

미국에서의 우수지 설계 사례

안 태 진 (안성산업대학교 토목공학과 교수)

1. 개 설

본고는 Seybert와 Kibler(1990)⁴⁾가 발표한 연구 논문을 일부분 번역한 것으로 유출모형, 다단계 우수지 설계와 홍수추적모형을 포함하고 있는 Pennsylvania State Urban Hydrology Model (PSUHM)¹⁾를 적용한 우수지 설계 사례를 담고 있다. PSUHM은 설계강우와 주상도, 유출곡선지수(CN), 합리식과 수정합리식, SCS단위도, SCS TR-55 모형, Muskingum 홍수추적, 수정 Puls추적, 수문곡선합성, 다단계 우수지 설계 등을 포함하고 있다.

1990년 DOS환경으로 개발된 PSUHM은 1997년 WINDOWS환경에서 운영하는 Virginia Tech PSUHM (VTPSUHM)으로 보완되었다.

미국 Pennsylvania 주 Armstrong County, East Franklin Township내 28번 도로와 Whiskey Run천이 교차하는 지점에서의 횡단구조물인 배수암거는 1925년에 준공되었으며 그 규모는 6×6 ft 박스암거로서 연장은 50 ft이다(Figure 1과 Figure 2 참조). 박스암거의 준공시 설계홍수량은 재현기간 25년에 상당하는 440 cfs이며 암거 유출구측의 수두는 4.0 ft로 가정하였다. 유역면적은 645 acres이며 1925년 준공

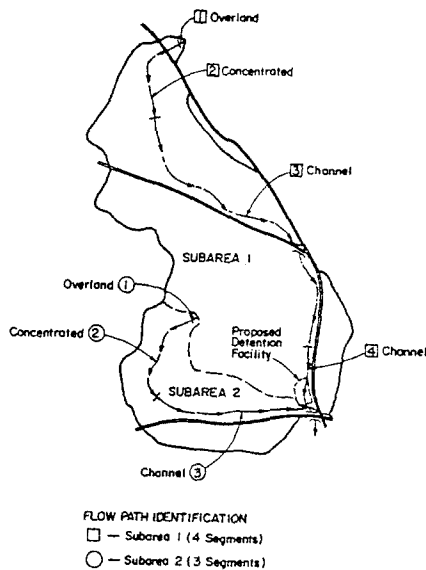


Figure 1 . Sketch of Whiskey Run watershed

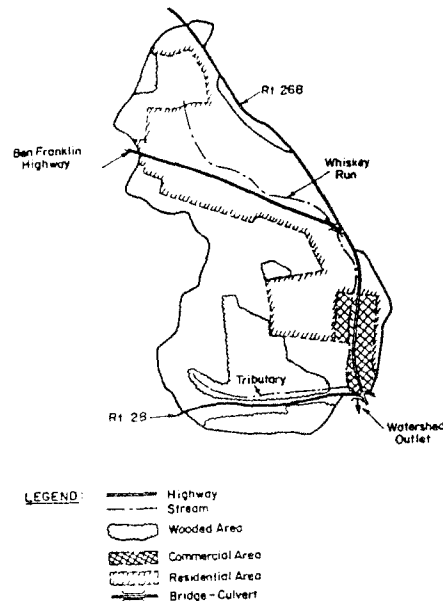


Figure 2. Subarea definition and detention facility location

시 유역은 대부분 산림과 농경지로 구성되었으나, 그 이후 단독주택단지와 상가단지가 형성되어 유역내 불투수층의 증가로 말미암아 암거입구에서 홍수범람이 자주 발생하였다. 따라서 유역내 우수저류시설을 설치하여 홍수범람을 예방하고자 하며 저류시설과 연결되는 하류하천의 보호를 위하여 5년빈도 홍수량을 2년빈도 홍수량으로 저감시키고자 한다. 그러므로 하류하천보호와 배수암거 안전을 위하여 2년빈도(Q_2), 5년빈도(Q_5) 및 25년빈도(Q_{25}) 홍수량을 선택하였다.

2. 홍수량 추정

2.1 자료수집

수집해야 할 자료는 유역면적, 토지이용상태 및 면적, 토지이용면적에 관한 수문학적 토양군, 임계 유출경로(하천)에서의 도달시간 등이다. 유역면적과 토지이용상태는 지형도나 현장조사를 통하여 구할 수 있으며 Whiskey Run 천의 유역은 Figure 1과 같이 두 개의 소유역으로 구분되며 소유역 1(subarea 1, SA1)은 주택 및 상가지역으로 개발되어 불투수층 면적이 많이 증가되었으며, 소유역 2(subarea 2, SA2)

Table 1. Curve number for Subarea 1 in Whiskey Run Watershed

landuse	soil group	CN	area	% total area
meadow-dense grass	B	58	21.0	4.29
meadow-dense grass	C	71	136.0	27.81
wooded-thick stand	C	70	32.0	6.54
residential	B70	37.0	7.57	
residential	C	80	230.0	47.03
commercial	C	94	33.0	6.75

total area = 489 acres weighted CN = 76

Table 2. Curve number for Subarea 2 in Whiskey Run Watershed

landuse	soil group	CN	area	% total area
meadow-dense grass	B	58	67.0	42.95
meadow-dense grass	C	71	65.0	41.67
wood-thick stand	B	55	19.0	12.18
wood-thick stand	C	70	5.0	3.21

total area = 156 acres weighted CN = 63

에서의 유역개발은 미미하여 농경 및 산림지역으로 남아있다. 수문학적 토양군은 토양도를 이용하여 결정되었다. 유역내 유출경로(하천)는 현장조사와 함께 지형도를 이용하여 결정하였다. 도달시간이 가장 긴 유출경로인 임계유출경로를 결정하기 위하여 여러 유출경로를 조사하였다.

2.2 확률홍수량 추정

Step 1. 유출곡선지수(curve number) 계산: Table 1과 Table 2 참조

Step 2. 도달시간 계산: 도달시간은 TR-55 모형²⁾에서의 공식으로 계산하였으며 그 결과는 Table 3과 Table 4와 같다.

여기서 L= 유출경로의 길이 (ft)

Table 3. Travel time for subarea 1(SA1)

segment 1: overland flow L=50 ft, S=0.015 ft/ft, n=0.15, P(2yr/24hr)=2.3 in. Travel time = 7.4 minutes
segment 2: concentrated flow L=2100 ft, S=0.033 ft/ft, unpaved surface Travel time = 11.9 minutes
segment 3: channel flow A=10 ft ² , P=8.66 ft, L=6800 ft, S=0.028 ft/ft, n=0.35 Travel time = 14.5 minutes
segment 4: channel flow A=40 ft ² , P=17.3 ft, L=1300 ft, S=0.014 ft/ft, n=0.03 Travel time = 2.1 minutes
Total travel time for path subarea 1 = 36 minutes

Table 4. Travel time for subarea 2(SA2)

segment 1: overland flow L=50 ft, S=0.025 ft/ft, n=0.24, P(2yr/24hr)=2.3 in. Travel time = 8.8 minutes
segment 2: concentrated flow L=2200ft, S=0.049 ft/ft, unpaved surface Travel time = 10.3 minutes
segment 3: channel flow A=3 ft ² , P=4.82 ft, L=3260 ft, S=0.043 ft/ft, n=0.04 Travel time = 9.7 minutes
Total travel time for path subarea 1 = 28.8 minutes

S= 유출경로의 평균경사 (ft/ft)

A= 유수단면적 (ft²)

P(2yr/24hr)=24시간 강우지속기간을 갖는 2년빈도 강우량 (in.)

P= 유출경로의 윤변 (ft)

n= Manning의 조도계수

지표면흐름(overland flow)은 sheet flow와 같으며 도달시간 계산시 강우량은 24시간 지속기간 2년 빈도 강우량과 같다. 또한 concentrated flow는 swale 또는 ditch flow와 같은 의미이며 channel flow는 잘 발달된 수로의 흐름(well-defined watercourse)이다. 각 흐름에서의 도달시간 계산식은 다음과 같다.

TR-55 sheet flow:

$$T_c = \frac{0.007(nL)^{0.8}}{(P(2yr/24hr))^{0.5} S^{0.4}}$$

여기서 T_c = 도달시간 (hrs), L는 300 ft 이내

SCS TR-55 shallow concentrated flow:

비포장 수로: $V=16.1345 S^{0.5}$

포장 수로: $V=20.3282 S^{0.5}$

$$T_c = \frac{L}{V} \frac{1hr}{3600sec}$$

여기서 V = 평균유속 (ft/s)

SCS TR-55 channel flow:

$$T_c = \frac{L}{V} \frac{1hr}{3600sec}$$

$$\text{여기서 } V = \frac{1.49R^{2/3} S^{2/3}}{n}$$

Step 3. 확률홍수수문곡선 추정

24시간 강우지속기간을 갖는 2년, 5년 및 25년 빈도 확률홍수수문곡선(Q_2 , Q_5 및 Q_{25})은 강우강도-지속기간-생기빈도(IDF) 곡선이나 확률강우강도공식으로부터 각각 2.3, 2.7 및 3.7 in.이었다. 25년 빈도 확률홍수수문곡선을 SCS TR-55 모형으로 추정할 결과는 Table 5와 같다. Table 5에서 보는 바와 같이 25년 빈도 확률강우량은 602 cfs이므로 현재 암거의 배수능력 440 cfs보다 162 cfs만큼 초과한다. 따라서 유수지(detention pond)는 440 cfs보다 작은 침투홍수량이 발생하는 규모로 결정되어야 한다. 같은 방법으로 2년과 5년빈도 확률강우량을 소유역 1의 침투홍수량은 각각 184 cfs, 263 cfs이고 유출고(runoff depth)는 각각 0.71 in.와 0.82 in.이었다.

3. 저류시설 설계

Step 1. 유수지 예비 규모 결정

소유역 1(SA1)으로부터 12.5시간에 발생하는 침투홍수량은 525 cfs이므로 저류시설은 SA1 하류측에 설치하는 것이 타당하다. 소유역 2(SA2)으로부터 발생하는 침투홍수량 78 cfs는 배수능력이 440 cfs인 암거를 통하여 모두 배

Table 5. Tabular hydrograph for 25-year storm of Whiskey Run watershed

Individual subarea and composite hydrographs												
	Time (hrs)											
subarea	11.0	11.9	12.2	12.5	12.8	13.2	13.6	14.0	15.0	17.0	20.0	26.0
SA1	12	38	203	525	333	142	86	65	44	29	19	0
SA2	0	0	27	78	43	22	15	12	9	6	4	0
composite	12	38	230	602	376	164	101	77	53	35	24	0
The peak flow is 602.4 cfs - occurs at 12.5 hrs												
Summary of input parameters												
subarea (sqmi)	area number	curve (in)	IA/P (hrs)	runoff (hrs)	TC (hrs)	Adj. TC (hrs)	TT	ADJ. TT				
SA1	0.764	76	0.171	1.51	0.60	0.60	0.00	0.10				
SA2	0.244	63	0.317	0.76	0.48	0.50	0.00	0.00				
composite	1.008	73		1.33								

제기로 계획하고, 소유역 1으로부터의 첨두홍수량은 525 cfs이므로, 유수지로부터 배제되는 목표 방류량(target release)은 362 cfs이어야 한다(암거설계배수량(440 cfs) - SA2의 첨두홍수량(78 cfs) = 362 cfs). 곧 SA1으로부터의 525 cfs를 설치되는 유수지를 통하여 362 cfs로 경감하면, SA2으로부터의 78 cfs와 함께 배수능력이 440 cfs인 암거를 통하여 홍수 범람을 야기하지 않고 원활히 배수된다는 것이다. 한편 유수지 하류측 수로의 과도한 세굴을 방지하기 위하여 Q_{25} 인 263 cfs를 Q_2 184 cfs로 경감코자 한다. 따라서 유수지로부터 2개의 목표방류량은 각각 184 cfs와 362 cfs가 된다.

유수지(detention basin) 예비 설계는 일반적으로 다음 세 가지 단계를 거친다.

첫째, 유수지 예정 위치에서 표고별 저류용량을 작성한다.

둘째, 유수지내 Q_5 와 Q_{25} 를 조절하기 위한 적절한 표고에 방류공(outlet structure)의 규모를 결정하고, 방류공으로부터의 유출량을 표고별로 작성한다.

셋째, Q_5 와 Q_{25} 유입수문곡선으로 유수지내 홍수 추적을 통하여 유수지 목표방류량을 갖는 유수지와 방류공의 규모를 찾는다. 이와 같은 과정은 다단계추적모형에 의하여 용이하게 수행할 수 있다.

Q_{25} 를 조절하기 위한 개략적인 유수지의 규모는 TR-552)의 2)Figure 6-1으로부터 추정할 수 있으며 이 그림은 Q_0/Q_1 에 따라 V_s/V_r 을 제공하고 있다. 여기서 Q_0 는 유수지로부터의 목표방류량, Q_1 는 유입홍수수문곡선의 첨두홍수량, V_s 는 유수지의 소요저류용량, 그리고 V_r 는 유입홍수수문곡선의 유출량 총체적이다. 본 사례에서는 $Q_0/Q_1=362/525=0.69$ 이므로 V_s/V_r 는 TR-55의 Figure 6-1으로부터 0.21임을 알 수 있다. 소유역 1으로부터 25년빈도 유입홍수수문곡선의 유출량 총체적은 Table 5로부터 소유역 1의 유출고는 1.51 in.이므로 총체적은 489 acres×1.51 in. ×1ft/12 in. = 61.5 acre-ft (AF)이 된다. 따라서 소요저류용량 V_s 는 0.21×61.5 acre-ft=12.9 AF가 되며, 이 용량은 소유역 1으로부터 유입홍수량 수문곡선의 첨두홍수량 525 cfs를 유출홍수량수문곡

선의 첨두홍수량 362 cfs으로 저감시키는데 소요되는 유수지의 개략적인 저류용량이다. 이 소요저류량 12.9 AF는 수정 Puls 추적법에 의하여 추후에 수정된다. 소유역 1의 유수지 예정지점에서 지형측량을 실시한 결과, Table 6와 같은 표고별 저류용량 자료를 수립하였다.

Step 2. 방류공 예비 규모결정

소유역 1 하류측에 설치되는 유수지는 5년과 25년 빈도 확률홍수량을 조절하므로 유수지의 방류공은 2종류로 하여 Riser Box내에 설치하고, 저수위와 고수위를 고려하는 2단계로 운영할 수 있도록 설계하는 것이 타당하다. 저수위 단계는 Q_5 인 263 cfs를 Q_2 인 184 cfs로 저감하도록 설계하고, Q_{25} 인 525 cfs를 362 cfs로 저감할 때는 저수위 단계 방류공과 함께 고수위 단계 방류공을 동시에 운영하도록 설계한다. 따라서 고수위 단계 설계시는 저수위 단계 방류공의 배수능력을 함께 감안하여야 한다.

저수위 단계

2.2절 확률홍수량, Step 3으로부터 소유역 1에서 추정된 5년빈도 확률홍수량의 유출고는 0.82 in.이었다. 따라서 5년빈도 확률홍수량의 총체적 V_r 는 0.82 in. ×1 ft/12 in.× 489 acres = 33.4 AF이다. $Q_0/Q_1=184/263=0.7$ 이므로 V_s/V_r 는 TR-55의 그림 6-1으로부터 0.21임을 알 수 있으며 V_s 는 0.21×33.4 AF = 7.0 AF가 된다. Table 6의 표고별 저류용량표에 의하면 저류용량 7.0 AF에 해당하는 표고는 1003.44 ft이다. 저류지의 바닥고가 998.0 ft이므로 5년빈도 확률홍수량 발생시 저류지의 수두는 약

Table 6. Storage-Elevation data for Whiskey Run detention facility

Elevation(ft)	Storage(acre-ft)	Elevation(ft)	Storage(acre-ft)
998	0	1003	6.04
999	0.23	1004	8.28
1000	0.94	1005	10.67
1001	2.18	1006	13.22
1002	3.95	1007	15.50

5.44 ft이다. FHWA 암거 Chart³⁾에 의하면 수표면과 직각방향으로 설치한 48 in. 2련 원형오리피스일 경우 최대수두 4.38 ft일 때 184 cfs(저수위시 목표방류량)를 배제할 수 있다(Figure 5 참조). 그러므로 이에 해당하는 수위는 $998.0 + 4.38 = 1002.38$ ft이고 저류량은 4.75 AF이다. 따라서 저수위단계 잠정 설계수위는 1002.38 ft이다.

고수위 단계

Step 1에서 25년빈도 확률홍수량의 526 cfs를 362 cfs로 저감하는데 소요되는 개략저류량은 12.9 AF이므로 Table 6에 의하면 이에 상당하는 표고는 1005.88 ft이다. 따라서 원형오리피스의 최대수두는 $1005.88 - 998.0 = 7.88$ ft이며 이 때 배제량은 294 cfs이다. 그러므로 25년빈도 확률홍수가 발생하는 고수위 단계에서는 $362 - 294 = 68$ cfs를 추가로 배제하여야 하므로 원형오리피스 외 다른 방류공을 계획하여야 한다. 고수위 단계의 잠정설계수위는 1005.88 ft이다.

고수위 단계의 방류공 바닥고를 저수위 단계(5년빈도 확률홍수발생시)의 잠정설계수위보다 약간 높은 1002.4 ft로 결정하면, 고수위 단계에서 운영하는 방류공의 최대수두는 $1005.88 - 1002.4 = 3.48$ ft가 된다. 따라서 고수위 단계에서 원형오리피스외 방류공으로부터 배제하여야 할 유량은 68 cfs인데, 이를 위하여 원형오리피스 바로 위인 표고 1002.4 ft에 수표면과 수평방향으로 구형오리피스 (2 ft × 7 ft)를 설치하면 목표배제량 362 cfs를 배제할 수 있다(Figure 5 참조). 즉 고수위 단계 운영에서는 원형오리피스를 통하여 294 cfs를 배제하고 구형오리피스에서는 68 cfs를 배제토록 계획한 것이다.

Step 1과 Step 2를 통하여 개략적으로 결정한 유수지 및 방류공의 규모는 수정 Puls 추적법을 통하여 검토하여 수정·확정한다.

콘크리트 Riser box에 연결되는 outfall 암거(culvert)는 오리피스로부터 배수된 우수를 하류하천으로 원활히 배수시키는 구조물이다. 그러므로 방류공의 수위-유량곡선은 outfall 암거의 배수능력에 따

라 발생하는 Riser box내 수리조건을 고려하여 보정되어야 한다. 본 사례에서는 제방주변의 지형과 하천 위치를 고려하여 outfall 암거의 설계 제원은 각각 길이 50 ft, 경사 0.005 ft/ft, 상류측 바닥고는 995.00 ft로 하였다. outfall 암거의 하류수심으로 암거의 출구부가 완전히 잠기는 현상은 발생하지 않는다고 판단하였다. 골철관관(corrugated metal pipe, CMP)인 outfall 암거는 Riser box 말단 구형말단에 끼워 설치하였으며 Manning 계수는 0.012으로 추정하였다. FHWA 암거 chart로부터 직경이 8.5 ft인 outfall 암거의 배제량은 고수위 단계 잠정수위가 1005.80 ft이고 유입부 조절(inlet control)일 때 478 cfs이므로 Riser box의 최대유입량 362 cfs(유수지로부터 목표방류량)보다 크므로 충분함을 알 수 있다. 일반적으로 outfall 암거는 충분히 커서 Riser box로 배제되는 유수지 방류량이 조절되지 않도록 해야 한다. 즉 Riser box내 오리피스가 완전히 잠기더라도 유수지내 수리학적 조절은 outfall 암거보다는 Riser box내 오리피스에 의하여 조절되어야 한다는 것이다. 따라서 설계에서는 outfall 암거의 배수능력을 유입부 조절과 유출부 조절에 따라 검토하여 Riser box내 오리피스의 잠김 현상에 관한 적절한 보정이 이루어져야 한다.

Step 3. 예비설계내역의 검토

소유역 1 하류측에 예정된 유수지 및 2단계 방류공의 예비 제원으로 유수지로부터 목표방류량 184 cfs와 362 cfs를 충족하는지 5년 및 25년 빈도 확률홍수 수문곡선(Q_5 , Q_{25})을 추적하였다. Table 6의 표고별 저류용량 자료와 표고별 유출량 자료를 이용하여 수정 Puls법을 적용하여 Q_{25} 인 경우 유수지 홍수추적을 실시한 결과, 유수지로부터 배제되는 최대유출량은 322 cfs이었고 이 때 유수지 소요용량은 11.6 AF이었다. 또한 Q_5 인 경우 최대유출량은 167 cfs이고 해당수위는 1002.7 ft이었다. 홍수추적 결과를 보면, 2단계 방류공으로 저수위 단계는 Q_5 의 목표방류량 184 cfs에 근접하지만 고수위 단계에서는 Q_{25} 의 목표

Table 7. Routing output for proposed two-stage outlet pond for Whiskey Run watershed

Time, hrs.	Hydrograph inflow, cfs	Basin inflow, cfs	Storage acre-ft	Elevation ft, msl	Basin outflow, cfs	Outflow total, cfs	Retention time, hrs
0.00	12.00	12.00	0.000	998.00	0.00	0.00	0.00
0.17	14.40	14.40	0.145	998.63	5.37	5.37	0.18
0.33	17.07	17.07	0.237	999.01	12.77	12.77	0.19
0.50	20.40	20.40	0.302	999.10	15.20	15.20	0.21
0.67	25.87	25.87	0.389	999.22	18.43	18.43	0.21
0.83	34.63	34.63	0.514	999.40	23.88	23.88	0.21
1.00	60.20	60.20	0.756	999.74	35.89	35.89	0.19
1.17	171.20	171.20	1.599	1000.53	73.10	73.10	0.16
1.33	382.80	382.80	3.893	1001.97	147.84	147.84	0.18
1.50	524.60	524.60	7.493	1003.65	236.81	236.81	0.24
1.67	441.93	441.93	10.092	1004.76	352.36	352.36	0.31
1.83	312.27	312.27	10.381	1004.88	359.82	359.82	0.37
2.00	210.00	210.00	9.250	1004.41	326.75	326.75	0.42
2.17	153.27	153.27	7.769	1003.77	251.46	251.46	0.46
2.33	117.90	117.90	5.470	1003.19	208.29	208.29	0.48
2.50	96.00	96.00	5.266	1002.63	180.51	180.51	0.46
2.67	81.83	81.83	4.181	1002.11	154.89	154.89	0.43
2.83	71.97	71.97	3.273	1001.62	130.70	130.70	0.39
3.00	65.20	65.20	2.553	1001.21	111.04	111.04	0.35
3.17	60.03	60.03	2.018	1000.87	91.89	91.89	0.32
3.33	55.07	55.07	1.656	1000.58	75.68	75.68	0.31
3.50	51.00	51.00	1.416	1000.38	65.34	65.34	0.29
3.67	47.77	47.77	1.245	1000.25	58.23	58.23	0.28
3.83	45.80	45.80	1.120	1000.15	53.50	53.50	0.27
4.00	43.80	43.80	1.025	1000.07	49.91	49.91	0.26
4.17	42.30	42.30	0.950	1000.01	47.08	47.08	0.26
4.33	40.77	40.77	0.894	999.94	44.02	44.02	0.26
4.50	39.20	39.20	0.855	999.88	41.69	41.69	0.26
4.67	37.93	37.93	0.824	999.84	39.88	39.88	0.26
4.83	36.63	36.63	0.799	999.80	38.38	38.38	0.26
5.00	35.30	35.30	0.775	999.77	36.99	36.99	0.26
5.17	34.07	34.07	0.752	999.74	35.71	35.71	0.26
5.33	32.73	32.73	0.729	999.70	34.49	34.49	0.26
5.50	31.50	31.50	0.705	999.67	33.24	33.24	0.26
5.67	10.30	10.30	0.579	999.49	26.78	26.78	0.38

Total routing mass balance discrepancy = 0.06%

Peak inflow = 524.60 cfs Peak outflow = 359.82 cfs

Routing time step = 0.17 hours Number of outflow hydrograph points = 34

Modified Puls basin routing for 25 yr

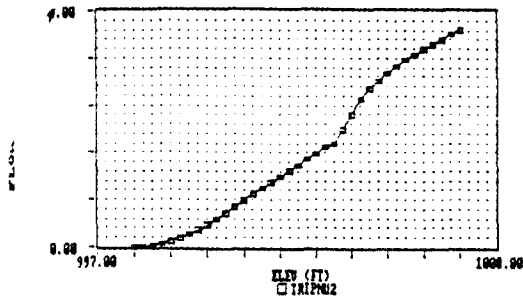


Figure 3. Outlet rating curve for Whiskey Run SA1 detention facility

방류량 362 cfs에 못 미친다. 따라서 고수위 단계 운영을 위한 구형오리피스(grated drop inlet)의 재원만을 변경하였다. 즉 구형오리피스(grated drop inlet)의 규모를 2 ft × 7 ft에서 4 ft × 5 ft로 수정하였고 구형오리피스의 천정고(top of grated inlet)를 1002.4 ft에서 1002.7 ft로 변경하였다. 수정한 내역을 이용하여 홍수추적을 실행한 결과는 Table 7과 같으며 최대유출량은 360 cfs, 유수지 소요용량은 10.4 AF, 유수지 고수위는 1004.88 ft이었다. 즉 구형오리피스 방류공의 규모를 예비설계 내역보다 크게함으로써 유수지의 저류용량을 경감시키는 효과를 거두었다. 유수지 및 방류공의 최종 설계제원으로 추정된 표고별 유출량 곡선과 유입 및 유출수문곡선은 Figure 3과 Figure 4와

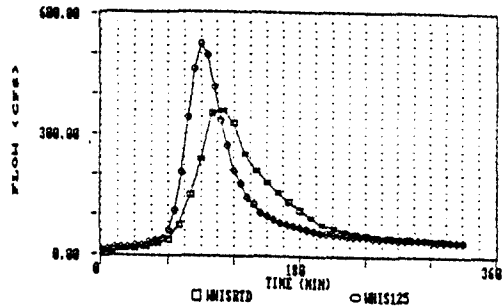


Figure 4. Q_{25} routed hydrograph for Whiskey Run SA1

같으며, 방류공의 최종 설계제원의 개략도는 그림 5와 같다.

4. 고찰

만약에 최종설계 제원에서 고수위 단계를 운영하기 위한 구형오리피스를 설치하지 않는 것으로 하고 Q_{25} 에 관한 홍수추적을 실행하면 유수지로부터 최대유출량은 목표방류량 362 cfs에 상당히 못 미치는 256 cfs이었으며, 유수지 최대소요용량은 13.7 AF로 증가하여 최고수위 또한 1006.22 ft로 증가한다. 즉 단단계 방류공(single - stage outflow structure)은 다단계 목표방류량(multiple outflow targets)을 충족시키기

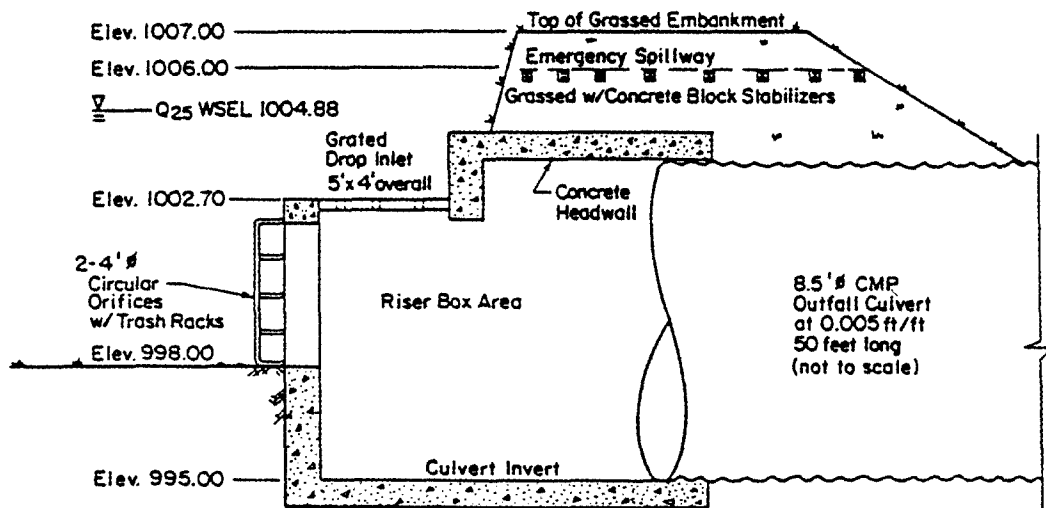


Figure 5. Sketch of the two-stage outlet structure of the detention basin

위해서는 유수지 제당고를 높게 해야 하므로 비경제적인 설계가 되는 것을 보여 주고 있다. 따라서 본 설계 사례와 같이 2단계 방류공은 5년 및 25년빈도 확

률홍수량 발생시 목표방류량을 동시에 충족시켜 주어 보다 합리적이고 경제적인 설계안임을 보여 주고 있다. ●

〈참고문헌〉

1. D. F. Kibler, E. L. White, and T. A. Seybert. Users Manual to the Penn. State Urban Hydrology Model. Pennsylvania State University, Dept. of Civil Engineering, May 1990.
2. Urban Hydrology for Small Watersheds. Technical Release 55, U.S. Dept. of Agriculture, Soil Conservation Service, June 1986.
3. Hydraulic Design of Highway Culverts. Report FHWA-IP-85-15. Hydraulic Design Series No. 5. FHWA, U. S. Department of Transportation, Sept. 1985.
4. T. A. Seybert and D. F. Kibler. Pennsylvania State Urban Hydrology Model as a Tool for Highway Drainage Design. Transportation Research Record 1279, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C. 1990.



지어지양(池魚之殃)

생각지 않았던 재난과 화재로 화가 다른 곳까지 미치는 것. 송나라 성문이 타는데 옆에 있는 연못의 물을 퍼서 불을 끄기 때문에 연못의 물고기가 재앙을 입었다는 고사.

작수성례(酌水成禮)

물만 떠놓고 혼례를 지냄. 가난한 집에서 극히 간단하게 올리는 혼례를 가리키는 말.

