

갈수시 하천수질과 필요유량 관계 연구

The Relationship Between Water Quality and

Needed Discharge during Drought Season

정영훈* / 이충성** / 김형수*** / 심명필****

Jung, Young Hun / Yi, Choong Sung / Kim, Hung Soo / Shim, Myung Pil

요 지

근래 환경의 중요성이 크게 인식되면서 하천의 수질관리에 대해서도 많은 연구가 진행되고 있다. 오염된 하천의 수질을 개선하기 위한 방법 중에 배출 오염원을 삭감시키는 환경기초시설이나 댐과 같은 저수구조물에서 양질의 용수를 방류하여 희석시킴으로써 하천의 수질오염을 개선할 수 있다.

본 연구에서는 하천수질을 개선시키는 과정에서 희석을 위한 저수지의 방류량을 필요유량으로 간주하였으며 일정 수질농도를 지속적으로 지니고 있는 자연하천의 유입량과 이때 어느 대상지점의 목표수질등급을 만족시킬 수 있는 저수구조물에서의 인위적 조정이 가능한 필요유량의 관계를 연구하였다.

연구대상 지역은 금강 본류와 본류로 유입하는 갑천유역을 대상으로 하였다. 즉, 갑천의 확률갈수유량을 3등급과 4등급으로 가정하고, 이들 유량이 금강본류로 유입되며, 금강본류와 미호천합류 바로 전의 금강하류지점 목표수질을 2등급이라 하였을 때, 이를 만족할 수 있는 금강본류의 필요유량을 산정하고자 하였다. 이때 갑천유역의 일강우량자료는 기존 Markov 연쇄의 상태모형을 개선해 모의하였고, 강우-유출 모형으로는 NWS-PC모형을 이용하였는데 콤플렉스 혼합 진화기법으로 매개변수들을 보정하여 확률갈수유량을 산정하였다. 다음에 QUAL2E를 이용하여 목표수질을 만족하는 희석 목적의 유량을 구하여 필요유량으로 간주하였다. 결과를 살펴보면, 유입되는 갑천의 확률갈수유량들에 대하여 대청조정지점에서 방류량이 목표수질을 만족시키기 위해서는 0.5~2.5배정도 더 유입되어야 함을 알 수 있었다.

핵심용어 : 필요유량, 확률갈수유량, 수질관리

1. 서론

제한된 수자원으로 다양한 목적을 만족하려면 용수공급과 수요에 있어 적절한 의사결정을 필요로 한다. 그 가운데 하천유지유량은 평균갈수량과 목표 수질등급을 만족시키기 위한 수질보전유량을 산정하여 이 중 큰 값으로 결정하는데(댐설계기준, 2001), 최근 하천유지유량은 하천의 갈수량, 하천수질, 하천경관, 하천생태계, 레크레이션 등 여러가지 기준항목으로 고려된다. 이렇게 복잡하고 다양한 조건에서 최적의 의사결정을 하기 위한 과정 중 본 연구에서는 하천 수질을 고려한 필요유량에 대하여 연구하였다.

본 연구는 갑천이 유입되는 대청 조정지점부터 미호천 합류전 지점까지의 금강본류를 대상유역으로 선정하였으며, 하천유지유량 산정 방법 과정 중 목표 하천수질등급을 만족시키는 희석 목적의 필요유량의 개념으로 접근하였다. 일 강우모의와 일 유출량 모의를 통하여 갑천의 확률 갈수유량을 산정하였으며, 각각의 갑천 확률갈수유량이 금강 본류로 유입될 때 미호천 합류전 지점이 목표수질등급을 만족시킬 수 있게 희석하는 대청 조

* 정회원 · 인하대학교 수자원시스템연구소 연구원 · E-mail : pj-jyun@daum.net
** 정회원 · 인하대학교 환경토목공학부 박사과정 · E-mail : g2021533@inhavision.inha.ac.kr
*** 정회원 · 인하대학교 환경토목공학부 조교수 · E-mail : sookim@inha.ac.kr
**** 정회원 · 인하대학교 환경토목공학부 교수 · E-mail : shim@inha.ac.kr

정지댐의 방류량을 필요유량으로 간주하여 산정하였다. 이는 금강분류로 유입되는 갑천의 유량을 예측하여 인위적 성격을 가지는 대청 조정지댐의 방류량은 다른 목적과 의사결정이 필요할 때 상황에 따라 조절될 수 있다.

필요유량 산정에 있어 그동안 연구동향은 국외의 경우, Hyra(1978)는 레크리에이션에 대한 필요유량산정에 대해 연구하였고, 미국 Ohio EPA(2000)에서는 Middle Cuyahoga 강에 TMDL(total maximum daily load)의 목표 등급에 대하여 계획유량을 적용하여 오염부하량을 산정한 예가 있다. 국내의 경우는 서동일 등(1997)이 금강분류에 대하여 평균 갈수유량에 대하여 일정 기간 동안의 BOD와 DO농도를 적용한 바가 있으며, 건설교통부(1999)에서는 금강분류에 대하여 환경부 목표수질 등급을 달성한 상태로 유입되는 경우와 현행수질이 유입되는 경우 두 가지로 나누어 필요유량을 산정한 예가 있다. 김용구 등(2001)은 탐진강에 대하여 목표수질 보전을 위한 탐진강 필요유량에 대하여 연구하였으며, 홍일표(2002)는 미국 콜로라도 주의 유지유량 방법에 대하여 소개한 바 있다.

2. 대상유역선정 및 수문자료

대상유역으로 갑천과 대청 조정지댐에서 미호천 합류전까지의 금강분류유역을 선정하였다. 이는 대청 조정지댐에서 미호천 합류전까지의 금강분류의 수질에 가장 영향을 크게 미치는 하천이자 자연 유량이라 할 수 있는 갑천과 금강분류에 수질오염도가 적은 희석목적의 필요유량이며 인위적 유량이라 할 수 있는 대청 조정지댐의 방류량의 관계를 수질의 관점에서 여러 가지의 상황에 대하여 연구할 수 있는 적합한 유역이라 판단하였기 때문이다.

갑천은 금강수계에 속하는 하천으로 대둔산에서 발원하여 논산군을 거쳐 대전광역시로 유입되며, 지방2급 유등천과 합류하여 대청댐 하류 금강분류에 처음으로 유입되는 국가하천이다. 갑천의 기점을 충남 연기군 파성면 두계천 합류지역으로 하고, 종점을 금강으로 하는 경우 갑천의 총 유역면적은 금강 전체의 유역면적인 9,912.15km²의 약 1/15인 648.87km²이며, 유로 연장73.7km이다(한국수자원공사, 2003). 본 연구에서는 일 강우량, 일 유출량, 수질을 예측하기 위하여 관측 자료가 필요하며, 여기서 일 유출량은 수질모형의 입력자료로, 일 강우량은 강우-유출모형의 입력자료로 사용하기 위해 마코프 연쇄모형과 NWS-PC모형을 통하여 다량의 수문자료로 구축하였다. 일 강우량자료는 갑천유역내의 대전기상관측소와 금산기상관측소의 D/B자료를 이용하였으며, 일 증발량자료는 대전기상관측소의 D/B자료를 일 유출량자료는 회덕수위표 지점의 수위자료와 수위-유량관계곡선식을 이용하였다.

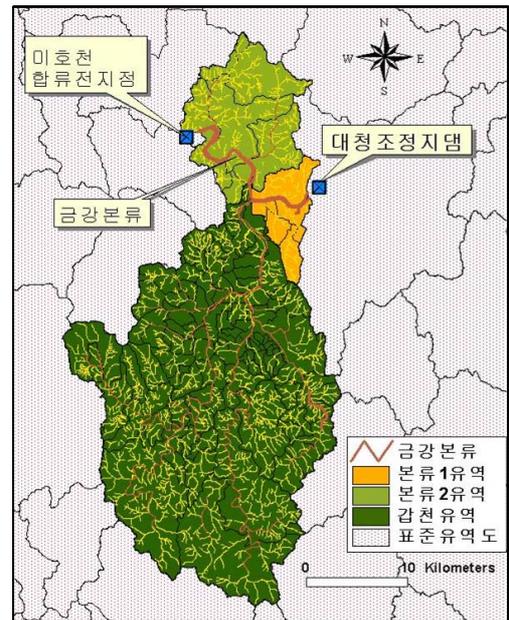


그림 1. 대상유역의 현황

3. 지속기간별 확률갈수유량 산정

모의된 일 강우량자료와 NWS-PC 모형의 매개변수를 적용하여 금강분류 합류지점까지의 갑천 전체유역에 대하여 100년간의 일 유출량을 모의하였다. 수문자료 중 일 강우량자료는 모의년도 150년 일 강우량자료에서 초기 25년후부터 125년까지의 100년 일 강우량자료를 Thiessen계수에 적용하여 이용하였으며, 잠재 증발산량자료는 대전 지점의 1969년부터 2002년까지의 34년간의 증발량자료를 허유만식에 적용한 일일 평균 잠재 증발산량자료를 이용하여 100년간의 갑천유역 일 유출량을 모의하였다.

갈수유량의 특성을 파악함으로써 인해 관개용수조절, 용수공급, 하천유지유량 등과 같은 항목에 대하여 보다 개선된 통합적인 수자원 계획과 관리를 할 수 있을 것이라 판단된다. 이러한 계획 및 관리를 위하여 빈도분석을 갈수유량의 통계특성치와 같은 정보가 요구되며 빈도분석을 위해 적절한 확률 분포형을 이용하는 방법이 있다.

본 연구에서는 모의된 갑천유역의 일 유출량 자료와 확률 분포형 중 2변수 Gamma 분포를 이용하여 빈도분석을 수행하였다. Gamma 분포는 수문학분야에서 가장 널리 사용되는 분포형 중의 하나로 대부분의 수문변량들은 왜곡된 분포를 가지므로 Gamma 분포는 연 최대홍수량이라든지 갈수량, 계절 혹은 연 유출용적 및 극대갈수량 등의 발생확률분포를 표시하는 데 사용되어 왔다. 2변수 Gamma 분포형의 매개변수 추정에는 모멘트법, 최우도법을 사용하였다. 또한 확률분포의 적합도 검정에 널리 사용되는 Kolmogorov-Smirnov(K-S) 검정방법을 통하여 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 적합도 여부를 확인한 결과 모든 재현기간에서 적합관정을 확인하였다. K-S검정방법을 이용해 지속기간별 연 최저치유량계열에 대한 적합도 검정 결과와 갑천유역의 지속기간별 확률갈수량 결과를 표 1, 그림 2와 같이 나타내었다.

표 1. 지속기간별 갈수량에 대한 빈도분석 및 K-S Test결과(단위 : CMS · day)

재현기간 지속기간	2년	5년	10년	20년	50년	100년	K-S Test 임계치 (0.14)
5일	2.3	1.3	0.9	0.6	0.4	0.3	0.0448
7일	17.3	9.2	6.3	4.4	2.9	2.1	0.0397
10일	25.7	13.6	9.2	6.4	4.1	3.0	0.0416
20일	58.1	30.9	21.0	14.8	9.6	7.0	0.0327
30일	95.3	51.8	35.8	25.5	16.8	12.5	0.0484
60일	222.3	129.1	93.4	69.6	48.6	37.8	0.0942
90일	342.7	203.5	149.4	112.8	80.3	63.3	0.0928
120일	489.6	301.4	226.5	175.0	128.3	103.3	0.0702
150일	633.2	395.8	300.5	234.4	173.9	141.3	0.0694
180일	838.7	533.3	409.3	322.6	242.5	198.9	0.0564
210일	1108.6	707.6	544.5	430.2	324.4	266.7	0.0564
240일	1412.5	891.2	680.6	533.9	399.0	325.8	0.0567
270일	1713.5	1075.0	817.9	639.5	475.7	387.2	0.0537
300일	2007.0	1258.0	956.6	747.4	555.6	452.1	0.0682
330일	2296.4	1438.0	1092.9	853.4	633.9	515.5	0.0639
360일	2525.3	1587.3	1209.2	946.5	705.1	574.7	0.0509

4. 지속기간별 확률갈수량에 따른 필요유량 산정

갑천유역의 지속기간별 확률갈수량과 대청조 정지댐의 방류량이 금강본류에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 우리나라에서는 행정적인, 재정적인 문제로 인하여 지속기간별 확률갈수량에 맞는 수질데이터뿐만 아니라 측정시기가 같은 유량자료와 수질자료가 거의 없는 실정이기 때문에 본 연구에서는 지속기간별 확률갈수량에 대하여 환경부(1992)가 제시한 목표수질과 현행 수질을 적용하였다. 목표수질에 적용하여 분석하기 위한 수질자료현황은 환경부(1992)에서 제시한 목표수질 중 본 연구에서의 대청댐, 본류1, 본류2는 1등급으로 조사되었으며, 2003년 현재 “대청호 및 금강수계 물관리 종합대책”에서 계획 중에 있는 목표수질 중 갑천의 목표수질등급은 3등급으로 파악되었다. 현행수질에 적용하여 분석하기 위한 본 연구에서 해당하는 수질자료현황은 대청댐은 1등급, 본류1에

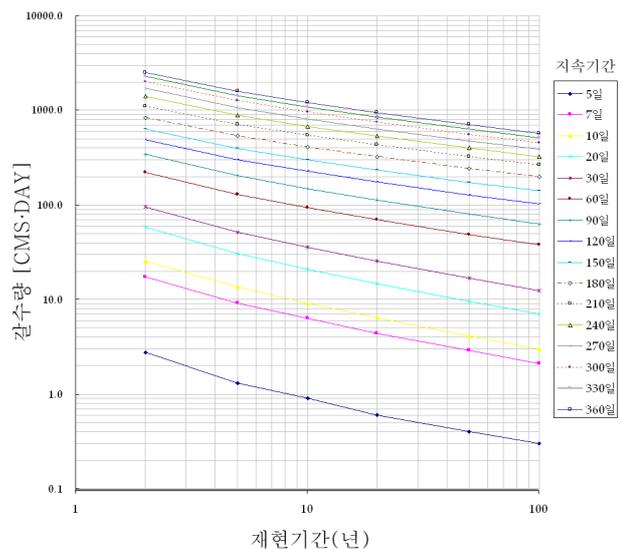


그림 2. 갑천 유역의 갈수 빈도곡선

서는 2등급, 갑천은 4등급으로 파악되었다. 하지만 본류2에서 목표 수질등급을 1등급으로 제시한 것은 갑천합류 후 금강본류에 비경제적인 환경기초시설이 존재하거나 혹은 필요 이상의 다량의 희석유량이 유입되어야 하는 비현실성을 고려해 본류2의 목표수질을 2등급으로 낮추어 적용하였다. 본 연구에서는 위의 두 가지 경우에 대하여 금강본류의 미호천 합류전 지점에서 수질오염도가 하천환경수질기준 2등급을 만족시키는 대청 조정지점에서 필요유량 산정하였으며 그 결과는 표 2, 표 3과 같다. 목표수질을 적용한 지속기간별 확률갈수유량에 따른 희석목적의 필요유량 산정 결과에서 7Q10에 대한 기준지점의 수질기준을 2등급으로 만족시키는 대청댐에서의 희석목적의 필요유량은 7.58CMS · day로 산정되었으며, 현행 수질 등급을 적용한 결과 7Q10에 대한 기준지점의 수질기준을 2등급으로 만족시키는 대청댐에서의 희석목적의 필요유량은 13.51CMS · day로 목표수질을 적용했을 때보다 두 배 가까이 산정되었다.

표 2. 목표수질을 적용한 지속기간별 확률갈수유량에 따른 필요유량(단위 : CMS · day)

재현기간 지속기간	2년	5년	10년	20년	50년	100년
5일	2.38	1.19	0.74	0.43	0.24	0.15
7일	22.88	11.54	7.58	5.06	3.12	2.13
10일	34.85	17.66	11.54	7.72	4.66	3.25
20일	81.80	42.33	28.13	20.00	12.09	8.53
30일	136.27	72.62	49.40	34.57	22.17	16.12
60일	323.63	186.00	133.48	98.60	67.96	52.29
90일	502.00	295.83	215.92	162.00	114.27	89.39
120일	720.05	440.77	329.85	253.71	184.82	148.02
150일	933.45	580.78	439.44	341.54	252.09	203.98
180일	1239.09	784.97	600.82	472.20	353.53	289.02
210일	1640.82	1044.08	801.61	631.84	474.87	389.36
240일	2093.42	1317.21	1003.92	785.86	585.53	476.94
270일	2541.87	1590.80	1208.15	942.81	699.11	568.01
300일	2979.28	1863.30	1414.55	1103.27	818.11	664.36
330일	3410.67	2131.40	1617.45	1260.97	934.49	758.52
360일	3751.93	2353.83	1790.62	1399.51	1040.36	846.49

표 3. 현행수질을 적용한 지속기간별 확률갈수유량에 따른 필요유량(단위 : CMS · day)

재현기간 지속기간	2년	5년	10년	20년	50년	100년
5일	4.43	2.30	1.48	0.90	0.54	0.36
7일	39.62	20.30	13.51	9.13	5.75	3.99
10일	59.90	30.75	20.30	13.74	8.45	5.97
20일	138.98	72.52	48.53	33.62	21.24	15.14
30일	230.42	123.54	84.45	59.41	38.41	28.13
60일	544.17	313.76	225.74	167.20	115.71	89.32
90일	842.45	497.64	363.89	273.55	193.50	151.10
120일	1206.86	740.08	554.56	427.15	311.79	250.13
150일	1563.36	974.13	737.85	574.12	424.43	343.88
180일	2073.83	1315.32	1007.62	792.20	594.18	486.26
210일	2744.60	1748.13	1343.13	1059.46	797.09	654.11
240일	3500.16	2204.28	1681.07	1316.81	982.07	800.56
270일	4248.72	2661.08	2022.14	1579.00	1172.36	949.01
300일	4978.78	3116.00	2366.80	1847.00	1370.68	1138.00
330일	5698.73	3563.57	2705.58	2110.35	1565.09	1271.14
360일	6268.23	3934.85	2994.19	2341.70	1741.93	1418.10

5. 결 론

- (1) 확충된 일 강우량자료와 관측 자료를 비모수적 검정방법인 Wilcoxon signed ranks test를 시행한 결과 유의수준 5%이내에서 대전, 금산지점 모두 귀무가설이 채택되어 동질성이 입증되어 신뢰성이 있는 일 강우량 자료가 확충되었다고 판단된다.
- (2) 콤플렉스 혼합 진화기법으로 토양 함수상태 매개변수를 추정하고 그로부터 산정된 관측 유출량과 모의 유출량 계열을 비교 검토한 결과 총 관측유출량이 관측값이 860MCM이 산정되었고 총 모의유출량은 840MCM이 산정되었으며 관측값의 유출률은 약 0.477이 산정되었고, 모의값은 0.465로 아주 작은 오차를 보였다. 2년치의 관측 일 유출자료와 모의 일 유출자료를 RPE와 RMSE의 방법으로 분석한 결과 RPE는 약 2.4%로, RMSE는 12.8m³/s로 산정되어 비교적 양호한 결과를 얻었다고 판단된다.
- (3) 확충된 100년간의 일 유출량자료로 확률 분포형 중 2변수 Gamma 분포를 이용하여 빈도분석을 수행하였으며, K-S 검정방법을 통하여 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 적합도 여부를 확인한 결과 모든 재현기간에서 적합판정을 확인하였다.
- (5) 갑천의 지속기간별 확률갈수유량에 대하여 금강분류가 하천환경수질기준 2등급을 만족하는 대청 조정지댐의 회석목적의 필요유량을 산정하였다. 이는 오염원 삭감에 따른 하수 처리시설의 비용과 회석목적의 필요유량 비용의 관계에 대한 의사결정에 있어서 참고적인 데이터로 활용할 수 있다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부 대전지방국토관리청 (1999). **금강 수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량 산정 보고서**.
2. 건설교통부 한국수자원공사. (1999). **확률갈수유량 산정 및 이용방법 연구**.
4. 김선미, 김규호, 홍일표, 서동일 (1997). "금강 본류의 갈수시 수질관리를 위한 하천유지유량의 산정." **한국환경공학회지**, vol. 19 No. 11.
5. 김용구, 박성천, 표영평 (2001). "목표수질 보전을 위한 탐진강 필요유량 산정에 관한 연구." **수처리기술연구회**, 9권 4호 pp.19-28.
6. 이상호, 강신욱 (2001). "수위관측과 수리학적 하도추적에 의한 하천유량 간접추정." **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제34권, pp. 543-549.
7. 이상호, 안태진, 윤병만, 심명필 (2003). "적설 및 융설 모의를 포함한 탱크모형의 소양강댐 및 충주댐에 대한 적용." **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제36권, 제5호
8. 인하대학교 (2003). **지속가능한 하천수 개발 기술**. 2-5-1, 과학기술부.
9. 허유만 (1992). 중소유역의 일별 용수수급해석을 위한 하천망 모형의 개발. 박사학위논문, 서울대학교.
10. 홍일표 (2002). "미국 콜로라도 주의 유지유량 산정 방법." **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, Vol. 035, No. 006, pp. 134-141, 1226-1408.
11. Hyra, Ronald. (1978). "Methods of Assessing in-stream Flows for Recreation." *National Ecology Research Center*, U.S. Fish and Wildlife Service, Ft. Collins, CO.
12. Ohio Environmental Protection Agency Division of Surface Water (2000). *Total Maximum Daily Loads for the Middle Cuyahoga River Final Report*.
13. Salas, J. D. (1992). *Analysis and Modeling of Hydrologic Time Series*. Handbook of Hydrology, McGraw-Hill.