KOREA 2020

DISCOVERY SUMMIT ONLINE

jmp

Custom Design을 이용한 5G 통신용

FPCB의 제조공차 영향 분석

Introduction

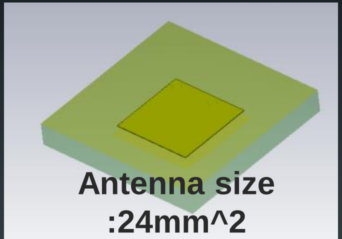
Abstract

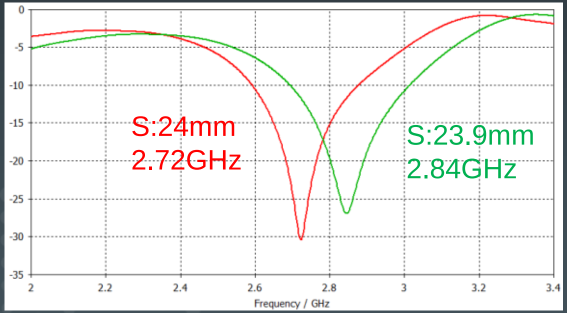
- 28GHz 이상의 통신규격인 5G 도입으로 PCB 및 cable의 제조공차의 영향도 검토 필요성 대두
- 제조공차 축소는 곧 개발비 상승으로 이어지므로 최적의 제조공차 spec 검토 방법론 필요
- 무선기기의 소형화와 초박형디자인으로 다양한 설계변수를 포함하는 FPCB 사용 증가
- 결론적으로 다양한 설계요인을 통계적분석을 통해 검증할 수 있는 방법론이 요구 되었고, 이를 위해 JMP를 활용하여 아래와 같은 과정을 통해 FPCB 품질 확보 방안 마련

1) Custom Design을 통한 다수의 Factor와 다수의 Response를 포함한 DOE design
2) Standard Least Squres를 이용한 Analyze를 통해 주요factor 발굴과 설계디자인에 따른 RF성능 예측
3) Prediction Profiler의 simulation을 통해 제조공차에 의한 RF성능 산포 및 불량률 예측

PCB 제조공차와 안테나 성능

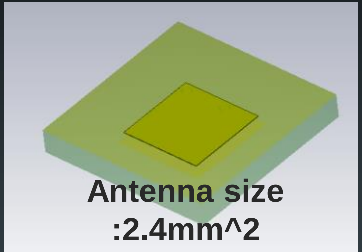
3GHz(Legacy)

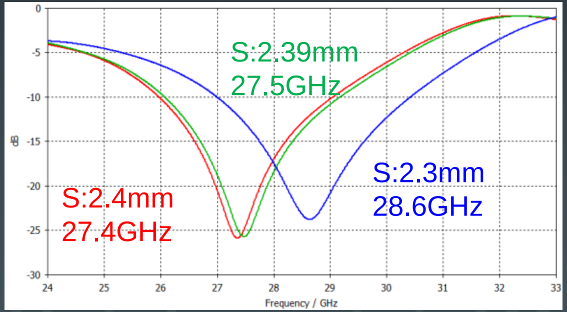




0.1mm 오차발생시 120MHz 주파수 이동

30GHz(5G/mmWave)

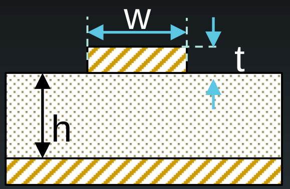




-. 0.1mm 오차발생시 1.2GHz 주파수 이동
-. 10um 오차발생시 100MHz 주파수 이동

KOREA 2020 DISCOVERY SUMMIT ONLINE

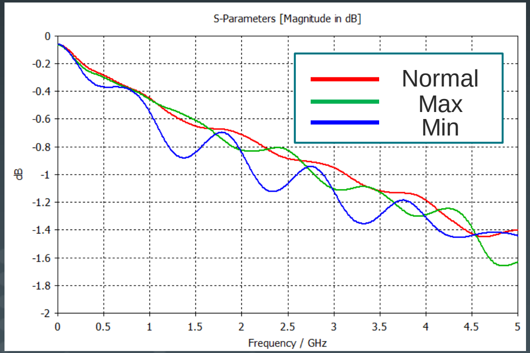
제조공차 영향에 대한 일반적 검증방법



<FPCB의 simple 구조와 설계변수>

	w	t	h
Z_max	-	-	+
Z_Min	+	+	-

FPCB의 구성요소를 단순화하여 수식적으로 임피던스값의 Max,Min 조건인 경우의 RF성능값 확인



실제 factor의 종류

- ✓ w1,w2
- ✓ t1,t2
- ✓ h1,h2,h3,h4,h5,h6
- ✓ The others : 2ea

Min/Max의 두 가지 case 결과를 12가지의 설계변수의 영향에 대한 worst결과로 guarantee 가능한가?

KOREA 2020 DISCOVERY SUMMIT ONLINE

DOE Design

FPCB 설계변수 및 제조 업체 공차 spec

# of factor	Factor	A사	B사
1	X1	±8um	±5um
2	X2	±5um	±2um
3	X3	±6um	±5um
4	X4	±9um	±4um
5	X5	±6um	±5um
6	X6	±30um	±45um
7	X7	±20um	±15um
8	X8	±30um	±32um
9	X9	±50um	±100um
constraint	X3+X4	±10um	±8.5um
	X1~X5	±30um	±30um

- FPCB 설계변수 9개 선정
- 제조업체 2곳에서 각 설계변수에 대한 제조공차 spec 입수

DOE Design

Custom Design

Responses

Response : 8개

Add Response | Remove | Number of Responses...

Response Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Importance
S31_LB	Maximize	.	.	.
S31_MB	Maximize	.	.	.
S31_HB	Maximize	.	.	.
S42_LB	Maximize	.	.	.
S42_MB	Maximize	.	.	.
S42_HB	Maximize	.	.	.
Z1	Maximize	.	.	.
Z2	Maximize	.	.	.

optional item

Factors

Factor : 9개

Add Factor | Remove | Add N Factors 1

Name	Role	Changes	Values	
X1	Continuous	Easy	-0.008	0.008
X2	Continuous	Easy	-0.005	0.005
X3	Continuous	Easy	-0.006	0.006
X4	Continuous	Easy	-0.009	0.009
X5	Continuous	Easy	-0.006	0.006
X6	Continuous	Easy	-0.055	0.055
X7	Continuous	Easy	-0.03	0.03
X8	Continuous	Easy	-0.032	0.032
X9	Continuous	Easy	-0.1	0.1

Define Factor Constraints

- None
- Specify Linear Constraints (selected)
- Use Disallowed Combinations Filter
- Use Disallowed Combinations Script

Linear Constraints

Add

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9		
0	0	1	1	0	0	0	0	0	≤	0.01
0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	≥	-0.01
1	1	1	1	1	0	0	0	0	≤	0.03
-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	≥	-0.03

Remove Last Constraint

Check Constraints

Model

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

Name	Estimability
X8	Necessary
X9	Necessary
X1*X1	Necessary
X1*X2	Necessary
X2*X2	Necessary
X1*X3	Necessary
X2*X3	Necessary
X3*X3	Necessary

- Factor와 constraint의 범위는 두 업체 spec의 max값 선정
- 모든 factor들간의 interaction과 2nd power 선택

KOREA 2020 DISCOVERY SUMMIT ONLINE

jmp

Sample개수 선정(1/2)

Design Generation

☐ Group runs into random blocks of size: 2

Number of Center Points: 1
Number of Replicate Runs: 0

Number of Runs:

- ○ Minimum 56
- ◉ Default 61
- ○ User Specified 61

Default 개수 수준으로
표본개수를 선정해도 될까?

Design Evaluation

Power Analysis

Significance Level 0.05
Anticipated RMSE 1

Term	Anticipated Coefficient	Power
Intercept	1	0.344
X1	1	0.994
X2	1	0.991
X3	1	0.967
X4	1	0.977
X5	1	0.992
X6	1	0.992
X7	1	0.997
X8	1	0.99
X9	1	0.995
X1*X1	1	0.475
X1*X2	1	0.942
X2*X2	1	0.463
X1*X3	1	0.903
X2*X3	1	0.87
X3*X3	1	0.496

Design Evaluation

Power Analysis

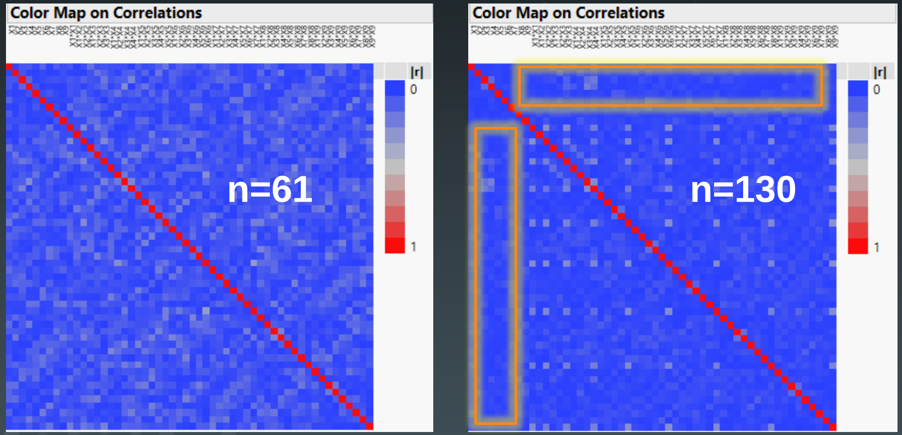
Significance Level 0.05
Anticipated RMSE 1

Term	Anticipated Coefficient	Power
Intercept	1	0.953
X1	1	1
X2	1	1
X3	1	1
X4	1	1
X5	1	1
X6	1	1
X7	1	1
X8	1	1
X9	1	1
X1*X1	1	0.981
X1*X2	1	1
X2*X2	1	0.983
X1*X3	1	1
X2*X3	1	1
X3*X3	1	0.986

- Default인 61개로 design 한 경우 power값이 0.4수준으로 낮은 term 존재
- 모든 term의 Power>0.9 이기 위해서는 n>130

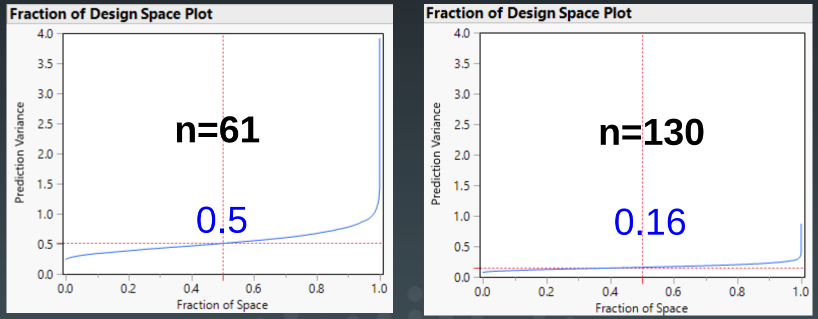
Sample개수 선정(2/2)

Orthogonality



- Main effect와 2nd interaction간에 교락되지 않도록 개선됨

Variance



- Predict variance가 0.5 -> 0.16으로 낮아짐

KOREA 2020 DISCOVERY SUMMIT ONLINE

DOE Result

KOREA 2020 DISCOVERY SUMMIT ONLINE

RF 성능의 주요인자

Insertion Loss

Effect Summary

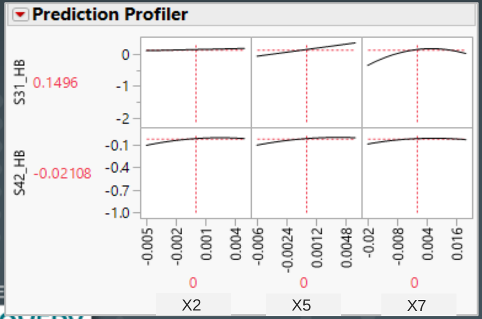
Source	LogWorth
X2*X7	50.629
X5*X7	49.518
X5	43.129
X2	37.703
X7	32.878
X2*X5	32.229
X2*X2	30.003
X8	27.199

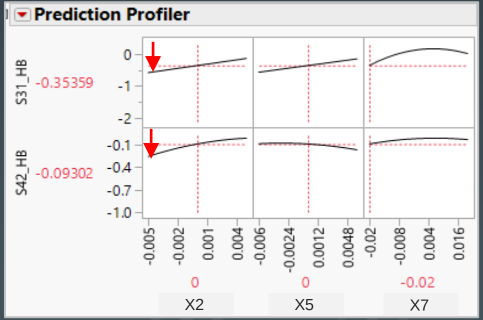
TDR

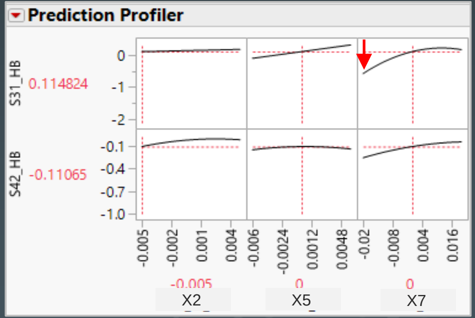
Effect Summary

Source	LogWorth
X7	73.608
X2	41.434
X5	39.001
X7*X7	17.374
X2*X7	10.252
X7*X9	5.589
X2*X2	4.479
X8*X9	3.184

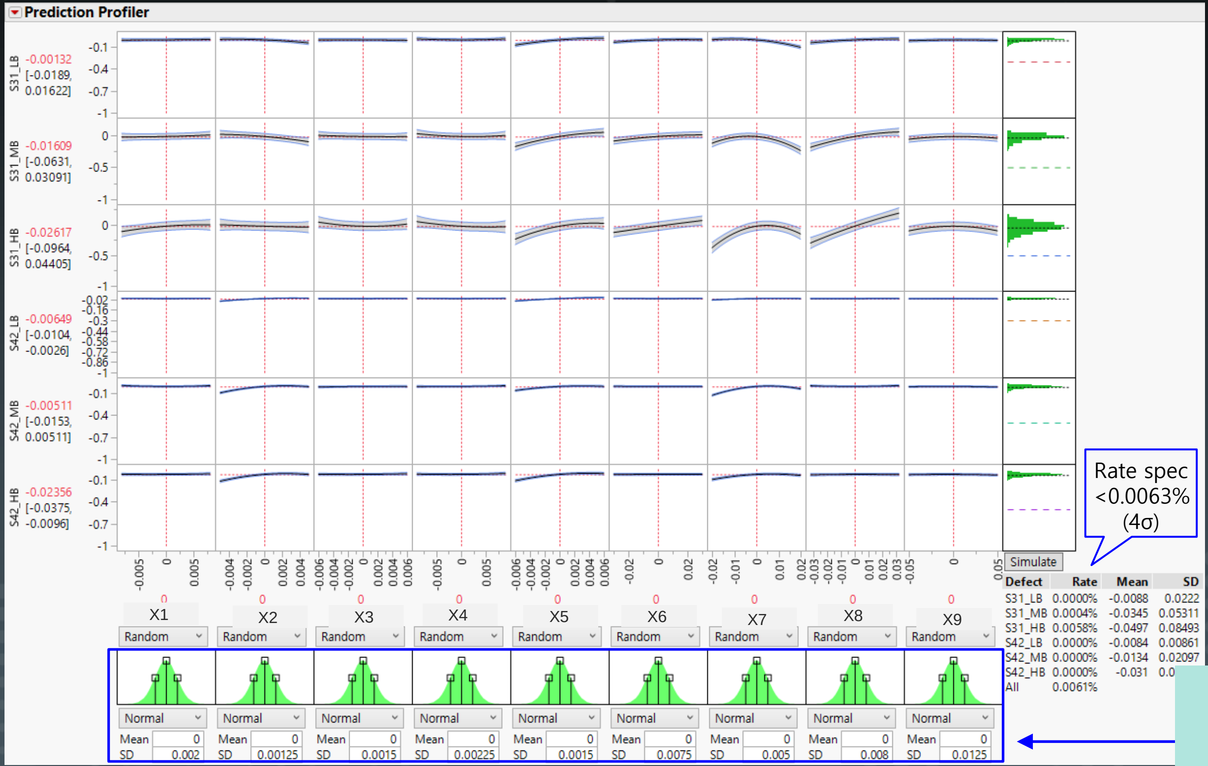
- X2,X5,X7은 서로 interaction으로 각 factor의 설계값에 따라 영향도도 변함







Simulation - IL



Defect	Rate	Mean	SD
S31_LB	0.0000%	-0.0088	0.0222
S31_MB	0.0004%	-0.0345	0.05311
S31_HB	0.0058%	-0.0497	0.08493
S42_LB	0.0000%	-0.0084	0.00861
S42_MB	0.0000%	-0.0134	0.02097
S42_HB	0.0000%	-0.031	0.0
All	0.0061%		

Rate spec
<0.0063%
(4σ)

Simulate to Table

Spec Limits

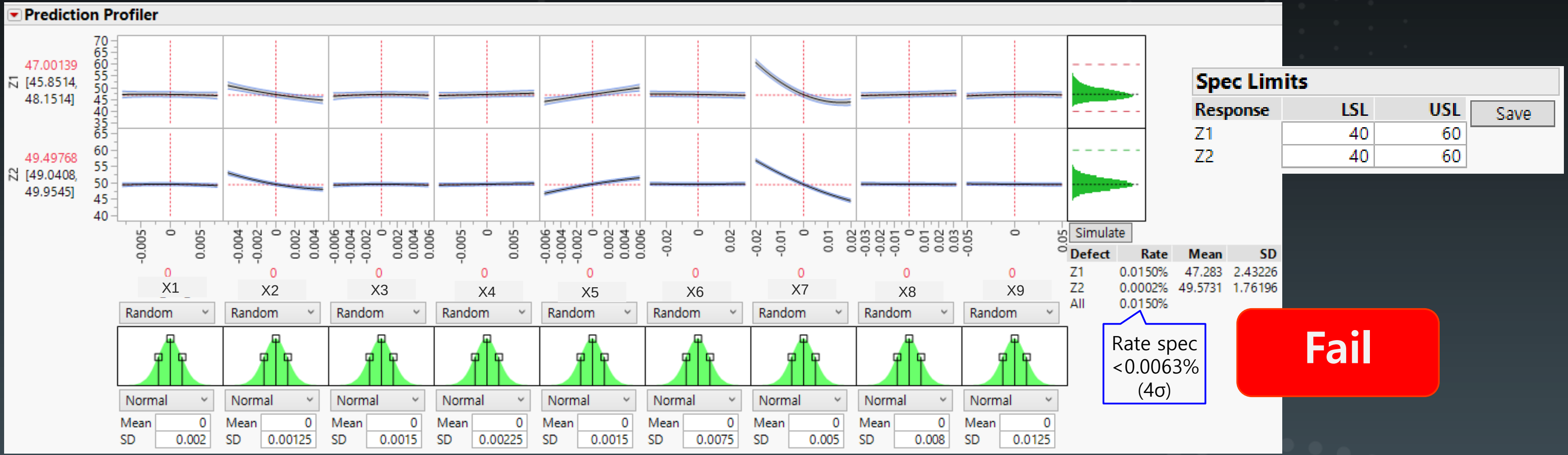
Response	LSL	USL
S31_LB	-0.3	.
S31_MB	-0.5	.
S31_HB	-0.5	.
S42_LB	-0.3	.
S42_MB	-0.5	.
S42_HB	-0.5	.

Save

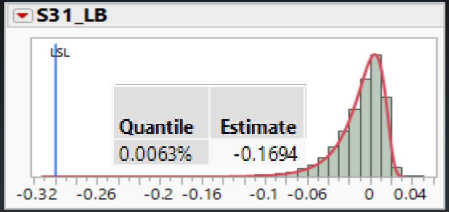
Pass

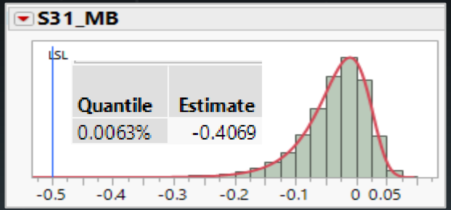
업체 spec의 기준인 cpk=1.33으로
factor들의 산포입력

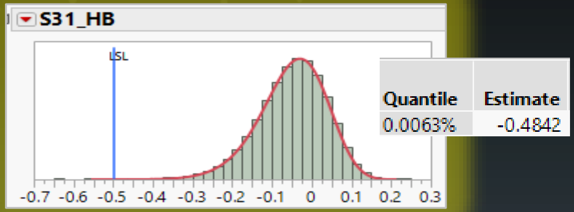
Simulation - TDR

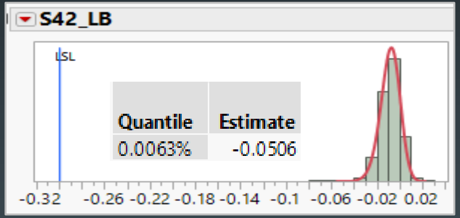


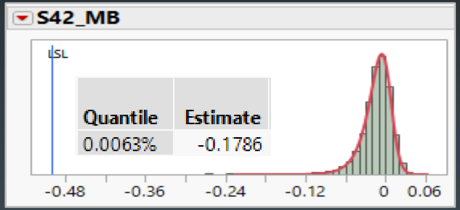
Distribution & 공정능력 평가 - IL

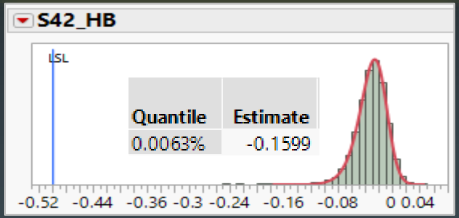












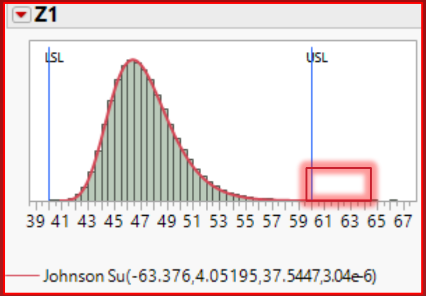
	S31_LB	S31_MB	S42_HB	S42_LB	S42_MB	S42_HB
Cpk	2.15	1.76	1.42	9.56	4.64	5.53
PPM	13.6	25.3	44.6	0	1.29	0
Worst값	-0.17	-0.4	-0.48	-0.05	-0.18	-0.16

- Cpk spec ≥ 1.33
- IL spec : LB>-0.3 , MB/HB>-0.5
- Worst값 : 분포도의 0.0063%(4σ)의 해당 값

Capability Analysis를 이용한 Cpk,PPM 확인

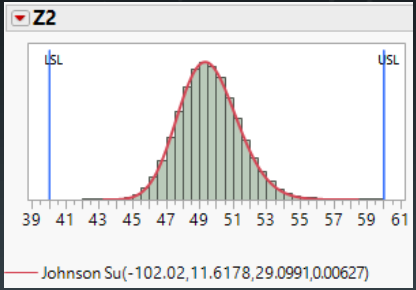
KOREA 2020 DISCOVERY SUMMIT ONLINE

Distribution & 공정능력 평가 – TDR



Quantiles

Quantile	Estimate
100%	66.0051
99.9937%	60.7664
75%	48.7202
50%	46.9877
25%	45.5272
0.0063%	41.0963



Quantiles

Quantile	Estimate
100%	59.6454
99.993%	57.3778
75%	50.7172
50%	49.4955
25%	48.3451
0.0063%	43.8026

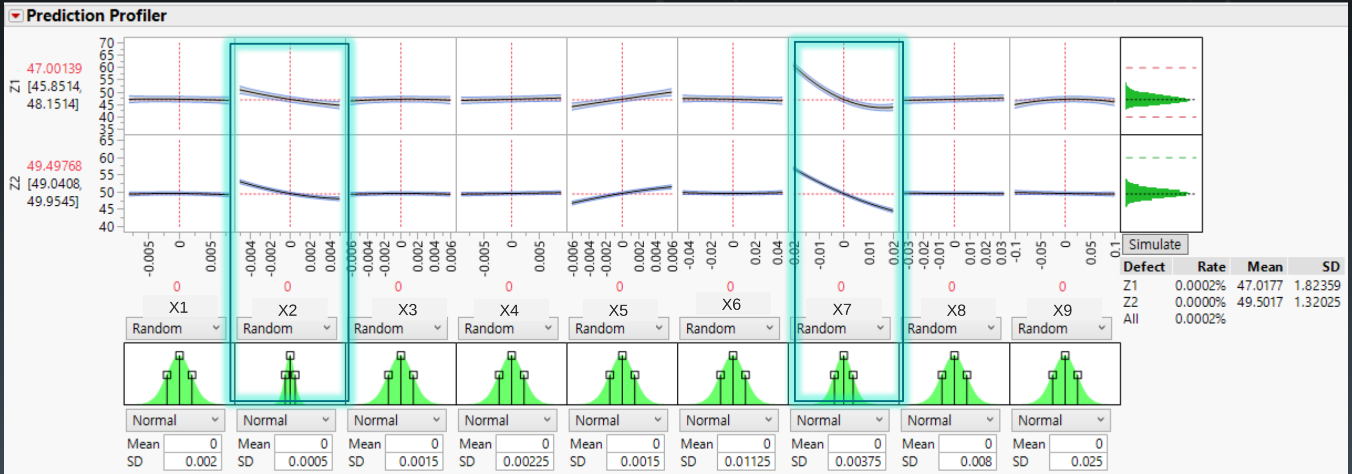
	S31	S42
Cpk	**1.26**	1.75
PPM	225	0.69
Worst값	**60.8Ω**	59.6Ω

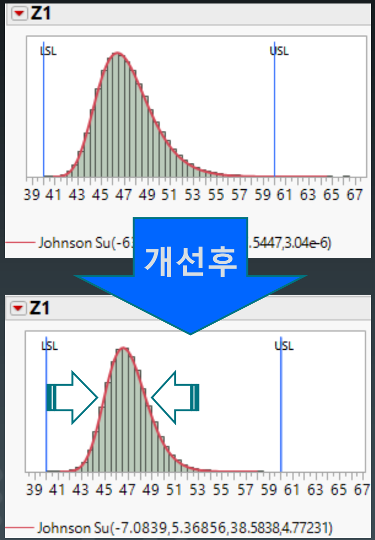
- Cpk spec ≥ 1.33
- Impedance spec : 40Ω ≤ Z ≤ 60Ω
- Worst값 : 분포도의 0.0063%(4σ)의 해당 값

KOREA 2020 DISCOVERY SUMMIT ONLINE

jmp

Optimize





	기존	개선1	개선2
Cpk	**1.26**	1.49	1.59
PPM	225	2.78	0.95
worst값	**60.8Ω**	56.7Ω	56.2Ω

	X2	X7
A사 spec	±5um	±20um
개선1	±5um	±15um
개선2	±2um	±15um

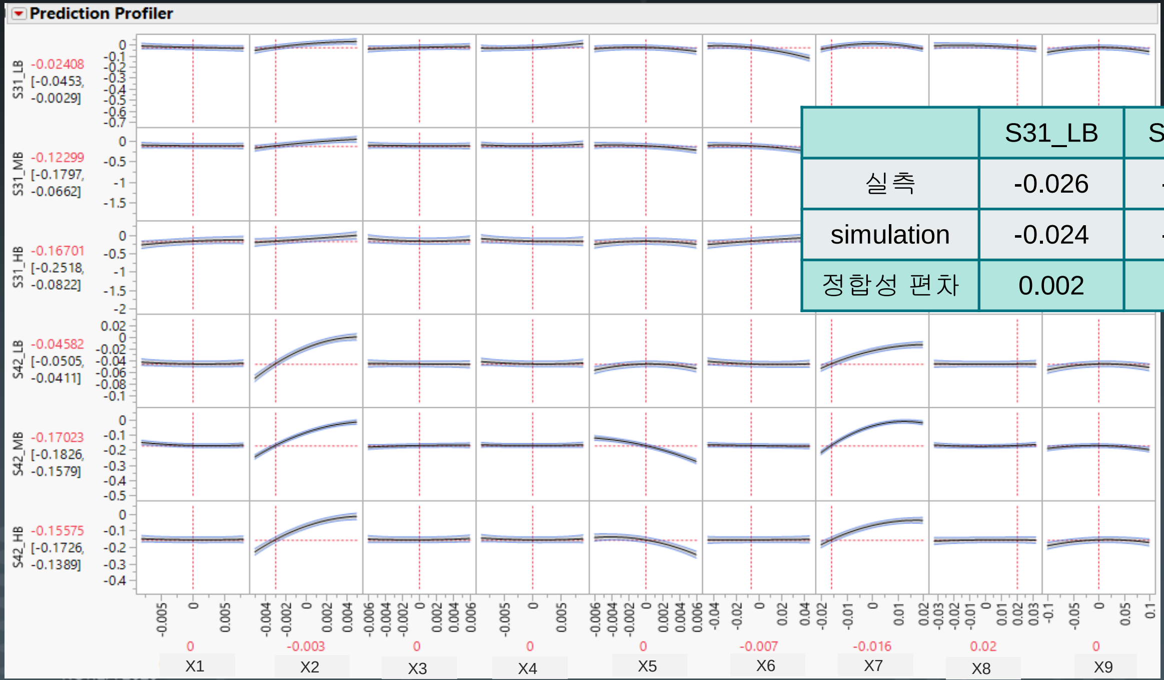
KOREA 2020 DISCOVERY SUMMIT ONLINE

Correlation

KOREA 2020 DISCOVERY SUMMIT ONLINE

Insertion Loss

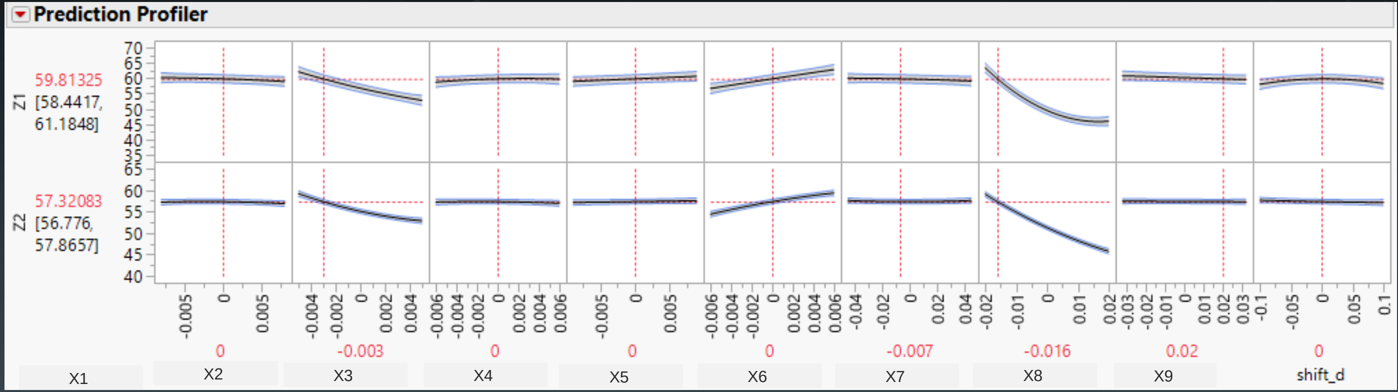
Profiler 예측값과 실측값이
매우 유사함



	S31_LB	S31_MB	S31_HB	S42_LB	S42_MB	S42_HB
실측	-0.026	-0.126	-0.163	-0.059	-0.122	-0.136
simulation	-0.024	-0.123	-0.167	-0.046	-0.17	-0.156
정합성 편차	0.002	0.003	0.003	0.007	0.048	0.02

- 특정 설계값으로 FPCB 샘플 제작
- 10개의 ramdom 샘플의 각 설계요인의 값 실측한 평균값과 Profiler 예측값을 비교

TDR



	Z1(TRX)	Z2(N41)
측정	59.15Ω	56.76Ω
simulation	59.8Ω	57.3Ω

Profiler 예측값과 실측값이
매우 유사함

KOREA 2020

Conclusion

- 시간 및 비용의 제약으로 단순화 될 수 밖에 없는 cable 검증 방법을 JMP의 DOE 적용을 통해 정량적 결과와 정확한 예측이 가능함을 확인함
  - FPCB의 설계변수 중 RF성능 관련된 주요 factor 확인(Least Sqaure Fit > Effet summary)
  - 주요 factor를 통해 제조시 취약 point개선 및 양산 품질 확보
- JMP의 simulation 및 distribution의 통계적 결과를 통해 대량 생산시 불량률 예측 가능
  - 당사의 RF성능을 만족하는 설계변수 spec 기준 수립으로 제조 가능 업체 선별 가능 (Least Sqaure Fit > Prediction Profile의 simulation)
  - 양산 제품의 전수 조사 대신 일부 sample 검사가 가능으로 개발시간 및 비용 절감 (Distribution > Continiuous fit & Capability Analysis)

KOREA 2020 DISCOVERY SUMMIT ONLINE

jmp

KOREA 2020

DISCOVERY SUMMIT ONLINE

jmp