

PC1 최적화기법을 이용한 수문곡선분석에 관한 연구

심창석¹, 고수현², 송인렬^{2*}

상주대학교 ¹도시수도시시스템공학과, ²토목공학과

1. 서 론

21C 급격한 산업화로 우리가 이룩한 경제성장 및 부의 증가는 누구도 무시할 수 없는 사실이다. 하지만 산업화가 자연환경의 훼손이라는 희생을 치루고 이루어졌다는 점에서 그 성과는 반감될 수 밖에 없으며, 앞으로는 자연환경이 성장자체를 제한하는 요소로 작용할 것이다. 그러므로, 이제는 환경보전과 경제성장을 조화롭게 추진할 수 있는 지혜가 절실히 요구되고 있다.

따라서, 안정적인 수자원 확보뿐만 아니라 수량과 수질을 보전하는 효율적 관리를 위해서 낙동강상류에 위치한 안동댐의 지류인 송리원, 문경, 울진 3개의 댐개발예정지점에 대한 유량측정(평·갈수기 및 홍수기) 및 하상변동 측량을 실시하여 정확하고 신뢰성 있는 최적화기법을 이용한 수위-유량 곡선식(Rating-Curve)을 개발하므로써 합리적이고 효율적인 댐 운영기준의 기초자료를 확보하고 경제적인 이수 및 치수계획의 수립, 수공 구조물 설계에 필요한 자료를 조사분석하였다.

2. 조사 및 방법

2.1 조사구역의 현황

안동댐유역은 낙동강수계의 최상단에 위치하며, 유역면적은 전체 낙동강 유역면적의 6.7%에 해당하는 1,584km²이다. 년 평균 강우량은 1,087.0mm, 평균 유입량은 952.4×106m³이며 행정적으로 경북 영주시, 문경시, 울진군 등 1도, 2시, 1군으로 구성되어 있다.

본 연구를 위한 유량측정구역은 낙동강수계의 유역인 송리원, 문경 및 동해로 유입되는 울진 등 3개 관측지점이며 각각에 대한 현지답사 및 문헌조사와 하천 종·횡단 측량을 실시하였다. 유량측정은 평·갈수기 유량측정을 각 지점당 9회, 홍수기에 대한 유량측정은 각 지점당 6회를 실시하여 과년도 자료와 비교분석하였다.

본 연구 대상유역인 안동댐유역의 수위국은 총 10개국 있으며, 연구에 적용한 수위국 현황은 3지점으로 관측지점현황 및 유역은 표2.1 및 그림2.1과 같다.

2.2 유량측정방법

2.1.1 홍수시 유량측정

홍수시에는 유속이 대단히 빠르고 부유물로 인하여 유속계를 사용할 수 없거나 유속계 사용이 불가능할 때 부자나 전자파유속계로 유속측정이 사용되며 결과의 신뢰성 정도는 측정자의 숙련 정도에 따라 달라진다. 또한, 관측지점에 관측설비가 없는 경우에도 부자에 의한 유속을 측정 한 뒤 유량을 구하는 방법을 채택한다.

표 2.1 안동댐 수위국 현황

수위국명	하천명	종별	위 치			영점표고 (EL.m)	유역면적 (km ²)	설 치 년월일	비고
			지 점	동경	북위				
소 천	낙동강	T/M	봉화군 소천면 임기리(구임기교)	129-00-12	36-52-49	250.079	694.89	01. 5.1	
도 산	낙동강	"	안동시 도산면 가송리(양삼교)	128-53-04	36-45-26	168.000	1,163.00	78.7.16	
안동대교	낙동강	T/M	안동시 예안면 기산리(안동대교)	128-43-24	36-33-17	82.780	3,590.00	95. 8.1	
송리원	내성천	자기	영주시 평은면 동호리(동호교)	128-43-00	36-43-20	134.273	482.00	71. 6.1	채택
월 포	내성천	"	예천군 호명면 월포리(고평교)	128-29-22	36-37-00	78.341	1,134.50	68. 1.1	
문 경	영강천	T/M	문경시 불정동(불정교)	128-09-02	36-38-33	88.583	525.76	96.12.1	채택
이 안	이안천	자기	상주시 이안면 동촌리(이안교)	128-09-41	36-32-28	65.961	195.50	98. 3.1	
계 산	북천	자기	상주시 계산동(후천교)	128-09-39	36-25-31	54.345	117.80	68. 1.1	
상 옥	대서천	T/M	영덕군 달산면 대지리(홍기교)	129-18-34	36-23-22	56.037	102.69	96.12.1	
울 진	왕피천	T/M	울진군 근남면 구산리	126-54-52	23-15-10	8.281	259.24	96.12.1	채택

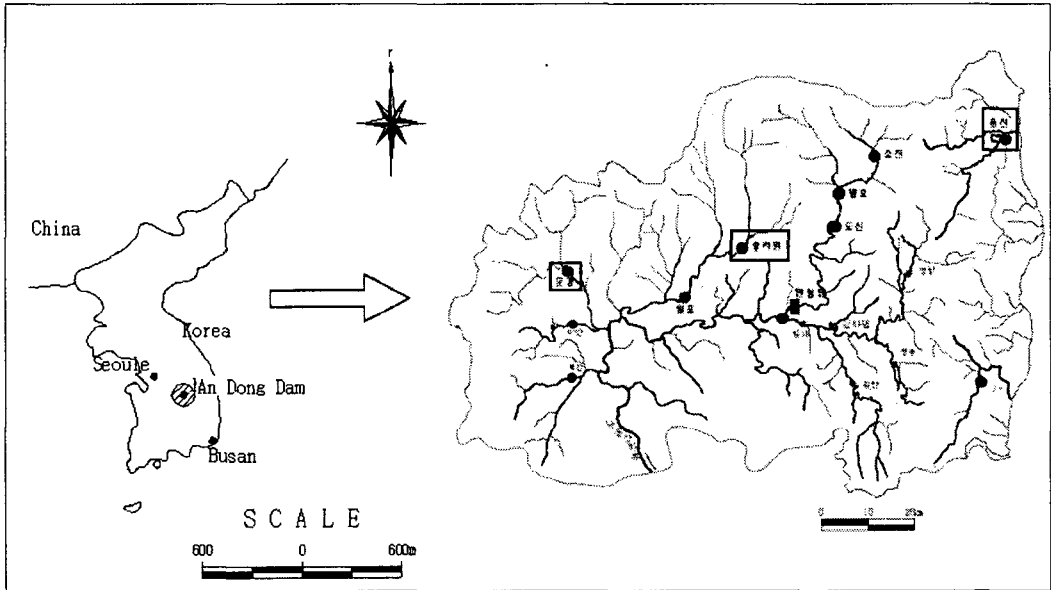


그림 2.1 안동댐 수위 관측 지점 유역도

최심 하상부로 물이 유하하는 경우나 무제부 등에서는 홍수발생시의 수면폭을 고려하여 측선을 분할할 때 가능한 한 측선수를 늘리면 더욱 신뢰성있는 유량조사 가능하다. 여기서, 전자파 유속계의 보정계수는 연구된 자료와 계속적인 과정에 의하여 본 연구에서는 0.85를 사용하였다.

다음으로, 홍수기 유량산정은 각 횡단면의 홍수전 단면과 홍수후 단면의 평균 횡단면적을 구하고 각 구간의 평균유속을 곱하여 산정하였다.

$$Q = \sum^n q = \sum^n V \times K \times A$$

여기서, Q : 총유량

q : 소구간 유량

V : 소구간 평균유속

A : 소구간 통수단면적

K : 보정계수

2.2.2 평·저수위 유량측정

평·저수의 유량측정은 물의 흐름이 안정된 정상류 흐름이므로 유속계를 이용하면 비교적 정확한 유속측정 가능하여 본 연구에서의 평·저수시의 유량측정은 전자기 유속계(UC-2)를 사용으며, 회전식 유속계는 유속의 에너지가 유속계의 회전날개의 각속도에 비례한다는 점에 원리에 의거 유수가 가지는 유속, 즉 운동에너지에 의하여 원추형컵이 회전하게 되며 이때 전기회로가 구성되어 수신기에서 소리를 내거나 Digita장치에 회수가 기록 스톱위치에 의하여 초당 회전수를 구하고 기본공식 $V = A + BN$ 식으로 유속을 계산하였다.

3. 수위-유량관계 곡선개발

수위-유량관계 곡선식(Stage-Discharge Relation Curve or Rating-Curve)은 수문자료 분석에 기본이 되는 관계식으로 각 지점마다 T/M이 설치되어 있어 홍수 및 평·갈수기의 시간별 수위와 일평균 수위는 관측이 용이하고 자료가 풍부하여 이를 유출량으로 산정하였으며 수문자료 분석에도 활용하였다. 또한 실제 유량측정 성과도 최대한 이용하여 수위-유량관계 곡선식을 유도하였다.

수위-유량 관계 곡선식의 해석방법은 최적해추정법을 사용하여 정밀도는 0.000001, 허용한도 5%, 수렴도 0.001의 조건을 적용하였고, 회귀계수의 결정을 위한 분석방법은 근사방법의 경우 1차식, 미분계수는 전진법, 탐색방법은 Newton의 공해법으로 최적계수를 구하였으며, 단면의 형상특성에 따른 방정식의 형식은 지수방정식, 또는 n 차방정식의 형태로 표시하여 적용하였다.

본 연구에서는 수위-유량 관계 곡선식을 다음과 같이 가정하여 분석 검토하였다.

$$\cdot Q = a + bH + cH^2$$

$$\cdot Q = d (H \pm e)^2$$

$$\cdot Q = f H^n$$

3.1 홍수시 시계열에 따른 수위-유량 관계

본 연구에서 3지점에 대한 수위유량자료를 직접측정하여 얻은 결과로 올진지점은 부자 유하와 경로각도를 측정한 후 유속을 산출하였고, 나머지 2개지점은 전자파유속계의 checking data를 그대로 적용하였다.

연구에서 홍수사상에 대해 첨두유출량을 중심으로 수위의 상승시와 하강시에 유량측정을 실시하여 Loop 형태의 수위-유량 관계가 성립되는지를 확인되어야 하는데, 일반적으로 자연하천의 경우 수위-유량과의 관계가 Loop 형태를 이루는데 그 원인은 하도의 인공 및 자연적인 수면경사의 변화, 배수 및 저하효과 및 홍수시 수위의 급상승에 의한 것으로 다른 변수들이 일정하다면 유량은 수면경사에 비례하여 수위상승시가 하강시보다 유량이 크게 나타남을 알 수 있다.

각 지점별 수위-유량과의 관계는 그림 3.1~3.3과 같으며, 하천에서의 직접적인 측정은 유량곡선을 결정하거나 혹은 수정하는데 필요하므로 본 연구에 적용하였다.

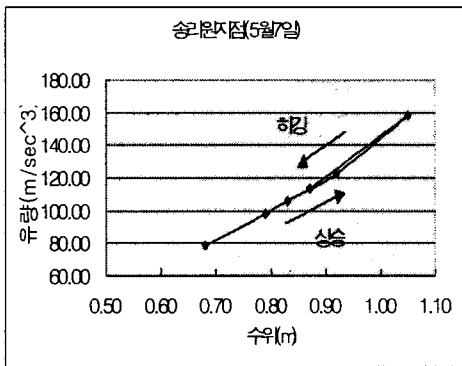


그림 3.1 송리원지점 수위-유량 관계,

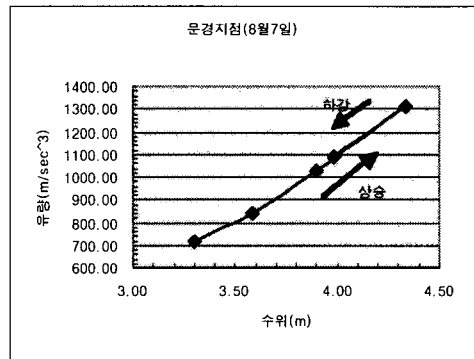


그림 3.2 문경지점의 수위-유량 관계

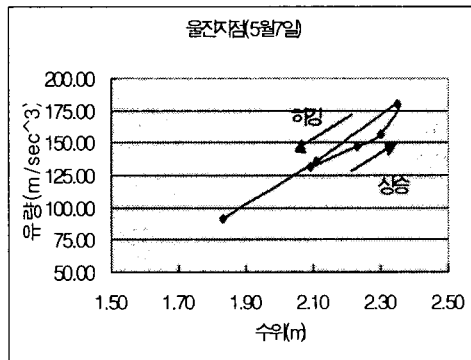


그림 3.3 울진지점수위-유량 관계

3.2 수위-유량곡선식 분석법

수면구배를 일정하다고 가정하고, 하천의 횡단면이 수학적으로 표시될 수 있는 규칙적인 단면 즉, 구형 단면, 제형 단면, 삼각형 단면, 포물선형 단면 또는 이들의 복합 단면 등의 전제하에서 해석적으로 수위-유량관계 곡선식(Rating-Curve) 유도하였다. 수위-유량 관계 곡선식의 해석방법은 최적해추정법을 사용하여 정밀도는 0.000001, 허용한도 5%, 수렴도 0.001의 조건을 적용하였고, 회귀계수의 결정을 위한 분석방법은 근사방법의

경우 1차식, 미분계수는 전진법, 탐색방법은 Newton의 공해법으로 최적계수를 구하였으며, 단면의 형상특성에 따른 방정식의 형식은 지수방정식, 또는 n 차방정식의 형태로 표시하여 적용하였다.

3.3 수위-유량관계곡선 유도

각 수위국 지점(T/M 수위국 지점)에 대한 수위-유량 관계 곡선식은 2002년에 직접 측정된 자료를 토대로 분석·검토하였다. 수위-유량 관계 곡선식의 분석은 T/M 수위국인 송리원·문경·울진수위국 지점을 대상으로 시행하였다.

수위-유량 곡선식 분석을 위해 사용된 자료는 홍수시, 평수시, 갈수시에 전자파 유속계 및 봉부자, 유속계를 이용하였으며, 각 지점에 대한 측정횟수는 송리원 수위국 지점은 29회, 문경 수위국 지점은 29회 및 울진 수위국 지점은 30회를 측정하였다.

각 수위국 지점별로 지수방정식 및 n차 방정식 3가지 형태의 수위-유량 관계 곡선식에 대한 식의 유도는 최적해추정법(뉴턴의 공해법)을 통하여 실측된 수위 및 유량으로부터 최적의 회귀식을 유도하고, 실측치와 유도된 식에 의한 계산 결과치의 상관성에 대한 결정계수(r^2) 산정하였다. 최적해추정법을 이용한 수위·유량관계 곡선식은 결정계수가 0.9828~0.9967까지의 범위로 분석되어 단순회귀식의 0.9014~0.9315와 비교할 때 실측자료에 대한 수위-유량곡선식을 더욱 정확하게 반영하고 있으며 관측수위 범위내에서는 동일한 수위-유량곡선식을 적용해도 무방한 것으로 검토되었다.

4. 검정 및 비교고찰

본 연구에서는 개발된 곡선식의 실제 적용성을 판단하기 위해 수위-유량관계 곡선식의 검정을 실시하였다. 검정에는 통계학적인 방법과 구역내에서 티센망을 이용하여 티센계수를 이용하여 금년에 발생된 년강우량을 계산하였고, 관측된 수위를 사용하여 수위-유량곡선식으로 유량을 환산한 후 유출고 및 유출율을 비교 검토한 방법과 모형에 의한 수치해석 등 3가지 방법을 이용하여 각 측정지점의 측정자료에 대한 신뢰성 검정을 실시하였다.

4.1 통계학적 분석 검정

각 수위국 지점에 대하여 직접 측정된 수위-유량 측정 성과를 분석하여 각 지점별로 적합한 관계식을 도출하였고, 수위-유량 관계 곡선식의 적용성 여부에 관한 검정은 분산분석을 통해서 실시하였다. 각 지점들의 관계곡선식에 의한 실제값과 계산값을 고려한 최종적인 결정계수는 거의 1에 접근하는 값을 나타내었다. 다음의 표 4.1은 최종 통계치를 나타낸 것이며 도 4.1~4.3은 수위-유량 관계곡선도를 도시하였다.

4.2 유출고 및 유출률에 의한 곡선식 검정

본 분석에서는 송리원, 문경, 울진지점에 대한 2001. 11. 1~2002. 10. 31 사이에 취득한 수위자료와 년강우량으로부터 총강우량을 산정하고, 실측 수위 및 유량에 의해 개발된 수위-유량곡선을 이용하여 년총유량 계산하였다.

각 지점별 정확한 유출을 산정을 위하여 유량관측 지점별 Thiessen계수를 이용하여

평균강우량 산정하였으며 송리원지점과 문경,울진지점의 면적가중치를 고려한 년평균 강우량은 각각 1299.6mm 및 1270.9, 1539.4mm로서 유출량에 의한 유황곡선을 이용하여 풍수위, 평수위 및 갈수위를 산정하였다. 유출고와 유출률을 비교 검토한 결과는 표 4.3 과 같다.

표 4.1 각 지점별 Rating-Curve의 최종 결과

(단위:CMS)

지 점	관 계 식	결정계수	비 고
소 천	$Q = 30.0315 (H - 1.4686)^{2.1022}$	0.9987	$1.98 \leq H \leq 8.00$
도 산	$Q = 140.1767 (H - 0.7764)^{1.6413}$	0.9984	$0.88 \leq H \leq 7.40$
안동대교	$Q = 213.4593 (H - 0.0681)^{1.5949}$	0.9970	$0.38 \leq H \leq 5.30$
송리원	$Q = 66.4719 (H - 0.5893)^{1.9917}$	0.9982	$0.78 \leq H \leq 4.60$ $H = h + 1m$
문 경	$Q = 79.1618 (H - 0.0751)^{1.9252}$	0.9967	$0.21 \leq H \leq 4.60$
울 진	$Q = 53.7690 (H - 0.6898)^{2.5273}$	0.9925	$0.85 \leq H \leq 3.40$

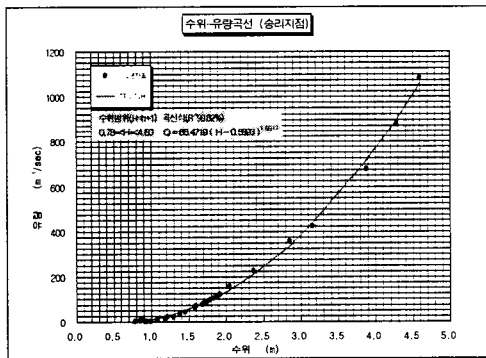


그림 4.1 수위-유량관계 곡선도(송리원)

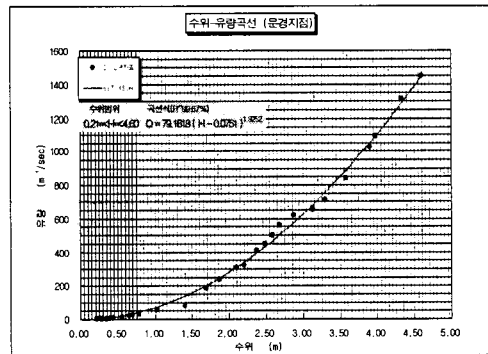


그림 4.2 수위-유량관계 곡선도(문경)

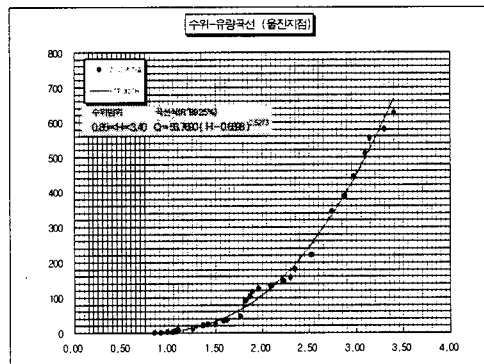


그림 4.3 수위-유량관계 곡선도(울진)

표 4.3 수위관측지점별 유출률

수위국명	유역면적(km ²)	유출고(mm)	유출율(%)
송 리 원	482.00	908.4	69.9
문 경	525.76	459.7	36.2
울 진	259.24	1011.4	65.7

5. 결 론

안동댐 유역상의 댐 개발예정지점에 대한 유량측정(평·갈수기 및 홍수기) 및 하상변동 측량을 실시하여 정확하고 신뢰성 있는 수위-유량 곡선식(Rating-Curve)을 개발하기 위하여 최적화기법(뉴턴의 공해법)을 이용하였으며 단순회귀식과 비교 검토하였다. 본 연구결과를 정리하여 보면 다음과 같다.

1) 본 연구의 대상지점은 댐개발예정지인 송리원, 문경, 울진을 대상으로 각 호우사상별로 유량측정을 실시하였으며, 송리원은 29회, 문경 29회, 울진지점은 30회를 측정된 자료를 이용하였다. 또한 전년도 자료와도 비교 검토하였다.

2) 수위-유량곡선식을 산정한 결과에서 각각의 수위-유량관계 곡선식은 결정계수가 0.9812~0.9987까지의 범위로 분석되어 실측자료에 대한 수위-유량 곡선식을 잘 반영할 뿐만 아니라 관측수위 범위내에서는 동일한 수위-유량곡선식을 적용해도 무방한 것으로 나타났다.

3) 송리원, 문경, 울진 3개지점에 대한 수위-유량 관계곡선식의 신뢰성 검정을 위하여 통계학적방법 및 유출율에 의한 방법 등으로 검정한 결과 최적화기법에 의한 수위-유량 관계곡선식은 매우 높은 정도를 나타내었다.

따라서, 본 연구에서 이용된 최적화기법은 향후 합리적이고 효율적인 댐 운영기준의 기초자료 확보를 위한 방안으로써 경제적인 이수 및 치수계획의 수립, 환경관리제고, 제반 수공구조물 설계에 필요한 수문량 결정의 기본자료로 이용될 수위-유량관계곡선의 높은 신뢰도 증가를 가져올 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

건설교통부, 2002, 수자원 장기종합계획.
 건설교통부, 2002, 낙동강홍수예경보.
 건설교통부, 1994-2002, 낙동강수계 유량측정 보고서.
 한국수자원공사, 1993-2002, 안동·임하댐 유량측정보고서.
 경상북도, 1995~2001, 문경, 영주, 울진 하천정비기본계획보고서.
 Chow, V.T., 1959, Open Channel Hydraulics, McGraw Hill.
 Kennedy, E. J., 1984, Discharge Rating at Gaging Station, Techniques of Water-Resources Investigation of the United States Geological Survey, Chapter A10, U.S Geological Survey, pp.1-59.

- Kennedy, E. J., 1983, Computation of Continuous Record of Stream flow, Techniques of Water-Resources Investigations of United States Geological Survey, Chapter A13, U.S Geological Survey, pp.1-53.
- Reginald W. H., 1992, Streamflow Measurement, Chapter 4.
- Ven Te Chow., 1962, Applied Hydrology.