

금강유역의 유황특성 변동 분석

An Analysis on the Alteration of Flow Regime Characteristics : A Case of the Geum River Basin

강성규*, 이동률**, 문장원***, 최시중****

Seong Kyu Kang, Dong-Ryul Lee, Jang Won Moon, Si Jung Choi

요 지

최근 하천의 복원과 자연형 하천 조성 사업 등이 활발하게 진행되고 있으며, 하천의 정상적인 상태를 유지하기 위한 최소유량의 개념인 하천유지유량의 산정도 정부차원의 사업으로 진행되고 있다. 우리나라 하천복원사업의 주목적은 변형된 수로의 복원, 오염하천의 정화, 생태서식처 조성, 자연 구조물 재료를 이용한 친수 공간 확보 등이나, 해외 관련연구사례는 자연상태 혹은 자연상태와 가까운 상태로 하천을 복원, 유지하기 위해서는 과거의 유량 흐름 특성을 복원하는 것이 이에 못지않게 중요함을 시사하고 있다.

본 연구에서는 하천의 유황특성을 세분하여 이들 특성이 하천생태계에 줄 수 있는 영향을 외국의 사례를 통해 고찰하였으며, 금강유역의 유황변동에 가장 큰 영향을 주는 대청댐 및 용담댐의 건설 전·후의 유황특성 변동을 분석하였다. 또한, 과거 관측자료가 부족한 경우, 모형을 통해 산정된 자연유량자료의 활용 가능성을 평가하여 본 연구에 이용하였다. 본 연구의 유황특성 변동 분석은 향후, 하천유지유량의 산정, 자연형 하천 복원 및 하천관리 시 유황의 특성을 복원하기 위한 노력이 필요하다는 방향성을 제시한다.

핵심용어 : 유황특성, 하천유지유량, 자연유량, 하천복원

1. 서 론

하천 주변에 사람들이 정주하면서, 필요한 물공급을 위한 하천수의 취수, 지하수 개발, 댐의 저류와 방류, 광역도수 등은 하천에 흐르는 자연유황을 변화시켜왔다. 1990년대 이후 변형된 하천 및 생태계의 복원에 대한 연구와 사업이 국제적으로 활발히 진행되고 있으며, 우리나라에서도 하천 복원사업, 자연친화적 하천관리기술 개발, 하천유지유량의 재 산정 등 관련 분야에 대한 관심과 사업이 늘어나고 있다. 그러나 과거, 자연상태에서의 물의 흐름특성에 대한 평가와 이를 복원하기 위한 노력은 상대적으로 부족한 실정이다. Petts (1996)와, Poff 등(1997)에 의하면 이수사업에 의해 훼손된 하천의 자연유황 복원이 생태계의 다양성 확보에 가장 중요한 요소임을 제시하고 있다.

본 연구에서는 Richter(1997)에 의해 제시된 유황의 특성인 유량(magnitude), 발생빈도(frequency), 지속기간(duration), 특정유량의 발생시기(timing), 유량의 변화율(rate of change) 등에 따라 금강유역의 유황특성을 “유황변동분석법(RVA, Range of Variability Approach)”을 활용하여 분석하고, 유황의 특성별 생태계와의 연관성을 해외의 사례를 통해 살펴보았다. 또한, 과거의 수문관측자료가 부족한 지점에서 모의된 자연유량 자료의 적용가능성을 평가하여 본 연구에 활용하였다.

* 정회원·한국건설기술연구원 연구원·e-mail : skkang@kict.re.kr
** 정회원·한국건설기술연구원 책임연구원·e-mail : dryl@kict.re.kr
*** 정회원·한국건설기술연구원 연구원·e-mail : jwmoon@kict.re.kr
**** 정회원·한국건설기술연구원 연구원·e-mail : sjchoi@kict.re.kr

2. 유황특성 및 생태계에 대한 영향

유황은 일반적으로 유황곡선을 통해 그 특성을 확인 할 수 있으며, 연중 일정기간 이상 지속되는 유황은 풍수량, 갈수량, 저수량 및 갈수량으로 구분하여 그 규모의 평가가 가능하다. 하천유황의 변동정도를 표시하는 지표로 하상계수가 있으나, 갈수나 홍수에 따라 매우 민감하게 반응하며, 우리나라의 경우, 과거 개발되었던 수위-유량 관계곡선식의 신뢰도가 높지 않아 갈수시와 홍수시의 유량자료의 부정확함이 있어, 이진원 등(1993)이 제시한 유황계수를 산정하여 유황을 검토하기도 한다.

자연유황이란 인위적인 취수, 하천구조물에 의한 유황의 조절 등이 없는 하천개발 전 상태의 유황을 말하는 것으로, 변형된 자연유황은 하천의 생태, 지형 등 전반에 걸친 작용을 하게 된다. Richter(1997)에 의하면, 유황의 각 특성치들이 생태계에 미치는 영향은 표 1과 같다.

표 1. 유황특성별 수문 변수 및 생태계에 대한 영향 (Richter et. al, 1997)

특성분류	유황특성	수문변수	생태계영향
1. 월유량	크기(magnitude) 시기(timing)	월평균유량	- 수생물의 서식처, 토양 함수량, 육생동물의 이용 가능성 - 수생 포식동물의 먹이에 대한 접근성, 수온, 용존산소량 및 식물의 광합성
2. 연극치유량	크기(magnitude) 지속기간(duration)	1일평균 최소치 3일평균 최소치 7일평균 최소치 30일평균 최소치 90일평균 최소치 1일평균 최대치 3일평균 최대치 7일평균 최대치 30일평균 최대치 90일평균 최대치 0(zero)유량일수 갈수량(baseflow): 7일최소유량/연평균유량	- 유기물의 개체수 조절 - 식물 군집 형성 - 수 생태계의 유기물 및 무기물 구성 조절 - 하도의 모양 및 생물의 서식환경 조성 - 토양 함수량 - 동물체가 필요로 하는 최소 수분량 - 식물의 필요 산소량 - 홍수터와 하천간의 영양분 변동 - 수 환경에서 필요한 화학적 요소 - 식물군집의 분포 - 자정작용 및 부화환경 조성
	발생시기(timing)	연일최소유량발생일 연일최대유량발생일	- 유기물의 생활주기(생활사, Life cycle)의 적합성 - 유기물의 피해예측 및 회피여부 파악 - 특정 생물의 서식처 이전 및 포식자로부터의 회피 - 생태학적 변화 및 행동방식의 변화
3. 고-저유량 Pulses	크기(magnitude) 빈도(frequency) 지속기간(duration)	연저유량 Pulses 빈도 저유량 Pulses 지속기간 연고유량 Pulses 빈도 고유량 Pulses 지속기간	- 식물에 필요한 토양 함수량 및 토양함수량 빈도 - 식물의 공기부족에 대한 대응능력 및 공기부족의 빈도 - 수생유기물의 홍수터에서의 서식지 이용여부 - 홍수터와 하천간의 영양분 변동, 토양에 함유된 미네랄의 양 - 침점류의 먹이 및 서식지, 유사 및 퇴사에 대한 영향 및 하도의 기층 변동 (high pulse)
4. 수문곡선 변화	빈도(frequency) 변화율(rate of change)	일연속유량증가량평균 일연속유량감소량평균 유량 발전(증가-감소)빈도	- 가뭄으로 인한 식물에 대한 영향 - 홍수터 및 섬에 유기물이 존재(rising levels) - 쉽게 움직일 수 없는 유기물의 탈수

3. 자료수집 및 모의 자연유량의 활용 가능성 평가

본 연구의 대상인 금강유역은 1980년 완공된 대청댐과, 2001년 완공된 용담댐의 유황조절에 큰 영향을 받고 있는 유역이다. 유황분석을 위한 지점은 금강 본류의 상류부터 용담댐, 호탄, 대청댐, 공주, 규암 지점과 주요 지류인 갑천의 회덕, 미호천의 석화 및 논산천의 논산지점이다. 공주와 규암의 경우 과거부터 수위-유량관계식에 의한 자료의 축적이 비교적 풍부한 지점이며, 그 외의 지점 중 회덕, 석화와 논산은 과거의 자료가 신뢰성이 부족하거나, 풍부하지 못한 것으로 평가되었다. 한편 호탄지점의 경우 용담댐이 비교적 최근에 건설된 이유로 분석기간은 짧으나, 자료의 확보는 비교적 용이하였다.

전술한 바와 같이 과거 유량자료의 확보가 어려운 지점에 대해서는 모의 자연유량의 활용 가능성을 평가하여 분석에 활용하고자 하였다. 모의 자연유량은 수자원장기종합계획보완(건설교통부, 2006)에서 사용된 토양수분 저류구조를 가진 탱크모형으로 계산된 유량자료(1967년~2003년)

를 2005년까지 업데이트한 자료이며, 이들 자료와 관측자료를 비교, 통계치를 분석하였다.

이들 자료의 가용성을 평가하기 위한 지표로 평균유량(m^3/s), 상관계수(coefficient of correlation), PBIAS(percent bias), NSE(Nash-Sutcliffe efficiency) 및 PME(persistence model efficiency) 등의 통계특성을 분석하였다. Yapo등(1996)과 Gupta 등(1999)에 따르면, NSE와 PME의 최소 허용범위(minimally acceptable value)는 0보다 커야 한다. 이들 통계 특성의 분석 결과는 표 2에 나타내었다.

표 2. 관측유량 및 모의자연유량의 통계특성 비교

구분	용담댐 (2002~2005)	대청댐 (2002~2005)	공주 (1967~1980)	규암 (1967~1980)
평균유량 (m^3/s)	33.94 / 32.93 유입량 / 모의유량	90.64 / 97.73 유입량 / 모의유량	148.25 / 150.32 관측유량 / 모의유량	177.35 / 174.03 관측유량 / 모의유량
상관계수	0.764	0.911	0.837	0.798
PBIAS	2.964	-7.816	-1.393	1.872
NSE	0.557	0.829	0.677	0.636
PME	0.583	0.755	0.293	0.245

* PBIAS: 추정치의 과대(-), 과소(+) 추정여부, 최적값은 0; NSE: 최적값 1; PME: 최적값 1

통계 특성으로 살펴본 결과, 대상지점의 평균유량의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 상관계수는 0.764~0.911정도로 나타났으며, PBIAS는 용담댐과 규암지점의 경우 실제 유량보다 과소추정되는 경향을, 대청댐과 공주지점은 과대추정되는 경향을 보여준다. NSE와 PME는 각각 0.557~0.829, 0.245~0.755 정도로 나타나 아주 양호하진 않지만, 비교적 사용이 가능한 것으로 분석되었다.

이들 분석자료를 토대로 용담댐(2002~2006, 유입량/방류량), 대청댐(1983~2006, 유입량/방류량), 호탄(1996~2000, 2001~2005, 관측유량), 공주(1956~1980, 1981~2005, 관측유량), 규암(1956~1980, 1981~2005, 관측유량), 회덕(1968~1979, 모의유량, 1994~2005, 관측유량), 석화(1968~1979, 모의유량, 1994~2005, 관측유량), 논산(1968~1979, 모의유량, 1994~2005, 관측유량)의 일유량자료를 비교 분석하였다. 유황은 일반적인 유황(풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량 및 유황계수) 분석 및 유황변동분석(RVA)으로 구분하여 수행하였다. 분석기간 중 결측이 연중 10일 이상이면 갈수량 산정이 불가하므로, 일반 유황특성의 분석에는 사용하지 않았다.

4. 유황 및 유황변동 분석

금강유역의 일반 유황특성을 분석하여 표 3에 나타내었다. 논산의 경우를 제외하고는 모든 지점에서 유황의 변동이 매우 크게 분석되었으며, 논산도 유황계수를 근거로 판단할 경우, 유황의 변동이 있는 것으로 판단된다. 특히, 용담댐의 유입량과 방류량을 비교하였을 때, 갈수량의 경우 평균 600%에 가까운 변화를 보이고 있다. 유황계수의 변동이 가장 적은 지점은 회덕으로 그 차이가 2.02로 분석되었다. 이러한 변화는 이수의 측면에서 긍정적으로 평가할 수 있으나, 생물종의 다양성과 같은, 유황변동이 큰 경우 유리한 환경·생태학적 인자는 부정적인 영향을 받게 됨을 의미한다.

유황변동 분석은 표 1에 소개한 33개의 항목의 변화정도를 분석하는 것으로, 미국의 'The Nature Conservancy'에서 개발된 'IHA'(Indicators of Hydrologic Alteration, Ritche et al., 1997)라는 분석도구를 활용하였다.

표 3. 일반 유황특성의 변동

지점	항목	$Q_{95}(m^3/s)$	$Q_{185}(m^3/s)$	$Q_{275}(m^3/s)$	$Q_{355}(m^3/s)$	유황계수
용담댐	유입량	18.34	8.86	4.93	1.84	116.76
	방류량	25.37	22.39	18.79	11.00	10.20
	변동률(%)	138.34	252.63	381.40	597.83	8.74
호탄	변형 전	32.40	16.50	8.31	4.83	54.67
	변형 후	29.37	19.54	14.53	8.01	27.20
	변동률(%)	90.66	118.37	174.85	166.00	49.75
대청댐	유입량	59.26	28.67	16.19	7.17	87.73
	방류량	93.44	44.38	24.61	15.29	22.42
	변동률(%)	157.68	154.82	151.97	213.16	25.55
공주	변형 전	109.22	50.97	32.84	16.30	62.44
	변형 후	150.06	79.21	48.62	26.12	29.31
	변동률(%)	137.40	155.41	148.06	160.20	46.94
규암	변형 전	189.40	77.52	45.61	23.75	77.25
	변형 후	203.50	127.53	89.16	52.10	27.31
	변동률(%)	107.44	164.52	195.49	219.37	35.35
회덕	변형 전	9.63	5.56	3.63	2.56	33.06
	변형 후	13.25	7.88	4.72	3.35	31.04
	변동률(%)	137.56	141.79	130.03	130.77	93.89
석화	변형 전	25.67	11.23	6.55	3.68	53.57
	변형 후	39.14	22.48	14.35	10.14	28.13
	변동률(%)	152.49	200.17	218.92	275.79	52.50
논산	변형 전	7.26	4.21	2.75	1.96	32.83
	변형 후	7.67	3.74	2.13	1.07	68.17
	변동률(%)	105.53	88.81	77.38	54.39	207.66

Ritcher 등(1997)에 따르면, 수문변화율(HA, Hydrologic Alteration)의 항목은 관측빈도에서 기대빈도를 제한 값을 기대빈도로 나눈 값이다. 여기서 관측 빈도는 유황의 변형이 생긴 이후(댐건설 후)의 유량(방류량)이 댐건설 전 “평균±1표준편차”의 구간에 속해있는 횟수를 말하며, 기대 빈도는 유황의 변형이 발생하기 전(댐건설 전)의 유량이 댐건설 전 “평균±1표준편차” 구간에 속해있는 횟수를 말한다. 수문변화율이 양의 값이면 수문량의 변화는 있지만, 과거의 수문량의 범위를 벗어날 가능성이 적은 것이며, -1의 값을 가진다면 댐 건설로 인한 수문량의 변화는 과거 수문량의 범위에 한 번도 포함되지 않음을 의미한다.

표 4에 나타난 바와 같이, 용담댐의 유입량과 방류량의 유황 변동은 월별 평균의 경우, 7월, 10월, 11월 및 12월의 특성이 가장 크게 변동되었으며, 각 지속기간별 최대값보다는 최소값의 평균값 변동이 심화된 것으로 평가되었다. 호탄 관측지점은 5월~7월 평균유량의 특성변화가 있었으며, 지속기간 90일 최소값의 평균의 변화가 두드러졌다. 대청댐은 11월에서 다음해 1월까지 유황의 조절효과가 가장 큰 것으로 나타났으며, 매년 90일 최대값의 평균치를 제외하고는 각 지속기간별 최소, 최대 평균값은 유입량에 비해 방류량의 특성이 변화되었다.

월별 평균값의 변화로 알아보면, 공주는 7월부터 이듬해 1월까지, 규암은 11월부터 이듬해 2월까지의 월 평균값의 변동이 있었다. 다른 지점과 마찬가지로 각 년도의 지속기간별 최대값의 평균치보다는 최소값의 평균치에 변화가 더 큰 것으로 분석되었다. 갑천의 회덕지점은 3월과 9월을 제외하면 연중 모든 평균치의 변화가 있었다. 표 3의 일반 유황특성 분석에서는 논산, 회덕지점의 유황은 크게 변동된 것으로 나타나지 않았으나, 유황변동 분석결과 이들 두 지점의 유황 특성치에도 큰 변화가 있었음을 알 수 있다.

표 4. 각 지점의 수문변화율

구분	수문변화율							
	용담댐	호탄	대청댐	공주	규암	회덕	석화	논산
월평균유량								
1월	-0.667	0.000	-0.118	-0.337	-0.514	-0.571	0.250	-0.222
2월	-0.500	0.333	0.125	0.094	-0.081	-0.111	0.375	-0.222
3월	-0.667	0.000	0.067	0.091	0.458	0.000	0.250	-0.125
4월	0.667	0.333	0.143	0.146	0.191	-0.286	0.143	-0.333
5월	0.667	-0.333	0.063	0.339	0.172	0.143	0.250	0.000
6월	0.667	-0.667	0.200	0.181	0.597	-0.500	-0.375	0.500
7월	-1.000	-0.333	0.133	-0.132	0.215	-0.167	0.429	-0.571
8월	0.000	0.333	0.000	-0.219	0.042	-0.333	0.000	-0.778
9월	0.000	0.667	0.118	0.116	0.237	0.000	0.167	-0.286
10월	-1.000	0.667	0.000	-0.023	0.042	-0.125	-0.111	-0.250
11월	-1.000	0.667	-0.250	-0.074	-0.287	-0.750	-0.222	-0.700
12월	-1.000	0.667	-0.474	-0.479	-0.355	-0.571	0.000	-0.250
지속기간별 유량								
1일 최소	-1.000	-0.333	-0.813	-0.609	-0.561	-0.800	-0.100	-0.857
3일 최소	-1.000	-0.333	-0.313	-0.405	-0.635	-0.800	-0.333	-0.778
7일 최소	-1.000	-0.667	-0.267	-0.449	-0.595	-0.778	-0.500	-0.750
30일 최소	-1.000	-0.667	-0.467	-0.107	-0.387	-0.571	-0.667	-0.375
90일 최소	-1.000	-1.000	-0.529	-0.219	-0.284	-0.333	0.000	-0.333
1일 최대	-0.667	-0.333	-0.467	-0.248	-0.023	-0.571	0.000	-0.875
3일 최대	0.000	0.333	-0.500	-0.306	0.250	-0.333	-0.143	-1.000
7일 최대	-0.667	0.333	-0.444	-0.142	0.103	-0.333	0.000	-0.857
30일 최대	-1.000	-0.333	-0.250	0.111	0.302	-0.500	-0.500	-0.600
90일 최대	-1.000	0.000	0.000	-0.089	0.432	-0.222	-0.222	-0.250
0(zero) 유량일 수	0.667	0.000	-0.348	-0.083	0.000	0.000	0.091	-0.083
갈수기 유량	-1.000	-1.000	-0.500	-0.449	-0.571	-0.143	-0.250	-0.750
특정 유량 발생일								
최대유량 발생일	0.000	0.000	1.000	-0.702	-0.755	-1.000	1.000	0.500
최소유량 발생일	-0.333	2.000	0.250	-0.132	-0.219	0.000	0.000	-0.375
고유량·저유량 발생								
저유량 pulse 횟수	-1.000	-1.000	-0.895	-0.510	-0.449	-0.714	0.091	-0.750
저유량 pulse 지속일	-1.000	-0.643	-0.439	-0.653	-0.556	-0.750	-0.143	
고유량 pulse 횟수	-0.667	-0.667	-0.842	-0.287	-0.265	-0.286	-0.375	0.000
고유량 pulse 지속일	-0.333	-0.333	-0.500	0.042	0.215	-0.444	-0.111	-0.500
수문곡선변화								
증가율	-0.667	-0.667	-0.375	-0.421	-0.023	-0.625	0.571	-0.857
감소율	-0.667	-0.333	-0.438	-0.154	0.302	-0.857	0.500	-0.800
유량반전횟수	-1.000	-0.667	-0.533	-0.942	-0.942	-1.000	-1.000	-1.000

이러한 변화는 수문량의 변화뿐 아니라 환경·생태학적으로도 영향을 주어 갈수기의 수생물의 서식공간의 감소, 홍수터의 수위상승과 토양수분의 증가로 인한 수변식물의 다양성 유지 저감, 적절한 수온과 DO의 유지 등에 변화를 초래할 수 있고, 갈수빈도의 감소는 하구언의 생태계에 많은 영향을 줄 수 있다.

이와 같은 유량변동의 가장 큰 원인은 용담댐과 대청댐의 조절효과이다. 특히 본류의 경우는 이들 두 댐의 방류량에 큰 영향을 받으며, 다른 이유로는 이수목적의 취수에서 찾을 수 있다. 대청댐의 경우, 대전광역시의 필요수량을 직접 취수하고 있으며 이 취수량은 1983년 평균 1.69 (m^3/s)에서 2005년 6.38(m^3/s)로 증가하였다. 이들 수량의 회귀수가 갑천을 통해 금강으로 이동하므로, 회덕지점에 영향을 준 것으로 판단된다. 또한 건설교통부(2004)에 따르면, 2000년 이후 신설된 광역 상수도는 “대청댐 계통 II”로, 시설용량 98만(m^3/day)이며, 공급지역은 청주, 천안, 청원, 연기, 아산이다. 이 중 천안에 공급되는 수량의 이동경로는 곡교천(천안천)을 통해 삽교천 → 서해, 아산은 서해(삽교천)으로 추정되므로 이를 제외하면 청주, 청원, 연기로 공급되는 수량은 미호천 혹은 금강으로 회귀되어 석화지점에 영향을 주게 된다. 논산천의 경우, 부여 인근의 금강 본류를 수원으로 하는 광역 상수도 “금강계통”이 1976년 ~ 1984년간 건설되었으며, 논산으로 공

급되는 유량은 일평균 $0.46(m^3/s)$ 이다. 이와 같은 물이용 및 물이동 경로의 변형이 금강유역의 각 지점에 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 댐 건설, 취수 등과 같은 인간의 활동이 하천 유형에 미치는 영향을 살펴보고자 하였다. 금강유역을 대상으로 하여 본류의 경우는 용담댐과 대청댐의 영향을, 지류의 경우는 이들 댐의 광역도수 등 물공급과 물이동 경로의 변화에 따른 유량의 변동양상을 일반적인 유형특성과 유량변동분석법의 각 항목을 통해 분석하였다. 이전의 연구에서는 이수 및 치수측면에서 유형계수의 변동폭이 작으면, “긍정적 효과” 혹은 “하천유형의 개선”이라는 표현이 등장하고 있으나, 인간의 물이용 효율화와 홍수피해 저감을 위한 노력이 환경·생태학적 측면에서 부정적인 영향을 주고 있음을 제시하고자 한다. Poff 등(1997)에 의하면 하천에 흐르는 갈수량에서 홍수량 범위의 자연 유황은 하도 및 홍수터에서 물과 유사한 이송을 통하여 하천의 자연적인 물리적 과정을 형성함으로써 하천생태계를 조직화하고 범위를 설정한다고 하였다. 결국 이는 하천 생태계 기능의 복원에서 생태계보전을 위한 갈수량 또는 특정 대상 어종을 위한 최소유량 개념의 하천유지유량 확보와 같은 협의의 하천수량 설정보다 하천유량의 전체적인 변동성을 고려해야함을 보여준다. 더불어, 인간의 물이용(이수·취수)과 환경·생태계의 필요수량 사이에 공유할 수 있는 수자원의 배분에 대한 새로운 하천수량 및 수자원관리의 방향을 모색해야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부(2006). 수자원장기종합계획, pp 441-456
2. 건설교통부(2004). 광역상수도 및 공업용수도 수도정비기본계획, pp 86-90
4. 이진원, 김형섭, 우효섭(1993). “댐건설로 인한 5대수계 본류의 유황변화 분석”, 대한토목학회논문집, 제13권, 제3호, pp. 79-91.
5. 최성욱, 윤병만, 우효섭, 조강현(2004). “댐건설에 의한 유황변화에 따른 하류 하도에서 하천지형학적 변화 및 식생피복의 변화: 황강 합천댐 사례”, 한국수자원학회논문집, 제37권, 제1호, pp. 55-66.
6. Brian D. Richter, Baumgartner, J.V., Wigington, R., Braun, D.P.(1997). "How much water does a river need?", *Freshwater Biology*, No. 37, pp. 231-249.
7. Hoshin Vijai Gupta, Soroosh Sorooshian, Patrice Ogou Yapo(1999). "Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration", *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol 4, No. 2, pp 135-143.
8. Patrice O. Yapo, Hoshin Vijai Gupta, Soroosh Sorooshian(1996). “Automatic calibration of conceptual rainfall-runoff models: sensitivity to calibration data”, *Journal of Hydrology*, Vol. 181, pp 23-48.
9. Petts, G.E.(1996). "Water allocation to protect river ecosystems", *Regulated Rivers: Research & Management*, Vol. 12, pp. 353-365.
10. Poff et.al.(1997). "The natural flow regime", *BioScience* Vol. 47, No. 11, pp. 767-764.