

1. AFDEX_V18R01 출시

1.1 신버전 출시 계획 및 특징

AFDEX_V18R01가 4월 1일에 출시되었다. 당초에 2월 10일을 목표로 하였으나, 최신 기능의 보완을 위하여 다소 연기된 것이다. 이번 신버전은 그 동안의 사용자들의 요구사항을 적극 반영하여 개선되었고, 계산속도 향상, 탄소성 해석 기능의 안정화, 금형 연계해석 기능의 향상, 조립금형 구조해석 및 열전달해석 기능의 향상, 다물체 기능의 향상, 금속학적 예측 기능의 추가, 대형 문제 해석 기능 보강 등이 특징이다. 주요 개선 사항은 Table 1.1에서 보는 바와 같다. Table 1.1의 내용 중 상당 부분은 2018 Q1에 수록된 내용과 일치한다. 이 중 일부의 기능은 이미 사용자에게 제공되었다.

Table 1.1 New functions or improvements of AFDEX V18

	Functions or improvements
2D and 3D	-Simulation considering die elastic deformation with shrink fit considered -Repetitive simulation between specific steps -Simulation considering elastic deformation of press -Analysis of heat transfer among assembled dies -Structural analysis of assembled dies -Control of penetration of material into the gap between dies -Calculation of shortest distance between nodal points and dies -Improved computational speed -Improvement of node separation algorithm -Improved Brozzo damage model -Function of contact exclusion during structural analysis of assembled dies -Prediction of hardness based on experimental formula -Improved heat transfer analysis function -Improved frictional conditions as a function of temperature, pressure and strain -Improved heat transfer coefficients as a function of temperature and pressure -Local mesh density control -Treating the nodes which penetrate into the material -Initializing state variable for the first solution step -Improved initialization of material at each stage -Increased number of available dies in one stage -Function of limited temperature increment per step -Improved coupled flow analysis with damage -Treatment of rigid-body motion of material and die -Forced remeshing before new or continuing run -Material removal function -Improved Freudenthal damage model -Microstructural evolution prediction function -Heat treatment analysis function
2D	-Boolean operation -Process design optimization using HyperStudy -Improved determination of the final stroke when non-standard dies are employed -Improved mesh density control of dies -Die geometry defined by a connection of die points -Improved description of dies -Improved convergence of multi-body function

3D	-Improved computational speed -Improved function of pusher in open-die forging including rigid body condition -Improved algorithm of step size and contact for open-die forging -Improved mandrel control for swaging, radial forging, and open-die forging -Improved algorithm for separating contact node -Improved temperature analysis in dwelling/transferring -Addition of stroke control based on distance when axisymmetric die is used in 3D -Improved rotating die function -Improved non-isothermal analysis of a screw/hammer forging process -Hydrostatic forming function -Air trapping treatment -Improved pusher for open-die forging -Improved initialization of state variables -Composite material treatment -Improved function of ring rolling simulation -Evolving function of a rotating die -Specialized remeshing for ring rolling simulation -Compensation of volumetric change due to remeshing -Elementwise compensation scheme for volume change -Back pressing function of manipulator and pusher -Exactly positioning of periodically moving die -Practical 3D point tracking -Improved open-die forging function -Multi-body analysis without remeshing (Manual) -Larger scale problem solver -3D quantification of grain flow (metal flow lines)
----	---

1.2 Q1 및 Q2 동안에 확보된 신기능 및 개선 사항

2018년 Q1 및 Q2 동안의 신버전의 개선 사항 또는 계획은 Table 1.2에서 보는 바와 같다. 이 중의 일부 기능에 대해서는 전처리 기능의 개선 작업이 이루어지고 있다.

Table 1.2 Plan of adding new functions or conducting improvements for next lease of AFDEX V18

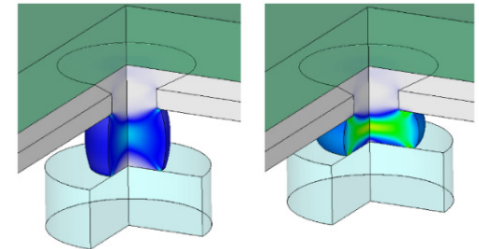
	New functions or improvements
2D or 3D	-Function of skin element generation -Function of calculating flow stress depending on compressive or tensile strain -Quantification of grain flows -Two-step motion of die (Loading and unloading) -Sophisticated material models -Microstructural evolution prediction -Heat treatment and carburization simulation -Local heating of material -Improved structural analysis of assembled dies -Improved complete simulation -3D local remeshing -Material shearing analysis function -Improved hammer forging function -Improved skin mesh system -3D multi-body metal forming simulation function -Strength/hardness prediction function -New material models to describe dynamic RCX -2D induction heating simulation -3D optimal process design

2. 주요 신기능 및 개선된 기능

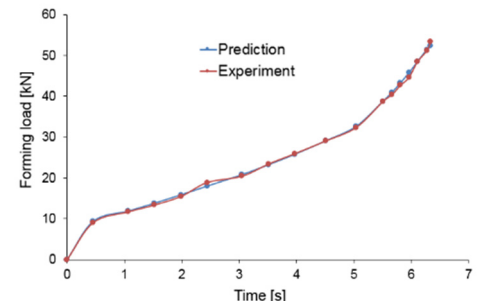
2018년 1/4분기에 이루어진 주요 적용 사례를 소개한다. 이 예제를 중에서 일부의 기능은 사용자가 직접 입력데이터를 편집해야 한다. 대부분의 기능은 다음 버전에서 사용의 편의성이 크게 개선될 것이다. 이번 버전부터 제공되는 신기능은 이미 2018 Q1 뉴스레터에서 상술하였으므로 여기서는 생략한다.

2.1 항공기 리벳팅 공정의 탄소성 유한요소 해석

2차원 다물체 기능을 이용하여 항공기의 리벳팅 공정을 탄소성 유한요소해석하여 실험결과 (Amarendra, GIT, Ph.D. thesis, 2006, 실험과 ABAQUS 결과를 비교함)와 비교하였다. 그림 2.1에서 보는 바와 같이 실험결과와 AFDEX의 예측결과가 공학적으로 동일하다.



(a) 변형이력

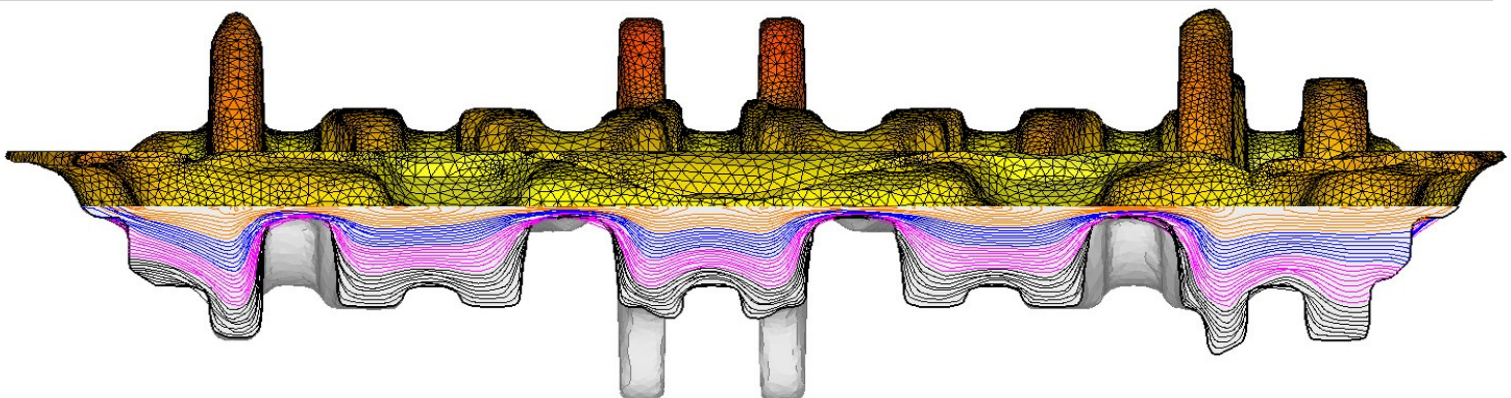


(b) 예측결과와 실험결과의 비교

그림 2.1 항공기 리벳팅 공정의 탄소성 FEA

2.2 셀프피어싱 리벳팅 이후의 잔류응력

2차원 다물체 기능의 탄소성 유한요소해석 기능을 이용하여 셀프피어싱 리벳팅 이후의 잔류응력을 예측하였다. 이 해석에서 요소망재구성 및 밀도 부과 과정에서 리벳의 선단을 중시하는 기법이 적용되었다. 그림 2.2는 펀치 제거 이후의 잔류응력을 나타낸다.



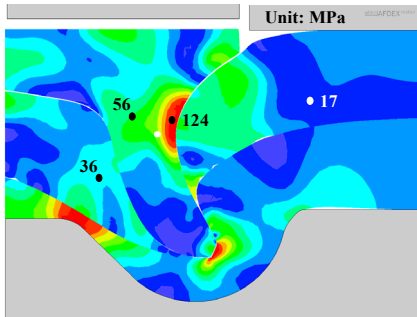


그림 2.2 셀프피어싱 리베어링 이후의 잔류응력

2.3 항공기 피팅과 튜브의 체결 공정 해석

항공기의 고압 튜브와 피팅의 연결을 위한 일종의 네킹 공정에 대하여 2차원 다물체 기능의 탄소성 유한요소해석 기능을 적용하였다. 스프링백, 즉 탄성회복에 따른 잔류응력 및 최대 분리저항력 등이 예측되었다. 그림 2.3은 유효변형률을 나타낸다.

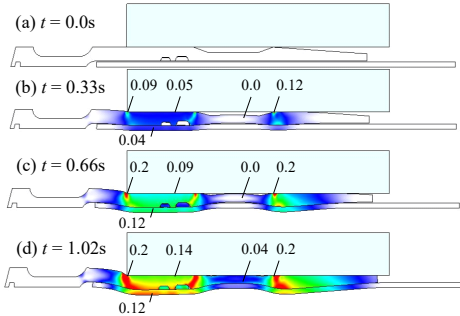


그림 2.3 항공용 피팅과 튜브체결 공정의 해석

2.4 볼베어링 접촉 문제의 탄소성 유한요소 해석

3차원 다물체 탄소성 유한요소해석 기능을 이용하여 볼베어링 조립체의 국부적 소성변형 해석을 실시하였다. 그림 2.4는 국부적 소성변형이 발생할 때까지 변위를 부과한 결과이다.

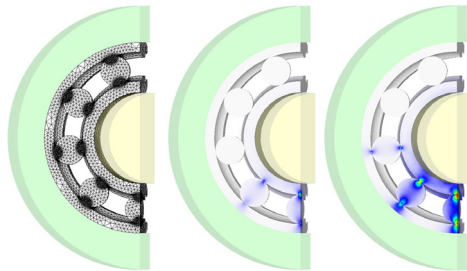


그림 2.4 볼베어링 조립체의 탄소성 구조해석

2.5 허브 베어링 조립체의 조립 공정의 탄소성 유한요소해석

3차원 다물체 탄소성 유한요소해석 기능을 이용하여 허브 베어링 조립체의 조립공정, 회전단조 공정을 해석하였다. 베어링은 탄성체로 가정하였다. 그림 2.5는 잔류응력을 나타낸다.

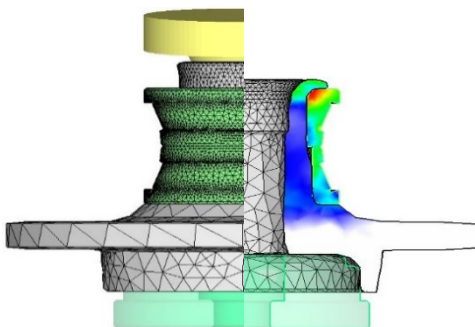


그림 2.5 체결공정 이후의 잔류응력

2.6 열간단조 베어링 부품의 결정크기 예측 및 실험적 검증

열간단조 중 결정의 크기를 예측하였으며, 그 결과의 타당성을 입증하였다. 재료의 상수는 3단 공정의 1단 열처링 공정을 대상으로 하는 AFDEX 고유의 최적화 기법을 사용하여 획득되었다. 실험결과와 비교한 결과, 평균오차가 약 10%이며, 추후 재료상수의 온도 의존성을 고려하면 이보다 낮출 수 있다는 결론에 도달하였다.

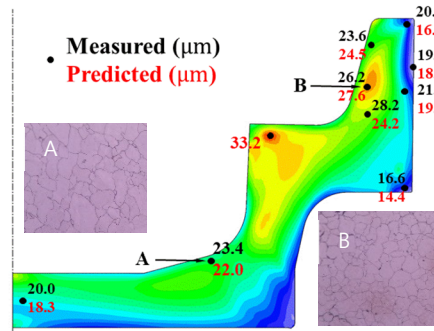


그림 2.6 결정크기의 결정

2.7 열간단조 베어링 부품의 경도 예측

2.6절에서 해석한 공정과 동일 조건 하에서 상변태 해석을 실시하여 상태별 분율을 계산하였으며, 이 수치와 결정의 크기를 이용하여 경도를 예측하였다. 예측 결과로부터 마르텐사이트 조직과 결정의 크기가 미치는 영향을 확인할 수 있다. 후속 연구를 통하여 정도를 높이는 데 노력할 계획이다.

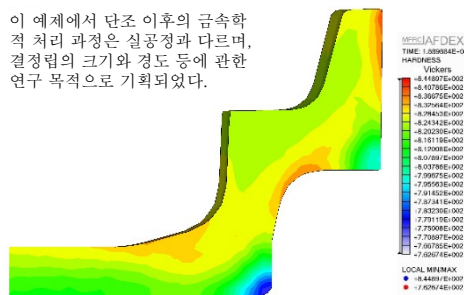
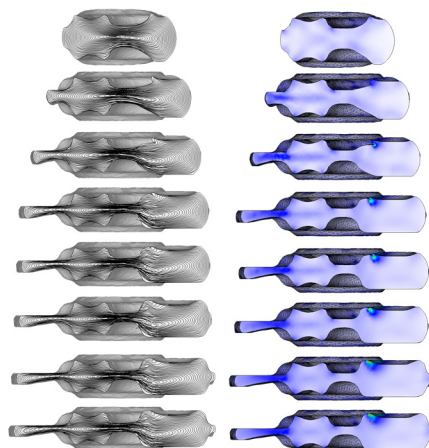


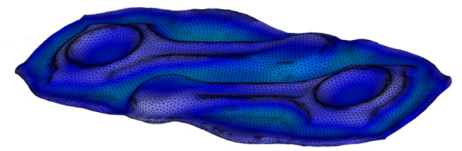
그림 2.7 경도 예측 결과

2.8 단류선의 정량화 및 가시화

단류선의 정량화는 매우 중요하다. AFDEX 고유의 단류선 가시화 기능을 바탕으로 정량화 기법이 개발되었으며, 2차원 기능이 이미 소개되었다. 최근 3차원 기능이 갖추어졌다. 이 기능은 수치로 단류선의 품질을 평가할 수 있게 해주기 때문에 최적 공정설계 및 실수 방지에 효과적이다. 그림 2.8에 커넥팅로드 열간단조 중 발생한 단류선 집짐 결함을 나타낸다.



(a) 단류선과 집침지수



(b) 변형률 분포
그림 2.8 단류선의 정량화

2.9 대형 문제의 해결 기법

최근 다양한 연계해석 및 다물체 공정의 해석 기능 확충 차원에서 대형 문제의 해결 능력이 제고되었다. 그림 2.9는 크랭크샤프트 열간단조 공정의 해석결과이며, 사면체 요소가 500000개 사용되었다. 앞으로 수요에 따라 대형 문제 해결 기능을 점진적으로 향상시켜 나아갈 계획이다.

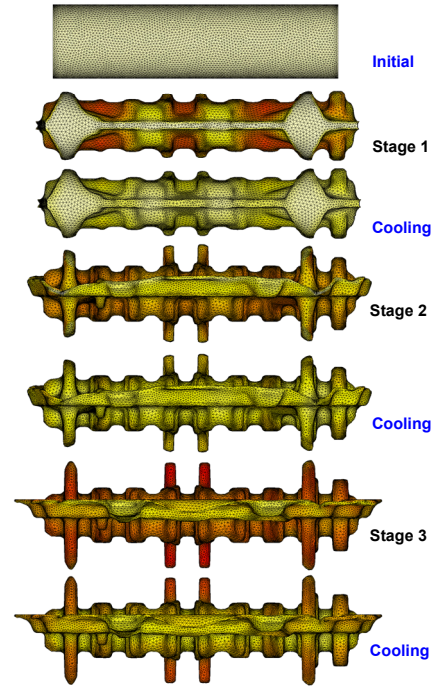


그림 2.9 대형 문제의 해석

2.10 다단 중공 스웨이징 공정의 해석

5단 중공 스웨이징 공정의 해석이 이루어졌다. 이 공정에서 1단과 2단에서는 두께의 변화가 매우 크게 발생한다. 1단과 2단에서는 맨드릴로 소재의 위치 통제를 하였고, 푸쉬어를 3단부터 사용하여 소재의 위치 제어를 실시하였다. 그림 2.10은 성형이 완료된 최종 제품의 단면이며, 총 5310회의 타격에 의하여 공정이 완료되었다.

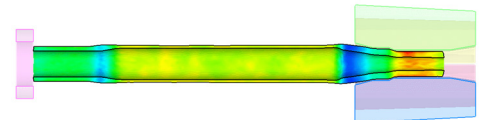


그림 2.10 스웨이징 공정

2.11 진동부와 편치에 의한 정밀 스플라인 성형공정 해석

구조적으로 취약한 봉재에 치형의 높이가 상대적으로 높으면서 모재에 영향을 최소화하기 목적으로 진동 부와 스플라인 성형 편치에 의한 스플라인 성형 공정을 해석하였다. 3차원 탄소성 유한요소법이 사용되었으며, 두 개의 대칭면을 이용하여 1/30 만을 해석영역으로 설정하였다. 이 공정의 해석 결과, 진동부와 공정이 모재에 미치는 영향이 작게 나타났다. 즉 변형률의 분포가 치형에 집중하여 나타났다. 이것은 진동에 의하여 접촉 영역에서 상대적으로 국부 소성변형이 크기 때문이다. 그림 2.11은 유효응력이다.

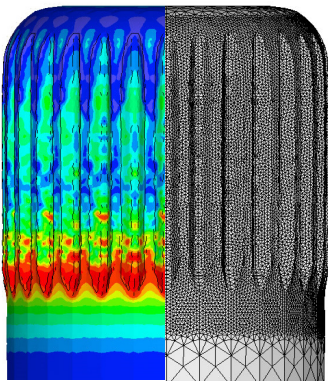


그림 2.11 진동부와 편지에 의한 스플라인 성형

3. 고온 유동응력에 관한 고찰

3.1 AFDEX 기본 고온 유동응력 모델

AFDEX는 수식모델 $\bar{\sigma} = C(\epsilon, T)\dot{\epsilon}^{m(\epsilon, T)}$ 을 이용하여 온간 및 열간단조용 소재 물성 DB가 구축되어 있다. 이 수식은 단순히 보이지만, C 와 m 값이 온도와 변형률의 샘플링 점에서 저장되기 때문에 소재 상수의 수가 많아 실험데이터를 직접 표현하는데 가장 효과적이다. 복잡한 소재의 고온 거동 특성을 몇 개의 소재상수로 표현하는 것은 용이하지 않다. 이 재료 상수는 AFDEX의 모듈 중의 하나인 AFDEX MAT을 이용하여 쉽게 획득되고 DB에 저장될 수 있다. 그림 3.1와 그림 3.2에 적용 사례를 나타내었다. 그림에서 실선은 고온압축 실험결과이며, 점은 AFDEX의 소재물성치이다. 이 적용 사례에서 보는 바와 같이 AFDEX MAT은 공학적으로 최적의 유동응력을 제공한다.

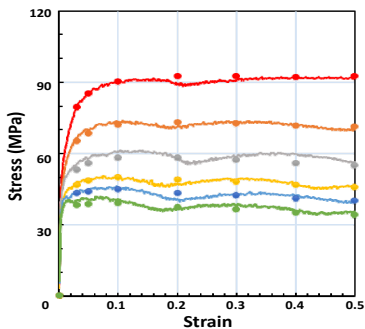


그림 3.1 알루미늄 A6082의 고온 유동응력

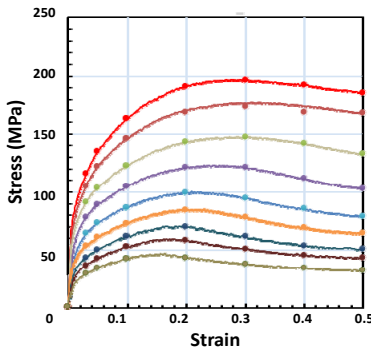


그림 3.2 합금강 SCM 420의 고온 유동응력

3.2 개선된 유동응력 모델

한편, 광범위하게 사용되고 있는 유동응력 모델인 Voce 모델, Hansel-Spittel 모델, Johnson-Cook 모델 등에 관한 많은 연구와 응용이 이루어지고 있다. 문제는 이 모델들의 일반성에 다소 문제가 있다는 연구결과들이 잇따르고 있다. 최근 금속학적 예측 능력의 제고를 위하여 정상태의 연구진에 의하여 실험결과를 공학적으로 정확하게 표현할 수 있는 유동해석 모델 및 재료상수 획득 방법이 개발되었다. 그림 3.2에서 보는 바와 같이, 실험과 신 유동응력 모델식(점선)이 공학적으로 일치함을 확인할 수 있다. 이 결과는 사용자와 개발자 간의 신뢰성을 높이고, 앞으로 활성화될 금속학적 연구 및 응용에 큰 도움일 될 전망이다.

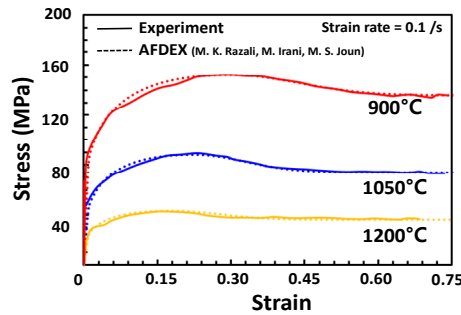


그림 3.3 신 유동응력 모델

4. 공지사항

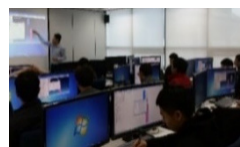
4.1 정례교육

AFDEX 정례교육이 2018년도에 총 10회 예정되어 있으며, 그 중 2회는 진행되었다. 아래 표는 추후 진행할 AFDEX 교육 일정이다. 한편, 특정 기업체를 대상으로 하는 교육은 수시로 실시되고 있다.

회차	장소	날짜	지역	과정
3	천안인적자원개발센터	4.5(목) ~6(금)	천안	중급
4	천안인적자원개발센터	5.10(목) ~11(금)	천안	중급
5	한국생산기술연구원	6.21(목) ~22(금)	안산	중,고급
6	부산제조기반전산교육장	7.19(목) ~20(금)	부산	중급
7	경상대학교	추후일정 변경가능	진주	영어강의, 상세이론
8	부산제조기반전산교육장	8.30(목) ~31(금)	부산	중급
9	HPC이노베이션 허브	10.4(목) ~5(금)	판교	중,고급
10	경남테크노파크	11.5(월) ~6(화)	창원	중급



1차 교육 장면 (창원)



2차 교육 장면 (안산)

4.2 국내외 전시회 참가

4.2.1 IMTEX 참가 및 세미나 개최 2018

MFRC는 2018년 1월 25일부터 30일까지 5일간 인도 벵갈루루에서 개최된 IMTEX 2018 전시회에 참여하였다. IMTEX 2018은 인도에서 개최하는 국제 전시회이며, 인도 금속 산업의 주력 행사이다. 또한 MFRC는 벵갈루루, 푸네, 델리에서 기술 세미나 및 체험행사가 개최하였다.



4.2.2 Hannover Messe



4월 23일부터 27일까지 5일간 독일에서 Hannover Messe 전시회가 개최된다. MFRC는 Industrial supply 전시관의 4 홀, H48에서 AFDEX를 전시한다.

4.3 MFCAE 2018

MFCAE 2018은 8월 17일 진주 MBC 컨벤션에서 실시될 예정이다. 이번 AFDEX 유저 컨퍼런스에서는 AFDEX 신기능 및 활용사례가 주제이며, 한글로도 발표가 가능하다. 사용자 분들께서는 적극적으로 참여하시어 시뮬레이션 소프트웨어 활용방법 및 전문지식을 습득하시길 권유 드린다. 장소 및 날짜는 변경될 수도 있으며, 확정시 홈페이지와 메일을 통해 사용자 분들께 안내드릴 예정이다.

장소	날짜	지역	발표 내용
MBC 컨벤션	2018년 8월 17일	진주	-신기능, 이론 및 실제 적용 사례

4.4 한국소성가공학회 전문교육 강좌 소개

6월 25-26일 연세대에서 한국소성가공학회의 주관 하에 "소성역학 이론과 응용"(강연자: 전만수 교수, 정완진 교수, 홍석무 교수, 이광오 교수)의 강좌가 개설될 예정이다. 이 강좌는 탄성역학, 소성역학, 열처리의 기초 및 응용을 주제로 진행되며, 단조, 압연, 압출, 인발, 판단조 등을 비롯한 체적소성가공분야의 응용을 목적으로 역학 및 열처리의 기초를 다지고자 하는 기술자 및 학생을 대상으로 한다. 강의내용과 수강료에 관한 상세 정보는 한국소성가공학회 홈페이지 (<http://www.kstp.or.kr/>)에서 확인할 수 있다.

