



하천유량의 불확실성을 고려한 4대강 다기능보의 확률론적 시험담수일정 검토



정 남 정
한국수자원공사 4대강사업본부장, 공학박사
chung@kwater.or.kr



이 한 구
한국수자원공사 4대강사업본부 기술지원센터장, 공학박사
hglee@kwater.or.kr



장 성 필
한국수자원공사 4대강사업본부 기술지원센터장
jang@kwater.or.kr

리위원회의 기후변화 소위원회가 펴낸 보고서에 의하면 2060년에 최대 약 33억^m의 물 부족을 겪을 것으로 전망하고 있다. 또한 일 100mm이상의 집중호우 발생이 2.7배 증가되어 현재 100년 빈도로 설계된 제방의 치수안전도가 1/2로 감소될 전망이다. 이와 같이 수자원의 불확실성이 증대되고 있는 가운데, 물이용 패턴의 변화, 용수수요의 지속적 증가, 지자체간 물 분쟁, 개발과 보전에 따른 사회적 갈등 등 새로운 도전에 직면하고 있다. 이러한 도전을 극복하기 위해서는 충분한 양의 물그릇을 확보하여 강수량의 시공간적 양극화를 완화하고 여기에 수질 및 수생태계보전과 아름다운 하천을 조성하여 지역사회의 균형발전을 함께 도모하여야 한다. 이러한 배경하에 정부에서는 4대강살리기사업을 추진 중에 있다.

4대강살리기사업은 다목적 기후변화 적응사업으로 5.7억^m의 하천 퇴적토 준설, 16개 보 및 3개 신규 댐 건설, 96개 농업용저수지 증고, 2개 홍수조절지, 비점오염원저감사업 등의 사업을 통해 9.2억^m의 홍수저장공간과 13억^m의 수량을 확보하고 수질과 생태계를 보전하는 사업이다. 이 중 보 건설은 4대강살리기사업의 핵심사업으로 그림 1에 나타난 것과 같이 금년 7월 중순까지 완공을 목표로 건설중에 있다. 보 구조물 건설 직후에는 시험담수를 실시하여 정상적인 보 운영에 앞서 수문 등 구조물의 구조적 안정성과

1. 4대강살리기사업의 실현을 위한 첫 걸음, 시험담수 시행

전 지구적 기후변화로 우리나라가 몬순기후에서 아열대성 기후로 변화될 것이라는 예측 속에 현재 그 징후들을 쉽게 접하고 있다. 이와 같은 현상은 일시적 변동이 아닌 장기적, 구조적 양상으로 중앙하천관

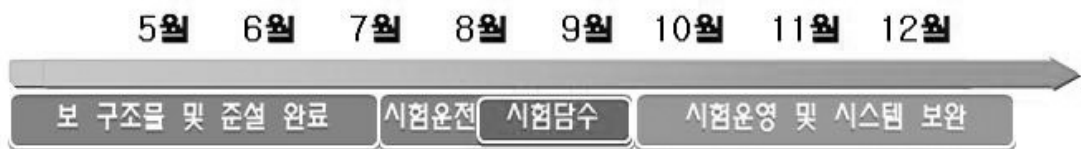


그림 1. 2011년 4대강살리기사업 추진일정



담수에 따른 주변지역 영향을 면밀히 검토하기 위한 Wet 테스트¹⁾를 수행하게 된다. 또한 시험운전을 통해 현재 구축중인 홍수기 및 이수기 댐-보 연계운영 시스템과 보 운영규정을 보완할 필요가 있다.

2. 시험담수 기본방향

기본적으로 보 구조물, 수문 및 준설공사가 금년 7월까지 완료되면 8월~9월중 수문기상여건을 고려하여 대부분 9월초 관리수위까지 담수를 시행할 예정이다. 이후 Wet테스트의 지속적인 수행과 함께 9~10월 발생하는 태풍을 경험하여 각종 보 운영 시스템을 보완할 계획이다. 시험담수 일정을 검토함에 있어 지류유입을 포함하는 수계 물수지분석을 시행하였고 하류 보장유량(생·공·농·하천유지용수)을 우선 방류

후 잉여수를 활용하여 담수하는 것으로 계획하였다. 그림 2는 상·하류 보 사이의 지류 유입을 포함한 물수지 개념도를 나타내고 있다. 시험담수일정의 수립은 우선 담수 종료일을 정하고 담수시작일 별로 물수지 분석을 수행하여 담수소요기간을 검토한 후 최종 보별로 담수시작일을 정하게 된다.

3. 시험담수일정 검토

3.1 시험담수 소요일수 분석 방법론

담수소요일수 산정을 위한 물수지분석은 보의 초기담수량과 향후 유입되는 유입량에 따라 달라진다. 결국 확률의 문제이며 이러한 수문기상 조건의 불확실성을 반영하기 위해서 과거 42년간의 유량이 재현된다는 가정 하에 앙상블 기법을 적용하여 확률론적으로 검토하였다. 그림 3은 낙동강 상주보~칠곡보 구간에서 담수시작시 보별 담수종료일에 대한 앙상블 궤적(trajjectory)을 보여주고 있다. 예를 들면 4개보에서 8월1일 담수를 일시에 시작하더라도 종료일은 유량에 종속되므로 각 보별로 상이하며 결국 42개로 구성된 앙상블 집합을 구성할수 있다. 시험담수시작일을 8월1일부터 9월30일까지 5일 간격으로 차분하여 이러한 전과정을 거쳐 담수종료일에 대한 앙상블을 마련하였다. 이로부터 각 보별로 담수시작일별 담수종료일에 대한 확률분포를 구할수 있으며 신뢰도를 고려한 보별 시험담수 일정을 설정하였다.

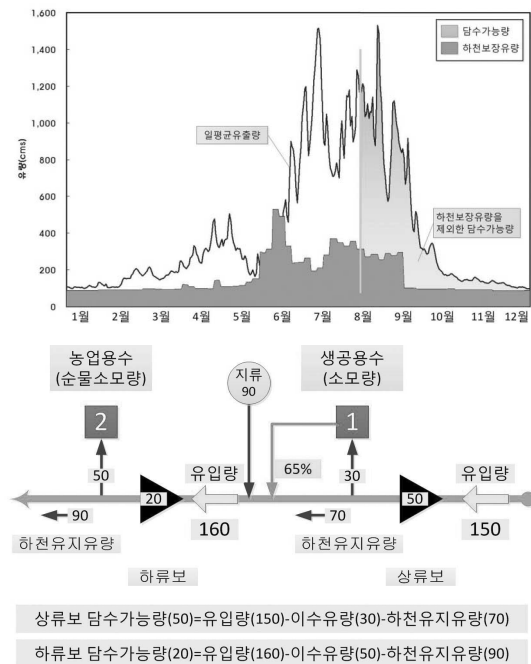


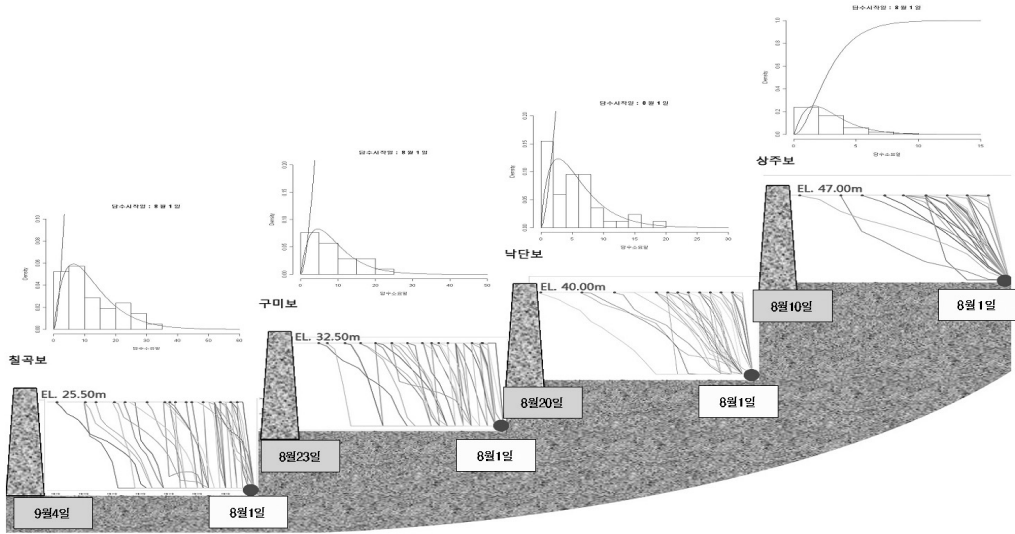
그림 2. 지류유입 및 보장유량을 고려한 담수가능량 산정과정

1) 물수지 분석

금번 물수지 분석에는 네트워크 알고리즘 기반의 K-MODSIM²⁾ 모형을 이용하였다. K-MODSIM 모형은 수자원 배분에 관련된 물리적, 수문학적, 물배분 우선순위의 제도적 조건들을 반영할 수 있도록 범

1) Wet테스트: 일련의 담수 및 방류 시험을 통해 저수위 상승·하강을 반복, 수밀부 수밀정도, 보·제방 접합부 등 주변 점검

2) KMODSIM : 콜로라도주립대(CSU)에서 개발된 물수지분석 프로그램 MODSIM의 한국형 버전(Kwater-CSU 공동개발, 2007)



〈 담수시작일 8.1, 최고담수종료일 상주보 8.10, 낙단보 8.20, 구미보 8.23, 칠곡보 9.4 〉
 그림 3. 담수 소요일수 불확실성 검토 (낙동강 상주보~칠곡보 예)

용화된 선형최적화 모형으로 다수의 조절점 및 저수지의 동시제어가 가능하다.

담수 소요일수 산정시 물수지 분석 계산시간 간격은 1일 단위로 수행하였으며, '66년 1월 ~ '07년 12월까지의 기간에 대해 수행하였다. 생활 및 공업용수의 회귀수량은 수요량의 65%가 하류로 회귀되는 것으로 하였으며, 농업용수는 순물소모량개념의 물수지 기법을 도입하여 수요량의 65%가 완전소모되는 것으로 처리하였다. 각 수요처로부터 하천으로 회귀되는 양은 직 하류에 위치한 소유역으로 유출되는 것으로

하였다. 물공급 우선순위는 생공용수, 농업용수, 하천유지용수 순으로 부여하고 보의 담수 순서는 상류에서 하류방향으로 순차적으로 물을 채우도록 하였다. 농업용수는 수자원장기종합계획의 2011년도 기준 수요량을, 생활 및 공업용수는 권역별 국토해양부 하천수 사용허가량을, 하천유지용수는 권역별 주요지점에 고시된 하천유지용수량을 사용하였다. 보의 경제조건으로 하천유량은 전국유역조사(국토해양부, 2001~2007) 자료를 활용하였다. 물수지분석의 초기조건으로 보의 초기 담수상태는 올해 7월말 과거

표 1. 다기능보의 관리수위 및 저류량

구 간	관리수위 (EL. m)	저류량(백만 ³ m)		담수량 (백만 ³ m)	구 간	관리수위 (EL. m)	저류량(백만 ³ m)		담수량 (백만 ³ m)		
		사업 前 ³⁾	사업 後 ⁴⁾				사업 前	사업 後			
낙동강	함안보	5.0	35.3	96.8	61.5	한강	이포보	28.0	8.3	16.8	8.5
	함천보	10.5	12.2	68.1	55.9		여주보	33.0	5.8	12.9	7.1
	달성보	14.0	10.4	56.4	46.0		강천보	38.0	4.8	11.6	6.8
	강정보	19.5	11.5	95.8	84.3	금강	부여보	4.2	10.0	23.3	13.3
	칠곡보	25.5	7.0	87.1	80.1		금강보	8.8	5.7	15.3	9.6
	구미보	32.5	4.0	49.9	45.9		금남보	11.4	2.8	3.8	1.0
	낙단보	40.0	2.7	35.6	32.9	영산	죽산보	3.5	4.0	25.4	21.4
	상주보	47.0	1.7	22.4	20.7		승촌보	7.5	4.2	9.8	5.6

3) 4대강살리기 사업전 단면에서 7월말 과거평균수위 기준 보 구간 저류량(백만³m)

4) 4대강살리기 사업후 준설완료 단면에서 관리수위 기준 보 구간 저류량(백만³m)



평균수위에 해당되는 저류량을 모든 보에 일률적으로 적용하였다. 이런 초기저류상태에서 보장유량 공급 후 잉여수를 보 관리수위까지 채우는데 걸리는 소요 일수를 계산하였다(표 1).

3.2 담수소요일수의 불확실성 검토

양상불 물수지해석으로 담수소요일수에 대한 물수 지분석을 통해 산정한 소요일수 확률분포를 검토한 결과, 그림 4와 같이 2변수 Gamma 분포에 적합하였고, 최우도법(maximum likelihood estimate)으로 매개변수를 추정하였다.

2변수 Gamma 분포는 Weibull분포와 함께 갈수 빈도해석 분야에서 가장 널리 사용되는 분포형 중 하나이며, 연 최대치 계열의 확률강우 및 홍수량 분석, 계절별 혹은 연유출용적 및 극대강수량의 확률분포 산정에도 자주 사용된다.

이러한 방식으로 보별 담수시작시점별로 담수소요 일수에 대한 확률분포를 산정하였고 그 결과가 표 2

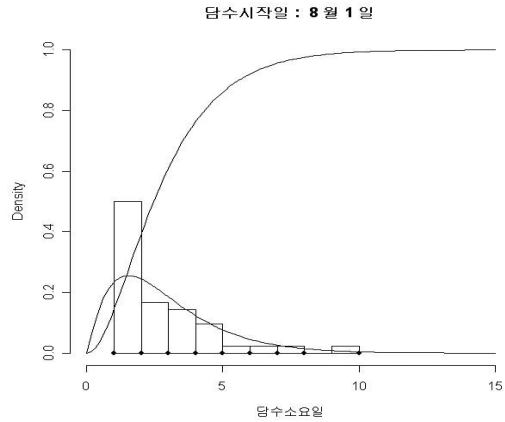


그림 4. 8월1일 담수소요일수 분포(상주보 예)

에 정리되었다. 음영처리된 부분은 95%신뢰도기준으로 담수시작이후 9월10일까지 담수완료가 불가능함을 의미한다.

3.3 시험담수일정

시험담수는 보별 공정을 고려하여 9월 중순~10월

표 2. 담수시작 시점별 담수소요일수 확률론적 분석결과(95%신뢰도 기준)

수계	보	담수시작일											
		8월						9월					
		1	5	10	15	20	25	1	5	10	15	20	25
한강	강천보	3	3	2	2	2	2	2	2	2	-	2	2
	여주보	4	4	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3
	이포보	5	5	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4
낙동강	상주보	7	8	6	6	6	6	6	6	6	7	8	9
	낙단보	14	14	12	12	12	11	11	12	14	16	19	20
	구미보	21	22	20	21	18	16	20	24	27	31	35	38
	칠곡보	29	29	28	28	25	24	38	44	51	60	70	85
	강정보	33	34	33	33	33	34	52	59	64	81	88	96
	달성보	36	35	34	34	33	35	49	55	64	78	87	95
	합천보	38	38	38	40	38	39	57	67	76	94	107	113
	함안보	20	19	21	19	20	19	21	22	24	31	36	36
금강	금남보	3	5	3	2	-	2	2	-	-	-	-	-
	금강보	9	6	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5
	부여보	10	8	8	8	8	8	8	9	10	10	10	9
영산	승촌보	7	7	6	6	5	6	5	6	6	7	8	10
	죽산보	19	19	18	19	20	18	21	23	26	31	35	37

■ : 9월초순 이후 담수가능

표 3. 보별 담수시작시점

수 계	다기능 보		담수 시작 시점
한 강	강천, 여주, 이포		8월 말 * 8~9월 상시가능
낙동강	상류	상주, 낙단, 구미	8월 중순
	중하류	칠곡, 강정, 달성, 합천 함안	8월 초순 8월 중순
금 강	중류	금남, 금강	8월 말 * 8~9월 상시가능
	하류	부여	8월 중순
영산강	중류	승촌	8월 초순
	하류	죽산	8월 중순

홍수 경험을 거쳐 12월까지의 시험운영을 통해 댐-보 연계운영 시스템 점검 및 보완할 수 있도록 9월 초까지 담수를 완료하는 것으로 계획하였다. 담수시작시점은 담수시작시기별 담수소요일수에 대한 확률분포로부터 95%신뢰도를 적용하여 담수실패위험도를 최소화하도록 검토하였다(표3).

그 결과, 한강과 금강은 보 저수용량이 상대적으로 적고 하천유량이 많아 8~9월 중 상시담수 가능하여 8월말부터 보별 시험운전 여건에 따라 시험담수를 시작하는 것이 바람직하다. 낙동강은 분석시에는 상류부터 하류로 순차적인 담수를 가정하였으나, 보의 저수량이 상대적으로 크고 하천유량이 적은 관계로 개별적 담수가 보다 적합할 것이다. 상류의 보(상주보~구미보)는 8월 중순부터 중하류 보(칠곡보~함안보)는 8월 초순부터 담수를 시작하여 위험도를 최소

화할 필요가 있다. 영산강의 승촌보는 8월말, 죽산보는 8월 중순에 담수를 시행하도록 검토하였다.

4. 결론

2012년부터 보의 정상적 운영에 앞서 보의 시험운전을 거쳐 보 구조물의 구조적 안정성과 댐-보 연계 운영시스템의 보완을 위해서 시험담수가 필요하다. 이러한 시험담수 일정수립에 영향을 주는 요소는 보의 초기담수상태와 보에 유입되는 하천유량이며 여기에는 불확실성이 내재되어 결국 담수소요일수는 확률의 문제로 귀결된다. 이러한 불확실성을 반영하기 위해서는 현재 수문기상 조건하에 8~9월 하천유량을 예측하는 조건부 확률(conditional probability) 산정방법이 바람직할 것이다. 본 연구에서는 실무적 관점에서 보별 담수초기상태와 유량에 대해 과거상태가 재현된다는 가정에서의 주변 확률(marginal probability)을 적용하였다. 따라서 담수초기는 올해 7월말 과거 평균수위에 해당되는 저류량을, 유량은 과거 42년간의 강우-유출자료를 적용하여 물수지분석을 거쳐 담수소요일수의 확률분포를 산정하였다. 올해 9월초 시험담수를 종료한다는 목표하에 95% 신뢰도 기준으로 각 보별 담수 시작시점을 포함한 담수일정을 수립하였고 향후 보 시험운전에 대비하도록 하였다. ☞