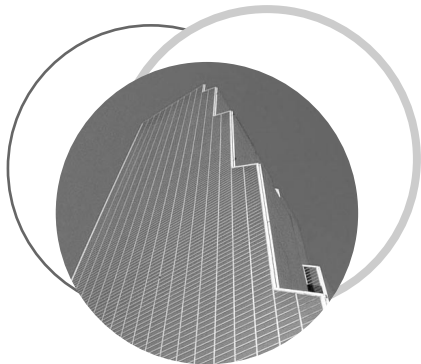




지열 냉난방 시스템의 공동주택 세대 적용 방안

1. 서론

지열 냉난방 시스템은 다른 신재생 에너지와 비교하여 공공기관 설치의 무화 의무 규정의 영향을 가장 많이 받은 분야이다. 그림 1의 에너지 관리 공단의 2012년 신재생에너지 공공기관 설치의무화 추진 현황을 보면 공공기관에 적용된 신재생에너지는 지열이 전체의 74% 이상을 차지하고 있다. 이러한 이유는 지열 냉난방 시스템이 계절과 관계없이 직접적인 건물의 냉난방에 적용이 가능하기 때문이다.

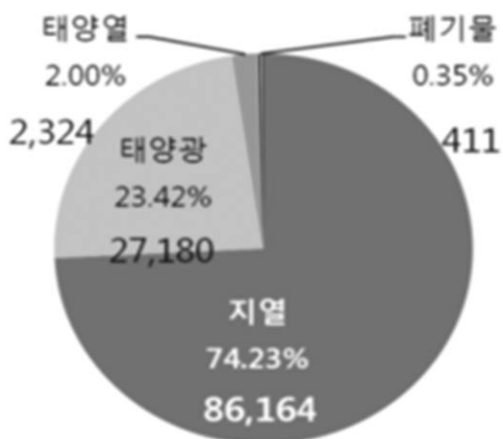


그림 1. 2012년 공공기관 신재생에너지 설치 비율



류형규

공학박사, 대림산업 기술개발원
▶전공분야 : 건축환경 및 지열에너지
▶이메일 : yhk2006@daelim.co.kr



정원석

대림 I&S 부장
▶전공분야 : 제어계측
▶이메일 : wsjeong@daelimins.com

표 1은 연도별 공공기관 신재생에너지 공급의무비율로 현재 연면적 1,000㎡ 이상의 신축·증축·개축 공공기관 건축물에 대해 총에너지 사용량의 일정 비율 이상 설치를 의무화하고 있으며, 2015년부터 현재

‘20년 20%에서 30%로 상향하고 연도별 비율도 단계별로 확대(시행령 개정)하기로 계획하고 있다. 따라서 건물의 냉난방에 직접 적용이 가능한 지열 냉난방 시스템의 사용이 향후 더욱 증가될 것으로 예상된다.

뿐만 아니라, 그 동안 전력분야(특히 태양광)에 지원이 집중되면서 전력에너지-열에너지 간 산업성장의 불균형을 초래했던 제도를 개선하여 지열, 태양열 등에 적용되는 열에너지공급

표 1. 연도별 공공기관 신재생에너지 공급의무비율(%)

	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년~
현재	12	13	14	15	16	18	20
변경(안)	12	15	18	21	24	27	30

표 2. 열에너지 공급의무화제도 적용 대상의 단계별 확대

	1단계 ('16~'19년)	2단계 ('20~'24년)	3단계 ('25~'30년)
대상	연면적 1만 m ² 이상 신축건축물 대상	연면적 5천 m ² 이상 신축건축물 대상	연면적 3천 m ² 이상 신·증축건축물 대상
의무 비율	10% (수용성 제고를 위해 고정)	11% → 15% (매년 1%씩 증가)	16% → 20% (매년 1%씩 증가)

의무화 제도인 RHO(Renewable Heat Obligation, 2016년, 법개정)가 도입될 전망이다(표 2). 이 제도는 건축물에 열에너지사용량의 일정비율을 신재생 에너지로 공급의무화하는 제도로 연면적 10,000 m² 이상 신축 건축물(주거용 주택, 공공시설 제외)에 열에너지 사용량의 10 % 내외를 신재생 열에너지로 공급하도록 한다. 태양열, 지열, 연료전지, 바이오연료 등을 적용 에너지원으로 하되 원별 성장잠재력·균형성 등을 고려하여 가중치 설정하고, 열에너지 생산량(toe)을 전력량으로 환산하여 인증서(REP)를 발급한다. 의무량 달성 후 잉여 REP는 RPS 공급의무자에 판매되며, 적용 대상의 단계별 확대될 예정이다.

지열 냉난방 시스템이 보다 큰 도약을 하기 위해서는 주거공간에 적용되어야 한다. 특히 우리나라의 공동주택과 같이 대규모로 지어지고 있는 상황에서는 지열 냉난방 시스템 적용에 따른 효과는 시공 및 운영상 에너지 절감 차원에서 매우 클 것으로 판단된다. 그러나 현재 주거시설에서 냉방 시스템은 옵션 사항이기 때문에 단지 전체에 적용하는 방법에 대해서는 관련한 당사자들의 이해와 동의가 필요

하다.

최근 경제 침체에 따른 건설경기의 위축으로 민간에서의 지열 냉난방 시스템 적용이 주춤하고 있으나, 일부 대기업을 중심으로 공동주택 단지 내 휘트니스 시설 등에 지열 냉난방 시스템을 적용하는 시도가 꾸준히 이루어지고 있다. 그러나 현재는 열원을 담당하는 지열 시스템과 이를 공급해주는 냉난방 공사가 분리가 되어 있기 때문에 두 가지 기술의 통합이 사실상 이루어지지 않고 있으며, 지열의 특징을 반영한 주거용 냉난방 요소기술이 부족한 것이 현실이다.

본 고에서는 향후 우리나라 냉난방 시스템의 패러다임을 바꿀 수 있는 지열 냉난방 시스템의 효과적인 주거공간 적용을 위해 두 가지 주제를 다루고자 한다. 첫째는 지열 냉난방 시스템을 구성하는 지중열교환기 중 개방형 방식의 종류와 특징에 관한 것이고, 둘째는 공동주택 세대 내 지열 냉난방 시스템 적용 방안이다.

2. 개방형 지중열교환기 종류 및 특징

일반적으로 지열 냉난방 시스템은

지중열교환기의 종류로 구분이 가능하며, 크게 지하수를 직접 순환시키는 개방형(Open Type) 지중열교환 방식과 지중과 간접 열교환하는 밀폐형(Close Type) 방식으로 나눌 수 있다. 개방형은 밀폐형에 비해 지하수를 직접 순환하여 열교환하기 때문에 전도로만 열을 교환하는 밀폐형에 비해 지중에너지를 보다 효과적으로 얻을 수 있다.

우리나라와 같이 수도권을 중심으로 고밀도 개발이 이루어지는 지역에서 밀폐형(일반적으로 수직밀폐형) 지중열교환기를 대용량으로 설치할 경우에 공간 제약으로 공사 시 토목공사와 간섭이 발생할 수 있으며, 지중열교환기가 충분한 이격 간격을 확보하지 못하여 열이 충분히 회복되지 못하여 냉난방 불균형이 일어날 수 있다. 그러나 개방형 지중열교환기는 천공 수가 적고, 공간의 활용도가 우수하기 때문에 초기 설치비용 측면에서 유리할 뿐만 아니라 지하수의 열에너지를 직접 이용하기 때문에 에너지 절감효과를 높일 수 있고 상대적으로 충분한 이격 거리를 확보할 수 있어 열회복에 유리하다. 최근 들어 개방형 지열 냉난방 시스템에 대해 가지고 있던 지하수 오

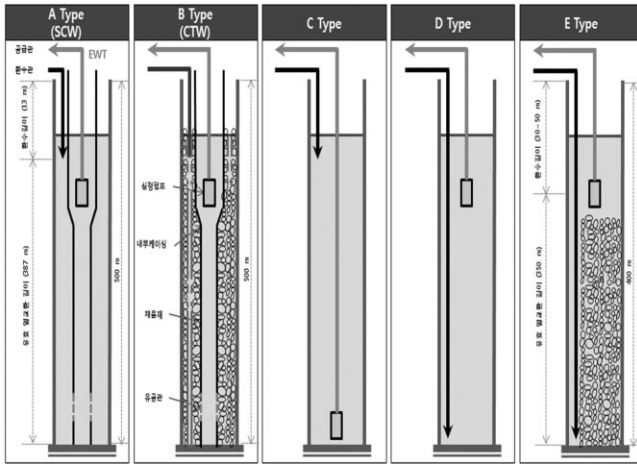


그림 2. 지중열교환기의 종류 및 유효열교환 길이

염이나, 지하수 고갈 등에 대한 오해가 풀어지고 있고, 적용사례가 증가하고 있다. 따라서 그동안 수직 밀폐형에 비해 연구가 부족한 개방형 지중열교환기에 대해 현재 기술에 대한 정밀한 검증과 함께 국내 여건에 적합한 공법 개발이 필요하다.

개방형 지중열교환기는 심정펌프 위치와 내부케이싱 유무에 따라 그림 2와 같이 다섯 가지 방식으로 시공이

가능하다. ‘A’ Type은 가장 대표적인 개방형 방식인 SCW(Standing Column Well)이며, ‘B’ Type은 지중공벽 함몰방지를 위하여 공벽과 내부케이싱 사이에 충전재를 삽입한 CTW (Coaxial Thermal Well)이다. ‘C’ Type은 내부케이싱 없이 심정펌프를 지중 하부까지 삽입한 형태이나 심정펌프가 천공 홀 하단까지 깊게 설치되어 유지관리가 쉽지 않아 거의 사용하지 않는다. ‘D’ Type은 내부케이싱 없이 심정펌프를 지하수위 근처까

표 3. 지중열교환기의 유효 열교환길이 감소량

30 RT/공	A, B, C Type		D, E Type	
심정펌프 및 환수 위치(m)	13		30	50
열교환기 전체 길이(m)	500		400	400
유효 열교환 길이(m)	487		370	350
열용량(W/m)	215.6		283.8	300

지 설치하되 환수관을 지중 하부까지 삽입한 형태이며, ‘E’ Type(이하 ‘A’ ~ ‘E’)은 ‘D’에 충전재를 삽입하는 형태로 최근 특정 지열업체에서 사용하고 공법이다.

방식 별 유체흐름의 특징은 ‘A’, ‘B’의 경우, 내부케이싱 내에 설치된 심정펌프가 작동하면, 내부케이싱 하부 유공관을 통해 히트펌프로 지하수가 공급된다. 히트펌프에서 환수된 지하수는 지표 약 13 m 지점에서 토출되어 상부에서 하부(Down Stream ; 하향흐름)로 내려가면서 지중공벽과 열교환 된다. ‘C’ 또한 내부케이싱이 없을 뿐 동일한 흐름을 형성한다. ‘D’와

지 설치하되 환수관을 지중 하부까지 삽입한 형태이며, ‘E’ Type(이하 ‘A’ ~ ‘E’)은 ‘D’에 충전재를 삽입하는 형태로 최근 특정 지열업체에서 사용하고 공법이다.

표 4. 지중열교환기 별 유량/유속 비교(@ 250 LPM)

종 류		Qty		지름 (m)	면적 (m ²)	유량 (m/s)	단 면
A	지표 ~ 500m	a	1	0.200	0.031	0.13	
		b	1	0.100	0.008	0.531	
		d			0.024	0.177	
B	지표 ~ 500m	a'	1	0.200	0.031	0.133	
		b'	1	0.075	0.004	0.943	
		c	3	0.030	0.002	1.965	
		d'			0.025	0.167	
D, E	지표 ~ 50m	a	1	0.200	0.031	0.133	
		b	1	0.065	0.003	1.256	
		c	1	0.050	0.002	2.122	
		d			0.026	0.159	
	50m ~ 400m	a	1	0.200	0.031	0.133	
		b	1	0.065	0.003	1.256	
		d			0.028	0.148	

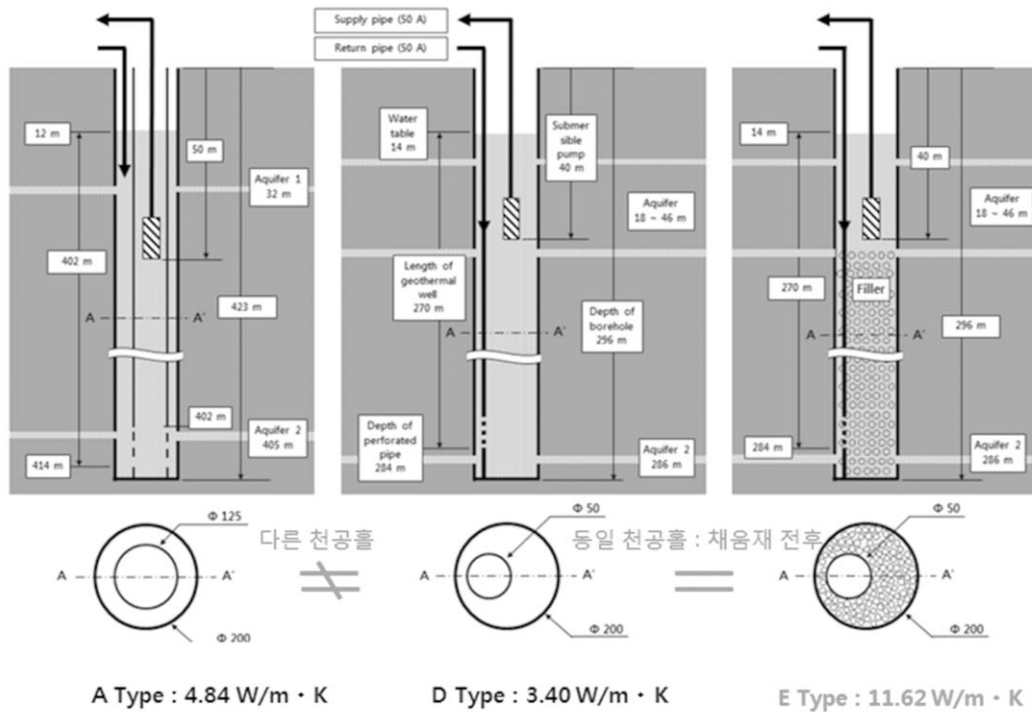


그림 3. 다양한 형상의 SCW형 지중열교환기 지중 열전도 시험

‘E’는 지중 상부 30 ~ 50 m에서 심정 펌프가 작동되고, 히트펌프에서 환수된 지하수는 지중 최하부로 토출되어 충전재를 거쳐 상부(Up Stream ; 상향 흐름)로 올라가면서 지중공벽과 열교환 된다.

1공당 30 RT를 기준으로 개산(概算)할 경우 업체의 시공 기준에 따라, 각 방식별 지열공의 유효 열교환 길이는 ‘A’, ‘B’, ‘C’가 487 m, ‘D’, ‘E’가 심정펌프 위치에 따라 350 ~ 370 m로 산정된다. 신재생에너지센터 공고 제 2012-7호에는 실내부하 12시간/1일 미만에서 최소 1 kW 당 4.7 m(212.8 W/m), 실내부하가 12시간/1일 이상에서 최소 1 kW 당 5.5 m(181.8 W/m) 이상으로 지중열교환기 길이를 시공 하도록 명시되어 있다. 따라서 ‘D’, ‘E’는 심정펌프 위치로 인해 유효 열교환 길이가 짧아지기 때문에 설계부하보다 실제 시공 시 큰 부하를 담당

하게 될 가능성이 있다.(표 3)

반면, 250 LPM으로 유량이 동일한 경우, 지중열교환기 단면 형상에 따른 ‘d’ 지점의 유속을 계산하면, ‘A’, ‘B’는 0.177 m/s, 0.167 m/s, ‘D’, ‘E’는 0.148~0.159 m/s로 가장 느린 것으로 나타나, ‘D’, ‘E’가 공벽과 열교환 하는 기회가 가장 많은 것으로 분석되었다.(표 4)

반면, 최근 연구(2014년 대한설비공학회 하계학술발표대회, 다양한 형상의 SCW형 지중열교환기 지중 열전도 시험)에서는 그림 3과 같이 지중열교환기 중 ‘A’, ‘B’, ‘E’를 대상으로 열응답 시험을 실시한 결과 ‘E’의 열전도율이 11.62 W/mK로 다른 타입에 비해 3배 이상 높게 나타났다. 이러한 현상이 나타나는 이유로 이 연구에서는 충전재 저항으로 인해 18~46 m에 존재하는 대수층(공내 촬영 확인)이 유입되었기 때문인 것으로 판단하였

다. 따라서 지중의 특징을 파악하면 개방형 지중열교환기를 보다 효율적으로 이용할 수 있음을 시사한다.

3. 지중온도 경사를 이용한 개방형 지중열교환기

그림 4는 그림 2의 개방형 지중열교환기 중에서 Down Stream 방식인 ‘B’를 도식화 한 것으로, 수원에 위치한 공동주택 내 운동시설에 30 RT 용량으로 시험 시공하였다. 지중열교환기의 특성을 파악하기 위하여 지표로부터 100 m, 200 m, 300 m, 400 m 지점의 내부케이싱 외벽에 온도센서(Thermo Couple)를 설치한 후 열응답 시험과 약 1년간 실제 냉난방 운전 데이터를 취득하여 지중열교환기 깊이 에 따른 지중온도 변화를 분석하였다.

그림 5와 그림 6은 각각 지중열교환기 시공 후 냉난방 운전을 하지 않은

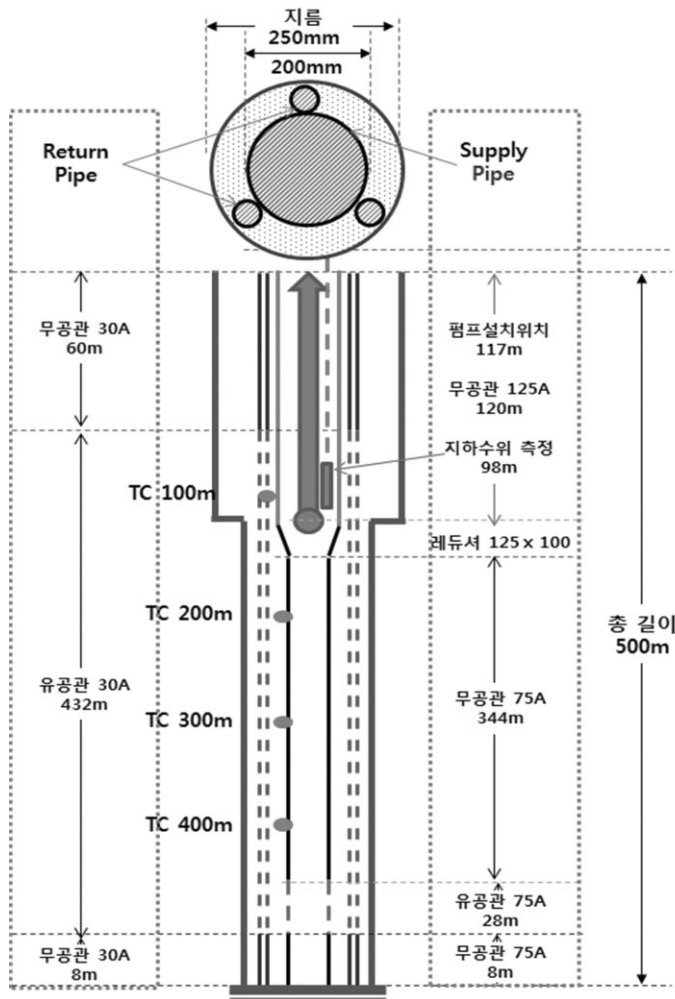


그림 4. 지중열교환기 구성

무(無)부하 상태에서 측정한 지중온도 경사와 이를 회귀식으로 나타낸 것으로 지중으로 100 m 내려갈 때 온도는 약 2.1℃ 상승하는 것으로 나타났다.

지중온도는 일반적으로 지하 1~2 m 깊이에서는 1일 중의 변화가 거의 없으나, 1년을 통해서 보면 약간의 변화가 생긴다. 그러나 지하 10~20 m 깊이에서는 계절에 따른 변화는 없으며, 하부로 내려갈수록 온도가 상승한다. 일반적으로 화산지대를 제외하고, 1 km당 20~30℃의 지하증온율을 나타낸다.

그림 7은 열응답 시험 기간의 지중온도를 나타낸 것으로 투입된 열량은 일반적인 냉방 시보다 많은 107~108 kW가 일정하게 투입되었다. 그림 7 왼쪽의 “A”를 확대한 오른쪽 그림을 살펴보면, 온수가 투입됨에 따라 지중온도가 100 m, 200 m, 300 m, 400 m의 순서에서 400 m, 300 m, 200 m, 100 m로 완전히 역전되는 것을 볼 수 있다.

이러한 역전 현상이 발생하는 이유는 열응답 시험에서 사용하는 뜨거운 물이 지중의 상부(약 5~60 m 사이)로 토출되면, 가장 온도가 낮은 지중 상

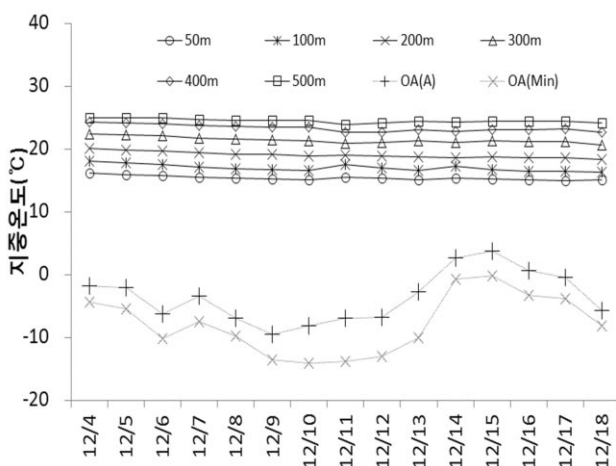


그림 5. 무(無)부하 상태의 지중온도

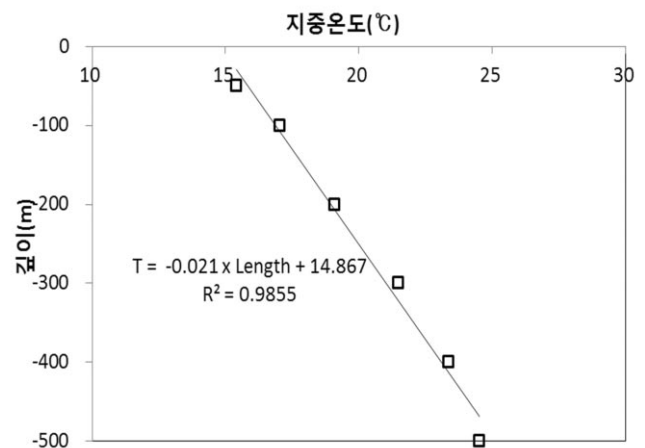


그림 6. 실측에 의한 지온경사율

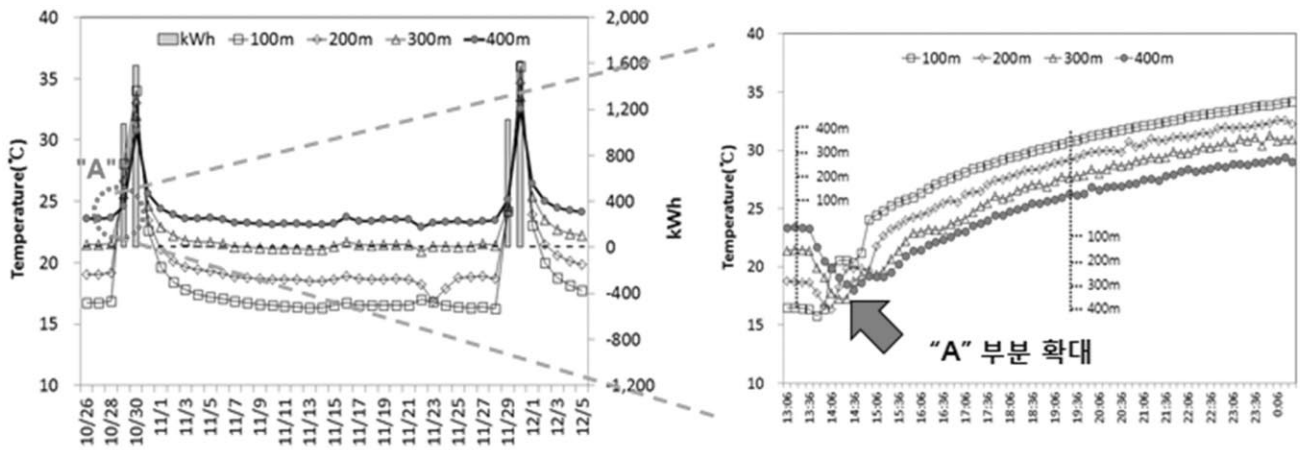


그림 7. 열응답시험 중의 지중온도 변화

부는 이 물에 의해 온도가 급격히 상승한다. 그러나 지중으로 계속 내려가면서 지중과 지속적으로 열교환을 하기 때문에 온도는 점차 낮아져 지중으로 내려 갈수록 온도 상승 폭은 상부에 비해 크지 않게 되어 온도 역전현상이 발생한다.

그림 8은 냉난방 운전 중의 지중으로 흡방출된 열량(막대그래프)과 지중 온도 변화를 나타낸 것이다. 난방 시

에는 지표로부터 100 m, 200 m, 300 m, 400 m의 순서로 지중온도가 높게 나타나고 있으나, 난방에서 냉방으로 바뀌는 시점에서는 지표로부터 300 m, 200 m, 400 m, 100 m의 순서로 지중온도가 순서가 바뀌는 것을 볼 수 있다. 이는 그림 7의 열응답 시험에서 나타난 것과 같은 비슷한 현상으로 냉방 시는 건물 부하를 히트펌프를 통해 지중으로 방출시켜야하기 때문에, 지

중으로 주입되는 지하수의 온도는 올라가고 따라서 지표 가까운 위치의 온도는 높고, 깊은 지중의 상대적으로 온도가 낮아지게 된다. 이후 냉방 시에는 지표에서 가까운 위치인 100 m는 온도가 가장 높고, 깊은 지중의 위치인 400 m는 낮게 유지되는 것을 확인할 수 있다.

이러한 지중온도 경사는 전술한 지중열교환기 종류에 따른 흐름방향에

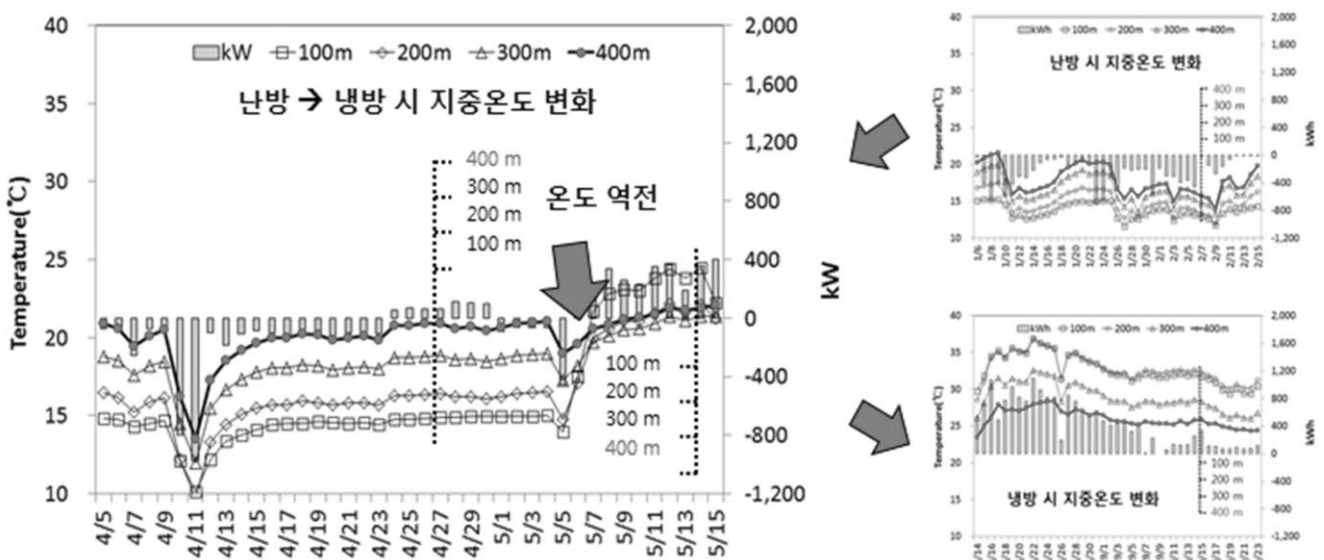


그림 8. 냉난방 운전 중의 지중온도 변화

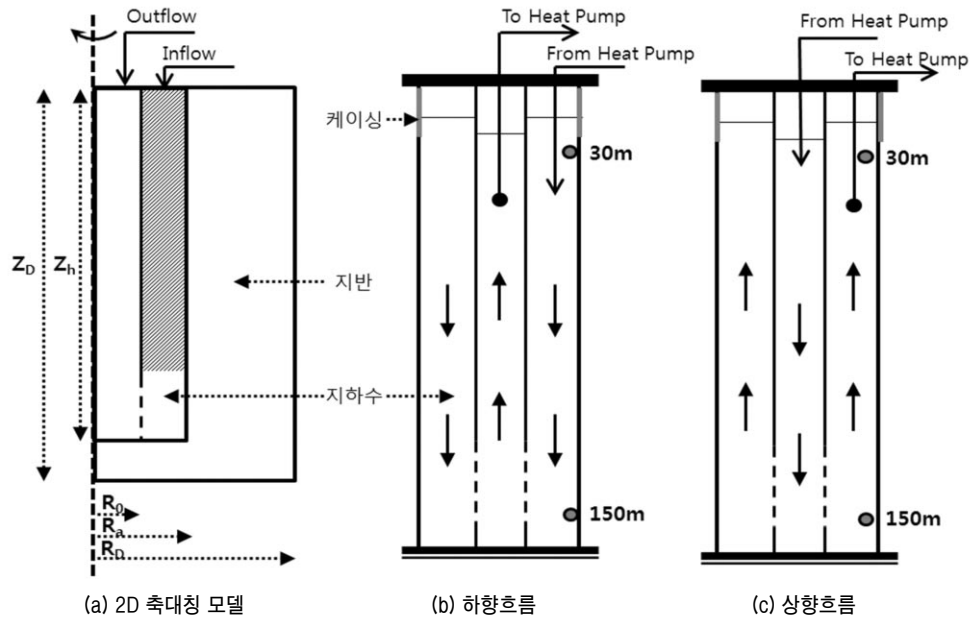


그림 9. 지중열교환기 모델링 및 흐름방향 비교

따라 냉난방 운전 시 성능 차이가 발생한다. 이를 증명하기 위하여 다중물리모형을 해석할 수 있는 전산유체해석(CFD) 프로그램인 COMSOL Multiphysics를 이용하여 수치해석 시뮬레이션을 실시하였다. 그림 9는 시뮬레이션을 위한 2D 축대칭으로 모델 및 지중온도 경사로 인한 흐름 방향을 설정한 것이다. 표 5와 표 6은 각각 모델의 경계 조건을 나타낸 것이다.

냉방 시는 30℃로 일정한 LWT를 경계조건으로 설정하였고, 난방 시는 5℃로 설정하였으며, 주입방향에 따른 열교환 거동에 대해 약 24시간 수치해석

을 진행하였다. 수치해석의 결과로 지중을 통해 열교환된 온도인 EWT를 분석하였다.

그림 10은 냉방 시 순환수의 주입방향에 따른 지중온도를 나타낸 것이다. 열응답 시험 결과와 동일하게 Down Stream 시는 30 m 지점의 온도가 높고, Up Stream 시는 150 m 지점의 온도가 높게 산정되었다. Down Stream의 EWT는 지중 150 m 지점인 그림 10의 “A”이며, Up Stream의 EWT는

지중 30 m 지점인 “B”이다. “A”와 “B”의 온도차는 약 2.26℃이며, 냉방 시는 EWT가 낮은 것이 유리하므로 낮은 온도 공급이 가능한 “B”의 Up Stream이 효율적이다. Down Stream을 모사한 모델에서 지표로부터 30 m와 150 m 지점의 지중온도 차이는 2.79℃, Up Stream을 모사한 모델에서 두 지점 사이의 지중온도 차이는 5.67℃로 산정되었다.

그림 11은 난방 시 순환수의 주입방

표 5. 지중열교환기 경계조건

변 수	수 치
도메인 길이 Z_D	160 m
파이프 길이 Z_h	150 m
도메인 반지름 R_D	7.5 m
파이프 반지름 R_p	50 mm
천공 홀 반지름 R_o	100 mm

표 6. 수치모델에 입력한 재료 물성

	재료 물성	수 치
유 체	열전도율, K_f	0.6 W/mK
	열용량, $(\rho C_p)_f$	4180 kJ/m ³ K
	동점성율, K_f	1.0×10^{-6} m ² /s
	유량, m	1 kg/s
지 반	열전도율, K_s	3 ~ 4 W/mK
	열용량, $(\rho C_p)_s$	1,000 kJ/m ³ K
	지중온도경사, C_i	0.02215

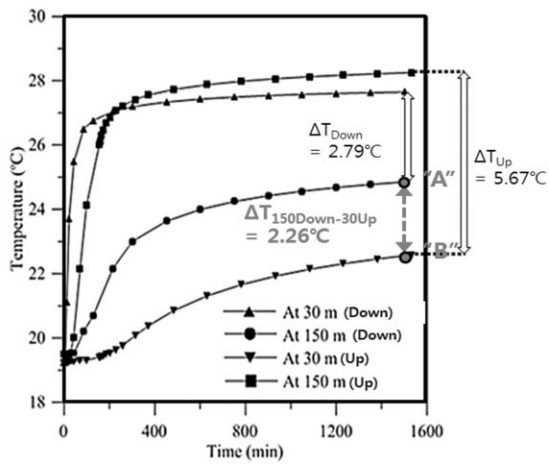


그림 10. 냉방 시 온도 차이

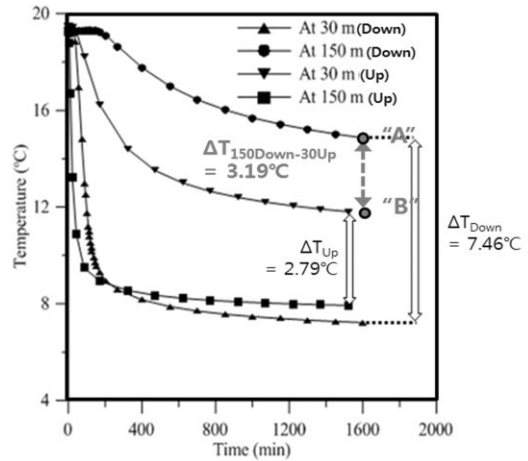


그림 11. 난방 시 온도 차이

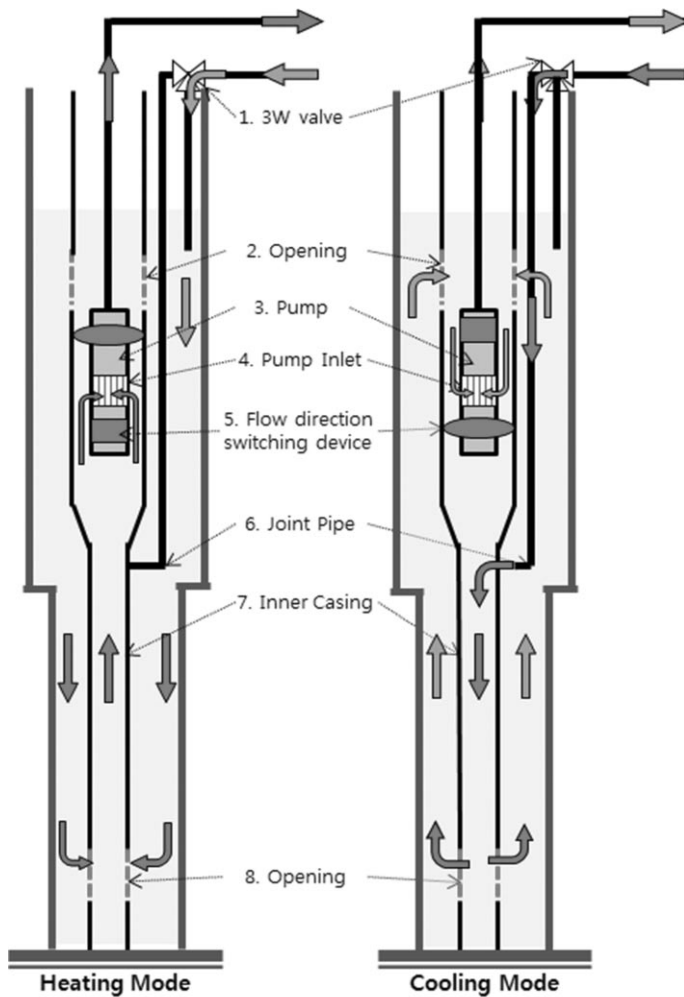


그림 12. 지중온도 경사를 이용한 지중열교환기

향에 따른 지중온도를 나타낸 것이다. Down Stream의 EWT는 지중 150 m 지점인 그림 11의 “A”이며, Up Stream의 EWT는 지중 30 m 지점인 “B”이다. “A”와 “B”의 온도차는 최종적으로 3.19°C로 산정되었으며, 난방 시는 EWT가 높은 것이 유리하므로 Down Stream이 효율적이다. Down Stream을 모사한 모델에서 지표로부터 30 m와 150 m 지점의 지중온도 차이는 7.64°C, 순환수를 Up Stream으로 주입한 모델에서 두 지점 사이의 지중온도 차이는 3.88°C로 계산되었다.

냉방 시는 Up Stream으로 순환수를 주입하는 것이 효과적이고, 난방 시는 Down Stream으로 순환수를 주입하는 것이 효과적이다. 이는 지중온도가 지표로부터의 거리가 증가할수록 상승하기 때문이다. 냉방 시는 상대적으로 낮은 온도인 지중 상부를 이용하고, 난방 시는 상대적으로 높은 온도의 지중 하부를 이용하는 것이 유리하다. 본 결과는 150 m 모델을 대상으로 한 것으로 실제 시공 길이인 400~500 m 적용 시, 그 차이는 더욱 클 것으로 예상된다.

상기의 효과를 구현하기 위해서 그

표 7. 지열 냉난방 시스템 구성

구 분	내 용
설계용량	1동 80세대 기준(80 RT세대 당 1RT 적용) 지중열교환기 3공
HEADER 및 중간열교환기 설치	SUPPLY HEADER 1개 RETURN HEADER 1개 판열교환기 2대
열원탱크	냉난방 탱크 및 급탕탱크 10 TON 설치

림 12와 같은 시스템을 생각할 수 있다. 이 시스템의 기본 구성은 기존 개방형 방식과 유사하며, 냉난방 시 지하수의 흐름을 변경할 수 있도록 3방밸브, 유체방향전환장치, 상부 유공관, 합류관 등이 추가로 구성하다.

난방 시는 기존 개방형 방식과 동일하게 작동된다. 우선 3방밸브가 지중으로 전환됨과 동시에 유체방향 전환장치의 상부는 닫히고 하부는 열린다. 따라서 히트펌프에서 열교환된 지하수가 하부 유공관을 거쳐 심정펌프로 흡입되어 히트펌프로 되돌아가는 흐름을 형성한다.

냉방 시는 3방밸브가 합류관으로 전환되고 동시에 유체방향 전환장치 상부는 열리고 하부는 닫힌다. 따라서 히트펌프에서 열교환된 지하수는 합류관으로 거쳐 내부케이싱으로 유입

되고 하부 유공관을 통해 빠져나온다. 난방 시와는 반대로 상부 유공관까지 가는 동안 지중공벽과 열교환된 후 심정펌프를 거쳐 히트펌프로 유입된다.

4. 공동주택 세대 지열 냉난방 시스템 적용 방안

국내에서 지열 냉난방 시스템을 설치하는 건물의 수와 용량이 지속적으로 증가하고 있는 추세지만, 주로 신재생에너지를 의무적으로 설치해야 하는 공공건물이나 농업용으로 사용하고 있는 실정이다. 친환경적이고 에너지 효율적인 지열 냉난방 시스템이 보다 널리 보급하고 그에 따른 경쟁력을 갖추기 위해서는 공동주택에 주 열원으로 선택되어 사용할 수 있어야 한다. 그러나 초기 비용의 증가로 인한

분양가 증가비용 부담이 가장 큰 걸림돌이 되고 있을 뿐만 아니라, 하나의 시스템에 대해 다수의 개별 사용자가 있어 민원에 대한 리스크가 크다. 따라서 공동주택의 주 열원으로 채택되기 위해서는 시스템의 안정성과 효율성을 시장으로부터 인정받아야 하며, 시스템 설치 후 안정적이고 효율적으로 운전되어야 한다. 그러므로 디테일한 설계와 시공 그리고 유지관리 방안의 마련은 필수적이다.

공동주택에 지열을 이용한 냉난방 시스템을 적용하는 방안으로 지역 또는 중앙난방 방식과 유사하게 히트펌프는 동 또는 단지의 중앙에 공용으로 설치하여 지열로 생산된 냉수 또는 온수를 세대로 공급하도록 하는 방식이 가장 유용하다. 각 세대마다 히트펌프를 설치하고 개별 운전하는 방식도 고

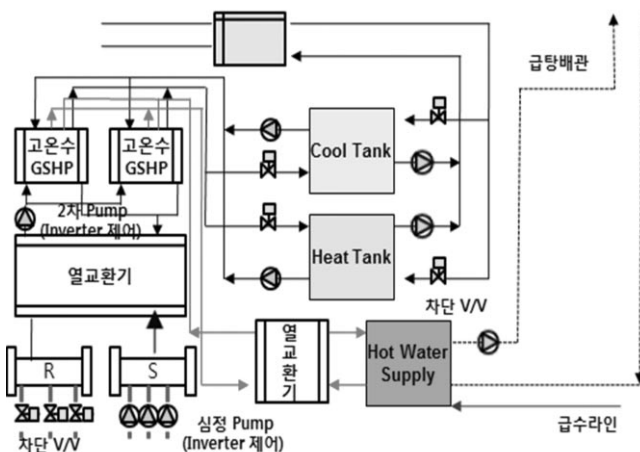


그림 13. 중앙식 지열 냉난방 시스템 구성

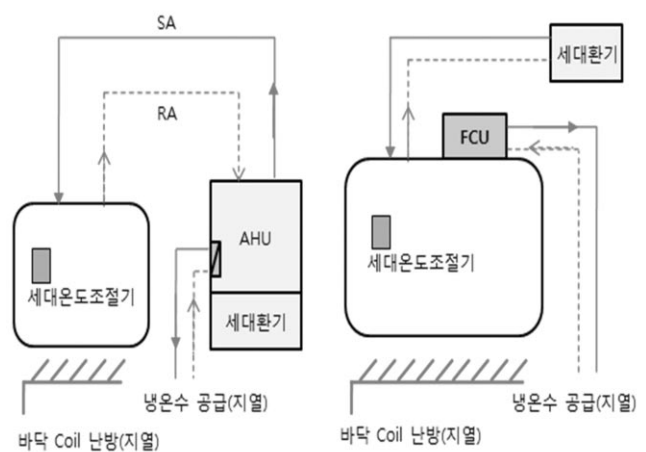


그림 14. 공동주택에 적용 가능한 지열 냉난방 시스템 구성 방안

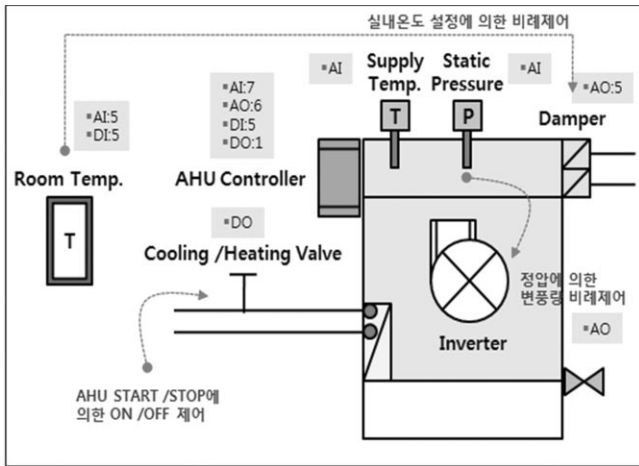


그림 15. A안 : 실별 VAV

려할 수 있지만, 비용과 시공측면에서 불리한 점이 많다. 표 7과 그림 13은 중앙식 지열 냉난방 시스템 냉난방 구성을 나타낸 것이다. Return Header 후단에 2 Way V/V 설치하여 순차/교번제어로 지열원 공급온도를 일정하게 유지 가능하도록 하고, 지열 순환 펌프의 대수제어에 의해 에너지 사용 효율을 높이도록 구성하였다. 심정 및 2차 순환 펌프의 Inverter 제어에 에너지 사용량을 줄임과 동시에 공급열량에 따라 지열 히트펌프의 대수제어, 순차 및 교번 제어로 장비운전 시간을

를 포함한 AHU 방식과 환기를 분리한 FCU 방식의 적용이 가능하다. 최근의 공동주택에는 시스템 에어컨 등의 냉방 기기 설치가 기본이 되고 있는 추세이므로 지열 냉난방 시스템을 선택할 경우 매우 유리하다. 시스템의 구성은 실별 온도제어 방식을 채택하여 냉난방 겸용 세대온도조절기 적용한다. 난방은 지열원 Heat Pump를 이용한 바닥 Coil을 사용하고, 사용자 선택에 따라 보조열원(AHU, FCU) 혼용하여 공조에 의한 난방을 사용할 수 있다. 냉방 및 환기는 전열교환기 일

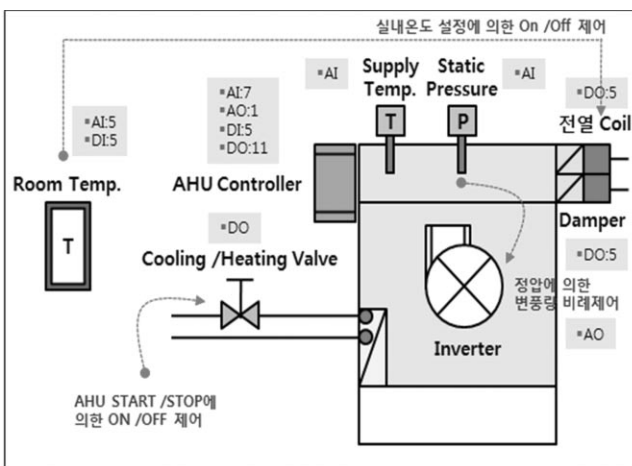


그림 16. B안 : 실별 CAV + 전열 Reheating

표 8. A안 : 실별 VAV의 제어 모드

제 어	방 법
냉온수 Valve	ON /OFF 제어
DAMPER	비례제어 : 실내온도 설정에 따른 온도 차에 따라 DAMPER 개도 비례제어
INVERTER	비례제어 : 공조기 FAN 제어는 CHAMBER 내 정압 SENSOR(SP) 변동에 의한 비례제어

분배하고 에너지 효율을 높였다.

세대 적용 방안으로는 그림

14와 같이 환기

다. 이 중에서 환기시스템이 내장된 AHU 방식을 대상으로 제어방안별 시스템을 구성하고 각 구성의 장단점을 비교하였다.

1.1 A안 : 실별 VAV 방식

본 방식은 가장 일반적인 개념의 제어방식으로 개별 Damper 제어 및 AHU Fan의 Inverter 제어에 의한 실별 온도제어 가능하지만, AHU Controller의 Analog Point의 수가 증가한다. 추가적으로 정압 Sensor의 위치에 따른 AHU Fan의 풍량제어 검토가 필요하고, 속도가변에 따른 Hunting 및 소음이 발생할 수 있다.

1.2 B안, 실별 CAV + 전열 Reheating 방식

본 방식은 가장 쾌적한 실내환경 유지가 가능한 방식으로 AHU Fan의 Inverter 제어 및 전열 Coil의 On /Off 제어에 의한 실별 온도제어가 가능하

표 9. B안 : 실별 CAV + 전열 Reheating의 제어 모드

제 어	방 법
냉온수 Valve	ON /OFF 제어
DAMPER	ON /OFF 제어
INVERTER	비례제어 : 공조기 FAN 제어는 CHAMBER 내 정압 SENSOR(SP) 변동에 의한 비례제어
전열 COIL	ON /OFF 제어 : 실내온도 설정에 따른 온도 차에 따라 ON/OFF 제어

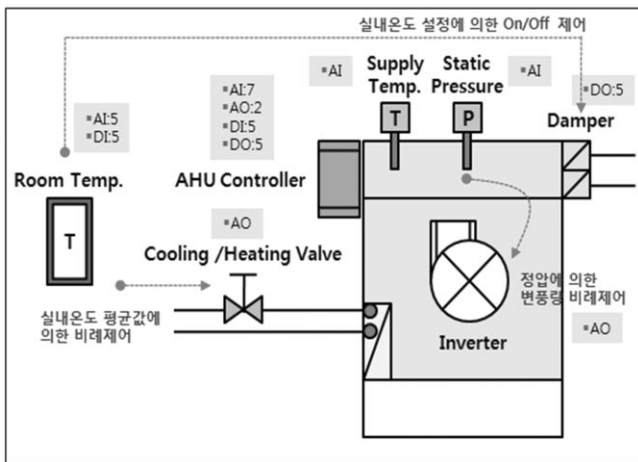


그림 17.C안 : 실별 CAV + 실내온도 평균값 제어

지만, 전체적인 Control Point의 수가 증가한다. 그러나 전열 Coil 사용에 따른 Energy 사용량이 증가하고 정압 Sensor의 위치에 따른 AHU Fan의 풍량제어 검토가 필요하다. 또한 속도가 변에 따른 Hunting 및 소음발생 가능성이 있다.

1.3 C안 : 실별 CAV + 실내온도 평균값 제어 방식

본 방식은 AHU 냉온수 Valve 유량 비례제어 및 AHU Fan의 Inverter 제

가 상대적으로 감소하며, 세대 별 공조 급기온도 조절이 가능하다. 그러나 개별 실내온도제어가 불가능하고, 정압 Sensor의 위치에 따른 AHU Fan의 풍량제어 검토가 필요하며, 속도가변에 따른 Hunting 및 소음발생 가능성이 있다.

1.4 D안 : 실별 VAV + 전열 Reheating 방식

본 방식은 AHU 냉온수 Valve 유량 비례제어, AHU Fan의 Inverter 제어 및 전열 Coil에 의한 개별 온도 제어와 세대 별 공조 급기온도 조절이 가능하

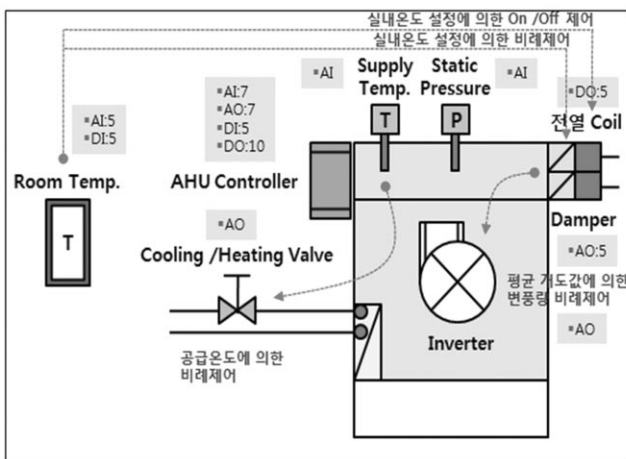


그림 18. D안 : 실별 VAV + 전열 Reheating

표 10. C안 : 실별 CAV + 실내온도 평균값 제어의 제어 모드

제 어	방 법
냉온수 Valve	비례제어 : 실내온도 평균값에 의한 유량 비례제어
DAMPER	ON /OFF 제어
INVERTER	비례제어 : 공조기 FAN 제어는 CHAMBER 내 정압 SENSOR(SP) 변동에 의한 비례제어
전열 COIL	ON /OFF 제어 : 실내온도 설정에 따른 온도 차에 따라 ON/OFF 제어

어에 의한 개별
온도제어로
AHU Controller
의 Analog Point

다. 그러나 전열 Coil 사용에 따른 Energy 사용량이 증가하고, 정압 Sensor의 위치에 따른 AHU Fan의 풍량제어 검토가 필요하며, 속도가변에 따른 Hunting 및 소음발생 가능성이 있다.

1.5 세대 구성 종합안

상기의 내용을 종합하여 **그림 19**에서 보는바와 같이 공동주택에 적용 가능한 최적의 제어방안을 제안하였다. 공급 수온에 의해 AHU 냉온수 Valve의 유량을 비례제어하고, 실내온도에 의해 Damper의 개도와 이에 따른 AHU Fan의 속도를 Step 제어를 적용한다. 모터는 Inverter 대신 DC Step Motor를 적용하여 세대 별 공조 급기 온도 조절 가능하도록 구성하였다. 공조기 Damper를 비례제어 할 경우 잦은 동작으로 인하여 수명의 단축은 물론 고장으로 인한 하자발생 요인이 되

표 11. D안 : 실별 VAV + 전열 Reheating의 제어 모드

제 어	방 법
냉온수 Valve	비례제어 : 공급온도에 의한 유량 비례제어
DAMPER	비례제어 : 실내온도 설정에 따른 온도 차에 따라 DAMPER 궤도 비례제어
INVERTER	비례제어 : 공조기 FAN 제어는 DAMPER의 평균 개도값에 의한 비례제어
전열 COIL	ON /OFF 제어 : 실내온도 설정에 따른 온도 차에 따라 ON/OFF 제어

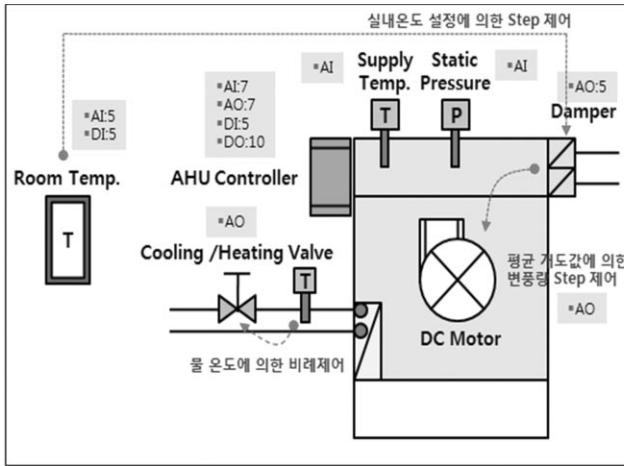


그림 19. 세대 구성 종합안

므로 Step 제어방식을 적용하는 것이 바람직하며, 공조기 Fan의 제어 또한 요구되는 제어의 정확도 및 원가절감을 고려하여 필요 풍량에 따른 Step 제어방식으로 적용하는 것이 바람직하다.

Hunting 및 압력 불균형에 의한 소음 문제 그리고, 실 별 설정온도에 따른 온도제어의 정확성 등에 대한 검토가 추가로 필요하다.

그림 20은 그림 13의 중앙식 지열 냉난방 시스템 구성과 그림 19의 세대

표 12. 세대 구성 종합안

제 어	방 법
냉온수 Valve	비례제어 : 공급온도에 의한 유량 비례제어
DAMPER	STEP 제어 실내온도 설정에 따른 온도 차에 따라 DAMPER 개도 STEP 제어
공조기 FAN	STEP 제어 공조기 FAN 제어는 DAMPER의 평균 개도값에 의한 비례제어

향 후 정 압 에 의 한 Inverter Speed 제 어 에 의 한 풍 량 제 어 의 효 과, 속 도 가 변 에 따 른

구 성 안 을 함 께 도 시 한 것 으 로 향 후 시 스템 구 성 을 보 다 면 밀 하 게 검 토 하 여 공 동 주 택 에 적 용 가 능 한 최 적 방 안 을 도 출 할 예 정 이 다.

5. 결 론

본 고에서는 향후 우리나라 냉난방 시스템의 패러다임을 바꿀 수 있는 지열 냉난방 시스템의 효과적인 주거공간 적용을 위해 두 가지 주제를 다루었다.

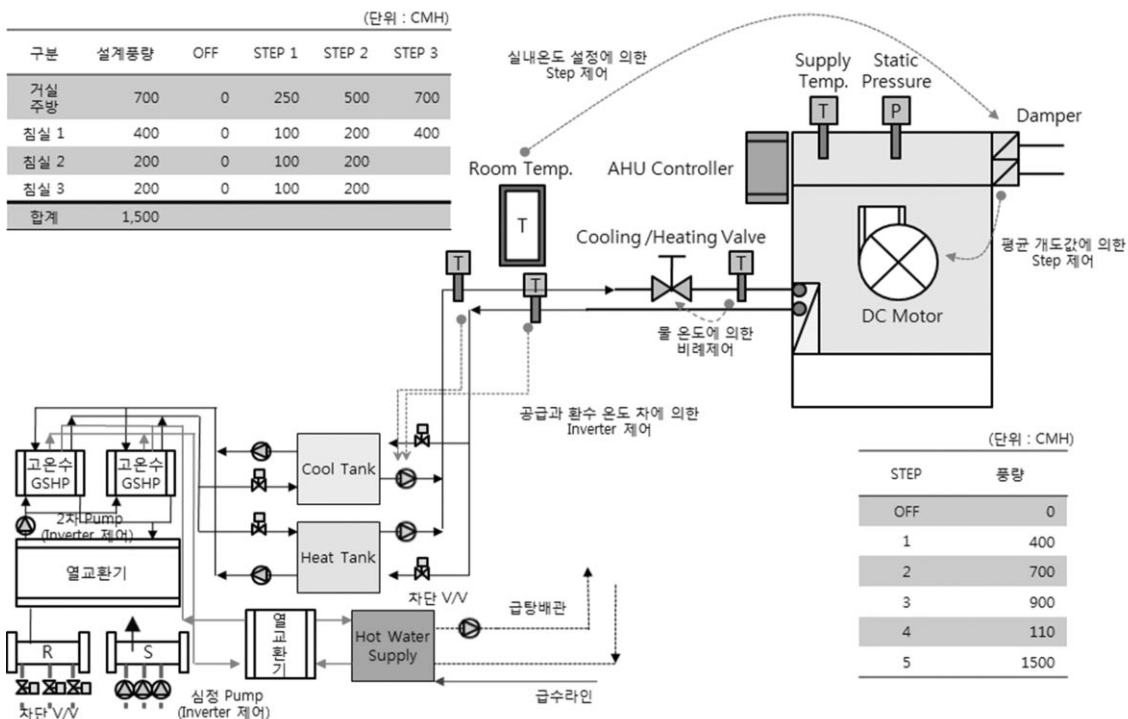


그림 20. 지열 냉난방 시스템 구성도

첫째, 우리나라와 같은 도심이 고밀도로 개발되는 상황에서 대용량으로 보다 효율적으로 지열 냉난방 시스템을 적용할 수 있는 방안으로 현재 시공되고 있는 개방형 지중열교환기의 종류와 이에 특징을 살펴보았다. 내부 케이싱 유무, 심정펌프 위치 등에 따른 지중열교환기 종류에 따른 흐름 방향과 지반의 고유한 특징인 지중온도 경사에 의해 계절에 따라 성능 차이가 있음을 실험과 시뮬레이션을 통해 비교하였다. 또한 이를 실제 구현 할 수 있는 방안에 대해 간략히 소개하였다.

둘째, 우리나라의 공동주택의 공동주택에 냉방 시스템이 기본으로 적용

되는 것을 가정하여, 세대 내 지열 냉난방 시스템 적용에 대한 여러 가지 방안을 살펴보았다.

향후 본 고의 내용이 바탕이 되어 주거공간에서의 메인 냉난방 시스템으로 지열 냉난방 시스템이 자리 잡는 계기가 되기를 바란다.

참고문헌

1. 두산백과, doopedia(<http://www.doopedia.co.kr>)
2. 지중 모니터링을 통한 개방형 지중열교환기 연구, 류형규 외 1인, 대한설비공학회 2013년도 하계학술

발표대회, 2013. 06

3. 지중온도 경사를 이용한 냉난방 모드 전환 지중열교환기 개발, 류형규 외 4인, 대한설비공학회 2014년도 하계학술발표대회, 2014. 06
4. EWT를 고려한 지중열교환기 파이프 선정에 관한 연구, 류형규 외 4인, 한국지열에너지학회논문집, 2014, 제 10권 제 2호
5. 다양한 형상의 SCW형 지중열교환기 지중 열전도 시험, 김민준 외 3인, 대한설비공학회 2014년도 하계학술발표대회, 2014. 06 