



**SIEMENS**

*Ingenuity for life*

Siemens Digital Industries Software

## 항공기 구조 인증 관련 해석 및 시뮬레이션

디지털 툴이 한층 간소화된 감항성 인증 절차를  
제공하는 방법

### 개요

전체 항공기 구조를 인증하는 작업은 매우 복잡합니다. 항공기 구조 강도가 전체 시스템 설계 목표에 충분히 부합함을 입증하기 위해 고려해야 하는 몇 가지 요소가 있습니다.

시뮬레이션 및 해석 도구를 효과적으로 사용하는 기업은 그렇지 않은 기업에 비해 인증 획득 속도 및 총 소요 비용 면에서 상당한 이점을 누리고 있습니다.

# 항공기 구조 설계 시 고려사항

구조 인증에는 항공기 유형에 따라 구조 요구사항을 지정하는 연방항공관리국 (FAA) 규정이 적용됩니다. 엔지니어는 항공기가 운항 중 처할 수 있는 모든 조건과 환경을 파악해 이러한 요구사항을 준수해야 하며, 시제품이 의도한 대로 작동하며 구조적 결함이 없음을 해석 또는 테스트를 통해 입증해야 합니다.

## 예비 설계에서 요구사항 및 기준 시작

기본 해석은 컨셉트 설계 단계 초기에 시작됩니다. 항공기 전체를 지지하는데 필요한 구조는 해당 항공기의 설계 미션에 따라 다릅니다. 이 항공기가 필요로 하는 고도와 속도는 얼마인가? 유상하중과 승객, 화물은 무엇이며, 이 항공기가 운반해야 하는 유상하중은 얼마인가? 유상하중을 운반하기 위해 비행해야 하는 거리는 얼마인가? 이러한 의문점은 항공기 유형과 크기에 영향을 미치는 기본 설계 기준으로, 항공기 제조사는 최대한 빠리 이를 결정해야 합니다.

항공기 유형과 크기가 결정되면 제조사는 외부 공기역학 형상을 설계합니다. 미션을 충족할 기본 에어포일 형상, 날개 평면도형, 동체 크기 및 형상, 비행기 꼬리 에어포일과 크기 등이 여기에 포함됩니다.

## 하중과 정적 강도

구조 결정 시 그 다음으로 이뤄지는 대규모 작업은 새로운 항공기의 공기역학적 일반 배열 정의에 따릅니다. 종합적 해석을 수행해 대기 속도 또는 비행 영역 선도의 여러 다양한 지점에서 항공기에 적용되는 공기역학적 하중을 평가합니다.

그림 1은 프로펠러식 항공기의 비행 영역 선도 예시를 보여줍니다. 하중 계수 (n)는 특정 항공기에 대한 다양한 설계 대기 속도를 사용해 계산합니다. 다양한 속도란 다음과 같습니다:

- $V_s$  = 실속 속도
- $V_a$  = 기동 속도 - 이는 최대 제어 편향을 적용할 수 있는 최고 속도임
- $V_c$  = 순항 속도
- $V_d$  = 강하 속도

이 속도는 최대 하중과 관련 항공기 상태 및 구성을 평가하는 하중 해석에 입력됩니다.

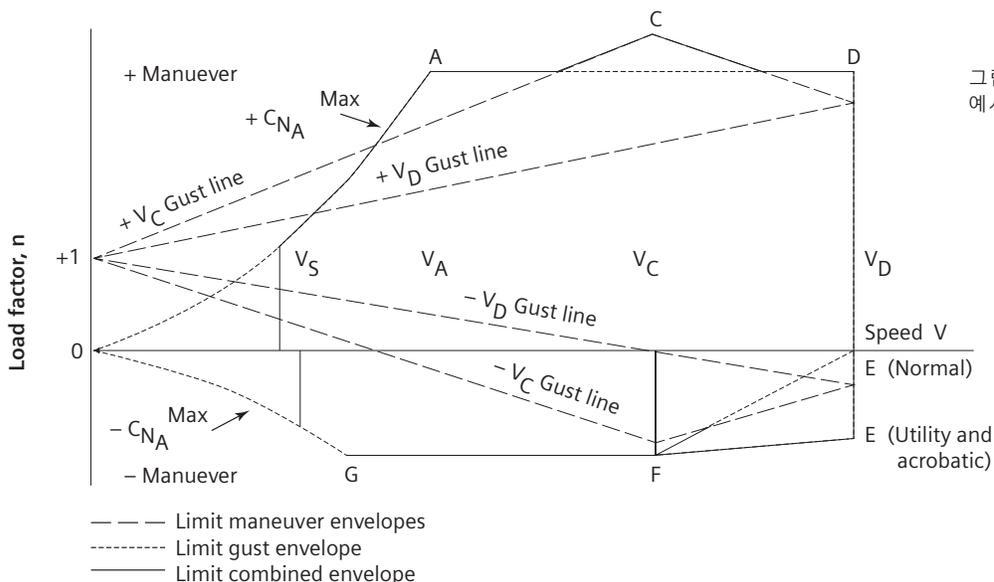


그림 1. 항공기 비행 영역 선도 예시

엔지니어는 항공기 모든 부분의 전단, 비틀기, 굽힘 (사방으로)을 유발하는 최대, 최악의 힘을 해석하고 찾는 작업을 해야 합니다. 다양한 항공기 중량과 무게 중심, 고속 및 저속에서의 하중을 파악해야 합니다. 엔지니어는 영역 선도의 각 지점에서 기어 업/다운, 플랩 업/다운 및 가능한 모든 구성 조합 등과 같은 특정 측면과 관련된 하중을 결정해야 합니다.

임계 설계 하중과 임계 조건은 영역 선도 상의 지점 조합과 각 조건에 대한 최대 하중입니다. 평가 및 조사해야 할 비행 영역 선도 상의 지점 조합 및 구성은 수 백 개에 달합니다.

날개 스팬와이즈 굽힘의 임계 조건을 예로 들어 보겠습니다. 익단을 똑바르게 잡아당겨 날개가 동체에 부착되는 지점에 이를 고정한다고 생각해 봅시다. 날개에 연료가 거의 없고 항공기가 규정된 최대 돌풍 하중에 있는

경우, 객실 내에서 이는 무거운 하중에 도달하게 됩니다. 이 시점에서 날개가 들리며, 돌풍은 항공기를 하강시켜 날개 굽힘이 이 조건에서 최고치에 이릅니다.

여기서 실제 물리적 구조 해석을 수행하면 항공기가 운항 중 경험할 수 있는 가능한 모든 작동 지점에서의 정적 강도가 충분함이 보장됩니다. 이러한 임계 하중을 "설계 한계" 하중이라고 칭합니다.

일반적으로 FAA 규정은 구조 정적 테스트 및 설계 한계 하중의 최소 1.5배 하중을 적용할 것을 요구합니다. 구조가 구부러질 순 있으나 고장이나 균열, 영구적 변형은 보이지 않습니다. 이는 구조가 소재 속성 한계의 임계 영역에 진입했음을 의미합니다. 이 모든 작업을 진행하면서 실제 구조의 상세 설계 변경도 이뤄지고 있습니다. 이 단계에서는 강력하고 체계적인 구성 관리가 매우 중요합니다.

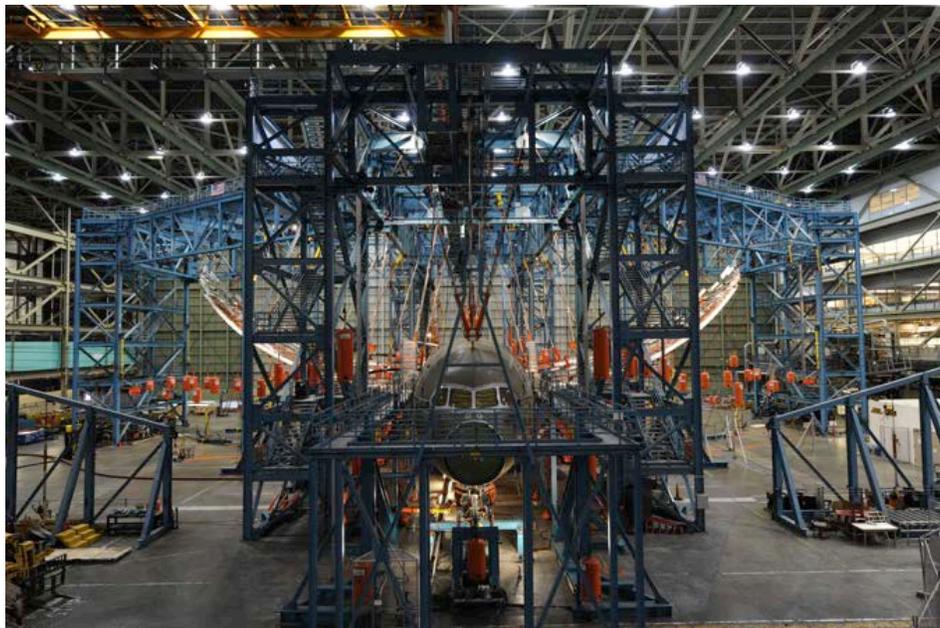


그림 2. Boeing 787 양성 정적 날개 굽힘 테스트, Wired Magazine online, 2010년 3월

### 피로 및 공탄성 고려사항

정적 강도가 항공기 전체 안정성과 안전에 있어 중요하지만, 구조적 고려사항이 이것만 있는 것이 아닙니다. 엔지니어는 물리적 강도, 반복적인 구조물 진동에 따른 장기적 영향, 피로 강도 등을 충족할 수 있는 기체 구조를 설계해야 합니다. 공기역학적 하중이 변하는 상황에서 비행 중 기체 진동이 발생하므로, 이러한 동적 조건에서 구조적 안정성을 평가해야 합니다. 이러한 조사로 피로 및 진동 강도를 파악할 수 있으며, 정적 테스트 프로그램과 동일한 수준의 많은 강도 해석 및 테스트가 이뤄집니다.

### 항공기 피로 해석

페이퍼 클립이 구부러질 때까지 앞뒤로 휘어본 경험이 있다면 피로 파괴 해석을 수행한 셈입니다. 클립을 구부리면 클립이 영구적으로 변형되며, 구부린 부분의 금속이 경화되어 "가소성"이 줄어듭니다. 피로 파괴는 클립을 앞뒤로 계속 구부려 클립이 갈라져 부러질 때까지 내부 경화도를 올리는 것입니다.

정상 운항에서 날개는 시간의 경과에 따라 움직임을 반복하게 되는데, 이는 클립 구부리기와 비슷한 작용입니다. 항공기 설계가 제대로 되면 반복적인 굽힘을 최대치로 적용하고, 설계 및 최대 한계를 적용할 때 날개는 복합 응력/변형 곡선의 선형 부분에 위치하게 됩니다. 구조물이 구부러졌다가 다시 원래 형상으로 돌아오지만 영구적으로 변형되진 않습니다.

응력/변형 곡선의 선형 범위 내에 있어도 충분한 사이클이 있으면 모든 소재는 피로 파괴에 항복하게 됩니다. 엔지니어가 반복적인 굽힘의 장기적 영향을 파악하는데 사용하는 가이드라인을 S-N 다이어그램이라고 칭합니다 (그림 4).

엔지니어는 일정 수준의 안전 계수를 가정한 경험적 데이터가 추산한 대로 항공기가 운항 중에 경험할 것으로 예상되는 사이클 수가 항공기 각 부분의 피로 파괴 한계에 근접하지 않도록 해야 합니다.

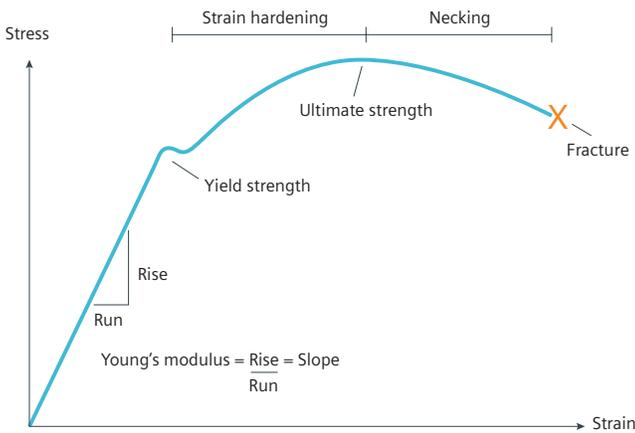


그림 3. 저탄소 강의 응력/변형 곡선 예시. 응력은 소재에 가해진 힘임 (여기서는 장력). 변형은 소재 늘어짐/늘림을 말합니다. 응력이 항복 강도보다 높으면 소재가 영구적으로 변형 및 경화되며, 결국 파손됩니다. 응력이 항복 강도보다 낮으면 소재는 원래 길이와 형상을 되찾습니다. 날개의 실제 물리적 구조는 개별 소재 곡선과 유사한 복합 응력/변형 다이어그램을 갖고 있습니다.

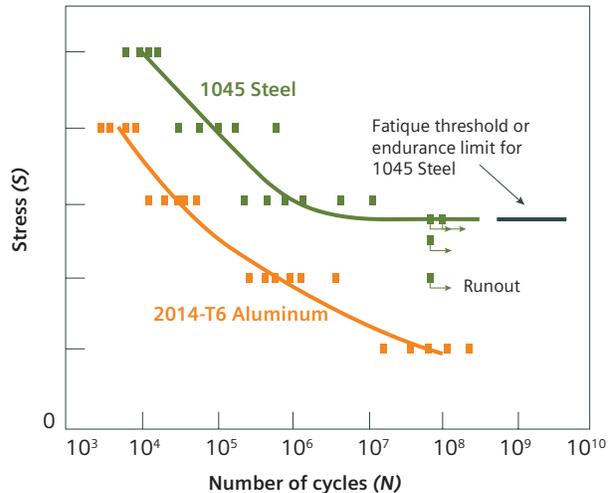


그림 4. 알루미늄 및 철강 소재의 S-N 다이어그램. 소재 곡선이 수평인 경우, 많은 사이클 수로 수명을 이루며, 이는 수명 한계가 필요하지 않음을 의미합니다. 이 소재는 "사이클 수"와 무관하게 피로에 굴복하지 않을 정도로 "탄력적인" 소재입니다.

## 플러터 평가

진동 구조와 움직임에 반영해 설계된 구조는 움직임과 진동 시 발생하는 동적 및 공탄성적 영향도 처리합니다.

모든 물리적 개체는 약간의 자연 조화 주파수를 갖고 있으며, 이는 진동하는 경향이 있습니다. 쉬운 예로 앞의 1~2인치 정도가 테이블 모서리에 걸쳐져 있고, 나머지 부분은 자유롭게 있는 자를 생각해 볼 수 있습니다. 걸쳐져 있지 않은 부분이 위아래로 굽혀지면, 자는 다이빙 보드처럼 튀어 오릅니다. 이 진동이 가진 초기 주파수는 그 소재와 모양이 가진 자연스러운 조화 주파수입니다. 마찰은 진동이 잦아들 때까지 그 진동을 자연적으로 감쇠시킵니다. 동일한 자연 조화 주파수에서 외부 펄스를 적용하면 펄스가 제거될 때까지 자는 계속해서 진동합니다.

돌풍과 난기류 같은 대기권에서의 자연적 돌발 현상은 걸쳐져 있지 않은 자 끝 부분에 입력 진동을 적용하는 것과 같습니다. 날개의 움직임과 이로 인한 진동은 테이블에 끝에 고정시킨 자와 동일합니다.

다양한 진동 주파수를 적용하고 평가해 항공기 움직임을 평가해야 하며, 이를 통해 고조파 모드로 인해 플러터, 특히 진폭 (구조의 변형)이 점점 커지는 것을 방지할 수 있습니다. 결과적으로 발생한 진동으로 항공기가 말 그대로 분리될 수 있는 분기형 플러터 모드에서는 치명적인 결과가 발생할 수 있습니다.

## 시뮬레이션과 해석, 테스트의 역할 및 중요성

물리적 테스트는 언제나 필요합니다. 그러나 가상 시뮬레이션 해석은 충분한 결과를 제공할 수 있어 컴플라이언스를 충족하기 위한 테스트의 필요성을 줄여줍니다. 시뮬레이션 수행을 통해 얻을 수 있는 고유한 이점은 물리적 테스트를 위해 테스트용 개체를 반복적으로 제작하는데 소요되는 시간과 비용, 수고를 들이지 않고도 시스템 작동을 예측할 수 있다는 점입니다.

항공기체 크기 지정 작업에는 항공기 감항성 인증에 사용되는 수 천 건의 구조 해석 계산이 필요합니다. 응력 해석을 위한 적절한 데이터 확보, 올바른 엔지니어링 방법 사용, 작업 공유 및 응력 보고서 게시 등의 작업에서 일관성이 부족한 점 때문에 항공기 인증 프로세스가 어려워지고 시간도 많이 걸립니다. 프로세스 자동화 및 표준화는 기체 구조 해석을 위한 주요 과제입니다. 컨셉트에서 최종 제품에 이르기까지 특정 데이터와 모델, 프로세스, 방법의 가시성과 추적성을 유지하려면 끊임없는 노력이 필요합니다.

글로벌 시뮬레이션 프로세스는 여러 엔지니어링 팀 간의 긴밀한 협력을 의미합니다. 프로세스 자동화는 설계-시뮬레이션 반복의 효율성을 가속화하고 향상시킵니다.

제조사는 제품 라이프사이클에 걸쳐 시뮬레이션을 활용하는 엔드-투-엔드 항공기체 프로세스를 사용해 적시에 예측 가능한 성능으로 혁신적인 제품을 제공할 수 있음을 알게 되었습니다.

소유주-운영자 관점에서 이는 지속적인 감항의 일환으로 해석 작업을 신속하고 정확하게 완료하는 방법에도 영향을 미칩니다. 이러한 프로세스를 통해 모델 준비 시간 및 설계 해석 반복을 단축할 수 있으며, 분야 간 장단점을 비교 분석하고 적시 납품을 위해 개발을 간소화하며 설계 품질을 향상시킬 수 있었습니다. 프로세스 표준화는 프로세스 일관성을 개선하고 가용성 및 준비성을 저해하는 고장 위험을 최소화 하는 방식으로 이 문제를 해결하는데 도움을 줍니다.

산업 전반에 걸쳐 포괄적인 시뮬레이션 솔루션과 첨단 테스트 방법, CAD 지오메트리 정의를 용이하게 하는 것부터 CAE 환경을 제공하는 것에 이르는 글로벌 시뮬레이션 프로세스를 간소화하는 데이터 관리 도구의 필요성을 요구하고 있습니다.

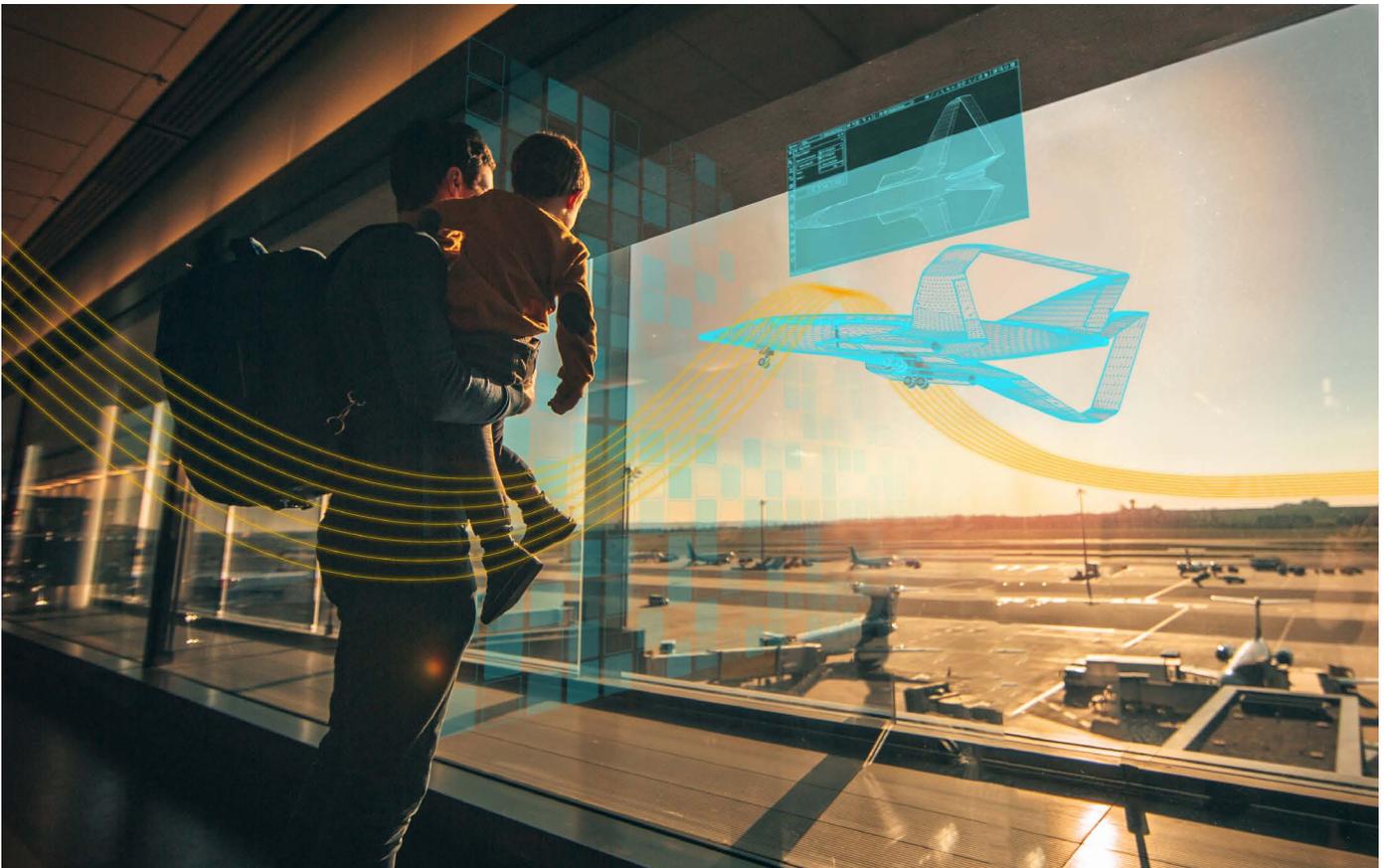
투명한 환경에 인증에 필요한 여러 해석 및 보고서를 갖춘 통합 시스템으로 구성된 디지털 인증 플랫폼은 추적성 및 지식 포착을 극대화 합니다. 이 플랫폼에 포함된 기능은 다음과 같습니다:

- 어셈블리 유한 요소 응력 시뮬레이션을 구성할 수 있는 하중 및 지오메트리 자동 통합
- 안전 마진을 계산하는 통합 기능
- 제품 수명 관리 시스템을 통해 시스템 요구사항과 관련된 원활한 보고서 생성

## 결론

완벽한 항공기체 시뮬레이션 솔루션을 사용하면 추적 가능한 데이터 및 결과를 도출하면서 일관된 글로벌 프로세스 제어를 유지할 수 있습니다. 최종 사용자는 상세 유한요소모델 (FEM) 방식과 더불어 해석 엔지니어링 방식 라이브러리를 사용해 항공기체 컴포넌트 크기를 조정할 수 있습니다. 또한 시뮬레이션 데이터 및 결과로 응력 보고서를 생성할 수 있는 기능으로 일관된 통합 글로벌 프로세스를 활용할 수 있어 정확성이 향상되며, 시간과 비용을 절감하고 제품 라이프사이클에 걸친 가용성을 확대할 수 있습니다.

전체 시뮬레이션 체인을 망라하는 시뮬레이션 환경을 통합해 감항성 인증을 위한 기체 구조 해석 상의 자동화 및 표준화 문제를 완화할 수 있습니다. Siemens의 포괄적인 디지털 트윈은 고객 요구사항과 데이터, 지식, 프로세스 포착 및 추적성을 모두 제공합니다.



## Siemens Digital Industries Software

### 본사

Granite Park One  
5800 Granite Parkway  
Suite 600  
Plano, TX 75024  
USA  
+1 972 987 3000

### 미주 지역

Granite Park One  
5800 Granite Parkway  
Suite 600  
Plano, TX 75024  
USA  
+1 314 264 8499

### 유럽 지역

Stephenson House  
Sir William Siemens Square  
Frimley, Camberley  
Surrey, GU16 8QD  
+44 (0) 1276 413200

### 아태 지역

Unit 901-902, 9/F  
Tower B, Manulife Financial Centre  
223-231 Wai Yip Street, Kwun Tong  
Kowloon, Hong Kong  
+852 2230 3333

## Siemens Digital Industries Software 소개

Siemens Digital Industries Software는 엔지니어링, 제조 및 전자 설계가 미래와 만나는 디지털 엔터프라이즈를 실현하기 위한 혁신에 박차를 가하고 있습니다. Siemens Digital Industries Software의 솔루션은 규모를 막론한 기업이 조직에 새로운 인사이트와 기회, 혁신을 촉진할 자동화 수준을 제공하는 포괄적 디지털 트윈을 생성할 수 있도록 지원합니다. Siemens Digital Industries Software 제품과 서비스에 대한 자세한 사항은 [sw.siemens.com](http://sw.siemens.com) 를 방문하시거나 [LinkedIn](#), [Twitter](#), [Facebook](#) 및 [Instagram](#) 계정 팔로우를 통해 확인하실 수 있습니다. Siemens Digital Industries Software – Where today meets tomorrow.

## siemens.com/software

© Siemens 2019. 관련 Siemens 상표 목록은 [여기서](#) 확인할 수 있습니다.  
기타 모든 상표는 해당 소유자에 귀속됩니다.

78732-81722-C4-KO 3/20 LOC