

배터리제조 핵심 장비 및 디지털 전환 기술



KIMM 한국기계연구원
KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS

연구팀 이차전지장비연구실 이택민 실장

Contents

01 연구실 소개

02 핵심 장비 기술

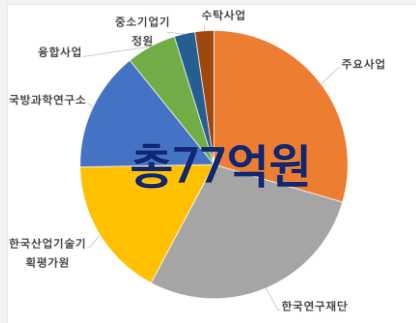
03 디지털 전환 기술

01 이차전지장비연구실 소개

인력 현황

☑️ 정직원 14명, 박사후 연구원 3명, 학생연구원 15명

연구과제수행



논문실적

- SCIE 논문 *PHYSICS, CON. MATTER* (IF 29.4), *MATERIALS SCIENCE, MULTIDISCIPLINARY*. (IF 26.6) 등 16 편

특허실적

- 출원: 국내 7, 해외 4건
- 등록: 국내 8, 해외 3건
- 특허연계 기술이전 4건

홍보



JCK MEMS/NEMS2023 개최



Nano Korea 2023 참가



이차전지장비 연구실 주요 멤버



이택민 (책임연구원)
인쇄전자 공정 및 장비 기술
taikmin@kimm.re.kr



조정대 (책임연구원)
인쇄 / 코팅 / 패터닝 공정
micro@kimm.re.kr



권신 (책임연구원)
인쇄 시스템 설계 및 제작
skwon@kimm.re.kr



김인영 (책임연구원)
인쇄 재료 및 디바이스 제조
ikim@kimm.re.kr



장윤석 (책임연구원)
인쇄 재료 및 디바이스 제조
yjang@kimm.re.kr



이승현 (책임연구원)
롤투롤 인쇄 및 코팅
시스템shlee79@kimm.re.kr



강동우 (책임연구원)
인쇄 시스템 설계 및
제작dwkang@kimm.re.kr



우규희 (책임연구원)
전자 소재 및 공정, 디바이스 제작
khwoo@kimm.re.kr



김현창 (책임연구원)
인쇄 시스템 설계 및 통합
hckim0128@kimm.re.kr



김재영 (선임연구원)
시스템 제어 및 데이터 신호 처리
Jaeyoungkim905@kimm.re.kr



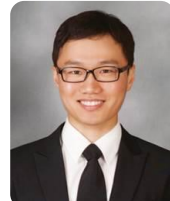
김경록 (선임연구원)
인쇄 시스템 설계 및 제어
kr88kim@kimm.re.kr



이윤기 (선임연구원)
이차전지 소재 및 소자 기술
leeyounki@kimm.re.kr



박평원 (선임기술원)
인쇄장비 및 요소부품 설계
pwpark81@kimm.re.kr



김현태 (선임기술원)
인쇄 시스템 제어 및 제조
kht1682@kimm.re.kr

K-Battery Innovation Consortium (NTC) 구성

“ 출연연 중심의 시장선도형 글로벌 이차전지 얼라이언스 (K-BIC) 구축 ”



첫 째

과학기술분야 정부출연연구기관(25개) 중 이차전지 개발 역할 담당 7개 기관으로 구성

- 이차전지 전 분야 요소 기술 보유·추적
- 관련 분야 우수 연구 인력 및 인프라 확보
- 다양한 산·학 연구 협력 체계 보유

둘 째

이차전지 개발은 화학 기반의 다양한 학문의 융합이 필수적

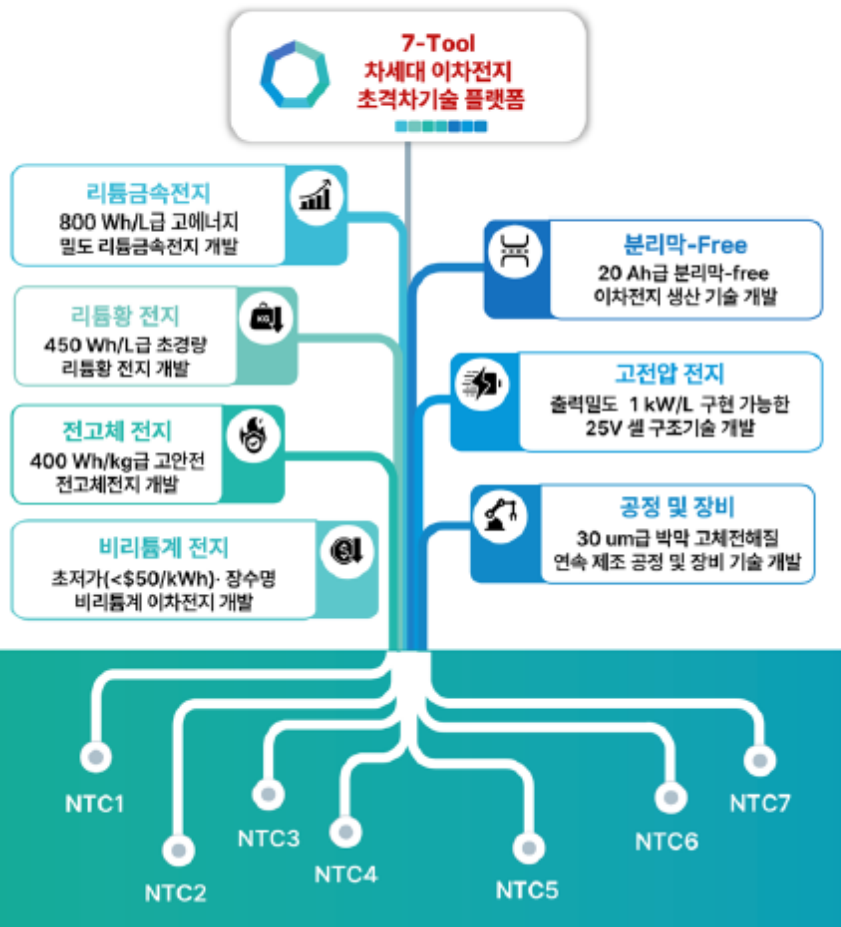
국내 유일 화학 전문 연구기관인 한국화학연구원



화학소재 연구본부 소속 이차전지 그룹이 총괄 NTC 맡아 기관 간 기술 가교 역할 수행 계획

K-Battery Innovation Consortium (NTC) 구성

K-BIC : 대한민국의 이차전지 대표 산·학·연 기관이 모인 컨소시엄의 차세대 이차전지 초격차 융합 플랫폼 확보



연구개발 참여 산·학·연 List

연	
학	
산	

주력산업의 대전환을 위한 AI 자율제조 전략 1.0



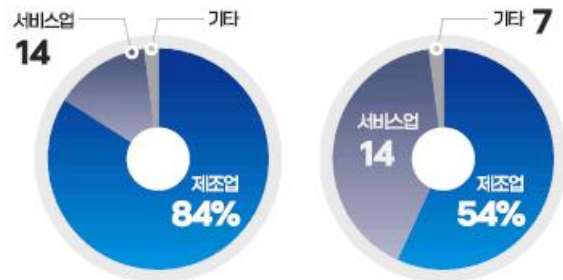
AI 자율제조는 선택이 아니라 생존을 위한 필수 전략입니다.

제조업은 우리 경제의 핵심

▶ OECD 국가 중 제조업 비중 2위



▶ 수출의 84%, 투자의 54% 차지



제조업이 마주친 도전적 난관

▶ 인구 감소는 생산·노동력 부족으로 직결



▶ 우리 제조업의 낮은 노동 생산성



글로벌 금융위기 이후 제조업 성장 둔화

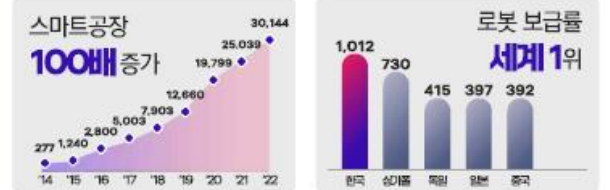


AI+제조는 미래 경쟁력의 원천

▶ 글로벌 차원에서 AI + 제조 융합 활발



▶ 국내도 DX를 적극 추진 중



▶ 그러나 아직, 선점자가 없는 초기 단계



대한민국을 대표하는 산·학·연이 AI 자율제조 얼라이언스에 참여합니다.

업종별 대표기업

▶ 150개 이상 업종별 대표기업 참여

대기업
21%

중견기업
23%

중소기업
56%

대한민국 시총의

30%

대한민국 매출액의

40%

업종별 전문 연구기관

자동차	
전자	
기계·장비	
조선	
이차전지	
반도체·디스플레이	
석유화학	
방산항공	
바이오	
철강	
섬유	
나노소재	

분야별 전문가 집단

학계	
SW, SI, AI, 로봇 전문 기업	
법·제도 전문가	

이차전지 장비연구실 목표 및 전략

전략목표

롤투롤/디지털전환을 통한 세계1등 이차전지 제조 공정/장비 국가연구실

주요 이슈

이차전지장비 R&D 고도화

국가기술센터(NTC) 지정

이차전지장비 산업 정책 수립 및 지원

- 정밀 장비 설계/제어/제조
- 인공지능기반 디지털전환
- 롤투롤/코팅/인쇄 공정

- 이차전지 정출연 네트워킹
- 글로벌 Top10 참여
- 국내유일 이차전지장비 NTC

- 기업체 동반 관계 구축
- KEIT 대응 PD 정책 지원
- 산업부/협회/조합 네트워킹
- 시험 평가/표준화 지원

핵심 역량



차세대 이차전지 NTC

차세대 이차전지 NTC	차세대 이차전지 NTC 총상기						
	최제민 NTC-1 제1호	최제민 NTC-2 제2호	KIST NTC-3 제3호	최제민 NTC-4 제4호	ETRI NTC-5 제5호	최제민 NTC-6 제6호	최제민 NTC-7 제7호
차세대 이차전지 NTC	○ (주요)	○	○	○	○	○	○
차세대 이차전지 NTC	○	○	○	○	○	○	○
차세대 이차전지 NTC	○	○	○	○	○	○	○
차세대 이차전지 NTC	○	○	○	○	○	○	○
차세대 이차전지 NTC	○	○	○	○	○	○	○
차세대 이차전지 NTC	○	○	○	○	○	○	○
차세대 이차전지 NTC	○	○	○	○	○	○	○



추진 기반

연구몰입환경 강화

시너지/집단지성 발휘

인적/물적 지원 집중화

이차전지장비 연구실 로드맵 (기술)

2024

2025

2026

2027

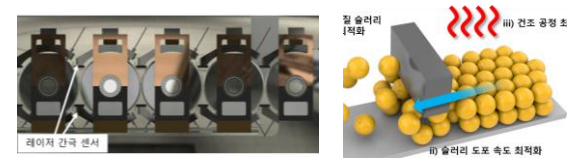
2030

이차전지
공정장비
(산업화)

이차전지장비 핵심(전극/믹싱/롤투롤/캘린더링/측정) 기술



차세대 이차전지 제조장비 기술

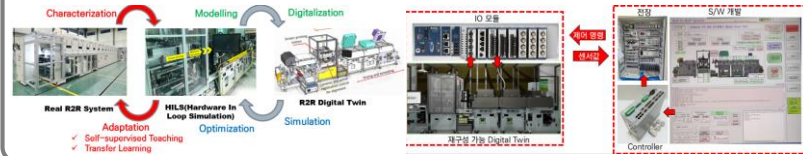


디지털
전환
(미래)

이차전지제조장비 디지털전환 원천기술



이차전지제조장비 디지털전환 생산장비 적용기술



유연인쇄
전자
(기반)

롤투롤 기반 전자소자 제조 공정/장비



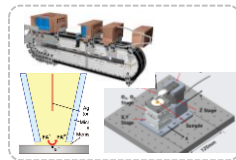
자유폼팩터(신축/3D/인물드/초박판) 전자소자 하이브리드 제조



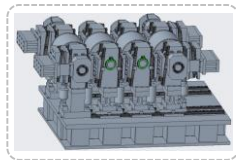
예상
성과물



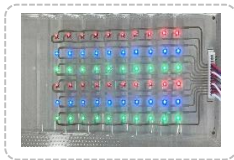
롤투롤 디지털트윈



이차전지 조립 패키징/
초정밀 스테이지



다단압연 이차전지
건식 제조장비



인물드 일렉트로닉
제조 기술



차세대 이차전지
제조장비

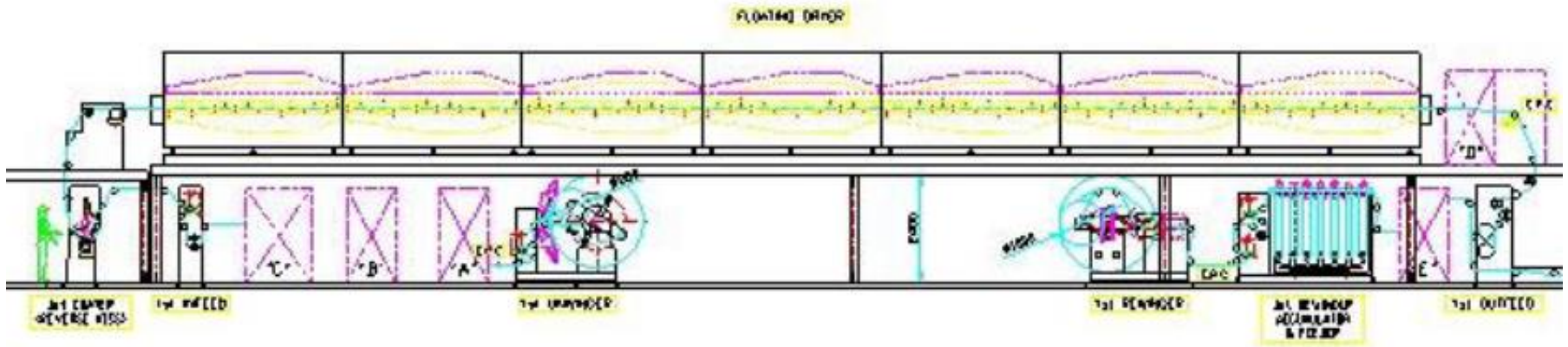


차세대 이차전지
디지털트윈

2. 이차전지 핵심 장비 기술 소개



롤투롤 장비의 장력제어

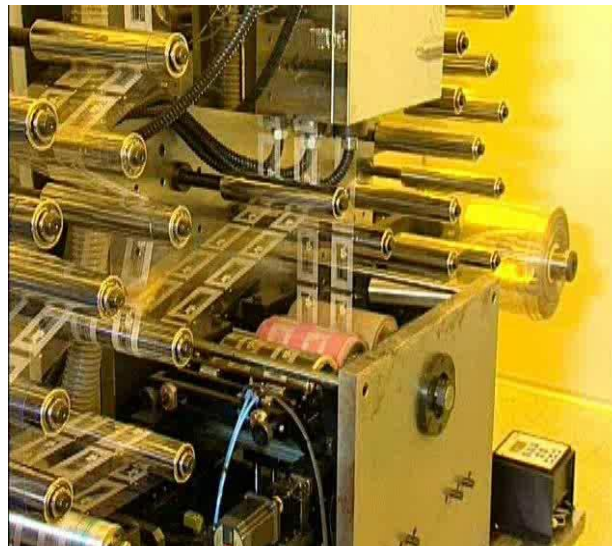


Challenge : 롤투롤 장력 제어 기술의 확보

➤ 목표 : 롤투롤 이송시 모든 구간의 장력을 알고, 이를 제어할 수 있게 되는 것

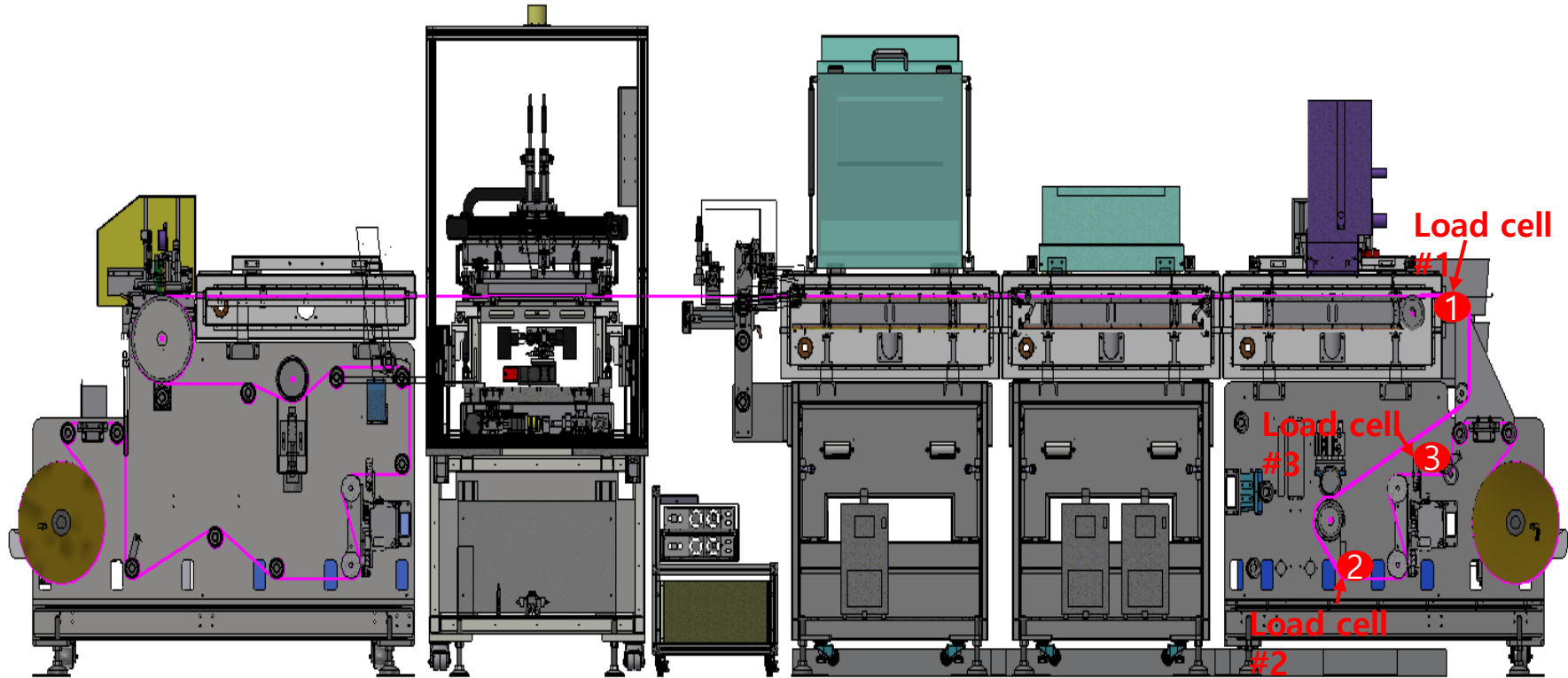
- ✓ 장력을 알면 장력에 의한 웹의 변형과 처짐을 알 수 있음
- ✓ 제품 품질 향상 가능 : 불량 방지, 잔류응력에 의한 제품의 힘 방지, 정밀 얼라인
- ✓ 정밀 롤투롤 장비의 설계/제어/제작 가능: 롤과 롤사이의 거리/각도, 장력센서의 배치, 각종 모듈/제어기의 배치, 제어 방식, 제어 파라미터 선정 등등.

필름 종류	요구 값
Al Foil	8.9 kg/m
Cu Foil	8.9 kg/m
Cellophane	13.4 kg/m
Polyethylene	2.1 kg/m
Polypropylene	4.4 kg/m
Polystyrene	17.7 kg/m



- ✓ 롤투롤 장력의 물리적 모델 및 제어 방안 필요
- ✓ 장력에 따른 웹의 늘어짐 모델 필요

R2R 슬롯다이 코터



Functional Requirement

- Precise control
- Low tension control
- Scalability

Design Parameter

- Precision tension control/design
- Eliminating tension reduction factors
- Independent control design

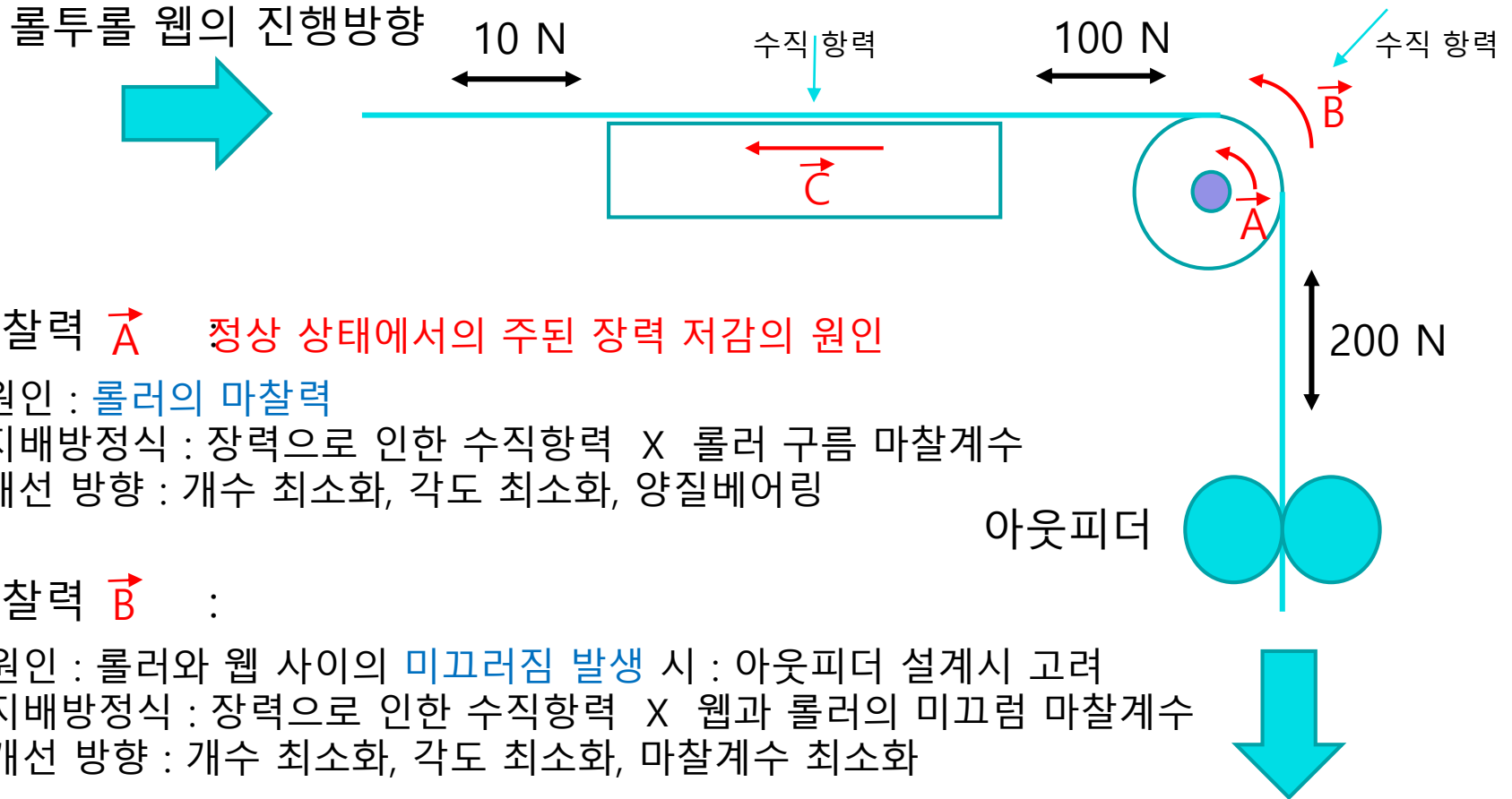
Experimental Evaluation

- Main tension : 2, 3, 5, 7 kgf
- Rewinder tension : 2, 3, 5, 7 kgf
- Web speed :
- Furnace : On/Off

롤투롤 제조장비의

1. 장력을 알고
2. 장력을 제어하고
3. 장력을 최적화 하자

롤투롤 웹이송의 장력의 저감 발생 원인



마찰력 \vec{A} 정상 상태에서의 주된 장력 저감의 원인

- 원인 : 롤러의 마찰력
- 지배방정식 : 장력으로 인한 수직하향력 \times 롤러 구름 마찰계수
- 개선 방향 : 개수 최소화, 각도 최소화, 양질베어링

마찰력 \vec{B} :

- 원인 : 롤러와 웹 사이의 미끄러짐 발생 시 : 아웃피더 설계시 고려
- 지배방정식 : 장력으로 인한 수직하향력 \times 웹과 롤러의 미끄럼 마찰계수
- 개선 방향 : 개수 최소화, 각도 최소화, 마찰계수 최소화

마찰력 \vec{C} :

- 원인 : 롤러와 받침대사이의 미끄러짐 : 발생회피
- 지배방정식 : 접촉, 정전기 등으로 인한 수직하향력 \times 받침대와 롤러의 미끄럼 마찰계수
- 개선 방향 : 공정 관리, 마찰계수 최소화

정상상태에서의 장력 저하 해석

✓ 가정: 롤러와 웹 사이의 미끄러짐 발생 없음

$$k_n = \cos \frac{\theta_n}{2}$$

$$N_n = k_n(T_n + T_{n+1}) \quad (1)$$

$$T_n - T_{n+1} = F_n = \mu_n N_n \quad (2)$$

식 (1),(2) 로부터

$$T_n - T_{n+1} = \mu k_n (T_n + T_{n+1})$$

정리하면,

$$\frac{T_{n+1}}{T_n} = \frac{1 - \mu_n k_n}{1 + \mu_n k_n} = r_n \quad (3)$$

$$T_n = r_1 r_2 \cdots r_{n-1} T_1 \quad (4)$$

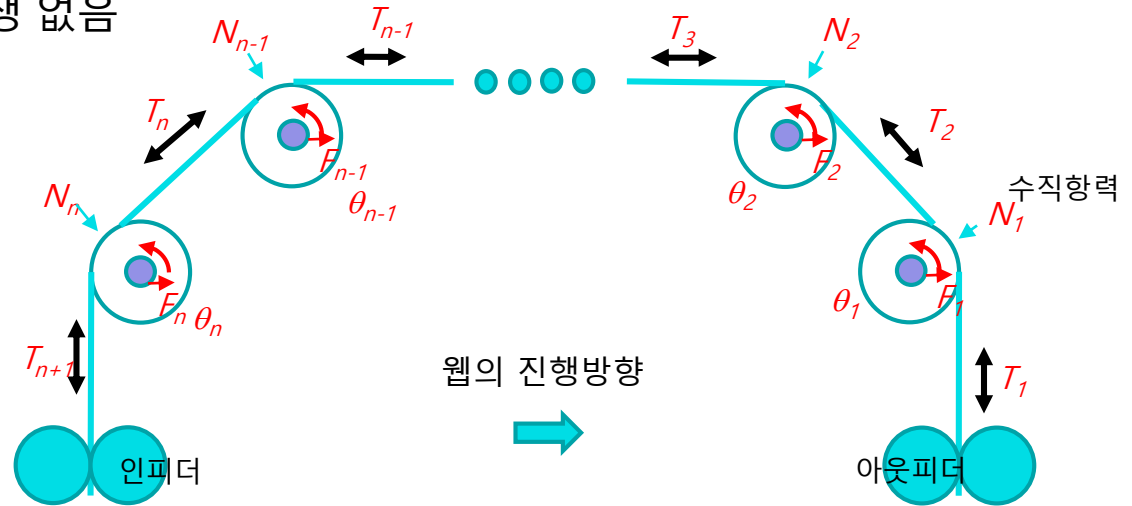
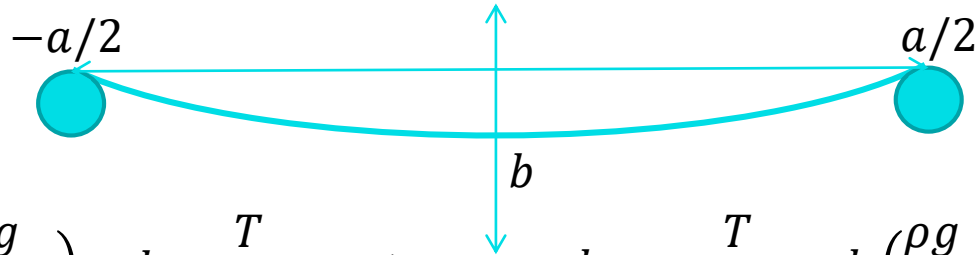


표 : 마찰계수에 따른 장력 변화 비율

μ	θ	k_n	r_n
0.01	135	0.38	0.99
0.01	90	0.71	0.99
0.01	0	1.00	0.98
0.02	135	0.38	0.98
0.02	90	0.71	0.97
0.02	0	1.00	0.96
0.05	135	0.38	0.96
0.05	90	0.71	0.93
0.05	0	1.00	0.90

장력에 따른 웹의 처짐 해석 : 현수선의 방정식

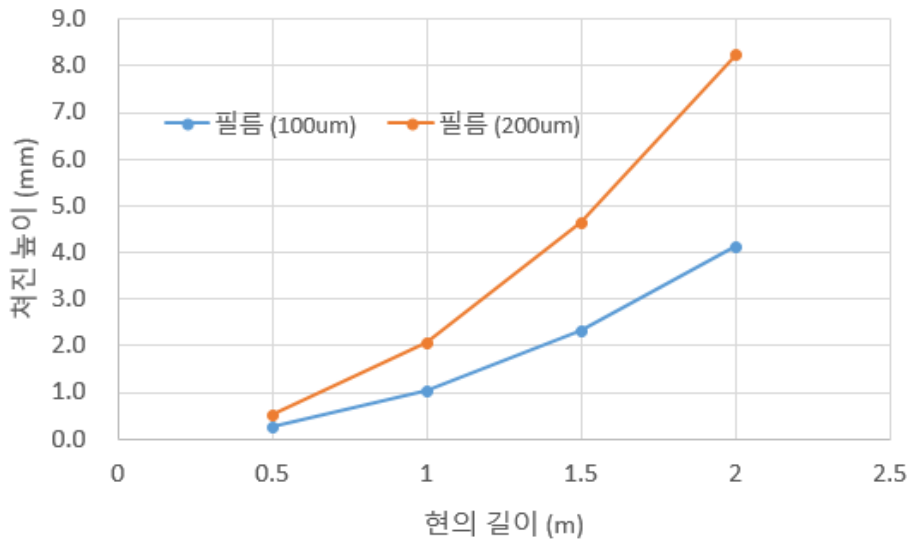
- ✓ 웹에 장력이 걸릴 경우 처짐량의 물리적 모델
- ✓ 웹의 길이/두께/밀도/장력에 따른 웹의 처짐 수식화



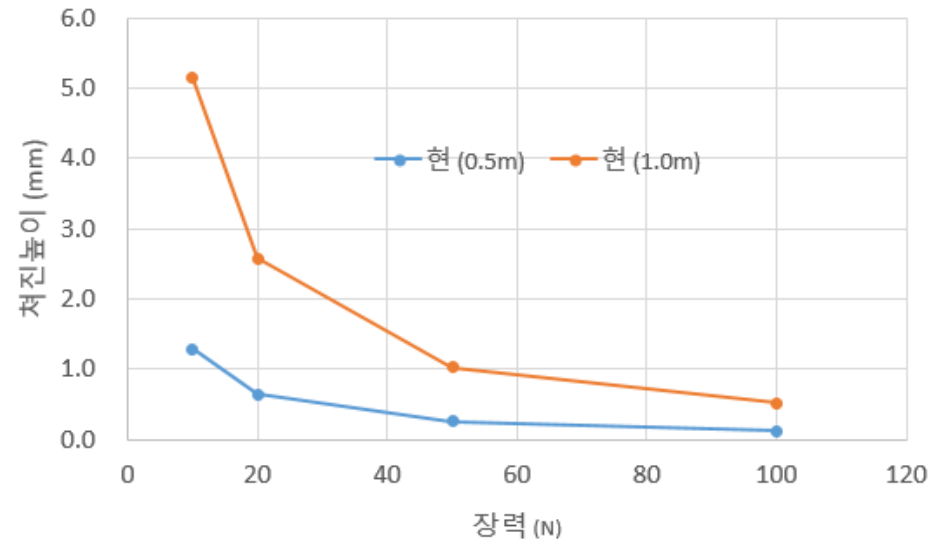
$$y = \frac{T}{\rho g} \cosh\left(\frac{\rho g}{T} x\right) + b - \frac{T}{\rho g} \quad (1)$$

$$b = -\frac{T}{\rho g} \cosh\left(\frac{\rho g}{2T} a\right) + \frac{T}{\rho g} \quad (2)$$

처짐 (50N, 300mm, PET)



처짐 (두께100um, 폭300mm, PET)

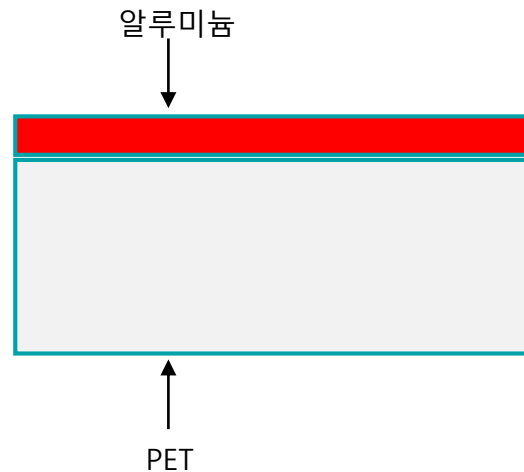


필요성 : 장력에 따른 웹의 잔류응력

- 목표 : 롤투롤 유연기판상 장력으로 인한 잔류응력 모델링
 - ✓ 롤투롤 장력이 걸린 상태에서 증착함에 따라서, 장력을 풀어준 후에 잔류응력으로 인한 힘 발생 확인
 - ✓ 장비의 저장력 구동을 위한 설계 기술 적용 및 이의 힘 분석 및 예측 기술 연구

필름 종류 : PET
 필름 두께 : $150 \mu m$
 웹 폭 : $300 mm$
 필름 밀도 : $1400 kg/m^3$
 장력 : $50 N$ (센서값 $100 N$)

코팅 종류 : 알루미늄 전극
 두께 : $1 \mu m$



잔류응력으로 인한 힘 발생

유연 필름상의 잔류응력 모델

필름 종류 : PET
 필름 두께 : $150 \mu\text{m}$
 웹 폭 : 300 mm
 필름 밀도 : 1400 kg/m^3
 장력 : 50 N (센서값 100 N)



코팅 종류 : 실버 전극
 두께 : $1 \mu\text{m}$

$$e = \frac{\sigma}{E_{Ag}} = \frac{50 \text{ N} / (150 \times 10^{-6} \times 0.3)}{83 \times 10^9} = 0.013 \times 10^{-3}$$

가정 :

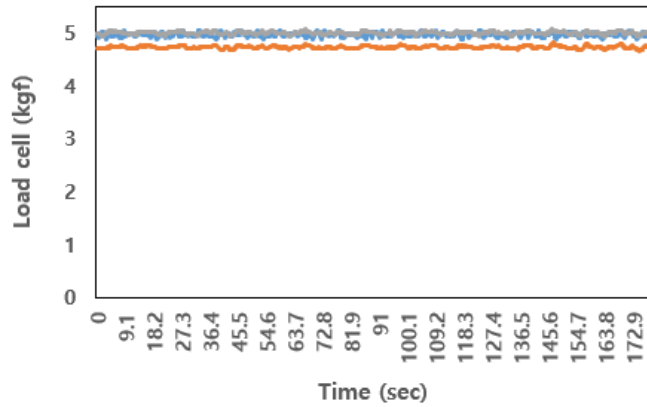
1. 실버와 필름상의 탄성계수차가 매우 큼
2. 롤투롤 공정 중에 필름에 가해졌던 인장응력이 롤투롤 공정 후에 사라지면서, 코팅된 실버에 고스란히 가해진다고 가정
3. 실버의 두께가 PET에 비해 매우 얇다고 가정

$$R = \frac{1}{6\sigma} \frac{E_s}{(1 - \nu_s)} \frac{d_s^2}{d_f} = \frac{2.5 \times 10^9 \times (150 \times 10^{-6})^2}{6 \times 1.1 \times 10^6 \times 0.9 \times 1 \times 10^{-6}} = 9.47$$

롤투롤 통합 코팅 시스템의 정상상태에서의 장력 분석

Raw data graph

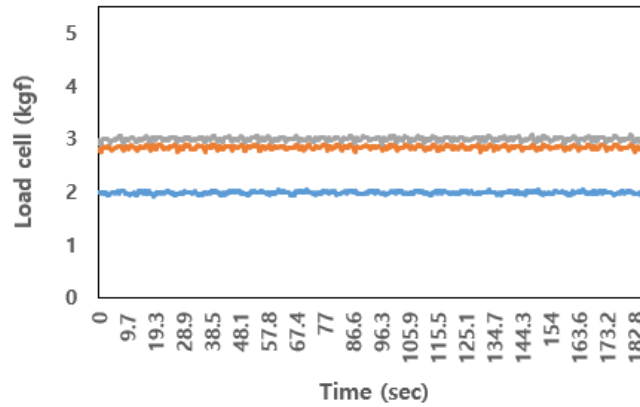
실험 시간 : 180 sec



— Load cell #1 — Load cell #2 — Load cell #3

속도 50
 목표장력 5
 리와인더 5

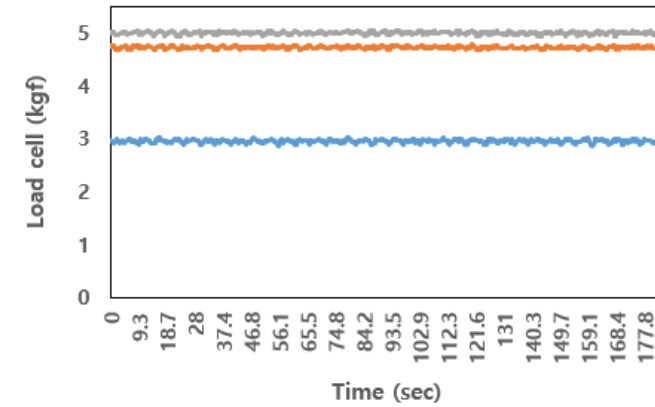
	Load cell #1	Load cell #2	Load cell #3
min	4.87	4.66	4.94
max	5.06	4.81	5.08
average	4.970	4.732	5.001
stdev	0.035	0.025	0.026



— Load cell #1 — Load cell #2 — Load cell #3

속도 100
 목표장력 2
 리와인더 3

	Load cell #1	Load cell #2	Load cell #3
min	1.91	2.75	2.90
max	2.05	2.91	3.08
average	1.984	2.841	2.999
stdev	0.025	0.032	0.033



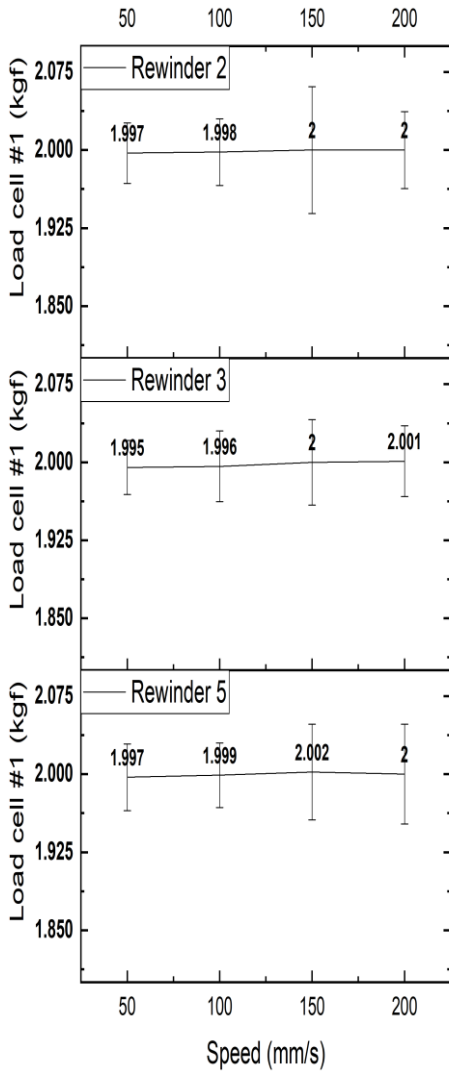
— Load cell #1 — Load cell #2 — Load cell #3

속도 150
 목표장력 3
 리와인더 5

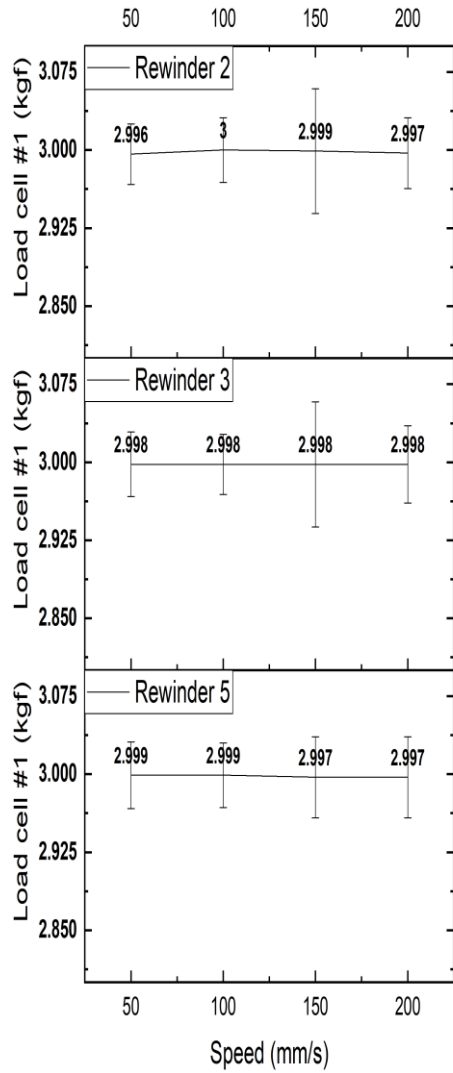
	Load cell #1	Load cell #2	Load cell #3
min	2.87	4.67	4.93
max	3.03	4.79	5.06
average	2.954	4.728	5.000
stdev	0.030	0.023	0.024

Main Tension

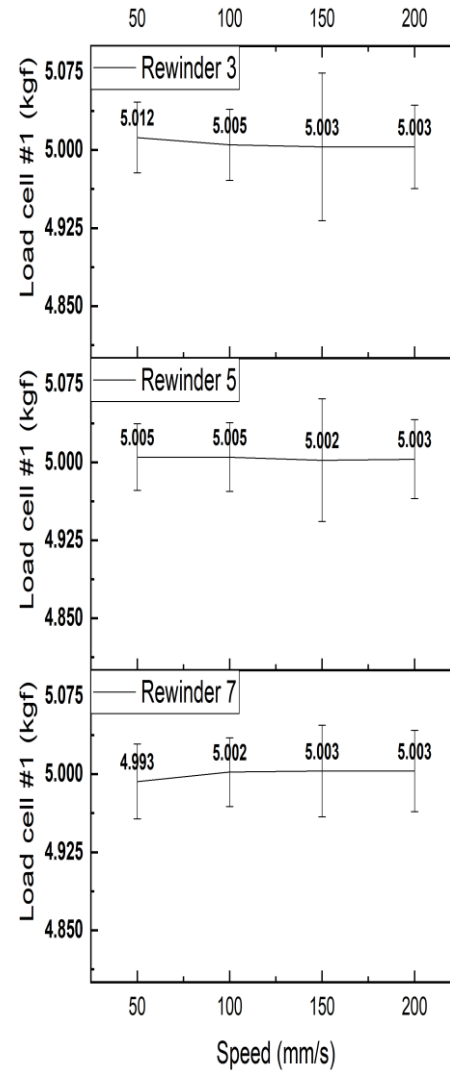
Target Tension : 2 kgf



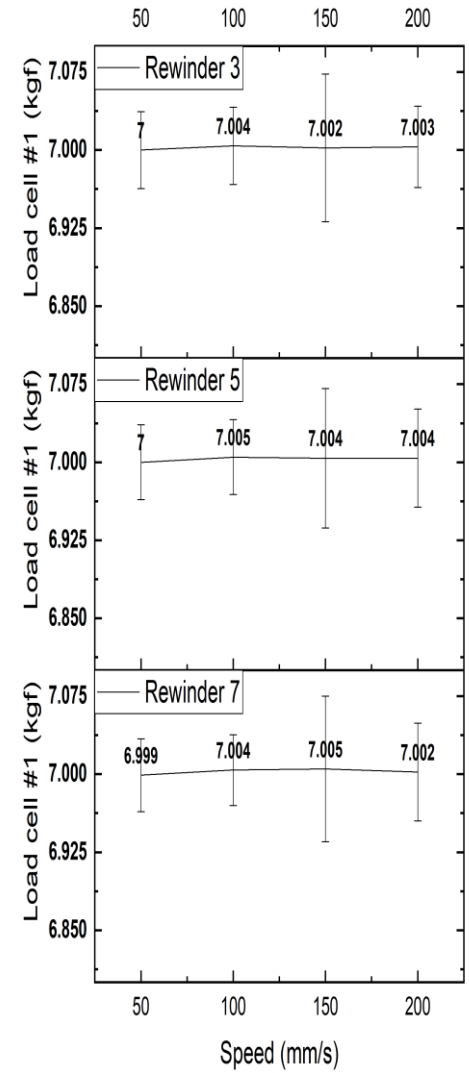
Target Tension : 3 kgf



Target Tension : 5 kgf



Target Tension : 7 kgf

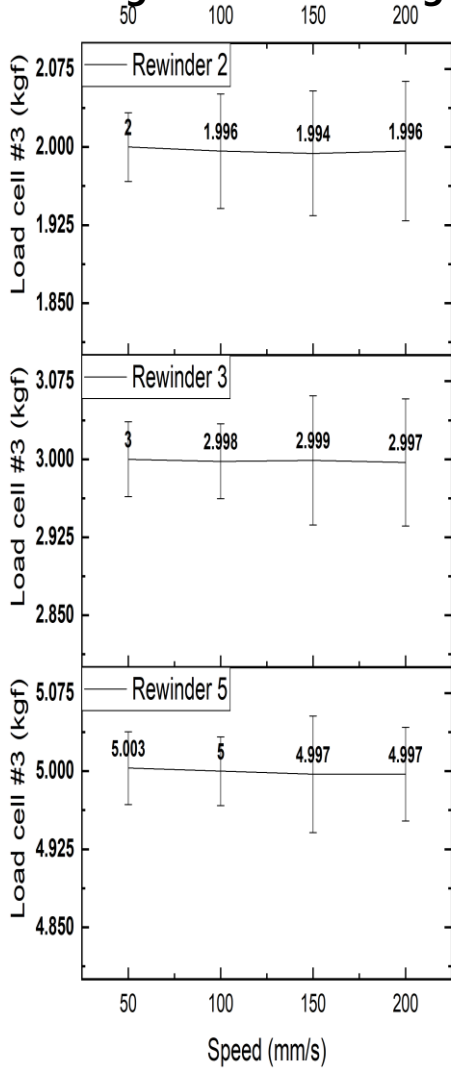


Main Tension Control

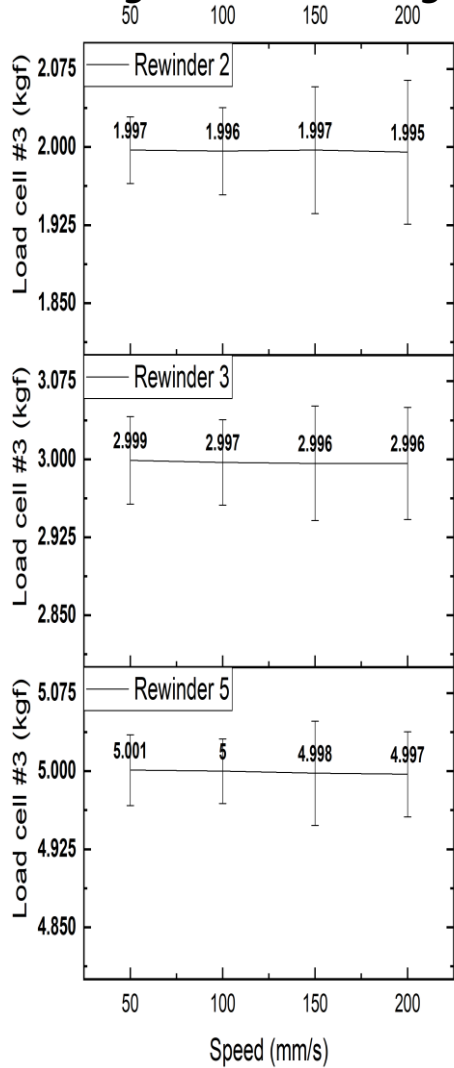
= Accuracy **100.01 %**, Precision **0.09 kgf, 1.15 %**

Rewinder Tension

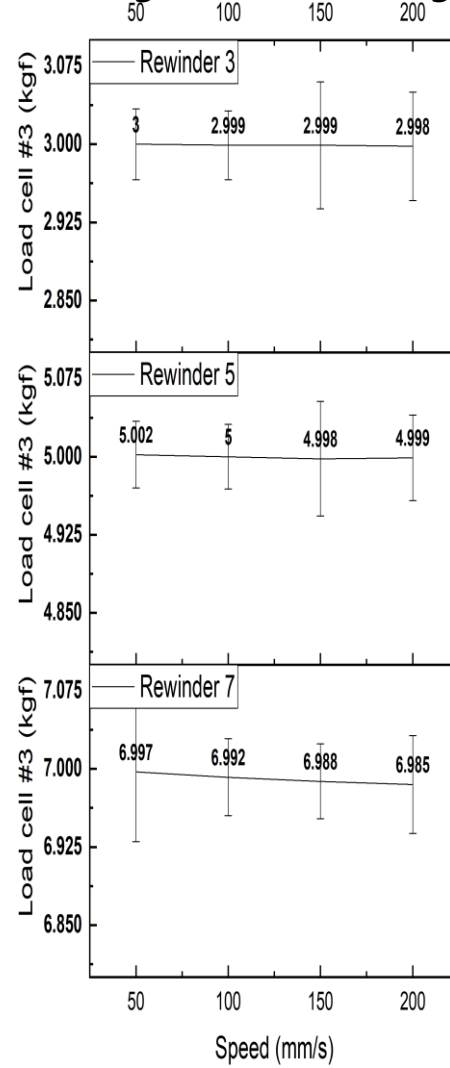
Target Tension : 2 kgf



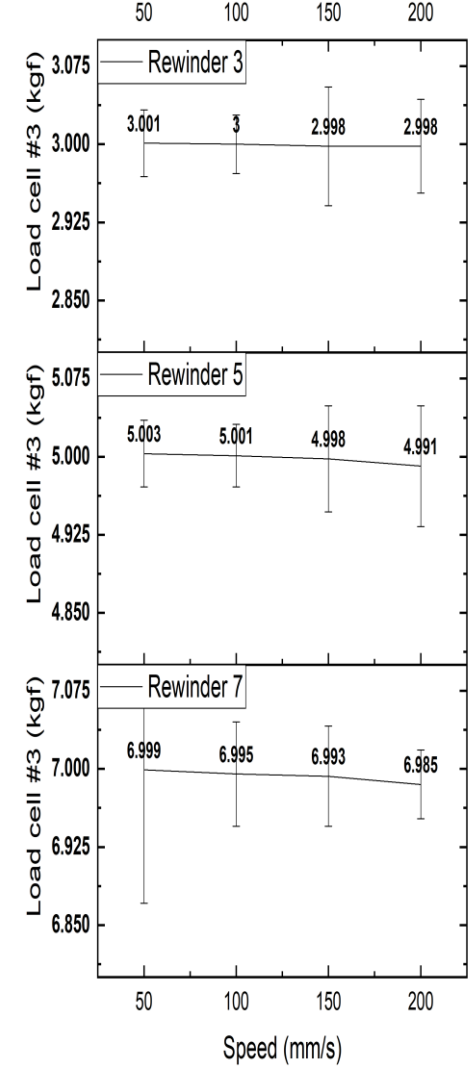
Target Tension : 3 kgf



Target Tension : 5 kgf



Target Tension : 7 kgf



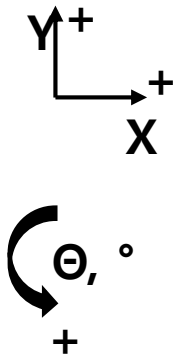
Rewinder tension
= Accuracy **99.9%**, Precision **0.08 kfg 1.35 %**



- Control Independency
- Scalability

Precise Registration (250 times multi printing)

■ reference
■ measured



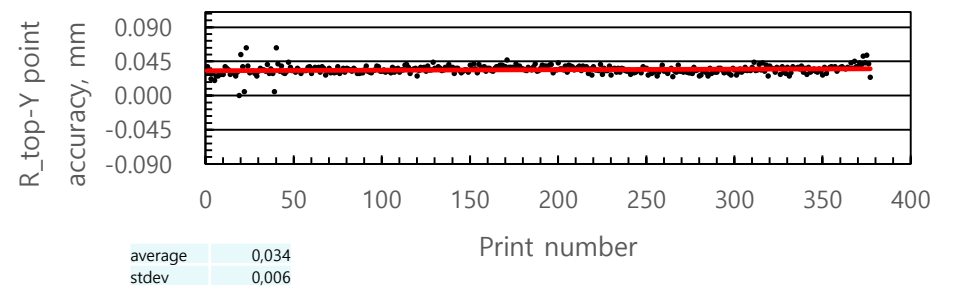
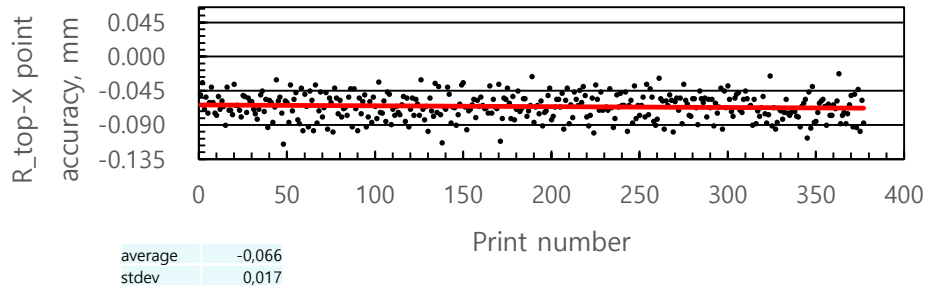
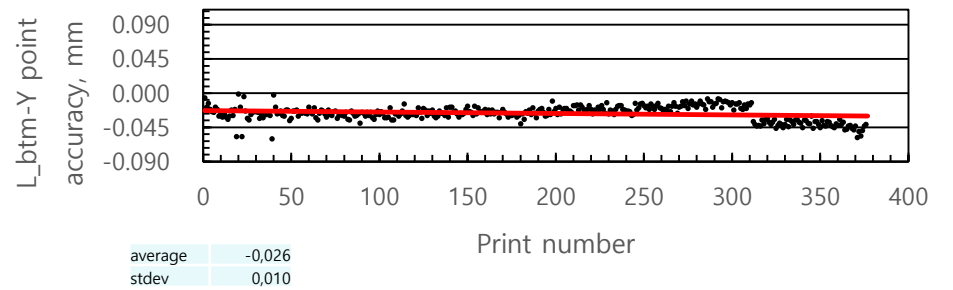
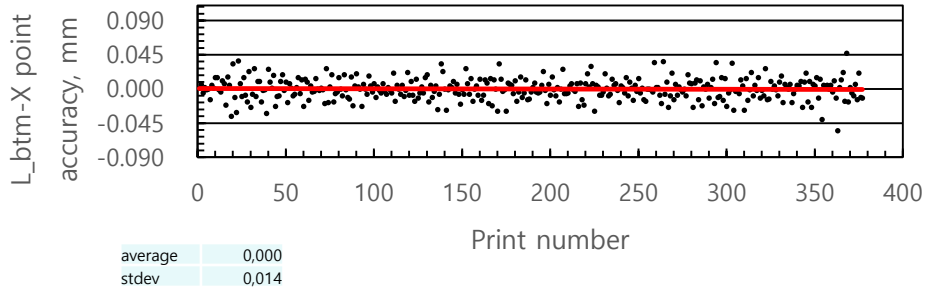
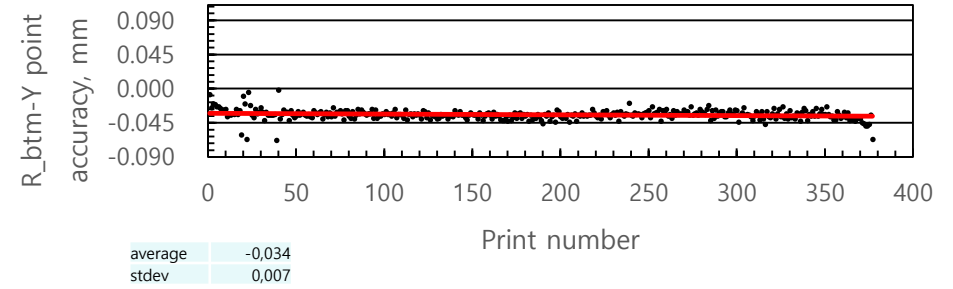
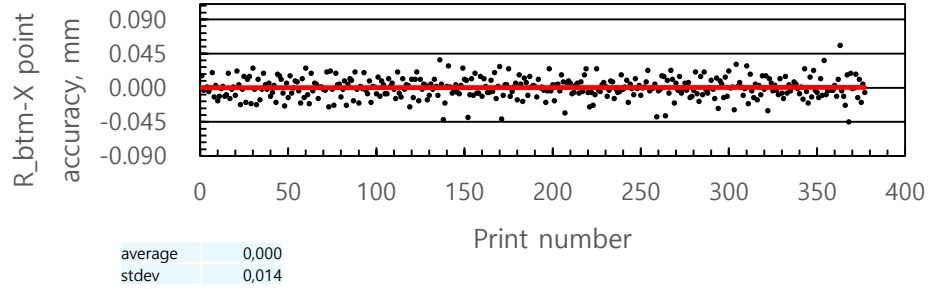
	X	Y
RT point accuracy, μm	-10	-4
RT point precision (σ), μm	14	8

	X	Y
LB point accuracy, μm	-1	5
LB point precision (σ), μm	9	7

	X	Y
RB point accuracy, μm	1	4
RB point precision (σ), μm	11	7

Tilting accuracy, $^{\circ}$	0.000
Tilting precision (σ), $^{\circ}$	0.001

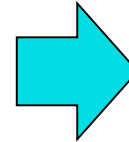
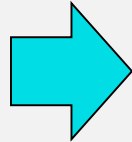
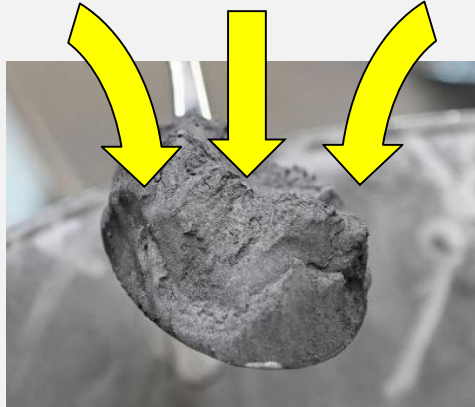
Raw data of Registration



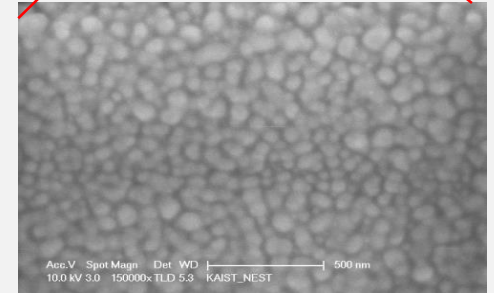
Challenge : Sintering to Dense Pattern

Paste Manufacturing

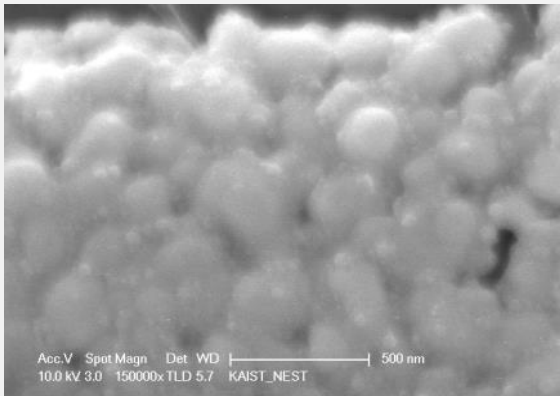
Solvent Binder Additives



Coating & Printing

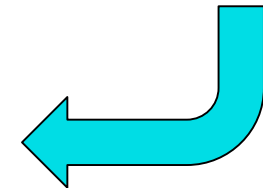
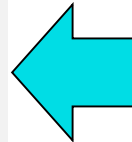
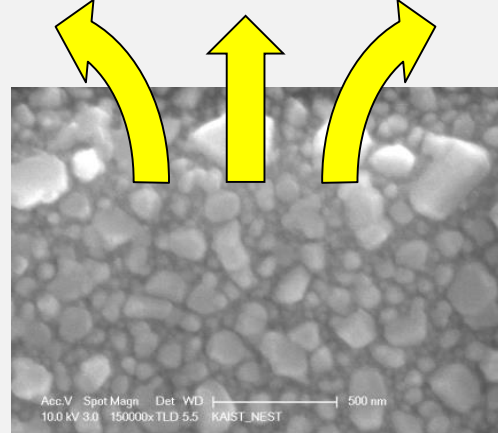


Sintering



Drying & Burning

Solvent Binder Additives



Sintering Process

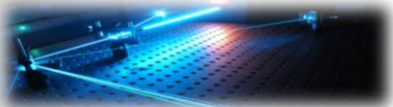
❖ Conventional sintering method

- **Thermal sintering**



- ❖ **High temperature**
- ❖ **Time-consuming**

- **Laser sintering**

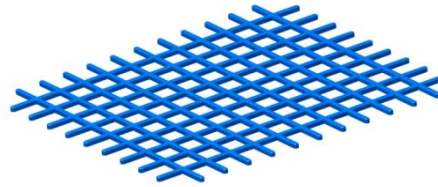


- ❖ **A sophisticated system**
- ❖ **Small spot sintering**

- **Plasma sintering**



- ❖ **Low productivity**
- ❖ **Damage of substrate**

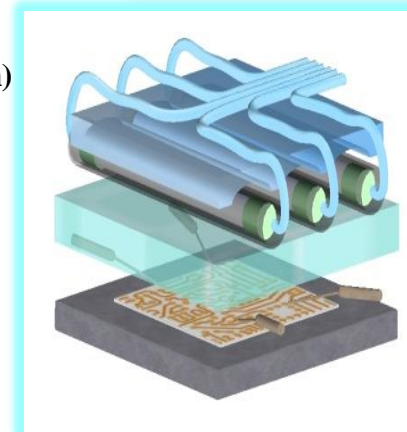
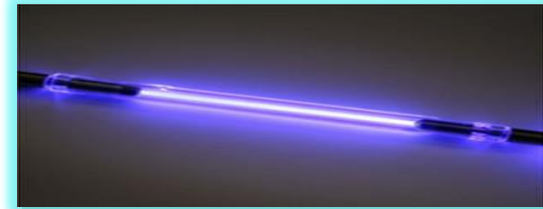


90 % > empty space
UV-vis spectrum of silver (430 nm)
Xenon lamp spectrum



패턴외 공간에
손상없이 소결을 진행

❖ Flashlight sintering method



- Xenon Lamp
- Rapid sintering of metal ink(ms)
- Ambient condition
- Selectable sintering (No damage to substrate)

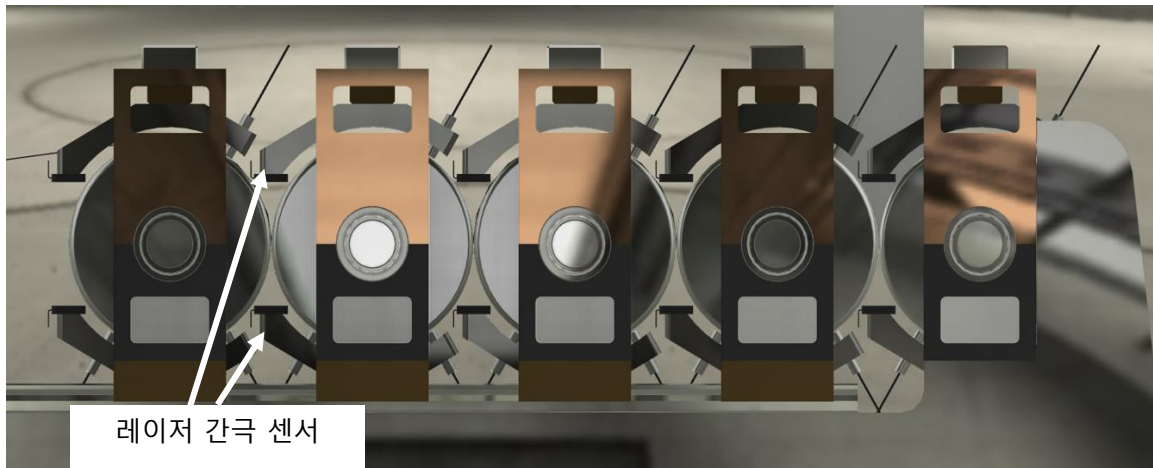
Challenge : Calendering Uniformity

롤러 간극 및 형상/위치 오차 복합 기상 측정 기술

● 복합 측정을 위한 테스트 베드 구축 진행 중

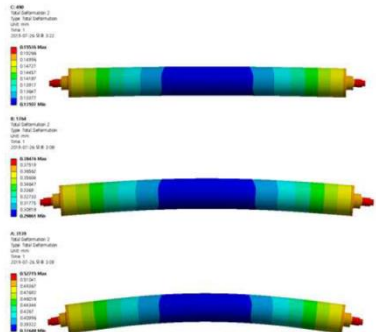
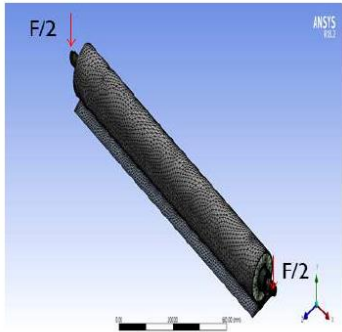
1. 레이저 기반 롤러 간극 직접 측정

2. 공정 중 간극의 변화를 롤러 형상/위치 오차 측정 간접 측정으로 예측



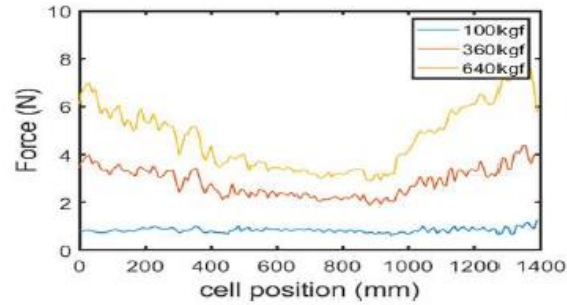
롤러 간극 및 운동/형상 오차의 기상 측정 시스템 개발(안)

해당 기술 명: 1200mm급 광폭 인압 정밀/균일 제어 기술

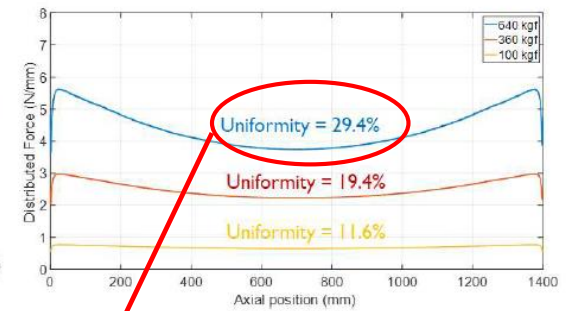


<가압력에 따른 롤의 변형 비교, 100kgf(상), 360kgf(중), 640kgf(하)>

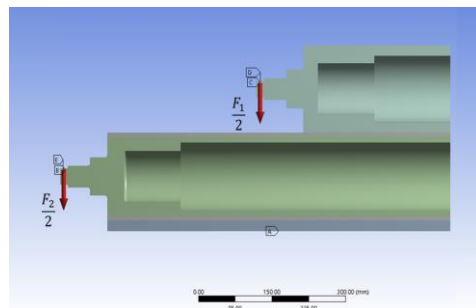
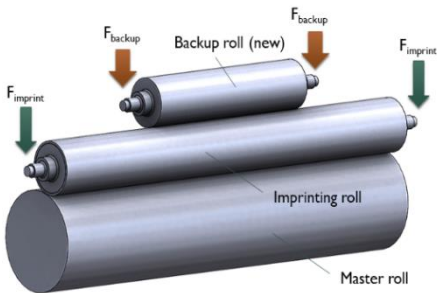
실험 측정 결과



수치해석 결과

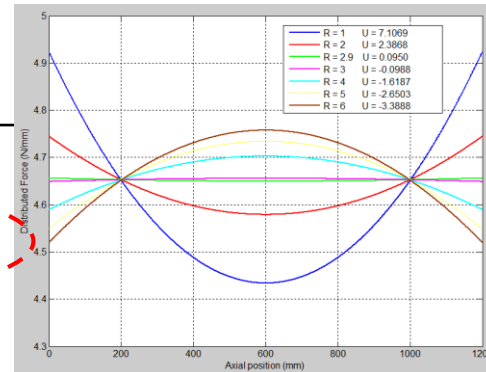


<가압력에 따른 축방향 인압 분포 하중 비교, 균일도 오차 11.6%(100kgf), 19.4%(360kgf), 29.4%(640kgf)>



백업롤 추가 (R=F2/F1)

Backup roller length L (mm)	Force ratio R	Total force ΣF	Uniformity U (%)
600	1	6400	7.1069
600	2	6400	2.3868
600	2.9	6400	0.095
600	3	6400	-0.0988
600	4	6400	-1.6187
600	5	6400	-2.6503
600	6	6400	-3.3888

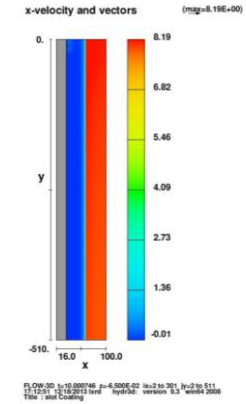
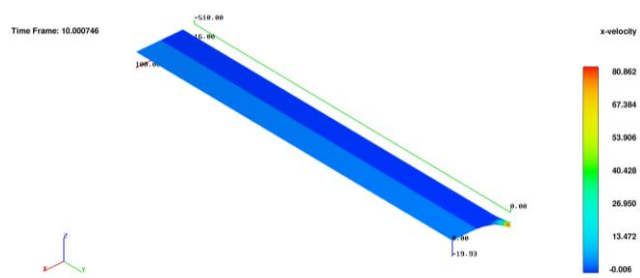
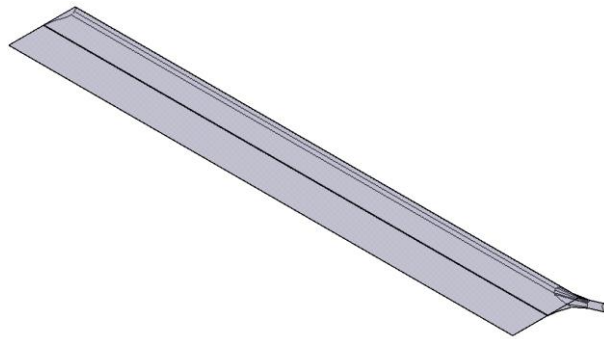


<백업롤 보정시 (R~3) 인압 불균일도 해석결과 : 6400N 가압시 0.1% 불균일도 발생>

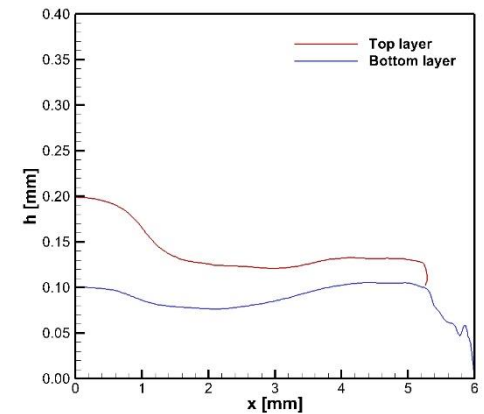
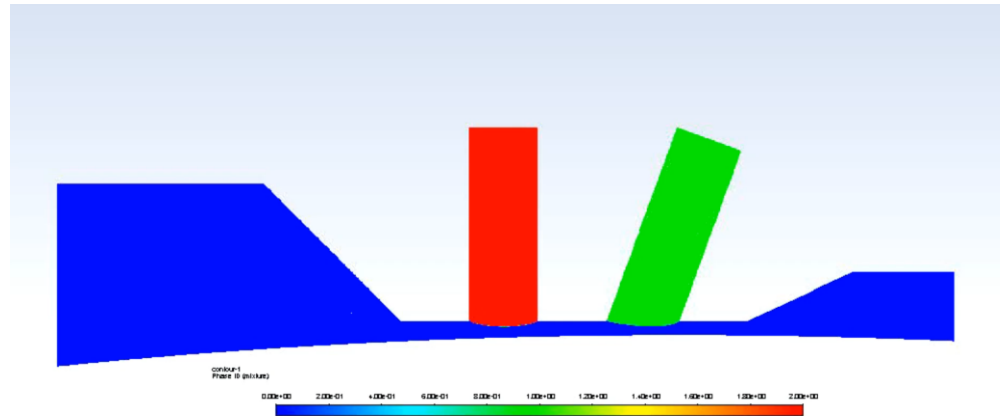
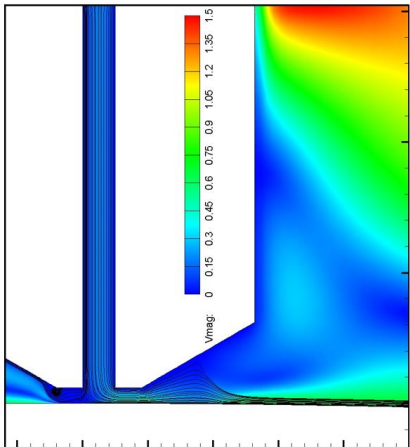
백업롤을 통하여 1200mm급 광폭에서 균일 인압 달성 가능함을 수치해석을 통해 확인

해당 기술 명: 롤투롤 연속 코팅 및 장비 기술

슬롯다이 코팅 모듈 설계 및 내부/외부 유동 해석 기술



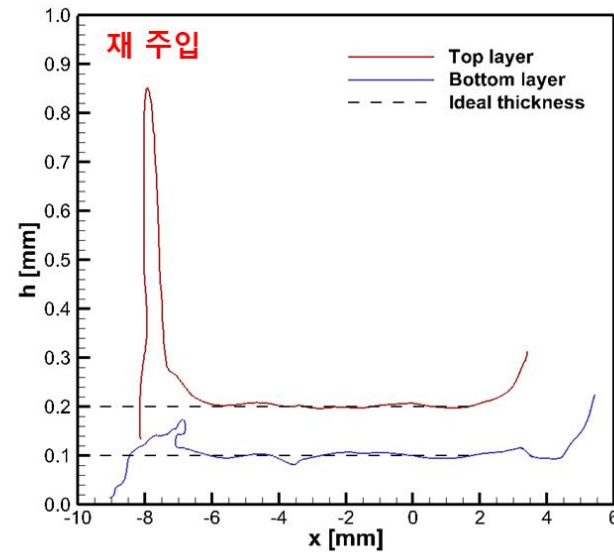
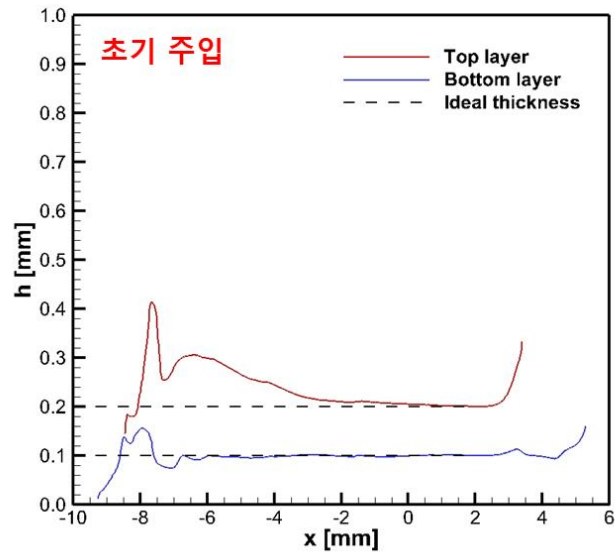
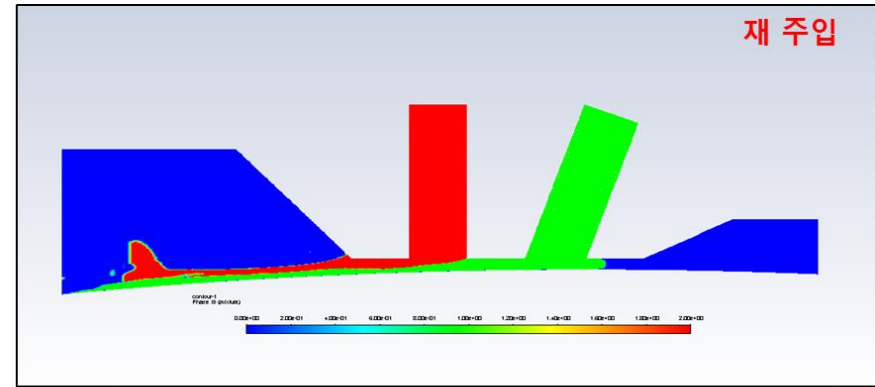
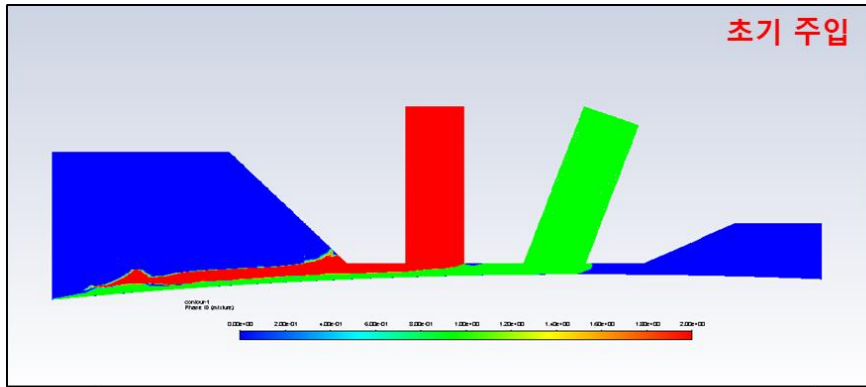
<이차전지 전극 코팅용 슬롯다이 내부유동 해석, (주)지아이텍 협력>



<이차전지 전극 코팅용 간헐/듀얼 슬롯 코팅 외부유동 해석, (주)지아이텍 협력>

해당 기술 명: 롤투롤 연속 코팅 및 장비 기술

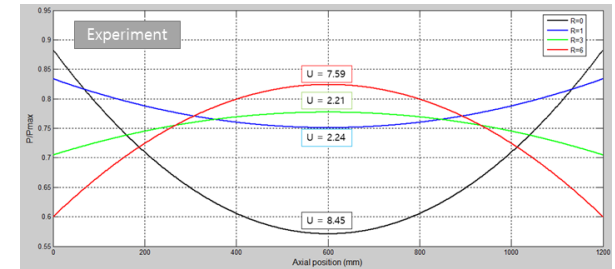
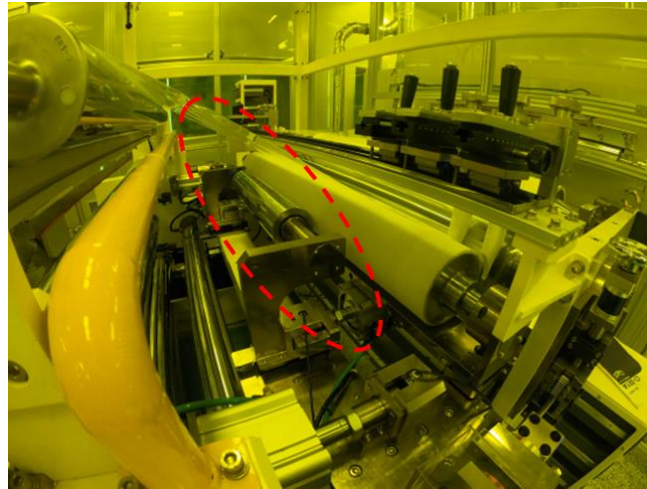
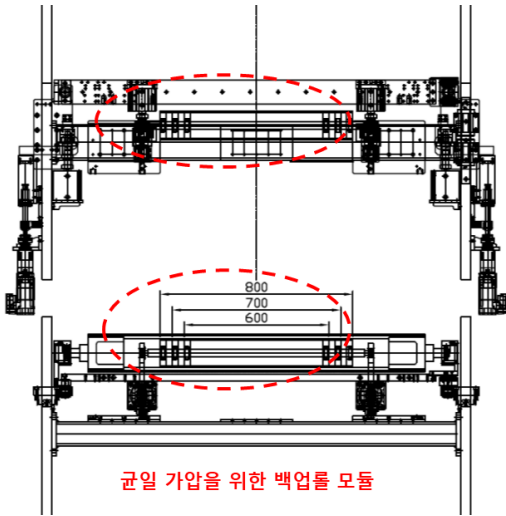
슬롯다이 코팅 모듈 설계 및 내부/외부 유동 해석 기술



<이차전지 전극 코팅용 간헐/듀얼 슬롯 코팅 외부유동 해석, (주)지아이텍 협력>

해당 기술 명: 1200mm급 광폭 인압 정밀/균일 제어 기술

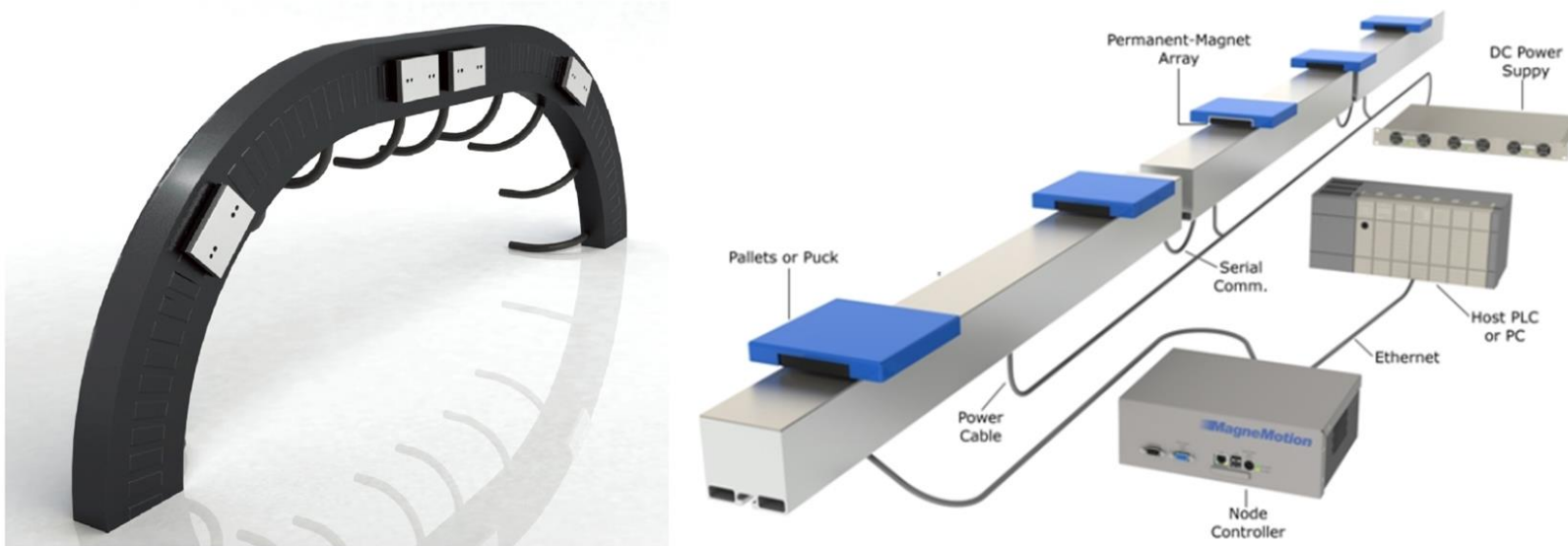
백업롤을 통한 1200mm급 광폭 인압 균일 제어 검증



- 균일 가압을 위한 백업롤 모듈 설계 및 제작
- 백업롤을 이용하여 1200mm급 광폭에서의 가압비에 따른 인압 균일도 영향 평가
- 백업롤 없는 경우 약 8.45% 인압오차 발생, 백업롤 보정 경우 (R~3) 약 2.21% 인압오차 발생 확인

백업롤을 통하여 1200mm급 광폭에서 균일 인압 달성을 위한 보정이 가능함을 확인

해당 기술 명: 다수의 이동자를 갖는 무빙 마그넷 타입 리니어 모터



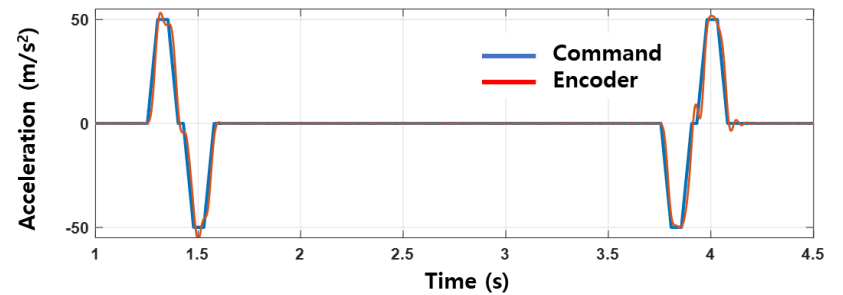
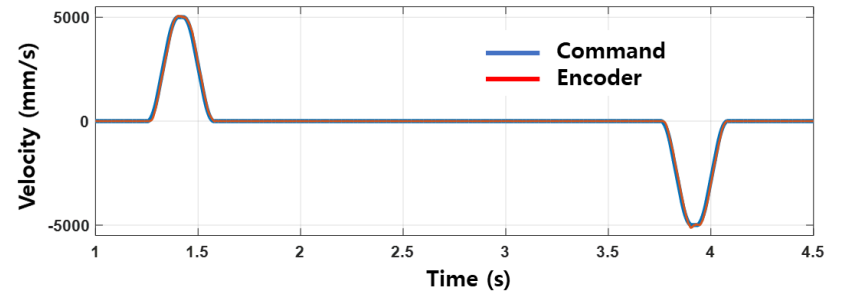
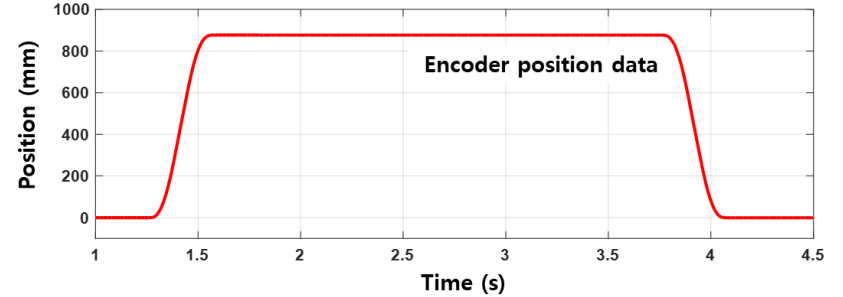
- 코일 : 고정자, 마그넷 : 이동자 (이동자에 케이블 없음)
- 일반 리니어 모터의 리버스 형태로 다수의 3상 코일이 고정자이며, 각 코일은 개별적으로 제어 되어 코일 각각이 각 이동자에 추력을 발생
- 이동자는 각각이 개별 제어 되며, 양방향 고속 구동 및 정밀 제어 가능
- 이동자 개수 확장이 매우 용이 (추가적인 HW 변경 없음)
- 기존 리니어 모터와 마찬가지로 필요 하중, 추력에 따라 고정자와 이동자의 크기 조절 가능

해당 기술 명: 다수의 이동자를 갖는 무빙 마그넷 타입 리니어 모터

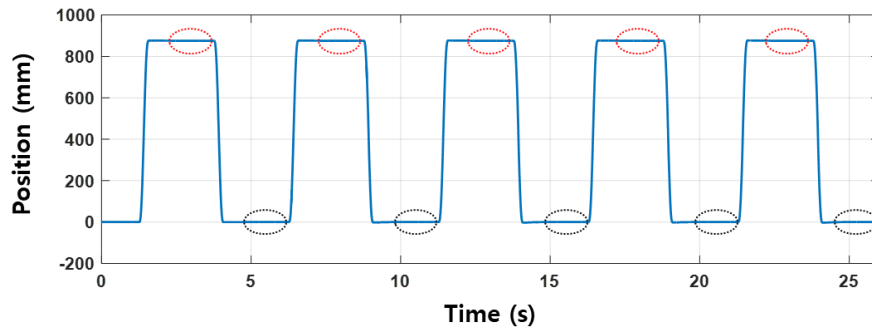
◆ 실험 결과 - 고속 구동 테스트 (최고속도 5m/s, 최대 가속도 5g, 정지 위치 반복능 $\pm 30\mu\text{m}$)



5m/s, 5g, 고속 이송 테스트



5회 반복 이동 (5m/s, 5g)

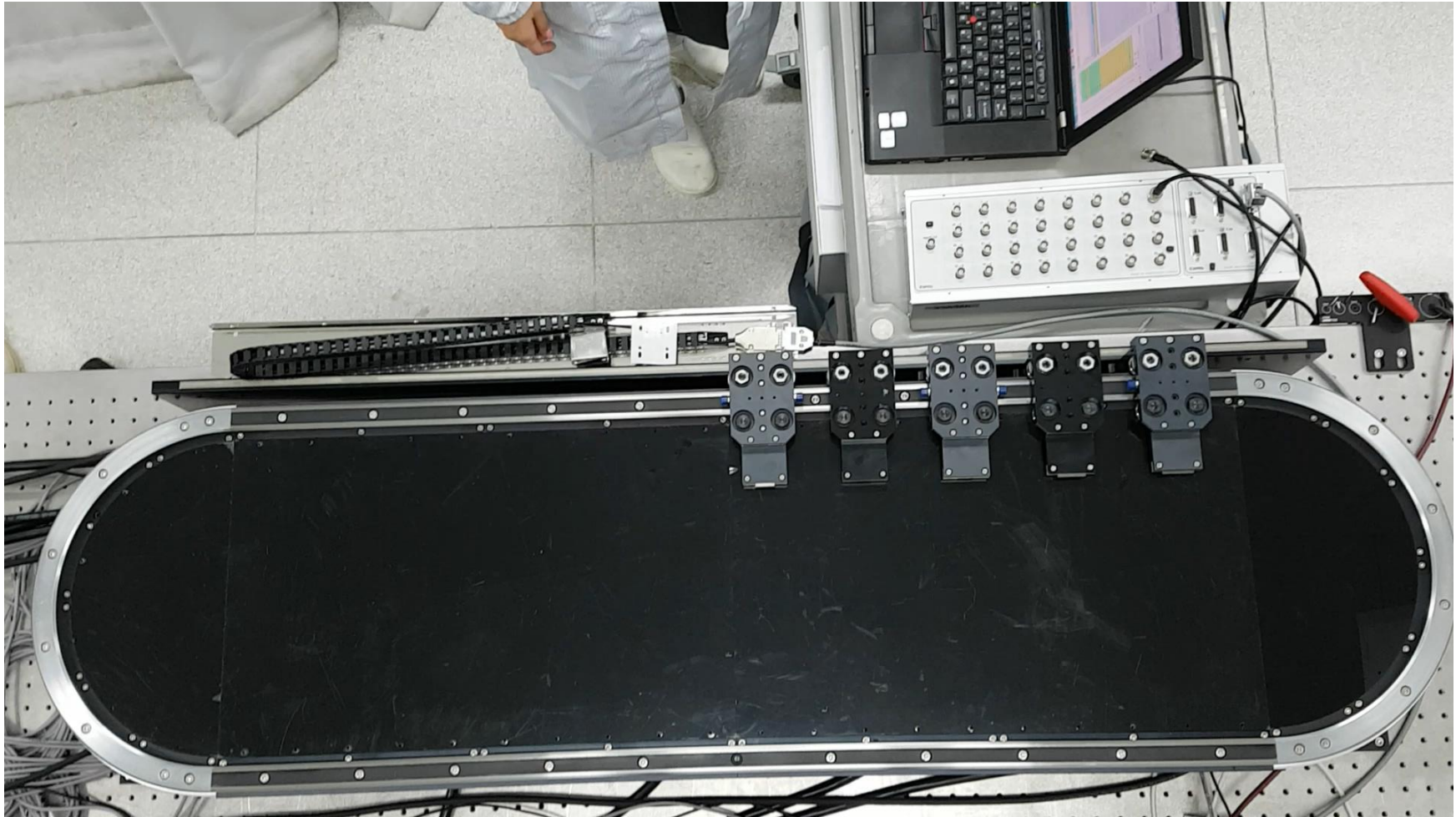


단위	1회	2회	3회	4회	5회	정지 위치 반복능
mm	875.5504	875.5404	875.5340	875.5328	875.5293	$\pm 10.52\mu\text{m}$
	0.0304	0.0889	0.0590	0.0774	0.0563	$\pm 29.26\mu\text{m}$

✓ 엔코더를 이용하여 외부 측정계에서 측정한 값으로 확인

해당 기술 명: 다수의 이동자를 갖는 무빙 마그넷 타입 리니어 모터

◆ 실험 결과 - 다중 이동자 고속 이송 테스트



3. 이차전지장비 디지털전환 기술



AI 자율 제조 (이차전지) : 단계별 목표 및 필요기술

목표 및 도전

이차전지 제조의 완전 자동화와 최적화를 통해 생산성을 향상시키고 원가를 절감하기 위해, **인간 대신 AI 기술을 브레인으로 활용하여, 생산관리, 공정 최적화/자동화, 고장 예측/유지보수 등을 완전 자율화하는 기술**

1단계 데이터 모니터링



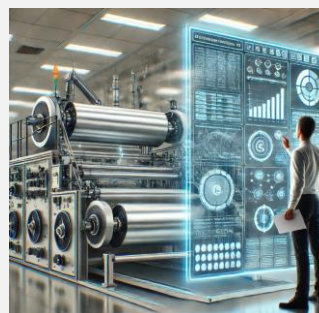
- ✓제조 데이터 수집
- ✓빅데이터 전송/저장
- ✓가시화 모니터링

2단계 데이터 분석/진단



- ✓데이터 분석/평가
- ✓공정/장비 모델링
- ✓문제점 진단

3단계 예측/최적화



- ✓공정 예측 모델링
- ✓공정 최적화

4단계 자율 의사결정



- ✓생산계획 자율 조정
- ✓공정변수 자율 조정

5단계 완전 자율화



- ✓자율적 학습/적응
- ✓자율적 계획/실행

단계별 DT 역할

- ✓3D 형상모사
- ✓실시간 모니터링

- ✓대상 모델 탑재
- ✓PT/DT 상태 동기화

- ✓예측 시뮬레이션
- ✓최적화 예측

- ✓실시간 모델 업데이트
- ✓부분 자율 의사 결정

- ✓다수의 DT/PT 동기화
- ✓완전 자율 의사 결정

- ✓데이터 전처리
- ✓데이터 효율화

- ✓데이터 모델링
- ✓분석/진단

- ✓미래 예측 모델링
- ✓최적화

- ✓강화학습 의사 결정
- ✓실시간 자율적 학습

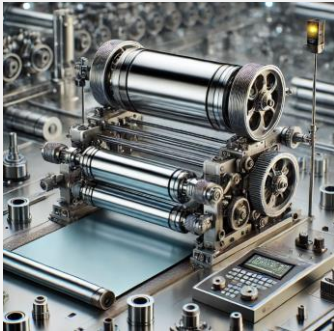
- ✓실시간 자율적 관리
- ✓AI의 생산 전공정 지배

AI 자율 제조 (이차전지) : 제조 단위 수준별 개발 기술

목표 및 도전

AI 자율 제조(이차전지)를 위해서는, 제조 **공정 세부 모듈**, **제조 장비**, **제조 라인**, **제조 공장** 단위의 AI 자율 제조 기술 개발/전략이 필요함

1수준 공정 모듈



✓장비 내 단위 공정 모듈

- ✓롤투롤 모듈
- ✓그라비아 코팅 모듈
- ✓건조 모듈
- ✓캘린더링 모듈
- ✓슬리팅 모듈

2수준 제조 장비



✓모듈들이 연결된 장비

- ✓믹싱 및 소재 공급 장비
- ✓롤투롤 코팅 장비
- ✓롤투롤 캘린더링 장비
- ✓분리막 압출/연신장비
- ✓슬리팅 장비

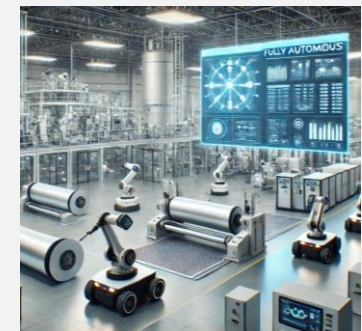
3수준 제조 라인



✓장비/이송계로 구성된 라인

- ✓롤투롤 전극 제조 라인
- ✓셀 조립 라인
- ✓파우치 제조 라인
- ✓화성 공정 라인
- ✓스태킹 라인

4수준 제조 공장



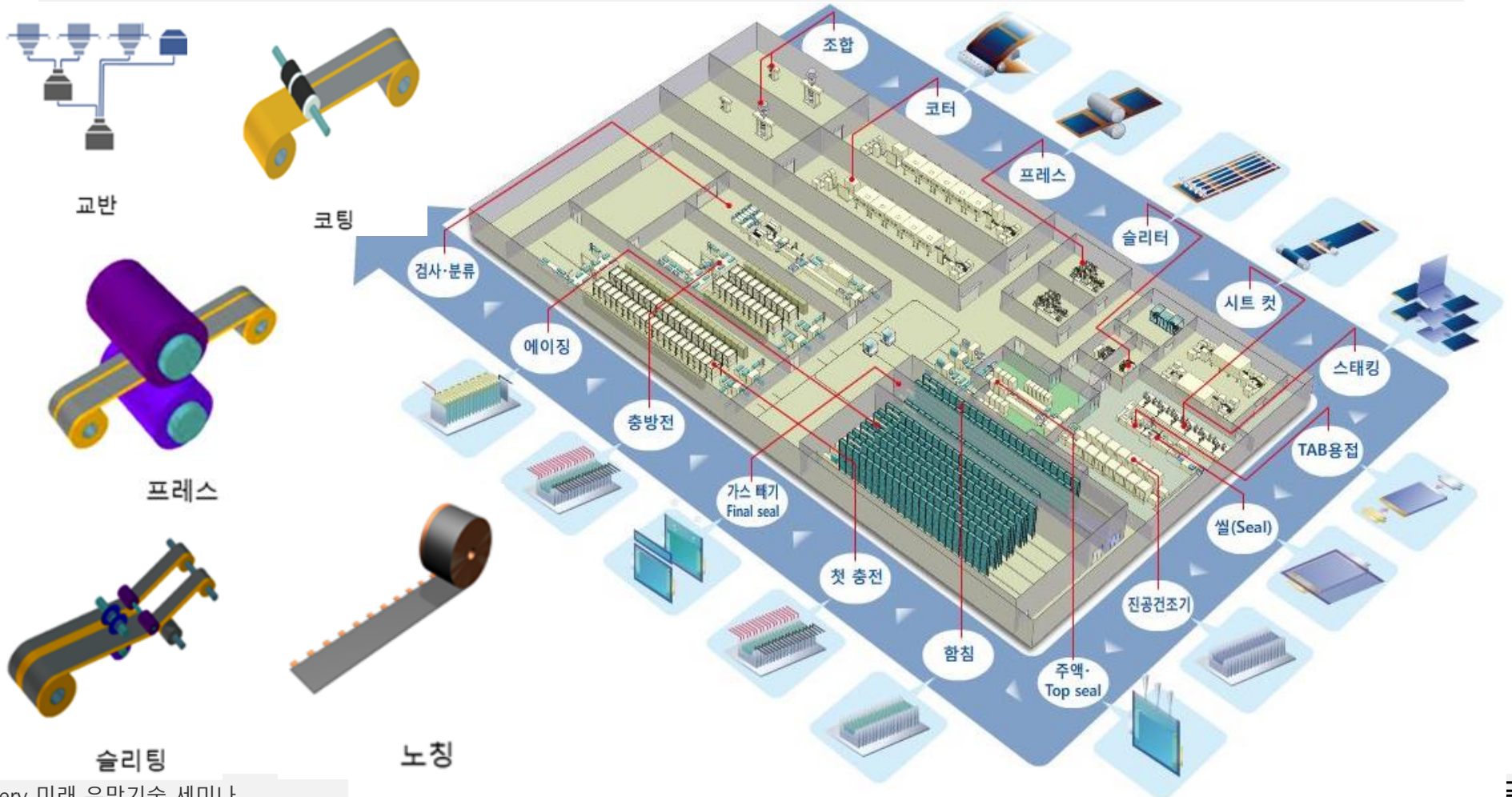
✓라인들로 구성된 공장

- ✓양극제 제조 공장
- ✓음극제 제조 공장
- ✓전극 제조 공장
- ✓분리막 제조 공장
- ✓배터리 제조 공장

AI 자율 제조 (이차전지) : 제조 공정 별 개발 기술

목표 및 도전

AI 자율 제조(이차전지)를 위해서는, **다양한 제조 공정별 (소재제조, 믹싱, 전극 공정, 셀공정, 화성공정, 파우치 제조 등) 및 각각의 제조 모듈 별 AI 자율 제조를 구현하기 위한 세부 기술 개발/전략이 필요함**



시장 현황 및 이슈

이차전지 산업의 급속 성장 및 경제적 효과



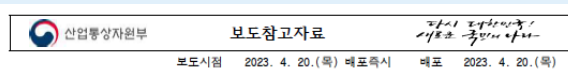
자료 : Technavio, Global Secondary Battery Market 2020-2024, 재가공

이차전지 제조장비 (중국의 한판승, 한국 2위)

Global Major Suppliers	Market Share ('22)
Lead Intelligent 先导智能	13.0%
Yinghe 赢合科技	10.7%
Lyric Robot 利元亨	4.4%
Hymson 海目星激光	4.3%
Hangke 杭可科技	4.0%
Colibri 科瑞技术	3.3%
United Winners Laser 联赢激光	3.0%
Priority Technology 上海先惠	2.3%
Katop 嘉拓智能 (Putailai)	2.0%
Super Components 超业精密设备	1.6%
Geesun Intelligence 吉阳智能	1.6%
Nebula Electronics 星云股份	1.3%
SFA(+CIS)	3.0%
Hanwha	2.7%
PNT	2.1%
PNE	1.7%
Yunsung F&C	1.4%
Cowin Tech	1.3%
Phil Optics (Energy)	1.3%

- '22'년 중국 56.4%, 한국 25.8%
- '30'년 대한민국 세계 최강국 목표

산업부 이차전지 산업 투자 증대



이차전지 산업 기술 초격차를 위해 '30년까지 20조 원 민간 연구개발(R&D) 투자

- 기술 초격차 : 세계 최초 전기차용 전고체 전지 상용화 목표 기술개발
- 소부장 경쟁력 : 5년 내 양극재 국내 생산 4배, 장비 수출 3배 이상 확대
- 전제품 경쟁력 : '25년 전기차용 리튬인산철(LFP) 양산 후 '27년 세계 최고 기술력 확보
- 선순환 체계 : '30년까지 국내 이차전지 100% 순환체계 확립

- 1위를 목표로 정부의 역량 결집 중

제조장비의 인공지능화

내년 CES '순산업 인공지능화'가 화두

매일경제 2023년 10월 27일 금요일 A12면 8면

서머로 CTA 회장 간담회
모든 제품에 AI 탑재 전망
모빌리티·헬스케어도 주목
매경 7년 연속 미디어 파트너
장관단 운영 통해 혁신 체험

CES 2024 개요
일정 2024년 1월 9-12일
장소 미국 라스베이거스
주최 CES Together, AI On (모두 함께, 모두 커져)
주요 참여 기업 삼성전자, LG전자, SK온, 현대차, 이노비오, 캐시퍼미, 구글, 혼다, 인텔, 로트어, 로제일, 엔스, 마스닉, 엘진, 소니, 비자오 등 700여 기업
주요 전시 분야 인공지능, 모빌리티, 무드-에그제크, 헬스케어, 플라스티크

신상 수상작인 2007개를 배출했다"고 자처해왔다.
그러면서 그는 한국에 대해 "국내 총생산(GDP)의 2%를 혁신 생태계에 투자하고 1만5000개에 달하는 스타트업을 보유한 국가는 흔치 않다"며 "한국과 미국 간 교류는 자유무역협정(FTA) 이후 85% 성장했는데, 기술 혁신으로 앞으로 더욱 늘어날 것으로 기대한다"고 설명했다.
한편 매경미디어그룹은 CES 주관사인 CTA와 7년 연속 미디어 파트너십을 맺었다. 국내 미디어로는 최장이다. 최영은 혁신의 진화를 위해 대구 모체단을 후원하고 인텔, 마이크로소프트, MBN 등을 통해 일체 보도할 예정이다.

인공지능(AI)이 모든 제품에 탑재될 전망이다. 특히 자동차, 헬스케어, 모빌리티, 무드-에그제크, 헬스케어, 플라스티크 분야는 혁신을 통한 인류의 지속가능한 발전이다.

인공지능(AI)이 모든 제품에 탑재될 전망이다. 특히 자동차, 헬스케어, 모빌리티, 무드-에그제크, 헬스케어, 플라스티크 분야는 혁신을 통한 인류의 지속가능한 발전이다.

한국의 디지털전환 순위 (12위, IMD)



- '22' IMD 순위 발표,
- 국내제조기업의 디지털전환 준비도 0-5단계 중 1.2단계
- 국내 중소 제조기업의 한계

연구 대상

연구 목표

이차전지 제조장비의 예지보전/성능 향상을 위한 디지털전환 핵심 기술 개발

이차전지 제조장비

전통적인 기계식 제조 장비 방식을 벗어나, 스스로 학습하고, 결함을 예지하며, 신뢰성 및 성능을 업그레이드하는 디지털전환된 롤투롤 이차전지 제조 장비

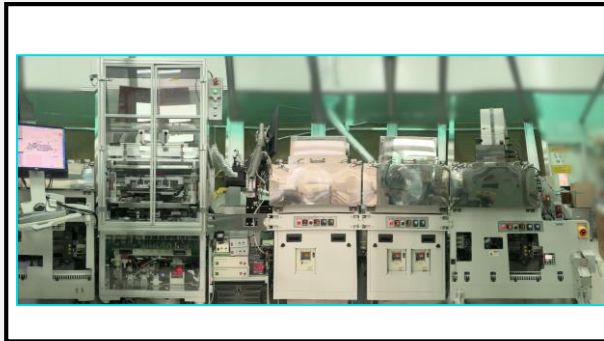
〈기계식〉

〈하이브리드식〉

〈디지털 자가 학습식〉



기계식 롤투롤 제조 장비



디지털트윈 및 HILS



디지털전환 롤투롤 제조 장비

자가 학습

이차전지 롤투롤 제조장비 디지털전환 단계의 극한기술로써, 자동학습 적응진화 기술

디지털 전환

다양한 디지털 기술을 이차전지 롤투롤 제조장비에 적용하여, 신뢰성/성능/예지보전 능력이 사람의 손을 거치지 않고 자동으로 향상되도록, 혁신하는 과정

(KIMM) Roll to Roll System Digital Twin (I)

Roll-to-Roll System Digital Twin Platform



제조장비연구소 나노융합장비연구부 유연전자R2R장비연구실



The screenshot displays the software interface for the Roll-to-Roll System Digital Twin. It includes several sections:

- Model Parameters:** A list of adjustable parameters such as Web Current Speed (10), Film Tension Setting Value (2), and various control gains (Kp, Ki, Kd).
- Process-Run:** A section for starting the simulation, including a 'Start' button and a 'File Name' field.
- Run Status:** Indicators for 'Wait for Initialization' and 'R2R Continuous'.
- Motor Status:** A list of motor statuses including Servo Motor, Master Roll, Feeder, Unwinder, and Rewinder.
- Graphs:** Three real-time graphs showing Tension #1, #2, and #3 in units of kg. Each graph has an X-axis for Count (0-500) and a Y-axis for Tension (0-10.0).
- Data Log:** A table at the bottom recording simulation events with columns for No., Date, Content, No., Time, Content, No., Time, and Content.
- Message Window:** A log of system messages at the bottom, including file change notifications and server connection status.

<Roll to Roll Continuous Manufacturing System>

(KIMM) Roll to Roll System Digital Twin (II)

Roll-to-Roll System Digital Twin Platform

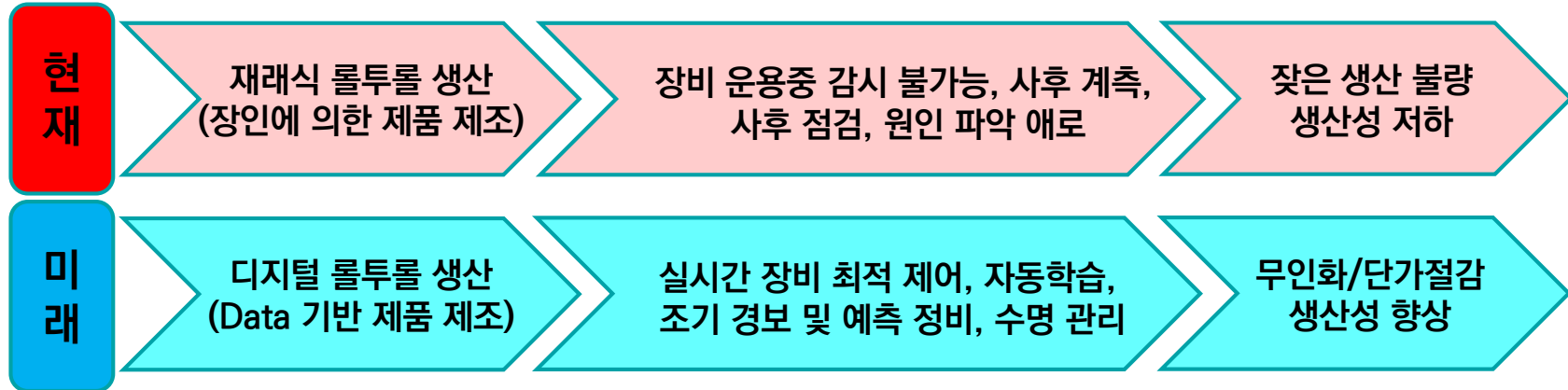


나노융합연구본부 이차전지장비연구실

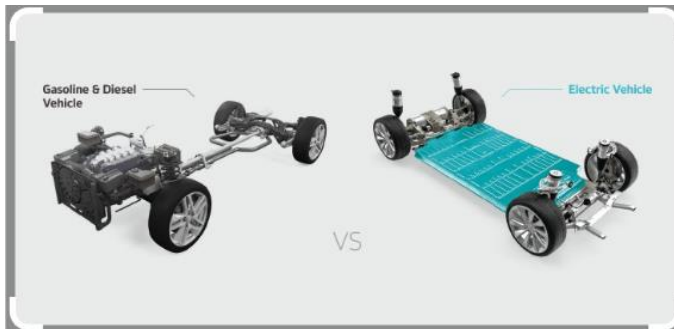


<Roll to Roll Stop and Go Manufacturing System>

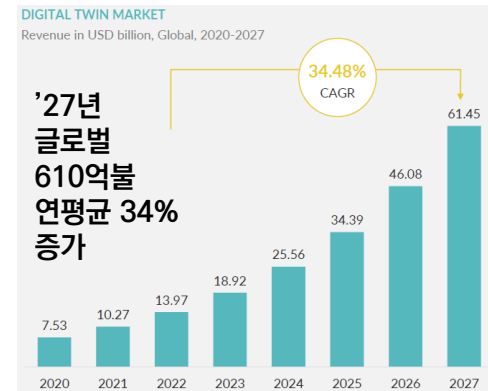
활용 방안



✓ 제조장비 전반으로 디지털 전환 기술 확산



재래식 제조장비 -> 디지털 제조장비



<글로벌 디지털 트윈 시장>



세상을 움직이는

한국기계연구원

감사합니다.

K-MACHINE

KIMM

세상을 움직이는
한국기계연구원

K-Machine를
선도하다

www.kimm.re.kr

KIMM 한국기계연구원
Korea Institute of Machinery & Electronics

