

알칼리성 용해제의 조습특성에 관한 연구

홍영호

해전대학 의료재료과
(2009년 11월 19일 접수, 2010년 2월 5일 채택)

A Study on Humid Control Characteristics of Alkaline Desiccants

Young-Ho Hong

Department of Bio-Materials, Hyejeon College, Hongsung 350-702, Korea
(Received November 19, 2009; Accepted February 5, 2010)

다양한 형태의 염들이 수분 제거능력을 지니고 있다. 이러한 수분의 제거 능력은 흡습기체의 온도와 공급된 유량에 따라 결정된다. 본 연구에서는 용해성 건조제를 사용하는 제습공정에 유입되는 공기의 유량과 온도, 그리고 용해성 건조제의 양이 제습특성에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다. 사용된 용해성 건조제는 수용성 공정에서 나트륨(Na) 또는 칼륨(K)이 주성분이 되도록 합성하고 제습특성에 대하여 검토하였다. 연구 결과 다음과 같은 몇 가지 결론을 얻을 수 있었다. 용해성 건조제의 주성분에 관계없이 열적 특성은 유사한 결과를 보여주고 있다. 습도가 70~93%이고 공기의 유량이 0.22~0.69 m³/s인 조건에서 Na가 주성분인 용해성 건조제가 제습공정에 효율적이었다. 또한 이슬점은 공기의 유입량에 따라 증가하였으며, 제습공정에서 상대습도의 변화는 용해성 건조제의 양에 비례하는 결과를 보였다.

Many salts have the ability to attract and remove water vapor from the surrounding environment. The ability of each salt to remove water vapor is based on the flow rate and temperature of air in surrounding. The objective of this study was to investigate the humid control characteristics in air-water system by using a desiccants. The aim is to assess the influence of three parameters on the humid control process which are air volume rate, air temperature and desiccant amount. Humidity control materials which consist of K (potassium) or Na (sodium) have been synthesized by the aqueous process. The humidity control properties of materials have been also investigated. Experiment results are as following. Thermal characteristics of desiccants showed similar properties regardless of processing condition. The experiments were examined by using artificial air-water system (humidity : 70~93%, air volume rate : 0.22~0.69 m³/s). The results showed that the Na-type desiccant was an effective material. It was found that dew point increased with air volume rate, and the humidity change in humid control process was depended on desiccants amount.

Keywords: desiccant, dew point, humidity

1. 서 론

조습은 냉매의 상태변화에 따른 온도를 이용하여 냉방 및 제습이 이루어지는 것으로 조습공정에서 압축기의 회전에 의해 에너지의 소비가 이루어진다. 기존의 제습시스템은 냉방효과에 따른 제습을 목적으로 실제 제습이 이루어져야 하는 곳 뿐만 아니라, 그 밖의 공간도 불가피하게 냉방을 해야 되기 때문에 비효율적인 시스템으로 구성되었다. 건물에서의 제습공정에 가장 큰 영향을 주는 것은 습도와 내부의 공기, 그리고 온도이므로[1,2] 적절한 공조시스템을 활용한 제습이 필요하다.

최근 각종 산업 분야에 있어서 초건조공기의 중요성은 더욱 광범위하게 인식되어 왔다. 이러한 초 건조 공기를 얻기 위해서는 경제성, 안전성에서 비가열재생(Heatless Pressure Swing) 방식의 건조기가 가장 적합하다고 할 수 있다[3].

비가열방식으로 널리 사용되고 있는 흡착식 제습장치는 습한 공기의 온도나 압력을 변화시키지 않고, 공기 중의 수분을 고체 흡습제에 흡착시켜 제거하는 방법으로 흡습제 자체에는 화학적 변화를 주지 않는 장점이 있다. 흡착식 건조공정에서 가장 중요한 부분은 건조에 활용되는 용해제(Desiccant)라고 할 수 있다. 이러한 용해제는 기체중의 수분제거에 매우 유용하게 사용된다[4].

제습에 관련된 연구로는 학문적인 연구보다 실무적인 연구가 많이 진행되어 국내외적으로 제습성능을 향상시키기 위한 제습소재의 개발 및 제습성능에 미치는 유량제어의 특성에 관한 연구들이 진행되었다. 그 예를 살펴보면 조해성 흡착제를 사용하여 제습성능을 향상시키고 재결정을 최소화 하는 기술에 관한 연구[5]가 진행되었으며, 제올라이트를 이용한 제습시스템용 제습제의 개발에 관한 연구가 진행되었고, 흡착제를 이용하여 제습시키는 제습공정과 흡착제를 재생하기 위한 재생공정에 관한 연구가 수행되었다[6]. 더불어 이러한 결과를 조습공정에 활용하기 위한 연구가 진행되고 있다[7].

알칼리토금속의 금속염화물은 조해성을 갖는데 이 중에서 Ca, Mg 등이 함유된 염화물은 특히 조해성이 크다고 할 수 있다. 이러한 물질이 함유된 혼합물의 조해성을 활용하여 수분제거제로 널리 사용할 수 있다. 이를 위하여 용해제의 효과를 극대화하기 위하여 물질 구성성분에 대한 분석을 통하여 조성비에 따른 효율성의 판단이 우선적이라고 할 수 있다.

그러나 알칼리성 용해제는 제습공정에서 수분과 반응하여 수분을 흡수한 용해제가 용용되어 액상으로 배출되므로 용해제의 부하량을 일정하게 유지하기가 어려울 뿐만 아니라 제습공정에서 용해제의 양이 변화하여 용해제의 용용특성에 따른 제습 효율에 관한 연구가 미진하다고 할 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 알칼리성 용해제와 수분간의 용용성에 대한 분석이 필요하므로 용해제와 수분 사이에서 발생하는 용용특성과 용해제의 조습특성에 관한 연구를 진행하고자 하였다.

이를 위하여 조해성을 지니며 수분흡착력이 우수한 알칼리성물질 중 Na와 K를 주성분으로 하는 용해제를 합성하여 용해제의 자체 용용특성을 분석하고, 조습공정에서 공급되는 공기의 유량 및 온도, 그리고 조습 공정에 사용되는 용해제의 양이 조습 특성에 미치는 영향을 분석하기 위한 연구를 진행하였다.

2. 실험

알칼리성 용해제의 조습특성에 관한 연구를 진행하기 위하여 대표적인 알칼리성 물질인 Na와 K가 주성분인 용해제를 합성하여 각 알칼리성 용해제의 조성 및 기초물성에 관한 실험을 실시하였다.

기초물성 측정결과를 바탕으로 선정된 용해제를 이용하여 제습과정에서 유입되는 공기의 유량변화, 제습제로 사용되는 용해제의 질량변화, 그리고 유입되는 공기의 온도변화에 따라 상대습도 및 이슬점의 변화를 측정하여 알칼리성 용해제의 조습특성에 관한 연구를 진행하기 위하여 다음과 같은 방법으로 연구를 진행하였다.

2.1. 용해제의 합성

알칼리성 용해제를 합성하기 위하여 K가 주성분인 용해제는 KCl : NaCl : LiCl : CaCl₂의 비율이 질량비로 5.5 : 2 : 1.5 : 1의 비율이 되도록, Na가 주성분인 용해제는 NaCl : KCl의 질량비를 9 : 1의 비율이 되도록 수용액에 용해시켜 교반속도가 유지되는 회분식반응기에서 상온에서 6 h 동안 반응시킨 후 85 °C에서 24 h 동안 건조기에서 1차 건조시키고, 115 °C에서 6 h 동안 2차 건조시켜 시료를 제조하였다. 이때 제조된 시료중의 양이온 조성비를 ICP (Agilent 7500CS)를 사용하여 분석하여 Table 1에 나타내었다.

2.2. 용해제의 조습실험

제습효과에 미치는 외부적인 영향으로는 유입공기의 유량 및 압력, 유입공기중의 상대습도, 그리고 제습에 사용되는 용해제의 양 등이 영향을 미칠 수 있다. 이중에서도 가장 큰 영향을 미치는 것은 유입공기 중의 상대습도라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 상대습도의 변화에 따른 제습효과의 검토에 목적을 두고 제습공기의 유입유량, 제습공기의 온도변화, 그리고 용해제의 양이 제습효율에 미치는 영향에 대한 분석을 실시하였다. 이를 위하여 먼저 항온 항습 장치에서 용해제와 수분과의 흡착에 따른 용해제의 자체 용용특성을 분석하였다.

용해제의 조습효율의 평가를 위하여 Figure 1에서 보는 바와 같이 직경이 10 cm이고 길이가 100 cm인 아크릴을 이용하여 자체 제작한

Table 1. Composition of Desiccants

	Li	Na	K	Ca	Sr	Mg	etc
A-Type (wt%)	13.3	19.8	53.7	10.3	2.8	—	0.1
B-Type (wt%)	—	89.8	9.9	0.08	0.05	0.01	0.16

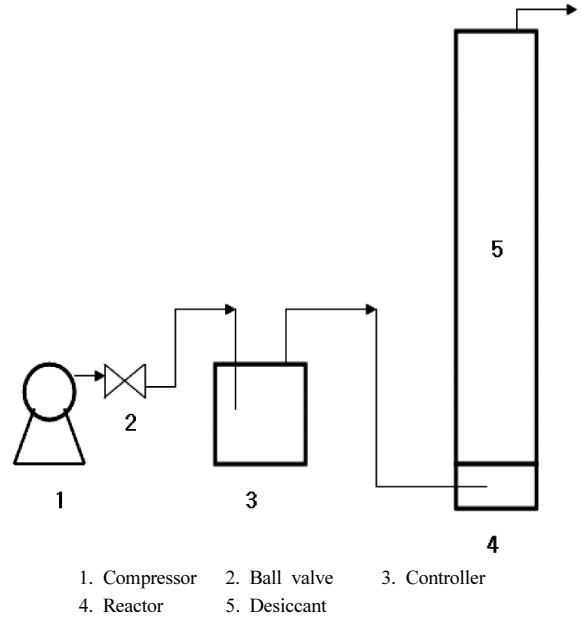


Figure 1. Experimental apparatus.

반응기를 이용하여 용해제의 조습특성에 관한 실험을 실시하였다.

공기압축기에서 공급된 공기를 온도 및 습도조절장치를 통과시켜 공기 중의 함유율을 조절하여 용해제가 충전되어 있는 반응기로 도입시켜 반응기에서 도입 전 공기의 습도와 용해제층을 통과하여 배출되는 공기 중의 습도를 측정하였다. 습도조절장치를 통과해서 나오는 공기의 습도와 용해제를 통과해서 대기로 배출되는 공기 중의 습도를 습도계(EMPEX, EX-501)를 이용하여 측정하여 용해제에 의한 조습효과를 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 용해제의 용용 특성

알칼리성 용해제의 조습특성에 관한 연구를 위하여 칼륨이 주성분인 A-type의 용해제와 나트륨이 주성분인 B-type의 용해제를 합성하여 각 용해제가 제습공정에서 수분의 흡수에 따른 용해성에 관한 분석을 실시하였다.

온도변화에 따른 용해제의 용용특성 분석을 위하여 각 용해제 별로 20~50 °C까지의 온도조건에서 1 h 동안 대기 중의 수분을 흡수시켜 제습온도의 변화에 따라 대기 중의 수분을 흡수하여 용해제가 용해하는 정도를 비교하기 위하여 용해 후 용해제만의 자체 질량의 변화를 측정하여 그 결과를 Figure 2에 나타내었다. 그림에서 살펴보면 온도가 20 °C부터 50 °C의 범위에서 각 온도 범위에서 일정시간이 경과한 다음 온도에 대한 용용특성을 분석하였다. B-type의 용해제의 경우에는 온도변화에 관계없이 거의 일정한 중량을 유지하나, A-type 용해제의 경우에는 온도변화에 영향을 받아 온도가 증가할수록 용해제의 자체 중량이 감소하는 결과를 보이고 있다. 이러한 결과로부터 용해제

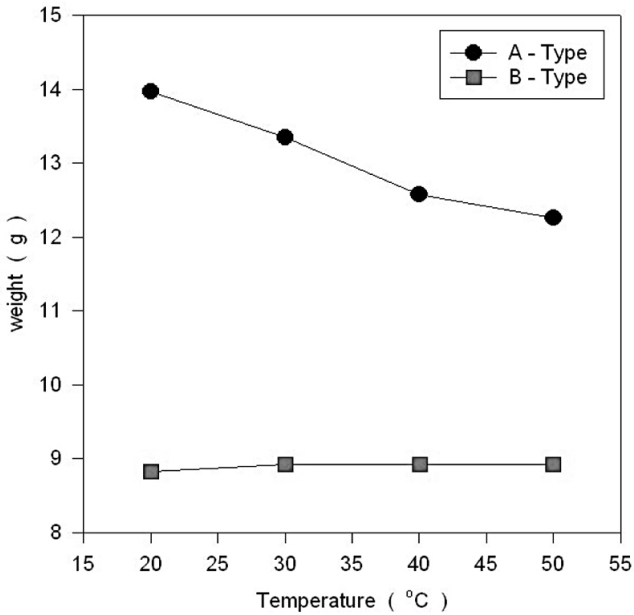


Figure 2. Solubility characteristics of desiccants with temperature.

B는 외부의 온도에 용융성이 큰 영향을 받지 않으나 용해제 A의 경우에는 조습공정에서의 온도에 따라 용융성이 급격히 증가하는 현상을 보이고 있다는 것을 확인하였다. 이러한 형태의 용해제는 제습공정에서 온도변화에 따라 용해제의 사용시간이 급속히 감소하는 결과를 보여준다고 할 수 있다.

양이온과 음이온간의 이온결합으로 된 물질의 경우 물질을 구성하는 양이온과 음이온간의 크기 차이가 큰 경우 물 분자를 흡수하여 결정 내 빈 공간을 채우려고 하는데, 이때에도 조해성을 나타내게 된다. Li의 경우 이온크기가 0.9 Å, Na의 이온크기는 1.16 Å, 그리고 K의 이온크기는 1.52 Å이므로 A-type의 용해제에 음이온과 이온차이가 큰 이온인 Li의 존재에 의하여 수분에 의한 흡수특성이 우수하여 동일한 조건에서 용융에 의한 질량의 변화가 크게 나타난다고 할 수 있다.

조습과정에서 습도의 변화가 용해제의 용융성에 미치는 영향에 대한 분석을 위하여 온도가 일정하게 유지되는 조건에서 습도 변화에 따른 용해제의 중량변화를 측정하여 그 결과를 Figure 3에 나타내었다. 일정량의 용해제를 향한 항습장치에서 습도를 일정하게 유지시킨 후 시간변화에 따라 용융되어 생성되는 수분을 제거한 용해제만의 무게변화를 측정하여 용해제의 용융특성을 분석하였다.

그 결과 용해제와 수분간의 흡착시간의 증가에 따라 A-type의 용해제는 용융성에 의해 시간이 증가함에 따라 초기 용해제의 약 30~40% 정도가 수분과 반응하여 용융되는 것을 확인할 수 있었다. 반대로 B-type의 용해제는 시간에 관계없이 2~5% 정도만 용융되어 상대적으로 A-type 용해제에 비하여 용융성이 큰 변화를 보이지 않는다고 할 수 있다. 용해제를 제습공정에 활용하였을 경우에 제습공정의 진행에 따라 용해제가 수분을 흡수하여 부분적인 용융이 발생하며, 용융속도가 큰 것은 용해제로 적합하지 않다고 할 수 있다. 용해제를 사용할 때 용해제의 용융성이 제습장치에 공급되는 공기 중에 수분의 제거 및 효율에 미치는 영향이 매우 크다고 할 수 있다.

동일한 조건에서 K가 주성분인 용해제가 Na가 주성분인 용해제에 비하여 상대적인 용해성이 6배 이상 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과 실제 조습공정에서는 Na가 주성분인 용해제가 유용할 것으로 사료된다.

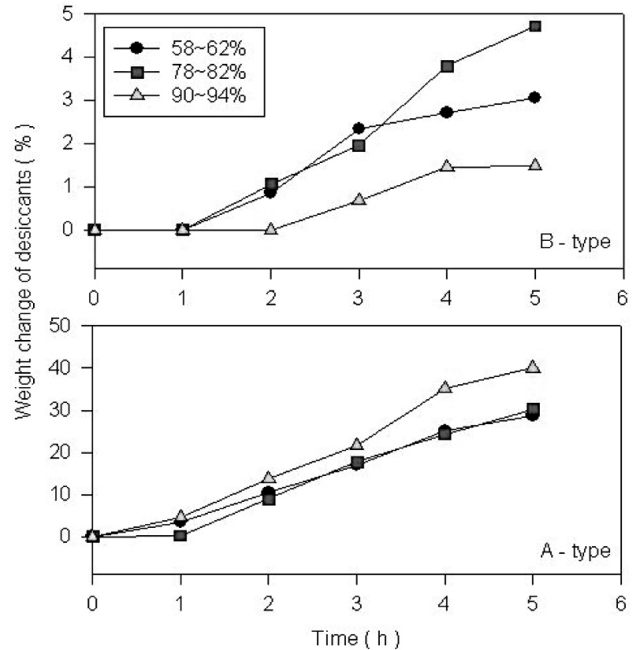


Figure 3. Solubility characteristics of desiccants with relative humidity.

3.2. 용해제의 조습특성

앞선 실험 결과로부터 열 및 수분에 대하여 상대적으로 용해성이 안정적인 Na가 주성분인 B-type의 용해제를 사용하여 용해제의 조습 특성에 관한 실험을 실시하였다.

용해제를 사용하여 공기 중의 수분을 제거할 때 제습장치로 공급되는 공기의 도입유량이 제습특성에 미치는 영향을 분석하였다.

용해제의 양은 6.75 kg으로 일정하게 유지시키고 상대습도가 75% 값을 가진 공기를 0.22 m³/s, 0.38 m³/s, 그리고 0.69 m³/s의 유량으로 주입하여 제습에 사용되는 시간의 변화가 공기 중의 상대습도의 변화 및 이슬점의 변화에 미치는 영향을 측정하여 그 결과를 Figure 4에 나타내었다.

Figure 4에서 살펴보면 공급된 공기의 유량이 0.22 m³/s의 경우에는 도입되는 공기 중의 상대습도가 시간이 경과할수록 감소하는 결과를 보이고 있다. 이러한 현상은 공급된 공기의 유량이 0.38 m³/s 및 0.69 m³/s인 경우에도 유사한 현상을 보이고 있다. 동일한 조건에서 공급된 공기의 유량이 제습공정에서 이슬점(dew point)의 변화에 미치는 영향에 대하여 분석한 결과 이슬점은 초기에 급격하게 감소하고 시간의 변화에 관계없이 거의 일정하게 유지되거나 약간 상승하는 결과를 보여주고 있다. 이러한 사실로부터 알칼리성 용해제를 사용하여 제습하는 공정에서는 제습 초기에 제습효율이 가장 좋으며 제습 시간이 경과 할수록 상대적인 제습 효율은 감소한다고 할 수 있다. 이러한 결과는 초기 상대습도에 관계없이 일정한 경향을 보이고 있다.

수분이 함유된 공기가 용해제와 접하는 초기순간 수분의 제거에 의한 이슬점이 급격히 감소하나 이후 용해제표면의 수분과 공기 중의 수분간의 평형관계에 의해 이슬점의 변화가 일정하게 유지되는 것이라고 사료된다. 또한 공기의 공급유량이 증가할수록 이슬점도 증가하는 경향을 보여주고 있다. 이는 공기의 공급유량에 따라 용해제와 수분간의 체류시간이 변화하기 때문에 나타나는 현상이라고 할 수 있다.

제습공정에서 사용되는 용해제의 질량변화가 제습특성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 상대습도가 73%인 공기를 유량 0.69 m³/s로

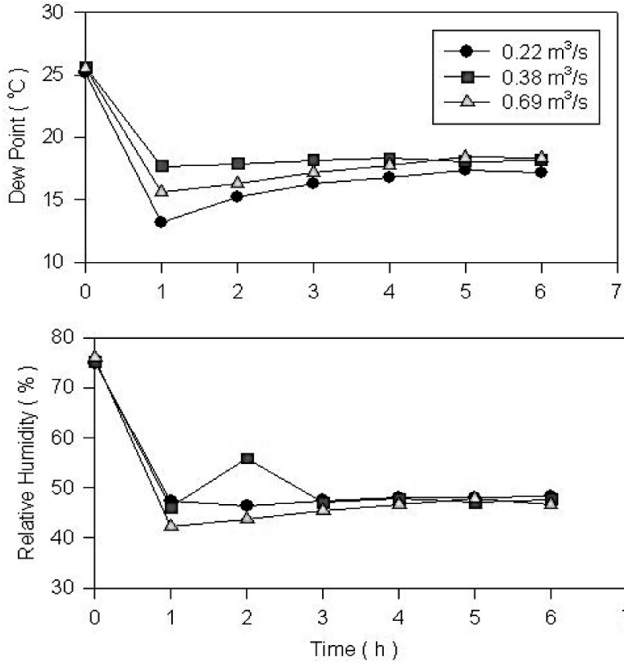


Figure 4. Relative humidity and dew point as a function of the air flow rate.

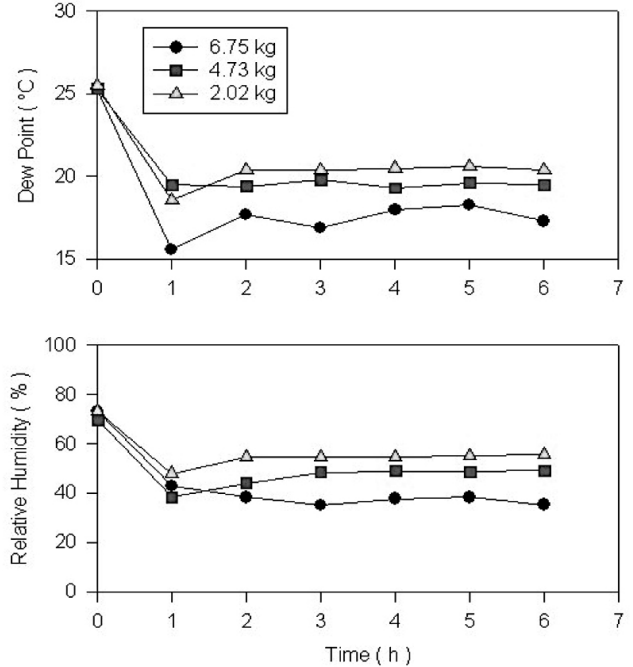


Figure 5. Relative humidity and dew point as a function of the desiccants amounts.

일정하게 유지하면서 용해제의 양을 변화시켜 제습 후의 상대습도의 변화를 측정하여 그 결과를 Figure 5에 나타내었다.

Figure 5에서 살펴보면 제습을 위하여 사용한 용해제의 양이 6.75 kg일 경우 도입되는 공기 중의 상대습도는 73%이며 유출되는 공기 중의 상대습도는 35% 정도로 유입된 공기에 비하여 38% 정도의 상대습도가 감소하는 결과를 보이고 있다. 이러한 현상은 용해제의 양이 변화하여도 유사한 결과를 나타내어 용해제의 양이 4.73 kg일 경우 유출되는 공기 중의 상대습도는 48% 정도로 유입된 공기에 비하여 25% 정도의 상대습도가 감소하는 결과를 보이고 있다. 용해제의 양이 2.02 kg일 경우 유출되는 공기 중의 상대습도는 54% 정도로 유입된 공기에 비하여 19% 정도의 상대습도가 감소하는 결과를 보이고 있다. 이러한 결과로부터 공기 중의 상대습도의 감소율은 제습공정에 관여하는 용해제의 양에 비례하는 결과를 보인다고 할 수 있다.

상대습도는 용해제의 양이 6.75 kg인 경우에는 제습시간에 관계없이 시간에 비례하여 감소하는 결과를 보여주고 있으나, 용해제의 양이 4.73 kg과 2.02 kg의 경우에는 초기 1h이 경과한 이후에는 상대습도가 다시 증가하는 경향을 보이고 있다. 이러한 결과로부터 본 실험 조건에서 일정량 이상의 용해제를 사용하면 제습공정 동안 지속적으로 상대습도를 감소시킬 수 있다는 사실을 확인하였다.

이슬점의 경우에는 초기 1h까지는 감소하다가 그 이후에는 일정하게 유지되거나 약간 증가하는 경향을 보여주고 있다. 또한 이슬점 감소율은 용해제의 양에 비례하여 감소하는 결과를 보이고 있다.

제습공정에서 도입되는 공기의 온도변화가 상대습도 및 이슬점에 미치는 영향에 대한 실험을 실시하여 그 결과를 Figure 6에 나타내었다. 그림에서 살펴보면 도입되는 공기의 온도가 12 °C부터 50 °C까지의 범위에서 용해제의 양은 6.75 kg으로 일정하게 유지시키고 토출공기압은 30~48 psi인 조건에서 온도가 12 °C인 경우에는 초기상대습도가 67%이었으나 시간이 경과함에 따라 상대습도가 감소하여 32%로 감소하여 상대습도의 감소율이 52% 정도에 이르는 결과를 보여주

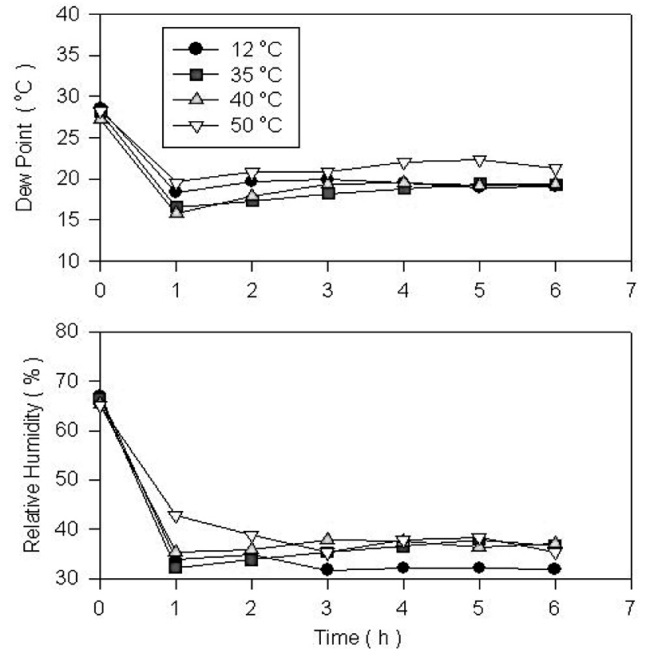


Figure 6. Relative humidity and dew point as a function of the air temperature.

고 있다. 도입공기의 온도가 증가하여 35 °C 조건에서는 초기상대습도가 67%에서 37%로 상대습도 감소효과를 나타내고 있다. 이러한 현상은 다른 온도조건에서도 유사한 결과를 보여 본 실험 조건에서는 약 48% 정도의 상대습도의 변화를 가져온다고 할 수 있다. 공급되는 공기의 온도가 35 °C부터 50 °C까지의 온도범위에서는 제습초기에 상대습도가 가장 낮은 결과를 나타내고 있다. 이슬점의 경우에는 도입되는 공기의 온도변화에 관계없이 제습초기에 이슬점이 가장 작은값

을 보이며 제습시간이 증가할수록 이슬점은 서서히 증가하는 경향을 보여주고 있다. 이슬점 감소율은 도입공기의 온도가 35 °C와 40 °C에서 가장 큰 변화를 나타내었다.

4. 결 론

알칼리성 용해제의 조습특성에 관한 연구를 위하여 K가 주성분인 용해제와 Na가 주성분인 용해제를 합성하여 각 용해제가 제습공정에서 수분의 흡수에 따른 용융특성에 관한 분석을 실시하였다. 합성된 용해제에 대한 기초물성분석 및 제습공정에서 온도가 12~50 °C이고, 습도가 58~94%이며, 공기의 공급유량이 0.22~0.69 m³/s 인 조건에서 용해성 제습제에 의한 제습공정에서 습도변화 및 이슬점변화를 측정하여 용해제의 조습특성을 분석하여 다음과 같은 몇 가지 결론을 얻을 수 있었다.

1) 용해제의 구성성분의 조성비에 따라 온도에 대한 용해특성을 분석한 결과에 의하면 Na가 주성분인 용해제의 경우에는 온도 변화에 관계없이 거의 일정한 증량을 유지하나, K가 주성분인 용해제의 경우에는 온도변화에 영향을 받아 온도가 증가할수록 용해제의 상대적인 용해성이 Na보다 6배 정도 큰 결과를 나타낸다.

2) 제습공정에서 공급되는 공기의 도입유량이 제습특성에 미치는 영향을 분석한 결과 공급된 공기의 유량에 관계없이 시간이 경과할수록 초기값의 약 48% 정도로 상대습도가 감소하는 결과를 보이고 있다. 또한 이슬점은 초기에 급격하게 감소하고 시간의 변화에 관계없이 거의 일정하게 유지되거나 약간 상승하는 결과를 보여주고 있으며,

공기의 공급유량에 비례하여 이슬점도 증가하였다.

3) 제습공정에서 상대습도 감소율은 제습공정에 관여하는 용해제의 양에 비례하는 결과를 보이며, 이슬점 감소율은 용해제의 양에 비례하였다.

4) 제습공정에서 도입되는 공기의 온도가 35 °C부터 50 °C까지의 온도 범위에서는 제습초기에 상대습도가 가장 낮은 결과를 나타내고 있다. 이슬점의 경우에는 도입되는 공기의 온도변화에 관계없이 제습초기에 이슬점이 가장 작은 값을 보였다.

감 사

본 논문은 2008년도 해전대학 교내연구비 지원과제로 수행되었음.

참 고 문 헌

1. J. Lstiburek, *BETEC Workshop Proceedings, Research Report-9302*, 1-15, November (1993).
2. R. H. Feinzing, *National Conference on Building Commissioning*, 1-12, May (2007).
3. D. H. White, *Separation Science and Technology*, **43**, 2298 (2008).
4. L. G. Acor and D. Mirdadian, *Society Petroleum Engineers Paper*, No. 82138, March (2003).
5. U. S. Patent 0083832 (2002).
6. Japan Patent 144835 (2003).
7. S. A. Mumma, *ASHRAE Journal*, **28**, May (2001).