



Contents

1. AFDEX_V20

- 1.1 신기능 및 개선된 기능
- 1.2 AFDEX_V20의 주요 기능

2. AFDEX_V21

- 2.1 AFDEX_V21에 탑재될 예정인 신기능

3. 공지 사항

- 3.1 Altair webinar 개최
- 3.2 2021년 정기교육 일정

1. AFDEX_V20

1.1 신기능 및 개선된 기능

2020년 6월에 신기능과 개선된 기능이 탑재된 AFDEX_V20R01를 일반 사용자를 대상으로 출시하였다. 2020년 12월에 수치적 특성이 개선된 AFDEX_V20R02를 출시하였다.

1.2 AFDEX_V20의 주요 기능

1.2.1 냉간단조의 정밀 시뮬레이션

냉간단조에서 고강도 소재의 단조 기술이 발전하고 있다. 이러한 단조공정의 가능성 여부를 해석 기술에 의존하여 판단할 경우, 금형의 장수명 설계, 재료 유동응력의 냉간단조 중 온도의존성 활용, 마찰의 모델링 기술 등에 관한 고도화가 필수적이다. AFDEX_V20은 이러한 측면에서 사용자들의 기대에 부응할 수 있는 수준에 이르렀다. 열박음을 고려한 금형의 구조해석이 그림 1.1에서 보는 바와 같이 사용자의 요구 수준에 다다랐다.

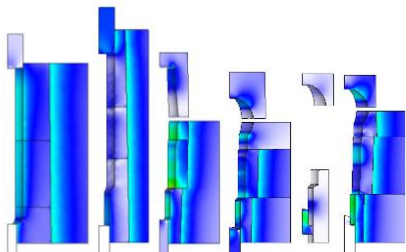


그림 1.1 다이인서트와 보강링의 유동응력

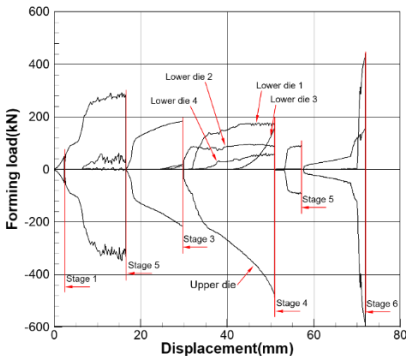


그림 1.2 성형하중

금형의 탄성변형 고려 해석 기술 분야에서도 지속적인 발전이 이루어졌다. 그림 1.1과 그림 1.2는 금형의 탄성변형을 고려한 것으로, 강체금형에 비하여, SUS 304의 볼스타 단조품의 목부위 직경이 0.02mm 정도 크게 예측되었다.

마찰 모델도 큰 진전이 있었다. 이미 AFDEX_V18부터 상태변수 의존 마찰계수 기능이 제공되었지만, 본격적인 활용이 AFDEX_V20부터 이루어지고 있다.

또한 탄소성 유한요소해석의 사용이 크게 증가하였다. 그림 1.1은 탄소성 유한요소해석 결과이다.

1.2.2 판단조용 금형 운동 통제 기능 고도화

AFDEX_V20에서는 최근까지 판단조 목적으로의 사용자와 JSOL(AFDEX의 일본의 협력 파트너)이 요구한 모든 금형 운동의 표현이 가능하도록 하였다. 판단조 공정의 경우, 금형 간의 상대운동이 비교적 복잡하게 얽혀 있다. 따라서 설계자의 창의적 아이디어를 반영하는데 기능적으로 어려움이 따르는 것이 사실이다. 현재 다양한 실용 공정에 적용하여 금형 간의 상대 운동 및 하중 부과 기능을 충분히 검증하였다. 그리고 프로그램의 구조 개선을 통하여 추후에 발생할 수 있는 사용자의 신 기능 요구에 능동적으로 대응할 수 있는 체계를 갖추었다. 그림 1.3은 바인더 기능과 종속금형의 기능을 사용한 판단조 공정의 해석 사례이다. 이 공정의 해석에는 다양한 개선된 하중부과 금형 및 금형 간의 거리 구속 부과 기능이 사용되었다.

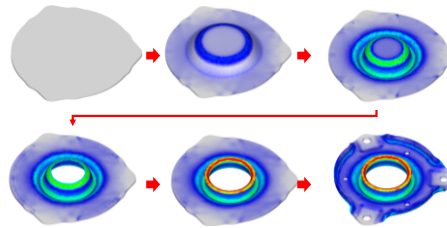


그림 1.3 판단조공정 해석

1.2.3 공기간힘 영역의 정의 방법 개선

AFDEX_V20에서 공기간힘 현상의 해석 기능이 보강되었다. 구 버전으로는 프로그램의 계산 효율 제고 목적으로 공기간힘 해석을 위해서 관심 영역을 표시해야 했다. 그러나 이 작업이 용이하지 않아 숙련도가 요구되었다. 과거에는 계산시간이 중시되었으나, 현재 이 문제가 완화되면서 사용의 편리성이 더 중요해졌다.

이런 시대적 변화를 반영하기 위해 최신 버전에서 공기간힘 해석 기능을 개선시킴으로써 비교적 손쉽게 공기간힘 현상을 예측할 수 있도록 하였다.



그림 1.4 공기간힘의 실험결과와 예측결과

1.2.4 소재자체접촉 기능 강화

AFDEX_V19까지, 3차원 해석의 경우, 계산 효율 목적으로 접촉 가능 구간의 사용자 입력이 요구되었다. 이것은 접촉 가능성이 감지되는 시점에서 프로그램을 정지하고 연속해석을 실시해야 하는 문제와 함께 축대칭에 가까운 소재자체접촉 영역을 가진 공정의 해석을 어렵게 하는 문제를 야기하였다. AFDEX_V20에서는 소재자체 접촉 기능의 작동 유무의 선택만으로 모든 입력이 완료되도록 하였다. 그림 1.5는 가상의 공정에 적용한 결과이다.

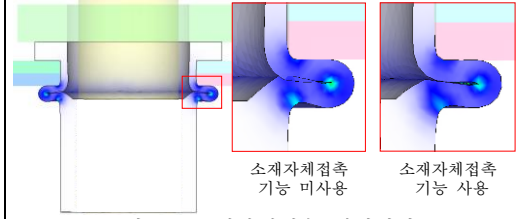


그림 1.5 소재자체접촉 해석결과

1.2.5 링롤링 공정 해석 기능 개선

링롤링 공정의 특징으로 전체의 표면절점 중에서 상대적으로 매우 작은 접촉 절점의 수, 환상의 연속된 변형 구간, 힘을 부과하는 금형 및 도구 등을 들 수 있다. 이로 인하여 발생하는 첫 번째의 문제는 정상적으로 이론적 접촉 조건을 부과하는 것이 불가능하다는 점이다. 다시 말해 마찰언덕의 존재와 이로 인한 역학적 균형이라는 압연의 고유 특징을 고려한 해석이 불가능하다는 것이다.

AFDEX_V20 버전에서는 접촉 영역에서 기존 기능의 수치적 안정성을 제고시켰다. 임의 방향의 하중부과 금형 기능을 새로 개발하여, 특히 가이드 롤의 하중부과 기능 목적으로 사용함으로써 실공정과 동일하게 소재의 흔들림의 통제 목적으로 사용할 수 있도록 하였다. 한편, 임의 방향 하중부과 금형은 다른 창의적 공정의 해석 목적으로도 활용될 수 있을 것이다. 그림 1.6은 최신 버전으로 획득된 링롤링 공정의 해석 결과이다. 이 해석결과는 기존 기능에서 다소 높게 예측된 폭퍼짐량을 크게 줄여줌으로써 실험결과에 근접한 것이다.



그림 1.6 링롤링 공정의 실험결과(좌)와 예측결과(우)

1.2.6 판단조 공정의 해석

AFDEX_V20에서 판단조 공정 해석 기능 또는 판재성형 공정의 체적요소 사용 해석 기능이 종합화되어 다양한 판단조 해석이 가능해졌다. 판단조 해석의 특징은 금형 간의 다양한 상대운동, 하중 부과 금형, 정확한 스트로크의 계산, 스프링백, 층요소망, 공정중 피어링 및 트리밍 해석 등으로 요약된다. 현재 금형 간의 상대운동 및 하중부과 기능 등을 비롯한 관련 기능을 충분히 검증한 상태이다.

그림 1.7은 다단 트랜스퍼 공정의 3차 성형공정이다. 그림에서 보는 바와 같이 금형 2가 2.2 mm 압하 시까지 금형 1은 소재에 하중을 부과하고, 금형 2가 입력된 한계치에 도달하면, 금형 1은 금형 2에 종속되어 함께 운동한다(박기근 등, KSTP 2020 춘계, 2020.06.25.). 이 과정에서 가변해석스텝 시간계산 기능을 이용하여 정확한 스트로크의 계산은 필수적이다. 그림 1.8은 해석결과와 실험결과를 비교한 것으로 서로 일치하는 것을 확인할 수 있다.

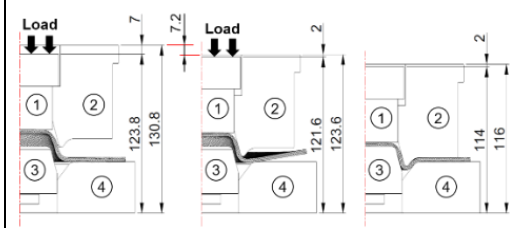


그림 1.7 판단조 공정 설계

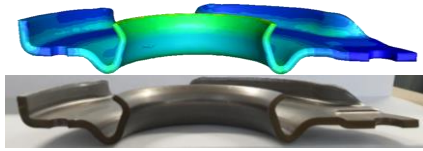


그림 1.8 실험결과와 예측결과 비교

1.2.7 다물체 조립공정의 탄소성 해석

AFDEX_V20의 두드러진 특징 중의 하나는 다물체 공정의 해석 기능이다. 그 적용 사례 중의 하나가 금형의 프레스 압입에 의존한 예압이다.

그림 1.9는 금형 부품의 프레스 압입에 따라 발생한 유효응력을 나타내고 있다. 이 해석은 다물체 해석 기능을 활용하여 이루어졌으며, 소재는 탄소성 재료로 모델링되었다.

다물체 해석 기술은 다양한 조립공정과 체결공정의 개발에 크게 기여를 할 것으로 기대된다.

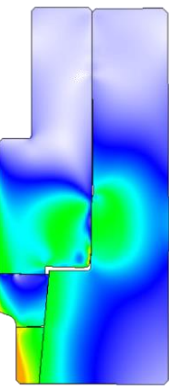


그림 1.9 압입에 따른 예압의 유효응력

1.2.8 재료의 유동응력의 획득의 개선

AFDEX_V20에서 기존의 AFDEX MAT의 획기적 개선이 이루어졌다. 첫째 *C-m* 모델에서 샘플 점에서 재료상수 획득의 정확도를 향상시켰고, AFDEX_V21부터 제공될 보다 정확하고 유용한 확장된 *C-m* 모델의 프로그램 개발이 이루어졌다.

AFDEX_V20에서, 냉간의 경우, 기존의 전통적인 재료모델의 활용도를 증가시켰다. 그리고 다수의 새로운 유동응력 수식모델들이 추가되었다.

AFDEX_V20에서는 탄소성 해석을 위하여 소성변형률만 이용하여 K 를 유효변형률의 함수($\sigma = K(\epsilon)\epsilon^n$)로 변경하는 기능을 추가하였다. 그림 1.10은 탄성을 무시하고 획득한 유동응력을 이용한 인장시험 결과를 나타내고 있다. 탄소성해석 시, 탄성영역에서는 탄성계수, 포아송 비, 열팽창계수 등이 역학 계산에 사용된다.

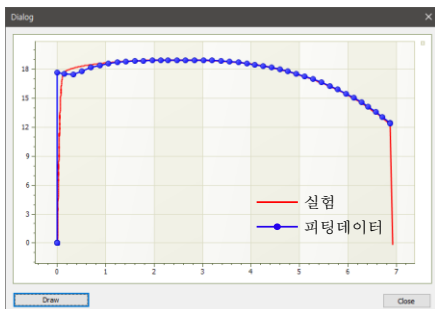


그림 1.10 인장시험의 실험 및 피팅데이터 비교

2. AFDEX_V21

2.1 AFDEX_V21의 개요

2021은 3월에 AFDEX_V21R01를 일반 사용자를

대상으로 출시할 예정이다. 다수의 기능은 2.2 절에서 보는 바와 같이 베타 버전으로 빠른 활용 희망자 또는 기능 개선 요청자에게 제공되어 시험용으로 사용되고 있다.

신버전의 특징은 다물체 성형 공정 및 조립 공정 해석 기능, 금형의 피로파괴 수명, 계산 시간의 향상, 신 전후처리기, 향상된 재료물성치 획득 기능, 자체 최적설계 기능 등을 특징으로 한다.

2.2 AFDEX_V21에 탑재될 예정인 신기능

2.2.1 금형 수명예측 기능 개발

응력해석 결과에 기하급수적으로 영향을 받는 금형의 피로파괴 수명을 유의미하게 예측하는 데는 금형구조 해석결과의 안정화가 무엇보다 중요하다. 최근 몇 년 사이, 특히 AFDEX_V20부터 금형의 구조해석 기능의 획기적 개선으로 응력 해석 결과의 신뢰성이 크게 개선되었다.

구조설계용 피로파괴 연구는 대부분 무부하 상태에서 가해진 하중을 대상으로 구조물의 영구수명을 고려한 피로특성 또는 안전계수의 계산에 초점이 맞추어져 있다. 따라서 안정성을 고려한 보수적 이론이 주류를 형성하고 있다.

소성가공에서는 보수적 예측보다 정확한 예측이 매우 중요하다. 왜냐하면, 피로수명을 고려한 구조설계가 기본이기 때문이다.

이러한 점을 감안한 금형의 피로파괴 수명 예측 기능이 AFDEX_V20 베타 버전부터 탑재되었으며, 다음 버전부터 정식으로 모듈 형태로 보급될 예정이다.

그림 2.1(a)는 예압을 하지 않을 경우, 금형의 모서리에 소성변형이 발생함을 의미한다. 현재 금형에 가해진 응력을 100%로 간주하여 (그림 2.1(c)) 예압량을 20% 증가시키거나 감소시킨 상태에서 구한 금형수명을 각각 그림 2.1(b)와 그림 2.1(d)에 나타내었다.

금형의 피로파괴 수명은 매 금형마다 다른 이론을 적용하여 계산될 수 있으며, 해석 실시 후, 성형하중 또는 열하중에 의한 응력과 예압 응력에 가중치를 곱하여 계산될 수도 있다.

AFDEX는 자체적으로 개발한 피로파괴 선도를 이용하여 기존의 구조물 피로파괴 목적으로 사용되는 전통 기법의 문제를 근본적으로 개선시켰다.

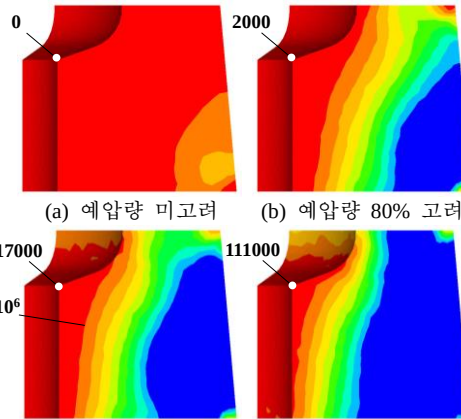


그림 2.1 예압량에 따른 금형 피로수명의 변화

2.2.2 다물체 단별 해석 기능

AFDEX는 사용자 개입 최소화화 and 다단 소성가공 공정의 자동연속해석에 기반하고 있다. 그러나 사용자 개입이 불가피할 경우를 위하여 단별 해석(S-b-S 해석, Stage-by-stage 해석) 기능을 제공하고 있다. 다단의 소성가공 공정의 해석 중간에 소재의 수가 바뀔 경우, 사용자 개입에 의한 연속해석이 불가피하다.

AFDEX_V20 베타 버전에서 다물체 공정의 S-b-S 해석 기능이 제공되기 시작하였다. AFDEX_V21 버전에서는 이 기능을 정식으로 제공할 예정이다. 그림 2.2와 그림 2.3은 이 기능을 개념적으로 보여

주기 위한 2차원 및 3차원 해석 결과를 각각 나타내고 있다. 제1단에서는 하나의 물체를 소성가공하며, 제2단에서는 이것을 다른 두 개의 물체와 조립하는 공정이다. 즉, 최종적으로는 3개의 가변 물체를 소성가공하는 공정이다.

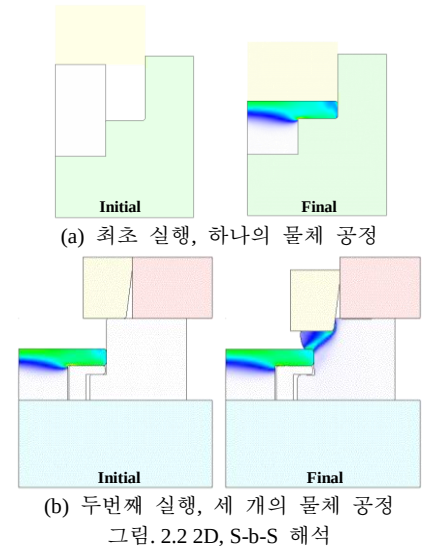


그림 2.2 2D, S-b-S 해석

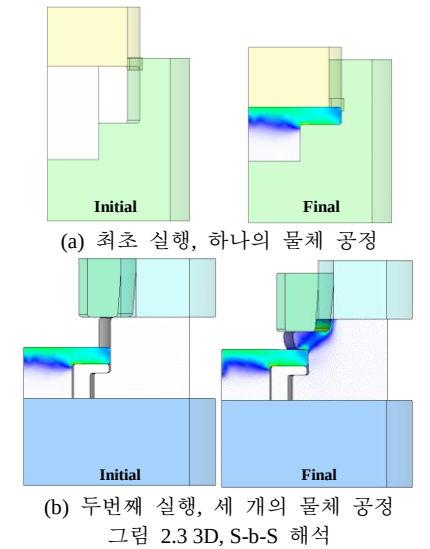


그림 2.3 3D, S-b-S 해석

2.2.3 전단소재의 끝 굽힘량 예측 신기능

최근 봉의 전단공정에서 단면 주위의 형상 변화, 예를 들면, 굽힘량(Roll-over) 등의 정량적 예측 필요성이 대두되어, 소재가 공급되는 쪽의 경계조건을 개선한 전단공정 해석모델을 개발하였다.

그림 2.4는 자동다단 냉간단조 중 환봉 소재를 절단하는 적용 사례이며, 롤오버량을 비교하고 있다. 실험결과(0.90mm)와 해석결과(0.91mm)가 정량적으로 잘 일치하고 있다. 이 롤오버량은 해석모델에서 필요로 하는 두 개의 계수에 상당한 영향을 받는 것으로 나타났다(MS Joun et al., 2021, J. Manuf. Processes).

선행연구에서 확보된 스톱퍼 측 (Stopper side)에서 굽힘량의 실험결과와 예측결과를 그림 2.5에서 비교하고 있다. 이 굽힘량은 소재 이송 장치와 소재의 반작용에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 이 기능은 AFDEX의 강점인 연속된 소성가공 공정의 해석에 직접 활용가능한 전단해석 및 피어싱 기능과 함께 소재의 전단, 피어싱, 트리밍, 블랭킹 해석에 유용할 것이다. AFDEX_V20 베타 버전에서 이 기능이 제공되기 시작하였고, AFDEX_V21 초기 버전부터 정식 제공된다.

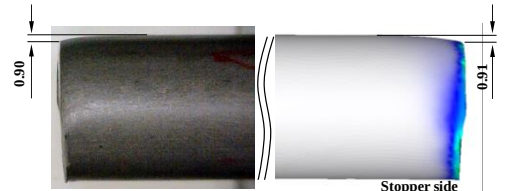


그림 2.4 적용 사례

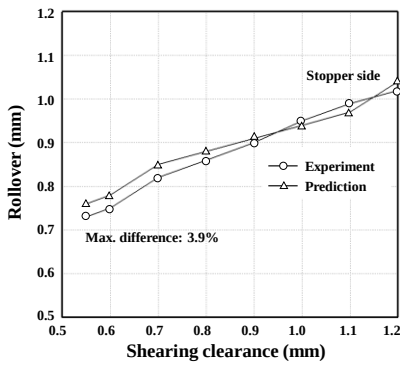


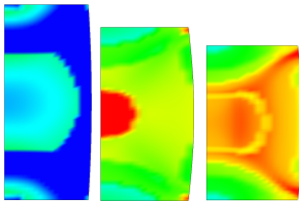
그림 2.5 롤오버의 실험결과와 해석결과의 비교

2.2.4 불안정성 지수 및 성형한계지도 작성 기능

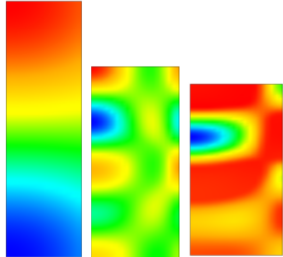
소성변형 중 재료의 불안정성은 변형의 불균일성(가령, 업세팅 실험에서 상하 비대칭 등)을 야기시키며, 성형 중의 연화현상으로 인하여, 경우에 따라, 기계재료학적 특성에 부정적 영향을 미친다.

이러한 현상을 계량적으로 나타내기 위한 불안정성 지수(Instability index)가 개발되었으며 AFDEX_V20 베타 버전에서 탑재되었으며, 신 버전부터 관련 기능과 함께 성형한계지도 작성 기능이 AFDEX_V21부터 정식으로 제공된다.

그림 2.6은 동적변형시효로 연화현상이 크게 발생하는 구간에서 보이는 재료의 연화에 따른 불안정성 지수를 나타낸다. 그림 2.6(a)는 S25C의 코일재에서 감지된 DSA로 인한 변형연화 가속 구간에서 발생한 변형의 불안정성을 나타내고 있다. 그림 2.6(b)는 지속적인 연화현상에 따른 Ti6Al4V 합금의 균질압축 공정에서 발생한 변형의 비균질성과 관련된 불안정성 지수를 나타낸다.



(a) DSA에 기인하는 변형의 불안정성 ($u = 0.1$)



(b) Ti6Al4V 합금의 온간성형 구간에서의 변형의 불안정성 (무마찰)

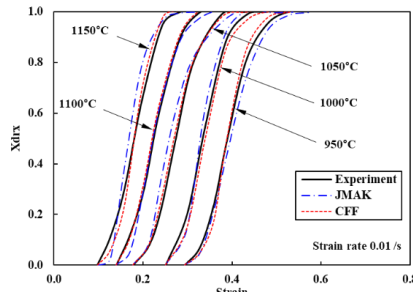
그림 2.6 변형의 불안정성 사례

2.2.5 미세조직의 정밀예측 기능

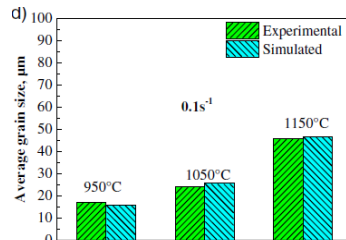
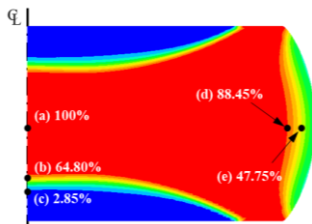
재료의 미세조직의 정밀예측을 위해서는 유동응력의 정확도와 함께 이를 직접 사용한 미세구조 예측 모델이 요구된다. AFDEX 연구팀은 미세구조 예측모델과의 연계가 가능한 고정도 유동응력 모델(CFF 모델)을 제안한 바 있다. 이 유동응력 모델을 활용한 미세구조 예측모델이 개발되어 AFDEX_V20 베타 버전에서 탑재되었고, AFDEX_V21 초기 버전부터 정식으로 지원한다. 이 기능을 활용하여 실험결과와 해석결과의 차이를 좁히는 효과를 확인하였다.

그림 2.7(a)는 업세팅 공정을 대상으로 한 미세구조 예측결과의 정확도와 직접적으로 관련이 있는 X_{DRX} 카이네틱스 (Kinetics) 곡선의 실험결과와 피팅결과를 비교하고 있으며, CFF 유동응력 모델로부터 구한 곡선이 실험곡선에 더 근접하고 있음을 확인할 수 있다.

그림 2.7(b)는 예측된 X_{DRX} 의 분포와 함께 오차 해석 결과를 나타내고 있다.



(a) 0.15C-7Mn강의 X_{DRX} 카이네틱스 곡선



(b) 예측된 X_{DRX} 와 오차해석 결과

그림 2.7 고정도 실용적 미세구조 해석 기능

2.2.6 복합재료 판재의 박리현상의 3차원 탄소성 유한요소해석

구리의 열전도성 및 브레이징 효율, 알루미늄의 경량성 및 경제성, 강강의 강성 및 경제성, 티타늄의 내구성 및 표면 미려도 장점 등 다양한 소재의 장점을 활용하기 위한 이종소재를 접합한 클래드 금속(Clad metal)과 복합재료의 적용분야가 확대되고 있다.

유한요소해석의 측면에서 살펴보면, 적층된 소재에 대한 다물체 처리기법과 한계조건을 벗어났을 때, 소재 간의 박리 현상의 발생 이론이 필요하다. Tsai-Wu 모델이 한 예이다. 이것은 접합면에서의 한계 인장응력 및 전단응력 대비 부과된 인장응력과 전단응력 비율의 합이 1 이상인 경우 접합면이 파단된다는 이론이다.

접합면이 파단된 이후에는 소재 접합면의 법선방향 속도장은 일치되어야 하고, 접선방향으로는 마찰조건이 부과되어야 한다. 소재 간의 마찰은 쿨롱마찰법칙으로 수식화되었다.

적용 예로 이종 소재의 접합 조건에 따른 3차원 박리현상의 발생 여부를 해석하였다. 네 가지의 서로 다른 접합 조건에 대한 복합재료 덤프로딩 공정의 해석 결과를 그림 2.8에 나타내었다.

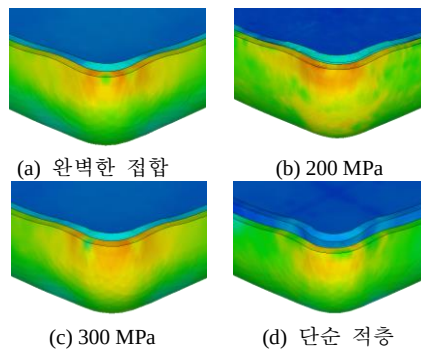


그림 2.8 이종소재 판재성형 해석

2.2.7 계산시간 개선

AFDEX_V20 베타 버전을 통한 계산속도 개선 프로그램의 지원이 이루어졌다. AFDEX_V21은 지난 버전보다 대형 문제의 해석에서 계산시간을 30~50% 단축시킬 것이다.

2.2.8 강화된 상세 공정설계 정보 활용 해석

신 버전에서는 실공정의 상세설계 정보를 그대로 활용하여 해석하는 기능이 더욱 강화되었다. 대개의 경우, 공정의 특징적인 부분만을 대상으로 다수의 가정에 근거한 해석 모델을 사용하는 것이 대부분이다. 이것은 공학적 측면에서 올바른 방법이며, 개발자로서 권유하는 바이다. 그러나 금형의 구조해석에 관심이 있을 경우, 이미 앞에서도 본 바와 같이, 해석결과는 가정에도 큰 영향을 받지만, 금형의 형상과 조립 등에도 매우 큰 영향을 받는다. 따라서 다양한 목적으로 실공정 전체를 대상으로 하는 해석 기술이 요구되어 왔다. 이 기능은 프로그램 상에서 다수의 기능적 요소의 개선을 요구한다. 가령, 두 금형 사이로의 소재 흐름 허용 여부를 결정하거나 통제하는 기능이 필요하다. AFDEX_V20 베타 버전을 통하여 성형 테스트를 완료하였으며, AFDEX_V21부터 관련 기능의 사용자의 편리성이 크게 향상된 실용 기능 및 모듈이 제공될 예정이다.

2.2.9 신 PRE/POST 모듈

AFDEX 전후처리기(PRE/POST processor)는 사용자 편리성을 극대화한 것이다. 그러나 신 기능의 탑재에 대응하는 속도가 다소 늦은 문제가 있어왔다. 이러한 문제의 해소를 위하여 장점을 살리되, 단점을 크게 보완한 새로운 개념의 전후처리기가 AFDEX_V21부터 제공될 예정이다. 그림 2.9에 주요 기능을 선보였다.

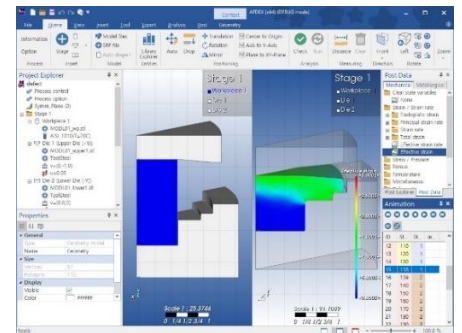


그림 2.9 AFDEX PRE/POST V21 적용 예

3. 공지사항

3.1 Altair Webinar 개최

2020년도 글로벌 Altair APA 고객 및 잠재고객을 대상으로 한 웨비나가 지난 5월달에 개최되었다. 작년의 주제는 판단조 공정, 즉 판재성형 공정의 체적요소 활용 해석 기술이었다. 이 관련 내용은 유튜브의 AFDEX 사이트 또는 AFDEX 홈페이지를 통하여 학습할 수 있다.

2021년의 주제는 금형피로 파괴에 관한 것으로 구체적인 일정을 Altair와 협의하고 있고, 결정되는 대로 공지할 예정이다.

3.2 2021년 정기교육 일정

COVID-19로 인하여 AFDEX 정기교육 일정은 정해지지 않았으며 오프라인 교육을 대체하는 방안으로 신청자에 한해 웹미팅 교육 진행을 예정하고 있다.

그리고 소규모 인원의 방문 교육(AFDEX 진주 교육장 활용)은 상시로 실시되고 있으니 참고바랍니다.

한편, 유튜브 채널을 통한 이론 및 사용법 교육을 강화하였다. 현재 소성역학 및 유한요소법에 관한 이론과 AFDEX 사용법 등이 교육되고 있다. 아울러 비전공자를 위하여 정역학 및 고체역학, 수학 등에 관한 교육도 이루어지고 있다.

유튜브에서 AFDEX를 검색하거나 아래 링크에서 AFDEX 채널에 접속할 수 있다.

(<https://www.youtube.com/channel/UCEOCsxeB41crHyDCaZUdKjA>)