

다목적 댐 저수면 증발량의 평가

Evaluation of Water Surface Evaporation in Multi-purposed Reservoir

○노재경

1. 서론

12개 다목적댐의 저수량은 41.5~2,900백만 m^3 에 이르며, 저수면적은 3.0~97.0 km^2 에 이른다. 총저수면적은 483.02 km^2 에 이르며 연 저수면 증발량을 700mm로 가상하고 총 저수면 증발량을 계산하면 338.5백만 m^3/yr 에 이르러 무시하지 못할 정도의 많은 양이 된다.

그러나, 현재 다목적 댐의 일 유입량은 일 저수량 변화와 방류량을 더해 계산하고 있으며 저수면 증발량을 고려하여 계산하지 않고 있다. 즉, 저수면 증발량이 유입량에 포함되어 계산되고 있는 셈이다. 따라서, 저수위 변화에 따라 저수면적이 변화하는 것을 고려하고 저수면으로부터 발생하는 저수면 증발량을 계산할 필요가 있으며, 그 양이 많다면 저수지 유입량을 계산하는데 저수면 증발량을 고려하도록 해야 할 것이다.

2. 자료 및 방법

2.1 연구 자료

대청댐을 선정하여 과거 1981~1999년의 댐 운영 자료를 이용하여 저수면 증발량을 계산하였다.

1981~1999년 19년간 대청댐의 운영자료를 연 평균한 결과 강우량 1,168.4mm, 유입량 652.6mm(유출률 55.9%), 발전용수량 2,182.8백만 m^3 , 생공용수량 186.0백만 m^3 , 월류량 337.5백만 m^3 을 나타냈으며, 용수공급량을 유역면적으로 나뉘 계산한 용수환산우량은 573mm, 용수이용율(용수공급량/유입량)은 94.2%, 저수율(유효저수량/유입량)은 34.2%, 저수지이용율(용수공급량/유효저수량)은 291%를 나타냈다.

충남대학교 농업생명과학대학 조교수

유입량 자료는 저수면 증발량을 고려하지 않은 값이며, 본 연구에서 분석한 자료와 계산 알고리즘이 같지 않기 때문에 다를 수 있다.

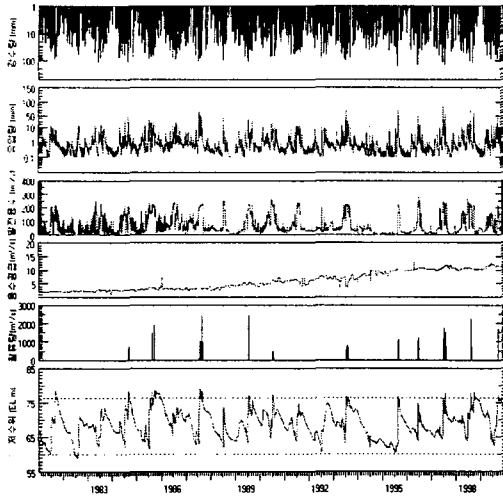


그림 1 대청댐 운영자료(1981-1999)

표 1 대청댐 운영자료(1981-1999)

연도	강수량 (mm)	유입량 (mm)	증발량 (%)	발전용수 (천단m³)	상공용수 (천단m³)	실용 Reser (천단m³)	용수 전산 (천단m³)	용수 이용률 (%)	저수율 (%)	저수지 이용률(%)
1981	1106.3	631.2	57.1	2413.6	61.0	0.0	598.6	94.8	31.2	904.0
1982	754.6	278.7	36.9	1106.3	67.6	0.0	284.0	101.9	70.7	144.2
1983	1053.2	591.5	56.2	2395.7	73.8	0.0	597.3	101.0	33.3	303.3
1984	1178.2	666.8	56.6	2633.9	81.6	149.6	656.9	96.5	29.5	333.6
1985	1626.7	1128.3	70.0	3358.6	97.9	792.3	836.1	73.4	17.3	424.6
1986	1177.0	651.1	55.3	3081.8	107.7	0.0	771.5	118.5	30.2	391.8
1987	1537.4	1153.3	75.0	2675.9	100.6	1774.0	720.0	62.4	17.1	365.6
1988	788.2	303.2	38.5	1594.1	112.5	0.0	412.8	136.1	64.3	205.6
1989	1326.8	728.5	54.9	2315.2	145.5	354.1	595.2	81.7	27.0	302.3
1990	1213.7	743.7	61.8	2886.3	174.4	118.4	740.4	98.8	26.3	376.0
1991	1116.3	578.0	51.9	2279.5	184.0	0.0	595.9	102.9	34.0	302.6
1992	950.7	403.2	42.4	1335.9	216.6	0.0	375.5	93.2	48.8	190.7
1993	1417.6	891.9	62.9	2773.8	204.5	565.7	730.4	80.8	22.1	365.8
1994	694.9	200.0	28.8	946.9	269.2	0.0	294.2	147.1	96.4	143.4
1995	976.5	394.2	40.4	926.6	294.3	201.4	295.3	74.9	50.0	150.0
1996	1146.3	543.5	47.4	1617.6	325.0	418.7	463.9	86.5	36.2	238.6
1997	1328.0	725.8	55.0	1893.9	337.6	659.4	538.8	73.4	26.8	274.1
1998	1608.1	1093.7	68.0	2792.6	327.9	1125.9	754.8	63.0	18.0	383.3
1999	1189.9	664.5	55.8	2245.3	252.7	253.1	628.4	94.6	29.6	319.1
평균	1168.4	652.6	55.9	2182.8	186.0	337.5	573.0	94.2	37.4	291.0

2.2 연구 방법

저수면 증발량은 저수지 수면에서 증발하는 양으로 저수지 수면적 곱하기 잠재증발량으로 정의하였다. 저수량 변화에 따른 저수면적은 표고별 저수면적 자료로부터 구하였으며, 표고에 따른 저수면적 공식을 사용하지 않고 대수보간에 의해 직접 계산하여 사용하였다. 잠재증발량은 계기증발량의 70%를 취하였으며, 계기증발량은 관측값이 없는 경우는 기상자료를 이용한 모의값(2002, 노)을 사용하는 것으로 하였다.

저수면 증발량은 식(1), (2)에 의해 계산하였으며, 식(1)은 관측 계기증발량 값을 사용한 것이며, 식(2)는 모의 계기증발량 값을 사용한 것으로 일조시간과 일평균기온 자료를 이용하여 대전지방의 공식을 적용한 것이다.

$$EW(i) = 0.001 \times Wa \times 0.7 \times EP(i) \tag{1}$$

$$EW(i) = 0.001 \times Wa \times 0.7 \times (0.476 + 0.188 \times DS(i) + 0.06 \times AT(i) + 0.008 \times DS(i) \times AT(i)) \tag{2}$$

$$Qc(i) = S(i) - S(i-1) + EW(i) + 86400 \times RQ(i) \tag{3}$$

여기서, EW는 저수면 증발량(m³), Wa는 저수면적(m²), EP는 계기증발량(mm), DS는 일조시간(hr), AT는 평균기온(°C), Qc는 계산유입량(m³), S는 저수량(m³), RQ는 용수공급

량(m^3), i 는 시간(일) 첨자이다.

저수면 증발량에 대한 평가는 저수면 증발량 자체와 저수면 증발량을 고려한 경우와 고려하지 않는 경우 유입량을 계산하여 유입량에 대한 증발량 비율, 강수량에 대한 증발량 비율을 분석하여 저수면 증발량의 상대적인 값을 파악하는 것으로 하였다.

또한, 기상자료를 이용하여 계기증발량을 모의한 경우의 적용성을 평가하기 위해 계기 증발량 값을 관측값으로 기상자료를 이용한 것을 모의값으로 하여 저수면 증발량의 등가 선 비교와 일 저수면 증발량을 월로 나타내어 관측-모의값을 상호 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 저수면 증발량 비율

그림 2는 대청댐 운영자료 예이며, 그림 3은 저수면 증발량을 계산하여 저수면 일 증발량을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우 일 유입량을 계산한 예이다. 저수면 일 증발량은 식(1)의 계기증발량의 70%를 사용한 것과 식(2)의 일조시간과 평균온도의 함수로 계산한 것을 비교하였다.

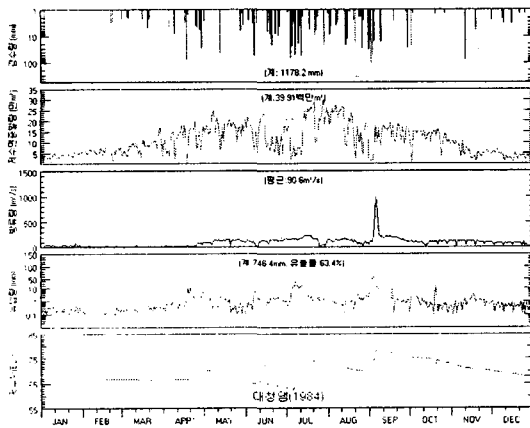


그림 2 대청댐 운영자료(1984)

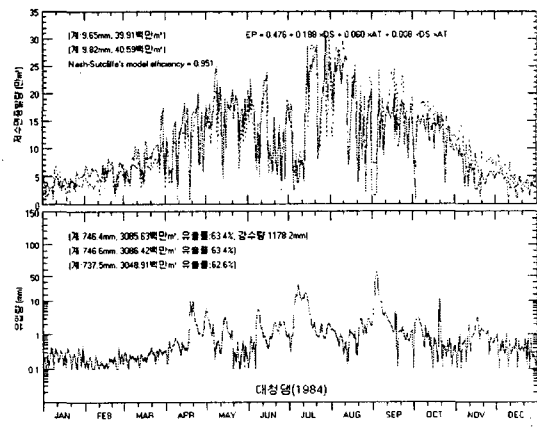


그림 3 저수면 일 증발량 계산 예 (1984)

그림 2는 1984년의 예이며, 강수량 1,178.2mm, 저수면 증발량 39.91백만 m^3 , 방류량 평균 90.6 m^3/s , 유입량 746.4mm, 유출률 63.4%를 보여 주었다. 그림 3도 1984년의 예이며, 저수면 증발량은 계기증발량을 사용한 경우 39.91백만 m^3 , 기상자료를 이용한 공식을 사용

한 경우 40.59백만 m^3 를 나타냈으며, 유출심으로는 각각 9.65mm, 9.82mm를 나타내 무시하지 못할 양이다. 한편, 유입량은 저수면 증발량을 고려한 경우 계기증발량을 관측, 모의로 구분하여 각각 3085.63백만 m^3 , 3086.42백만 m^3 로 계산되어 유출률 63.4%, 63.4%를 나타냈으며, 저수면 증발량을 고려하지 않은 경우 유입량 3048.91백만 m^3 로 계산되어 유출률 62.6%를 나타내 저수면 증발량을 고려한 경우보다 36.72백만 m^3 가 적었다.

그림 3에서 저수면 증발량에서 실선은 관측 계기증발량을 사용한 경우, 점선은 모의 계기증발량을 사용한 경우를 나타낸 것이며 유입량 곡선 저수면 증발량을 고려한 경우 2개, 고려하지 않은 경우 1개등 3개 곡선이 겹쳐 낸 것이나 단위가 mm로 일별로 차이가 뚜렷하게 나타나지 않았다.

표 2 대청댐 저수면 증발량 종합(1981~1999)

연도	증발량				유입량						강수량		증발비율	
	관측		모의		관측증발		모의증발		증발미고려				유입 량대	강수 량대
	(mm)	(백만 m^3)	(mm)	(백만 m^3)	(mm)	(백만 m^3)	(mm)	(백만 m^3)	(mm)	(백만 m^3)	(mm)	(백만 m^3)	(%)	(%)
1981	9.1	37.53	8.5	35.29	644.1	2662.78	643.7	2661.01	635.8	2628.20	1106.3	4573.44	1.4	0.8
1982	9.0	37.05	8.5	35.05	289.5	1196.87	289.2	1195.45	281.7	1164.70	754.6	3119.52	3.1	1.2
1983	9.3	38.26	9.2	38.11	606.8	2508.68	606.8	2508.49	598.0	2472.02	1053.2	4353.93	1.5	0.9
1984	9.7	39.91	9.8	40.59	743.8	3074.83	744.0	3075.63	734.7	3037.23	1178.2	4870.68	1.3	0.8
1985	9.3	38.57	9.9	41.09	1177.7	4868.67	1178.3	4871.29	1168.8	4832.01	1626.7	6724.78	0.8	0.6
1986	9.9	41.01	10.0	41.23	687.2	2841.07	687.3	2841.22	677.4	2800.38	1177.0	4865.72	1.4	0.8
1987	8.8	36.53	9.7	39.90	1185.1	4899.24	1185.9	4902.57	1176.3	4862.94	1537.4	6355.61	0.7	0.6
1988	8.8	36.38	8.6	35.48	333.0	1376.81	332.8	1375.99	324.6	1341.97	788.2	3258.42	2.6	1.1
1989	9.6	39.80	10.0	41.17	755.9	3124.72	756.2	3126.23	746.5	3086.13	1326.8	5484.99	1.3	0.7
1990	8.8	36.23	9.9	41.05	768.5	3177.12	769.7	3181.90	759.9	3141.51	1213.7	5017.44	1.1	0.7
1991	8.6	35.53	9.4	38.83	591.9	2447.07	592.7	2450.35	583.7	2412.84	1116.3	4614.78	1.5	0.8
1992	8.4	34.86	8.9	36.76	415.7	1718.33	416.2	1720.50	407.9	1686.23	950.7	3930.19	2.0	0.9
1993	8.9	36.79	9.7	40.11	899.9	3720.10	900.7	3723.46	891.3	3684.44	1417.6	5860.36	1.0	0.6
1994	8.9	36.79	9.3	38.56	203.3	840.54	203.8	842.65	195.2	807.09	694.9	2872.72	4.4	1.3
1995	8.7	35.85	8.4	34.75	407.1	1682.75	406.8	1681.82	398.9	1648.86	976.5	4036.85	2.1	0.9
1996	9.5	39.15	9.4	38.96	563.5	2329.50	563.5	2329.36	554.6	2292.72	1146.3	4738.80	1.7	0.8
1997	10.2	42.33	10.3	42.64	774.0	3199.82	774.1	3200.06	764.1	3158.93	1338.0	5531.29	1.3	0.8
1998	9.2	37.88	10.0	41.55	1113.9	4604.68	1114.7	4608.15	1104.9	4567.53	1608.1	6647.89	0.8	0.6
1999	9.3	38.35	10.0	41.46	682.0	2819.54	682.8	2822.64	673.2	2783.14	1189.9	4919.05	1.4	0.8
평균	9.2	37.83	9.5	39.08	675.9	2794.37	676.3	2795.72	667.2	2758.36	1168.4	4830.34	1.7	0.8

그림 2, 3의 과정을 1981~1999년 전기간에 대해 적용, 정리하여 표 2에 나타냈으며, 연도별로 저수면 증발량, 유입량, 강수량, 증발비율을 정리하였다.

연 저수면 증발량은 관측계기증발량을 사용한 경우 34.86~42.33백만 m^3 으로 평균 37.83백만 m^3 , 모의 계기증발량을 사용한 경우 35.05~42.64백만 m^3 으로 평균 39.08백만 m^3 이었으며, 유역 유출심으로 계산하면 관측의 경우 8.4~10.2mm로 평균 9.2mm, 모의의 경우 8.4~10.3mm로 평균 9.5mm이었다.

연 유입량은 저수면 증발량을 고려한 경우 관측 계기증발량의 경우 840.54~4,899.24백만 m^3 으로 평균 2,794.37백만 m^3 , 모의 계기증발량의 경우 842.65~4,902.57백만 m^3 으로 평균 2,795.72백만 m^3 이었으며, 유역 유출심으로 계산하면 각각의 경우 관측의 경우 203.3~1,185.1mm로 평균 675.9mm, 모의의 경우 203.8~1,185.9mm로 평균 676.3mm이었다.

저수면 증발량을 고려하지 않은 경우는 807.09~4,862.94백만 m^3 으로 평균 2,758.36백만 m^3 이었으며, 유역 유출심으로 계산하면 195.2~1,176.3mm로 평균 667.2mm이었다.

연 강수량은 694.9~1,626.7mm로 평균 1,168.4mm이었다.

저수면 증발량의 비율은 유입량의 0.7~4.4%로 평균 1.7%, 강수량의 0.6~1.3%로 0.8%에 상당하였다.

유출률로 평가해보면 저수면 증발량을 고려한 경우 유입량의 유출률은 57.8%, 고려하지 않은 경우는 57.1%로 나타났다.

3.2 기상자료를 이용한 저수면 증발량의 검정

그림 4는 관측 계기증발량을 사용하여 계산한 저수면 증발량과 기상자료를 이용한 모의 계기증발량을 사용하여 계산한 저수면 증발량의 등가선에 대해 균등하게 분포하는지 판단하기 위해 나타낸 것이며, 그림 5는 계산한 일 증발량을 월별자료로 만들어 관측 계기증발량과 모의 계기증발량을 사용한 경우 관측-모의 증발량을 비교한 것이다.

그림 4에서 보는 바와 같이 기상자료를 이용하여 계산한 계기증발량을 사용하여 저수면 증발량을 사용하여도 관측-모의 등가선 양쪽으로 고르게 나타나 결과가 좋았다.

그림 5에서 보는 바와 같이 월별로 나타내어도 기상자료를 이용한 모의 계기증발량을 사용하여도 모의 증발량과 관측 증발량의 일치 정도를 Nash-Sutcliffe 모형효율로 판단한 결과 0.973으로 나타나 저수면 증발량을 잘 모의하는 것으로 나타났다.

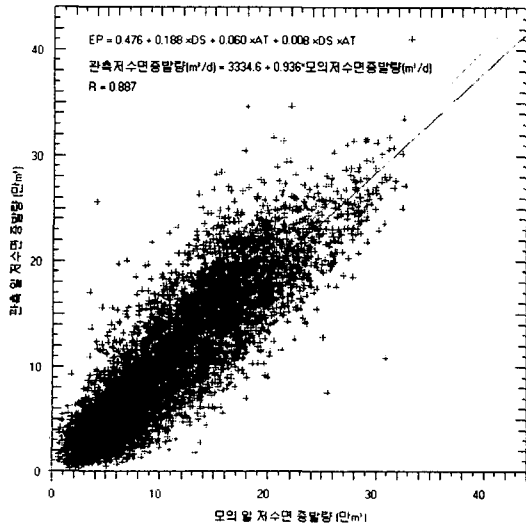


그림 4 관측-모의 등가선 비교

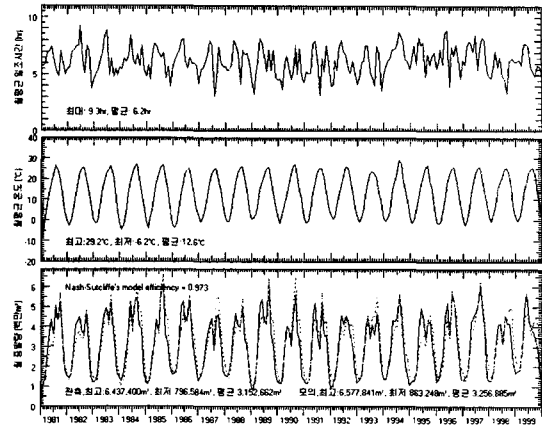


그림 5 저수면 월 증발량 검정

4. 결론

대청댐의 과거 1981-1999년의 운영자료를 이용하여 저수면 증발량을 계산하고 유입량을 구한 것과 저수면 증발량을 고려하지 않은 유입량의 값과 비교·분석한 결과, 저수면 증발량을 고려한 경우 계산한 유입량은 저수면 증발량을 고려하지 않은 경우보다 평균하여 연간 36.01백만 m^3 많게 나타났다. 이 값은 유역 유출심으로 계산하여 8.7mm에 상당하는 무시하지 못할 정도의 큰 값으로 판단하였다. 따라서, 다목적 댐의 유입량을 계산할 때 저수면 증발량을 고려하는 것이 바람직하며, 관측 계기증발량 값이 없는 장소에서는 일조시간과 평균온도 자료등 기상자료를 이용해 계기증발량을 모의하여 사용하여도 저수면 증발량 계산의 정확성을 크게 떨어뜨리지 않는 것으로 나타났다.

참고 문헌

노재경, 2002, 기상자료를 이용한 일 증발량 추정, 2002 수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회.