

도시지역 미활용 에너지의 타당성에 관한 사례 분석

: 기술 · 제도 · 인프라를 중심으로*

The Feasibility Analysis of Urban Unused Energy:

Focusing on Technology, Institution and Infrastructure

진 상 현**

홍 은 정***

Jin, Sang-Hyeon

Hong, Eun-Jeong

Abstract

Most governments have an interest in unused energy, because of high oil price and climate change. Particularly, it is very important to urban governments which have less renewable energy than other local governments. So Seoul, the capital of Korea, established a plan for the development of unused energy in 2007. But it has some problems related to the feasibility of this plan. So this paper checked and reviewed the economic feasibility of unused energy development cases in four cities by using three sub elements: technology, infrastructure, institution. As a result, it discovered that these urban governments have technological feasibility because they are located near big river or ocean. And they used the existing infrastructure and received the institutional subsidies from central governments in order to increase the economic feasibility of unused energy development projects. In conclusion, local governments of Korea have to try to seek how they can utilize the existing infrastructure for unused energy development in the situation that there are few institutional supports from the central government.

키워드 : 신재생에너지, 온도차에너지, 재활용에너지, 기반시설

Keywords : new renewable energy, temperature difference energy, recycled energy, infrastructure

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

21세기는 에너지·기후변화의 시대라는 토머스 프리드먼(Thomas L. Friedman)의 주장을 증명이라도 하듯이 2008년 금융위기 덕분에 잠시 잦아들었던 유가가 2010년부터 다시 상승하는 기세이다. 이로 인해 세계 각국은 석유로부터 벗어나기 위해 자국의 신재생에너지 자원을 개발하겠다는 전망과 지원방안을 잇달아 발표하고 있다. 한국 정부도 신재생에너지 원년을 선언하면서부터 제시했던 보급목표를 달성하기 위해 10년 가까이 운영해왔던 발전차액지원제를 폐기한 뒤 2013년부터는 의무할당제를 새로 도입하고 있다. 이처럼 고유가와 기후변화로 인해 신재생에너

지에 대한 관심이 국내외적으로 높아지고 있음에도 불구하고 정책결정자들은 한 가지 중요한 사실을 잊고 있다. 즉, 신재생에너지의 보급을 확대하기 위해서는 중앙정부의 지원도 중요하겠지만, 궁극적으로는 태양광이나 바람 지역의 생태적 자산을 활용할 수밖에 없기 때문에 지방정부를 중심으로 고유의 특성을 반영하는 방향으로 신재생에너지 개발계획이 수립되어야 한다는 사실이다.

따라서 좁은 면적에 많은 인구가 밀집해서 거주하는 광역시와 넓은 토지에 풍부한 자연에너지를 보유한 도지역은 신재생에너지 부존량에서 차이가 있을 수밖에 없다. 기존의 신재생에너지 보급 예산을 이러한 지역적 특성에 기반해서 배분하자는 주장이 제기되고 있지만 아직까지는 중앙정부 주도형 보급사업이 여전히 이뤄지고 있는 실정이다(진상현·황인창, 2011). 이때 정책결정자들이 더 많은 관심을 기울여야 할 지역은 도지역이 아니라 광역시일 수 있다. 왜냐하면 도지역과 비교했을 때 도시화된 광역시는 외부자원에 대한 에너지 의존도가 높을 뿐만 아니라 신재생에너지 잠재량이 부족해서 에너지를 자급자족할 가능성이 낮기 때문이다.

* 본 논문은 「한국정부학회」의 2011년 춘계학술대회에서 “기술, 제도, 인프라 측면에서 도시지역 미활용에너지의 경제적 타당성에 관한 사례 연구”라는 제목으로 발표된 원고를 발전시킨 글임을 밝힌다.

** 주저자 및 교신저자, 경북대학교 행정학부 조교수, 도시계획학 박사(upperhm@knu.ac.kr)

*** 공동저자, 서울대학교 환경대학원 박사과정 (aurorahong@snu.ac.kr)

최근 들어 지역마다 기후변화대책과 신재생에너지 보급 계획을 수립하기 시작하면서 도시화된 지역에서는 태양광과 풍력이 부족하기 때문에 미활용에너지에 대한 관심이 높아지고 있다. 왜냐하면 자연자원이 부족한 도시에서는 활용되지 않고 있는 하천수나 버려지는 폐열 같은 미활용에너지가 광역시에서 개발할 수 있는 유일한 에너지원이기 때문이다. 미활용에너지와 관련해서 가장 적극적인 보급계획을 수립하고 있는 지자체가 서울이다. 서울시는 2030년까지 최종 에너지 소비량의 10%를 미활용에너지로 공급하겠다는 계획을 발표했을 정도이다. 그렇지만 이처럼 의욕적인 미활용에너지 보급목표를 서울시가 과연 달성할 수 있을 것인지에 대해서는 의문이 제기되고 있다(진상현, 2009). 그렇다면 서울시를 포함한 도시 정부는 미활용에너지 보급사업의 타당성을 체계적으로 검토해볼 필요가 있다.

1.2 연구 방법 및 내용

이에 본 논문에서는 지역내의 미활용에너지를 개발해서 활용하고 있는 해외 도시의 사례들을 검토함으로써 시사점을 도출하고자 한다. 즉, 경제적 타당성이라는 관점에서 서지적 연구방식으로 미활용에너지를 활발히 사용하고 있는 해외의 선진사례들을 분석하고자 한다. 구체적으로는 2장에서 미활용에너지의 개념 및 선행연구를 살펴본 뒤, 3장에서는 본 논문의 분석틀로 활용될 기술적 요인, 도시기반 요인, 제도적 요인이라는 경제적 타당성의 구성요소들을 설명하고 있다. 4장에서는 미활용에너지의 유형별 해외 사례를 통해서 경제적 타당성을 검토하고 있으며, 5장에서는 분석결과를 토대로 한국의 중앙정부와 지방정부가 개선해야할 정책적 함의를 결론으로 제시하고 있다.

2. 미활용에너지의 개념 및 동향

2.1 개념 및 종류

‘미활용에너지(unused energy)’는 일상생활에서 이용할 수 있을 만큼의 경제성을 아직까지는 확보하지 못한 에너지원을 가리킨다. 바꿔 말하면 활용가치를 지니고 있음에도 불구하고 경제적·기술적·제도적 제약으로 인해 이용되지 못한 채 자연계로 배출되는 에너지로 정의될 수 있다

(신현준, 1997). 국내에서 미활용에너지라는 개념이 처음 사용되기 시작한 시기는 1993년 상공자원부에서 정부주도 연구사업으로 「미활용에너지 종합이용시스템」이라는 기획연구사업을 추진하면서 부터였다(박준택, 2003a). 한국보다 먼저 관심을 갖고 있었던 일본에서는 ‘미이용에너지’라는 개념으로 부존량 조사가 이뤄진 바 있지만, 이 역시도 내용적으로는 동일한 개념이다(황광일, 2003).

이처럼 넓은 의미의 미활용에너지라는 개념은 자연상태의 ‘온도차에너지’와 도시에서 배출되는 ‘재활용에너지’로 다시 구분될 수 있다(박준택·장기창, 2002). 여기서 온도차에너지란 바닷물이나 하천수, 호수와 같이 온도가 여름철에는 낮고 겨울철에는 높아서 수온과 대기온도와의 차이를 이용해서 냉난방과 온수로 활용이 가능한 에너지를 말한다. 그렇지만 자연상태의 낮은 온도차에너지를 일상생활에서 활용가능한 고온으로 올리기 위해서는 열펌프(heat pump)¹⁾가 자주 사용되고 있다. 반면에 재활용에너지는 쓰레기 소각장, 지하철, 하수처리장, 변전소, 발전소 등의 도시기반시설로부터 버려지는 각종 폐열을 의미한다(박준택, 2003a).

이렇게 두 종류로 구분되는 미활용에너지 가운데 재활용에너지는 도시에서 이미 활발하게 활용되고 있다. 대표적으로 소각열의 경우에는 1990년대 소각장이 늘어나면서 열병합발전 또는 지역난방 등으로 대부분 활용되고 있다. 따라서 미활용에너지 중에서 아직까지 개발되지 못하고 있는 온도차에너지에 더 많은 관심을 기울일 필요가 있다. 이에 본 논문에서는 앞으로 한국의 도시 지역에서 관심 갖고 개발해야 할 필요가 있는 온도차에너지인 해수, 하천수, 호수와 하수라는 4개의 미활용에너지를 중심으로 경제적 타당성을 살펴보고자 한다.²⁾

2.2 서울시 미활용 에너지 활용계획의 현황 및 문제점

정부는 2004년에 수립된 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」에 의거해 미활용에너지의 보급을 지원해오고 있다. 법률에 의거해 정부의 지원을 받을 수 있는 재생에너지로는 태양열, 태양광, 풍력, 바이오매스, 폐기물에너지, 지열, 해양에너지, 소수력이 있으며, 신에너지에는 수소에너지, 연료전지, 석탄액화 및 가스화가 포함

표 1. 미활용에너지의 종류

구 분	에너지원		온 도	안정성	이용가능성
온도차 에너지	지열		여름에는 대기보다 낮고, 겨울에는 대기보다 높음	언제나 이용 가능	모든 규모
	해수				대규모 시스템
	하천수			거의 언제나 이용 가능	중규모 시스템
	호수				근접한 수요지
재활용 에너지	저온 배열	하수	항상 대기보다 높음	언제나 이용가능하지만 계절·시간 따라 변동	소규모 시스템
		지하철 폐열			수요지와 원거리
		변전소 폐열			근접한 수요지
	발전소 폐열				
고온 배열	폐기물 소각열	항상 100℃를 넘는 고온			

주: 하수를 재활용에너지로 분류하고 지열을 온도차에너지에 추가함.
 자료: 박준택(2003a) 수정.

표 2. 서울시의 신·재생에너지 공급계획

구 분		2015년		2020년		2030년	
		설비용량	공급량(천TOE/년)	설비용량	공급량(천TOE/년)	설비용량	공급량(천TOE/년)
수 소	연료전지차	-	1.1	-	2.3	-	11.5
	연료전지	100MW	107.9	300MW	411.2	700MW	866.9
태 양	태양광	89.8천kW	9.9	253.5천kW	27.9	1,400천kW	153.8
	태양열	46.1천m ²	2.7	54.6천m ²	3.1	160천m ²	9.2
미 활 용	지 열	1,055천kW	185.1	2,585천kW	453.7	5,485천kW	962.7
	하수·하천수	110천kW	41.4	700천kW	263.7	1,545천kW	582.0
폐 기 물	자원회수시설	900톤/일	209.2	900톤/일	209.2	900톤/일	209.2
바 이 오	바이오가스	-	55.5	-	55.5	-	55.5
	매립가스	-	6.7	-	6.7	-	6.7
	성형탄	-	1.8	-	1.8	-	1.8
풍 력	풍 력	-	0.04	-	0.04	-	0.04
신재생에너지 합계		-	621.3	-	1,435	-	2,859.3

자료: 서울특별시, 2009.

된다. 그렇지만 본 논문에서 관심 갖고 있는 미활용에너지 중에서는 해수와 폐기물만이 신재생에너지³⁾로 분류될 뿐이지 나머지 하천수·호수·하수열은 제도적으로 지원을 받을 수 없는 실정이다. 이처럼 중앙정부 차원에서 미활용에너지에 대한 법적 지원체계가 제대로 갖춰져 있지 못한 상태임에도 불구하고 도시 정부들은 적극적인 보급활성화 정책을 추진 중에 있다. 이 같은 미활용에너지의 보급을 선도하는 대표적인 지자체가 서울이다.

서울시는 2007년 4월 2일 친환경에너지선언을 통해서 2020년까지 신재생에너지 이용률을 10%로 확대하겠다는 목표를 설정한 바 있다. 또한 2009년에는 중앙정부의 「제3차 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획」에 맞춰 2030년까지 최종 에너지 소비량의 20%를 신재생에너지로 공급하겠다고 목표를 확장해놓은 상태이다. 특히 2030년을 기준으로 전체 신재생에너지 공급량의 54%를 하천수·하수·지열로 공급하겠다는 서울시는 미활용에너지의 보급에 가장 적극적인 지자체라고 할 수 있다. 실제로 서울시는 탄천물재생센터의 하수열을 이용해서 2만 가구에 냉난방을 공급하겠다는 계획을 2011년 5월 17일에 발표했을 뿐만 아니라 관련 연구도 지속적으로 진행해오고 있다(유명진, 2011).⁴⁾

물론 1,000만명의 인구가 밀집해 있는 서울시는 다른 지자체에 비해 태양광이나 풍력자원이 부족할 수밖에 없다. 따라서 2030년까지 신재생에너지 목표의 상당부분을 미활용에너지로 공급하겠다는 계획은 나름대로 합리적인 선택일 수 있다. 특히 서울시가 한강이라는 막대한 잠재적 에너지원을 보유하고 있다는 측면을 고려한다면 적절한 목표수립이었다고도 할 수 있다. 그렇지만 미활용에너지의 실현가능성이라는 측면에서 본다면 몇 가지 문제점이 발견될 수 있다.

먼저 2030년 기준 신재생에너지 보급에 대한 국가 목표와 서울시 목표를 비교해보면, 서울시는 수소연료전지를 포함하더라도 국가 신재생에너지 공급목표의 9%만을 담당하는 것으로 나타난다. 그렇지만 에너지원별로 살펴보면 2030년 서울시의 미활용에너지 보급목표는 국가 목표를 상회하는 122%에 달하는 것으로 나타난다. 이는 서울시가 신재생에너지 보급에 야심찬 목표를 갖고 있음에도 불구하고 에너지원별 세부목표의 타당성에 있어서는 문제가 있음을 보여주는 증거일 수 있다(진상현, 2009). 따라서 도시 지역에서 미활용에너지의 보급과 관련해서는 의욕적인 목표설정도 중요하겠지만 현실적인 측면에서의 실현가능성을 판단할 수 있는 체계적인 연구가 반드시 선행되어야 할 것이다.

3. 미활용에너지의 타당성 분석틀

3.1 공공사업의 타당성 평가 기준

본 논문에서는 공공투자사업의 시행여부를 판단하는 기준으로 사용되는 타당성 분석이라는 개념을 활용해서 미활용에너지의 가능성을 검토하고자 한다. 정부는 대형 공공투자사업의 필요성을 사전에 미리 판단하기 위한 예비타당성 제도를 1999년부터 도입해서 운영해오고 있다. 예비타당성 조사를 총괄하고 있는 한국개발연구원은 공공투자사업의 필요성을 경제적 분석, 정책적 분석, 종합평가라는 3단계로 구분해서 평가하고 있다(최석준·간형식, 2008).

먼저 ‘경제성 분석’은 사업의 시행으로 인한 국민경제적

1) 열펌프는 냉매의 발열 또는 응축열을 이용해서 저온의 열원을 고온으로 전달하거나 고온의 열원을 저온으로 전달하는 냉난방 장치를 말하며, 열펌프의 대표적인 사례가 에어컨이다.
 2) 온도차에너지 가운데 지열의 경우에는 2004년 이후 보급이 빠르게 늘어나고 있기 때문에 본 논문의 연구대상에서 제외되었다(진상현·한준, 2009). 반면에 하수는 재활용 에너지임에도 불구하고 아직까지 적극적으로 개발되지 않은 상태이기 때문에 포함되었다.
 3) 한국에서는 국제적으로 통용되는 ‘새로운 재생가능에너지’라는 의미의 신재생에너지가 아닌 재생불가능한 에너지까지 포함된 ‘신·재생에너지’라는 법률적 개념을 사용하고 있다. 본 논문에서 사용되는 신재생에너지라는 표현은 정부의 신·재생에너지와 대부분 동일한 개념이며, 필요한 경우에 한해서 별도로 구분하고 있음을 밝힌다. 두 개념의 차이점과 정책적 타당성에 대해서는 진상현·한준(2009)을 참조할 수 있다.
 4) 서울시, “서울시 물재생센터 하수열에너지로 냉·난방 공급 나서”(2011.5.17 보도자료).

표 3. 국가 목표 대비 서울시의 신·재생에너지 보급목표

(단위: 천TOE)

	2015년			2020년			2030년		
	서울시	국가	비율*	서울시	국가	비율*	서울시	국가	비율*
태 양 열	2	63	4%	3	342	1%	9	1,882	0%
태 양 광	9	313	3%	27	552	5%	153	1,364	11%
풍 력	0	1,084	0%	0	2,035	0%	0	4,155	0%
바 이 오	64	2,210	3%	64	4,211	2%	64	10,357	1%
미 활 용 * *	226	280	81%	717	544	132%	1,544	1,261	122%
폐 기 물	209	6,316	3%	209	7,764	3%	209	11,021	2%
수소연료전지	109	-	-	413	-	-	866	-	-
합 계	621	11,731	5%	1,435	17,520	8%	2,859	33,027	9%

자료: 서울특별시, 2009, 지식경제부, 2008, 수정.

* 비율(%)=서울시/국가

** 미활용에너지=지열+하수·하천수

과급효과와 투자의 적합성을 검토하는 과정이며, 기본적인 평가기법으로는 비용편익분석(CBA: Cost-Benefit Analysis)이 사용되고 있다. 다음으로 ‘정책적 분석’은 비용편익분석에서 계량적으로 포함되지는 않지만 사업 전반의 타당성을 판단하기 위해 고려되어야 하는 비계량적인 평가요소들을 검토하는 작업을 의미한다. 끝으로 ‘종합평가’는 타당성 분석의 최종 단계로 경제성 분석과 정책적 분석의 결과를 종합해서 사업의 시행 여부를 판단하는 과정이다. 종합평가 단계에서는 다기준 분석기법의 일종인 ‘분석적 계층화 기법(AHP: Analytic Hierarchy Process)’이 주로 활용되고 있다.

그렇지만 정량적인 경제성 분석과 정성적인 정책적 분석을 통합하는 평가기법으로서 AHP에 대해서는 근본적인 한계가 제기될 수밖에 없다. AHP 기법과 관련하여 권태형(2008)은 수치척도와 어의적 표현의 부적합, 평가척도 구간의 불균등, 순위역전, 심사자별 평가기준의 불일치, 의사결정의 계층구조 등의 문제를 제기한 바 있다. 이처럼 비계량적인 정책분석과 계량적인 경제성 분석을 통합하는 작업에 대한 근본적인 비판이 학술적인 차원에서 제기되고 있는 상황이다. 이에 본 논문에서는 계량적 분석기법이 지닌 이론적 한계뿐만 아니라 사례연구라는 현실적 한계로 인해 정성적인 방식으로, 즉 문헌을 이용한 서지적 연구방식으로 경제적 타당성이라는 관점에서 미활용에너지의 활용사례들을 분석하고자 한다. 다만 논문의 설득력을 높이기 위해 통계자료와 수치들도 함께 검토하고 있다.

3.2 경제적 타당성의 하위 요소

미활용에너지 사업의 타당성을 판단하는 기준을 경제성이라고 했을 때, 경제적 타당성을 뒷받침하는 하위 요소들이 존재할 수 있다.⁵⁾ 본 논문에서는 경제적 타당성의 기반 조건으로 ‘기술적 요인’, ‘도시기반 요인’, ‘제도적 요인’이라는 3요소를 제시하고자 한다. 즉, 도시에서 미활용에너지 사업이 경제적으로 타당성을 확보하기 위해서는 무

엇보다도 해당 에너지원이 하천수인지, 호수인지, 해수인지 등에 따라서 적절한 기술적 타당성을 지니고 있어야 한다. 한편으로는 기반시설이라는 측면에서 미활용에너지를 활용하기에 적합한 도시 인프라의 구축여부가 경제적 타당성을 확보하는 데 중요할 수밖에 없다. 끝으로 기술적 요인이나 도시기반 요인뿐만 아니라 정부의 제도적 지원이 경제적 타당성을 확보하는 데 있어서 중요한 하위 요소일 수 있다.

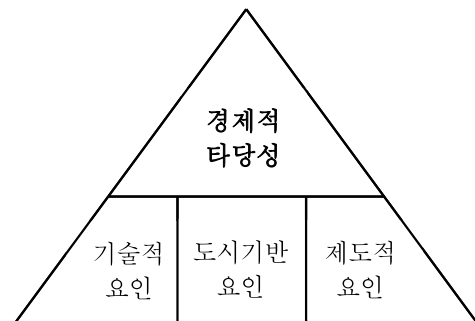


그림 5. 미활용에너지 타당성의 개념도

이에 본 논문에서는 다양한 미활용에너지 가운데 향후 도시지역에서 보급확대가 필요한 4개 에너지원인 해수·하천수·호수·하수를 대상으로 사업의 경제적 타당성을 분석하고자 한다. 이때 본 논문에서는 미활용에너지 사업의 경제적 타당성을 뒷받침하는 3개의 하위 요소로서 기술적 요인, 도시기반요인, 제도적 요인을 함께 검토하고자 한다. 4개의 미활용에너지를 대표할 수 있는 지역으로는 호수열의 암스테르담, 해수열의 스톡홀름, 하천수열의 동경, 하수열의 오슬로가 선정되었다.

본 논문에서는 해외사례를 조사하는 데 있어서 2차 자료를 통해서 연구를 진행하고 있다. 즉, 해당 지자체가 발표한 보고서나 기관 홈페이지 등을 통해서 공개된 문서자료뿐만 아니라 때로는 국내의 연구자들에 의해 발표된 논문 등의 가공된 자료를 경제적 타당성의 하위 3요소라는 분석틀에 맞춰서 미활용에너지의 가능성을 검토하고 있다. 이처럼 2차 자료를 활용해서 연구를 진행할 경우에는 자

5) 본 논문에서 사용되는 경제적 타당성은 재무적인 측면에서의 비용 대비 수익뿐만 아니라 간접적인 경제효과, 예를 들면 온실가스 저감이나 대기오염 개선 같은 긍정적인 외부효과(external effect)까지 포함한다.

료수집이 용이하고 비용을 절감할 수 있다는 장점이 있는 반면에, 본 논문의 분석틀에 정확히 일치하는 정량적 조사가 불가능하다는 단점도 지니고 있다.

4. 미활용에너지의 해외사례 분석

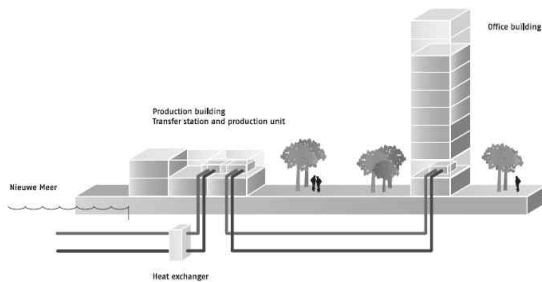
4.1 암스테르담의 호수열 지역냉방

1) 암스테르담의 지역냉방사업 개요

네덜란드의 에너지업체인 Nuon은 암스테르담의 자위다스(Zuidas)에 지역냉방 시스템을 도입하기로 결정하고 스웨덴 업체(Capital cooling)와 계약을 2003년에 체결했다. ‘South Axis’라는 의미의 자위다스는 도심과 스키폴 공항 사이에 위치한 국제업무지구로, 네덜란드에서 현재 건물 밀도가 가장 높은 지역이다.⁶⁾ 특히 자위다스는 환경·지속가능성·삶의질에 중점을 두고 개발되었다는 점에서 의미가 있는 지역이다. 세부적으로는 전체 면적 2500만㎡ 중 주택이 45%, 업무시설이 45%, 일반시설이 10%를 차지하고 있다.

2) 기술적 요인

자위다스의 지역냉방 시스템은 암스테르담 남서부에 위치한 인공호수(Nieuwe Meer)를 열원으로 사용하고 있다. 30m 깊이에서 펌프로 끌어올려진 저온수는 지역배관망의 온도를 낮추는 데 사용되며, 열을 흡수한 물은 다시 호수로 방류된다. 따라서 호수의 물이 건물에 직접 공급되는 것은 아니며, 냉각에 필요한 열만 흡수한 뒤 자연상태로 되돌아간다. 호수에서 유입되는 저온수는 온도가 5℃이며, 호수로 되돌아가는 물은 16℃이다.

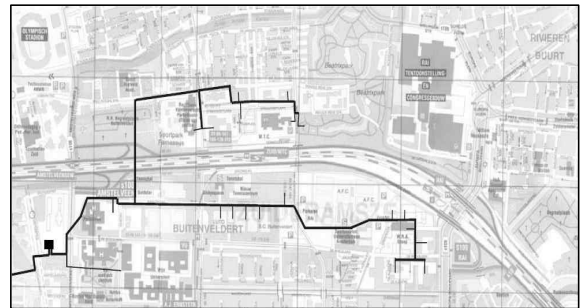


자료: Nuon, 2005.

그림 6. 자위다스의 호수열원 지역냉방 시스템

호수의 저온수를 이용해서 냉각된 물은 지역냉방 플랜트로부터 건물까지 배관망을 통해 공급된다. 건물로 공급된 냉각수는 실내 공기온도를 낮추는 데 사용된다. 배관망 중에서 가장 넓은 관의 지름은 700mm이며, 길이는 5.5km이다. 자위다스 지역냉방 시스템의 용량은 60MW로, 2012년까지 최대 냉방수요 76MW를 충족할 수 있도록 설계되

었다. 지역냉방에서는 고객들에게 충분한 냉방 서비스를 보장해주는 것이 중요하기 때문에 자위다스 시스템은 50MW의 일반 냉각기를 추가로 설치해서 호수의 온도가 높을 때에도 냉방을 지속적으로 공급할 수 있도록 대비하고 있다.⁷⁾



자료: Nuon, 2005.

그림 7. 자위다스의 지역냉방 배관망

3) 도시기반 요인

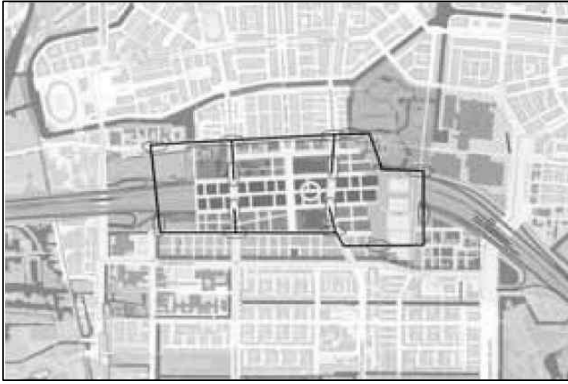
자위다스 지역은 고밀도로 개발되었기 때문에 공공설비에 대한 접근성과 충분한 냉방용량의 확보가 중요한 지역이다. 그렇지만 중심도로인 Mahlerlaan의 지하공간은 당시 모든 공공설비들을 수용하기에 너무 좁다는 문제가 있었다. 이 문제를 해결하기 위해 시 당국은 공공설비터널(public utility tunnel)을 건설하기로 결정했다. 공공설비터널 계획의 주요 원칙은 모든 공공설비들을 전부 수용할 수 있어야 한다는 것이었다. 결과적으로 지금은 지역냉방을 포함한 전기·가스·물·하수·우수·통신 등의 모든 설비들이 공공설비터널을 이용하고 있다(Taselaar, 2008). 이 터널은 두 개의 통로로 나뉘어져 있으며, 케이블과 배관벽을 따라 층층이 쌓여져 있다. 각각의 통로는 케이블 및 배관의 유지·보수뿐만 아니라 추가 설치가 가능하도록 설계되었다. 터널의 상단부는 1.2m 두께의 흙으로 덮여 있는데, 이는 터널위로 지하수가 흐르고, 나무가 자라기에 충분한 두께이다. Mahlerlaan의 모든 건물들은 공공설비터널을 이용할 수 있도록 지하주차장으로 직접 연결되는 인입관을 설치해놓고 있다.

터널 건설과 케이블·배관 설치에 1년 5개월이 소요되었으며, 공사가 완료된 2005년 3월부터 운영에 들어갈 수 있었다. 공공설비터널 건설사업은 시당국이 비용을 지불하고, 터널개발의 총괄책임은 암스테르담 터널국이 담당하는 것으로 결정되었다. 터널 건설에 들어간 비용은 800만 유로였으며, 공기업이 부담하는 터널 사용료는 연간 10만 유로로 책정되었다. 이후 터널은 시당국이, 개별 설비는 공기업들이 관리하는 방식으로 운영되고 있다.⁸⁾

6) 네덜란드에서 용적률(FSI: Floor Space Index)이 가장 높은 지역은 1.5였는데, 자위다스의 용적률은 평균 4로 설계되었다(www.iea-dhc.org).

7) http://www.c40cities.org/bestpractices/energy/amsterdam_cooling.jsp.

8) www.iea-dhc.org (“Showcase of district cooling systems in Europe-Amsterdam”)



자료: Taselaar, 2008.

그림 8. Mahlerlaan의 공공설비터널



자료: Taselaar, 2008.

그림 9. 공공설비터널의 구조

4) 제도적 요인

유럽의회는 「재생가능에너지의 이용촉진에 관한 지침」을 2008년에 채택함으로써 해수·하천수·하수 등의 수열원 에너지(hydro-thermal energy)를 재생가능에너지에 포함시키고 있다. 구체적으로는 “열펌프에 의해 생성된 지열 및 수열원의 열에너지는 난방과 냉방에 사용되는 재생가능에너지에 포함해야 한다”고 명시되어져 있다. 마찬가지로 네덜란드에서도 지표수를 사용하는 열펌프에 한해서 재생가능에너지로 분류하고 있다(김시현, 2010). 이처럼 유럽과 네덜란드에서 미활용에너지에 대한 지원이 확대되는 추세 덕분에 Nuon은 네덜란드 정부로부터 보조금을 받아서 지역냉방시스템을 건설할 수 있었다. 보조금은 90만 유로였으며, 투자금액은 2500만 유로였다.⁹⁾

5) 경제적 타당성

이로써 자위다스의 지역냉방 시스템은 기존의 건물용 냉각장치와 쿨링타워를 대체할 수 있었다. 기존의 건물용 냉각기는 성능계수(COP)¹⁰⁾가 2.5로 효율이 낮은 편인데

반해, 호수의 저온수를 이용하는 지역냉방의 COP는 10으로 효율이 매우 높기 때문에 경제성을 확보할 수 있었다. 일반적으로 호수열을 이용하는 지역냉방 시스템은 냉각탑을 이용하는 수냉식 건물냉방 시스템에 비해 에너지 소비가 83% 절약되며, 공냉식 시스템에 비해서는 더 많은 에너지가 절약되는 것으로 알려져 있다(Zogg et al., 2008). 자위다스는 전력소비 절감 덕분에 온실가스 배출량도 75% 줄일 수 있었다. 암스테르담에서 지역냉방 서비스를 공급받는 대표적인 기업으로는 AMRO, KPN, Eurocenter가 있으며, 이들은 지금까지도 전체 지역냉방 서비스의 1/3을 차지하는 주요 고객으로 자리잡고 있다. 특히 이들은 컴퓨터와 기계 사용으로 인해 열 배출이 많기 때문에 지역냉방이 특히 필요한 업체들이다.¹¹⁾

4.2 스톡홀름의 해수열 지역냉난방

1) 스톡홀름의 지역냉난방사업 개요

스웨덴의 수도인 스톡홀름의 지역냉난방과 전기·가스 공급은 ‘스톡홀름 에너지(Stockholm Energi)’라는 업체가 전담하고 있다. 스톡홀름 에너지는 1969년 Värtan Plant의 완공을 시작으로 40여년 동안 시내와 교외에 지역난방을 공급하고 있다. 현재 스톡홀름 주민의 60%가 지역난방을 공급받고 있으며, 특히 시내에서는 전체 주민의 90%가 지역난방을 이용하고 있는 실정이다. 천연가스가 공급되지 않았던 스톡홀름 시내에는 초기부터 석유나 석탄을 연소 시켜서 전기와 열을 함께 공급하는 열병합 발전(CHP: Combined heat and power)이 지역난방 시스템으로 도입되었다. 그러다가 1970년대 석유과동 이후 유가 상승으로 인해 상대적으로 전기요금에 저렴해지면서 경쟁력을 갖게 된 열펌프가 점차 늘어나기 시작했다.¹²⁾

스톡홀름에서 지역난방에 사용되는 에너지원은 매우 다양하다. 에너지원의 35%는 석유·석탄 같은 화석연료이고, 26%는 쓰레기·우드칩·바이오연료이다. 나머지 26%는 열펌프를 통해 공급되는 해수·하수 같은 미활용 에너지이며, 열펌프에 공급되는 전기가 13%를 차지하고 있다. 이 중에서도 바이오연료와 해수, 하수는 자연에서 얻을 수 있는 에너지이기 때문에 스톡홀름 지역난방의 절반 이상을 재생가능에너지가 차지하고 있다.

지역난방을 통해 공급되는 열에너지는 3,400MW이다.¹³⁾ 전체 길이 765km의 배관망은 중심부·서북부·남부 권역으로 구분되며, 이 배관망을 통해서 공급되는 난방 에너지는 5,700GWh이다. Värtan Plant에서 담당하는 중심부 권역에는 해수를 열원으로 작동하는 열펌프가 설치되어져 있어서 2,600GWh의 열량을 공급하고 있다. 서북부 권역은 Hammarby Plant와 Högdalen Plant에서 담당하며, 공급되

9) http://www.c40cities.org/bestpractices/energy/amsterdam_cooling.jsp

10) COP는 냉방 관련 성능계수인 Coefficiency Of Perfomance의 약자이다. 여기서 COP 2.5는 1KWh의 전기를 사용해서 2.5KWh의 냉방 서비스를 제공한다는 의미이다.

11) http://www.c40cities.org/bestpractices/energy/amsterdam_cooling.jsp

12) <http://www.energy.rochester.edu/se/stockholm/heatsupply.htm> (Lindroth, C., “The Heat Supply of Stockholm”)

13) 열에너지에 대한 수요가 높은 기간에만 사용되는 석유 보일러는 용량이 2,000MW이고, 열펌프는 420MW, 바이오연료 보일러는 200MW, 전기보일러는 530MW, 석탄 보일러는 220MW이다. 폐열을 사용하는 CHP를 통해서 공급되는 전기는 480MW이다.

는 열은 각각 800GWh와 1,200GWh이다. Hammarby Plant에는 하수를 열원으로 하는 열펌프가 설치되어 있고, Högdalen Plant는 생활쓰레기와 바이오연료를 열원으로 하는 보일러가 설치되어져 있다. 남부 권역은 Hässelby Plant에서 담당하며, 바이오 연료를 이용해서 1,100GWh의 열을 공급하고 있다.

1969년에 완공된 Värtan Plant는 스톡홀름에서 가장 큰 지역난방 시설이며, 완공 당시에는 석유 보일러를 통해서 데워진 물이 배관망으로 공급되는 방식이었다. 이후 지역 난방에 대한 수요 증가로 인해 전기보일러와 CHP 등이 지속적으로 추가되었다. 1,2차 석유파동 이후 Värtan Plant에는 1985년부터 1986년까지 6개의 열펌프가 설치되었으며, 이는 당시 세계에서 가장 큰 규모의 열펌프 시설이었다. 열펌프는 석유 대신 전기를 사용할 뿐만 아니라 바닷물에 포함된 막대한 열에너지를 사용할 수 있다는 측면에서도 큰 장점을 갖고 있었다.

특히 스톡홀름은 스웨덴에서 가장 큰 Malaren호와 발틱해가 만나는 연안에 자리잡고 있기 때문에 해수를 냉방용으로도 사용하기에 적합한 조건을 갖추고 있다. 발틱해로 흘러들어가는 Malaren호의 담수는 바닷물 보다 밀도가 낮아서 해수의 상층부로 이동한다. 이렇게 생성된 표면 조류는 해수를 다시 끌어당기고, 이를 대체하기 위해 발틱해로부터 스톡홀름으로 향하는 해저의 조류가 만들어지게 된다. 이 조류는 해저의 차가운 물을 지역난방 시스템까지 운반하는 역할을 한다. 해저의 바닷물이 스톡홀름으로 이동하기까지는 3개월의 시간이 소요된다. 따라서 7월에 플랜트로 취수된 유입수는 인근 해역에서 4월에 출발한 물이다. 특히 4월은 얼음이 녹는 시절이기 때문에 물의 온도가 매우 낮아서 냉각용으로 활용하기에 적합하다(Fermbäck, 1995).

2) 기술적 요인

스톡홀름은 지역난방용으로 여름에는 수심 5m, 겨울에는 15m에서 따뜻한 물을 취수해서 사용한 뒤 다시 5m 깊이에서 방류하고 있다. 취수구와 방류구의 온도는 2°C 정도의 차이가 있다. 해수를 활용할 경우 염분으로 인한 부식이 발생할 수 있기 때문에 스톡홀름에서는 금속이 아닌 목재 취수관을 사용하고 있다. 기본적인 난방수요는 열펌프가 담당하고 있으며, 수요가 최고치에 달하는 동절기에는 전기보일러와 석유보일러를 보조로 사용하고 있다(박준택, 2010).

스톡홀름 지역난방 플랜트의 경우에도 난방용 열펌프가 설치되어 있는 Värtan Plant와 가까운 곳에 위치해 있다. 지역난방 플랜트에는 해수를 열원으로 하는 25MW급 4개의 열펌프가 설치되어 있다. 수심 20m 깊이에 위치한 2개의 취수구를 통해 열펌프로 유입된 차가운 해수는 6개의 열교환관을 통과하는데, 열교환관도 부식을 방지하기 위해 티타늄으로 만들어졌다. 이렇게 만들어진 냉각수는 플랜트에서 지름 800mm, 길이 4km의 수송관을 통해 시내로 공급된다.

플랜트에서 6°C 이하의 온도로 차갑게 공급되는 냉각수

의 경우 냉방수요가 많을 때는 최고 16°C의 온도로 회수된다. 지역난방으로 공급되는 냉각수의 온도는 최소한 6°C로 품질이 유지되어야 하며, 냉방부하가 큰 여름철에는 시스템의 성능을 높이기 위해 온도를 더 낮춰서 공급해야 한다. 그렇지만 가을에는 수면뿐만 아니라 해저의 저온수조차도 지역난방을 충당할 만큼 차갑지 않은 상태가 된다. 따라서 Värtan Plant에 설치되어 있는 다른 열펌프를 통해서 부족한 냉방 에너지를 공급하게 된다. 지역난방용으로 설치된 이 열펌프들은 지역난방 사업을 지탱하고 지역난방 플랜트의 입지를 정하는 데 있어서 중요한 요소로 작용했다(Fermbäck, 1995).

3) 도시기반 요인

스톡홀름 지역난방 사업의 초기에는 기존의 시설물을 이용해서 냉방을 공급할 수 있는 다양한 방안들이 제시되었다. 첫 번째는 지역난방에서 사용되는 기존의 열펌프를 그대로 사용하자는 제안이었다. 그렇지만 냉방수요가 최고조에 달하는 여름에는 난방 부하가 너무 낮고, 반대로 난방수요가 최고조에 달하는 겨울에는 냉방 부하가 낮다는 문제가 있었다. 이는 열펌프가 냉방을 공급하는 과정에서 열이 발생하기 때문에 그만큼 효율이 떨어지고 생산비용이 증가한다는 것을 의미한다.

두 번째는 스톡홀름 지하의 차갑고 깨끗한 하수를 이용하자는 제안이었다. 이 아이디어는 냉각된 물을 지상으로 끌어올린 뒤 열교환기를 통과시켜서 지역난방 배관망으로 공급하자는 제안이었다. 스톡홀름의 하수가 차가운 이유는 주변 도시에서 열펌프를 작동시키는데 사용되었던 물이기 때문이다. 그렇지만 하수의 온도가 일정하게 유지되지 않을 뿐만 아니라 주변 도시에서도 지역난방 사업을 계획하고 있었기 때문에 실현될 수 없었다.

마지막 제안이 바닷물을 이용하는 지역난방이었다. 도시 내에 이미 냉각 플랜트가 있기는 하지만, 물의 온도가 높을 때의 냉방 수요를 만족하기 위해 완전히 새로운 설비를 도입해야만 했다. 결국 지역난방용 해수 열펌프가 설치되어 있는 Värtan Plant와 가까운 곳에 냉각 플랜트를 건설하는 것으로 결정되었다. 기존의 도시기반시설인 열펌프를 사용할 경우 투자비용이 줄어들 수 있었다. 그렇지만 지역난방용 플랜트가 스톡홀름에서 4km 떨어진 Värtan에 위치해 있기 때문에 도시 중심부까지 냉각수를 이동하기 위한 수송관이 필요했으며, 이에 대한 투자가 수반되어야 했다. 다행히도 수송관은 기존의 지역난방용 암반터널에 추가로 설치될 수 있었기 때문에, 수송관을 위한 추가적인 비용이 절감될 수 있었다(Fermbäck, 1995).

4) 제도적 요인

스웨덴 정부는 1차 석유파동 이후 석유의존도를 줄이는 것을 에너지 정책의 목표로 설정했다. 한편으로는 이산화탄소 배출을 줄이기 위해 탄소세를 부과하기도 했는데, 1984년부터는 탄소·유황·질소산화물·항공·건전지·살충제·상업시설도 세금 부과대상에 포함되었다. 게다가 탄소세가 1996년부터 탄소 1톤당 370크로나¹⁴⁾로 증액되면서, 재생

가능에너지는 이런 세금이 면제된다는 장점이 있었다. 1994년부터는 지역난방용 재생가능에너지에 대해 보조금이 지급되기 시작했으며, 당시 보조금은 MWh당 90크로나였다. 한편, 스웨덴 정부는 1997년부터 원자력 발전의 단계적 폐지를 촉진시키기 위한 수단으로 재생가능에너지와 에너지 효율개선에 수십억 달러를 지원하기 시작했다. 이런 정책들을 추진한 덕분에 스웨덴의 석유의존도는 1970년 77%에서 2006년 30%로 줄어들었으며, 재생가능에너지 공급비율은 1994년 22%에서 2005년 29%로 높아질 수 있었다.¹⁵⁾

지역난방이 운영되자 지역난방을 바로 도입해야 한다는 의견도 있었지만 스톡홀름 에너지는 지역난방 사업에 바로 착수하지는 않았었다. 그렇지만 에어컨에서 사용되는 프레온 가스인 CFC와 HCFC의 사용을 제한하는 정책이 국내외적으로 수립되자 스톡홀름 에너지는 1993년부터 지역난방 사업을 시작하게 되었다. 이후 1994년 7월에 투자가 최종적으로 결정되었으며, 1995년부터는 지역난방이 공급될 수 있었다(Fermbäck, 1995).

5) 경제적 타당성

지역난방이 화석연료 중심의 기존 난방시스템을 대체하면서 건물마다 설치되어 있던 굴뚝이 매년 200개씩 사라지기 시작했다. 덕분에 스톡홀름의 공기가 맑아질 수 있었다. 또한 스톡홀름 에너지의 플랜트에서 배출되던 질소산화물·황산화물·먼지도 온도차 에너지를 사용하면서부터 점차 줄어들게 되었다. 1988년부터 1994년 사이에 질소산화물은 50%, 황산화물은 66% 감소했으며, 먼지 배출량은 61톤에서 53톤으로 줄어들었다.¹⁶⁾

이후 컴퓨터 사용이 늘어나면서 여름철뿐만 아니라 거의 1년 내내 난방이 필요하게 되었다. 늘어난 난방수요를 전통적인 개별 에어컨으로 공급할 경우에는 지역난방에 비해 5배나 많은 전기를 사용할 수밖에 없다. 따라서 스톡홀름에서는 지역난방을 공급함으로써 전통적인 난방방식에 비해 전력 소비를 80% 가량 감소시킬 수 있었다. 특히 여름철 전기 사용량이 최고일 때뿐만 아니라 겨울철 전기 사용량이 최고일 때에도 지역난방은 전기 소비와 전력 부하를 줄이는 이중 효과가 있다(Euroheat & Power, 2006).

한편 지역난방은 CFC와 HCFC 배출을 60톤 이상 감소시키는 부수효과도 있었다. 온실가스 배출량 역시 전통적인 난방방식에서 KWh당 280g이었던 것을 60g으로 줄일 수 있었다. 게다가 개별 난방장치가 지역난방으로 대체되면서 소음이 사라졌을 뿐만 아니라 건물내 가용면적이 늘어나면서 건물주의 경제적 이득이 늘어나게 되었다. 예를 들면 어떤 건물은 지역난방을 공급받음으로써 옥상 위의

냉각탑을 제거하고 대신에 펜트하우스를 만들 수 있었다.

이처럼 스톡홀름의 지역난방은 시장에서 경쟁력을 확보할 수 있었기 때문에 정부의 간섭이나 장기 계약으로부터 자유로울 수 있었다. 따라서 개별 소비자와의 계약은 탄력적인 다양한 방식으로 체결될 수 있었으며, 때로는 지역난방과 통합된 패키지 상품도 판매될 수 있었다. 특히 지역난방 시스템은 유연하기 때문에 추가적인 설비 투자 없이도 난방수요에 따라 공급량의 조절이 가능하다는 장점도 갖고 있었다.

4.3 동경의 하천수열 지역난방

1) 동경의 지역난방 사업 개요

동경의 하코자키(箱崎) 지구는 하천수를 열원으로 지역난방을 공급하는 일본 최초의 지역이다. 하코자키 지구는 1982년 오가와바타(大川端) 재개발 구상에 포함된 지역으로 미쓰이(三井) 창고를 중심으로 하는 물류시설 용도 전환계획의 일환이었으며, 하코자키 지구의 지역난방 사업은 동경도의 공해방지대책이 발효되면서 추진될 수 있었다. 주식회사 동경전력이 1987년 12월 21일 사업허가를 받아 1989년 4월 1일부터 난방을 공급하기 시작했다. 미쓰이 창고 지하3층에 위치하고 있는 플랜트를 통해 공급되는 담당구역의 면적은 25.4ha이며, 업무용 빌딩 5채와 주택 100호에 지역난방이 공급되고 있다. 하코자키의 지역난방 사업이 지향하는 기본원칙은 첫째 믿을 수 있는 난방 설비, 둘째 에너지 절약 성능이 뛰어난 고효율 설비, 셋째 대기오염물질을 배출하지 않고 폐열 발생이 적은 친환경 설비, 넷째 저렴한 심야전력을 이용하는 경제성이 높은 설비, 다섯째 플랜트를 집약시킴으로써 공간을 절약하는 설비, 여섯째 운전관리가 용이해서 인력감축이 가능한 설비였다(박준택, 2003b).

2) 기술적 요인

하코자키 지구의 지역난방은 스미다강(隅田川)의 하천수를 열원으로 사용하고 있다. 스미다강의 수온은 여름철 25℃, 겨울철 8℃로 연간 변동폭이 20℃ 전후이며, 월간 변동폭은 2℃ 정도이다. 스미다강에서 취수된 하천수는 여름철에 난방용으로, 겨울철에 난방용으로 활용한 뒤 다시 스미다강으로 방류된다. 지역난방으로 활용된 뒤 하천으로 방류될 때 유입 온도와의 차이는 여름철 +5℃, 겨울철 -3℃이다. 취수구에서 열펌프까지의 배관길이는 120m이다. 하코자키 지구에서는 온도를 높이고 내릴 수 있는 3대의 열펌프를 사용해서 지역난방용으로 47℃의 온수를 공급하고, 지역난방용으로는 7℃의 냉수를 공급하고 있다. 또한 주택용으로는 60℃의 급탕용 온수도 공급하고 있다.

3) 도시기반 요인

하코자키 지구는 하천수의 온도차 에너지를 이용해서 지역난방 사업을 진행하기에 적합한 세 가지 조건을 갖추고 있다. 첫째, 도시지역이라는 특성으로 인해 난방과 난방에 대한 수요의 밀도가 높다는 장점이 있다. 둘째, 다양한 용도의 건물이 혼재되어 있는 덕분에 열수요가 평균화되어 있어서 지역난방을 운영하기에 적합한 지역이다.

14) 스웨덴은 유럽 연합에 가입한 국가이지만 유로화를 쓰지 않고 자체 화폐인 크로나(SEK)를 사용하고 있으며, 1SEK는 2011년 1월 현재 166원의 가치를 갖고 있다.

15) <http://www.un.org/esa/agenda21/natlinfo/countr/sweden/natur.htm> ("Agenda 21: Natural resource aspects of sustainable development in Sweden")

16) <http://www.energy.rochester.edu/se/stockholm/heatsupply.htm> (Lindroth, C., "The Heat Supply of Stockholm").

셋째, 계획적인 재개발 방식으로 진행되었기 때문에 건설공정과 열수요에 대한 계획이 명확하다는 측면에서도 하코자키 지구는 지역난방 사업을 시행하기에 유리한 조건을 갖추고 있었다.

4) 제도적 요인

「신에너지이용 등의 촉진에 관한 기본방침」에 따르면 열펌프를 이용해서 하천수·해수·하수 등의 물을 급탕·난방·냉방 등의 용도로 이용할 경우 일본은 이를 ‘온도차 에너지’로 분류해서 ‘신에너지’에 포함시키고 있다. 이와 더불어서 일본 정부는 「에너지사용의 합리화에 관한 법률」, 「공장에서 에너지의 사용합리화에 관한 사업자의 판단 기준」, 「신에너지이용 등의 촉진에 관한 특별조치법 시행령」, 「지구온난화 대책추진 대강」 등의 법령을 토대로 온도차에너지의 활용을 촉진시키고 있다. 특히 동경도의 경우에는 미활용 에너지 열원으로부터 1km 이내의 구역을 ‘미이용에너지활용 지역난방 촉진지구’로 지정해서 사업을 지원하고 있다(산업자원부, 2007).¹⁷⁾

구체적으로 일본에는 미활용 에너지의 보급을 확대하기 위한 지원정책들이 다양하게 마련되어져 있다. 통상산업성은 신에너지보급계획을 수립한 지방자치단체에게 ‘지역의 신에너지도입 촉진대책비 보조금’을 지급하고 있으며, 민간사업자에게도 ‘신에너지사업자 지원사업’을 통해서 사업비의 1/3 이내에서 보조금을 지급하고 있다. 그밖에도 ‘지역에너지 개발이용 촉진대책비 보조금’은 온도차에너지·지열·폐열·폐기물 등의 신에너지사업을 추진하는 지방공공단체와 민간사업자에게 자금을 저리로 융자해주는 제도이다. 마찬가지로 건설성도 하수로부터 열을 흡수하는 시설에 대해 보조금을 지급하고 있다. 환경청의 경우에는 ‘지구온난화 대책 지역추진계획 모델사업’을 추진하는 지방공공단체에게 비용의 50% 이내에서 보조금을 지급하고 있다.

5) 경제적 타당성

하코자키 지구에서 하천수를 난방으로 이용하기 위한 시설에 투자된 비용은 6억엔이다. 하천수 열원 지역난방 시설을 통해서 이 지역은 온실가스를 33%, 이산화질소를 35% 줄일 수 있었다. 마찬가지로 냉각용 압축기의 동력소비를 13% 줄일 수 있었으며, 보조 냉각기의 성능계수(COP)도 20% 향상시킬 수 있었다. 끝으로 지역 난방설비의 수돗물 사용량도 줄일 수 있었다. 즉, 이전에 사용되었던 6,485m³의 수돗물을 하천수로 대체함으로써 용수를 별도로 공급받을 필요가 없어지게 되었다.

4.4 오슬로의 하수열 지역난방

1) 오슬로의 지역난방 사업 개요

노르웨이의 수도인 오슬로 교외에 자리잡은 산드비카(Sandvika)는 1980년대에 빠르게 성장한 지역이다. 전체 면적은 30만m²로, 업무시설, 주택, 오락시설 등이 위치해 있다. 에너지업체인 배룸(Baerum)은 오슬로 에너지국의

지원을 받아서 하수열 지역난방 사업에 착수했다. 이후 배룸은 의회결정으로 산드비카 전지역의 지역난방 공급을 책임지게 되면서 다양한 에너지원의 가능성에 대해 연구하기 시작했다. 연구결과 난방을 함께 공급할 수 있는 열펌프를 사용하는 방안이 비용을 가장 저렴하게 줄일 수 있다는 결론에 이르게 되었다. 이로 인해 1986년부터 시스템 설계에 들어가 1987년 3월에는 지역난방 플랜트, 5월에는 배관망 공사를 시작할 수 있었다. 이후 1988년 여름에 시험가동을 거쳐, 1989년부터는 지역난방을 공급할 수 있었다(박준택, 2007).

2) 기술적 요인

오슬로에서는 지역난방 열원으로 터널을 따라 흐르는 하수가 사용되고 있다. 오슬로의 주요 지점에 연결되어 있는 하수터널은 암반을 파서 만든 지하동굴의 내부에 있으며, 노르웨이에서 가장 큰 기반시설 가운데 하나이다. 하수터널의 옆에는 기계실이 위치해 있는데, 이곳에 2개의 열펌프가 설치되어 있다. 이 2개의 열펌프를 통해서 산드비카 난방 수요의 80%를 충당하고 있다. 오슬로의 경우에도 최대 난방 부하에 대응하기 위해 석유 보일러 3대로 구성된 기존의 난방 플랜트와 전통적인 냉각기가 지역난방 시스템에 비상용으로 운영되고 있다. 이들 보조 설비들은 지하동굴에서 멀지 않은 거리에 위치해 있다.

열펌프에 필요한 하수는 하수터널에서 취수된 뒤 2단계의 여과처리를 받는다. 이렇게 정제된 하수는 열교환기를 통과해서 에너지가 회수된 뒤 다시 하수터널로 방류된다. 지역난방 배관망의 길이는 10km이고, 지역난방의 배관망은 4km에 달한다. 열펌프 2대의 난방용량은 13MW이고, 냉방용량은 9MW이다. 하수열을 이용한 지역난방 공급량은 연간 47GWh, 지역난방 공급량은 11GWh이며, 전체 지역난방 공급량 가운데 52%를 하수열로 공급하고 있다(Friotherm, 2005).



자료: Friotherm, 2005.

그림 10. 산드비카의 하수열원 열펌프

3) 도시기반 요인

1848년부터 오슬로 시정부는 하수처리장을 도시 중심부에 건설했었다. 그렇지만 1973년 이후 시정부는 30km 떨어진 외곽 지역에 대규모 하수처리장을 건설하기로 결정했다. 따라서 하수터널이 인구밀집지역의 지하를 통과할 수밖에 없었다. 현재 오슬로의 하수터널은 동부 Bekkelaget

17) 동경의 미활용 에너지는 쓰레기소각배열, 하수열, 하천수열 및 해수열을 말한다.

과 서부 VEAS라는 처리장으로 하수를 이송하는 역할을 맡고 있다. 오슬로의 경계로부터 VEAS 하수처리장까지 터널의 길이는 42.3km에 달한다. 하수터널의 부피는 345,000m³이고, 평균 유속은 2.4m/s이다. 욕실·화장실·싱크대 등에서 배출되는 하수는 막대한 양의 에너지를 보유하고 있다. 오슬로에서 도로 표면을 거쳐서 하수터널로 유입되는 우수와 하수의 평균 온도는 9.6℃이다. 산드비카 플랜트는 터널 옆에 위치하고 있으며, 이런 하수를 열원으로 활용해서 지역난방을 공급하고 있다(Friotherm, 2005).

4) 제도적 요인

과거 노르웨이는 수력이 너무나도 풍부해서 다른 재생가능에너지에 대한 관심이 부족했던 게 사실이다. 그렇지만 최근 들어 국제적으로는 기후변화 문제에 대한 관심이 높아지고 국내적으로도 에너지원의 안정적인 공급이 중요해지면서 관련 정책에 변화가 생기기 시작했다. 1990년대까지만 해도 재생가능에너지 지원사업은 노르웨이 에너지국이 담당했다. 그렇지만 2000년대 들어서는 에노바(Enova)라는 전문조직이 재생가능에너지와 에너지 효율개선 사업에 대한 지원업무를 담당하고 있다. 지원금은 1990년대와 마찬가지로 공공요금의 수수료를 통해서 확보되고 있다. 2007년부터는 수수료뿐만 아니라 신에너지 펀드도 지원금에 추가되었다.¹⁸⁾

노르웨이에서 열펌프는 1976년 연구개발사업을 통해 시작되었으며, 1980년대부터는 설비투자를 지원하는 방식으로 전환되었다. 1990년부터 열펌프에 대한 실질적인 지원이 이뤄지기 시작했지만 당시까지는 아직 시범사업에 불과했으며, 1992년부터 주거·산업부문에서 열펌프 설비에 대한 40%의 보조금이 지급되면서 보급이 늘어나게 되었다. 2002년부터는 에노바가 열펌프를 포함한 대안적인 난방시스템에 자금을 지원하기 시작했다. 초기에는 대형 프로젝트를 중심으로 사업이 진행되었지만 2006년부터는 일반 가정의 대체 난방시스템 도입과 에너지 절약 사업에도 에노바의 지원이 이뤄질 수 있었다(Eikeland, 2006).

5) 경제적 타당성

산드비카에서는 난방과 냉방을 동시에 공급할 수 있도록 배관망이 함께 연결되어 소비자들이 비용을 절감할 수 있었다. 특히 북부 지역의 특성을 고려해 겨울철에 얼어붙은 도로의 표면을 녹이는 데에도 지역난방이 활용되고 있다. 한편으로는 지역난방을 도입함으로써 이산화황이나 질소산화물 같은 대기오염물질도 줄어들게 되었다. 결과적으로 초기의 투자비용과 운영비용을 고려하더라도 하천수를 사용하는 것은 경제적인 측면에서 대단히 합리적인 선택일 수 있었다. 즉, 건물마다 냉각탑을 별도로 설치하는 것보다 지역난방과 지역냉방을 결합하는 방안이 훨씬 더 경제적인 것으로 나타났다. 엔지니어들은 산드비카 플랜트

에서 생산된 냉각수와 동일한 양을 개별 냉방기로 생산하려면 10배나 많은 전기가 필요했을 것으로 추정하고 있다(Friotherm, 2005).

4.5 종합 분석

4장에서는 미활용에너지를 개발해서 활용하고 있는 대표적인 해외 도시들이 경제적 타당성이라는 측면에서 검토될 수 있었다. 또한 경제적 타당성을 뒷받침하는 하위요소를 기술적 요인, 도시기반 요인, 제도적 요인으로 구분해서 보다 구체적으로 살펴볼 수 있었다. 분석결과 미활용에너지의 경제적 타당성을 결정짓는 첫 번째 요소인 기술적 요인은 도시 지역이 이미 확보하고 있는 것으로 판단된다. 왜냐하면 대부분의 도시들이 하천을 따라서 형성되어 있거나 항구도시처럼 바다에 인접한 경우가 있을 뿐만 아니라 밀집된 인구조로 인해 최소한 하수열은 보유하고 있기 때문이다. 따라서 기술적 요인이 도시지역에서 대부분 충족된다면 미활용에너지를 개발하기 위한 경제적 타당성은 나머지 두 요소인 도시기반 요인과 제도적 요인에 의해 결정될 수밖에 없을 것이다.

먼저 도시기반 요인은 지방정부 차원에서 관심을 가지고 주도적으로 구축해나갈 필요가 있다. 예를 들면 암스테르담의 경우에는 지방정부가 시내 중심가에 공공설비터널을 건설해 줌으로써 호수열을 이용한 지역냉방이 가능할 수 있었다. 스톡홀름의 경우에도 기존의 지역난방 설비의 배관망을 활용함으로써 해수열 지역냉방을 도입할 수 있었다. 동경도의 경우에는 도시재개발과 연계함으로써 하천수를 이용한 지역난방 공급에 유리한 기반을 조성해줄 수 있었다. 끝으로 오슬로의 경우에도 기존의 하수터널을 활용함으로써 지역내 미활용에너지를 개발할 수 있었다.

한편으로는 도시기반 요인뿐만 아니라 제도적 요인도 미활용에너지를 개발하는 데 있어서 중요한 역할을 담당하고 있었다. 암스테르담은 유럽과 네덜란드 정부가 제공하는 미활용에너지에 대한 지원 덕분에 보조금을 받아서 지역냉방 시스템을 건설할 수 있었다. 반면에 스톡홀름의 경우에는 화석연료에 부과되던 세금을 미활용에너지에 대해 면제해주는 방식의 지원을 통해서 해수열 지역난방이 도입될 수 있었다. 동경도의 경우에는 '신에너지이용 촉진법'과 '미활용에너지 촉진지구'라는 제도 덕분에 하천수를 이용한 지역난방 사업이 추진될 수 있었다. 끝으로 오슬로의 경우에는 공공요금의 수수료를 통해서 확보된 자금과 에노바라는 전문조직이 있었기에 하수열을 이용한 지역난방 사업이 지원을 받을 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서 분석한 바와 같이 대부분의 도시지역이 미활용에너지를 개발하기 위한 기술적 요인을 갖추고 있기 때문에 사업의 경제적 타당성을 높이기 위해서는 중앙정부의 제도적 지원과 더불어서 기존의 도시 인프라를 최대한 활용하려는 지방정부의 노력이 중요할 것으로 판단된다. 한국의 중앙정부도 2008년에 발표된 「제3차 신재생에

18) 신에너지 펀드는 2007년 12억 유로에서 2009년 25억 유로로 증액되었으며, 지원금은 2007년 900억 유로에서 2010년 2000억 유로로 늘어난 상태이다.

너지 기본계획」을 통해서 장기적으로는 ‘자연미활용에너지’라는 개념을 도입함으로써 신재생에너지와 구분되는 별도의 지원체계를 마련하겠다는 전망을 제시한 바 있다. 그렇지만 아직까지는 여전히 신·재생에너지라는 모호한 개념 속에서 모든 미활용에너지가 아닌 해수와 지열, 폐기물만이 중앙정부에 의해 지원받고 있는 실정이다. 그렇다면 지금처럼 중앙정부에 의한 제도적 지원이 미흡한 상황에서는 기존의 인프라를 활용해서 경제적 타당성을 높여려는 지방정부의 노력이 더욱 더 중요할 수밖에 없다.

지금까지 서울·부산·대구를 중심으로 지역적인 차원에서 미활용에너지의 잠재량을 조사한 연구는 이미 여러 차례 진행된 바 있다(황광일, 2003; 김호성·오명도, 2002; 양진우, 1999; 김동식 외, 2003; 박준택·장기창, 2002). 그렇지만 이들은 잠재량이라는 미활용에너지의 경제적 타당성 3요소 가운데 가장 기본이 되는 기술적 요인만을 검토하고 있을 뿐이지 더 중요한 나머지 두 가지 요소, 즉 도시기반 요인과 제도적 요인은 고려하지 않고 있다. 그렇다면 서울·부산·대구를 대상으로 미활용에너지의 활용가능성을 판단하려면 기술적 잠재량뿐만 아니라 지역에서 활용 가능한 도시기반 요인에 대한 검토가 반드시 선행되어야 할 것이다. 특히 2030년까지 국가 목표에 상응하는 수준의 막대한 양을 미활용에너지로 보급하겠다는 서울시는 기존의 지역난방 인프라를 활용함으로써 경제적 타당성을 높일 수 있는 수요처를 중심의 보급활성화 방안을 모색해야 할 것이다.

한국 정부는 2004년에 신재생에너지 원년을 선언한 이래로 지금까지 전력 중심의 보급사업을 추진하고 남은 잉여열을 지역에서 처리하는 ‘주전중열(主電從熱)’ 방식의 정책을 추진해오고 있다. 그렇지만 한국처럼 전력 송배전망이 전국적으로 구축되어 있어서 쉽게 전력을 판매할 수 있는 나라에서는 전력보다 열에너지 중심의 보급계획을 수립하고 잉여 전력을 판매하는 방식, 즉 ‘주열중전(主熱從電)’ 방식으로 정책적 패러다임을 전환할 필요가 있다(진상현, 2009). 왜냐하면 국내에는 하천·해양·호수·하수·지열처럼 열생산에 적합한 미활용에너지원이 풍력이나 태양광 보다 더 많기 때문이다. 따라서 쉽게 판매할 수 있는 전력이 아닌 소비·저장·판매가 어려운 열에너지 중심으로 신재생에너지 보급에 대한 지원이 이뤄질 수 있도록 정책 패러다임을 전환해야 할 것이다. 본 논문에서 검토한 도시지역 미활용에너지의 타당성 관련 사례들이 중앙정부가 아닌 지역중심으로, 전력이 아닌 열에너지 중심으로 정책적 패러다임을 전환하는 데 초석이 될 수 있기를 바란다.

끝으로 본 논문은 다음의 몇 가지 측면에서 한계를 지니고 있다. 첫째, 경제적 타당성과 하위요소인 기술·제도·인프라에 대한 정량적인 수치를 이용하고 있을 뿐이지 이들을 유기적·체계적으로 검토하지는 못하고 있다. 비용편인분석을 포함해서 미활용 에너지의 타당성에 대한 정량적 분석은 향후 연구과제로 진행되어야 할 것이다. 둘째, 연구 대상지역 모두 해외도시이기에 국내 실정에서의 적합성에 대한 추가적인 검토가 필요할 수 있다. 최근에는 국내의 몇몇 도시들이 미활용 에너지의 보급사업을 추진

하고 있기 때문에, 한국적 상황에 대한 연구가 앞으로 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

[국내문헌]

1. 권태형(2008), “공공사업 타당성평가에서 다기준분석의 의의와 한계”, 한국공공관리학보, 22(3), 31-51.
2. 김동식·김홍근·홍원화(2003), “대구광역시 미활용에너지 부존량 조사 및 활용가능성에 관한 연구”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 23(2), 793-796.
3. 김시현(2010), “하수열에너지 냉난방시스템 국내 도입과 해외사례”, 국회 하수열에너지 기술세미나(2010.3.15).
4. 김호성·오명도(2002), “서울시 미활용에너지 부존량 분석 및 이용대책”, 설비저널, 31(8), 40-49.
5. 박준택(2003a), “미활용에너지의 현황과 전망”, 대한설비공학회 2003년도 하계학술강연회.
6. 박준택(2003b), “해외 미활용 에너지 이용사례(1), 하천수 열이용에 의한 Hakozaki 지구의 지역냉난방”, 한국설비기술협회지, 20(11), 118-124.
7. 박준택(2007), 미활용에너지 자원조사, 산업자원부.
8. 박준택(2010), “미활용 온도차 에너지 이용기술 현황 및 주요사례(5)”, 미래환경, 11(8), 86-89.
9. 박준택·장기창(2002), “온도차에너지를 열원으로 하는 미활용에너지의 부존량과 이용가능성에 관한 조사연구”, 에너지공학, 11(2), 106-113.
10. 산업자원부(2007), 미활용 에너지 자원조사.
11. 서울시특별시(2009), 서울 친환경에너지 기본계획 2030.
12. 신현준(1997), 도시 미활용에너지 이용 열펌프 시스템 개발에 관한 최종보고서, 통상산업부.
13. 양진우(1999), 부산지역 하수처리수의 미활용에너지 부존량 평가 및 이용방안, 부산발전연구원.
14. 유명진(2011), 하수처리장 에너지·자원화를 위한 잠재력 평가 및 활용기술 동향, 서울시정개발연구원 2011-WP-13.
15. 지식경제부(2008), 제3차 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획(2009~2030).
16. 진상현(2009), 신재생에너지 의무할당제 도입 관련 서울시의 대응방안, 서울시정개발연구원.
17. 진상현·한준(2009), “신재생에너지의 개념 및 정책적 타당성에 관한 연구”, 한국정책학회보, 18(1), 187-208.
18. 진상현·황인창(2011), “신재생에너지 보급정책의 지역별에너지원별 성과분석”, 한국지역개발학회지, 23(1), 15-31.
19. 최석준·간형식(2008), “연구개발 분야 예비타당성 제도의 개선방향”, 기술혁신학회지, 11(2), 287-313.
20. 한국개발연구원(2008), 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정보완 연구(제5판).
21. 황광일(2003), “서울시 아파트지구를 대상으로 한 저온 미이용에너지 활용시스템 도입가능지구 선정에 관한 연구”, 계획계, 19(11), 263-270.

[해외문헌]

1. Euroheat & Power(2006), *District cooling-cooling mere with less* (www.euroheat.org).
2. Eikeland, Per Ove(2006), “Renewable energy in Norway and the Nordic energy system”, *REN21 Workshop*.
3. Fermbäck, Gören(1995), “District cooling in Stockholm using sea water”, *IDEA Cooling Conference*.

4. FRIOTHERM(2005), *Energy from sewage water: District heating and district cooling in Sandvika, with 2 Unitop 28C heat pump units* (www.friotherm.com).
5. NUON(2005), *District cooling in Amsterdam's Zuidas* (www.nuon.com).
6. Taselaar, Frans(2008), *The design and the construction of a public utility in the Zuidas, Amsterdam* (www.thinkdeep.nl).
7. Zogg, Robert Kurt Roth and James Brodrick(2008), "Lake-source district cooling systems", *ASHRAE Journal* 50(2), 55-56.

투고(접수)일자: 2012년 11월 24일

수정일자: (1차) 2013년 2월 2일

게재 확정일자: 2013년 2월 4일