

3DEXPERIENCE®



PCB 제조공정 상의 불량
예측 및 사전 설계대응을
위한 Abaqus 해석

CTO 박준, Ph. D.
VENG

DS DASSAULT SYSTEMES | The 3DEXPERIENCE® Company

목차

Dassault Systemes, SIMULIA, 그리고 VENG

멀티피직스 해석이란?

구조해석 Solver 및 전자 제품 해석 적용사례

PCB Warpage 발생과 해석적 접근

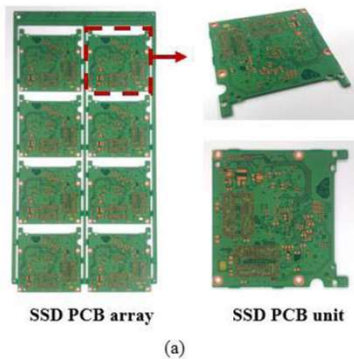
PCB 해석 모델링 자동화

Warpage 최소화를 위한 Chip 배치 최적화

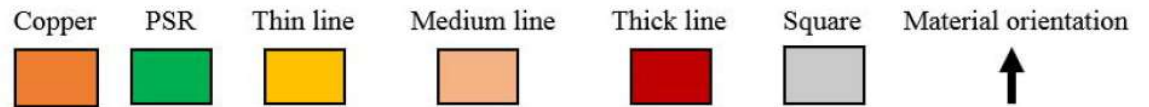
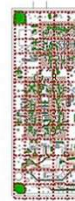
맺음말

A Warpage Simulation from Samsung Electronics*

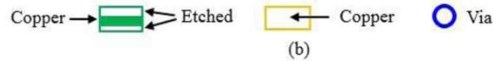
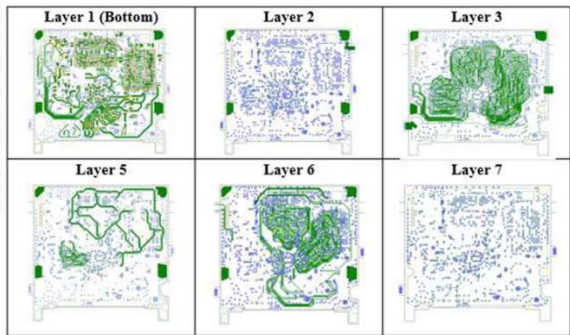
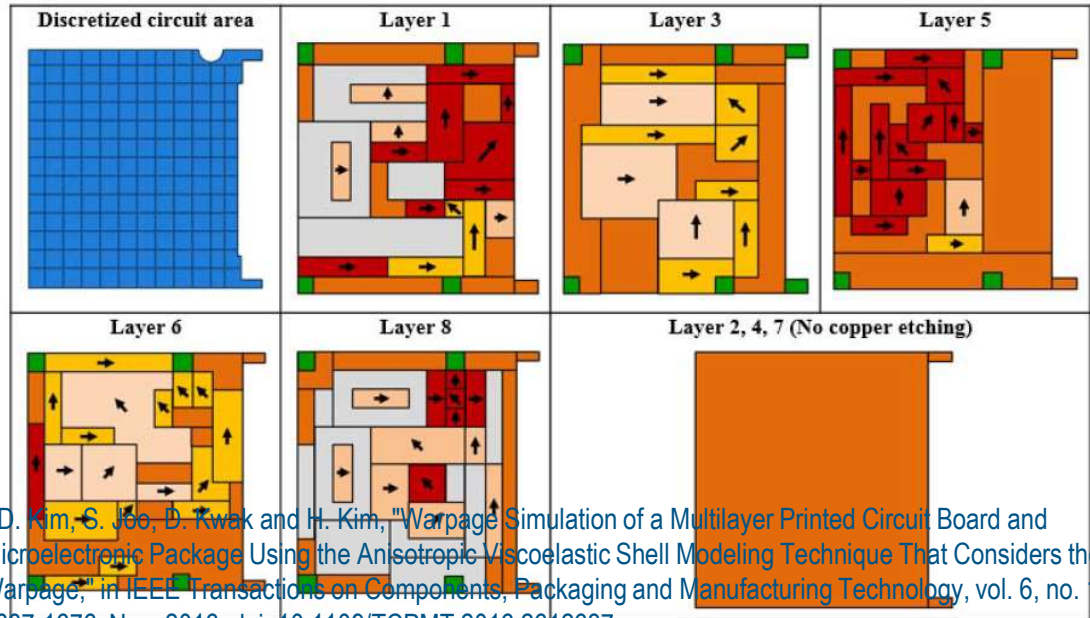
© Dassault Systèmes | Confidential Information | 3/24/2021 | ref: 3DS Document 2020



① Discretize area of circuit layer and select representative pattern shapes



② Assign e for each



* D. Kim, S. Joo, D. Kwak and H. Kim, "Warpage Simulation of a Multilayer Printed Circuit Board and Microelectronic Package Using the Anisotropic Viscoelastic Shell Modeling Technique That Considers the Initial Warpage," in IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, vol. 6, no. 11, pp. 1667-1676, Nov. 2016, doi: 10.1109/TCPMT.2016.2612637.

Simulation Results



	Experiment	FEA (no initial warpage)	FEA (with initial warpage)
25°C	Max: 152 μm 	Max: 0 μm 	Max: 152 μm
150°C	Max: 156 μm 	Max: -45 μm 	Max: 171 μm
240°C	Max: 168 μm 	Max: -75 μm 	Max: 186 μm
100°C	Max: 160 μm 	Max: -30 μm 	Max: 155 μm
25°C	Max: 167 μm 	Max: -3 μm 	Max: 162 μm

	Experiment	FEA (no initial warpage)	FEA (with initial warpage)
25°C	Max: 340 μm 	Max: 0 μm 	Max: 340 μm
150°C	Max: 428 μm 	Max: 42 μm 	Max: 455 μm
240°C	Max: 581 μm 	Max: 56 μm 	Max: 600 μm
100°C	Max: 638 μm 	Max: 16 μm 	Max: 661 μm
25°C	Max: 645 μm 	Max: 1 μm 	Max: 672 μm



Dassault Systemes, SIMULIA,
그리고 VENG

3DEXPERIENCE®



Dassault Systemes

“PLM 분야에서 연속 매출 1위를 지속해온 기업이며, 특히 소프트웨어 산업에서 지속 성장 가능 기업 및 혁신 기업으로 선정되었습니다.”

< CIMdata >
PLM Market Share Trend
(2015 ~ 2019)



▶ 5년 연속 성장중인 PLM Leader

< Corporate Knights >
The World's 100 Most Sustainable Companies
(2020)

Rank 2020	Rank 2019	Company	Peer Group	Country	Overall Score
1	4	Orsted A/S	Wholesale Power	Denmark	85.20%
2	1	Chr. Hansen Holding A/S	Food and other chemical agents	Denmark	83.90%
3	3	Neste Oyj	Petroleum Refineries	Finland	83.64%
20	93	Accenture PLC	Technology Consulting Services	Ireland	76.20%
21	38	Dassault Systemes SE	Software	France	76.01%
22	13	McCormick & Company	Food and Beverage	United States	75.96%

▶ Dassault Systemes 전체순위 : 21위

< Forbes >
The World's Most Innovative Companies
(2018)

Rank	Company	Country	12-Month Sales Growth	Innovation Premium
#1	ServiceNow	United States	39.00%	89.22%
#2	Workday	United States	36.07%	82.84%
#3	Salesforce.com	United States	24.88%	82.27%
#9	Naver	South Korea	19.96%	64.62%
#48	Dassault Systemes	France	7.72%	49.76%

▶ Dassault Systemes 전체순위: 48위
(소프트웨어 기업 부문 : 14위)

3D 과학 기업

20,000 직원

국내 240여명 직원
(대구 R&D 센터 40명)

DASSAULT SYSTEMES

270,000 기업고객

장기비전 추구

연매출: \$4B



Dassault Systemes SIMULIA Brand Portfolio

모든 산업에서 모든 고객에게
사실적인 해석 기능을 제공하고
지속적인 Portfolio 확장



VENG



- 임직원 21명
- '2019년 매출 131.3억
- 박사(3명) 및 석사로 구성된 기계공학 엔지니어 13명 이상



Engineering Solution

- Dassault Systemes 솔루션 제공
- Abaqus / fe-safe / Isight / TOSCA 등



Technical Support

- 기술 지원
- 원격 지원 및 방문 지원



CAE & Consulting

- 해석/시험 컨설팅/기술응역
- 해석 기술 / 자동화 / 해석-시험 분석 / 재료 물성 등



Lecture & Mentoring

- 고급 해석 교육 및 멘토링
- Dassault Systemes 공식 교육 파트너
- 전문 해석이론 교육, 맞춤 교육 및 멘토링



Book & Seminar

- 단행본 출간 및 기술 세미나
- Abaqus 입문서 / Abaqus를 이용한 Contact 해석
- 전문 기술 세미나



기술영업팀 sales@veng.co.kr
기술지원팀 support@veng.co.kr



070-7770-5590
031-718-8501

▶ Dassault Systèmes CAE 전문 파트너



▶ 주요 전문 기술



SIMULIA Abaqus



Rubber Plastic



Optimization & Integration



Fatigue



Bonding & Welding

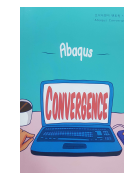


Composite

▶ 주요 협력사



▶ 출간 서적





멀티피직스 해석이란?

3DEXPERIENCE®



Multiphysics: Current Status

Optics



In addition...

- Linear or nonlinear?
- Time domain or frequency domain?
- Coupling across surface? Volume? Point?
- Real coupling - strong or weak?
- Numerical coupling - tight or loose?
- Synchronization scheme?
- Hex, tet, polyhedral?
- User material or user element?
- Direct/iterative? Implicit/Explicit?
- CPU or GPU?
-



Our Technology Vision

Multiphysics & Science

3DS.COM | © Dassault Systèmes | 10/27/2017 | ref.: 3DS_Document_2016

Multiscale

Functional

Logical

Physical
(Macroscale
Continuum)

Material
Sciences

Physical
(Microscale
and Below
Non-Continuum)

Structures

Thermal

Fluids

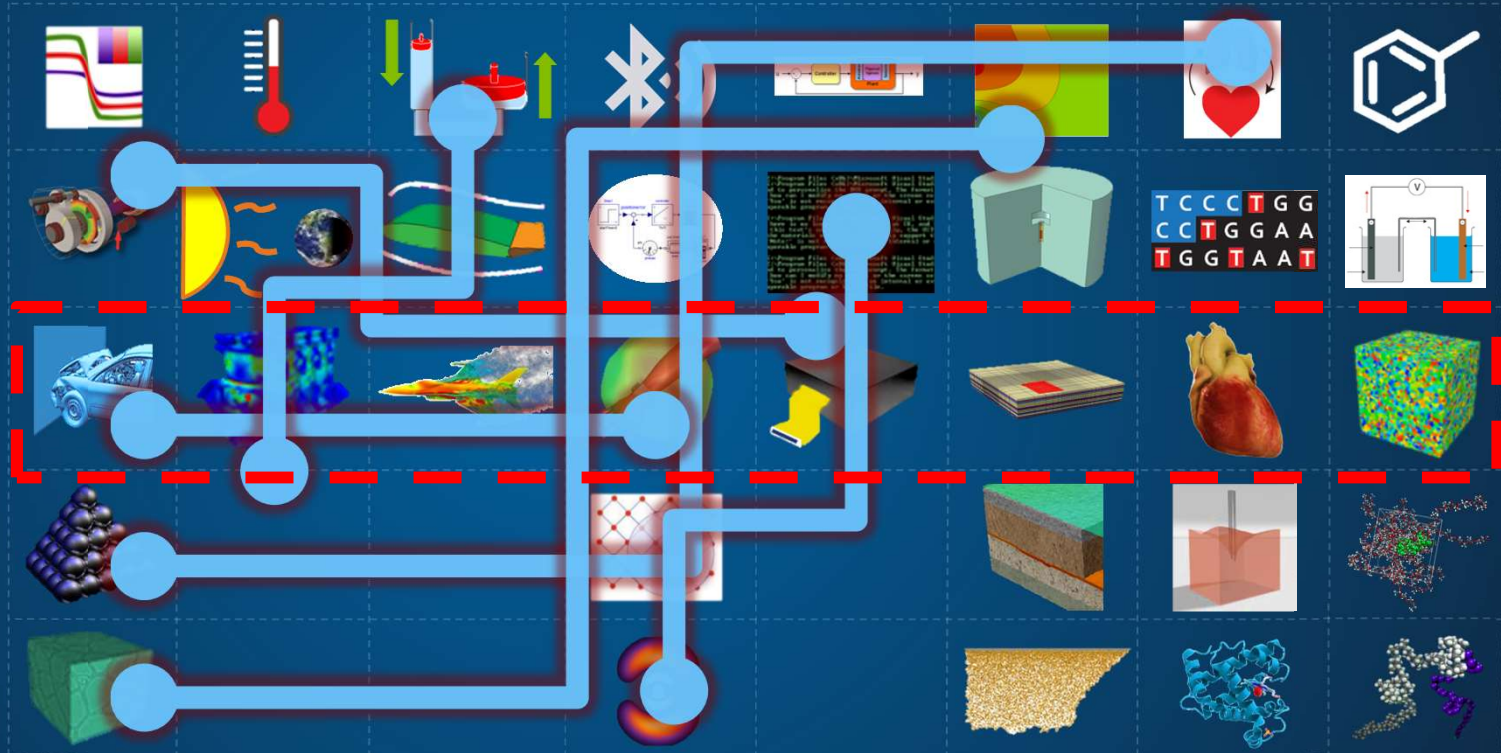
Electromagnetics

Controls

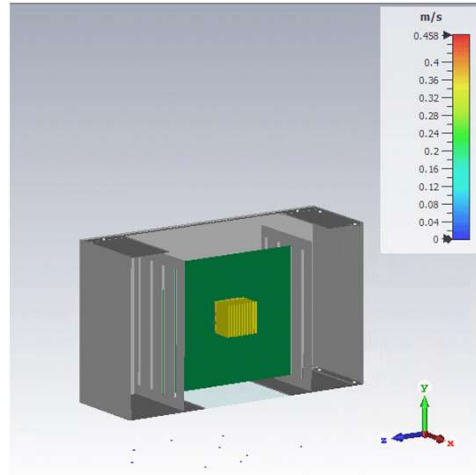
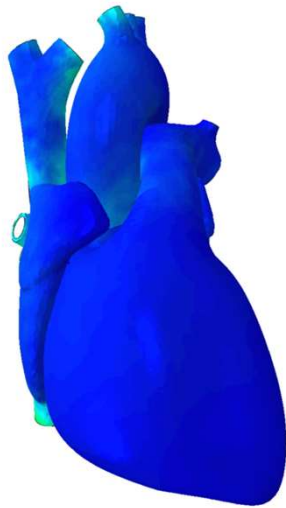
Geophysics

Biological

Chemical ...



Multiphysics Examples





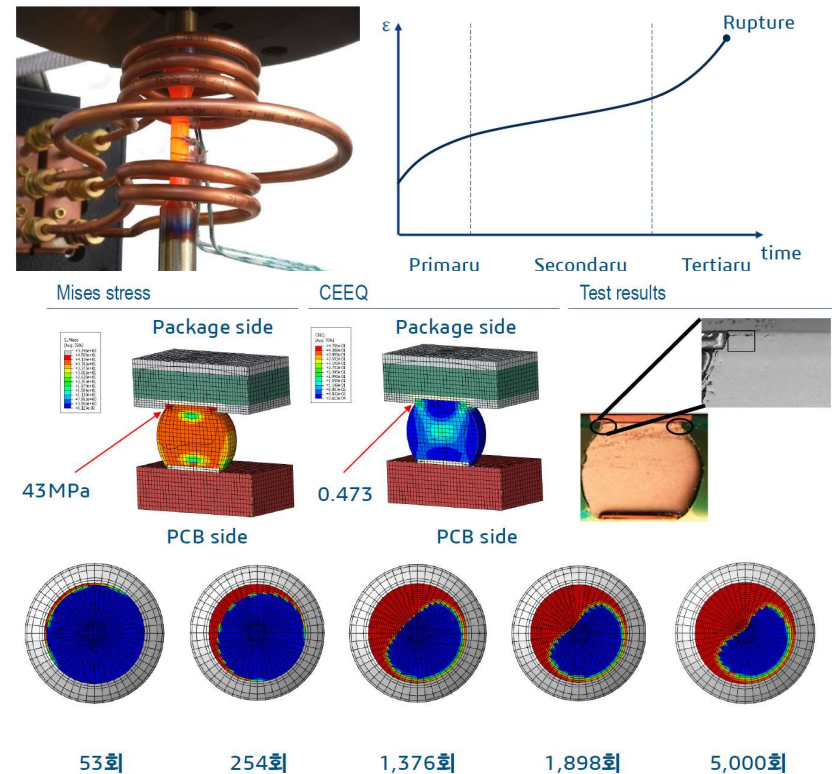
구조해석 Solver 및 전자 제품 해석 적용사례

3DEXPERIENCE®



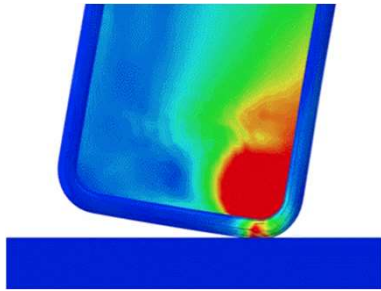
해석 Solver가 갖추어야 할 사항

- ▶ 전·후 처리기-제한적으로 2D 대부분 3D
- ▶ 다양한 Material Models
 - ▷ 비선형 물성 지원 – Plasticity, Creep
 - ▷ Damage model, Low cycle fatigue
 - ▷ Swelling
- ▶ 멀티스텝
- ▶ 멀티피직스 지원
- ▶ 비선형 지원
 - ▷ 접촉, 포스트 버클링, 기하학적 비선형..
- ▶ 고성능 컴퓨팅 (HPC) 지원



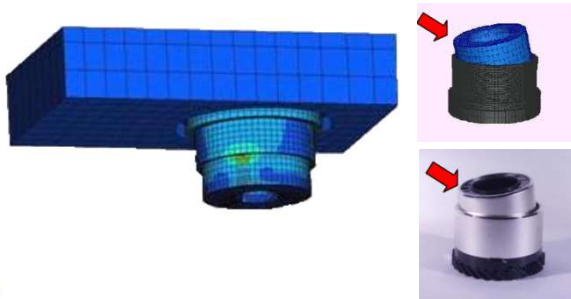
High-Tech Applications : Drop Testing

Cell/Smart Phone

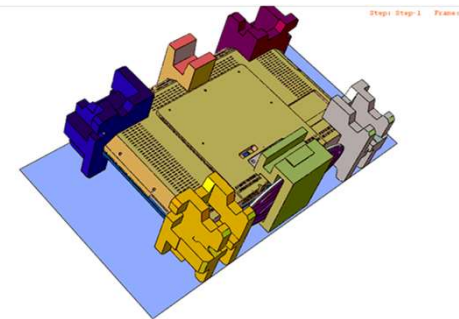


< <https://www.veryst.com/case-studies/cell-phone-drop-test> >

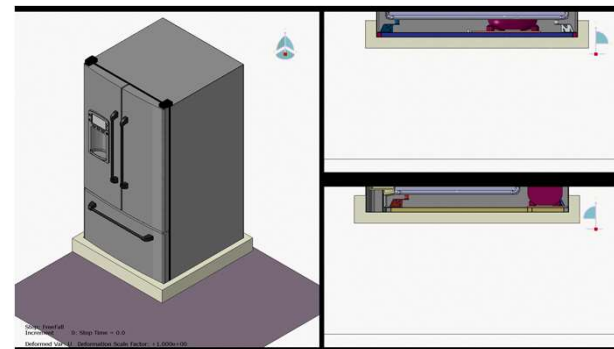
Digital Camera



TV



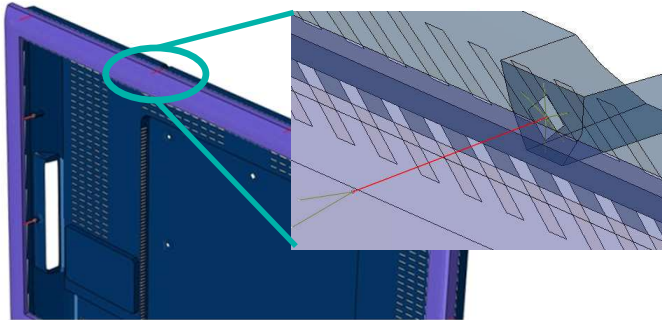
Home Appliance



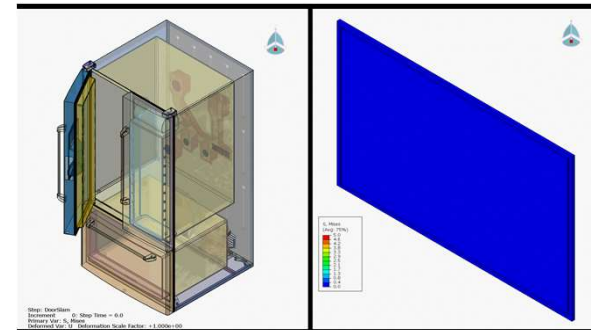
ASSAULT
STEMES

High-Tech Applications : Unified FEA

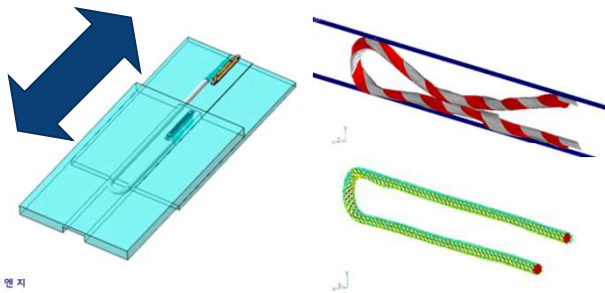
Assembly stress



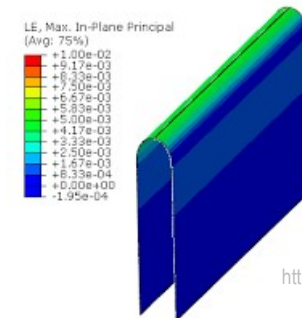
Mechanisms & Stress



Cable fatigue



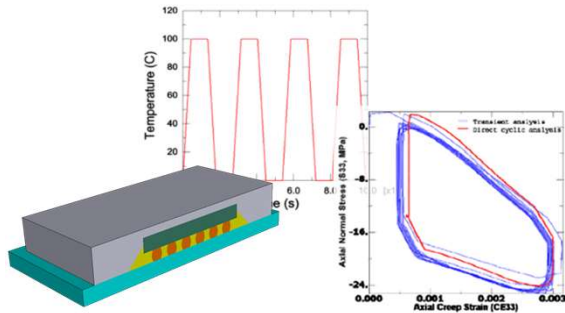
Folderable display



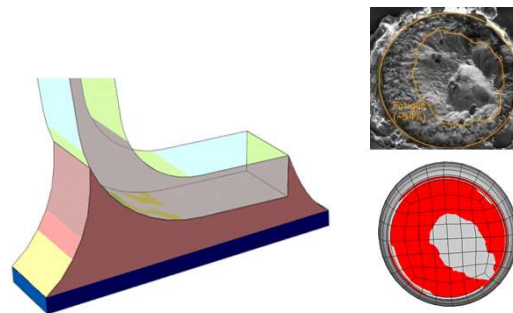
<https://doi.org/10.1002/sdtp.11796>

Semiconductor Applications

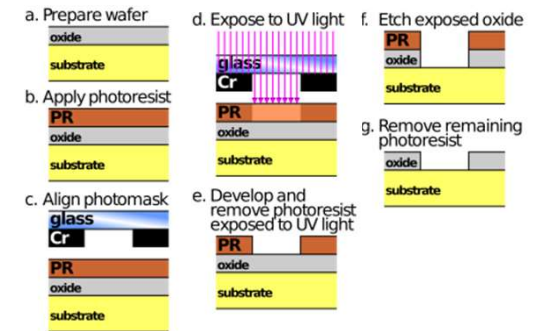
Thermal cycle



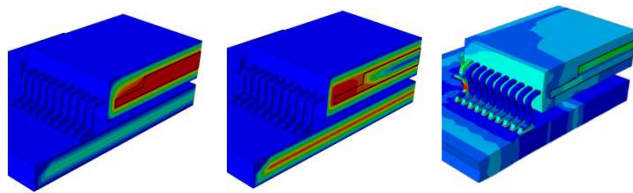
Fracture and Failure



Wafer processing



Moisture sensitivity

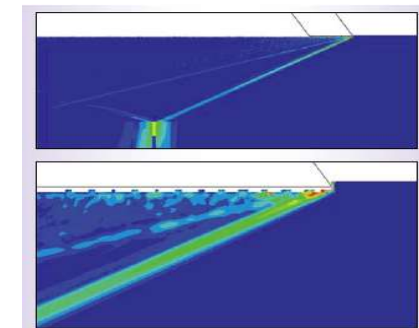
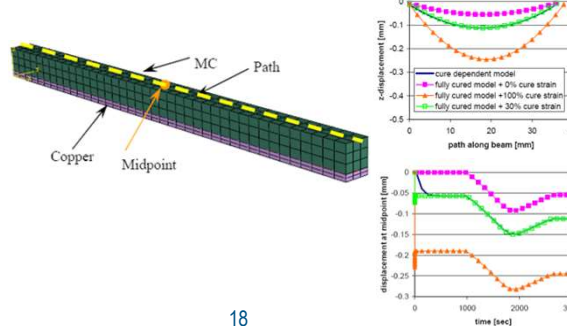


Temperature

Moisture

Stress

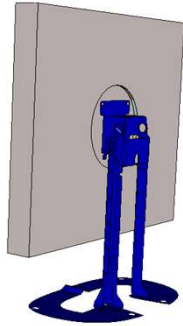
Cure and Warpage



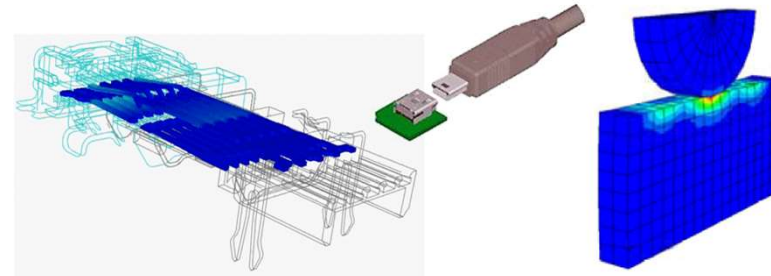
Stress distribution during back grinding

Other Electronics Applications

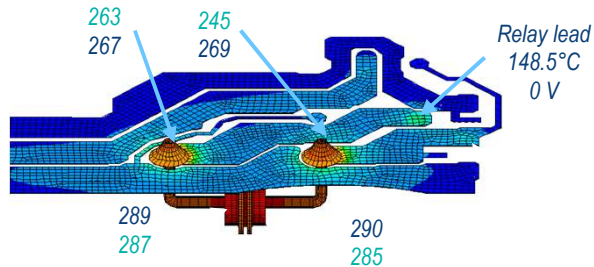
Vibration



Connectors & Wear

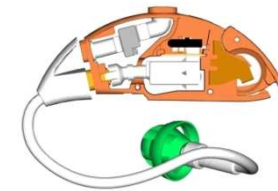
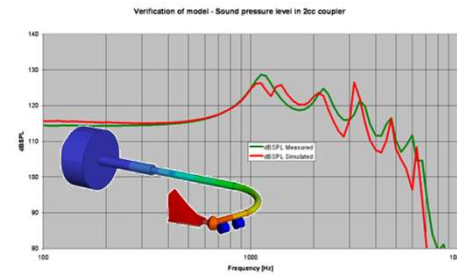


Thermal/Electrical



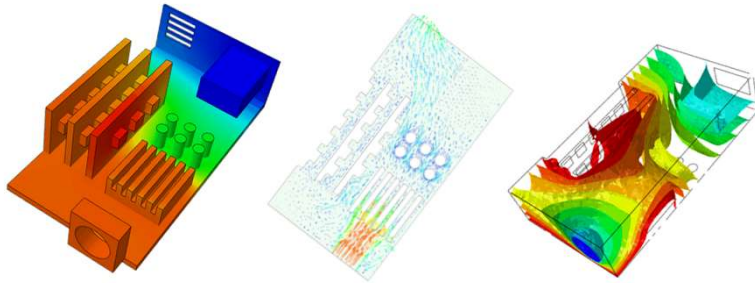
Analysis prediction
Measured temperatures

Acoustics

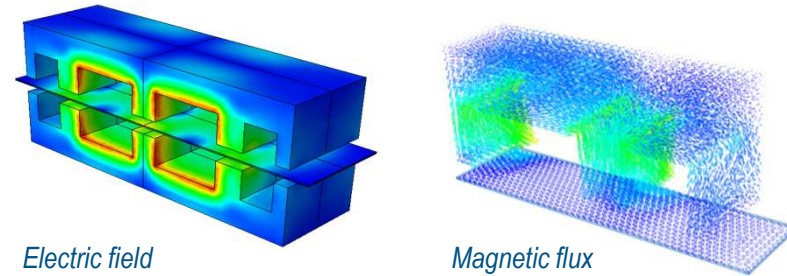


Other Electronics Applications

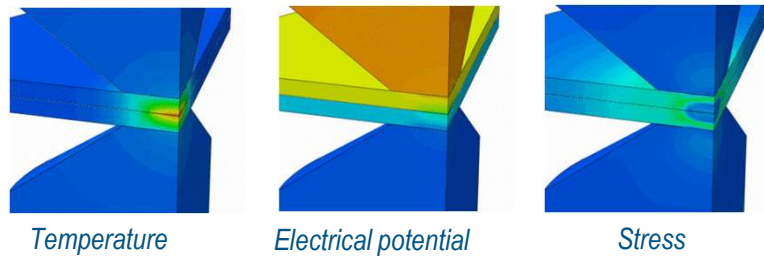
Cooling



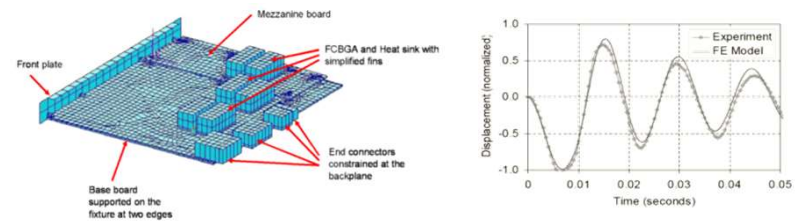
Electromagnetics



Thermal/Electrical/Structural



Shock





PCB Warpage 발생과 해석적 접근

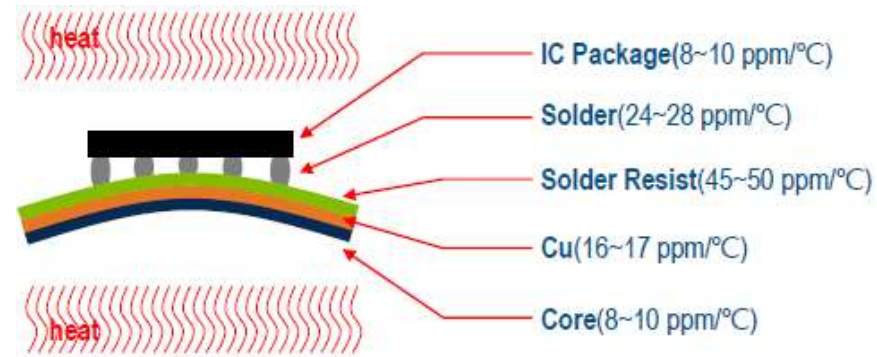
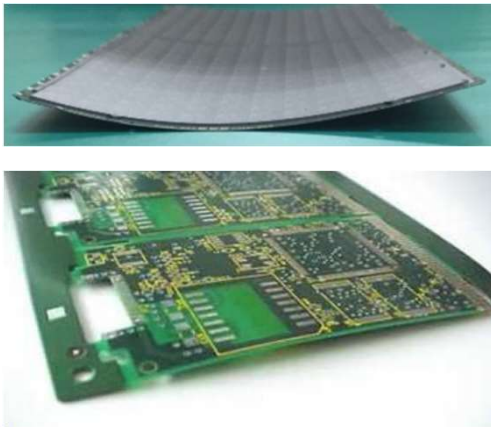
3DEXPERIENCE®



Warpage

▶ PCB Warpage 란?

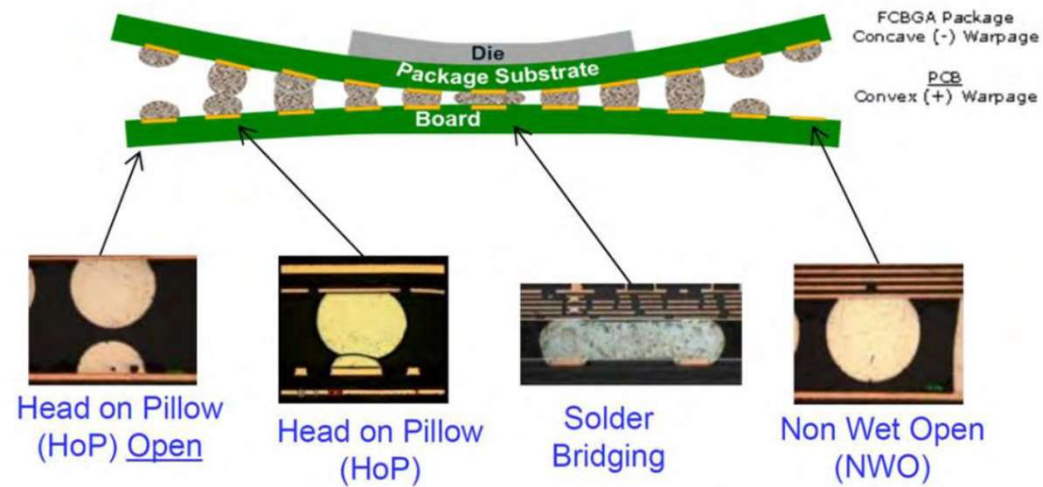
- ▷ PCB 제작공정 또는 운용 중 발생한 열적 불균형에 의한 휨 현상을 의미
- ▷ 열적 불균형의 요인으로는 장비 내의 균일한 공기유동장 형성 유무, 공정 온도 프로파일, PCB의 두께 및 크기, 동박층 패턴 등 여러 인자가 존재
- ▷ Warpage 발생의 원인은 PCB 구성 재료간 열적특성(열팽창계수) 차이



Warpage

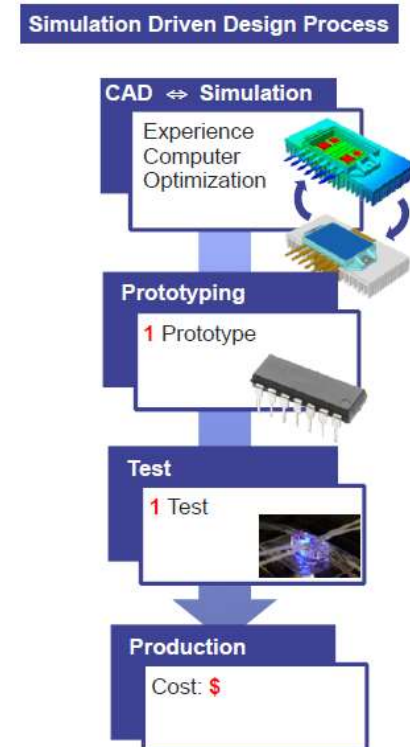
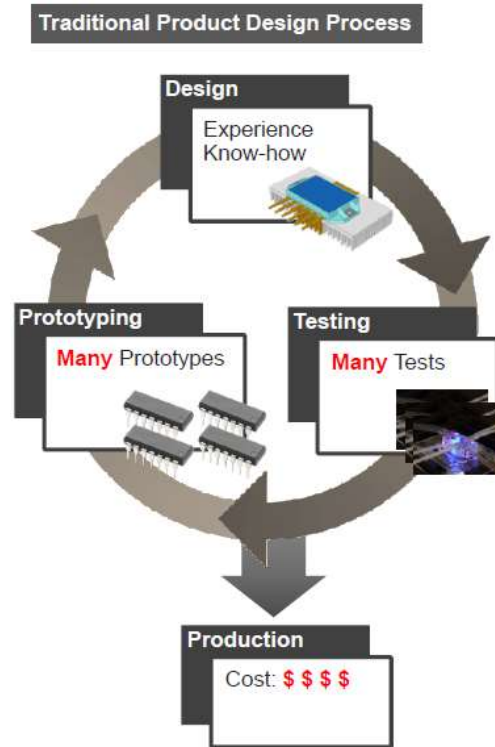
▶ Warpage 불량 사례

- ▷ PCB의 열적 불균형은 부가적인 응력을 발생시켜 심각한 손상을 야기함
- ▷ 보드 간의 들뜸, 내부 패턴 끊김 등



Warpage

- ▶ Warpage 거동에 대한 해석적 예측 필요성
 - ▷ PCB 제품은 점점 소형화, 고실장화되고 있으며, 이로 인한 Warpage 불량현상 증가 추세
 - ▷ 설계 단계에서 Warpage 현상의 정성적, 정량적 예측은 많은 비용과 시간을 효과적으로 감소시킴

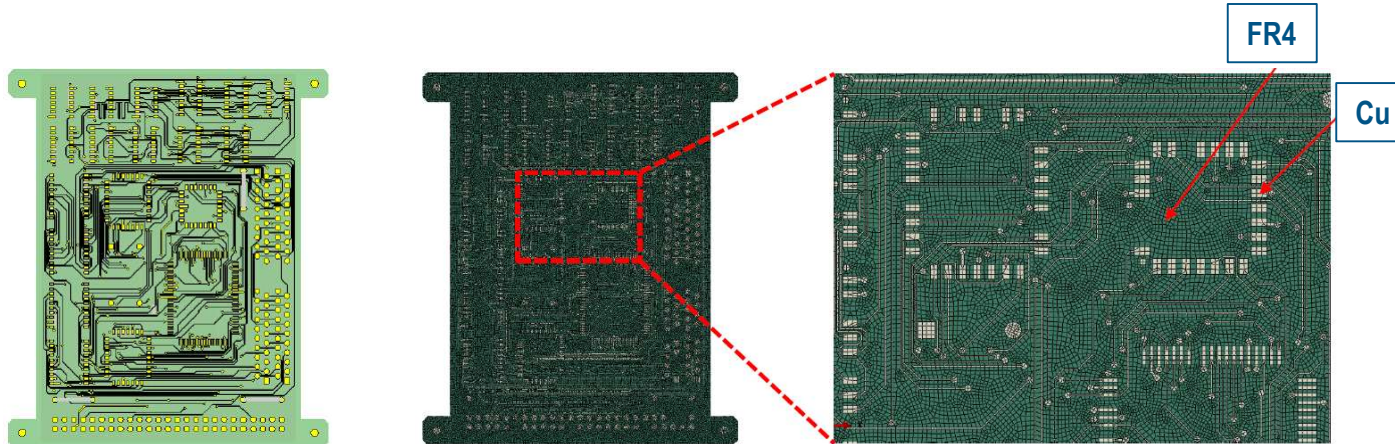


PCB 해석 모델링 기법

▶ Direct 모델링

▷ ECAD로부터 각 Layer의 Geometry Topology를 Direct Import 하여, MCAD로 변환

장점	단점
<ul style="list-style-type: none">해석 결과의 정확도 높음	<ul style="list-style-type: none">Trace 패턴이 복잡한 경우 상당한 해석 모델링 작업 시간 요구 됨요소 퀄리티 문제 발생 가능성 큼

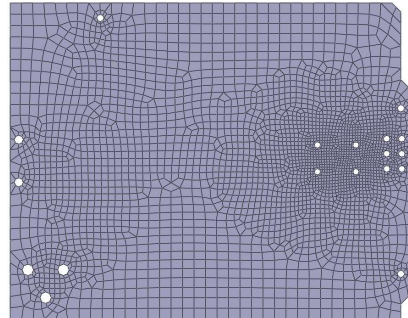
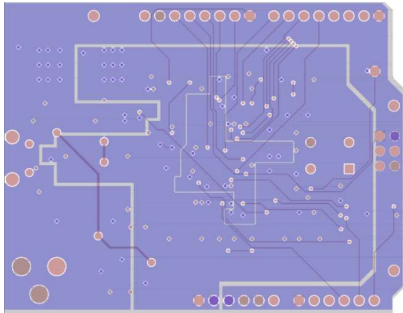


PCB 해석 모델링 기법

▶ 등가물성 입력법

- ▷ 각 layer 별 재료의 부피분율을 이용하여 등가 물성 적용
- ▷ Trace 패턴을 고려하지 않음

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> • 해석 모델링 및 해석 시간 짧음 	<ul style="list-style-type: none"> • 해석 모델의 사이즈가 클수록 해석 결과가 부정확함.



Layer #	Cu V.F[%]	Resin V.F[%]	Equiv. E
1	10	90	$0.1 * E_{Cu} + 0.9 * E_{Resin}$
2	50	50	$0.5 * E_{Cu} + 0.5 * E_{Resin}$
3	90	10	$0.9 * E_{Cu} + 0.1 * E_{Resin}$

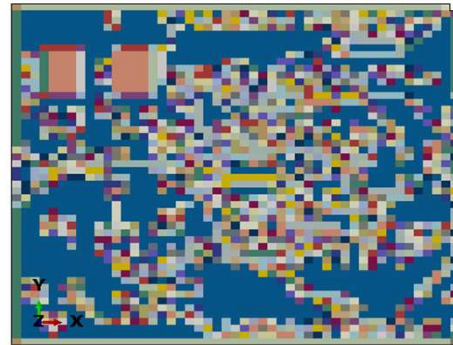
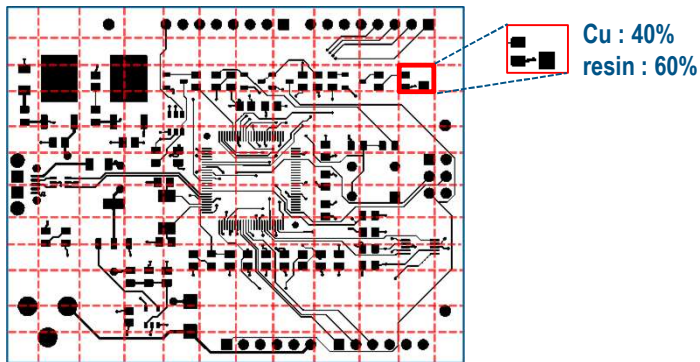
✓ $E_{equi} = V_{Cu} * E_{Cu} + V_{Resin} * E_{Resin}$

PCB 해석 모델링 기법

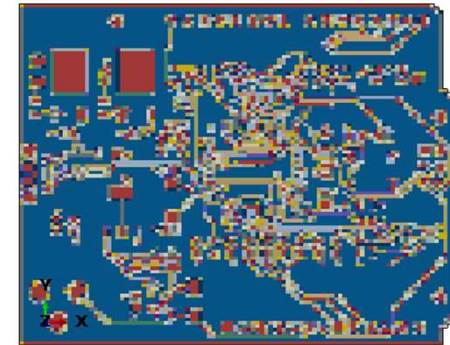
▶ Trace Mapping 기법

▷ 각 layer 별 단위 조각 내 부피분율을 이용한 등가물성 취득 및 적용

장점	단점
<ul style="list-style-type: none">적절한 단위조각 크기 적용시 정확한 해석 결과 획득 가능	<ul style="list-style-type: none">단위 조각 크기 선택에 따라 해석 결과에 미치는 영향 큼.



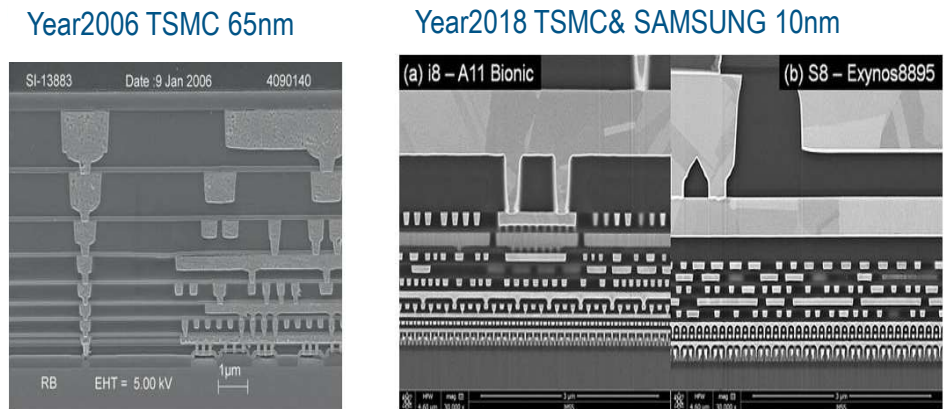
Grid number 50 X 50



Grid number 100 X 100

PCB 해석 간 문제점

- ▶ 집적회로 제조 기술의 발달로 PCB 해석 모델은 복잡하고 거대해짐
 - ▷ 실물의 소형화 및 경량화는 가능해졌지만, 해석 모델의 요소 수는 상대적으로 증가함 → 해석 시간의 증대
- ▶ 해석 엔지니어는 해석 모델링 과정에 많은 시간을 투자하게 됨
 - ▷ 결과 분석 및 개선 방안에 대해 검토하는 시간은 상대적으로 감소하게 됨





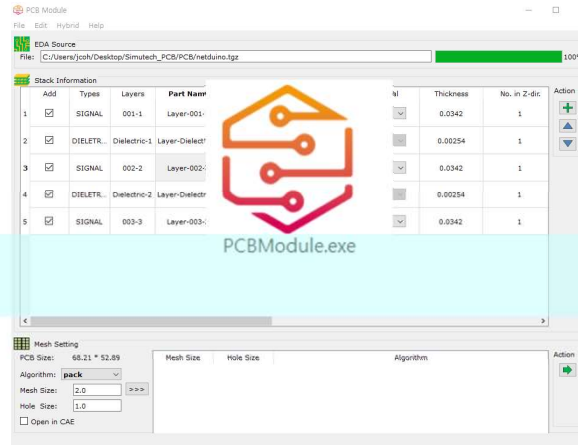
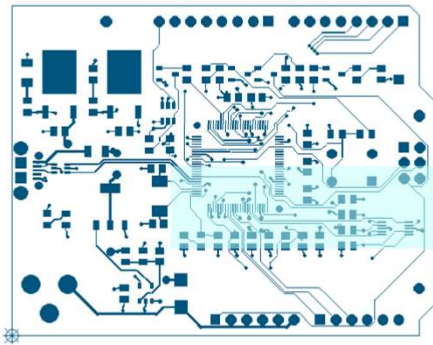
PCB 해석 모델링 자동화

3DEXPERIENCE®



PCB Module 개발 배경

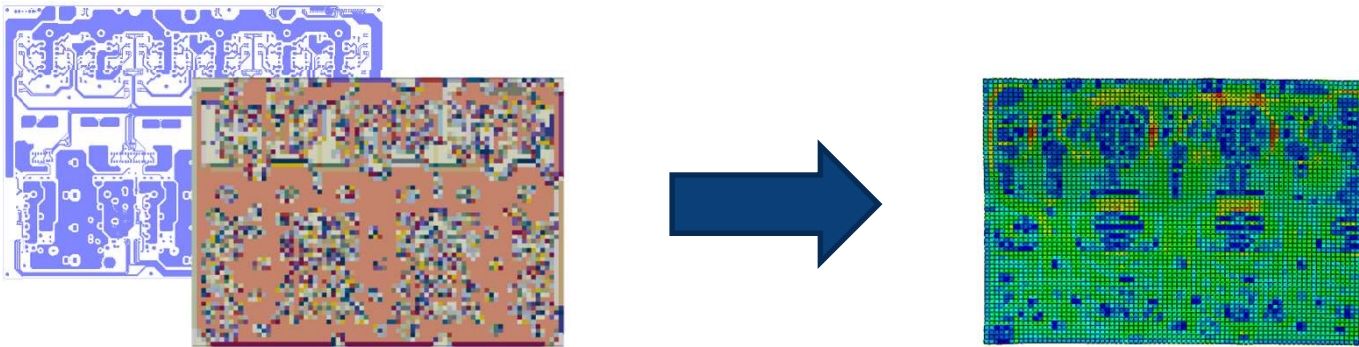
- ▶ PCB 해석 모델링의 자동화(Automation)가 요구 됨
- ▶ 기대 효과
 - ▷ 해석 모델링에 투자하는 시간의 감소
 - ▷ Vertical Application 방식으로 非 해석 전문가에 대한 해석 접근성 높임



PCB Module 소개

▶ PCB Module 특징

- ▷ Warpage 해석을 위한 PCB 모델의 빠르고 간편한 생성
- ▷ ODB++/GDSII/dxf 파일 등의 ECAD 레이아웃 파일 지원
- ▷ 이미지 인식기술을 통한 PCB 레이아웃의 3차원 유한요소모델로 변환
- ▷ 선형/비선형 재질 특성에 대한 요소 하나하나의 등가물성 자동 계산

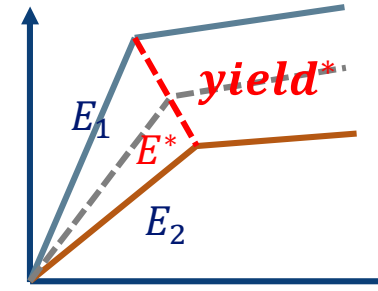
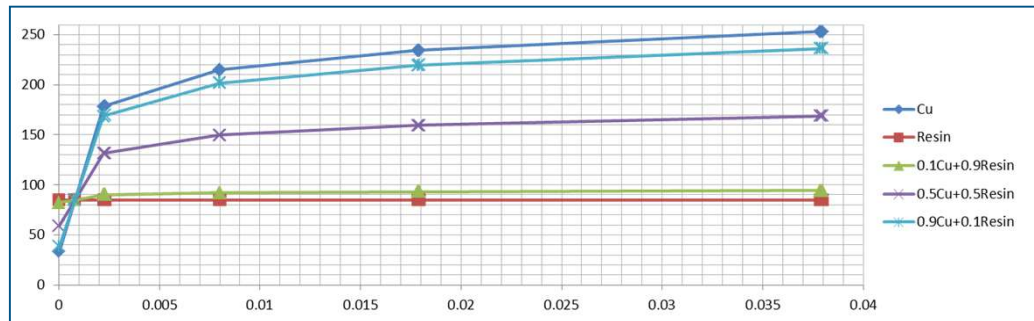


PCB Module 소개

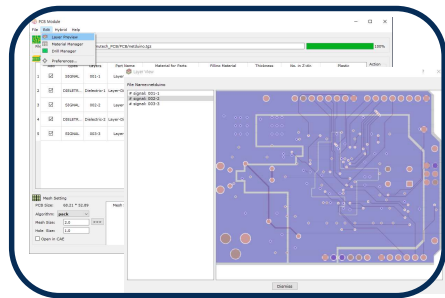
▶ 등가 물성(Equivalent Material)

▷ 등가 물성은 열변형과 관계된 구조적 물성을 모두 지원

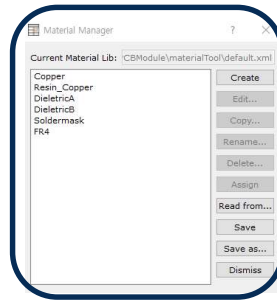
▶ 구조적 물성 : 밀도, 탄성계수, 프아송비, 열팽창계수, 소성 데이터



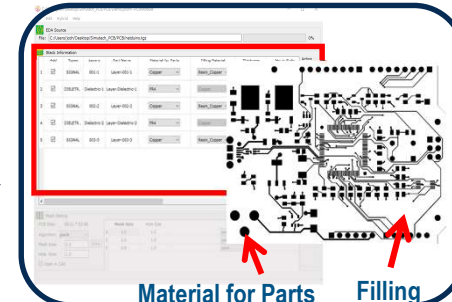
PCB Module 워크플로우



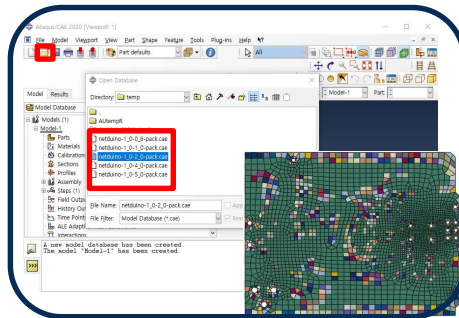
1. ECAD Import



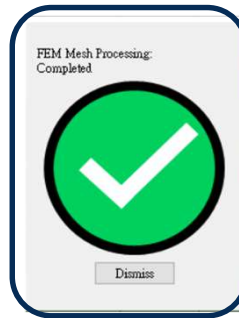
2. 재질특성 정의



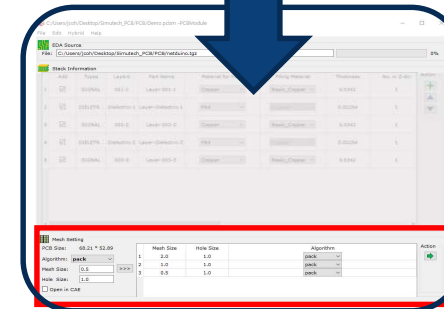
3. Stack Information 정의
Material for Parts Filling



6. 해석조건 정의 및 해석



5. FE모델 구성 완료



4. Mesh Setting

Material Manager

▶ PCB를 구성하는 기초 재질 특성 정의

▷ 기본 재질 라이브러리 제공 및 사용자 정의 재질 구성 가능

The screenshot shows the Material Manager window with the following callouts:

- 기본 재질 목록**: Points to the list of materials (Copper, Resin_Copper, DielectricA, DielectricB, Soldermask, FR4).
- Abaqus 인풋 파일 내 재질 데이터 읽기**: Points to the **Read from...** button.
- 기본 재질 데이터 수정**: Points to the **Edit...** button.
- 탄성, 소성, 밀도, 열팽창 계수에 대한 정의 온도 종속성 고려 가능**: Points to the **Use temperature-dependent data** checkbox in the **Edit Material** dialog.
- 기본 재질 목록의 변경 정보 저장(*.xml 파일 포맷)**: Points to the **Save as...** button.

The **Edit Material** dialog shows the following fields:

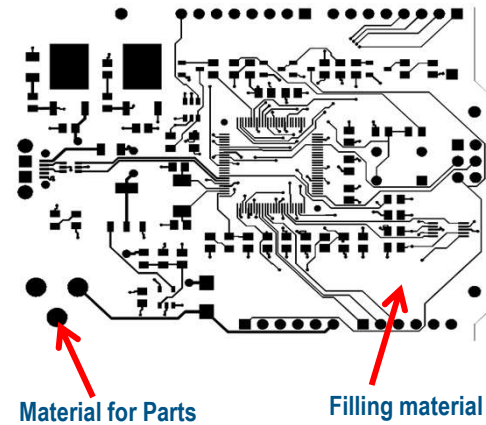
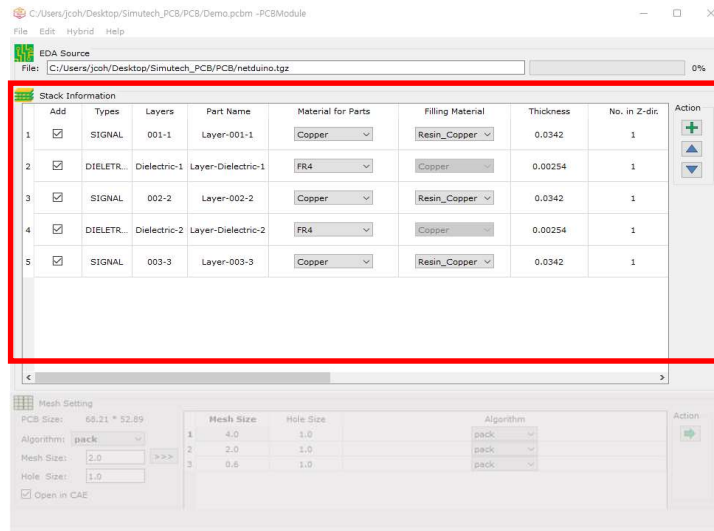
- Name: []
- Description: []
- Unit: SI(mm)
- Properties: Elastic, Plastic, Density, Expansion
- Type: Isotropic
- Use temperature-dependent data
- Table with columns: Young's Modulus, Poisson's Ratio

The **Save Material to XML** dialog shows the following fields:

- File name: default.xml
- File format: XML Files (*.xml)

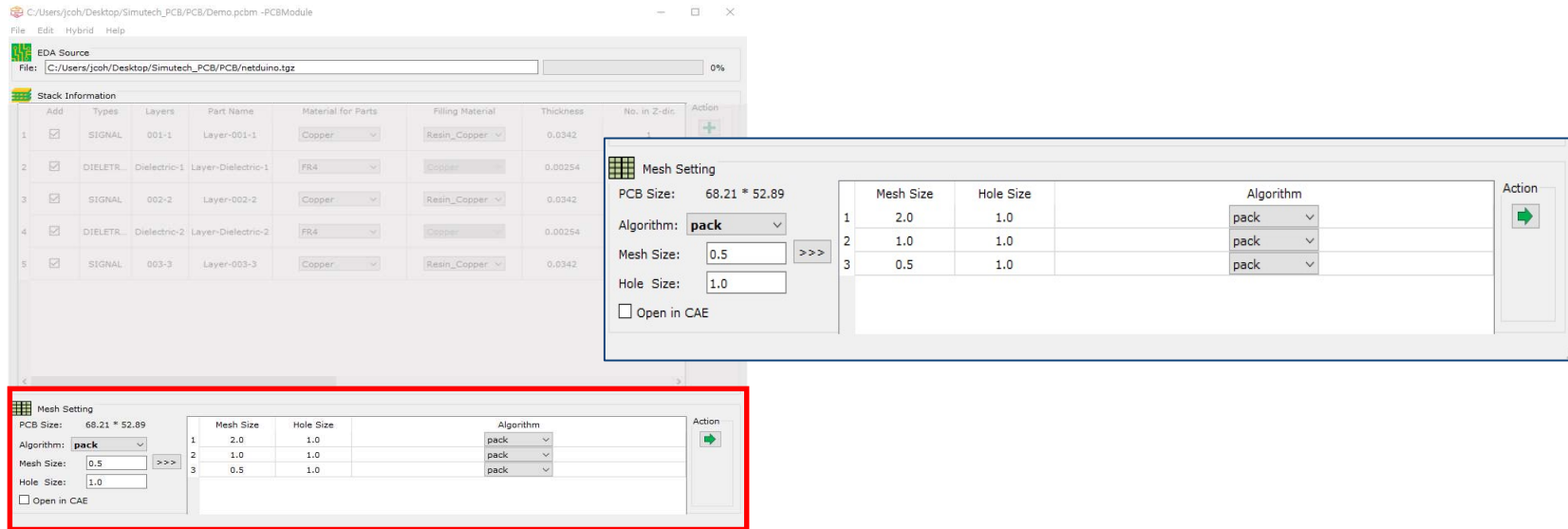
Stack Information

- ▶ 레이어 적층 순서 및 재질 구성, 두께 정보에 대한 정의
 - ▷ Material for Parts : 동박패턴 영역 재질 지정
 - ▷ Filling Material : Substrate 영역 재질 지정



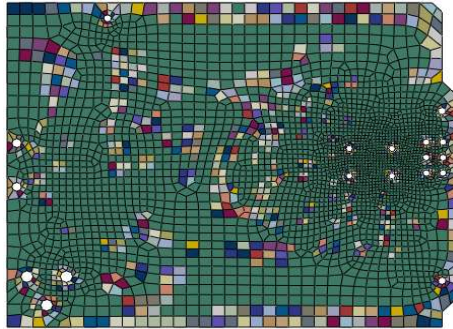
Mesh Setting

- ▶ 생성될 유한요소모델의 격자구성 알고리즘 및 요소(단위조각) 크기 등의 지정

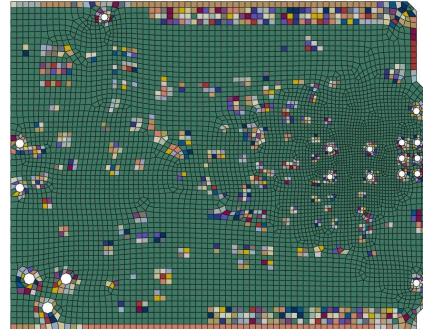


벤치마크 모델

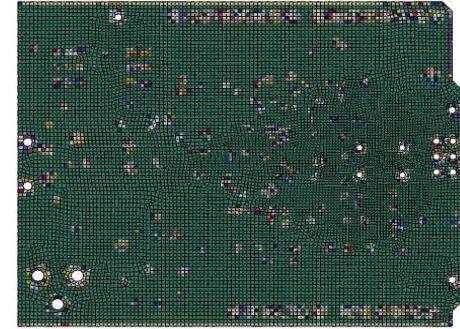
- ▶ 요소 크기에 따른 결과 편차 분석
 - ▷ 동일 ECAD 레이아웃에 대한 요소 크기 별 해석 모델 생성
 - ▶ 요소 크기 : 2mm/1mm/0.5mm
 - ▷ 상온에서 150°C로 승온 시 발생하는 Warpage 형상 및 크기 비교



Mesh Size : 2mm



Mesh Size : 1mm

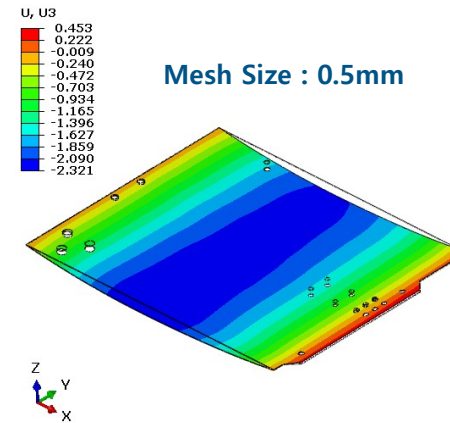
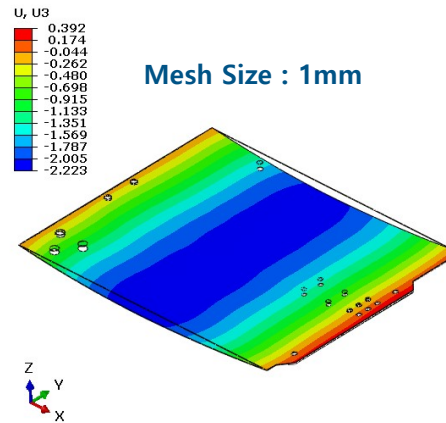
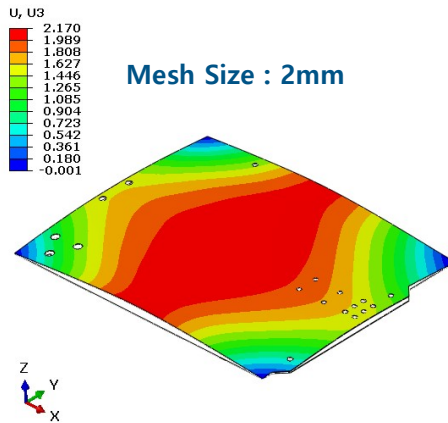


Mesh Size : 0.5mm

벤치마크 모델

▶ 해석 결과

Mesh Size	Warpage 양[mm]	Warpage 모드
2mm	+2.170	Cry
1mm	-2.223	Smile
0.5mm	-2.321	Smile

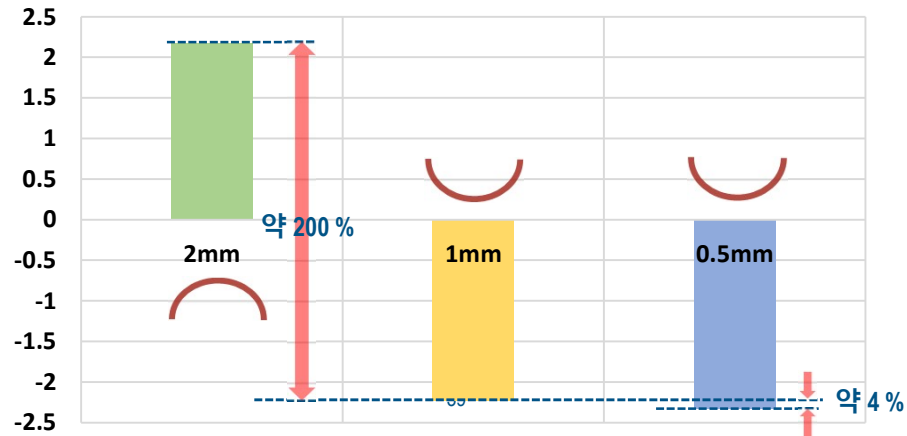


벤치마크 모델

▶ 해석 결과

- ▷ 요소 크기 1mm 모델 결과 기준 다른 모델과의 상대 차이 비교 시
 - ▶ 요소 크기 2mm 모델은 Warpage 모드가 역으로 평가 됨 → Warpage 상대 오차 큼
 - ▶ 요소 크기 0.5mm 모델은 Warpage 모드 및 크기가 매우 유사함
- ▷ 해당 PCB 모델은 1mm 이하의 Mesh Size를 고려한 해석이 필요함

Mesh Size에 따른 Warpage 양 비교





Warpage 최소화를 위한 Chip 배치 최적화

3DEXPERIENCE®



Isight 개요

▶ 자동화/최적화 프로세스 구성 프로그램

▷ 프로세스 자동화

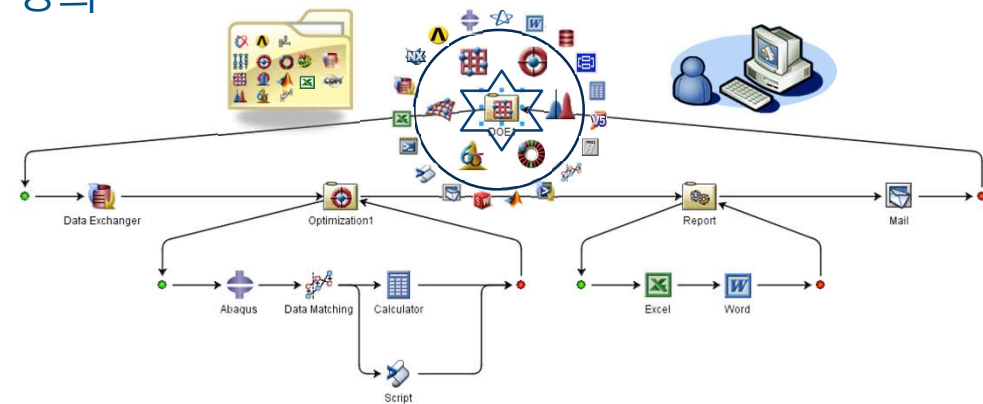
- ▶ MS-Office, CAD, CAE 및 In-house tool들을 기반으로 프로세스 자동화 기능 제공

▷ 프로세스 통합화

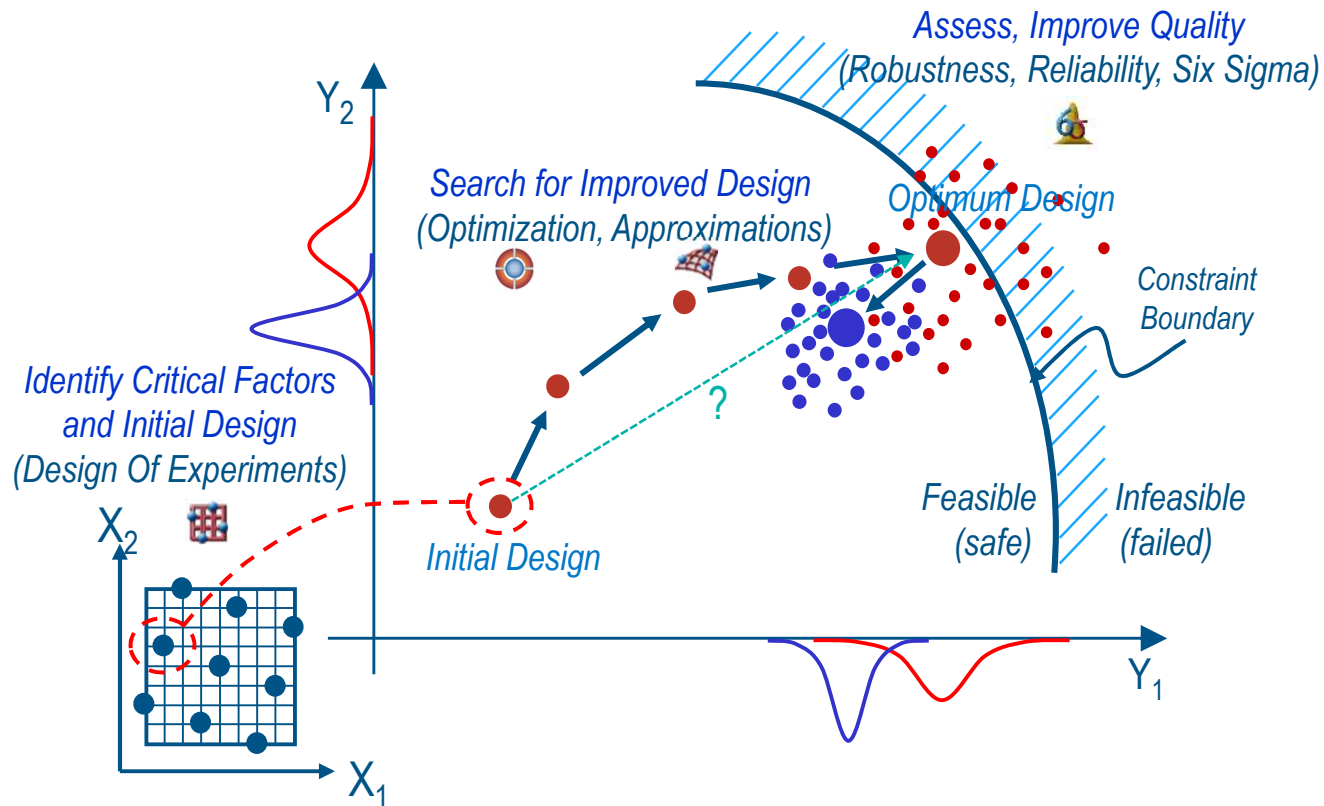
- ▶ 직관적인 GUI로 단위 기능들의 연계관계 정의
- ▶ 복잡한 Workflow 조건 및 분기 정의

▷ 프로세스 최적화

- ▶ 생성된 프로세스에 다양한 최적화 전략을 적용한 최적설계안 탐색



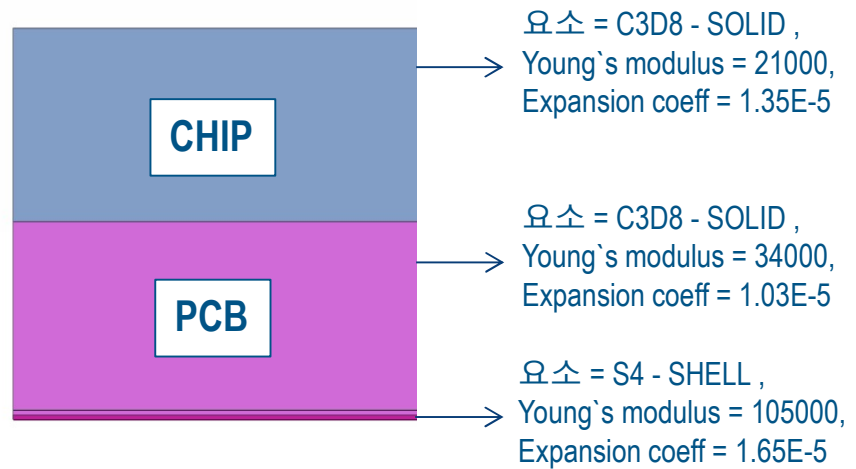
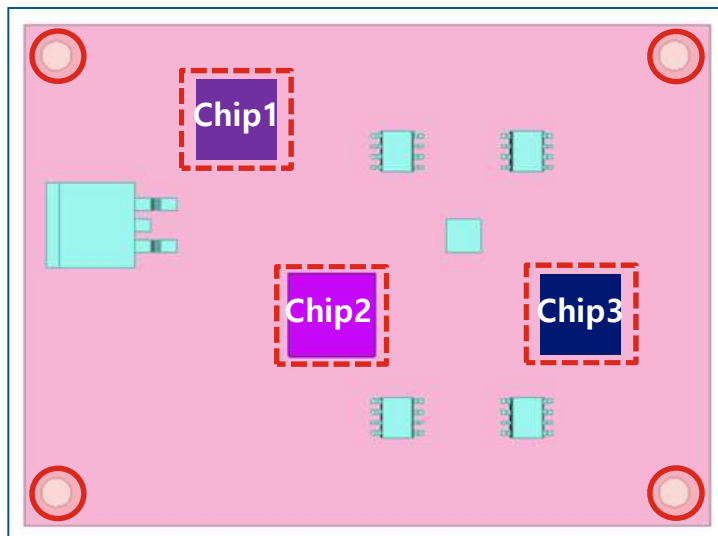
Exploration: Automated Design Strategies



Chip 배치 최적화 프로세스

▶ PCB 해석 모델 구성

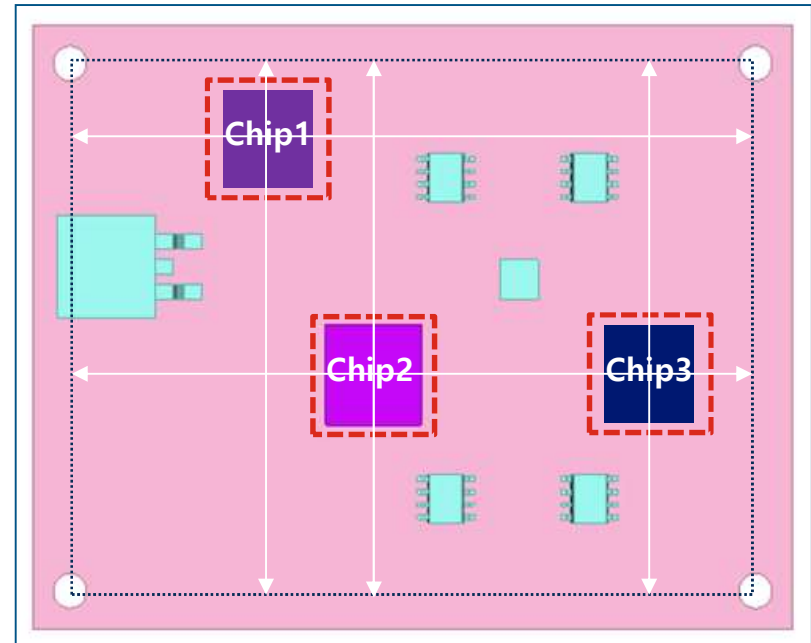
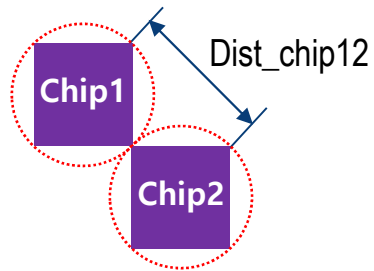
- ▷ 100°C 승온 조건 下에서의 warpage 해석 결과 확인
- ▷ Bolt 부 자유도 구속



Chip 배치 최적화 프로세스

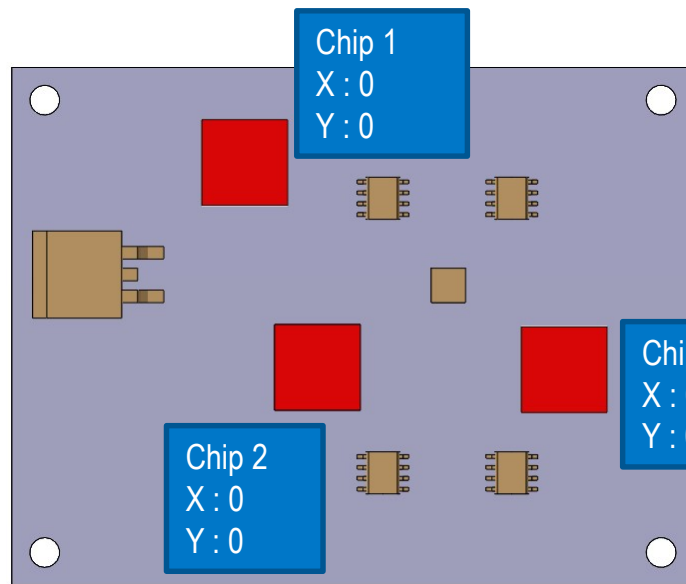
▶ 최적화 문제 정의

- ▷ 목적 함수 : Warpage 최소화
- ▷ 설계 변수 : 3개 chip의 위치(X,Y)
- ▷ 제한 조건 :
 - ▶ 각 Chip 간 간섭이 일어나지 않아야 함.
 - ▶ Chip 이동 위치의 상한/하한 적용

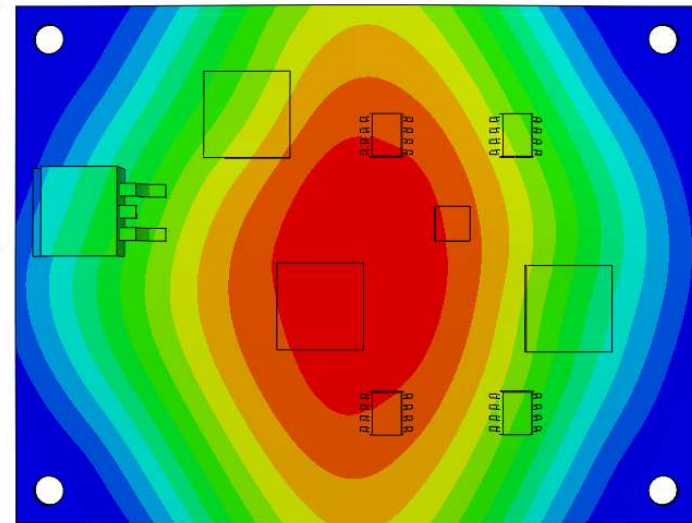
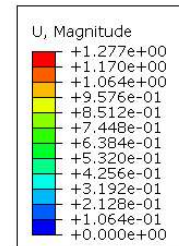


Chip 배치 최적화 프로세스

▶ 초기 모델 해석 결과



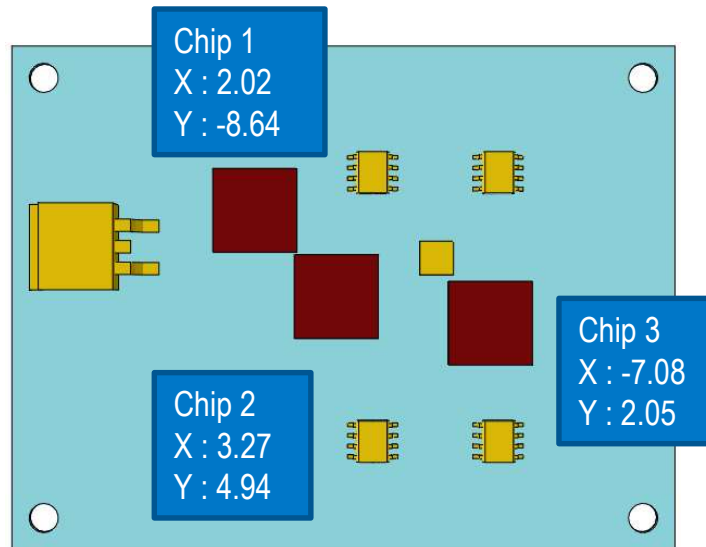
Chip 배치



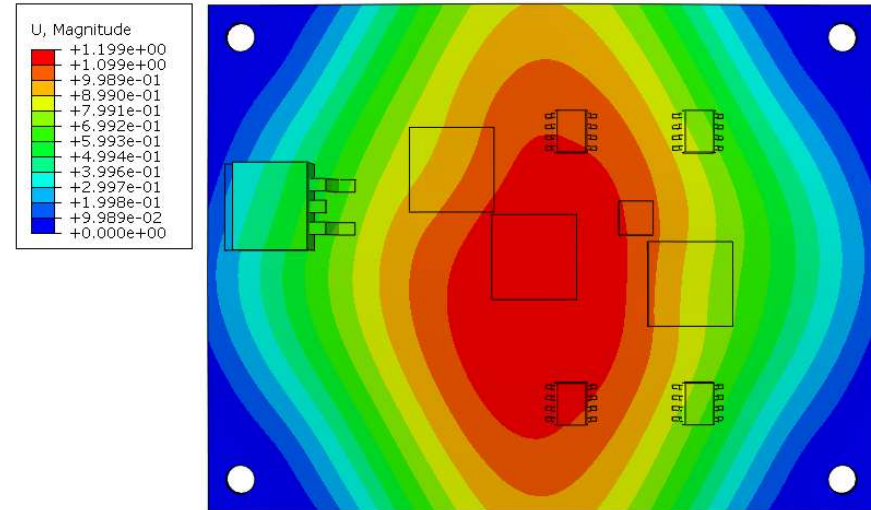
최대 힘 변위 : 1.277

Chip 배치 최적화 프로세스

▶ Chip 배치 최적화 결과



Chip 배치



최대 힘 범위 : 1.199 (약 7% 감소)



맞음말

3DEXPERIENCE[®]



DS DASSAULT SYSTEMES | The 3DEXPERIENCE[®] Company

맺음말

- ▶ 해석은 생각보다 가까이
- ▶ DS의 S/W는 현장에서 필요한 대부분의 해석 업무 지원 가능
- ▶ DS와 VENGL는 고객 지원을 위한 준비가 되어 있습니다.
- ▶ 그럼 한 번 같이 해보실까요?

