독높이기 농업용저수지의 환경용수 방류기준 설정

Optimizing Rules for Releasing Environmental Water in Enlarged Agricultural Reservoirs

유승환* · 이상현** · 최진용***† · 박태선****

Yoo, Seung-Hwan · Lee, Sang-Hyun · Choi, Jin-Yong · Park, Taeseon

ABSTRACT

The main purposes of the agricultural reservoir enlargement (ARE) project are to secure water supply reliability (WSR) for agriculture and to release environmental water during dry seasons. In this study, an operational rule that will simultaneously satisfy both the above issues was developed. Initial amount of water storage at the beginning of non-irrigation season (1st October) was divided into 3 stages, and the target level of water storage at the beginning of irrigation seasons (1st April) was set up. Required operational curves and release amounts were estimated based on the stages and target water levels. To evaluate the applicability of this rule, the amount of water released for environmental purposes and WSRs were analyzed for three reservoirs (Unam, Jangchi and Topjeong). The ratio between annual amount of release and additional amount of water storage were 1.6, 1.85, and 4.1 for the Unam, Jangchi, Tapjeong reservoirs, respectively. Also, the WSRs of all reservoirs were found to become higher than when the design standard was applied. Therefore, it is considered that the proposed rule is more suitable for the enlarged agricultural reservoirs operation as it satisfies the WSRs while securing the environmental water release.

Keywords: Enlarged agricultural reservoirs; operational rule; water supply reliability; environmental water

1. 서 론

농업용저수지 독높이기 사업은 증고를 통하여 농업용수 추가 확보와 동시에 추가 저수량을 갈수기에 방류하여 지류 및 본류의 유황 개선을 목적으로 사업이 시행되었다 (MLTM, 2009). 독높이기 사업 (2012년 2월 기준)은 한강 12개소, 금강 28개소, 낙동강 30개소, 영산강 14개소, 섬진강 9개 및 기타수계 17개소 등 총 110지구에서 이루어지고 있으며, 이를 통하여 확보되는 추가저수량은 총 2.38 억 m^3 이다 (Kim et al., 2011). 기존의 농업용저수지는 농업용수라고 하는 단일목적의 용수 공급을 위하여 설계된 저수지로서 용수공급은 대상작물의 재배시기에 맞추어 이루어지고 있다. 반면에 독높이기 저수지는 농업용수 및

환경용수 공급이라는 두 가지 이상의 목적을 수행할 필요가 있으므로, 기존의 농업용 저수지 운영기준과는 차별되는 운영기준 설정이 필요하다.

독높이기 농업용저수지의 운영기준을 위하여 우선적으로 기존의 단일목적 농업용저수지와 운영의 차이를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 저수지 방류계획의 변수가 증가하게 된다. 방류량을 결정해야 수요량이 농업용수라는 단일용수에서 환경용수를 포함한 2개의 용수가 됨으로서 지금까지 시행하던 단일저수지 운영 계획에 의한 방류량계획을 수정해야할 필요가 있으며 수요의 변화에 따른 저수지 운영 분석 후 방류계획을 수립해야 한다. 다음으로 방류시기 역시 변화하게 된다. 농업용저수지의 농업용수 공급은 용수공급시기가 5-9월에 편중되어 있었으나, 환경용수 공급은 주로 갈수기뿐만 아니라 연중 발생할 수 있다. 안정된 저수량 확보 및 공급을 위해서 저수지 운영 계획이 시간과 두 가지 목적용수를 달성할 수 있도록 방류시기 변화에 따른 운영계획 수립이 필요하다. 마지막으로 방류 수요자가 변화하게 된다. 기존의 농업용저수지 용수공급 대상은 주로 농민을 수요자로 하고 있고, 대부분 공급자 중심의 저수지 운영 계획이 수립되어 있다. 하지만 독높이기 이후 농업용저수지의 추가 저수량은 4대강 본류를 포함한 하류하천에서 환경용수 수요가 발생할 수 있다. 따라서 독높이기 저수지의 용수 사용 우선순위 및 방류가능량 결

* 서울대학교 농업생명과학대학 연수연구원

** 서울대학교 생태조경·지역시스템공학부 대학원

*** 서울대학교 조경·지역시스템공학부 부교수, 농업생명과학연구원 겸 무연연구원

**** 한국농어촌공사 4대강사업단 4대강총괄팀 팀장

† Corresponding author Tel.: +82-2-880-4583

Fax: +82-2-873-2087

E-mail: iamchoi@snu.ac.kr

2012년 6월 22일 투고

2012년 7월 27일 심사완료

2012년 8월 6일 게재확정

정을 위한 운영계획 수립이 필요할 것으로 판단된다.

독높이기 저수지의 설계를 위한 수문 분석시 환경용수 방류량은 연중 동일하게 방류하는 방법으로 설정되었다. 이러한 설계 기준 방류량은 농업용수와 환경용수의 공급우선 순위 없이 한발 기준 10년 빈도, 즉 이수안전도 90 %를 만족하도록 설계되어 있다 (MLTM, 2009). 이는 농업용저수지의 주목적인 농업용수 확보라는 측면에서 본다면 다소 불합리하다 할 수 있다. 한편 연중 동일한 환경용수를 방류하는 것은 풍수기에도 환경용수를 공급하게 됨으로써, 갈수기에 집중 방류와 비교하여 그 공급효과가 다소 떨어질 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 독높이기 저수지의 농업용수 및 환경용수를 효율적으로 활용하기 위한 시기별 운영기준이 필요할 것으로 판단된다. 농업용 저수지의 농업용수 공급 외의 환경용수 (또는 하천유지용수) 등의 용수공급 기준을 제시하기 위한 다양한 연구가 이루어졌는데, Lee and Noh (2010)은 현재 독높이기 사업이 진행중인 백곡저수지를 선정하여 이수 관리 곡선을 작성하고 기존 저수지의 관개용수 공급 능력 평가 및 확보된 추가저수량에 따른 하천유지용량의 공급 가능성을 평가한 바 있다. 연구결과 제시한 이수관리곡선에 의한 용수공급제한 운영으로 관개용수 외에 하천유지용량을 유연하게 공급할 수 있는 것으로 나타났다. Noh and Lee (2011)은 저수지 유역배율이 다른 독높이기 대상저수지를 선정하고 관개용수와 하천유지용수를 동시에 공급하는 이수관리곡선에 따른 하천유지용수 공급량을 분석하였고 유역배율이 높을수록 용수공급 제한운영에 따른 하천유지용수 공급운영의 효과가 높은 것으로 나타났다. 또한 Kim et al. (2011)은 대상 지구의 장기간의 저수지 물수지 분석을 통하여 환경용수 방류 능력을 평가한 바 있고, 연구 결과 적절한 수요 산정 기준에 따라 결정된 환경용수 방류 요구량에 맞춰 기 저수지의 증고 등 물리적인 저수용량 확대 조치가 필요한 것으로 나타났다. 이처럼 농업용 저수지의 관개용수 공급 외에 하천유지용량 및 환경용수 공급 가능성을 평가한 연구가 수행되어 왔으나 현재까지 제한된 용수공급 운영외에 비관개기와 관개기를 구분하여 현 저수량에 따른 시기별 유동적인 환경용수 방류기준 정립은 미흡한 실정이다.

즉, 효율적인 저수지 운영을 위해서는 관개기와 비관개기 또는 우기와 건기 등의 조건을 고려한 운영기준 설정이 필요하다. 관개기의 경우 농업용수 공급을 우선순위로 하고, 우기에 의한 무효방류 및 관개기 동안의 농업용수의 환원을 고려하여 제한적인 환경용수의 방류가 적합할 것으로 판단된다. 한편 갈수기간인 비관개기동안에는 관개기 시점의 농업용수의 이수안전도를 확보하는 범위 내에서 환경용수의 방류가 이루어져야 하는데, 이를 위해서는 세부적인 저수지 방류 기준이 필요할 것이다.

본 연구에서는 독높이기 농업용저수지의 농업용수 공급 능력

을 유지하며, 하류하천에 환경용수를 공급할 수 있는 방류기준을 수립하고자 한다. 이를 위해 비관개기 시점 (10월 1일)의 초기저수량과 관개기 시점 (4월 1일)의 목표저수량을 이용하여 방류기준곡선과 구간별 환경용수 방류기준량을 설정하였고, 설정된 방류기준을 대상저수지에 적용하여 일별 저수량을 모의하고 방류기준 적용에 따른 환경용수 공급 능력 및 이수안전도의 변화를 분석하고자 하였다. 이와 같이 설정된 방류기준은 일별 모의 저수량을 활용하기 때문에 일별로 변동되는 기준으로서, 실시간 저수량을 바탕으로 한 운영이 가능할 것으로 판단된다.

II. 독높이기 농업용저수지의 방류기준

본 연구에서는 이수안전 및 비관개기의 집중적이고 효율적인 환경용수의 방류와 관개기의 안정적인 농업용수 공급을 동시에 고려하기 위하여 비관개기 시점 (10월 1일)의 초기저수량과 관개기 시점 (4월 1일)의 목표저수량을 설정하고 공급기준곡선의 개념을 적용한 시기별 방류기준곡선을 산출하고자 하였다. 즉, 다양한 비관개기의 초기저수량을 가정하고 관개기 농업용수 안정공급을 위한 최소한의 조건으로 관개기 시점의 목표저수량을 설정하였다. 이를 바탕으로 방류기준곡선 및 기준곡선 구간별 방류량을 산출하였다. Fig. 1은 본 연구의 독높이기 저수지의 환경용수 방류기준 설정 방법을 순서도로 나타낸 것이다.

Fig. 1 Flowchart for setting the environmental water release curve during non-irrigation season

1. 농업용저수지 물수지 분석

본 연구에서는 DIROM (Daily Irrigation Reservoir Operation Model)을 활용하여 독높이기 사업 전후의 저수지 물수지 분석을 실시하였다 (Kim, 1988). 이 모형의 유역 유출량은 3단 TANK 모형을 적용하여 일별로 산정되고, 논 관개수량의 경우 Penman 식에 의한 증발산량과 작물계수, 최대담수심, 최소담수심, 침투량, 수로손실 등을 고려하여 산정된다. 저수지에서의 물수지를 식으로 나타내면 다음과 같다 (Kim and Park, 1988).

$$S_t = S_{t-1} + I_t + P_t - (R_t + O_t + E_t) \quad (1)$$

여기서, S 는 저수량 (storage), I 는 유입량 (inflow), P 는 수면강수량 (precipitation), R 는 방류량 (release), O 는 여수로월류량 (overflow), E 는 수면증발량 (evaporation) 및 t 는 일 (day)이다. 기존 DIROM의 경우, 환경용수 방류 설정에 있어서 차등 방류가 불가능하기 때문에, 이를 수정을 하여 독높이기 사업 전후의 저수지 물수지 분석을 실시하였다.

2. 초기저수량 및 목표저수량 설정

본 연구에서는 비관개기가 시작되는 10월 1일의 저수량을 초기저수량으로 설정하고 관개기가 시작되는 4월 1일의 저수량을 목표저수량으로 설정하였다. 초기저수량은 사업 후 만수용량일 경우, 사업전 만수용량에 추가저수량의 50 %를 합산한 경우, 사업전 만수용량으로 다양하게 구분하였으며, 이는 향후 보다 세부적인 기준이 필요한 저수지에 따라 세밀하게 구분되어 적용될 수 있다.

- Case I : 사업 후 만수용량
- Case II : 사업 전 만수용량 + 추가저수량의 50 %
- Case III : 사업 전 만수용량

목표저수량은 관개기의 원활한 농업용수를 안정적으로 공급하기 위하여 필요한 저수량을 의미하는데, 이는 관개기 농업용수만을 고려하는 것이 아니라 저수지 수변공간 조성을 위한 경관수위 등으로 다양한 기준으로 적용될 수 있다. 본 연구에서는 관개기 저수량 확보에 중점을 두어 사업전 만수용량을 목표저수량으로 적용하였다.

이와 같이 초기저수량과 목표저수량이 설정되면 각 초기저수량별 방류기준량을 설정하게 된다. 즉, 방류기준량은 각 비관개기 시점의 초기저수량이 관개기 시점에 목표저수량이 도달할 수 있도록 하는 최대 방류량을 의미하게 된다. 이러한 방류기준량

은 각 초기저수량별 30년 이상의 저수량 모의 결과를 통하여 설정하였다.

3. 방류기준량 및 방류기준곡선 도출

방류기준곡선은 비관개기와 관개기로 구분된다. 비관개기 방류기준량과 방류기준곡선 산출과정을 살펴보면 다음과 같다. 초기저수량별 (Case I, II 및 III)로 방류기준량을 변화시켜가며 매 38개년 관개기 시점인 4월 1일 저수량을 모의하여, 그 값이 하위 10 % 값이 목표저수량 (사업 전 만수용량)에 근접하는 환경용수 방류기준량 (criteria release) I, II 및 III을 산출한다. 산출된 환경용수 방류기준량을 바탕으로 38개년동안 저수량 모의 결과로부터 하위 10 %의 일별 저수량 곡선을 산출하여 방류기준곡선으로 설정한다. 즉, 방류기준량과 방류기준곡선은 초기저수량에 따라 다르게 산출된다. Case별 모의 결과에 따라 아래와 같이 기준곡선을 설정하였다.

- Case I (방류기준량 I):
최대방류 기준곡선 (Maximum release curve)
- Case II (방류기준량 II):
최소방류 기준곡선 (Minimum release curve)
- Case III (방류기준량 III):
방류 제한곡선 (Release restriction curve)

관개기의 경우, 농업단지의 용수공급에 따른 회귀수량 및 우기에 의한 무효방류 등 하류하천에 다양한 방식으로 수량 확보가 가능하므로 비관개기 집중방류를 위하여 관개기 동안의 환경용수의 방류는 최소화가 적합할 것으로 판단된다. 이에 따라 관개기의 경우 독높이기 전 관개기 평균저수량 곡선을 방류기준곡선으로 설정하고 저수량이 방류기준곡선 이상일 경우에만 최소의 환경용수 방류량인 방류기준량III을 방류하고, 저수량이 방류기준곡선 이하일 경우 방류를 제한하는 것으로 설정하였다.

4. 방류기준곡선별 운영기준 설정

방류기준곡선의 개념은 현저수량의 기준곡선의 특정 구간에 위치할 경우 기준이 되는 환경용수를 방류하는 것으로서, 방류기준량 I, II 및 III과 최대, 최소방류기준곡선 및 방류제한곡선을 이용한 비관개기의 운영기준은 다음과 같다.

- 저수량이 최대방류 기준곡선보다 많은 경우:
방류기준량 I
- 저수량이 최대 및 최소방류 기준곡선 사이에 위치한 경우:

Fig. 2 Schematic diagram for optimizing rules of environmental water release in enlarged agricultural reservoir

방류기준량 II

- 저수량이 최소 및 방류제한 기준곡선 사이에 위치한 경우: 방류기준량 III
- 저수량이 방류제한 곡선보다 아래에 있는 경우: 방류제한 (방류량 0)

관개기의 경우 방류기준곡선이 방류제한곡선으로 대체되기 때문에 방류제한곡선 이상일 경우 최소방류량인 방류기준량 III을 방류하도록 기준을 설정하였다. Fig. 2는 방류기준곡선별 환경용수 방류량 설정에 대한 개요를 그림으로 나타낸 것이다.

III. 환경용수 방류기준 설정 및 적용

1. 규모별 대상저수지 선정

독높이기 저수지 중 운암, 장치 및 탑정 저수지에 대하여 방류기준곡선 및 기준곡선 구간별 방류량을 산출하고, 방류기준에 따른 저수량 및 환경용수 방류량 모의 결과를 통하여 방류기준의 적정성을 평가하였다. 위 3개 저수지의 기본 정보는 Table 1과 같다. 낙동강 수계에 위치한 운암저수지의 경우 추가저수량이 1,925 천 m^3 으로, 기존 유효저수량 대비 261 % 해당한다. 장치저수지의 경우, 영산강 수계에 위치하면 추가저수량이 3,746 천 m^3 으로, 이는 기존 유효저수량 대비 231 % 해당한다. 마지막으로 탑정저수지는 금강 수계에 위치하고, 추가저수량이 6,752 천 m^3 이다. 각 저수지의 사업 후 유효저수량 대비 유역면적은 각

각 206.3 mm (운암), 286.77 mm (장치) 및 174.6 mm (탑정)으로, 사업 후에도 저수량을 충분히 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 환경용수 방류 기준곡선 및 기준량 산정 결과

1973년부터 2010년까지의 독높이기 사업 전후의 물수지 분석 결과를 바탕으로 대상저수지의 방류 기준곡선 및 방류기준량 설정 결과는 Table 2와 같고, 각 저수지의 방류기준곡선은 Fig. 3-5에 나타내었다. 이 결과를 살펴보면, 운암 저수지의 방류기준량 I 은 14.7 천 m^3 /일, 방류량 II 는 9.5 천 m^3 /일, 방류량 III 은 4.1 천 m^3 /일로 산정되었다. 설계기준 환경용수 방류량과 비교하여 각각 105 %, 68 % 및 28.5 %에 해당하는 값이다. 장치 저수지의 경우, 방류기준량 I 은 31.7 천 m^3 /일, 방류량 II 는 22.1 천 m^3 /일, 방류량 III 은 11.7 천 m^3 /일로 산정되었는데, 이는 설계기준 방류량과 비교하여 각각 127 %, 88.7 % 및 47.0 %에 해당하는 값이다. 저수지 규모가 가장 큰 탑정 저수지의 경우, 방류기준량 I 은 133.0 천 m^3 /일, 방류량 II 는 124.7 천 m^3 /일, 방류량 III 은 111.5 천 m^3 /일로 산정되었고, 이는 설계기준 방류량과 비교하여 각각 88.1 %, 82.6 % 및 73.8 %에 해당되는 값이다. 환경용수 방류량은 기본적으로 추가 저수량과 면적에 따라서 값이 달라지는데, 탑정저수지는 추가저수량 가장 많고, 저수지유역 면적도 가장 크기 때문에 환경용수 방류량이 가장 크게 산정된 것으로 판단된다. 장치 저수지의 경우, 운암 저수지와 비교하여 방류기준량 I 이 2.2배 큰 것으로 나타났는데, 이는 추가저수량은 1.9배, 유역면적은 1.4배 크기 때문인 것으로 판단된다. 한편 탑정저수지의 경우, 설계기준 방류량보다 방류기준량 I 의 값이

Table 2 Results of estimation of criterion release for environmental water

Reservoir	Design standard release for environmental water (Thousand m^3 /day)	Criterion release for environmental water (Thousand m^3 /day)		
		Criterion release I	Criterion release II	Criterion release III
Unam	14.0	14.7	9.5	4.1
Jangchi	24.9	31.7	22.1	11.7
Topjung	151.0	133.0	124.7	111.5

Table 1 Characteristic of study reservoirs

Stream	Reservoir	Effective water storage capacity (1000 m^3)		Additional water storage (1000 m^3)	Watershed area (ha)	Irrigated area (ha)	Period
		before	after				
Nakdong river	Unam	738	2,663	1,925	1,291	140	1973-2010 (38 years)
Youngsan river	Jangchi	1,619	5,365	3,746	1,871	347	
Gum river	Topjung	31,457	38,209	6,752	21,880	5,713

Fig. 3 Release curve for environmental water (Unam reservoir)

Fig. 4 Release curve for environmental water (Jangchi reservoir)

Fig. 5 Release curve for environmental water (Topjung reservoir)

작은데, 이는 다른 저수지와 비교하여 관개면적 대비 유역면적, 유역면적 대비 추가저수량이 상대적으로 작기 때문인 것으로 판단된다.

IV. 방류기준에 따른 저수지 모의 운영 결과

1. 시기별 환경용수 방류량 비교

저수지별로 설정된 방류 기준 곡선 및 방류량을 바탕으로 1973년부터 2010년 동안의 모의 운영을 통하여 적용성을 분석하였다. 이를 위하여 설계기준 환경용수를 연중 방류하였을 때와 본 운영기준 적용시 시기별 환경용수 및 무효방류량을 비교하였는데, 38년동안의 연평균 결과를 Table 3에 나타내었다.

운암저수지의 경우, 독높이기 사업 전 여수로로 통한 무효방류량이 8,771.5 천 m^3 /yr이고, 설계 기준 적용시에는 4,276.4 천 m^3 /yr이고, 본 방류기준 적용시에는 5,710 천 m^3 /yr이었다. 따라서 독높이기 사업을 통하여 사업 전 무효방류량의 일부를 저수하여 환경용수로 방류하는 것으로 나타났다. 이는 다른 저수지에서도 유사한 경향을 보였다. 환경용수 방류량의 경우, 설계 기준 적용시에는 비관개기에는 2,497.5 천 m^3 /yr, 관개기에는 2,037.7 천 m^3 /yr로, 전체 기간 동안에 4,535.2 천 m^3 /yr를 하류하천에 공급하는 것으로 나타났다. 반면에 본 방류기준 적용시 비관개기에는 2,543.7 천 m^3 /yr를, 관개기에는 541.7 천 m^3 /yr로, 전체 기간 동안에 3,085.4 천 m^3 /yr를 하류하천에 공급하는 것으로 분석되었다. 관개기에는 설계기준 적용시가 약 3.8배 많은 환경용수를 공급하였고, 비관개기에는 본 운영기준 적용시가 거의 비슷한 것으로 나타났다.

장치저수지의 설계 기준 적용시 환경용수 방류량은 비관개기에는 4,404.7 천 m^3 /yr, 관개기에는 3,565.9 천 m^3 /yr로, 전체 기간 동안에 7,970.6 천 m^3 /yr를 하천에 공급할 수 있는 것으로 나타났다. 반면에 본 방류기준 적용시에는 비관개기에는 5,356.0 천 m^3 /yr를, 관개기에는 1,577.7 천 m^3 /yr로, 전체 기간 동안에 6,933.7 천 m^3 /yr의 환경용수를 하류하천에 공급하는 것으로 분석되었다. 관개기에는 설계기준 적용시가 약 2.3배 많은 환경용수를 공급하였지만 비관개기에는 본 운영기준 적용시가 약 1.2배 많은 것으로 나타났다.

탐정저수지의 환경용수 방류량을 보면, 설계 기준 적용시에는 비관개기에는 24,423.3 천 m^3 /yr, 관개기에는 19,153.2 천 m^3 /yr로, 전체 기간 동안에 43,575.5 천 m^3 /yr를 공급하였고, 본 방류기준 적용시에는 비관개기동안은 18,134.9 천 m^3 /yr를, 관개기동안은 9,429.6 천 m^3 /yr으로, 전체 기간 동안에 27,564.5 천 m^3 /yr를 하류하천에 공급하는 것으로 분석되었다. 관개기와 비관개기 모두 설계 기준 적용시가 더 많은 것으로 나타났다.

설계기준 적용시에는 기준유량을 연중 방류하기 때문에, 관개기 동안에 제한 방류를 실시하는 본 기준을 적용하였을 때보다 더 많은 양의 환경용수를 공급하는 것으로 나타났다. 관개기 동안은 환경용수와 더불어 무효방류량이 있기 때문에 그 차이는

Table 3 Results of water release according to reservoir rehabilitation

(unit: thousand m³/yr)

Reservoir	Season	Existing Reservoir	Enlarged Reservoir					
			Design standard release without operation rules			Criterion release for environmental water		
		Annual spillway overflow	Annual environmental water release	Annual spillway overflow	Total release	Annual environmental water release	Annual spillway overflow	Total release
Unam	Non-irrigation	1,428.0	2,497.5	157.2	2,654.7	2,543.7	232.2	2,775.9
	Irrigation	7,343.5	2,037.7	4,119.2	6,156.9	541.7	5,478.2	6,019.9
	Total	8,771.5	4,535.2	4,276.4	8,811.6	3,085.4	5,710.4	8,795.8
Jangchi	Non-irrigation	2,938.2	4,404.7	237.0	4,641.7	5,356.0	268.5	5,624.5
	Irrigation	13,287.0	3,565.9	8,035.6	11,601.5	1,577.7	9,046.7	10,624.4
	Total	16,225.2	7,970.6	8,272.6	16,243.2	6,933.7	9,315.2	16,248.9
Topjung	Non-irrigation	30,766.6	24,422.3	10,137.2	34,559.5	18,134.9	14,450.8	32,585.7
	Irrigation	121,500.2	19,153.2	99,159.1	118,312.3	9,429.6	110,291.0	119,720.6
	Total	152,266.8	43,575.5	109,296.3	152,871.8	27,564.5	124,741.8	152,306.3

크지 않은 것으로 나타났다. 한편 비관개기 동안은 탐정 저수지를 제외하고 두 저수지에 본 기준 적용시가 환경용수 방류량 및 무효방류량의 합이 더 큰 것으로 나타났다. 탐정저수지의 경우 비관개기 동안의 환경용수 방류량의 차이가 6,287 천m³/yr이었지만, 무효방류량까지 고려할 경우 그 차이가 1,973 천m³/yr으로 감소하였다.

2. 방류 기준 적용에 따른 이수안전도 평가

설계기준 및 본 운영기준 적용시 3개 저수지의 이수안전도 평가를 위하여 1973년부터 2010년까지 저수량 모의 결과를 Fig. 6-8에 각각 나타내었다. 먼저 운암저수지의 경우, 설계기준 적용시 1981년, 1982년, 2000년, 2001년에 사수량에 도달하였는데, 그 기간이 이양시기인 6월에 집중되는 것으로 분석되었다. 반면에 본 운영기준 적용시 사수위까지 도달하는 경우는 한 차례도 발생하지 않았고, 가장 낮은 저수량을 보인 연도는 1982년으로 사업 전 유효저수량의 46 %에 해당하였다. 즉, 운암저수지의 경우, 설계기준에 따른 환경용수 방류시 이수안전도가 90 % 미만이고, 본 운영 기준 적용시에는 이수안전도가 90 % 이상인 것으로 나타났다. 운암저수지는 사업 전 유효저수량은 737.8 천m³이고, 한발기준 10년빈도 연최대필요저수량이 468.1 천m³로, 이수안전도가 90 % 이상인 저수지이다. 따라서 설계기준 적용시 독높이기 사업 전의 이수안전도가 농업용수의 이수안전도가 더 낮아지는 것으로 낮아지는 것이다.

장치저수지는 본 운영기준 적용시 사수위까지 도달하는 경우는 한 차례도 발생하지 않았고, 37년동안 가장 낮은 저수량은 사업 전 유효저수량의 58 %인 940.0 천m³으로 1994년에 발생하였다. 설계기준 적용시 1978년, 1994년, 1996년, 2009년 사수량에 도달하였는데, 그 발생 기간이 1978년에는 5월말, 1994년

Fig. 6 Simulation of enlarged reservoir (Unam reservoir)

Fig. 7 Simulation of enlarged reservoir (Jangchi reservoir)

에는 7월말, 1996년에는 1월초, 2009년은 4월이었다. 장치저수지도 운암저수지와 마찬가지로 설계기준 적용시에는 이수안전도 90 %를 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 사업 전 10년빈도 연최대필요저수량이 1509.3 천m³이고, 사업 전 유효저수량이 1619 천m³이므로 한발기준 10년 빈도 (이수안전도) 이상의 농업용수 저수지였는데, 설계 기준 적용시에는 이수안전도 다소 낮아지는 것으로 나타났다.

Fig. 8 Simulation of enlarged reservoir (Topjung reservoir)

탐정저수지의 경우, 본 운영기준 적용시 사수위까지 도달하는 경우는 위 두 저수지와 같이 한 차례도 발생하지 않았다. 그러나 설계기준 적용시 1982년 7월, 1988년 10월, 1989년 1월, 1995년 6-8월에 사수위에 도달하여, 다른 저수지와 마찬가지로 설계기준 적용시에는 이수안전도 90 %를 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 사업 전 유효저수용량이 31,457 m^3 으로, 10년 빈도 연최대필요저수용량 26,642 천 m^3 보다 더 많으므로 위 저수지들과 마찬가지로 이수안전도 90 % 이상인데, 설계 기준 적용시 사업 후의 이수안전도가 사업 전보다 더 낮아지는 것으로 나타났다.

위 3개 저수지는 독높이기 사업 전 이수안전도가 90 % 이상인 저수지들로서, 독높이기 사업은 환경용수 공급의 목적도 있지만, 농업용수 추가 확보라는 측면에서 본다면 사업 전 이수안전도 이상의 농업용수 안전도를 만족하여야 한다. 이러한 점에서 본다면 본 운영기준은 비관개기 동안의 환경용수 방류량도 확보하면서 농업용수 이수안전도를 만족하므로 독높이기 저수지 운영에 더 적합한 것으로 판단된다.

V. 요약 및 결론

본 연구에서는 독 높이기 저수지 사업의 주요 목적은 농업용수 추가 확보 및 갈수기의 환경용수 방류라 할 수 있는데, 두 목적을 달성하기 위한 운영기준을 제시하고자 하였다. 즉, 갈수기에 환경용수를 집중 방류를 하면서 농업용수의 이수안전도를 만족할 수 있도록 다음과 같은 운영기준 설정하였다. 비관개기 시점(10월 1일)의 초기저수량을 3단계 구분하고, 관개기 시점(4월 1일)의 목표저수량 설정하여 방류기준곡선과 구간별 환경용수 방류기준량을 산출하고 이를 바탕으로 방류기준을 설정하였다. 본 운영 기준이 적용성을 살펴보고자 대상저수지를 선정하여 방류기준 적용에 따른 환경용수 공급 능력 및 이수안전도를 분석하였는데 그 결과는 다음과 같다.

대상 저수지의 방류기준량 I 은 14.7 천 m^3 /일 (운암), 31.7 천

m^3 /일 (장치) 및 133.0 천 m^3 /일 (탐정)이었다. 이 양은 설계기준의 방류량과 비교하여 각각 105 %, 127 % 및 88.1 %에 해당하는 값으로, 탐정 저수지는 설계기준 방류량보다 다소 작은 것으로 나타났다. 환경용수 공급능력 측면에서 비관개기에 연간 평균 방류량은 2,543.7 천 m^3 (운암), 5,356 천 m^3 (장치) 및 18,134.9 천 m^3 (탐정)으로, 설계기준 적용시와 비교하여 102 %, 122 % 및 74 %에 해당하는 값이다. 관개기 및 비관개기동안의 추가저수량 대비 환경용수 연간 방류량은 운암저수지는 1.6배, 장치저수지는 1.85배, 탐정저수지는 4.1배이었다.

사업 전 기준으로 세 저수지 모두 10년빈도 연최대필요저수용량보다 큰 유효저수용량을 확보하여 이수안전도가 90 %보다 높은 것으로 나타났다. 사업 후 환경용수와 농업용수를 모두 방류하였을 때 이수안전도의 변화를 보면, 설계기준 적용시 세 저수지 모두 37년 중 4회 정도 사수위에 도달하는 것으로 나타나 이수안전도가 90 %에 조금 미치지 못하였다. 하지만 본 운영기준 적용시 사수위에 도달하는 경우는 한 번도 발생하지 않기 때문에 사업 전의 이수안전도를 만족하는 것으로 나타났다.

환경용수 공급 능력 및 이수안전도 측면에서 본 운영기준은 비관개기 동안의 환경용수 방류량도 확보하면서 농업용수 이수안전도를 만족하므로 독높이기 저수지 운영에 적합한 것으로 판단된다. 본 연구에서는 초기저수량 설정에 있어서 관개기가 종료되는 10월 1일 기준으로 3가지 경우로 가정하였는데, 추가 저수량 및 관개일정에 따라서 다양하게 설정이 가능할 것으로 판단된다. 또한 목표저수량의 경우, 각 저수지의 기존 농업용수 공급 능력에 세밀한 설정이 필요할 것이다. 즉, 기존 농업용저수지가 한발 기준 10년빈도의 만족 여부에 따라서 사업 전 만수위가 아닌 농업용수 확보를 확보할 수 있는 저수위를 설정해야 할 것이다. 본 연구에서는 DIROM을 이용하여 일별 저수지 유입량과 농업용수 방류량을 모의하였는데, 이는 모델의 추정치로써 불확실성을 내포하고 있다. 따라서 향후 저수지 운영에 실제 적용을 위해서는 유입량과 방류량 실측치를 바탕으로 한 운영곡선과 방류기준량의 보정 및 검정이 필요할 것으로 판단된다.

Reference

- Kim, H. D., K. Y. Lee, I. K. Jung, K. W. Jung and J. W. Kwon, 2011. The classification of dam heightening reservoir using factor and cluster analysis, *KCID (Korean National Committee on Irrigation and Drainage) Journal* 18(2): 66-75 (in Korean).
- Kim, H. Y., 1988. Simulating daily inflow and release rates for irrigation reservoir. PhD thesis, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea (in Korean).

3. Kim, H. Y. and S. W. Park, 1988. Simulating daily inflow and release rates for irrigation reservoir (Ⅱ) -Modeling reservoir release rates-, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 30(2): 95-104 (in Korean).
4. Kim, S. M., S. J. Kim, Y. W. Kim, T. Y. Kim, S. M. Kim, K. W. Park and M. W. Jang, 2011. Potential release of environmental flow through irrigation reservoir, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 53(6): 101-109 (in Korean).
5. Lee, J. N. and J. K. Noh, 2010. Evaluation of supplying instream flow by operation rule curve for heightening irrigation reservoir, *Journal of Agricultural Science* 37(3): 481-490 (in Korean).
6. Minister of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM), 2009. Master plan report for the 4 major rivers restoration project (in Korean).
7. Noh, J. K. and J. N. Lee, 2010. Variation of water supply for instream flow from reservoirs with various magnifications of paddy irrigation area to watershed area, *Journal of Agricultural Science* 38(2): 331-341 (in Korean).