

研究論文

京畿道 始興郡 蘇來面 뱀내하천 流域의
地下水 汚染에 關한 研究

“A study of the pollution of ground water in the basin of the river
Baem Nae Chun, Sorae-Myun, Shihoong-goon, Kyonggi-Do, Korea”

金	毅	宗*
Kim,	Yoon	Jung
鄭	鳳	日**
Jeong,	Bong	Il

Abstract

The progressive contamination of water resulted from man's activity and the use of fertilizers is not restricted only to surface water, but also the shallow groundwater is affected. This type of groundwater contamination is mainly restricted to areas composed of permeable, nonconsolidated sediments forming a shallow aquifer. The chloride and the sulfate resulted from man's activity and the use of fertilizers were measured to study the variations of the groundwater contamination.

In general, (1) When water level rises, the rate of groundwater contamination becomes less and when water level declines, the rate of contamination is increased. (2) The highly contaminated season is the early-summer and the less contaminated season is the winter or after rainy season. (3) The groundwater in weathering zone without covering layer is more contaminated than that in alluvium deposits with covering layer. (4) The degree of contamination of wells is increased with the increase of well depth and lowering the water table, because of increasing contaminated water from enlargement of the area of influence of the well.

I. 序 論

多樣해진 人間活動에 의해 水資源은 점진적으로 汚染되고 있다. 그 汚染은 地表水에만 局限되지 않고 地下水까지 影響을 받는다.

本 論文은 地下水의 汚染狀態를 一定한 期間에 걸쳐서 측정하여 그 變化量이 自然的인 條件 및 人爲的인 條件들과 어떤 相關關係를 갖는가를 밝히는데에 그 目的이 있다.

本 調査研究 地域은 경기도 시흥군 소사면 一帶의 뱀내하천이 흐르고 있는 小盆地이며, 아직 固結되지 않은 沖積層 및 風化帶內的 얕은 곳에 存在하는 地下水를 研究對象으로 했다.

地下水의 汚染은 局部的인 汚染과 廣域的인 汚染으

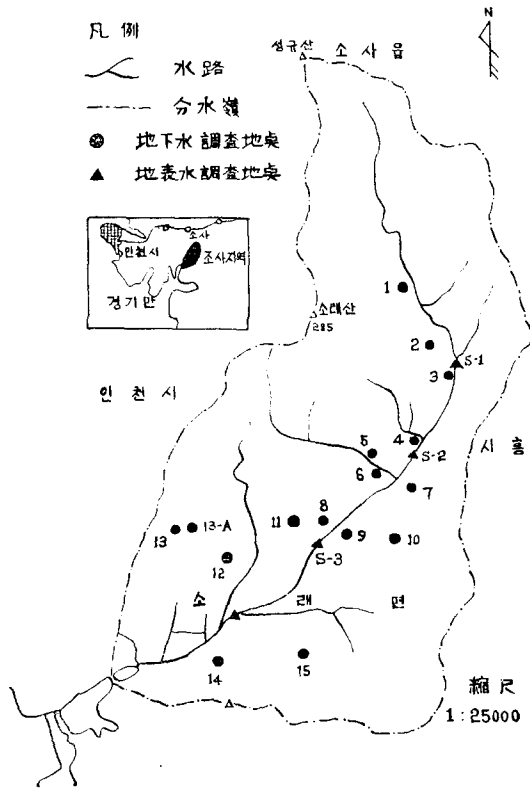
로 分類할 수 있다.

局部的인 汚染의 原因에는 廢物堆積物 家庭이나 工場폐수의 침투, 부패된 河川水의 침투등이 있고, 廣域的인 汚染의 原因에는 大氣나 降雨로부터의 汚染物의 침투, 비료의 使用 등이 있다.

本 論文에서는 廢物 및 폐수의 침투로 인한 局部的인 汚染 때문에 發生하는 Cl(Chloride)와 비료의 使用으로 인한 廣域的인 汚染때문에 發生하는 SO₄(Sulfate)를 택하여 汚染狀態의 變化量을 측정하였다. 주기적인 觀察을 위하여 16개의 井戶를 選定하였으며, 1972年 5월부터 1973年 3월까지 月平均 二回씩 野外調査를 하여 各 井戶의 地下水水位變動을 記錄하고 地下水를 채취하여 分析하였다.

時間은 井戶의 利用이 가장 적은 오전 11時~오후 3時 사이를 택하고, 各 井戶에 對한 地下水水位의 記錄과 地下水의 채취는 人爲的인 揚水作業으로 인한 影響을 最小化하기 爲하여 每回마다 거의 一定한 時刻에 實施

正會員·서울대학교大學院 *
本學會理事·서울대학교大學院指導教授 **



Map. 1. 調査地域의 流域圖와 調査地點의 位置

하였다.

二回에 걸쳐 地下水의 Hydrochemical facies를 밝히기 위해서 주요 陽이온(Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+)과 陰이온(Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , CO_3^{--})을 分析하였으며, 汚染狀態의 變化量을 측정하기 爲해서 1~3回씩 地下水를 채취하여 Cl 와 SO_4 를 檢出하였다.

分析方法是 陽이온은 AA 및 Spectrograph方法, 陰이온은 비색방법으로 측정하였으며, 地質鑛物研究所의 施設을 利用했다.

降雨量은 本地域에는 측후소가 없기 때문에 正確한 資料는 求할 수가 없었다. 그러나 바로 서울과 인접한 地域이기 때문에 서울의 降雨量과 거의 一致할 것이라는 중앙관상대의 권유에 따라 서울地域의 降雨量을 그대로 適用키로 했다.

本 調査研究期間동안 많은 助言과 指導를 해주신 서울大學校 大學院 鄭鳳日 教授님께 感謝를 드리며, 많은 참고자료와 편의를 보아주시는 地質鑛物研究所 地質課 권영일씨와 水質分析을 위하여 많은 편의를 보아주시는 地化學課 은준철씨, 이원태씨 및 分析課 박승립씨, 신장순씨에 謝意를 表한다.

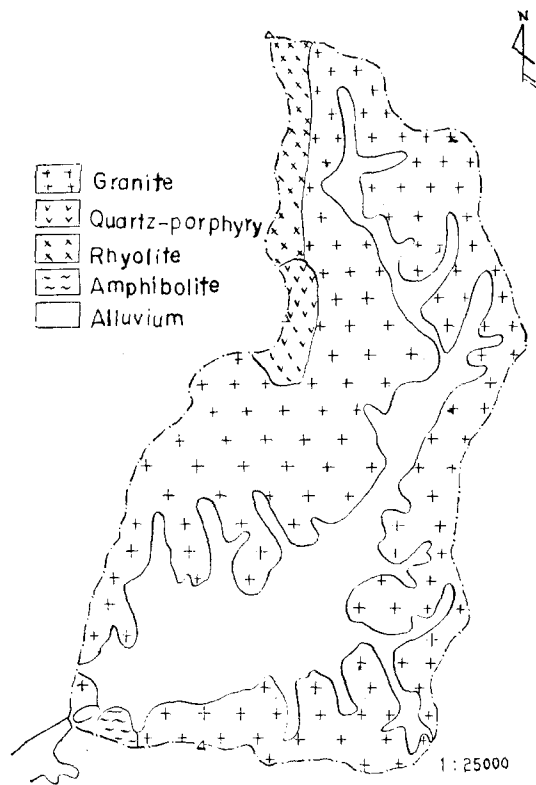
II. 地質 및 地形

II-A) 地 質

本地域의 地質은 中生代 侏羅기의 花崗암과 그 외 에 석영반암(Quartz-Porphry), 유문암, Amphibolite로 形成되어 있으나 花崗암이 本地域의 大部分을 차지하고 있다.

花崗암은 風化에 弱하여 낮은 丘陵을 이루고 있으며 석영반암 및 유문암은 비교적 風化에 強하여 北西쪽의 소래산 및 정규산의 높은 高地帶를 形成하고 있다. Amphibolite는 배내하천 河口에 少量 分布되어 있다. 花崗암은 아주 粗粒質이며 석영, 정장석, 사장석, 미사장석, 각섬석이 主成分을 이루고 흑운모가 극히 少量 含有되어 있다. 특히 석영의 含有量은 아주 많은 편이다.

석영을 많이 含有한 花崗암은 本地域의 風化帶가 비교적 透水性이 良好한 帶水層이 되게 했으며 또한 地下水의 化學成分에 많은 影響을 주고 있다.



Map. 2. 蘇來面 一帶의 地質圖

II-B) 地 形

本 地 域은 약 11.5km²의 面積을 갖는 小規模 盆地로서 全體의 약 2/3가 結晶質岩 및 風化帶이며 나머지 1/3은 沖積層으로 되어 있다.

南底北高의 山系와 微弱한 發達의 樹支狀 水系를 보이는 老年期地形에 해당되며 分水嶺을 이루는 山의 形態는 西쪽의 285m의 蘇來山과 北쪽의 성규산(200m)을 제외하고는 대부분이 100m 미만의 낮은 丘陵으로 되어 있다.

성규산에서 根源을 이루어 南流하는 鬮내하천은 下대 牙리에서 南西쪽으로 方向을 바꾸어 西海로 流入된다.

本 地 域은 盆地가 작고, 支流의 發達도 미약하고 上 流쪽으로 頂點을 갖는 삼각형의 形態를 취하고, 盆地의 方向이 南쪽을 向하고 있어, 太陽熱의 影響으로 Evaporation과 Transpiration에 의한 水分의 損失이 크기 때문에 河川의 水量은 아주 적은 편이며, 많은 降雨量에도 河川은 지속적인 流量을 供給하지 못한다. 支流의 대부분은 갈수기에는 거의 메말라 있다.

III. 觀察井戶의 說明

계속적인 觀察을 爲해서 代表的인 井戶 16개를 選定했다. 이들 井戶는 立地條件에 따라 風化帶와 沖積層,

Table 1. 觀察井戶의 記載

Well No.	所 在 地	立 地 條 件	用 水 別 區 分	口 徑 (cm)	深 度 (m)	最大水位	最低水位	最大水位變動量 (m)
1	소래면 상대야리	풍 화 대	1 家 具 用	76	4.35	1.69	3.66	1.97
2	" 하대야리	"	共 同 井 戶	72	2.73	0.42	2.43	2.01
3	" 하대야리	층적층(河川近接點)	揚 水 用	89	3.41	0.22	0.97	0.75
4	" 신천리	층적층(")	2 家 口 用	73	3.00	1.39	1.86	0.47
5	" 신천리 299-3	풍 화 대	1 家 具 用 食 店	78	3.11	1.56	2.64	1.08
6	" 신천리	층 적 층	1 家 具 用	70	2.51	0	0	0
7	" 오복동 36	"	1 家 具 用	60	2.38	0.77	2.00	1.23
8	" 신천2리 274	풍 화 대	1 家 具 用 우 물	73	2.96	0.71	1.74	1.03
9	" " 入口	층 적 층	1 家 具 用	90	2.07	1.14	1.57	0.43
10	" 신천2리 42	풍 화 대	3 家 具 用	90	5.03	1.59	2.49	0.90
11	" 신천3리	풍 화 대 (산록)	3 家 具 用	75	4.88	0.67	3.83	3.16
12	" 신천3리 653	"	3 家 具 用	60	3.62	1.05	3.06	2.01
13	仁川市南區운현동266番地	풍 화 대 (산록)	共 同 井 戶	74	5.20	2.57	4.52	1.95
13-A	仁川市 南區 운현동	층적층	共 同 井 戶		2.00	0	0	0
14	소래면 방산리	산록(층적층과경계)	1 家 口 用	90	1.20	0	0	0
15	소래면 방산리 82-1	층적층	1 家 口 用	80	1.74	0	0.96	0.96

用 水 頻 度에 따라 1 家 口 用 井 戶와 共 同 井 戶, 井 戶 深 度에 따라 3m 이상과 3m 이하의 井 戶로 分 類 했으며, 각각 8개씩 分 布 되 도 록 選 定 했다.

즉 立 地 條 件에 따라 井 戶 1, 2, 5, 8, 10, 11, 12, 13은 風 化 帶에 位 置 하고, 井 戶 3, 4, 6, 7, 9, 13-A, 14, 15는 沖 積 層에 位 置 하고 있다. 用 水 頻 度에 따라서는 井 戶 1, 3, 6, 7, 8, 9, 14, 15는 1 家 口 用 井 戶며, 井 戶 2, 4, 5, 10, 11, 12, 13, 13-A는 共 同 井 戶에 속한다. 단 井 戶 3은 揚 水 用 이 지 만 1 家 具 用 井 戶에 포함시켰고 井 戶 5는 1 家 具 用 井 戶 이 지 만 음 食 店 中 使 用 하고 있 기 때 문 에 共 同 井 戶에 포함시켰다.

井 戶 深 度에 따라서는 井 戶 1, 3, 4, 5, 10, 11, 12, 13은 3m 이상, 井 戶 2, 6, 7, 8, 9, B-A, 14, 15는 3m 이하의 井 戶다.

이 상과 같이 井 戶가 한 쪽 조 件 에 만 치 우 치 지 않 고 양 쪽 조 件 에 均 等 히 分 布 되 도 록 選 定 했다. 각 井 戶에

對 한 記 載은 Table 1과 같다.

IV. 地 下 水 的 化 學 性 分

地 下 水 的 化 學 的 性 質은 地 下 水가 이 동 하고 있 는 岩 石 的 鑛 物 性 分, 流 動 速 度, 地 下 水와 岩 石 的 接 觸 時 間, 污 染 程 度에 따라 달라진다. 그러므로 같은 帶 水 層 內에 들어 있는 地 下 水라 하더라도 場 所와 時 間에 따라 그 化 學 的 性 質에 있어서 어느 정도 차이가 생겨 난다.

本 地 域 的 地 下 水 的 化 學 性 分은 알 아 보 기 위 해서 二 回 에 걸쳐 主 要 陽 離 子(K⁺, Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺)과 陰 離 子(Cl⁻, SO₄⁻⁻, HCO₃⁻, CO₃⁻⁻)을 測 定 하여 (Table 3) 鹽 類 的 組 成을 Trilinear Diagram에 표시하였다(Fig 1).

Fig 1에 의 하면 本 地 域 的 地 下 水 的 Hydrochemical facies는 井 戶 5, 8, 9, 15는 Na-Ca facies, Cl-SO₄-HCO₃

Table 3. Chemical Analysis of Ground Water

Well No.	Cations								Anions								水比傳導度 (μv/cm)
	Ca ⁺⁺		Mg ⁺⁺		Na ⁺		K ⁺		Cl ⁻		SO ₄ ⁻⁻		HCO ₃ ⁻		CO ₃ ⁻⁻		
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	
I		4.0		3.7						32.8				19.8			30
2		20.4		12.3						77.1				6.6			220
3	63.6 (8.68)		3.6 (0.30)		11.3 (0.49)		7.3 (0.19)			70.9 (2.00)	5.0 (0.10)		57.3 (0.94)		23.3 (0.78)		87
4	21.2 (1.06)	20.4	6.4 (0.53)	6.1	26.2 (1.14)		2.1 (0.05)			85.1 (2.40)	59.3 (0.52)	25.0	121.0 (1.98)	16.5	59.0 (1.97)		160
5	48.5 (2.42)	20.4	13.8 (1.13)	8.6	81.0 (3.52)		17.4 (0.45)			167.3 (4.72)	85.9 (0.47)	22.5	64.2 (1.05)	23.1	31.7 (1.06)		350
6		10.2		12.3						39.8				23.1			220
7	12.1 (0.60)	7.1	3.6 (0.30)	6.8	14.8 (0.64)		4.1 (0.10)			28.3 (0.80)	20.3 (0.31)	15.0	38.2 (0.63)	3.3	13.0 (0.43)		110
8	12.6 (0.63)	10.2	3.6 (0.30)	7.4	31.5 (1.37)		4.4 (0.11)			70.9 (2.00)	32.8 (0.05)	2.5	57.3 (0.94)	16.5	23.3 (0.78)		130
9	9.1 (0.45)	16.3	Tr	13.6	23.7 (0.93)		3.9 (0.10)			85.0 (2.40)	50.5 (0.26)	12.5	63.6 (1.04)	19.8	31.0 (1.03)		125
10	24.2 (1.21)	22.4	2.7 (0.22)	7.4	15.2 (0.66)		4.0 (0.10)			70.9 (2.00)	50.5 (0.16)	7.5	50.9 (0.83)	24.7	25.0 (0.83)		142
11		73.4		19.8						201.2				13.2			750
12	39.4 (1.97)	57.1	20.2 (1.66)	29.7	56.5 (2.46)		15.0 (0.38)			155.9 (4.40)	192.3 (0.21)	10.0	50.9 (0.83)	16.5	25.0 (0.83)		680
13	25.8 (1.29)	29.6	11.0 (0.90)	46.4	40.0 (1.74)		3.4 (0.09)			70.9 (2.00)	121.4 (0.21)	10.0	63.6 (1.04)	3.3	31.0 (1.03)		300
13-A		71.4		11.1						183.5				29.7			450
14		4.0		3.7						32.8				9.9			33
15	6.0 (0.30)	2.0	1.8 (0.15)	8.6	9.8 (0.43)		1.4 (0.04)			49.6 (1.40)	32.8	Tr	38.2 (0.63)	6.6	13.0 (0.43)		33
S-1	12.1 (0.60)		2.7 (0.22)		12.0 (0.52)		1.9 (0.05)			34.0 (0.96)		10.0 (0.21)	93.6 (1.04)		31.0 (1.03)		100
S-2	10.6 (0.53)		3.6 (0.30)		12.6 (0.55)		1.7 (0.05)			42.5 (1.20)		7.0 (0.15)	63.6 (1.04)		31.0 (1.03)		190
S-3	12.1 (0.60)		4.6 (0.38)		15.4 (0.67)		2.6 (0.07)			42.5 (1.20)		10.0 (0.21)	63.6 (1.04)		31.0 (1.03)		190
S-4	12.1 (0.60)		3.2 (0.26)		15.2 (0.66)		2.7 (0.07)			42.5 (1.20)		3.8 (0.08)	76.4 (1.25)		37.0 (1.23)		190

(S는 河川水임)

() 안은 emp임 a: 1972. 7. 17 分析
b: 1973. 3. 10 "

facies이며, 井戶 3, 7, 10, 12는 Ca-Na facies, Cl-SO₄-HCO₃ facies이고, 井戶 4 및 河川水는 Ca-Na facies, HCO₃-Cl-SO₄ facies이다.

陽이온 및 陰이온 가운데 우세한 性分만을 선택해서 命名해 보면 Table 2와 같다.

Table 2. Hydrochemical facies

Well No	Hydrochemical facies
5, 8, 9, 15	Sodium, Chloride
3, 7, 10, 12, 13	Calcium, Chloride
4, 河川水	Calcium, Bicarbonate

陰이온만을 고려해 볼때 井戶 4만을 제외한 모든 井戶는 Chloride type, 河川水는 Bicarbonate type를 나타내고 있다. 井戶 4는 透水性이 우수한 바로 河川부

근에 위치하고 있기 때문에 河川水의 영향을 받아 河川水와 거의 같은 化學性分을 나타내는 것으로 보인다. 本 地域의 地下水는 다음과 같은 두가지 化學性分상의 觀點에 의해서 汚染되어 있다는 것을 알수 있다.

첫째, 地下水의 化學性分은 一次的으로 造岩鑛物의 溶解로부터 起因되며, 二次的으로는 地下水를 供給하는 河川이나 供給地域(Recharge area)의 地表水의 性質이 地下水의 性分에 큰 영향을 미치게 된다. 本 地域의 河川은 水量이 극히 적고 溫水期에는 거의 매달 라 버리며 沖積層은 不透水性인 점토분의 礫으로 덮여 있기 때문에 河川과 沖積層은 地下水의 重要한 供給源이 되지 못하고 있다. 대신 地下水 供給의 大部分은 아직 耕作되지 않고 있는 風化帶로의 降水의 침투라고 볼 수 있다. 그러므로 沖積層內에 賦存하는 地下水는

風化帶로부터 移動해 온 것이다. 따라서 沖積層內의 地下水는 移動經路(Travel path)가 길고 溶解性物質과의 接觸時間이 많아 溶存性質이 風化帶의 地下水보다 더 많이 含有되어 있어야 한다.

그러나 本地域의 地下水는 風化帶가 沖積層보다 더 많은 溶存物質을 含有하고 있으며(Fig 6. 참조) 水比傳導度도 훨씬 높은 값을 나타내고 있다. 이것은 風化帶의 地下水가 매우 汚染되어 있다는 것을 意味한다.

둘째, William Back(196)에 의하면 대부분의 地域에 있어서 Hydrochemical facies의 垂直的인 分布는 地下水의 循環이 빠른 上部는 HCO₃ type, 中部는 SO₄ type, 地下水의 循環이 거의 일어나지 않는 下部는 Cl-Na type가 우세하다고 했다. 따라서 얇은 推積物(Shallow sediments)內의 地下水 특히 花崗岩地帶의 地下水는 HCO₃ type가 우세해야 한다.

그러나, 本地域에 있어서는 河川水는 HCO₃ type를 보여 주지만 地下水는 대부분이 Cl-type를 나타내고 있다. 즉 Table 4에 나타나는 바와 같이 10個의 井戶에서 채취한 地下水를 分析한 結果, 陰이온은 8個의 井戶에서 Cl 농도가 가장 높았고 陽이온도 8個의 井戶에서 Na 농도가 가장 높았다. 井戶 4와 10을 除外하고는 Cl 농도가 높은 井戶가 또한 Na 농도도 높게 나타났다.

岩石風化產物인 Ca, Mg, HCO₃ 보다 Na와 Cl의 농도가 큰 이유는 海水의 침입(Sea-intrusion)이 없는 곳에서도 人間的 活動에 의해서 물에 溶解하기 쉬운 NaCl이 帶水層으로 침투해 들어가 地下水의 주요 鑛物性분을 이루고 있기 때문이다. 즉 地下水가 汚染되어 있기 때문이다.

V. 地下水의 汚染狀態

V-A) 降雨量에 따른 地下水位變動과 汚染狀態

V-A-1) 降雨量에 따른 地下水位變動

本 調査期間동안 내린 降雨量은 약 1,656mm였다. 降雨量의 大部分은 72年 8월에 集中的으로 내렸으며 특히 8月 18일부터 19日 사이에는 450mm의 기록적인 降雨가 내려 많은 피해를 주기도 했다. 調査期間 동안 내린 月別 降雨量과 蒸發量은 Table 4와 같다.

本地域의 調査期間 동안의 降雨量에 따른 一般的인

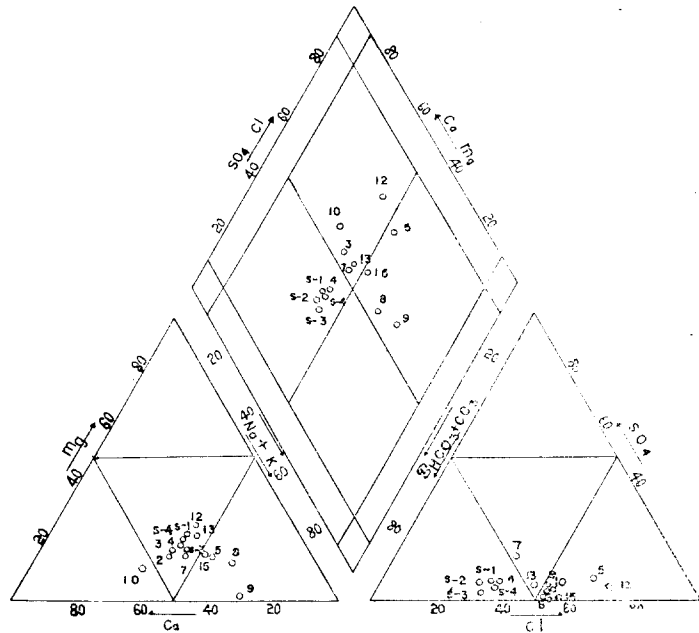


Fig. 1. Hydrochemical facies

地下水位變動狀態는 다음과 같다(Fig. 2-B 참조).

땅이 녹은 후 봄에는 地下水位가 봄비로 인해서 一時的인 상승현상이 나타나지만, 여름의 雨期前까지는 蒸發에 의한 水分의 損失이 降雨로부터 침투한 土壤內의 水分보다 增加하므로 地下水面은 상당히 下降한다. 그러나 여름의 雨期로 접어들면 地下水가 充塡되므로 地下水面은 急速히 上昇한다. Evaporation과 Transpiration에 의한 損失이 減少되는 가을에는 降雨量에 따라 地下水位는 약간 上昇하다가 土壤이 얼어 降雨나 눈(雪)이 地表에만 머물게 되는 겨울에는 地下水位는 解氷이 되는 봄까지 계속 下降하기 始作한다. 그러나 風化帶와 沖積層의 地下水位變動狀態는 매우 相異하다.

〈風化帶〉

地下水位變動이 降雨量을 잘 反映해 주고 있다. 風化帶는 Recharge 地域이며, 透水性이 比較的 좋고 동수구배의 영향으로 地下水面이 빨리 上昇했다가 降雨後 빨리 下降한다. 風化帶에 位置하는 井戶 12는 降雨量에 따른 水位變動을 잘 反映해 주고 있으나, 취락가운데에 위치한 井戶 13은 人爲的인 揚水作業 때문에 약간 不規則한 變動을 보여주는 것으로 생각된다.

〈沖積層〉

한번 充塡된 沖積層의 地下水位變動은 降雨量의 영향을 거의 받지 않고 있다. 沖積層에 위치하는 井戶 4와 9는 아주 가물었던 6月の 地下水位 下降과 가물었

던 끝에 내렸던 降雨로 인한 水位上昇의 境遇를 제외하고서는 8월의 450mm까지 내린 降雨에 依해서 조차도 地下水水位는 별로 變動이 없었다.

V-A-2) 地下水水位變動에 따른 汚染狀態

地下水의 汚染狀態의 變化量을 측정하기 위해서 72年 6월부터 73年 3월까지 月平均 1~3回씩 Cl과 SO₄의 농도를 측정하였다(Table 5. 6). 또한 水位變動에 따른 汚染狀態의 變化量을 측정하기 위해서 風化帶을 井戶 12와 13, 沖積層의 井戶 4와 9의 代表的인 井戶 4個를 選定하여 降雨量에 따른 水位變動과 Cl과 SO₄量의 變化狀態를 Fig 2에 표시하였다.

Fig 2에 의하면 風化帶에 있어서는 地下水水位變動이 降雨量을 잘 反映해 주고 있는 井戶가 水位變動에 따른 汚染狀態의 變化도 잘 反映해 주고 있다. 그러나 沖積層에 위치하고 있는 井戶의 汚染狀態의 變化는 地下水水位變動과는 거의 無關하며(沖積層은 地下水水位變動이 거의 없기 때문) 降雨量만을 잘 反映해 주고 있다.

그리고 두레박 사용 및 井戶部近으로부터의 폐수의 침투로 인한 局部的인 汚染에 의해서 發生하는 Cl가 비료의 使用으로 인한 廣域的인 汚染에 의해서 發生하는 SO₄보다 그 變化狀態가 다소 불규칙하기 때문에 Cl 보다는 SO₄가 地下水水位變動에 對해서 더 민감한 反應을 보여주고 있다.

Fig 2-C에 의해 Cl 농도의 變化를 살펴보면 井戶 4와 12는 降雨量 또는 水位變動에 따른 Cl 농도의 變化를 잘 反映해 주고 있다. 即 8월 18~19日 이틀 동안 最大의 暴雨가 내린 후 地下水水位가 가장 높이 上昇했을 때 Cl 농도의 最小值를 보여 준다. 그 후로 降雨量의 減少에 따른 地下水水位 下降에 따라 Cl 농도는 增加하고 있다.

井戶 9와 13은 약간 불규칙한 變化를 보여 주고 있다. 井戶 9는 점토층으로 덮여있는 논 가운데 위치하고 있기 때문에 沖積層으로의 降雨의 직접적인 침투는 어렵다. 따라서 風化帶로 침투한 降雨가 井戶 9까지 도달하는데에 많은 時間을 要하기 때문에 暴雨가 내린 후 상당한 時日이 지난 후에야 농도의 최소치가 나타나는 것으로 생각된다.

井戶 13은 暴雨後에도 暴雨前보다 높은 값을 보여 주는데 이것은 分析上의 잘못이나 人爲的인 要因에 그 原因이 있지 않나 추측된다.

Fig 2-D에 의해 水位變動에 따른 SO₄量의 變化를 살펴보면 다음과 같다.(단, 비료의 使用이 없는 겨울은 除外한다)

各 井戶의 SO₄농도의 最小值는 Cl와 마찬가지로 8월의 暴雨가 내린 후에 나타난다. 그러나 暴雨前는 井戶 12와 13보다 SO₄量이 많았던 井戶 4와 9에서 暴雨後에는 SO₄를 거의 檢出할 수 없었고, 井戶 12와 13은 절반가량의 減少를 보여주고 있다. 이것은 沖積層에 위치하고 있는 井戶 4와 9는 Dilution된 地下水가 四方에서 移動해 와서 混合(Mix) 현상이 일어났기 때문이 아닌가 생각된다.

一般的으로 地下水水位가 上昇하면 降雨에 의한 地下水의 Dilution이 일어나기 때문에 汚染程度(Cl와 SO₄量)는 減少하고, 地下水水位가 下降하면 各 井戶의 영향권이 擴大되어 井戶로 流入되는 汚染物質의 量이 增加하기 때문에 汚染程度는 增加한다.

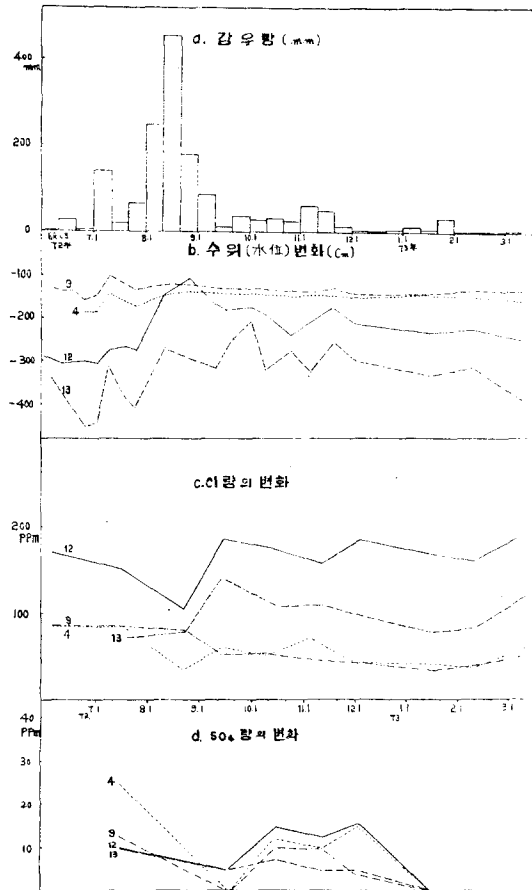


Fig. 2. 降雨量에 따른 水位變動과 Cl, SO₄量의 變化

V-B) 季節에 따른 汚染狀態

季節에 따른 各 井戶의 汚染狀態를 볼때, 沖積層은

어느 정도의 규칙성을 보여주지만 風化帶는 多少불규칙하다. 이것은 村落이 發達하고 있는 風化帶의 井戶는 人間活動에 의해 局部的으로 汚染되기 때문에 규칙성이 없는 것으로 생각된다. 여기서는 어느 정도 규칙성을 보여주는 沖積層의 井戶만을 택하여 論하기로 한다(Fig 2 참조).

井戶 4에 있어서 Cl 농도의 가장 높은 數値는 장마철로 들어서기 前의 85.1ppm이었고, 가장 낮은 數値는 2月の 36.3ppm이었다. SO₄ 농도도 Cl과 마찬가지로 7월에 최대치를 보여주고(25.0ppm) 장마 후 및 겨울에는 거의 檢出할 수 없었다.

降雨量이 아주 적은 6月 및 7月은 蒸發量이 降雨量보다 많은데다 또한 비가 地表에서 바로 蒸發하기 때문에 土壤鹽度(Soil salinity)가 增加하고 이 土壤鹽度は 地下水의 鹽度を 增加시키기 때문에 가장 높은 數値를 보여 준다. 暴雨가 내리고 난 다음에는 Cl 및 SO₄ 농도는 매우 減少하는데, 이것은 降雨의 침투로 인한 Dilution이 일어나기 때문이다.

9月~11月の 가을로 접어들면 降雨量에 따라 영향을 받기는 하지만 비료의 使用이 많아지고 蒸發量이 降雨量보다 점점 增加하기 始作하여 Cl과 SO₄ 농도는 점차로 增加하나 겨울로 닥아감에 따라 다시 減少하기 始作한다.

1月~2月の 겨울에는 表土의 凍結로 因하여 汚染된 물의 침투가 不可能하기 때문에 大部分의 井戶에서 Cl 量은 最少值를 보여준다. 特히 SO₄는 10월에 大部分의 井戶가 15ppm까지의 농도를 보여 주었는데 비료의 使用이 없는 겨울에는 거의 檢出할 수 없었다. 이 현상은 다음해 봄에 비료를 사용하기 시작할 때까지 계속될 것이다.

3월에 들어서면 解氷과 더불어 表土에 축적되었던 汚染物質이 서서히 地下水面까지 내려가 다시 Cl 농도가 增加하기 始作한다. 이 增加현상은 降雨量에 의해 약간의 변화를 받겠지만 장마철전까지 계속될 것이다.

一般的으로 四季節을 통해서 볼때 汚染의 程度가 가장 높은 時期는 장마철이 끝난 바로후 및 겨울(1~2月)이었다.

V-C) 帶水層에 따른 汚染狀態

本 地域의 帶水層은 沖積層과 風化帶로 區分된다. Fig 3는 沖積層과 風化帶에 位置하고 있는 各 井戶의 Cl과 SO₄ 농도를 나타낸 것이다. Cl은 各 井戶의 平均值를 구하여 나타냈으며 SO₄는 最大值만을 택하여 나타냈다. 風化帶와 沖積層의 汚染狀態를 살펴보면 다음과 같다.

〈風化帶〉

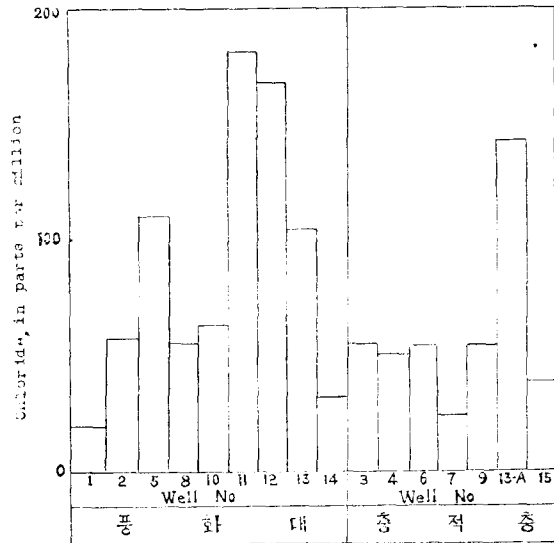


Fig. 3. a. 帶水層에 따른 汚染狀態 (Cl)

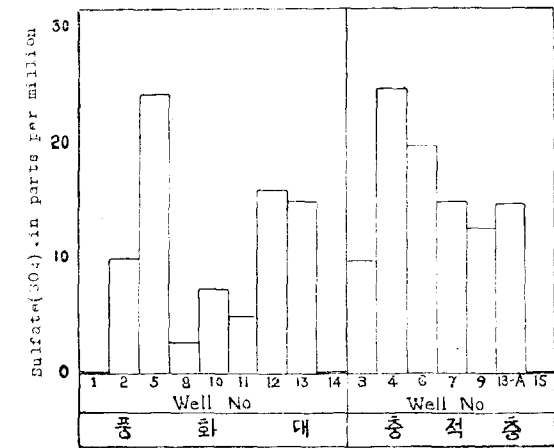


Fig. 3. b. 帶水層에 따른 汚染狀態 (SO₄)

各 井戶에 따른 Cl 농도는 18.8ppm으로부터 182.5 ppm까지의 分布를 보이며 風化帶전체의 平均值는 88.2 ppm이다. 各 井戶에 따라 이와같이 Cl 농도의 차이가 생겨나는 것은 地下水의 汚染程度가 用水頻度 및 井戶의 位置에 左右되기 때문인 것으로 解析된다.

SO₄ 농도는 最高值만을 살펴볼 때 0~24ppm의 分布를 보이며 風化帶 전체 平均值는 8.9ppm이다. Cl 농도에 비하면 아주 낮다.

水比傳導度는 30~750 μ mhos의 分布를 보이며 平均值는 293 μ mhos이다.

어느 정도의 규칙성을 보여 주지만 風化帶는 多少 불 <沖積層>

各 井戶의 Cl 농도는 24.3ppm으로부터 143.8ppm까지의 分布를 보인다. 井戶 13-A 1143.8ppm를 除外하면 거의 均一한 농도를 보여주고 있다. 井戶 13-A는 바로 風化帶 緣의 沖積層에 位置하고 있으며 洗滌用으로 합부로 使用하기 때문에 汚染정도가 높은 것으로 생각된다. 沖積層의 Cl농도 平均値는 46.4ppm으로서 風化帶보다 낮다. 沖積層은 風化帶로부터 移動해 온 地下水의 混合에 依한 Dilution 때문에 Cl 농도가 減少되고 또한 대부분의 井戶가 거의 비슷한 농도를 갖게 되는 것으로 解析된다.

SO₄ 농도는 0~25ppm까지의 分布를 보이며 全體平均値는 약 14ppm으로서 風化帶보다 높다. 水比傳導度는 33~450μmhos의 分布를 보이며 平均値는 169μmhos이다.

以上과 같이 沖積層과 風化帶의 汚染 정도를 살펴볼 때, Cl는 風化帶가 沖積層보다 2배에 가까운 농도를 보여주고 SO₄는 沖積이 風化帶보다 汚染의 정도가若干 높다.

앞에서 記述한 바와 같이 沖積層은 不透水層인 점토질의 礫으로 덮여 있기 때문에 汚染된 물의 침투가 어렵고 風化帶는 不透水層의 被覆層(Covering layer)이 없어 汚染된 물의 침투가 빠르기 때문에, 一般의으로 風化帶가 沖積層보다 汚染의 정도가 더 높다.

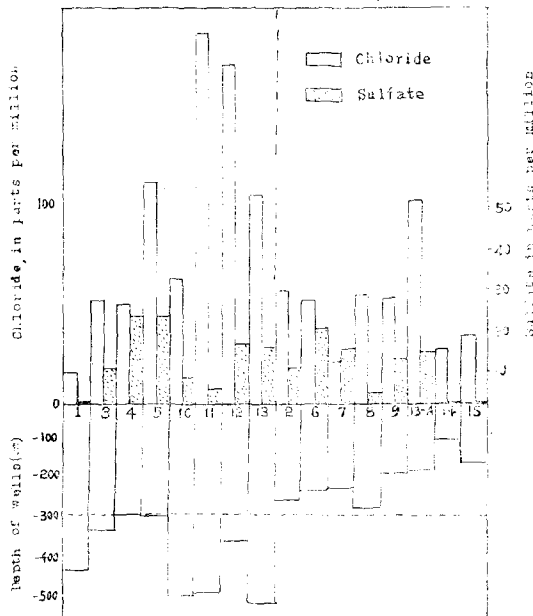


Fig. 4. 井戶深度에 따른 汚染狀態

V-D) 井戶深度에 따른 汚染狀態

Fig 4는 井戶의 平均深度 3m를 境界로하여 3m 이상의 井戶와 3m 이하의 井戶로 나누어 Cl과 SO₄ 농도를 나타낸 것이다. 平均値를 비교해 볼 때, Cl는 深度 3m 이상의 井戶가 107ppm, 이하가 58ppm, SO₄는 深度 3m 이상의 井戶가 14.6ppm, 이하가 12.5ppm이다. Cl는 深度가 깊은 井戶가 얇은 井戶보다 약 2배 가량의 농도를 보여주고 있으나 SO₄는 若干 높은 편이다. 即, Cl는 井戶深度에 따라 많은 影響을 받지만 SO₄는 深度에는 거의 影響을 받지 않는 것으로 나타난다.

이 地域에 있어 보통 深度가 깊은 井戶는 地下水位가

Table 7. 深度에 따른 最底水位와 汚染狀態

Well No	1	3	4	5	10	11	12	13
井戶深度(m)	4.35	3.41	3.00	3.11	5.03	4.88	3.62	5.20
최저地下水位(m)	3.65	0.97	1.86	2.64	2.49	3.83	3.06	5.42
Cl (ppm)	18.8	54	52.3	110.6	62.7	182.5	168.2	104.4
SO ₄ (ppm)	Tr	10.0	25.0	24.0	7.5	5.0	16.0	15.0

Well No	2	6	7	8	9	13-A	14	15
井戶深度(m)	2.73	2.51	2.38	2.96	2.07	2.00	1.20	1.74
최저地下水位(m)	2.43	0	2.00	1.74	1.57	0	0	0.96
Cl (ppm)	57.9	54.5	24.3	57.1	55.0	143.8	31.3	38.1
SO ₄ (ppm)	10.0	20.0	15.0	2.5	12.5	15.0	Tr	Tr

낮다. 그러므로 井戶深度에 따른 汚染狀態는 結局은 地下水位 變化와 關聯되어 있다(Table 7 참조).

一般의으로 深度가 깊고 地下水位가 낮은 井戶일수록 井戶의 影響圈이 擴大되어 井戶로 流入되는 汚染物質의 量이 많아지기 때문에 汚染정도가 높은 것으로 解析된다. 그러나 井戶深度에 따른 汚染狀態는 立地條件과 人爲的인 條件에 따른 좀더 자세한 調査와 研究를 거친 후에 結論을 내리야만 할 것 같다.

V-E) 用水頻度에 따른 汚染狀態

各 井戶에 對한 用水頻度는 그 井戶를 利用하고 있는 家口數로 代置할 수밖에 없었다.

Fig 5 (a, b)는 Cl과 SO₄ 농도를 1家口用井戶와 共同井戶로 區分하여 나타낸 것이다. Cl는 平均値를 구하고, SO₄는 最大値를 택하여 나타냈다. Cl의 汚染狀態는 平均値를 살펴 볼 때 1家口用 井戶가 약 41ppm, 共同井戶가 약 110ppm 으로서 共同井戶의 汚染정도가 1家口用井戶보다 훨씬 높은 값을 보여준다.

SO₄는 井戶에 따라 차이가 심하지만 平均値를 살펴 볼 때 1家口用井戶가 약 7.7ppm, 共同井戶가 약 14.7ppm 으로서 共同井戶의 汚染정도가 2배가량 더 높다.

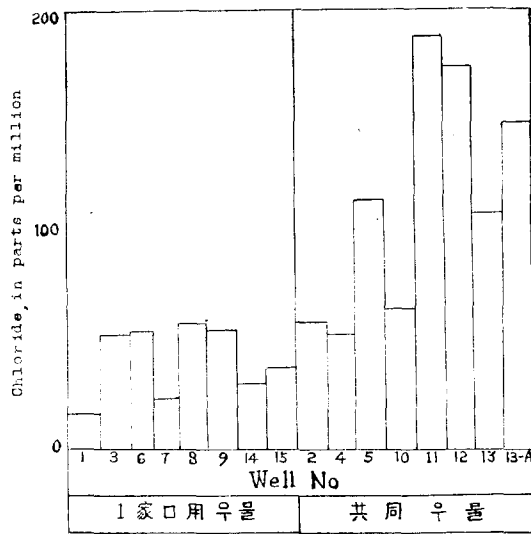


Fig. 5 a. 用水頻도에 따른 汚染狀態(Cl)

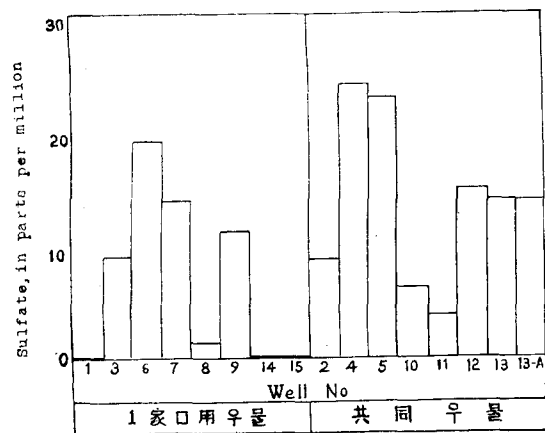


Fig. 5 b. 用水頻도에 따른 汚染狀態(SO₄)

共同井戸가운데 風化帶에 位置하는 井戸가 沖積層에 位置하는 井戸보다 Cl의 汚染정도가 더 높게 나타나며 SO₄는 그 반대다. 또한 1 家口用井戸가운데 共同井戸보다 SO₄의 汚染정도가 더 높은 것은 沖積層에 位置하는 井戸이다.

以上과 같이 살펴볼때 앞에서 記述한 바와 같이 Cl 汚染은 共同井戸가 1 家口用井戸보다 약 1~3배의 높은 농도를 보여 주는 것으로 보아 주로 人間活動에 依해 發生되고, SO₄汚染은 비료의 使用때문에 發生한다는 것을 알 수 있다.

VI. 結 論

1. 本 論文은 京畿道 始興郡 蘇來面 泮내하천 유역의 얇은 帶水層에 賦存하는 지하수(Shallow ground water)의 汚染에 關해서 調查研究한 것이다.

2. 陰이온만을 고려해서 볼 때 本地域의 地下水의 Hydrochemical facies는 Chloride type이며, 河川水는 Bicarbonate type이다.

3. 本地域의 地下水는 風化帶가 沖積層보다 溶存物質을 더 많이 含有하고 있고, Chloride type를 나타내는 것으로 보아 汚染되어 있다는 것을 알 수 있다.

4. 一般의으로 地下水水位가 上昇하면 Dilution 작용때문에 汚染정도는 減少하고 地下水水位가 下降하면 汚染정도는 增加한다.

5. 四季節中 汚染의 정도가 가장 높은 時期는 장마철로 들어서기 前의 초여름이고, 가장 낮은 時期는 장마철이 끝난 바로 後 및 겨울이다.

6. 風化帶는 不透水層의 被覆層이 없어 汚染된 물의 침투가 容易하기 때문에 沖積層보다 더 汚染되어 있다

7. 井戸의 深度가 깊고 地下水水位가 낮을수록 井戸의 영향권이 확대되어 井戸로 流入되는 汚染物質의 量이 많아지기 때문에 汚染程度는 增加한다.

8. 共同井戸는 1 家口用井戸보다 1~3배 가량 더 汚染되어 있다.

9. 本地域의 地下水汚染은 주로 家庭用廢水의 浸透 및 비료의 使用으로 인해서 發生하고 있으나, 아직 위험정도까지는 이르지 않고 있다. 그러나 앞으로의 漸進的인 汚染을 막기 위해서는 下水道의 完全한 設備가 이루어져야 될 것 같다.

Referencec

- 1 Back, W.1 966, Hydrochemical Facies and Groundwater Flow Patterns in Northern Part of Atlantic Coastal Plain. Geological Survey Professional paper 498-A.
- 2 Doyel, W.W. and Dingman, R. J., 1964, Hydrogeologic Reconnaissance of the R.O.K. Geological Surve Research, Chap. D (PI49-152).
- 3 Feth, J.H. & Roverson, C.E., 1964, Sources of Mineral Constituents in Water from Granitic Rocks in Sirra Nevada, California and Nevada. Geological Survey Water-supply

- paper 1535-1.
4. Groba, E. & Hahn, J., 1972, Variations of Groundwater chemistry by Anthropogenic Factors in Northwest Germany. International Geological Congress, Section II Hydrology (Canada).
 5. Hem, J.O., 1959, Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. Geological Survey Water-supply paper 1473.
 6. Hemmingsen, E.R., 1962, Water Diagenesis in Lower Cretaceous Trinity aquifers of Central Texas. Baylor University, Fall 1962, Bulletin No. 3.
 7. Kister, J.H., & Hardt, W.F., 1966, Salinity of the Groundwater in Western Pinal County Arizona, Geological Survey Water-supply paper 1819-E.
 8. Lusczynski, N.J. & Swarzenski, W.V., 1966, Salt-Water Encroachment in Southeastern Queens Counties Long Island, New York. Geological Survey Water-supply paper 1613-F.
 9. Lindholm, G.F., 1970, An Appraisal of Ground-Water for Irrigation in the Wadena area, Central Minnesota. Geological Survey Water-supply paper 1983.
 10. Mattess, G. Hydrogeologic Criteria for the Selfpurification of Polluted Groundwater.
 11. Miller, J.P., 1961, Solutes in Small Streams Draining Single Rock Type, Sangre de Cristo Range, New Mexico. Geological Survey Water-supply paper 1535-F.
 12. Meinzer, O.E., 1923, The Occurrence of Ground-water in United States. Geological Survey Water-supply paper 489.
 13. Morgan, K.H. The Relationship between Rainfall, Geomorphic Development and the Occurrence of Groundwater in Precambrian Rocks of Western Australia.
 14. Rainwater, F.H. & Thatcher, L.L., 1960, Methods for Collection and Analysis of Water Samples. Geological Survey Water-supply paper 1454.
 15. Seaber, P.R., 1965, Variations in Chemical Character of Water in the Englishtown Formation New Jersey. Geological Survey Professional paper 498-B.
 16. Todd, D.K., 1959, Ground-water Hydrology. John Wiley & Sons, Inc.

일하는 국민에게는 안정 속에서 보람있는 생활을 누리게

할 수 있도록 사회보장제도를 더욱 확충해 나갈 것이다.

— 제 8대 대통령 취임사에서 —

— 푸른 모아 복지연금 행복한 노후생활

너도 나도 복지연금 나를 위해 돌아온다 —