

異常豪雨時 小規模 貯水池流域의 流出特性 및 貯水池狀態解析

李舜鐸*, 池洪基*, 安勝燮**, 朴琦鎬**

1. 序 論

豪雨에 의한 災害로는 일반적으로 山地의 山沙汰와 貯水池의 崩壞 등에 의한 河川 下流沿邊의 浸水 및 流失 등으로 대별할 수 있으며, 山地의 山沙汰와 小河川 沿邊의 浸水 및 流失의 경우는 河川改修 事業의 확장에도 불구하고 水害에 따른 人命 및 財産의 被害는 날로 증가되고 被害額도 급증하고 있는 실정이다. 이러한 現象은 山地의 開發과 産業施設 및 土地利用의 高度化로 인하여 새로운 형태의 水害가 발생하고 水害에 따른 被害密度인 單位面積當의 被害額도 크게 급증하고 있다. 특히 貯水池의 崩壞 또는 運營操作上的 잘못 등으로 인한 被害는 상상을 초월하여 그 被害가 매우 심각할 수 있다. 특히 山地流域의 上流에 貯水池나 댐이 있는 경우는 댐의 安全性은 물론이고 댐의 流入量-貯水量-放流量의 관계로부터 합리적인 貯水池 運營이 요구된다.

따라서 본 研究에서는 異常豪雨時 小規模 貯水池 流域의 流出特性和 貯水池狀態 解析을 위하여 兄山江 上流인 慶州市 및 北川流域의 1991年 8月 22~24日에 발생한 颱風 글래디스의 來襲에 따른 集中 豪雨로 인하여 德洞댐·普門湖의 貯水池 現況이 極限狀態에 직면했던 당시의 水理·水文學的인 現象을 分析하였다.

2. 流域의 地形特性 및 水利施設

본 分析 流域은 兄山江 上流流域인 慶州市와 慶州郡 地域에 위치한 急傾斜 山地의 小河川流域으로서 異常豪雨時 流域의 대부분이 山沙汰와 地表面의 流失 등이 常習的으로 발생할 수 있는 風化土가 널리 分布되어 있는 危險地域이다. 특히 北川 上流에 위치한 流域은 北川 上流에서 流入하는 德洞댐과 德洞댐 下流에 普門湖가 있으며, 이들 流域은 대부분 험준한 山岳을 포함하고 있어 流域의 平均高度가 높고 流域의 地表 또한 急傾斜를 이루고 있다.

2.1 流域의 地形特性

본 分析의 對象流域인 德洞댐과 普門湖는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 兄山江流域의 中

* 嶺南大學校 工科大學 敎授

** 嶺南大學校 大學院 博士課程

流部 右岸에서 합류하는 北川流域에 直列로 위치하고 있다. 兄山江 流域의 支流인 北川流域은 慶州市 東南部に 위치하여 西北으로는 兄山江 本流와 접해 있고 東南으로는 明活山과 南山이 둘러 쌓여 있으며, 北川은 北流하다가 慶州市 중심부인 兄山江 本流에 合流하고 있다.

먼저, 兄山江 上流流域의 地形資料는 流域面積(A), 流路延長(L), 流路中心長(L_c), 地表面의 標高差(ΔH) 및 流路傾斜(ΔH/L) 등을 調査하였다. 이 때 각 小流域은 兄山江 本流에 合流하는 兄山江 上流 流域을 비롯한 南川, 大川 및 北川 流域의 德洞댐 流域과 普門湖 流域으로 구분하였다. 地形特性 因子는 1/25,000 地形圖로 부터 분할된 河川水系를 기준으로 각각 調査하였으며, 이들 因子는 洪水流出 解析과 水害原因 分析을 실시하는데 이용할 수 있도록 하였다. 각 小流域別 地形 因子를 調査分析한 결과는 Table 1과 같다. 여기서 나타낸 바와 같이 北川流域은 德洞댐 流域(A = 51.70km²)과 普門湖 流域(A = 23.88km²) 그리고 普門湖 下流流域(A = 7.10km²)로 구성되어 있으며, 그 總流域面積은 82.60km²에 德 流域面積은 75.58km²로서 德 流域의 面積은 北川流域 總面積의 91.5%에 이르고 있다.

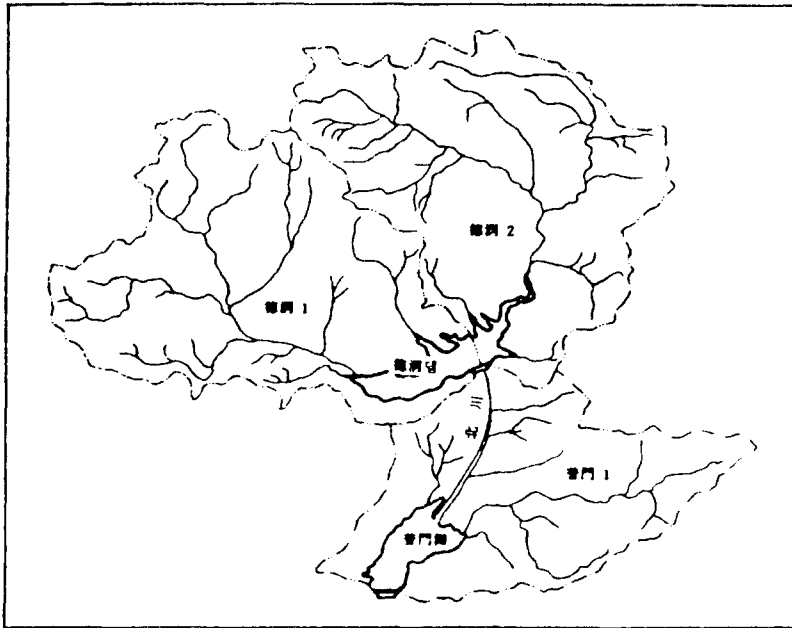


Fig. 1 分析對象流域圖

다음으로, 分析流域의 水文學의 特性分析에 필요한 地表面 處理狀態의 調査 分析은 北川 流域에 있어서 德洞댐과 普門湖 流域을 대상으로 河川水系를 구분하였으며, 小流域別 地表面 處理狀態는 流域流出에 영향을 미치는 因子로서 開發 및 未開發 상태로 나누었으며, 調査對象 因子로는 宅地 및 道路(鋪裝 및 非鋪裝)로 구분하고 未開發 地域은 田, 畚, 河川(水路) 및 林野 등으로 구분하였다.

특히 北川流域의 河道傾斜를 조사해 본 결과 德洞댐 上流는 $S = 0.0500$ 으로서 매우 急傾斜이고 德洞댐~普門湖 區間的 河道는 $S = 0.0143$ 으로서 매우 緩傾斜이며, 普門湖 下流 河道는 $S = 0.0148$ 로서 대체로 緩傾斜이나 兄山江 本流보다는 河道의 傾斜가 급한 편이다. 이러한 현상은 德洞댐에 流入하는 洪水到達時間이 매우 짧게 발생할 수 있는 여건을 갖추고 있으며, 德洞댐과 普門湖 下流는 비교적 완만하여 河道의 흐름을 安定되게 유도할 수 있음을 알 수 있다.

Table 1 小流域別 地形特性因子

小流域	A(km ²)	L(km)	L _{ca} (km)	ΔH(m)	ΔH/L
德洞댐 1	25.053	9.00	6.70	474	0.04740
德洞댐 2	26.647	9.50	5.00	475	0.05000
普門湖 1	20.300	14.50	7.00	100	0.01429
北川	7.100	6.00	3.20	99	0.01483

2.2 水利施設 現況

兄山江 上流流域에 위치한 兄山江 支流인 北川流域에는 上流에 德洞댐과 下流에 普門湖가 位置해 있으며, 그 配置形態는 直列로 連結되어 있다. 특히 北川流域에 直列로 配置된 두 貯水池의 安全問題는 德洞댐과 普門湖 자체의 安全 뿐만 아니라 普門湖는 上流 貯水池인 德洞댐의 安全 및 放流狀態에 전적으로 지배되므로 이들 貯水池의 諸元과 餘水路의 諸元을 Table 2와 같이 調査하였다.

먼저, 德洞댐과 普門湖의 水源工, 堤防, 餘水路, 桶管 및 用水路 등의 貯水施設 諸元을 調査하여 分析에 이용할 수 있도록 하였다. 또한 德洞댐과 普門湖는 砂礫댐으로서 德洞댐의 堤體는 높이 50.0m(EL.172.70m), 길이 169.0m이고 最大 洪水位는 EL.170.20m이며, 普門湖의 堤體는 높이 22.0m(EL.97.0m), 길이는 308.0m이고 最大 洪水位는 EL. 94.0m이다.

다음으로, 洪水時의 貯水池의 狀態와 放流能力 分析에 필요한 死水位, 滿水位 및 洪水位와 總貯水量 등을 調査하였으며, 그 結果 Table 2에서 나타낸 바와 같이 德洞댐의 死水位는 EL.142.00m이고 滿水位와 洪水位는 각각 EL.168.00m, EL.170.20m로서 總貯水容量은 $3,270.0 \times 10^4 \text{m}^3$ 이며, 普門湖의 死水位는 EL.76.50m이고 滿水位와 洪水位는 각각 EL.92.50m, EL.94.00m로서 總貯水容量은 $983.4 \times 10^4 \text{m}^3$ 이다. 따라서 이들 兩貯水池의 總貯水容量은 $4,253.4 \times 10^4 \text{m}^3$ 이고, 普門湖의 貯水容量은 德洞댐 貯水容量의 약 1/3에 불과한 실정이다.

마지막으로, 德洞댐과 普門湖의 餘水路 構造를 檢討하면 Table 2와 같이 德洞댐의 餘水路는 貯水池 內部에 取水塔을 設置하고 排水通關을 設置하여 下流의 用水供給을 담당하고 있으나 洪水時에는 댐上流 流域에서 流入하는 洪水流出量을 나팔型(Morning Glory Type) 餘水路로 排除시키고 있으며, 普門湖의 餘水路는 側溝型 餘水路 이면서도 調節用 水門이 없이 貯水池 上流로 부터 流入한 洪水量이 滿水位에 도달하면 自然的으로 放流가 되도록 하는 側溝型 餘水路의 構造가 완만한 越流部 웨어와 傾斜 放水路로 연결되어 있다. 여기서, 德洞댐

과 普門湖의 餘水路 頂部 標高는 각각 EL.168.00m, EL.92.50m이고 最大 洪水位는 각각 EL.170.02m, EL.94.00m이며, 餘水路의 길이는 德洞댐이 直徑 D=23.0m로서 72.22m이고 普門湖는 160.00m인 것으로 調查되었다.

Table 2 德洞댐·普門湖의 貯水池 主要 諸元

댐	餘水路 形式	餘水路頂部 (EL. m)	最大洪水位 (EL. m)	餘水路길이 (m)	死水位 (EL. m)	滿水位 (EL. m)	洪水位 (EL. m)	總貯水量 ($\times 10^4 m^3$)
德洞댐 普門湖	나팔型	168.00	170.20	72.22	142.00	168.00	170.20	3,270.0
	側溝型	92.50	94.00	160.00	76.50	92.50	94.00	983.4

3. 氣象 및 豪雨發生特性

颱風 글래디스의 特性을 分析하기 위하여 본 研究에서는 당시의 氣象特性과 豪雨特性을 調查分析하였다.

3.1 氣象特性

1991年 8月 21~24日에 발생한 颱風 “글래디스”의 來襲에 따른 氣象特性은 氣溫, 風速, 蒸發量, 相對濕度 및 降雨量을 對象으로 調查하였으며, 당시 颱風의 進路特性은 1991年 8月 16日 北太平洋 찌찌지마 南東 약 500km 해상에서 발생하여 매시 약 15~20km 速度로 西北西進하면서 발달하여 8月 22日 09時에 큐슈 南西 150km 해상까지 도달한 후 매시 10~13km의 느린 速度로 北西-北北西進하여 24時에는 큐슈 西쪽 약 100km에 도달하였다. 8月 23日 02時에 東海上으로 강하게 확장하는 高氣壓 勢力에 가로 막혀 그 進行方向을 갑자기 西쪽으로 바꾸는 異狀進路를 형성하였으며, 8月 23日 17時에 麗水半島에 상륙하면서 985mb로 약화되어 8月 23日 02時에 全南 長成郡을 지나면서 990mb의 熱帶性 低氣壓으로 약화되어 8月 24日 02時경 邊山半島 앞바다로 진출하여 熱帶性 低氣壓은 山東半島 부근해상으로 계속 北上하면서 熱帶性 低氣壓으로 쇠퇴되었다.

3.2 豪雨特性

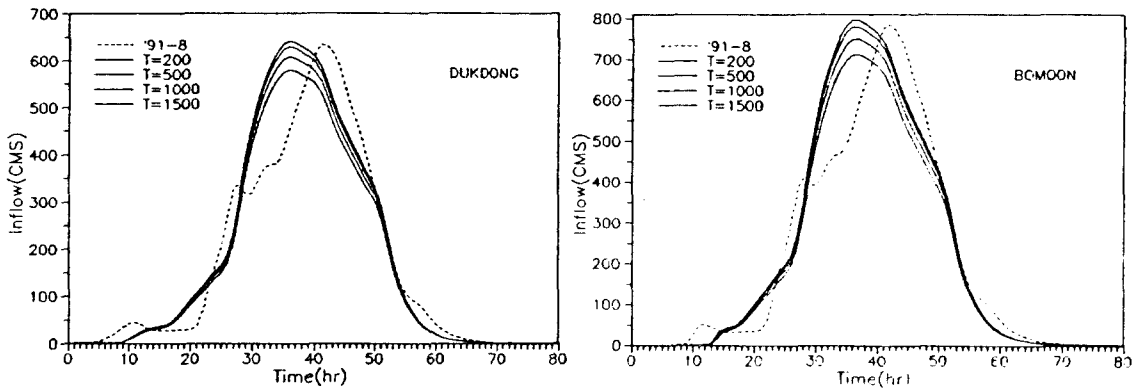
본 연구에서는 颱風 글래디스의 來襲에 따른 당시 慶州地域의 豪雨特性을 파악하기 위하여 日別 降雨量, 地點別 時間降雨量, 持續時間別 最大 降雨量 등을 分析하였다. 慶州地域의 日別 降雨量 資料의 蒐集 分析結果는 1日 最大 降雨量에서 佛國地點이 664.0mm, 普德地點이 481.0mm 및 慶州市 本廳이 293.0mm로 관측되어 地點間 큰 차이를 나타내고 있으며, 2日 最大와 3日 最大 降雨量도 비슷한 分布의 降雨量이 발생되었음을 알 수 있었다.

한편 慶州地域에서 1991年 8月 22~24日에 발생한 당시 1日 最大 降雨量의 규모를 確率 降雨量을 算定하여 비교해 본 結果, 慶州市 本廳과 普德觀測所는 대체로 再現期間이 1,000년에 해당되고 佛國觀測所는 500년을 상회하고 있으며, 德洞댐 및 普門湖 流域의 경우는 500년을 상회하고 거의 1,000년에 근접하는 것으로 나타났다.

4. 洪水流出特性

颱風 글래디스 來襲時 德洞담·普門湖 및 慶州地域의 洪水流出特性을 파악하기 위하여 有效雨量 算定方法의 檢討, 流域의 平均 流出數(CN) 決定, 有效雨量 算定 및 洪水流出量 算定을 등의 分析을 실시하였다. 먼저, 有效雨量 算定方法은 美國의 土壤保存局에서 제안한 SCS方法을 利用하여 流域의 平均 流出數를 결정하였다. 다음으로, 洪水流出量 算定은 洛東江 流域의 IHP 渭川代表流域에서 開發 誘導된 IHP모델, 無次元 單位圖로 부터 그 流域特性의 單位圖를 유도하는 SCS方法 및 流出시물레이션모델인 HEC-1모델의 Clark方法을 利用하여 洪水流出特性을 分析하였으며, 그 結果 Clark모델에 의한 流出解析 結果가 당시의 豪雨-流出狀態와 가장 近似한 結果를 나타내었으므로 Clark모델의 結果를 洪水量으로 決定하였다.

또한 당시의 洪水特性을 確率洪水量과 比較 檢討하기 위하여 3節에서 分析 檢討된 確率降雨量을 利用하여 確率洪水量을 推定하였으며, 그 結果는 Fig. 2 및 Table 3과 같았다.



(a) 德洞담 (b) 普門湖
Fig. 2 담流域의 確率洪水와 實際洪水 水文曲線의 比較

Table 3 德洞담·普門湖 및 北川流域의 確率 및 實際 洪水量 比較 (單位 : CMS)

支 流	確 率 年				91. 8. 22~24 豪 雨
	200	500	1,000	1,500	
德洞담 流入量	581	609	630	642	634.55
普門湖 流入量	712	751	780	797	785.00
普門湖 下流流域	31	35	37	39	37.78

따라서 담別 流入尖頭量을 比較할 때 德洞담의 實際 豪雨時 尖頭 洪水流入量은 634.55CMS로서 確率年 1,000年の 洪水量 630CMS를 약간 上廻하는 것으로 分析되었으며, 普門湖의 경우 實際 豪雨時 尖頭洪水 流入量은 785.00CMS로서 確率年 1,000年の 洪水量 780CMS를 약간 上廻하는 것으로 分析되어서 1991年 8月 22~24日 豪雨時의 洪水量이 거의 1,000年에 해당하는 것으로 檢討되었다.

5. 貯水池狀態 및 放流能力 檢討

兄山江 支流인 北川流域에 위치한 德洞댐·普門湖를 對象으로 貯留狀態와 放流能力을 解析하기 위하여 앞에서 分析한 流域의 洪水分析 結果로부터 貯水池의 狀態檢討, 流入量-貯水量-放流量 分析 및 放流能力 檢討 등을 分析 하였으며, 이로 부터 德洞댐·普門湖의 洪水流出 狀況과 당시의 放流量을 檢討하고 確率豪雨時의 放流能力을 分析하여 各 貯水池의 最大 放流能力을 檢討 分析하였으며, 그 結果 Fig. 3 및 Table 4와 같았다.

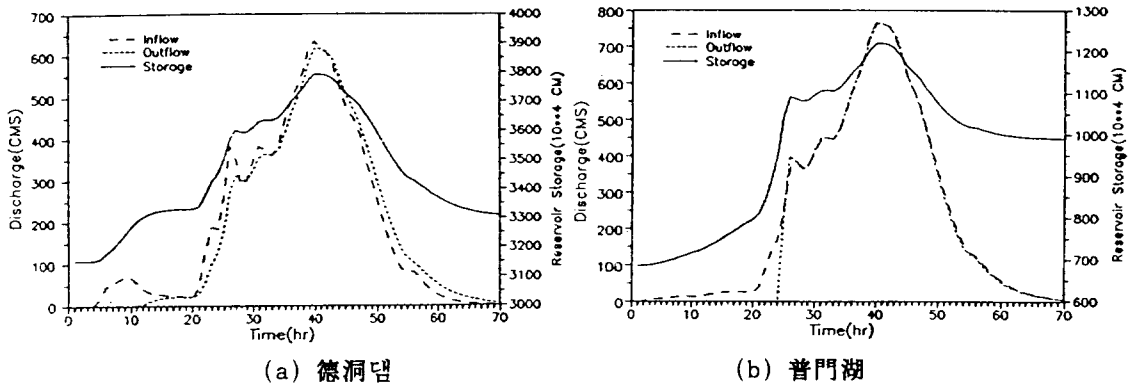


Fig. 3 1991. 8. 22~24日 豪雨時 別 貯水池 狀態分析 結果

Table 4 德洞댐 및 普門湖의 貯水池 流入量-貯留量-放流量 分析 結果

日 時	德 洞 댐				普門湖 支 流 流入量 (CMS)	普 門 湖			
	流入量 (CMS)	貯水量 (10 ⁴ m ³)	貯水位 (EL. m)	放流量 (CMS)		流入量 (CMS)	貯留量 (10 ⁴ m ³)	水位 (EL. m)	放流量 (CMS)
8. 23. 10:00	388.0	3646.21	169.82	375.6	94.0	469.6	1115.42	93.37	477.5
11:00	447.0	3671.93	169.94	415.4	107.0	522.4	1131.60	93.47	525.7
12:00	494.0	3700.23	170.07	460.5	116.0	576.5	1149.87	93.58	576.3
13:00	524.0	3723.10	170.17	496.6	122.0	618.6	1165.08	93.68	620.1
14:00	560.0	3745.93	170.27	533.8	133.0	666.8	1181.91	93.79	665.7
15:00	618.0	3776.24	170.41	588.0	148.0	736.0	1207.23	93.96	730.9
16:00	635.0	3793.15	170.48	616.0	150.0	766.0	1219.87	94.05	762.9
17:00	616.0	3793.06	170.48	616.0	147.0	763.0	1219.82	94.05	762.9
18:00	607.0	3789.93	170.47	612.0	145.0	757.0	1217.81	94.04	759.4
19:00	582.0	3779.14	170.42	592.0	138.0	730.0	1207.22	93.96	730.9
20:00	528.0	3756.11	170.32	552.9	125.0	677.9	1188.15	93.83	681.6
21:00	479.0	3729.51	170.20	507.6	112.0	619.6	1165.84	93.69	624.3

그 結果, 德洞댐의 貯水池 狀況은 1991年 8月 23日 16:00에 最大 流入量이 635.0CMS가 발생하면서 最大 貯水位는 EL. 170.48m였으며, 이 때 最大 放流量은 616.0CMS였다. 그러므로 1991年 8月 22~24日에 발생한 豪雨는 最大 洪水位(EL. 170.20m) 및 設計 放流量

(512.874CMS)을 多少 超過하므로써 餘水路 放流能力(617.4CMS)의 最大 限界까지 도달한 洪水였음이 판명되었다. 普門湖의 貯水池 狀況은 1991年 8月 23日 16:00에 最大 流入量이 766.0CMS가 발생하면서 最大 貯水位는 EL. 94.05m였으며, 이 때 最大 放流量은 762.9CMS였다. 그러므로 普門湖 역시 1991年 8月 22~24일에 발생한 豪雨는 最大 洪水位(EL. 94.00m) 및 設計 放流量(742.155CMS)을 多少 超過하므로써 餘水路 放流能力(762.9 CMS)의 最大 限界까지 도달한 洪水였음이 판명되었다.

6. 德洞댐 및 普門湖 下流 河道區간의 洪水流出狀態 檢討

颱風 글래디스 來襲時 北川 河道의 洪水流出狀況檢討는 分析對象 河道上에 德洞댐과 普門湖가 直列로 위치해 있으므로 德洞댐 下流인 德洞댐~普門湖 區間과 普門湖 下流인 普門湖~兄山江合流點으로 나누어서 각 河道區間에 1991年 8月 22~24日 洪水量과 確率洪水量을 再現시켜 河道區間別 洪水位 縱斷圖와 당시의 洪水氾濫危險地域을 檢討하였다.

6.1 德洞댐 下流河道

德洞댐 下流河道의 洪水流出 狀況檢討는 德洞댐~普門湖 河道區間的 河道延長은 L=3km 이고 洪水位 檢討地點은 No. 0~No. 60인 61개 地點의 縱·橫斷測量 成果를 입력시켜 각 地點別로 1991年 8月 22~24日 洪水時와 確率洪水時에 德洞댐에서 越流하는 最大 放流量을 再現시켜 洪水位 分析을 실시하였다. 그 結果 德洞댐~普門湖 區間的 河道는 德洞댐 開發과 더불어 河床이 比較的 잘 整備되어 있으며, 河川의 形狀도 대체로 直線을 이루고 있다. 河道의 洪水位 計算에서 1991年 8月 22日~24日 洪水時와 確率 洪水時의 洪水位 檢討 結果 堤防의 標高가 높아서 氾濫하는 地點이 거의 없는 것으로 檢討되었으나 No.54 地點의 左岸 德洞댐 直下流의 千軍洞이 다소 危險한 것으로 나타났다.

6.2 普門湖 下流河道

普門湖 下流河道의 洪水流出狀況은 普門湖~兄山江合流點 河道區間的 河道延長은 L=6.5km이고 洪水位 檢討地點은 No. 0~No. 13인 13개 地點의 縱·橫斷測量 成果를 입력시켜 각 地點別로 1991年 8月 22~24日 洪水時와 確率 洪水時에 普門湖에서 越流하는 最大 放流量을 再現시켜 洪水位 分析을 실시하였다. 그 結果 普門湖~兄山江 合流點 區間的 河道는 普門湖 開發과 더불어 河床이 비교적 잘 整備되어 있으며, 河川의 形狀은 대체로 完만한 曲線을 이루어 兄山江에 合流하고 있다. 河道의 洪水位 檢討 結果, 1991年 8月 22日~24日 洪水時와 確率 洪水時에는 대체로 氾濫하는 地點이 없는 것으로 檢討되었으나 地點 No. 5 및 No. 8의 右岸이 대체로 洪水氾濫 危險地點인 것으로 나타났다. 그리고 確率洪水에 대한 檢討結果 再現期間 200年에서는 全區間이 越流하지 않는 것으로 檢討되었고, 再現期間 500年 이상의 洪水位 檢討에서는 No. 5와 No. 8의 右岸이 危險한 것으로 檢討되었다.

7. 結 論

지금까지 1991年 8月 22~24日에 발생한 豪雨를 對象으로 德洞댐과 普門湖 流域의 洪水流出特性과 貯水池狀態解析을 實施한 結果 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

1) 당시 豪雨의 氣象特性은 12호 颱風 글래디스의 北上에 따라 集中豪雨를 동반한 태풍이 熱帶性 低氣壓으로 변하여 東海岸을 따라 광범위하게 이동하면서 太白山脈에 부딪쳐서 吐舍山溪谷의 頂上을 중심으로 集中豪雨가 발생하였으며, 당시 豪雨의 時間降雨 分布特性은 日降雨量의 分布特性과 같이 德洞댐 流域에 豪雨의 中心眼이 형성되면서 吐舍山을 中心으로 德洞댐·普門湖 流域에 集中되었음을 알 수 있었다.

2) 豪雨의 長期變動 特性分析을 위하여 日最大 降雨量(1日, 2日, 3日 및 連續)의 長期變動을 檢討한 結果 1991년에 발생한 慶州地域의 降雨量은 過去年度에 慶州地域에서 발생한 降雨量 보다도 훨씬 큰 降雨였음을 알 수 있었다.

3) 降雨類度分析 結果 颱風 글래디스 來襲時 日 最大降雨量은 再現期間 500年을 上廻함을 알 수 있었다.

4) 洪水流出 特性에 있어서 德洞댐 流域과 普門湖 流域을 대상으로 IHP모델, SCS모델 및 Clark모델을 이용하여 당시의 洪水量을 산정하였고, 1991年 8月 22~24日 당시의 貯水池 狀態記錄을 比較分析한 결과 Clark모델의 결과가 가장 당시의 貯水池 狀態와 近似한 결과를 나타내고 있으며, 이를 確率洪水量과 比較한 結果 德洞댐·普門湖의 당시 洪水量이 再現期間 500年을 훨씬 上廻하고 거의 1,000年에 해당되는 規模의 洪水였음을 알 수 있었다.

5) 德洞댐·普門湖의 放流能力 檢討結果, 당시의 豪雨는 最大洪水位 및 設計放流量을 多少 超過하여 種大限界에 도달하였음을 알 수 있었으며, 確率洪水時 德洞댐·普門湖의 放流能力 檢討 結果에서 德洞댐의 放流能力은 再現期間 $T = 1,000$ 年 정도까지의 確率洪水量은 疏通이 가능한 것으로 檢討되었다.

6) 德洞댐·普門湖 下流 洪水流出狀況 檢討結果· 北川 河道의 德洞댐~普門湖 區間과 普門湖~兄山江 合流點 區間은 1991年 8月 22~24日 洪水時에 대부분 安全하였으나 再現期間 1,000年 以上에서는 危險區間이 발생하였으며, 특히 普門湖 下流 河道의 No. 5와 No. 8의 右岸(東川洞)이 危險했던 것으로 檢討되었다.

8. 參考文獻

- 1) 李舜鐸, 德洞댐·普門湖 安全診斷 -水理·水文學의 調查研究 -, 慶州市(1991.12).
- 2) US Army Corps of Engineers, Water Resources Support Center, HEC-2 Water Surface Profiles Users Manual, Computer Program 723-X6-L202A, September, 1982.