

하도특성량 조사를 위한 지배유량의 산정

A Dominant Discharge Estimate for Channel Characteristics Quantity Survey

임창수·이준호·김태희·이재철·윤세의

Im, Chang Su-Lee, Joon Ho-Kim, Tae Hee-Kang, Tae Ho-Yoon, Sei Eui

요 지

최근에 하도계획의 주된 과제는 하천환경의 보전과 창조를 위한 비용의 최소화이며, 침식과 세굴에 대한 하천관리 시설의 안정성을 확보하기 위한 질적 안전도의 최대화에 있다. 이를 위해 하도의 변화를 전제로 이동상 현상을 고려하고 저수로의 특성을 파악하여 하도계획에 반영하는 것이 필요하다. 이러한 하도계획과 관리를 위한 주요한 도구로서 하도특성조사가 제시되고 있다. 우리나라에서는 수변 생태환경의 기능회복으로의 하천환경에 관심을 기울이기 시작한 단계에 머물러 있다. 국내에서도 일본 등 선진 외국과 같이 홍수시 재해를 크게 경감하고, 자연환경을 실질적이고 체계적으로 배려하면서 경제적 하도계획 및 관리에 역점을 두어야 할 시점에 이르렀다. 이를 위해서는 우선적으로 하천이 갖고 있는 고유 특성인 하도특성에 대한 조사가 선행되어야 한다.

본 연구에서는 대상하천을 선정하고 측량, 하상재료 채취 및 분석, 유수량 채취 등의 기초조사를 수행하였으며, 이에 따른 하도특성량을 분석하였다. 대상하천은 금강유역의 지천 하류부의 약 2km 구간을 선정하였으며, 2003년~2004년에 3회에 걸쳐 측량을 실시하고, 구간내 구룡수위표에서 유량 및 유수량을 측정하였다. 또한 대상구간내 14개 지점에서 하상토를 채취하여 입도분석을 실시하였으며, 구룡수위표 자료를 이용하여 수문자료를 구축하였다.

수집된 기초자료를 이용하여 대상구간의 강턱유량, 특정재현기간유량, 유효유량을 산정하여 지배유량을 결정하였다. 산정된 지배유량을 이용하여 하상경사, 대표입경, 저수로내 평균수심, 에너지경사, 마찰속도, 무차원소류력, 하폭-수심비, 수심-입경비 등의 하도특성량을 산출하여 하천환경정비를 위한 기초자료로서 활용 될 수 있도록 하였다.

핵심용어 : 하도특성량, 지배유량, 하천환경

1. 서 론

하천은 이수, 치수, 그리고 하천환경의 3대 기능을 가지고 있다. 이수와 치수가 전통적인 하천의 기능이라면, 하천환경은 이에 대한 반성과 보완으로 대두된 기능으로 수변 생태환경이 하천 및 인간에게 주는 기능과 토사이송기능을 주로 의미한다. 1990년대 초까지 국내 하천관리의 방향은

* 정회원·청운대학교 토목환경공학부교수E-mail : csrim@chungwoon.ac.kr
** 정회원·경기대학교 토목환경공학부박사과정
*** 정회원·삼안건설기술공사 수력부차장
**** 정회원·청양대학 토목정보전공조교수
***** 정회원·경기대학교 토목환경공학부교수

이수와 치수 기능에 치중되어, 댐과 보 등 수리시설물을 설치하여 가뭄에 대비하고 제방의 축조, 저수로와 고수부지의 정비를 통해 홍수의 소통을 원활하게 하는데 초점이 맞추어졌다. 1990년대에 들어 하천환경에 대한 사회적 관심이 고조되면서 이수 및 치수 위주의 하천 계획과 관리에 재고가 요청되었다.

선진 외국의 하천관리 및 계획도 이러한 과정을 겪으면서 1970년대 중반에 하천환경에 대한 사회적인 관심에 공학적 기술을 접목하여 하천 이용의 증진, 자연환경의 보전 및 하안의 토지이용상태 등에 대한 배려가 시작되었다. 특히, 유역 및 하천의 특성이 비교적 유사한 일본에서도 변화된 하도계획의 주된 과제는 하천환경의 보전과 창조를 위한 비용의 최소화이며, 침식과 세굴에 대한 하천관리 시설의 안정성을 확보하기 위한 질적 안전도의 최대화에 있다. 이를 위해 하도의 변화를 전제로 이동상 현상을 고려하고 저수로의 특성을 파악하여 하도계획에 반영하는 것을 기본방침으로 두고 있다. 따라서 새로운 하도계획과 관리를 위한 주요한 도구로서 하도특성조사가 제시되었고, 현재 일본 하도계획의 필수적인 조사로 자리 잡고 있다.

한편, 우리나라에서는 수변 생태환경의 기능회복으로 하천환경에만 주로 관심을 기울이기 시작한 단계에 머물러 있다. 국내에서도 일본 등 선진 외국과 같이 홍수시 재해를 크게 경감하고, 자연환경을 실질적이고 체계적으로 배려하면서 경제적 하도계획 및 관리에 역점을 두어야 할 시점에 이르렀다. 이를 위해서는 우선적으로 하천이 갖고 있는 고유 특성, 이른바 하도특성에 대한 조사가 선행되어야 한다.

2. 대상구역

본 연구에서는 금강권역의 지천유역을 대상하천(대표하천)으로 선정하였으며, 대상하천내 조사구간은 구룡수위표 상·하류 2km구간, 조사지점은 조사구간내 100~200m 간격으로 설정하여 총 20개 지점에 대해서 조사를 실시하였다. 하도특성량분석을 위한 대상구역조사의 시간적 범위는 하도단면조사의 경우 하천정비기본계획이 수립된 1987년과 1991년의 자료를 수집하였고, 항공사진은 1970년, 1989년과 2003년 자료, 조사지점에 대한 하천측량은 2003년 11월~2004년 9월까지 홍수 전·후로 3회에 걸쳐 측량하였다.

수리량(유량, 유사량 및 하상재료수집) 측정의 경우 2003년 10월부터 2005년 9월까지 현장에서 직접 조사하였고, 유황분석 및 빈도분석을 위한 과거 수문자료 분석은 과거 19년(1984~2002년)의 일수위자료 및 1995년~2004년의 시수위자료를 활용하였다.

표 1. 시간적 범위

구 분	하도단면조사(종횡·평면)			수리량 측정	수문자료수집 및 분석
	하천정비 기본계획	항공사진	홍수전·후의 하천 측량		
시간적 범위	1987년, 1991년	1970, 1989, 2003년	2003년 11월 ~ 2004년 9월	2003년 10월 ~ 2005년 9월	1973년~2004년(일) 1986년~2003년(시)

3. 지배유량의 산정

자연적인 충적하천은 하천복원의 모델로서 하상이 여러 형태의 재료들로 구성되어 있으며 다양한 범위의 흐름에 의해 그 형태가 변화한다. 하천의 형태와 크기 및 변화과정을 제어하는 유량을 지배유량(dominant discharge) 또는 하도형성유량(channel forming discharge)이라 하며, 이는

자연하천에서 일정한 유량이 지속적으로 흐르는 경우 현재 하도의 형태와 같게 되는 가상적인 유량이다.

지배유량은 인공수로의 안정이론을 자연하천에 응용하려는 시도에서 출발한 것으로 미국과 유럽의 하천복원 실무에서 상당히 보편적으로 이용되고 있는 개념이다. 그러나 국내에서는 이러한 유량에 대한 연구가 미미하며, 하천복원 및 자연형 하천 설계에 도입되지 못하고 있는 실정으로 하도단면 설계가 일정한 원칙 없이 진행되어 하도복원이나 새로운 하도를 조성한 후에도 하도의 유지 및 관리에 어려움이 많은 것으로 사료된다. 자연상태의 충적하천은 넓은 범위의 유량을 경험하고 있으며, 하천 자체의 형태와 크기는 하상이나 제방의 유사를 움직이는 각각의 흐름사상에 맞도록 조절된다. Wolman과 Miller(1960)는 유사 이동이 많은 매우 큰 홍수 사상에 의해 하도의 형태가 결정될 것이라는 이론에 반하여, 장기간에 걸쳐 전체 유사량은 흐름의 운반능력과 발생빈도에 따라 주어진 크기의 유량에 의해 이동되어 진다고 설명하였다. 또한, 그들은 매우 큰 홍수사상은 대규모의 높은 유사를 발생시키지만 드물게 발생하고 잠시동안 지속되므로 장기간의 유사이동에 대한 기여는 상대적으로 작으며, 반대로 작은 흐름사상은 높은 발생빈도를 가지지만 유사운반능력이 매우 낮다고 하였다. 따라서 적당한 크기(magnitude)와 빈도(frequency)를 가진 흐름이 대부분의 유사이동에 기여하게 되며 많은 하천들을 관찰한 결과, 하나의 대표적인 유량이 안정하도 형태를 결정하는데 사용될 수 있다는 결과를 제시하였다. 따라서 하도의 형태(shape)와 규모(dimension)를 결정하는 대표적인 유량이 존재하며 이 유량이 바로 지배유량 또는 하도형성유량이 된다. 지배유량은 여러 연구자들의 접근 방식의 차이에 따라 강턱유량(bankfull discharge), 특정 재현기간유량(specified recurrence interval discharge), 유효유량(effective discharge) 등으로 표시된다.(2005, 하도특성조사실무지침서)

3.1 강턱유량

강턱유량(Bankfull discharge)은 자연하천에서 실제 홍수터(active floodplain)의 표고까지 안정된 충적하도를 채우는 유량으로, 많은 자연하천에 있어 하도의 가장자리에 형성된 자연적 턱인 강턱(bank)을 월류하지 않고 그 횡단면을 채우는 유량이다. 따라서 강턱유량은 하도형성과 홍수터 형성 과정사이에 구분점(breakpoint)을 나타내기 때문에 지형학적인 중요성을 가지고 있다. 일반적으로 안정된 충적하도에서 강턱유량은 지배유량을 나타내기 위해 폭넓게 사용되고 있다.

일반적으로 강턱유량을 산정하는 방법은 우선 강턱수심(bankfull stage)을 구별한 후 그 수심에 대응하는 유량을 계산함으로써 결정되어진다. 강턱수위가 결정된 후 강턱유량을 결정하는 방법은 계측지점의 경우 수위-유량관계 곡선을 이용하여 강턱수위에 해당하는 유량을 산정하며, 미계측지점에서는 배수위계산법이나 등류수심계산법을 이용하여 강턱유량을 산정한다.

본 연구에서는 수위표지점과 100m 간격의 측점에 대하여 위 방법으로 강턱수위를 결정한 후 결정된 강턱수위를 HEC-RAS 모형에 적용하여 구룡수위표 지점의 수위를 산정한 후 동지점의 수위-유량 곡선식을 이용하여 강턱유량을 산정하였다. 그림 1은 구룡수위표지점 부근의 횡단면 및 강턱수위를 나타내고 있으며, 강턱유량을 289.72CMS로 산정되었다.

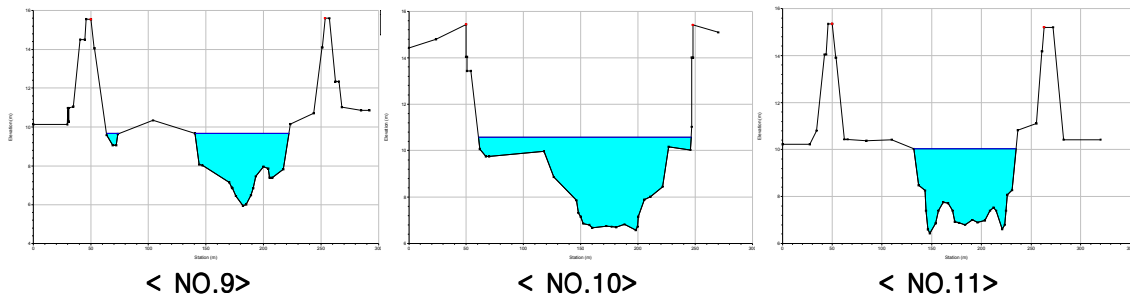


그림1. 구룡수위표 지점의 횡단면 및 강턱수위

3.2 강턱유량의 특정재현기간 산정

지배유량을 나타내기 위해 강턱유량의 특정 재현기간기간을 결정하여 두면 현장에서 강턱수심의 결정이 어려운 경우 손쉽게 강턱유량을 결정할 수 있는 장점이 있다. 외국의 경우 일반적으로 강턱유량의 재현기간을 1.5~2.0년으로 하여 하도복원 계획 수립시 참고자료로 활용하고 있다. 따라서 본 과업에서도 국내 하천의 강턱유량에 대한 재현기간을 추정하고자 하여 대상유역에 대해 계측지점의 자료를 이용하여 그 재현기간을 산정하였다.

본 연구의 대상인 지천유역의 구룡수위관측소에 대하여 일수위자료의 경우 1984~2002년, 시수위자료는 1995~2004년의 자료를 사용하였다. 이를 빈도분석하여 특정재현기간 유량을 산정하였다. 빈도해석에는 홍수빈도해석 프로그램 Fard2002를 이용하였으며, 기존의 하천정비기본계획에서 산정된 빈도별 홍수량값을 같이 비교하였다.

표 2.. 특정재현기간유량

재현기간 (년)	홍수량(m ³ /sec)			비고
	일유출량자료	시유출량자료	기존 하천정비기본계획	
1.1	60.0	282.4	76.0	
1.2	82.3	333.2	118.0	
1.3	100.4	369.7	152.0	
1.5	130.6	424.1	203.0	
2	189.0	514.6	291.0	
3	273.6	624.4	406.0	
5	389.5	751.2	532.0	
10	568.6	915.6	694.0	
구분	2 Parameter Lognormal	2 Parameter Lognormal	강우-유출모형적용 (유역추적법)	

3.3 유효유량 산정

유효유량(effective discharge)은 수년에 걸쳐 연 유사량의 대부분을 이동시키는 유량의 평균값(Andrews, 1980)으로 정의되며, 적어도 일년에 한 번이나 두 번 또는 대부분의 경우 매년 여러 번 발생하는 적당한 빈도(moderate frequency)의 유량규모에 의해 연 유사량의 대부분을 이동시키는 유량이다.

유효유량은 실제 계산에 의해 산정되는 유량으로 이를 결정하기 위해서는 유황곡선(flow duration curve)과 하상토 유사량 곡선(bed-material sediment rating curve)이 필요하다. 하상토

유사는 단면 폭과 형상, 선형 등 하천의 기하특성, 수심, 운변, 유속, 소류력, 난류 등 하천의 흐름 특성은 물론 하천 내 식생, 조도, 유량 분포 등에 관계되는 유사이다. 유효유량을 계산하는 일반적인 방법은 우선 유량범위를 등간격으로 나눈 후 각 유량구간에 대해 하상토 유사량을 계산하여 각 유량구간의 발생빈도에 그 유량구간에 대한 하상토 유사량을 계산하여 각 유량구간의 발생빈도에 그 유량구간에 대한 하상토 유사량을 곱하는 것이다. 유사를 이송시키는데 가장 유효하므로 하도를 형성하는데 있어 가장 많은 일을 했다고 추정되어 유효유량으로 결정된다. 본 연구에서는 구룡수위표의 일자료를 바탕으로 유향곡선을 작성하였으며, 수정아인슈타인 공식을 이용하여 유량-유사량 관계곡선을 작성하여 유효유량을 산정하였다. 두 곡선의 합성결과 유효유량은 310m³/sec 정도로 산정되었다.

3.4 지배유량 산정

지천 구룡관측소에 대한 지배유량을 산정하기 위하여 산출된 강터유량과 특정 재현기간 유량은 다음 표와 같다.

표 3. 수위관측소 지점의 지배유량 비교

하천명	대상지점	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	강터유량 (m ³ /sec)	특정재현기간유량(m ³ /sec)			유효유량 (m ³ /sec)	
					빈도 (년)	유량			
						일자료	시자료		하천정비
지천	구룡수위관측소	206.3	43.4	290	1.1	60.0	282.4	76.0	310
					1.2	82.3	333.2	118.0	
					1.3	100.4	369.7	152.0	
					1.5	130.6	424.1	203.0	
					2	189.0	514.6	291.0	
					3	273.6	624.4	406.0	
					5	389.5	751.2	532.0	

지배유량을 산정하기 위하여 강터유량과 특정재현기간유량을 비교 분석한 결과, 앞 절에서 산정한 구룡수위표지점의 강터유량 289.72m³/sec는 일유출량자료를 이용하여 빈도분석한 경우 3년빈도홍수량보다 조금 큰 값이었고, 시유출량자료를 이용하여 빈도분석한 경우는 거의 1년빈도홍수량에 해당하는 것으로 나타났다. 또한 기존하천정비기본계획 자료를 이용하여 산정한 빈도별홍수량값들과 비교해 보면 2년빈도홍수량과 거의 같은 값을 나타내었다. 따라서 기존 연구자들이 발표한 지배유량의 재현기간과 관계를 고려할 때 지배유량은 289.72m³/sec로 결정하고, 향후 본 관측소 지점의 지배유량 산정 시 그 빈도를 2.0년으로 사용하는 것이 타당하다고 판단된다.

4. 하도특성량

하도특성조사시 현황 하도의 특성량을 파악하는 것은, 앞으로의 하도계획 수립시 조도계수의 설정이나 하도의 안정성을 판단하기 위해 필요한 중요한 조사로서, 이러한 현황 하도의 특성을 파악한 후 하도계획 또는 하천복원계획 수립시 하도의 안정성을 파악해서 유역주민의 요구를 포함한 하천전체의 특징을 배려한 하천계획이 이루어질 수 있는 것이다.

본 연구에서는 전절에서 산정된 지배유량을 이용하여 대상하천의 대한 하도특성량을 다음과 같이 산정하였다.

표 5. 지배유량에 의한 하도특성량

지점	입경 (cm)	최심하 상(m)	수위 (m)	평균수 심(m)	하폭 (m)	에너지경사	하폭-수심비	수심-입경비	마찰속도 (cm/s)	무차원 소류력	유속 계수
4	0.98	5.13	9.372	2.21	107.3	0.000664	49	226	11.99	0.091	10.5
5	1.85	4.93	9.454	2.27	130.3	0.000402	57	123	9.45	0.030	13.1
6	5	4.61	9.473	1.49	147.8	0.0009	99	30	11.46	0.016	9.8
7	3.9	4.97	9.594	1.72	89.9	0.002176	52	44	19.15	0.058	10.0
8	4.6	5.83	9.855	1.81	160.1	0.000564	88	39	10.00	0.013	10.0
9	1	5.94	9.895	1.81	115.8	0.001074	64	181	13.80	0.118	9.9
10	5.5	6.58	9.979	1.61	162.8	0.000798	101	29	11.22	0.014	10.6
11	3	6.44	10.016	2.61	102.6	0.00041	39	87	10.24	0.022	10.6
12	0.72	6.65	10.039	2.64	104.4	0.000379	40	367	9.90	0.084	10.5
13	5.3	6.76	10.053	2.48	82.0	0.000749	33	47	13.50	0.021	10.6
14	5.3	6.74	10.142	2.6	88.9	0.000548	34	49	11.82	0.016	10.3
15	5	6.82	10.227	2.12	145.4	0.000404	69	42	9.17	0.010	9.9
16	5.4	7.09	10.285	1.62	211.6	0.000464	131	30	8.58	0.008	10.2
17	5.5	7.17	10.341	1.93	228.9	0.000222	119	35	6.48	0.005	9.8
18	0.83	7.13	10.369	1.6	196.2	0.000568	123	193	9.44	0.066	9.4
19	5.6	8.4	10.443	1.14	189.2	0.001843	166	20	14.35	0.023	

5. 결 론

본 연구에서는 금강수계에 위치한 지천을 대상하천으로 선정하고, 수집된 기초자료를 이용하여 대상구간의 강터유량, 특정재현기간유량, 유효유량을 산정하여 지배유량을 결정하였다. 산정된 지배유량을 이용하여 하상경사, 대표입경, 저수로내 평균수심, 에너지경사, 마찰속도, 무차원소류력, 하폭-수심비, 수심-입경비 등의 하도특성량을 산출하여 하천환경정비를 위한 기초자료로서 활용될 수 있도록 하였다.

감 사 의 글

본 연구는 건설교통부, 한국수자원공사에서 수행 중인 「전국유역조사」사업의 일환으로 진행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부 (2005). 하도특성조사 실무지침서.
2. 충청남도 (1987). 지천 하천정비기본계획.
3. 한국수자원공사 (1997). 금강수계 유량측정조사보고서.
4. Wolman, M.G. (1955). The natural channel of brandywine Creek, Pennsylvania. U.S. Geological Survey Professional Paper No. 271.