

< 학술논문 >

DOI <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-B.2016.40.5.289>

ISSN 1226-4881(Print)
2288-5324(Online)

리튬이온전지 양극제조 공정에서 사용된 NMP를 회수하기 위한 하이브리드형 NMP 회수시스템 개발에 관한 연구

황순호* · 남승백* · 김동권*** · 김양준* · 강성은*
* (주)신성이엔지, ** 성균관대학교

Study on the Development of Hybrid NMP Recovery System for Recovering the Used NMP in Lithium Ion Battery Cathode Manufacturing Process

Soon Ho Hwang*, Seung Beak Nam*, Dong-Kwon Kim***, Yang Jun Kim* and Sung Eun Kang*

* Shinsung-eng, ** School of Mechanical Engineering, Sung Kyun Kwan Univ.

(Received November 25, 2015 ; Revised February 11, 2016 ; Accepted February 14, 2016)

Key Words: NMP(엔엠피), Volatile Organic Compounds(휘발성유기화합물), Cooling Condensation(냉각응축), Concentration(농축), Recovery(회수), Lithium Ion Battery(리튬이온전지)

초록: 리튬이온전지 양극활물질 제조공정의 용제로 사용되는 NMP(N-Methyl-2-Pyrrolidinone)는 전량수입에 의존하고 있으며 BASF와 ISP의 독과점에 따라 높은 가격을 유지하고 있다. 이로 인해 대부분의 리튬이온전지 제조업체들은 건조과정에서 배기되는 공기 중에서 NMP를 회수한 후 재사용하는 방식을 이용하고 있다. 국내에서는 주로 NMP의 친수성을 이용해 흡수탑에서 회수하는 흡수법을 사용한다. 이 방식으로 회수된 NMP의 순도는 80% 수준이며, 처리된 가스의 수분 함유량이 높아 100% 배기할 수밖에 없는 문제점이 있다. 본 연구에서는 냉각응축법과 농축법을 복합 구성하여 NMP 회수율이 99.6%, 회수된 NMP 순도가 96.1%인 하이브리드형 NMP 회수시스템을 개발하였다.

Abstract: The availability of NMP, a solvent used in the manufacturing process of cathode material for lithium ion battery, depends on importation, and the price remains high because of the monopoly of BASF and ISP. For these reasons, most Lithium ion battery manufacturers reuse NMP after recovering it from the exhaust air in the drying process. In Korea, absorption method is mainly used for recovering NMP from the absorption tower using the hydrophilicity of NMP. However, this system has a few disadvantages, such as low purity (80%) of the recovered NMP and 100% emission due to high water content of the treated gas. In this study, we develop a hybrid NMP recovery system by combining cooling condensation method with concentration method, by which it is possible to obtain an NMP recovery rate of 99.6%, and a high purity (96.1%) of the recovered NMP.

- 기호설명 -

$Con. Sys_{inlet}$: 시스템 입구농도(ppm)
 $Con. Ad_{inlet}$: 로터의 흡착입구농도(ppm)
 $Con. Ad_{outlet}$: 로터의 흡착출구농도(ppm)
 $Con. Co_{outlet}$: 농축출구농도(ppm)

η_{Rec} : NMP 회수율(%)
 η_{Ad} : 흡착효율(%)
 x : 농축비

1. 서론

화석연료의 감소, 환경문제 대두에 따른 전기차, 태양광, 풍력 발전 등 친환경적 에너지 사용

† Corresponding Author, hwangsh@shinsung.co.kr
© 2016 The Korean Society of Mechanical Engineers

이 주요 관심사로 발전함에 따라 생산한 에너지를 저장할 수 있는 ESS 산업이 각광받고 있다.

이러한 기술의 핵심요소인 리튬이온 이차전지 시장이 확대되고 있으며, 이에 따라 양극제조에 사용되는 NMP(N-Methyl-2-pyrrolidone)의 사용량이 증가하는 있는 추세이다.

NMP는 일반적으로 휘발성유기화합물(VOCs : Volatile Organic Compounds)의 한 종류로서 서브국 등⁽¹⁾이 정리한 휘발성유기화합물 처리기술로 처리가 가능하다. 국내 NMP 용제 시장은 BASF와 ISP 등의 외국계 업체가 과점하고 있으며, NMP 용제는 일반적인 용제와 비교하여 가격이 비싼 용제이다.⁽²⁾ 이로 인해 일반적인 VOCs 처리 방법인 연소 방식 대신 냉각응축법이나 흡수법 등으로 회수하여 재사용하기 위한 노력이 이루어지고 있다.

타케야마 토모키요 등,⁽³⁾ 서정 등⁽⁴⁾은 현재 국내의 리튬전지 제조사에서 NMP를 회수하기 위해 사용하는 방식인 흡수식 방식에 대한 특허를 출원하였다. 이 방식은 NMP의 친수성을 이용하여 흡수탑에서 NMP 함유가스를 물과 접촉시켜 공기 중의 NMP를 회수한다. 이러한 흡수식 방식은 물을 사용하므로 회수된 NMP의 순도가 80% 수준에 불과하다. 또한, 처리된 공기의 수분함유량이 높아 재사용이 불가능하기 때문에 일반적으로 100% 대기로 배출하는 방법을 사용하고 있다. 이로 인해 배출공기를 관리하기 위한 별도의 설비가 필요하게 된다.

공기의 온도에 따른 NMP의 포화농도를 이용하는 냉각응축법은 시스템에 냉각 코일을 설치하여 처리 공기의 온도를 조정하는 방식으로 NMP를 회수할 수 있다. 사재환 등⁽⁵⁾은 냉각응축방식을 이용하여 주유소 저장시설에서 배출하는 벤젠, 톨루엔 등의 다양한 VOCs를 제거하는 연구를 수행하였다. -10℃와 -30℃에서 VOCs를 제거하였으며, 각각 92.8%, 98.7%의 평균제거효율을 보이는 것을 확인 하였다.

냉각응축법을 사용할 경우 회수량을 결정할 수 있으며, 95% 이상의 고순도로 NMP 회수가 가능한 시스템의 구성이 가능하다. 또한, 처리후 공기의 수분함량의 증가가 없어 건조로에 재순환이 가능한 친환경적인 시스템 구성이 가능하다.

하지만 냉각응축법으로만 저농도의 VOCs를 회수할 경우 효율을 높이기 위해서 많은 냉각에너

지가 소모되며, 상황에 따라 결빙 등의 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 0℃ 이상의 조건에서 응축회수된 VOCs를 흡착시켜 농도를 저감하고, 농축된 VOCs를 재응축 할 수 있는 흡착농축장치의 추가 구성이 필요하게 된다.

김홍수 등,⁽⁶⁾ Koji Inoue,⁽⁷⁾ Feng-Tang Chang 등⁽⁸⁾은 본 장치에 적용된 제올라이트를 이용한 로터식 흡착농축장치를 이용하여 다양한 산업에서의 VOCs 제거에 대한 연구를 하였다. 특히 김홍수 등은 적은 운전비로 배기가스 농도를 90% 이상 감소시킬 수 있다는 결과를 보였다. 이를 근거로 냉각응축법에 로터식 흡착농축장치 적용하여 시스템에서 최종 처리된 공기의 농도를 획기적으로 저감시킬 수 있는 시스템을 구성하였다.

본 연구에서는 냉각응축법을 사용해 NMP를 고순도로 회수하고, 처리공기를 흡착농축장치로 2차 처리하는 하이브리드형 NMP 회수시스템을 제작하여 성능을 평가하였다.

2. 본 론

2.1 하이브리드형 NMP 회수시스템 설계

하이브리드형 NMP 회수시스템의 Flow diagram을 Fig. 1에 나타내었다. 하이브리드 NMP 회수시스템은 열회수부, NMP 응축회수부, 농축부의 3개 구간으로 나눌 수 있다. 열회수부는 리튬이온 전지 제조라인의 건조기에서 배출되는 고온의 공기와 하이브리드형 NMP 회수시스템에서 NMP회수를 마친 저온의 공기를 교차 열교환하여 고온의 공기는 냉각하여 냉수코일의 냉각부하를 감소시키고, 저온의 공기는 가열하여 건조기로 보내져 건조기의 히터 열부하를 감소시켜 에너지를 절감하기 위한 부분이다.

NMP 회수부는 1번 순환코일, 냉각수 코일, 냉수 코일, 2번 순환코일의 4개의 코일로 이루어져 있으며, NMP가 액상으로 응축 회수되는 부분은 냉수 코일에서 이루어진다. 그 외의 코일들은 냉수코일의 냉각에너지 부하를 저감시키는 역할을 한다. 일차적으로 1번 순환코일과 2번 순환코일은 직접 연결되어 있으며, 순환펌프를 이용하여 열매체를 강제 순환하여 1번 순환코일에서는 열을 흡수하고 2번 순환코일에서는 열을 방출하여 시스템의 에너지 효율을 높이는 역할을 한다. 냉

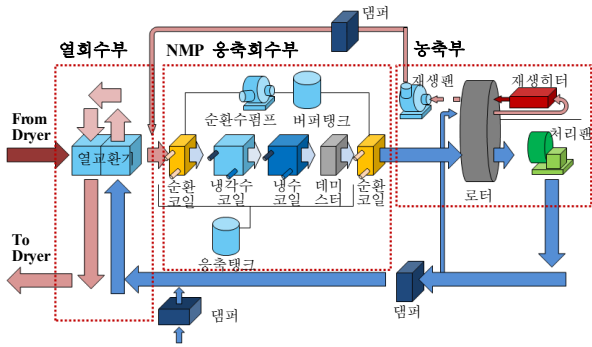


Fig. 1 Flow diagram for the hybrid NMP recovery system

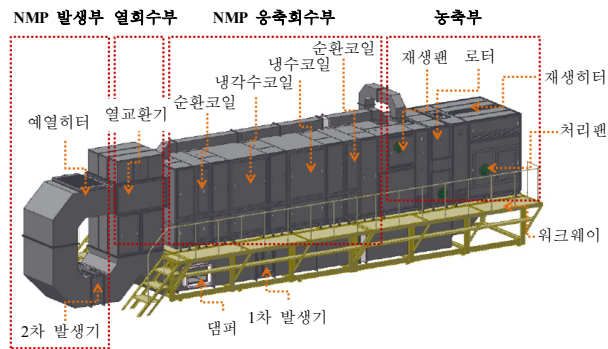


Fig. 2 3D Modeling of 9,000 NCMH hybrid NMP recovery system for the evaluation

각수 코일은 산업 현장의 냉각수를 활용하여 냉수 코일의 냉각 부하를 감소시키는 역할을 진행한다. NMP가 응축회수되는 냉수코일은 시스템 설계 조건에 맞도록 공기의 온도를 최종적으로 제어하는 부분으로 냉수 코일 후단의 온도에 따라서 회수되는 NMP의 양과 순도 그리고 농축부의 농축배수가 결정된다.

농축부는 디스크 타입의 로터를 이용하여 냉수 코일 후단 공기에 함유된 NMP를 흡착 후 재생공기를 이용하여 탈착하는 공정으로 로터의 회전에 의해 연속적인 흡착과 탈착이 가능하여 안정적인 NMP 처리 효율을 유지할 수 있다. 또한 탈착되어진 고농도의 NMP를 함유한 탈착공기는 1번 순환코일 전단으로 보내 냉수 코일에서 NMP를 재회수하여 NMP의 회수율을 높일 수 있다.

본 연구에 사용한 9,000 NCMH 급 하이브리드형 NMP 회수시스템의 3D 모델링 형상을 Fig. 2에 나타내었다. 이 중 예열히터와 발생기는 리튬이온 이차전지 건조조를 구현하기 위한 장치이며, 실제 장비에는 적용되지 않는 부분이다.

Table 1 NMP Properties

Molecular Formula	<chem>C1CCNC1=O</chem>
Molecular Weight	99.1
Boiling Point	202°C
Melting Point	-24°C
Vapor Pressure	0.345mmHg (at 25°C)
Solubility to Water	10g/10ml (at 25°C)
Lower explosive limit	0.99% (V)
Upper explosive limit	3.9% (V)

2.1.1 흡착농축장치

NMP는 202°C의 비점과 0.345mmHg의 증기압을 갖는 용제이며, Table 1에 NMP의 물성치를 나타내었다.

NMP의 폭발 농도 범위는 9,900ppm~39,000ppm으로 시스템 운전시 안전을 고려하여 농축시스템 설계시 농축 농도는 폭발하한 값의 25% 이하로 설계하는 것이 권장되므로 농축 가능 농도는 2,475ppm 이하이다.

농축된 NMP를 탈착하기 위한 농축부의 온도는 농축부 후단에서 탈착된 NMP가 응축되지 않는 온도인 70°C를 기준으로 재생 온도를 설정하였다. 히터 부하와 로터의 성능을 고려하여 농축부의 온도는 140°C로 선정하여 운전하였다.

$$\frac{Con. Co_{outlet}}{\eta_{Ad} \times x + (1 - \eta_{Ad})} = Con. Ad_{inlet} \quad (1)$$

식 (1)은 NMP 농축 출구 농도를 계산하는 식을 보여주고 있다. 하이브리드형 NMP 회수시스템의 설계조건은 농축비 10배, 흡착효율은 95%로 설계하였으며, $Con. Ad_{inlet}$ 은 259ppm으로 계산된다. 따라서 냉각응축 코일은 온도를 조정하여 NMP 농도를 259ppm 이하로 맞추어야 한다.

2.1.2 냉각응축회수장치

NMP와 같은 휘발성유기화합물은 증기압에 따라 특정온도에서 포화농도가 결정되며, 이를 초과하면 표면장력이 증가하여 응축이 발생하게 된다. 각 온도별 포화농도는 Antoine equation을 이용해 예측할 수 있다.

식 (2)는 온도에 따른 증기압을 계산하는 Antoine equation이며, 식 (3)은 포화농도를 계산하

Table 2 Antoine equation parameter of NMP

A	B	C
7.54826	1979.68	222.2

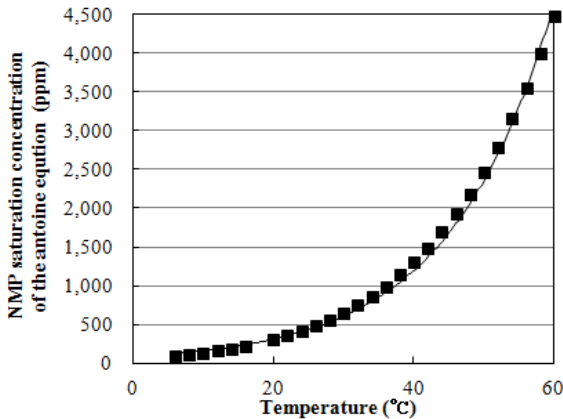


Fig. 3 NMP saturated concentration curve with temperature

기 위한 식을 나타낸다. 여기서 P 는 온도별 증기 압이며, A, B, C는 NMP에 대한 Antoine equation의 파라미터로 Table 2와 같다.

$$\text{Log}_{10}(P) = A - \frac{B}{(T+C)} \quad (2)$$

$$\text{포화농도}(ppm) = \frac{\text{증기압}(mmHg)}{760} \times 10^6 \quad (3)$$

앞에서 흡착농도 계산식으로 계산된 259ppm은 냉수코일 통과 후의 포화농도가 된다. Fig. 3의 Antoine equation을 이용한 온도별 NMP 포화농도 곡선을 통해 포화농도가 259ppm인 경우 냉수코일을 통과한 공기의 온도는 17.5°C 이하가 되는 것을 확인하였다.

이에 따라 응축이 발생하는 냉수코일 온도 범위를 안전율을 고려하여 10~17°C로 선정하였다.

2.1.3 자동제어 및 컨트롤박스

하이브리드형 NMP 회수시스템의 자동제어는 전용 MICOM(Micro Computer) 컨트롤러를 중심으로 컨트롤박스 내의 구성 파트를 제어하여 전체적인 시스템 연계 동작을 구현하였다. 이러한 하이브리드형 NMP 회수시스템의 자동제어 계통도를 Fig. 4에 나타내었다.

MICOM 제어기는 메인컨트롤러와 센서모듈로 구성되어지며 터치스크린과 PC와의 Real Time

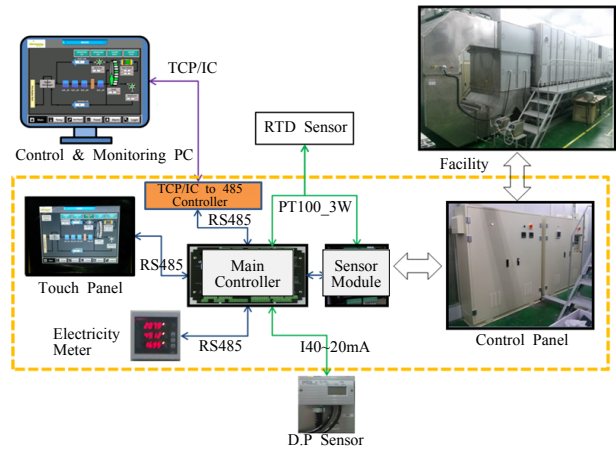


Fig. 4 Schematic diagram of automatic controller

Sink를 통하여 모니터링, 가동 파라미터 설정, 상태 로깅 기능을 수행한다.

전력량계는 RS485(Modbus) 통신을 이용하여 구동 전력량을 메인 컨트롤러로 전달하며 하이브리드형 NMP 회수시스템 내부에 설치되어 있는 온도 및 압력센서와 같은 아날로그(Analog) 값을 시스템 내부 시퀀스에 따라 컨트롤박스로 제어신호를 전달한다.

전용 MICOM 제어기는 센서모듈을 별도로 구성하여 RS485 통신으로 데이터를 수집한다. 이렇게 함으로써 장비 구동을 위한 센서와 장비 상태정보 수집을 위한 계측센서의 관리를 용이하게 하며 장비 내 센서 분포가 밀집한 구역에 설치하여 외부 노이즈 및 배선 구성을 최소화 할 수 있다.

컨트롤박스의 전장 설계 및 부품 선정은 ‘CE 인증’ 규격에 준한다. 장비의 옥외 설치를 고려하여, 인버터(Inverter), 전력조정기(SCR) 등 컨트롤박스 내부 발열로 인한 부품의 손상을 방지하기 위해 40°C 미만으로 관리 운전하도록 별도의 환기팬을 설치하였다.

2.2 하이브리드형 NMP 회수시스템 성능평가

2.2.1 성능평가 방법

NMP 회수시스템의 성능을 결정하는 가장 주요한 요소는 처리된 NMP 가스의 농도와 응축 회수된 NMP의 순도이다. 이에 본 실험에서는 열교환기 입구, 로터 입출구에서 공기를 샘플링하여 NMP 농도분석을 하였으며, 냉수코일에서 회수되는 NMP의 순도분석을 진행하였다.

Table 3 Virgin NMP information

Product name	N-Methyl-2-pyrrolidinone
CAS NO.	872-50-4
Maker	SAMCHUN chemical
Purity	≥ 99.5%

Table 4 Sampling Condition

Sorbent tube	Tanax TA
Sampler name	SIBATA MP-Σ30
Sampling flow rate	50 ml/min
Sampling time	4 min
Total sample amount	200 ml

Table 5 Equipment informations of GC-MS and TD

GC-MS	Model	6890GC/5973N
	Maker	Agilent
TD	Model	Turbo matrix
	Maker	Perkin Elmer

NMP 성능평가를 위해 사용한 순수 NMP의 물성은 Table 3과 같다. 건조로의 농도를 구현하기 위해 순수 NMP를 1, 2차 발생기에서 증발시켰다.

Table 4는 NMP 회수율 및 로터의 흡착효율 평가를 위한 샘플링 조건이며 Table 5는 NMP 농도 분석에 사용된 GC-MS와 TD 장비의 정보이다.

전처리 장비로 사용된 TD(Thermal Desorption)는 NMP를 흡착한 흡착관을 고온으로 가열하여 흡착된 NMP를 탈착시켜 GC-MS로 보내주는 역할을 하며 캐리어 가스로 헬륨(He)을 사용하였다. 또한, 분석 장비인 GC-MS를 통해 기상 NMP의 정량적인 농도를 분석하였다.

NMP의 순도분석은 시료에 함유되어 있는 수분량을 측정하는 Karl Fischer 법을 이용하였다.

Karl Fischer 법의 원리는 요오드화물 이온을 함유한 수분측정용 시약을 전해하여 요오드를 발생시킨 다음 요오드가 정량적으로 물과 반응하는 것을 이용하여 전해에 필요한 전기량으로부터 수분을 측정하는 방식이다. Table 6에 순도분석에 사용된 Karl Fischer 수분분석기 조건을 나타냈다.

2.2.2 NMP 농도 평가 결과

NMP 농도 분석 전 샘플링에 대한 농도 계산을

Table 6 Karl Fischer moisture analyzer conditions

Model	MKC-850
Maker	KEM
Measurement method	Colometric titration
Measuring range	10ug~100mg H ₂ O
Display resolution	0.1ug H ₂ O
Injection amount	0.08~0.15g

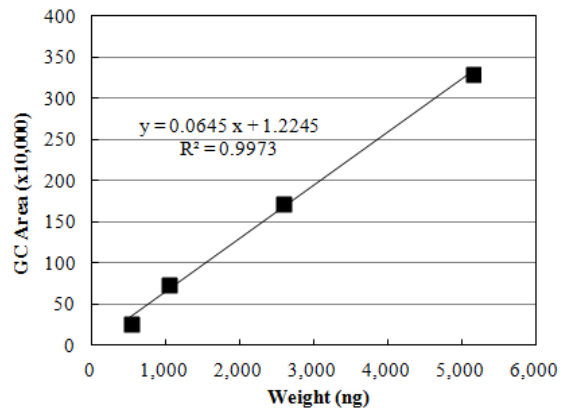


Fig. 5 Calibration curve of NMP for low concentration

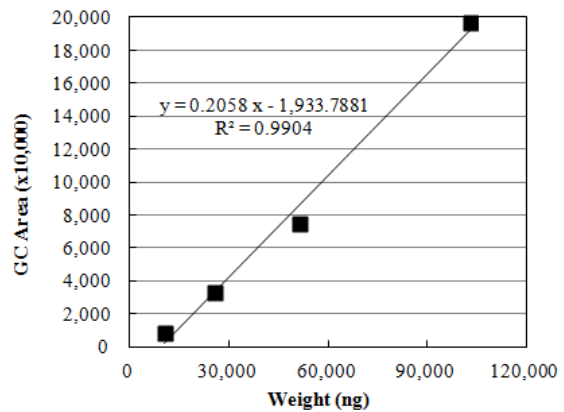


Fig. 6 Calibration curve of NMP for high concentration

위해 8개의 표준 시료를 사용하여 검량선을 계산하였다. 주입된 NMP의 농도는 512~102,800ng 범위에서 제조하였으며, 제조된 표준시료는 GC-MS로 분석하고 피크의 면적을 계산해 검량선을 작성하였다.

분석데이터의 신뢰성 향상을 위해 저농도와 고농도 검량선을 구분하여 계산하였다. Fig. 5와 Fig. 6에 각각 GC-MS로 계산한 NMP의 검량선을 나타내었다.

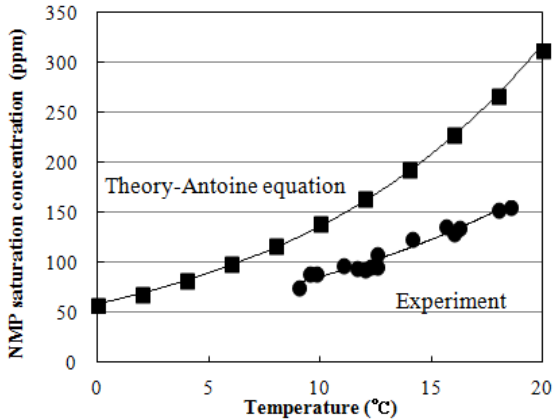


Fig. 7 Saturation concentration of NMP by ambient temperature

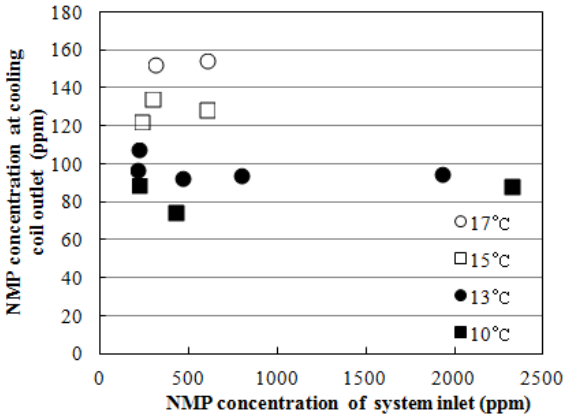


Fig. 8 Concentration variation of processed NMP with cooling coil outlet and system inlet

Fig. 7은 온도에 따른 NMP 포화농도의 이론값과 실험값 비교 그래프이다. 온도가 증가함에 따라 NMP의 포화농도가 증가하는 유사한 형태를 보이고 있으나, 전체적으로 실험값의 농도가 이론값에 비해 낮게 측정된 것을 볼 수 있다. 이러한 이유는 측정된 공기의 온도가 실제 냉수코일 표면의 온도보다 높게 측정되었기 때문으로 예상된다.

Fig. 8은 시스템입구 농도에 따른 냉수코일 통과 후의 농도 변화 그래프이다. 시스템 입구농도는 약 200ppm부터 1,900ppm까지 변화시켰으며 냉수코일 온도는 10°C에서 17°C까지 변화시켰다.

평가결과 냉수코일 통과 후의 농도는 시스템 입구의 농도와 상관없이 냉수코일 후단 온도에 영향을 받는 것으로 나타났다. 따라서 냉수코일 온도를 조정하여 NMP 농도를 결정하는 것이 타당한 것으로 확인되었다.

Table 7 Analysis results of system recovery rate and adsorption efficiency

Concentration (ppm)			Recovery rate of NMP	Adsorption Efficiency
<i>Sys_{inlet}</i>	<i>Ad_{inlet}</i>	<i>Ad_{outlet}</i>		
1,928	95.3	2.3	99.9 %	97.6 %
600	128.8	2.3	99.6 %	98.2 %
607	154.5	3.8	99.4 %	97.5 %
712	97.1	3.0	99.6 %	96.9 %

Table 8 Result of moisture analysis

Original purity(%)	Recovery purity (%)
99.9	95.2
	95.8
	96.5
	96.1
	97.1
	95.3
	95.7
	96.2
	96.8
	97.0

$$\eta_{Rec}(\%) = \left(1 - \frac{Con. Ad_{outlet}}{Con. Sys_{inlet}}\right) \times 100 \quad (4)$$

$$\eta_{Ad}(\%) = \left(1 - \frac{Con. Ad_{outlet}}{Con. Ad_{inlet}}\right) \times 100 \quad (5)$$

Table 7에 시스템입구, 로터흡착입구, 로터흡착 출구 농도와 이에 따른 NMP 회수율 및 흡착효율을 나타내었다. 각각의 효율계산식은 식 (4)와 식 (5)에 나타내었다.

측정 결과 NMP 회수율은 평균 99.6%, 흡착효율은 평균 97.6%의 결과를 보였다. 로터흡착 출구농도는 2.85ppm으로 확인되었다.

2.2.3 NMP 회수 순도 평가결과

NMP 회수 실험을 10회 진행하여 각각의 실험에서 회수된 회수액의 Karl Fischer 수분분석기를 이용한 NMP 순도 분석결과를 Table 8에 나타내었다. 평가 결과 10회 실험에서 회수된 NMP의 순도는 평균 96.1%를 나타내었다.

Karl Fischer 수분분석기는 회수액에 포함된 수분에 대한 평가만을 진행하므로 다른 유기물의 존재를 확인하기 어렵다. 회수된 NMP의 유기물 포함 여부를 확인하기 위해 Fig. 9와 같이 응축

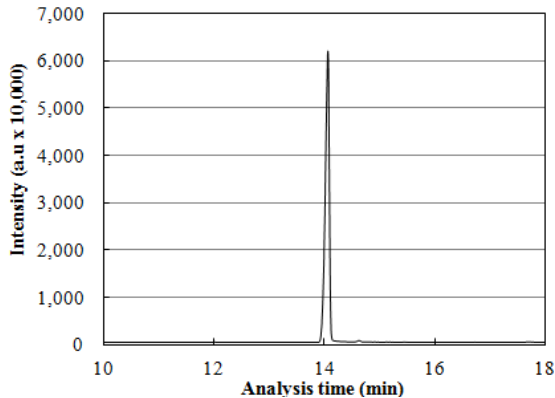


Fig. 9 Result of GC-MS analysis for recovered NMP



(a) Virgin NMP (b) Recovered NMP

Fig. 10 Comparison between Virgin NMP and recovered NMP

회수된 NMP를 GC-MS 분석하였으며 분석결과 다른 유기물이 존재하지 않는 것을 확인 하였다.

흡수식 회수시스템의 NMP 회수순도인 80%와 비교하여 하이브리드형 NMP 회수시스템의 회수순도가 약 16.1% 우수한 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 10은 원액과 회수된 NMP 용액을 나타낸 것으로 회수액의 형태가 원액과 같이 불순물이 없는 투명한 상태를 확인 하였다.

김대진 등⁽⁹⁾은 페 포토레지스트 스트리퍼(photoresist stripper)에서 회수된 NMP 용액을 증류장치에서 가열 후 응축하는 방식으로 약 99.5% 이상의 순도로 회수시켰다. 하이브리드형 NMP 회수시스템의 경우 흡수식 회수시스템 보다 회수순도가 높기 때문에 별도의 정제장치를 이용하여 정제시 정제 비용이 절감될 것으로 판단된다.

3. 결론

종래의 NMP 회수방식인 흡수식 대신 냉각응축

법과 농축법을 적용한 하이브리드형 NMP 회수시스템을 개발하였으며 농도 및 순도분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 하이브리드형 NMP 회수시스템의 NMP 회수율은 평균 99.6%, 흡착효율은 평균 97.6%의 결과를 보였다. 로터흡착 출구농도는 평균 2.85ppm으로 확인되었다.

(2) 하이브리드형 NMP 회수시스템의 회수순도는 평균 96.1%로 확인되었으며 흡수식 회수시스템의 회수순도인 80% 대비 약 16.1% 높은 순도를 나타내었다.

(3) 회수된 NMP의 GC-MS 결과 기타 유기물이 존재하지 않았으므로 별도의 정제장치에서 수분을 제거한 후 고순도의 NMP로 정제하여 사용할 것으로 판단된다. 또한, 회수순도가 흡수식 회수시스템보다 높기 때문에 운전비 또한 절감될 것으로 판단된다.

(4) 냉수코일 통과 후 NMP 농도는 냉수코일 후단온도에 따른 포화증기압에 의해 결정되는 것을 확인하여 Antoine equation을 이용한 시스템 설계가 타당함을 확인하였다.

후 기

이 논문은 2013년도 광역경제권 선도산업 육성사업의 ‘공정 배출가스 중 고순도 NMP 회수시스템 개발’로 쓰인 논문임.

참고문헌 (References)

- (1) Sea, B., Na, Y. S. and Song, S.-K., 2003, "Technologies for Volatile Organic Compounds (VOCs) Treatment," *J. of the Environmental Sciences*, Vol. 12, No. 7, pp. 825~833.
- (2) Korea Chemical Market Research Inc., 2008, "Market Analysis of Electrical Solvents."
- (3) Takeyama, T., ODA, A., Kawase, Y. and Kawase, T., 2012, "Gas-Liquid Contact Device, Distillation Device, and Heat Exchange Device," 10-2014-7016780.
- (4) Seo, J., Choi, H. C. and Jeong, W. S., 2009, "Device and Method for Recovering NMP from Exhaust Gas," 10-2010-0113438.
- (5) Sa, J. H., Jeon, E. -C., Kim, S. J. and Han, J. H., 2013, "Removal of VOCs from Gasoline Reservoir

- at Gas Station using Cooled Condensing Unit," *J. Korea Society of Environmental Administration*, Vol. 19, No. 1, pp. 299~302.
- (6) Kim, H. S., Yoo, Y. J., Ahn, Y. S., Chue, K. T., Shul, Y. G. and Han, M. H., 2001, "Design and Operation of VOC Concentrator for VOC Abatement," *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, pp. 299~302.
- (7) Imoue, K., 2012, "A New Air Technology Using a Honeycomb Structure with an Added Adsorption Property," *Adsorption News*, Vol. 26, No. 3, pp. 10~15.
- (8) Chang, F. T., Lin, Y. C., Bai, H. and Pei, B. S., 2003, "Adsorption and Desorption Characteristics of Semiconductor Volatile Organic Compounds on the Thermal Swing Honeycomb Zeolite Concentrator," *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, Vol. 53, pp. 1384~1390.
- (9) Kim, D. J., Oh, H. S., Kim, J. K., Park, M. J., Lee, M. and Koo, K. K., 2007, "Reclamation of High Purity Organic Solvents from Waste Photoresist Stripper," *Clean Technology*, Vol. 13, No. 4, pp. 257~265.