



이차전지공정기술개론

Introduction to Process Technology of Battery

이차전지 혁신융합대학 | 부산대학교 박민준



이차전지 혁신융합대학 사업단

Secondary Battery

Convergence and Open Sharing System



Chapter
X

전극 스테킹과 와인딩 공정이란?

- 01 전극 제조 공정

- 02 젤리롤 제작

- 03 권취형 배터리 문제

- 04 원통형 전극 와인딩

이차전지 혁신융합대학 사업단
Secondary Battery
Convergence and Open Sharing System

01 전극 제조 공정

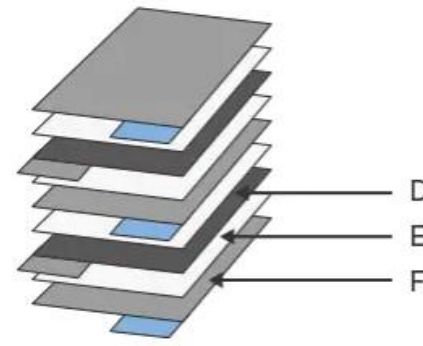
◎ 대표적인 두 가지 제조 방법

- ☑ 와인딩 공정과 스테킹 공정은 이차전지 제조 공정을 분류하는 대표적인 두 가지 방법임.
- ☑ 와인딩 방식은 권취 공정이라고 불리며 전극을 돌돌말아 제조하게 되고 롤케익 제조 공정과 같음.
- ☑ 스테킹 방식은 전극을 적층해서 제조하게 되고 케익과 비슷한 구조임.

와인딩 공정



스테킹 공정

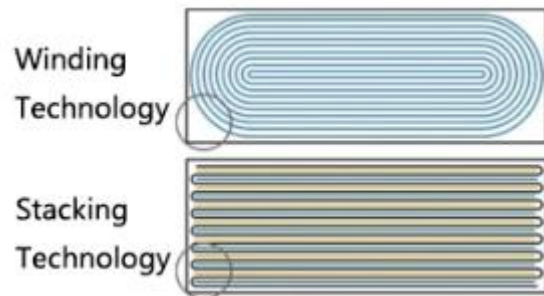
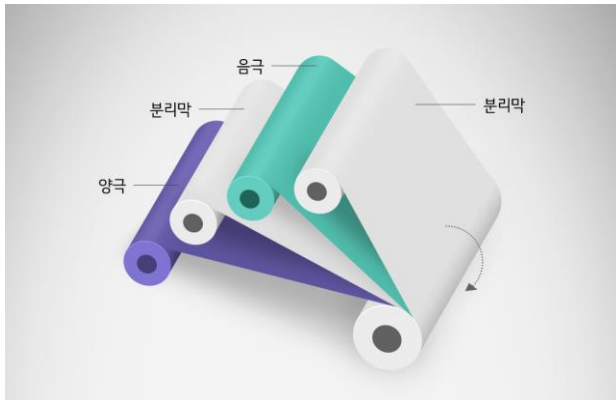


02 젤리롤 제작

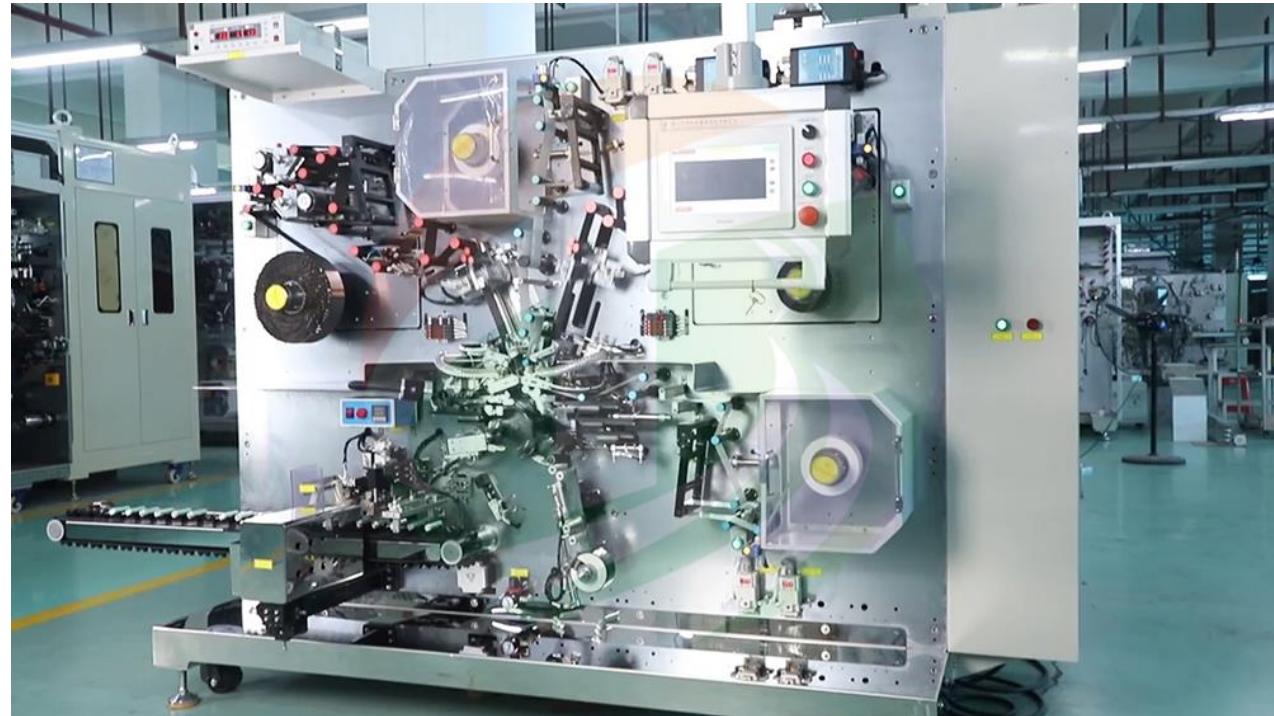
◎ 와인딩 공정

- ◎ 와인딩 공정은 파우치형, 원형, 각형 모든 전지에 적용되는 공정으로 전극과 분리막을 쌓고 돌돌 말아 만들게 됨.
- ◎ 제조 비용이 저렴하고, 공정속도가 빠름. 캔과 젤리롤 사이에 빈공간이 생겨서 에너지 밀도가 낮음.

와인딩 공정



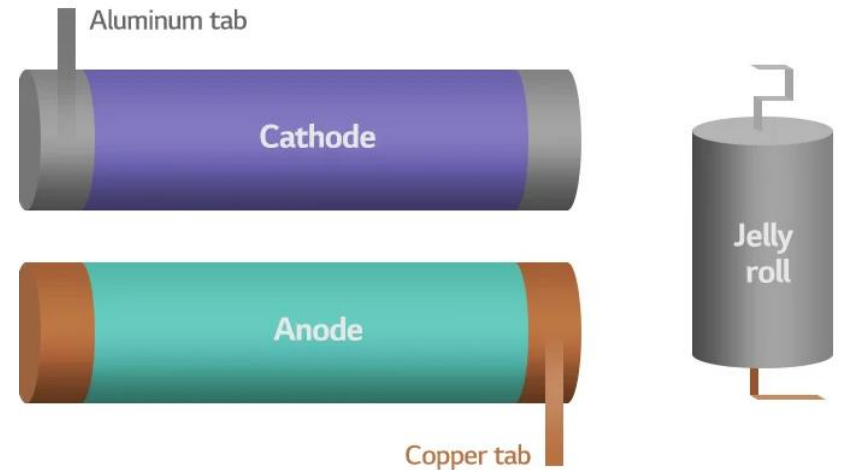
와인딩(권취) 장비



02 젤리롤 제작

◎ 와인딩 방식

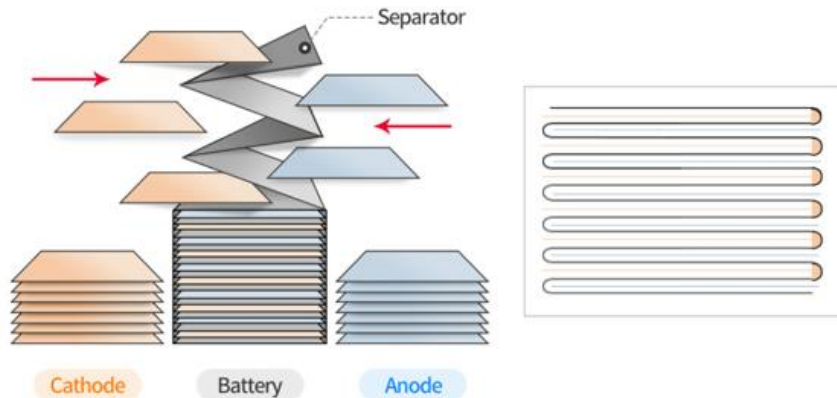
- ⊙ 와인딩 방식은 양극재와 음극재, 그리고 둘 사이의 분리막을 길게 늘어놓은 뒤 김밥을 말 듯 말아서 배터리를 집적 하는 기술
- ⊙ 비용 대비 생산성이 높은 것이 최대 장점
- ⊙ 하지만 말아서 만드는 만큼 사각형이나 원통 등 정형화된 틀을 탈피하기 힘들
- ⊙ 사각형으로 만들더라도 꼭짓점 부분은 뭉툭할 수밖에 없어 사각형 배터리 박스 안에 넣으면 그만큼 공간 낭비
- ⊙ 말린 배터리의 끝부분이 좁은 스마트폰 안에서 놀리면 배터리 구조 자체가 불안해질 위험



02 젤리롤 제작

◎ 적층 방식

- ◎ 분리막 여러 장을 Z형태로 각각 접은 후, 각 틈새에 양극과 음극을 순서대로 끼워 넣어 배터리 셀을 생산하는 방식. 쉽게 설명하면, 전극을 분리막이라는 파일에 담아 차곡차곡 쌓는 것이 Z스태킹 공정
- ◎ 라미네이션 앤 스택킹 공정이란 양극, 분리막, 음극을 한 장씩 차례로 쌓은 후, 이를 묶어 하나의 셀로 만드는 방식, 이 때 분리막의 크기는 전극보다 더 크기 때문에 안전하게 양극과 음극을 분리할 수 있음.
- ◎ 라미네이션 앤 스택킹 공법을 사용하면 효율적인 배터리 생산이 가능. 하지만 적층 시 오차로 인해 결함이 생길 확률이 비교적 높음.
- ◎ Z스태킹 방식을 적용하면 비교적 안전한 배터리를 생산할 수 있음. 하지만 이 또한 100% 장담할 수 없으며, 생산 효율성도 비교적 낮음.



SK이노베이션의 Z스태킹 공법 (출처: SK이노베이션)

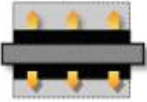




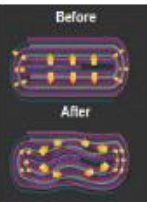


라미네이션 앤 스택킹 공정

02 젤리롤 제작

◎ 적층 방식

- ◎ 스택앤드폴딩 방식은 먼저 분리막을 바닥에 깔고 양극재와 분리막, 음극재가 들어 있는 개별 셀을 여러 개 올린 뒤 종이접기로 부채를 만들 듯 지그재그로 접어 올려 만듦. 구조적으로 와인딩 방식에 비해 안정돼 있어 사고 위험도 적음. 다만 생산효율이 낮은 것이 단점.
- ◎ 스택킹 방식은 배터리 셀을 하나씩 적층하는 방식으로 와인딩 방식보다 높은 기술력을 필요로 하지만 셀 사이의 뒤틀림이 적고, 배터리 셀 내에 빈 공간 없이 에너지의 밀도를 높일 수 있다는 장점

	Lamination & Stacking	Winding
Electrode Loading	 <p>Higher electrode loading → Possible to produce high capacity battery</p>	 <p>Electrode loading is limited due to its winding tension</p>
Space Utilization	 <p>No dead space → Higher battery capacity</p>	 <p>When winding, dead space occurs → Lower battery capacity</p>
Electrode Stability	 <p>Dimensional stability after hundreds of cycles → Longer life-cycle</p>	 <p>Electrode distortion occurs after hundreds of cycles → Shorter life cycle</p>

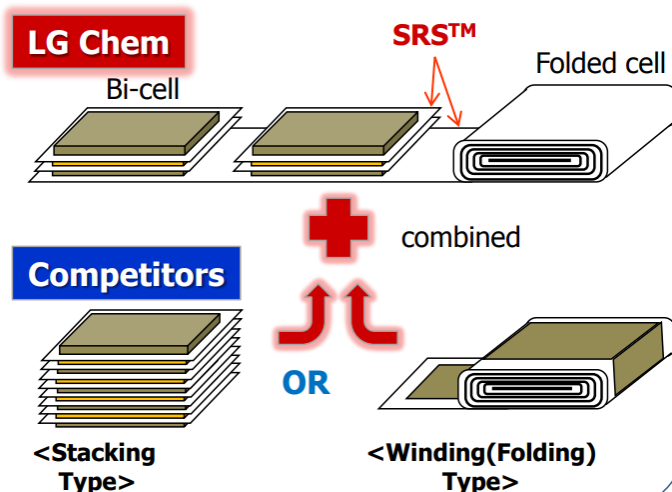
02 젤리롤 제작

◎ 라미네이션 앤 스택킹

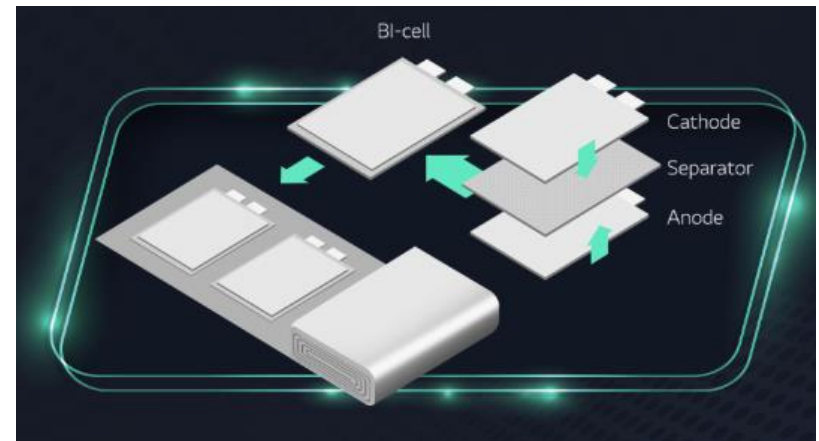
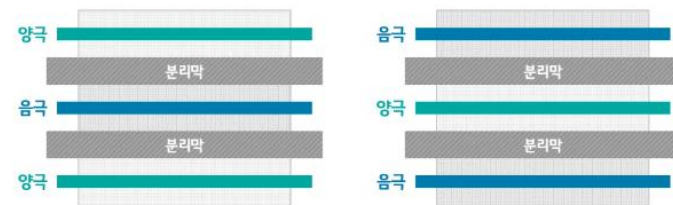
- ☑ 스택킹(stack)은 배터리 소재를 일정 길이로 자른 후(notch) 이를 쌓는 방법으로 배터리를 만드는 기술.
- ☑ 말 그대로 배터리의 양극재, 음극재, 분리막이 합쳐진 개별 셀을 층층이 쌓는 방식임.
- ☑ 셀 수십개를 쌓아 올려 하나의 배터리를 완성하는데 이는 와인딩 방식 대비 에너지 밀도와 내구성에 장점이 있다는 평가
- ☑ 잘라진 양극, 음극, 분리막을 Bi-cell로 만든 다음, 셀 밑에 깔린것이 분리막(Separator)인데 라미네이션(Lamination) 공정을 통해 정렬한 후 분리막을 접으면서(Folding) Bi-cell을 쌓는(적층) 과정을 반복

STACK & FOLDING

- ◆ Stack the cut electrodes (bi-cell), then fold the bi-cells with SRS™ to make cells
- ◆ Safety, Performance excellence



바이셀(Bi-Cell) 구조



02 젤리롤 제작

◎ 라미네이션 앤 스택킹

- ◎ 스택킹(stackng)은 배터리 소재를 일정 길이로 자른 후(notch) 이를 쌓는 방법으로 배터리를 만드는 기술.
- ◎ 말 그대로 배터리의 양극재, 음극재, 분리막이 합쳐진 개별 셀을 층층이 쌓는 방식임.
- ◎ 셀 수십개를 쌓아 오려 하나의 배터리를 완성하는데 이는 와인딩 방식 대비 에너지 밀도와 내구성에 장점이 있다는 평가
- ◎ 잘라진 양극, 음극, 분리막을 Bi-cell로 만든 다음, 셀 밑에 깔린것이 분리막(Separator)인데 라미네이션(Lamination) 공정을 통해 정렬한 후 분리막을 접으면서(Folding) Bi-cell을 쌓는(적층) 과정을 반복



아이폰14프로맥스
2023-08-27



아이폰14프로



아이폰14



02 젤리롤 제작

◎ 젤리롤 제작 과정

- ⊙ EV 혹은 ESS용으로 많이 사용되는 사각형의 이차전지 젤리롤을 제조하기 위한 대표적인 방법에는 Roll 형태로 공급되는 극판과 분리막의 4개 자재를 한 번에 감아서 젤리롤을 제작하는 권취 방식과,
- ⊙ Sheet 형태의 극판을 Roll 혹은 Sheet 형태로 공급되는 분리막 사이에 공급하여 전극 극판을 쌓는 방식으로 젤리롤을 제작하는 적층 방식이 있음.

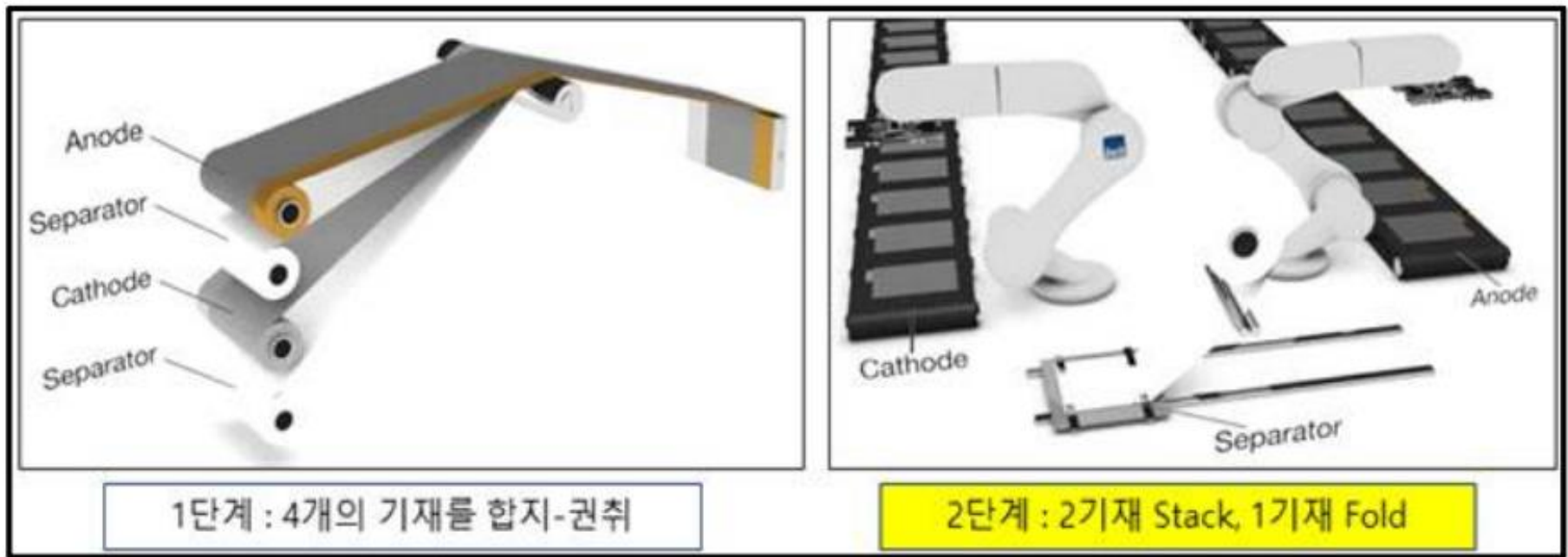


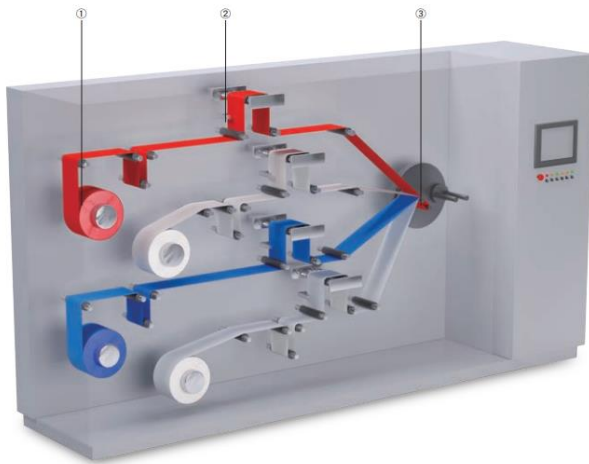
그림 1. 사각형의 이차전지 젤리롤(J/R)의 대표적인 제조 방법

02 젤리롤 제작

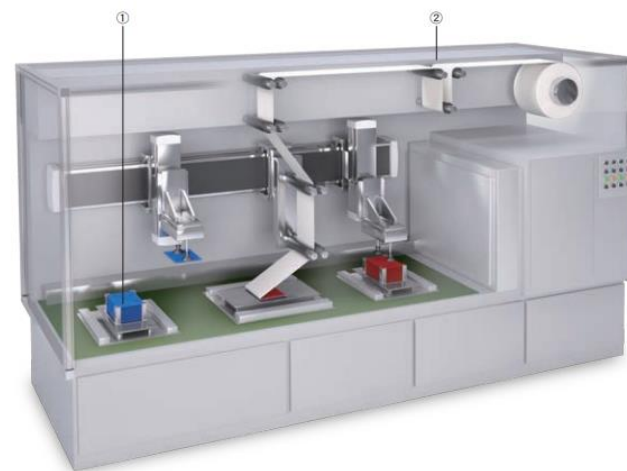
◎ 젤리롤 제작 공정

- ☑ 지금까지 사각형의 이차전지의 젤리롤을 제작하는 방식으로는 생산적인 측면이나 비용적인 측면에서 유리한 권취 방식이 많이 적용되고 있으나, 권취 방식으로 제조된 이차전지의 경우하기와 같은 기술적인 문제가 대두되고 있음.
- ☑ 젤리롤의 가장자리 부분에서 Dead space 발생으로 인한 전지 용량 감소 젤리롤 단면쪽에서 극판 접힘 발생 가능성 높음,
- ☑ 이로 인한 품질·신뢰성 문제, 권취 중 형성된 장력 불균형으로 인하여 양극재와 음극재에 코팅된 활물질의 밀도저하 등 젤리롤 변형 발생 및 수명 저하 발생

Winding



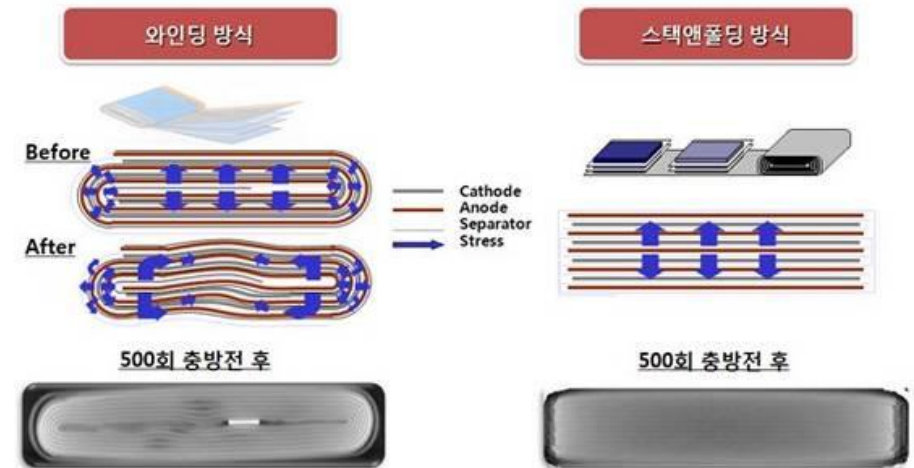
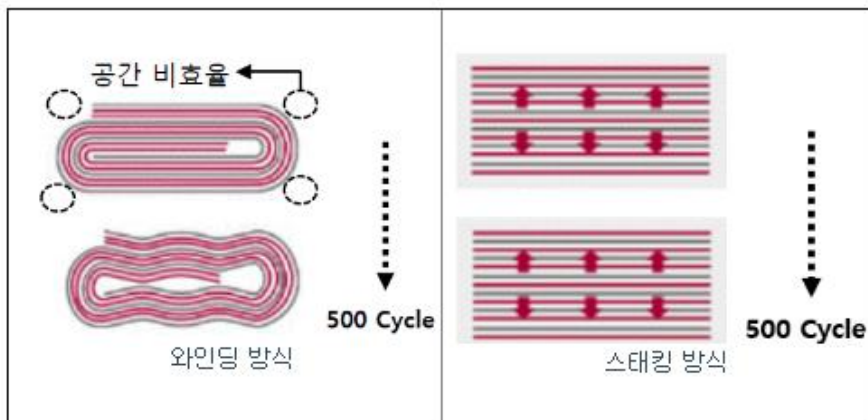
Stacking



02 젤리롤 제작

◎ 젤리롤 제작 공정

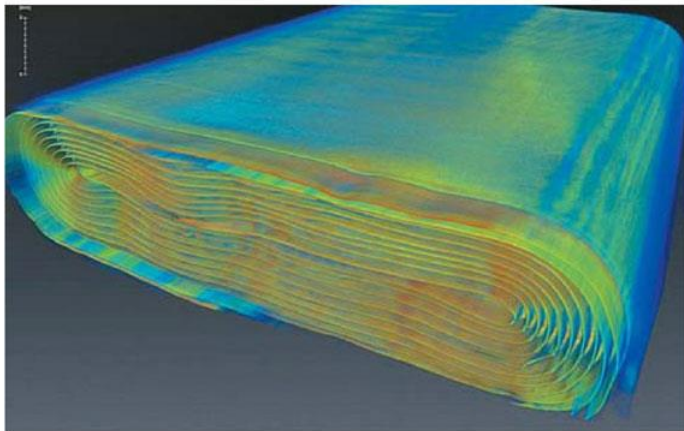
- ☑ 이차전지 젤리롤을 생산함에 있어 권취 방식은 상기의 문제를 안고 있음에도 불구하고, 현재 기술 수준의 적층방식으로 이차전지 젤리롤을 제조하기에는 생산성이 크게 부족하기 때문에 대부분의 이차전지 제조사들은 대량 생산에 유리한 권취 방식을 도입하고 있음 (원통형 전지).
- ☑ 하지만 상기에 언급된 젤리롤 제조 방식에 의해 발생하는 근본적인 문제점이자 기술적인 한계로 인하여 일정한 사용시간 이후에는 충전 용량의 저하가 급격히 발생하여 조기에 이차전지 수명이 종료될 수 있는 문제를 안고 있음.



02 젤리롤 제작

◎ 젤리롤 제작 공정

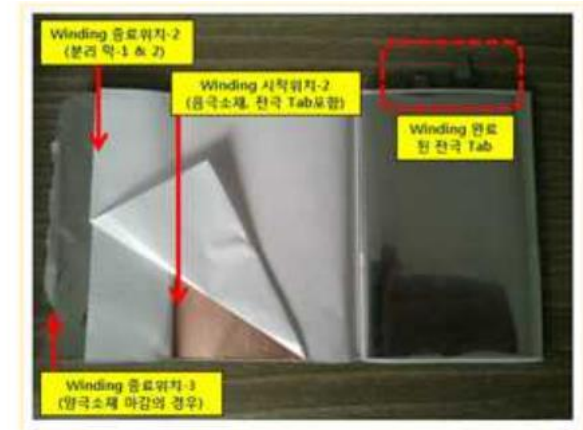
◎ 권취형 젤리롤 생산시 발생하는 다양한 문제점



배터리에 들어가는 젤리롤 이미지 사진.

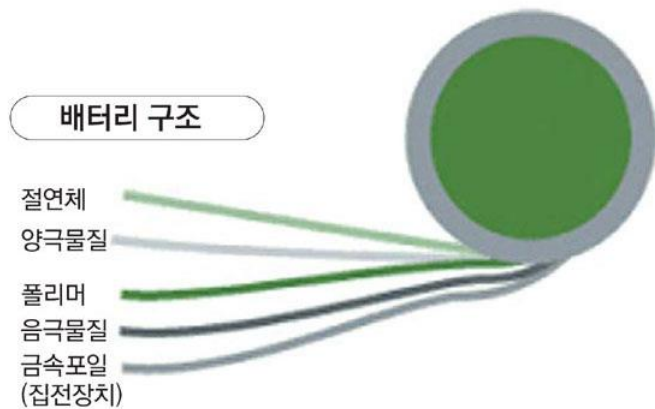


<Winding 시작위치 (±0.5mm 이내)>



<Winding 종료위치 (±0.5mm 이내)>

<그림 III-3> Roll-to-Roll 이차전지 불량률의 유형 (수요처 및 자체 개발 진행 중 확보)



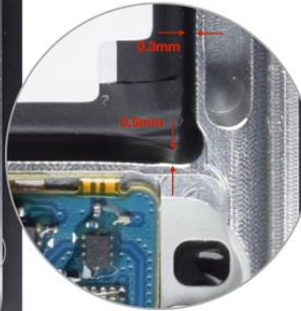
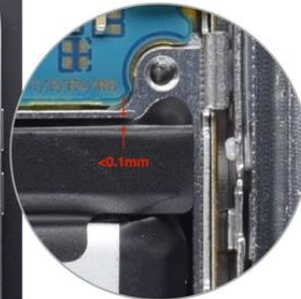
2023-08-27

	<p>권심/동심 유지 안됨</p>	
<p>권취 중심점 편심, 쓸림</p>	<p>장력/각속도 유지 실패</p>	<p>분리막과 양극소재 빗감김</p>

03 권취형 배터리 문제

◎ 권취형 배터리 화재 분석

- ◎ 삼성SDI배터리를 사용한 노트7중 발화가 일어난 제품중에 공통적으로 우측 상단의 음극판이 눌림현상이 발견
- ◎ ATL 배터리는 양극탭에 큰 용착 돌기가 절연 테이프와 분리막을 뚫고 나와 음극기재를 만나게되었음.
- ◎ 2016년 8월에 출시되어 10월에 판매 중단됨.



'갤럭시 노트7' 사태 경과

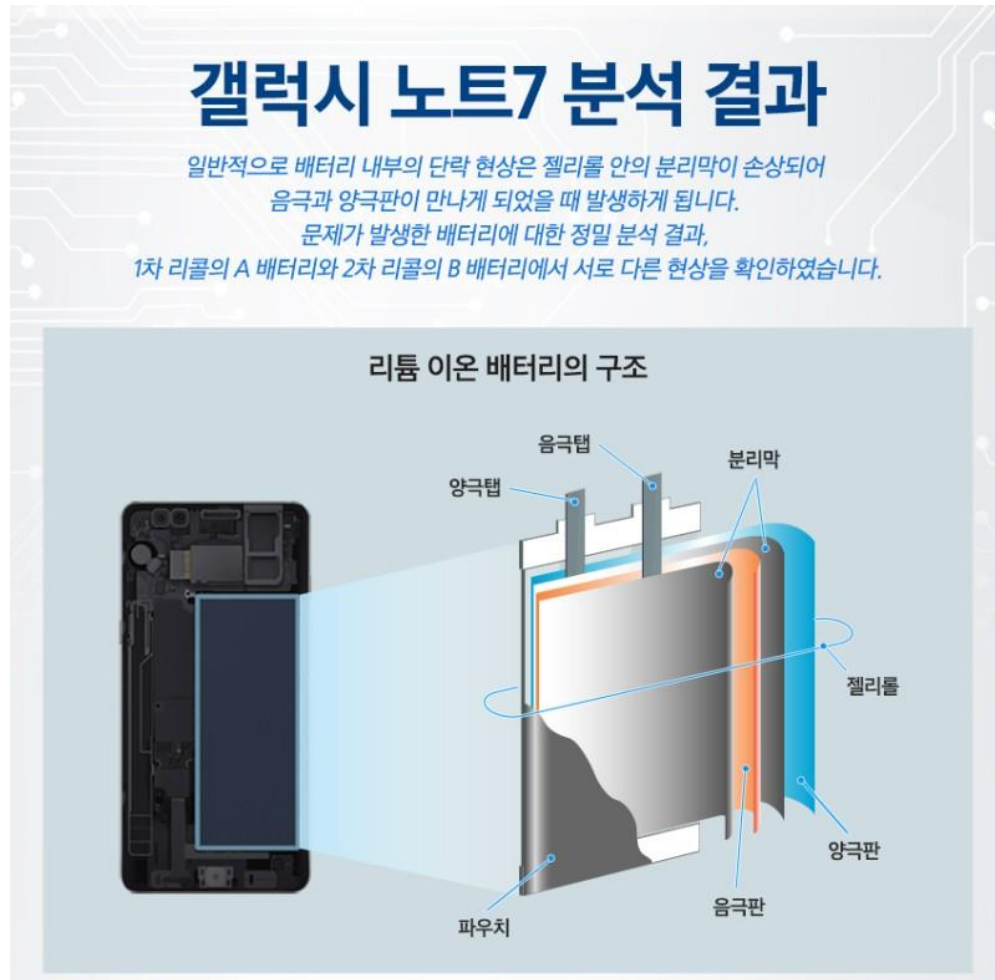
일자	내용
2016년 8월 2일	갤럭시노트7 공개(미국 뉴욕)
2016년 8월 19일	갤럭시노트7 공식 출시
2016년 9월 2일	갤럭시노트7 교환 프로그램 공식 발표
2016년 9월 15일	미국 CPSC, 갤럭시노트7 리콜 발표
2016년 10월 1일	갤럭시노트7 판매 재개
2016년 10월 11일	갤럭시노트7 생산 중단, 판매/교환 중단
2017년 1월 23일	갤럭시노트7 소손 원인 조사 결과 발표



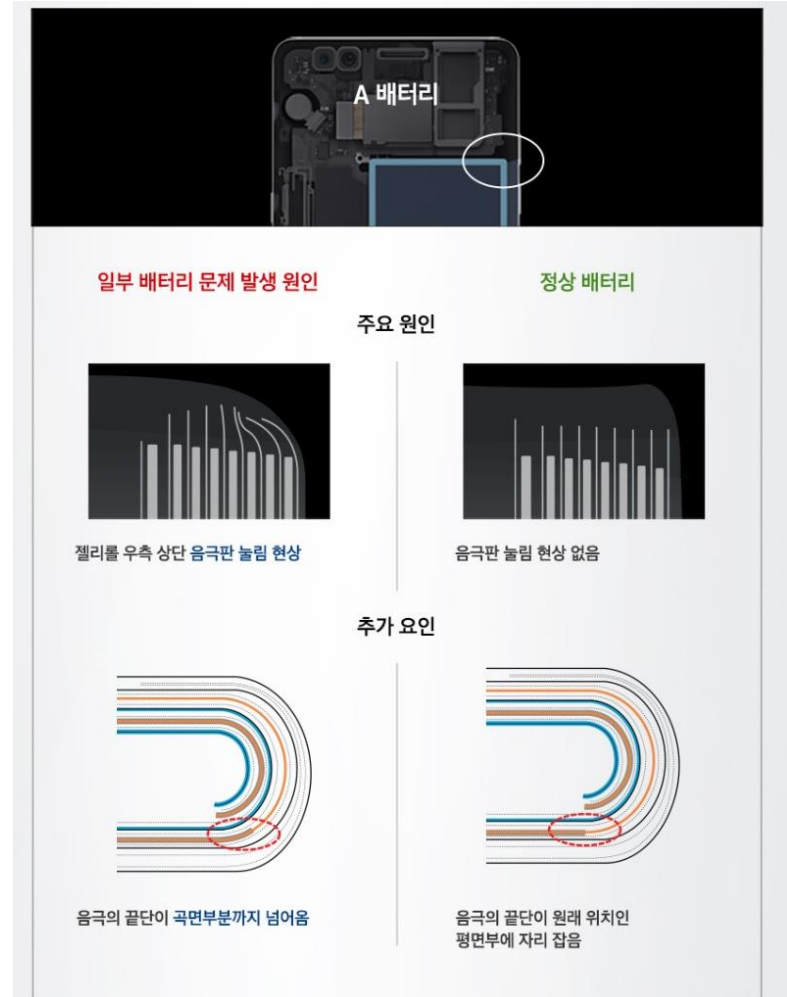
03 권취형 배터리 문제

◎ 권취형 배터리 화재 분석

◎ 삼성SDI와 ATL에서 제조한 배터리 두 종류에 문제가 있어 발생한 것으로 판명



2023-08-27



15

03 권취형 배터리 문제

◎ 권취형 배터리 화재 분석

◎ 삼성SDI와 ATL에서 제조한 배터리 두 종류에 문제가 있어 발생한 것으로 판명



갤럭시 노트7 배터리 결함 분석 내용

(자료: 삼성전자)

A배터리 (삼성SDI)

눌림 현상

젤리롤

CT 사진

UL 배터리 위쪽 모서리의 눌림 현상, 얇은 분리막
 엑스포넨트 음극탭 부위 젤리롤(양극재, 음극재, 분리막을 둘둘 만 것) 모서리의 눌림 현상

B배터리 (ATL)

B배터리 (ATL)

응착 들기

CT 사진

UL 비정상적 응착 들기, 절연 테이프 미부착, 얇은 분리막
 엑스포넨트 비정상적으로 높은 응착 들기 때문에 절연 테이프와 분리막 파손

03 권취형 배터리 문제

◎ 권취형 배터리 화재 분석

- ◎ 삼성전자는 이번 사태를 계기로 개발, 제조, 검증 등 모든 프로세스와 관련, 종합대책을 수립
- ◎ '8포인트 배터리 안전성 검사' 절차와 다중 안전설계를 도입



안전성 검사



배터리 외관 검사



X-레이 검사



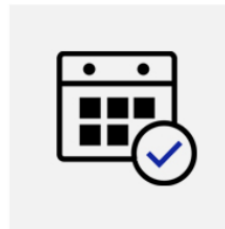
충·방전 검사



TVOC 검사



배터리 해체 검사



소비자 조건 가속 시험



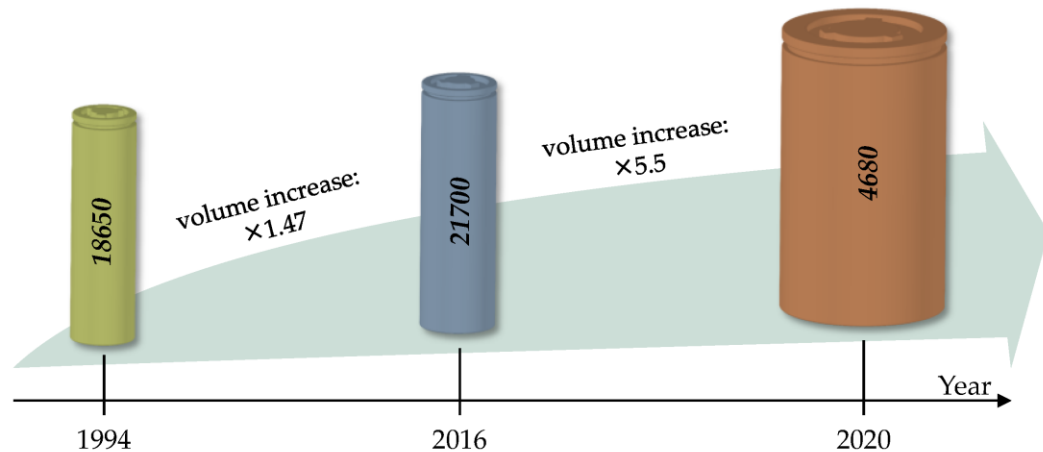
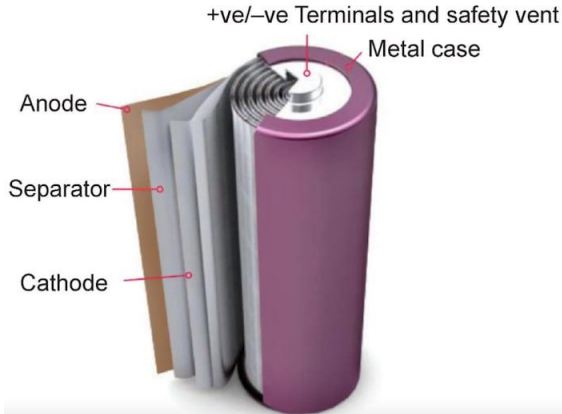
ΔOCV 측정

- 1) 배터리의 안전과 내구성을 검사하는 '안전성 검사' 횟수와 시료 규모를 대폭 확대
- 2) 배터리 외관의 이상 여부를 표준 견본과 비교 평가하는 '배터리 외관 검사'를 적용
- 3) 배터리 내부의 극판 눌림 등을 사전에 발견하기 위한 'x-레이 검사'를 도입
- 4) 완제품을 대상으로 대량 '충·방전 검사'를 진행
- 5) 배터리 누액 발생 여부를 감지해내는 'TVOC(Total Volatile Organic Compound) 검사'를 도입
- 6) 배터리 내부의 탭 용착 상태나 절연 상태, 공정 품질 상태를 확인하는 '배터리 해체 검사'를 실시
- 7) 소비자 사용 환경에 맞춰 집중 검사하는 '사용자 조건 가속 시험'을 진행
- 8) 상온에서의 배터리 전압 변화 유무를 확인, 배터리 이상 여부를 재점검하는 'ΔOCV(Delta Open Circuit Voltage) 측정' 실시

04 원통형 전극 와인딩

◎ 원통형 와인딩 공정

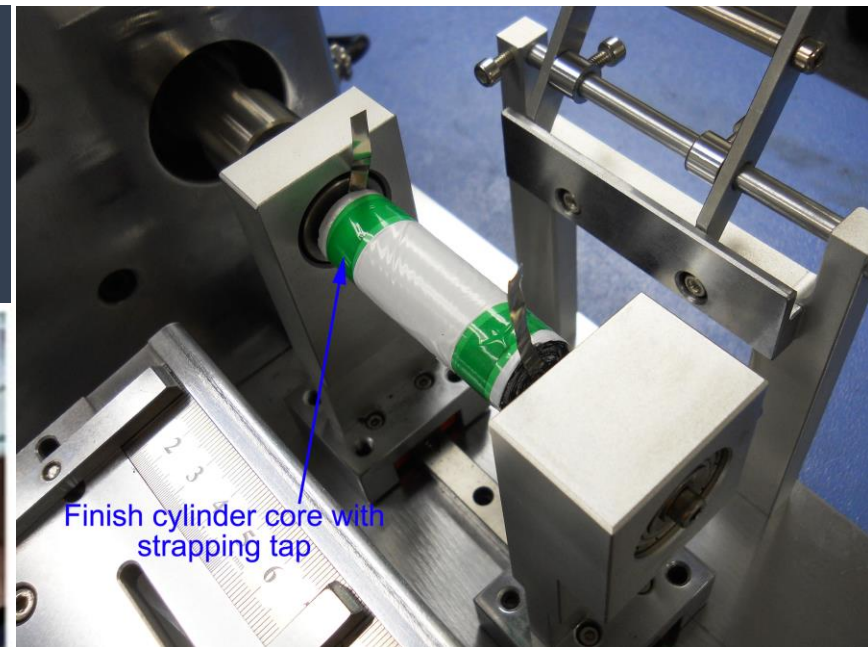
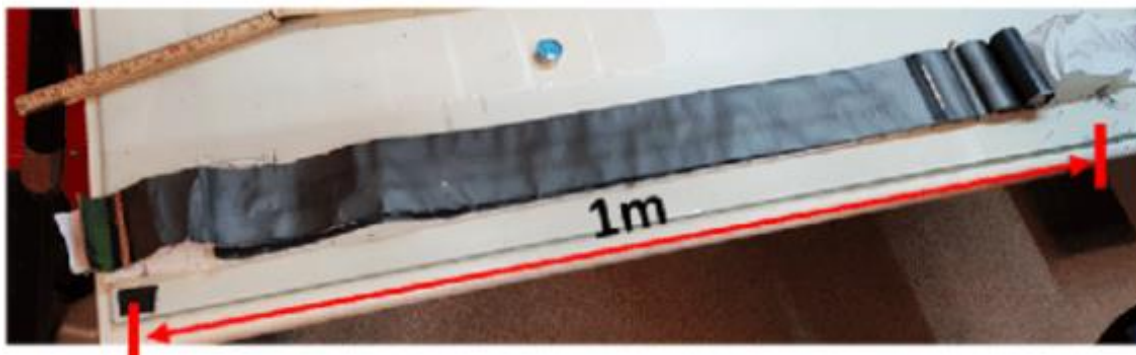
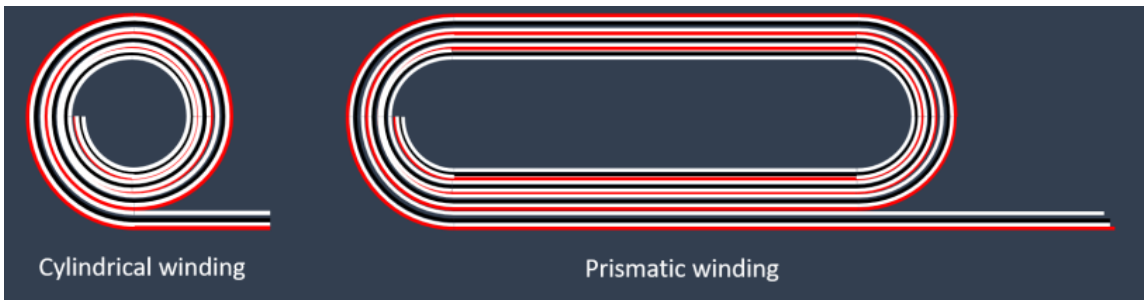
- ◎ 건전지와 비슷하게 생긴 리튬이온전지는 원통형(원형) 전지라고 부름
- ◎ 원통형 전지도 양극/음극/분리막을 와인딩하여 제작하게됨.
- ◎ 최근 경향은 직경을 크게만들어서 더 많은 전극을 말아 넣는것이 트렌드임. 이유는 전기차에 들어가는 배터리의 숫자를 줄여서 관리하는 셀의 개수를 줄이기 위함.



04 원통형 전극 와인딩

◎ 원통형 와인딩 공정

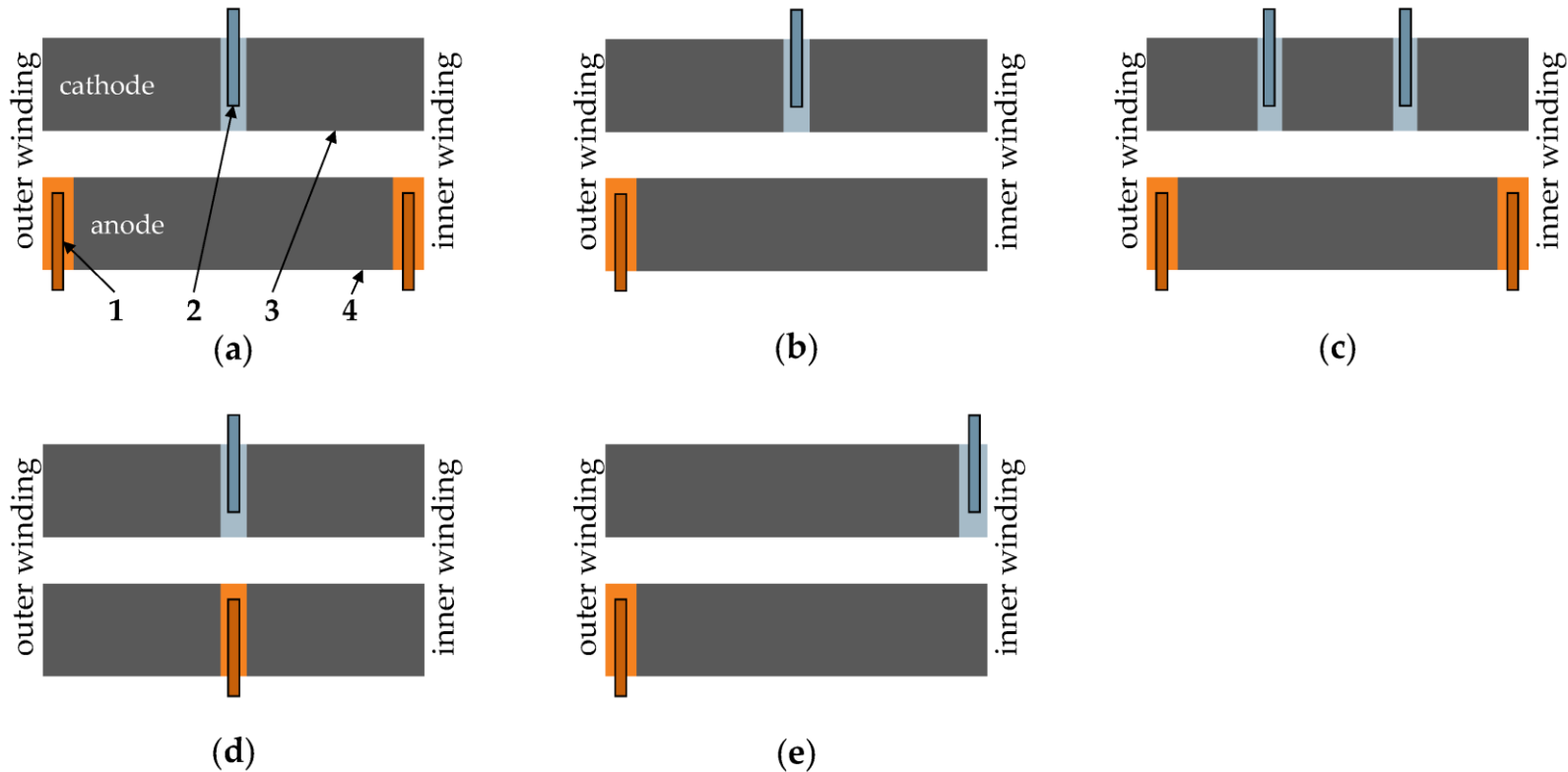
- ◎ 젤리롤은 와인딩형 파우치셀 제작장비와 같은 장비가 사용되며 코어의 형태에 따라 원형 와인딩과 플랫폼와인딩으로 구분됨. 원통형 셀에는 원형 와인딩된 젤리롤이 들어가고, 플랫폼와인딩은 파우치형, 각형 전지 제작에 사용됨.



04 원통형 전극 와인딩

◎ 원통형 와인딩 공정

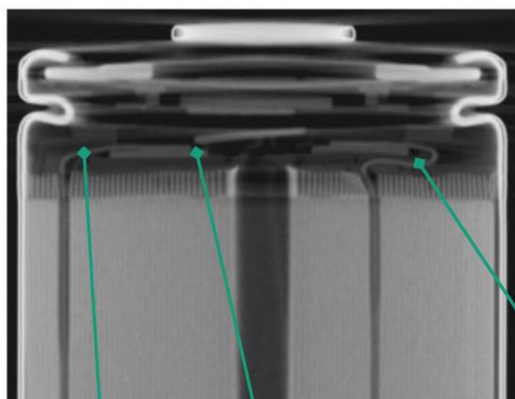
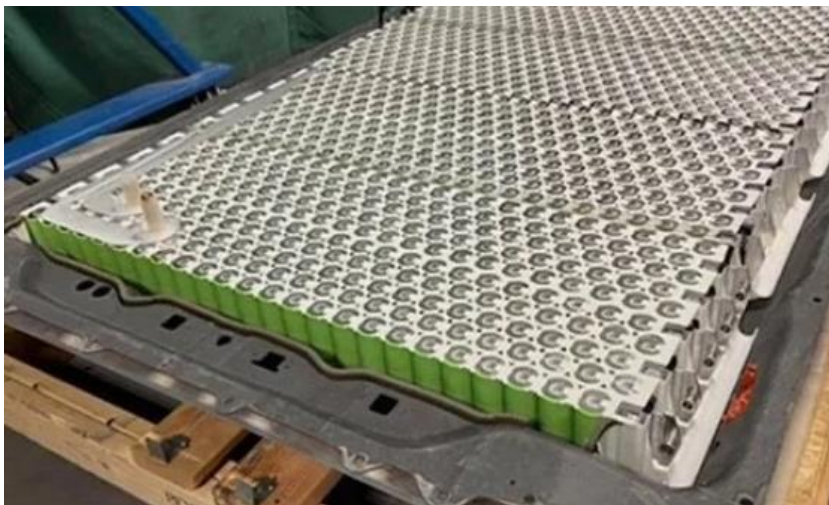
- ◎ 소니(무라타), 삼성, 파나소닉, 산요 등 다양한 회사들이 와인딩 방식으로 원통형 전지를 제작하고있음.
- ◎ 이때, 외부 단자와 연결하는 탭의 위치가 중요하게 되며, 탭을 하나만 구성할 수 도있고, 탭을 2개 이상 구성하여 멀티탭구조로 셀을 제작하기도함.
- ◎ 탭의 개수가 많아질수록 외부의 전력을 공급받거나 방전시 빠른 방전이 가능함. 이를 통해 급속 충전 특성을 얻을 수있음.



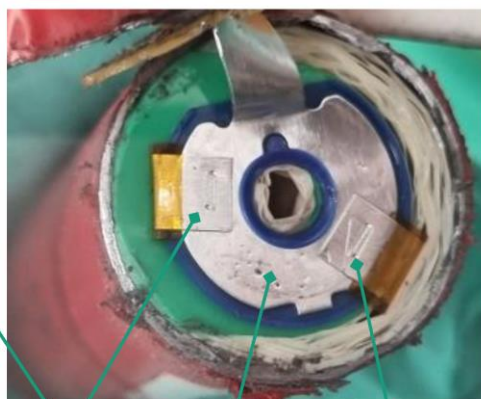
04 원통형 전극 와인딩

◎ 원통형 와인딩 공정

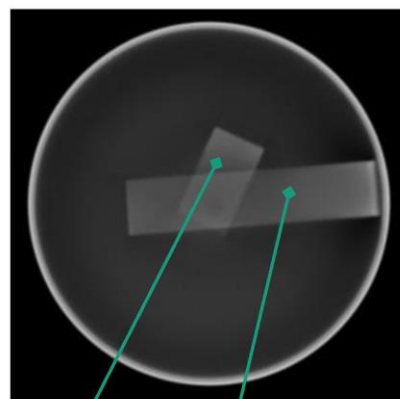
- ☑ 파나소닉의 21700배터리는 양극에 2개의 탭, 음극에 2개의 탭을 연결하여 작동시킴.
- ☑ 전기차에 주로 사용되는 원통형 전지이며 급속충전 및 고출력 특성에 유리함.



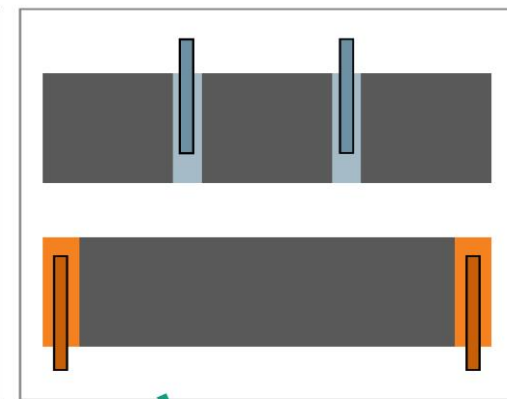
1 2



3 2 1



4 5



6 6

04 원통형 전극 와인딩

◎ 원통형 와인딩 공정

- ◎ 파나소닉의 4680셀의 경우, 더 많은 탭이 전극에 형성되어 있어서 전류 전달에 유리함.
- ◎ 최근 출시한 모델 Y에는 용량과 크기가 커진 4680셀이 장착되어 있고, 새로운 방식으로 와인딩된 전극이 사용됨.
- ◎ 4680 배터리에는 다음과 같은 단점도 있음. 첫째, 배터리가 더 크기 때문에 방사형 및 축 방향 기하학적 대칭이 악화되고 실린더 내부의 양극 및 음극에 대한 요구 사항이 더 엄격함. 두 번째는 배터리 내부의 열을 발산하기가 더 어려워 배터리 수명에 일정한 영향을 미친다는 것

