

KOREA

DISCOVERY SUMMIT

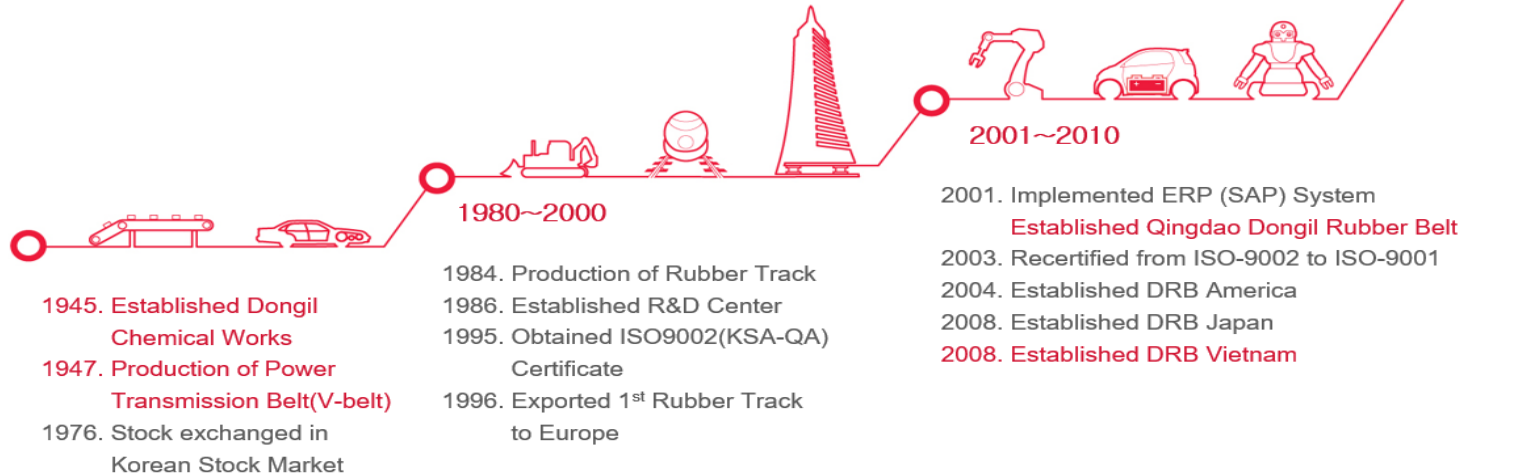
EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION



Introduction

Introduction

DRB moves the world in invisible places



Introduction

■ 전동벨트란?

전동(傳動) + 벨트

Power Transmission + Belt

☞ n. 송전(送電) +

n. ① 띠, 벨트, 가죽 띠, 혁대; (백작, 기사인) 예장대(禮裝帶).

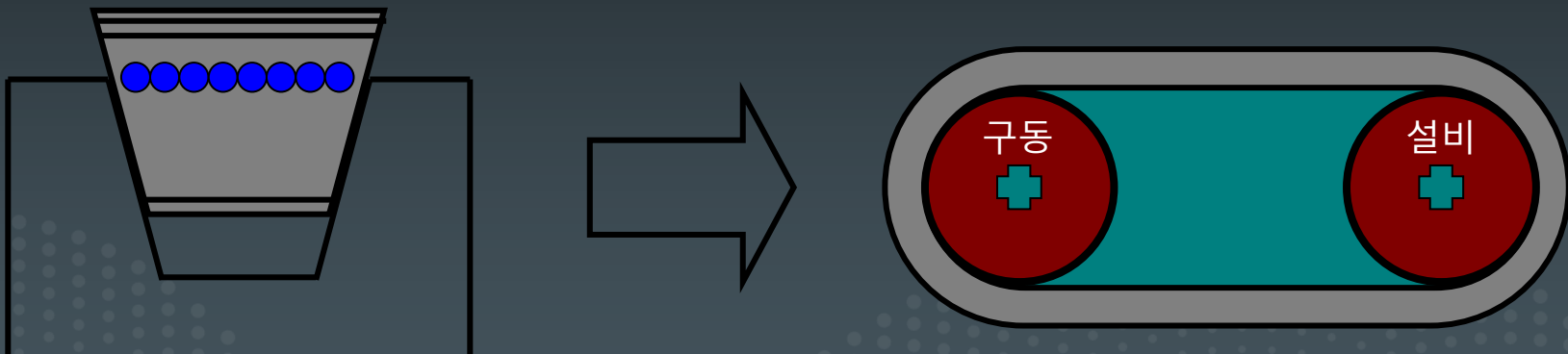
② 지대, 지방; 환상[순환] 지대(도로 따위); 에워 싸는 것, 고리(of).

∴ 동력(전기, 힘)을 전달하는 띠, 벨트

Introduction

■ 전동벨트의 구동 원리

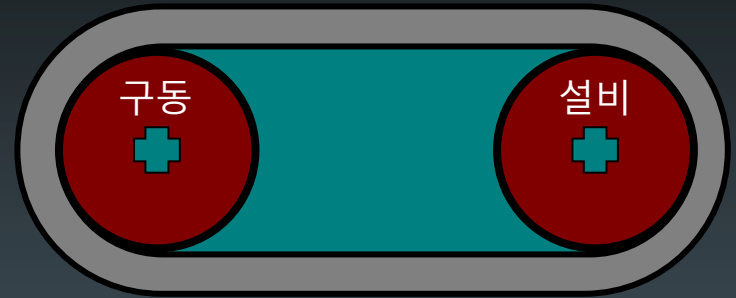
- ▶ 하기 그림과 같이 구동측과 설비측 각각에 축과 회전자 (폴리)를 장착 후, 양 폴리 사이에 V-벨트를 장착하여 구동부를 회전할 경우, 폴리과 벨트간 마찰에 의해 설비쪽의 폴리가 같이 회전하는 방식



Introduction

■ 전동벨트의 에너지 절감 원리

- ▶ 벨트전동시 에너지 손실은 크게, 아래의 5개 인자로 구분할 수 있음.
 - ① 벨트의 탄성 슬립에 의한 손실
 - ② 회전 축과의 마찰에 의한 손실
 - ③ 공기저항에 의한 손실
 - ④ 벨트 진동에 의한 손실
 - ⑤ 벨트가 풀리에 감겨 들어갈 때의 손실 (굽힘 손실)



상기 5개 요인 중, ①과 ②의 경우는 마찰전동 특성 상 불가피하게 발생하는 것이며, ③과 ④는 에너지 로스에 영향을 주는 비율이 무시해도 될 정도로 낮음.

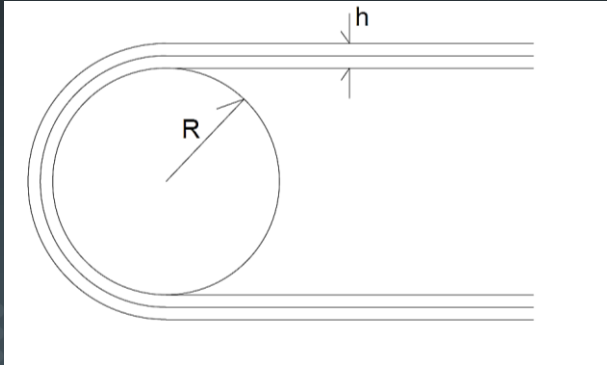
따라서, ⑤를 절감하여, 로스를 감소시키는 것이 V-belt에 있어서 에너지를 절감하는 방안이라 볼 수 있음.

Introduction

■ 전동벨트의 에너지 절감 원리

: 전동벨트의 굽힘 손실 이론

- ▶ 벨트가 풀리에 감기게 되면, 풀리에 감긴 벨트에는 장력에 의한 응력과 별도로 굽힘 변형에 의한 추가 응력이 발생하는데, 이를 굽힘 응력이라고 함.
- ▶ 하기 그림과 같이 벨트 외측 표면에 발생하는 응력을 보게 되면,



벨트 표면에 발생하는 최대 신장은

$$\varepsilon_b = \frac{h/2}{R + h/2}$$

이고, 이에 따라 벨트 표면에 발생하는 응력은,

$$\text{응력} = E\varepsilon_b = E \frac{h/2}{R + h/2} \text{ 가 됨.}$$

※ E는 벨트의 영률(종탄성계수)

해당 식에 의해, 벨트 굽힘 응력의 크기는 벨트의 영률 및 두께에 비례,
풀리경에 반비례 관계임을 알 수 있음. 이 중 제조사가 Control 가능한 형상인자로는 두께가 있음.

DOE Design & Result

DOE Design & Result

Responses

Add Response ▼ Remove Number of Responses...

Response Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Importance
Y	Maximize	.	.	.

Factors

Add Factor ▼ Remove Add N Factors

Name	Role	Changes	Values
▲ X1	Discrete Numeric	Easy	6 7 8 9
▲ X2	Discrete Numeric	Easy	250 350 450
▲ X3	Discrete Numeric	Easy	0.9 1.2
▲ X4	Discrete Numeric	Easy	0 1 2

Covariate/Candidate Runs

Select Covariate Factors Load a set of candidate runs for covariates from the current data table.

- ▶ 벨트의 형상 인자를 총 4개로 구분하고, 각각에 적합한 레벨을 선정 하였음.

DOE Design & Result

Custom Design

Define Factor Constraints

- Specify Linear Constraints
- Use Disallowed Combinations Filter
- Use Disallowed Combinations Script

Model

Main Effects | Interactions ▼ | RSM | Cross | Powers ▼ | Remove Term

Name	Estimability
X1	Necessary
X1*X1	If Possible
X1*X1*X1	If Possible
X2	Necessary
X2*X2	If Possible
X3	Necessary
X4	Necessary
X4*X4	If Possible

Alias Terms

Design Generation

Group runs into random blocks of size:

Number of Replicate Runs:

Number of Runs:

- Minimum
- Default
- User Specified

	X1	X2	X3	X4
1	6	350	1.2	2
2	6	250	0.9	0
3	6	450	1.2	1
4	7	250	1.2	1
5	7	350	0.9	2
6	7	450	0.9	0
7	8	250	1.2	0
8	8	450	1.2	2
9	8	350	0.9	1
10	9	350	1.2	0
11	9	450	0.9	1
12	9	250	0.9	2

▶ 인자 확인이 목적으로, 스크리닝을 진행하기 위해, Main Effect만 확인하도록 설정 하였음.

DOE Design & Result

- ▶ 도출된 시험 항목을 기준으로 각각에 대한 전력량 평가를 진행.



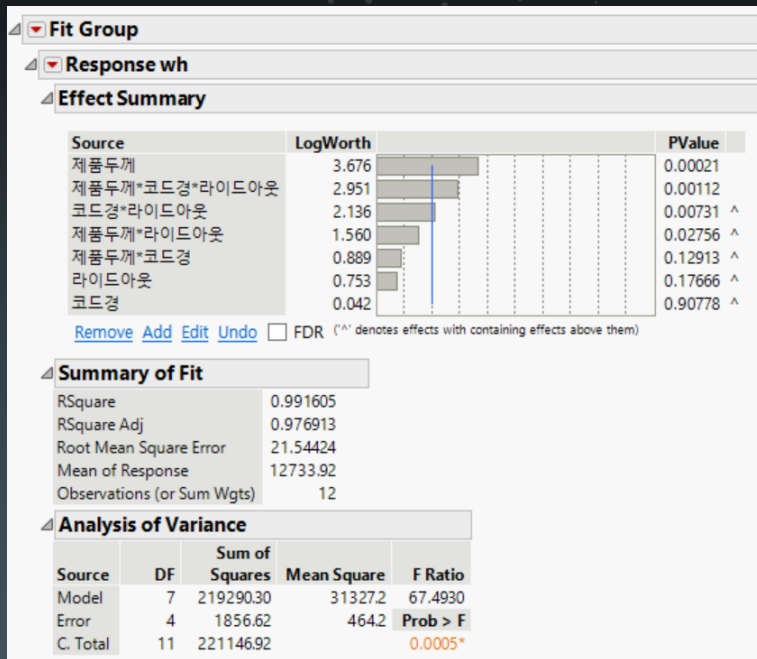
DOE Design & Result

▶ 평가 결과 정리

	X1	X2	X3	X4	wh
1	6	350	1.2	2	12616
2	6	250	0.9	0	12625
3	6	450	1.2	1	12582
4	7	250	1.2	1	12673
5	7	350	0.9	2	12651
6	7	450	0.9	0	12634
7	8	250	1.2	0	12781
8	8	450	1.2	2	12678
9	8	350	0.9	1	12777
10	9	350	1.2	0	12906
11	9	450	0.9	1	12823
12	9	250	0.9	2	13061

DOE Design & Result

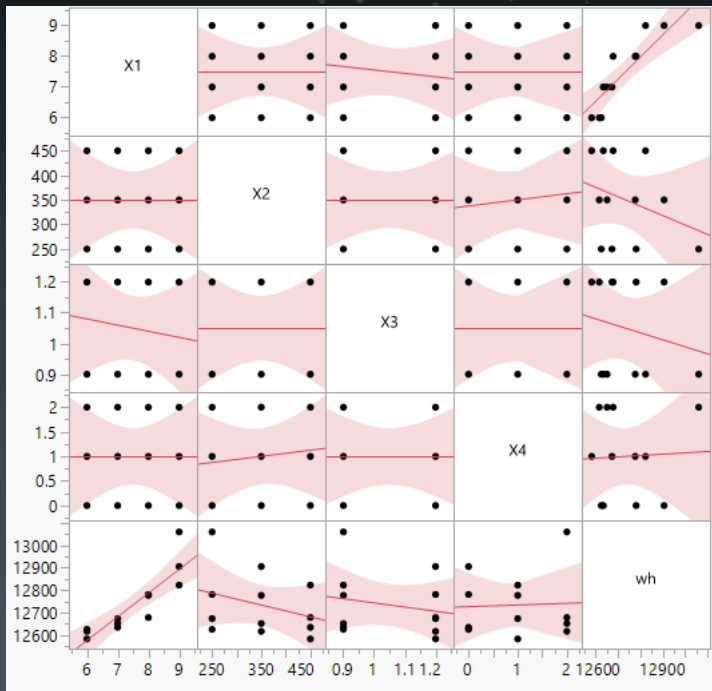
▶ Fit Model을 이용한 상관관계 분석



▶ 해당 결과에 대해 Fit model을 통한 분석 결과 X1이 가장 유효한 인자로 확인됨.
(3차 교호작용은 효과가 미미하므로 무시)

DOE Design & Result

▶ 동 결과에 대한 Scatterplot 분석 결과



: 마찬가지로 X1이 단독으로 유효함이 확인 됨.

▶ 에너지 절감 (굽힘응력 감소) 과 관련된 이론식에 명기된 인자 外 벨트 구동과 관련한 다른 인자의 경우 연관성이 없음을 실험적으로 확인 하였음.

DOE Design & Result

▶ 결과 분석

- : 전동벨트의 에너지 절감을 위한 굽힘 응력 저하에 관련된 벨트 형상 인자는, 두께 (x1) 외에는 유효한 상관관계가 없음을 확인.
- : 따라서 적용 대상 벨트의 두께 정보를 통해, 에너지 절감 수준을 이론적으로 예측할 수 있겠음.

▶ 활용 방안

- : 건물이나 공장 內 V-belt 전동 시스템을 적용하는 곳을 대상으로, 에너지 절감형 제품 장착시의 소비 전력 절감 및 Co2 배출량 절감 예상치 등을 맞춤형으로 제안 가능

Extra matters : 모델링

Extra matters : 모델링

		X1	X2	X3	X4	wh
1	6	350	1.2	2	12616	
2	6	250	0.9	0	12625	
3	6	450	1.2	1	12582	
4	7	250	1.2	1	12673	
5	7	350	0.9	2	12651	
6	7	450	0.9	0	12634	
7	8	250	1.2	0	12781	
8	8	450	1.2	2	12678	
9	8	350	0.9	1	12777	
10	9	350	1.2	0	12906	
11	9	450	0.9	1	12823	
12	9	250	0.9	2	13061	

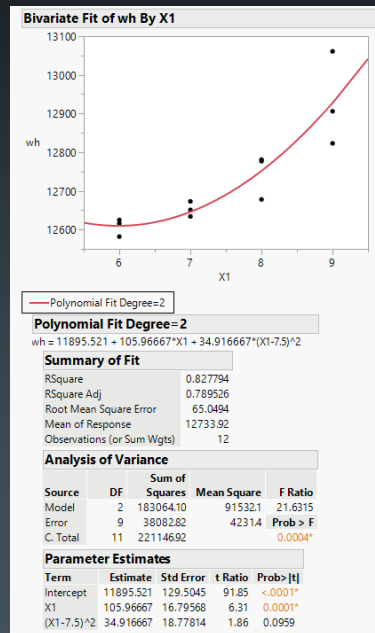
Extra matters : 모델링

▶ 확정 된 유효인자를 기반으로 모델링 진행

① 확정 된 유효인자 X1 外 인자들 삭제 후 회귀식 작성

	X1	wh
1	6	12616
2	6	12625
3	6	12582
4	7	12673
5	7	12651
6	7	12634
7	8	12781
8	8	12678
9	8	12777
10	9	12906
11	9	12823
12	9	13061

Fit Y by X



Extra matters : 모델링

▶ 확정 된 유효인자를 기반으로 모델링 진행

② 기존 인자 전체에 대한 신경망 모델링 진행

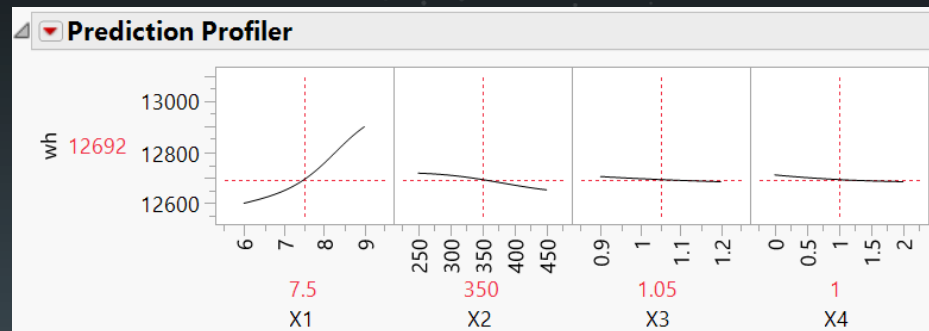
Neural

Validation: Random Holdback

Model Launch

Model NTanH(3)

Training		Validation	
wh		wh	
Measures	Value	Measures	Value
RSquare	0.9999989	RSquare	0.8273991
RASE	0.0945527	RASE	79.521197
Mean Abs Dev	0.0779756	Mean Abs Dev	54.788001
-LogLikelihood	-7.517279	-LogLikelihood	23.179849
SSE	0.0715216	SSE	25294.483
Sum Freq	8	Sum Freq	4



Extra matters : 모델링

▶ 유효인자 확정 및 모델링 진행

③ 기존 인자 전체에 대한 Fit-Model 적용

Stepwise Fit for wh

Stepwise Regression Control

Stopping Rule: Minimum BIC [Enter All] [Make Model]

Direction: Forward [Remove All] [Run Model]

Rules: Combine [Go] [Stop] [Step]

SSE	DFE	RMSE	RSquare	RSquare Adj	Cp	p	AICc
436.14479	1	20.88408	0.9980	0.9783		11	

Current Estimates

Lock	Entered	Parameter	Estimate	nDF	SS	F
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Intercept	12126.9858	1	0	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	X1	99.3074496	5	117869.3	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	X2	-0.2767491	3	1420.473	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	(X1-7.5)*(X2-350)	-0.1487934	1	915.1022	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	X3	-67.832234	5	17528.29	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	(X1-7.5)*(X3-1.05)	-108.7629	2	9840.716	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	(X2-350)*(X3-1.05)	0.94733503	1	422.228	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(X1-7.5)*(X2-350)*(X3-1.05)	0	1	436.1448	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	X4	2.90057644	4	9216.737	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	(X1-7.5)*(X4-1)	7.34095866	2	7274.933	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(X2-350)*(X4-1)	0	1	436.1448	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(X1-7.5)*(X2-350)*(X4-1)	0	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	(X3-1.05)*(X4-1)	-119.95404	2	5580.003	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	(X1-7.5)*(X3-1.05)*(X4-1)	-327.88464	1	4369.928	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(X2-350)*(X3-1.05)*(X4-1)	0	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(X1-7.5)*(X2-350)*(X3-1.05)*(X4-1)	0	0	0	

Response wh

Effect Summary

Source	LogWorth	PValue
X1	3.676	0.00021
X1*X3*X4	2.951	0.00112
X3*X4	2.136	0.00731 ^
X1*X4	1.560	0.02756 ^
X1*X3	0.889	0.12913 ^
X4	0.753	0.17666 ^
X3	0.042	0.90778 ^

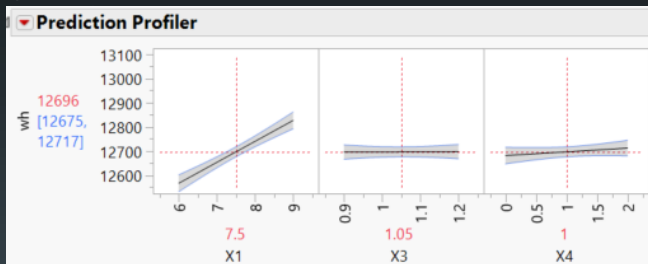
[Remove](#) [Add](#) [Edit](#) [Undo](#) FDR (^ denotes effects with containing effects above)

Summary of Fit

RSquare	0.991605
RSquare Adj	0.976913
Root Mean Square Error	21.54424
Mean of Response	12733.92
Observations (or Sum Wgts)	12

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	7	219290.30	31327.2	67.4930
Error	4	1856.62	464.2	Prob > F
C. Total	11	221146.92		0.0005*



Extra matters : 모델링

▶ 모델링 검증_ 신규 샘플 적용 결과 비교

	X1	X2	X3	X4	wh
1	6	350	1.2	2	12616
2	6	250	0.9	0	12625
3	6	450	1.2	1	12582
4	7	250	1.2	1	12673
5	7	350	0.9	2	12651
6	7	450	0.9	0	12634
7	8	250	1.2	0	12781
8	8	450	1.2	2	12678
9	8	350	0.9	1	12777
10	9	350	1.2	0	12906
11	9	450	0.9	1	12823
12	9	250	0.9	2	13061
13	11	250	1.2	1	13136

신경망	Fit Model	X1 2차식
12622.795237	12617.121519	12609.883333
12625.144135	12631.567089	12609.883333
12562.187994	12586.131646	12609.883333
12673.012913	12660.250633	12646.016667
12650.916713	12658.896203	12646.016667
12633.882227	12632.04557	12646.016667
12781.137333	12787.551899	12751.983333
12678.024668	12681.187342	12751.983333
12777.101483	12745.41519	12751.983333
12906.002212	12903.756962	12927.783333
12863.062728	12845.359494	12927.783333
12908.517968	13057.716456	12927.783333
13004.822416	12956.726582	13488.883333

▶ 신경망 모델이 가장 근접

KOREA

DISCOVERY
SUMMIT

EXPLORING DATA
INSPIRING INNOVATION

