

영산강 하류부 홍수위 조절을 위한 영산호-영암호-금호호 연계운영

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

김대근* · 김동옥**

Kim, Dae Geun · Kim, Dong Ok

Abstract

To examine how the width of connecting channels, the width of the Kumho lock gate, and the opening/shutting criteria of the Yeongam connecting channel lock gate affect the flood stage of Lake Yeongsan, Lake Yeongam, and Lake Kumho, located in the lower reaches of the Yeongsan River, unsteady flood routing was performed by connecting the three lakes into a single interlinked system. The coupled operation of the three lakes was found to have little effect when the widths of the lock gates and the Yeongam and Kumho connecting channels are set at the current level. The most effective way to lower the water level in Lake Yeongsan was to widen the Yeongam connecting channel, but this caused the water level in Lake Yeongam to rise. To lower the increased water level in Lake Yeongam by utilizing the water storage capacity of Lake Kumho, it was necessary to widen both the Kumho lock gate and the Kumho connecting channel. It was found that the optimum opening/shutting criterion for the Yeongam connecting channel lock gate is approximately EL.(+) 0.8 m under the simulated conditions used in this study and the criterion allows of maximal lowering of the water levels in Lake Yeongam and Lake Kumho while maintaining a near-constant water level in Lake Yeongsan

Keywords : lake youngsan, lake yeongam, lake kumho, lock gate, connecting channel, coupled operation

요 지

연락수로의 확폭, 금호호 배수갑문의 확폭, 영암연락수로 제수문의 개폐기준이 영산강 하류부에 위치하는 영산호 영암호 금호호의 홍수위에 미치는 영향을 분석하기 위하여, 3개의 호수를 하나의 연계시스템으로 구성하여 부정류 해석을 수행하였다. 3개 호수의 배수갑문, 영암 및 금호연락수로의 제원이 현상태인 조건에서 3개 호수의 연계운영 효과는 미미한 것으로 분석되었다. 영산호의 내수위를 낮추기 위해서는 영암연락수로를 확폭하는 것이 효과적이거나, 이는 영암호의 내수위 상승을 유발한다. 상승한 영암호의 내수위를 금호호의 저류능력을 활용하여 낮추기 위해서는 금호호 배수갑문과 금호연락수로를 함께 확폭하는 것이 필요한 것으로 나타났다. 본 연구의 모의조건에서, 영산호의 내수위를 거의 일정하게 유지하면서 영암호와 금호호의 내수위를 최대한 낮출 수 있는 영암연락수로 제수문의 개폐기준은 약 EL.(+) 0.8 m 인 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 영산호, 영암호, 금호호, 배수갑문, 연락수로, 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 상류로부터 유입되는 토사 퇴적에 따라 영산호의 내용적이 설

계당시에 비해 약 30% 감소되었다(건설교통부, 1998). 더불어 영산강 하구둑과 영암·금초 방조제 축조로 인한 목포해역의 조석확폭현상(강주환, 1996)으로 인해 연평균조위는 28 cm가 상승하였으며, 연평균저조위는 14 cm가 하강하였다(목포시, 2005). 또한 영산강 하구둑 설계 당시(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 홍수 유입시 영산호 내수위 상승에 직접적인 영향을 미치게 된다. 또한 상류 유역의 도시화, 산업화로 대변되는 각종 개발사업

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

**목포대학교 공과대학 토목공학과 석사과정 (E-mail : n3822@naver.com)

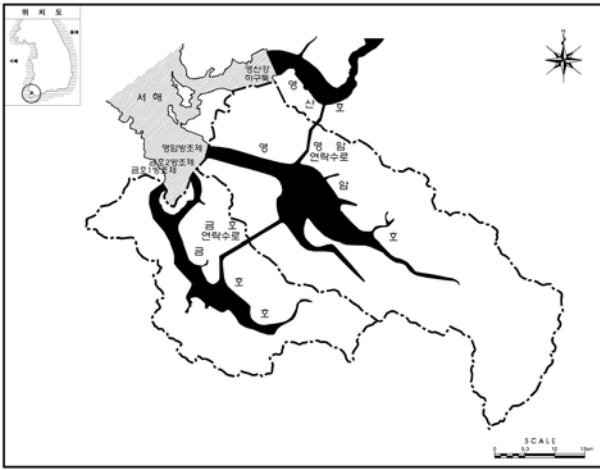


그림 1. 영산강 하류부 현황

에 의한 불투수면적의 증가로 인해 과거와 동일한 호우 사 상에도 침투유량은 증가하고 홍수의 도달시간은 짧아지게 된다. 이에 영산강의 중·하류부 위치한 나주, 함평, 영암, 무안 등 저지대의 침수피해 가능성은 점차 증가하고 있다 (정재욱 등, 2004; 박선중 등, 2007; 김대근과 이재형, 2008).

영산강 하류부에는 영산호와 영암호, 영암호와 금호호가 연 락수로를 통해 서로 연결되어 있다(그림 1 참조). 건설교통 부(2007)에서는 영산강 하류부 치수대책의 한 방안으로 영산 호에 인접해 있는 영암호의 저류공간 활용계획을 제시하고 있다. 이 경우, 영산강 상류에서 영산호로 유입하는 유량은 연락수로를 통해 영암호로 분기되는 유량과 영산호로 유입 되는 유량으로 나누어지고, 영산호의 내수위는 연락수로를 통한 분기유량과 영산호로 유입되는 유량, 하구둑 외조위 변 화에 따른 배수갑문 조작에 따라 변동하게 된다. 영암호의 내수위는 자체 유역에서 발생하는 홍수량과 영산호와 금호 호를 각각 연결하는 연락수로를 통해 유입 또는 유출되는 유량이 증첩되어 영암호로 유입되면서 외조위 변화에 따라 운영되는 영암호 배수갑문의 조작에 의해 내수위가 변동하 게 된다. 금호호의 내수위는 자체 유역에서 발생하는 홍수량 과 영암호를 연결하는 연락수로를 통해 유입 또는 유출되는 유량이 증첩되어 금호호로 유입되면서 외조위 변화에 따라 운영되는 금호호 배수갑문의 조작에 의해 내수위가 변동하 게 된다. 또한 연락수로를 통해 영산호, 영암호, 금호호로 분기되는 유량은 매시간 영산호, 영암호, 금호호의 내수위에 따른 수두차에 의해 결정되므로 이들 모두를 하나의 동적 시스템으로 구축하여 해석하는 것이 필요하다.

영산강 하류부에 대한 부정류 추적은 건설교통부 영산강홍 수통제소(1997)에 의해 수행된 바 있다. 이들은 영산강 하구 둑을 내부경계로 처리하고 외조위와 홍수량 유입조건을 경 계조건으로 처리하는 수리학적 홍수추적이 수문학적 추적방 법에 비해 모의결과가 우월함을 보였다. 장수형 등(2006a, 2006b)은 배수갑문이 설치되어 있는 삼교호의 내수위 특성 을 부정류 추적하였는데, 삼교호의 내수위는 외조위의 영향 을 크게 받고 있음을 보였다. 특히, 외조위의 고조시간과 홍 수량이 증가하는 시기가 겹치는 경우에는 배수갑문을 통한 방류가 불가능하므로 최대의 내수위가 발생하는 등, 외조위

와 홍수량 수문곡선의 중첩시기가 담수호의 내수위에 미치 는 영향을 분석하였다. 박선중 등(2007)은 지형/수리/수문학 적인 환경변화와 영산강 하류부 천변저지대의 저류효과가 본 류 수위에 미치는 영향을 검토하였으며, 영산강 하구둑 배수 갑문 확장에 따른 영산호의 내수위 변화를 검토하였다. 검토 결과, 영산강 하구둑 배수갑문 확장만을 통한 치수대책은 그 효과가 제한적이므로 추가적인 대책이 필요함을 제안하였다. 김대근과 이재형(2008)은 영산호-영암호 연계운영 방안을 검 토하였으며, 여기에서는 영산호와 영암호의 배수갑문의 폭, 연락수로의 폭, 연락수로 제수문의 개폐기준에 따른 홍수조 절효과를 각각 분석하였다.

영산호-영암호 연계를 통한 영산강 하류부의 홍수조절계획 은 건설교통부(2007)의 계획으로 현재 추진 중에 있다. 본 연구에서는 상기 계획을 바탕으로 홍수 발생시 영산호-영암 호 연계운영에 더하여 금호호의 연계운영 효과를 검토하였 다. 영산호, 영암호, 금호호의 내수위와 연락수로를 통한 분 기유량을 추적하기 위하여 HEC-RAS의 부정류 해석모형 (UNET)을 이용하였다. 영산호, 영암호, 금호호를 하나의 시 스템으로 하는 부정류 해석을 통해 금호호의 저류능력, 영암 호와 금호호를 연결하는 연락수로의 확폭, 금호호 배수갑문 의 확장, 영산호와 영암호를 연결하는 연락수로 제수문의 개 폐기준이 영산호, 영암호, 금호호의 홍수위 조절에 미치는 영 향을 분석하였다.

2. 연구자료 및 방법

2.1 영산강 하류부 현황

영암호와 금호호는 “영산강유역 농업종합개발사업 III-1 단 계 사업”에서 농업용수 공급을 목적으로 조성된 담수호이며 영산호 좌안측에 위치하고 있다. 영산호와 영암호, 그리고 금 호호는 연락수로를 통해 서로 연결되어 있다(그림 1 참조). 영암호와 금호호의 유역면적은 각각 355와 184이고, 총 저 수용량은 각각 약 2억4천만과 1억3천만이다. 이 규모와 영 산호의 규모를 비교해 보면 영암호의 경우 유역면적은 영산 호의 약 1/10에 불과하지만 총 저수용량은 영산호와 거의 비슷한 규모이다(표 1 참조). 따라서 호소의 저수용량에 비 해 유역면적이 작아 해수를 담수화하기 위한 상류 유출량이 부족하기 때문에 영산호와 영암호를 연결하는 연락수로를 설 치하여 평상시 담수호 조성을 위한 유량을 배분받고 있다. 영암호와 금호호도 영산호와 마찬가지로 방조제에 배수갑문 이 설치되어 호소의 수위관리를 시행하고 있다. 각 호소의 계획홍수위는 영산호 EL.(+1.64 m, 영암호 EL.(+0.23 m, 금 호호 EL.(+0.16 m)이며, 상시만수위는 연락수로를 통한 호소 간 유량배분을 위해 각각 10 cm씩 차이가 있도록 계획되었 다(농업기반공사, 2002). 영산호와 영암호, 그리고 영암호와 금호호는 각각 저폭 15m의 사다리꼴 연락수로로 연결되어 영산호의 담수를 이용하여 영암호와 금호호 두 호소의 제염 과 이수목적으로 사용하고 있다. 영산호와 영암호를 연결하 는 연락수로(이하 영암연락수로)에는 제수문이 설치되어 있 으나 영암호와 금호호를 연결하는 연락수로(이하 금호연락수 로)에는 제수문이 설치되어 있지 않으며, 각 연락수로의 제 원은 표 2와 같다.

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

표 2. 연락수로 제원

구분	영암연락수로	금호연락수로
연장 (m)	4,434	9,550
바닥고 (EL.m)	-5.35	-5.35
수로저폭 (m)	15	15
제정고 (EL.m)	1.70~3.20	1.20~1.50
제수문	B10 m×H7.2 m×3 런	-

'04년 8월 18일~19일 기간 동안의 태풍 『메기』에 의해 발생한 집중호우시 영산호의 최고내수위는 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. 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. 이에 본 연구에서는 영산강유역에 대규모 홍수가 발생하는 경우 영산호의 내수위가 과도하게 상승하는 것을 방지하기 위하여 영암호와 금호호의 내용적을 활용하는 방안을 검토하였다.

2.2 홍수추적시스템 구성 및 경계조건

본 연구에서 사용하는 UNET은 하도망(network of open channels)에 대한 1차원 부정류해석 모형으로 미국군공병단에서 HEC-RAS의 부정류 해석을 위한 모형로 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-Raphson법을 이용하여 해석한다(Barkau, 1993).

건설교통부(2007)에서는 홍수시 과도하게 상승하는 영산호의 내수위를 낮추기 위하여 영산호 배수갑문을 240 m에서 480 m로 확장하고, 홍수시 일부 유량을 영암호로 분기시키기 위해 영산호와 영암호를 연결하는 영암연락수로를 저폭 기

준 15 m에서 140 m로 확폭함과 더불어 영암호의 배수갑문도 80 m에서 410 m로 확장하는 수위저감 방안을 계획하여 현재 사업을 추진 중에 있다. 이에 본 연구에서도 상기 계획을 그대로 모델링에 반영하였다.

영산강 본류의 하천 연장은 111.7 km인데, 본 연구에서는 하구둑에서 니주수위관측소 지점까지 약 63 km를 모의구간으로 설정하였으며, 하도의 단면자료는 영산강 하천정비기본계획(건설교통부, 1998)의 하천측량 성과를 이용하였으며, 영산강 상류(니주수위표 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 목포기준검조소의 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), 김대근과 이제형(2008)에 의해 그 적용성이 검증된 자료를 이용하였다.

영암호는 하구 배수갑문 지점에서 18.5 구간을 금호호는 하구 배수갑문 지점에서 17.0 km 구간을 대상으로 하도모형을 구성하였다. 영암호와 금호호의 단면자료는 해당지역의 해도, 2차원 수치모의를 위해 작성된 목포해역의 수심도(강주환 등, 2004) 및 한국농어촌공사(2009)의 자료를 이용하였다. 영암호와 금호호 상류에서 유입하는 100년 빈도 홍수량 수문곡선은 건설교통부(2007)에서 산정한 수문곡선을 이용하였다. 영암호와 금호호 하류부 경계조건은 영산호 하류부 경계조건과 동일하게 목포기준검조소를 기준으로 설계조위인 대조평균고조위를 이용하였다.

영산호, 영암호, 금호호에 설치된 배수갑문은 배수갑문 전면과 후면의 수위차에 의해 갑문을 통한 방류가 이루어지도록 내부구조물(inline structure)로 처리하였다. 또한 연락수로에 설치되는 제수문 또한 내부구조물로 처리하여 제수문 조도효과를 고려할 수 있도록 하였다. 연락수로와 영암호, 금호호의 조도계수는 박선중 등(2007)이 사용한 영산강 하류부 조도계수와 동일하게 설정하였다. 이상과 같이 영산호, 영암호, 금호호를 하나의 시스템으로 구축하여 구성된 부정류 모

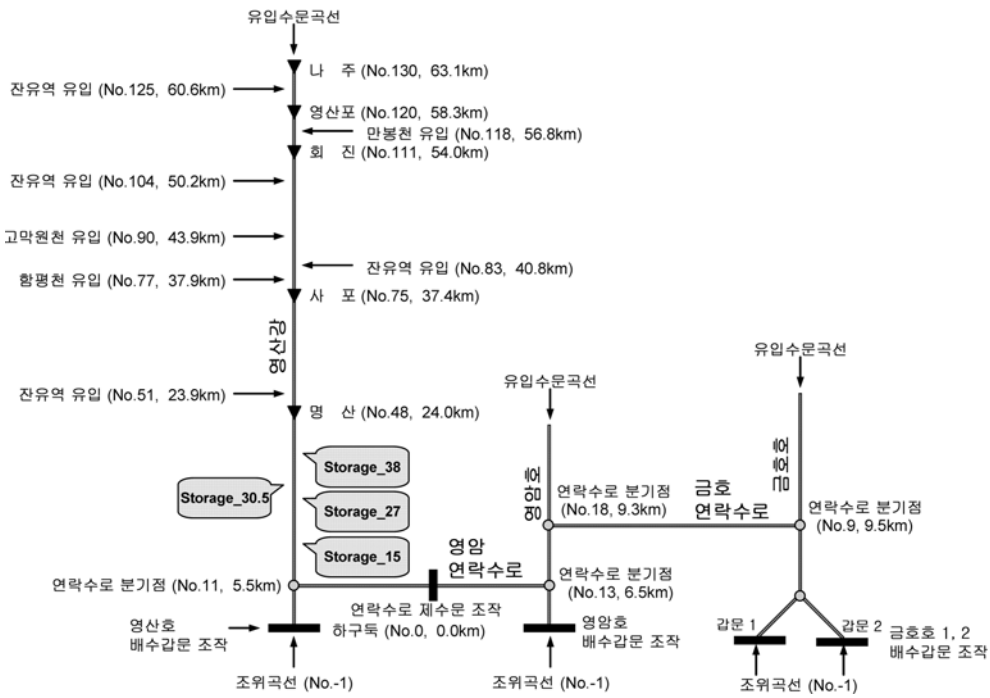


그림 2. 홍수추적시스템 구성 및 경계조건

표 3. 모의조건

CASE	연락수로폭 (m)		배수갑문폭 (m)			영암연락수로 제수문 개폐기준
	영암	금호	영산호	영암호	금호호	
현상에서 3개 호수 연계운영	15	15	240	80	50	영산호의 내수위 : EL.(+)0.0 m
건설교통부(2007) 계획을 반영한 상태에서 3개 호수 연계운영	140	15	480	410	50	영산호의 내수위 : EL.(+)0.0m
금호연락수로 및 금호호 배수갑문 확폭에 따른 3개 호수 연계운영	140~420	15~1,000	480	410	50~300	영산호의 내수위 : EL.(+)0.0 m
영암연락수로 제수문 개폐기준에 따른 3개 호수 연계운영	280	600	480	410	200	영산호의 내수위 : EL.(-)1.0 m ~EL.(+)1.4 m

델팅의 모식도와 경계조건은 그림 2와 같다.

2.3 모의조건

박선중 등(2007)이 외조위 조건과 유입홍수량 수문곡선의 위상에 따른 영산호의 최고내수위 변화를 검토한 결과, 대조 평균고조위와 유입홍수량의 침도가 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 홍수조절을 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 조건하에서 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. 김대근과 이제형(2008)은 영산호-영암호의 연계운영 효과를 검토하였다. 검토 결과, 영산호의 내수위를 낮추기 위해서는 연락수로의 폭과 영암호 배수갑문의

폭을 확장하는 것이 효과적인 것으로 분석되었으며, 연락수로의 폭을 확장함으로써 호소간 분기유량을 증대시키면 연락수로 제수문의 개폐기준 조정을 통해 영산호의 내수위를 효과적으로 조절할 수 있는 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 건설교통부(2007)의 치수계획인 영산호-영암호 연계운영을 기본으로 금호호의 저류능력을 활용하기 위한 금호호의 배수갑문 확장 및 금호연락수로 확폭이 영산호, 영암호, 금호호의 홍수위 조절에 미치는 영향을 해석하였다. 본 연구에서 수행한 모의조건을 표 3에 요약, 정리하였다. 모든 분석은 영산호에서 최고내수위를 발생시키는 고고조 일치형에 대한 해석을 바탕으로 수행하였다.

3. 연구결과

3.1 현상에서 3개 호수 연계운영 결과

영산호, 영암호, 금호호의 배수갑문, 연락수로의 제원이 현상적인 조건(표 3 참조)에서 3개 호수의 연계운영시, 영산호, 영암호, 금호호의 내수위 및 분기유량을 해석하였다. 영산호, 영암호, 금호호의 초기수위는 각 호소의 상시만수위를 적용하였다. 영암연락수로의 제수문은 영산호의 내수위(No. 0 지

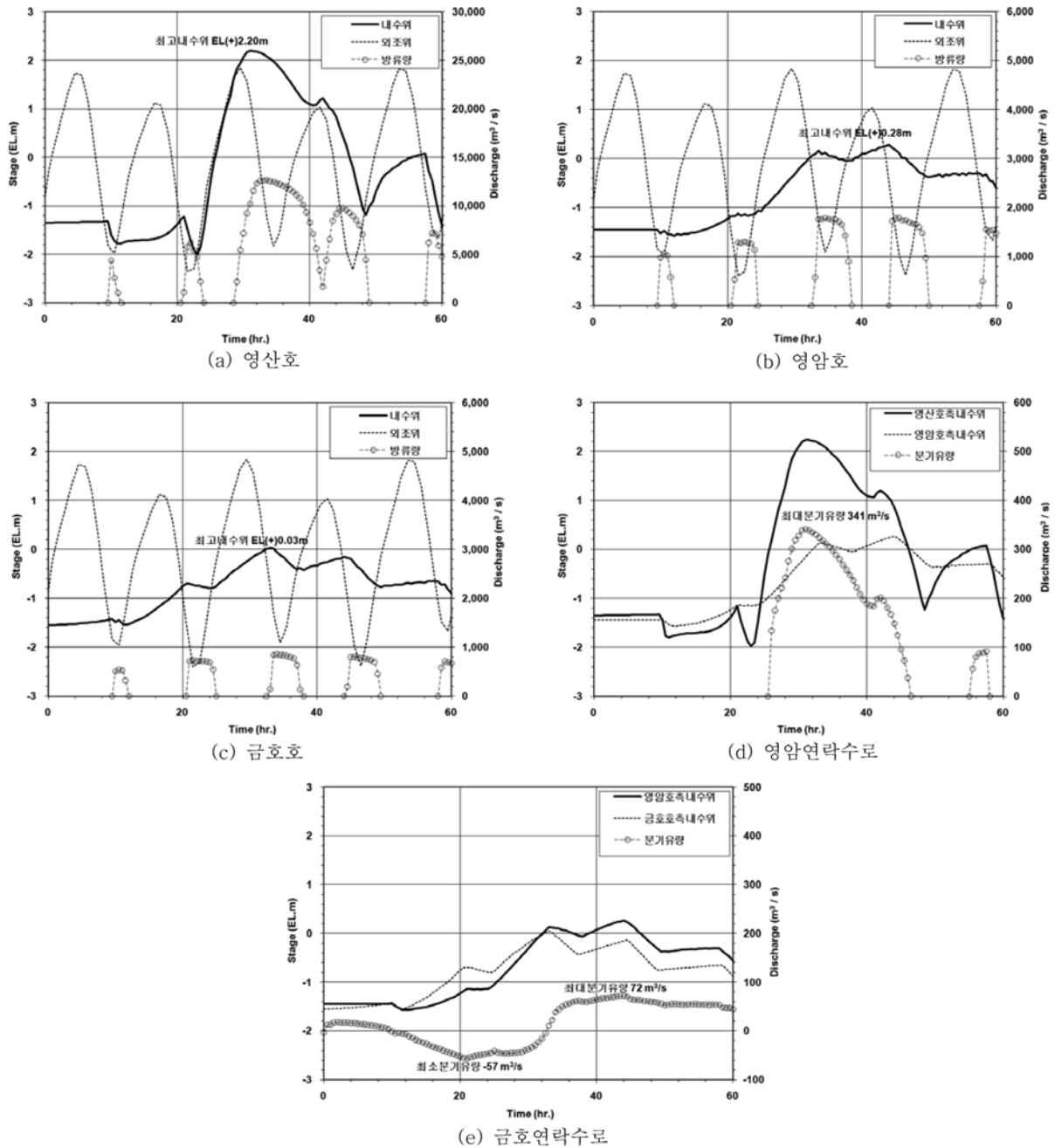


그림 3. 현상에서 3개 호수 연계운영 결과

점) EL.0.0 m를 기준으로 이를 초과하는 경우에 개문하고 이를 하회하는 경우에는 폐문하도록 내부경계조건을 부여하였다. 이러한 조건에서 영산호, 영암호, 금호호의 내수위 및 분기유량을 해석한 결과는 그림 3과 같다. (a), (b), (c)는 영산호, 영암호, 금호호 배수갑문 직상류의 내수위 및 외조위, 그리고 배수갑문을 통한 방류량이며, (d), (e)는 각각 영암연락수로와 금호연락수로의 시점과 중점부 내수위, 그리고 연락수로를 통한 분기유량을 도시한 것이다.

영산호, 영암호, 금호호의 최고내수위는 각각 EL.(+)2.20 m, EL.(+)0.28 m, EL.(+)0.03 m이다. 영암연락수로를 통한 영산호에서 영암호로의 최대분기유량은 341 m³/s이며, 금호연락수로로는 제수문이 설치되어 있지 않기 때문에 영암호와 금호호의 내수위가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 자연스럽게 유량이 분배되는데 홍수 초기에는 금호호에서 영암호 측으로 유량이 분기되나, 홍수가 진행되면서 영암호의 수위가 급격히 상승함에 따라 영암호에서 금호호 측으로 유량이 분기되

는 현상을 보여주고 있다. 영산호 수위수문곡선은 최고내수위가 발생한 후에 배수갑문의 방류에 의해 내수위가 하강하나, 방류량의 한계로 인해 그 하강이 지체되고 있으며 이는 영암호 수위수문곡선도 마찬가지이다. 현상에서 영산호-영암호-금호호 연계운영을 하지 않는 경우에 영산호의 최고내수위가 EL.(+)2.23 m, 현상에서 영산호-영암호 연계운영만을 하는 경우에 영산호의 최고내수위가 EL.(+)2.20 m를 감안하면(이재형과 김대근, 2008) 금호호를 포함한 3개 호수 연계운영의 효과는 미미한 수준이다.

현재 영암연락수로와 제수문은 홍수조절을 위한 연계운영을 위해 설치된 것이 아니므로, 시설물의 규모가 작고 홍수 시에는 오히려 제수문을 폐문하도록 운영하고 있다. 따라서 영산호-영암호-금호호 연계운영을 통한 홍수조절 효과를 높이기 위해서는 연락수로를 확폭함으로써 분기유량을 증대시켜야 한다. 영암연락수로의 분기유량이 증가하면 영암호의 내수위는 상승하게 되므로 영암호 배수갑문을 확장함으로써

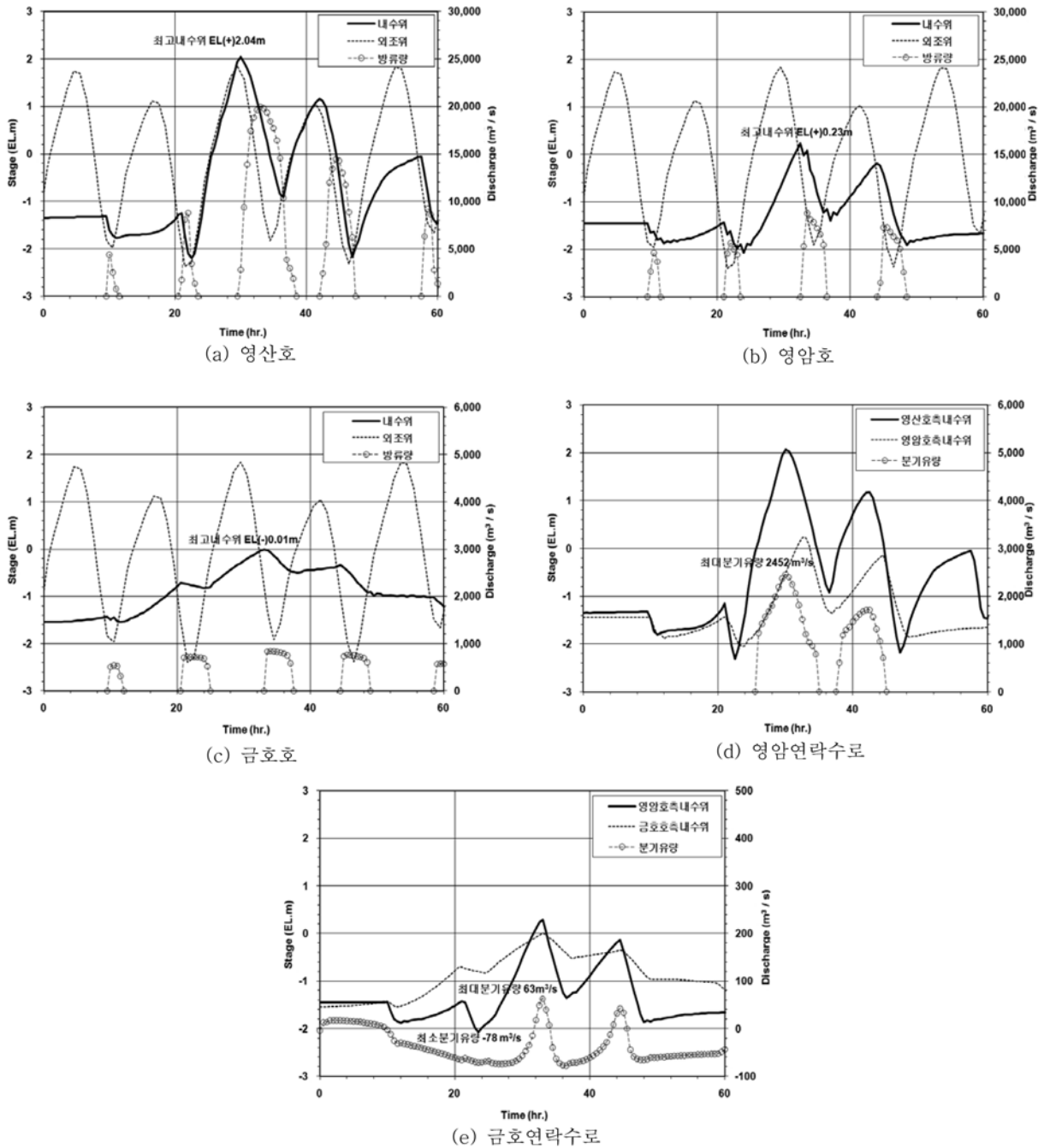


그림 4. 건설교통부(2007) 계획을 반영한 3개 호수 연계운영 결과

배수갑문의 방류능력을 증대시켜야 하며, 아울러 금호호의 저류능력을 이용하기 위해서는 금호연락수로를 확폭함으로써 분기유량을 증대시킬 필요가 있다.

3.2 계획상태에서 3개 호수 연계운영 결과

영산호, 영암호의 배수갑문, 영암연락수로의 제원을 건설교통부(2007)의 계획(표 3 참조)으로 하고, 현상태의 금호연락수로를 통한 금호호와의 연계운영시 영산호, 영암호, 금호호의 내수위 및 분기유량을 해석하였으며 그 결과는 그림 4와 같다. 영산호, 영암호, 금호호의 최고내수위는 각각 EL.(+)2.04 m, EL.(+)0.23 m, EL.(-)0.01 m이다. 영암연락수로를 통한 영산호에서 영암호로의 최대분기유량은 2,452 m³/s이며, 금호연락수로는 금호호에서 영암호 측으로 최대분기유량은 78 m³/s이며 영암호에서 금호호 측으로 최대분기유량은 63 m³/s이다.

그림 4(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 3(a)와 같은 수위수문곡선을 보이게 된다. 영암호의 내수위(그림 4(b)참조)는 영산호의 내수위와 거의 비슷한 거동을 보이는데 배수갑문의 규모가 작아 방류량이 작은 경우에는 그림 3(b)와 같이 고고조와 저고조 발생 이후에 최고내수위가 발생하나, 배수갑문의 규모가 큰 경우에는 고고조 이후에 바로 최고내수위가 발생하게 된다. 금호호의 내수위(그림 4(c)참조)는 현상태(그림 3(c)참조)와 비교하

여 내수위가 약 4 cm 하강하는 것을 제외하면 거의 비슷한 거동을 보이고 있다. 금호호의 내수위가 하강하는 이유는 영암호 배수갑문이 80 m에서 410 m로 확폭됨에 따라 영암호 배수갑문의 배수능력이 증가하게 되어 금호호에서 영암호 방면으로 대부분의 유량이 분기하기 때문이다. 이는 그림 4(e)에서 확인할 수 있는데, 영암호 배수갑문의 방류능력 때문에 영암호의 내수위는 급격히 하강하는데, 금호호의 내수위는 완만하게 하강하기 때문에 홍수기 대부분의 구간에서 금호호의 수위가 영암호보다 높아 금호호에서 영암호로 유량이 분기하고 있다. 이는 김대근과 이재형(2008)의 연구에서 금호호를 연계운영하지 않는 경우, 동일한 조건에서 영암호의 최고내수위가 EL.(+)0.14 m였던 점에서도 확인할 수 있다. 즉, 이와 같은 조건에서는 금호호와의 연계운영은 영암호에 홍수량을 가중시키는 요인으로 작용하므로, 금호호의 저류능력을 활용하기 위해서는 금호호 배수갑문의 확장과 금호연락수로의 확폭이 필요함을 의미한다.

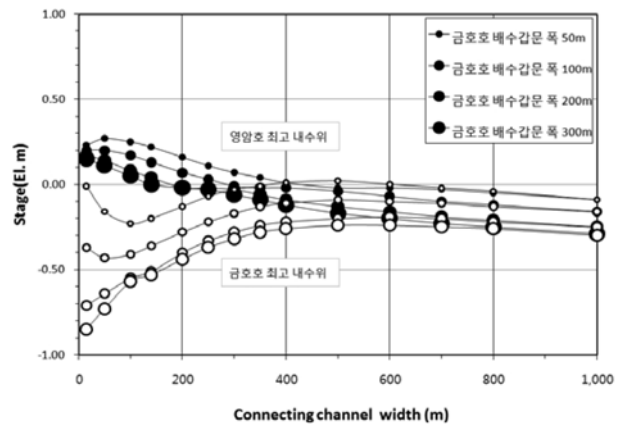
3.3 금호연락수로 및 금호호 배수갑문 확폭에 따른 3개 호수 연계운영 결과

3.2절의 조건을 기본으로 하여 금호호 배수갑문과 금호연락수로의 확폭에 따른 3개 호수의 연계운영 효과를 검토하였다. 영산호의 최고내수위는 금호호 배수갑문과 금호연락수로 확폭의 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났다. 표 4는 영산호의 최고내수위를 정리한 것인데, 영암연락수로의 폭이 140 m인 경우에는 본 연구의 모든 모의조건에서 영산호의 최고내수위가 EL.(+)2.04 m임을 의미한다. 영암연락수로의 폭이 350 m, 420 m인 경우에 금호호 배수갑문과 금호연락수로 확폭이 영산호의 최고내수위에 얼마간의 영향은 미치고 있지만, 그 크기는 최대 5 cm 이내인 것으로 분석되었다.

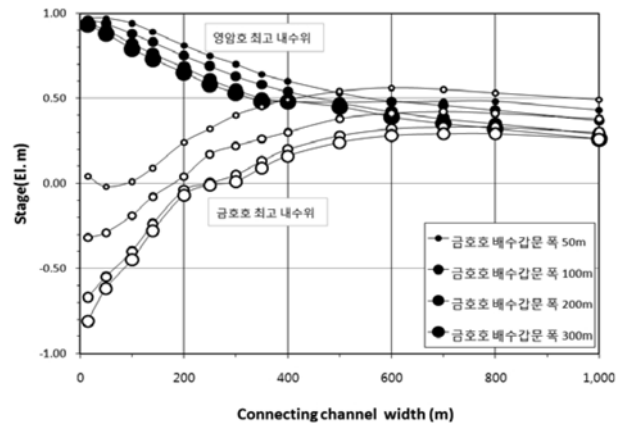
그림 5는 금호연락수로 및 금호호 배수갑문 확폭에 따른 3개 호수 연계운영에 따른 영암호와 금호호의 최고내수위 변화를 도시한 것이다. (a)는 영암연락수로의 폭이 140 m인 경우이며 (b)는 280 m인 경우이다. 우선 영암연락수로의 확폭은 영암호의 수위 상승에 큰 영향을 미치게 됨을 알 수 있다. 즉, 금호호의 배수갑문의 폭이 50 m이고, 금호연락수로의 폭이 15 m인 경우에 영암연락수로의 폭이 140 m인 경우에는 영암호의 최고내수위가 EL.(+)0.23 m이나, 영암연락수로의 폭이 280 m인 경우에는 최고내수위가 EL.(+)0.97 m로 상승하게 된다. 하지만 동일한 조건에서 금호호의 최고내수위는 EL.(-)0.01 m에서 EL.(+)0.04 m로 5 cm 상승하는 것에 그치고 있다. 그리고 금호호 배수갑문의 확장에 따라 영암호와 금호호의 최고내수위는 전반적으로 하강하게 되는데, 영암호 보다는 금호호의 수위 하강에 직접적인 영향을 미치게 되어 영암호와 금호호의 최고내수위 차이를 증대시키는 요인으로 작용하게 된다. 즉 금호연락수로의 폭이 현재와 같이 15 m인 경우에는 홍수방어를 위해 금호호의 내용적을 적절히 활용할 수 없음을 의미한다. 영암연락수로의 확폭을 통해 상승하는 영암호의 내수위를 금호호의 내용적을 활용하

표 4. 영암연락수로의 폭에 따른 영산호의 최고내수위

영암연락수로의 폭 (m)	140	210	280	350	420
영산호 최고내수위 (EL.m)	2.04	2.01	1.91	1.79-1.84	1.75-1.78



(a) 영암연락수로의 폭 : 140m



(b) 영암연락수로의 폭 : 280m

그림 5. 시설물 규모에 따른 영암호와 금호호의 최고내수위

여 하강시키기 위해서는 금호연락수로의 확폭을 통해 영암호의 내수위를 하강시키고, 금호호의 내수위를 상승시킴으로써 영암호와 금호호의 최고내수위를 비슷하게 유지시키는 것이 필요함을 알 수 있다.

3.4 영암연락수로 제수문 개폐기준에 따른 3개 호수 연계운영 결과

표 5는 영산호, 영암호, 금호호 배수갑문의 순폭이 각각 480 m, 410 m, 200 m이고 영암 및 금호 연락수로의 폭이 각각 280 m, 600 m인 경우에 대하여 영암연락수로 제수문의 개폐기준을 영산호내수위를 기준으로 EL.(-)1.0 m에서 EL.(+)1.4 m로 변화시키며 연계운영의 효과를 검토한 결과이다. 영산호의 최고내수위는 영암연락수로 제수문의 개폐기준 수위가 높을수록 상승하며, 영암호와 금호호의 최고내수위는 반대로 하강하는 경향을 보인다. 이러한 경향은 특히 제수문 개폐기준 수위가 EL.(+)0.8 m~1.0 m를 경계로 큰 변화를 보이는데, 영산호의 최고내수위는 이를 경계로 크게 상승하고 영암호와 금호호의 최고내수위는 크게 하강하는 경향을 보인다. 즉, 영산호의 최고내수위를 높이지 않으면서 영암호와 금호호의 최고내수위를 낮출 수 있는 영암연락수로의 제수문 개폐기준은 주어진 조건에서 약 EL.(+)0.8 m임을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 영산강 하류부 홍수위 조절을 위한 영산호-영암호-금호호 연계운영 방안을 검토하였다. 즉, 영산호-영암

표 5. 영암연락수로 제수문의 개폐기준에 따른 3개 호수의 최고내수위

모의 번호	제수문 개폐기준 내수위 (EL.m)	최고내수위 (EL.m)		
		영산호	영암호	금호호
1	-1.0	1.92	0.48	0.39
2	-0.8	1.91	0.47	0.38
3	-0.6	1.91	0.46	0.37
4	-0.4	1.92	0.46	0.36
5	-0.2	1.91	0.45	0.34
6	0.0	1.91	0.42	0.32
7	0.2	1.91	0.40	0.29
8	0.4	1.91	0.38	0.26
9	0.6	1.91	0.35	0.22
10	0.8	1.92	0.31	0.17
11	1.0	1.99	0.24	0.07
12	1.2	2.02	0.09	0.00
13	1.4	2.04	0.09	-0.01

호 연계를 통한 기존 영산강 하류부 홍수조절계획에 대하여 금호호의 저류능력을 활용하는 3개 호수의 연계운영 효과를 검토하였다. 3개 호수의 내수위와 연락수로를 통한 분기유량을 추적하기 위하여 HEC-RAS의 부정류 해석모형(UNET)을 이용하였다. 3개의 호수를 하나의 시스템으로 구성한 부정류 해석을 통해 금호호의 저류능력, 금호연락수로의 확폭, 금호호 배수갑문의 확장, 영암연락수로 제수문의 개폐기준이 영산호, 영암호, 금호호의 홍수위 조절에 미치는 영향을 분석한 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 현상태에서 3개 호수 연계운영 결과

3개 호수의 배수갑문, 영암 및 금호연락수로의 제원이 현상태인 조건에서, 3개 호수를 연계운영 할 경우에 영산호의 최고내수위는 EL.(+).2.20 m로 분석되었다. 현상태에서 연계운영을 하지 않는 경우에 영산호의 최고내수위가 EL.(+).2.23 m, 영산호-영암호 연계운영만을 하는 경우에 영산호의 최고내수위가 EL.(+).2.20 m임을 감안하면 현상태 조건에서 3개 호수의 연계운영 효과는 미미한 수준이다.

2. 계획상태에서 3개 호수 연계운영 결과

영산호, 영암호의 배수갑문, 영암연락수로의 제원을 건설교통부(2007)의 계획으로 하고, 현상태의 금호연락수로를 통한 금호호와의 연계운영시, 금호호의 최고내수위는 약 4 cm 하강하지만 영암호의 최고내수위는 도리어 약 9 cm 상승하게 된다. 이는 영암호 배수갑문의 배수능력이 증가함에 따라 금호호에서 영암호 측으로 대부분의 유량이 분기하면서 영암호에 홍수량을 가중시키기 때문이다. 따라서 금호호의 저류능력을 활용하여 영암호의 홍수위를 저하시키기 위해서는 금호호 배수갑문의 확장과 금호연락수로의 확폭이 필요하다.

3. 금호연락수로 및 금호호 배수갑문 확폭에 따른 3개 호수 연계운영 결과

금호연락수로와 금호호 배수갑문의 확폭은 영산호의 최고내수위에 미치는 영향이 미미하며, 영암연락수로의 폭이 영산호의 최고내수위에 주로 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 그리고 영암연락수로의 확폭은 영암호의 수위 상승에 큰

영향을 미치나, 금호호의 수위 상승에는 그 영향이 미미한 것으로 나타났다. 금호호 배수갑문의 확장은 금호호의 수위 하강에 직접적인 영향을 미쳐 영암호와 금호호의 수위차를 증가시키는 요인이 된다. 따라서 금호호의 내용적을 효과적으로 활용하기 위해서는 금호연락수로를 확폭함으로써 영암호와 금호호의 내수위를 비슷하게 유지시키는 것이 필요하다.

4. 영암연락수로 제수문 개폐기준에 따른 3개 호수 연계운영 결과

영산호의 최고내수위는 영암연락수로 제수문의 개폐기준 수위가 높을수록 상승하며, 영암호와 금호호의 최고내수위는 반대로 하강하는 경향을 보인다. 본 연구의 모의조건에서 영산호의 최고내수위를 높이지 않으면서 영암호와 금호호의 최고내수위를 낮출 수 있는 영암연락수로 제수문의 개폐기준은 약 EL.(+).0.8 m인 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 연구비지원(No. R01-2007-000-200090-0)과 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0077855).

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.

건설교통부 국립지리원(1982) 연안해역 기본조사 보고서-화원지구.

김대근, 이재형(2008) 영산강 하류부 홍수조절을 위한 영산호-영암호 연계운영 방안, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제28권 제3호, pp. 297-306.

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 제2호, pp. 1-12.

한국농어촌공사(2009) 영산강하구둑 구조개선사업 관련 수리수문 분석.

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: 2010.1.15/심사일: 2010.2.16/심사완료일: 2010.3.12)