

전기자동차용 리튬이온 전지의 제조공정을 위해 개선된 극판 건조 기술

장찬희, 이재천*
아주대학교 시스템공학과

Improved Drying Process for Electrodes in Production of Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles

Chan-Hee Jang, Jae-Chon Lee*
Dept. of Systems Engineering, Ajou University

요 약 전기자동차는 내연기관 자동차와는 달리 배출가스가 없어 친환경 차량을 대표하지만, 장착된 축전지에 충전된 전기로 구동되기 때문에, 1회 충전으로 갈 수 있는 거리가 전지의 에너지 밀도에 의해 좌우된다. 따라서 높은 에너지 밀도를 갖는 리튬이온 배터리가 전기구동자동차용 전지로 많이 사용하고 있다. 리튬이온 배터리의 효율을 지배하는 중요한 구성품은 전극이므로 전극 제조공정은 리튬이온 배터리 전체생산 공정에서 중요한 역할을 한다. 특히 전극의 제조 공정 중 건조공정은 성능에 큰 영향을 미치는 매우 중요한 공정이다. 본 논문에서는 전극제조에서 건조공법의 효율성 및 생산성 증대를 위한 혁신적인 공정을 제안하고, 장비 설계 방법 및 개발 결과에 대하여 기술하였다. 구체적으로, 극판 결합력 향상 기술, 대기압 과열증기 건조 기술, 그리고 건조로 폭 슬림화 기술들에 대한 설계 절차 및 개발방법을 제시하였다. 결과로 세계최초의 개방형/일체형 대기압 과열증기 Turbo Dryer 양산기술 확보를 통해 전기차 전지용 극판 고속건조기술을 확보 하였다. 기존의 건조공정과 비교할 때 건조로 길이 생산성을 향상시켰다 (건조 Lead Time 0.7分 → 0.5分 기준).

Abstract An electric vehicle is an environmentally friendly vehicle because there is no exhaust gas, unlike gasoline automobiles. On the other hand, because the electric vehicle is driven by electric power charged in batteries, the distance to go through a single charge depends on the energy density of the batteries. Therefore, a lithium-ion battery with a high energy density is a good candidate for batteries in electric vehicles. Because the electrode is an essential component that governs the efficiency of a lithium-ion battery, the electrode manufacturing process plays a vital role in the entire production process of lithium-ion batteries. In particular, the drying process during the electrode manufacturing process is a critical process that has a significant influence on the performance. This paper proposes an innovative process for improving the efficiency and productivity of the drying process in electrode manufacturing and describe the equipment design method and development results. In particular, the design procedure and development method for enhancing the electrode adhesion power, atmospheric pressure superheated steam drying technology, and drying furnace slimming technologies are presented. As a result, high-speed drying technology was developed for battery electrodes through the world's first turbo dryer technology for mass production using open/integrated atmospheric pressure superheated steam. Compared to the conventional drying process, the drying furnace improved the productivity (Dry Lead Time 0.7 min → 0.5 min).

Keywords : Coating, Electric Vehicles, Electrode, lithium-ion battery, Manufacturing Process, Slitting, Vacuum Drying

*Corresponding Author : Jae-Chon Lee (Ajou Univ.)

Tel: +82-10-8276-7196 email: jaelee@ajou.ac.kr

Received March 19, 2018

Accepted June 1, 2018

Revised (1st April 16, 2018, 2nd April 27, 2018)

Published June 30, 2018

1. 서론

내연 기관 자동차의 도입 초기는 내연기관 차체의 성능이 나쁘고, 엔진 시동도 초보자에게는 어려운 시절이므로 전기 자동차가 성능 편리 면에서 우위라는 점에서 널리 사용되었다. 그러나 내연기관 자동차가 개량됨에 따라 전기 자동차의 우위가 점점 떨어져 이용이 차차 하향 추세에 있었다. 1970년대에 재등장한 이유는 원자력 발전이 운전 개시되고 전력의 부하 평준화 대책의 하나로로서 전력 회사가 전기 자동차에 착안하여 개발하기 시작한 것과, 모터제이션에 의한 대기오염, 소음 문제로서 그 해결 수단의 하나로 각광을 받았기 때문이다. 더욱이 1990년대에 들자 대기 오염, 소음 이라고 하는 도시의 환경 문제 뿐만이 아니라 지구 온난화, 에너지 문제의 대책으로 발전되어 왔다[1].

전기 자동차는 친환경 차량을 대표하며, 가솔린 자동차와는 달리 전기로 구동하기 때문에 전지의 에너지 밀도가 일 충전으로 갈 수 있는 거리를 좌우하게 된다. 전지의 에너지 밀도 이외에도 순간 가속력을 나타내는 출력과 충방전시 안전성 문제 또한 고려되어야 한다. 전기 자동차용 전지로 납축전지, 리튬이온전지, 니켈수소전지 등이 거론되었고, 그중 가장 유력한 후보는 높은 에너지 밀도를 갖는 리튬이온전지이다[2].

리튬이온전지는 높은 에너지 밀도, 고출력, 우수한 저온 특성 및 높은 이론 전압 등의 장점을 가지고 있기 때문에 전기자동차의 가장 유력한 동력원 중 하나이다. 리튬이온전지의 높은 에너지 밀도는 높은 이론 전압에서 기인된 것이다. 니켈수소전지의 경우 전지의 전압이 1.1V인 것에 반해 리튬이온 배터리의 경우 3.7V로 3배 이상의 큰 값을 가진다. 이것은 리튬이온전지의 음극전위가 매우 낮아 기전력이 커지기 때문이다[3].

리튬이온 배터리의 구조는 양전극, 음전극, 분리막 및 전해질 그리고 보호회로 등으로 구성되어 있다. 전지 전극 제조공정에서 건조공정은 2차전지의 성능에 큰 영향을 미치는 매우 중요한 공정이다. 현재 양산중인 리튬이온 극판공정 건조로는 열풍을 사용하고 있으며 이에 따라 급/배기 장치의 크기가 건조로 크기의 단면적의 65% 정도를 차지하고 있다. Slurry(Coating액)내의 용매는 전지 제품으로써는 사용되지 않는 물질로써 단지, 액상상태를 유지하기 위한 매개체일 뿐이며 제품 내 잔여 용매가 있을 경우 도리어 제품특성을 악화시키는 물질이

다. 따라서 Coating System에서는 이 용매를 완전히 건조하여 극판에서 제거하기 위한 Dry 장치가 필수적이다.

기존 리튬이온 배터리 건조 공법에서 건조로 폭 슬림화, 대기압 과열증기 건조, 극판 결합력 향상 기술을 통해 효율적이고 경제적인 리튬이온 배터리 건조 공법으로 개선시키고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에서는 본 연구의 사회, 기술 및 연구 동향과 필요성을 제시하였고, 본론에서는 자동차 리튬이온 배터리 건조 공법의 효율성 및 생산성 증대를 위한 핵심 개선 기술의 개선에 대해서 기술하였다. 건조로 폭 슬림화, 대기압 과열증기 건조, 극판 결합력 향상 기술에 대한 개발 절차 및 방법을 시스템공학기반으로 접근한 활동들을 명시한다. 이를 기반으로 실제 자동차 리튬이온 배터리 건조 공법을 양산에 적용시킨 사례를 기술하였다. 마지막으로 본 논문의 결과를 정리 및 요약하였다.

2. 문제의 정의

2.1 리튬이온 배터리 제조 시스템

리튬이온전지의 제조 공정은 크게 전극공정, 조립공정,化成공정의 3단계로 구분된다, 이를 Figs. 1,2에 도식화 하였다.

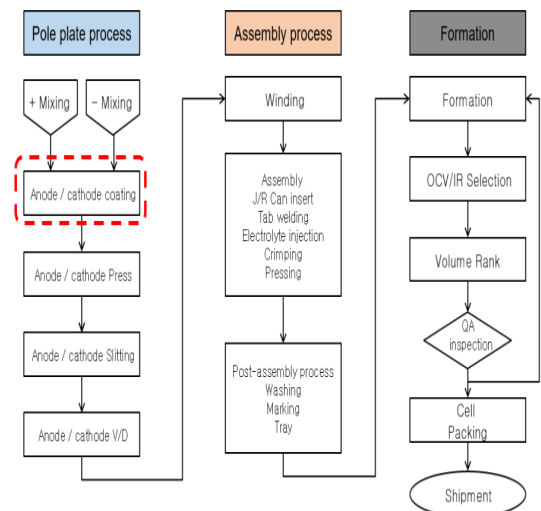


Fig. 1. Process process model

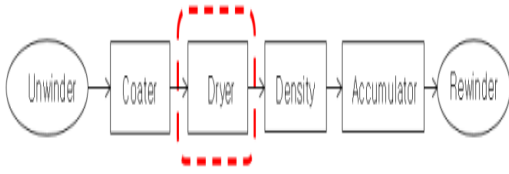


Fig. 2. Polar plate process anode / cathode coating manufacturing system

2.2 리튬이온 배터리 건조 공법

건조 System은 용매의 종류나 제품의 특성, 환경법적인 사항 등을 고려하여 아래와 같이 4개의 장치로 구성된다.

1) A .H .U(Air Handling Unit)

외기의 공기를 Roll형태의 Filter로 여과하고 열교환기를 통해 온도, 습도를 조절하여 건조로에 공급하는 장치이다. (★온도 : 23 ± 3 °C ★습도: 50% R H이하)

2) 건조로

도포 후에 Slurry중의 용매를 포함한 수분을 기화, 증발시켜 제거하는 장치이다. 긴 터널 모양의 건조로에 Slurry를 연속적으로 통과 시키는 방법이며, 열풍을 사용하고 있다.

3) S R(Solvent Recovery)

건조로에서 증발된 N M P는 대기환경을 오염시키는 물질로써 이를 정화하여 회수하는 장치가 용매처리장치이다. 용매처리방식에는 여러 가지가 있으나(CTO, R T O, 활성탄방식, Scrubber 방식 등) N M P의 수용성을 이용한 Scrubber 방식을 적용하고 있다. 원리는 N M P를 포함한 배기 Gas를 물($H_2 O$)로 씻어내는 방식으로써 Scrubber는 물과 N M P 배기가스와의 접촉면적을 최대화하는 구조로 되어 있다. 이렇게 수용화된 N M P(N-Methyl Pyrrolidone)는 계속 Recycle을 하여 일정 농도로 농축시켜 재사용이 가능하도록 한다.

4) 안전장치

가연성 가스가 발행되고 다루는 장치(수계 제외)이므로 안전장치가 되어 있어야 한다. Slurry 및 N M P증기의 접촉부는 내압 방 폭 구조로, Instrument는 본질안전 등급으로 설치해야 한다. 가스의 농도는 가스 농도 계를 부착하여 L .E. L(Low Explosion Limit)의 25Vol.% 이

하로 관리한다. L .E. L(폭발하한)은 폭발이 일어날 수 있는 가장 낮은 공기 중의 화학물질의 농도로 N M P는 0.9 %이다. 그러므로 %L.E. L은 $0.9 \times 25 / 100 = 0.23\%$ 이하로 관리되어야 한다.

건조공정은 금속 집전 체에 코팅된 Slurry를 건조하기 위하여 Slurry 내의 용매 및 수분을 제거하는 공정이다[4]. 대표적인 건조공정으로 아래와 같이 2가지 방식이 있다[5, 6]

1) Counter-Flow 방식

극판주행의 반대방향으로 열풍의 기류를 형성하여 건조하는 방식으로 급속한 표면건조가 일어나지 않도록 하는 방식으로 초기건조구간에 적용된다. 건조 시 표면부터 건조가 시작될 경우 표면에 일종의 격리 막 형성으로 격리 막 내층의 용제가 극판 외로 배출되지 않는 문제가 발생할 가능성이 높다.

2) Floating Nozzle 방식

기재주행에 직각 방향으로 열풍을 분사하여 상대적으로 급속건조를 목적으로 한다. 건조노즐과 비접촉식으로 극판주행이 가능하여 Floating Nozzle이라 부른다. 하지만 고속 건조 시 표면경화가 발생할 소지가 있고, 급속건조에 따른 Binder의 이상 분포가 발생하여 건조품질이 악화될 수 있다는 단점이 있다.

2.3 자동차 분야에서 체계적인 접근을 통한 리튬이온 배터리 건조 공법 개선의 필요성

국내 건조기술에 대한 프로세스 개선 및 보완사항 성숙도를 높여 기술 체계화 확립을 통한 개선의 필요성이 있다. 구체적으로는 건조 기술의 경우 Development 단계에서 철저하게 연구하고 검증되어야 Production 단계에서 효율적으로 이용할 수 있다. 따라서 시스템공학 표준을 이용한 계층적 접근에 의한 연구 개발이 필요한 것으로 보인다. 또한 투자비 절감 효과를 극대화 하고자 한다. 마지막으로 고속건조기술 확보로 생산성 증대를 통해 경쟁에서 우위를 가지고자 한다.

2.4 연구 목표 및 범위

본 논문의 연구 목표는 크게 3가지로 분류된다. 첫째, 건조로 폭 슬립화 기술을 통해 과열증기 최적화 순환형 건조로 생성 및 노즐 일체형 슬 립 히터모듈을 개발하는

것이다. 둘째, 대기압 과열증기 건조 기술로서 개선된 과열증기 기술과 개방형 건조로 과열증기 치환기술을 확보하는 것이다. 마지막으로 고속 기재 세정 기술과 대기압 과열증기 건조기술로 극판 결착력 향상 기술을 확보하는 것이 목표라고 할 수 있다. 이를 Fig. 3에 도식화하였다.



Fig. 3. The Goal of Study

3. 체계적인 접근을 통한 자동차 리튬이온 배터리 대기압 과열증기 건조 기술 개발

3.1 자동차 리튬이온 배터리 건조 공법의 개발 절차 및 방법

전극코팅 공정은 혼합 공정에서 제조된 슬러리를 코터 헤드를 통과시켜 정해진 패턴 및 일정한 두께로 금속 집전체 상에 코팅한 후 건조하는 공정이다[7]. 이 공정은 권출(Unwinding)공정, 세정공정, 코팅공정, 건조공정 권취공정(Rewinding)으로 구성되며, 전극 구조 특성상 전극전면 및 전극후면 코팅 2가지로 이루어진다. 상기 전극 코팅 공정은 양극 및 음극 모두 동일한 형태로 진행

되며, 양극 집전체로는 알루미늄 박막을, 그리고 음극 집전체로는 구리 박막을 사용한다[8].

권출 공정은 코팅작업을 진행하기 위해 일정한 장력으로 금속 집전체 또는 전면 코팅된 전극(전극후면 코팅일 경우)을 공급하는 공정이다. 세정 공정은 양극 및 음극 모두 동일한 형태로 진행되며 집전체 표면 유분제거하는 공정이다. 코팅공정은 혼합공정에서 제조된 슬러리를 통해 정해진 패턴 및 일정한 두께로 박막의 금속 집전체 위에 일정 두께로 도포하는 공정이다[9].

Die Head에 계량 Pump로 슬러리를 공급하고 Back Roll(Coating Roll)에 의해 지지되어 주행되는 기재 위에 Die Lip을 일정한 간격을 유지하면서 Timing Valve의 개, 폐로 가로 방향 Pattern형상으로 Coating하는 방법이다. 이렇게 Coating부와 Un coating부를 반복하여 Coating하는 것을 Pattern Coating 또는 간헐코팅이라고 호칭한다. 이때 균일하고 정확한 Pattern을 형성하는 것이 기술이며 핵심은 Slot Die의 형상설계, 슬러리 물성 제어 설비 운전조건 최적화 등이 있다. 고속 코팅의 핵심 포인트는 고속 Coating에 따른 품질수준 저하 방지 방법으로는 설비적으로 제어가 필요하고 고속 동작이 가능한 간헐코팅 밸브 개발로 고속동작 Mechanism개발되어야 한다. 또한 슬러리(Coating액)의 물성 관리적인 측면에서 제조기술 공법 연구가 병행 되어야 한다.

Turbo Dryer 건조 공정은 금속 집전 체에 코팅된 슬러리를 건조하기 위하여 슬러리 내의 용매 및 수분을 제거하는 공정이다. 권취(Rewinding)공정은 Coating 및 건조까지 완료된 극판을 감아주는 장치이다. 상기에서 기술한 자동차 리튬이온 배터리 건조 공정의 대략적인 도면을 Fig. 4에 나타내었다.

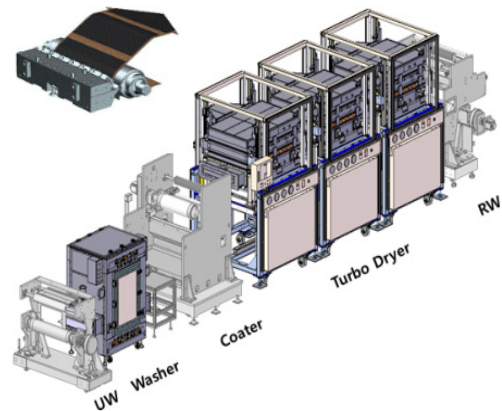


Fig. 4. Drying Process Order

3.2 극판 결합력 향상 기술 개발

극판 결합력 향상기술로서는 양극기재 표면 유분제거 (UV세정)+대기압 과열증기 건조공법을 진행하면 결합력이 향상된다. 대기압 과열증기 승온 및 건조의 특징은 20 ℃ 상온 슬러리에 150 ℃ 과열증기를 혼합하여 과열증기의 온도를 하강시켜 과열증기의 상변화 및 잠열을 방출시켜 슬러리를 급속 승온 시키고 슬러리 표면의 경화를 방지한다. UV 세정은 양극기재 표면에 여러 가지 불순물의 얇은 오염막이 붙어 있어 제품을 불량으로 만들기 때문에 제거해야 한다. UV세정은 유기물 종류에 따라 50~100Å/min의 속도로 유기물을 분해한다. Droplet 형상이 UV 세정 전, 후 작아짐 및 품질이 향상되는 것을 Fig. 5에서 확인할 수 있다.

3.3 대기압 과열증기 건조 기술 개발

과열증기는 공기대비 비열/열전도 높고, 밀도/점도가 낮다. 열풍에 비해 침투가 빠르고(점도↓) 열량(비열)이 높아 금속 집전체의 승온에 효과적 이어서 증발에 유리(밀도↓) 하다[10].

과열증기를 사용하게 되면 슬러리 내부에 효과적인 열전달로 온도상승 및 용매의 분자운동이 활발해지고 과열증기 분위기가 열풍대비 밀도가 낮으므로 용매가 슬러리 밖으로 빠져나올 수 있는 확률이 높다. Table. 1, Fig.

5, Fig. 6, Table. 2 에서 확인할 수 있다.



Fig. 5. The Anode Substrate UV Cleaning Results

Table 1. characteristics of Superheated Steam vs. Hot Air

Item	Density (kg/m ³)	Specific Heat (kJ/kg ℃)	Enthalpy (kJ/kg)	Heat Transfer Method	Heat Recovery (Exchange) Method	Explosion Proof Alternative	Disadvantage
Hot Air 150 ℃	0.8	1.018	632	Convection	Heat Exchange	Concentration Dilution	Much Commitment
Atmospheric Pressure Superheated Steam 150 ℃	0.52	1.98	2776	Phase Transformation & Convection & Radiation	Condensation Latent Heat Exchange	Removal of Oxygen	Temperature Maintenance
Feature Of Superheated Steam	Density ↓ Dry spread ↑	Specific Heat ↑ Thermal ↑	Enthalpy ↑ Thermal ↑	Due to the Rapid Phase Change Heat Transfer	Heat Recovery Efficiency of the Phase-change ↑	Flammable Material Can Dry	High-level Heat Insulation Structure Required

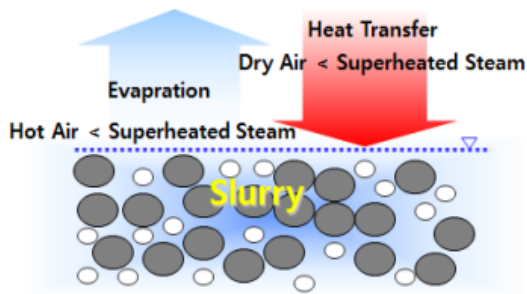


Fig. 6. Superheated Steam Principle

Table 2. Properties of Superheated Steam vs Hot Air, 150℃

Characteristic	Superheated Steam	Hot Air
Specific Heat[Cp, kJ/kg · K]	1.980	1.018
Viscosity[η , 10 ⁻⁶ kg/m · s]	14.18	24.07
Molecular Weight[g/mol]	18	28.95

Cp : The higher the heat transfer rate, the faster and more effective the heat transfer.

η : The lower the better the diffusion effect

The lower the molecular weight, the lower the gas density in the same volume

대기압 과열증기 건조기술의 특징은 하기 와 같다. 대기압 과열증기는(습기가 없는) 완전한 기체이며 이상기체의 특성을 갖는다. 기존 열풍 대비 최소량을 이용하여 최대의 열전달 및 건조 공정 수행이 가능 하다.

PHEV 24Ah 10m/min 건조기준 열풍과 대기압 과열증기 성능 비교 결과

- 열풍건조 소요 유량 : 대기압 과열증기 소요유량 = 120 m³/min : 1m³/min(유량계 확인: LM OG-I)
- 열풍건조 소요 전력량 : 대기압 과열증기 소요 전력량 = 150 k W : 100 kW(전력량계 확인 : OMWH-320A)

Fig. 7은 제안된 건조 공정에서 과열증기의 발생 및 건조로 내 순환 특성을 나타낸다. 히터로 가열된 증은 과열증기가 건조로 내부로 투입되고 공기와 과열증기의 밀도차이에 의하여 건조로 내에서 층 분리되며 下향 배기가 적용된다.

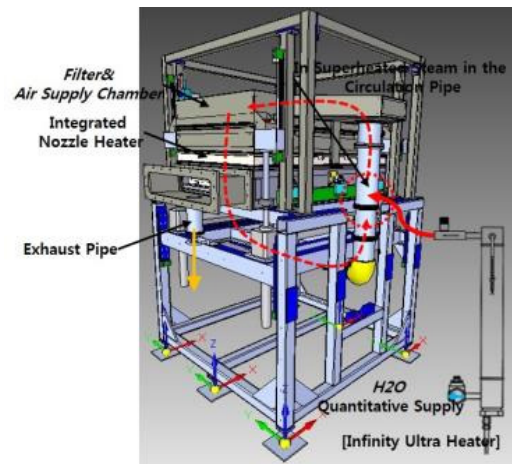


Fig. 7. In Turbo Dryer. Superheated Steam Substitution Method



Fig. 8. In Turbo Dryer Oxygen Concentration 0.1% ↓

Web Load-Load Automation은 Turbo Dryer內증발 용매 유 증기 자동배출 시스템으로 양극용매의 유증기와 대기압 과열증기의 밀도차이에 의한 건조 유증기 배출한다.(N M P) 유기밀도 >과열증기 밀도)Fig. 8에서 확인할 수 있다.

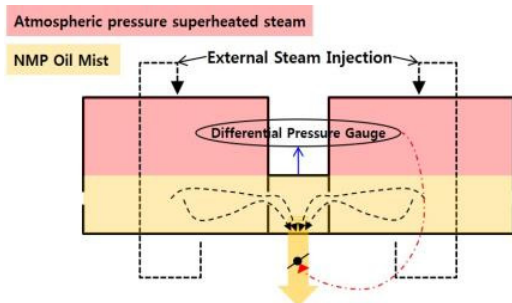


Fig. 9. Web L/L: Pressure Sensing(Differential Pressure Gauge) → Auto Exhaust(Auto Damper)

증발 용매 유 증기 배출 순서는 Turbo Dryer內 Full 재순환 後 외부증기 투입하고 유기 증발유증기가 발생하면 Turbo Dryer內 압력이 증가하면 압력변화 감지에 의한 자동배출이 된다. Fig. 9에서 확인할 수 있다.

Table 3. Constant Input.

General Gas Constant(J/mol • K)	8.31441
Air Molecular Weight(kg/ kmol)	28.97
NMP Molecular Weight(kg/ kmol)	99
Water Molecular Weight(kg/ kmol)	18

$$PV = n\bar{R}T \quad \text{이상기체방정식}$$

$$V = \frac{n\bar{R}T}{P} \quad \text{이상기체방정식}$$

$$n = \frac{m}{M} \quad \text{몰수}$$

Table 4. Anode 10m/min Gas Emissions in the Turbo Dryer & Displacement Theory

	N M P Gas volume	Superheated Steam Volume
Temperature	423.15k	
Pressure	0.10M Pa	
Gas Constant	8.31	
NMP Mass	0.48kg/min	0.50kg/min
NMP Mole	0.005	0.028
NMP Gas Volume	0.17m ³ /min	0.98m ³ /min

Table 4의 데이터 분석 결과 $0.17+0.98=1.15\text{m}^3/\text{min}$ [기존 열풍건조 배기유량 $120\text{m}^3/\text{min}$] 기존 열풍건조 대비 Turbo Dryer 기체 발생량이 적다는 것을 Table. 3, Table. 4 에서 확인할 수 있다.

배관에 Zirconia Probe로 직접 삽입하여 측정 하였다.(NOVATECH 1231/1232)

3.4 건조로 폭 슬림화 기술 개발

건조로 폭 슬림화의 기본 개념은 일체형 슬림 건조 모듈을 개발하는데 있다. 주요 핵심유닛의 위치최적화(헤파필터, 히터, 노즐) 및 기능통합(히터+노즐)을 구현하는 것이 핵심이다. Fig. 10에서 확인할 수 있다.

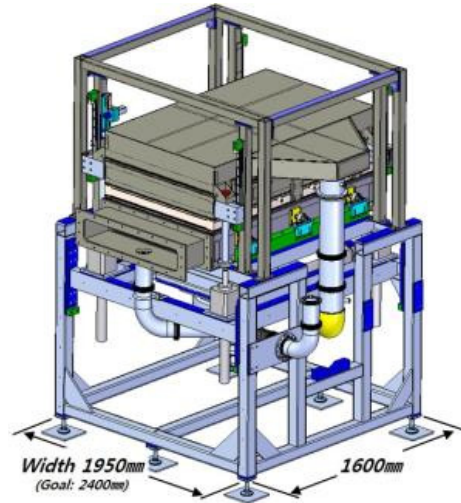


Fig. 10. Turbo Dryer 1' Chamber Assembly.

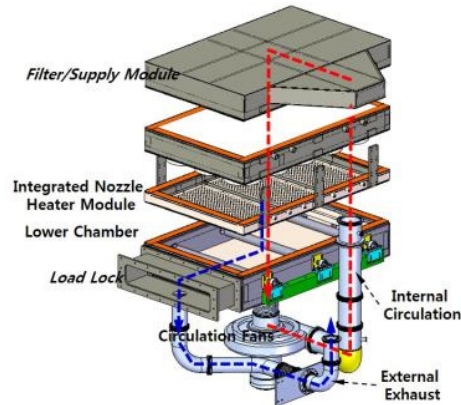


Fig. 11. The Main Configuration and Gas Flow

노즐일체형 과열증기발생 슬림히터 모듈을 생성하는 것은 중요하다. 히터와 노즐의 기능통합을 통한 슬림화의 핵심유닛으로 건조로內 온도유지 및 증기 재가열을 통한 과열증기 발생을 통해 설계된 것이 특징이다. Figs. 11~14에서 확인할 수 있다.

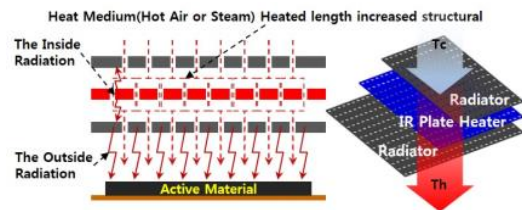


Fig. 12. Features Slim Drying Module.

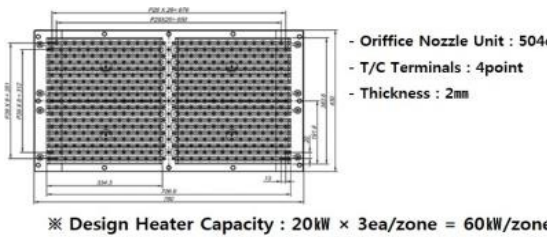
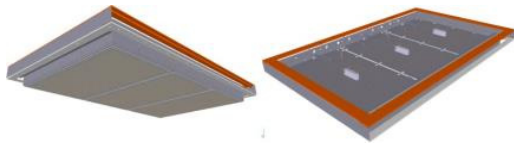


Fig. 13. Integrated Heater Nozzle Plate Design.



※ Wind uniformity 2.9% /Temperature Uniformity $\pm 2^{\circ}\text{C}$ Below $\rightarrow$ SPEC. IN, OK

Fig. 14. Integrated Slim Nozzle Heater Module Assembly

4. 개선된 자동차 리튬이온 배터리 건조 공법의 구축 및 결과

4.1 극판 결착력 결과

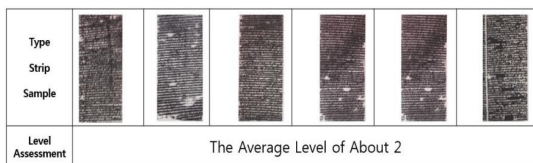


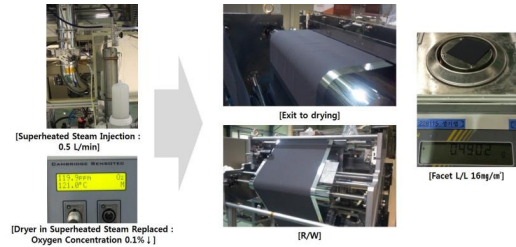
Fig. 15. Results Plate Stickiness



Fig. 16. Hot Air Drying Plates Stickiness Results
Stickiness 4, Turbo Dryer Level 2 Process Stickiness

코팅 煎 기재세정 有/無에 따른 극 판결착력 유의차 無: 결착력 수준이 높아 유의차가 발생하지 않은 것으로 판단된다. 결착력 테스트는 테이프 테스트로 진행 하였다. Figs. 15~16에서 확인할 수 있다.

4.2 대기압 과열증기 건조 결과



[Coating & Dryer Speed 10m/min@5m Dryer, wattage 100kW]

※ Superheated Steam Temperature&Flow Injection(150 $^{\circ}\text{C}$ -0.98m 3 /min), For Input Air Drying 1/120, For Minimum Power Consumption Hot Air 2/3 Below(Heat /Pipe Insulation Unapplied State)

Fig. 17. Atmospheric pressure superheated steam results

대기압 과열 증기는 열풍에 비해 침투가 빠르고(점도 ↓) 열량(비열)이 높아 금속 집전체의 승온에 효과적 이어서 증발에 유리 하고 유의차가 발생하지 않은 것으로 판단되고 밀도의 측정량이 일정하고 Fig. 17에서 확인할 수 있다.

4.3 건조로 폭 슬림화 결과

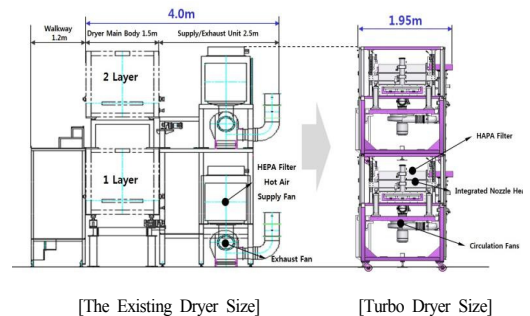


Fig. 18. Slim Width Results in Drying

폭 슬림화의 일체형 슬 림 건조 모듈을 개발하였으며, 주요 핵심유닛의 위치최적화(헤파필터, 히터, 노즐) 및 기능통합(히터+노즐)을 구현 한 것을 Fig. 18 에서 확인할 수 있다.

5. 개선된 자동차 리튬이온 배터리 건조 공법의 적용에 대한 고찰

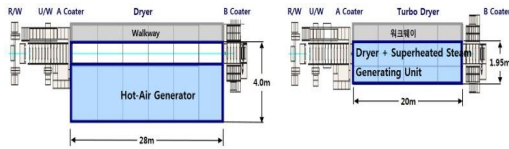


Fig. 19. The Existing Dryer vs Improved Dryer.

기대 유형효과 광폭 Turbo Dryer 대당 투자비 절감 양산 적용효과 극판 1개 라인 양극/음극 적용時 금액 절감 할 수 있다. Fig. 19 에서 확인할 수 있다.

6. 결론

세계최초 개방형/일체형 대기압 과열증기 Turbo Dryer 양산기술 확보를 통해 전기자동차 전지 극판 고속건조기술을 확보 하였으며 동일 건조로 길이 생산성 향상(건조 Lead Time 0.7分 → 0.5分 기준)하였다.

소형 극판 건조품질 향상 기술 개발로 제품 고용량화에 기여 하여 극판 품질 향상을 통한 고용량 전지개발 기술을 확보하였다. 극판 공정 타설비 新건조공법 적용 가능 기술개발도 건조공정 혁신 토대 마련하였다.

References

- [1] Business Information Research, Actual condition and prospect of eco-friendly electric vehicle market, Business Information Research, pp. 19-42, 2009.
- [2] Zempachi Ogumi, Lithium Secondary Batteries, Hongriling Publish Company, 2010, pp. 4-53.
- [3] Simon, P., Gogotsi, Y, "Materials for electrochemical capacitors," *Nature materials*, vol. 7, no. 11, pp. 845-854, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1038/nmat2297>
- [4] Park, J. G., Principles and Applications of lithium Secondary Batteries, Hong-Reung Science Press, pp. 428, 2014.
- [5] Dong-Ju Lim, Battery Technology Symposium, The Korean Society of Industrial and Engineering Chemistry, 2000.
- [6] W.A. Schalkwijk, B. Scrosati, Advances in Lithium-Ion Batteries, *Kluwer Acadmic*, New York, 2002.
DOI: <https://doi.org/10.1007/b113788>

- [7] Young-Sik Hong, Next-generation secondary battery application technology, Korea Industrial Technology Support Center, 2006.
- [8] Sung-su Kim, Mobile Device Battery Industry Trend Analysis Seminar etnnew, 2008.
- [9] Myung-Huan Kim, Energy Conversion Chemical Material Symposium, Korea Research Institute Of Chemical Technology, 2008.
- [10] Og Sin Kim, Dong Hyun Lee, Won Pyo Chun, Eco-Friendly Drying Technology using Superheated Steam, *Korean Chemical Engineering Research*, Vol. 46, No. 2, pp. 258-273, 2008.

장 찬 희(Chan-Hee Jang)

[정회원]



- 2008년 2월 : 경기대학교 교육대학원(교육학석사)
- 2012년 9월 ~ 현재 : 아주대학교 시스템 공학과 박사과정
- 2003년 6월 ~ 2016년 7월 : 삼성 SDI 중앙연구소 책임연구원
- 2016년 8월 ~ 현재 : 민관합동 스마트공장 추진단 기반구축팀 책임연구원

<관심분야>

시스템공학 (SE), Model-Based SE (MBSE), 자동화 라인 설계, 미래형 스마트공장 구축, Big Data, CPS, IIoT, 스마트센서, 클라우드, 에너지 절감, 3D 프린팅, 홀로그램 이용 스마트 설비 구축

이 재 천(Jae-Chon Lee)

[정회원]



- 1977년 2월 : 서울대학교 공과 대학 전자공학과(공학사)
- 1979년 2월 / 1983년 8월 : KAIST 통신시스템 (석/박사)
- 1984년 9월 ~ 1985년 9월 : 미국 MIT Post Doc 연구원
- 1985년 10월 ~ 1986년 10월 : 미국 Univ. of California 방문연구원
- 1990년 2월 ~ 1991년 2월 : 캐나다 Univ. of Victoria (Victoria, BC) 방문교수
- 2002년 3월 ~ 2003년 2월 : 미국 Stanford Univ. 방문교수
- 1994년 9월 ~ 현재 : 아주대학교 시스템공학과 정교수

<관심분야>

시스템공학 (SE), Model-Based SE (MBSE), Systems Safety, System T&E, Modeling & Simulation