

1. 소성가공 최적 공정설계에 대하여

1.1 단류선 함수, 밀도, 밀도 구배

소성가공 CAE 기술의 발전과 함께 사용자로부터 공정 최적설계의 요구가 높아지고 있다. 이것은 자연스러운 추세이다. 소성가공 공정의 설계는 매우 까다롭고 설계변수 간의 상관관계를 추정하기가 쉽지 않다. 따라서 비록 소성가공 CAE 기술을 효율적으로 잘 활용하더라도 오랜 경험이 뒷받침되지 않으면, 많은 시행착오가 요구되며, 이것은 여전히 기술자들에게 큰 부담이 되고 있다. 따라서 소성가공에서 최적설계는 매우 절실한 문제이지만, 몇 가지의 문제로 실현되지 못하고 있다. 물론 부분적인 최적화가 이루어지고 있지만, 그 한계성은 명백하다.

소성가공 공정의 최적설계를 저해해온 근본적인 요소는 단류선이다. 성형하중과 더불어 단류선은 소성가공 공정 설계에서 핵심적 요체이다. 계산시간 및 급형 형상의 설계변수화 등도 하나의 문제이지만, 근본적인 문제가 아니다.

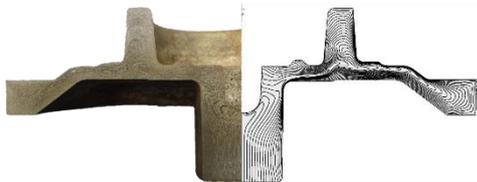
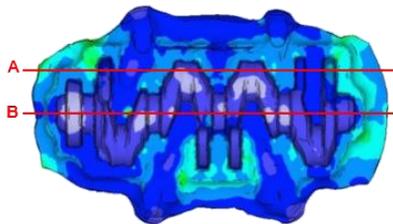
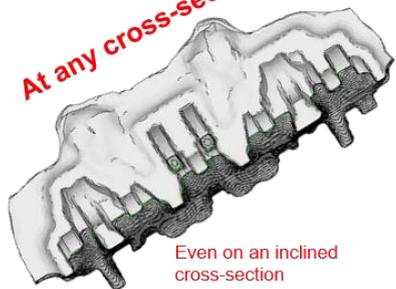


그림 1.1 2D 단류선



At any cross-section!



Even on an inclined cross-section

At any time instant!

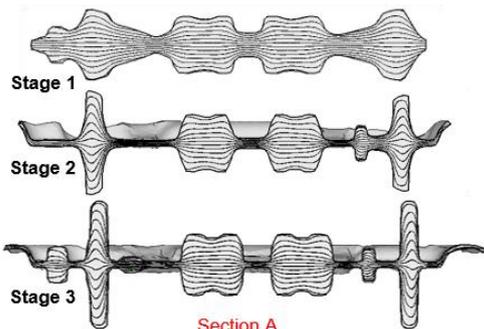


그림 1.2 3D 단류선

5년전, AFDEX는 3차원 단류선의 가시화 기술을 개발하였다(MS Joun, MC Lee, JG Eom, 2016,

Simulation device for object to be plastically deformed, JP-Patent 5967493). 그림 1.1과 그림 1.2에 대표적인 적용 사례를 나타내었다.

단류선의 가시화는 기술자들에게 공정설계의 평가를 위한 주요 정보를 제공하였다. 그러나 그 자체는 최적설계의 병목 문제를 해소하지는 못한다. 최근 단류선에 관한 정량화가 이루어졌다. 단류선 그 자체는 현재의 절점의 초기 좌표의 등고선으로 정의하였으며, 그 초기 좌표의 구배를 단류선 밀도 벡터로 정의하며, 단류선 밀도의 구배를 접침지수로 정의한다. 그림 1.3, 그림 1.4, 그림 1.5에 단류선 함수, 단류선 밀도, 단류선 밀도 구배를 나타내었다.

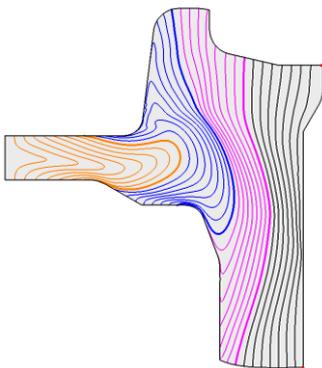


그림 1.3 단류선

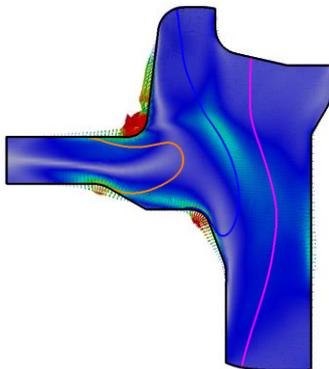


그림 1.4 단류선 밀도

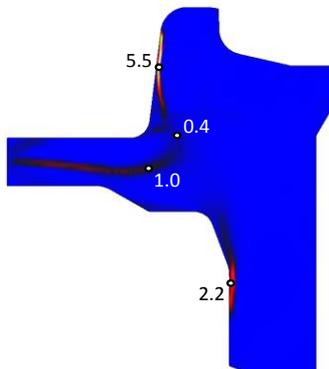


그림 1.5 단류선 밀도 구배

1.2 단류선 고려 최적설계 사례

그림 1.6은 1세대 허브베어링 외륜의 단조공정 최적설계의 사례이다. 목적함수를 두 개의 대칭점에서 계산된 단류선 함수값의 차이를 사용하였다. 그림 1.6은 초기설계와 최적설계의 단류선을 비교하고 있다. 이 그림에서 보는 바와 같이 사용자 개입없이 최적설계를 실시함으로써 상하 대칭 조건을 만족시키는 단류선을 획득하였다(KSTP 추계 학술대회, 제주도, 2018.10.11).

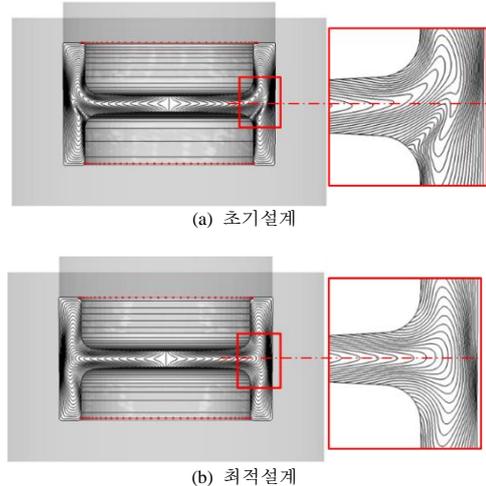


그림 1.6 베어링 외륜 단조공정의 최적설계

그림 1.7은 플랜지볼이 테이퍼롤러 베어링의 외륜이다. 테이퍼롤러가 접촉하는 외륜의 내측의 경사면의 단류선이 절삭으로 형성될 표면과 평행하도록 하는 것이 바람직하다. 이것은 단류선 밀도 벡터(단류선 함수의 구배)와 표면에 수직인 법선 벡터의 내적을 목적함수로 취함으로써 이루어질 수 있다. 그림 1.7은 초기설계와 최적설계를 비교하고 있다(KSTP 추계 학술대회, 제주도, 2018.10.11).

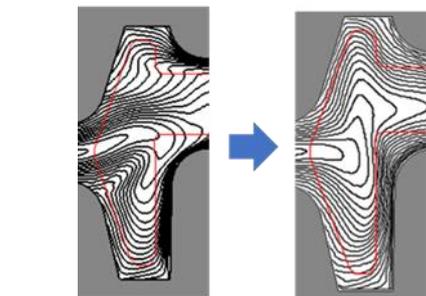
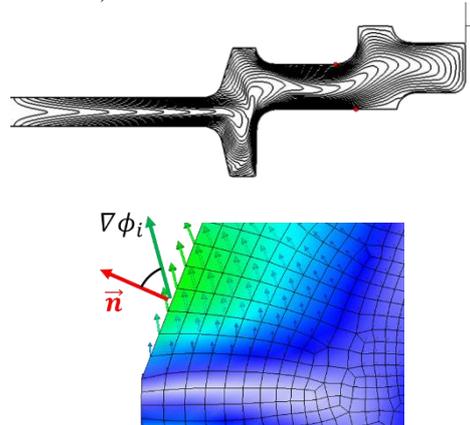


그림 1.7 플랜지볼이 테이퍼롤러 외륜 단조공정의 최적설계

그림 1.8은 접침지수와 단류선 밀도를 활용한 국부 함몰 단류선을 방지하는 최적설계의 사례이다. 국부 함몰의 특징(그림 1.9)을 고려하여 두 방향에서 정의되는 단류선 밀도(그림 1.10) 및 접침지수(그림 1.11)를 사용하여 목적함수를 정의하였다. 유효변형을 및 최대 성형하중도 목적함수에 일종의 가중치로 반영하였으며, 플래쉬 부의 간극을 일정하게 유지시키기 위하여 등식 구속조건을 사용하였다.

그림 1.9에서 보는 바와 같이, 국부 함몰 결함은 두 방향의 단류선 밀도가 동시에 국부적으로 작아지는 경향이 있으며, 접침지수 역시 그림 1.8

과는 다른 특징이 있다. 이런 특징을 고려한 목적 함수를 제안하여 사용하였다(KSTP 추계 학술대회, 제주도, 2018.10.11).

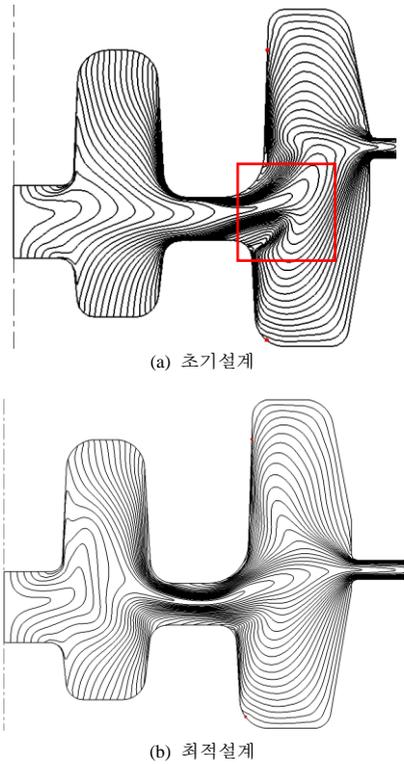


그림 1.8 국부 함몰 고려 공정 최적설계

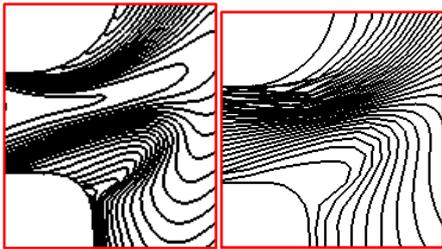


그림 1.9 목적함수의 특징

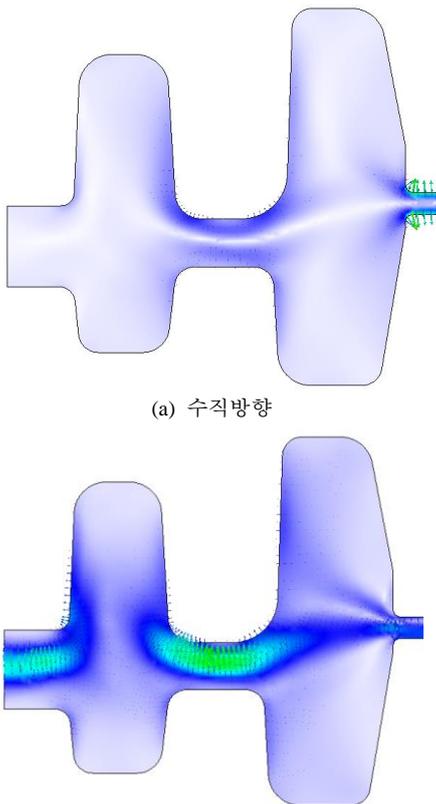
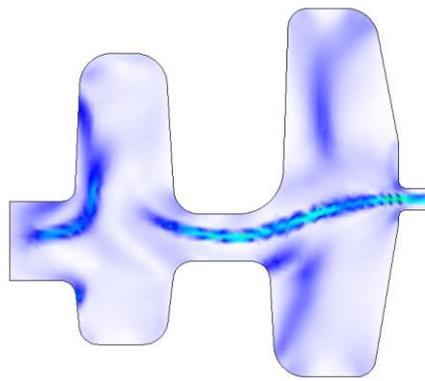
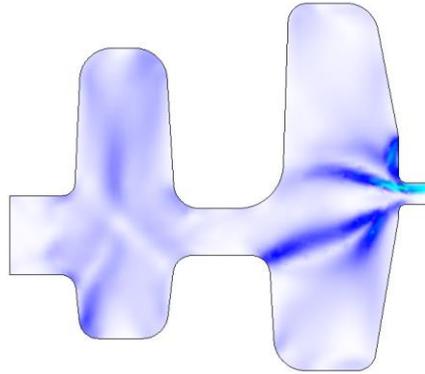


그림 1.10 단류선 밀도



(a) 수직방향



(b) 수평방향

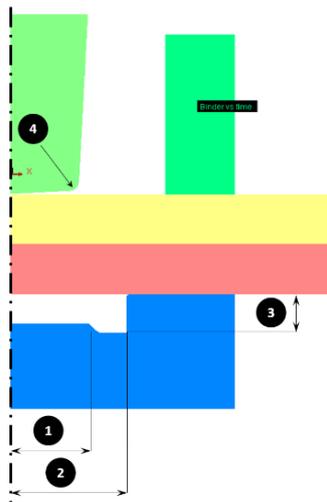
그림 1.11 단류선 겹침지수

1.3 체결력 고려 클린칭 공정 최적설계

그림 1.12-1.14는 체결력을 고려한 클린칭 (Clinching) 공정의 최적설계의 사례이다.

그림 1.12은 공정도와 설계변수를 정리한 것이다. 그림 1.13에서 보듯이, 두 개의 금형이 있는 임의의 공정을 추가하여 체결력을 계산하였다. 이 임의의 공정에서 체결력을 평가하기 위해 상부금형은 클린칭된 접합 부위에 인장력을 가한다. 그림 1.13은 성형공정 및 분리공정의 유효변형률과 유효응력 분포이다.

물리적으로 체결력을 의미하는 2단에서의 성형 하중은 목적함수로 정의한다. 이 공정의 목표는 목적함수를 최대화하여 더 강한 클린칭된 조인트를 얻는 것이다. 그림 1.14에서 볼 수 있듯이, 이 최적화 과정을 통해 1.61 kN의 초기 접합강도는 2.20 kN까지 증가되었음을 확인할 수 있다.



No	Parameter	Initial	Minimum	Maximum
1	Die base width	4.00	3.80	4.20
2	Die radius	5.84	5.54	6.14
3	Die depth	7.94	7.64	8.24
4	Punch radius	0.50	0.20	0.80

(All dimensions are in mm)

그림 1.12공정의 정의 및 설계변수의 설정

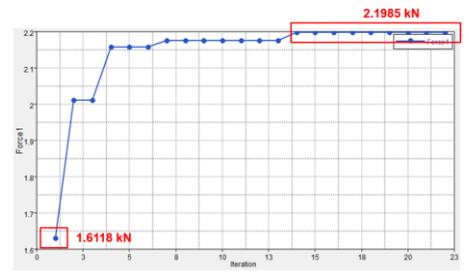
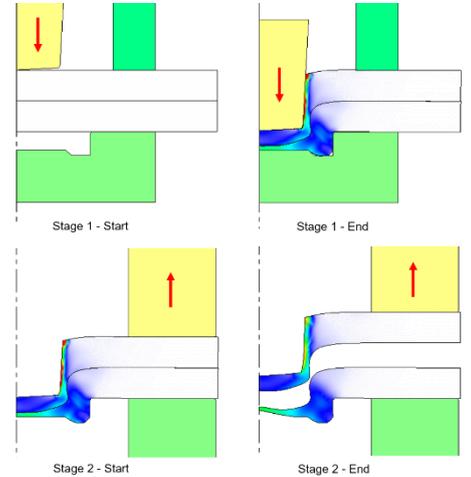
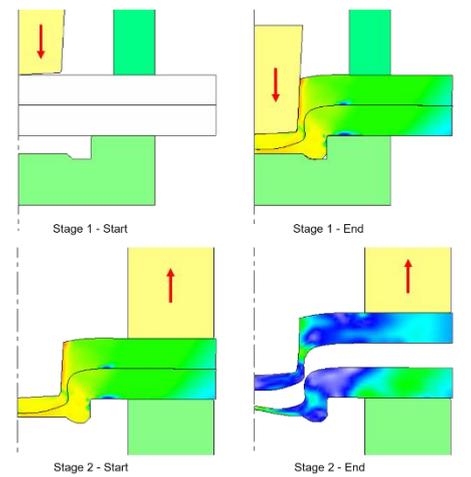


그림 1.13최적화의 과정



(a) 유효변형률



(b) 유효응력

그림 1.14해석 결과

2. 3차원 전단, 피어싱, 트리밍 공정 해석

2.1 개요

3차원 전단, 피어싱, 트리밍 공정의 해석은 용이하지 않다. 과단 이론과 요소망의 처리 등의 복잡한 문제가 존재하기 때문이다. 그러나 실제 소성가공 공정에서 전단, 피어싱, 트리밍의 해석은 중요하다. 특히, 판단조 등과 같이 전단 공정에 의하여 블랭크 형상이 크게 영향을 받을 경우, 전단 등의 해석은 매우 중요하다. 최근 AFDEX에서 전단, 피어싱, 트리밍 공정 해석 기술이 개발되었다. 이 기술은 기본적으로 연성과괴 이론과 요소 퇴화기법 적용 이후의 요소제거기법의 적용에 근거하고 있으며, 요소제거를 최소화하기 위하여 극단적인 요소망재구성 기법을 적용하였다.

여기서는 대표적인 3 개의 적용 사례를 소개하고자 한다(KSTP 추계 학술대회, 제주도, 2018.10.12).

2.2 전단공정의 해석

그림 2.1은 다단자동냉간단조 공정에서 소재의 절단 공정을 해석하여 실험과 비교한 것이다. 이 해석의 특징은 절단된 소재가 후속 공정의 해석 목적으로 사용될 수 있도록 절단면이 적절히 순화

되었다는 점이다. 즉, 이 그림에서 보는 바와 같이 전반적으로는 실험과 잘 일치하는 해석결과를 제공하지만, 후속해석 공정의 성공적 수행을 위하여 표면처리가 이루어졌다(KSTP 추계 학술대회, 제주도, 2018.10.12).

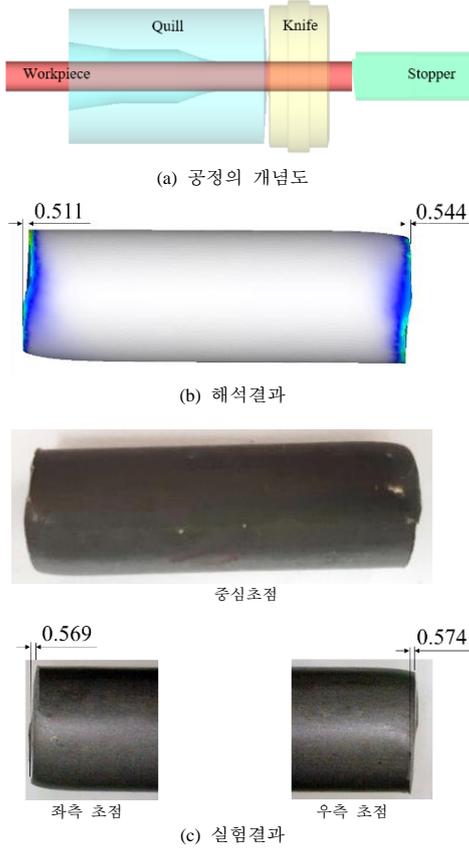


그림 2.1 봉재의 냉간 절단공정의 해석과 실험 결과와의 비교

2.3 피어싱/트리밍 공정의 해석

그림 2.2는 피어싱 공정을 해석 결과를 나타내고 있으며, 그림 2.3은 트리밍 공정의 해석 결과를 나타내고 있다. 두 예제 모두 절단면에서 조밀한 요소밀도를 사용하고 있으며, 파단면에서의 요소 품질은 양호하게 나타나고 있다.

그림 2.2는 후판재에 구멍을 뚫는 공정이며, 단면을 가시화한 것이다.

그림 2.3은 트리밍 공정으로 대부분의 영역에서 짧은 시간 동안에 소재의 분리가 발생하지만, 피어싱되는 소재의 모서리 부분에서는 거의 절각에 가까운 소재 제거 공정이 발생한다(KSTP 추계 학술대회, 제주도, 2018.10.12).

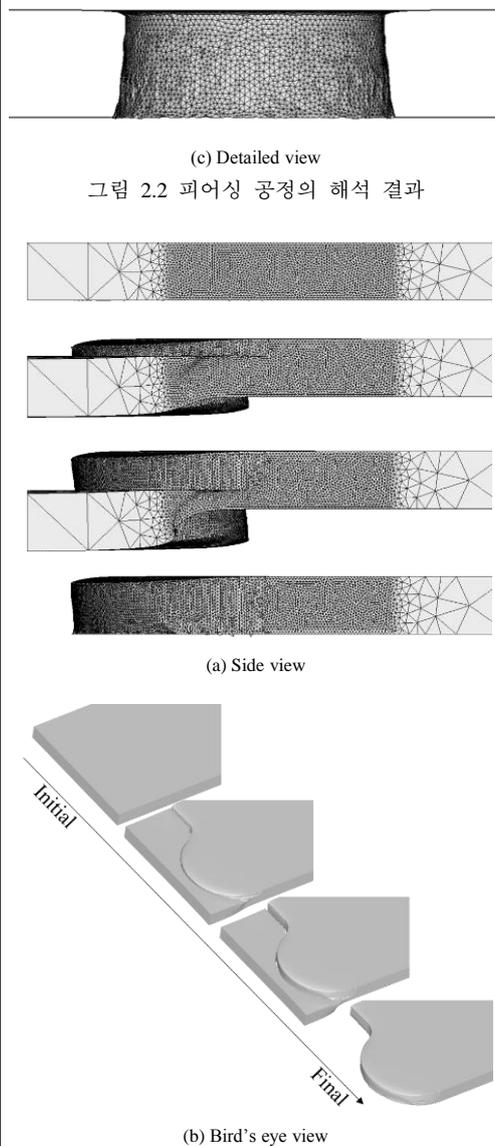
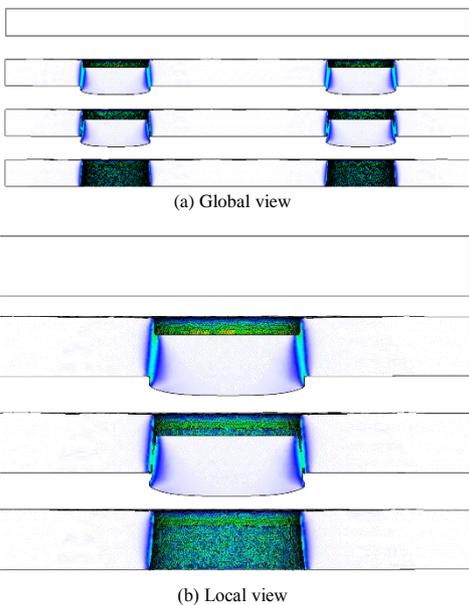
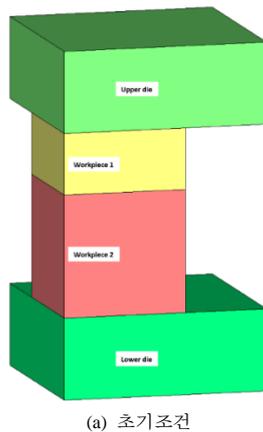


그림 2.3 트리밍 공정의 해석 결과

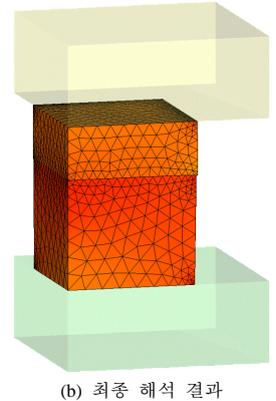
3. 3D 다물체 공정 해석 중 요소망재구성 실현

2018년 2분기의 뉴스레터에서 3차원 다물체 공정의 강소성 및 탄소성 유한요소해석 기능이 이미 소개된 바 있다. 이 기능은 자동 요소망재구성 기능과 연결되어 있지 않아, 활용에 제약이 따랐으며, 그러한 이유로 사용자에게 아직 개방되지 않고 있다.

최근 3차원 다물체 공정의 해석 기능이 요소망재구성 기능과 연결되어 사용자의 개입없이 전 공정의 자동해석이 가능하게 되었다. 아울러 입력 데이터 구조를 일반화시킴으로써 활용성을 배가하였다. 그림 3.1과 그림 3.2는 전형적인 적용 예제를 보여주고 있다.



(a) 초기조건



(b) 최종 해석 결과

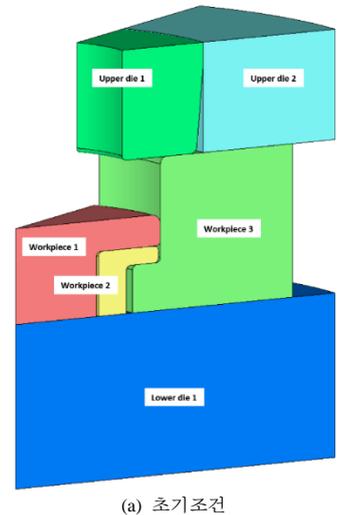
그림 3.1 두 직사면체 물체의 업세팅

그림 3.1은 서로 다른 크기와 유동응력을 지닌 두 소재의 업세팅 공정으로 다물체 공정의 개념을 소개하기 위한 목적으로 준비되었다. 이 공정은, 비록 형상 측면에서 단순한 공정이지만, 대칭면 및 각이 진 형상으로 인하여 수치적으로는 난해한 문제에 속한다. 최종 해석결과를 얻는 동안 총 12회의 요소망재구성이 이루어졌으며, 접촉면 및 대칭면 등에서 완벽한 수치적 처리가 이루어졌음이 확인되었다.

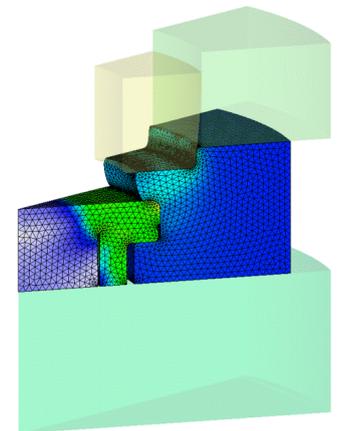
그림 3.2는 세 개의 물체를 조립하는 기상의 공정이다. 측대칭 공정을 3차원 다물체 해석 기능을 사용하여 해석하였다. 공정의 특성으로 총 7회의 요소망재구성이 실시되었다. 이 예제는 2차원 기능으로도 해석이 가능하며, 2차원 해석결과는 3차원 해석결과와 정량적으로 유사하다.

3차원 다물체 해석 기능은 이미 발표된 2차원 다물체 해석 기능과 함께 조립 공정 중 체결력 등의 예측을 위하여 필수적이며, 특수 공정의 경우, 금형과 소재를 동일하게 취급한 상태에서 해석이 가능하다.

이 기능은 V19R01(2019년 3월 1일 발표 예정) 부터 AFDEX/Pro버전 사용자들에게 지원될 계획이다.



(a) 초기조건



(b) 최종 해석 결과

그림 3.2 기상의 세 물체의 조립 공정

4. 공지사항

4.1 MFCAE 2018 개최

MFCAE 2018이 8월 16-17일 진주 MBC 컨벤션에서 실시되었다. 이번의 행사에서는 학부생 세션, 대학원생 세션, 개발자 세션, 전문 교육 세션이 한나절에 걸쳐 이루어졌다. 전만수 대표는 소성가공 공정의 모델링 기술에 관한 특별 강연을 실시하였다.



그림 4.1 MFCAE 2018

4.2 정례교육

2018년도 4/4 분기 AFDEX 정례교육이 2회 준비되어 있다. 2018년도 들어와 현재까지 총 8회의 정례교육이 실시되었다.

10월 4-5일에 HPC 이노베이션허브(판교)에서 개최되는 교육에서는 직접 이론 및 모델링 기술에 관하여 전만수 대표(경상대 교수)가 심도 높은 교육을 실시할 계획이다.

회차	장소	날짜	지역	과정
9	HPC이노베이션허브	10.4(목) ~5(금)	판교	중,고급
10	경남 테크노파크	11.5(월) ~6(화)	창원	중급



(a) 1차 교육(창원)



(b) 2차 교육(천안)



(c) 3차 교육(천안)



(d) 4차 교육(천안)



(e) 5차 교육(안산)



(f) 6차 교육(부산)



(g) 7차 교육(진주)



(h) 8차 교육(부산)

그림 4.2 AFDEX 정례교육

4.3 두뇌역량우수전문기업(K-BrainPower) 선정

지난 9월 13일 MFRC는 엔지니어링 분야 두뇌역량우수전문기업(K-BrainPower)으로 지정받았다.

정부는 산업적, 경제적 파급효과가 크고 탁월한 경쟁력을 지닌 두뇌산업의 전문기업을 선정 및 육성해 산업전반의 고부가가치화 실현 및 지속적인 성장동력을 확보하고 고급 일자리 창출을 견인한다는 목적으로 시행해 오고 있다.

4.4 소성가공 학회 특별세션

AFDEX의 개발자 및 관련 연구자들이 중심이 된 두 개의 특별세션(소성가공 공정 및 정보 최적설계, 유한요소 모델링)이 10월 11-12일에 걸쳐 개최되는 KSTP 추계학술대회에서 준비되어 있다.

이 특별 세션에서 18편의 AFDEX 관련 연구 결과물이 발표된다. 발표 내용은 표 4.1과 같다.

표 4.1 KSTP 추계학술대회 논문

논문 제목	
1	소성가공 공정 및 변수의 최적화에 관한 고찰
2	단류선의 대칭성 고려 1세대 허브 베어링 단조공정의 최적설계
3	단류선의 표면 진화성 고려 플랜지 불이 테이퍼롤러 베어링 단조공정의 최적설계
4	단류선의 국부함몰 회피를 고려한 폴리싱 축대칭 열간단조 공정의 최적설계
5	분리력 극대화를 위한 클린칭 공정의 최적설계
6	다단 딥드로잉 성형에서 제품 성형하중 최소화를 위한 자동금형설계
7	최적화 기법을 이용한 피스톤 온간 알루미늄 단조 공정 중 마찰계수의 규명
8	최적화 기법을 이용한 재결정 영향을 강조한 유동용력의 실용적 획득 및 응용
9	Jominy 시험 중 미시구조 및 경도의 수치적/실험적 연구

논문 제목	
1	전단공정 해석 기법 및 응용
2	유한요소법을 이용한 경화 모델이 판재 성형에서 스프링백에 미치는 영향에 관한 연구
3	프레스 양산 가동중 발생하는 금형파손 원인분석을 위한 3차원 초고속 측정 및 유한요소해석
4	플로포밍 공정 해석에서 주변형 구간의 설정 및 설정 각도가 미치는 영향
5	에치날의 판단조 공정 해석 및 검증
6	성형해석 기술을 이용한 진동모터 베이스 플레이트의 판단조 프로그래밍 공정의 설계
7	300도 이하에서 알루미늄 유동용력의 규명 및 응용
8	소성가공 중 피어싱 및 트리밍 공정의 3차원 유한요소해석
9	진동 부과 중공 축방향 성형 공정에서 진동 부과의 효과에 관한 고찰

4.5 Altair Technology Conference 2018 Korea 발표

정석환 이사는 2018년 9월 14일, Altair Korea가 서울 여의도 콘래드호텔에서 개최한 ATC 2018에 참석하였다. 이번 행사는 ‘제품 개발과 디지털트윈’을 주제로 최근 제조업에서 큰 이슈로 떠오르고 있는 디지털트윈을 활용한 다양한 고객 사례들이 소개되었다. (Link: <http://blog.altair.co.kr/54694>)

Manufacturing Session에서 ‘AFDEX와 HyperStudy를 이용한 베어링 단조공정의 소성유동선 최적설계’에 관한 주제로 발표하였다.



그림 4.3 ATC Korea 2018

4.6 알테어 유럽 전시회(ATC) 참가

10월 16일부터 18일까지 3일간 프랑스, 파리에서 2018 Global Altair Technology Conference가 개최된다. ATC는 Altair가 주도하고 주요 Altair APA 사들이 참여하는 종합 CAE 컨퍼런스이다. 특히 격년제로 개최되는 유럽 ATC는 대표적인 ATC 전시회로 MFRC는 2016년에 이어 두 번째로 참여한다. MFRC는 AFDEX 전시와 함께 다물체 시뮬레이션, 단류선, 열처리 등의 신 기능을 발표할 예정이다.

4.7 Altair 본사 교육행사 개최

2018년 10월 24일~25일에 걸쳐 미국 디트로이트에 위치한 Altair 본사에서 미국 및 글로벌 고객을 대상으로 AFDEX 교육이 실시된다. 이 교육에는 전만수 대표를 비롯한 4명의 MFRC 연구원이 참여할 예정이다. (Link)

4.8 Altair 캐나다 토론토 교육행사 개최

2018년 10월 26일에 캐나다 토론토에 위치한 Altair에서 캐나다 고객을 대상으로 AFDEX 세미나 및 교육이 실시된다. (Link)

4.9 멕시코 워크샵 개최

2018년 11월 29일~30일, 멕시코시티 (Camino Real Aeropuerto Hotel)와 UPVM 대학에서 AFDEX 워크샵이 개최될 예정이다. UPVM에는 AFDEX 센터가 설치될 예정이다.

2018년 11월 31일에는 국경산업도시인 시우다드후아레스에서 AFDEX 세미나가 개최된다.

멕시코 행사는 UPVM과 Altair 멕시코와 공동으로 실시된다. (Link)

4.10 EuroForge 전시참가



그림 4.4 EUROFORGE 2018

11월 13일부터 15일까지 3일간 독일, 베를린에서 EuroForge conFAIR가 처음 개최된다. 단조 산업의 산업체들의 전시회와 최신 단조 기술, 경량화, 단조 산업 4.0, 세계 시장의 동향에 대한 발표회로 구성된다.

MFRC는 플래티넘 스폰서로 참여할 예정이며, 경상대 연구팀(전만수, 유재동, 김민철, 황태민(성진포터))은 공정최적설계에 관한 발표를 실시할 예정이다.

4.11 금속산업대전 2018 전시참가



그림 4.5 금속산업대전 2018

10월 30일부터 11월 2일까지 4일간 고양 킨텍스 제 1전시장 2,3홀에서 금속산업대전 2018이 개최된다. 단조 산업의 산업체들의 전시회와 최신 단조 기술을 접할 수 있다.