

### Contents

#### 1. AFDEX\_V23R02 출시

#### 2. AFDEX\_V23R02 신기능

- 2.1 형상압연 공정해석 전처리 지원
- 2.2 콘형 롤피어싱 해석 기능
- 2.3 필거링 공정의 자동해석 기능
- 2.4 해석결과와 선택적 압축 기능
- 2.5 성형후 소재의 스케일 조정 기능
- 2.6 다단공정해석 시 금형의 평행이동거리 입력 기능
- 2.7 다물체해석 시 객체별 요소망재구성 on/off 설정 기능
- 2.8 다국어 파일 처리 기능
- 2.9 요소망 밀도 가시화 기능과 밀도 분포가 해석결과에 미치는 영향

#### 3. AFDEX\_V23R02 기능 개선

- 3.1 다중소재 및 금형의 절점 수/요소 수 그래프 보기 기능 개선
- 3.2 금형구조해석 시 요소망 개수 입력 UI 개선
- 3.3 크랙 해석을 위한 전처리 입력 UI 개선
- 3.4 판단조 공정해석 시 바인더 기능 개선
- 3.5 대용량 형상정보 파일 로딩 시간 개선
- 3.6 변위-하중 그래프 보기 기능 개선

#### 4. 공지 사항

- 4.1 2023년 정기교육 및 온라인 강좌 활용 수시 교육 안내
- 4.2 금속산업대전 2023 전시 참가

### 1. AFDEX\_V23R02 출시

2023년 7월말 AFDEX\_V23R02 버전이 출시된다. 2023년 5월 AFDEX\_V23R01 버전이 한국 사용자 중심으로 우선 배포가 되었고, 최근에 개선된 AFDEX\_V23R02를 출시한다. 솔버와 전후처리의 신기능 및 기존 기능의 개선 내용은 지난 분기의 뉴스레터에서도 확인이 가능하며, 주요 내용을 2~3절에서 안내한다.

### 2. AFDEX\_V23R02 신기능

#### 2.1 형상압연 공정해석 전처리 지원

이전 버전까지는 형상압연 공정해석 시, 전처리기를 이용하여 기본적인 해석 조건을 완성하고 메모장을 이용하여 형상압연 공정해석을 위한 롤과 소재의 경계조건 등을 입력하였다. AFDEX\_V23R02에서는 그림 2.1에서 보는 바와 같이 전처리기에서 모든 입력데이터 작성이 가능하도록 함으로써 사용의 편리성을 향상시켰다.

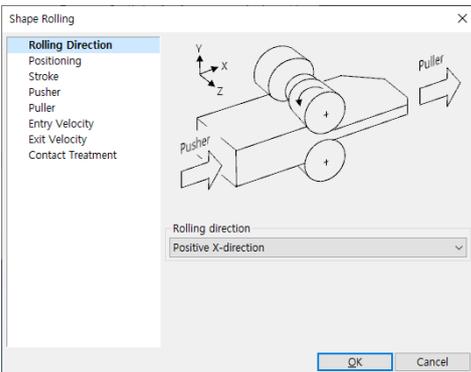


그림 2.1 형상압연 공정해석 조건 입력 UI

#### 2.2 콘형 롤피어싱 해석 기능

배럴형(Barrel type) 롤피어싱 해석 기능(M. S. Joun et al., 2014, Quantitative study on Mannesmann effect in roll piercing of hollow shaft, Procedia Engineering, Vol.81, pp.197-202)은 이전 버전에서도 기능이 제공되고 있다. AFDEX\_V23R02에서는 배럴형 롤피어싱과 함께 무게목관(Seamless pipe) 제조 기술로 사용되고 있는 콘형(Cone type) 롤피어싱 공정의 해석 기능을 제공한다. 그림 2.2는 가상의 전형적인 콘형 롤피어싱 공정의 해석결과를 보여주고 있다.

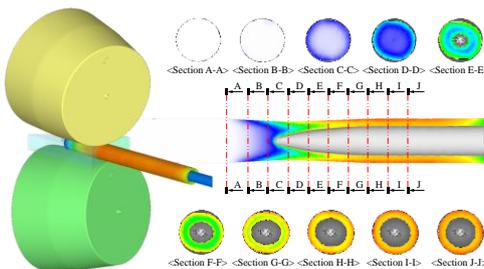
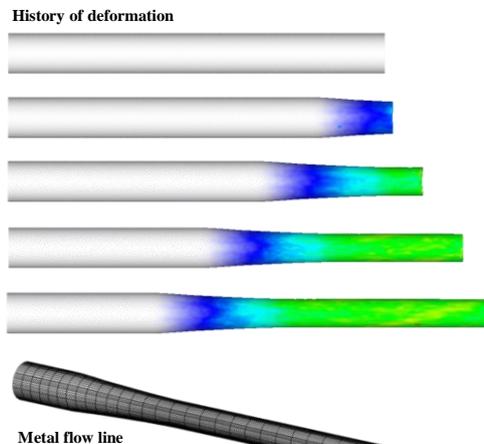
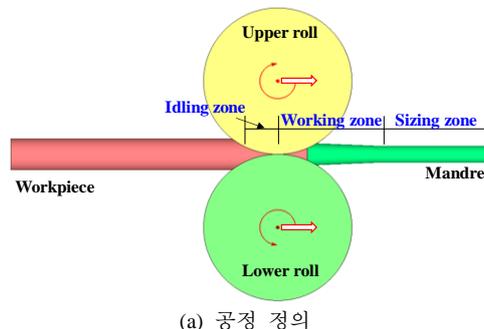


그림 2.2 가상의 콘형 롤피어싱 공정의 해석결과

#### 2.3 필거링(Pilgering) 공정의 자동해석 기능

Pilger 롤링 공정은 일종의 점진성형 소성가공 기술이며, 압연, 압출, 업세팅 등이 혼합된 특수 소성가공 기술이다. Pilgering 공정을 활용하면, 자동화와 친환경 고수율로 파이프의 대량생산이 가능하다.



(b) 변형형상과 유효변형률 및 단부선  
그림 2.3 Pilgering 해석결과

최근 AFDEX는 Pilgering 공정의 완전 자동 해석 기능을 갖추었다. 이송간격, 회전각도 등의 기본 정보와 요소망의 두께 방향 가중치 등의 입력으로 강소성 및 음해법 탄소성 유한요소법을 이용한 전

공정의 자동해석이 가능해졌다.

그림 2.3은 문헌에서 발췌한 예제를 해석한 결과이다. 이 결과는 금형 및 재료의 운동 규칙의 입력으로 전자동으로 얻은 것이다.

#### 2.4 해석결과와 선택적 압축 기능

해석 수행 시, 입력된 요소 수가 많고, 저장된 스텝 수가 많을 경우, 해석결과 파일의 사용 용량이 증가할 수 있다. 이러한 문제의 해소를 위하여 AFDEX\_V23R02에서는 사용자가 원하는 해석 스텝만 지정하여 저장하는 기능을 제공한다. 해석 스텝 리스트에서 희망 스텝을 선택하는 기능, 다수의 해석 스텝을 동시에 선택하는 기능, 자동 또는 수동으로 저장할 스텝을 선택하는 기능 등을 지원한다. 그림 2.4는 선택적 해석결과 압축을 위한 설정창 UI를 보여주고 있다.

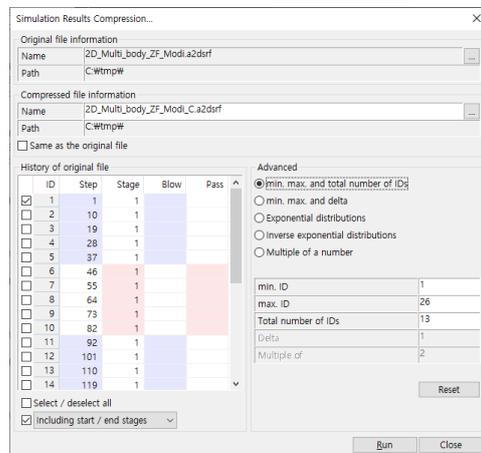


그림 2.4 해석결과와 선택적 압축 기능 UI

#### 2.5 성형후 소재의 스케일 조정 기능

열간단조는 소재를 가열하여 성형하기 때문에 열팽창을 고려하여 공정설계를 실시해야 할 경우가 있다. 현재 해석이 종료된 상태의 소재는 열팽창이 적용된 것이다. 그리고 이전 버전에서는 성형 후 냉각에 따른 소재의 수축된 치수 정보를 후처리기에서 확인할 수 없었다. AFDEX\_V23R02에서는 스케일 조정 기능을 이용함으로써 발생한 열수축에 기인하는 소재 치수 변화를 후처리기로 확인할 수 있다. 그림 2.5는 스케일 조정 세부정보 입력창 UI를 보여주고 있다.

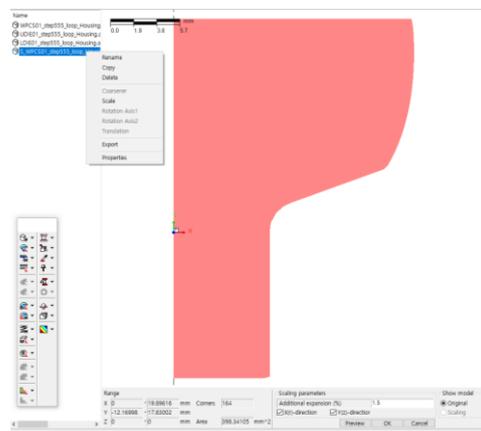


그림 2.5 해석 모델의 스케일 조정 기능 UI

#### 2.6 다단공정해석 시 금형의 평행이동거리 입력 기능

다단공정의 해석 시, 금형의 위치는 프로그램 내부에서 초기화되어 공정해석이 자동적으로 진행

된다. 기존 버전에서는, 상부 또는 하부 금형이 두 개 이상일 경우, 입력된 금형 간의 상대 위치는 초기화 과정에서 변경할 수 없었다. 그 결과, 자동 연속 공정 해석을 위해서는 미리 금형의 상대 위치를 정확하게 결정해야 하는 문제가 존재하였다. 대다수 문제의 경우, 이 결정은 용이하지만, 특수 공정의 경우, 상대 위치 그 자체가 공정설계 시에 고려해야 하는 공정설계인자이다.

AFDEX\_V23R02에서는 자동해석 중 금형의 상대 위치 변경 기능을 추가하였다. 선택된 금형에 대해서는 단조 단의 시작 직전에 강제 이동할 변위가 입력된다 (그림 2.6 참조).

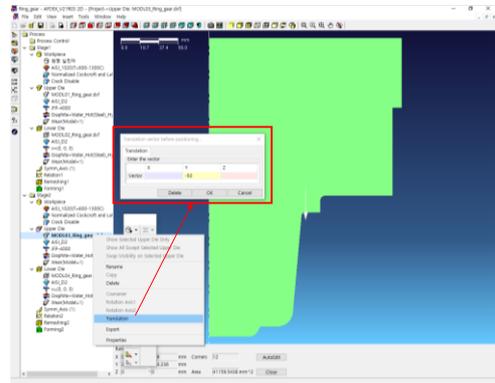


그림 2.6 금형 평행이동거리 입력 UI

## 2.7 다물체 해석 시 객체별 요소망재구성 on/off 설정 기능

이전 버전에서는 다물체 해석 중 요소망재구성이 요구될 때, 해석 대상 물체의 전체에 대하여 요소망재구성을 실시하였다. AFDEX\_V23R02에서는 사용자가 객체 별 요소망재구성 여부를 설정하는 기능을 제공한다 (그림 2.7 참조). 이 기능은 다물체 해석 시 요소망재구성이 불필요한 물체가 있을 경우, 계산시간을 줄이는 동시에 해의 정확도 개선 효과를 볼 수 있다. 그러나 계산 도중, 수렴 특성이 극도로 나빠질 경우에는 해석모델 전체를 대상으로 요소망재구성이 실시될 수도 있다.

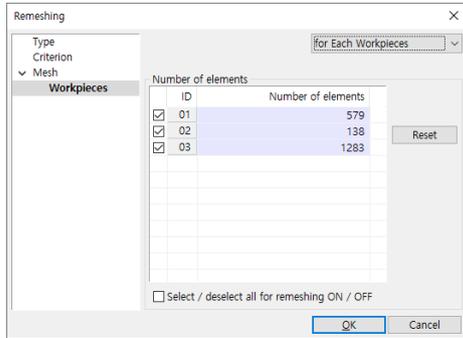


그림 2.7 객체별 리메쉬 on/off 설정 UI

## 2.8 다국어 파일 처리 기능

AFDEX\_V23R02는 해석입력 및 결과 파일 (해석입력 및 해석결과 파일 등)의 명칭과 해석입력 파일 내의 단어, 구, 문장 (타이틀, 코멘트 문 등) 등의 다국어 작성과 저장 기능을 지원한다. 따라서 모든 종류의 파일은 UTF-8 형식으로 읽고 저장된다.

또한 모든 다국어 문자 활용 기능이 지원된다. 파일 경로, 파일명, DB 파일 등의 모든 종류에 다국어 문자가 지원된다.

그림 2.8은 일본어로 작성된 베어링기어, Ring 기어를 예시하고 있다.

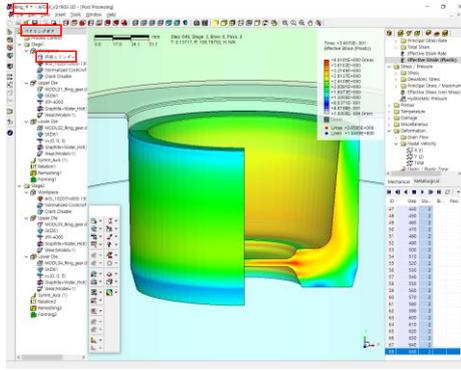
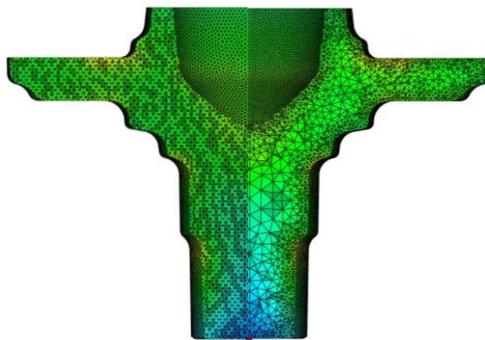


그림 2.8 다국어 문자 지원 예시

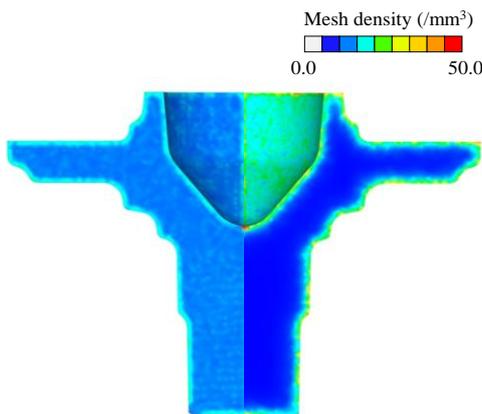
## 2.9 요소망 밀도 가시화 기능과 밀도 분포가 해석결과에 미치는 영향

AFDEX\_SP\_V23R02에서는 3차원 내부 요소 기능의 가시화 (그림 2.9)와 요소밀도 분포 가시화 기능 (그림 2.10)이 제공된다.

그림 2.9의 두 요소망은 소재의 변형형상 측면에서 큰 오차를 발생시키지 않는다. 그러므로 성형 여부에 관심을 둔 시뮬레이션 시에는 계산의 효율성 측면에서 유리한 그림 2.9(b)의 불균일 요소망 (내부 조대 요소망)을 권장해 왔다. 그러나 경험적으로 볼 때, 국부적으로 변화가 심한 금형의 응력분포 등에 관심을 둘 경우, 심한 불균일 요소망은 결과의 정확도에 다소 부정적일 수 있다. 이에 관한 구체적인 내용은 개발자 그룹의 학술 논문 등을 참고하기 바란다.



(a) 균일 (b) 불균일 (내부 조대)  
그림 2.9 내부 요소망의 가시화



(a) 균일 (b) 불균일 (내부 조대)  
그림 2.10 요소밀도 분포

## 3. AFDEX\_V23R02 기능 개선

### 3.1 다중소재 및 금형의 절점 수/요소 수 그래프 보기 기능 개선

이전 버전까지는 다물체 해석 시, 소재의 객체 별 절점 수/요소 수 및 금형의 절점 수/요소 수의 보기 기능이 제공되지 않았다. AFDEX\_V23R02에서는 소재의 객체 별 절점 수/요소 수 및 금형의 절점 수/요소 수의 그래프를 통한 보기 기능이 제공된다 (그림 3.1 참조).

### Number of nodes & elements vs. Time

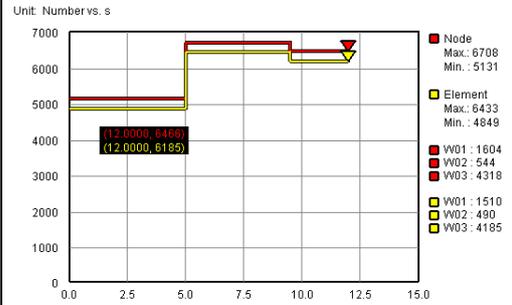


그림 3.1 절점 수/요소 수 그래프 기능 개선 예시

### 3.2 금형구조해석 요소망 개수 입력 UI 개선

금형 구조해석을 실시할 경우, 금형의 유한요소 수의 입력이 필요하고, 문제에 따라서는 특정 부위에 요소밀도를 부여해야 하는 경우가 있다. 기본적으로 소재와 접촉하는 부위에 자동적으로 요소밀도를 부여하지만 특수공정의 경우에는 사용자가 입력해야 하는 상황이 발생한다. 기존 버전에서는 금형의 유한요소 수 입력창이 모델링창에 포함되어 있어 사용자가 찾는 데 어려움이 있었다.

AFDEX\_V23R02에서는 그림 3.2에서 보는 바와 같이 유한요소 수의 설정 창에서 각 금형의 재료 정보 및 요소 수를 자동적으로 또는 개별적으로 입력할 수 있다.

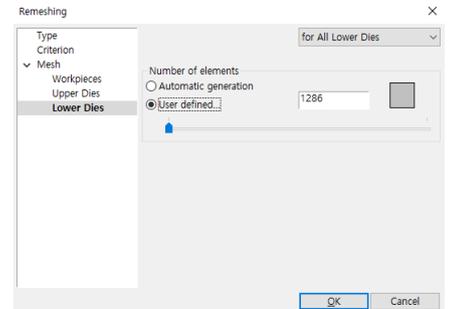


그림 3.2 금형의 요소 수 입력창 변경

### 3.3 크랙해석을 위한 전처리기 입력 UI 개선

최근, 2차원과 3차원의 해석 특성에 적합한 크랙 해석 조건과 관련 솔버가 개선되었다. 이로 인하여 전처리기 UI가 변경되었다. 2차원과 3차원의 크랙해석 시 요소 제거 기준은 아래 식과 같다.

$$2D: w_1 D + w_2 \frac{\sigma_1}{\sigma} + w_3 \frac{D \sigma_1}{\sigma} + w_5 \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_{max}} > D_{cr}$$

$$3D: D > D_{cr} \ \& \ \dot{\epsilon} > \dot{\epsilon}_{cr} \ \& \ \dot{\epsilon} > w_5 \dot{\epsilon}_{max}$$

여기서  $D$ 는 손상도,  $D_{cr}$ 는 임계손상도,  $w_i$ 는 가중상수,  $\sigma$ 는 항복응력,  $\sigma_1$ 는 최대주응력,  $\dot{\epsilon}$ 는 유효변형률속도,  $\dot{\epsilon}_{max}$ 는 최대유효변형률속도이다.

그림 3.3은 변경된 크랙 조건 입력창을 나타내고 있다.

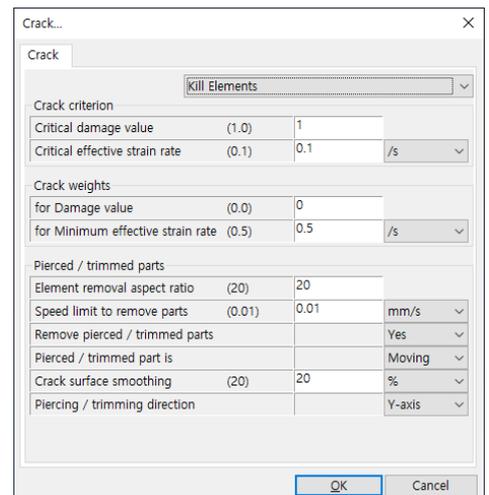


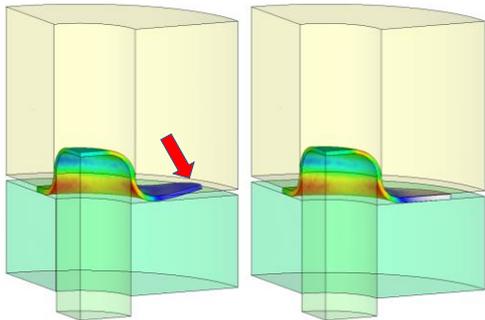
그림 3.3 크랙 해석시 조건 입력창 변경

### 3.4 판단조 해석 시 바인더 기능 개선

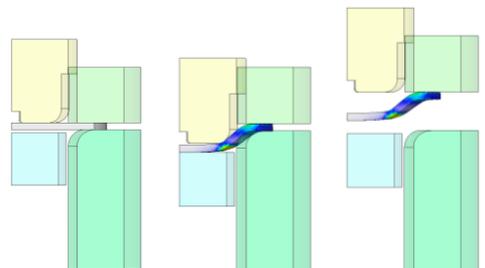
판단조 해석은 블랭크 홀딩력(Blank holding force)을 가하는 바인딩 금형, 즉 바인더(Binding die, Binder)를 사용하는 사례가 많다. 최근, AFDEX\_V21R03 버전부터 AFDEX\_V23R01 베타 버전에 이르기까지 언로딩 시에 요구되는 바인더의 기능이 보강되었다. 그런데 기능의 일반성을 확보해가는 과정에서 소재가 심한 소성변형을 겪을 때, 바인더가 오작동되거나 소재가 바인더를 침투하는 등의 문제점이 발견되었다.

현재 이러한 문제의 개선이 꾸준히 이루어지고 있다. 그림 3.4는 바인더 유형의 최대 압축거리에도달될 시점에서 발생하는 문제로서 소재의 비정상적 금형 침투를 해소시킨 것이다. 개선전에는 소재가 바인더를 침투하였지만, 개선 후에는 소재와 바인더의 접촉조건이 충족되었음을 볼 수 있다.

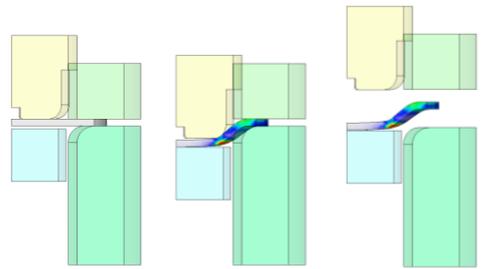
그림 3.5는 과거 로딩 후 언로딩 시점에서 상부 금형에 소재가 붙어서 상승하는 오류를 보여주고 있지만(그림 3.5(a)), 현재 절점 분리 조건을 개선 시킴으로서 이 문제는 해결된 상태이다 (그림 3.5(b)).



(a) 개선 전 (b) 개선 후  
그림 3.4 바인더 기능 개선 사례



(a) 개선 전



(b) 개선 후

그림 3.5 바인더 언로딩 기능 개선 사례

### 3.5 대용량 형상정보 파일 로딩 시간 개선

형상정보 파일이 큰 예제 또는 단별 연속해석(Stage-by-stage continuing analysis) 시 입력파일의 용량이 큰 경우에 전처리기의 로딩 시간이 많이 소요된다. 신 버전에서는, 형상정보 파일(.stl)의 용

량이 큰 경우, 해석 파일의 로딩시간을 획기적으로 개선되었다. 예를 들면, 그림 3.6의 대용량 형상정보 파일 로딩 시간이 110 초에서 30초로 줄었다. 그림 3.6은 약 1GB 정도의 대용량의 형상정보를 필요로 하는 예제이다.

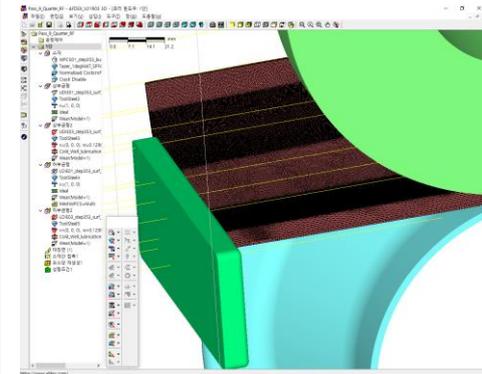


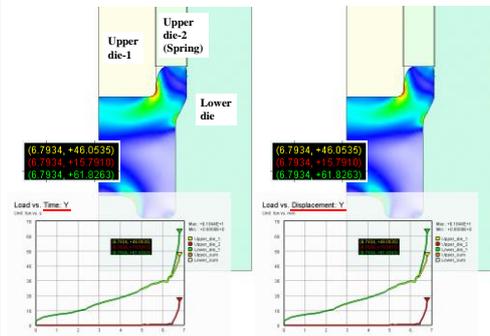
그림 3.6 대용량 형상정보 파일 로딩 예제

### 3.6 변위-하중그래프 보기 기능 개선

이전 버전에서는 변위-하중 곡선으로 하중의 변화를 보고자 할 경우, 매 계산스텝에서 구한 금형의 최대 상대이동거리의 합을 금형의 변위로 간주하였다. 이 기능은 속도가 미지수인 바인더가 있을 경우, 사용자가 변위 값을 추정하는데 어려움이 따른다는 지적이 있었다.

이러한 이유로, AFDEX\_V23R02에서는 매 계산스텝에서 바인더를 제외한 모든 금형의 이동거리를 독립적으로 구하고 그 중에서 최대값을 변위-하중 곡선에서 필요로 하는 변위를 계산하는데 사용하였다.

그림 3.7은 상부금형 2에 스프링이 부착된 금형을 사용한 예제이다. 이전 버전까지는 바인더의 영향에 의한 상대변위가 작용했기 때문에 변위(최대 속도의 절대값이 1mm/s인 경우)와 시간이 일치하지 않았다. AFDEX\_V23R02에서는 그림 3.7에서 보는 바와 같이 시간-하중, 변위-하중의 값이 동일하다.



(a) 시간-하중 그래프 (b) 변위-하중 그래프

그림 3.7 시간-하중, 변위-하중 그래프

## 4. 공지사항

### 4.1 2023년 정기교육 및 온라인 강좌 활용 수시 교육 안내

2023년 2분기까지 3차 시흥 교육이 진행되었고, 남은 차수의 2023년 정기교육은 표 4.1의 일정으로 진행된다. 교육 신청 관련하여서는 교육일 2~3주 전 별도로 공지될 예정이다. 교육일, 교육 내용은 변경될 수 있다.

표 4.1 2023년 정기교육 일정

회차	장소	날짜	지역
4	MFRC 교육장	7월 13일(목)	진주
5	금형기술교육원	9월 14일(목)	시흥
6	경남테크노파크	10월 19일(목)~20일(금)	창원
7	MFRC 교육장	11월 23일(목)	진주

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

유튜브에서 AFDEX를 검색하거나 아래 링크에서 AFDEX 채널에 접속할 수 있다.

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

### 4.2 금속산업대전 2023 전시 참가

2023년 10월 18일부터 20일까지 일산 킨텍스에서 개최되는 금속산업대전 2023 전시회 참가할 예정이다. MFRC는 해석 사례 소개 및 기술 상담을 진행할 예정이니, 전시 관람을 희망하시는 분들의 많은 참여 부탁드립니다.

금 / 속 / 산 / 업 / 대 / 전  
**KOREA 2023 METAL WEEK**

합동 개최  
금속산업대전 2023  
코아쇼(국제 모빌리티 산업전)  
국제 공구 및 스마트 용접 자동화전

그림 4.1 금속산업대전 2023