

소규모 댐의 운영기준 및 기법 연구

A Study of Operation Standard and Method of Small Dams

김필식*·김선주·이주용(건국대)

Kim, Phil Shik*·Kim, Sun Joo·Lee, Joo Yong

Abstract

The purpose of this study is to established a storage management method and operation standard for irrigation dams occupying the largest portion of small dams using storage management system. The system can be applied to seongju dam for effective management. The storage management method was established considering hydrology simulation and statistical analysis using the system.

This method and operation standard are capable of analyzing additional available water, considering the water demand and supply of basin actually. It can improve the flood control capacity and water utilization efficiency by the flexible operation of storage space.

I. 서론

국내의 대표적 대규모 댐은 유역 연간 강수량의 약 80%를 저수하여 강수의 계절적 편중뿐만 아니라 연도별 강수량 변화에 대응할 수 있을 정도로 물이용 효율은 대단히 높다(KOWACO, 1994). 그러나 대표적 관개용댐인 동화댐, 대아댐, 성주댐, 경천댐, 하사댐 등은 연간 강수량의 30%를 저수하여 강수의 계절적 편중을 극복할 수 없어 상대적으로 물이용 효율이 매우 낮은 실정이다(KARICO, 2002). 특히, 관개용 댐들이 다목적 농촌용수의 활용으로 전환되면서 많은 저수량을 확보할 수 있을 정도로 규모가 증가하고 있으나 방류능력의 증대나 운영기준이 없어 물이용 효율이 저조하다.

따라서 본 연구에서는 소규모 댐 중 가장 많은 비중을 차지하는 관개용 댐을 대상으로 저수관리시스템을 개발하고 성주댐을 대상으로 모형을 적용하였다. 또한 효율적인 저수관리를 위해 일년을 4기간으로 나누어 운영기준을 정하였으며, 수문모의와 통계적 기법을 사용하여 최적의 관리 기법을 모색하고자 하였다. 저수공간의 탄력적 운영과 무효방류량의 최소화를 위해 기간별 관리수위와 운영기준을 정립하여 적용하였다.

II. 재료 및 방법

2.1 대상지구

본 연구의 적용은 물관리자동화시스템이 설치되어 있는 성주 유역을 대상으로 가뭄과 태풍 피해가 발생한 1998년부터 2002년까지의 자료를 사용하였다. 성주댐은 경상북도 성주군 가천면 중삼리에 위치하며 저수지로 유입되는 유역의 면적은 14,960 ha이며 유역의 지형은 가파른 산지가 대부분이다. 관개면적은 3,160 ha이며 저수면적에 대한 유역면적 비는 약 5배이다. 총 저수량은 3,824ha m이며 농업과 생활용수 및 하천유지용수를 위한 필요저수량은 2,815ha m, 홍수조절량은 636ha m, 사수량은 373ha m이다. 수문자료는 대구측후소와 성주댐 관측소의 자료를 사용하였다.

2.2 저수관리시스템의 구성

저수관리시스템은 수문분석 및 저수관리 자료를 Database로 관리하고, 각 모듈이 사용할 수 있도록 구성되어 있다. 저수관리시스템은 유역 물수지 모듈, 홍수기 저수관리 모듈과 평수기 저수관리 모듈로 구성되어 있다. 유역 물수지 모듈은 유역의 용수수급현황의 분석이 가능하다. 평수기 저수관리 모듈은 유입량과 수요량을 분석하여 용수공급량을 조절하며 저수위 변화를 예측할 수 있도록 하였다. 홍수기 저수

관리 모듈은 홍수유입량, 저수위와 방류량을 모의 할 수 있으며 수문조작 기법의 선택에 따라 저수위와 방류량 변화를 예측할 수 있도록 하였다.

Fig. 1 은 시스템의 운영 과정을 나타낸 것으로 크게 홍수기와 평수기로 나누어 모의가 가능하며, 모의 결과를 이용하여 댐의 안전과 운영기법을 이용하여 관리에 대한 모의가 가능하도록 하였다.

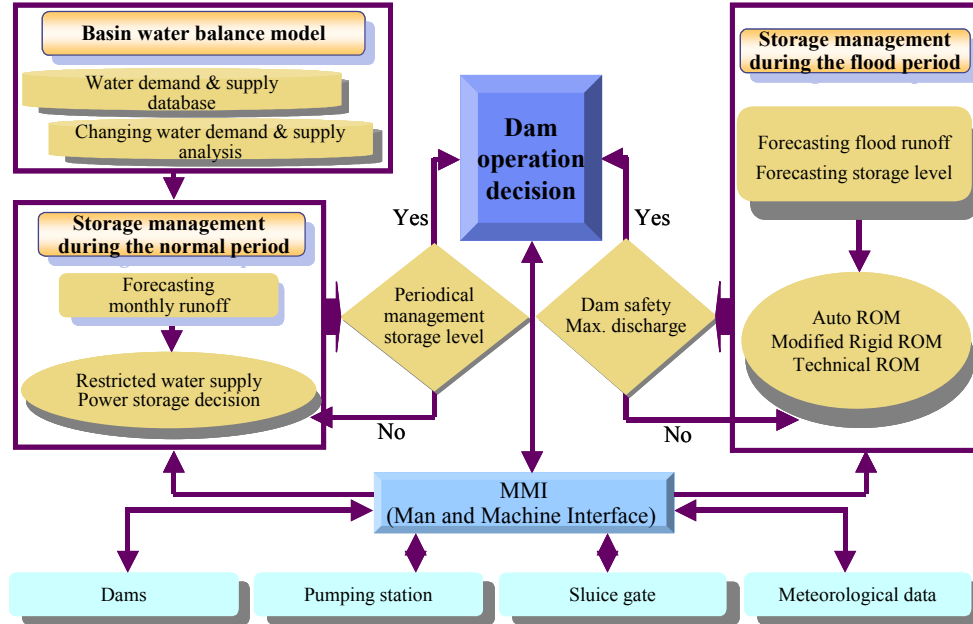


Fig. 1. Operation and structure of the Model

2.3 저수관리 기간 및 운영기준

소규모 댐 중 일정한 기간에 용수 공급을 하는 관개용 댐을 대상으로 저수관리 기간을 결정하고 저수 관리 기법을 연구하였다. 댐의 특성상 관개기의 용수 확보와 홍수기의 재해 관리라는 이중적 목적 때문에 재난의 요소가 많이 존재한다. 따라서 용수 이용효율의 증대를 위해 관개용수 확보에 영향을 주지 않으며, 홍수기를 대비할 수 있도록 기간별 관리수위를 선정하였다.

관개용 댐의 특성상 홍수기말 동계만수위(또는 상시만수위) 확보하기 위한 저류로 태풍에 의한 피해가 빈번히 발생하고 있다. 그리고 홍수기전 관개용수 확보를 위해 만수위를 유지하므로 홍수조절을 위한 저수공간이 부족하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 일년을 4개의 기간으로 구분하였다. 관리기준은 동계만수위는 홍수기말이 아닌 관개기전 확보하여 홍수조절능력을 향상하도록 하고, 홍수기전 저수량의 사용을 증대하므로 무효방류량을 최소화하고, 홍수기 피해를 최소화 하도록 하였다.

Table 1. Periodical operation standard of irrigation dam

Class	1 st Period	2 nd Period	3 rd Period	4 th Period
Period	1/1 ~ 3/31	4/1 ~ 6/20	6/21 ~ 9/31	10/1 ~ 12/31
Operation standard	Insurance period of a full water level in winter	Preparation period of the irrigation and flood	Period of the irrigation and flood	Insurance period for a full water level in winter and power generation

1~3월은 관개용수 확보를 위한 동계만수위 확보기간, 4~6월은 관개용수를 사용하며 홍수기 대비 기간, 6~9월 관개 및 홍수 기간, 10~12월은 동계만수위와 기타용수량 확보기간으로 성주댐의 경우는 발전용수량을 확보하는 기간으로 구분하였다. 홍수기는 6/21일~9/21일까지로 하는 것이 일반적이나 최근의 강우나 태풍 등의 기상 조건을 고려하여 9/31일 까지로 정하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1 기간별 운영기법

관개용 댐의 주목적에 따라 1 period는 관개용수 확보 기간으로 후반에 동계만수위 유지를 기본으로 하였으며, 이 수위를 1 period 관리수위로 하였다.

3 period부터 10년 빈도 최소 유입량을 기준으로 용수수요량을 공급하였을 때 다음해 1 period 관리수위를 확보할 수 있는 수위를 3 period 관리수위로 결정하였다. 3 period 관리수위는 저수관리 모형의 연속모의를 통하여 산정하였으므로 3 period 관리수위를 유지하면 정상적인 관개용수 확보가 가능하게 된다. 그리고 3 period는 홍수기로 관리수위를 확보하는데 어려움이 없는 것으로 분석되었다.

2 period 관리수위는 3 period 관리수위를 확보할 수 있는 수위로 하였으며, 이 수위는 홍수기를 대비한 수위이다. 2 period는 관개용수와 기타용수를 최대한 활용하는 기간으로 4개의 기간 중 가장 높은 수위에서 시작하여 가장 낮은 수위로 끝나게 된다. 각 수위는 1967~2002년 동안의 최소유입량과 용수수요량의 빈도분석 결과로 저수관리 모형을 연속모의 하여 결정하였다.

최소수위는 성주댐의 10년 빈도 필요저수량 $13.5 \times 10^6 \text{m}^3$ 에 안전율을 고려하여 사수량 $3.7 \times 10^6 \text{m}^3$ 을 포함한 $17.3 \times 10^6 \text{m}^3$ 로 결정하였고, 이는 EL. 175m에 해당한다.

1 period 관리수위는 성주댐의 동계만수위 EL. 187.9m로 결정되었고, 3 period 관리수위는 하계만수위 EL. 184.7m 보다 낮은 EL. 183.4m로 이 수위를 유지하면 1 period의 관리수위를 확보하는데 문제가 없는 것으로 분석되었다.

2 period 후반 관리수위를 EL 180.7m로 유지하면 10년 빈도의 최소유입량이 나타나도 3 period에 EL 183.4m를 확보할 수 있었다. 3 period는 홍수기로 관리수위 EL 183.4m이상의 수위가 발생할 경우에는 용수 확보보다는 홍수기 관리를 위해 방류를 실시하는 것이 효과적인 것으로 나타났다. 4 period 시작에 EL. 183.4m를 유지하면 용수공급을 정상적으로 하여도 관개기 시작인 2 period에 동계만수위 EL. 187.9m를 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 이상의 관리수위는 Fig. 2와 같다.

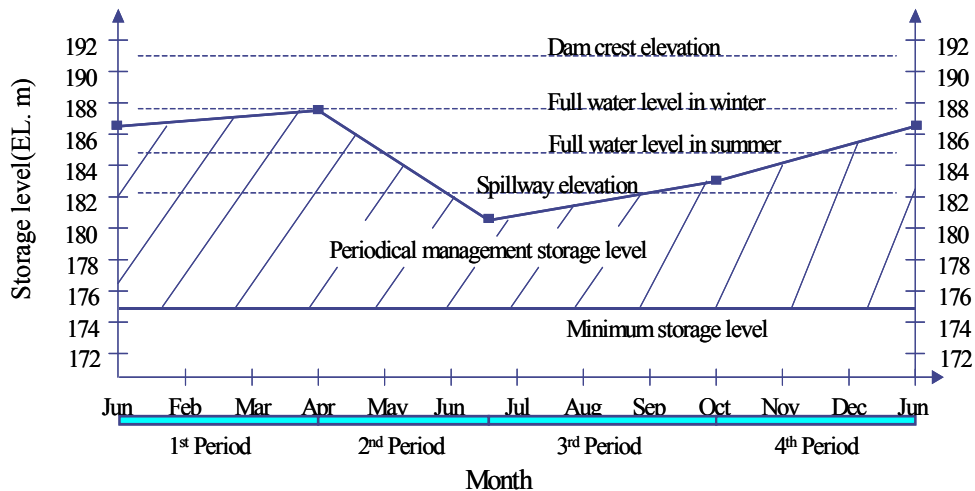


Fig. 2. Periodical storage level management

3.2 운영기법 적용

성주댐의 실측자료가 취득된 1998~2002년의 저수관리를 실시하였다. 저수관리는 정상적인 용수공급에 추가공급을 실시하여 관리수위에 근접하도록 하였다. 추가공급은 현장에서 방류가 가능한 취수탑 최대 방류량 $8.09 \text{m}^3/\text{s}$ 를 초과하지 않도록 하였으며, 현장의 일단위로 수문이나 취수탑 방류량을 조절하는 것은 비현실적이므로 월단위로 추가 방류량을 결정하였다. 추가 방류량은 발전용수와 기타용수로 활용될 수 있으므로 이는 현장에서 직접 사용가능한 수량으로 정의하였다. Fig. 3은 기간별 관리수위를 기준으로 댐 운영 적용 중 2001, 2002년의 결과이다.

성주댐의 저수관리 현황을 분석하면 관개기 시작인 2 period에 저수위 확보가 이루어지지 않고 있으며, 홍수기 대비를 위한 3 period에 다소 많은 저수량을 확보하고 있다. 2000, 2001, 2002년에는 1 period에 용수 확보가 이루어지지 않았으며, 2000년에는 오히려 많은 양의 용수를 사용한 것으로 나타났다. 2000년의 경우 강우량도 충분하였고, 1 period에는 평년과 같은 정상적인 유입량이 나타났다. 따라서 발전용수로 사용하였거나 무효방류 된 것으로 판단된다.

5년 동안의 분석 결과 4 period에 과도하게 용수를 확보하고, 관개기 전인 1period에는 용수의 사용이 많은 것으로 나타났다. 체계적인 관리보다는 경험적 관리가 이루어지고 있는 것으로 판단된다. 따라서 2001년의 가뭄에는 저수율의 급격한 저하가 발생하였으며, 2002년에는 태풍 피해가 더욱 심하게 발생하였다고 판단된다.

저수관리시스템을 이용하여 관리기준을 적용한 결과 현장에서 가능한 댐 수문 조작을 기준으로 실시하였으므로 관리수위와 조작수위의 정확한 일치는 이루어지지 않았다.

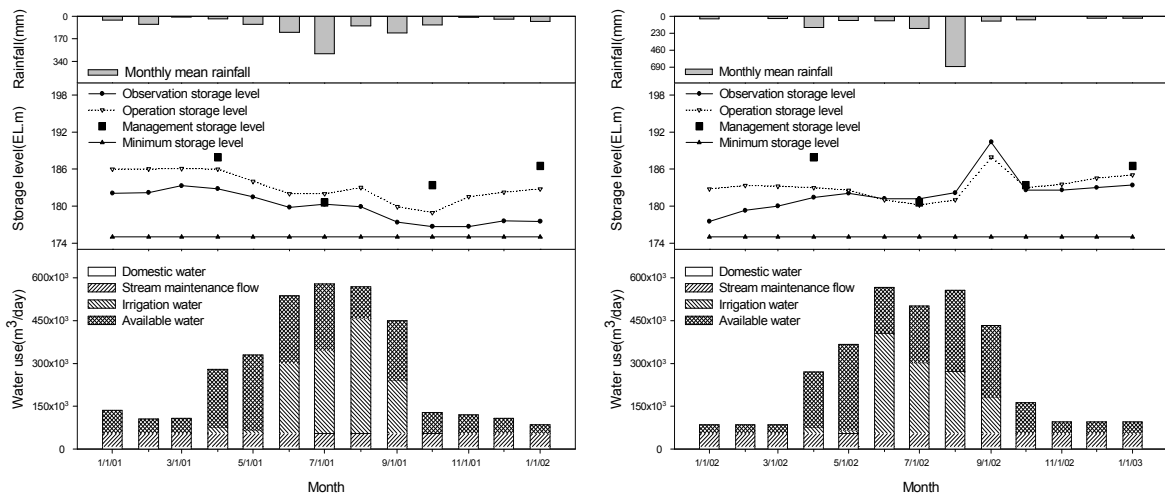


Fig. 3. Result of dam operation by a periodical storage level management(2001, 2002)

적용 결과 관개기 시작인 2 period의 조작수위는 187.4, 187.4, 185.7, 186, 183(EL.m)로 2002년을 제외하고 관리수위인 EL. 187.9m 근접한 결과가 나타났고, 2002년은 2001년의 극심한 가뭄의 영향으로 저수위 확보에 어려움이 있는 것으로 분석되었다. 홍수기 시작인 3 period 조작수위는 1998년부터 각각 181, 181.1, 181, 181.3, 180(EL.m)로 관리수위 EL. 180.6m와 비슷하게 나타났다. 실측 수위의 경우 182.2, 183.9, 178.7, 178.9, 182(EL.m)로 2000, 2001년을 제외하고 관리수위보다 다소 높게 나타났으며, 일정한 수위를 나타내지 않고 있다(Table 2). 전체적 댐 운영 결과 조작수위가 2001년 4 period와 2002년에 관리수위 이하로 나타났으나 용수공급에는 문제가 나타나지 않는 것으로 분석 되었다.

Fig. 3의 조작수위와 실측수위를 비교한 결과 조작수위가 실측수위보다 위에 있을 경우는 1, 2 period로 관개용수를 확보하기 위한 기간이고, 아래에 있을 경우는 3 period로 홍수조절능력을 위해 저수공간을 확보하는 기간이다. 조작수위는 2 period와 3 period사이에서 약 5m의 저수위를 사용하나, 실측수위는 약 2.3m의 수위만을 사용하고 있다. 따라서 용수의 수요와 공급에 대한 신뢰성 있는 예측이 이루어진다면 그만큼 저수공간의 탄력적 운영이 가능하다고 판단된다.

기간별 관리수위를 적용하기 위해 추가 공급되는 수량은 직접적으로 사용이 가능한 수량이며, 실제수위가 조작수위보다 위에 있을 경우에도 방류능력만 향상시킨다면 추가 공급이 가능한 수량이라 할 수 있겠다.

Table 2에서 사용가능수량과 용수수요량의 증가율을 분석한 결과 4 period는 현재 용수수요량에 대해 평균 1.59배 정도의 추가 사용이 가능하였다. 다음으로는 2 period에 1.38배의 추가 사용이 가능한 것

으로 나타났다. 따라서 연평균 용수수요량 $49.3 \times 10^6 \text{m}^3$ 에 대해 $53.1 \times 10^6 \text{m}^3$ 의 사용가능수량이 발생하였다.

Table 2. The result of dam operation by a periodical storage level management

Period (1998-2002)	Water use				Water level(EL.m)		
	Water demand (1,000m ³)	Available water (1,000m ³)	Extra water (1,000m ³)	Ineffective release	Obs, water level	Operated water level	Management water level
1998 1 st period	4,991	4,050	-	4,631	185.7	185.7	186.5(1/1)
2 nd period	14,561	22,380	-	13,475	185.8	187.4	187.9(3/31)
3 rd period	24,925	18,480	6,505	1,659	182.2	181	180.6(6/20)
4 th period	4,991	8,490	-	19,292	183.4	184	183.4(9/30)
1999 1 st period	4,991	4,770	-	17,375	183.7	186.6	186.5(1/1)
2 nd period	16,074	20,070	-	9,165	186.6	187.4	187.9(3/31)
3 rd period	18,666	18,900	11,822	75	183.9	181.1	180.6(6/20)
4 th period	4,991	12,480	-	25,095	184.1	184.5	183.4(9/30)
2000 1 st period	4,991	4,140	-	27,804	182.7	186.7	186.5(1/1)
2 nd period	16,074	20,250	-	27,408	180.3	185.7	187.9(3/31)
3 rd period	18,666	25,740	5,088	-	178.7	181	180.6(6/20)
4 th period	4,991	7,500	-	23,611	183.8	184	183.4(9/30)
2001 1 st period	4,991	5,460	-	17,299	182.1	186	186.5(1/1)
2 nd period	13,364	21,030	-	23,030	182.8	186	187.9(3/31)
3 rd period	31,369	16,539	-	26,274	178.9	181.3	180.6(6/20)
4 th period	4,991	5,670	-	19,370	176.7	179	183.4(9/30)
2002 1 st period	4,991	2,700	-	22,064	177.5	182.8	186.5(1/1)
2 nd period	16,481	19,500	14,160	8,506	181.4	183	187.9(3/31)
3 rd period	22,747	21,900	21,389	-	182	180	180.6(6/20)
4 th period	4,991	5,610	-	5,399	182.6	183	183.4(9/30)

여유수량은 대부분 3 period에 발생하였다. 조작수위의 경우 홍수기 대비를 위해 저수위를 낮추어 저수공간을 확보하였으나, 실제 댐 관리에서는 이러한 관리가 이루어지지 않아 조작수위보다 높은 저수위를 유지하는 것으로 나타났다.

무효방류량은 2000에 용수수요량 이상의 수량이 방류되어 $78.8 \times 10^6 \text{m}^3$, 2001년은 조작수위보다 일정하게 낮은 수위를 유지하며 $85.9 \times 10^6 \text{m}^3$ 으로 가장 크게 나타났다. 기간별로는 3, 4 period에 많이 발생하는 것으로 나타났다. 이는 홍수가 발생한 후 방류를 실시하여 급격히 수위를 낮추어 무효방류가 많이 발생한 것으로 판단된다. 이러한 저수위의 저하는 다음해 관개기 까지 영향을 미쳐 관개용수 확보에 어려움이 발생하는 것으로 나타났다.

IV. 결론

본 연구에서는 소규모 댐 중 가장 많은 비중을 차지하는 관개용 댐을 대상으로 저수관리시스템을 개발하고 운영기법을 정립하므로 용수 이용효율 증대와 홍수조절능력 향상에 대한 연구를 수행하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 소규모 댐의 효율적 관리를 위해 저수관리 모형을 개발하였다. 본 모형은 객체지향기법을 사용하여 모형의 수정 및 확장이 용이하고 각 모듈의 개별 운영이 가능하도록 하였다. 장·단기 유출의 정확성을 향상시키기 위해 유전자 알고리즘을 사용하여 매개변수의 최적화를 실시하였다.

2. 소규모 댐의 운영기준 정립을 위해 일년을 4개의 기간으로 구분하고 저수관리 모형을 이용하여 기간별 관리수위를 결정하였다. 1~3월은 관개용수량 확보기간(1 period, EL. 187.9m), 4~6월은 관개 및 홍수대비기간(2 period, EL. 180.7m), 7~9월은 관개 및 홍수 기간(3 period, EL. 183.4m), 10~12월은 동계만수위와 기타용수량 확보기간(4 period, EL. 186.5m)으로 정하였다. 연중 확보하여야 하는 최소수위는 저수지 거동분석을 통해 EL. 175m로 결정하였다. 각 수위는 1967~2002년 동안의 최소유입량과 용수수요량의 빈도분석 결과로 저수관리 모형을 연속모의 하여 결정하였다.

3. 1998~2002년 동안 기간별 관리수위를 적용한 결과 조작수위는 관리수위에 근접한 결과로 나타났고, 실측수위의 경우 명확한 운영 기준은 확인 할 수 없었다. 관개용수 확보를 위한 1 period 조작수위는 평균 EL. 185.9m, 실측수위는 EL. 183.4m로 나타났고, 홍수기 대비를 위한 2 period 조작수위는 평균 EL. 180.9m, 실측수위는 EL. 181.1m로 나타났다. 그러나 실측수위의 경우 182.2, 183.9, 178.7, 178.9, 182(EL.m)로 수위의 범위가 크고 높은 수위의 경우 홍수피해가 발생할 수 있다고 판단된다. 조작수위는 2 period와 3 period사이에서 약 5m의 저수위를 사용하나, 실측수위의 경우 약 2.3m의 수위만을 사용하고 있다. 따라서 관리수위로 운영을 실시한다면 홍수조절능력이 부족한 소규모 댐에서도 관개용수와 홍수조절용량의 확보를 위한 효율적인 저수관리가 가능하다고 판단된다.

4. 기간별 관리수위 적용 결과 연평균 용수수요량 $49.3 \times 10^6 \text{m}^3$ 에 대해 $53.1 \times 10^6 \text{m}^3$ 의 사용가능수량이 발생하였다. 4 period에는 실측 용수수요량에 대해 평균 약 1.59배, 2 period에 약 1.38배의 추가 사용가능수량이 발생하였다.

References

1. Feldman, A. D., 1992. Systems Analysis Applications at the Hydrologic Engineering Center, *J. Water Resour. Plng. Mgmt.*, ASCE, Vol.118(3): pp. 249-261 (in English).
2. FAO, 1998. Crop Evapotranspiration, FAO Irrigation and Drainage Paper 56 (in English).
3. Johnson, W. K., R. A. Wurbs and J. E. Beegle, 1990. Opportunities for Reservoir-storage Reallocation, *J. Water Resour. Plng. Mgmt.*, ASCE, Vol. 116(4): pp. 550-566 (in English).
4. KARICO, 2002. Analysis and Improvement Method of Reservoir Flood Control Capacity for Heavy Rain (in Korean).
5. KOWACO, 1994. The flood Inflow of the Multi-purpose Dam and Program Manual for Reservoir Operation in the Storm Period (in Korean).
6. Kim, Sun Joo, Yong Geun Jee and Phil Shik Kim, 2004. Parameter Optimization of Long and Short Term Runoff Models Using Genetic Algorithm, *Journal of the Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol.46(5): pp 41-52 (in Korean).
7. Kim, Phil Shik and Sun Joo Kim, 2005. Development of Storage Management System for Small Dams, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol.47(3): pp 15-25 (in Korean).
8. KICT, 1996. Actual Condition and Improvement of Dam Operation in Dry and Flood Period (in Korean).
9. Milutin, D. and J. J. Bogardi, 1996. Application of Genetic Algorithms to Derive the Release Distribution Within a Complex Reservoir System, *Department Water Resources*, pp. 109-116 (in English).
10. Wurbs, R. A. and L. M. Cabezas, 1987. Analysis of Reservoir Storage Reallocations, *J. Hydrology*, Vol 92(1), 77-95 (in English).