

# 콜로라도의 유지유량 산정 방법 및 사례 연구

홍일표<sup>1)</sup>

## 1. 서론

미국에서의 유지유량은, 주로 하천에 대한 유지유량만을 고려하는 우리나라와는 달리 하천 뿐만 아니라 호수의 적정한 수심 유지를 위해서도 적용되고 있다. 유지유량의 산정기준은 어류의 서식처 보호가 그 첫 번째이며, 생태계 보호 및 래프팅을 비롯한 수상 위락활동의 가능성 등이 주요 고려 대상이다. 또한, 대규모 물동량의 이송이 하천의 주요 기능인 경우에는 주 운에 필요한 수심 유지 역시 유지유량 산정시 주요 기준이 된다.

2001년 현재 미국 28개 주에서 유지유량 보호법을 시행하고 있으며, 유지유량의 가치를 경제적으로 평가하는 등 유지유량의 중요성에 대한 관심이 점차 증가되고 있는 실정이다.(REF)

본 논문에서는 미국 콜로라도 주의 유지유량 산정에 대한 개념과, 실제 하천 구간인 Yampa river를 대상으로 유지유량을 산정한 사례를 검토하여 우리나라의 유지유량 산정에 참고하고자 하였다.

## 2. 콜로라도 주 유지유량의 개요

콜로라도 주의 유지유량(Instream flow/Natural lake level program; ISF 프로그램)은 1973년 상원입법97(SB97)이 통과됨으로써 시작되었다. SB 97 법안의 통과 배경은 “인간과 더불어 공존하는 자연환경에 대한 적절한 보존을 위한 조정과 별도의 행위에 대한 필요성을 인식하였기 때문이다” 라고 할 수 있다.

콜로라도의 ISF 프로그램은 1993년 11월10일 CWCB에서 채택되었으며, 1994년 개정된 “Rules and Regulations concerning the Colorado Instream Flow and Natural lake level Program”에 따라서 시행되었다.

유지유량에 대한 수리권(Instream flow rights)은 자연환경을 합리적인 수준으로 보전하기 위하여 콜로라도 주민을 대신하여 CWCB가 가지고 있는 것으로 되어 있으며, 현재 CWCB는 약 12,800 km(8,000 miles)에 달하는 하천 및 500여개의 자연호소에 대한 1,800여개의 수리권을 확보하고 있다.

콜로라도 주에서의 유지유량 산정은 미국내 다른 여러 주와 연방정부기관인 CWCB(Colorado Water Conservation Board)에 제공한 생물학적 추천유량을 기초로 하고 있다. 일반적으로 송어(trout)와 같은 수생지표어종을 보전하기 위해서는 일정한 유량이 필요하며, 이 양은 전체 자연환경을 보전하기 위해 필요한 양과 동일하다는 가정하에 생물학적으로 필요한 유량 산정에 접근하고 있다.

## 3. 유지유량 산정 방법의 개요

유지유량산정 방법은 크게 두가지로 분류될 수 있다. “Standard setting Methodologies”는

---

1) 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원

특정 유지유량의 효용(instream flow value of interest)을 보호하기 위해 필요한 최소한의 기준 유량을 정하는 방법으로, "non-field type" 과 "habitat retention type" 으로 세분된다. "Non-field type"은 현장이나 실험적 자료가 아닌 하천 유량 자료를 이용하여 추천유지유량을 이끌어내는 방법을 말하며, "Tennant 방법" 또는 "Montana methods" 등이 있다.

R2CROSS 방법과 율변법(wetted perimeter method)과 같은 "Habitat retention method"는 수리학적 현장 데이터를 이용하여 하천유량과 어류서식처의 지표들간의 관계를 조사하는 방법이다. "Standard setting Methodologies" 은 특정 수생 서식처를 보호하기 위한 목적으로 유지유량을 산정하는데 유용한 방법이라 할 수 있다.

이와 반대로, IFIM/PHABSIM와 같은 "Incremental Methodologies"은 하천의 유량을 점증적으로 변화시키면서 서식처의 충격을 평가하는 목적으로 수리적 현장 자료와 특정 수생생물 종의 다양한 성장단계를 고려한 생물학적 정보를 연관시키는 방법이다. "Incremental Methodologies" 에서 얻어진 결과는 주로 수자원개발계획(댐 건설 또는 방류 영향 평가 등)의 상대적인 영향을 평가하는데 사용되며, 북아메리카에서 가장 널리 이용되는 유지유량 산정방법이다.

표 1에서는 미국 서부의 각 주별로 유지유량을 산정하는 방법과 주요 관심분야에 대한 것을 기술하였다.

표 1. 미국 서부의 각 주별 유지유량 산정 방법 및 주요 관심분야

각 주별	산정방법	주요관심분야
Alaska	*IFIM *Tennant *Other Proven methods	*Test methods and modify for Alaska conditions *Develop local preference curve *More gaging stations
Colorado	*R2CROSS *IFIM in selected cases	*Validate relationship between Weighted Usable Area and fish population response
Hawaii	*IFIM *Q90	*Define microhabitat requirements
Idaho	*IFIM *Wetted Perimeter	*More stream and species-specific probability-of use
Kansas	*IFIM	*Validate response of standing crops to varying flow regimes
Montana	*Wetted Perimeter	*Summarize biological response to flow *Flows for wetlands and riparian habitats *Impacts of fluctuating flows *Flushing flow requirements *Impacts of winter flow reductions
Nebraska	*None specified	*Determination channel maintenance flows in alluvial streams
Oregon	*IFIM *Oregon method	*Validate IFIM habitat:flow relationship *Develop low cost methods for water resources planning and small project
Utah	*IFIM *Tennant	*Effects of peaking flows on fisheries *Develop preference curves for non-game species *Validate IFIM habitat:flow relationship *Develop flushing flow methods
Washington	*IFIM *USGS Toe-Width *Tennant	*Methods for high gradient streams *Improve salmonid preference curves *Verify habitat preference curve *Big river flow models *Test fish production v. habitat:flow relationship
Wyoming	*IFIM *Habitat Quality Index *Tennant	*Validate IFIM *Winter flow requirements *Flushing flows *Verify flow recommendations

\* 자료출처: Evaluation of the Standards and Methods Used for Quantifying Instream Flows in Colorado, 1998

현재 콜로라도주에서 유지유량을 산정하기 위하여 가장 많이 사용되는 방법은 R2CROSS로서, 일반적으로 하천 현장 조사를 기본으로 하므로 현장자료를 이용하지 않는 방법에 비해서 대표성을 갖으며, 많은 조사와 자료를 필요로 하는 다른 방법들과 비교하여 그 결과가 비슷하여 매우 경제적인 방법으로 알려져 있다.

#### 4. Yampa River의 유지유량 산정

(Yampa River <Stagecoach Reservoir to Lake Catamount 유지유량 산정>, 미국 콜로라도주 CWCB 내부 자료)

미국 콜로라도 주의 Yampa River는 Green River의 지류로서 송어 낚시와 래프팅의 명소로서 CDOPR(Colorado Division of Parks and Outdoor Recreation), CDOW(Colorado Division of Wildlife) 및 UYWCD(Upper Yampa River Water Conservancy District)에서 Yampa River의 6.5 마일(약 10.4 km) 구간(그림 1)에 대한 유지유량을 검토하였으며, 유지유량을 위한 수리권을 도입하여 하천의 자연환경을 보존 할 필요성이 있는 것으로 판단되었다.

이 구간에 대해서 상류에서 하류까지의 유량 및 단면 자료를 측정하여 표 2와 같은 결과를 얻었다. 표 2에는 자료수집기관, 수집일자, 유량측정성과, 매닝공식에 의한 유량 정확도의 범위(유량의 40~250%), 동절기 및 하절기 추천유량 등이 제시되어 있다. 여기서 CDOW는 하절기는 72.5 cfs, 동절기에는 47.5 cfs를 생물학적으로 적정한 유량으로 제시하였다.

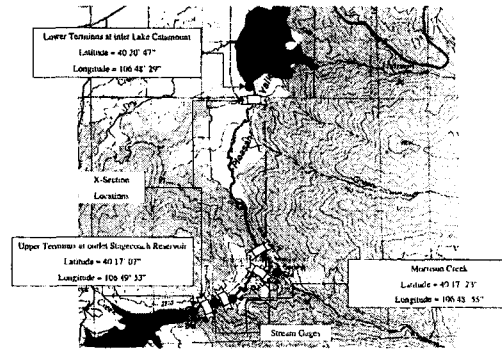


그림 1. 유지유량 산정 구간 유역도

표 1. Yampa River 실측 유량

(단위 : cubic feet per second)

자료수집기관	일자	유량	250%-40%	하절기(3/3)	동절기(2/3)
CDOW/CWCB	2000/08/16	44.4	111-17.3	?	15.6 <sup>(1)</sup>
CDOW	1998/11/17	72.3	180-60.3	62.8	20.7 <sup>(1)</sup>
CDOW/CWCB	2000/08/16	46.2	116-18.5	35.0	34.3
CDOW/CWCB	2000/08/16	51.5	129-20.6	48.0	46.6
CDOW	1998/11/17	76.8	192-30.7	76.6	36.6
CDOW	1998/11/17	83.8	210-33.5	83.4	63.9
CDOW/CWCB	2000/08/17	77.4	194-31.0	37.5	6.8 <sup>(1)</sup>
CDOW/CWCB	1991/10/24	76.3	191-30.5	?	?
CDOW/CWCB	1991/10/24	97.5	244-39.0	83.0	15.0 <sup>(1)</sup>
CDOW/CWCB	2000/08/17	79.1	198-31.6	68.4	30.7 <sup>(1)</sup>
CDOW	1998/11/18	84.2	211-33.7	152	44.7
CDOW/CWCB	2000/08/17	86.1	215-34.4	143	58.8
CDOW/CWCB	1991/10/24	87.5	219-35.0	44.3	11.3 <sup>(1)</sup>
CDOW	1998/11/18	81.0	203-32.4	35.4	21.5 <sup>(1)</sup>
평균				72.5	47.5

CDOW: Colorado Division of Wildlife, CWCB: Colorado Water Conservation Board

(1): 적정유량이 매닝공식 정확도의 범위를 벗어남, ?: R2CROSS 결과표 밖의 자료

이와 같은 생물학적인 추천유지유량을 바탕으로, 기존 수문자료를 분석하여 실제적인 유량 공급 가능성을 표 3과 같이 해당 지점에 대해서 월별 초과확률별 하천 유량을 산정하여 동절기 및 하절기에 40cfs의 공급 가능성을 검토하였으며, 표 3에서 음영처리가 된 부분은 40cfs보다 큰 유량들이다. 표 3에서 보듯이 동절기와 하절기의 최소유량인 40cfs는 저수지 상류부에 대해서는 12월과 2월을 제외하고는 모두 만족하고 있으며, 저수지 하류부에 대해서는 초과확률 50%에 대해서는 모두 만족하고 있다.

여기서 저수지 하류부의 하천유량은 저수지 수문조작에 의한 영향을 받고 있으며, 저수지의 수문 조작은 댐 건설시 UYWCD와 협의한 별도의 규정에 준하고 있다.

- 1) 저수지와 댐은 하류의 수상생태계에 미치는 영향이 최소화 될 수 있도록 하도록 하여야 하며, 저수지 수질을 최적으로 유지할 수 있도록 하여야 한다.
- 2) 댐유입량의 다소와 관계없이 매년 12월 1일부터 7월 31일까지는 최소한 40 cfs의 방류량을 유지한다.
- 3) 매년 8월 1일부터 11월 31일까지 최소한 20 cfs의 방류량을 보장한다.
- 4) 댐과 Catamount 저수지 사이의 하천구간에 대해서 rainbow trout와 brown trout의 서식을 위한 적정 수온을 유지한다. 등등

표 3. Yampa River (Stagecoach 저수지 하류)

(단위 : cubic feet per second)

초과확률	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1%	94	87.11	240.8	636.5	523.5	513.5	463.5	216	165	144.1	110	108
5%	88	84	125	330.5	406.8	362	241.5	166	120	117	99	94
10%	73	75	92	267	336.5	275	169.5	133	99	108.5	94	82
20%	60	60	81	200	268	199	128	105	87	91	77	65
50%	47	48	55	100	130	107	83	77	57	61	60	49
80%	38	38	42	58	56	52	52	48	34	43	45	37
90%	32	34	37	45	44	42	43	38	28	35	39	32
95%	27	32	34	41	31.25	32.5	31	33	24	30	36	28.25
99%	20.85	23	17	18	11	12.5	20	25	16	22.85	24	17.85

결론적으로, UYWCD에서는 매년 12월 -7월에는 40cfs, 8월- 11월에는 20cfs의 최소 방류량을 요구하고 있으며, 댐에서 최소한의 발전 방류를 40cfs로 고려한다면 연중 40cfs의 유량은 유지가 가능한 것으로 판단된다.

또한, 저수지 하류구간에 대해서 발전 방류를 비롯한 댐 운영을 고려할 때 동절기 추천유지유량인 47.5cfs는 공급이 가능하며, 하절기 추천유지유량인 72.5cfs 역시 4, 5, 6, 7월 동안 공급이 가능한 것으로 분석되었다.

## 5. 결론 및 요약

우리나라의 유지유량 산정과는 달리 주로 하천 생태계, 특히 어류의 서식처 보호가 그 첫 번째 목적으로 꼽히고 있다. 최근 우리나라에서도 생태계를 고려한 유지유량 산정 방법을 시도 있게 적용하고자 하는 시도가 되고 있으며, 생태계를 고려하는 경우 비교적 간편한 방법에서부터 매우 정교하고 비용이 많이 소요되는 방법들이 있다. R2CROSS 방법을 주로 이용하는 미국 콜로라도 주의 유지유량 산정 방법은 비교적 간단하게 적용할 수 있는 것으로서, 우리나라에서 중소 하천을 대상으로 유지유량을 검토하는데 참고로 할 수 있는 방법으로 판단된다.