

한강 홍수에경보시스템의 저수지 운영모듈 개선 Improvement for Reservoir Operation Module of Flood Forecasting-Warning Systems in Han River

권 오 익* / 김 승** / 심 명 필***

Kwon, Oh Ig / Kim, Sung / Shim, Myung Pil

Abstract

On the premise of flood control procedure, flood forecasting-warning system(FFWS) is one of actions for disaster prevention. It makes public announcements for flood situations timely in order to mitigate damage from floodings. Multi-purpose dam which has flood control storage plays an important role in river basin at flood time. In FFWS, it is reservoir operation module that is related to reservoir operation of multi-purpose dam. This study considers the current conditions and problems in reservoir operation module of FFWS at Han River and improves reservoir operation module under limited research scope. As results, additional reservoir operation modules such as Technical ROM(Reservoir Operation Method) and ARD(Approved Release Discharge) ROM were built in FFWS. Using these newly built reservoir operation modules, Han River Flood Control Office will plan and work for flood control and flood forecasting. Firstly, it may plan for flood control by Technical ROM which is deterministic simulation model. and work for final flood control and flood forecasting by ARD ROM according to approved release discharge afterward.

keywords: Technical ROM, ARD ROM, Reservoir Operation Method(ROM) for flood time

요 지

홍수에경보란 홍수에즉시 직기에 홍수에경보를 발령하여 홍수피해를 경감시키고자 하는 방재활동의 일환으로 이는 홍수조절과정을 전제로 한다. 유역내에서 홍수조절을 직접 수행할 수 있는 곳은 홍수조절용량을 갖추고 있는 다목적 댐으로 홍수시 다목적 댐의 역할은 매우 중요하다고 할 수 있다. 홍수에경보시스템에서 이러한 다목적 댐의 저수지 운영과 관련된 부분이 바로 저수지 운영모듈이다. 본 연구에서는 한강홍수통제소에 구축된 저수지 운영모듈의 현황과 문제점을 고찰하여 한정된 범위내에서 개선작업을 수행하였고 결과적으로 Technical ROM과 ARD ROM을 추가적인 저수지 운영모듈로 구축하였다. 새로이 구축된 저수지 운영모듈을 이용하여 홍수시 한강 홍수통제소는 Technical ROM과 같은 확정론적인 모의방법을 통해 우선 홍수통제에 관한 1차적인 계획을 수립하고, 이후 승인된 방류량에 따라 ARD ROM을 이용하여 최종적인 홍수통제 및 예측 업무를 수행할 수 있을 것이다.

핵심용어 : Technical ROM, ARD ROM, 홍수시 저수지 운영방법

* 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원

Senior Researcher, Water Resources and Environmental Research Div., KICT, Koyang, Kyonggi 411 410, Korea

** 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 부장

Director General, Water Resources and Environmental Research Div., KICT, Koyang, Kyonggi 411 410, Korea

*** 인하대학교 토목공학과 교수

Professor, Dept. of Civil Engineering, Inha Univ., Incheon 402 751, Korea

1. 서 론

홍수에경보란 홍수예측시 작기에 홍수에경보를 발령하여 홍수피해를 경감시키고자 하는 방재활동의 일환으로 이는 홍수조절과정을 전제로 한다. 유역내에서 홍수조절을 직접 수행할 수 있는 곳은 홍수조절용량을 갖추고 있는 다목적 댐으로 홍수시 다목적 댐의 역할은 매우 중요하다고 할 수 있다. 홍수시 다목적 댐의 역할은 댐의 안전을 우선으로 저수지로 유입하는 홍수량을 저류하여 조절방류함으로써 홍수 분산에 따른 하류의 홍수피해를 최소화하는데 있다.

한강유역의 경우, 다목적 댐이 차지하고 있는 유역면적은 전체 유역면적의 약 51%(화천댐: 14.8%, 소양강댐: 10.4%, 충주댐: 25.6%)로 특히, 화천댐 유역은 상류에 건설된 평화의 댐으로 인해 실질적으로 홍수조절능력이 상당히 증가된 상태이다(심명필 등, 1998). 따라서 한강수계의 경우, 홍수시 이러한 다목적 댐들의 홍수조절능력을 최대한 활용하여 홍수피해를 경감시켜야 한다(건설교통부·한강홍수통제소, 1998). 구축된 한강 홍수에경보시스템중에서 이러한 다목적 댐의 저수지 운영과 관련된 부분이 바로 저수지 운영모형이다. 저수지 운영모형이란, 강우-유출모형을 통해 예측된 유입량에 대해 유역 상하류의 상황과 댐의 안전 등을 충분히 고려하여 하류의 피해를 최소로 줄일 수 있는 최적의 방류량을 결정하는 일련의 의사결정 과정이라 할 수 있다.

홍수에경보의 목적은 사전에 미리 홍수를 감지하여 홍수진파에 대한 예측과 판단을 토대로 위험상황을 사전에 국민에게 알려줌으로써 홍수로 인해 위험에 직면할 국민들의 생명과 재산을 보호하는데 있다. 따라서 홍수에경보 시스템은 그 목적에 따라 감지시스템과 예측시스템, 예경보의 유무를 결정하는 결정시스템으로 구성되는 것이 일반적이다. 즉, 감지시스템에 의해 홍수가 감지되면 예측시스템에 의해 발생하게될 홍수의 크기와 지속기간, 발생시간 등이 예측되고 이를 바탕으로 결정시스템에 의해 홍수에경보의 발령유부가 결정되는 것이다. 감지시스템과 예측시스템은 기술적인 한계에 따른 많은 불확실성이 내재되어 있으므로 결정시스템에서는 이러한 불확실성 등을 모두 고려하여 종합적인 결정이 최종적으로 내려져야 한다(Krzysztofowicz, 1993). Benjamin과 Cornell(1970)은 이러한 불확실성의 근원을 자연적, 통계학적, 모형자체적인 3가지의 범주별로 요약하였다. Krzysztofowicz는 수문기상학

적인 현상을 예측하는데 있어 존재하는 불확실성이 무시되는 경향이 있음을 지적한 후 불확실성을 고려함에 있어 Bayesian 이론의 이용을 역설하고(1983a), Bayesian Markov Model을 이용하여 홍수예측 과정의 이론을 전개하였다(1983b). Ferrell과 Krzysztofowicz(1983)는 홍수에경보 시스템의 효율을 평가하기 위한 방안으로 홍수에경보에 따른 하류 주민 및 관련 기관의 반응을 고려한 모형을 개발하였다. Arrau(1987)는 홍수조절을 수행하는데 있어 존재하는 불확실성을 수문모형과 관련한 수문학적인 불확실성과 홍수피해와 관련한 경제학적인 불확실성으로 구분하여 궁극적으로는 경제적인 손실을 최소로 하는 홍수시 저수지 운영을 전개하였다. 그러나 홍수예측과 관련한 국내의 경우에는 불확실성과 관련하여 객관적인 방법에 의해 불확실성의 정도를 정량적으로 분석한 연구결과는 아직 발표된 바 없으며 이는 분석을 위해 필요로 하는 자료의 확보에 어려움이 있는 것도 하나의 주된 이유라고 판단된다.

홍수시 다목적 댐의 저수지 운영의 경우, 강우예측 모형과 강우-유출모형, 방류량 결정모형, 하도추적모형 등이 서로 연계되어 운영된다. 이중 현실적으로 가장 어려움이 큰 모형은 강우예측모형이다. 강우예측모형이란 호우와 관련된 기상정보로부터 앞날의 강우발생을 예측하는 것으로 이는 강우-유출모형의 입력자료로 이용된다. 많은 노력에도 불구하고 아직 현실적인 기술수준으로는 강우발생을 정확히 예측하기가 매우 어려운 실정이다. 따라서 기대와는 달리 현재 강우발생의 예측 정도(精度)는 매우 낮으며 이에 따른 오차로 말미암아 저수지의 운영효율도 매우 낮은 실정이다. 사실 각 모형의 이용에 따른 예측정도들이 100% 정확하다면 저수지의 운영은 단지 사칙연산에 불과하다. 그러나 강우 발생오차 뿐만 아니라 각각의 모형이 내재하고 있는 오차로 인해 홍수시 저수지 운영은 매우 어려운 의사결정과정을 수반할 수밖에 없다. 이러한 어려움은 예측정보의 불확실성이란 용어로 통용되고 있으며 저수지의 운영효율을 평가하는데 있어 이러한 이해가 전제되어야 한다. 일반적으로 홍수시 다목적 댐의 방류량을 결정하는 방법에는 최적화기법과 모의기법이 있으나 국내의 경우에는 현재 실무적으로 접근이 쉬운 모의기법만이 이용되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 한강 홍수통제소에 구축된 홍수에경보시스템 중에서 저수지 운영모형의 현황과 문제점을 고찰하여 한정된 범위 내에서 개선작업을 수행하였다.

한정된 범위한 모의기법을 이용하여 예측정보의 불확실한 영향을 직접적으로 고려하지 않고 기존에 구축되어 있는 저수지 운영모듈에 보다 효율적인 저수지 운영 방법을 추가적으로 구현하는 것이다. 따라서, 어떤 의미에서는 기존의 연구성과를 담보하였다는 지적이 있을 수 있으나 현실적인 배경을 고려하여 우선, 기존의 연구성과만이라도 필요한 곳에 적절히 반영시키는 것이 본 연구의 동기라 할 수 있다. 따라서 한강 홍수예경보시스템의 방류량 결정 방법을 검토하여 시급히 개선될 현안에 대해 논의하고 기존에 알려진 개념을 본 연구 나름대로 이해하고 재구성하여 개선방안을 제시하는 것이 본 연구의 목적이다. 본 연구의 수행결과, 한강 홍수통제소는 추가적으로 구축된 저수지 운영모듈을 이용하여 보다 현실적인 홍수통제 및 예측업무를 수행할 수 있을 것이다.

2. 홍수예경보 시스템을 위한 다목적 댐의 방류량 결정

2.1 현행의 다목적 댐의 방류량 결정 현황

홍수시 저수지의 운영 목적은 한정된 저수공간을 최대한 활용하여 적절한 저류와 방류를 통해 댐 하류의 피해를 최소화 시키는 것으로 홍수사후에는 홍수분석에 따라 저수지의 운영 실적을 평가할 수 있다. 저수지의 운영 효율은 식 (1)에서 식 (4)와 같이 홍수조절효과를 나타내는 항목 등으로 평가될 수 있다.

$$\text{침투유입량 조절률(\%)} = \frac{\text{침투유입량} - \text{최대방류량}}{\text{침투유입량}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{저수지 이용률(\%)} = \frac{\text{최고수위} - \text{제한수위}}{\text{계획홍수위} - \text{제한수위}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{방류율(\%)} = \frac{\text{총방류량}}{\text{총유입량}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{저류율(\%)} = \frac{\text{총저류량}}{\text{총유입량}} \times 100 \quad (4)$$

식 (1)의 침투유입량 조절률이란 조절된 홍수에 대한 침투유입량의 조절효과를 나타내는 것으로 댐 건설에 따라 향상된 유역의 홍수조절능력을 의미한다. 즉, 댐

이 준공되지 않았다면 댐 하류로 침투유입량이 유입되었으나 댐이 준공·운영되어 조절(최대)방류량이 하류로 유입되므로서 결과적으로 계산된 조절률 만큼의 홍수조절효과가 발생되었음을 나타낸다. 식 (2)의 저수지 이용률은 댐 규정에 명시된 홍수조절용량의 이용정도를 나타낸다. 댐 규정에 명시된 홍수조절용량은 일반적으로 홍수기 제한수위에서 계획홍수위까지의 저수지 공용량을 말하는 것으로 이는 실제 홍수량에 준하여 할당된 저류공간이라 할 수 있다. 실제 홍수예측시, 저수지의 수위는 홍수기 제한수위 이하나 또는 이상이 될 수 있으며 또한, 제한수위를 유지하고 있다고 하더라도 예측된 홍수규모가 규정된 홍수조절용량을 초과할 경우에는 예비방류로 추가적인 홍수조절용량을 확보하므로 실제 댐 운영에 있어서의 홍수조절용량은 다소 가변적이라 할 수 있다. 식 (3)과 식 (4)와 같이 표현되는 방류율과 저류율은 각각 홍수유입총량에 대한 방류와 저류의 정도를 나타낸 것으로 방류총량과 저류총량을 합하면 유입총량이 되므로 방류율과 저류율은 서로 반비례 한다. 일반적으로 방류율이 적을수록 또는 저류율이 클수록 저수지의 운영효율은 높아지게 된다.

이들 저수지의 운영 효율을 나타내는 지수들은 서로 밀접한 관계가 있다고 할 수 있다. 저수지 이용률이 높아진다면 그 만큼 저류율은 높아지고 방류율은 감소되어 결국, 침투유입량 조절률이 높아지게 된다. 저수지 이용률이 100%라는 것은 홍수유입량에 대해 계획홍수위까지 저류한 경우로, 댐 규정에 명시된 홍수조절용량을 100%이용한 결과라 할 수 있다. 따라서 이는 한정된 저수공간의 최적이용이라는 시스템적인 효율을 의미하나 이는 예측정보의 정확성이 100%라는 전제하에 가능한 이상적인 저수지 운영이라 할 수 있다. 이러한 저수지의 운영효율을 고려하여 현재 홍수시 다목적 댐의 방류량을 결정하는 과정은 다음과 같이 3단계로 구분할 수 있다.

- 1 단계: 모의 모형에 의한 방류량 결정
- 2 단계: 최선(최적)의 방류량 결정
- 3 단계: 방류량 승인과정에서의 최종 결정

1 단계란 강우발생모형과 강우-유출모형을 통해 얻어진 홍수유입수문곡선에 대해 모의기법을 이용하여 결정된 방류량을 말한다. 예측정보를 100% 신뢰할 수 있다면 1 단계의 결정방법만으로도 충분하나 현실한

바와 같이 예측정보의 불확실성으로 인해 댐의 안전과 댐 규정의 준수, 댐 운영상의 제약조건 등을 고려하여 분석시점에서 2 단계라 할 수 있는 현실적인 최적의 방류량을 결정하여야 한다. 2 단계로 결정된 방류량의 경우, 분석시점에서는 최적이었지만 사후 홍수분석결과에 의하면 예측오차의 발생으로 인해 결국 분석시점에서의 최선의 결정으로 이해될 수 있다. 현행의 홍수통제 업무는 홍수통제소를 상위기관으로 하여, 댐 상류지역은 한국수자원공사에서 댐 하류지역은 홍수통제소에서 각각 분할하여 관리하고 있으며 이들 양기관은 홍수시 서로 긴밀한 공조체제를 구축하고 있다. 홍수시, 한국수자원공사는 1, 2 단계를 거쳐 결정된 방류량에 대해 홍수통제소의 승인을 득해야 한다. 홍수통제소는 승인을 요청받은 방류량에 대해 댐 하류의 홍수진행 정도를 판단하여 필요하다면 방류량의 크기와 시기 등을 재조정하여 양기관의 합의에 따라 최종적으로 승인하게 된다. 이때 승인된 방류량은 결국 3 단계의 의사결정 과정을 거쳐 최종적으로 결정된 방류량으로 이는 홍수시 댐 사무소에서 직접 시행되는 방류량이 된다.

2.2 개선방안

2.2.1 모의 모형에 의한 방류량 결정 단계(1 단계)

현재 한강 홍수에경보시스템에 구축된 저수지 운영 모듈은 모두 모의기법으로 SRC(Spillway Rule Curve) ROM, LDR(Linear Decision Rule) ROM, Rigid ROM이 이용되고 있다. 그러나 구축된 각 방법의 경우 저수지의 운영과 효율적인 측면에서 다음과 같은 문제점이 지적되고 있다. SRC 방법은 저수지 수위에 따라 미리 결정된 방류량으로 방류하기 때문에 설계 홍수량과 비슷한 홍수량이 유입하는 경우에는 하나의 홍수조절방안이 될 수 있으나, 설계홍수량과 차이가 심한 홍수량이 유입하는 경우에는 부적절한 홍수조절방안이라 할 수 있다. 즉, 설계 홍수량과 다른 규모의 홍수에 대해서는 유역의 홍수진행상황을 적절히 반영하지 못하므로 불필요한 방류에 따른 이수의 편익이 감소하거나 오히려 댐 방류에 의해 하류의 피해를 유발시킬 수 있다. 따라서 설계홍수량과 다른 규모의 홍수량에 대한 방류량 결정방안으로는 제고할 필요가 있다. LDR방법은 저수지에서의 방류형태를 선형으로 가정하고 방류량을 저류량의 일차식으로 표시하여, 설계빈도홍수에 대한 한계방류량의 제약조건을 만족시키면서 일차식의 계수를 결정하는 방법이다. 이 방법 역시,

저류량에 따라 방류량이 결정되므로 홍수조절용량을 적절히 활용하지 못하는 단점이 있다. Rigid ROM 역시 유역 상황의 적절한 반영과 사전예보시간 준수, 일정률 방식의 수문조작 등을 고려한다면 다목적 댐의 방류량 결정방안으로는 미흡한 측면이 있다.

그림 1과 그림 2는 충주댐의 가정된 홍수상황에 대해 기 구축된 SRC ROM, LDR ROM, Rigid ROM 과 가장 효율적인 방류량 결정방법으로 알려져 있는 Technical ROM의 모의운영 결과를 함께 비교한 것이다. 홍수예측시 충주댐의 초기수위는 홍수기 제한수위(EL. 138m)를 유지하고 유역의 하류상황을 고려하지 않는다는 가정하에 동일한 홍수유입량에 대한 각 방법의 방류량 결정 과정을 모의하였다. 국내의 경우, Technical ROM 등과 같이 방류량 결정 방법에 대한

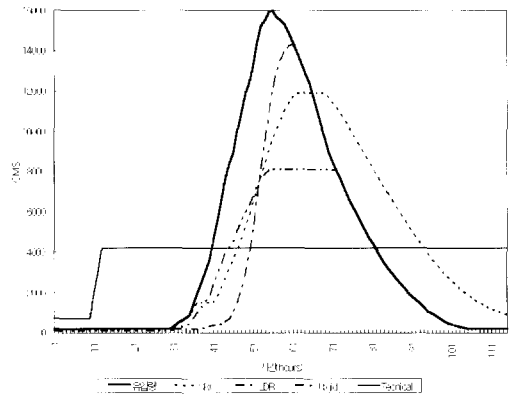


그림 1. 동일한 유입량에 대한 각 방법의 모의방류량

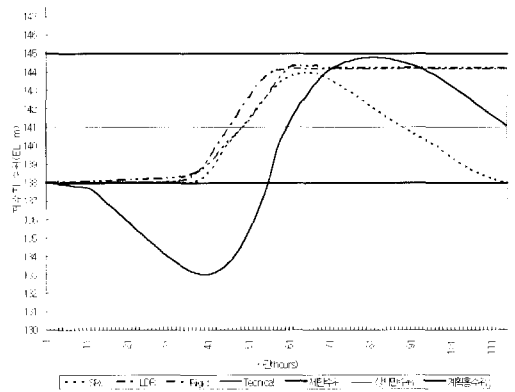


그림 2. 동일한 유입량에 대한 각 방법의 저수지 수위

표 1. 모의운영에 따른 홍수조절효과 분석

비교 항목	단 위	모 의 방 법			
		SRC	LDR	Rigid	Technical
유입총량	10 ⁶ m ³	1,772	1,772	1,772	1,772
방류총량		1,772	1,297	1,175	1,594
첨두 유입량	m ³ /sec	16,000	16,000	16,000	16,000
최대 방류량		11,900	14,306	8,112	4,200
초기 수위	EL. m	138.00	138.00	138.00	138.00
최고 수위		143.97	144.17	144.39	144.79
종료 수위		138.00	144.17	144.22	141.08
첨두유입량 조절률	%	26	11	49	74
저수지 이용률		85	88	91	97
방 류 율		100	73	66	90
저 류 율		0	27	34	10

용어들이 편의에 따라 관습적으로 이용되고 있으나 이들 용어사용에 대한 논의가 필요하다. 본 연구 역시 우선은 임의로 이러한 용어들을 사용하고 있으나 논의에 따라 규정된 용어로 개명될 필요가 있다.

그림 1은 가정된 초기수위와 유입량에 대한 각 방법의 모의 방류량을 나타낸 것으로 최대방류량의 크기와 방류형태를 비교할 수 있다. 그림 2는 이 때의 저수지 수위를 나타낸 것으로 저수지의 최고수위와 수위변화의 양상을 비교해 볼 수 있다. 홍수시 홍수조절용량을 초과하는 홍수유입량에 대해서는 방류가 불가피하므로 각 방법 모두 그 차이량 만큼을 방류하여야 한다. 일반적으로 첨두유입후 방류량 곡선이 유입량 곡선과 만나는 시점이 바로 최고수위 도달시점이 되며 이후 유입량에 대한 방류량의 크기에 따라 홍수기 제한수위로 복귀하는 완급이 조정된다. 그림 1에 나타난 바와 같이 최고수위 도달후 유입량의 크기 만큼 방류한다면 LDR, Rigid ROM과 같이 최고수위가 유지되며, 유입량보다 방류량이 큰 경우에는 SRC, Technical ROM처럼 저수지의 수위가 다시 홍수기 제한수위로 복귀하게 된다. 유입량에 비해 SRC ROM의 방류량이 Technical ROM의 방류량보다 상대적으로 크기 때문에 그림 2에 나타난 바와 같이 SRC ROM이 홍수기 제한수위로 빠르게 복귀하고 있음을 알 수 있다.

모의된 결과를 바탕으로 각 방법의 홍수조절효과를 비교해 볼 수 있으며 비교 항목으로는 앞서 언급한 첨두유입량 조절률과 저수지 이용률, 저류량 및 방류량

등이 해당될 것이다. 저수지 이용률이 높으면서 최대방류량의 크기가 작은 방법이 보다 효율적인 홍수시 저수지 운영방안이라 할 수 있다. 물론, 실시간 홍수조절 시에는 댐의 안전과 예측유입량의 불확실성 등이 고려되어 최적의 저수지 운영에 제한이 가해지겠지만 결국, 모의된 최적의 홍수조절방안을 고려하여 최선의 저수지 운영이 계획될 것이다. 표 1은 모의운영에 따른 각 방법의 홍수조절효과를 분석한 것이다. 충주댐에 동일한 유입량과 동일한 홍수조절용량을 가지고 모의운영한 결과, 첨두유입량 조절률과 저수지 이용률에 있어 Technical ROM이 각각 74%와 97%로 가장 홍수조절효과가 우수하다고 할 수 있다. 이는 최대방류량의 크기가 타 방법보다 월등히 작고 최고 수위가 높기 때문이다. 그러나 Technical ROM의 경우, 방류율이 높은 관계로 저류율이 낮는데 이는 최고수위 도달후 종료수위까지 방류 방식에 따라 개선되어질 수 있는 사안이라 할 수 있다.

분석결과, 현재 한강 홍수예경보시스템에 구축된 방류량 결정 방법들은 홍수조절용량을 적절히 활용하지 못하고 또한, 일정량 방식의 수문조작에 대한 어려움이 있으므로 이를 개선한 보다 효율적인 저수지 운영방법이 필요하다고 판단된다.

2.2 최선의 방류량 결정 단계(2 단계)

일반적으로 1 단계 모의방법에 의해 결정된 방류량의 의미는 예측유입량이 100% 확실하다는 가정하에

수행할 수 있는 방법이다. 만약, 예측정보가 100% 정확하다면 앞서 언급한 1 단계의 모의방법 역시 모두 다 홍수시 유용한 방류량 결정방법으로 채택될 수 있다. 그러나 실제로는 예측정보의 불확실성이 고려되어야 하며 과대와 과소추정의 위험 중 특히, 과소추정에 대한 위험은 반드시 고려되어야 한다. 실시간 저수지 운영의 경우, 예측유입량의 과소추정에 대한 위험을 고려하여 댐의 안전을 우선으로 유역 상하류의 상황에 따라 방류량의 크기와 방류시기 등이 적절히 조정되는 과정이 순차적으로 진행되어야 한다. 물론, 현재에도 모의된 결과를 바탕으로 댐 운영자의 경험과 판단에 따라 이러한 순차적인 과정이 수행되어 승인을 요청하는 2 단계의 방류량이 결정되고 있다. 2 단계로 결정되는 방류량의 크기는 1 단계로 결정된 방류량보다 다소 큰 값으로 결정되고 있는 것이 일반적이다. 이는 댐 운영자가 예측된 수문곡선의 불확실성과 댐의 안전을 고려하여 모의된 결과보다 안정적인 방류량 값을 결정하거나 유역 상하류의 상황에 따라 방류크기와 방류시기 등을 적절히 재조정하고 있기 때문이다. 이러한 의사결정과정은 실시간 저수지 운영상황에서 충분히 이해할 수 있는 일이다. 따라서, 댐 운영자의 주관적인 의사결정과정을 이해할 만한 절차에 따라 저수지 운영 모듈에 추가적으로 구현시킨다면 보다 향상된 저수지 운영모듈을 개발할 수 있을 것이다(권오익, 1997). 그 결과, 홍수시 단일댐에 대한 명확한 운영계획이 수립되어 유역을 총괄하는 댐군의 연계운영 방안도 강구될 수 있을 것이다.

2.3 방류량 승인과정에서의 최종 결정(3 단계)

홍수시 실제의 저수지 운영은 1 단계 방류량 결정방법을 이용하여 모의운영을 실시한 후, 이를 바탕으로 댐의 안전과 예측유입량의 불확실성, 하류의 상황 등을 판단하여 보다 안정성을 확보할 수 있는 2 단계의 방류량 값을 결정하게 된다. 현행 수계내의 홍수통계를 위한 명령계통은 홍수통제소를 상위기관으로하여, 댐 상류지역은 한국수자원공사에서 댐 하류지역은 홍수통제소에서 각각 분할하여 관리하고 있다. 따라서, 홍수시 댐 상류 지역을 관리하고 있는 한국수자원공사는 2 단계로 결정된 방류량에 대해 홍수통제소의 승인을 요청하는 절차를 거치게 된다. 홍수시 댐 방류량을 결정함에 있어 양기관의 입장이 다소 다를 수 있다. 한국수자원공사의 관점은 댐의 안전에 있고, 홍수통제소의 관점은 인도교를 비롯한 수도권 지역의 한강 하류부에

있으므로 홍수상황에 따라 저수지의 방류량을 결정하는데 있어 서로의 이견이 있을 수 있다. 결국, 실제 실시되는 저수지의 방류량은 댐의 안전을 우선으로하는 수공의 의견이 대부분 잠작되어 이를 홍수통제소에서 승인하는 형태로 이루어지게 된다. 반대로 한강 하류부의 위험이 보다 크다고 판단되는 경우에는 홍수통제소의 의견이 수렴되어 방류 시기와 크기 등을 적절히 조정하는 경우도 있다. 이러한 재조정의 절차를 거쳐 2 단계로 결정되었던 방류량은 양기관의 합의에 따라 승인과정을 통해 최종적이라 할 수 있는 3 단계의 승인 방류량으로 결정되며 이 승인된 방류량은 절차에 따라 댐 사무소에서 직접 시행되게 된다.

따라서 홍수통제소의 저수지 운영모듈은 이러한 실제의 홍수진행 상황을 정확히 묘사할 필요가 있다. 한강 홍수통제소의 경우, 홍수통제소 나름대로 모의운영 결과를 바탕으로 한국수자원공사에서 승인을 요청한 방류량에 대해 우선 이해할 필요가 있다. 이런 이해를 바탕으로 홍수통제소에서는 방류량을 승인하고 승인된 방류량 값을 이용하여 한강 하류부의 수위를 다시 예측할 필요가 있다. 그러나 현재 구축된 한강 홍수통제소의 저수지 운영모듈에는 이러한 승인된 방류량을 이용하여 예측업무를 수행할 수 있는 방법이 없다. 구축된 방류량 결정방법들은 모두 1 단계의 모의 운영단계로 2 단계의 방류량 결정방안도 모의할 수 없을 뿐만 아니라 3 단계의 실제로 실시되어질 방류량도 모의할 수 없다. 따라서 현재 구축된 홍수통제소의 저수지 운영 모듈은 이러한 실시간 홍수진행상황을 정확히 기술하지 못하고 있다고 할 수 있으므로 실시간 저수지 운영상황을 고려하여 실제로 실시되어질 3 단계의 방류 상황을 모의할 수 있는 저수지 운영모듈이 추가적으로 구축될 필요가 있다.

3. 추가적인 저수지 운영 모듈 구축

본 연구에서는 3단계로 구분되는 현행의 홍수시 다목적 댐의 방류량 결정과정에 따라 각 단계별로 각각의 개선방안에 대해 논의하였다. 그러나 구축의 용이성과 같은 현실적인 여건에 따라 2단계의 개선방안은 향후로 미루기로 하고, 1단계의 개선방안으로 Technical ROM을, 3단계의 개선방안으로 ARD(Approved Release Discharge) ROM을 추가적으로 구축하였다. 각각의 방법에 대한 개념들은 언급한 참고문헌을 통해 충분히 이해될 수 있을 것이다. 본 연구에서는 기존에 알려져 있고 또한 실제로도 이용되고 있는 각각의 방

법들을 본 연구 나름대로 이해하여 한강 홍수에정보시스템의 저수지 운영모듈에 다음과 같이 추가적으로 구축하였다.

3.1 Technical ROM(1단계의 방류량 결정 방법)

Technical ROM이란 저수지의 홍수조절용량을 100% 활용하여 일정 방류량을 결정하는 방법이다. 홍수유입수문곡선에서 위에서부터 저수지의 홍수조절용량만큼 감하였을 때, 계산되는 일정한 직선이 바로 구하고자 하는 최적의 일정방류량이다. 본 연구에서는 기존에 잘 알려져 있는 Technical ROM을 토대로 실제의 저수지 운영에 따른 제약조건들을 추가적으로 고려하였다. Technical ROM에 대해서는 많은 참고문헌들(한국수자원공사, 1993)을 쉽게 접할 수 있으며 본 연구에서는 심병필 등(1996)이 개발한 FORTRAN 버전의 "실시간 Technical ROM"을 토대로 필요한 부분만을 반체하여 본 연구의 특성에 맞추도록 Turbo C로 재 구성하였다. 실시간 Technical ROM의 운영에 있어 일반적으로 고려되는 사항들은 다음과 같다.

- ① 제한수위와 상시반수위, 계획홍수위, 최소 및 최대방류량, 예비방류량 한계 등 댐 규정을 준수하는데 따른 제약조건들을 만족하도록 하였다.
- ② 완전무해유량개념을 도입하여 완전무해유량을 기준으로 방류방법을 달리하도록 하였다.
- ③ 저수지 수위별 최대방류량을 해석하도록 하였다.
- ④ 방류실행을 위한 사전예보시간을 고려하였다.
- ⑤ 본 방류 시작시점을 결정하도록 하였다.
- ⑥ 급격한 방류를 방지하도록 하였다.
- ⑦ 기타 등등.

3.2 ARD(Approved Release Discharge) ROM(3단계의 방류량 결정 방법)

ARD ROM이란 결국, 현재 한국수자원공사에서 사용하고 있는 SRD(Scheduled Release Discharge) ROM의 개념과 동일한 것으로 다만 그 이용하는 개념이 다르다고 할 수 있다. SRD ROM은 현재의 수문 조건과 과거 경험을 토대로, 주관적으로 방류량과 방류 시간 등을 임의로 결정하여 기준조건과 일치할 때까지 반복·수정하는 원시적인 방법으로 홍수초기나 침투홍수가 지난 경우와 같이 비교적 저수지 운영에 여유가 있는 경우에 이용될 수 있다(한국수자원공사, 1993). 따라서, SRD ROM의 개념은 가장 단순한 방류량 결정방법이라고 할 수 있으나 현재의 홍수통제소와 같이

승인된 방류량을 이용하여 예측업무를 수행하고자 하는 경우에는 매우 적절하고 유익한 실시간 저수지 운영방법이라 할 수 있다. 즉, 홍수시 승인과정을 통해 최종적으로 결정된 방류량을 이용하여 하류(인도고)의 수위를 예측하고자 하는 경우, 바로 SRD ROM과 같은 개념을 이용한다면 손쉽게 실시간 저수지 운영을 모의할 수 있을 것이다. 이에 본 연구에서는 SRD ROM의 개념을 한강 홍수통제소에 도입하여 그 사용 용도에 따라 ARD(Approved Release Discharge) ROM이라 명칭하였다. 승인된 방류량의 경우, 홍수상황에 따라 일정방류 또는 부분일정방류의 형태가 예상되므로 이를 고려하여 프로그램을 구성하였다. ARD ROM의 입력자료는 Technical ROM의 입력자료와 공동으로 이용되는 부분과 추가적으로 필요한 부분으로 구분하였고 추가적으로 필요한 부분이란, 방류를 일정 또는 부분일정으로 할 것인지의 선택과 선택한 방류형태별 일정방류량을 결정하는 과정을 말한다.

3.3 구축 결과

본 연구에서 새로이 추가시킨 저수지 운영모듈인 Technical ROM과 ARD ROM의 개념에 대해서는 각각 언급한 참고문헌을 통해 충분히 이해할 수 있으며 각각의 최종 출력형태는 그림 3에서 그림 12와 같다. 충주댐과 소양강댐, 화천댐 각각에 가정된 유입량과 초기수위 및 제약조건에 따라 Technical ROM을 운영한 결과는 그림 3에서 그림 8과 같고, 동일한 조건하에서 승인된 일정방류를 가정하여 충주댐에서 ARD ROM을 운영한 결과는 그림 9에서 그림 10과 같다. 충주댐의 경우에는 200년 빈도, 소양강댐과 화천댐은 100년 빈도의 유입량을 각각 가정하였으나 실제 저수지 운영에 있어서는 예측유입량이 이용될 것이다. 저수지의 초기수위로는 각 댐 모두 홍수기 제한수위를 가정(소양강 댐의 경우 과거 제한수위인 EL. 190.30m)하였으나 이 역시 실제 저수지 운영에 있어서는 분석시점에서의 저수지 수위가 이용될 것이다.

그림 11과 그림 12는 충주댐에 대한 ARD ROM의 부분일정방류를 모의한 것으로 승인된 3단계의 부분일정방류를 가정한 것이다. 1단계 방류는 36시간 동안 2,500 m³/sec를, 2단계 방류는 36시간 동안 3,500 m³/sec, 3단계 방류는 24시간 동안 2,000 m³/sec를 방류한 결과이다. 입력구성에 있어 홍수지속시간에서 계획방류시간을 뺀 잔여시간은 발전방류로 대처하도록 하였다.

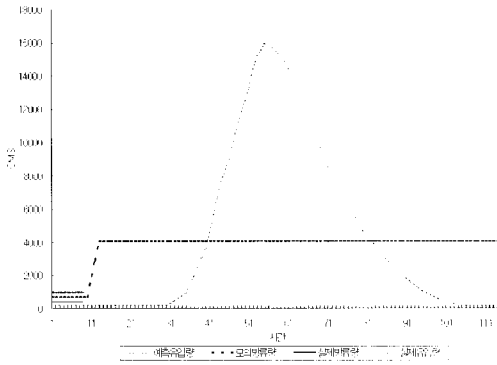


그림 3. 충주댐 모의운영(Technical ROM)에 따른 유입량과 방류량

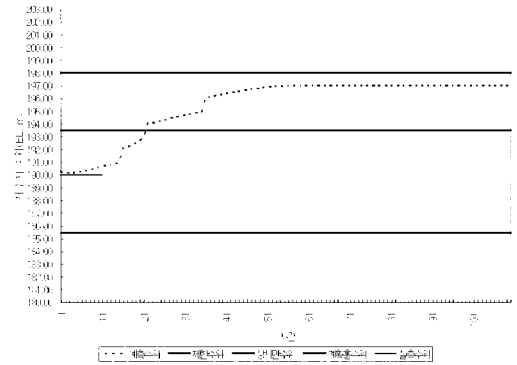


그림 6. 소양강댐 모의운영(Technical ROM)에 따른 저수지 수위변화

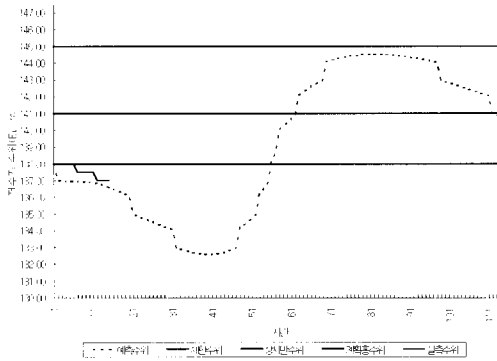


그림 4. 충주댐 모의운영(Technical ROM)에 따른 저수지 수위변화

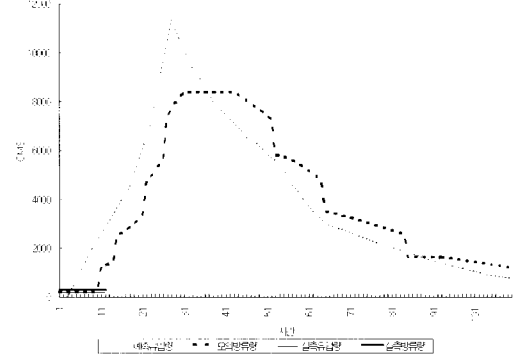


그림 7. 화천댐 모의운영(Technical ROM)에 따른 유입량과 방류량

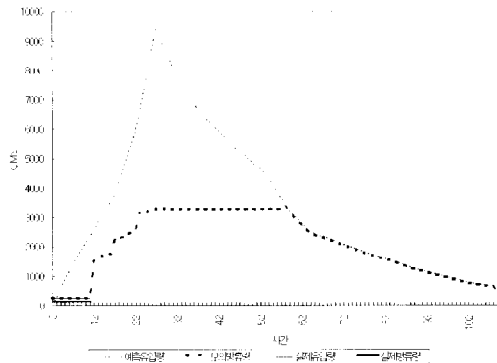


그림 5. 소양강댐 모의운영(Technical ROM)에 따른 유입량과 방류량

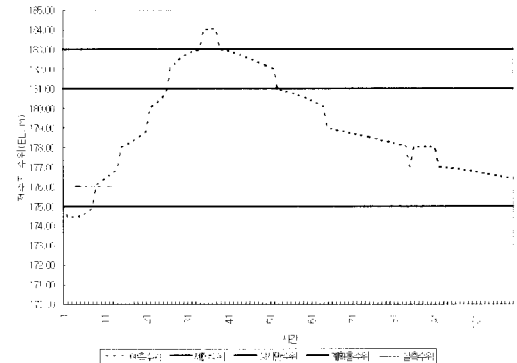


그림 8. 화천댐 모의운영(Technical ROM)에 따른 저수지 수위변화

3.4 분석 및 고찰

저수지 운영을 위한 제약조건으로 관련 변수 값들을

가정하였으나 실제 운영에 있어서는 상황에 따라 적절한 변수 값들이 결정될 것이다. 가정한 모의운영 방법에 따른 각 댐별 홍수조절효과는 표 2와 같다. 표 2에

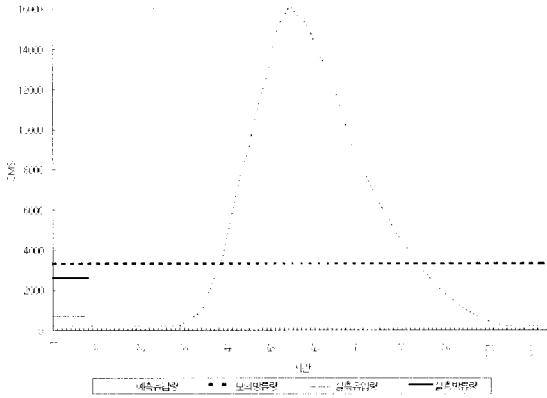


그림 9. 충주댐 모의운영(ARD ROM)에 따른 유입량과 방류량

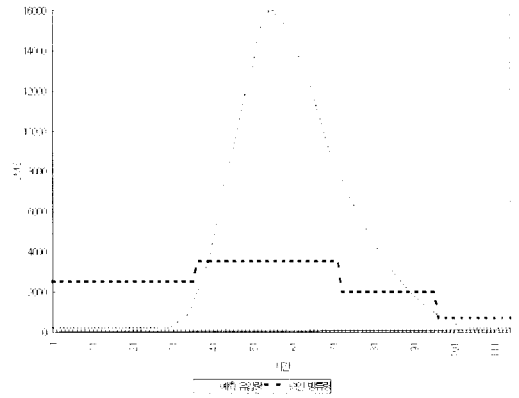


그림 11. 충주댐 부분일정방류 모의운영 (ARD ROM)에 따른 유입량과 방류량

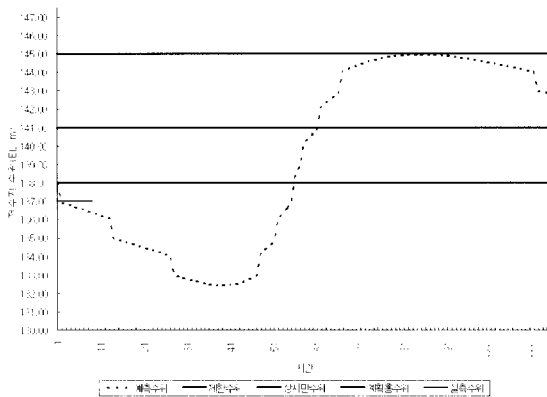


그림 10. 충주댐 모의운영(ARD ROM)에 따른 저수지 수위변화

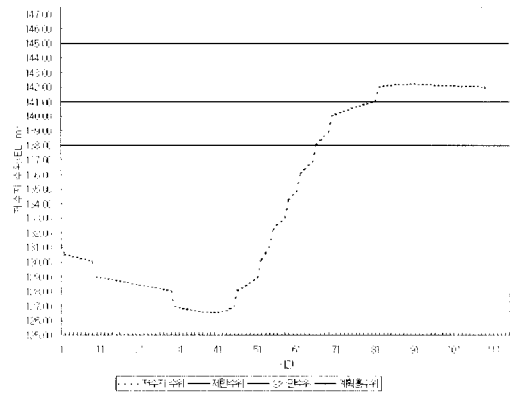


그림 12. 충주댐 부분일정방류 모의운영 (ARD ROM)에 따른 저수지 수위 변화

서 저수지 이용률이 100%를 초과하는 이유는 댐수위-저류용량 자료에 기인한 것으로 우선은 본 연구에서 수위 간격을 2m로 설정한 이유도 원인이 있겠으나 홍수예경보에 구축된 댐수위-저류용량 자료와 본 연구에서 조사한 자료와 차이가 발생한 관계도 있다. 본 연구에서는 홍수조절용량을 100% 이용하기 위해 저수지의 수위 상한조건을 계획홍수위와 작거나 같게 설정하였다. 또한, 댐수위-저류용량 자료를 2m 간격으로 입력하여 해당 저수지 수위(또는 저류용량)에 대한 저류용량(또는 저수지 수위)을 구하고자 하는 경우, 양쪽의 입력된 두 점을 이용하여 보간법으로 계산하도록 하였다. 따라서 저류용량을 수위로 계산하고 다시 수위를 저류용량으로 환산할 경우에는 약간의 오차가 발생되

며 이는 댐수위-저류용량의 입력자료의 간격을 좁히면 쉽게 해결될 수 있는 문제이다. 향후 세밀한 검토 후에 보다 정확한 입력자료를 수집하여 조정될 사항이기에 본 연구에서는 이러한 문제점을 여과 없이 노출하였다. ARD ROM의 모의운영의 경우, 각 댐별로 승인된 방류량을 표 2와 같이 각각 3300 m³/sec, 2500 m³/sec, 4800 m³/sec로 임의로 가정하였다.

본 연구에서는 단지 추가적으로 구축된 저수지 운영 모듈에 대한 거동만을 예시하였으나 실시간 저수지 운영을 하는 경우에 있어서는 그림 3에서 그림 12에 간략히 표시한 바와 같이, 분석시점에서의 실제 유입량과 방류량, 저수지 수위변화들이 함께 표시되어 예측과 실제상황에 대한 비교작업이 수행될 것이다.

표 2. 가정된 모의운영에 따른 각 댐별 홍수조절효과 분석

홍수조절효과	단위	Technical ROM			일정 ARD ROM		
		충주	소양강	화천	충주	소양강	화천
가정된 민도유입량	년	200	100	100	200	100	100
본방류 시작시간	시간	56	7	9	-	-	-
침투유입량 (발생시간)	m ³ /sec	16000 (56)	9400 (26)	11310 (28)	16000 (56)	9400 (26)	11310 (28)
최대방류량 (발생시간)	m ³ /sec	4100 (14)	3357 (57)	8363 (31)	3300 (1)	2500 (1)	4800 (1)
침투유량 조절률	%	74	64	26	79	73	58
유입총량	10 ⁶ m ³	1771.67	1304.15	1567.78	1771.67	1304.15	1567.78
방류총량	10 ⁶ m ³	1557.63	799.75	1540.72	1366.20	990.00	1900.80
저류율	%	12	39	2	23	24	-21
최고수위 (발생시간)	EL. m	144.50 (82)	197.00 (57)	184.02 (37)	144.93 (85)	198.04 (63)	182.80 (56)
저수지 이용률	%	93	87	113	99	101	97

4. 결 론

본 연구는 홍수시 실시간 방류량 결정과정에 의거하여 현재 한강 홍수예경보시스템에 구축되어 있는 저수지 운영모듈의 개선방안과 관련된 것으로 각 단계별로 본 연구에서 직접 수행한 개선사항을 요약하면 다음과 같다.

(1) 기존에 구축되어 있는 1 단계 방류량 결정방법의 경우, 홍수조절 효과가 미흡하므로 가장 효율적인 방류량 결정방법으로 알려져 있는 Technical ROM을 추가하였다. 따라서 기존 방법들과 병행하여 보다 큰 홍수조절효과를 기대할 수 있는 1 단계의 방류량을 결정할 수 있을 것이다.

(2) 2 단계의 분석시점에서의 최선(최적)의 방류량 결정 방법의 경우, 홍수통제 업무를 수행하고 있는 홍수통제소나 한국수자원공사 공히 지속적인 관심을 갖고 개선작업이 수행되어야 한다. 1 단계로 결정된 방류량은 확정론적인 모의방법을 이용한 것으로 예측정보의 불확실성을 고려한 실시간 저수지 운영개념이 포함되어야 한다. 물론, 현재에도 댐 운영자의 주관적인 판단에 따라 고려되고 있는 사안이기는 하나 보다 적절한 객관적인 절차에 의해 수행될 필요가 있다.

(3) 본 연구의 수행결과 우선, 한강홍수통제소는 Technical ROM과 같은 확정론적인 모의방법을 통해 홍수통제에 대한 1차적인 계획을 수립하고, 이후 한국

수자원공사와의 방류 승인 과정을 통해 결정되는 3 단계의 승인 방류량에 따라, ARD ROM을 이용하여 실제로 실시되어질 방류량에 대한 실질적인 홍수통제 업무를 수행할 수 있을 것이다.

(4) 2 단계의 방류량 결정 방법이란 결국, 일반적인 단일댐의 홍수시 실시간 저수지 운영방안으로 단일댐에 대한 일반적인 저수지 운영계획이 수립된다면 이를 바탕으로 댐군의 연계운영 방안도 강구될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

건설교통부·한강홍수통제소 (1998). 홍수관리 종합 운영시스템(II) 보고서.
 권오익 (1997). 가변제한수위와 저수지 홍수변환법에 의한 홍수기중 저수지 운영. 박사학위논문, 인하대학교.
 심명필, 이재형, 권오익 (1996). "홍수예측에 의한 예비방류 방안." 한국수문학회지, 한국수문학회, 제29권, 제1호, pp. 235-247.
 심명필·권오익·김경택(1998), '평화의 댐과 연계한 화천댐의 홍수조절효과- 1. 화천댐의 홍수 조절 능력 검토', 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제18권, 제II 2호, pp. 163-172.
 한국수자원공사 (1993). 다목적댐 홍수유출해석 및 홍수기 저수지운영 프로그램 해설서.

- Arrau, L. (1987). *A Model for the Operation of Spillway Gates in Pluvial Floods*. V. P. Singh(ed), Flood Hydrology, D. Reidel Publishing Company, pp. 299-308.
- Benjamin, J.R., and Cornell, C.A. (1970). *Probability, statistics and decision for civil engineers*. McGraw Hill, New York.
- Ferrell, W.R., and Krzysztofowicz, R. (1983). "A model of human response to flood warnings for system evaluation." *Water Resour. Res.*, Vol. 19, No. 6, pp. 1467-1475.
- Krzysztofowicz, R. (1983a). "Why should a forecaster and a decision maker use Bayes Theorem." *Water Resour. Res.*, Vol. 19, No. 2, pp. 327-336.
- Krzysztofowicz, R. (1983b). "A Bayesian Markov Model of the flood forecast process." *Water Resour. Res.*, Vol. 19, No. 6, pp. 1455-1465.
- Krzysztofowicz, R. (1993). "A theory of flood warning systems." *Water Resour. Res.*, Vol. 29, No. 12, pp. 3981-3994.

(논문번호:99-046/접수:1999.05.26/심사완료:1999.10.07)