

## 지열 난방시스템을 이용한 분만돈사의 난방효과 분석

최희철 · 박재홍 · 송준익 · 나재천 · 김민지 · 방한태 · 강환구 · 박성복 · 채현석 ·

서옥석 · 유영선\* · 김태원\*\*

국립축산과학원

## Evaluation on Heating Effects of Geothermal Heat Pump System in Farrowing House

Choi, H. C., Park, J. H, Song, J. I., Na, J. C., Kim, M. J., Bang, H. T., Kang, H. G., Park, S. B., Chae, H. S., Suh, O. S., Yoo, Y. S\* and Kim, T. W.\*\*

National Institute of Animal Science

### Summary

Geothermal heat pump system (GHPS) is an energy-efficient technology that use the relatively constant and renewable energy stored in the earth to provide heating and cooling. With the aim of using GHPS as a heating source, it's possibilities of application in farrowing house were examined by measuring environmental assessment and sow's performance. A total of 96 sows were assigned to 2 pig housings (GHPS and conventional housing) with 48 for four weeks in winter season. During the experimental period, indoor maximum temperature in GHPS-housing was measured up to 26.7°C, average temperature could maintain 21.2°C. The mean value of dust levels and CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> and H<sub>2</sub>S gas emissions were decreased in GHPS-housing compare with those of conventional housing. Litter size, birth weight, parity and weaning weight did not differ between housings. However, feed intake of sow in GHPS-housing was lower than that of conventional housing. In energy consumption for heating, electric power consumption increased in GHPS-housing than the conventional housing, a 2,250 kwh increase, whereas there is no fuel usage for heater in GHPS-housing. Amount of ground water circulated for heating in cold weather for earth heat exchanger was 8.4-12.9 ton per day. In conclusion, GHPS may have environmental benefits and effectiveness of heating in farrowing housing and affect the performance in sows.

(Key words : Farrowing housing, Geothermal heat, Heating system, Noxious gas, Performance)

### 서 론

지열냉·난방시스템은 지중 온도가 연중 일정하게 유지되는 지열을 이용하여 냉방과 난방을 동시에 수행하는 친환경적인 기술이

다. 1900년도 초 이탈리아에서 지열 증기를 이용하여 처음으로 발전이 이루어진 것이 이 기술의 시초라고 할 수 있지만 100년 전에 소개된 기술임에도 불구하고 (송과 안, 2005), 그 동안 상업적인 시장이 형성 되지 못하였

\* 국립농업과학원 (National Academy of Agricultural Science)

\*\* (주)티이엔 (T·E·N Co.)

Corresponding author : Jae Hong Park, National institute of Animal Science.

Tel: 041-580-6730, E-mail: atom1965@hanmail.net

2010년 11월 1일 투고, 2010년 11월 25일 심사완료, 2010년 11월 27일 게재확정

다. 그러나 세계적으로 고유가와 화석연료로 인하여 발생하는 환경문제에 대한 인식이 고조되면서 무한정한 에너지 자원인 지열을 이용하고자 하는 노력들이 발생하고 있다.

우리나라에서도 고유가 및 2004년 ‘신에너지 및 재생에너지 개발 이용 보급 촉진법’ 시행과 더불어 저탄소 녹색성장 정책을 추진하면서 에너지원으로써 지열에 대한 관심이 높아지고 있다. 현재까지 이 시스템은 주거건물의 냉·난방 뿐만 아니라 정부공공건물시설, 농업용 원예온실에 이용되고 있다(이, 2006). 이에 축산 환경분야에서도 지열 냉·난방시스템이 효과적인 동절기 난방을 가능하게 하는지의 여부와 축사의 환경개선 및 더 나아가 가축의 생산성을 개선시키고자 이 시스템을 돈사에 적용하기에 이르렀다. 농촌진흥청 축산과학원에서 돈사용으로 개발된 이 시스템은 특히 겨울철 축산 농가의 가장 큰 애로사항인 난방비를 획기적으로 절감할 수 있을 것으로 기대되며, 친환경 기술을 이용하여 가축을 생산한다는데 그 의미를 부여할 수 있다.

따라서 본 연구의 목적은 겨울철 돈사의 난방원으로 지열냉·난방시스템을 적용하여 돈사의 난방효과, 환경변화 및 연료 절감에 미치는 효과를 분석하고, 분만돈의 생산성 조사를 통해 이 시스템을 돈사의 난방시스템 대안으로 활용하기 위한 기초 자료를 제시하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 시험설계 및 방법

이 시험은 돈사 규격이 폭 11미터, 길이 30미터, 면적은 330 m<sup>2</sup>인 일반 양돈농가에서 동절기인 1월 29일부터 2월 29일까지 약 한 달 간 진행되었다. 시험돈사는 분만틀 48개가 설치되어 있고, 이 분만돈사 2동을 활용하여 지열냉난방시스템을 설치한 시험구와

관행 돈사인 대조구간의 비교시험을 수행하였다. 돈사는 무창형태로 칼라강판에 스티로폴 50 mm와 우레탄폼 30 mm를 사용하였으며, 대형 팬 4대를 설치하여 온도에 따라 팬이 가동되도록 하였다.

### 2. 지열 히트펌프 설치

지열 히트펌프의 용량을 산정하기 위하여 부하량을 산정한 결과, 난방부하는 전도가 5,143 kcal/h, 현열과 체열은 18,961 kcal/h로 총 24,104 kcal/h의 부하량이 발생하였다. 이를 위한 난방시설로 10.0 RT의 수직개방형 히트펌프를 설치하였다. 온도를 올리기 위해서 사용되는 매질은 지하수로 깊이는 200미터인 관정에 심정펌프를 설치하여 히트펌프에 공급하였다. 압축된 열은 순환펌프를 통하여 웬코일 유니트로 보낸 후 사용된 지하수는 지하 200미터로 투입하여 재순환할 수 있도록 하였다. 히트펌프와 압축기를 통하여 교환·응축된 열은 순환펌프를 통하여 웬코일 유니트로 전달되어지며, 축사 내에 설치된 FCU 온도센서에 의해 시로코 팬을 통하여 축사 안으로 연결된 덕트로 송풍된다. 겨울철의 경우 10~15℃ 내외의 지하수를 뿜어 올려 히트펌프에서 열을 압축한 후 45~50℃의 따뜻한 온열을 웬코일 유니트를 통하여 돈사 내로 불어 넣게 된다. 이때 돈사 내 온도는 20℃ 정도로 맞추도록 하였다.

### 3. 조사항목

온도변화에 따른 지하수의 순환량과의 상관관계를 보기 위하여 유량계를 부착하여 난방에 사용된 지하수의 양을 측정하였으며, 웬코일 유니트는 풍량이 90 m<sup>3</sup>/min인 송풍기를 사용하였다. 시험 돈사의 온도와 습도는 돈사내부 바닥 1미터 높이, 지열난방 공기가 들어오는 덕트 내부, 돈사 외부에서 HD 206-



Fig. 1. External and internal structure of experimental pig housing.

1 (Delta OHM, Italy) 연속 측정 장치를 이용하여 매 15분마다 각각 측정하였다. 돈사 내부의 먼지 크기별 농도 즉, PM 10, PM 2.5, PM 1.0은 GRIMM Aerosol Monitor 1108 (GRIMM AEROSOL, Germany)를 이용하여 30분 간격으로 24시간씩 측정하였다. 돈사내 유해가스 농도는 CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S 가스측정용 검지관과 Gastec (GV-100, Japan)을 이용하여 매일 모든의 코 높이에서 측정하였다. 사용 시험성적은 산자수, 자돈의 생시체중, 이유시 체중 및 생존율, 분만돈의 사료섭취량, 에너지 소모량 등을 조사하였다.

#### 4. 통계분석

수집된 자료는 SAS package (1996)를 이용하여 분산분석을 실시하였고, 처리구간 비교는 최소 유의차검정 (LSD)을 이용하였다.

### 결 과

#### 1. 지열난방 돈사가 겨울철 돈사 내부의 온·습도에 미치는 영향

측정 3주 동안 지열 난방시스템을 적용한

돈사 내부의 온·습도 측정치는 Table 1과 Fig. 2~7에 나타내었다. 외부최저기온이 영하 9.3℃이고, 평균 영하 0.1℃인 겨울철 1주일 시 관행돈사의 평균온도는 19.8℃ 인데 비하여 지열난방돈사는 평균온도가 21.5℃로 약 1.7℃의 온도차를 나타내었다. 이 시기의 지열난방시스템에서 온풍을 공급하는 덕트 내부온도는 최고 36.2℃ 까지 상승하였다. 습도는 지열난방돈사, 관행돈사, 덕트 내부에서 각각 44.0, 47.9, 21.0%로 측정되었다 (Table 1, Fig. 2, Fig. 3). 시험 2주차 외부 최저기온이 영하 4.9℃일 때 관행돈사의 평균 온도는 19.8℃ 이었으며 지열난방돈사의 평균온도는 21.0℃로 관행돈사에 비해서 약 1.2℃ 높게 나타났다. 이 기간 내 외부평균 습도는 80.6% 이었으나 관행돈사는 49.6%, 지열난방돈사는 51.6%로 측정되었다 (Table 1, Fig. 4, Fig. 5). 시험 3주차 외부 최저기온이 영하 6.5℃인 관행돈사의 평균 온도는 20.1℃ 이었으며, 지열난방돈사의 평균온도는 대조구와 비교하여 약 1.1℃ 증가한 21.2℃로 약간 높은 경향을 보였다. 3주령 외부 평균습도는 66.5% 이었으나 대조구 돈사는 45.9%이었고, 지열난방을 하는 시험돈사는 42.7%로 나타났다 (Table 1, Fig. 6, Fig. 7).

Table 1. Heating effects of geothermal heat pump system (GHPS) on temperature and humidity in farrowing housing

			Control (1m height)	GHPS (1m height)	GHPS (in duct)	Outside
1st week	Temp. (°C)	Max.	23.2	26.7	36.2	14.2
		Min.	18	19	0.7	-9.3
		Avg.	19.8	21.5	21.7	-0.1
1st week	Humid. (%)	Max.	66.9	84.8	65.3	-
		Min.	35.7	31.6	4.6	33.5
		Avg.	47.9	44.0	21.0	76.0
2nd week	Temp. (°C)	Max.	22.0	23.7	35.5	10.4
		Min.	18.8	19.4	0.5	-4.9
		Avg.	19.8	21.0	22.1	2.8
2nd week	Humid. (%)	Max.	60.7	69.5	73.2	-
		Min.	36.7	31.2	6.8	35.0
		Avg.	49.6	51.6	28.7	80.6
3rd week	Temp. (°C)	Max.	23.7	22.7	38.1	14.2
		Min.	17.9	19.1	-0.9	-6.5
		Avg.	20.1	21.2	25.4	2.1
3rd week	Humid. (%)	Max.	60	58.6	77.5	-
		Min.	27.1	23	2.0	23.4
		Avg.	45.9	42.7	15.9	66.5

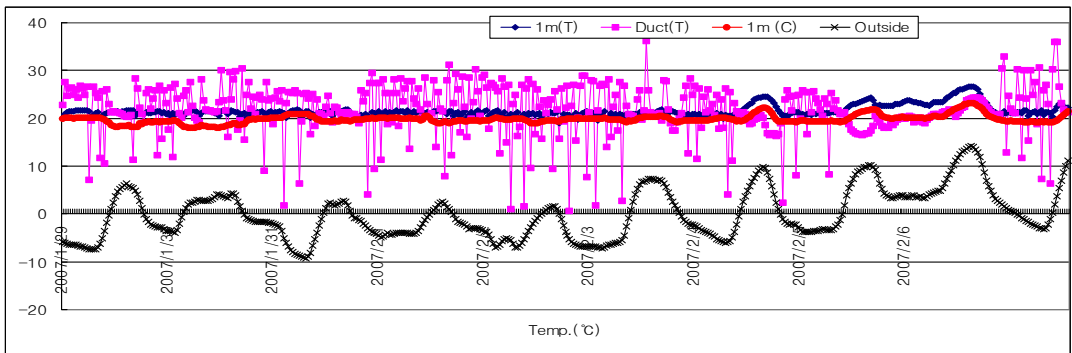


Fig. 2. Heating effects of geothermal heat pump system (GHPS) on temperature in farrowing housing during the first week of the experimental period.

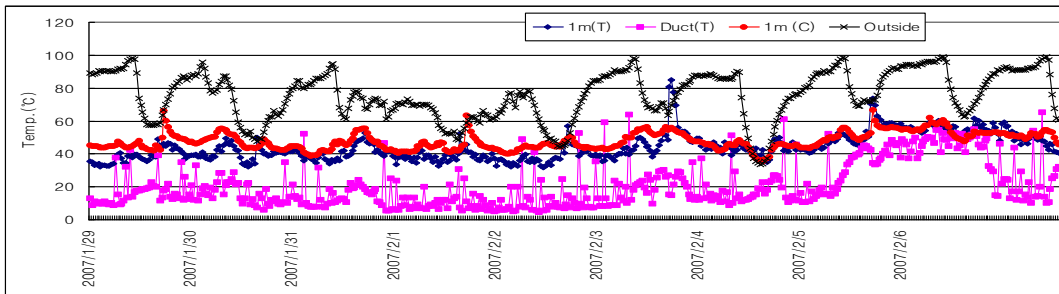


Fig. 3. Heating effects of geothermal heat pump system (GHPS) on humidity in farrowing housing during the first week of the experimental period.

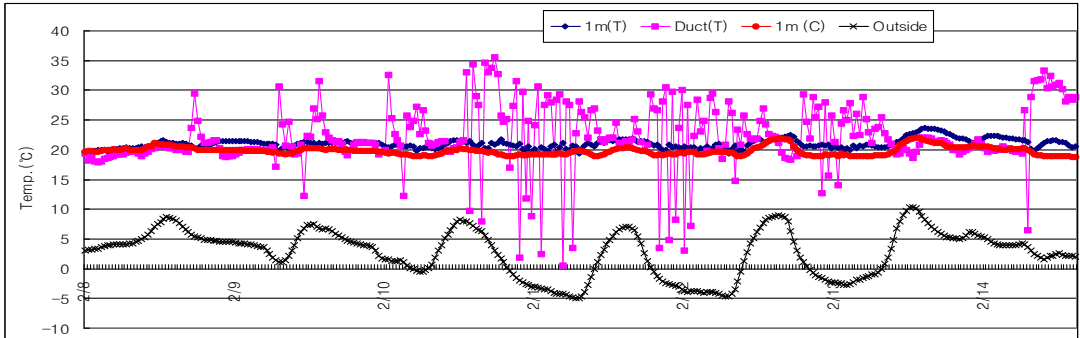


Fig. 4. Heating effects of geothermal heat pump system (GHPS) on temperature in farrowing housing during the second week of the experimental period.

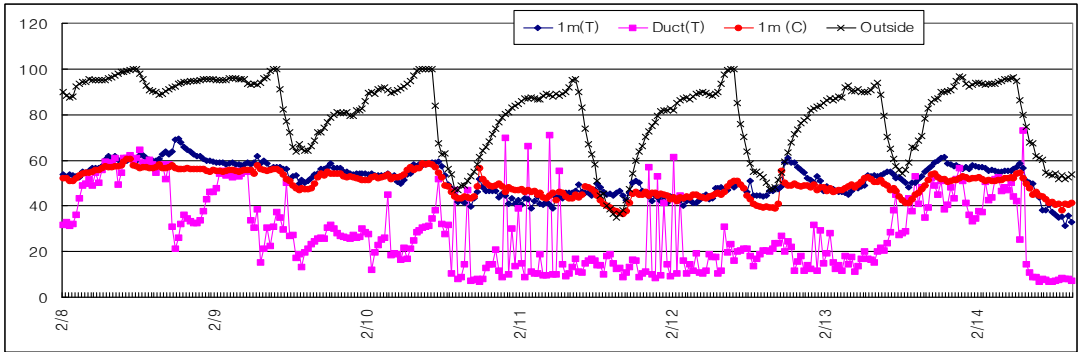


Fig. 5. Heating effects of geothermal heat pump system (GHPS) on humidity in farrowing housing during the second week of the experimental period.

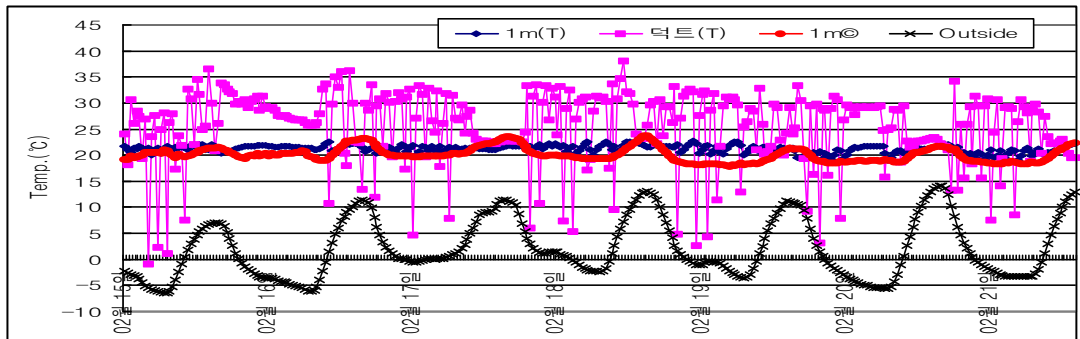


Fig. 6. Heating effects of geothermal heat pump system (GHPS) on humidity in farrowing housing during the third week of the experimental period.

2. 지열난방 돈사가 분진발생에 미치는 영향

지열난방시 돈사내 분진농도는 Table 2와 Fig. 8에 나타내었다. 지열난방돈사의 평균

먼지농도는 PM10이 185.3, PM2.5는 40, PM1.0은 23.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 관행돈사의 PM10 481.4, PM2.5 47, PM1.0 28.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비하여 낮은 수치를 나타내었다. 특히 PM10의 경우

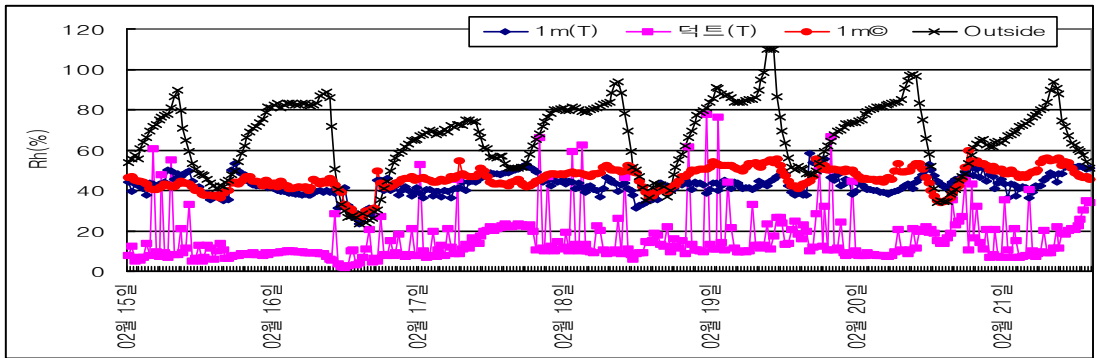


Fig. 7. Heating effects of geothermal heat pump system (GHPS) on humidity in farrowing housing during the third week of the experimental period.

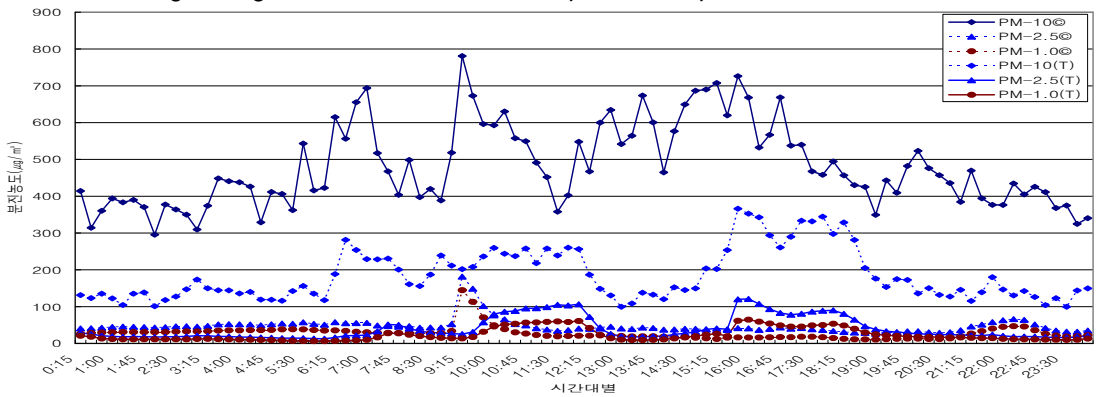


Fig. 8. Heating effects of geothermal heat pump system (GHPS) on dust concentration in farrowing housing.

Table 2. Heating effects of geothermal heat pump system (GHPS) on dust concentration in farrowing housing

		Control	GHPS
		..... ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) .....	
PM 10	Max.	781.1	366.2
	Min.	295.4	99.6
	Avg.	481.4	185.3
PM 2.5	Max.	181.6	120.9
	Min.	26.3	13
	Avg.	47.0	40.0
PM 1.0	Max.	144.7	64.6
	Min.	10.9	6.2
	Avg.	28.2	23.4

지열난방돈사의 먼지농도가 대조구에 비하여 약 61.5% 정도 감소하는 것으로 나타났다.

### 3. 지열난방 돈사가 유해가스 발생에 미치는 영향

돈사내 유해가스 농도를 비교한 결과, 지열난방돈사가 관행돈사에 비하여 유의적으로 낮은 측정치를 보였다 (Table 3). 이산화탄소의 경우 대조구 2,025 ppm에 비하여 지열난방돈사는 1,470 ppm으로 유의적으로 감소하였다. 암모니아가스의 경우에도 지열난방구는 10.55 ppm으로 대조구의 23.3 ppm 보다 유의적으로 감소하였다. 황화수소 농도 또한 대조구는 0.685 ppm 이었으나 지열난방구는 0.045 ppm으로 유의적으로 낮은 값을 나타내었다.

Table 3. Heating effects of geothermal heat pump system (GHPS) on concentration of the noxious gas in farrowing housing

	Control	GHPS
	..... (ppm) .....	
CO <sub>2</sub>	2,025±645 <sup>b</sup>	1,470±392 <sup>a</sup>
NH <sub>3</sub>	23.3±5.2 <sup>b</sup>	10.6±3.6 <sup>a</sup>
H <sub>2</sub> S	0.69±0.35 <sup>b</sup>	0.05±0.11 <sup>a</sup>

<sup>a,b</sup> Means in the same row with different superscripts differ significantly (p<0.05).

4. 지열난방 돈사가 모돈 및 이유자돈의 생산성에 미치는 영향

Table 4는 지열난방과 관행난방돈사에서의 돼지 사육성적을 비교하였다. 복당 산자수는 지열난방구가 13.2두로 대조구 12.7두에 비하여 높았으며, 이유시 체중도 지열난방구는 6.93 kg으로 관행난방구 6.86 보다 높았다. 특히 겨울철 모돈의 이유시까지의 사료섭취량은 관행난방의 경우 99.6 kg으로 지열난방돈사의 88.2kg과 비교하여 유의적으로 증가됨을 알 수 있었다.

Table 4. Heating effects of geothermal heat pump system (GHPS) on performance of sows and piglets in farrowing housing

	Control	GHPS
Litter size (piglets/litter)	12.7 ±3.0	13.2 ±3.0
Birth weight (kg)	1.51±0.20	1.47±0.14
Parity	5.9 ±2.3	5.5 ±2.1
Litter size at weaning (piglets/litter)	10.4 ±1.1	10.5 ±0.7
Weaning weight (kg)	6.86±0.3	6.93±0.26
Feed intake per sow (kg)	99.6 ±7.3 <sup>b</sup>	88.2 ±6.0 <sup>a</sup>

<sup>a,b</sup> Means in the same row with different superscripts differ significantly (p<0.05).

Table 5. Heating effects of geothermal heat pump system (GHPS) on energy consumption in farrowing housing

	Control	GHPS
Electricity (kwh/25 days of lactation period)	5,400	7,650
Fuel usage ( ℓ )	600	0

5. 지열난방 돈사가 에너지 절감에 미치는 영향

겨울철 분만돈사의 난방을 위하여 직접열 풍기를 사용할 경우 돈사의 전기 사용량은 생시부터 이유시까지 5,400 kwh를 사용한 반면, 지열을 이용할 경우에는 7,650 kwh를 사용하여 지열난방을 하는 분만돈사에서 약간 더 많이 전기를 소비하였다. 그러나 열풍기를 사용하는 관행 분만돈사는 연료로 등유 600 ℓ를 사용한 반면 지열난방을 하는 돈사는 연료를 전혀 사용되지 않았다.

6. 최고기온과 지하수 순환량의 상관성

Fig. 9는 외부기온과 지하수 순환량의 상관성을 보여주는 그래프이다. 지열난방시스템이 히트펌프를 이용하여 지하수의 열을 빼앗아 온도를 올린 후 돈사내부를 송풍해 주는 특성상 외부기온이 영하로 낮게 내려갈 경우 더 많은 지하수를 순환하여 열을 빼앗아야 하므로 지하수의 순환량이 많아지는 것을 확인할 수 있었다. 외부기온이 영하 7.3℃에서

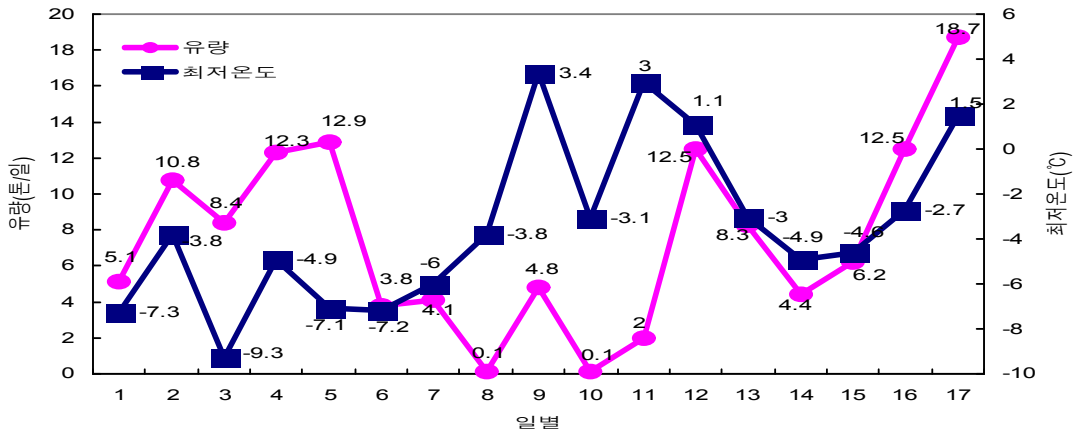


Fig. 9. Analysis of correlation between outside temperature and ground water usage in earth heat exchanger.

영하 9.3°C 일때 지하수 순환량은 1일간 8.4-12.9톤으로 높은 반면 외부기온이 영상인 날에는 지하수 순환량이 일일 3톤 정도로 낮은 순환량을 보여서 외부기온과 지하수 순환량 간에 밀접한 부의 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

지열 냉난방시의 경제성분석은 상기 표에서 보는 바와 같다. 330m<sup>2</sup>, 모돈 48두 기준 경제성 분석시 시설비 RT당 4,400천원을 감가상각비용으로 공제하고도 자돈의 가격상승, 자돈 출하두수 증가, 전기료 감소, 발정 재귀 단축, 연료비절감, 사료비절감 등으로 인하여 연간 4,296천원의 수익증가가 있는 것으로 분석되었다.

7. 지열냉난방시스템 가동시 경제성 분석

Table 6. Economic Analysis of geothermal heat pump system (GHPS) in farrowing housing (Per 48 heads of farrowing pig, 330 m<sup>2</sup>).

Item	Disadvantage (B)	Advantage (A)
Summer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Depreciation 4,400,000 won</li> <li>• Repair cost 2,640,000 won</li> <li>• Interest 2,200,000 won</li> <li>• Extra Feed consumption 10 kg×48 head×4 times×330 won = 633,600won</li> </ul> <p>Sub total 9,873,600 won</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Increasing sale price 2,640 won × 10.7 head × 48 head × 4 times = 5,423,616 won</li> <li>• Increasing marketing piglets 0.3 head×48 head×4 times×50,000 = 2,880,000 won</li> <li>• Reducing electricity cost 10 kwh×18hr×120day×36.1won = 779,760 won</li> <li>• Reducing return heat interval 3.4 kg×2.6 day×48 head×4 times×330 won = 560,102won</li> </ul> <p>Sub total 9,643,478won</p>
Winter	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Increasing electricity cost 5 kwh×18 hr×120 day×36.1 won = 389,880won</li> </ul> <p>Sub total 389,889 won</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducing fuel 600 ℓ × 4 times × 796 won = 1,910,400 won</li> <li>• Increasing weaning pig price 660 won×10.5 head×48 head×4 times = 1,330,560 won</li> <li>• Increasing marketing piglets 0.1 head×48 head×4 times×50,000 = 960,000 won</li> <li>• Saving feed 11.3 kg×330 won×48 head×4 times = 715,968원</li> </ul> <p>Sub total 4,916,928 won</p>
Total	A-B : 4,296,917 won	



## 고 찰

이 시험은 기존 주거시설에서 주로 이용되어 왔던 지열난방 시스템을 돈사의 냉·난방에 적용하기 위하여 분만돈사에 이 시스템을 설치하고, 동절기 2월 한 달간 난방효과를 검증하고자 하였다. 면적이 330 m<sup>2</sup>인 시험돈사를 난방하기 위하여 우선 부하량을 산정한 결과, 총 24,104 kcal/h가 발생하였다. 이용량에 맞게 10 RT의 수직개방형 히트펌프를 설치하고, 시험기간 동안 조사한 돈사의 온도 변화를 살펴보았다. 덕트내 최고 온도는 38.1℃ (3주차)까지 상승하였고, 최저 온도는 영하 0.9℃까지 떨어졌다. 그러나 이 덕트내 최저온도는 지열난방이 작동하지 않는 시간 때에 차가운 외부공기가 덕트 내로 유입된 결과이며, 그 때 측정된 지열난방돈사 실내 1미터 높이의 온도는 19.1℃로 나타나 덕트내 찬 공기가 실내 온도에 미치는 영향은 적었다. 일반적으로 겨울철 분만사의 실내온도는 20~22℃를 유지하도록 해야 한다. 측정 3주간 열풍기에 의존한 관행돈사의 평균 온도는 19.9℃로 나타났고, 지열난방돈사는 평균 21.2℃로 열풍기를 사용하지 않고, 지열에 의한 난방만을 이용하여도 모돈의 적정 온도를 유지할 수 있었다. 겨울철에는 특히 보온에만 신경을 쓰다 보면 환기에 소홀해 질수 있고, 이로 인하여 돈사내 암모니아 가스 등과 같은 유해가스 농도가 증가할 수 있다. 또한 보온을 위한 밀폐나 열풍기 가동이 공기의 질을 저하시킬 수 있다. 공기 중 이러한 유해가스 증가는 모돈의 스트레스원이 되므로 신선하고 깨끗한 공기를 유지하기 위한 충분한 환기와 동시에 이루어져야 한다. 동절기 주로 밀폐된 돈사내 돼지에게 위해를 줄 수 있는 악취 및 가스상 오염물질의 농도 차이를 살펴보기 위해 이산화탄소, 암모니아 및 황화수소 농도를 돈사 돼지 호흡기 근처에서 측정한 결과, 지열난방돈사가 관행돈사에 비하여 각각 27.4, 54.5, 93.4%씩 (2,025 vs 1,470, 23.3 vs 10.6, 0.69 vs 0.05; Table 3) 낮

게 나타났다. 지열난방돈사는 상부의 덕트를 통하여 지속적으로 신선한 공기를 돈사내로 불어 넣어주게 되어 유해가스 농도 수준이 상대적으로 감소한 것으로 판단되며, 관행돈사의 경우 열풍기 자체에 의해서도 발생할 수 있는 이산화탄소 등의 배출량이 실내 유해가스 수준을 높였을 것이라는 가정 또한 배제할 수 없을 것이다.

돈사내 유해가스 농도와 유사하게 지열난방돈사의 먼지 농도 또한 관행돈사와 비교하여 PM10, PM2.5, PM1.0의 측정치가 각각 61.5 14.9, 17.0%씩 (481.4 vs 185.3, 47.0 vs 40.0, 28.2 vs 23.4; Table 2) 감소하였다. 미세 먼지 직경이 10 μm 이하인 PM10은 돈사내 비산먼지에 의해 측정되며, PM2.5는 황산염, 질산염, 암모니아 등과 금속화합물, 탄소화합물, 가스상 오염물질의 화학적 변환 등에 의한 물질들로 구성되어 있다 (Salvador 등 2004). 이러한 10 μm 이하의 오염물질들은 호흡기 질환이 원인이 될 수 있기 때문에 주의가 필요하다. 돈사내 분진이나 가스상 오염물질들은 환기를 통해 저감시킬 수 있으나 특히 겨울철에는 실내 온도 유지를 위하여 일반적으로 잘 이루어지지 않고 있는 게 사실이다. 그러나 지열을 이용한 난방시스템은 열풍기에 사용되는 유류가 전혀 소모되지 않기 때문에 겨울철 환기에 대한 부담이 적은 것이 장점이 될 수 있다. 이로 인하여 열풍기를 사용하는 관행돈사에 비하여 돼지 사육에 있어서 유해가스 농도 및 먼지를 감소시켜 쾌적한 환경을 제공할 수 있을 것이다.

지열난방 돈사에서 모돈과 자돈의 생산성을 조사한 결과 모돈의 사료섭취량을 제외하고는 대조구와 비교하여 큰 차이는 없었다. 사료섭취량의 경우 지열난방돈사의 모돈이 관행돈사 모돈에 비하여 약 11.4%의 사료섭취량 감소가 나타났다. 일반적으로 암모니아는 15-20 ppm을 넘지 않도록 관리해야 한다 (CIGR, 1984; Urbain 등, 1994). 이 수치를 넘거나 환기가 불량하게 되면 사료섭취량 감소에 원인이 될 수 있다. 또한 지열난방돈사가

대조구에 비하여 상대적으로 높은 온도를 유지하였기 때문에 이러한 원인에 의해 사료섭취량이 감소한 것으로 사료된다.

지열난방 돈사에 관한 이전의 보고가 없기 때문에 직접 비교하기는 어렵지만 에너지 절감에 있어서 김 (2009)의 연구에 의하면 에너지 자립형 단독주택 (그린홈)의 냉난방 시스템으로 지열원 히트펌프 시스템을 적용할 경우 기존 모델 대비 냉난방 에너지는 약 90% 절감이 가능한 것으로 분석되었다. 본 연구에서는 지열난방 시스템을 구동하기 위한 전기 소모량은 약 29.4% 증가하였으나 열풍기용 보일러 등유는 전혀 사용하지 않아 유류비 절감에 따른 경제적인 잇점 또한 가지고 있었다.

이 시험의 결과를 종합해 보면, 분만돈사에 적용된 지열난방 시스템은 겨울철 돈사내 적정온도를 유지 가능하게 하였고, 먼지 및 유해가스 발생량을 감소시키며, 난방에 필요한 유류 사용을 절감할 수 있는 등의 긍정적인 효과를 가질 수 있다.

## 적 요

지열히트펌프를 이용한 축사용 냉난방시스템을 개발하고 농장 적용성을 검토하기 위하여 330 m<sup>2</sup> 규모의 농장에 개발 시스템을 설치하여 돈사에서의 난방 이용효과를 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 지열 난방시 부하량은 24,104 kcal이었으며 농장시험 지열이용 냉난방시스템의 제원은 히트펌프 용량은 10 USRT 였으며, 상부덕트형 30,000 kcal 환코일유니트를 사용하였으며 FCU의 풍량은 90 m<sup>3</sup>/분 이었다.

2. 지열 난방 1주령시 외부 최고기온 14.2 °C, 최저 영하 9.3 °C일때 시험구는 평균 21.5 °C로서 대조구 19.8 °C에 비하여 높았다.

3. 지열 난방 시험돈사의 먼지 농도는 PM10 185.3, PM2.5 40, PM1.0 23.4 µg/m<sup>3</sup>으로 대조구 PM10 481.4, PM2.5 47, PM1.0 28.2 µg/m<sup>3</sup>에 비하여 낮았다.

4. 지열 난방 시험돈사의 유해가스농도는 CO<sub>2</sub> 1,470, NH<sub>3</sub> 10.6, H<sub>2</sub>S 0.05 ppm으로서 대조구 CO<sub>2</sub> 2,025, NH<sub>3</sub> 23.3, H<sub>2</sub>S 0.69 ppm에 비하여 유의적으로 (p<0.05) 낮았다.

5. 지열난방시 복당 이유두수는 10.5두로 대조구 10.4두에 비하여 높았으며 이유시체중도 6.93 kg으로 대조구 6.86 kg에 비하여 컸으며 특히 온도가 낮은 대조구에서 모돈사료 섭취량이 99.6 kg으로 시험구 88.2 kg 보다 유의적으로 (p<0.05) 많았다

6. 지열 난방시 외부기온과 지하수 순환량에 있어서 외부기온이 낮을 경우 1일간 8.4-12.9톤으로 지하수 순환량이 많았다.

## 인 용 문 헌

1. Commission Internationale de Genie Rural. 1984. Report on Working Group on Climatization of Animal Houses, Craibstone, Aberdeen, Scottish Farm Building Investigation Unit, 1984.
2. Salvador, P., Artinano, B., Alonso, D. G., Querol, X. and Alstuey, A. 2004. Identification and characterization of sources of PM10 in Madrid (Spain) by stastical methods. Atmos. Environ. 38:435-447.
3. SAS Institute. 1996. SAS/STAT Guide Version 6.12. SAS, Institute Inc. Cary NC.
4. Urbain, B., Gustin, P., Prouvost, J. F. and Ansay, M. 1994. Quantitative assessment of aerial ammonia toxicity to the nasal mucosa by use of the nasal lavage method in pigs, Am. J. Vet. Res. 55:1335-1340.
5. 김병수. 2009. 그린홈에 적용된 지열원 히트펌프 시스템의 에너지 성능분석. 대한건축학회 논문집-계획계, 25:339-346.
6. 송윤호, 안은영. 2005. 세계 지열에너지 현황과 전망. 한국지열에너지학회, 1:39-45.
7. 이의준. 2006. 지열원 열펌프 시스템 기술 연구 현황 및 현안. 대한설비공학회 2006 4개지회 학술발표대회 논문집. pp 45-50.