Report

전기동력자동차공학 기말프로젝트

제출일자	2022년 12월 17일
과 목 명	전기동력자동차공학
담당교수	김도균 교수님
분 반	2분반
대 학	공과대학
학 과	기계시스템디자인공학과
학 번	B917079
이 름	양정현

1. Selection of electric vehicle models

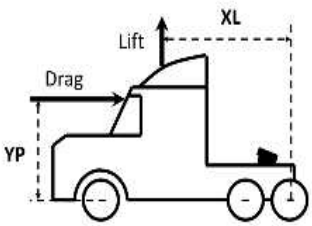
적용할 차량 선택 : Tesla Model S (Plaid)

1) 차량 모델 스펙

✔ Vehicle ✔ Aerodynamics ✔ Axles/Geometry ✔ Suspension ✔ HaltSimulation Plots

Attribute	Unit	Object Value
Vehicle Mass		
Vehicle Mass	kg	2241
Passenger and Cargo Mass	kg	80
Weight Class Object		ign
Initial State		
Vehicle Initial Speed	km/h	0
Vehicle Initial Position	m	0
Advanced		
Fuel Density (detailed engine)	kg/m^3	ign

Attribute	Unit	Object Value
Vehicle Aerodynamic Drag/Retarding Force Specification Option		
DRAG/LIFT COEFFICIENTS		
Vehicle Drag Coefficient		0,24
Vehicle Frontal Area	m^2	2,84
Center of Pressure (Vertical Distance From Axles) (YP)	m	def
Vehicle Lift Coefficient		ign
Center of Lift (Horiz. Dist. from Last Rear Axle) (XL)	m	ign
Vehicle Crosswind Pressure Coefficient		ign
RETARDING FORCE COEFFICIENTS (F=A+BV+CV^2)		
COASTDOWN DATA		



2) 배터리 스펙

테슬라 Model S / 배터리

100kWh 407V 리튬이온 전지

피드백

https://www.google.com/search?sxsrf=ALiC

-Battery pack

Main | Circuit Parameters | Advanced | Cell Thermal Model | Plots

	Attribute	Unit	Object Value
	Battery Definition		
○	Battery Pack Data		
◉	Single Cell Data		
	Cell Capacity	A-h	250
	Number of Series Cells		[NSeries]
	Number of Parallel Cells		[NParallel]
	Initialization		
	Initial State of Charge	fraction	0,8
	Battery Load		
	Load Type		Electrical Connectio...

초기 SOC: 80%

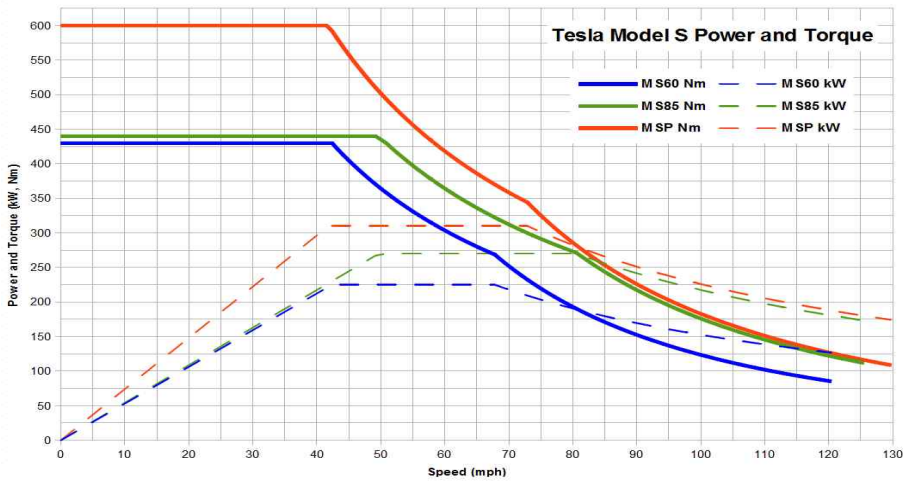
Main | Circuit Parameters | Advanced | Cell Thermal Model | Plots

Attribute	Unit	Object Value
Circuit Parameters defined with Cell Data		
Open Circuit Voltage (Voc), Charge		Battery_OCV_Charge
Open Circuit Voltage (Voc), Discharge	V	400
Internal Resistance (R0), Charge		Battery_R_Charge
Internal Resistance (R0), Discharge		Battery_R_Discharge
Thevenin RC Branches		
☐ Thevenin RC Branch 1		
Efficiency		
Coulombic Efficiency, Charge		def (=1)
Coulombic Efficiency, Discharge		def (=1)

- battery capacity : 25Ah
- initial state of charge : 0.5

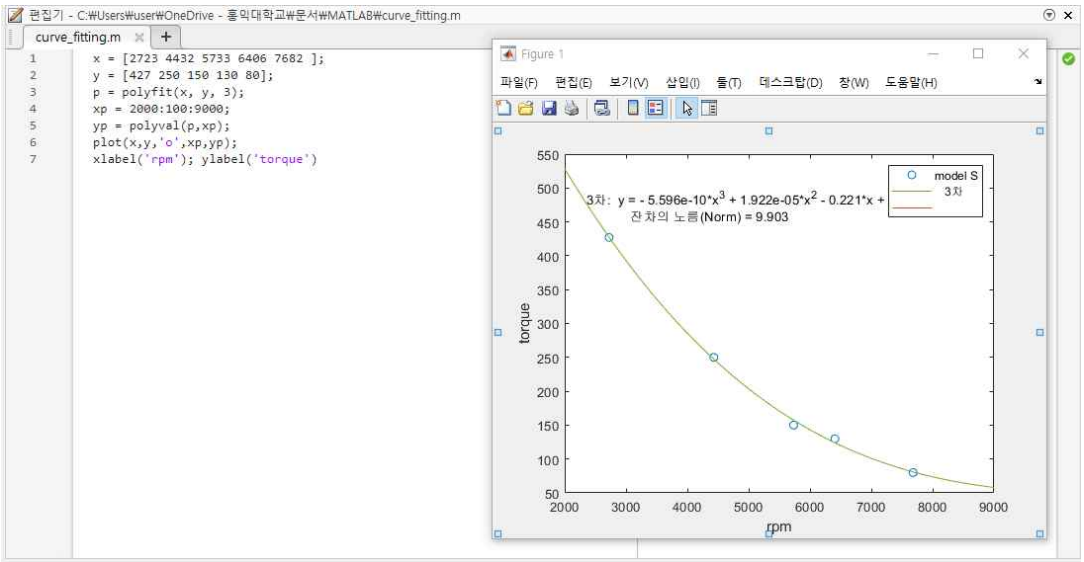
- internal resistance : 0.1 Ohm
- coulombic efficiency : 1
- battery temperature : 300

3)모터 스펙

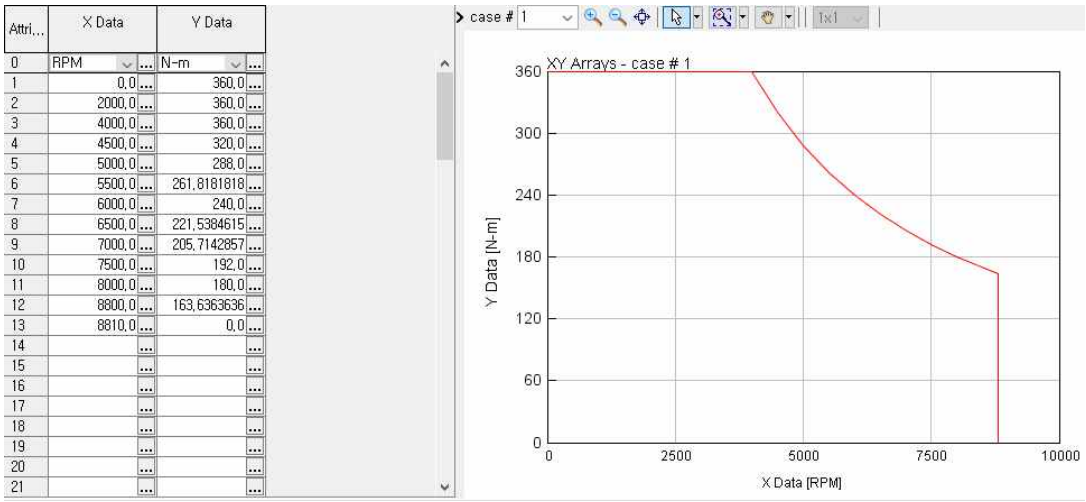


https://i.stack.imgur.com/cg470.png

모터 사양은 위의 토크-속도 그래프의 파란색 실선그래프로 부터 임의의 점 5개를 뽑아 Matlab을 활용해 3차 다항식으로 커브 피팅을 하여 GT-suite에 MaxTorque를 입력했다. 속도-RPM 변환 시 타이어의 크기는 21인치휠(53.34cm)을 기준으로 변환하였다.

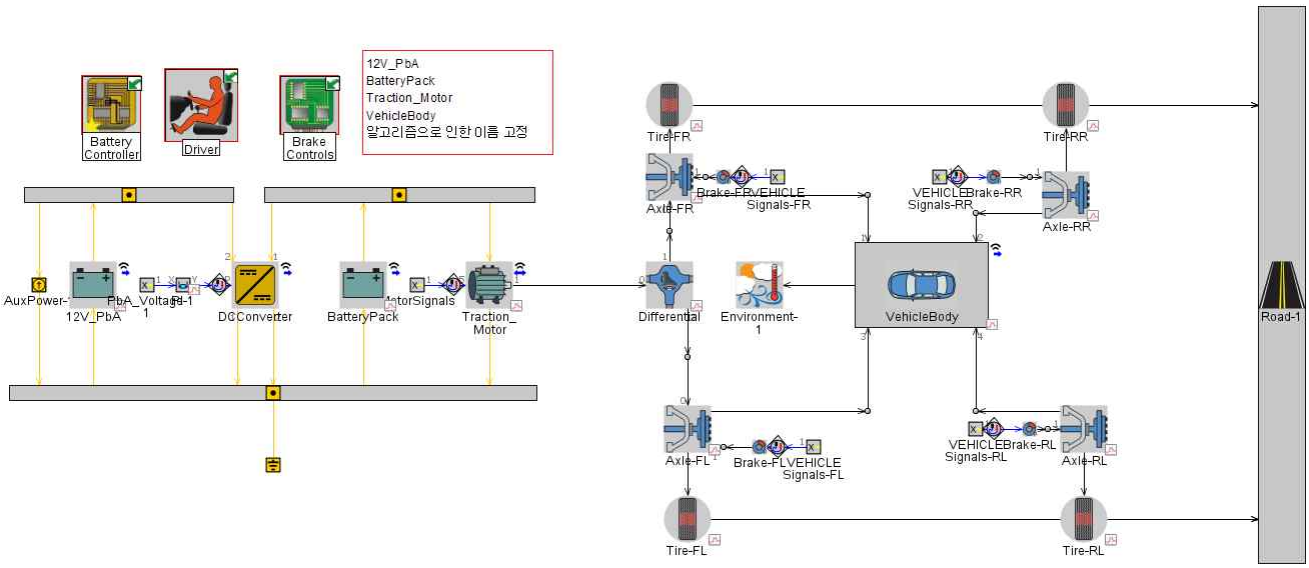


- 3차 Curve Fitting by using Matlab



Attri...	X Data	Y Data
0	RPM	N-m
1	0,0	360,0
2	2000,0	360,0
3	4000,0	360,0
4	4500,0	320,0
5	5000,0	288,0
6	5500,0	261,8181818
7	6000,0	240,0
8	6500,0	221,5384615
9	7000,0	205,7142857
10	7500,0	192,0
11	8000,0	180,0
12	8800,0	163,6363636
13	8810,0	0,0
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		

- Traction Motor Max Torque



전체 알고리즘

2. Cycles

1)FTP75

The "city" driving program of the EPA Federal Test Procedure is identical to the UDDS plus the first 505 seconds of an additional UDDS cycle.[5][6]

Then the characteristics of the cycle are:

- Distance travelled: 11.04 miles (17.77 km)
- Duration: 1874 seconds
- Average speed: 21.2 mph (34.1 km/h)

The procedure is updated by adding the "hot start" cycle that repeats the "cold start" cycle of the beginning of the UDDS cycle. The average speed is thus different but the maximum speed remains the same as in the UDDS. The weighting factors are 0.43 for the cold start and transient phases together and 0.57 for the hot start phase.[citation needed]

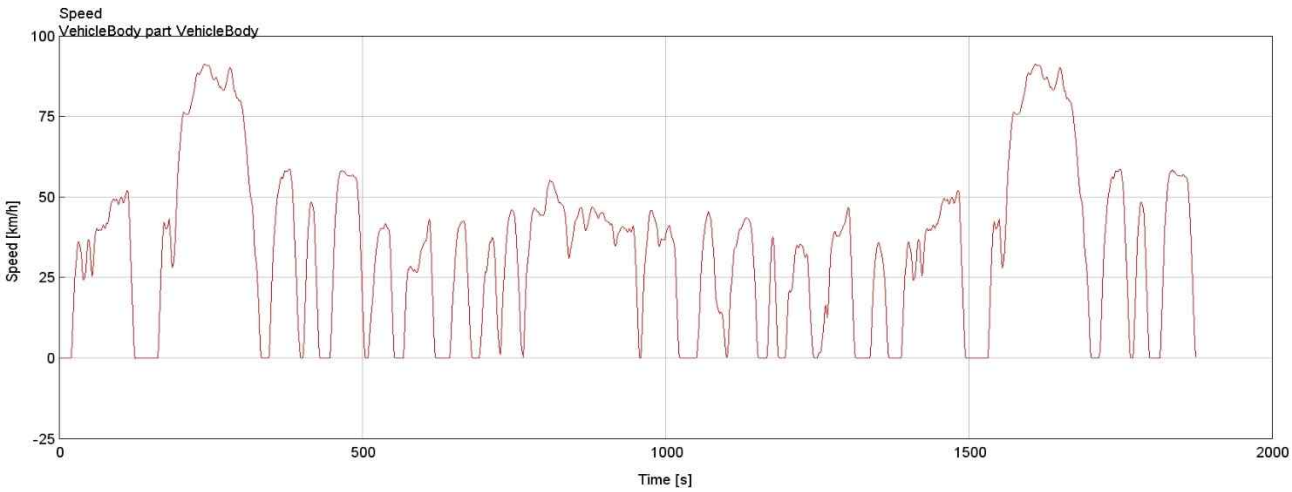
Though it was originally created as a reference point for fossil fuelled vehicles, the UDDS and thus the FTP-75, are also used to estimate the range in distance travelled by an electric vehicle in a single charge.[7]

https://en.wikipedia.org/wiki/FTP-75

.

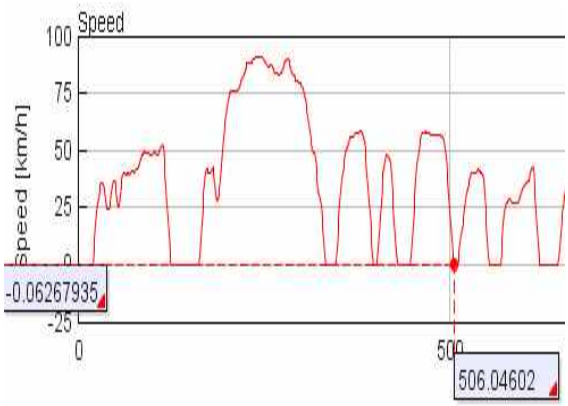
GT-suite Simulation Results

The overall speed profile of FTP75

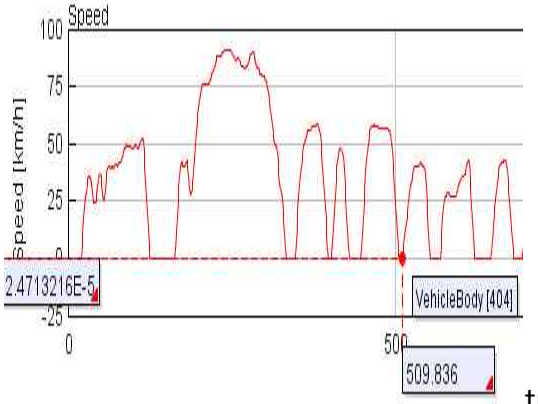


Mean speed of cold start, transient phase

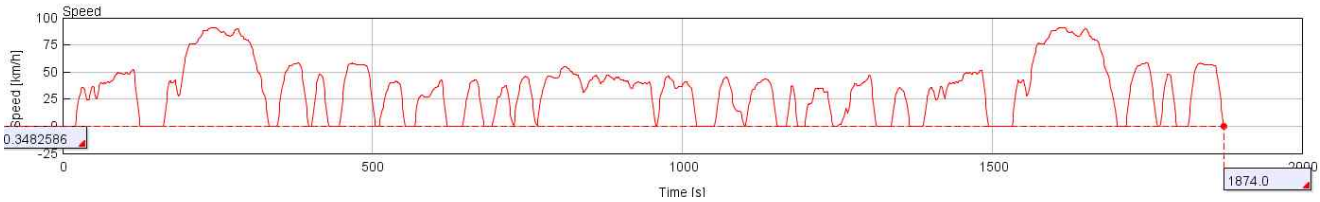
Cold start: 0s ~ 506s, transient phase: 509s ~ 1369s



cold start 구간, 총 506s



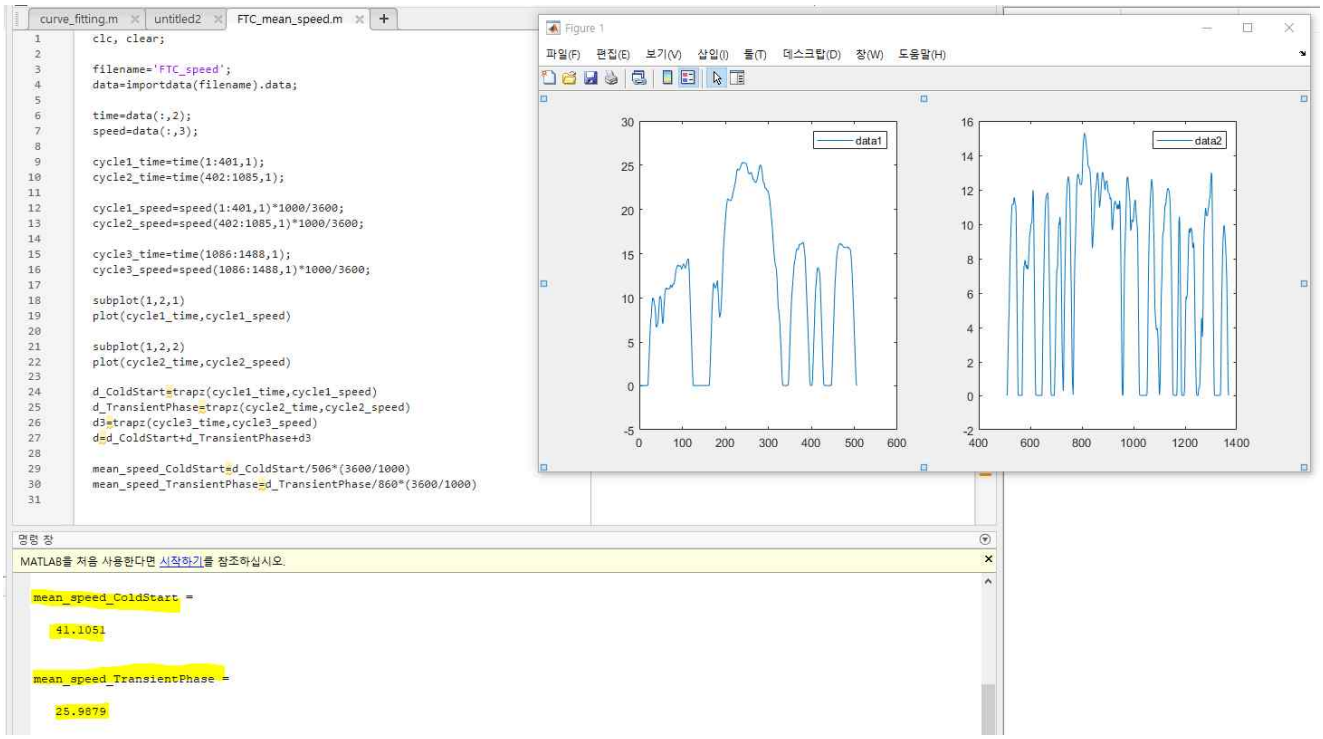
transient phase가 시작하는 시간, 509s



1874s 동안 측정, 시뮬레이션 사이클의 속도가 FTP-75 기준에 부합하다는 것을 확인할 수 있다.

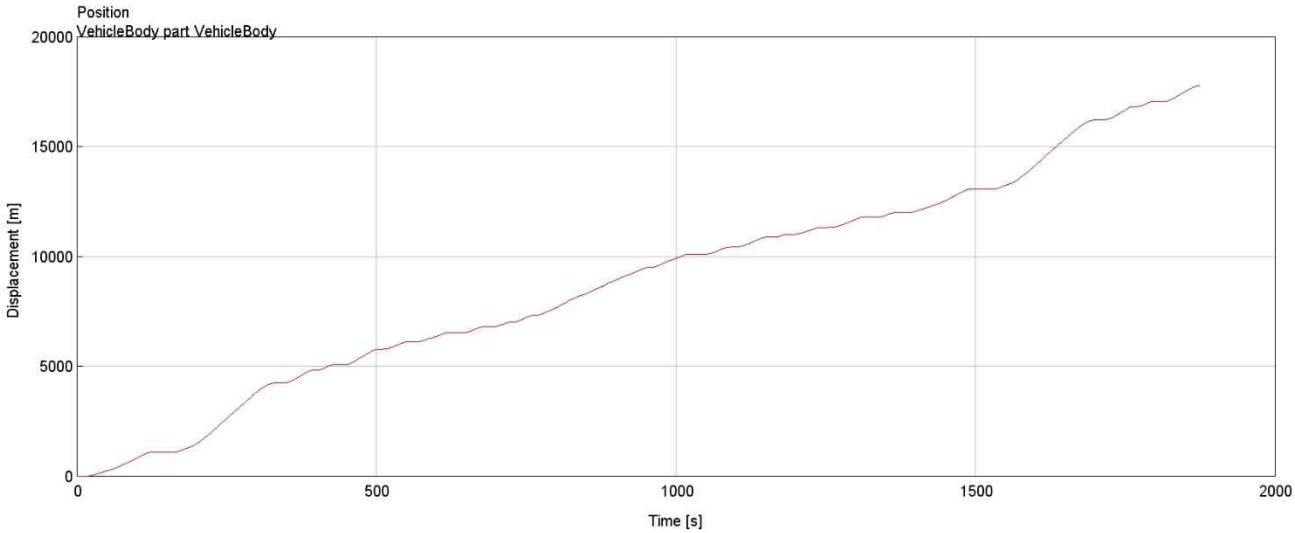
Mean speed of cold start, transient phase

Cold start: 0s ~ 506s, transient phase: 509s ~ 1369s



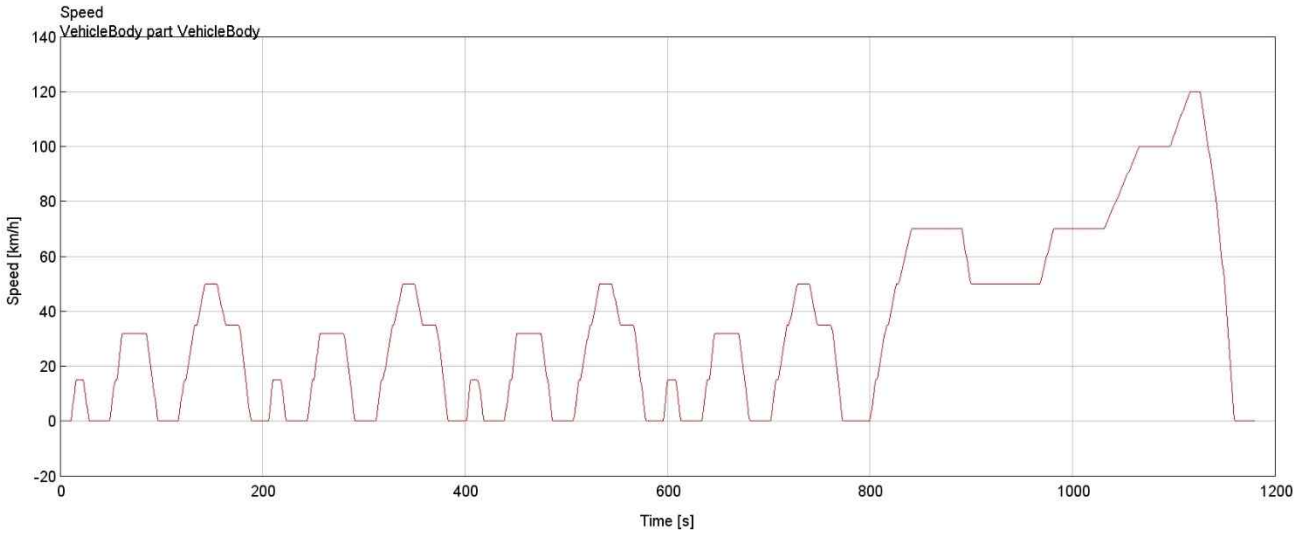
cycle1_speed	*401x1 double*
cycle1_time	*401x1 double*
cycle2_speed	*684x1 double*
cycle2_time	*684x1 double*
cycle3_speed	*403x1 double*
cycle3_time	*403x1 double*
d	1.7763e+04
d3	5.7774e+03
d_ColdStart	5.7775e+03
d_TransientPhase	6.2082e+03
data	*1488x3 double*
filename	'FTC_speed'
mean_speed_Cold...	41.1051
mean_speed_Tran...	25.9879
speed	*1488x1 double*
time	*1488x1 double*

Total driving Distance result 17.76Km almost same as Ftp75 Distance travelled 17.77km

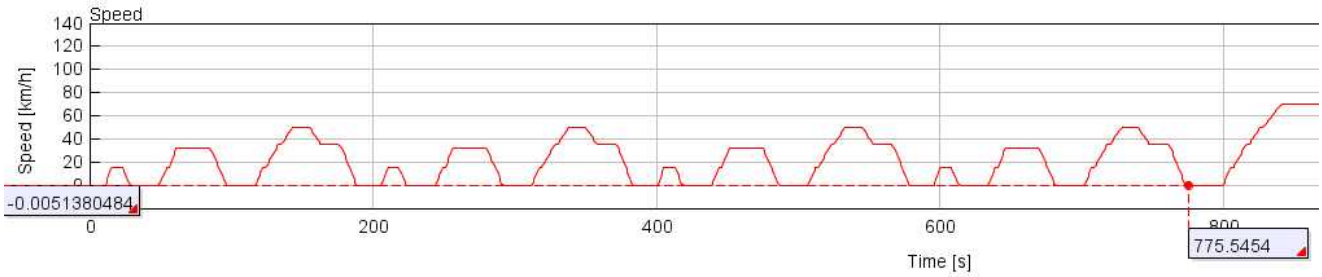


ftp-75 시뮬레이션 결과(주행거리)

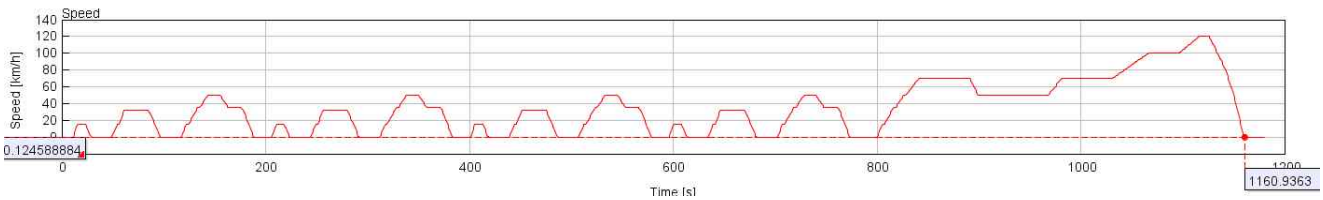
2) NEDC



-NEDC simulation results

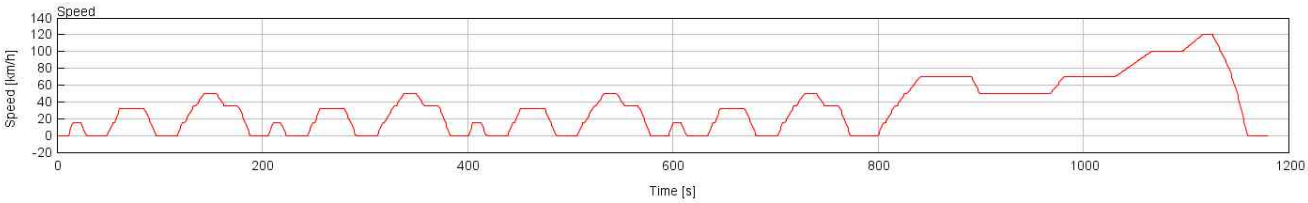


- 4 cycles of ECE-15 : 775s



- Duration of total cycle 1160s

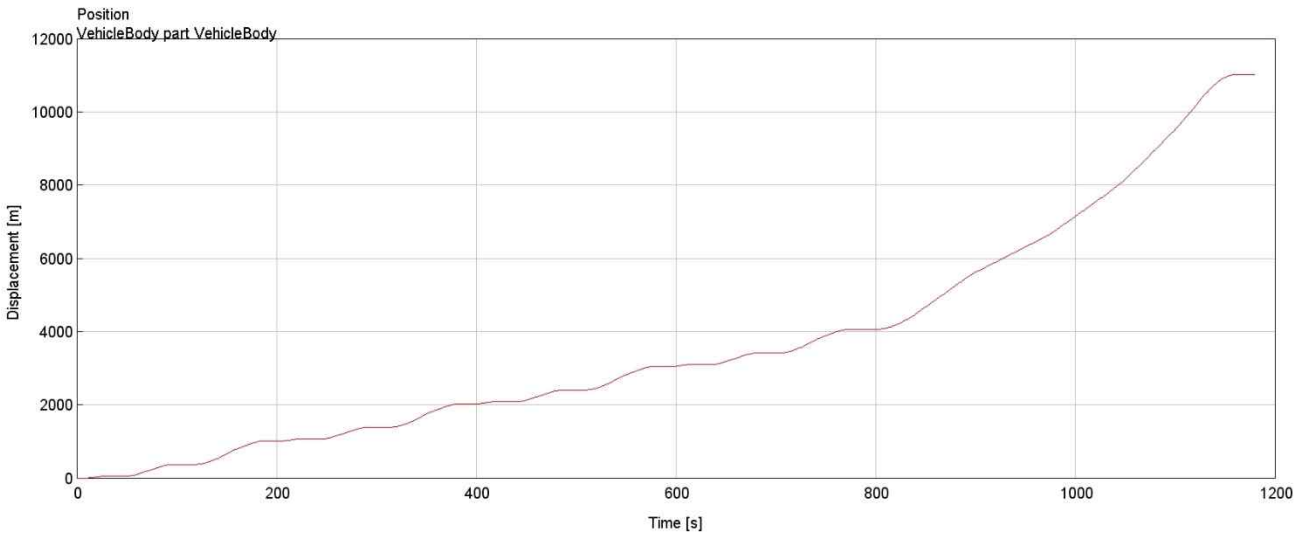
시뮬레이션에선 1160s 의 주행시간처럼 보이지만 끝지점의 속도가 0인 부분을 포함하면 약 1180초로 NEDC또한 기준과 일치한다.



Speed profile of NEDC

Mean speed of NEDC

시뮬레이션의 Total driving distance (d)는 11km 로 NEDC travelling distance와 일치하는 것을 확인할 수 있다

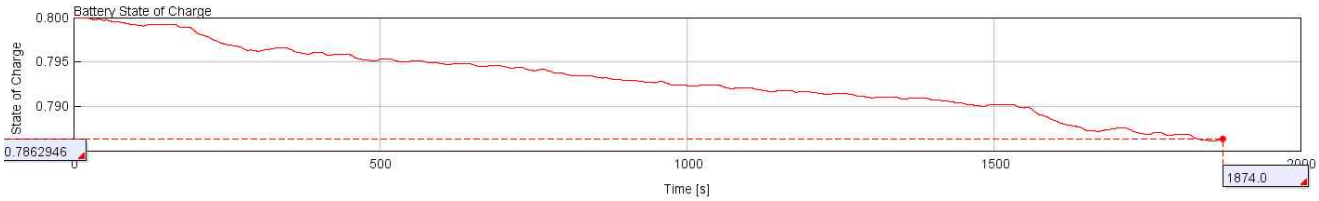


. **NEDC 시뮬레이션 결과(주행거리)**

3. Battery

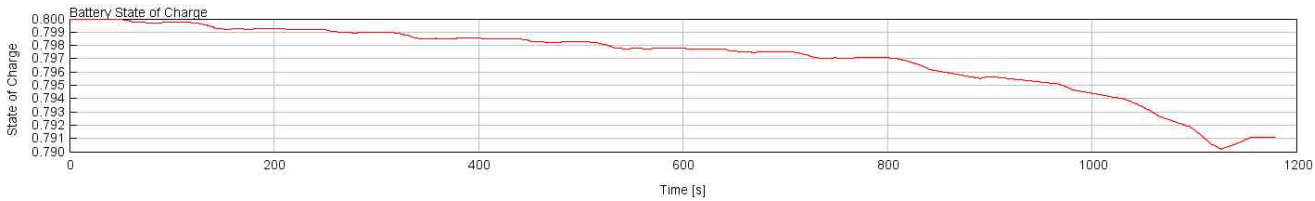
1) SOC

- FTP75



Final SOC : 0.786

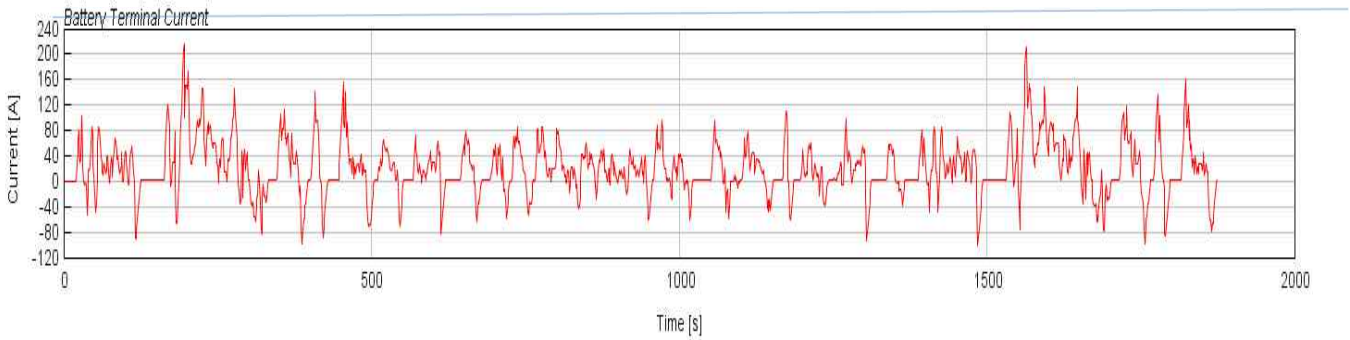
- NEDC



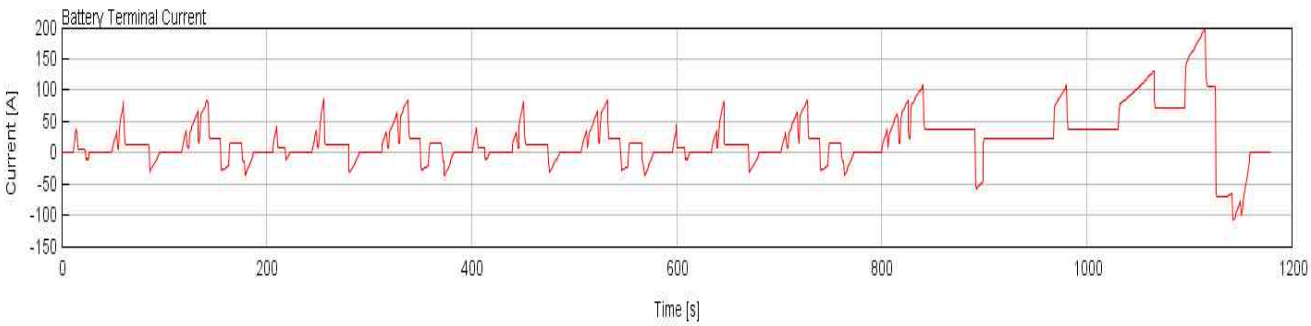
Final SOC : 0.791

2) 전류 변화

- FTP75

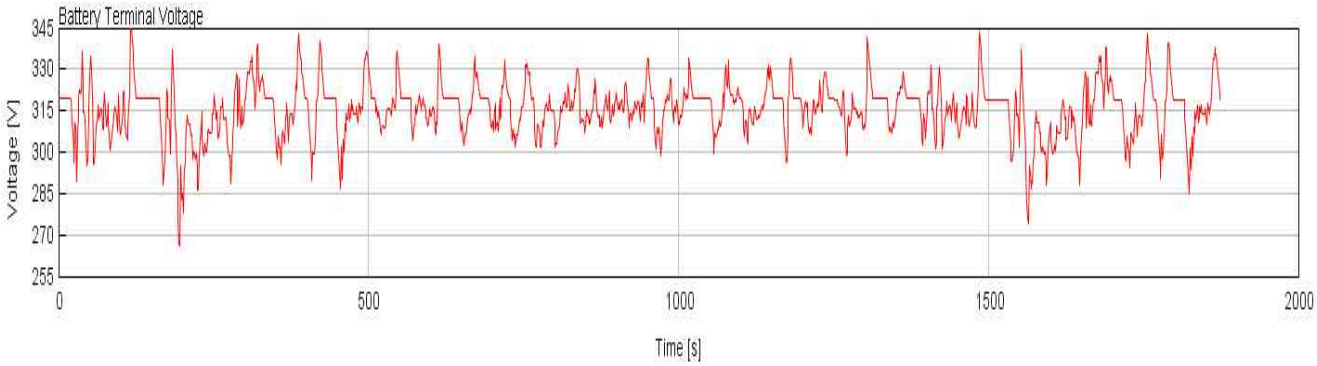


- NEDC

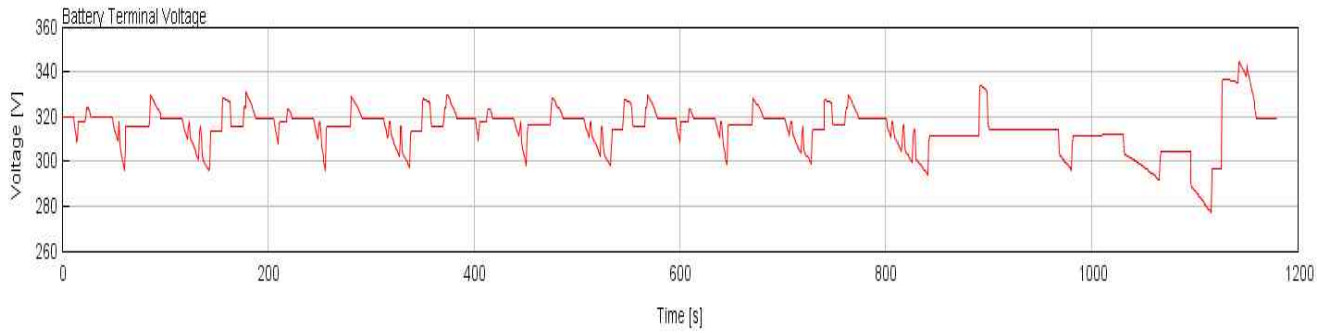


3) 전압 변화

- FTP75

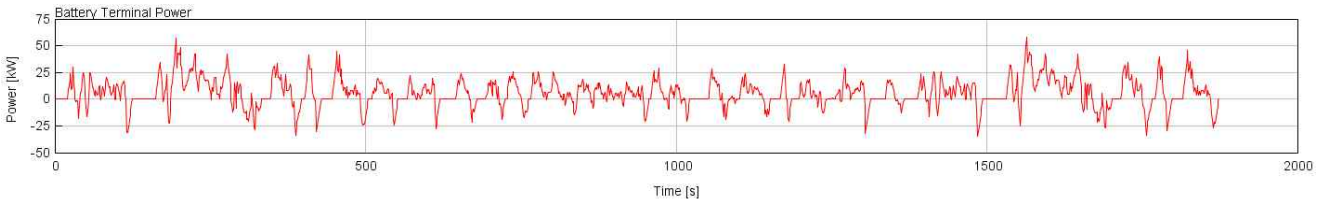


- NEDC

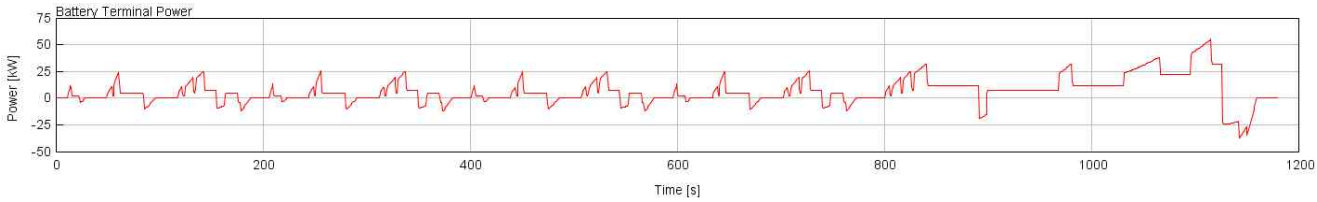


4) 파워

- FTP75



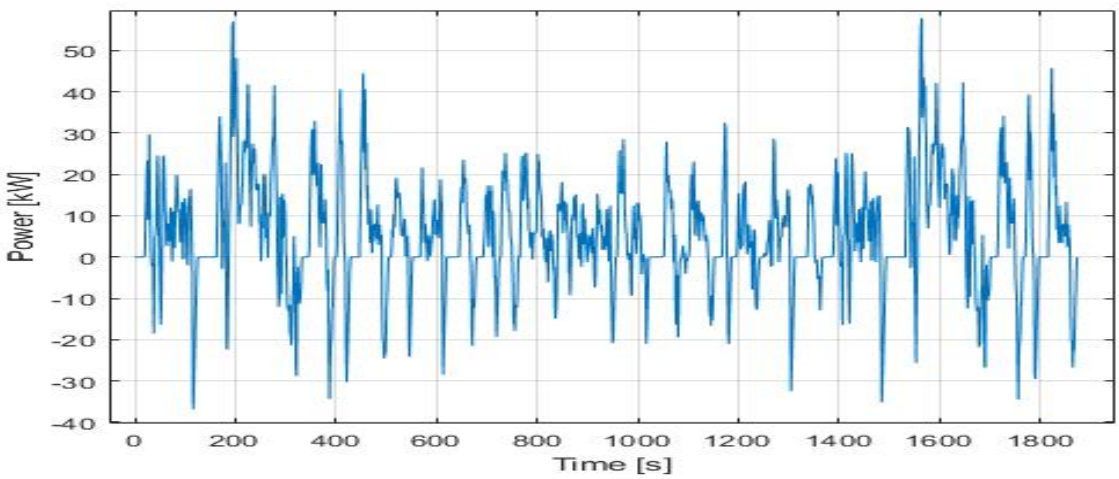
- NEDC



4. Regenerative brake power(회생 브레이크 파워변화)

Traction Motor의 electrical power의 음의 값을 가지는 부분이 있는 것을 확인했고, 해당 부분이 회생 제동으로 모터의 발전량(제동력)으로 간주하여, Power를 시간경로에 대해 적분하여 회생 제동양을 구해보았다.

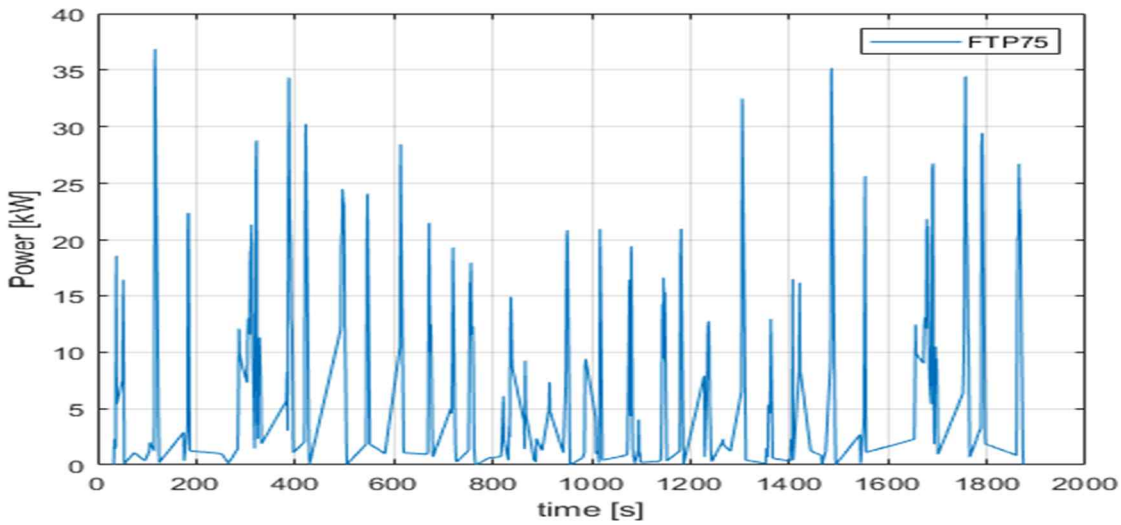
- FTP75



Time-Power 그래프

이 중 Power가 음수인 부분만 떼어내어 따로 Plot한 뒤 Matlab을 이용해 적분하여 회생 제동 양을 구하였다*.

(참고란에 matlab code를 첨부하였습니다.)

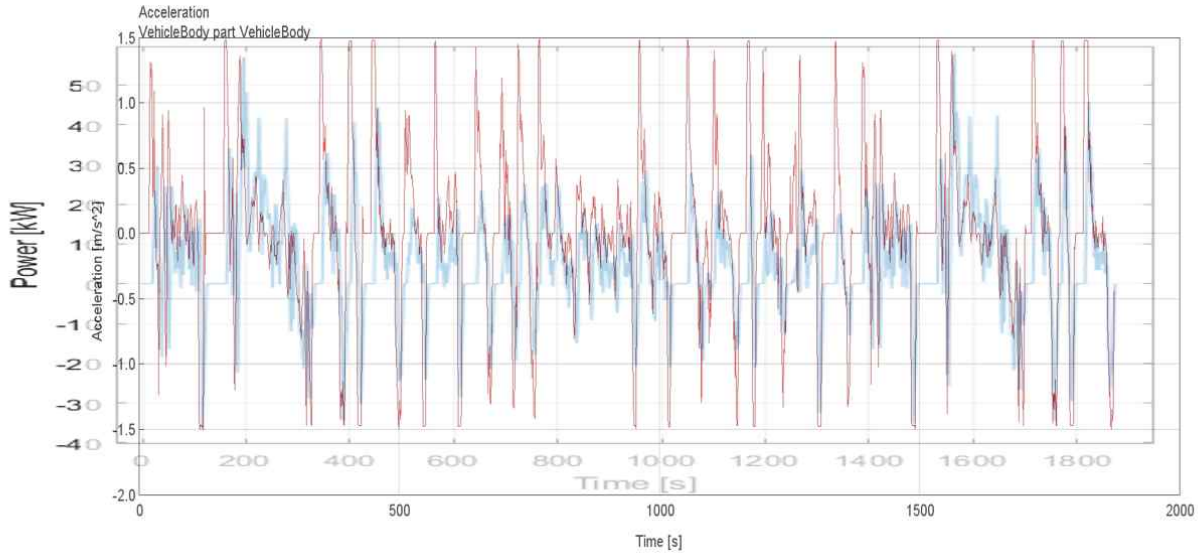


Power가 음수인 부분을 x축 기준 대칭으로 Plot한 그래프.

```
Regenerative_brake_kJ =

   7.3929e+03


Regenerative_brake_mean =

    3.9450
```

Matlab* 을 이용해 적분한 결과, Regenerative_brake_kJ: [kJ], Regenerative_brake_mean: [kW], 총 주기인 1874s에 대한 평균 Power

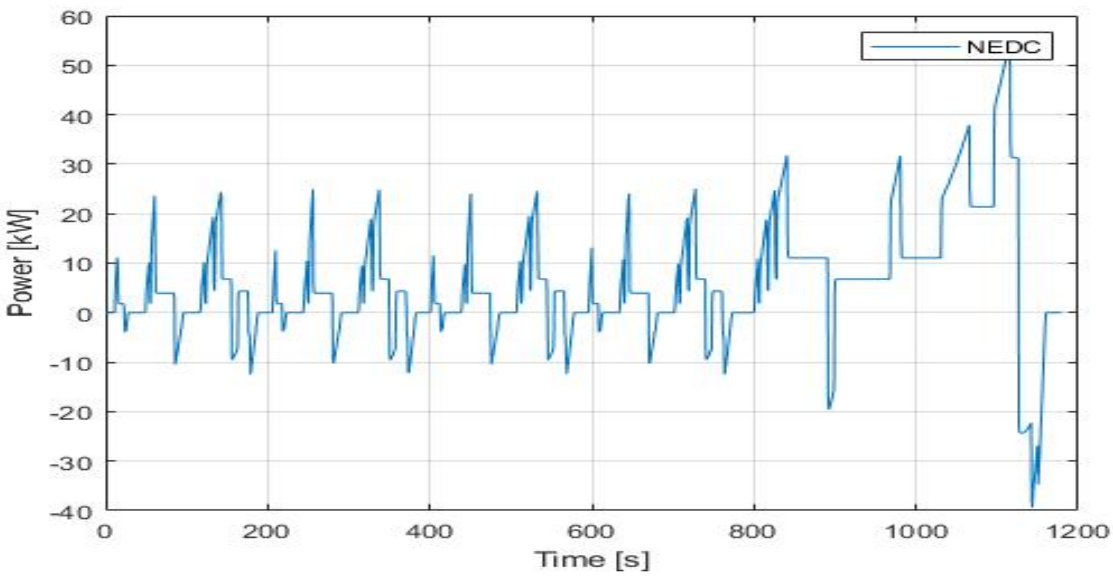
*Acceleration과 regenerative brake 관계



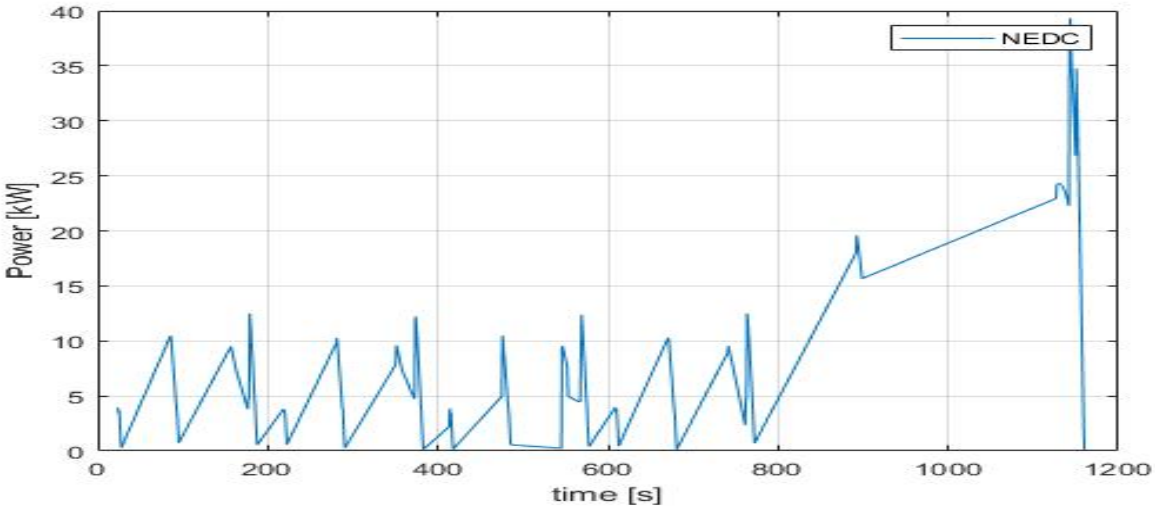
ftp-75조건에서의 가속도 그래프와 regenerative brake 그래프를 겹쳐서 plot 해보았다. 전체적인 그래프 개형이 유사하게 나오는 것을 확인할 수 있다.

회생제동은 vehicle의 운동에너지를 전기에너지로 바꾸는 역할을 한다. 차량이 가속,감속을 할 때 모터에 있는 코일에 유도전류의 변화가 발생하게 되고 모터가 출력을 내는 방식의 반대방향으로 전류를 흐르게 해주어 발전을 하는 방식이다. 따라서 유도기전력 ε는 ($\varepsilon = -\frac{dF}{dt} = -\frac{d(m\vec{v})}{dt} = -m\,a$) 가속도에 비례한다는 것을 확인할 수 있었다.

- NEDC



time-power 그래프



Power가 음수인 부분에 대한 그래프를 x축 대칭으로 Plot 한 그래프

```
Regenerative_brake_kJ =

   9.6496e+03


Regenerative_brake_mean =

    8.1776
```

Matlab을 통해 적분한 결과.

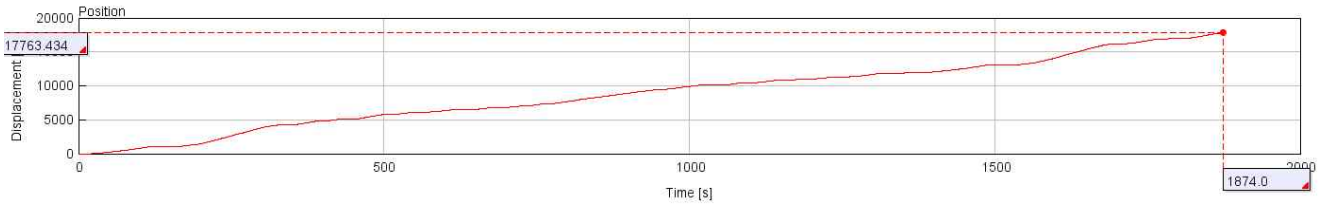
NEDC 조건에서 FTP-75 조건보다 회생 제동량이 상대적으로 많다고 볼 수 있다..

5. 각 사이클의 최종 전비(km/kWh)

1) FTP75

FTP75의 SOC는 3.1의 결과를 참고하면 0.8에서 0.786으로 감소하였다.

주행거리는 1776m이다.



$$\Delta SOC = S_i - S_f = 0.8 - 0.786 = 0.014$$

$$\Delta E = Battery \quad Capacity \quad * \Delta SOC = 100kWh * 0.014 = 1.4kWh$$

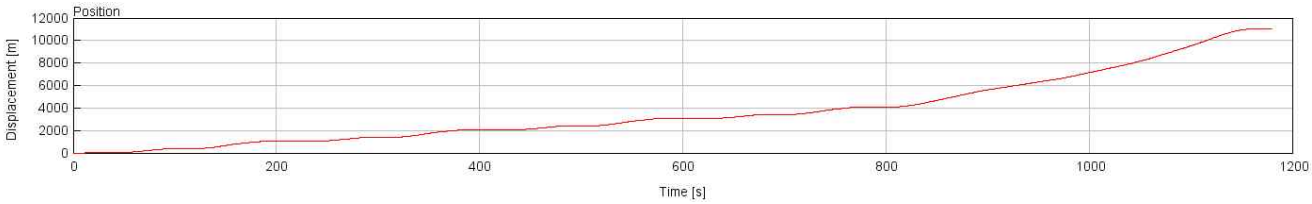
$$주행거리 = 17.763km$$

$$\therefore \ 전비_{FTP75} = \frac{17.763km}{1.4kWh} = 12.69 \ km/kWh$$

2) NEDC

NEDC의 SOC또한 3.1 의 결과를 참고하면 0.8에서 0.791로 감소하였다.

주행 거리는11Km이다.



$$\Delta SOC = S_i - S_f = 0.8 - 0.791 = 0.009$$

$$\Delta E = Battery \quad Capacity \quad * \Delta SOC = 100kWh * 0.009 = 0.9kWh$$

$$주행거리 = 11km$$

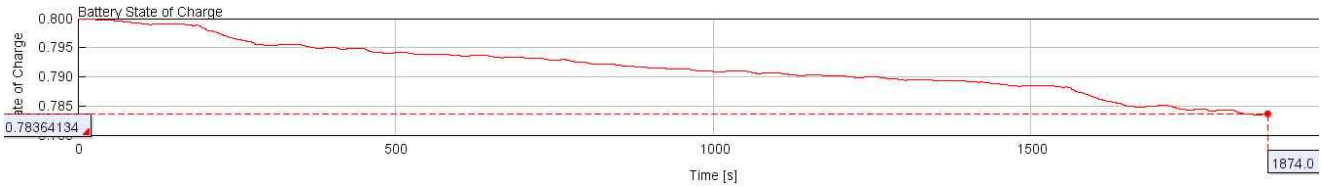
$$\therefore \ 전비_{NEDC} = \frac{11km}{0.9kWh} = 12.2 \ km/kWh$$

6. 추가 고려

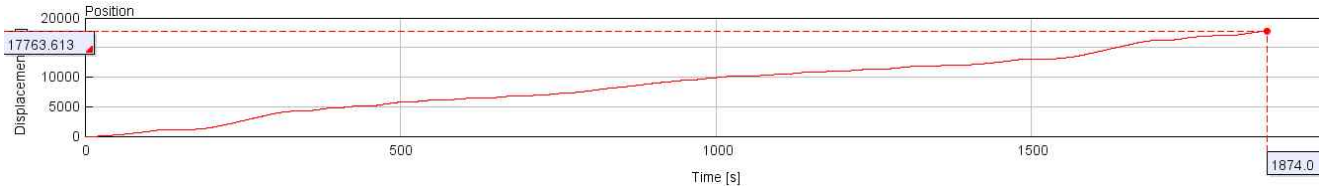
1) 차량의 사양 변화에 따른 전비 변화

i. 공기저항 계수

tesla model S의 공기 저항 계수(coefficient drag) 0.24로 적용하였지만 이를 0.5로 바꾼 뒤 SOC와 주행거리를 측정해봤더니 다음과 같다. FTP 기준으로 측정하였다.



FTP-75_SOC - cd=0.5



FTP-75_travelling distance - cd=0.5

최종 SOC는 0.784이고 주행 거리는 같았다. 즉 5.1과 비교하여 SOC만 0.002추가로 감소하였는데, 이때 전비는 11.1 km/kWh로 큰 변화가 없는 것을 확인할 수 있다.

$$\Delta SOC = S_i - S_f = 0.8 - 0.784 = 0.016$$

$$\Delta E = Battery \quad Capacity \quad * \Delta SOC = 100kWh * 0.016 = 1.6kWh$$

$$주행거리 = 17.763km$$

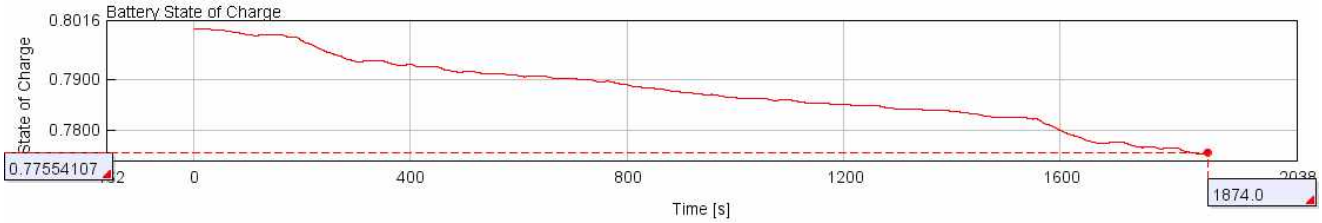
$$\therefore \ 전비|_{FTP75_{Cd=0.5}} = \frac{17.763km}{1.6kWh} = 11.1\ km/kWh$$

ii. 구름저항계수

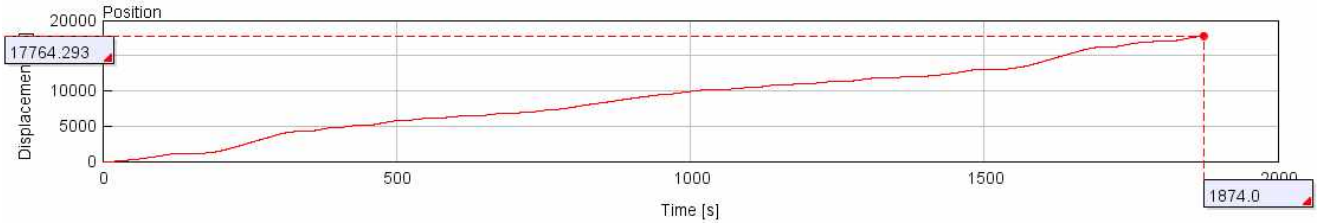
차종	도로상태	구름저항계수(μR)
승용차용 공기 타이어	콘크리트(건조)	0.01~0.02
	콘크리트(젖음)	0.02~0.03
	아스팔트(건조)	0.01~0.02
	아스팔트(젖음)	0.02~0.03
	자갈+타르(건조)	0.02~0.03
	비포장도로(딱딱함)	0.05
	농로/모랫길	0.1~0.35

https://sugarlessgum.tistory.com/92

구름 저항 계수는 기존값 0.015에서 0.030으로 수정 후 FTP 기준에서의 전비 변화



위: SOC, 아래: 주행거리



SOC가 0.775으로 감소하였는데, 이때 전비를 계산해보면 7.1km/kWh이다. 공기저항 계수 보다는 구름저항 계수의 증가가 전비에 더 큰 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있다.

$$\Delta SOC = S_i - S_f = 0.8 - 0.775 = 0.025$$

$$\Delta E = Battery \quad Capacity \quad * \Delta SOC = 100kWh * 0.025 = 2.5kWh$$

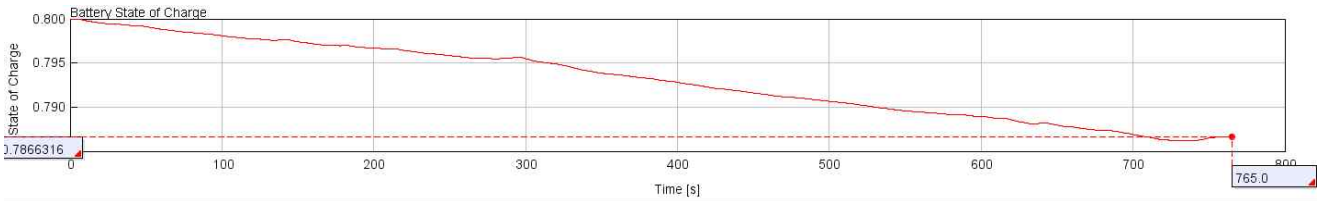
$$주행거리 = 17.763km$$

$$\therefore \ 전비_{FTP^{75}\ 구름저항계수\ 0.3} = \frac{17.763km}{2.5kWh} = 7.1\ km/kWh$$

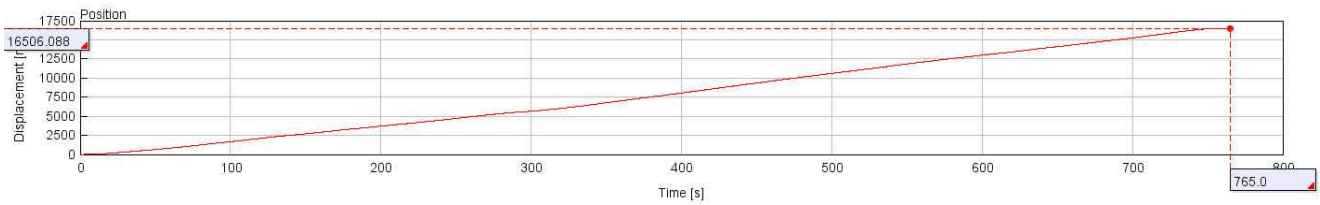
iii. 운전 조건 변화

HWY와 US06 기준에서의 시뮬레이션 결과.

- HWY

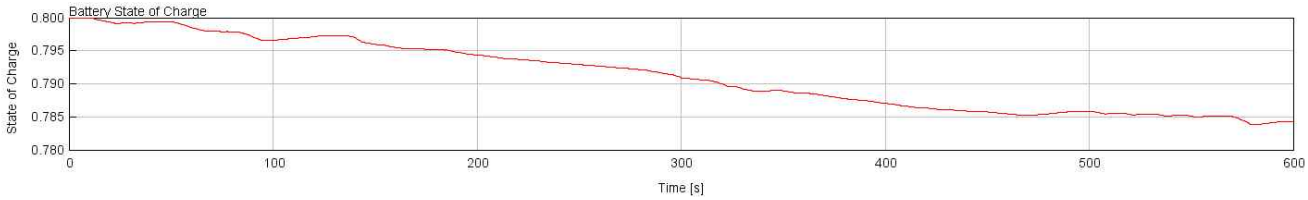


SOC

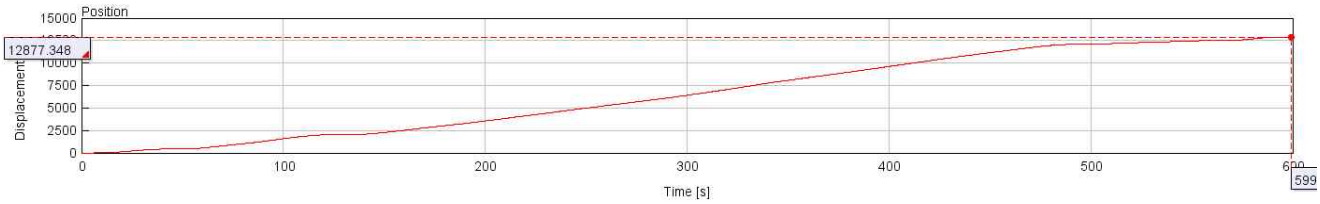


주행거리

- US06



SOC



주행거리

-운전조건에 따른 전비 결과 정리

HWY의 운전조건에서의 전비: 11.8km/kWh

US06의 운전조건에서의 전비: 8.06km/kWh

FTP75의 운전조건에서의 전비: 12.69km/kWh

NEDC의 운전조건에서의 전비: 7.86km/kWh

NEDC 기준에서 가장 낮은 값의 전비를 얻을 수 있었다. 운전조건 변화에 따라 전비는 최대 38%(FTP75-NEDC)의 차이를 보인다. GT-SUITE를 활용한 시뮬레이션 결과를 보면 운전조건의 변화가 전비에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 보인다.

전기동력자동차는 내연기관 자동차와 달리 회생제동의 기능이 있기 때문에 운전환경에 따라 Final SOC값에 변화가 생기므로 최종전비를 계산할 때 운전환경의 영향이 크다고 볼 수 있다.

7. 참고

회생 브레이크의 파워 변화를 계산한 matlab 코드.

```
clc, clear
filename='NEDC_motor_electrical power_excel.xlsx' ;
total_time=1180;

data_elec=importdata(filename);
data_elec = data_elec.data;
data= cell2mat(struct2cell(data_elec));

power=data(:,3);
time=data(:,2);

idx=find(power<0);
power=-power(idx);
time=time(idx);

plot(time,power)
hold on
xlabel('time [s]'), ylabel('Power [kW]'), legend('NEDC'), grid on
hold off

Regenerative_brake_kJ=trapz(time,power)
Regenerative_brake_mean=Regenerative_brake_kJ/total_time
```