

1. AFDEX_V20R02 출시

AFDEX_V20R01 한국 버전이 6월5일 출시되었고, 사소한 버그가 수정된 업데이트 버전이 7월 31일에 배포되었다. 다음 버전인 AFDEX_V20R02의 한국 버전은 12월 14일에 출시될 예정이다. Altair APA 사용자들을 위한 최신 버전은 8월 25일에 업로드되었다. 12월에 출시될 예정인 최신 버전은 금형 수명 예측 기능, 미세조직의 정밀 예측 기능 등 신기능과 계산시간 단축을 특징으로 한다. 자세한 내용은 2장 AFDEX_V20 신기능 및 개선 기능에 나타내었다.

2. AFDEX_V20 신기능 및 개선기능

2.1 다물체 단별 해석 기능

AFDEX는 사용자 개입 최소화와 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 20버전까지는 다물체 공정의 S-b-S 해석 기능이 제공되지 않았다. 차기 버전에서는 이 기능을 제공할 예정이며, 시험적으로 사용하고자 하는 사용자에게 12월부터 베타 버전 서비스를 시작할 예정이다. 그림 2.1과 그림 2.2는 이 기능을 개념적으로 보여주기 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.

2.2 금형 수명예측 기능 개발

최근 몇 년 사이, 특히 AFDEX 20 버전부터 금형의 구조해석 기능의 획기적 개선으로 응력 해석결과와 신뢰성이 크게 개선되었다. 응력해석 결과에 기하급수적으로 영향을 받는 금형의 피로파괴 수명을 유의미하게 예측하는 데는 금형 구조 해석결과와 안정화가 무엇보다 중요하다.

일반적으로 피로파괴는 반복회수 1000을 기준으로 저사이클 피로파괴 (Low cycle fatigue fracture, LCF fracture)와 고사이클 피로파괴(High cycle fatigue fracture, HCF fracture)로 구분된다. 따라서 냉간단조 금형은 HCF 파괴에 노출되어 있는 반면, 열간단조 금형은 주로 LCF 파괴와 관련되어 있지만, 일부의 피로파괴 문제는 HCF 파괴 이론으로 설명된다. HCF 파괴에서는 응력 해석결과가 중요하며, LCF 파괴에서는 응력과 연계된 변형률과 이에 기인하는 손상도의 축적의 관점에서 이론을 전개한다. 즉, 사이클 하중에 기인하는 히스테리시스 응력-변형률 곡선(Hysteresis stress-strain curve)에 의한 변형에너지와 이로 인하여 축적된 손상도가 피로파괴를 좌우하는 요인이 된다.

HCF 파괴에 관한 연구를 분석한 결과, 지나치게 구조설계에 초점을 맞추고 있다는 결론에 도달하였다. 이것은 소성가공에 참고사항이지 직접 활용하는 데는 그 목적부터 다른 것이 대부분이다.

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. 가령, Goodman 선도가 양의 평균응력(최대응력과 최소응력의 산술평균, 일반적으로 사용하는 평균응력이 아님) 구간에서 주로 사용되고 있다. 이 선도는 Gerber 선도에 비하여 이 구간에서 더 보수적이기 때문이다. 소성가공에서는 보수적 예측보다 정확한 예측이 매우 중요하다. 왜냐하면, 피로수명을 고려한 구조설계가 기본이기 때문이다.

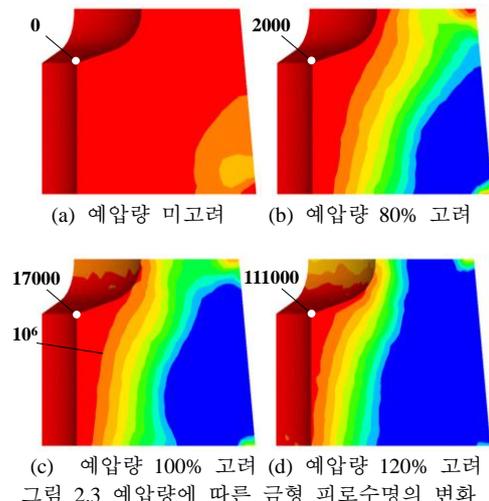
다시말하면, 소성가공에서 금형은 적절한 예측 가능한 시점에서 피로파괴가 발생하도록 한다. 피로파괴 그 자체를 목적으로 하되, 예측 가능하도록 해야 한다. 따라서 무엇보다 특정한 수명, 가령 10만 개 전후를 목표로 한 예측 수명의 정확도를 그 생명으로 한다는 특징이 있다. 그리고 일반 구조물과는 달리 대부분의 냉간단조 금형에는 예압이 가해지며, 이것으로 인하여 절대값이 상당히 큰 음의 정수압의 초기응력에서 시작하여 45도 방향으로, 즉 1사분면을 향하여 (평균

응력, 응력진폭) 접이 이동하는 특성이 있다. 따라서 이러한 특성을 고려한 피로파괴 예측 기법이 필요하다.

이러한 점을 감안한 금형의 피로파괴 수명 예측 기능이 차기 버전부터 지원될 예정이며, 빠른 사용을 희망하는 사용자들에게는 12월부터 베타 버전을 제공할 계획이다.

그림 2.3은 성형하중이 금형의 응력에 미치는 영향을 고정시킨 상태에서 예압에 의하여 초래된 초기 응력이 금형의 피로파괴 수명에 미치는 영향을 분석한 결과를 나타내고 있다. 그림 2.3(a)는 예압을 하지 않을 경우, 금형의 모서리는 소성변형을 발생시킴을 의미한다. 현재 금형에 가해진 응력을 100%로 간주하여 (그림 2.3(c)) 예압량을 20%를 증감시킨 상태에서 구한 금형수명을 그림 2.3(b)와 그림 2.3(d)에 나타내었다.

금형의 피로파괴 수명은 매 금형마다 다른 이론을 적용하여 계산될 수 있으며, 해석 실시 후, 성형하중 또는 열하중에 의한 응력과 예압응력에 가중치를 곱하여 계산될 수도 있다. 기본적인 관련 이론은 별도의 교육 또는 논문 등을 통하여 공개될 예정이다.

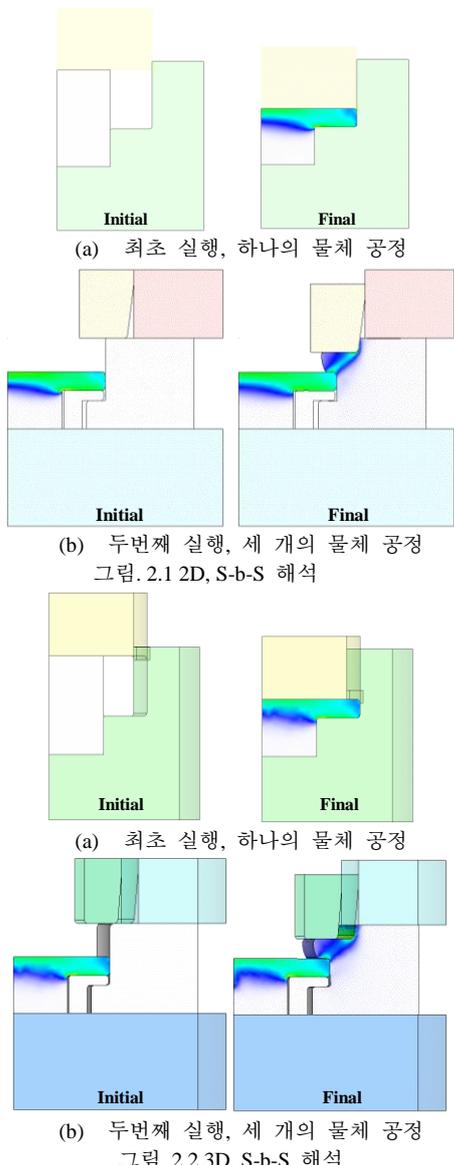


2.3 전단소재의 끝 굽힘량 예측 신기능

이미 AFDEX 뉴스레터 2019 Q1호에 냉간 봉재의 전단 해석 기능과 적용 사례를 소개하였다. 그 당시의 연구에서는, 절단 소재 그 자체를 사용하는 자동다단 냉간공정의 해석에 목적을 두고 있어, 외형상의 정성적인 일치 여부에 관심을 가지고 있었고, 단면의 경사각을 측도로 전단면을 평가하였다.

그러나 최근 짧은 소재의 이용에 관한 연구 과정에서 단면 주위에서의 형상 변화, 예를 들면, 굽힘량 (Roll-over) 등의 정량적 예측 필요성이 대두되어, 소재가 공급되는 쪽의 경계조건을 개선한 전단공정 해석모델을 개발하였다.

자동다단 냉간단조에서 전단용 봉재는 전단장치, 즉 전단날과 이송장치에 접촉되거나 지탱이 되며, 그 사이의 길이는 상당히 크다. 그리고 지탱하는 이송장치는 약간의 탄성적 변형이 야기된다. 물론 봉재에는 이송장치에 의하여 부과된 예압량이 작용한다. 이러한 점을 고려한 해석모델이 필요하다.



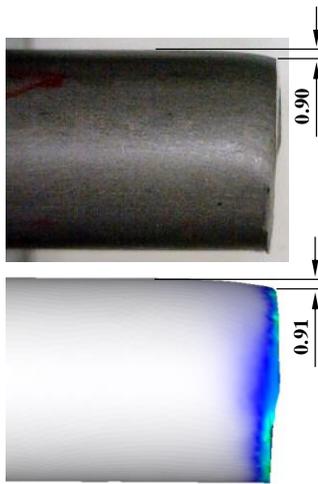


그림 2.4 적용 사례

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. 관련 내용은 교육 및 학술논문(2020년 한국소성가공학회 추계학술대회)으로 소개될 예정이다.

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 전단 해석 및 피어싱 기능과 함께 소재의 전단, 피어싱, 트리밍, 블랭킹 해석에 유용할 것이다. 차기 버전부터 제공되며, 빠른 사용을 희망하는 사용자에게 베타 버전을 제공할 계획이다.

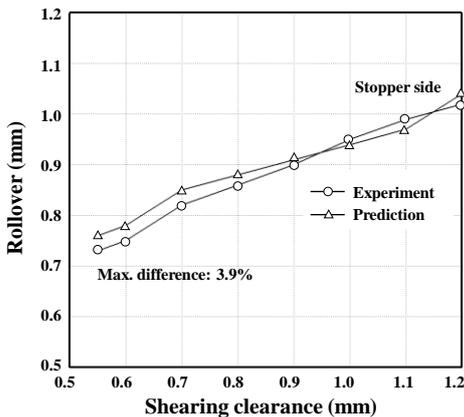


그림 2.5 롤오버의 실험결과와 해석결과와의 비교

2.4 불안정성 지수 및 성형한계지도 작성 기능

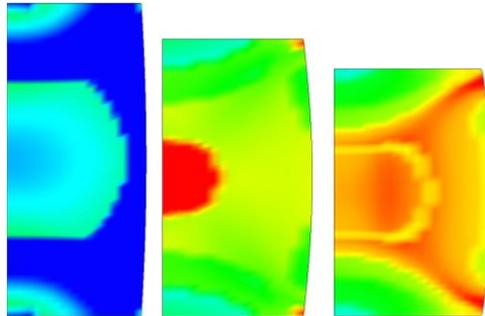
최근, 동적변형시효 (Dynamic strain aging, DSA) 및 난성형 재료의 연구 과정에서 불안정성 지수의 개발 및 성형한계지도 작성의 중요성이 부각되었다.

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 위

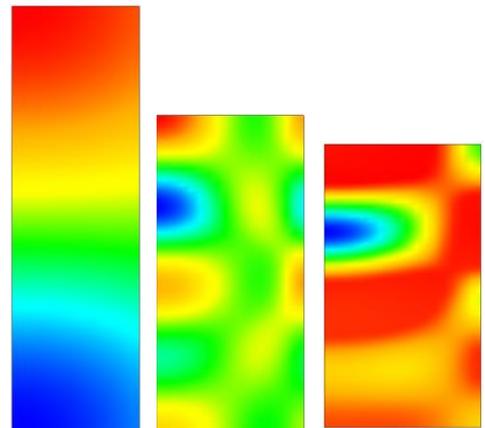
한 불안정성 지수(Instability index)가 개발되었으며, 차기 버전부터 관련 기능과 함께 성형한계지도 작성 기능이 제공된다.

이 기능은 관련 전처리 기능 등의 보강에 다소의 시간이 소요되므로 12월부터 베타 버전을 통하여 빠른 사용을 원하는 사용자에게 지원될 예정이다. 관련 이론은 교육 및 관련 학술논문(2020년 한국소성가공학회 추계학술대회)으로 소개될 예정이다.

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 연화 현상에 따른 Ti6Al4V 합금의 균질압축 공정에서 발생한 변형의 비균질성과 관련된 불안정성 지수를 나타낸다.



(a) DSA에 기인하는 변형의 불안정성 (마찰계수 = 0.1)



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

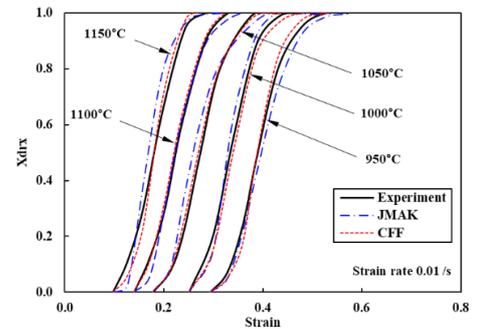
그림 2.6 변형의 불안정성 사례

2.5 미세조직의 정밀예측 기능

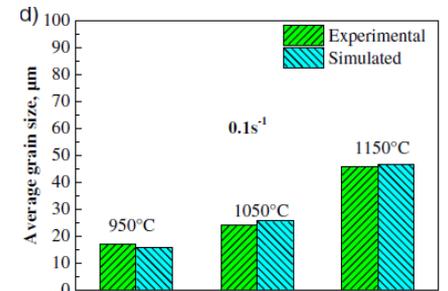
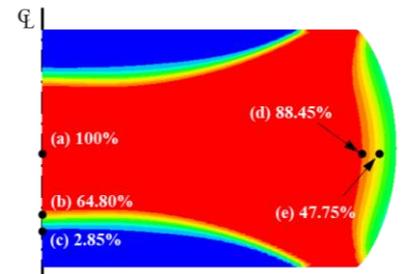
재료의 미세조직의 정밀예측을 위해서는 유동응력의 정확도와 함께 이를 직접 사용한 미세구조 예측 모델이 요구된다. AFDEX 연구팀은 미세구조 예측모델과의 연계가 가능한 고정도 유동응력 모델(CFF 모델)을 제안한 바 있다(JMR&T, 2019). 이 유동응력 모델을 활용한 미세구조 예측모델이 최근에 개발되었다. 실험결과와 해석결과와의 차이를 좁히는 효과를 확인하였다.

그림 2.7(a)는 업세팅 공정을 대상으로 한 미세구조 예측결과와 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 오차해석 결과를 나타내고 있다.



(a) 0.15C-7Mn 강의 X_{DRX} 카이네틱스 곡선



(b) 예측된 X_{DRX} 와 오차해석 결과

그림 2.7 고정도 실용적 미세구조 해석 기능

2.6 계산시간 개선

내년에 지원될 예정인 AFDEX V21은 현재 버전보다 대형 문제의 해석에서 계산시간을 30~50% 단축시킬 것이다.

최근, 정교함을 살리면서 계산시간을 개선한 요소망재구성 기법이 개발되었다. 이에 따라 각종 계산 루틴들의 작은 개선 효과가 유의미해졌기 때문에 솔버 부분의 지속적인 계산시간 단축이 이루어질 것이다. 12월부터 베타 버전을 통한 최신 프로그램의 빠른 지원이 가능하다.

3. 공지사항

3.1 AFDEX 정기교육 일정

COVID-19로 인하여 예정되어 있던 AFDEX 정기교육이 취소되었다. AFDEX 팀은 오프라인 교육을 대체하는 방안으로 신청자에 한해 웹미팅 교육 진행을 예정하고 있다.

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/UCEOCsxeB41cHyDcAZudKjA>)