

HEC-5 사용에 대한 소고(小考)



김 상 수 |
(주)도화종합기술공사 기술고문
sskim1945@dohwa.co.kr

1. 서론

댐 설계시 다목적댐이건 단일목적댐이건 간에 필요한 용수확보(HWL) 외에 댐의 안전을 위해 홍수조절용량을 추가로 확보함으로써 비로소 댐의 규모가 확정된다.

본고에서는 홍수조절용량계산과 관련하여 최근 10여 년간 널리 사용되어온 HEC-5(저수지조절계산용 software)의 output을 근거로 검토한 내용을 소개하고자한다.

2. HEC-5 소개

우리가 저수지 조절 계산을 위해 주로 사용하는 software인 HEC-5에 대해 필자가 파악한 내용을 간단히 소개하고자 한다.

HEC-5는 미공병단에서 개발된 범용 저수지 시스템 모의운영 프로그램으로 초기에는 단일 홍수에 대한 홍수조절을 위해 개발된 프로그램이었으나, 이후

지속적인 발전을 통하여 병렬저수지의 홍수조절은 물론 저수지 운영모의까지 할 수 있도록 개발되었다.

3. 저수지 기본 방정식

저수지에 유입된 홍수파는 저수위, 저수량과 연관되어 여수로를 통해(필요시 수문조작) 방류된다.

이러한 일련의 저수지조절계산을 위한 수자원기술자 특히 댐 관련 프로젝트를 수행하는 기술자들이 항상 접하게 되는 널리 알려진 간단한 기본 방정식이 있다.

$$I - O = ds/dt \quad \text{①}$$

$$\bar{I} - \bar{O} = \Delta S / \Delta t \quad \text{②}$$

$$(I_i + I_{i+1})/2 - (O_i + O_{i+1})/2 = (S_{i+1} - S_i) / \Delta t \quad \text{③}$$

여기서 : I=inflow, O=outflow

S=storage, t=time

상기 식 ①, ② 및 ③은 모두 같은 식이며 저수지 조절계산을 위한 불변의 기본 식이다.

4. HEC-5 의 저수지 운영 방식 검토

결론을 먼저 제시하면 HEC-5에 사용된 저수지 조절식은

$$I_{i+1} - O_{i+1} = (S_{i+1} - S_i) / \Delta t \quad \text{④}$$

이다.

상기 식 ④는 우리가 알고 있는 기본 식 ③과 분명히 다르다.

현재로서는 software 개발자의 실수인지, 아니면 무슨 깊은 뜻이 있는지는 알 수 없지만 분명한 것은 HEC-5에 의한 output 결과 치(저수위, 저수량)가 식③에 의해 계산된 수치와 다르다는 점이다.

상기 software에 의해 계산된 output을 보면 방류량(outflow)과 저수위(저수량)가 서로 상응하지 않는다.

해당 저수위 일 때의 방류량 수치를 H-Q curve에서 읽거나 계산한 수치와 output 상의 방류량 수치가 다르다는 얘기다.

즉, $(I_i + I_{i+1})/2$ 대신 (I_{i+1}) 를 사용하고 $(O_i + O_{i+1})/2$ 대신 (O_{i+1}) 를 사용함으로써 HEC-5의 output 결과는 outflow는 時點(i)의 값인 반면, 저수위(저수량)는 時點(i+0.5Δt)의 값을 표현하게 되는 것이다.

방류량과 상응하는 H-Q curve 상에서 방류량에 해당되는 저수위를 얻고자 하면 時點(t_i)의 저수위 WL_i 와 時點(t_{i+1})의 저수위 WL_{i+1} 의 평균치를 계산하면 이 값이 방류량 O_{i+1} 와 H-Q curve 상에서 상응하는 저수위가 된다.

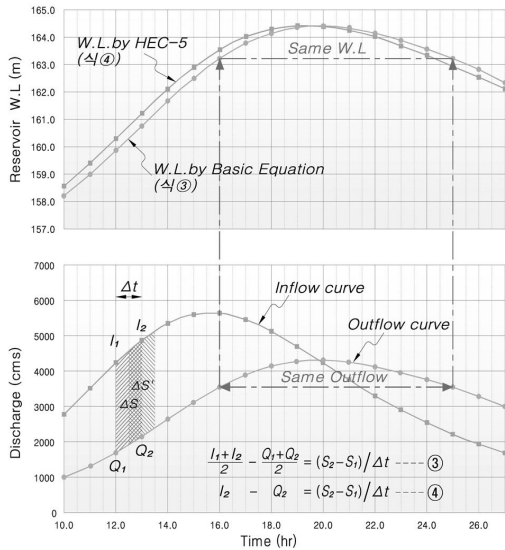
식 ④를 사용한 HEC-5의 결과 치와 정상적인 기본 식 ③에 의해 계산된 결과치를 비교하면, PMF가 아닌 계획홍수과의 경우 최대 방류량과 최대 저수위는 거의 동일하게 나타나지만 저수위가 (0.5Δt) 시간만큼 지체되어 표현되므로 output상의 모든 저수위 수치가 정상적인 계산결과 치와 다르다.

간단히 말하자면, HEC-5에 의해 산정된 저수위를 (0.5Δt) 시간만큼 후방으로 평행이동 시키면 정상적인 조절식에 의한 저수위와 거의 일치하게 된다. 그 결과, 방류량 곡선의 상승구간과 하강구간을 비교할 때 심지어 방류량이 적음에도 불구하고 저수위가 상대적으로 높거나, 또는 방류량이 많음에도 불구하고 저수위는 상대적으로 낮게 표현되는 등의 매우 불합리한 결과를 보이고 있다.

표 1. HEC-5와 기본방정식의 방류량·저수위 결과 비교 (자료:00담-Auto,Rom)

시간 (hr)	유입량 (CMS)	HEC-5 (식④)		조절기본식 (식③)	
		방류량(CMS)	저수위(m)	방류량(CMS)	저수위(m)
10.0	2,786.0	1,012.9	158.57 (158.22)	1,008.2	158.22
11.0	3,510.0	1,319.4	159.39 (158.98)	1,312.7	158.99
12.0	4,230.0	1,701.6	160.29 (159.84)	1,696.9	159.85
13.0	4,867.0	2,147.9	161.22 (160.76)	2,144.6	160.76
14.0	5,345.0	2,630.6	162.11 (161.67)	2,629.3	161.67
15.0	5,606.0	3,109.8	162.90 (162.51)	3,109.8	162.50
16.0	5,636.0	3,542.7	163.54 (163.22)	3,542.2	163.22
17.0	5,459.0	3,892.6	164.02 (163.75)	3,893.0	163.78
18.0	5,126.0	4,139.9	164.30 (164.16)	4,140.5	164.16
19.0	4,698.0	4,278.4	164.43 (164.37)	4,278.9	164.37
20.0	4,229.0	4,311.7	164.40 (164.42)	4,312.0	164.42
21.0	3,758.0	4,254.6	164.26 (164.33)	4,254.9	164.33
22.0	3,312.0	4,125.6	164.02 (164.14)	4,125.8	164.14
23.0	2,904.0	3,945.5	163.70 (163.86)	3,945.5	163.86
24.0	2,541.0	3,731.6	163.34 (163.52)	3,731.5	163.52
25.0	2,222.0	3,496.0	162.95 (163.15)	3,495.3	163.15
26.0	1,945.0	3,252.0	162.54 (162.75)	3,251.6	162.74
27.0	1,696.0	3,007.1	162.12 (162.33)	3,006.8	162.33

※ ()내 수치는 시점 와 시점 의 저수위를 평균한 값으로 위에서 설명한 바와 같이 정상적인 기본식(식③)에 의한 저수위 결과와 동일함을 알 수 있다.



그 외에도, HEC-5는 PMF 홍수조절계산 시 水門 개방에 필요한 시간을 고려하는 입력수단이 없는 것으로 보아 PMF 조절계산에 있어 실제 상황에 근접한 계산을 하기가 어렵게 되어 있다.

HEC-5의 계산결과를 PMF시 수문개방 시간을 고려한 정확한 계산결과와 비교한 바, 약 3~4% 내외로 최고수위가 낮게 산출되어 안전측이 아니므로 이 역시 별도의 계산 수단이 필요치 않을까 사료된다.

저수지 조절계산의 기본 식 ③은 저수지 수위가 평행하다(저수지 전 구간에서 수위변동이 없다)는 前提 하에 성립한다.

이는 저수지 수위가 위치에 따라 다르다고 가정한다면 이를 고려한 조절계산 자체가 거의 불가능함을 전제로 한 것이다.

HEC-5 내용이 software 개발자의 실수가 아니고 다른 깊은 뜻이 있다는 전제하에 그 의도를 역지로 이해하려 들자면(실제로 개발자의 의도가 아닐 수도 있음), 저수지 수위 상승 시와 하강 시에 저수지 상류 지점(상류 유입부분)과 여수로 방류 지점(제체 인접부분)의 수위가 평행하지 않을 것이라는 점을 염두에 두고 일부러 식 ④를 사용한 것 아닌가 하고 생각할 수 있다.

즉, 수위 상승 시에는 여수로 측 수위가 저수지 전

구간의 평균수위보다 낮아 평균수위에 해당하는 방류량보다 적게 방류되며, 수위 하강 시에는 여수로 측 수위가 평균수위 보다 높아 평균수위에 해당하는 방류량보다 많이 방류될 것이라는 가정을 전제로 개발한 것으로 추측할 수 있다.

그러나, 저수지 전 구간의 수위가 위치에 따라 다소의 변동이 있을 수 있다고 하더라도, 또 여수로 측 수위가 저수지 전 구간의 평균수위보다 다소 높거나 낮아진다 하더라도 그 값은 무시할 정도로 미미할 것으로 판단되며, 아무 의미 없는 중간과정(방류량 peak 전, 후의 저수위 변동)의 미미한 수위 변동을 고려키 위해 기본이 되는 조절방정식(식③)을 훼손하면서까지 이론에 맞지 않는 새로운 식(식④)을 굳이 만들어서 사용할 필요가 있는지, 또 그것이 現狀을 이해하는데 무슨 도움이 되는지 납득하기 어렵다.

5. HEC-1 결과 비교 검토

매우 제한적이긴 하지만 HEC-1에도 간단한 저수지 조절계산 기능(수문조작없는 자연방류조절-Auto.Rom)이 있다. HEC-1 Manual에 사용된 조절계산식은 전술한 기본식 ③과 같으며, HEC-1의 output 결과 역시 조절계산식(식③)의 결과와 일치한다. 즉, HEC-5의 결과는 동일 기관에서 제작한 타 software(HEC-1)와도 다른 결과를 보이고 있는 것으로 보아 잘못 제작되었을 가능성이 높은 것으로 의심된다.

6. 결론

지금까지 잘 사용해 오던 software에 대해 의문을 갖기가 쉽지 않은 일이지만, 필자가 제시한 상기의 문점예의 공감 여부와 상관없이 HEC-5의 계속적인 사용여부는 전적으로 사용자의 책임으로 사용자가 판단할 일이다.

그러나 설계자가 저수지조절의 기본식이 식 ③이 맞는다고 생각한다면 식 ④가 적용된 HEC-5의 사용은 재고하는 것이 좋으리라 사료되며, 굳이 HEC-5를 사용하고자 할 경우 계산서 첫머리에 모든 조절계산이 식 ④에 의해 계산되었음을 알림으로서, 계산자의 所信을 밝히는 것이 옳다고 생각된다. ☞

● 참고문헌

1. Hydrologic Engineering Center(1998). " HEC-1 Flood Hydrograph Package User Manual Version 4.1", U.S. Army Corps of Engineers
2. Hydrologic Engineering Center(1998). "HEC-5 Simulation of Flood Control and Conservation System User's Manual Version 8.0", U.S. Army Corps of Engineers