

### Contents

#### 1. AFDEX\_V24R02 출시 내용

##### 2. AFDEX 해석사례

- 2.1 필렛롤링의 고정밀 및 경제적 해석모델
- 2.2 볼 버니싱 공정 해석
- 2.3 인장시험 결과의 과학화와 정보화
- 2.4 튜브 재료로부터 유동곡선 획득법
- 2.5 롤포밍 공정 해석

##### 3. AFDEX\_V24R02 신기능 및 기능 개선

- 3.1 전처리 라이브러리 검색 기능 추가
- 3.2 전처리 중량 계산 기능 추가
- 3.3 3차원 피어링/트링밍 기능 개선 및 입력창 이미지 추가
- 3.4 단물체 해석시 소재-소재간 마찰조건 입력
- 3.5 2차원 해석시 자동 요소수 계산값 조정
- 3.6 임의 방향 소재의 단류선 보기 개선
- 3.7 열처리 모듈 GUI 개선

##### 4. 공지 사항

- 4.1 2025년 정기교육 및 온라인 강좌 활용 수시 교육 안내
- 4.2 부산국제기계대전 전시 참가
- 4.3 소성·가공학회 춘계학술대회 전시 참가
- 4.4 AFDEX e-Book의 발간

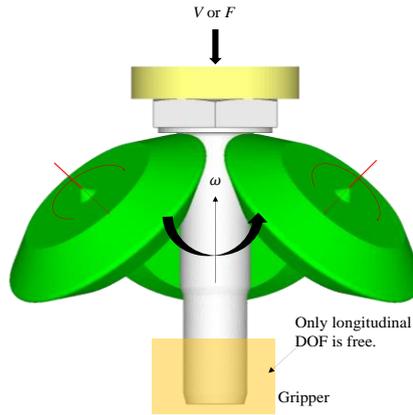
#### 1. AFDEX\_V24R02 출시

2024년 10월 AFDEX\_V24R01 버전이 출시되었다. 이에 대한 내용은 2025년 Q1 뉴스레터에서 소개되었다. 신버전 출시 후 기능 추가 및 개선이 완료된 AFDEX\_V24R02 버전이 2025년 5월중 출시될 예정입니다.

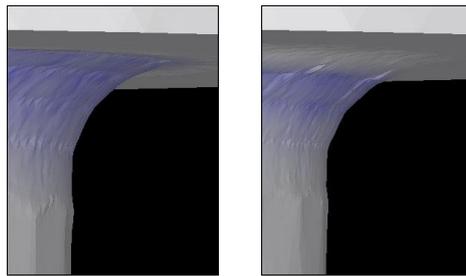
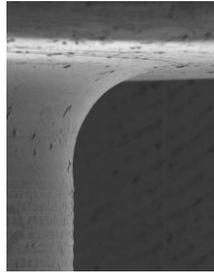
#### 2. AFDEX 해석사례

##### 2.1 필렛롤링의 고정밀 및 경제적 해석모델

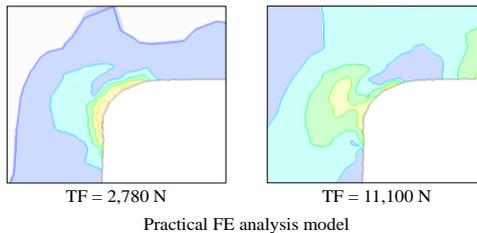
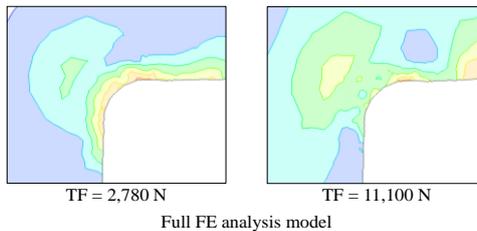
필렛롤링은 고내구성을 요하는 보안 부품에 압축상태의 예압을 부과하기 목적으로 적용된다. 그림 2.1(a)는 항공가용 볼트의 필렛롤링 해석 목적의 전체 해석 모델(Full FE analysis model)이다. 해석적 관점에서 특징은 계산시간과 민감한 접촉상태의 영향을 들 수 있다. 실 공정에서는 세 개의 롤러가 하중 균형을 유지하기 위하여 역학적 요동이 허용되지만, 유한요소해석 모델은 접촉상태에 민감하게 반응하기 때문에 공작물의 좌우 흔들림 방지 조건의 적용이 불가피하다. 이러한 경계조건의 부과는 필연적으로 세 개의 롤에 작용하는 롤의 하중 상태의 불균형을 초래한다. 이것은 궁극적으로 접촉면에서 국부적으로 과도한 소성변형을 작용하게 한다.



(a) 전체영역 해석모델



(b) 실험결과와 전체영역 및 실용모델의 예측결과의 비교



(c) 피로수명 시험의 해석

그림 2.1 필렛롤링 공정해석을 위한 실용모델

이러한 전체 영역을 대상으로 하는 필렛롤링 해석모델의 문제는 1/3 영역의 실용모델로 보완이 될 수 있음을 확인하였다. 필렛롤링 코너 부위의 반경을 측정된 결과, 실용모델이 전체영역 해석모델에 비하여 실험에 부합하였다(그림 2.1(b). 전

체영역 해석모델의 경우에는, 그림 2.1(c)에서 피로수명 시험 시의 저하중과 고하중 부과 시의 유효잔류응력의 해석결과에서 보는 바와 같이, 실용모델에 비하여 필렛롤링의 영향권이 다소 넓은을 알 수 있다.

이에 관한 상세한 내용은 이 내용과 관련된 학술논문 등으로 발표될 예정이다.

##### 2.2 볼 버니싱 공정 해석

버니싱은 원통의 내면이나 외면을 볼(Ball)로 눌러 표면을 매끈하게 만드는 표면처리 공정으로 소성가공 공정의 특별한 예이다. 이 공정은 표면 마감 개선, 내마모성 증가, 치수 일관성 향상 및 내식성 향상 등 다양한 장점을 가지고 있다. 이 공정에서는 볼이 표면을 미세하게 압축한 상태에서 소재와 공구의 회전과 공구의 평행운동이 동시에 이루어지기 때문에 유한요소해석을 위한 특수 기능이 요구된다. 특히, 마이크로 단위의 정밀도를 표현하는 초정밀 요소망 구성이 필요하다(그림 2.2(a)). 그림 2.2(a)는 150만개 요소를 사용하여 만든 초기 요소망이며, 불과 접촉이 이루어지는 영역의 재료를 조밀하게 이산화하였다. 또한 버니싱 공정은 소재의 많은 회전을 동반하기 때문에 해석 중 수치적 부피 변화에 노출될 수 있다. 이러한 문제들에 대한 적절한 기법이 적용되어야 한다. 그림 2.2(b)는 특화된 기능을 활용한 해석결과이다.

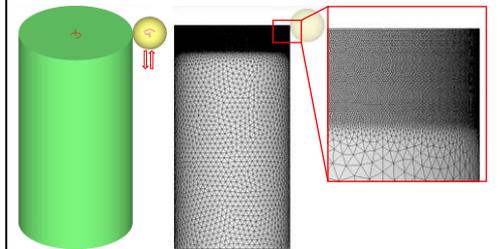


그림 2.2 볼 버니싱 공정 해석

##### 2.3 인장시험 결과의 과학화와 정보화

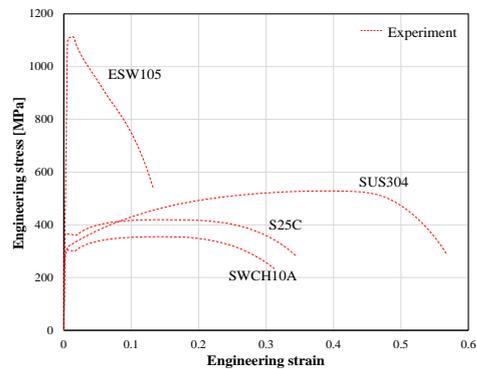
인장시험은 소성가공의 이해와 재료 정보의 획득 양면에서 매우 중요하다. 인장시험에서 중요한 요소 중의 하나가 직경대비 표점간 거리(GLPD, Gage length per diameter)이다. 이것은 4 또는 5로 국제적으로 규격화되어 있다. 그런데 여러가지의 요인으로 이것을 지키지 못하는 경우가 많다. 재료 성형성 및 가공성에 큰 영향을 미치는 연신율은 동일한 재료일지라도 이 GLPD에 따라 다르다. 따라서 표준화된 인장시험 결과의 확보 및 데이터 축적이, 개인 차원이든, 기업 차원이든, 필요하다.

이러한 문제의 해소를 위하여 해석적 연신율보정함수(A analytical elongation calibration function)가 개발되었으며, 그 결과는 수치적으로 입증 되었다 (Kim et al., 2025, Mater. & Design, 113851). 일종의 사상함수(Mapping function)인 이 연신율보정함수를 사용하면, 그림 2.3(a)의 통일성이 없는 인장시험으로 획득한 공칭응력-공칭변형을 곡선 데이터로부터 GLPD가 모두 5인 그림 2.3(b)의 통일된 인장시험 정보로 전환이 된다.

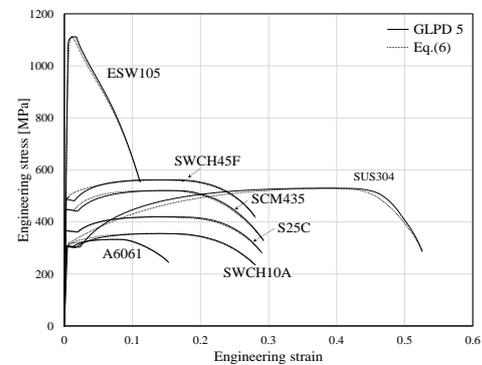
여기서 강조해 두어야 할 점은 GLPD에 따라 연신율의 차이가 발생하며, 그림 2.3(a)와 그림 2.3(b)의 비교를 통하여 알 수 있는 바와 같이, 그 차이가 재료에 따라서는 매우 클 수가 있다. 가령, 변형경화능이 작은 ESW105의 경우, 특히 그 차이가 크다.

한편, 그림 2.3(b)에서는 연신율보정함수와 유한요소법을 이용하여 획득한 가상 인장시험(GLPD=5) 결과를 비교하고 있다. 두 결과는 매우 잘 일치하고 있다. 그림 2.3(b)에서 A6061, SCM435, SWCH45F 등은 실험에서 GLPD=5의 규격을 따른 것으로 가상 인장시험과 인장시험의 실험결과가 동일하다. 해석결과로 획득한 인장시험 결과가 실험 인장시험 결과와 잘 일치하는 것은 사용된 유동함수의 타당성을 입증하는 것이다.

인장시험의 이해는 소성가공과 소성가공 시뮬레이션에서 중요하다. 이에 관한 이해의 증진을 위하여 AFDEX는 다양한 기능과 관련 정보를 제공하고 있다.



(a) 서로 다른 GLPD 하의 인장시험



(b) GLPD=5로 통일된 가상 인장시험 그림 2.3 인장시험의 과학화 및 정보화

## 2.4 튜브 재료로부터 유동곡선 획득법

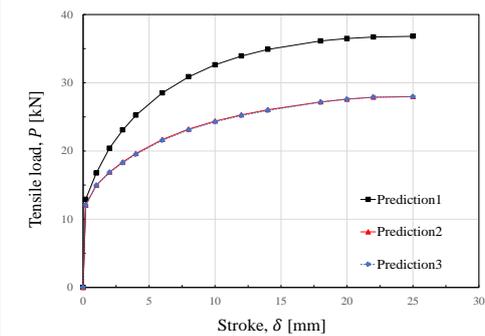
중실 봉재로부터 유동함수를 획득하기 위한 다양한 연구들이 행해졌다. AFDEX의 경우, AFDEX/MAT을 통하여 인장시험으로부터 손쉽게 유동응력을 획득하는 기능을 제공하고 있다.

그런데 튜브 재료의 경우, 다수의 연구자들의 기여에도 불구하고, 아직 실용적 측면에서 미흡한 점이 있다. 많은 연구자들이 판재 인장시험을 응용한 연구를 실시하였고, 일부 연구자들에 의하여 꼭 끼워맞춤 플러그(Plug)를 사용한 유동응력 획득이 시도되었다. 일반적으로 끼워맞춤 플러그 사용 방법이 정확도가 높은 것으로 알려져 있으나, 중실 봉재 인장시험과는 달리, 안정적인 게이지마크의 확보가 불가능하고, 그림 주위에서 변형경화에 따라 필연적으로 소성변형에 노출될 수밖에 없다.

이러한 점을 감안하여 유한요소법과 튜브 인장시험을 연계한 유동곡선 획득법이 개발되었다. 이 방법에서는, 그림 2.4(a)는 시편의 설계와 실제의 시편에서 보는 바와 같이, 주변형구간에 집중된 소성변형을 유도하기 위하여 주 변형구간의 반경을 선삭을 통하여 제거하였다. 그림 2.4(b)에서 보는 바와 같이 유한요소 해석모델은 다물체 해석기법을 이용하는 것을 전제로 가정을 최소화함으로써 실제의 인장시험에 가깝도록 하였다.



(b) 튜브 인장시험의 유한요소해석모델



(c) 스트로크-튜브 인장하중 곡선

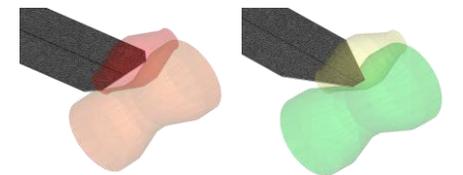
그림 2.4 튜브 재료의 공정도 유동곡선 획득

개발된 방법은 축차적으로 유동곡선을 개선시킨다. 이 예제의 경우, 초기의 유동곡선이 최적의 유

동곡선과 큰 차이를 보이고 있음에도 불구하고 2번의 최적화의 반복 계산을 통하여, 그림 2.4(c)의 튜브 인장시험의 해석결과에서 보는 바와 같이, 튜브 인장시험 관점에서, 정확한 유동곡선(오차 0.06%)을 획득하였다. 여기서는 유동곡선을 제시하지 않았으며, 그 결과인 스트로크-튜브 인장하중 곡선만 제시하였다.

## 2.5 롤포밍 공정 해석

롤포밍 공정은 속도 경계입력 조건이 중요한 요소이다. 따라서 성형방향의 소재 진입 속도와 회전 속도가 일치할 때, 정상적인 성형해석이 가능하다. 이 조건이 맞지 않을 경우에는 잦은 소재 망 재구성과 초기 진입하는 소재의 형상이 뭉개지는 문제가 발생된다. AFDEX\_V24R02에서 10단 롤포밍 공정으로 이런 입력조건을 고려하여 성형해석을 진행하였고, 특히 그림 2.5(a)와 같이 초기 소재 형상을 변경하여 첫번째 상·하부 롤 사이에 안정적으로 진입할 수 있도록 설정하였다. 그 결과, 그림 2.5(b)-(d)에서 보는 바와 같이, 10단 롤포밍 공정의 해석이 안정적으로 완료되었다.



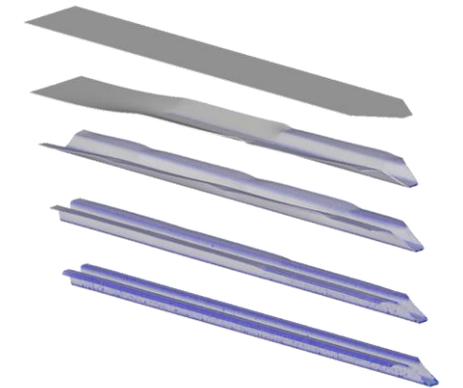
(a) 초기소재 형상 변경 전·후



(b) 10단 롤포밍 성형공정



(c) 플라워 패턴



(d) 소재의 형상변화

그림 2.5 10단 롤포밍 공정 해석 결과

## 3. AFDEX\_V24R02 기능 개선

### 3.1 전처리 라이브러리 검색 기능 추가

AFDEX\_V24R02 버전부터는 소재, 프레스, 마찰 조건에 대한 라이브러리 검색 기능이 추가되었다.

사용자는 키워드로 검색하고, 그 해석 조건을 찾아서 입력할 수 있다. 그림 3.1에서 라이브러리 검색창이 활성화된 것을 확인할 수 있다.

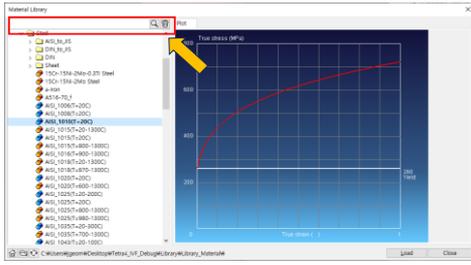


그림 3.1 라이브러리 검색 UI

### 3.2 전처리 중량 계산 기능 추가

AFDEX\_V24R02 버전부터는 재질에 대한 밀도를 입력하면 입력한 모델에 대한 중량을 확인할 수 있다. 이 기능은 소재 또는 금형 모델링 속성창의 자동중량탭에서 이용 가능하다. 그림 3.2와 같이 전처리 창에서 밀도를 입력한 후, 계산 결과를 확인할 수 있다.

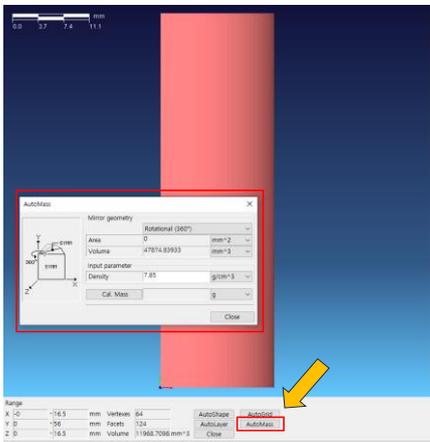


그림 3.2 자동중량 계산 UI

### 3.3 3차원 피어싱/트리밍 기능 개선 및 입력창 이미지 추가

AFDEX 3D의 경우 속도가 부과된 금형을 기준으로 피어싱 또는 트리밍을 실시한다. 이 기능에 익숙하지 않은 사용자들은 피어싱 또는 트리밍 공정 설정 시, 잦은 실수를 범하는 것으로 판단된다. 따라서 이해를 돕고 실수를 방지하기 위하여 해석 조건 입력창에 이미지를 추가하였다. 그리고 간헐적으로 피어싱 또는 트리밍이 작동되지 않는 상태로 해석이 종료되는 경우가 보고되었다. 현재 이 문제에 관한 기능 개선이 이루어졌다. 그림 3.3은 피어싱과 트리밍 입력창에 추가된 이미지를 나타내었다.

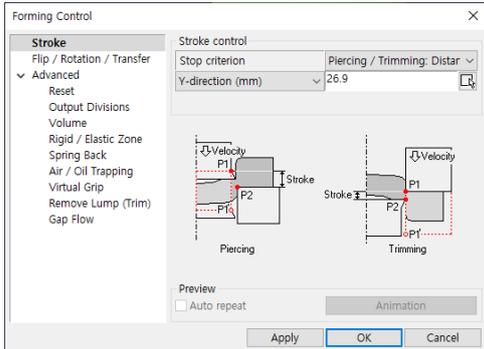


그림 3.3 피어싱/트리밍 조건 입력창

### 3.4 단물체 해석 시 소재-소재간 마찰조건 입력

이전버전까지는 단물체 해석 시, 소재-소재간 접촉이 발생할 경우 소재간의 마찰 조건은 슬버 내부적으로 계산을 수행하였다. AFDEX\_V24R02부터는 단물체 뿐만이 아니라 단물체 해석시에도 소재-소재간 마찰조건을 입력하도록 개선하였다. 그림 3.4는 객체간 마찰조건, 마찰계수를 설정하는 화면이다.

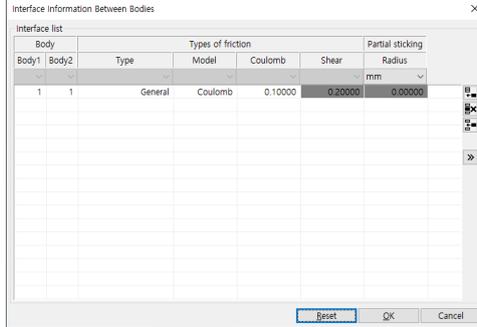


그림 3.4 소재-소재 마찰조건 입력창

### 3.5 2차원 해석 시 자동 요소수 계산값 조정

AFDEX는 사용자의 편의성을 위하여 해석조건을 자동으로 설정한다. 공정정보 입력창에서 계산 속도와 정확도의 선택 시에 고속, 일반, 정밀을 선택할 수 있다. 이 설정으로 입력 파일의 요소 수와 해석스텝 수가 자동적으로 계산된다. AFDEX\_V24R02부터 이전버전보다 이 수치들을 1.5배 증가시켜서 입력값으로 저장한다. 자동 설정을 주로 이용하는 사용자는 변경사항에 대한 고려가 필요하다.

### 3.6 임의 방향 소재의 단류선 보기 개선

이전버전까지는 초기 소재의 안착 위치가 x-, y-, z-축에 일치하지 않는 경우, 성형해석 결과에서 단류선 보기에 불편함이 있었다. AFDEX\_V24R02에서는 중심축을 자동으로 인식하는 기능이 탑재되었다. 이로 인해 소재의 위치와 상관없이 단류선 보기 기능이 개선되었다. 그림 3.5에서 기울어진 소재의 단류선 보기가 개선되었음을 확인할 수 있다.

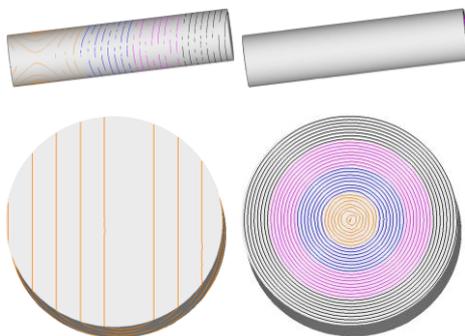


그림 3.5 단류선 보기 개선

### 3.7 열처리 모듈 GUI 개선

최근 AFDEX의 열처리 모듈의 개발이 완성단계에 도달하여 출시를 앞두고 있다. 베타 테스트를 통한 사용자 의견을 수렴하여 전처리의 개선이 이루어졌다. 주요 GUI 개선 사항을 다음과 같이 확

인할 수 있다. 새 프로젝트 생성시 열처리 샘플 공정들을 미리 만들어서 사용자의 편의성을 높였다(그림 3.6). 열처리 다이얼로그에서는 열처리 사이클을 차트에서 확인하는 기능을 제공한다(그림 3.7). 열처리 사이클 다이얼로그에서는 각 사이클의 해석 스텝 및 해석 옵션, 열전달 경계조건 등을 입력한다(그림 3.8).

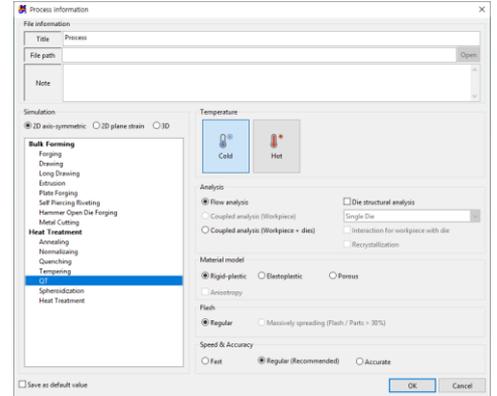


그림 3.6 공정제어 - 열처리 샘플 공정

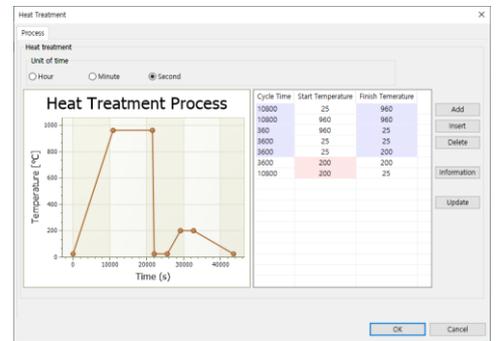


그림 3.7 열처리 공정 설정 다이얼로그

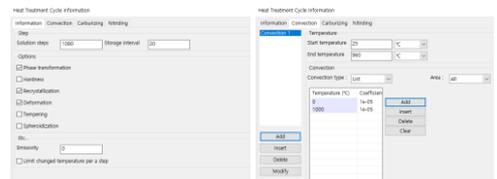


그림 3.8 열처리 사이클 정보 다이얼로그

## 4. 공지사항

### 4.1 2025년 정기교육 및 온라인 강좌 활용 시 교육 안내

2025년 정기교육은 표 4.1의 일정으로 진행됩니다. 교육 신청 관련하여서는 교육일 3주 전 별도로 공지될 예정입니다. 교육일, 교육 내용은 변경될 수 있습니다.

표 4.1 2025년 정기교육 일정

회차	장소	날짜	지역
2	MFRC 교육장	4월 10일(목)	진주
3	한국생산기술연구원	5월 28일(수)	시흥
4	MFRC 교육장	7월 10일(목)	진주
5	한국생산기술연구원	9월 17일(수)	시흥
6	MFRC 교육장	11월 06일(목)	진주

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, 수화 등에 관한 교육도 이루어지고 있다.

AFDEX 공식 유튜브 주소는 아래와 같다.  
<https://www.youtube.com/c/AFDEX>

#### 4.2 부산국제기계대전 전시 참가

2025년 5월 20일부터 23일까지 부산 벅스코에서 부산국제기계대전이 개최될 예정이다. MFRC는 디지털 제조 혁신관(제2전시장 Y-15)에 전시 부스를 운영하며, 소성가공 해석 사례 소개와 신제품 홍보를 진행한다. 또한 고객과의 만남을 가지고 해석기술에 대한 자문 및 교육도 함께 실시할 예정이다. 전시 초대권이 필요하신 분은 사전에 연락 바랍니다.



#### 4.3 소성·가공학회 춘계학술대회 전시 참가

2025년 5월 22일부터 23일까지 창원 그랜드 머큐어 엠베서더 호텔에서 개최될 예정이다. MFRC는 CAE 기술의 활용에 대한 논문을 발표할 예정이며, 또한 전시 부스를 운영할 계획이다. 그리고 전시 부스에서는 고객과의 만남을 가지고 해석기술 활용에 대한 애로사항, 질의사항에 대한 Q&A 시간도 가질 예정이다.



#### 4.4 AFDEX e-Book의 발간

2023년 8월, AFDEX의 이론적 배경 및 사용자 교육 자료를 묶어 e-Book으로 발간하였다. 당초에 한 권의 e-Book으로 발간하고자 계획하였으나, 파일 크기 문제로 5개의 세부분야별 e-Book으로 발간하였다.

아라e북([www.araebook.com](http://www.araebook.com))에서 구매할 수 있다.

단, 유지보수 계약 사용자들에게는 요청 시, 기업당 한 세트의 e-Book 무료 쿠폰을 제공할 계획이다. 필요한 기업체는 MFRC로 연락하기 바란다.



그림 4.1 e-Book 접속 화면