



## 통합해석 기술을 적용한 자동차용 플라스틱 제품 개발

제형호\*  
(BASF KOREA)

### 1. 머리말

최근 자동차 업계에서 경량이면서 보다 안전한 부품의 개발이 지속적으로 요구되고 있다. 추가적으로 비용저감 및 개발기간 단축을 위해 개발 초기단계에서부터 제품의 최적화가 요구되고 있다. 이러한 요구 조건을 충족하기 위해서 플라스틱은 가장 효과적인 재료로 대두되고 있다. 플라스틱은 중량저감, 제조원가, 디자인 자유도 및 플라스틱 고유의 특성인 내화학성, 마찰특성, 열전도성 등으로 이러한 요구조건을 만족시킬 수 있다.

각 부품의 기술적인 요구조건을 만족할 수 있는 최적의 플라스틱 제품의 설계를 위하여는 초기 설계단계에서의 강력한 기술적인 대응이 필수적이다.

필자가 소속된 회사에서는 재료의 개발, 시험, 제조 공법 연구 및 CAE(computer aided engineering) 분야 등 통합적인 솔루션을 제공하고 있다. 특히 플라스틱 제품의 CAE 분야에 선두적인 역할을 하고 있다.

### 2. 플라스틱 제품개발의 CAE의 중요성

CAE는 제품 개발 단계에서 최적의 형상 및 최적의 공정 조건을 미리 예측할 수 있어 제품 개

발에 효과적이고 필수적인 툴이다. 특히 제품의 시험을 미리 검증하고, 금형 수정의 횟수를 줄임으로 개발 기간을 단축할 수 있다.

플라스틱 수지의 온도에 따른 거동은 금속과 다르며 일반적으로 온도와 습도와 같은 주변환경에 의존성을 보인다. 또한 웰드라인(weld line)과 같은 사출공정의 결과에서 볼 수 있는 문제들은 재료의 기계적 물성에 영향을 크게 미친다. 일반적으로 유리섬유가 보강된 플라스틱 제품은 비균질성, 방향성을 가진 재료의 거동을 보이며 유리섬유의 배향에 직접적으로 의존한다. 이러한 비선형성 재료의 거동으로 인하여 일반적인 상용 CAE 소프트웨어에서는 플라스틱 재료의 거동을 정확하게 예측하는 것이 불가능하다.

CAE 툴인 ULTRASIM은 열가소성 수지의 구조 및 충돌해석을 위한 이방성 재료의 거동을 정의한다. 특히 플라스틱은 사출공정의 변화에 따라 재료의 물성 거동이 바뀌며 이는 유리섬유의 배향에 의해 결정되며 ULTRASIM은 이러한 이방성 거동을 고려할 수 있어 CAE 예측의 정확도를 크게 향상시킬 수 있다.

### 3. ULTRASIM<sup>®</sup> 특징

3.1 유리섬유 배향에 따른 재료의 이방성 영향  
고강도, 고내열과 같은 플라스틱의 기계적 물

\* E-mail : hyungho.jae@basf.com / Tel : (031) 599-7592



그림 1 ULTRASIM®의 특징

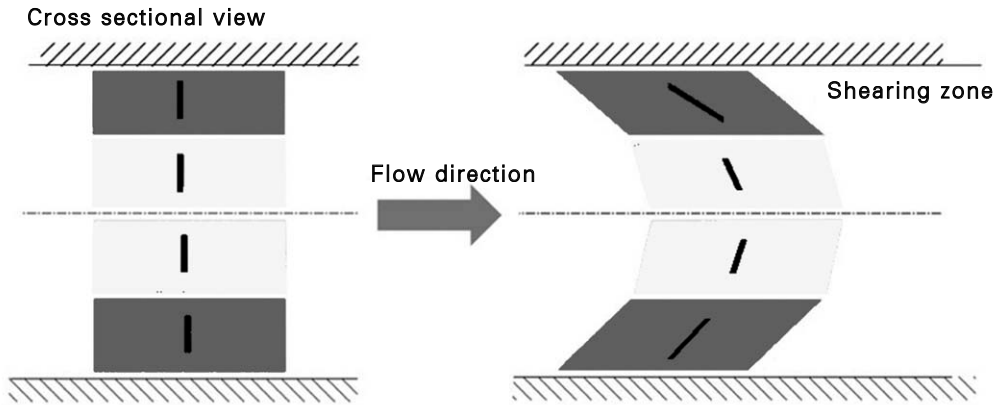


그림 2 전단흐름에 의한 유리섬유의 배향

성을 향상 시키기 위해서는 일반적으로 폴리머 구조에 유리섬유를 첨가시키는 방법이 사용된다. 유리섬유를 첨가한 플라스틱은 가혹한 환경 하에서 견딜 수 있을 만큼 전체적인 기계적 물성이 증가된다.

사출성형 공정 동안의 유리섬유는 제품의 표면층의 전단 흐름과, 코어층의 유동 흐름에 의하여 아래와 같이 배향된다

또한 게이트 주변의 흐름은 방사형태 이지만 게이트에서 멀어질수록 신장유동을 보여 아래와 같이 유리섬유 배향은 non-uniform한 배향의 형태를 보인다.

이와 같이 유리 섬유 배향은 수지의 종류, 사출

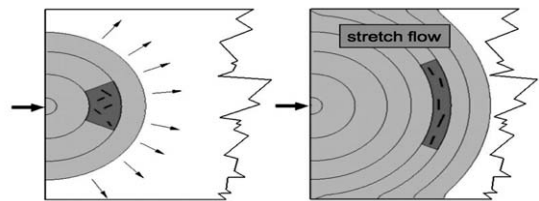


그림 3 전단흐름에 의한 유리섬유의 배향

성형 조건, 게이트 위치, 제품의 형상과 유동특성에 따라 정렬된다.

유리섬유 강화 플라스틱은 위와 같이 주어진 하중 방향에 따라 유리섬유 배향 특성에 의해 고유한 기계적 물성을 가진다. 두께 방향의 유리섬

유 배향 및 유리섬유의 함량에 의한 이방성 물성 거동으로 인하여 부분적으로 서로 다른 stress-strain curve를 가지게 된다.

유리섬유의 배향성을 해석하기 위하여 사출성

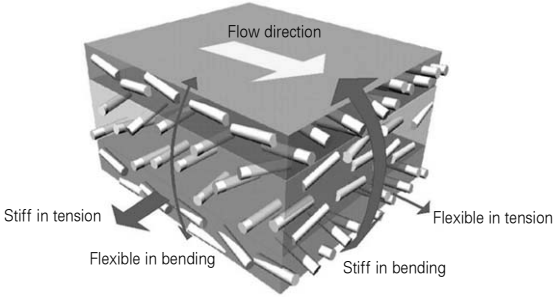


그림 4 두께 방향으로의 유리섬유 배향 및 기계적 물성

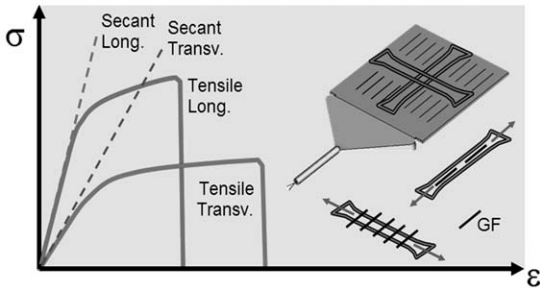


그림 5 유리섬유 배향에 따른 SS curve 변화

형 해석의 상용 프로그램인 MODELX, MOLDFLOW를 사용한다. 이러한 사출성형 프로그램은 플라스틱의 두께 방향 및 제품으로의 유리섬유 배향을 예측할 수 있다.

ULTRASIM<sup>®</sup>은 사출성형 해석 결과에서 얻어

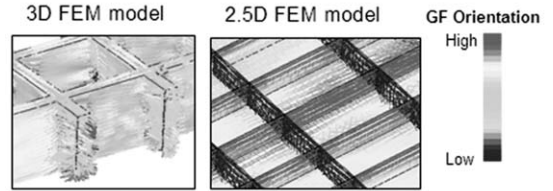


그림 6 유리섬유 배향 결과

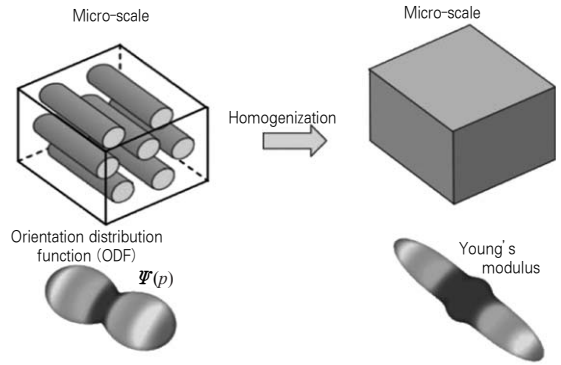


그림 8 Micro 구조모델 및 균질화 과정

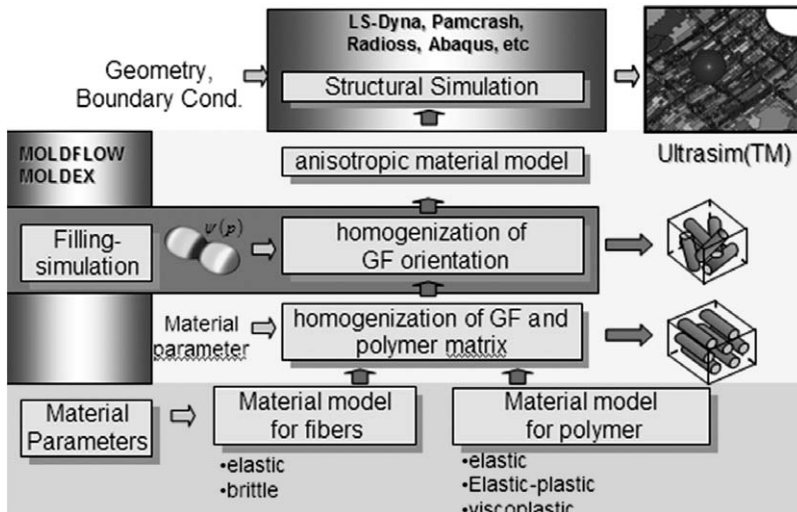


그림 7 ULTRASIM 통합 해석

진 유리섬유 배향 결과를 이용하여 구조 해석을 위한 이방성 재료 모델을 정의한다.

ULTRASIM<sup>®</sup>은 폴리머 매트릭스의 점소성 거동과 유리섬유의 탄성 거동을 이용하여, 복합재료의 거동을 정의하기 위하여 마이크로 구조모델을 사용하여 균질화 절차를 거친다. 이 마이크로 구조모델은 Mori&Tanaka 이론 및 Eshelby 이론을 따르고 있다.

### 3.2 인장 속도의 영향

고속인장에서의 hardening 영향에 의하여 유리섬유 강화 플라스틱은 또 다른 비선형 특성인 인장 속도에 의한 기계적 물성 거동이 크게 차이를 보인다. 플라스틱의 비선형 거동을 예측하기 위하여 일반적으로 stress-strain 선도가 사용되며, ISO 규격에 따라 측정되고 있다. 시편의 유효길이는 105 mm로 일반적으로 인장 속도는 5~50 mm/min이다. 이에 상당하는 인장속도는  $10^3$  m/s 이나  $10^2$  m/s다.

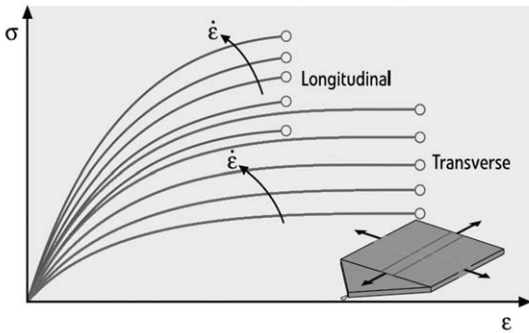


그림 9 인장속도에 의한 기계적 물성의 차이

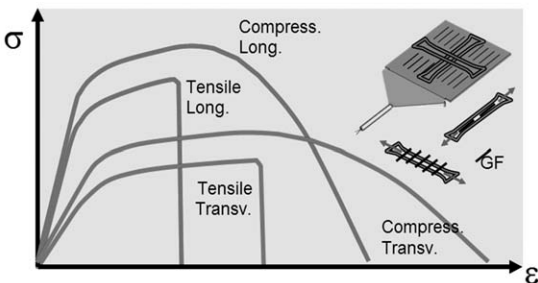


그림 10 인장/압축 비대칭성의 영향

하지만 충돌 및 순간적인 충격에 의한 인장 속도는  $10^3$  m/s 정도로 발생되며, 이러한 조건 하에서 플라스틱의 기계적인 강도는 ISO 규격의 시험보다 높게 측정된다.

### 3.3 인장과 압축의 비대칭성의 영향

앞에서 언급한 바와 같이 유리섬유 강화 플라스틱의 CAE 해석 정확도를 높이는 것은 유리섬유의 배향과 인장속도의 비선형성의 영향으로 큰 도전 과제 중 하나이다. 추가적으로 플라스틱은 인장특성과 압축특성이 과단 강도 측면에서 상당히 많은 차이를 보인다. ULTRASIM의 선진 기술은 강도 해석에서 이러한 인장 압축간의 비대칭성을 고려한 재료의 거동을 표현 할 수 있다.

### 3.4 재료의 파단 평가 기준

플라스틱 제품의 거동을 정밀하게 예측하기 위한 또 하나의 중요한 인자는 재료의 파단기준을 정의 하는 것이다. 플라스틱의 파단은 폴리머 매트릭스의 붕괴, 유리섬유의 파단 그리고 폴리머 매트릭스가 유리섬유로부터 분리될 때 발생된다. ULTRASIM은 위에서 언급된 강화 플라스틱

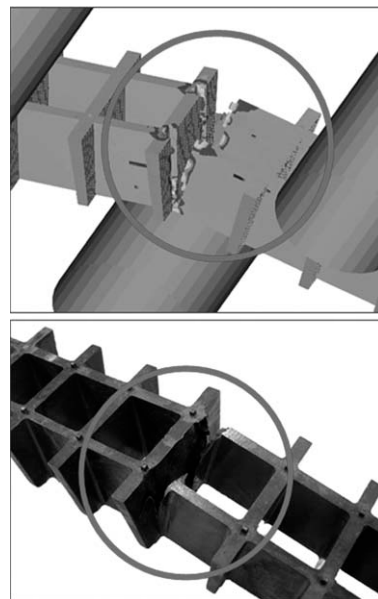


그림 11 ULTRASIM을 이용한 해석 및 시험 결과

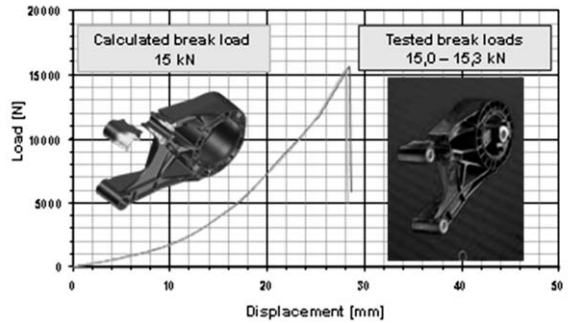
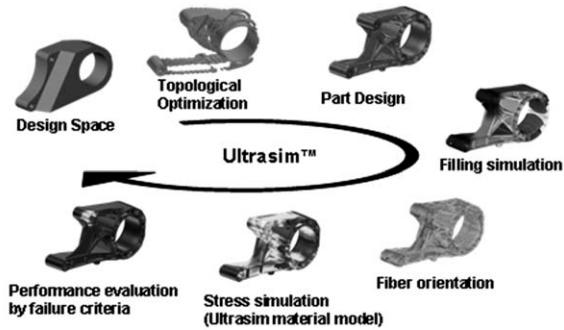


그림 12 ULTRASIM을 이용한 엔진 토크로드 개발



그림 13 ULTRASIM을 이용한 오일 팬 및 트랜스미션 크로스 빔

의 재료 거동 유리섬유 배향, 인장속도 의존성, 인장 압축 비 대칭성 등을 종합적으로 고려한 파 단 평가 기준을 제시하였다.

#### 4. ULTRASIM® 이용한 플라스틱 제품 사례

ULTRASIM은 플라스틱 제품 개발에 있어 재료의 비선형 거동을 표현하기 위해 사용되며, 해석의 정확도가 높기 때문에 최근 엔진 마운트 및 오일 팬 등 엔진의 가혹한 환경에 노출된 고하중 고응력 메탈부품들을 플라스틱으로 성공적으로 대체 시키는데 사용되고 있다. 플라스틱 토크로드 개발을 위해 ULTRASIM이 사용되어 개발 초

기 단계에서부터 위상최적화와 통합 해석 기법이 적용되었으며, 유리섬유 배향과 웰드 라인의 위치 등 기계적 강도를 고려하여 정확히 파단 위치와 파단강도를 예측할 수 있다.

엔진 오일 팬 및 트랜스미션 크로스 빔은 ULTRASIM을 이용한 성공적인 플라스틱 개발의 또 다른 예이다. 알루미늄 다이 캐스팅 대신 ULTRAMID A3WG10CR(PA66+GF50)로 대체함으로써 50%의 중량저감뿐만 아니라, 소음진동저감 및 충돌 안전까지 확보하였다. 오일 팬의 경우 플라스틱의 디자인 자유도의 이점으로 30%의 많은 오일은 저장하는 것도 가능하다. **KSNVE**