

일반원고

서울시 미활용에너지 부존량 분석 및 이용대책

김 호 성

서울시립대학교 대학원 (hosung@seoul.go.kr)

오 명 도 / 공조부문 위원장

서울시립대학교 기계정보공학과 (mdoh@uos.ac.kr)

우리나라는 생활수준 향상과 더불어 석유, 가스, 전기 등 에너지 소비의 급격한 증가세가 지속되고 있으며, 반면에 국내 부존자원 빈약으로 인하여 에너지의 해외수입 의존도는 점차 증가 추세에 있어 2000년말 현재 국내 1차에너지 소비량의 97.2 %를 차지하고 있고, 에너지수입이 세계10위인 자원 빈국중 하나이다. 또한 환경문제와 관련하여 화석연료의 사용은 CO₂발생량의 증가로 지구온난화에 가장 심각한 영향을 미치고 있다.

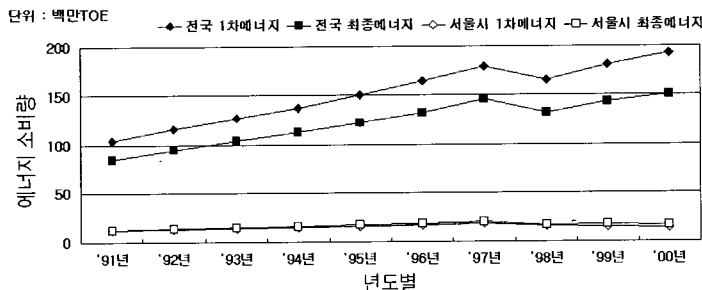
따라서 이러한 환경공해와 에너지 수입의존도 문제를 해결하기 위해 미활용에너지로서 폐기물, 태양, 바이오매스(생물 유기체), 하천수 등의 에너지에 대한 사회적인 관심이 고조되고 있으며, 기술개발 연구가 한층 강화될 전망이다.

이러한 미활용에너지는 지역에 따라 기후 등 자연조

건과 사회 및 경제적 여건 등이 다르고, 자원회수시설, 하수처리장, 하천, 지하철 등 대부분의 시설이 지자체의 소유로 되어있으므로 그 지역에서 직접 관리 운영하는 것이 효과적이며 효율을 극대화할 수 있다. 또한 건축물 신·개축에 대한 인허가권한이 지자체에 있으므로 설계심의 등을 통해서 민간부문에 대한 보급을 확대해 나갈 수 있다.

이러한 지자체 가운데 서울시는 면적 605.5 km²(전국토의 0.6 %)에 인구 10,373천명(전국의 21.62 %)을 가진 도시로서 인구가 집중되어 있어 단위면적당 에너지 소비량이 가장 큰 지자체이므로 서울시가 주체가 되어 미활용에너지 보급에 선도적 역할을 하는 것이 필요하다.

따라서 서울시를 기준하여 전체 에너지소비량과 보급가능한 미활용에너지의 부존량을 조사하여 서울시의 미활용에너지 이용을 제고하고자 한다.



[그림 1] 전국 및 서울시 1차 및 최종에너지소비량

※ TOE(Ton of Oil Equivalent) : 에너지단위로서 원유 1톤이 가지고 있는 열량으로 107 kcal 혹은 전기 4,000 kWh에 해당

서울시 에너지소비량 현황

그림 1과 같이 2000년도를 기준하여 전국의 1차에너지 소비량은 192,887천 TOE로서 1991년이후 연평균 7.7 % 증가하고 있으며 서울시의 경우는 14,021 TOE이며 연평균 1.2 % 증가하고 있다. 또한 1차에너지중 최종소비되는 에너지를 기준으로한 최종에너지 소비량은 서울시



서울시 미활용에너지 부존량 분석 및 이용대책

의 경우 16,450천 TOE이며, 년평균 3.4 % 증가하고 있다.

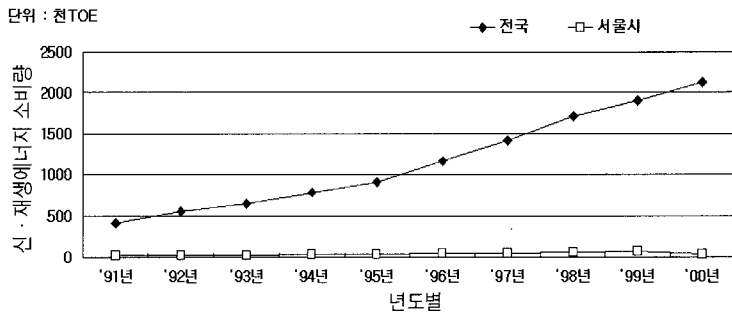
그림 2와 같이 2000년도를 기준하여 미활용에너지

중 태양열, 폐기물, 소수력, 바이오에너지 등 신·재생 에너지의 전국소비량은 2,131,033 TOE로서 년평균 20.5 % 증가하고 있으나 서울시의 경우는 39,059

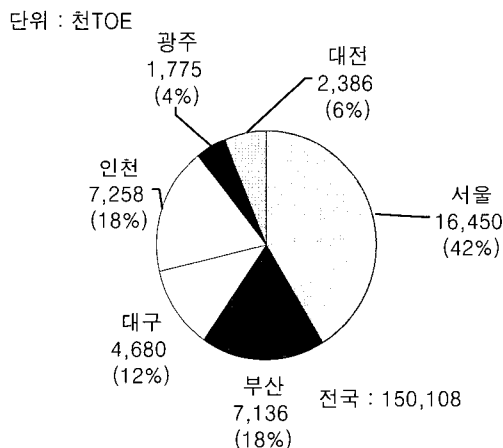
TOE로서 년평균 10.1 % 정도 증가하고 있어 상대적으로 1차에너지 소비량에 비해 미활용에너지 소비량은 미미한 것으로 나타나고 있다.

그림 3과 그림 4는 서울 및 광역시의 최종에너지 소비량과 신·재생에너지 소비량을 나타내었다.

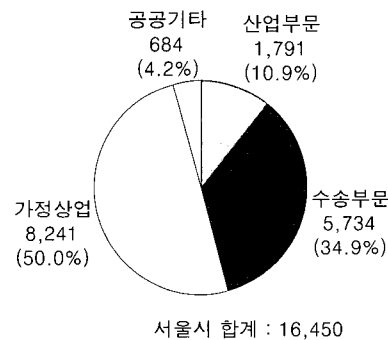
또한 그림 5는 서울시 부문별 최종에너지소비량으로서 가정상업부문 50.0 %, 수송부문 34.9 %, 산업부문 10.9 %, 공공기타 4.2 %를 나타내고 있다. 그림



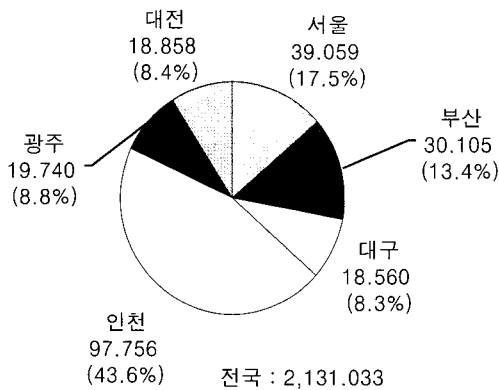
[그림 2] 전국 및 서울시 신·재생에너지 소비량



[그림 3] 서울 및 광역시 최종에너지소비량

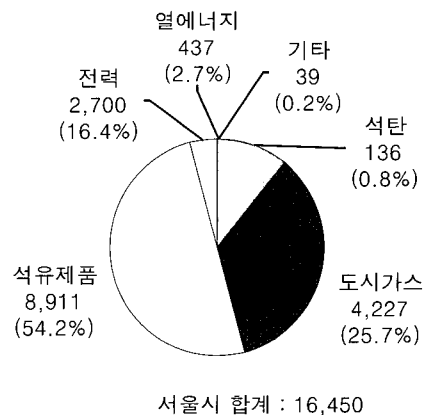


[그림 5] 서울시 부문별 에너지소비량

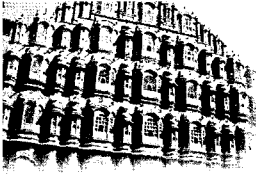


[그림 4] 서울 및 광역시 재생에너지 소비량

※ 자료 : 지역에너지 통계연보(에너지경제연구원, 2001년)



[그림 6] 서울시 최종에너지원별 소비량



일반원고

6은 최종에너지원별 소비량으로서 석유제품 54.2%, 도시가스 25.7%, 전력 16.4%, 열에너지 2.7%, 석탄 0.8%, 기타 0.2%를 나타내고 있다.

서울시 미활용에너지 부존량

폐기물에너지

서울시의 폐기물 발생량과 처리현황은 표 1과 같으며, 재활용을 제외하고 에너지원으로서 활용 가능한 발생량은 생활계폐기물 5,642.4톤/일, 사업장 배출시설계 폐기물 129.6톤/일, 건설폐기물 1,536.8톤/일이다.

따라서 음식물쓰레기를 제외하고 보일러효율, 순수 폐기물 비율 등을 고려하여 표 2에 의한 폐기물 발열량을 적용하면 건설폐기물을 포함한 생활계 폐기물에너지 부존량은 연간 456,513 TOE에 해당되며, 산업 폐기물인 사업장배출 시설계 폐기물에너지 부존량은 4,915 TOE이다.

현재 폐기물을 소각하는 시설인 서울시의 자원회수

<표 1> 서울시 폐기물 발생량 및 처리현황(2000년)

(단위 : 톤/일)

생활계 폐기물	가 연 성						
	계	음식물 재소류	종이류	나무류	고무 피혁류	플라 스틱류	기타
발생량	6,938.9	2,562.2	1,266.6	395.4	356.2	487.0	1,871.5
매립	5,015.8	1,134.4	1,113.8	349.0	303.7	422.2	1,692.7
소각	626.6	131.3	152.8	46.4	52.5	64.8	178.8
재활용	1,296.5	1,296.5	-	-	-	-	-

사업장배출 시설계 폐기물	가 연 성								
	총계	폐지류	폐목 재류	폐 섬유 천류	폐 합성 수지	폐 합성 고무	폐수 처리 오니	공정 오니	동식 물성폐 잔재물
발생량	129.6	3.0	0.3	2.1	14.3	0.4	91.7	9.5	8.3
매립	9.9	-	0.1	0.6	0.6	-	5.5	-	3.1
소각	25.9	0.1	-	0.1	13.4	0.4	10.9	-	1.0
재활용	63.1	2.9	0.2	1.4	0.3	-	44.6	9.5	4.2
해양투기	30.7	-	-	-	-	-	30.7	-	-

건설 폐기물	가 연 성				
	계	종이류	나무류	합성수지류	기타
발생량	2,375.4	350.9	1,082.9	452.8	488.8
매립	1,259.1	223.1	575.8	186.9	273.3
소각	277.7	5.0	97.1	83.0	92.6
재활용	838.6	122.8	410.0	182.9	122.9

※ 2000 전국 폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 2001)

시설 현황은 표 3과 같이 나타내었으며, 소각용량 2,850톤/일에서 가동율은 34% 이므로 폐기물에너지 활용을 위해 서울시의 소각처리율을 높이는 것이 필요하다.

그림 7은 경기도 파주시에 설치한 음식물쓰레기 메탄가스화 설비를 나타내며 설비용량은 30톤/일이며 1,800 m³/일의 바이오가스를 발생한다.



[그림 7] 음식물쓰레기 메탄가스화 설비

<표 2> 가연성 폐기물의 특성

폐기물의 종류	수분% (평균)	가연분% (평균)	발열량 kcal/kg(평균)	비고
종이류	8.27	81.73	4,867	
짚	10.97	71.95	3,466	
나무	10.11	83.10	4,170	
섬유류	8.14	84.63	4,057	
플라스틱류	2.66	90.99	7,336	
고무류	1.49	77.18	7,499	
폐유	1.12	98.55	10,339	
피혁	11.50	81.14	4,530	
음식물(채소류)	46.00	39.40	2,129	

※ 자료 : 에너지관리공단

<표 3> 서울시 자원회수시설 현황

시설명	소각량 (톤/일)	건설기간	가동율	처리권역	비고
계	2,850		34%		
노원	800	'93-'96	29%		
양천	400	'92-'95	63%		
강남	900	'95~2001	25%		
마포	750	2001~2004	-	마포·용산·종구	공사중



서울시 미활용에너지 부존량 분석 및 이용대책

서울시 음식물쓰레기의 톤당 메탄가스(CH₄) 발생량을 35.8m³ CH₄로 할 때 음식물쓰레기 에너지부존량은 다음과 같다.

$$35.8 \text{ m}^3\text{CH}_4 \times 8,769 \text{ kcal/m}^3 \times 2,652.2 \text{ 톤/일} \times 365 \text{ 일} \times 10^{-7} \text{ TOE/kcal} = 30,390.1 \text{ TOE/년}$$

산업폐열

산업체에서 발생하는 폐열은 다양한 형태로 배출될 수 있으나 경제적으로 이용가능한 배가스의 에너지 부존량을 계산한다. 배가스는 폐열회수전 출구온도가 200~250℃이며, 회수후 출구온도는 30~50℃사이에서 배출되어 배가스로부터 폐열을 회수할 수 있다. 표 4는 서울시 산업부문의 업종별 에너지소비와 절약량을 나타내었으며 에너지절약실적은 21천 TOE로서 사용량 624천 TOE의 3.4 %로서 에너지절약이 활발함을 보여준다.

산업체 배가스 폐열에너지를 연료사용량에 비례하여 부존량을 계산하면 연간 394,992 TOE이다.

건물폐열

서울시 건물에서 배출되는 폐열에너지 부존량도 표 5에 의한 대상 건물을 기준하여 산업부문과 같이 연료사용량에 비례하여 계산하면 453,228 TOE이다.

<표 4> 서울시 산업부문 업종별 에너지소비 및 절약량

(단위 : 1,000 TOE)

구 분	식품	섬유	화학	금속	기타	계
에너지사용량	110	20	25	27	442	624
에너지절약실적계	2	-	-	1	17	21

※ 2000년도 에너지사용실적 분석결과(에너지관리공단)

<표 5> 서울시 에너지관리 지정건물 에너지소비 및 절약량

(단위 : 1,000 TOE)

구 분	상용	공공	아파트	호텔	병원	학교
에너지사용량	125	27	230	86	75	45
에너지절약실적계	3	-	5	6	2	1

구 분	전화국	연구소	백화점	기타	계
에너지사용량	13	5	43	67	716
에너지절약실적계	1	-	1	1	22

※ 2000년도 에너지사용실적 분석결과(에너지관리공단)

하수처리장 하수열 및 소수력

표 6에는 서울시 4개 하수처리장의 처리용량 및 일평균 처리량을 나타내었다. 따라서 서울시 하수열에너지 부존량은 다음과 같다

$$Q = C \cdot V \cdot \Delta t$$

$$= 5,379.0 \text{ 천 m}^3/\text{일} \times 5 \text{ }^\circ\text{C} \times 365 \text{ 일} \times 1 \text{ kcal/m}^3\text{ }^\circ\text{C}$$

$$= 9.81 \times 10^9 \text{ kcal/년} = 981 \text{ TOE/년}$$

여기서,

C : 물의 용적비열 (1 kcal/m³°C)

V : 일평균 방류량 (m³/day)

Δt : 이용온도차 = 5°C (동절기 평균수온 7~11°C, 하절기 평균수온 22~27°C)

표 7은 서울시 하수처리장 중 난지 및 서남하수처리장 증설계획을 나타내었다. 여기서 II단계 증설시를 기준하여 하수처리장 소수력 발전 부존량을 계산하며 표 8에 나타내었으며 석유로 환산한 소수력에너지는

<표 6> 서울시 하수처리장 시설현황(2002년도)

하수처리장	처리용량 (천톤/일)	하수처리량(2001년도)		방류수역
		천톤/일	백만톤/년간	
계	5,810.0	5,379.0	1,963.0	
중 량	1,710.0	1,993.0	727.0	한강(중량천)
탄 천	1,100.0	892.0	326.0	한강(탄 천)
서 남	2,000.0	1,708.0	623.0	한 강
난 지	1,000.0	787.0	287.0	한 강

※ 처리방식: 표준활성슬러지법

<표 7> 난지 및 서남하수처리장 증설계획

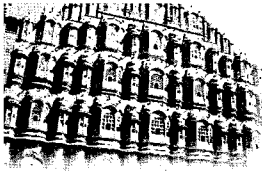
하수처리장	하수처리용량 (천톤/일) (m ³ /sec)			
	기존용량	I 단계 증설	II 단계 증설	총 계
난 지	1,000(11.78)	-	210(2.19)	1,210(13.79)
서 남	2,000(23.33)	200(2.02)	360(4.27)	2,560(29.62)

※ 하수도정비 기본계획(변경) (1998.7, 서울시)

<표 8> 서울시 하수처리장 소수력 발전량

구 분	단 위	중 량	탄 천	서 남	난 지
유 량(Q)	m ³ /sec	19.79	9.84	29.62	13.79
낙 차(h)	m	5.0	5.0	5.0	5.0
합성효율	ηT×ηG	0.784	0.784	0.784	0.784
설비용량	kW	760	378	1,137	530
년간 발전량	MWh/년간	6,650	3,310	9,960	4,640
계	MWh/년간				24,560

※ II 단계 증설시 기준, ηT : 수차효율, ηG : 발전기 효율
 ※ 하수처리장 방류수를 이용한 소수력발전소 건설기술연구(기본 계획) (1999.10, 서울시)



일반원고

2,112 TOE이다.

정수장 소수력

그림 8은 경기도 포천의 소수력 발전소를 나타내며 설비용량은 2,940 kW이다.

서울시는 6개 정수처리장이 있으며 이중 유효낙차를 고려하여 광암정수장의 소수력 발전용량은 다음과 같다.

$$P = 9.8 \cdot Q \cdot h \cdot \eta T \cdot \eta G$$

$$= 9.8 \text{ m/s} \times 5.3 \text{ m}^3/\text{s} \times 10 \text{ m} \times 0.784 = 407.2 \text{ kW}$$

여기서, Q(유량) = 459천톤/일(일정수용량) ÷ 24시간 ÷ 60분 ÷ 60초 = 5.3 m³/s

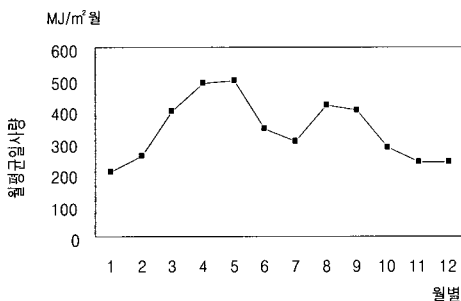
따라서 소수력 발전부존량은 다음과 같이 계산된다.
407.2kW × 8,760시간 × 0.95(가동율) × 860 kcal/kWh = 291 TOE/년

태양열

태양열에너지는 백업(back-up)시스템을 제외하고



[그림 8] 소수력 발전소(경기도 포천)



[그림 9] 서울시 월별 수평면 일사량

연료비가 불필요하고 환경오염이 없는 청정에너지로서 일반주택, 공공건물, 병원, 학교 등에 보급이 가능하다. 국내 대부분 보급된 태양열 평판형 집열기는 비교적 저온으로 온수급탕 및 난방보조 열원으로 이용이 가능하다.

그림 9와 표 9는 서울시의 월별 수평면 일사량과 경사면에 대한 일사량비를 나타내었다. 국내 일반화되어 있으며 온수를 공급하는 설비형인 5.6~6 m²의 평판형 집열기를 기준으로 서울시내 보급가능한 부존량을 계산한다. 따라서 태양열 집열기 1기당 연간에너지 발생량은 다음과 같다.

$$4,057,410 \text{ kJ/m}^2 \times 0.24 \text{ kcal/kJ} \times 0.45(\text{집열효율}) \times 1.19(\text{일사량비}) \times 5.8\text{m}^2(\text{집열면적})$$

<표 9> 경사면에 대한 일사량비

(45°경사면)

1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1.66	1.38	1.16	0.96	0.86	0.83	0.85	0.91	1.06	1.30	1.56	1.75

※ 자료 : 에너지기술연구원 (연평균 : 1.19)

<표 10> 서울시 태양열에너지 부존량(소형급탕)

○ 공공건물 (단위 : TOE)							
구청·보건소 (5기)		동사무소 (2기)		경찰파출소 (2기)		소방파출소 (2기)	
동수	부존량	동수	부존량	동수	부존량	동수	부존량
50	75	522	313	456	273	108	64
공공도서관 (5기)		우체국 (2기)		전화국 (5기)		등기소 (2기)	
39	58	259	155	10	15	17	10
○ 일반주택							
단독주택 (1기)		다세대주택 (1기)		연립주택 (2기)			
770,836	231,250	113,203	33,960	49,371	29,622		
○ 교육기관							
유치원 (5기)		초등학교 (10기)		중학교 (10기)		고등학교 (10기)	
1,093	1,639	536	1,608	354	1,062	287	861
○ 기타							
의원 (2기)		조산소 (2기)		체육센터 (10기)		소형합계	
100	60	12	7	20	60	301,092	



서울시 미활용에너지 부존량 분석 및 이용대책

= 0.302 TOE/년 (약 0.3 TOE/년)

이용가능한 부문에 적용하여 계산한 결과를 표 10~표 12에 나타내었다.

태양광

서울시에 보급가능한 태양광에너지는 주택용 뿐 아니라 가로등, 주유소 등이 대상이 될 수 있으며, 국내에서는 고속도로변 가로등이 태양광 가로등으로 보급되어 있다. 그림 10은 프랑스 제품으로 주택용으로 보급된 태양광발전 시스템을 나타낸다.

표 13은 서울시의 주택현황을 나타내고, 표 14는 서울시에 설치되어 있는 광원별 가로등 현황을 나타내었

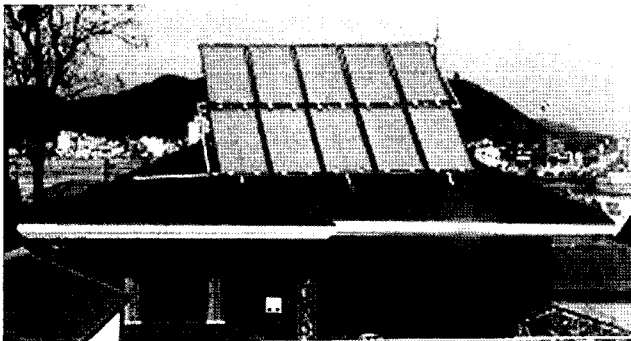
〈표 11〉 서울시 태양열에너지 부존량(중형급탕)

병 원 (50기)		특수병원 (50기)		일반목욕탕 (20기)		실내체육관 (20기)	
동수	부존량	동수	부존량	동수	부존량	동수	부존량
100	1,500	5	75	2,142	12,850	23	138
일반경기장 (50기)		청소년회관 (50기)		골프장 (50기)		중형 합계	
동수	부존량	동수	부존량	동수	부존량	부존량	
7	105	23	345	2	30	15,043	

〈표 12〉 서울시 태양열에너지 부존량(대형급탕)

종합병원 (100기)		일반호텔 (100기)		특수목욕탕 (100기)		공공수영장 (100기)	
동수	부존량	동수	부존량	동수	부존량	동수	부존량
65	1,950	50	1,500	92	2,760	36	1,080
종합경기장 (100기)		대형합계		전체합계			
동수	부존량	부존량		부존량			
9	270	7,560		323,695			

※ 자료 : 서울시통계연보(2001년)



[그림 10] 태양광 주택

으며, 표 15는 서울시 석유판매업소 현황을 나타내었다. 따라서 태양광발전 부존량을 계산하면 표 16과 같다. 여기서 kW당 에너지발생량은 태양광발전설비의 효율 등을 고려하면 1.3 TOE/년이다.

단독주택 태양광에너지 부존량은 다음과 같이 계산된다.

$$Q = 770,836 \text{동} \times 2 \text{ kW} \times 1.3 \text{ TOE/년/kW} = 2,004,173 \text{ TOE/년}$$

가로등 태양광에너지 부존량은 다음과 같이 계산된다.

$$Q = 40,638.2 \text{ kW} \times 1.3 \text{ TOE/년/kW} = 52,829 \text{ TOE/년}$$

주유소 태양광에너지 부존량은 다음과 같이 계산된다.

$$Q = 873 \text{ 개소} \times 2 \text{ kW} \times 1.3 \text{ TOE/년/kW} = 2,269 \text{ TOE/년}$$

하수처리장 메탄가스

서울시 4개 하수처리장으로 유입되는 하수에 대한 처

〈표 13〉 서울시 주택현황 (서울시, 2001년)

구분	총 계	단독주택	다가구	연립주택	다세대	아파트
동수	770,836	595,644	113,203	15,079	34,292	12,528

〈표 14〉 서울시 가로등 광원별 현황 (2002년)

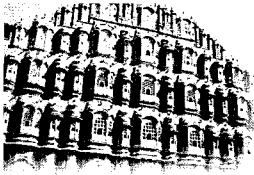
기관별	합 계	광원별 가로등 수				
		50 W	100 W	175 W	250 W	400 W
계	126,763	142	11,795	4,670	36,187	73,969
구 청	105,499	142	11,761	4,634	29,971	58,991
도로관리 사업소	6,631	-	20	36	3,047	3,528
시설관리 공 단	14,633	-	14	-	3,169	11,450

〈표 15〉 서울시 석유판매업소 현황(2002년)

계	주유소	LPG충전소	비 고
873개소	811개소	62개소	

〈표 16〉 서울시 태양광발전 부존량

구 분	설비용량(kW)	에너지량(TOE)	비 고
계	1,584,056.2	2,059,371	
단독주택	1,541,672.0	2,004,273	
가로 등	40,638.2	52,829	
주 유 소	1,746.0	2,269	



일반원고

리는 표준활성슬러지법 및 침전처리방식에 의한다. 따라서 유입된 하수는 침사지 → 최초 침전지 → 포기조 → 최종 침전지의 4단계를 거친 후 방류된다. 이때 발생된 오니(sludge)는 소화조 처리과정에서 메탄가스(CH₄)가 발생되며 냉난방을 위한 열원기구나 발전기 연료로 활용될 수 있다.

하수처리장 메탄가스 에너지 부존량은 다음과 같이 계산된다.

$$Q = 0.028 \text{ m}^3/\text{톤} \times 5,379\text{만톤/일} \times 5,500 \text{ kcal/m}^3 \times 365\text{일} \\ = 30,235.3 \text{ TOE/년}$$

여기서,

0.028 m³/톤 : 하수 1 m³당 메탄가스 발생량

5,379천톤/일 : 2001년 하수처리량

5,500 kcal/m³ : 메탄가스 발열량

하수처리장 최종슬러지 소각열

표 17은 서울시 하수처리장에서 발생하는 폐기물(슬러지)량을 나타내었으며, 연간 슬러지 소각열 부존량은 46,718 TOE이다.

하수처리장 슬러지 소각열은 다음과 같이 계산된다.

$$Q = 1,716\text{톤/일} \times 0.275 \times 3,000 \text{ kcal/kg} \times 330\text{일} \\ = 467,181 \text{ Gcal/년} = 46,718 \text{ TOE/년}$$

여기서,

1,716톤/일 : 하수처리장 슬러지 발생량

0.275 : 함수율

3,000 ~ 5,000 kcal/kg : 소각후 슬러지 발열량

〈표 17〉 서울시 하수처리장 폐기물 발생량 (2001년도)

하수처리장	폐기물(슬러지) 처리량 (톤/일평균)				
	계	직매립	고형화	해양배출	재활용
계	1,716 (100%)	33 (1.9%)	116 (6.8%)	1,555 (90.6%)	12 (0.7%)
중량	456	12	37	407	-
탄천	330	4	-	326	-
서남	641	14	64	563	-
난지	289	3	15	259	12

〈표 18〉 서울시 하수슬러지 처리계획(2002.7월 이후)

계	해양배출	직매립	고형화	재활용	소각	건조
1,716 (100%)	855 (49.8%)	33 (1.9%)	116 (6.8%)	12 (0.7%)	300 (17.5%)	400 (23.3%)

330일 : 연간 가동일

표 18에서와 같이 서울시에서는 2002년 7월 이후부터 서남, 난지하수처리장에 150톤/일의 슬러지를 건조 후 소각할 수 있는 소각시설과 중량, 탄천하수처리장에는 200톤/일의 건조시설을 건설하여 가동할 예정이다.

하천수

서울지역의 하천수 온도는 하절기 22~28℃, 동절기 3~16℃이며 유량을 고려할 때 에너지 부존량이 상당하다. 표 19에서와 같이 하천수의 월평균 유량이 1백만m³이상인 한강, 탄천, 중랑천, 안양천을 대상으로 하되 계절별 유량변동이 심하나 연평균 유량을 기준한다. 동절기 및 하절기에 열펌프의 냉각수 열원으로 이용하는 온도차 5℃를 기준하여 부존량을 계산한다.

따라서 서울시 하천수 에너지 부존량은 다음과 같이 계산된다.

$$Q = 1 \text{ kcal/m}^3\text{C} \times 2,134.36\text{백만 m}^3/\text{월} \times 7\text{개월} \times 5\text{C} \\ = 74,702.6 \text{ Gcal/년} = 7,470.26 \text{ TOE/년}$$

지하철 배열

지하철역사의 기계실에 있는 환기설비에 의해 운행 열차 및 조명 등의 발생열을 환기구를 통해 배출한다. 역사 내부는 평균적으로 동절기의 외기온도 -2℃에서

〈표 19〉 서울지역 하천수 월평균 유량

(단위 : 백만m³)

하천명 월별	한강	탄천	중랑천	안양천
1월	1,059.58	5.62	1.19	6.98
2월	845.75	5.08	0.78	6.01
3월	1,053.41	7.25	0.82	5.97
4월	1,782.08	6.76	5.30	13.05
5월	1,386.34	8.67	5.87	9.23
6월	1,533.89	8.65	10.72	7.83
7월	2,552.91	12.29	21.48	11.49
8월	7,638.06	21.72	93.89	33.16
9월	3,407.98	10.08	28.80	9.99
10월	1,716.23	6.76	8.00	3.95
11월	1,245.56	6.11	4.35	2.40
12월	987.25	6.56	2.32	4.41
계	25,209.04	105.55	183.52	114.47
월평균	2,100.75	8.79	15.29	9.53

※ 자료 : 한국수자원공사, 1998~2000년 평균치



서울시 미활용에너지 부존량 분석 및 이용대책

도 대합실의 온도는 4 ~ 7℃이며, 승강장의 온도는 13℃가 유지되고 있다. 그러므로 환기구를 통해 배출되는 공기의 배열에너지를 이용할 수 있다.

지하철 역사당 평균 배열량은 다음과 같다.

$$Q = C \cdot r \cdot V \cdot \Delta t$$

$$= 0.242 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \times 1.2 \text{ kg/m}^3 \times 4,000 \text{ CMM} \times 60 \text{ 분/h} \times 5^\circ\text{C}$$

$$= 348,480 \text{ kcal/h}$$

여기서,

4,000 CMM : 역사당 평균 배기량(변전실 제외)

5℃ : 이용온도차

따라서 지하철 배열에너지 총 부존량은 다음과 같이 계산된다.

$$348,480 \text{ kcal/h} \times 13 \text{ 시간(환기설비 가동시간)} \times 263 \text{ 개 역사} \times 30 \text{ 일} \times 4 \text{ 개월(동절기)}$$

$$= 142,974.3 \text{ Gcal/년} = 14,297.4 \text{ TOE/년}$$

지하철 지하수

그림11은 지하철 지하수 이용 구성도를 나타낸다. 지

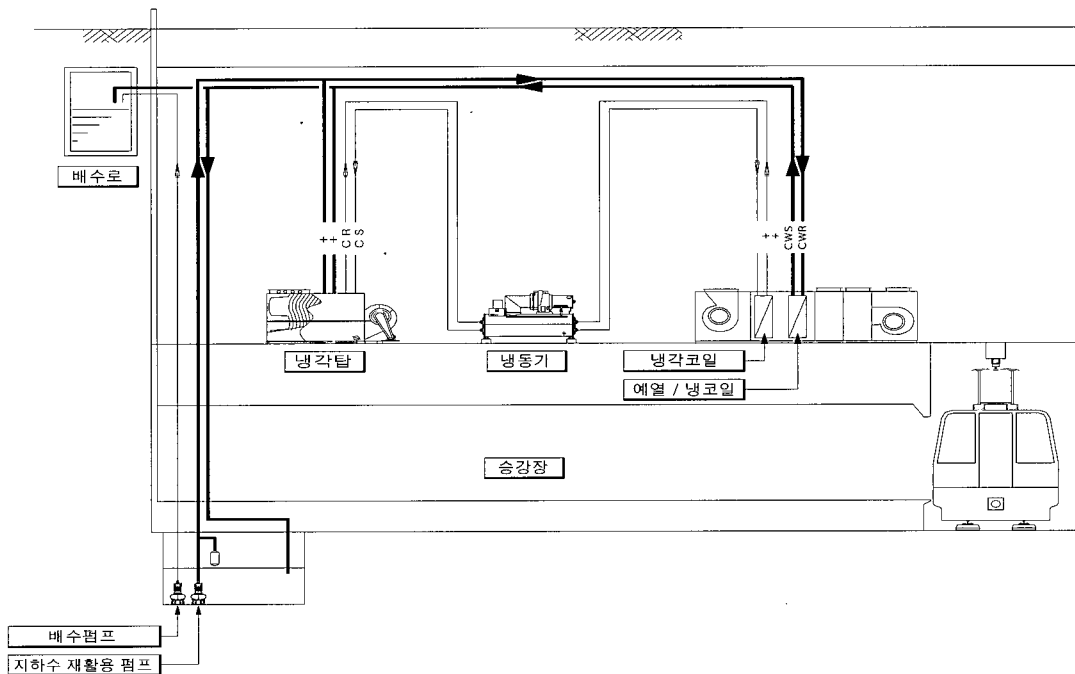
하철 터널 내부에서 발생하는 지하수는 정거장 및 본선에 설치된 집수정으로 유도되어 집수된 후 일부 역사청소용으로 활용하고 나머지는 하수관로를 통해 하수처리장으로 버려지고 있다. 발생 지하수 온도는 년평균 15℃ 정도로서 계절에 따라 수온변화가 거의없이 안정되므로 하절기 공조기 예냉부하 처리 또는 냉각수로 활용하거나 동절기 예열부하로 활용할 수 있다.

표 20에 의한 지하수 발생량에 따른 에너지 부존량은

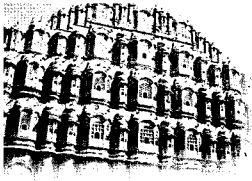
<표 20> 서울지하철 지하수 발생량

호선별	대상 집수정 수	지하수발생 집수정 수	지하수발생량 (톤/일)
계	310	222	186,717
1호선	15	13	1,911
2호선	56	46	14,711
3호선	37	27	15,885
4호선	26	24	9,376
5호선	68	41	62,504
6호선	43	32	30,038
7호선	45	31	48,303
8호선	20	8	3,989

※ 자료 : 서울시지하철공사 · 도시철도공사(2001)



[그림 11] 지하철 지하수 에너지 이용 구성도



일반원고

다음과 같다.

$$Q = C \cdot V \cdot \Delta t$$

$$= 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \times 186,717 \text{톤/일} \times 7 \text{개월} \times 30 \text{일} \times 5^\circ\text{C}$$

$$= 196,052.85 \text{ Gkcal/년} = 19,605.2 \text{ TOE/년}$$

여기서,

Δt : 이용 온도차 5°C

V: 일평균 지하수 발생량(톤/일)

지하철 변전실 변압기 배열 부존량

지하철은 열차 운행과 역사 내부 설비, 조명등의 가동을 위해서 상당량의 전기에너지를 사용한다. 이러한 전기에너지는 한전 변전소로부터 지하철 역사 내 변전실로 공급되어지며 대부분 3개 역사마다 표 21과 같이 설치되어 운영되고 있다.

이때 변전실내 변압기에서 발생하는 전압손실이 열에너지로 변환되어 환기구를 통해 배출되므로 배열에

<표 21> 서울지하철 변전실 현황

호선별	개소	전압 (kV)	철손 (kW)	동손 (kW)	일부하율 (%)	동손/철손
계(평균)	94		(26.2)	(53.9)	56.1	2.05
1호선	3	22.9/6.6	20.2	57.4	64.7	2.84
2호선	15	22.9/6.6	17.5	52.8	64.7	3.01
3호선	12	22.9/6.6	16.5	75.5	64.7	4.57
4호선	11	22.9/6.6	16.5	75.5	64.7	4.57
5호선	19	22.9/6.6	36.9	68.2	46.0	1.85
6호선	12	22.9/6.6	36.9	36.9	46.0	1.00
7호선	17	22.9/6.6	36.9	36.9	45.0	1.00
8호선	5	22.9/6.6	28.2	28.2	53.0	1.00

※ 자료: 서울지하철공사·도시철도공사(2001)

너지로 활용할 수 있다.

따라서 지하철 변전실 개소당 배열량은 다음과 같다.

$$Q = \{(Li + l \cdot j^2 \cdot Lc) \times 0.86\}$$

$$= \{(26.2 + 2.05 \times 0.562 \times 53.9) \times 0.86\}$$

$$= 52.332 \text{ kcal/h}$$

여기서,

Li: 변전실당 변압기 철손계

l: 손실비(0.56)

j: 일 부하율

Lc: 변전실당 변압기 동손계

그러므로 지하철 변전실 연간 배열 부존량은 다음과 같이 계산될 수 있다.

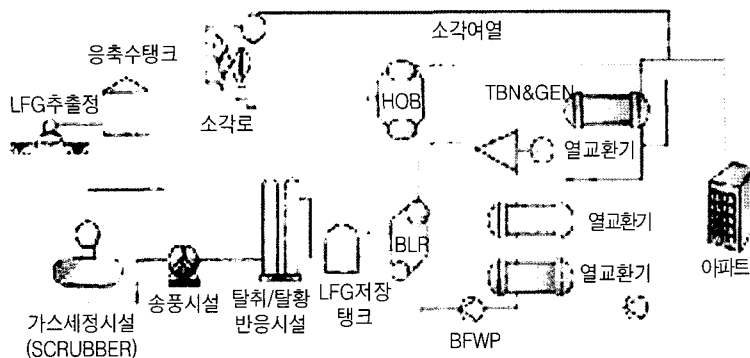
$$52.332 \text{ kcal/h} \times 24 \text{ h/일} \times 365 \text{ 일/년} \times 94 \text{ 개소}$$

$$= 43,092,262 \text{ kcal/년} = 4.3 \text{ TOE/년}$$

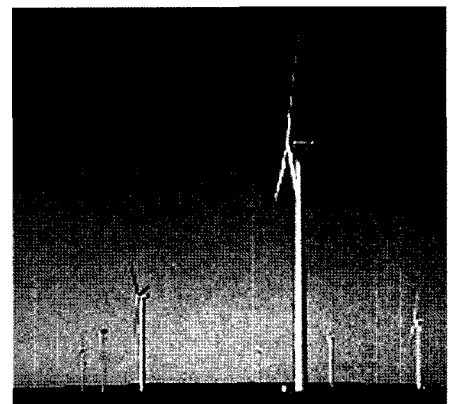
난지도 매립지 매립가스

난지도에는 78년부터 93년까지 16년동안 서울시에 서 발생한 9,200만 m³의 쓰레기 매립되어 있으며, 여기서 발생하는 매립가스(LFG; Landfill Gas)는 메탄가스(CH₄) 51%, 이산화탄소(CO₂) 46%, 벤젠 등 나머지가 3%를 차지하고 있다.

또한 발생하는 매립가스량은 432천 m³/일이며 20년 동안 추출이 가능하므로 월드컵경기장이나 상암택지 개발지구 에 연료로서 공급하거나 발전소 발전연료로 이용할 수 있다. 그림 12는 매립가스를 에너지로 이용하는 계통도를 나타내었다. 따라서 메탄가스 에너지부존량을 계산하면 다음과 같다.



[그림 12] 매립가스 이용 계통도



[그림 13] 풍력발전에너지(독일)



서울시 미활용에너지 부존량 분석 및 이용대책

<표 22> 서울시 미활용에너지 부존량 및 이용 현황
(단위 : TOE)

구분	미활용에너지	총부존량	이용량	비율(%)
	합 계	3,902,375	82,059	100.0
신·재생에너지	소 계	2,965,080	39,059	75.98
	생활폐기물	456,513	16,896	11.70
	산업폐기물	4,915	-	0.13
	하수처리장 소수력	2,112	-	0.05
	태양열	323,695	3,134	8.29
	태양광	2,059,371	186	52.77
	정수장 소수력	291	-	0.01
	음식물쓰레기 메탄가스	30,390	-	0.78
	난지도 매립가스	57,408	-	1.47
	하수처리장 메탄가스	30,235	18,843	0.77
	풍력발전	150	-	0.01
배열에너지	소 계	937,295	43,000	24.02
	하수처리 슬러지소각열	46,718	-	1.20
	산업폐열	394,992	21,000	10.12
	건물폐열	453,228	22,000	11.61
	하수처리장 하수열	981	-	0.03
	하천수	7,470	-	0.19
	지하철 배열	14,297	-	0.37
	지하철 지하수	19,605	-	0.50
	지하철 변전실	4	-	0.00

* 이용량은 2000년기준 (지역에너지통계연보)

$$432,000 \text{ m}^3/\text{일} \times 50 \% \times 365 \text{ 일}/\text{년} \times 8,550 \text{ kcal}/\text{m}^3 \times 107 \text{ kcal}/\text{TOE} = 57,408.2 \text{ TOE}/\text{년}$$

풍력발전

그림 13은 독일의 풍력발전을 보여주며 2008년까지 1,223개소의 385 MW 공급을 목표로 하고 있으며, 국내에도 제주도 월령시범단지 등에 485 MW용량의 풍력발전이 보급된 사례가 있다.

서울시의 경우 난지도 제2 매립지(56,000여평)는 지표에서 약 98 m인 한강변 고지대로서 장애물이 없으며, 강풍지역은 아니나 평균풍속이 풍력발전이 가능한 3.3 m/s를 초과한 3.7 m/s로 나타났다.

따라서 10~30 kW 풍력 발전기 10대 정도를 설치할 경우 200 kW의 전력을 생산해 월드컵공원 가로등 및 침출수 펌프 가동용으로 사용되어질 수 있다. 연간 풍력발전에너지 부존량을 계산하면 다음과 같다.

$$Q = 20 \text{ kW} \times 10 \text{ 대} \times 24 \text{ h} \times 365 \text{ 일}$$

$$= 1,752,000 \text{ kWh}/\text{년} \times 860 \text{ kcal}/\text{kWh} \\ = 150.6 \text{ TOE}/\text{년}$$

표 22와 같이 서울시 미활용에너지 총부존량은 3,902,375 TOE이다. 이중에서 신·재생에너지가 2,965,080 TOE로서 76.0 %를 차지하고 있고, 산업 및 건물폐열 등 배열에너지는 937,295 TOE로서 24.0 %를 차지하고 있다. 여기서 2000년도를 기준한 미활용에너지 이용량은 82,059 TOE로서 총부존량의 2.1 %를 차지하고 있으며 1차 에너지 소비량 14,021천TOE와 대비하여 0.6 %로 극히 미미한 것으로 나타났다.

맺음말

미활용에너지는 상대적으로 높은 초기투자비와 공급 열원 불안정성 등의 문제와 선진국에 비해 낙후된 국내 기술수준으로 인하여 사업수행에 어려움이 있다. 그러나 화석에너지 수입의존도 감소와 기후변화협약에 따른 국제적인 환경규제, 향후 유가상승 등에 대비하기 위하여 미활용에너지의 적극 개발·활용이 필요하다.

선진국의 경우 1차 에너지소비량에 비해 미활용에너지 중 재생에너지의 공급비중이 1996년 기준으로 미국 4.0 %, 일본 1.2 %, 프랑스 4.3 %를 차지하고 있다. 우리 정부도 2006년 기준으로 1차 에너지의 2%(4,640천 TOE)를 공급 목표로 하고 있다.

따라서 서울시에서도 이에 맞추어 국내기술수준 및 보급효과, 경제적 타당성 등을 고려하여 서울지역에 맞는 중점 프로젝트를 선정하여 추진할 필요가 있으며, 이러한 프로젝트를 수행하기 위해 중앙정부 지원제도를 활용하거나 민간기업의 참여를 유도하는 방안 등을 고려할 수 있다.

그리고 이러한 미활용에너지의 확대보급을 위하여 서울시에서 운영하고 있는 하수처리장, 지하철, 자원회수시설 등 공공시설에 우선적으로 활용하도록 추진하고, 민간부문은 건축물 신·개축 인허가시 설계도서 및 에너지절약계획서 심의 등을 통해 보급확대가 가능하다. (㉔)