

美國의 1988年 가뭄에 대하여

The 1988 Drought of U.S.A.

金 治 弘*
Kim, Chi Hong

要旨: 世界の食糧의 寶庫인 美國中部地方의 1988年의 가뭄에 關해서 斯界의 權威者인 美國 시아틀의 와싱턴大學 土木工學科 教授인 *데니스·피 레튼마이어氏의 論文內容을 간추려서 記述하고자 한다. 水文學研究의 도움이 되면 多幸으로 여기는 바이다.

序論: 1988年의 美洲中部에서는 非正常인 더위와 가뭄의 連續으로 모든 報道機關, 媒體는 高氣溫, 少量의 降水量 및 流量의 自然氣象에 對해 「記錄更新」이라는 報道가 나돌았다. 1988年 4月末까지는 美國測地局(USGS)의 報告는 美洲 中西部地域의 大部分의 流量狀態는 正常乃至 正常보다 上位圈에 있었던 것이었다. 또 다른편에서는 USGS 國立水資源部의 發表에 따르면 美洲南東部 및 西部地域에 걸쳐있는 6個地域에서는 2年乃至 數年間 比較的 長期間동안 非正常으로 流量이 低位를 呈示해 왔었다.

가뭄의 定義는 美國에서는 一定하지 않다. 그것은 水使用과 聯關을 갖고 있는 것이다.

實際적인 立場에서 萬若 社會的인 影響이 없으면 비록 非正常乾燥期間이 持續되어도 가뭄이라고 안한다. 그러므로 가뭄은 例를 들어 天文學的, 農學的 또는 水文學的의 影響에 따라 가뭄을 定義하고 있는것이 美國의 경우인것 같다. 즉 天文學的의 가뭄은 正常的인 降水量보다 적은 降水狀態가 非正常的으로 길게 持續하고 乾燥가 極

甚한 것과 關係가 있다. 農學的의 가뭄은 通常으로 非正常으로 낮은 湿度의 濕潤狀態와 關係가 있다. 水文學的의 가뭄은 非正常의 낮은(低位) 流量과 關係가 있다. 例로 水力發電所에서 가뭄을 말 할때는 水文學的의 가뭄이 가장 重要한 자리를 차지한다. 그 까닭은 水供給에 關聯되기 때문이다. 勿論 天文學的의 가뭄도 影響을 주고 있다.

1988年 가뭄

既述한바와 같이 美國의 中西部에 있어 1988年의 봄, 여름의 가뭄은 가장 注目거리가 되어 버렸다. 특히 Mississippi 江 上流部와 Ohio 溪谷에서 그러하였다. Fig. 1과 Fig. 2는 1988年 3월에 始作한 天文學的의 發展狀況이다. Fig. 1a 및 Fig. 2a는 各各正常降水量值의 75% 및 50% 보다 낮은 봄철(3月~5月)에 있어서의 區域을 表示하고 있다. Fig. 1b 및 Fig. 2b는 5月부터 7月까지의 降水量이 正常值의 75% 및 50% 보다 낮은 地域을 各各 表示하고 있다. Fig. 1a와 Fig. 2a 및 Fig. 1b와 Fig. 2b를 比較해 보면 春季부터 이른 夏季사이에 美洲中部에서 一般的으로 가뭄이 어떻게 展開되었는가를 보여주고 있다. 例를들어 록키山脈東側의 14個 水文區域中 5個區域(the Great Lakes, Ohio Valley, Upper Mississippi, Lower Mississippi, 그리고 Souris-Red-Rainy Rivor Basin)의 春季降水量은

* 土木(水資源) 成均館大 工大學長

* Dennis P. Lettenmaier Research Professor Civil Engineering Department University of Washington, Seattle, U.S.A.

** 地名은 우리말 表記가 어려워 原名을 그대로 썼음, 諒解있기를 바랍니다(著者書)

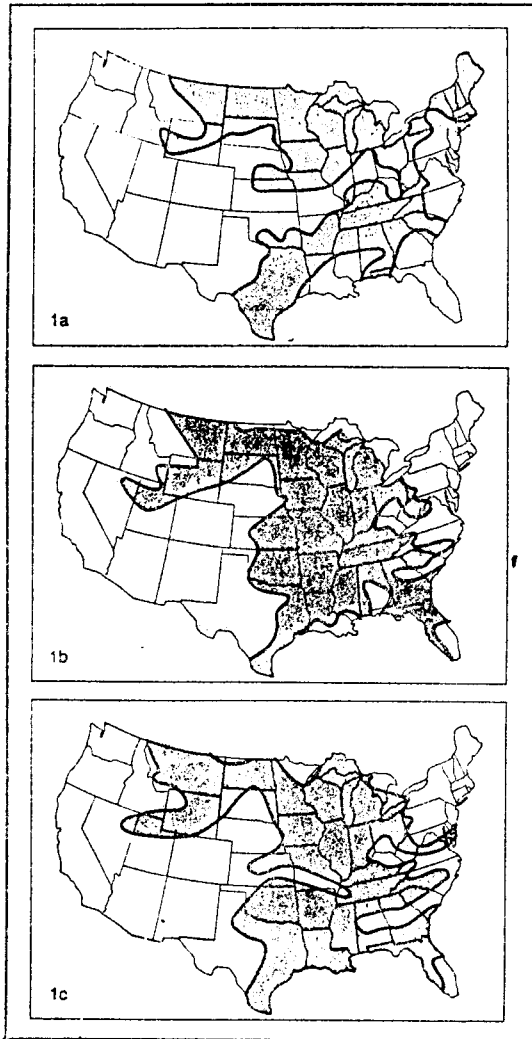


Fig.1 Area of continental U.S. for which 1988 precipitation was 75 percent or less of normal for a : March 1-May 31 ; b : April 1-July 30 ; c : April 1-August 8(taken from NOAA Drought Advisory and USGS National Water Conditions).

記錄上 低位級였고, 거의 記錄上 低位級에 가까웠던 곳이 다른 4 個地域(South Atlantic, Tennessee Valley, Missouri 및 Arkansas-White-Red)였다. 美國立氣象臺(the National Weather Service)에 依하던 7 月中甸을 통하여 美洲地域이 極甚하고 深刻한 가뭄狀態에 있었고, 長期間의 土壤濕潤變化를 反映하여 가뭄을 測定하는 the Palmer Drought Severity Index(PDSI)가

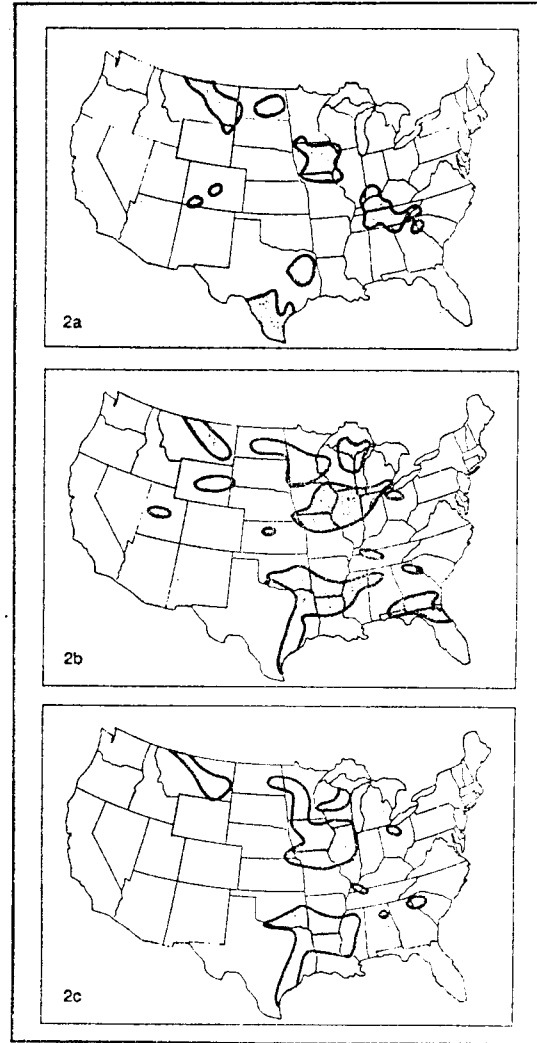


Fig.2 Area of continental U.S. for which 1988 precipitation was 50 percent or less of normal for a : March 1-May 31 ; b : April 1-July 30 ; c : April 1-August 8(taken from NOAA Drought Advisory and USGS National Water Conditions).

45%의 값을 呈示하고 있었다. 이 값은 1934 年 7 月の 61%, 1936 年 7 月の 44%, 그리고 1954 年 7 月の 45%와 比較가 된다고 되어있다.

Fig. 1c 와 2c 는 短期降水量의 變化測定으로 가뭄의 傳播程度를 보이고 있다. Fig. 1c 와 2c 는 Fig. 1b 및 Fig. 2b 와 各各 同一하고 다만 8 月 1 日~8 日 까지의 1 週日의 降水量이 더 加해 進것 뿐이다. Fig. 1b 와 Fig. 1c 를 比較하면 25

%의 降水不足(正常的 75% 乃至 그 以下)의 量的 變化를 보이고 있다. 그러나 實質的으로는 50%의 不足量으로 까지 減少되고 있었다고 한다. 8월의 첫週에는 많은 물不足을 惹起시켰던 地域인 美洲의 中西部와 南東部에서 大部分 平均 降水量보다 많은 量的 降水가 있었다. 그런데 여기에는 表示되어 있지 않으나 8月中旬에 이르러서는 가장 激甚한 天文學的가뭄에 追加의 不足을 가져왔던 것이다.

水文學的가뭄의 특징은 最近에 이르러 過去와

多少 差異가 있다. 거의 深刻한 短期流下量이 不足을 呈示하는 地域은 1988年 봄철부터 大端히 많은 降水不足을 가져온 地域과 一致한다는 점이다. USGS는 全國 190 流量測點中 33 個所(이中 2 個의 Mississippi 東部것이 包含)가 낮은 6月 流出記錄을 갖고 있음을 報告하고 있다. 몇 個 大河川의 流量觀測所의 7月 첫切半의 流下量 測定値는 Mississippi 江의 Iowa 州 Keokuk 地點, Vickburg 地點, 그리고 Ohio 江의 Louisville 地點을 包含하여 低位記錄이다.

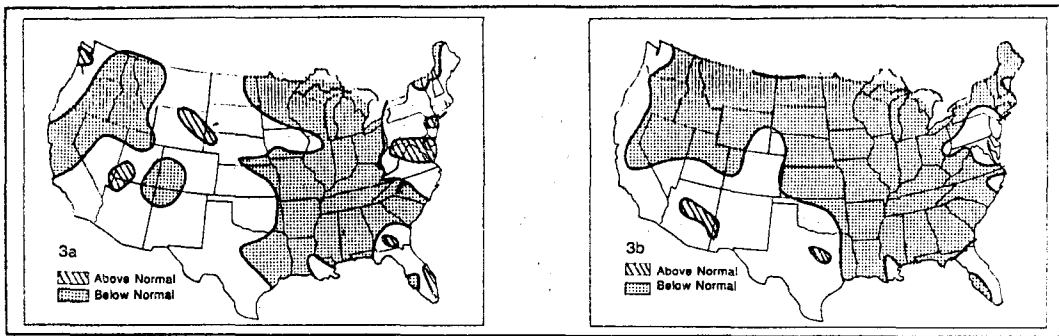


Fig. 3 Area of continental U.S. for which 1988 runoff was below normal, and above normal for a : May ; b : June(taken from (USGS NationalWater Conditions).

Fig. 3a 와 3b는 USGS 報告書에 依한 5月과 6月 사이에 水文學的가뭄의 進展狀況을 나타낸 것이다. 水文學的 加뭄의 測定은 天文學的 加뭄보다 어려움이 뒤따른다. 그것은 貯水池貯水容量의 影響때문이다. 또한 흙의 濕潤, 蒸發散, 流下量의 相互關係가 包含되어 있기 때문에 더욱 그러한 것이다. 그러한 理由로서 區域區分을 正常보다 下位, 正常, 그리고 正常보다 上位流下量을 表示되어 있다. Fig. 3a 와 3b의 比較에서 正常流下量보다 下位圈으로의 變換區域이 明白히 나타나고 있다. 8月동안에는 正常流下量보다 下位를 마아크하는 經驗을 大部分의 州가 갖고 있다.

事實 8月初에는 強力한 降水가 中西部一部에 있어 流出에서는 短期間의 增加結果를 갖고 왔었으나 土壤의 濕潤狀態가 極甚하게 枯渴되어 있었기 때문에 거의 모든 河川의 流下量은 곧 일찍이 下位圈으로 되돌아가고 말았다.

이 情報은 가장 深刻한 加뭄影響을 이 나라의 中央部에서 感知되어 왔음을 立證하고 있다. 그

러나 上述한바와 같이 加뭄은 그 深刻度와 持續期間에 依해 特徵있게 된다. 降雨記錄檢討는 將次 일어날 最近 加뭄의 持續期間을 決定하는데 도움을 준다. USGS의 1987年 11月부터 1988年 5月까지의 月間 美國水資源報告를 보면 大部分의 美國中西部에서는 1988年 4月까지는 正常流出 또는 正常流出보다 上位였었는데 1988年 5월에 들어서면서 첫번째로 正常流出보다 低位의 流出記錄을 이 地域에서 觀測되었다.

水力發電의 立場에서 보면 貯水池貯溜量은 供給不足關係를 表示하고 있다. 上流部에 貯水池貯溜施設이 存在할 때에는 最小限 短期에 있어서는 貯水池로부터의 流入量보다 물의 貯溜量이 더욱 重要한 것이다.

또한 平均流下量과 關聯하여 貯水池크기에 따라 加뭄이 決定되는 것은 河川에서의 自然流下量의 變化와도 같다. 例를 들어 Colorado 江 水系의 總貯水池容量은 年間平均流下量의 4倍를 넘고 있어서 다만 數年間(5,6年間) 길이의 加뭄만이 實質的으로 影響을 끼친다. 이와 反對로

河川の貯溜量が平均年間流下量보다 적을 때에는 數個月 또는 그 以下の 河川流下量不足이 바로 影響을 주게되는 것이다.

어느경우라도 거의 全體 美國水力發電을 위한 河川流量調節問題에서는 가뭄持續期間은 하나의 關鍵이 된다.

가뭄深刻度보다도 가뭄持續期間에 가뭄決定의 基底로 생각해 보면 現今의 美洲의 中西部의 가뭄은 날짜로 따지는 것이 妥當한 일이다. 그와

反對로 美洲의 南東部 및 北西部 및 Rocky 山脈 北部에서는 正常流出보다 低位流出이 廣域에 걸쳐서 惹起되어 2年 또는 그 以上の 年數에 左右된다 한다. USGS에서는 現今의 가뭄에 가장 影響을 받는 6個地域을 選定하였다. 그들은 Nevada 및 Utah의 Great Basin, California, Pacific Northwest, Northern Great Plains, Western Great Lakes 및 Southeast 이다.

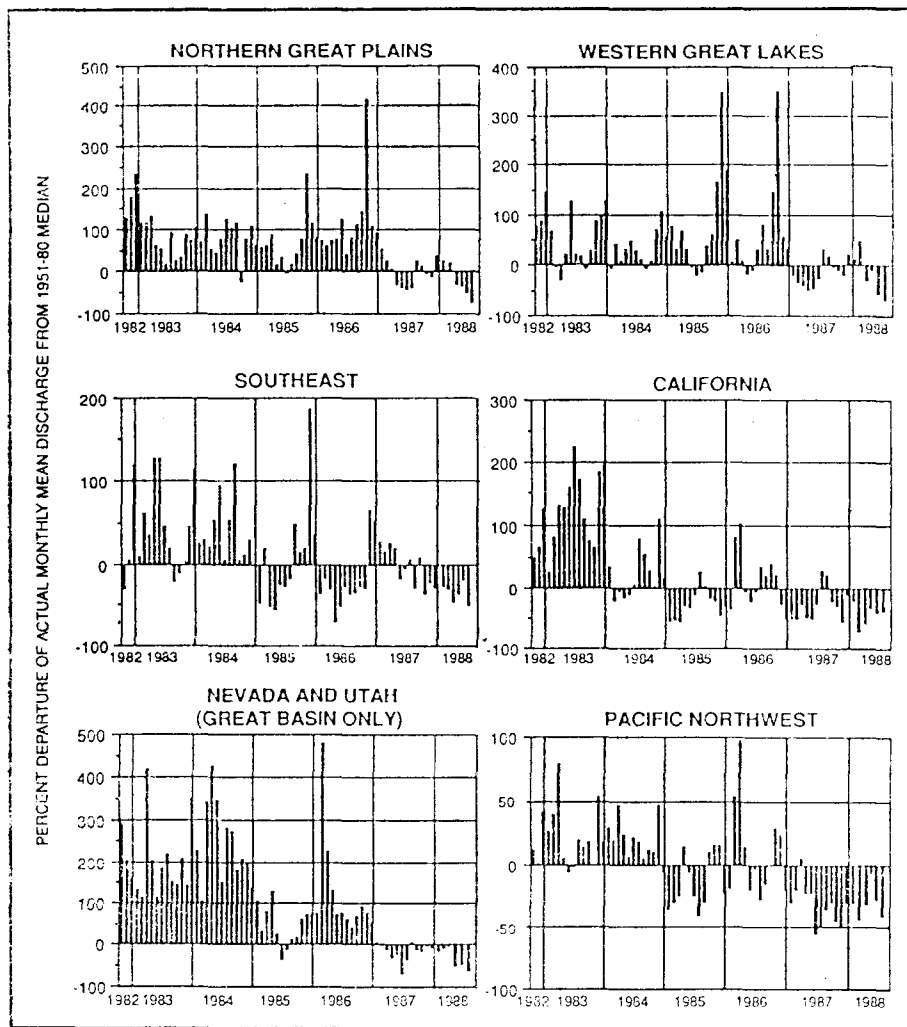


Fig. 4 Percentage departure of monthly streamflow from 1951~80 median for six regions currently experiencing drought(from USGS National Water Conditions).

Fig. 4 에는 이들 地域에서의 1982 年부터의 河川流下量을 呈示되고 있다. 이 Fig. 4 에서는 이 地域들의 모든 流下量은 最終 18 個月間에 正常

流量보다 低位로 되어있음을 보여주고 있으며 Southeast 에서는 1985 年부터 數個月의 正常流量보다 上位記錄을 除外하고는 모두 그 以下였

다. Fig. 4에서 流下量에 關한限 Northern Great Plains 및 Western Great Lakes 地域은 同一性을 나타내고 있다. 이는 아마도 같은 氣候圈에 놓여 있기 때문인 것 같다. 이들 地域의 土壤濕潤의 不足量이 거의 없어 가뭄이 比較的 速히 끝나고 特히 가을季節의 蒸發散도 他地域에 비해 적었다고 한다. 對照的으로 西部 및 南東部 3個地域에서는 長期流出不足을 經驗하고 있다. 美洲西部地域에서는 正常降水가 季節的으로 여름과 가을에는 낮고 主要한 水力發電開發은 1年流出量의 거의 全部가 봄의 融雪量에 依存하는 것이 이 流域에인 것이다. 그러기 때문에 길고긴 加뭄의 終結은 通常的으로 正常 및 正常보다 上位의 冬期降雪을 기다려야 하는 것이다.

西部에서는 그러므로 大部分의 大水力發電所는 上流貯溜量에 依해 調整된다. 西部地域을 通해서 보면 最近의 貯水池水位는 廣範圍하게 變化한다. 그러나 地域別로는 變化範圍가 적은 곳도 있다. 西部地域에서는 現가뭄은 1976~77 加뭄만큼은 深刻하지 않았다.

美洲南東地域의 大河水은 高度로 調節이 되었었고, 貯水池貯溜量은 一般的으로 正常보다 低位였었다. 그러나 몇個의 例外를 除外하고는 그다지 크게 流下量이 非正常은 아니였었다. 그것은 美洲南東地域은 融雪量에 依存하지 않고 流出範圍가 美洲西部地域보다는 季節的이 아니인 것이다. 그러므로 加뭄狀態의 變化는 比較的 빨리 發生한다. 그러나 過去 4年間의 加뭄에서 비록 水文學的加뭄은 甚하지 않았지만 大規模土壤濕潤狀態의 欠乞의 結果를 가져온 것을 보면 美洲中西部地域보다도 水文學的加뭄이 深刻히 파괴 들어감을 提示해 주고 있다.

가뭄 對策에 關한 研究動向

가뭄에 關해 무엇을 할 수 있을까? 이것에 對해 加뭄의 豫防, 終結에 對해 아직도 이루어졌다고는 할 수가 없다. 氣象을 變化시키는 研究는 數 10年間 해왔다 하지만 큰 成果는 못보고 있는 것이다. 特히 美洲西部의 水不足地域에 對해서는 氣象變化를 人工的核을 加하므로서 降水過程을 促進시키는데 그 基礎理論을 두고 있다.

비록 降水增大가 結論的으로 展示되었지만, 그리고 降水條件을 成功的으로 이끌어낸 것 같이 보이지만 아직 希望的이라는 狀態에 지나지 않는다는 問題를 남기고 있는 것이다. 따라서 이로서 加뭄을 解消시키는 條件에는 未洽하며 이러한 氣象變化로는 加뭄治癒에 큰 도움은 안되는 것이다. 實質的立場에서 短, 長期의 두 가지의 경우에 對해 어떤 對策이 있는가? 하는 것이다. 長期計劃에서 設計上 現條件을 勘案하지 않고 將次를 豫見하여야 된다. 즉 加뭄의 持續期間 및 深刻度의 確率을 그 事業의 耐用年限內에 統計的特徵을 써서 過去의 流量記錄을 驅使하자는 것이다. 그리하여 問題는 100年 再起洪水를 推定하는 것과 恰似한 것이다. 그래서 加뭄에 對한 가장 一般的인 方法은 極限值로 計劃을 하는 것이다. 그것은 單純히 過去觀測值에 對한 模擬發生(simulation)을 實施하는 것을 뜻하며 그러기 위해서는 過去의 長期間의 流下量 記錄을 保有하는 것이 必要하다.

한편 새로운 接近方法으로서는 綜合流量發生法이 있다. 이것은 觀測된 過去流下量 記錄을 써서 統計的特徵을 利用함으로써 同定하는 것에 基礎로 한 것이다. (즉 平均值, 分散, 相關). 이 綜合流量發生法은 過去 記錄에 못지않게 統計的 特性을 通해서 이루어졌지만 未來에 發生하리라는 期待는 나타나도 精確度는 未知인 것이다. 이와같은 流量模擬發生은 數百年, 數千年도 可能하며 構造物設計耐用年限內의 加뭄持續期間의 模擬流量發生도 할 수가 있다.

그러나 위의 模擬流量發生보다 더 알려진 것이 天文學的데이터를 써서 水文學的 모델을 通하여 流量豫測하는 技法도 있다.

그래서 加뭄期間의 流下量豫測모델은 두가지가 있다. 그 하나는 過去流量記錄을 써서 統計處理하는 時系列모델이다. 이것은 高水流量記錄에서 高水流量을, 低水流量記錄에서 低水流量으로 豫測은 하지만 時期的으로 適切하게 맞을 것인가에 對해서는 問題가 있다. 그러나 現在 및 過去流量으로 부터 未來의 流量을 豫測할 수가 있다. 이러한 接近法을 位置分析(position analysis)이라고 부른다.

또 한가지 方法은 加뭄期間內의 流量豫測을

物理모델인 思考流域모델(Conceptual Watershed model)을 쓰는 것이다. 이 모델은 降水로부터 土壤濘潤狀態등을 勘案하여 流出을 豫測하는 것이다. 이 모델의 代表的인 것이 美國國立氣象台에서 開發한 ESP(Extended Streamflow Prediction)가 있다. 이 모델은 流量模擬發生모델보다 훨씬 正確性이 있다고 알려져 있다.

著者の 後記

1988年이라는 해에 地球規模에서 發生했던 自然災害는 大端히 激甚했던것 이었었습니다. 水理學, 水工學, 水文學이 關與하는 水災害에 關해서도 一般人的 많은 關心을 불러 일으켰습니다. 1988年 1月 ~2月은 歐美的 大寒波, 特히 美國에서는 數 10年만의 大寒波로서 많은 사람이 死亡했습니다. 7月에는 一轉하여 美國은 既述한것과 같은 大가뭇의 被害가 있었고, 또 아프리카의 스타에서는 땀뚜기의 大發生으로 農作物이 大被害를 받았습니다. 아시아에서도 방글라데시에서는 1987년에 이어 1988年에도 大洪水가 있어 莫大한 被害를 받았습니다. 同時期에 中國에서도 大洪水가 있었습니다. 또 休養地로 有名한 블란서의 니이스地方에도 大洪水가 있었음을 記憶에 되새깁니다. 또 카리브海에서는 몇 10年에 한번의 風速 50m/s 이상이라는 強烈한 헤리칸의 來襲이 있었습니다.

以上은 水災害(大氣圈現象)입니다마는 地核現象이 惹起한 自然災害는 1988年만 돌이켜보아도 數없이 많습니다. 가장 悲慘했던것이 12月 7日에 發生한 알메니아 地震였었습니다. 5萬명 ~10萬명의 死亡者를 냈습니다. 日本에서는 年末에 十勝岳의 噴火와 泥流發生이 있었고 때를 같이해서 南美 칠레에서도 噴火에 依한 泥流災害가 일어나고 있습니다.

이와같이 地球規模의 自然災害는 「災害는 잊어버렸을 무렵 쳐들어온다」와는 달리 最近에는 頻繁한것 같습니다. 地球自身이 異常이 오는것 아니냐 하는 疑心을 갖게 합니다. 地核現象은 人間이 制御하는 것은 우선 不可能에 가깝고, 할 수 있는 것은 地震의 豫知의 確立과 萬若 地震이 發生해도 災害를 最小限으로 막는 工法의 開發이라고 생각합니다. 地震災害는 그 根本은 역

시 人間이 受動的立場에 있다는 것입니다. 이點을 考慮해서 地震研究者 또 構造力學이든가 土質工學의 研究者도 熱心이 對策講究에 積極性을 띠어야 할 것입니다.

한편 大氣圈現象인 水災害는 水理·水文關係者가 이것을 最小限으로 輕減하겠음 研究하는 責任을 社會的으로 지니고 있다고 생각합니다. 水災害도 地震災害와 마찬가지로 人間의 힘으로 制御할 수 없었습니다. 즉, 自然災害인 것입니다. 그러나 어쨌든 最近의 地球的 規模로 各地에 發生하는 水災害는 「異常」이고 그렇다고 『異常現象이고 intermittent로 發生할 뿐이다.』라고 簡單히 結論을 맺을수 없는 側面이 있는 것 같습니다. 즉 近代에 이르러 人間活動이 大氣圈에 미친 어떠한 影響이 現在에 있어서 드디어 顯出하기 始作한것 같이 直感됩니다. 石油, 石炭의 使用量은 指數函數의으로 急增하고, 工 結果 CO₂가 急增하고 있습니다. 또 한편에서는 아마존이든가 東南아세아의 熱帶雨林地帶에서의 森林伐採가 甚하여 CO₂를 O₂로 變換하는 炭酸同化作用이 急減해 가고 있습니다. 또 후튼가스(flon gas)는 O₃ 즉 오존層을 破壞하므로 人間이 紫外線의 恐怖에 빠지게 되었습니다. 歐洲 特히 독일에서는 酸性비가 社會問題가 되어 있고 南독일의 아름다운 Schwartz Wald(검은 森林)가 壞滅하지 않는가 하고 걱정되고 있습니다. Schwartz Wald의 支關에 位置한 Karlsruhe의 大學에서는 Naudasher 教授가 리더가 되어 그 酸性비의 水理·水文·流體力學的 解明에 約7年前부터 研究에 着守하여 最近 그 成果가 公表되어 있습니다.

1990~2000年의 10年間은 國際防災 10個年計劃(IDNER)으로서 昨年 11月 23日에 日本이 처음으로 提案, 141個國의 共同提案으로 UN 總會에서 可決되어 各種의 自然災害의 輕減에 關한 研究와 그 實務的對策에 國際共同作業이 期待되고 있습니다. 이러한 時點에서 技術士 諸位의 研究活動의 機會가 있으리라고 믿고 있습니다. 레튼마이어教授도 가뭇은 Green House 現象이 아닌가 하고 相當한 關心을 表明하고 있습니다.