



건물 기초 말뚝을 이용한 지열 공조 시스템

Ooka Ryozo*, 남유진**, 황석호**

*동경대학 생산기술연구소 교수, **동경대학 대학원 박사과정

1. 서론

지열 이용 히트펌프 시스템은, 일반적인 공기열 원식 히트펌프 시스템에 비해 높은 히트펌프의 성능 계수를 확보할 수 있어, 미래형 에너지 절약 기술로서 큰 기대를 모으고 있다. 일본에서도 지열 히트펌프 시스템에 대한 관심이 높아지면서, 최근 많은 도입 사례들이 보고 되고 있다. 하지만, 미국이나 유럽과 달리 일본에서는, 지중 열교환기 매설을 위한 지반 굴삭비에 비교적 고가의 코스트가 요구되므로, 보급이 지연되고 있다. 예를 들어, 미국의 보어홀 굴삭비용이 1m당 3,000엔 정도인 것에 비해, 일본에서는 최근 비용삭감의 노력을 쏟고 있음에도 불구하고, 1m당 10,000엔 이하의 굴삭비로 착공해주는 업체는 많지 않다. 아이가(2002)의 연구 사례에서는, 보어홀 방식의 지중 열교환기를 사용한 8,000m² 규모의 사무실 빌딩에서, 단순 투자 회수년을 36~58년으로 시산하고 있다. 하지만, 현실적으로 상업용 건물의 투자 회수 연수를 고려했을 경우, 일반적인 한계치로 10년정도의 기간은 확보할 필요가 있다.

이러한 배경으로부터 지반 굴삭비의 삭감을 위해, 기초 말뚝을 지중 열교환기로서 이용하는 시스템이 제안되고 있다. 이것을 구미에서는 에너지 파일(Energy-pile)이라고 하고, 최근 들어 많이 보급되고 있는 기술이다. 일본에서는 타케우치, 미야모토(1993)가 기성제 콘크리트 말뚝을 지중 열교환기로 이용하는 용설(融雪) 시스템을 제안하고 있다. 또한 모리노(1995)가 강관 말뚝을 이용한 채열실험을 실시하고 있다.

이러한 성과를 토대로, 일본에서도 다양한 형태의 건물 기초 말뚝을 이용한 지열 공조 시스템이 도입되고 있다. 본 원고에서는, 지열 공조 이용에 관련된 각종 기초 말뚝의 특성과 그 도입 가능성에 대해 서술하고 현재, 일본에서 도입되어 있는 건물 기초 말뚝을 이용한 지열 공조 시스템에 관한 사례에 관해서 소개한다.

2. 기초 말뚝의 분류와 특성

일반적으로 기초 말뚝은 ①지지 방식, ②재료의 종류, 제조 방법, ③시공 방법등에 의해 분류된다. 지지 방식에 관해서는, 지반과 말뚝 주위의 마찰력만으로 건물을 지지하는 마찰 말뚝과, 경질지반에 관입한 말뚝 선단의 지지력을 이용하는 지지 말뚝으로 분류된다. 마찰 말뚝은 지지층이 깊은 지역에 이용되고, 지지 말뚝은 연약 지반에 이용된다. 후술하는 현장 타설 말뚝은 일반적으로 지지 말뚝이다. 또한, 말뚝 길이도 일반적으로 마찰 말뚝보다 지지 말뚝이 더 길다.

재료의 종류, 제조 방법에 의한 분류를 살펴보면, 크게 강관 말뚝, 기성제 콘크리트 말뚝, 현장 타설 콘크리트 말뚝으로 나뉘어진다. 콘크리트 말뚝과 강관 말뚝의 기성 말뚝은 유압해머에 의해 시공되었으나, 진동 및 소음 공해때문에 중굴공법이나 프리보링 공법(Preboring Method)이 널리 쓰여지고 있다. 한편, 휨응력에 강한 강관 말뚝은, 직경이 작은 경우 최근 말뚝 회전 압입을 통해 시공하기에 이르렀다. 말뚝 회전 압입 공법은 건설 폐토를 발생시키지 않는 점, 지반을 다져서 굳히

는 효과 등의 장점이 있다. PC말뚝(Precast Pile)은 대표적인 기성제 콘크리트 말뚝으로서, 고강도 콘크리트를 원심력을 이용하여 조밀하게 타설한 후 증기 양생을 하고, 그 후에 프리스트레스를 부여해서 제조한다. 이 중 PHC말뚝은 PC말뚝에 78.5 N/mm² 이상의 프리텐션을 부여한 말뚝이다. 한편, 현장타설 콘크리트 말뚝의 경우, 직경이 큰 말뚝의 시공이 가능하며, 한개의 말뚝이 부담하는 지지력, 특히 연직 지지력을 강관 말뚝이나 PC말뚝에 비해 크게 취할 수 있다는 장점이 있다. 그로 인해, 단위건축면적당 말뚝개수는 현장타설 말뚝이 다른 말뚝에 비해 적게 된다. 이상의 말뚝 종류 및 제조 방법으로 분류한 세 종류의 기초 말뚝을 Table 1에 나타낸다.

3. 기초 말뚝을 사용한 지열 채열 방식

지열 채열 방식에 있어서, 강관 말뚝과 PC말뚝의 차이는 거의 같다고 할 수 있으나, 현장타설 말뚝을 사용하는 방식의 경우, 약간의 차이를 보이므로 여기서는 별도로 설명한다.

3.1. 강관 말뚝과 기성제 콘크리트 말뚝을 이용한 방식

강관 말뚝과 기성제 콘크리트 말뚝은, 특별한 경우를 제외하고, 현장 타설 말뚝에 비해 직경이 작으므로 채열 방식이 한정되어 있다. 전자는 통상, 말뚝 내부가 빈 상태로 되어 있어 그 부분을 이용해서 채열하는 방식이 일반적이다. 현재, 고려되고 있는 공법으로서는 Fig. 1에 나타내는 것과 같은 U튜브 방식, 간접 이중관 방식 등이 있다. U튜브 방식은 가장 간단한 방식으로, 기초의 증공부

에 U튜브를 삽입하고 증공부를 그라우트제 등으로 충전하여 만들어진다. 이중관 방식은 말뚝의 증공부를 냉각수 등으로 채우고 말뚝 표면 전체를 이용해서 열교환을 행하는 방식이다. Fig. 2는 이러한 열교환 방식의 실시 사례를 보여주고 있다. U튜브 방식의 대표적인 예로, 삿포로 시립대학, 동양 문화대학 캠퍼스 등이 있다. 또한 이중관 방식으로는 기초 말뚝을 이용한 용설 시스템의 기술을 채용한 후쿠이 현립 도서관과 후쿠이현 교육센터 등이 있다. 이러한 도입 사례를 Fig. 3에 나타낸다.

이중관 방식의 경우, 열교환을 위한 지중과의 접촉면적으로서 말뚝 전체 표면적을 이용할 수 있으므로, U튜브방식에 비해 열교환 성능이 좋아진다. 이러한 결과는 하마다(2001)의 실험이나 황, 오오카의 수치해석 등에 의해 확인되고 있다. 이중관을 동축 이중관방식으로 하면, 열교환 성능이 더욱 향상되는 것을 기대할 수 있으나, 동축 이중관을 제작하는 비용이 추가로 발생하므로 종합적

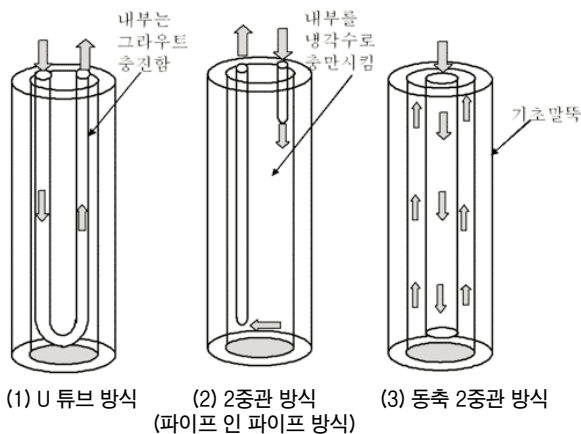


Fig.1 Various Styles of Heat Exchangers of Pre-cast Pile

Table 1. Properties of Various Kinds of Piles

	지지·방식	직경 [mm]	건축면적 / 말뚝개수 (m ²)
강관 말뚝	마찰·지지	200 ~ 2000	10 ~ 100
기성제 콘크리트 말뚝	마찰·지지	400 ~ 1000	10 ~ 30
현장 타설 말뚝	지지	1000 ~ 4000	30 ~ 100

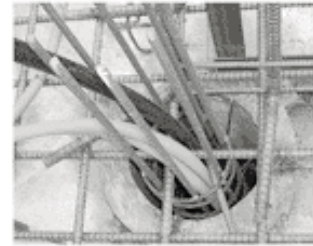
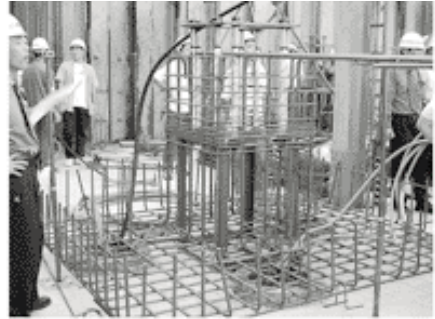


열교환기용 강관말뚝 설치상황
삿포로 시립대학 · 홋카이도대학 나가노 교수 제공

(1) U튜브 방식



U튜브 투입 상황



PHC말뚝 상부 배관 상황
(후쿠이현 교육센터)

(2) 2중관 방식

Fig 2. Example of Heat Exchanger using Pre-cast Pile



(1) 삿포로시립대학 쿠와엔 캠퍼스
열교환 말뚝: 강관51개(4.5m~5.7m)
열교환 방식: U튜브 방식



2) 대동문화대학 이타바시 캠퍼스
열교환 말뚝: PHC 23개
열교환 방식: U튜브 방식



(3) 후쿠이현 교육센터
열교환 말뚝: PHC 70개(25m)
열교환 방식: 2중관 방식

Fig 3. Examples of Buildings with Geothermal HVAC system using Pre-cast Pile

인 고려가 필요하다.

한편, 기성제 콘크리트 말뚝을 타격공법으로 설치하는 경우에는 과도한 타격에 의해 말뚝 기저부의 철땃개나 콘크리트에 균열이 발생하여 순환수

누수의 위험성을 동반하게 된다. 또한 기성제 콘크리트 말뚝 내에 냉각수가 채워져 있는 경우, 콘크리트의 성분이 용해되어 히트펌프 열교환기에 탄산 칼슘의 형태로 부착되고, 결국 히트펌프의

성능을 저하시킬 우려가 있다. 양자의 특성을 비교하면 열교환 성능에서는 이중관 방식이, 안정성 면에서는 U튜브 방식이 유리하다고 할 수 있다.

3.2. 현장 타설 말뚝을 이용한 채열 방식

대도시의 도심부에는 10~15층 이상의 고층 건물이 많고, 큰 지지력을 얻을 수 있는 현장 타설 말뚝이 상대적으로 저렴한 비용으로 시공될 수 있으므로 많이 채용되고 있다. 더우기, 기성 말뚝으로는 기계 설비의 제약이 발생하는 관계로 현장타설 말뚝이 선정되고 있다. 따라서, 현장 타설 말뚝을 열교환기로서 효율적으로 이용하는 것은 대도시에서의 지열 이용 공조 시스템을 보급해

나가는 데에 있어 상당히 중요한 요소가 될 수 있다. 현장 타설 말뚝은 비교적 큰 직경이므로, 지중 열교환기 설치에도 많은 방식이 시험되고 있다. 가장 단순한 방식은 U튜브를 복수로, 말뚝 철근 내에 삽입하고 콘크리트를 충전하는 방식이다. 스위스의 취리히 공항에서 이용된 방식이 바로 이 방식이다. 하지만, 철근내에 U튜브를 삽입하는 방식은, U튜브의 단면적 부분이 말뚝의 단면 결손이 되어, 건축 구조상의 문제가 생기게 된다. 다시 말해, 이 방식에서는 말뚝구조상 응력에 어느 정도 여력이 있을 경우를 제외하고, 단면 결손에 맞추어 말뚝 직경을 크게 해야하거나, 말뚝 개수를 늘려야하는 등의 조치를 필요로 한다. 이러한



1) U튜브 투입 방식 (스위스 취리히 공항)
출전:Geothermic.ch No.40 (2006)



(2) U튜브 말뚝 주위 배치방식
(아키타 시립 산노 중학교)



3) U튜브 말뚝 주위 배치방식 (저자)



(4) 나선관 방식(시코쿠 전력 본사 빌딩)

Fig 4. Example of Heat Exchanger using Cast-in-Place Pile

단면 결손을 피하기 위해, 말뚝의 외주부에 U튜브를 설치하는 방법이 고려될 수 있고, 아키타 시립 산노 중학교나 저자의 제안방식이 이러한 방식이다. (Fig. 4 참조)

저자가 제안한 방식은, 철근 케이지 외주에 복수의 U튜브를 배치하는 방법을 사용하고 있다. 이 경우, U튜브는 철근 케이지에 직접 접촉하지 않고 철근 케이지를 말뚝 구멍에 고정시키기 위해 이용하는 스페이서 부분에 설치한다. 따라서, 말뚝의 구조상 단면 결손은 생기지 않게 된다. 또한, U튜브를 말뚝 외주부에 설치하기 때문에 비교적 많은 수의 U튜브를 어느 정도 간격을 두고 설치할 수 있다. 저자의 실험에 따르면, 이 방식으로 직경1.5m의 현장 타설 말뚝 주변에 8쌍의 U튜브를 설치한 경우, 말뚝 1m당, 계절 평균 약 160~200W의 채·방열능력을 얻을 수 있는 것으로 확인되었다. 이것은 U튜브 한개당 약 20~25W/m로서 일반적인 U튜브의 채·방열능력의 절반이 되지만, U튜브를 하나의 말뚝 주위에 밀집시켜 설치하여 발생하는 열간섭의 영향을 고려하면 비교적 좋은 열교환 능력을 가지고 있다고 할 수 있다. 저자의 방식은, 동경대학 카시와 캠퍼스 환경연구동, 동경 도심내의 M빌딩 등에 채용되고 있다.

그 이외의 현장 타설 말뚝을 이용하는 방법으로, 시코쿠 전력 본사 빌딩(야스오카, 타케카와 (2006))에서는 철근 케이지에 U튜브를 나선상으로 설치하고 있다. 이 방식은 삽입가능한 U튜브의 길이를 최대한으로 하여 가능한 한 열교환 면적을 크게 하려는 것으로, 비교적 큰 채·방열능력이 기대된다.

4. 기초 말뚝을 이용한 공조 시스템의 설계 수법과 LCC의 평가

기초 말뚝의 길이, 직경, 개수 등은, 통상 지반 조건과 상부의 구조적 조건에 의해 결정된다. 통상, 말뚝으로부터의 채·방열이 가능한 열량은,

그 건물의 공조부하에 비해 적은 편이고, 건축의 공조 부하 조건에 맞추어서 말뚝의 개수, 길이 등을 늘이는 것은 비경제적이다. 그러므로, 기초 말뚝을 이용한 공조 시스템을 도입하는 경우에는, 별도의 열원과 병용하는 것이 일반적이다. 다른 두 종류의 열원을 하나의 건축물에 이용하는 것은, 그다지 효율적이지 않은 것처럼 생각되지만, 일반적인 오피스 빌딩의 중앙제어방식의 공조시스템에서는 저부하운전에 대응하기 위해 열원기기를 대수분할해서 설치한다. 따라서, 그 열원기기들 중 몇대를 지열 이용의 열원기기로 하면, 효율적이고 합리적인 시스템 구축이 가능하다. 이러한 지열 이용 방식의 채용을 전제로 해서, 이하에서는, 일반적인 중규모 건축을 대상으로 기초 말뚝을 이용한 지열 이용 공조 시스템과 종래의 공조 시스템과의 코스트 비교 분석을, 지열 이용 공조 시스템의 도입 가능성을 검토한다.

4.1 건물 모델의 설정

건물 규모 및 평면 계획은, 일본 공기조화·위생 공학회에서 열부하계산용 표준모델로 규정하고 있는 중규모 사무실 빌딩을 대상으로 하였다. Table 2와 Fig. 5에 건물 개요와 기준층 평면도를 나타내고 있다. 건물 기초 방식 및 말뚝 개수는 부지의 지반 조건에 의해 결정되나, 본 모델에서는 기성제 콘크리트 말뚝(PHC말뚝)과 현장 타설 말뚝의 두가지 방식에 대해서만 검토한다. 두 시스템 모두 말뚝 길이를 20m로 가정하고, 건물 평면 형상 및 규모로부터 구조 계산에 의한 말뚝 개수 산정을 하였다. 지중 열교환 방식은, PHC말뚝의 경우, 타케우치, 미야모토 등이 확립한 2중관 형

Table 2. Outline of Model Building

검토 지역	동경
건물 용도	사무소
연 바닥 면적	6,600m ² (공조면적 : 4,840m ²)
건물 규모	지상8층 지하 없음
운전 시간	평일 8시~18시 (토일, 경축일 운전 정지)

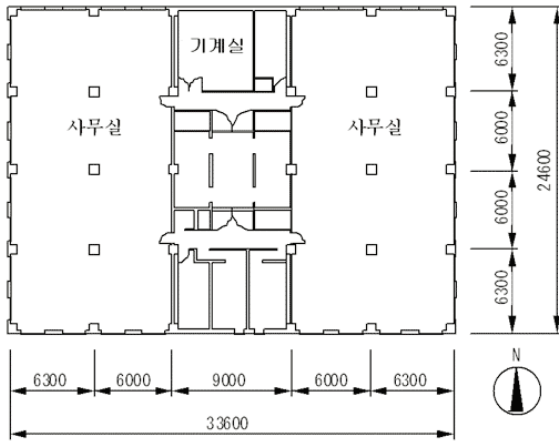
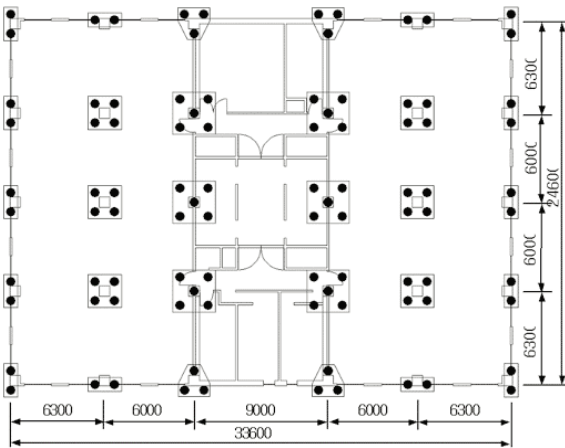


Fig 5. Typical Floor Plan of Model Building

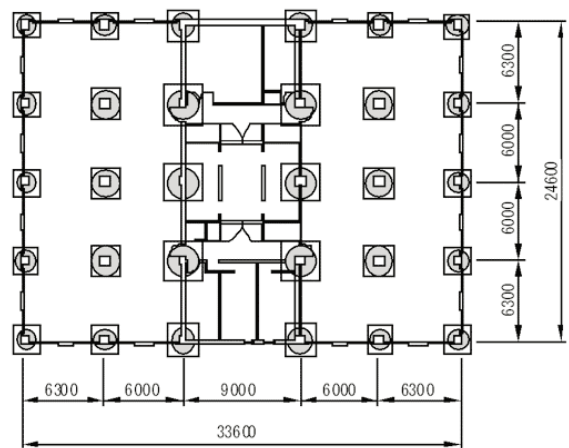
식(파이프 인 파이프 방식)을, 현장 타설 말뚝의 경우는 저자가 개발한 방식(전문 참조)을 상정하여 계산하였다. Fig. 6는 각각의 말뚝 성상도를 나타낸다.

4.2공조 시스템의 설정

Fig. 7은 본 연구에서 비교한 공조 시스템을 나타낸다. 비교 검토를 실시한 공조 시스템은 열원 기기를 대수 분할해서 설치한 중앙 열원 방식을 취하고 있다. 일반 시스템은 통상의 공냉식 히트펌프 시스템 방식으로 하고, 지열 이용 시스템은 공냉 히트펌프를 대수 분할하여 그 중 한 대를 지



(1) 기성제 콘크리트 말뚝



(2) 현장 타설 말뚝

Fig 6. Pile Arrangement

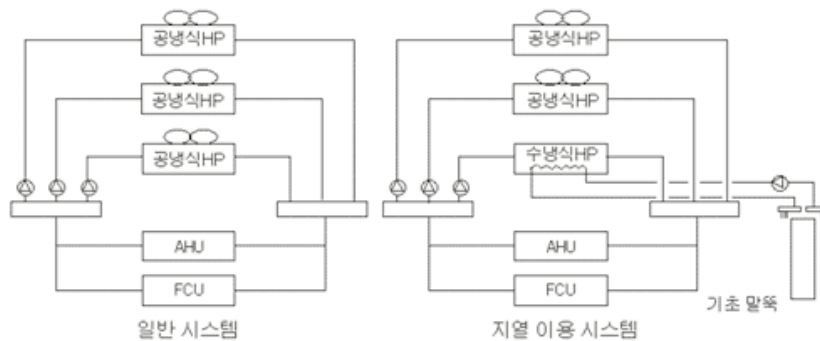


Fig 7. HVAC system

Table 3. Outline of HVAC system

	일반 시스템 (공냉식 히트펌프)	지열 이용 시스템 (공냉식, 수냉식 히트펌프 병용)	
		기성재 콘크리트 말뚝	현장 타설 말뚝
냉방 부하 [GJ/년]		1,418	
냉방 피크 [MJ/h]		1,825	
난방 부하 [GJ/년]		628	
난방 피크 [MJ/h]		1,013	
지중 채·방열량 [W/m개]	-	60	160
말뚝 개수 [本]	-	94	30
말뚝 길이 [m]	-	20	20
지중채·방열량 [kW]	-	112	96
공냉식HP	27RT×1, 58RT×2	58RT×2	
열원용량 수냉식HP	-	27RT×1	
합계		144RT	

열 이용 수냉식 히트펌프로 치환한 시스템으로 하였다.

Table 3은 각각의 공조 시스템의 열원 용량 설정을 나타낸다. 열원 용량은 냉방 피크 부하에서 결정했다. 우선, 지열 이용 시스템의 수냉식 히트펌프 용량을, 실측 결과 및 냉난방 실험 결과로부터 추정했다. 기성재 콘크리트 말뚝의 전체 채·방열량은, 후쿠이현 교육센터의 실험치로부터 말뚝 하나당 채·방열 능력을 60W/m로 가정하여, $60\text{W/m} \times 20\text{m} \times 94\text{개} = 112\text{kW}$ 로 산정하였다. 한편, 현장 타설 말뚝의 경우는 지중으로부터의 채·방열 능력을 냉난방 실험 결과(말뚝 하나당 160W/m)로부터 $160\text{W/m} \times 20\text{m} \times 30\text{개} = 96\text{kW}$ 로 산정하여 계산하였다. 양쪽 지열 공조 시스템의 채·방열 능력을 고려하여 시스템에서 사용하는 수냉식 히트펌프의 능력을 27RT로 하고, 나머지 부하를 공냉식 히트펌프 두대로 분할해서 한 대당 58RT를 부담하는 것으로 하였다. 일반 시스템은 수냉식 히트펌프의 27RT를 공냉식 히트펌프가 부담한다.

4.3 계산 조건과 계산 방법

본 계산에서는, 설정한 조건 및 히트 펌프의 기

간 성적 계수, 부분 부하율 등을 고려한 연간 에너지 시뮬레이션을 통해 각 시스템 운전 코스트를 산출하였다. 히트 펌프의 기간 성적 계수는, 저차이 개발한 수냉식 히트펌프의 최신의 값을 이용했고, 열원 시스템에 관한 부분(지열 이용의 경우, 지중 열교환기, 열원수 배관, 펌프 등 포함)의 초기 코스트는 실시공 및 시험 시공으로부터 산출한 후 초기 투자비와 운전 코스트의 차로부터 단순투자 회수연수를 계산하였다. 2중관 방식의 시공비는 후쿠이현 교육센터의 실적 자료를 근거로 산출하였으며, 현장 타설 말뚝 방식은 세키네, 오오카(2006)의 시험 시공비를 이용하여 계산하였다. 또한, 계산 비교 대상은 지열 이용 시스템으로 치환된 부분만 한정해서 고려한다.

4.4 계산 결과

Table 4는 계산 결과로서 각 공조 방식의 비용과 단순투자 회수연수를 나타낸다. 기초 말뚝을 이용한 방식의 단순 투자 회수년은 4.8~9.4년이 되어, 일반적인 보어홀 타입의 단순투자 회수년 36~58년에 비해, 대폭 단축되었다. 이것은 본 시스템이 상업용 건축에서 충분한 가능성을 가지고 있다는 결과를 나타낸다.

Table 4. Cost Payback Year

공조 방식	일반 시스템	지중열 이용 시스템	
		PHC파일(파이프 인 파일)	현장타설말뚝(처지)
이용말뚝 · 직경 · 길이 · 개수		φ600 20m 94개	φ1500 20m 30개
기간 성적계수(냉방/난방)	2.90/2.70	6.00/5.43	6.00/5.43
런닝 코스트[천엔]	20,282	19,569	19,569
차액	-	713	713
공냉식HP가격[천엔]	6,020	-	-
수냉식HP가격[천엔]	-	3,297	3,297
열원수 펌프[천엔]	-	695	695
상동 설치공사[천엔]	-	56	56
열원수 배관공사[천엔]	-	4,954	3,062
열교환 말뚝공사[천엔]	-	-	4,725
순공사비[천엔]	6,020	9,002	11,835
일반 관리비[천엔]	903	1350	1775
계약 금액[천엔]	6,923	10,352	13,611
차액	-	3,429	6,688
회수년	-	4.8	9.4

5. 향후의 과제 및 전망

본 검토로부터, 기초 말뚝 이용 지열 공조 시스템의 투자비 회수년은 4.8~9.4년으로 나타났다. 이것은 기존의 보어홀 형식의 지중 열교환기를 이용하는 방식에 비해, 대폭적으로 개선된 결과이며, 수치상으로는 민간 시장으로의 보급에 있어 충분한 경쟁력을 가진다는 것을 의미한다. 이러한 포텐셜에도 불구하고, 현시점에서 지열 이용 공조 시스템은 아직 충분히 보급 단계에 있다고는 할 수 없다.

그 이유를 일본에서의 상황을 예로 살펴 보면, 먼저, 에너지 절약형 시스템 및 자연 에너지 이용 시스템으로서 충분한 인식이 되어 있지 않다는 점을 들 수 있다. 코스트 회수면을 비교하면, 태양광 발전 시스템과 거의 동등한 운전 성능을 보이고 있음에도, 자연 에너지 이용의 선택지로서 고려되지 않고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는, 본 시스템이 얼마나 에너지 효율적이며 환

경부하 저감에 공헌하고 있는지를 설명하고, 건축주의 이해와 합의를 얻는 오피니언 리더(Opinion Leader)가 필요하다. 뿐만 아니라, 환경라벨링제도를 활용하는 등, 지열 이용에 관한 어떤 식의 심볼성을 부여하는 것이 중요할 것이다.

또한, 현시점에서 도입되어 있는 사례가 적은 것이, 보급을 위한 신뢰성 확보에 있어 장애 요소가 되고 있다. 이 점에 관해서는, 한 건씩 보급 물건을 늘리면서 신뢰성을 확보해가는 것 이외에는 방법이 없다. 다만, 부실 공사나 문제점 방지로 한번에 신뢰를 잃는 것에 주의해야 할 것이다.

더우기, 기초 말뚝 이용 지열 공조 시스템이 설계나 관리 측에서 보면 귀찮은 시스템인 것은 사실이다. 이것은 일반적인 사무소 건축의 경우, 기초 말뚝만으로 전체 공조 부하를 부담하는 것은 거의 불가능한 것이기 때문에, 결국 어떤 식으로든 열원 시스템을 분할할 필요성이 생기기 때문이다. 그 때문에, 에너지 절약 효과는 인식되어 지면서도 도입에 적극성을 띠지 않는 경우도 있다.

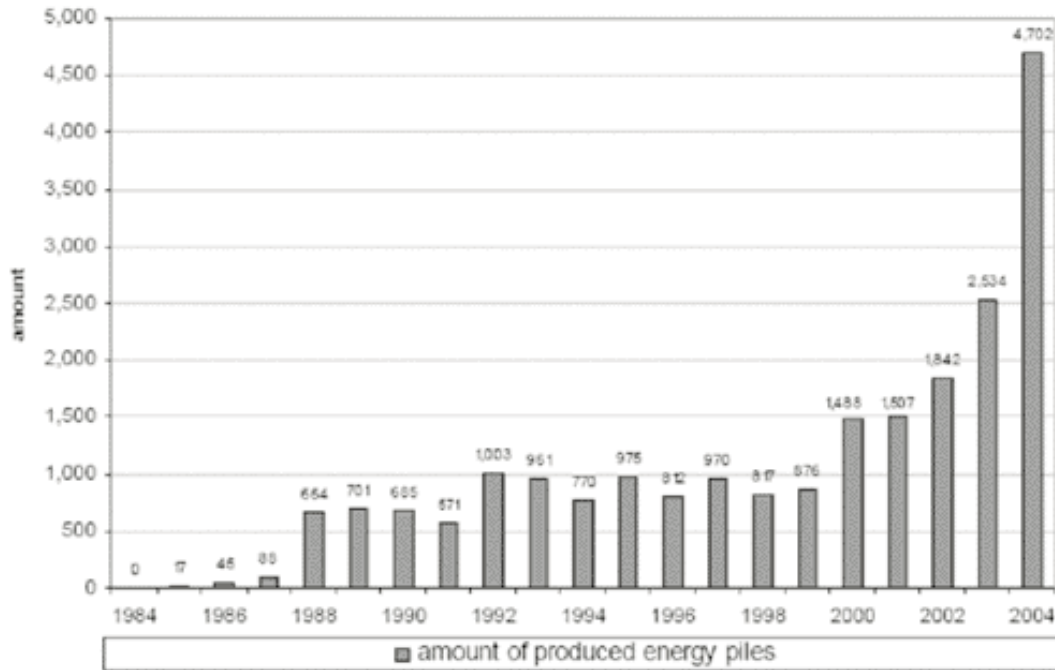


Fig 8. Amount of produced energy piles by Enecret Co. in Austria

하지만, 건축에 있어서의 에너지 효율이나 자연에
너지 이용을 실현하기 위해서는, 작은 포텐셜을
쌓아 나가는 것이 불과결하며, 그것이야말로 전문
기술자가 노력하지 않으면 안되는 부분이라고 생
각한다. 관리가 복잡하다는 이유로 도입하지 않는
것은 기술자로서의 태만과 패배에 지나지 않는다.

한편, 제도상의 해결책으로서, 고성능 수냉식 히
트펌프의 연구 개발이나 에너지 절약 기술에 대
한 세금 제도상의 우대 조치 및 보조금 제도가 있
다면 보급에 박차를 가할 수 있을 것이다.

일단 본 시스템을 보급시키면, 지열 이용을 위한
수냉식 히트펌프 시장이 형성되고, 염가의 고성능
제품 개발이 촉진됨은 물론, 지반 굴삭 기술에도
돌파구가 생기면서 전용 지중 열교환기의 이용도
용이하게 될 것이다.

마지막으로 참고로서, Fig. 8에 오스트리아의 기
업인 Enecret사의 에너지 파일의 생산 실적수
(IEA Heat Pump 홈페이지 참조: [http://www.](http://www.heatpumpcentre.org)

heatpumpcentre.org)를 소개한다. 그래프는 최
근의 대폭적인 성장을 나타내고 있다. 일본 및 한
국에 있어서 이 정도까지의 보급을 위해서는 아
직 많은 시간이 필요하겠지만, 지열 이용 공조 시
스템에서 이용하는 온도차 에너지가 열역학적으
로 고려할 때 충분한 유효성이 있는 한, 장래적으
로 반드시 보급될 것으로 믿는다.

참고 문헌

1. 相賀 洋・石野久彌・三小田憲司・富家貞男
(2002)ボアホール地中熱交換器を用いた地中
地盤蓄熱システムの 評 に關する研究.
日本建築學會環境系論文集, 555, 77-84
2. 錫鎬・大岡龍三他(2004)大都市における
基礎杭を利用した地中熱空調システムの普
及・實用化に關する研究(その3), 數値シミ
ュレーションによる地中熱交換器の差異によ

- る採・放熱効果に関する検討. 日本建築學會大會學術講演會梗概集 D-II, pp.1383-1384
3. 關根健太郎・大岡龍三(2006)場所打ち杭を用いた地中熱利用空調システムの普及・實用化に関する研究(その16)場所打ち杭を利用した熱交換器の低コスト施工法の検討. 空氣調和衛生工學會學術講演會講演論文集
 4. 竹内正紀・宮本重信他(1993)基礎くい利用地熱融雪法の開發と數値シミュレーション. 空氣調和・衛生工學會論文集, 52, 59-69
 5. 濱田靖弘・窪田英樹他(2001)空調用エネルギー・パイルに関する研究. 空氣調和衛生工學會學術講演會講演論文集, 353-356
 6. 森野仁夫・岡建雄・庄子博之(1995)鋼管杭による土壤採熱實驗と採熱量の予測. 日本建築學會計畫系論文集, 475, 22-33
 7. 安岡稔弘・竹川忠克他(2006)杭基礎を利用した自然エネルギーによる土壤蓄熱空調システム. 第40回空氣調和・冷凍連合講演學講演論文集, 33-36
 8. http://www.heatpumpcentre.org/Workshops/Workshop_Vienna_November_2005/Utilisation_Building_Foundations_Widerin.pdf