

# 디지털 트윈 승강기와 스마트 승강기 기술

---

2023.11.08

서일대학교 디지털트윈엘리베이터학과

조수억

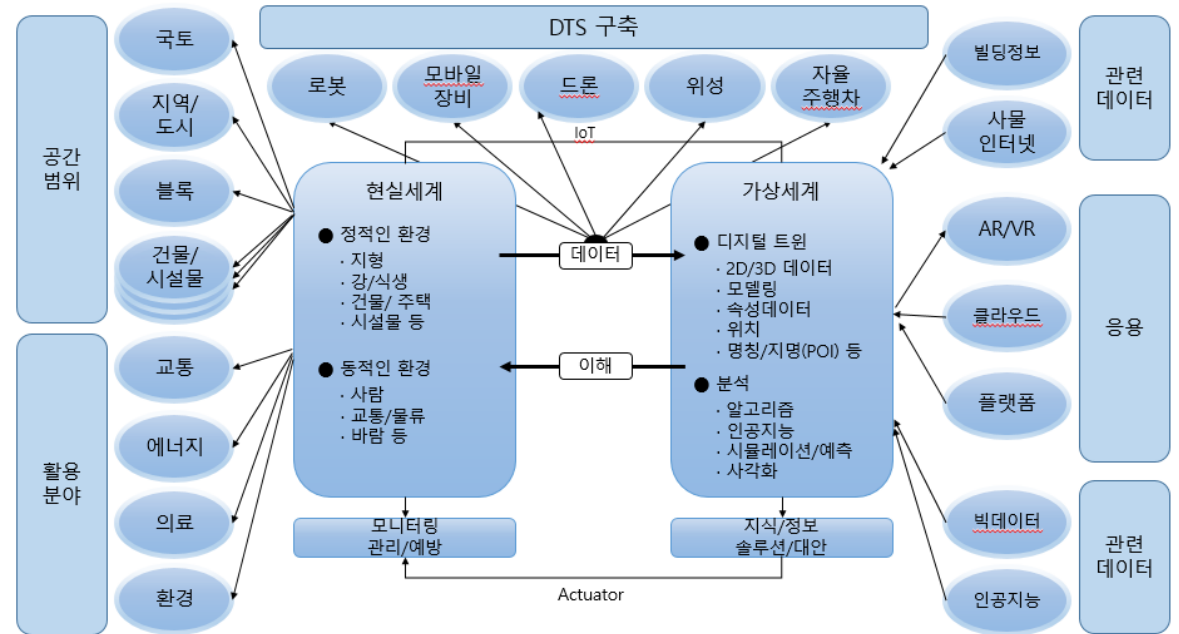
secho@seoil.ac.kr

# 디지털 트윈이란

- 디지털 트윈은 3차원 모델링을 통해 현실공간의 물리적 자산이나 객체, 프로세스 등을 디지털로 복제하는 것을 말하며 위치, 모양, 움직임, 상태 등을 포함.
- 실제공간과 똑같은 디지털 공간을 '디지털 트윈 공간(DTS, Digital Twin space)'이라고 칭하고, 차세대 국가공간정보가 추구해야 할 목표로 제시.
- 디지털 트윈 공간은 현실세계의 물리적 환경과 똑같은 가상환경을 말하며, 물리적 환경과 연계된 각종 데이터를 이용하여 현실세계를 모니터링하거나 문제를 분석하고 동시에 해결 방안을 모색하여 현실세계에 반영.
- 스마트 시티나 스마트 사회는 하드웨어와 소프트웨어의 통합시스템이 필요하며, DTS는 물리적 환경을 가상환경으로 구현하는 가장 효과적인 수단이자 현실세계와 가상세계를 연결하는 플랫폼.
- 실세계의 데이터를 활용하여 디지털 트윈 공간에서 모니터링, 분석, 예측, 시뮬레이션 등을 통해 얻은 정보를 현실세계에 반영하여 운영 최적화, 문제해결, 사전 예방 가능.

# 디지털 트윈이란

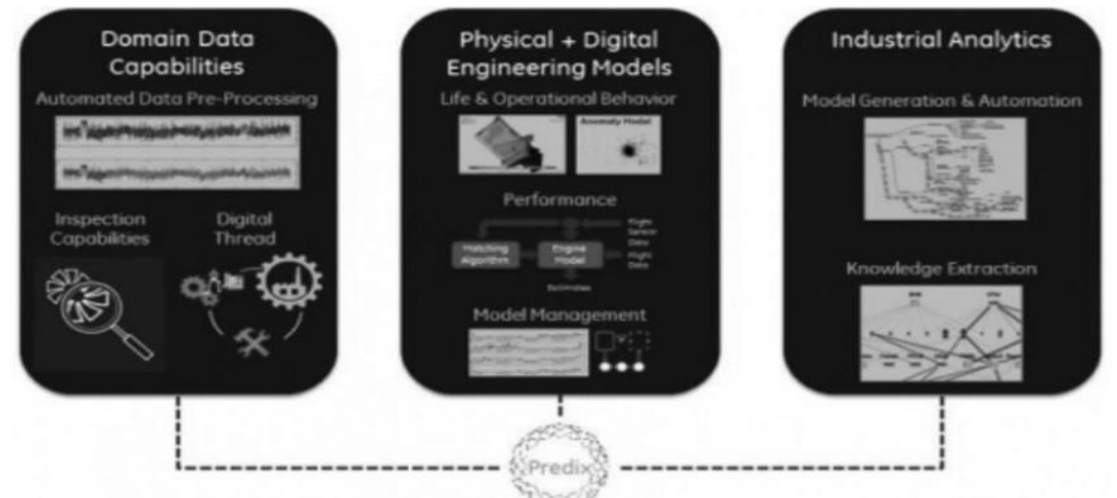
- 디지털 트윈 공간의 공간적 범위는 국토, 지역, 도시, 블록, 건물, 시설물 등으로 활용목적에 따라 다르지만 대체로 활용목적과 운영주체에 따라 구분.
- 디지털 트윈 공간의 활용분야는 교통, 에너지, 의료, 환경 등 사회의 모든 분야에 해당하며, 공공부문에서는 행정목적이나 대상에 의해 구분하고, 민간부문은 활용목적에 따라 구분.
- 디지털 트윈 공간을 구축하고 지속적으로 유지·관리·갱신하는 것이 중요하며, 이를 위해서 기존의 데이터를 최대한 활용하되, 첨단장비와 신기술을 도입하여 정확성과 정밀성, 경제성을 제고.



디지털 트윈 공간의 개념적 모델

# 디지털 트윈이란

- 승강기와 유사한 미국 GE사의 Predix를 보면, 미국 GE사의 Predix는 산업 인터넷 플랫폼을 통해 제조업 분야의 디지털 응용서비스 제공을 목적으로 개발된 디지털 트윈 개발/운영 플랫폼.
- 운영체제, 클라우드, 빅데이터, 분석 SW 등을 종합 지원하는 솔루션으로, 소재/부품/설비/시스템을 포함하는 GE사 발전 플랜트의 전체주기 운용 데이터 활용/분석 툴 및 서비스를 제공.
- IoT기반 산업 인터넷/빅데이터/클라우드 플랫폼으로 플랜트 운영관리 과정에서 생성된 각종 정보 수집, 처리·저장 및 분석 지원.
- GE사는 생산하는 모든 산업 기계의 디지털 프로파일을 구축하고 기계에 대한 공학적 모델을 확보하고 있으며, Predix 상에서 실행되는 55만 1,000개의 디지털 트윈을 개발.



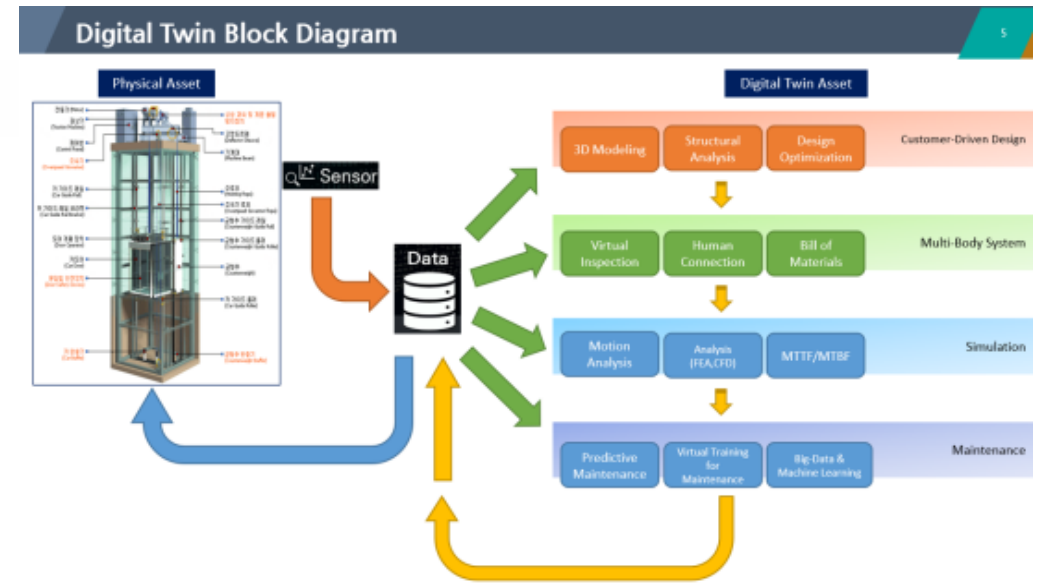
Predix 플랫폼 개념도

# 디지털 트윈이란

- 현재 한국의 승강기 산업 부분에 Digital Twin Process는 글로벌 기업의 경우 적용 중이며, 대기업의 경우 일부 적용 중.
- 중소기업의 경우 4차 산업 관련(DX) 인적 물적 인프라 부족하여 승강기 원격 제어, 모니터링, 수명 관련 판단 기술 적용 시 필요한 4차 산업 관련 IOT, 빅데이터, AI 적용이 어려움.
- 이를 보완하기 위하여 Ansys.(승강기 구조해석) Mathworks.(AI, IOT) Solid works.(3D, 열해석) PSIM.(전력변환, 모터제어, EMC)등에 대한 적용과 승강기의 시스템, 알고리즘, 부품에 대한 모델링과 3D 라이브러리가 필요하며 이는 승강기 시스템의 신뢰성을 향상하고, 승강기 개발 기간을 단축.
- 또한, 승강기 유지 보수 중 에도 승강기 부품의 정확한 수명 주기를 파악하여 비포 서비스 (Before Service)가 가능.

# 디지털 트윈이 승강기 산업에 필요한 이유

- 승강기 산업에서 비즈니스 모델을 기반으로 디지털 트윈 정의
- 엘리베이터의 Physical Asset을 Digital Twin Asset으로 변환하는 과정을 도표화한 Digital Twin Block Diagram.
- 엘리베이터의 Customer-Driven Design으로 3D Modeling, Structural Analysis, Design Optimization을 할 수 있고, 이를 통해 Multi-Body System의 Virtual Inspection, Human Connection, Bill of Materials을 구성하고 Simulation으로 Motion Analysis, Analysis(FEA,CFD), MTTF/MTBF 등을 쉽게 확인 가능.
- Maintenance 또한 Simulation 결과를 토대로 Predictive Maintenance, Virtual Training for Maintenance, Big-Data & Machine Learning을 할 수 있고 이를 이용하여 데이터를 만들어 실제 엘리베이터 시스템에 적용이 가능.



Digital Twin Block Diagram

# 디지털 트윈이 승강기 산업에 필요한 이유

- 승강기 산업의 디지털 트윈 활용 전 후에 따른 효과



- 디지털 트윈을 활용하는 시장은 점차 커지고 있으며, 미래의 발전 가능성도 매우 높음.
- 엘리베이터 시스템 및 안전부품을 디지털 트윈화 함으로써, 설계, 개발, 인증으로 빠른 설계 변경 및 신제품 개발기간 단축이 가능하고, 승강기의 요구사항 분석 및 Software-in-the-loop(SIL), Hardware-in-the-loop(HIL)을 통하여 빠른 설계/개발 및 검증이 가능하게 함.

# 디지털 트윈을 활용한 엘리베이터 부분별 기술

1. EMI Filter Design PSIM Simulation
2. Simscape Multibody를 이용한 Elevator Simulation
3. 디지털 트윈 엘리베이터 도어 시스템 기계 부품의 안전성 평가
4. MATLAB을 이용한 승강기 도어 장치의 디지털 트윈 모델 구현
5. 엘리베이터 안전인증을 위한 디지털 트윈 모델 베이스 디자인 워크플로우



# 1. EMI Filter Design PSIM Simulation

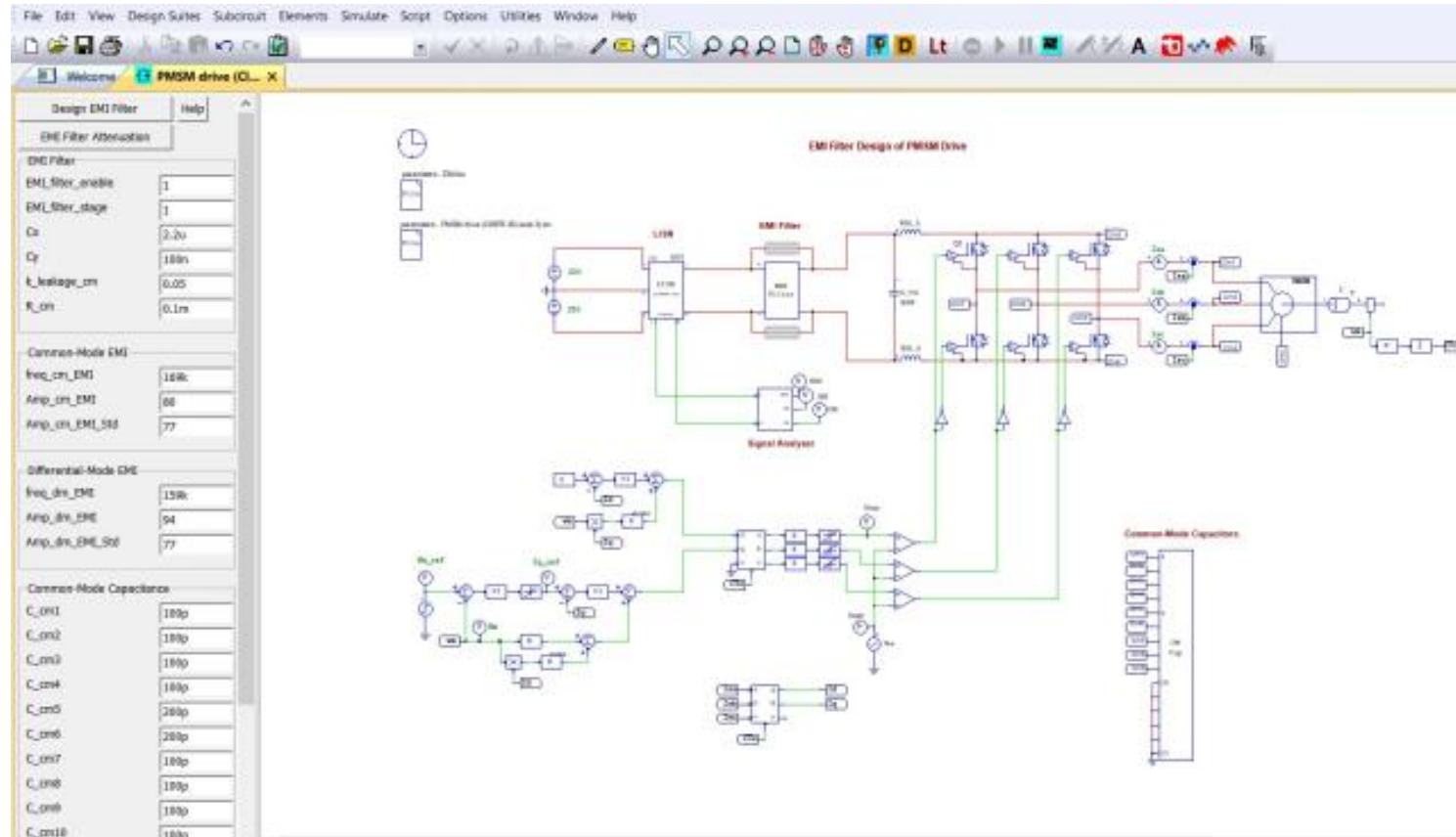
- PSIM EMI Design Suite 이해
- EMI Design Suite를 사용한 EMI 성능 평가는 다음 세 단계를 통해 수행.
  1. 승강기 시스템 기생 매개변수 및 일부 EMI 필터 매개변수 정의.
  2. EMI 필터가 비활성화된 상태에서 시뮬레이션 실행. 주파수를 기록하고 입력하고 CM 및 DM의 진폭과 최악의 지점에서 EMI 표준 레벨의 DM 및 CM은 EMI 표준을 초과할 경우.
  3. EMI 필터 설계를 수행하고 EMI 필터가 활성화된 상태에서 시뮬레이션을 다시 실행.

EMI Filter:	
EMI_filter_enable:	0
EMI_filter_stage:	1
Cx:	6.8u
Cy:	100n
K_leakage_cm:	0.05
R_cm:	0.1m
Common Mode EMI:	
Freq_cm_EMI:	200k
Amp_cm_EMI:	81.5
Amp_cm_EMI_Std:	63.6
Differential Mode EMI:	
Freq_dm_EMI:	200k
Amp_dm_EMI:	81.5
Amp_dm_EMI_Std:	63.6
Common Mode Capacitances:	
C_cm1:	500p
C_cm2:	500p
C_cm3:	50p
C_cm4:	50p
C_cm5:	100p
C_cm6:	100p
C_cm7:	50p
C_cm8:	50pd

EMI Filter Design 예

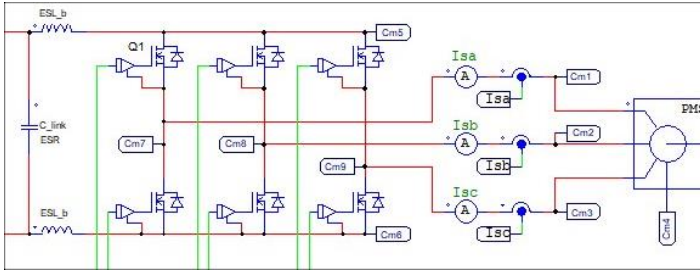
# 1. EMI Filter Design PSIM Simulation

- PSIM EMI Design Suite 활용(승강기용 PMSM 인버터 드라이브)

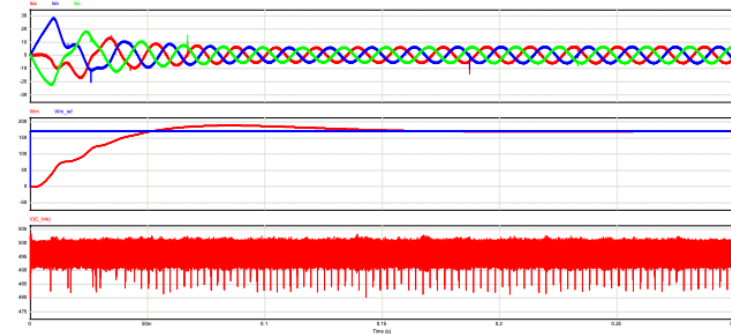


PSIM EMI Filter Design 시뮬레이션 회로도

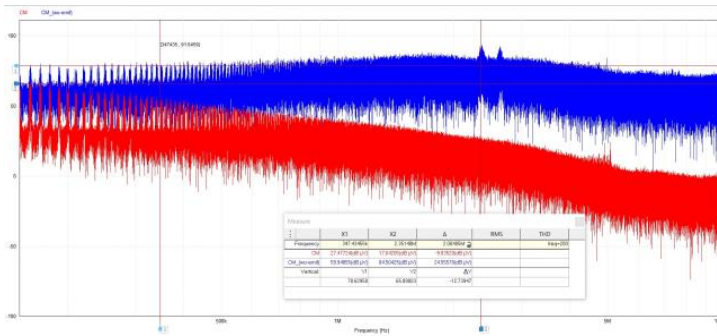
# 1. EMI Filter Design PSIM Simulation



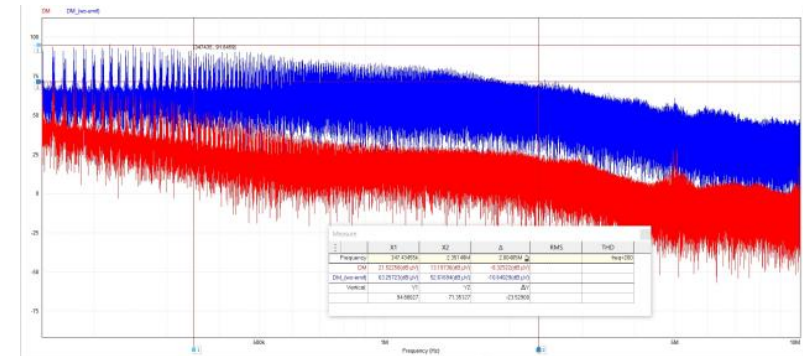
PMSM 인버터 드라이브의  
ESR, ESL\_b, Cm1~Cm9



PMSM 인버터 드라이브의 시뮬레이션 파형(전동기 전류,  
속도, 전압(C\_link))

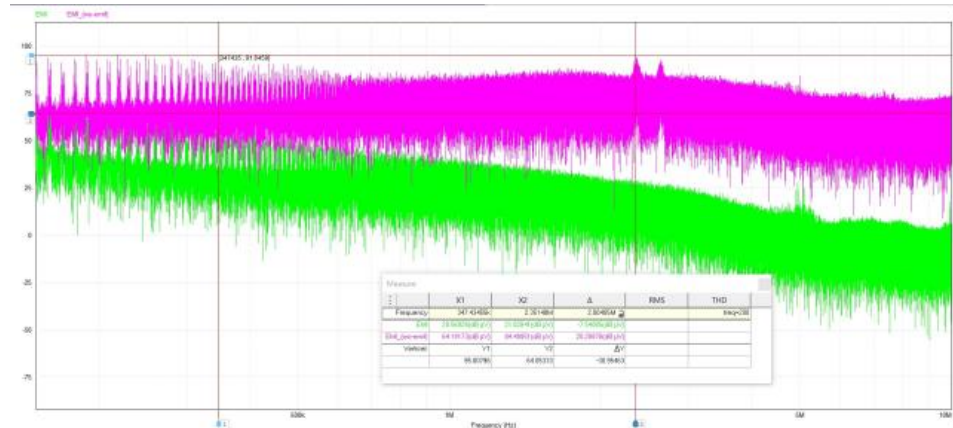


PMSM 인버터 시뮬레이션 파형(Common Mode Noise)



PMSM 인버터 시뮬레이션 파형(Differential Mode Noise)

# 1. EMI Filter Design PSIM Simulation



PMSM 인버터 시뮬레이션 파형(EMI Noise)

```

1 // Note: The parameter file needs to be regenerated from the Design Suite
2 // when any of the input parameters are changed.
3
4 //*****
5 //
6 // Parameters from User Input
7 //
8 //*****
9
10 //----- EMI filter -----
11 EMI_filter_enable = 1; // 0 = EMI filter disabled; 1 = EMI filter enabled
12 EMI_filter_stage = 1; // 1 = 1-stage EMI filter, 2 = 2-stage EMI filter
13
14 Cx = 2.2E-06; // X capacitance
15 Cy = 1E-07; // Y capacitance
16
17 k_leakage_cm = 0.05; // ratio between L_leakage and L_cm of the common-mode choke
18 R_cm = 0.0001; // Common-mode choke winding resistance
19
20 //----- Common-mode Capacitances -----
21 C_cm1 = 1E-10; // common-mode capacitance, in F
22 C_cm2 = 1E-10;
23 C_cm3 = 1E-10;
24 C_cm4 = 1E-10;
25 C_cm5 = 2E-10;
26 C_cm6 = 2E-10;
27 C_cm7 = 1E-10;
28 C_cm8 = 1E-10;
29 C_cm9 = 1E-10;
30 C_cm10 = 1E-10;
31 C_cm11 = 5E-11;
32 C_cm12 = 5E-11;
33 C_cm13 = 5E-11;
34 C_cm14 = 5E-11;
35 C_cm15 = 5E-11;
36
37 //----- Common-mode Noise -----
38 freq_cm_EMI = 169000; // Lowest frequency of CM noise where EMI standard fails
39 Amp_cm_EMI = 80; // CM noise at freq_cm_EMI, in dB uV
40 Amp_cm_EMI_Std = 77; // EMI standard at freq_cm_EMI, in dB uV
41
42 //----- Differential-mode Noise -----
43 freq_dm_EMI = 159000; // Lowest frequency of DM noise where EMI standard fails
44 Amp_dm_EMI = 94; // DM noise at freq_cm_EMI, in dB uV
45 Amp_dm_EMI_Std = 77; // EMI standard at freq_cm_EMI, in dB uV
46
47 //*****
48 //
49 // Parameters from Calculation
50 //
51 //*****
52
53 //----- EMI Filter -----
54 fc_cm = 100666.9022564028
55 fc_dm = 42305.52845080107
56
57 L_cm = 1.315567854550814E-05; // inductance of common-mode choke, in H
58 L_leakage = 6.577839272754068E-07; // leakage inductance of common-mode choke, in H
59
60 L_dm = 2.55878852473713E-06; // differential-mode inductance, in H. If L_dm = 0, L_dm is not needed.
61
62

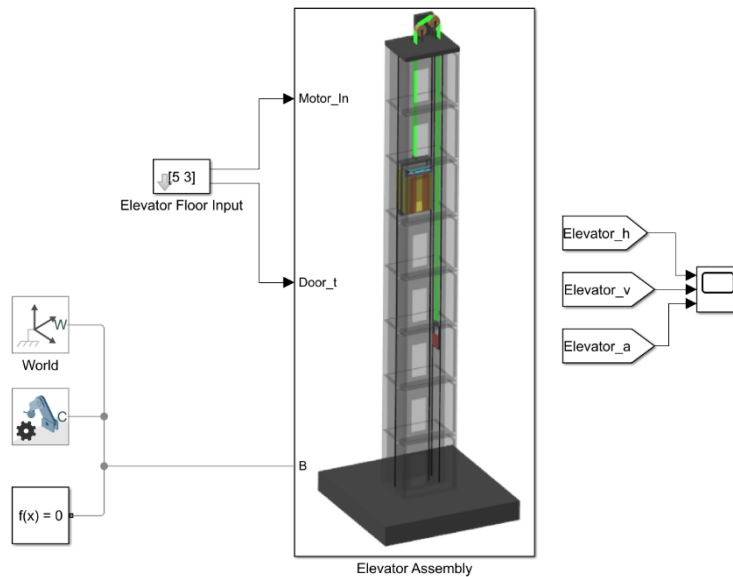
```

PMSM 인버터 시뮬레이션 파형(EMI Noise)

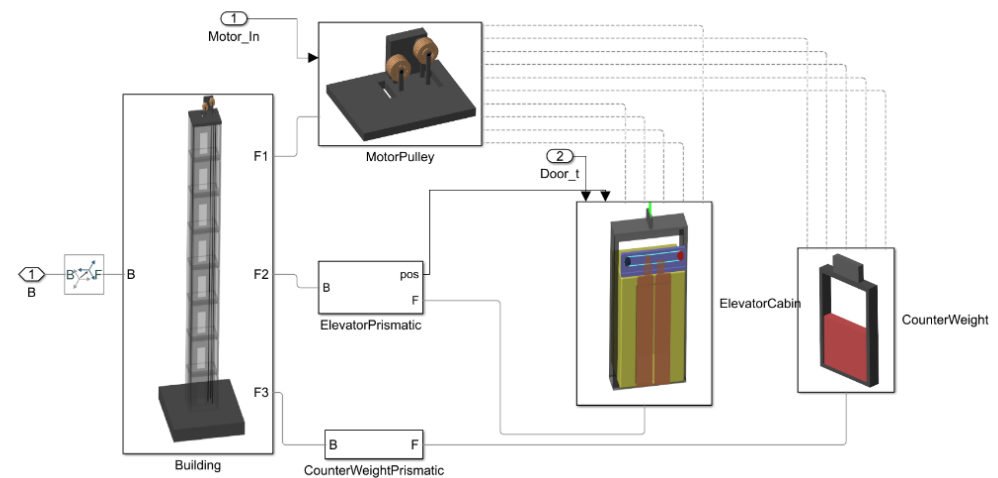
## 2. Simscape Multibody를 이용한 Elevator Simulation

- 엘리베이터를 3차 Multibody로 모델링 구성, 승강기의 속도, 가속도, 가가속도에 따른 로프의 Stiffness관계를 분석.
- 엘리베이터 서비스 층 과 카의 무게 및 속도 구성 요소 변경 시 엘리베이터 진동 문제를 쉽게 접근하고, 원인 분석을 쉽게 할 수 있음.

### Simscape Multibody 프로그램으로 구성된 Elevator System

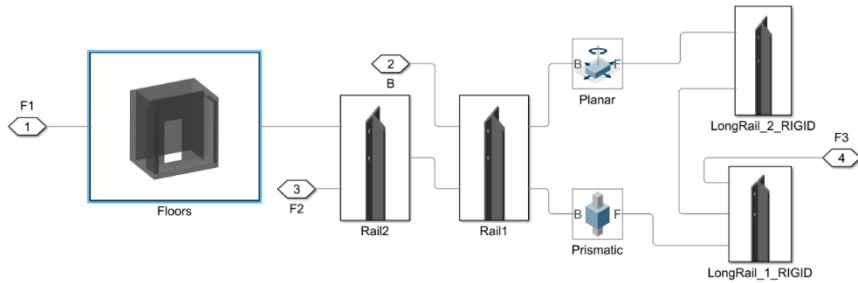


Simscape Multibody로 구성된 elevator system 시뮬레이션 구성도

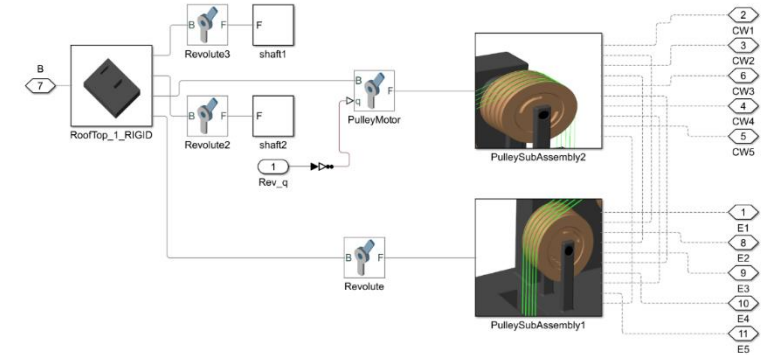


Building, MotorPully, ElevatorCabin, CounterWeight 구성도

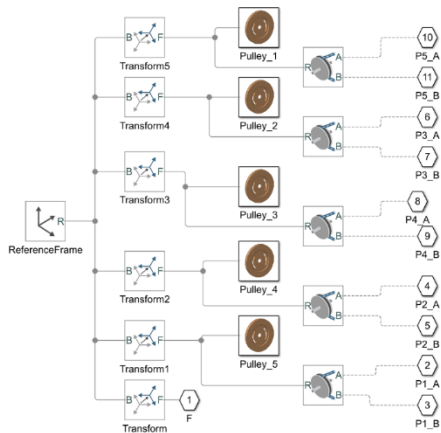
## 2. Simscape Multibody를 이용한 Elevator Simulation



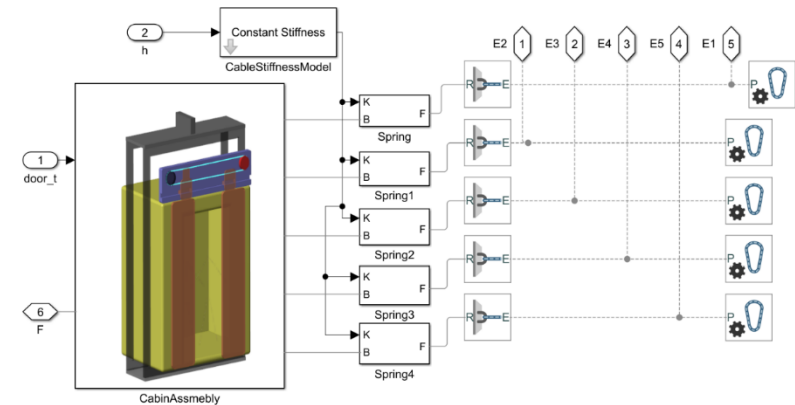
Building 내부 Floors, Rails 구성도



MotorPully 내부의 RoofTop과 PullyMotor와 PullySubAssembly2와 PullySubAssembly1 구성도

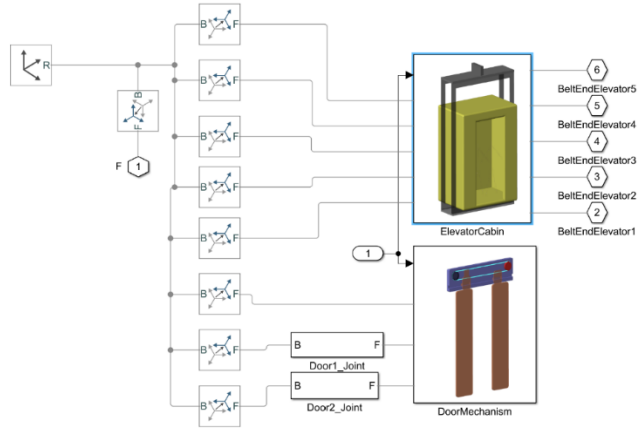


PullySubAssembly2의 Pully 구성도

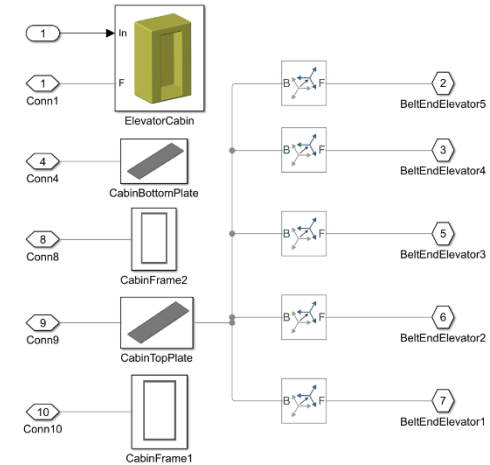


CabinAssembly에 연결된 로프의 Stiffness Model 및 벨트 케이블 각도, 특성

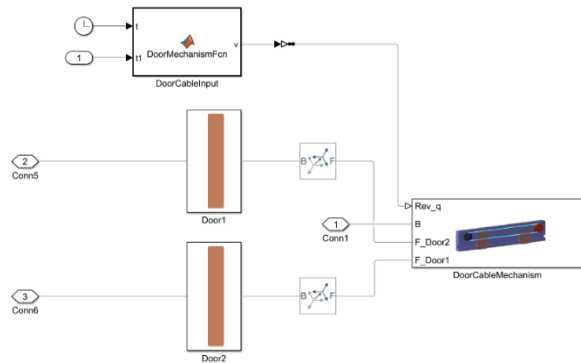
## 2. Simscape Multibody를 이용한 Elevator Simulation



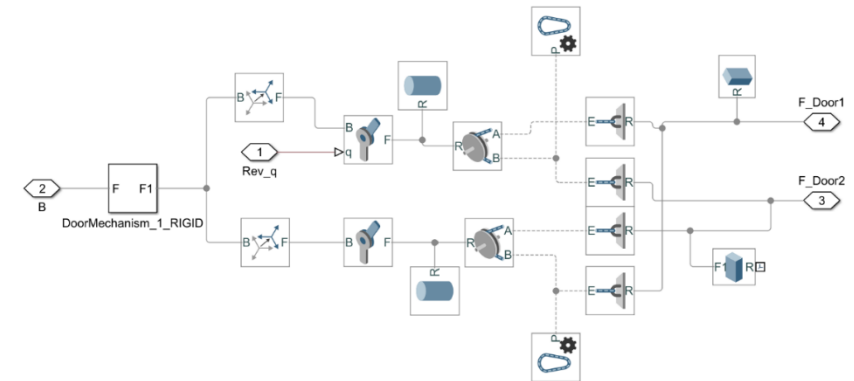
CabinAssembly내부의 ElevatorCabin과 DoorMechanism 구성도



ElevatorCabin내부의 ElevatorCabin, CabinBottomPlate, CabinTopPlate, CabinFrame1,2. 구성도

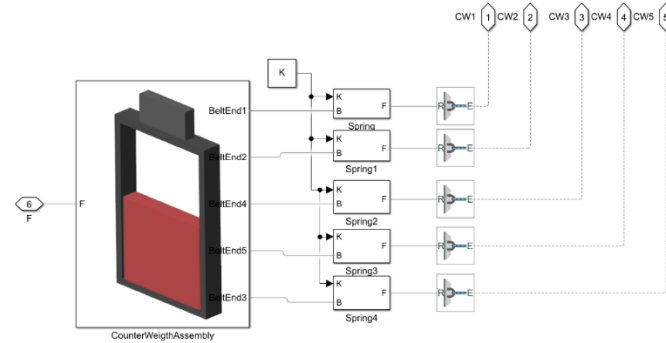


DoorMechanism내부의 카도아 속도 프로파일 function 및 도어 구성도

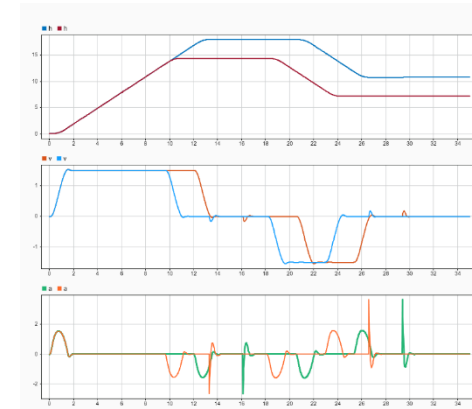


DoorMechanism 내부 RevoluteJoint, Pulley, BeltCableEnd 구성도

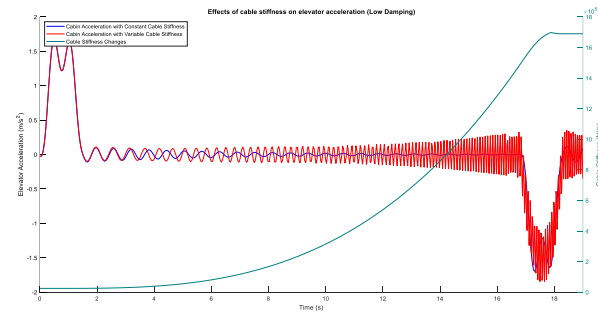
## 2. Simscape Multibody를 이용한 Elevator Simulation



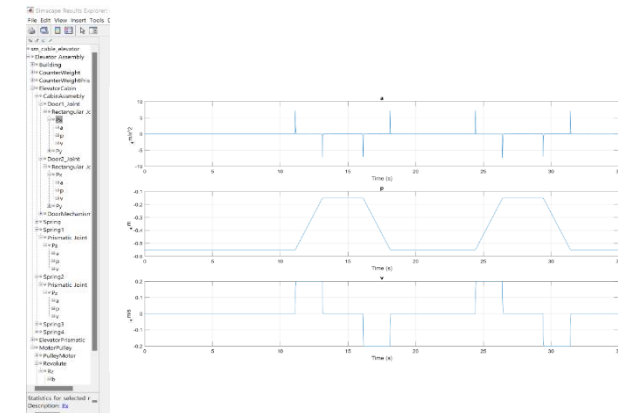
CounterWeight 내부 CounterWeightAssembly, RopeSpring, BeltCableEnd 구성도



엘리베이터 이동 거리별 속도 및 가속도를 로깅한 그래프



엘리베이터 가속에 대한 케이블 강성 효과 그래프

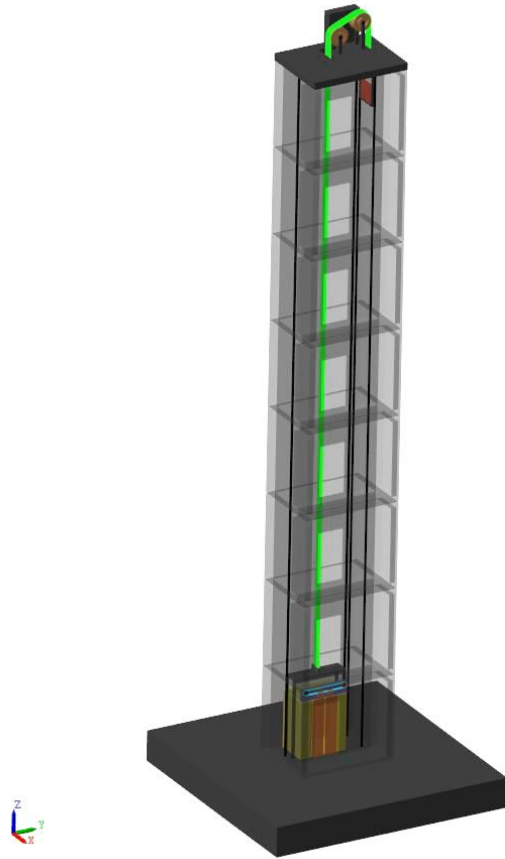


카 도어의 Door1 Joint의 가속도, 거리, 속도 그래프

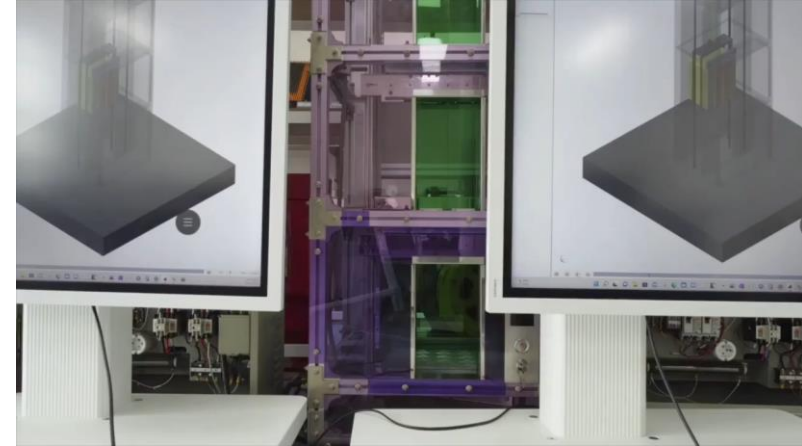


## 2. Simscape Multibody를 이용한 Elevator Simulation

- Mechanical Explorer (3D Animation)

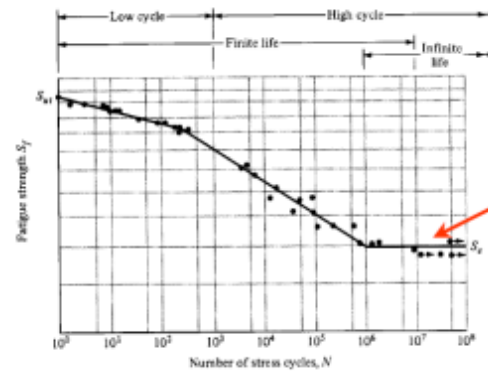
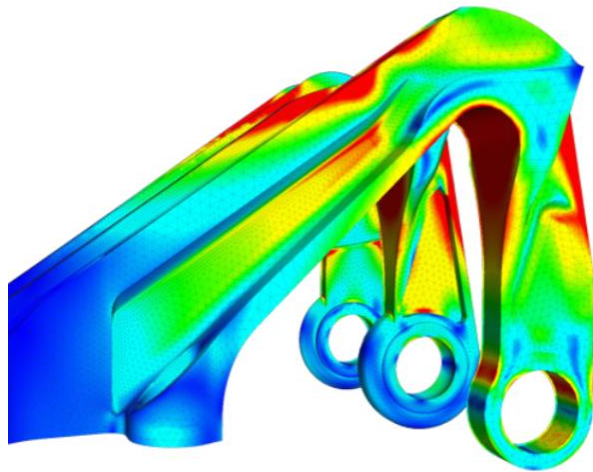


- Digital Twin Elevator



### 3. 디지털 트윈 엘리베이터 도어 시스템 기계 부품의 안전성 평가

1. 안전성 평가 : 구조해석, 수명평가, 파손분석 등
2. 기계류 부품/제품시험 : 기계류 내환경시험(진동, 온-습도, 염수 등), 기계류 소음/진동 계측 및 분석 등



The Endurance Limit is observed as a horizontal line on the S-N curve.

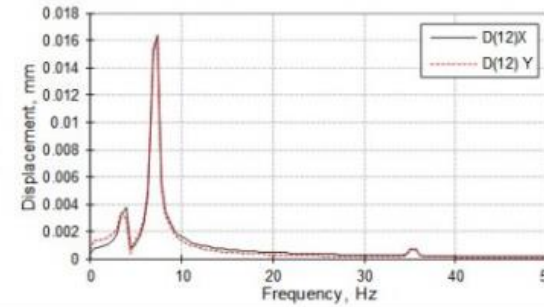
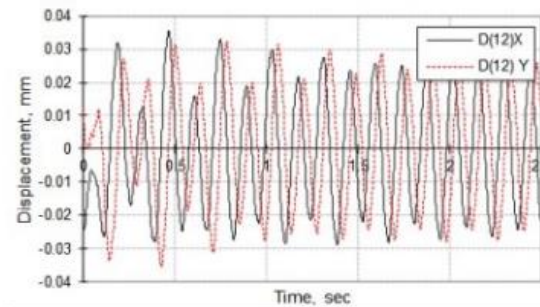
H: 6 Applied Nozzle Load, Wet, HIL, 0~25Hz  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Frequency: 8 Hz  
Sweeping Phase: -12.326  
Unit: m  
2020-02-15 오전 10:54

0.00054684 Max  
0.00057497  
0.00050311  
0.00043122  
0.00035935  
0.00028748  
0.00021561  
0.00014374  
7.1871e-5  
0 Min



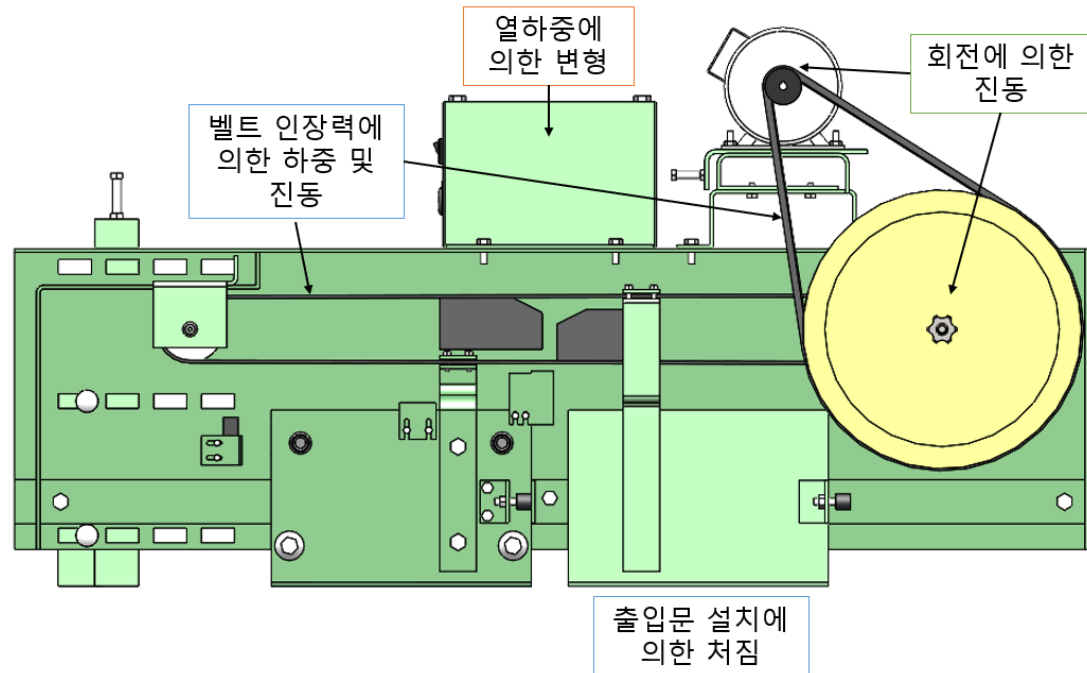
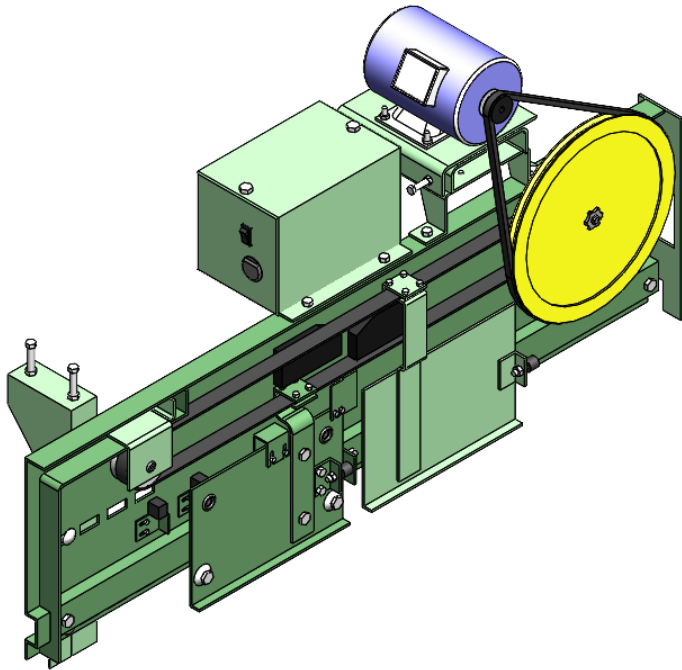
H: 6 Applied Nozzle Load, Wet, HIL, 0~25Hz  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Frequency: 8 Hz  
Sweeping Phase: -12.326  
Unit: m  
2020-02-15 오전 10:54

0.00054684 Max  
0.00057497  
0.00050311  
0.00043122  
0.00035935  
0.00028748  
0.00021561  
0.00014374  
7.1871e-5  
0 Min



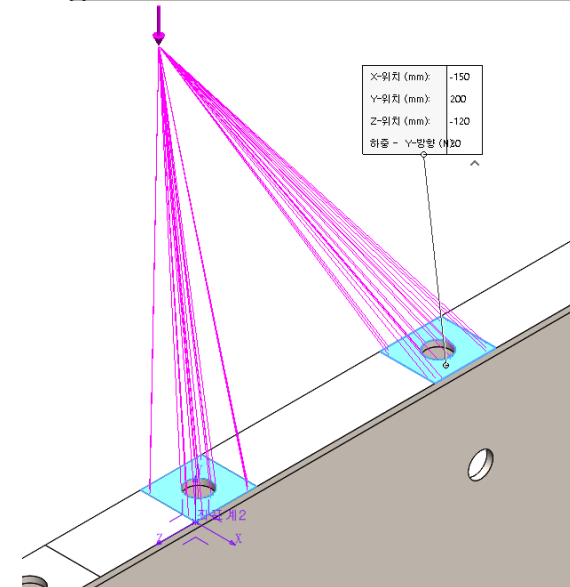
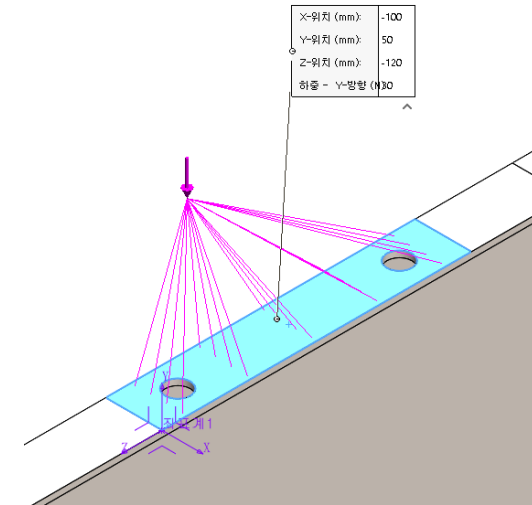
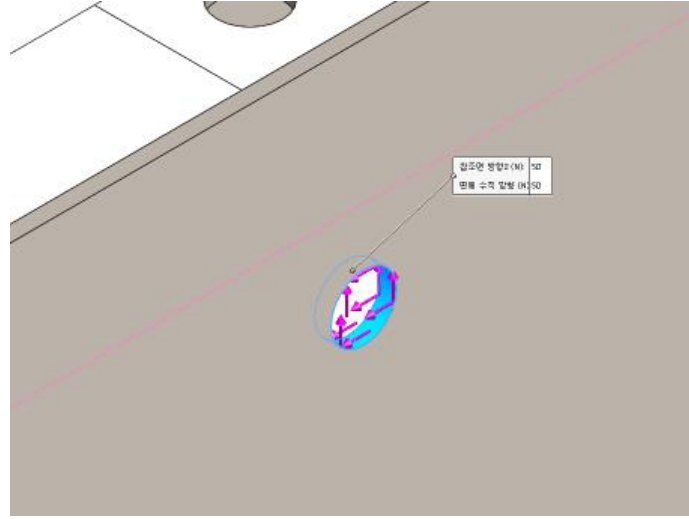
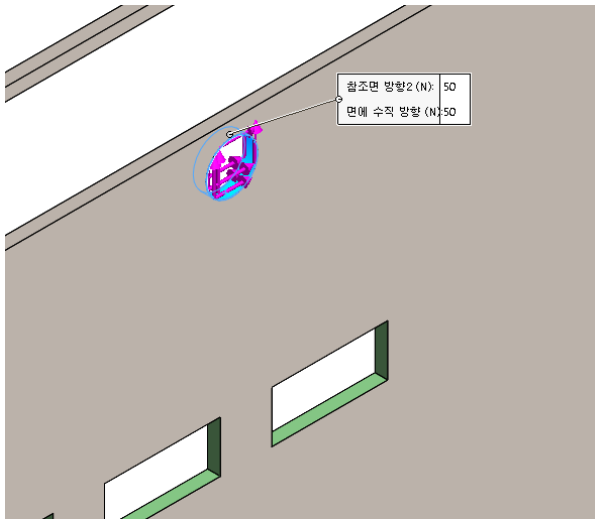
### 3. 디지털 트윈 엘리베이터 도어 시스템 기계 부품의 안전성 평가

- 안전성 검증 시 고려사항
  - 각 부품에 작용하는 하중의 독립성
  - 예상되는 하중 혹은 진동의 실제 조건과의 차이
  - 조립체에서 전달되는 탄성 및 감쇠 특성 변화



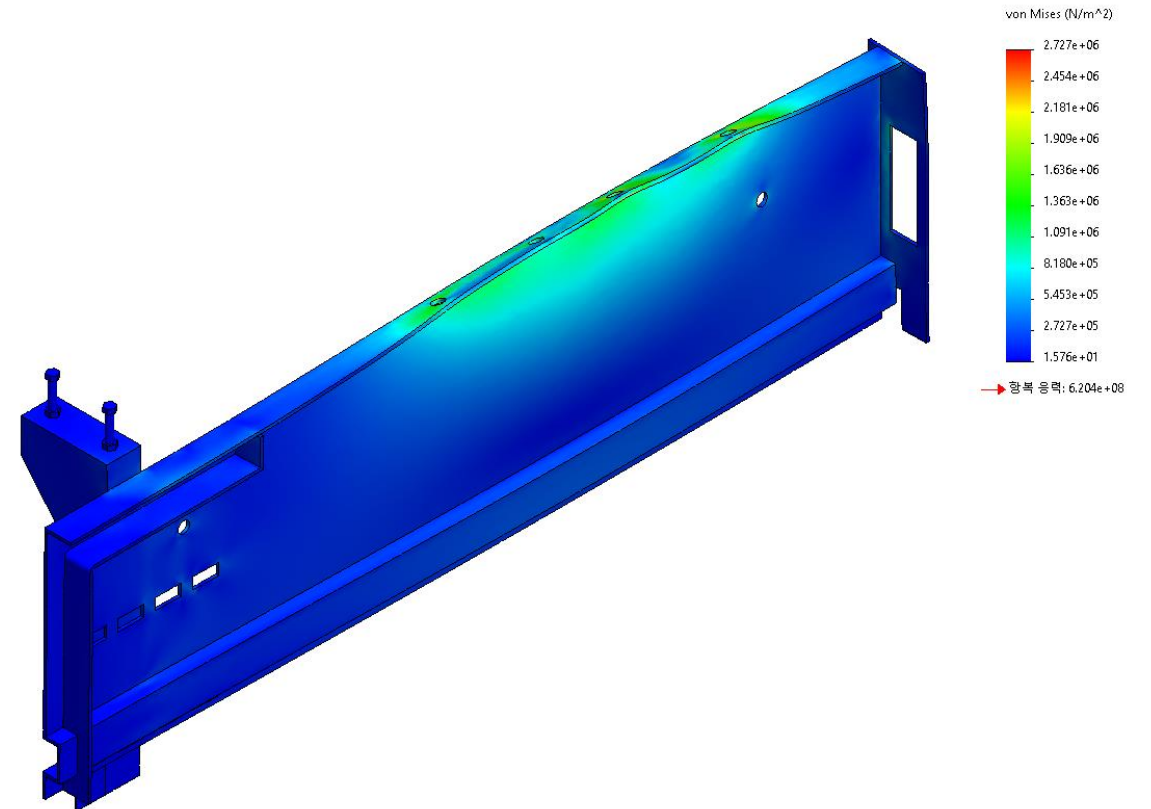
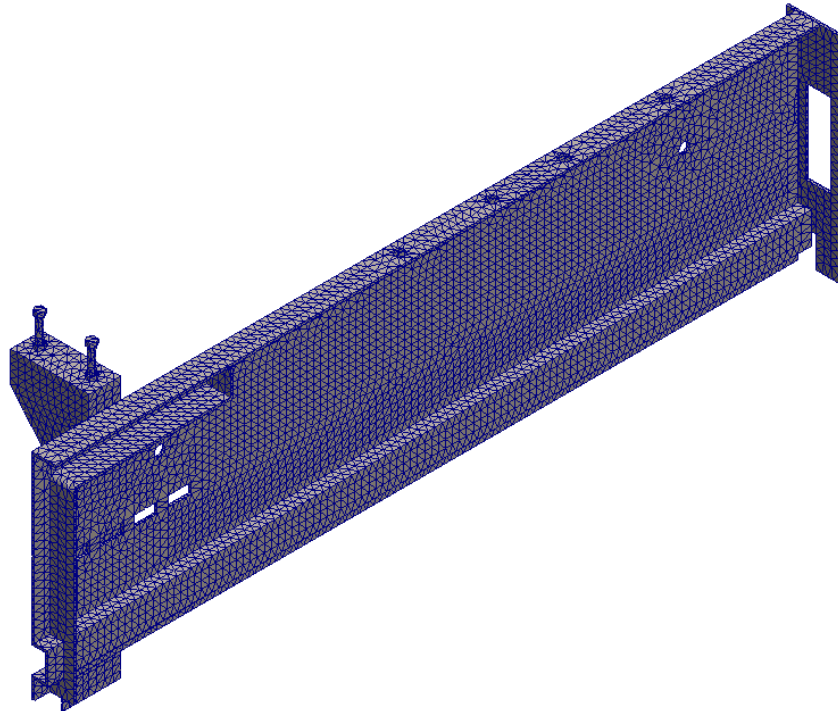
### 3. 디지털 트윈 엘리베이터 도어 시스템 기계 부품의 안전성 평가

- 주요 부품의 하중 정보 활용
  - 주요 부품에 적용되는 하중 고려 구조 해석
  - 벨트 장력 및 주변 장치 자중에 의한 하중 등



### 3. 디지털 트윈 엘리베이터 도어 시스템 기계 부품의 안전성 평가

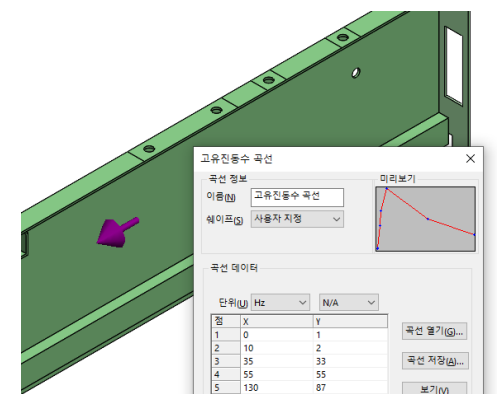
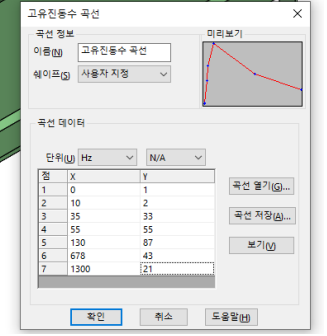
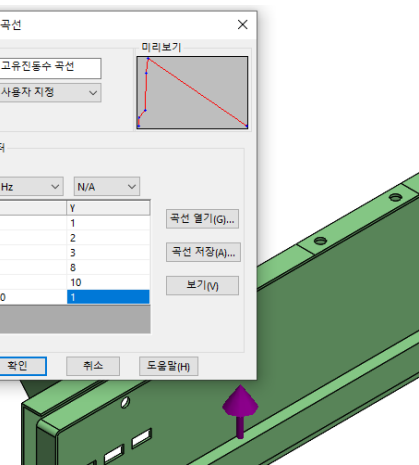
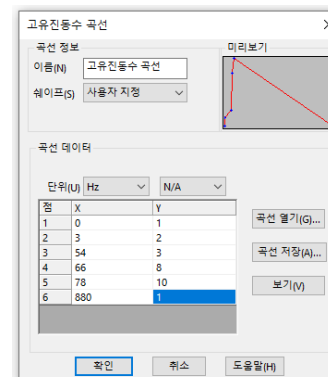
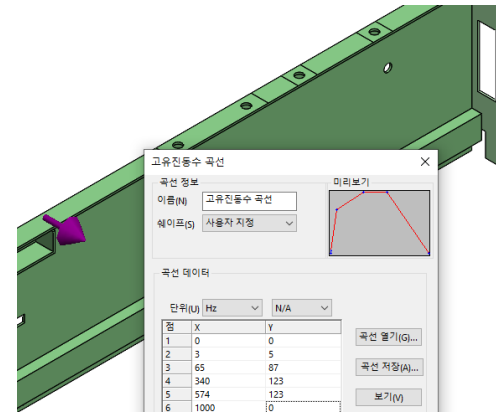
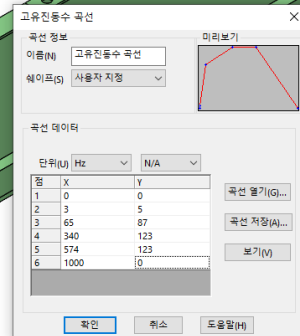
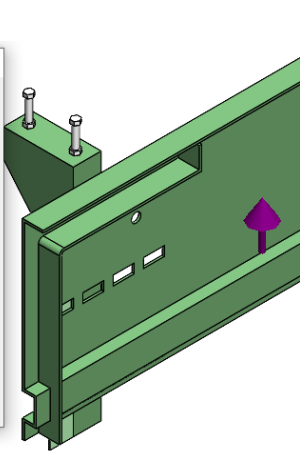
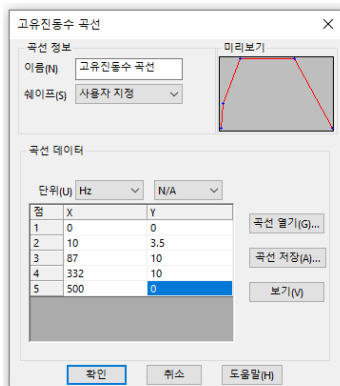
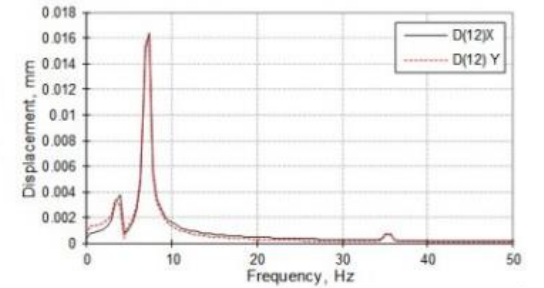
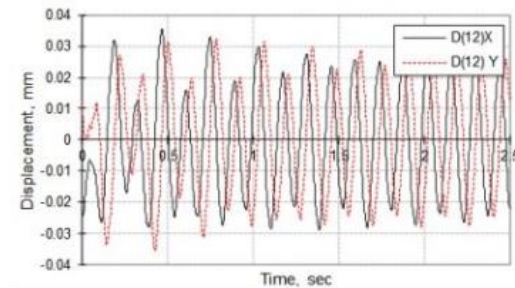
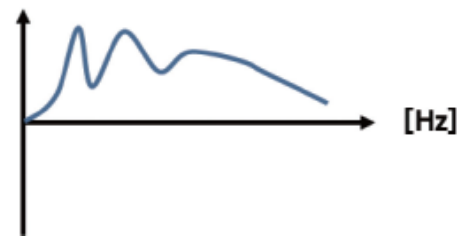
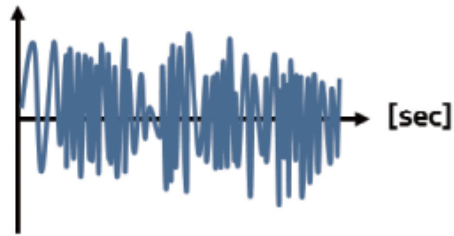
- 주요 부품의 하중 정보 활용
  - 주요 부품에 적용되는 하중 고려 구조 해석
  - 벨트 장력 및 주변 장치 자중에 의한 하중 등





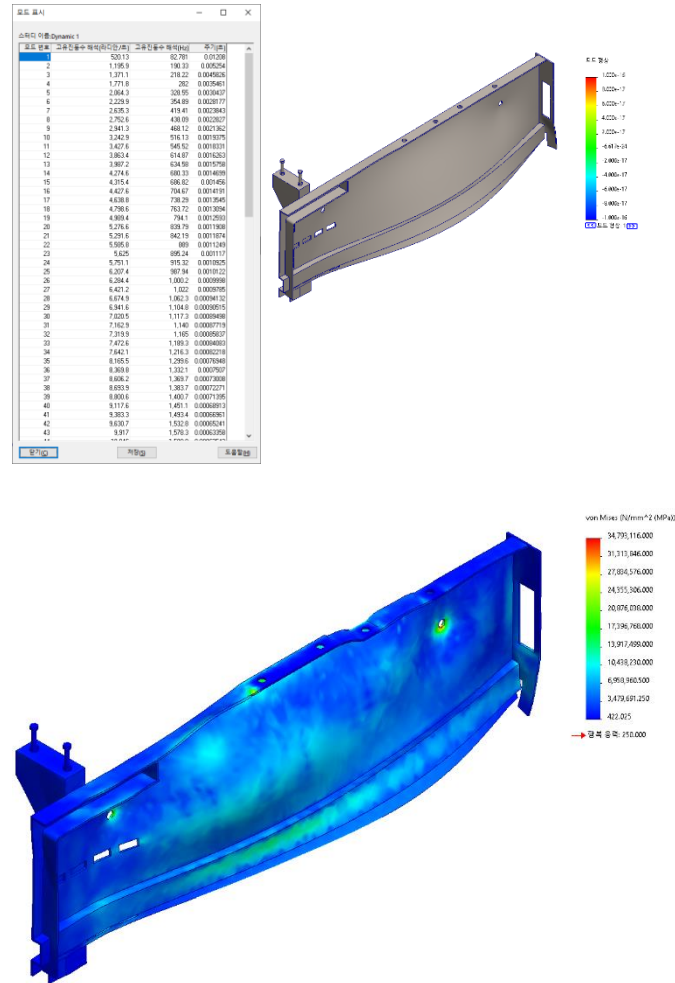
### 3. 디지털 트윈 엘리베이터 도어 시스템 기계 부품의 안전성 평가

- Realtime Sensing Data 활용
  - 주요 부품의 실시간 데이터를 적용한 구조 해석
  - 각 부분에서 수집된 시간 도메인 하중을 주파수 도메인 하중으로 변환 후 적용

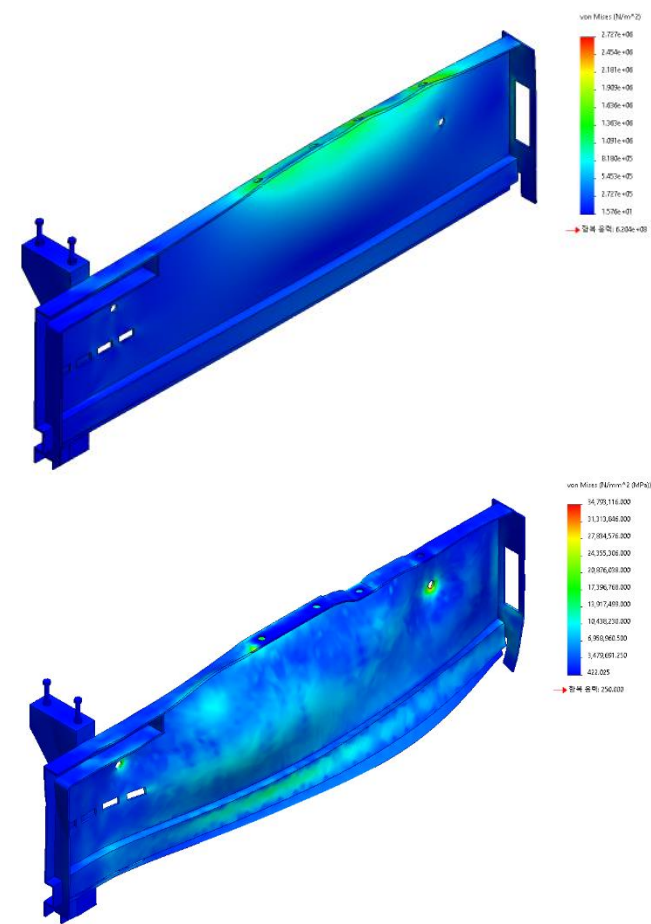


### 3. 디지털 트윈 엘리베이터 도어 시스템 기계 부품의 안전성 평가

- Realtime Sensing Data 활용



- 결과 비교

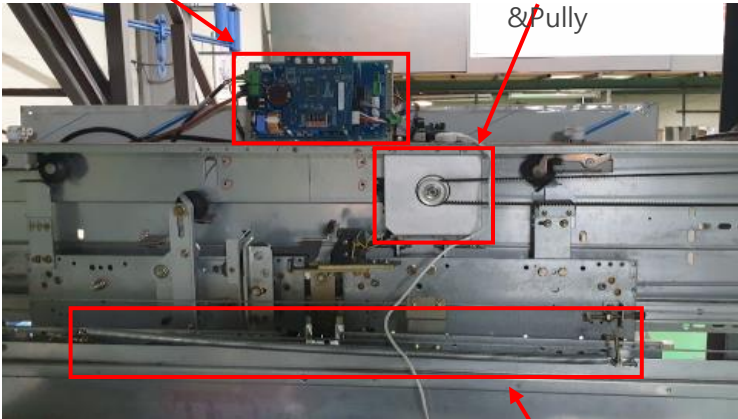


## 4. MATLAB을 이용한 승강기 도어 장치의 디지털 트윈 모델 구현

- 엘리베이터 도어 장치의 구성

제어기(속도+벡터제어+인버터)

모터 & Belt  
& Pulley

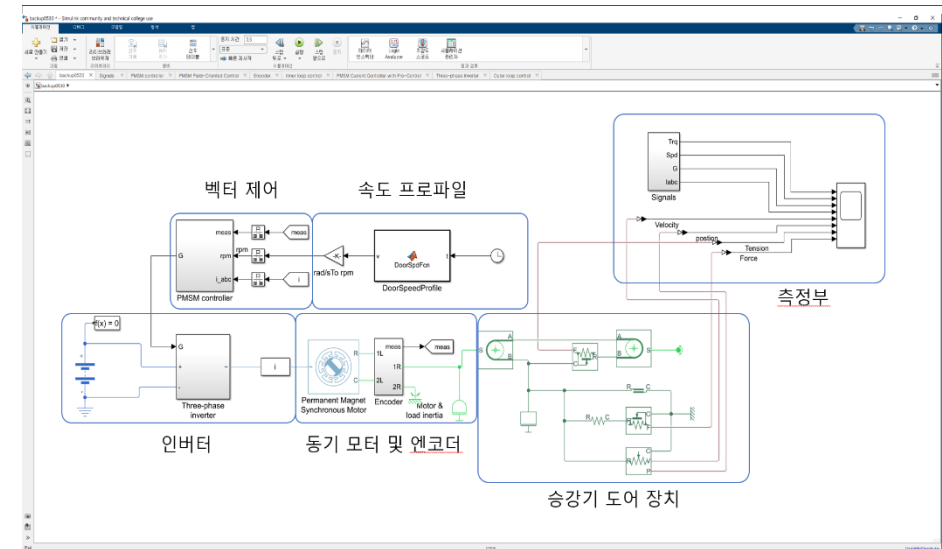


용수철



도어 패널

- 엘리베이터 도어 장치의 디지털 트윈 모델 구현





## 4. MATLAB을 이용한 승강기 도어 장치의 디지털 트윈 모델 구현

- 엘리베이터 도어의 운전 속도 프로파일
  - 쉬운 관찰을 위해 가속 + 정속 + 감속 3구간으로 단순화

- 가속/감속 부분은 S패턴

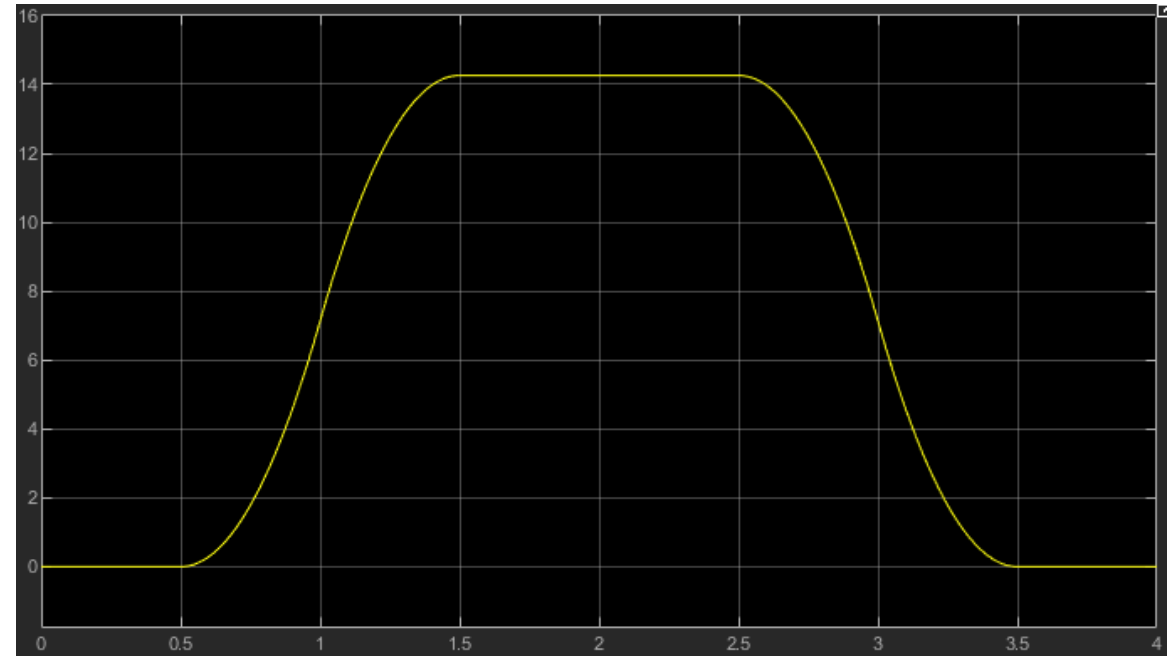
$$v(t) = \frac{\Delta w}{2\Delta t^2} t^2 \quad (0 \leq t \leq \Delta t)$$

$$v(t) = -\frac{\Delta w}{2\Delta t^2} (t - \Delta t)^2 + \frac{\Delta w}{\Delta t} (t - \Delta t) + \frac{\Delta w}{2} \quad (\Delta t \leq t < T)$$

`%parameter`

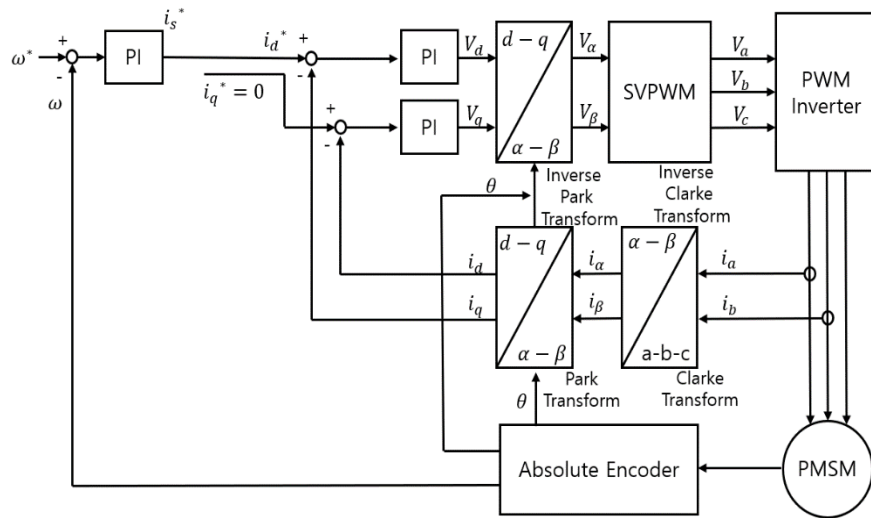
```
wRef = 14.26; %최고속도
fwdTime = 0.5; %도어 열림 시작 시간
revTime = 4; %도어 닫힘 시작 시간
opWaitTime = 1; % 가속시간
opAccTime = 1; % 정속시간
clAccTime = 1; % 감속시간
```

- Opening 1000mm, Center open

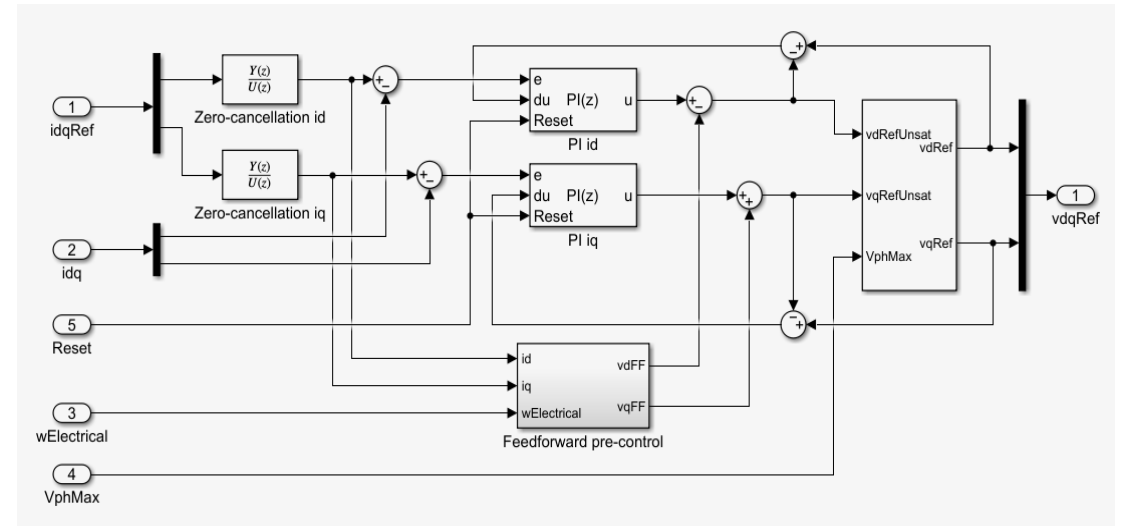


#### 4. MATLAB을 이용한 승강기 도어 장치의 디지털 트윈 모델 구현

- 실제 모델의 SPMSM(동기모터) 벡터제어
- 디지털 트윈 모델의 SPMSM(동기모터) 벡터제어

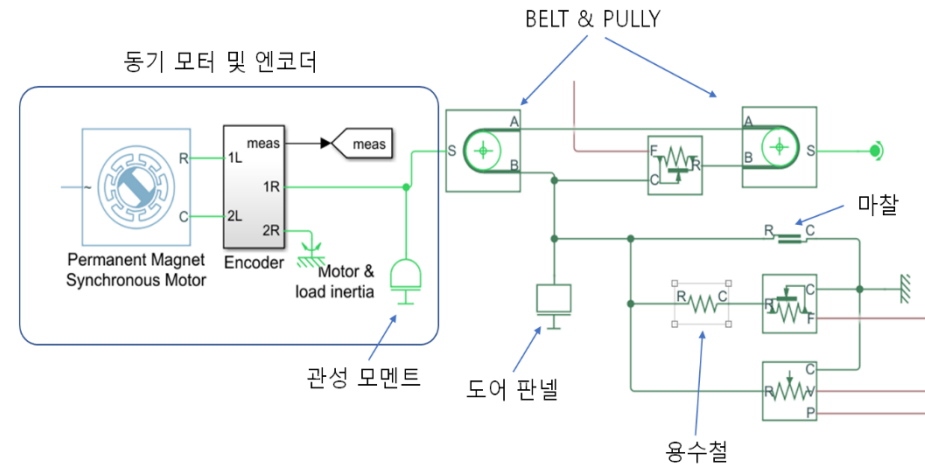
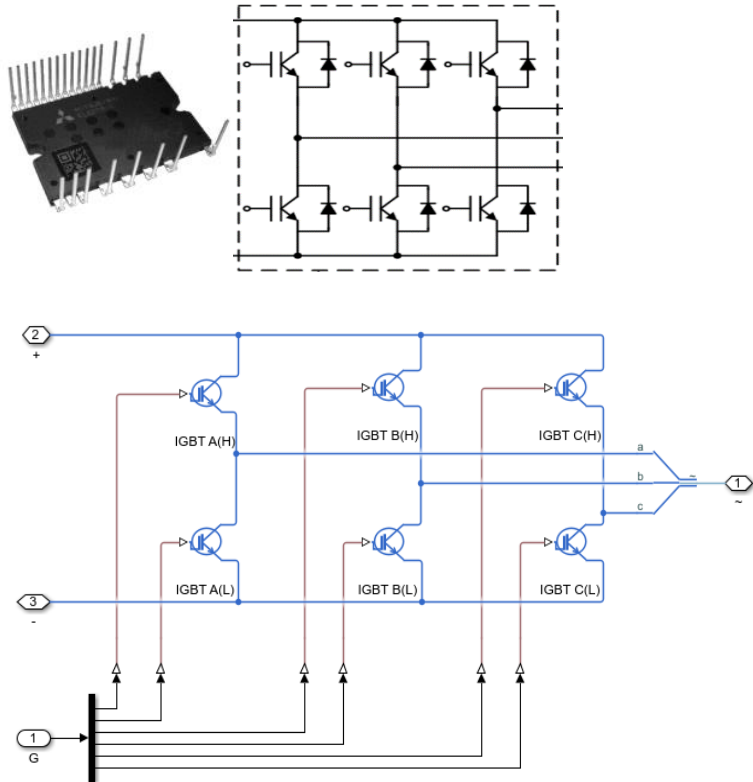


- 모터에 흐르는 3상 교류 전류를 d,q축 두개의 직류 전류로 제어



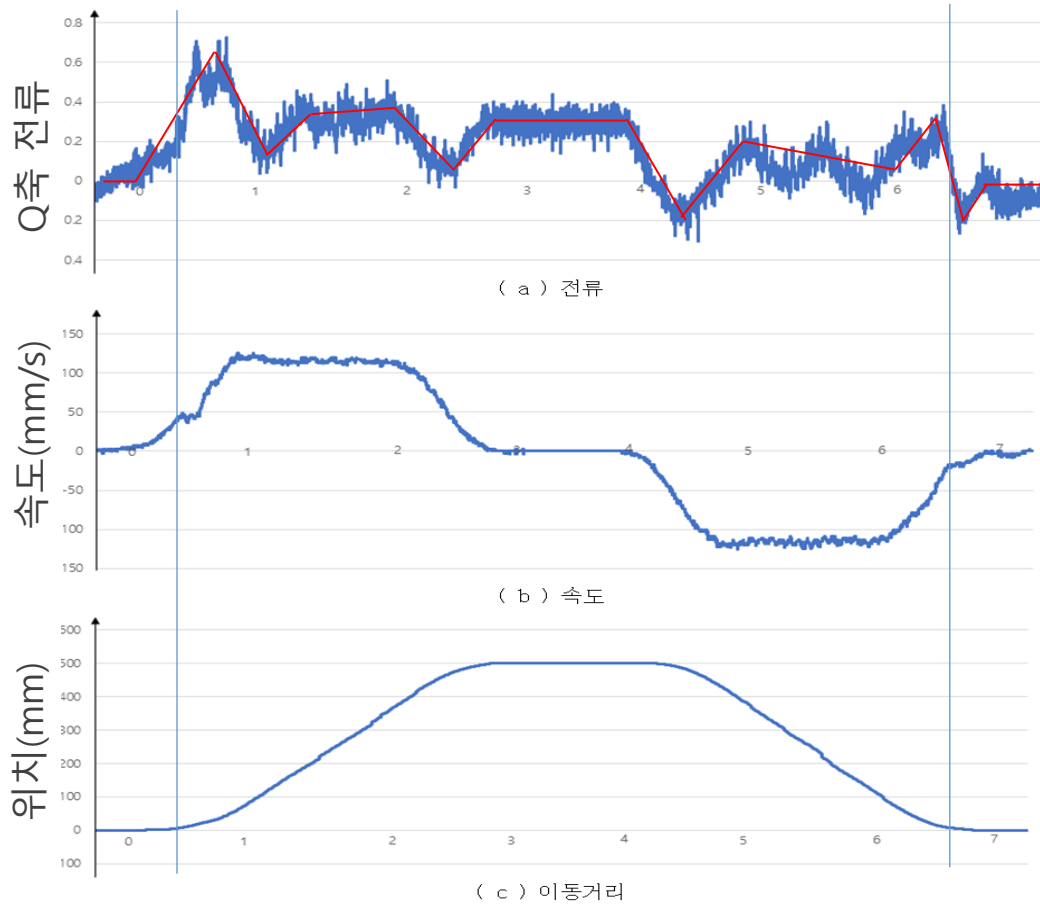
## 4. MATLAB을 이용한 승강기 도어 장치의 디지털 트윈 모델 구현

- 인버터 회로 구성
  - 실제모델은 미쯔비시사의 IPM 반도체 사용
  - 6개의 IGBT로 IPM 디지털트윈 모델 구현
- 도어 장치의 기계적 요소 디지털트윈 모델

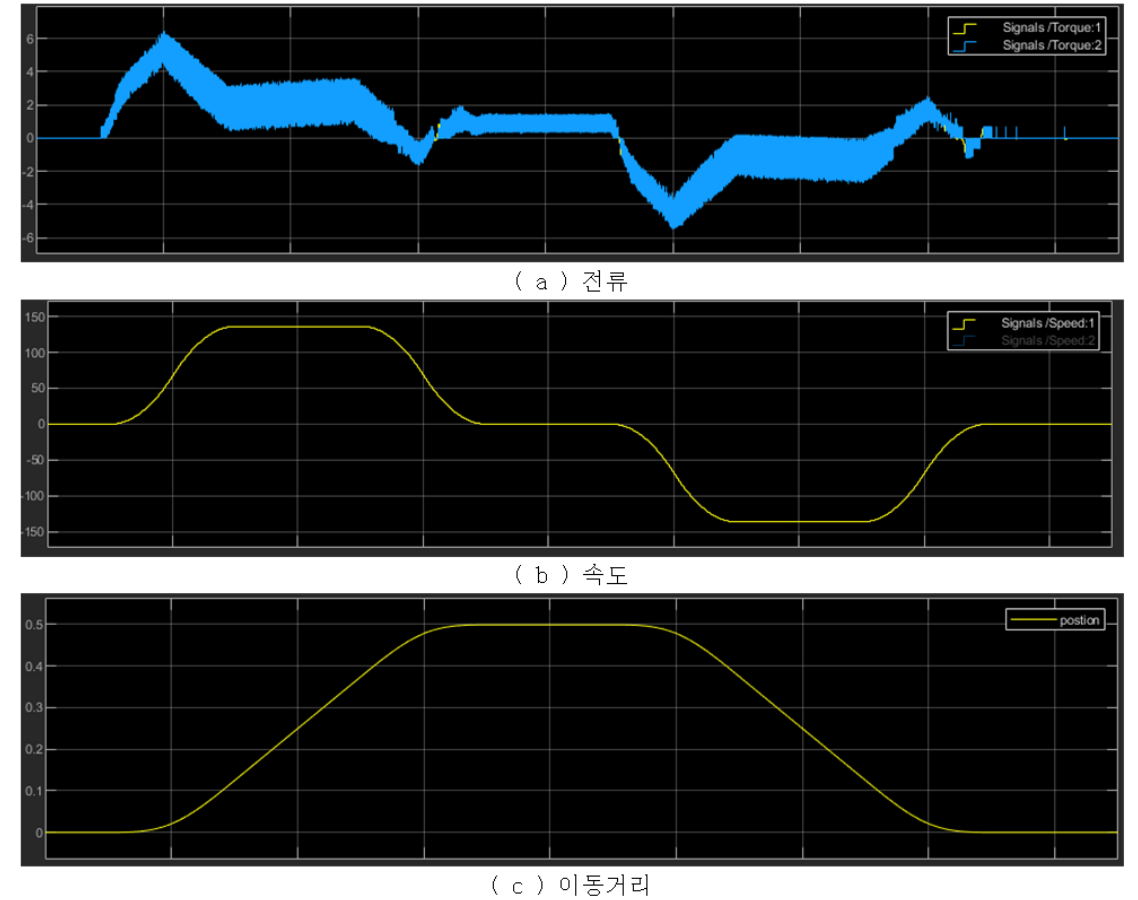


## 4. MATLAB을 이용한 승강기 도어 장치의 디지털 트윈 모델 구현

### • 실험 결과



실제 모델



디지털 트윈 모델

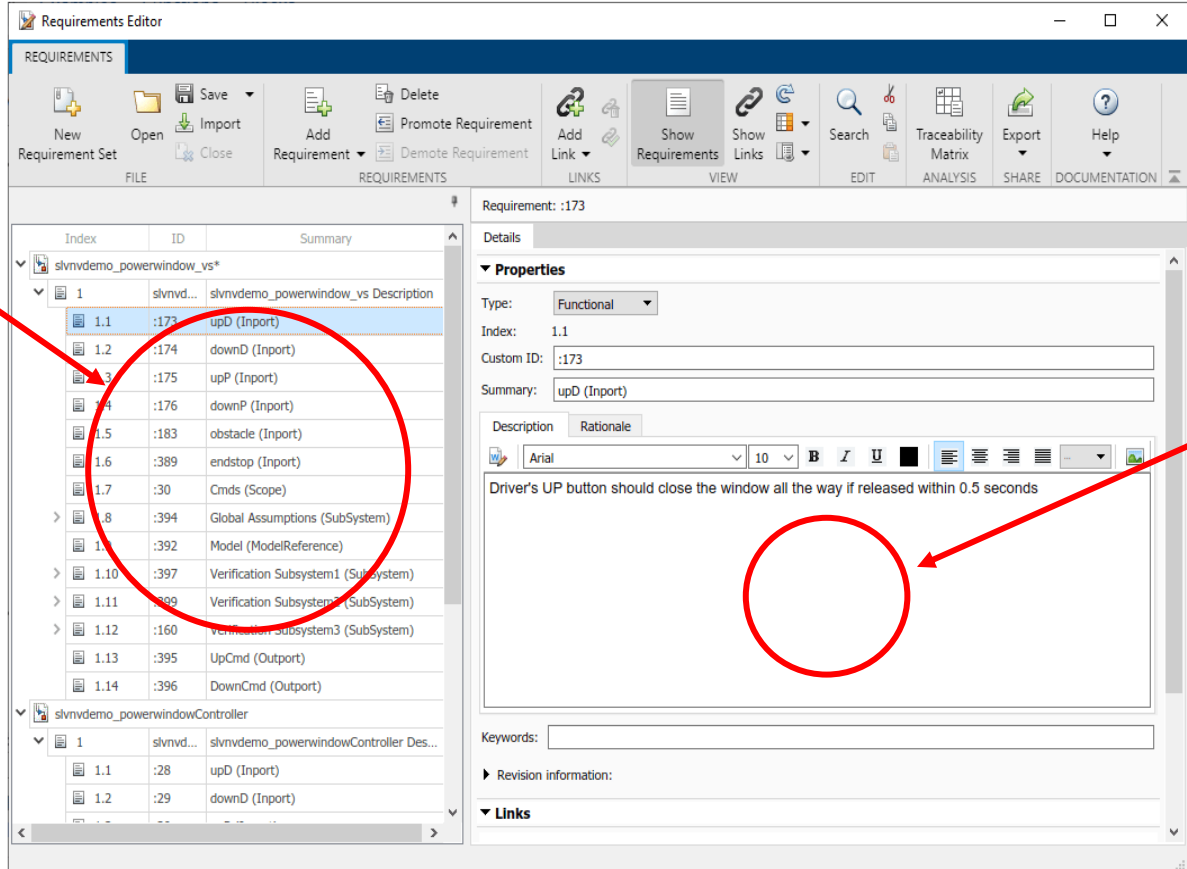
## 5. 엘리베이터 안전인증을 위한 디지털 트윈 모델 베이스 디자인 워크플로우

### 1. 요구사항 작성

Requirements Editor를 이용하여 요구사항을 작성

안전에 관련된 사항 뿐만 아니라 개발에 필요한 모든 요구사항을 명시하는 개발 "사양서" 작성

Microsoft의 Word 및 Excel과 양방향 호환



The screenshot displays the Requirements Editor application. On the left, a tree view shows a hierarchy of requirements. A red circle highlights a specific requirement, with a red arrow pointing to it from the word "Index". The main pane on the right shows the details of the selected requirement, including its properties and a description field. A red circle highlights the description field, with a red arrow pointing to it from the word "Description".

**Index**

Index	ID	Summary
1	slvmdemo_powerwindow_vs*	
1.1	:173	upD (Inport)
1.2	:174	downD (Inport)
1.3	:175	upP (Inport)
1.4	:176	downP (Inport)
1.5	:183	obstacle (Inport)
1.6	:389	endstop (Inport)
1.7	:30	Cmnds (Scope)
1.8	:394	Global Assumptions (SubSystem)
1.9	:392	Model (ModelReference)
1.10	:397	Verification Subsystem1 (SubSystem)
1.11	:399	Verification Subsystem2 (SubSystem)
1.12	:160	Verification Subsystem3 (SubSystem)
1.13	:395	UpCmd (Outport)
1.14	:396	DownCmd (Outport)

**Description**

Driver's UP button should close the window all the way if released within 0.5 seconds

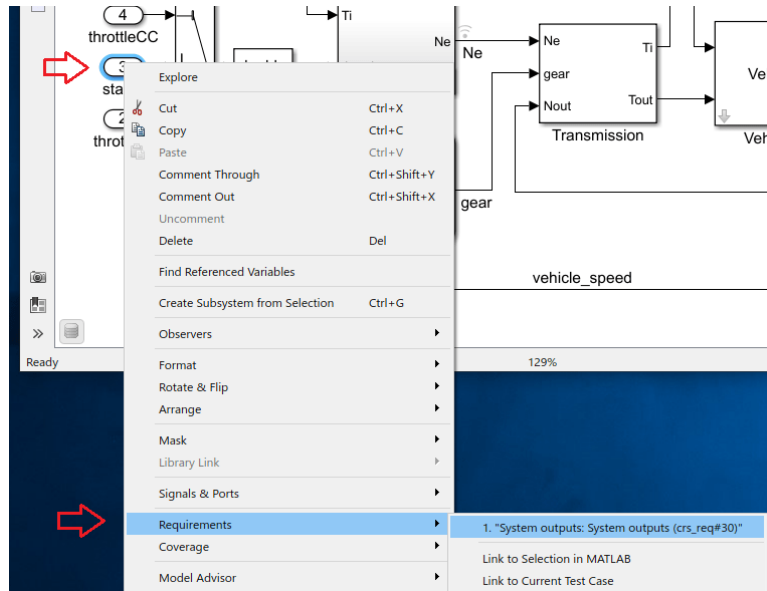
## 5. 엘리베이터 안전인증을 위한 디지털 트윈 모델 베이스 디자인 워크플로우

### 2. 요구사항 추적성 연결

작성한 요구사항을 바탕으로 모델을 만든 후 요구사항과 모델 간의 연결성 및 추적성

요구사항과 연결하면 양방향 동적 참조가 가능

요구사항이 또는 하나의 요구사항이 여러 모델에 연결가능



모델에서 추적성을 위한 요구사항 연결

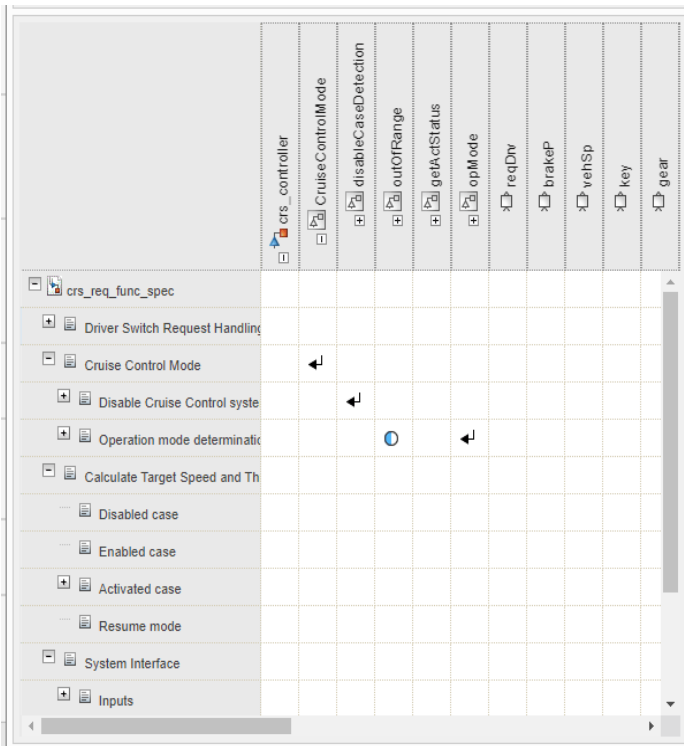
Styles			
driver_throttle	single	%	Throttle from ac
4.2 SYSTEM OUTPUTS			
Name	Data type	Units	Description
reqDrv	Enum: regMode		Driver's request
status	boolean		Cruise control s

연결된 요구사항 확인

## 5. 엘리베이터 안전인증을 위한 디지털 트윈 모델 베이스 디자인 워크플로우

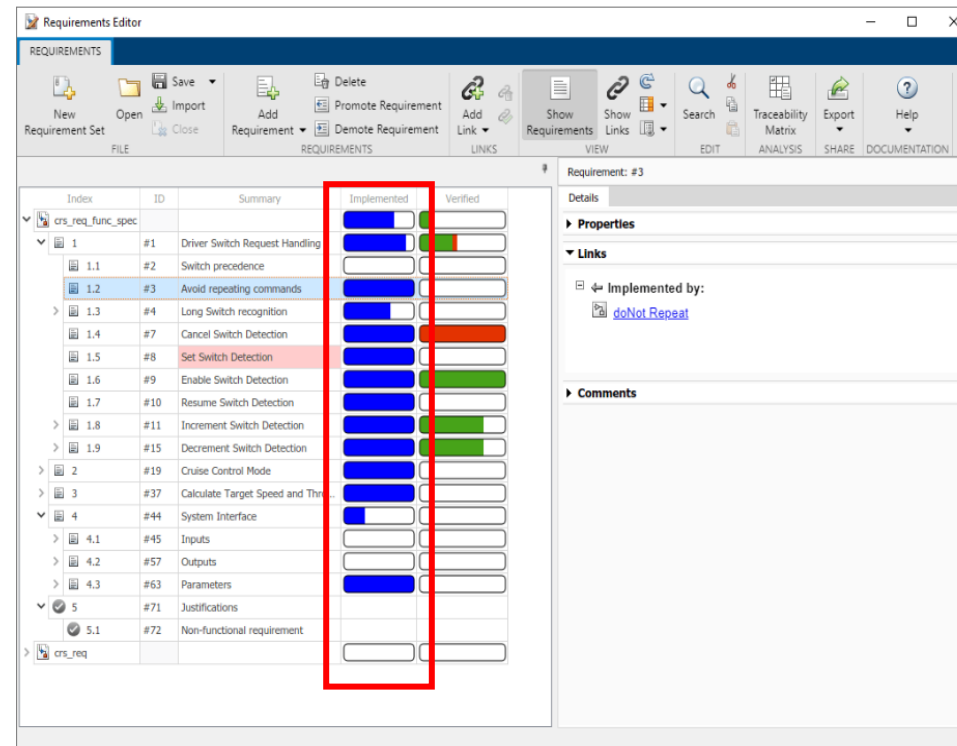
### 2. 요구사항 추적성 연결

요구사항과 모델 간의 다중 연결인 경우 요구사항 Matrix를 이용하여 쉽게 확인 가능  
요구사항 별 진행률을 그래프로 확인 가능



	crs_controller	CruiseControlMode	disableCaseDetection	outOfRange	getActStatus	opMode	reqDrv	brakeP	vehSp	key	gear
crs_req_func_spec											
Driver Switch Request Handling											
Cruise Control Mode											
Disable Cruise Control system											
Operation mode determination											
Calculate Target Speed and Throttle											
Disabled case											
Enabled case											
Activated case											
Resume mode											
System Interface											
Inputs											

요구사항 Matrix



Index	ID	Summary	Implemented	Verified
1	#1	Driver Switch Request Handling	<div></div>	<div></div>
1.1	#2	Switch precedence	<div></div>	<div></div>
1.2	#3	Avoid repeating commands	<div></div>	<div></div>
1.3	#4	Long Switch recognition	<div></div>	<div></div>
1.4	#7	Cancel Switch Detection	<div></div>	<div></div>
1.5	#8	Set Switch Detection	<div></div>	<div></div>
1.6	#9	Enable Switch Detection	<div></div>	<div></div>
1.7	#10	Resume Switch Detection	<div></div>	<div></div>
1.8	#11	Increment Switch Detection	<div></div>	<div></div>
1.9	#15	Decrement Switch Detection	<div></div>	<div></div>
2	#19	Cruise Control Mode	<div></div>	<div></div>
3	#37	Calculate Target Speed and Throttle	<div></div>	<div></div>
4	#44	System Interface	<div></div>	<div></div>
4.1	#45	Inputs	<div></div>	<div></div>
4.2	#57	Outputs	<div></div>	<div></div>
4.3	#63	Parameters	<div></div>	<div></div>
5	#71	Justifications	<div></div>	<div></div>
5.1	#72	Non-functional requirement	<div></div>	<div></div>

요구사항 연결 상태 그래프

**Implemented** (blue)  
**Justified** (light blue)  
**None** (colorless)

## 5. 엘리베이터 안전인증을 위한 디지털 트윈 모델 베이스 디자인 워크플로우

### 3. 요구사항 기반 테스트

모델이 연결된 요구사항에 합당하게 구현 되는지를 검증 및 확인

Index	ID	Summary	Verified
▼ thrust_reverser_safety_requirements			
1	R1.1	Airspeed Condition	
2	R1.2	WOW Condition	
3	R1.3	Throttle Condition	
4	R1.4	Wheelspeed Condition	

Index	ID	Summary	Verified
▼ thrust_reverser_safety_requirements			
1	R1.1	Airspeed Condition	
2	R1.2	WOW Condition	
3	R1.3	Throttle Condition	
4	R1.4	Wheelspeed Condition	

Index	ID	Summary	Verified
▼ thrust_reverser_safety_requirements			
1	R1.1	Airspeed Condition	
2	R1.2	WOW Condition	
3	R1.3	Throttle Condition	
4	R1.4	Wheelspeed Condition	

**Passed** (green)  
**Failed** (red)  
**Justified** (light blue)  
**Unexecuted:** (yellow)  
**None** (colorless)

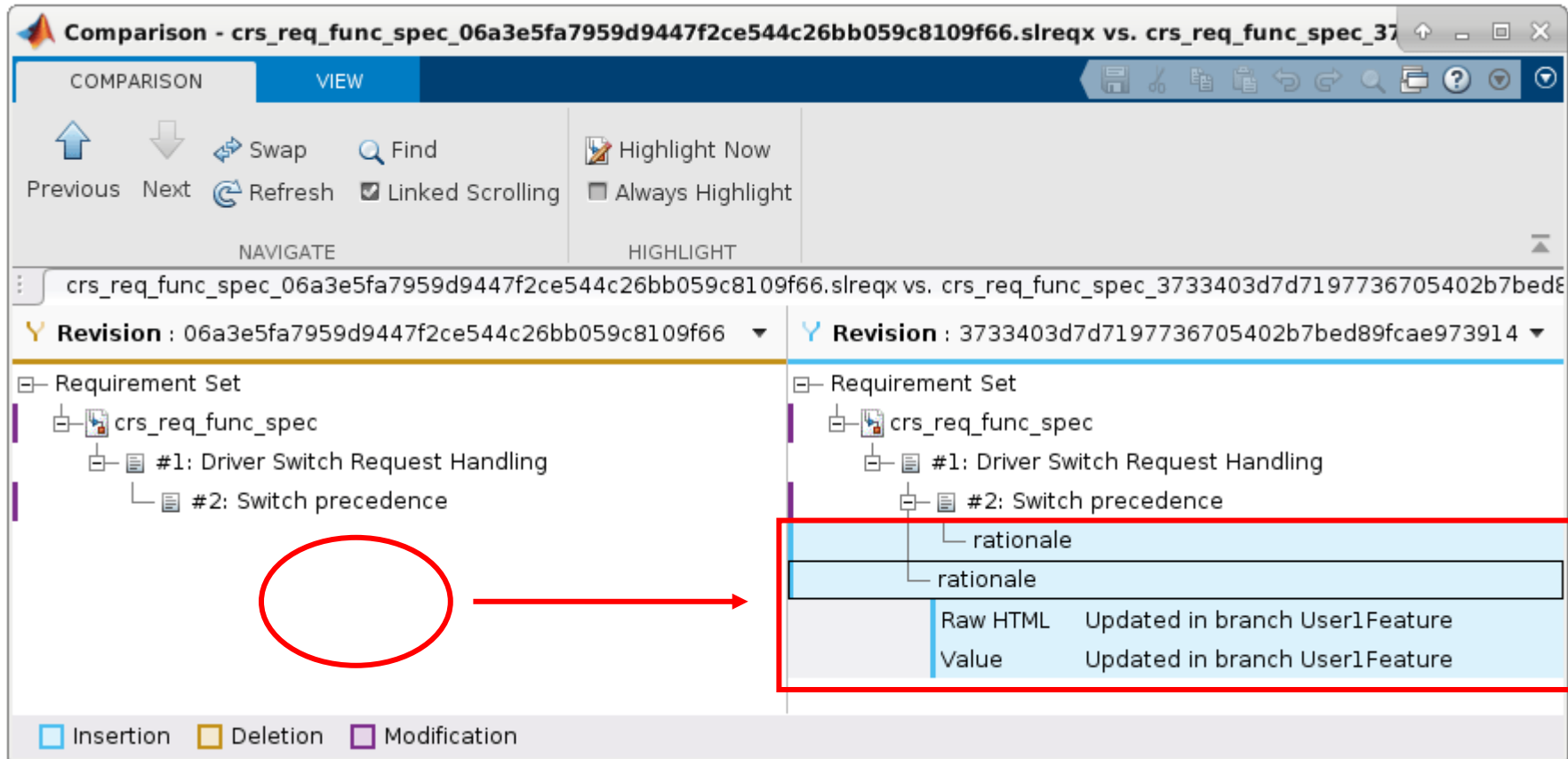
테스트 상태 표시



## 5. 엘리베이터 안전인증을 위한 디지털 트윈 모델 베이스 디자인 워크플로우

### 4. 요구사항 비교 및 변경 추적

팀 및 개인의 요구 사항 활동에 의한 변경 사항을 비교 추적 가능



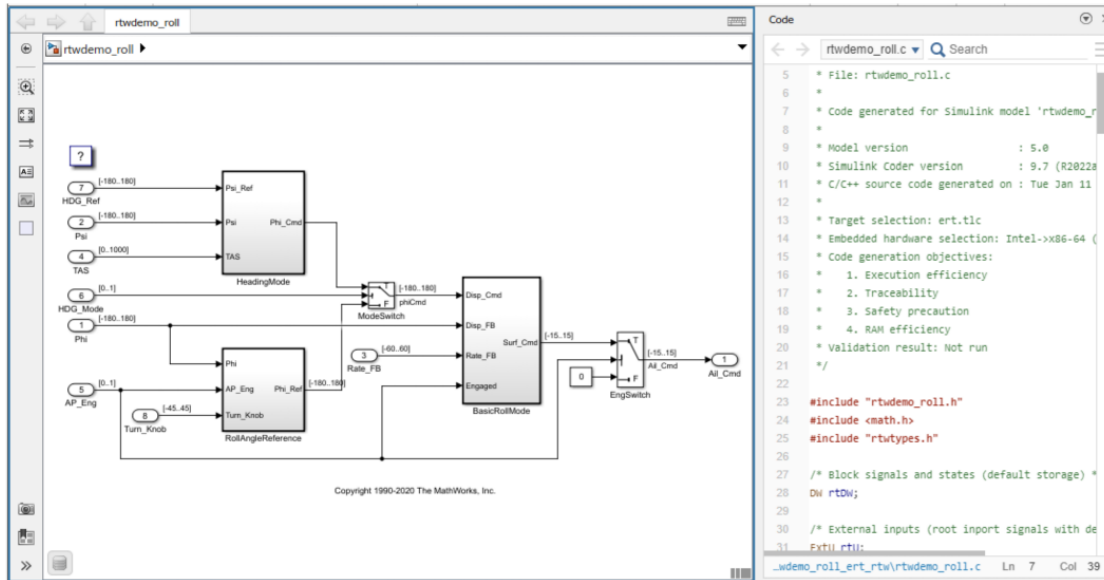
The screenshot displays a comparison window titled "Comparison - crs\_req\_func\_spec\_06a3e5fa7959d9447f2ce544c26bb059c8109f66.slreqx vs. crs\_req\_func\_spec\_3733403d7d7197736705402b7bed89fcae973914". The window is divided into two panes, each showing a hierarchical tree of requirements. The left pane represents the base version (Revision: 06a3e5fa7959d9447f2ce544c26bb059c8109f66), and the right pane represents the modified version (Revision: 3733403d7d7197736705402b7bed89fcae973914). Both panes show a "Requirement Set" containing "crs\_req\_func\_spec", which includes "#1: Driver Switch Request Handling" and "#2: Switch precedence". In the right pane, the "rationale" field for "#2: Switch precedence" is highlighted with a red box, and a red circle with an arrow points to it from the left pane. The "rationale" field in the right pane shows "Raw HTML" and "Value" both updated in the "User1Feature" branch. The bottom of the window features a legend: Insertion (blue square), Deletion (yellow square), and Modification (purple square).

## 5. 엘리베이터 안전인증을 위한 디지털 트윈 모델 베이스 디자인 워크플로우

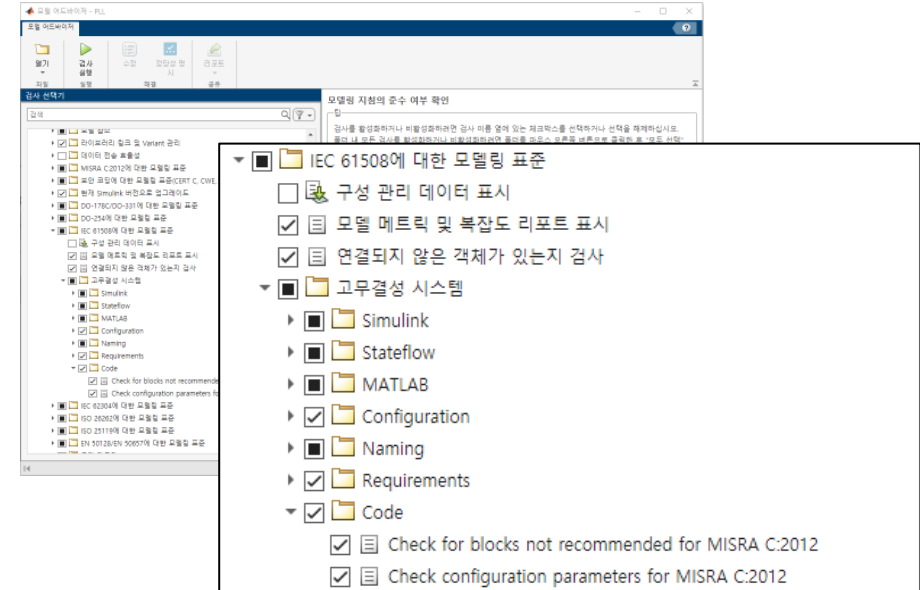
### 5. 코드 생성 및 IEC61508 검증

모델의 바탕으로 코드 생성

모델 및 생성된 코드 IEC61508 검증 보고서 생성(TUV 인증)



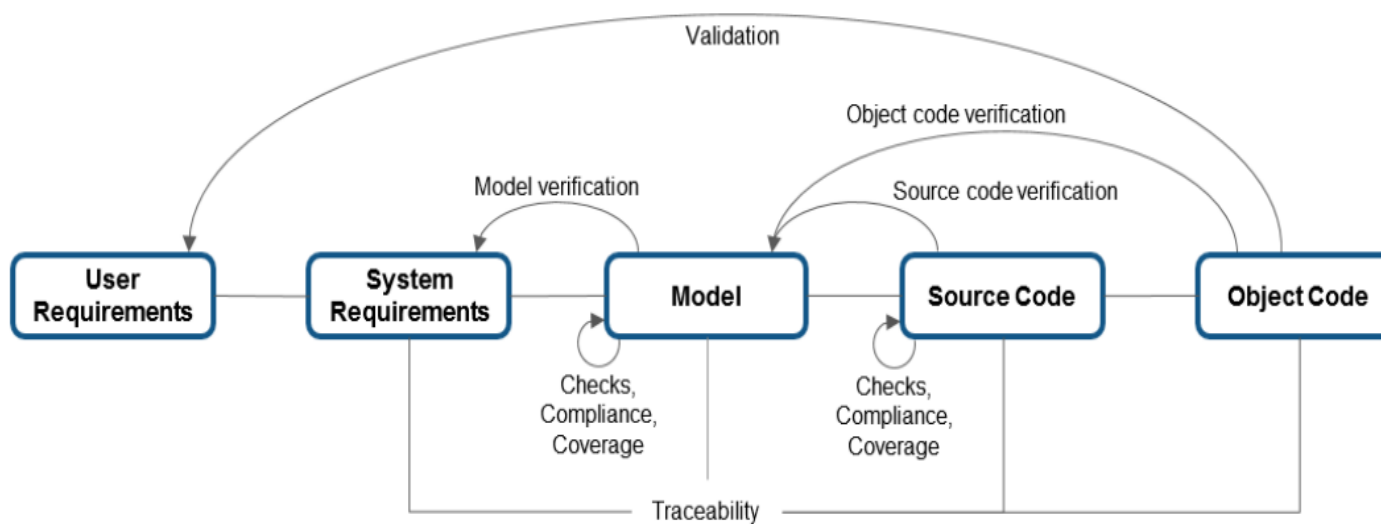
코드 생성



IEC61508 모델 검증

## 5. 엘리베이터 안전인증을 위한 디지털 트윈 모델 베이스 디자인 워크플로우

### 5. 검증



- 엘리베이터의 DT 과정 중 하나인 PSIM의 EMI Design Suite를 이용하여 제어반의 EMI Filter 모델링을 구성하고 제어반의 구성 요소와 EMI Filter의 상관 관계를 분석.
- 엘리베이터의 시스템을 3차 Multibody로 모델링 구성, 엘리베이터의 속도, 가속도, 가가속도에 따른 로프의 Stiffness관계를 분석.
- Digital Twin 개념을 활용한 엘리베이터 Door 시스템의 안전성에 대해 고찰.
- 엘리베이터 도어 장치의 디지털 트윈 모델 설계 및 유효성 확인.
- 디지털 트윈 모델과 실제 모델의 데이터 분석을 통하여 고장의 원인 파악 가능.
- MATLAB를 이용한 Digital Twin Model-Based Design 도구를 이용한 소프트웨어 개발 기법 제시.
- 요구사항 작성, 모델링, 소스코드 생성, 검증의 절차를 각 단계별 상호 추적성을 보장하고 검증 절차를 통해 발생할 수 있는 문제 감소.

감사합니다