한국도시방재학회논문집
제3권 3호 2003년 9월
pp. 165 ~ 171

2002년 루사로 인하여 송천 수위국을 붕괴시킨 이상 홍수량의 규모 결정

Calculation of Abnormallly Large Flood Discharge Destroying the Songcheon Stage Guaging Station by the RUSA in 2002th Year

유 주 환* / 김 주 철**
Yoo, Ju Hwan / Kim, Joo Cheol

Abstract

An abnormal storm by the typhoon of RUSA in 2002th year was broken out with tremendous flood demages and inundations on the basin of Chogangcheon located in the upper middle part of Guem river's upstream. This flood could not be engaged because it was so big that the stage engaging Songcheon station stuck to Songcheon bridge was destroyed by submerging. In this study the quantity of the flood was calculated by use of Manning's equation and suitable roughness coefficient was suggested.

Key words : flood discharge, Manning Equation, roughness coefficient, Songcheon stage station

요 지

2002년 태풍 루사의 집중호우로 금강 중상류에 위치한 초강천 유역에 막대한 홍수피해와 범람을 동반하였다. 발생한 홍수는 초강천 하류에 위치한 송천교에 부설되어 있는 송천 수위국을 잠식하여 붕괴시킬 정도로 엄청난 유량 규모를 가졌기 때문에 직접 측정할 수 없었다. 이에 본 연구에서는 매닝의 등류 공식을 이용하여 홍수량을 산정함과 더불어 적정한 조도계수를 제시하였다.

핵심용어 : 홍수량, 매닝공식, 조도계수, 송천 수위국

* 영동대학교 건설계열 토목환경공학과 조교수(jhyoo@youngdong.ac.kr)
** 충남대학교 공과대학 토목공학과 조교(kjoocheol@hanmail.net)

Ⅰ. 서 론

1959년 한반도를 강타한 태풍 사라호 이후 가장 강력한 태풍 루사는 강원도 영동지방은 물론 한반도의 많은 지역을 황폐화시키고 막대한 인명과 재산 피해를 가져왔다. 특히 본 연구대상인 초강천 유역 또한 일최대 305 mm, 시간최대 59 mm 의 폭우를 동반하여 충북 영동군 지역에 9명의 인명피해, 1,299 ha 농경지 침수, 115 ha 도시 침수 등 1,400억원의 홍수피해를 입혔다. 초강천 유역을 따라 영동군내 상촌면, 매곡면, 추풍령면, 황간면, 용산면, 심천면 등 6개 면단위 주거도시가 형성되어 있기 때문에 피해가 더욱 컸다. 한편 하류에 위치한 대청다목적댐에 유입되는 초강천의 수자원을 관리하기 위하여 그림 1과 같이 송천 수위국 지점에서 정기적으로 수위와 유량을 측정하고 있었으나 이번 이상(異常) 홍수로 인하여 수위국이 유실되었기 때문에 홍수량과 수위를 측정할 수 없었다. 이에 본 연구에서는 홍수 흔적 조사, 하천 단면 측량자료와 매닝 공식 등을 이용하여 초강천 하류에 위치한 송천 수위국 지점의 홍수량을 산정하였고 적정한 매닝 조도계수를 제시하였다.

본 연구는 홍수량을 산정하기 위하여 홍수파보다 충분히 짧은 구간을 설정하여 매닝의 등류공식을 적용하였다. 본 연구의 성패는 매닝 공식에 적용하는 조도계수 결정에 있다. 홍수량과 연관한 매닝 조도계수의 연구로 유권규 등(1993)은 우리나라 중소규모 충적 하천을 대상으로 매닝의 조도계수를 정리하여 유량 증가에 따라 조도계수가 증가하는 연구 결과를 보였다. 이와 반대로 김원 등(1995)은 부정류 모형의 한강 적용에서 유량 증가에 따라 조도계수가 감소함을 보여 주었다. 이와 같이 조도계수는 하천의 규모, 피복상태, 형태, 유량 등에 따라 영향 받는 복합적인 매개변수이다. 따라서 하천의 조도계수는 홍수량 산정은 물론 하천의 수리학적 모델링에 매우 중요한 변수로서 국내 연구에서 하

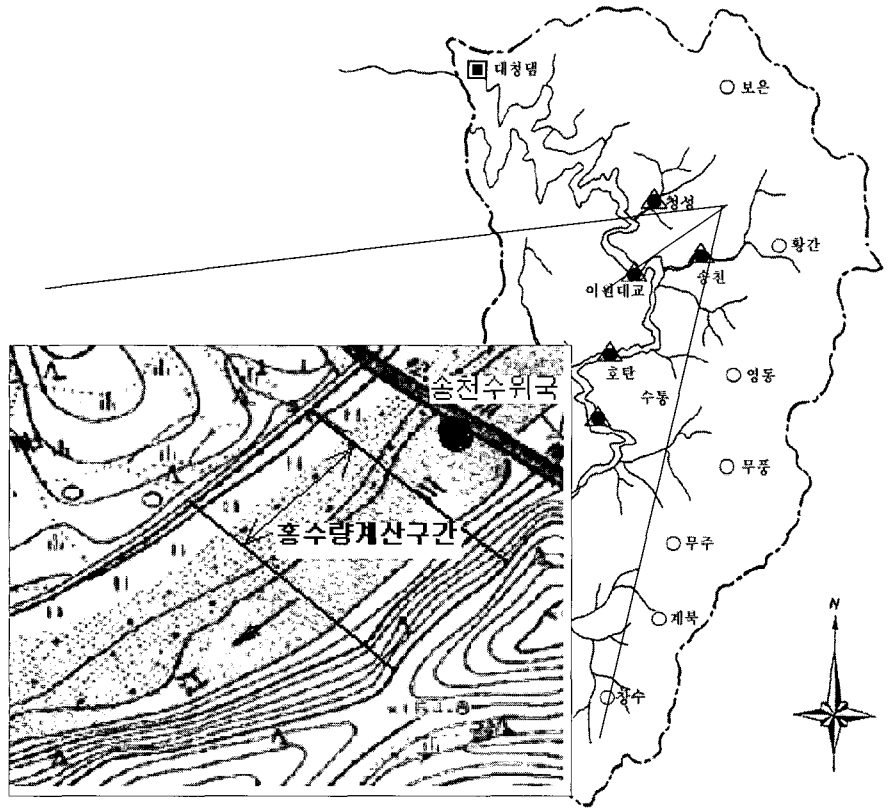

그림 1. 송천 수위국 위치도

천, 유량, 구간별로 계속 검증되고 있다.(윤태훈 등(2000), 이상호와 강신욱(2001), 김상호와 김원(2002)). 본 연구에서 결정된 송천 수위국 지점의 홍수 규모와 조도계수는 유량과 조도계수 관계를 분석하여 적정치를 산정하였고 기존 성과를 통하여 비교 검증하였다.

2. 계산 방법

2.1 적용방식

홍수량 계산 방법은 홍수파보다 충분히 짧고 통수단면적의 변화가 심하지 않은 구간을 설정하여 등류공식을 이용하는 방식으로서 실무적으로 가장 많이 사용하는 매닝공식을 이용하였다. 유량 산정식은 매닝 유속공식 (1)을 이용한 유량공식 식 (2)를 적용하였다.

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

여기서, 유속 V와 유량 Q는 조도계수 n, 동수반경(수리수심) R, 동수경사 I, 통수단면적 A의 함수이다. 이 때 매닝 공식은 등류 상태에 적용하는 유속공식이기 때문에 부정류인 홍수량 산정에 적용할 경우 구간을 홍수파보다 충분히 짧게 하여야 한다.

2.2 구간설정

유량을 산정하기 위한 하천 구간은 그림 1과 같이 측정단면 중에 홍수 전후에 비교적 단면변화가 적은 단면 사이 구간으로 송천교 직하류 50 m 를 설정하였다. 하상은 자갈이 대부분이고 일부분에 잡초가 자라 있고 좌안은 경사가 급한 암질의 산지와 연결되어 있고 우안은 잡초목이 있는 제방으로 이루어져 있다.

2.3 매닝조도 산정

홍수량 계산 정확도를 결정하는 조도계수는 하상 상태로부터 추정할 수는 있지만 복합성을 갖기 때문에 정확한 하상 상태을 명확히 정의할 수 없고 설사 하상 상태를 설정한다고 해도 조도계수의 범위가 설정되어 있을 뿐 정확한 값을 결정할 수는 없다. 따라서 본 계산에서는 당해연도에 측정한 홍수 유량측정 및 단면측량 자료를 이용하여 홍수량과 조도계수의 관계를 분석하고 이로부터 조도계수를 결정하였다.

2.4 홍수흔적 조사와 최대 홍수위 결정

송천 수위국에 홍수가 송천교와 수위국을 월류하여 수위 기록 장치가 파괴되어 측정이 중단되었기 때문에 최대 홍수위 기록이 없다. 따라서 본 계산에서 최대 홍수위는 좌우안 단면의 홍수 흔적을 조사, 측량한 결과로부터 EL. 130.624 m(수심 10.683 m)로 결정하였다.

3 계산 과정

3.1 계산 절차

홍수량 계산 절차는 다음 그림 2와 같다. 계산에 필요한 기본적인 데이터는 유량측정 자료와 단면측량 자료(한국수자원공사, 2002)가 있다. 우선 홍수량과 홍수량별 조도계수를 산정하고 이로부터 홍수량과 조도계수의 관계를 결정하고 시행착오법으로 최종적인 홍수량을 결정하였다. 시행착오 계산시 초기 조도계수 값은 회귀자료에 사용된 유량 중 최대치를 적용하였다.

3.2 계산 결과

(1) 홍수량과 조도계수

홍수량별 조도계수의 계산 결과는 표 1과 같다. 이때 하도 경사는 구간의 최심하상의 평균치를 적용하여 0.004로 하였다. 하도구간은 유량측정 단면으로서 송천교 직하류 50 m 구간으로 비교적 하상변화가 작은 단면적을 선정하였다.

(2) 홍수량과 조도계수 상관관계

홍수량(Q)과 계산된 조도계수(n)의 관계는 경년적인 하상변화 등을 고려하여 2002 당해연도 측정자료만을 선택한 결과 고수유량과 저수유량 부분으로 대별되는 경향을 나타낸다. 따라서 이상 홍수량을 산출하기 위해서 본 연구는 고수유량 부분을 선택하여 회귀 분석하였고 그림 3과 같은 관계식 (3)을 얻었다. 이 결과 유량과 조도계수는 반비례 관계를 보여준다. 여기서 식 (3)은 사용한 자료의 부족으로 일반화하기엔 무리가 있을 수 있다고 판단되어 본 연구에서는 후속되는 검증 분석과 같이 다각

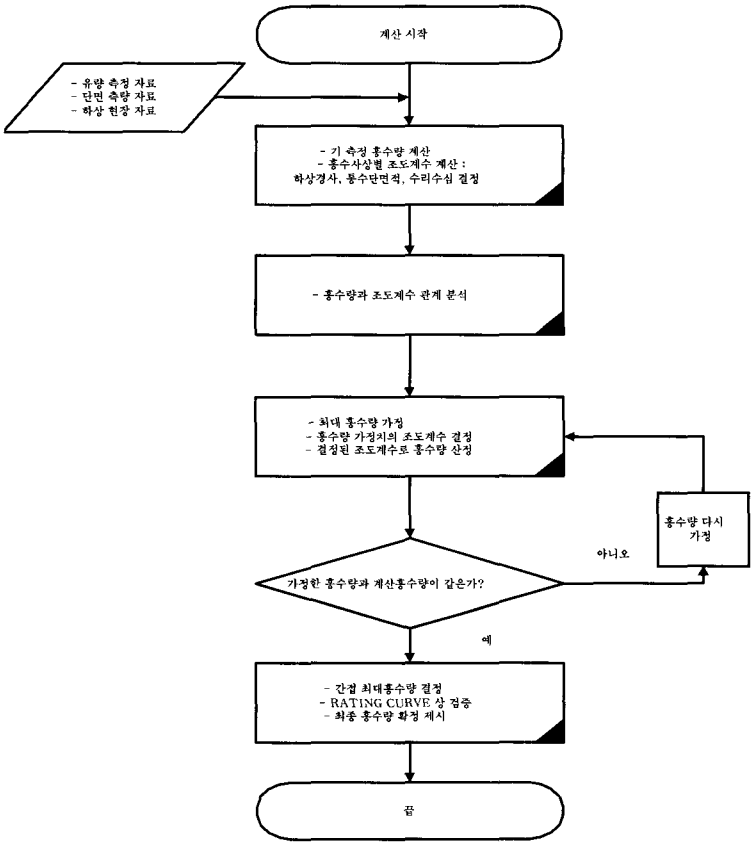

그림 2. 홍수량 계산 과정

표 1. 홍수량별 조도계수

측정년월일시	수위 (EL.m)	수심 (m)	수리수심 (m)	통수단면적 (㎡)	평균유속 (m/sec)	유량 (㎥/sec)	조도계수 (n)	비고
2002.07.06.01	123.081	3.140	2.188	198.404	3.411	676.739	0.0313	
2002.07.06.03	122.921	2.980	2.066	185.419	2.758	511.463	0.0372	
2002.07.06.04	122.551	2.610	1.940	168.461	2.869	483.293	0.0343	고수유량
2002.07.06.05	122.441	2.500	1.726	148.688	2.861	425.349	0.0318	
2002.07.06.06	122.271	2.330	1.633	138.752	2.467	342.315	0.0355	
2002.07.06.10	121.881	1.940	1.260	103.946	2.542	264.231	0.0290	
2002.08.06.23	121.501	1.560	1.193	95.241	1.245	118.537	0.0572	
2002.08.07.01	122.021	2.080	1.637	136.615	0.938	128.122	0.0937	저수유량
2002.08.07.02	122.291	2.350	1.882	160.342	0.989	158.637	0.0975	
2002.08.07.03	122.361	2.420	1.944	166.505	1.107	184.333	0.0890	
2002.08.07.08	122.226	2.285	1.781	151.072	2.007	303.260	0.0463	
2002.08.07.21	123.096	3.155	2.474	225.815	2.623	592.268	0.0441	
2002.08.07.22	123.066	3.125	2.502	227.569	2.446	556.598	0.0477	고수유량
2002.08.07.23	122.741	2.800	2.251	198.791	2.532	503.275	0.0429	
2002.08.08.00	122.541	2.600	2.026	175.809	2.744	482.486	0.0369	
2002.08.08.01	122.481	2.540	2.061	178.016	2.479	441.281	0.0413	

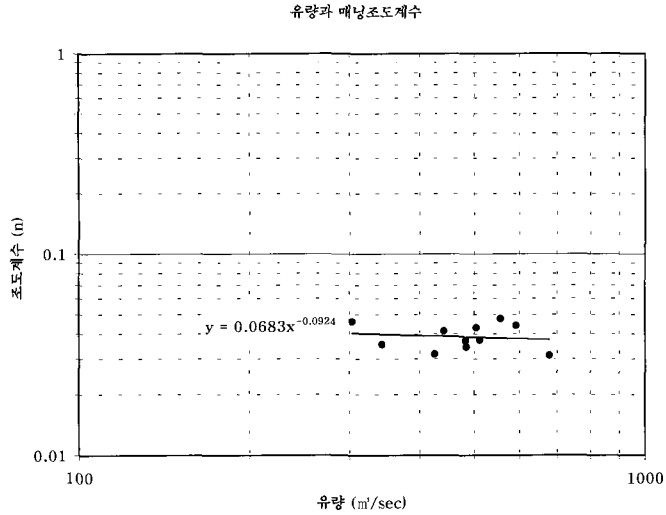

그림 3. 홍수량과 조도계수 관계

적으로 결정된 조도계수와 홍수량의 적정성을 검증하였다.

$$n = 0.0688\ Q^{-0.0924} \quad (3)$$

앞의 계산 과정을 통하여 산정한 홍수량은 표 2와 같다.

3.3 결과 검증

(1) 조도계수

① 기존 적용치

본 구간은 자연 상태 하상에 자갈로 이루어져 불규칙한 단면을 갖고 홍수기에는 하상 일부와 제방

표 2. 홍수량 계산 결과

홍수위(m)	홍수량(m^3/sec)	조도계수(n)	하도 경사(I)
10.683	8,461	0.0296	0.004

표 3. 기존 연구성과 비교

출처	조도계수	적용상황
Chow(1959) Tabular look-up method	0.035~0.100	단면이 불규칙하고 거친 경우
Richard(1989) Tabular look-up method	0.03~0.035	초목이 있는 자연상태
Richard(1989) 5요소 합성 방법	0.029	fine gravel, smooth, gradually change, obstruction negligible, low vegetation
한강(잠수교~인도교) 조도계수 김원 등(1995)	0.051~0.020	1,000~12,000 m3/s 유량
한강대교 부근 조도계수 윤태훈 등(2000)	0.045~0.026	1,000~10,000 m3/s 유량
한강(팔당댐-잠실보)조도계수 김상호와 김원(2002)	0.065~0.027	1,000~10,000 m3/s 유량
본 연구	0.0296	자연 상태, 8,461 m3/s 유량

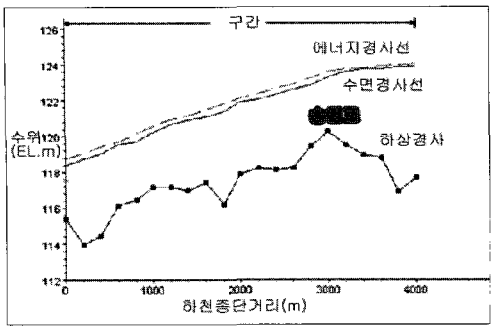

그림 4. 하천 모델링 결과(2차원)

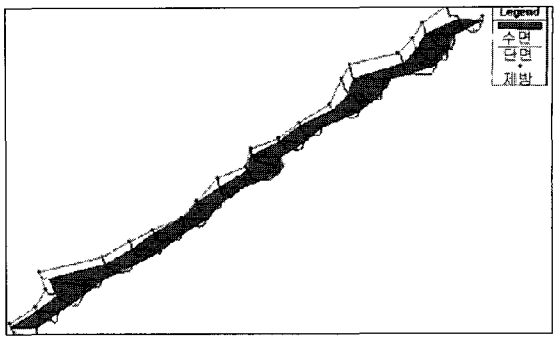

그림 5. 하천 모델링 결과(3차원)

에 초목이 있는 상태이다. 이와 같은 상태에 대하여 기존 성과와 비교 검토하면 다음 표 3에서 보는 바와 같이 본 연구의 계산치는 적정하다고 평가할 수 있다.

② 수리학적 모델링 적용

육군 공병단 수문연구센터(U. S. Army Corps of Engineers, HEC)에서 개발한 HEC-2 모델의 윈도우 버전으로, 수면형을 표준축차법(standard step method)으로 반복 계산하는 HEC-RAS(HEC's River Analysis System)를 이용하고 송천 수위국 상류 1 km, 하류 3 km 총 4 km 구간에 대하여 앞서 결정된 조도계수를 적용하여 수리학적 모델링을 수행하여 송천 수위국 지점의 계산수위와 실측수위

표 3. 관측수위와 모델링 계산수위의 비교

발생일시	유 량 (m^3/s)	영점표고 (EL.m)	송천수위국 수위(EL.m)		
			실측수위	계산수위	수위차
2002. 8. 7. 20	592.268	119.941	123.096	123.31	0.214

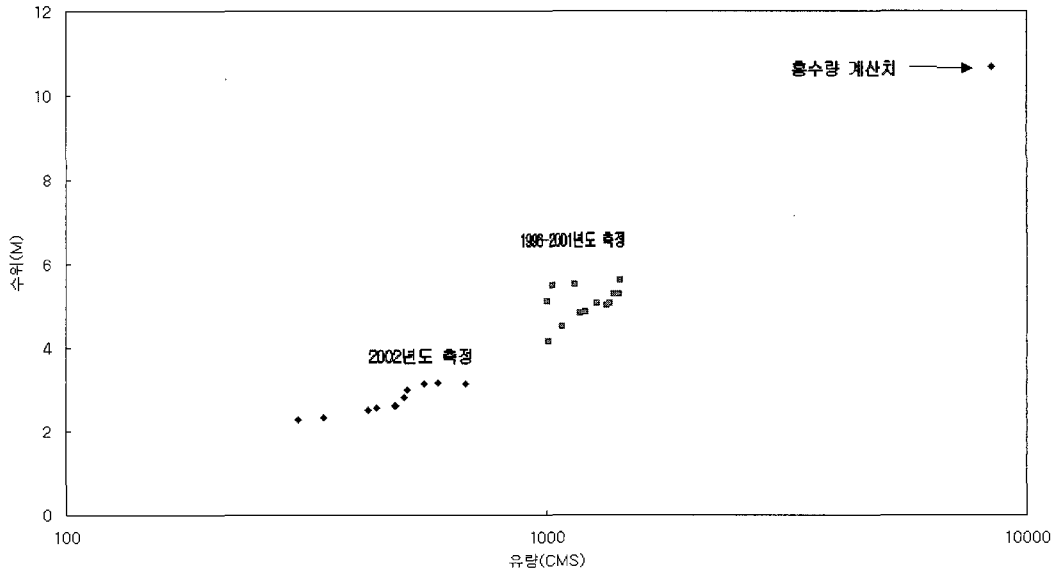

그림 6. 수위-유량 곡선상 홍수량 계산 결과

를 비교하였다(한국수자원공사, 2002). HEC-RAS에 의한 모델링 결과는 그림 4 및 그림 5와 같다. 그림 3에서 송천 수위국 지점은 가로축 상의 3,000 m 지점이고 본 계산 지점은 송천 수위국 직하류 50 m 구간이다.

이 결과는 이상 홍수위까지 하천 종단별 단면 자료를 확장할 만큼 자료가 충족되지 않아서 본 결정된 홍수량에 대한 수리학적 모델을 적용치 않고, 하천단면이 충족되는 임의 홍수량을 선택하여 수리학적 모델에 결정된 조도계수 0.0296을 적용한 것이다. 이 때 표 3의 수위차는 표 1에서와 달리 조도계수를 적용한 것에 기인한 것이다. 본 비교는 홍수위를 계산하여 조도계수를 검증하는 방법만을 제시할 뿐 실제적인 의미는 갖지 않으며 추후 하천단면의 확충으로 검증될 수 있을 것이다.

(2) 홍수량 검토

계산 결과의 적정성을 검토하기 위해서 기존 년도(1996-2001년)의 측정 유량 중에서 1,000 m3/s 이상되는 홍수량과 당해연도 홍수량(한국수자원공사, 2002)을 함께 도시하면 그림 6과 같다. 여기서 고수위 부분에 나타난 분산 양상은 홍수파의 루프에 의한 것으로 보인다. 그림 6은 본 계산 홍수량이 수위-유량곡선의 고수위 연장선상에 있는 것을 보여준다. 따라서 본 연구에서 계산한 이상 홍수량은 적정하다고 판단된다.

4. 주요성과 및 결론

2002년 태풍 루사에 의해서 발생한 금강의 중상류에 위치한 초강천의 하류 송천 수위국 지점의 최대 홍수량을 계산한 본 연구 성과 및 결론을 정리하면 다음과 같다.

1) 홍수흔적 조사 결과 당시 수위는 EL. 130.624 m (수심 10.683 m)이었고 이때 홍수량은 8,461 m3/s 으로 계산되었다.
2) 홍수량을 계산하기 위하여 매닝 공식을 적용하였고 이때 매닝의 조도계수는 검토결과 0.0296을 적용하였다.
3) 조도계수와 유량의 관계는 역비례하는 것으로 나타났다.
4) 본 연구에서 계산된 홍수량은 규모면에서 이상 홍수에 해당되며 이 홍수량은 기존 수위-유량곡선의 연장선상의 점으로 활용할 수 있다.
5) 또한 본 연구 성과는 초강천 인근 도시지역 홍수범람 분석과 지역개발 계획의 기초 자료가 된다.

참 고 문 헌

1) 김상호, 김원(2002). "한강 하류부 흐름해석을 위한 수리학적 모형의 구축." **한국수자원학회논문집**, 제35권, 제5호, pp. 485-500.
2) 김원, 김양수, 우효섭(1995). "부정류 모형을 이용한 한강 하류부 하도의 조도계수 산정." **한국수자원학회논문집**, 제28권, 제6호, pp. 133-146.
3) 유권규, 김형섭, 김활곤, 우효섭(1993). "충적하천의 하상 마찰 변화에 대한 조사 분석." **대한토목학회논문집**, 제13권, 제4호, pp. 111-121.
4) 윤태훈, 이종욱, 제갈선동(2000). "동수역학 모형의 매개변수 산정." **한국수자원학회논문집**, 제33권, 제1호, pp. 39-50.
5) 이상호, 강신욱(2001). "수위관측과 수리학적 하도추적에 의한 하천유량 간접추정." **한국수자원학회논문집**, 제34권, 제5호, pp. 543-549.
6) 한국수자원공사/대청댐관리단(2002). **2002년 대청댐 일원 수문기초조사 보고서.**
7) Chow, V. T.(1959). *Open-channel Hydraulics,* McGraw-Hill.
8) Richard, H. M.(1989). *Hydrologic Analysis and Design,* Prentice Hall.