

낙동강수계 수질오염총량관리를 위한 유량조사 평가

김경훈* · 김용석 · 박배경 · 윤종수 · 신찬기

국립환경과학원 낙동강물환경연구소

Evaluation on Actual Discharge Data for TMDL in Nakdong River Basin

Gyeong-hoon Kim · Yong-seok Kim · Bae-kyung Park · Jong-su Yoon · Chan-ki Shin

Nakdong River Environment Research Center

National Institute of Environmental Research

Pyeong-ri, Dasan-myeon, Goryeong-gun, Gyeongsangbuk-do, 717-873, Korea

Abstract

To drive efficiently total water pollution load management, needs to calculate the exact load emissions, pollution load allocation and implementation evaluation in each unit area of watershed and accurate and regular flow of data. For these reasons, the Nakdong River TMDL Research Center has produced directly or indirectly in the average interval of eight days (30 times or more / year) 41 points for unit area of the total water pollution load management and 8-point of municipal requirement for a total of 49 branches as a flow data in 2004 from August. This acquired the survey flow is evidence of trends and changes each point in the Nakdong River based on time, such as 10 years based on average design flow available to the foundation of the summit as the major water policy is to be utilized. This study was performed on actual discharge measuring data and introduced performance results each drainage basin of Nakdong River from 2004 to 2008 over the total of past five years.

Key words : TMDLs, Standard flow, Velocity measuring line, Maximum section discharge rate, Total uncertainty.

* Corresponding author · E-mail : dahong@me.go.kr

I. 서론

낙동강수계의 목표수질을 설정하고 배수구역의 오염부하량이 환경용량 이하로 배출되도록 관리하기 위한 수질오염총량관리제가 2004년부터 도입되었다.

이와 함께 그 동안 수행해 온 유량조사의 목적이 홍수관리에서 수질관리로 전환되었으며, 2004년 8월부터 국립환경과학원 낙동강물환경연구소에서 낙동강수계에 목표수질을 설정한 41개 단위유역에 광역시·도에서 요청한 8개 지점 등 총 49개 조사지

점에서 유량을 실측하고 있다.

수집된 유량 자료는 낙동강유역의 조사지점별 유량 변동추이를 파악하고, 수질에 측모형의 감·보정자료로 활용되고 있다.^{1,2)}

본 연구에서는 낙동강수계에서 2004년부터 5년 동안 실측한 유량자료의 불확실도를 평가하여 유량자료의 품질을 검증하고자 한다. 이를 위하여 낙동강 본류 10개 지점과 지류 34개 지점에서 측정된 유량자료를 연도별, 지점별로 수면폭 대비 유속 측선수, 측선배치, 측정시간 등을 비교하였다.^{1,2,3)}



NO.	하천	지점명	측정위치	비고	연결수계지점명
1	낙본A	도화동산 경계지점 (대면교)			
2	낙본B	경북 봉화군 명호면 관창2리 양삼교			
3	낙본C	경북 안동시 종천면 기산리 구암교	간접법		
4	낙본D	경북 상주시 낙동면 낙동리 낙단교	간접법		
5	낙본E	경북 구미시 임은동 구미대교	간접법		
6	낙본F	경북 성주군 용암면 동막리 성주대교	간접법		
7	낙본G	경북 고령군 우곡면 객거리 읍지교	간접법		
8	낙본H	경남 의령군 지점면 경산리 박진교			
9	낙본I	창원시 북면 월계리 본포교			
10	낙본J	경남 밀양시 삼학진읍 삼학진교	간접법		
11	낙본K	경남 김해시 대동면 월촌 월촌양수장	물수지		
12	낙본L	부산시 북구 금곡동	물수지		
13	낙본M	부산시 강서구 명지동 명지도선장	방류량		
14	낙본N	부산시 강서구 성신동 녹산수문	방류량		
15	활지천	*활지A 강원도 태백시 동점동 자계문교			낙본A
16	반변천	반변A 경북 영양군 입원면 중구리 중구교, 방면교			
17	반변천	반변B 경북 청송군 파천면 중평리 중평교			반변B
18	반변천	반변C 경북 청송군 안덕면 대사리 대사2교			반변B
19	반변천	반변D 경북 안동시 용상동 용정교	간접법		낙본C
20	미천	미천A 경북 안동시 남후면 검암리 검암교			낙본C
21	내성천	내성A 경북 예천군 모문면 우래리 우래교			
22	내성천	내성B 경북 예천군 용곡면 무이리 금천교			내성B
23	내성천	내성C 경북 예천군 용곡면 황석리 성저교	간접법		낙본D
24	영강	영강A 경북 상주시 함창읍 금곡리 금곡교			영강A
25	영강	영강B 경북 문경시 영순면 팔음리 경계호안			낙본D
26	병성천	병성A 경북 상주시 병성동 병성교			워천B
27	워천	워천A 경북 군위군 소보면 사리리 사리교			
28	워천	워천B 경북 상주시 중동면 우물리 우물교			낙본D
29	감천	감천A 경북 김천시 감천면 태촌리 감천교			낙본E
30	백천	*백천A 경북 성주군 용암면 문암리 선원교			낙본F
31	금호천	금호A 경북 영천시 금호읍 덕상리 금창교			
32	금호천	금호B 경북 경산시 대정동 안삼교			
33	금호천	*금호Cb 대구광역시 수성구 시지동 매호저하차도			
34	금호천	*금호Cc 대구광역시 수성구 성동 성동교			
35	금호천	*이연A 경북 칠곡군 지천면 용산리 용산교			금호C
36	금호천	금호C 대구광역시 달성구 파호동 강창교			낙본G
37	가야천	*가야A 경남 함안군 아로면 덕암리 석사교			회천A
38	회천	*묘산A 경남 함안군 아로면 신촌리 신촌교			회천A
39	회천	회천A 경북 고령군 우곡면 객거리 객기양수			낙본H
40	활강	활강A 경남 거창군 남하면 무룡리 남하교			
41	활강	활강B 경남 함안군 청덕면 척호리 척덕교			낙본H
42	임천	*임천A 경남 함양군 마천면 가흥리 가흥교			남강A
43	남강	남강A 경남 산청군 생초면 어서리 고읍교			
44	남강	남강B 경남 산청군 단성면 목곡리 목곡교			
45	남강	남강C 경남 진주시 내동면 오목교(남강댐)			방류량
46	남강	남강D 경남 진주시 지수면 청암리 청암교			
47	밀양강	밀양A 경남 의령군 지점면 마산리 송도교			낙본I
48	밀양강	밀양B 경남 밀양시 삼동면 옥산리 상동교			
49	밀양강	밀양C 경남 밀양시 삼동면 평촌리 삼상교(학림교)			낙본K

비고 : *지점명은 시도요구지점

Fig. 1. Investigation point map and present actual survey stations.

II. 유량조사

1. 조사지점

낙동강수계 유량 조사지점은 오염총량관리 단위유역 41개 지점과 광역시·도 요구 8개 지점 등 총 49개의 지점이다. 유량실측은 본류 10개 지점과 지류 34개 지점 등 총 44개 지점에서 실시하고, 나머지 5개 지점의 유량은 댐이나 하구둑의 방류량 또는 물수지법(상류의 유량과 단위유역 구간에 유입하는 지천의 유량을 합산하여 목표수질 설정지점의 유량을 산정하는 방법)을 이용하여 산정하였다.

Table 1. Basin boundary and flow measuring point.

계	광역시·도 경계	일반 사군 경계	시·도요구 경계
49(57)	8(9)	33(40)	8(8)

주) ()안은 유량실측 개소 수

2. 수위조사

유량측정지점에 설치된 보통수위표의 수위와 유량 측정지점 상·하류 인근 국토해양부 T/M 수위국의 보통수위표 수위와 웹자료를 동시에 조사하여 관측지점의 수위를 보정하였다.

한편 관측기간의 수위와 유량을 산정하여 수위-유량관계 곡선식을 개발하고 목표수질 설정지점의 기준유량인 10년 평균 저

수량 산정에 활용하였다.

Table 2. Water level observation point (reference/alternate water level).

계	타부처	환경부	기타
49(77)	16(22)	29(55)	4(0)

주1) ()안은 하도통제, 하로통제, 배수영향 등 하천 구간의 지형적, 수리학적 특성이 유량에 미치는 영향을 파악하기 위해 지점 상·하류의 대응수위 관측지점을 포함한 총 수위 관측지점 수

Table 3. Status of reference water level observation.

구분	수위관측	단위유역	개소	비고
타부처	방류량	남강C, 낙본M, 낙본N(실측보완)	3	수공, 자재제
	재동수위국(T/M)	낙본C, 병성A, 낙본D, 낙본E, 낙본F, 금호A, 금호C, 회천A, 낙본G, 남강E, 낙본I, 낙본J, 밀양B, 낙본K, 낙본L, 임천A, 금호Cc	17	국토부, 수공
환경부	보통수위국(목자관)	낙본A, 낙본B, 반변A, 용전A, 길안A, 반변B, 미천A, 내성A, 내성B, 금천A, 영강A, 이안A, 위천A, 위천B, 감천A, 금호B, 황강A, 황강B, 낙본H, 남강A, 남강B, 남강D, 밀양A, 황지A, 가야A, 묘산A, 이안A, 백천A, 금호Cb	29	낙동강수계 관리위원회
계			49	

3. 하천측량 및 수준거표 매설

하천측량은 수준측량과 하천횡단측량으로 구분한다. 수준측량은 단위유역별로 수위를 관측하기 위하여 설치한 보통수위표의 영점표고를 획득하고 보통수위표 유실에 따른 재가설시 기준표고로 이용하기 위한 수준거표(영구표석)를 설치하기 위하여 실시하였다.

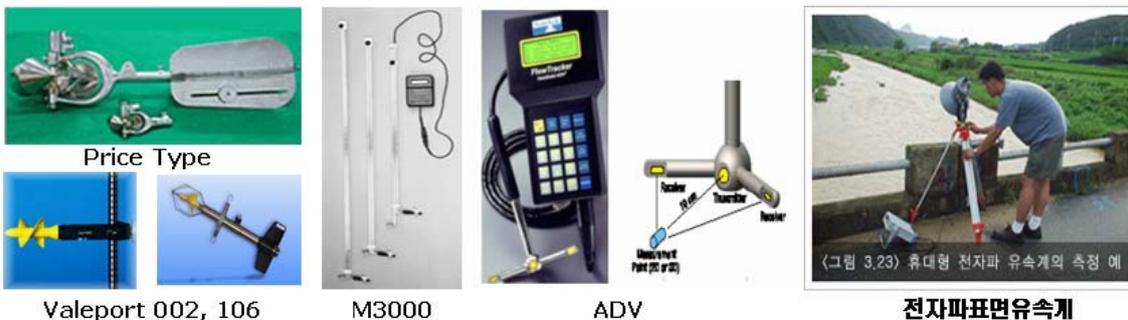


Fig. 2. List of flow survey equipment in Nakdong river basin(velocity meter).

하천횡단측량은 수위-유량관계식을 산출하기 위한 기초자료 획득, 홍수기 봉부자법 또한 표면유속측정법 등 유속계(추내립)로 인한 측정이 불가능할 경우에 대비하여 유량을 측정하기 위한 횡단면 자료 획득을 위하여 실시하였다.

2008년 하천측량에서는 기존에 설치된 수준거표 39개와 보통수위표에 대한 영점표고를 재측량하고, 국토해양부 유량조사지점과 중복지점을 제외한 44개소에 대한 하천횡단측량을 실시하였다.

4. 유량측정방법

조사회수 및 측정주기는 오염총량관리단위유역 전 지점에 대해서 8일 간격으로 1년간 총 30회 이상 유량을 실측하였다. 유량측정은 수질오염공정시험법의 하천유량측정법과 건설교통부 수문관측매뉴얼 등에 있는 일반적인 유량측정방법을 준용하였다.

구체적인 유량측정기준은 국제표준기구(ISO), 국제기상기구(WMO), 미국지질조사국(USGS), 일본수문관측 등의 유량측정 자료와 수자원공사의 지속적 확보 기술개발사업단에서 발간한 하천유량측정지침(2004)과 국토해양부 유량측정과업지시서 등에 의거하였다.

또 국내자료에서 제시하는 등유량 5%내의 측선배분, 최소 측정시간 40초 이상(0.2 m/s미만 저유속일 경우 2분(120초)이상) 등의 지침을 최대한 준수하여 낙동강수계 유역구간별 측정지점의 하상 및 하천지형학적 특성에 적합하도록 일정구간을 구획하여 대상 지점에서의 수심과 하폭을 측정하였다.^{3~5,7~10)}

또한 유속측정도 상기의 자료에 준하여 측선구간을 배분하여 회전식유속계(Price USGS Type AA, LV,와 Pygmy 및 Propeller Type Valeport 002, 106)를 이

용하여 도섭법과 추내립을 이용한 교량법으로 측정하여 실측 유속과 단면적으로 유량을 산정함으로서 신뢰수준 95%에서 평균 5%내외의 불확실도를 가진 신뢰도 높은 유량측정성과를 확보하였다.

단, 조사지점의 수리적, 지형적 특성(접근성) 등으로 실측하기 곤란한 지점은 댐방류량 활용, 물수지분석 등 간접유량법을 적용하여 산정하였다. 즉 배수영향이 심한 낙본M, 낙본N지점과 댐 직하류인 남강C지점은 낙동강하구언, 녹산수문 및 남강댐 방류량을, 낙본E지점은 실측유량자료를 기반으로 단위유역면적을 고려한 비유량법, 낙본F, 낙본G, 낙본J 및 낙본L지점은 본류 유입지천 유량을 고려한 물수지법, 낙본K지점은 본류 유입 지천 유량 및 취수장의 취수량을 고려한 물수지를 이용하여 유량을 산정하였다.

5. 유량측정 불확실도 추정

정확한 유량을 결정하기 위해서는 참값에 대하여 측정자료들 중 오차를 발생시키는 요인을 알아야 한다. 전체오차는 개개의 측정요소에 존재하는 불확실도로 구성된다.

본 연구에서는 최소자승법을 이용하여 유속면적법의 불확실도를 추정하였다. 모든 무작위 불확실도와 계통 불확실도를 최소자승법으로 조합하면, 결정된 유량에 대한 전체 불확실도를 결정할 수 있는데, 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.^{6,11,12)}

$$X_Q = \pm \sqrt{X'_Q{}^2 + X''_Q{}^2} \quad (1)$$

여기서, X_Q = 전체 불확실도,

X'_Q = 무작위 불확실도,

X''_Q = 계통불확실도

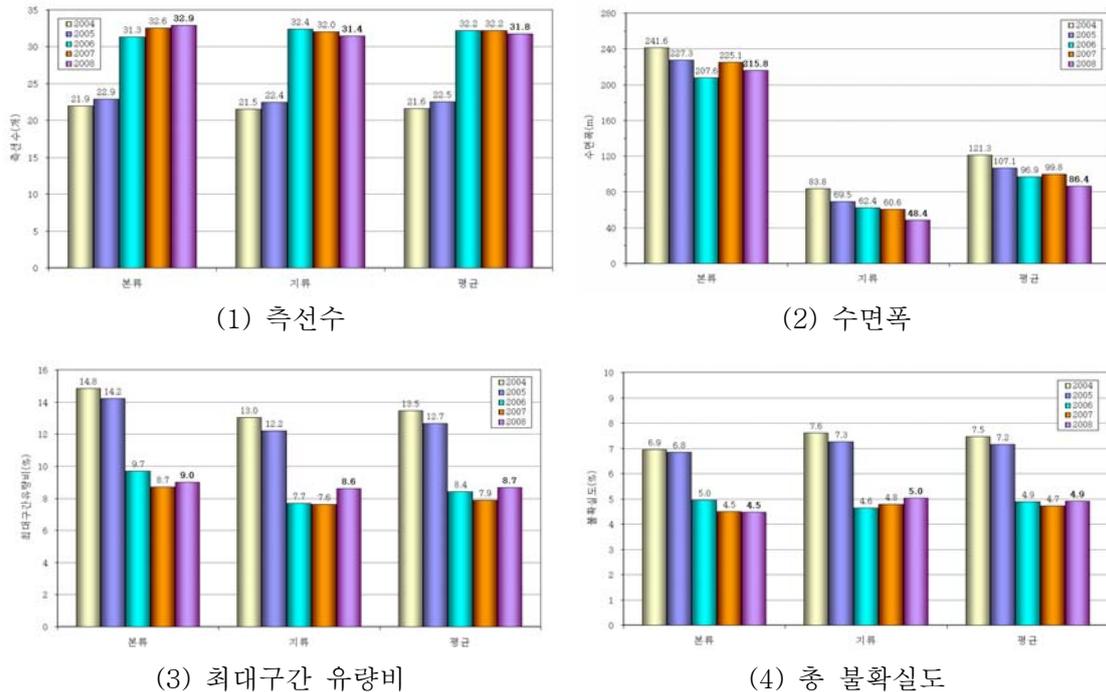


Fig. 3. Analysis results of annual flow measuring data.

III. 유량조사 총괄

유량측정 성과의 정량적이고 평균적인 정확도를 비교·평가하기 위하여 2004년 8월부터 5년 동안 수집한 유량측정 자료에 대한 측선수, 수면폭, 최대구간유량비, 불확실도를 비교하였다.

환경부 유량측정지점은 건교부와 같이 모든 측정지점들에 자동수위국이 설치되어 있지 않은 관계로 유출률은 검토하지 않았다. 추후 환경부 유량측정에 대한 국토해양부 유량조사사업단 품질관리팀에서 품질관리에 대한 표준화 작업을 수행한 이후에는 유출률을 검토할 수 있을 것으로 판단된다.

환경부 유량측정은 대부분 유속계에 의한 측정치이며, 수면폭 대비 측선수 배치는 평균 하폭 50 ~ 250 m 사이에 2004년과 2005년에는 약 20개 정도의 측선수를 배치하였으나, 2006년부터 2008년에는 평균 30개 이상 배치하였다.

이는 산술적 비교로도 측정의 정도가 향상되었음을 확인시켜주는 결과라고 하겠다. 측선수의 증가원인은 총유량에 대한 구간유량비의 상대적인 비율을 적게 하여 결과적으로 유량측정의 정도향상에 도움을 주는 것이라 하겠다.

수면폭 분석결과는 낙동강수계 유량측정시 최소 유속측선수 기준을 가늠할 수 있는 자료로서 2004년부터 2008년까지 본류의 평균 수면폭은 200 ~ 250 m 정도이고, 지류의 경우는 50 ~ 90m 정도로 할 경우 ISO 748의 유속 측선수 기준은 하폭이 10 m 이상인 경우 20개 이상의 측선수를 확보할 것을 권장하고 있으며, 하폭이 10m 이하인 경우는 20개미만으로 하폭에 따라 측선수를 줄이도록 하고 있다.

측선의 간격 또한 ISO는 각 측선의 구간유량이 전체유량의 5 %미만이 되도록 하며, 가능한 10 %를 초과하지 않도록 할 것을 제안하고 있는데, 본 기준에서는 위 수면폭 기준을 상회하는 측선수로 측정된 것

을 알 수 있다.

최대구간 유량비 검토는 유량이 집중되는 부분에 측선을 조밀하게 배치하였는가를 평가하는 방법으로 일반적으로 구간유량비가 작을수록 유량측정의 정도는 높아진다고 볼 수 있다. 연도별로 살펴보면 2004년과 2005년에는 각각 13.5 %와 12.7 %로서 10 %를 상회하였으나, 2006년에는 8.4 %, 2007년에는 7.9 %, 2008년에는 8.7 %로서 점차 10 %이내로 안정되었다.

이와 같은 결과는 기존의 등간격 측선배치에서 등유량 측선배치로 국토부 유량측정기준이 강화된 데 따른 것이며, 측선수 증가하여 구간유량비율이 작아진 것이다. 또한 지속적인 정도관리 및 업무 일원화와 5년 이상 숙련된 유량측정 요원의 현장측정 정도관리에 대한 노력의 결과라고 볼 수 있다.

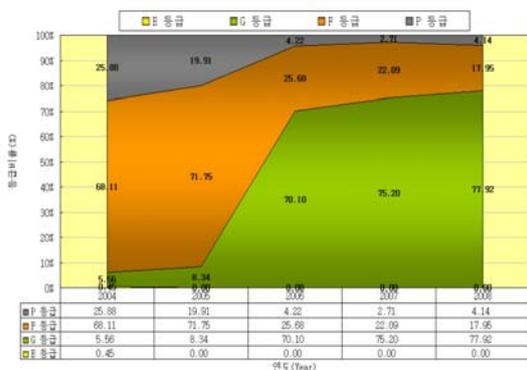


Fig. 4. Annual flow measuring data grade(%).

총 불확실도는 사업초기인 2004년에 7.5 %이었으나, 2006년에 4.9 %, 2007년에 4.7 %, 2008년에 4.9%로 향상되어 총 불확실도가 5%미만으로 안정되고 있음을 알 수 있다. 이는 전체적으로 유량측정 정도관리를 위한 노력의 결과이며, 가장 주요한 요인은 측선수 증가(또한 측정유속의 정확도를 향상시키기 위해 0.2m/s 이하의 저유속에서는 120초 이상 최소 80초 이상의 평균유속 사용)라고 판단된다.

앞에서 산정한 유량측정 성과의 불확실도를 미국 지질조사국 유량측정성과 등급평가기준에 따라 연도별 등급평가를 실시하였다. 유량측정성과의 품질등급은 미국 지질조사국 기준을 이용하여 4가지 등급으로 분류하였다.

유속계로 측정된 유량측정성과의 등급평가 결과를 사업시행 초기인 2004년도와 비교하면 2등급(GOOD) 등의 분포가 월등히 증가하고, 3등급(Fair)과 4등급(Poor)의 비율이 점차 감소하는 추세를 보이고 있음을 알 수 있다.

이와 같은 결과는 국토부 유량측정지침과 과업지시서 등 국내외 유량측정지침에서 제공하는 측정기준에 대한 준수 및 일원화된 연구기관에서 일상적인 유량측정성과에 대한 검증 및 확인 단계 등을 거친 결과로 과거에 비해 상당히 향상되었음을 알 수 있다.

IV. 결 론

유역을 효율적으로 관리하기 위해서는 과학적이고 체계적인 방법으로 유역의 오염물질 거동과 오염부하량을 파악하여야 하며, 이를 위해서는 조사지점별로 수질과 유량을 연 중 자동 측정하는 측정망이 도입되어야 한다. 특히 유량은 유역의 오염물질총량관리를 위한 단위유역별 목표수질 설정의 기본요소이다.

현재 4대강 수계에는 환경부의 국가수질 측정망이 운영되고 있으나 총량관리를 위한 단위유역 조사지점과 다소 상이하고 또한 단위유역의 유량을 정확히 산정할 수 있는 유량측정망이 구축되어 있지 않은 실정이다.

기존에 국토해양부에서 관리해 온 유량 측정망은 여름철 홍수기의 수해방재 목적으로 설치되어, 수계의 오염물질총량관리를 위한 기초 자료로서는 목적이 상이하여 활용이 제한되어 있어 4대강수계 오염총량관

리를 위한 목표수질과 기준유량 설정에 필요한 유량측정망의 구축이 절실하다.

본 연구에서는 2004년 8월부터 5년 동안 수행한 낙동강 수계 유량측정자료를 평가하였다. 2006년 이후 수질·유량측정망 통합에 따른 전문인력 및 장비보강으로 양질의 유량자료가 확보되었다. 이와 함께 측정 기준 및 방법이 강화됨으로써 2006년 이후 측정성가에 대한 불확실도는 5%(2등급(Good)) 이하로 저하되었다.

불확실도의 저하는 측정자료의 품질향상을 의미하며 추후 조사된 자료를 이용한 상·하류 유출검토 시 모형 보정 및 검증자료로서 활용성이 클 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 낙동강수계관리위원회 역무대행 사업으로 국립환경과학원 낙동강물환경연구소에서 수행한 낙동강수계 유량측정망 운영사업 결과입니다.

참고문헌

1. 낙동강물환경연구소, 낙동강수계 유량측정망 운영결과보고서, 국립환경과학원, 2004~2007.
2. 낙동강물환경연구소, 낙동강수계 유량측정망 운영결과 요약보고서, 국립환경과학원, 2008.

3. 환경부, 유량측정 품질향상을 위한 합동 워크샵, 국립환경과학원, 2008.
4. 건교부 수자원국 하천관리과. 수문조사선진화 5개년 계획(하천관리과-1147, 2005. 6. 1), 2005.
5. 건교부. 수자원관리기법 개발연구조사 보고서. 건설교통부, 1994.
6. 김원, 윤광석 등, 하천유량측정지침, 수자원의 지속적 확보기술개발사업단 기술보고서(TR 2004-01), pp. 73-82, 2004.
7. 국토해양부, 개정 하천법 교육자료집, 국토해양부, 2008.
8. Herschy, R.W., Accuracy. In: Herschy, R.W., (Ed.), *Hydrometry: Principles and Practices*, Wiley, Chichester, Chapter 10, 1978.
9. ISO. Technical Corrigendum 1 to International Standard ISO 1100-2:1998. Prepared by Technical Committee ISO/TC 113. Hydrometric Determinations, Sub-committee SC 1. Velocity Area Methods, 1998.
10. Lambie, J.C., Measurement of flow-velocity-area methods. In: Herschy, R.W., (Ed.), *Hydrometry: Principles and Practices*, Wiley, Chichester, 1978.
11. 건설교통부, 수문조사연보, 수위편, 유량편, 2004.
12. 김경훈, 김문수 등 . 낙동강수계 T/M유량과 실측유량의 비교분석, 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동총계학술발표회 논문집, pp. 629-632, 2005.