

KOREA 2020

DISCOVERY SUMMIT

ONLINE

JMP를 활용한 선박 연료 효율 분석

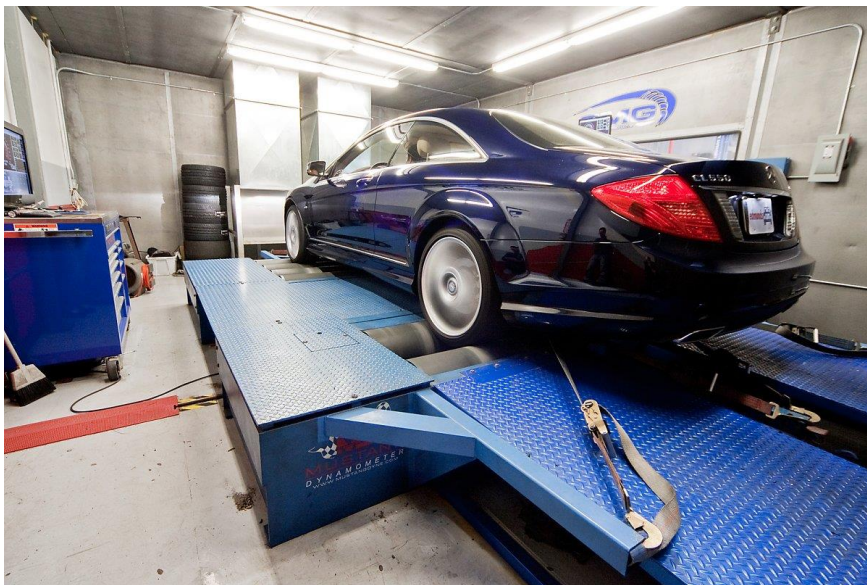


조태근

0. Introduction



0. Introduction



0. Introduction



- 해상환경에 따른 편차
 - 조류 및 조속 / 풍향 및 풍속
 - 해수온도 / 염도
- 선적요인화물에 따른 편차
 - 평형수 적재량 / 선적량
- 연료에 따른 편차 (Fuel Quality)
- Aging / 정비요인에 따른 편차

0. Introduction



- Predictive Modeling



- Visualization

JMP를 활용한 선박 연료 효율 분석

1. Project Background

1. Project Background

	Actual		What if (\$650/mt)	
Revenue	1,769,226			
Freight	1,591,402			
Demurrage	155,071			
Others	22,754			
Expense	483,757	30.1%	1,096,394	49.4%
Port charge	78,574	4.9%	78,574	3.5%
Bunker cost	400,483	24.9%	1,013,120	45.6%
Others	4,700	0.3%	4,700	0.2%
Capex/Opex	1,123,273	69.9%	1,123,273	50.6%
Profit	162,197			

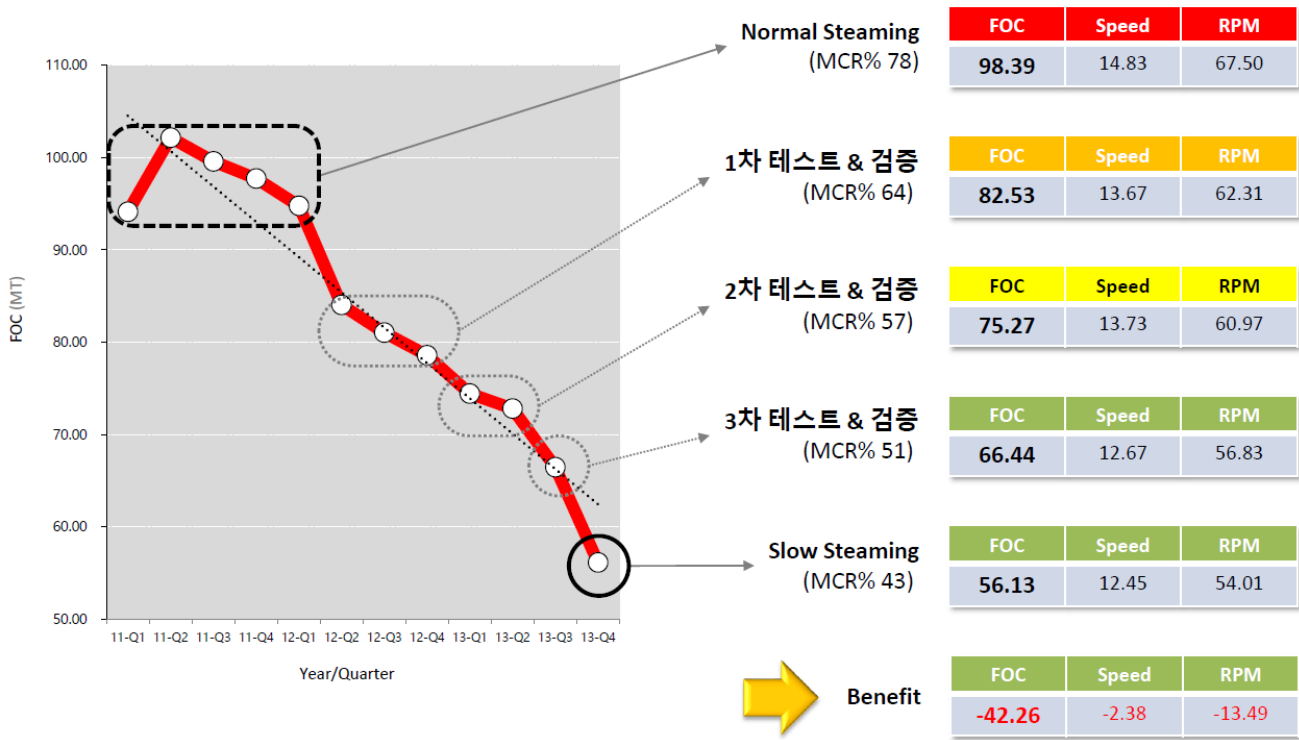
Cargo qty. (mt)		46,800
Duration		38.92
Sea day		28.34
Port day		10.58
Speed (knots)		15.66
IFO	US\$	400,242
	Qty (mt)	1,557.80
	\$/mt	256.93
MGO	US\$	240
	Qty (mt)	0.50
	\$/mt	480.50

Itinerary	Status	ETA	ETD	Sea day	Port day	Subtotal
Kalbut Situbondo, IN	Departure		2016-09-12 11:00			
Fujairah, AE	Bunker call	2016-09-23 9:48	2016-09-24 9:00	10.95	0.97	11.92
Ruwais, AE	Load	2016-09-25 8:00	2016-09-26 17:54	0.96	1.41	2.37
Daesan, KR	Discharge	2016-10-13 4:15	2016-10-21 9:00	16.43	8.20	24.63
			TTL	28.34	10.58	38.92

1. Project Background

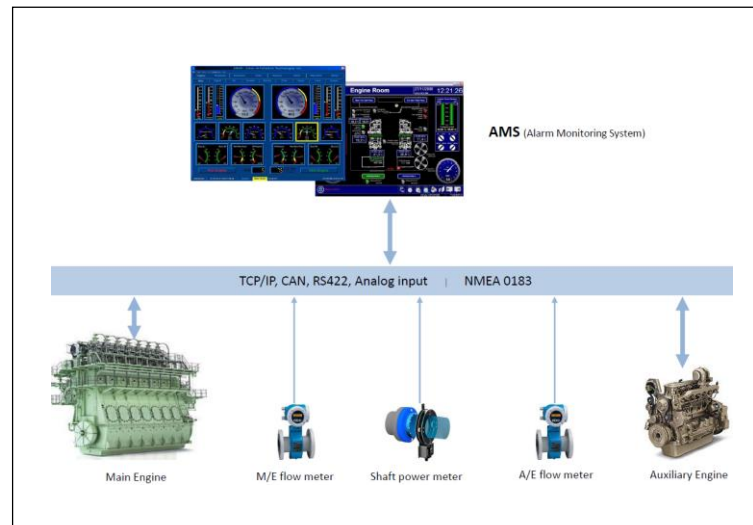
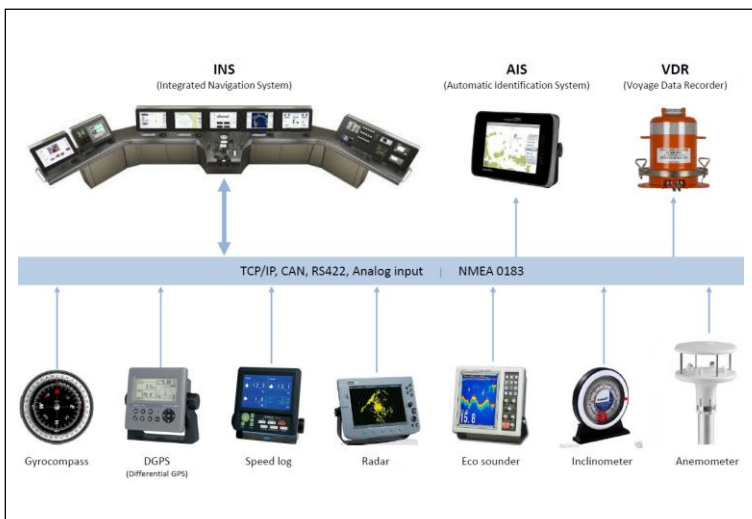
적용기술	효과	Description
Slow Streaming	20%	Main Engine load를 15~60% 수준까지 낮춰 연료소모량절감
Eco Type Main Engine	3~6%	디젤엔진을 장행정화, RPM감속 및 큰 Propeller 적용으로 엔진/추진계통 효율화
Dual Fuel Diesel Engine	20~30%	Diesel과 LNG를 주연료로 사용하는 엔진으로 기존LNG선의 Steam Turbine 대비 효율 향상
Optimum Ship Routing	4%	항해일정, 날씨 등을 고려하여 항로 최적화를 통해 항해기간 단축 또는 연료소모량 절감
ECOS	3%	Speed, RPM 최적화를 통한 연료소모량 절감
L/F A/F Paint	3%	마찰계수가 적은 선체 외판페인트를 적용하여 Hull Roughness 최적화를 통한 연료절감
Main Engine Tuning	2~3%	M/E 최적출력을 Part or Low Load 범위로 Tuning 하여 연료소모량 절감(신조예정3척포함)
MEWIS Duct	3~5%	Propeller로 흘러 들어가는 물의 흐름을 개선시켜 추진 효율향상(신조선적용예정)
Saver Fin	2~3%	Propeller로 흘러 들어가는 물의 흐름을 개선시켜 추진 효율향상(신조선적용예정)
Rudder Bulb	2~3%	Propeller Boss Cap 후단에 발생하는 와류를 제거하여 추진효율향상(신조선적용예정)
High Efficient Fan	1%	Engine Room 환풍기 모터 주파수를 조절하여 전기소모량 절감(신조선적용예정)
Propeller Painting	1%	Propeller에 표면조도가 높은 Silicon계 Paint를 도장하여 선박의 진동저감 및 연비개선
Energy Saving System	1%	해수펌프 모터주파수를 해수온도에 따라 조절하여 전기소모량 절감
Fuel Saver	1%	전자기장을 활용, 연료유를 미립화 시켜 연소활성화를 통한 연비개선

1. Project Background



1. Project Background

Slow Streaming의 단순한 속도 제한 뿐 아니라, 해상환경정보 및 선박운항 정보 등 선박에서 수집된 데이터를 통합 분석하여, **선박별 운항 조건에 따른 최적의 연비를 도출하는 것이 필요**

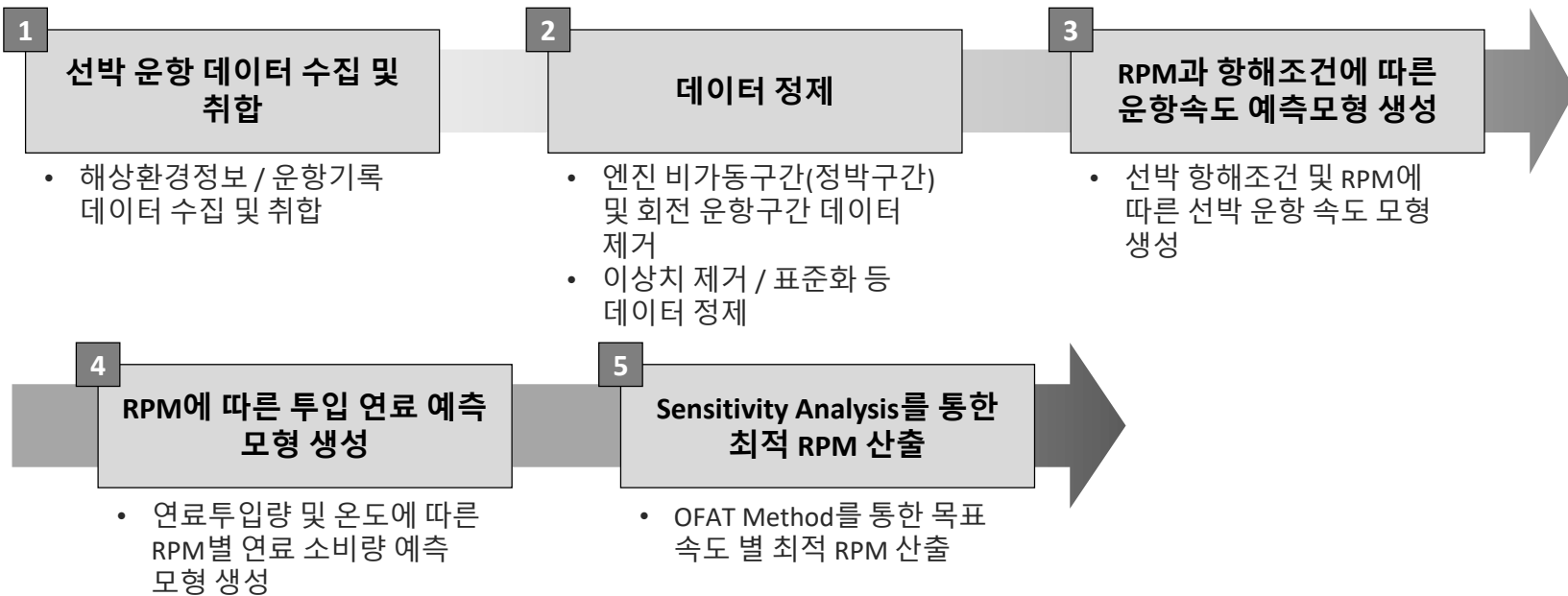


JMP를 활용한 선박 연료 효율 분석

2. Predictive Modeling

2. Predictive Modeling

Analysis Process Flow



2. Predictive Modeling



- **G.Swan, LPG Carrier, Built in 2013**

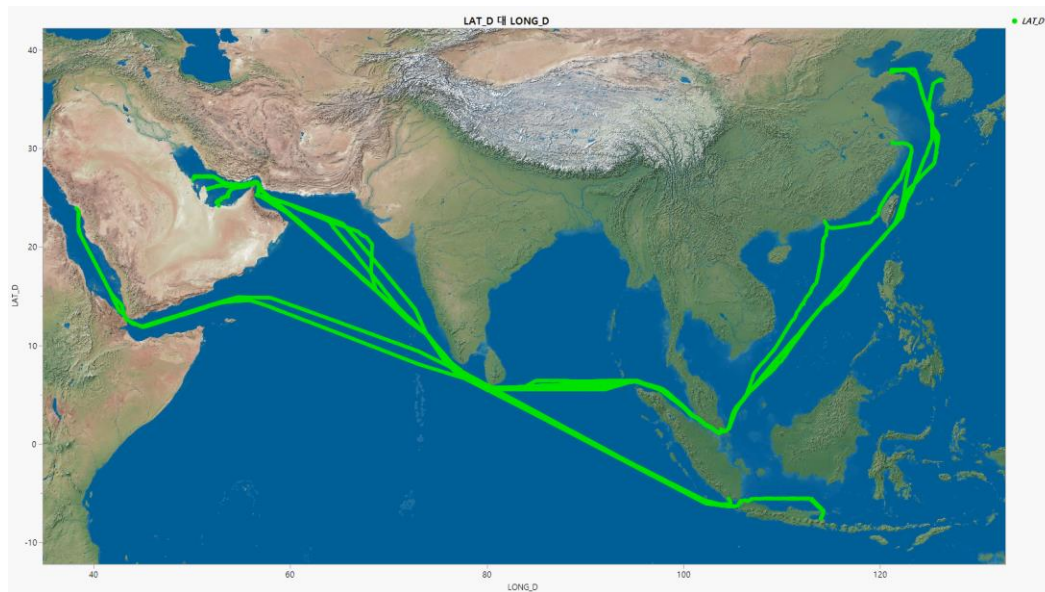
분석 대상 데이터셋

- **Target Ship: G.Swan**
- **Range: '16. 3.24 ~ '16. 10.22**
- **Time Interval: 10min**
- **Number of Observations: 30,270**
- **Total of Variables: 34**
- **Variables for the model: 9**

2. Predictive Modeling

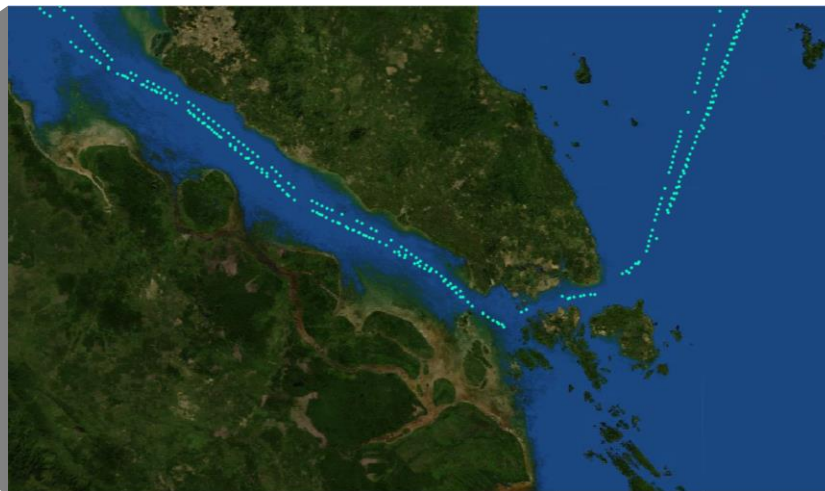
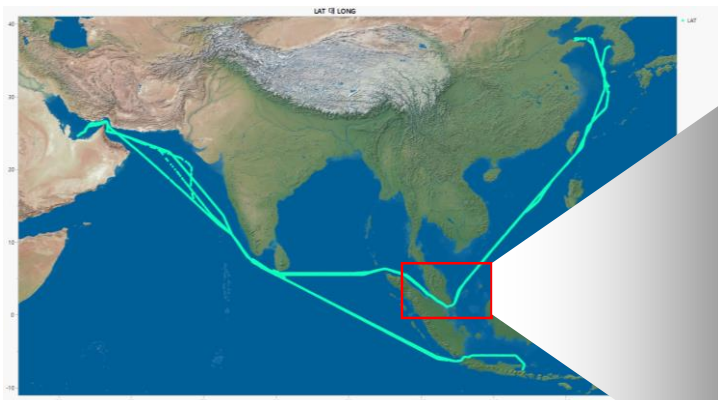
- Data 시각화

	Date	Time	LAT	LONG	COG	SOG
1	2016-03-24	오전 12:09	0.0256	1.8122	175.3	0.0514
2	2016-03-24	오전 12:19	0.0256	1.8122	329.3	0
3	2016-03-24	오전 12:29	0.0256	1.8122	337.4	0.0514
4	2016-03-24	오전 12:39	0.0256	1.8122	190.6	0
5	2016-03-24	오전 12:49	0.0256	1.8122	177.6	0.0514
6	2016-03-24	오전 12:59	0.0256	1.8122	172.8	0
7	2016-03-24	오전 1:09	0.0256	1.8122	26.2	0
8	2016-03-24	오전 1:19	0.0256	1.8122	26.2	0
9	2016-03-24	오전 1:29	0.0256	1.8122	155.7	0
10	2016-03-24	오전 1:39	0.0256	1.8122	182.3	0.0514
11	2016-03-24	오전 1:49	0.0256	1.8122	165.8	0.0514
12	2016-03-24	오전 1:59	0.0256	1.8122	172.5	0
13	2016-03-24	오전 2:09	0.0256	1.8122	311.2	0
14	2016-03-24	오전 2:19	0.0256	1.8122	164.2	0.0514
15	2016-03-24	오전 2:29	0.0256	1.8122	174	0
16	2016-03-24	오전 2:39	0.0256	1.8122	153.1	0.0514
17	2016-03-24	오전 2:49	0.0256	1.8122	340.8	0
18	2016-03-24	오전 2:59	0.0256	1.8122	109.5	0
19	2016-03-24	오전 3:09	0.0256	1.8122	169	0
20	2016-03-24	오전 3:19	0.0256	1.8122	19.5	0
21	2016-03-24	오전 3:29	0.0256	1.8122	35.1	0
22	2016-03-24	오전 3:39	0.0256	1.8122	197.6	0.0514
23	2016-03-24	오전 3:49	0.0256	1.8122	107.1	0.0514
24	2016-03-24	오전 3:59	0.0256	1.8122	118.7	0



2. Predictive Modeling

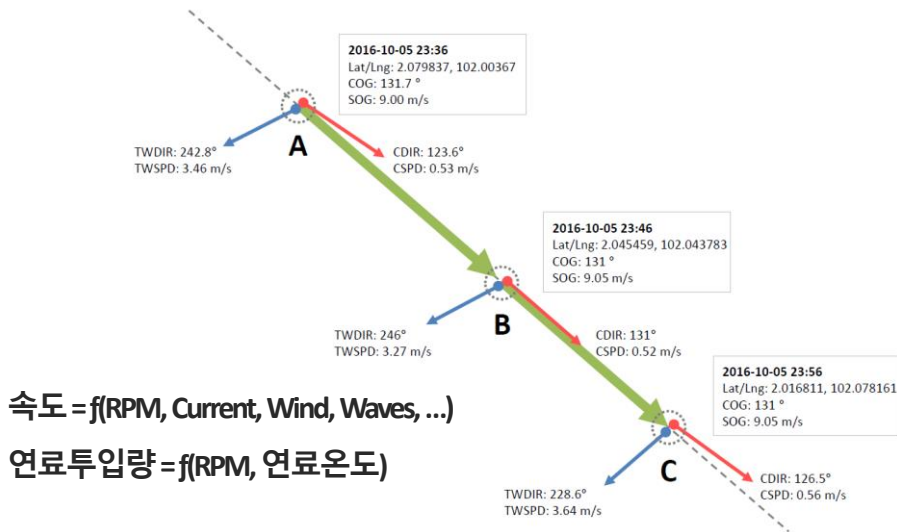
- 이상치 제거



- 정박구간 및 회전구간 제거
- 이상치 제거 후: 7463 Obs (약 52일)

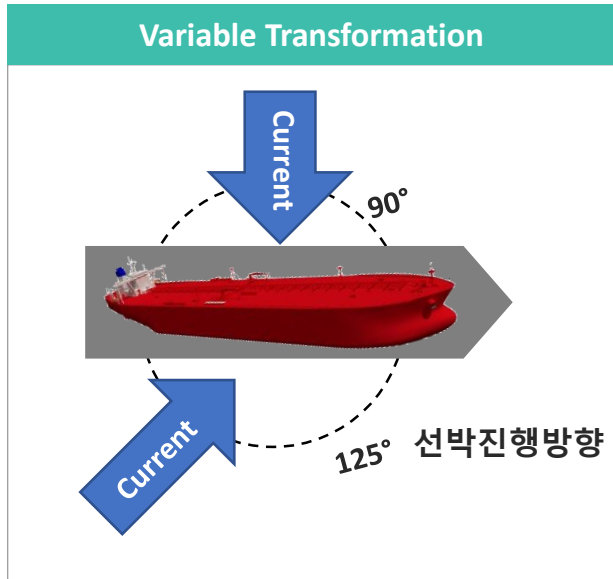
2. Predictive Modeling

- 변수 변환



속도 = $f(\text{RPM, Current, Wind, Waves, ...})$

연료투입량 = $f(\text{RPM, 연료온도})$



Basic Assumption

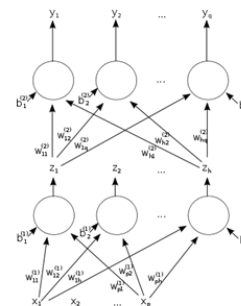
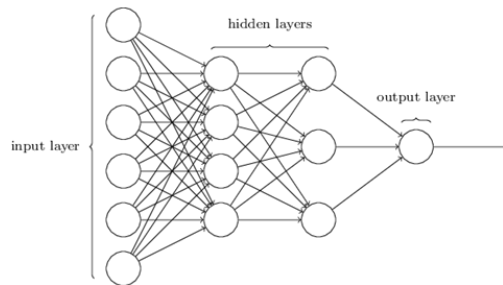
1. 선박운항속도 = $f(\text{엔진RPM, 조류방향, 조류속도, 풍향, 풍속, Rudder Angle})$
2. 연료투입량 = $f(\text{엔진RPM, 연료온도})$

2. Predictive Modeling

Least Square Regression

1. Simple Effects $y_i = \alpha + \beta_1 \cdot x_{i1} + \beta_2 \cdot x_{i2} + \dots + \beta_n \cdot x_{in} + \varepsilon_i$
- 교호작용 없는 선형 회귀모형
2. Polynomial Effects $y_i = \alpha + \beta_1 \cdot x_{i1} + \beta_2 \cdot x_{i1}^2 + \dots + \beta_{2n-1} \cdot x_{in} + \beta_{2n} \cdot x_{in}^2 + \varepsilon_i$
- 교호작용 없는 2차 항을 고려한 비선형 회귀모형
3. Cross Effects (Interactions) $y_i = \alpha + \beta_1 \cdot x_{i1} \cdot x_{i2} + \beta_2 \cdot x_{i2} + \dots + \beta_n \cdot x_{i(n-1)} \cdot x_{in} + \varepsilon_i$
- 교호작용 고려한 선형 회귀모형
4. Polynomial Cross Effects $y_i = \alpha + \beta_1 \cdot x_{i1} \cdot x_{i2} + \beta_2 \cdot x_{i1}^2 \cdot x_{i2}^2 + \dots + \beta_{2n} \cdot x_{i(n-1)}^2 \cdot x_{in}^2 + \varepsilon_i$
- 2차 항과 교호작용을 고려한 비선형 회귀모형

Multilayer Artificial Neural Network



2. Predictive Modeling

- Predict Speed Model / Predict Fuel Consumption Model



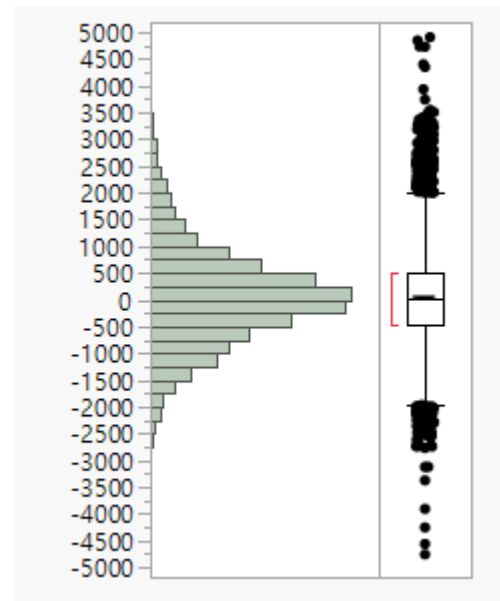
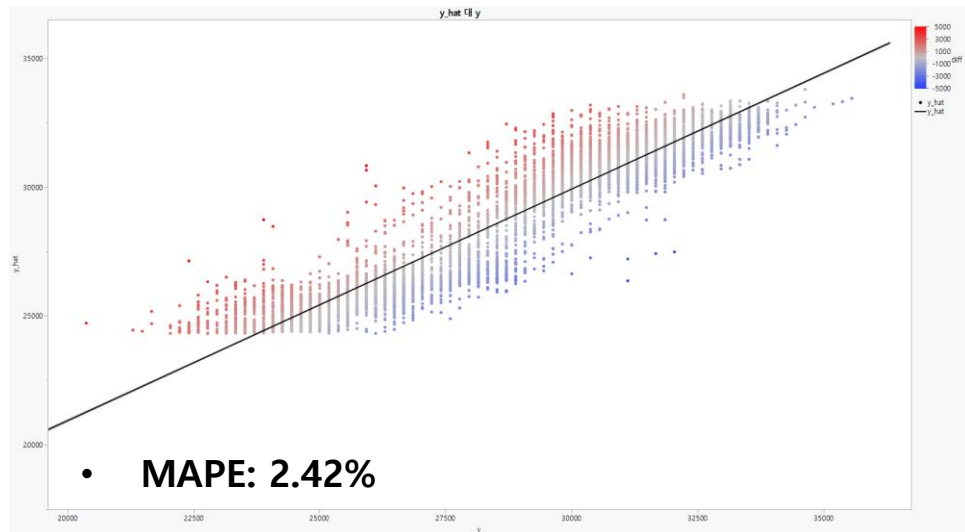
- **Two Separated Models**
- **5 Layers with 265,217 Params**
- **Validation Split 30%**
- **Included Dropout Layer (20%)**
- **Early Stopping and Callbacks**

Layer (type)	Output Shape	Param #
dense_12 (Dense)	(None, 256)	1792
dropout_10 (Dropout)	(None, 256)	0
dense_13 (Dense)	(None, 256)	65792
dropout_11 (Dropout)	(None, 256)	0
dense_14 (Dense)	(None, 256)	65792
dropout_12 (Dropout)	(None, 256)	0
dense_15 (Dense)	(None, 256)	65792
dropout_13 (Dropout)	(None, 256)	0
dense_16 (Dense)	(None, 256)	65792
dropout_14 (Dropout)	(None, 256)	0
dense_17 (Dense)	(None, 1)	257

Total params: 265,217
Trainable params: 265,217
Non-trainable params: 0

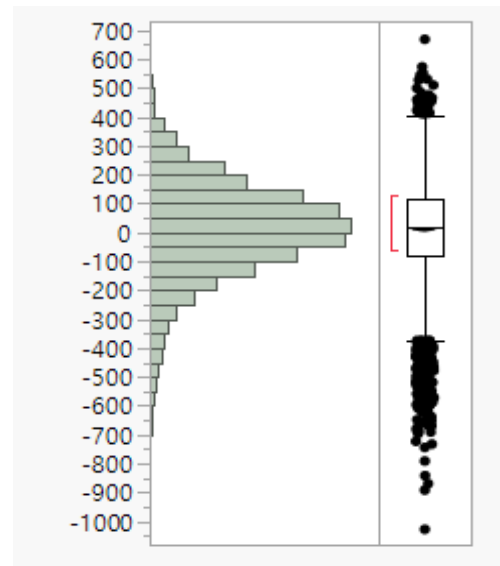
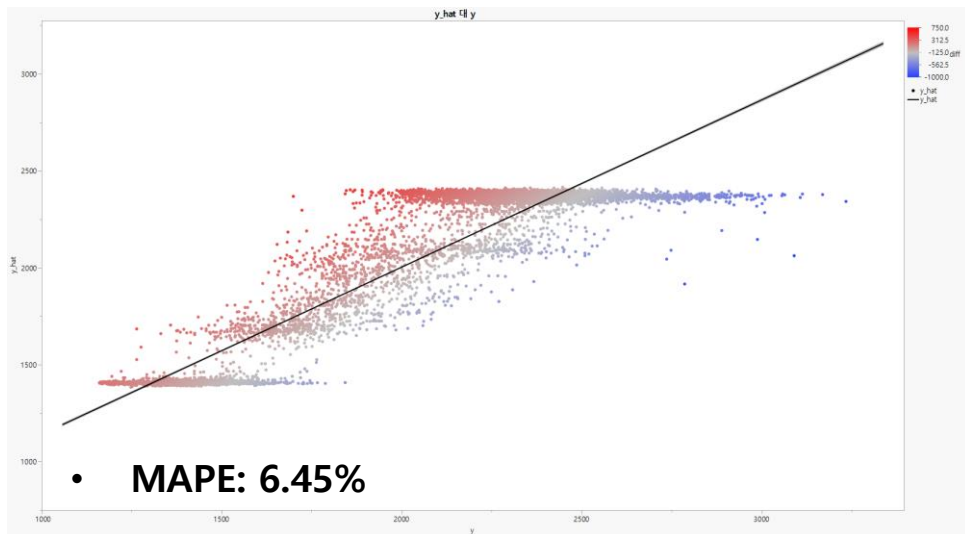
2. Predictive Modeling

- Predict Speed Model: Residual Graph



2. Predictive Modeling

- Predict Fuel Consumption Model: Residual Graph



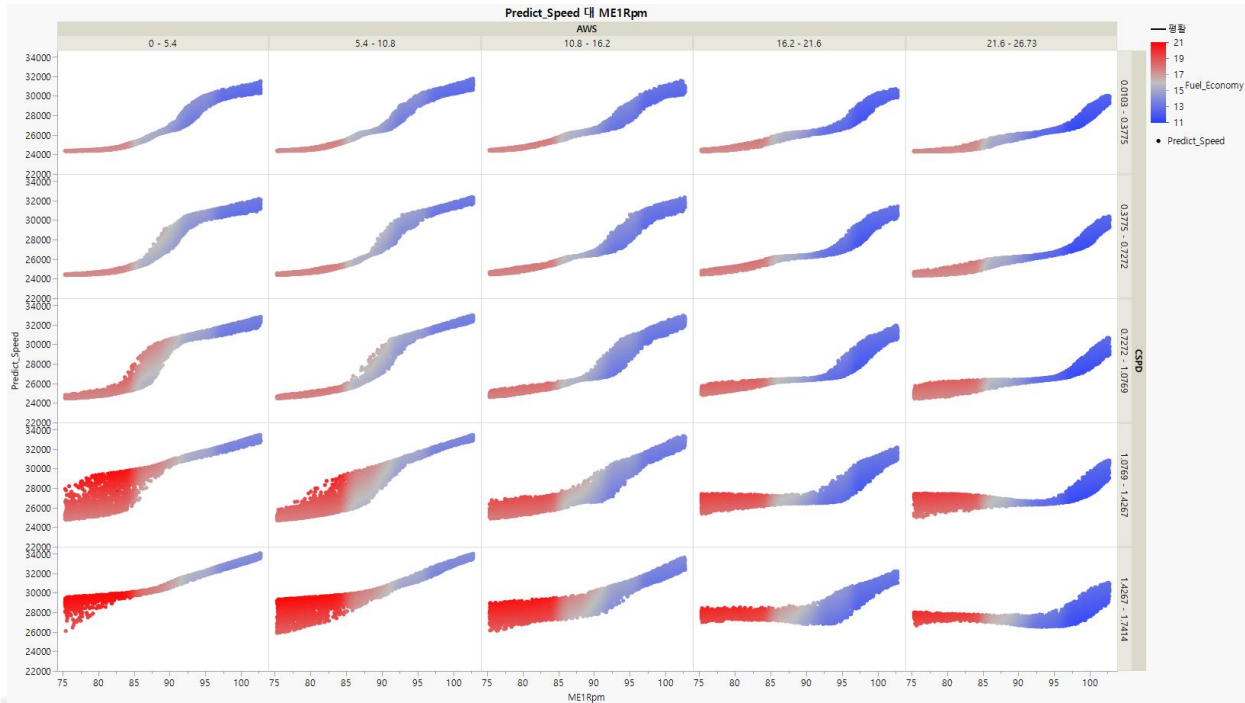
- 주요 오차원인: Volume Flowmeter / Data Resolution / Fuel Quality

JMP를 활용한 선박 연료 효율 분석

3. Sensitivity Test

3. Sensitivity Test

- One-Factor-At-A-Time Method

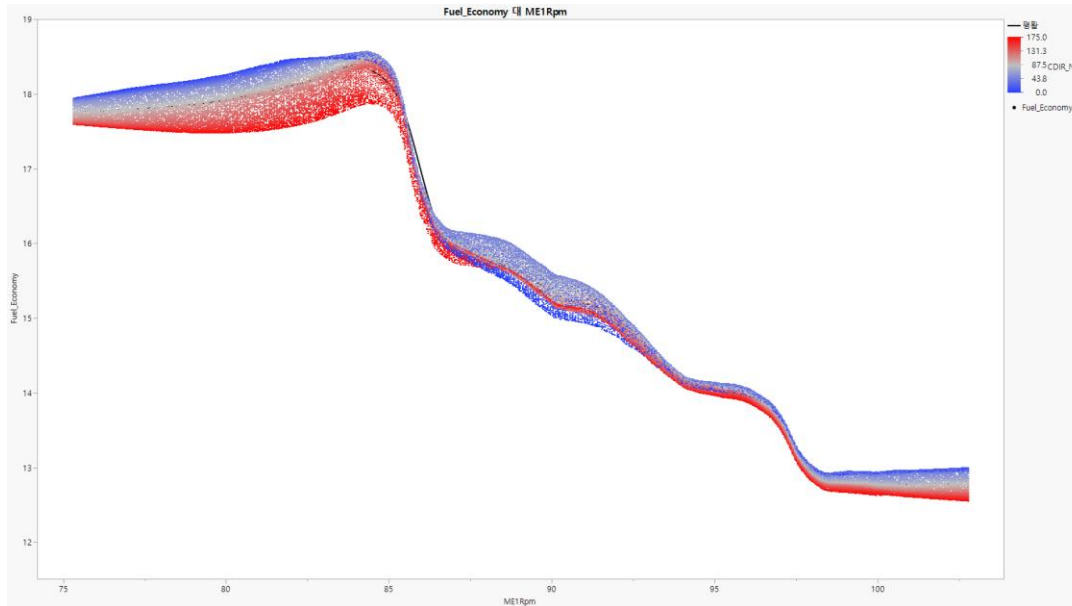


OFAT Method

- 특정 해상환경상황을 정의
 - 다른 변수들을 모두 통제
- 1) 엔진 RPM을 변화
 - 2) 특정변수(예: 조류속도)를 변화
 - 3) 연비의 변화를 확인

3. Sensitivity Test

- One-Factor-At-A-Time Method

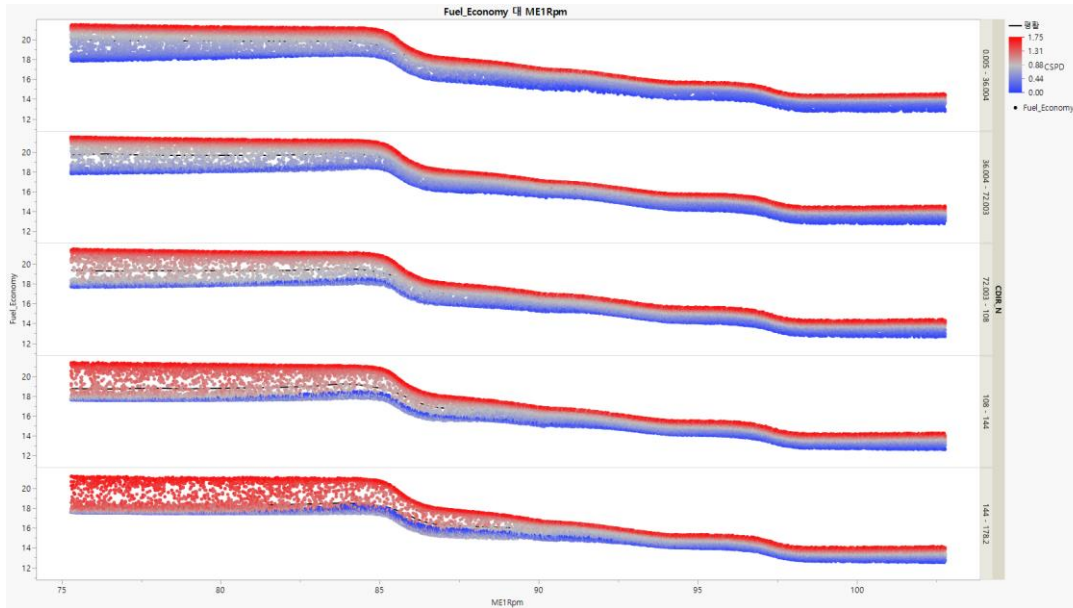


OFAT Method

- 1) 엔진 RPM: 75.3 ~ 102.8
- 2) 조류방향: 0도 ~ 180도
- 3) 조류속도: 0.0958 m/sec
- 4) 풍향: 21.1도
- 5) 풍속: 3.6m/sec
- 6) Rudder Angle: 1°
- 7) 연료온도: 128.8 °C

3. Sensitivity Test

- One-Factor-At-A-Time Method



- ### OFAT Method
- 1) 엔진 RPM: 75.3 ~ 102.8
 - 2) 조류방향: 0도 ~ 180도
 - 3) 조류속도: 0 ~ 1.75 m/sec
 - 4) 풍향: 21.1도
 - 5) 풍속: 3.6m/sec
 - 6) Rudder Angle: 1°
 - 7) 연료온도: 128.8 °C

3. Sensitivity Test

- JMP-Python Interface

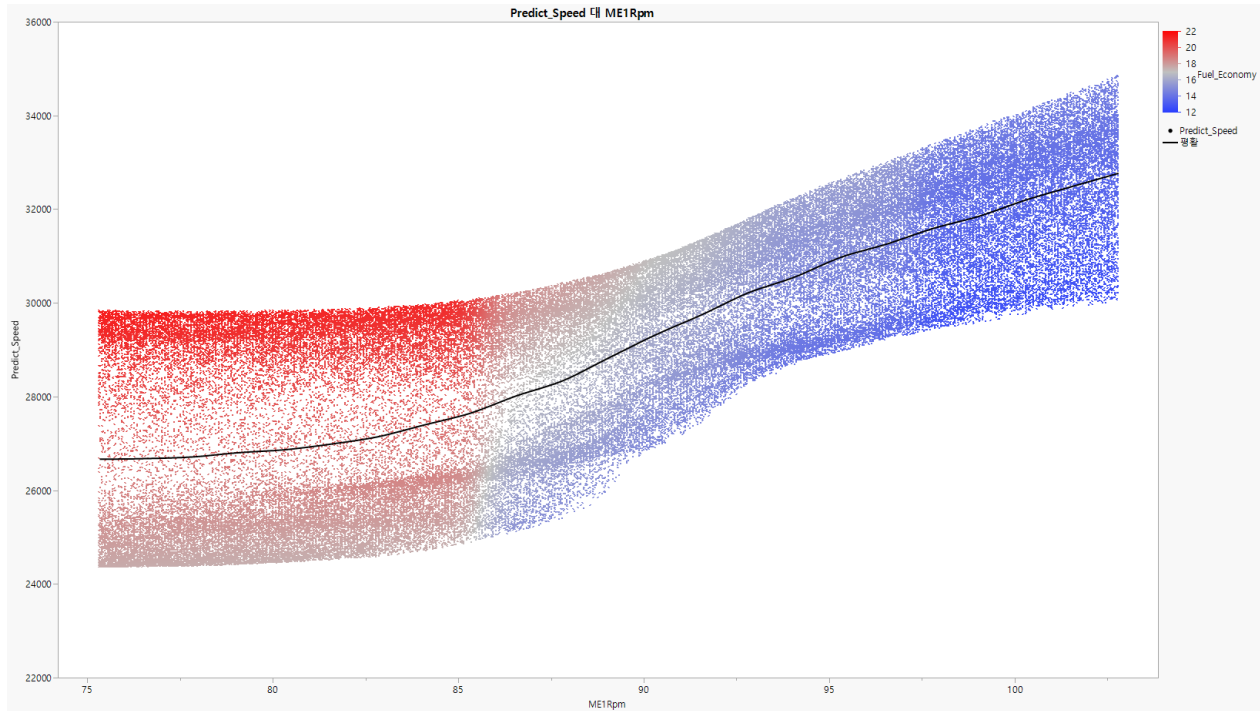
```
스크립트 2 - JMP Pro
파일(F) 편집(E) 테이블(T) DOE(D) 분석(A) 그래프(G) 도구(O) 보기(V) 창(W) 도움말(H)
df_base
1 Python Init();
2
3
4
5
6
7 Python Submit("₩[
8
9 target_index = 6000
10 target_var1 = 'AWS'
11 target_var2 = 'CSPD'
12
13 import pandas as pd
14 import numpy as np
15 import os
16
17 os.chdir('C:/Users/taike/Documents/Work/G_Swan')
18 print(os.getcwd())
19
20 df_read = pd.read_csv('df_base.csv')
21
22 # Target Variable
23 y_base = df_read['Speed'].values.reshape(-1,1)
24
25 # Explain Variables
26 df_X_base = df_read[['ME1Rpm', 'CDIR_N', 'CSPD', 'AWA_N', 'AWS', 'Rudder1 Angle']]
27 df_X_fuel = df_read[['ME1Rpm', 'FuelTempMEAvg']]
28
29 # Normalization
30 from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
31 scaler = MinMaxScaler()
32 y_scaler = scaler.fit(y_base)
33 y_scaled = y_scaler.transform(y_base)
34 y = y_scaled
```

JMP를 활용한 선박 연료 효율 분석

4. Result Summary

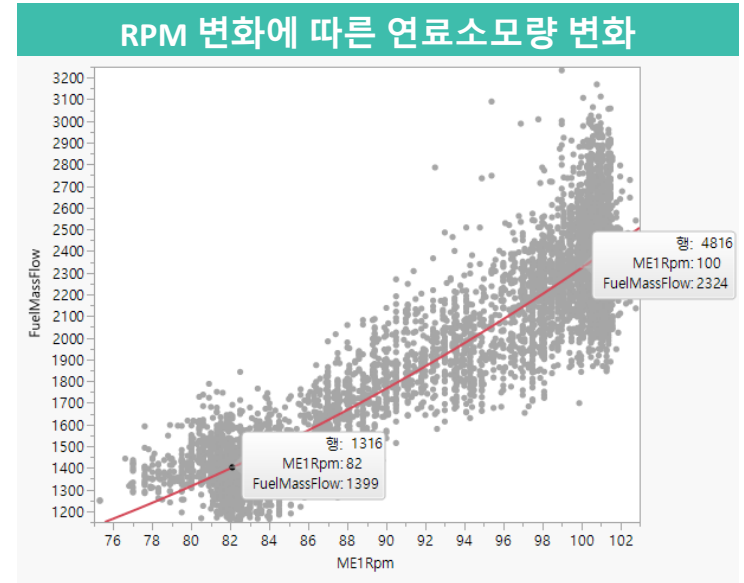
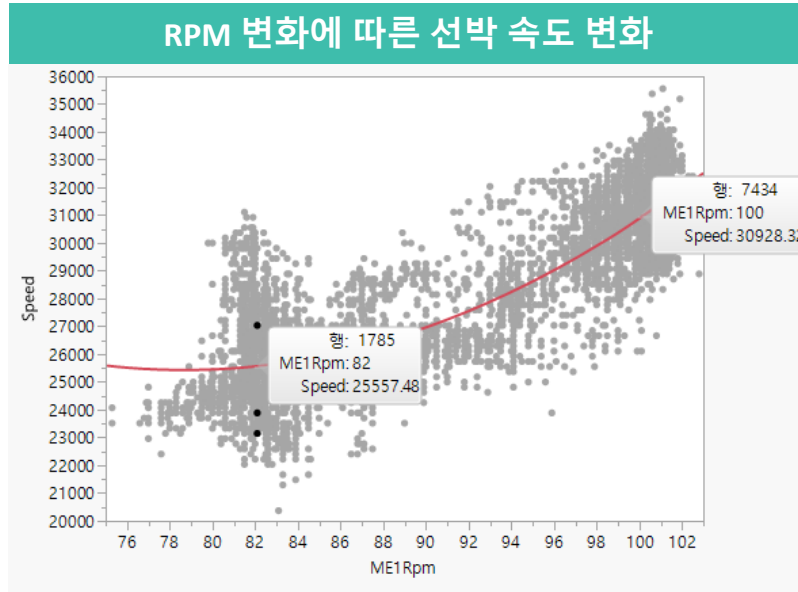
4. Result Summary

- Predictive Modeling을 통해 동일한 해상환경에서 Fuel Efficiency Curve 비교가 가능



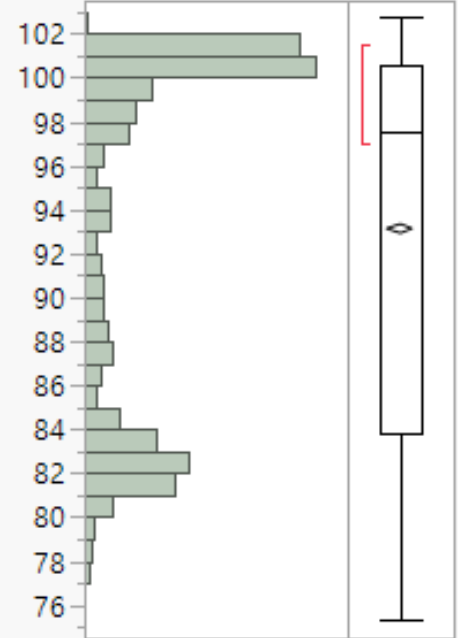
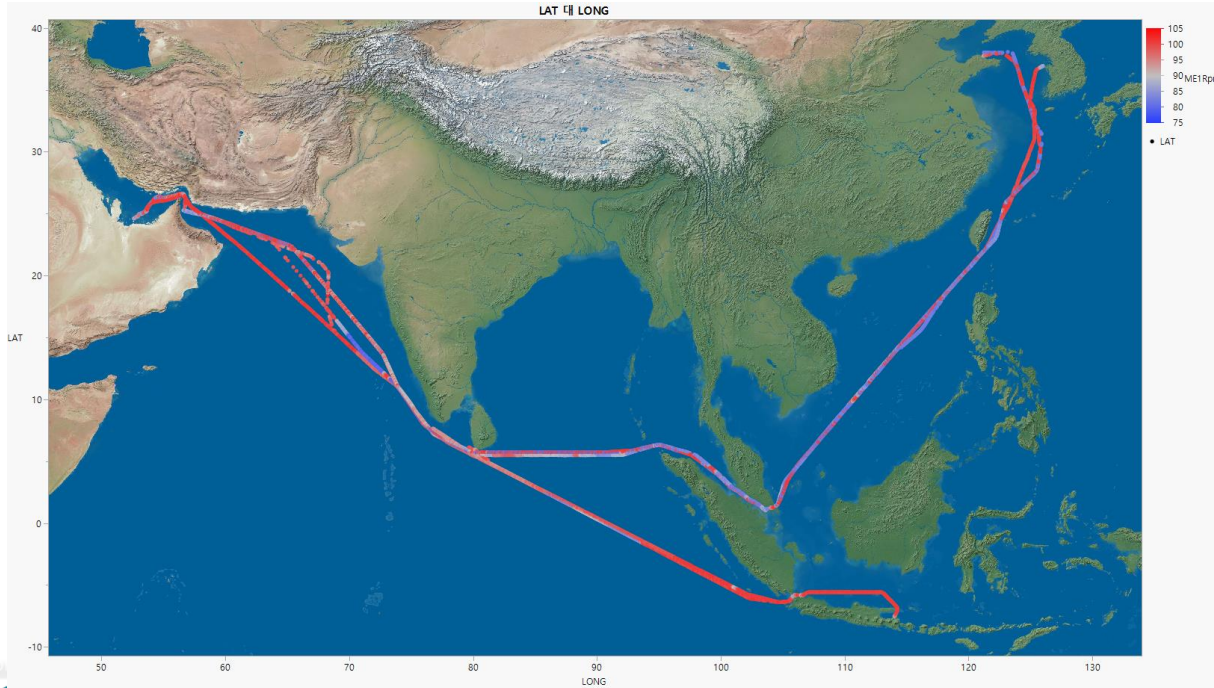
4. Result Summary

- 82RPM에서 100RPM으로 변화시 운항속도는 21% 증가하나, 연료소모량은 65% 증가함



4. Result Summary

- 대부분의 해상 환경에서 고RPM을 사용해 빠른 속도로 선박을 운행



4. Result Summary

- Deep Learning 등 복잡한 모델이 필요한 경우 Python에서 Modeling을 수행
- JMP-Python Interface를 활용해 손쉬운 Sensitivity Test
- JMP의 우수한 시각화 기능을 활용해 분석 시간 단축 및 추가 시사점 발굴



KOREA 2020

DISCOVERY
SUMMIT

ONLINE

