

Contents

1. AFDEX_V24R02 업데이트 및 열처리/미세조직 모듈 출시
2. AFDEX 해석 사례
 - 2.1 이방성 프로그램의 개발
 - 2.2 손상상수 및 임계손상도의 결정
 - 2.3 다단 롤 플로우포밍 공정의 성형해석
 - 2.4 전기차 배터리용 집전체 부품의 성형해석
 - 2.5 급형의 극한 요소망 생성 검증
 - 2.6 3D Builder를 활용하여 stl 파일 수정시 주의사항
3. AFDEX_V24R02 신기능 및 기능 개선
 - 3.1 미세조직 예측
 - 3.2 열처리 해석
 - 3.3 표면 팽창률 가시화 기능
 - 3.4 HDF5 format export 기능
 - 3.5 FLC 입력기능 개선
 - 3.6 후처리 View에서 모델(stl) 추가 기능
4. 소식 및 공지 사항
 - 4.1 2025년 정기교육 및 온라인 강좌 활용 수시 교육 안내
 - 4.2 ATC Malaysia
 - 4.3 ICFG 58th Meeting
 - 4.4 Workshop at Gazi (Turkiye)
 - 4.5 Workshop at METU (Turkiye)
 - 4.6 해외 고객 및 파트너 교류

1. AFDEX_V24R02 업데이트 및 열처리 모듈 출시

2025년 10월 AFDEX_V24R02 업데이트 버전 및 열처리 모듈이 출시되었다. 지난 6월 신버전이 출시된 이후, 고객 친화적으로 기능 개선이 이루어졌다. 열처리/미세조직 해석 모듈은 과거 2년간의 베타 테스트를 마치고 정식 배포가 진행된다.

미세구조 예측 프로그램은 동적 재결정(DRX), 정적 재결정(SRX), 결정립 성장 등의 예측 기능을 포함한다. 열처리 프로그램은 경도, 어닐링, 담금질, 템퍼링, 구상화 등을 포함하는 신기능들이 적용되며, 성형 및 후처리 과정에서 재료 거동을 더욱 포괄적으로 분석할 수 있게 되었다.

2. AFDEX 해석 사례

2.1 이방성 프로그램의 개발

모든 재료는 어느 정도의 이방성을 지니고 있다. 그러나 단조를 비롯한 체적소성가공의 경우, 이방성이 크지 않아 등방성 해석을 주로 적용하고 있다. 그러나 판재는 제조과정에서 상당한 이방성을 가지게 되므로 판재성형해석 또는 판단조해석에서 이방성은 반드시 고려하여야 한다. 최근 정완진 교수가 이끄는 AFDEX 연구팀은 이방성 탄소성 유한요소해석 프로그램을 개발하였으며, ICPMNT 2025에서 발표하였다. AFDEX 연구팀은 다양한 이방성 모델이 탑재된 신 모듈을 2026년 2월에 제공할 예정이다. 이방성 탄소성 유한요소해석은 KSTP 추계학술대회 2025(11월 6일)에서 정완진 교수가 발표할 예정이다. 그림 2.1은 사면체요소망을 이용한 원형 컵 드로잉공정의 이방성 탄소성 유한요소해석 결과를 나타낸다. AFDEX의 사면체 요소는 전단이나 국부적인 성형 시 필요한 자동요소재구성이 가능하므로 새로 개발된 이방성 탄소성 해석 기능과 함께 다양한 판재성형해석에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

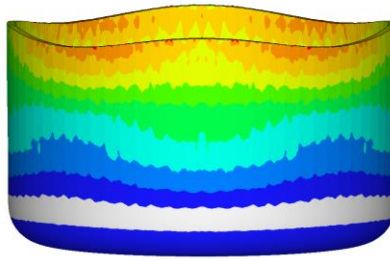


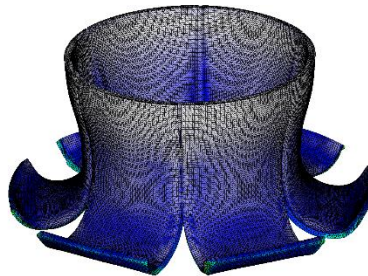
그림 2.1 사면체 요소망을 이용한 이방성 탄소성 유한요소해석

2.2 손상상수 및 임계손상도의 결정

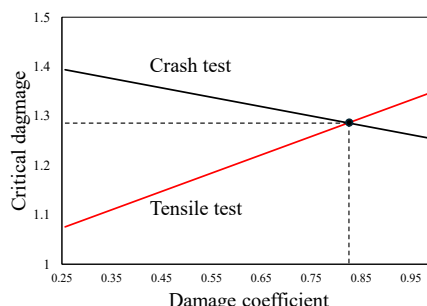
연성과정 해석을 위해서는 손상도 모델의 선정과 임계손상도의 결정은 매우 중요하다. AFDEX 연구팀은 연구 개발한 두 가지의 시험으로부터 손상상수 및 임계손상도 동시 계산법을 실용적으로 개발하였다. 이 방법은 인장시험을 기본으로 하고, 판단의 시점이 명확하게 밝혀진 다른 하나의 실험결과를 이용한다. 판재 인장시험의 실험결과와 관련된 연구에서 획득한 유동곡선으로 예측한 인장시험의 해석결과와 오차는 2.4%이므로 유동곡선은 공학적으로 일치한다. 그리고 이를 이용한 인장시험의 해석을 통하여 획득한 손상도의 결과도 신뢰성이 높다. 그림 2.2(a)는 충돌에너지 흡수장치 시험공정의 해석결과를 나타낸다. 해석결과에 의하면, 그림 2.2(c)에서 변위가 58 mm에 이르는 순간 초기 크랙이 발생한다. 따라서 이 공정에서 판단 시점이 밝혀져 있다고 할 수 있다. 이제 인장시험과 충돌흡수 장치시험 공정으로부터 손상상수와 임계손상도의 관계를 구해야 한다. 이 목적으로 다음의 Oyane-Okimoto-Shima 손상도 모델을 사용하였다.

$$D = \int (1 + C \frac{\sigma_m}{\sigma}) d\bar{\epsilon} \quad (1)$$

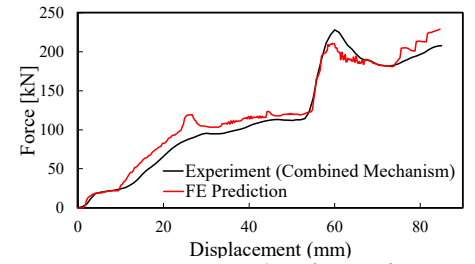
이 손상도 모델에서 손상도는 C에 선형적으로 비례한다. 손상상수-임계손상도(판단지점에서의 손상도) 선도를 구하면, 그림 2.2(b)와 같다. 두 선분의 교점에서 손상상수 C와 임계손상도가 각각 0.82와 1.29로 구해진다. 이 값을 이용하여 해석을 수행하면, 그림 2.2(c)의 스트로크-하중곡선을 구할 수 있다. 이것은 해석결과와 실험결과가 잘 일치함을 보여준다.



(a) 충돌시험 해석 결과(종료 시점)



(b) 손상상수-임계 손상도 곡선



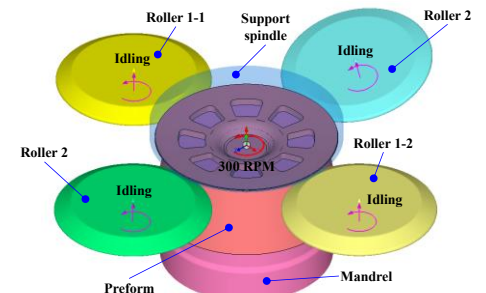
(c) 스트로크 - 충돌하중 곡선

그림 2.2 에너지흡수 장치의 충돌시험 시뮬레이션

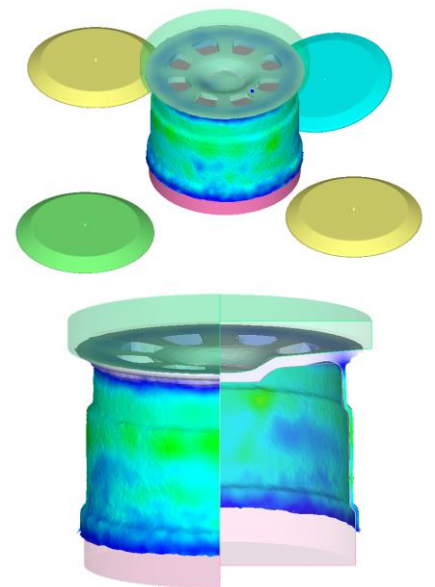
2.3 다단 롤 플로우포밍 공정의 성형해석

플로우포밍 공정은 롤러의 형상과 개수에 따라 소재를 점진적으로 성형할 수 있다. 기존 연구에서는 한 쌍의 롤러를 이용하여 일차적인 두께 변화를 예측하기 위한 성형해석을 수행하였다. 반면, 개선된 공정에서는 기존의 한 쌍의 롤러(롤 1-1, 롤 1-2)에 더해 형상이 서로 다른 2개의 롤(롤 2, 롤 3)을 추가하여, 총 3단계에 걸쳐 점진적으로 두께를 줄여가는 방식으로 성형해석을 진행하였다. 이를 위해 가상의 자동차 휠 형상을 모델링하였으며, 각 롤러별로 시간에 따른 속도 프로파일을 작성하여 해석에 반영하였다.

그 결과, 그림 2.3(a)는 해석에 사용된 전체 360° 모델을 보여주며, 여기서 롤 1-1과 롤 1-2는 동시에 성형을 수행하고, 이후 롤 2와 롤 3이 순차적으로 재료를 성형한다. 그림 2.3(b)는 가상의 자동차 휠 플로우포밍 공정의 최종 해석결과를 나타낸다.



(a) 360° 공정 해석모델



(b) 해석결과

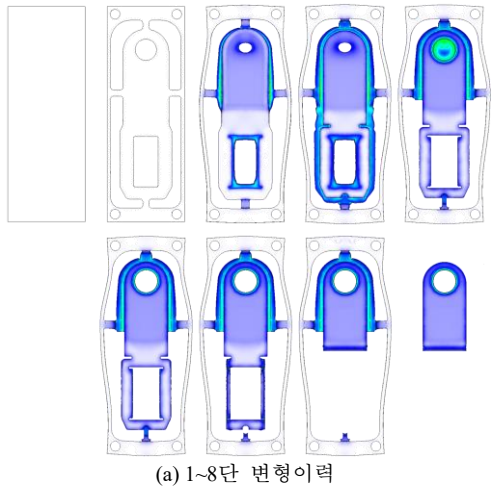
그림 2.3 가상의 자동차 휠 다단 플로우포밍 해석

2.4 전기차 배터리용 집전체 부품의 성형해석

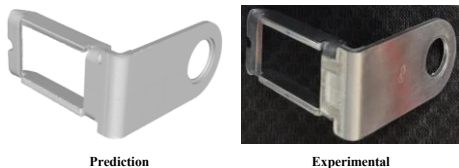
리튬이온 배터리에는 금속 박판 형태의 집전체(Current collector)가 사용되며, 일반적으로 양극 집전체에는 전기전도성과 가공성이 우수한 알루미늄(Al)이, 음극 집전체에는 낮은 전위 영역에서도 안정성을 유지하면서 높은 전기전도성을 제공하는 구리(Cu)가 사용된다.

이 해석은 양극 집전체용 부품을 대상으로 하였으며, 사용된 재료는 두께 2.0 mm의 알루미늄 A1050-H18 판재이다. 해당 공정은 프로토(Proto) 단계의 개발 과정에서 설계된 것이다. 250톤 기계식 프레스에 적합하게 설계된 공정설계와 금형이 사용되었다. 총 8단 공정으로 구성되어 있다.

그림 2.4(a)는 단계별 성형해석 결과를 나타내며, 그림 2.4(b)는 예측결과와 실험 결과를 비교한다.



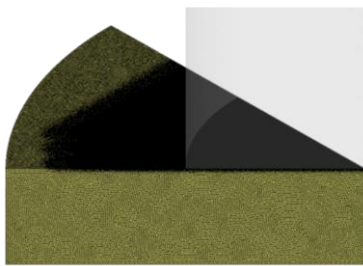
(a) 1~8단 변형이력



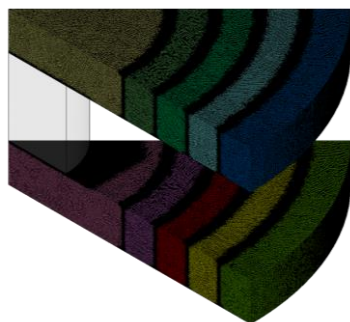
(b) 성형해석 및 실험결과 형상 비교
그림 2.4 집전체 부품 성형 해석 결과

2.5 금형의 극한 요소망 생성 검증

정교한 해석을 원하는 사례가 증가하면서 AFDEX에서 실행할 수 있는 최대 요소 수를 점검하였다. 단금형과 다금형의 경우로 나누었으며 재료의 요소 수는 200만개로 고정하였다.



(a) 단금형



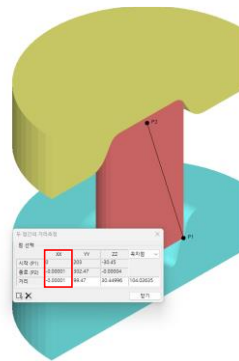
(b) 다금형

그림 2.5 금형의 극한 요소망 생성 검증 사례

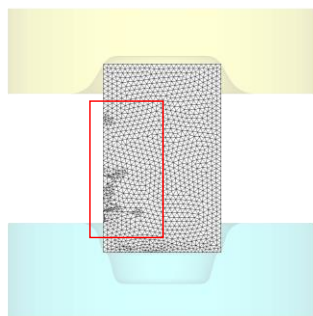
그림 2.5(a)는 금형이 하나인 경우이며 약 720만개의 요소망을 형성하였다. 요소망을 형성하는데 소요된 시간은 i7-7700 기준 약 2시간 40분이 소요되었다. 그 이상으로 입력 시 메모리 문제로 인해 요소망 생성에 실패하였으나, PC의 성능에 따라 더 많은 수의 요소망을 생성할 수 있다. 그림 2.5(b)는 금형이 여러 개인 경우이며 해당 예제에서는 총 10개의 금형으로 설정하였으며, 각각 200만개씩 희망 요소망을 입력하여 전체 2000만개의 요소망이 입력된 조건이다. 해당 예제의 경우 요소망을 형성하는데 약 7시간이 소요되었으며, 그 이상을 입력하면 메모리 문제로 요소망을 생성하지 못하였다. 따라서 사용자의 PC 성능에 따라 많거나 적은 수의 요소망을 생성할 수 있다. AFDEX에서 요소망 생성에 다소 많은 시간이 소요되는 것은 요소망의 품질을 극대화하기 때문이며, 요소망의 품질이 해의 정확도와 직결된다는 것은 주지의 사실이다.

2.6 3D builder를 활용하여 stl 파일 수정 시 주의사항

AFDEX는 3차원 해석 시 stl 파일이 사용된다. 대부분의 모델링 툴에서 stl 파일을 편집하는 것은 어려운 문제이다. 윈도우에서 기본으로 제공하는 3D builder는 stl을 간단하게 편집할 수 있는 기능이 갖추고 있어 유용하게 사용되고 있다. 모델링 파일에서 겹치거나 열려 있는 에러가 있을 경우, 3D builder는 자동적으로 수정해주거나 stl 파일을 원하는 방향으로 절단하는 등 유용한 기능을 제공한다. 그림 2.5는 360도 모델을 3D builder를 활용하여 180도 모델로 변경한 사례이다. 그림 2.6(a)에서는 대칭면에서의 좌표를 확인해보면 x-좌표가 0인 곳과 -0.00001인 곳이 존재한다. 아주 미세한 차이이지만 이 문제로 인해 그림 2.6(b)와 같이 대칭면에서 요소망 생성이 실패하는 사례가 나타났다. 따라서 3D builder를 활용하는 사용자는 동일한 문제에 봉착하지 않도록 유의할 필요가 있다.



(a) 전처리 화면



(b) 요소망 생성 후

그림 2.6 대칭면 요소상 생성 실패 사례

3. AFDEX_V24R02 신기능 및 기능 개선

3.1 미세조직 예측

AFDEX 2D/3D 솔버의 새로운 미세구조 모듈은 JMAK 기반 모델을 사용하여 동적 재결정(DRX, 그림 3.1), 정적 재결정(SRX, 그림 3.2) 및 결정립 성장(그림 3.3)을 예측할 수 있도록 지원한다. DRX

의 부피 분율과 결정립 크기는 변형을 기반 및 시간 기반 동역학을 통해 계산할 수 있으며, SRX의 변화는 시간 기반 동역학 및 해당 결정립 크기 예측을 통해 모델링된다. DRX 또는 SRX 전후의 결정립 성장도 고려되며, 전체 결정립 크기는 혼합물 법칙을 통해 결정된다.

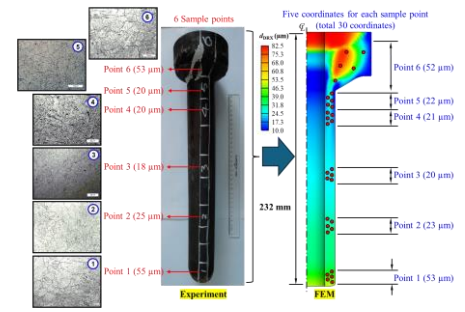


그림 3.1 동적 재결정

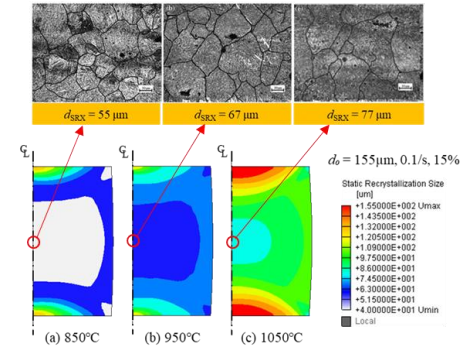


그림 3.2 정적 재결정

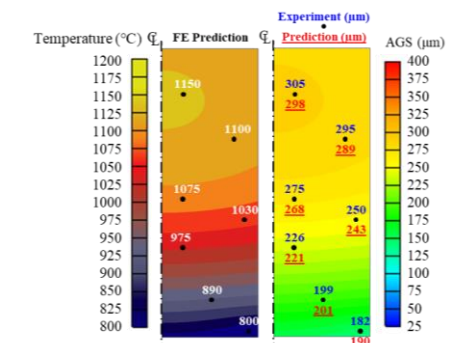


그림 3.3 결정립 성장

3.2 열처리 해석

AFDEX 2D/3D의 열처리 모듈을 사용하면 어닐링, 담금질, 템퍼링, 담금질+템퍼링(QT), 구상화와 같은 주요 공정을 해석할 수 있다. 경도는 결정립 크기 및 상분율 데이터를 기반으로 Hall-Petch 관계식을 사용하여 계산된다.

사용자는 시간, 온도 및 대류 계수를 제어하여 유연한 열처리 사이클을 설정할 수 있다. 관련 현상을 선택적으로 활성화하여 각 사이클 동안 미세구조 변화를 정확하게 추적할 수 있다.

새로운 아이콘, 입력 기능, 그리고 미세 구조 및 열처리 전용 라이브러리를 통해 GUI가 개선되었다. 후처리 뷰, 내보내기 옵션, 그리고 개선된 단계별 분석 기능은 공정 시뮬레이션을 위한 더욱 효율적이고 사용자 친화적인 워크플로를 제공한다.

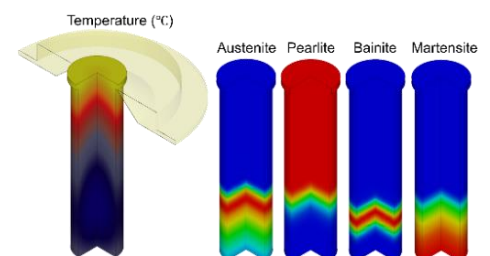


그림 3.4 ASTM:A-255 표준에 따른 AISI52100의 Jominy 담금질 시험

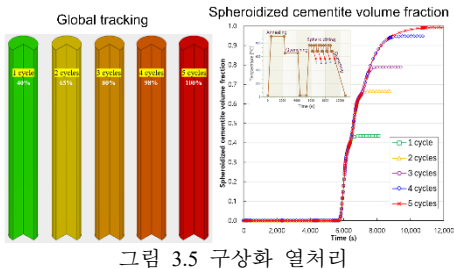


그림 3.5 구상화 열처리

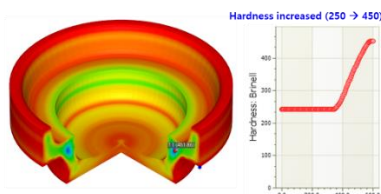


그림 3.6 브리넬 경도 - 베어링 레이스 공정

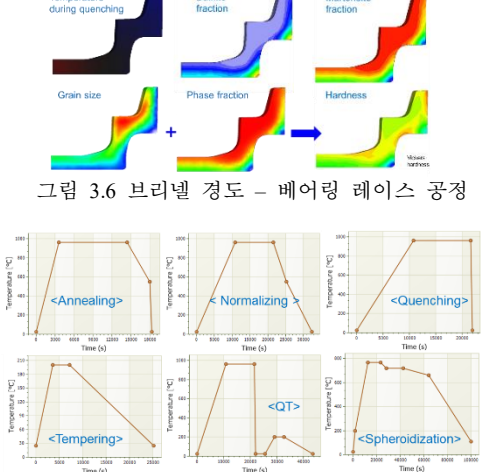


그림 3.7 열처리 사이클

3.3 표면 팽창률 가시화 기능

소재 표면의 각 위치에 대하여 그림 3.8과 같이 후처리기에서 표면 팽창률 가시화 결과를 확인할 수 있다. 이 표면팽창비는 소성가공 중 마찰조건 변화와 직결되어 있어, 마찰조건 변화의 현상에서 중요한 역할을 담당할 것이다. 현재 표면 팽창비의 함수인 가중함수를 곱한 새로운 마찰계수 함수가 지원되고 있다. 이 기능은 윤활레짐변화 등의 연구 및 적용에 이바지할 것이다.

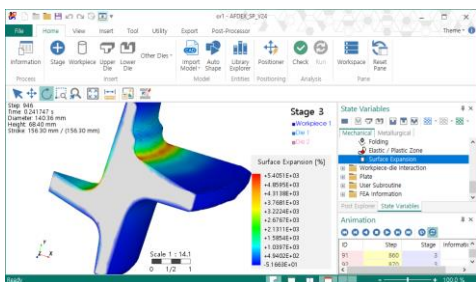
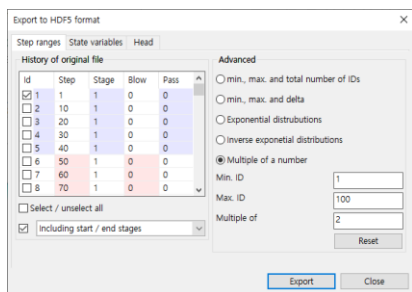


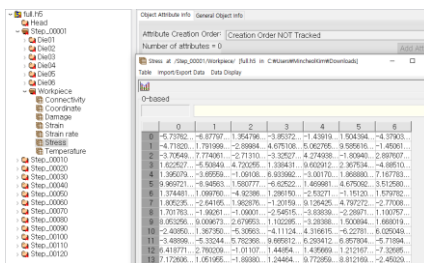
그림 3.8 3D 해석에서 표면 팽창률

3.4 HDF5 format export 기능

HDF5 format으로 출력하는 기능을 추가하였다. 이 기능을 활용하여 해석 결과를 다른 Tool과 연동성을 강화하였다.



(a) HDF 출력 기능 다이얼로그



(b) HDF Viewer로 열어본 데이터

그림 3.9 HDF5 출력 기능

3.5 FLC 입력 기능 개선

기존에는 전처리에서 FLC 데이터를 입력해야 FLD 결과를 확인할 수 있었지만, 해석한 후에 후처리기에서 FLC 데이터를 입력하는 기능을 추가하여 다시 해석해야 하는 불편함을 없앴다.

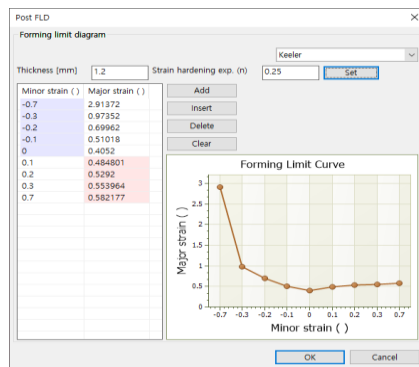


그림 3.10 후처리기의 FLC 입력 화면

3.6 후처리 View에서 모델(stl) 추가 기능

결과의 비교 검증을 위하여 해석결과 형상과 모델링(stl) 데이터를 겹쳐서 볼 수 있는 기능을 추가하였다.

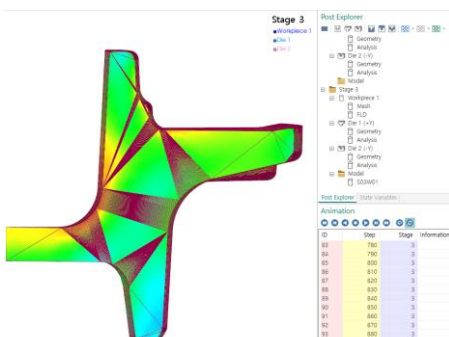


그림 3.11 최종 스텝에서 모델링과 해석결과 비교

4. 소식 및 공지사항

4.1 2025년 정기교육 및 온라인 강좌 활용 수시 교육 안내

2025년 정기교육 총 5회 실시되었고, 남은 1회 차 교육은 표 4.1의 일정으로 진행된다. 교육 신청 관련하여서는 교육일 3주 전 별도로 공지될 예정이다. 교육일, 교육 내용은 변경될 수 있다.

표 4.1 2025년 정기교육 일정

회차	장소	날짜	지역
6	MFRC 교육장	11월 06일(목)	전주

한편, 최근 유튜브 채널을 통해 온라인 교육을 크게 개편하였다. AFDEX 공식 유튜브 채널에서 소성역학 및 유한요소법에 관한 이론과 AFDEX 사용법 등을 확인할 수 있다. 아울러 비전공자를 위하여 정역학, 고체역학, 수학 등에 관한 교육도 이루어지고 있다.

AFDEX 공식 유튜브 주소는 아래와 같다.

(<https://www.youtube.com/c/AFDEX>)

4.2 ATC Malaysia

MFRC는 7월 22일 말레이시아 알테어 테크놀로지 컨퍼런스(ATC)에 참석하여 최신 개발 기술을 선보이고 전 세계 고객에게 시뮬레이션 기술을 홍보하였다. 이 행사는 MFRC의 연구 성과를 발표하고, 업계 전문가들과 연구내용을 공유하며, 향후 협력 가능성을 모색할 수 있는 훌륭한 플랫폼이었다.

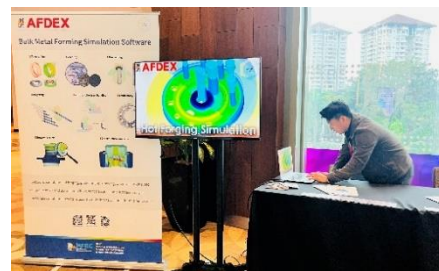


그림 4.1 ATC Malaysia

4.3 ICFG 58th Meeting

MFRC는 9월 15일~17일 프랑스 발랑시엔에서 열린 제58차 ICFG(국제 냉간 단조 그룹) 총회에 참석하였고, 이 국제 포럼의 공식 회원이 되었다. 이는 AFDEX의 글로벌 여정에 있어 중요한 이정표이며, 국제 무대에서 AFDEX의 입지를 확대하고 전문성을 선보이는 데 중요한 역할을 할 것이다.



그림 4.2 58th ICFG meeting

4.4 Workshop at Gazi (Türkiye)

MFRC는 튀르키예 파트너사 Simultura Malzeme Teknolojileri와 Gazi대학교 METAT팀과 함께 금속 성형 워크숍을 진행하였다. 참가자들은 AFDEX 소프트웨어를 사용하여 금속 성형 시뮬레이션을 살펴보고 성형 공정 및 재료 거동에 대한 학습 기회를 얻었다.



그림 4.3 GAZI University workshop

4.5 Workshop at METU (Türkiye)

MFRC와 Simultura Malzeme Teknolojileri는 METU의 야금 및 재료 커뮤니티와 함께 열처리 및 미세구조 워크숍을 개최하였다. 참가자들은 AFDEX 소프트웨어 시뮬레이션을 통해 열처리 공정, 미세구조 변화, 그리고 재료 거동에 대한 실질적인 학습 기회를 얻었다.



그림 4.4 METU Workshop

4.6 해외 고객 및 파트너 교류

2025년 1~3분기 동안 구축된 해외 파트너 및 새로운 고객과의 협력을 지속적으로 이어가고 있다. 특히 고객사의 기술적 문제를 신속하게 해결하며, AFDEX 활용 효율을 높이는 기술지원 활동을 적극적으로 전개하고 있다. MFRC는 올해 3분기까지 한국, 인도네시아, 타이완, 일본 등 APAC 지역에서 개최된 파트너사 Altair의 AI+CAE 최신 기술 행사(Altair Technology Day Indonesia 2025, ATC Taiwan 2025, ATC Japan 2025)에 참가한 바 있다.



(a) Altair Technology Day Indonesia 2025



(b) Altair Technology Conference Taiwan 2025



(c) Altair Technology Conference Japan 2025

그림 4.5 2025년 2~3분기 해외 파트너사 교류