

서울地域에서의 熱併合發電을 利用한

地域煖房가능성 研究

李 春 植 (한국과학기술원)

I. 서 론

발전폐열을 활용한 지역난방시스템은 종래의 화력발전소에서 손실되는 복수열을 열병합발전 방식에 의거 활용하는 시스템으로, 종래의 연료 이용율 40%를 80내지 85%까지 상승시키는 효과를 갖고 있다.

열병합발전에서 생성된 저온열로 지역난방을 한 경우 열전용 프랜트에 의한 지역난방 시스템에 비하여 이론적으로 약 1/4의 연료로서 같은량의 난방열을 생성할 수 있다. 실제에 있어서는 발전소 위치와 열수요 지역과의 거리, 국내난방방식의 개선, 주택의 형태, 국민습관, 배관공사, 난방시스템과의 관계등과 같은 해결해야할 문제가 많아 이들 발전 폐열을 완전히 이용하기란 불가능하며, 어느정도의 발전 폐열을 활용할 수 있는가의 가능성을 검토하여 단계적 실현을 위한 종합개발 계획이 연구되지 않으면 안된다.

이로서 본 연구는 3년간에 걸쳐 발전폐열활용을 위한 제반기술적 문제점들을 검토하고 전국토를 대상으로 한 합리적 종합계획 작성과 그의 단계적 추진을 위한 정책자료를 제공하는데 목표를 두고 있다.

II. 대서울권 및 남서울지역의 열 병합발전 지역난방 총합설계 개요

1. 대서울권의 개념설계

(지역개요)

대서울권이란 현 서울특별시의 행정구역에 포함되는 모든 지역을 말하며 이는 세계에서 인구 13번째의 대도시이며, 서울시청을 중심으로 반

경 약 15km에 달하는 지역이다.

1978년말 현재 서울특별시의 면적 및 인구 밀도는 다음 표 1과 같다.

표 1. 서울의 인문환경

총면적(km ²)	총인구(백만명)	인구밀도(인/km ²)
627.1	78.2	12,500

서울은 춘·하·추·동의 4 계절이 명확하고 12월부터 2월까지가 특히 추운 시기이며 최저 영하 20°C 이하까지 내려가는 날도 가끔 있다.

난방기간은 대개 10월중순에서 시작되며 그 다음해 4월말경에 끝난다. 주요 기상 및 난방에 관한 자료는 다음 표 2와 같다(1978년말 현재).

표 2. 서울의 난방지표

난방도일(D18-18)	난방일수(일)	난방설계기준온도(TAC2.5%, °C)	총난방열부하(Gcal/h)	평균열밀도(Gcal/h.km ²)
2,917	159	10.2	8,804	14.0

서울은 항공, 철도, 도로, 전신전화등 각종 교통, 통신시설의 거점이고 경제, 정치 문화의 중심지로 인구가 극히 조밀하게 밀집되어 있다. 특히 서울의 총주택수에 대한 아파트 건물수는 1978년말 현재 이미 18.1%(아파트 용적밀도 18,200m² / km²)에 달하고 있으며 서울에는 열 밀도가 수직적으로 잘 발달된 고밀도 지역이 많이 형성되어 있다.

하지만 장안과 신생주변도시등에 있어 이러한 고밀도 분포 상황이 서로 다르고 서울전역에 대한 상호 연결에는 아직 무리한 형편이어서,

서울을 6개 난방구역으로 구분하여 1985년에는 구역별 독립적인 열공급시스템을 2000년에는 이들 구역이 서로 연결되어 서울시전체가 한 시스템을 형성한다는 전제하에 개념설계하였다. < 열부하수요 예측 >

각 구역별 열부하 및 총 난방열부하 추정결과를 아래 표3과 같다.

표3. 서울의 열부하

구역	행정구역	최대열부하 (Gcal/h)		
		1978년	1985년	2000년
1	강서구 영등포구 구로구	167	250	724
2	은평구 서대문구 종로구	84	127	326
3	마포구 중구 용산구	145	218	537
4	강동구 성동구	189	291	459
5	동대문구 성북구 도봉구	116	185	548
6	강남구 관악구 동작구	424	636	1,067
계		1,125	1,707	3,661

상기열부하 추정에서 연난방면적 상승율 (건물의 증가율)을 강동, 강남, 강서구와 같이 인구 밀도가 현재 낮은 지역은 년 약 4%, 기타지역은 0.6%로 예측하였다. 시스템수용율은 년 약 6%상승으로 추정하여, 총 대상 난방면적중 열병합발전 지역난방 시스템이 수용할 수 있는 수용율은 다음 표4와 같다.

표4 서울의 지역난방 수용율

구분 \ 년도	1978년	1985년	2000년
총 열부하 (Gcal/h)	8,804	9,128	12,203
수용 열부하 (Gcal/h)	1,125	1,707	3,661
수용률	12.8%	18.7%	30%

이때 동시 부하율은 난방 0.8 급탕은 0.6으로 계산하였으며, 기준 년도인 1978년의 수용율은 12.8%로 하였다.

참고로 세계 주요도시의 열병합발전 지역난방 시스템의 시설용량을 소개하면 표5와 같다.

표5. 세계 주요도시의 열/지 시설용량

도시명	스톡홀름	코펜하겐	함부르크	베르린	파리
시설용량 (Gcal/h)	(80) 1,591	(77) 1,020	(79) 3,027	(79) 1,804	(70) 200

주) ()는 기준년도

그리고 대서울권의 기후에 의한 연간 열부하 지속곡선을 살펴보면 그림 1과 같다.

그리고 대서울권의 기후에 의한 연간 열부하 지속곡선을 살펴보면 그림 1과 같다.

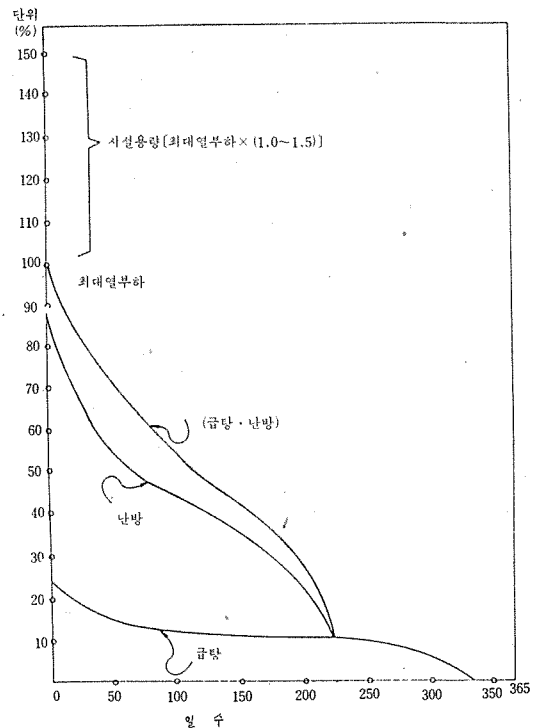


그림 1. 연간 열부하 누적곡선(서울지역)

< 열병합발전 지역난방 시스템의 설계 개요 >
열병합발전소 및 열전용 프랜트는 제작, 건설, 보수유지비등을 최저로 하기 위하여 6개지역에 대하여 표준화하였으며 그들의 사양은 다음 표

6 과 같다.

이들 열생산 플랜트들은 서울시 경계의외곽지대에 위치하며, 각구역마다 하나씩 위치하는 것을 원칙으로 하였으나, 지역 1,2,3은 당인리근처에 서로 모여있게 설계하였다.

배관은 다음 그림 2와 같이 이들 6개 발전소에서 각기 자기 구역에 열 수송하도록 설계되었

으며, 비상시를 위하여 서로 연결되도록 설계하였다. 배관경은 최고 900mm로 제한하였으며 각 플랜트로부터 방사상으로 배관이 뻗어나가고 이들이 서로 연결되어 큰링(ring)을 이루도록 하였다. 배관(송열주관) 총장은 약 170km에 달하며 (2,000년), 옥외 매설 배관의 대부분은 콘크리트 트렌치 방식을 채용하였다.

표 6. 서울의 플랜트 사양

열생산방식	전력용량 (MW)	송열용량 (Gcal/h)	1985년		2000년	
			개 수	전력/송열용량 (MW) (Gcal/h)	개 수	전력/송열용량 (MW) (Gcal/h)
추가복수식 열병합발전	75	25	4	1175 / 450	4	2800 / 1100
	125	50	7		20	
배압식 열병합발전	9.5	25	5	104.5 / 275	9	218.5 / 575
	19.0	50	3		7	
열전용 플랜트		25	2	/ 950	7	/ 1975
		50	18		36	
계			39	1279.5 / 1675	83	3018.5 / 3650

〈경제성 검토〉

이러한 열병합발전 지역난방시스템을 건설하기 위한 총투자액, 연료절감액 및 회수기간(지역난방분 투자비에 대한 연료절감액의 회수기간)은 대략 다음 표 7 과 같다.

표 7. 대서울권의 경제성 검토결과

1980년 9월 기준

구분 \ 연료	1985년		2000년	
	B-C유	석탄	B-C유	석탄
총투자비(억원)	8,949	10,447	16,708	19,865
(배관및 발전소 부대설비)	(2,274)	(2,274)	(2,763)	(2,763)
연료절감액(억원)	484	1,007	1,037	2,165
회수기간(년)	4.70	2.26	2.66	1.28

위에서 알 수 있듯이 열병합발전 지역난방시스템과 개별(중앙) 난방의 연료를 B-C유기준으로 하는 경우 서기 1985년 지역난방 투자비 2,274억원에 대한 연료절감액 484억원으로 그 회수기간은 4.70년이며 서기 2000년에는 수유가 증대, 그 경제성은 더욱 좋아져 추가투자비

2,763억원에 대한 연료절감액 1,037억원의 회수기간은 2.66년에 불과하다.

열병합발전 지역난방시스템의 연료를 수입유연탄기준으로 하고 개별(중앙) 난방은 석유 기준으로 하는 경우 그 경제성은 둘다 석유로 하는 것에 비해 거의 두배로 좋아진다.

지역별로는 강남, 관악, 동작구를 포함하는 제 6 지역이 서기 1985년 기준연료절감액 378억원에 대해 추가투자비 585억원으로 그 회수기간은 1.55년이며 서기 2000년 기준시는 1.07년에 불과해 가장 경제성이 좋은 지역이다.

〈1개 기획설계 지역의 선정〉

대서울권중 대상지역을 선정하기 위해 인구밀도가 조밀하고 건폐율과 용적률이 커서 단위면적당 열밀도가 높고 지역이 평탄하며, 암반이 적은 토양조건을 지녀 배관공사에 따른 토목공사가 용이한 한강유역의 영동을 중심으로 하고 밀도 지역중에서 선정하였다.

선정지역은 강남구(반포, 방배, 서초, 영동 및 도곡동), 강동구(잠실, 천호동) 및 서울화력

인근의 여의도와 동부이촌동 그리고 신규 계획 도시인 과천을 포함하는 지역으로 지역배관설 계에는 개념설계에서 고려한 광역 서울권의 기본계획에 차질이 없도록 기획하였다.

2. 남서울 지역의 기획설계

<지역개요>

남서울지역(강남구 및 강동구)의 남쪽은 낮은 구릉지대이며 한강쪽은 준평원지역을 형성하고 있다. 기후조건은 년중 기온의 차가 심한 대륙성 기후를 나타내고 있다.

60년대말부터 개발이 시작된 이지역은 80년 5월 현재 주민의 70%가량이 아파트에 거주하고 있어 장차 지하철 2호선, 동작대교, 고속버스 터미널등이 완공되면 이지역은 더욱 급속히 발전하게 될것이다.

그리고 여의도 및 동부이촌동 지역은 특별히 아파트촌으로 개발되어 있어 지역내 전주민이 아파트에 거주하는 특색을 지니고 있다.

끝으로 과천도시는 서울도심부에서 남쪽으로 약 15km지점에 위치하는 산악지형으로 둘러싸인 분지로서 기상조건은 서울지역과 비슷하다.

이지역은 행정기능지원 도시적 성격을 띤 계획도시로서 도시건설이 완료되는 83년에는 주민의 90%가 아파트에 거주하도록 계획되어 있다.

열부하계산을 위한 이지역의 인문 및 자연환경을 소개하면 다음 표8과 같다.

표8. 인문 및 자연환경자료

항 목	내 용	항 목	내 용
면 적(km ²)	85.54	난방설계기준온도(TAC2.5%,℃)	10.2
인 구(천명)	827	난방대상면적(km)	10.8
인구밀도(인/km)	9,670	난방도일 D(mm)	2,917
세대당인원(명)	4.5	난방일수(일)	159

여기서 알수 있듯이 이지역은 인구밀도면에서 1978년 기준 서울전역의 인구밀도 12.5천인 /km²에 상당히 미달하여 앞으로도 계속발전이 유망시되며 그 포화시기는 1990년대 중반이후로 추정되는 지역이다.

<열부하수요 및 특성조사>

이지역의 장기열부하 수요 예측 결과를 요약 하면 아래 표9와 같다.

표9. 장기열부하 수요예측

구 분	년 도			
	1980년	1985년	1990년	1995년
난방대상면적(km ²)	9.60	14.57	18.94	24.27
최대열부하(Gcal/h)	972	1,457	1,854	2,338

이상의 수요예측은 실사기준으로 경제성장을 적용해서 구하였으며 이 결과를 사용 1985년 기준 최대열부하의 수요치인 1,457Gcal/h 기준으로 전체시스템을 설계하였다. 이때 총플랜트 총량은 1,617Gcal/h 열병합발전 설비 용량은 647Gcal/h이고 년간 열부하 누적곡선을 근거로한 대상지역의 열부하특성은 다음 표10과 같다.

표10. 대상지역의 열부하 특성자료

항 목	내 용	항 목	내 용
①총플랜트용량(Gcal/h)	1,617	⑥동시부하율	0.9
②최대열부하(Gcal/h)	1,457	⑦사용계수(= $\frac{2}{1}$)	0.9
③열병합발전설비용량(Gcal/h)	647	⑧부하율(= $\frac{4}{2}$)	0.28
④평균총열부하(Gcal/h)	411	⑨가동율(= $\frac{4}{1}$)	0.25
⑤평균열병합발전 열부하(Gcal/h)	359	⑩열병합가동률(= $\frac{5}{3}$)	0.56

<열병합발전 지역 난방시스템의 설계 개요>

열병합발전 지역난방시스템의 구성은 기존서울화력을 개조 활용토록 하였고 개조로 인한 전력감소분을 보상하고 부족열 수요를 충족시키기 위해 배압식으로된 LPG(또는 LNG)연료에 의한 신규열병합발전소(발전용량 100MW, 송열 규모 220Gcal/h)를 강남구 일원동내에 건설토록 하였다. 이때 총설비용량 971Gcal/h의 열전용생성 플랜트가 별도로 필요하게 된다.

신규열병합발전소 및 서울화력의 개조 전·후의 사양은 표11과 같다.

서울화력의 개조는 신설발전소가 부하변동에는 불리하나 최고의 효율로 운전가능한 배압터

표11. 남서울권 발전설비사양.

항 목	발전소 발 전 소	서울화력4호기		서울화력5호기	
		개조전	개조후	개조전	개조후
열출력(Gcal/h)	220		151		276
전기출력(MW)	100	137.504	106.6	256.01	174.66
터빈형식	재일재생식배압터빈	추가복수식터빈	추가복수식터빈	추가복수식터빈	
사용연료	LNG	Bunker-C	Bunker-C	Bunker-C	

빈인 것을 고려 중압터빈 배기를 이용하여 지역 난방 온수 가열용으로 사용하고 복수된 것은 탈기기로 환수되도록 하였다.

지역난방용 배관망은 그림 3과 같이 계획되었으며 그 주요사양은 표12에 요약해 놓은 것과 같다. 또한 신규발전소에서 양재발전소까지의 6.4km의 신규 송전선로 시설이 필요하다.

표12. 남서울지역 배관내용 요약.

항 목	내 용	항 목	내 용
열매체	고 온 수	기압증계소설치위치	반포, 대치동 및 성내동
열매온도	공급온도 : 120℃ 환수온도 : 60℃	수요자측열교환기와 의 연결방식	간접가열(Bleedin) 방식
유 속	2.5m/s	배 관 길 이	주관 34 지관 183
최대관경	1000mm	유량제어방식	변유량방식
배관방식	2관식지하트렌치 방식	축 열 조	서지탱크용용1050m ³ (체제시간15분)

사업추진계획

지역난방 열병합발전을 위한 사업추진 계획은 아래표13과 같다.

표13. 남서울지역 열병합발전 지역난방 사업추진 계획.

추진내용	85		90		95		2,000		2,005		2,010			
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
신설열병합발전소	-----													
서울화력발전소	★(-----:전설기간) (-----:운전기간)													
1) 4호기(71.4-)	----- (기존 발전소) ----- (신설 발전소)													
2) 5호기(68.4-)	----- (기존 발전소) ----- (신설 발전소)													
송전선설비	-----													
배관 및 증계소설비	-----													
보조보일러설비	-----													
1) 건물및공동주택트렌치	-----													
2) 보일러및배관설비	-----													

<경제성 검토>

남서울지역에 열병합발전/지역난방을 도입하는 문제의 경제성 검토를 위하여 세부설계에 따라 Vendor에 견적을 의뢰하여, 그 투자비를 산정했으며 투자비 및 운영계획에 따라 열 및 전력 생산원가가 계산되었고, 디지털 컴퓨터프로그램에 의해 사업의 내부 수익률 및 연료절감량이 구해졌다.

모든 계산은 표14의 기준에 따라 행하여졌으며 그 결과는 표15에 요약해 놓은 바와 같다.

표14. 경제성 검토기준

항 목	검 토 기 준
내용년수	발전소25년, 열전용플랜트10년, 배관설비25년, 개발난방7년
감가상각방법	정액법
자금조달방법	자기자본30%, 타인자본70% 외국차관42%(년리8.5%) 국내차입28%(년리15.5%)
가동율	신설발전소73%, 서울화력4호기73.1%, 5호기51.9%
세율	년35.1%

표15. 경제성 검토요약

내 용			금 액	비 고	
소 요 투 자 비 (억 원)	초기투자비 (신설발전소, 송신설로, 배관설비, 서울화력매입, 개조, 부지매입비, 보조보일러설비비)		2,147		
	대체투자비 (서울화력 대체설비비, 보조보일러 설비비)		1,796		
	계		3,943		
열 및 전력의 제 조 및 판매단가	시스템 전체 열 및 전력제조원 가 산정	설비투자비에 의한배분방법	열 단 가 (원/Gcal)	25,600	열병합발전및 전용보일러의 복합제조원가
			전 력 단 가 (원/Kwh)	37.72	
		효율에 의한 배분방법	열 단 가 (원/Gcal)	21,800	
			전 력 단 가 (원/Kwh)	39.25	
	열병합발전시의 열 및 전력제조 원가산정	설비투자비에 의한배분방법	열 단 가 (원/Gcal)	23,540	신설열병합및 서울화력에대 한복합제조원
			전 력 단 가 (원/Kwh)	33.72	
		효율에 의한 배분방법	열 단 가 (원/Gcal)	18,800	
			전 력 단 가 (원/Kwh)	39.25	
	관 매 단 가		열 단 가 (원/Gcal)	27,900	시중열관매가 및전력관매가
			전 력 단 가 (원/Kwh)	41.14	
	경 제 성 검 토 결 과 및 민 감 도 분 석(%)	대부수익율(회임기간)		14.02(5~6년)	
		민 감 도	투 자 비	열병합발전소10%증가	12.95
배 관10%증가				13.73	
연 료 비 10%증가			10.30		
열 관 매 수 입 10%감소			11.30		
연 료 절 감 량 및 절 감 액 (절감량(Kwh) 절감액(억원))	1-9년차		1,891,492(2,997)	년400억원(원 유환산 160만 배럴)절감	
	10-11년차		514,038(814)		
	12-25년차		4,044,522(6,407)		
	계		6,450,052(10,218)		

Ⅲ. 결 론

1. 대서울권의 연료경제성은 대단히 높으며
대서울권중 남서울 지역의 기획설계 결

과는 경제성이 명확히 높아 실현 가능성이 높은 지역이다. 따라서 조속히 건설, 운전하여 그 결과를 확인하고 그에따른

기술과 경영면의 문제점을 해결하여 전국적으로 확대 건설하는 것이 중요하다.

2. 1개 지역에 실제 열병합발전 지역난방시스템을 실현하여 경험을 얻는 반면 특히 다음 문제들에 대한 연구가 집중적으로 병행되어야 한다.
 - 난방부하 및 난방시스템 설계자료의 정립을 위한 연구.
 - 기존 화력발전소 활용방안 및 석탄발전소의 공해제거방안.
 - LNG, LPG 등 가스공급시스템과의 비교연구.
 - 배관비용을 절감하기 위한 새로운 기술의 개발연구.
3. 열병합발전 지역난방의 도입을 위한 국가적 정책방향 및 대책수립을 위해 다음 사항을 건의한다.
 - 인구센서스와 같은 에너지분야의 국가적인 조사필요.
 - 추진상 장애요인이 되고 있는 기존법의 조정과 보호육성을 위한 법 제정(예

: 전기사업법, 환경보존법, 건축기준법, 도시계획법, 열관리법 등).

- 국민경제적 차원에서 국가는 사업추진 주체에 대해 혜택과 보상으로써 투자비, 세금등 각종 재원지원책의 강구
 - 경영주체에 대한 연구와 기업형태의 명확한 결정.
4. 원거리 열공급의 경제성에 관한 중점연구가 필요하다.

IV. 후 기

본 연구는 과거처 출연과제로 제 1차년도 연구결과중 서울지역에 관한 부분만 발췌하여 간단히 이에 소개하였다. 남서울지역의 기획설계는 현대엔지니어링과 공동으로 수행되었으며 한국전력(주), 주택공사의 경험치들이 본 연구에 많이 활용되었다.

끝으로 본 연구를 위해 수고해준 한국과학기술원 기계공학연구부의 열병합발전 연구팀의 연구원과 관계 제위께 지면을 통해 심심한 감사를 드린다.

利權에 介入말고

請託도 받지말자!