인하대학교 환경·토목공학부 석사과정

** 인하대학교 환경·토목공학부 박사과정

*** 인하대학교 환경·토목공학부 부교수

**** 인하대학교 환경·토목공학부 교수

가 있을 것으로 예상된다. 따라서 본 연구는 우리나라 유역에서 NRCS 방법을 적용할 때에 적합한 선행강수일에 대하여 검토해보고자 한다. 이를 위하여 본 연구는 선행강수일수를 1일부터 7일까지 변화시켜 가면서 HEC-HMS 모형을 사용해 강우-유출 모의를 수행하여 탄부 소유역에 대해 가장 적절한 선행강수일수를 추정하였다. 그 결과, 선행2일강수량이 가장 적합한 것으로 나타났으며, 결론적으로, 본 연구의 결과에 의하면 NRCS 방법을 우리나라 유역에 적용할 때에는 세심한 주의가 필요할 것으로 사료된다.

핵심용어: 강우-유출 모의, 유효우량, NRCS 방법, 선행강우, HEC-HMS

1. 서론

우리나라는 몬순 기후의 영향으로 연 강수량의 대부분이 하절기인 6월에서 10월 사이에 집중되고 있으며 그 규모와 시기도 매년 가변적이어서 예측이 쉽지 않다. 이러한 강우특성은 국토개발 측면에서 이·치수 대책 수립, 도시계획 등 국가의 수자원계획 수립에 근원적인 문제로 작용하고 있다. 비단 국내의 상황만이 아니라 세계적으로도 불확실성이 높은 강우의 특성상 국가나 자치단체의 수자원 계획수립은 주로 장기간의 광범위한 관측으로 축적된 수문자료를 통계 처리하는 방식에 의존하고 있다.

수문자료의 통계 처리 측면에서 볼 때, 신뢰성 있는 결과를 얻기 위해서는 양적 질적으로 충분한 자료가 필요하다. 하지만 근대적 수문관측의 역사가 짧은 우리나라에서는 장기간의 수문관측 자료를 획득하는 것이 어려울 뿐더러 하천유출량의 경우는 강수량에 비해 관측하기도 쉽지 않다. 특히 비교적 안정적인 하천관리가 이루어지고 있는 대하천 유역보다 홍수피해의 대부분이 발생하는 중소규모 하천들의 경우는 관측 유출량 자료가 거의 없는 미계측유역이 많은 수를 차지하고 있다.

자료의 부재하에 미계측유역의 유출해석을 위해 우리나라에서는 유역의 토양 특성과 식생피복 상태에 대한 자료만으로 총강수량으로부터 침투(infiltration), 침루(percolation), 차단(interception), 지면저류(surface detention), 증발산(evapotranspiration) 등의 손실을 제외한,

유출에 직접 기여하는 우량인 유효우량(effective rainfall)을 산정할 수 있는 NRCS(Natural Resources Conservation Service : 舊 토양보존국(SCS, Soil Conservation Service))의 유효우량 산정방법이 널리 사용되고 있다. 이러한 유효우량의 산정은 수문 순환과정(hydrologic cycle)의 해석에 매우 중요하고 기본적인 부분이므로 NRCS 유효우량 산정방법의 정밀도를 높이고자 하는 연구도 국내외적으로 다수 수행된 바 있다.

Hielmfelt(1991)는 5일선행강수량과 최대잠재보유수량(S , potential maximum retention)의 산점도(scatter plot)로부터 다량의 5일선행강수량(P_5)은 최대잠재보유수량의 중간정도와 관련이 있으며, 소량의 5일선행강수량은 넓은 범위의 최대잠재보유수량과 관련이 있음을 보인 바 있다. 윤태훈(1991)은 강우-유출 기록이 있는 경우에는 유역의 대표 유출곡선지수(CN, runoff curve number)로서 CN-MED(유역 관측곡선번호의 중앙치)를, 미계측 유역에서는 $CN37(=0.3CN-II + 0.7CN-III)$ 과 같은 조정 CN을 사용하는 것이 보다 합리적인 결과를 줄 것으로 제안한 바 있다. 또한 윤태훈(1992)은 5일선행강수량이 클 때에는 CN값도 비례적으로 증가함을 보이나 5일선행강수량이 적을 경우에는 CN값이 불규칙한 상태를 보였는데 이는 강우와 유역특성의 변화가 크기 때문인 것으로 분석하였다.

그러나 많은 연구에도 불구하고 NRCS 유효

우량 산정방법은 미국의 상황에 맞게 개발된 방법론이라는 근원적 문제점이 있다. 즉, 이 방법에서는 선행토양함수조건(AMC, Antecedent Moisture Condition)을 이용하여 CN값을 산정하게 되는데, 이 때 AMC 조건의 산정을 위해 5일선행강우량을 그 기준으로 사용한다. 하지만 이는 미국의 유역을 대상으로 하여 얻어진 결과이고, 미국의 지질특성 등이 국내의 그것과 상이함을 고려한다면 이를 국내 유역에 검증 없이 적용하는 데에는 문제가 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 미 공병단의 HEC (Hydrologic Engineering Center)에서 개발한 강우-유출인 HEC-HMS 모형을 이용하여 다수의 강우사상에 대해 기존의 5일선행강우량을 1일부터 7일까지로 변화시켜 유출모의를 실시한 후, 실제 관측 유출과 비교하여 가장 좋은 결과를 주는 선행강우일들을 결정하고, 이로부터 얻어진 결과를 Monte Carlo 모의기법을 이용하여 적합 분포형을 결정하는데 이용하였다. Monte Carlo 모의는 수자원분야에서 주로 알려진 확률 분포로부터 많은 양의 자료생성(data generation)을 위해 사용되어지고 있다. 이로부터 본 연구는 NRCS 유효우량 산정방법 적용시 국내에 적합한 선행강우일을 제안하여 그 적용성을 검증하고자 한다.

2. NRCS 유효우량 산정방법

NRCS 유효우량 산정방법에서는 유효우량의 크기에 직접적으로 영향을 미치는 인자로서 유역을 형성하고 있는 토양의 종류(soil type), 토지이용상태(land use), 식생피복의 처리상태(vegetal cover treatment) 및 토양의 수문학적 조건을 고려하여 이들 인자들이 복합적으로 직접유출에 미치는 영향을 양적으로 표시하고자 하였으며 강우가 있기 이전의 선행토양함수조건(AMC)도 고려하였다(윤용남, 1986). NRCS

방법은 직접유출 산정을 위한 방법이지만 지표면유출과 지표하유출은 CN값으로 고려 될 수 있다. 이때 수로상 강수와 강우강도의 효과는 무시된다.

NRCS는 총우량과 유효우량간의 관계를 다음과 같은 식 (1)로 표시하였다.

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (1)$$

여기서 P 는 총우량(mm)이며 I_a 는 강우 초기의 손실우량(mm), S 는 최대잠재보유수량(mm)이고 Q 는 직접유출량에 해당하는 유효우량(mm)이다. 강우발생시 초기손실(I_a)은 주로 차단, 침투, 지면저류 등으로 구성된다. 소유역에서 I_a 와 S 의 관계가 유도되었는데 이는 10acres(1acre=4046.86m²)보다 작은 유역에서 $I_a = 0.2S$ 의 관계로 표현된다. S 는 총강우와 유출관계의 도시로부터 결정되는데, S 의 오차는 주로 유역의 총 평균 강우를 결정하는데서 비롯되지만 그 오차는 상대적으로 크지 않다. 하지만 I_a 를 결정하는데 포함된 불확실성으로 인한 오차는 다음과 같은 이유로 유발되는데 이에 대한 영향은 상대적으로 크다(SCS, 1972).

- 강우의 시작 시간을 결정하기 어려우며 이는 장비의 부재와 강우의 이동으로부터 발생한다.
- 유출의 시작시간을 결정하기 어려우며 이는 유역의 지체시간과 하도상의 강수에 대한 관측기기의 반응으로부터 발생한다.
- 유출의 시작 전 얼마나 차단 등이 발생하는지 결정하기가 어렵다.

NRCS 유효우량 산정방법은 1년을 성수기

표 1. 선행토양함수조건의 분류(윤용남, 1986)

AMC Group	유출 상태 구분	5일 선행 강수량 P_5 (mm)	
		비성수기	성수기
I	유역의 토양이 대체로 건조하여 유출률이 대단히 낮은 상태	$P_5 < 12.70$	$P_5 < 35.56$
II	유출률이 보통인 상태	$12.70 < P_5 < 27.94$	$35.56 < P_5 < 53.34$
III	유역의 토양이 수분으로 거의 포화되어 있어 유출률이 대단히 높은 상태	$P_5 > 27.94$	$P_5 > 53.34$

(growing season)와 비성수기(dormant season)로 나누어 다음의 표 1과 같이 각각 3가지 조건으로 분류하여 구분하고 있다.

AMC-II 조건하에서 산정된 CN 값은 다음의 식 (2a)~(2b)를 이용하여 알맞은 AMC 조건하의 CN값으로 변환된다.

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)} \quad (2a)$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)} \quad (2b)$$

3. 대상유역의 선정과 모형의 구성

3.1 대상유역 및 강우사상

본 연구의 대상유역은 그림 1에 나타난 IHP 시험유역인 보청천의 탄부소유역으로 설정하였다. 탄부소유역의 설정 이유는 IHP 시험유역으로서 자료의 취득이 용이하고 보청천유역의 상류부에 위치하기 때문에 상류의 영향으로 인한 불확실성을 배제한 채 독립적으로 강우-유출 모의를 수행할 수 있기 때문에 본 연구의 취지에 잘 부합한다고 판단되었기 때문이다. 본 연구에 사용된 강우사상은 표 2의 총 13개의 강우사상을 이용하였다. NRCS 방법에서는 AMC 조건을 결정하기 위하여 선행5일간의 총 강우량의 합인 선행5일강수량(P_5)을 사용하도록 하고 있다. 하지만 미국의 지질이나, 지형, 기후등은 우리나라의 그것들과는 차이가 있으므로 과연 선

행5일강우량을 사용하는 것이 적절한 것인지의 여부를 확인해 보아야 한다. 만약 P_5 의 사용이 국내 유역에 적합하지 않다면 NRCS의 유효우량 산정방법은 과대 또는 과소추정될 수 있는 문제가 있다. 유효우량이 과대추정된다면 유출역시 커지게 됨으로 수공구조물의 경제성이 낮아질 것이며 반대의 경우에는 홍수로부터의 위험에 노출되게 될 것이다.

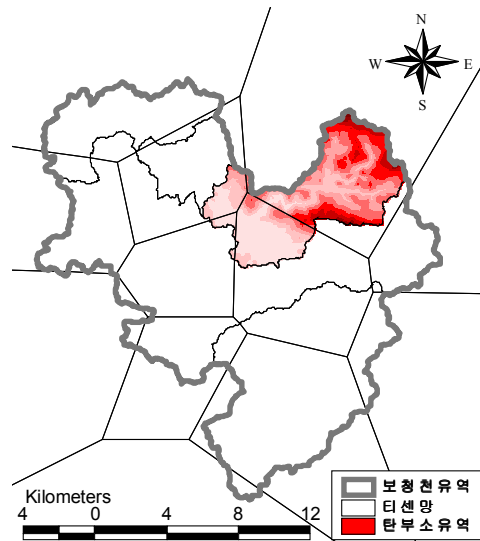


그림 1. 탄부소유역

표 2. 적용 대상 강우사상의 선정

대상 강우	발생 연월일	대상 강우	발생 연월일
1	1999/06/23	8	2000/07/22
2	1999/09/22	9	2000/07/30
3	1999/09/09	10	2000/08/24
4	1999/08/02	11	1995/06/02
5	1999/07/27	12	1998/06/25
6	2000/06/26	13	1998/06/30
7	2000/06/30		

본 연구는 국내 유역에서의 적정 선행강우일을 검토하기 위하여 선행1일강수량(P_1)으로부터 선행7일강수량(P_7)값을 산정하여 강우 유출 모의를 수행하였다. 이러한 선행강우량을 결정하기 위하여 IHP 사업 관련 수문자료 홈페이지 (<http://www.ihpkwra.com>)에서 유역의 강우자료를 획득하여 대상 강우의 선행강우일수에 따른 강우량을 산정하였다. 이때 사용한 기준은 표 1의 기준과 같다. 대상 강우의 발생시기가 6월부터 9월이므로 성수기의 조건을 이용하였다.

3.2 적용 및 결과

본 연구에서는 적정 선행강우일을 찾기 위해 표 2의 13개의 강우사상에 대하여 HEC-HMS 모형을 이용하여 강우-유출 모의를 수행하였다. 탄부소유역의 수문학적 특성인자는 건교부의 티센망과 IHP 연구보고서 및 광현구(2002)의 연구결과를 참고하였으며 그 자료를 기초로 하여 모형을 구성하였다. 각 모의는 세 가지 AMC 조건에 알맞은 CN값으로 각각 모의를 수행하여, 가장 적절한 결과를 보여주는 CN값을 결정하였으며, 이로부터 AMC 조건을 설정한 뒤 적정 AMC 조건을 나타내는 선행강우 일수를 결정하는 방식으로 수행하였다.

HEC-HMS는 미공병단에서 개발한 강우-유출을 모의하는 소프트웨어이다. 이 모형은 한 유역을 수문학적·수리학적 구성요소들의 상호작용을 통하여 대상유역에 강우로 인한 지표면 유출을 모의하는 단일사상(single event) 유출모형이다. 수문 요소는 나무구조 네트워크에 의해 배열되고, 계산은 상류에서 하류로 연속적으로 이루어진다.

HEC-HMS는 GUI(Graphical User Interface) 환경, 통합수문분석성분, 자료저장 및 관리능력, 그래픽 처리 및 리포트 출력 등으로 이루어져 있다. 모의를 실행하기 위해서는 세 가지 형태의 자료가 필요하다. 첫째는 수문요소에 대

한 매개변수와 연결구조를 포함한 유역 모형(basin model)이고, 둘째는 기상학적인 자료로 이루어진 기상학적 모형(meteorologic model), 셋째는 모의를 위한 시간정보를 포함하고 있는 control specification이다(HEC, 2001). HEC-HMS의 장점은 다양한 계산방법을 통하여 강우-유출을 분석함으로써 어떤 유역에 적용하여도 그 적용성이 좋다는 것이다. 이때 각 유역에 알맞은 계산방법을 정해주어야 한다. HEC-HMS의 모의과정은 다음의 그림 2와 같다.

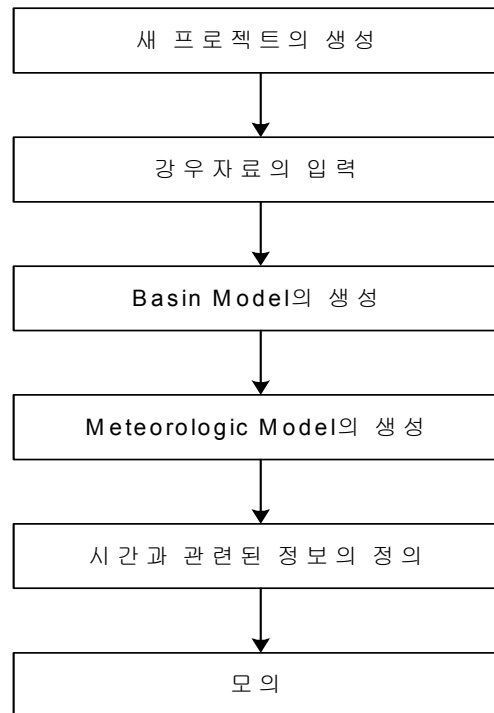


그림 2. HEC-HMS의 모의과정(류종현, 2004)

그림 3과 그림 4는 모의된 결과 중의 예로서 표 2의 7번 강우와 8번 강우의 수문곡선을 나타내고 있다. 각 수문곡선은 AMC 조건별로 모의된 수문곡선과 관측 수문곡선을 비교하고 있다. 7번 강우의 경우 도시적으로 비교해 보아도 가장 좋은 CN값(즉, AMC 조건)을 결정하는데 무리가 없으나 8번 강우의 경우는 도시적으로 비교해 볼 때 모호하기 때문에 정확히 어떤 조

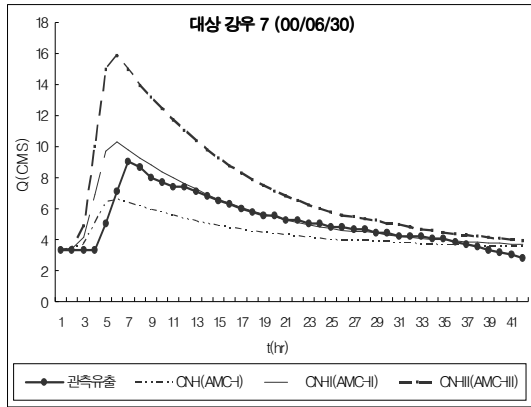


그림 3. 7번 대상 강우사상의 모의 결과

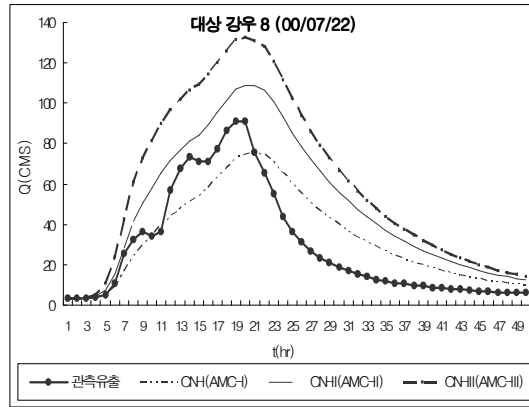


그림 4. 8번 대상 강우사상의 모의 결과

표 3. 적정 선행강우일수의 선정

	선행1일	선행2일	선행3일	선행4일	선행5일	선행6일	선행7일
1번 강우	1	1	1	1	1	1	0
2번 강우	0	0	0	0	0	0	0
3번 강우	0	0	0	1	1	1	1
4번 강우	0	0	0	0	0	0	0
5번 강우	1	1	1	1	1	1	1
6번 강우	1	1	1	0	0	0	0
7번 강우	0	1	0	0	0	0	0
8번 강우	1	1	1	0	0	0	0
9번 강우	1	1	1	1	1	1	0
10번 강우	1	1	1	0	0	0	0
11번 강우	1	1	1	1	1	1	1
12번 강우	0	0	0	0	0	0	0
13번 강우	1	1	1	1	0	0	0
계	8	9	8	6	5	5	3
P(n/91)	0.088	0.099	0.088	0.066	0.055	0.055	0.033
P(n/44)	0.182	0.205	0.182	0.136	0.114	0.114	0.068

건이 적합한지 결정하기 위한 기준이 필요하다. 따라서 수문곡선상에서 적합한 AMC 조건을 결정하기 위한 기준으로 본 연구에서는 유출량의 총합을 비교하여 결정하였다. NRCS 방법은 유효우량을 산정하는 방법이므로 유출의 총합을 비교하는 것이 다른 인자(도달시간이나 저류상수)의 영향을 최소화할 수 있는 방법으로 판단되었기 때문이다. 표 3은 가장 적합한 AMC 조건을 선정하고 각 대상 선행강우일과의 비교를 통하여 적정 선행강우일은 1을 표시하고 반대의 경우 0을 표시한 것이다.

3.3 분석 및 고찰

그림 5는 각 선행강우일수의 관측빈도를 나타

낸 것이다. 그림 5에서 빈도는 총 모의횟수 91이 아닌, 강우에 대한 적정 선행강우일로 판명된 횟수로 나누어 준 결과인데, 적정 선행강우일이 존재하지 않는 것은 NRCS 방법 자체의 불확실성으로 인한 것으로 판단하였기 때문이다. 위의 결과로부터 모집단의 분포형을 선정하기 위해서 100회의 Monte Carlo 모의실험을 수행하였다. 여기에서 모집단의 분포형을 선정하는 데에는 제약조건이 존재한다. 그것은 x축(선행강우일수)의 하한 경계치가 존재한다는 것이다. 이는 강우의 시작 전 선행강우일수의 추정이기 때문에, 강우가 시작한 후(즉, 그림 5의 선행강우일수축이 0보다 작은 값일 경우)의 결과는 의미가 없다는 것이다. 그림 6과 표 4는 Monte Carlo

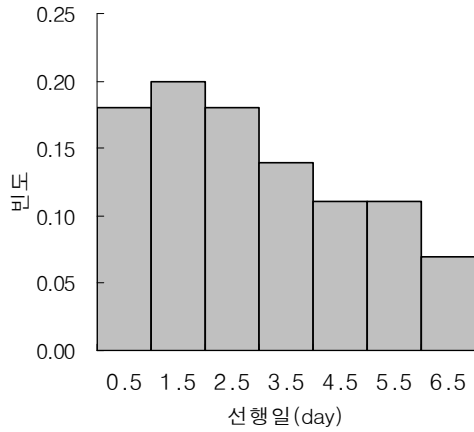


그림 5. 각 선행강우일수의 관측빈도

모의실험의 결과를 나타내고 있다.

모의 결과에 대한 적합도 검정 결과 하한값 0 을 갖는 Weibull 분포가 Anderson-Daring 적합도 검정과 다음의 도시적 분석을 통하여 유의 수준 1%로 선정되었다. Weibull 분포의 매개변수(parameter)는 최우도법(method of maximum likelihood)을 이용하여 추정하였다.

Monte Carlo 모의결과를 Weibull 확률지에 도시하면 그림 7과 같은 결과를 보여준다. 추정된 모집단의 분포로부터 각 계급(선행강우일)에 대한 확률을 구하면 표 5와 같다. 따라서 그림 8에서 보이는 바와 같이 탄부 유역에 적정한 선행강우일수는 선행2일에 해당하는 P_2 를 사용하는 것이 합리적이라 할 수 있다.

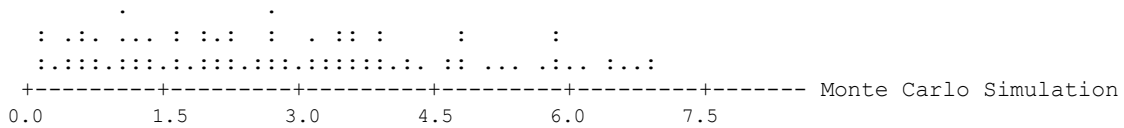


그림 6. 모의 결과의 dotplot

표 4. 모의실험 결과의 기초 통계치

평균	표준오차	중앙값	표준편차	분산	첨도	왜도	범위	최소값	최대값	합	관측수
2.99	0.19	2.76	1.88	3.53	-0.82	0.37	6.79	0.09	6.88	298.86	100

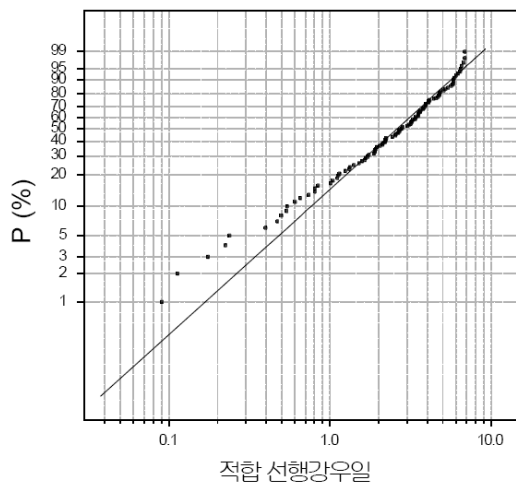


그림 7. 모의실험 결과의 weibull 확률지 도시

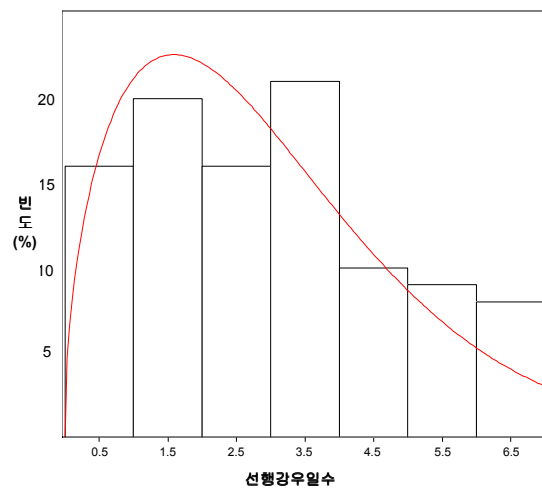


그림 8. 모의결과의 히스토그램과 weibull 분포의 probability density function

표 5. 선행일수의 확률

선행일수	P_i
1	0.147
2	0.223
3	0.208
4	0.161
5	0.11
6	0.07
7	0.04

4. 결 론

본 연구는 유출량 자료가 없을 경우 많이 사용되는 NRCS 유효우량 산정방법의 AMC 조건 결정에 이용되는 5일선행강일수가 국내 유역에 적합한 조건인지의 여부를 확인해 보고자 하는 것이 목적이다. NRCS의 방법은 미국의 지형, 지질, 기후 등의 조건하에 제안된 것이기 때문에 우리나라에 바로 적용하는 데에는 문제가 있을 것으로 생각되었다. 본 연구의 결과, 선행5일강우 보다 선행2일강우조건을 대상유역에 사용하는 것이 좋은 결과를 주는 것으로 나타나 이러한 가정이 틀리지 않았음을 확인할 수 있었다.

그러나 이 같은 결과는 보청천유역 내 탄부소유역의 13개 강우 사상으로부터 유도된 것이므로 우리나라 전 유역에서 선행 2일 강우량이 적절하다고 일반화 시키는 데에는 무리가 있다. 다만 우리나라와 미국의 유역은 그 특성이 다르며, NRCS방법을 사용할 때에도 이 같은 이질성을 감안하여 분석할 필요가 있음을 본 연구를 통해 확인 할 수 있었다.

참고문헌

곽현구 (2002). HEC-GeoHMS와 HEC-HMS를 연계한 유출해석. 충남대학교 석사학위논문.

윤용남 (1986). 공업수문학. 서울. 청문각.

윤태훈 (1991). 유효우량 산정을 위한 곡선번호 방법의 적용성. 한국수문학회지, 한국수문학회, 제24권, 제2호, pp. 97-108.

윤태훈 (1992). SCS곡선번호에 의한 유출고 및 침투유량의 산정과 곡선번호의 시변성. 한국수문학회지. 제25권, 제4호, pp. 87-95.

류종현 (2004). Bayesian 기법을 이용한 홍수 피해액 산정. 인하대학교 석사학위논문.

HEC (2001). HEC-HMS User's Manual. U. S. Army Corps of Engineers.

Hielmfelt, A. T. (1991). "Investigation of Curve Number Procedure", Journal of Hydraulic Engineering. American Society of Civil Engineers. Vol. 117, No. 6, pp. 725-737.

SCS (1972). National Engineering Handbook: Section 4 - Hydrology - Chapter 10. Estimation Of Direct Runoff From Storm Rainfall. U. S. Department of Agriculture. Washington. D. C. Soil Conservation Service.