

7RT급 암모니아 흡수식 냉온수기의 냉방성능 특성

이 호 생, 진 병 주, 윤 정 인^{†*}, 황 준 현, 진 심 원^{**}, 경 익 수, Donald C Erickson^{***}
 부경대학교 대학원, ^{*}부경대학교, ^{**}(주)LG전자, ^{***}ECC

The Characteristics of Cooling Performance on 7RT Ammonia Absorption System

Ho-Saeng Lee, Byoung-Ju Jin, Jung-In Yoon^{†*}, Jun-Hyeon Hwang, Sim-Won Jin^{**},
 Ick-Soo Kyung, Donald C Erickson^{***}

Graduate School, Dept. of Refrigeration and Air-conditioning Engineering, Pukyong National University,
 Busan 608-739, Korea

^{*}Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

^{**}LG Electronics Co., LTD., Changwon, Korea

^{***}Energy Concept Company, USA

(Received April 1, 2009; revision received July 3, 2009)

ABSTRACT: Experimental results for performance characteristics of small NH₃ absorption chiller/heater are presented. The apparatus consists of 7RT water-cooled absorption system, solution pump, boiler, cooling tower and peripheral devices. The effect of experimental parameters, such as refrigerant mass flow rate, solution mass flow rate and cooling water temperature have been investigated in view of the system performance. The capacity of each heat exchanger increased as refrigerant mass flow rate increased in cooling mode. Also, a cooling capacity increased as a strong solution mass flow rate increased. The cooling and heating COP show 0.5, 1.5 regardless of refrigerant mass flow rate, respectively. The results focus on the evaluation for performance characteristics of system with respect to variation of refrigerant mass flow rate under standard design conditions.

Key words: Chilling performance(냉방성능), NH₃/H₂O absorption system(암모니아 흡수식 시스템), COP(성능계수), Heat exchanger(열교환기)

기 호 설 명

하첨자

COP : 성능계수

i : 엔탈피 [kJ/kg]

m : 질량유량 [kg/h]

Q : 열전달률 [kW]

CON : 응축기

cw : 냉각수

EVA : 증발기

GEN : 재생기

in : inlet

out : outlet

ref : 냉매

[†] Corresponding author

Tel.: +82-51-629-6180; fax: +82-51-629-6180

E-mail address: yoonji@pknu.ac.kr

1. 서 론

국내외의 주요 흡수식 시스템은 H₂O/LiBr 사이클을 기초로 하고 있는데, 이는 압력 및 효율적인 측면에서 장점을 가지고 있기 때문이다. 이에 반해 암모니아-물계 흡수식 냉동기는 암모니아를 냉매로, 물을 흡수제로 사용하는 시스템으로 1800년대 중반에 등장하여 냉동용으로 사용되고 있다.⁽¹⁾

리튬브로마이드 흡수식 냉온수기는 일본을 중심으로 발전되어 현재 흡수식 냉난방 시장의 주류를 이루고 있다. 암모니아의 경우 CFC 및 HCFC 냉매의 지구오존층 파괴문제에 대한 대체 냉매로 부각되면서 다시 한 번 관심을 불러 일으키고 있으며, 흡수식도 이러한 관점에서 최근 연구개발이 활발히 진행되고 있다.

암모니아 흡수식 냉온수기는 소형·공냉화에 적합한 특성을 가지고 있어 미국에서는 ORNL를 중심으로 실용화를 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며,⁽²⁻³⁾ 일본의 경우, 가정용 가스 냉난방기의 실용화 기술 개발을 위해 통산성 및 일본가스협회 등이 주관하여 연구개발이 활발히 진행되고 있다.⁽⁴⁾

한편, 우리나라에서는 암모니아의 독성 및 가연성문제 등으로 인한 법적 제약으로 이에 대한 연구개발이 부진하였다. Kang⁽⁵⁻⁶⁾ 등은 암모니아 GAX 흡수식 사이클에 대한 성능특성을 수치적 연구 및 상용으로 사용되고 있는 소형 암모니아 흡수식 냉동기의 성능특성을 모사 및 실험으로 평가

하였다. Jin⁽⁷⁾ 등은 암모니아 흡수식의 난방 및 냉방성능 특성을 분석 발표하였다. 지금까지의 암모니아 흡수식 관련 연구는 기초연구가 대부분으로 새로운 시스템의 성능관련 연구는 극히 드물었다.

본 연구는 7RT급 암모니아 흡수식 냉온수기의 여름철 냉방운전을 통한 성능 평가에 관한 것으로, 기준 설계조건에서 냉방성능 특성을 실험적으로 평가하고 있다. 그리고 부분부하 운전에 대한 성능을 파악하기 위하여 기준 설계조건들을 고정하고 암모니아 냉매유량을 변화시켜 시스템의 성능특성 변화를 평가하고 있다.

2. 실험장치 및 데이터 분석

2.1 실험장치

Fig. 1은 실험장치의 개요를 나타낸 것이다. 보일러에서 발생된 고온의 포화수증기를 재생기로 보내어 암모니아 수용액을 재생시켜 정류기로 보낸다. 정류기에서 고순도로 농축된 고온의 암모니아 증기는 응축기로 보내어져 냉각수에 의해 응축되고, 냉매 팽창밸브를 거쳐 저온저압의 상태로 증발기로 유입된다. 증발기에 유입된 냉매액은 냉수(부동액, Ethylene Glycol 25% Vol)로부터 열을 빼앗아 증발한다. 증발기를 나온 냉매 증기는 흡수기로 보내어져 흡수제인 약용액에 흡수되며, 이 때 냉매가 흡수제에 흡수되는 과정에

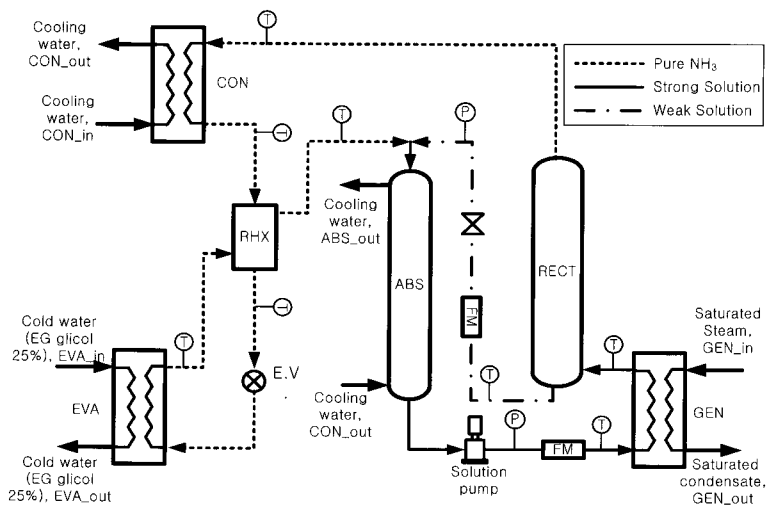


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

서 발열이 일어난다. 흡수기를 나온 암모니아 수용액은 용액펌프에 의해 재생기로 흘러들어가 재생되어 정류기로 보내어져 정류된 고순도의 암모니아 냉매는 응축기로, 흡수제인 약용액은 흡수기로 보내어지는 과정을 반복하며 사이클이 이루어진다.

암모니아 냉매 유량조절은 용액펌프와 재생기 사이에 바이패스 배관을 두고 밸브를 조절하여 재생기로 들어가는 농용액의 유량을 유량계로 측정하였으며, 또한 정류기와 흡수기 사이에 정류기 유면 조절밸브를 설치하여 흡수기로 들어가는 희용액의 유량을 유량계로 측정하였다. 이 때 얻어지는 농용액 유량과 희용액 유량을 이용하여 암모니아 유량을 산출하고, 이 값을 시스템 전체의 열평형 및 물질평형식에 대입하여 정확한 암모니아 유량을 산출하였다.

냉동능력은 암모니아 냉매액이 증발기에서 증발하여 열교환한 냉수의 입출구 온도와 유량을 통해 구하였다. 또한 암모니아 흡수식 냉온수기는 냉방과 동시에 온수를 생산할 수 있는 장점이 있다. 온수는 응축기에서 암모니아 냉매기체로부터 받은 냉각수의 열전달률과 흡수기에서 발생하는 열전달률에 의해 구해진다. 냉수는 11℃로 증발기에 들어가 9℃로 취출되었으며, 온수는 30℃로 투입되어 54℃~55℃를 얻을 수 있었다.

Fig. 2는 실험설비 사진으로써 실험장치는 7RT급 수냉형 암모니아 흡수식 냉온수기이다. 여기에 사용된 용액펌프는 1.5HP급 터빈 임펠러 버티컬 타입을 사용하였으며, 보일러는 15HP급 관류형 보일러를 사용하여 155℃의 포화수증기를 공급하였다. 냉각탑은 15HP급 밀폐식 냉각탑을 이용하

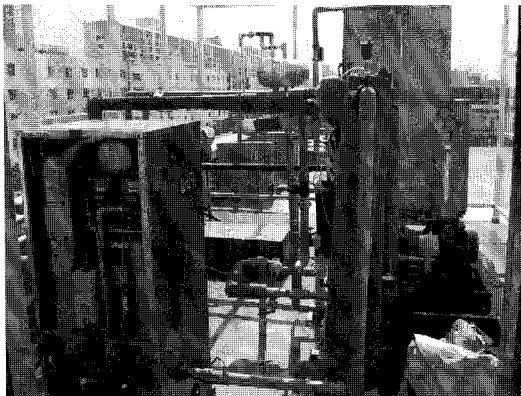


Fig. 2 Photograph of experimental apparatus.

Table 1 Experimental conditions

Parameter	Range
Generator steam inlet temperature	155 ℃
Cooling water inlet temperature	30 ℃
Chilling E.G. inlet temperature	11 ℃
Generator steam flow rate	24 lpm
Cooling water flow rate	38 lpm
Chilling E.G. flow rate	93 lpm
Chilling capacity	25 kW
Hot water capacity	66 kW

여 냉각수를 공급하였으며, 온도센서 및 압력센서를 데이터 획득 시스템에 연결하고 이를 다시 컴퓨터에 연결하여 모니터를 통해 실시간 온도와 압력을 모니터링 하였다.

Fig. 3은 실험에서 얻어진 암모니아 흡수식 시스템의 기준 조건상태에서 각 시스템에 사용된 각 열교환기들의 열교환 위치를 튜링 선도에 나타낸 것이다. 시스템의 작동압력은 고압측 약 14MPa, 저압측 약 4MPa로 운전되었으며, 이때의 암모니아 냉매 농도는 약 98%, 농용액 약 33% 희용액 약 22%로 나타났다. 또한 각 주요 열교환기는 응축기 24.5kW, 증발기 22kW, 흡수기 40kW, 재생기 41.5kW의 능력을 보였다. 이외에도 시스템의 성능을 향상시키기 위해 각 위치에 추가적인 열교환기를 설치하였다. 응축기에서 나온 고온의 냉매와 증발기에서 나온 저온의 냉매가 열교환을 하여 흡수기로 들어가 저온의 냉매를 완전 기화시키는 역할을 하는 RHX는 2kW, 흡수기에서 재생기로 들어가는 농용액과 정류기에서 응축기로 들어가는 냉매와 열교환하는 SCR은 10kW, 흡수기에서 나온 희용액과 재생기에서 나온 희용액이 열교환하는 GHX, SHX는 각각 18kW, 15kW의 능력을 나타내었다.

본 실험에서 암모니아 냉매유량은 2개의 제적식

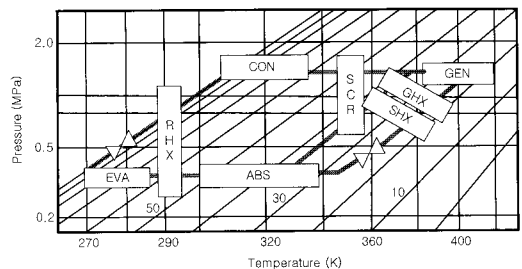


Fig. 3 Duhring diagram.

유량계를 사용하여 용액펌프에서 재생기로 들어가는 농용액과, 정류기에서 흡수기로 들어가는 희용액을 측정하였다. 암모니아 냉매유량은 두 유량 및 온도, 압력 데이터를 EES 프로그램을 활용하여 실험장치의 열평형 및 물질평형으로 계산하였다.

실험장치의 실험 조건은 Table 1에 나타난 것과 같으며, 이 실험 조건을 중심으로 실험을 실시하였다.

2.2 데이터 분석

실험을 통해 얻어진 시스템의 열평형은 식(1)과 같이 정의하였다. 그리고 각 열교환기의 열전달률 계산은 각 열교환기의 입·출구 온도와 압력에 의해 결정되는 암모니아/물 혼합액의 엔탈피를 EES (Engineering Equation Solver) 프로그램에서 구하고 식(2)를 이용하여 계산하였다.

$$Q_{CON} + Q_{ABS} = Q_{EVA} + Q_{GEN} \quad (1)$$

$$Q = m(i_{out} - i_{in}) \quad (2)$$

식(2)를 이용하여 계산된 Q_{EVA}와 Q_{GEN}의 관계에서 냉방 COP는 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$COP_{chilling} = \frac{Q_{EVA}}{Q_{GEN}} \quad (3)$$

또한, 온수 열전달률 Q_{heating}와 성능계수 COP_{heating}는 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$Q_{heating} = Q_{CON} + Q_{ABS} \quad (4)$$

$$COP_{heating} = \frac{Q_{heating}}{Q_{GEN}} \quad (5)$$

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 4는 암모니아 냉매 질량유량에 따른 응축기와 증발기의 열전달률을, Fig. 5는 냉동 능력의 변화를 나타낸 그래프이다. 동일 냉각수 유량 및 동일 냉각수 입구 온도에서 암모니아 냉매 질량유량이 증가할수록 응축 열전달률과 증발 열전달률이 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 응축기와 증발기에 일정한 농도의 암모니아 증기가 유입되고, 충분한 냉각수 및 냉수가 공급되어 입출구

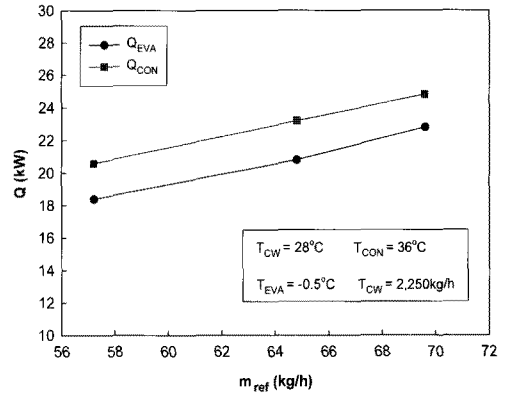


Fig. 4 Variation of heat capacity with respect to refrigerant mass flow rate.

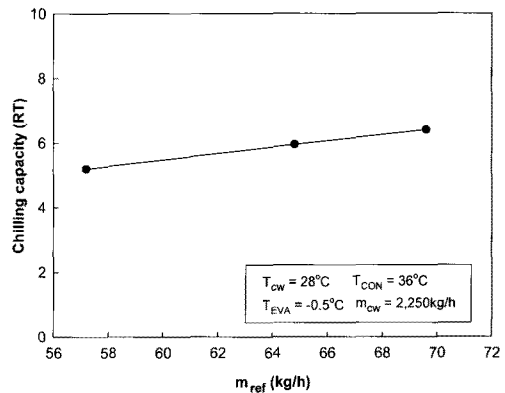


Fig. 5 Chilling capacity on refrigerant mass flow rate.

엔탈피차가 일정하게 유지되는데 따른 결과라 판단된다.

Fig. 6은 암모니아 냉매 질량유량 증가에 따른 온수 열전달률 변화를 나타낸 그래프이다. 온수 열전달률은 응축 열전달률과 흡수 열전달률의 합으로 나타낼 수 있다. 따라서 냉매유량의 증가에 따라 응축 열전달률이 증가하고, 흡수기 농용액 유량이 증가함에 따라 흡수 열전달률 또한 증가하여 난방 열전달률도 증가한 것으로 판단된다.

Fig. 7은 암모니아 냉매 질량유량 증가에 따른 냉난방 COP 변화를 나타낸 그래프이다. 질량유량 증가에도 냉방 COP는 약 0.5, 난방 COP는 약 1.5 정도로 일정한 결과를 나타내었다. 이는 증발 및 난방 열전달률 증가 비율이 재생 열전달률 증가 비율과 거의 같기 때문이라 판단된다.

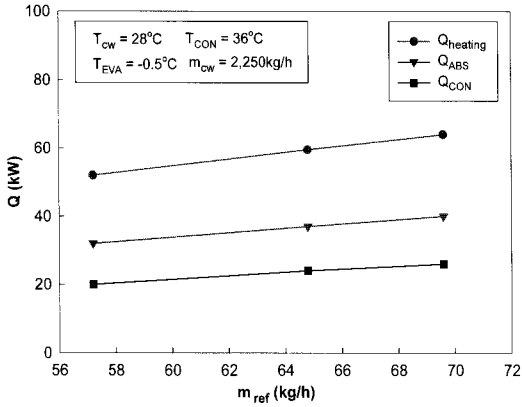


Fig. 6 Variation of hot water capacity with respect to refrigerant mass flow rate.

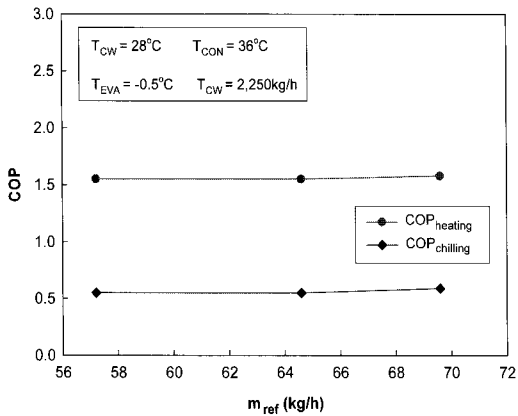


Fig. 7 COP variation on refrigerant mass flow rate.

Fig. 8은 냉각수 입구 온도에 따른 각 열교환기 열전달률을 나타낸 그래프이다. 냉각수 유량을 일정하게 유지하고 냉각수 입구 온도가 상승하였을 때 각 열교환기의 열전달률은 거의 비슷한 경향을 보이고 있다. 이는 실험조건 설정에 있어 냉각수 입구온도 변화 범위를 2°C정도로 할 수 밖에 없었던 한계에서 온 것이라 판단되어 냉각수 온도변화폭에 대한 각 열교환기 성능변화는 추가적인 연구가 필요하리라 판단된다.

Fig. 9는 농용액 질량유량 증가에 따른 각 열교환기 열전달률을 나타낸 그래프이다. 농용액 질량유량이 증가함에 따라 재생되어 나오는 냉매/흡수제 혼합액의 질량유량이 증가하고, 이에 따라 응축기로 들어가는 암모니아 냉매의 질량유량이 증가함으로써 각 열교환기들의 열전달률이 증가하게 된

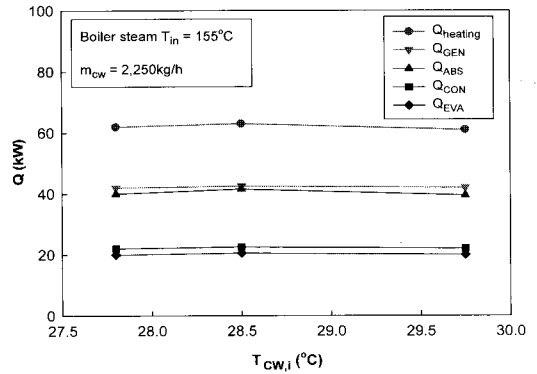


Fig. 8 Heat capacity of each component on cooling water temperature.

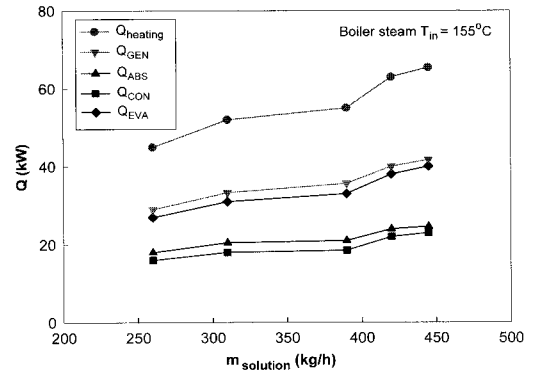


Fig. 9 Heat capacity of each component on solution mass flow rate.

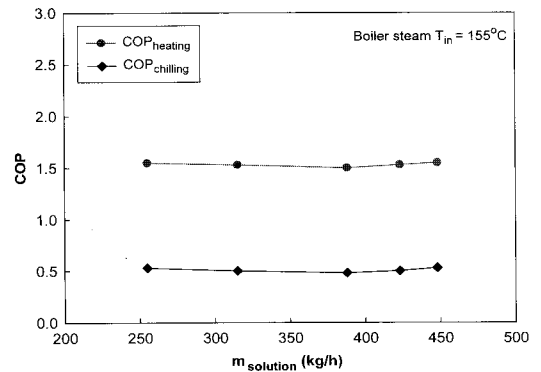


Fig. 10 Comparison of COP on solution mass flow rate.

것이라 판단된다. 또한, 증발 열전달률의 상승은 농용액 질량유량 증가에 따라 냉동능력이 상승한다는 것을 의미한다.

Fig. 10은 농용액 질량유량 증가에 따른 COP_{chilling}와 COP_{heating}를 나타낸 그래프이다. 앞의 암모니아 냉매 질량유량 증가에서와 같이 냉방 COP는 약 0.5, 난방 COP는 약 1.5정도로 일정하게 나타났으며, 이는 냉매 질량유량 변화 때와 같은 원인이라 판단된다.

4. 결 론

7RT급 암모니아 흡수식 냉온수기의 여름철 냉방운전 성능특성에 관한 실험적 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

암모니아 질량유량 증가에 따라 각 열교환기 능력이 상승하였으며, 냉동 능력 및 난방 열전달률 또한 상승함을 알 수 있었다. 또한 암모니아 냉매 질량 유량이 증가함에도 불구하고 냉방 COP와 난방 COP는 각각 0.5, 1.5정도로 일정하게 나타났으며, 이는 증발 열전달률 및 난방 열전달률 증가 비율과 재생 열전달률 증가 비율이 거의 동일하기 때문이라 판단되었다.

농용액(strong solution) 질량유량이 증가함에 따라 재생되어 나오는 냉매/흡수제 혼합액의 질량유량이 증가한다. 그리고 응축기로 들어가는 암모니아 냉매의 질량 유량이 증가하여 각 열교환기들의 열량이 증가함으로써 냉동 능력이 상승함을 확인할 수 있었다.

앞으로 암모니아 흡수식 히트펌프의 실용화를 위해서는 각 열교환기의 설계자료 확보를 위한 요소기술 특성 평가에 관한 연구가 계속되어야 하리라 판단된다.

참고문헌

1. Hudson, D. W., 2002, Ammonia Absorption Refrigeration Plant, *The Official Journal of AIRAH*, August 2002, pp. 26-30.
2. Phillpis, B. A., 1990, Development of a High-Efficiency Gas-Fired Absorption Heat Pump for Residential and Small Commercial Application, Phase 1 Final Report, ORNL Report, ORNL/Sub/86-24610/1.
3. Bassols, J. et al., 1998, 1st Operation Result of a Gas-Fired 250kW absorption Heat Pump with Plate-Fin Heat Exchanger, New Orleans, Proceedings of the International Absorption Heat Pump Conference, ASME AES-Vol. 31, pp. 73-78.
4. Fuhimaki, S. et al., 1994, Analysis of Technical Tasks for Improving the Safety of Ammonia Absorption Heat Pumps, Proceedings of the International Absorption Heat Pump Conference, ASME AES-Vol. 31, pp. 279-286.
5. Park, C. W., Kang, Y. T., On the numerical analysis for the characteristics of ammonia absorption GAX cycle for simultaneous cooling, hot-water supply, Proceeding of the SAREK 2006 Summer Annual Conference, pp. 8-14.
6. Oh, M. K., Kim, H. J., Kim, S. S., Kang, Y. T., 2005, Simulation and Experimental Study on an Air-Cooled NH₃/H₂O Absorption Chiller, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 17, No. 11, pp. 1028-1034.
7. Jin, B. J., Yoon, J. I., et al., 2008, The Characteristics of Heating Performance on Small Sized Ammonia Absorption System, Proceeding of the SAREK 2008 Summer Annual Conference, pp. 120-123.

1. Hudson, D. W., 2002, Ammonia Absorption Re