

콘크리트댐의 設計基準

崔圭皓*

1. 序言

우리나라의 댐 數는 1986年 現在 높이 15m 以上만 690個로서 貯水容量이 數百萬屯에서 29 億屯에 이르고 있으며 現在 計劃 또는 建設中인 댐數도 적지 않다. 댐下流 地域에는 大都市와 많은 農耕地 등이 있어 人命과 財貨의 密度가 커짐에 따라 댐이 破壞될 境遇를 假想하여 불매 對로 그 被害는 勿論 經濟 社會에 미치는 致命的인 影響 또한 엄청나다고 할 수 있다. 따라서 댐安全을 위한 제한 設計基準과 安全診斷 基準은 더욱더 重要하게 다루어야 할 必要가 있다고 生覺된다. 그리고 또 豫想되는 被害 規模가 큰 反面 댐을 建設할 때에 보다더 恒久的인 安全性을 確保하는데 所要되는 追加費用은 그다지 많 이 所要되는 것이 아니므로 事業推進에 있어서도 큰 어려움이 없을 것이다.

우리나라의 境遇 大部分의 댐이 1960年代 以後 建設되어 그 歷史가 30年 未滿이므로 大댐의 破壞 記錄은 없으나 1961年 7月 11日 全南 南原郡 二百面 孝基里의 小規模 灌溉用댐(流域面積 4.6km², 1936年 竣工)이 集中 豪用로 崩壞되어 150戶가 사는 마을에 洪水가 덮쳐서 家屋이 全 破되고 78名의 死亡者를 낸 바 있다. 이와 같은 事例과 外國의 댐破壞 事例 및 우리나라의 諸般 與件을 綜合하여 댐設計 基準中 댐콘크리트의 물 시멘트比(W/C)와 地震係數 및 餘水路(spillway) 設計洪水量에 對하여 檢討하였다.

2. 콘크리트댐의 設計

가. 물-시멘트比(W/C)

콘크리트 重力댐은 콘크리트 種類를 外部 콘크리트와 內部 콘크리트로 區分하여 施工하게 되는데 示方配合에 適用할 물-시멘트比(W/C)로

서 外部 콘크리트는 水密성과 耐久性를 考慮하고, 內部콘크리트는 外部 콘크리트로 감싸게 되므로 耐久性만을 考慮하여 配合設計를 하게 된다. 一般的으로 A.E 콘크리트의 配合設計 順序는 ① 設計基準(設計基準強度 및 配合強度, 骨材 最大치수, 반죽질기, 空氣量, 耐久性 및 水密성을 基準으로 한 물-시멘트比)의 設定, ② 使用材料의 品質確認, ③ 물-시멘트比의 選定 ④ 試驗配合의 選定과 試驗비법, ⑤ 示方配合의 決定과 現場修正으로 大別된다.

콘크리트의 水密성과 耐久性을 基準으로한 물 시멘트比(W/C)는 우리나라의 댐콘크리트와 무근 및 鐵筋콘크리트 標準示方書에서 水密성(外部콘크리트)의 境遇 55%以下, 耐久性(內部콘크리트)의 境遇 65%以下를 規定하고 있으며, 強度를 基準으로 한 물-시멘트比는 配合設計 條件을 滿足하는 試驗配合에 對하여 壓縮強度 試驗을 實施하여 求하게 된다. 이에 使用材料인 시멘트 및 骨材의 品質에 따라서 強度는 다르게 나타난다. 그러므로 壓縮強度 試驗結果에 따른 물-시멘트比가 水密성 및 耐久性을 基準으로 한 값보다 작은 境遇에는 強度基準값을 適用하여야 하지만 큰 境遇에는 示方書 基準값을 適用하게 되는데 後者の 境遇에 있어서 물-시멘트比가 아주 큰 境遇에도 無條件 示方書 基準값을 그대로 適用하여야 하는 問題는 Mass콘크리트로서의 適合性, 經濟性 등과 關聯하여 再考 하여볼 問題라고 生覺한다. 그리고 콘크리트 配合設計는 所要의 強度, 耐久性 및 水密성이 保障되는 範圍內에서 所要 單位容積 重量을 가지며, 品質이 均一한 가운데 單位水量이 될 수 있는데로 적게 되도록 定하여야 하고 單位水量이 적으면 一定한 물-시멘트比(W/C)에 대하여 單位 시멘트量 또한 적게 되므로 Mass콘크리트의 熱應力에 의한 여러가지 不利한 點을 줄일 수 있을 뿐만 아

* 建設部 原州地方國土管理廳 土木技佐

〈表-1〉 콘크리트 示方配合表

구분	콘크리트	시멘트	모래	골재	수	W	C	W/C	S/A	S	G	備考
	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(%)	(%)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	
1980	내력 콘크리트	100	91	150	4±1	3±1	312	215	52	20	538	537
	내력 콘크리트	120	91	150	4±1	3±1	314	171	64	22	590	445
1985	내력 콘크리트	100	91	150	4±1	3±1	94	171	50	25	548	428
	내력 콘크리트	120	91	150	4±1	3±1	94	145	65	25	554	365
1988	내력 콘크리트	100	91	150	4±1	3±1	106	177	60	26	542	443
	내력 콘크리트	120	91	150	4±1	3±1	106	151	70	26	547	376

나라 經濟적으로 댐을 施工할 수 있게 된다. 따라서 設計條件을 滿足하는 範圍內에서 單位水量을 적게 되도록 하는 한편, 물-시멘트비를 크게 採擇할수록 單位 시멘트량을 줄일 수 있을 것이다. 이와같은 觀點에서 댐콘크리트의 配合設計에 適用할 물-시멘트비에 關하여 最近 우리나라에서 建設한 콘크리트댐 事例를 中心으로 考察하여 보고자 한다. 댐콘크리트는 一般的으로 強度가 問題가 되지 않으므로 內部콘크리트의 물-시멘트비는 所要 單位重量과 施工軟度(workability)가 保障되고 材料分離가 일어나지 않는 範圍內에서 될 수 있는데로 물-시멘트비를 크게 採擇하였으며, 外部콘크리트 亦是 이와 같은 點과 外國의 示方條件, 施工事例 등을 考慮하여 아래 表와 같이 우리나라의 示方基準값 보다도 漸次 크게 採擇하여 配合設計에 適用하였다.

表-1를 살펴보면 大清댐의 境遇는 콘크리트 壓縮強度가 물-시멘트비를 支配하였으나 忠州댐과 陝川댐의 境遇는 모두 配合試驗 結果 콘크리트의 壓縮強度가 크게 發現되어 強度를 基準한 물-시멘트비는 表-1의 配合設計에 適用한 값보다도 5~13% 程度 上廻하고 있었으며 實際 品質管理試驗 結果 콘크리트의 壓縮強度는 配合強度 보다도 큰 分析를 보이고 있었었고 施工軟度(workability)와 諸般 品質基準도 滿足한 結果를 얻을 수 있었고. 그러므로 이와같은 境遇 콘크리트의 물-시멘트비(W/C) 適用限界는 外部 콘크리트의 境遇 60%以內 內部 콘크리트의 境遇는 70%까지 適用하여도 좋다고 判斷되며 單位 시멘트량을 줄이므로서 Mass콘크리트에 많은 利點이 있게 되고 經濟性에도 미치는 影響이 많은 點 등을 考慮하여 앞으로 不斷히 研究 改善하여야 할 課題라고 생각한다. 參考로 물-시멘트

〈表-2〉 물시멘트비(W/C) 適用現況

區 分	大清댐	忠州댐	陝川댐	韓國示方	日本示方
外部콘크리트	52	55	60	55以下	60以下
內部콘크리트	64	65	70	65以下	65以下
使用시멘트	I種	II種	II種		
竣工年度	1980	1985	1988 (豫定)		

트 適用現況은 表-2와 같다.

나. 地震係數

댐의 安全과 關聯하여 地震의 影響을 처음으로 考慮하기 始作한 것은 1920年代 中盤이었다. 1960年代까지는 地震에 對한 動的인 影響을 靜的인 水平力으로 假定하여 댐의 安定과 應力을 分析하였으며 以後 보다 더 確實한 安全性을 豫測하기 위한 認識이 높아지고 大容量의 컴퓨터 活用이 可能하여 짐에 따라 有限要素法을 適用한 地震應答解析(seismic response analysis)의 導入으로 地震時의 댐舉動을 動的으로 分析하므로써 보다 信賴性 있게 다루고 있다.

世界的으로 地震이 많은 地域은 太平洋 沿岸 地域이지만 우리나라는 地震이 적은 나라라고 할 수 있으며 그 發生地域은 主로 西海岸 沿岸에서 發生되고 있고, 그 밖에 洛東江 流域과 智異山 地域에서 發生되고 있다.

우리나라의 地震 發生 現況을 살펴보면 表-3과 같으며, 西紀 元年부터 1904년까지 有感地震 總回數가 1,642回였고, 이中 震度 3~4인 것이 42回(約 2.7%)였으며 地震計를 設置한 1905年以後 1987년까지는 總 354回로서 年間 平均 4.4回 程度地震이 發生하였으며 特히 最近들어서 地震 發生頻度가 增加趨勢에 있어 注目된다. 그中 震度 4以上이 27回이고 比較的 큰 것은 1936年 7月 4日 智異山 地域의 雙溪 地震이 震度 5이고 1978年 10月 7日 洪城 地震이 震度 5.2이며 1981年 4月 15日 浦項 앞바다의 地震이 震度

〈表-3〉 韓國의 地震發生現況

單位: 回

區 分	I	II	III	IV	V	計
1904 以前	1,383	217	19	23	0	1,642
1905~1987	268	48	35	2	2	354

〈表-4〉多目的댐 適用設計 基準現況(地震係數)

區分	Dam 名						
	碧陽江	安東	天鵬	忠州	狹川	任岩	臨西
計劃洪水位	0.05	0.025					
常時洪水位	0.05		0.1	0.05~0.1	0.1	0.1	0.1
洪水期 制限水位	0.05		0.1				
空襲時	0.05		0.05	0.025	0.05	0.05	0.05
水位急降下時	0.05	0.025			0.05	0.05	0.05
完工後	0.05	0.025				0.1	0.1

4였다.

우리나라에서 댐設計에 適用한 地震係數는 1970年代까지 主로 0.025(震度 約 4.5)~0.05(震度 約 5.5)를 適用하였으나 最近 들어서는 漸次 0.1(震度 約 6.5)로 높여서 適用하는 傾向이 있다. 이와 같이 適用함에 있어서 여러가지 意見이 紛紛하나 震度 5.2를 記錄한 1978年の 洪城地震의 境遇와 外國의 댐과 關聯한 地震事例를 綜合하여 볼때 앞으로는 우리나라의 境遇에 있어서도 댐設計時 地震係數는 0.1以上을 適用하여 安全性確保에 重點을 두어야 한다고 判斷된다.

參考로 地震係數를 適用한 多目的 Dam의 現況은 表-4와 같다.

다. 餘水路 設計洪水量

댐에 있어서 餘水路(spillway) 規模는 洪水量과 關聯하여 댐安全에 아주 密接한 關係가 있다. 餘水路는 洪水를 排出하는 댐의 唯一한 通路이기 때문에 그 容量이 不足한 境遇에는 畢竟 댐體越流와 더불어 댐破壞가 隨伴되고 이 境遇에는 다른 어떤 댐破壞 境遇보다도 더 큰 被害가 뒤따르게 될 것이다.

우리나라에서 콘크리트댐의 越流 經驗은 1957年에 竣工한 塊山댐(流域面積 671km², 높이 28m, 길이 171m, 體積 50,000m³, 總貯水容量 15,329,000m³, 餘水路 容量 3,080m³/s)으로서 1980年 7月 22日 7hr동안 260~353mm의 流域內 集中豪雨로 댐을 越流한 바 있다. (設計基準 降雨量: 表-5)

지금까지 우리나라에서 適用한 大規模댐의 餘水路 設計洪水量은 表-6과 같이 500年~1000年, 또는 P.M.F 頻度 洪水의 調節放流量(200年 頻度 洪水量)이거나 最近 一部 舊댐中에서는 200年 頻度 洪水量의 1.2倍를 設計洪水量으로 適用하고 있다. 그러나 外國의 댐破壞 事例中 洪水 越流로 因한 破壞가 가장 많고 最近 우리나라에서 大洪水가 자주 發生되고 있는 點等을 考慮하여 볼때 보다더 安全하게 餘水路를 設計하여야 할 것이라고 判斷된다.

따라서 우리나라의 餘水路設計洪水量은 假想 最大 洪水量(P.M.F)을 基準으로 하여 보다더 安全性을 確保하여야 할 것이라고 判斷된다. 勿論 이와 같이 하므로서 댐의 餘水路 施設에 對한 費用 增加가 不可避 하겠으나 댐安全이 무엇 보다도 優先되어야 한다는 點에서 改善이 必要하다고 본다.

3. 結 言

댐은 利水上 및 治水上 國家經濟에 많은 寄與를 하는 한편, 댐設計 基準中 地震係數와 餘水路設計洪水量에 對하여 考察한 바와 같이 設計未洽으로 因하여 댐이 破壞되고, 越流될 境遇 그 被害 程度는 엄청나게 크다는 것을 銘心하여야 되겠다.

따라서 地震係數와 設計洪水量은 氣象 및 水文 觀測값과 經濟 社會에 미치는 影響等 諸般 資料를 土臺로 補完하면서 보다더 安全性이 保障될 수 있도록 하여야 하겠으며, 既存댐의 安全 診斷에 있어서도 考慮하여야 하겠다.

댐은 마치 살아서 숨쉬고 있는 生命體로 생각하여 아무리 安全性을 強調하여 다루어도 무리가 아니라고 生覺된다. 그리고 Mass 콘크리트의 熱力學的 不利한 性質과 經濟性等을 考慮하여 單位 시멘트량을 줄일 수 있도록 繼續 努力하여야 하겠다.