

ORIGINAL ARTICLE

계곡부의 하상 특성이 수문 인자에 미치는 민감도 분석

손명호 · 이길하*

대구대학교 일반대학원 토목공학과

Sensitivity of Riverbed Characteristics of Valley Area to Hydrologic Factors

Myoung-Ho Son, Khil-Ha Lee*

Department of Civil Engineering, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea

Abstract

This study examined the effects of riverbed slope and roughness coefficient on flood level and flow velocity. A numerical experiment was conducted by installing HEC-RAS in the valley of a sub-basin in Geochang-gun, Gyeongsangnam-do. For each basin, three slopes of riverbeds (slopes-15.0%, 5.0%, and 1.0%) were chosen with different characteristics, and four coefficients of roughness were applied to each slope to parameterize the flow. Flow velocity and flood level were intensively investigated. It was found that in the cases of 15.0% and 5.0%, where the riverbed slopes are steep, the slope dominates the change in flow velocity and flood level, while in the case of 1%, where the riverbed slope is small, the change in flow velocity and flood level caused by changes in roughness coefficient is insignificant. Usually, the riverbed slope is large in the valley part of the watershed, so in this case, the slope will play a dominant role in the results of flow velocity and flood level when designing water-related structures.

Key words : Riverbed, Slope, Roughness, HEC-RAS

1. 서론

홍수는 시대와 장소를 가리지 않고 반복적으로 발생하는 가장 빈번하고 파괴적인 자연재해 현상이다 (Chow et al., 1988). 가까운 미래에는 극단적인 기후와 인간의 영향으로 인하여 다양한 장소와 시간에 걸쳐 이러한 현상이 계속 발생할 것이다(Yen, 1995). 수공 구조물의 설계에서 최대설계홍수량은 수리 수문학적 요인뿐만 아니라 공학적 비용과 편익 분석을 고려하여 결정한다. 즉, 상류 유역의 범람 범위, 구조물의 건설 목적 및 위치, 건설 비용, 하천의 현재 상태, 하천 흐름 특

성 등은 하천을 가로지르는 수공 구조물을 건설하는 데 고려해야 하는 주요 인자이다(Buda et al., 2009). 따라서 수공구조물을 설계하고 건설하기 위해서는 유역의 상류에서 발생하는 홍수의 규모를 결정하고 홍수량을 운반, 통과, 저장하는 하천 기능을 살려낼 필요가 있다. 이때 구조물이 위치한 상류의 배수에 기여하는 유역 면적은 그 내부에서 발생할 수 있는 잠재 지표수, 지하수 유출량을 합리적으로 추정할 때 필요한 기본 인자이고, 유출량은 강우 강도와 분포를 포함한 기후 특성과 더불어 지형의 고도, 토지 및 토양 피복, 토양도를 포함한 지표면 특성이 유출의 주요 매개 변수가 되어 계산의 정확도

Received 24 April, 2024; Revised 3 June, 2024;

Accepted 3 June, 2024

*Corresponding author : Khil-Ha Lee, Department of Civil, Engineering, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea
Phone : +82-53-850-6522

E-mail : khil_ha@yahoo.com

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

를 좌우한다(Paulose, 1989; Smithers, 2012; Chen, 2013; Szabo et al., 2017). 예를 들면, 유역의 상류 배수 지역을 풀과 식생이 지배하면 유역의 유출량이 낮아지고 침투율이 높아지는 효과를 가져온다. 반면에 유역이 맨 땅과 불투수성 매질로 덮여 있으면 유역 유출량은 높고 침투량은 적어지는 효과를 가져온다(Arcement and Schneider, 1989). 이와 마찬가지로 유역의 경사 뿐만 아니라 하천 바닥 자체의 경사와 거칠기는 하천의 흐름 속도를 높이거나 지연시키는 속도 조절 장치 역할을 함으로써 홍수량의 정확도에 중요한 영향을 미친다. 그럼에도 많은 수리수문학적 설계에서는 이러한 민감한 문제를 등한시한 채 작업을 진행하는 경우가 많다.

하도 흐름 저항의 정도를 표시하는 조도계수는 하천이 여러 가지 수리계산을 시행할 경우 필요한 기본적인 인자의 하나이며, 일반적으로 하천수위 계산에서는 Manning의 조도계수가 가장 많이 사용되고 있다(Jeong and Yoon, 2020). 이때 적정 조도계수 결정을 위해서는 조도계수에 영향을 미치는 인자를 파악하는 것이 중요한데, 하상 표면 조도, 식생의 분포, 하도 단면의 불규칙성, 장애물의 존재 여부, 하도 만곡, 퇴적 및 세굴 등이 그것이다. 하천의 수위 및 유속 계산 시 정확도를 높이기 위해서는 양질의 하상 경사와 조도계수 자료를 입력이 필요한데 현실적으로 조도계수를 정확하게 결정하는 것은 매우 어려운 문제이고 여전히 실무자의 주관적 판단이 지배하는 상황이므로 세심한 주의가

필요하다. 국내 실무에서 주로 사용되고 있는 조도계수는 한국상하수도협회에서 발간한 하수도시설기준과 한국수자원학회(KWRA)에서 발간한 하천설계기준·해설에서 제시한 정보를 바탕으로 사용하고 있는 실정이다.

이연구에서는 소규모 계곡부에서 자연상태를 기준으로 하여 하상경사 및 조도계수(돌붙임 수로, 암반하상, 준설하상)의 변화가 유속 및 홍수위에 미치는 영향을 검토하고자 하였다. 이를 위해서 경상남도 거창군 학리의 소규모 산지 계곡부에 HEC-RAS를 장착하였으며 조도계수는 우리나라의 지역 특성에 잘 부합된다는 판단 아래 한국수자원학회의 자료를 바탕으로 사용하였다(KWRA, 2005). 상류의 하상 경사와 거칠기가 하류 부위의 수위와 홍수량에 영향을 미치고 차례로 수위와 홍수량은 하류에서 하천을 가로질러 건설된 하류 수공 구조물에 영향을 미칠 것이다. 이 연구에서는 상류 지점의 하상경사와 거칠기가 하류 지점의 홍수위와 홍수량에 미치는 영향에 집중하였다.

2. 연구대상지역 및 기초자료

연구대상지가 위치하는 거창관측소의 10년간(2008~2017년)의 자료를 이용하여 월평균 기상현황을 조사하였으며, 아래 Table 1 및 Fig. 1과 같다.

연구지역은 경상남도 거창군 학리의 산지 계곡부이며 개략적인 위치는 Fig. 2에 수록하였다. 대상지 및 주변

Table 1. Monthly weather status

Distinction (Month)	Temperature(°C)			Relative Humidity (%)	Average Wind Velocity (m/s)	Sunlight Hour (hr)	Precipitation (mm)	Note
	average	max	min					
January	-1.9	6.9	-11.9	59.7	1.7	193.7	15.9	
February	0.9	10.7	-7.9	57.9	1.7	181.3	33.2	
March	5.9	15.6	-3.3	56.3	1.9	214.4	53.6	
April	11.8	20.9	2.3	59.5	2.0	210.1	87.7	
May	17.5	26.1	9.1	62.5	1.8	248.1	74.7	
June	21.4	29.4	15.1	72.7	1.5	172.6	94.5	
July	24.8	32.3	19.2	81.4	1.4	148.0	257.6	
August	24.6	32.2	19.0	81.9	1.3	163.6	233.8	
September	19.7	27.7	13.0	79.5	1.2	160.6	144.9	
October	13.2	23.0	4.8	75.5	1.3	187.5	70.8	
November	6.7	15.5	-2.6	69.9	1.4	163.7	45.0	
December	0.1	8.5	-7.6	63.8	1.7	179.0	25.5	
Average	12.0	32.3	-11.9	68.4	1.6	2,222.7	1,137.2	

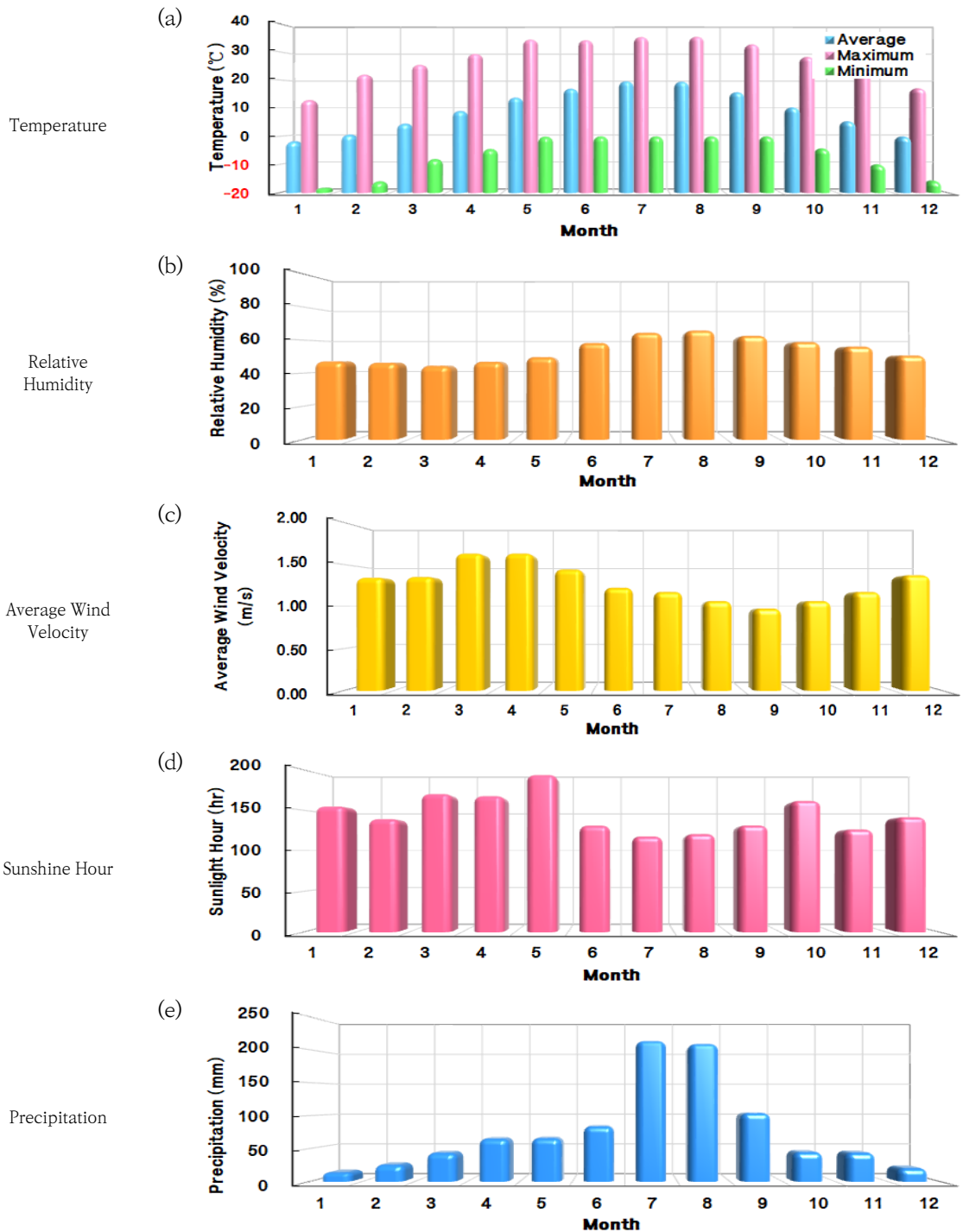


Fig. 1. Monthly weather overview.

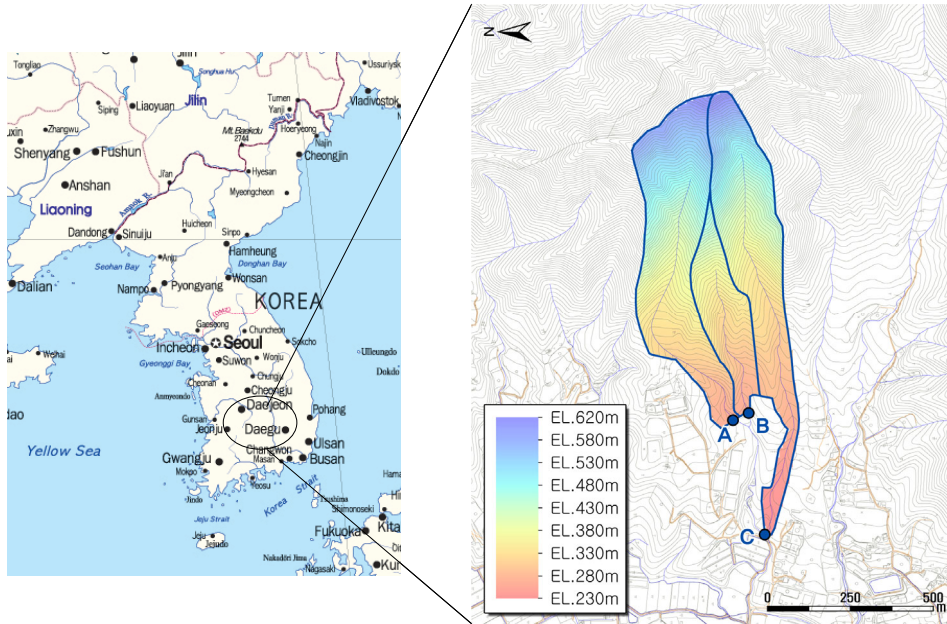


Fig. 2. Research object region.

Table 2. Status of target area

Location	Basin Area (km ²)	River Length (km)	Above Sea Level (El.m)	Vegetation Status
A sub basin	0.164	1.164	265~620	Ley, Pine (Mountain)
B sub basin	0.063	0.719	265~500	Ley, Pine (Mountain))
C sub basin	0.135	0.986	280~620	Ley, Pine (Mountain)

지역은 대부분 임야로 자연 상태를 유지하고 있는 지형으로 계곡부의 하상경사 및 조도계수 변화에 따른 수위 및 유속의 변화량을 비교·분석하기에 적합하다. 분석 대상은 연구지역에서 약 3개소의 계곡부를 채택하였으며, 개수전과 개수후의 단면은 동일한 단면으로 하상경사와 조도계수만 변경하여 검토하고자 한다.

분석 대상지는 현재 대부분 임야로 구성되어 있으며, 지형특성을 파악하기 위하여 토지피복도 및 토양도를 검토하여 지표면의 매개변수를 결정하였다. 또한 대상지는 Fig. 3.(b)를 보면 알 수 있듯이 현재 대부분 토양균이 A-type으로 침투가 많고 유출수가 적은 지형이 대부분 분포하고 있는 것으로 확인되었다. 금회 연구대상지의 토지이용 현황은 Fig. 3.(a)에 수록하였다.

연구에 필요한 홍수량 산정을 위한 강우자료는 국가수자원관리종합정보시스템(<http://www.wamis.go.kr>)

에서 제공하는 거창관측소의(1973~2017년)의 약 45개년의 강우 자료를 이용하였다. 거창관측소의 강우 지속기간별 연 최대강우량을 분석한 후 그 자료를 이용하여 강우강도식을 산정하였다. 강우 지속기간별 연 최대강우량의 분석결과 값은 부록에 첨부하였다(Table 1).

또한, 홍수량은 대상지가 위치한 거창관측소의 45개년(1973~2017년)의 시강우를 사용하여 Hy-Sim으로 산정한 홍수량을 각각 동일하게 사용하였다. 각 Case(하상경사 변화)별 조도계수는 자연그대로인 상태(0.050), 돌붙임(0.025), 암반하상(0.040), 준설 및 잡초적음(0.033)으로 선정하였다. 또한, 하상경사는 15.0%, 5.0%, 1.0%를 채택하여 적용하였다.

대상지내 유역 및 현황 파악을 위해 ‘국토정보플랫폼’에서 대상지와 주변지역의 수치지도를 바탕으로 분석을 실시하였다.

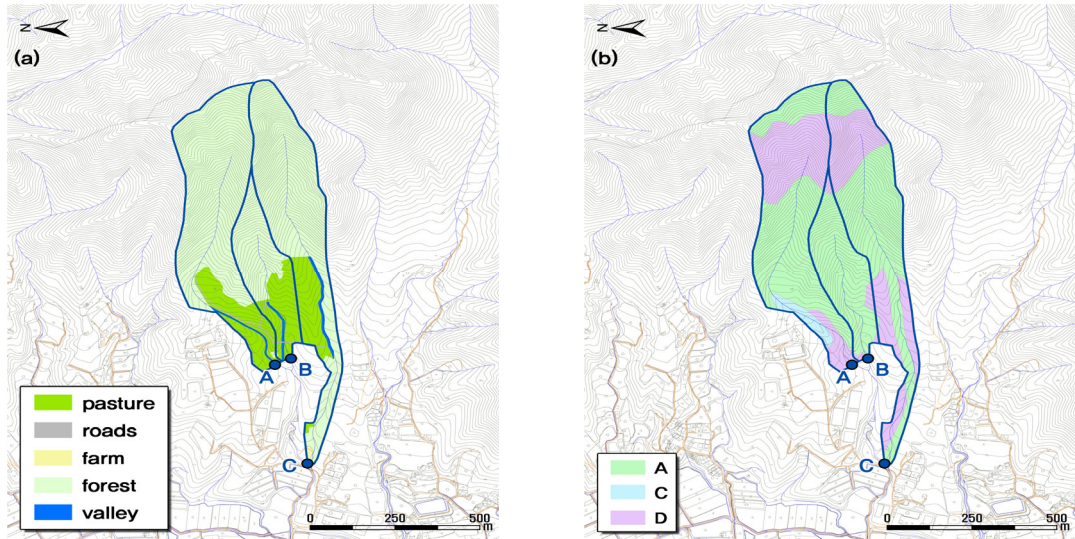


Fig. 3. Status of topography in the area to be reviewed.

3. 분포형 강우-유출 모형

HEC-RAS는 미공병단(US Army Corps of Engineers)에서 개발되었으며, 인공하천 또는 자연하천에서 정상류 상태의 점변류 일 때의 수면곡선을 분석하는 HEC2 모형을 개선한 모형이다. HEC-RAS는 각종 하천 수리시설물의 설계 검토나 하천 흐름의 모의를 위해 많이 이용되는 형으로 초기에는 1차원 정상 부등류(steady non-uniform flow)를 계산하는 모형이었으나, 현재는 HEC-RAS 시스템에는 다양한 하천 분석 구성 요소가 포함되어 있는데 다음과 같다.

- 1차원 정상 흐름 수면 프로파일 계산
- 1차원 및/또는 2차원 비정상 유동 시뮬레이션 (unsteady flow)
- 준불안정 또는 완전 비정상 유동 이동형 경계 퇴적물 수송 계산(1D 및 2D)(sediment transportation)
- 1차원 수질 분석(water quality analysis) 등

네 가지 구성 요소 모두 공통 기하학적 데이터 표현과 공통 기하학적 및 수력학 계산 루틴을 사용하는데 네 가지 하천 분석 구성 요소 외에도 수면 프로파일이 계산되면 호출할 수 있는 여러 수리학적 설계 기능이 포함되어 있다. HEC-RAS는 또한 광범위한 공간 데이터 통합

및 매핑 시스템(HEC-RAS Mapper)을 갖추고 있어 Arc-Gis와 연동이 가능해 소프트웨어를 쉽게 사용하는 동시에 사용자에게 높은 수준의 효율성을 유지하도록 설계되었다. HEC-RAS는 멀티 태스킹 환경에서 사용자와 대화형으로 소통하도록 설계된 통합 소프트웨어 시스템으로서 그래픽 사용자 인터페이스(GUI), 별도의 분석 구성 요소, 데이터 저장 및 관리 기능, 그래픽, 매핑 및 보고 기능으로 구성된다.

4. 연구결과

하천의 유속은 물이 수로를 통해 이동하는 속도를 나타내며 유량과 통수능력을 결정하는 요소이다. 유속은 수로의 모양, 하천이 이동하는 하상 경사, 하천이 운반하는 물의 양, 하천바닥 내의 거친 매질로 인해 발생하는 마찰의 양을 비롯한 여러 요인에 의해 결정되며, 하천의 흐름을 따라 다양한 지점에서 변할 수 있다. 이러한 요소 중 수로의 모양과 수량은 설계 지침과 정책결정자들에 의하여 결정되는 경우가 대부분으로 공학 설계자가 실무에서 관여할 수 있는 여지가 많지 않다. 그러나 하상 경사와 거칠기(조도계수)의 경우는 공학 설계자의 주관적인 판단이 설계의 질과 정확도를 좌우하므로 이 연구에서는 하상 경사와 조도계수가 수문 인자, 특히 흐름 유속과 홍수위에 미치는 영향을 심도있게 검토하기 위하여 HEC-RAS를 계곡부 유역에 장착하였다.

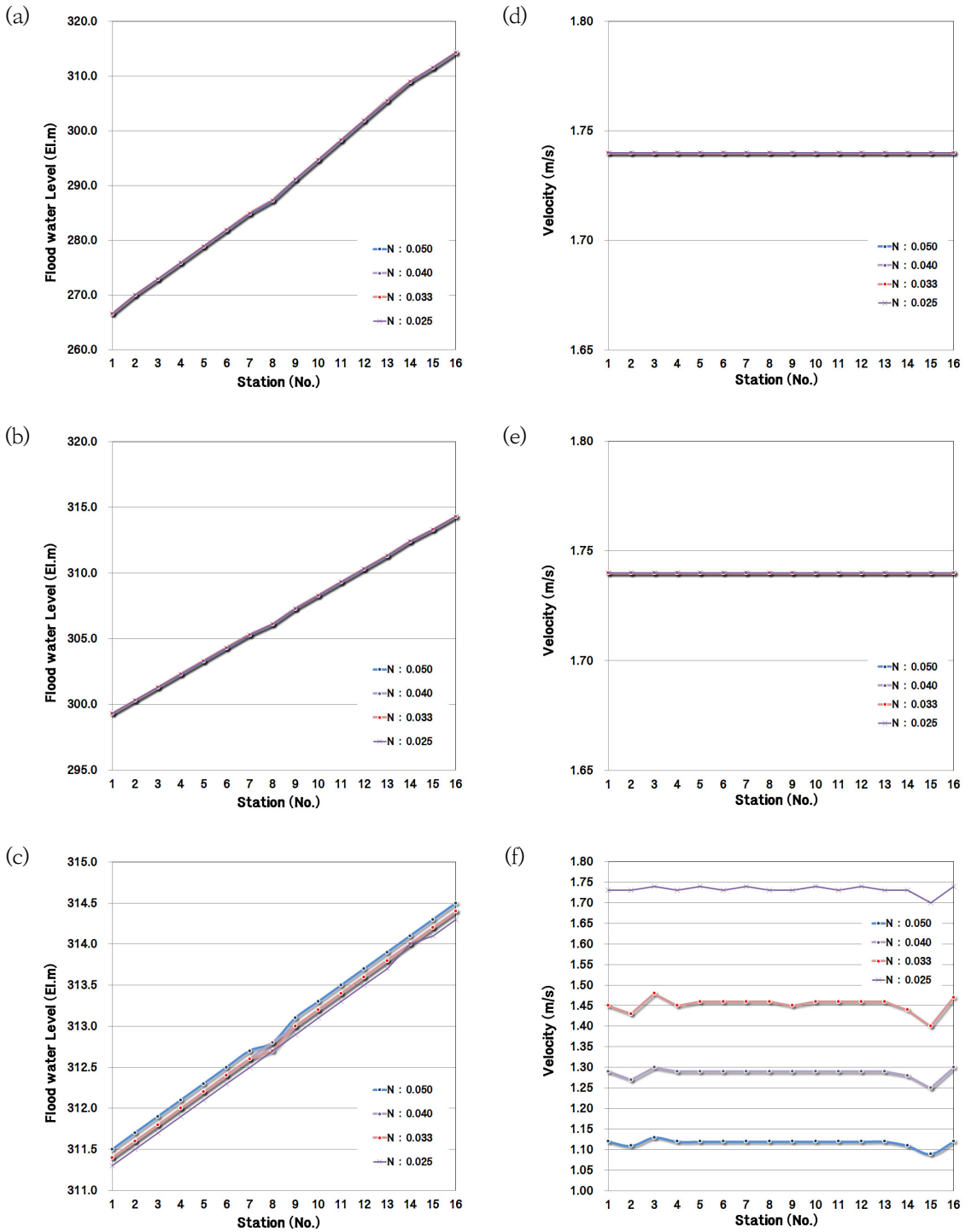


Fig. 4. A sub basin - Changes in flow velocity and flood level according to the slope and roughness coefficient.

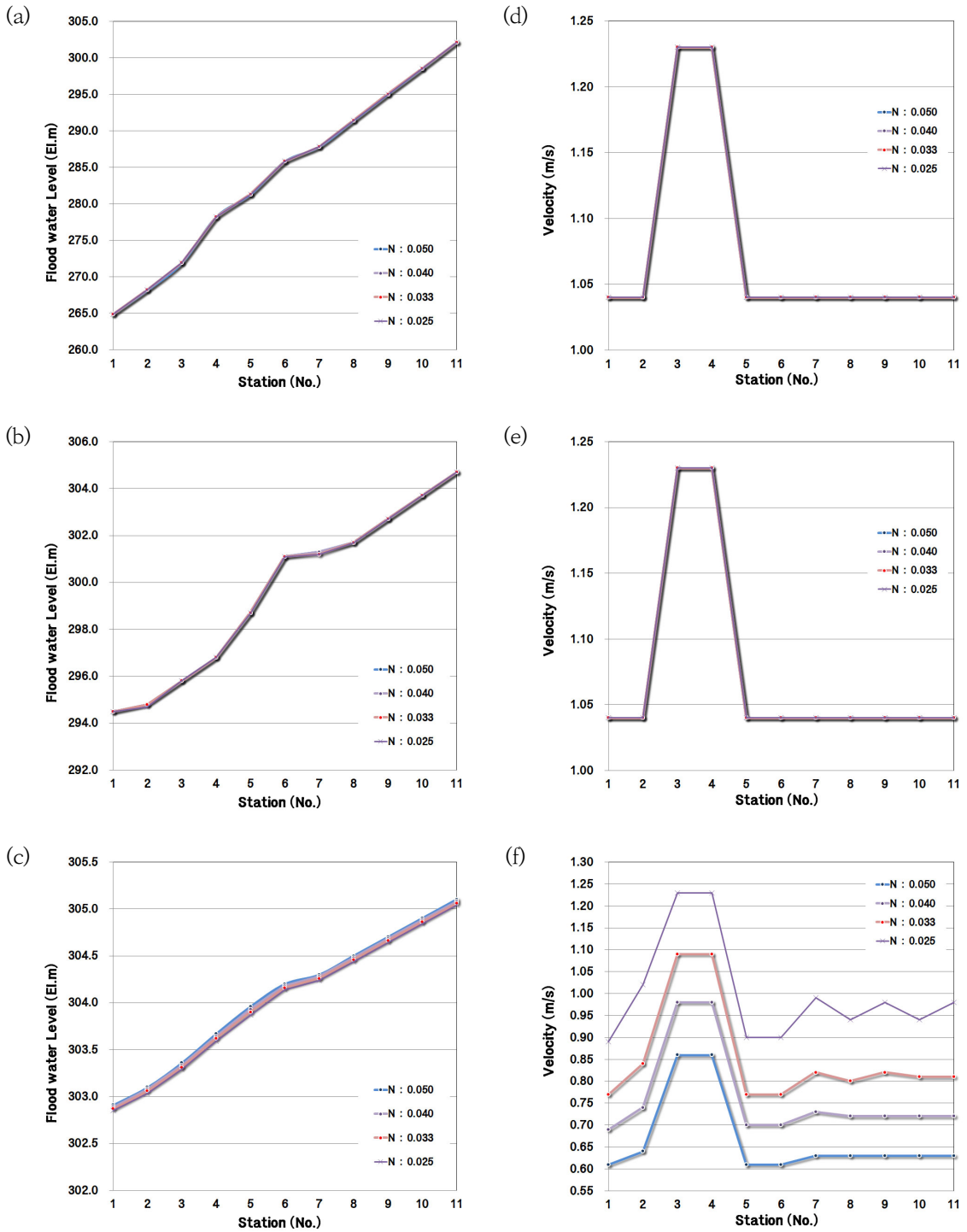


Fig. 5. B sub basin - Changes in flow velocity and flood level according to the slope and roughness coefficient.

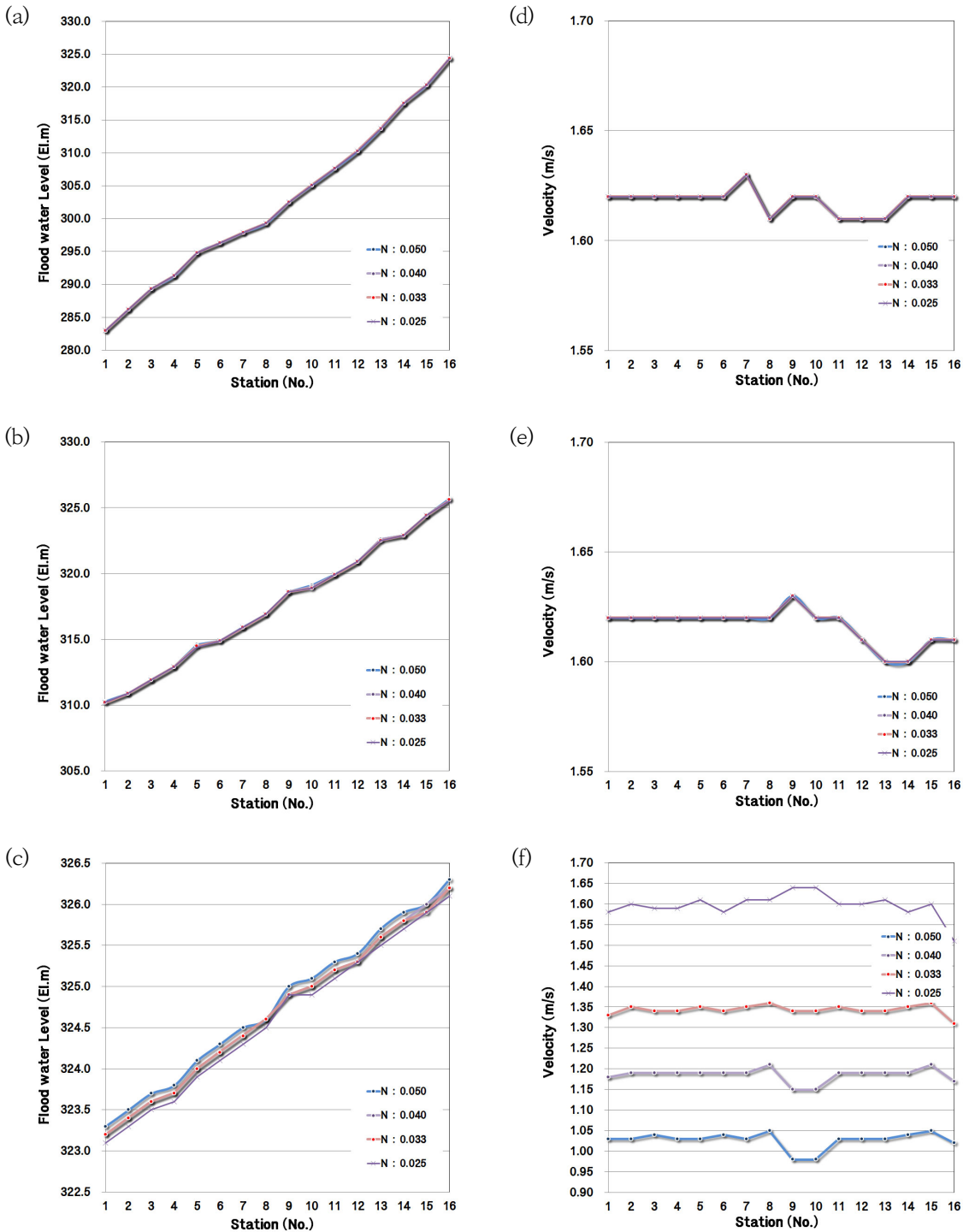


Fig. 6. C sub basin - Changes in flow velocity and flood level according to the slope and roughness coefficient.

일반적으로 하상 경사는 흐름의 이동에 영향을 주어 하천의 유속에 영향을 미치는데, 경사가 가파르면 유속이 더 빨라진다. 하상에 식생이 존재하면 흐름에 심각한 영향을 미칠 수 있으며, 얇은 흐름에서는 경사가 급할수록 거칠기 계수가 증가한다(Chow, 1959). 하상 경사와 조도계수의 조합이 유속과 홍수위에 미치는 영향을 검토하기 위하여 세 개의 다른 특성을 가진 유역에 대하여 각각 세 개의 하상경사, 15.0%, 5.0%, 1.0%를 설정하였다. 다시 각각의 하상 경사에 대하여 네 개의 다른 조도계수, 즉 자연 상태(0.050), 암반 하상(0.040), 준설 및 잡초 적음(0.033), 돌 붙임(0.025)의 경우에 대하여 매개 변수를 결정한 후 이를 수치모형에 대입하고 수치 실험을 하였다.

Fig. 4~6은 세 곳의 유역에 하상경사 및 조도계수 변화에 따른 유속 및 홍수위 변화를 도출한 결과이다. 예측한 바와 같이 유역의 하상 경사와 조도계수는 유속 및 홍수위에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 그 민감도는 조도계수의 크기와는 상관없이 하상 경사의 크기에 따라 다르게 나타났다. 하상 경사가 15.0%, 5.0%인 경우에는 조도 계수의 크기와 상관없이 유속과 홍수위에 미치는 영향이 제한적임을 보여주었다. 그러나 이러한 양상은 하상 계수가 1.0 % 인 경우에는 다르게 나타났다. Fig. 4~6의 (C), (F)에서 보여주듯이 전반적으로 하상 경사가 1%인 경우 조도계수가 낮아짐에 따라 유속은 증가하고 홍수위는 소량 감소하는 것을 알 수 있다.

유역 A, B, C에서 하상경사가 15% 및 5%인 Fig. 4(a)-(b), Fig. 5(a)-(b), Fig. 6(a)-(b) 경우 같은 하상경사는 조도계수의 크기에 따라 홍수위의 변화는 없는 것으로 분석되었으며, 유속 또한, Fig. 4(d)-(e), Fig. 5(d)-(e), Fig. 6(d)-(e) 경우 조도계수의 크기에 따라 유속의 변화도 없는 것으로 분석되었다.

Fig. 4(c) 및 Fig. 4(f)와 같이 하상경사가 1% 일 경우 A 유역의 측정점 No.5번의 조도계수 변화에 따라 홍수위는 El 312.3 m에서 El 312.1 m로 약 0.2 m 감소하는 것으로 확인되었으며, 유속 또한 1.12 m³/s에서 1.74 m³/s로 약 0.62 m³/s 증가하는 것으로 분석되었다.

Fig. 5(c) 및 Fig. 5(f) 또한 하상경사가 1%일 경우 B 유역의 측정점 No.7에서 조도계수 변화에 따라 홍수위는 El 304.3 m에서 El 304.2 m로 약 0.1 m 감소하며, 유속은 0.63 m³/s에서 0.99 m³/s로 약 0.36 m³/s 증가하는 것으로 분석되었다.

Fig. 6(c) 및 Fig. 6(f)의 경우 하상경사가 1%일 경우 C 유역의 측정점 No.13에서는 조도계수가 변화함에 따라 홍수위는 El 325.7 m에서 El 325.5 m로 약 0.2 m 감소하며, 유속은 1.03 m³/s에서 1.61 m³/s로 약 0.58 m³/s 증가하는 것으로 분석되었다.

이와 같은 결과를 비추어 볼 때, 하상 경사가 큰 경우에는 하상 경사가 흐름을 지배하는 것으로 보이며, 하상 경사가 작은 경우에는 하상 경사와 조도계수의 상호작용에 의하여 두 요소가 모두 수문인자에 비슷한 크기의 영향을 주는 것으로 보인다.

5. 결론 및 토론

하상 경사와 조도계수가 흐름의 유속과 홍수위에 미치는 영향을 검토하고자 하였다. 이를 위하여 경상남도 거창군에 있는 소유역 계곡부에 HEC-RAS를 장착하여 수치 실험을 실행하였다. 세 개의 다른 특성을 가진 유역에 대하여 각각 세 개의 하상경사, 15.0%, 5.0%, 1.0%를 설정하고, 각각의 경사에 대하여 네 개의 다른 조도계수를 적용하여 12가지 경우에 대하여 매개 변수화한 후 흐름의 유속과 홍수위를 조사하였다. 전반적으로 하상 경사와 조도계수가 유속과 홍수위에 영향을 미치는 것으로 확인되었으나, 하상 경사가 큰 15.0% 및 5.0%의 경우 하상경사가 유속과 홍수위의 변화를 지배하고, 하상 경사가 작은 1%의 경우 조도계수 변화에 따른 유속과 홍수위 변화는 미미하게 변화하는 것으로 나타났다. 이로 미루어보아 유역의 계곡부인 경우 하상 경사가 큰 경우가 대부분으로 이 경우 하상 경사가 계곡과 하천 개수 시 주요 인자들 중 유속 및 홍수위의 결과에 중대한 영향을 미치는 인자가 될 것이다.

Fig. 4~6을 보면 알 수 있듯이 하상경사가 큰 15%, 5%의 경우 조도계수가 변화하여도 홍수위 및 유속의 변화는 없는 것으로 검토되었으며, 조도계수의 영향을 받는 하상경사 1%의 경우 조도계수의 변화에 따라 홍수위는 최소 홍수위 대비 최대 홍수위 차이는 약 0.1~0.2 m 정도 감소하는 것으로 확인되었으며, 유속은 최소유속 대비 최대유속의 차이는 0.36~0.62 m³/s 정도 변화하는 것으로 검토되었다.

따라서, 설계 시 하상경사가 큰 계곡부의 경우 조도계수 등에 의한 매개변수 변화에 따른 민감도 변화가 미미함 등을 고려하여 설계 시 하상 재료 등은 주변에 있는 재료를 사용하여 공사비 등을 저감하는 방안으로 계

획을 하는 것이 경제적인 측면에서 유리할 것으로 판단되며, 유속 및 홍수위를 저감을 해야 할 시 낙차보 등을 이용한 구조물 등을 계획하여야 할 것으로 사료된다.

하상경사가 낮은 계곡부의 경우 하상 재료에 따른 민감도가 미미하게 변화함에 따라 주변 여건(인구 밀집지역 및 농경지) 및 사업의 목적 등에 따라 그에 맞는 재료를 선정하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

REFERENCES

- Arcement, G. J., Schneider, V. R., 1989, Guide for selecting manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains, Report 2339, U. S. Geological Survey, 6-8.
- Buda, A. R., Kleinman, P. J. A., Srinivasan, M. S., Bryant, R. B., Feyereisen, G. W., 2009, Factors influencing surface runoff generation from two agricultural hillslopes in central Pennsylvania, *Hydrol. Process.*, 23, 1295-1312.
- Chen, Y. C., 2013, Flood discharge measurement of a mountain river-Nanshih River in Taiwan, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17(5), 1951-1962.
- Chow, V. T., 1959, *Open-channel hydraulics*, 1st ed., McGraw- Hill Book, New York, 194-197.
- Chow, V. T., Maldment, D. R., Mays, L. W., 1988, *Applied Hydrology*, 1st ed., McGraw Hill Companies, New York, 2-7.
- Jeong, J. H., Yoon, Y. N., 2020, *Water resources design practice*, 1st ed., Goomibook, Korea, 31-33.
- Korea Water Resources Association, 2005, *Guidelines for river design and explanation*, 1st ed., KWRA, Korea, 93-95.
- Shemeles, P., 1998, *Establishing water release rules for Koka reservoir for wet seasons*, M. S. Dissertation, Addis Ababa University, Addis Ababa, Ethiopia.
- Smithers, J. C., 2012, *Methods for design flood estimation in South Africa*, *Water SA*, 38(4), 633-646.
- Szabo, B., Szabo, J., Centeri, C., Jakab, G., Szalai, Z., 2017, *Infiltration and runoff measurements on arable land with different slopes and rainfall intensities*, *COLUMELLA: Journal of Agricultural and Env. Sci.*, 4(1), 153-156.
- Yen, B. C., 1995, *Hydraulics and effectiveness of levees for flood control*, *Proceedings of US-Italy research workshop on the hydrometeorology, impacts, and management of extreme floods*, Perugia, 13-17.

부록 1. Maximum annual rainfall for arbitrary hours by rainfall duration at Geochang Observatory

Year	Maximum annual rainfall for arbitrary hours by rainfall duration									
	10 min	60 min	120 min	180 min	240 min	360 min	540 min	720 min	1080 min	1440 min
1973	11.0	37.0	41.0	47.4	54.6	69.3	95.2	97.1	101.9	116.5
1974	7.5	23.5	35.3	48.0	55.7	69.9	87.2	102.6	109.4	111.3
1975	9.0	36.0	60.4	65.5	66.8	103.2	116.5	117.6	120.1	126.9
1976	9.0	23.0	29.9	30.5	36.5	48.5	59.9	68.1	94.8	105.2
1977	26.0	42.0	50.5	50.5	53.2	54.2	55.9	60.8	70.5	73.0
1978	8.0	24.0	33.4	41.0	45.7	57.7	74.5	86.3	97.3	107.7
1979	12.0	38.0	49.9	61.2	84.1	101.1	131.8	145.8	156.2	156.2
1980	18.0	48.5	82.5	82.5	82.5	83.1	84.5	84.5	85.4	97.5
1981	7.0	23.5	36.2	39.1	45.8	59.9	76.7	90.7	109.4	126.5
1982	12.0	49.5	63.7	64.2	64.8	90.4	118.3	155.3	178.0	187.3
1983	18.0	38.5	43.2	43.2	43.2	43.2	52.1	63.3	86.2	89.5
1984	8.0	36.5	53.6	56.5	65.3	89.6	122.7	142.5	149.1	150.9
1985	15.0	29.0	39.9	53.6	53.7	66.8	86.6	106.4	144.3	148.0
1986	12.0	39.0	59.9	83.0	100.5	123.5	161.6	181.4	187.5	187.5
1987	14.5	43.5	68.3	82.0	95.9	118.4	147.5	153.4	162.3	199.2
1988	8.5	26.0	36.3	51.0	57.1	71.4	74.7	75.1	75.9	76.5

Year	Maximum annual rainfall for arbitrary hours by rainfall duration									
	10 min	60 min	120 min	180 min	240 min	360 min	540 min	720 min	1080 min	1440 min
1989	12.5	34.0	51.2	60.5	61.5	77.3	85.9	91.4	138.0	147.8
1990	18.0	45.5	69.4	74.8	92.8	110.5	125.5	135.3	143.4	143.8
1991	10.5	29.5	38.9	44.9	62.2	74.9	80.8	86.5	86.5	86.5
1992	6.0	16.5	24.7	34.5	39.3	51.6	74.5	91.5	97.9	106.3
1993	14.5	29.0	33.6	46.9	49.5	62.7	77.0	85.4	102.4	128.9
1994	15.5	51.5	67.8	74.8	74.8	77.4	88.1	104.0	118.5	120.4
1995	15.0	26.5	34.2	42.8	51.5	60.7	64.5	67.8	75.3	89.8
1996	8.0	15.5	29.0	34.5	42.3	57.7	77.5	91.0	114.5	142.4
1997	14.5	39.5	44.7	64.4	69.9	81.0	104.7	113.6	133.0	133.0
1998	18.5	46.5	62.0	62.9	65.3	76.9	105.2	139.2	195.3	230.7
1999	13.0	41.0	54.7	59.8	64.8	69.3	76.5	80.5	84.4	87.8
2000	19.0	51.5	56.2	57.2	61.2	81.5	88.1	98.0	149.1	156.1
2001	9.0	20.5	40.5	50.0	57.1	73.4	85.1	93.0	127.5	152.5
2002	8.5	36.5	55.7	73.2	90.3	116.4	144.5	166.8	180.2	185.1
2003	12.0	31.5	45.7	55.2	61.2	71.9	91.6	109.0	141.6	159.5
2004	17.5	61.5	78.3	92.8	97.9	139.7	183.3	219.6	251.5	265.3
2005	20.5	44.5	59.4	76.8	90.3	105.3	114.3	125.1	141.6	208.6
2006	12.0	54.0	81.5	103.6	117.8	140.7	166.2	168.0	168.2	168.2
2007	21.0	83.0	99.3	120.6	141.8	148.8	148.8	165.3	177.2	213.1
2008	11.5	15.4	23.1	29.9	36.2	43.0	53.4	60.3	65.6	75.2
2009	8.5	34.5	42.6	48.5	54.6	72.4	91.6	102.7	105.0	105.0
2010	22.0	40.0	43.1	48.5	56.1	82.0	107.8	115.6	132.0	151.5
2011	13.5	38.0	57.3	68.1	76.5	100.7	110.2	111.1	131.0	166.5
2012	22.5	44.0	63.1	76.3	85.2	102.2	122.4	123.1	166.2	199.1
2013	11.5	45.0	55.7	68.6	76.0	88.6	113.3	151.3	187.8	195.6
2014	15.5	28.0	41.5	52.1	64.8	79.4	91.6	108.5	122.4	124.8
2015	17.5	41.5	50.5	63.4	71.4	80.0	89.1	99.6	103.4	103.9
2016	12.0	38.0	61.5	79.7	86.1	91.4	91.4	106.1	119.3	127.4
2017	16.9	32.5	34.2	34.2	41.1	55.8	73.5	75.3	75.3	75.3

부록 2. Estimation of rainfall intensity equation

Recurrence Interval	Rainfall Intensity Equation Coefficient by Frequency						
	a	b	c	d	e	f	g
10 Year	3.98522	-0.45110	-0.22119	0.08200	0.04397	-0.03109	0.00464
20 Year	4.11082	-0.45428	-0.22180	0.08261	0.04400	-0.03125	0.00468
30 Year	4.17583	-0.44814	-0.23048	0.08341	0.04647	-0.03233	0.00482
50 Year	4.25267	-0.45158	-0.22865	0.08342	0.04587	-0.03212	0.00480
80 Year	4.31736	-0.45066	-0.23136	0.08408	0.04649	-0.03248	0.00486
100 Year	4.34755	-0.45468	-0.22641	0.08273	0.04525	-0.03174	0.00475

부록 3. A sub basin – Changes in flow velocity and flood level according to the slope and roughness coefficient

Downward Slope (15%)		Station(NO.)															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Roughness Coefficient (0.050)	Flood stage	266.6	270.0	272.9	275.9	278.9	281.9	284.9	287.3	291.1	294.7	298.3	301.9	305.5	309.0	311.5	314.3
	Flow velocity	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74
Roughness Coefficient (0.040)	Flood stage	266.6	270.0	272.9	275.9	278.9	281.9	284.9	287.3	291.1	294.7	298.3	301.9	305.5	309.0	311.5	314.3
	Flow velocity	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74
Roughness Coefficient (0.033)	Flood stage	266.6	270.0	272.9	275.9	278.9	281.9	284.9	287.3	291.1	294.7	298.3	301.9	305.5	309.0	311.5	314.3
	Flow velocity	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74
Roughness Coefficient (0.025)	Flood stage	266.6	270.0	272.9	275.9	278.9	281.9	284.9	287.3	291.1	294.7	298.3	301.9	305.5	309.0	311.5	314.3
	Flow velocity	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74

Downward Slope (5%)		Station(NO.)															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Roughness Coefficient (0.050)	Flood stage	299.3	300.3	301.3	302.3	303.3	304.3	305.3	306.1	307.3	308.3	309.3	310.3	311.3	312.4	313.3	314.3
	Flow velocity	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74
Roughness Coefficient (0.040)	Flood stage	299.3	300.3	301.3	302.3	303.3	304.3	305.3	306.1	307.3	308.3	309.3	310.3	311.3	312.4	313.3	314.3
	Flow velocity	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74
Roughness Coefficient (0.033)	Flood stage	299.3	300.3	301.3	302.3	303.3	304.3	305.3	306.1	307.3	308.3	309.3	310.3	311.3	312.4	313.3	314.3
	Flow velocity	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74
Roughness Coefficient (0.025)	Flood stage	299.3	300.3	301.3	302.3	303.3	304.3	305.3	306.1	307.3	308.3	309.3	310.3	311.3	312.4	313.3	314.3
	Flow velocity	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74

Downward Slope (1%)		Station(NO.)															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Roughness Coefficient (0.050)	Flood stage	311.5	311.7	311.9	312.1	312.3	312.5	312.7	312.8	313.1	313.3	313.5	313.7	313.9	314.1	314.3	314.5
	Flow velocity	1.12	1.11	1.13	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.11	1.09	1.12
Roughness Coefficient (0.040)	Flood stage	311.4	311.6	311.8	312.0	312.2	312.4	312.6	312.8	313.0	313.2	313.4	313.6	313.8	314.0	314.2	314.4
	Flow velocity	1.29	1.27	1.30	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	1.28	1.25	1.30
Roughness Coefficient (0.033)	Flood stage	311.4	311.6	311.8	312.0	312.2	312.4	312.6	312.7	313.0	313.2	313.4	313.6	313.8	314.0	314.2	314.4
	Flow velocity	1.45	1.43	1.48	1.45	1.46	1.46	1.46	1.46	1.45	1.46	1.46	1.46	1.46	1.44	1.40	1.47
Roughness Coefficient (0.025)	Flood stage	311.3	311.5	311.7	311.9	312.1	312.3	312.5	312.7	312.9	313.1	313.3	313.5	313.7	314.0	314.1	314.3
	Flow velocity	1.73	1.73	1.74	1.73	1.74	1.73	1.74	1.73	1.73	1.74	1.73	1.74	1.73	1.73	1.70	1.74

부록 4. B sub basin – Changes in flow velocity and flood level according to the slope and roughness coefficient

Downward Slope (15%)		Station(NO.)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Roughness Coefficient (0.050)	Flood stage	264.9	268.2	271.9	278.2	281.3	285.8	287.8	291.4	295.0	298.5	302.1
	Flow velocity	1.04	1.04	1.23	1.23	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
Roughness Coefficient (0.040)	Flood stage	264.9	268.2	271.9	278.2	281.3	285.8	287.8	291.4	295.0	298.5	302.1
	Flow velocity	1.04	1.04	1.23	1.23	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
Roughness Coefficient (0.033)	Flood stage	264.9	268.2	271.9	278.2	281.3	285.8	287.8	291.4	295.0	298.5	302.1
	Flow velocity	1.04	1.04	1.23	1.23	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
Roughness Coefficient (0.025)	Flood stage	264.9	268.2	271.9	278.2	281.3	285.8	287.8	291.4	295.0	298.5	302.1
	Flow velocity	1.04	1.04	1.23	1.23	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
Downward Slope (5%)		Station(NO.)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Roughness Coefficient (0.050)	Flood stage	294.5	294.8	295.8	296.8	298.7	301.1	301.3	301.7	302.7	303.7	304.7
	Flow velocity	1.04	1.04	1.23	1.23	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
Roughness Coefficient (0.040)	Flood stage	294.5	294.8	295.8	296.8	298.7	301.1	301.3	301.7	302.7	303.7	304.7
	Flow velocity	1.04	1.04	1.23	1.23	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
Roughness Coefficient (0.033)	Flood stage	294.5	294.8	295.8	296.8	298.7	301.1	301.2	301.7	302.7	303.7	304.7
	Flow velocity	1.04	1.04	1.23	1.23	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
Roughness Coefficient (0.025)	Flood stage	294.5	294.7	295.8	296.8	298.7	301.1	301.2	301.7	302.7	303.7	304.7
	Flow velocity	1.04	1.04	1.23	1.23	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
Downward Slope (1%)		Station(NO.)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Roughness Coefficient (0.050)	Flood stage	302.9	303.1	303.3	303.6	303.9	304.2	304.3	304.5	304.7	304.9	305.1
	Flow velocity	0.61	0.64	0.86	0.86	0.61	0.61	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
Roughness Coefficient (0.040)	Flood stage	302.8	303.0	303.3	303.6	303.9	304.1	304.2	304.4	304.6	304.8	305.0
	Flow velocity	0.69	0.74	0.98	0.98	0.70	0.7	0.73	0.72	0.72	0.72	0.72
Roughness Coefficient (0.033)	Flood stage	302.8	303.0	303.3	303.6	303.9	304.1	304.2	304.4	304.6	304.8	305.0
	Flow velocity	0.77	0.84	1.09	1.09	0.77	0.77	0.82	0.8	0.82	0.81	0.81
Roughness Coefficient (0.025)	Flood stage	302.8	303.0	303.2	303.5	303.8	304.1	304.2	304.4	304.6	304.8	305.0
	Flow velocity	0.89	1.02	1.23	1.23	0.90	0.9	0.99	0.94	0.98	0.94	0.98

부록 5. C sub basin – Changes in flow velocity and flood level according to the slope and roughness coefficient

Downward Slope (15%)		Station(NO.)															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Roughness Coefficient (0.050)	Flood stage	283.0	286.2	289.3	291.3	294.8	296.3	297.9	299.3	302.5	305.1	307.6	310.3	313.7	317.5	320.3	324.4
	Flow velocity	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.63	1.61	1.62	1.62	1.61	1.61	1.61	1.62	1.62	1.63
Roughness Coefficient (0.040)	Flood stage	283.0	286.2	289.3	291.3	294.8	296.3	297.9	299.3	302.5	305.1	307.6	310.3	313.7	317.5	320.3	324.4
	Flow velocity	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.63	1.61	1.62	1.62	1.61	1.61	1.61	1.62	1.62	1.63
Roughness Coefficient (0.033)	Flood stage	283.0	286.2	289.3	291.3	294.8	296.3	297.9	299.3	302.5	305.1	307.6	310.3	313.7	317.5	320.3	324.4
	Flow velocity	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.63	1.61	1.62	1.62	1.61	1.61	1.61	1.62	1.62	1.63
Roughness Coefficient (0.025)	Flood stage	283.0	286.2	289.3	291.3	294.8	296.3	297.9	299.3	302.5	305.1	307.6	310.3	313.7	317.5	320.3	324.4
	Flow velocity	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.63	1.61	1.62	1.62	1.61	1.61	1.61	1.62	1.62	1.63

Downward Slope (5%)		Station(NO.)															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Roughness Coefficient (0.050)	Flood stage	310.3	310.9	311.9	312.9	314.6	314.9	315.9	316.9	318.6	319.1	319.9	320.9	322.6	322.9	324.4	325.7
	Flow velocity	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.63	1.62	1.62	1.61	1.60	1.60	1.61	1.61
Roughness Coefficient (0.040)	Flood stage	310.2	310.9	311.9	312.9	314.5	314.9	315.9	316.9	318.6	319.0	319.9	320.9	322.6	322.9	324.4	325.6
	Flow velocity	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.63	1.62	1.62	1.61	1.60	1.60	1.61	1.61
Roughness Coefficient (0.033)	Flood stage	310.2	310.9	311.9	312.9	314.5	314.9	315.9	316.9	318.6	318.9	319.9	320.9	322.5	322.9	324.4	325.6
	Flow velocity	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.63	1.62	1.62	1.61	1.60	1.60	1.61	1.61
Roughness Coefficient (0.025)	Flood stage	310.2	310.9	311.9	312.9	314.4	314.9	315.9	316.9	318.6	318.9	319.9	320.9	322.5	322.9	324.4	325.5
	Flow velocity	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.63	1.62	1.62	1.61	1.60	1.60	1.61	1.61

Downward Slope (1%)		Station(NO.)															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Roughness Coefficient (0.050)	Flood stage	323.3	323.5	323.7	323.8	324.1	324.3	324.5	324.6	325.0	325.1	325.3	325.4	325.7	325.9	326.0	326.3
	Flow velocity	1.03	1.03	1.04	1.03	1.03	1.04	1.03	1.05	0.98	0.98	1.03	1.03	1.03	1.04	1.05	1.02
Roughness Coefficient (0.040)	Flood stage	323.2	323.4	323.6	323.7	324.0	324.2	324.4	324.6	324.9	325.0	325.2	325.3	325.6	325.8	326.0	326.2
	Flow velocity	1.18	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.21	1.15	1.15	1.19	1.19	1.19	1.19	1.21	1.17
Roughness Coefficient (0.033)	Flood stage	323.2	323.4	323.6	323.7	324.0	324.2	324.4	324.6	324.9	325.0	325.2	325.3	325.6	325.8	325.9	326.2
	Flow velocity	1.33	1.35	1.34	1.34	1.35	1.34	1.35	1.36	1.34	1.34	1.35	1.34	1.34	1.35	1.36	1.31
Roughness Coefficient (0.025)	Flood stage	323.1	323.3	323.5	323.6	323.9	324.1	324.3	324.5	324.9	324.9	325.1	325.3	325.5	325.7	325.9	326.1
	Flow velocity	1.58	1.60	1.59	1.59	1.61	1.58	1.61	1.61	1.64	1.64	1.60	1.60	1.61	1.58	1.60	1.51

• Professor. Khil-Ha Lee
Department of Civil Engineering, Daegu University
khil_ha@yahoo.com

• Doctor's course completion. Myoung-Ho Son
Department of Civil Engineering, Daegu University
water-s@naver.com