



Trigeneration 제습공조시스템과 일반공조시스템의 성능 비교 실험 및 수치해석

†김형태 · 채정민 · 조영아 · 박소진 · 송근수*

한국가스공사 가스연구원 · *수원과학대학교

(2017년 11월 7일 접수, 2018년 6월 18일 수정, 2018년 6월 19일 채택)

An Experimental and Numerical Analysis on Performance Comparison of a Trigeneration Desiccant System and Conventional Air-conditioning System

†Hyoung-Tae Kim · Jungmin Chae · Young-Ah Cho · So-jin Park · Geun-Soo Song*

KOGAS Research Institute New Energy Technology Center

*Dept. of Building Technology, Suwon Science College

(Received November 7, 2017; Revised June 18, 2018; Accepted June 19, 2018)

요약

최근 정부의 미래에너지변환 정책에 따라 천연가스를 활용한 분산발전 시장은 점차 확대될 것으로 예상된다. 분산발전은 전력 수요지 주위의 소규모 발전원을 활용하는 발전방식으로 송배전 인프라 구축 비용과 운용 비용, 전력손실을 줄일수 있는 장점이 있다. 천연가스를 이용한 분산발전의 대표적인 예로 Trigeneration System 이 있다. 본 연구에서는 Trigeneration System에서 발생하는 냉열 및 엔진 배열을 이용하여 공조대상 실내의 습공기를 제습/냉방/난방 하는 제습공조시스템의 성능 분석에 대한 기초 연구를 수행하였다. 연구결과 제습공조시스템 입출구 온도차가 커질수록 시스템 효율은 높아지고 일반공조시스템 대비 에너지 소비량이 감소하는 것을 알 수 있었다.

Abstract - Recently, the distributed power generation market using natural gas is expected to expand gradually according to the government's future energy conversion policy. Distributed power generation means small power generation source near the power demand site, which has the advantage of reducing the construction costs of the transmission and distribution infrastructure, operating cost and power loss. A typical example of distributed generation using natural gas is the trigeneration system. In this study, we conducted a basic study on the performance analysis of trigeneration desiccant system for dehumidifying / cooling / heating in the air conditioner room by using the cold and engine waste heat energy generated in the trigeneration system. It shows that the system efficiency increases and the energy consumption decreases as the temperature difference between the inlet and outlet of the trigeneration system increases compared with the general air conditioning system.

Key words : Distributed power generation, Trigeneration System, Trigeneration Desiccant System

†Corresponding author:kht@kogas.or.kr

Copyright © 2018 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

정부의 미래에너지변환 정책에 따라 천연가스를 활용한 분산발전 시장은 점차 확대될 것으로 예상된다. 분산발전은 기존의 대규모 중앙집중형 발전이 아닌 전력수요지 주위의 소규모 발전원을 활용하는 발전방식이다. 분산발전은 중앙집중형 발전에 비해 전력 수요처 근처에 위치함으로 송배전 인프라 구축 비용과 운용비용을 절감할 수 있으며 전력 손실을 줄일 수 있는 장점이 있다.

Trigeneration System(삼중발전시스템)은 천연가스를 이용한 분산발전의 대표적인 예로 천연가스를 연료로 엔진을 구동하고 이를 통해 발생된 동력으로 발전기와 압축기를 작동하여 전력과 냉난방 에너지로 변환한다. 이때 엔진에서 배출되는 배기가스나 엔진을 순환하는 냉각수로부터 얻을 수 있는 열에너지도 열교환기로 회수하여 냉난방에 활용할 수 있다. Trigeneration System을 활용한 제습공조 시스템은 Fig. 1의 가스엔진과 히트펌프 타입의 압축기에서 발생하는 냉열 및 엔진배열을 이용하여 공조 대상 실내의 습공기를 제습/냉방/난방 함으로써 실내의 쾌적한 공조를 구현함과 동시에 폐열을 활용한 제습을 통하여 에너지 효율 향상을 이룰 수 있다.

본 논문에서는 제습공조시스템과 일반 공조시스템의 성능 비교 실험과 수치해석을 활용한 분석 연구를 수행하였고 입구 온도 25~35°C 범위 및 입구 습도 65~80%RH 범위에서 냉방 및 소비열량, 에너

지효율 등을 비교하였다.

II. 실험

2.1. 실험 장치 및 실험 방법

제습공조시스템의 개략도를 Fig.2에 도시하였다. Trigeneration 제습공조시스템은 실내 공기(Process Air)를 제습로터로 공급해주는 Process Fan, 로터에서 제습된 공기(Process Air)를 다시 실내로 배출시켜주는 Supply Fan, 제습로터를 재생하기 위해 외부 공기(Outdoor Air)를 제습로터로 공급해주는 React Fan, 실내공기를 제습해주는 제습로터, 제습로터를 재생하기 위해 외기 온도를 가열시켜주는 Heating Coil 및 Electric Heater, 제습되면서 온도가 높아진 공기를 냉각시켜주는 Cooling Coil로 구성되어 있다.

하절기에는 Process Fan과, Supply Fan을 통해 대상 실내의 습공기를 제습로터로 보내 제습한 후 Trigeneration 시스템에서 생산/발생되는 냉열로 감온을 하고 실내로 공급한다. 제습로터의 재생을 위하여 React Fan으로 외기 공기를 인입한 후 엔진 배열과 전기히터로 가열한 후 제습로터로 보내 재생하고 외부로 배출된다.

동절기에는 제습이 필요 없으므로 제습로터의 구동 없이 Process Fan과, Supply Fan을 통해 대상 실내의 공기를 Trigeneration 시스템에서 생산/발

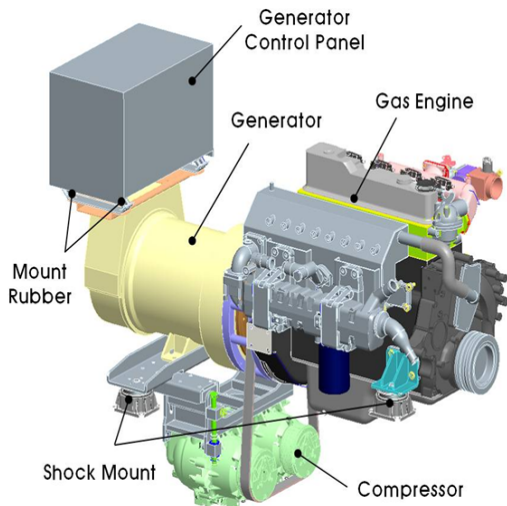


Fig. 1. Natural Gas Engine.

Table 1. Specifications of the sensors

Measuring equipment	Specification
Data Logger	GRAPHTEC midi Logger GL-820
Hydrometer	RIXEN TRH-303DA
	Range: Temp 0~100oC, Humidity 0~100%RH
	Accuracy: Temp ±0.3~0.7oC, Humidity ±2.5~3%RH
Anemometer	TESTO 480 + Vane probe 100mm
	Accuracy: ±2%
Thermometer	K type TC
	Accuracy: ±0.75%
Flowmeter	Turbine(Water)
	Accuracy: ±0.5% F.S

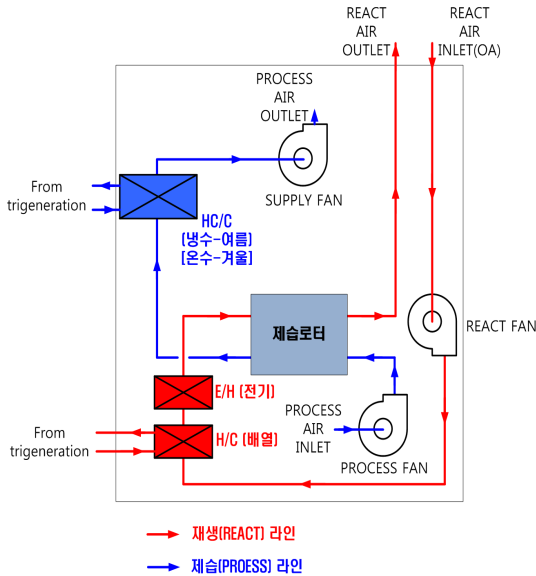


Fig. 2. Trigeneration Desiccant System.

Table 2. Test conditions

Item	Inlet Temperature & Humidity	Outlet Temperature & Humidity
Experiment-1	25.5oC, 68.9%RH	25.4oC, 37.6%RH
Experiment-2	27.4oC, 70.7%RH	24.2oC, 45.7%RH
Experiment-3	29.4oC, 66.7%RH	24.9oC, 45.7%RH
Experiment-4	33.4oC, 68.9%RH	29.7oC, 43.6%RH

생되는 온열로 가열을 하여 실내로 공급한다.

제습공조시스템의 제습 및 냉방 성능을 분석하기 위하여 제습공조시스템의 입출구(Process Air Inlet/Outlet)에 온/습도 센서, 그리고 제습공조시스템으로 들어가는 냉수 및 배열 배관 입출구(From Trigeneration)에 온도센서 및 유량계를 설치하였고 온습도 데이터와 유량데이터는 GRAPHTEC사의 midi Logger GL-820을 사용하여 기록하였다. 본 실험에서 사용된 모든 측정장치들의 사양을 Table. 1에 나타내었고 실험결과는 정상상태에 도달한 후 1시간의 평균 데이터를 사용하였다. 본격적인 실험에 앞서 제습공조시스템의 풍량을 확인하기 위해 입구측에서 바람개비형 풍속계로 풍속을 측정하였다. 측정결과 풍량은 760 CMH로 확인되었다.

실험 조건을 Table. 2에 나타내었다. 공조 대상 실내의 온습도를 조절할 수 있는 항온항습기가 따로 없기 때문에 입구 온도는 25~33°C 범위에서, 입구

Table 3. Experimental results of desiccant system

Item	Amount of Dehumidification [kg/h]	Amount of Indoor Cooling Energy [kW]	Amount of Cold Energy Consumption [kW]
Experiment -1	5.95	4.23	6.71
Experiment -2	7	5.8	8.65
Experiment -3	7.6	6.5	8.9
Experiment -4	10.2	8.3	10.5

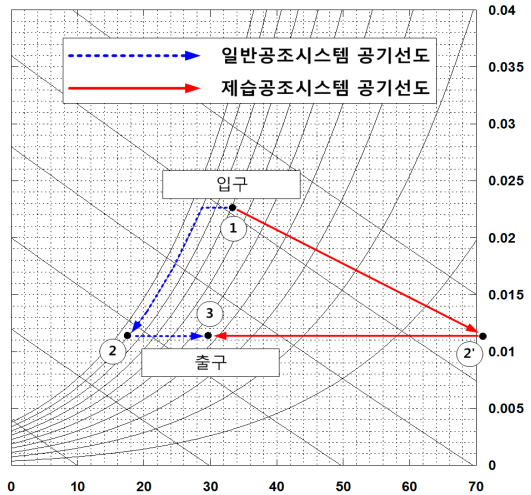


Fig. 3. Variation of the air conditioning process on psychrometric chart.

Table 4. Experimental results

Item	Temperature [°C]	Humidity [%RH]
①	33.4	68.9
②	17.6	90
②'	70.96	10
③	29.7	43.6

습도는 60~ 70%RH 범위에서 실험을 수행하였다.

제습공조시스템의 제습량(X)과 냉방열량(q_{cool})은 아래의 식 (1), (2)에 의해 계산하였다.

Trigeneration 제습공조시스템과 일반공조시스템의 성능 비교 실험 및 수치해석

$$X [kg/h] = \frac{Q [m^3/h] \times \rho [kg/m^3] \times \Delta x [kg/kg']}{1} \quad (1)$$

$$q_{cool} [kcal/h] = \frac{Q [m^3/h] \times \rho [kg/m^3] \times \Delta h [kcal/kg]}{1} \quad (2)$$

여기서 Q 는 제습기 풍량, ρ 는 공기 밀도, Δx 는 제습기 입출구 절대습도차, Δh 는 제습기 입출구 엔탈피차를 의미한다. 제습기 입출구 절대습도 및 엔탈피는 입출구에서 측정된 온습도 데이터를 EES(Engineering Equation Solver) 프로그램을 사용하여 환산하였으며 제습공조시스템에서 사용한 냉열사용량(q_{water})은 아래의 식 (3)에 의해 계산된다.

$$q_{water} [kcal/h] = \frac{\dot{m} [\ell/min] \times 60 [min/h] \times \Delta t [^\circ C] \times 1 [kg/\ell] \times 1 [kcal/kg^\circ C]}{1} \quad (3)$$

여기서, \dot{m} 는 냉수유량, Δt 는 냉수배관 입출구 온도차를 의미한다.

2.2. 실험 결과

Fig. 3에 제습공조시스템의 공조프로세스(실험4 기준)를 도시하였고, 공조프로세스상 각 위치별 온

습도 데이터를 Table 4에 나타내었다. ①은 공조시스템(일반/제습)의 입구, ②는 일반공조시스템의 냉각코일 출구, ②'는 제습공조시스템의 제습로터 출구, ③은 공조시스템(일반/제습)의 출구를 나타낸다. 그림에서 실선은 제습공조시스템의 공기선도를 의미하고 점선은 일반공조시스템의 공기선도를 의미한다. 일반공조시스템의 경우에는 본 연구에서 직접 실험을 수행하지 못했기 때문에 제습공조시스템과 입출구 공기 조건이 같은 상태에서 가정하여 도시하였다.

여러 온습도 조건하에서 제습공조시스템의 성능을 분석하기 위해 Fig. 3의 실험4와 동일한 방식으로 실험한 제습공조시스템의 제습량, 냉방열량 및 냉열 사용량을 Table 3에 나타내었다. 제습량은 제습공조시스템을 통해 공기중에서 제습된 수분의 양을 의미하고 냉방열량은 제습공조시스템을 통해 공조대상실내에서 냉방되는 열량을 의미한다. 냉열사용량은 Trigeneration에서 제공되는 냉열중 제습공조시스템에서 사용하는 열량을 의미한다. 본 연구의 제습공조시스템은 실험4 조건에서 가장 많은 제습량과 냉방열량을 나타내고 있는데 이는 제습공조시스템의 입구 온도가 높고 절대 습도가 높을수록 제습로터의 성능이 높아지기 때문인 것으로 판단된다.

Table 5. Summary of energy consumption

Item		Cooling Energy [kW]	Reheating Energy [kW]	Total Energy Consumption [kW]	Comparison	System Efficiency
Experiment-1	Conventional Air-conditioning System	8.43	3.82	12.25	100%	34.5%
	Trigeneration Desiccant System	6.71	-	6.71	54.8%	63%
Experiment-2	Conventional Air-conditioning System	8.59	2.75	11.34	100%	51.1%
	Trigeneration Desiccant System	8.65	-	8.65	76.3%	67.1%
Experiment-3	Conventional Air-conditioning System	8.87	2.77	11.64	100%	55.8%
	Trigeneration Desiccant System	8.9	-	8.9	76.5%	73%
Experiment-4	Conventional Air-conditioning System	11.4	3.1	14.5	100 %	57.2%
	Trigeneration Desiccant System	10.5	-	10.5	72.4 %	79%

일반 공조기와 제습공조시스템의 에너지소비량 비교를 위해 각각 사용되는 공기선도 상에서의 열량을 Table 5에 나타내었다. 일반 공조시스템의 경우 냉각열량은 Fig. 3의 공기선도에서 ① → ②로 이동하는데 필요한 열량을 나타내고 재열열량은 ② → ③로 이동하는데 필요한 열량을 의미한다. 제습공조시스템의 경우 냉각열량은 Fig. 3의 공기선도에서 ②' → ③로 이동하는데 필요한 열량을 의미하고 이는 Table 3의 냉열사용량과 동일한 값이다. 제습공조시스템을 일반공조시스템과 비교했을 때 실험-2, 3, 4의 경우에는 일반공조시스템 대비 평균 약 75%의 에너지를 소비하는데 반해 실험-1은 약 55%의 에너지를 소비하여 좀 더 에너지 절약적임을 알 수 있다. 이는 Table 2의 실험 조건을 보면 실험-1의 경우 입출구 온도차가 동일하고 실험-2, 3, 4는 출구 온도가 입구 온도에 비해 대략 3~5도 정도 낮기 때문에 일반공조시스템의 재열 열량이 증가하는 비율보다 제습공조시스템의 냉각열량이 감소하는 비율이 커지게 되기 때문이다. 따라서 실험-2, 3, 4의 경우 일반공조시스템 대비 소비하는 에너지가 실험-1보다 큰 것으로 나타난다. 시스템효율은 소비열량대비 냉방열량의 비율(냉방열량/소비열량)을 의미한다. 즉, 소비되는 열량 기준으로 공조대상 실내를 냉방할 수 있는 능력을 나타낸다. 시스템효율은 실험-1에서 실험-4로 갈수록 높아지는 것을 알 수 있는데 이 역시 냉방열량이 증가하는 비율이 소비열량이 증가하는 비율보다 크기 때문이다.

III. 수치해석

앞서 본문에 서술하였듯이 본 연구의 경우 공조 대상 실내의 온습도를 조절할 수 있는 향온향습기가 따로 없기 때문에 제습공조시스템의 성능을 좀 더 자세히 평가하기 위하여 실험과 비슷한 범위내의 좀 더 다양한 조건하에서 수치해석을 수행하였다.

3.1. 수치해석 방법

Fig. 4에 수치해석에서 이용한 공조프로세스를 도시하였다. 제습기 입구의 공기 조건은 온도 25~35°C, 습도 65~80%RH 범위에서 온도와 습도는 각각 1°C, 5%RH씩 나누어 계산하였다. 제습로터의 제습량은 실험한 결과를 이용하였다. Fig. 4에서 냉방 열량은 식 (1)과 같이 계산하였고, 냉각 및 재열 열량은 아래 식 (4)와 같이 계산하였다.

$$q_{air} [kcal/h] = Q [m^3/h] \times \rho [kg/m^3] \times c_p [kcal/kg^{\circ}C] \times \Delta t [^{\circ}C] \quad (4)$$

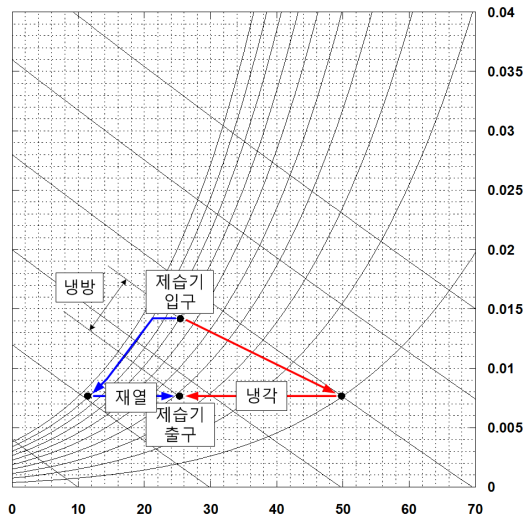


Fig. 4. Experimental results of Desiccant System.

Table 6. Experimental results of numerical study

Inlet and Outlet Temperature Difference [°C]	System Efficiency [%]	Comparison of Conventional Air-conditioning System [%]
0	67.6	67.1
3	70.4	77.5
5	72	85.1
10	75.4	107.5

여기서, c_p 는 비열, Δt 는 온도차이(재열 및 냉각 온도)를 의미한다.

제습공조시스템 출구의 공기 온도는 공조시스템 입구 온도와 동일할 때와 입구 온도보다 3°C, 작을 때, 5°C, 작을 때, 10°C, 작을 때 총 4가지 case로 나누어 계산하였다.

수치해석에서 사용한 모든 계산은 EES (Engineering Equation Solver) 프로그램을 활용하였다.

3.2. 수치해석 결과

수치해석 결과를 정리하여 Table 6에 나타내었다. 지면상의 문제로 모든 결과를 나타내진 못하고 평균한 데이터로만 표현하였다.

시스템효율은 소비열량대비 냉방열량의 비율을

의미한다. 즉, 소비되는 열량 기준으로 공조대상 실내를 냉방할 수 있는 능력을 나타낸다. 시스템효율은 제습공조시스템 입출구 온도차가 커질수록 높아지는 것을 알 수 있는데 이는 실험과 동일하게 냉방열량이 증가하는 비율이 소비열량이 증가하는 비율보다 커지기 때문인 것으로 판단된다.

또한 제습공조시스템 입출구 온도차가 커질수록 높아지는 것을 알 수 있는데 이 역시 실험과 동일하게 일반공조시스템의 재열 열량이 증가하는 비율보다 제습공조시스템의 냉각열량이 감소하는 비율이 커지게 되기 때문인 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구는 Trigeneration 제습공조시스템의 성능 분석에 대한 기초연구로서 실험 및 수치해석에 대한 연구를 수행하였고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 제습공조시스템은 고온 다습한 실내를 냉방시킬수록 효율적임을 알 수 있었다.
- (2) 실험 및 수치해석 모두 제습공조시스템의 입출구 온도차가 커질수록 시스템 효율이 높아짐을 알 수 있었다.
- (3) 본 연구의 실험 및 수치해석 모두 제습공조시스템의 입출구 온도차가 커질수록 일반공조시스템

대비 에너지가 많이 소모됨을 알 수 있었다.

(4) 종합하였을 때, 제습공조시스템은 출구 공기 온도가 입구 공기 온도보다 약 3℃ 정도 낮게 가동하였을 때, 시스템 효율 70%, 일반공조시스템 대비 에너지 소비량이 약 78%로 가장 경제적인 것을 알 수 있었다.

REFERENCES

- [1] Study on Establishment of Roadmap for Development of Gas Cooling Efficiency Improvement Technology, (2010)
- [2] Chae, J.M., 2013. Study on the Development and Expansion of High-efficiency Gas Air-conditioning System.
- [3] Han, D.S., 2003. Co-generation plan and design manual.
- [4] Chae, J.M., 2014. Gas heating and cooling technology that contributes to 'The Second National Master Plan for Energy', Energy-news.
- [5] Chae, J.M., Han, J.O., Choi, J.H., Cho, Y.A., Ha, J.M., "Running Cost Evaluation of Trigeneration system for Residential Energy Load Patterns" *Proceedings of '13 KIGAS Autumn Conference*, 23, (2013)