

## 집단에너지 사업자간의 열연계 메커니즘 구성에 의한 최적 열연계 산정 알고리즘 개발

김용하 · 김승희\*<sup>†</sup> · 현승연\*\*

인천대학교

(2017년 9월 22일접수, 2017년 11월 6일 수정, 2017년 11월 8일 채택)

## Development of Optimal Thermal Transfer Calculation Algorithm by Composition of Thermal Transfer Mechanism among Integrated Energy Operators

Yongha Kim · Seunghee Kim\*<sup>†</sup> · Seungyeon Hyeon\*\*

Incheon National University

(Received 22 September 2017, Revised 6 November 2017, Accepted 8 November 2017)

### 요 약

열은 전력과 같이 이동속도가 빠르지 못하고 전력에 비해 손실이 비교적 크게 발생하므로 전력거래와 같이 한 개의 운용센터를 두고 열 연계 시스템을 운영하는 것은 현실성이 없다. 현재 열 연계가 모두 이루어지고 있는 한국지역난방공사의 경우에도 인접한 2~4개 정도의 열병합발전소간에만 열 거래가 이루어지고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 열 거래를 위한 통합운용센터를 몇 개의 권역으로 나누어 각 권역마다 권역의 Hub 통합운용 발전소를 두고 운영하는 것이 열매체의 특성을 반영하는데 적당하고 타당한 것으로 판단하여 집단에너지 사업자간 열 연계 메커니즘을 제안하였다. 제안된 메커니즘에 최적으로 열 거래를 행할 수 있는 알고리즘을 개발하고 이를 실제 사업자에 적용하여 제안한 알고리즘의 유용성을 검증하였다.

**주요어** : 열 거래, Hub 통합운용발전소, 열 연계량, 최적 열 생산량

**Abstract** - Since the heat is not as fast as the electric power and the loss is relatively large compared to the electric power, it is not realistic to operate the thermal transfer system with on operation center like electric power trading. In the case of the Korea District Heating Corporation, where all the thermal transfer are currently being made, only two or four adjacent heat-generating power plants are being the heat trading. Therefore, In this paper, we concluded that it is appropriate to divide the integrated operation center for heat trading into several regions, to operate the hub integrated operation power plant in each region to reflect the characteristics of the heat medium and proposed the thermal transfer mechanism among integrated energy operators. Then, we have developed an algorithm that can optimize the heat transaction for the proposed mechanism and applied it to the actual operators to verify the usefulness of the proposed algorithm.

**Key words** : Heat trading, Hub Integrated operation power plant, Heat transfer quantity, Optimal heat production

<sup>†</sup>To whom corresponding should be addressed.

Tel : +82-032-835-4604 E-mail : 201621056@inu.ac.kr

## 1. 서론

한편 열 연계에 의한 열 거래의 목적은 열 생산단가에 근거하여 저가열원을 확보하려는 차원에서 단방향의 열 거래가 주로 이루어지고 있으며 집단에너지설비의 효율에 따라 경제성에 입각한 다자간 거래는 거의 이루어지고 있지 않은 실정이다.[1]

또한, 열은 전력과 같이 이동 속도가 빠르지 못하고 손실이 전력에 비해 비교적 크게 발생하므로 전력거래와 같이 한 개의 운용센터를 두고 열 연계 시스템을 운용하는 것은 현실성이 없다. 현재 열 연계가 모두 이루어지고 있는 한국지역난방공사의 경우에도 인접한 2~4개 정도의 열병합발전소간에만 열 거래가 이루어지고 있는 실정이다.[2]

따라서 본 논문에서는 열 거래를 위한 통합운용센터를 몇 개의 권역으로 나누어 각 권역마다 권역의 Hub 통합운용발전소를 두고 운용하는 것이 열매체의 특성을 반영하는데 적당하고 타당한 것으로 판단하여 수도권 열병합발전 사업자를 대상으로 하여 효과적으로 다자간 열 연계를 할 수 있는 메커니즘을 구성하고 이에 따라 사업자가 최적 열 연계를 할 수 있는 알고리즘을 개발하고 이를 실 사업자에 적용시켜 유용성을 검증하였다.

## 2. 권역별 열 연계 메커니즘

### 2-1. 열 연계 메커니즘의 구성

본 논문에서는 열 연계 메커니즘을 구성하기 위해 계층화 열 연계를 설계하였다. Table 1은 계층화 열 연계 단계를 보인 것이다.

다음은 계층화 1단계 구축 과정을 나타낸 것이다.

Table 1. Layered Thermal transfer Stage

| 단계      | 연계사항                         |
|---------|------------------------------|
| 계층화 1단계 | 권역 1    권역 2    권역 3    권역 4 |
| 계층화 2단계 | 권역 간 연계                      |

### 2-2. 열 연계 방식의 결정

Network의 구성은 대부분 초기의 수지식 방식(Tree system)으로부터 환상식 방식(Loop system)을 거쳐 망상식 방식(Mesh or Network system)으로 진화를 하게 된다. 이는 수요가 증가함에 따라 Network의 구성이 복잡해지고 이에 대응하여 안정적인 Network의 운용이 요구되기 때문이다. Table 2는 각 방식의 장단점을 보인 것이다.

현재 수도권 열병합사업자간의 열 연계는 Fig 1과 같이 수지식 방식으로 구성된 한국지역난방공사의 열 연계망에서 2~4개의 열병합발전소간에 이루어지고 있으며 집단에너지사업자간에는 열 생산단가에 근거하여 저가 열원을 확보하려는 차원에서 필요에 의한 산발적인 열 거래가 이루어지고 있는 실정이다.

본 논문에서는 이러한 현실을 반영하여 수도권 집단에너지사업자의 중앙을 관통하는 한국지역난방공사의 수지식 방식 열 배관망을 중심축으로 하여 가장 열 연계의 측면에서 비용 효과적으로 우수한 방식이며 수지식 방식 형태의 단점을 보완하며 열 거래효과를 높일 수 있는 환상식 방식 형태로 열 연계 시스템을 운용하는 것이 적당한 것으로 판단하였다.

Table 2. Thermal transfer Method

| 열 연계 방식                        | 장단점   |
|--------------------------------|---|
| 수지식방식 (Tree system)            | 부하의 분포에 따라 분기선을 내어 열병합발전소를 건설하는 방식으로 열부하의 증설에 쉽게 적용할 수 있으며 시설비가 저렴하나 열의 공급신뢰도가 낮은 방식  |
| 환상식방식 (Loop system)            | 열배관망의 형태가 전기적으로 환상을 이루는 방식으로 열 생산설비의 고장 시에도 좌우양쪽으로부터 열을 공급받을 수 있어 열 공급의 신뢰도가 향상되나 거래 방식이 다소 복잡해지는 방식  |
| 망상식방식 (Mesh or Network system) | 열배관망의 2차 축을 망상으로 구성하고 수개소의 접속점에서 열을 공급하는 방식으로 어떠한 경우에도 열 공급이 중단되는 경우가 발생치 않으므로 열 공급신뢰도가 높고 열 부하변화에 대한 적응성이 높으나, 설비비가 비싸지며 최적 운용을 위한 기술 및 열거래 메커니즘이 복잡해지는 방식 |

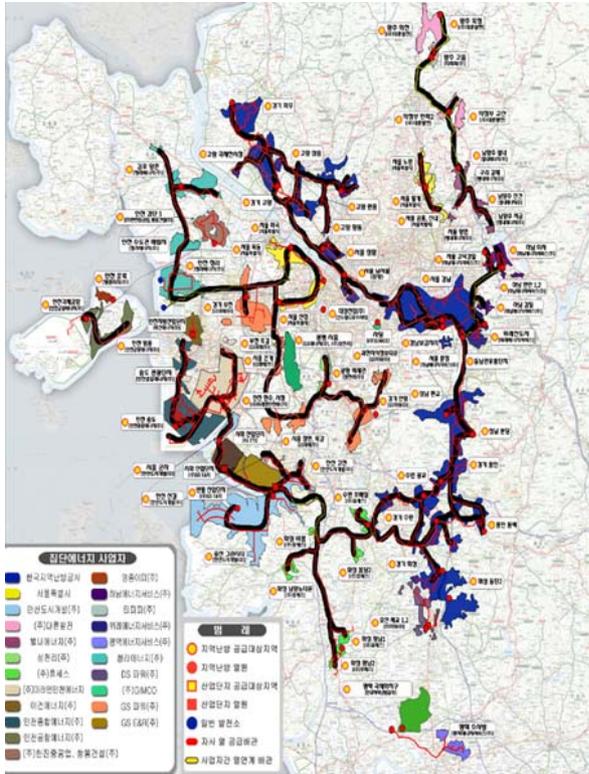


Fig. 1. Status of heat transfer in the Seoul Metropolitan Area

### 2-3. 권역의 결정

현재 가장 먼 거리의 열 거래가 이루어지고 있는 곳은 인천북합화력으로부터 청라에너지, GS파워(주) 부천을 거쳐 SH공사에 이르는 배관망으로 거리는 약 50[km]에 이르고 있다. 열 배관망의 거리가 증가하게 되면 공사비가 증가하고 가압장의 개수도 증가하게 되어 열 거래에 의한 경제성이 저하되게 된다.

그러므로 Loop 시스템 구축 시 열 연계 거리는 경제성을 고려하여 100[km]가 넘지 않도록 구성하였으며 수도권 전체 집단에너지사업자의 연계를 위하여 열 연계 중심축을 이루고 있는 한국지역난방공사의 연계망에 접속이 용이하도록 구성하였다. 상기의 사항을 고려하여 수도권집단에너지사업자의 권역을 Loop로 구성된 안산권역, 인천권역, 목동권역, 위례권역 4개의 권역으로 구분하였다.

### 2-4. 권역별 Hub 통합운영발전소 산정

열 시장의 열 거래를 직접 수행하는 사업자 중에서 열 연계로 인한 경제성을 극대화 시킬 수 있는 설비용량을 갖고 열적 예비력 확보가 가능한 사업장을 Hub

통합운영발전소라 하였다.

본 논문에서는 수도권 전체에 하나의 Hub 통합운영발전소를 두는 것은 통합운영의 효율성이 떨어진다고 판단되어 권역별로 통합운영발전소를 두는 것으로 설계하였다. 권역별 Hub 통합운영발전소는 각 Loop마다 열연계의 효과가 가장 크고(용량 및 위치), 해당 권역에서 가장 큰 지배력을 가지고 있으며, 추후 한국지역난방공사와 연계가 용이하다고 판단되는 발전소로 결정하는 것이 타당한 것으로 판단하였다. 지정학적 위치, 집단에너지사업장의 설비용량, 연계가능여유용량, 열 연계 현황을 모두 종합적으로 판단하여 Loop별로 Hub 통합운영발전소를 결정하였다.

## 3. 최적 열 생산량에 의한 사업자간 열연계량의 산정

다음과 같은 방법으로 열 연계량을 산정하는 방법을 제안하였다.[3]

$$AIC = \frac{UIC - LIC}{HPU - HPL} \times \frac{HPU + HPL}{2} + LIC \quad (1)$$

단, AIC : Average Incremental fuel Cost (평균증분연료비)

UIC : Upper limit Incremental fuel Cost (상한치 증분연료비)

LIC : Lower limit Incremental fuel Cost (하한치 증분연료비)

HPU : Heat Production Upper limit (열 생산상한치)

HPL : Heat Production Lower limit (열 생산하한치)

전체 부하의 양과 최적 열 생산량이 일치하는 증분연료비  $\lambda$ 를 찾아 사업자간의 연계량을 산정한다. 최적 열 생산량과 연계량은 다음의 식을 만족하여야 한다.

$$OHP = \frac{\lambda - \text{증분연료비 그래프의 절편}}{\text{증분연료비 그래프의 기울기}} \quad (2)$$

$$TQ = OHP - Load \quad (3)$$

단, OHP : Optimal Heat Production (최적 열 생산량)

TQ : Transfer Quantity  
(연계량)  
Load : 열 부하

Loop로 이루어진 배관망에 대하여 최적 연계량을 도출하는 것이므로 여유 열용량이 (+)인 사업장에서는 양방향 송열이 가능하다.

그러므로 연계량의 기준 사업자로부터 양방향으로 송열되는 연계량은 전체 연계량을 10[%] 단위로 나누어 Enumeration 방법으로 최적의 연계량을 도출하였다. 또한, 각 Case별 투자비와 수익증가비율을 통해 도출한 Case별 투자회수기간을 고려하여 최종적으로 사업자간 최적 열연계량을 도출하였다.

(1) 투자비

투자비를 고려할 때 가압장의 수는 15[km]를 기준으로 1[개소]를 두는 것으로 하였으며 배관망 투자비는 열거래 용량에 따른 배관망 관경을 구한 후 그 관경과 열 연계 거리에 따라 계산하였다.

(2) 수익증가분

수익증가분은 사업자 최종 수익이 (+)인 사업장 중 가장 적은 사업장 간의 수익을 “1.00”로 하였을 때 권역에 속한 사업장의 수익증가분을 도출하였다.

본 논문에서 구성한 권역별 열 연계 메커니즘에 최적으로 열 거래를 행할 수 있는 알고리즘은 Fig 2와 같다.

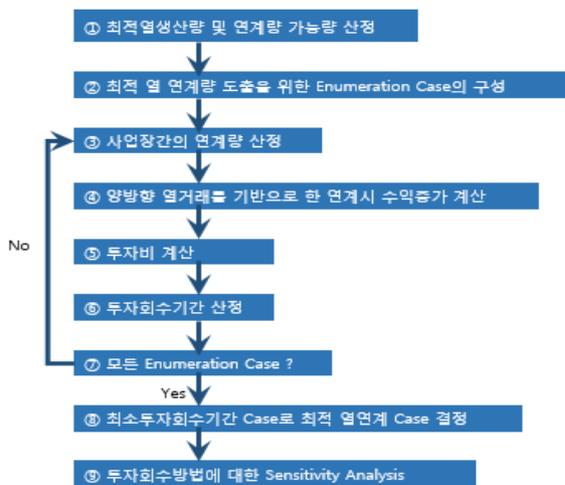


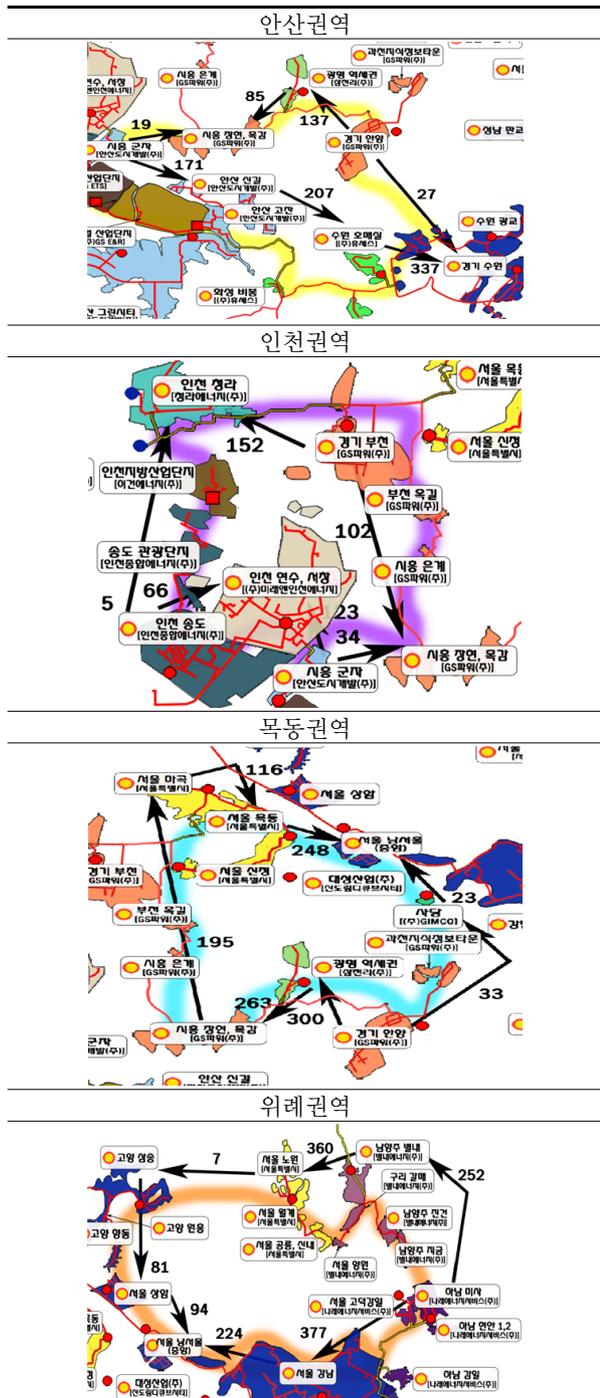
Fig. 2. Thermal transfer Algorithm Flow Chart

4. 사례 연구

4-1. 권역의 결정

본 논문에서는 2.2절과 2.3절의 내용에 따라 수도권 집단에너지사업자의 권역을 Table 3과 같이 Loop로 구성된 4개의 권역으로 구분하였다.

Table 3. Division of Wide area



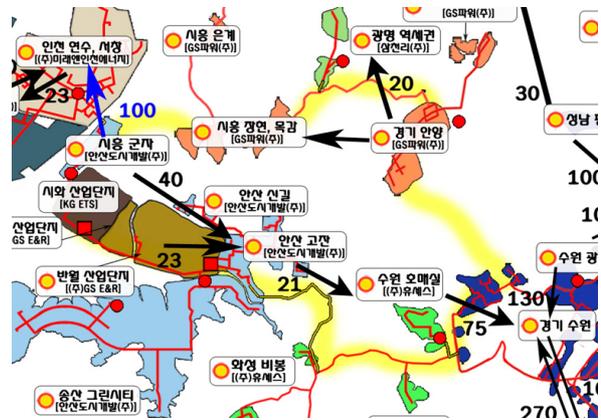
**Table 4.** Business place by region

| 권역   | 집단에너지사업자  |
|------|---|
| 안산권역 | 1. GS파워(주) (안양)<br>2. (주)삼천리 (광명역세권, 소하, 신촌지구)<br>3. GS파워(주) (시흥 장현, 목감)<br>4. 안산도시개발(주) (시흥 군자지구)<br>5. 안산도시개발(주) (안산 고잔/신길지구)<br>6. (주)휴세스 (수원 호매실)<br>7. 한국지역난방공사 (수원)                           |
| 인천권역 | 1. 청라에너지(주) (인천 청라)<br>2. GS파워(주) (부천)<br>3. GS파워(주) (부천 옥길)<br>4. GS파워(주) (시흥 은계)<br>5. GS파워(주) (시흥 장현, 목감)<br>6. 안산도시개발(주) (시흥 군자지구)<br>7. (주)미래엔인천에너지 (인천 남동구, 연수구 일원)<br>8. 인천종합에너지(주) (송도국제도시) |
| 목동권역 | 1. GS파워(주) (안양)<br>2. GS파워(주) (시흥 장현, 목감)<br>3. GS파워(주) (시흥 은계)<br>4. GS파워(주) (부천 옥길)<br>5. SH공사 (마곡)<br>6. SH공사 (목동)<br>7. 한국지역난방공사 (남서울(중앙))<br>8. (주)GIMCO (사당)<br>9. GS파워(주) (과천시식정보타운)         |
| 위례권역 | 1. SH공사 (노원)<br>2. 별내에너지 (남양주 별내)<br>3. 나래에너지서비스(주) (하남 미사)<br>4. 한국지역난방공사 (강남)<br>5. 한국지역난방공사 (남서울(중앙))<br>6. 한국지역난방공사 (상암/가재울뉴타운)<br>7. 한국지역난방공사 (삼송/원흥)  |

각 권역별 집단에너지사업장은 Table 4와 같다.

**4-2. 권역별 Hub 통합운용발전소 선정**

전술한 바와 같이 권역별 Hub 통합운용발전소는 지정학적 위치, 집단에너지사업장의 설비용량, 연계가능 여유용량, 열 연계 현황을 모두 종합적으로 판단하여 적정한 것으로 선정하였다.



**Fig. 3.** Thermal transfer Status in Ansan area

**Table 5.** Comparison of Facility capacity and Linkable capacity in Ansan area

|                          | 집단에너지설비 | 자체기타설비 | 최대 열연계 가능 용량 | ONE-O UT 적용시 열연계 가능 여유 용량 | 집단설비 + 자체설비 만의 열연계 가능 여유 용량 |
|--------------------------|---------|--------|--------------|---------------------------|-----------------------------|
| GS파워(주) (안양)             | 601     | 0      | 75           | -106                      | 34                          |
| (주)삼천리 (광명역세권, 소하, 신촌지구) | 168.6   | 0      | 138.5        | 56.3                      | 116.3                       |
| GS파워(주) (시흥 장현, 목감)      | 0       | 0      | -201.7       | -201.7                    | -201.7                      |
| 안산도시개발(주) (시흥 군자지구)      | 190     | 0      | 393          | 87                        | 182                         |
| 안산도시개발(주) (안산 고잔/신길지구)   | 787.2   | 0      | 726.2        | 400.8                     | 607.2                       |
| (주)휴세스 (수원 호매실)          | 384.4   | 0      | 312.4        | 234.4                     | 324.4                       |
| 한국지역난방공사 (수원)            | 562     | 0      | 279          | 30                        | 133                         |

**(1) 지정학적 위치**

안산권역의 집단에너지사업장의 지정학적 위치를 보면 다양한 지역에 비교적 산재되어 고르게 분포하고 있음을 알 수 있다. 그러므로 지정학적인 측면에서는 이

Loop에서 가장 중심에 위치하고 있는 안산도시개발(주)의 안산 고잔/신길지구 및 GS파워(주)의 안양 사업장이 이 Loop의 통합운용에 적절한 것으로 판단된다.

**(2) 설비용량 및 연계기능여유용량**

통합운용의 기능을 수행하기 위해서는 설비용량이 충분하여야 열 연계로 인한 경제성을 극대화 시킬 수 있으며 열적 예비력 확보의 차원에서도 유리하다. 따

**Table 6.** Transfer status in Ansan area

|                                | 수열          | 연계수열        | 연계송열        |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| GS파워(주)<br>(안양)                | 61[Gcal/h]  | -           | 20[Gcal/h]  |
| (주)삼천리<br>(광명역세권,<br>소하, 신촌지구) | 2.2[Gcal/h] | 20[Gcal/h]  | -           |
| GS파워(주)<br>(시흥 장현,<br>목감)      | -           | -           | -           |
| 안산도시개발(주)<br>(시흥<br>군자지구)      | 251[Gcal/h] | -           | 40[Gcal/h]  |
| 안산도시개발(주)<br>(안산<br>고잔/신길지구)   | 77[Gcal/h]  | 63[Gcal/h]  | 21[Gcal/h]  |
| (주)휴세스 (수원<br>호매실)             | 42[Gcal/h]  | 21[Gcal/h]  | 75[Gcal/h]  |
| 한국지역난방<br>공사 (수원)              | 27[Gcal/h]  | 475[Gcal/h] | 356[Gcal/h] |

**Table 7.** The Hub integrated operation power plant by region

| 권역   | Hub 통합운용발전소          |
|------|----------------------|
| 안산권역 | 안산도시개발(주) 안산 고잔/신길지구 |
| 인천권역 | 인천종합에너지(주) 송도국제도시    |
| 목동권역 | SH공사 목동              |
| 위례권역 | 나래에너지서비스(주) 하남 미사    |

라서 안산권역의 집단에너지사업장의 설비용량과 연계기능여유용량의 3가지 측면에서 분석해본 결과 안산도시개발(주)의 안산 고잔/신길지구 사업장이 이 Loop의 통합운용에 적절한 것으로 판단된다.

**(3) 열 연계 현황**

안산권역의 연계 현황을 살펴보면 현재에도 송열과 수열을 하고 있는 안산도시개발(주)의 안산 고잔/신길지구 사업장이 이 Loop의 통합운용에 가장 적절한 것으로 판단된다.

인천, 목동, 위례권역의 Hub 통합운용발전소도 안산권역과 같은 과정으로 산정하였다. 산정 결과는 Table 7과 같다.

**4-3. 최적 열 생산량에 의한 사업자간 열연계량의 산정**

식 (1), (2), (3)에 의해 산정된 결과는 다음과 같다.

**4-3-1. 안산권역의 최적 열 생산량에 의한 사업자간 열연계량의 산정**

안산권역의 열 생산량의 제약을 고려하여 최적 열 생산량 및 연계량을 도출하였다. Enumeration 방법으로 시흥 군자지구에서 안산 고잔/신길지구로 10[%] 송열하고 장현, 목감으로 90[%] 송열하는 Case 1부터 안산 고잔/신길지구로 90[%], 장현, 목감으로 10[%] 송열하는 Case 9까지 구성하였다.

Fig 4~6은 도출된 Case별 투자비, 수익증가분, 투자회수기간을 나타낸다.

Case별로 투자비, 수익증가분을 비교한 결과 최종 수익은 동일하지만 Case 9의 투자비가 가장 적어 최적



**Fig. 4.** Total Investment cost per Case in Ansan area



Fig 5. Increase in revenue per Case in Ansan area



Fig 6. Investment collection period per Case in Ansan area

열 연계량을 Case 9로 산정하였다. 도출된 안산권역의 최적 열 연계량은 Table 8과 같다.

4-4. 계층화 1단계 결과

인천, 목동, 위례권역의 최적 연계량도 안산권역과 같은 과정으로 산정하였다. 산정 결과는 Fig 7~9와 같다. 권역별로는 안산, 인천, 목동, 위례권역의 순서로 경제성이 우수한 것으로 도출되었다. Loop 구성 전 생산비용 대비 Loop 구성 시 수익증가에 의한 생산비용 절감율은 다음과 같다.

생산비용 절감율이 Table 9에서와 같이 최소 3.29[%]에서 최대 8.58[%]까지로 도출되었다. 따라서 Loop 구성 시 수익이 증가함으로써 생산비용이 절감되어 사업안정성(계약 지속성)을 향상시켜 집단에너지사업자의 사업성을 확보함으로써 집단에너지사업의 건전성을 확보하여 지속가능하고 예견 가능한 사업의 추진이 가능할 것으로 판단된다. 또한 수요자의 입장에서도

Table 8. Optimal heat transfer quantity in Ansan area

| From 사업장               | To 사업장                 | 연계량 |
|------------------------|------------------------|-----|
| GS파워(주) 안양             | (주)삼천리 광명역세권, 소하, 신촌지구 | 137 |
| (주)삼천리 광명역세권, 소하, 신촌지구 | GS파워(주) 시흥 장현, 목감      | 85  |
| 안산도시개발(주) 시흥 군자지구      | GS파워(주) 시흥 장현, 목감      | 19  |
| 안산도시개발(주) 시흥 군자지구      | 안산도시개발(주) 안산 고잔/신길지구   | 171 |
| 안산도시개발(주) 안산 고잔/신길지구   | (주)휴세스 수원 호매실          | 207 |
| (주)휴세스 수원 호매실          | 한국지역난방 공사 수원           | 337 |
| GS파워(주) 안양             | 한국지역난방 공사 수원           | 27  |

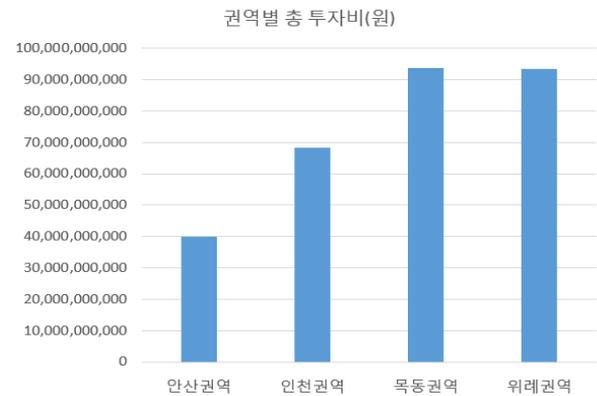


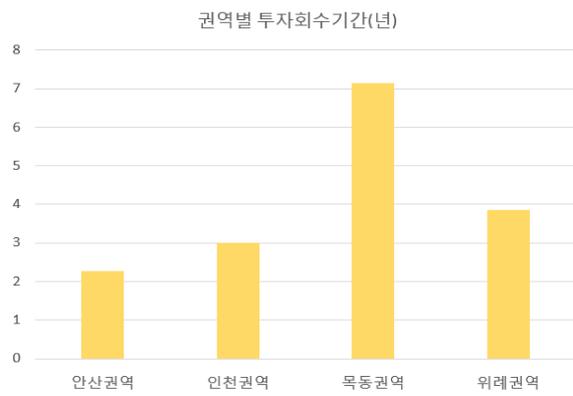
Fig 7. Total Investment cost by region



Fig 8. Increase in revenue by region

**Table 9.** Reduction rate of Production cost by region

|      | Loop 구성 전 생산비용 대비 Loop 구성 시 수익증가에 의한 생산비용 절감율[%] |
|------|--|
| 안산권역 | 3.78   |
| 인천권역 | 8.58   |
| 목동권역 | 3.29   |
| 위례권역 | 6.80   |



**Fig 9.** Investment collection period by region



**Fig 10.** Total Investment cost by region (Layered 2 step)

효율적인 방법으로 공평하고 형평성 있는 열 요금인하가 가능해짐으로써 지역과 함께하는 에너지복지 실현하는 데 일조할 수 있을 것으로 판단된다.[4-5]

**4-5. 계층화 2단계 결과**

계층화 1단계에서 4개의 권역으로 구한 결과를 계

**Table 10.** Reduction rate of Production cost by region (Layered 2 step)

|            | Loop 구성 전 생산비용 대비 Loop 구성 시 수익증가에 의한 생산비용 절감율[%] |
|------------|--|
| 안산-인천 Loop | 7.08   |
| 안산-목동 Loop | 4.73   |
| 인천-목동 Loop | 5.02   |
| 목동-위례 Loop | 5.88   |



**Fig 11.** Increase in revenue by region (Layered 2 step)



**Fig 12.** Investment collection period by region(Layered 2 step)

층화 2단계에서는 2개의 권역을 한 권역으로 고려하여

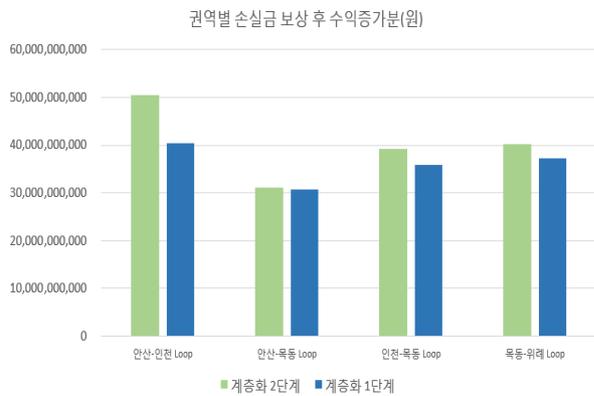


Fig 13. Comparison of Increase in revenue by Layered step

계층화 1단계와 동일한 과정으로 도출하였다. 산정 결과는 Fig 10~12와 같다.

계층화 2단계는 이미 1단계가 이루어진 후의 단계이므로 투자비가 목동-위례 Loop를 제외하고 필요치 않아 투자회수기간 또한 도출되지 않았다.

생산비용 절감율이 Table 10에서와 같이 최소 4.73[%]에서 최대 7.08[%]까지로 도출되었다.

#### 4-6. 계층화 단계별 결과비교

수익증가분 측면의 계층화 1단계에서 각 권역의 수익증가분의 합과 계층화 2단계에서 각 Loop의 수익증가분을 비교해본 결과 계층화 2단계에서의 수익증가분이 모든 Loop에서 계층화 1단계보다 높은 것으로 도출되었다. 따라서 Loop의 참여사업장 수를 점차 늘려가며 서로 양방향 열 연계를 할 시 수익증가분이 증가함에 따라 경제성이 더 좋아질 것이라 판단된다.

### 5. 결론

본 논문의 결론을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 본 논문에서는 열 연계 메커니즘을 구성하기 위해 계층화 열 연계를 설계하였다. 계층화 1단계는 권역 내에서 Hub 통합운용발전소를 결정, 권역 내에서 Hub 통합운용발전소 및 참여발전소 간을 연계, 한국지역난방공사에 연계하는 것으로 구성하고 계층화 2단계는 권역 간의 연계를 하는 것으로 구성하였다.

둘째, 본 논문에서는 수도권 집단에너지사업자의 중앙을 관통하는 한국지역난방공사의 수지식 방식 열 배

관망을 중심축으로 하여 가장 열 연계의 측면에서 비용 효과적으로 우수한 방식이며 수지식 방식 형태의 단점을 보완하며 열 거래효과를 높일 수 있는 환상식 방식 형태로 열 연계 시스템을 운용하는 것이 적정한 것으로 판단하였다.

셋째, 본 논문에서는 Loop(환상식) 시스템 구축 시 열 연계 거리는 경제성을 고려하여 100[km]가 넘지 않도록 구성하며 수도권 전체 집단에너지사업자의 연계를 위하여 열 연계 중심축을 이루고 있는 한국지역난방공사의 연계망에 접속이 용이하도록 안산권역, 인천권역, 목동권역, 위례권역으로 구성하였다.

넷째, 본 논문에서는 권역별 Hub 통합운용발전소는 지정학적 위치, 집단에너지사업장의 설비용량, 연계가능여유용량, 열 연계 현황을 모두 종합적으로 판단하여 적정한 것으로 산정하였다. 따라서 안산권역은 안산도시개발(주)의 안산 고잔/신길지구, 인천권역은 인천종합에너지(주)의 송도국제도시, 목동권역은 SH공사의 목동, 위례권역은 나래에너지서비스(주)의 하남미사 사업장을 권역별 Hub 통합운용발전소로 산정하였다.

다섯째, 권역별로 최적 열 생산량에 의한 사업자간 열연계량을 도출한 결과 안산, 인천, 목동, 위례권역의 순서로 우수한 것으로 도출되었다. Loop 구성 전 생산비용 대비 Loop 구성 시 수익증가에 의한 생산비용 절감율은 최소 3.29[%]에서 최대 8.58[%]까지로 도출되었다. 따라서 Loop 구성 시 수익이 증가함으로써 생산비용이 절감되어 사업안정성(계약 지속성)을 향상시켜 집단에너지사업자의 사업성을 확보함으로써 집단에너지사업의 건전성을 확보하여 지속가능하고 예견 가능한 사업의 추진이 가능할 것으로 판단된다. 또한 수요자의 입장에서도 효율적인 방법으로 공평하고 형평성 있는 열 요금인하가 가능해짐으로써 지역과 함께 하는 에너지복지를 실현하는 데 일조할 수 있을 것으로 판단된다.

여섯째, 계층화 2단계는 이미 1단계가 갖춰진 이후에 진행된 과정이며 Loop 구성 전 생산비용 대비 Loop 구성 시 수익증가에 의한 생산비용 절감율은 최소 4.73[%]에서 최대 7.08[%]까지로 도출되었다.

일급제, 계층화 2단계에서의 수익증가분이 모든 Loop에서 계층화 1단계보다 높은 것으로 도출되었다. 따라서 Loop의 참여사업장 수를 점차 늘려가며 서로 양방향 열 연계를 할 시 수익증가분이 증가함에 따라 경제성이 더 좋아질 것이라 판단된다.

본 논문을 통하여 효과적으로 열 연계를 할 수 있는 메커니즘을 구성하고 이에 따라 사업자가 최적 열 연계를 할 수 있는 알고리즘을 개발 및 적용시켜 유용성을 검증하였다.

향후 열 연계의 활성화를 위해서는 실제적인 연계상황을 상정하여 열 연계 사업을 개시하기 전에 열 연계를 통한 효과를 정량적으로 면밀하게 분석할 수 있게 하여 사업자에게 열 연계의 효과를 제시할 수 있도록 다자간 열 거래효과를 분석할 수 있는 방법론의 개발이 요구된다. 즉, 양자 간 열 거래뿐만 아니라 최소한 3자 간 열 거래 및 다자간 열 거래를 시뮬레이션 할 수 있는 도구의 개발이 요구된다.

## References

- [1] Korea District Heating Corporation, 2014., A Study on the Collective Energy Business Heat Trading System
- [2] Energy Management Corporation, 2016, 2015 Collective Energy Business Manual
- [3] Korea District Heating Corporation, 2015, Economical Operation Program for Optimum Thermal Coupling
- [4] Korea District Heating Corporation, 2012, The Role and function of Cogeneration Power in the Metropolitan area\_Cogeneration potential and Direction of Wholesale Heat Trading( I )
- [5] Korea District Heating Corporation, 2013, The Role and function of Cogeneration Power in the Metropolitan area\_Wholesale Heat Trading Analysis between District Heating Providers(II)