



# 등가회로 모델링을 통한 NCM 배터리의 온도에 따른 SoH 예측

김경태<sup>1</sup>, 김충훈<sup>1</sup>, 김혁중<sup>1</sup>, 송승범<sup>1</sup>, 우형선<sup>1</sup>, 정재석<sup>1</sup>

<sup>1</sup>KG ICT 이차전지 아카데미 507호 2조

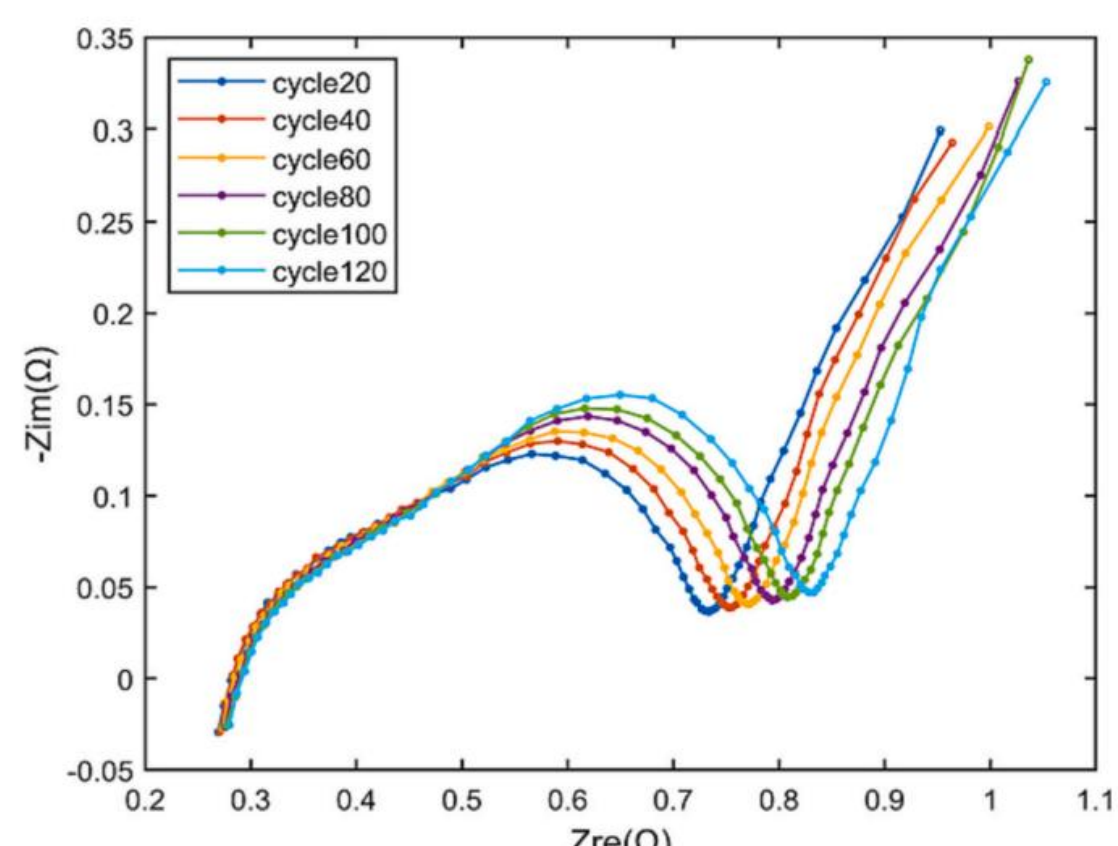
## ABSTRACTS

- ❖ 전기 자동차의 대중화로 인해 리튬 이온 배터리의 안전 문제가 점점 더 중요해짐. SoH(State of Health)를 통해 안정성 및 신뢰성 평가
- ❖ 본 연구에서 배터리의 등가회로 모델링을 통하여 온도에 따른 NCM 배터리의 열화에 따른 특성을 파악 및 예측
- ❖ 펄스별 partial fitting, SOC, 온도별 파라미터를 사용한 선형 보간 함수를 통해 확장성 향상
- ❖ SOC, Temperature, R<sub>0</sub>를 변수로 편미분방정식을 통한 SoH 등가회로 제작 및 시뮬레이션 진행 → 비파괴적 SoH 예측 가능

## 1. RESEARCH BACKGROUND

### ➤ 충방전에 따른 배터리의 열화

- 전기차 대중화 → 리튬이온 배터리 수요 증가(NCM, LFP)
- 장거리 EV에 따른 고에너지 밀도, 긴 충방전 사이클, 낮은 자가 방전을 및 친환경적 특성을 갖는 배터리 필요 → **NCM**
- 그러나 NCM 배터리는 **충방전 사이클이 증가**함에 따라, 기타 요인(SEI 성장, 전해질 분해 및 가스 발생, 덴드라이트 등)으로 인하여 **열화 발생**
- SoH(State of Health)를 추정하여 배터리의 상태와 수명을 확인하여 안정성 및 신뢰성을 확보
- 해당 연구에서는 온도에 따른 NCM 배터리의 열화에 따른 **SoH**를 추정할 수 있는 **등가회로 모델**을 MATLAB과 Simulink를 이용하여 제작



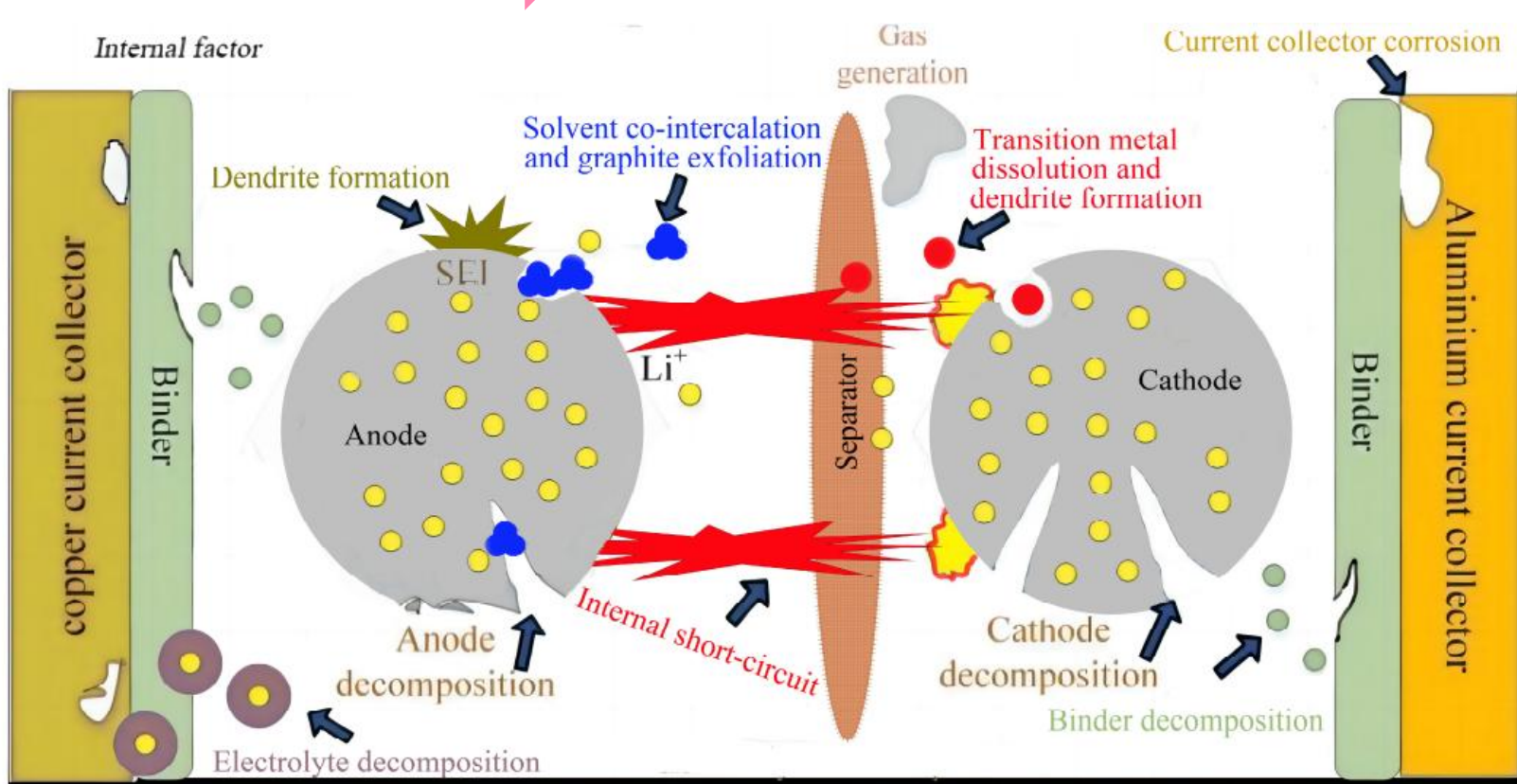
충방전 사이클 증가에 따른 EIS 변화 [1]

### ➤ SoH에 영향을 미치는 인자

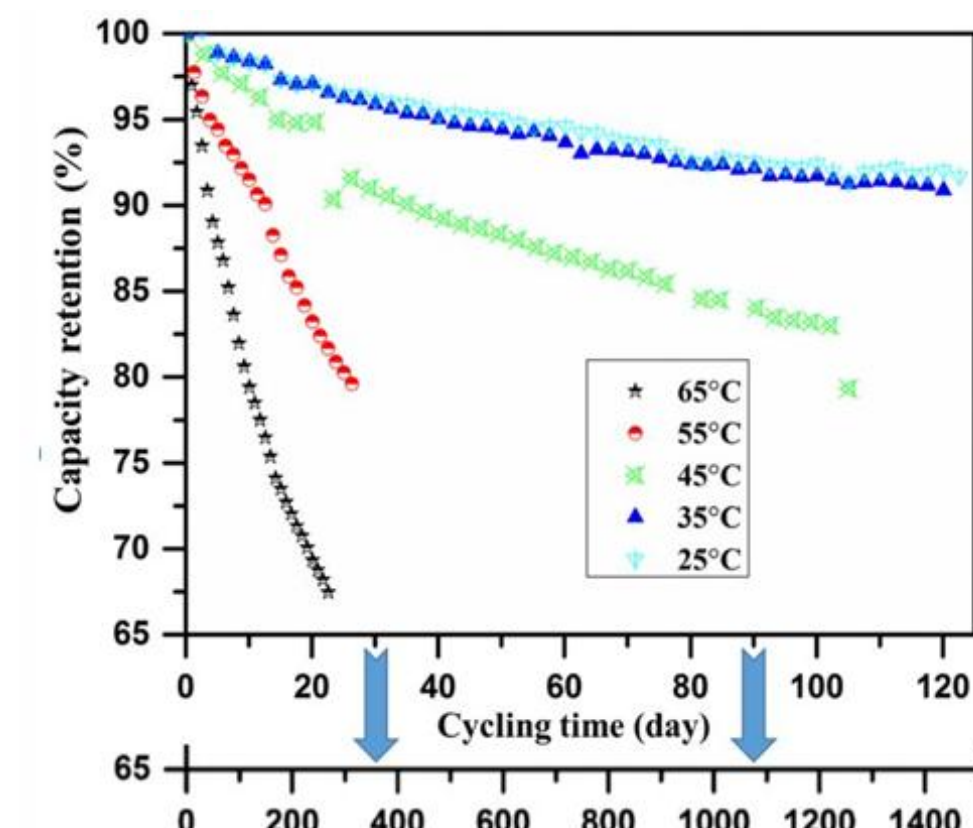
$$SoH = \frac{R_{EOL} - R}{R_{EOL} - R_{BOL}} \text{ or } \frac{C_{Fullcharge}}{C_{Design}}$$

External Factors	Temperature, Cut off Voltage, Charge&Discharge rate, DoD, SoC
Internal Factors	Dendrite Formation, Gas generation, Anode& Cathode Decomposition etc

여러가지 요인들이 SoH에 영향을 주는데, 그 중 **온도**가 가장 큰 영향.



Factors causing the aging of batteries [2]



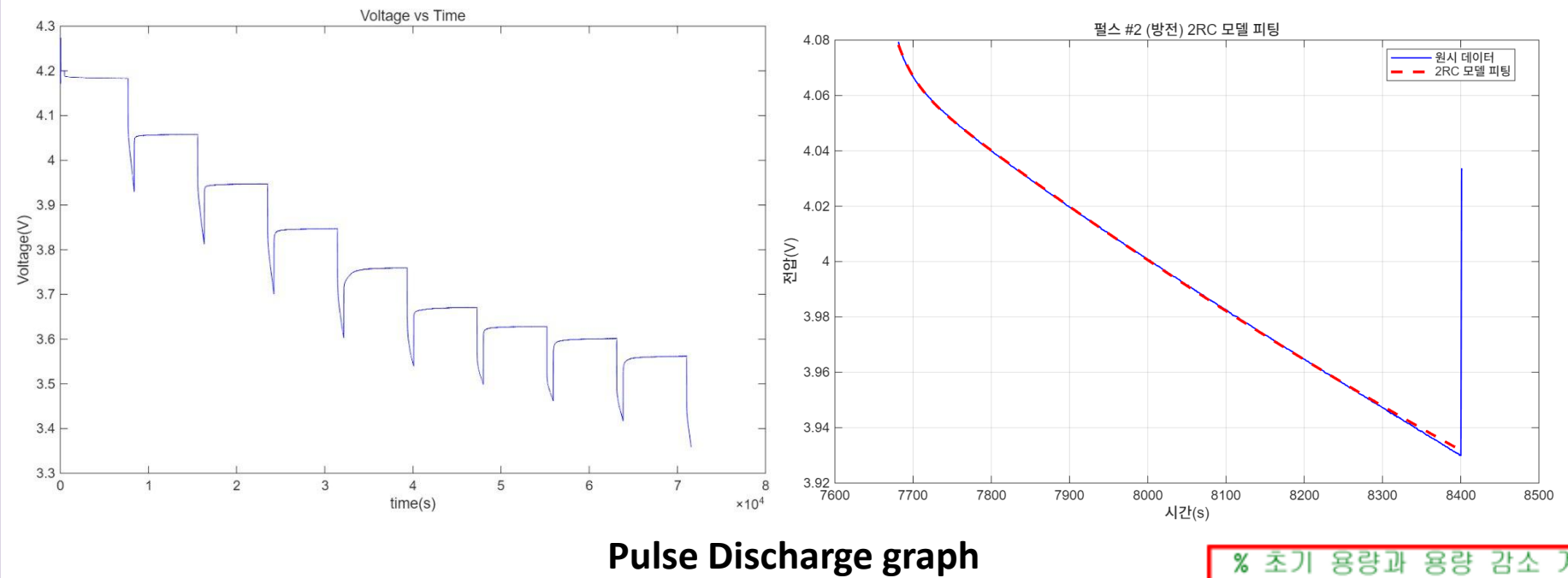
Temperature affect in NCM batteries [3]

## 3. RESULTS

### ➤ MATLAB 코드를 통한 R<sub>x</sub>, C<sub>x</sub>, tau<sub>x</sub> 계산

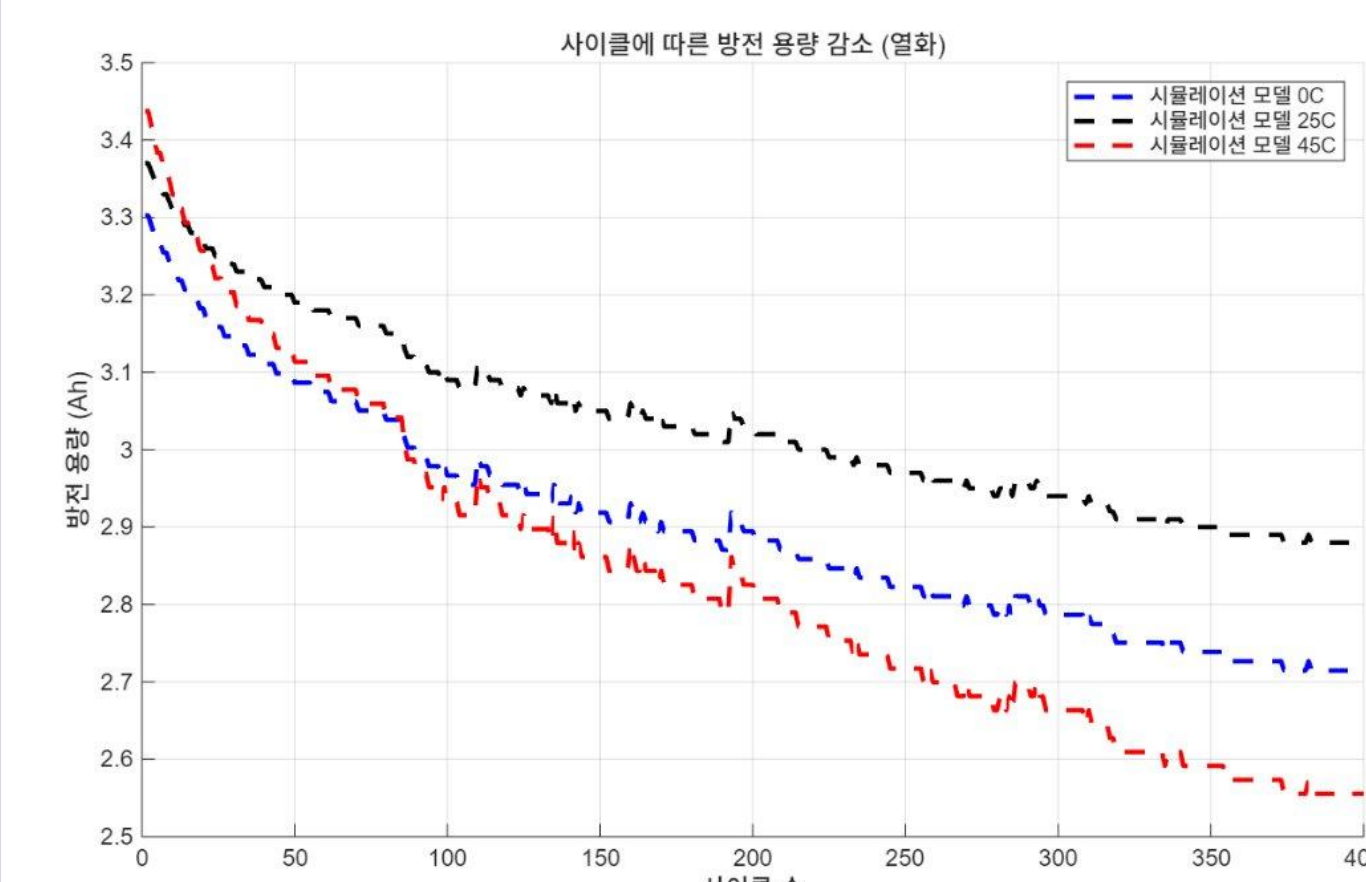
```
% 2RC 충전 모델 피팅
fit_eq = fittype('A*(1-exp(B*t)) + C*(1-exp(D*t)) + E', 'independent', 't', 'dependent', 'y');
fit_opts = fitoptions(fit_eq);
fit_opts.StartPoint = [0.01, -1, 0.005, -0.01, V_pulse(1)];
fit_opts.Lower = [0, -Inf, 0, -Inf, -Inf];
fit_opts.Upper = [Inf, 0, Inf, 0, Inf];
[exp_tr, gof] = fit(t_fit, V_pulse, fit_eq, fit_opts);
```

- Capacitance, Resistance, Time constant를 계산
- Raw data와 2-RC fitting 값이 일치



C <sub>1</sub>	1700.3
C <sub>2</sub>	6183.7
R <sub>0</sub>	0.1056
R <sub>1</sub>	0.0173
R <sub>2</sub>	0.7404
tau1	29.4916
tau2	4578.1

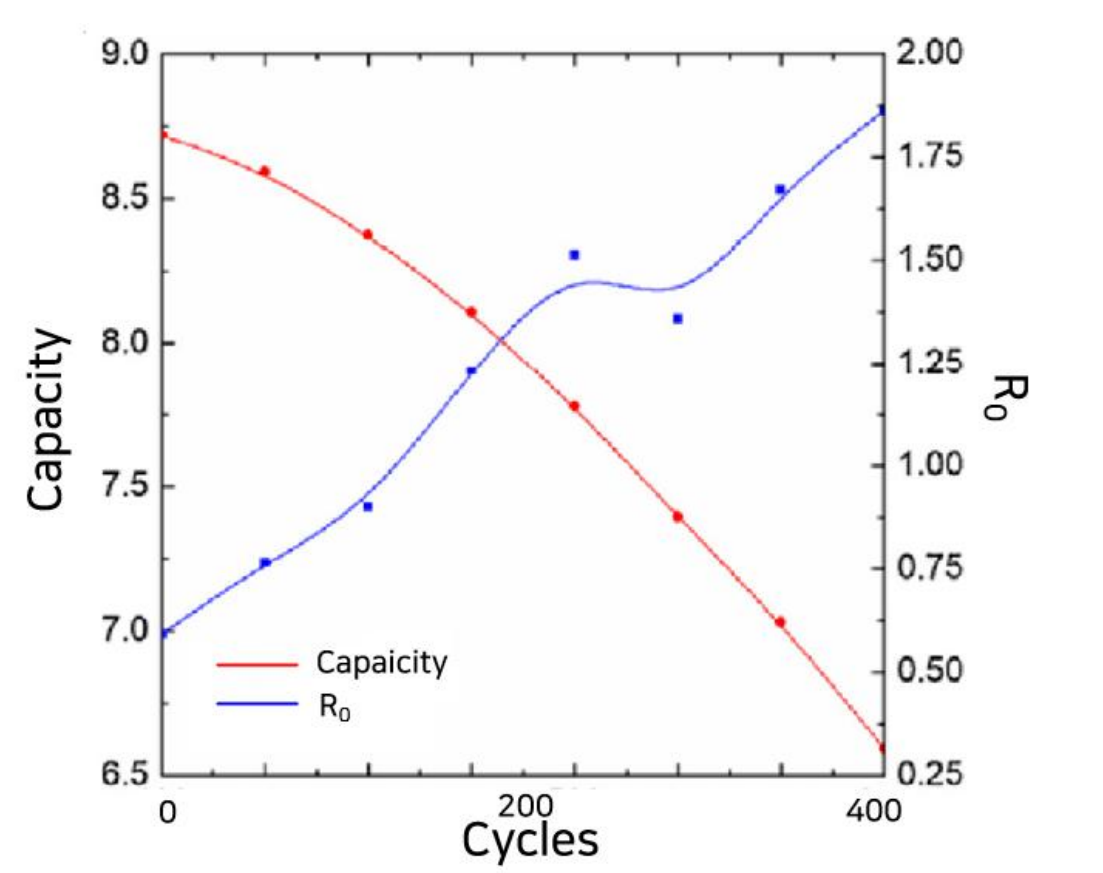
### ➤ 온도에 따른 시뮬레이션 코드



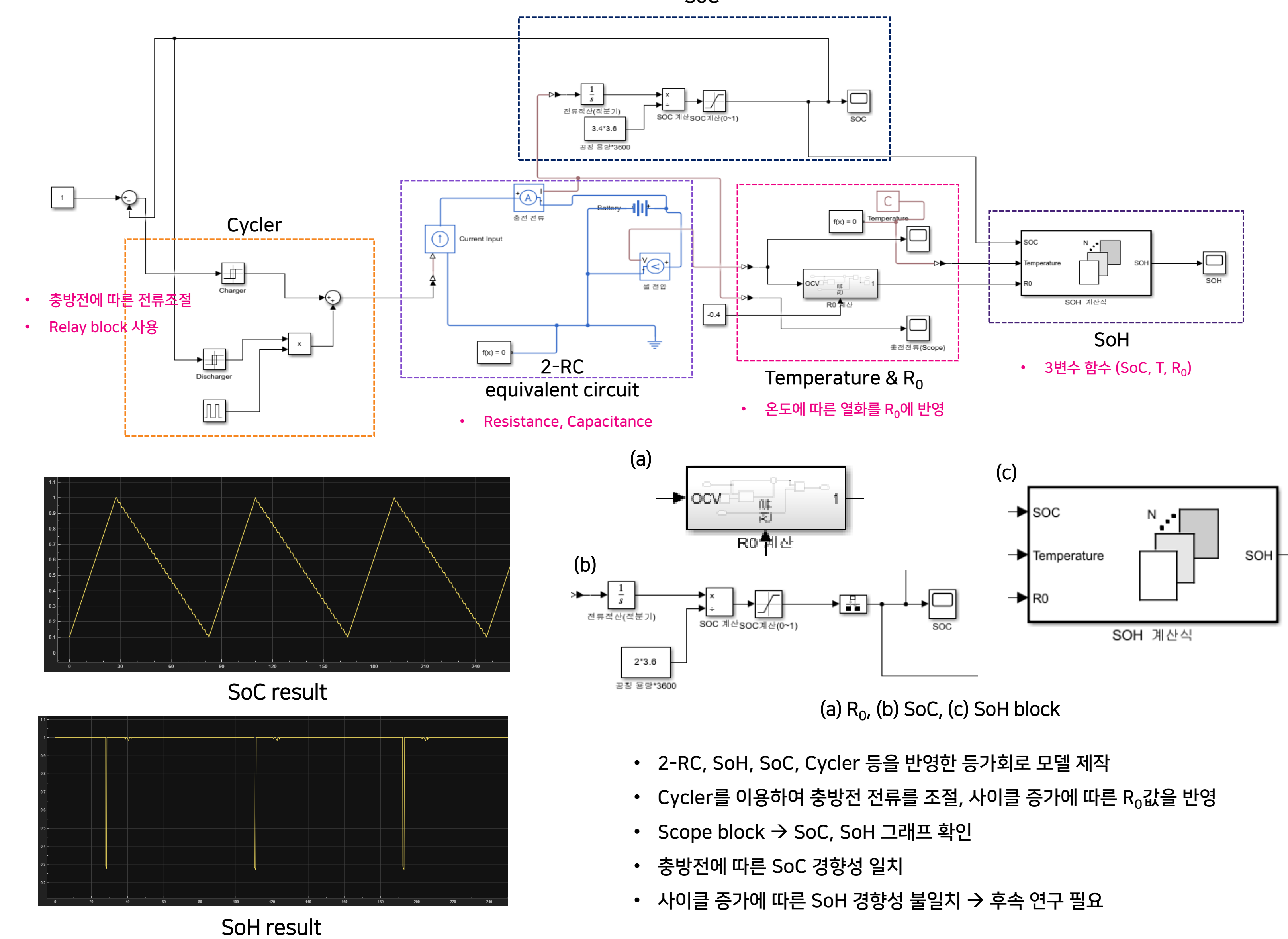
Performance degradation according to Temperature

- 온도별 400cycle 열화 및 저항 예측(0°C, 25°C, 45°C) → 온도가 높을수록 열화가 큼
- 초기저항은 0°C가 제일 크며, 45°C가 제일 작음

```
% 초기 용량과 정전 강도 계수를 온도로 설정
if sim_temp == 0
    ocv_data = ocv_data_0C; r0_data = r0_data_0C; r1_data = r1_data_0C;
    Q_initial = Q_initial_25C_ref * 0.98; % 지온에서 초기 용량 강도 기정
    degradation_rate_capacity = 1.08; % 25도보다 큰 용량 감소율
```



### ➤ Simulink Equivalent Circuit



SoH result

## 4. CONCLUSIONS

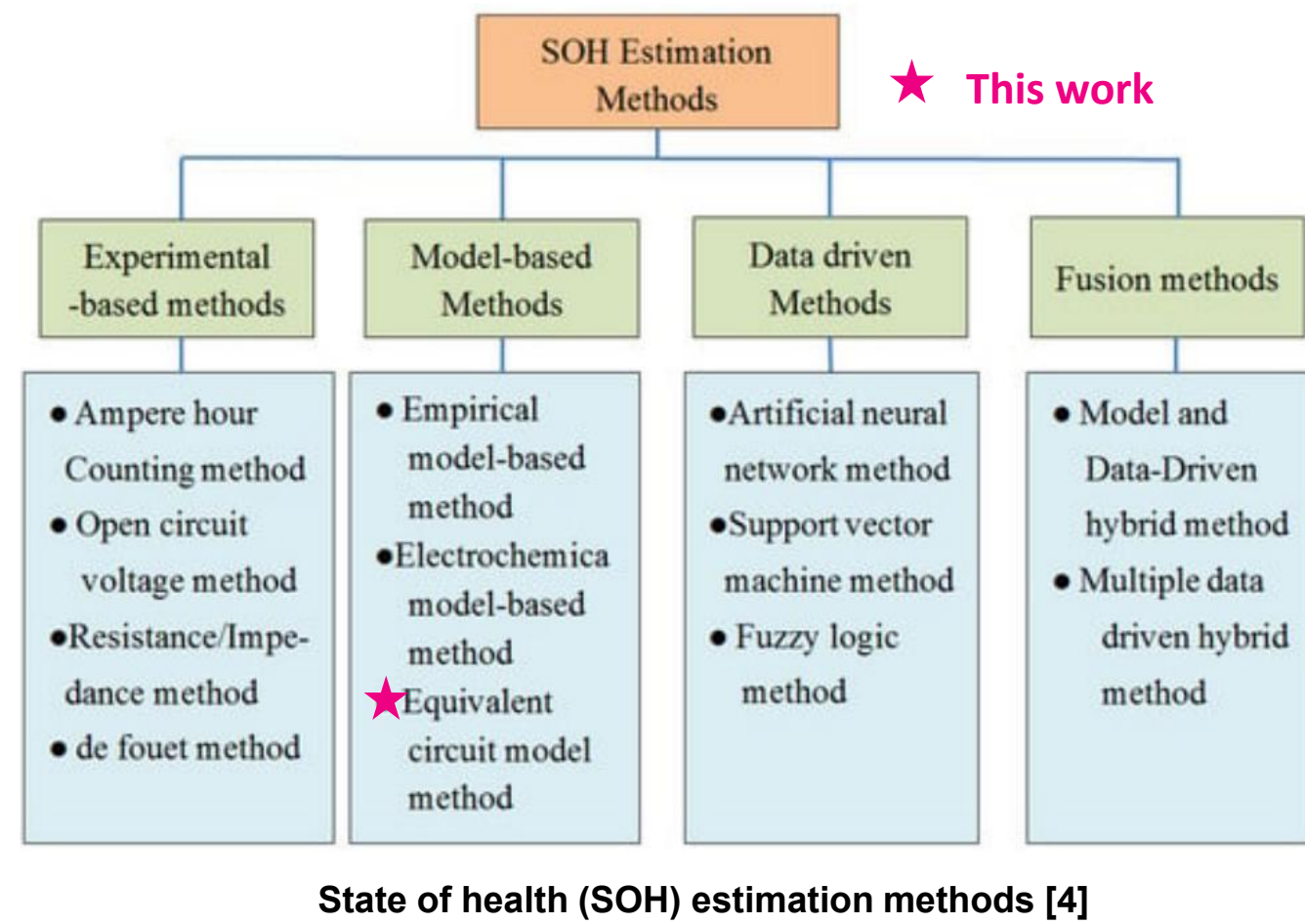
### ➤ 기대 효과

- MATLAB 시뮬레이션을 통한 온도에 따른 SoH 예측
- Simulink를 통한 등가회로 제작 및 정밀 예측
- 가상환경에서 원하는 온도구간을 대입해 SoH 추정하는 회로 설계를 통해 MATLAB과 Simulink Tool에 대한 이해도 향상

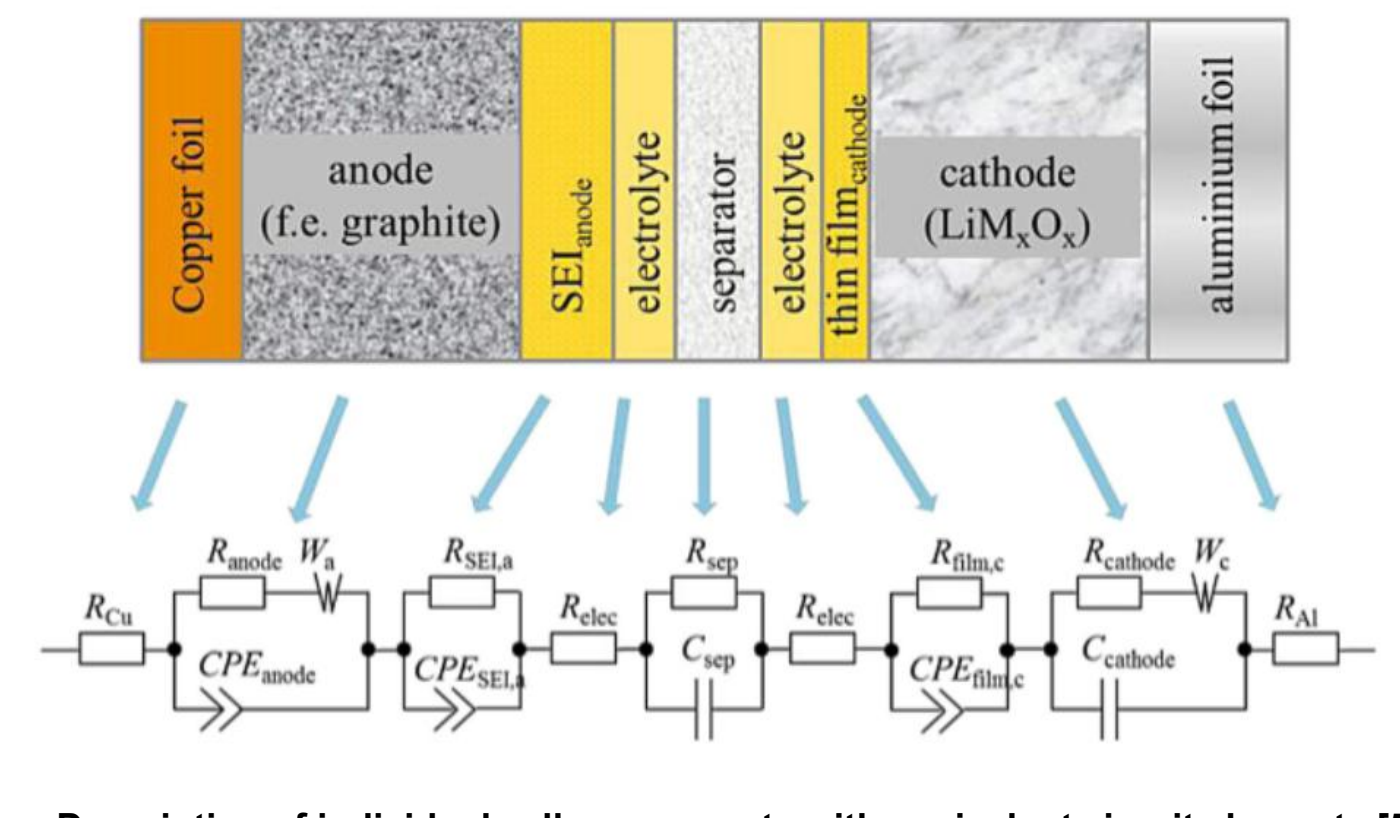
### ➤ 결과 고찰

- 본 연구에서 Matlab를 이용하여 등가회로 파라미터 계산 및 Simulink를 이용하여 등가회로를 모델링함.
- 선형보간함수, 온도별 열화계수, cycle 증가에 따른 열화를 R<sub>0</sub>에 반영
- 열화에 따른 R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> 값은 반영하지 못했으며, SoH 값이 제대로 구현되지 않음 → 후속 연구 필요.
- 완벽한 등가회로 설계 불가

### ➤ Evaluation of SoH estimation using Equivalent Circuit

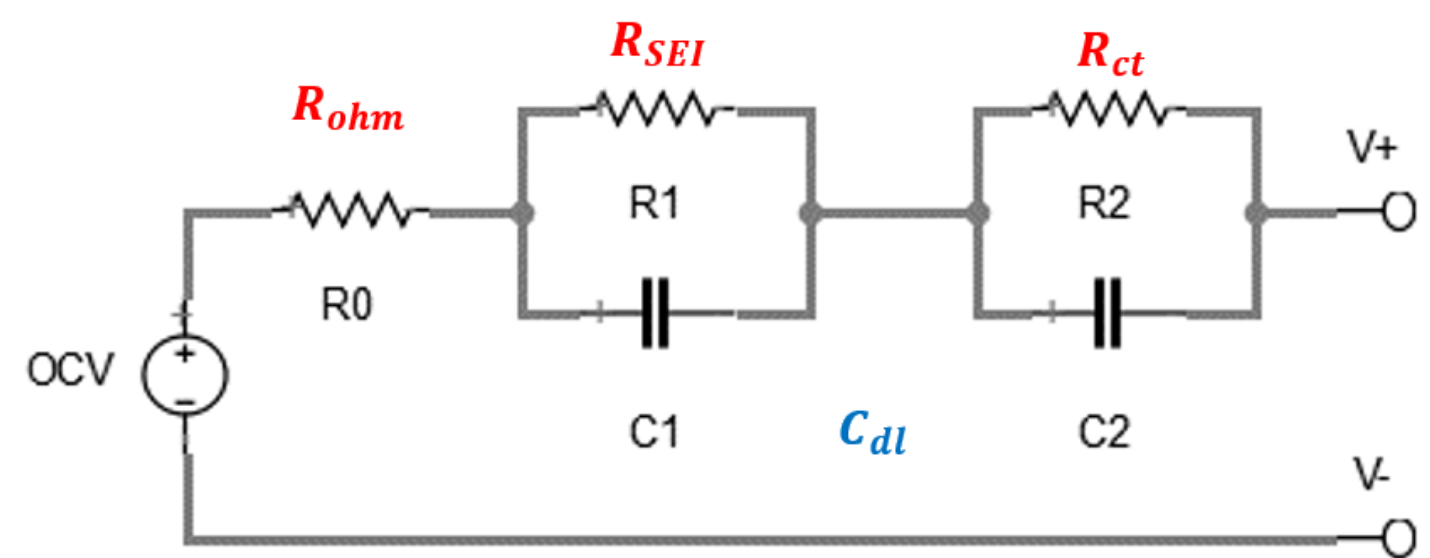


State of health (SOH) estimation methods [4]



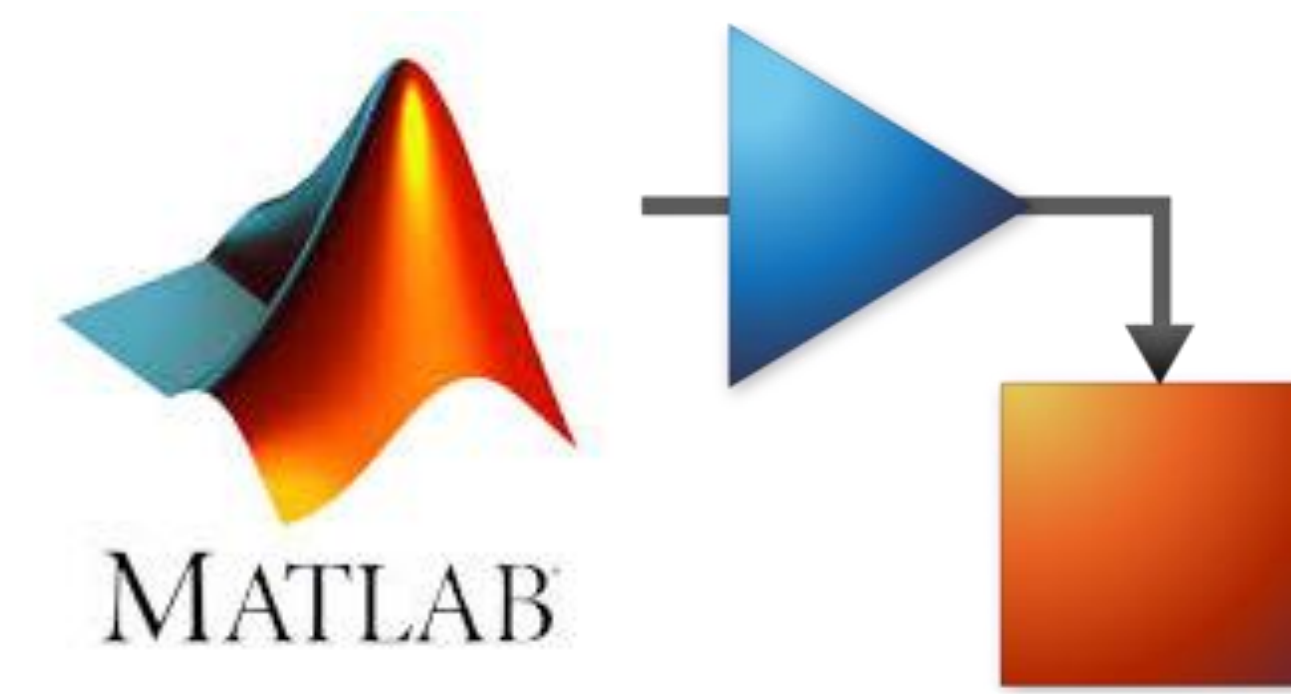
Description of individual cell components with equivalent circuit elements [5]

- SoH 평가 방법 중 **등가회로 모델**을 사용 → 비파괴 및 예측가능
- SoH는 비선형적 특성 → 모델 단순화 필요
- SoH 평가의 **정확성**을 높이기 위해 **2RC 등가회로 모델** 사용
- 실제 NCM배터리의 전압, 전류, 온도 데이터를 기반으로 하여 R<sub>0</sub>, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>값을 계산하고 온도에 따른 SoH를 평가



## 2. METHODS

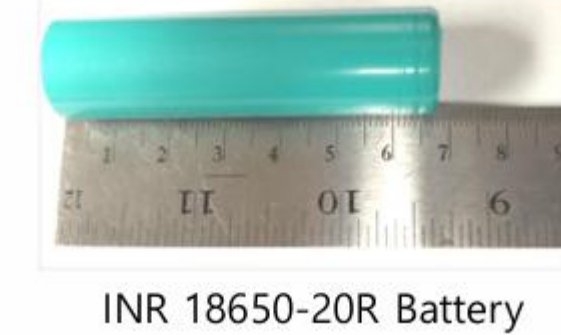
### ➤ Matlab & Simulink를 이용한 등가회로 모델링



- **MATLAB** : Parameter fitting and calculation
- **Simulink** : modeling using block, time dependent simulation and setting system

### ➤ NCM 학습데이터 from University of Maryland CALCE

원통형 셀 증분 전류 OCV Test Data 활용



INR 18650-20R Battery

Battery (Parameters)	Specifications (Value)
Capacity Rating	2000 mAh
Cell Chemistry	LiNiMnCo/ Graphite
Weight(w/o safety circuit)	45g
Diameter	18.33 mm 0.07mm
Length	64.85 mm 0.15 mm
Special Notes	Tab length no included in the dimensions