

## 유역배율이 작은 저수지의 이수관리방법

# Operation Rule Curve for Reservoir with Low Areal Ratio of Watershed to Downstream Paddy Field

노재경\*

Noh, Jaekyoung

### Abstract

To provide a operation rule curve for reservoir with low ratio of watershed area to paddy field area, Duckyong reservoir with watershed area of 15.8km<sup>2</sup> and paddy field area of 1,071ha was selected, in which 4 meters are being heightened and full water levels will be increased from EL.26.0m to EL.30.0m, total water storages from 365.6M m<sup>3</sup> to 708.0M m<sup>3</sup>. There was no operation rule curve that satisfied over 90% reliability of water supply in reservoir with watershed area of 1.48 times of paddy field area. The differences between observed and simulated reservoir daily water storages were minimized to determine parameters for simulating reservoir inflow in case of paddy field area of 550ha from 1991 to 2010. A operation rule curve was drawn to have a maximum storage with total water storage, which was in paddy field area of 700ha with ratio of 2.3 between watershed area and paddy field area. This case showed that annual irrigation water supply was 668M m<sup>3</sup> and instream flow of 57M m<sup>3</sup>, water supply reliability of 55.6% in normal operation, and annual irrigation water supply was 605M m<sup>3</sup> and instream flow of 38M m<sup>3</sup>, water supply reliability of 95.6% in withdrawal limited operation. Water supply reliabilities showed 35.6% without flood regulation and 17.8% with flood regulation in existing reservoir before heightening.

### I. 서론

저수지 둑 높이기에 의해 저수량을 확보하여 기존 수혜지역에 관개용수를 공급하고, 홍수를

조절하고, 하천유지유량을 공급하는 사업이 진행 중에 있다. 추가 확보된 저수량을 활용하여 하천유지유량을 어느 시기에 어느 정도 공급할 수 있는지 큰 관심이 집중되고 있다. 특히

\*충남대학교 농업생명과학대학 지역환경토목학과 교수  
(jknoh@cnu.ac.kr)

키워드 : operation rule curve; reservoir heightening;  
watershed area; paddy field area

유역배율이 작은 저수지는 관개용수 공급외에 하천유지용수의 공급이 가능한지 공급하다. 일반적으로 관개용 저수지를 설계할 때 유역면적의 수혜면적에 대한 유역배율이 3 이상은 되어야 용수공급의 신뢰도가 90%에 이르는 것으로 판단하고 있다. 그러나 113개 독 높이기 저수지 중에서 유역배율이 2이하의 저수지는 고려, 봉원, 장찬, 덕용, 도림, 담양호, 장성호, 나주호, 광주호, 왕동, 진례, 맹동, 오태, 사촌 등 14개에 이른다.

우리나라에서 저수지의 이수관리곡선에 대한 연구 사례는 있으나, 아직 실용화는 되지 않고 있는 상태이다. 이수관리곡선(Senga, 1989)은 관개기말부터 거꾸로 하천유량과 관개 필요수량을 비교하여 부족수량을 누가시켜 작성된 곡선으로 주로 관개용수 공급을 위해 작성하였으나 타 용수를 위해서도 작성할 수 있으며, 우리나라 다목적댐의 시기별 확보수위도 이 방법에 의해 계산하고 있다.

Kim et al. (1992)은 예당저수지의 이수관리곡선을 작성하였고, Kim et al. (2003)은 이수관리곡선에 의해 윤희관개모형을 개발하여 동화댐 수혜지역에 적용하였다. Lee and Noh (2010)는 이수관리곡선에 의해 백곡지의 하천유지유량 공급량을 분석하였다. Noh (2009)는 논산천의 상류에 위치한 탐정, 대둔, 계룡, 갑천저수지 등의 증고 시나리오에 따른 논산관측소 지점의 하천유지유량 증가효과를 분석하였다. 하천유지용수는 용수이용패턴이 관개용수와 다르며, 다양한 시나리오가 있을 수 있으며, 유역배율이 작은 저수지는 관개용수와 경합이 치열할 것으로 예상된다.

저수지 운영은 효율적인 홍수조절과 용수공급을 위해 적절하게 이뤄져야 한다. Rohde

and 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. Wei and 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 et al. (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 et al. (2007)은 최적화와 모의 방법을 병합하여 베트남의 Hoa Binh 저수지의 홍수조절과 발전, 갈수기의 수위확보를 위한 운영 전략을 수립하였다.

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

Kim et al. (1998)은 홍수조절용량이 관개용수공급에 미치는 영향을 검토하기 위해 방류제한강도 개념을 도입하여 해당지에 적용하였다. 또한 Noh and Lee (2011)는 도시하천의 하천유지유량 공급을 위한 저수지 운영방법을 제시하였다.

이 연구에서는 독높이기 사업이 진행 중인 저수지에서 유역배율이 2이하인 덕용저수지를 대상으로 이수관리곡선을 작성하여 관개용수 공급을 위한 이수관리의 활용성을 평가하고, 미흡한 경우 실용적인 이수관리방법을 모색하고자 하였다.

## II. 연구자료 및 방법

### 1. 연구자료

덕용저수지는 충청남도 부여군 충화면 가화리에

위치하고, 1955년에 준공하였고, 총저수량 4,111천 m<sup>3</sup>, 유효저수량 3,656.58천 m<sup>3</sup>, 유역면적 15.80km<sup>2</sup>, 수혜면적 1,071ha로 유역배율은 1.48에 불과하다(<http://rims.ekr.or.kr>). 독높이기 사업으로 4m 증고될 예정이며, 만수위는 EL. 30.0m가 되고, 총 저수량은 7,080천 m<sup>3</sup>에 이른다. 토지이용은 Fig. 1과 같으며, 밭은 1.06km<sup>2</sup>로 6.8%, 논은 1.85km<sup>2</sup>로 11.9%, 산림은 11.66km<sup>2</sup>로 75.2%를 차지하고 있다.

1991년부터 유효저수율 자료가 기록되고 있으며, 이로부터 저수량을 계산하여 유입량 모형의 매개변수를 결정하는데 사용한다.

논 용수 수요량 및 저수지 유입량은 일별로 추정하며, 1966년부터 2010년까지의 기상자료와 강수량 자료를 사용한다. 기상자료는 인근 부여 기상관측소의 자료를 사용하였다. 강우자료는 유역조사의 표준유역 자료를 사용하는 것을 기본으로 하고, 조사되지 않은 기간은 부여 자료를 사용하는 것으로 하였다.

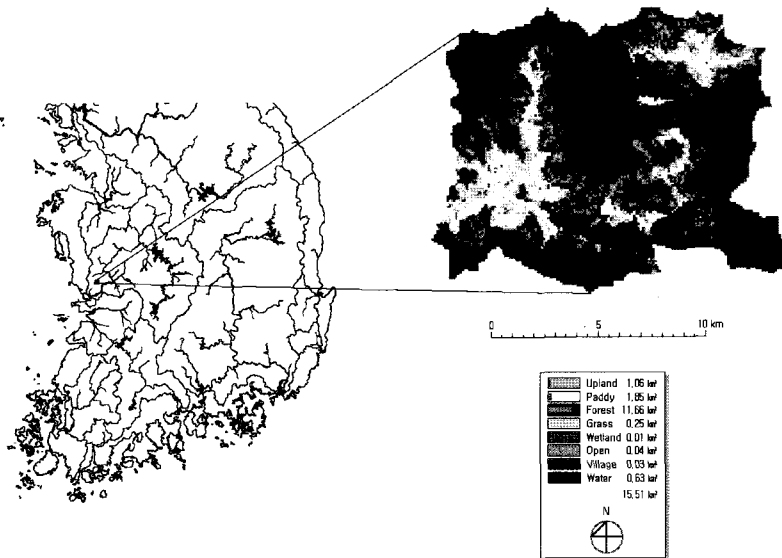


Fig. 1. Location and Land Use of Duckyong Reservoir

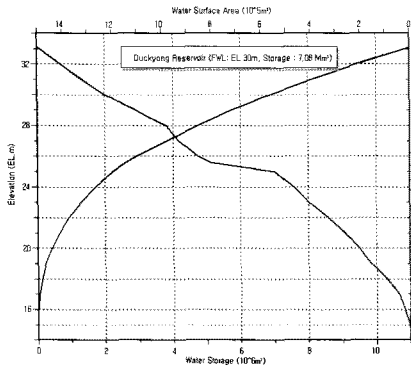


Fig. 2. Area Capacity Curve of Duckyong Reservoir

2. 연구방법

연구내용과 흐름은 Fig. 3과 같다. 첫째 저수지 유입량을 모의한다. 둘째, 관개용수 수요량을 추정하고, 목표 하천유지유량을 설정한다. 셋째 이수관리곡선을 작성한다. 넷째 작성된 이수관리곡선에 따라 저수량을 모의한 결과를 분석하여 이수관리곡선의 활용성을 평가한다. 다섯째, 저수량 모의결과와 용수공급량 수준이 만족스럽지 않으면 새로운 이수관리곡선을 모색한다.

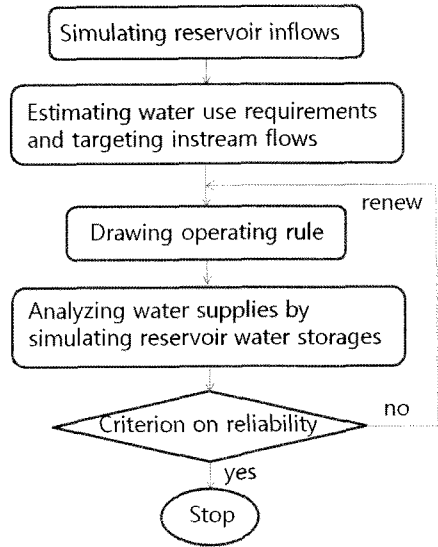


Fig. 3. Flow of This Study

가. 저수지 일별 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(MOCT and KOWACO, 2006).

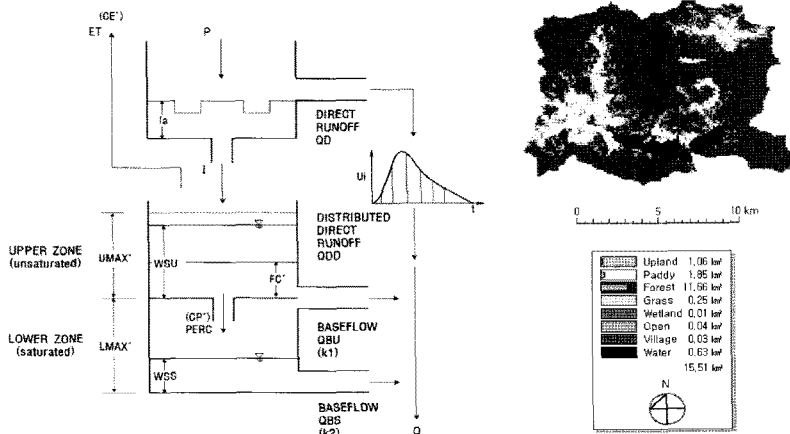


Fig. 4. Modeling Concept of DAWAST Model Responded by Return Flows

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), 유역 증발산계수(CE) 등 6개 매개변수를 조정하여 일 유출을 모의한다(Noh, 1991).

**나. 일 관개용수 수요량 추정 및 목표 하천 유지유량**

논에서 벼가 필요로 하는 수량은 식 (1)과 같이 증발산량(ET)과 침투량(I)를 더한 감수심에서 유효유량(Re)를 뺀 값이다. 증발산량은 식 (1)의 잠재증발산량(ETo)에 작물계수를 곱해 구하며, 잠재증발산량은 태양복사량(Rn, mm/day)과 풍속함수(f)와 포화증기압과 실제 증기압의 차이(ea-ed)의 온도가중값(W)과 기상조건 조정값(C)에 의해 산정하는 수정 Penman법에 의하며, 현재 우리나라에서 논의 증발산량을 추정하는 표준 방법이다.

한편, 논의 담수심(D)은 식 (3)과 같이 유효유량(Re)과 관개수량(Req)에 의해 증가하고 소비수량(U)에 의해 감소한다. 이로부터 저수지로부터 공급되는 관개수량은 식 (4)과 같이 계산된다(Noh, 2004).

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

$$Req(t)=ET(t)+I(t)-Re(t) \quad (2)$$

$$D(t)=D(t-1)+Re(t)+Req(t)-U(t) \quad (3)$$

$$Req(t)=D(t)-D(t-1)-Re(t)+U(t) \quad (4)$$

하천유지유량은 대개 평균갈수량 정도의

크기를 가지며, 하천 구간마다 수질, 수량 여건 등에 따라 다르며, 최근 자연사회환경을 고려하여 그 크기가 증가하고 있는 추세이다. 수계별로 다목적 댐 유입량 자료로 분석한 평균갈수량은 0.1~0.14mm/일의 값을 갖는 것으로 나타났다. 이 연구에서는 편의상 0.2mm/일로 설정하였다.

4대강 살리기 추진본부는 뚝 높이기로 확보한 저수량에 의해 하천유지유량을 갈수기에 1~3개월 집중 공급하는 방안을 검토하였다(MLTM, 2009). 여기서는 단순하게 관개기가 아닌 10월에서 3월 사이에 0.2mm/일의 하천유지유량을 공급하는 것으로 설정하였다.

**다. 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 (5)와 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 0보다 적으면 0으로 한다.

$$V(t)=V(t+1)-(QI(t)-Req(t)-Qm(t)) \quad (5)$$

$$\text{if } V(t)<0 \text{ then } V(t)=0 \quad (6)$$

또한 용수 수요량을 제한하여 공급량을 새롭게 산정하여 작성한 것은 방류제한곡선이 되며, 5~50%까지 5% 간격으로 방류제한곡선을

작성한다. 예로 방류제한 5%이면 용수수요량의 95%를 공급하는 것이며, 저수량이 이수관리곡선 이하로 내려오면 해당 방류제한을 만큼 방류를 제한하여 용수를 절약한다. 여기서 50% 이상의 방류제한은 50%로 하였다.

한편, Noh and Lee (2011)는 도시하천 유지용수 공급을 위한 이수관리곡선을 저수량 모의 결과의 빈도 개념을 도입한 새로운 방법을 제시하였으며, Senga의 방법에 비해 적용성과 효율성이 높다고 하였다. 이 연구에서도 같은 방법에 의해 적용성을 평가해 보고자 한다.

**라. 이수관리곡선에 의한 저수지 운영**

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

$$S(t)=S(t-1)+QI(t)-EW(t)-Req(t)-Qm(t) \tag{7}$$

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

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

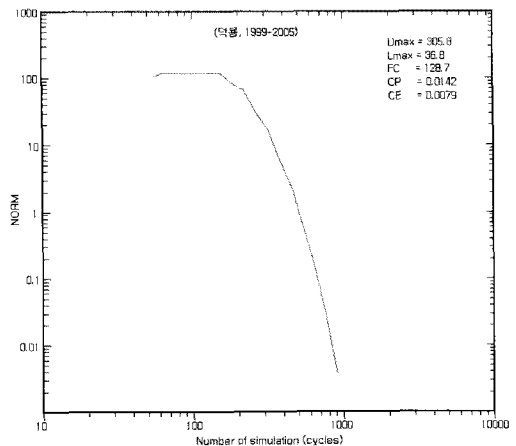
$$OV(t)=S(t)-FS3, \text{ if } H(t)>FL3, \text{ if } 8.21. \leq t < 9.20. \tag{10}$$

관개용수가 위주이기 때문에 용수공급능력의 판단은 10년 빈도 한발에 견딜 수 있는 용수공급의 신뢰도 즉, 년 단위의 이수안전도가 90%에 상당하는 것으로 한다.

**III. 연구결과 및 고찰**

**1. 저수지 일별 유입량 모의**

1991년부터 2010년까지 덕용지의 저수량 자료를 이용하여 저수지 일 유입량 모형의 매개변수를 결정하였다. 보정기간은 1999년부터 2005년까지 자료가 양호한 기간을, 검정기간은 1991년부터 2010년까지 전 기간을 설정하였다. 식 (11)의



**Fig. 5. Optimizing Parameters for Inflows to Reservoir Using Observed Daily Water Storages in Duckyong Reservoir from 1999 to 2005**

목적함수로 Simplex 법(Mathews, 1987; Nelder and 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 1,071ha(http://rims.ekr.or.kr)에 관개용수를 공급하는 경우는 저수량이 크게 부족하였으며, 관측저수량과 차이가 최소로 되는 수해면적은 550ha에 불과하였다.

*Objective function*

$$= \min \frac{1}{nyear} \frac{1}{365} \sum (Os - Ss) \quad (11)$$

여기서 nyear는 연수, Os는 관측 일 저수량, Ss는 모의 일 저수량이다.

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

**2. Senga 방법의 이수관리곡선 작성 및 운영**

만수위 EL 30.0m, 총저수량 708만 m<sup>3</sup>인 4m 증고된 덕용저수지에 대해 1,071ha의 수해지역에 관개용수를 공급하고, 0.2mm/일에 상당하는 3,154m<sup>3</sup>/일의 하천유지유량을 10월부터 3월까지 공급하는 경우에 대해 식 (5)에 의해 이수관리곡선을 작성한 결과는 Fig. 9와 같다.

그림에서 최대 필요저수량은 1,222만 m<sup>3</sup>으로 나타나 만수위의 저수량 708만 m<sup>3</sup>을 크게 초과하여 나타났으며, 연말 저수량 확보를 위해서도 7월부터 용수를 제한해야 하는 것으로 나타나, 1071ha의 수해면적에 관개용수를 공급하는데 저수량이 부족한 것으로 나타났다.

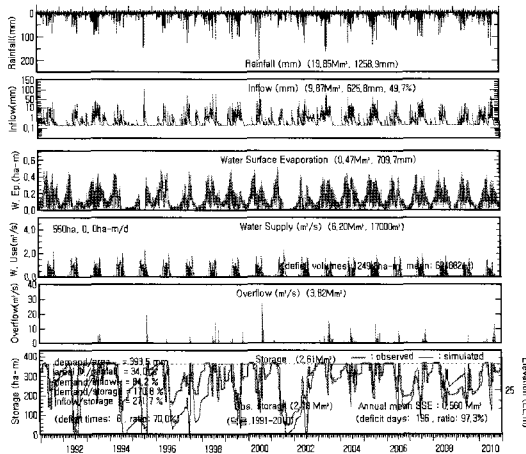


Fig. 6. Comparison of Observed and Simulated Daily Water Storages in Duckyong Reservoir from 1991 to 2010

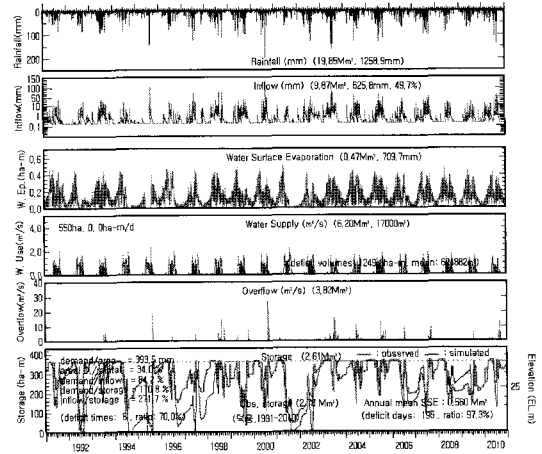


Fig. 7. Equal Value Line Between Observed and Simulated Daily Water Storages of Duckyong Reservoir in Calibration Period (1999~2005)

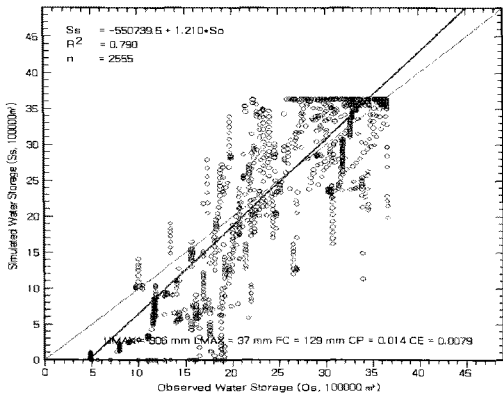


Fig. 8. Equal Value Line Between Observed and Simulated Daily Water Storages of Duckyong Reservoir in Verification Period (1991~2010)

1,071ha의 수혜면적의 관개용수와 10월부터 3월까지 3,154m<sup>3</sup>/일의 하천유지용수를 정상 공급하는 경우와 Fig. 9의 이수관리곡선에 의해 저수량에 따라 용수를 제한 공급하는 경우를 모의한 결과는 Fig. 10과 같다. 정상 운영의 경우 45년 중 40년에서 용수부족이 발생하여 이수안전도는 11%에 불과하였고, 관개용수공급량은

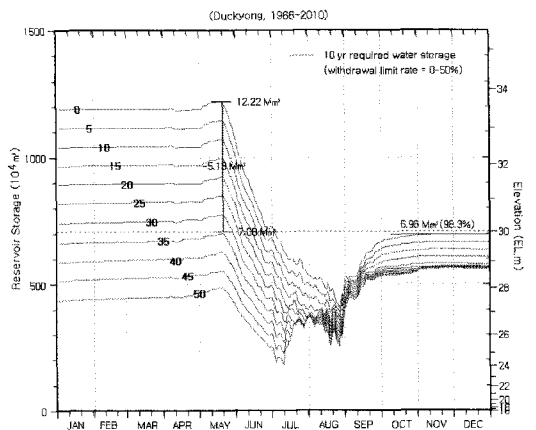


Fig. 9. Operation Rule Curve of Duckyong Reservoir with Full Water Level of EL.30.0m for Irrigating to Paddy Field of 1,071ha and for Supplying Instream Flow of 3,154m<sup>3</sup>/d from October to March by Senga's Method

720만 m<sup>3</sup>/년, 하천유지용수 공급량 57만 m<sup>3</sup>/년, 용수부족량은 486만 m<sup>3</sup>/년, 저수량은 212만 m<sup>3</sup>이었다. 용수공급 제한 운영의 경우 45년 중 11년에서 용수부족이 발생하여 이수안전도는

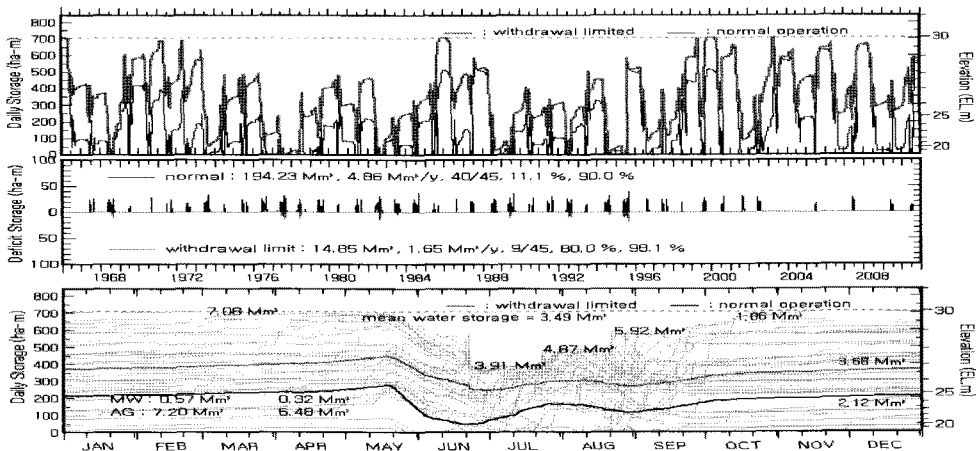


Fig. 10. Comparison of Water Storages with Normal Operation and Withdrawal Limited Operation by Senga's Rule Curve in Duckyong Reservoir with Full Water Level of EL.30.0m and Flood Regulating Levels of EL 27.0m (6.21-7.20.), EL 28.0m (7.21-8.20.), and EL 29.0m (8.21-9.20.) in Case of Irrigation and Instream Water Supply



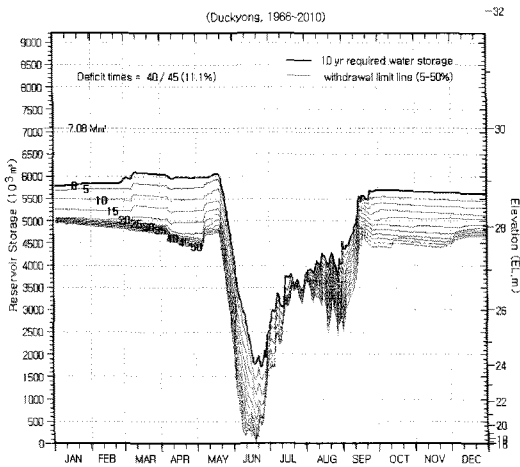


Fig. 11. Operation Rule Curve of Duckyong Reservoir with Full Water Level of EL.30.0m for Irrigating to Paddy Field of 1,071ha and for Supplying Instream Flow of 3,154m<sup>3</sup>/d from October to March by Simulation Based New Method

80%에 이르러 이 경우에도 이수안전도 90%에 미치지 못하였고, 관개용수공급량은 648만 m<sup>3</sup>/년, 하천유지용수 공급량 32만 m<sup>3</sup>/년, 용수부족량은 165만 m<sup>3</sup>/년, 저수량은 368만 m<sup>3</sup>이었다.

### 3. 새로운 모의기반의 이수관리곡선 작성 및 운영

2와 똑같은 조건의 정상 공급하는 경우와 Fig. 11의 이수관리곡선에 의해 저수량에 따라 용수를 제한 공급하는 경우 저수량을 모의한 결과는 Fig. 12와 같다. 정상 운영의 경우는 위와 같으며, 용수공급 제한 운영의 경우 45년 중 15년에서 용수부족이 발생하여 이수안전도는 66.7%에 이르러 마찬가지로 이수안전도 90%에 미치지 못하였고, 관개용수공급량은 719만 m<sup>3</sup>/년, 하천유지용수 공급량 36만 m<sup>3</sup>/년, 용수부족량은 158만 m<sup>3</sup>/년, 저수량은 342만 m<sup>3</sup>이었다.

### 4. 실용적 이수관리곡선 작성 및 운영

1,071ha의 수혜면적에 관개용수를 공급하는 이수관리곡선으로 저수지를 운영하면 이수안전도를 달성할 수 없는 것으로 나타났다. 유역

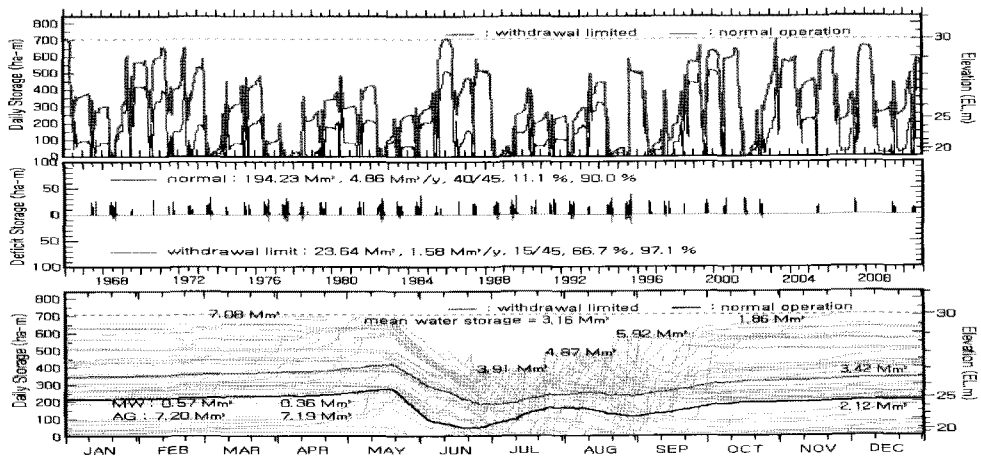
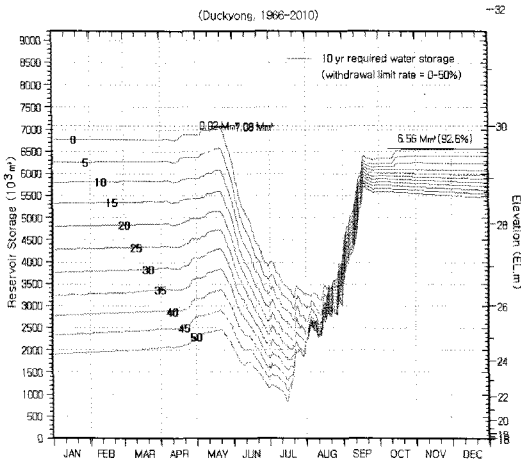


Fig. 12. Comparison of Water Storages with Normal Operation and Withdrawal Limited Operation by Simulation Based Rule Curve in Duckyong Reservoir with Full Water Level of EL.30.0m and Flood Regulating Levels of EL 27.0m (6.21.-7.20.), EL 28.0m (7.21.-8.20.), and EL 29.0m (8.21.-9.20.) in Case of Irrigation and Instream Water Supply

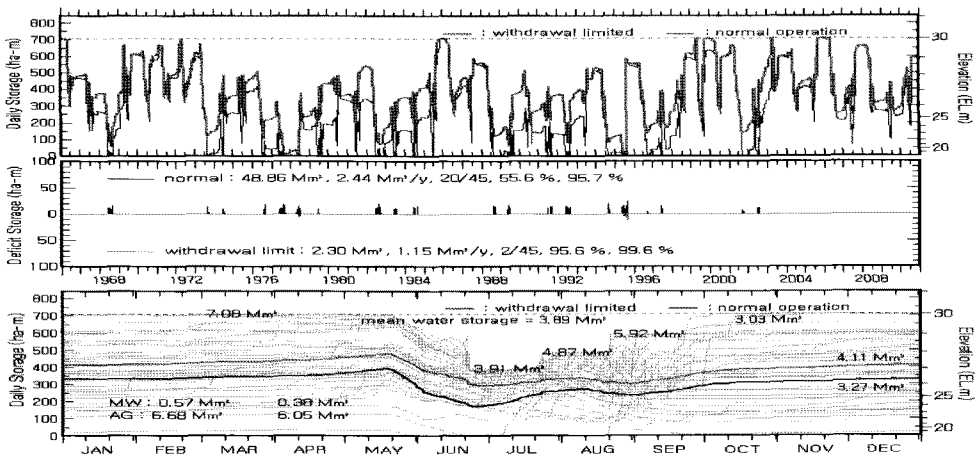


**Fig. 13. Operation Rule Curve of Duckyong Reservoir with Full Water Level of EL.30.0m for Irrigating to Paddy Field of 700ha and for Supplying Instream Flow of 3,154m<sup>3</sup>/d from October to March by Senga's Method**

배율이 1.48에 이르러 당연한 결과로 판단된다. 정확성을 기하기 위해 실제 수혜면적을 확인한 결과, 수혜면적은 같지만 저수지 하류에서 일부 지역은 양수장으로부터 용수를 보충하는

것으로 나타났다. 양수장의 수혜면적의 조사가 어렵다는 점을 고려하여 총 저수량에 적합한 이수관리곡선을 구한 결과 수혜면적이 700ha인 경우로 나타났으며, 이때의 이수관리곡선은 Fig. 13과 같다.

Fig. 14는 700ha의 수혜면적의 관개용수와 10월부터 3월까지 3,154m<sup>3</sup>/일의 하천유지용수를 정상 공급하는 경우와 이수관리곡선에 의해 저수량별 용수를 제한 공급하는 경우를 모의한 결과이다. 정상 운영의 경우 45년 중 20년에서 용수부족이 발생하여 이수안전도는 55.6%에 불과하였고, 관개용수공급량은 668만 m<sup>3</sup>/년, 하천유지용수 공급량 57만 m<sup>3</sup>/년, 용수부족량은 244만 m<sup>3</sup>/년, 저수량은 327만 m<sup>3</sup>이었다. 용수공급 제한 운영의 경우 45년 중 2년에서 용수부족이 발생하여 이수안전도는 95.6%로 이수안전도 90%를 초과하였으며, 관개용수공급량은 605만 m<sup>3</sup>/년, 하천유지용수 공급량 38만 m<sup>3</sup>/년, 용수부족량은 115만 m<sup>3</sup>/년, 저수량은 411만 m<sup>3</sup>이었다. 이 결과는 수혜면적을 700ha를



**Fig. 14. Comparison of Water Storages with Normal Operation and Withdrawal Limited Operation by Senga's Rule Curve in Duckyong Reservoir with Full Water Level of EL.30.0m and Flood Regulating Levels of EL 27.0m (6.21-7.20.), EL 28.0m (7.21-8.20.), and EL 29.0m (8.21-9.20.) in Case of Irrigation to 700ha and Instream Water Supply of 3,154m<sup>3</sup>**

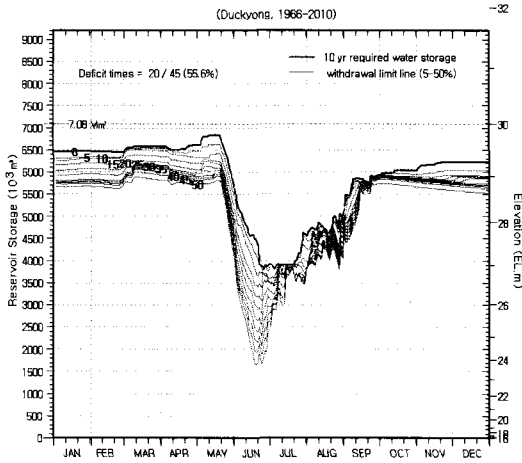


Fig. 15. Operation Rule Curve of Duckyong Reservoir with Full Water Level of EL.30.0m for Irrigating to Paddy Field of 700ha and for Supplying Instream Flow of 3,154m<sup>3</sup>/d from October to March by Simulation Based New Method

줄여 즉, 유역배율이 2.3인 경우이다.

Fig. 15는 모의기반의 이수관리곡선을 작성한 것이며, Fig. 16은 이를 이용하여 저수지를 운영한

결과로 용수공급 제한 운영의 경우 45년 중 2년에서 용수부족이 발생하여 이수안전도는 95.6%로 이수안전도 90%를 초과하였으며, 관개용수 공급량은 531만 m<sup>3</sup>/년, 하천유지용수 공급량 36만 m<sup>3</sup>/년, 용수부족량은 59만 m<sup>3</sup>/년, 저수량은 473만 m<sup>3</sup>이었다.

한편, 증고전 만수위 EL.26.0m인 기존 저수지로부터 700ha의 수혜면적에 관개용수를, 10월에서 3월까지 3,154m<sup>3</sup>의 하천유지용수를 공급할 때 홍수량이 없으면 전체 45개년 중 29개년에서 용수부족이 발생하여 이수안전도는 35.6%이었고, 홍수조절용량이 있으면 37개년에서 용수부족이 발생하여 17.8%에 불과하였다. 즉, 이수안전도는 증고전 17.8%에서 증고후 55.6%로 증가하였다. 또한 증고후 저수지로부터 홍수조절용량이 없을 때 수혜면적 550ha에 만 관개용수만을 공급할 때 이수안전도는 93.3%에 이르렀다. 이 때 유역배율은 2.9이었다.

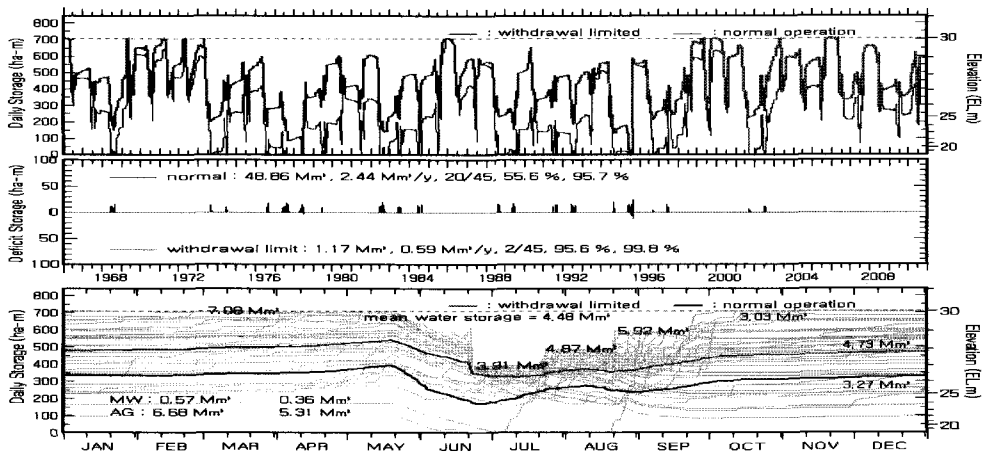


Fig. 16. Comparison of Water Storages with Normal Operation and Withdrawal Limited Operation by Simulation Based Rule Curve in Duckyong Reservoir with Full Water Level of EL.30.0m and Flood Regulating Levels of EL 27.0m (6.21.-7.20.), EL 28.0m (7.21.-8.20.), and EL 29.0m (8.21.-9.20.) in Case of Irrigation to 700ha and Instream Water Supply of 3,154m<sup>3</sup>

#### IV. 결 론

유역면적 15.8km<sup>2</sup>, 수혜면적 1,071ha로 유역 배율이 1.48에 불과하고, 4m 증고하여 총 저수량 7,080천 m<sup>3</sup>인 충남 서천 덕용 저수지를 선정하여 유역배율이 작은 저수지의 이수관리 방법을 검토, 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, 1991년부터 2010년까지 덕용지의 저수량을 모의하여 관측값과 오차가 적게 나오는 유입량 모형의 매개변수를 결정한 결과, UMAX 305.8, LMAX 36.8, FC 128.7, CP 0.0142, CE 0.0079 이었고, 1999년부터 2005년까지 보정기간의 등가선은 R<sup>2</sup> 0.790, 1991년부터 2010년까지 검정기간의 등가선은 R<sup>2</sup> 0.588이었다.

둘째, 수혜면적 1,071ha에 관개용수를 공급할 때는 이수안전도를 90%로 유지할 수 있는 이수관리방법은 없는 것으로 밝혀졌다. 현장에서 실제 공급한 수혜면적은 1,071ha이지만 저수지 하류에 위치한 양수장으로부터 용수를 재이용하고 있었으며, 그의 수혜면적은 구체적으로 구분하지 못하였다. 저수지 이수관리방법을 제시하기 위해서는 양수장의 수혜면적을 조사하여 그를 제외한 수혜면적에 관개용수를 공급하는 이수관리곡선을 제시하는 것이 실용적 방법이 되겠지만 여기서는 이수관리곡선의 최대 값이 총 저수량에 상당하는 수혜면적을 찾는 것으로 하였다.

셋째, 총 저수량에 이르는 이수관리곡선은 수혜면적 700ha인 경우로 유역배율은 2.3이었다. 정상운영인 경우 이수안전도는 55.6%이었고, 관개용수공급량은 668만 m<sup>3</sup>/년, 하천유지용수 공급량 57만 m<sup>3</sup>/년이었으며, 용수공급 제한 운영의 경우 이수안전도는 95.6%이었고,

관개용수공급량은 605만 m<sup>3</sup>/년, 하천유지용수 공급량 38만 m<sup>3</sup>/년이었다. 증고전의 이수안전도는 정상운영의 경우 홍수조절용량이 있으면 35.6%, 홍수조절용량이 있으면 17.8%로 나타났다.

넷째, 증고후 저수지로부터 홍수조절용량이 없을 때 수혜면적 550ha에 관개용수만을 공급할 때 이수안전도는 93.3%로 이 때 유역배율은 2.9로, 설계에서 이뤄지고 있는 유역배율 3.0 이상의 저수지가 관개용수 공급의 타당성이 있다는 것을 확인하였다.

종합하면 유역배율이 작은 저수지의 이수안전도는 낮게 나타났으며, 이수안전도에 적합하고 저수량을 모두 활용하는 이수관리곡선을 제시하였고, 부족수량은 하류의 양수장에서 재이용하는 이수관리방법이 유역배율이 작은 저수지의 운영방법의 하나라고 할 수 있다.

#### 참고문헌

1. Chang, L.C., F.J. Chang, K.W. Wang, and S.Y. Dai, 2010. Constrained genetic algorithms for optimizing multi-use reservoir operation, *Journal of Hydrology* 390(1-2): pp. 66~74.
2. Jeong, H.W., S.A. Choi, H.S. Kim, and M.P. Shim, 2005. Reservoir operation by Tabu search method during flood. *Journal of the Korean Water Resources Association* 38(9): pp. 761~770 (in Korean).
3. Kim, T.C., J.K. Noh, and S.K. Park, 1992. Operation rule of irrigation reservoir. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*: 34(1): pp. 33~49 (in Korean).
4. Kim, T.C., J.P. Moon, J.W. Min, and H.K. Lee, 1998. Optimal flood control volume in the irrigation reservoir. *Journal of Korean Agricultural Engineers* 40(2): pp. 81~91 (in Korean).
5. Kim, T.C., J.M. Lee, and D.J. Lee, 2003. A Rotational irrigation scheduling for an irrigated paddy blocks with operation rule curve. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 45(5): pp. 67~77 (In Korean).

6. Kwon, O.I. and M.P. Shim, 1997, Determination scheme of variable restricted water level during flood period of multipurpose dam. Journal of the Korean Water Resources Association 30(6): pp. 709~720 (in Korean).
7. Kwon, O.I. and M.P. Shim, 1998, Reservoir operation at flood time by transformed reservoir flood(TRF) reservoir operation method(ROM). Journal of the Korean Water Resources Association 31(1): pp. 105~113 (in Korean).
8. 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): pp. 481~490. [in Korean]
9. Mathews, J.H., 1987. Numerical Methods for Computer Science, Engineering, and Mathematics, pp. 295~302, Prentice-Hall International, Inc.
10. Ministry of Construction and Transportation and Korean Water Corporation, 2006. 2020 Water Vision(Modified) (in Korean).
11. MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs), 2009. Master plan for 4 Major Rivers Restoration Project.
12. Nelder, J.A. and R. Mead, 1965. A simplex method for functional minimization, The Computer Journal 9: pp. 308~313.
13. Ngo, L.L., H. Madsen, and D. Rosbjerg, 2007. Simulation and optimization modelling approach for operation of the Hoa Binh reservoir, Vietnam. Journal of Hydrology 336(3-4): pp. 269~281.
14. Noh, J.K., 1991. A conceptual watershed model for daily streamflow based on soil water storage. Ph. D. dissertation, Seoul National University, Seoul, Korea (in Korean).
15. Noh, J.K., 2003. Applicability of the DAWAST considered return flows. Journal of the Korean Water Resources Association 39(11): pp. 1095~1105 (in Korean).
16. Noh, J.K., 2004. A system for estimating daily paddy irrigation water requirements in simulating daily streamflow. Journal of Korean Agricultural Engineers 46(7): pp. 71~80.
17. Noh, J.K., 2009. Increasing instreamflow in Nonsacheon by water storage securing scenario of upstream reservoirs. Journal of Agricultural Science 36(1): pp. 99~109, Chungnam National University (in Korean).
18. Noh, J.K. and J.N. Lee, 2011, Operation rule curve for supplying urban instream flow from reservoir. CNU Journal of Agricultural Science 38(1): pp. 163~172. (in Korean).
19. Rohde, F.G. and K. Naparaxawong. 1981. Modified standard operation rules for reservoirs. Journal of Hydrology 51(1-4): pp. 169~177.
20. Senga, Y. 1989. Soft science of water resources, pp. 45~75. Rokudowu Publishing (In Japanese).
21. Wei, C.C. and N.S. Hsu. 2009. Optimal tree-based release rules for real-time flood control operations on a multipurpose multireservoir system. Journal of Hydrology 365(3-4): pp. 213~224.
22. Yi, J.E. and J.W. Song, 2002. Evaluation of water supply capacity for multi-purpose dam using optimization and simulation techniques. Journal of Korean Society of Civil Engineers 22(6B): pp. 811~818 (in Korean).