대표입경을 이용한 조도계수 산정에 관한 연구

A Study on Estimation of Roughness Coefficient Using a Representative Grain Diameter

정우진[1], 이도훈[2], 이은태[3]

Jung Woo Jin, Lee do hun, Lee Eun Tae

요 지

본 연구에서는 체가름 시험을 통해 얻은 대표입경으로 조도계수를 산정하고 그 산정된 조도계수의 효용을 검정하고자 하였다. 체가름 분석을 통해 입도곡선을 작성하고 대표입경을 구함으로서 기 수립된 공식에 의한 조도계수를 산정하였다. 산정된 조도계수는 HEC-HMS의 하도추적 방법 중에 하나인 Muskingum-Cunge 8 point 방법과 HEC-RAS의 부정류 해석을 이용한 방법으로 얻은 조도계수를 비교하였다. HEC-HMS의 경우 대상유역인 오산천 유역에 대해 선행연구과정으로 저수지 방류량을 고려한 강우-유출 모형의 매개변수 추정에 관한 연구가 이뤄졌다(2006, 이아름). 선행연구에서는 계산된 유량과 실측 유량을 비교하여 Clark 단위도 방법의 매개변수를 추정하여 그 중 빈도가 큰 유출사상의 경우에 Sabol 식에 의한 모의결과가 첨두유량의 재현성이 우수하게 나타남을 확인했다. 따라서 HEC-HMS 모형은 Clark 단위도 방법의 매개변수는 Sabol의 식에 의해 모형을 구성하고 2001년,2002년, 2004년, 2005년의 사상에 대해 강우량, 기흥저수지와 이동저수지의 실제 방류량을 이용해 유출량을 산정하였다. 이중 오산천 유역에 대해 선행연구에서 사용된 Muskingum의 하도추적 방법은 Muskingum-Cunge 8 point 방법으로 변경하여 대상유역에서의 조도계수를 산정하였다. HEC-RAS 모형의 부정류 해석은 2002년과 2005년의 사상으로서 상류단 경계조건으로 기흥저수지의 방류량을 유량수문곡선으로 이용하였고, 하류단 경계조건으로는 회화수위관측소의 수위수문곡선을 이용했다.

대표입경을 이용해 얻은 조도계수를 HEC-HMS, HEC-RAS를 통해 검정한 결과 실측된 유량과 수위를 비교적 잘 재현해 내는 것으로 나타났으나, 조도계수의 보정을 통한 재현 유량과 수위를 비교했을 때, 대표입경을 통해 얻은 조도계수가 보정 조도계수보다 다소 작은 것으로 해석되었다.

핵심용어 : 조도계수, 대표입경 산정, Muskingum-Cunge 8 point, 부정류 해석

1. 서 론

효율적인 수자원의 관리를 위한 하천정비기본계획과 유역치수계획의 수립은 보다 정확한 홍수량 산정을 통해서 이뤄진다. 고도 경제성장과 각종 개발사업의 시행으로 인하여 토지이용도가 변화함에 따라 태풍과 같은 큰비가 아니더라도 지속적인 강우로 인한 홍수 및 토사유출과 같은 재해요인이 지속적으로 증가하는 추세이다. 따라서 첨두홍수량에 대한 계산의 정밀성은 확보는 필수적이라 하겠다.

하도의 흐름해석에서 가장 중요한 물리적 요소는 하도의 기하학적 형태와 하상의 조도계수이다. 하도의 흐름특성 중 하도의 기하학적 형태는 하도의 종횡단 형태로서 측량을 통해 비교적 확정적인 값을 얻을 수 있는 것이지만, 하상의 조도계수는 그 자체의 시공간적으로 가변성과 이에 작용하는 인자들의 복합성과 불확실성으로 인해 아직까지 확정적인 값을 얻는 방법이 사실상 없다.

1) 경희대학교 토목건축대학 토목공학과 석사졸업 E-mail : jwoojin715@naver.com

2) 경희대학교 토목건축대학 토목공학과 교수 E-mail : dohlee@khu.ac.kr

3) 경희대학교 토목건축대학 토목공학과 교수 E-mail : etlee@khu.ac.kr

조도계수는 원래 하상재료의 조도(roughness)를 나타내는 척도로서 하상재료 및 하상표면의 특성에 의해 결정되어지는 값이지만, 실제 흐름계산에서는 식생, 하천구조물, 사행도, 단면 형태, 단면 변화양상 등 하도의 상황뿐만 아니라 유량이나 수위에 의해서도 변화하기 때문에(French, 1985) 이론적으로 조도계수를 정확하게 계산하는 것은 거의 불가능하다.

조도계수를 추정하는 방법에는 하도의 상황에 따라 기존의 제안된 값을 사용하는 방법과 수리학적 모형에 의해 과거 홍수사상을 가장 잘 재현하는 값을 사용하는 방법이 있다.

기존의 제안된 값을 사용하는 방법으로 흐름계산시 조도계수를 산정하기 위해 경험과 실험을 통해'수로의 표면 조건에 따른 매닝계수 n의 범위와 평균치'(Chow, 1959, pp. 109~113)가 제시되었으며, SCS는 조도계수를 추정하는 사람의 주관성을 최대한 배제하기 위해 수로 재질의 구분에서부터 시작하여 흐름 저항에 영향을 주는 요소를 하나씩 고려하여 최종적으로 대상 수로의 조도계수를 구하는 방법을(Urquhart, 1975) 만들기도 했다. 한편, 사람의 주관적 추정이 배제되는 입도분석을 통한 대표입경의 산정으로 조도계수를 추정하는 방법이 제안되었다. 하상재료에 따라 입경이 다양한 모래하천에서는 대표입경을 D_{90}(Meyer-Peter & muller, 1948)으로, 자갈이상인 경우는 D75가(Lane & Carlson, 1953) 대표입경으로 제안되었다. 반면, 수리학적 모형에 의한 방법은 하상단면 자료를 필요로 하기 때문에 다소 복잡하지만 비교적 객관적인 조도계수의 산정이 가능하다.

본 연구에서는 부정류 모형을 이용한 조도계수 추정 시 유량 및 수위 규모별로 조도계수를 산정하고, 관측수위표 사이의 하도 구간에서 조도계수의 분포에 따른 수면 곡선의 관계를 분석하고자 했다. 이를 위해 오산천 유역에 대한 조도계수 추정을 실시하였고, 하도의 구조물 및 지형적인 특성을 고려하여 하도 종방향으로 나타나는 여러 가지 조합의 조도계수 분포에 대한 수면곡선을 모의하였다. 또 대표입경을 이용해 조도계수를 추정하고, 부정류 모형에 의한 조도계수를 적용해 실측 수위곡선과 비교해 봄으로써 대표입경을 이용한 조도계수 추정방법의 신뢰성을 추정하였다.

2. 모형의 구성 및 적용

2.1 대상유역 분석

2.1.1 대상유역 개황

안성천 유역의 제2지류인 오산천은 용인시 기흥구에서 발원하여 수원천, 지곡천, 공세천과 함께 본 유역에 위치하고 있는 유효저수용량이 10,690,000m^3인 기흥저수지에 유입된다. 기흥저수지를 월류한 후, 고매천, 치동천, 신리천, 장지천, 궐리천, 가장천의 유입을 받아 유하하다가 평택시 진위면의 진위천(국가하천)에 합류하는 하천이다. 유역면적은 150.68km^2이고, 유로연장은 29.50km이다. 본 연구에서는 오산천내에는 실시간 수위를 관측할 수 없는 T/M수위계가 존재하지 않기 때문에 진위천 내의 회화수위관측소의 T/M수위계를 이용했다. 따라서 본 논문의 대상유역은 출구점이 회화수위관측소로서 오산천 전체뿐만 아니라 진위천의 일부를 포함한다. 유역의 모식도는 다음과 같다.

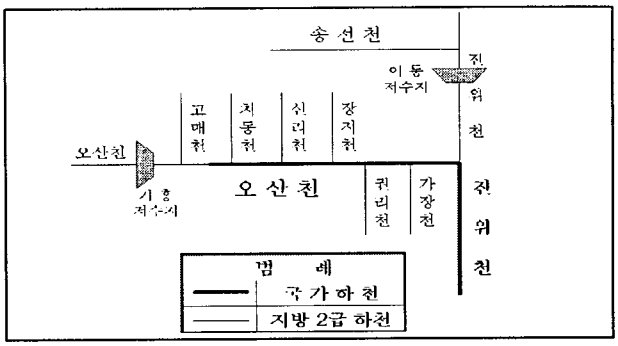


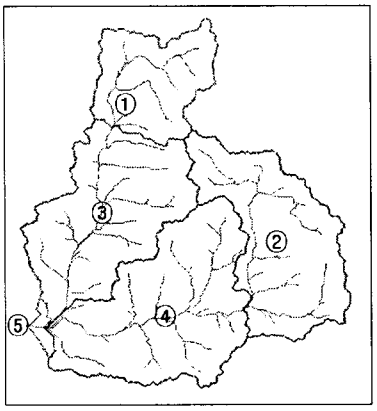
그림 2.1 유역 모식도

2.1.2 유역 특성 분석

(1) 지형학적 유역특성인자와 유출곡선지수 산정

표 2.2 유역 특성 및 유역현황

유역명	유역면적 (km^2)	유로연장 (m)	유역경사 (m/m)	CN (AMC-II)
①	51.64	10,152	0.1711	48.9
②	91.73	13,353	0.2518	43.2
③	95.96	16,489	0.1215	55.4
④	115.03	15,617	0.1568	52.5
⑤	3.31	2,808	0.0325	72.3



2.1.3 저수지 제원

본 연구에서 사용된 저수지는 안성천 유역의 경기도 용인시 이동면 어비리에 위치한 이동저수지와 경기도 용인시 기흥구 고매동에 위치한 기흥저수지다. 이동 저수지의 몽리면적은 3,152ha, 만수면적은 327ha, 총저수량은 17,290천m^3, 유효저수량은 17,200천m^3이다. 기흥 저수지의 몽리면적은 2,512ha, 만수면적은 231ha, 총저수량은 10,728천m^3, 유효저수량은 10,690천m^3이다. 저수지 제원은 표 2.3과 같다.

표 2.3 저수지 제원

저수지명	위치			몽리면적 ha	계획저수량			유역면적 ha	만수면적 ha	제당연장 m	제당최대고 m	수심				
	시군	읍면	리동		총저수량 천m^3	사수량 천m^3	유효저수량 천m^3					최대고 m	만수위 m	홍수위고 m	일류수심 m	최대방류량 m^3/sec
기흥	용인	기흥	고매	2,512	10,728	38	10,690	5,300	231	222	14.0	11.00	10.00	12.3	1.3	727.0
이동	용인	이동	어비	3,152	17,290	90	17,200	9,300	327	660	18.0	11.70	11.70	14.2	1.5	619.0

2.2 하상재료의 입도분석을 이용한 조도계수 산정

2.2.1 하상재료의 입도분석 방법

하상재료의 분석은 주로 하도 변화의 특성을 분석하기 위함이다. 따라서 홍수 전후의 하상재료를 분석은 반드시 필요하다. 이 논문에서는 대상하천인 오산천에 다음과 같은 방법으로 입도분석을 실시하였다.

오산천 전 구간에 걸쳐 12개 지점의 하상재료를 매 3개월마다 채취하여 체가름 시험에 의한 입도분석을 실시하였다. 지점 선정은 중요 시설물 부근, 지류의 합류부, 기타 홍수로 인해 하상재료의 변화가 예상되는 지점을 중심으로 선정하였다. 채취된 하상재료는 재료 실험실에서 24시간 건조로에서 완전 건조 시킨 후 "KS F 2502 골재의 체가름 시험방법"의 기준에 의거 시험을 실시하였다.

2.3 HEC-HMS 모형의 구성

2.3.1 HEC-HMS 모형의 입력자료 구축

(1) 수문자료 수집 및 분석

HEC-HMS모형의 입력자료 구축 및 모형의 보정, 검증을 위해서는 수문 자료의 수집 및 정리가 선행되어야 한다. 수문자료는 크게 기상자료의 수집과 유출량 자료의 수집으로 분류되며, 기상자료의 수집을 위해 수문연보(2001, 2002, 2003, 2004)와 기상청 전산자료(http://www.kma.go.kr)를 이용하였고, 이를 통해 대상유역의 시강우량을 수집·정리하였으며, 유출량 자료의 수집을 위해 수문 조사연보와 한가홍수통제소 실시간 수문자료를 이용해 대상자료를 수집·정리 하였다. 강우 사상은 2001~2005년까지의 강우자료 중 연최대강우사상을 선택하였다. 각 사상의 강우량과 강우시작, 종료시간은 표 2.4와 같다. 유출량 자료는 강우사상에 맞게 선정 하였다.

표 2.4 연 최대 강우량(2002~2005,수원관측소)

	2001.7.29	2002.8.06	2003.7.21	2004.7.14	2005.7.28
강우량	120.3	359.9	136.6	125.8	84.5
강우시작	2001-07-29 05:00	2002-08-06 00:00	2003-07-21 18:00	2004-07-14 17:00	2005-07-28 3:00
강우종료	2001-07-29 18:00	2002-08-10 03:00	2003-07-25 1:00	2004-07-20 8:00	2005-07-28 8:00

(2) 저수지 방류자료 구축

기흥저수지와 이동저수지의 농번기 방류량 자료(농촌공사)를 통해 각각 저수지의 방류량 조견표(早見表)를 이용해 시간당 방류량을 산정하였다. 이 논문에서는 실질적으로 대상유역의 유출량이 강우량보다 저수지 방류량에 의해 지배되고 있음을 고려할 때, 실시간 방류량이 중요하므로 저수지 추적방법을 사용하지 않고 Source로서 시간당 방류량자료로 입력하였다.

(3) 유역인자 입력

표 2.5 하도와 유역에 적용된 매개변수

하도 1		하도 2		OSAN 소유역		JINWEE 소유역		ETC 소유역	
K	x	K	x	도달시간 (hr)	저류상수 (hr)	도달시간 (hr)	저류상수 (hr)	도달시간 (hr)	저류상수 (hr)
1	0.253	0.95	0.228	1.448	1.539	1.127	1.397	0.693	0.570

표 2.6 Muskingum-Cunge 방법에 적용된 매개변수

하도	추적구간의 길이 (m)	추적구간의 하상경사 (m/m)
Reach-1	3000	0.003525
Reach-2	680	0.002315
Reach-3	2730	0.001277
Reach-4	340	0.001205
Reach-5	150	0.001946
Reach-6	470	0.00748
Reach-7	1410	0.004838
Reach-8	1910	0.001107
Reach-9	1860	0.000482

2.4 HEC-RAS 모형의 구성

2.4.1 HEC-RAS 모형의 입력자료 구축

(1) 수문자료 수집 및 분석

HEC-RAS모형의 입력자료 구축 및 모형의 보정, 검증을 위해서는 HEC-HMS모형과 같이 수문 자료의 수집 및 정리가 선행되어야 한다. 그러나 HEC-HMS모형에서 수집된 자료와는 별도로 하도의 횡단면과 같은 지형자료는 필수적이다. 횡단자료는 안성천 수계하천정비 기본계획(변경)(2002.12)에 수록된 단면을 이용하였다. 또 HEC-RAS모형 중 부정류모형을 구성하기 위한 입력자료는 상류단 경계조건의 수문자료로서 유량수문곡선(Flow Hydrograph), 수위수문곡선(Stage Hydrograph), 수위-유량관계곡선(Stage/Flow Hydrograph) 중 1개 이상이 필요하며, 하류단 경계조건으로는 유량수문곡선, 수위수문곡선, 수위-유량관계곡선(Stage/Flow Hydrograph), 수위-유량관계곡선(Rating curve), 등류수심이 필요하다. 이 논문에서는 상류단 경계조건으로 유량수문곡선을 이용하기 위해 기 선정된 강우 사상별 기홍저수지의 방류량 자료를 이용하고, 하류단 경계조건의 수문자료로서는 수위수문곡선을 이용하기 위해 강우 사상별 회화지점의 수위자료를 선정하였다.

2.4.2 조도계수 산정방법

HEC-RAS 부정류 모형을 기 설립된 유량수문곡선과 수위수문곡선을 이용해 선정한 사상들에 대해 부정류 모의를 한다. 다음으로 실제 유량수문곡선과 Peak Time, Peak Flow, Volume, 그리고 수문곡선의 모양에 주의하여 저류량과 횡월류웨어 유량을 수정함으로서 유량수문곡선을 재생성 한다. 그 후 실제 수위수문곡선과 일치되도록 Manning 조도계수를 수정하여 수위수문곡선을 재 생성한다. 마지막으로 보정과정에 사용된 수문사상은 다른 수문사상 등과의 비교를 통해 보정결과를 검정한다.

3. 결 론

하천의 유출 용적의 증가, 유역 하류부분의 제방파괴 및 홍수 범람 등으로 인해 재산피해가 심각한 현실에서 정확한 홍수량 산정은 필수 불가결하다. 또, 정확한 홍수량을 산정하기 위해서는 강우자료 뿐 아니라 저수지 방류량(실시간), 지형자료, 매개변수 등이 고려되어야한다. 하지만 일반적인 실무에서도 조도계수의 객관적인 산정이 어렵다는 이유로 홍수량 산정에 배제되기가 쉽다. 그러므로 본 연구에서는 비교적 간단한 방법인 입도분석을 통한 대표입경의 산정으로 조도계수를 추정한 방식의 효용성에 대해 Clark 유역추적방법과 조도계수가 필요한 Muskingum- Cunge 8 point 하도추적 방법을 적용하여 홍수시 실제 유출 수문곡선과 계산된 유출수문곡선을 비교, 검정하였다. 또 실제 측정된 수위, 유량수문곡선과도 비교함으로서 대표입경을 이용하여 산정한 조도계수를 검정했다. 본 연구에 의해 도출된 결론은 다음과 같다.

HEC-HMS에서 대표입경을 이용하여 산정한 조도계수를 적용한 Muskingum-Cunge 8 point 하도추적 방법은 Muskingum 하도추적 방법보다 실제의 유출수문곡선을 보다 잘 재현하였다. 하지만 실제 유출수문곡선을 보다 잘 재현하기 위하여 조도계수를 보정하는 과정에서 대표입경을 이용하여 산정된 조도계수가 보정된 조도계수

와 비교했을 때 비교적 작은 값으로 나타났다. 따라서 보정에 의한 조도계수는 대표입경을 이용해 산정된 조도계수 중 최대치 계열의 조합으로 나타났다. 이런 결과는 HEC-RAS를 통한 부정류 계산의 결과에서도 마찬가지로 조도계수 값을 상향시키는 방법이 모형을 보다 실제적으로 보정하게 되는 결과로 나타났다. 하지만 두 가지 방법에 적용된 조도계수는 조도계수를 적용하지 않은 모형에 비해 실재 수문곡선의 재현성이 우수하였다. 따라서 대표입경을 이용한 조도계수의 산정방법은 그 편의성을 생각할 때 충분한 유효성이 있다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. 이신재, 박상우, 장석환, 오경두, 전병호 (2005). 하천 조도계수 산정의 불확실성에 관한 연구, 한국수자원학회 05 학술발표회 논문집 , pp.329-333.
2. 김선민, 정관수 (2005). 부정류 모형을 이용한 하천 조도계수 산정 및 산정오차의 수면곡선에 대한 민감도 분석, 한국수자원학회 05 학술발표회 논문집, pp.324-328.
3. 이아름(2006). 저수지 방류량을 고려한 강우-유출 모형의 매개변수 추정에 관한 연구, 석사학위논문, 경희대학교

13. Chow, V. T. (1959),Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill, New York.

15. Fread, D.L. (1989). "Flood routing and Manning n." *Proc. of the International Conference for Centennial of Manning's Formula and Kuichling's Rational Formula*, B.C. Yen, ed., Charlottesville Va., pp. 699-709.

16. Atanov, G.A., Evseeva, E.G. and Meselhe, A. (1998) Estimation of roughness profile in trapezoidal open channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE. Vol. 125, No. 3, pp. 309-312

17. Ramesh, R., Datta, B., Bhallamudi, S.M. and Narayana, A. (2000) Optimal estimation of roughness in open-channel flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE. Vol. 126, No. 4, pp. 299-303.