

《論 說》

地球의 물의 循環과 그 利用



崔 榮 博

고대 회랍의 철학자 탈레스(B·C 624-545)는 「만물의 근원은 물」이라 했으며 구약성서에서 노아의 대홍수는 그리스도교의 큰관심사로 여겨지고 있다. 고대중국의 우(禹)왕은 황하의 치수를 정치의 근본으로 삼았다.

동서양을 불문하고 물이용이 치수에서 출발하여 오늘날 고도산업화사회에 와서는 인구의 증가와 함께 공업화·도시화와 식량증산에 연관되어 물을 용수(用水)란 이름으로 자유재(自由財)에서 경제재(經濟財)화하였으며 각종 용수로서 수자원의 원활한 수요와 공급은治水라는 정치과제와 함께 利水라는 경제과제까지 겹쳐 종합화되어 그 영역을 더욱 확대해가고 있다.

한편, 先進國은 물론 開發途上國에서도 근대화 와 함께 도시 및 공업지역에서 소비된 각종용수는 도시하수와 산업폐수 및 폐기물화하에 하천이나 해수 등 수역을 오락 또는 오염시켜 소위 公害란 이름으로 새로운 사회문제를 야기해 수자원문제를 더욱 복잡하게 하고 있다.

서독의 바이루켄버거박사는 물과 인간역사를 고대는 물이 주는 농업피해의 위협부터 인간을 보호하는 시대라 하였고 근대에 와서는 물의 은혜를 享受하는 시대라 하였는데 지금은 인간에 의한 오염으로부터 물을 보전하는 제3시대에 들어섰다고 하였다. 일찌기 케네디대통령은 21세기를 제압하는 길은 「원자력과 물」이라 하였는데 이는 미래의 수자원 이용문제가 더욱 심각하고 복잡하게 된다고 예고하는 것이 아니고 무엇이겠

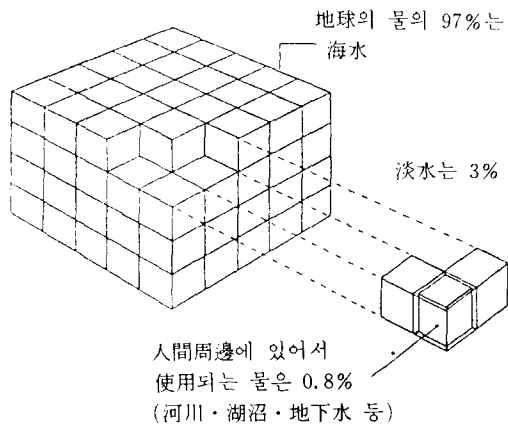
는가?

우리나라의 수자원이용은 고대부터 농업용수가 중심이었다. 경제, 사회의 발전에 수반해 수력발전, 공업용수, 생활용수로 확대되어왔다. 또한 수자원개발형태도 용도별의 단독개발에서 치수, 이수, 목적을 함께 가진 다목적개발로 변화하여 이른바 한강, 낙동강, 금강 및 영산강의 하천종합개발에서의 다목적댐 및 하구언건설에 치중한 것은 우리가 잘 아는 사례이다. 우리나라는 70년대부터 경제가 고도로 성장함에 따라서 대도시지역이나 공업기지를 중심으로 급격한 물수요의 증가가 발생하는데 반해 저수율의 저하와 하

崔 榮 博 1926. 12. 26 生
 慶北 醴泉郡 醴泉邑 淸福1洞 786
 서울特別市 松坡區 方輪洞 선수촌(아) 247-307
 서울大學校 土木工學科 工學士 51/理學博士(舊制) 69/
 土木技術士(水資源·施工) 65, 69
 嶺南大學校, 陸軍士官學校, 釜山大學校 土木工學科 教授 52-63/漢陽大學校 土木工學科 教授 64-67/高麗大學校 土木工學科 教授 66~(現)/水原大學學長 80-84
 國土建設 綜合計劃審議委員 76/國有財産管理委員 77/
 政策諮問委員 81/防災對策企劃團長 87
 中央河川管理委員 65~(現)
 韓國水文學會會長 79/大韓土木學會 會長 85
 慶北文化賞 62/國民勳章 冬柏章 71/
 水原大學 創設 功勞賞 84 그 其外 多數
 [主要論文] 河川流量의 時系列에 관한 研究 外 多數
 [著·譯書] 海低·港灣工學/水理學/河川工學/水資源工學/技術者의 꿈/開水路의 水理學/土木計劃水理/물의 特性과 技術/其外 2. 拾餘篇

천으로 부터의 취수부족 등으로 불안정한 용수수급관계가 발생해왔다. 또한 대도시인구의 과밀화형성에 따라 주변, 하천, 호수, 해역에는 수질이 오타·오염되어 물환경의 악화와 함께 물이용 그 자체에 큰 지장이 생기는 것은 우리가 잘 보고 있는 현실이다.

이와같이 수량면에서 홍수때의 과잉과 한발 때에 용수고갈 수질면에서 수질악화가 문제시되는 내외각국의 수자원개발과 보전은 그 영역이 2000년대를 10여년 앞두고 심각화하고 있다. 따라서



資料: V. L. Korzun and A. A. Sokolov: World Water Balance and Water Resources of the Earth E/CONF.70/TP.127 (1977年) (유엔물會議資料).

수자원의 개발·이용, 거기에다 보전대책은 지역사회 뿐만 아니라 국가의 기본자원문제로서 강구되어야 한다.

지구상에 물이 있는 지역을 水圈이라하는데 여기에 약 14억 km³의 물이 존재하고 있으며 그중 약 97%는 해양의 물이며 담수는 3%정도라 한다. 이 담수의 약 70%는 남·북극지역의 빙산으로서 존재하고 지하수를 포함한 하천수나 호수수(湖沼水) 등으로 존재하는 담수(淡水)는 지구상의 물의 약 0.8%이다(그림 1). 한편 지구내부에는 지각보다 아래 부분으로 대체로 3,000km의 깊이까지를 “맨틀”이라하는데 여기에 존재하는 지하수는 130억 km³이고 지구의 가장 외층이 지층이 되는 지각에 있는 지하수는 15억 km³이라 한다. 하지만 여기에 있는 물은 화합물(化合物)의 형태로 되어있어서 음료용으로나 목욕가능한 물

이 아니다. 해양은 지구표면의 70%를 차지하고 면적은 3억6천만km²이나 우주에서 지구를 조망하면 지구라하기보다 수구(水球)라고 말하는 것이 좋은 정도로서 물의 혹성(惑星)이라 할 수 있다. 해양의 평균깊이는 약 4km이다. 이는 해저가 없는 것 같은 깊이이나 지구를 거의 圓球라고 본다면 그 직경은 12,740km로서 물기가 많은 것 같이 생각되는 지구도 실은 약간의 습기가 있을 정도로서 그 해양도 지구전체를 덮고있는 것이 아니고 거기에다 바다물은 염분을 포함하고 있어서 飲用할 수 없다. 육상(陸上)에 있는 물도 겨우 9천만km²에 불과하고 이것도 6천만km³ 이상은 지하표면 가까운 곳에 있으나 거의가 염분을 포함한다. 또한 2천5백만km³는 固體의 물 즉, 얼음으로 北極이나 “그린란드”, 南極에 氷山으로 되어있다. 많은 학자들은 만일 이들 남, 북극의 얼음이 녹으면 해면이 지금보다 50m나 높아져서 陸地의 상당한 부분이 水沒될 것이라고 하였다. 이래서 지구상에 매우 큰 홍수가 발생해서 지금의 풍요한 농경지대 등 低平地域은 모두 水沒하여 世界의 지도는 모두 바뀌어진다고 한다. 그런데 이에 수반해서 많은 災害가 발생하며 기상학자는 지구상의 얼음이 한꺼번에 녹게되는데는 지구의 평균기온이 겨우 2℃ 상승함으로서 충분하다한다. 또한 숲육지면적의 10%가 氷河로 덮여있고 거기에다 1천6백만km²는 永久凍土地域이다. 이 지대아래의 얼음층은 절대로 소실되지 않으며 그 양은 50만km³이라 한다. 湖沼 그리고 인공저수지물 등 지하수 합계는 50만km³이다. 사막 등 무강우지역에도 불구하고 대기중에는 물이 포함되어있어서 이것이 비, 눈, 우박, 안개 등 강수가 되는 대기중의 물량은 1만4천km³라 한다. 이상의 지구상의 물은 자연계의 조화에 따라 지구상을 돌아다니는 영속적인 순환(Cycle)을 형성하고 있다.

이 까닭에 대기중이던 水圈이던, 生物圈이던 물이 있는 곳은 서로 연락을 유지하고 있다. 지질학자에 의하면 지구중심에 가까운 깊은바닥에서 연간 1km³정도의 물이 조성되어 지상으로 유출된다하는데 이것을 初生水라고 부른다. 이와같

은 물이 있다면 지구의 역사 수10억년사이에 현재 지표에 있는 정도의 물은 이것만으로도 충분하다고 한다. 한편 天體物理學者는 물의 起源을 宇宙에 두고 있다고 하였다. 사실 地球上의 물의 순환은 太陽에너지의 덕택이다. 이에 의해 물은 증발하고 대기의 흐름에 따라 이곳저곳으로 分散

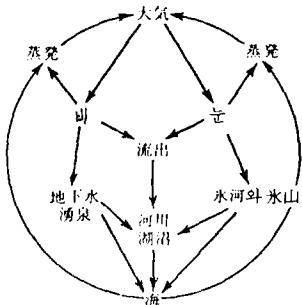
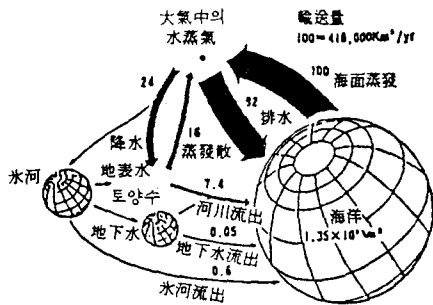


그림-2 물의 循環

표-1. 地球上의 물 存在量

態 樣	體 積(km ³)	(%)
[鹽 水]		
海 洋	1,349,929,000	97.5017
鹽 水 湖	94,000	0.0068
[淡 水]		
水	24,230,000	1.7501
水化作用으로 結合된 물	—	—
淡 水 湖	125,000	0.0090
河 川	1,200	0.0001
土 壤 水	25,000	0.0018
地下水 淺層	4,500,000	0.7295
地下水 深層	5,600,000	—
[水蒸氣]		
大氣中的 水分	12,600	0.0009
[生 物]		
動 物	600	—
植 物	600	0.0001
總 計	1,384,518,000	100.0000
備 考	물의 體積으로 換算한 값 Shumskiy에 의함	물의 總量에 對한 %



(여기서 球의 부피는 貯留量을, ↓살표는 輸送量이다)

그림-3 地球의 물 循環 模式圖

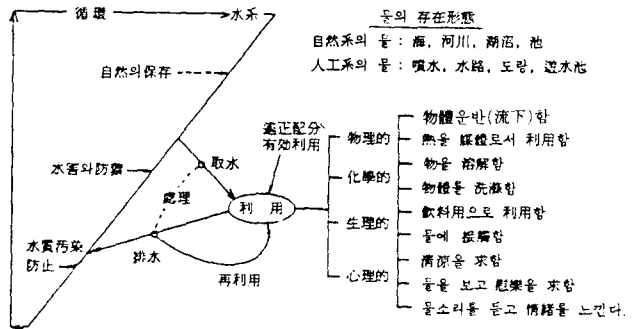
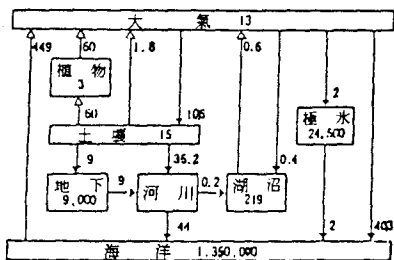


그림-5 人間과 물의 關係



주) 단위는 10¹²ton, 移動은 1年當量

그림-4 地球의 물의 分布와 移動

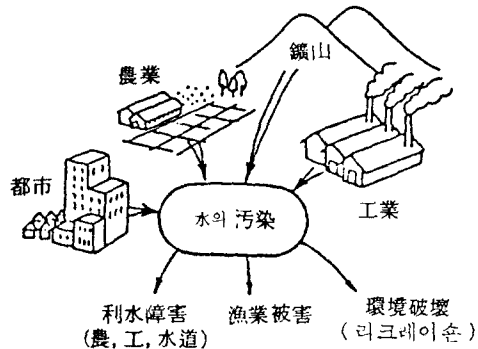


그림-6 水質汚染 發生原因과 피해

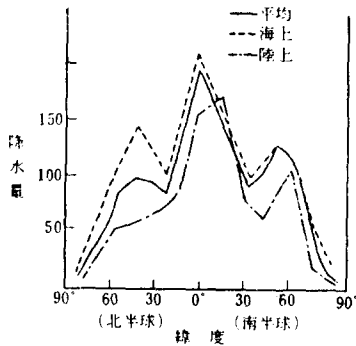


그림 7. 1cm의 年間降雨量(g 또는 cm³)의 緯度分布 (1967)

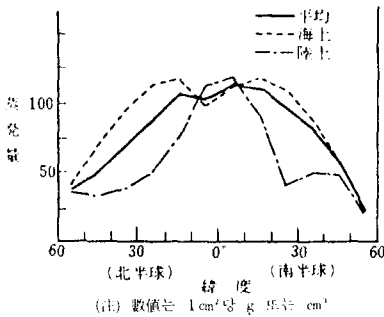


그림 8. 물의 年間蒸發量의 緯度分布(1967)

한다. 이것이 물방울이 되어 地上에 강수(precipitation)로 내려 다시 바다로 유입된다.

年間に 海洋이나 陸地에서 蒸發되는 물량은 52만km³로 됨으로 이 양만큼 비나 눈으로 되어 지상으로 되돌아간다. 그 양의 대부분인 41만5백km³는 직접 海上에 내리고 나머지 10만9,500km³만이 陸地에 내린다. 陸上에 있는 모든 生物은 이 양만의 물로서 生育되는 것이 된다. 그중 세계의 하천 등의 자연·인공수로를 지나 바다로 유입되는 물은 년간에 3만7400km³이고 나머지는 모두 증발된다. 이때 육지에서 증발되는 물의 1/3 이상은 일단, 植物에 吸收되고 葉面 등에서 증발한다.

지구상의 물의 양은 160억km³ 이상은 된다고 하는 학자도 있다. 그런데 지구전체의 무게는 약 6×10^{21} ton이므로 물이 차지하는 비율은 0.25% 이상 된다. 그런데 여기서 1km³의 물은 1변이 1km나 되는 정6면체로서 구름보다도 높이 솟아 있는 모습이다. 작은 도시이면 이 정6면체의 바

닥안에 몽땅 들어가고 만다. 이 정6면체의 물은 10억ton으로 되고 이 물량이면 세계전체 인구의 6개월간의 음료수가 된다. 또한 세계 중의 바다에 주입하는 하천에서도 연간 약 4만km³의 물을 바다에 유출하고 있다. 이는 즉 하천으로 유입되는 물을 전부 저류하면 지구상의 전인류가 필요로 하는 음료수의 무려 2만5천년분을 확보하는 것으로 결코 지구상의 수자원부존량은 적은 것이 아니라고 할 수 있다. 하지만 실제로는 인간이 생활하는 데 필요한 물은 과다하다고는 볼 수 없다. 이는 우리 인류가 요구하는 물량은 지구상에 있는 모든 淡水(염분을 포함하지 않은 물)를 전부 합쳐도 부족한 정도이다. 우리 인간은 양질의 깨끗한 淡水를 필요로 한다. 이것이 없으면 살 수 없고 물없이 농작물도 생육할 수 없다.工場도 가동되지 않는다. 물이 없으면 火力, 水力, 原子力發電所도 멈추게 된다. 이와같이 물은 生活·農業·工業의 用水로서 불가결하다. 현재 인간이 하천이나 湖沼에서 소비하는 淡水의 물량은 연간 2천km³ 이상이다. 이는 1년만에 세계 중의 하천을 흐르는 물의 1/20이다. 또한 언제나 河川을 흐르는 물량의 13%에 해당된다. 가뭄(旱魃)이 자주 발생하는 지역에서는 큰 강이 대부분의 물은 田畝의 灌溉用水로 사용된다.

예전대 “이집트”의 나일강의 물은 그 절반이 농토에 사용된다. 전세계에서 河川에서 引水하는 물은 150km³로서 이것은 生活 및 工業用水로 이용된다. 하지만 이 물량은 연간 언제나 河川流出水量이 겨우 1%에 지나지 않으므로 물부족의 危機를 보는일은 절대로 없는것같이 생각되지만 실은 그렇지 않다. 現實의 世界에서는 심한 물기근이 인류에게 박두하고 있다. 공업이 고도화된 유럽의 선진국에서도 물부족이 벌써 시작되고 있다.

사유는 河川에서 取水하여 사용하고 있는 150km³ 이외에 400~500km³에 해당하는 물을 호소나 지하수에서 취수하고 있다. 전세계에서 公共事業이나 工業用으로서 600km³의 淡水가 사용되고 있다. 이와같은 大量의 물중의 150km³의 물은 再使用이 불가능하고 나머지 사용된 물은 排

표 2 世界의 물使用量(1967~2000년)

(單位: 100 m³, %)

區 分	全 使 用 量		年 間 成 長 率 值 1967 ~ 2003	使 用 比 率	
	1967년 推計	2000년 豫測		1967년 推計	2000년 豫測
[農 業]					
灌 溉 用 水	1,400,000	2,800,000	2.1	70	51
牧 畜 用 水	58,800	102,200	1.7	3	2
農 村 生 活 用 水	19,800	38,300	2.0	1	1
기 타	-	-	-	-	-
都 市 生 活 用 水	73,000	278,900	4.1	4	5
工 業 業 用 水	437,700	2,231,000	5.0	22	41
合 計	1,989,300	5,450,400	3.1	100	100

資料: M. HOIY, Water and the Environment, Irrigation and Drainage paper No. 8,
Food and Agriculture Organization, Rome, 1971.

표 3 世界 人口와 물 需要推定

(單位: 億 m³/年)

人 口	生活用水	農業用水	工業用水	計
40 億	8,000	68,000	40,000	116,000
60 億	12,000	102,000	60,000	174,000
80 億	16,000	136,000	80,000	232,000

世界總降水量(陸地) 約 1,000,000 億 ton年
利用可能水量 約 200,000 "

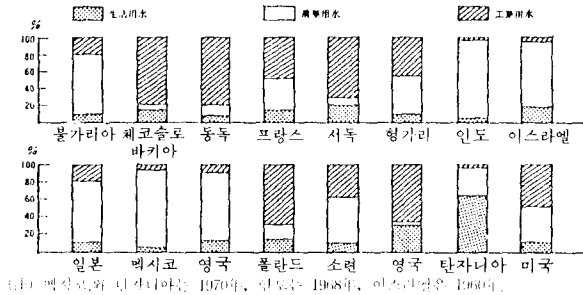


그림 9 世界主要國의 用途別取水量의 比(1965)

표-4 ESCAP 地球諸國의 表流水理用量

國 名	灌 溉 用 水 (百萬 m ³)	水 道 用 水 (百萬 m ³)	工 業 用 水 (百萬 m ³)	計 (百萬 m ³)	年 利 用 率 (%)	
Australia	623	1,010	-	1,633	0.5	130
India	227,000	2,437	-	229,437	14	420
Malaysia	14,000	380	-	14,380	-	1,300
New Zealand	350	172	-	522	0.2	280
Pakistan	69,200	-	-	69,200	38	1,200
香 港	74	277	42	393	1.4	98
Philippine	5,097	533	-	5,630	12	153
日 本	50,000	6,006	9,271	65,277	30	630
Singapore	-	183	-	183	20	87
台 港	22,000	418	-	22,418	17	620
韓 國	9,760	590	53	10,403		330

資料: 「Water Resources Journal(1973 September)」(1970年, 年間)

(注) 年利用率은 年間利用率을 年間流出總量으로서 나누기한 값.

표 5 大陸과 主要國의 用途別 量使用水量

(單位 : 10 億 m^3 /年)

區 分 名	에너지-生産		農 業 用 水		工業用水 (1인당)			生活用水 (1인당)			總使用 水 量
	發電量 (10kWh)	使用 水量	面 積 (100萬ha)	使用 水量	工業從事口 人 (1,000人)	1인당 使用 量 (m^3 /年· 人)	使用 水量	人 口 (百萬人)	1인당 使用 量 (m^3 /年· 人)	使用 水量	
아 프 리 카	86	11	6.4	60.8	2,963	1,500	4.4	405	30	12	88
이 집 트	3	0.4	2.9	27.6	615	1,500	0.9	38	40	1.5	30
나 이 제 리 아	-	-	-	-	172	1,500	.3	65	40	2.6	-
아 시 아	520	68	147.4	1,400	23,600	1,300	30.7	2,290	-	98	1,597
방 그 라 데 시	1	0.1	-	-	260	1,000	.26	75	40	3.0	-
中 國	-	-	74.0	703	-	-	-	853	40	34	-
印 度	48	0.6	37.6	357	4,800	1,000	4.8	611	40	24	386
인 도 네 시 아	1	0.2	3.8	36	925	1,000	.9	132	40	5	42
日 本	378	49	3.4	32	11,900	1,640	19.5	112	100	11	112
파 키 스 탄	4	0.5	12.0	114	427	1,000	.4	73	40	3	118
필 리 핀	10	1.3	1.0	10	338	1,000	.5	44	40	2	14
韓 國	-	-	8	7.6	1,160	1,000	1.2	35	40	1	-
泰 國	5	0.7	1.9	18	309	1,000	.3	42	40	1	20
터 어 키	10	1.3	1.7	18	638	1,000	.6	41	50	2	22
太 平 洋 地 域	10	7.9	1.4	13	1,610	3,600	5.7	20	-	2	29
濠 洲	56	7.3	1.3	12	1,337	3,600	4.8	14	90	!	25
유 럽	1,355	176	12.2	116	51,000	3,600	183.6	404	100	40	516
소 련	844	110	9.9	94	29,036	2,500	72.8	256	70	18	295
北 美	1,788	232	21.6	205	21,270	3,900	76.5	339	-	38	551
맥 시 코	24	3	3.3	31	-	-	-	60	50	3	-
美 國	1,663	216	16.9	160	19,000	3,650	69.4	216	150	32	477
南 美	50	6.4	3.7	35	3,653	1,200	4.4	214	50	11	57
브 라 질	4	0.5	0.14	1	2,470	1,200	3.0	106	50	5	10
世 界	3,860	502	192.7	1,830	104,096	2,930	305	3,670	55	201	2,838
O E C D 諸國	3,214	418	33.1	814	67,400	-	-	755	100	76	-

資料 : United Nations, Statistical Yearbook, 1977 ; 使用水量에 대하여는 by U.S. Geological Survey.

[發電量은 熱電式電流計에서 구한 電動機 使用電力量]

水로 되어 河川이나 湖沼로 되돌아온다. 汚染된 물은 有毒하며 人間이나 生物에 있어서는 아무런 쓸모가 없다. 有害한 오염수를 무의식중에 흘리는 일이 없도록 하기 위해서는 사용된 오염수를 될 수 있는대로 깨끗하게한 후 거기에다 10배 정도로 얹게해서 排水해야한다. 이와같이 淨化處理 하지않고 排水할 경우에는 河川이나 貯水池에 流入시키고자할 때는 20~60배로 얹게 희석시킬 필요가 있다. 이것을 위하여 세계적으로 필요한 깨끗한 물의 양은 6천 km^3 로 된다. 이만한 물의 양과 세계 중의 하천이 상시 흐르고 있는 물의 양,

약 1만5천 km^3 를 비교하면 당장 우리인류의 목전에 무서운 물기근의 악몽이 서서히 가로막고 있는것을 쉽게 이해할 수 있다. 벌써 現在 汚染된 工場廢水와 生活下水를 淨化시키는 用水는 全世界에 存在하고 있는 淡水의 40%에 도달하고 있다. 이 물량은 人類가 生活하는데 필요한 물량의 약 3배이다. 세계에서 물부족이 문제가 되고 있는것은 지구상의 물이 적은 까닭이 아니다. 현재의 고도화된 科學技術이나 巨大한 工業生産 아래에서 人間이 生活한다면 깨끗하고 맑은 自然水를 汚染시키고 쓸모없게 하고 있는 構造로 되어 있

는 정치·경제·사회가 그 원인인 것이다. 廢水로서 오염된 河川에서는 착실한 生物은 멸망한다. 고기도 살 수 없다. 그 대신에 먼저 野生의 水草가 무성하고 다음에 이 水草가 멸망해서 그 다음에 유해한 微小植物相의 天下가 된다. 물은

썩고 공기도 더럽게되어 이상한 질병의 발생원이 된다. 유럽각국의 대표적인 하천 특히 맑은 라인강이나 태임즈강 등이 오염되어 한때 더러워진 시궁창 강으로 죽음의 하천이 된 것을 우리는 기억해야 하겠다.

→ 276면 하천유지 유량의 개념……의 계속

끝으로 이러한 概念의 변화는 水資源과 관련된 분야에 從事하는 專門家들의 討議와 合議가 매우 중요하다 할 수 있다. 따라서 이러한 河川維持流량의 概念 정립에 대해 水資源 專門家들의 批判과 助言을 기대한다.

參考文獻

1. 건설부(1966) 수자원 종합개발 10개년 계획.
2. 건설부(1972) 낙동강 하천정비 기본 계획.
3. 건설부(1973) 낙동강 유역 개발 자원 조사(하류지역 및 저류유역 조사 보고서).
4. 건설부(1975) 수자원 개발 조사 년보.
5. 건설부(1978) 섬진강 하천 정비 기본 계획.
6. 건설부(1985) 하천 시설 기준(하천편).
7. 건설부 산개공(1982) 홍천 다목적 댐 기본계획 조사보고서.
8. 국립 환경 연구원(1983) 전국 주요 하천 기초조사.
9. 국토개발 연구원(1986) 수질 보존을 위한 하천유지용수의 적정량 산정에 관한 연구—한강을 중심으로.
10. 국토개발 연구원(1988) 하천유지용수 수급에 관한 연구.
11. 아끼히도 모리타니(1988) 이수안전도 설정에 관한 고찰, 토목기술자료 30-2, p. 794.
12. 이성재(1986) 하천의 유지용수량 산정방식에 관한 연구, 한국수문학회지, 제19권 2호, pp. 94-98.
13. 일본 건설성(1987) 다목적 댐의 건설, 제1권 계획 행정편.
14. 일본 건설성 하천국(1986) 하천의 유지유량 산정 방법에 관한 연구, 한일 하천 및 수자원 개발 기술 협력회의 자료(9회).
15. 일본 국토개발 연구센터(1988) 미국의 1988년 갈수조사(속보).
16. 일본 산해당(1985) (개정) 건설성 하천 사방 기술 기준(안), pp. 33-35.
17. American Society of Agricultural Engineers(1986). Water Resources Law, Proceedings of the National Symposium on Water Resources Law.
18. Anderson, R. L.(1982) Conflict between Establishment of Instream flows and Other Water Uses on Western Streams, Water Resources Bulletin, Vol. 18, No. 1, pp. 61-65.
19. Cox, W. E.(1982) Water Law Primer, ASCE, Vol. 108, No. WRI, pp. 107-121
20. Dixon, W. D. and W. E. Cox(1985) Minimum Flow Protection in Riparian States, Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 111, No. 2, pp. 149-156
21. Thomas, J. L. and D. Klarich(1981) Montana's Experience in Reserving Yellowstone River Water for Instream Beneficial Uses the Reservation Decision, Water Resources Bulletin Vol. 17, No. 2, pp. 255-261.