

## 급탕 2단열교환방식 지역난방 열사용시설의 급탕부하 분배에 관한 연구

정 동 화, 김 주 완, 백 영 진, 이 영 수<sup>†</sup>, 정 대 헌  
한국에너지기술연구원

### Distribution of Hot Tap Water Load for District Heating Substation with Hot Tap Water 2-Stage Heat Exchanger

Dong-Hwa Jeong, Joo-Wan Kim, Young-Jin Baik, Young-Soo Lee<sup>†</sup>, Dae-Hun Chung  
Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343, Korea

(Received January 3, 2011; revision received March 14, 2011)

**ABSTRACT:** According to the standards for district heating substation established by Korea District Heating Corporation, water heating supply systems at over 150 Mcal/h capacity must employ the 2-stage heat exchanger that improves the system efficiency by reusing the heat included in the return water of district heating system already used for space heating. In this paper, the operating characteristics of the system in accordance with the load distribution of two heat exchangers for pre-heating and re-heating cold city water are investigated. The results including mass flow rate, return temperature etc. help to manage district heating system economically.

**Key words:** District heating(지역난방), District heating substation(지역난방 열사용시설), Water heating(급탕), 2-stage heat exchanger(2단열교환기)

#### 기 호 설 명

$A$	: 유효열교환면적 [ $m^2$ ]
$C$	: 열용량률 [ $Mcal/h \cdot K$ ]
$h$	: 엔탈피 [ $kcal/kg$ ]
$\dot{m}$	: 질량유량 [ $kg/s$ ]
$T$	: 온도 [ $K$ ]
$\Delta T_{lmtd}$	: 대수온도차 [ $K$ ]
$Q$	: 부하 [ $Mcal/h$ ]
$U$	: 총괄열전달계수 [ $kcal/h \cdot m^2 \cdot K$ ]

#### 하첨자

$1, 2, 3$	: 상태점
$H$	: 난방
$HW$	: 난방급탕
$min$	: 최소값
$new$	: 새로운 값
$PRE$	: 급탕예열
$RE$	: 급탕재열

#### 1. 서 론

지역난방은 대규모의 첨단 열생산시설에서 생산된 열을 배관을 통해 수요처로 공급하여 이용하게 하는 난방시스템이다. 지역난방을 통한 열에너지의 이용은 경제적이며, 친환경적인 것으로 알려져 있다. 특히 지역난방시장은 전 세계적으로 주목받고 있는

#### 그리스 문자

$\epsilon$  : 유용도

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-42-860-3161; fax: +82-42-860-3133

E-mail address: ysllee@kier.re.kr

신재생에너지와의 접목으로 인해 앞으로 더 크게 성장할 것으로 예상된다.

지역난방시스템의 구성은 열생산시설, 열공급시설, 열사용시설로 구분되며 본 연구는 열에너지의 수요처에서 열을 공급받아 이용할 수 있도록 하는 열사용시설에 관한 연구이다. 특히 열사용시설은 급탕열교환방식에 따라 일반열교환방식과 2단열교환방식으로 구분되며 국내의 대표적인 지역난방 공급업체인 한국지역난방공사(Korea District Heating Corporation)는 열사용시설기준<sup>(1)</sup>을 통해 단위급탕열교환기의 용량이 150 Mcal/h 이상인 공동주택 및 일반건물이나 난방열교환기용량의 합이 100 Mcal/h 이상인 목욕장 등 특수급탕사용자는 급탕 2단열교환방식의 열교환설비를 적용하도록 정하고 있다. 이는 난방열교환기를 통과한 1차측 중온수를 재사용해 급탕용 시수를 절약함으로써 지역난방 시스템으로부터 공급되는 열을 보다 효율적으로 사용하기 위함이다. 이렇게 급탕 2단열교환방식의 열교환설비를 이용할 경우 난방 1차측 회수온도는 낮아지고 이로써 공급유량 및 이송 동력의 저감, 수송 배관의 축소 등에서 오는 다양한 경제적 이득을 얻을 수 있다. 급탕 2단열교환방식이 적용된 지역난방 열교환설비의 개략도는 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 HEX1은 난방열교환기를, HEX2와 HEX3은 각각 급탕 재열열교환기와 예열열교환기를 나타낸다.

본 연구는 급탕 2단열교환방식 열교환설비의 급탕부하 분배에 관한 연구이다. Chung et al.<sup>(2)</sup>은 서울시 상암동에 위치한 공동주택 3개소에서 실측을 통해 예열, 재열열교환기의 열사용실태를 파악하였고 그 결과로 예열열교환기 전열판의 절감효과를 제시하였다. 또한 Moon<sup>(3)</sup>은 특수 열사용시설에 대해 급탕 2단열교환방식을 적용할 경우 급탕 예열, 재열열교환기의 용량 분배는 4 : 6정도가 적당한 것으로 제시하였다. 하지만 기존의 연구는 급탕부하 분배의 적정성에 관한 평가가 사용자측에서 사용되고 있는 예열, 재열부하의 실측에 의해 이루어져, 지역난방 운영의 효율성 측면에서 그 적정성을 평가할 수 없었다.

따라서 본 연구에서는 급탕 2단열교환방식 열교환설비의 운전해석을 통해 난방열교환기를 통과한 중온수가 급탕에 미치는 영향을 확인하고 급탕 예열, 재열열교환기의 부하분배에 따른 공급유량, 회수온도의 변화를 살펴 지역난방을 효율적으로 운영할 수 있도록 하는 부하 분배의 적정성을 고찰하고자 한다.

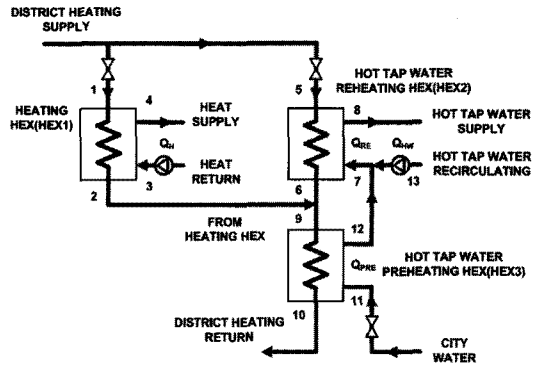


Fig. 1 Schematic diagram of district heating substation with hot tap water 2-stage heat exchanger.

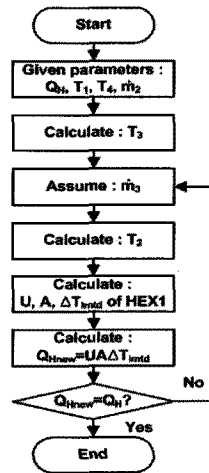


Fig. 2 Solution algorithm of heating supply part.

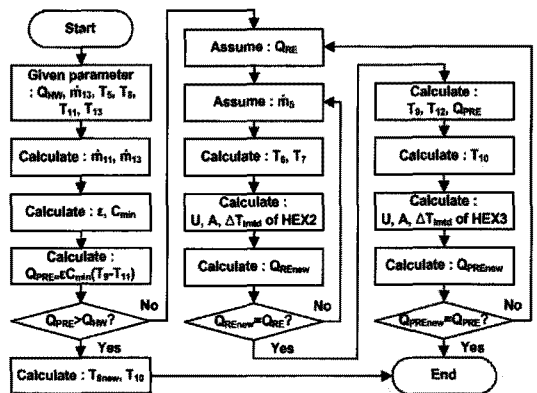


Fig. 3 Solution algorithm of hot tap water supply part.

## 2. 열사용시설의 운전해석방법

### 2.1 열교환설비의 해석 알고리즘

Fig. 2와 Fig. 3은 급탕 2단열교환방식의 열사용 시설에 대한 해석 알고리즘을 나타낸다. 난방열교환기(HEX1)의 경우 식(1), 식(2)를 통해 지역난방측 난방 공급유량과 회수온도가 계산된다.

$$Q_H = \dot{m}_3(h_4 - h_3) \quad (1)$$

$$Q_H = UA\Delta T_{lmt,d} \quad (2)$$

급탕 예열, 재열열교환기(HEX3, HEX2)의 경우,  $\varepsilon$ -NTU법을 이용해 지역난방측 난방 중온수에 의해 급탕부하를 감당할 수 있는지 판단한 후 난방열교환기의 해석과 같은 방법으로 급탕 재열열교환기의 해석을 시작한다. 먼저 급탕 재열열교환기에 대해 지역난방측 급탕 공급유량과 급탕 재열부하를 가정한 후 난방열교환기의 해석과 비슷한 방식으로 식(3)에 의해 해석한다.

$$Q_{RE} = UA\Delta T_{lmt,d} \quad (3)$$

급탕 예열열교환기(HEX3)는 식(4), 식(5)에 의해 해석한다.

$$Q_{PRE} = Q_{HW} - Q_{RE} \quad (4)$$

$$Q_{PRE} = UA\Delta T_{lmt,d} \quad (5)$$

### 2.2 열교환기의 해석 방법

설비의 운전 시 각 점의 온도, 유량 그리고 압력강하 등은 위에서 언급된 알고리즘을 이용하여 계산하였다.<sup>(4)</sup> 열교환기의 해석 방법으로 UA-LMTD와  $\varepsilon$ -NTU법을 경우에 따라 적용하였다. 열교환 성능에 영향을 미치는 주요 척도인 열전달계수는 ASHRAE Fundamentals<sup>(5)</sup>에 제시된 Kumar<sup>(6)</sup>의 자료를 참고하였다. 각 점의 상태량은 NIST(National Institute of Standards and Technology)의 REFPROP 8.0버전<sup>(7)</sup>을 이용하여 계산하였다.

### 3. 난방 및 급탕부하와 급탕부하 분배 변화에 대한 해석

일반적으로 난방 및 급탕부하는 계절 혹은 시간에

따라 변화하게 되며, 본 장에서는 설비의 설계시 정해진 난방부하와 급탕부하의 전체 범위에서 급탕부하 분배의 변화에 대한 지역난방의 운영 효율성을 고려해 급탕부하 분배의 적정성을 고찰하였다.

#### 3.1 난방 및 급탕 부하 선정

본 연구에서는 한국지역난방공사 열사용시설기준<sup>(1)</sup>에 의해 66 m<sup>2</sup>, 150세대 규모의 공동주택에 설치할 수 있는 열사용시설로 난방과 급탕 최대용량이 각각 500 Mcal/h인 설비에 대한 운전을 해석하였다.

#### 3.2 열교환기의 선정

열교환기는 현재 지역난방 열사용시설에 적용되고 있는 대향류형 판형열교환기로 가정하였다. 난방열교환기의 설계온도 기준은 한국지역난방공사의 열교환설비 설계온도 기준에 따라 지역난방측 회수온도가 50℃보다 낮아야한다.<sup>(1)</sup> 따라서 본 연구에서 선정한 난방열교환기는 가로와 세로 길이가 각각 0.6 m, 0.3 m인 열교환기를 사용할 경우 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 80개의 유효전열판이 필요하며, 따라서 14.4

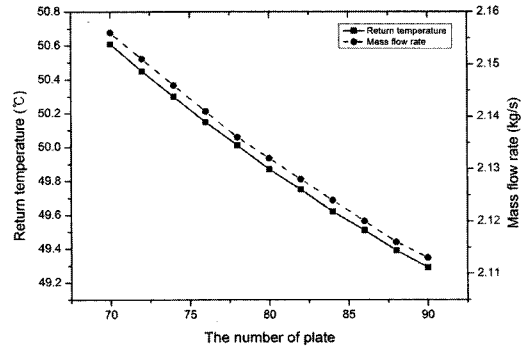


Fig. 4 Return temperature and mass flow rate of primary part for heating supply process.

Table 1 Details of heat exchanger

Material	STS316
Conductivity	16.26 W/m · K
Plate thickness	0.5 mm
Pitch of plate	4.5 mm
Chevron angel	45°
Pass	1

m<sup>2</sup>의 총전열면적을 갖는다. 해석을 위해 선정한 판형열교환기의 기타 세부사항들은 Table 1에 나타내었다.

급탕 열교환기는 난방열교환기와 같은 형식의 열교환기로 가정하고, 급탕부하와 설계온도 기준에 적절한 전열판수를 선정하였다. 또한 급탕 최대부하가 모두 급탕 1차측 공급수에 의해 공급되는 상태, 즉 난방열교환기를 통과한 중온수에 의한 급탕 예열이 전혀 없는 상태에서 급탕 열교환기의 전열판수를 선정하였다. 급탕 2차측 순환유량은 없는 것으로 가정하였다.

Fig. 5는 급탕 예열, 재열 열교환기에 각각 22~32개의 전열판을 사용한 경우에 대해 급탕 예열 열교환기의 1차측 입구(T2), 출구(T1), 2차측 출구에 대한 온도(T3)를 나타낸다. 또한 T1, 3s는 T1과 T3의 설계온도 기준인 35°C를 나타내며, T2s는 T2의 설계온도 기준인 55°C를 나타낸다. Fig. 3에서 급탕 예열, 재열 열교환기의 전열판수를 각각 28개 이상으로 선정할 경우 설계온도 기준을 만족하는 것을

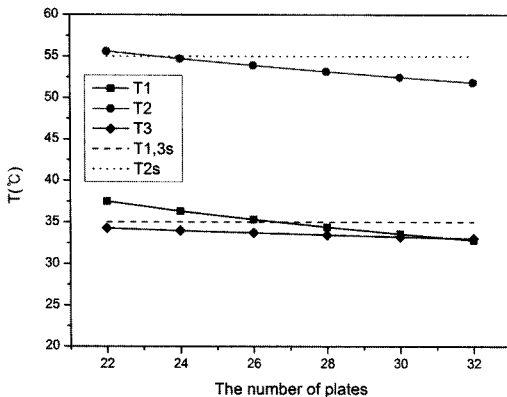


Fig. 5 Temperatures for hot tap water supply process; 1, outlet of prim. part of preheating heat exchanger; 2, inlet; 3, outlet of sec. part; s, standard.

Table 2 Cases with different hot tap water load distribution

Case	The number of plates	
	Preheating	Reheating
1	40	20
2	30	30
3	20	40

알 수 있다. 본 해석에서는 두 개의 급탕 열교환기 전열판수를 각각 30개로 선정하였다.

### 3.3 해석결과

해석은 Table 2와 같이 세 가지 경우에 대해 실시하였으며, Case1은 급탕 예열, 재열 열교환기 부하 분배의 비가 2 : 1, Case2는 1 : 1, Case3은 1 : 2이다. 온도조건은 동절기로 가정하여 지역난방측에서 115°C의 급탕 공급이 이루어지며, 급탕시수는 15°C, 사용자는 55°C의 급탕을 공급받는 것으로 하였다.<sup>(8)</sup>

#### 3.3.1 급탕 부하분배의 적성성

Fig. 6과 Fig. 7은 난방부하가 500 Mcal/h일 때, 급탕부하 분배비의 변화에 따른 급탕 공급유량과

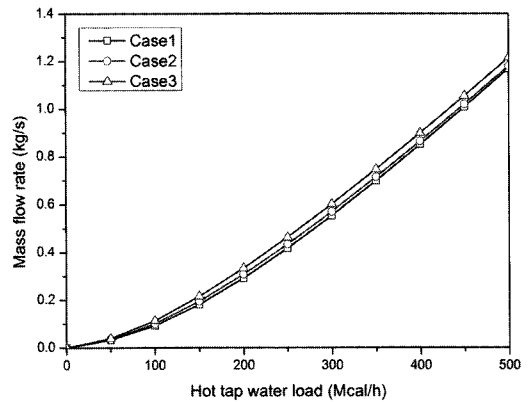


Fig. 6 Mass flow rate for hot tap water supply in heating load, 500 Mcal/h.

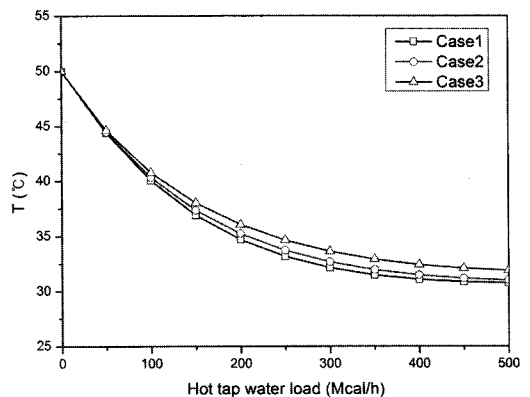


Fig. 7 Return temperature in heating load, 500 Mcal/h.

최종 회수온도를 각각 나타낸다. 급탕 예열이 담당하는 부하가 크게 설계된 경우(Case1) 급탕 공급유량이 Case2에 비해 0.6~8%, Case3에 비해 4~18% 감소하며, 회수온도는 Case2에 비해 0.2~0.5°C, Case3에 비해 0.7~1.4°C 낮은 것을 알 수 있다. 부하가 일정할 때 회수온도가 낮다는 것은 지역난방측 공급수를 더 효율적으로 이용한다는 것을 나타낸다. 본 결과는 난방부하를 최대로 설정했을 경우로 급탕 공급유량의 저감량이나 회수온도의 저하효과가 극대화된 경우이다. 하절기와 같이 난방부하가 없는 경우에 대한 해석 결과는 다음 항에서 언급하였다.

Fig. 8은 위와 같은 조건에서 난방부하가 500 Mcal/h, 200 Mcal/h인 경우에 대해 전체 급탕부하 중 급탕 재열부하가 담당하는 비율을 나타낸 것이다. 난방부하가 작아지면 급탕부하중 재열열교환기가 담당하는 부하가 증가하는 것을 알 수 있다. 본 해석에서 열사용시설의 운전시 난방부하가 200 Mcal/h, 급탕부하 200 Mcal/h 이상인 경우 재열열교환기가 담당하는 급탕부하는 전체 급탕부하 중 60%를 차지하는 것을 알 수 있다. 여기서, 200 Mcal/h의 난방부하는 동절기에 최대난방 부하를 요구하지 않는 경우를 대표한다.

앞서 언급된 급탕 공급유량과 회수온도, 설비 운전시 급탕부하의 분배비를 보았을 때 지역난방 운영의 효율성을 높이기 위한 급탕 열교환기의 부하 분배비는 설비의 운전시 급탕 각 열교환기에서 담당하는 부하에 의해 결정되어서는 안 된다는 것을 알 수 있다. 실제로 운전시 급탕부하의 분배비를 고려해 예열 혹은 재열열교환기의 전열판수를 줄여

급탕 열교환기의 전체 전열판수를 줄인다면 전열면적이 줄어 급탕 공급유량이 증가하고 회수온도가 상승해 지역난방 운영의 효율성이 떨어질 가능성이 있다.

### 3.3.2 하절기의 급탕부하 분배

위의 결과들은 동절기를 기준으로 이루어진 해석 결과이며, 실제 하절기와 같이 난방부하가 없거나 매우 작은 경우에는 급탕 2단열교환방식은 의미를 갖지 못한다. 또한 재열 열교환기 내의 대수평균온도차가 예열 열교환기에서의 값에 비해 크기 때문에 예열 열교환기를 크게 설계할 경우 열교환에 불리할 수 있다. 따라서 본 항에서는 급탕 2단열교환방식의 열교환설비 급탕부하 분배에 따른 영향을 하절기 조건에 대해 언급하고자 한다.

하절기의 온도조건<sup>(8)</sup>은 지역난방측 급탕공급 95°C, 사용자측 급탕공급 55°C, 급탕시수 25°C로 가정하였다. Fig. 9는 하절기의 온도조건에서 급탕부하 분배비의 변화에 따른 급탕 공급유량을 나타낸 것으로 예열, 재열 열교환기의 전열판수를 각각 30개씩 선정했을 때(Case2) 가장 적은 공급유량이 필요한 것으로 나타났다. 위에서 언급된 Case1의 경우 Case2에 비해 최대 약 0.55% 급탕 공급유량이 증가하며, Case3의 경우 Case2에 비해 최대 약 0.38%의 급탕 공급유량이 증가하는 것으로 나타났다.

결론적으로 말하면 난방부하가 작은 경우 비교적 급탕부하 분배비가 1 : 1이 되는 것이 유리하며, 부하의 분배비가 한쪽으로 치우칠 경우 급탕 공급유량이 증가할 수 있다. 하지만 Case1의 경우 하절기의

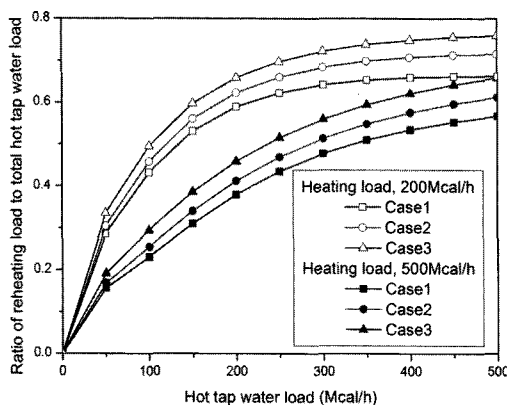


Fig. 8 Ratio of reheating load to total hot tap water load in different heating load.

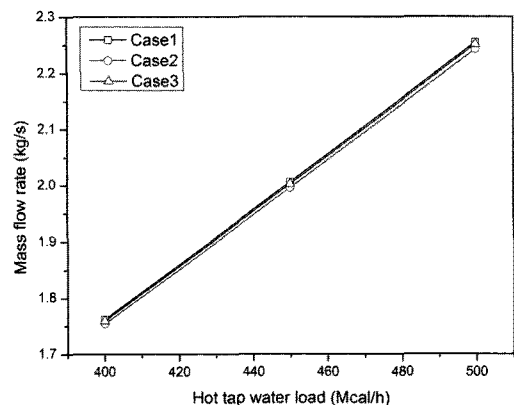


Fig. 9 Mass flow rate for hot tap water supply in summer.

급탕 공급유량 증가량이 동절기의 절감량에 비해 매우 적은 수준으로 나타나 급탕 열교환기의 설계 시 예열 열교환기를 크게 설계하는 것이 연중 급탕 공급유량의 절감에 유리할 것으로 보인다.

#### 4. 결 론

급탕 2단열교환방식의 열사용시설에 대한 급탕부하의 분배비 선정에 관한 기존의 연구는 열사용시설의 운전시 급탕부하 분배비에 대한 실측에 의해 이루어졌으며, 본 연구에서는 설비의 급탕 예열, 재열 열교환기의 부하분배비 변화에 따른 회수온도, 급탕 공급유량의 변화를 분석하여 지역난방 운영의 효율성 측면에서 급탕부하 분배의 적정성에 대해 고찰하였고 그 결론은 다음과 같다.

(1) 급탕 2단열교환방식 열사용시설의 급탕 열교환기 설계 시 부하의 분배는 지역난방 운영의 효율성 측면에서 급탕 공급유량과 회수온도를 검토하여 이루어져야 한다.

(2) 급탕 2단열교환방식 열사용시설의 급탕 열교환기 설계 시 부하의 분배는 동절기와 같이 난방부하가 충분할 경우 예열 열교환기의 전열면적을 크게 하여 담당할 수 있는 부하를 크게 설계하는 것이 지역난방 운영의 효율성 측면에서 유리하다.

(3) 하절기와 같이 난방부하가 적은 경우 급탕부하의 분배비가 1 : 1인 경우 가장 적은 급탕 공급유량을 필요로 하지만 이때의 급탕 공급유량 절감량이 급탕 예열 열교환기의 담당부하를 크게 설계한 경우 동절기의 절감량에 비해 미미한 수준이므로 급탕 예열 열교환기를 크게 설계하는 것이 지역난방 운영의 효율성 측면에서 유리하다.

#### 후 기

본 연구는 2008년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구

과제입니다(No. 2008EBD-11-P-110000).

#### 참고문헌

1. Korea District Heating Corporation, 2009, Standards for district heating substations.
2. Chung, K. S., Sa, K. Y., Kim, L. H., and Lee, H., 2009, Design capacity evaluation of 2-stage hot water heat exchanger in apartment mechanical rooms with district heating system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 21, No. 8, pp. 456-461.
3. Moon, J. H., 2007, Improvement of special facility system using district heating by heat load pattern analysis, Ph. D. thesis, Hanyang University, Seoul, Korea.
4. Jeong, D. H., Kim, J. W., Baik, Y. J., Lee, Y. S., and Chung, D. H., 2010, Development of analysis program of compact unit for optimum design of district heating system, Proceedings of the SAREK Summer Annual Conference, pp. 67-72.
5. ASHRAE Handbook Fundamentals, 2009, Heat transfer, p. 4.24.
6. Kumar, H., 1984, The plate heat exchanger : construction and design, Proceedings First UK National Conference on Heat Transfer, University of Leeds, Inst. Chem. Symp. Series No. 86, pp. 1275-1288.
7. Lemmon, E. W., Huber, M. L. and McLinden, M. O., 2007, REFPROP, NIST Standard Reference Database, Ver. 8.0.
8. Hyun, K. S., 2001, Technology development of district heating substation, compact unit, Report of Korea District Heating Corp.