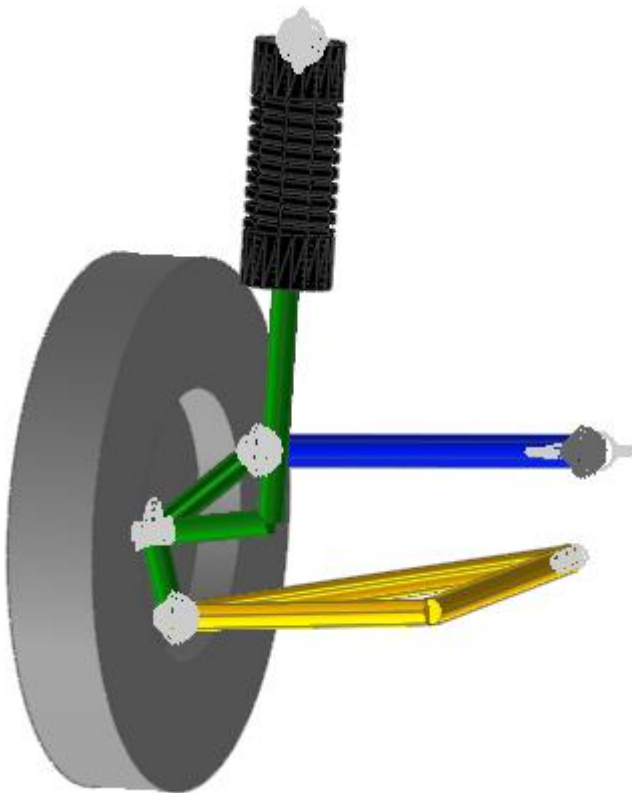




# Suspension System Tutorial (AutoDesign)



**Copyright © 2020 FunctionBay, Inc. All rights reserved.**

User and training documentation from FunctionBay, Inc. is subjected to the copyright laws of the Republic of Korea and other countries and is provided under a license agreement that restricts copying, disclosure, and use of such documentation. FunctionBay, Inc. hereby grants to the licensed user the right to make copies in printed form of this documentation if provided on software media, but only for internal/personal use and in accordance with the license agreement under which the applicable software is licensed. Any copy made shall include the FunctionBay, Inc. copyright notice and any other proprietary notice provided by FunctionBay, Inc. This documentation may not be disclosed, transferred, modified, or reduced to any form, including electronic media, or transmitted or made publicly available by any means without the prior written consent of FunctionBay, Inc. and no authorization is granted to make copies for such purpose.

Information described herein is furnished for general information only, is subjected to change without notice, and should not be construed as a warranty or commitment by FunctionBay, Inc. FunctionBay, Inc. assumes no responsibility or liability for any errors or inaccuracies that may appear in this document.

The software described in this document is provided under written license agreement, contains valuable trade secrets and proprietary information, and is protected by the copyright laws of the Republic of Korea and other countries. UNAUTHORIZED USE OF SOFTWARE OR ITS DOCUMENTATION CAN RESULT IN CIVIL DAMAGES AND CRIMINAL PROSECUTION.

**Registered Trademarks of FunctionBay, Inc. or Subsidiary**

**RecurDyn** is a registered trademark of FunctionBay, Inc.

RecurDyn/Professional, RecurDyn/ProcessNet, RecurDyn/Acoustics, RecurDyn/AutoDesign, RecurDyn/Bearing, RecurDyn/Belt, RecurDyn/Chain, RecurDyn/CoLink, RecurDyn/Control, RecurDyn/Crank, RecurDyn/Durability, RecurDyn/EHD, RecurDyn/Engine, RecurDyn/eTemplate, RecurDyn/FFlex, RecurDyn/Gear, RecurDyn/DriveTrain, RecurDyn/HAT, RecurDyn/Linear, RecurDyn/Mesher, RecurDyn/MTT2D, RecurDyn/MTT3D, RecurDyn/Particleworks I/F, RecurDyn/Piston, RecurDyn/R2R2D, RecurDyn/RFlex, RecurDyn/RFlexGen, RecurDyn/SPI, RecurDyn/Spring, RecurDyn/TimingChain, RecurDyn/Tire, RecurDyn/Track\_HM, RecurDyn/Track\_LM, RecurDyn/TSG, RecurDyn/Valve are trademarks of FunctionBay, Inc.

**Edition Note**

This document describes the release information of **RecurDyn V9R4**.

---

# 목차

Tutorial Sample D 의 개요 .....	4
필요 요건 .....	4
예상 소요 시간 .....	4
Suspension 시스템의 설계.....	5
모델 불러오기 및 Yaw & Roll 범위의 Plot 으로 확인 .....	7
설계 변수의 정의.....	8
성능 지수의 정의.....	10
최적 설계의 실행.....	12
선별된(Screened) 설계변수들을 이용한 최적화 설계.....	17

## Tutorial Sample D 의 개요

모 델	설 명
Sample D	<p>Suspension System Design Problem:</p> <p>본 설계 모델은 목적함수가 2 개, 설계 변수가 27 개를 가지고 있습니다. 설계 목표는 Tire Motion 의 Yaw 의 범위와 Roll 의 범위를 동시에 최소화하는 것입니다. 이 문제는 다중 목적함수 최적화이면서 설계 변수의 개수가 많기 때문에 해결하기가 어려운 문제입니다. 일반적으로, 다른 최적화 툴들은 메타 모델을 구성하기 위한 표본점 추출을 D-Optimal Design 또는 Latin Hypercube Design 을 사용합니다. 그런데, 2 차식 반응표면 모델을 구성하는데 요구되는 D-Optimal Design 은 <math>1+2*27+27*26/2</math> 에 의해 구해진 406 개의 표본점들을 사용합니다. 그러나 AutoDesign 은 27 개 변수를 갖는 최적화 문제를 변수에 대한 Screening 을 적용하지 않고, 단지 44 번의 해석만으로 해결합니다.</p> <p><b>Key Point:</b> 다중 목적함수 최적화에 대한 개념 이해와 설계 변수 선별 과정에 대한 이해</p>

### 필요 요건

- 이 튜토리얼은 이전에 RecurDyn 을 사용해 본 경험이 있는 유저들을 대상으로 합니다.
- 유저는 3D Crank-Slider, Engine with Propeller, Pinball (2D Contact) 튜토리얼 또는 그와 동등한 수준의 것을 실습해 본 자이어야 하며, 기초적인 물리 지식이 요구됩니다.



### 예상 소요 시간

약 5 분(컴퓨터의 속도에 따라 Solving Time 이 차이가 납니다.)

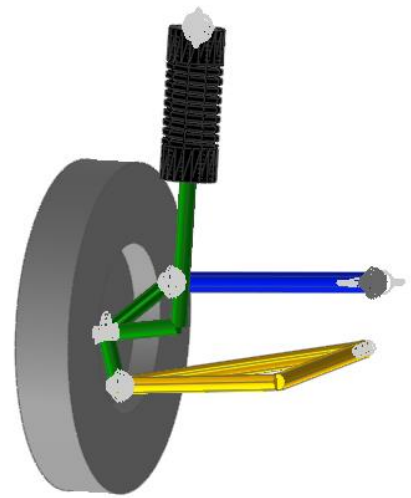


## Suspension 시스템의 설계

자동차 Suspension 시스템에 대한 단순 모델을 고려해봅시다. 그 시스템은 Arm, Tie Rod, Knuckle, Shock Absorber Damper, Tire 이렇게 5 가지의 구성요소를 가지고 있으며, 수직 방향을 따라 Tire 가 이동할 때 시뮬레이션은 감쇠과정과 기구학적 움직임을 보여줍니다.

모든 설계 변수들은 Joint 들의 기하학상의 좌표들이며, 설계 목적은 Tire 의 수직방향 거동에 따라 변하는 Yaw 와 Roll 의 양을 동시에 최소화하는 것 입니다. 이 설계에서는 설계변수는 9 개의 Joint 들에 대한 3 축 좌표를 모두 고려함으로 27 개가 됩니다.

본 과제에서는 Yaw 와 Roll 의 거동에 대한 기준치를 정하지 않고, Tire 이동의 전체 영역에 걸쳐 Yaw 와 Roll 의 편차를 직접 최소화할 것 입니다. 마지막으로 27 개 변수를 모두 고려한 설계치와 Screening 을 적용한 최적 설계치를 비교해 볼 것입니다.



Sample D 관련 Open 파일들		
Sample	<InstallDir>\Help\Tutorial\AutoDesign\SuspensionSystem\Examples\SAMPLE_D0.rdyn	
Solution	1	<InstallDir>\Help\Tutorial\AutoDesign\SuspensionSystem\Solutions\SAMPLE_D0.rdyn
	2	<InstallDir>\Help\Tutorial\AutoDesign\SuspensionSystem\Solutions\SAMPLE_D1.rdyn
	3	<InstallDir>\Help\Tutorial\AutoDesign\SuspensionSystem\Solutions\SAMPLE_D2.rdyn

---

**Note:** 파일 경로는 사용자가 임의로 지정한 폴더로 변경될 수 있습니다.

---

# Chapter 1

## 모델 불러오기 및 **Yaw & Roll** 범위의 **Plot** 으로 확인

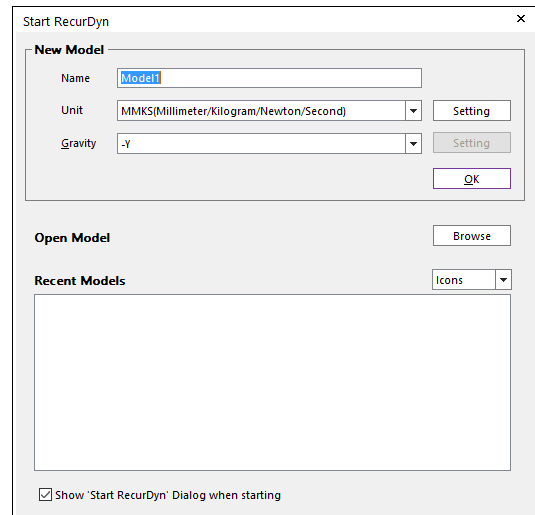
기본 모델의 불러오기 및 **Animation** 확인:



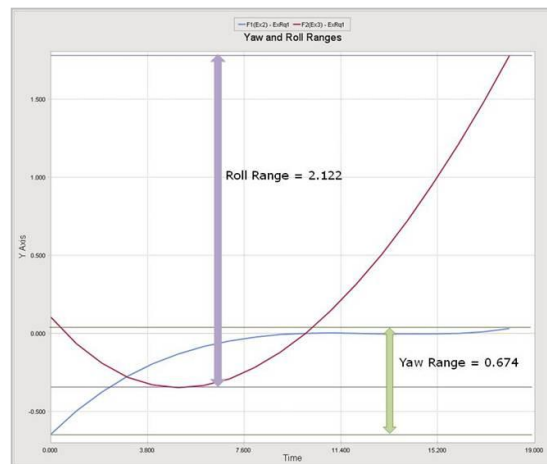
1. 바탕화면에서 **RecurDyn** 아이콘을 클릭하면 RecurDyn 이 실행되고, Start RecurDyn 다이얼로그 박스가 나타납니다.



2. **Start RecurDyn** 다이얼로그 박스를 닫고 이미 만들어져 있는 모델을 사용합니다.
3. 툴바에서 **Open** 메뉴를 클릭하고, **Sample\_D.rdyn** 을 클릭하면, Working Window 에 Suspension 모델이 나타납니다.
4. **Dynamic/Kinematic** 버튼을 클릭합니다.



5. **Plot Result** 을 클릭하면 윈도우가 전환되면서, 오른쪽에 **Plot Database** 윈도우가 보입니다. Plot Database 윈도우가 보이지 않을 경우에는 **View** 메뉴에서 **Database** 윈도우를 체크해줍니다.
6. Plot 윈도우에서 **Request** 를 펼친 후 **Expressions** 를 펼칩니다.
7. ExRq1 의 **F1(Ex2)**과 **F2(Ex3)**를 더블 클릭합니다



# Chapter 2

## 설계 변수의 정의

Joint 의 모든 기하학상 좌표들은 아래 그림에서 보여지는 매개점들(**Parametric Points**)에 의해서 정의되며, 아래의 그림에서 **A\_x, A\_y, ..., R\_y** 와 **R\_z** 으로 표현됩니다.

Parametric Point List

No	DP	Name	Point	Relative to	Comment
1	<input checked="" type="checkbox"/>	A	A_x,A_y,A_z	Pt	F
2	<input checked="" type="checkbox"/>	B	B_x,B_y,B_z	Pt	F
3	<input checked="" type="checkbox"/>	G	G_x,G_y,G_z	Pt	F
4	<input checked="" type="checkbox"/>	T	T_x,T_y,T_z	Pt	F
5	<input checked="" type="checkbox"/>	H	H_x,H_y,H_z	Pt	F
6	<input checked="" type="checkbox"/>	C	C_x,C_y,C_z	Pt	F
7	<input checked="" type="checkbox"/>	E	E_x,E_y,E_z	Pt	F
8	<input checked="" type="checkbox"/>	D	D_x,D_y,D_z	Pt	F
9	<input checked="" type="checkbox"/>	R	R_x,R_y,R_z	Pt	F
10	<input type="checkbox"/>	SPR_LOW_F	13.25,613.75,2...	Pt	F
11	<input type="checkbox"/>	DAM_UPP	21.875,604.625...	Pt	F

Add Insert Delete Export Import Check All  With Relation

OK Cancel Apply

매개 변수들은 **Subentity** 탭에 존재하는 **Parametric Value** 에서 좌표값을 정의합니다. 여기에 정의된 좌표값들은 초기 설계값으로 간주됩니다.

Parametric Value List

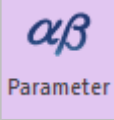
No	DP	Name	Value	Comment
1	<input type="checkbox"/>	A_x	-5.	E
2	<input type="checkbox"/>	A_y	425.	E
3	<input type="checkbox"/>	A_z	-129.	E
4	<input type="checkbox"/>	B_x	-4.	E
5	<input type="checkbox"/>	B_y	736.	E
6	<input type="checkbox"/>	B_z	-156.	E
7	<input type="checkbox"/>	G_x	297.	E
8	<input type="checkbox"/>	G_y	401.	E
9	<input type="checkbox"/>	G_z	-116.	E
10	<input type="checkbox"/>	T_x	165.	E
11	<input type="checkbox"/>	T_y	335.	E
12	<input type="checkbox"/>	T_z	28.	E
13	<input type="checkbox"/>	H_x	130.	E
14	<input type="checkbox"/>	H_y	690.	E
15	<input type="checkbox"/>	H_z	10.	E
16	<input type="checkbox"/>	C_x	30.5	E
17	<input type="checkbox"/>	C_y	...	F

Add Insert Delete Export Import Check All  With Relation

OK Cancel Apply



위의 모든 관계들은 'SAMPLE\_D0.rdyn'의 모델에서 정의되었습니다.



AutoDesign 의 메뉴 중, Design Parameter 메뉴를 선택합니다.

그러면, 아래에서 보이는 것처럼 설계 매개 변수들에 의해 27 개의 매개 변수들이 연결되어 있는 것을 볼 수 있습니다.

Design Parameter List

Design Parameter

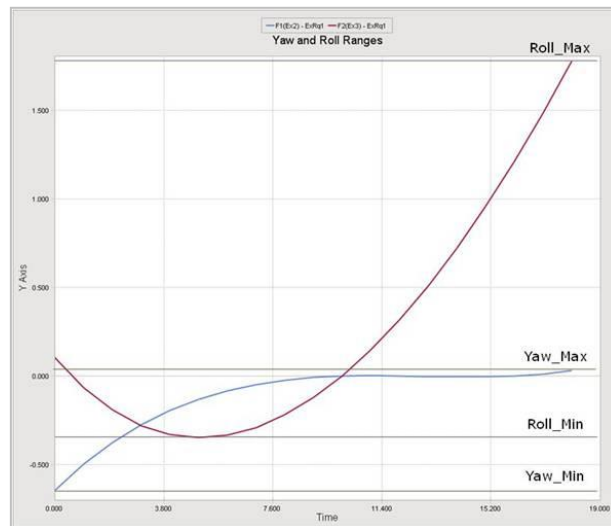
№.	Name	Type	Prop.	Descripti...	Curr...	LB	UB	Design Cost...	DP Form	DV
1	DP1	Direct		A_X	-5.	-15.	5.	0.	Value	<input checked="" type="checkbox"/>
2	DP2	Direct		A_Y	425.	415.	435.	0.	Value	<input checked="" type="checkbox"/>
3	DP3	Direct		A_Z	-129.	-139.	-119.	0.	Value	<input checked="" type="checkbox"/>
4	DP4	Direct		B_X	-4.	-14.	6.	0.	Value	<input checked="" type="checkbox"/>
5	DP5	Direct		B_Y	736.	726.	746.	0.	Value	<input checked="" type="checkbox"/>
6	DP6	Direct		B_Z	-156.	-166.	-146.	0.	Value	<input checked="" type="checkbox"/>
7	DP7	Direct		G_X	297.	287.	307.	0.	Value	<input checked="" type="checkbox"/>
8	DP8	Direct		G_Y	401.	391.	411.	0.	Value	<input checked="" type="checkbox"/>
9	DP9	Direct		G_Z	-116.	-126.	-106.	0.	Value	<input checked="" type="checkbox"/>
10	DP10	Direct		T_X	165.	155.	175.	0.	Value	<input checked="" type="checkbox"/>

Create    Insert    Direct Relation    Delete

OK    Cancel    Apply

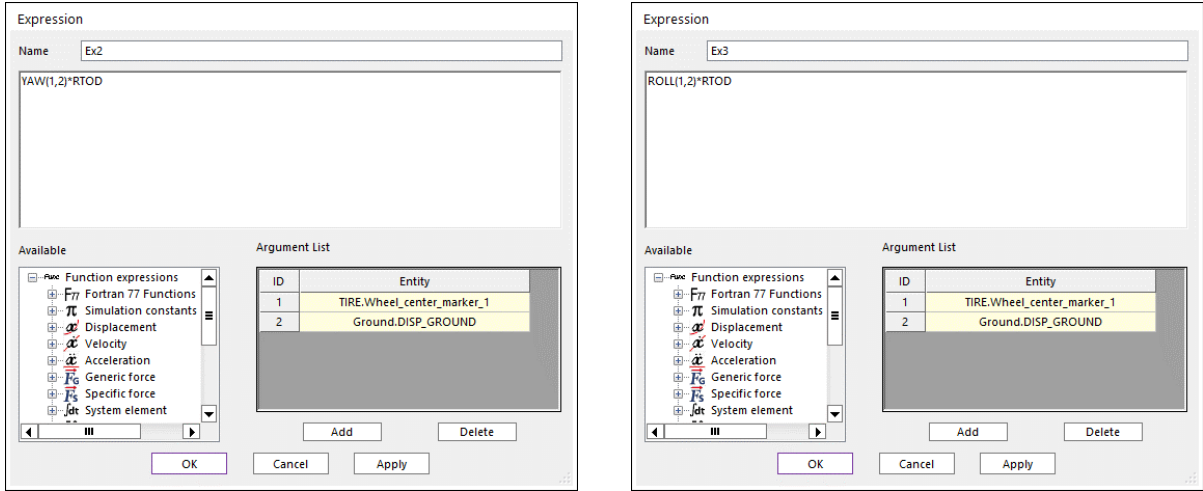
## 성능 지수의 정의

설계항상이 요구되는 성능지수들을 생각해 봅시다. 우리는 Tire 가 수직 방향으로 이동하는 동안 Yaw 의 범위와 Roll 의 범위를 최소화할 것입니다. **RecurDyn** 은 직접 그 값들을 제공하지 않기 때문에 수식(Expression)과 변수 방정식(Variable Equations)을 사용하여 그 값들을 구해야 합니다.

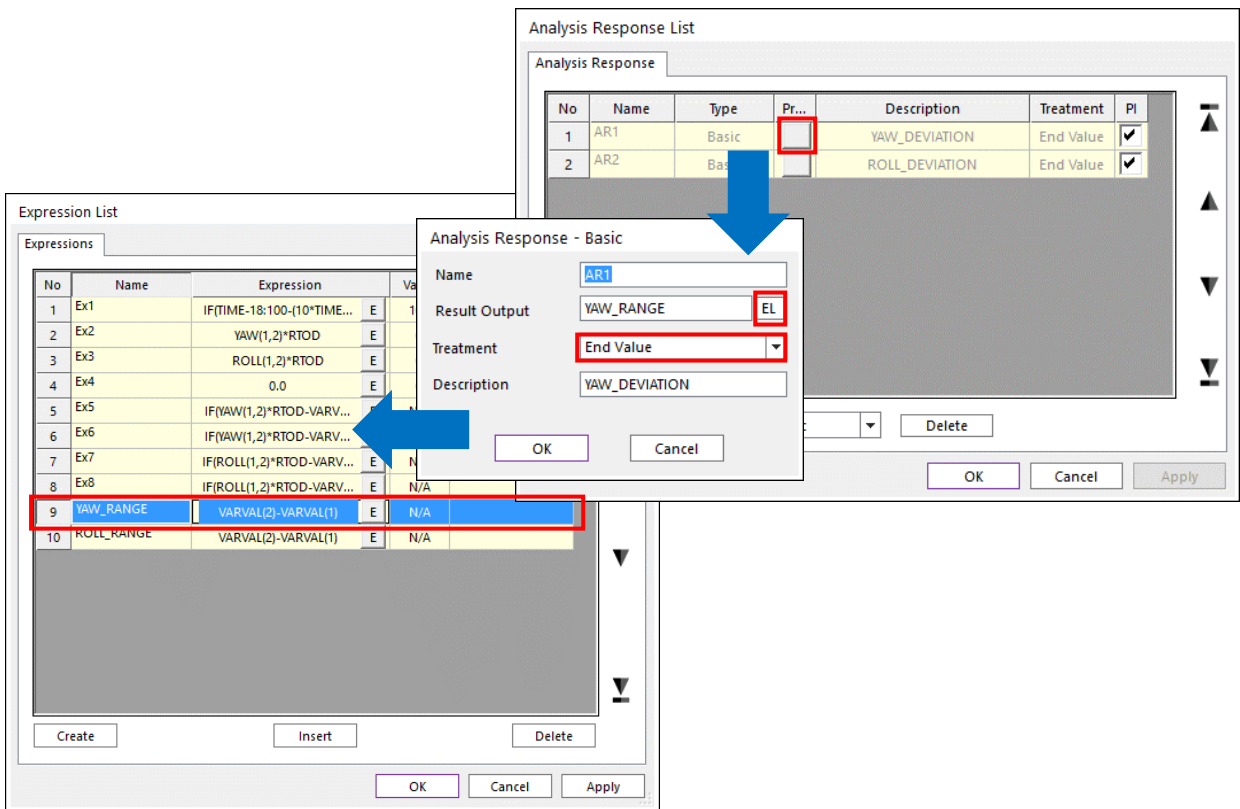


그 값들을 구하기 위해서, Yaw 의 범위와 Roll 의 범위에 대한 최소값과 최대값을 구합니다. 그러면, 최대값과 최소값 사이의 편차들이 그 값들에 대한 범위가 됩니다. V7R3 버전부터 해석 반응 처리에 응답의 최대 편차를 바로 구하는 기능이 추가되어 편차를 쉽게 구할 수 있습니다.

- **Step 1:** Yaw Angle 과 Roll Angle 를 생성을 위한 Expression 을 정의합니다. 다음 그림들은 Yaw Angle 과 Roll Angle 를 저장하기 위한 수식들을 보여줍니다.



- **Step 2:** Expression 을 사용하여 YAW\_DEVIATION 과 ROLL\_DEVIATION 을 정의합니다. 그리고 나서, AutoDesign 메뉴에서 Analysis Response 툴을 클릭한 후 Analysis Response 탭에서 YAW\_DEVIATION 과 ROLL\_DEVIATION 를 Result Output 으로 선정하고, 이에 대한 처리값을 End\_Value 로 설정합니다. 이는 과도 응답의 최대편차를 AR 에 저장한다는 의미입니다.



## 최적 설계의 실행

**Design Optimization** 툴을 선택하면 **DV** 에 확인되는 모든 설계변수들이 설계에 포함될 것입니다. 그러나 **Performance Index** 는 빈 상태일 것입니다. 그러므로, **Performance Index** 에 **AR** 들을 추가해야 합니다.

최적화 문제는 현재의 설계에서의 Yaw 의 범위와 Roll 의 범위보다 작은 Yaw 의 범위와 Roll 의 범위를 만족시키는 동안에 그 Yaw 의 범위와 Roll 의 범위가 최소화되는 것입니다. 또한, Yaw 의 범위는 Roll 의 범위보다 더욱 중요하게 여겨집니다. 그래서, Yaw 의 가중치는 Roll 의 가중치보다 두 배 더 크게 정합니다.

Minimize Yaw\_Deviation\*2 & Roll\_Deviation\*1

필요조건 Yaw\_Deviation =< 0.67

Roll\_Deviation =< 2.12

여기서, 0.67 값과 2.12 값이 있는 곳은 현재 설계치에서 계산된 최대편차 값들을 의미합니다. 두 개의 목적 함수가 최소화될 것이므로, 두 개의 부등식 제약조건이 불필요해 보일 수 있습니다. 그러나, Yaw 와 Roll 에 대한 가중치가 다르기 때문에, 이들의 최적치가 현재 값보다 나빠질 수도 있습니다. 이를 근본적으로 방지하기 위하여 2 개의 부등식 제약조건을 명시적으로 추가한 것입니다. 그래서, 다중 목적함수 최적화는 다소 어렵습니다. (매뉴얼 Part II Guideline for **AutoDesign** 의 5 장은 다중 목적함수 최적화에 대해 설명하고 있습니다. 더 자세한 내용은 매뉴얼의 Part II Guideline for **AutoDesign** 의 5 장을 참고해주시기 바랍니다.)

다중 목적함수 최적화 과정의 관점에서 위의 설계 문제를 생각해 봅시다.

편의상,  $f_1 = Yaw\_Deviation$  과  $f_2 = Roll\_Deviation$  로 표기합니다. 초기의 표본점 들로 생성한 근사적인 메타 모델들을  $f_1(\mathbf{x})$  과  $f_2(\mathbf{x})$  로 합니다. 그리고,  $f_1^*$  와  $f_2^*$  는 초기 표본점들에서 계산된 성능지수 값들 중, 최소값입니다. **AutoDesign** 은 다중 목적함수를 아래의 등가함수로 치환하여 해결합니다.

$$\text{Min max} \left\{ \left( \frac{f_1(\mathbf{x}) - f_1^*}{f_1^*} \right), \left( \frac{f_2(\mathbf{x}) - f_2^*}{f_2^*} \right) \right\}$$

다중 목적함수 최적설계는 초기 표본점의 개수에 영향을 받습니다. 이 문제는 27 개의 설계변수를 가지고 있으며, 많은 표본점을 필요로 합니다. 초기 표본점의 수가 최소화되었더라도, 2 개의 부등식 제약조건은 초기에 수렴되는 현상을 방지하기 위해 필요합니다.

다중 목적함수 최적화 문제를 풀어봅시다:



1. **Performance Index** 탭을 클릭한 후, 위의 최적화 공식을, 아래와 같이 정의합니다.

Design Optimization

Design Variable Performance Index Optimization Control Result Sheet Summary Sheet

PI	Use	AR	Description	Definition	Goal	Weight/Limit Value
1	<input checked="" type="checkbox"/>	AR1	YAW_DEVIATION	Objective	MIN	2.
2	<input checked="" type="checkbox"/>	AR2	ROLL_DEVIATION	Objective	MIN	1.
3	<input checked="" type="checkbox"/>	AR1	YAW_DEVIATION	Constraint	LE	0.67
4	<input checked="" type="checkbox"/>	AR2	ROLL_DEVIATION	Constraint	LE	2.12

2. **Optimization Control** 탭을 클릭합니다. 기본 값들이 직접적으로 사용됩니다. **Execution** 버튼을 클릭합니다.

Design Optimization

Design Variable Performance Index Optimization Control Result Sheet Summary Sheet

DOE Meta Modeling Methods Methods

Convergence Tolerance

Objective Change Rate in Consecutive Iterations

Equality Constraints

Inequality Constraints

Maximum Iteration of SAO

Convergence Relaxation Control

Simulation Type

Save Results  Number of Trials

이 다이얼로그 박스에서는 설계 공식에 대한 개요를 볼 수 있으며, 설계 변수, 성능 지수, 메타 모델에 관한 정보를 확인합니다. 모든 정보가 올바르다면, **OK** 버튼을 클릭하여 최적화 과정을 진행합니다.

Execution

Summary for Execution

Design Variables

No	DV	Description	Current	LB	UB	Type	Value
1	DP1	A_X	-5.	-15.	5.	Variable	0.
2	DP2	A_Y	425.	415.	435.	Variable	0.
3	DP3	A_Z	-129.	-139.	-119.	Variable	0.
4	DP4	B_X	-4.	-14.	6.	Variable	0.
5	DP5	B_Y	736.	726.	746.	Variable	0.

Performance Indexes

No	AR	Description	Definition	Goal	Weight/Limit Value
1	AR1	YAW_DEVIATION	Objective	MIN	2.
2	AR2	ROLL_DEVIATION	Objective	MIN	1.
3	AR1	YAW_DEVIATION	Constraint	LE	0.67
4	AR2	ROLL_DEVIATION	Constraint	LE	2.12

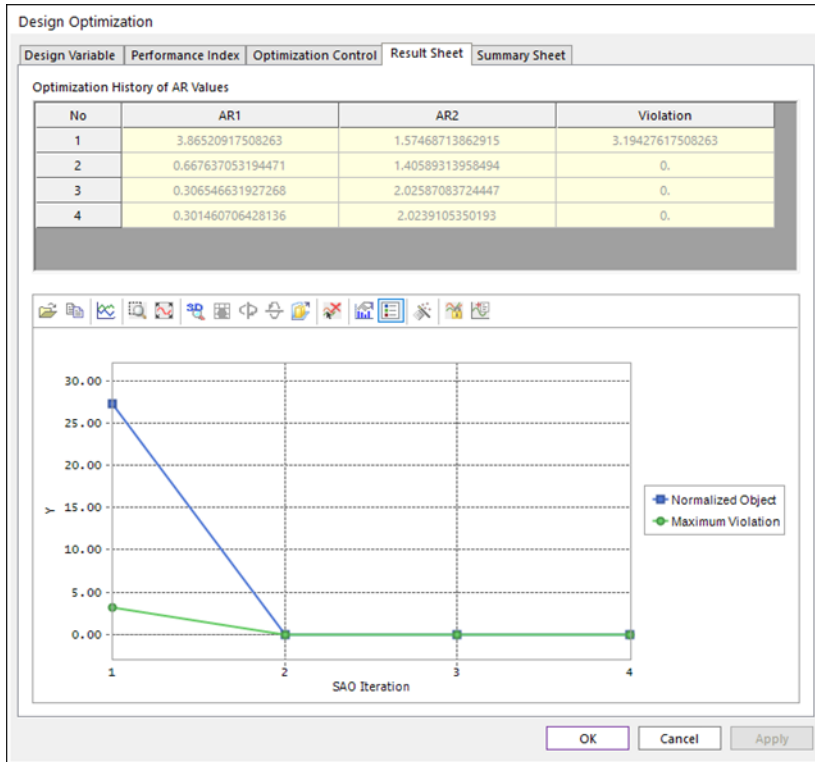
Meta - Model

Initial DOE Method	Incomplete Small Composite Design -2
Meta-Model Method	Radial Basis Functions Model(Multi-Quadratic)
Polynomial Type	Auto
Trial No	33

OK Cancel

3. 최적화 과정이 완료되면, **Result Sheet** 탭이 자동으로 보여집니다. 최적화 과정은 **4 번 반복 후에** 수렴됩니다. 그래서, AutoDesign 은 초기 표본점들에 대한 33 번의 분석을 포함하여, 총 **37 번의 해석으로 27 개의 설계변수**를 가지고 Suspension 시스템 최적설계를 해결하였습니다. 마지막 설계는 Yaw 의 편차를 **0.3%**, Roll 의 편차를 **33.7%** 최소화할 수 있는 **AR1=0.667** 과 **AR2=1.405** 를 제시합니다.

▪ Convergence History



▪ Summary Sheet

Design Optimization

Design Variable Performance Index Optimization Control Result Sheet Summary Sheet

Design Variables

No	Name	Description	Optimum	Current	LB	UB
1	DP1	A_X	5.	-5.	-15.	5.
2	DP2	A_Y	415.	425.	415.	435.
3	DP3	A_Z	-139.	-129.	-139.	-119.

Analysis Responses

No	Name	Description	Optimum
1	AR1	YAW_DEVIATION	0.667637053194471
2	AR2	ROLL_DEVIATION	1.40589313958494

Performance Indexes

No	AR	Description	Definition	Goal	Weight/Limit Value
1	AR1	YAW_DEVIATION	Objective	MIN	2.
2	AR2	ROLL_DEVIATION	Objective	MIN	1.
3	AR1	YAW_DEVIATION	Constraint	LE	0.67
4	AR2	ROLL_DEVIATION	Constraint	LE	2.12

SAO

Initial DOE Method: Incomplete Small Composite Design -2

Meta - Model: Radial Basis Functions Model(Multi-Quadratic) Polynomial Type: Auto

Initial Sample Runs: 33 SAO: 4(0) Total Evaluations: 37

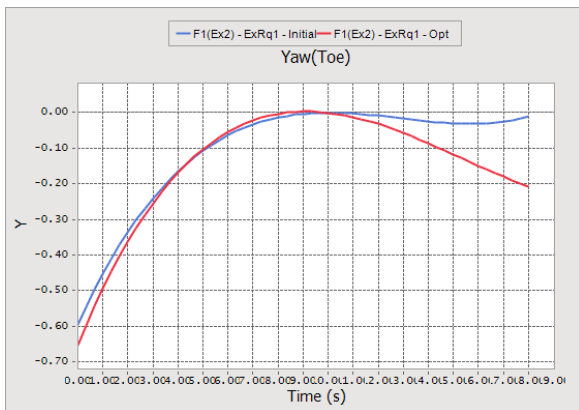
Optimal Design: E:\SVN\GT\Trunk\AddFile\Tutorial\AutoDesign\SuspensionSystem\All\_Variables\\_DO\_004

Buttons: Create New Optimum Model, Apply to Current Model, Open Summary file, OK, Cancel, Apply

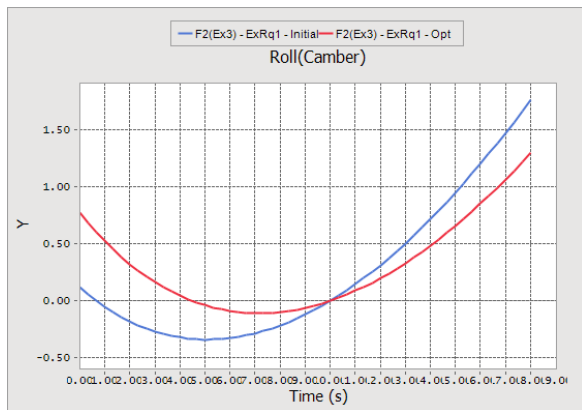
위에서 보여지는 것처럼, **Summary Sheet** 탭이 새롭게 제공됩니다. 설계 변수와 해석 결과에 대한 최적 값들이 자세히 요약됩니다. 또한, SAO 가 4 번의 반복을 하였음을 보여줍니다. 이와 같이, 총 해석 횟수는 37 이고, 최적화 설계의 해석 결과는 DO\_004 입니다.

- 초기 설계와 마지막 설계를 위한 Yaw 의 범위와 Roll 의 범위를 비교해 봅시다. DO\_002 은 마지막 설계입니다. 또한, DOE33 은 초기 설계입니다 (ISCD-1 와 ISCD-2 는 초기 표본들을 구성하고, 초기 표본들 중 마지막 것은 현재의 설계입니다). 다음 그림들에서 빨간선은 최적의 결과입니다.

▪ Yaw(Toe)



Roll(Camber)



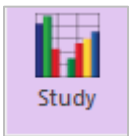


## 선별된(Screened) 설계변수들을 이용한 최적화 설계

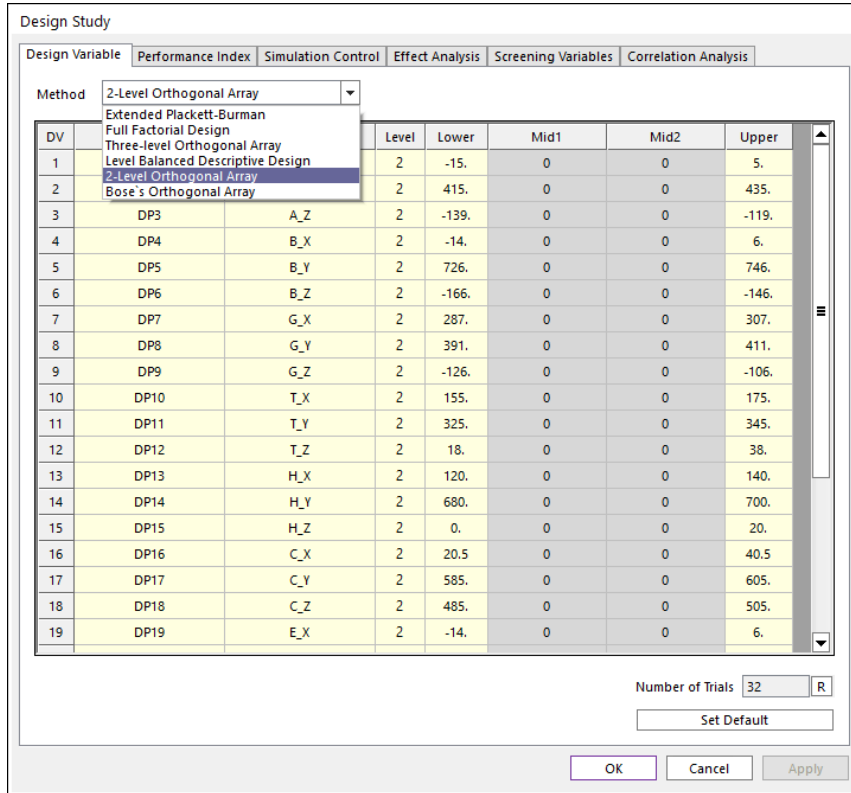
이제, 모든 설계 변수들과 선별된 설계 변수들을 고려하기 위해 최적화 결과를 비교해봅시다. 그러기 위해서 **Sample\_D0.rdyn** 를 **Sample\_D1.rdyn** 으로 다시 저장하고, **Simulation History** 에 있는 모든 결과들을 지웁니다.

먼저, 설계변수들을 선별(Screening)해 봅시다. **AutoDesign** 의 **Design Study** 는 효과 분석 결과들의 기초로, 선별을 다음의 과정대로 실행합니다.

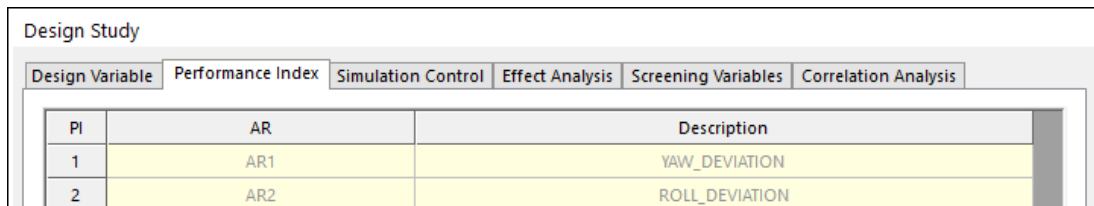
1. **AutoDesign** 메뉴에서 **Design Study** 툴을 클릭합니다.



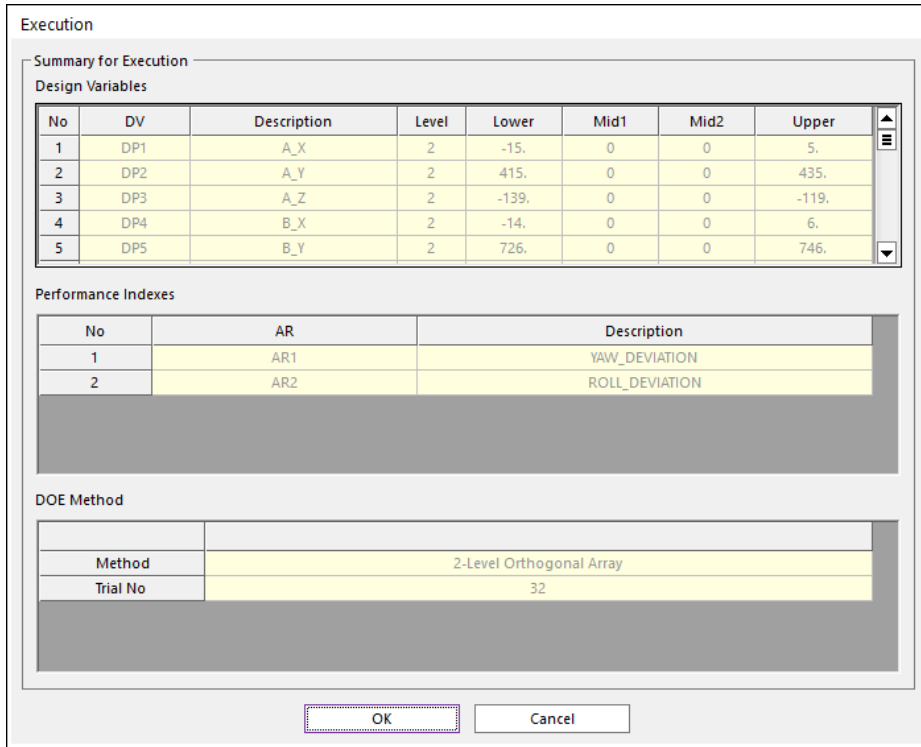
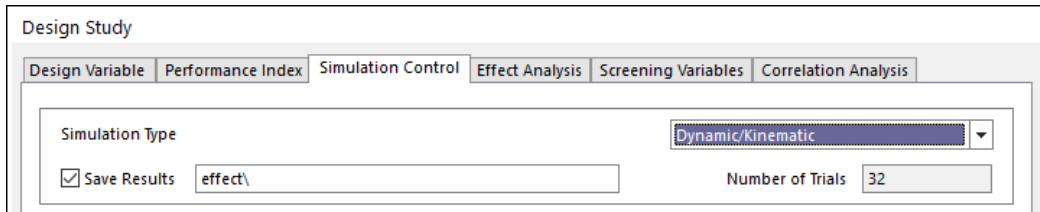
2. **Design Variable** 탭을 클릭하여 설계 변수 목록을 확인합니다. 설계 변수의 수가 27 일 때 실험의 수를 줄이기 위해 **2-Level Orthogonal Array** 를 선택합니다. 3-Level Orthogonal Array 를 선택하면 실험의 수는 81 이 됩니다.



3. **Performance Index** 탭에서는 **AR1** 과 **AR2**, 두 개의 해석 결과가 보여집니다. 그 두 개의 결과가 보이지 않으면, **Sample\_D0.rdyn** 에서 **Sample\_D1.rdyn** 으로 파일을 다시 만듭니다.

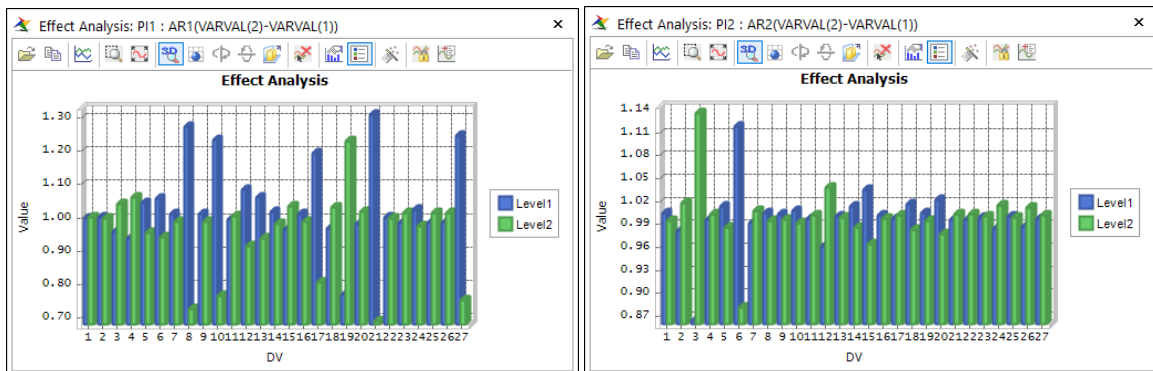


4. **Simulation Control** 탭을 클릭합니다. 각 실험의 분석 결과들을 저장하려면 **Save Results** 를 체크하고 지정할 폴더의 이름을 입력합니다. 그리고 나서, **Execution** 버튼을



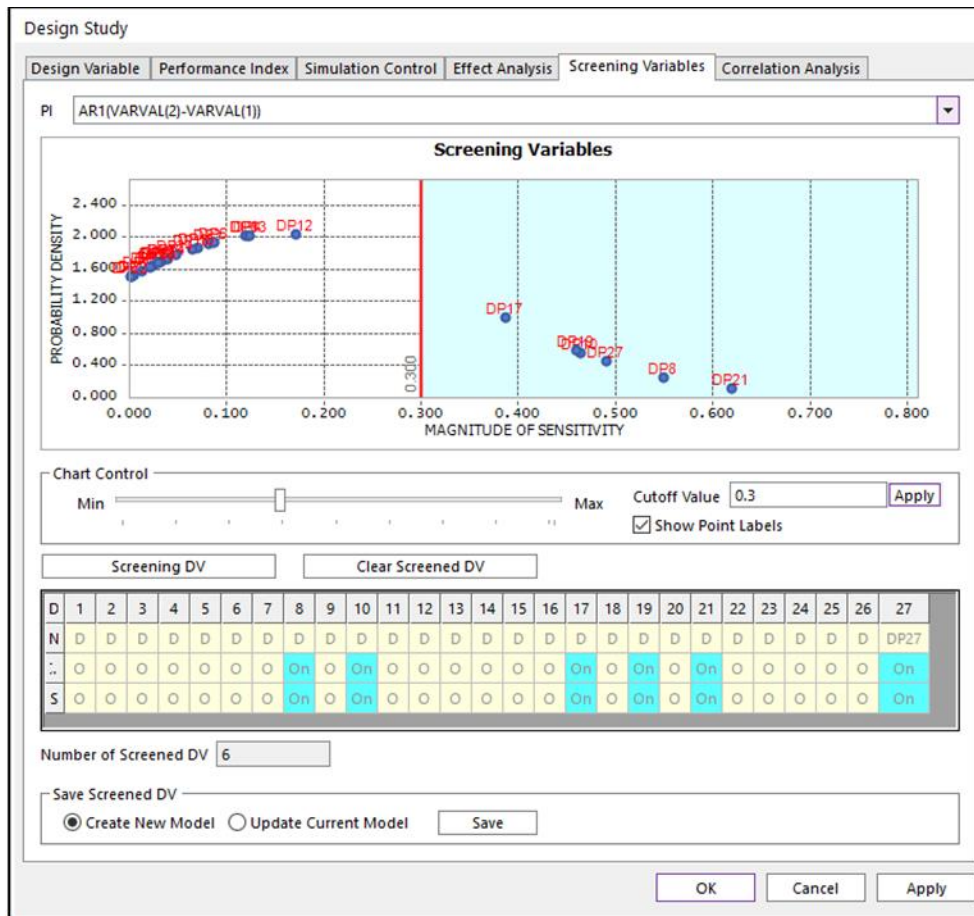
클릭합니다.

5. 모든 분석들이 완료되면 Design Study 다이얼로그 박스가 활성화됩니다. 그리고 나서, **Effect Analysis** 탭을 클릭합니다. **Effect Value** 열에 있는 체크 상자들을 체크한 후 **Draw** 버튼을 클릭하면 **Effect Analysis** 창에서 그와 관련된 그래프 차트를 다음과 같이 볼 수 있습니다.



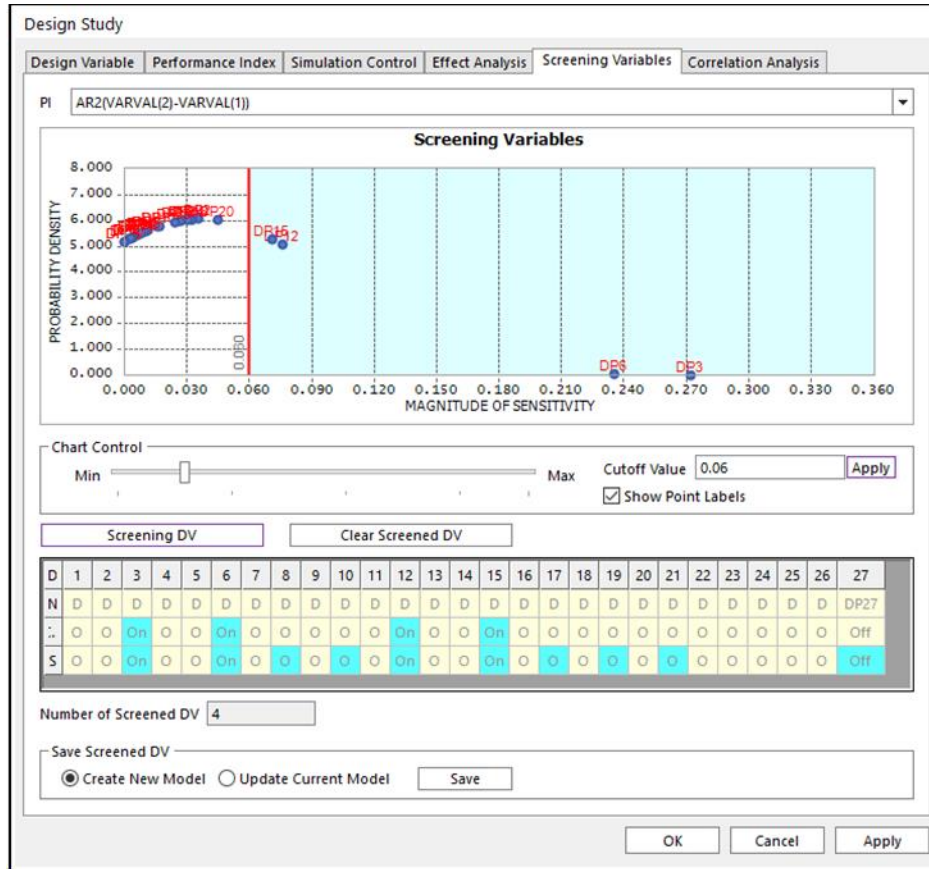
두 개의 그림은 PI\_1 과 PI\_2 에 대하여 민감한 설계변수들이 차이가 있음을 보여줍니다. 일반적으로, 유저들은 위의 차트에서 민감한 변수들을 선택합니다. 그러나, 그것은 쉽지가 않습니다. 그래서, AutoDesign 은 선별한 변수에 대해 통계적인 지침을 제공합니다.

6. **Screening Variables** 탭을 클릭합니다. 그리고 나서, **PI** 상자에서 **AR\_1** 을 선택하면, 흩어져있는 점들을 볼 수 있습니다. 오른쪽에 위치한 점들이 왼쪽의 것들보다 더욱 민감한 것들입니다. **Controller** 를 **Cutoff Value** 가 **0.3** 이 되는 곳에 둡니다. 그리고, **Screening DV** 버튼을 클릭합니다.



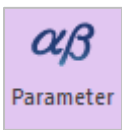
빨간색 선은 흩어져 있는 점들을 두 그룹으로 나눕니다. 오른쪽 그룹은 남아있는 변수들입니다. 즉, 흩어진 점들의 간격이 넓은 곳을 **Cutoff** 으로 사용하면 됩니다. **Screening DV** 버튼을 클릭합니다. 그리고 나서, 선별된 변수들은 **On** 으로 표시됩니다. 그리고, 나머지 것들은 **Off** 로 표시됩니다.

이번에는 **PI** 상자에서 **AR2** 를 선택합니다. **Cutoff Value** 를 **0.06** 으로 설정하고 위와 동일한 과정을 실행합니다. 그러면, 선별된 변수들이 다음과 같이 요약됩니다.

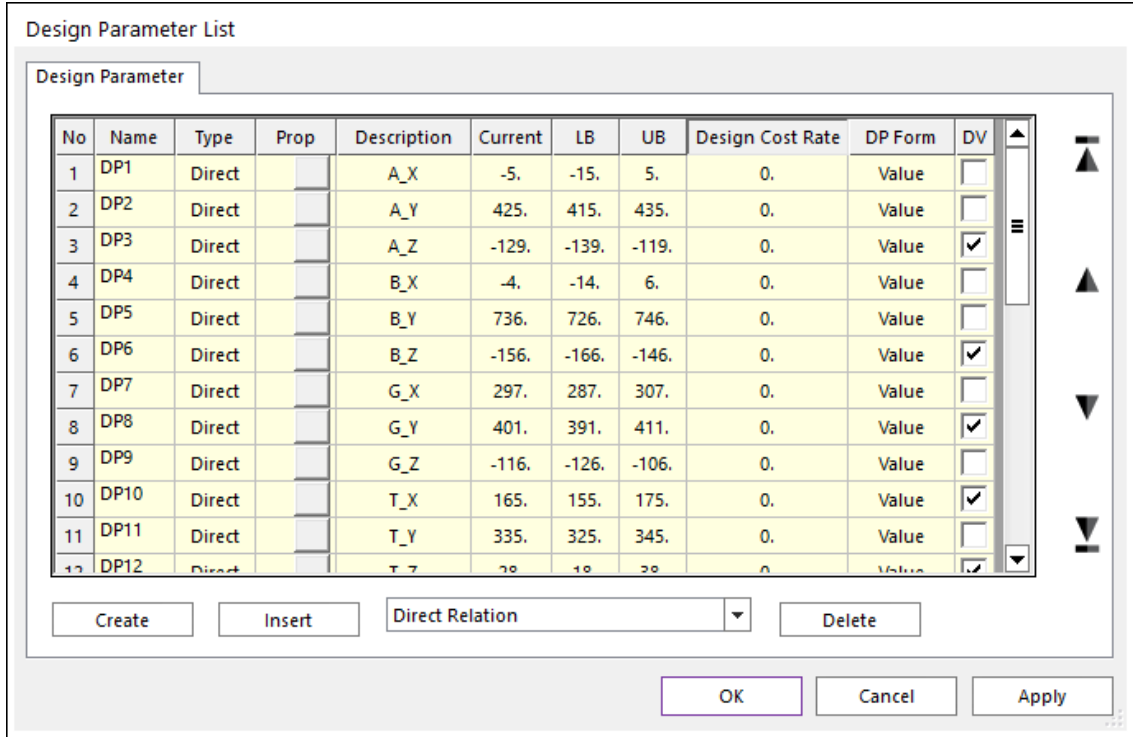


**Screening DV** 를 통해 활성화된 설계 변수들은 DP3, DP6, DP8, DP10, DP12, DP15, DP17, DP19, DP21, DP27 임을 알 수 있습니다.

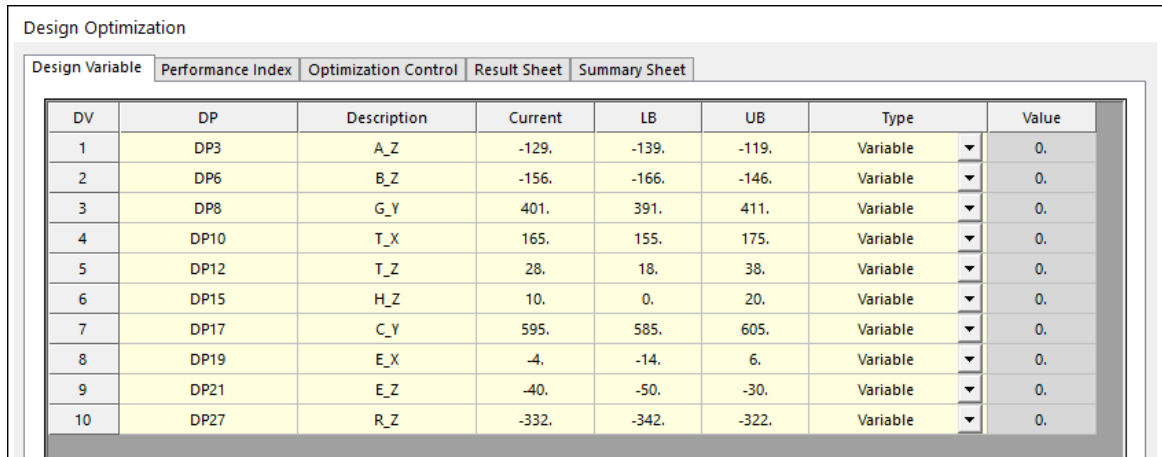
그러면 **Create New Model** 를 체크하여 새로운 모델을 생성해봅시다. 새로운 모델 파일의 이름을 **Sample\_D2.rdyn** 로 정합니다.



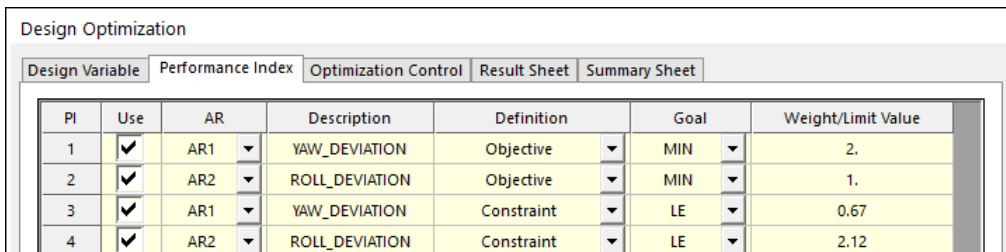
- AutoDesign** 메뉴에서 **Design Parameter** 툴을 클릭합니다. **Sample\_D1.rdyn** 의 모델과는 달리, 선별된 변수들만 DV 열에 체크되어 있습니다. 이것은 DV1=DP3, DV2=DP6, DV3=DP8, DV4=DP10, DV5=DP12, DV6=DP15, DV7=DP17, DV8=DP19, DV9=DP21, DV10=DP27 이라는 것을 보여줍니다. 대부분의 활성화된 설계 파라미터들은 Z-좌표값들입니다.



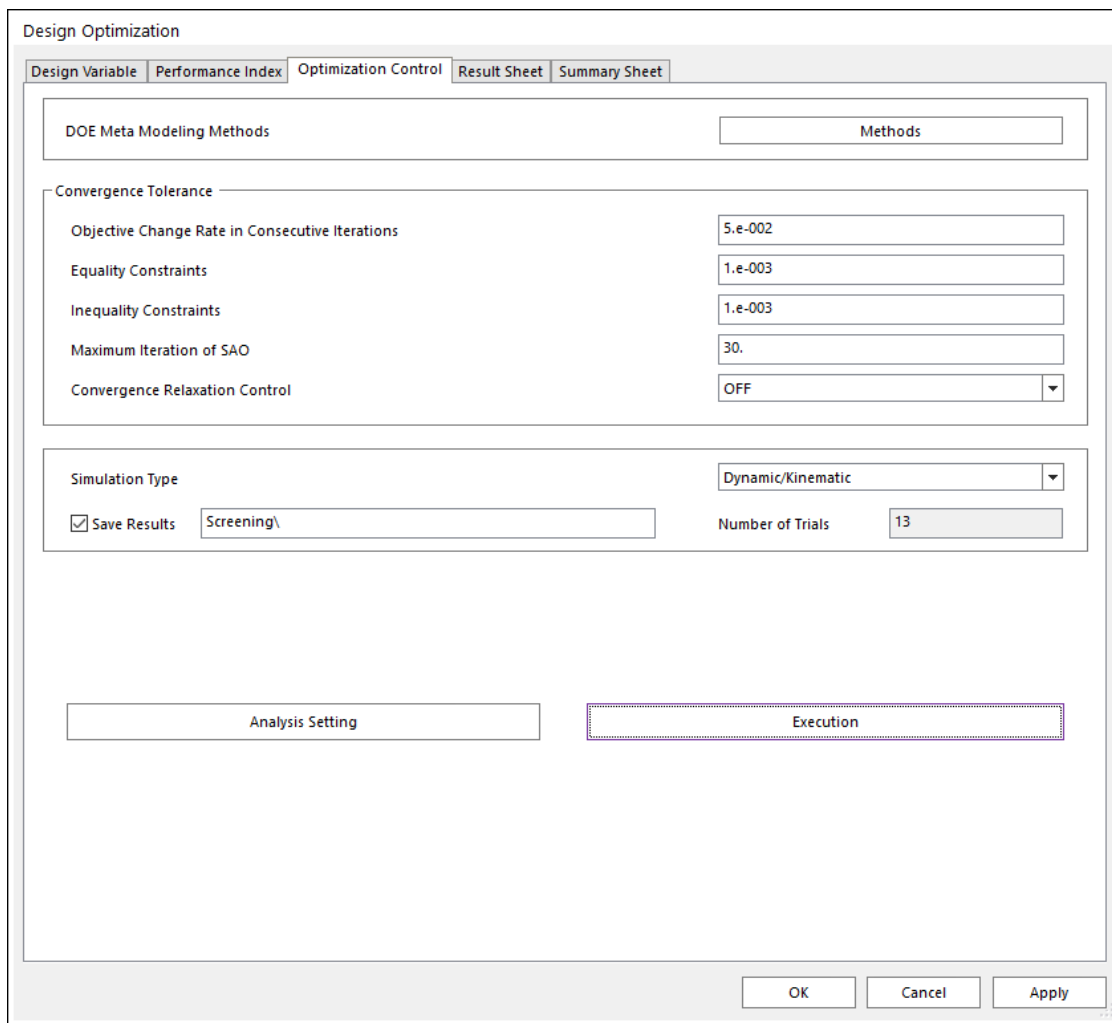
8. **Design Optimization** 툴을 클릭하면, 선별된 변수들은 다음과 같이 보여집니다.



**Performance Index** 탭을 클릭합니다. 최적화 공식은 Sample\_D1.rdyn 의 최적화 공식과 같을 것입니다. 그러므로, 같은 공식을 사용해봅시다.

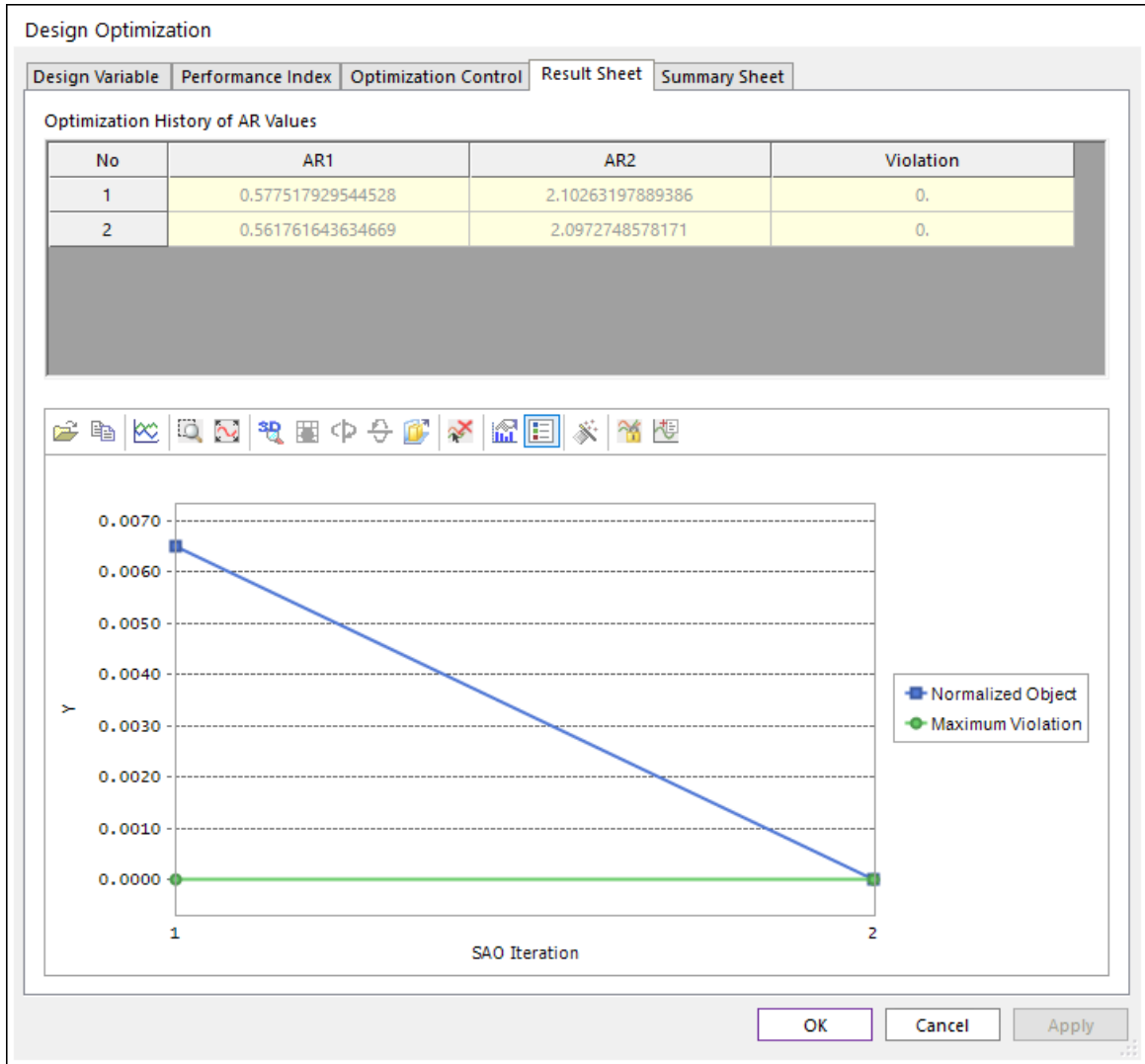


9. **Optimization Control** 탭은 모든 수렴 한계치들을 기본 값들로 합니다. **Execution** 을 눌러 최적화를 진행합니다. 그 결과 파일들은 **Screening** 폴더에 저장됩니다.



10. 최적화가 완료된 후 **Result Sheet** 탭을 클릭합니다. **AutoDesign** 은 그 실행이 2 회 반복된 후에, 수렴됩니다. 최적화된 AR1 과 AR2 는 0.657 과 2.087 입니다. AR1 과 AR2 는 설계변수 선별을 적용하지 않았을 때의 경우와 비슷한 값을 나타냅니다.

▪ Convergence History



Screening 을 적용하지 않은 최적화의 Convergence History 와는 달리, 위의 Convergence History 는 단조롭게 감소됩니다. 이는 최적화문제가 훨씬 단순해졌기 때문입니다. 두 최적화 문제들의 결과를 비교해봅시다.

	설계변수 개수 선별	선별하지 않음
설계 변수의 수	10	27
초기 표본	13	33
SAO 실행의 수	2	4
선별을 위한 표본	32	-
최적화 반응	0.657, 2.087	0.656, 1.405



*Thanks for participating in this tutorial!*