열수송관 성능개선을 위한 의사결정 시스템 개발

공명식 KICT 지반연구본부 전임연구원

들어가며

1980년대 후반부터 서울과 수도권 신도시 지역을 중심으로 보급되기 시작한 지역난방시스템은 열펌프, 열교환기 등 열원시설과 열수송관, 순환펌프 등 열수송시설로 구성되어 있다. 이 중 열수송관은 핵심적인 열수송시설로 주거 및 상업용 건물에 열에너지를 공급하기 위해 도심지 지하에 매설되어 있다. 고온(최대 120℃), 고압(최대 16bar) 조건에서 운영되는 열수송관의 안전성 향상을 위해 지난 30년간 소재 개발, 시공기술 발전이 진행되어 왔다. 다만, '80~'90년대 시공된 열수송관의 노후화와 당시 소재 · 시공기술의 단점으로 인해 최근 지속적인 파손 · 누수사고가 발생하고 있다.

열수송관 파손에 의한 피해를 근본적으로 줄이기 위해서는 파손에 의한 피해를 증가시키는 원인(공급온도, 압력 등)을 줄이거나, 파손가능성을 사전에 인지하고 대응하는 것이 필요하다. 전자의 경우 유럽에서 적용 중인 4세대 지역난방 기술(저온, 저압)을 도입함으로써 해결할 수 있다. 그러나 저온, 저압조건의 열수송관 운영 시스템을 구축하기 위해 필수적인 열교환 성능 향상 기술은 아직 미흡하여 단기간 내 실현 가능성이 낮은 것이 현실이다. 따라서, 열수송관의 파손 가능성을 정량적으로 분석하여 선제적으로 개선작업을 진행하기 위한 의사결정 도구가 필요하다. 한국지역난방공사, GS파워㈜ 등 대규모 집단에너지 사업자들은 자체적으로 구축한 열수송시설 통합정보 및 유지관리 시스템을 통해 시설물 설계, 시공, 유지관리 과정에서 수집되는 정보를 정형화된 디지털 데이터로 관리하고 있다. 구축된 데이터베이스를 기반으로 열수송관의 파손 가능성을 정량적으로 분석하는 평가모델을 통해 위험도가 높은 구간을 선별하고, 해당 구간에 대한 성능개선 여부를 판단하는 의사결정 모델을 도입하고 있다.

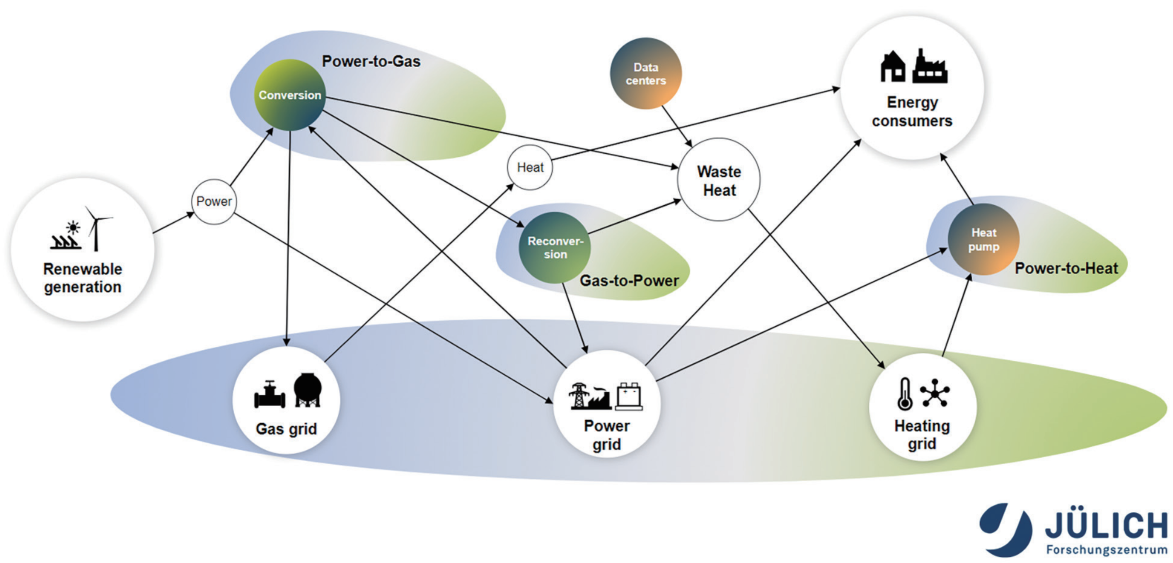

그림 1 열, 전력, 가스 통합형 스마트 에너지 그리드 운영 시뮬레이션(독일, 2023)

이 글에서는 지역난방시스템을 40~50년 이상 운영해 온 유럽 선진국의 시스템 운영기술 현황과 국내 집단에너지 사업자들이 열수송관 등 시설물 성능개선을 위해 도입한 의사결정 시스템, 그리고 기반시설관리법과 연계한 열수송관 성능평가 및 성능개선의 미래 방향성에 대해 소개하고자 한다.

유럽 선진국의 지역난방시스템 운영 및 기술개발 현황

독일, 네덜란드, 오스트리아 등 유럽 선진국은 최소 30년 이상의 지역냉난방시스템 운영 노하우를 보유하고 있으며, 저비용 · 고효율의 4세대 지역난방 기술을 10년 이상 연구하는 등 최신 지역난방 기술을 선도하고 있다.

독일 지역난방협회(AGFW)에서는 자산관리도구를 통해 재고관리, 통계적 노후화 모델 및 재료(관종 등) 기반의 서비스 수명 모델 등을 활용하고 있으며 이를 바탕으로 지역난방시스템 유지관리 전략을 수립하고 있다. 특히 열수송관의 잔존 수명 예측의 정확도와 운영 데이터의 적합한 처리를 위해 노력하고 있으며 유럽 또는 독일 내 기후목표 달성을 위해 시스템 평가 기준을 강화하고 있다. 독일의 지역난방사업자들은 비용 측면에서 효율적인 열공급시스템을 운영하기 위해 관경과 압력을 조절하여 소비자에게 적정한 수준의 유량을 공급하고 있다. 단, 유량과 소비자 연결(Service Connection) 개수 및 공급온도와의 상관성을 고려하고 있으며, 특히 4세대 지역난방에 따른 저온수 공급으로 세밀한 운영 노하우가 필요한 상황이다. 이에 지난 1년간의 운영데이터를 기반으로 열부하와 온도 변화를 조사하여 개별적, 종합적인 열공급 시스템 운영 방안을 마련하고 있다.

독일 율리히연구소(Forschungszentrum Jülich)에서는 열공급뿐만 아니라 전력, 가스 공급체계를 통합한 스마트 에너지 그리드를 운영하여 개별적인 공급체계 운영 시에는 고려할 수 없었던 시너지 창출 효과를 기대하고 있다. 이를 위해 각기 다른 공급체계를 운영할 경우와 통합 공급체계를 운영할 경우를 상정하여 각각에 대한 모델링 및 시뮬레이션이 가능한 도구(HeatNetSim)를 개발하였다.

네덜란드에서는 기존 천연가스를 활용한 열공급시스템의 문제점을 분석하여 지역난방시스템 고도화를 위한 모델(Dynamic GROW)을 개발하였다. 해당 모델은 열수송관의 크기와 배치, 생산주기 등을 전략적으로 구성하기 위해 물리적 · 비용적 측면을 모두 고려하고 있다.

오스트리아 최대 규모의 비영리 연구소인 오스트리아 기술연구소(AIT)에서는 가상의 지역 간 열전달 네트워크(HTN)를 구성한 후 각 지역에서 발생한 재생 가능한 열원, 지역 내 열공급 네트워크, 열저장 설비를 상호 연결한 경우(연결률 90%)와 지역별로 개별적인 지역난방시스템을 운영한 경우 각각에 대해 위험 저감 효과를 분석하였다. 그 결과, 지역 간 열전달 네트워크를 통해 각 지역이 분리되었을 때 발생할 수 있는 위험률(열공급 중단 등)을 저감하는 효과가 나타났다.

유럽 기술개발 사례를 통해 에너지 절약과 4세대 지역난방을 결합함으로써 재생에너지를 활용한 저온 열원의 활용성을 향상시키고 고온, 고압조건의 열수송관에 의한 파손피해를 저감할 수 있을 것으로 판단된다.

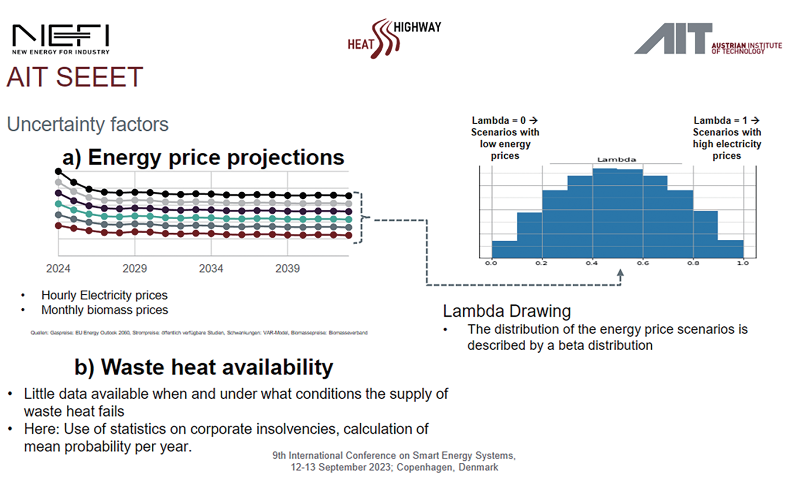

그림 2 열공급 시스템 연계를 통한 위험 저감 효과 분석(오스트리아, 2023)

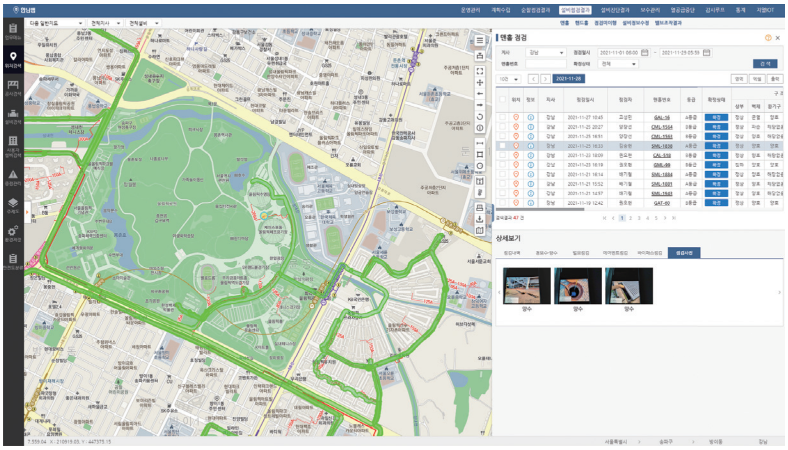

그림 3 한국지역난방공사 열수송관 통합관리시스템(한난맵 ©한국지역난방공사, www.kdhc.co.kr)

국내 열수송관 의사결정 시스템 도입 현황

국내 최대 규모 지역난방시스템을 운영 중인 한국지역난방공사는 한국건설기술연구원과 열수송관 건전화 사업 추진방안 연구(2017~2020), 안전관리 기술정보 공유 및 기술교류 업무협약 체결(2021) 등 지속적으로 현장데이터 공유 및 의사결정 기술 개발 현장 적용을 통한 협력사업을 이어 나가고 있다. 특히 열수송관을 포함한 열수송망 통합관리시스템인 '한난맵'을 2021년부터 운영하여 관리대상 시설물 정보를 손쉽게 파악할 수 있도록 하였으며, 한국건설기술연구원에서 제공한 열수송관 위험예측 기반 의사결정 지원 모델을 한난맵에 적용하여 성능개선구간 선정기준으로 활용하고 있다. 이 외에도 GS파워㈜, 서울에너지공사 등 타 지역난방 사업자들 역시 한국건설기술연구원의 위험도 분석 모델을 도입하여 고위험구간 선정 등 의사결정에 활용하고 있다.

열수송관 성능평가 및 성능개선 미래 방향

수도, 전기, 가스 등과 같은 유통 · 공급시설에 포함된 열수송관은 '지속가능한 기반시설관리 기본법(이하 기반시설관리법)'에 따라 안전성, 사용성, 내구성 등을 종합적으로 고려하여 선제적으로 관리해야 하는 기반시설물 15종에 포함되어 있다. 기반시설관리법에서는 시설물의 유지관리 및 성능개선을 위해 최소유지관리기준(동법 제11조), 성능개선기준(동법 제13조)을 설정하고 성능평가(동법 제12조)를 실시해야 함을 명시하고 있다. 해당 법률에 따라 시설물별로 진단 및 평가 기준을 마련해야 하며, 한국에너지공단의 주도로 열수송관 역시 2024년 말까지 성능평가 기준을 마련하기 위한 정책연구를 진행하고 있다. 단순히 장기간 사용된 열수송관의 노후화만을 고려해 사용기간에 따라 성능개선 대상을 선정하던 과거의 평가방식에서 벗어나기 위해서는 성능평가 기준 수립 시 데이터 기반의 위험도 분석 모델이 반영되어야 하며, 이를 통해 파손 사고가 발생하기 전에 선제적인 시설물 개선이 이루어져야 한다. 또한 4세대 지역난방 도입에 필요한 열교환설비 고도화 및 운영 노하우 습득을 위해 유럽과의 지속적인 기술 교류가 필요할 것으로 판단된다. K

참고자료

- Kerstin Sernhed and Mikael Jonsson (2016), Risk management for maintenance of district heating networks, The 15th International Symposium on District Heating and Cooling, Seoul, South Korea, pp.381~393.
- Kong, M. S. and Kang, J. M. (2021), Methodology for Estimating the Probability of Damage to a Heat Transmission Pipe, Journal of the Korean Geo-Environmental Society, Vol.22, No.11, pp.15~21 (In Korean).
- Nicolas Marx (2023), Heat transmission network design optimization and robustness analysis for a case study in Tyrol, 9th International Conference on Smart Energy Systems, Copenhagen, Denmark, pp.103–104.
- Stefan Hay, Heiko Huther, Sebastian Grimm, Pakdad Langroudi, Ingo Weidlich, Ingo Kropp (2023), Sustainable Asset Management District Heatinga Future Perspective, 9th International Conference on Smart Energy Systems, Copenhagen, Denmark, pp.340–341.