

< 論 文 >

箭川流域 石灰岩 帶水層에 關한 研究

A Study of Cavernous Limestone Aquifer of
Jeon Cheon Basin

韓 楨 相*
Jong-Sang Hahn

ABSTRACT

In the Jeon Cheon Basin, unconsolidated alluvium and marine clay beds overlying Tertiary conglomerate and impermeable mudstone, and Cambro-Ordovician sedimentary rocks composed of mainly cavernous limestones, and age-unknown crystalline rocks are occurred.

Most productive rock is Cambro-Ordovician limestones containing a lot of solution openings and secondary porosities and shows its transmissivity of 1836m²/day and storativity of 1.47 x 10⁻³.

The storage of deep seated groundwater in limestone aquifer is estimated about 1059 x10⁶ metric tons, being equivalent to 6 years total precipitation of the basin. The safe yield of the groundwater to be abstracted from the aquifer is about 126,000 tons/day.

To pump at least 100,000 tons/day of groundwater from the said aquifer, a well field comprising 34 deep wells ranging in depth from 80 to 100 meter and penetrating the cavernous limestone aquifer shall be established at middle and down stream area.

要 旨

箭川流域에 分布된 岩石은 第四紀 透水性이 良好한 沖積層이 不透水性 細粒海成層을 피복하며 이들 第四紀層은 第三紀의 礫岩 및 泥岩을 不整合的으로 피복한다. 第三紀層下部에는 古生代 大石灰岩統에 屬하는 透水性이 매우 양호한 石灰岩類가 발달되어 있다.

이들 岩石中에서 용해공동을 다량 포함한 Cambro-Ordovician 紀의 石灰岩類는 被壓 및 自由面 帶水層으로 그 透水量係數가 1,853m²/日이며 貯留係수는 1.47×10⁻³이다.

또한 本流域下流沖積平野에 設置한 3個深井의 比揚水量은 703ton/日/M 였다.

本 石灰岩內에 貯留된 深層地下水量은 本流域에 6年間 내리는 강우량과 맞먹는 1,059×10⁶m³ 이고 安全採水量은 1日 126,000m³이다.

深度 80~100m 以內의 深井 34공으로 構成된 井戶揚을 流域 中·下流地域에 設置하면 上記 石灰岩帶水層으로 부터 1日 100,000m³의 深層地下水를 採水할 수 있다.

1. 序 言

箭川流域에 分布된 岩石은 第四紀, 第三紀, 古生代の 岩石과 時代미상의 結晶質岩石들로서 이들 岩石中에서

가장 透水性과 貯留성이 양호한 암석은 이차 유효공극과 용해공동을 다량 포함한 古生代の 石灰岩類이다.

이들 石灰岩은 流域內 中·下流部의 낮은 地帶에 널리 分布되어 있으며 平均透水量係數는 1,853m²/일이며 試驗井의 比揚水量은 703T/일/M 로써 國內에서 가

* 本學會正會員 韓瑞엔지니어링(株) 代表理事

장 透水性이 양한 帶水層이다.

本流域帶水層內에 저유된 深層地下水량은 本流域內에 내리는 6年間の 강우량과 同一한 $1,059 \times 10^6 \text{m}^3$ 이며 1中에서 年間 安全하게 開發可能한 량은 총 매장량의 4.4%에 해당하는 $46 \times 10^6 \text{m}^3$ 이고 1日 平均 採水可能한 安全採水량은 $126,000 \text{m}^3$ 이다.

本流域의 透水性 石灰岩 分布地域中에서 地形이 비교적 낮은 地域에 井戶間 거리를 500m 씩 뛰우고 正方形으로 井戶揚을 설치하면 총 34個의 深井으로부터 1日平均 $100,000 \text{m}^3$ 의 순수한 深層地下水를 개발할 수 있을 것이다.

특히 本調査 期間中 많은 도움을 준 三陟産業 工場 長任과 직원제위께 감사를 드리며 또한 東海시청 관계 官 제위께 심심한 思意를 表하는 바이다.

2. 流域概要

本調査地域은 東海안의 강능-삼척간 高速道路가 本流域의 下流部를 가로지르고 있으며 位置는 東經 $128^\circ 57'40'' \sim 129^\circ 08'50''$ 와 북위 $37^\circ 25'40'' \sim 37^\circ 32'50''$ 에 해당하는 地域으로 流域面積은 約 125.8km^2 에 이른다.

本流域은 東海市 南部的 북평 一帶와 東海市 三興洞, 三和洞, 北三洞 및 松亭洞 一帶가 流域內에 포함되며 地形은 流域 上流部가 上月山(970.3m), 高積대(1353.9m), 青玉山(1403.7m) 및 頭陀山(1352.7m)를 잇는 南北方向으로 발달된 太白山脈의 主峯과 北쪽으로는 매봉산(606.8m)-초록봉을 잇는 山系와 南쪽으로는 頭陀山-취음산-저서고개를 잇는 東西方向의 山系에 依해 둘러싸여 있다. (Fig-1 참조)

本流域內에서 흐르는 전천은 三和洞의 高積대에서 기원하여 北東東方向으로 흐르는 지류와 남면재에서 南南東流하여 흐르는 지류가 三和國校부근에서 合流하여 西東方向으로 흘러 東海로 직접 流入된다.

河川의 流路 延長은 約 17.2km 정도이며 合流地點上流에서의 河床勾配는 11.8%로 매우 급하나 合流地點 下流部에서는 0.4% 정도로 매우 완만하다.

故로 洪水時에 河床勾配가 매우 急한 上流에서 急流에 依해 運搬된 運積土가 勾配가 완만한 中·下流部에서 堆積되어 특히 下流部에는 넓은 沖積범람원을 이루고 있다.

一般적으로 本流域은 上流地域의 河川勾配가 매우 急하고 流路의 延長이 비교적 짧기 때문에 강우의 河川流路內 체재시간이 매우 짧아 地表水利用이 매우 어려운 實情이다.

本流域의 水系는 수지상이며 하류부의 하상구배가 완만한 범람원의 층적평야에서는 蛇行현상을 나타내는

곳이 곳곳에 分布되어 있다.

本流域의 年평균 강우량은(1951년~1981년간 30年 자료) $1,382.8 \text{m/m}$ 로서 流域內에 年間 내리는 강우량은 約 $174 \times 10^6 \text{m}^3$ 에 이른다.

3. 水理地質(Hydrogeology)

3-1. 概要

本流域에 分布된 堆積岩類는 第4紀의 透水性이 양호한 沖積堆積層과 細粒質 不透水性의 非固結海成堆積層이 第三紀의 礫岩과 泥岩을 不整合의으로 피복하고 있고 이를 泥岩는 流域 下流部の 범람원평야에서 古生代의 大石灰岩流을 역시 不整合의으로 피복하고 있다.

大體의으로 古生代의 堆積岩類(대석회암통)은 流域의 中下流部에 편중해서 分布되어 있고 조선계 최하부層에 屬하는 모방層이 流域의 서남부 지역에 소규모로 노출되어 있다.

結晶質岩으로서는 古生代 太白山統과 시대미상의 편상화강암, 유백질화강암이 일반적으로 지형이 높은 高地를 이루고 있으며 삼화 화강암이 상류지역 남부에 Stock 상으로 이들 퇴적암들을 관입하고 있다.

本流域은 비교적 化學的인 風化作用에 강한 結晶質岩이 高地인 分水嶺을 이루며 雨水의 化學的인 용해침식작용에 弱한 고생代의 석회암이나 제3紀의 니암(mudstone)이 저지대를 이루고 있다. (Fig-1 참조)

3-2. 水理地質各論

(가) 非固結 堆積層(Unconsolidated deposit)

1) 沖積層

本層은 流域內 中·上流 地域에서 現河道를 따라 좁게 分布되어 있지만 下流地域에서는 全 범람원에 널리 分布되어 一種의 전상지를 이룬다.

下流地域에 堆積된 沖積層의 폭은 約 3.2km 에 이른다. 또한 그 두께는 1~8m 정도이며 주로 亞角 및 亞圓型의 砂 및 礫이 細粒質 silt와 粘土와 혼합되어 이루어진 粗粒質 河成堆積物로서 그 透水性이 매우 양호하다.

下流地域에 發達된 沖積層中에서 本 堆積層의 두께가 7m 以上되는 地域에 설치한 얕은 우물의 비양수량은 300~400T/일/M 로서 그 透水性이 매우 좋다.

沖積層 內에 저유된 淺層地下水의 水溫은 15~17°C 이고 Tritium의 함량은 22.6Tcl이며 전기전도도는 222~312이고 pH는 6.6~6.9이다.

2) 海成堆積層(marine deposits)

본층은 주로 하류 범람원 지역에 널리 分布되어 있

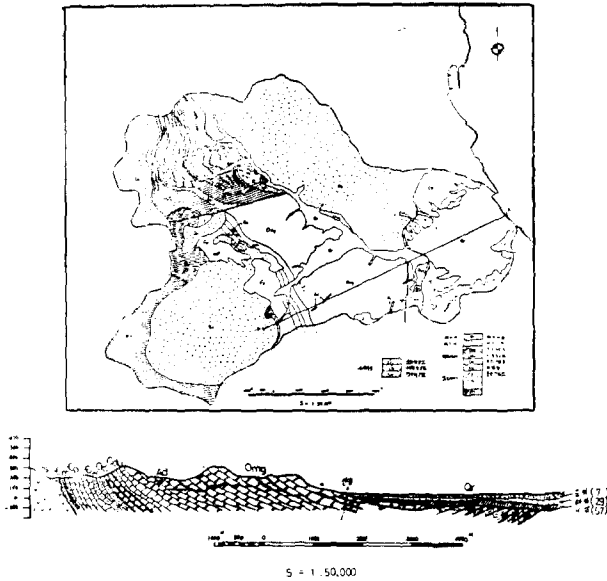


Fig. 1. Hydro-Geologic Map of JeanCheon Basin

고 상부는 세립질 모래로 구성되어 있으나 하부층으로 감에 따라 粘土質이 우세하다. 이들은 河成堆積層에 의해 피복되어 있으나 범람원의 가장자리 부근에서는 직접 지표에 노출된다.

해성층의 두께가 범람원 中心部에서는 약 20여 m 에 이르지만 말단부인 삼척산업 공장부지내에서는 7m 정도이고 河道에서 멀어짐에 따라 그 두께도 점차 감소한다.

本 流域 下流部에 分布된 堆積層은 上部層으로 부터 冲積堆積層, 海成層, 第3紀層 및 古生代 堆積岩의 順으로 되어 있으나, 中·上流 地域에서는 冲積層이 古生代 堆積岩을 直接 피복되어 있다.

(나) 第3紀地層(Tertiary formation)

본 유역에 분포된 제 3기층은 역암과 泥岩으로 構成되어 있으며 礫岩은 두께가 2.4m 정도로 上部層에 해당되고 泥岩은 그 最大 두께가 40~50m 로서 下部層에 해당한다.

上部礫岩은 半固結 상태로 主로 淡灰色 및 淡靑色の 細粒砂와 圓型礫으로 構成되어 있으며 透水性 매우 양호하고 上部 不透水性 海成 堆積層의 영향으로 被壓帶水層을 이룬다.

下部泥岩(madstone)은 灰色 내지 白色의 粘土가 胶結되어 이루어진 岩石으로서 不透水層이며 이들이 일단 포화상태가 되면 암석강도가 약화되어 N치가 10정도로 저하되나 下部로 감에 따라 암석강도는 N치 50을 상회하고 암석강도 10이하인 泥岩도 (포화상태) 전

조시키면 매우 강한 암석으로 변한다.

이들 泥岩은 下部에 發達 分布된 古生代 堆積岩에 대해 壓層(Confining bed) 역할을 하여 古生代 堆積層이 被壓帶水層의 性格을 띠게 한다.

이들 제 3기층은 主로 유역 하류부의 범람원 지역인 충적평야 지역에만 분포되어 있고 그 주향은 N15~20E, NS 방향이며, 경사는 3~10E이다.

그러나 운곡리 부근에서는 주향과 경사가 각각 N45E, 5°NW 이다.

(다) 古生代 堆積岩類(Sedimentary rocks)

本流域에 分布된 古生代 堆積岩類는 캄브리아紀의 朝鮮系의 양덕통과 大石灰岩統이 流域 中·下流部에 널리 分布되어 있으며 時代 미상의 結晶質岩類가 流域 上流地域에 分布되어 있다. (Fig-1, Fig-2 참조)

이들 古生代岩을 地層別로 細論하면 다음과 같다.

1) 大石灰岩統

④ 풍촌 石灰岩

本岩은 流域 西南部의 三和洞 부근과 流域 下流部 송정 및 북평 부근에 넓게 分布하고 있으며 三和洞에서는 묘봉층과 정합적으로, 송정부근에서는 제 3기층과 不整合의인 관계를 갖고 있다.

本岩은 유백색, 灰色 및 淡灰色의 結晶質 皮상 石灰岩이나 淡灰色의 Dolomite 질 석회암과 흑색세일을 협제하며 그 두께는 300~450m 에 이른다.

流域 西南部에 公布된 本岩의 走향과 경사는 묘봉층과 大同少異하고, 流域 下流部에서는 N50E, 55N 이며 多數의 용해공동을 함유하고 있어 地下 深部에서 매우 양호한 帶水層을 이룬다.

東海市 구미리 地域에는 곳곳에 용해공동의 함몰지인 Sink Hole 이 발달되어 있고 그 크기는 長徑이 200 m 씩 되는 것도 있다.

2) 화절층

本岩은 流域 西南部에 位置한 三和洞, 금곡리 부근에서 北北西方向으로 발달되어 있으며 主로 회색 泥灰岩, 갈회색 砂石과 灰白色 石灰岩이 협제된 暗灰色 虫食石灰岩으로 構成되어 있다. 일반적으로 층리 및 절리면을 따라 용해공동이 잘 발달되어 있어 透水性이 매우 양호한 帶水層을 이루고 있다.

本岩의 두께는 本流域에서 130~180m 에 이른다.

3) 斗務洞層

本岩은 銅店珪岩과 整合의인 관계를 가지며 流域의 西南部 상단部에서 北北西方向의 帶狀分布를 하고 있다.

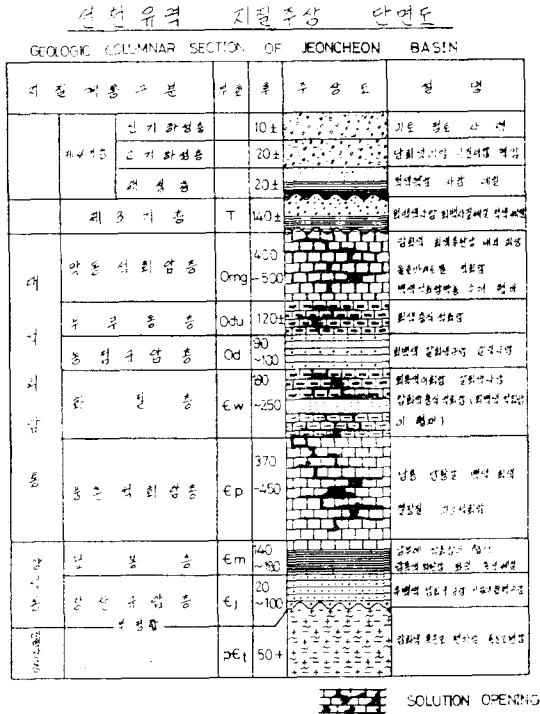


Fig. 2.

本岩은 灰色 내지 暗灰色 세일과 담록색 및 灰色·石灰質 Shale 이 互層을 이루고 있으며 虫식石灰岩으로 수반광물로는 흑운모, 녹니석, 자철광, Sericite, 방해석 등이 약간씩 岩石內에 산재하며 그 두께는 120m 内外이다.

상당數의 용해공동이 層理面과 절리면을 따라 발달되어 있어 이들이 저지대의 沖積層 下部에 놓여 있을 때는 매우 좋은 地下帶水層을 이룬다.

4) 莫洞石灰岩

本岩은 朝鮮系 大石灰岩統의 最上位層에 해당하며 古生代의 오오드비스 紀(Ordovician)에 屬한다.

分布地域은 本流域의 中流, 南部地域에 광범위하게 발달되어 있으며 暗灰色, 灰色厚板狀 내지 塊狀의 돌토마이트質 石灰岩으로 構成되어 있고 白色의 두께가 얇은 石灰岩이 本岩內에 여러層 狹在되어 있다.

走間과 경사는 岾안동에 발달된 南北方向의 단층선을 경계로 하여 東測은 N50E에 22N이고 西測은 N10~15E에 47~30E 이나 두무동층과 경계면에서는 N10~15E에 25~42E이다.

本層은 雨水의 용해 침식作用으로 因하여 형성된 용해공동이 잘 발달되어 있으며 三和洞-北坪을 잇는 저지대에서는 상당량의 침층지하수가 本岩으로부터 産出

될 것으로 사료된다. 特히 本岩分布地域에 南北方向으로 발달된 岾안동 단층 부근에서는 이들 단층이 地下水의 流路 역할을 하여 대규모 地下 저수지를 이룰 것으로 사료된다.

(라) 結晶質岩(Crystalline Rocks)

本流域에 分布된 結晶質岩은 先캄브리아 紀에 屬하는 主로 暗灰色 흑운모 片岩이나, 石英片岩, 흑운모편마암 및 細粒質石英 흑운모 편마암으로 構成된 大白山統이 流域 南西部의 高地인 分水嶺을 이루고 있으며 그 外 時代가 未確認된 花崗암類가 全流域의 約 43% 이상을 점유한다. 이들 花崗암類中에서 流域 西南部에 Stock 狀으로 分布된 三和花崗암은 비교적 조립질로서 貫入狀이며, 流域 北部地域에 널리 分布된 片狀花崗암은 상당히 變質을 많이 받아 花崗암體內에 片狀構造를 보이며 多數의 맥암에 依해 관입을 받고 있다. 비교적 조립질이며 風化帶의 두께가 두텁고 流域 北部의 분수령을 이룬다.

流域 北西단의 高地는 主로 유백색 花崗암이 분포되어 있어 이들 암석이 太白산통과 함께 太白산맥의 主 분수령을 이룬다.

그 外 백악기에 屬하는 石英斑岩과 炭性 암맥類가 流域의 中流에 소규모로 분포한다.

이를 結晶質岩에서 地下水의 産出狀態는 前述의 堆積岩類에 비해 매우 소규모이고, 主로 動力變成作用에 依해 형성된 二次 유효공극인 절리나 파쇄대과 같은 소규모의 地質構造帶에서 産出되며, 透水性은 비교적 不良한 滲水層(Aquifuge)을 이룬다.

4. 水理地質構造와 地下水産出狀態

本流域에 分布된 古生代의 堆積岩類는 쌍용세멘트-설운동-내미노리를 가상 軸으로 한 向斜構造(Syncline Fig-1 참조)를 이루고 있으며, 流域中流地域에는 岾안-트문리를 잇는 NS 方向의 大斷層이 走向 NS, 경사 75~90W 方向으로 발달 되어 있다.

中流地域의 三和洞 부근에 발달된 대 석회암통의 석회암류의 주향이 전천지류의 유로와 直交하며, 지층의 경사가 동측으로 형성되어 있으므로 강우 즉시 河道를 따라서 유출하는 地表水中 相當量이 各地層의 一次 유효공극인 層序面을 따라서나 二次 유효공극인 용해공동을 따라 地下로 流入 침투하여 石灰岩內의 지하 저수지내에 貯留되어 침부 지하수를 이룬다.

일단 중류지역에서 지하에 貯留된 침부 지하수는 다시 용해공동을 따라서 下流의 第3紀層 하부에 발달된 各種 石灰岩內의 지하 용해공동내로 流入한다.

일반적으로 중·상류 지역에서 地下帶水層으로 流入 침투된 地下水는 自由面 地下水를 이룰것이고, 地下地質 構造帶를 따라 제 3기층 하부의 석회암 구조대내로 유입된 地下水는 被壓地下水의 형태로 産出될 것이다.

5. 帶水層의 水理性

本流域中 제 3기의 니암으로 피복된 전천 하류지역 가운데서 현 북평-삼척간 동해고속도로의 교량부근에 3개의 심정을 설치하여 본 지역에 분포된 하부 대수층의 水理性을 파악하였다.

代表深井의 지질주상도와 井戶構造圖는 Fig-4와 같으며 각 공별로 長期帶水性 시험을 시행하여 帶水層의 透水量係數(T), 저유계수(S) 및 各 深井의 比揚水量(Sp) 및 영향반경을 求했다. (表-1 참조)

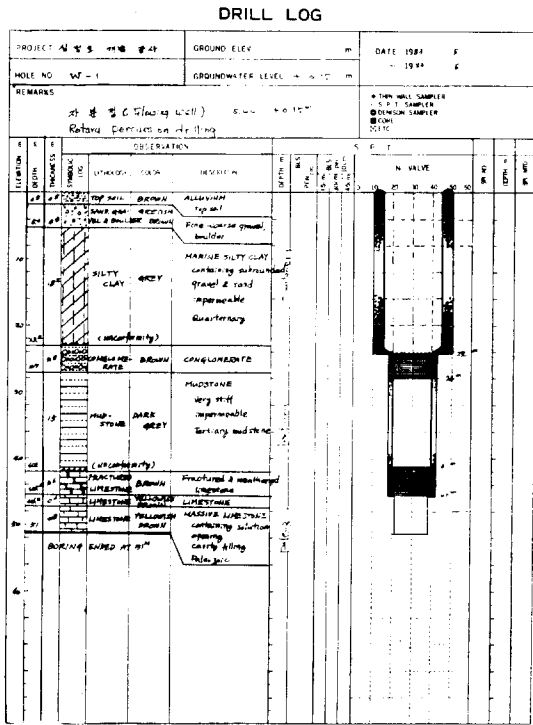


Fig. 4. 지질주상도 및 심정 구조도

帶水性 시험은 3個深井中에서 W-1공은 水中 motor pump를 공内に 설치했기 때문에 揚水位 測定이 不可能했으며 本공으로 부터 揚水量은 2,000m³/일이었다.

W-2공과 W-6공은 대용량 Fugal pump를 各公別로 번갈아 가면서 설치하여 이중 1개 공은 觀測井으로 利用하였고 揚水量은 1,500m³/일이었다.

5. 1. 예비試驗

1983년 5월 22일에 W-1(2000T)과, W-6(1500T/일)에 각각 pump를 설치하여 1日 3500m³의 지하수를 채수하면서 W-2井의 수위변화가 W-6井의 양수위 변화를 측정하였다.

시험기간은 230分이었고 이때 求하 투수량 계수는 1,423m²/日이고, 저유계수는 2.46×10^{-3} 이었으며 W-6井의 비양수량은 890T/일/M였다. (表-1, 참조)

본공은 양수시간이 너무 짧았기 때문에 비 양수량의 값은 장기시험시 보다 크게 나타났으며, 투수량 계수도 井戶가 완전히 형성되지 않는 단계에서 求했기 때문에 本地域의 平均值보다 약간 적게 나타났다.

5. 2. 一次시험

예비시험시 정호형성이 완전히 시행되지 않았기 때문에 W-1, W-2는 자본상태로 W-6는 공기압축기 (600 CFM/125PSI)를 利用하여 정호형성을 완전히 시행한 후 1983년 5월 28日-29日의 1日 약 1515분 동안 연속 대수성 시험을 실시하였다.

이때 W-1과 W-6井을 양수정으로 이용하였고 W-2井을 관측정으로 사용하였는 바 양수정과 800분 이후부터 지하수의 흐름이 정상류(steady state flow)에 달했으며 이때 구한 透水量係數(T)는 2001m²/Day였고 저유계수(S)는 3×10^{-3} 이였으며 W-6공의 비양수량은 789T/일/M였다. (表-1, 참조)

양수정과 관측정의 거리는 W-1과 W-2정이 71m, W-2와 W-6정이 108m, W-1과 W-6정이 128m였다.

5. 3. 二次시험

1983년 5월 31일과 6월 1일동안 W-1井과 W-2井에 pump를 설치하고 W-6井을 관측정으로 이용하여 연속 대수성 시험을 실시하였는바

W-1井, W-2井의 自然水位는 各各 +0.15m井 0.095m이였으며 W-6井는 0.13m였다.

W-1井과 W-2井에서 1日 3500m³의 地下水를 1,180分동안 채수했을 때 W-2井는 2.35m에서 수위가 안정되었고 관측정인 W-6에서는 1.69m에서 수위가 변하지 않았다.

관측정과 양수정, 공기 양수정과 1,000分 이후부터 $\frac{dh}{dt} \rightarrow 0$ 의 상태로 변해 帶水層을 통해 흐르는 地下水의 흐름이 정상류에 달했음을 보여 주었다.

고로 Jacob 식을 이용하여 帶水層의 水理性을 구한결과 T=1,779m²/日, S=2.15×10⁻⁴이였으며 W-6井의 비양수량은 665T/일/M이었다. (表-1, Fig-3 참조)

表-1. pumping TEST DATA

pumping well				OBSERVATION WELL				pumping Duratim (Min)	Transmi ssivity (m ² / Day)	Storati veity	Specific capacity (m ³ / D/m)	Date	대수층 심도
NO	pump- ing rate (T/D)	S.W.L (M)	D.W.L (M)	NO	S.W.L (M)	D.WL (M)	DIST- ANCE (M)						
W-1	2,000	+0.15	—	W-2	0.095	0.93	71	1,515	2,001	3.04 ×10 ⁻³	789	83. 5.28	1.75m
W-6	1,500	0.13	2.03				108						
W-1	2,000	+0.15	—	W-2	+0.095	0.67	71	230	1,423	2.46 ×10 ⁻³	890	83. 5.22	
W-6	1,500	0.13	1.815				108						
W-1	2,000	+0.15	—	W-6	0.13	1.69	128	1,180	1,779	2.15 ×10 ⁻⁴	665	5.31 6.1	9m
W-2	1,500	0.095	2.35				108						7m
W-1	2,000	+0.15	—	W-6	0.13	1.82	128	1,920	1,779	1.5 ×10 ⁻⁴	656	6.1 6.2	
W-2	1,500	0.095	2.38				108						
									1,853	1.47 ×10 ⁻³	703		

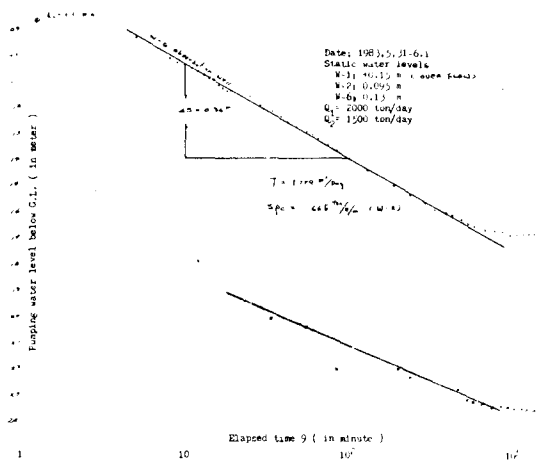


Fig. 3. Time Drawdown Curve(Deep Well of Jeon Cheon)

5.4. 三次시험

二次試驗과 同一한 조건하에서 6월 1일부터 6월 2일에 걸쳐 1920分 동안 연속대수성 시험을 실시한 결과 투수량계수(T)는 1,779m²/일이었고 저유계수(S)는 1.5×10⁻⁴이었으며 W-6井의 비양수량(Sp)은 656T/일/M 를 얻었다.

5.5. 검토

3개 심정에 대해 4회에 걸쳐 帶水性 시험을 시행한 결과 본 지역에 분포된 석회암 대수층의 평균 투수량 계수는 1,853m²/일이며 저유계수는 1.47×10⁻³이었으

며 각 심정의 평균 비양수량은 703T/일/M로서 國內에서 가장 투수성이 양호한 被壓帶水層이었다.

帶水性시험에 利用한 3個深井은 모두 古生代 朝鮮系의 石灰岩의 상부 帶水層에만 部分貫通(partial penetration)한 井戶이므로 이들 石灰岩帶水層을 完全貫通한 경우에 帶水層의 비양수량과 透水量係數는 시험値보다 훨씬 클 것이다.

本 地域에서 深井굴착의 상한 심도를 지표하 80m 까지로만 제한했을 때 각 공별 석회암 대수층의 두께는 다음과 같다.

심정	심도	부분관통심도	석회암대수층두께 (80m)
W-1	9 m		38 m
W-2	7 m		32.5m
W-6	1.75m		24.2m
평균	5.9 m		31.5m

만일 상기 3個深井을 80m 까지 굴착했을때 현재 부분관통井의 平均部分貫通율(hs/b)는 18.7%이고 Well slimness(hs/2rw)는 30(5.9m÷0.2)이므로 $\theta^p/\theta = \max$ 30%이다.

이는 각 심정을 80m 까지 굴착하면 현 채수율보다 약 3배 이상의 심부 지하수를 개발할 수 있음을 의미한다.

6. 安全採水量(Safe yield)

6-1. 개발가능량

전천 流域의 면적은125.8km²이며 東海市 인구지역인

강능의 30年間 年平均 강우량이 1,382.8m/m 이므로年 中 本流域에 내리는 총 강우량은 約 $174 \times 10^6 m^3$ 이다.

2차 유효공극과 용해공동이 잘 발달된 石灰岩의 평균공극율은 30%이고 比產出率은 14%이다. (WSP1839-D 참조) 本流域에서 大石灰岩統의 透水性이 양호한 石灰岩은 流域中 및 下流의 저지대에 분포되어 있으며 그 分布面積은 約 $47.3 km^2$ 이고 특히 섬안지역에 발달된 南北方向의 단층을 中心으로 하여 그 上流地域에서 深井開發深度를 100m로 하고 그 下流地域에서는 80m로 제한할 경우에 本 石灰岩內에 貯留된 地下水 총량은 (100m 제한 심도의 면적이 $27.3 km^2$ 이고 80m 제한 심도의 면적은 $20 km^2$ 이며 하류부의 석회암 지대는 평균 두께가 약 40m 정도되는 泥岩으로 피복되어 있으므로)

$$S_{100} = 27.3 km^2 \times 10^6 \times 100m \times 0.3 = 819 \times 10^6 m^3$$

$$S_{80} = 20 km^2 \times 10^6 \times (80m - 40m) \times 0.3 = 240 \times 10^6 m^3$$

$1,059 \times 10^6 m^3$ 로 추산되며 이는 본 유역내에서 약 6년간 내리는 강우량과 맞먹는다.

또한 본 석회암으로부터 개발 가능한량은

$$(27.3 km^2 \times 100m + 20 km^2 \times 40m) \times 10^6 \times 0.14 = 494 \times 10^6 m^3$$

에 이른다.

그러나 全石灰岩 分布面積中에서 해발표고가 40m 以內的 저지대에 분포된 석회암의 면적은 $25.2 km^2$ 에 이르므로 NS 단층을 경계로 하여 저지대에 분포된 석회암 대수층으로부터 개발 가능한량은

$$(5.2 km^2 \times 100m + 20 km^2 \times 40m) \times 10^6 \times 0.14 = 184 \times 10^6 m^3$$

으로 추산된다.

이들 개발가능량 $184 \times 10^6 m^3$ 의 막대한 심부지하수 가운데 안전율을 고려하여 그 25%만 개발 사용하더라도 년중 최소 사용가능량은 $46 \times 10^6 m^3$ /년에 이른다.

이는 1日 평균 $126,000 m^3$ 의 심부지하수를 개발 사용할 수 있는 것으로 사료된다.

상기량은 북 유역에 年間 내리는 강우량의 26.5%에 해당한다.

6.2. 영향반경

帶水性 시험을 통하여 求한 透水量 係數를 利用하여 理論的인 井戶間의 影響반경을 求해보면

a) 미공병단식을 이용하면 영향반경 R_1 은 277m 이고

$$R_1 = 3,000 \cdot S \cdot K^{\frac{1}{2}} = 2,000 \times 2.3m \times (1,853 \div 5.9)^{\frac{1}{2}} = 277.3m$$

b) 기타식을 이용하면 영향반경 R_2 는 236m 이다.

$$R_2 = 3(H \cdot K \cdot t/p)^{\frac{1}{2}} = 3(1,853 \div 5.9 \div 0.3)^{\frac{1}{2}} = 235.7m$$

고로 1日 공당 $2,000 m^3$ 규모로 地下水를 採水시공당, 影響반경은 256m 이다.

6.3. Gyben-Herz berg 原理에 의한 淡水帶

本流域中 中·上流 地域에 深井을 설치하여 石灰岩 帶水層으로부터 장기간 地下水를 採水할 時帶水層내로 浸水침입의 우려는 없으나 해안선 가까운 下流部에서는 장기간 地下水 採水時 浸수가 대수층내로 침입할 가능성이 있다.

3個 시험井의 해발표고가 대개 7m 내외이고 지하수면이 모두 피압수로서 해발 0.15m 였다.

地下水의 平均 比重이 1이고 동해안 浸수의 比重이 1.025이므로 Gyben-Herz berg 原理에 依한 本 深井地點의 淡水 pocket 의 海水面下深度를 求해본 결과

$$(7 + 0.15 + X) \times 1 = 1.025X$$

$$\therefore 7.15m = 0.025X$$

$$X = 286m$$

故로 淡水 pocket 의 全深度는 293m 이다.

一般的으로 淡水 pocket 內로 浸水침입을 방지키 위해서 深井의 深度를 淡水 pocket 의 $\frac{1}{3}$ 로 제한하는 것이 통례이다. 고로 下流部 地域에서 深井深度는 最大 97m 이며, 그러나 안전율을 고려하여 地下水 開發地點은 해안선에서 2km 以上 內陸地域에다 선정해야 하며 最大深井深度는 80m 以內로 하는 것이 바람직하다.

7. 地下水의 水質

대수층 시험 종료 후 각 시험점으로 부터 3個의 물 시료를 채취하여 수질분석을 한 결과는 表-3과 같다.

表-3. 地下水의 化學成分

내 용	시 료	W-1	W-2	W-6
pH		7.6	7.6	7.6
Cl	(ppm)	14.2	10.6	11.3
총 경 도 (//)		92	70	94
KMnO ₄ 소비량 (//)		2.5	3.2	1.9
중발잔유물 (//)		98	86	112
취	미	무	무	무
외	관	투색투명	투색투명	투색투명
온	도	불검출	불검출	불검출
아 질 산 성 질 소		16°C	16°C	16°C
질 산 성 질 소		0.6	불검출	0.4

以上과 같이 帶水層의 主成分광물이 탄산칼슘(CaCO₃)으로 구성된 석회암이지만 총경도가 70~94ppm 정도

밖에 되지 않으며 Cl의 함량은 10.6~14.2ppm 으로 순수심부 지하수의 범주에 속함을 나타내며 pH가 7.6으로 약 산성이다.

일반적으로 착정시에는 공내붕괴를 방지하기 위해서 粘土水(mud drilling fluid)를 사용하는바 이들은 비교적 타물질에 의해 오염된 상태이며, 착정장비 중 공내 굴착에 사용하는 부속장비들이 지표에 방치된 것을 사용하므로서 비록 순수한 천연 심층지하수도 양수 초기에는 약간의 일반세균이나 대장균군이 시험결과 나타난다. 그러나 이들은 지하수를 장기적으로 채수하던가 간단한 Chlorinization으로 완전 박멸 가능하다.

본 심층지하수는 무색투명하고 무취이므로 이들을 식수로 사용할 때는 전 처리시설이 필요치 않다.

8. 深層地下水開發方案

本論文은 箭川下流域에 設置된 3個소의 深井資料를 利用하여 流域內에 貯留된 地下水資源에 對한 分析 結果를 示한 것이다.

故로 本地域에 井戶揚을 設置하여 長期的으로 深部 地下水를 生·工用水로 개발키 爲해서는 最少 다음과 같은 技術용역 調査를 시행해야 할 것이다.

1) 中流地域에 分布된 石灰岩에 최소 1個소 100m 深도의 시험井을 설치하여 지하지질구조, 대수층의 수리성을 확인바라며

2) 下流地域中 海안선에서 1.5km 되는 地點에 1個소의 시험井을 설치하여 探水로 因한 염수와 담수와 의 상관관계를 규명할 必要가 있으며 南北단층대 부근에 1個소의 시험井을 설치하여 석회암 대수층내에서 이들 지질구조가 深層地下水產出 상태에 미치는 影響을 파악해서 보다 실질적인 地下水文資料를 취득해서 종합 개발 계획에 차질이 없도록 해야 할 것이다.

그러나 현재까지 調査를 시행하여 분석한 資料를 종합 검토해 볼 때

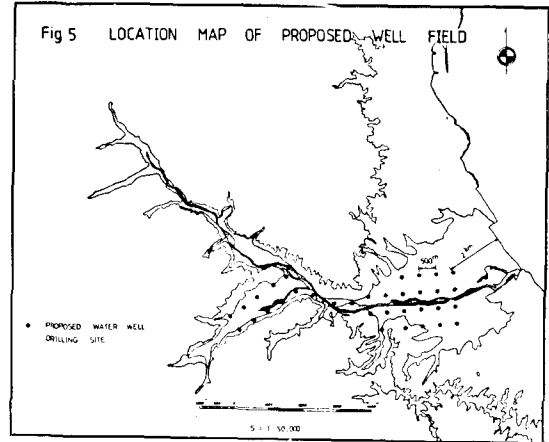
3) 本 流域內에서 海발표고 40m 以內의 비교적 지형이 낮은 地域에 34個소의 深井으로 構成된 井戶揚(well field)을 설치하면 石灰岩 帶水層으로부터 1日 100,000 m³의 深層地下水를 安全하게 개발할 수 있다.

4) 深井굴착 深度는 NS 단층을 境界로 하여 上流地域이 (西測) 100m 內外, 下流地域인 東測部가 80m 內外이어야 한다.

5) 井戶場內에서 各開發井(production well) 간의 거리는 影響반경을 고려하여 약 500m 정도로 해야한다.

6) 設置할 井戶場의 場所는 海안선에서 최소 2,000 m 內陸地域으로 선정해야 한다. (Fig-5 참조)

7) 自由面帶水層의 경우에는 비교결암을 16''로 굴착하여 10''정호자재를 설치하고 그 하부 석회암은 8''의 나공 상태로 정호를 설치해야 하며, 被壓帶水層인 경우에는 제 3기 泥岩層까지 φ16''로 굴착해서 φ12''의 정호자재를 설치하고 그 하부석회암은 φ10''로 굴착하여 φ6''~8''의 유공관을 설치하되 산성에 강한 유공관을 公尺까지 설치해야 한다.



9. 結 論

1) 本 流域內에 分布된 岩石은 第 4紀의 沖積層, 第 3紀의 半固結력岩 및 泥岩과 古生代의 石灰岩으로 이루어진 堆積岩과 時代미상의 結晶質岩과 백악기의 암 脈類이다.

2) 沖積層의 두께는 매우 얇으나 그 透水性이 매우 양호하고, 第 3紀層의 上位層에 屬하는 礫岩은 被壓帶 水層으로 相當量의 深層地下水를 含有하고 있다. 本 流域에서 가장 透水性과 貯留성이 양호한 岩石은 용해공 동과 일, 이차 유효공극을 多量 함유한 古生代 大石灰 岩統의 風村 및 莫洞 石灰岩이다.

3) 이들 石灰岩帶水層은 中流에서는 自由面상태이고 下流에서는 被壓性을 나타내며 下流 被壓, 石灰岩帶水 層의 平均 透水量係數(T)는 1,836m³/일이고 深井의 平均比揚水量은 703T/일/M 이다.

4) 本流域에 分布한 石灰岩內에 貯留된 深層地下水 의 量은 1,039×10⁶m³이며 安全開發可能量은 그 4.4% 에 해당하는 46×10⁶m³/年으로 1日 安全採水量은 126, 000m³이다.

5) 本流域 中·下流部의 地形이 낮고 海안선에서 2km 떨어진 地域에 井戶場을 設置하여 34공의 深井을 開發하면 地下水賦存量에 큰 影響을 미치지 않고 1日

平均 100,000吨의 用水를 開發할 수 있을 것이다.

6) 井戶場內에서 井戶間의 距離는 500m 이어야 하며 井戶深度는 100~800m 정도이어야 한다. (Fig-5 참조)

참 고 문 헌

1. Hans Engineering Co, Ltd, 삼척산업 북평공장 심정호 개발공사결과 보고서 1983. 4, pp. 1~12.

2. Morris.D.A, & Johnson A.I, Summary of Hydrologic and physical properties of Rock and Soil Materials, 1967. Water Supply paper, USGS, 1839-D pp. 30.

3. Han. J.S, 地下水學概論, 박영사, 1983, pp.

4. Han. J.S, 韓半島의 岩盤地下水에 關한 研究, 韓國水文學會誌, 1981, 12, Vol. 14, No. 4, pp. 74~81.