

제조공정의 주요 영향인자를 고려한 제품의 피로내구성능 평가

Fatigue Life Prediction by Key Influence Factor from Manufacturing Process



김 태 진*

*(주)CAE CUBE 대표이사

1. 서론

오늘날 다양한 산업계에서 전산 시뮬레이션을 통한 제품 개발은 보편화되었고, 컴퓨팅 파워의 급속한 향상에 따라 전산해석의 결과 또한 매우 높은 신뢰성을 보여 주고 있다. 이러한 전산해석의 효용성 증대에 따라 활용영역은 보다 다양해지고 있으며, 여러 분야를 통합하는 형태의 접근방법이 각 산업계와 학계의 최근 연구과제의 주된 관심이 되고 있다.

이에 본 기사를 통해 현재 제품개발의 현업에서 품질확보를 위해 많은 연구가 진행되고 있는 전산해석을 이용한 제품의 피로내구성능 평가에 대해 주요 과제와 최신 동향을 살펴보고자 한다.

2. FEMFAT을 이용한 피로내구해석 프로세스

FEM(Finite Element Method) + Fatigue의 합성어인 FEMFAT

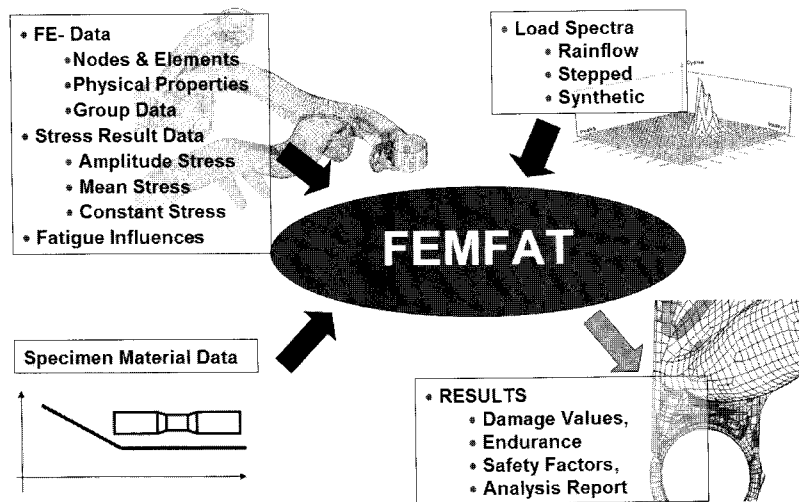


그림 1 FEMFAT을 이용한 제품 피로내구해석 프로세스

은 합성어의 의미가 나타내듯이 유한요소해석결과를 이용하여 제품의 피로내구성능을 평가하는 전산해석 프로그램이다. 현재 국내에서 사용되는 대부분의 FE-Solver와의 Direct Interface를 지원함으로써 다양한 전산해석 환경을 운용해야 하는 개발 및 연구부서의 요구조건을 충족시키고 있으며, 다분야 통합해석을 위한 환경지원 차원에서도 많은 이점을 제공하고 있다.

그림 1은 FEMFAT을 이용한 제품의 피로내구해석 프로세스를 나타내고 있다. 그림 1에 나타나 있는 유한요소해석 데이터와의 Interface를 위해 지원되는 Format은 다음과 같다.

- ABAQUS / NASTRAN / ANSYS / LS-DYNA / I-DEAS / MARC / PRO-MECHANICA / COSMOS / HYPERMESH / PATRAN

3. 피로내구해석을 위한 FEMFAT Theory

피로내구해석 전문 프로그램 FEMFAT이 제공하는 해석 결과는 다양한 실전적 데이터베이스와 피로해석기법에 기초하고 있지만, 그 중에서도 가장 큰 장점이며 타 해석 프로그램과의 차별성을 나타내는 부분은 Influence Parameter Concept 이다. 이 해석기법은 제품의 피로내구성능에 영향을 주는 다양한 인자들을 고려하여 시편의 피로내구특성을 제품의 Local Component S-N Curve로 수정하여 적용함으로써 보다 정확하고 신뢰도 높은 해석결과를 제공한다.

그리고 이러한 Influence Parameter Concept은 다양한 분야의 해석결과를 통합하여 제품의 피로내구해석에 적용할 수 있게 하는 Framework을 제공하고 있으며, 이로 인해 더

복잡하고 예측하기 어려운 피로내구현상들에 대해서도 전산해석을 통한 사전 평가를 가능하게 하고 있다.

그림 2는 FEMFAT의 Influence Parameter Concept을 나타내고 있다.

4. 제조공정에 따른 피로내구해석의 주요 영향인자들

제품의 피로내구성능 평가를 위해서는 다양한 정적 및 동적 해석을 수행하여야 하며, 이러한 해석에는 유한요소해석, 다물체 동역학 해석 그리고 성형해석 등이 포함될 수 있다. 기존의 해석 프로세스에 구조해석과 다물체 동역학 해석은 이미 일반화되어 진행되고 있으나 주조, 스탬핑 그리고 사출성형 같은 생산공정 상의 성형해석은 그 결과가 제품의 피로내구수명과 주요 취약부위의 예측에 큰 영향을 미칠 수 있음에도 불구하고 아직 피로내구해석의 프로세스에 통합되어 적용되지 않고 있는 것이 현실이다.

그러나 이러한 한계를 극복하고자 하는 국내외 선진업체의 선행적 시도는 이미 여러 분야에서 진행되고 있으며, 그 결과 또한 전산해석의 효율성과 신뢰성을 한층 더 높이는 계기가 되고 있다.

다음은 FEMFAT의 Influence Parameter Concept에 따라 생산공정의 해석결과를 제품의 피로내구해석에 통합 적용하는 다양한 접근방법과 사례를 소개하고자 한다.

4.1 Fiber Reinforced Plastics

Plastic 사출성형 제품의 구조강도 개선을 위해 유리섬유

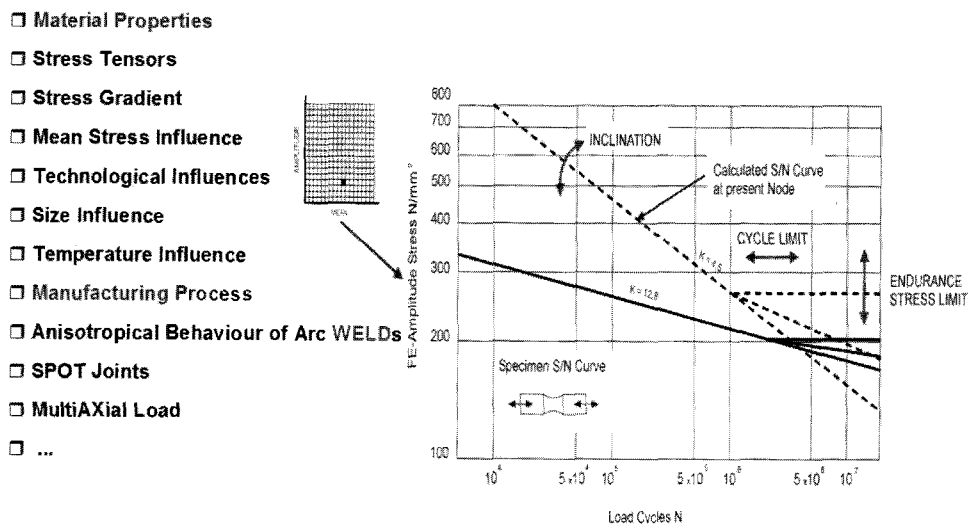


그림 2 Influence Parameter Concept of FEMFAT

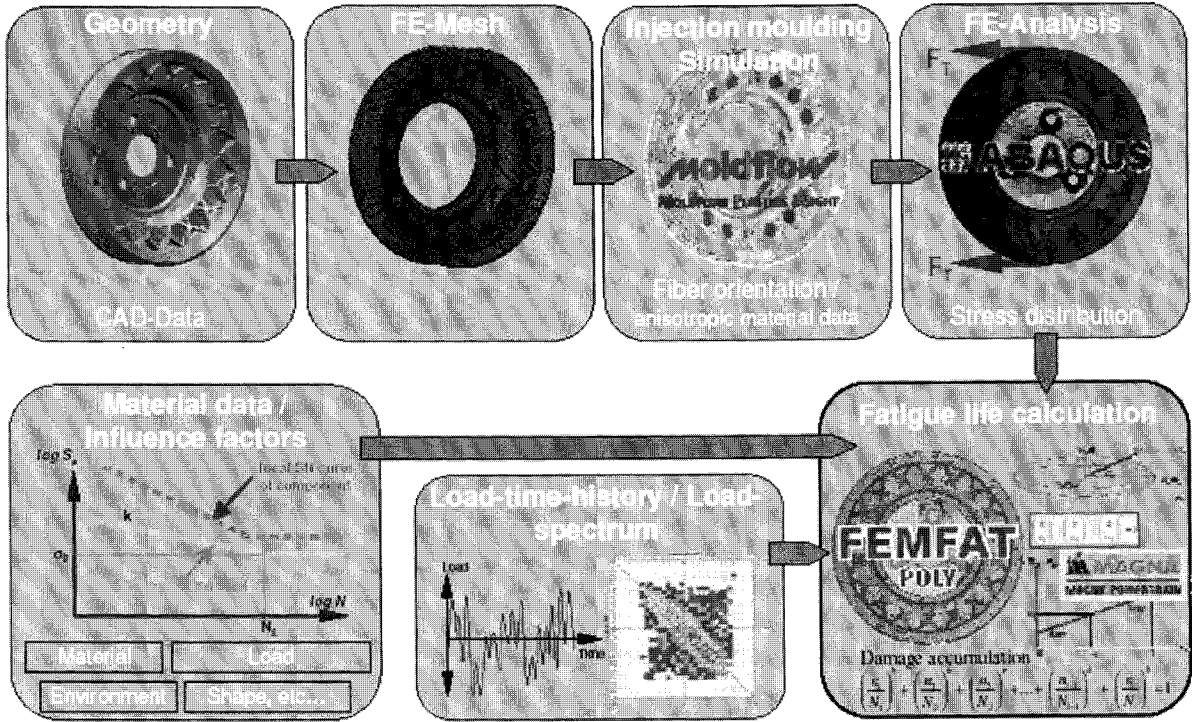


그림 3 Injection Molding 해석결과를 적용한 제품의 피로내구해석

(Glass Fiber)가 보강제로 널리 사용되고 있으며, 사출성형 공정에 따라 형성된 유리섬유의 배향은 소재물성의 비등방성을 나타나게 한다.

이에 따라 소재물성의 비등방성을 고려한 제품의 피로내구성능 평가가 필요하게 된다.

4.2 Metal Forming

Deep-Drawing 이나 Hydro-Forming 같은 Sheet-Metal Forming 공정에서 판재는 두께 및 물성에 있어서 상당한 변화를 겪게 된다. 이러한 성형공정 동안의 소재물성 변화를 제품의

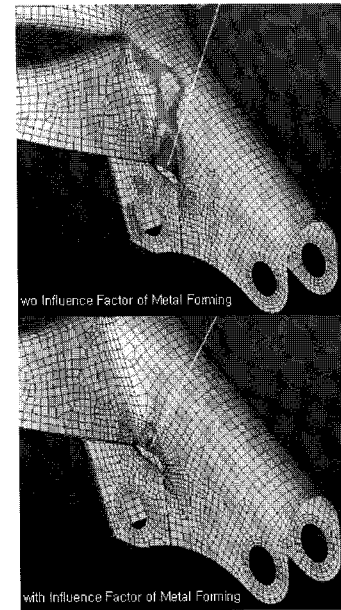
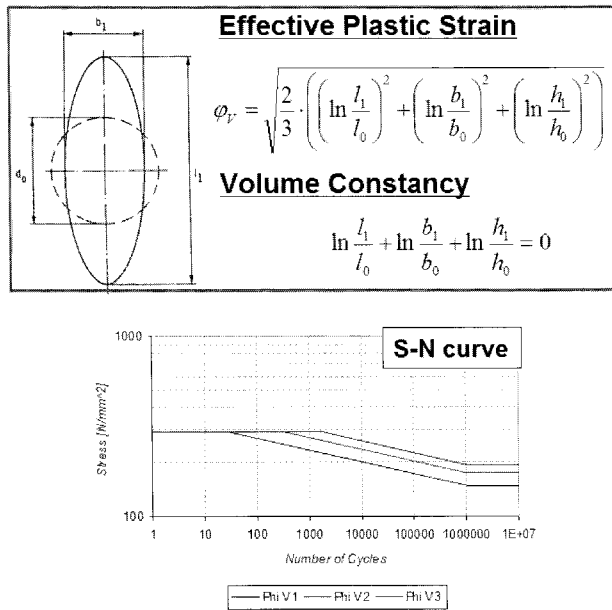


그림 4 Effective Plastic Strain을 고려한 Knuckle의 피로수명평가

내구성평가에 반영하기 위해 성형공정 후의 Effective Plastic Strain을 FEMFAT 해석 프로세스에 통합할 수 있는 기능을 제공하고 있으며, 이를 위해 Material Law of Steel Sheet (MLSS) 및 Method of Variable Slopes (MVS)의 두 가지 평가기법을 적용할 수 있다.

그림 4에서 Metal Forming 성형해석 결과를 적용한 피로 수명해석은 시험결과에 매우 근접한 해석 결과를 보여 주었다(시험결과 : 100,000~143,000 Cycle , FEMFAT 해석결과: 125,000 Cycle).

4.3 Cast Crystallization

알루미늄 주조품의 경우, 제품의 응고 과정에서 형성되는 내부 결정조직의 치밀도가 완제품의 피로내구성능에 크게 영향을 미친다. 이러한 내부 결정조직의 치밀도는 Secondary Dendrite Arm Spacing, Solidification Time 또는 Cooling Rate 와 같은 정량적인 값으로 평가될 수 있고, 주조 공정해석으로부터 그러한 값들을 용이하게 획득할 수 있다.

FEMFAT은 주조품의 내부 결정조직 치밀도에 대한 피로

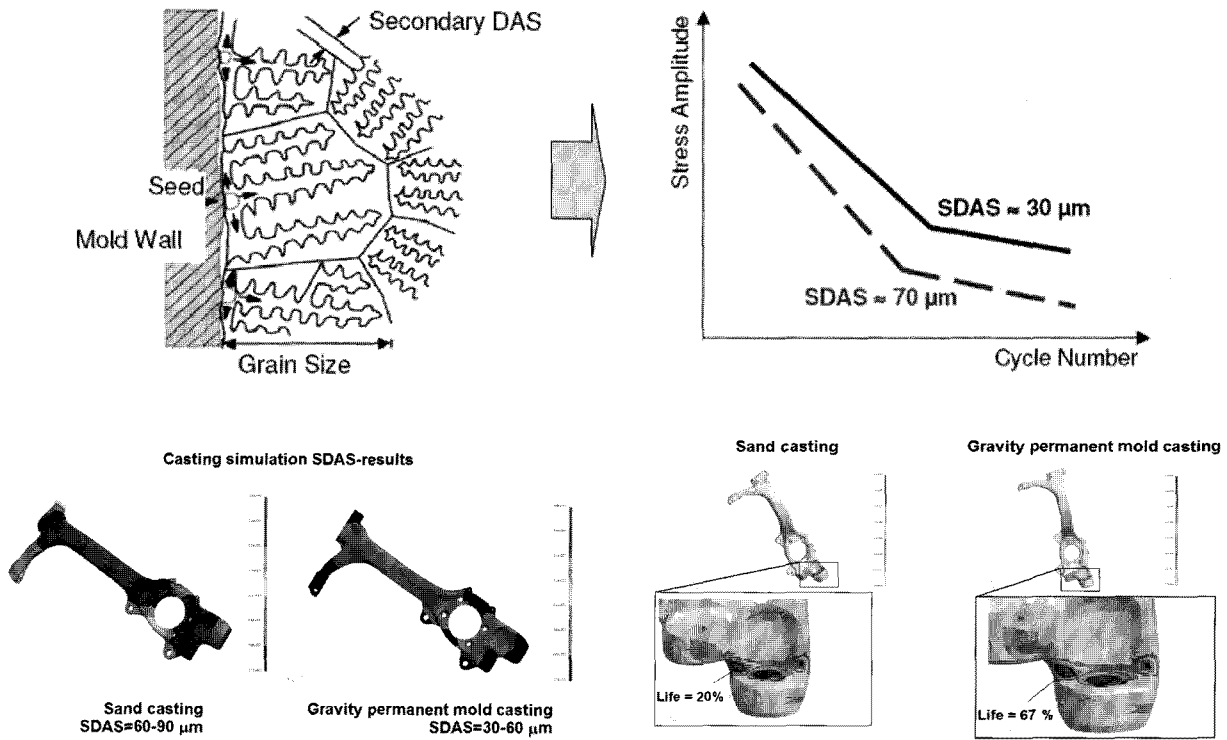


그림 5 Casting Simulation 결과(SDAS)를 고려한 차량 샤시부품의 피로수명 평가

882/882 geometry parameters	
Factor for seam width b:	1.500
Factor for seam height e:	0.000
Sheet eccentricity v [mm]:	0.000
Factor for weld toe flaw c1:	0.100
Factor for weld root flaw c2:	0.000
Factor for weld toe flaw c3:	0.100
Factor for weld root flaw c4:	0.000
Master-882 notch effect parameters	
Notch coefficient s [-]	0.850
Factor for notch radius rho1:	0.050
Factor for notch radius rho2:	0.050
Factor for notch radius rho3:	0.050
Factor for notch radius rho4:	0.050

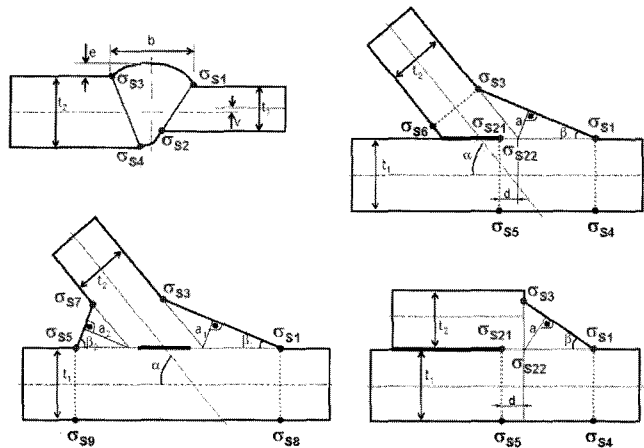


그림 6 Geometry Parameter를 적용한 용접 결합부의 피로내구해석

내구강도의 영향도를 분석하여 데이터베이스화 함으로써 제품의 피로내구수명 예측 신뢰도를 크게 향상시켰다.


4.4 Weld Joint

자동차, 조선 그리고 건설기계 등의 다양한 기계구조물에 있어서 용접 결합부는 구조물의 강도를 결정하는 주요한 요소이다. 더구나, 연비 개선 및 생산비 절감의 요구에 따른 제품의 경량화에 있어 용접 결합부의 피로강도 평가는 많은 노력과 주의가 요구된다.

전체 구조물의 피로내구성능을 결정하는 용접 결합부에 대한 효율적인 피로평가를 위해 FEMFAT에서는 Local Notch Stress Method와 Equivalent Structural Stress Method를 이용한 Master S-N Curve 평가기법을 제공하고 있다. 특히, Equivalent Structural Stress Method의 경우, 용접 결합부의 다양한 Geometric Parameter를 변경하여 용접 구조에 대한 신속한 Parameter Study를 진행할 수 있는 기능을 제공하고 있다.

5. 맺음말

제품의 내구품질특성이 소비자의 주요한 구매요소로 결정되는 현 상황에서 각 산업계의 연구개발 활동이 이에 적극 대응해 나가야 함은 필수적이며 또한, 제품개발을 위한 전산해석 프로세스에 피로내구해석 과정을 적극적으로 도입하고 있는 여러 기업의 동향이 이를 잘 반영하고 있다.

기존에 많은 부분을 시험에 의존했던 제품의 피로내구성 평가를 나날이 향상되는 컴퓨팅 파워와 선진 해석기법의 능동적인 활용을 통하여 제품개발 초기의 Virtual Simulation Chain에 도입하고, 이에 따라 초기 품질 확보와 경량화 등의 개발목표를 여러 분야에서 효율적으로 달성할 수 있을 것으로 기대한다. 

[담당 : 양철호, 편집위원]