

## 제주도 지하공기의 이용

성문석<sup>1\*</sup>, 김진허<sup>2</sup>, 소인섭<sup>3,4</sup>, 강성금<sup>1</sup>, 고성준<sup>1</sup>, 김인중<sup>3,4</sup>, 고문환<sup>1</sup>

<sup>1</sup>제주특별자치도 농업기술원

<sup>2</sup>한국농촌공사 제주지역본부

<sup>3</sup>제주대학교 생명자원과학대학

<sup>4</sup>제주대학교 아열대농업생명과학연구소

## Utilization of Basal Underground Air in Jeju Island

Moon-Seok Sung<sup>1\*</sup>, Jin-Hoe Kim<sup>2</sup>, In-sup So<sup>3,4</sup>, Seong-Geun Kang<sup>1</sup>,  
Sung-Joon Ko<sup>1</sup>, In-Jung Kim<sup>3,4</sup>, Moon-Hwan Ko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jeju Special Self-Governing Province Agricultural Research and Extension Services,  
Jeju 697-701, Korea ;

<sup>2</sup>Jeju-do Office, Korea Rural community ad Agriculture corporation. Jeju 690-072, Korea;

<sup>3</sup>College of Applied Life Sciences, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea;

<sup>4</sup>Research Institute for Subtropical Agriculture and Biotechnology, Jeju National University,  
Jeju 690-756, Korea

### ABSTRACT

The data used in this study were from the geologic columnar section from over 5,000 tube wells. Boring depth was identified to secure an enough airflow when air ventilation layer is to secure 25-35m in depth. Considering the size of electronic power and airflow to secure, the borehole diameter of 250-300mm was tested. The result of this test showed that the wider the borehole diameter is, the more the airflow increase. Borehole protection pipe was established according to ground water tube well which was recommended by Water Resources Headquarter, Jeju Special Self-Governing Province. It was identified that there is no environmental geological problems such as the

breaking of ground. Even though the wind flux test through underground borehole was applied in a variety of way this study, it was proved that the kind of blower fan, fan electric power, boring depth, borehole diameter, whether to establish the protection pipe were significant factors to determine difference in the inhalation of underground air. The significant differences were as follows. Blower fan (turbo engine) was more beneficial than axial fan in noise and persistence when turbo fan whose static pressure efficiency was used. The electric power of blower fan was stable between 5.5kw and 7.5kw, considering its establishment place and the possible quantity of air inhalation.

## 서론

제주도의 지질은 현무암류 등의 화산암류와 화산쇄설성 퇴적암류로 구성되어 있으며, 현무암은 기공 발달이 많고 균열과 수직절리가 잘 발달된 특징을 갖고 있다. 수십 회의 화산 분출로 이루어진 현무암층(부 등, 2006)은 그 두께가 1~2m 부터 수십 m에 이르는 경우가 있으며, 각 암층 사이에 화산쇄설층이 협재되어 있다. 화산쇄설층의 두께는 1~5m 정도이나 때로는 20m 이상 되는 것도 있으며 화산재, 화산사, 화산력, 스크리아(송이) 등과 같은 화산쇄설물로 구성되어 있어 지하수의 유동 통로 역할을 하고 있다(오 등, 2000). 투수성지질구조라 함은 강수의 지하유입 또는 유동이 주변의 다른 지역보다 매우 높은 지질구조 또는 지질매체가 분포된 지역을 의미한다. 제주도의 지하수보전관리계획보고서(제주도, 2000)에 의하면, 투수성지질구조는 제주도 해안지역에서 강수가 하천유출이 되지 않고 지하로 직접 유입되는 지역과 이와 유사하게 투수성이 매우 좋은 지질매체가 분포된 지역으로 구분하고, 그 유형, 생

성성인, 분포 등을 구분하여 투수성지질구조도를 작성하였으며, 투수성지질구조 유형은 용암동굴, 습골, 꽃자왈, 오름, 하천, 스크리아류 퇴적층으로 분류하였다(Fig. 1). 특히, 용암지대에 발달된 용암동굴과 습골, 화산쇄설층 및 현무암내 절리 또는 파쇄대층은 지하수의 유동통로 뿐만 아니라 지하수위 상부구간에서는 공기의 통로 역할도 할 것으로 추정된다(이 등, 1966; 장 등, 1997; 장 등, 1999).

지온의 계절변화도 지하 10~20m 깊이에서는 거의 나타나지 않는데, 이러한 층을 지중온도의 불변층이라고 한다. 그리고 지하로 깊게 내려갈수록 지온은 점차 상승하는데, 그 비율(지하중온율)은 100m당 2~3°C로, 대체로 어느 곳에서나 거의 같은 값을 나타낸다. 지중온도의 특징은 여름철은 지표보다 낮고, 겨울철은 지표보다 높게 유지된다. 지중온도의 최대 장점은 주변과 잘 섞이지 않아 15~18°C를 연중 일정하게 유지할 수 있다는 점이 에너지로서 자원화 할 수 있는 가장 큰 장점이며, 제주도 해수침투 관측망조사사업(제주도, 2004)에서 보면 용수 2지구와 무릉 2지구의 심도

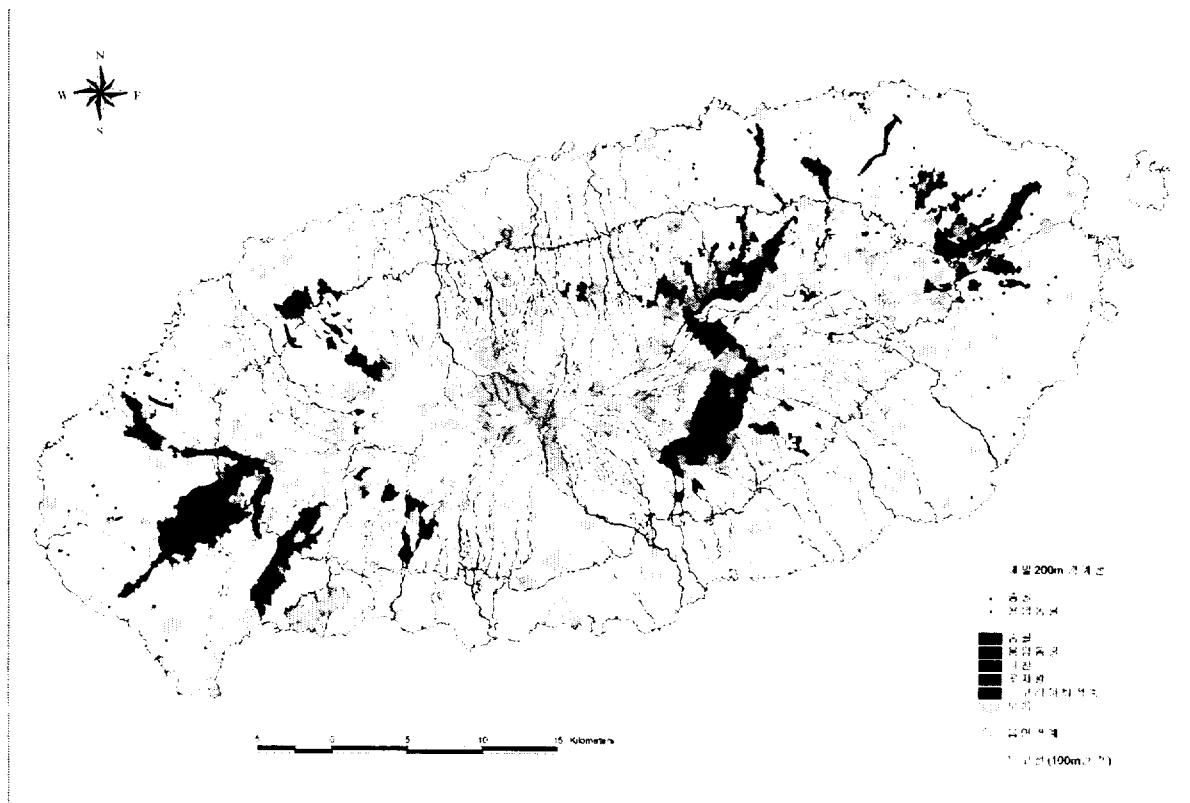


Fig. 1. The structure map of water permeable geology in Jeju

별 수온분포도로서 약 16℃ 내외의 값을 보이는 것으로 보고되어 제주도의 지하공기 이용 가능성을 높여주는 기초 자료이다.

지하공기의 이용은 지하공기 온도가 연간 14~19℃로 항상 일정하다는 것과 경제적으로 화석연료 또는 전기에너지 등을 이용하는 것보다 경제적으로 충분한 공기량이 공급된다는 가정 하에 현실화될 수 있다. 그러나 지하공기의 온도는 비교적 지역에 관계없이 일정한 수준을 유지할 수 있으나 지하공기량은 지질의 투수성 지질구조의 발달 정도에 따라 현저한 차이를 보일 수 있기 때문에 시추공 개발 예정지에 대한 투수성 지질구조 발달에 대한 예측이 무엇보다도 중요한 과정이라 할 수 있다. 현실적으로 시추공 개발 예정지에 대한 투수성 지질구조의 직접적인 조사 방법은 지구물리탐사 및 지질도 분석방법 등이 있으나, 실제로 지하공기층의 유무까지 추정할 수 있는 신뢰도 높은 예측방법은 기대할 수 없으며, 현재로서는 1970년대 이후 개발된 기설 지하수관정의 지질주상도를 활용하는 방법이 가장 설득력 있는 방법이라 할 수 있다(민 등, 1986 ; 박 등, 1994). 시추공 개발시 결정되어야 하는 시추심도 및 직경은 개발 예정지의 표고와 지하수면의 깊이, 그리고 투수성 지질구조의 발달 정도에 따라 결정되어야 할 것이다. 특히, 지하수면 하부에서는 지하공기 확보가 불가능하므로 해안 저지대 및 지하수면이 너무 얇게 형성되어 있는 지역에서는 지하공기층 개발이 불가능할 수 있다(원 등, 1976). 그 동안 제주도에서 화산암층을 대상으로 지하수관정이 개발되어 왔음에도 불구하고, 지하공기 개발을 위한 시추공의 효율적인 굴착방법이 기존의 지하수관정 개발방식과 동일할 수는 없다.

제주도의 농업생산구조 중 시설재배의 비중이 높은 지금에 한·미 FTA에 의한 시장개방 흐름과 고유가에 따른 난방비 부담으로 제주도 감귤농가의 경제가 심각한 상황이며, 농업생산비 원가 절감이 농가 경영난 극복의 핵심요소로 대두됨에 따라 대체 에너지 개발에 대한 대책 마련이 시급한 실정이다.

화산폭발에 의해 형성된 제주도의 지층구조는 지하공기가 연중 일정온도(14~19℃)를 유지하므로 이것을 농업용 시설하우스 등의 난방에너지로

이용하여 경제적인 순수한 천연에너지를 영속적으로 얻을 수 있는 가능성에 착안하였다.

제주도의 지하에서 흡입되는 공기에는 3,000~10,000ppm 농도의 CO<sub>2</sub> 가 함유된 것으로 확인 되었으며 부가적 이용에 대한 효용성에 대하여도 시험을 통한 증명을 하였다.

이에 따라 많은 작물별 이용성을 극대화하기 위해 지질분석을 수행하였고, 지하공기를 효율적으로 이용하기 위한 방법에 대한 기초조사를 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 지하 통기성 지질구조 분석

한국농촌공사 제주도본부에서 지하공기 개발을 위한 시추공사가 처음으로 시도하면서 경제성과 환경 및 공학적 안정성의 균형을 고려하여 적정 시추공법 및 시추심도, 직경 등을 검토하였다.

먼저, 4개소에 대한 시추심도, 시추직경, 지층분석 및 풍량시험 결과와 시공 과정에서 환경 및 공학적 안정성을 고려해서 선택한 굴착과정 및 시추공 개발 모식도를 참고로 한 표준 시공 방안은 Table 1과 같다.

Table 1. Details in boreholes in Jeju city.

Area	Altitude (LE. m)	Boring depth (m)	Borehole diameter (mm)	Borehole an engineering method	Cultivation item
대흘	93.0	50	250	Rotary	Mandarin
선홀	79.0	50	250	Rotary	"
협재	43.0	30	300	Rotary	Mushroom
월평	200.0	50	300	Rotary	Cut flower

시추공개발 공정은 상부구간 오염방지 그라우팅, 찬공, 시추공 보호자재 설치 순서로 진행되었다. 상부구간 오염방지를 위한 주변 공간 그라우팅은 지표에서 부터 5m내외로 시행하였고, 그 두께는 50~75mm내외로 시공하였다. 찬공은 회전식 시추공법으로 시행하였으며 시추코어는 회수

하여 비교·분석하여 지하공기의 통기층 분석에 참고하였다.

시추공의 지질구조에 대한 정밀분석을 위하여 시추공내 정밀영상촬영 기법인 BIPS(Borehole Image Processing System ; Geologger3 일본 OYO사)로 불연속면인 절리면의 분포상태 및 절리간격, 절리빈도, 심도별 지질구조 및 화산쇄설층의 분포상태를 대흘지구 시추공에 대하여 조사하였다.

주향경사 측정은 현장에서 관찰 기록된 영상을 먼저 PC로 읽어 들여 BIPS 전용 실내 해석 시스템의 디스플레이 상에 표시하고, 공벽과의 절취선으로 표시되는 일련의 지층면, 균열면을 마우스로 포인팅(Pointing)한다. 또한 같은 모양의 개구폭(Joint Aperture)도 pointing한 2점간의 실거리로서 나타낸다.

주향경사해석은 먼저 절리(Joint) 특성에 따라 해석 data를 Worksheet에 표시, 기록한 후에 주향경사 해석 프로그램인 DIPS(Data Interpretation Package using Stereographic projection)를 이용하였다.

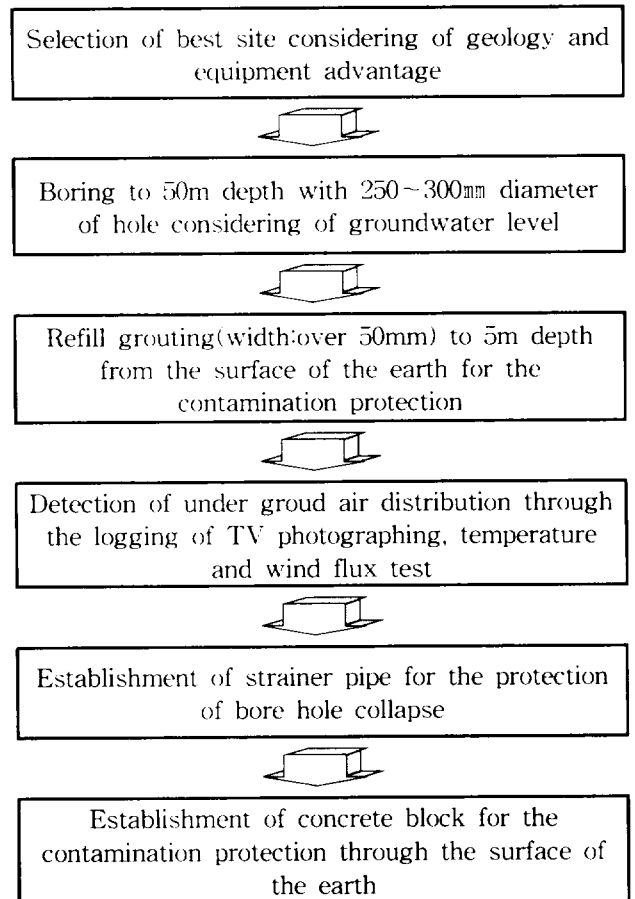
영상이미지를 해석하여 얻은 지하암반의 불연속면(Joint, bedding, foliation 등)을 DIPS로 도형화(Contour Diagram, Rose Diagram)하여 불연속면의 주향경사(Dip/Dip Direction)를 계산하였다. 촬영으로 취득한 지질구조 정보의 해석은 아래 내용과 같이 불연속면 해석과 암반 균열상태 해석으로 나누어 실시하였다. 불연속면 해석은 공벽 전개화면 상에서 얻어진 불연속면의 분포심도는 각 면의 요소와 공벽에 나타나는 균열 등의 접선은 중앙점을 기재하였고, 주향경사는 공 주위의 50%이상 연속하는 면 요소에 대해서 측정하였으며, 파쇄대를 갖는 면 요소에 대해서는 그 상, 하 단면의 주향경사를 측정 기록하였다. 불연속면 요소는 다음의 6가지로 구분하였다(Table 2).

굴착이 끝난 후 설치된 공 보호자재는 공벽으로부터 탈락되거나 지지력이 낮은 사력층의 붕괴나 낙석 방지를 위하여 시공되었으며, 내구성 및 내화확성이 좋고, 천공(穿孔) 가공이 쉬운 장점이 있는 PE 파이프에 원형 또는 직사각형의 구멍(φ 3cm)을 뚫고 개공율이 약 15~20%이상 확보함으로써 지하공기의 흡입이 용이하도록 하였다.

**Table 2.** The characteristics of discontinuous elements of base rock

Factor	Characteristics	
Structure	stratification, foliation etc in geologic structure	
Joint	Closed	width is under 0.5mm in the picture
	Semi-open	width is 0.5~10mm in the picture
	Open	width is over 10mm in the picture
Crushing Zone	crushing zone or the upside and downside of fault	
Mineral Vein	colored mineral vein(quartz vein, calcite vein etc)	

시추공 굴착공정 및 개발모식도는 과거 제주도 지하수관정 개발과정에서 취득한 지질, 시추정보에 의해 흐름도 및 모식도를 제시하였다(Fig. 2, 3).



**Fig. 2.** The flow charter of borehole being processed.

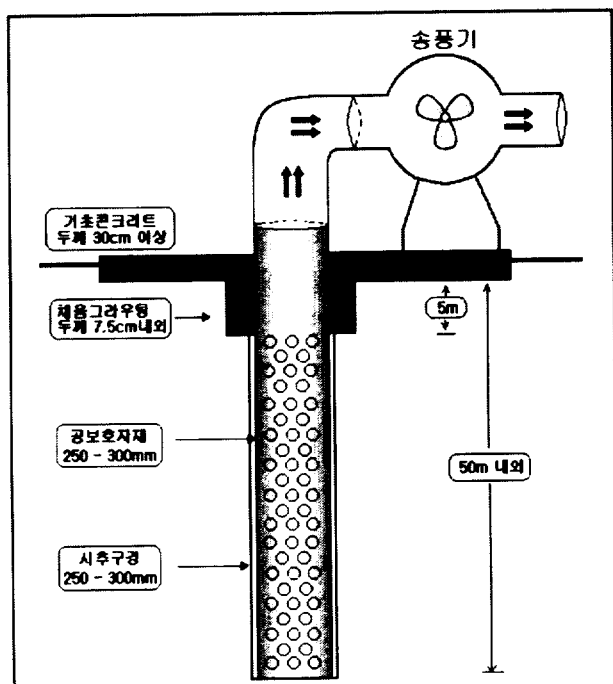


Fig. 3. The mimetic diagram of borehole for the development of underground air.

## 2. 송풍시스템 설치 및 풍량시험

지하공기를 지상에서 흡입하여 이용시설에 공급할 목적으로 시추공 수직상부에 공기 흡입팬을 설치하였으며, 흡입팬은 시추공의 밀폐조건에서 공기를 충분히 흡입할 수 있도록 고압조건에서 최적의 효율을 가지는 흡입팬을 종류별로 선정하여 풍량시험을 실시하여 최고의 효율을 발휘할 수 있는 송풍시스템 조건을 확인코자 하였다.

특히, 공기를 흡입하고 송풍하는 기능을 하는 송풍기의 설계는 송풍조건을 확립하는데 가장 중요한 요소라 할 수 있기 때문에 팬 구조 및 용도 등에 따른 공기의 전달 및 압축 작용을 하는 회전날개의 형식별로 기능성을 검정하였다.(Table 3).

대기상태가 아닌 밀폐된 시추공으로부터 공기를 흡입·송풍하는 목적으로 팬을 설치하는 본 공정에서는 팬의 고속회전에 의한 고용량 송풍기보다는 일정한 수준의 정압을 확보하면서 고용량의 송풍기능이 가능한 송풍방식이 요구된다.

본 시험에서는 시추공으로부터 지하공기를 흡입할 때 풍압의 요구사항을 분석하기 위하여 저풍압 고용량 송풍이 가능한 축류형 송풍기와 정압효율이 높고 풍량 조절이 가능한 고압형 터보팬 등 2종류의 송풍기를 이용하여 풍량시험을 실시하였다.(Fig. 4, 5).

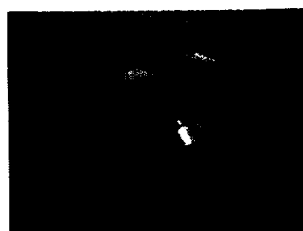


Fig. 4. Pantoscope of wind flux test by axial fan.

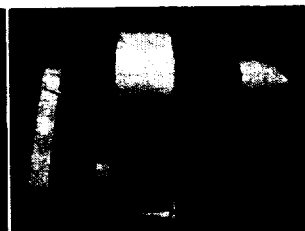


Fig. 5. Pantoscope of wind flux test by turbo-fan.

풍량 측정은 송풍기의 토출구에서 풍속을 측정 한 후 토출구 면적을 구하여 풍량을 계산하였다. 시험시간은 시간에 따른 풍속 및 온도 습도 변화를 검토하기 위하여 8시간 동안 조사하여 평균값으로 하였다.

시추공에 대한 지하공기 흡입시험은 지구별로 심도(27 m, 50 m)와 시추공 보호자재 설치 전·후에 각각 실시하였으며, 특히 대흘지구에서는 흡입팬(송풍기)의 종류에 따라 흡입시험을 실시하여 좀 더 효율적인 송풍방식을 구명코자 하였다.

Table 3. Comparison of the characteristics of blower fan by the shape and kind of its wing

Shape of wing	Kind of wing	Static pressure (mmaq)	Fan efficiency (%)	Characteristic
Centrifugal type	Sirocco Fan	10~100	40~60	slow speed.
	Air Foil Fan	25~300	70~85	high speed
	Turbo Fan	50~1,000	60~80	high speed
	Radial Fan	50~500	40~70	high noise
Axial fan type		-	40~85	high airflow

## 결과 및 고찰

### 1. 지하 통기성 지질분석 결과

시험시추공의 지질층서는 지표지질 및 회수된 시추코어에 대한 육안관찰과 시추공내 TV촬영 결과를 종합 분석하였다. 시험 시추공 중 선홀, 대홀 및 협재지구의 지표지질 및 지하지질 주 구성암질은 회백색 또는 흑회색을 띠는 장석감람석 현무암이며, 월평지구의 구성암질은 회백색과 흑회색을 띠는 장석현무암(FB)과 장석감람석현무암

(FOB)으로서 현무암층사이에 스크리아(송이) 화산사와 화산력으로 구성된 화산쇄설층이 협재되어 있는 지질층서 구조를 보인다(Fig. 6.).

지하공기 통기층으로 기대하였던 화산쇄설층은 조사 결과 모든 화산쇄설층이 통기성이 양호한 것은 아니며, 화산쇄설층 내에 토사의 함량이 높은 경우에는 지하공기의 유동 특성을 갖지 못하는 반면, 오히려 현무암층 구간 중 일부 열린 절리대가 발달한 구간(박 등, 1993)에서 지하공기의 유동이 가능한 통기성이 좋은 구간으로 확인되었다.

Table 4.에서 보는 바와 같이 시험지구 시추공

**Table 4.** The geologic layer of boreholes analyzed by district.

Area	Altitude (EL. m)	Boring depth(m)	Pyroclastics		Main volcanic rock
			Thickness(m)	Percentage(%)	
	Aver.		30.2	15.9	
대홀	79.0	50.0	22.7	45.4	Pyroclastics, FOB <sup>1)</sup>
선홀	93.0	50.0	2.5	5.0	Pyroclastics, FOB
협재	43.0	30.0	2.5	8.3	Pyroclastics, FOB
월평	200.0	50.0	2.5	5.0	Pyroclastics, FB <sup>2)</sup> FOB

<sup>1)</sup> FOB : Feldspar Olivine Basalt, <sup>2)</sup> FB : Feldspar Basalt

**Table 5.** Analysis of geologic layer and air ventilation by geologic columnar section in Daeheul.

Depth (m)	Thickness (m)	Geologic formation	Air ventilation	Remarks
0~0.5	0.5	earth and sand, pebbles		refill grouting zone
0.5~5.0	4.5	FOB		zone
5.0~8.0	3.0	FOB		
8.0~18.3	10.3	FOB		
18.3~20.8	2.5	pyroclastics		clay inclusion
20.8~25.8	5.0	FOB		
25.8~27.8	2.0	FOB	good(joint)	leakage zone
27.8~30.4	2.6	FOB		
30.4~31.5	1.1	FOB	good(joint)	leakage zone
31.5~33.4	1.9	FOB		
33.4~34.3	1.0	FOB	good(joint)	leakage zone
34.3~35.0	0.7	FOB		
35.0~35.3	0.3	FOB	good(joint)	leakage zone
35.3~37.0	1.7	FOB		
37.0~38.6	1.6	clay		
38.6~40.0	1.4	FOB	good(joint)	leakage zone
40.0~50.0	10.0	FOB		

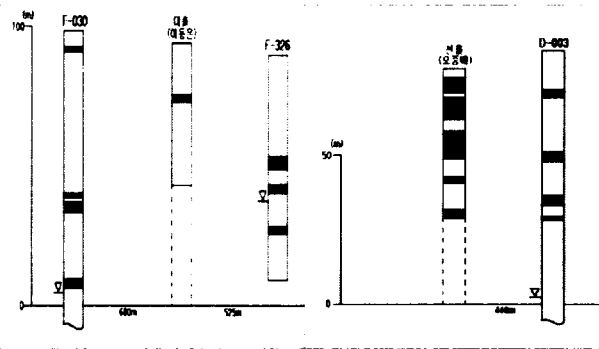


Fig. 6. Pyroclastics distribution of existing tube wells and boreholes in the Daehuel and Sunhuel.

이 위치한 지질은 장석감람석 현무암(FOB)이 지표에서부터 지하지질까지 주로 분포하는 특징을 보이고 있으며, 보편적으로 지하수의 주대수층으로 인식되는 화산쇄설층(부 등, 1988)은 전체 두께의 약 15.9%를 포함하고 있는 것으로 확인되었다(박 등, 1991). 또한 장석 현무암(FB)층은 월평 지역에서만 존재하는 것으로 나타났다.

대흘지구의 지질층서는 표토 토사, 장석감람석 현무암외에 현무암내에 협재된 화산쇄설층과 점토층이 각 1회 관찰되었다. 화산쇄설층과 점토층후는 총 4.1m에 그쳤고, 화산쇄설층내에 점토함유량이 높아 찬공수 누수가 발생되지 않았기 때문에 지하공기층의 발달이 어려운 것으로 예측되었으나, 현무암 구간 중 절리대가 형성된 5개 지점에서 찬공수 누수(leakage zone)가 발생되어 통기층의 역할을 기대할 수 있는 것으로 분석되었다.(Table 5).

시추공 공내 TV촬영(BIPS) 영상 중 대흘지구는 심도를 0.9 ~ 37.0m까지 한 결과 전체절리면은 16개가 관찰되었으며 미세절리 3개, 열린절리 13개이었다. 일부구간에서는 18.2~19.2m, 19.8~20.6m, 25.9~26.5m, 30.4~31.4m, 34.8~35.5m의 파쇄대가 있었다. 30.0~35.2m 구간 영상으로서 열린 절리(Open Joint)가 집중 발달되어 누수구간 또는 통기층 역할을 할 것으로 예측되는 지질구조를 잘 보여주고 있다. (Fig. 7. 8.)

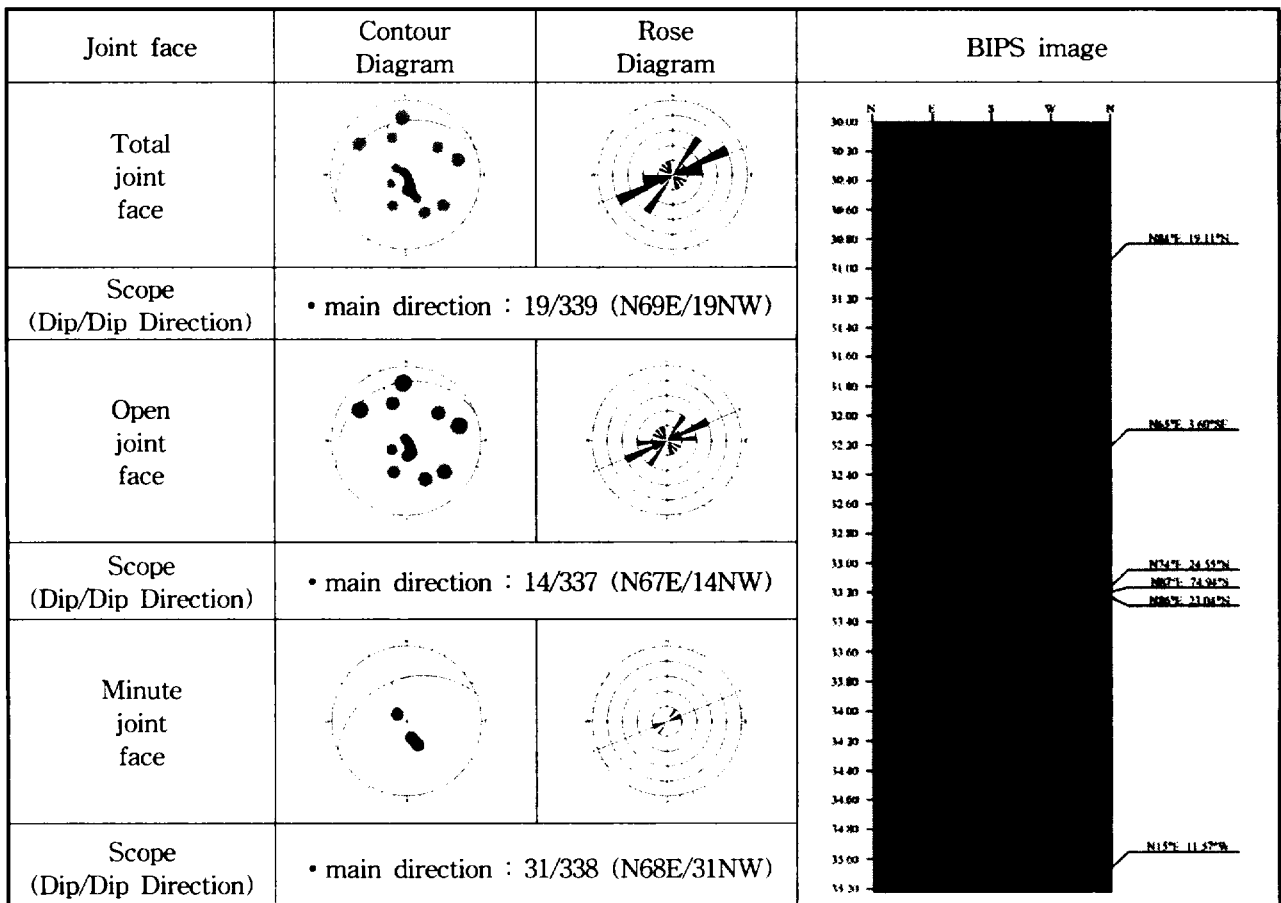


Fig. 7. BIPS photographing image of borehole in Daehuel.

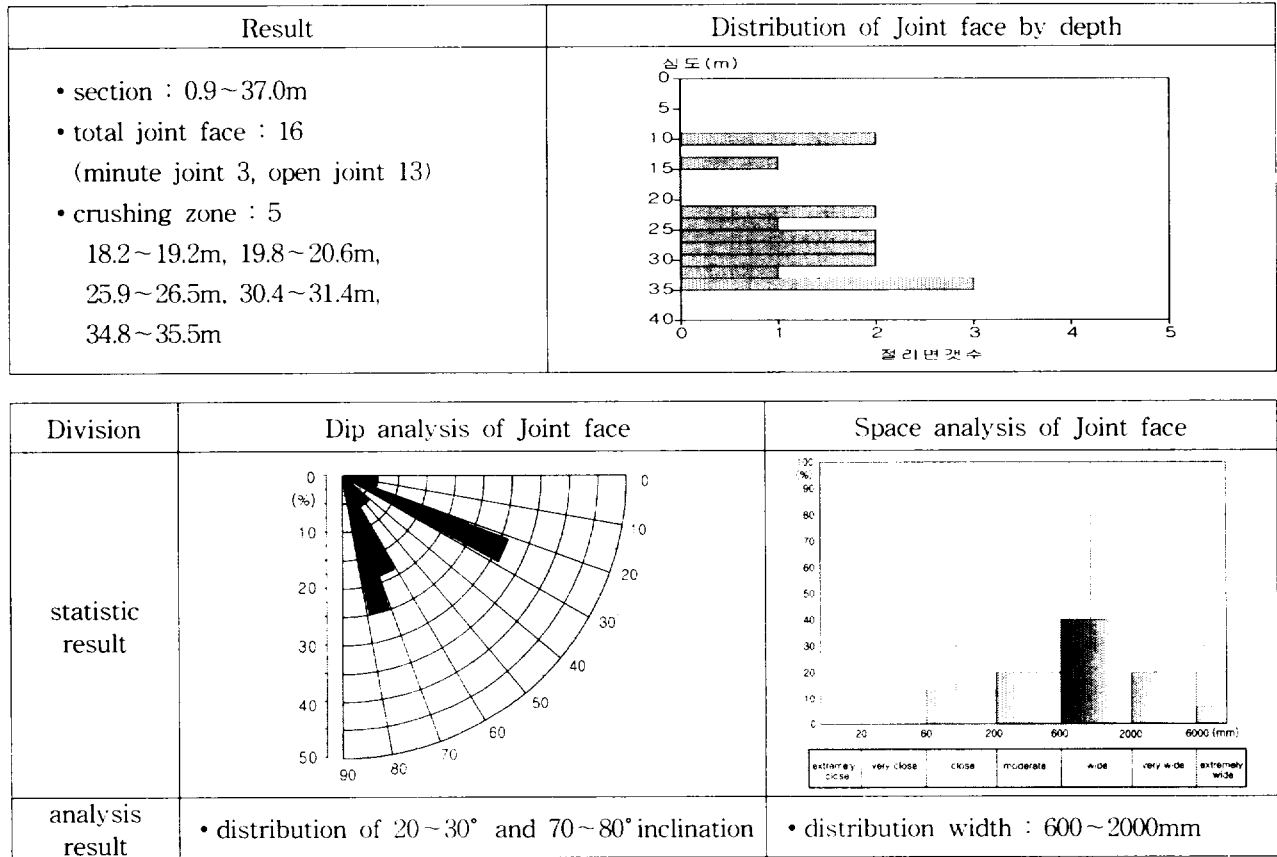


Fig. 8. Statistical analysis of BIPS photographing image of borehole in Daeheul.

전체절리면 주방향성은 19/339의 경사방향과 경사각의 주향 N69E/경사 19NW를 보이며, 열린절리면 주방향성은 14/337(N67E/14NW)과 절리면 주방향성은 31/338(N68E/31NW)을 보였다.

통계처리 결과로 절리면 경사 분석은 20~30° 경사가 우세하게 발달하며, 70~80°의 높은 경사도 발달하였다. 절리면 간격의 주분포 양상은 600~2,000 mm으로 ISRM 표기상 넓은(wide)으로 분석되었다.

선홍지구의 지질층서는 장석감람석현무암외에 현무암내에 협재된 화산쇄설층으로 총 6개로 구성된다. 화산쇄설층은 층후는 총 25.7 m이었고, 화산쇄설층내에 점토함유량이 낮아 찬공수 누수(leakage zone)가 발생되기 때문에 지하공기층의 발달이 좋은 것으로 예측되었으며, 현무암 구간 중 절대가 형성된 곳도 2개가 확인되었으나 누수현상이 발생하는 화산쇄설층과 인접하여 누수현상 여부는 확실하게 규명되지 못하였다. 시추심도 중 51%가 화산쇄설층으로 구성되어 있고 쇄설층내에 점토나 토사의 함유량이 적어 통기성이 상

당히 좋은 것으로 판단되었다.(Table 6).

협재지구의 지질층서(김 등, 1966)는 장석감람석현무암과 현무암내에 협재된 화산쇄설층 1개로 구성된다(Table 7). 화산쇄설층 층후는 총 2.0m에 그쳤고, 화산쇄설층내에 점토함유량이 높아 찬공수 누수가 발생되지 않았기 때문에 지하공기층의 발달이 어려운 것으로 예측되었으며, 현무암 구간에서는 절리대가 형성된 5개 지점에서 찬공수 누수는 3개 곳에서 확인되었으며 2개 곳은 누수구간에 인접하여 확인 어렵다. 화산쇄설층이 없거나 미약하여도 현무암 절리대에서 충분히 통기성을 확인하였다.

월평지구의 지질층서는 장석현무암 및 장석감람석현무암과 현무암내에 협재된 화산쇄설층 1개로 구성됨을 알수 있다. 화산쇄설층 층후는 총 2.5m에 그쳤고, 화산쇄설층내에 점토함유량이 높아 찬공수 누수가 발생이 안 되어서 지하공기층의 발달이 어려운 것으로 예측되었으나, 현무암 구간 중 절리대가 형성된 2개 지점에서 찬공수 누수가 발생되어 통기성이 높은 구간으로 분석되었다(Table 8).



**Table 6.** Analysis of geologic layer and air ventilation by geologic columnar section in Sunheul.

Depth (m)	Thickness (m)	Geologic formation	Air ventilation	Remarks
0~3.0	3.0	earth and sand, pebbles		refill grouting zone
3.0~5.0	2.0			
5.0~8.0	3.0	pyroclastics	good	leakage zone
8.0~9.8	1.8	FOB		
9.8~12.8	3.0	pyroclastics	good	leakage zone
12.8~13.3	0.5	FOB		
13.3~17.0	3.7	pyroclastics		
17.0~20.9	3.9	FOB	?	joint development
20.9~25.5	4.6		good	leakage zone
25.5~26.0	0.5	pyroclastics		basalt inclusion
26.0~30.3	4.3			clay inclusion
30.3~36.5	6.2	FOB		
36.5~38.5	2.0	pyroclastics	good	leakage zone
38.5~42.0	3.5	FOB	?	joint development
42.0~47.4	5.4	FOB		
47.4~50.0	2.6	pyroclastics	good	leakage zone

**Table 7.** Analysis of geologic layer and air ventilation by geologic columnar section in Hyupjae.

Depth (m)	Thickness (m)	Geologic formation	Air ventilation	Remarks
0~0.5	0.5	earth		
0.5~2.5	2.0	FOB		refill grouting zone
2.5~5.0	2.5	pyroclastics		
5.0~10.5	5.5	FOB	good	leakage zone
10.5~12.5	2.0	FOB		non-leakage zone (clay inclusion)
15~17.0	5.0	FOB	good	leakage zone (joint development)
17.0~23.5	4.5	FOB	?	joint development
23.5~26.0	2.5	FOB		joint development (clay inclusion)
26.0~29.0	3.0	FOB	good	leakage zone (joint development)
29.0~33.0	4.0	FOB		(clay inclusion)
330~35.0	2.0	earth(clay inclusion)		non-leakage zone

대홀과 선홀지구를 제외한 2개소에서는 화산쇄설층의 발달 분포가 빈약함에도 불구하고 지하공기가 분출되는 것이 확인된 점으로 보아 화산쇄설층이 반드시 지하공기의 부존 및 통기성에 필

수조건은 아닌 것으로 판단되며, 오히려 지하공기의 통기성은 현무암내에 발달하고 있는 절리대 또는 파쇄대와 더 깊은 연관성이 있는 것으로 확인할 수 있었다.

**Table 8.** Analysis of geologic layer and air ventilation by geologic columnar section in Wolpyung.

Depth (m)	Thickness (m)	Geologic formation	Air ventilation	Remarks
0~2.5	2.5	earth		refill grouting zone
2.5~5.0	2.5	pyroclastics		zone
5.0~9.0	4.0	FB		non-leakage zone
9.0~17.0	8.0	FB		non-leakage zone
17.0~22.5	5.5	FB	good	leakage zone (crush, joint)
22.5~32.5	10.0	FB		non-leakage zone
32.5~35.0	2.5	earth(clay)		non-leakage zone
35.0~37.0	2.0	FOB		non-leakage zone
37.0~46.5	9.5	FOB		non-leakage zone
46.5~50.0	3.5	FOB	good	leakage zone (crush, joint)

## 2. 송풍시스템 설치 및 풍량시험 결과

지하공기의 흡입시험이 가능한 흡입팬의 종류에 따라 풍량시험으로 대용량 축류형팬과 고압형 터보팬(후곡형)에 대한 시험결과, 축류형 팬은 풍량 50m<sup>3</sup>/min 이상 확보를 위해서는 배출구 직경을 더 크게 확대해야하고, 급격한 효율감소가 발생하는 문제점이 있으며, 고압형 터보팬(후곡형) 송풍기는 가격 및 소비전력 측면에서 축류형 송풍기(DTV-600CA)에 비하여 약간 높은 편이나, 내구성 및 안정성이 좋아 장기간 단속적으로 사용되어지는 송풍기로서 적합하고, 특히 공기 흡입량의 조절이 가능하도록 시추직경 등에 따라 송풍용량에 따른 주문 제작이 가능하다는 장점이 있는 것으로 분석된다(Table 9).

축류형 팬을 이용한 심도별, 보호자재 유무에 따

른 풍량시험 결과로서 각 지구별로 통기층이 형성되어 있는 심도가 다르기는 하지만, 시추심도가 늘어남으로써 풍량 증가가 있었으며, 대홀 및 선홀지구 각각 0.9%, 17.4% 증가되었다. 그리고 시추심도 50m 착정 후 보호자재(재질: PE, 개공율 15~20%) 설치 전·후의 풍량시험결과, 설치 전에 비하여 설치 후 풍량이 감소하였으며, 대홀 및 선홀 지구는 각각 0.7%, 13.6% 감소하였다(Table 10).

결과적으로 각 지구별로 통기층의 분포심도가 다르기 때문에 확실적인 심도결정은 불가능하지만, 상기한 2개 지구에서의 지하공기 흡입을 위한 적정심도는 30 m~50 m 정도가 적정한 것으로 분석되며, 공 보호자재의 개공율은 20% 이상 확보되어야 할 것으로 판단된다.

팬동력별과 심도별 풍량시험 결과로서 대홀과

**Table 9.** Wind flux test by blower fan.

Blower fan	Blower fan norm				Boring depth (m)	Airflow (m <sup>3</sup> /min)	Test condition
	Airflow (m <sup>3</sup> /min)	Static pressure (mmaq)	Electric power (Kw)	Outlet (mm)			
Axial fan DTV-600CA	420	70	1.35	round (D=600)	50	50.02	outlet(round) (200mm×4hole)
	130	70	3.70	square (260×340)	50	53.04	outlet(square) (260mm×340mm×1hole)
Turbo fan	120	140	5.50	square (320×420)	50	84.35	outlet(square) (320mm×420mm×1hole)

**Table 10.** Wind flux of Axial Fan by boring depth and borehole protection pipe.

Area	Borehole protection pipe	Air velocity(m/s)		Airflow(m <sup>3</sup> /min)		Ratio of increase or decrease (%)
		Boring depth 27m	Boring depth 50m	Boring depth 27m	Boring depth 50m	
Daehuel	before	6.63	6.69	49.93	50.40	0.9
	after	-	6.64	-	50.02	-
	Ratio of increase or decrease(%)	-	-0.1	-	-0.7	-
Sunhuel	before	6.37	7.72	48.04	58.22	21.1
	after	-	6.67	-	50.30	-
	Ratio of increase or decrease(%)	-	-13.6	-	-3.6	-

협재지구에서 팬동력을 3.7 Kw에서 5.5 Kw로 증가하면 대흘지구는 풍량이 1.6배 증가하였고 협재지구는 풍량이 1.5배 증가하였다. 월평지구는 시추심도 26 m에서 시추직경 단면적이 20% 증가에 따라 풍량은 1.17배 증가하였고 시추심도를 50 m에서 시험한 결과 풍량이 변화가 나타나지 않았다(Table 11).

**3. 풍량시험 결과를 고려한 시추공 굴착 방안**

유사한 지하암반층에서 팬의 형태, 팬동력, 시추심도, 시추직경, 보호자재의 설치 유무에 따른 지하공기 흡입량을 산출하는 풍량시험 결과를 바탕으로 지질구조와 시추공 굴착방법 및 흡입팬 설계시 고려할 사항에 대하여 정리하였다.

화산암에서 지하공기층이 분포하는 구간은 용암동굴, 화산쇄설층과 열린 절리(open joint) 및 파쇄대 구간이며, 시추심도는 통기층 확보시 약 25~35 m 이하의 심도로도 충분한 풍량을 확보할

수 있으나, 지하공기층 분포 구간의 발달은 지역마다 매우 불규칙하므로 통기층 확보 빈도와 시추경제성을 감안하여 약 50 m 내외로 기본 계획함이 유리할 것으로 판단된다. 시추직경은 통상적인 지하수 암반관정의 ø250 mm을 기준으로 할 때 시추직경 증가에 따른 단면적 증가율 만큼의 풍량 증가가 관찰되므로 무작정 큰 직경으로 시추할 필요는 없고, 현 시추장비의 굴착능력 및 풍량시험 결과를 고려할 때 250~300 mm 정도의 시추직경이 합리적일 것이다. 시추공 보호자재 개공을 20% 이상은 설치에 따른 풍량의 감소가 적어서, 장기적인 시추공 보호차원에서 낙석방이나 집중강우시 지표수의 급격한 유입 방지를 목적으로 설치하는 것이 바람직할 것이다.

공기 흡입팬은 축류형 팬보다는 정압 효율이 높은 터보형 팬이 소음과 내구성면에서 유리하며, 동력은 설치장소나 공기 흡입가능량 등을 고려할 때 송풍모터 용량은 5.5~7.5 kw 범위가 안정적일 것이다.

**Table 11.** Wind flux of turbo-fan by electric power and borehole protection pipe.

Area	Electric power (kw)	Borehole diameter (mm)	Boring depth (m)	Air-flow (m <sup>3</sup> /min)	Borehole protection pipe <sup>1)</sup>
Deaheul	3.7	250	50	53.0	established
	5.5	250	50	84.4	established
Hyupjae	3.7	250	35	61.2	established
	5.5	250	35	92.7	established
	5.5	250	26	92.1	non-established
Wolpyung	5.5	300	26	107.7	non-established
	5.5	300	50	108.2	non-established

<sup>1)</sup> Opening ratio of borehole protection pipe(PE) : about 20%.

## 적 요

제주도의 지하에 무진장으로 매장된 공기를 농업에 이용할 수 있는 지역은 지하지질 중 침상장석감람석현무암(FOB)지역의 현무암층 내에 발달한 화산쇄설층, 수축절리, 및 과쇄대 등으로부터 확보가 가능하였다. 제주도의 화산암 지역에서 시추 1공당(시추심도 : 30~50 m, 시추구경 : 250~300 mm) 지하 공기 산출량은  $50 \sim 110 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ 로 분석되었다. 시추공 상부에 설치하는 공기 흡입팬은 축류팬보다는 정압효율이 높은 터보팬이 적합한 것으로 분석되었다. 지하공기의 강제 흡입 시 유입되는 지표 공기 및 오염물질을 차단하기 위해서는 지표로부터 하부 5m내외까지 시추공 주변에 5cm이상 두께의 몰탈 차단 그라우팅이 필수적인 것으로 판단되었다. 제주도내 현무암 및 화산쇄설암류가 지표지질의 95% 이상을 점유하므로, 지하공기를 냉·난방에너지로 활용하는 농업현장 적용은 제주도 내 85% 지역에서 가능할 것으로 판단되었다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청에서 지원하는 특성화사업 특정연구과제에 의해 수행된 연구로, 감귤화훼센터와 아열대농업생명과학연구소의 시설을 이용하고 지원을 받았음.

## 참 고 문 헌

- 부성안, 정교철, 박창근. 2006. 지하수 관정을 이용한 제주도 생성 메커니즘. 대한지질 공학회지 4:177-186.
- 최영락. 1998. 제주도의 형성과 지하수 특성. 제주도연구 5:59-77
- 고기원, 고용구, 김성홍, 오상실, 박원배, 윤선. 1992. 제주도 동부지역의 지하지질구조와 지하수위 변동 및 수질특성에 관한 연구. 제주도보건환경연구원보 3: 15-43.
- 권병두, 이희순. 1997. 화산섬의 지구물리학적 및 환경지질학적 특성 비교연구: 제주도와 하와이제도. 한국지구과학회지 18:217-237.
- 장광화. 1997. 제주 화산도의 조면암류에 대한 암석성인적 연구. 연세대학교 박사학위논문. p.188
- 장광화, 박준범, 권성택. 1999. 제주 화산도의 조면암류에 대한 암석기재 및 광물화학. 대한지질학회지 35:15-34.
- 장광화, 박준범, 권성택. 2006. 제주도 조면암류의 지화학적 특징. 대한지질학회지 42:232-252.
- 김봉균. 1972. 서귀포층의 층서 및 고생물학적 연구. 손치부 교수 회갑논문집 p.1-18.
- 김진희. 2007. 지하공기 이용의 문제점 및 효율적인 활용방안. 수출란특화작목산학연협력단. 지하공기를 이용한 시설원예 냉·난방 연구 세미나 p.9-37
- 김옥준, 윤선, 길영준. 1966. 제주도 한림지역 공장 분산을 위한 지하수원탐색 지질 조사보고. 건설부. (주) 한국지하자원조사소 p.49.
- 이상만. 1966. 제주도의 화산암류. 대한지질학회지 2:1-7.
- 이재욱, 이종남, 성기철, 권혁모, 남윤일, 김기덕. 2002. 착색단고추 고랭지 여름 재배시 지중가온 효과. 원예과학기술지 20:67.
- 민경덕, 원중선, 황석연. 1986. 제주도에 분포하는 화산암류 및 퇴적암류에 대한 고지 자기 연구. 대한광산지질학회지 19:152-163.
- 남기영. 1966. 제주도의 지질과 지하수. 국립지질조사소 지하수원조사보고2 도판.3:109-133.
- 오진용, 이성숙, 윤선, 고기원, 윤혜수, 이종덕. 2000. 제주도 지하층서. 대한지질학회지. 36: 181-194.
- 박준범. 1994. 제주도 화산암의 지화학적 진화. 연세대학교 박사학위논문 p.305
- 박준범, 권성택. 1991. 제주도 화산암류의 암석화학적 진화(2) : 제주 동부 월라봉부근의 시추코아 연구. 대한지질학회지 27:531.
- 박준범, 권성택. 1993. 제주도 화산암의 암석화학적 진화 : 제주 북부지역의 화산층서에 따른 화산암류의 암석기재 및 암석화학적 특징. 대한지질학회지 29:39-60.
- 원종관. 1976. 제주도의 화산암류에 대한 암석화학적인 연구. 대한지질학회지. 12:207-226.