
생산성 향상 및 에너지 저감을 위한 스마트팩토리 데이터 분석 프로젝트

Smart Factory
신승준 교수님
한양대학교 산업 데이터 엔지니어링학과
석사과정 강병모
2023.06.13

Summary

➤ 설명적 분석

- ✓ RunOrder 별 생산시간 분석 및 StepNo 별 생산시간 분석
 - ➔ 생산시간 감축을 위해 높은 설정 온도 지양
- ✓ 설비종합효율
 - ➔ 생산계획을 수정하여 성능가동률 개선 필요

➤ 예측적 분석

- ✓ 다항선형회귀 활용 열처리 온도 및 열처리에 대한 에너지 예측
 - ➔ 에너지 저감을 위해 높은 설정 온도 지양
- ✓ 선형회귀 활용 Fuse 개수에 대한 에너지 예측
 - ➔ 에너지 저감을 위해 Fuse가 없는 제품 생산 지향

➤ 설명적 분석과 예측적 분석의 공통된 결론

- ➔ 생산시간 감축과 에너지 저감을 위해 높은 설정 온도 지양

설명적 분석-RunOrder 별 생산시간 분석

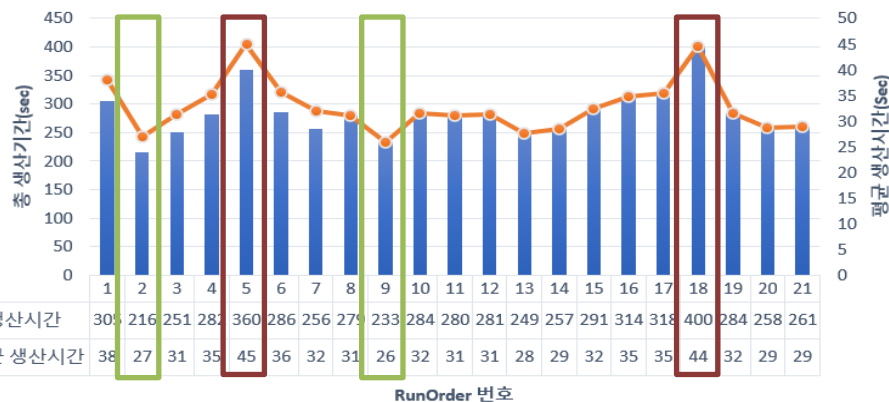
➤ RunOrder 평균 생산 시간 : 32.66초

- ✓ RunOrder 2 : 27초, RunOrder 9: 25.9초 vs RunOrder 5: 45초, RunOrder 18: 44초
→RunOrder 5 가장 짧은 RunOrder 9 대비 약18초 이상 차이

➤ RunOrder 5: 긴 Measuring Time으로 인한 생산시간 증가

- ✓ Measuring Time(Resource ID 2)
 - 추출된 팔레트를 레이저 2개를 이용하여 두께와 면적이 이상한지 측정
- ✓ 다른 실험 2초→RunOrder 5: 109초
- ✓ 팔레트 문제로 인한 긴 measuring time 소요 예상
→정상 팔레트 사용시 해결 가능

RunOrder 별 생산시간



Measuring Time(Analog)



설명적 분석-RunOrder 별 생산시간 분석

➤ RunOrder 2 : 27초, RunOrder 9: 25.9초 vs RunOrder 18: 44초

✓ 열처리 시간의 차이

-열처리: 작업물 뚜껑을 처리하는 공정

-RunOrder 2: 61초, RunOrder 9: 50초 vs RunOrder 18: 204초

→RunOrder 18 가장 짧은 RunOrder 9 대비 약 154초 이상 차이

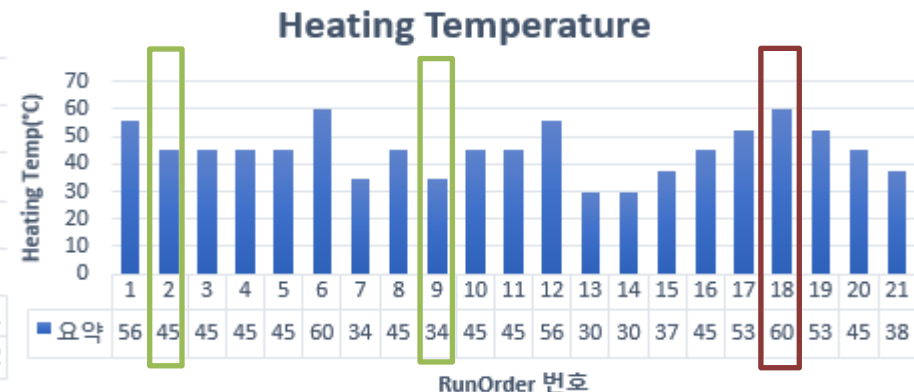
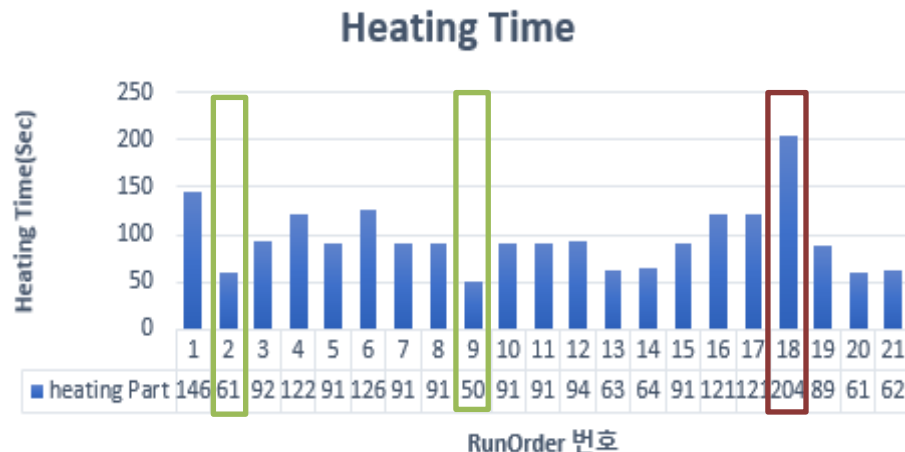
➔열처리 온도와 상관이 있음

-열처리 온도: 0도 부터 시작→ 설정 온도를 높이면 작업시간 상대적으로 상승

- RunOrder 2: 45°C, RunOrder 9: 34 °C vs RunOrder 18: 60°C

→설정 온도를 낮춰 열처리 시간을 단축

➔ RunOrder 18 생산시간 단축

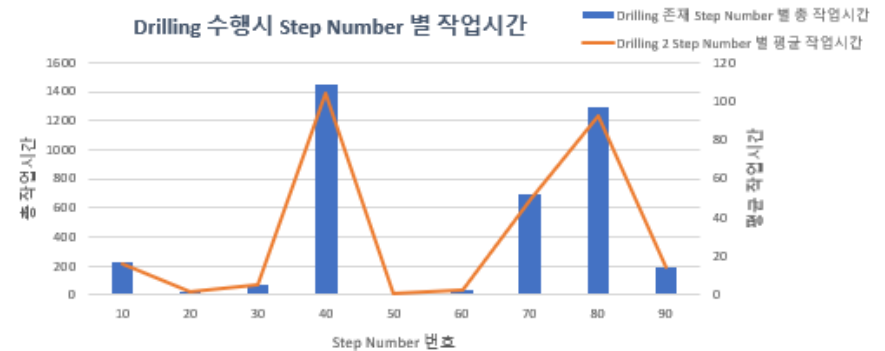


설명적 분석- StepNo 별 생산시간 분석

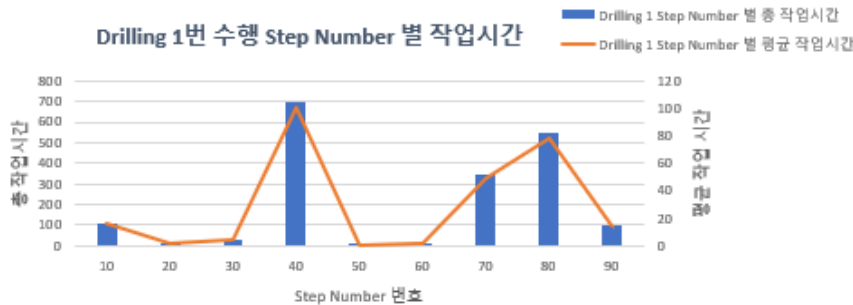
Drilling 미수행 Step Number 별 작업시간



Drilling 수행시 Step Number 별 작업시간



Drilling 1번 수행 Step Number 별 작업시간



Drilling 2번 수행 Step Number 별 작업시간



- Drilling 미수행: Step 30-Assemble a PCB with no fuse
Step 70-Heating Part→작업 최고 시간
→열처리 시간 개선 필요
 - Drilling 수행: Step 40-Assemble a PCB with fuse in the front→작업 최고 시간(미수행보다 27초 증가)
Step 80-Heating Part
→조립 시간 개선 필요
- ➔Drilling 과 상관없이, 열처리 시간과 조립 시간 개선 필요

설명적 분석- 제품유형별 생산시간 영향 분석

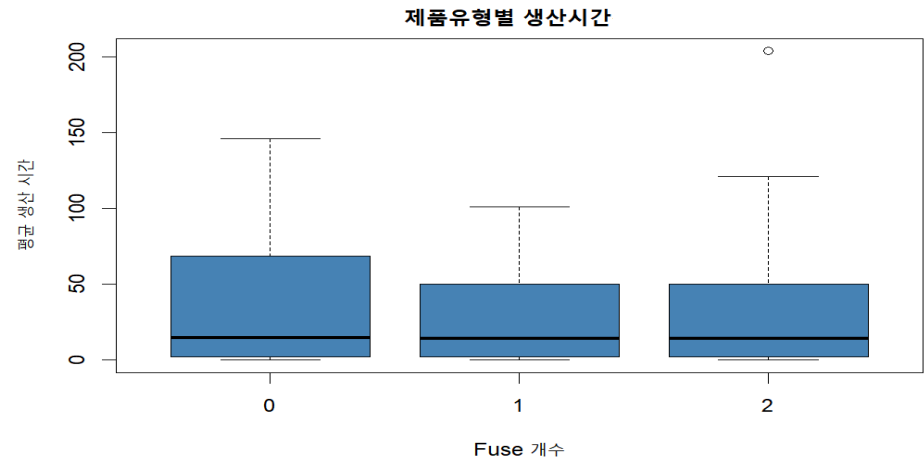
- Fuse의 개수가 생산시간에 영향을 미치는지 알아보기 위해 ANOVA 분석 시행
- ANOVA(분산 분석): 서로 다른 그룹의 평균의 차이를 분산 값 비교를 통해 알아봄
 - H_0 : Fuse의 개수는 생산시간에 영향을 미치지 않는다
 - H_1 : Fuse의 개수는 생산시간에 영향을 미친다.
 - P-value(유의수준)- 귀무가설(H_0)가 참 → 유의미한 결과를 얻을 확률
 - 일반적으로 P-value 0.05로 설정
 - 0.05보다 높으면 귀무가설 채택
 - 결과: P-value가 0.05보다 크기 때문에 귀무가설 채택
 - ➔ Fuse의 개수는 생산시간에 영향을 미치지 않음

Analysis of Variance Table

Response: Real_Time.difference

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Fuse	2	963	481.74	0.2981	0.7426
Residuals	179	289293	1616.16		

<ANOVA 분석 결과>



설명적 분석- RunOrder에 대한 ResourceID 간트차트

➤ 생산시간 TOP2: RunOrder 5 & RunOrder 18

➤ RunOrder 5-ResourceID2: Measuring Time

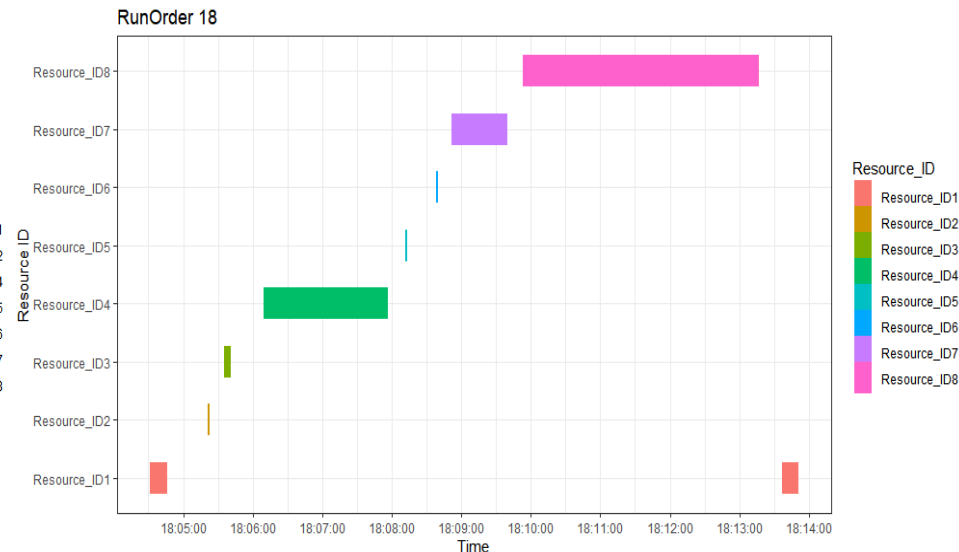
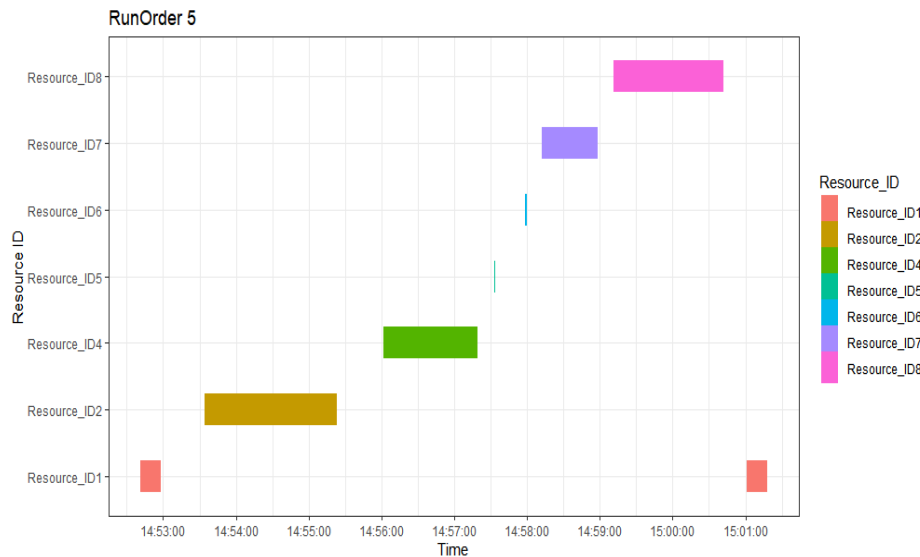
→팔레트 문제로 인한 긴 measuring time 소요 추정

➔정상 팔레트 사용시 해결 가능

➤ RunOrder 18-ResourceID8: Heating Time

→높은 온도 설정(60°C)으로 긴 열처리 시간

➔낮은 온도 설정으로 열처리 시간 감축 필요



설명적 분석- ResourceID별 설비종합효율

➤ 설비종합효율(OEE: Overall Equipment Effectiveness)

- ✓ 가동률(Availability), 성능(Performance), 품질수준(Quality)를 통해 설비가 얼마나 효과적으로 관리되고 있는가를 평가함

1. 시간가동률: $\frac{\text{가동시간}}{\text{부하시간}} * 100 \rightarrow$ 얼마나 설비의 고장, 지연없이 설비를 가동시켰는가

※부하시간 = 설비가 가동해야하는 시간 → ResourceID별 실제 종료 시간 - 실제 시작 시간

※가동시간 = 부하시간 - 정지시간 → 정지시간: 다음스텝으로 이동할때 걸린 시간

2. 성능가동률: $\frac{\text{성능가동시간}}{\text{가동시간}} * 100 \rightarrow$ 실제 생산이 계획대로 진행되고 있는가

※ 성능가동시간 = 생산량 * 이론 Cycle Time → 이론 Cycle Time: ResourceID별 계획 종료 시간 - 계획 시작 시간

3. 품질수준: $\frac{\text{양품 수}}{\text{총생산 수}} * 100 \rightarrow$ 얼마나 불량없이 잘 생산되었는가

➔ 설비종합효율 = 가동률 * 성능 * 품질수준

설명적 분석- ResourceID별 설비종합효율

➤ 설비종합효율(OEE: Overall Equipment Effectiveness)

- ✓ Error Step에 대해 0이기 때문에 모든 Resource은 양품으로 취급
→품질수준은 모든 ResourceID 양품: 100%
- ✓ 시간가동률은 비교적 우수
- ✓ 성능가동률은 낮게 측정
→성능가동률이 낮게 측정된 이유 1.가동시간 대비 낮게 측정된 이론 Cycle time

Ex)Fuse 0 CT ResourceID1 15초 VS 가동시간 5830초

2.이동시간 고려하지 않은 계획시간

→시간 계획에 이동시간이 아예 포함하지 않음

➔생산계획을 수정하여 성능가동률 개선 필요

<설비종합효율>

	시간가동률			성능가동률			설비종합효율		
	FuseX	Fuse1	Fuse2	FuseX	Fuse1	Fuse2	FuseX	Fuse1	Fuse2
1	98%	98%	98%	5%	6%	5%	5%	6%	5%
2	96%	95%	96%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
3		98%	99%		2%	5%		2%	5%
4	95%	96%	97%	16%	24%	29%	15%	23%	28%
5	98%	98%	98%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
6	97%	97%	97%	2%	2%	1%	2%	2%	1%
7	99%	98%	99%	17%	18%	14%	16%	17%	14%
8	98%	98%	99%	29%	26%	23%	28%	25%	23%

※ResourceID3=Fuse를 위한 Drilling 공정

ErrorStepN

☒ (모두 선택)
☒ 0

<계획 시간>

PlannedStart	PlannedEnd
13:55:08	13:55:23
13:55:23	13:55:25

Start	End
13:56:16	13:56:33
13:57:08	13:57:10

<실제 시간>

예측적 분석1- 열처리 설비 에너지 예측 분석

➤ 에너지 예측 모델 생성

✓ Step 1. 에너지 값 산출

- Resource ID8별 RunOrder에 따른 실제 작동 시작과 종료를 time Stamp와 비교
- 해당하는 time Stamp의 activePower 값에 $abs \times 0.001$ 값을 적용하고 해당하는 모든 값들을 구분 구적법 이용하여 에너지 값 계산

✓ Step 2. Dataset 구성

- 독립변수: 열 온도(Heating temperature)와 열 처리 시간(Heating Time)-연속형
- 종속변수: Resource ID8의 에너지 값-연속형
- Trainset: RunOrder 1~13
- Testset: RunOrder 14~21

✓ Step 3. Trainset을 이용한 모델링

-Method: 다항선형회귀(polynomial Linear Regression)

→ 다항식을 사용하여 독립변수와 종속변수 사이의 곡선 형태의 관계를 표현

➔ 비선형성을 고려함

→ 비선형성으로 인한 유연함

➔ 예측력이 뛰어남

Start	End	
2022-08-04 14:00:59	2022-08-04 14:03:25	2022-08-04 14:00:59
		2022-08-04 14:01:00
		2022-08-04 14:03:24
		2022-08-04 14:03:25

예측적 분석1- 열처리 설비 에너지 예측 분석

➤ 다항선형회귀 단점-과적합 가능성이 높음-해결책 1.MinMax 정규화

2.Box-Cox 변환: 종속 변수의 분포를 정규분포에 가깝게

➤ 모델 실행 결과: 3차 Box-Cox 변환 모델이 가장 높은 설명력

※R²: 독립변수가 얼마나 종속 변수를 나타냈나

➤ 최종예측모델

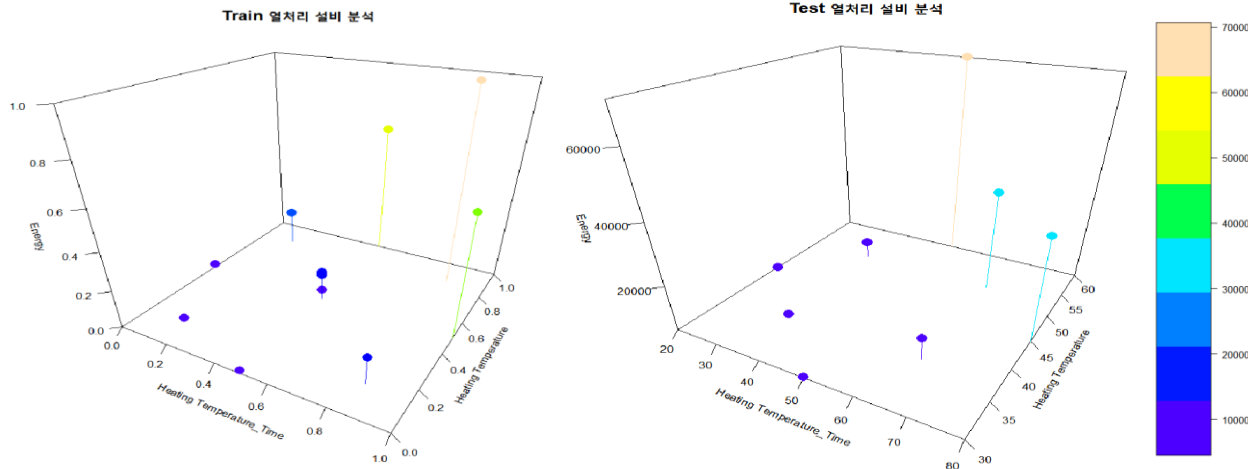
➤ $\text{Energy}^{0.3434343}_{\text{ResourceID}_8}$

$$= -0.07479 + 0.05402 * \text{Temp} + 0.34332 * \text{Time} + 1.47074 * \text{Temp}^2 \\ + 0.71499 * \text{Time}^2 - 0.82044 * \text{Temp}^3 - 0.36965 * \text{Time}^3 - 0.13915 * \text{Time} : \text{Temp}$$

-설정 온도와 열처리 시간간의 관계가 있음→열처리 온도가 높으면 열처리 시간도 길어짐

➔에너지 증가

	R ²
1차 Boxcox변환 선형모델	0.594185
2차 Boxcox변환 선형모델	0.607626
3차 Boxcox변환 선형모델	0.70255
4차 Boxcox변환 선형모델	0.651044
5차 Boxcox변환 선형모델	0.651044
6차 Boxcox변환 선형모델	0.686568
7차 Boxcox변환 선형모델	0.651044



예측적 분석2- Fuse 개수에 따른 에너지 예측

➤ 에너지 예측 모델 생성

✓ Step 1. 에너지 값 산출

- Resource ID4별 RunOrder에 따른 실제 작동 시작과 종료를 time Stamp와 비교
- 해당하는 time Stamp의 activePower 값에 $abs \times 0.001$ 값을 적용하고 해당하는 모든 값들을 구분 구적법 이용하여 에너지 값 계산

Start	End
2022-08-04 13:57:49	2022-08-04 13:59:05

2022-08-04 13:57:49

2022-08-04 13:57:50

2022-08-04 13:59:04

2022-08-04 13:59:05

✓ Step 2. Dataset 구성

- 독립변수: Fuse 개수(Robot Assembly)-범주형
- 종속변수: Resource ID4의 에너지 값-연속형
- Trainset: Fuse 개수별 각각 4개씩 구성→12개
- Testset: Fuse 개수별 각각 3개씩 구성→9개

Type	Robot Assembly
Training	0
Training	0
Training	0
Training	0
Training	1
Training	1
Training	1
Training	1
Training	2
Training	2
Training	2
Training	2
Test	0
Test	0
Test	0
Test	1
Test	1
Test	1
Test	2
Test	2
Test	2

✓ Step 3. Trainset을 이용한 모델링

- Method: -선형회귀(Linear Regression)
 - 일반화선형모형(Generalized Linear Model:GLM)
 - 종속 변수의 분포를 여러 분포(ex.정규분포,지수분포,포아송분포 etc.)로 확장 통해 종속 변수의 예측력을 향상시키는 모델
 - 종속변수 혹은 독립변수가 범주형일때 많이 사용됨
 - 다항선형회귀를 사용하지 않은 이유->-독립변수가 범주형이라 제한됨

예측적 분석 2- Fuse 개수에 따른 에너지 예측

➤ 과적합 방지 1.MinMax 정규화

2.Box-Cox 변환: 종속 변수의 분포를 정규분포에 가깝게

➤ 모델 실행 결과: 1차 BoxCox변환 선형모델이 설명력 더 높음

※R²: 독립변수가 얼마나 종속 변수를 나타냈나

	R ²
1차 Boxcox변환 선형모델	0.917756
일반화선형모델GLM	0.85875

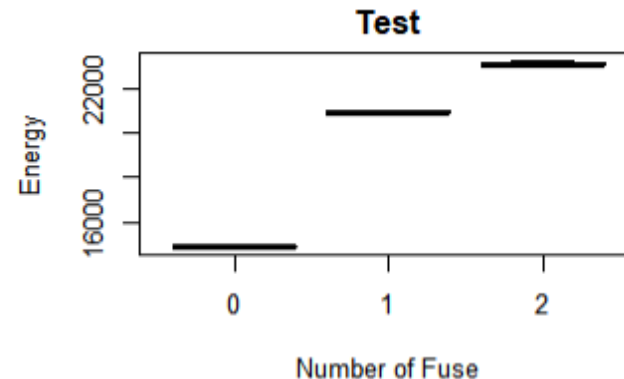
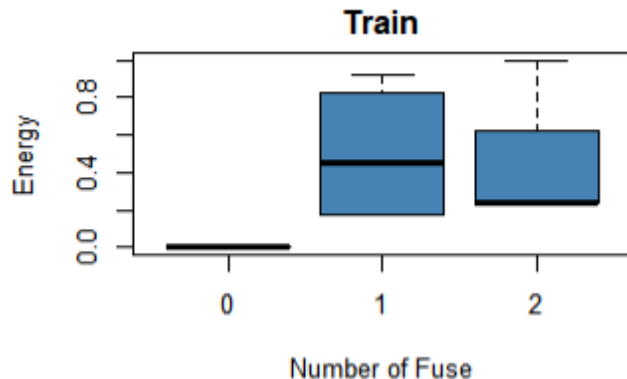
➤ 최종예측모델:

$$\text{Energy}_{\text{ResourceID}_4}^{0.22222222} = 0.61468 - 0.38675 * \text{Fuse}_0 + 0.20408 * \text{Fuse}_1 (\text{정규화식})$$

➤ Fuse 0개일때: Fuse2개 대비 에너지 0.38675 감소

➤ Fuse 1개일때: Fuse2개 대비 에너지 0.20408 증가

➔ Fuse가 있는 제품을 생산할 때, Fuse가 없는 제품을 생산할 때보다 에너지 발생이 많음



Summary

➤ 설명적 분석

- ✓ RunOrder 별 생산시간 분석 및 StepNo 별 생산시간 분석

- 높은 설정온도→긴 열처리 시간 유발

- ➔생산시간 감축을 위해 높은 설정 온도 지양

- ✓ 설비종합효율

- 낮은 성능가동률: 가동시간 대비 낮게 측정된 Cycle time 및 잘못된 계획

- ➔ 생산계획을 수정하여 성능가동률 개선 필요

➤ 예측적 분석

- ✓ 다항선형회귀 활용 열처리 온도 및 열처리에 대한 에너지 예측

- 설정 온도와 열처리 시간의 관계

- 설정온도 상승→열처리 시간 상승→에너지 사용 증가

- ➔에너지 저감을 위해 높은 설정 온도 지양

- ✓ 선형회귀 활용 Fuse 개수에 대한 에너지 예측

- Fuse 존재 제품 생산→ 에너지 사용 증가

- ➔에너지 저감을 위해 Fuse가 없는 제품 생산 지향