한국습지학회논문집 제8권 제4호 · 2006년 12월 ‖ pp. 59 - 67

갈수기 소하천에서 희석유량법을 이용한 유량측정의 적용성 검토

Investigation for Streamflow Measurement of Small Stream using Dilution Discharge Method during Low Flow Season

김 기 형*+ / 김 정 곤** / 이 상 욱***

Kim, Gee Hyoung*+ / Kim, Jeongkon** / Lee, Sanguk***

:: Abstract ::

In this study, dilution discharge method to measure streamflow using water quality data at small streams during low flow season was applied and compared with the conventional method using flowmeter combined with cross-sectional measurement. Streamflow were measured using both methods in Dal-cheon around Naesok Wastewater Treatment Plant located in Boeun, Chugbuk. This stream is reported to suffer from excessive algal growth in spring. An average flowrate difference of 0.004m^3/sec was obtained between the two methods. Once further tested for various conditions, the simple water quality method suggested in this study can be used effectively to estimate stream flowrates during low flow seasons where no measuring facilities such as weirs and flowmeters are not available or water depths are too small to measure flow velocities and exact cross-sections.

Keywords: low flow season, dilution discharge method, streamflow measurement

:: 요 지 ::

본 연구에서는 갈수기 소하천에서 하천의 수질농도를 이용하여 하천의 유량을 측정할 수 있는 희석법을 적용하고 유속계를 이용한 유량측정법과 비교하였다. 본 연구에서 희석법에 의한 유량산정방법을 충북 보은의 내속하수처리장을 중심으로 갈수기에 조류 발생 하천인 달천에 대해 적용한 결과 유속단면적법에 의해 측정된 유량과 평균 0.004m^3/sec의 차이를 보였다. 본 연구에서 적용된 희석법에 의한 유량측정방법은 향후 다양한 상황에서 검증을 거쳐, 갈수기 소하천에서 조류 발생 등의 원인 규명을 위해 신속하게 유량을 측정할 필요가 있는 경우에 적용될 수 있을 것이다. 특히, 위어 등의 측정설

+ Corresponding author, water0418@paran.com
* 교신저자·수자원연구원 수자원환경연구소 선임연구원
** 수자원연구원 수자원환경연구소 책임연구원
*** 수자원연구원 수자원환경연구소 연구원

비가 없거나 유속계를 사용할 수 없을 정도로 수심이 작은 경우, 그리고 유속계 등의 장비가 없는 경우, 또는 하천의 단면을 확실히 알지 못하는 경우 등 유량측정이 용이하지 않은 경우에 효과적으로 활용될 수 있을 것이다.
핵심용어: 갈수기, 희석유량법, 유량측정

1. 서 론

하수처리장에서 방류되는 방류수에 포함된 유기물은 방류하천에 조류 또는 악취 등을 유발하는데 대부분 하천의 유량이 많지 않은 갈수기에 나타나고 있다. 따라서 하수처리장으로부터 방류되는 처리수가 하천에 미치는 영향을 분석할 필요가 있으며 이를 위해서는 기본적으로 처리수가 방류되는 하천의 유량을 알아야만 한다. 일반적으로 유량을 측정하는 방법은 유속계를 이용하는 방법, 부자를 이용하는 방법, 간접적으로 측정하는 방법, 시설물을 이용하는 방법 등이 있다. 이때 갈수기 소하천의 매우 작은 유량을 측정하기 위해 가장 좋은 방법은 위어를 설치하여 유량을 측정하는 것이 가장 정확한 방법이 될 것이다. 그러나 위어가 없는 경우에는 주로 단면과 유속측정을 통해 유량을 구하는 유속단면적법이나 수위-유량관계곡선(rating curve)으로부터 유량을 계산하는 방법, 경사-면적법(slope-area method)과 수로-기하학(channel-geometry) 방법 등을 이용할 수 있다. 유속단면적법은 가장 많이 사용되고 있는 방법이며 비교적 정확도도 높은 편이지만, 상대적으로 유량을 알고자 하는 지점의 단면형태를 확실히 알고 있어야 하며 일정 이상의 수심이 확보되어야 하는데, 유량이 매우 적은 소하천의 갈수기에는 유속단면법에 의한 유량측정이 불가능한 경우가 많다. 유속단면법 이외에 다른 방법들은 실시간 유량을 정확하게 측정하기 어려우며 간접적인 방법에 의해 추정된 유량은 검증될 수 없으며 유량이 작은 갈수기에는 측정이 용이하지 않다는 단점을 지니고 있다. 따라서 위어 등의 측정설비가 없거나 유속계를 사용할 수 없을 정도로 수심이 작은 경우, 그리고 유속계 등의 장비가 없는 경우, 또는 하천의 단면을 확실히 알지 못하는 경우에도 실시간으로 하천의 유량을 측정할 수 있는 방법이 필요하다. 표 1은 유량측정 방법에 따른 단일 유량측정에 있어서의 불확실도를 보여주고 있는데, 위어를 이용한 방법이 가장 높은 신뢰도를 보이며 부자를 이용한 방법과 수면경사-면적법이 가장 낮은 신뢰도를 보이고 있다. 또한 가장 많이 사용하고 있는 유속계를 이용한 유속단면적법과 본 연구에서 적용성을 검토한 희석법은 동일한 신뢰도를 보이고 있다.

표 1. 유량측정 방법에 따른 불확실성

방법	불확실도(%) (95%신뢰도)	방법	불확실도(%) (95%신뢰도)
Flow Meter	5	Thin Plate Weir	1~4
Dilution Method	5	Flat V Weir	2~5
Moving Boat	5	Rectangle Profile Weir	5
Sounding Flow Meter	5	Round Nose Weir	5
Magnetic Flow Meter	5	Triangle Profile Weir	2~5
Surface Slop-Area Method	10~20	Thin Plate V-notch	1~4
PVC Pipe	10~20	Flume	5

자료) 수문조사 표준 업무 절차서, 한국수자원공사(2004)

지금까지 하천에서의 유량측정과 관련하여 Chiu 등(1998)은 개수로 흐름에서의 신속한 유량추정방법에 대하여 연구 하였으며 Chen 등(2002)은 유량추정의 효율적인 방법을 모색하였고 Wharton 등(1999)은 하천차수로부터 홍수량을 추정하는 방법에 대하여 연구하였다. 김영성 등(2002)은 표면유속을 이용하여 유량을 추정할 수 있는 기법을 제안한 바 있으며, 추태호(2002)는 엔트로피 개념에 의한 유량측정기법을 소개하기도 하였다. 최근에는 오제승 등(2005)이 홍수량 추정을 위한 유량산정에 관한 기법에서 한 측선에서 2점법에 의한 유속 측정 또는 횡단면내의 한 측선에서 부자에 의한 유량추정 기법의 적용 가능성을 연구하였다.

그러나 이러한 기존의 연구들은 대부분이 홍수시의 하천유량을 측정하는 방법에 관심을 두고 있으며 갈수기의 소하천에서 신속하게 유량을 산정할 수 있는 방법에 대한 연구는 그리 많지 않은 상황이다. 따라서 본 연구에서는 충북 보은의 내속하수처리장을 중심으로 소하천인 달천에 대해 갈수기 소하천에서 수질농도를 이용하여 하천의 유량을 산정할 수 있는 간이 유량산정방법을 제안하고 유속단면적법으로 측정된 유량과 비교함으로써 적용 가능성을 확인하였다. 이러한 상황에서 하수처리장의 방류수와 하천의 수질자료를 이용하여 효과적으로 유량을 측정할 수 있는 간이유량측정방법은 갈수기 소하천에서 조류 발생 등의 원인 규명을 위해 신속하게 하천유량을 측정하는데 효과적으로 활용되어질 수 있을 것이다.

2. 이론적 배경 및 실험방법

2.1 이론적 배경

지류 또는 시설물의 방류구에서 본류로 유입된 물질은 유입 직후부터 혼합되기 시작하여 일정한 거리를 지나면 완전히 혼합되는데 완전히 혼합된 이후 임의의 지점에 대하여 유입부 및 유입부 상류의 유량으로부터 물질수지를 통해 유입부 하류의 혼합농도를 구할 수 있다. 이러한 개념은 3가지의 기본 가정을 바탕으로 하고 있는데, 첫째는 하천의 횡단방향과 수심방향으로 농도변화가 균일하다는 것이고 둘째는 본류의 하류방향으로 또 다른 유량의 혼입이 없다는 것이며, 셋째는 자연상태에서 유입부 및 유입부 상류로부터 유입되는 유량은 부정류상태이나 이를 무시하고 정류상태로 가정한다는 것이다(Thomann, R.V. 등, 1987). 이러한 가정을 바탕으로 하는 유입부 하류의 혼합농도 계산 개념을 역으로 적용하면 유입부 농도와 유입 이전 및 이후의 농도를 이용하여 본류의 유량을 계산 할 수 있다.

지류로부터 유입된 물질이 완전히 혼합된 이후의 수질농도를 이용하여 합류부 상류로부터 하천 본류에 유입되는 유량을 계산하기 위한 합류지점에서 혼합되는 물질수지의 개념은 그림 1과 같다. 그림 1에서 상류의 유량 및 수질농도와 유입되는 유량 및 수질농도의 합은 하류의 유량 및 수질농도와 같다는 연속방정식이 정립하며 이는 식(1)과 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

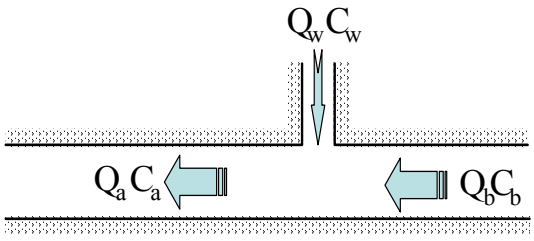


그림 1. 합류부 물질수지를 위한 개략도

$$Q_a = Q_b + Q_w \quad (1)$$

$$C_a = \frac{Q_bC_b + Q_wC_w}{Q_b + Q_w} \quad (2)$$

여기서, Q_b는 유입이전 본류유량(m^3/sec), Q_a는 유입이후 본류유량(m^3/sec), Q_w는 유입유량(m^3/sec), C_b는 유입이전 본류의 농도(mg/L), C_a는 유입이후 본류의 농도(mg/L), C_w는 유입

유량의 농도(mg/L)를 나타내며 각 지점에서의 농도크기는 $C_w > C_a > C_b$이다.

따라서 식 (1)과 식 (2)로부터 상류의 유량을 구하기 위한 식 (3)을 구할 수 있다.

$$Q_b = Q_w \frac{C_w - C_a}{C_a - C_b} \quad (3)$$

이때 유입이후의 농도 측정 지점은 유입된 유량이 본류에서 완전히 혼합된 지점이어야 하는데 이를 위해 유입유량이 합류 이후 본류에서 완전히 혼합되는 지점까지의 혼합거리를 구해야 하며 이는 USGS공식(Yotsukura, 1968, U.S. Geological Survey, 1970)으로 구할 수 있다. 혼합거리 계산을 위한 USGS공식은 식(4)와 같으며 혼합거리 계산을 위한 개략도는 그림 2에서 볼 수 있다. 식 (4) 및 그림 2에서 L_m은 지류로부터 유입된 물질이 완전히 혼합되는 혼합거리(m), U는 본류의 평균유속(m/sec), B는 본류의 평균 하폭(m), H는 본류의 평균수심(m)이다.

$$L_m = 0.79U \frac{B^2}{H} \quad (4)$$

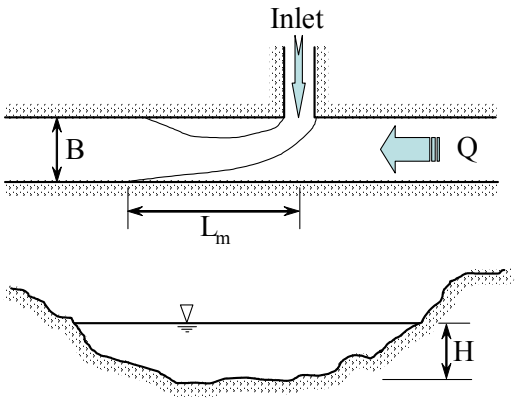


그림 2. 혼합거리 계산을 위한 개략도

2.2 대상지역의 개황

COD농도를 이용한 유량측정 방법을 적용하기 위한 대상 하천은 충청북도에 위치한 달천으로 본 연구의 대상 지역은 내속하수처리장이 위치하고 있으며 속리산 국립공원 입구를 상류지점으로 하여 하류지점은 그림 3과 같이 내속리면 중판리까지 약 1.5km구간에 걸쳐 있다.

대상지역에 위치한 내속하수처리장은 연속회분식 활성슬러지법(KIDEA)으로 하수를 처리하여 불완전분류식으로 달천으로 방류하고 있으며 방류유량은 평균 1,400톤/일이나, 실제 방류유량은 일정하지 않고 시간에 따라 비연속적으로 방류하고 있다.

내속하수처리장이 위치한 대상구간에서는 계절에 따라 주기적으로 조류가 발생하고 있는데 주로 유량이 많지 않은 갈수기를 중심으로 조류가 발생되고 있으며 그림 4는 2006년 2~3월 사이에 발생된 조류의 발생 모습을 보여주고 있다. 발생되는 조류는 전 구간에 걸쳐 균일하게 발생되지 않고 대상구간에서 비연속적으로 발생하고 있는데 내속하수처리장에서 방류되는 방류수가 하천의 조류 발생에 영향을 미치고 있는지의 여부를 조사하기 위한 기초 작업으로 하수처리장 방류하천인 달천천의 유량을 측정 할 필요가 있었다.

그러나 대상지점의 하도는 그림 5에서 알 수 있듯이 전형적인 산지하천의 특성을 보이고 있는데 전반적으로 하도의 수심은 30cm 내외로 매우 작아 부분적으로 하상이 드러나 있어 유속계를 이용한 유량측정이 매우 곤란한 지역이며 유속은 대체로 느린 편이고 하폭은 5~10m, 하상재료는 암석 및 호박돌과 굵은 강자갈로 구성되어 있다. 특히 조류가 발생되는 갈수기에는 유량과 수심이 매우 작아 표면유속이나 봉부자를 이용한 유량측정은 더욱 불가능한 지역이다.

2.3 유량 측정

희석법을 이용하여 계산된 유량을 검증하기 위하여 유속계를 이용하여 유량을 측정하였으며 이때, 유량측정은 3차에 걸쳐 실시하였다. 유량측정에 사용된 유속계는 전자식 프로펠러 유속계인 BMF007과 전자식 마그네틱 유속계인

그림 3. 대상하천 및 샘플링 지점

(a) 하류 (b) 상류

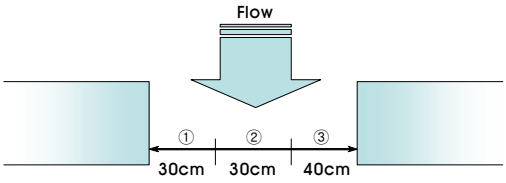
그림 4. 대상 하천인 달천의 조류 번식(2006. 3.)

(a) 상류 (b) 하수처리장 주변 (c) 하류

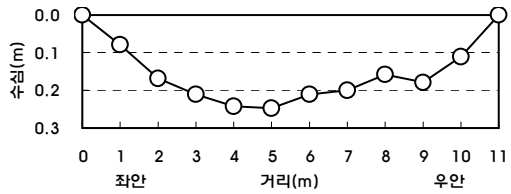
그림 5. 갈수기 달천의 하도 및 하상재료

Flow mate MODEL-2000 유속계이며 유속측정은 하수처리장 앞에 설치된 보 지점과 하수처리장 방류구의 상·하류 단면에서 각각 측정하였다(그림 6).

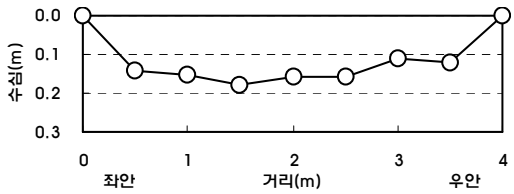
그림 6. 유속계를 이용한 유속 측정



(a) 보 지점의 단면



(b) 상류의 단면



(c) 하류의 단면

그림 7. 유속측정 지점의 단면 형태

유속은 2가지 단면에서 측정하였는데, 1차 측정에서는 하수처리장 앞에 설치된 보에 있는 좌안과 우안의 개구부에서 실시하였고, 2차와 3차 측정은 보가 설치되지 않은 하천단면에서 실시하였다. 그림 7은 유속을 측정한 하수처리장 앞 보, 방류구 상류 및 하류 단면을 보여주고 있다.

3. 결과 및 토의

3.1 유속단면적에 의한 유량측정 결과

유속단면적법에 의해 측정된 유량결과는 표 2와 표 3에 나타내었다. 유속단면법을 이용하여 측정된 유량결과는 1차 측정에서 0.32m^3/sec, 2차 측정에서 0.019m^3/sec, 3차 측정에서 0.038m^3/sec로 측정되었다.

3.2 희석법을 이용한 하천유량 계산

하수처리장에서 처리수가 방류된 이후 방류수는 하천내에서 혼합과 분해기작을 통해 수질농도가 변화하기 때문에 방류수가 하천내에 완전히 혼합된 상태를 고려하기 위해서는 수질측정지점이 방류구에서 너무 가까이 위치해서는 안되며 동시에 혼합된 이후 분해에 의한 손실을 고려하기 위해서는 방류구에서 너무 멀리 위치해서도 안된다. 따라서 유속단면법에 의한 유량과 수질농도에 의한 유량을 비교하기 위해 유속 측정의 용이성과 방류구로부터의 거리에 따른 혼합 및 분해에 의한 영향을 동시에 고려하기 위하여 방

표 2. 유속계를 이용한 1차 유량 측정 결과(2006. 4. 18)

구분	수심(m)			유속(m/sec)			유량(m^3/sec)			
	d1	d2	d3	v1	v2	v3	q1	q2	q3	Q
우안	0.1	0.1	0.2	0.43	0.47	0.72	0.01	0.01	0.06	0.08
좌안	0.2	0.3	0.2	0.74	1.25	0.82	0.04	0.15	0.05	0.24
소계	-	-	-	-	-	-	0.05	0.16	0.11	0.32

표 3. 유속계를 이용한 2차 및 3차 유량 측정 결과

구분	거리 (m)	수심 (m)	유속 (m/sec)	면적 (m^2)	유량 (m^3/sec)
2차 (2006. 5. 16)	0	0	0	0	0
	1	0.08	0.002	0.1025	0.000205
	2	0.17	0.066	0.1575	0.010395
	3	0.21	0	0.2075	0
	4	0.24	0.012	0.235	0.00282
	5	0.25	0.014	0.2375	0.003325
	6	0.21	0	0.2175	0
	7	0.2	0	0.1925	0
	8	0.16	0.007	0.175	0.001225
	9	0.18	0.008	0.1575	0.00126
	10	0.11	0	0.1275	0
	11	0	0	0	0
	계				0.019
3차 (2006. 6. 29)	0	0.00	0.00	0.00	0.000
	0.5	0.12	0.22	0.03	0.007
	1	0.12	0.33	0.03	0.010
	1.5	0.14	0.25	0.04	0.009
	2	0.17	0.22	0.04	0.009
	2.5	0.18	0.05	0.05	0.002
	3	0.15	0.04	0.04	0.002
	3.5	0.00	0.00	0.00	0.000
	4	0.00	0.00	0.00	0.000
	계				0.038

류구로부터 약 100m 하류에 위치한 지점에서 COD를 측정하고 동일한 지점에서 유속계를 이용하여 유량측정을 병행하였다.

1차 측정에서 수질항목은 방류구(C_w), 방류이전(C_b), 방류이후(C_a)에서 BOD, SS, COD, TN, TP 등 5개 항목에 대해 측정하고 측정된 수질농도를 이용하여 유량을 계산하였다. 예비측정에서 수질농도를 이용한 유량 계산결과는 표 4에 나타내었는데 측정된 5개의 항목에 따라 유량계산 결과는 매우 큰 차이를 보이고 있다. 이는 각 수질항목이 갖는 특성과 채수 및 실험의 오차 등에 기인한 것으로 판단되는데 수중에서 분해에 의한 유기물 손실이 적고 안정적인 COD를 이용한 유량계산 결과가 0.31m^3/sec으로 계산되어 유속계를 이용하여 측정된 유량과 0.01m^3/sec (−3.1%)의 차이를 보여 유속계에 의한 유량측정 값과 가장 근접하게 나타나 2차 및 3차 측정에서는 COD 항목만을 측정하였다. COD 항목을 이용한 유량계산은 다른 수질항목에 비해서 측정이 용이하고 신속하며 정확도가 높다는 장점이 있다. 희석법에 의한 COD농도를 이용한 2차 및 3차 유량계산 결과는 표 5에 나타내었다.

표 4. 수질농도를 이용한 1차 유량 계산 결과

항목	농도(mg/L)			계산유량 (m^3/sec)
	C_w	C_b	C_a	
BOD	1.70	1.00	1.20	0.13
SS	1.60	1.20	2.00	-0.03
COD	6.60	1.20	2.00	0.31
TN	10.35	5.04	5.71	0.37
TP	1.28	0.01	0.02	4.45

표 5. 수질농도를 이용한 2차 및 3차 유량계산 결과

구분	COD 농도(mg/L)			계산 유량 (m^3/sec)
	C_w	C_b	C_a	
2차 (2006. 5. 16)	28.1	3.1	5.3	0.019
3차 (2006. 6. 29)	14.3	1.7	2.1	0.039

3.3 결과의 비교

갈수기 소하천에서의 유량계산을 위해 유속단면법을 이용하여 측정한 하천유량과 희석법을 적용함에 있어 COD항목을 이용하여 계산한 하천유량을 비교하였다. 총 3차에 걸쳐 측정된 하천의 유량범위는 0.01~0.3m^3/sec로 측정된 유량의 최소와 최대값은 약 30배의 차이를 보이고 있어 측정유량과 계산유량을 비교하기 위한 유량범위는 큰 무리가 없는 것으로 판단된다. 유속단면적법을 이용하여 측정된 하천의 유량은 0.019~0.32m^3/sec이고 희석법의 COD농도를 이용하여 계산된 하천의 유량은 0.019~0.31m^3/sec으로 측정유량과 계산유량의 차이는 평균 0.004m^3/sec를 보이고 있다. 또한 희석법의 COD농도를 이용하여 계산된 유량은 유속계를 이용하여 측정된 유량보다 약 3.3%작게 계산되는 것으로 나타났다. 그러나 유속계를 이용한 유량결과와 희석법을 이용한 계산유량과의 차이인 약 2%의 오차는 유량측정과 수질분석 시 발생되는 오차를 고려하면 무시할 정도인 것으로 판단되며 유속계를 이용한 유량측정결과와 희석법을 이용한 유량측정결과가 동일한 신뢰도를 갖고 있는 것을 확인하였다(표 1, 그림 8).

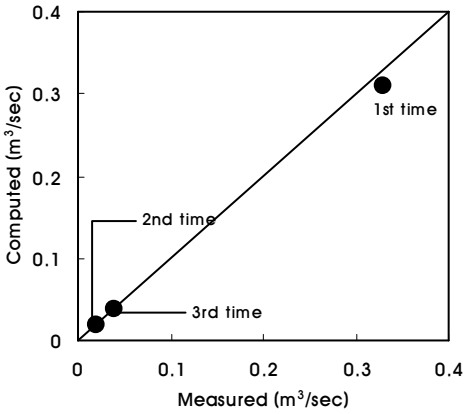


그림 8. 계산유량과 측정유량의 비교

4. 결 론

본 연구에서는 유량을 측정하기 위하여 기존에 많이 이용되고 있는 유속단면적법, 수위-유량곡선식을 이용한 방법, 경사-면적법 또는 수로-기하학적 방법 등의 이용이 어려운 갈수기 소하천의 유량을 측정하기 위하여 수질자료를 이용한 간이유량산정방법을 제안하고 그 적용 성을 검토하였다. 본 연구에서 제안된 수질농도를 이용한 간이유량산정방법은 하천에서 평시유량측정에 가장 많이 이용되고 있는 유속단면적법을 이용하여

측정된 유량과 약 5%의 차이를 보이고 있으며 유량산정에 소요되는 인력과 시간이 유속단면적법에 비해 상대적으로 작아 특정 장비가 없는 경우에도 신속하게 유량을 산정할 수 있었다.

특히, 소하천에서 갈수기에 유량이 매우 작아 유속의 흐름이 거의 없는 경우나, 하상이 드러나 유속계의 사용이 불가능한 경우에도 하천수의 수질농도만 구하면 하천유량을 산정할 수 있어 특별한 현장 측정 장비가 없어도 유량 산정이 가능하였다. 향후, 좀 더 많은 유량범위에 대해 측정유량과 계산유량의 비교검증이 이루어지면 더욱 신뢰성 있는 유량산정방법이 될 것으로 판단된다.

참고문헌

김영성, 양재린, 추태호, 고익환(2003) 표면유속을 이용한 하천유량 측정기법 개선. 2002년, 한국수자원학회 학술발표회 논문집(II), pp. 940-945.

오제승, 김병식, 김형수, 서병하(2005) 홍수량 추정을 위한 유량 산정 기법에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 제25권, 제3B호, pp. 207~213.

추태호(2002) 엔트로피 개념에 의한 유량측정기법(Ⅰ), 대한토목학회 논문집, 제22권, 제4B호, pp. 495~505.

추태호(2002) 엔트로피 개념에 의한 유량측정기법(Ⅱ), 대한토목학회 논문집, 제22권, 제4B호, pp. 507~515.

한국수자원공사(2004) 수문조사 표준 업무 절차서, 유량편, pp.148

Chen, Y.C. and Chiu, C.L. (2002) An efficient method of discharge measurement in tidal streams. Journal of Hydrology Vol. 265(1-4) pp. 212-224.

Chiu, C.L and Chen, Y.C. (1998) A fast method of discharge measurement in open channel flow Water Resource Engineering' 98 ASCE, Reston, VA, pp. 1721-1726.

Sulzer S, Rutschmann, R. and Kinzelbach, W. (2002) Flood discharge prediction using two-dimensional inverse modeling, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 128(1) pp. 46-54.

Thomann, R.V, Mueller, J.A. (1987) Principles of Surface Water Quality Modeling and Control, Chapter 2, Harper Collins.

U.S. Geological Survey. (1970) Measurement of Time of Travel and Dispersion by Dye Tracing, Book 3, Chapter A9 in: *Techniques of Water Resources Investigations*, by F.A. Kilpatrik, L.A. Martens, and J.F. Wilson.

Wharton G, Tomlinson JJ. (1999) Flood discharge estimation from river channel dimensions: results of applications in Java, Burundi, Ghana and Tanzania. Hydrological Sciences Journal Vol. 44(1) pp. 97-111.

Yotsukura. (1968) As Referenced in Preliminary report *Techniques of Water Resources Investigations of the U.S. Geological Survey*, Measurement of Time of Travel and Dispersion by Dye Tracing, Book 3, Chapter A9, by F.A. Kilpatrik, L.A. Martens, and J.F. Wilson, 1970.