

집단에너지 네트워크 설계에 관한 연구

: 크리티컬 링크를 중심으로

송상화[†] · 임옥경·이재승* · 김현철* · 안창구*

인천대학교, *한국지역난방공사 미래개발원

(2017년 8월 21일접수, 2017년 9월 13일 수정, 2017년 9월 15일 채택)

A Study on the Network Design in District Heating Networks : Focused on Critical Link

Sang Hwa Song[†] · Ok-Kyung Lim·Jae-Seung Lee* · Hyun-Chul Kim* · Chang-Koo Ahn*

Incheon National University, *Korea District Heating Corporation

(Received 21 August 2017, Revised 13 September 2017, Accepted 15 September 2017)

요 약

집단에너지 시스템은 높은 에너지 생산 효율과 발전 시 탄소배출량 절감 등의 이점이 있어 활용이 늘고 있다. 집단에너지 시스템은 도입 초기에는 열원 설비와 수요단지간의 개별 연결 형태였으나, 수요지가 증가하며 최근 네트워크 형태로 발전하고 있다. 집단에너지 시스템이 네트워크 형태로 구축하면 미활용 열을 수요가 발생한 곳에 송열하는 열 연계가 가능해지고, 이는 사업자의 수익성을 개선하여 산업에 긍정적 영향을 미친다. 이에 따라 본 연구에서는 열 연계 네트워크 설계를 위한 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션을 거쳐 열 연계 네트워크에서 연중 최대 부하가 발생하는 링크를 크리티컬 링크(Critical Link)로 구분하였다. 또한, 크리티컬 링크의 연계 배관 용량 증감에 대한 민감도 분석을 통해 연계 배관 용량을 증가시키는 것이 열 연계 네트워크 효율에 영향을 미침을 제시하였다. 본 분석 결과를 바탕으로 크리티컬 링크 중 배관 용량의 증가 대비 열 연계량 효과가 높은 지역을 우선적으로 타 집단 에너지 사업자와 열 연계를 추진하면 상호 시너지 창출이 가능할 것이다.

주요어 : 지역난방, 열거래, 네트워크 분석

Abstract - The district heating system has been successfully implemented with higher efficiency levels of energy production and reduction of carbon emissions during heat generation. Traditionally the system consisted of small number of production and demand sites, but, recently it has evolved into a network with large number of sites interconnected each other. By connecting multiple sites into a network, heat from low-cost production sites can be supplied to distant demand sites so as to lower the total operation cost. In this study, we simulate and analyze district heating networks focused on critical links. A critical link is defined as a link in which capacity is fully utilized. If a network has critical links, then those critical links become bottlenecks and it is difficult to improve the overall network efficiency.

Key words : District Heating, Network Analysis, Simulation

[†]To whom corresponding should be addressed.

Tel : +82-32-835-8194 E-mail : songsh@inu.ac.kr

1. 서론

집단에너지 시스템은 열병합발전, 첨두부하보일러, 소각로 등을 이용하여 열과 전기를 생산하고 수요처로 열배관을 통해 온수를 공급하거나 배전망을 통해 전력을 공급하는 시스템을 의미한다 (Han et al., 2012). 집단에너지 시스템을 적절히 활용할 경우 에너지 생산을 위한 에너지의 절감 및 온실가스 배출량 절감이 가능하여 탈탄소 사회 구현이 가능하고 (Fang and Lahdelma, 2015; Kim et al., 2015), 개별난방 시스템보다 환경 측면에서 효과적인 것으로 알려져 있다(Lim et al., 2016). 이러한 장점으로 인해 국내에서는 2014년에 발표된 「제2차 국가에너지기본계획」의 6대 정책과제 중 하나인 ‘분산형 발전시스템 구축’분야 내 집단에너지 확대를 위한 정책을 제시하여 산업을 육성하고 있으며, 해외에서는 덴마크, 독일, 스웨덴 등 유럽 국가에서 활발히 활용되고 있다(Lu, 2011).

집단에너지를 통해 생산되는 전기에너지는 한국전력거래소를 통해 거래된 후 한국전력의 배전망을 통해 수요처로 공급되고, 열에너지는 계약된 수요처로 열배관망을 통해 공급된다. 전기에너지의 경우 한국전력거래소에서 수요 예측을 진행하여 생산 지시를 각 발전소에 하달, 발전소는 주어진 생산량을 생산하는 반면, 열에너지는 집단에너지 사업자가 수요를 예측하고 생산하여 판매하게 된다. 이에 따라 집단에너지 사업자 관점에서는 열에너지를 어떻게 생산하고 공급할지에 대한 의사결정이 중요하다.

열에너지 판매 단가를 높이기 힘든 상황에서 집단에너지 사업자의 수익성은 저비용 열 생산설비를 확보할 수 있는가에 달려져 있다. 이를 위해 집단에너지 사업자는 열에너지의 생산 및 공급 효율화를 위해 여러 지역에 분산된 열 생산 설비와 수요처를 네트워크 형태로 통합 운영하거나, 인근 사업자간 열 연계 및 거래를 추진하게 된다. 통합 네트워크 운영이나 사업자간 열 연계 시 특정 지역에서 사용하지 못하는 잉여 열을 필요한 지역에 공급함으로써 공급이 안정화되고, 집단에너지 사업자는 이로 인해 수익을 얻는다는 장점이 있는 것이다. 집단에너지 사업은 개별 단위의 수요가 아닌 개별 단위를 연결한 통합 네트워크 관점에서 분석하고 운영함으로써 이익을 증대시킬 수 있다.

집단에너지 네트워크를 구성하는 노드는 발전소, 수요지 또는 연계사업자의 발전소 또는 수요지를 의미하고, 노드를 연결하는 링크는 온수를 공급하는 열

배관망으로 정의된다. 집단에너지 시스템이 개별 시스템 운영에서 네트워크 형태로 발전함에 따라 네트워크의 최적 설계가 이슈로 등장하기 시작했다. 발전 설비 도입 시 많은 투자비가 필요하고(Bjorn Rolfsman, 2004), 투자되는 설비의 입지나 종류에 따라 경제성이 크게 달라질 수 있다 (Aringhieri and Malucell, 2003). 특히, 사업자간 연계 시에는 잉여 열과 수요지가 있음에도 불구하고, 링크에 해당되는 열 배관망의 부하로 열 연계가 어려운 경우가 발생할 수 있다. 이에 따라 최적 네트워크 구조에 대한 고민이 필요하다.

기존의 집단에너지 분야의 네트워크 설계에 관한 문헌에서는 공급 및 수요지의 연결 (Chiara et al., 2016), 수요를 고려한 적정 설비의 선택 문제(Ameri and Besharati, 2016, Nystedt, 2016), 배관망의 유량 및 형태를 결정하는 문제(Lennermo et al., 2014) 등이 연구되었다. 또한, 열 연계 분야에서는 스마트 히트 그리드(Smart heat grid) 분야에서 프로슈머(Prosumer) 제도 등을 통한 소규모 형태의 열연계와 관련한 연구가 진행되었으나 (Brand et al., 2014; Gulzar et al., 2015), 집단에너지 네트워크의 구조에 대한 분석 및 최적 설계에 관한 연구는 거의 진행되지 않았다.

이에 따라, 본 연구에서는 복수 개의 열 생산 설비와 수요처로 구성된 집단에너지 네트워크의 설계에 대한 연구를 진행하고자 하며, 열 연계시 병목현상이 발생할 수 있는 열 배관망을 분석하는데 초점을 둔다. 기존의 열 네트워크에서 최대 부하가 발생하는 링크를 ‘크리티컬 링크(Critical Link)’로, 특정 월이나 계절에 부하가 발생하는 링크를 ‘세미 크리티컬 링크(Semi-Critical Link)’로 제한하고, 이를 집단에너지 네트워크 재설계 시 주요 개선사항으로 사용하는 방안을 살펴보고자 한다.

2. 이론적 배경

2-1. 집단에너지 시스템의 네트워크 설계

Ancona et al.(2013)은 지역난방 네트워크 설계를 위한 Ca.R.Di.F 소프트웨어를 개발하였다. Ca.R.Di.F 소프트웨어에서는 공급지 및 수요지의 위치정보, 수요 지별 유틸리티 정보, 공급원별 공급온도, 시스템 특성 등의 공급원 정보 및 각 파이프의 전도 계수, 길이 등 파이프 변수를 입력변수로 하여 지역난방네트워크 설계를 시뮬레이션하게 된다. 분석 결과로 공급원별 수요지와와의 매칭, 링크 간 유량, 속도, 손실량을 확인할

수 있다. 본 소프트웨어는 공학적 측면에서의 배관망 해석에 초점을 맞추고 있다.

신규 지역난방 네트워크 설계를 위한 연구에서는 초기 투자비용과 운영비용을 함께 고려하게 된다. Ameri and Besharati(2016)에서는 지역 냉각, 난방 및 전력 네트워크에서 집단에너지시스템의 최적 용량 및 운영 방법을 결정하기 위한 혼합 정수 선형 프로그래밍 모델을 제시하였다. 운영 방식은 에너지 공급형태별로 네 가지 시나리오를 구성하였으며, 시나리오별로 투자 비용, 1차 에너지 비용, 이산화탄소 배출량을 비교하였다. Mertz et al.(2016)에서는 지역난방네트워크에서 전배(cascading)효과를 고려한 네트워크 설계 모형을 제시하였다. 네트워크 설계는 투자비용, 운영비용을 포함한 총 비용 최소화를 위해 네트워크 형태와 열 생산기술, 온수 온도 및 유량 등을 고려하였다.

Vesterlund et al.(2017)은 지역난방 네트워크 설계에서 운영비용만을 고려하기도 하였다. 본 연구에서는 다양한 열원을 사용하여 다수 지역에서 열에너지를 공급하는 지역난방 네트워크에서 총 운영비용 최소화를 위한 네트워크 설계를 수행하였다. 운영비용 최소화를 위해 모형에서 사용자 영역의 압력, 온도 및 열원별 특성을 고려하였다. 사례 분석에서는 열 배관 중 일부가 열 부하 용량을 초과한다 하더라도 가장 저렴한 열원을 사용하는 것이 분산 열원을 사용하는 것보다 운영비용이 저렴함을 제시하였다.

산업 규모 확대에 따른 지역난방 네트워크에 확장에 관한 연구도 제시되었다. Chiara et al.(2016)은 신규 잠재 사용자를 기존의 지역난방시스템에 연결할지 여부를 결정하기 위한 모형을 설계하였다. 본 연구에서 제시한 에너지 공급자의 이익 극대화를 위한 수리 모형에는 사용자의 수요, 사용자와 생산자의 연결여부와 연결 파이프의 유량을 고려하였다. 즉, 열공급 네트워크 설계를 위한 주요 고려사항이 연결 링크간의 용량임을 살펴볼 수 있다.

2-2. 열 연계

열 연계 분야의 선행 연구에서는 주로 스마트 히트 그리드 분야에서 프로슈머 제도 등을 통한 소규모 형태의 열 연계와 관련한 연구가 진행되었다. 대표적으로, Gulzar et al.(2015)은 CHP 발전소 운영자를 대표하는 경매 대행사와 현지 태양열 발전 용량을 보유한 최종 사용자를 대표하는 프로슈머 대행사간에 경매 기반 열 교환 메커니즘을 제시한 바 있다. 또한, Brand

et al.(2014)에서는 프로슈머제도 도입 시 열 공급 네트워크에 미치는 영향을 시뮬레이션 하였다. 분석 결과로 프로슈머가 생산한 열은 공급 온도가 낮은 상황이 발생하여 열배관망 내 압력 조절이 필요하게 된다. 이에 따라 지역난방 네트워크에서 프로슈머제도 도입에 선행하여 열 배관망의 주요 정보 파악 및 관리 방안의 수립이 이루어져야 함을 제시한 바 있다.

집단에너지 사업자간 열 연계에 대해 분석한 연구로는 Kim et al.(2013)에서 열병합 발전소의 운영 특성을 고려한 열거래 기반 집단에너지 시스템의 전체 편익을 최대화하는 최적 운영 모델을 제시하였다. 이 연구에서는 모형 검증을 위해 인접한 사업자간 연계 및 미연계 운영 결과를 비교하였으며, 연계 시 총 편익이 증가하는 것으로 나타나 지역난방 시스템의 연계운영을 통해 사업자의 경영수지 개선이 가능하다고 분석하였다.

또한, 국내에서는 ‘제3차 집단에너지 공급 기본계획’ 및 ‘제4차 집단에너지 공급 기본계획’에서 ‘열거래망 구축을 통한 미활용 열에너지의 활용 극대화’가 정책 방향으로 제시되었다. 이에 따라 해당 정책 하에 추진된 ‘수도권 그린히트 프로젝트(GHP)’의 타당성에 대해 연구가 진행된 바 있다. Kim et al.(2015)에서는 GHP 사업을 통한 열 공급, 생산원가 절감, 온실가스 저감, 대기질 개선을 편익으로, 사업 착수 후 3년간의 투자비와 30년 동안의 운영비를 비용으로 하여 분석하였다. 분석 결과 편익/ 비용비율 1.72, 내부수익률 24.26%로 분석되어 사업 추진을 제시하였다. 반면, Jin(2016)에서는 유럽의 사례와 국내 GHP 사업을 비교 분석한 후, 분산형 열에너지 거래를 위해 필요한 사회적 비용이 높아 사업 여건의 제고가 필요함을 제시하였다.

본 연구에서는 기존 연구들에서 제안된 네트워크 설계 방법론을 고려하여 국내 집단에너지 사업자의 배관 네트워크를 분석해보고, 추후 네트워크 재설계시 고려해야 할 사항에 대해 살펴본다.

3. 열 연계 네트워크 시뮬레이션

3-1. 시뮬레이터 개발 및 분석 데이터

본 연구에서는 집단에너지 네트워크 분석을 위해 네트워크 시뮬레이터를 개발하였다. 네트워크 시뮬레이터는 네트워크 수열 및 송열 계획을 분석하는 기능이 포함되어 있다. 네트워크 내의 수열 및 송열 분석

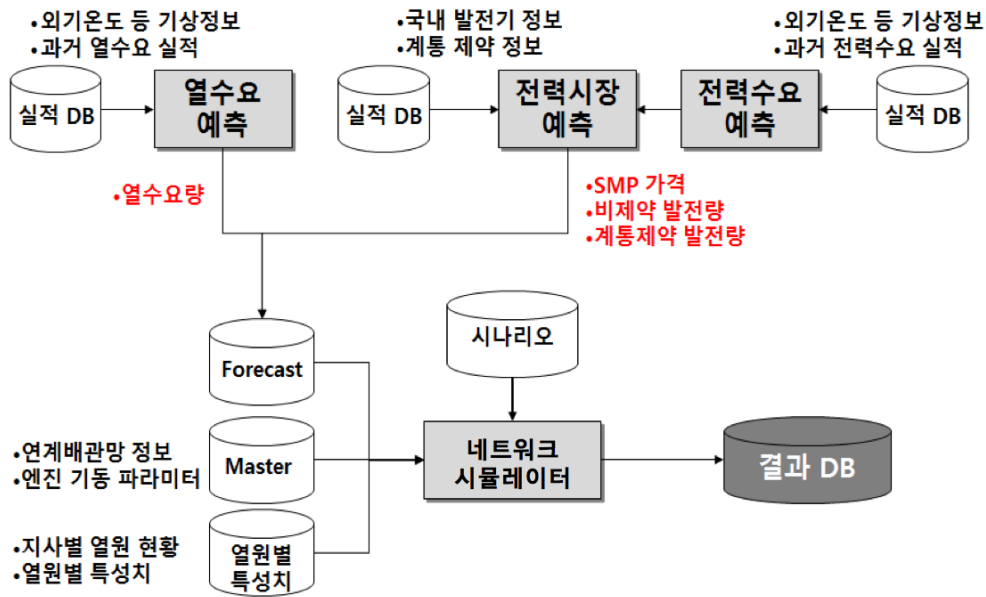


Fig. 1. District Heating Network Simulator

을 위해서 네트워크의 노드를 열원 설비와 열 수요 지역으로 설정하고, 지역 간 배관 구조를 링크로 설정하여 시뮬레이션하게 된다. 시뮬레이션을 위한 입력정보는 노드와 링크정보, 열원 설비별 열 생산량, 열원설비로부터 수요지역으로의 공급량이며, 출력정보로 열 연계 및 거래 네트워크를 제시한다.

본 연구에서는 시뮬레이션을 위해 한국지역난방공사의 2013년 열 공급 및 수요 데이터를 사용하였다. 한국지역난방공사 열 네트워크의 노드는 판교, 광고, 파주 등 18개 지사의 열병합발전설비(CHP), 보일러(PLB), 소각로(INC) 등으로 구성되며, 각 지사를 연결하는 링크인 연계 배관은 시간당 송열량이 제한되어 있다. 이러한 네트워크 특성으로 시뮬레이션은 총수의 최대화를 목적으로 연계 배관 용량을 고려하는 구조로 수행하였다.

3-2. 열 연계 네트워크 최적화 시뮬레이션

실 데이터를 바탕으로 한 열 연계 시뮬레이션 결과 중 1월, 3월 및 4월의 열 연계 네트워크를 시각화하면 다음 Fig.와 같이 표현할 수 있다. 1월의 경우 열부하가 최대 발생하는 월인데 반해, 3월 및 4월은 꽃샘추위로 인한 단기간의 열수요 증가추세를 보인 후 수요가 지속적으로 감소한다.

각 Fig.의 동그라미는 노드, 화살표는 지사별 열 연계 링크를 나타내는데, 굵은 화살표의 경우 월별 최대

부하가 걸리는 연계 링크를 표시한다. 굵은 화살표로 표시된 링크들은 월별로 달라지는데 특정 링크의 경우 월별 수요 패턴 변화에도 불구하고 연중 최대부하가 걸리는 링크들도 존재한다.

월별 특징을 분석하면, 1월의 경우 인근 지역에서 열연계가 활발한 것으로 나타났다. 이는 모든 지역에서 열 수요가 급증하여 대부분의 열원을 가동하기 때문에, 수요지의 열 수요를 해당 지역에서 직접 생산하여 공급하거나, 인근 지사와 열을 연계하는 것이 총비용 최소화 관점에서 유리하기 때문이다. 3월의 경우, 다른 월보다 열 연계가 제일 활발한 것으로 나타났다. 열 수요는 1월보다 높지 않아 설비 및 운전모드 특성을 고려하여 생산계획을 수립하기 때문에, 전기를 주로 생산하는 설비가 입지한 지역의 경우 수열이 활발해지기 때문인 것으로 보인다. 4월의 경우, 생산하는 열의 총량이 감소하기에 전체적인 열 연계 역시 감소하는 것으로 나타났다.

월별로 표기된 열 연계네트워크에서 공통적으로 부하가 발생하는 링크도 찾아볼 수 있다. 링크에 연중 내내 최대 부하가 발생할 경우 해당 링크를 크리티컬 링크로, 특정 월에만 최대 부하가 발생하는 링크를 세미 크리티컬 링크로 정의할 수 있다. 크리티컬 링크 및 세미 크리티컬 링크는 해당 링크에 부하가 추가되거나 사고가 발생하는 등의 위험상황이 발생할 경우, 열 연계 네트워크에 비효율을 발생시킬 가능성이 크다.

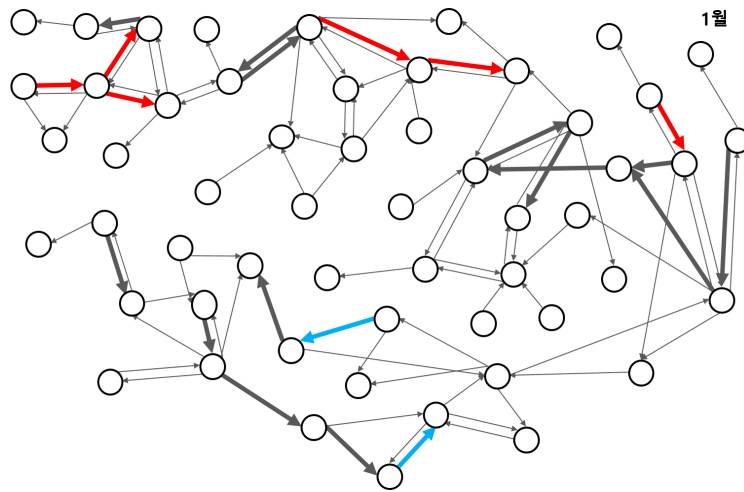


Fig. 2. Heat Transfer Network(January)

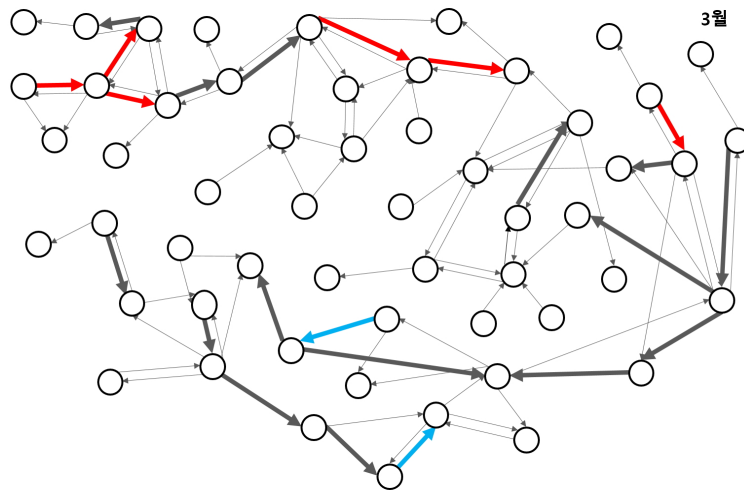


Fig. 3. Heat Transfer Network(March)

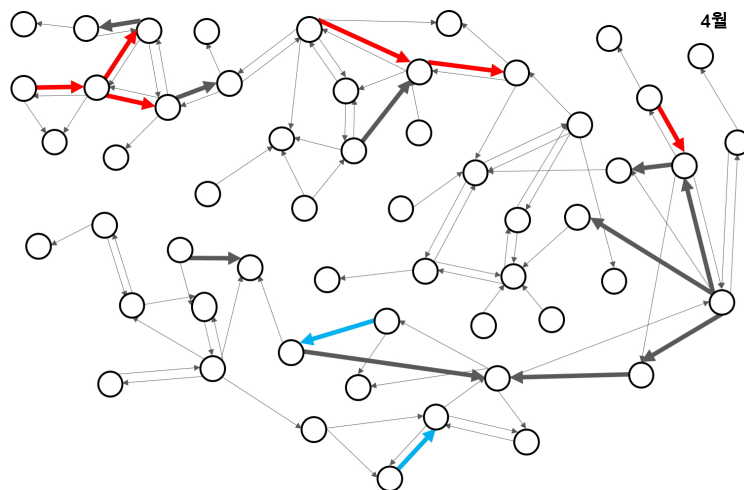


Fig. 4. Heat Transfer Network(April)

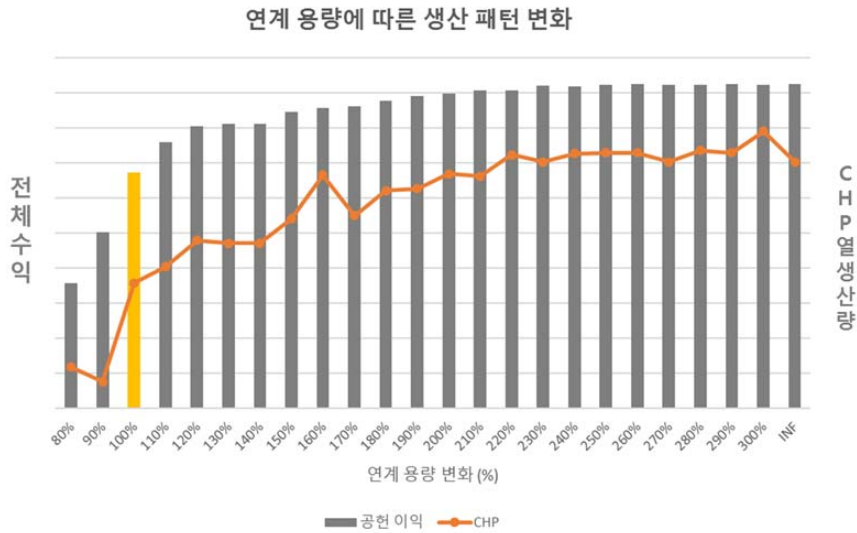


Fig. 5. Changes of Profit and CHP Operations to Link Capacity

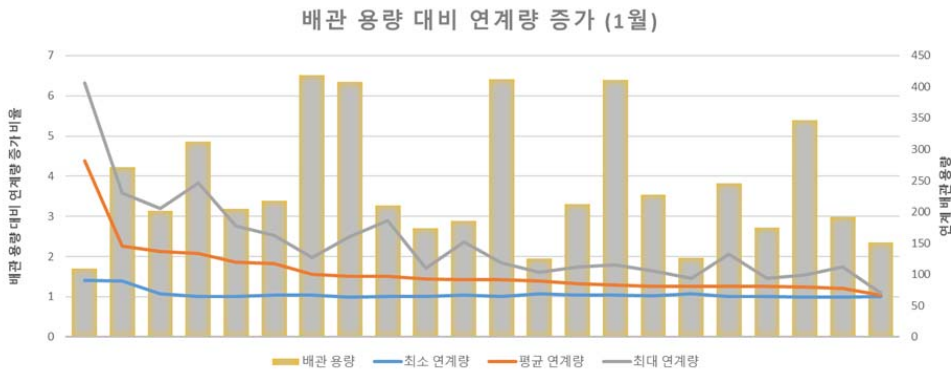


Fig. 6. Increase of Heat Flows to Link Capacity Change

또한, 해당 링크들로 인해 열 연계에 있어 이미 병목현상이 발생한 경우 해당 링크의 용량을 증가시키게 되면 추가적인 열 연계가 가능하여 수익성을 높일 수 있다. 본 사례에서도 이러한 상황이 발생 할 수 있기에 이를 검증하기 위해 다음 절에서는 크리티컬 링크를 중심으로 배관용량 증가에 따른 수익성 변화를 시뮬레이션 하였다.

3-3. 연계 용량 증가에 따른 수익 변화

연계용량 증가에 따른 수익성 변화를 검토하기 위해 연계용량 증가를 가정하여 CHP 열 생산량 및 공헌이익의 분석 및 배관 용량 대비 연계량 증가의 두 가지 분석을 진행하였다.

첫째, 3-2.에서 크리티컬 링크로 정의된 배관망의 현 용량을 100%라고 설정했을 때, 링크의 용량 증가

에 따른 CHP의 열 생산량과 공헌 이익을 분석하였다. 분석 결과, Fig. 4.에서 살펴볼 수 있는 것처럼 링크의 용량이 증가하면 CHP 열 생산량 역시 증가하는 것으로 나타났다. 또한, CHP 열 생산량 증가에 따라 공헌 이익 역시 증가하는 추세를 보인다.

둘째, 특정 월의 배관 용량 대비 연계량 증가분을 분석하였을 때, 각 링크별로 연계 민감도가 다를 수 있다. 첫 번째 막대그래프로 표현된 링크 간 연계량에 제한을 없앨 경우, 해당 링크의 연계량보다 최대 6배 이상 증가하는 것으로 나타났다. 이는 2013년 당시 해당 링크가 병목현상을 발생시키는 크리티컬 링크로 작용했을 가능성이 큼을 알 수 있다. 또한, 그래프의 오른쪽으로 갈수록 링크 간 연계량을 증가시켜도 평균 및 최대 연계량이 배관 용량과 동일해져 연계 효과가 왼쪽 링크들보다 미미함을 살펴볼 수 있다.

이것은 링크 간 용량 증가에도 연계량에 변함이 없는 링크가 존재함을 의미하여, 열 연계 네트워크 링크별로 용량을 증가시켜야 하는 우선순위가 있다고 판단할 수 있다.

4. 결론

집단에너지 시스템은 1차 에너지 및 탄소배출량 절감이 가능하다는 장점이 있어 다양한 국가에서 사용하고 있다. 국내에서도 집단에너지 시스템 도입 및 활성화에 따라 특정 지역의 에너지 공급 뿐 아닌 지역 간 연결을 통해 통합 네트워크로 구축되기 시작하였고, 인근 사업자간 열연계도 시도되고 있다. 집단에너지 네트워크 내 열 연계는 미활용되는 열을 수요가 발생하는 지역에 공급함으로써 발생하는 수익 확보하여 사업자의 경영 환경을 개선할 수 있다.

이에 따라, 본 연구에서는 집단에너지 열 연계 네트워크 최적화를 위한 시뮬레이터를 개발하여 2013년 한국지역난방공사 데이터를 기반으로 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션을 통해 두 가지의 주요 분석 결과를 제시하였다. 첫째, 각 월별 링크 간 부하량 분석을 통해 연중 최대 부하가 발생하는 특정 링크를 크리티컬 링크로 정의하고, 특정 월에 최대 부하가 발생하는 링크를 세미 크리티컬 링크로 구분하였다. 구분된 링크들은 열 연계 네트워크에서 병목현상을 발생 시키거나, 위험 상황 발생 시 전체 네트워크에 부정적 영향을 끼칠 수 있다. 둘째, 네트워크 연계 용량 변화에 따른 수익성의 민감도 분석을 통해 용량 증가에 따른 CHP 열 생산량, 공헌이익이 지속적으로 증가함을 알 수 있었다. 또한, 이를 각 링크별로 용량 증가에 따른 연계량 증가율을 분석한 결과, 특정 링크의 경우 배관 용량 확장에 따라 연계량 증가율이 6배 이상 상승하나, 배관 용량 확장에 연계량 증가가 미미한 링크도 존재함을 알 수 있다. 즉, 이는 링크별로 배관 용량 증가 대비 열 연계량 증가 효과가 동일하지 않음을 제시한다. 이러한 결과를 바탕으로 배관 용량 증가 대비 열 연계량 효과가 높은 지역에서 우선적으로 타 집단에너지 사업자와 열 연계 추진 시 상호 시너지 창출이 가능할 것으로 판단할 수 있다. 분석 결과를 종합하면, 열연계 네트워크 최적화를 위해서는 링크별 연계 용량과 연도별 및 월별 연계량 분석을 통해 크리티컬 링크의 파악이 필요하다. 이를 바탕으로 크리티컬 링크를 집중적으로 관리하고, 크리티컬 링크 지역을 우선

적으로 타 사업자와의 열 연계를 통해 열 연계 네트워크 운영을 효율화하는 것이 필요할 것이다.

본 연구에서는 열 연계 네트워크의 최적화를 위한 방법으로 월 단위의 열연계 네트워크 시뮬레이션을 통해 크리티컬 링크를 관리하여야 함을 제시하였다. 이를 기초 연구로 하여 다음과 같은 연구가 가능할 것이다. 먼저, 타 사업자의 열 생산 및 공급 데이터를 분석을 통해 사업자간 열 연계 시 시너지 효과가 발생할 수 있는 열거래 대상지역의 선정이 가능하다. 이를 바탕으로 사업자간 열거래 도입 시 일별 및 시간대별 수급량 분석을 통해 사업자간 열거래 메커니즘 개발이 가능할 것이다.

References

1. Ameri, M., Besharati, Z., 2016, Optimal design and operation of district heating and cooling networks with CCHP systems in a residential complex, *Energy and Buildings*, Vol. 110, pp. 135-148
2. Ancona, M. A., Bianchi, M., Branchini, L., Melino, F., 2014, District heating network design and analysis, *Energy Procedia*, Vol. 45, pp. 1225-1234
3. Aringhieri, R., Malucelli, F., 2003, Optimal operations management and network planning of a district heating system with a combined heat and power plant, *Annals of Operations Research*, Vol. 120, pp. 173-199
4. Bordin, C., Gordini, A., Vigo, D., 2016, An optimization approach for district heating strategic network design, *European Journal of Operational Research*, Vol. 252, No. 1, pp. 296-307
5. Brand, L. et al., 2014, Smart district heating networks - A simulation study of prosumers' impact on technical parameters in distribution networks, *Applied Energy*, Vol. 129, pp. 39-48
6. Fang, T. T., Lahdelma, R., 2015, Genetic optimization of multi-plant heat production in district heating networks, *Applied Energy*, Vol. 159, pp. 610-619
7. Gulzar, K. et al., 2015, An auction-based smart district heating grid, 2015 IEEE 20th Conference, pp. 1-8
8. Han, K. T., Kim, H.M., Yoo, S. H., 2012, The

- Economic Effects of Integrated-Energy Business: An Input-Output Analysis, KOSEE, Vol. 6, No. 2, pp. 47-54
9. Jin, S. H., 2016, Definition and Application of the Concept of Distributed Heat Energy : Focusing on the Green Heat Project, KEPAS, Vol. 24, No. 3, pp. 131-160
10. Kim, J. W., Lee, J. H., Kim, H. M., 2013, Optimal Operation Model of Heat Trade based District Heating and Cooling System Considering Start-up Characteristic of Combined Cycle Generation, KIEE, Vol. 62, No. 11, pp. 1610-1616
11. Kim, S. K., Kim, L. H., Yoo, S. H., 2015, Economic Feasibility Analysis of the Metropolitan Area Green Heat Project, KOSEE, Vol.24, No. 1, pp. 32-41
12. Lennermo, G., Lauenburg, P., Brand, L., 2014, Decentralised heat supply in district heating systems: Implications of varying differential pressure, The 14th International Symposium on DH and Cooling
13. Lim, S. Y., Kim, H. J., Yoo, S. H., 2016, The demand function for residential heat through district heating system and its consumption benefits in Korea, Energy Policy, Vol.97, pp.155-160
14. Lu, W., 2011, District heating - A possible part of sustainable urban development in China, KTH, pp. 1-64
15. Mertz, T. et al., 2016, A MINLP optimization of the configuration and the design of a district heating network: Academic study cases. Energy, Vol. 117, pp. 450-464
16. Nystedt, A., Shemeikka, J., Klobut, K., 2006, Case analyses of heat trading between buildings connected by a district heating network, Energy conversion and management, Vol. 47, No. 20, pp. 3652-3658
17. Rolfsman, B., 2004, Combined heat-and-power plants and district heating in a deregulated electricity market, Applied energy, Vol. 78, No.1, pp. 37-52
18. Vesterlund, M., Toffolo, A., Dahl, J., 2017, Optimization of multi-source complex district heating network, a case study. Energy, Vol. 126, pp. 53-63