



음극 및 양극 극판 제조 실습

- 프로그램명: 이차전지(코인셀) 제조 실습교육-2차
- 일시: 2025.04.04, 15:00~17:00
- 장소: D9-131

신소재화학공학과

구주희 (gjh3170@naver.com)

목 차

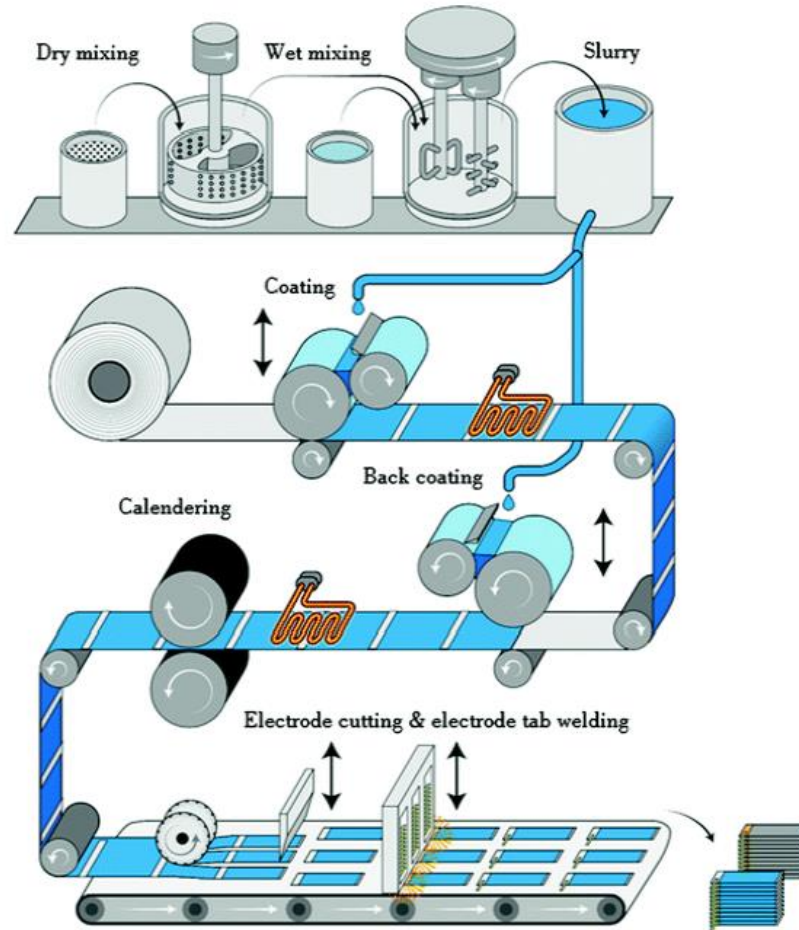
1. 공정 전체 개략도
2. 음극 극판 제조
3. 양극 극판 제조
4. 산업용 전지 제조 공정 소개

1. 공정 전체 개략도

1. 공정 전체 개략도

■ 산업 Level 개략도

전극 공정



자료: Recycling of Lithium-Ion Batteries, Sergej Rothermel

1. 공정 전체 개략도

■ 연구실 Level 개략도



1. Mixing



2. Coating



3. Roll Press

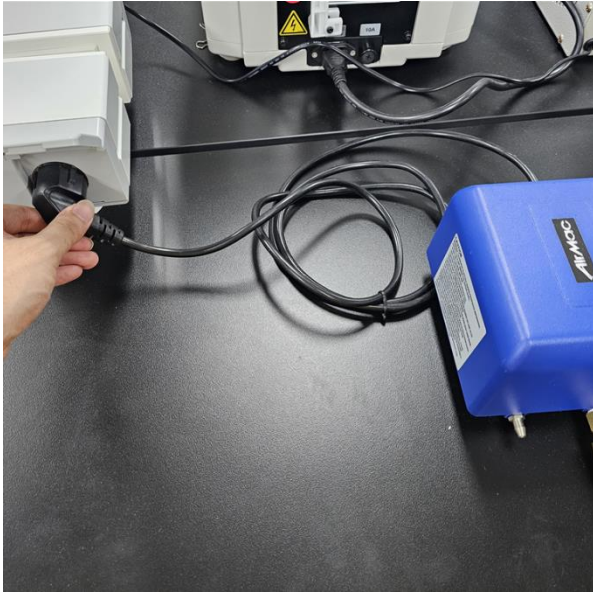


4. Drying

2. 음극 극판 제조

2. 음극 극판 제조

■ 코팅 공정 -1



진공펌프의 코드를 꽂고, 유리고정이 잘 되어있는지 확인한 뒤 레버를 돌려 완전히 흡착시킨다.

(시작 전 미리 doctor blade를 세척하여 건조해둔다.)

2. 음극 극판 제조

■ 코팅 공정 -2



유리 위에 에탄올을 적당량 뿌린 뒤 재단한 집전체를 올린 후 키테크를 감싼
자로 밀어주어 유리에 흡착시킨다.

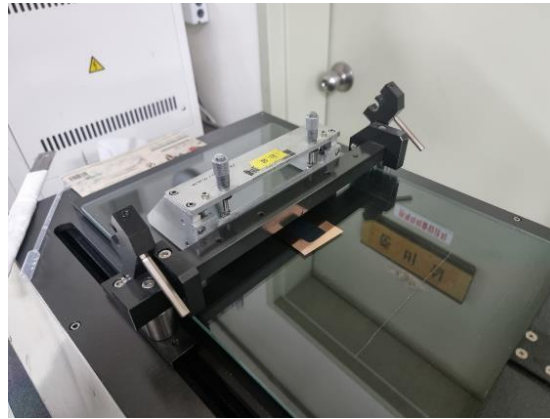
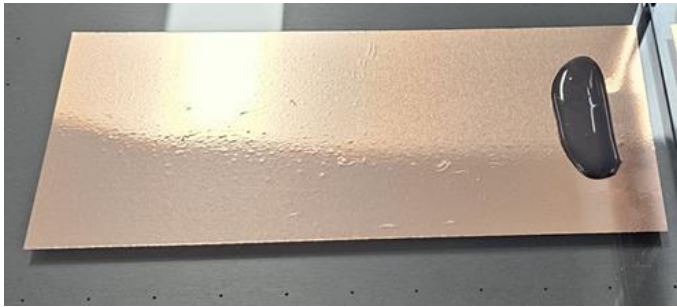
(굴곡있는 키테크가 아닌 매끈한 형태의 키테크 사용)

(집전체는 폭 60mm로 재단한다.)

완성된 슬러리를 스페출러로 집전체 위쪽 상단에 골고루 도포해준다.

2. 음극 극판 제조

■ 코팅 공정 -3



닥터블레이드 높이(25 μ m), 이동거리(280mm)를 확인한 뒤 왼쪽 방향키를 눌러 작동시킨다.
(스크래치나 구멍 등의 문제가 생겼을 경우 폐기해야함.)

2. 음극 극판 제조

■ 압연 공정 -1

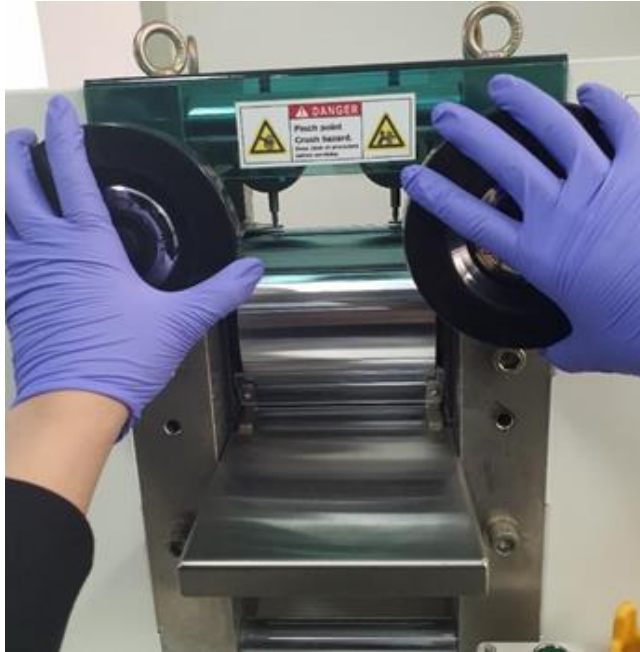


로딩양 측정용으로 코팅 후 일반 건조기로 100℃ 2~3min 건조 후, 유산지를 위에두고 14Ø 펀칭기로 펀칭하여 전극 무게를 측정한 뒤 로딩레벨을 계산한다. 그 후 일반 건조기로 80℃ 20min 건조시킨다.

★ 유산지로 덮지 않을 시 이물질이 묻을 수 있으며 집전체와 합제가 박리될 가능성이 생김.

2. 음극 극판 제조

■ 압연 공정 -2



전극을 구리호일로 목표 두께까지 압연(pressing) 후 마이크로미터로 두께를 측정한다.
(목표 전극두께 [μm] = $L.L[\text{mg}/\text{cm}^2] \div \text{합제밀도}[\text{g}/\text{cc}] + \text{집전체 두께}[\mu\text{m}]$. 이때 L.L
은 1번에서 계산한 값, 합제밀도는 목표인 $3\text{g}/\text{cc}$, 집전체 두께는 $20\ \mu\text{m}$ 로 계산한다.)

2. 음극 극판 제조

■ 건조 공정



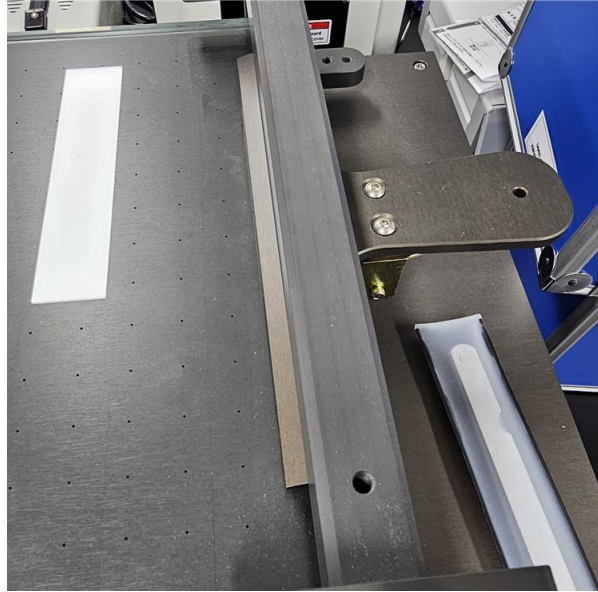
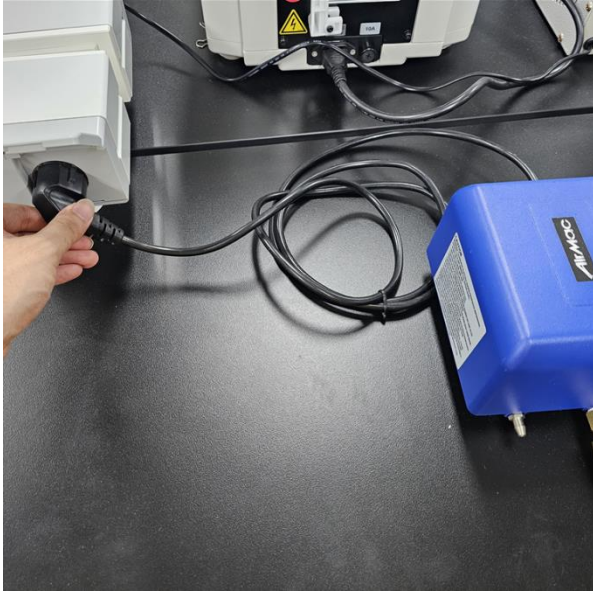
압연이 끝난 전극을 SUS판 위에 클립으로 고정한 뒤 진공 오븐에 넣고 VENT 레버를 CLOSE 상태로 돌려 잠그고 진공펌프의 전원을 켜 후 VACUUM 레버를 VACUUM 상태로 천천히 돌리며 오븐 내부를 진공 분위기로 만든다.

(이때 온도는 올리지 않는다.-> 온도를 올릴경우 집전체 변성이 생길수도 있음.)

3. 양극 극판 제조

3. 양극 극판 제조

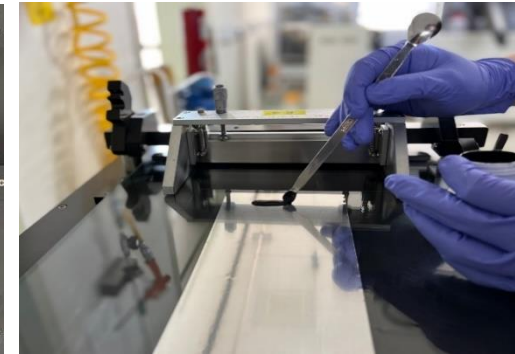
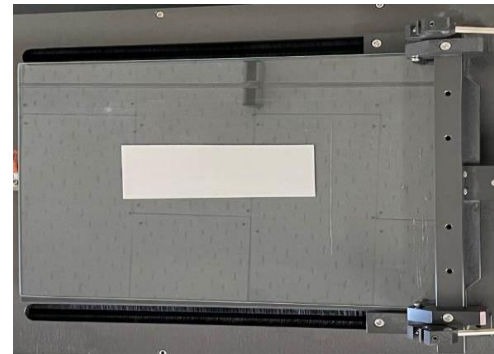
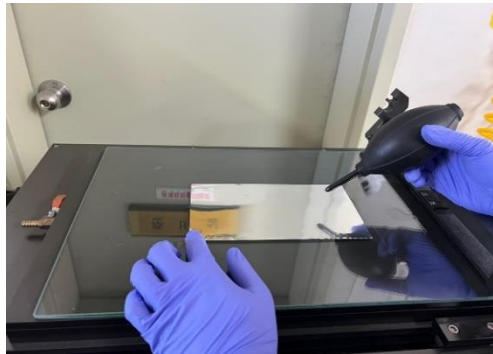
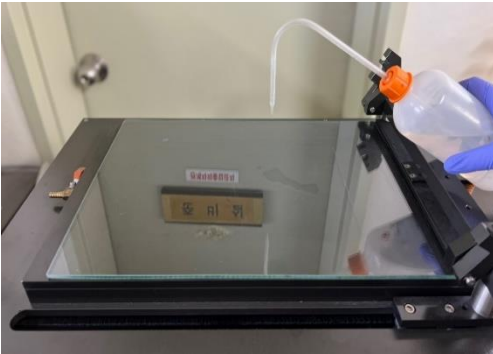
■ 코팅 공정 -1



진공펌프의 코드를 꽂고, 유리고정이 잘 되어있는지 확인한 뒤 레버를 돌려 완전히 흡착시킨다.
(시작 전 미리 doctor blade를 세척하여 건조해둔다.)

3. 양극 극판 제조

■ 코팅 공정 -2



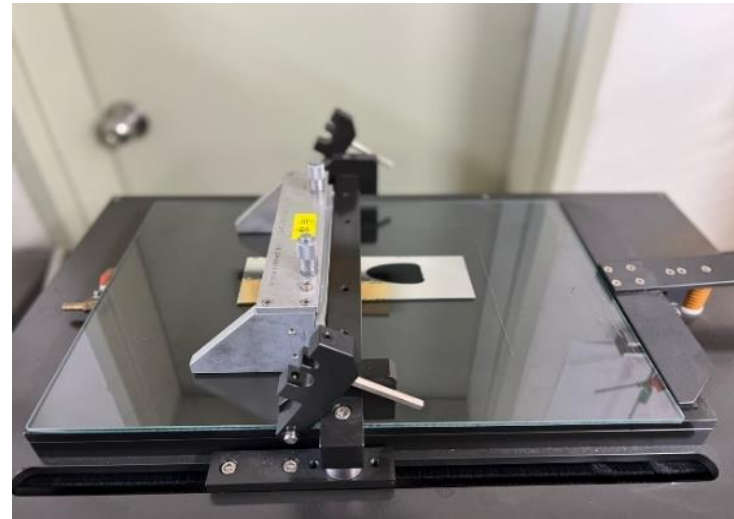
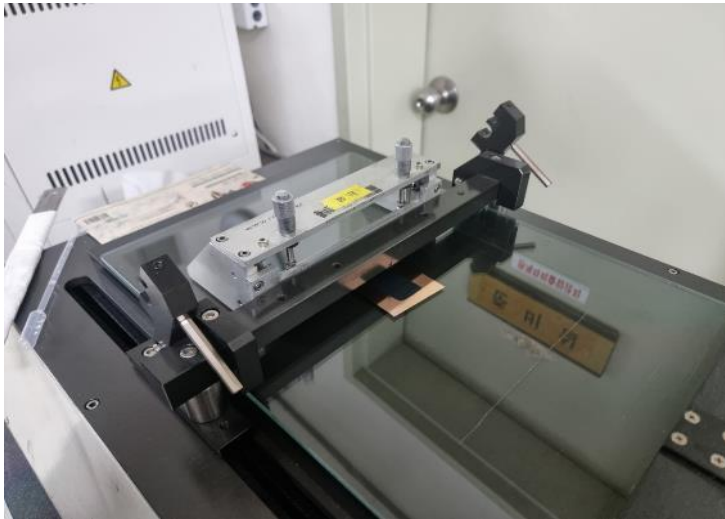
유리 위에 에탄올을 적당량 뿌린 뒤 재단한 집전체를 올린 후 키테크를 감싼 자로 밀어주어 유리에 흡착시킨다.

(굴곡있는 키테크가 아닌 매끈한 형태의 키테크 사용)

(집전체는 폭 60mm로 재단한다.)

3. 양극 극판 제조

■ 코팅 공정 -3



닥터블레이드 높이(25 μ m), 이동거리(280mm)를 확인한 뒤 왼쪽 방향키를 눌러 작동시킨다.
(스크래치나 구멍 등의 문제가 생겼을 경우 폐기해야함.)

3. 양극 극판 제조

■ 압연 공정 -1

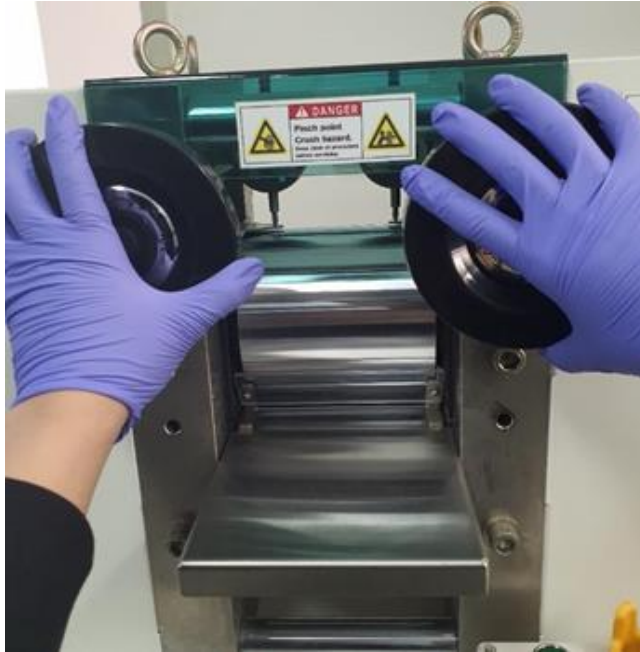


로딩양 측정용으로 코팅 후 일반 건조기로 100℃ 2~3min 건조 후, 유산지를 위에두고 14Ø 펀칭기로 펀칭하여 전극 무게를 측정한 뒤 로딩레벨을 계산한다. 그 후 일반 건조기로 80℃ 20min 건조시킨다.

★ 유산지로 덮지 않을 시 이물질이 묻을 수 있으며 집전체와 합제가 박리될 가능성이 생김.

3. 양극 극판 제조

■ 압연 공정 -2



전극을 구리호일로 목표 두께까지 압연(pressing) 후 마이크로미터로 두께를 측정한다.
(목표 전극두께 [μm] = $L.L[\text{mg}/\text{cm}^2] \div \text{합제밀도}[\text{g}/\text{cc}] + \text{집전체 두께}[\mu\text{m}]$. 이때 L.L
은 1번에서 계산한 값, 합제밀도는 목표인 $3\text{g}/\text{cc}$, 집전체 두께는 $20\ \mu\text{m}$ 로 계산한다.)

3. 양극 극판 제조

■ 건조 공정



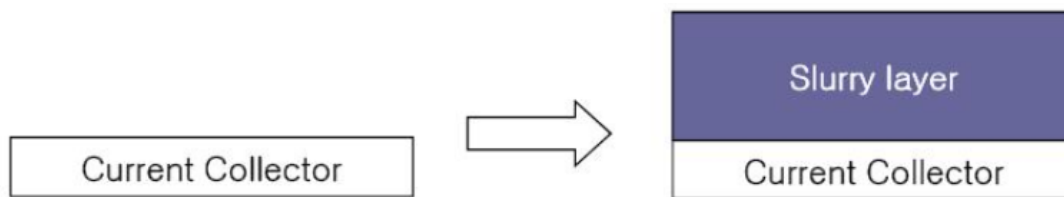
압연이 끝난 전극을 SUS판 위에 클립으로 고정하 뒤 진공 오븐에 넣고 VENT 레버를 CLOSE 상태로 돌려 잠그고 진공펌프의 전원을 켜 후 VACUUM 레버를 VACUUM 상태로 천천히 돌리며 오븐 내부를 진공 분위기로 만든다.
(이때 온도는 올리지 않는다.-> 온도를 올릴경우 집전체 변성이 생길수도 있음.)

4. 산업용 전지제조 공정 소개

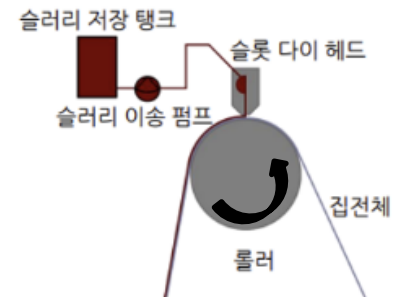
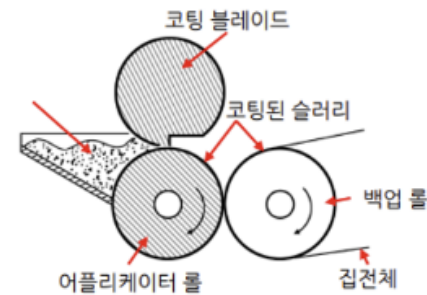
3. 산업용 전지 제조 공정 소개

■ Coating 공정

- ◆ Coating 공정 : 슬러리를 집전체 위에 일정한 두께로 도포하여 건조한 후 전극을 제조하는 공정
- ◆ 양극의 경우 Al Foil 위에, 음극의 경우 Cu Foil 위에 설계치에서 주어진 로딩(Loading) 양을 일정한 폭으로 도포하는 과정



[전극 코팅의 개념]



콤마 코팅(좌), 슬롯 다이 코팅(우). 자료 : e-koreatech 강의 자료

3. 산업용 전지 제조 공정 소개

■ Coating 공정

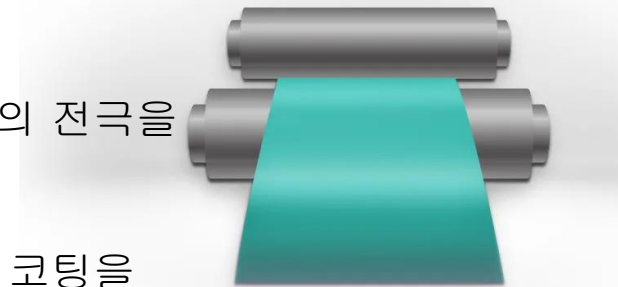
◆ Loading level(로딩 레벨)

- 로딩은 단위면적당 활물질, 도전재, 바인더의 무게를 나타내며 로딩양에 따라 전지의 용량이 결정됨.
- 일반적으로 고용량에 적용되면 로딩레벨이 높고, 고출력에 적용되면 로딩레벨이 낮아짐.
- 로딩양이 과도하면 극판의 전도성이 감소해 저항증가가 발생하고 저조하면 용량구현이 어려워짐.

◆ 집전체 전후면에 모두 코팅

- 전극 코팅은 집전체 양면에 슬러리를 바르는 작업이기 때문에 한 개의 전극을 생산하기 위해선 2번의 코팅이 이루어 짐.
- 집전체 한면에 슬러리를 코팅한 후 코팅된 면 뒤쪽에 동일 슬러리로 코팅을 진행하는 것이 일반적
- LG 에서는 전극 양면에 동시에 코팅하는 더블레이어 코팅 방식을 사용한다고 함.

LG 에너지 솔루션 더블레이어 코팅 방식

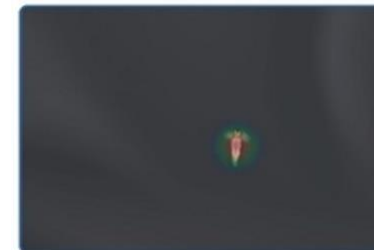
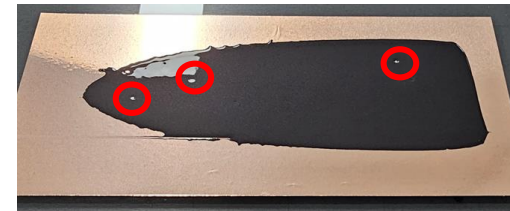


3. 산업용 전지 제조 공정 소개

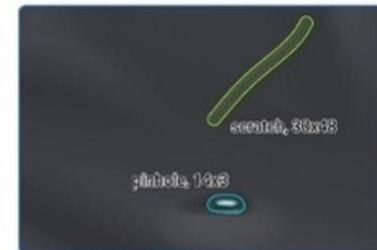
■ Coating 공정

◆ Coating 불량

- 전극 코팅 공정중 불량이 발생하는 경우가 있는데, 대표적으로 표면반점, 전극 갈라짐, 미건조 등이 있음.
- 표면 반점은 슬러리 점도가 너무 높아 슬러리의 표면장력으로 인한 원형으로 코팅이 되지 않는 부위가 발생하여 생성되는 경우, 대기 중 수분과 전극내 바인더가 반응하여 생기는 경우, 호일에 묻은 유분에 의한 경우 등에 의해 발생가능
- 전극 갈라짐 현상은 건조조건이 잘못 설정된 경우가 대부분임.
(오븐 내 온도나 열풍 조건 설정이 잘못되어 매우 높은 열량이 초기에 슬러리에 가해지면 외부가 먼저 고상화가 되어 내외부 응력 불균일로 전극 갈라짐 발생)
- 미건조는 전극 갈라짐과 반대현상
- 그 외 집전체에 구김이 생길경우 통째로 폐기를 함.



코팅 표면 이물 검출

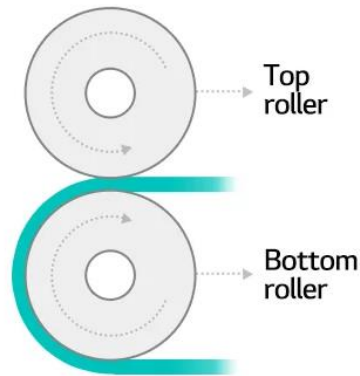


코팅 표면 결함 검출

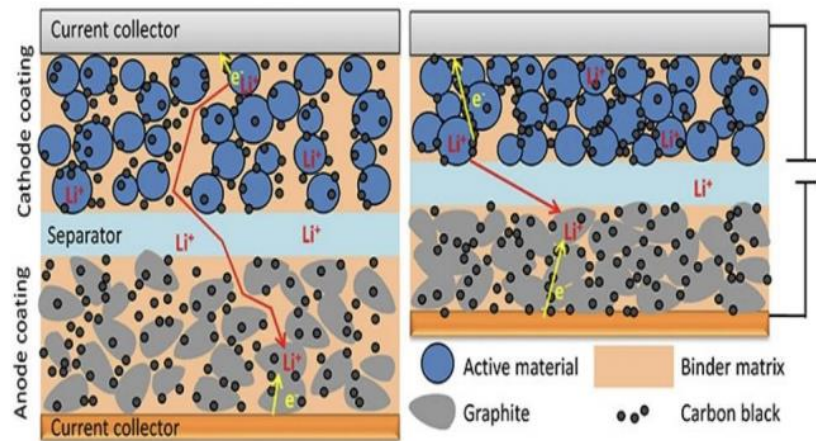
3. 산업용 전지 제조 공정 소개_Roll press 공정

■ Roll press 공정

- ◆ Roll press 공정 : 코팅 된 전극과 집전체간의 결착력 및 활물질간의 결착력을 향상시켜 전기전도도 향상 및 합제밀도를 맞추기 위하여 롤러를 이용하여 압력을 가해주는 공정임.
- ◆ 합제밀도 : 슬러리가 극판 위에 압연된 정도를 표현하는 스펙. 너무 높으면 전해질 침투가 저조해지고, 너무 낮으면 리튬이온이 극판과 가까운곳까지 도달하기 힘들어 전극용량 감소를 일으킴.



배터리 분야 압연기



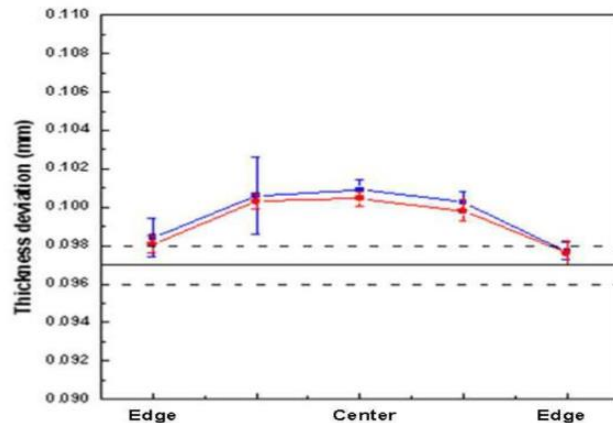
압연 공정에 따른 전극 내부 결정 및 이온 간격 변화 도식도 (출처 : 메리츠증권 리서치센터)

3. 산업용 전지 제조 공정 소개

■ Roll press 공정

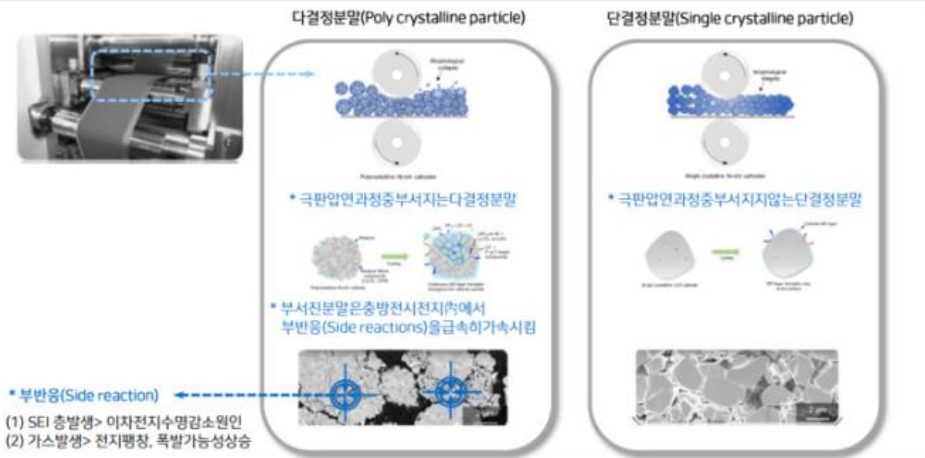
◆ 압연공정 불량 유형

- 코팅부위와 비코팅부위의 두께차이로 인한 전극터짐현상(rewinding 시)
- 다결정 구조의 NCM, NCA, LFP 극판 압연시 결정이 부서지는 현상 (과도한 압력)
- 흑연의 구멍과 통로가 붕괴되는 현상 (과도한 압력)
- 전해액 주입 함량 감소와 전극 전해액 침투량 감소 (과도한 압력)



<Roll Press 후 Center와 Edge부위에서의 두께>

압연 공정 중 다결정(양극) 분말에서 발생하는 문제점

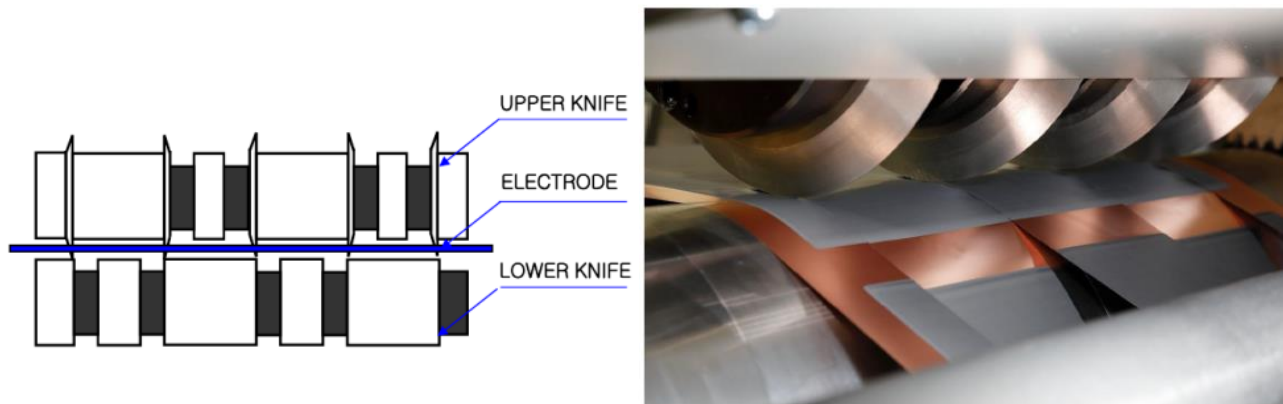


자료: 에스엠랩, 메리츠증권 리서치센터

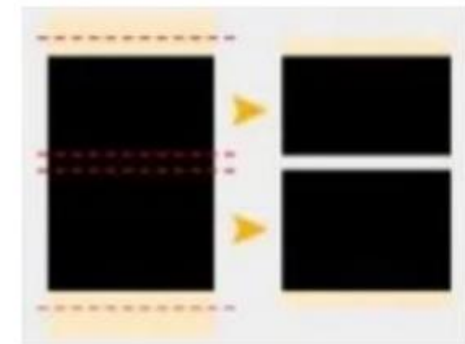
3. 산업용 전지 제조 공정 소개

■ Slitting 공정

- ◆ Slitting 공정 : Roll press 후 펀칭 공정에 맞는 전극을 공급하기 위하여 원하는 크기의 전극을 Slitter를 이용하여 전극을 잘라주는 공정
- ◆ Cutter 관리
 - Slitting 공정은 Cutter(하단그림 및 사진)을 이용하여 전극을 Slitting(길게 자르기) 하기 때문에 Cutter의 주기적인 관리가 필요함.
 - 양극재로 사용하는 활물질의 경우 세라믹이기 때문에(LMO, NCM,...) 금속재질인 Cutter를 무디게 하여 전극을 Slitting 과정에서의 전극이 찢어지거나 Electrode Burr 및 전극 분진 가루를 생성할 수 있음



2차 전지 극판 슬리팅 공정 (출처: Volkswagen AG)

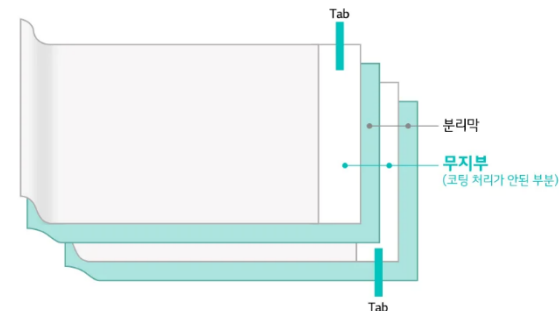
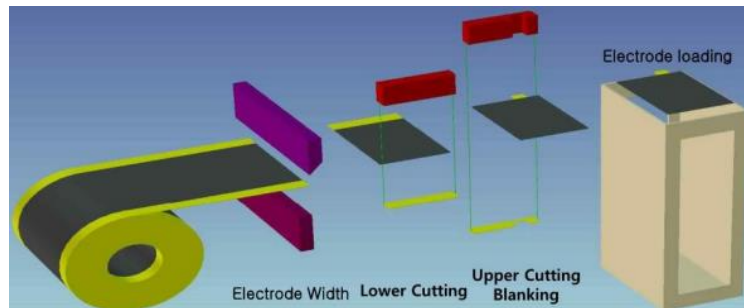


<Slitting 공정 전후의 전극>

3. 산업용 전지 제조 공정 소개

■ Punching [Notching] 공정

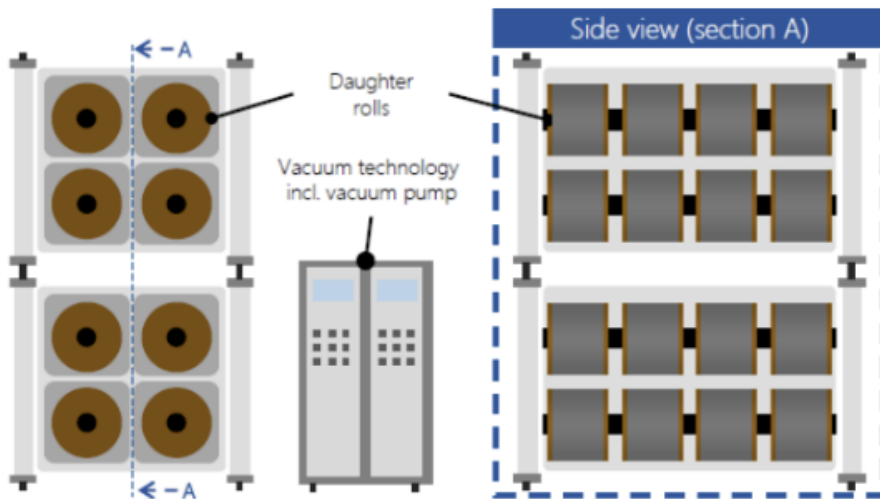
- ◆ Pungching(Notching) : 금형을 이용하여 낱장의 전극을 만드는 공정
- ◆ Pouch type 전지는 원통형 및 각형전지와는 다르게 낱장의 양/음극이 분리막을 사이에 두고 전지내부에 쌓여있는 구조이기 때문에 Slitting 된 전극을 규격에 맞게 낱장을 만들어야 함.
- ◆ Punching 공정 주의사항
 - Roll press 후 전극 자체는 소성변형 된 상태이기 때문에 windin된 상태를 풀어주는 Unwinding 시 풀어진 전극은 파도처럼 너울상태로 존재하기에 Tension을 가해 너울 상태를 줄이긴 하지만 금형 Punching 후에 Tension이 풀어지기 때문에 전극 너울로 인한 전극 치수가 틀어질 가능성이 존재
 - 일반적으로 전극 치수는 이러한 장비공차 및 공정공차로 인하여 설계 공차값을 가져야 하며 전극치수보다 $\pm 1\text{mm}$ 이내로 관리해야 함.



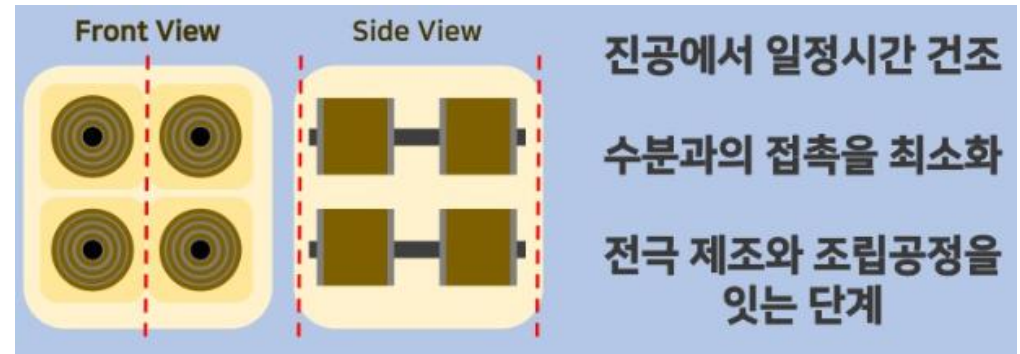
3. 산업용 전지 제조 공정 소개

■ Vacuum Drying 공정

- ◆ Vacuum Drying 공정 : 진공가열에 의해 전극 내부에 잔류하는 수분 및 잔류용제(NMP)를 제거하는 공정
- ◆ 장시간 건조를 통해 수분, 기타 불순물 제거 및 압연공정에서 발생한 잔류 응력을 완화시켜주는 단계



진공 건조 장비. 자료 : RWTH



감사합니다!