

Saudi Arabia 北西部의 地下水調査

Groundwater Investigation in Northwestern Part of Saudi Arabia

韓	楨	相
Han,	Jeong	Sang
鄭	秀	雄
Jeong,	Soo	Woong

ABSTRACT

Hydrogeological survey and geophysical prospecting have been carried out in Saudi Arabia for the purpose of finding groundwater in the soil and rock at the request of General trading company in Jeddah, Saudi Arabia.

The surveyed area is located on 38°-39° 30' in longitude and 26°-26° 30' in latitude.

The topography of this area is dominated by northwest southeast mountain range composed mostly of pre-cambrian rocks and basalt of tertiary period.

Geology is mainly composed of greenstone, granite, andesite, diorite rhyolite of pre-cambrian era and sandstone of cambrian period which are underlain by basalt and andesite of tertiary period and alluvium of quaternary unconformably.

The instruments used in this investigation are TR-18B2 radioactivity unit which is Japanese patented and A.C. Terrameter, a resistivity meter manufactured by ABEM of Stockholm, Sweden.

Radioactivity method has been conducted along the Alula-Khaybar road, totally 164Km by the car-borne. As a result of the above survey 16 places have been selected and these anomalies show 1.2N-1.6N compared to background of each area in intensity with width of 10-50m.

Resistivity vertical profiling which made use of Schlumberger configuration method has been made over selected areas by radioactivity method to provide hydrogeological information for a water resources survey. The result of resistivity shows that good aquifers are located in the western part of surveyed area where sedimentary rock is distributed.

The strata showing 10-50, Ω -m in resistivity are thought to be waterbearing layer. The variations in aquifer resistivity found, are thought to be due to varying clay content, which could be related to aquifer yield. It has proved impossible to detect small salinity variation in the buried aquifer by geophysics.

As a result of resistivity prospecting 10 places are recommended to be drilled at the anomalies as shown attached map. yields from the proposed holes have been estimated approximately from 20m³ to 200m³ per day. Prior to drilling for groundwater, test boring using ϕ 4" should be drilled in order to obtain more reliable hydrogeological information for the construction of perfect wells.

1. 序言(Introduction)

本 調査는 現在 SAUDI ARABIA의 西北部에 位置

하여 있는 ALULA-KHAYBAR간의 道路工業 施行 予
간으로서 1975年 7月 12일부터 同年 9月 25일까지 上
記 道路區間內에 分布되어 있는 各種岩石의 水理地質
調査와 自然放射能 및 電氣比抵抗法에 依한 地下水調査
를 實施하였으며 그 調査結果를 綜合整理, 分析檢討한

것이다.

SAUDI ARABIA 全域에 걸쳐 1956년에 航空地圖에 依한 地質圖가 作成 되었으며 特히 本 調査地域은 1963년에 美內務省 地質調査所와 ARAMCO (ARABIAN AMERICAN OIL COMPANY) 地質技術者인 R.G. BOGUE, R.O. JACKSON 그리고 G.F. BROWN에 依해 實施된 野外 地質調査結果를 G.F. BROWN이 綜合整理하여 圖葉番號 NW-HIJAZ 1-204A와 G.F. BROWN, G.H. GOUDAREI, W.H. MACLEAN에 依해 實施된 野外 地質調査結果를 G.F. BROWN이 綜合整理하여 圖葉番號 NE-HIJAZ 1-205A로 地質圖가 發刊되었다. 그러나 本地質圖는 그 縮尺이 1:500,000인 關係로 資料의 不正確으로 因하여 細部 地質調査와 水理地質調査는 今後 새로이 再實施하였다.

今後 地下水探查에 使用한 機器는 國內唯一한 自然放射能 探查器 TR-18B2와 電氣比抵抗探查器는 SWEDEN의 ABEM會社에 依해서 製作된 Terrameter이다.

2. 位置(Location)

사우디아라비아의 東側은 페르샤만, 西側은 紅海, 南側은 아라비아 海 그리고 北側은 JORDAN國에 依해서 둘러쌓여 있으며 調査地域은 西側의 紅海岸에 接해 있는 JEDDAH市에서 北北西 方向으로 開設되어 있는 TABUK行 既存道路를 따라 約 650km가면 現場에 이르며 이곳에서 西西北側에 位置하여 있는 AL ULA까지 總延長 164km에 達하는 區間이다. 本 區間은 經緯度上으로는 北緯 26°~26°30' 東經 38°~39°30'의 範圍에 屬하며 美國 地質調査所에서 發刊된 HIJAZ 地質圖幅 中 圖葉番號 1-204A의 東部와 1-205A의 西部에 該當된다. (Fig.1 참조)

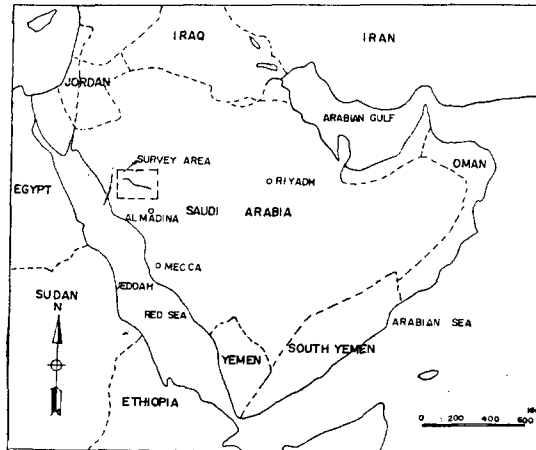


Fig.1 Location map for Saudi Arabia

3. 地形(Physiography)

本 調査地域은 N30°W 方向으로 發達되어 있는 玄武岩의 影響을 받은 HARRAT AL UWAGKID 山脈을 主脈으로 하여 여러 方向으로 發達되어 있는 枝脈으로 構成되어 있고 ALULA 地域 北西部에 位置하여 있는 HARRAT는 平均高度 海拔 1200m程度로서 最高峰은 1454m에 이르며, 計劃道路區間內에서 最低地帶를 形成하고 있는 곳은 44.7km 附近으로서 高度는 574m程度이다.

KHAYBAR-TABUK의 既存道路에서 計劃道路區間入口의 標高는 770m 程度이며 區間內에서의 最高地帶는 126+250 附近으로서 1023m 程度이고 始發地點 附近(AL ULA)의 標高는 600m餘에 이르는 起伏이 심한 地域이다.

本 地域의 地形은 主로 先캄브리아紀(Pre-Cambrian)의 岩石으로 構成되어 있으며 이들은 動力變成作用(Dynamic metamorphism)을 받아 地質構造帶가 많이 發達되어 있다. 堆積岩의 主節理方向은 N45E로 發達되어 있으며 間歇河川(Intermittent Stream)이 地質構造帶인 節理 및 斷層方向을 따라 形成되어 있다.

第四紀 玄武岩이 被覆되어 있는 地域을 除外하고는 溪谷이 U字形을 이루고 河幅이 좁은 長年期初의 地形을 이루고 있으나 玄武岩으로 被覆된 地域은 廣闊한 대지를 이루며 幼年期 地形을 나타내는 復雜한 地勢를 보여주고 있다.

特히 本 調査地域附近의 年降雨量은 100mm程度(1971年)로서 河川은 間歇河川(Intermittent stream)을 이루고 있고 河幅이 3~4km에 이르는 곳이 여러곳에 發達되어 있다.

4. 地質(Geology)

本 調査地域에 發達分布되어 있는 岩石은 先캄브리아紀(Pre-Cambrian)에 屬하는 Green stone, 花崗岩, Halaban 安山岩類 閃綠岩, Shammara 流紋岩과 Shammara 流紋岩을 捕獲及至 被覆하고 있는 J.D層과 古生代 캄브리아紀에 屬하는 Sig 砂岩이 上記岩石들을 不整合으로 被覆하고 있으며 Sig 砂岩 上部는 第三紀의 玄武岩 및 安山岩과 第四紀의 Wadi 形 沖積層이 不整合으로 被覆되어 있으며 古生代末에서 新生代初 사이는 大欠層을 보여주고 있다.

이들 各種岩石들의 層序와 地質時代는 美國 카네기 연구소의 L.T. Aldrich에 의해서 루비디움-스트론튬

음법과 포타시움-아곤法으로 測定되었음을 附言해 두는 바이며 上記岩石들을 細分하며 說明하면 다음과 같다.

1) Green stone

本岩은 本調査地域中 最古期의 岩石으로서 先캄브리 아紀 下部에 該當되며 變質度가 매우 심한 片岩, 礫岩 板岩, 安山岩 및 輝綠岩으로 構成되어 있다.

岩色은 赤黃내지 黑色이며 岩相은 細粒유리질 또는 斑狀構造를 보이기도 하며 곳에 따라서는 板狀 및 局部的인 pillow 構造를 나타내나 대개 모호한 構造를 보여주고 있다.

이들 岩石中 礫岩은 곳에 따라 以前에 生成된 流紋 岩이나 板岩의 礫을 捕獲하고 있다.

2) 花崗岩(Granite)

調査地域中 特히 100~120km 區間에 널리 分布되어 있는 岩石으로 先캄브리 아 紀에 屬하며 岩色은 主로 赤 色 및 淡紅色을 띄우며 Disconcordant의 大規模型으로

貫入岩의 樣狀을 나타내며 一般的으로 塊狀이나 貫入 接觸面에서는 正長石과 微斜長石이 斑狀構造를 보여주 기도 한다.

塊狀이 代表的이므로 그 帶水性은 極히 不良이다.

3) Halaban 安山岩類(Andesite)

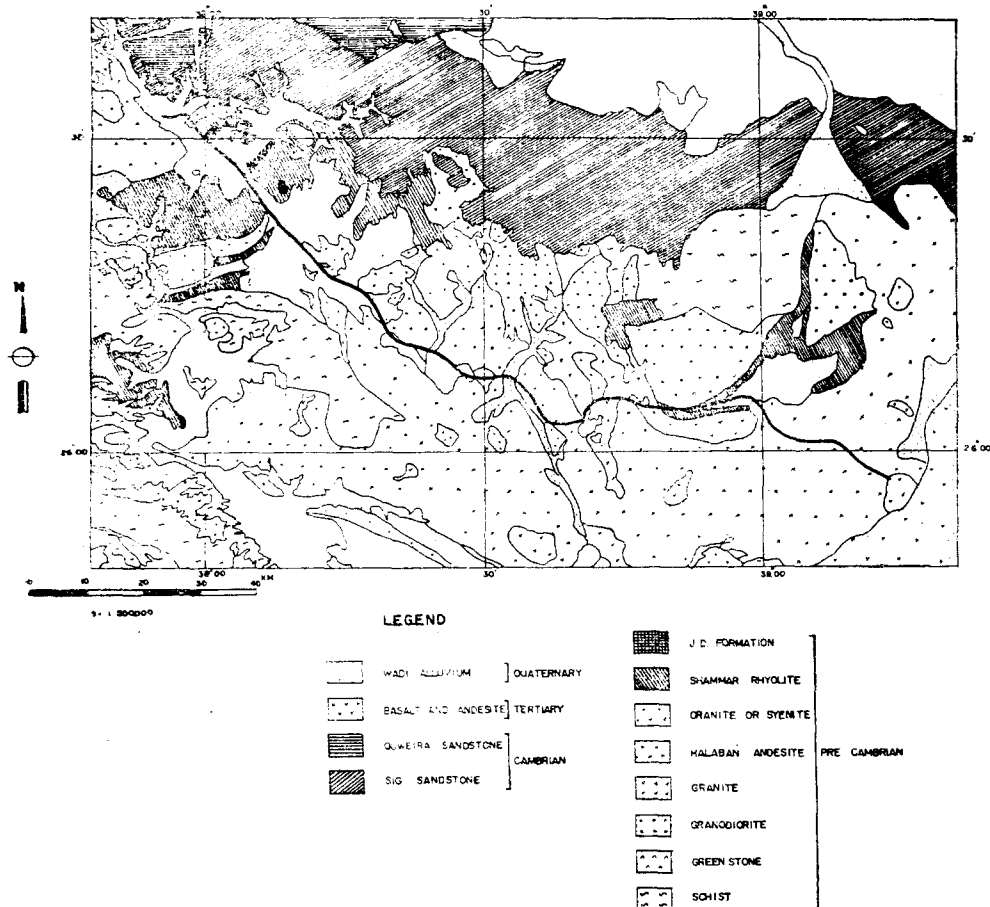
調査區域中 60~100km 區間이 거의 本岩으로 構成되어 있고 岩色은 主로 黑色과 淡紅色을 띄우고 있다. 構成岩石은 細粒質로 多少 變質을 받은 安山岩과 流紋 岩 및 凝灰岩으로 構成되어 있으며 간혹 下部層內에서는 赤色の 凝灰質板岩이 分布되어 있기도 한다.

4) Shammar 流紋岩類(Rhyolite)

本岩은 主로 赤 및 暗褐色의 變質度가 弱한 流紋 岩石安山岩, 安山岩, 集塊岩 및 凝灰岩으로 構成되어 있으며 杏仁狀構造(Amygdaloidal structure) 및 斑狀構造(Porphyrict structure)를 보여준다. 一般的으로 層 理가 잘 發達되어 있으며 傾斜는 60°~80°이다.

5) J.D層

Fig.2 GEOLOGIC MAP OF SURVEYED AREA



本岩은 先캄브리아紀 最上部 岩石으로서 AL ULA 南東쪽 20km 區間에 發達 分布되어 있으며 主로 薄層의 白雲母質石灰岩과 礫岩 및 板岩으로 構成되어 있다.

本層中 礫岩은 細粒質 赤色花崗岩 및 流紋岩, 石英脈 粗粒質砂岩, 閃綠岩, 珪岩 및 千枚岩의 礫을 包含하고 있고 結合物質(Matrix)은 錄泥石이 優勢하며 計劃路線 區間中에도 一部 發達되어 있다.

6) Sig 砂岩層(Sandstone)

本岩은 暗赤色砂岩으로 古生代 캄브리아紀에 屬하며 先캄브리아系를 不整合으로 被覆하고 있으며, 岩相은 層狀 또는 塊狀이다.

本岩은 局部的으로 先캄브리아 岩石의 礫을 갖는 礫石이 挾在되어 있고 大部分이 粗粒의 長石質砂로 構成되어 있어 그 透水性이 良好할 것으로 思料되며 他砂岩은 節理가 比較的 잘 發達되어 있으나 이들은 塊狀이다.

7) 玄武岩(Basalt)

本岩은 第三紀 마이오세에 該當하는 玄武岩내지 玄武岩質安山岩으로 橄欖石이 優勢하고 大部分 柱狀節理가 잘 發達된 噴出岩이다. 本 調查區域內에서는 本岩은 先캄브리아系 上部를 不整合으로 被覆하여 分布되어 있으며 그 厚는 薄層으로 地下水 賦存地로서는 期待하기 어렵다.

특히 本岩은 先캄브리아紀 岩石을 被覆하여 臺地를 形成하고 있다.

8) Wadi型 沖積層(Alluvium)

本層은 第四紀層으로서 先캄브리아 및 古生代의 岩石을 不整合으로 被覆하고 있으며 이들 岩石의 風化物로부터 生成된 gravel, silt, 砂 및 粘土의 混合物로 構成되어 있다. 特히 本層은 30~40km 區間에 樹狀狀으로 發達되어 있는 河系를 따라서 數km의 幅으로 넓게 分布되어 있다.

本層은 主로 細粒質의 砂 및 微細한 silt 및 粘土로 構成되어 있어 透水性은 良好하지 못할 것으로 思料되며 造岩鑛物의 하나인 長石들이 風化에 依하여 많은 變質을 받아 粘土化하여 있어 이것이 表流水의 地下滲透作用을 막아 雨期의 地下水函養을 阻害하며 乾期에는 河川들은 干涸 狀態에 이른다.

5. 探查方法(Geophysical Exploration)

1) 測 量

車輛放射能 探查時는 1:500,000 地形圖 및 1:6000

圖面을 利用하였으며 精密 放射能 探查時는 車輛에 附着되어 있는 速度計를 利用하였다. 電氣探查時는 클리노메타 및 100m 에스론 줄자를 使用하여 測量하였다.

2) 放射能 探查(Radioactivity Prospecting)

2-1 原理

地球의 地殼內部에는 여러 種類의 放射性 物質이 存在하며 그중 라디움은 地殼內에서 강한 베타線을 地表에서도 檢出될 程度로 放出한다. 이 以外에도 大部分의 放射性物質은 地殼內에서 發達된 地質構造에 따라 地表에 強하거나 弱하게 나타난다. 一般的으로 地下深部に 있던 여러 種類의 放射性物質은 斷層이나 破碎帶 및 節理와 같이 岩石의 쪼개진 틈을 따라서 地表로 上昇하여 異常強放射能帶(Anomaly Zone)를 이룬다. 이러한 地質構造는 異常強放射能帶을 이룬은 勿論 岩盤에서 地下水의 最適賦存地域인 地下帶水層을 이루고 있다. 強放射能이 나타나는 地域은 放射能物質을 包含하고 있는 岩石이거나 岩盤地下水의 賦存地로 解析할 수 있다. 水脈에서 나오는 地表에서 檢出되는 自然放射線強度는 微弱하여 大氣中에서의 宇宙線이 時間적으로 位置적으로 變動함으로 그 影響을 除去하지 않으면 올바른 水脈의 檢出이 되지 않는다.

2-2 方法

總延長 164km에 達하는 計劃道路區間中 現在 工事中인 道路 및 既存道路를 따라서 車輛積載式 概略探查를 實施하였다. INVERTER, 自動記錄計 및 TR-18B2 自然放射能 探查器를 車內에 裝置하고 宇宙線 自動遮斷檢出器(Scintillation Counter)를 地表面上 35cm程度되도록 自動車 後面의 製作된 받침대에다 附着시키고 車輛의 速度를 10~20km/hr로 走行하면서 地表面 및 地下水 構造帶에서 放出되는 自然放射能 速度를 測定記錄하였다. 測定時 探查器의 Range는 3×10^3 C/M(Counter Per minute), 時定數는 1~5秒(Second), 記錄計의 感度(Sensitivity)는 500~100mV, 記錄紙의 回轉速度는 2cm/min로 하였고 精密探查時는 探查器의 Range는 3×10^3 C/M, 時定數는 5秒, 記錄計의 感度는 50mV, 記錄紙의 回轉速度는 6cm/min로 하였다.

探查器의 狀態를 最適으로 維持하기 爲해서 車內에 축축한 마대를 備置하여 溫度를 調節하였으나 外部溫度가 高溫이어서 測定結果에 약간의 誤差가 따를 것으로 생각된다.

各地域에서 放出되는 自然放射能의 平均強度를 1N(自然係數)으로 할 때의 放射能 異常帶(Anomaly)를 圖式化하여 水脈의 方向 및 그 幅을 推定하여 鑿井地

點을 選定하였다.

3) 電氣 比抵抗 探查(Electrical Resistivity Prospecting)

3-1 原理

電氣探查는 地下地層들의 電氣的 性質의 差異를 應用하여 地下構造를 調査하는 方法이다. 特히 比抵抗 探查는 地層의 電氣抵抗分布를 研究하여 土地地質 및 地下水調査를 爲한 方法이다.

電流 I 가 地表面에 있는 두개의 電流電極俵 사이를 通過할때 等電位(Equipotential)와 電流分布는 Fig.3과 같이 表示될 수 있다.

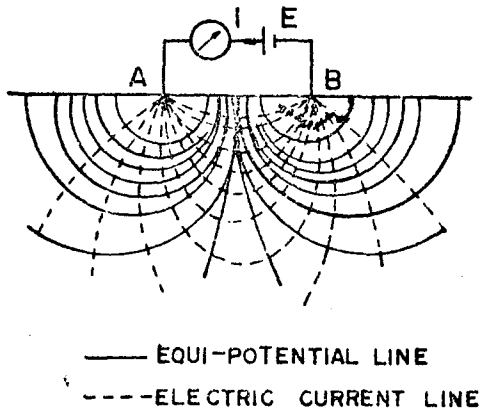


Fig. 3. 等電位線과 電流와의 關係

이 境遇 電位差 E와 電流 I의 關係는 全抵抗(Total Resistivity)에 依해서 決定된다. 全抵抗은 主로 電極俵 和 大地의 接觸抵抗과 大地抵抗自體로 形成된다. 電流는 深部에서 보다 淺部에서 더 緻密하게 흐르며 電極間의 間隔이 크면 클수록 深部까지 響影을 미친다.

길이 l 의 斷面積 S 를 通過하는 電流가 均一하다면 抵抗 R 은 다음 式과 같이 表示된다.

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

上記式에서 ρ 는 地下物質의 性質과 關係되는 常數이며 比抵抗(Specific Resistivity)이라 불리우고 보통 $\Omega\text{-m}$ 로 表示한다. 岩石의 比抵抗을 左右하는 要素는 다음과 같다.

a) 流動液

常溫의 물로 滲透되어 있는 孔隙率이 一定한 砂層에서는 比抵抗은 孔隙를 채우고 있는 液속의 NaCl의 量이 增加할때 거의 直線으로 減少된다. 아울러 물의 比抵抗은 溫度 10°F 가 增加함에 따라 약 10%程度 減少

된다.

表 1은 純粹한 물과 20% 孔隙率을 가진 砂層에 물이 包含되어 있을때의 比抵抗 變化를 나타낸 것이다.

表 1.

鹽度 (P.P.M)	물의 比抵抗 $\Omega\text{-m}$	20% 孔隙率을 가진 砂層에 滲透된 물의 比抵抗 $\Omega\text{-m}$
500	9.4	141
1000	4.8	71
2000	2.5	38
3000	1.7	26
4000	1.3	20
5000	1.0	16

b) 鑛物

硫化鑛物, 酸化物 또는 黑鉛같은 鑛物은 低比抵抗을 나타낸다. 그러나 이와같은 鑛物은 本 調査地域에서는 드물게 나타나며 岩石의 電氣傳導度에 크게 影響을 미치는 鑛物은 粘土(Clay)이다. 乾燥한 粘土는 傳導性이 不良하지만 濕한 粘土는 良好하다. 一般의 傳導性이 良好한 粘土가 많으면 많을수록 堆積物의 透水性과 帶水層으로 부터의 揚水量을 減少시키는 結果를 招來한다.

c) 幾何學的 要素

空隙의 크기 및 空隙과 空隙間의 間隔은 岩石의 比抵抗에 크게 影響을 미친다. 물을 含有하고 있는 砂層에서 空隙率이 크면 클수록 岩石의 比抵抗을 低下시키며 이러한 關係는 空隙率이 20%程度까지는 거의 直線 狀態이다.

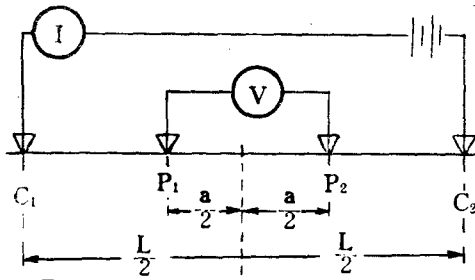
20% 를 넘어서는 比抵抗은 空隙이 增加함으로써 急速하게 減少한다. 모래는 10~40%의 空隙率을 보여주며 粘土는 透水性이 不良하지만 空隙率은 50% 程度를 나타낸다. 空隙의 形態 및 結合狀態도 岩石의 比抵抗에 影響을 미친다.

3-2 方法

自然放射能 探查에 依해 選定된 地域에 對해서 電氣 比抵抗 探查를 遂行하였다.

探查方法은 調査測線을 一直線으로 設定하고 그림과 같이 電位電極俵 P_1P_2 를 內部에 電流電極俵 C_1C_2 를 外部에 設置하고 Schlumberger 配列法에 依해서 P_1P_2 는 固定시키고 C_1C_2 를 地形條件에 따라 400~600m까지 展開시키고 그 中心點에서 부터 最少 0.5m에서 부터 次次增加시켜 最大 50m 間隔으로 必要에 따라 深部垂直探查를 實施하였다.

野外에서 測定한 資料를 式 ρ_a (外見比抵抗) = $\frac{\pi}{a} \left\{ \left(\frac{L}{2} \right)^2 - \left(\frac{a}{2} \right)^2 \right\} \frac{V}{I}$ 에 依해서 外見比抵抗을 算出하였고



P₁P₂: Potential Electrodes
C₁C₂: Current Electrodes

Fig. 4. Schlumberger Configuration

그 결과를 兩對數 方眼紙에 Plot하여 比抵抗曲線을 作成한 後 標準曲線과 對比하여 各層의 眞比抵抗值 및 層厚를 求하였고 그 結果에 依해서 帶水層 및 地下構造를 推定하였다.

表 2 및 表 3에 岩石 및 土壤, 各種물의 比抵抗值를 各各表示하였다.

表 2.

	1	10	10 ²	10 ³ 10 ⁴	10 ⁵ Ω-m
粘土	_____				
泥灰岩	_____				
砂質粘土	_____				
粘土質砂	_____				
頁岩	_____				
砂 및 礫	_____				
石灰岩	_____				
砂岩	_____				
結晶質岩	_____				
岩鹽	_____				

表 3. 各種물의 比抵抗

山水	80~300 (Ω-m)
正常地下水	20~100
鹽도가 弱한 鹽水	10~20
鹽도가 보통인 鹽水	3~9
1000mg이 상의 Cl을 함유한 鹽水	0.1~3
純粹한 물을 含有한 모래	60~500

表 4. 自然放射能 異常帶

番 號	位 置	異常帶 方向	强 度	幅	地 質
No. 1	12km	NS	1.6N	10~12m	沖 積 層
No. 2	3+250~550	N15W, N30W	1.25N	20~35m	"
No. 3	18+200	N15W, N5E	1.36N	20~30m	"
No. 4	26	N 5W	1.33N	30m	"
No. 5	35+500	N80E, N40W	1.25N	20~50m	"
No. 6	45+250	N40W, N20W	1.25 "	20~30m	"

- 약간의 鹽水를 含有한 모래..... 3~70
- 많은 鹽水를 含有하고 있는 모래..... 0.2~4
- 石油을 含有하고 있는 모래..... 1~250
- 純粹한 물을 含有한 砂岩..... 50~250
- 鹽水를 含有한 砂岩..... 1~200
- 石油을 含有한 砂岩..... 7~500

6. 結查結果 및 解析 (Results & Interpretation)

6-1 自然放射能 探查

探查結果를 보면 一般의 堆積岩에서 유래된 風化物로 構成된 沖積層에서는 1~1.1×10³ C/M을 나타내고 花崗岩 및 安山岩이 分布되어 있는 火成岩地帶에서는 0.7~0.8×10³ C/M의 自然放射能 強度를 보여주고 있다. 이는 火成岩이 分布되어 있는 地域보다는 堆積岩이 分布되어 있는 地域의 地下深部に 있는 岩石이 動力變成作用을 받아 節理 및 層理에 따라 破碎帶의 發達이 더 良好한 것으로 思料된다. 特히 今般探查에서는 地形條件 및 放射性鑛物을 包含하고 있는 岩石分布地帶에서 높은 自然放射能強度를 나타내고 있으나 地下水開發을 위한 本探查에서는 이의 結果를 論하지 않았다.

概查에 依해 選定된 精密探查 地域과 이 地域에서 實施된 結果는 表 4와 같다.

No. 7	61	N7E	1.3N	25 m	安山岩
No. 8	72	E W	1.38N	20 m	安山岩
No. 9	84+500~85+000	N S	1.2N	25~30 m	安山岩
No. 10	96+230~470	NS, N8E	1.2N	10~13 m	安山岩
No. 11	101+550~670	N70E, N35E	1.3N	10~13 m	花崗岩
No. 12	105+210~690	N40E	1.3N	20~24 m	花崗岩
No. 13	143+400~800	N S	1.38N	12 m	安山岩
No. 14	145~146+400	EW, N30W	1.35N	12~20 m	安山岩
No. 15	149+750~150+300	N30E	1.37N	20 m	安山岩
No. 16	155+750~156+100	N75W	1.37N	25 m	安山岩

表5. 電氣探查地點

測點番號	位 置	距離(基準點基準)	方向(基準點基準)	測線 길이	測線 方向
1-1	12km	300 m	N25E	400 m	N50W
1-2	12km	510	N34E	400	N50W
2-1	3+250~550	310	N10W	600	N50 E
3-1	18+200	570	N62E	400	N70W
3-2	18+200	440	N55E	600	N70W
4-1	26	650	N15E	400	N45W
5-1	35+500	560	N50E	600	N25W
5-2	35+500	430	N39E	400	N30W
-1	45+250	410	N65E	600	N45W
6-2	45+250	710	N32E	400	N35W
7-1	61	240	N49E	600	N40W
7-2	61	280	N80E	500	N40W
8-1	72	240	N65W	600	N70W
8-2	72	580	N78W	300	N80W
9-1	84+500~85+000			600	N 20 E
10-1	96+230~470	390	N11W	600	N20W
10-2	96+230~470	505	N20W	500	N20W
11-1	101+550~670	190	N29W	400	N29W
11-2	101+550~670	300	N35W	600	N 40E
12-1	105+210~690	160	N45W	500	N 45 E
12-2	105+210~690	440	N14E	360	N 30 E
13-1	143+400~800	420	N80W	600	N70W
13-2	143+400~800	190	N15W	600	N70W
14	145~146+400	510	N48W	600	N44W
15-1	149+700~150+300	315	N10E	500	N 70 E
15-2	149+700~150+130	430	N 3W	500	N83W
16-1	155+750~156+100	325	N50W	600	N 50 E
16-2	155+750~156+100	130	N34E	600	N85W
17	79			600	E W
18	138+800			500	N28W

6-2 電氣比抵抗 探查

自然射放能 探查에 依해 選定된 上記記述한 16個地域과 79km 및 138km+800 등 18個 地域에서 總30個의 測點을 選定하여 電氣比抵抗垂直探查를 實施하였다.

調查地域에는 數個의 bedouin(遊牧民) 우물과 機械 管井이 散在돼 있으며 調查結果를 對備하기 爲하여 A L ULA에 있는 우물 附近에서도 調査를 實施하였다. 調查地域이 廣大하여 便宜上 地質別로 區分하여 說

明하고저 한다. 本 調査地域의 地質은 冲積層, 花崗岩 安山岩으로 大別된다.

1) 冲積層 地帶

本層은 主로 調査地域 西部인 AL ULA쪽에 分布되어 있으며 測點 No.1~No.5가 여기에 屬한다. K-5 캄프 附近. 既存 水層 近處에서 實施한 結果는 深部 6.3m에서 49m까지 12 Ω -m의 比抵抗價를 갖는 帶水層을 나타내고 있으며 이와같이 낮은 比抵抗値는 鹽分 및 粘土를 含有하고 있을 것으로 思料된다. 本域에서의 曲線은 大개 4개의 地層을 말해주며 表土層은 No.3와 No.1-1 및 No.2-1을 除外하고는 40~150 Ω -m의 比抵抗을 보여주고 있다. No.3의 1000 Ω -m 이상의 高比抵抗은 乾燥한 砂質 및 礫을 包含하고 있을 것으로 思料되고 No.1-1과 No.2-1에서는 약 5 Ω -m의 比抵抗을 나타내는 바 이는 鹽分을 包含한 濕度含有量의 增加 및 많은 量의 粘土를 含有하고 있기 때문인 것으로 解析된다.

本域에서의 帶水層은 No.3을 除外하고 第二層 및 第三層일 것으로 推定되며 10~40 Ω -m의 比抵抗을 보여준다. 比抵抗에서의 差異는 粘土含有量의 差異에 起因할 것으로 判斷된다.

本域에서의 地下水開發 適合場所에 對하여 記述하던 다음과 같다.

a) No.1-2

本 測點에서의 地層은 深度6m까지 粘土와 粘土質砂礫層의 互層으로 되어있고 6m以下는 9 Ω -m의 比抵抗을 갖는 帶水層이 分布되어 있으며 이 比抵抗値는 이 帶水層이 鹽分을 약간 含有하고 있으며 比較的 많은 量의 粘土를 含有하고 있을 것으로 생각되고 地下深部 52m以下는 鹽分을 包含하고 있는 軟岩의 砂岩이 分布되어 있을 것으로 思料된다.

b) No. 2-1

本 地點에서의 5 Ω -m의 比抵抗을 갖는 層과 30 Ω -m의 比抵抗을 갖는 層이 互層으로 分布되어 있다. 比較的 低比抵抗을 보여주고 있는 本域은 鹽度の 增加나 帶水層에서의 揚水量을 減少시킬지도 모르는 粘土의 含量增加에 起因할 것으로 思料된다.

c) No. 3-2

本域에서의 特徵은 2000 Ω -m 이상의 高比抵抗을 보여 주는 것이며 이는 礫을 含有하고 있는 모래層이 濕氣가 없음을 暗示하는 것이며 그 下部層은 150~300 Ω -m의 比抵抗을 나타내며 약간의 粘土를 含有하고 있는 砂層일 것으로 思料된다. 本域의 帶水層은 地下 42m以後에 發達되어 있을 것으로 推定되며 比抵抗은 50 Ω -m로서 粘土를 含有하고 있는 砂岩이 分布되어 있

을 것으로 思料된다.

d) No. 5-1

表土層은 135 Ω -m의 比抵抗을 보여주며 이는 角礫을 包含하고 있는 모래層일 것으로 判斷된다. 그 下部層은 15~38 Ω -m를 갖는 低比抵抗帶가 나타나며 이 層이 帶水層일 것으로 추측된다. 이 帶水層은 처음에는 比較的 粘土가 많이 含有되어 있으나 深部로 갈수록 粘土의 量이 減少되는 樣狀을 보이다가 70m以後에는 硬岩으로 推定되는 岩石이 分布되어 있을 것으로 思料된다.

2) 花崗岩 地帶

本岩이 分布되어 있는 地域에서 實施된 探查測點은 No.6, No.11, No.12이다. 本域에서의 曲線은 3-5個 層으로 構成되어 있으며 表層은 一般적으로 높은 比抵抗値를 보이고 있다. 이는 乾燥한 모래 層이며 角礫을 包含하고 있을 것으로 解析된다. 表層아래는 30~80 Ω -m의 比抵抗을 갖는 層이 分布하며 이는 약간의 濕氣를 含有하고 있으며 粘土質이 表層보다 더 많은 量이 含有되어 있을 것으로 思料된다. No.11에서는 帶水層의 發達은 不良하며 40m以後 岩盤이 分布되어 있을 것으로 生覺된다.

a) No. 6-2

本 地點은 砂礫(78~95 Ω -m)과 砂質粘土(23~32 Ω -m)의 互層으로 構成되어 있고 主帶水層은 38~56m에 分布하는 23 Ω -m의 比抵抗을 나타내는 粘土를 含有한 모래層일 것으로 生覺된다.

深部 56m以下에서 나타나는 450 Ω -m의 比抵抗을 갖는 層은 花崗岩으로 構成되어 있을 것으로 추측된다.

b) No. 12-2

本 地點에서의 表層은 比抵抗은 330 Ω -m이며 이는 乾燥한 砂礫層이고 表層下部의 比抵抗은 37 Ω -m를 나타내는바 이 層은 冲積層 및 風化帶로서 主帶水層으로서의 役割을 할 것으로 期待되나 花崗岩의 構成粒子인 長石成分이 風化變質作用을 받아 粘土化되어 이의 含量이 많은 것으로 思料된다. 地下深部 23m 附近에서 1480 Ω -m의 比抵抗을 갖는 層이 分布되어 있으며 이는 新鮮하고 比較的 단단한 花崗岩일 것으로 推定된다.

3) 安山岩 地帶

本岩은 本 調査地域에 가장 넓게 分布되어 있으며 主로 調査地域 東部를 佔領하고 測點 8, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18이 여기에 該當된다.

이 地域에서의 曲線은 3~6個의 地層으로 構成되어 있다. 表層은 40~80 Ω -m의 層과 200 Ω -m 이상의 高

比抵抗을 갖는 層으로 大別되며 前者는 後者에 比較 比較的 濕氣가 있는 粘土質을 含有한 層으로 構成되어 있을 것으로 생각된다.

이 地域에서의 地下 深部に 分布되어 있는 岩石은 大部分이 1000~3,000Ω-m의 比抵抗을 보여주고 있다.

a) No. 8-2

本地點은 砂質粘土로 構成되어 있는 層과 粘土質 砂礫層의 互層으로 構成되어 있을 것으로 생각되고 主帶水層은 地下 19m以後에 分布되어 있을 것으로 推定되며 아울러 粘土의 含有量이 많을 것으로 思料된다. 深度 51m以後에는 風化를 많이 받은 安山岩으로 構

成되어 있을것으로 判斷된다.

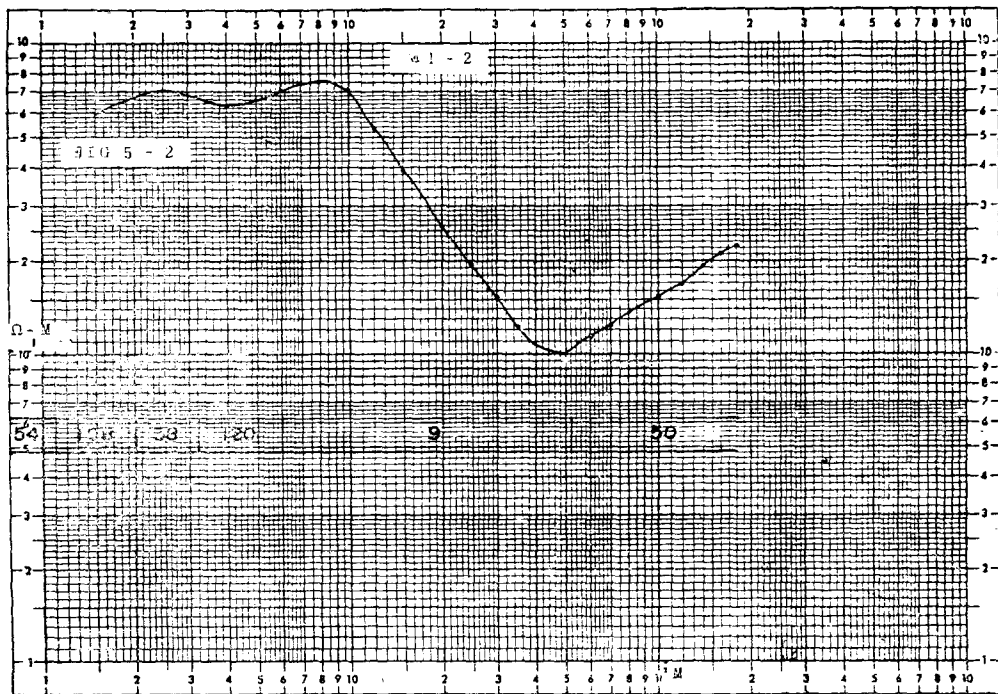
b) No. 15-1

本地點에서의 地下構造는 4個層으로 構成되어 있다. 表層은 440 Ω-m의 比較的 높은 比抵抗을 나타내며 이는 安山岩의 風化殘有物인 角質礫 때문인 것으로 생각된다. 表層아래는 28 Ω-m의 比抵抗을 보여주는 層이 分布되어 있으며 이 層이 本域에서의 主帶水層일 것으로 推定되나 安山岩의 造岩鑛物이 風化變質되어 많은 量이 粘土化되어 있어 貯水量을 減少시킬 것으로 思料된다.

地下深部 25m 附近에서 薄層의 風化帶를 가진 安山

表 6. 地下水開發 地點

	測 點 番 號	位 置	鑿 井 度 深	推 定 可 採 水 量
1	No. 2-1	3+250~550	100 m	150 m ³ /
2	No. 1-2	12(K-5)	100	200
3	No. 3-2	18+200	200	120
4	No. 5-1	35+500	120	100
5	No. 6-2	45+250	110	40
6	No. 8-2	72	120	50
7	No. 12-2	105+210~690	100	30
8	No. 18	138+800	80	30
9	No. 14	145~146×400	90	30
10	No. 15-1	149+750~150+300	80	20



암이 分布되어 있을 것으로 추측된다.

c) No.18

本 地 點 에 는 三 換 側 에 依 해 서 만 들 어 지 ン 深 度 20m 程 度 의 우 물 이 있 다. 이 附 近 의 地 層 構 造 를 좀 더 正 確 히 把 握 하 여 帶 水 層 의 分 布 狀 態 를 究 明 코 자 調 査 가 實 施 되 었 다.

表 層 은 320Ω-m 의 比 抵 抗 을 갖 는 자 갈 로 構 成 되 어 있 고 그 下 部 層 은 17Ω-m 의 低 比 抵 抗 을 보 여 주 며 粘 土 를 含 有 하 고 있 는 帶 水 層 으 로 地 下 25m 程 度 까 지 分 布 되 어 있 을 것 으 로 思 料 된 다. 第 三 層 은 76Ω-m 의 比 抵 抗 을 나 타 내 며 風 化 岩 으 로 推 定 되 고 安 山 岩 으 로 判 斷 되 는 基 盤 岩 은 地 下 32m 이 後 에 分 布 되 어 있 을 것 으 로 解 析 된 다.

一 般 의 으 로 今 般 調 査 地 域 에 서 의 帶 水 層 의 發 達 은 AL-ULA 쪽 을 除 外 하 고 는 매 우 不 良 한 便 이 며 帶 水 層 은 鹽 分 을 包 含 하 고 있 고 粘 土 質 을 많 이 含 有 하 고 있 어 透 水 性 이 不 良 하 고 貯 水 量 을 減 少 시 키 는 原 因 이 되 고 있 다. 諸 資 料 를 綜 合 하 여 檢 討 分 析 한 結 果 地 下 水 開 發 適 合 地 點 을 表 6 로 作 成 하 면 다 음 과 같 다.

7. 井戶設計(Well Design)

井戶設計의 目的은 井戶를 設置할 때 使用할 材料를 選定, 井戶構造에 對한 適當한 最 適 制 限 을 選 定 하 는 데 있 다. 即 井戶設計은 最 良 하 게 實 施 함 으 로 서 井戶의 壽 命 을 最 長 期 間 延 長 할 수 있 고 또 한 最 良 으 로 井戶를 設置할 수 있는 것이다.

井戶徑은 汲 프 를 充 分 히 設 置 할 수 있는 크기와 이 를 効 率 으 로 作 動 시 켜 줄 수 있는 程 度 의 空 間 과 井戶 內 로 地 下 水 가 流 入 되 는 部 分 의 面 積 이 良 好 한 地 下 水 理 學 的 인 効 果 를 갖 도 록 設 計 되 어 야 한 다. 井戶의 推 定 深 度 는 試 驗 孔 을 試 掘 하 여 얻 은 地 下 地 質 資 料 나 井戶 設 置 豫 定 地 點 周 圍 의 同 一 帶 水 層 에 既 設 置 된 既 存 井戶의 資 料 를 利 用 하 는 境 遇 가 많 으 나 最 小 한 帶 水 層 에 서 透 水 部 分 을 可 能 한 最 大 량 이 利 用 하 여 地 下 水 流 入 部 分 을 增 加 시 키 고 水 位 降 下 를 많 이 시 켜 주 록 보 다 많 은 量 의 地 下 水 를 採 水 할 수 있 도 록 하 여 야 한 다. 最 適 스트레너(Strainer)의 長 이 는 帶 水 層 의 層 序, 두 께 및 可 能 水 位 降 下 사 이 의 關 係 에 따 라 決 定 지 어 진 다. 스트레너의 開 孔 크 기 는 帶 水 層 構 成 物 質 의 粒 徑 에 따 라 서 決 定 되 고 스트레너의 長 이 는 帶 水 層 의 두 께 에 따 라 決 定 된 다. 모 든 制 限 이 算 出 된 後 에 는 井戶 形 成 을 하 여 야 한 다. 井戶 形 成 은 自 然 井戶 形 成 과 人 工 井戶 形 成 으 로 區 分 된 다. 自 然 井戶 形 成 은 스트레너 周 圍 에 分 布 된 帶 水 層 構 成 物 質 中 細 粒 質 物 質 을 井戶 脇 으 로 추

출 해 서 스트레너 周 圍 에 粗 粒 質 物 質 만 이 모 이 게 하 여 自 然 帶 水 層 보 다 透 水 性 이 良 好 한 透 水 性 帶 를 形 成 시 키 는 方 法 이 며 人 工 井戶 形 成 은 井戶의 開 孔 크 기 보 다 크 게 鑿 井 을 實 施 하 여 스트레너를 鑿 井 孔 에 삽 입 한 후 開 孔 크 기 와 鑿 井 徑 사 이 의 空 間 에 미 리 規 格 을 設 定 해 둔 粗 粒 質 礫 을 人 工 的 으 로 設 置 하 여 人 工 的 인 透 水 帶 를 附 設 하 여 井戶를 形 成 시 키 는 方 法 으 로 兩 者 모 두 井戶의 効 率 半 徑 을 增 加 시 키 는 데 그 目 的 이 있 다. 自 然 井戶 形 成 시 는 스트레너 周 圍 에 分 布 된 細 粒 物 質 의 60% 입 徑 크 기 틀 으 로 地 下 水 가 유 입 될 수 있 도 록 스트레너의 開 孔 規 格 이 이 와 最 小 한 同 一 한 것 을 使 用 하 여 한 다. 人 工 井戶 形 成 시 는 帶 水 性 構 成 物 質 은 모 두 自 然 狀 態 로 帶 水 層 內 에 유 지 시 켜 두 고 스트레너 周 圍 에 透 水 帶 를 形 成 시 키 는 方 法 으 로 서 一 般 의 으 로 人 工 形 成 은 自 然 井戶 形 成 보 다 經 費 가 많 이 들 지 만 매 우 効 率 인 方 法 이 다. 自 然 井戶 形 成 은 帶 水 層 自 體 가 스트레너 에 대 해 側 面 支 持 를 해 주 지 않 으 므 로 井戶 形 成 을 할 때 帶 水 層 內 에 包 含 된 느 슨 한 狀 態 의 모 래 들 이 붕 괴 되 어 스트레너를 破 損 할 우 려 가 많 지 만 充 填 礫 을 設 置 하 는 境 遇 에 는 이 를 防 止 할 수 있 다.

粒 度 가 서 로 다 른 여 러 堆 積 層 이 重 複 되 어 發 達 되 어 있 는 沖 積 堆 積 物 에 있 어 서 는 各 層 마 다 의 位 置 를 正 確 하 게 把 握 하 기 가 困 難 할 뿐 만 아 니 라 매 층 마 다 그 층 에 맞 는 스트레너를 設 置 한 다 는 것 自 體 도 실 제 매 우 困 難 하 기 때 문 에 이 境 遇 에 는 大 部 分 의 境 遇 充 填 礫 을 設 置 하 여 人 工 井戶 形 成 을 시 킨 다. 充 填 礫 으 로 서 使 用 할 材 料 의 性 質 은 一 般 的 으 로 깨 끗 하 고 원 형 이 어 야 하 며 頁 岩 (Shale) 과 같 이 強 度 가 弱 한 物 質 로 構 成 된 것 을 피 하 고 주 로 珪 質 礫 으 로 이 루 어 지 는 것 을 使 用 하 여 한 다

부 득 이 한 境 遇 에 5% 까 지 는 石 灰 質 礫 을 使 用 하 도 무 방 하 나 井戶를 改 善 하 기 위 해 酸 處 理 를 實 施 하 는 境 遇 에 多 量 의 石 灰 質 을 包 含 한 礫 을 많 이 使 用 했 을 때 는 상 당 량 의 充 填 礫 이 鎔 解 된 으 로 井戶 崩 壞, 砂 吐 出 및 破 損 의 우 려 가 있 다.

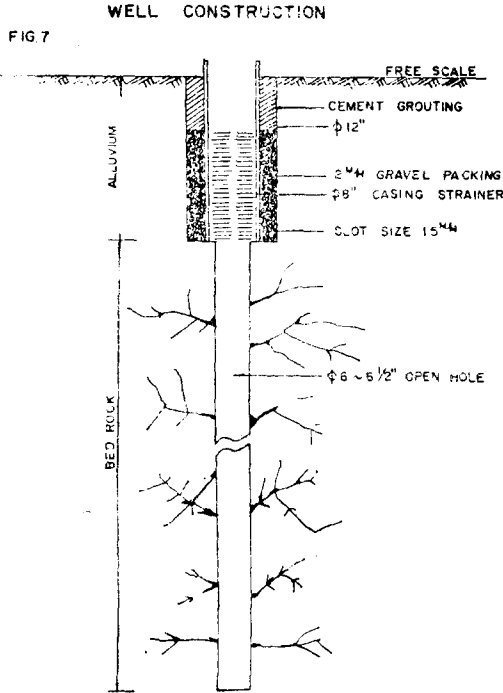
上 記 記 述 한 基 準 設 計 에 따 라 本 地 域 에 서 의 細 部 井戶 設 計 는 다 음 과 같 다.

沖 積 層 및 非 固 結 岩 部 는 表 土 에 서 岩 盤 까 지 徑 $\phi 12''$ 로 掘 鑿 하 여 徑 $\phi 8''$ 의 스트레너와 開 孔 을 設 置 하 고 그 下 部 岩 盤 區 間 은 裸 孔 狀 態 로 徑 $\phi 6'' \sim 6 \frac{1}{2}''$ 로 規 定 深 度 까 지 掘 鑿 하 는 것 으 로 한 다.

但 非 固 結 岩 部 에 서 開 孔 크 기 와 스트레너의 長 이 는 포 화 대 의 두 께 에 따 라 다 르 나 一 般 的 으 로 포 화 대 두 께 의 70% 程 度 는 스트레너를 設 置 하 고 區 그 外 間 은 無 孔 管 (Blind Casing) 을 設 置 하 는 것 으 로 한 다. 非 固 結 岩 部 의 徑 $\phi 2''$ 區 間 과 徑 $\phi 8''$ 의 開 孔 사 이 로 粒 徑 2m/m

以下の充填礫을 設置하고 스트러나의 스투트(開孔), 規格은 1.5m/m를 使用한다.

岩盤區間은 特異한 地質構造帶(붕괴의 위험성이 있는 지역)를 除外하고는 裸孔狀態로 設置해도 無關한 것으로 보았다.



8. 結 言(Conclusions & Recommendations)

1. 本調査地域에 分布되어 있는 岩石은 先캄브리아 紀에 屬하는 Greenstone, 花崗岩, 安山岩, 閃綠岩, 流紋岩 및 古生代 캄브리아 紀의 砂岩과 이들을 不整合으로 被覆하고 있는 新生代 第三紀의 玄武岩 및 安山岩과 第四紀의 沖積層이 被覆되어 發達되어 있다. (圖面 3 參照)

2. 本 地域의 地形은 164km에 걸쳐 高度差가 400餘 m以上에 達하는 起伏이 甚한 地域으로서 幼年期 乃至 壯年期初의 地形이다.

3. 164km 全區間에 걸쳐 實施한 自然放射能 探査結果 16個 地域에서 異常帶(Anomaly)가 發見되었으며 地表面 및 地下構造帶에서 放出되는 自然放射能 強度는 各 地域에서의 平均強度를 1N이라고 불때 최소 1.2N에서 최대 1.6N을 보여주며 異常帶의 幅은 10m에서 50m에 이른다. (圖面 4 參照)

4. 自然放射能 異常帶 16개 地域을 包含하여 總30個 測點에서 400~600m의 測線을 設定하여 電氣比抵抗探査를 實施한 結果 總10個 地點을 地下水開發 可能 地

點으로 選定하였다. (表 6 參照)

5. 本 調査地域에서의 帶水層의 發達狀態는 一般의 으로 調査地域東側보다는 西側에 位置해 있는 ALULA 附近이 그리고 火成岩보다는 堆積岩의 分布地帶가 더 良好하다.

6. 帶水層으로 思料되는 層은 10~50 Ω-m의 比抵抗을 나타내고 있으며 이 比抵抗値는 帶水層에 粘土 및 鹽分이 含有되어 있을 것임을 暗示하고 粘土는 帶水層에서의 揚水量을 減少시키는 結果를 招來할 것이다.

7. 帶水層에 包含되어 있는 少量의 鹽分變化는 比抵抗探査로서는 定量的으로 分析이 不可能하였다.

8. 選定된 地點에서의 鑿井深度는 80m에서 200m 程度이고 地下水 開發量이 地域에 따라 많은 差異가 있으며 최소 1日 20m³程度될 것으로 思料된다.

9. 그러나 前述한 地點에서의 地下水開發에 앞서 보다 正確하고 經濟的인 井戶設置를 위해 孔徑φ4"의 試驗孔(Test Boring)을 設置하여 透水係數 및 帶水層의 水理地質性格 등 現場條件을 把握해야 함이 先行되어야 한다.

10. 그리고 開發量은 井戶의 設計와 鑿井工法에 따라 甚한 差異를 보여줌으로 最新鑿井工法을 利用하여 最多의 地下水量을 確保해야 할 것이다.

9. 參考文獻(References)

1. U.S. Geological survey: Geologic Map of the Northeastern and Northwestern HIJAZ Quadrangle, kindom of Saudi Arabia.
2. A. Bentz: Lehrbuch der Angewandten Geologie
3. PARASNIS: Mining Geophysics.
4. U.S. Department of the Interior: Interpretation of Resistivity Data.
5. Universal oil Products Co.: Ground water and Wells
6. H.E. Legrand: Ground water of the Piedmont and Blue Ridge Provinces in the Southe astern States.
7. Tsuneo IMAI: An introduction to the geophysical prospecting
8. DARAL-HANDASAH: AL ULA-KHAYBAR ROAD
9. JOONG ANG DEVELOPMENT CO: Report on Groundwater Prospecting of FAIR CHILD Co. in Seoul, Korea
10. R.B. EVANS: The application of Geophysics to water resources survey in the Trucial States of Eastern Arabia.