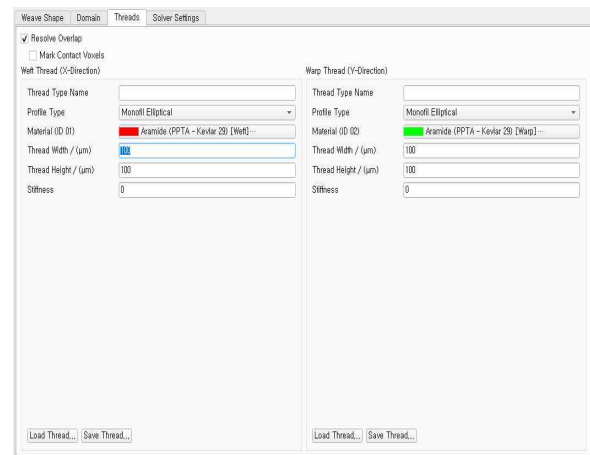
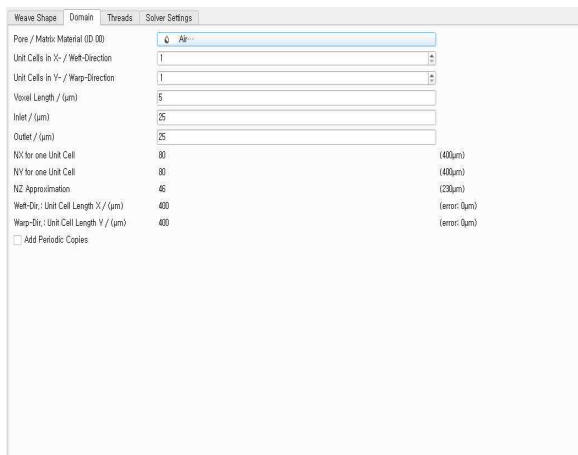


안전보호 구조체의 구조적 개별 성능 시뮬레이션 DB 구축 (81건)

- 에너지 효율 및 제품 경량화를 위해 다양한 섬유 기반 안전보호 구조체가 개발되고 있으나, 관련 시뮬레이션 DB가 부족한 상황임.
- 이에 따라 안전보호 원단의 위사/경사/높이 및 너비에 따른 변위와 응력 특성을 분석하고, 물성을 최적화하기 위한 시뮬레이션 DB를 구축하였음.
- 동일한 원단 구조에서 위사/경사의 너비와 높이에 따른 기계적 특성을 평가하기 위해 위/경사 너비/폭에 따른 기계적 성능 분석 및 통계 데이터 기반의 예측 모델 적용을 통한 성능 평가를 수행함.
- 동일한 원사 구조를 기반으로 위/경사의 폭과 너비를 변수로 선정하였음.
- Geodict의 WeaveGeo 모듈을 활용하여 안전보호 원단의 형상을 모델링하였음.
- 위사, 경사 모두 동일한 소재를 사용하였기에 이를 기반으로 일정한 도메인 크기(Warp pitch와 weft pitch를 $200\mu\text{m}$)에서 위사/경사/너비/높이 인자를 3가지로 구분하여 모델링 하였음.(여기서 생성된 모델은 시뮬레이션 DB로 활용하였음)



[안전보호 원단 구조 변수 설정]

- 동일한 원사 및 평직(Plain) 구조를 기반으로 위사·경사의 높이와 너비를 주요 변수로 설정하여 총 81개 Design Point 모델을 구축하였음.
- 시뮬레이션 조건 설정은 다음과 같이 진행하였으며, 모든 모델에서 동일한 조건으로 진행하였음.

[시뮬레이션 조건]

Solver Type	Computation Direction	Add implicit region [Voxel]	Pressure Drop [Pa]	Boundary Condition
Navier-stoke (-brinkman)	X	inflow : 10 outflow : 10	0.02	Periodic

- 시뮬레이션 조건 설정은 다음과 같이 진행하였으며, 모든 모델에서 동일한 조건으로 진행하였음.

[illegible]

Constraint Material	Macroscopic Limit Case	Geometry Handling	Solver	Output	Equations & References
Experiment	Universal Experiment - Tensile			Experiment Conditions	
Load Type	Ptch-Compressed			In Targeted Direction	☐ Free
Load Case				Y-Direction	☐ Free
				Z-Direction	☐ Free
Description	X			Fluid Pressure	
Plane				Pressure Mode	☐ No Pressure
Angle in Plane / °	0			Fluid Pressure / (GPa)	0
Lead Table	Lead Slope				
Time / (s)	Step / (s)	Tens. Change / (%)			
0.1	1	0			
0.2	2	0			
0.3	3	0			
0.4	4	0			
0.5	5	0			
Number of Rows	5	10			
Lead ...	Save ...			Apply	
Boundary Conditions					
☒ Periodic ☐ Symmetric ☐ Mixed					
Constraint Material	Macroscopic Limit Case	Geometry Handling	Solver	Output	Equations & References
Division/Display Options					
Tolerance 1E-07					
☐ Maximal Iterations 1000					
☐ Maximal Run Time / (s) 360					
Method Interpolation (Memory Efficient Conjugate Gradients)					
Parallelization Local Area = 40					
☐ Use Downsampling E8-10					
Downsampling Factor 2					
Composite Voids Laminar Theory					
☐ With Information Data File (save but less memory)					
Material Model for Anisotropic Materials (Use Orientation from Anisotropy Objects (gnd))					
Constraint Material	Macroscopic Limit Case	Geometry Handling	Solver	Output	Equations & References
Equations (with Geometric Nonlinearity)					
Equilibrium equation $\nabla \cdot (\sigma) = 0$					
Kinematic equation $\dot{\epsilon} = E^{-1} : \left(\dot{T} + \frac{1}{2} (\dot{T}^T + \dot{T}) \right)$					
Variables (with Geometric Nonlinearity)					
σ	Px	Stress tensor			
ϵ	I	Strain tensor			
E	I	Macroscopic elastic tensor			
$\dot{\epsilon}$	m	Displacement vector			
Equations (with Geometric Linearity)					
Equilibrium equation $\nabla \cdot (P.F) = 0$					
Kinematic equation $P = F \cdot E$					
Variables (with Geometric Linearity)					
P	Px	First Piola-Kirchoff stress tensor			
F	I	Deformation gradient			
P	I	Macroscopic deformation gradient			
$\dot{\epsilon}$	m	Displacement vector			
References					
S. Hashin, P. Sussner, 1995: A numerical method for computing the overall response of nonlinear composites with complex microstructures. <i>Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering</i> , 131(1-2), p. 81-106.					
C.L. Dvorinec, S. Chernoz, 2006: Theoretical analysis of the elastic behavior and mechanical properties. <i>Geophysical Journal International</i> , 165(2), p. 887-918.					
V. Nika, A. Wengert, 2006: Evaluation of an improved iterative method for optimal material design of the effective elastic moduli of composite materials. <i>Numerical Algorithms</i> , 51, p. 309-331.					
V. Nika, A. Wengert, M. Achts, 2008: Efficient calculation of effective elastic moduli in 3D linear elasticity. <i>Archiv für Mechanik und Bautechnik</i> , 104, Nr. 3, p. 1-22.					
M. Kohn, R. Vekstein, M. Sroog, 2003: Use of computer models in HTI-based reservoir characterization. <i>Computational Methods in Applied Mechanics and Engineering</i> , 200, p. 39-106.					
R. Gholami, P. Ghafar, M. Jahan, 2015: Computational homogenization of elasticity as a proposed tool for journal for Numerical Methods in Engineering, 193(2), p. 589-704.					

[안전보호 원단 기계적 성능 평가를 위한 변수 설정]

[기계적 성능 시뮬레이션 조건]

Material Property	Load Direction	strain Magnitude (%)	Number of step	Boundary Condition	Geometry update	Tolerance
Aramid (Kevlar) (Failure stress 적용)	X	5	5	Periodic	Calculate on deformed Geometry	0.001

- 동본 해석의 경우, 안전보호 원단의 파단 특성을 해석해야 하기에 원단의 Failure stress 값을 해석값에 반영하고, 인장해석의 특성상 단축(1축) 특성 확인이 가능하기 때문에 x, y 방향 중 x축으로의 해석을 수행하였음.
- Strain Magnitude의 경우, 일반적으로 2~3%에서 아라미드 원단이 파단난다는 실험데이터와 초기 해석 데이터를 기반으로 5%로 설정하였음.
- 위 조건을 기반으로 기계적 성능에 대한 해석 데이터(파단강도, 선형특성강도(Young's modulus, poisson ratio) 및 시뮬레이션 이미지를 확보하였음.
- 경계조건은 안전보호원단 위사/경사의 높이와 너비를 50~150mm범위내에서 변경하면서 시뮬레이션을 수행하였음. 각 Design Point별 원단구조별 및 파단강도 선형탄성특성 결과는 아래 표와 같이 도출됨.
- 안전보호 원단의 위사/경사의 높이와 너비에 따라 인장강도 평가를 위한 파단강도 선형탄성 특성 시뮬레이션 데이터를 확보하였음.