

# 온도식팽창밸브의 전자식팽창밸브로의 대체 가능성에 관한 연구

한도영<sup>†</sup>, 정성욱<sup>\*</sup>

<sup>†</sup>국민대학교 기계·자동차공학부, <sup>\*</sup>국민대학교 기계공학과 대학원

## A Study on the Possibility for the Replacement of a Thermal Expansion Valve to an Electronic Expansion Valve

Doyoung Han<sup>†</sup>, Seongwoock Jeong<sup>\*</sup>

**ABSTRACT:** For the precise superheat temperature control of an air conditioner, an electronic expansion valve may be used instead of a thermal expansion valve. In this paper, technical and economical aspects of expansion valves were studied in order to find out the possibility to use an electronic expansion valve to replace a thermal expansion valve.

**Key words:** Thermal expansion valve(온도식팽창밸브), Electronic expansion valve (전자식팽창밸브), Superheat control(과열도 제어), Technical analysis(기술적 분석), Economical analysis(경제적 분석)

### 1. 서론

냉동장치의 제어 역할을 수행하는 팽창밸브에는 일반적으로 모세관이 사용되고, 부하 변동에 따른 과열도 제어가 필요한 경우에는 온도식팽창밸브가 주로 사용된다<sup>(1)</sup>. 모세관은 초기 가격이 저렴하여 널리 사용되고 있지만 부하 변동에 따른 대응이 미비하여 시스템 효율이 낮아 에너지가 과소비되고 있으며, 온도식팽창밸브는 부하가 변동이 되더라도 설정된 과열도로 제어되지만 정확성이 부족하여 시스템 안전에 문제가 제기될 수 있으므로, 이를 해결하기 위해 전자식팽창밸

브를 대체하여 사용하고 있다<sup>(2,3)</sup>. 따라서 본 연구에서는 온도식팽창밸브 대신에 전자식팽창밸브를 사용함으로써 얻을 수 있는 냉동시스템의 기술적, 경제적 영향을 분석하는 것을 목표로 한다.

### 2. 팽창밸브

#### 2.1 온도식팽창밸브

냉동장치의 운전상태는 항상 일정한 것이 아니고 외부조건, 부하의 변동 등에 의하여 항상 변화된다. 온도식팽창밸브는 이러한 운전상태의 변화에 대응하여 시스템의 효율, 능력 및 안전을 고려하여 Fig. 1과 같이 충전재에 의해 냉매의 유량을 증감시켜 증발기 출구가스의 과열도를 적정하게 유지시킨다. 즉 부하 증가시에는 증발기 출구의 냉매가스 온도가 상승하게 되므로 감온통

<sup>†</sup>Corresponding author

Tel.: +82-2-910-4675; fax: +82-2-910-4839

E-mail address: dyhan@kookmin.ac.kr

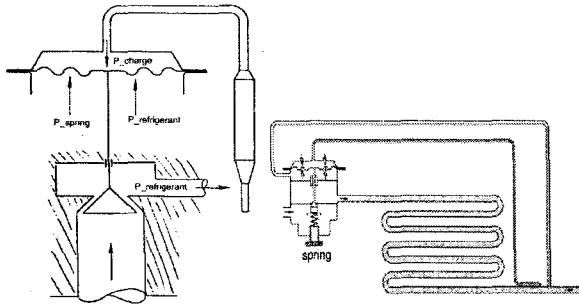
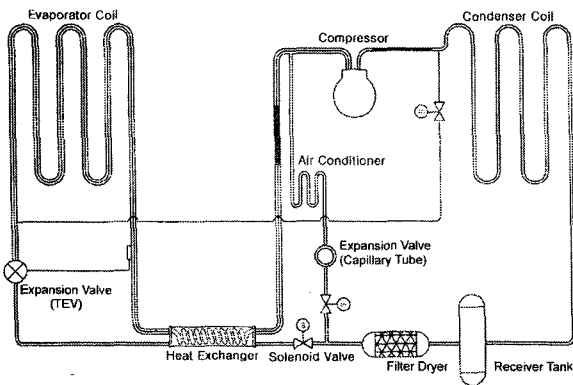


Fig. 1 Thermal expansion valve

의 포화압력이 상승하게 되고 증진제가 팽창되어 밸브가 열리게 된다. 이로 인해 냉매유량이 상승하게 되므로 과열도가 감소하게 된다. 그리고 부하 감소시에는 이와 반대로 작동되어 과열도가 감소되는 것을 방지한다.

온도식팽창밸브를 적용한 냉동탑차의 냉동시스템의 한 예를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 보듯이 냉동실용 증발기는 컨테이너에 설치되어 냉동식품을 보관하는 역할을 하고, 운전실용 증발기는 운전실의 실내온도를 조절하는 역할을 수행



Part	Description
Compressor	DC 24 Voltage
Evaporator Coil	3/8" 5 Row * 12 Step * 800 EL
Condenser Coil	3/8" 4 Row * 12 Step * 820 EL
Air Conditioner	AL Laminated Type
Expansion Valve	TEV, Capillary Tube
Receiver Tank	In-Out LET 3/8" * 180L
Filter Dryer	In-Out LET 3/8" * 132L
Heat Exchanger	1 RT, 3024Kcal/h
Solenoid Valve	DC 24 V In-Out LET 3/8"

Fig. 2 Truck refrigeration cycle

한다. 냉동시스템의 냉매 제어를 위해 컨테이너 증발기 냉매차단용, 운전실 증발기 냉매차단용, 핫가스 바이패스용으로 구성된 세개의 솔레노이드 밸브와 온도식팽창밸브와 모세관으로 구성된 두개의 팽창밸브가 사용되며 컨테이너 내의 온도를 조절하기 위해 별도의 컨트롤러가 운전실에 설치되어 압축기, 컨테이너용 증발기 팬, 컨테이너 증발기 냉매차단용 솔레노이드 밸브를 제어한다.

## 2.2 전자식팽창밸브

냉동탑차용 냉동시스템의 컨테이너용 증발기에 전자식팽창밸브를 적용하여 부하의 변동에 따라 컨테이너증발기로 공급되는 냉매량을 제어하여 최고의 효율로 안전운전이 가능하도록 과열도를 제어할 수 있다. 온도식팽창밸브의 경우 감온통이 센서 역할을 하지만 전자식팽창밸브의 경우 증발기 입출구에 각각의 온도센서를 적용하거나 증발기 출구에 온도센서와 압력센서를 적용하여 과열도를 산출하며 산출된 과열도와 설정된 과열도를 비교하여 전자식팽창밸브의 개도를 제어한다.

전자식팽창밸브의 적용예가 Fig. 3에 나타나 있다. 그림에서 보듯이 제어기에서는 컨테이너 증발기 출구의 공기온도를 사용하여 압축기를 제어하고 증발기 출구의 압력과 온도값을 측정한 후 산출된 과열도를 사용하여 전자식팽창밸브의 개도를 제어한다.

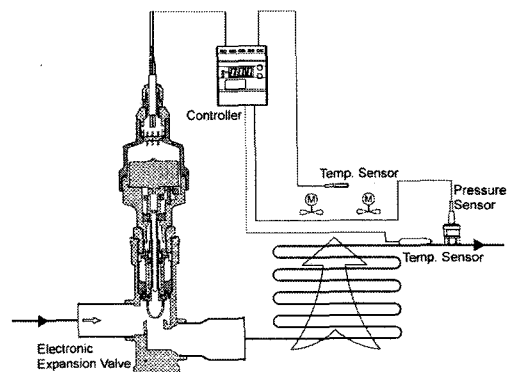


Fig. 3 Application of an electronic expansion valve

Table 1 Comparison of expansion valves

	Thermal Expansion Valve	Electronic Expansion Valve
Response Time	Slow	Fast
Superheat control	Hardware selection	Program changes
Products line	Complicated	Simple
Technology	Difficult	More difficult
Installation	Easy	Not easy

### 3. 팽창밸브의 비교

온도식팽창밸브의 전자식팽창밸브로의 대체 가능성을 판단하기 위하여 기술적인 관점과 경제적인 관점으로 구분하여 비교분석한다. 증발기출구 공기온도를 측정하는 온도센서는 두 경우 모두 압축기제어에 사용되므로 비교에서 제외될 수 있다. 온도식팽창밸브를 적용하는 경우에는 Fig. 2에서 보여주듯이 과열도제어를 위해 컨테이너용 온도식팽창밸브와 컨테이너증발기 냉매차단을 위해 컨테이너용 솔레노이드 밸브를 사용하지만 전자식팽창밸브를 적용하는 경우에는 냉매차단이 가능하므로 솔레노이드 밸브가 필요하지 않게 되어 컨테이너증발기 출구에 설치되는 온도센서와 압력센서 그리고 제어기만을 사용한다.

온도식팽창밸브와 전자식팽창밸브의 비교결과가 Table 1에 나타나 있다. 과열도의 감지를 위해 온도식팽창밸브에서는 온도감지 및 전달을 목적으로 감온통을 사용하기 때문에 응답속도가 느린 반면, 전자팽창밸브에서는 온도센서와 압력센서를 사용함으로써 응답속도가 빠름으로 보다 정확한 과열도 제어가 가능하다<sup>(4,5)</sup>. 과열도 제어를 위해 온도식팽창밸브에서는 냉매사이클에 사용되는 냉매의 종류와 감온통에 충전되는 충전재를 사용하여 조절하나 전자식팽창밸브에서는 제어기의 프로그램 변경만으로 조절 가능하다<sup>(6)</sup>. 팽창밸브의 적용을 위해 온도식팽창밸브에서는 냉동용량, 사용온도범위, 냉매 및 충전재의 종류 등을 고려한 다양한 제품을 제공하여야하나 전자식팽창밸브에서는 상대적으로 밸브와 센서의 종류가 단순함으로 초기 시설투자비와 제품관리비를 절

약할 수 있다. 그러나 전자식팽창밸브는 온도식 팽창밸브에 비해 기술적인 난이도가 다소 높으며, 전기배선 및 제어기 설치 등이 다소 복잡할 수 있다.

### 3.1 기술적 비교

#### 3.1.1 과열도 제어

온도식팽창밸브에서 센서 역할을 하는 감온통의 내부에는 온도값을 측정하기 위하여 다양한 종류의 물질을 삽입하게 된다. 감온통속에 삽입되는 물질을 충전재라고 부른다. Fig. 4는 H사에서 생산되고 있는 온도식팽창밸브의 충전재 종류를 특징과 함께 나타내었다. 충전재로 냉매를 사용하는 경우와 그렇지 않은 경우에 따라 냉매충진재(Refrigerant charge)와 흡착충진재(Adsorb-er charge)로 구분되며, 냉매사이클에 사용되는 냉매와 충전재가 동일한지 여부에 따라 동일충진재(Parallel charge) 또는 크로스충진재(Cross charge)로 구분된다. 일반적으로 크로스충진재에서 압축기를 보호할 목적으로 최대운전압력(Maximum operating pressure)의 설정이 필요한 경우 기체충진재(Gas charge)가 사용되고, 그렇지 않은 경우에는 액체충진재(Liquid charge)가 사용된다. 충전재에 따른 사용온도별 정적과열도(Static superheat)의 그래프를 Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7에 나타내었다. 먼저 Fig. 5에서는 동일충진재를 사용한 경우의 특성을 보여 주는데, 증발기 사용온도가 -30°C인 경우가 -10°C에도 보

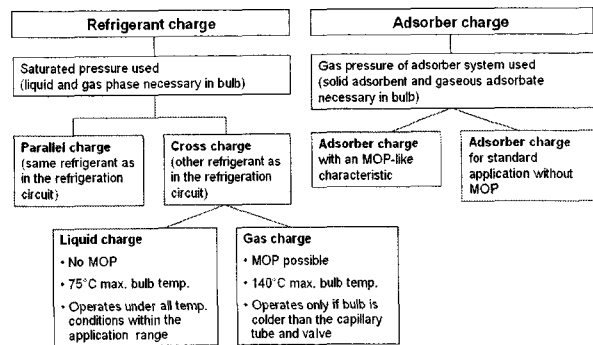


Fig. 4 Classification of charges

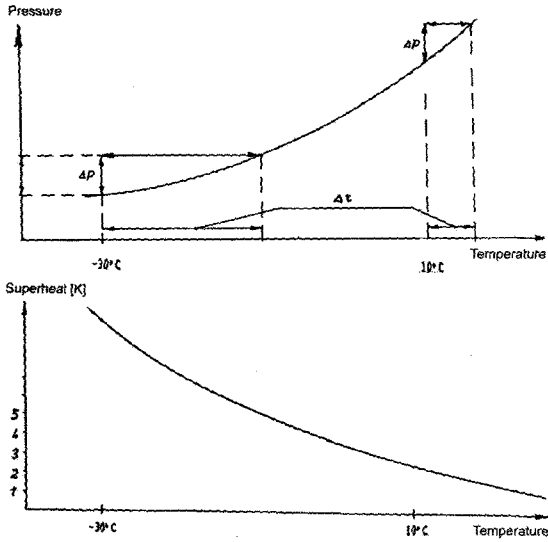


Fig. 5 Parallel refrigerant charge

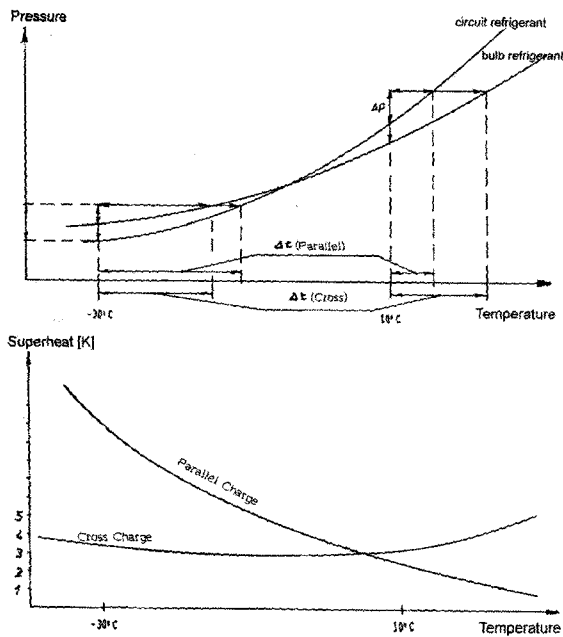


Fig. 6 Cross refrigerant charge

다 정적과열도가 높음을 볼 수 있다. Fig. 6은 크로스충진재를 사용한 경우로 증발기 사용온도가  $-30^{\circ}\text{C}$ 인 경우와  $-10^{\circ}\text{C}$ 인 경우 모두 비슷한 정적과열도를 나타냄을 볼 수 있다. Fig. 8에는 설정과열도에 따른 정적과열도 관계가 나타나 있고 설정과열도를 조정하였을 경우 정적과열도가 증발기 사용온도에 따라 다름을 알 수 있다. 일반적으로 이를 보완하기 위해 Fig. 7의 흡착충진

재를 사용하게 되며, 이는 증발기 사용온도와 상관없이 정적과열도가 비슷하게 나타나고, Fig. 8에서 보듯이 설정과열도를 변경하더라도 비슷한 정적과열도를 얻을 수 있음을 볼 수 있다.

이상과 같이 온도식팽창밸브의 선정시 증발기의 사용온도, 냉매 및 충전재의 종류 그리고 정적과열도 등을 고려하여 선정하나 전자식팽창밸브를 사용할 경우 압력센서와 온도센서로 과열도를 검출하므로 팽창밸브를 쉽게 선정할 수 있다.

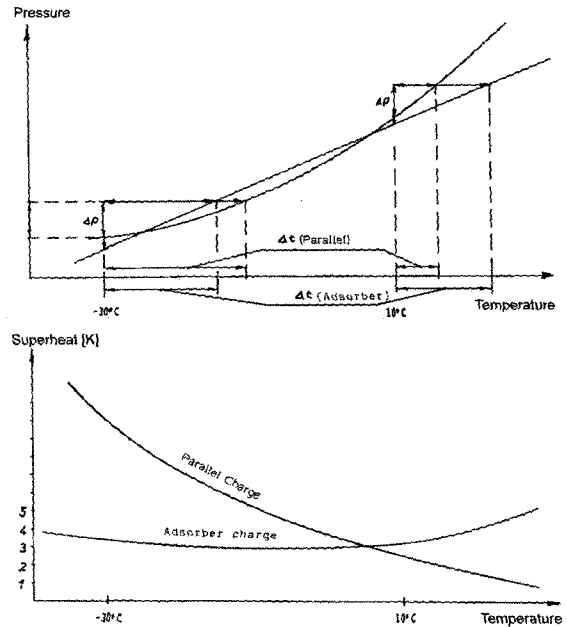
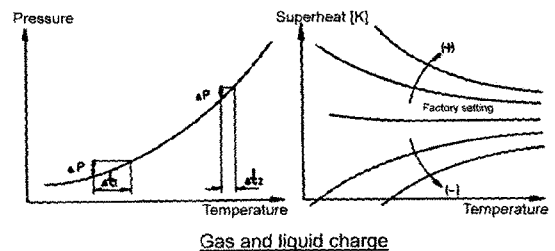
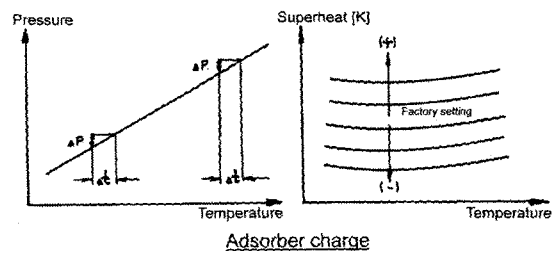


Fig. 7 Absorber refrigerant charge



Gas and liquid charge



Adsorber charge

Fig. 8 Static superheat

증발기에서의 과열도를 측정하기 위해서는 냉매사이클에 사용되는 냉매를 고려하여야 한다. 냉매는 단일냉매와 혼합냉매로 구분되며 단일냉매는 일정한 압력의 액체상태에서 동일한 압력의 기체상태로 변화하지만, 두개 이상의 순수냉매가 섞여 있는 혼합냉매의 경우에는 액체상태에서 기체상태로 변화 시 각각의 냉매에 따라 증발압력이 다르다. 그러므로 단일냉매인 경우에는 압력센서 없이 두개의 온도센서로 과열도를 확인할 수 있지만<sup>(7)</sup>, 혼합냉매인 경우에는 압력이 상태변화와 함께 달라지므로 평균 증발압력을 압력센서로 측정되어야 하며 출구온도는 온도센서를 사용하여 측정하게 된다<sup>(8)</sup>. 최근에는 센서기술의 발달로 압력센서를 포함한 센서의 가격이 낮아지고 있어 전자식팽창밸브의 활용도가 높아질 것으로 예상된다.

### 3.1.2 증발기 압력강하 보정

증발기 입구에 설치되어 있는 팽창밸브는 증발기 출구의 냉매상태를 고려하여 개도를 조절하게 된다. 그러나 일반적으로는 증발기를 지나면서 발생하는 압력손실은 무시되지만, 증발기 코일내 압력강하가  $0.1\text{kg/cm}^2$  이상인 경우에는 증발기 입출구의 압력차를 고려해야 한다.

외부균압형(External pressure equalization) 온도식팽창밸브를 Fig. 9에 나타내었으며 그림에서 볼 수 있듯이 증발기 입출구 압력차를 고려하기 위해 증발기 출구측의 배관을 팽창밸브 출구측과 균압관으로 연결된 것을 볼 수 있다. 균압관이 없는 밸브를 내부균압형(Internal pressure

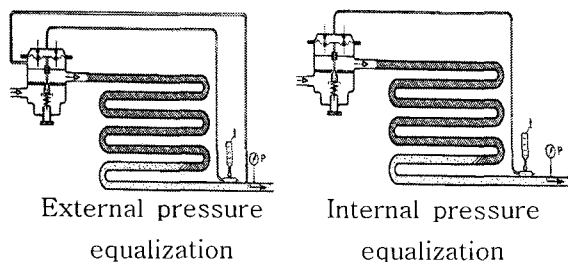


Fig. 9 External/Internal pressure equalization of electronic expansion valve

equalization) 온도식팽창밸브라고 한다. 일반적으로 냉매분배기를 사용하여 과도한 압력강하가 발생하는 경우 외부균압형 온도식팽창밸브가 일반적으로 사용되며, 외부균압관은 흡입관상부의 감온통이 설치된 위치 다음에 설치된다.

그러나 전자식팽창밸브에서는 증발기 냉매출구의 온도와 압력을 측정하기 때문에 증발기 압력강하의 보정에 대해서는 고려치 않아도 된다.

### 3.2 경제적 비교

온도식팽창밸브와 전자식팽창밸브를 냉동탑차의 냉동시스템에 장착시 예상되는 가격을 Table 2에 나타내었다. 냉동탑차 제조업체인 D사의 냉동시스템에 사용되는 H사의 온도식팽창밸브와 솔레노이드 밸브를 J사의 전자식팽창밸브로 대체하였을 경우, 압력센서의 경우 S사, 온도센서의 경우 W사의 공급가격을 각각 적용하여 비교하였으며 컨트롤러는 현재 냉동부품의 주요 제조사에서 공급되는 범용 컨트롤러가 아닌 전용 컨트롤러를 기준으로 하였다. 전용컨트롤의 경우 사용용도, 온도범위, 냉매 그리고 최대운전압력 유무별로 제어로직이 프로그램화된 ROM을 장착하여 제작할 경우 공급 가능한 예상금액을 적용하였다. 공급가격 기준으로 온도식팽창밸브에서 전자식팽창밸브로 교체시 약 10%의 초기절감 효과가 있으며, 또한 보다 정확한 과열도 제어로 인한 효율증대로 성능이 향상되어 운전비용 절감이 예상된다<sup>(2)</sup>.

Table 2 Price comparison

TEV system	QTY (ea)	Price (₩)	EEV system	QTY (ea)	Price (₩)
TEV	1	27,000	EEV	1	13,000
Solenoid Valve	1	15,000	Pressure sensor	1	10,000
-	-	-	Temp. sensor	1	1,000
-	-	-	Controller	1	14,000
Total		42,000	Total		38,000

### 4. 결론

온도식팽창밸브 및 전자식팽창밸브의 기본 특징 및 기술적, 경제적 비교를 통해 다음과 같은

결론을 얻을 수 있다.

1) 전자식팽창밸브는 온도식팽창밸브에서 사용하는 감온통을 대신하여 압력센서와 온도센서로 과열도를 검출하므로 신속하고 정확하게 과열도를 측정하여 제어할 수 있는 장점이 있다. 또한 증발기 출구의 온도와 압력을 측정하기 때문에 증발기 압력강하에 대한 보정이 필요없게 된다.

2) 최근 센서 및 마이크로프로세서의 발달로 압력센서를 포함한 센서 및 칩의 가격이 낮아지고 있어 사용용도, 온도범위, 냉매 그리고 최대운전 압력 유무별로 프로그램화된 전용컨트롤러를 제작하여 온도식팽창밸브를 대신해 전자식팽창밸브를 적용하는 경우 초기비용과 운전비용 모두에서 절감이 예상된다.

3) 전자식팽창밸브는 온도식팽창밸브에서 사용되는 충전재를 사용하지 않으므로 밸브와 센서의 종류가 단순하여 상대적으로 초기 설비투자비가 적게 들며 제품생산 및 관리가 용이하다.

향후 본 연구를 바탕으로 각 용도별, 냉매별, 용량별 실험을 통해 과열도를 신속 정확하게 제어하고 신뢰성을 갖춘 전자식팽창밸브의 전용 컨트롤러가 개발되면 온도식팽창밸브에서 실용적인 전자식팽창밸브로의 점차적인 대체가 가능하리라 사료된다.

### 참고문헌

1. Kang, J. and Park, J. 1999, Automotive air conditioning, Taehun Publisher, pp. 153-164.
2. Han, D. and Yoo, P. 2001, Seasonal performance analysis of the EXV used heat pump system, Proceedings of the SAREK, pp. 841-846.
3. Hewitt, N. 1995, Comparison of expansion valve performance, International Journal of Energy Research, Vol. 19, pp. 347-359.
4. Kim, Y. 2004, Experimental study of the dynamic behavior of thermostatic expansion valve, Proceedings of the SAREK, pp. 487-492.
5. Kim, Y. and Park, C. 2004, Experiments and modeling on the performance of electronic expansion valves with R-22, Proceedings of the SAREK, pp. 411-426.
6. Higuchi, K. 1986, Electronic expansion valve and control, Refrigeration, Vol. 61, pp. 45-52.
7. Han, D. and Im, B. 2000, A study on the superheat control algorithm for the multi-type air conditioning system by using electronic expansion valve, Proceedings of the SAREK, pp. 1343-1347.
8. Han, D. and Park, K. J., 2003, Characteristics of a multi-type air-conditioning system on superheat controls at indoor units, Proceedings of the SAREK, pp. 123-129.