大 韓 土 木 學 會 論 文 集
第30卷 第6B號 · 2010年 11月
pp. 571 ~ 578

실측 자료를 이용한 국내하천의 조도계수 산정 –적용성 및 한강의 계획홍수위 검토–

Optimization for Roughness Coefficient of River in Korea –Review of Application and Han River Project Water Elevation –

김주영* · 이정규** · 안종서***
Kim, Jooyoung · Lee, Jong-Kyu · Ahn, Jong-Seo

Abstract

Manning's roughness coefficients were reevaluated for the computation of river flow of the Han River, the Nakdong River and the Geum River. The roughness coefficients were estimated by two methods. One is based on the assumption that roughness is primarily a function of grain diameter and the other is based on the findings that roughness may vary significantly with the flow discharge. The roughness coefficients adopted in each river improvement master plan have been compared with those obtained using the FLDWAV in this study, and their applicabilities have been reviewed, using the FLDWAV and HEC-RAS models. The design flood water levels computed by the abovementioned models with the roughness coefficients proposed in this study have shown good agreement with the measurements of time variation. The roughness coefficients computed using the FLDWAV model showed nearly no close correlation with the various hydraulic characteristic factors, such as grain size and river depth, etc.. Finally the design flood water levels and levee safety about the downstream part from the Paldang Dam of the Han River has been reviewed using HEC-2 model with roughness coefficients of this study and the results indicated that some parts of the existing levees were short of safety.

Keywords : *roughness coefficient, FLDWAV, HEC-RAS, diameter of bed material, evaluation of levee safety*

요 지

국내 3대 하천인 한강, 낙동강, 금강에 대한 조도계수 산정 결과를 바탕으로 FLDWAV 모형과 HEC-RAS 모형을 이용하여 본 연구에서 산정한 조도계수와 기존 하천정비기본계획의 조도계수 그리고 하상토 입경을 이용해 산정한 조도계수를 비교분석하고 적용성을 검토하였다. 두 모형에 적용한 바 본 연구에서 제시하고 있는 조도계수를 이용한 계산 홍수위가 관측치와 매우 잘 일치하였다. 또한 기존 선행연구의 FLDWAV 모형에 의한 조도계수와 다양한 수리특성인자와의 상관관계를 검토한 결과 상관성은 거의 없었다. 끝으로 팔당댐 하류 한강 본류에 대하여 본 연구에서 산정한 조도계수를 이용하여 HEC-2 모형으로 기존 하천정비기본계획의 계획홍수위를 검토하였으며, 기존 제방의 일부가 안전성면에서 미흡한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 조도계수, FLDWAV 모형, HEC-RAS 모형, 하상토 입경, 계획홍수위 검토

1. 서 론

조도계수 Manning's n(이하 조도계수라 한다)은 하천의 유량 및 수위를 결정짓는 매우 중요한 변수중의 하나이다. 만약 조도계수가 증가하면 하천의 수위는 상승하고 유속은 감소할 것이며, 조도계수가 감소하면 이와 반대의 결과가 발생한다. 조도계수는 하천의 흐름 해석에 있어서 결정적 영향을 미치는 요소이며 현재 실무에서는 다음과 같은 세 가지 방법을 이용하여 결정하고 있다. 첫째, 부등류 모형을 적용하여 상 · 하류 경계조건을 동일 시간의 수위와 유량이 아닌 최대 홍수위와 첨두 방류량을 이용하여 조도계수를 산정하는 방법과, 둘째, Cowan(1956)과 Chow(1959)의 도표를 이용하는 방법, 셋째, 기존 하천설계에서 사용했던 조도계수를 참고하여 관행적으로 적용하여 사용하는 방법이다. 그러나 이러한 방법들은 일관성이 떨어질 뿐만 아니라 산정된 조도계수가 유량 또는 수위에 관계없이 설계홍수위를 산정하기 위하여 일정한 조도계수만을 제시하고 있어 부정류 문제를 해석하는 데에는 문제점을 가지고 있다. 이정규와 이창현

*정회원 · 교신저자 · 국립환경과학원 수질통합관리센터 · 공학박사 (E-mail : jjoo0@korea.kr)
**정회원 · 한양대학교 건설환경공학과 교수 · 공학박사 (E-mail : leejk@hanyang.ac.kr)
***정회원 · 한국수자원공사 조사기획처 처장 (E-mail : jsahn@kwater.or.kr)

(2003)은 한강 팔당댐 하류부에 FLDWAV 모형을 이용할 때 조도계수를 유량의 함수로 산정한 바가 있으나 실무에서 주로 사용하고 있는 HEC-RAS 모형에 적용하여 조도계수를 검증하지는 못하였다.

본 연구에서는 선행연구(한국수자원공사, 2009)에서 산정한 한강, 낙동강, 금강의 본류 및 지류에 대한 하상재료 입경을 이용해 산정한 조도계수와 FLDWAV 모형을 이용해 산정한 조도계수 그리고 기존 하천정비기본계획의 조도계수를 HEC-RAS 모형과 FLDWAV 모형에 적용하여 과거 관측 수문사상의 홍수위를 산정하였다. 산정된 홍수위는 관측수위와 비교한 후 RMS 오차를 이용하여 정확도를 검증하였으며, 선행연구에서 산정한 조도계수와 다양한 수리학적 특성인자인 하상경사, 대표입경, 설계홍수심, 설계하폭에 따른 상관관계를 분석하였다.

또한 저자들은 본 연구에서 산정한 유량에 따른 조도계수를 한강 수계 하천정비기본계획(변경-2002)의 계획홍수위 산정에 사용한 HEC-2 모형에 적용하여 기존 한강 제방의 안전도를 검토하고 분석하였다. 조도계수는 앞에서 언급한 바와 같이 하천의 설계홍수위 결정에 매우 큰 영향을 미친다. 수위를 계산함에 있어서 크게 평가된 조도계수를 사용하면 설계홍수위는 과대평가가 되어 제방을 설계할 때 설계비가 증가하게 되며, 작게 평가된 조도계수를 적용하면 설계홍수위 또한 과소평가되어 제방의 안전에 위험을 끼칠 우려가 있다. 현재 국내 하천정비기본계획에서 사용하고 있는 대다수의 조도계수값은 설계홍수량과 상관없이 일정한 조도계수를 사용하며, 특히 한강 본류의 경우 팔당댐에서 신곡수중보까지 조도계수는 0.03, 신곡수중보 하류는 0.02의 일정한 값을 모든 빈도별 홍수량에 대해서 적용하고 있다. 따라서 실측 자료를 이용한 본 연구의 조도계수를 사용하여 기존 하천정비기본계획에서 계산한 계획홍수위와 비교하였고 제방의 여유고를 재검토 하였다.

Table 1. River reaches and gauging period applicability study

하천	해석구간	해석 기간	비 고
한강	잠수교-한강대교	02.08.04~02.08.13	CASE 1-1
	의암댐-강촌	07.08.09~07.08.11	CASE 1-2
낙동강	지보-달지	04.08.18~04.08.23	CASE 2-1
	고령교-현풍	04.08.18~04.08.23	CASE 2-2
금강	규암-반조원	07.09.01~07.09.08	CASE 3-1
	금남-마어구	07.09.01~07.09.08	CASE 3-2

2. 적용성 검토 대상 구간 및 해석 기간

본 연구의 적용성 검토 대상 구간은 기존 선행연구(한국수자원공사, 2009)의 하천구간 중에서 본류구간인 Table 1을 선택하였다. 한강의 경우에는 잠수교-한강대교 구간과 의암댐-강촌 구간, 낙동강은 지보-달지 구간과 고령교-현풍 구간, 금강은 규암-반조원 구간과 금남-마어구 구간을 적용구간으로 선정하였다.

3. 수치모형의 적용성 검토

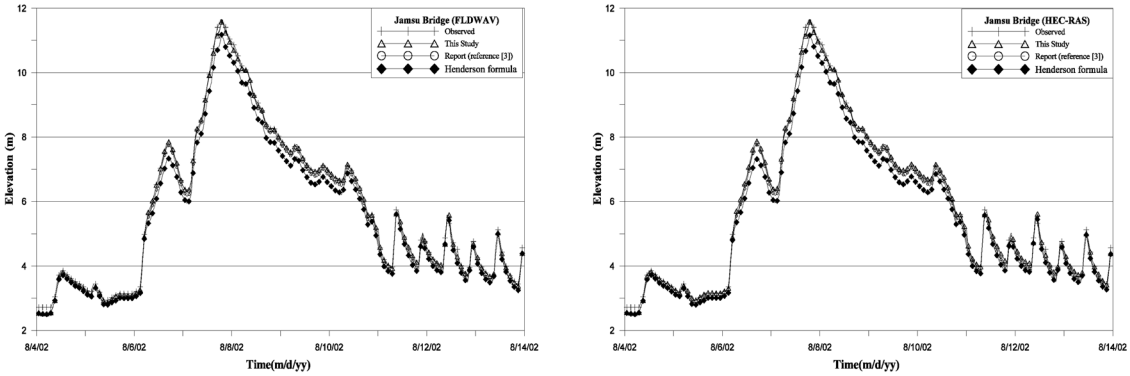
기존 선행 연구(한국수자원공사, 2009)의 조도계수가 HEC-

Table 2. Roughness coefficients corresponding to river reaches under study

하 천	구간	FLDWAV	Henderson	하천정비기본계획
한 강	잠수교-한강대교	$n = 0.2576Q^{-0.2172}$	0.0115	0.0300
	의암댐-강촌	$n = 0.1658Q^{-0.2037}$	0.0289	0.0290
낙동강	지보-달지	$n = 0.1170Q^{-0.1900}$	0.0118	0.0250
	고령교-현풍	$n = 0.0740Q^{-0.1400}$	0.0111	0.0250
금 강	규암-반조원	$n = 0.4666Q^{-0.3772}$	0.0128	0.0260
	금남-마어구	$n = 0.3631Q^{-0.3288}$	0.0272	0.0270

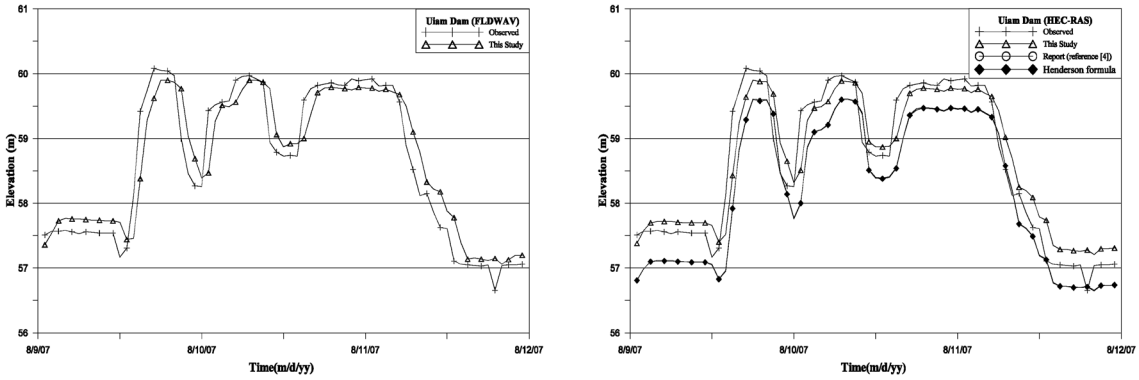
Table 3. RMS Errors of HEC-RAS model and FLDWAV model results and field measurements

하 천	구간	부정류 모형	RMS 오차		
			FLDWAV	Henderson	하천정비기본계획
한 강	잠수교-한강대교	FLDWAV	0.077 m	0.315 m	0.128 m
		HEC-RAS	0.078 m	0.312 m	0.112 m
	의암댐-강촌	FLDWAV	0.356 m	-	-
		HEC-RAS	0.338 m	0.517 m	0.510 m
낙동강	지보-달지	FLDWAV	0.155 m	-	-
		HEC-RAS	0.107 m	0.929 m	0.410 m
	고령교-현풍	FLDWAV	0.437 m	0.344 m	0.328 m
		HEC-RAS	0.427 m	0.340 m	0.339 m
금 강	규암-반조원	FLDWAV	0.117 m	0.824 m	0.229 m
		HEC-RAS	0.127 m	0.801 m	0.216 m
	금남-마어구	FLDWAV	0.184 m	0.626 m	0.631 m
		HEC-RAS	0.146 m	0.610 m	0.615 m



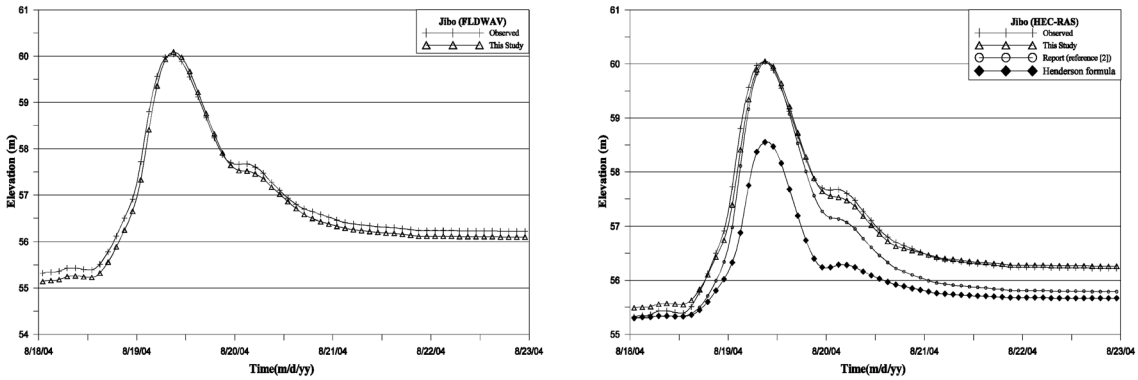
(a) FLDWAV (b) HEC-RAS

Fig. 1 Flood routing (Jamsu Bridge - Han River Bridge), Han River (a) FLDWAV, (b) HEC-RAS



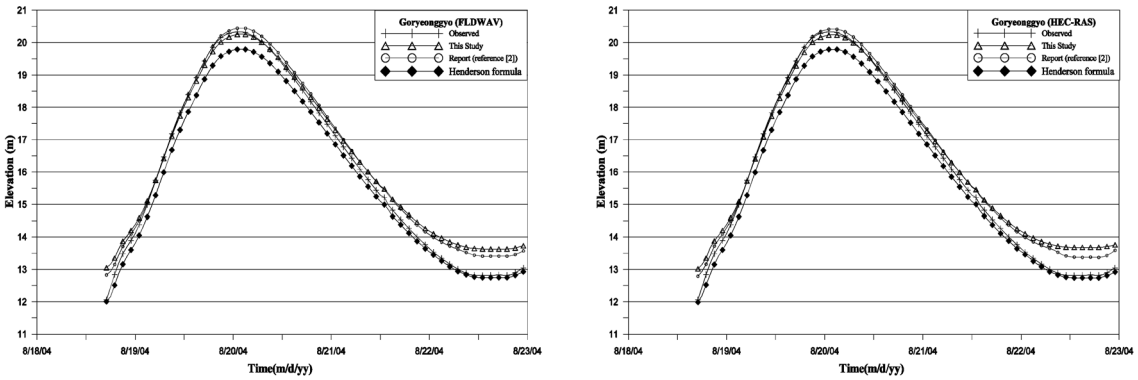
(a) FLDWAV (b) HEC-RAS

Fig. 2 Flood routing (Uiam Dam - Gangchon), Han River (a) FLDWAV, (b) HEC-RAS



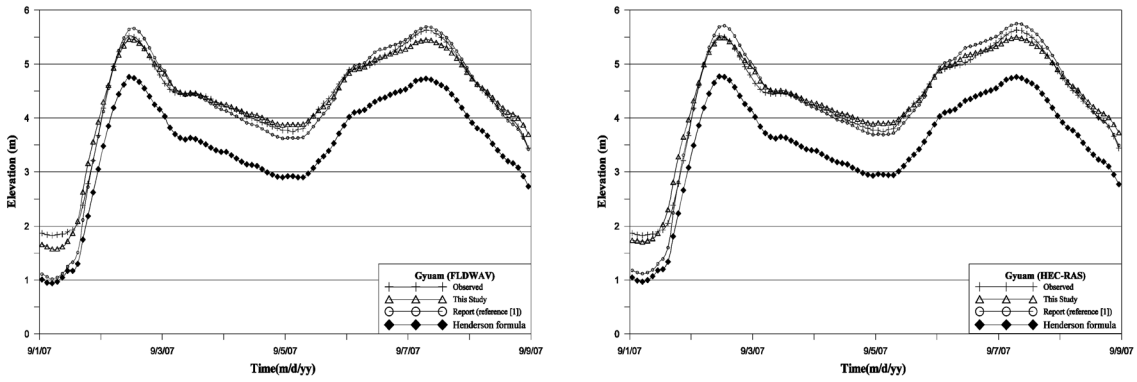
(a) FLDWAV (b) HEC-RAS

Fig. 3 Flood routing (Jibo - Dalji), Nakdong River (a) FLDWAV, (b) HEC-RAS



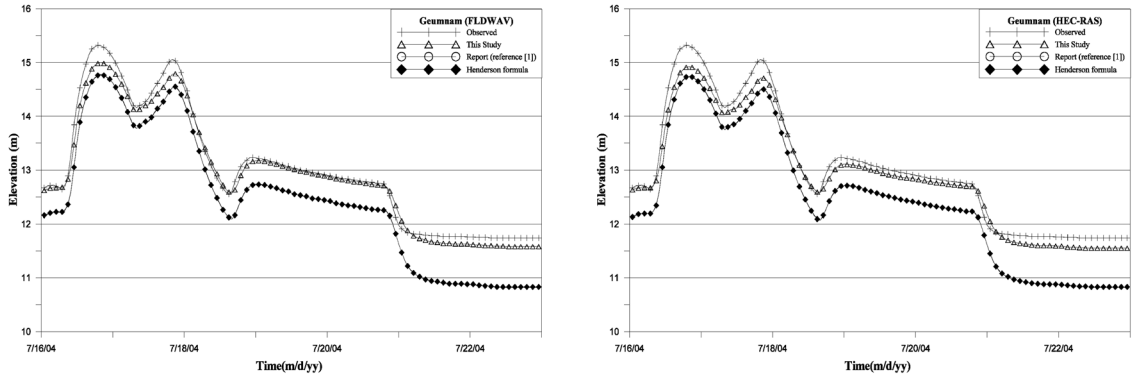
(a) FLDWAV (b) HEC-RAS

Fig. 4 Flood routing (Goryeonggyo - Hyunpoong), Nakdong River (a) FLDWAV, (b) HEC-RAS



(a) FLDWAV (b) HEC-RAS

Fig. 5 Flood routing (Gyuam - Banjowon), Geum River (a) FLDWAV, (b) HEC-RAS



(a) FLDWAV (b) HEC-RAS

Fig. 6 Flood routing (Geumnam - Maeogu), Geum River (a) FLDWAV, (b) HEC-RAS

RAS 모형에도 적용이 가능한지를 검토하기 위해서 적용 구간을 선정하여 HEC-RAS 모형과 FLDWAV 모형을 이용하여 부정류 홍수추적을 통하여 관측치와의 RMS 오차를 계산하여 본 연구에서 산정한 조도계수의 적용성을 검토하였다. 기존 선행 연구의 조도계수 중에서 본 연구대상 구간에서의 조도계수는 Table 2와 같다.

Table 3은 HEC-RAS 모형과 FLDWAV 모형의 홍수추적 결과와 관측 수위와의 RMS 오차 결과이다. 하상재료 공식(Henderson 공식)을 이용한 방법과 하천정비기본계획에서 제시하고 있는 조도계수를 사용할 때에 비해서 월등하게 RMS 오차가 작게 산정된 것을 볼 수 있다. 기존 선행연구에서 제시하고 조도계수 산정식을 이용한 홍수추적결과가 HEC-RAS 모형에서도 Table 1과 Fig. 1~Fig. 6에서 볼 수 있듯이 관측치와 매우 잘 일치하는 결과를 얻을 수 있었다.

4. 조도계수 특성 분석

조도계수는 일반적으로 하상 재료의 크기가 증가하면 커지고 감소하면 작아진다고 알고 있으나 실제 국내 자연하천에서 이와 같은 특성을 갖는지 조사된 바는 없다. 기존 선행연구의 FLDWAV 모형으로 산정된 한강, 낙동강, 금강의 설계홍수량에 해당하는 조도계수에 대해 각 구간의 수리학적 특성인자인 하상경사, 대표입경, 설계홍수심, 설계하폭에 따른 조도계수의 상관성과 특성을 분석하였다. Fig. 7은 하상

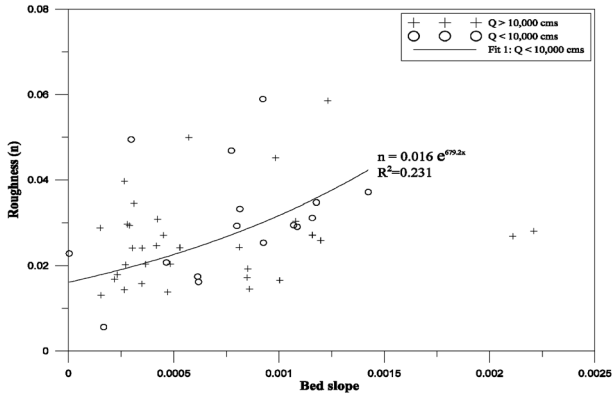


Fig. 7 Relation between roughness coefficient and bed slope

경사와의 관계이다. 하상경사는 상·하류 경계단면의 최심하상고의 차이를 하천연장으로 나눈 값으로 가정하였다. 설계홍수량이 10,000CMS(m^3/s) 이하인 하천에 대해서는 하상경사가 커지면 조도계수가 다소 증가하는 경향을 보이긴 하지만 그 상관성은 매우 작으며(R^2=0.231), 10,000CMS(m^3/s) 이상인 하천에 대해서는 하상경사와 조도계수간에 상관성은 거의 없는 것으로 생각된다. <Fig. 8>은 대표입경을 이용해 산정한 조도계수와의 상관관계이다. 대표입경 공식으로는 Henderson 공식을 사용하였고, 주수로의 하상재료 입도분석 결과를 이용하였다. FLDWAV 모형으로 산정된 조도계수는 구간조도계수이기 때문에 대표입경은 상·하류 경계단면의의 평균값이다. 주수로의 하상재료 채취가 어려운 구간이 많

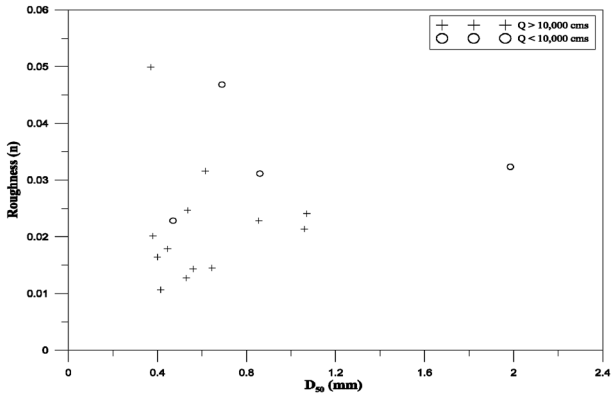


Fig. 8 Relation between roughness coefficient and representative particle diameter D_{50}

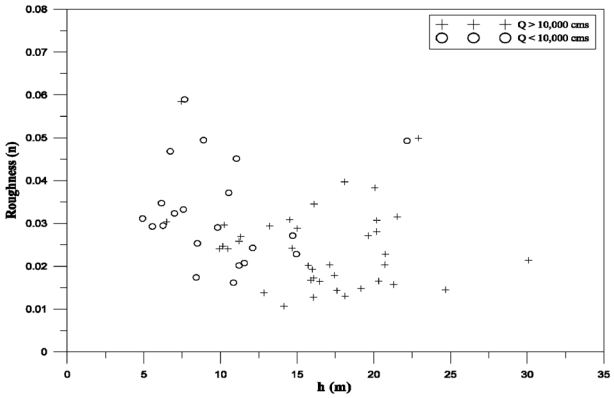


Fig. 9 Relation between roughness coefficient and design-flood depth

아 분석하는 자료가 많지는 않지만 입경과의 상관관계는 그리 크지 않은 것으로 생각된다. Fig. 9는 설계홍수심과의 관계이다. 설계홍수심은 하천정비기본계획에 제시되어있는 값을 상·하류 경계단면에 대해 평균하였으며 조도계수와의 상관관계는 거의 없는 것으로 확인되었다. Fig. 10은 설계하폭과의 관계이다. 설계하폭은 하천정비기본계획에 제시되어있는 값을 상·하류 경계단면에 대해 평균하였다. 조도계수와 설계하폭 간에는 상관관계를 찾기 어려운 것으로 판단된다.

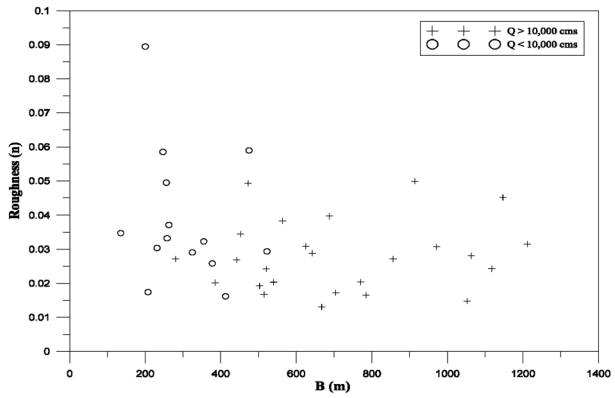


Fig. 10 Relation between roughness coefficient and design river width

5. 한강 하류부 빈도별 홍수위 재산정 및 기설 제방 여유고 재검토

선행연구(한국수자원공사, 2009)에서 산정한 조도계수를 한강 본류 팔당댐 하류부의 빈도별 설계홍수위 산정에 적용하여 빈도별 홍수위를 재산정 하였고, 기설 제방 여유고를 재검토 하였다. 해석 범위는 팔당댐 하류 76.682 km이며 한강 수계 하천정비기본계획(변경-2002)에서 해석한 HEC-2 모형을 적용하여 빈도별 홍수위와 제방 여유고를 재검토 하였다.

5.1 빈도별 홍수위 산정

Table 4는 한강 수계 하천정비기본계획(변경-2002)에서 팔당댐으로부터 곡릉천 합류부까지의 빈도별 홍수위 산정에 사용한 상·하류 경계조건이다. 설계빈도는 200년 빈도로 설계홍수량은 37,000 CMS(m^3/s)이다. 선행연구(한국수자원공사, 2009)에서 산정한 구간별 조도계수식은 실측홍수량의 최대치가 약 23,000 CMS로 본 연구에서 추천하고 있는 실측 최대치의 +20%인 27,600 CMS를 9,400 CMS 초과하기 때문에 200년 빈도의 해석 결과는 다소 부정확 할 수 있지만 50년빈도 홍수량은 27,830 CMS이기 때문에 실측 최대치의 +20% 범위내에 들어 본 연구의 결과와 객관적인

Table 4. Upstream and downstream boundary conditions according to recurrence period

빈 도	50년	80년	100년	150년	200년
상류경계조건 (팔당댐 방류량)	27,830 CMS	30,620 CMS	31,930 CMS	34,360 CMS	37,000 CMS
하류경계조건 (곡릉천 합류부 수위, EL.)	6.11 m	6.39 m	6.52 m	6.76 m	7.00 m

Table 5. Roughness coefficients of downstream part from Paldang Dam for each frequency floods

구 간	빈도					하천정비기본계획 (2002)
	50년	80년	100년	150년	200년	
팔당댐-팔당대교	0.03822	0.03787	0.03771	0.03744	0.03717	0.03000
팔당대교-광장	0.02709	0.02703	0.02700	0.02696	0.02691	0.03000
광장-영동대교	0.05039	0.05044	0.05046	0.05050	0.05054	0.03000
영동대교-잠수교	0.03071	0.03059	0.03054	0.03045	0.03036	0.03000
잠수교-한강대교	0.02790	0.02733	0.02708	0.02665	0.02623	0.03000
한강대교-행주대교	0.03176	0.03268	0.03309	0.03382	0.03458	0.03000
행주대교-하류 404 m	0.03000	0.03000	0.03000	0.03000	0.03000	0.03000
행주대교 하류 404 m-곡릉천 합류부	0.02000	0.02000	0.02000	0.02000	0.02000	0.02000

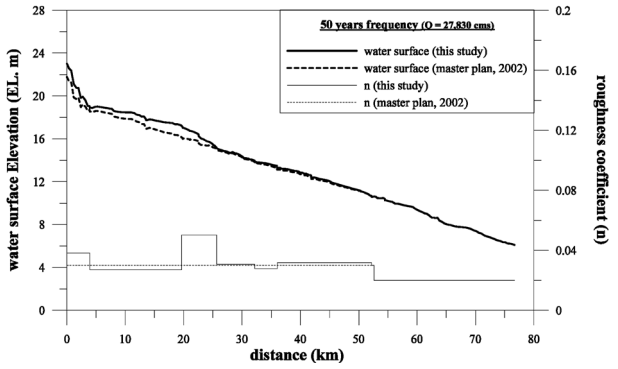


Fig. 11 Water surface for 50 year frequency flood

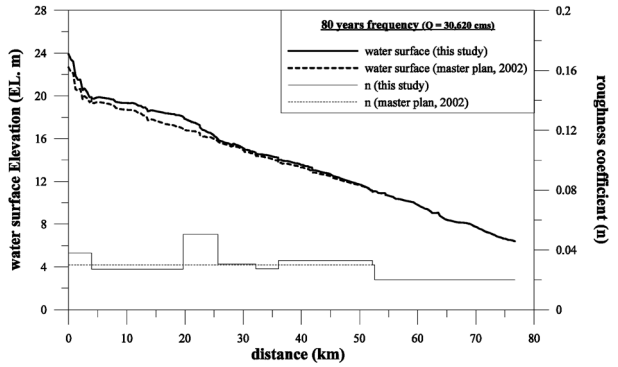


Fig. 12 Water surface for 80 year frequency flood

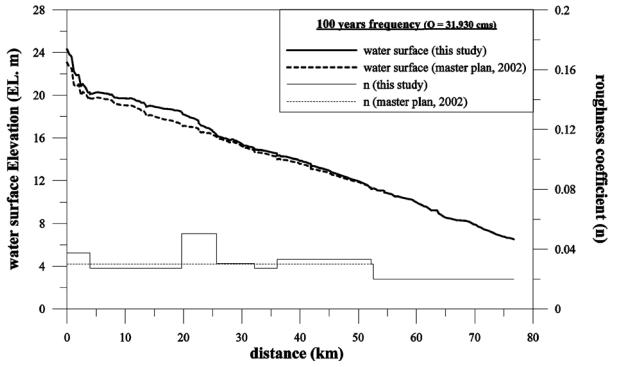


Fig. 13 Water surface for 100 year frequency flood

비교가 가능할 것으로 판단된다. Table 5는 선행연구에서 산정한 구간별 조도계수식을 이용하여 계획빈도 홍수량에 대응하는 조도계수 식을 산정한 결과이다. 선행연구에서 행주대교 하류의 조도계수는 제시하지 않고 있기 때문에 하천정비기본계획에서 제시하고 있는 조도계수를 동일하게 적용하였다.

Fig. 11~Fig. 15는 Table 4의 경계조건과 Table 5의 조도계수를 이용하여 각 빈도별 홍수위를 비교한 결과이다. 모든 빈도별 홍수위 해석 결과 영동대교 상류에서 재산정된 홍수위가 하천정비기본계획에서 산정한 홍수위에 비해서 크게 산정되었다.

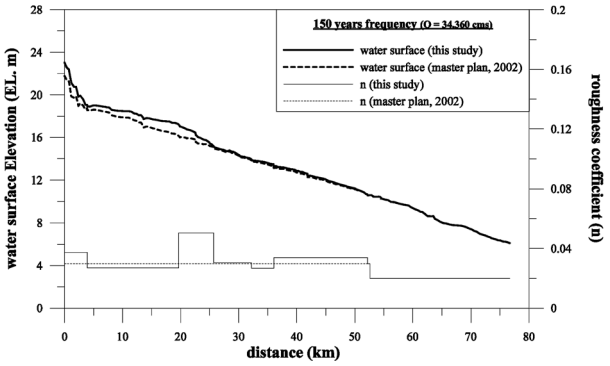


Fig. 14 Water surface for 150 year frequency flood

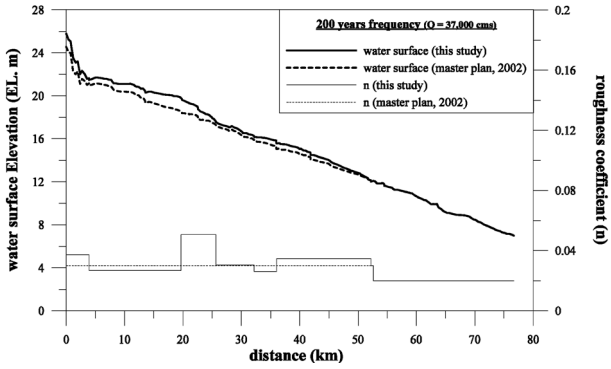


Fig. 15 Water surface for 200 year frequency flood

5.2 제방 여유고 검토

앞 절에서 산정한 200년 빈도 홍수위를 기존 제방고와 비교하여 제방 여유고를 재검토하였다. 하천설계기준(2005)은 제방 안전도 평가 기준을 Table 6과 같이 제시하고 있으며 계획홍수량에 따른 한강의 여유고는 2.0 m를 적용하였다(하천설계기준(2005)). Fig. 16은 한강 수계 하천정비 기본계획(2002)과 본 연구의 200년 빈도 계산 홍수위 결과이다. Table 5의 제방 안전도 평가 기준을 적용한 결과 팔당댐~하류 800 m 구간의 우안, 천호대교, 광진교, 올림픽대교의 좌안, 동작대교~하류 약 1.5 km 구간의 우안의 기설제방고가 계획홍수위보다 낮은 C 등급으로 나타났고, 그 외 다수의 구간에서 기설제방고가 계획홍수위와 여유고의 합보다 낮은 B 등급으로 검토되었다.

6. 요약 및 결론

선행연구(한국수자원공사, 2009)의 국내 3대 하천인 한강, 낙동강, 금강의 본류의 조도계수 산정식의 적용성을 검토하고, 산정된 조도계수와 하천특성인자와의 상관관계를 분석하였다. 또한 한강 본류에 대한 기존 한강 수계 하천정비기본계획 (2002)의 빈도별 홍수위를 재 산정하여 기설 제방의 안전도를 검토하였다. 본 연구에서 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

Table 6. Criteria for levee stability (Korea River design criteria (2005))

구 분	등 급	기 준	진단 및 대책
제방안전단면	A	제방고>계획홍수위+여유고	안전
제방관리단면	B	계획홍수위<제방고<계획홍수위+여유고	제방은 월류하지 않으나 취약원인을 파악하고 관리 필요
제방위험단면	C	제방고<계획홍수위	제방이 월류되므로 즉각적인 치수대책 수립 필요

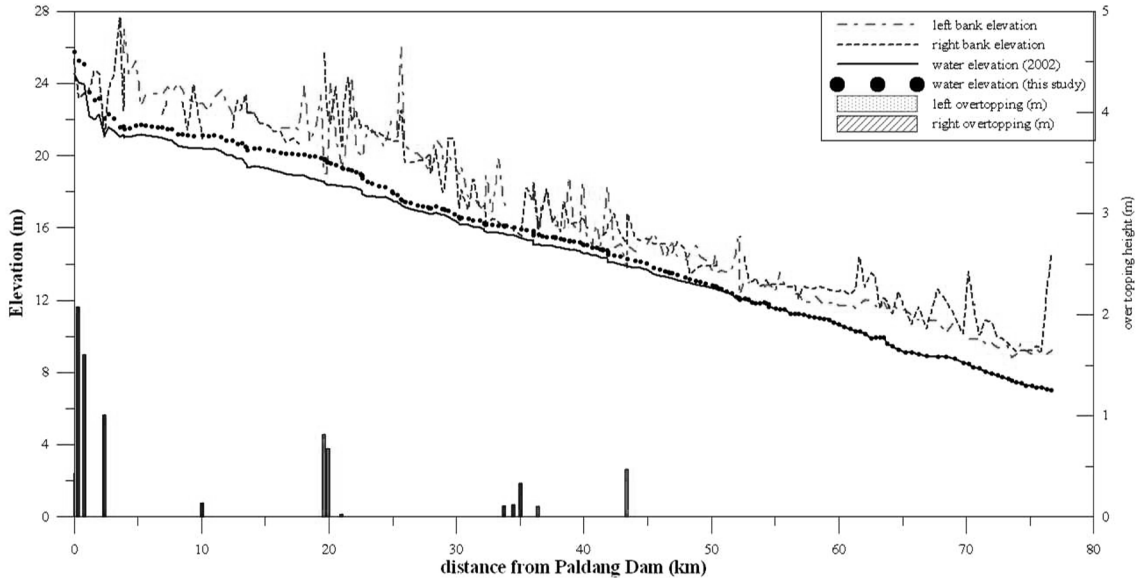


Fig. 16 Levee risk diagram for 200 year frequency flood, Han River (this study)

1. 1차원 부정류 모형인 FLDWAV 모형과 HEC-RAS 모형에 본 연구에서 제시한 조도계수, 하천정비기본계획의 조도계수, 하상 입경을 이용한 조도계수를 각각 적용하여 실제 수문사상에 대하여 부정류 해석을 한 결과 본 연구에서 제시하고 있는 조도계수가 다른 방법에 비해 매우 우수한 결과를 보여주었다. 특히, FLDWAV 모형으로 산정한 조도계수를 HEC-RAS 모형에 적용하여도 정확한 결과가 도출됨을 확인하였다.
2. 산정된 조도계수와 하천특성인자와의 상관관계를 분석한 결과 국내 국가하천구간의 조도계수는 하상경사, 대표입경의 크기, 설계홍수심, 설계하폭과 상관관계가 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 주요 국가하천과 같은 대 하천의 하천정비기본계획에서 하상재료 구성물질의 특성을 고려하여 하천의 조도계수를 추정하는 것은 의미가 없을 것으로 판단된다.
3. 본 연구에서 산정한 조도계수를 HEC-2 모형으로 기존 한강 수계 하천정비기본계획의 제방안전도를 검토하였으며 기존 제방의 일부가 안전성 면에서 미흡한 것으로 나타났다.

위의 요약 결과를 종합해 볼 때 국내 주요 하천의 조도계수를 하상토의 입경을 이용하여 산정하는 것은 의미가 없으며, 실측을 통하여 유량에 대응하는 값을 결정해야 할 것으로 생각된다. 또한 기존 하천정비기본계획에서 계산한 계획홍수위에 대하여 실측을 통한 조도계수를 이용하여 재검토할 필요가 있으며 앞으로 조도계수에 대한 지속적인 연구가 요망된다.

감사의 글

본 연구는 한국수자원공사의 연구비 지원에 의한 연구결과의 일부이며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

건설교통부(1992) **금강 하천정비기본계획 (보완)**.
건설교통부(1993) **낙동강 하천정비기본계획 (보완)**.
건설교통부(2002) **한강 수계 하천정비기본계획 (변경)**.
건설교통부(2002) **북한강 수계 하천정비기본계획 (보완)**.
국토기술연구센터(일본)(1989) **하도계획 검토 안내서**.
김원, 김양수, 우효섭(1995) 부정류 모형을 이용한 한강 하류부 하도의 조도계수 산정, **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제28권 제6호, pp. 133-146.
김원, 우효섭, 김양수(1996) 1차원 St.Venant 방정식을 이용한 한강 하류부 하도의 홍수류 특성 분석, **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제29권 제1호, pp. 163-179.
김지성, 이찬주, 김원(2007) 실측 수위에 의한 자갈하천의 조도계수 산정, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제40권 제10호, pp. 755-768.
김지성, 이찬주, 김원(2007) 현장실측에 의한 조도계수 산정의 불확실도 평가, **한국수자원학회논문집,** 한국수자원학회, 제40권 제10호, pp. 801-810.
김한준, 전경수(2004) 가변 조도계수 부정류 계산모형, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제37권 제12호, pp. 1055-1063.
서울특별시(2008) **대학과 연계한 하천관리에 대한 연구용역** (2단계 3차).
이상호(2001) 수위관측과 수리학적 하도추적에 의한 수위-유량관계식 작성, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제34권 제5호, pp. 551-560.
이창현(2003) **수리학적 홍수추적 모형을 이용한 한강하류부의 조도계수 산정에 관한 연구**, 석사학위논문, 한양대학교.
이상호, 강신욱(2006) 수위-유량자료가 부재한 자갈하천의 조도계수 산정에 관한 연구, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제34권 제5호, pp. 543-549.
이코리버21연구단(2007) **홍수터 수목관리 기술개발**.
인천지역환경기술개발센터(2008) **2008 하천환경학술심포지엄 전문가 토론회 자료집**.
전경수, 김진수, 이상호(2007) 한강 본류에의 적용을 위한 FLDWAV 모형의 개선, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제40권 제2호, pp. 135-146.
한강홍수통제소(1997) **수리학적 모형을 이용한 한강상류부 하도의 홍수예측모형 개발**.
한국수자원공사(1997) **하천 수리수문분석 시스템 개발**.
한국수자원학회(2005) **하천설계기준 해설**.
한국수자원학회(2006) **제15회 수공학 워샵 교재**.
한국수자원공사 조사기획처(2007) **수리학적 분석기술을 통한 하천유량산정기법 연구보고서 (1차)**.
한국수자원공사(2009) **수리학적 분석기술을 적용한 국내하천의 조도계수 산정연구**.

Barnes, H.H., Jr. (1967) Roughness characteristics of natural channels, U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2339.
Cowan, W.L. (1956) Estimating hydraulic roughness coefficients, Agricultural Engineering, Vol. 37, No. 7, pp. 473-475.
Chow, V.T. (1959) Open-Channel Hydraulics, McGraw-Hill Book Co., New Yourk.
Cunge, J.A., Holly, F.M., and Verwey, A. (1980) Practical aspects of compuational river hydraulics, Pitman Advanced Pub., London.
DEFRA/EA (2006), Flood and Coastal Defense R&D Programme.
Fread, D.L. and Smith, G.F. (1978) Calibration technique for 1-D unsteady flow models, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 104, No. 7, pp. 1027-1043.
Fread, D.L. (1995) National weather service operational dynamic wave model. Hydrologic Research Laboratory, NWS.
Fread, D.L. and Lewis, J.M. (1998). The NWS FLDWAV Model Quick Users Guide, NOAA, Silver Spring.
Garde, R.J. and Ranga Raju, K.G. (1978) Mechanics of sediment transportation and alluvial stream problems, Wiley Eastern, New Delhi.
Henderson, F.M. (1966) Open Channel Flow. Macmillan, London.
http://wwwrcamnl.wr.usgs.gov/sws/fieldmethods/Indirects/nvalues/index.htm.
Land, E.W. and Carlson, E.J. (1953) Some factors affecting the stability of cannais constructed in coarse granu-lar materials, Proc. Minnesota, Intern., Hydraulic Conv., IAHR, pp. 37-48.
Meyer-Peter, E. and Müller R. (1948) Formulas for bed-load transport", Proceedings of the 3rd Meeting of IAHR Stockholm, pp. 39-64.
NWS (1998) NWS FLDWAV Model (Manual).
Raudkivi (1976) Loose Boundary Hydraulics, Pergamon Press, New York.
Strickler, A. (1923) Beiträge und Frage der Geschwindigheits - Formel und der Rauhigkeitszahlen für Strome, Kanale und Geschlossene Leitungen. (Some contributions to the question of a velocity formula and roughness data for streams, canals and closed conduits). Mitteilungen des Eidgenössischer Amtes fur Wasserwirtschaft, Bern, Switzerland, No. 16g
Subramanya, K. (1982) Flow in open channels, Vol. 1, Tata McGraw-Hill Publishing Company, New Delhi.
US Army Corps of Engineers (2008) HEC-RAS User's Manual.
USGS (1989) USGS Paper 2339.

(접수일: 2010.4.13/심사일: 2010.6.9/심사완료일: 2010.7.27)