

고무댐에 의한 농업용 저수지의 저수량 증대방안

Increasing Method of the Effective Storage Capacity of the Agricultural Reservoirs by Rubber Dam

윤 충 섭* 김 주 범**
Yoon, Choong-sup, Kim, Joo-bum

1. 머리말

우리나라의 연평균 강수량은 1,274mm로서 연간 수자원 총량은 1,267억³m³이 된다. 이 중에서 570억³m³은 대기중으로 증발되거나 지중으로 침투되고, 697억³m³은 하천으로 유출된다.

하천유출량 중에는 홍수시에 407억³m³이 바다로 유출되고, 평상시에는 총 부존수자원의 18%인 230억³m³만이 하천으로 흐르고 있으며, 하천으로부터 직접 이용가능한 하천수는 총 수자원의 3%에 불과한 165억³m³에 지나지 않는다.

<표 - 1> 전국 용수수급계획 총괄표(1996~2011)
(단위: 백만³m³)

연도	1996	2001	2006	2011
구분				
총용수수요	30,241	32,986	34,921	37,015
생활용수	5,919	7,068	7,685	8,199
공업용수	2,783	3,052	3,365	3,663
농업용수	15,797	16,430	17,119	17,770
유지용수	5,742	6,436	6,752	7,383
용수공급	32,553	34,909	35,561	37,580
하천수	16,466	17,044	17,443	17,358
지하수	2,133	2,407	2,686	2,962
댐공급	13,954	15,368	15,432	17,260
잉여수량	2,312	1,833	640	565
공급예비율	7.6%	5.6%	1.8%	1.5%

(자료: 수자원 장기 종합 계획(1991-2011)보고서 - 건설부, 1990)

<표 - 1>에서 보면 1996년 현재 수자원 이용량(용수 공급량)은 하천으로부터 직접 취수 이용량 164억³m³과 댐으로부터 이용량 140억³m³ 및 지하수 이용량 21억³m³을 합친 325억³m³로서 수자원 이용율은 약 26%에 이른다. 그리고 총 수요량은 약 302억³m³로서, 이 중에서 생활용수에 20%, 공업용수 9%, 농업용수 52%, 유지용수에는 19%가 이용되고 있어 농업용수가 총 이용량의 절반 이상을 차지하고 있다.

수자원 이용량(공급량) 325억³m³은 총 수요량 302억³m³에 비하여 공급수량이 23억³m³ 정도 여유가 있는 것으로 되어 있으나, 2011년에는 공급량과 수요량이 거의 동일하여 여유가 없다. 그리고 실제로 농어촌 지역에서 필요로 하는 농어촌용수량은 1994년 현재 204억³m³로 추산되나, 실제 공급수량은 114억³m³로서 필요량의 56% 정도이며(농어촌진흥 113호, 1996. 5.), 용수량은 매년 증가되어 농업용수의 수요량도 2011년에는 현재보다 약 20억³m³이 증가될 것이 예상되어 부족수량은 더 늘어날 것이다. 따라서 이에 대한 대비가 필요하다.

1997년 현재 수리 안전을 위하여 축조된 농업용 저수지는 18,034개로서 높이가 10m 미만의 소형 저수지가 84%인 15,162개나 되며 <표 - 2>, 저수량이 10만³m³ 미만의 저수지가 16,130

* 경상대학교 농과대학
** 한국건설기술안전협회

개로 약 89%에 달해서 총 유효저수량은 약 2,967백만m³에 불과하다.

〈표 - 2〉 저수지 제당 높이별 유효저수량

저수지의 높이	저수지의 개수 (%)	유효저수량 (백만m ³ , %)
10 m 미만	15,162(84.08)	463 (15.60)
10 - 20 m	2,435 (13.50)	1,003 (33.81)
20 - 30 m	331 (1.84)	638 (21.50)
30 - 40 m	69 (0.38)	454 (15.30)
40 - 50 m	22 (0.12)	104 (3.51)
50 m 이상	15 (0.08)	305 (10.28)
총 계	18,034 (100)	2,967 (100)

(자료 : '98 농업생산기반 정비사업 통계 연보)

우리나라의 총 논면적 1,162,852ha에 대한 수리답 면적은 888,631ha로 수리답률은 75.8%이나, <표 - 3>에서 보는 바와 같이 5년 빈도 이상의 한발에 대한 수리안전답률은 약 59%로서, 41%는 5년 빈도의 한발에도 피해를 입을 수 있으며, 10년 이상 빈도의 한발에는 약 46%만이 한해를 피할 수 있다.

이와 같은 상황을 고려할 때 기존 저수지의 유효저수량을 증대시켜 한발피해를 감소시키는 것이 필요하다. 또 농지의 범용화와 이용을 제고를 위해서도 용수량이 증대되고 있고, 농어촌의 생활용수도 크게 증대되고 있는 점 등을 고려할 때 저수량을 증대하기 위한 대책이 필요하다.

〈표 - 3〉 한발 빈도별 관개면적

한 발 빈 도	관 개 면 적 (ha)	비 율 (%)
평 년	239,735	27.19
3 년	124,795	14.16
5 년	51,356	5.82
7 년	63,085	7.16
10 년 이상	402,660	45.67
계	881,631	100.00

(자료 : '98 농업생산기반 정비사업 통계 연보)

그리고 시설저수지의 유효저수량을 증대하는 방안으로 만수면적과 홍수면적 사이를 이용하여 유효저수량을 증대시키는 방법도 바람직하다. 즉 기존 측구식 물넘이에 고무댐을 설치하여 필요시에는 물넘이의 높이를 1m 정도 높여서 저수량을 증대시키고, 홍수시에는 물넘이 본래의 높이로 조절함으로써 필요 용수시기에 유효저수량을 증대시킬 수 있다.

용수확보를 위하여 새로운 저수지를 축조시에는 많은 보상비와 공사비 등으로 막대한 예산이 소요될 뿐만 아니라, 저수지 축조지대를 구하기가 어려운 점등을 고려할 때, 이미 축조된 저수지의 홍수면적을 이용하여 저수량을 증대시키는 방안에 대해서는 충분히 검토할 필요가 있다.

2. 대상 저수지 선정 및 저수량 개발비

가. 대상 저수지

저수지의 물넘이를 1m 높여 유효저수량을 증대시키기 위한 저수지는 1995년 말까지 준공된 농업용 저수지를 대상으로 하였으며, 선정기준은 다음 조건을 만족시키는 것으로 하였다.

- 1) 저수지의 댐 높이가 10m 이상
- 2) 만수 면적이 100,000m² 이상
- 3) 유효저수량이 200,000m³ 이상
- 4) 1)~3) 조건이 동시에 맞지 않으나, 여러 상황을 종합하여 많은 증수량이 예상되는 저수지
- 5) 물넘이가 Gate식이나 Syphon식이 아니고 측구식으로 된 저수지

이와 같은 기준에서 선정된 저수지수는 <표 - 4>와 같이 416개로서 전남이 100개(24%)로 제일 많으며, 강원도가 16개로 제일 적다. 저수지의 물넘이를 1m 높였을 경우 100,000~300,000m³를 증대시킬 수 있는 저수지가 257개

〈표 - 4〉 만수면적별 저수지수

도 별	만 수 면 적 ($\times 10^3 \text{ m}^2$)					계	총만수면적
	100이하	100~300	300~500	500~1000	1,000이상		
경 기도	2	11	6	0	1	20	7,428
강 원 도	0	9	4	2	1	16	8,159
충청북도	5	30	4	2	1	42	11,219
충청남도	3	22	14	14	7	60	36,303
전라북도	5	26	7	5	3	46	19,649
전라남도	9	66	13	8	4	100	28,654
경상북도	4	64	13	14	2	97	27,937
경상남도	2	29	2	2	0	35	6,782
계	30	257	63	47	19	416	146,131

로서 약 62%가 된다. 충청남도의 저수지는 60개로 전남 및 경북보다 적으나 총 만수면적은 가장 넓어서 물넘이를 높일 경우 유효저수량의 증대효과가 가장 큰 것을 알 수 있다.

나. 유효저수량 개발비

농업용수를 확보하기 위하여 저수지를 축조 시에는 많은 사업비가 소요되며, 이는 지역조건, 공사조건, 축조시기등에 따라서 많은 차이가 있다. 그러므로 최근(1997년도)에 시공중인 전국 63개의 중규모 지구에 대하여 각 도별 저수지의 유효저수량에 대한 사업비를 보면

<표 - 5>와 같다.

유효저수량 1m^3 에 대한 사업비는 중부지방의 4개도는 2,800~3,800원으로 남부지방(경북 제외)의 4,300~4,800원 보다 적다. 그러나 경북만은 6,520원으로 타도 보다 50% 정도 많으며, 전국적으로는 평균 4,122원이 소요된다.

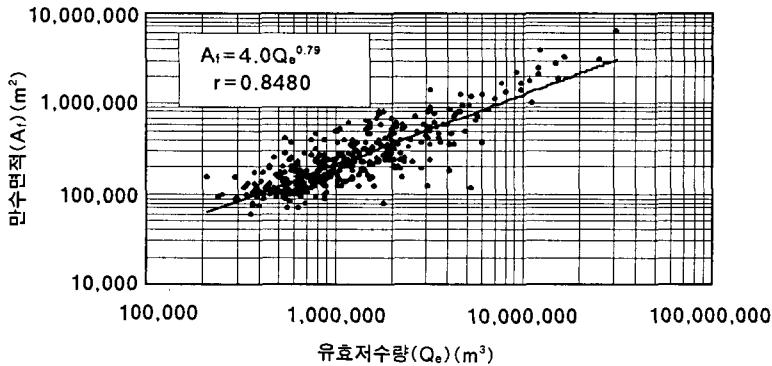
3. 자료 분석 및 고찰

가. 유효저수량과 만수면적

저수지의 물넘이를 높여서 저수량을 증대시킬 경우 만수면적이 넓을수록 저수량이 증대

〈표 - 5〉 유효저수량 1m^3 당 사업비(1997)

도 별	사업지구수	관개면적 (ha)	유효저수량 ($\times 10^3 \text{ m}^3$)	만수면적 ($\times 10^3 \text{ m}^2$)	수원공사사업비 (백만원)	물 1m^3 당 사업비(원)
경 기도	4	1,870	10,390	1,700	32,357	3,114
강 원 도	11	2,739	13,820	1,490	53,131	3,845
충청북도	9	1,292	7,740	840	25,028	3,234
충청남도	9	3,192	15,550	2,000	44,294	2,848
전라북도	6	1,334	13,822	720	64,723	4,683
전라남도	6	2,488	14,326	2,080	68,837	4,805
경상북도	5	1,572	8,472	1,080	55,242	6,521
경상남도	13	3,702	19,893	18,550	85,149	4,280
계	63	18,189	104,013	28,640	428,761	4,122



〈그림 - 1〉 유효저수량과 만수면적과의 관계

되어 유리하다. 선정된 416개 저수지의 유효저수량과 만수면적과의 관계는 <그림-1>과 같으며, 식(1)과 같이 일반적으로 저수량이 적은 저수지일수록 저수량에 대한 만수면적의 비율이 커서 물넘이 수위를 높임에 따른 저수율의 증대 효과가 큼을 알 수 있다.

$$A_f = 4.0 Q_e^{0.79} \dots\dots\dots(1)$$

여기서, A_f : 만수면적 (m^2)
 Q_e : 유효저수량 (m^3)

나. 유효저수량과 증수율

물넘이를 높여서 저수량을 증대시킬 때 최소의 증수량은 만수면적과 홍수면적이 같은 경우로 증수량=만수면적×물넘이증상 높이가 될 것이다. 그러나 실제로는 홍수면적이 만수면적보다 넓으므로 만수위와 홍수위 사이의 지형이 평탄할 수록 증수량은 많아진다.

물넘이에다 1m 높이로 고무댐을 설치할 때 최소의 증수량은 만수위면적×1m가 될 것이며, 416개 대상 저수지에 대하여 유효저수량에 대한 증수량은 식(2)와 같이 되며, 유효저수량에 대한 증수량 및 증수율은 <표 - 6>과 같다.

$$Q_i = 4 Q_e^{0.79} \dots\dots\dots(2)$$

여기서, Q_i = 물넘이 수위 1m 상승시 증수량 (m^3)
 Q_e = 유효저수량 (m^3)

〈표 - 6〉 유효저수량별 증수량 및 증수율

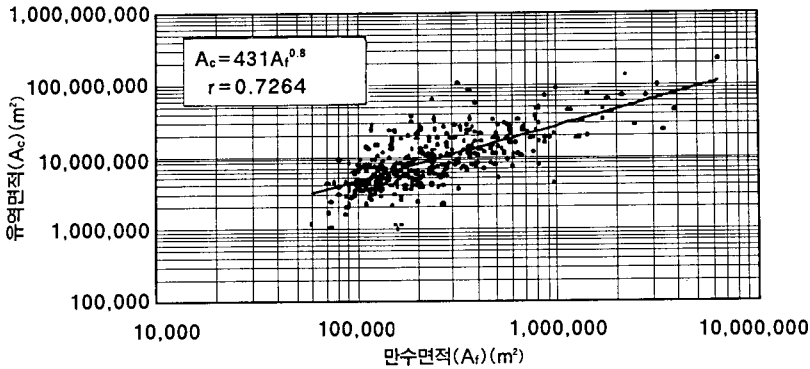
유효저수량 (m^3)	증수량(m^3)	증수율(%)
200,000	58,792	29.4
1,000,000	208,310	20.8
10,000,000	1,272,655	12.7

<표 - 6>에서 보면 유효저수량이 200,000 m^3 , 1,000,000 m^3 , 10,000,000 m^3 일 때 증수율은 각각 29.4%, 20.8%, 12.7%로 유효저수량이 적은 저수지일수록 유효저수량에 대한 증수율이 커서 물넘이의 수위를 높이는 효과가 큰 것을 알 수 있다.

그런데 유효저수량은 설계값으로서 저수지 축조 후 토사의 침전 등으로 인하여 실제 유효저수량은 설계 저수량보다 적어졌을 것이며, 또 실제 증수량은 만수면적×1m 보다 많아져서 실제 유효저수량에 대한 증수율은 계산된 값<표 - 6>보다 커질 것이다.

다. 만수면적과 유역면적

물넘이를 높여서 유효저수량을 늘리기 위해



〈그림 - 2〉 만수면적과 유역면적과의 관계

서는 만수면적이 넓을수록 유리하며 이때에는 유역면적도 넓어서 유입수량이 많은 것이 좋다. 그러므로 만수면적과 유역면적과의 관계를 보면 <그림 - 2>와 같으며, 식(3)과 같은 상관관계가 있다.

$$A_c = 431A_f^{0.8} \dots\dots\dots(3)$$

여기서, A_c : 유역면적(m^2)
 A_f : 만수면적(m^2)

식(3)으로부터 만수면적이 100,000 m^2 일 때 유역면적은 4,540,000 m^2 로 45배이며, 만수면적이 1,000,000 m^2 일때는 유역면적은 28,944,000 m^2 로 29배로서 일반적으로 적은 저수지가 큰 저수지보다 만수 면적에 대한 유역배율이 크다. 따라서 유효저수량이 적은 저수지가 물넘이를 이용한 저수량 증대율의 효과가 큼을 알 수 있다. 그러나 대형저수지 일수록 만수면적이 넓어서 총 증수량은 많아진다.

라. 저수량과 사업비

1997년도에 공사중인 63개 지구<표 - 5>의 총 유효저수량은 104,013천 m^3 이고, 63개 저수지 공사의 총사업비는 428,761백만원으로 유효저수량 1 m^3 당 평균 4,122원의 사업비가 소요된다.

그리고 강이나 하천에 고무댐을 신설하고자 할 때는 16백만원/m~20백만원/m가 필요하며, 이중에서 토목공사비가 50~60%를 차지하여 고무댐 설치비만은 40~60%이다. 그러나 기존 물넘이에 고무댐을 설치시에는 토목공사가 적기 때문에 50%의 설치비만 고려해도 8백만원~10백만원/m(평균 900만원/m)가 소요된다.

물넘이 수위를 1m 높일 경우 물넘이 1m당 평균 증수량이 9백만원/4,122=2,183 m^3 (약 2,200 m^3)이면 신규사업에 의한 유효저수량 1 m^3 의 비용 4,122원과 동일하다. 그리고 물넘이 1m당 유효저수증가량이 4,000 m^3 일 경우에는 증수량 1 m^3 의 비용은 2,250원으로서 신규 저수지 유효저수량 단가의 55%가 된다.

이와 같이 55% 이하의 비용으로 저수량을 증대시킬 수 있는 저수지는 <표 - 7>에서 대상저수지의 66.8%인 278개나 되며, 25.5%인 106개의 저수지(물넘이 1m당의 증수량 8,000 m^3)는 신규 저수지의 약 27%의 비용으로 유효저수량을 증대시킬 수 있다.

그리고 기존 저수지의 물넘이에 고무댐을 설치시에는 신규 저수지에서와 같은 용수로의 축조없이 기존 용수로를 즉시 이용할 수 있으며, 저수지 설치에 따른 보상 및 환경문제, 공사기간에 발생하는 각종 문제점도 발생되지 않는다.

〈표-7〉 물넘이를 1m 높일 경우 물넘이 1m당의 증수량과 저수지 수

증수량 (m³)	저수지 수	비율 (%)
2,000 이하	19	4.6
2,000~4,000	119	28.6
4,000~8,000	172	41.3
8,000 이상	106	25.5
계	416	100.0

마. 홍수시 고무댐 도복에 대한 안전장치

고무댐을 물넘이에 설치시 가장 문제가 되는 것은 만약 홍수시에 도복이 되지 않을 경우이다. 그러므로 이러한 경우를 위해서는 다음과 같은 조치가 필요하다.

1) 상용운전 중

상용운전 중에는 항상 초음파 센서에 의해 소숫점 한자리 수까지 현재의 수위를 읽어내며, 홍수시 설정한 수위에 도달하면 초음파 수위계에서 신호를 보내 Motor valve가 열리게 되어 공기가 배출됨과 동시에 도복되도록 한다.

2) 정전시

만약 홍수시에 천재지변에 의한 정전사고가 발생하면 U.P.S(Uninterrupted Power Supply; 정전대비용 보조장치)로 자동 전환되어 U.P.S에 의해 Motor valve를 열어 고무댐을 도복시킨다.

3) 자동도복이 되지 않을 경우

자동으로 도복이 되지 않을시에는 수동으로 Motor valve 를 열어 공기를 배출시켜 도복시킨다.

4. 맺는 말

우리나라의 논의 수리답률은 1997년 현재 75.8%이나, 5년 빈도 이상의 한발에 대한 수리안답률은 약 59%로서 41%는 한해를 입을

수 있어 더 많은 용수량이 필요하며, 2000년대에 예상되는 용수부족 현상에 대한 농촌용수 확충방안이 절실히 필요하다. 이를 위하여 신규 저수지를 설치하는 것보다 저렴한 값으로 기존 저수지의 물넘이에다 고무댐을 설치하여 유효저수량을 증대시키는 방안을 검토하는 것도 바람직하다. 이를 위해서 전국 416개 저수지에 대한 자료분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 유효저수량(Q_e)과 물넘이의 1m 상승에 따른 증수량(Q_i)과의 관계는 $Q_i=4.0 Q_e^{0.79}$ 로 유효저수량이 많은 저수지일수록 증수량도 증대된다.

2. 유효저수량이 적은 저수지 일수록 설계유효저수량에 대한 증수율이 커서 200,000m³의 저수지는 29.4%가 증가 되나, 10,000,000m³의 대형 저수지는 12.7%가 증가된다.

3. 만수면적(A_f)과 유역면적(A_c)와의 관계는 $A_c=431A_f^{0.8}$ 의 관계로 만수면적이 적은 저수지가 만수 면적에 대한 유역비가 유리하다.

4. 물넘이의 수위를 1m 상승시 신규 저수지에 비하여 55%의 비용으로 저수량을 증대시킬 수 있는 저수지가 287개(67%)나 되며, 100개(26%)의 저수지는 약 27%의 비용만이 소요된다.

5. 홍수시 고무댐의 도복에 대한 충분한 안전조치를 취함으로써 효율적인 농업용수의 증대를 기대할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 건설부, 1990. 수자원 장기 종합 계획 보고서.
2. 김현영, 1995. 항구적 가뭄대책 방향, 동북아의 물 2000-농어촌 용수의 개발과 관리, 농어촌진흥공사, pp.171~211.
3. 김태철, 1995. 최근의 가뭄 동향과 효과적 수자원개발, 동북아의 물 2000-농어촌 용수의 개발과 관리, 농어촌진흥공사, pp.140~170.

4. 농림부, 농어촌진흥공사, 1981~1997. 농업생산 기반정비사업 통계연보.
5. 농림부, 농어촌진흥공사, 1998. 농업생산기반정비사업 통계연보.
6. 농어촌환경기술연구소, 1998. 농조 저수지 다목적 활용방안 연구, 농지개량조합연합회, pp.36~43.
7. 동일고무벨트주식회사, 1996. 고무댐제작 설치 시방서.
8. 우효섭, 1998. 댐건설은 필요하다, 대한토목학회지, Vol.46, pp.5~6.
9. 윤용남, 1995. 한국 수자원의 이용관리, 동북아의 물 2000-농어촌 용수의 개발과 관리, 농어촌진흥공사, pp.3~40.
10. 이근후, 1996. 지속가능 농업과 농업용수 개발, 경상대학교 지역개발연구 제7집.
11. 이근후 외, 농공학개론, 향문사, pp.24~78.
12. 이순탁, 1996. 물수급 전망과 효율적 관리, 농어촌진흥 5월호, pp.22~25.
13. 임영순, 1994. 농어촌용수의 개발방향, 농어촌진흥 4집, pp.18~27.