

유역배율에 따른 저수지의 하천유지용수 공급량

노재경^{1*} · 이재남²

¹충남대학교 지역환경토목학과, ²충남대학교 대학원 농공학과

Variation of water supply for instream flow from reservoirs with various magnifications of paddy irrigation area to watershed area

Jaekyoung Noh^{1*}, Jaenam Lee²

¹Dept. of Agricultural and Rural Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²Dept. of Agricultural Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

Received on 6 May 2011, revised on 24 May 2011, accepted on 20 June 2011

Abstract : To provide variation of water supply for instream flow from reservoirs with various magnifications of paddy irrigation area to watershed area, 8 reservoirs were selected to draw operation rule curve and to analyze water supplies from reservoirs. Reliability of 90% for supplying irrigation water from reservoir was able to maintain and instream flow water was able to be supplied only in the reservoir with magnification of paddy irrigation area to watershed area above 3. The more magnification of paddy irrigation area to watershed area increased, the more ratio of irrigation water to total water storage decreased, and the more ratio of instream flow water to total water storage increased. From the heightening 113 reservoirs in Korea, annual irrigation water was estimated to 1,146.05 Mm³ in normal operation, 839.57 Mm³ in withdrawal limited operation, and annual instream flow water was estimated to 149.68 Mm³ in normal operation, 283.19 Mm³ in withdrawal limited operation. It was concluded that withdrawal limited operation was followed to have the premise of saving irrigation water, more instream flow water was able to be supplied from reservoirs with high magnification of paddy irrigation area to watershed area.

Key words : Magnification, Paddy area, Watershed area, Instream flow, Heightening reservoir

I. 서론

하천유지용량을 공급할 수 있는 최소 유역배율은 얼마이고, 유역배율에 따라 하천유지용량의 공급량은 얼마나 증가하는지 파악하는 것은 전체 수계의 갈수기 하천유량관리를 위해 필요하다.

유역면적을 수해면적으로 나눈 값을 유역배율이라 하며, 관개용 저수지는 3 이상 되어야 관개용수를 부족없이 공급할 수 있는 것으로 판단하고 있다. 저수지 뚝 높이기 사업의 113개 저수지를 분석하면 유역배율이 3이하는 37개소, 3~10은 58개소, 10이상은 18개소에 이르러, 3이하의 비율은 32.7%에 이른다.

뚝 높이기 저수지는 관개용수 공급 외에 하천유지용수를

공급하는 목적이 있기 때문에 용수 공급의 경쟁을 피할 수 없다. 그러나 관개용수의 부족을 감수하면서 하천유지용수를 공급하는 것은 현실적으로 수용하기 어렵다. 지금까지 저수지 운영 방법 특히, 관개용수 공급의 이수관리를 위해 정립된 것은 없는 실정이며, 뚝 높이기 사업에 따라 저수지로부터 하천유지용수를 동시에 공급해야 되기 때문에 보다 현실적인 이수관리방법이 마련되어야 한다. 일본에서 제시한 관개용 저수지의 이수관리를 위한 방법(Senga, 1989)은 관개기말부터 거꾸로 하천유량과 관개 필요수량을 비교하여 부족수량을 누가시켜 작성된 곡선이다. 주로 관개용수 공급을 위해 작성하였으나 타 용수를 위해서도 작성할 수 있으며, 우리나라 다목적댐의 시기별 확보수위도 이 방법에 의해 계산하고 있다.

Kim 등(1992)은 예당저수지의 이수관리곡선을 작성하였고, Kim 등(2003)은 이수관리곡선에 의해 윤환관개모형

*Corresponding author: Tel: +82-42-821-5796

E-mail address: jknoh@cnu.ac.kr

을 개발하여 동화댐 수혜지역에 적용하였다. Lee와 Noh (2010)는 이수관리곡선에 의해 백곡지의 하천유지용수 공급량을 분석하였다. Noh(2009)는 논산천의 상류에 위치한 탐정, 대둔, 계룡, 갑천저수지 등의 증고 시나리오에 따른 논산관측소 지점의 하천유지유량 증가효과를 분석하였다. Kim 등(1998)은 홍수조절용량이 관개용수공급에 미치는 영향을 검토하기 위해 방류제한강도 개념을 도입하여 예당지에 적용하였다. 또한 Noh와 Lee(2011)는 도시하천의 하천유지유량 공급을 위한 저수지 운영방법을 제시하였다.

또한 저수지 운영은 효율적인 홍수조절과 용수공급을 위해 적절하게 이뤄져야 한다. Rohde와 Naparaxawong(1981)은 2단계 최적화에 의해 상하 한계 저수량을 갖는 저수율을 결정하는 방법을 제안하여 태국의 발전, 관개 및 하천 저수유량 증대를 위한 연계 저수지에 적용하였다. Wei와 Hsu (2009)는 다목적 저수지군의 실시간 홍수조절을 위해 나무형의 최적 방류 기준을 설정하였으며, 2004년의 Aere, Haima, Nock-ten 등 태풍에 대해 대만의 Tanshui 강 저수지 군에 적용한 결과 기존 방법에 비해 침투유량 감소, 목표 저수량 달성 등에서 우수하다고 하였다. Chang 등 (2010)은 제약조건이 있는 유전자 알고리즘(CGA)의 최적 저수지 운영 방법을 제안하여 대만의 Shihmen 저수지와 하류하천에 적용한 결과 인간을 위한 용수부족을 적게 하고 자연을 위한 생태유량을 증가시키는 효과를 보여주었다. Ngo 등(2007)은 최적화와 모의 방법을 병합하여 베트남의 Hoa Binh 저수지의 홍수조절과 발전, 갈수기의 수위 확보를 위한 운영 전략을 수립하였다.

한편, Kwon과 Shim(1997)은 홍수기에 이수 및 치수 목적수위를 검토하여 대청댐에 대해 가변제한수위 개념을 도입하였다. Kwon과 Shim(1998)은 홍수가 예상될 때 무피해 방류량 이상의 홍수유입량의 적정 방류량을 결정하는 홍수변환법을 대청댐에 적용하였다. Jeong 등(2005)은 최적화 기법인 타부탐색에 의해 퍼지의 제어규칙을 설정하여 충주댐에 적용한 결과 침투방류량, 총 방류량이 감소되고, 홍수 후 가용 수자원의 양이 증가되는 결과를 얻었다. Yi와 Kwon(2007)은 대청 다목적댐의 홍수조절 공간과 이수 공간을 재할당하여 홍수피해를 최소화하고 용수공급량을 증대하는 방안을 검토하였다.

이 연구에서는 유역배율이 다른 독높이기 대상 저수지를 몇 군데 선정하여 관개용수와 하천유지용수를 동시에 공급하는 이수관리곡선을 작성하고, 정상운영 및 이수관리 운영에 의한 하천유지용수 공급량을 분석하고, 유역배율별, 저수용량별 공급능력을 분석하여 전체 독 높이기 대상 저수지의 하천유지용수 공급능력을 추정하고자 한다.

II. 연구자료 및 방법

1. 연구자료

113개의 독높이기 대상저수지를 유역배율별로 분포시키면 Fig. 1과 같으며, 유역배율 분포가 고르게 임의로 원창, 반계, 천천, 서상, 지소, 탐정, 백곡, 덕용저수지 등 8개소를 선정하였다.

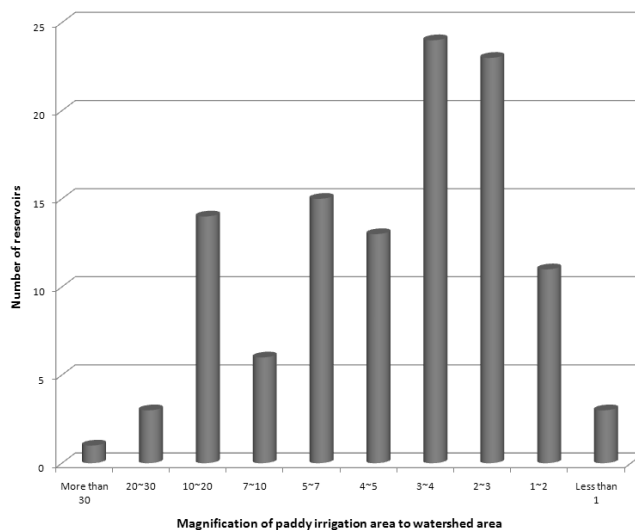


Fig. 1. Distribution of magnification of paddy irrigation area to watershed area on reservoirs to be heightened.

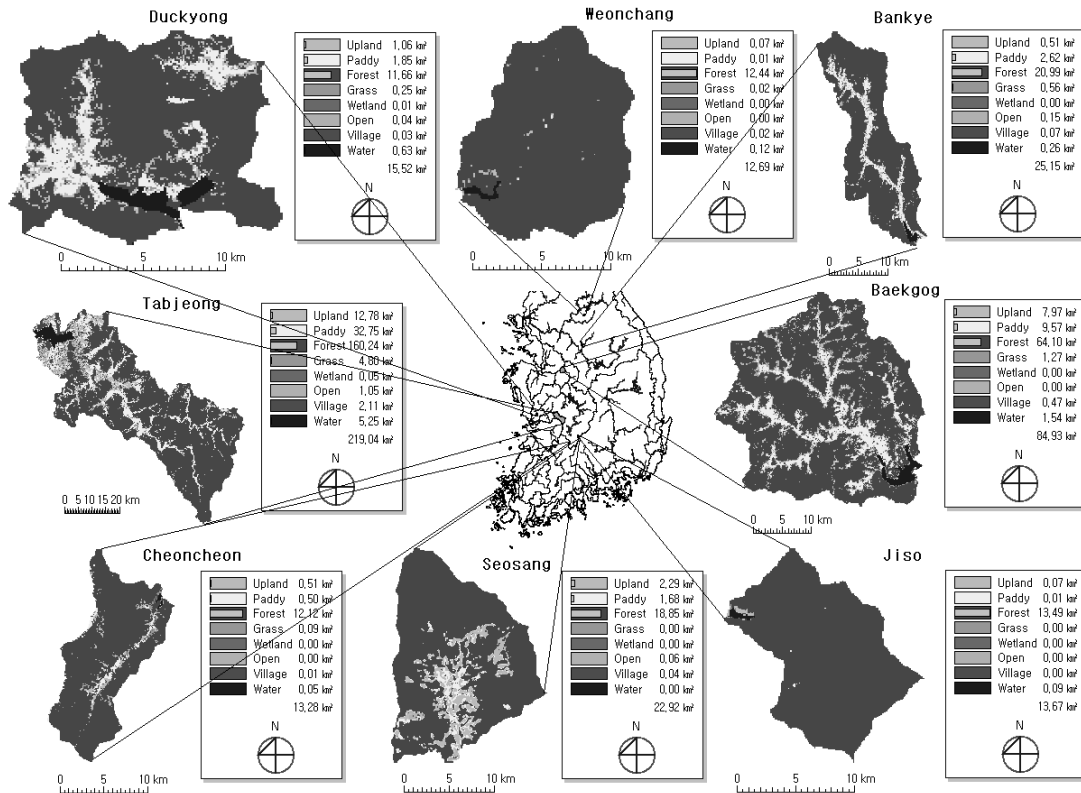


Fig. 2. Land uses of reservoir watersheds selected.

Table 1. Characteristics of heightening reservoirs selected.

River basin	Reservoir name	Watershed area (A) (ha)	Irrigated area (B) (ha)	A/B	Full water level (EL.m)	Heighten-ed (m)	Water storage(103m ³)		
							Total	Existing	Added
Total	113	247,066	85,863				877,600	625,202	252,398
Sample ratio	8	40,772	10,839	7.1			10.0	10.7	8.3
Han river	Weonchang	1,300	59	22.0	280.0	5.0	4,594	3,255	1,339
"	Bankye	2,500	176	14.2	76.0	3.0	2,840	1,746	1,094
Geum river	Cheoncheon	1,350	180	7.5	419.0	5.0	1,918	966	952
Nakdong river	Seosang	2,316	332	7.0	517.4	12.8	4,396	1,370	3,026
Geum river	Jiso	1,380	333	4.1	520.0	5	3,279	2,257	1,022
"	Tabjeong	21,880	5,713	3.8	28.3	1.0	38,289	31,585	6,704
"	Baekgog	8,479	2,975	2.9	100.1	2.0	26,618	21,750	4,868
"	Duckyong	1,567	1,071	1.5	26.0	2.0	5,698	3,854	1,844

Fig. 2는 선정된 저수지의 위치와 유역의 토지이용이며, Table 1은 선정된 저수지의 특성으로 유역배율은 최대 22, 최소 1.5에 이른다.

논 용수 수요량 및 저수지 유입량은 일별로 추정하며, 1966년부터 2010년까지의 기상자료와 강수량 자료를 사용

한다. 기상자료는 인근 기상관측소의 자료를 사용하였다. 강수량자료는 유역조사의 표준유역 자료를 사용하는 것을 기본으로 하고, 조사되지 않은 기간은 인근 기상관측소의 자료를 사용하는 것으로 하였다.

2. 연구방법

연구내용과 흐름은 Fig. 3과 같다. 첫째 선정된 저수지로부터 관개용수와 하천유지용수를 공급하는 이수관리곡선을 작성한다. 둘째, 관개용수와 하천유지용수를 공급할 때 저수량 변화를 모의한다. 셋째 하천유지용수 공급량을 평가하여 추정공식을 유도한다. 넷째, 추정공식을 적용하여 113개 저수지로부터의 하천유지용수 공급량을 추정한다.

가. 이수관리곡선 작성

이수관리곡선은 하천유량과 용수수요량의 차이를 거꾸로 누가시켜 얻은 곡선이다(Senga, 1989). 농업용수는 관개기말을 시점으로 거꾸로 계산하며, 다른 용수는 용수수요가 끝나는 시점을 기준으로 해야 하나 편의상 연말이나 관개기말을 기준으로 한다. 필요저수량(V)은 식(1)과 같이

저수지 유입량(QI)에서 관개용수량(Req)과 하천유지유량(Qm)을 공급하고 남은 값이 양이면 감소하고, 음이면 증가하며, 이를 거꾸로 누가한 값이 시기별 확보 저수량이 된다. 또한 필요저수량이 0 보다 적으면 식(2)와 같이 0으로 한다.

$$V(t) = V(t+1) - (QI(t) - Req(t) - Qm(t)) \quad (1)$$

$$\text{if } V(t) < 0 \text{ then } V(t) = 0 \quad (2)$$

또한 용수 수요량을 제한하여 공급량을 새롭게 산정하여 작성한 것은 방류제한곡선이 되며, 5~50%까지 5% 간격으로 방류제한곡선을 작성한다. 예로 방류제한율 5%이면 용수수요량의 95%를 공급하는 것이며, 저수량이 이수관리곡선 이하로 내려오면 해당 방류제한율 만큼 방류를 제한하여 용수를 절약한다. 여기서 50% 이상의 방류제한율은 50%로 하였다.

한편, Noh와 Lee(2011)는 도시하천 유지용수 공급을 위한 이수관리곡선을 저수량 모의 결과의 빈도 개념을 도입한 새로운 방법을 제시하였으며, Senga의 방법에 비해 적용성과 효율성이 높다고 하였다.

(1) 저수지 유입량 모의

저수지 유입량 모의에는 Fig. 4와 같이 회귀수를 고려한 DAWAST 모형(Noh, 2003)을 사용하며, 논용수량의 일별 수요량(Noh, 2004)을 추정하여 그의 35%를 회귀수로 반영한다(MOCT와 KOWACO, 2006).

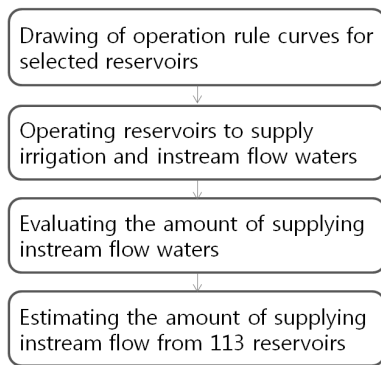


Fig. 3. Flow of this study.

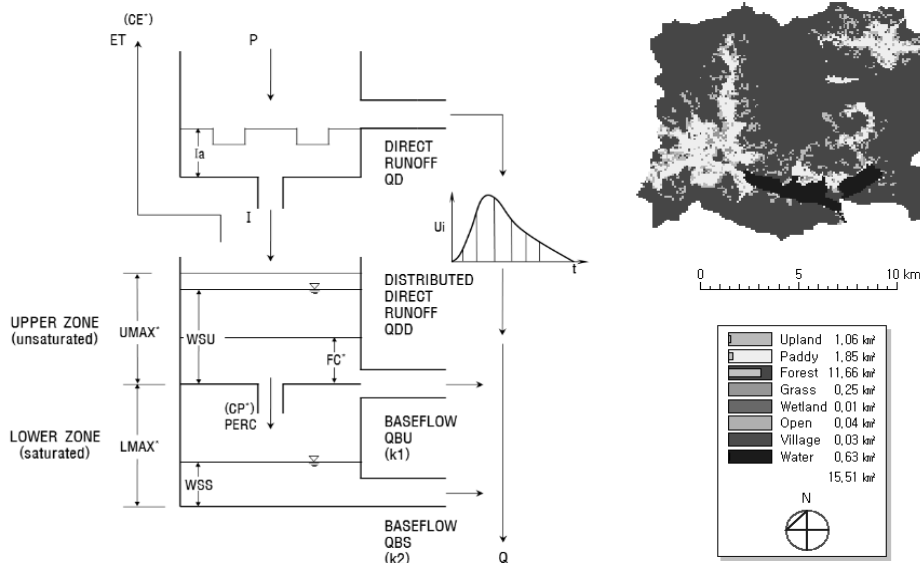


Fig. 4. Modeling concept of DAWAST model responded by return flows.

DAWAST 모형은 우리 고유의 기상, 지상자료를 이용하여 개발한 개념적 집중형 일 유출 모형이다. 토양층을 불포화층과 포화층으로 구분하고 물수지에 의해 토양수분저류능을 일별로 나타낸다. 일 강우 및 증발 자료를 입력하여 불포화층의 높이(Umax), 포화층의 높이(Lmax), 포장용수량 높이(FC), 심층투수계수(CP), 유역증발산계수(CE) 등 6개 매개변수를 조정하여 일 유출을 모의한다(Noh, 1991).

(2) 관개용수 수요량 추정 및 목표 하천유지유량

논에서 벼가 필요로 하는 수량은 식(3)과 같이 증발산량(ET)과 침투량(I)를 더한 감수심에서 유효유량(Re)를 뺀 값이다. 증발산량은 식(3)의 잠재증발산량(ETo)에 작물계수를 곱해 구하며, 잠재증발산량은 태양복사량(Rn, mm/day)과 풍속함수(f)와 포화증기압과 실제증기압의 차이(ea-ed)의 온도가중값(W)과 기상조건 조정값(C)에 의해 산정하는 수정 Penman 법에 의하며, 현재 우리나라에서 논이 증발산량을 추정하는 표준 방법이다.

한편, 논이 담수심(D)은 식(5)와 같이 유효유량(Re)과 관개수량(Req)에 의해 증가하고 소비수량(U)에 의해 감소한다. 이로부터 저수지로부터 공급되는 관개수량은 식(6)과 같이 계산된다(Noh, 2004).

$$ETo = C [W \cdot Rn + (1-W) \cdot f(u) \cdot (ea-ed)] \quad (3)$$

$$Req(t) = ET(t) + I(t) - Re(t) \quad (4)$$

$$D(t) = D(t-1) + Re(t) + Req(t) - U(t) \quad (5)$$

$$Req(t) = D(t) - D(t-1) - Re(t) + U(t) \quad (6)$$

하천유지유량은 대개 평균갈수량 정도의 크기를 가지며, 하천 구간마다 수량과 수질 여건 등에 따라 다르며, 최근 자연사회환경을 고려하여 그 크기가 증가하는 있는 추세이다. 수계별로 다목적 댐 유입량 자료로 분석한 평균갈수량은 0.1~0.14 mm/일의 값을 갖는 것으로 나타났다. 이 연구에서는 편의상 0.2 mm/일로 설정하며, 이수안전도가 90%가 유지되면 그 이상을 공급하는 것으로 한다.

4대강 살리기 추진본부는 독 높이기로 확보한 저수량에 의해 하천유지유량을 갈수기에 1~3개월 집중 공급하는 방안을 검토하였다(MLTM, 2009). 여기서는 단순하게 관개기가 아닌 10월에서 3월 사이에 0.2 mm/일을 기본으로 이수안전도 90%에 이르는 하천유지유량을 공급하는 것으로

설정하였다.

나. 저수지 운영

독 높이기 저수지에 홍수조절용량을 설정해야 되기 때문에 기본적으로 홍수기 제한수위를 6월 21일부터 7월 20일, 7월 21일부터 8월 20일, 8월 21일부터 9월 20일까지 3단계로 기간을 설정하는 것으로 한다.

일별 저수량 변화를 모의하여 용수공급량을 분석한다. 저수지로부터 관개용수와 하천유지용수를 공급할 때 저수량(S)은 식(7)과 같이 유입량(QI)에 의해 증가하고, 저수지 수면증발량(EW), 관개용수공급량(Req)과 하천유지유량(Qm)에 의해 감소한다. 저수위(H)가 만수위(FH)를 초과하거나 홍수기에 홍수제한수위(FL1, FL2, FL3 등)을 초과하면 식 (8)~식(10)과 같이 월류량(OV)이 발생한다. 여기서 FS는 만수위 저수량, FS1, FS2, FS3는 각각 단계별 홍수제한수위 저수량이다.

$$S(t) = S(t-1) + QI(t) - EW(t) - Req(t) - Qm(t) \quad (7)$$

$$OV(t) = S(t) - FS1, \text{ if } H(t) > FL1, \text{ if } 6.21, \leq t < 7.20. \quad (8)$$

$$OV(t) = S(t) - FS2, \text{ if } H(t) > FL2, \text{ if } 7.21, \leq t < 8.20. \quad (9)$$

$$OV(t) = S(t) - FS3, \text{ if } H(t) > FL3, \text{ if } 8.21, \leq t < 9.20. \quad (10)$$

관개용수가 위주이기 때문에 용수공급능력의 판단은 이수안전도 90%에 상당하는 것으로 한다.

다. 용수 공급량 분석 및 추정공식 유도

유역배율이 증가하면 하천유지용수 공급량이 증가하고, 마찬가지로 저수량이 증가하면 공급량이 증가할 것으로 예상할 수 있다. 선정된 저수지의 하천유지용수 공급량을 분석하여 식(11)의 추정공식을 유도한다.

$$Qs = a M^b S^c \quad (11)$$

여기서, Qs는 하천유지용수 공급량, M은 유역배율, S는 저수량, a, b, c는 계수이다.

라. 113개 독높이기 저수지의 하천유지용수 공급량 추정
식(11)의 활용성이 인정되면 독 높이기 대상 총 113개 저

수지로부터의 하천유지용수 공급량을 추정한다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 저수지 유입량

덕용저수지의 예를 나타내며, 나머지는 생략하였다. 1991년부터 2010년까지 덕용지의 저수량 자료를 이용하여 저수지 일 유입량 모형의 매개변수를 결정하였다. 보정기간은 1991년부터 2000년까지, 검정기간은 2001년부터 2010년

까지 설정하여 식(12)의 목적함수로 Simplex 법(Mathews, 1987; Nelder와 Mead, 1965)에 의해 매개변수를 결정한 결과 Fig. 5와 같이 UMAX 305.8, LMAX 36.8, FC 128.7, CP 0.0142, CE 0.0079 등으로 나타났다. Fig. 6의 저수량 변화와 Fig. 7, Fig. 8의 등가선 비교에서 양호한 결과를 보여줘 유입량의 모의 결과가 적합한 것으로 인정하였다.

여기서 특이한 사항은 덕용저수지의 수해면적 1,071 ha (<http://rims.ekr.or.kr>)에 관개용수를 공급하는 경우는 저수량이 크게 부족하게 나타났으며, 관측저수량과 차이가 최소로 되는 수해면적은 550 ha에 불과하였다는 것이다.

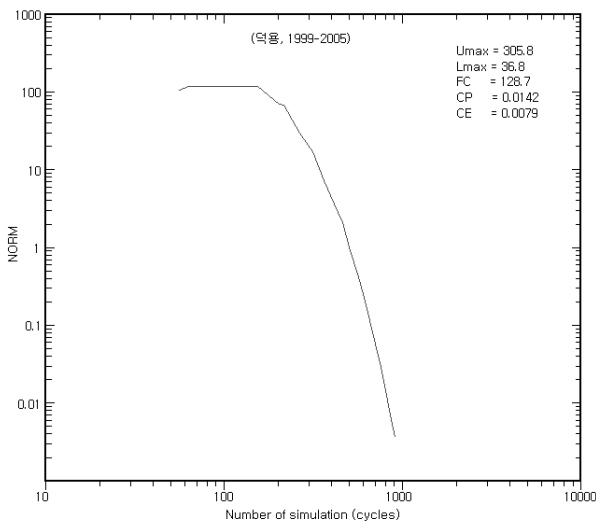


Fig. 5. Optimizing parameters for inflows to reservoir using observed daily water storages in Duckyong reservoir from 1995 to 2005.

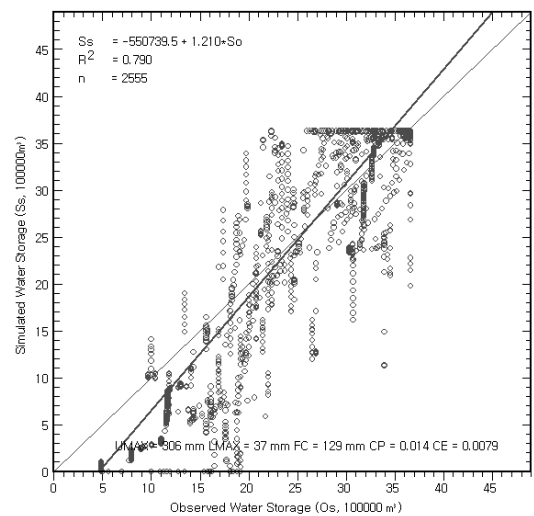


Fig. 7. Equal value line between observed and simulated daily water storages of Baekgog reservoir in calibration period (1999-2005).

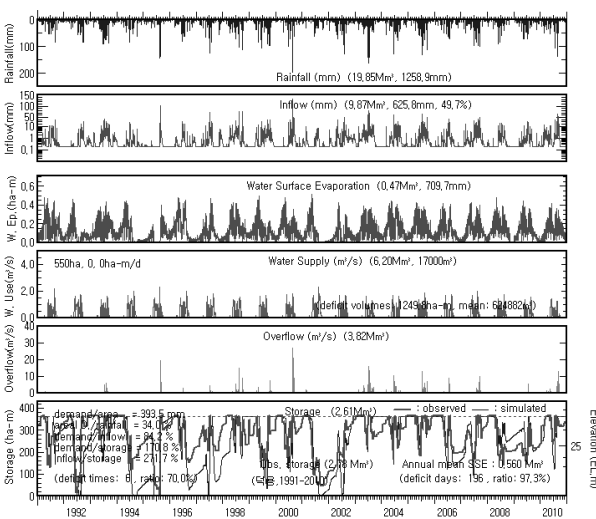


Fig. 6. Comparison of observed and simulated daily water storages in Duckyong reservoir from 1991 to 2010.

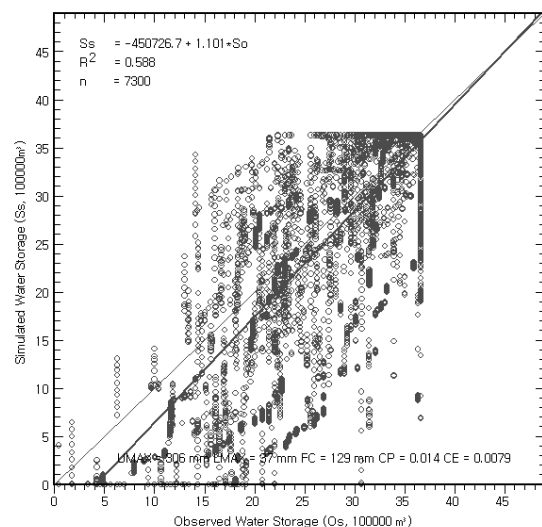


Fig. 8. Equal value line between observed and simulated daily water storages of Duckyong reservoir in verification period (1991-2010).

$$Objective\ function = \min \frac{1}{nyear} \frac{1}{365} \sum (O_s - S_s) \quad (12)$$

여기서 nyear는 연수, O_s 는 관측 일 저수량, S_s 는 모의 일 저수량이다.

결정된 매개변수를 1991년부터 2010년까지 덕용지의 유입량을 모의하는데 적용한 결과 강우량은 연평균 1,258.9 mm, 유입량은 625.8 mm로 나타나 유출률은 49.7 %이었다.

2. 관개용수 수요량

식(6)에 의해 수해지역의 관개용수를 일별로 추정하였으며, Fig. 9는 덕용저수지의 수해면적 1,071 ha의 관개용수 수요량을 일별로 추정한 예로 연 12.24백만 m^3 에 이르렀다. Table 2는 선정된 8개 저수지의 수해면적의 수요량을 추정한 결과이며, 10,839 ha의 수해면적에 연평균 121.77

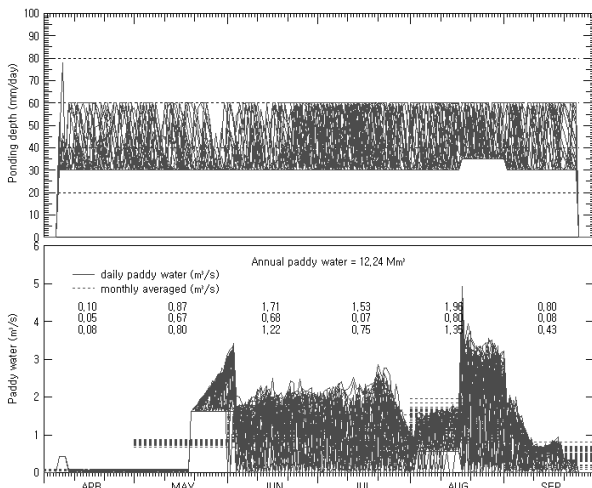


Fig. 9. An example of estimating daily paddy water requirements (Duckyong).

Table 2. Summary of estimating paddy water requirements in paddy fields of 8 selected reservoirs.

River basin	Reservoir name	Mean annual (Mm ³)	Mean monthly paddy water (m ³ /s)					
			APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP
Han river	Weonchang	0.65	0.004	0.043	0.070	0.037	0.070	0.023
"	Bankye	1.97	0.01	0.13	0.21	0.11	0.22	0.07
Geum river	Cheoncheon	1.98	0.01	0.13	0.19	0.13	0.22	0.07
Nakdong river	Seosang	4.07	0.02	0.25	0.39	0.28	0.45	0.15
Geum river	Jiso	3.90	0.02	0.25	0.39	0.24	0.43	0.14
"	Tabjeong	62.50	0.40	4.23	6.25	3.70	6.87	2.17
"	Baekgog	34.46	0.21	2.20	3.60	2.10	3.72	1.19
"	Duckyong	12.24	0.08	0.80	1.22	0.75	1.35	0.43
Sum		121.77	0.75	8.03	12.32	7.35	13.33	4.24

백만 m^3 에 이르는 것으로 산정되었다.

3. 이수관리곡선 작성

Senga(1989) 방법과 Noh와 Lee(2011) 방법에 의해 저수지 유입량, 관개용수 및 하천유지용수 공급량을 적용하여 이수관리곡선을 작성하였다. 4 m 증고된 덕용저수지의 예를 나타냈으며, 나머지는 생략하였다.

4 m 증고된 덕용저수지는 만수위 EL. 30.0 m, 총저수량 708만 m^3 , 수해면적 1,071 ha이며, 0.2 mm/일에 상당하는 3,154 m^3 /일의 하천유지유량을 10월부터 3월까지 공급하는 경우에 대해 식(1)의 Senga(1989) 방법에 의해 이수관리곡선을 작성한 결과는 Fig. 10과 같다. 최대 필요저수량은 1,222만 m^3 으로 나타났으며, 만수위의 저수량 708만 m^3

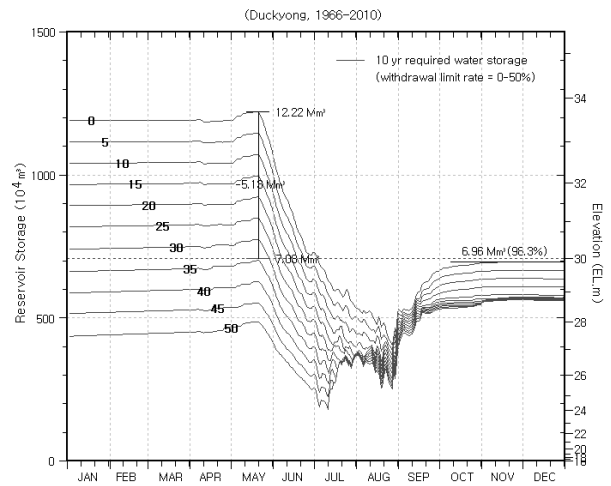


Fig. 10. Operation rule curve of Duckyong reservoir with full water level of EL.30.0 m for irrigating to paddy field of 1,071 ha and for supplying instream flow of 3,154 m^3 /d from October to March by Senga's method.

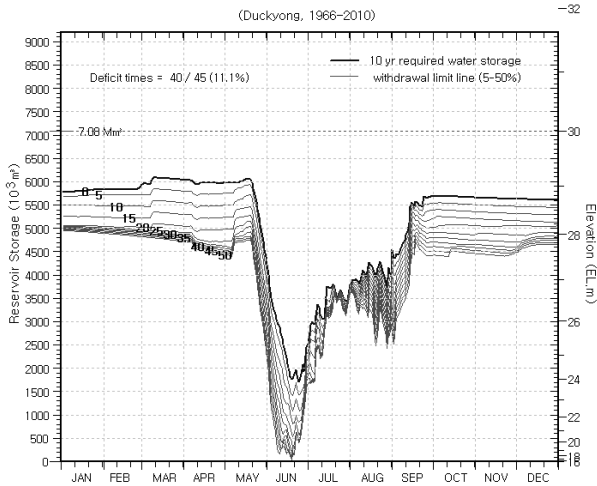


Fig. 11. Operation rule curve of Duckyong reservoir with full water level of EL.30.0 m for irrigating to paddy field of 1,071 ha and for supplying instream flow of 3,154 m³/d from October to March by simulation based new method.

을 크게 초과하였고, 연말 저수량 확보를 위해서도 7월부터 용수를 제한해야 하는 것으로 나타나, 1,071 ha의 수해면적에 관개용수를 공급하는데 저수량이 부족한 것으로 나타났다.

똑같은 조건으로 Noh와 Lee(2011)의 방법에 의해 이수관리곡선을 작성한 결과는 Fig. 11과 같다.

여기서, Senga(1989)의 방법에 의해 모의한 최대 필요저수량이 1,222만 m³으로 크게 나타난 것은 수해면적이 1,071 ha로 넓어 필요수량이 많기 때문에 나타난 것으로 추정되며, 총저수량이 1,222만 m³이면 이수안전도는 90%에 이를 것이지만 총저수량 708만 m³에 불과하여 이수안전도는 당연히 90%에 미치지 못할 것으로 예상할 수 있다. 따라서 이와 같은 경우의 Senga(1989)의 이수관리곡선은 사용할 수 없으며, Noh와 Lee(2011)의 모의에 의한 작성한 이수관리곡선을 사용하는 것이 타당하다 할 수 있다. Noh와 Lee(2011)는 새로운 방법의 이수관리곡선이 유일성, 안정성, 홍수기 적용성, 효율성 등에서 Senga(1989) 방법보다 우수하다고 하였다.

4. 저수지 운영

4 m 증고한 덕용저수지의 운영결과는 Fig. 12와 같으며, 나머지는 Table 3에 정리하였다. 덕용저수지로부터 1,071 ha의 수해면적의 관개용수와 10월부터 3월까지 3,154 m³/일의 하천유지용수를 정상 공급하는 경우 정상운영한 결과

는 45년 중 33년에서 용수부족이 발생하여 이수안전도는 26.7%에 불과하였고, 관개용수공급량은 853만 m³/년, 하천유지용수 공급량 0 m³/년, 용수부족량은 428만 m³/년, 저수량은 287만 m³이었고, 용수공급 제한 운영 결과는 45년 중 11년에서 용수부족이 발생하여 이수안전도는 75.6%에 이르러 마찬가지로 이수안전도 90%에 미치지 못하였고, 관개용수공급량은 745만 m³/년, 하천유지용수 공급량 34만 m³/년, 용수부족량은 133만 m³/년, 저수량은 396만 m³이었다.

나머지 저수지에 대해서도 정상운영한 경우와 용수공급 제한 운영한 경우를 종합하면 Table 3과 같으며, 관개용수는 정상운영하면 연평균 115.44백만 m³ 공급할 수 있었으나 용수공급 제한운영하면 81.68백만 m³에 불과하여 무려 30%에 상당하는 34.12백만 m³의 용수를 절약하는 것으로 나타났다. 또한 하천유지용수는 정상운영하면 연평균 19.36백만 m³ 공급할 수 있었으나 용수공급 제한운영하면 62.41백만 m³으로 무려 3.2배나 증가하는 것으로 나타났다. 총용수공급량은 정상운영한 경우 134.80백만 m³, 용수공급 제한운영하면 144.09백만 m³으로 나타나 9.71백만 m³ 증가하는 것으로 나타났다. 저수지의 용수공급의 제한운영은 관개용수의 절약에 전제로 하천유지용수 공급의 효율을 높이는 것이라 할 수 있다.

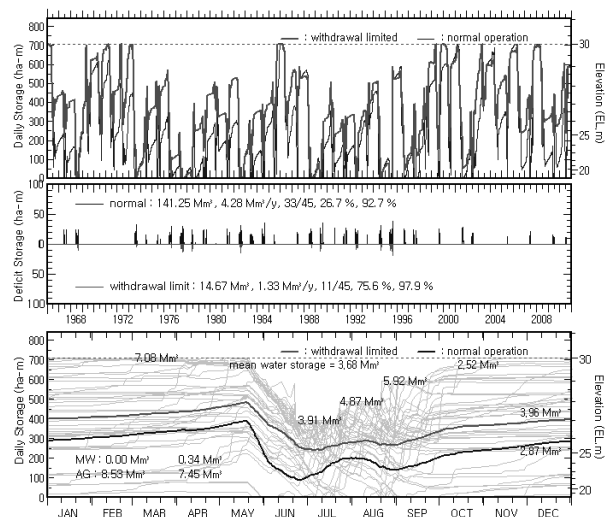


Fig. 12. Comparison of water storages with normal operation and withdrawal limited operation by simulation based rule curve in Duckyong reservoir with full water level of EL.30.0 m and flood regulating levels of EL 27.0 m (6.21-7.20.), EL 28.0 m (7.21-8.20.), and EL 29.0 m (8.21-9.20.) in case of irrigation and instream water supply.

한편, 정상운영하는 경우 백곡저수지와 덕용저수지로부터는 하천유지용수를 전혀 공급할 수 없는 것으로 나타났고, 이수안전도도 90%에 이르지 못하였다. 백곡저수지의 유역배율은 2.9이며, 이수안전도는 89%로 나타나 관개용수의 이수안전도가 90%가 되려면 유역배율은 3은 되어야 하는 것으로 확인하였다. 유역배율이 1.5인 덕용저수지의 이수안전도는 정상운영 26.7%, 용수공급 제한운영 75.6%에 불과하였다.

5. 하천유지용수 공급량 추정

Table 3의 용수공급량을 Table 1의 총저수량으로 나누는

값을 종속변수, 유역면적을 수혜면적으로 나는 유역배율을 독립변수로 하여 회귀분석할 때 유의한 결과를 얻었다. 정상운영과 용수공급 제한운영으로 구분하고 관개용수와 하천유지용수 공급량으로 구분하여 Fig. 13~Fig. 16, 식(13)~식(16)의 관계식을 얻었다. 식(13), (15)는 정상운영, 식(14), (16)은 용수공급 제한운영의 경우이다.

$$Q_i / S = -0.063 M + 1.526, R^2 = 0.893 \quad (13)$$

$$Q_i / S = -0.051 M + 1.134, R^2 = 0.848 \quad (14)$$

$$Q_s / S = 0.801 \ln(M) - 0.920, R^2 = 0.954 \quad (15)$$

Table 3. Results of supplying waters from 8 selected reservoirs by normal and withdrawal limited operation.

River basin	Reservoir name	Watershed area (A) (ha)	Irrigated area (B) (ha)	A/B	Normal				Withdrawal limited			
					Irr. (Mm ³ /y)	Instream (Mm ³ /y)	Deficit (Mm ³ /y)	Re. (%)	Irr. (Mm ³ /y)	Instream (Mm ³ /y)	Deficit (Mm ³ /y)	Re. (%)
Total	113	247,066	85,863		1146.05	149.68			839.57	283.19		
Sum	8	40,772	10,839		115.44	19.36	23.65	83.89	81.68	62.41	7.09	94.46
Ratio(%)	7.1	16.5	12.6		10.1	12.9			9.7	22.0		
Han river	Weonchang	1,300	59	22.0	0.65	4.15	0.83	95.6	0.32	4.05	0.61	97.8
"	Bankye	2,500	176	14.2	1.95	3.27	0.10	93.3	1.30	3.65	0.0	100
Geum river	Cheoncheon	1,350	180	7.5	1.89	1.60	0.65	91.1	1.22	1.91	0.14	97.8
Nakdong river	Seosang	2,316	332	7.0	3.99	2.69	0.94	91.1	2.64	4.63	0.48	97.8
Geum river	Jiso	1,380	333	4.1	3.70	0.36	0.39	93.3	2.53	2.51	0.32	95.6
"	Tabjeong	21,880	5,713	3.8	60.99	7.29	11.77	91.1	41.24	31.73	2.82	97.8
"	Baekgog	8,479	2,975	2.9	33.74	0.00	4.69	88.9	24.98	13.59	1.39	93.3
"	Duckyong	1,567	1,071	1.5	8.53	0.00	4.28	26.7	7.45	0.34	1.33	75.6

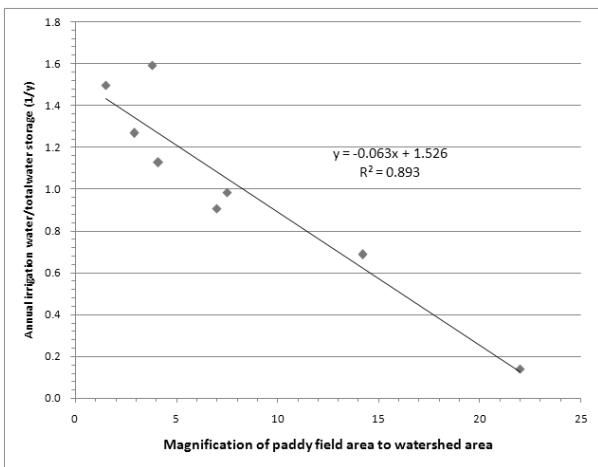


Fig. 13. Relationship between magnification of paddy irrigation area to watershed area and annual irrigation water divided by total water storage in normal operation.

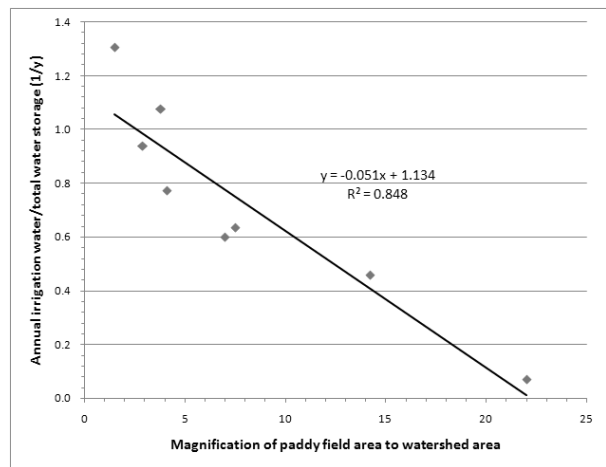


Fig. 14. Relationship between magnification of paddy irrigation area to watershed area and annual irrigation water divided by total water storage in withdrawal limited operation.

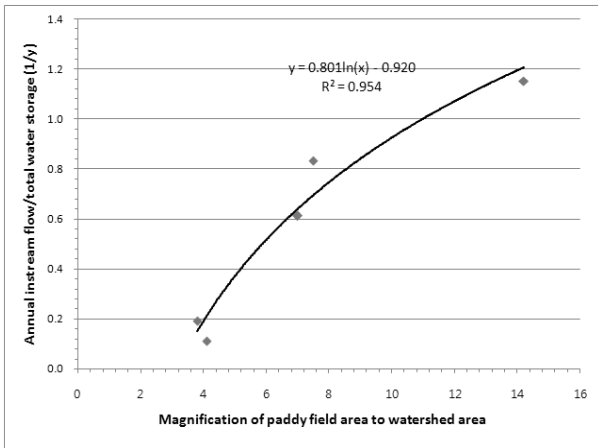


Fig. 15. Relationship between magnification of paddy irrigation area to watershed area and annual instream flow water divided by total water storage in normal operation.

$$Q_s / S = 0.444 \ln(M) + 0.134, R^2 = 0.930 \quad (16)$$

식에서 Q_i 는 연 관개용수 공급량, Q_s 는 연 하천유지용수 공급량, S 는 총저수량, M 은 유역배율이다.

유역배율에 따라 용수공급량이 뚜렷하게 변화하는 것을 확인하였으며, 유역배율이 증가하면 관개용수 공급량/저수량은 감소하고, 하천유지용수 공급량/저수량은 증가하였다.

식(13)~식(16)의 관계식을 독높이기 저수지 113개소 전체에 적용하면, 연 관개용수량은 정상운영시 1,146.05백만 m^3 , 용수공급 제한운영시 839.57백만 m^3 , 연 하천유지용수 공급량은 정상운영시 149.68백만 m^3 , 용수공급 제한운영시 283.19백만 m^3 에 이르는 것으로 추정되었으며, Table 3에 제시하였다.

여기서, 유역배율이 3이하인 경우는 하천유지용수 공급량이 0으로 처리되었으며, 맹동, 장찬, 오태, 담양 등은 간접유역을 갖는 저수지로 면밀하게 검토되어야 하나 여기서는 유역배율이 3이하이기 때문에 모두 함께 0으로 처리되었다.

IV. 결론

유역배율이 다른 독 높이기 저수지 8개소 저수지를 선정하여 이수관리곡선을 작성하고, 정상운영 및 용수공급 제한운영에 의해 용수공급량을 분석하고, 유역배율에 따른 용수공급량의 변화를 분석한 결과는 다음과 같다.

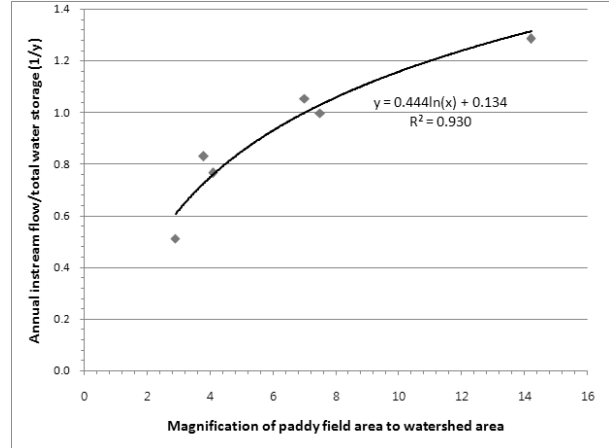


Fig. 16. Relationship between magnification of paddy irrigation area to watershed area and annual instream flow water divided by total water storage in withdrawal limited operation.

첫째, 유역배율이 3이상이어야 관개용수의 이수안전도 90%를 달성할 수 있는 것을 확인하였으며, 하천유지용수 공급도 유역배율이 적어도 3이상이어야 가능한 것으로 분석되었다.

둘째, 유역배율이 증가하면 연 관개용수 공급량/저수량은 감소하고, 연 하천유지용수 공급량/저수량은 증가하는 관계식을 제시하였다.

셋째, 전체 독높이기 저수지 113개소로부터 연 관개용수량은 정상운영시 1,146.05백만 m^3 , 용수공급 제한운영시 839.57백만 m^3 , 연 하천유지용수 공급량은 정상운영시 149.68백만 m^3 , 용수공급 제한운영시 283.19백만 m^3 에 이르는 것으로 추정되었다.

종합하면 이수관리 곡선을 이용한 용수공급의 제한운영은 관개용수의 절약을 전제하며, 이로부터 하천유지용수의 공급은 유역배율이 높을수록 효과가 높았다.

참고 문헌

- Chang LC, Chang FJ, Wang KW, Dai SY. 2010. Constrained genetic algorithms for optimizing multi-use reservoir operation. *Journal of Hydrology* 390(1-2): 66-74.
- Jeong HW, Choi SA, Kim HS, Shim MP. 2005. Reservoir operation by Tabu search method during flood. *Journal of the Korean Water Resources Association* 38(9): 761-770. [in Korean]
- Kim TC, Noh JK, Park SK. 1992. Operation rule of irrigation reservoir. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*: 34(1): 33-49. [in Korean]
- Kim TC, Moon JP, Min JW, Lee HK. 1998. Optimal flood

- control volume in the irrigation reservoir. *Journal of Korean Agricultural Engineers* 40(2): 81-91. [in Korean]
- Kim TC, Lee JM, Lee DJ. 2003. A rotational irrigation scheduling for an irrigated paddy blocks with operation rule curve. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 45(5): 67-77. [in Korean]
- Kwon OI, Shim MP. 1997. Determination scheme of variable restricted water level during flood period of multipurpose dam. *Journal of the Korean Water Resources Association* 30(6): 709-720. [in Korean]
- Kwon OI, Shim MP. 1998. Reservoir operation at flood time by transformed reservoir flood (TRF) reservoir operation method (ROM). *Journal of the Korean Water Resources Association* 31(1): 105-113. [in Korean]
- Lee JN, Noh JK. 2010. Evaluation of supplying instream flow by operation rule curve for heightening irrigation reservoir. *Journal of Agricultural Science* 37(3): 481-490. [in Korean]
- Mathews JH. 1987. *Numerical Methods for Computer Science, Engineering, and Mathematics*. pp. 295-302. Prentice-Hall International, Inc.
- MOCT (Ministry of Construction and Transportation), KOWACO (Korean Water Corporation). 2006. *2020 Water Vision (Modified)*. [in Korean]
- MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs). 2009. *Master Plan for 4 Major Rivers Restoration Project*. 400 pp. [in Korean]
- Nelder JA, Mead R. 1965. A simplex method for functional minimization. *The Computer Journal* 9: 308-313.
- Ngo LL, Madsen H, Rosbjerg D. 2007. Simulation and optimization modelling approach for operation of the Hoa Binh reservoir, Vietnam. *Journal of Hydrology* 336(3-4): 269-281.
- Noh JK. 1991. A conceptual watershed model for daily streamflow based on soil water storage. Ph. D. dissertation, Seoul National University, Seoul, Korea. [in Korean]
- Noh JK. 2003. Applicability of the DAWAST considered return flows. *Journal of the Korean Water Resources Association* 39(11): 1095-1105. [in Korean]
- Noh JK. 2004. A system for estimating daily paddy irrigation water requirements in simulating daily streamflow. *Journal of Korean Agricultural Engineers* 46(7): 71-80.
- Noh JK. 2009. Increasing instreamflow in Nonsancheon by water storage securing scenario of upstream reservoirs. *Journal of Agricultural Science* 36(1): 99-109, Chungnam National University. [in Korean]
- Noh JK, Lee JN. 2011. Operation rule curve for supplying urban instream flow from reservoir. *CNU Journal of Agricultural Science* 38(1): 163-172. [in Korean]
- Rohde FG, Naparaxawong K. 1981. Modified standard operation rules for reservoirs. *Journal of Hydrology* 51(1-4): 169-177.
- Senga Y. 1989. *Soft Science of Water Resources*. pp. 45-75. Rokudowu Publishing. [in Japanese]
- Wei CC, Hsu NS. 2009. Optimal tree-based release rules for real-time flood control operations on a multipurpose multi-reservoir system. *Journal of Hydrology* 365(3-4): 213- 224.
- Yi JE, Song JW. 2002. Evaluation of water supply capacity for multi-purpose dam using optimization and simulation techniques. *Journal of Korean Society of Civil Engineers* 22(6B): 811-818. [in Korean]