

해외 지열 히트펌프 시스템 연구 동향

- 2015 World Geothermal Congress를 중심으로 -

남 유 진 교수

부산대학교 건축공학과

1. 서론

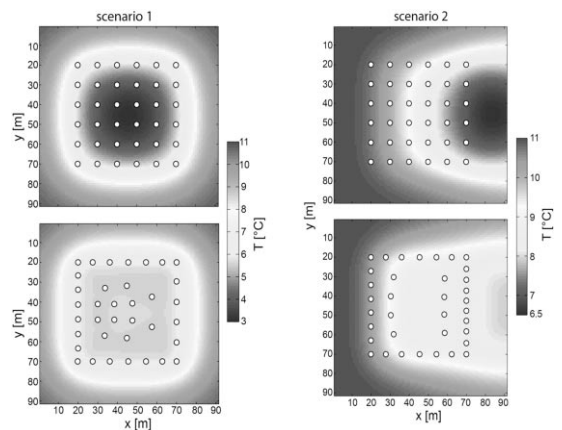
전 세계 지열 연구 개발 및 시장 동향을 조명할 수 있는 World Geothermal Congress(이하, WGC)가 지난 4월 19일부터 24일까지 5일간 호주 Melbourne Convention and Exhibition Centre에서 개최되었다. 본 회의에서는 매 5년마다 개최되는 국제 회의로서 지열의 시장 동향, 사업 전략, 경제성 등의 일반적인 주제는 물론, 지질학, 수문학 등의 지구과학과 굴착, 지열 발전, 직접 열이용, 히트펌프 기술 등의 공학 주제, EGS (Enhanced Geothermal System), HSA(Hot Sedimentary Aquifers) 등의 특별 주제를 다루고 있다. 본 원고에서는 WGC에서 발표된 주제들 중 지열 히트펌프 시스템과 관련된 연구들을 중심으로 소개하고자 한다.

2. 해외 지열 히트펌프 시스템 연구 사례

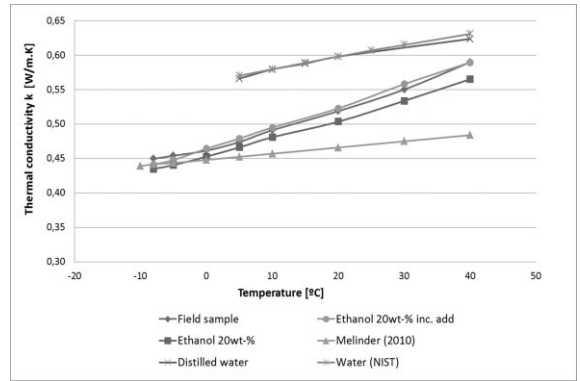
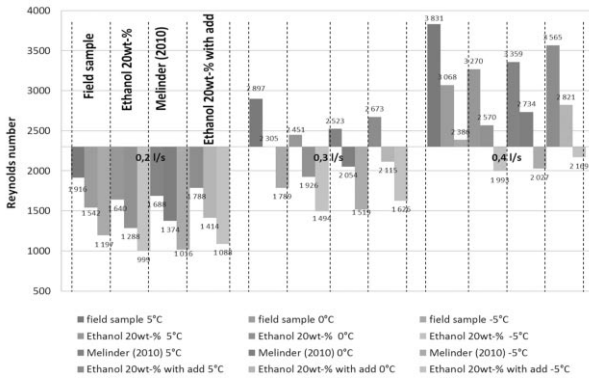
2.1 복수 지열공의 설계 최적화에 관한 연구¹⁾

중대형 건물의 냉난방 부하를 담당하기 위해서

는 복수의 지열공이 설치되며, 일반적으로는 모든 지중열교환기가 동시에 이용된다. 하지만, 지열공이 설치된 형태나 지반 및 지하수 조건에 따라 지중 온도가 달라지며, 이것은 각 지열공 채열 성능의 불균형을 야기한다. 본 연구에서는 지열공의 최적 배치나 유량조절 등을 통해 안정된 지중온도를 유지하면서 운전할 수 있음을 시사하고 있다. 지하수 유동이 있을 경우와 없을 경우를 구분하여 케이스 스터디를 실시하였다.



[그림 1] 지열공 최적 배치를 통한 지중 온도 비교 결과



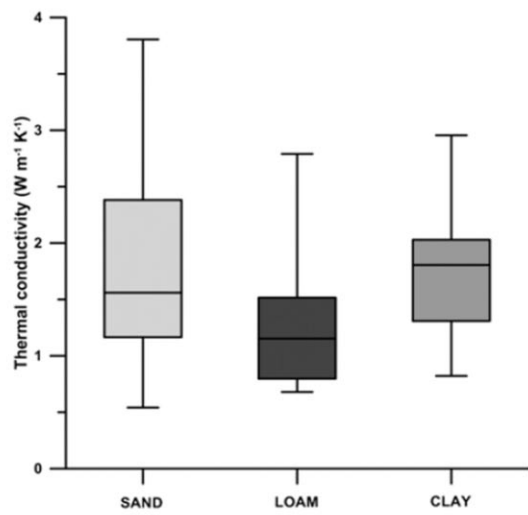
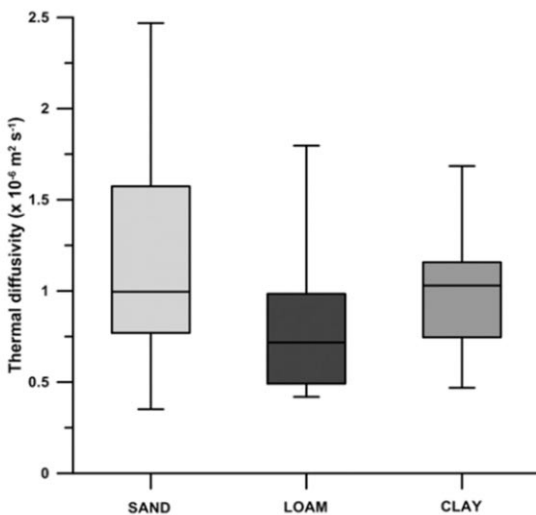
[그림 2] 지중열교환기 내 순환수의 열적 물리적 특성 검토 결과

2.2 지중열교환 보어홀 내 순환수에 관한 연구^[2]

스웨덴에서 지열 냉난방 시스템은 일반적인 시스템이다. 스웨덴을 포함한 주변 유럽 국가에서는 환경적 문제와 열적 특성을 고려하여, 지중 열교환기 내 순환수로서 에탄올 용액을 주로 이용한다. 본 연구에서는 에탄올 용액에 변형제나 다른 첨가물을 더하여 물리적 열적 특성을 향상시킨 순환수에 대해 조사 연구를 실시하였다.

2.3 수평형 지열 시스템을 위한 지중 열물성 결정에 관한 연구^[3]

수평형 지열 시스템은 계절에 따라 함수율이 다르고 고결되지 않은 지표면 부근의 토양과 열교환을 하므로 토양의 열물성을 추정하는 것에 어려움이 있다. 일반적으로 탐침법이 이용되고 있으나 그 결과는 토양의 포화상태나 토양 온도에 크게 의존한다. 본 연구에서는 영국 기상청의 토양 온도 데이터와 이론식을 이용하여 다양한 종류의



[그림 3] 토양의 열확산계수 및 열전도율 추정 결과

토양에 대해 토양 열확산 계수와 유효열전도율을 추정하였다.

2.4 지열 시스템의 그라우트 사용의 품질관리 및 해결방안 [4]

일반적으로 수직밀폐형 지열 시스템은 지중 열전도율을 높이고 지하수 오염을 방지하기 위해, 벤토나이트나 시멘트 몰탈의 그라우트를 사용한다.

또한, 지중 열전도율을 향상시키기 위해 그라우트 재료를 변경하거나 다른 재료와 배합하여 사용하기도 한다. 본 논문에서는 그라우트 사용에 있어서의 현장 품질 관리 및 그라우트 배합시 발생할 수 있는 문제점에 대해 선행연구와 문헌조사를 바탕으로 서술하였다. 표1은 그라우트 사용시의 문제점과 그에 대한 해결책을 요약하여 제시하고 있다.

<표 1> 그라우트 시공시의 문제점 및 해결 방안

Problem	Possible Causes	Prevention
Grout too fluid	<ul style="list-style-type: none"> • Incorrect mix proportions • Excessive water • Excessive superplasticizer (for cementitious grout) • Insufficient bentonite (for cementitious grout) • Insufficient filler • Excessive moisture in filler materials • Inefficient mixer • Incorrect order of addition 	<ul style="list-style-type: none"> • Accurate batching of materials • Correct order of addition for type of grout • Use of suitable grout mixer • Store all materials under cover and only use dry fillers • Test for grout specific gravity and flow time
Grout too viscous	<ul style="list-style-type: none"> • Insufficient water • Insufficient superplasticizer (for cementitious grout) • Excessive bentonite (for cementitious grout) • Excessive filler • Inefficient mixer • Incorrect order of addition 	<ul style="list-style-type: none"> • Accurate batching of materials • Correct order of addition for type of grout • Use of suitable grout mixer • Test for grout specific gravity and flow time
Settlement of solids in grout	<ul style="list-style-type: none"> • Excessive water • Insufficient bentonite (for cementitious grout) • Excessive filler • Inefficient mixer • Insufficient agitation of grout before pumping 	<ul style="list-style-type: none"> • Accurate batching of materials • Correct order of addition for type of grout • Use of suitable grout mixer • Test for grout specific gravity and flow time • Use agitator tank to keep grout mobile before pumping
Lumps in grout	<ul style="list-style-type: none"> • Solid materials added too quickly to liquids • Inefficient mixer • Insufficient mixing time • Mixing speed too low • Cement is old or water damaged • Hardened materials left in grout mixer 	<ul style="list-style-type: none"> • Correct materials addition and mixing techniques • Test for grout specific gravity and flow time • Check manufacture date and condition of all materials • Cleaning and maintenance of grout mixer
Non-uniform grout	<ul style="list-style-type: none"> • Inefficient mixer • Insufficient mixing time • Mixing speed too low 	<ul style="list-style-type: none"> • Use of suitable grout mixer • Correct mixing techniques • Test for grout specific gravity and flow time
Difficulty pumping grout	<ul style="list-style-type: none"> • Pump is unsuitable for type of grout • Pumping distance too long • Mechanical issues • Clogged hoses or tremie • Grout mix proportions incorrect • Filler material is too angular or of incorrect gradation • Lumps in grout • Settlement of grout solids • Solid materials reacting with residual water in grout hose 	<ul style="list-style-type: none"> • Use of suitable grout pump • Cleaning and maintenance of pump • Minimisation of pumping distance • Test for grout specific gravity and flow time • Provide backup hoses and tremie • Use of suitable fillers • Accurate batching of materials • Preventive measures for lumps in grout and settlement of solids as above • Lubricate pump and hoses with neat cement slurry before full scale production
Poor borehole performance	<ul style="list-style-type: none"> • Inadequate grouting • Voids in grout • Incorrect grout mix proportions 	<ul style="list-style-type: none"> • Accurate batching of materials • Correct mixing and placement techniques • Test for grout specific gravity and flow time • Test for thermal conductivity of grout samples



[그림 4] 수직형 및 수평형 지중열교환기 설치 상황

2.5 수평형-수직형 하이브리드 시스템에 관한 연구^[5]

서부 오스트레일리아 Kalgoorlie-Boulder의 Goldfields Oasis Recreation Centre (GORC)의 에너지 사용량 절감을 위하여, 수직형과 수평형 지중열교환기를 동시에 적용한 기술이 적용되었다. 일반적으로 수평형 시스템은 수직형에 비해 외기온이나 일사에 영향을 받아 단위 길이당 채열량이 떨어지지만, 여름철에는 효과적으로 열을 이용할 수 있다. 하이브리드 시스템의 최적 설계를 위해 GLD, GLHEPro, EED를 이용한 시스템 용량 설계가 수행되었고, 지중열교환기는 수직 및

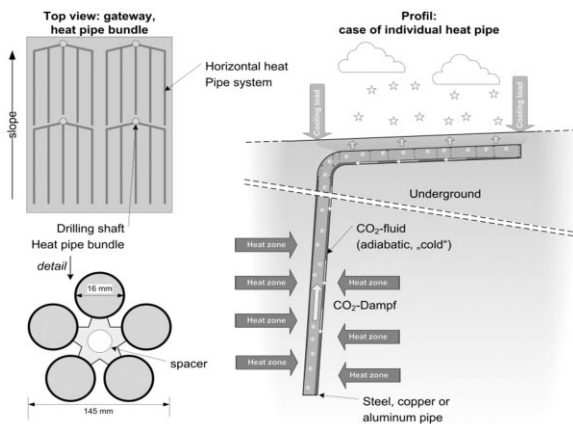
폐형 96 m 44개, 25 m 10개, 36 m 10개와 수평형 50 m Slinky coil 10개가 설치되었다. 첫 1개월의 운전 결과, 21,000달러에 상당하는 618 GJ의 가스사용량을 절감하였다.

2.6 CO₂ 히트파이프를 이용한 용설 시스템 [6]

지속적이며 혁신적인 용설 시스템의 개발을 위해 본 연구에서는 표면 응축 시스템을 결합한 자가운전 CO₂ 히트파이프 시스템을 고안하였다. 히트파이프의 원리를 이용한 용설 시스템은 독일 Bad Waldsee에 위치한 소방서에 설치되었으며, 소방서 출입구 150m²를 담당하도록 설계되었다. 본 논문에서는 모니터링 결과와 해석 결과를 통해 본 시스템의 적용 가능성을 보여주고 있다.

3. 맺음말

본 원고에서는 2015 World Geothermal Congress에서 발표된 지열 시스템 관련 연구들을 중심으로 해외 연구 사례를 소개하였다. 지열 이용 기술은 북미, 북유럽을 중심으로 보급이 활발하게 이루어지고 있으며, 냉난방 기술 자체만 보면 상용화 및 보급화에 이른 기술로 보여질 수 있다. 하지만, 타 열원과의 하이브리드 기술이나 대규모 설비에서의 최적화 기술, 저시공비 고효율



[그림 5] CO₂ 히트파이프 용설 시스템의 개요도

기술에 대해서는 여전히 해결해야 할 과제가 산적해 있는 것으로 판단된다. 특히, 해외 시장 진출을 위한 원천 기술 확보를 위해서는 지속적인 연구 개발과 지원이 필요할 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. Automatic Optimization of Multiple Borehole Heat Exchanger Fields, Peter Bayer, Markus Beck, Michael de Paly, Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.
2. Investigation of Ethanol Based Secondary Fluids with Denaturing Agents and Other Additives Used for Borehole Heat Exchangers, Monika Ignatowicz, José Acuña, Åke Melinder, Björn Palm, Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.
3. Determination of Thermal Properties for Horizontal Ground Collector Loops, Jon BUSBY, Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.
4. Quality Control and Troubleshooting for Grouts Used with Geothermal Heat Pumps, Marita L. Allan Berndt, Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.
5. Aquatic Centre Retrofit of Hybrid Vertical and Horizontal Ground Heat Exchanger, Donald PAYNE, Ed LOHRENZ, Greg BENVENUTI, Amir V. KIVI, Tony CHISHOLM, Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.
6. De-Icing and Snow Melting System with Innovative Heat Pipe Technology, Roman ZORN, Hagen STEGER and Thomas KÖLBEL, Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015. 