

박사학위논문

제주도 지하공기의 특성과  
이용성에 관한 연구



제주대학교 대학원

원예학과

성 문 석

2007년 12월

**Study on the Characteristics and Utilization of  
Underground Air in Jeju Island**

**Moon-Seok Sung**

**(Supervised by Professor In-Sup So)**

**A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements  
for the degree of Doctor of Agriculture**

**Department of Horticulture**

**GRADUATE SCHOOL**

**CHEJU NATIONAL UNIVERSITY**

**December, 2007**

# 제주도 지하공기의 특성과 이용성에 관한 연구

지도교수 소인섭

성문석

이 논문을 농학박사학위 논문으로 제출함.

2007년 12월

성문석의 농학박사학위 논문을 인준함

심사위원장 \_\_\_\_\_ (인)

위 원 \_\_\_\_\_ (인)

위 원             (인)

위 원             (인)

위 원             (인)

제주대학교 대학원

2007년 12월 日

# 목 차

## Summary

I. 서 론 .....	5
--------------	---

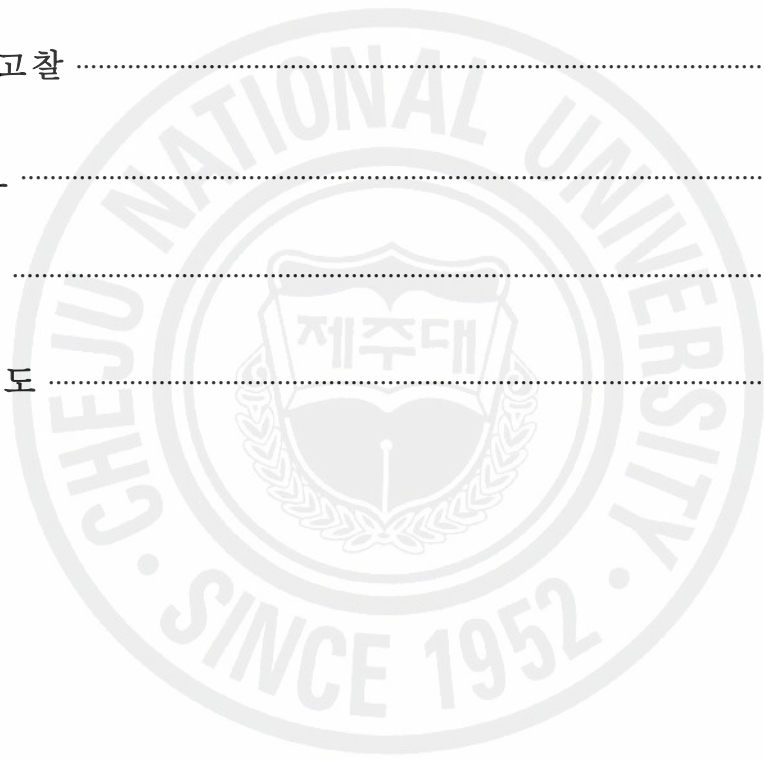
## II. 재료 및 방법

시험 I. 제주도 지하공기의 특성 .....	11
1. 지하 통기성 지질구조 분석 .....	11
2. 지하공기 송풍시스템 설치 및 풍량시험 .....	14
시험 II. 제주도 지하공기 이용에 의한 호접란 성장촉진 효과 .....	17
1. 지하공기의 저온처리 및 성장 촉진 .....	17
2. CO <sub>2</sub> 발생기의 CO 가스에 의한 생장억제 .....	19
3. 지하공기와 보조 히트펌프 시설에 의한 저온처리 및 성장 촉진 .....	19
시험 III. 제주도 지하공기를 이용한 파프리카재배에 대한 천연 CO <sub>2</sub> 시비 효과 .....	21

## III. 결과 및 고찰

시험 I. 제주도 지하공기의 특성 .....	23
1. 지하 통기성 지질구조 분석 결과 .....	23
2. 송풍시스템설치 및 풍량시험 결과 .....	31
3. 풍량시험 결과를 고려한 시추공 굴착 방안 .....	33
4. 환경공학적 안정성 검토 .....	33
5. 제주도내 지하공기 이용 가능지역 분포 .....	35

시험 Ⅱ. 제주도 지하공기 이용에 의한 호접란 생장촉진 효과 .....	42
1. 지하공기의 저온처리 및 생장 촉진 .....	42
2. CO <sub>2</sub> 발생기의 CO 가스에 의한 생장억제 .....	50
3. 지하공기와 보조 히트펌프 시설에 의한 저온처리 및 생장 촉진 .....	52
시험 Ⅲ. 제주도 현무암 지하공기를 이용한 파프리카 재배에 대한 천연 CO <sub>2</sub> 시비 효과 .....	60
IV. 종합고찰 .....	66
V. 적 요 .....	68
인용문헌 .....	71
지질주상도 .....	80



## 표 목차

표 1. 제주도 시추공 내역 .....	11
표 2. 암반의 불연속면 분포 특성 .....	12
표 3. 송풍기의 팬 형상에 따른 특성 비교 .....	15
표 4. 시추공 주요 지층분석 결과 .....	24
표 5. 대흘지구 시추공 지층과 통기성 분석표 .....	25
표 6. 선흘지구 시추공 지층과 통기성 분석표 .....	28
표 7. 협재지구 시추공 지층과 통기성 분석표 .....	29
표 8. 월평지구 시추공 지층과 통기성 분석표 .....	30
표 9. 흡입팬 종류별 풍량시험 결과 .....	31
표 10. 축류형팬의 심도별과 보호자재 유무에 따른 풍량시험 결과 .....	32
표 11. 터보팬의 심도별과 보호자재 유무별 풍량시험 결과 .....	32
표 12. 지하공기 공기질 조사 .....	34
표 13-1. 한림, 한경, 애월 지하공기 사용시설의 공기질과 통기층 조사 2006-2007년 .....	36
표 13-2. 조천, 구좌, 제주 지하공기 사용시설의 공기질과 통기층 조사 2006-2007년 .....	37
표 13-3. 안덕, 서귀포 지하공기 사용시설의 공기질과 통기층 조사 2006-2007년 .....	38
표 13-4. 표선, 남원 지하공기 사용시설의 공기질과 통기층 조사 2006-2007년 .....	39
표 14. 호접란 지하공기 이용한 비닐하우스 CO <sub>2</sub> 량 조사(2006년) .....	46
표 15. 지하공기 이용한 냉난방 비닐하우스의 호접란생육과 꽃대발생을 조사 .....	47
표 16. 지하공기 이용한 냉난방시설과 히트펌프를 이용한 냉난방시설의 부분예산법에 의한 경제적 효과 .....	48
표 17. 지하공기 이용한 냉난방시설과 히트펌프이용 냉난방 시설의 장단점 비교 .....	49
표 18. 지하공기와 CO <sub>2</sub> 발생기의 호접란의 생육비교 .....	51
표 19. 호접란 지하공기 이용한 비닐하우스 CO <sub>2</sub> 량 조사(2007년) .....	54
표 20. 지하공기 이용한 냉난방 비닐하우스의 호접란 개화 생육 .....	54
표 21. 2001~2005년 호접란 경매가격 .....	56
표 22. 호접란 재배작형별 효과분석(1,650m <sup>2</sup> 기준) .....	58
표 23. 호접란 광력동력비 월별 사용량과 작형별 적용 비율 .....	59
표 24. 지하공기 이용한 파프리카 유리온실내의 평균 CO <sub>2</sub> 조사 .....	62
표 25. 지하공기 이용시설과 CO <sub>2</sub> 발생기사용의 파프리카생육과 경제적 수량 .....	63
표 26. 지하공기 이용시설과 CO <sub>2</sub> 발생기사용의 파프리카과실품질 비교 .....	64
표 27. 지하공기 이용시설과 CO <sub>2</sub> 발생기시설의 부분예산법에 의한 경제적 효과 .....	64
표 28. 지하공기 이용시설과 CO <sub>2</sub> 발생기시설의 장단점 비교 .....	66

## 그림 목차

그림 1.	제주도 투수성지질 구조도 .....	5
그림 2.	시추공 굴착공정 흐름도 .....	13
그림 3.	지하공기개발 시추공 개발 모식도 .....	14
그림 4.	축류팬(Axial Fan) 풍량시험 전경 .....	16
그림 5.	터보팬(Turbo Fan) 풍량시험 전경 .....	16
그림 6.	지하공기 이용한 시설의 지질주상도 .....	17
그림 7.	서귀포시 상례동 1546-1번지의 지질주상도 .....	20
그림 8.	대흘지구와 선흘지구의 주변기설관정 및 시험시추공의 화산쇄설층 분포 .....	23
그림 9.	대흘지구 시추공 BIPS 촬영영상 .....	26
그림 10.	대흘지구 시추공 BIPS 촬영영상 통계분석 결과 .....	27
그림 11.	지하수오염방지를 위한 주변공간 그라우팅 시설 모식도 .....	35
그림 12.	제주도내의 지하공기이용 시설 분포도 .....	41
그림 13.	제주도 지하공기 개발 가능지역 분포도 .....	41
그림 14.	지하공기 이용한 호접란 하우스와 일반 재배하우스의 최고온도 비교(2006년) .....	42
그림 15.	지하공기 이용한 호접란 하우스와 일반 재배하우스의 최저온도 비교(2006년) .....	43
그림 16.	지하공기 이용한 호접란 하우스와 일반 재배하우스의 평균온도 비교(2006년) .....	44
그림 17.	지하공기 이용한 호접란 하우스와 일반 재배하우스의 평균상대습도(2006년) .....	44
그림 18.	지하공기 이용한 호접란 하우스와 일반 재배하우스의 최고상대습도(2006년) .....	45
그림 19.	지하공기 이용한 하우스와 일반하우스의 호접란 생육비교 .....	47
그림 20.	유리온실 LPG이용 CO <sub>2</sub> 발생기 시간대별 CO <sub>2</sub> 와 CO 가스량 분포 .....	50
그림 21.	지하공기와 LPG이용 CO <sub>2</sub> 발생기의 호접란 생육 비교 .....	51
그림 22.	지하공기 이용한 하우스와 일반재배 하우스 최고온도 비교(2007년) .....	52
그림 23.	지하공기 이용한 하우스와 일반재배 하우스 최저온도 비교(2007년) .....	53
그림 24.	지하공기 이용한 하우스와 일반재배 하우스 평균습도 비교(2007년) .....	53
그림 25.	지하공기 처리에 의한 호접란 생육과 개화 비교(2007년) .....	54
그림 26.	호접란 자연개화형 상업적 상품생산 체계도 .....	55
그림 27.	지하공기를 이용한 호접란 봄생산 상업적 상품생산 체계도 .....	56
그림 28.	지하공기를 이용한 호접란 가을생산 상업적 상품생산 체계도 .....	57
그림 29.	파프리카 유리온실 지하공기와 송풍덕트의 평균온도 .....	60
그림 30.	파프리카 지하공기 이용한 유리온실 평균 온도, 습도 조사 .....	60
그림 31.	지하공기 이용한 양액재배 슬라브와 대조구 평균온도 비교 .....	61
그림 31.	지하공기 이용과 CO <sub>2</sub> 발생기 사용의 파프리카 엽품질비교 .....	65
그림 32.	지하공기 이용과 CO <sub>2</sub> 발생기 사용의 파프리카 과실품질비교 .....	65



## Summary

The data used in this study were from two sources. One was GIS data developed by Korea Rural Community and Agriculture Corporation for the development of agricultural water. The other was the geologic columnar section from over 5,000 tube wells.

The districts of underground geologic structure in Jeju island where underground air is distributed are lava cave, pyroclastic, open joint, and crushing zone. Such districts are identified to be a possible area to utilize underground air (85% in Jeju island). Boring depth was identified to secure an enough airflow when air ventilation layer is to secure 25-35m in depth.

The district of underground air being distributed is irregular by district. Considering the frequency of securing air ventilation layer and the economic cost of boring, about more and less 50m of boring depth would be profitable. 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 fan electric power of blower fan was



stable between 5.5kw and 7.5kw, considering its establishment place and the possible quantity of air inhalation.

A cold and heating equipment was established 32m in underground, using the underground air from *phalaenopsis* plastic film greenhouse in Sanyae Dong, Seogipo City. The temperature of air being erupted from basalt layer was 19°C in summer and 14 in winter. This temperature provides an enough effectiveness of cold and heating efficiency in plastic film greenhouse.

Even though there is a difference by district in Jeju island, it is known that about 3,000~5,000ppm of the natural CO<sub>2</sub> is contained. In this study a test was done on the possibility to use such a natural resource for flowering plant in plastic film greenhouse. The test was conducted on the condition that the area of low temperature treatment was 660m<sup>2</sup>, keeping a temperature of 19~22°C in night. The following were found to be significant. When the temperature of cold and heating system using underground air was below 23°C, flower bud differentiation on the *phalaenopsis* cultivation was promoted, and the growth such as leaf number and leaf thickness was good remarkably. This is judged to be caused by the fertilization of natural CO<sub>2</sub> contained in underground air. Based on this result, it is estimated that the economic benefit gained from the supply of natural CO<sub>2</sub> in plastic film greenhouse is 18,200,000Won per 1,000m<sup>2</sup>. Using underground air instead of the existing heat pump being used as cold and heating system, the economic benefit was estimated to be 31,600 thousand Won per 1,000m<sup>2</sup>. Applying this estimation to *phalaenopsis* cultivation, the suitable area was 500m<sup>2</sup> per underground hole for cooling in summer, and 1,000m<sup>2</sup> in winter.

On the other hand, when two experimental treatment were treated - use of underground air and two-year old CO<sub>2</sub> generator contained 1,000ppm, it was identified that the latter decreased 81% and 87% of *phalaenopsis* in terms of leaf number and leaf thickness, respectively. This is judged to be caused by the noxious gas such as incombustible CO<sub>2</sub> erupted from the dilapidated facility.

In addition, an experiment was conducted, boring 80m in basalt layer in paprika (*Capsicum annuum*) cultivation glass greenhouse of Korea Airport

Service located in Gasiri, Seogipo City. The experiment proved that the natural CO<sub>2</sub> erupted from basalt layer was effective in the growth of plant, was stable in supply, was effective in cold and heating system, and effective as an additional fertilizer supply. When underground air was used for cultivating paprika (*Capsicum annuum*), the temperature in glass greenhouse was lower 5°C on average in root zone temperature compared with 27°C in control. Comparing with the condition keeping 800~1,000ppm being contained in CO<sub>2</sub> generator which is corresponded to heavy burning, the natural CO<sub>2</sub> erupted from underground air containing 1,000~2,000ppm increased 32% in yield potential. This would be resulted from two times higher of natural CO<sub>2</sub> as a fertilizer and the relative low temperature in root zone. For the latter, the number of fruiting was 1.0 more than control, showing 8.4. In addition, it was found from the latter that the sweetness degree of fruit and fruit hardness were also higher.

In a comparative analysis of business management between the existing professional paprika (*Capsicum annuum*) cultivation and the glass greenhouse using underground air, it was found that the latter had an effectiveness to save production cost of 18,934,000Won per 1,000m<sup>2</sup>/boring hole a year. Those findings draw a conclusion that the suitable area of Paprika is estimated to 1,000m<sup>2</sup> in terms of the possible utilization of CO<sub>2</sub> and temperature decrease in root zone (5°C).

85% of Jeju island are possible areas to use underground air. This means that underground air in Jeju island can be used almost unlimited for cold and heating natural source without the investment of material. Thus, further researches on the possibility to use underground air for a wide range of purposes should be conducted even though there is a regulation on the limited area per boring hole.



지온의 계절변화도 지하 10~20m 깊이에서는 거의 나타나지 않는데, 이러한 층을 지중온도의 불변층이라고 한다. 그리고 지하로 깊게 내려갈수록 지온은 점차 상승하는데, 그 비율(지하증온율)은 100m당 2~3℃로, 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℃를 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 심도별 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 감귤 농가의 경제가 심각한 상황이며, 농업생산비 원가 절감이 농가 경영난 극복의 핵심요소로 대두됨에 따라 대체 에너지 개발에 대한 대책 마련이 시급한 실정이다.

제주도의 지표 지질은 다공질 화산암이 주요 구성 암층으로서, 과거 1960년대 이후 제주도의 지하수조사 및 관정개발이 이루어지면서 화산암층 내에 공기를 통과시킬 수 있는 통기층의 존재가 인식되어 미래에 지하공기의 에너지 자원화에 대한 기대가 예상되어 왔으며, 최근 시설재배 난방용 화석에너지의 투자부담에 의한 농업 경제성이 떨어지기 때문에 저렴하고 이용하기 용이한 대체에너지의 개발·이용에 대한 사회적 요구가 높아지면서 목적이 확실한 연구가 진행 중에 있다.

본 연구는 대략 5차 화산폭발로 생성된 제주도의 특수 지층구조(박 등, 1999 ; 부 등, 2006)가 함유하고 있는 지하공기가 연중 일정온도(14~19℃)를 유지하므로 이를 농업용 시설하우스 등의 난방에너지로 이용할 경우 여타의 경비 투여가 거의 없는 순수 천연에너지를 무한정 얻을 수 있는 가능성에 착안하였다. 따라서 제주도의 지역별 고도별에 따른 지하공기 이용한계 지역과 고도를 설정하기 위한 기초 조사를 실시하였다. 또한 우연히 발견한 사실이지만 제주도의 지하에서 흡입되는 공기에는 3,000~10,000ppm 농도의 CO<sub>2</sub> 가 함유된 것으로 확인 된 바 이들의 부가적 이용에 대한 효용성에 대하여도 시험을 통한 증명을 하여 앞으로 많은 작물별 이용성(이 등, 1999 ; 송 등, 1997)을 극대화하기 위한 시험이 필요한 실정이다.

한편 호접란은 화훼류중 단가가 높은 고급 분화류 작물로 주요 출하기가 1~2월에 집중되고 겨울철에 고온을 필요로 하기 때문에 과거에는 많이 재배되지 않았으나 최근 생활수준의 향상과 꽃 소비의 고급화로 화려한 자태를 나타내는 호접란의 인기가 높아지면서 수요가 증가하여 심비디움 다음으로 재배면적이 증가하였다. 호접란 고온 다습한 열대 아시아에 자생하는 난이므로 저온과 건조한 기후에서는 정상적인 생육을 기대할 수 없다. 그러나 온도와 습도만 유지해 준다면 덴드로비움이나 심비디움(김 등, 1996) 보다도 쉽게 개화시킬 수 있고 조직 배양묘는 입식 후 만 2년이면 개화함으로 경영상 오히려 유리하다(박 등, 1998). 더구나 종전에는 분화와 절화용으로만 이용했지만 최근에 와서는 고급 꽃꽂이나 결혼식의 꽃다발용 등 용도가 나날이 넓어져 가고 있고 개화기간도 3개월 이상

경과하므로 소비자들에게 선호도 높은 난초류로 각광을 받고 있다.

호접란은 생육적온일 때 환경이 좋으면 40~50일에 잎을 한 장씩 형성하며 중심축을 중심으로 서로 대생하고 보통 각 엽액 마다 2개의 눈이 생겨서 어느 정도 자란 후에는 휴면한다. 그 중 제일 윗자리에 생긴 주아는 화아분화 조건이 되면 환경이 반응하여 분화되고 개화한다(石田와 板西, 1974; 板西와 今西, 1977). 따라서 환경이 발생하려면 잎수가 최소한 3장 이상 성장하여야만 가능하다(김 등, 1992).

우리나라인 경우 자연 상태에서 호접란의 꽃눈 형성은 보통 10월 하순에 일어나고 이것이 꽃이 개화하기까지는 약 120일이 소요된다(石田와 坂西, 1974b). 즉 호접란의 화아형성을 좌우하는 요인은 저온 단일이며, 본엽이 5매 이상으로 전개된 묘나 성주나 한번 꽃이 핀 절위에 3매 이상(米田 등, 1992) 성장하여만 잎이 발생한 모주를 야간 18℃, 주간 20℃의 항온 하에서 40일이 지나면 환경이 발생하여 저온처리 4개월 후에 정상적으로 개화한다. 이와 같이 호접란의 자연개화기는 1~3월로 이 시기에는 공급이 수요를 웃돌아 값이 폭락하는 추세에 있으며(농림부, 2007), 겨울철 난방비 등 유지관리비가 많이 소요되기 되므로 출하기 조절에 따른 단경기 생산은 농가경영을 좌우하는 중요 요인으로 부각되고 있다(김 등, 2002). 저온처리에 의한 개화 촉진 방법은 우선 저온처리할 모주의 신초가 3장 이상의 완전 전개엽이 있어야 가능하고, 한번 절화 했더라도 재화한 후 2달 이상 경과하여야만 한다. 화경발생은 23℃를 경계로 그 이상에서는 억제되고 그 이하에서는 촉진되기 때문에 대체로 6월 하순에 저온처리하면 10월에, 7월 상순부터 저온처리하면 11월에 개화한다. 이와 같은 성질을 이용하여 여름에는 냉방, 겨울에는 가운을 함으로서 주년생산이 가능하다. 그러나 일반적인 단경기생산 시스템으로 볼 때 화아분화를 위하여 시설내의 온도를 최고 23℃로 맞추어야 하기 때문에 에어컨(Sami 등, 1995 ; Sutphin 등, 1994; 青木, 1994)을 작동하는 방법이 고작이고 이 경우 냉방비의 부담이 전체 생산비의 50%를 차지하고 있기 때문에 바람직한 방법이라고는 할 수 없다. 그러나 온도에 의한 개화조절은 막대한 에너지가 소요되므로 앞으로 에너지 소비를 줄여서 생산단가를 낮출 수 있는 개화조절 기술개발이 필요하다. 가을 단경기에 출하기 위해서 저온처리 기간이 5~9월의 무더운 여름철에 수행해야 하기 때문에 고랭지 이용(米田 등, 1980)하는

방법이 있으나 이것 또한 비용이 많이 들며 고랭지 기후에 따른 시설재배 환경 조절 시설을 확보하지 않고서는 출하조절이 불가능하다.

지하공기를 이용한 축성재배는 야간온도가 18~20℃정도가 유지되면 약 40일 이후 화경이 15cm정도로 화아 분화가 되므로 고랭지 저온처리장이나 냉방기를 사용하는 장소에 입식할 필요는 없게 되었다.

따라서 본 시험은 수출용 호접란의 여름철 꽃눈분화 촉진을 위하여 지하공기를 이용한 인공저온 처리와 난방의 실용적으로 활용성과 지하공 1개공의 적정면적을 확립하기 위한 방안을 모색하도록 하였다.

파프리카는 맵지 않으며 당도가 높고 고영양소(비타민류, 무기염류)를 함유하고 있다. 또한 다양한 색을 가져서 채소류의 보석으로 불리며 색소를 추출하여 가공품의 천연식품 첨가제로 인기가 높아 우리나라에서도 고부가가치 농산물의 하나로 인식되고 있다. 소비자의 웰빙 인식에 따른 수요증가에 의해 농가 재배가 증대되고 있고 현재 생산물의 대부분이 일본으로 수출되고 있으며, 한국산 파프리카의 일본의 점유율이 70%에 육박할 만큼 선풍적 인기를 끌고 있다(조, 2007). 파프리카의 지난 3년간 수출액은 129백만 달러(약 1,400억 원)의 수익을 거두는 주요 수출 작물로 자리 매김을 하고 있다. 현재 파프리카는 내수기반이 확보가 안 되어 생산량의 많은 부분을 수출에 의존하고 있으며 대부분이 일본에 수출되고 있다. 또한 최근 미국 농무부가 2005년 12월 29일 미국연방관보에 게재하여 한국에서 생산되는 파프리카에 대해 생산시설 보장 등 일정기준을 조건으로 수입을 허용키로 함에 따라 농림부에서 수출확대 기반시설 조성사업을 추진하고 있다. 이에 따라 그동안 이웃나라 일본 일변도의 국내산 파프리카의 해외수출 시장이 다변화되는 계기가 마련되었다. 미국은 2006년 파프리카 수입량이 약 82,000톤이며 금액으로는 약 2억 달러에 달하는 거대한 시장으로써 국내산 파프리카의 수출을 지속적이며 안정화시키기 위해서는 연중 품질이 높은 파프리카를 공급하는 것이 필수적이다(이 등, 2007).

생육초기인 봄에는 착과가 용이하여 지나친 착과량에 따른 착과부하가 발생하므로 생장이 정지할 수도 있지만 이는 인위적과에 의해 착과조절이 용이한 반면, 여름 고온기에 야간온도 28℃ 이상에는 착과불량과 생리장해 발생으로 인한



수량감소와 품질저하를 초래할 수 있어 (김 등, 2007) 우리나라에서는 하계절 단경기 출하를 위하여 고작 재배기간이 6개월 정도로 제한되는 대관령 고랭지 시설재배를 권장하고 있다(이 등, 2001, 2001b, 2003, 2007 ; 전 등, 2007).

고랭지 이외 지역에서의 여름 고온기 작과 불량을 해소하기 위하여 고온기 직전 또는 고온기에 측지 작과를 유도(안 등, 2001)함으로써 작과를 증진하기 위한 방법과 차광처리(Rylski, 1986) 또는 히트펌프를 이용한 시설내의 온도하강 기술이 전부이고 (sami 등, 1995 ; Sutphin, 1994) 냉방기 또는 히트펌프를 이용해야 하는데 투자비 부담이 너무 크다. 대과의 생산과 여름 고온으로 인한 소과 생산으로 수출시장 인지도 저하에 따른 규격품 균일생산이 요구된다.

네덜란드에서 시뮬레이션을 이용한 파프리카의 생산성 진단과 분석으로 볼 때 이론적 생산량은 130kg/3.3m<sup>2</sup>이나 실제 네덜란드의 일반농가 생산량은 99kg/3.3m<sup>2</sup>으로 집계되고 있어 이론적 생산량의 약 70% 수준에 머무르고 있는 실정이므로 합리적인 재배환경 관리법의 확립에 의해 생산성을 높일 수 있는 여지가 많다.

우리나라의 파프리카 생산농가 중 남부지방의 동계작형의 경우 생산량이 40~50kg/3.3m<sup>2</sup>이나 고랭지 여름 작형의 경우 25~30kg/3.3m<sup>2</sup>으로 생산성이 매우 낮은데 이러한 이유는 고랭지 여름재배 농가의 재배경험이 적고 재배기간에 제한을 받으므로 1~1.5년의 재배기간을 가진 일반 파프리카 생산농가에 비해 비생산적이고(이 등, 2005), 그동안의 국내 재배기술에 대한 연구가 남부지방의 동계재배를 중심으로 이루어져왔기(남 등, 1998; 노 등, 2007; 안 등, 2001; 안 등, 2005; 임 등, 2005; 최 등, 2003)때문에 여름철 단경기 생산에 대한 연구가 필수적으로 수행되어야 한다.

따라서 제주도의 지하공기 이용성이 최근에 개발되어 14~19℃의 지하 공기를 이용하는 경우 수출 과채류로 전망이 매우 밝은 파프리카를 연중 균일하게 생산해낼 수 있는 방안과 지하공기 중에 함유된 CO<sub>2</sub>의 부가적 이용성에 본 연구의 2차 목표를 두었다.

## II. 재료 및 방법

### 시험 I. 제주도 지하공기의 특성

#### 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
Daehuel	93.0	50	250	Rotary	Mandarin
Sunhuel	79.0	50	250	Rotary	"
Hyupjae	43.0	30	300	Rotary	Mushroom
Wolpyung	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 회수하여 비교·분석하여 지하공기의 통기층 분석에 참고하였다.

시추공의 지질구조에 대한 정밀분석을 위하여 시추공내 정밀영상촬영 기법인 BIPS(Borehole Image Processing System ; Geologger3 일본 OYO사)로 불연속

면인 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, 하단면의 주향경사를 측정 기록하였다. 불연속면 요소는 다음의 6가지로 구분하였다(Table 2).

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 image
	Semi-open	width is 0.5~10mm in the picture image
	Open	width is over 10mm in the picture image
Crushing Zone	crushing zone or the upside and downside of fault	
Mineral Vein	colored mineral vein( quartz vein, calcite vein etc)	

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( $\varnothing$  3cm)을 뚫고 개공율이 약 15~20%이상 확보함으로써 지하공기의 흡입이 용이하도록 하였다.

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

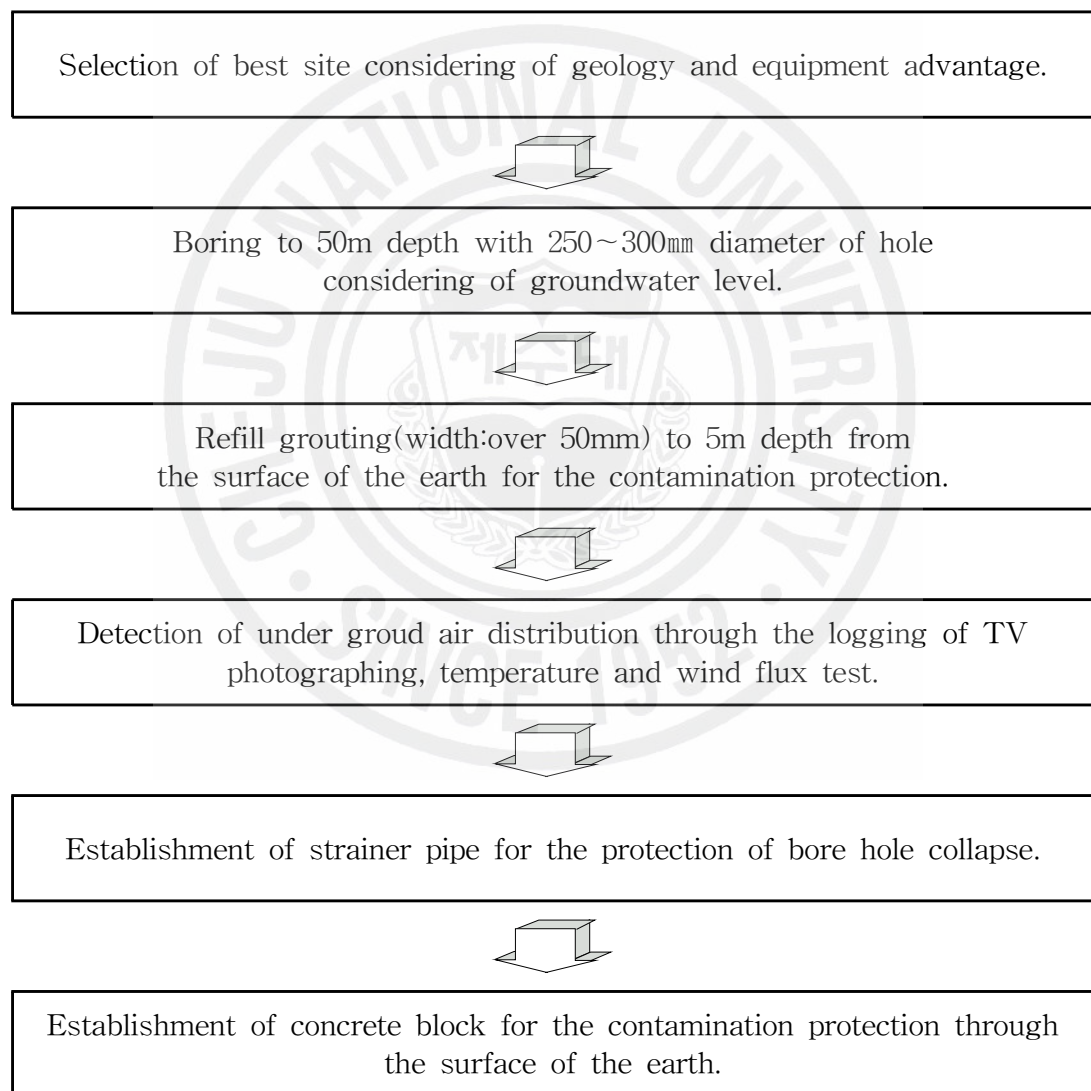


Fig. 2. The flow charter of borehole being processed.

## 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.

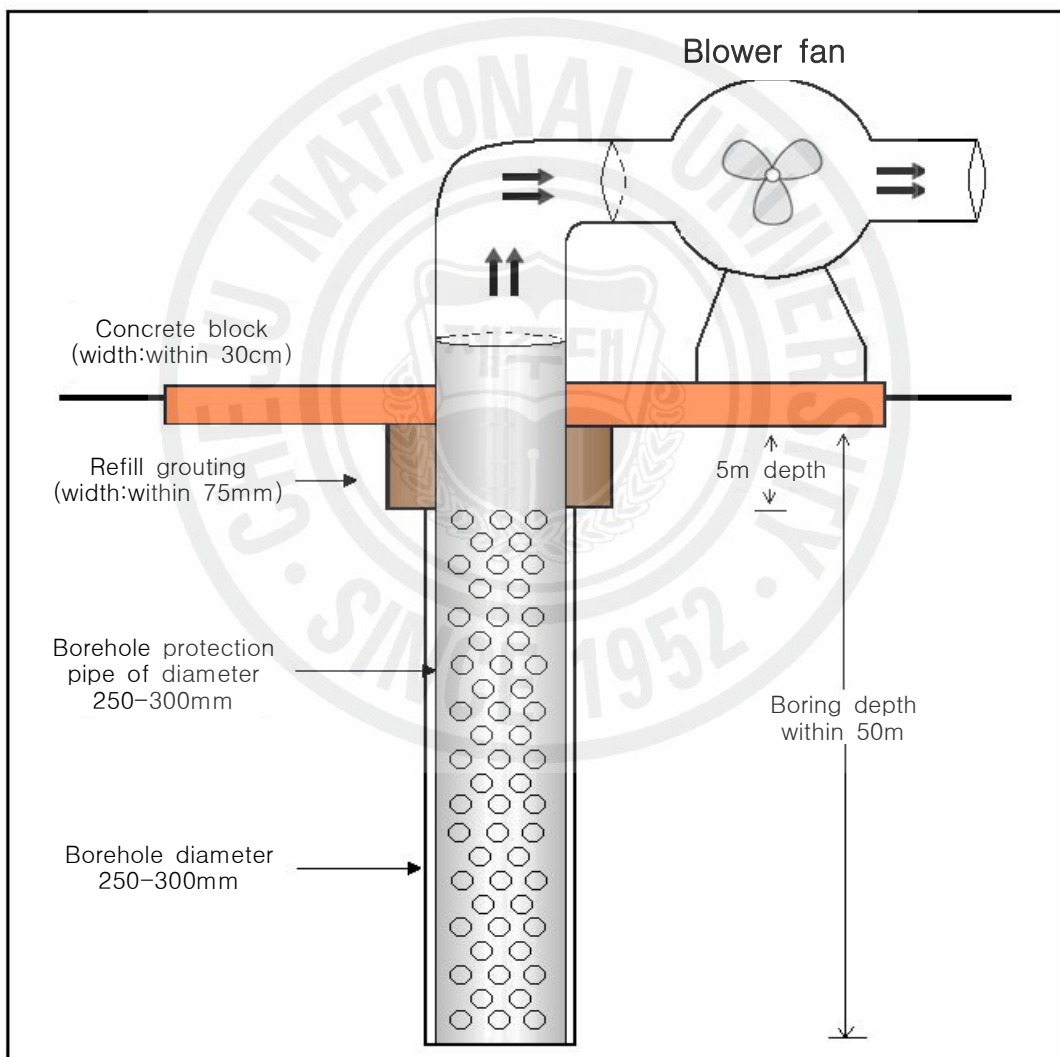


Fig. 3. The mimetic diagram of borehole for the development of underground air.

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.).

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

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

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

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





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



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

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



## 시험 II. 제주도 지하공기 이용에 의한 호접란 성장촉진 효과

### 1. 지하공기의 저온처리 및 성장 촉진

시험장소는 서귀포시 상예동 1546-1번지의 호접란 재배농장(표고 120m)에서 하였다. 지하공 착정심도는 32m에,  $\phi$  300mm 회전 코어식 시추 방식으로 굴착하였다. 토사층 시추공 보호자재는 타공된  $\phi$ 300mm PE일반관을 8m 길이로 매립하고, 토사층까지는 몰탈로 채움 그라우팅 처리하였다. 상부보호공 및 기초 콘크리트는 230cm × 230cm × 25cm로 마감처리하였다. 송풍용 터보팬의 모터용량은 5.5kw를 기준으로 설치하고, 송풍기의 토출구는 400mm 주름관으로 시공하며 단열재 두께 20mm로 단열처리 하였다. 터보팬은 50분 가동 후 10분 정지하도록 하였고 지하공기의 송풍 풍량은 분당 80 $\text{m}^3$  이상이 되도록 하였다.



Fig. 6. Geologic columnar section of ventilation layer for the use of underground air

착정후 회수된 시추코어의 지질주상도에서 32m이내 4개 지점에서 하우스에 이용할 수 있는 다량의 지하공기를 얻을 수 있었다(Fig. 6). 지하공기를 송풍기의 온도 제어를 주간 28 $^{\circ}\text{C}$ 이하, 야간 20 $\pm$ 2 $^{\circ}\text{C}$ 정도로 설정하였고 하우스 내부의 야간 기온은 19~22 $^{\circ}\text{C}$  온도를 유지하기 위해 이중비닐하우스에 차광스크린, 부직포 스크린등 보온설비를 장치하였다. 14~16개월 재배된 호접란 증묘의 저온처리 면적은 660 $\text{m}^2$ 에 가을출하 작형 저온처리 기간은 2006년 6월 1일부터 9월 30일로 한정하였다. 조사내용은 온도·습도(Hobo data logger), 지하공기 CO<sub>2</sub> 량을 조사하였다.

## 2. CO<sub>2</sub>발생기의 CO 가스에 의한 생장억제

2007년 4월에 KV바이오에서 구입한 호접란 조직배양묘 4품종 (A-66, A-260, A-113, 806)를 서귀포시 지역의 50% 내부 차광된 유리온실에서 내부온도 20~35℃, 상대습도 40~85%범위에서 순화시켰다.

CO<sub>2</sub>시험을 위하여 지하공기를 이용한 비닐하우스 재배면적 1,000m<sup>2</sup>(A), LPG 연소용 CO<sub>2</sub>발생기(사용 만 2년 이상)를 설치한 와이드 스펙형 유리온실 재배면적 247m<sup>2</sup>(B)와 CO<sub>2</sub> 발생기를 사용하지 않은 동일한 면적의 유리온실을 대조(C)로 하여 순화된 호접란 품종을 시험구로 배치하였다. 온도는 25℃±2, 상대습도 80%의 조건하에서 재배하였다.

유리온실 내부의 공기순환을 위해 15분 타이머로 조절된 환기팬을 주기적으로 가동했다. 1.3~16kg/ hr LPG 연소 탄산가스 공급기의 CO<sub>2</sub> 공급시간은 18:00~06:00에 1시간당 15분 간격과 지하 공기는 터보팬을 이용하여 50분 가동후 10분 정지로 연속 공급하였다. 2007년 8월 6일부터 10월 15일 까지 수행하였다. 시험조사는 엽장, 엽수, 두께, 개화상황, 온도·습도(Hobo data logger), 상대엽록소 함량은 휴대용 엽록소측정기(SPAD-502, Minolta, Japan)로 측정하였다.

### 3. 지하공기와 보조 히트펌프 시설에 의한 저온처리 및 생장 촉진

시험장소에 지하공 2개공(GPS : 126° 23' 32.23", 33° 15' 14.97")을 착정하였으며, 심도는 32m에 직경 300mm의 회전식 코어 시추방식으로 굴착하였다. 토사층은 지표면의 5m 깊이이었고 통기성 지층은 현무암층이 시추심도별 5~8m, 10~15m, 17~26m, 화산쇄설층이 26~30m 깊이이었다(Fig. 7). 시추공 보호자재로는 천공된 Ø300mm를 PE일반관 8m의 깊이로 매립하고, 토사층까지는 몰탈 채움 그라우팅 처리하였다. 상부보호공 및 기초 콘크리트는 230cm × 230cm × 25cm로 마감하였다. 송풍용 터보팬은 모터용량이 7.5kw를 기준으로 설치하고, 송풍기의 토출구는 500mm 주름관으로 시공하며 단열재 두께 20mm로 단열처리하였다. 터보팬 송풍기는 50분 가동후 10분 정지하도록 하고 송풍풍량은 분당 100m<sup>3</sup> 이상이 되도록 하였다.

2007년 6월 30일부터 하우스 내부를 주간 27.5℃, 야간 20±2℃로 설정하고 저온처리 면적을 1,652m<sup>2</sup>으로 확대하여 영양생장이 완료된 14~16개월의 호접란 중묘 3만 본을 입식하였다. 지하공 2개공과 소형 히트펌프(난방용량 330m<sup>3</sup>, 냉방용량 165m<sup>3</sup>)를 보조 열원으로 사용하다. 하우스 내부 상단에는 지하공기를 이용한 보온용 공기팩을 설치하여 단열과 광 조건이 좋은 상태에서 9월 30일부터 개화분당 꽃수가 8송이 이상을 기준으로 출하하였다. 경제성분석을 위해 2001년부터 2005년까지 가락동 도매시장 가격을 조사하였으며, 재배형태별 경영분석은 농촌진흥청 농축산물 소득자료집(농촌진흥청, 2005~2006)과 2003년 제주도 수출용 호접란 소득 분석을 참조하였다.

Depth (m)	Thickness (m)	Columnar section			Geologic formation		Characteristic
					Civil engineering name	Geologic name	
5.0	5.0	//// //// ////	PE tube	//// //// ////	Earth and sand	Topsoil	Dark brown
8.0	3.0	vvvv vvvv		vvvv vvvv	Soft rock	Augite basalt	Vesicle growth
10.0	2.0	oooo ~~~~		oooo ~~~~	Scoria, pebbles	Pyroclastics	Pebbles inclusion
15.0	5.0	vvvv vvvv vvvv		vvvv vvvv vvvv	Soft rock	Augite basalt	Vesicle growth
17.0	2.0	oooo ~~~~		oooo ~~~~	Scoria, pebbles	Pyroclastics	
26.0	9.0	vvvv vvvv vvvv vvvv vvvv		vvvv vvvv vvvv vvvv vvvv	Soft rock	Augite basalt	Vesicle growth
30.0	4.0	oooo ~~~~ oooo		oooo ~~~~ oooo	Scoria, pebbles	Pyroclastics	Vesicle growth
40.0	10.0	#### #### #### #### #### #### #### ####		#### #### #### #### #### #### #### ####	Clay	Sedimentary layer	Yellow ocher

Fig. 7. Geologic columnar section at 1546-1, Sanyaedong, Seogipo City.

### 시험 III. 제주도 지하공기를 이용한 파프리카 재배에 대한 천연 CO<sub>2</sub> 시비효과

본 시험은 서귀포시 표선면 가시리 3665-60 ( GPS: 126° 42' 5.1", 33° 24' 39.31") 해발 330m에 위치한 벤로형 파프리카 수경재배 유리온실에서 하였다. 파프리카 시험품종은 주황색계통인 프레지던트(Enza zaden-Co. Netherlands)를 사용하였고, 파종부터 13개월간 재배되었다. 재식밀도는 3.3m<sup>2</sup>당 12주를 정식하였고, 적심은 2분으로 하여 V자 형태로 유인되었고, 5단 착과를 하였다. 재배형태는 암면배지를 이용한 수경재배로 재배되었다. 시험기간은 여름철 혹서기 조건이 조성되는 2007년 7월 21일부터 2007년 10월 22일까지로 한정하였다.

유리온실 19,800m<sup>2</sup>(6,000평)에 중유를 연소하는 온수보일러 1대의 연도에 7.5kw 송풍용량의 CO<sub>2</sub>공급기를 부착하여 유리온실 내로 폐기순환 지중관로 공급하였다. CO<sub>2</sub>공급에 필요한 연간 유류비는 8천만원이었고 유리온실 난방에 소요되는 유류비는 연간 7~8억원이 소요되었다. 지하공 착정심도는 80m 내외로 하고, 직경은 300mm 회전식 코어 시추 방식으로 굴착하였다. 토사층 시추공 보호자재는 타공된 ø300mm PE일반관을 80m 깊이로 매립하고, 토사층까지는 몰탈 채움 그라우팅 처리하였다. 상부보호공 및 기초콘크리트는 230cm × 230cm × 25cm로 마감처리 하였다. 터보팬 송풍기 모터용량 7.5kw를 기준으로 설치하고, 송풍기의 토출구는 500mm 주름관으로 시공하며 두께 20mm의 단열재로 마감처리 하였다. 송풍기는 50분 가동 후 10분 정지하는 방식을 취하였고 지하공기의 풍량은 분당 100m<sup>3</sup> 이상으로 하였다.

유리온실 내부온도는 주간 22℃~25℃, 야간 17℃~18℃ 습도는 70%~80%로 설정하였다. 중유연소 CO<sub>2</sub> 발생기의 CO<sub>2</sub>공급은 일출 30분 전부터 시작하여 2시간 후 부터 목표한 최대치 값이 800ppm에 근접하도록 유지하여 주었으며 지하공기는 설정온도에 의하여 계속 공급하는 방식으로 하였다. 당일 광량, 내부온도, 천창 개폐 정도에 따라 자동 조절해 주는 모니터링 컴퓨터 시스템을 사용하였다.

조사내용은 온도, 습도, CO<sub>2</sub> 량을 측정하였고, 생육과 상대 엽록소 함량은 휴대용 엽록소측정기(SPAD-502, Minolta)로 측정하였다. 과실품질 조사는 7월 26일부터 10월 22일까지 생장길이, 엽중, 상품과수, 과중 조사로 전체 상품수량을 산출하였고, 품질은 과경, 과고, 과육두께 및 과실 경도(Firmness)를 측정하기 위하여 Rheometer(compac-100Ⅱ)에 어댑터 0.126cm<sup>2</sup>를 사용하였다. 과실당도 측정은 굴절당도계(Hand refractometer, Atago-Co.)로, 과실의 착색정도는 측색색차계(CR-3000, Minolta)로 Hunter value 기준으로 L(명도), a(채도)와 b(색상)값을 측정하였다. 기타 경제성 분석은 실험Ⅱ와 동일한 기준으로 조사하였다.





### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 시험 I. 제주도 지하공기의 특성

##### 1. 지하 통기성 지질분석 결과

시험시추공의 지질층서는 지표지질 및 회수된 시추코어에 대한 육안관찰과 시추공내 TV촬영 결과를 종합 분석하였다. 시험 시추공 중 선홀, 대홀 및 협재 지구의 지표지질 및 지하지질 주 구성암질은 회백색 또는 흑회색을 띠는 장석감람석현무암이며, 월평지구의 구성암질은 회백색과 흑회색을 띠는 장석현무암(FB)과 장석감람석현무암(FOB)으로서 현무암층사이에 스크리아(송이) 화산사와 화산력으로 구성된 화산쇄설층이 협재되어 있는 지질층서 구조를 보인다(Fig. 8).

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.

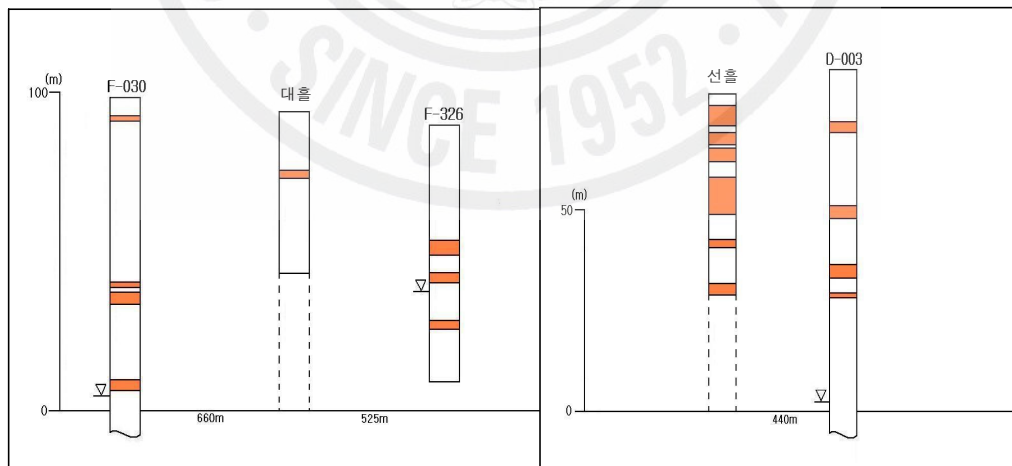


Fig. 8. Pyroclastics distribution of existing tube wells and boreholes in the Daehuel and Sunhuel.



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	
Daeheul	79.0	50.0	22.7	45.4	Pyroclastics, FOB <sup>z</sup>
Sunheul	93.0	50.0	2.5	5.0	Pyroclastics, FOB
Hyupjae	43.0	30.0	2.5	8.3	Pyroclastics, FOB
Wolpyung	200.0	50.0	2.5	5.0	Pyroclastics, FB <sup>y</sup> , FOB

<sup>z</sup> FOB : Feldspar Olivine Basalt, <sup>y</sup> FB : Feldspar Basalt

Table 4.에서 보는 바와 같이 시험지구 시추공이 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 월평지역에서만 존재하는 것으로 나타났다.

대흘지구의 지질층서는 표토 토사, 장석감람석현무암외에 현무암내에 협재된 화산쇄설층과 점토층이 각 1회 관찰되었다. 화산쇄설층과 점토의 층후는 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).

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		
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		

시추공 공내 TV촬영(BIPS) 영상 중 대흘지구는 심도를 0.9~37.0m까지 한 결과 전체 절리면은 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 누수 구간 또는 통기층 역할을 할 것으로 예측되는 지질구조를 잘 보여주고 있다(Fig. 9. 10.).

전체 절리면 주방향성은 19/339의 경사방향과 경사각의 주향 N69E / 경사 19NW을 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 600~2,000mm으로

ISRM 표기상 넓은(wide)으로 분석되었다.

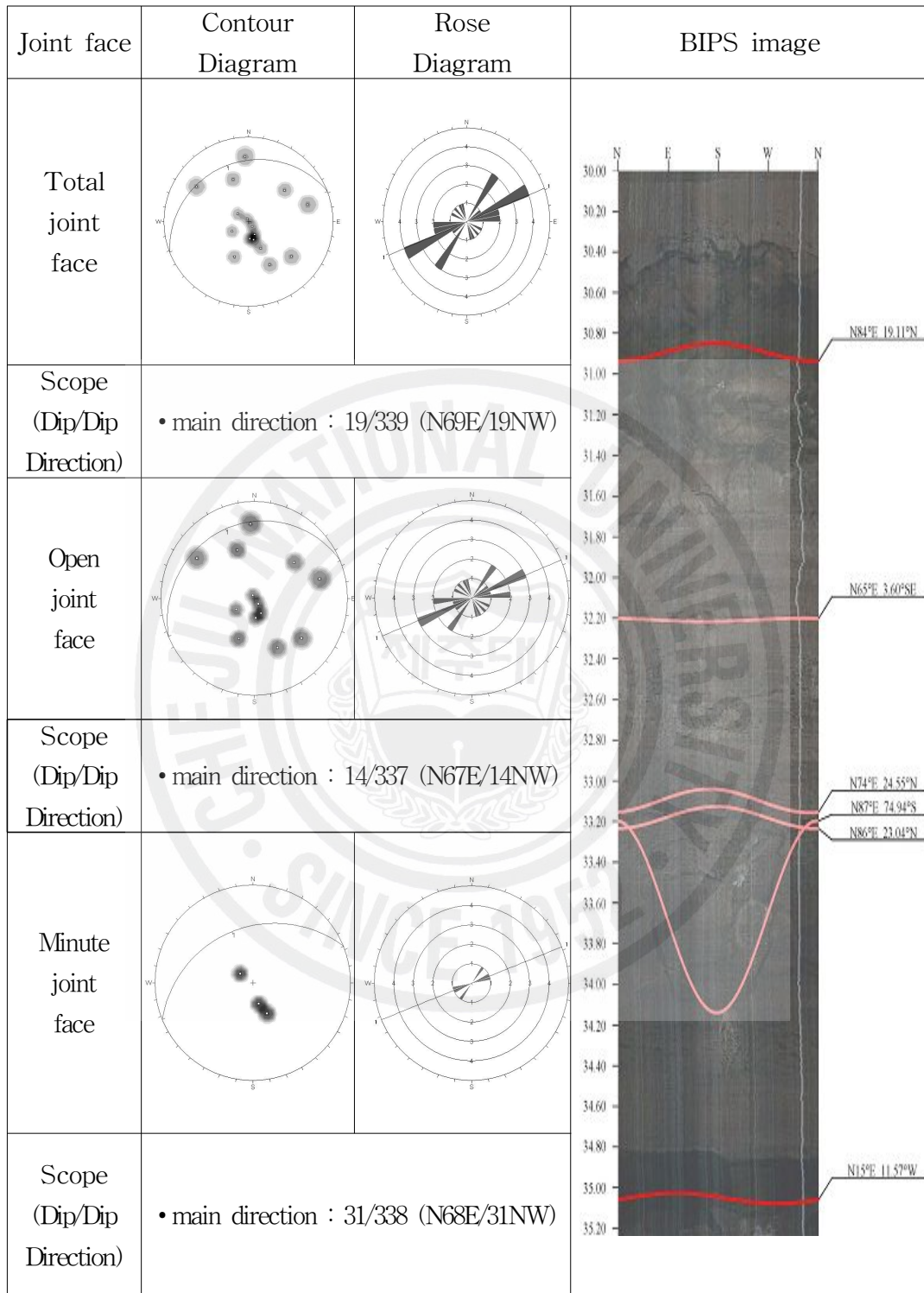


Fig. 9. BIPS photographing image of borehole in Daehuel.

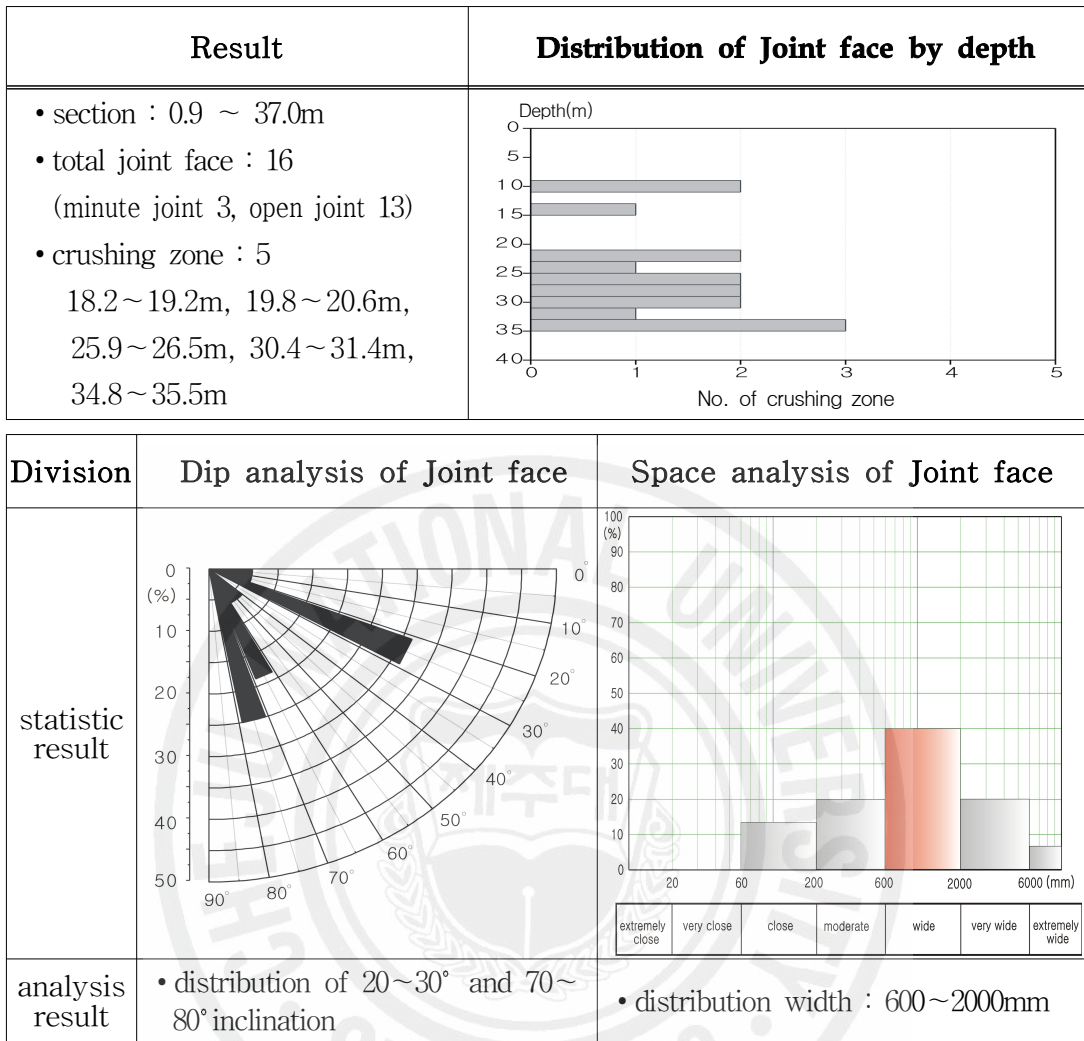


Fig. 10. Statistical analysis of BIPS photographing image of borehole in Daeheul.

선홀지구의 지질층서는 장석감람석현무암외에 현무암내에 협재된 화산쇄설층으로 총 6대로 구성된다. 화산쇄설층은 층후는 총 25.7m이었고, 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. 시추심도중 51%가 화산쇄설층으로 구성되어 있고 쇄설층내에 점토나 토사의 함유량이 적어 통기성이 상당히 좋은 것으로 판단되었다.(Table 6).

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	pyroclastics		leakage zone
5.0~8.0	3.0		good	
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	pyroclastics	good	leakage zone
25.5~26.0	0.5		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

협재지구의 지질층서(김 등, 1966)는 장석감람석현무암과 현무암내에 협재된 화산쇄설층 1대로 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.

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)
33.0~35.0	2.0	earth(clay inclusion)		non-leakage zone

월평지구의 지질층서는 장석현무암 및 장석감람석현무암과 현무암내에 협재된 화산쇄설층 1매로 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 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		
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)

대홀과 선홀지구를 제외한 2개소에서는 화산쇄설층의 발달 분포가 빈약함에도 불구하고 지하공기가 분출되는 것이 확인된 점으로 보아 화산쇄설층이 반드시 지하공기의 부존 및 통기성에 필수조건은 아닌 것으로 판단되며, 오히려 지하공기의 통기성은 현무암내에 발달하고 있는 절리대 또는 파쇄대와 더 깊은 연관성이 있는 것으로 확인할 수 있었다.



## 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>/min이상 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).

Table 9. Wind flux test by blower fan.

Blower fan	Blower fan norm				Boring depth (m)	Airflow (m <sup>3</sup> /min)	Test condtion
	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)

축류형 팬을 이용한 심도별, 보호자재 유무에 따른 풍량시험 결과로서 각 지구별로 통기층이 형성되어 있는 심도가 다르기는 하지만, 시추심도가 늘어남으로써 풍량 증가가 있었으며, 대흘 및 선흘지구 각각 0.9%, 17.4% 증가되었다. 그리고 시추심도 50m 착정 후 보호자재(재질: PE, 개공율 15~20%) 설치 전·후의 풍량 시험결과, 설치 전에 비하여 설치 후 풍량이 감소하였으며, 대흘 및 선흘 지구는 각각 0.7%, 13.6% 감소하였다(Table 10).

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

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	-

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

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

Area	Electric power (kw)	Borehole diameter (mm)	Boring depth (m)	Airflow (m <sup>3</sup> /min)	Borehole protection pipe <sup>z</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>z</sup> Opening ratio of borehole protection pipe(PE) : about 20%.

### 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 25~35m 이하의 심도로도 충분한 풍량을 확보할 수 있으나, 지하공기층 분포 구간의 발달은 지역마다 매우 불규칙하므로 통기층 확보 빈도와 시추경제성을 감안하여 약 50m 내외로 기본 계획함이 유리할 것으로 판단된다. 시추직경은 통상적인 지하수 암반관정의  $\phi 250\text{mm}$ 을 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 250~300mm 정도의 시추직경이 합리적일 것이다. 시추공 보호자재 개공율 20% 이상은 설치에 따른 풍량의 감소가 적어서, 장기적인 시추공 보호차원에서 낙석방지나 집중강우시 지표수의 급격한 유입 방지를 목적으로 설치하는 것이 바람직할 것이다.

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

### 4. 환경공학적 안정성 검토

1970년 이래로 제주도 전역에 개발된 약 5,000여공의 지하수관정 시공의 경우 지반공학적 재해가 발생한 사례는 거의 보고되지 않고 있으며, 지하공기 개발을 위한 시추공 굴착에 있어서도 지반공학적 위험성은 매우 적을 것으로 판단되었다.

다만, 너무 얇은 심도에서 용암동굴이 발견되거나 스코리아 또는 화산쇄설층이 지표에서부터 두텁게 발달되어 있는 지역에서는 시추장비의 무게 때문에 전도 또는 지반붕괴의 우려가 있으므로 작업을 피하는 것이 바람직하며, 시추공 간의 거

리·는 굴착 진동으로 인한 기존 시추공의 지층 변화가 발생되거나 지하공기가 서로 흡입 송풍되지 않도록 해야 할 것으로 판단된다.

지하공기는 자연 상태로 지하암반 내에 들어있거나 유동되는 공기로 상당량의 습도를 유지한 채 지하 암반내의 가스들과 혼합되어 있을 것으로 추정하였으나 제주도 화산암은 최근 화산활동이 없어 화산 가스의 직접유출은 없었다(권 과 이, 1997).

Table 12. The ingredients of underground air erupted from borehole.

	Area	Observed date	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>
Standard	Air environment in Korea	-	25 <sup>z</sup>	0.15	0.15	0.1
	In jeju	-	13	0.1	0.1	0.1
Survey	Hallim geumneungri	28. Jul. 2006	0.035	0.000	0.002	0.003
	Pyoseon Gasiri	10. Jan. 2007	0.053	0.000	0.002	0.002

<sup>z</sup> Average per an hour, unit : ppm

시추공 배출 지하공기를 보건환경연구원에 의뢰하여 환경정책기본법에 정한 대기환경기준 항목 일부를 측정된 결과로서 주요 성분에 대한 측정값들이 모두 대기환경 기준치를 이하의 매우 양호한 공기질 상태를 보였다(Table 12).

지하수관정 개발 시 제주도 지하수관리 조례로 정한 시추공 주변공간 그라우팅 시설을 지하공기 시추공 굴착 시에도 동일하게 설치토록 하되 시추심도가 50m 내외로 비교적 낮은 여건 등을 고려하여 주변공간 그라우팅 심도는 Fig. 11 과 같이 지표부에서부터 5m이상으로 결정함이 합리적일 것으로 사료된다. 지하공기 시추공의 주변공간 그라우팅은 공벽을 통한 지표수의 직접 유입을 차단할 뿐 아니라 지상공기의 지하유입을 차단하여 지하공기의 온도 변화를 최소화 할 수 있을 것이다.

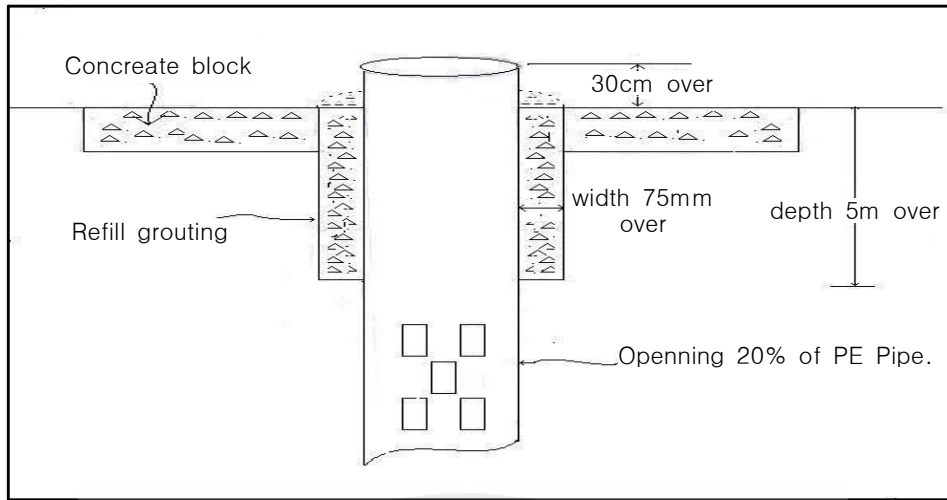


Fig. 11. Grout facility mimetic diagram for protecting the underground water of adjacent region being polluted.

## 5. 제주도내의 지하공기이용 가능지역 분포

현재까지 제주지역의 지표지질도 및 기설 지하공기 이용시설 80 개소의 지질 주상도의 지층분석으로 시추공 개발예정지에 대하여 분석한 결과에 의하여 제주도내 지하 공기층 개발 가능지역은 제주도 전체 면적의 대략 85%로 추정되었다.

제주도 북·서쪽 지역인 한림지역은 표고 50~150m에 시추심도 45~51m로 굴착하였고 지하공기 온도는 16.0~18.2℃ 범위이었으며 습도는 80~87%, CO<sub>2</sub> 함량은 650~2,300ppm 선이었다. 한경지역은 표고 70~126m에 41~51m로 굴착하였고 지하공기 온도는 16.9~18.6℃ 범위 이었으며 습도는 85~87%, CO<sub>2</sub> 함량은 630~4,955ppm 이었다. 애월지역은 표고 84~400m에 시추심도 48~76m로 하여 굴착 하였고 지하공기온도는 16.8~19.0℃ 범위 이었으며 습도 80~89%, CO<sub>2</sub> 함량은 680~2,200ppm이었다(Table 13-1, Fig. 12). 이렇듯이 CO<sub>2</sub>의 함량이 적게는 600ppm에서 많게는 5,000ppm까지 차이를 나타내는데 이는 지대별 즉 고도차에 의한 지하공기의 함량에 기인하지 않나 사료된다.

Table 13-1. Air quality and air ventilation layer of the facility for using underground air in Jeju, 2006-2007.

Area	Altitude (EL.m)	Boring depth (m)	Underground air				Pyroclastic layer (%)	Basalt ventilation layer (%)	
			Temp. (°C)	Humidity (%)	Airflow (m <sup>3</sup> /min)	CO <sub>2</sub> (ppm)			
Hallim	Geumak 902	150	50	18.1	-	-	2,340	21.6	11.8
	Sangdae 1207-3	133	50	18.2	-	300	2,267	-	-
	Sangmyeong 1150	144	45	16.9	87	100	2,300	20.0	4.4
	Wollim 426	100	51	16.0	80	70	650	-	-
	Wollim	54	48	16.0	80	70	650	-	-
Hangyeong	Cheongsu 109-1	-	49	16.0	85.8	100	420	22.4	0
	Cheongsu 1060	86	51	16.9	87	80	2,300	0	21.6
	Gosan 91-1	-	51	17.5	85	70	4,000	27.5	39.2
	Josu 2241	76	50	18.6	-	-	4,955	-	-
	Jeoji 3127	126	41	17.0	86	80	650	-	-
	Jeoji 2848-1	121	41	-	-	-	-	4.9	24.4
	Nakcheon 45	-	45	18.0	85.5	85	1,840	-	-
	Nakcheon 1349	70	52	18.0	85	60	2,200	0	76.9
Aewol	Bongseong 951	300	60	19.0	-	-	1,200	-	-
	Nabeup San 102	-	42	17.0	85	60	1,200	21.4	0
	Susan 1138-1	84	76	16.8	87	60	2,000	-	-
	Sangga 1469-1	136	48	19.0	89	70	680	25.0	0
	Sogil 1273	122	60	18.0	88	70	1,200	4.83	25.8
	Yusuam 204-3	400	56	17.8	80	80	2,200	42.9	0



Table 13-2. Air quality and air ventilation layer of the facility for using underground air in Jeju, 2006-2007.

Area	Altitude (EL.m)	Boring depth (m)	Underground air				Pyroclastic layer (%)	Basalt ventilation layer (%)	
			Temp. (°C)	Humidity (%)	Airflow (m <sup>3</sup> /min)	CO <sub>2</sub> (ppm)			
	Daehuel 2062-3	-	-	18.6	-	-	1,342	28.6	21.4
	Hamdeok 572-8	56	47	17.0	89	108	2,300	27.7	0
Jocheon	Jocheon	80	43	-	-	-	4,600	-	-
	Sinchon 2924	34	40	18.0	89	100	1,450	0	45.0
	Sinchon 3224-2	34	31	18.0	85	70	3,000	22.5	0
	Sinchon 3159	26	41	19.0	83	80	1,670	12.1	0
	Sunhuel 2624	79	50	18.1	-	-	860	-	-
	Wasan 803	119	49	17.6	90	128	700	38.5	0
Gujwa	Jongdal 3290	53	40	18.0	89	80	1,200	27.5	0
	Sehwa	50	40	18.0	87	80	1,200	-	-
Jejusi	Aradong San 1	300	43	17.0	97	108	3,500	-	-
	Ara2dong 218-1	-	40	17.0	82	100	1,800	-	-
	odeungdong 782	300	40	17.0	88	110	2,000	17.5	0
	Yonggang 1116	367	55	16.8	85	78	3,800	50.9	10.9

Table 13-3. Air quality and air ventilation layer of the facility for using underground air in Jeju, 2006-200.

Area	Altitude (EL.m)	Boring depth (m)	Underground air				Pyroclastic layer (%)	Basalt ventilation layer (%)	
			Temp. (°C)	Humidity (%)	Airflow (m <sup>3</sup> /min)	CO <sub>2</sub> (ppm)			
Andeok	Gamsan 2656	132	55	17.0	87	70	5,200	4.5	0
	Sangchang 2290	170	40	17.0	88	90	5,100	35.0	0
	Sangchang 2381-1	153	40	17.0	83.4	100	1,700	2.5	0
	Sangchang 2439-2	144	63	17.0	85	90	2,500	-	-
	Seogwang 2414	155	40	17.0	86	70	1,800	20.0	77.5
	Seogwang san 24-1	240	72	17.5	86	70	470	9.7	23.6
Seogwiposi	Dosundong 1293-3	180	42	17.0	90	100	1,200	16.7	0
	Deapodong 256	169	40	18.0	83	30	3,100	10.0	0
	Jungmundong 722-1	215	56	17.0	89	-	3,500	48.2	0
	Jungmundong 720	213	68	17.0	87	64	3,000	13.2	0
	Saekdaldong 996	222	41	17.0	88	95	1,200	7.3	7.3
	Sanhyodong 1031-3	174	45	17.0	89	95	3,700	37.8	20.0
	Sangyedong 1546-1	120	41	17.0	85	85	3,700	15.0	30.0
	Topyeongdong 12-10	345	-	17.0	85	90	950	50.0	0
Sanghyodong 454-2	145	40	17.0	80	70	1,250	5.2	26.0	

Table 13-4. Air quality and air ventilation layer of the facility for using underground air in Jeju, 2006-2007.

Area	Altitude (EL.m)	Boring depth (m)	Underground air				Pyroclastic layer (%)	Basalt ventilation layer (%)	
			Temp. (°C)	Humidity (%)	Airflow (m <sup>3</sup> /min)	CO <sub>2</sub> (ppm)			
Pyoseon	Gasi 3665	-	80	16.1	93	87	13,100	-	-
	Gasi 242	87	67	17.0	84	60	3,170	17.9	0
	Sehwa 2160-1	-	52	-	-	-	800	8.1	1.6
	Sehwa 2217	95	51	17.0	89	80	2,200	46.1	2.0
	Sehwa 924	-	40	17.0	88	100	3,100	11.1	0
	Sehwa 852	99	45	17.0	88	70	1,400	15.5	0
	Sungeup 1462	137	45	17.0	85	70	1,900	6.6	84.4
	Sinsan 1388-1	61	45	17.0	85	90	1,950	42.2	44.4
Namwon	Hannam 399-5	139	68	17.0	84	60	2,400	13.2	30.9
	Hannam 446-1	107	45	17.0	89	100	2,600	13.3	11.1
	Harye 1500-2	149	53	17.0	89	65	4,500	37.7	0
	Sillye 1388-2	138	51	17.0	85	80	2,200	39.2	0
	Sillye 2050	226	68	17.0	87	70	3,000	7.4	0
	Uigwi 80-5	124	62	17.0	84	70	2,500	6.5	33.9
	Uigwi 391-2	85	51	17.0	83	70	3,800	27.5	2.0

구제주시 지역은 표고 126~367m에 시추심도 40~55m로 굴착하였고 지하공기 온도는 16.8~17℃ 범위 이었으며 상대습도는 85~97%, CO<sub>2</sub>함량은 2,000~3,800ppm 이었는데 제주도의 서북지역 4곳으로 한정하여 볼 때 제주시를 중심으로 한 지역이 지대별, 지역별 CO<sub>2</sub> 함량 차이가 가장 적었다. 따라서 제주시 권역에서는 지하공기 이용의 경우 냉·난방의 효과는 물론 CO<sub>2</sub>의 이용 가능성이 안정적으로 높음을 알 수 있었다. 제주도 북동지역의 조천 지역은 표고 26~250m에 시추심도는 40~50m로 굴착하였고 지하공기온도는 16.8~19.0℃ 범위이었으며 습도는 83~90%, CO<sub>2</sub> 함량은 700~1,670ppm이었다. 구좌 지역은 표고 50~367m에 시추심도 40~55m로 굴착하였고 지하공기 온도는 16.8~18℃ 범위이었으며 습도는 85~97%, CO<sub>2</sub>함량은 1,200~3,800ppm이었다(Table 13-2, Fig. 12).

제주도 남·서쪽 지역인 대정 지역은 현재까지 지하공 시추가 없는 것은 발작물 채배 지역이므로 시설채배가 적어 지하공 이용도가 낮았다. 안덕 지역은 표고는 132~240m에 시추심도 40~72m로 굴착하였고, 지하공기온도는 17.0~17.5℃ 이었으며 습도는 85~88%, CO<sub>2</sub>함량은 470~5,200ppm이었다. 구 서귀포시 지역은 해발고도 120~345m에 시추심도 40~68m로 굴착하였으며 지하공기온도는 17~18℃ 범위이었고 습도는 83~90%, CO<sub>2</sub>함량은 1,200~3,700ppm이었다(Table 13-3, Fig. 12).

남서쪽 지역인 남원지역은 표고 85~226m에 45~68m를 굴착하여 지하공기 온도는 17.0℃ 범위이었고 습도는 84~89%, CO<sub>2</sub>함량은 2,200~4,500ppm이었다. 표선 지역은 표고 87~300m에 40~80m를 굴착하여 지하공기온도는 16.1~17.0℃ 범위이었고 습도는 84~89%, CO<sub>2</sub>함량은 1,400~13,100ppm이었다(Table 13-4, Fig. 12).

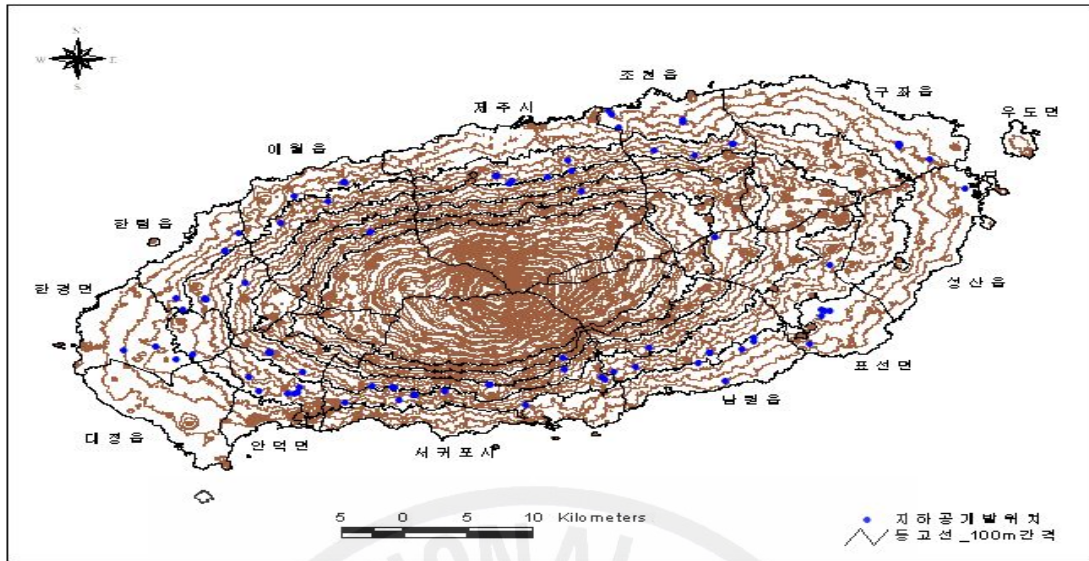


Fig. 12. The map of regional distribution of underground air borehole in Jeju.

제주도에서 투수성 지질구조를 이용하여 지하공기를 개발할 수 있는 지역은 지질적으로는 화산쇄설층 및 개방형 절리 비율이 낮은 산방산군에 속하는 조면암류 분포지역(장 등, 2006)의 모든 지역이 가능할 것으로 확인되었으나, 표고가 25m이하인 지역에서는 지하수층과 길이가 짧으므로 시추심도 역시 길지가 않아서 비록 가능성은 있으나 성공 확률이 상대적으로 더 낮을 것으로 판단되므로 제주도 지하공기개발 가능 지역은 녹색지역으로 분석될 수 있었다(Fig. 12).

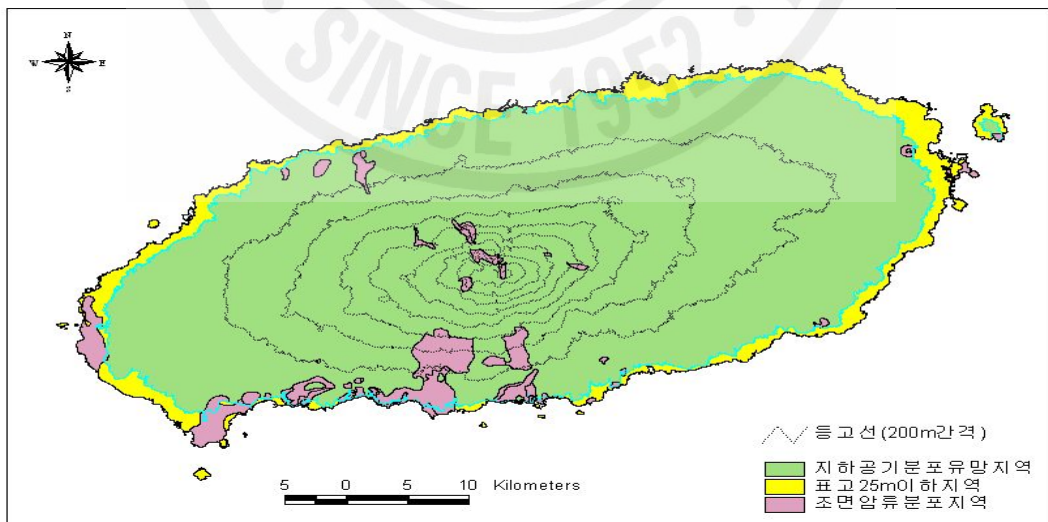


Fig. 13. The map of regional distribution being possible for the development of underground air in Jeju.



## 시험 II. 제주도 지하공기 이용에 의한 호접란 성장촉진 효과

### 1. 지하공기의 저온처리 및 성장 촉진

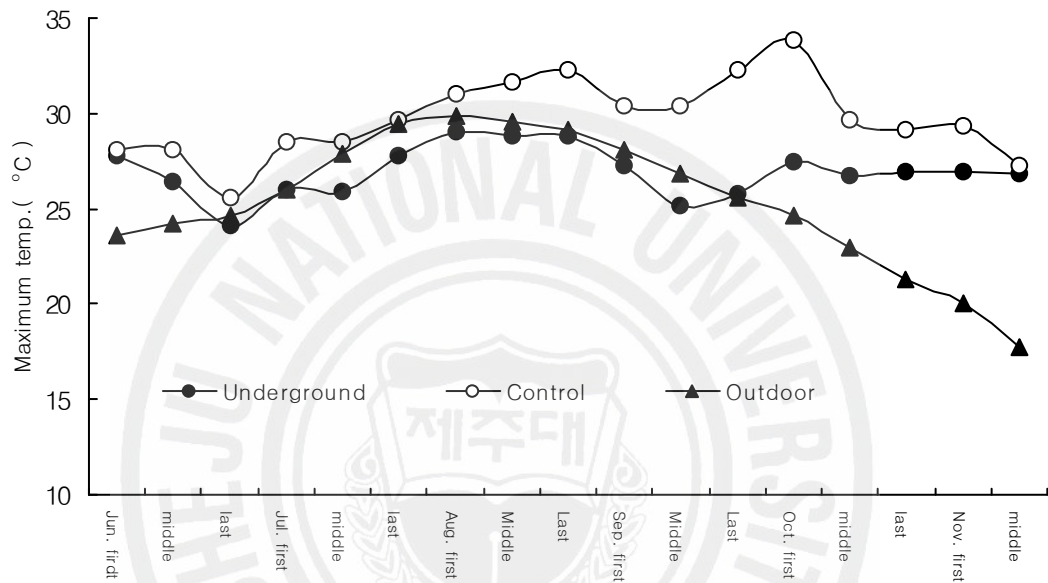


Fig. 14. A comparison of maximum temperature between general plastic film greenhouse and the greenhouse using underground air in 2006.

Fig. 14는 2006년 6월부터 11월까지 하우스 대조구, 지하공기 이용 및 대기온도 변화추이를 최고온도로 비교한 것인데, 일단 외기와 지하공기 이용 처리를 비교해 볼 때 지하공기 이용 처리구에서는 비교적 완만한 기온변화를 보이는 반면 외기는 봄과 가을에 낮은 온도를 나타내고 있다.

또한 7월부터 9월까지의 경우를 볼 때 비닐하우스 무처리구에 비하여 확실한 냉방효과를 보여주고 있는데 이는 하우스라는 집열조건에서의 온도 하강을 나타내는 것으로 과도한 차광이 없어도 17°C 되는 지하공기의 영향에 의하여 실내 온도가 낮아진 것으로 판단된다.



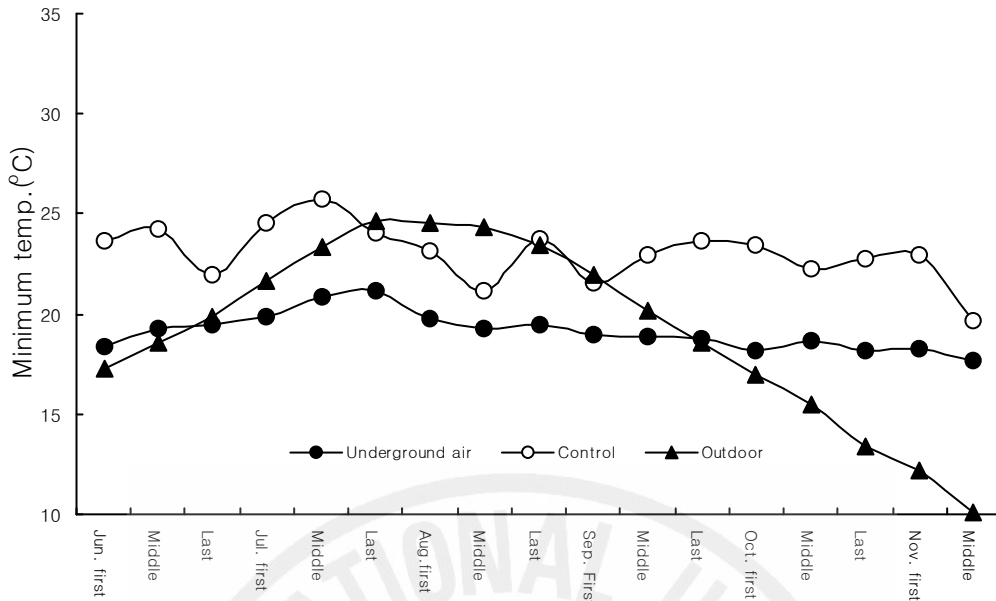


Fig. 15. A comparison of minimum temperature between general plastic film greenhouse and the greenhouse using underground air in 2006.

또한 이상의 3처리구의 기간별 최저온도 비교를 보면(Fig. 15), 최고온도와 마찬가지로 대조구에 비하여 비교적 등락폭이 없는 완만한 온도대를 나타내는 것은 지하공기 이용 처리구이며 하절기에도 대체로 5°C 정도의 냉방 효과를 갖는 것으로 나타났다.

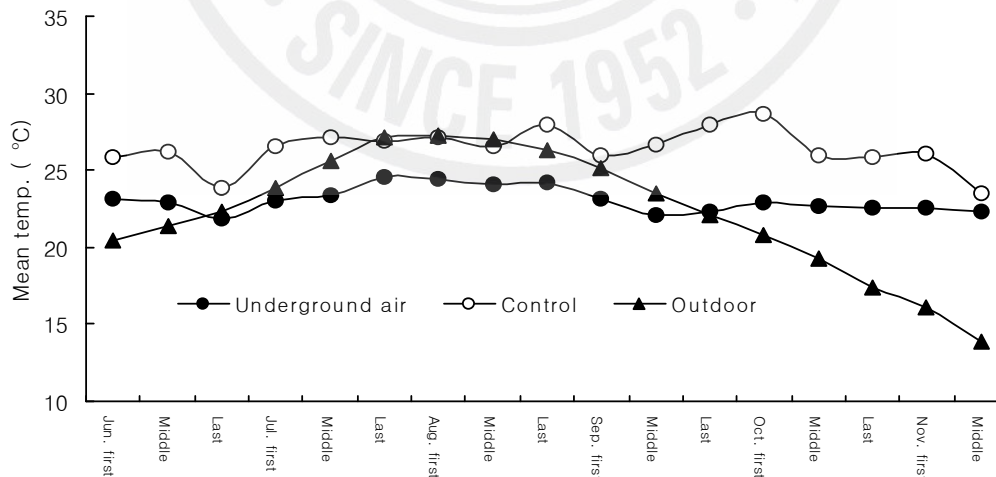


Fig. 16. A comparison of mean temperature between general plastic film greenhouse and the greenhouse using underground air in 2006.

이와 같이 최고, 최저 온도의 평균온도를 나타낸 것이 Fig. 16에 집계된 바, 지하공기 이용 처리구에서는 평균 23℃를 중심으로 외기가 낮을 때는 약간 하락하고 외기가 높을 때는 실온이 약간 상승하는 경향을 보이고 있다.

하절기 냉방 특성을 살펴보면 주간 최고온도는 지하공기 냉방에 의해 설정된 온도에서 하우스 내부에서는 28℃까지 냉방이 가능하였다. 야간 최저온도는 19 ~ 21℃를 유지할 수 있어서 호접란 화경 발생온도를 유지할 수 있었다. 이에 관하여 Runkie(2007)은 야간온도가 23℃를 넘지 않는 한 호접란의 화아분화는 발생하지만 20℃가 안전온도임을 제안하는 한편 화아분화를 위한 저온처리시기에 BA를 200ppm 처리하게 되면 화경수가 최소 1개 이상 증가한다고 보고한 바 있다. 따라서 온대지방의 하계절 고온기에는 호접란의 출하가 거의 없으므로 에어컨을 작동시켜 단경기 출하의 소득향상을 꾀하고 있는데 (Chen와 Chang, 1997), 이때 에어컨 가동을 위한 투자 경비가 높기 때문에 출하를 목적으로 하는 시기를 잘 선택해야 하는 위험 부담을 가질 수 있다.

그러나 본 연구의 결과와 같이 에어컨의 작동 없이 그리고 고랭지의 이용이 없어도 제주도 지하에 무한정 매장되어 있는 천연에너지 자원이라고 할 수 있는 지하공기의 이용은 비록 1개의 시추공이 200평(660m<sup>2</sup>)이라는 면적에 제한을 받기는 하지만 호접란과 같은 고소득 작물의 단경기 생산을 위해서는 꼭 필요한 시설이라 하겠다(Lee. 1991).

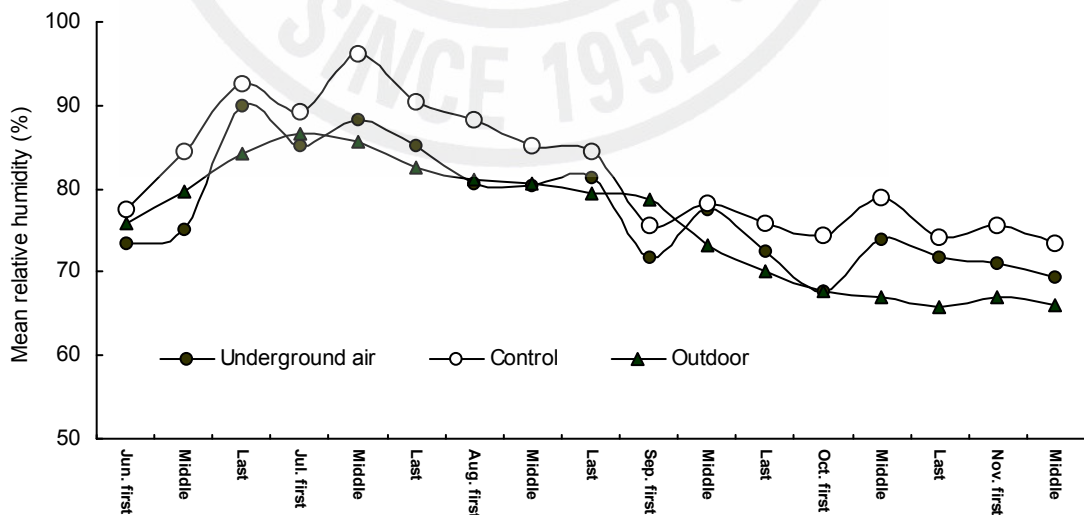


Fig. 17. A comparison of mean relative humidity between general plastic film greenhouse and the greenhouse using underground air in 2006.

Fig. 17은 호접란 화아분화를 위한 저온처리 기간 중의 재배하우스와 실내의 최고 및 평균 상대습도를 조사한 것이다. 특기할 사항으로는 외부 습도에 비하여 실내의 습도가 높게 나타나고 있으며, 지하공기를 이용하는 재배장에서는 대조구보다 습도가 약간 낮아지는 것을 볼 수 있다. 지하공기는 지하에 잠복하고 있는 공기를 강력모터로 뽑아내는 것이기 때문에 자체적으로 고농도의 습도를 함유하고 있으므로 실내의 습도를 높이는 것은 당연하지만 팬에 의하여 송풍되는 것이기 때문에 재배장 내벽에 부딪히는 공기량이 많을수록 습도가 낮아지게 되며 주간에는 이러한 고농도의 습도가 오히려 재배작물의 체온을 낮출 수 있는 매개가 되므로(Jen 등. 2007) 좋은 조건이라 할 수 있다.

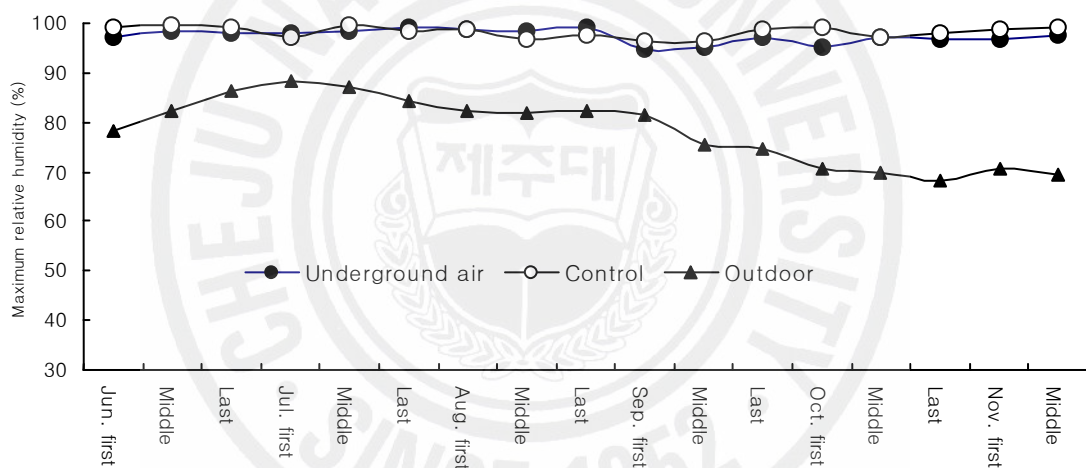


Fig. 18 A Comparison of maximum relative humidity temperature between general plastic film greenhouse and the greenhouse using underground air in 2006.

그러나 Fig. 18에서 보면 재배장의 실내습도가 특히 야간에는 거의 100%에 달하고 있는데 이때에는 병원균 발생 조건에 적합하므로 병 발생에 대한 대책을 마련해야 하는데 이에 관해서는 하우스내의 습도를 낮출 수 있는 간단한 설비에 대한 소 등(2007)의 연구결과에 따른 특허내용을 보면 해결될 문제라고 사료된다.

Table 14. Turbo-fan operation after closeness, CO<sub>2</sub> emission in the plastic film greenhouse using underground air in the morning. (unit: ppm)

Investigation date.	Outdoor	Indoor	Duct way out
12. Sep.	403	1,550	3,791
14. Sep.	-	-	3,820
19. Sep.	420	-	3,730
22. Sep.	429	1,870	3,774
6. Dec.	490	2,760	2,820

본 시험 재배하우스 온도를 저온처리 적정온도인 20℃로 설정한 후 터보팬 가동 후의 실외 CO<sub>2</sub> 농도는 400ppm 수준이었으며 하우스 내부의 천연 CO<sub>2</sub>농도는 1,800 ~ 2,760ppm 수준이었다(Table 14). 정 등(2005)의 호접란 시험결과에서 인위적 CO<sub>2</sub> 농도처리 시험에서 1,000ppm 보다 2,000ppm에서 엽폭, 엽장, 엽면적등 지상부와 지하부 생체중이 무거워졌다는 보고한 것과 본 시험의 결과와 일치하는 것으로 나타났다 (Table 15, Fig. 19).

한편 허(2007)는 대기의 CO<sub>2</sub> 함량이 350ppm의 경우를 생산량 100%로 볼 때, 일반작물인 경우 CO<sub>2</sub>가 2배에 해당하는 700ppm 일 때 125%, 1,400ppm일 때 139%, 200ppm일 때 145%로 증가함을 보고한바 대기의 CO<sub>2</sub> 농도가 1,000ppm 까지에서는 높은 생산효율을 가지며 그 이상의 농도로 높여 주게 되는 경우 상승률이 비례적으로 감소한다고 하여 CO<sub>2</sub>시비의 적정 농도는 생산비를 감안할 때 1,000ppm 정도가 적정선임을 알 수 있다.

자연개화형 일반재배보다 지하공기를 이용했을 때 엽 두께와 지상부의 생육이 월등히 좋았던 것은 지하공기에 함유되어 CO<sub>2</sub>의 시비효과가 큰 것으로 사료되며(이 등, 1999) 지하공기를 이용한 화아분아 처리온도가 정상적인 화경발생 온도를 유지시켜서 화경 발생율이 75 %로 높았다(Table 15).

Hew와 Yong(2007)은 열대원산 난 재배에서 CO<sub>2</sub>시비는 위의 결과와 같이 8~20%의 성장촉진 효과가 있음을 보고하였고 특히 호접란과 같이 CAM식물인 경우에는 야간에 CO<sub>2</sub>시비를 함으로써 T/R율이 뚜렷하게 증가함을 강조하고 있다.

따라서 호접란의 영양생장에는 특히 야간에 대기보다 최소 2배 정도 즉

700ppm 이상의 CO<sub>2</sub>시비를 해주어야 양호한 외양을 가진 상품을 생산할 수 있음을 시사 하였다. 또한 Kim 등 (2007)은 덴파레의 성장 발달에는 고광도(35~58Klux)에서 오히려 CO<sub>2</sub> 흡수율이 향상되므로 광합성량이 증가하여 화수와 개화율이 높아짐을 보고하고 있어 앞으로 광도와 CO<sub>2</sub> 시비가 식물의 생장기 즉 영양 생장기와 생식생장기별 적정 수준을 밝히는 연구가 후속되어야 할 것으로 사료 된다.

Table 15. The growth of *phalaenopsis* 'A-130' and the ratio of its flower stalk being bloomed in Cold-and-Heating-Systemed house using underground air.

Treat.	Leaf				Plant width (cm)	Flower bud initiation (%)
	Length (cm)	Width (cm)	Number (ea)	Thickness (mm)		
Control	14.2a <sup>z</sup>	7.7a	6.7a	2.2b	25.8a	0
Underground air	14.6a	8.2a	7.0a	2.4a	26.7a	75

<sup>z</sup>Mean separation within a column by Duncan's multiple range test at p=0.05%



Fig. 19. A comparison of the growth of *phalaenopsis* '505' between general plastic film greenhouse(left) and the greenhouse using underground air(right).



지하공기 이용에 따른 연료비 절감 효과와 CO<sub>2</sub> 공급으로 인한 생육촉진 효과로 상품을 향상과 병충해 방제를 위한 약제 살포등이 감소되었는데 이는 지하공기의 공급자체가 7.5kw 동력의 터보팬으로 재배하우스 저면을 통풍시키므로 공기 유통에 의한 병충해 방제 효과가 부가적으로 발생되지 않았나 사료된다. 결론적으로 경영비를 40% 절감하고, 소득은 30% 향상되므로 호접란 재배에는 기존 냉난방에 이용되고 있는 히트펌프 시설보다 지하공기 이용의 경우가 연간 31,600천원의 경제적인 효과를 얻을 수 있었다(Table 16, 17).

Table 16. Management analysis of benefits gained from the use of underground air.

Lost element (Debit side)	Profitable element(Credit side)
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Additional cost</li> <li>- The cost of equipment : 1,500,000 won. 2 Boreholes × 15,000,000won × 1/20 Endurance.</li> <li>- Electric charges : 1,500,000won.</li> <li>○ Decreased value : None.</li> <li>Total(B) : 3,000,000won</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Decreased cost</li> <li>- The cost of equipment :               <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 CO<sub>2</sub> Generators 1,000,000won × 1/10 Endurance.</li> <li>• 3 heat-pumps 24RT × 2,000,000 won × 1/10 Endurance.</li> </ul> </li> <li>- LP Gas : 2,000,000won·10a<sup>-1</sup>.</li> <li>- Electric charges :               <ul style="list-style-type: none"> <li>The summer season 3,400,000won.</li> <li>The winter season 4,000,000won.</li> </ul> </li> <li>○ Additional value</li> <li>- Quantity increase by natural CO<sub>2</sub> fertilizing. 700won×27,000pot= 18,900,000won.</li> <li>Total(A) : 34,600,000won</li> </ul>
<p>● The presuming import amount (A-B) 31,600,000won ·10a<sup>-1</sup></p>	



Table 17. A comparison of advantages and disadvantages between Cold-Heating- System using underground air and heat-pump.

Division	Facility by using underground air	facility by using Heat-pump
Cooling and heating style	- This method ventilates the 14~19°C of underground air by turbo-fan.	- This method heating and cooling use refrigerant of air conditioner.
Installation and cost	- Low installation cost, use is possible semi-permanent. - borehole ø 300mm, depth 50m 1 turbo-fan 7.5kw 15,000,000won · 10a <sup>-1</sup> (Cooling 495m <sup>2</sup> , heating 990m <sup>2</sup> )	- Complicated installation, high price, complex mechanism. Maintenance is difficult. - 1 Heat-pump 24RT 20,000,000won (Cooling330m <sup>2</sup> , heating 990m <sup>2</sup> )
Electric charges	- Summer season: 1,000,000won · 990m <sup>2</sup> <sup>-1</sup> - Winter season : 3,600,000won · 990m <sup>2</sup> <sup>-1</sup>	- Summer season : 3,200,000won · 330m <sup>2</sup> <sup>-1</sup> - winter season : 7,380,000won · 990m <sup>2</sup> <sup>-1</sup>
Rise effect	- The quantity increase and quality by supply of CO <sub>2</sub> are improved.	

호접란 재배의 경우 지하공기를 이용한 냉난방 효율의 적정면적은 화아분화를 위한 냉방의 경우 495m<sup>2</sup>, 난방의 경우 990m<sup>2</sup>이 적당하며 앞으로 타 작목에 대해서는 생육적정 온도별로 비교 실증시험을 수행한 후 정확한 재배면적을 산정하여야 할 것이다. 이는 지역, 지대별, 온도차이가 다르고, 지하공이라 할지라도 지역이나 고도 그리고 착정 심도에 따라서도 다르며, 특히 재배하우스의 공간면적 즉 농수산 하우스, 개량 비닐하우스 및 최첨단 유리 온실에 따라 지하공당 분출시키는 공기의 효율 범위가 다르기 때문이다.

## 2. CO<sub>2</sub> 발생기의 CO 가스에 의한 호접란 성장 억제

시설내의 CO<sub>2</sub> 농도는 일몰 후 11시부터 CO<sub>2</sub>를 흡수하는 광합성 작용에 의해 급격히 저하되고 밀폐상태가 지속되면 심한 경우는 CO<sub>2</sub> 보상점 이하로 저하되어 생리기능이 급격히 떨어진다(조, 2004). 호접란은 CAM 식물로서 야간에 CO<sub>2</sub>를 고정하여 사용하므로 주간보다 야간 하우스 밀폐에 주의하여야 하고 CO<sub>2</sub>는 공기보다 무거우므로 내부 환풍시설에 의한 지속적인 공기유동이 필요하다 하겠다. CO<sub>2</sub> 공급방법으로 액화 CO<sub>2</sub> 분사 방식은 안정성이 높으나 설치 및 운영비 많이 들고 LP가스 연소방식은 화재나 불완전 연소에 의한 식물에 피해가 있으며 운영비 부담이 크다(일본시설원예협회, 1997).

CO<sub>2</sub> 발생기를 작동하는 경우 18시부터 23시까지는 CO<sub>2</sub>와 CO 농도가 비례적으로 증가하였으나, 23시경에는 점차 둔화되면서 1시부터 감소하였고 CO<sub>2</sub>공급을 중단한 6시부터는 급격히 감소하였다. 이 때문에 호접란은 11시부터 CO<sub>2</sub>와 CO를 상당히 많은 양을 흡수하는 것으로 사료된다(Fig. 20). 정 등(2005)의 호접란 재배에서 액화 CO<sub>2</sub> 공급시간을 24시부터 6시까지 처리했을 때 CO<sub>2</sub> 시비효과가 가장 좋았다는 결과와 본 시험의 결과와 일치하는 것으로 나타났다.

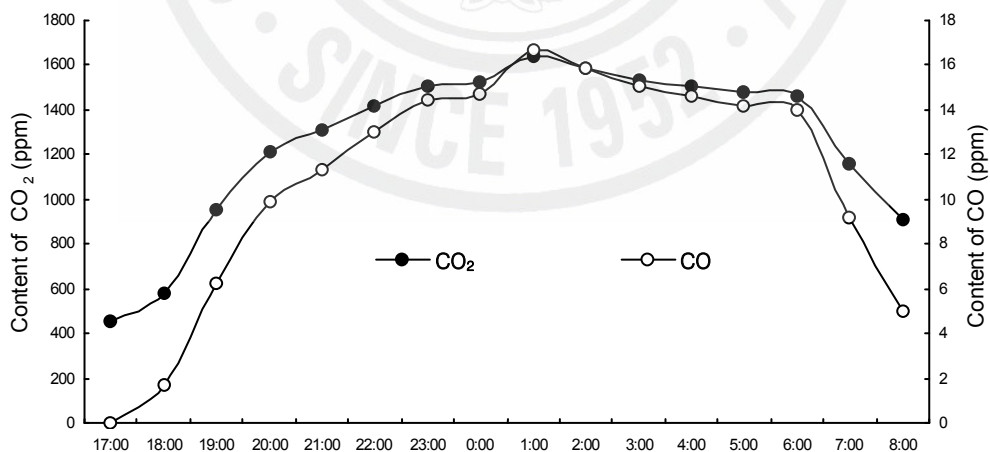


Fig. 20. The content of CO<sub>2</sub> and CO emitted from CO<sub>2</sub> generator by time interval in glass greenhouse.

지하공기를 이용한 재배온실과 2년 이상 사용된 CO<sub>2</sub> 발생기를 이용하여 온실 내의 CO<sub>2</sub> 함량을 1,000ppm 이상으로 인위 조절한 온실재배의 호접란 재배의 경우에서 엽수는 81%, 엽 두께는 87%로 감소하였는데 (Table 18 ; Fig 21) 이는 CO 가스가 다른 오염 물질에 비해 고농도라 할지라도 노출시간이 짧을 때에는 그 피해가 적다는 결과(농촌진흥청, 2005)와는 상이한 것처럼 보이지만 노후한 CO<sub>2</sub> 발생기에서 발생하는 불연소한 CO가스가 20ppm이하의 낮은 농도일지라도 2달 이상 장기간 노출하게 되면 누적에 의한 가스장해가 발생하는 것으로 사료된다.

Table 18. A comparison of the growth of *phalaenopsis* between CO<sub>2</sub> generator and use of underground air.

Treat.	Leaf				Relative chlorophyll content (SPAD)
	Length (cm)	width (cm)	Number (ea)	Thickness (mm)	
Control	7.8a <sup>z</sup>	3.2b	4.2a	1.3b	52.9a
CO <sub>2</sub> generator (LPG)	7.5a	3.1b	3.5b	1.3b	46.5b
Underground air	7.8a	3.6a	4.3a	1.5a	41.4c

<sup>z</sup>Mean separation within a column by Duncan's multiple range test at P=0.05.



Fig. 21. A comparison of the growth of *phalaenopsis* between supply of underground air and CO<sub>2</sub> generator. period of 6. Aug. 2007. ~ 15. Oct.

이상의 결과로 지하공기를 이용한 CO<sub>2</sub> 시비는 지하공기의 성분 조사에서와 같이 CO농도가 0.035~0.053ppm(Table 12.)으로 적어서, 가장 안정적이고 효율성이 높은 것으로 확인하였다.

### 3. 지하공기와 보조 히트펌프 시설에 의한 저온처리 및 성장 촉진

하절기 냉방특성을 보면 하우스 내부에 주간 최고온도는 지하공기 냉방에 의해 설정된 온도에서 하우스 내부를 25℃ 이내로 유지할 수 있는 자연 냉매재료임을 확인할 수 있었다(Fig. 22). 야간 하우스 내부온도를 18~19℃로 유지할 수 있어서 호접란의 화경발생온도를 안정적으로 유지할 수 있음을 Fig. 23에서 보이고 있다. 평균 습도는 일반 재배하우스가 높게 나타났으며, 하우스 내부의 습도는 겨울철(10~11월)과 이른 봄철(2~3월)에는 일반재배 하우스보다 높고 여름철에는 낮은 것으로 보아 하우스 보온을 위한 밀폐하우스 외부와의 온도 차이에 의한 공중 포화 습도에 기인하는 것으로 생각된다(Fig 24).

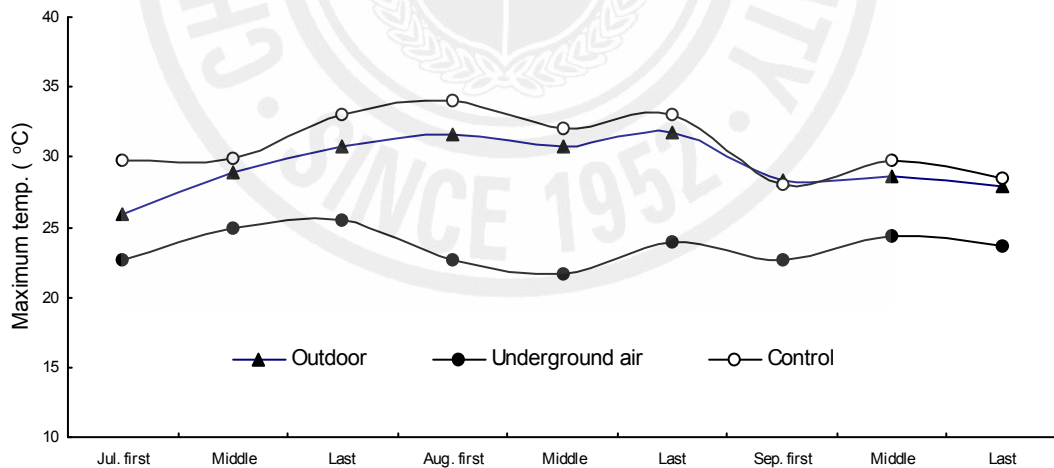


Fig. 22. A comparison of maximum temperature between general plastic film greenhouse and the house using underground air in 2007

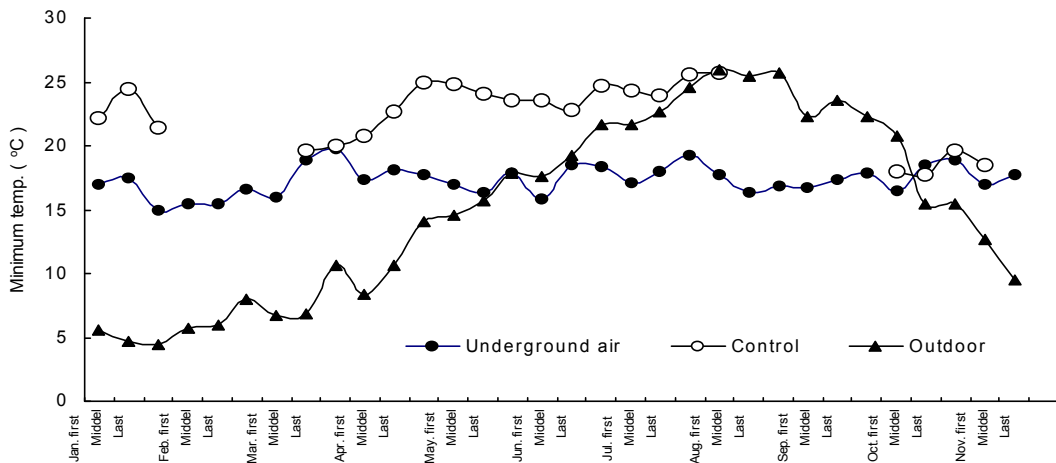


Fig. 23. A comparison of minimum temperature between general plastic film greenhouse and the greenhouse using underground air in 2007.

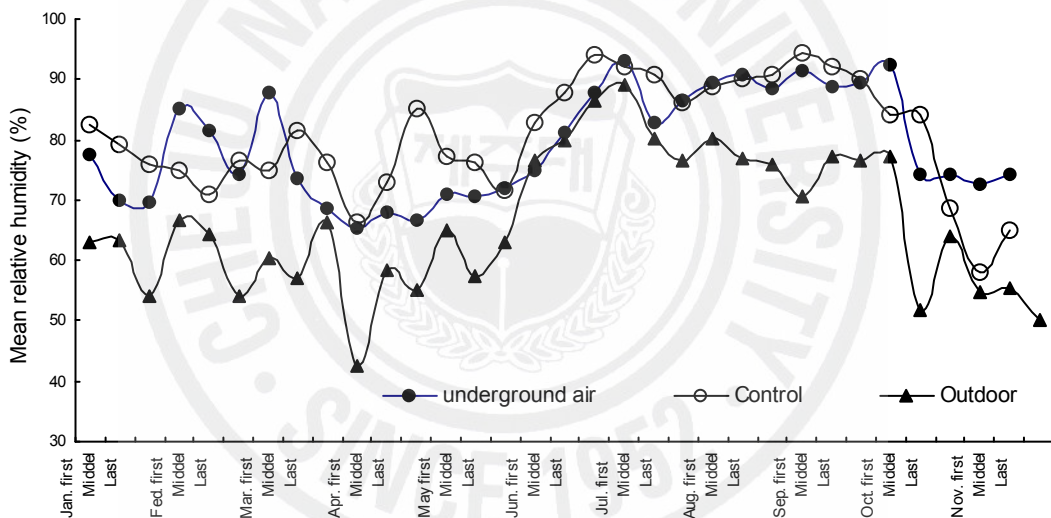


Fig. 24. A comparison of mean relative humidity between general plastic film greenhouse and the house using underground air in 2007.

지하공기를 이용한 저온처리 시설면적을  $1,652\text{m}^2$ 으로 하였을 때 터보팬 송풍에 의한 하우스 내부의 천연  $\text{CO}_2$  공급량은 7월에는  $2,762\text{ppm}$ 이었고 8월부터 10월까지는  $3,672\sim 3,462\text{ppm}$ 으로  $3,000\text{ppm}$  이상을 야간에 유지하였다(Table 19.).



Table 19. Monthly emission of CO<sub>2</sub> in plastic film greenhouse of *phalaenopsis* using underground air in the morning. (unit : ppm)

Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
2,762	3,672	3,477	3,462

지하공기를 이용 처리에서가 상품율이 90%로 일반재배보다 20%가 높아졌으며, 소화수, 화경 길이, 화폭, 화경 분지수, 분당 화경수등 모든 항목에서 개화 품질이 월등히 좋아지는데(Table 20, Fig. 25) 이는 지하공기에 함유되어 천연 CO<sub>2</sub>의 시비와 균일한 온도의 저온처리 효과로 판단되며 Hew와 Yung(2007)의 호접란에 대한 CO<sub>2</sub>시비 효과가 좋았다는 보고와 본 시험의 결과가 일치하였다.

Table 20. A comparison of blooming and growth by the treatment of underground air of investigation date for control 28. Jun. 2007.

Treat.	Commodity (%)	Flower				
		No. of floret (ea)	Stalk length (cm)	Width (cm)	Branched stalk (ea)	Total stalk (ea)
Control	70	13.0a <sup>z</sup>	23.3a	5.5a	1.8a	1.3a
Underground air	90	18.8b	34.3b	6.0a	3.3b	1.4a

<sup>z</sup>Mean separation within a column by Duncan's multiple range test at P=0.05.



Fig. 25. A comparison of blooming and growth by the treatment of underground air.



여름철 30℃ 이상에서 고온 장애가 초래되는 호접란의 경우는 지하공 2개공과 보조 히트펌프를 가동할 경우에는 온도를 약 5~6℃를 낮출 수 있고, 에너지 절감효과를 극대화 하기위한 저온처리 가능한 면적은 1,652m<sup>2</sup>(500평)정도로 추산할 수 있다.

일반적인 호접란 재배의 경우 유묘에서 개화주까지의 재배기간이 2년으로 길기 때문에 조직배양묘와 육묘단계의 순화과정(Ishihashi, 1993)과 성장과정에 비교적 고온을(최저 25~28℃) 유지해야 하므로(Jeon 등, 2007) 총생산비용 중 난방비의 비율 30~40%로 크기 때문에 현재와 같은 유류소모용 난방으로는 현실적으로 우리나라 중북부 지역의 경우 분업화된 생산체계의 확립이 어려운 실정이며 병충해 등으로 인하여 출하율이 70%이하로 극히 저조한 것도 문제점으로 꼽을 수 있다. 호접란의 특성상 단일저온 조건에서 화아분화가 완성되므로 국내에서는 9~10월에 자연 화아분화되어 12월에서 다음해 2월(Kubota와 Yoneda, 1993)까지 출하가 집중되기 때문에 가격의 하락으로 꽃수가 5개 이하인 중품과 하품 생산이 많아 생산성 하락이 문제점으로 지적되고 있다(Fig. 26).

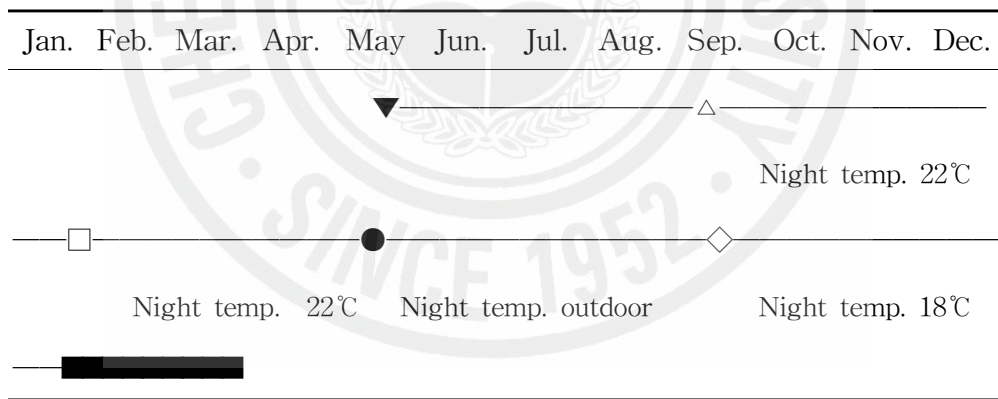


Fig. 26. Marketable commodity production model in winter of *phalaenopsis* in nature ▼ Start to hardening, △ Transplanting 1st (ø 7cm pot), □ Transplanting 2nd (ø 9cm pot), ● Transplanting 3rd (ø 12cm pot), ◇ Transplanting 4th (ø 16cm pot), ■ Flowering

Table 21. Auction price of *phalaenopsis* by monthly, 2001–2005 season (unit : won).

Year	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
2001	3,581 <sup>z</sup>	3,471	4,653	4,331	3,077	3,175	3,634	3,417	3,579	3,586	5,186	4,914
2002	3,927	3,973	4,377	3,789	4,537	3,787	3,250	4,808	5,196	4,768	4,597	4,467
2003	3,936	3,288	3,486	3,467	3,648	3,342	3,522	3,385	3,432	3,753	4,175	4,149
2004	4,149	3,259	3,240	3,126	3,365	2,795	4,466	4,673	5,087	5,161	4,589	4,582
2005	3,612	1,426	3,692	4,041	4,552	3,882	4,004	4,570	4,813	5,227	4,910	4,460
Ave.	3,841	3,083	3,890	3,751	3,836	3,396	3,775	4,171	4,421	4,499	4,691	4,514

<sup>z</sup>Ministry of agriculture and forest, 2006, horticulture the present state.

그러므로 여름철(6~7월)에 지하공기를 이용하여 저온처리한 후 9~10월에 출하한다면 농가의 소득을 증대시키는 효과가 있고, 또한 호접란의 출하시기를 분산시켜 겨울철의 홍수 출하를 방지하므로써 우리 국내에 안정적인 호접란 생산기반을 구축할 수 있을 것으로 판단된다. 2007년 지하공 2개공와 보조 냉난방 시설인 히트펌프를 병행하여 저온처리 시험한 결과 제주도에 적합한 연중 2회 출하가 가능한 가을출하 작형과 봄출하 작형을 개발한 결과는 Table 21. ; Fig. 27. 28.에서 보는 바와 같다.

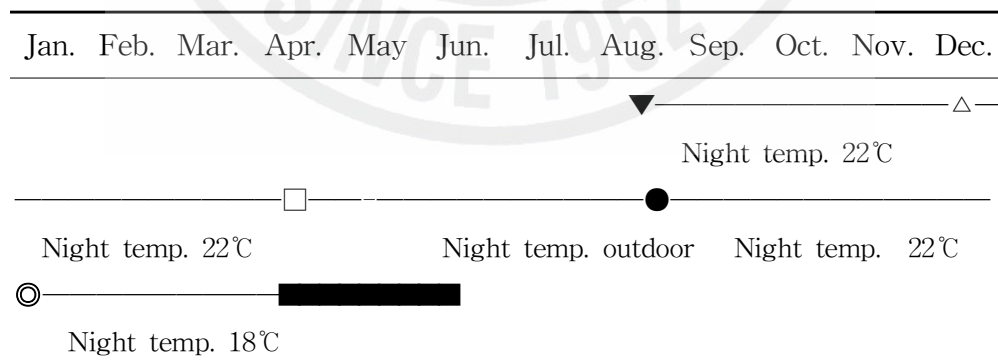


Fig. 27. Marketable commodity production model in spring season of *phalaenopsis* using underground air. ▼ Start to hardening, △ Transplanting 1st (ø 7cm pot), □ Transplanting 2nd (ø 9cm pot), ● Transplanting 3rd (ø 16cm pot), ◎ Cold temperature treatment for Flower Bud initiation, ■ Flowering.

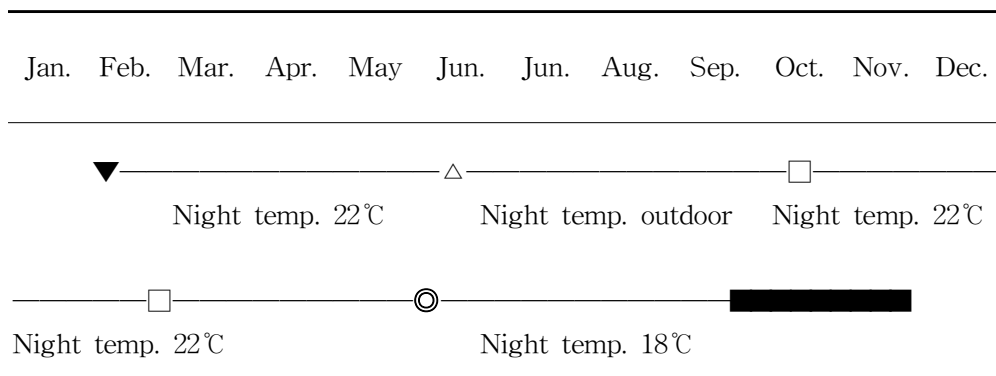


Fig. 28. Marketable commodity production model in autumn season of *phalaenopsis* using underground air. ▼ Start to hardening, △ Transplanting 1st (ø 7cm pot), □ Transplanting 2nd (ø 9cm pot), ● Transplanting 3rd (ø 16cm pot), ◎ Cold temperature treatment for Flower Bud initiation, ■ Flowering.

제안된 작형에 따른 경영적인 효과를 보면 농가의 일반적인 작형인 겨울출하 작형에 비해 지하공과 히트펌프를 이용한 가을출하 작형과 봄출하 작형의 상품화율이 29%, 14% 높아지고, 단경기 출하를 통하여 판매단가 또한 25%, 6%정도 높아지며 이에 따라 조수입이 61%, 21% 높아졌다(Table 22.).

그리고 유류값 상승등의 원인으로 겨울출하 작형을 기준으로 가을출하 작형 및 봄출하 작형이 7~8%정도 경영비의 감소효과를 가져왔는데 이는 앞으로 유류비가 앞으로 더욱 상승된다고 볼 때 소요되는 경영비의 폭이 커질 수 있기 때문에 모든 시설작물 재배에서와 마찬가지로 앞으로 저비용의 에너지 개발이 시급히 요망된다(Table 23.).

호접란재배 시설에 대한 투자분석(박 등, 1998) 뿐만 아니라 재배형태에 대한 손익분기를 검토한 결과, 조수입의 증가와 경영비 절감이 지하공기의 이용과 같은 획기적 기술을 개발했을 경우에 농가소득은 일반 겨울출하 작형에 비해 가을출하 작형은 최고 6배, 봄출하 작형은 최고 3배정도 증가할 것으로 예측하였다. 그리고, 손실과 이익의 경계지점인 손익분기점은 6개월 개화용 하우스를 사용한다고 볼 때 일반 겨울출하 작형인 경우 생산량이 37,222본에 134백만원의 조수입이 발생하여야 한다. 따라서 일반재배 작형인 경우 경영비 절감방안을 모색하거나 상품화율을 90%이상 최대한 높일 수 있는 방안을 검토하여야 할 것

으로 사료된다. 그러나 가을출하 작형 및 봄출하 작형인 경우는 손익분기점보다 수량이나 조수입에서 높아 효율적으로 사용되고 있다고 볼 수 있으므로 가장 이상적인 재배형태는 일반재배 작형과 가을출하 작형을 이용하여 1~3월과 10~11월에 2회 출하형태가 가장 농가 경영적인 방법으로 추천할 수 있다.

Table 22. Management analysis by type of cultivation (Growing Area 1,650m<sup>2</sup>).

구 분	Conventional(winter)	Forcing culture(Autumn)	Retarding culture(Spring)
The price of blooming size	○ Jan.-Mar.(5 years) 3,600won	○ Oct.-Nov. (5years) 4,500won	○ Apr.-May (5years) 3,800won
The goods rate	○ 70% =>280,000pot	○ 90% => 36,000pot	○ 80%=> 32,000pot
Gross value of production	100,800,000won	162,000,000won	121,600,000won
Operating costs	86,890,000won	80,357,000won	80,453,000won
Fuel, lube and electric charges	○ Cost of fuel 30,000 ℓ 30,000 ℓ × 550won = 16,500,000won	○ Cost of fuel 840 ℓ 840 ℓ × 550won = 462,000won ○ Electric charges 89,000kw × 45won = 4,005,000won	○ Cost of fuel 1,260 ℓ 1,260 ℓ × 550won = 693,000won ○ Electric charges 86,000kw × 45won = 3,870,000won
	16,500,000won	4,467,000won	4,563,000won
The cost of equipment	-	○ 2Boreholes 35,000,000won ○ Heat-pump 20,000,000won	○ Borehole 35,000,000won ○ Heat-pump 20,000,000won
	-	Reduction(10years) 5,500,000won	Reduction(10years) 5,500,000won
The income of farmer	13,910,000won	81,643,000won	41,147,000won
The break-even of quantity	37,222pot	10,927pot	17,733pot
The break-even gross value of production	134,000,000won	49,173,000won	67,387,000won
Increasing rate Commercialization rate	100%	129%	114%
The unit cost of rate	100%	125%	106%
Gross value of production rate	100%	161%	121%
Operating costs rate	100%	92%	93%
The income rate	100%	587%	296%
The other effect	-	○ Sending of goods time breakup. ○ The auction price is high.	○ Sending of goods time breakup.

Table 23. Monthly use of electric power and its application ratio to the type of cultivation.

Monthly	Power amount used			Application index		Forcing culture Amount used		Retarding culture Amount used	
	Electric power (kwh)		Oil (ℓ)	Electric power	Oil	Electric power (kwh)	Oil (ℓ)	Electric power (kwh)	Oil (ℓ)
	Turbo fan	Heat - pump							
Jan.	3,885	1,773	79	1	2	11,316	158	5,658	79
Feb.	3,916	1,526	70	1	2	10,884	140	5,442	70
Mar.	4,086	1,523	245	1	2	11,218	490	5,609	245
Apr.	2,096	566	24	1	1	2,662	24	2,662	24
May	2,637	1,245	0	1	1	3,882	0	3,882	0
Jun.	2,709	520	0	2	1	3,229	0	6,458	0
Jul.	8,982	400	0	2	1	9,382	0	18,764	0
Aug.	8,982	400	0	2	1	9,382	0	18,764	0
Sep.	2,709	520	0	2	1	3,229	0	6,458	0
Oct.	2,637	1,245	0	1	1	3,882	0	3,882	0
Nov.	4,086	1,523	245	1	1	5,609	215	4,609	245
Dec.	3,916	1,526	70	1	2	10,884	240	5,442	170
Total	50,641	12,767	733			85,559	1,267	88,630	833



### 시험Ⅲ. 제주도 지하공기를 이용한 파프리카 재배에 대한 천연 CO<sub>2</sub> 시비 효과

온실 내에 공급되는 지하공기의 평균온도는 18℃ 내외로 일정하게 유지되어 매우 안정적이었으며, 온실 바닥의 양액재배용 슬라브 사이에 설치된 송풍덕트의 평균 배출온도는 21℃내외로 근권부의 온도를 낮게 유지할 수 있었다(Fig. 29). 이러한 결과는 7~8월에 고온으로 인해 착과율이 낮아지고 병해충 및 생리장해가 증가된다는 보고(이 등, 2005)로 볼 때, 고온기에 지하공기를 이용하므로 파프리카의 생육 및 품질을 향상시켜 단경기 안정생산이 가능하리라 판단된다.

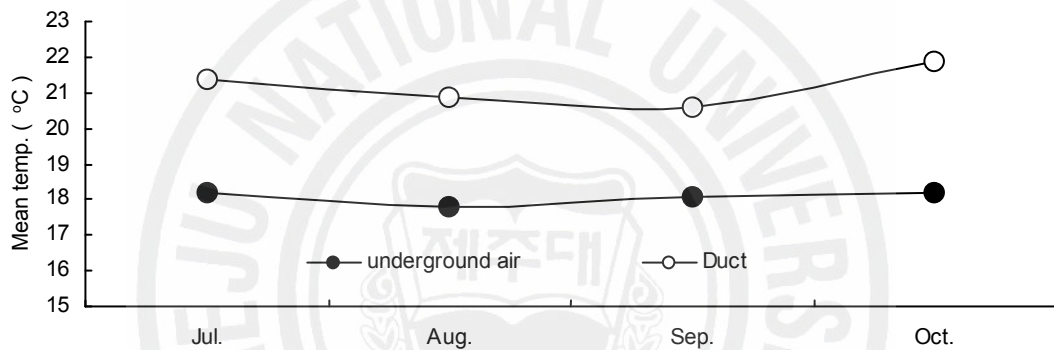


Fig. 29. The mean temperature of underground air and ventilation duct in glass greenhouse.

온실내 기온의 월별 변화(Fig. 30)를 보면 지하공기를 이용한 처리와 일반 관행재배와는 큰 차이가 없었으나 고온기인 7~8월에는 지하공기를 이용한 처리가 약간 낮게 나타났다.

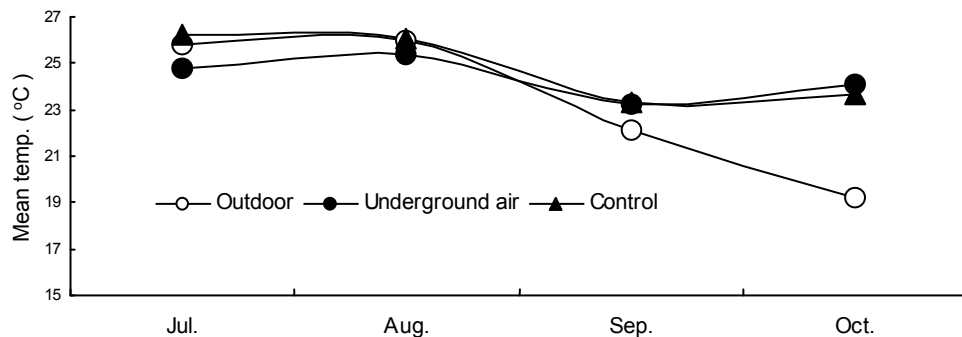


Fig. 30. A comparison of the mean temperature between glass greenhouse

and using underground air for cultivating paprika.

일반적으로 암면 수경재배시 지하부의 슬라브 내 온도는 지상부 기온과 마찬가지로 작물생육에 미치는 영향이 크다. 본 시험은 파프리카 재배온실에서의 지하공기를 이용한 경우 슬라브 온도는 22.0~24.9℃로 대조구보다 낮았다(Fig. 31). 또한 작물의 종류에 따라 다르지만 최적지온은 15~20℃범위로, 30℃이상의 고온이 되면 새 뿌리발생이 억제되고 뿌리호흡의 증가로 인한 동화산물의 소모가 많아지기 때문에 일반적으로 최고 한계 지온은 25℃내외라고 최근에 보고된 바가 있다(이 등, 2005 ; Baba 등, 2006).

최 등(2007)은 동양관계 심비디움의 화분재배시 근권온도가 지상부보다 평균 3℃ 가량 낮았을 때 지상부의 생육이 좋았음을 보고하였는데 특히 지상부가 30℃를 웃돌 때 근권온도의 저하효과는 크다고 보고하였다. 이는 27℃이상 되는 기온에서 착과가 불량해지는 습성을 가진 파프리카 작물에서도 부분적 냉방효과 즉 성장 촉진할 수 있는 근권만이라도 극한 고온을 벗어나는 환경을 조성해 줌으로서 착과율을 높일 수 있는 결과를 얻을 수 있는 것으로 사료된다.

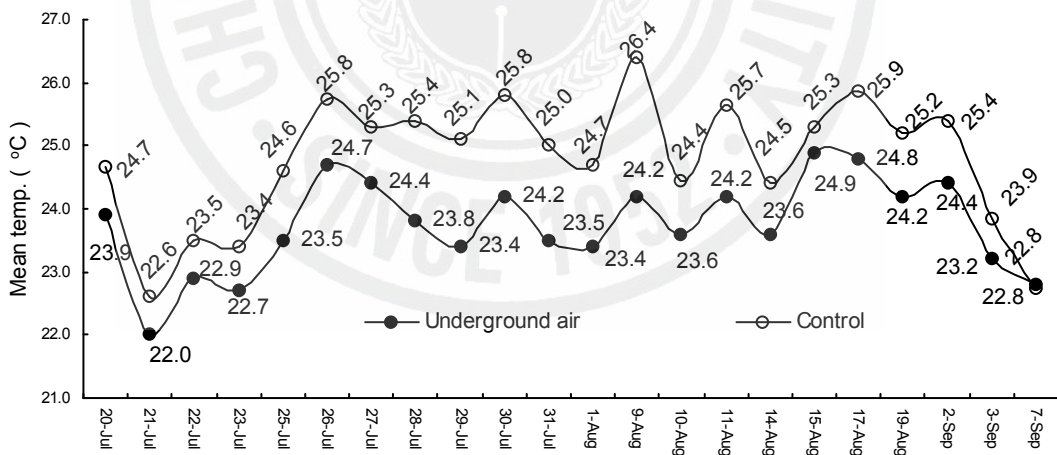


Fig. 31. A comparison of the mean temperature between general hydroponics slab and the using underground air.

보통 파프리카 온실 내 위치별로 온도 분포가 다르고, CO<sub>2</sub>의 농도도 달라지는데, 특히 작물이 성장하여 잎과 줄기가 무성해지면 공기 유통이 불량해져서 지하

부의 온도가 상승하게 된다. 그러나 Fig. 31.에서 보는 바와 같이 지하공기의 분출을 근권부로 낮추게 될 경우, 통풍효과는 물론이고 17℃ 정도의 지하공기에 의한 근권부의 온도하강효과를 부가적으로 얻을 수 있어 Benoit와 Ceustermans (2006)의 연구결과에서 보고된 결과와 같이 근권부에 O<sub>2</sub> 공급이 이루어져서 30%의 증수를 얻었다고 하는 결과를 기대할 수 있다.

일반적으로 CO<sub>2</sub> 가스 시용은 작물의 광합성을 높임으로써 수량과 품질을 높이는 목적으로 사용되고 있다. 본 시험장소인 파프리카 재배 유리온실과 같이 암면슬라브를 이용한 수경재배의 경우에는 지하부에 대한 CO<sub>2</sub> 가스 공급에 부담이 적으며 또한 겨울철 저온과 일조부족에 의한 광합성 저하로 고품질 과실생산이 어렵기 때문에 산지간 품질경쟁이 치열하게 될 것이며 이러한 상황으로 볼 때 CO<sub>2</sub> 시비의 필요성은 본 연구 결과에서 보듯이 더욱 더 증대될 것으로 판단된다. 그러나 CO<sub>2</sub> 가스의 시용효과는 시용한 양만큼 그대로 식물생장이나 수확량에 비례적으로 증가하지 않는다는 증거로 CO<sub>2</sub> 가스 시용으로 광합성 속도가 1.5~2배로 증가해도 수량은 대체로 20~30% 정도 증수되는 것으로 보고되고 있음을 많은 시험 결과에서 볼 수 있다(송 등, 1999; 박 등, 1997; 일본시설원예협회, 1997; Son와 Kim,1998; Bark 등, 1999).

Table 24. A comparison of monthly emission of CO<sub>2</sub> in glass greenhouse between the use of underground air and general CO<sub>2</sub> generator. unit : ppm.

Treat.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
General CO <sub>2</sub> generator	507	422	481	403
Underground air	1,770	5,192	3,169	2,282

파프리카 유리온실규모가 2ha일 때 CO<sub>2</sub> 시비농도 설정범위를 500~600ppm로 하면 증류 연료비가 연간 8천만원 정도의 비용이 소모된다. 그러나 지하공기를 이용하면 천연 CO<sub>2</sub>를 아주 적은 비용으로 1,700~5,192ppm 범위(Table 24)까지 시비할 수 있다.

지하공기를 이용한 처리가 착과수는 8.4개로 증류를 연소시켜 이용한 처리보다

1.0개가 더 많았으며 총 상품 생산량은  $16,560\text{kg} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 로 5,328kg이 증수되었다 (Table 25, Fig. 31). Baba(2007) 등은 3종류의 파프리카를 대상으로 500, 800ppm의 CO<sub>2</sub> 시비에 대한 시험 결과 초장, 줄기직경, 엽수, 엽면적 등이 증가하고 최종적인 생산성도 높아졌고 500ppm 보다는 800ppm 농도에서 비례적으로 생산성이 증가함을 보고한 것과 본 시험의 결과와는 대체적으로 일치하는 것으로 나타났다.

Table 25. A comparison of the growth and commercial yield of paprika in glass greenhouse between the use of underground air and CO<sub>2</sub> generator. 26. Jul. ~ 22. Oct. 2007.

Treat.	Growth length (cm)	Leaf		Fruit		
		Relative chlorophyll content (SPAD)	weight (g)	No. of commodity (ea)	weight (g)	Commercial yield (kg·10a)
Control	18.4a <sup>z</sup>	51.4b	4.3a	6.9a	106a	9,810
CO <sub>2</sub> generator (heavy oil)	20.5a	60.3a	4.3a	7.4a	104a	11,232
Underground air	23.4a	59.6b	4.0b	8.4b	115b	16,560

<sup>z</sup>Mean separation within a column by Duncan's multiple range test at P=0.05.

지하공기를 이용한 처리가 관행의 중유 사용보다 과경과 과고에는 큰 차이가 없었으나 당도가 높아졌고 과육두께가 두꺼워졌다(Table 26). 과실의 견고도인 과피 경도는 지하공기 이용 처리구가 980g으로 중유 사용의 707g에 비해 273g 더 높아져서 상온 또는 CA저장시 저장력 향상에 의한 유통기간이 길어질 것으로 판단된다(Yang, 2004). 또한 과실의 착색도 또한 높아져서(Fig. 32) 외관품질의 향상으로 고급상품이 생산될 수 있음을 보여 준다.

Table 26. A comparison of fruit quality of paprika in plastic film greenhouse between the use of underground air and general CO<sub>2</sub> generator.

Treat.	Fruit					Chromaticity		
	Diameter (cm)	Height (cm)	Brix degree (%)	Thickness (mm)	firmness (g)	L <sup>w</sup>	a <sup>x</sup>	b <sup>y</sup>
Control	7.1a <sup>z</sup>	7.1a	9.6a	5.1b	730b	48.9	17.1	41.5
general CO <sub>2</sub> generator	6.6a	6.9a	10.8b	5.0b	707b	49.9	22.8	46.0
underground air	6.6a	6.6a	11.7c	5.6a	980a	53.4	24.2	50.7

<sup>z</sup>Mean separation within a column by Duncan's multiple range test at P=0.05.

<sup>w</sup>Lightness(100: white, 0:black), <sup>x</sup>Redness(-:green,+:red), <sup>y</sup>Yellowness(-:blue,+:yellow).

경영적인 면에서 볼 때 초기 시설비 투자비용이 20,000천원으로 농가에게 부담이 될 수 있지만 광열동력비를 보면 3,250천원의 차액이 발생하여 지하공기 이용 시설비 또한 5년내에 시설투자비를 해결할 수 있으며, 특히 최근과 같이 유류비의 상승이 지속된다면 3년 이내에 초기투자 비용의 회수가 가능할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 생산량 측면에서의 증수효과가 가산된다면 상품율의 증가와 더불어 추가 조수입이 17,384천원이 되어 2년 이내에도 초기 시설비의 회수가 가능하다. 따라서 지하공기를 이용한 파프리카 재배에 가장 유익한 천연자원임이 증명된바 앞으로 유가의 지속적인 상승을 고려할 때 적지적작의 원칙에 따라 제주도 내에 대규모의 파프리카 수출전담 재배단지가 조성되어야 할 것이다(Table 27, 28).

Table 27. A comparative management analysis of supply facility between the use of underground air and natural CO<sub>2</sub> Generator.

Lost element (Debit side)	Profitable element (Credit side)
○ Additional cost	○ Decreased cost value
- The cost of equipment : 2,000,000won ( 1 Borehole × 20,000,000won × 1/10 Endurance)	- CO <sub>2</sub> generator : 300,000won·10a <sup>-1</sup> 3 CO <sub>2</sub> generator : 3,000,000won×1/10 Endurance
- Electric charge : 1,500,000won	- Heavy oil use expense: 4,000,000 won·10a <sup>-1</sup> - Electric charges : 750,000won·10a <sup>-1</sup>
○ Decreased cost value : None	○ Additional cost value
	- Quantity increase by natural CO <sub>2</sub> fertilizing 5,268kg·10a <sup>-1</sup> × 3,300won = 17,384,000won·10a <sup>-1</sup>
Total (B) : 3,500,000won·10a <sup>-1</sup>	Total(A) : 22,434,000won·10a <sup>-1</sup>
●The presuming import amount (A-B) : 18,934,000won·10a <sup>-1</sup>	







Fig. 31. A comparison of leaf growth in glass greenhouse between the use of underground air and general CO<sub>2</sub> generator.



Fig. 32. A comparison of fruit quality in glass greenhouse between the use of underground air and general CO<sub>2</sub> generator.

탄산시비의 효과는 거의 모든 작물에서 인정되고 있지만 오이, 멜론, 고추 등 과채류에서 특히 수량증대가 높은 경향이며, 육묘중의 탄산시비는 모종의 소질을 향상시키고, 정식후에도 시용효과가 계속 유지되지만 천연 CO<sub>2</sub> 발생제는 투자가격면에서 일반농가가 사용을 기피하고 있는 실정이나 제주도의 경우는 지역 특성상 지하공기를 이용한 CO<sub>2</sub> 시비는 경제적으로 저렴하며, 작물생육에 효과가 있을 것으로 사료된다.

Table 28. A comparison of advantages and disadvantages between CO<sub>2</sub> erupted from underground air and from the supply facility using heavy oil.

	Facility by using underground air	Facility by using heavy oil burn
Fan style	<ul style="list-style-type: none"> <li>- This method ventilates the 14~19°C of underground air by turbo-fan.</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- This method ventilates establishing turbo-fan in chimney of heavy oil use boiler.</li> </ul> 
Installation and cost	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Low installation cost, use is possible semi-permanent.</li> <li>- borehole ø 300mm, depth 80m, 1 turbo-fan 7.5kw. 20,000,000won · 10a<sup>-1</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Complicated installation, high price, complex mechanism. Maintenance is difficult.</li> <li>- 1 turbo-fan 7.5kw. 30,000,000won · 2ha<sup>-1</sup></li> </ul>
Cost	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Electric charges : 1,500,000won · 10a<sup>-1</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Electric charges : 750,000won</li> <li>- Heavy oil use expense : 4,000,000won · 10a<sup>-1</sup></li> </ul>
Rise effect	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The quantity increase and quality by supply of CO<sub>2</sub> are improved. 5,268kg · 10a<sup>-1</sup></li> </ul>	

## IV. 종합고찰

제주도의 지하에 무진장으로 매장된 공기를 농업에 이용할 수 있는 지역은 지하지질 중 침상장석감람석현무암(FOB)지역의 현무암층 내에 발달한 화산쇄설층, 수축절리, 및 파쇄대 등으로부터 확보가 가능하였다. 제주도의 화산암 지역에서 시추 1공당(시추심도 : 30~50m, 시추구경 : 250~300mm) 지하공기 산출량은  $50\sim 110\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ 로 분석되었다. 시추공 상부에 설치하는 공기 흡입팬은 축류팬보다는 정압효율이 높은 터보팬이 적합한 것으로 분석되었다. 지하공기의 강제 흡입 시 유입되는 지표공기 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.

호접란에 지하공기를 이용하면 고온기 야간에  $20\pm 2^\circ\text{C}$ 까지의 온도를 확보하여 화아분화에 적합한 온도를 확보할 수 있었다. 또한 대조구보다 엽 두께 등 지상부와 개화생육이 월등히 좋았는데 이는 지하공기에 함유되어 있는 천연  $\text{CO}_2$ 의 시비효과가 큰 것으로 기인되었다. 2007년도에는 지하공 2공과 보조냉난방 시설인 히트펌프를 병행하여 저온처리한 결과 제주도에서 유일하게 호접란의 연중 2회(봄, 가을) 출하작형을 개발할 수 있었다. 호접란의 재배면적이  $1,650\text{m}^2$ 인 경우에 소득은 가을 출하작형이 41,034천원(295%), 봄 출하작형이 76,816천원(552%)이었다. 따라서 호접란 생산의 경우 지하공기를 이용한  $\text{CO}_2$ 공급 시설 재배면적은 10a가 적당하였다.

지하공기를 이용한 파프리카 온실 내 기온 하강효과는 지상부는 주간환기 등으로 낮았으나, 지하부의 근권부에는 효과가 큰 것으로 나타났다. 파프리카에 공급된 천연 CO<sub>2</sub>량은 지하공기 이용할 경우 1,700~5,192ppm 범위로 관행 중유이용 탄산가스발생기 송풍덕트의 400~500ppm보다도 1,200ppm 이상 많았다. 따라서 수량성도 지하공기를 이용할 경우에 16,560 kg · 10a<sup>-1</sup>으로 관행의 중유 이용보다도 32% 증가하였다. 지하공기 이용 처리의 착과수는 대조구보다 1.0개가 더 많았으며, 과실당도가 높고, 착색도가 좋아지며 과피 경도가 높아져 상품성이 향상되었다. 파프리카에 지하공기를 이용하여 천연 CO<sub>2</sub>를 공급해 주면 기존 중유에 이용한 CO<sub>2</sub> 공급시설보다 연간 18,934천원 · 10a<sup>-1</sup>을 절약할 수 있었다. 또한 공기질이 좋아지기 때문에 유리온실 내에는 쾌적한 작업환경을 조성되었고, 외부에는 대기오염성 가스의 배출을 감소시킬 수 있었다. 파프리카인 경우 지하공기 이용한 CO<sub>2</sub>공급 시설재배 면적은 10a가 적당하였다.

CO<sub>2</sub>가스를 인위적으로 재배온실에 공급할 경우, 실내작업자에게는 5,000ppm 미만의 농도와 재배작물에 대해서는 2,000ppm 미만의 농도가 한계 농도임을 일본시설원예협회(1997)에서 밝히고 있는데 300mm 직경의 흡입구로부터 얻어지는 공기의 CO<sub>2</sub> 가스 농도가 5,000ppm으로 가정하더라도 재배온실의 전체 공간 면적에 대한 흡입공기량은 극히 미약하므로 일단 지하에서 얻어지는 CO<sub>2</sub>가스의 함량은 높을수록 양호하다고 판단된다. 이는 일별, 일기별에 따른 실내의 CO<sub>2</sub> 농도를 며칠만 조사하여도 1,000~1,500ppm으로 조절할 수 있는 근거를 산출하여 송풍팬의 가동시간을 제어하면 될 수 있기 때문이다.

## V. 적 요

본 연구에서 활용된 제주도 지하공기의 특성조사에는 농촌공사의 농업용수 개발사업에 의한 GIS자료와 5,000여개의 기존 관정의 지질주상도를 활용하였다. 제주도 지하지질구조 중 지하공기층이 분포하는 구간은 용암동굴(lava cave), 화산쇄설층과 열린 절리 및 파쇄대 구간이기 때문에 이와 같은 지질구조를 가진 지역만이 지하공기 이용 가능지역으로 판정되었다.(85% in jeju island) 시추심도는 통기층 확보시 약 25~35m 이하의 심도로도 충분한 풍량을 확보할 수 있으나, 지하공기층 분포 구간의 발달은 지역마다 매우 불규칙하므로 통기층 확보 빈도와 시추 경제성을 감안하여 약 50m 내외로 기본 계획함이 유리할 것으로 판단되었다. 시추직경은 동력 크기와 풍량확보 등을 고려하여  $\phi$  250-300mm 정도로 시험한 경우 시추직경이 넓어짐에 따라 풍량도 비례적으로 증가하였다. 시추공 보호자재설치는 제주특별자치도 수자원본부에서 권장하고 있는 지하수관정 시설 기준에 따르도록 하고 지반 붕괴 등 환경지질학적 문제는 없을 것으로 사료된다. 지하시추공을 통한 풍량시험은 다양한 시험조건으로 수행되지는 못하였으나 유사한 지하암반층에서 송풍팬의 종류, 팬동력, 시추심도, 시추직경, 보호자재의 설치 유무에 따라 지하공기 흡입량에 약간의 차이를 보이고 있었다. 송풍팬은 축류형 팬보다는 정압 효율이 높은 터보팬을 사용하는 것이 소음과 내구성면에서 유리하였고, 동력은 설치장소나 공기 흡입가능량 등을 고려할 때 5.5~7.5kw 범위가 안정적이었다.

서귀포시 상예동 호접란 재배하우스에 지하공기를 이용한 냉난방시설은 지하 32m를 시추하여 설치하였다. 현무암층에서 인위 분출되는 공기는 하절기 19℃, 동절기 14℃ 정도의 온도를 유지할 수 있어 냉난방 효과를 얻을 수 있었다. 또한 제주도내의 지역지대별로 차이는 있지만 천연 CO<sub>2</sub>가 대체로 3,000~5,000ppm 정



도 함유 되어 있는 것으로 밝혀진 바 있어 이러한 천연자원을 이용한 화훼 시설 재배의 실제 이용성을 검증하였다. 호접란의 저온처리 면적은 6.6a를 대상으로 야간온도는 19~22℃를 유지하였다. 지하공기를 이용한 냉방시설의 야간온도 23℃ 미만에서 화아분화가 촉진되었고 엽수와 엽 두께등 지상부 생육이 월등히 좋는데 이는 지하공기에 함유되어 천연 CO<sub>2</sub>의 시비효과로 사료된다. 시설하우스 내부에 천연 CO<sub>2</sub>를 공급하였을 때는 연간 18,200천원·10a<sup>-1</sup>의 경제적인 효과가 있는 것으로 분석되었다. 기존 냉난방에 이용한 히트펌프 시설보다 지하공기를 이용하면 연간 31,600천원·10a<sup>-1</sup>의 경제적인 효과가 있는 것으로 분석되었으며, 호접란을 재배하는 경우 1개의 지하공당 적정면적은 여름철 냉방의 경우 5a, 겨울철 난방의 경우는 10a가 산정되었다.

한편 지하공기를 이용한 재배온실과 2년 이상 사용된 CO<sub>2</sub> 발생기를 이용한 CO<sub>2</sub> 함량을 1,000ppm으로 인위 조절한 온실재배에서 엽수는 81% 엽 두께는 87%로 감소하였는데 이는 노후한 CO<sub>2</sub> 발생기에서 불연소한 CO가스등 유해가스 때문인 것으로 사료된다.

또한 서귀포시 표선면 가시리 소재의 한국공항공단 파프리카 유리온실에 지하 80m를 시추하여 현무암층에서 나오는 천연 CO<sub>2</sub> 이용으로 식물 생육에 효과적이고 안정적인 공급이 가능한 것으로 확인하였고 지하공기를 이용한 냉방효과와 천연 CO<sub>2</sub> 가스의 시비효과도 확인되었다. 파프리카재배시 지하공기를 이용한 유리온실 온도 조사결과 근권부 온도 하강효과는 대조구 27℃에 비하여 평균 5℃가 낮았다. CO<sub>2</sub> 공급량을 기존 중유연소 CO<sub>2</sub>발생기에서 800~1,000ppm으로 유지할 때와 비교하면, 지하공기를 이용한 천연 CO<sub>2</sub> 1,000~2,000ppm 시비의 경우 수량성이 32% 증가한 것으로 보아 2배의 CO<sub>2</sub> 시비와 근권부의 상대적 저온효과에 기인한 것으로 판단된다. 후자의 경우 착과수는 8.4개로 대조구에 보다 1.0개가 더 많으며 과실당도와 착색도와 과피경도 또한 높아졌다. 파프리카 재배를 전문으로 하는 기존 재배하우스와 비교된 지하공기 이용 재배하우스 간의 경영분석에서는 연간 18,934천원·10a<sup>-1</sup>의 생산비 감소 효과를 얻을 수 있었다. 따라서 하계절 파프리카를 주작목으로 재배할 경우 CO<sub>2</sub> 이용성과 근권부

온도 저하(5℃)를 고려한 지하공기 이용이 가능한 시설면적은 10a가 적당하였다.

이와 같이 제주도 총면적의 85%에서 이용이 가능한 지하공기는 거의 재료비가 투입되지 않고도 시설내의 냉난방효과를 무한정으로 이용할 수 있기 때문에 개당 시추공 제한 면적이 있으나 앞으로의 다각적인 이용 가능성 연구가 개발되어야 할 것으로 사료된다.



## 인용 문헌

안철근, 황연현, 윤혜숙, 황해준, 노치웅, 송근우, 정병룡. 2005. 수출용 착색단고추 품종특성 비교. 원예과학기술지 23:53.

안철근, 황연현, 윤혜숙, 강달순, 노치웅, 정병룡. 2001. 정지방법이 착색단고추 생육 및 수량에 미치는 영향. 원예과학기술지 19:57.

Baba, M. Y., J. V. Maroto, A. San Batoutista, B. Pascual, S. Lopez, and C. Baixauli. 2006. Agronomic response of sweet pepper(*Capsicum annum* L.) to CO<sub>2</sub> enrichment in greenhouse with static ventilation. Acta Horticulturae 719:521-528.

Bark, M. H. and Y. B. Lee. 1999. Effects of CO<sub>2</sub> concentration, light intensity and nutrient level on the growth of leaf lettuce in a plant factory. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 40:431-435.

Benoit, F. and N. Ceustermans. 2001. Impact of root cooling on blossom end rot in soilless paprika. Acta Hort. 548:319-326.

부성안, 정교철, 박창근. 2006. 지하수 관정을 이용한 제주도 생성 메커니즘. 대한지질공학회지 4:177-186.

Chen, W. S. and H. W. Chang. 1997. Gibberellic acid and cytokinin affect *Phalaenopsis* flower morphology at high temperature. HortScience 32 : 1069-1073.

青木伸雄, 1994. “農業用 ヒートポンプシステム 技術”, 社団法人 日本電化協會. p. 39-99.

최영일, 한은주, 백기엽. 2000. 수분스트레스 및 배지종류가 호접란의 CO<sub>2</sub> 흡수에 미치는 영향. 원예과학기술지 18:728

최영락. 1998. 제주도의 형성과 지하수 특성. 제주도연구 5:59-77

최영하, 권준국, 이재한, 이한철, 강남준, 조미애. 2003. 착색단고추 미세열과 발생에 미치는 환경요인의 영향. 원예과학기술지 21:46.

Choi, J. Y, B. H. Kwack and I. S. So. 2007. Root zone temperature in the pot Governs the growth of *Cymbidium goeringii* and *Cymbidium kanran*. 9th APOC, Goyang, Korea. p.48

고기원, 고용구, 김성홍, 오상실, 박원배, 윤선. 1992. 제주도 동부지역의 지하지질 구조와 지하수위 변동 및 수질특성에 관한 연구. 제주도보건환경연구원보 3: 15-43.

Gordon, B. 1990. Culture of the *Phalaenopsis*. Laid-Back Publications, Raito, Calif. p.532-533.

권병두, 이희순. 1997. 화산섬의 지구물리학적 및 환경지질학적 특성 비교연구: 제주도와 하와이제도. 한국지구과학회지 18:217-237.

Hew, C. S. and J. W. Yong. 2007. Improving productivity of tropical orchid through CO<sub>2</sub> enrichment, 9th APOC, Goyang, Korea. p.46

허무룡. 2007. 지하공기의 탄산가스 시비에 의한 원예작물 품질 및 생산성 증진. 수출란특화작목산학연합력단. 지하공기를 이용한 시설원예 냉·난방 연구 세미나 p.37-68

Ichihashi, S. 1993. *Phalaenopsis* breeding and culture. Sungmundang, Japan. p.95-120.

Jang, H. G. and S. J. Chung. 1998. Cultivar differences in dry matter production and potentially-grown fruits of sweet pepper in rockwool culture. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 39(6):676-679.

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.

Jeon, M. W., J.A. Jeong, E. J. Hahn and K. Y. Paek. 2007 Effect of relative humidity and air temperature on *Doritaenopsis* hybrids *ex vitro* acclimatization 9th APOC, Goyang, Korea. p.59

조정래. 2007. 고품질 파프리카 생산과 수출전략. 원예과학기술지 25:41.

전신재, 원재희, 이성열, 정병찬. 2007. 고랭지 여름재배용 착색단고추 적품종 선발. 원예과학기술지 25:49.



정병룡, 허무룡, 황승재, 임미영, 김경희. 2005. 팔레놉시스 우량종묘생산과 양액 재배 및 작형기술개발, 분화의 양액재배 및 CO<sub>2</sub>관리 기술 개발, 농촌진흥청 공동 연구사업보고서 p.66-94

Kim, G. D. 2002. Forcing culture method development in cooling culture under vinyl house of *Phalaenopsis*. Chungbuk RDA. pp.11-21.

Kim, H. Y. 1996. Flowering control of *Cymbidium*. 3rd Korea Orchid Symposium. p.53-61.

김홍열, 小西國義 1992. 화훼의 개화조절. p.294-302. 한국학술진흥재단. 미리내

Kim, T. J., B. K. Kang, I. M. Ryu and K. Y. Park. 2007. Effect of different Shading on CO<sub>2</sub> uptake and growth and development of *Dendrobium phalaenopsis*. 9th APOC, Goyang, Korea. p.63

김봉균. 1972. 서귀포층의 층서 및 고생물학적 연구. 손치무 교수 회갑논문집 p.1-18.

김옥준, 윤선, 길영준. 1966. 제주도 한림지역 공장 분산을 위한 지하수원탐색 지질조사보고. 건설부. (주) 한국지하자원조사소 p.49.

김용범, 정순주, 배종향. 2005. 광, 온도, 탄산가스 환경의 차이에 따른 착색단고추 성장반응. 원예과학기술지 23:35.

김일섭, 강호민. 2007. 시설 유형 및 정식시기별 고랭지 착색단고추 생산성 비교. 원예과학기술지 25:72.

Kubota, S. and K. Yoneda. 1993. Effect of light intensity preceding day/night temperatures on the sensitivity of *Phalaenopsis* to flower. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 62:595-600.

Lee, N. 1991. Juvenility in *phalaenopsis*. Proc. Forcing culture of hort. Crops II:77-86. Taiwan.

Lee, J. N. 2001. Present condition of paprika cultivation and its prospects for export. Kor. Res. Soc. Protected Hort. 14:36-41.

Lee, J. N., E. H. Lee, H. J. Kwon, W. B. Kim, S. Y. Ryu, and Y. R. Yong. 2003. Effect of shoot training method on the plant growth, yield and fruit quality of paprika under rain-shelter in highlands. Kor. Res. Soc. Protected Hort. 16:17-22.

Lee, J. N., E. H. Lee, J. S. Kim, S. Y. Ryu, and Y. R. Yong. 2007. Suitable training method under low plastic film greenhouse cultivation on sweet pepper(*Capsicum annuum* 'Special') in highland. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 25:97-102.

Lee, J. N., K. Y. Shin, J. O. Lee, E. H. Lee, and Y. S. Kwon. 2001. Selection of paprika varieties suitable for soil-culture under rain-shelter in highland. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 42:163-166.

이상만. 1966. 제주도의 화산암류. 대한지질학회지 2:1-7.

이재욱, 이종남, 성기철, 권혁모, 남윤일, 김기덕. 2002. 착색단고추 고랭지 여름 재배시 지중가온 효과. 원예과학기술지 20:67.

이종남, 이용호, 권훈중, 이정태, 김원배, 신관용, 용영록. 2002. 고랭지 착색단고추의 접목재배 효과. 원예과학기술지 20:62.

이종남, 신관용, 이재욱, 이용호, 권영삼. 2000. 착색단고추의 고랭지재배를 위한 품종선발. 원예과학기술지 18:678.

이종남, 이용호, 권영석, 장석우, 임주성, 김원배. 2005. 착색단고추 여름 작형의 생육과 경영 요인 분석. 원예과학기술지 23:84.

이종남, 이용호, 임정선, 김원배, 용영록. 2005. 고랭지 착색단고추의 플라스틱 연동 온실재배시 적정 유인방법. 원예과학기술지 23:55.

米田和夫, 百瀬博文. 1992. ファレノプシスの株齡の遠いが 開花に及ぼす溫度の影響. 熱帯農. 36:207-210.

米田和夫, 小松陽一, 佐佐木弘康, 栗島光夫·内村忠久. 1980. ファレノプシスの株齡と 山上げ處理が 開花促進に及ぼす影響. 園學要旨. 昭55秋:360-361.

민경덕, 원중선, 황석연. 1986. 제주도예 분포하는 화산암류 및 퇴적암류에 대한 고지자기 연구. 대한광산지질학회지 19:152-163.

남기영. 1966. 제주도의 지질과 지하수. 국립지질조사소 지하수원조사보고.2 도판. 3:109-133.

남상식, 오용비, 최인후, 김용범. 1998. 파프리카의 품종간 색소 및 당함량 차이 구명. 원예과학기술지 16:393.

노미영, 강남준, 이성찬, 서태철, 최용해, 김완순. 2007. 순환식 암면재배에서 착색단 고추의 양분흡수 및 생육에 대한 급액농도의 영향. 원예과학기술지 25:59.

농림부. 2006. 화훼재배 현황 2005. 농림부 과수화훼과 p.142-143

농림부. 2007. 화훼재배 현황 2006. 농림부 과수화훼과 p.174-175

농촌진흥청. 2005. 표준영농교본 4 시설원예. 농촌진흥청 원예연구소 p.202-216.

日本施設園芸協會. 1997. 最新 施設園芸の環境制御技術 CO<sub>2</sub> 가스發生制御裝置, 誠文堂新光社. p.99-104.

오진용, 이성숙, 윤선, 고기원, 윤혜수, 이종덕. 2000. 제주도 지하층서. 대한지질학회지. 36:181-194.

坂西義洋, 今西英雄. 1977. ファレノプシスの 生育・開花 習性と溫度の影響について. (策2報). 開花にたいする 溫度處理效果. 園學要旨. 昭52秋:336-337.

박준범. 1994. 제주도 화산암의 지화학적 진화. 연세대학교 박사학위논문 p.305

박준범, 권성택. 1991. 제주도 화산암류의 암석화학적 진화(2) : 제주 동부 율라봉부근의 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.

박춘성, 이원우, 최용진. 1998. 경기지역 백합 수출농가의 시설유형별 투자분석. 농진청 농촌경제연구지 40:66-71.

Runkle, E. S. 2007. Temperature controls flowering of *Phalaenopsis*, *Miltoniopsis*, and *Zygopetalium* orchids 9th APOC, Goyang, Korea. p.45

Rylski I. and M. Spigelman. 1982. Effects of different diurnal temperature combination on fruit set of sweet pepper. *Scientia Hort.* 17:101-106.

Rylski, I. and Spigelman, M. 1986. Effect of shading on plant development, yield and fruit quality of sweet pepper grown under conditions of high temperature and radiation. *Scientia Hort.* 29:31-35.

Sami, S. M. and P. J. Tulej. 1995. A new design for an air-source heat pump using a ternary mixture for cold climates. *Heat recovery systems and CHP* 15(6): 521-529.

石田源次郎·坂西義洋. 1974. ファレノプシスの生育開花習性と温度の影響について. *園學要旨*. 昭49秋:298-299.

소인섭, 박성길, 성문석, 문미나. 2007. 지중온과 우수활용장치. 특허등록 제10-0787184호, 대한민국, 특허청

Son, K. C. and Kim, M. K. 1998. Influences of Indoor light, temperature, absolute humidity and CO<sub>2</sub> concentration on the changes of transpiration and photosynthesis rate of *Pachira aquatica* and Their Statistical Modeling. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 39:605-609.

송정익, 박중석, 박한영. 1979. 도시형 식물공장의 탄산가스 변화특성 해석. *한국원예학회지* 40(2):205-208.



Sutphin, S. E. 1994. Heat Pumps : Installation and Troubleshooting, The Fairmont Press Inc. p.15-41.

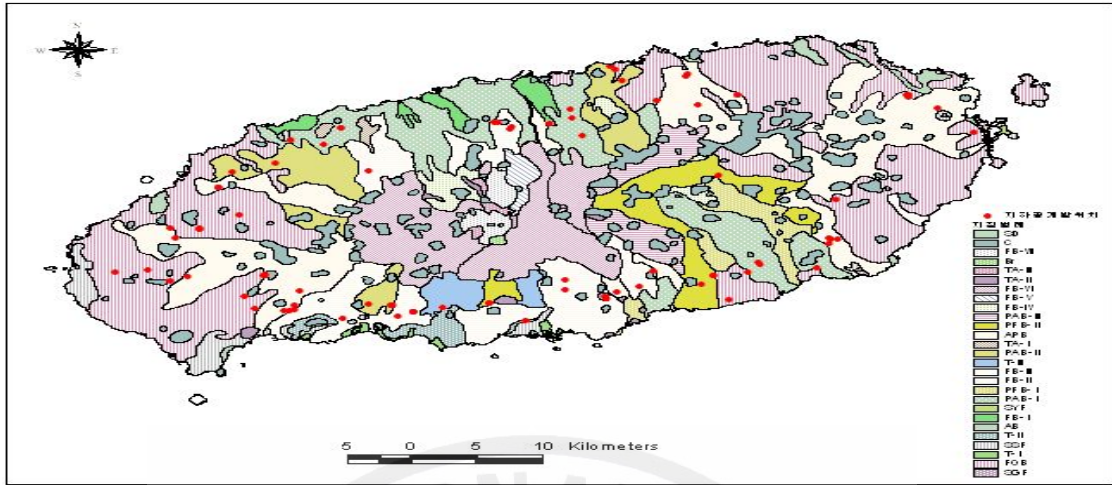
양용준. 2004. 착색 단고추의 CA 저장 중 탄성도, 경도, 비타민 C 및 탄수화물의 변화. 원예과학기술지. 22:305-309.

원종관. 1976. 제주도의 화산암류에 대한 암석 화학적인 연구. 대한지질학회지, 12:207-226.

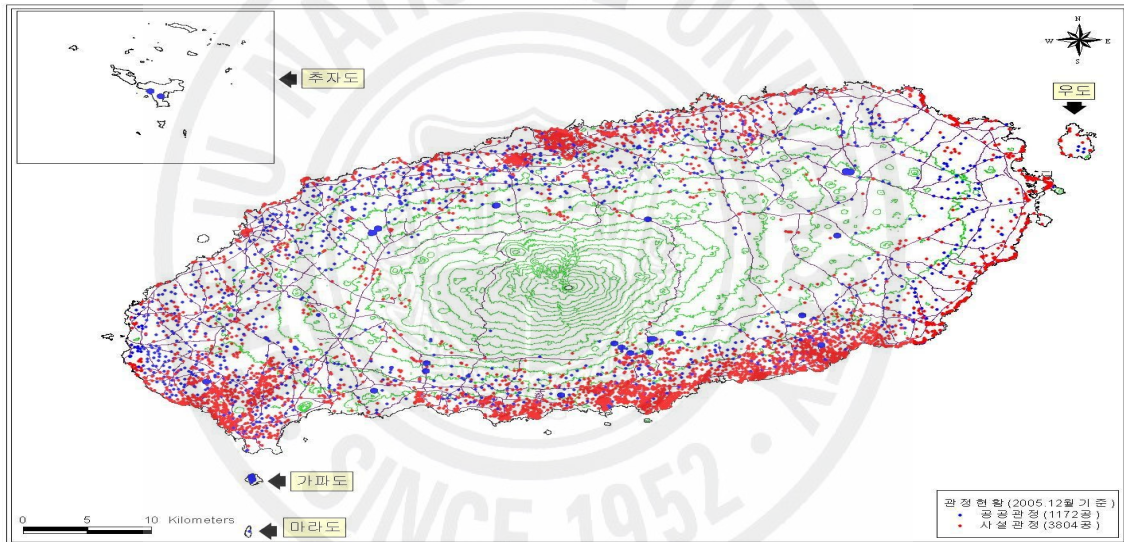
遠宗男, 衫義人. 1992. 養液栽培ファレノプツスの 1年間の生育及び 養分及收の推移. 61:532-533.



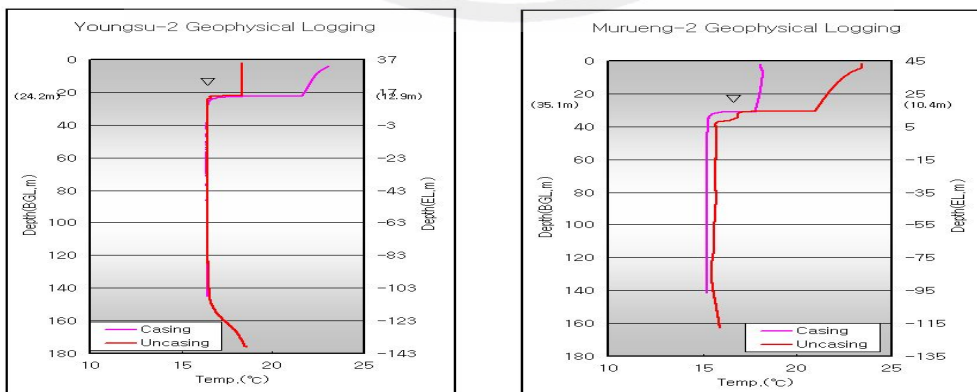
# [ 지질주상도 ]



<그림1> 제주도 지질도



<그림 2> 제주도 지하수관정 분포도



<그림 3> 관측정의 온도분포도(2004년) - 해수침투 보고서자료



## 시추공 지질주상도

지하공기개발 시추공사

지구명 : 대흘지구

위 치	북제주군 조천 대흘 2062-2	착정기명	TBM-150	착정공법	Rotary	작업기간	'06. 3. ~ '06. 4.
표 고	93m	시추심도	50m	보호자재	재 질	지질	기능 강기성
		시추직경	250mm		개공율		

심도 (m)	두께 (m)	주 상 도	지층명	구조및조직	TV검층 결과	비 고	
0.5	0.5	////	토사	표토	////////	표토구간	채움그라우팅 심도:0-5m 직경:250-400mm
	4.5	VV			VV	////////	
5.0	3.0	VV	감람석	FOB, 다공질, 암회색, 홍갈색, 쇠설층이나 점토협재로 비투수성	∴∞∴	파쇄구간	
					10.3	VVV	VVV
8.0	1.1	ooo	화산 쇠설층	FOB, 회백색, 치밀질 (감람석 반정 확인) 11~13m : 절리대, 누수구간	∴∞∴	파쇄구간	비누수구간
					1.94	ooo	ooo
19.6	0.2	ooo	화산 쇠설층	화산쇄설층(Pyroclastics), 점토, Yellow ocher, 자갈, 비누수구간	∴∞∴	파쇄구간	비누수구간
					20.8	ooo	ooo
25.8	5.0	++++	장석	FOB, 다공질, 암회색~백색	∴∞∴	파쇄구간	누수구간
					27.8	++++	++++
30.4	2.6	++++	장석	FOB, 다공질, 암회색~백색	∴∞∴	파쇄구간	누수구간
					31.5	++++	++++
33.4	1.1	++++	장석	23-24m : 절리 파쇄, 풍색 점토 점착	∴∞∴	파쇄구간	누수구간
					33.4	++++	++++
34.3	0.9	++++	감람석	26-28m : 파쇄발달, 누수구간	∴∞∴	파쇄구간	누수구간
					34.3	++++	++++
35.0	0.7	++++	현무암	31-33.5m : 파쇄발달, 누수구간	∴∞∴	파쇄구간	누수구간
					35.0	++++	++++
35.3	0.3	++++	현무암	39-39.5m : 파쇄, 자갈	∴∞∴	파쇄구간	누수구간
					35.3	++++	++++
37.0	1.7	++++	현무암	39-39.5m : 파쇄, 자갈	∴∞∴	파쇄구간	누수구간
					37.0	++++	++++
38.6	1.6	++++	현무암	39-39.5m : 파쇄, 자갈	■ ■	점토층, 암반사이에 점토Weulpung	
					38.6	++++	++++
40.0	1.4	++++	장석	FOB, 암회색, 치밀질, 부분적 장석반정	∴∞∴	파쇄구간	누수구간
					40.0	++++	++++
45.6	5.6	++++	장석	45-46.5m : 절리발달, 풍화흔적	∴∞∴	파쇄구간	누수구간
					45.6	++++	++++
46.5	0.9	++++	감람석	48-49m : 절리발달, 풍화흔적	∴∞∴	파쇄구간	누수구간
					46.5	++++	++++
48.7	2.2	++++	현무암	48-49m : 절리발달, 풍화흔적	∴∞∴	파쇄구간	누수구간
					48.7	++++	++++
50.0	2.3	++++	현무암	49-50m : FOB, 치밀 질	∴∞∴	파쇄구간	누수구간
					50.0	++++	++++

## 시추공 지질주상도

지하공기개발 시추공사

지구명 : 선흘지구

위 치	복제주군 조천읍 선흘리 2624			착정기명	TBM-150	착정공 법	Rotary	작업기간	'06. 4 ~ '06. 5	
표 고	79m	시추심도	50m	보호자재	재 질 개공율	PE 15%	조 사 자	지질 김진회	운전자	기능 강기성
심도 (m)	두께 (m)	주 상 도		지층명	구조및조직	TV검층 결과			비 고	
3.0	3.0	////	////	토사	표토, 자갈 약간 혼재	//////	표토구간	채움그라우팅		
	5.0	○○	○○	화산 쇄설층	흑회색, Pyroclastics 쇄설층이 두껍게 분포하며, 부분적으로 토사 혼재	//////	상부그라우팅 구간	심도:0-5m 직경:250-400mm		
8.0	3.0	○○○	○○○	장석 감람석 현무암	흑회색, 다공질 FOB	∴∞∴	파쇄대구간	누수구간 (5-8m)		
9.8	1.8	++++	++++	장석 감람석 현무암	흑회색, 다공질 FOB	∴∞∴	다공질 암반층			
12.8	3.0	○○○	○○○	화산 쇄설층	흑회색, Pyroclastics 자갈, 쇄설, 토사	∴∞∴	파쇄대구간	누수구간 (11-13m)		
13.3	0.5	++++	++++	장석 감람석 현무암	흑회색, 다공질 FOB	∴∞∴	다공질 암반층			
17.0	3.7	○○○	○○○	화산 쇄설층	흑회색, Pyroclastics	∴∞∴	파쇄대구간			
20.9	3.9	++++	++++	장석 감람석 현무암	회백색, 치밀질, FOB	∴∞∴	치밀질 암반층 부분 수직절리			
25.5	4.6	○○○	○○○	화산 쇄설층	회갈색, Pyroclastics, 홍갈색 점토가 혼재되어 투수성 낮음	∴∞∴	파쇄대구간	누수구간 (24-25m)		
26.0	0.5	○○○	○○○	장석 감람석 현무암	회갈색, scoria	∴∞∴	다공질 암반층			
30.3	4.3	○○○	○○○	장석 감람석 현무암	회갈색, scoria	∴∞∴	파쇄대구간			
36.5	6.2	++++	++++	장석 감람석 현무암	회갈색, scoria	∴∞∴	다공질 암반층	누수구간 (37-39m)		
37.4	0.9	○○○	○○○	화산 쇄설층	회갈색, scoria	∴∞∴	파쇄대			
38.5	1.1	○○○	○○○	장석 감람석 현무암	회갈색, scoria	∴∞∴	다공질 암반층			
42.0	3.5	++++	++++	장석 감람석 현무암	다공질, 홍갈색 FOB 파쇄가 발달된 편	∴∞∴	파쇄대구간			
47.4	5.4	++++	++++	장석 감람석 현무암	회백색, 치밀질 FOB	∴∞∴	치밀질 암반층 부분 수직절리			
50.0	2.6	○○○	○○○	화산 쇄설층	흑회색, Pyroclastics 잔자갈 혼재	∴∞∴	파쇄대구간	누수구간 (47.5-50m)		



## 시추공 지질주상도

지하공기개발 시추공사

지구명 : 협재지구

위 치	북제주군	한림	협재 1049	착정기명	TBM-150	착정공법	Rotary	작업기간	'06. 5. ~ '06. 6.	
표 고	43m	시추심도	35m	보호자재	재 질	PE	조 사 자	지질	운전자	기능 강기성
		시추직경	300mm		개공율	25%				

심도 (m)	두께 (m)	주 상 도		지층명	구조및조직	비 고
0.5	0.5	////	////	토사	표토	채움그라우팅 심도:0-5m 직경:300-400mm
	2.5	vv	vv	장석감람석 현무암	회백색, 다공질 FOB (Feldspar Olivine Basalt)	
	2.5	ooo	ooo	화산쇄설층	Pyroclastics, 다공질, 회갈색 쇄설층	
5.0	5.5	vvv vvv	vvvv vv	장석감람석 현무암	FOB, 회백색으로 치밀질과 다공질이 혼재	누수구간 (통기층 발달구간)
10.5	2.0	++++	++++	장석감람석 현무암	회백색 내지 회색 FOB, 황갈색 점토 다량 혼재	비누수구간
12.5	5.0	++++	++++		회백색 내지 회색 FOB, 코아회수양호, 절리 부분발달	누수구간 (통기층 발달구간)
17.0	4.5	++++	++++	장석감람석 현무암	회백색 내지 회색 FOB, 전반적인 파쇄 및 절리발달, 코아회수율(TCR) 80% 내외	
23.5	2.5	++++	++++		회백색 내지 회색 FOB, 파쇄 및 절리발달, 점토 혼재	
26.0	3.0	++++	++++	장석감람석 현무암	회백색 내지 회색 FOB, 파쇄 및 절리발달	누수구간 (통기층 발달구간)
29.0	4.0	++++	++++		회백색 내지 회색 FOB, 코아회수율은 양호하나, 30.5~32.0구간은 파쇄발달(점토약간혼재)	
33.0	2.0	////6	////	토사	황갈색 점토 및 토사로 구성, 부분적으로 사력 포함	난대수층
35.0						

## 시추공 지질주상도

지하공기개발 시추공사

지구명 : 월평지구

위 치	제주시 월평동 311번지			착정기명	TBM-150	착정공법	Rotary	작업기간	'06. 7. ~ '06. 9.	
표 고	200m	시추심도	50m	보호자재	재 질	PE	조 사 자	지질	김진회	운전자
		시추직경	300mm		개공율	25%		기능		

심도 (m)	두께 (m)	주 상 도		지층명	구조및조직	비 고
2.5	2.5	////	////	토사	표토, 미사질 토양	채움그라우팅 -심도 : 0-5m -직경 : 300-400mm
	2.5	ooo	ooo	화산쇄설층 (Pyroclastics)	화산력 우세	
5.0	4.0	++++	++++	장석현무암	FB, 회백색 내지 회색으로 대체로 치밀한 암질	비누수구간
9.0	8.0	++++	++++	장석현무암	FB, 회백색 내지 회색, 백색장석반정 확인	비누수구간
17.0	++++	++++	++++	장석현무암	일부구간 절리 약간 발달	
22.5	5.0	++++	++++	장석현무암	17.0~18.5 : 암회색, 다공질, 절리	누수구간 (통기층 발달구간)
22.5	++++	++++	++++	장석현무암	18.5~22.5 : 화산력, 파쇄대	
32.5	10.0	++++	++++	장석현무암	22.5~24.0 : 암회색, 다공질, 절리	비누수구간
		++++	++++		24.0~32.0 : FB, 회백색 우세, 치밀질암으로 약간의 절리만 형성 코아회수율(TCR)95% 내외	
		++++	++++		29.5~30.5 : 찬공수 누수 약간	
35.0	2.5	ooo	ooo	토사(점토)	황갈색의 점토 및 화산쇄설물 혼재	비누수구간
37.0	2.0	VVV V	VVVV	장석감람석 현무암	암회색 다공질 쇄설층 주로분포	비누수구간
46.5	9.5	VVV V	VVVV VVVV	장석감람석 현무암	37.0~38.0 : 암회색, 다공질, FOB	비누수구간
		VVV V	VVVV VVVV	장석감람석 현무암	38.0~42.0 : 화산력 우세(상부) (찬공수 누수약간) 42.0~46.5 : 파쇄, 절리발달, 화산력 일부 혼재	
50.0	3.5	VVV V	VVVV	장석감람석 현무암	절리 및 파쇄 발달, 화산력 혼재 48.0~50.0 : 찬공수 누수	누수구간 (통기층 발달 추정)

## 감사의 글

지하공기 사업 착수부터 본 논문이 완성되어 나오는 순간까지도 자신의 일이다 잊으신 채로 오랜 시간을 아낌없는 배려와 가르침을 주신 소인섭 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 교수님께서서는 제주도에서 제일 먼저 지하공기의 이용성에 가치를 아시어 2005년 10월 처음 지하공을 천공하였고, 2006년 서귀포시 지역은 불가능하다는 우려를 씻어 낼 수 있게 한 오용진 작목반장의 호접란 농장에서 완성하였습니다. 아울러 지하공기에 천연 CO<sub>2</sub>를 확인하여 농업에 접목하였습니다. 그리고 그 속에서 저는 학문적 배움 그 이상의 가치있는 많은 것을 깨달을 수 있었습니다.

바쁘신 가운데에도 심사를 맡으셔서 세심한 학문적 배려를 아끼지 않으셨던 강 훈교수님, 따뜻한 격려로 힘을 불어 넣어주셨던 송관정교수님, 마지막까지 협력하여 주신 한국농촌공사 차장 김진회박사님께 깊은 감사드리며, 멀리서 오고가시며 큰 도움을 주신 김두환교수님, 항상 깊은 관심을 가져주신 현해남교수님, 허무룡교수님, 박용봉교수님에게 감사드립니다.

연구자로서의 길을 걸을 수 있도록 여건을 마련하여 주셨던 제주도농업기술원 고문환 원장님, 김영문 전원장님, 김공호 국장님 그리고 많은 업무에 시달리면서도 시간배려를 아끼지 않으셨던 강성근과장님, 허태현연구사님, 김정선연구사님 업무에 성심을 다해준 고복희님, 김호경님, 동료 분들과 농업기술원 가족 여러분들의 도움에 깊은 감사를 드립니다.

순간마다 큰 의지가 되어주었던 강태완연구사님, 고상환연구사님, 고령지농업연구소 이종남연구사님, 그리고 지친마음에 활력소를 불어넣어주었던 박영철연구사님, 고성욱학형, 그리고 연세도 잊고 선배의 모범이 되신 한동휴박사님을 비롯하여 지하공기실증 연구사업을 성공할 수 있도록 응원하여 주신 오용진작목반장님과 이영욱님, 오평원 사장님과 한국공항공단(주) 현봉철님과 농촌진흥청 관계관 모든 분들께 감사드립니다.

어려웠던 2007년을 잘 넘겨주신 부모님과 큰 조언을 주신 큰형님, 송풍팬설계에 도움을 준 둘째 형님과 가족친지와 사랑으로 내조해준 아내 인재희에게 고마움을 전하며, 아들 종윤, 종호, 딸 주연과 함께 이 기쁨을 나누고 싶습니다.