

WMS와 연계된 HEC-1 모형의 매개변수 최적화를 통한 한천 유역의 유출해석에 관한 연구

Analysis of Runoff in Han Stream through Optimization of Parameter on HEC-1 connected with WMS

강정훈¹⁾ / 이은태²⁾ / 이주현³⁾ / 박상철⁴⁾

Jeong Hoon Kang, Eun Tae Lee, Joo Heon Lee, Sang Chul Park

요 지

본 연구에서는 미국의 Environmental Modeling Research Laboratory(EMRL)에서 개발한 지리정보시스템과 수문유출모형이 접목된 WMS(Watershed Modelling System) Ver.6.1 모형을 HEC-1모형과 연계하여 한강수계 안성천의 제1지류인 한천의 유출 해석을 실시하였다. 이를 위해 유역내의 지형특성인자 추출 및 하천망 구성(WMS), 재현기간별 지속시간별 확률강우량 산정(FARD2002), Huff분포법을 이용한 시간분포, ARF(Area Reduction Factor)적용, HEC-1내의 SCS단위도법, Snyder 단위도법, Clark의 유역추적법에 포함된 각각의 매개변수의 최적화를 시도하여 분석하고, 설계 홍수량 산정시 이용될 수 있는 지침 마련을 목적으로 하였다.

핵심용어 : WMS, HEC-1, 매개변수 최적화, 유출해석, 한천

1. 서 론

유출해석은 유출과정에 내재하는 물리적, 확률적인 내부 기구의 분석과 종합에 의하여 하천 유역내의 시간적, 공간적 유출형태를 양적으로 추정하는 것이다. 유역내의 복잡한 수문 현상들을 예측하기 위한 수문 모형 중 강우-유출 모형은 기초자료 등의 원천적인 불확실성, 모형의 기본이론 가정, 검정자료의 불확실성 등을 포함하고 있어서, 모형에 의한 예측치의 정확성은 주요관심사가 되고 있다. 강우-유출 모형을 사용하여 정확한 예측을 하기 위해서는 유출 모형의 우수성 못지않게 중요한 것이 모형의 보정이라 할 수 있다. 모형의 올바른 적용을 위해서는 대상유역의 특성을 잘 나타낼 수 있는 모형의 선정과 매개변수의 보정을 통해 모형이 대상유역의 현상을 보다 가깝게 나타낼 수 있도록 하는 과정이 필수적인 요소이다(안상진 등, 2001).

이에 본 연구에서는 미국의 Environmental Modeling Research Laboratory(EMRL)에서 개발한 지리정보시스템과 수문유출모형이 접목된 WMS(Watershed Modelling System) Ver.6.1 모형을 HEC-1모형과 연계하여 한강수계 안성천의 제 1지류인 한천의 유출 해석을 실시하였다. 이를 위해 유역내의 지형특성인자 추출 및 하천망 구성(WMS), 재현기간별 지속시간별 확률강우량 산정(FARD2002), Huff분포법을 이용한 시간분포, ARF(Area Reduction Factor)적용, HEC-1내의 SCS단위도법, Snyder 단위도법, Clark의 유역추적법에 포함된 각각의 매개변수의 최적화를 시도하여 분석하고, 설계 홍수량 산정시 이용될 수 있는 지침 마련을 목적으로 하였다.

1) 정회원 · 경희대학교 일반대학원 토목공학과 · 공학박사 · 031-201-2144 (Email : pobi2@hanmail.net)

2) 정회원 · 경희대학교 토목 · 건축대학 교수 · 공학박사 · 031-201-2549 (Email : etlee@khu.ac.kr)

3) 정회원 · 중부대학교 건설공학부 교수 · 공학박사 · 041-750-6744 (Email : leejh@joongbu.ac.kr)

4) 정회원 · 경희대학교 일반대학원 토목공학과 석사과정 · 031-201-2144 (Email : skyhco@hanmail.net)

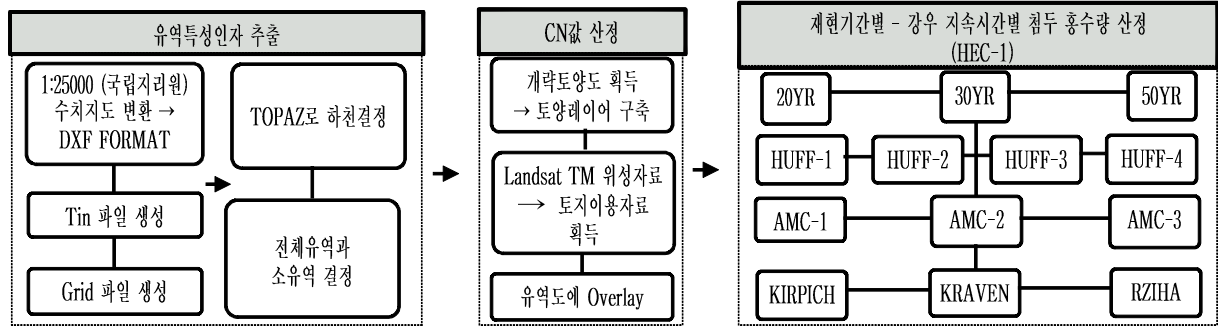


그림 1.1 연구 수행 과정

2. 대상 유역

본 연구는 안성천의 제 1지류인 한천유역을 대상으로 하였다. 용인시 원삼면 고당리에서 발원하여 남류하는 한천은 우안에서 남류하여온 쌍지천 및 좌안에서 북서류하여온 남풍천과 함께 본 유역의 중앙부에 위치하고 있는 저수용량 15백만 m^3 의 고삼저수지에 유입된다. 고삼저수지를 월류한 후 북서류 하여온 한천의 제 1 지류인 곡천을 좌안에서 유입 받고 있으며, 도곡천 및 교동천을 합류한 동향천을 우안에서 유입받아 유하하다가 안성천에 유입하는 하천이다. 유역면적 157.32 km^2 , 유로연장 32.1 km 로서 유역면적으로 볼 때 안성천 유역의 약 9.5%를 점유하고 있는 하천으로서, 수계의 하천은 전체적으로 완만한 경사를 이루고 있으며, 과거 수해로 인해 개수가 전반적으로 완료된 상태의 하천이다.

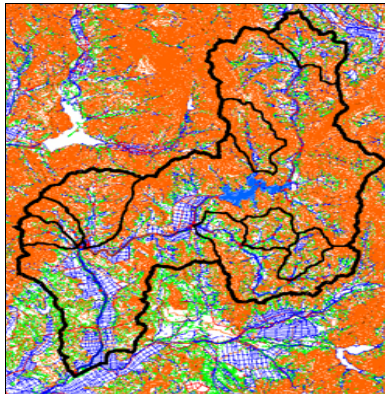


그림 2. 한천 유역의 지형도

표 1. 한천 유역의 지형학적 특성

| 하천명 | 유역면적 (km^2) | 유역주변장 (km) | 유역 형상계수 | 최장유출경로 (km) |
|-----|--------------------|-------------------|------------|--------------------|
| 한천 | 157.32 | 91.11 | 3.64 | 30.08 |
| 고당천 | 6.68 | 14.49 | 1.62 | 3.55 |
| 남풍천 | 7.76 | 16.84 | 2.33 | 2.51 |
| 쌍지천 | 6.48 | 16.56 | 3.21 | 3.01 |
| 곡천 | 23.99 | 27.65 | 2.31 | 10.51 |
| 오두천 | 4.03 | 11.23 | 2.91 | 1.93 |
| 가울천 | 4.52 | 10.38 | 1.79 | 2.19 |
| 도곡천 | 11.01 | 19.48 | 2.24 | 3.15 |
| 교동천 | 5.86 | 13.11 | 1.94 | 1.82 |
| 동향천 | 3.01 | 9.87 | 2.80 | 1.63 |

3. 수문지형학적 특성인자 결정 및 입력 자료의 작성

3.1 수문지형학적 특성인자의 결정

본 연구에서는 유역특성인자를 산출하기 위하여 국립지리원에서 발행한 1:25,000 축척의 수치지도로부터 ArcView(Ver 3.2a)를 이용하여 한천 유역의 고도자료를 이용하여 DEM 자료를 생성하고, WMS의 TOPAZ를 이용하여 하천망 및 유역경계를 추출하여 전체유역과 소유역을 결정하였다. WMS(Ver 6.1)는 HEC-1, TR-20, TR-55, 합리식, NFF(National Flood Frequency program)를 GIS와 결합된 상태에서 실행시켜 유출모의가 가능하도록 개발된 GUI기반의 수문분석 시스템이다. 이로부터 각 소유역의 지형학적 특성인자를 결정하였고, 유역의 유출곡선지수(CN)를 산정하기 위하여 개략도양도를 이용하여 토양 종류에 대한 토양레이어를 구축하고, 토지이용현황도로부터 토지이용자료를 구축하였다. WMS를 이용하여 추출한 지형학적 특성인자를 표 1에 나타내었다.

3.2 강우자료의 구축

한천유역에 대한 기왕의 강우자료를 구축하기 위하여 유역내 용인 강우관측소로부터 기왕의 강우자료를 구하고, 이에 대한 적절한 확률분포형을 결정하기 위해 Gamma분포형, Gumbel분포형, GEV분포형, Log-normal분포형, Log-Gumbel분포형, Log-pearson TypeIII분포형, Weibull분포형 등의 확률분포형에 대한

적합성 검토결과 Gumbel분포형이 최적의 확률분포형으로 채택되었고, 이에 대한 확률강우량을 면적우량으로 환산하기 위해 “1999년도 수자원 관리기법개발연구조사보고서(건교부)”에 제시된 방법에 의해 면적우량 환산 계수를 얻어내고, 이에 확률강우량을 곱하여 면적우량을 산출하였다. 이렇게 계산된 재현기간별 지속기간별 확률강우량을 시간분포시키기 위하여 이천지방의 Huff - 무차원 우량주상도를 회귀곡선으로 재결정하여 산출된 회귀식에 적용하여 Huff의 각 분위별 시우량을 결정하고, HEC-1 모형의 입력 자료로 이용하였다.

4. 매개변수 산정

매개변수에 대한 검정과 검증은 모형화 과정에서 필수적으로 수행되어야 한다. HEC-1 모형에서는 수집된 강우나 유출자료를 이용하여 이러한 매개변수의 대부분을 검정할 수 있는 매우 유용한 최적화 방안을 제시하고 있다. 이러한 최적화 방안을 사용하고 그 결과를 지역화시킴으로써 미계측 지역의 강우-유출 매개변수들에 대한 추정도 가능할 것이다.

본 연구에서는 Snyder 단위도법, Clark 유역추적법, SCS 단위도법의 이용하여 홍수량 계산을 실시하였으며, 각각의 방법이 이용되는 매개변수 즉, 도달시간, 저류상수, 지체시간 등의 최적화를 실시하여 보다 타당성 있는 결과의 도출을 시도하였다.

매개변수 중 도달시간(T_c)과 저류상수(K)는 유출량 산정에 기여하는 바가 크기 때문에 이들 매개변수의 산정에 특별한 주의가 필요한 것으로 알려져 있다(백태호, 2003). 기존 도달시간의 산정 방법으로 자연유역의 도달시간 산정에는 Kirpich, Rziha, Kraven 공식 등과 같은 경험공식들을 주로 사용하고 있으며, 본 연구에서는 농경지 소유역을 대상으로 유도된 Kirpich공식을 이용하였다.

$$T_c = 0.0663 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (1)$$

단, T_c =도달시간(hr), L =유로장(km), S 는 무차원 하천평균경사

저류상수(storage constant)는 구간내 저류량의 유출량에 대한 비를 나타내는 상수로서 미계측 유역의 경우처럼 그 결정이 어려운 경우에는 통상 추적구간의 평균유속에 의한 도달시간의 약 1/2~2/3 범위의 값이 저류상수로 간주된다는 연구결과(수자원설계 실무, 2004)를 토대로 시행착오를 거쳐 각 구간의 저류상수를 산정하여 이용하였다. 지체시간은 유효우량 중심에서 직접유출수문곡선의 침투부분까지의 시간으로 정의되며 일반적으로 유역면적 또는 집중시간(도달시간)과의 관계나 경험공식을 이용하여 결정하고 있으며, 본 연구에서는 다음과 같은 경험공식을 사용하였다.

$$T_L = \frac{L^{0.8}(2540 - 22.86CN)^{0.7}}{14104CN^{0.7}S^{0.5}} \quad (2)$$

단, T_L =지체시간(hr), CN = 유출곡선지수, S = 무차원 유역경사

또한 유출곡선지수의 산정은 토지이용도를 이용하여 유역의 토지이용상태를 산림, 논+경작지, 초지, 주거지, 나대지, 수역으로 분류하고, 농업기반공사의 개략토양도를 SCS 수문학적 토양군에 따라 분류하여 이용하였으며, 선행토양함수조건은 AMC-II와 AMC-III조건을 모두 고려하여 홍수량을 산정하고 비교하였다. 각 하천 소유역의 출구점 부근의 산정 값을 표 2에 나타내었다.

표 2. 매개 변수 산정

| 하천명 | 유출곡선 지수 | | | 도달시간(hr) | | | 지체시간 (hr) | 저류상수 (K) |
|-----|---------|--------|---------|----------|--------|-------|--------------|-------------|
| | AMC-I | AMC-II | AMC-III | KIRPKCH | KRAVEN | RZIHA | | |
| 한 천 | 40.8 | 62.1 | 79.0 | 0.835 | 0.476 | 0.116 | 1.487 | 0.557 |
| 고당천 | 43.2 | 64.4 | 80.6 | 0.316 | 0.131 | 0.058 | 0.793 | 0.211 |
| 남풍천 | 35.0 | 56.2 | 74.7 | 0.212 | 0.082 | 0.035 | 0.428 | 0.141 |
| 쌍지천 | 32.6 | 53.5 | 72.6 | 0.216 | 0.075 | 0.035 | 0.407 | 0.144 |
| 곡 천 | 43.7 | 64.9 | 81.0 | 0.255 | 0.102 | 0.044 | 0.454 | 0.170 |
| 오두천 | 46.5 | 67.4 | 82.6 | 0.177 | 0.065 | 0.028 | 0.291 | 0.118 |
| 가을천 | 47.2 | 68.0 | 83.0 | 0.291 | 0.119 | 0.053 | 0.537 | 0.194 |
| 도곡천 | 38.1 | 59.4 | 77.1 | 0.289 | 0.117 | 0.052 | 0.617 | 0.193 |
| 교동천 | 33.1 | 54.1 | 73.1 | 0.302 | 0.140 | 0.056 | 0.485 | 0.202 |
| 동향천 | 30.2 | 50.8 | 70.4 | 0.196 | 0.068 | 0.031 | 0.375 | 0.131 |

5. 모의 결과 및 고찰

이상과 같은 모의 결과를 토대로 선행토양함수조건 AMC-II, AMC-III로 산정된 유출곡선지수를 이용하여 산출된 홍수량과 1984년 ‘하천정비기본계획’상의 홍수량을 비교하여 표 3에 나타내었다. 두 홍수량은 재현기간 50년 빈도의 경우에 의한 각 방법별 산정 값으로서 각 하천의 최 하류부 출구점에서의 홍수량을 나타내고 있다.

우선 AMC-II 조건하에서의 유출곡선지수(CN)에 의해 산정한 홍수량과 AMC-III 조건하에서의 홍수량은 AMC-III 조건하에서 유출량이 최소 9.8%에서 최대 42.0%까지 증가함을 알 수 있다. 방법별로는 SCS 단위도법의 홍수량이 타 방법에 비해 큰 결과를 나타냈고, Clark유역추적법과 Snyder단위도법의 산정치는 대체로 비슷한 결과를 얻어낼 수 있었다. 1984년에 산정된 계획홍수량과 금회 AMC-III 조건하에서 산정된 홍수량과 비교하여 본 결과 한천 분류구간의 계획홍수량은 1984년에 비해 clark, SCS, snyder 순으로 약 5%, 48%, 9% 증가된 수치를 보였으며, 이는 1984년 이후 발생한 도시화에 의한 유출량 증가의 연유로 사료된다. 한편 분류구간을 제외한 지류구간의 경우에는 몇몇 하천을 제외하고는 오히려 금회 산정 홍수량이 적게 산정되었으나, 1984년 자료의 유역설정(유역형상)의 차이와 분류 구간과 유역전체의 수문학적 물질균형을 고려해 볼 때 대체로 합당한 값으로 사료된다.

표 3 모의 홍수량의 비교

| 하천명 | 1984년 산정홍수량 (m ³ /sec) | 금회 모의 홍수량(m ³ /sec) | | | | | |
|-----|---|--------------------------------|--------|--------|---------|--------|--------|
| | | AMC-II | | | AMC-III | | |
| | | Clark | SCS | Snyder | Clark | SCS | Snyder |
| 한 천 | 939 | 836.9 | 1096.2 | 874.2 | 986.7 | 1386.0 | 1025.2 |
| 고당천 | - | 60.5 | 64.1 | 60.0 | 70.8 | 91.9 | 25.5 |
| 남풍천 | 145 | 58.4 | 58.7 | 55.9 | 74.5 | 80.4 | 71.9 |
| 쌍지천 | 120 | 48.0 | 47.8 | 45.5 | 63.0 | 66.2 | 60.3 |
| 곡 천 | 275 | 209.7 | 210.7 | 202.7 | 252.8 | 288.8 | 236.4 |
| 오두천 | 75 | 36.7 | 47.0 | 34.8 | 46.2 | 51.6 | 39.6 |
| 가울천 | 90 | 41.8 | 43.0 | 40.1 | 51.6 | 60.1 | 45.3 |
| 도곡천 | 185 | 81.8 | 130.1 | 84.9 | 103.4 | 106.6 | 104.6 |
| 교동천 | 50 | 39.7 | 46.6 | 36.8 | 53.6 | 55.1 | 50.2 |
| 동향천 | 60 | 18.2 | 18.1 | 16.4 | 25.4 | 25.7 | 23.2 |

6. 결 론

본 연구는 지리정보시스템과 수문유출모형이 접목된 WMS(Watershed Modelling System) Ver.6.1 모형을 HEC-1모형과 연계하여 한강수계 안성천의 제 1지류인 한천에 대한 각각의 매개변수의 최적화를 실시하여, 유출 해석을 실시하였다.

WMS모형을 이용하여 유역의 지형특성을 분석하고 HEC-1 모형의 입력자료와 매개변수를 추정, 최적화하여 대체적으로 합당한 결과를 얻어낼 수 있었다. 방법별로는 SCS단위도법의 홍수량이 타 방법에 비해 큰 결과를 나타냈고, 과거 산정된 계획홍수량과 금회 산정 홍수량을 비교하여 본 결과 한천 분류구간의 계획홍수량은 1984년에 비해 전체적으로 증가된 수치를 보였으며, 이는 1984년 이후 발생한 도시화에 의한 유출량 증가의 연유로 사료된다. 지류구간의 경우에 금회 산정 홍수량이 적게 산정된 구간도 있으나, 1984년 자료의 유역설정(유역형상)의 차이와 분류 구간과 유역전체의 수문학적 물질균형을 고려해 볼 때 대체로 합당한 값으로 사료된다. 이러한 자료는 한천 유역의 효과적인 수자원관리에 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 윤용남 (2001). 공업수문학, 청문각
2. 정중호, 윤용남 (2004). 수자원설계실무, 구미서관
3. U.S. Army Corps of Engineers (1990). HEC-1 Flood Hydrograph Package, User's Manual

4. 건설교통부 (1999). 1999년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서
5. 경기도 (1984). 한천 하천정비 기본계획
6. Brigham Young University-Environmental Modeling Research Laboratory (1999). WMS v6.1 TUTORIAL Manual
7. Daniel H. Hoggan (1996). Computer-Assisted Floodplain Hydrology and Hydraulics, McGraw-Hill