

영산강 하류부 홍수조절을 위한 영산호-영암호 연계운영 방안

Coupled Operation of the Lake Youngsan and Yeongam for the Flood Control in the Downstream of the Youngsan River

김대근* · 이재형**
Kim, Dae Geun · Lee, Jae Hyung

Abstract

In order to determine the effects of lock gate expansion at the Lake Youngsan and Yeongam as well as increase in the width of the connecting channel of the two lakes on flood control downstream of the Youngsan River, an unsteady hydraulic flood routing was conducted by combining the Lake Youngsan and Yeongam as a single connected system. The coupled operation of the two lakes was found to have little effect when the widths of the lock gates and the connecting channel are set at the current level. It was also found that increasing the width of the connecting channel as well as the lock gate of the Lake Yeongam is an effective means of reducing the stage of the Lake Youngsan, whereas an increase in the width of the Lake Youngsan's lock gate had a relatively smaller effect. The extended width of the connecting channel leads to a rise in the stage of the Lake Yeongam. In order to reduce the elevated stage, The Lake Yeongam's lock gate must be expanded along with the Lake Yeongsan's lock gate. The analysis found that the stage of the Lake Yeongsan can be effectively controlled through adjustment of opening and shutting criteria of the connecting channel's lock gate, when diversion discharge between the lakes is increased as a result of expanding the width of the connecting channel.

Keywords : Lake Youngsan, Lake Yeongam, lock gate, connecting channel, flood control, coupled operation

요 지

영산호의 배수갑문 확장, 영암호의 배수갑문, 연락수로의 확폭이 영산강 하류부 홍수위 조절에 미치는 영향을 분석하기 위하여, 영산호와 영암호를 하나의 연계시스템으로 구성하여 부정류 해석을 수행하였다. 영산호 배수갑문의 폭, 영암호 배수갑문의 폭, 연락수로의 폭이 현상태인 조건에서, 영산호-영암호 연계운영의 효과는 미미한 것으로 분석되었다. 영산호의 내수위를 낮추기 위해서는 연락수로의 폭과 영암호 배수갑문의 폭을 확장하는 것이 효과적이며, 영산호 배수갑문의 폭을 확장하는 것은 상대적으로 그 영향이 작은 것으로 분석되었다. 연락수로의 폭을 확장하는 것은 영암호의 내수위 상승을 유발하는데, 상승한 영암호의 내수위를 낮추기 위해서는 영암호 배수갑문과 영산호 배수갑문을 함께 확장하는 것이 필요하다. 연락수로의 폭을 확장함으로써 호소간 분기유량을 증대시키면, 연락수로 제수문의 개폐기준 조정을 통해 영산호의 내수위를 효과적으로 조절할 수 있는 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 영산호, 영암호, 배수갑문, 연락수로, 홍수조절, 연계운영

1. 서 론

우리나라의 서남권 바다로 유출되는 낙동강, 금강, 영산강, 삽교천 등 하천에는 치수 및 이수목적을 위해 하류부에 담수호가 조성되어 있다. 이들 담수호는 하류부에 배수갑문을 두어 염수침입을 방지하는 동시에 홍수조절을 하고 있다. 담수호의 내수위는 하구둑 외부의 외조위와 유입홍수량 그리고 담수호의 내용적과 배수갑문의 운영에 의해 결정되며, 이렇게 결정된 담수호의 내수위는 각종 하천관련 계획의 기준이 된다.

영산강 하류부는 방수제 축조에 따른 수면적 감소 및 상

류로부터 유입되는 토사 퇴적에 따라 영산호의 내용적이 설계당시에 비해 약 30% 감소되었다(건설교통부, 1998). 더불어 영산강 하구둑과 영암·금호 방조제 축조로 인한 목포해역의 조석확폭현상(강주환, 1996)으로 인해 연평균고조위는 28 cm가 상승하였으며, 연평균저조위는 14 cm가 하강하였다(목포시, 2005). 또한 영산강 하구둑 설계당시(1975) 설계조위인 대조평균만조위는 EL.(+)1.39 m이었으나 현재는 EL.(+)1.84 m(목포 기준검조소 MSL상 1.89 m)에 이르고 있어(건설교통부, 2007) 고조위 상승으로 인한 배수갑문의 배제가능 시간이 단축되었다. 이러한 영산호의 내용적 감소와 조위 상승에 따른 배수갑문의 배제가능 시간의 단축은

*정회원 · 교신저자 · 목포대학교 공과대학 건설공학부 토목공학전공 조교수 (E-mail : kdg05@mokpo.ac.kr)

**현대엔지니어링(주) 토건환경사업본부 부장 (E-mail : jhlee908@hec.co.kr)

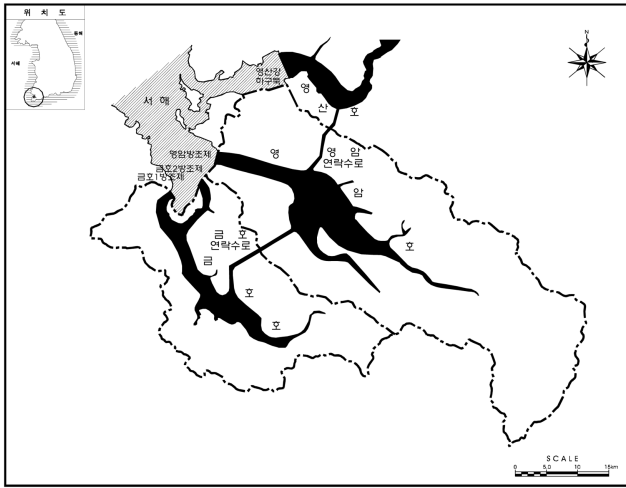


그림 1. 영산강 하류부 현황

홍수 유입시 영산호 내수위 상승에 직접적인 영향을 미치게 된다. 또한 상류 유역의 도시화, 산업화로 대변되는 각종 개발사업에 의한 불투수면적의 증가로 인해 과거와 동일한 호우 사상에도 침투유량은 증가하고 홍수의 도달시간은 짧아지게 된다. 이에 영산강의 중·하류부에 위치한 나주, 함평, 영암, 무안 등 저지대의 침수피해 가능성은 점차 증가하고 있다(정재욱 등, 2004).

영산강 하류부에는 영산호와 영암호, 영암호와 금호호가 연락수로를 통해 서로 연결되어 있다(그림 1 참조). 건설교통부(2007)에서는 영산강 하류부 치수대책의 한 방편으로 영산호에 인접해 있는 영암호의 저류공간을 활용하는 계획을 제시하고 있다. 이 경우, 영산강 상류에서 영산호로 유입하는 유량은 연락수로를 통해 영암호로 분기되는 유량과 영산호로 유입되는 유량으로 나누어지고, 영산호의 내수위는 연락수로를 통한 분기유량과 영산호로 유입되는 유량, 하구둑 외조위 변화에 따른 배수갑문 조작에 따라 변동하게 된다. 영암호의 내수위는 자체 유역에서 발생하는 홍수량과 연락수로를 통해 유입되는 유량이 중첩되어 영암호로 유입되면서 외조위 변화에 따라 운영되는 영암호 배수갑문의 조작에 의해 내수위가 변동하게 된다. 또한 연락수로를 통해 영산호에서 영암호로 분기되는 유량은 매시간 영산호와 영암호의 내수위에 따른 수두차에 의해 결정되므로 이들 모두를 하나의

동적 시스템으로 구축하여 해석하는 것이 필요하다.

영산강 하류부에 대한 부정류 추적은 최성욱 등(1991)과 건설교통부 영산강홍수통제소(1997)에 의해 수행된 바 있다. 이들은 영산강 하구둑을 내부경계로 처리하고 외조위와 홍수량 유입조건을 경계조건으로 처리하는 수리학적 홍수추적이 수문학적 추적방법에 비해 모의결과가 우월함을 보였다. 장수형 등(2006a, 2006b)은 배수갑문이 설치되어 있는 삼교호의 내수위 특성을 부정류 추적하였는데, 삼교호의 내수위는 외조위의 영향을 크게 받고 있음을 보였다. 특히, 외조위의 고조시간과 홍수량이 증가하는 시기가 겹치는 경우에는 배수갑문을 통한 방류가 불가능하므로 최대의 내수위가 발생하는 등, 외조위와 홍수량 수문곡선의 중첩시기가 담수호의 내수위에 미치는 영향을 분석하였다. 박선중 등(2007)은 지형/수리/수문학적인 환경변화와 영산강 하류부 천변저지대의 저류효과가 분류 수위에 미치는 영향을 검토하였으며, 영산강 하구둑 배수갑문 확장에 따른 영산호의 내수위 변화를 검토하였다. 검토 결과, 영산강 하구둑 배수갑문 확장만을 통한 치수대책은 그 효과가 부족하므로 추가적인 대책이 필요함을 제안하였다. 이에 본 연구에서는 영산강 하류부 홍수조절을 위하여 영산호-영암호 연계운영 방안을 검토하였다.

영산호와 영암호를 연계하여 영산강 하류부의 홍수위를 해석하기 위해서는 두 호소를 하나의 시스템으로 연결함으로써 유량배분에 따른 두 호소간의 수위변동을 고려함과 더불어 각 호소 하구에 설치된 배수갑문의 운영에 따른 호소의 내수위 변화를 동시에 추적하는 부정류(unsteady) 시스템을 구성해야 한다. 본 연구에서는 홍수 발생시 영산호와 영암호의 내수위와 연락수로를 통한 분기유량을 추적하기 위하여 HEC-RAS의 부정류 해석모형(UNET)을 이용하였다. 영산호와 영암호를 하나의 시스템으로 하는 부정류 해석을 통해 영산호의 배수갑문 확장, 영암호의 저류능력을 활용하기 위한 영암호의 배수갑문 확장 및 연락수로 확폭이 영산호와 영암호의 홍수조절에 미치는 영향을 해석하고 분석하였다.

2. 연구자료 및 방법

2.1 영산강 하류부 현황

영암호와 금호호는 “영산강유역 농업종합개발사업 III-1 단

표 1. 영산호, 영암호, 금호호의 제원

구분	단위	영산호	영암호	금호호	
유역면적	km ²	3,455	355	184	
방조제	연장(갑문포함)	m	2,458	2,219	2,120(2조)
	제정고	EL.m	(+)8.50	(+)5.50	(+)5.50
	제정폭	m	4.0	4.0	4.0
저수지	만수면적	km ²	34.6	42.9	23.3
	총저수용량(만수위 기준)	10 ⁶ m ³	253.2	244.6	133.1
	유효저수용량(만수위 기준)	10 ⁶ m ³	180.9	138.8	75.5
	계획홍수위	EL.m	(+)1.64	(+)0.23	(+)0.16
	상시만수위	EL.m	(-)1.35	(-)1.45	(-)1.55
배수갑문	사수위	EL.m	(-)9.35	(-)6.35	(-)6.35
	Sill 표고	EL.m	(-)9.35	(-)6.35	(-)6.35
	문비	(B)m×(H)m×런	30×13.6×8	10×10.5×8	10×10.5×5

계 사업"에서 농업용수 공급을 목적으로 조성된 담수호이며 영산호 좌안측에 위치하고 있다. 영산호와 영암호, 그리고 금호호는 연락수로를 통해 서로 연결되어 있다(그림 1 참조). 영암호와 금호호의 유역면적은 각각 355 km²와 184 km²이고, 총 저수용량은 각각 약 2억4천만m³과 1억3천만m³이다. 이 규모와 영산호의 규모를 비교해 보면 영암호의 경우 유역면적은 영산호의 약 1/10에 불과하지만 총 저수용량은 영산호와 거의 비슷한 규모이다(표 1 참조). 따라서 호소의 저수용량에 비해 유역면적이 작아 해수를 담수화하기 위한 상류 유출량이 부족하기 때문에 영산호와 영암호를 연결하는 연락수로를 설치하여 평상시 담수호 조성을 위한 유량을 배분받고 있다. 영암호와 금호호도 영산호와 마찬가지로 방조제에 배수갑문이 설치되어 호소의 수위관리를 시행하고 있다. 각 호소의 계획홍수위는 영산호 EL.(+1.64 m, 영암호 EL.(+0.23 m, 금호호 EL.(+0.16 m)이며, 상시내수위는 연락수로를 통한 호소간 유량배분을 위해 각각 10 cm씩 차이가 있도록 계획되었다(농업기반공사, 2002). 영산호, 영암호, 금호호의 표고별 내용적 곡선은 그림 2와 같다. 영산호의 표고별 내용적 곡선은 박선중 등(2007)이 천변저지대를 고려하여 산정한 자료이며, 영암호와 금호호의 표고별 내용적 곡선은 농업기반공사(2002)의 자료이다. 영산호와 영암호, 그리고 영암호와 금호호는 각각 저폭 15 m의 사다리꼴 연락수로로 연결되어 영산호의 담수를 이용하여 영암호와 금호호 두 호소의 제염과 이수목적으로 사용하도록 되어있으며 그 제원은 표 2와 같다.

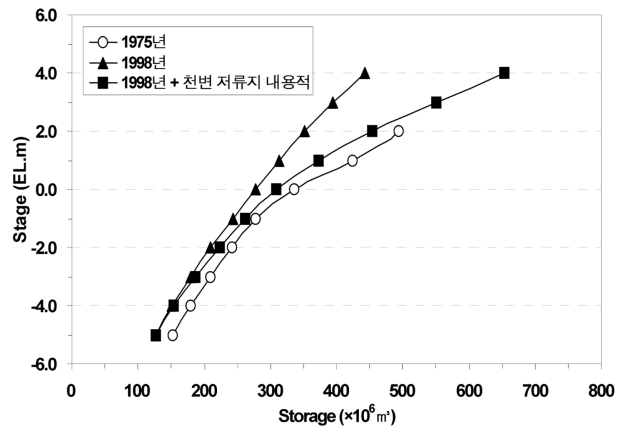
'04년 8월 18일~19일 기간 동안의 태풍 메기에 의해 발생한 집중호우시 영암호와 금호호의 치수능력을 고찰할 수 있는 실측자료를 수집하였다. 이 당시 영산호의 최고 내수위는 EL.(+2.15 m로 계획홍수위를 초과하여 영산강 본류 제방 및 지류하천의 제방이 위험한 상황이 발생한 반면, 영암호와 금호호는 계획홍수위보다 약 70 cm 아래에서 홍수를 무난히 처리하였다(표 3 참조). 또한 건설교통부(2007)는 영암호와 금호호 유역에 100년 빈도의 홍수량이 발생했을 때 양 호소의 내수위 변화를 검토하였고, 그 검토 결과 영암호와 금호호는 계획홍수량에 대해 충분히 여유 있는 내용적을 확보하고 있는 것으로 분석되었다.

표 2. 연락수로 제원

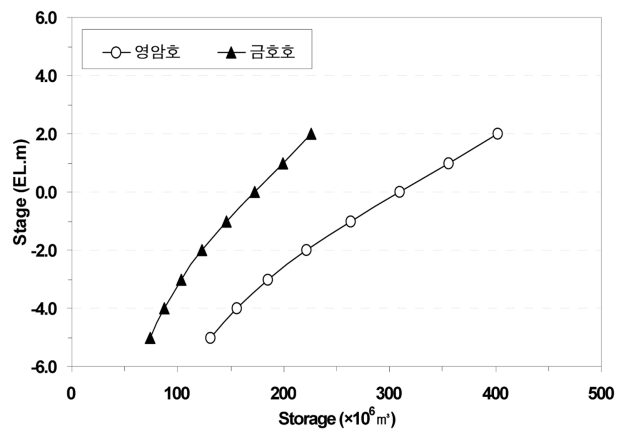
구분	영암 연락수로	금호 연락수로
연장 (m)	4,434	9,550
바닥고 (EL.m)	-5.35	-5.35
수로 저폭 (m)	15	15
제정고 (EL.m)	1.70~3.20	1.20~1.50
제수문	B10 m × H7.2 m × 3련	-

표 3. 2004년 8월 홍수('04. 8. 18~8. 19)시 영산호, 영암호, 금호호 운영결과

구분	최고내수위 (EL.m)	계획홍수위 (EL.m)
영산호	2.15	1.64
영암호	-0.54	0.23
금호호	-0.62	0.16



(a) 영산호



(b) 영암호와 금호호

그림 2. 표고별 내용적 곡선

본 연구에서는 영산강유역에 대규모 홍수가 발생하는 경우 영산호의 내수위가 과도하게 상승하는 것을 방지하기 위하여 영산호와 거의 비슷한 저류용량을 가지고 있으나, 유역면적은 영산호의 1/10에 불과한 영암호를 활용하는 방안을 검토하였다.

2.2 홍수추적시스템 구성 및 경계조건

본 연구에서 사용하는 UNET은 하도망(network of open channels)에 대한 1차원 부정류해석 모형으로 미육군공병단에서 HEC-RAS의 부정류 해석을 위한 모델로 채택, 사용하고 있다. UNET은 하도 및 하천 횡단면의 개수에 제한이 없으며 교량, 수문, 여수로, 보, 저류지, 펌프 등 수리구조물의 영향을 함께 해석할 수 있는 모형으로 주수로와 홍수터 각각에 대한 연속방정식과 운동량방정식을 지배방정식으로 사용한다. 지배방정식은 4점 음해법으로 차분되며, 비선형 유한차분식은 Newton-Rapshon법을 이용하여 해석한다(Barkau, 1993).

홍수시 과도하게 상승하는 영산호의 내수위를 낮추기 위하여 영산호 배수갑문을 확장하고, 홍수시 일부 유량을 영암호로 분기시키기 위해 영산호와 영암호를 연결하는 연락수로를 확폭함과 더불어 영암호의 배수갑문도 확장하는 수위저감 방안을 검토하였다. 홍수시 연락수로를 통해 영산호와 영암호를 연계하여 홍수위 조절을 하기 위해서는 두 호소를 하나의 시스템으로 연결함으로써 유량배분에 따른 두 호소간

의 수위변동을 고려해야 함과 더불어 각 호소 하구에 설치된 배수갑문의 운영에 따른 호소의 내수위 변화를 동시에 고려해야 한다. 즉, 당초 상류에서 영산호로 유입되던 유량은 연락수로로 통해 영암호로 분기되는 유량과 하류 하구둑으로 유입되는 유량으로 나누어지고, 영산호의 내수위는 연락수로로 통한 분기유량과 하구로 유입되는 유량, 하구둑 외 조위 변화에 따른 배수갑문 조작결과에 따라 변동하게 된다. 영암호의 내수위는 자체 유역에서 발생하는 홍수량과 연락수로로 통해 유입되는 유량이 중첩되고 외조위 변화에 따라 운영되는 영암호 배수갑문의 조작에 의해 내수위가 변동하게 된다. 그리고 연락수로로 통해 영산호에서 영암호로 분기되는 유량은 매시간 영산호와 영암호의 수위에 따른 수두차이에 의해서 결정되므로 이들 모두를 하나의 시스템으로 구축하여 해석하는 것이 필요하다.

영산강 본류의 하천 연장은 111.7 km인데, 본 연구에서는 하구둑에서 나주수위관측소 지점까지 약 63 km를 모의구간으로 설정하였으며, 하도의 단면자료는 영산강 하천정비기본계획(건설교통부, 1998)의 하천측량 성과를 이용하였으며, 영산강 상류(나주수위표 지점), 주요 지류(만봉천, 고막원천, 함평천) 및 잔유역에서 유입되는 홍수량은 영산강 유역종합치수계획(건설교통부, 2007)에서 산정한 100년빈도 홍수량 수문곡선을 이용하여 횡유입으로 고려하였다. 영산호 하류부의 경계조건은 목포기준점조소의 대조평균고조위 EL.(+)1.84 m가 발생한 2003년 5월 3일~6일의 실제 조위곡선을 이용하였다. 이상의 자료와 함께 배수갑문의 수위-방류량관계, 천변저지대의 저류효과, 조도계수 등과 관련된 영산강 본류의 모의조건은 박선중 등(2007)에 의해 그 적용성이 검증된 자료

를 이용하였다.

영암호는 하구 배수갑문 지점에서 윗하천 합류부까지 18.5 km구간을 대상으로 하도모형을 구성하였다. 영암호의 단면자료는 해당지역의 해도와 연안해역기본조사보고서-화원지구(건설부와 국립지리원, 1982) 등을 참고하여 작성된 목포해역의 수심도(강주환 등, 2004) 자료를 이용하였다. 영암호 상류에서 유입하는 100년 빈도 홍수량 수문곡선은 건설교통부(2007)에서 산정한 수문곡선을 이용하였다. 영암호 하류부 경계조건은 영산호 하류부 경계조건과 동일하게 목포기준점조소를 기준으로 설계조위인 대조평균고조위를 이용하였다.

영산호와 영암호에 설치된 배수갑문은 배수갑문 전면과 후면의 수위차에 의해 갑문을 통한 방류가 이루어지도록 내부구조물(inline structure)로 처리하였다. 또한 연락수로에 설치되는 제수문 또한 내부구조물로 처리하여 제수문 조작효과를 고려할 수 있도록 하였다. 연락수로와 영암호의 조도계수는 박선중 등(2007)이 사용한 영산강 하류부 조도계수와 동일하게 설정하였다. 이상과 같이 영산호와 영암호를 하나의 시스템으로 구축하여 구성한 부정류 모델링의 모식도와 경계조건은 그림 3과 같다.

2.3 모의조건

박선중 등(2007)이 외조위 조건과 유입홍수량 수문곡선의 위상에 따른 영산호의 최고내수위 변화를 검토한 결과, 대조평균고조위와 유입홍수량의 첨두가 일치하는 경우(고고조 일치형)를 전후하여 영산호의 내수위는 최고값을 보였다. 고고조 일치형의 경우 100년 빈도 홍수량에 대해 현재 240 m(8련)의 순폭을 가지는 영산호 배수갑문을 통해 홍수조절

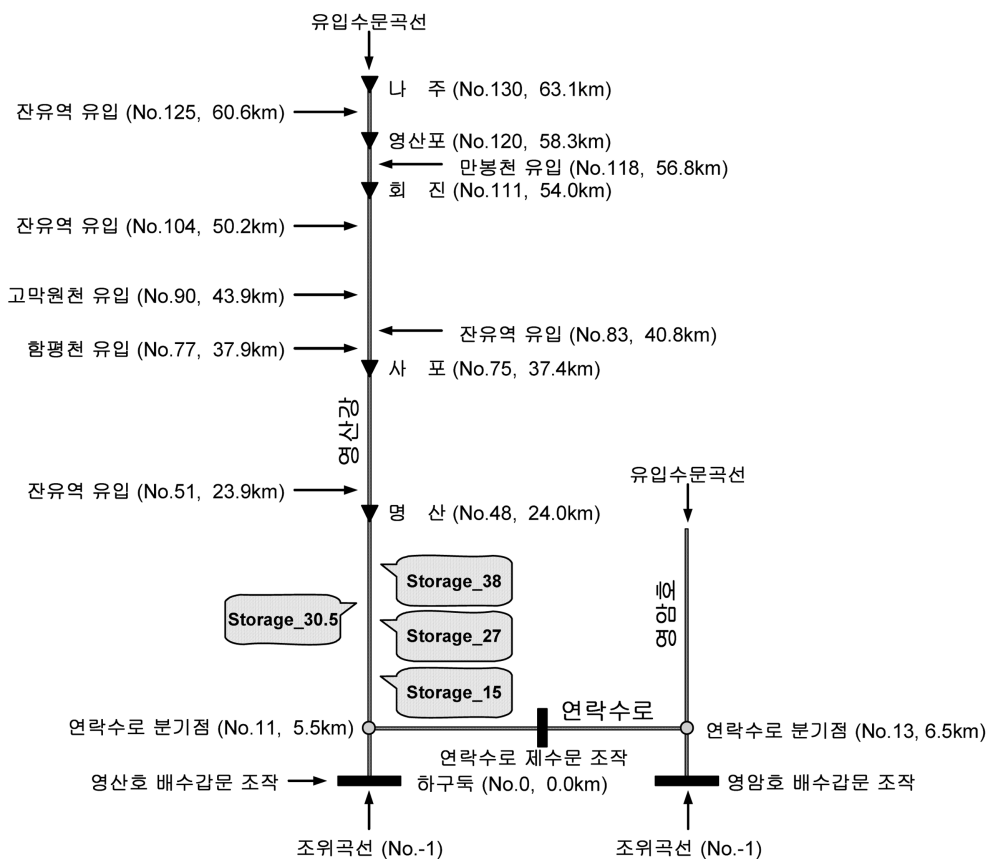


그림 3. 홍수추적시스템 구성 및 경계조건

표 4. 모의조건

CASE	연락수로폭 (m)	영산호 배수갑문폭 (m)	영암호 배수갑문폭 (m)	연락수로 제수문 개폐기준
현상태에서 영산호-영암호 연계운영	15	240	80	영산호의 내수위 : EL.(+)0.0 m
시설물 확장에 따른 영산호-영암호 연계운영	15~320	240~420	80~410	영산호의 내수위 : EL.(+)0.0 m
연락수로 제수문 개폐기준에 따른 연계운영	140~320	420	410	영산호의 내수위 : EL.(-)1.0 m~EL.(+)1.0 m

을 하는 경우 영산호의 최고내수위는 EL.(+)2.23 m이며, 배수갑문의 순폭을 점차 증가시켜 360 m(12련)로 확장하였을 경우 영산호의 최고내수위는 EL.2.05 m로 분석되었다. 주어진 경계조건하에서 이후 영산호의 배수갑문을 360 m 이상 확장하여도 영산호의 최고내수위 변화는 미미한 것으로 분석되었다. 즉, 영산호의 최고내수위는 고조시 수문 폐쇄상태에서 홍수량이 유입하는 경우에 발생하므로 일정규모 이상의 배수갑문 확장은 최고내수위 하강에는 영향을 미치지 못하는 것으로 분석되었다.

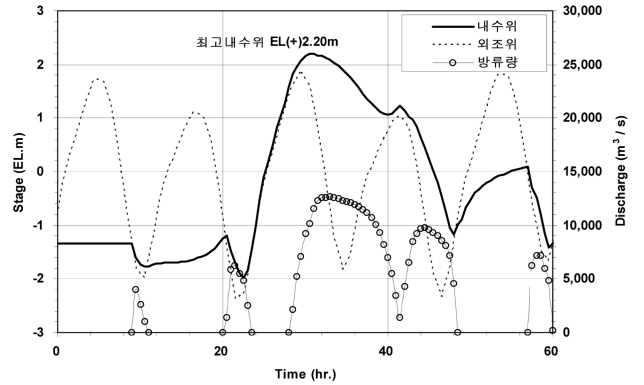
영산호의 배수갑문 확장, 영암호의 저류능력을 활용하기 위한 영암호의 배수갑문 확장 및 연락수로 확폭이 영산호와 영암호의 홍수위 조절에 미치는 영향을 해석하기 위하여 본 연구에서 수행한 모의조건을 요약, 정리하면 표 4와 같다. 모든 분석은 영산호에서 최고내수위를 발생시키는 고조일치형에 대한 해석을 바탕으로 수행하였다.

3. 연구결과

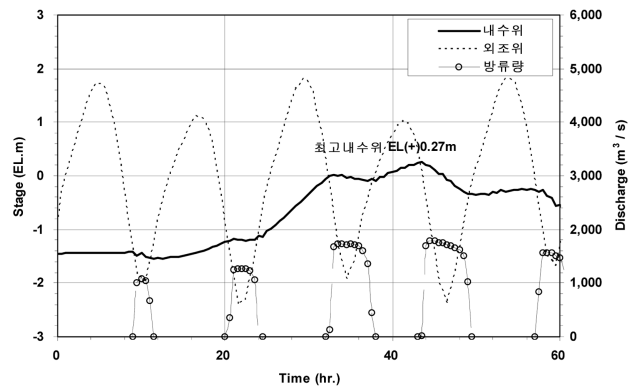
3.1 현상태에서 영산호-영암호 연계운영 결과

영산호 및 영암호의 배수갑문, 연락수로의 제원이 현상태인 조건(표 1, 2 참조)에서 영산호-영암호 연계운영시, 영산호, 영암호의 내수위 및 분기유량을 해석하였다. 영산호와 영암호의 초기수위는 각 호소의 상시만수위를 적용하였다. 연락수로의 제수문은 영산호의 내수위(No. 0 지점) EL.0.0 m를 기준으로 이를 초과하는 경우에 개문하고 이를 하회하는 경우에는 폐문하도록 내부경계조건을 부여하였다. 이러한 조건에서 영산호, 영암호의 내수위 및 분기유량을 해석한 결과는 그림 4와 같다. (a)와 (b)는 영산호와 영암호 배수갑문 직상류의 내수위 및 외조위, 그리고 배수갑문을 통한 방류량이며, (c)는 연락수로 제수문의 직상류(영산호 측) 및 직하류(영암호 측) 내수위, 그리고 연락수로를 통한 분기유량을 도시한 것이다. 영산호의 최고내수위는 EL.(+)2.20 m, 최대방류량은 12,631 m³/s이다. 영암호의 최고내수위는 EL.(+)0.27 m, 최대방류량은 1,794 m³/s이다. 연락수로를 통한 영산호에서 영암호로의 최대분기유량은 381 m³/s이며, 분기유량의 전체 용적은 20.1×10⁶ m³이다. 영산호 수위수문곡선은 최고내수위가 발생한 후에 배수갑문의 방류에 의해 내수위가 하강하나, 방류량의 한계로 인해 그 하강이 지체되고 있으며 이는 영암호 수위수문곡선도 마찬가지이다. 현상태에서 영산호-영암호 연계운영을 하지 않는 경우에 영산호의 최고내수위가 EL.(+)2.23m임을 감안하면 연계운영의 효과는 미미한 수준이다.

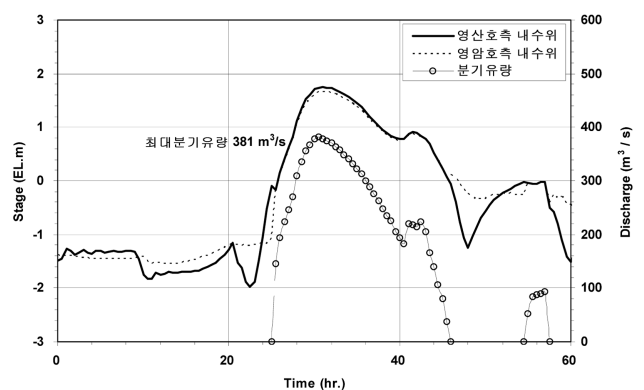
현재 연락수로와 제수문은 홍수조절을 위한 연계운영을



(a) 영산호



(b) 영암호



(c) 연락수로

그림 4. 영산호-영암호 연계운영 결과 (현상태)

위해 설치된 것이 아니므로, 시설물의 규모가 작고 홍수시에는 오히려 제수문을 폐쇄하도록 운영하고 있다. 따라서 영산호-영암호 연계운영을 통한 홍수조절 효과를 높이기 위해서는 연락수로를 확폭함으로써 분기유량을 증대시켜야 한다. 연락수로의 분기유량이 증가하면 영암호의 내수위는 상

표 5. 시설규모에 따른 영산호-영암호 연계운영 결과

모의 번호	Case No.	모의조건			모의결과				
		연락수로폭 (m)	영산호 배수갑문폭 (m)	영암호 배수갑문폭 (m)	영산호 최고내수위 (EL.m)	영암호 최고내수위 (EL.m)	최대 분기유량 (m ³ /s)	분기용적 (× 10 ⁶ m ³)	
1	C000YS240YA080	-	240	80	2.23	-0.05	-	-	
2	C000YS300YA080	-	300	80	2.12	-0.05	-	-	
3	C000YS360YA080	-	360	80	2.05	-0.05	-	-	
4	C000YS420YA080	-	420	80	2.05	-0.05	-	-	
5	C015YS240YA080	15	240	80	2.20	0.27	381	20.1	
6	C140YS240YA080	140	240	80	2.10	1.02	2,455	78.2	
7	C140YS240YA170			170	2.08	0.70	2,543	113.5	
8	C140YS240YA260			260	2.07	0.49	2,588	126.0	
9	C140YS240YA350			350	2.07	0.28	2,613	130.9	
10	C140YS240YA410			410	2.07	0.22	2,624	131.6	
11	C140YS300YA080			300	80	2.04	0.93	2,450	66.0
12	C140YS300YA170		170		2.04	0.63	2,536	98.9	
13	C140YS300YA260		260		2.05	0.38	2,580	110.3	
14	C140YS300YA350		350		2.05	0.23	2,606	116.3	
15	C140YS300YA410		410		2.05	0.16	2,616	119.0	
16	C140YS360YA080		360		80	2.04	0.87	2,447	58.3
17	C140YS360YA170			170	2.04	0.53	2,532	88.1	
18	C140YS360YA260			260	2.04	0.35	2,574	98.8	
19	C140YS360YA350			350	2.04	0.22	2,599	102.2	
20	C140YS360YA410			410	2.04	0.15	2,610	104.5	
21	C140YS420YA080			420	80	2.04	0.85	2,440	59.6
22	C140YS420YA170		170		2.04	0.51	2,531	82.7	
23	C140YS420YA260		260		2.04	0.34	2,573	91.7	
24	C140YS420YA350		350		2.04	0.21	2,598	96.4	
25	C140YS420YA410		410		2.04	0.14	2,607	98.6	
26	C200YS240YA080		200		240	80	2.04	1.34	3,449
27	C200YS240YA170			170		2.01	0.93	3,571	140.2
28	C200YS240YA260			260		1.99	0.77	3,650	159.2
29	C200YS240YA350			350		1.98	0.62	3,704	166.8
30	C200YS240YA410	410		0.98		0.50	3,732	176.5	
31	C200YS300YA080	300		80		2.05	1.24	3,462	72.6
32	C200YS300YA170			170	2.02	0.90	3,586	119.3	
33	C200YS300YA260			260	2.01	0.75	3,650	141.6	
34	C200YS300YA350			350	2.00	0.56	3,689	152.2	
35	C200YS300YA410			410	1.99	0.50	3,707	157.2	
36	C200YS360YA080			360	80	2.05	1.19	3,472	65.3
37	C200YS360YA170	170			2.03	0.88	3,596	107.2	
38	C200YS360YA260	260			2.02	0.72	3,662	126.3	
39	C200YS360YA350	350			2.01	0.54	3,700	137.3	
40	C200YS360YA410	410			2.00	0.50	3,718	141.4	
41	C200YS420YA080	420			80	2.04	1.14	3,475	68.2
42	C200YS420YA170			170	2.03	0.86	3,599	101.9	
43	C200YS420YA260			260	2.02	0.70	3,666	119.3	
44	C200YS420YA350			350	2.01	0.51	3,704	128.8	
45	C200YS420YA410			410	2.01	0.49	3,722	132.8	

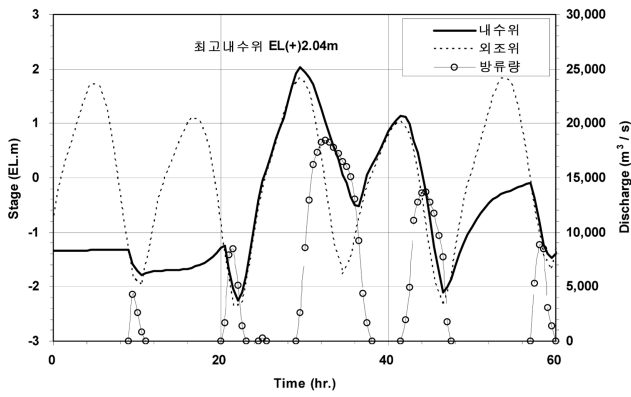
Table 5. Continued

모의 번호	Case No.	모의조건			모의결과				
		연락수로폭 (m)	영산호 배수갑문폭 (m)	영암호 배수갑문폭 (m)	영산호 최고내수위 (EL.m)	영암호 최고내수위 (EL.m)	최대 분기유량 (m ³ /s)	분기용적 (× 10 ⁶ m ³)	
46	C260YS240YA080	260	240	80	1.95	1.54	4,318	88.1	
47	C260YS240YA170			170	1.94	1.20	4,570	156.5	
48	C260YS240YA260			260	1.94	0.97	4,720	183.5	
49	C260YS240YA350			350	1.93	0.87	4,808	206.1	
50	C260YS240YA410			410	1.93	0.81	4,846	213.5	
51	C260YS300YA080		300	80	1.92	1.42	4,295	76.5	
52	C260YS300YA170			170	1.92	1.18	4,558	131.5	
53	C260YS300YA260			260	1.92	0.98	4,716	164.1	
54	C260YS300YA350			350	1.92	0.87	4,811	180.5	
55	C260YS300YA410			410	1.92	0.81	4,853	187.7	
56	C260YS360YA080		360	80	1.92	1.39	4,273	69.1	
57	C260YS360YA170			170	1.91	1.16	4,551	118.2	
58	C260YS360YA260			260	1.91	0.97	4,709	147.8	
59	C260YS360YA350			350	1.91	0.87	4,808	160.6	
60	C260YS360YA410			410	1.91	0.81	4,853	167.1	
61	C260YS420YA080		420	80	1.92	1.37	4,267	73.0	
62	C260YS420YA170			170	1.91	1.14	4,546	114.3	
63	C260YS420YA260			260	1.91	0.98	4,705	139.6	
64	C260YS420YA350			350	1.91	0.87	4,807	153.4	
65	C260YS420YA410			410	1.91	0.81	4,850	157.8	
66	C320YS240YA080		320	240	80	1.93	1.66	4,935	93.1
67	C320YS240YA170				170	1.90	1.39	5,170	169.0
68	C320YS240YA260				260	1.87	1.24	5,318	200.4
69	C320YS240YA350				350	1.86	1.07	5,424	199.9
70	C320YS240YA410				410	1.84	0.99	5,470	234.3
71	C320YS300YA080	300		80	1.92	1.60	4,938	78.8	
72	C320YS300YA170			170	1.91	1.36	5,172	139.3	
73	C320YS300YA260			260	1.88	1.22	5,321	177.8	
74	C320YS300YA350			350	1.86	1.07	5,424	199.9	
75	C320YS300YA410			410	1.85	0.99	5,473	206.8	
76	C320YS360YA080	360		80	1.92	1.54	4,941	71.8	
77	C320YS360YA170			170	1.91	1.34	5,175	125.1	
78	C320YS360YA260			260	1.88	1.20	5,325	160.5	
79	C320YS360YA350			350	1.86	1.05	5,429	179.0	
80	C320YS360YA410			410	1.86	0.99	5,478	189.1	
81	C320YS420YA080	420		80	1.91	1.50	4,948	69.5	
82	C320YS420YA170			170	1.91	1.31	5,177	120.3	
83	C320YS420YA260			260	1.89	1.19	5,328	153.8	
84	C320YS420YA350			350	1.87	1.04	5,431	171.2	
85	C320YS420YA410			410	1.86	0.99	5,481	177.8	

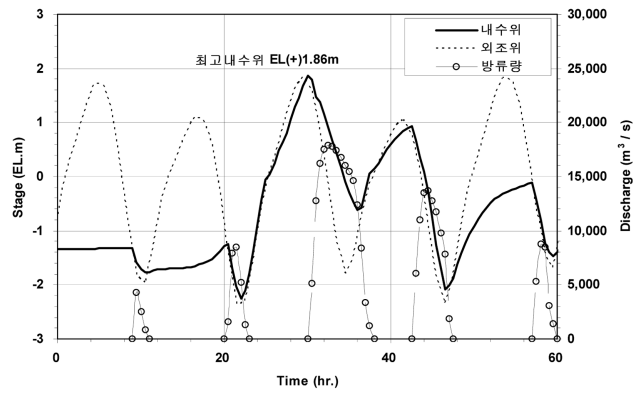
승하게 되므로 영암호 배수갑문을 확장함으로써 배수갑문의 방류능력을 증대시켜야 하며, 또한 영산호 배수갑문을 확장함으로써 영산호의 내수위를 신속하게 낮출 수 있어야 한다.

3.2 배수갑문 확장 및 연락수로 확폭에 따른 영산호-영암호 연계운영 결과

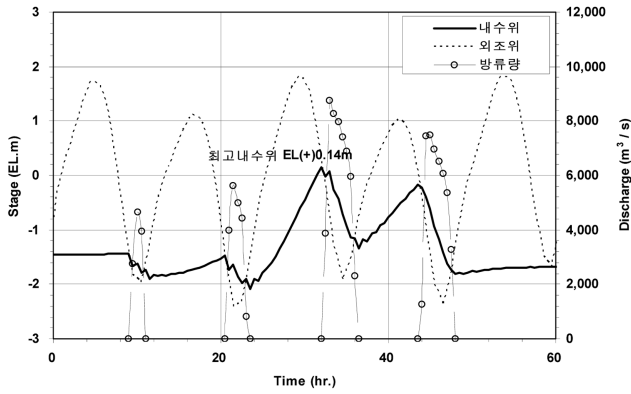
영산호, 영암호의 배수갑문 확장 및 연락수로 확폭에 따른 영산호-영암호 연계운영의 효과를 검토하였다(표 5 참조). 비



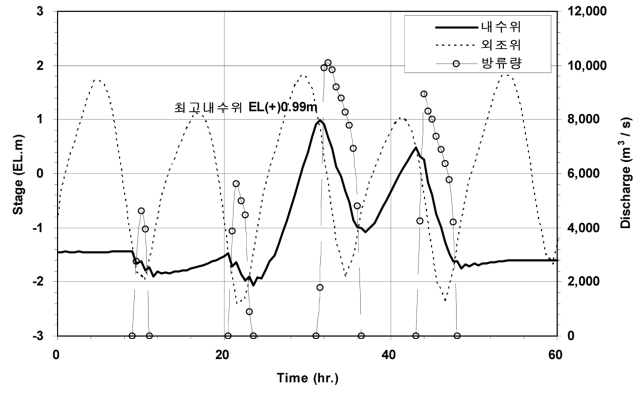
(a) 영산호



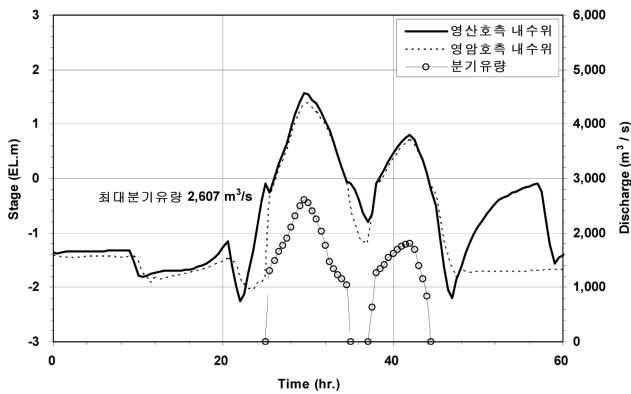
(a) 영산호



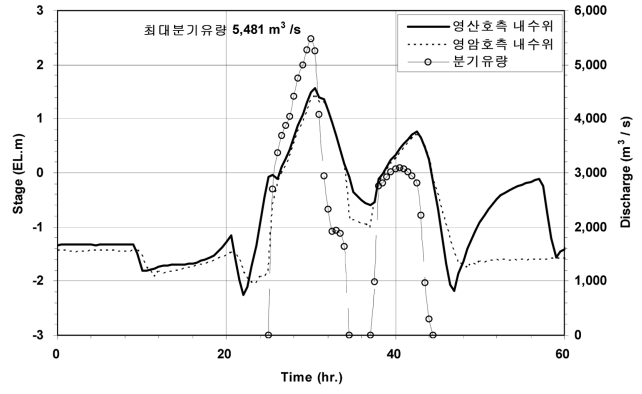
(b) 영암호



(b) 영암호



(c) 연락수로



(c) 연락수로

그림 5. 영산호-영암호 연계운영 결과
(Case No. C140YS420YA410)

그림 6. 영산호-영암호 연계운영 결과
(Case No. C320YS420YA410)

교를 위하여 영암호로 유량을 분기시키지 않고 영산호 배수갑문만을 확장하는 경우에 대한 영산호와 영암호의 최고내수위를 함께 정리하였다. 표 5에서 Case No.의 이름은 연락수로의 폭, 영산호와 영암호의 배수갑문 폭과 같은 모의조건을 쉽게 알아볼 수 있도록 결정하였다. 즉, Case No. C140YS420YA410은 연락수로의 폭, 영산호와 영암호의 배수갑문 폭이 각각 140 m, 420 m, 410 m인 모의조건임을 의미한다. 이하 본문, 표, 그림에서 인용되는 Case No.의 이름은 위와 같은 의미를 가진다.

영산호의 내수위를 낮추기 위해서는 연락수로를 확폭하여 분기유량을 증대시키는 것이 가장 효과적임을 알 수 있다. 연락수로의 폭이 좁은 경우에는 영산호, 영암호 배수갑문의

폭을 확장하는 것이 영산호의 최고내수위에 미치는 영향이 크지 않고, 연락수로의 폭이 넓을수록 영암호 배수갑문의 폭을 확장하는 것이 영산호의 최고내수위를 낮추는 것에 효과적임을 알 수 있다. 즉, 영산호의 최고내수위를 낮추기 위해서는 연락수로의 폭과 영암호 배수갑문의 폭을 확장하는 것이 효과적이며, 상대적으로 영산호 배수갑문의 폭을 확장하는 것은 연락수로의 폭이 좁은 경우에 다소 영산호의 최고내수위를 낮출 수 있으나 그 영향은 크지 않은 것으로 분석되었다. 영산호의 내수위는 연락수로를 통해 얼마나 많은 유량을 분기시켜, 영암호 배수갑문을 통해 신속히 배제하느냐에 따라 수위가 조절됨을 알 수 있다.

연락수로를 확폭하여 분기유량이 증가함에 따라 영암호의

표 6. 연락수로 제수문의 개폐기준에 따른 영산호-영암호 연계운영 결과

모의 번호	모의조건		모의결과			
	연락수로폭 (m)	제수문 개폐수위 (EL.m)	영산호 최고내수위 (EL.m)	영암호 최고내수위 (EL.m)	최대 분기유량 (m ³ /s)	분기용적 (× 10 ⁶ m ³)
1	140	-1.0	2.04	0.22	2,601	133.0
2		0.0	2.04	0.14	2,607	98.6
3		1.0	2.05	-0.01	2,641	64.5
4	200	-1.0	1.95	0.52	3,650	172.2
5		0.0	2.01	0.49	3722	132.8
6		1.0	2.04	0.35	3893	90.5
7	260	-1.0	1.91	0.89	4668	200.9
8		0.0	1.91	0.81	4850	157.8
9		1.0	2.00	0.54	5173	107.9
10	320	-1.0	1.81	1.00	5210	220.7
11		0.0	1.86	0.99	5481	177.8
12		1.0	1.91	0.84	6242	127.6

최고내수위는 크게 상승함을 알 수 있다. 영암호의 최고내수위를 낮추기 위한 가장 효과적인 방법은 영암호 배수갑문의 폭을 확장하는 것이며, 영산호 배수갑문의 폭을 확장하는 것도 효과가 있는 것으로 분석되었다. 연락수로의 확폭은 영암호의 내수위 상승을 유발하므로, 연락수로의 폭은 영암호의 홍수위를 감안하여 결정하는 것이 필요하다.

연락수로를 통한 분기유량은 연락수로의 폭에 주로 영향을 받는다. 연락수로의 폭이 동일한 경우에도 영산호, 영암호 배수갑문의 폭에 따라 각 호소의 내수위가 상대적으로 변동하기 때문에 분기유량은 다소 변동하게 된다. 즉, 분기유량은 영산호 배수갑문의 폭에는 반비례, 영암호 배수갑문의 폭에는 비례하는 경향을 보인다.

그림 5는 Case No. C140YS420YA410에 대한 영산호, 영암호, 연락수로에서의 내수위 및 방류량 추적결과이다. 이 경우 연락수로의 폭은 140 m, 영산호와 영암호 배수갑문의 폭은 각각 420 m와 410 m이다. 그림 5(a)와 같이 영산호의 내수위는 외조위 상승과 함께 상승하는데 외조위 이상으로 내수위가 상승함에 따라 배수갑문을 통한 방류량이 증가하게 되고 내수위는 점차 하강하게 된다. 유입유량에 비해 배수갑문의 폭이 충분치 않을 경우 내수위가 외조위보다 높은 경우에도 방류량보다 유입량이 크기 때문에 일정 시간동안은 내수위가 상승하게 된다. 내, 외 수위차가 증가하면서 배수갑문을 통한 방류량이 유입량보다 커지면 내수위는 점차 하강하는데 내수위의 하강속도는 배수갑문의 규모에 따라 달라지며, 배수갑문의 규모가 작을 시에는 그림 4(a)와 같은 수위수문곡선을 보이게 된다. 영암호의 내수위(그림 5(b)참조)는 영산호의 내수위와 거의 비슷한 거동을 보이는데 배수갑문의 규모가 작아 방류량이 작은 경우에는 그림 4(b)와 같이 고고조와 저고조 발생 이후에 최고내수위가 발생하나, 배수갑문의 규모가 큰 경우에는 고고조 이후에 바로 최고내수위가 발생하게 된다. 그림 5(c)는 연락수로 제수문 상, 하류 내수위 및 분기유량을 도시한 것이다. 홍수시 영산호의 내수위가 대체로 높기 때문에 영산호에서 영암호로 유량이 분기되고 있으며, EL.0.0 m를 기준으로 제수문이 개폐

됨에 따라 분기유량이 조절되고 있다.

그림 6은 Case No. C320YS420YA410에 대한 영산호, 영암호, 연락수로에서의 내수위 및 방류량 해석결과이다. 그림 5에 비해 연락수로가 180 m 확폭되어 분기유량이 증가한 경우이다. EL.0.0m이상에서 연락수로를 통해 영암호로 유량이 분기됨에 따라 영산호의 내수위가 완만하게 상승함을 그림 6(a)에서 알 수 있다. 이러한 경우 연락수로 제수문의 개폐기준을 조정함으로써 영산호의 내수위를 조절할 수 있음을 예상할 수 있다. 그림 6(b), (c)에서 분기유량이 증가함에 따라 영암호의 수위가 급상승함을 알 수 있다. 영암호의 내수위는 외조위가 높은 상태 즉, 배수갑문을 닫아 놓은 상태에서 자체 유역의 홍수량과 영산호에서 분기된 유량에 의해 상승하므로, 최고내수위를 낮추기 위하여 영암호 배수갑문의 폭을 더 확장하는 것은 큰 효과가 없음을 의미한다.

표 6은 영산호와 영암호 배수갑문의 순폭이 각각 420 m, 410 m이고 연락수로의 폭이 140 m~320 m인 경우에 대하여 연락수로 제수문의 개폐기준을 EL.(-)1.0 m, EL.0.0 m, EL.(+)1.0 m로 변화시키며 영산호-영암호의 연계운영 결과를 비교한 것이다. 연락수로의 폭이 140 m인 경우에는 제수문 개폐기준에 따른 영산호 내수위 변동폭이 미미한 수준이나, 영암호의 내수위 변동폭은 23 cm 정도로 크게 나타나고 있다. 연락수로의 폭이 320 m인 경우에는 제수문 개폐기준에 따른 영산호 수위 변동폭이 약 10 cm이고, 영암호의 수위 변동폭은 약 16cm로 나타나고 있다. 이는 그림 6에서 확인할 수 있듯이 연락수로의 폭이 넓을수록(분기유량이 클수록) 영산호 내수위가 완만하게 상승하기 때문이다. 즉, 연락수로를 확폭하여 분기유량을 증대시키면, 제수문의 개폐기준을 조정함으로써 영산호의 내수위를 효과적으로 조절할 수 있음을 의미한다.

4. 결 론

본 연구에서는 영산강 하류부 홍수조절을 위한 영산호-영암호 연계운영 방안을 검토하였다. 즉, 영산호와 영암호를 하

나의 연결시스템(coupled system)으로 구성하여 호소간 유량 배분에 따른 호소간의 수위변동을 고려함과 더불어 각 호소 하구에 설치된 배수갑문의 운영에 따른 호소의 내수위 변화를 동시에 고려한 홍수추적을 위하여 HEC-RAS의 부정류 해석모형(UNET)을 이용하여 모형을 구성하였다. 영산호와 영암호를 하나의 시스템으로 하는 부정류 해석을 통해 영산호의 배수갑문 확장, 영암호의 저류능력을 활용하기 위한 영암호의 배수갑문 확장 및 연락수로 확폭이 영산호와 영암호의 홍수위 조절에 미치는 영향을 해석하고 분석한 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 현상에서 영산호-영암호 연계운영 결과
 영산호 및 영암호의 배수갑문, 연락수로의 제원이 현상태인 조건에서, 영산호-영암호 연계운영을 할 경우에 영산호의 최고내수위는 EL.(+)2.20 m로 분석되었다. 현상태에서 영산호-영암호 연계운영을 하지 않고 영산호 배수갑문으로 방류할 경우의 영산호의 최고내수위가 EL.(+)2.23 m임을 감안하면 현상태 조건에서의 영산호-영암호 연계운영의 효과는 미미한 수준이다.
2. 배수갑문 확장 및 연락수로 확폭에 따른 영산호-영암호 연계운영 결과
 영산호의 최고내수위를 낮추기 위해서는 연락수로의 폭과 영암호 배수갑문의 폭을 동시에 확장하는 것이 효과적인데, 최고내수위 기준으로 약 20 cm의 수위를 낮출 수 있는 것으로 분석되었다. 영산호 배수갑문의 폭을 확장하는 것은 연락수로의 폭이 140 m인 경우에 영산호의 최고내수위에 약 5 cm 내외의 영향을 미치나, 그 이외의 경우에는 영산호의 최고내수위에 미치는 영향이 거의 없는 것으로 분석되었다. 연락수로의 확폭은 영암호의 최고내수위를 상승시키는데, 상승한 수위를 효과적으로 낮출 수 있는 방법은 영암호 배수갑문을 확장하는 것으로 50~80 cm 내외의 수위를 낮출 수 있는 것으로 분석되었으며, 영산호 배수갑문을 확장함으로써 0~20 cm 내외의 수위를 낮출 수 있는 것으로 분석되었다.
3. 연락수로 제수문 개폐기준에 따른 영산호-영암호 연계운영 결과
 연락수로의 폭이 좁은 경우에는 제수문 개폐기준에 따른 영산호 내수위 변동폭이 미미한 수준이나, 연락수로의 폭이 넓은 경우에는 제수문 개폐기준에 따른 영산호 내수위 변동폭이 약 10 cm 내외로 증가하는 양상을 보인다. 즉, 연락수로를 확폭하여 분기유량을 증대시키면, 제수문의 개폐기준을 조정으로써 영산호의 내수위를 효과적으로 조절할 수 있음을 의미한다.
 영산강 하구둑과 영암 및 금호방조제 건설 이후 유역 내

외부 환경변화를 고려했을 때 영산강 중·하류부의 홍수발생 빈도 및 피해 규모는 앞으로 더욱 증가할 것으로 예상된다. 영산강 하구둑 배수갑문 확장만을 통한 치수대책은 그 효과가 부족한 것으로 검토되어, 본 연구에서는 영암호를 활용한 홍수량 분담방안에 대한 분석을 수행한 것으로 향후 영산강 유역의 치수계획 수립시 참조할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 2-3-3)과 한국과학재단 특정기초연구(R01-2007-000-20009-0) 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

강주환(1996) 하구언 및 방조제 건설에 따른 목포해역의 환경변화. **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제16권 제II-6호, pp. 611-619.

강주환, 문승록, 박선중(2004) 해수유동모의에서 조건대 모의의 필요성. **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제24권 제3호, pp. 259-265.

건설교통부 영산강홍수통제소(1997) **영산강 하구둑이 홍수에경보 시스템에 미치는 영향검토 및 연계운영 방안 개발**.

건설교통부(1998) **영산강 하천정비기본계획(보완)**.

건설교통부(2007) **영산강 유역종합치수계획 자문보고서**.

건설부 국립지리원(1982) **연안해역 기본조사 보고서-화원지구**.

농업기반공사(2002) **영산강 농업종합개발사업지**.

목포시(2005) **목포시 지역방재계획 학술연구용역 보고서**.

박선중, 김대근, 안순섭, 강주환(2007) 조석의 영향을 받는 영산강 하류부의 수리학적 홍수추적. **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제27권 제2호, pp. 201-209.

장수형, 윤재영, 윤용남, 김원석(2006a) 제내지와 하도를 연계한 하천유역의 홍수유출해석 : I. 제내지 침수해석에의 적용. **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제26권 제1호, pp. 79-88.

장수형, 윤재영, 윤용남, 김원석(2006b) 제내지와 하도를 연계한 하천유역의 홍수유출해석 : II. 하구호 유출해석에의 적용. **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제26권 제1호, pp. 89-98.

정재욱, 이재웅, 김진영, 윤세의(2004) 상류유역 개발에 따른 하류부 침수피해 영향 분석 - 영산강 유역을 중심으로. **한국방재학회논문집**, 한국방재학회, 제4권 2호, pp. 1-12.

최성욱, 여운광, 주철, 김창완, 오규창(1991) 양해법과 음해법을 이용한 영산강에서의 부정류해석. **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제24권 4호, pp. 49-58.

Barkau, R.L. (1993) *One-Dimensional Unsteady Flow Through a Full Network of Open Channels - User's Manual*. Report CPD-66, USACE HEC 609 Second Street, Davis, CA.

(접수일: 2008.3.13/심사일: 2008.4.9/심사완료일: 2008.5.2)