

1. 신규 기능 및 개선 기능

다음은 신기능 적용 사례이며, 다수의 상세 내용은 2019년도 한국소성가공학회 추계학술대회에서 발표될 예정이다.

1.1 다물체 접촉조건 처리 기능

그림 1.1 은 2 차원 및 3 차원 복합판재의 V-벤딩 공정을 해석한 것으로 판재 간에 접촉조건이 적용되었으며, 분리를 허용하지 않았다. 해석 중에 요소망재구성을 자동 또는 수동 방식으로 실시할 수 있다. 이 해석 기능을 이용하면, 복합재료의 단조 등의 소성가공 공정을 해석할 수 있다. 이 기능은 복합 판재의 박리 등의 해석 목적으로도 발전될 수 있다.

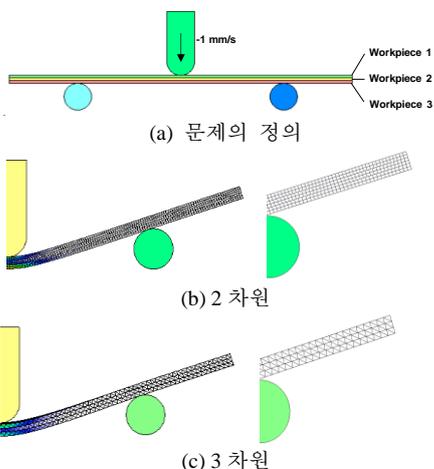


그림 1.1 복합판재의 V-벤딩 공정의 해석 결과

1.2 소재-금형 직접 연계해석법

일반적으로 소성가공 공정의 연계해석은 간접 연계 방식을 사용한다. 즉, 별도로 각각의 문제를 해석하고 상호작용을 반영하는 방식이다. 이 과정에서 문제 간의 축차적 방식에 의한 해의 수렴을 유도하기도 하고 계산 시간 등을 고려하여 반복해석을 허용하지 않는 경우도 있다. 이러한 간접 연계 방식의 적용은 미세한 변형에 영향을 받는 성형공정의 정밀 해석에는 한계가 따른다. 이러한 문제의 해결을 위하여 일부의 금형과 소재를 직접 묶어서 수렴해를 얻는 방법, 즉 직접 연계해석법이 유용하다.

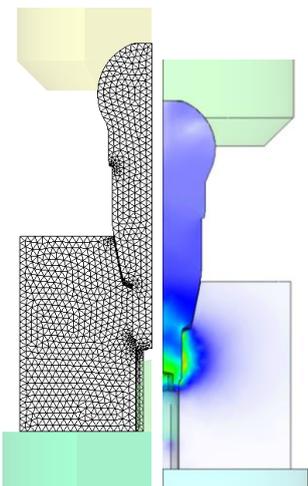


그림 1.2 소재와 금형의 직접 연계 해석 (좌: 유한요소모델, 우: 종료시점의 유효응력)

그림 1.2 는 볼스타드 냉간단조 공정 중 내경 육각 후방압출 공정으로 스프링이 부착된 금형의 정밀해석을 위하여 소재와 금형을 직접 연계하여 해석한 것이다. 금형은 하중부과 금형인 바인더 금형(binder die)에 의하여 지탱된다. 이 바인더 금형은 상태변수를 반영하여 계산한 하중을 스프링금형에 부과하는 역할을 담당한다.

1.3 자유단조공정의 해석조건 설정 자동화

AFDEX 3D 에서 자유단조, 스웨이징, 반경단조 등의 공정의 해석은 기본적으로 계단 형상의 봉재 및 중공 축의 성형 등과 같은 복잡한 공정에 집중되어 있었다. 따라서 기본적으로 자동해석이 불가능할 경우, 단의 변형을 기본으로 하였다. 최신 버전에서는 비교적 금형의 운동이 단순하여 전 공정의 해석을 자동화할 수 있도록 하는 기능을 갖추었다. 공정의 해석에 필요한 주요 입력 조건은 양단의 매니플레이터의 이동 허용 영역, 양단의 성형 한계, 주기, 목표 압하량 및 금형의 이동 위치, 실험 결과와 비교하여 해석 결과를 튜닝하는데 필요한 변수 등이며, 각 패스별로 입력해야 한다. 패스는 동일한 금형의 운동으로 정의되는 일련의 타격(blow)을 의미한다. 그림 1.3 은 대표적인 적용 사례이며, 전 공정의 자동해석 결과이다.

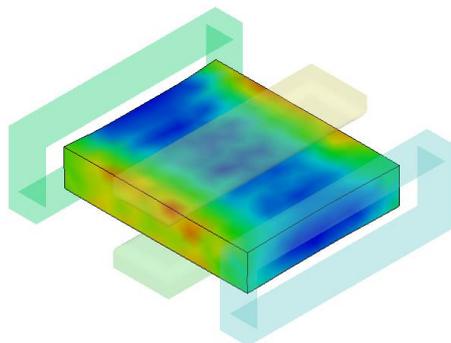


그림 1.3 표준화된 자유단조의 완전 자동해석

1.4 냉각채널 고려 해석

특수 목적으로 냉각채널을 이용한 금형의 냉각이 필요한 경우가 있다. 대부분의 소성가공 공정에서 냉각채널 내의 냉각제의 유동해석은 필요로 하지 않는다. 문제의 난이도만 높이고 실효성은 낮다. 이러한 점과 냉각제가 고속인 점을 고려하여, 해석 중 냉각제의 온도를 일정하게 유지한 상태에서 냉각제와 소재 간의 열전달을 고려하는 방법이 실용적 측면에서 제공되고 있다. 그림 1.4 는 냉각채널을 사용한 금형의 냉각 방식을 개념적으로 나타낸 사례이다.

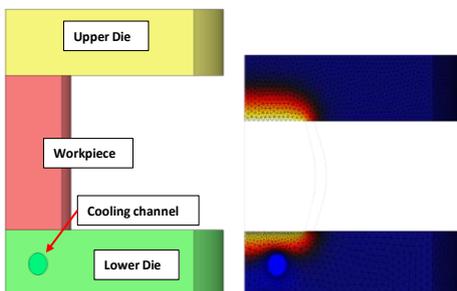
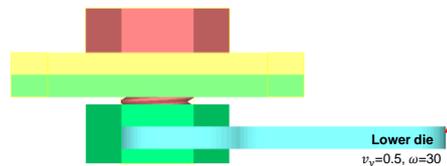


그림 1.4 냉각채널을 고려한 소성가공 중 금형의 열전달해석

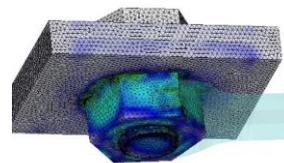
1.5 볼트와 너트 조립 공정의 해석

다물체 공정의 적용 사례로 볼트와 너트 조립 공정은 대표적이다. 이미 각종 조립공정의 적용 과정에서 발생한 저미끄러짐 접촉면의 사례와 고미끄러짐 사례에 관한 적용 사례를 소개하거나 발표하였다.

그림 1.5 의 볼트와 너트를 이용한 두 판재의 체결공정은 극단적인 다물체 공정에 속한다.



(a) 공정의 개념도

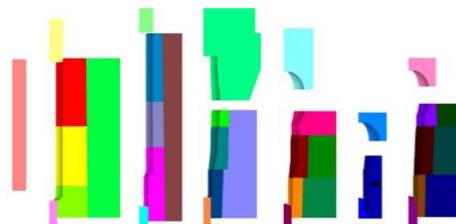


(b) 유효응력

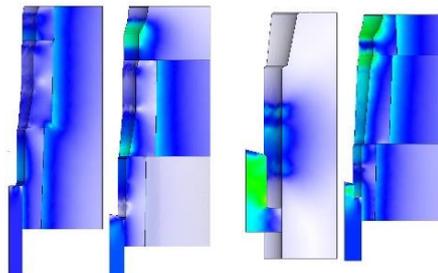
그림 1.5 볼트와 너트의 체결 공정의 해석

1.6 조립금형 고려 단조공정 해석

최근 조립금형 고려 단조공정 해석 기능이 보장되었다. 조립금형, 즉 실제의 금형을 이용한 단조공정의 해석 문제는 복잡한 수치적 문제들에 노출되어 있다. 열박음, 대칭면 및 금형 간의 기하학적 특이점 및 특이선, 즉, 불연속 등으로 인하여 수치적 점프가 발생할 가능성이 높다. 최근 이러한 요인을 없애는 다양한 방법들이 개발되었다. 그림 1.6 은 전형적인 자동다단냉간단조 공정 중의 소재 및 소재에 작용하는 유효응력을 나타낸다. 금형의 구조해석에서 열박음이 고려되었다.



(a) 공정도



(b) 유효응력

그림 1.6 볼스타드 자동다단냉간단조의 해석결과

2. 신규 소재 유효응력 모델

2.1 고온 재료의 유효응력 모델

제철정 등을 고려한 고온 유효응력 모델의 개발이 이미 행해졌다(J. Mater Res Technol.

2019;8:2710). 이 모델의 장점은 실험적으로 획득된 복잡한 유동응력을 고정확도로 표현한다는 점이며, 그 결과, 일반성이 높고, 다양한 고온 상태의 재료의 유동응력의 표현에 적합하다. 단점으로는 재료상수의 수가 많다는 점이지만, 이 문제는 최적화 기능으로 손쉽게 해결될 수 있다. 이와 관련된 소재모델은 Model 27 과 28 이다. 그림 2.1 에서 AFDEX Model 27 및 28 과 타 모델들을 비교하였으며, 실험결과와의 비교 결과가 타 모델에 비하여 우수하다.

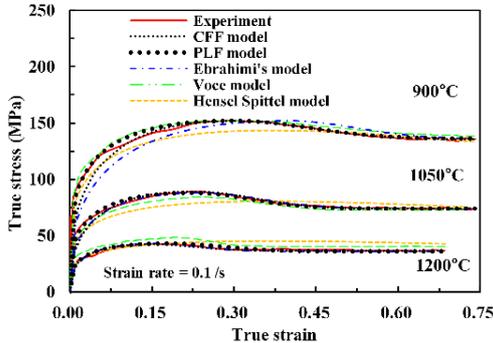


그림 2.1 AFDEX 의 CFF 및 PLF 모델의 입증

2.2 상온 및 중온의 유동응력 모델

냉간단조, 특히 자동다단 냉간단조 중 온도의 상승은 상당한 유동응력의 저하를 초래한다. 이것은 재료의 성형성과 성형하중에 매우 큰 영향을 미친다. 따라서 고강도 재료의 단조에서 온도 변화에 따른 유동응력의 변화를 필연적으로 반영해야 한다. 재료의 온도가 상승할수록 필연적으로 유동응력의 속도의존성이 커진다. 이러한 재료의 상온 및 중온 변형특성을 반영하기 위하여 다음의 재료 모델을 제안하며, 이를 Model 29 로 프로그램에 반영하였다.

$$\sigma = a_1(1 + a_2\varepsilon + a_3\varepsilon^{a_4})^{a_5}(1 + \beta_1T)^{-\beta_2}(1 + \gamma_1\dot{\varepsilon})^{\gamma_2}$$

이 모델은 SUS304 를 목적으로 제안되었으나, 일반성을 지니고 있으며, 추가적인 개선을 통하여 다양한 소재의 유동응력의 표현에 응용될 수 있다. 그림 2.2 는 제안된 모델의 유연성을 나타내는 것이다. 이 그림에서 모든 유동응력 곡선은 공학적으로 동일한 지점에서 네깅을 발생시킨다.

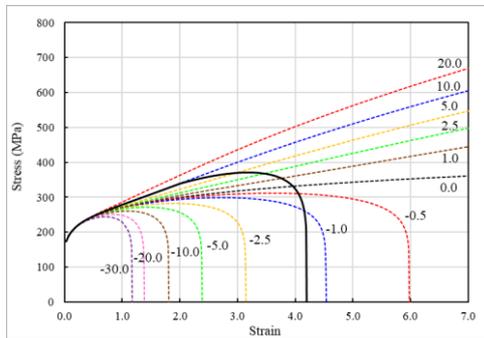


그림 2.2 Flexibility of the proposed model

3. 우수 사용 사례

다음은 최근에 발굴된 우수 활용 사례이며, 상세 내용은 2019 년도 한국소성가공학회 추계학술대회에서 발표될 예정이다.

3.1 크랭크샤프트 금형의 구조해석

그림 3.1 은 크랭크샤프트의 열간단조 공정 중의 금형의 구조해석 결과이다. 이 결과는 그림 상의 최대주응력 구역 (화살표로 표시되었음) 에서 발생하는 금형의 피로파괴 문제의 해결에 활용되었다.

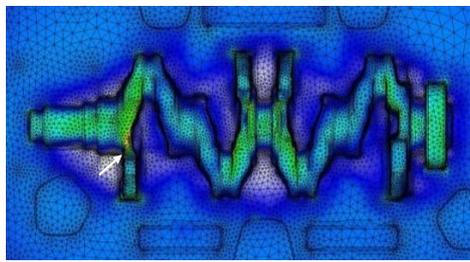


그림 3.1 크랭크샤프트의 열간단조 중 금형에 작용하는 최대주응력

3.2.3 3차원 금형형상 최적설계

이미 Newsletter 2019 Q1 에서 최적설계에 관하여 상술하였다. 3 차원 공정용 최적설계 기술의 보편화를 위해서 금형형상의 변수화 등이 전제되어야 한다. 이에 관한 연구는 지속되어 왔으며, 점진적으로 발전해 나갈 것이다. 이에 관한 내용은 Int. J. Auto. Tech.에서 출판될 예정이다.

그림 3.2 는 금형형상 최적설계의 사례를 나타내며, 설계변수는 초기 투입소재의 높이와 펀치 핀부의 높이이다. 원소재 중량을 약 8% 줄이고, 성형하중은 약 5% 줄이는 효과가 있었다.

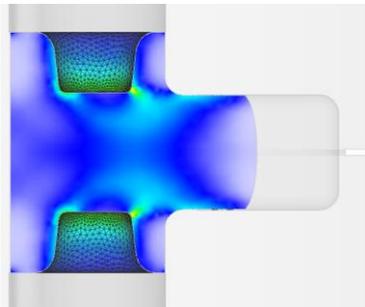


그림 3.2 3D 금형형상 최적설계 결과

3.3 판단조 공정 설계의 개선

단조공법을 이용한 후판재의 성형, 즉 판단조는 절삭가공을 생략하는 목적으로도 적용된다. 판단조에 의하여 두께가 크게 달라진 소재를 성형할 때, 두께 차이로 인한 굽힘이 발생하여 공정설계가 실패로 연결되는 사례가 빈번하다. 이러한 목적으로 단조 시뮬레이터를 사용한 공정설계의 최적화는 매우 효과적이다. 그림 3.3 은 절삭공정을 생략하기 위하여 판재성형 중 단조 공법으로 두께의 변화를 가미한 신 공정의 개발 과정에서 공정설계 개선에 따른 소재의 형상 변화를 비교하고 있다.



그림 3.3 서로 다른 공정설계에 의한 예측형상

3.4 결정 크기의 예측을 위한 재료상수의 실험적 및 해석적 획득

열간단조 중 결정의 크기를 예측하기 위해서는 적절한 예측모델과 함께 그 재료의 특징을 나타내는 재료상수가 필수적이다. 그런데 재료상수의 획득에는 전문지식과 큰 비용이 소요되는 문제가 있었다. AFDEX 연구진들은 비교적 손쉽게 적은 예산으로 재료상수를 결정하는 방법을 개발하였다. 그림 3.4 는 S45C 소재에 대하여 재료상수를 획득하여 실공정에 적용한 사례이다. 재료상수의 획득을 위해서는 고온압축시험 결과와 실험적으로 획득한 모델 공정의 결정크기의 정보가 필요하다.

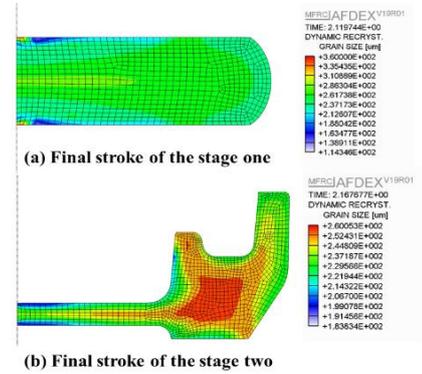


그림 3.4 Predicted DRX grain size (μm)

4. 공지사항

4.1 Q4 정례교육

2019년도 4/4 분기 AFDEX 정례교육이 2회 준비되어 있다. 2019 년도 들어와 현재까지 총 8 회의 정례교육이 실시되었다.

표 4.1 2019년 4분기 정례교육 일정

회차	장소	날짜	지역
9	경남테크노파크	10월 24일(목)~25일(금)	창원
10	판교 HPC 이노베이션허브	11월 14일(목)~15일(금)	판교

4.2 Global ATC 2019

알테어의 GATC(Global Technology Conference)가 오는 10 월 10 일부터 11 일까지 이틀간 미국 디트로이트에서 개최된다. 주요 PLM 기술 전시회는 글로벌 기술 리더 커뮤니티가 한자리에 모이는 공식 행사가 될 것이며, MFRC는 행사 후원자로서 행사 기간 동안 AFDEX 의 최신 기능을 소개할 예정이다. AFDEX 는 Altair APA SW 이다.



그림 4.2 행사 장소 (Detroit, USA)

4.3 JSOL CAE Forum 과 일본의 AFDEX 사용자 미팅

2019년 11 월 6 일부터 8 일까지 3일간 일본 도쿄(Tokyo conference center Shinagawa)에서 JSOL CAE Forum2019 가 개최된다. 경성대학교 전만수 교수는 초청발표자로서 다물체 해석과 최적설계 중심의 단조 시뮬레이션 기술에 관하여 발표할 예정이다. 이번 JSOL CAE Forum 에서는 AFDEX 일본 사용자 미팅이 개최될 예정이다.

JSOL 은 NTT 도코모와 미쓰이스미모토은행이 투자한 일본 최대의 종합 소프트웨어 회사이며, AFDEX 의 일본 파트너 기업이다. JSOL CAE Forum 은 매년 개최되는 행사로써 약 500 여명의 CAE 응용기술자와 관련 전문가 및 연구자들이 참석하는 대표적인 산학연 협력 학술 및 기술 교류 행사이다. 다음은 관련 홈페이지 주소이다.

<https://www.jsol-cae.com/en/event/usersevent/2019/caeforum/>

4.4 MFCAE 2019 개최

MFCAE 2019 이 8 월 8-9 일 진주 MBC 컨벤션에서 실시되었다. 이번의 행사에서는 학부생 세션, 대학원생 세션, 사용자 세션, 개발자 세션, 전문 교육 세션이 이틀에 걸쳐 이루어졌다. 전만수 교수는 소성가공 공정의 모델링 기술에 관한 특별 강연을 실시하였다.



그림 4.4 MFCAE 2019

4.5 GISPAM 2019 개회

멕시코 주 정부의 경제적 지원으로 이루어지는 GISPAM 2019 가 7 월 15 일부터 경상대를 중심으로 32 일간 진행되었다. GISPAM 은 2014 년부터 실시된 국제 협력 교류 행사이며, AFDEX 의 교육을 목적으로 멕시코 주 정부의 요청으로 시행되었다. 이번 행사에는 멕시코 주의 우수 대학생 30 명, 말레이시아 Universiti Teknologi MARA 의 대학생 2 명, 한국의 10 여명의 대학생 및 대학원생이 멘토로 참여하였다.



그림 4.5 평가발표회 후의 단체사진

4.6 MetalForm China 2019 전시 참가

2019 년 7 월 17 일부터 19 일까지 중국 상하이(Shanghai New International Expo Center, SNIEC)에서 개최된 MetalForm China 2019 전시회에 참가하여 홍보를 실시하였다. 이번 전시는 중국 대리점인 BRIMET 의 기술진과 공동으로 운영되었다.

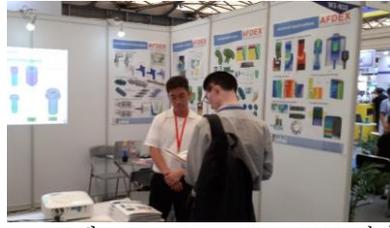


그림 4.6 MetalForm China 2019 전시

4.7 중국 단조 기술위원회 세미나

전만수 교수는 2019 년 7 월 25 일부터 28 일까지 중국 장춘에서 개최된 국가표준화 단조기술위원회의 초청으로 단조 시뮬레이션 활용 기술에 관하여 발표하였다.



그림 4.7 세미나 장면

4.8 ICAME 2019

2019 년 8 월 14-16 일까지 ICAME 2019 (Int. Conf. on Advances in Mech. Eng., 2019)가 말레이시아의 코타키나발루에서 열렸다. MFRC 는 골드 스폰서로 행사에 참여하였으며, 한국, 말레이시아, 독일 및 일본 등의 업계 전문가들과 4 차 산업혁명 시대의 인적 자원 개발, 고급 제조 기술 및 자동차 산업의 시뮬레이션 및 설계 응용 프로그램과 같은 다양한 주제에 대해 논의하였다. 이 행사에서 경상대학교 전만수 교수는 초청연사로써 단조 시뮬레이션 기술의 정확도와 그 적용 효과에 관하여 발표하였다.

한편, 이 행사에서 MFRC 는 말레이시아의 통상 산업부(MITI) 산하 MARii(Malaysia Automotive, Robotics & IoT Institute) 및 UiTM 대학과 MOU 를 체결하였으며, 관련 소식이 국영 방송의 뉴스를 통하여 말레이시아 전국에 소개되었다. 그림 4.8 은 그 방송의 한 장면이다.



그림 4.8 MARii-MFRC 와 MOU 체결 장면

4.9 인도 단조기업 방문 세미나 및 교육

2019 년 9 월 셋째 주에 인도의 벨가움, 나시크, 푸네 등의 유명한 단조 회사들을 방문하여, 각 회사의 특성을 파악하고 요구를 청취하였다. 이러한 과정에서 획득된 아이디어 또는 신기술은 AFDEX 의 신기능 개발에 큰 도움이 되고 있다. 이번의 방문을 통하여 새로운 절단 방식 및 금형 간의 소재 유동 통제를 위한 신기능의 개발 및 기존 기능의 개선이 이루어졌다. 또한 AFDEX 의 기능 및 강점을 소개하기 위해 인도에서 이들 간 교육 프로그램을 실시하였다.



그림 4.9 소재 절단 메커니즘에 관한 논의 장면

