

洪水期 可變制限水位 적용의 검토

심 명필* 이환기** 권오익***

1. 서론

治水와 利水라는 목적이 상반되는 洪水기중의 利·治水관계 조정방법으로는 制限水位 방식과 豫備放流 방식이 있다. 제한수위 방식은 貯水池의 수위를 일정수위로 유지하여 洪水調節容量을 확보함으로써 洪水를 대비하는 것이며, 예비방류 방식은 제한수위를 정하지않고 利水목적에 비중을 두어 사용하다가 洪水가 예상될때만 예비방류에 의해 貯水位를 낮추어 洪水調節容量을 확보하는 것이다.

本 研究에서는 洪水期 전기간동안 일정한 수위를 유지하는 기존의 일정 제한수위방식 보다는 각 단위기간별 洪水의 발생빈도 및 규모를 고려하여 매기간 그 제한수위를 달리하여 한정된 저수용량의 재할당을 통한 가변제한수위방식으로 利·治水의 효율을 높이고자 하였다. 이를 위해 洪水期間을 가능한 단위기간별로 구분하고 관측된 유입량자료로 부터 빈도해석을 통해 유입량의 규모와 크기를 예측하여 이에 대응하는 洪水調節容量을 추정하고 이에 따른 洪水期 貯水池의 단위기간별 가변제한수위를 결정하였으며, 利水를 위한 최소확보저수위와 비교 검토 하였다.

2. 제한수위별 이수 및 홍수조절용량의 분석

다목적 댐의 경우 일반적으로 홍수기를 6월 중순에서 9월 중순까지로 구분한다. 댐 관리 규정(건설부, 한국수자원공사, 1981, 1987)에 의하면 홍수기중에는 일정한 제한수위를 유지하도록 하여 필요한 홍수조절용량을 확보하고, 비홍수기에는 상시만수위를 유지하도록 되어 있다. 홍수조절을 위해서는 제한수위를 낮추는 것이 안전하나 利水容量확보에는 위험이 따르므로 제한수위를 적절히 조정하므로써 이수용량(Conservation storage capacity)과 홍수조절용량(Flood storage capacity)의 재할당에 따른 효과를 분석하였다(Wurbs et al., 1985).

* 인하대학교 토목공학과 교수

** 한국수자원공사 댐운영처 댐운영 1부장

*** 인하대학교 대학원 토목공학과

표 1은 대청댐의 제한수위를 70 m 에서 77 m 로 달리 하였을때 유효저수용량과 홍수조절용량의 상대적인 변화를 나타내며, 빈도별 홍수가 발생할때 홍수의 기저시간 동안 800 m³/sec 에서 2,000 m³/sec 으로 일정량을 방류하는 경우 홍수조절용량을 가득 채우게 될 홍수의 재현기간을 추정하였다. 現 제한수위인 76.5 m 에서는 일정방류량의 크기에 따라서 5년에서 최고 46년의 재현기간을 보여준다. 표 2는 충주댐의 제한수위별로 800 m³/sec 에서 4,000 m³/sec 사이의 일정량을 방류할 경우의 홍수조절용량과 그에 따른 홍수재현기간을 각각 보여준다. 충주댐의 제한수위(138 m)에서는 방류량의 크기에 따라서 9년에서 최고 490년의 재현기간을 나타내며 대청댐에 비해 상대적으로 홍수조절용량이 크다고 볼 수 있다.

<표 1> 대청댐의 제한수위별 홍수조절용량의 재할당

제한수위 (m)	유효저수용량 (MCM)	홍수조절용량 (MCM)	일정방류(QMS)에 따른 홍수재현기간(年)				
			800	1000	1200	1500	2000
77	823.5	214.7	4	5	9	17	44
76.5	789.9	248.2	5	9	9	18	46
75	693.0	345.2	9	18	19	44	93
74	631.5	406.7	18	19	44	48	100
73	572.5	465.7	20	44	47	93	189
72	516.0	522.2	44	48	91	99	200
71	462.1	576.1	48	91	97	186	-
70	410.6	627.5	91	97	182	196	-

대청댐과 충주댐의 제한수위를 비교해 보면 일정량 2,000 m³/sec 을 방류하는 경우의 홍수 재현기간은 거의 같은 값을 나타낸다. 그러나 대청댐은 하류가 평탄한 지역으로 저수지에서 적은 양을 방류하더라도 쉽게 하류가 범람하는 경향이 있으므로, 충주댐에 비해 대청댐의 제한수위는 홍수조절의 측면에서 다소 높은 편이라 할 수 있다. 대청댐은 일년 전 기간 동안 제한수위를 일정하게 유지하고 있으므로 홍수기중에는 가변제한수위를 적용하면 홍수조절용량을 크게 할 수가 있다.

<표 2> 충주댐의 제한수위별 홍수조절용량의 재할당

제한수위 (m)	유효저수용량 (MCM)	홍수조절용량 (MCM)	일정방류(QMS)에 따른 홍수재현기간(年)					
			800	1000	1500	2000	3000	4000
142	1876.8	276.8	3	4	5	9	46	182
141	1788.9	364.7	4	4	9	18	49	192
140	1703.1	450.5	4	5	9	19	94	448
139	1619.0	534.2	5	9	18	44	99	469
138	1537.7	615.8	9	9	19	47	183	490
137	1458.2	695.4	10	18	21	49	192	500
136	1380.7	772.9	18	19	46	93	447	-

3. 단기간별 제한수위의 검토

洪水期 전 기간동안 일정한 수위를 유지하는 기존의 제한수위방식 보다는 각 단위기간별 洪水의 발생빈도 및 규모를 고려하여 매기간 그 제한수위를 달리한다면 한정된 저수용량의 재확당을 통한 가변제한수위 방식으로 利·治水의 효율을 높일 수 있다(日本 건설성하천국, 1987). 충주댐의 경우 洪水期 전 기간동안 洪水期 제한수위인 138 m 를 유지하도록 되어 있으나 9월 21일부터는 상시단수의인 141 m 를 유지하도록 되어 있다. 이는 불확실하고 임의적인 댐 유입량의 특성으로 실제운영에 있어 수일을 前後로한 수위상승은 무리가 따른다. 이를 위해 洪水기간을 전·중·후반부로 구분하여 전·중반부는 治水에 치중하고 후반부에서는 利水를 고려하여 각각 그 제한수위를 달리하여 단계적인 수위상승을 기하는 가변제한수위방식을 검토하였다. 이를 위해 洪水期間을 가능한 단위기간별로 구분하고 각 단위기간별 관측된 유입량자료로 부터 적합도 검정을 하여 적절한 분포를 구하였다.

충주댐의 과거 홍수유입량을 분석하기 위해 일평균 유입량 2000 m³/sec를 무해유량(Non-damaging discharge)으로 하여 홍수사상을 추출하였다(Votruba, 1989). 실제로 홍수의 기저시간은 수일에 불과하나 이는 기저유량을 기준으로 선정한 결과이며 무해유량을 기준으로 충주댐의 최근 10년간의 홍수자료로 부터 홍수사상을 선정한 결과, 추출 홍수사상의 기저시간은 6일에서 15일 사이에 분포하며 이들의 평균치는 10.5일로 추정할 수 있다.

이에 6월에서 10월 까지의 대청댐과 충주댐의 순별 자연유입량자료로 부터 통계적인 방법을 이용하여 그 이론적인 분포를 찾아 빈도해석에 따른 초과확률개념을 사용하여 10% 에서 50% 사이의 유입량에 대한 순별 가변제한수위를 검토하였다(한국수자원공사, 1992 b).

자료의 부족으로 일평균 유입량을 사용하여 홍수사상의 평균기간을 산정하고 순별유입량의 빈도 해석을 하는 것은 무리가 다르나 상대적인 홍수빈도에 따른 가변제한수위를 추정할 수는 있다. 대청댐의 순별유입량의 자료수는 부족하여 통계적 특성치를 추정하기 어려우므로 대청댐의 경우는 월별로, 충주댐은 旬別로 분석하였으며. 표 3과 표 4는 放流를 고려하지않은 상태에서 초과확

<표 3> 대청댐 月別 가변 제한수위

月	초 과 확 률(%)別 저 수 위					현재한수위 (76.5m) 초과확률(%)
	50	25	20	15	10	
6	79.65	79.23	78.87	78.49	77.83	6
7	78.32	74.77	72.95	69.75	62.61	33
8	78.65	77.19	76.61	75.77	74.39	20
9	78.88	77.63	77.13	76.41	75.21	16

<표 4> 충주댐 旬別 가변 제한수위

旬別기간	초 과 확 률(%)別 저 수 위					현재한수위 (138m) 초과확률(%)
	50	25	20	15	10	
6월 末	144.0	142.7	142.2	141.4	140.1	6
7월 初	142.9	139.5	138.0	135.7	131.4	20
7월 中	139.7	135.1	133.6	131.6	128.8	38
7월 末	140.4	135.2	133.4	130.9	127.1	36
8월 初	142.0	138.7	137.5	136.0	133.8	22
8월 中	142.3	140.2	139.6	138.0	137.7	11
8월 末	141.9	139.7	138.9	137.9	136.3	16
9월 初	141.6	138.4	137.1	135.4	132.4	24
9월 中	142.9	140.0	139.2	137.7	135.1	16
9월 末	143.6	142.7	142.4	142.1	141.7	1

물 유입량에 대한 가변제한수위를 대청댐과 충주댐에 관하여 각각 구한 것이며 두 저수지 모두 홍수기 전반부는 제한수위를 현재보다 낮추는 것이 바람직하나, 후반부에는 제한수위를 다소 올려주므로서 이수를 위한 대비를 할 수 있다. 실제 洪水時에는 예비방류와 본 방류를 함으로서 가변제한수위로 부터 구한 홍수조절용량보다 더 큰 값을 가질 수 있으므로 비교적 정확한 홍수유입량을 예측할 수 있다면 초과확률 유입량에 대해 방류량을 고려한 가변제한수위 적용도 가능하 다 할 수 있다.

4. 이수를 위한 최소확보저수위의 산정

대청댐과 충주댐의 갈수기에 대비해서 확보하여야 할 저수량을 산정하기 위해서 갈수기의 잔여기간중의 월별유입량으로는 수자원공사에서 조사한 재현기간별, 지속기간별 확률유입량을 사용하였다(수자원연구소, 1991, 1992). 貯水池상에 떨어지는 강수량은 대청댐의 경우 1981년에서 1991년 사이의 대청댐의 월별 평균강우량 자료를 이용하였고 충주댐의 경우 한강수계내의 80여개의 우량관측소에서 관측된 충주지역의 월별 평균강우량 자료를 이용하였고, 증발손실량을 고려하였다. 월별 용수수요량은 대청댐의 경우 댐설계기준용량을 사용하였고 충주댐의 경우 장래의 수요를 고려한다는 의미에서 최종목표년도인 2011년 계획량을 채택하였다(한국수자원공사, 1992 a).

대청댐과 충주댐의 월평균 누가갈수유입량을 12개월 주기로 분석하여 월평균 수문량, 용수 공급량 및 갈수빈도별 물부족량을 구하였으며, 사용한 누가갈수 유입량은 비홍수기의 마지막 달인 6월 말을 기준으로 역순으로 누가한 값을 구한 것으로서, 水年(Water year)은 6월말에서 다음 해 6월말로 한 경우이다. 갈수빈도별 물부족량은 월별로 용수수요량을 충족하기 위한 소요저수용량을 뜻하며, 주로 7월에서 9월사이의 음수값들은 유입량이 용수수요량을 넘어서 물부족이 없는 경우를 나타낸다.

월별 물부족량의 값에서 비홍수기의 마지막달인 6월말 부터 역으로 누적하여, 6월말 용수공급을 충족시키기 위해 확보해야 할 매월말의 최소확보저수위를 구하였다. 표 5와 표 6은 각각 다음해 6월말까지 대청댐의 용수用 최저소요저수위인 60 m(대청댐)와 110 m(충주댐)를 유지하기 위한 매월말의 확보저수위이다(한국수자원공사, 1992 b).

표 5 의 대청댐의 경우에는 홍수기가 끝난후인 9월말의 최소확보저수위는 50년과 100년 빈도의 갈수가 예상될때 각각 76.01 m 와 76.90 m 이다. 대청댐의 제한수위는 76.50 m 이므로 9월말에 제한수위를 유지하고 있을때 100년 빈도의 갈수가 예상될 경우에는 남은 기간동안 다소의 물부족 현상이 예상될 수도 있다. 홍수기중인 7월과 8월말의 최소확보저수위는 제한수위보다 낮은 값이며 이는 홍수기 동안은 용수수요를 공급하고도 물이 남는 경우를 뜻하며, 홍수기 동안의 최소확보저수위는 홍수조절용량확보와 상반된 관계를 가지게 된다.

표 6 의 충주댐의 경우에는 9월말의 최소확보저수위는 50년과 100년빈도의 갈수가 예상될 때 각각 139.6 m 와 140.7 m 로서 만수위 141 m 보다 낮은 값을 나타낸다. 그러나 홍수기중인 7

월과 8월말의 최소저수위는 50년과 100년 빈도의 갈수인 경우 139.1 m 와 141.4 m로서 제한수위 (138 m)보다 높은 값을 확보하여야 한다. 현실적으로는 홍수기중에 홍수조절을 위해 저수위를 제한수위 이하로 유지하여야 하므로 50년빈도 이상의 갈수가 예상될 때에는 9월말의 소요저수위를 확보하는데 어려움이 따른다. 이러한 갈수에 대비하기 위해서는 홍수기중에 저수위를 제한수위 보다 다소 높게 유지하고 홍수예상시에는 예비방류를 하는 방안이 필요하게 된다.

대청댐과 충주댐의 갈수주기를 36개월로 보고 매월별로 최저저수위로 부터 Mass curve에 의해 최대갈수량을 추정하여 용수공급을 위해 확보하여야 할 소요저수위를 구한 결과, 대청댐의 경우에 50년 빈도의 갈수가 예상될 때에는 최소확보저수위가 75.31 m (7월)에서 최대 82.32 m (9월)로서, 12개월 주기로 분석한 표 5 의 50년 빈도의 값들과 비교하면 상당히 큰값을 나타내고 계획홍수위를 넘는 값들이 수개월간 요구 됨으로 현실성이 없다고 할 수 있다. 36개월을 주기로 분석한 값들은 利水만을 고려한 월별 소요확보저수위를 구하는 경우로서 초기의 저수지 용량을 결정할 때는 타당한 방법이나, 홍수기의 홍수조절목적도 고려하면서 동시에 利水목적의 소요확보저수위를 추정하기에는 무리한 방법이라 할 수 있다. 결론적으로 용수공급을 위한 최소확보저수위를 산정 하기 위해 12개월과 36개월을 주기로 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

<표 5> 대청댐의 용수공급을 위한 최소확보저수위

월	갈 수 빈 도 (年)				
	5	10	20	50	100
7	63.66	69.04	72.16	74.73	76.09
8	66.86	70.68	72.97	74.94	75.99
9	69.48	72.46	74.35	76.01	76.90
10	68.92	71.63	73.32	74.82	75.63
11	68.12	70.80	72.44	73.88	74.64
12	67.08	69.66	71.25	72.37	73.32
1	65.90	68.38	69.92	71.22	71.89
2	65.08	67.40	68.84	70.06	70.69
3	65.21	66.85	67.86	68.80	69.15
4	65.77	66.66	67.19	67.62	67.98
5	65.04	65.38	65.58	65.71	65.77
6	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00

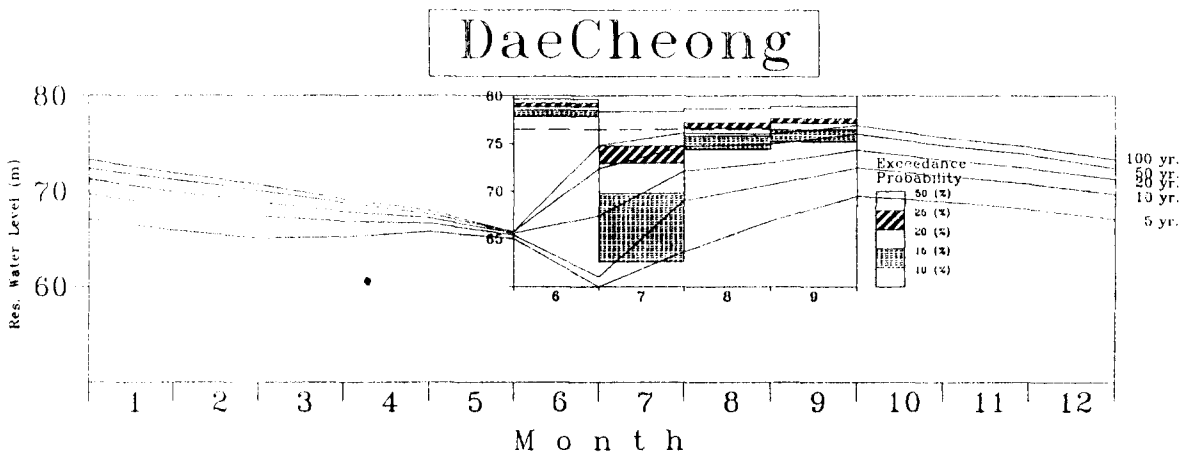
<표 6> 충주댐의 용수공급을 위한 최소확보저수위

월	갈 수 빈 도 (年)				
	5	10	20	50	100
7	122.2	129.9	134.8	139.1	141.4
8	127.6	132.3	135.4	138.3	140.0
9	132.1	135.3	137.6	139.6	140.7
10	130.8	133.7	135.7	137.5	138.6
11	128.6	131.6	133.6	135.4	136.4
12	126.3	129.4	131.3	133.1	134.0
1	123.0	126.1	128.1	129.8	130.8
2	119.8	123.0	125.0	126.7	127.7
3	117.7	120.5	122.2	123.7	124.5
4	118.1	119.6	120.5	121.3	121.7
5	115.9	116.5	116.8	117.1	117.3
6	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0

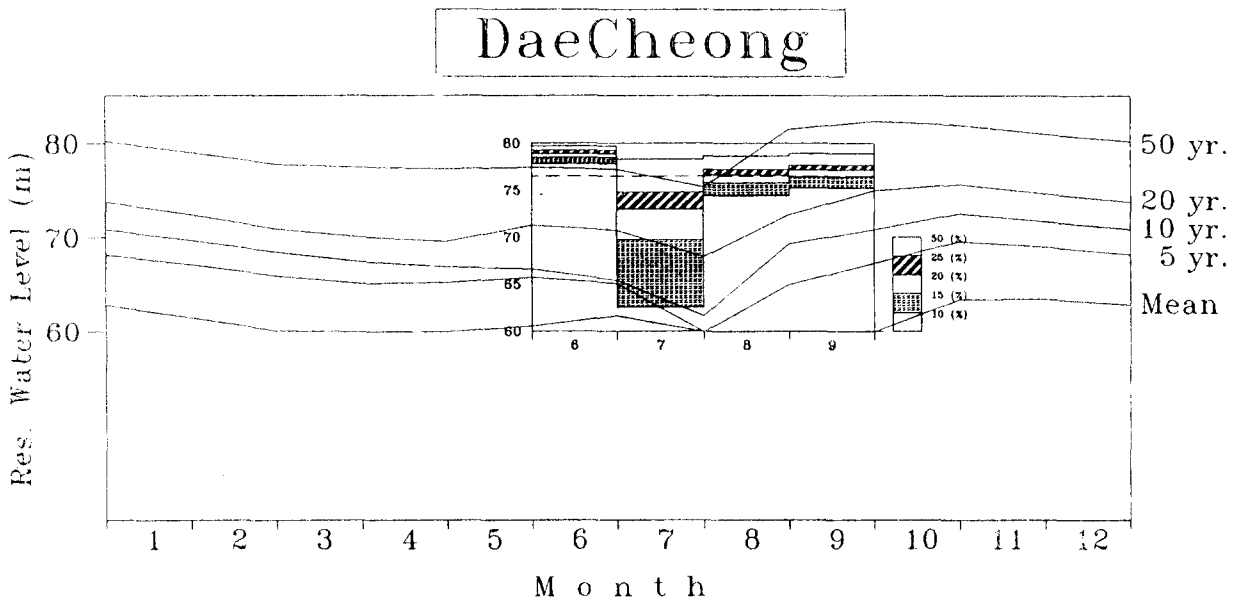
두 방법 모두 Mass Curve를 이용하여 최대갈수량을 추정하였으나 12개월을 주기로 한 방법은 홍수기의 시작인 6월의 최저저수위를 기준으로 하여 역순으로 누가갈수량을 구하여 각각 해당월의 최소확보저수위를 산정하였고, 36개월을 주기로 한 방법은 월별로 최대 누가갈수량을 구하여 최저저수위를 합산 하므로써 해당 월의 최소확보저수위로 추정하였다. 利水만을 고려하는 경우에는 보다 장기적인 36개월을 주기로 갈수량을 분석하는 것이 바람직하나, 저수용량이 제한된 기존의 저수지운영이나 특히 利水와 治水를 고려하는 홍수기의 저수지운영에는 12개월을 주기로 구한 최소확보저수위가 타당하다고 할 수 있다.

5. 결과의 분석 및 고찰

그림 1은 대청댐의 홍수조절을 위한 가변제한수위와 이수를 위한 소요확보저수위를 비교한 것으로, 각각 홍수유입량의 초과확률과 갈수유입량의 누가확률과 관계를 가진다. 내부 4각형은 표 3의 유입량의 초과확률에 대한 가변제한수위를 나타내고 기존 제한수위인 76.5 m는 점선으로 나타내었다. 바깥 4각형속의 실선들은 표 5의 갈수빈도별 최소확보저수위를 도시한 것이다. 그림 1은 대청댐의 홍수기 동안 예비방류의 결정을 위한 저수지운영의 기준이 되며, 두 저수위선이 서로 겹치는 경우에는 利水와 治水목적이 상반되어 소요저수위가 각기 다르다는 것을 뜻한다. 예를 들면 8월의 제한수위는 초과확률별로(혹은 재현기간별로) 74.39 m에서 78.65 m를 확보해야 하나, 용수공급목적의 최소확보저수위는 재현기간별로 66.86 m에서 75.99 m로 상당한 부분이 겹치게 된다.



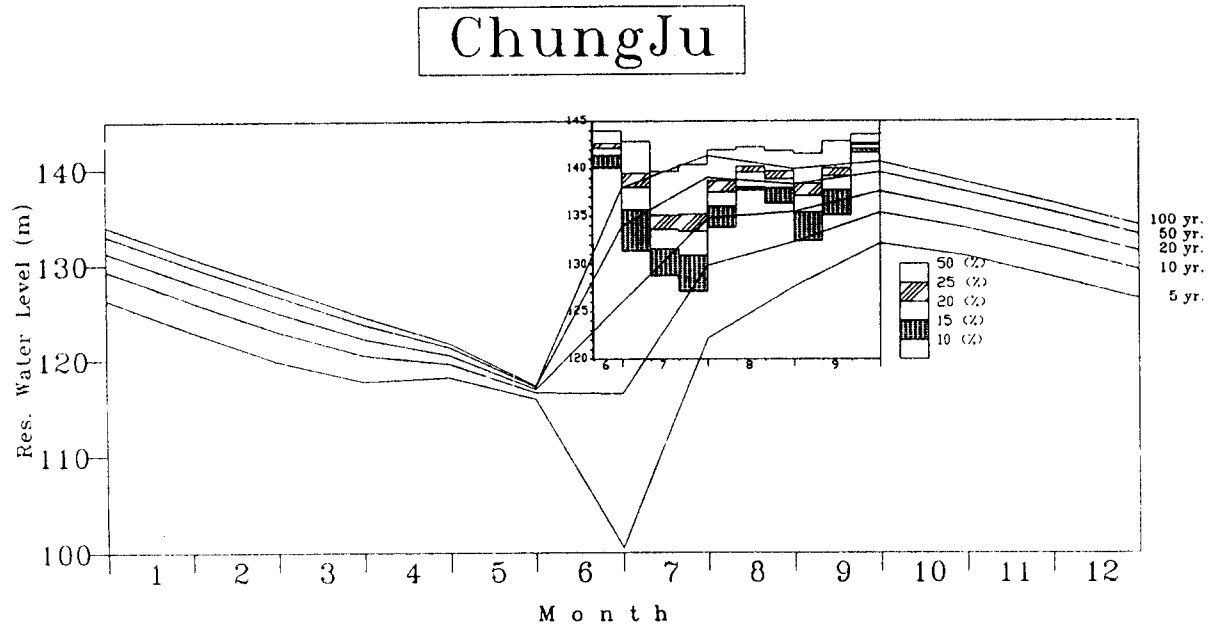
<그림 1> 대청댐의 이수용 확보저수위와 가변제한수위(12개월)



<그림 2> 대청댐의 이수용 확보저수위와 가변제한수위(36개월)

그림 2 는 대청댐의 36개월 갈수주기에 대한 소요확보 저수위를 가변제한수위와 비교한 것으로서, 利水를 위한 소요확보저수위가 다소 높게 산정되어 예비방류를 통한 저수지운영의 기준으로 채택하기 에는 어려움이 따른다.

그림 3 은 충주댐의 경우를 나타내며 표 4 의 가변제한수위와 현재의 제한수위인 138 m를 내부의 사각형에 도시하고, 표 6 의 12개월 주기 최소확보저수위와 비교한 것이다.



<그림 3> 충주댐의 이수용 확보저수위와 가변제한수위(12개월)

실제로 홍수기중의 이수과 치수를 고려한 저수지운영을 위해서는 해당기간의 제한수위곡선과 利水를 위한 확보저수위를 비교하여 예비방류를 통해 운영하도록 한다. 그림 1 에서 홍수조절을 위한 제한수위곡선(초과확률별 가변제한수위와 기존의 일정제한수위를 포함)을 A라 하고 이수를 위한 소요확보 저수위곡선을 B라 하면 이들 저수위 곡선 사이에는 두가지의 경우가 있을 수 있다.

그 하나는 홍수기동안 해당기간의 제한수위를 나타내는 곡선 A가 곡선 B 보다 높은 경우이다. 이는 두 곡선 사이에 어떤 저수위를 유지하더라도 이수과 치수목적을 충족시키는 경우로서 곡선 A의 낮은 초과확률치 또는 곡선 B에 저수위를 유지하도록 하여 치수에 중점을 두도록 한다. 홍수기 초반부가 주로 이 경우에 해당될 수 있다.

다른 하나는 곡선 B가 제한수위인 곡선 A를 넘는 경우이다. 이는 이수과 치수목적이 상반되는 경우를 뜻하며 많은 기간들이 이 경우에 해당한다. 특히 홍수기 후반부에는 치수에 치중하여 곡선 A에 저수위를 유지하는 경우에 예상홍수가 발생하지 않으면 심각한 용수부족을 초래할 수 있으므로, 곡선 B의 해당 확률치에 저수위를 유지하여 이수에 중점을 두도록 한다. 이와 같은 경우 저수위는 제한수위를 넘을 수 없다는 댐 관리규정에 위배되고 홍수조절에도 위험도가 따

르나, 예측홍수의 신뢰도에 따라서는 적절한 예비방류를 통하여 홍수조절용량의 확보를 기할 수 있을 것이다.

곡선 A와 B가 겹치는 경우 해당확률의 결정은 댐 운영자가 과거에 발생한 홍수의 크기 및 빈도와 홍수기 잔여기간 동안의 예상홍수, 각 저수위에서의 예비방류 모의운영에 의한 예상방류량 및 과거의 경험등을 바탕으로 판단하여 결정하여야 한다.

5. 결론

1) 대청댐과 충주댐을 비롯한 국내의 다목적 댐에 적용하고 있는 洪水期中의 일정 제한수위를 유지하는 기존의 운영규정은 정확한 洪水豫測 없이는 洪水期末의 소요저수량을 확보하기 어려우므로 비홍수기의 이수목적을 만족 시키기 어렵다.

2) 한정된 저수容량의 재할당을 통해 洪水의 발생빈도 및 규모를 고려한 可變 제한수위를 단기간별로 검토하여 단계적인 제한수위의 상승을 기하여, 洪水期初에는 洪水調節容량의 추가적인 확보를 도모하여 댐하류의 放流에 따른 피해를 줄이고 洪水期末에는 소요저수량의 확보를 도모하여 이수목적을 만족 시킬 수 있다.

3) 洪水前 비교적 정확히 洪水量을 豫測하고 댐하류 조절점에서의 유량을 고려하여 예비방류와 연계한 最適放流量을 결정한다면 가변제한수위의 적용은 利·治水에 도움이 될 것이다.

參 考 文 獻

건설부·한국수자원공사, 댐관리 규정 : 대청다목적댐 관리규정(건설부 훈령 제 542호) 1981, 충주다목적댐 관리규정(건설부 훈령 제 728호), 1987.

수자원 연구소(1992), 한강수계 충주저수지 시스템의 실시간 최적운영을 위한 의사결정수지 시스템개발(이수관리부문), 92-WR-3-1, 한국수자원공사.

수자원 연구소(1991), 충주댐지점 갈수분석 및 신뢰도별 필요확보저수량, 한국수자원공사.

日本 건설성 하천국(1987), 다목적댐의 건설 - 제 2권 조사편(1987), pp. 18~20.

한국수자원공사(1992 a), 다목적댐 운영 실무편람

한국수자원공사(1992 b), 다목적댐의 홍수조절을 위한 예비방류 대책 연구.

Votruba L.(1989), Water Management in Reservoirs, Development in Water Science 33. ch11, pp.297~313, ch13, pp.330~340.

Wurbs, R.A., Cabezas, L.M. and Tibbets, M.N.(1985), "Optimum reservoir for flood control and conservation purposes.", Texas Water Resources Institute, Technical Report No.137.