

제주도 서귀포층의 지하분포상태

Characteristics of Subsurface Distributions
of the Seoguipo Formation in Cheju Island

고 기 원* · 윤 선**

*제주도청 수자원개발사업소 · **부산대학교 지질학과

Abstract

The Seoguipo Formation occurs only in a small exposure along the coast of the Seoguipo City, but in the subsurface, underlies the western part of the Bugcheon-Pyoseon Line in the northeastern part of the island. The Bugcheon-Pyoseon Line is presumed to be a facies boundary that reflects the distribution of hyaloclastites resulted from submarine volcanic activity. The Seoguipo Formation is distributed in the subsurface along the part which is lower than 400m in average altitude, and occurs at El. -5.76~-46.63m in the southern area, El. -41.89~-57.97m in the western area, El. -13.15~-50.59m in the northern area. Therefore, the southern area was uplifted after the deposition of the Seoguipo Formation.

In the subsurface, the vertical depth of the volcanic rocks of the Cheju Volcanic Edifice is El. -40.6m in the southern area, El. -111.3m in the western area, El. -81.5m in the northern area and El. -134.7m in the eastern area. The unconsolidated U Formation, which is, overlying the basement and about 70~250m thickness underlies the whole island.

There is a positive correlation between the groundwater level and the depth of the subsurface distribution of the Seoguipo Formation. Consequently, it is conformed that the subsurface distribution of the Seoguipo Formation plays important role for controlling the characteristics of the reservoir of the groundwater in Cheju Island.

1. 서 론

일반적으로 대수층 중에 포함된 지하수의 실체를 총칭하여 지하수체(groundwater body)라 부르며 지질구조와 지하수체와의 관계를 조합시킨 것을 수문지질구조(hydrogeological structure)라 말한다. 지하수의 부존형태는 지하수를 포함하고 있는 지층의 형상(形狀)이나 성상(性狀)에 의해 결정지워지며, 지층의 투수도는 그 지층을 구성하는 입자간의 간극의 다소(함수성)와 간극의 크기(투수성)에 의해 결정되어진다. 지층은 투수도에 따라 투수층(permeable layer)과 불투수층(impermeable layer)으로 구분할 수 있으며, 불투수층 중에서도 점토의 경우처럼 간극율은 크지만 투수성이 나쁜 것을 난투수층(aquiclude)이라 부르고, 간극율이 작고 투수성도 불량한 지층을 비투수층(aquifuge)으로 구분한다.

제주도에 있어서 퇴적층은 해안 저지대를 따라 분산되어 분포하고 있는데 1971년 농업진흥공사(현 농어촌진흥공사) 발간 축척 1/10만의 제주도 지질도에는 하위로부터 상위의 순서로 서귀포층, 성산층 및 신양리층의 3매의 퇴적층이 분출시기를 달리하는 화산암류 사이에 협재하는 것으로 기재되어 있다. 이 3매의 퇴적층 중 서귀포층은 제주도의 화산층서에 있어서 출발 층준이 되는 가장 중요한 지층으로 간주되어 왔다. 또한, 수문지질학적 측면에서 서귀포층은 난투수(aquiclude) 내지는 저투수성(aquifuge) 지층에 해당하므로 이 층의 분포심도와 공간적인 분포상태는 제주도 지하수의 산출특성에 영향을 미치는 중요한 수문지질학적 인자가 될 것으로 예상된다. 서귀포층 노두의 고생물상을 비롯하여 층서 및 지질시대 등에 관한 연구는 여러 연구자들에 의해 수행되어 많은 정보들이 제공되었으나 이 층의 지하분포상태 및 지하수 산출특성과의 관련성에 관한 연구는 거의 이루어지지 않은 실정이다.

본 연구는 1989년부터 1996년까지 제주도의 여러 곳에서 진행된 지하수개발 및 심부 시추공에 대한 연구결과를 근거로 서귀포층의 지하분포 상태를 파악함과 아울러 제주도 지하수의 부존특성과 서귀포층과의 관련성을 밝히는데 목적이 있다.

2. 서귀포층의 기재

2-1. 서귀포층 표식지

서귀포층은 서귀포시 천지연폭포 서쪽 해안가에 최대 층후 약 30m, 연장 약 1 km 규모로 지상에 유일하게 노출되어 있는 지층으로서 原口九萬(1928)이 “서귀포층(Seikiho Formation)”이라 명명한 이래 서귀포층이라 부르고 있다. 본 층은 4매의 패류화석층을 포함하여 응회질 성분이 우세한 역질사암, 사암, 사질이암 및 이암 등으로 구성되어 있으며, 렌즈상 역암층을 협재하는 육성 화산각력층·화산회층에 의하여 부정합으로 피복된다. 原口九萬(1931)을 비롯하여 농어촌진흥공사(1971), 원종관(1975), 이문원(1982) 등은 제주도의 화산층서에 있어 본 층을 최하위의 퇴적층으로 간주하였다. 그러나 윤상규외 2인(1987), 이동영·김주용(1992), 원종관외 3인(1993) 등은 서귀포층을 0.73~0.41 Ma 사이의 플라이스토세 중기에 해수면이 상승하는 과정에서 형성된 지층으로 규정함과 아울러 지하의 상이한 심도에 분포하고 있는 함패류화석 지층은 서귀포층이 아니라 “세화리층”으로 규정한 바 있다.

서귀포층 노두는 구성암석과 지층 상·하부와의 관계 및 화석의 유무 등에 따라 크게 3개의 단위(unit)로 구분되며, 하위에서 상위의 순서로 각 단위들의 특징을 설명하면 다음과 같다(Fig. 1).

2-1-1. 단위 I

단위 I은 지표에 노출된 노두의 최하부에서 상부 약 7m까지에 이르는 구간으로서 이암과 1매의 역질사암(패류화석층) 및 응회질사암으로 이루어져 있다. 최하부를 이루고 있는 이암층은 간조시에만 관찰되므로 하부로의 연속성은 알 수 없다. 이암층 상부에는 두께가 약 1.5m 가량의 역질사암층이 분포하는데 본 층내에는 가리비화석 등 패류화석이 함유되어 있으며, 직경이 1cm 이하에서 2~3cm 되는 현무암 및 조면암류의 역들과 직경 약 1m의 거력도 포함되어 있다. 역질사암층 상부에는 평행층리를 이루는 두께 약 5.5m의 응회질사암층이 존재하는데 본 층의 상부면에는 수평 및 수직방향성을 갖는 두

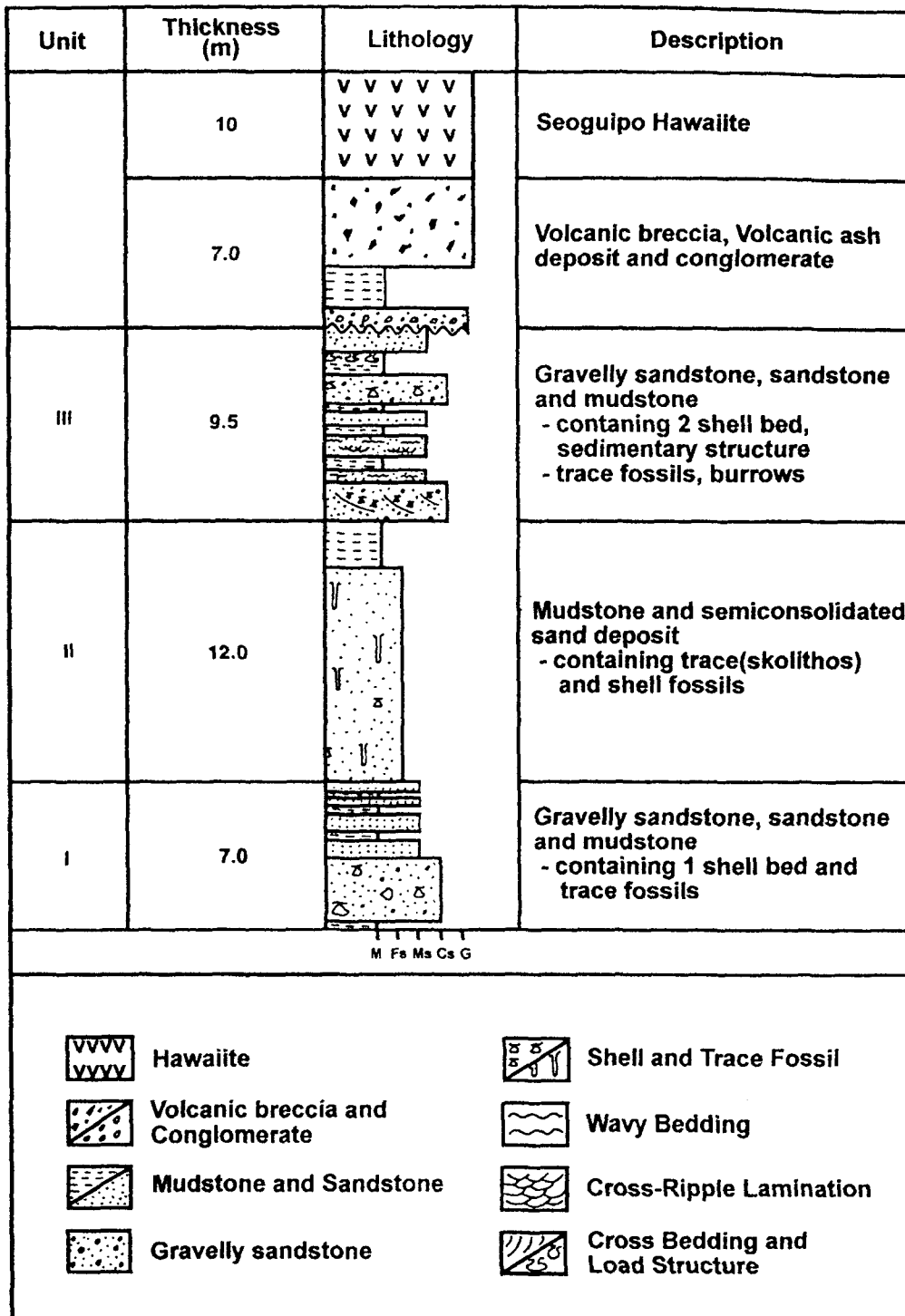


Fig. 1. The geologic columnar section of the Seoguipo Formation outcrop

종류의 생흔화석이 존재하고 있다. 허원혁(1993)은 이들 생흔화석 중 수직의 방향성을 갖는 것을 *Skolithos*, 수평의 것을 *Thalassinoides*로 기재하였다.

2-1-2. 단위Ⅱ

단위Ⅱ는 준고결의 세립질 사암층과 이암층으로 구성되어 있으며 두께는 약 12m 정도이다. 전반적으로 분급이 아주 양호하며 주로 석영과 장식광물로 이루어져 있다. 층내에는 생흔화석인 *Ophiomorpha*와 작은 패류화석들이 산재해 있으며, 하부로부터 약 4m 되는 지점에는 10cm 정도 두께의 사암과 15cm 두께의 패류화석대가 협재되어 있다. 본 단위의 상부 2m 구간은 준고결 이암층으로 이루어져 있는데 단위Ⅲ과 접하는 경계부는 생물들에 의해 심하게 교란되어 있다.

2-1-3. 단위Ⅲ

단위Ⅲ은 패류화석을 다량 포함한 역질사암, 다양한 퇴적구조가 발달한 중·조립 사암, 패류화석을 포함한 사질이암 등으로 이루어져 있으며 두께는 약 9.5m 정도이다.

본 단위의 최하부를 이루는 역질사암층은 패류화석들과 역들이 사층리면을 따라 집중적으로 분포하고 있는데, 패류화석들은 대체적으로 위로 볼록한 상태로 배열되어 있다. 역질사암층 상부의 중·조립질 사암층은 응회질 성분이 주를 이루며 두께는 약 3m 정도이다. 이 층내에는 평행엽리, 분급층리, 파형층리(wavy bedding), 맥상층리(flaser bedding), 사층리(cross bedding), 사연흔 엽리(cross ripple lamination) 등의 퇴적구조가 발달해 있을 뿐만 아니라, 층의 중간부분에는 주거 또는 휴식생흔으로 보이는 생흔화석(*Bergaueria*)이 존재하고 상부 경계면에는 *Thalassinoides* 생흔화석도 존재하고 있다(허원혁, 1993).

중·조립질 사암층 상부에는 두께가 약 1.5m 되는 역질사암층이 존재하는데 이 층은 본 단위내에서 두번째의 패류화석층으로서 주로 가리비화석들이 층의 중간부를 따라 집중적으로 분포하고 있다. 이 층 상부에는 여러가지 퇴적구조들이 발달한 두께 1m 정도의 사암·이암 호층이 존재하고 있다. 본 단위의 최상부는 두께가 약 1.5m 되는 사질이암층이며 층의 상부에 수직 및 수평방향성을 갖는 *Thalassinoides* 생흔화석도 존재하고

있다(허원혁, 1993).

2-2. 시추코아 서귀포층

1989년부터 1996년까지 총 132개소의 지하수 및 온천탐사 심부시추공의 시추코아에 대한 지질검층 결과, 서귀포층의 존재가 확인된 공은 모두 62개공이었는데 지역별로는 남부지역 28공, 서부지역 16공, 북부지역 18공이다(Fig. 2). 이 글에서는 지면 관계상 서귀포층이 확인된 62개공 중 지역을 대표할 수 있는 10공에 대하여 서술하고자 한다.

1-2-1. 남부지역

안덕에서 남원에 이르는 남부지역에서는 5개소의 온천탐사 심부시추공을 포함하여 모두 28개공에서 서귀포층의 존재가 확인되었으며 이 중 단산(F-65), 서홍(D-215), 용홍(D-240), 천지연온천 심부시추 1호공 등 4개 시추코아에 대하여 구성지질과 서귀포층의 구성암석 등에 대하여 서술하였다.

① 단산(F-65)

본 시추공은 안덕면 덕수리의 산방산과 단산 사이의 해발 34m 지점에 위치하고 있다. 시추심도는 지표하 86m로서 해수면하 54m까지 측정되었으며, 서귀포층의 포착심도는 해수면 하 19m 부터이다.

이 시추공의 구성지질은 크게 상부로부터 하위로 침상장석감람석현무암(Acicular Feldspar Olivine Basalt; 이하 AFOB라 함)과 장석현무암(Feldspar Basalt; 이하 FB라 함) 및 서귀포층으로 이루어져 있다. AFOB는 지표하 2~22.7m의 구간과 25~48m 구간에 걸쳐 2회의 분출단위로 이루어져 있으며, 그 사이에는 2.3m 두께의 자갈을 포함한 고토양층이 협재되어 있다. AFOB의 첫번째 분출단위는 5매의 용암류 단위로 구성되어 있는데 용암류 단위의 평균 두께는 4.1m(1.0~8.2m)이며 다공질의 조직을 갖고 있다. 두번째 분출단위는 4매의 용암류 단위로 이루어져 있고 평균 두께는 5.5m로서 첫번째 분출단위보다는 다소 두터운 편이나 45.5~48.7m 구간에는 클링커층이 발달해 있다.

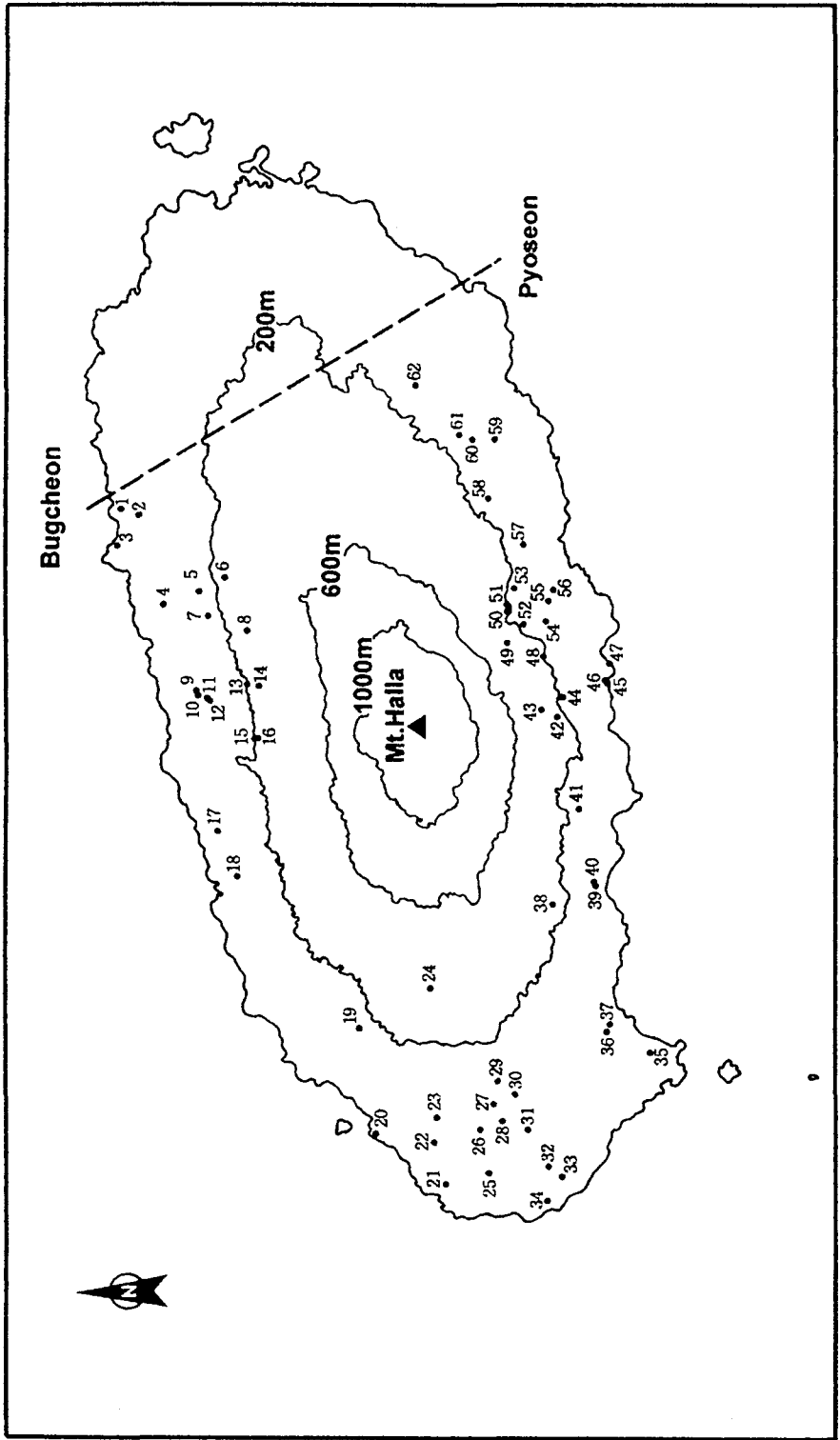


Fig. 2. Drilling sites of the Seoguiipo Formation under surface.

AFOB 직하부에는 절리 및 균열이 발달해 있는 FB가 4.3m 두께로 분포하고 있다.

지표하 53m부터 시추종결 심도인 86m까지는 서귀포층이 분포하는데, 53~71m까지 18m 구간은 현무암질 각력과 화산회가 고결된 역질사암으로 이루어져 있고, 71~78.5m 까지 7.5m 구간은 나무가지 화석을 포함하는 사암으로 되어 있다. 78.5~85.0m 구간은 소혈(burrow)구조가 포함된 이암으로 이루어져 있으며, 85.0~86.0m까지는 다량의 패류 화석과 현무암질 역을 포함한 역질사암층으로 이루어져 있다.

현대근(1995)은 85.0~86.0m 구간의 역질사암층 시료에서 *Bicornucythere bisanensis*(11.8%), *Sincoytheridea impressa*(7.4%), *Robustaurila ishizakii*(5.1%) 등 총 136개체 23속 33종의 개형충화석을 동정하였으며, 윤선외 4인(1996)도 동일 층준의 시료에서 *Pararotalia nipponica*(Asano), *Ammonia beccarii*(Linne') 등의 유공충화석을 기재 하였다.

② 용흥(D-240)

이 시추공은 서귀포층 노두로부터 서쪽으로 약 6.3km 떨어진 서귀포시 용흥동 소재 강정수원 가압펌프장 부지내의 해발 125m 지점에 위치하며 지표하 170m(해수면 하 45m)까지 시추가 이루어졌다. 본 공의 지질은 FB, 조면질현무암(Trachybasalt; 이하 TB라 함), 고토양층 및 서귀포층으로 이루어져 있는데, 전체 굴착심도 중 서귀포층이 63m(37%)를 차지하고 있어 지하에 분포하는 서귀포층의 관찰이 매우 용이하였다.

FB는 지표하 22.0m까지 5매의 용암류 단위로 이루어져 있으며 평균 두께는 4.28m 이고, 장석반정을 많이 함유하고 있으며, 22.0~29.0m까지 7m 구간에는 갈색을 띠는 고토양층이 두껍게 나타난다. TB는 29.0~52.0m 구간과 55.0~107.0m 구간에 걸쳐 2회의 분출단위로 이루어져 있으며 분출단위 사이 즉, 52.0~55.0m에는 고토양층이 존재하고 있다. 첫번째 분출단위는 3매의 용암류 단위로 구성되며 평균두께는 7.7m이고 치밀할 뿐만 아니라 수직의 절리가 발달되어 있다. 특히 40.0~48.0m에 이르는 8m 구간은 다공질의 클링커층이 발달해 있다. 두번째 분출단위는 5매의 용암류단위로 이루어져 있으며 평균 두께는 19.6m로서 전술한 FB 및 첫번째 분출단위의 용암류 단위보다 훨씬 두꺼운 편이다. 암질은 첫번째 분출단위와 유사한 편이지만 클링커층이 2매가 발달하고 있어 지

하수의 유동 통로가 되고 있는 것으로 보인다.

박준범(1994)이 이 시추코아의 화산암시료 9개에 대하여 암석화학적 연구를 실시한 결과, 지표하 48.0~52m의 화산암은 벤모라이트(benmoreite)이고 그 외의 화산암은 하와이아이트(hawaiite)에 해당하는 것으로 분석되었다.

지표하 107.0m에서부터 시작되는 서귀포층은 역질사암, 사암, 이질사암, 미고결 패사층 및 사력층 등으로 이루어져 있으며, 패류화석을 비롯한 생흔화석이 다량 포함되어 있을 뿐만 아니라, 사층리 등의 퇴적구조도 잘 발달되어 있어 서귀포층 노두의 특징과 일치하고 있다.

③ 서흥 '89(D-215)

이 시추공은 서귀포층 노두로부터 북쪽으로 약 3.5 km 떨어진 해발 180m 지점에서 196m(해수면 하 16m)가 착정되었다. 구성지질을 보면, FB와 TB 및 서귀포층으로 이루어져 있어 전술한 용흥시추공과 대비가 가능하다. 본 시추코아의 서귀포층은 역질사암과 이암으로 주로 구성되며 사암이 협재되어 있다. 그리고 두 층준에서 뚜렷한 사질 패각층이 관찰된다.

윤선의 4인(1996)의 연구 결과에 의하면, 유공층은 패각층 및 그 주위 층준에서만 산출되고 있다. 상위의 패각층내에서는 *Qinqueloculina* spp., *Elphidium crispum*(Linne'), *Poroeponides cribroropandus* Asano & Uchio 등이 산출되었는데 이 중 *Qinqueloculina* spp., *P. cribroropandus*는 난류 영향하의 표층수종이며, *E. crispum*은 내만의 만입구 혹은 대륙붕 내에서 서식하는 천해성 종이다. 하위의 패각층에서 산출되는 유공층은 주로 *Cibicides lobatulus*, *Hanzawaia nipponica* Asano, *Pseudononion japonicum* Asano, *Porosorotalia makiyamae*(Chiji) 등으로 구성되며, 이 중 *Pseudononion japonicum*과 *Porosorotalia makiyamae*는 한류계 표층수역에 특징적으로 분포하고 *C. lobatulus*는 태평양의 쿠로시오-오야시오(黑潮-親潮) 혼합표층수 군집의 주요 구성종이다. 윤선의 4인(1996)은 두 층준의 패각층 내에 산출되는 저서성 유공층 화석군집의 차이는 수심의 변화에 기인한 것보다는 해수온의 변화에 의한 것으로 해석하였다.

④ 천지연 심부 시추공-I

본 심부 시추공은 서귀포시 천지연폭포 남서쪽 남성리의 표고 44m에 위치하고 있다. 시추지점이 서귀포층 노두로부터 약 300m 북쪽에 위치하고 있기 때문에 서귀포층 노두와 직접 대비시켜 해석할 수 있는 좋은 지점이다. 시추결과, 지표하 11.0m까지는 토양층이 분포하고 11.0~51.0m까지는 서귀포층이 존재하며, 51.0m~450.0m까지는 U층이 분포하고 있다. 특히 주목할만한 사항은 서귀포층 하부의 U층 중간(지표하 1400~280.0m)에 140.0m 두께의 TB가 존재하고 있다는 점이다. 지표하 170~171m 구간의 암석에 대해 현미경 관찰을 실시한 결과, 전형적인 TB조직을 나타내었으며 감람석과 휘석이 주를 이루고 있다. 본 암은 산출상태로 보아 U층에 관입한 것으로 추정된다.

시추코아로 회수된 서귀포층은 사암, 역질사암, 이암으로 이루어져 있으며, 패류화석 및 생흔화석을 다량 포함하고 있어 서귀포층 노두의 특징과 잘 일치하고 있다. 서귀포층은 해수면 위 33m에서부터 해수면 하 7m까지 40m의 두께로 분포하고 있어 지상의 노두는 서귀포층의 거의 대부분이 노출된 것임을 알 수 있다. 서귀포층 노두와 본 시추공의 자료를 대비시킬 때, 가장 큰 차이점은 노두의 unit II에 해당하는 미고결 세립질 사암층이 시추코아에는 존재하지 않고 있다는 점이다. 노두와 약 300m 거리 차이밖에 없음에도 불구하고 본 층이 확인되지 않고 있음은 미고결 세립질 사암층이 렌즈상으로 협재되어 있는 것으로 보인다.

1-2-2. 북부지역

북부지역내에서 서귀포층이 확인된 18개의 시추공 중 외도 '91, 아라 '93, 신촌(SC-3) 등 3개 시추코아에 대한 지질검층 결과를 서술하였다.

① 외도 '91

이 시추공은 제주시 외도동의 외도교에서 남쪽으로 약 1km 떨어진 표고 15m 지점에 위치하며 지표하 92m까지 시추가 이루어졌다. 이 시추공의 지질은 하상역층, AFOB, FB, TB, 서귀포층 등으로 이루어져 있다.

지표에서 7.5m까지의 구간은 원마도가 매우 좋은 크고 작은 역으로 이루어진 하상역

층이 존재하고, 그 하부 22.5m까지는 5매의 용암류 단위로 이루어진 15m 두께의 AFOB가 분포하고 있다. AFOB 하부에는 자갈층(22.5~27.5m)과 FB(27.5~30.5m)가 각각 5m, 3m의 두께로 분포하고 있으며, TB는 30.5~61.5m까지 6매의 용암류 단위로 이루어져 있다. TB하부에는 고토양층(61.5~66.0m)이 4.5m 두께로 존재하며, 서귀포층은 지표하 66.0m(해수면 하 51m)부터 시추종결 심도인 92m까지 이어지고 있다. 서귀포층의 구성 암석은 사암, 사질이암, 이암, 역암 등으로 이루어져 있으며, 사암과 이암층내에는 다량의 패류화석과 함께 생흔화석도 포함되어 있고, 사암층에는 파형층리 및 소규모의 슬럼프구조도 관찰된다.

· 박준범(1994)은 이 시추공에서 6개의 화산암 시료를 채취하여 암석화학적 분석을 실시한 결과, 본 연구에서 AFOB로 기재한 지표 하 7.5~22.5m의 암석은 알카리현무암(alkali basalt)으로 분석되었고, FB로 기재한 지표 하 27.5~30.5m의 암석은 뮤저라이트(mugearite), 그리고 TB로 기재한 30.5~61.5m의 암석은 하와이아이트(hawaiite)의 조성을 나타냈다.

② 아라 '93

이 시추공은 제주도 아라동 소재 목석원으로부터 남쪽으로 약 400m 떨어진 표고 236.5m 지점에 위치하며 지표 하 252.0m까지 시추가 이루어졌다. 서귀포층이 포착되는 235.0m까지는 휘석감람석현무암(Augite Olivine Basalt; 이하 AOB라 함), TB, FB의 화산암류와 고토양층, 사암층, 자갈층의 퇴적층으로 이루어져 있다.

AOB는 지표에서 40.5m까지의 구간과 213.0~219.0m에 걸쳐 2회의 분출단위로 이루어져 있으며, 첫번째 분출단위는 모두 4매의 용암류 단위로 구성되어 있고 4m 두께의 클링커층을 포함하고 있다. TB는 6회의 분출단위를 나타내는데, 암질이 비교적 치밀하나 수직절리가 발달되어 있어 파쇄된 부분이 비교적 많으며 크링커층도 포함하고 있다. FB는 2회의 분출단위로 나타나며 58.0~106.0m의 구간의 첫번째 분출단위는 총 두께가 48m로 두꺼운 편이고 6매의 용암류 단위로 이루어져 있다. 고토양층은 주로 TB 분출단위 사이에 4~10m의 두께로 5매가 협재되어 있다. 사암층은 219.0~227.0m의 구간에 8m의 두께로 존재하며 주로 응회질성분으로 되어 있고 층리가 발달하고 있다. 서귀포층

직상부 즉, 232.0~235.0m에는 원마도가 비교적 좋은 자갈층이 분포하고 있는데, 산성암의 자갈들도 포함되어 있으며, 해수면 위 1.5m부터는 사암, 역질사암, 이암으로 이루어진 서귀포층이 분포하고 있다. 특히, 시추 종결심도인 252.0m 부근의 이암층내에는 제주도의 기반을 이루고 있는 용결응회암 역도 포함되어 있다.

지표 하 219.0~227.0m의 사암층과 서귀포층의 시료에 대하여 유공층과 석회질 초미화석 분석을 실시한 결과, 유공층의 경우 서귀포층 상부의 사암층과 서귀포층에서 *C. lobatulus* - *H. nipponica* - *E. crispum* 군집이 산출되었으며(정규귀외 2인, 1993), 석회질 초미화석은 온대종인 large-size *Gephyrocapsa*, *Helicosphaera spp.* 등이 산출되었다(이성숙외 3인, 1995).

③ 신촌(SC-3)

이 시추공은 북제주군 조천읍 신촌리 속칭 진드르 남쪽의 해발 39.1m 지점에 위치하며 지표하 151m까지 시추가 이루어졌다. 이 시추공의 지질은 AFOB, AOB, TB의 용암류와 역암층 및 서귀포층 등의 퇴적층으로 이루어져 있다. AFOB는 지표 하 3.0m부터 48.0m까지의 45m의 두께로 분포하고 있는데, 3매의 용암류 단위로 구성되어 있으며, 용암류 단위의 평균 두께는 15m 이고, 3매의 클링커층이 협재되어 있다. AOB는 45.0~62.0m 구간에 나타나며 암질이 비교적 치밀한 편이고 1매의 클링커층이 발달하고 있다. FB는 62.0~98.0m 심도에 36m의 두께로 분포하며, TB는 100.0~123.0m의 구간에 23m의 두께로 분포하는데, 치밀하고 절리가 발달되어 있다. FB와 TB사이에 2m의 두께로 협재되어 있는 역암층은 응회질로 이루어져 있으며, 서귀포층 상부에는 3m두께의 고토양층이 존재하고 있다. 해수면 하 86.9m부터 시작되는 서귀포층은 주로 사암과 이암으로 이루어져 있으며, 패류화석과 생흔화석을 다량 포함하고 있다. 이 시추공에서 회수된 서귀포층을 원종관외 3인(1993)은 세화리층으로 기재한 바 있다.

1-2-3. 서부지역

서부지역에서는 온천탐사 심부시추공 1개공을 포함하여 총 16개의 시추공에서 서귀포층이 확인되었는데 본 연구에서는 고산(D-279), 낙천(D-255), 청수 '95(F-96) 등 3개

공의 시추코아에 대하여 기재하였다.

① 고산(D-279)

이 시추공은 북제주군 한경면 고산리 고산저수지 동쪽의 표고 39m 지점에 위치하며 지표 하 111.0m까지 시추가 이루어졌다. 이 시추공의 지질은 3회의 분출단위로 구분되는 AFOB와 사암 및 미고결 모래층, 고토양층, 서귀포층으로 이루어져 있다.

다공질의 AFOB는 지표하 0.2~88.0m의 구간과 94.0~96.0m, 102.0~105.0m 구간에 3회의 분출단위로 나뉘어져 분포하고 있는데, 첫번째 분출단위는 8매의 용암류 단위로 구성되어 있으며 용암류 단위의 평균두께는 11m 정도된다. 사암층은 지표 하 90.0~94.0m의 구간에 4m의 두께로 분포하고 있는데, 분급이 좋은 중·세립질 모래층으로 이루어져 있으며, 96.0~102.0m 사이에는 고결되지 않은 미고결 모래층이 존재하고 있다. 고토양층은 0.5m의 두께로 서귀포층을 피복하고 있으며, 괴상의 역질사암으로 이루어진 서귀포층은 해수면 하 66.5m부터 시작되고 있다.

이 시추코아의 서귀포층 시료에 대하여 석회질 초미화석 분석을 실시한 결과(윤선의 4인, 1996), 현무암 층준사이의 3매의 퇴적층 중 최하부 퇴적층의 8개 시료와 최상부 퇴적층의 1개 시료에서 미화석이 산출되었다.

② 낙천(D-255),

이 시추공은 북제주군 한경면 산양리의 해발 59m 지점에 위치하며 지표 하 185.0m까지 확정되었다. 이 시추공의 지질은 2회의 분출단위로 이루어진 AFOB와 고토양층 및 서귀포층으로 이루어져 단순한 편이다.

AFOB는 지표 하 3.0~14.0m의 구간에 첫번째 분출단위가 나타나며, 두번째 분출단위는 19.0~108.0m까지 89m의 두께로 분포하고 있는데, 14매의 용암류단위로 이루어져 있으며, 용암류 단위의 평균 두께는 6.3m이다. 고토양층은 AFOB 분출단위 사이에 5m로 비교적 두껍게 분포하고 있고, 서귀포층은 지표 하 108.0m(해수면 하 49m)부터 시작되고 있다. 서귀포층은 역질사암, 이암, 미고결 자갈층으로 이루어져 있으며, 역질사암층 내에는 패류화석과 함께 생흔화석 및 소혈도 포함되어 있다. 이 시추코아의 역질사암층

시료에 대하여 개형층 화석 연구를 실시한 현대근(1995)에 의하면, 개형층 군집은 주로 *Schizocythere kishinouyei*, *Aurila cymba*, *Loxoconcha optima*, *Aurila corniculata*, *Aurila tosaensis*, *Paracytheridea* sp. 등의 근해 종들이 산출된다.

③ 청수 '95(F-96)

이 시추공은 북제주군 한경면 청수리 월광동의 표고 110m 지점에 위치하며 지표 하 186.0m까지 시추가 이루어졌다. 이 시추공의 지질을 보면, 서귀포층이 시작되는 지표 하 105.0m(해수면 위 5m)까지는 4회의 분출단위로 이루어진 AFOB를 비롯하여 고토양층, 2매의 사암 및 이암층, 역암층으로 이루어져 있다.

AFOB는 0.5~39.5m, 40.0~59.0m, 80.0~98.5m, 100.5~105.0m의 구간에 4회의 분출단위로 이루어져 있는데, 100.5~105.0m의 구간의 단위를 제외한 나머지 분출단위는 3~4매의 용암류 단위로 이루어져 있으며, 평균 두께는 4~13m 범위이다. AFOB 분출단위 사이에는 0.5m 두께의 고토양층을 비롯하여 2~12m두께의 사암 및 이암층이 협재되어 있을 뿐만 아니라, 역암층(두께 9m)도 존재하고 있다.

서귀포층은 105.0m부터 시작되고 있는데 주로 역질 사암, 역암 및 사암의 호층부로 구성되며 사암과 이암이 협재되는 양상을 보인다. 이 시추공의 퇴적층 시료에 대해 유공충 분석을 실시한 결과(윤선외 4인, 1996), 유공충은 시추코아 최하부의 이암과 사암층에서 다량으로 산출되며 보존상태 또한 매우 양호한 것으로 보고되었다. 하위 이암층의 저서성 유공충 화석군집의 종 구성을 보면, *Cibicides lobatulus*, *Hanzawaia nipponica* Asano, *Cancris auriculus*를 우점종으로 하고, *Gavelinopsis cf. praegeri*, *Nonionella globosa* Ishiwada, *Rosalina nitida*를 수반종으로 하고 있다. 이들 중 *C. auriculus*, *H. nipponica*, *G. cf. praegeri*는 난류계 표층수역의 주요 구성종인데 반해, *C. lobatulus*는 혼합수역종이고, *R. nitida*는 염분농도가 낮은 한류수역 내지 내만역에 특징적으로 분포하며, *N. globosa* 역시 한류성의 경향을 가진다. 상위 사암층의 종구성을 보면, *Ammonia beccarii*(Linne'), *Nonion japonicum* Asano, *Pseudorotalia gaimardii*(d'Orbigny)가 우세하게 분포한다. *A. beccarii*, *N. japonicum*는 난류계 표층수역 내지 내만성 종이며, *P. gaimardii* 또한 난류계 표층수역 종이지만 하나 염분농도가 낮은 내만역에는 그 산출이 미미하다. 저서성 유공충 화석군집으로 볼 때 청수지역의 고환경은 난류가

우세한 혼합수역에서 난류수역으로 변하는 내천해대의 양상을 보인다.

또한, 윤선외 4인(1996)이 이 시추공의 퇴적층암층에서 44개의 시료를 채취하여 석회질 초미화석을 분석한 결과, 하위의 4개 퇴적암층 시료에서 *G. caribbeanica*, *G. oceanica*, *large Gephyrocapsa*, *P. lacunosa* 등의 시대를 지시하는 석회질 초미화석 종들이 풍부하게 산출되었으며, 이들 산출종들은 서귀포층 노두의 상부에 대비되고 지질시대는 0.83 Ma와 비슷하거나 약간 젊은 시대인 것으로 나타났다.

3. 서귀포층의 지하분포상태

3-1. 분포상태 개괄

서귀포층의 지역별 분포상태를 파악하기 위하여 본 연구에서 실시한 62개공과 농어촌진흥공사가 작성한 지질주상도 중에서 활용 가능한 83개공을 합하여 총 145공(Fig. 3)의 표고, 착정심도, 서귀포층 포착심도 및 서귀포층의 해발심도, 자연수위, 서귀포층 직상부의 구성지질 등을 분석하였으며, Table 1에는 그 분석결과를 요약하여 지역별 분석공수, 서귀포층의 평균 분포심도(해수면 기준), 표고와 서귀포층 분포심도(해수면 기준)와의 상관계수 등을 나타내었다.

Table 1에 제시되어 있는 바와 같이 서귀포층의 평균 분포심도(해발심도)는 지역별로 차이를 나타내어 서귀포와 남원지역의 경우 해수면 상부에 위치하는 반면, 나머지 지역에서는 해수면 하부에서 포착되고 있다. 평균 포착심도가 가장 높은 지역은 서귀포지역으로서 해수면 위 46.63m이고, 한림지역은 해수면 하 60.22m로 가장 낮은 위치에 분포하고 있어 두 지역간의 평균 분포심도의 차이는 약 107m가 된다. 그렇지만 북촌-표선을 연결하는 선 동쪽지역에서는 서귀포층이라고 규정할 수 있는 퇴적층이 확인되고 있지 않다. 서귀포층의 최대 포착심도와 최소 포착심도와의 차이를 보면, 안덕·서귀·남원을 포함하는 남부지역이 227m로 가장 큰 값을 나타내고, 한림·한경·대정의 서부지역의 경우는 197.8m이며, 애월·제주·조천을 포함하는 북부지역이 155.6m를 나타내고 있다. 서귀포층의 분포심도(해수면 기준)와 표고와의 상관계수를 구한 결과, 안덕(0.90), 서귀

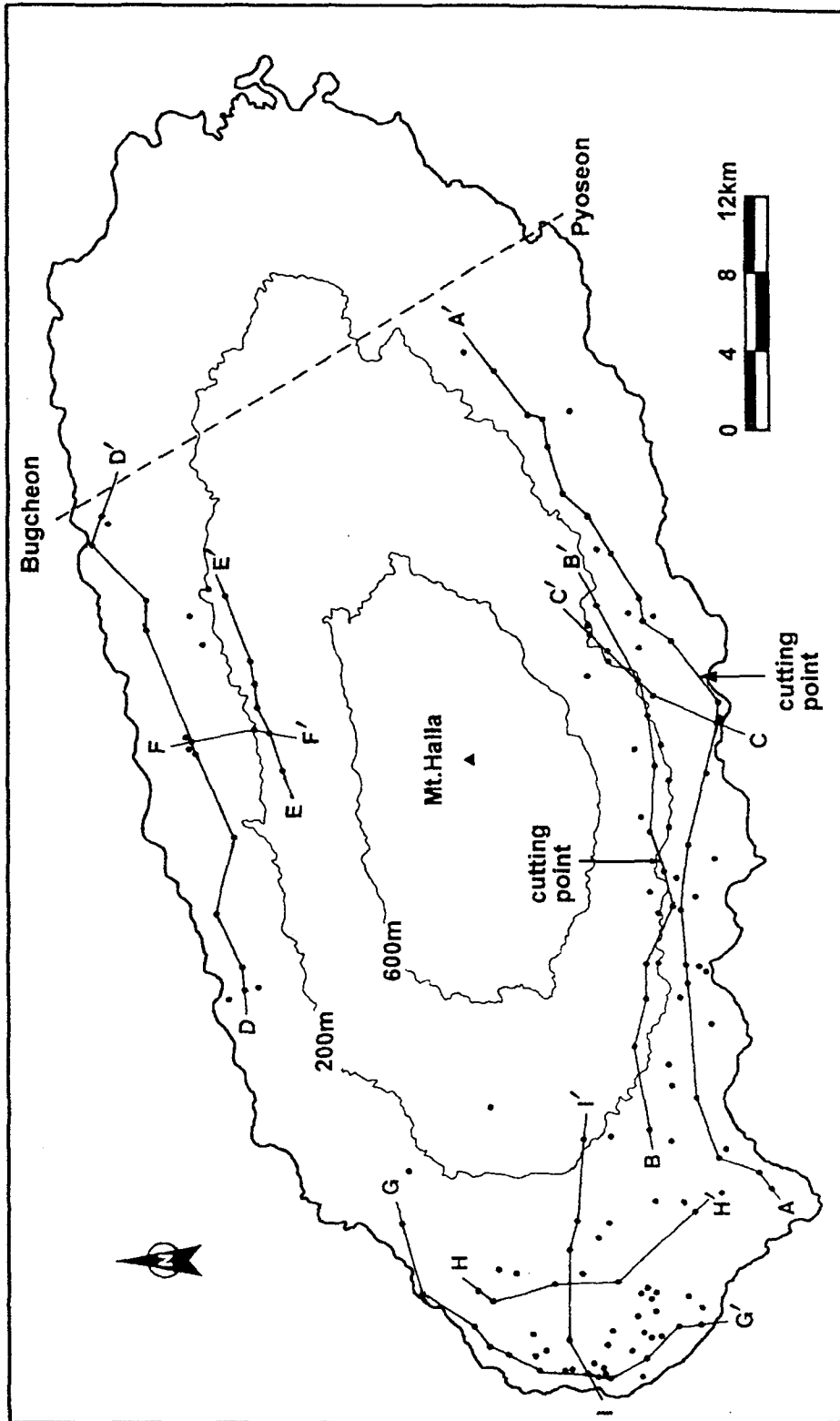


Fig. 3. Well sites the Seoguipo Formation was identified and cross-section line.

(0.83), 애월(0.95), 제주(0.86), 조천(0.90)지역은 상관계수가 0.80 이상으로 두 변수간에 매우 밀접한 정(正)의 상관관계를 나타냈고, 그 이외의 지역들은 0.50 이하로 상관성이 낮은 것으로 분석되었다. 다시 말해서 남부와 북부지역은 서귀포층의 분포심도는 표고가 높아짐에 따라 비례적으로 높아지고 있는 반면, 서부지역은 분포심도가 표고와는 그다지 큰 상관성이 없다는 것을 의미하고 있다. 이러한 현상은 본 층이 퇴적된 이후 국지적인 용기·침강운동과 침식작용에 의한 영향을 받은데서 비롯된 것으로 보인다.

Table 1. Subsurface distributions of the Seoguiipo Formation and their relation to groundwater level.

Classification	Southern Area			Western Area			Northern Area		
	Andeog	Seogui	Namwon	Hallim	Han-gyang	Dea-jeong	Aewol	Cheju	Jocheon
Number of Wells	13	37	15	4	27	23	4	14	8
Average El. Depth of SGF(m)	-5.76	46.63	8.77	-60.22	-41.89	-57.97	-50.59	-13.16	-48.46
Maximum El. Depth of SGF(m)	49.92	173.00	171.50	-25.00	53.00	-24.50	-11.00	22.00	40.60
Minimum El. Depth of SGF(m)	-50.30	-17.50	-54.00	-97.00	-92.00	-144.80	-78.52	-51.00	-115.00
Range(m)	100.22	190.5	225.0	72.00	145.00	120.30	67.52	73.00	155.60
Correlation Coefficient (Ground Elevation:El. Depth of SGF)	0.90	0.83	-0.11	0.09	0.43	0.46	0.95	0.86	0.90
Correlation Coefficient (El. Depth of SGF:Groundwater Level)	0.74	0.61	0.82	-1.00	0.76	-0.15	0.75	0.51	0.86

※ El. Depth of SGF: Depth of the occurrence of the top horizon of Seoguiipo Formation in subsurface

3-2. 서귀포층의 지역별 지하분포상태

3-2-1. 북부지역

북제주군 애월읍 애월에서부터 조천읍 함덕에 이르는 북부지역의 서귀포층의 지하분

포 상태를 서술하면 다음과 같다. 우선, 지역별로 살펴보면 애월지역은 평균 EL.-78.52~EL.-11.00m(평균 EL. -50.59m)에 서귀포층이 분포하고 있으며, 제주시지역은 EL.+22.0~EL.-56.0m(평균 EL.-13.16m), 조천지역은 EL.+40.60~ EL.-115.0m(평균 EL.-48.46m)에 분포하고 있는 것으로 나타나 제주시를 중심으로 동·서 쪽을 향해 완만한 경사를 이루며 분포하고 있는 것으로 해석된다.

Fig. 4는 애월읍 수산에서 조천읍 함덕에 이르는 표고 100m 내의 지역의 서귀포층 분포상태를 나타낸 단면이다(Fig. 3의 D-D' 선). Fig. 4에 나타낸 바와 같이 서귀포층은 제주시 지역(혜성APT 1 및 대림APT 1)을 중심으로 동·서쪽을 향해 완만한 경사를 이루며 연속되고 있음을 알 수 있으며, 애월읍 수산리의 D-44와 Su-2A, 조천읍 신촌리의 Sc-3와 D-78, 함덕리의 해양연구소와 함덕 심부시추공과의 사이에서 본 층이 급작스러운 변위를 나타내고 있어 소규모의 단층이 존재하고 있는 것으로 보인다. Fig. 5는 제주시 오라동(정실)에서부터 회천동에 이르는 표고 200~260m의 고지대에서의 지하분포 상태를 파악하기 위해 작성한 단면이다(Fig. 3의 E-E' 선). 제주시 아라동 및 영평동 부근을 제외한 지역에서 본 층은 해수면 상부에 분포하고 있으며, 회천동 쪽으로 향하면서 분포심도가 점진적으로 상승하고 있음을 알 수 있다. Fig. 6은 제주시와 아라동 지역을 연결한 남북방향의 단면(Fig. 3의 F-F' 선)인데, 이도동의 대림APT-1 관정에서 아라동의 D-216 관정으로 향하면서 본 층의 분포심도는 완만하게 상승하고 있음을 알 수 있다. 이 단면에서의 본 층의 분포심도 차이는 약 35m/4.3km 로서 1km당 약 8m가 상승하는 매우 완만한 구배를 나타내고 있다.

3-2-2. 남부지역

남제주군 안덕면 사계에서 남원읍 남원까지의 남부지역은 전술한 북부지역과는 상이한 분포상태를 보이고 있다. 즉, 안덕 지역의 경우는 EL.+49.92~EL.-50.30m(평균 EL.-5.76m)에 분포하고 있고, 서귀포지역은 EL.+173.0~EL.-17.50m(평균 EL.+46.63m)에 분포하고 있으며, 남원지역은 EL.+171.50~EL.-54.00m(평균 EL.+8.77m)에 본 층이 분포하고 있어 서귀포 및 남원 일대 지역에서는 평균 해수면 상부에 분포하고 있음을 알 수 있다

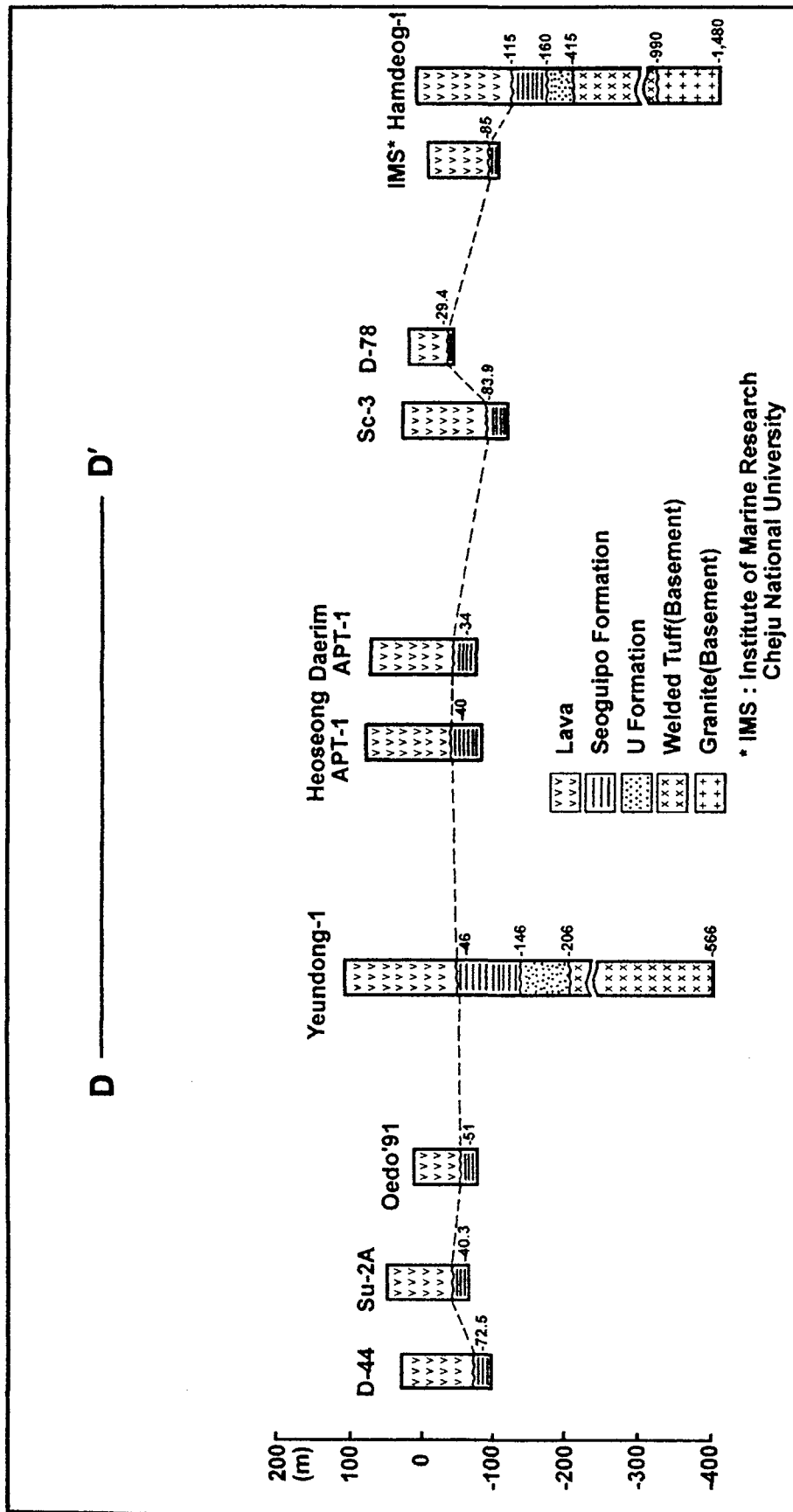


Fig.4. The cross-section of D-D'line(from Susan to Hamdeog) in Fig. 3.

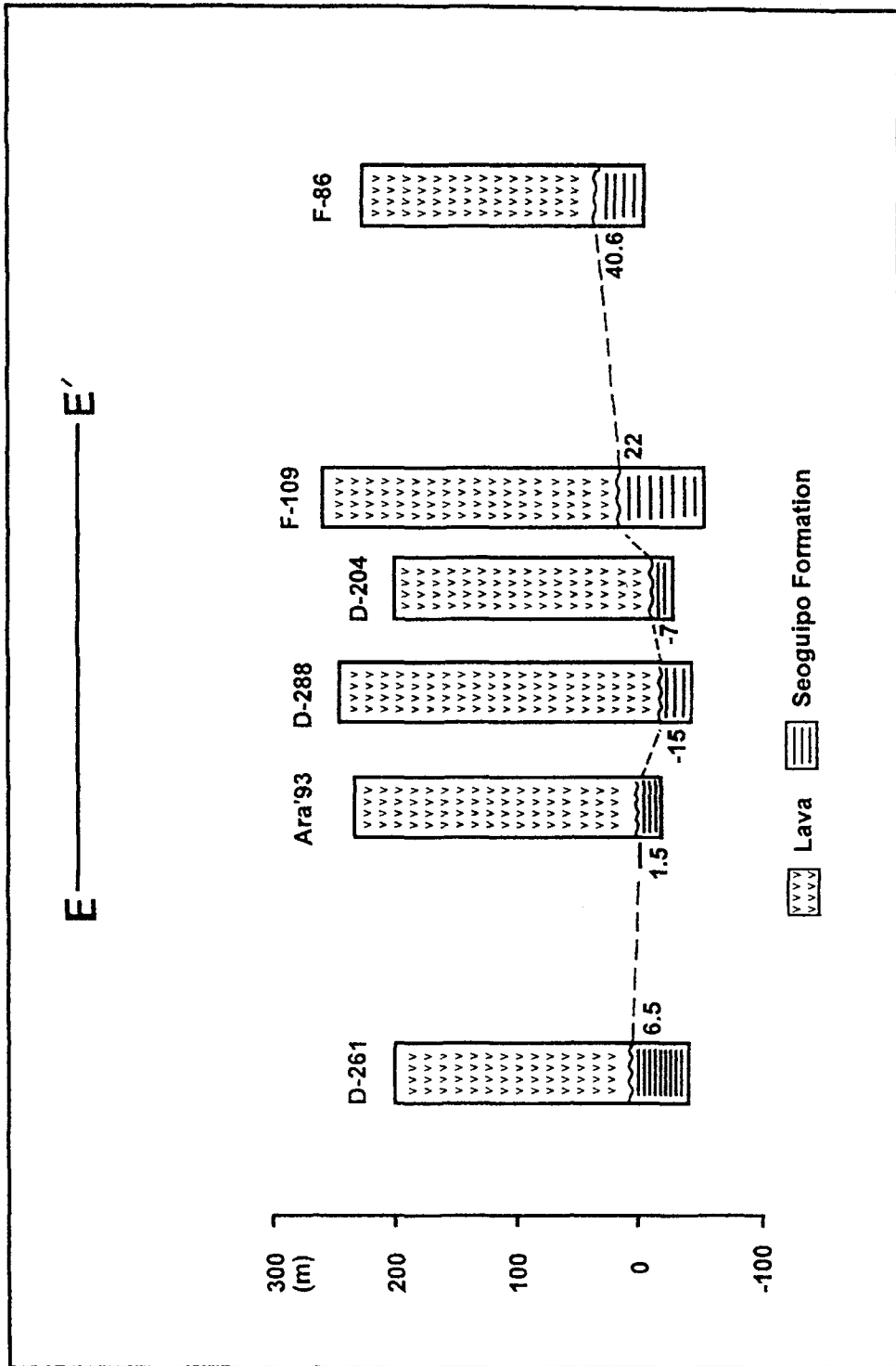


Fig.5. The cross-section of E-E' line(from Jeongsill to Hoicheon) in Fig. 3.

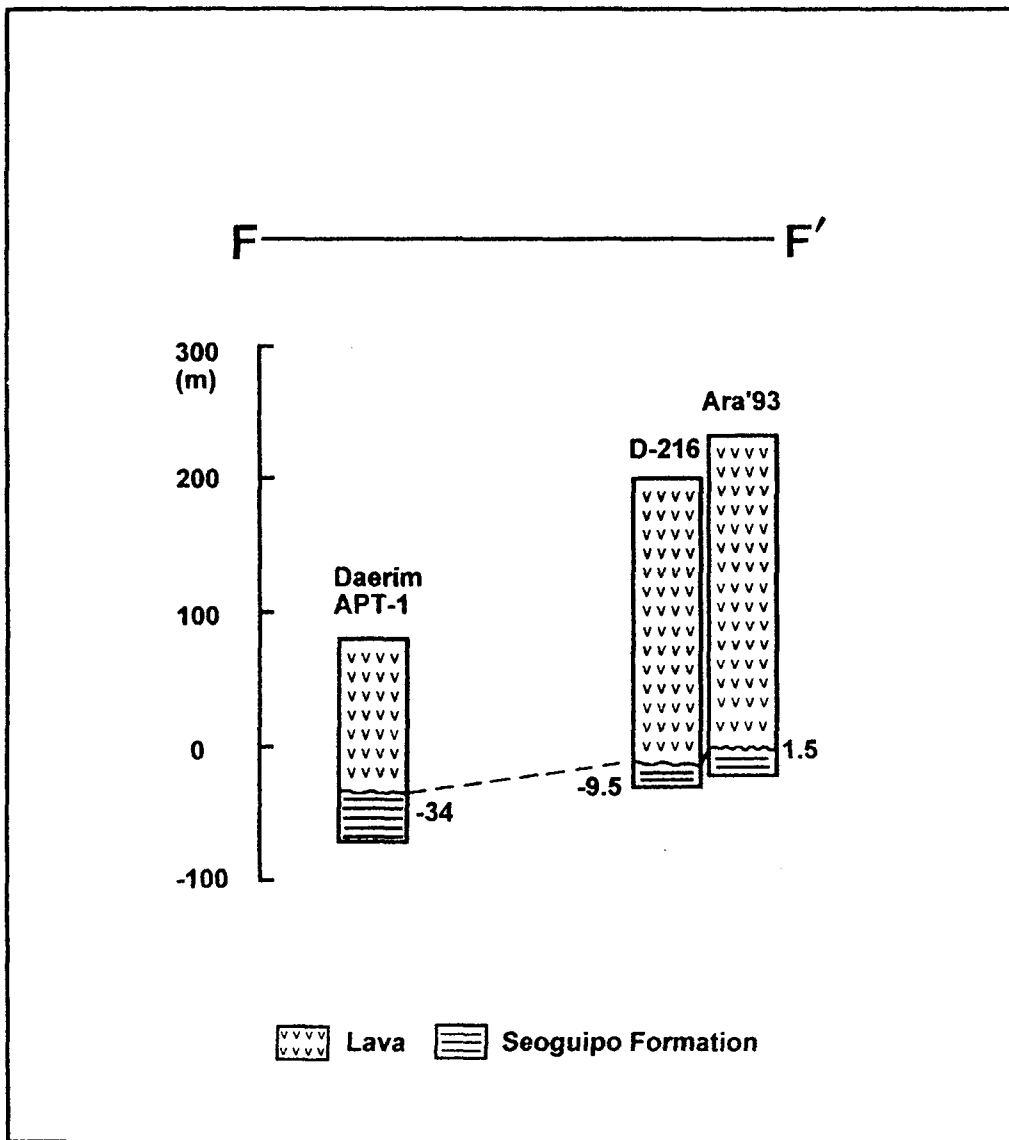


Fig.6. The cross-section of F-F' line(from Ido to Ara) in Fig. 3.

Fig. 7은 사계리에서 가시리에 이르는 표고 100m 내외의 저지대에서의 서귀포층의 지하분포 상태를 파악하기 위해 작성한 단면이다(Fig. 3의 A-A' 선). 본 층은 사계지역에서는 해수면 하부에 위치하고 있으나 화순지역으로 오면서 해수면 상부에 나타나기 시작하여 남원읍 위미리 지역까지 큰 변화 없이 해수면 부근이나 상부에 연속적으로 분포하고 있으며, 위미지역을 지나면서 다시 해수면 하부로 낮아지기 시작하여 남원읍 한남과 신흥지역에서는 해수면 하 40~50m 부근에 위치하고 있다. 다시 말해서 화순에서 위미에 이르는 지역은 본 층이 대체로 해수면 상부에 분포하고 있으나 이들 지역을 벗어나면서부터는 해수면 하부에 위치하고 있음을 알 수 있다. 이 단면에 제시된 바와 같이 남부지역 해안 저지대에서의 서귀포층의 지하분포 상태는 불연속적이거나 급작스러운 변위를 나타내지 않고 다소의 기복을 갖으며 연속적인 분포상태를 보이고 있기 때문에 윤상규외 2인(1987)을 비롯하여 원종관외 3인(1993), 이문원(1994), 이동영과 김주용(1993)이 주장한 서귀포층의 수평적 분포의 불연속성 주장은 타당하지 않다. 또한 서귀포층 노두에 가장 인접해 있는 천지연 심부시추공(천지연-1)을 중심으로 볼 때, 동·서쪽에 위치해 있는 D-116호공과 자굴이 '95-1호공 사이에는 약간의 변위가 나타나고 있어 서귀포층 노두가 융기되었음을 알 수 있다.

남부지역의 표고 150~260m 범위의 고지대에서의 서귀포층의 분포상태를 파악하기 위하여 안덕면 덕수에서 남원읍 신례지역을 연결한 단면을 작성하였다(Fig. 8). 제시된 단면(Fig. 3의 B-B' 선)에서 보는 바와 같이 이 지역에서 서귀포층은 모두 해수면 상부에 위치하고 있으며, 대유수렵장 관정을 제외하면 용흥동의 F-54호공까지는 거의 비슷한 위치에 분포하고 있으나 동흥(D-217)을 지나면서 분포심도가 상승하여 서귀포시 토평동(D-263)까지 연속되다가 남원읍 신례지역에서는 해수면 부근으로 분포심도가 낮아지는 경향을 보이고 있다. 이와같은 분포상태에 근거할 때, 대유수렵장 관정과 D-217호공이 있는 그 주변지역에는 지하에 소규모의 단층이 존재하고 있는 것으로 해석된다.

Fig. 9는 서귀포층 노두에 근접한 천지연 심부시추공에서 남원읍 하례리의 한일농장 관정까지 연결한 남북방향의 단면이다(Fig. 3의 C-C' 선). 이 그림에서 볼 때 서귀포층은 토평(D-263)과 하례(한일농장) 지역에서 큰 변위를 나타내고 있는데, 이 같은 분포경향은 남부지역의 지형변화와의도 잘 일치하고 있는 것으로서 본 층의 분포심도는 퇴적된

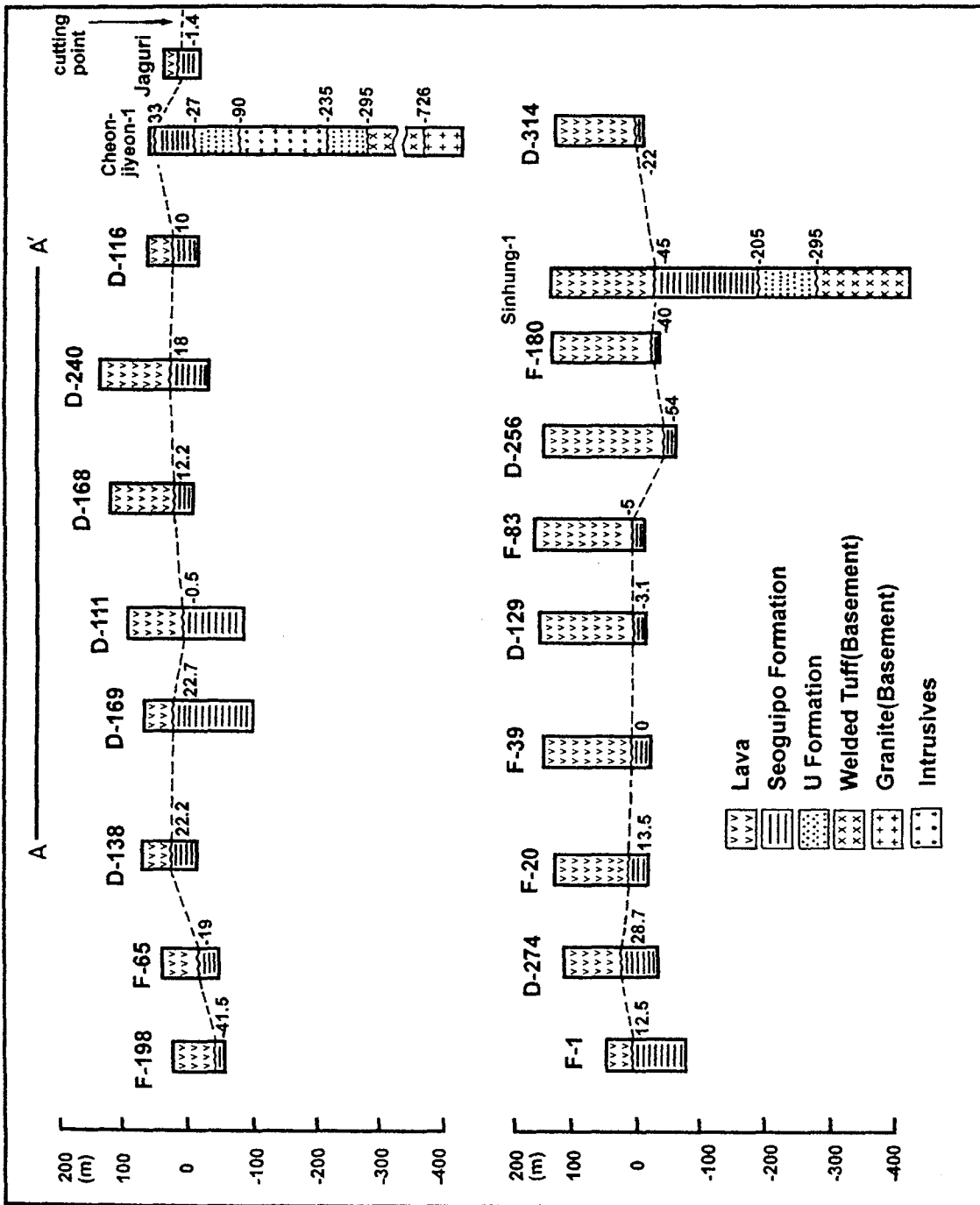


Fig. 7. The cross-section of A-A' line (from Sage to Sinheung) in Fig. 3.

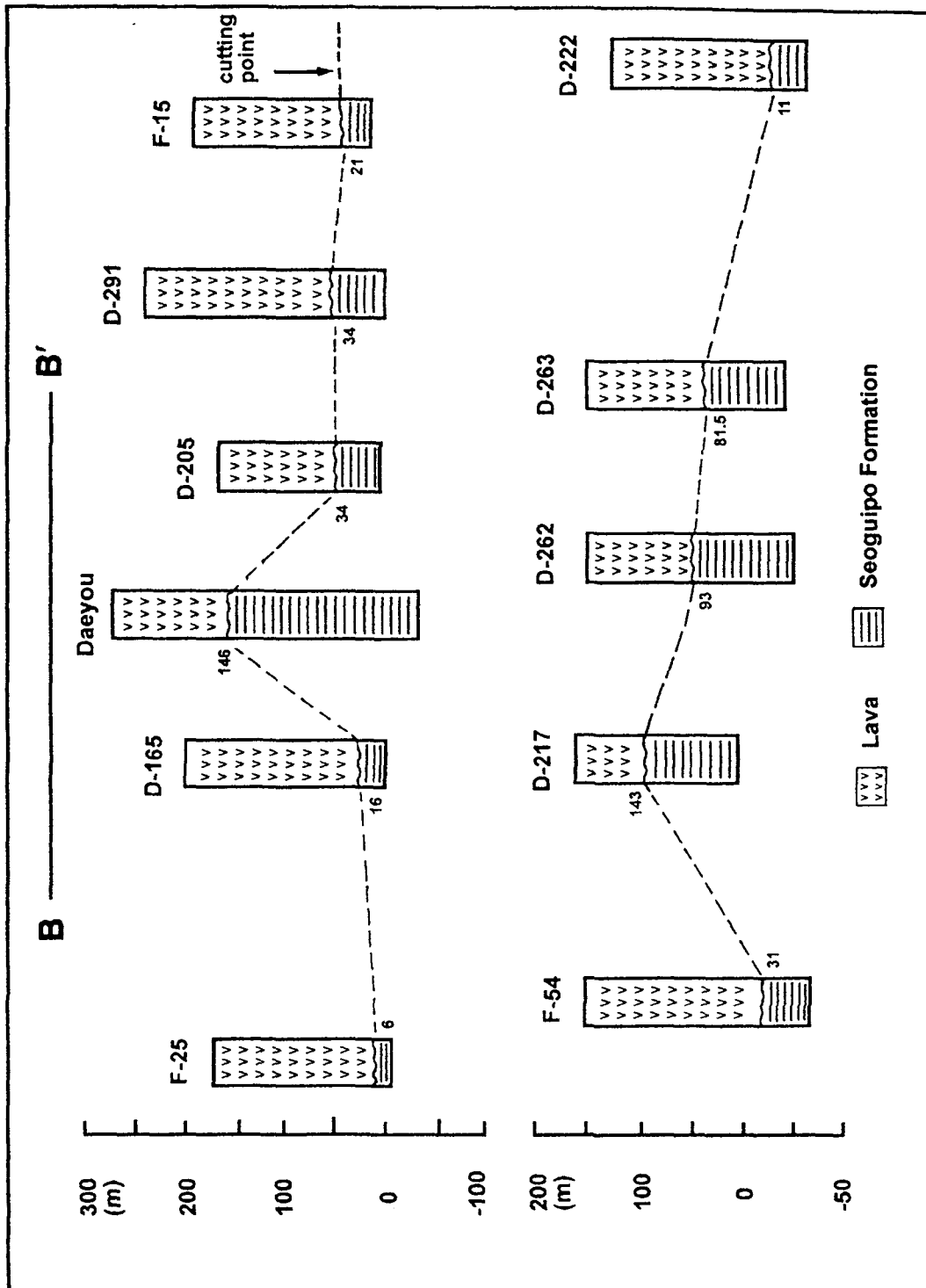


Fig. 8. The cross-section of B-B' line (from Deogsu to Sinrye) in Fig. 3.

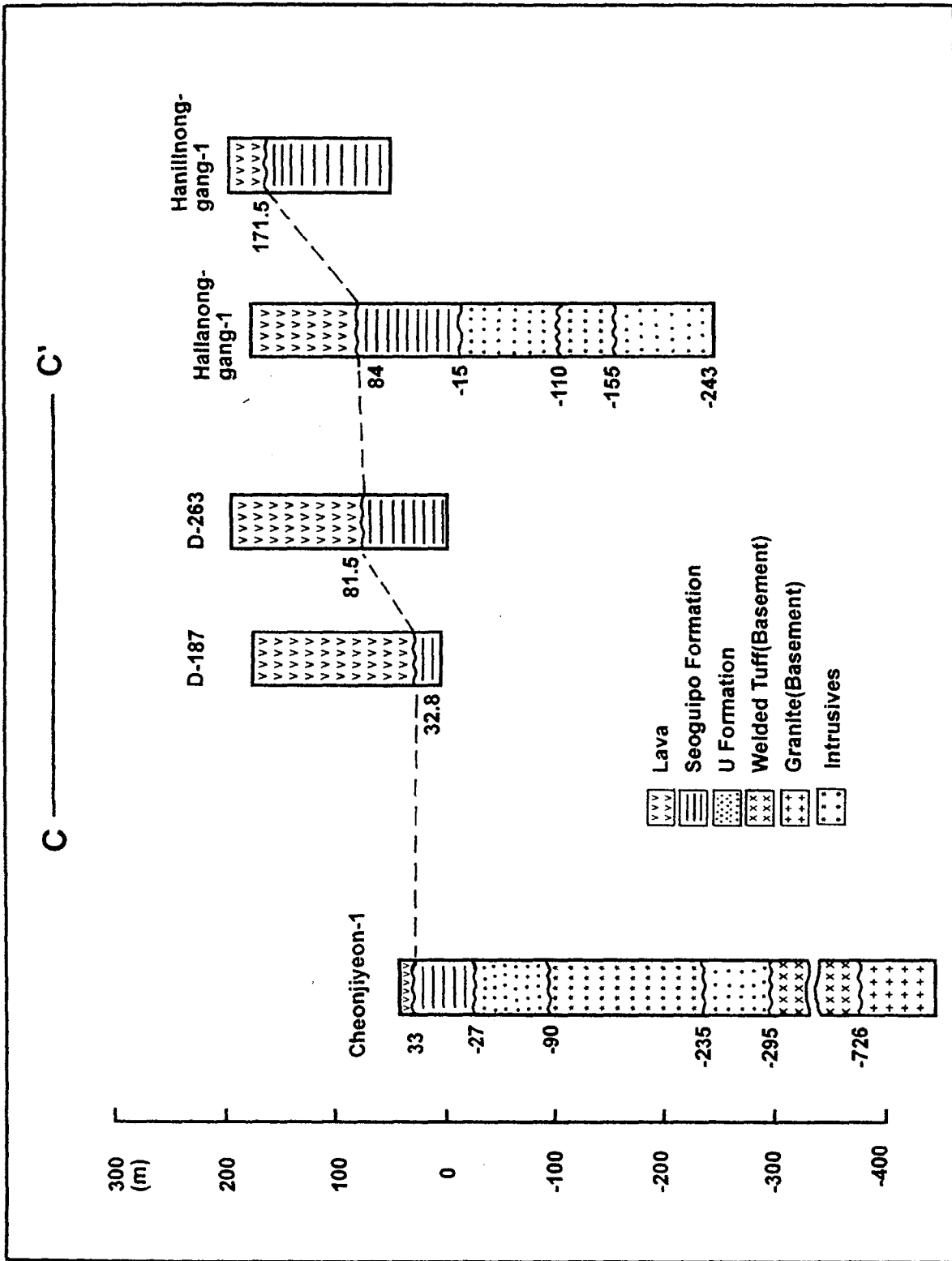


Fig. 9. The cross-section of C-C' line(from Cheongjiyeon to Harye) in Fig. 3.

이후에 일어난 용기운동의 영향을 받은 것으로 해석된다.

3-2-3. 서부지역

북제주군 한림에서 남제주군 대정에 이르는 지역에서의 서귀포층의 지하분포 상태를 서술하면 다음과 같다. 서부지역은 전술한 북부지역과 유사한 양상을 나타내어 본 층은 전 지역에서 해수면 하부에 분포하고 있다. 한림지역은 EL.-25.0~EL.-97.0m(평균 EL.-60.22m)에 위치하고 있고 한경지역은 EL.+53.0~EL.-92.00m(평균 EL.-41.89m)이며, 대정지역은 EL.-24.0~EL.-144.8m(평균 EL.-57.97m)에서부터 시작되고 있다.

Fig. 10은 한림에서 대정을 영락에 이르는 표고 50m이내의 해안 저지대를 연결한 단면이다(Fig. 3의 G-G' 선). 금능(Cs-1)과 영락(D-81)을 제외한 나머지 지역은 대체로 해수면 하 40~70m 범위의 심도에서 본 층이 포착되고 있지만 전술한 두 시추공의 경우는 해수면 하 100m 부근에서 포착되고 있어 인접한 지역과의 차이가 비교적 큰 편이다. 또한 표고 50~100m 범위의 내륙지역에서의 경우를 보면(Fig. 11; Fig. 3의 H-H' 선), 판포(D-221)지역을 제외한 나머지 지역들도 해안 저지대에서의 경우와 유사하게 모두 해수면 하부에 분포하고 있으며, 해안에서 내륙 쪽으로 연결한 단면(Fig. 12; Fig. 3의 I-I' 선)에서는 청수에서부터 본 층이 해수면 상부로 올라오고 있음을 알 수 있다.

3-3. 서귀포층의 수평적 지하분포상태

Fig. 13은 서귀포층 분포심도(해수면 기준심도) 자료를 근거로 작성한 서귀포층의 등심도도(isodepth map)이다. 제시된 그림에서 보는 바와 같이 본 층은 안덕면 사계리 산방산 동쪽지역에서부터 남원읍 위미리까지에 이르는 남부지역과 제주시 아라동 및 회천동 주변지역에는 평균해수면 상부에 분포하고 있으며, 그 이외의 지역에서는 평균해수면 하부에 분포하고 있음을 알 수 있다. 또한 본 층은 서귀포를 중심으로 동·서쪽으로 향함에 따라 심도가 점차 깊어지고 있으며, 안덕의 산방산 주변지역을 경계로 대정지역과는 현저한 차이를 나타내고 있다. 특히 서귀포 일원에서 50m 등심선이 북동-남서방향에서 변위차를 나타내고 있어 지하에 매몰된 단층선의 존재를 추정케 한다. 서부지역에서는

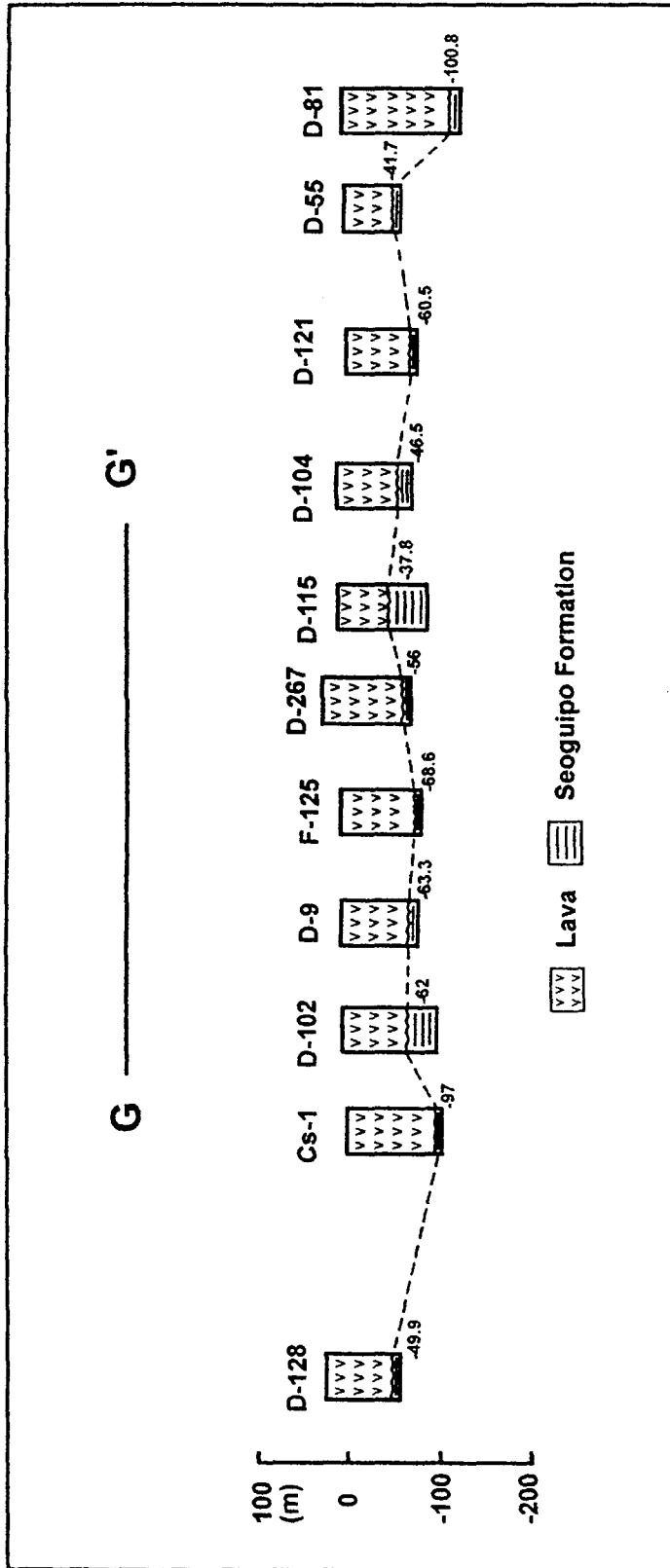


Fig. 10. The cross-section of G-G' line(from Hallim to Yeongnak) in Fig. 3.

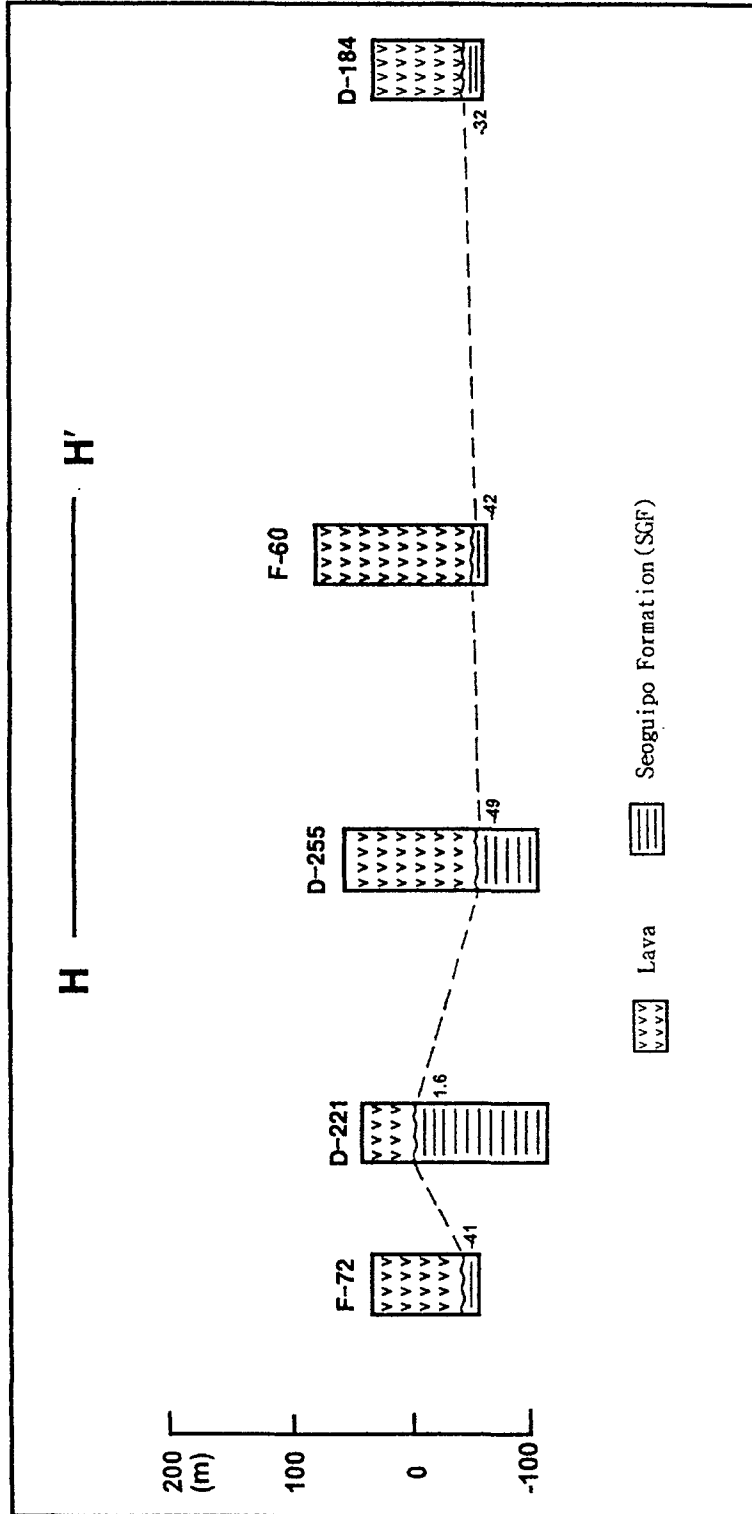


Fig. 11. The cross-section of H-H' line(from panpo to Boseong) in Fig. 3.

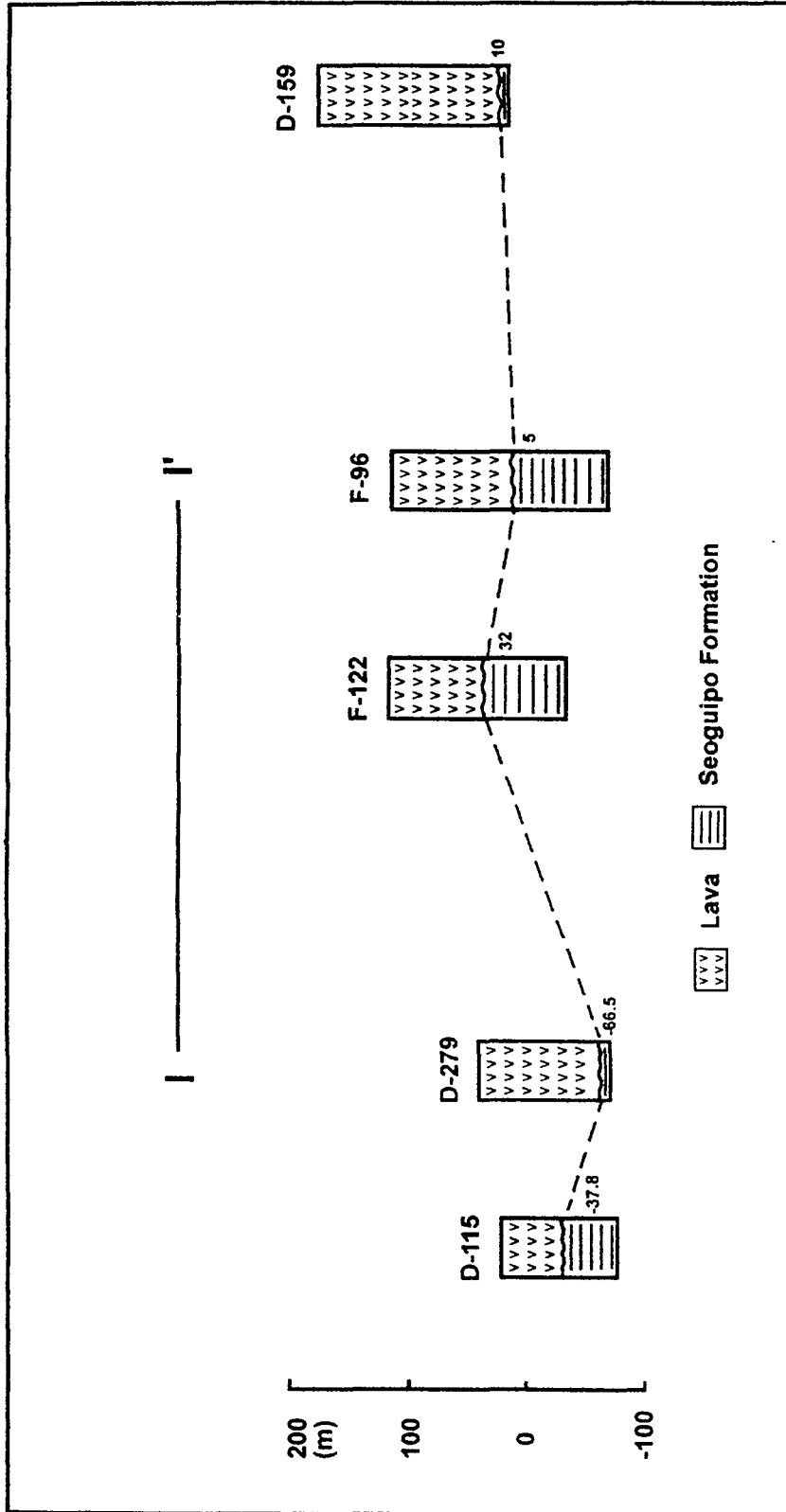


Fig. 12. The cross-section of I-I' line (from Yeongsu to Seogwang) in Fig. 3.

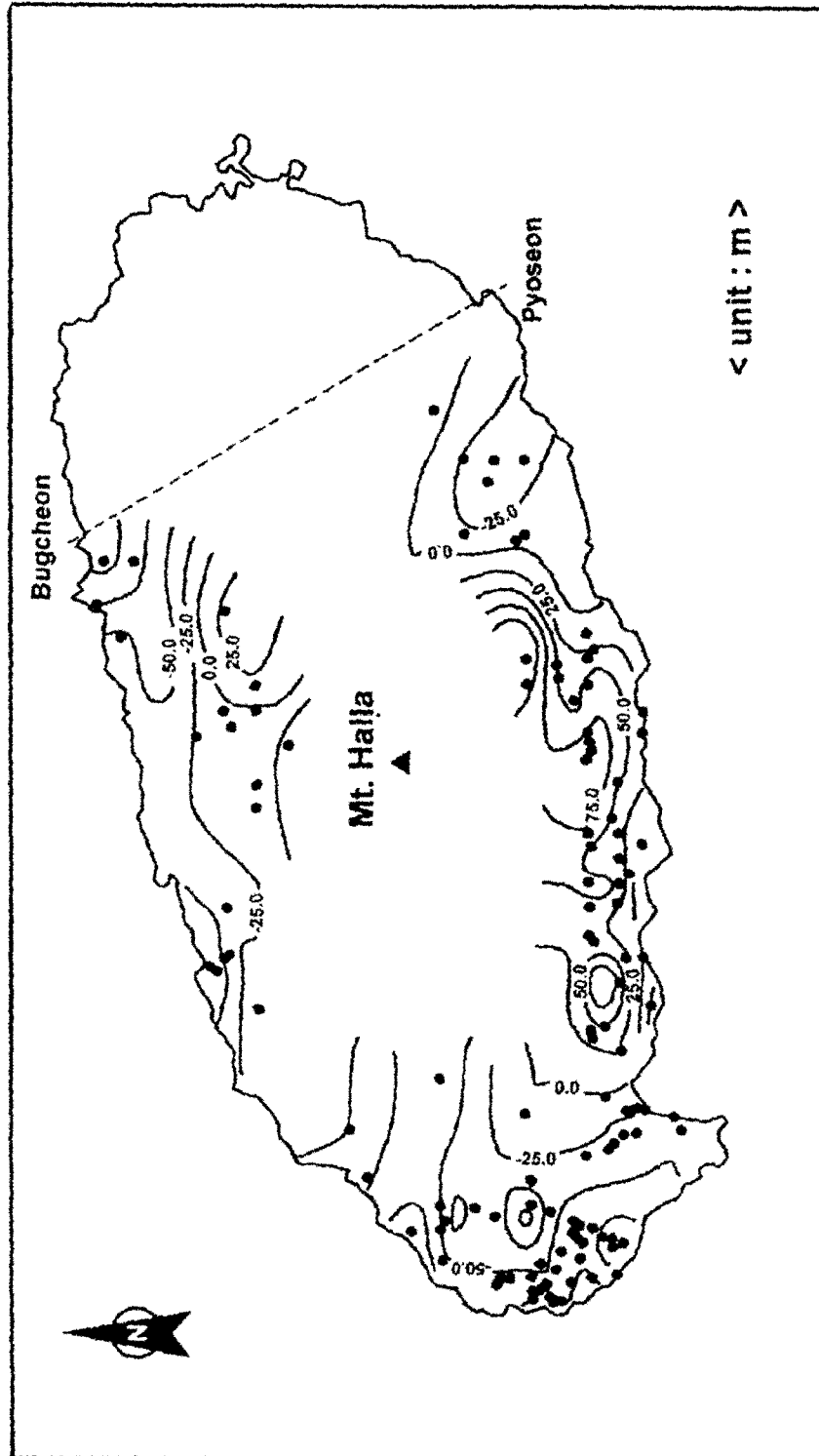


Fig. 13. Isodepth map of the Seoguipo Formation.

해수면 하 50~60m에 분포하고 있으나 한림과 대정 쪽으로 향하면서 다소 급한 구배로 깊어지고 있으며, 해안변에서 내륙 쪽으로 향함에 따라 본 층의 분포심도가 상승하고 있음도 알 수 있다. 제주시 지역의 경우도 조천과 애월의 동·서쪽으로 완만한 경사를 이루고 있으며, 해발 250m 이상 지역에서부터는 본 층이 해수면 위에 분포하고 있음을 알 수 있다. 그러나 동부지역에는 지표 하 700~900m에 이르는 심부시추가 종달, 송당, 오조, 성읍 등에서 이루어졌지만 서귀포층으로 간주될만한 퇴적층은 발견되지 않고 있다.

3-4. 북촌-표선 선

서귀포층은 퇴적된 이후의 용기·침강운동과 침식작용의 영향으로 인하여 국지적으로는 그 분포심도에서 다소의 차이를 나타내고는 있지만 광역적으로 볼 때에는 북촌-표선을 연결한 선의 동쪽지역을 제외한 지역의 표고 약 400m 이하의 지하에 수평적인 연속성을 갖고 광범위하게 분포하고 있다. 따라서, 이 선을 「북촌-표선 선(Bugcheon-Pyoseon Line)」이라 명명하고자 한다. 고기원(1991b)은 1990년까지 이루어진 지하수 및 심부시추공에 대한 자료를 분석한 결과, 구좌와 표선을 연결하는 선 동쪽지역에는 서귀포층이 존재하고 있지 않음을 밝혔으며, 그 후 추가적인 조사를 실시하여 서귀포층의 결층 경계선을 북촌-표선으로 수정하였다(고기원외 2인, 1994).

본 북촌-표선 선은 서귀포층 퇴적시의 동부와 서부의 퇴적상의 차이에 의한 상경계선(Facies Boundary Line)이거나 또는 동부지괴와 서부지괴와의 단층선으로 해석할 수 있으나 본 연구에서는 상경계선으로 해석하고자 한다. 본 선을 단층선으로 해석하는 경우, 평균 100m 층후를 갖는 서귀포층이 침식·삭박되기 위해서는 동부지괴가 서측지괴보다 최소한 100m 이상 융기되어야 하는데, 심부시추 결과 밝혀진 기반암의 분포상황은 동·서부지괴 사이에 변위차가 거의 존재하고 있지 않고 있어 단층선으로 해석하기에는 어렵다.

퇴적상의 분포와 그 분포에 있어서의 변화는 ① 퇴적작용 ② 퇴적물의 공급 ③ 기후 ④ 구조운동 ⑤ 해수준 변화 ⑥ 생물의 활동성 ⑦ 수질조성 ⑧ 화산작용 등의 요인들의 상호작용에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Reading, 1986). 이와 같은 요인 중에

서 서귀포층의 공간적 분포를 지배하는데 영향을 미친 것은 화산활동과 이에 따른 퇴적물의 공급인 것으로 판단된다. 서귀포층에는 다량의 유리쇄설성 퇴적층이 협재되어 있는데 유리쇄설성 퇴적층은 서귀포와 남원지역보다는 서부의 고산과 대정지역 시추코아에서 더 두껍게 협재되어 있어 서귀포층 퇴적시기에 서부지역을 중심으로 활발한 해저 화산활동이 일어난 것으로 해석된다. 해저화산활동은 서귀포층을 형성시킨 주된 퇴적물 공급원이 되었는데 북촌-표선 선을 경계로 하여 그 동쪽지역에서는 해저화산활동이 일어나지 않았기 때문에 이 선의 동측과 서측간에는 퇴적상의 차이가 존재하는 것으로 보인다. 다시 말해서 북촌-표선 선은 해저화산활동에 따른 퇴적상의 첨멸에 의해 생겨난 상경계 선으로 해석된다. 이 같은 해석은 Won et al.(1986)이 실시한 조면암류의 고지자기 및 절대연대 측정 연구결과와도 잘 일치하고 있다. 즉, 조면암류의 절대연대가 제주도의 서부에서 동부지역으로 갈수록 젊어지고 있는 현상은 동부지역이 서부지역보다 후기에 들어와서 화산활동이 시작되었음을 말해주고 있다.

4. 서귀포층과 U층과의 관계

4-1. U층

본 층은 윤선외 2인(1995)이 미교결층(Uncemented Sediment Formation)으로 기재하였던 지층이다. 본 층은 지표에는 분포하고 있지 않아 지명을 사용하여 명명할 수 없으므로 기호 U를 사용하여 U층이라고 명명하고자 한다. 본 U층의 존재는 1989년 이후 진행된 온천탐사 심부시추(송당, 종달, 함덕, 신흥, 성읍, 오조, 연동, 금악, 돈내코, 한라농장, 서귀포 천지연, 중문, 덕천 등)가 제주도의 여러 곳에서 이루어지면서 알려지게 되었는데 고기원(1991a)에 의하여 제주온천(송당, 종달, 신흥, 성읍, 돈내코 등의 심부시추 자료로부터 처음으로 보고되었다.

Table 2에 제시한 바와 같이 북부와 서부지역은 심부시추 공수가 2개소와 1개소로 제한되어 있지만 동부와 남부의 경우는 11개소 및 5개소로서 이 층의 분포상태를 비교적 자세히 알 수 있다. 동부지역의 경우 표고 2.5~214.4m의 범위에서 시추가 이루어졌는

데, U층은 해수면 하 82~145m(평균 115.3m)부터 존재하고 있으며, 그 두께는 평균 134.7m(최소 111m, 최대 180m) 에 이르고 있다. 남부지역의 경우는 해수면 하 15~205m(평균 72.6m)부터 U층이 분포고 있고 두께는 동부지역보다 두꺼운 171.4m(최소 90m, 최대 228m)를 보이고 있다. 북부지역에서는 분포심도가 해수면 하 136~160m 이고 두께는 70~255m이며, 서부지역은 해수면 하 86m부터 이 층이 포착되고 있으나 그 두께는 시추중단으로 인하여 확인이 불가능하다.

Table 2. Elevation and thickness of the U Formation and basement in Cheju Island.

Area	Well Name	Elevation (m)	El. Depth of U F(m)	Thick. of U F(m)	EL. Depth of Basement(m)
EASTERN	Seongeup - 1	155	-145	167	-312
	Cheju - 1	177.9	-82	180	-262
	Cheju - 2	186.3	-96.7	142	-238.7
	Cheju - 3	210.8	-128.2	124	-252.2
	Cheju - 4	203.4	-116.6	121	-237.6
	Cheju - 5	214.4	-132.6	111	-243.6
	Cheju - 6	210.4	-141.6	122	-263.6
	Jongdal - 1	20	-102.9	125	-227.9
	Jongdal - 2	41.1	-101.9	120	-221.9
	Jongdal - 3	37	-102.9	123	-225.9
Ojo - 1	2.5	-117.5	147	-264.5	
NORTHERN	Yeoundong - 1	114	-136	70	-206
	Hamdeog - 1	20	-160	255	-415
SOUTHERN	Sinheung - 1	115	-205	90	-295
	Hallanonggang - 1	185	-15	228	
	Cheonjiyeon - 1	44	-27	208	-295
	Jungmun - 1	78	-100	136	-236
	Sanghyo - 1	236	-16	195	-210
WESTERN	Isidol - 1	365	-86	217	

4-2. 서귀포층과 U층과의 관계

U층은 서귀포층이 분포하고 있는 지역에서는 서귀포층 직 하부에 분포하고 있으나 북촌-표선 선의 동쪽 측, 제주도 동부지역에서는 화산암류 하부에 분포하고 있다. 원종관외 3인(1993), 이동영(1994), 이문원(1994)은 이 층을 지명을 사용하여 “쇄화리층”이라 명명하고, 지하에 분포하는 서귀포층을 동일한 층으로 간주함과 아울러 본 층은 육지로부터 운반되어 바다에서 퇴적된 쇄설성 퇴적지층이 아니라 화산분출에 의한 쇄설성 화산회가 바다로 떨어져 급속히 퇴적되었기 때문에 미교결 상태로 존재하는 것으로 해석하였다.

전술한 바와 같이 이 층은 동부지역에서는 현무암류나 조면질현무암류 직하부에 존재하지만 서귀포 일대 지역에서는 고결된 서귀포층 바로 하부에 미교결 상태로 존재하고 있어 퇴적학적 측면에서 뿐만 아니라, 층서학적 견지에서도 많은 의문점이 제기되고 있다. 본 연구에서는 U층의 미교결 원인을 규명하기 위한 접근 방법 중의 하나로 서귀포층 노두와 상호(돈내코) 온천탐사 심부시추공의 서귀포층 코아시료 및 함덕, 이시돌, 상호 심부시추공의 U층시료에 대하여 점토광물 분석을 실시하였다. 분석결과, 서귀포층 노두와 돈내코 시추코아의 서귀포층에서는 스멕타이트(smectite), 일라이트(illite), 고령석(kaolinite) 등의 점토광물이 포함되어 있으나(Fig. 14~Fig. 15) U층에는 운모(mica)와 고령석이 미약한 피크를 나타내는 것을 제외하면 다른 종류의 점토광물은 존재하지 않으며 석영과 장석이 주 구성물질인 것으로 나타났다(Fig. 16).

교결되어 있는 서귀포층과 U층의 성분을 비교하여 보면, 서귀포층에는 스멕타이트라는 광물이 들어 있으나 U층에는 석영과 장석의 미립으로 되어 있고 스멕타이트는 들어 있지 않다. 스멕타이트는 현무암질 유리가 변질되어 생성되는 점토광물로서, 입자와 입자 사이를 충전하여 입자들을 교결시키는 교결물질 즉 시멘트의 역할을 하는 것이다. 서귀포층에서 설명한 바와 같이 서귀포층에는 유리질 쇄설암이 협재되어 있어서 그 중의 현무암질 유리로부터 스멕타이트가 생성되어 서귀포층을 교결시키는데 일익을 담당하였으나 U층에는 현무암질 유리가 함유되어 있지 않아 스멕타이트가 생성되지 않았던 것이다. 또한, 서귀포층에는 패류화석, 유공충화석과 같이 탄산칼슘의 각을 갖는 해서동물의 화석이 다량 포함되어 있는데 이 각으로부터 추출되어 나온 탄산칼슘이 입자들 사이

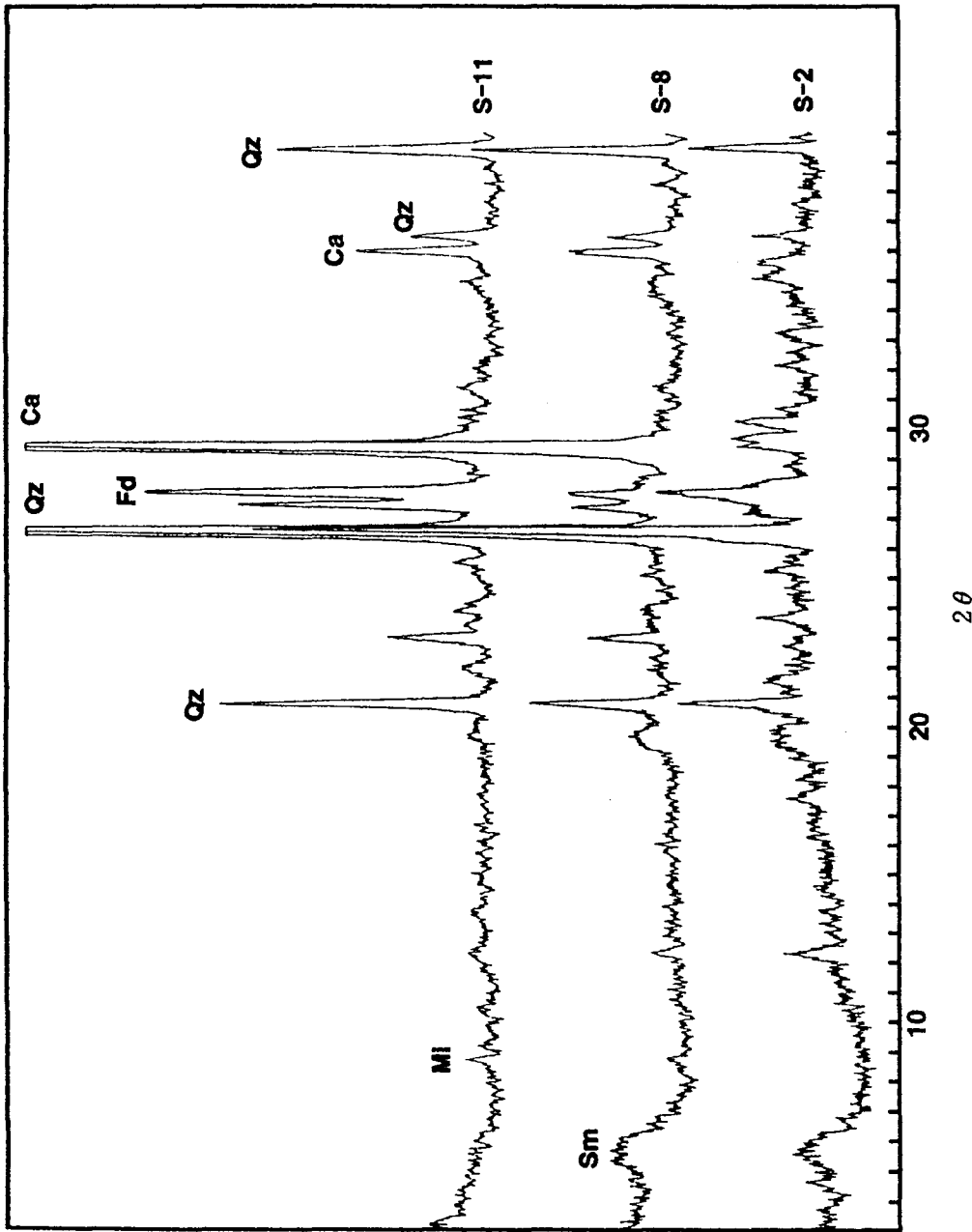


Fig. 14. X-ray diffraction patterns of samples from the outcrop of the Seoguipo Formation (Sm : smectite, Qz : quartz, Fd : feldspar, Ca : calcite, Mi : mica).

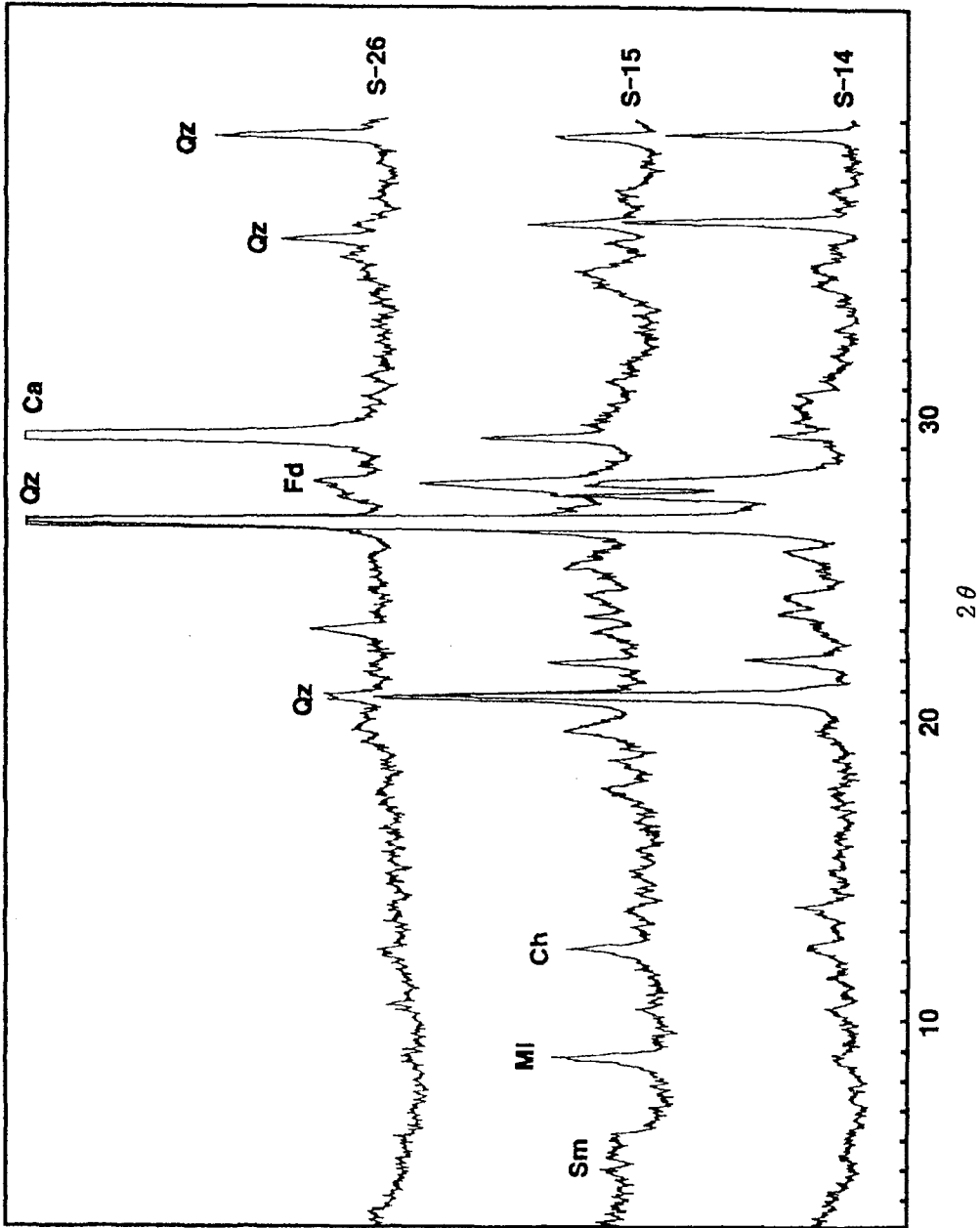


Fig. 14. Continued.

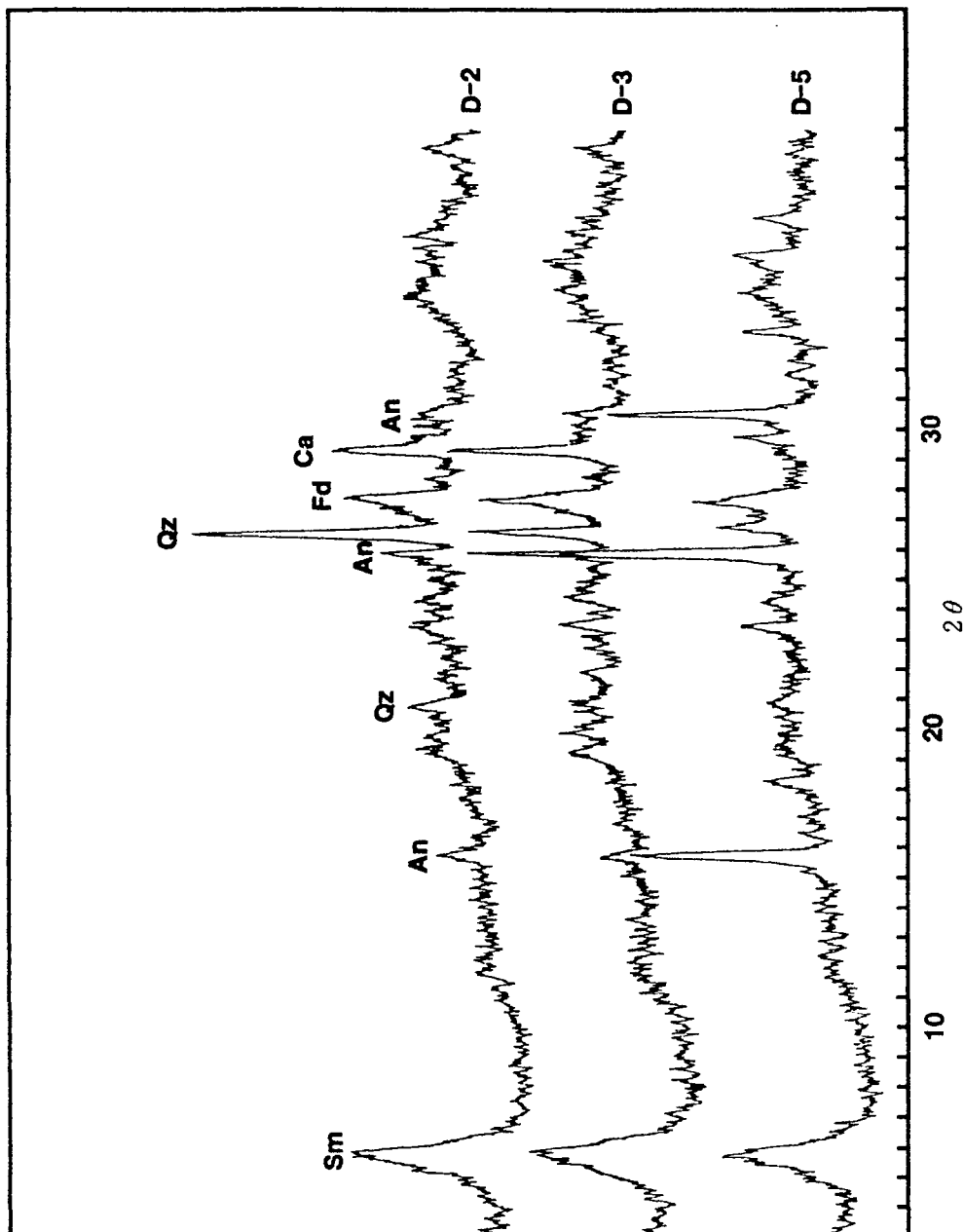


Fig. 15. X-ray diffraction patterns of samples from the Sanghyo(Donneko) deep well(Sm : smectite, Qz : quartz, Fd : feldspar, Ca : calcite, Mi : mica, An : analcite, li : illite, Ch : chlorite).

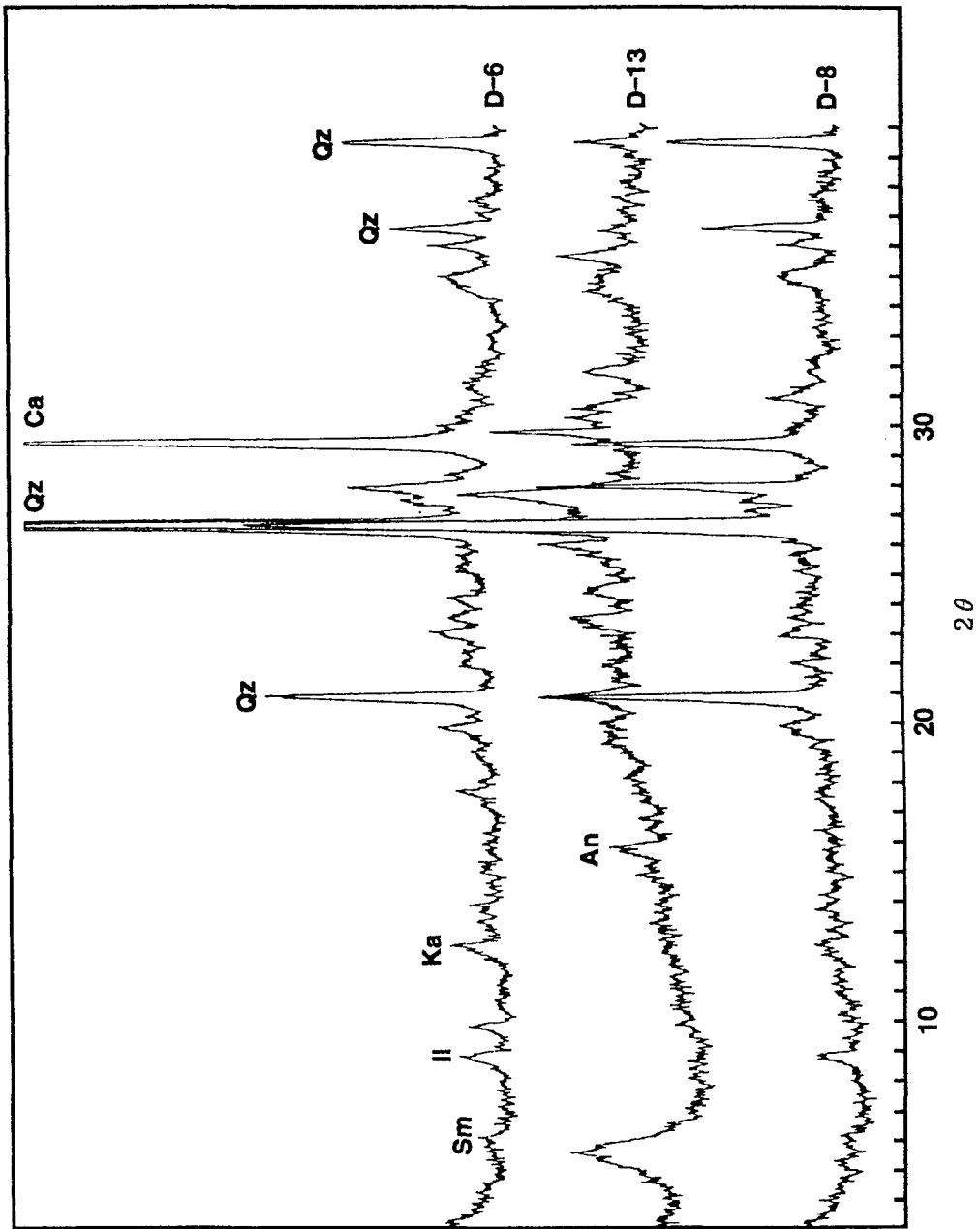


Fig. 15. Continued.

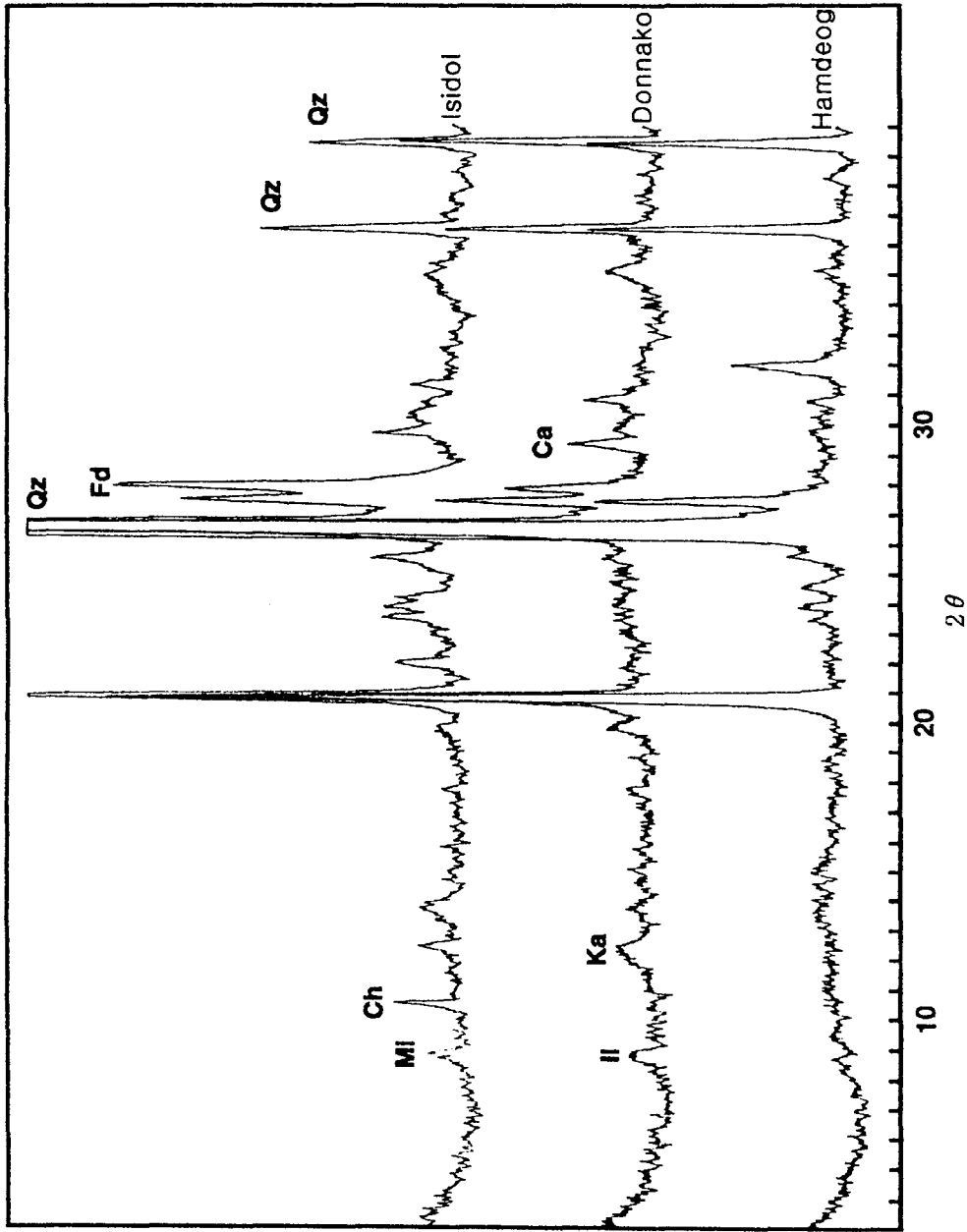


Fig. 16. X-ray diffraction patterns of samples from the U Formation in Sanghyo (Donneko), Hamdeog-1 and Isidol deep well (Sm : smectite, Qz : quartz, Fd : feldspar, Ca : calcite, Mi : mica, An : analcite, li : illite, Ch : chlorite).

에 충전되므로서 서귀포층을 교결시키는데 한 몫을 하였으나, U층에서는 패각이나 유공층의 각이 발견되지 않는다. 따라서 U층에는 교결물질로서의 탄산칼슘도 생성되지 않았던 것으로 해석된다. 아울러 U층에 현무암질 유리가 포함되어 있지 않다는 사실은 이층이 퇴적될 때는 화산활동이 없었다는 것을 의미한다.

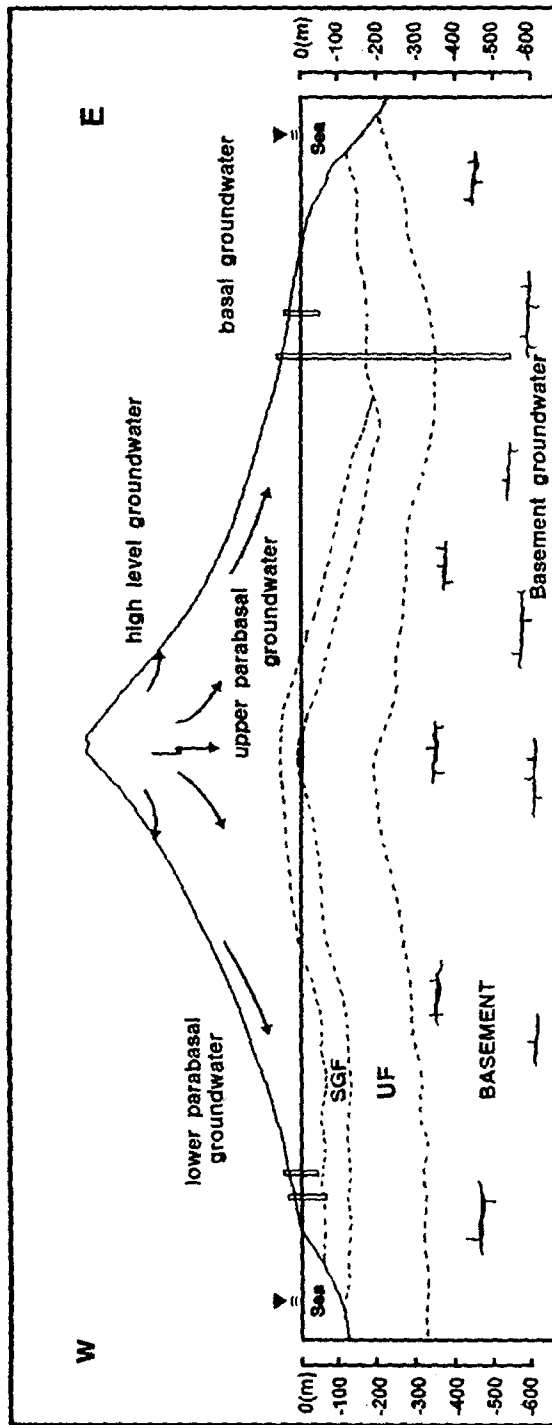
그러므로 본 연구에서는 서귀포층의 층서적 위치를 확실히 하기 위해 서귀포층에 대하여 다음과 같이 재정의 하고자 한다. 즉, 「서귀포층은 서귀포시 천지연 서쪽 해안가의 노출지를 표식지로 하는 지층으로서 제주도 화산체를 이루고 있는 용암류 중 중문조면현무암군, 표선리현무암군이 직하위에 분포하는 고결 내지 준고결된 화산성 역질사암, 사암, 사질이암, 이암 및 유리질 쇄설암으로 구성되어 있는 해성층이다」.

5. 지하수의 부존특성과 서귀포층의 관련성

제주도 지하수의 부존특성을 서귀포층의 지하분포상태와 연결시켜 해석해 보면, 서귀포층은 본 도 지하수의 부존형태를 결정짓는 가장 중요한 수문지질학적 인자인 것으로 판단된다. 즉, 서귀포층은 지하수로 보충되는 강수를 서귀포층 하부로 누출 또는 누수되는 것을 억제시켜 주는 비투수층으로서의 역할을 해주고 있음으로 인하여 서귀포층이 분포하는 지역에서는 본 층의 분포심도 변화가 자연수위 형성에 지대한 영향을 미치고 있을 뿐만 아니라, 강수량에 따른 수위변동도 큰 폭으로 발생하고 있다(Fig. 17참조).

지하수위 변동양상과 수직적인 수질조성을 서귀포층 분포상태와 연결시켜 보면, 본층이 결층되어 있는 제주도 동부지역은 지하수를 받쳐줄 만한 비투수성 지층의 발달이 빈약하고, 투수성의 높은 현무암류가 해수면 아래 평균 115m 깊이까지 분포하는 지질구조를 이루고 있기 때문에 내륙 깊숙이 까지 담·염수의 경계면을 갖는 기저지하수가 부존하고 있다. 따라서 조석에 의한 지하수위 변동이 가장 현저하게 일어나고 있을 뿐만 아니라, 막대한 양의 강우가 지하로 함양되더라도 조석현상에 의해 빠르게 혼합되므로서 강우에 의한 수위상승 폭이 적고, 계절적인 수위변동 폭도 작은 편이다.

이와는 대조적으로 제주도 서부지역의 지하수는 서귀포층에 의해 일종의 저류된 형



* SGF: Seoguipo Formation, UF: U Formation, Basement: Welded Tuff, Granite

Fig. 17. Schematic model showing hydrogeologic structures and occurrences of groundwater in Cheju Island.

태로 부존하고 있을 뿐 아니라, 해안변 지역에 분포하는 화산쇄설성 퇴적암층이 피복암 (cap rock) 역할을 하여 주고 있어 지하수체로 해수의 침투가 용이하지 못한 조건을 갖추고 있다. 또한, 서귀포층이 해수면 하 평균 50m~70m에 분포하고 있기 때문에 해안변에서 해수와 지하수가 접하는 부분이 동부지역에 비해 상대적으로 협소하므로 담수압 (해안으로 유출되는 지하수의 압력)과 해수압간에 평형상태 내지는 담수압이 증가할 수 있는 여건을 구비하고 있어 조석에 의한 수위변동이 미약하게 일어나고 있는 것으로 판단된다. 그렇지만 강우로부터 함양되는 지하수가 서귀포층 상부에 쌓이는 형태로 부존하고 있으므로 강우량에 따른 수위변동 폭이 동부지역보다는 훨씬 높은 동저하고(冬低夏高)의 수위변동이 뚜렷하게 나타나고 있다. 이러한 현상은 서귀포층이 해수면 하 평균 40~50m에 분포하고 있는 북부지역에서도 동일하게 나타나고 있다.

서귀포층이 해수면 위 평균 46m에 분포하고 있는 서귀포지역은 조석의 영향을 받지 않는다고 있지만 지하수가 서귀포층의 경사를 따라 상당히 빠르게 유출되므로 강우와 한 발에 의한 수위 등락폭이 크게 나타나고 있다. 또한, 대수성 시험시 수위강하량이 제주도내에서 가장 큰 지역임을 고려할 때 지하수 개발·이용에 호조건을 지니고 있다고 보기에는 어렵다.

6. 결 론

서귀포층의 지하분포상태를 중심으로 한 제주도의 지하지질구조와 지하수의 부존특성과의 관련성을 규명하기 위한 연구를 실시한 결과는 다음과 같다.

1. 제주도의 기반암은 화산쇄설암류와 화강암으로 이루어져 있으며, 기반암의 분포심도는 해수면 하 최대 312m, 최소 155m부터 분포하고 있다. 동부지역에서는 해수면 하 221.9~312m부터, 남부지역에서는 해수면 하 210~295m, 북부지역에서는 해수면 하 136~415m부터 기반암이 분포하고 있다. 화강암의 방사성 동위원소 연령은 58.14 Ma이며, 지질시대는 신생대 제3기 팔레오세 후기이다.
2. 기반암 상위에는 층후 70~250m의 미교결된 U층이 분포하고 있는데 동부지역에서는 해수면 하 평균 115.3m부터, 남부지역에서는 해수면 하 평균 72.6m부터, 북부지역에서는 해수면 하 136~160m부터 분포하고 있다.
3. 지하에 있어서 서귀포층은 국지적으로는 분포심도에서 다소 차이를 보이지만 광역적으로 볼 때에는 북촌-표선 선의 동쪽을 제외한 지역의 표고 약 400m이하의 지하에 수평적인 연속성을 가지고 분포하고 있다. 북촌-표선 선은 서귀포층의 구성물질의 하나인 유리질 쇄설물을 공급하여 준 해저화산활동과 관련된 상 경계선으로 해석된다. 서귀포층의 지역별 평균 지하분포심도는 남부지역에서 El. -5.76~El. 46.63m, 서부지역에서 El. -41.89~-57.97m, 북부지역에서 El. -13.16~50.59m로서 퇴적 이후에 남부지역이 전반적으로 융기하였음을 보여준다.
4. 지하수위는 서귀포층의 지하분포 심도와 매우 밀접한 정(正)의 상관관계를 갖고 있으며, 제주도 지하수의 부존특성을 지배하는 중요한 수문지질학적 인자임이 확인되었다.

참 고 문 헌

- 고기원, 1991a, 제주도 서귀포층의 지하분포상태, 제주대학교 해양연구소 연구보고 제15권, p. 81~92.
- 고기원, 1991b, 제주도 서귀포층의 지하분포상태와 지하수와의 관계(요약), 지질학회지 27(5), p. 552.
- 고기원, 박원배, 윤정수, 고용구, 김성홍, 신승중, 송영철, 윤 선, 1993, 제주도 동·서부지역의 지하수 부존형태와 수질특성에 관한 연구, 제주도보건환경연구원보 제4권 p. 191~222.
- 고기원, 윤 선, 윤정수, 박원배, 한정상, 김남중, 정구원. 1993. 제주도의 지하수 산출특성(요약), 대한지질학회 제48차 학술발표집 p. 48
- 김봉균, 1970, 제주도 신양리 및 고산리 지구 신양리층에 대한 층서 및 고생물학적 연구 (영문), 지질학회지 제15권 제2호, p. 103~121.
- 김봉균, 1972, 서귀포층의 층서 및 고생물학적 연구, 손치무교수 회갑기념 논문집, p.1~18
- 농림수산부, 제주도, 농업진흥공사, 1989, 제주도 지하수장기개발계획 조사 보고서, p. 396.
- 농업진흥공사, 1971, 제주도 지하수조사 보고서.
- 박준범, 1994, 제주도 화산암의 지화학적 진화, 연세대학교 박사학위논문
- 안건상, 이현구, 임형철, 1995, 제주도에서 산출되는 화강암에 관한 연구, 자원환경지질, 28(5), p. 513~519.
- 原口九萬, 1928, 제주도 화산암 중의 반정 및 제3기 화석, 지구 10-5, p. 34~40.
- 원종관, 1975, 제주도의 형성과정과 화산활동에 관한 연구, 건국대학교 응용과학연구소 이학논집 1, p. 7~41.
- 원종관, 이문원, 이동영, 손영관, 1993, 제주도 수자원종합개발계획수립 조사보고서-성산도폭 지질 설명서, 건설부, 제주도, 한국수자원공사
- 윤 선, 고기원, 박원배, 1994, 제주도 서귀포층의 지하분포상태와 지하수부존특성과의 관계, 제주대학교, 제주도수자원연구회 학술심포지엄 논문집, p. 98~132.
- 윤 선, 백광호, 김인수, 손호웅, 1996, 제주도의 종합층서와 지하지질구조, 한국과학재단 특정연구 제1차 중간보고서.

- 윤상규, 한 대석, 이동영, 1987, 제주도 남부지역의 제4기 지질조사연구, 한국동력자원연구소 연구보고 KR-86-2-(B)-2, p. 1~64.
- 이문원, 1994, 제주도의 형성사와 지질구조, 대한지하수환경학회, 전략광물자원연구센터공동 학술 심포지엄 논문집 제주도 지하수원의 환경학적 보전과 개발 이용, p. 54~74.
- 이문원, 원종관, 이동영, 박계현, 김문섭, 1994, 제주도 남사면 화산암류의 화산층서 및 암석학적 연구, 지질학회지 제30권 제6호, p. 521~541.
- 이성숙, 윤 선, 윤희수, 고기원, 1995, 제주도 신생대 지층에서 산출된 석회질 초미화석, 한국고생물학회 제11차 정기총회 및 학술발표회 요약집, p. 14~16.
- 산업기지개발공사, 1981, 제주도 수자원개발 종합보고서, p. 388.
- 한국수자원공사, 1993, 제주도수자원종합개발계획수립보고서
- 허원혁, 1993, 제주도 서귀포층의 생흔화석과 퇴적환경에 관한 연구, 한국 교원대학교 석사학위논문 p. 1~83
- 현대근, 1995, 제주도의 시추코아로부터 채취된 개형층화석 군집에 대한 연구, 고려대학교 교육대학원 석사학위논문, p. 1~57.
- Choi, S. H., 1990, Hydrogeological and Hydrochemical Characteristics of Groundwater in Cheju Island, Kyoungpook National University, p. 169.
- Kim, B. K., 1965, The stratigraphic and paleontologic study on the Tertiary(Miocene) of the Pohang area, Seoul Nat. Univ. Jour. Sci. and Techno. Ser., vol. 15, p. 32~121.
- Kim, B. K., 1984, Pliocene Brachiopods from the Seogwipo Formation of Cheju Island, Korea, Jour. Natl. Acad. Sci. Korea Natu. Sci. Series Vol.XXIII, p. 1~20
- Kwon, B. D., Lee, H. S., Jung, G. G. and Chung, S. W., 1995, Investigation of subsurface structure of Cheju Island by gravity and magnetic methods. Econ. Environ. Geol., 28(4), p. 395~404.
- Lee, E. H., 1990, Pleistocene Ostracode from the Marine Sedimentary Strata of the Cheju Island, Korea, Korea University Thesis for the Degree of Ph.D., p. 1~400.
- Lee, M. W., 1982, Petrology and geochemistry of Jeju Volcanic Island, Korea. Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. 3, 15(2), p. 177~256.