

Contents

1. AFDEX_V26R01 출시 예정
2. AFDEX 해석사례
 - 2.1 이방성을 고려한 스트럿 마운트용 메인플레이트 성형 해석
 - 2.2 복렬 프로그레시브 공정 해석
 - 2.3 극심한 자체접촉 문제의 요소망재구성 기능 개선
 - 2.4 윤활급변현상 판별법
 - 2.5 SCM440의 동적 및 정적 재결정화 및 결정립 성장에 대한 유한요소해석
3. 주요 개선된 사용자 인터페이스
 - 3.1 3차원 해석 모델의 STEP/IGES 파일 불러오기 기능 지원
 - 3.2 이방성 Hill1948 모델 추가
4. 소식 및 공지 사항
 - 4.1 2026년 소식
 - 4.1.1 해외 고객 및 파트너 교류
 - 4.1.2 정한진 명예교수 영입
 - 4.1.3 박준달 박사 영입
 - 4.2 2026년 교육
 - 4.2.1 2026년 정기 및 온라인 교육 안내
 - 4.2.2 방문 세미나 및 컨설팅
 - 4.2.3 e-Book의 정식 발간

1. AFDEX_V26R01 출시 예정

2026년 6월 AFDEX_V26R01 버전 출시가 될 예정이다. 지난 1분기 뉴스레터와 이번호에 소개되는 신기능 및 개선 내용을 탑재하여 출시를 준비 중이다.

2. AFDEX 해석 사례

2.1 이방성을 고려한 스트럿 마운트용 메인플레이트 성형 해석

최근에 개발된 이방성 유한요소해석 프로그램의 적용성 평가를 위하여, 스트럿 마운트용 메인플레이트 성형공정을 이방성 유한요소해석 프로그램으로 해석하였다. 이 공정은 2019년에 등방성 유한요소해석 프로그램을 이용하여 고객사와 협력하여 개발되었다.

그림 2.1은 기존의 등방성 성형해석 결과와 이방성 성형해석 결과를 실험결과와 비교한다. 등방성 및 이방성 해석 결과에 원근감 보기를 적용함으로써 이들과 실험결과를 보다 정확하게 비교하였다.

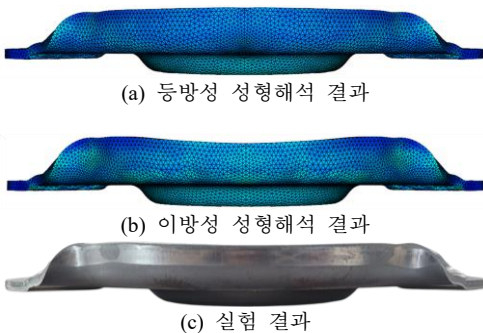


그림 2.1 마운트 스트럿용 메인플레이트의 해석과 실험 결과 비교

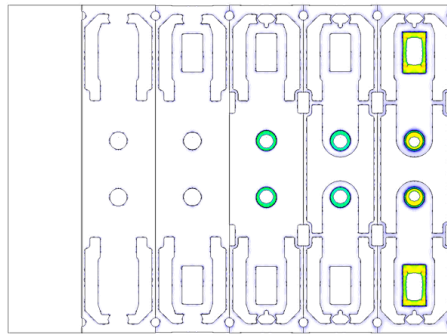
그 결과, 등방성 유한요소 해석결과는 상부가 편평한 반면, 이방성 해석결과에서는 움푹하게 함

몰된 형상이 예측되었으며, 이는 실험결과에 부합하는 것이다.

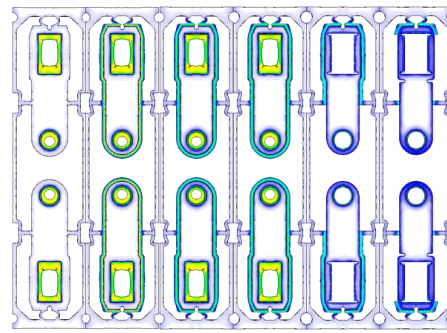
2.2 복렬 프로그레시브 공정 해석

프로그레시브 공정(Progressive process)은 스트립 재료를 연속 이송하며 다단 성형을 수행하는 대표적인 대량생산 공정이다. 리튬이온 배터리의 음극 집전체용 부품으로 사용된 재료는 두께 1.5 mm의 C1100 구리 판재이다. 이 공정은 공타(Idling) 구간을 제외하고 총 17단으로 구성되며, 블랭킹, 피어싱, 포밍, 밴딩 공정이 복합적으로 이루어져 있다. 판단조 탄소성 모듈을 적용한 90도 대칭 모델을 기반으로 성형해석을 수행하였다.

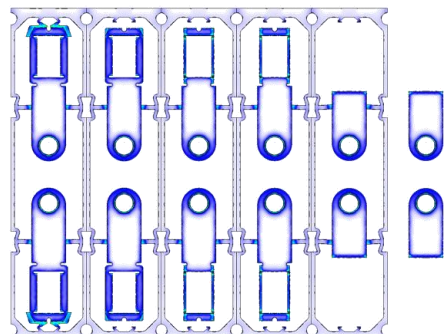
그림 2.2에서 단계별 성형해석 결과를 확인할 수 있다.



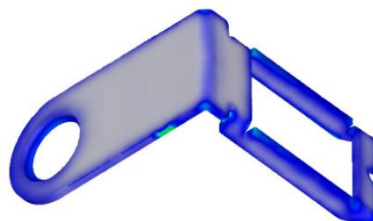
(a) 투입재료 및 1~5단 변형이력



(b) 6~11단 변형이력



(c) 12~17단 변형이력



(d) 성형해석된 집전체 부품

그림 2.2 집전체 부품의 복렬 프로그레시브 공정 해석

2.3 극심한 자체접촉 문제의 요소망재구성 기능 개선

그림 2.3과 같이 투입재료 중량 및 성형하중 감소 목적으로 재료 내부에 홀이 있는 프리폼을 사용함으로써 재료-재료 자체접촉(Self-contact)이 발생하는 경우가 있다. 이러한 경우, 요소망재구성 과정에서 재료와 재료가 접촉한 영역에 문제가 발생하여 중단되거나 재료 간 침범이 발생하면 요소망재구성이 불가피하고, 그 과정에서 체적 손실이 발생할 수가 있다. 그림 2.3(a)의 개선 후와 같이 자체접촉이 발생하더라도 요소망재구성을 통해 재료를 하나로 합쳐지도록 고온 그래프이 개선되었다. 실제 상황에서 고온 그래프 환경에서 재료-재료 간의 접합이 발생하며, 대부분 용접이 발생한다고 간주해도, 거시적 결과에는 영향을 미치지 않는다. 물론, 그림 2.3(b)의 단류선이나 그림 2.3(c)의 접힘 정보로부터 접합면 즉, 용접면의 확인이 가능하다.

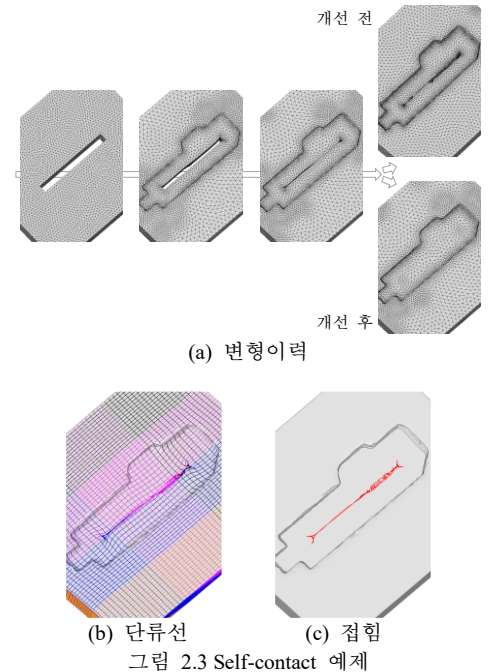


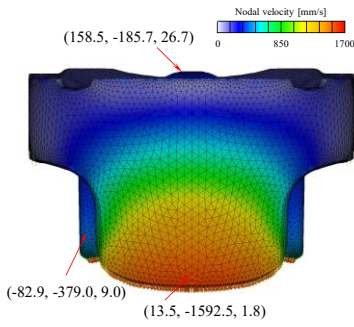
그림 2.3 Self-contact 예제

2.4 윤활급변현상 판별법

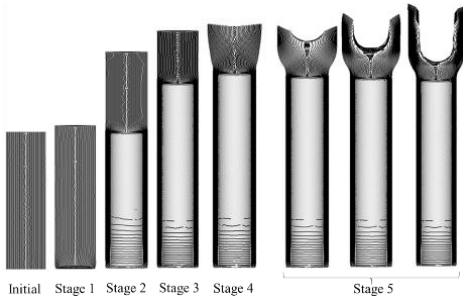
체적소성가공, 특히 단조는 거시적 관점에서 재료 전체로부터 지원받는 유동특성과 계면에서 국부적 영향력을 갖는 마찰의 전투라고 할 수 있다. 경험적으로 볼 때, 강의 단조에서는 변형경화의 지원을 받는 유동특성이 재료의 소성변형을 좌우한다. 최근 알루미늄을 비롯한 변형경화능이 강에 비하여 크게 떨어지는 비철금속의 단조가 증가하면서, 단조공정 해석 기술자들은 강의 단조를 통하여 쌓아온 해석의 정확도에 대한 신념이 도전받게 될 것이다. 이것은 유동특성과 마찰이 지배력을 분점하면서 발생하는 혼란에 기인한다.

2020년도에 윤활급변현상 또는 마찰급변현상(Lubrication regime change, LRC)에 관한 [S. W. Lee, J. M. Lee, M. S. Joun, 2020, On critical surface strain during hot forging of lubricated aluminum alloy, Tri. Int. 141 105855]의 논문이 게재된 이후, AFDEX 개발자 그룹에서 이에 관한 다양한 연구가 행해졌다. 그림 2.4는 LRC가 발생한 사례이다. LRC를 고려하지 않고, 즉 전통 마찰법칙으로 획득한 해석결과는 공학적으로 중요한 부위에서 실험결과와 뚜렷한 차이를 나타낸다. 그림 2.4(a)의 경우, LRC를 고려하지 않으면, 중심 하단 부위가 오목하게 되며, 이것은 그림에서 보는 바와 같이 불룩한 실험과 반

대의 해석결과이다. 그림 2.4(b)의 경우, 펀치와 하 형이 0.2 mm 정렬 오류가 발생시킨 단조품 상부에서 귀높이 차이가 2.2 mm 인데 반하여, LRC 를 고려하지 않은 전통 마찰법칙으로는 0.6 mm 이하의 값을 예측하였다. LRC 를 고려했을 때, 2.04 mm 의 귀높이 차이를 예측하였다.

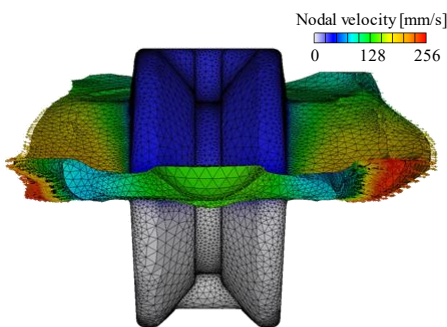


(a) A4032 합금 피스톤의 열간단조 (절점 속도 분포)

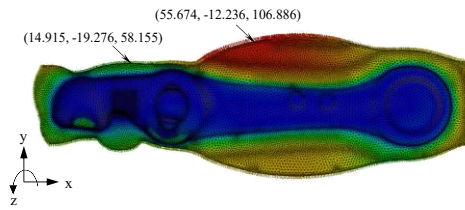


(b) A6082-T6 합금 요크 자동다단냉간단조
그림 2.4 LRC 발생 사례

그림 2.5는 LRC의 발생 가능성을 고려하지 않고도, 변형형상을 공학적으로 정확하게 예측할 수 있는 공정이다. 그림 2.5(a)는 S45C의 건설기계용 부품의 열간단조 공정의 해석결과이다. 이 공정은 마찰계수 0.3의 전통 마찰법칙을 사용했을 때, 만족할만한 결과를 획득할 수 있었다 [M. K. Razali, S. W. Kim, M. Irani, M. C. Kim, M. S. Joun, 2021, Practical quantification of the effects of flow stress, friction, microstructural properties, and the tribological environment on macro- and micro-structure formation during hot forging, Tri. Int., V. 164, 107226.]. 그림 2.6(b)는 A6082 합금의 lateral arm 열간단조 공정의 해석결과이며, 마찰계수 0.15의 전통 마찰법칙을 사용했을 때, 해석결과는 실험결과에 공학적으로 부합하였다 [J. H. Park, S. M. Ji, J. M. Choi, M. S. Joun, Accurate flow characterization of A6082 for precision simulation of a hot metal forming process, Materials, 15, 8656].



(a) S45C 건설기계 부품 열간단조 (절점 속도 분포)



(b) A6082 합금 lateral arm 열간단조 (절점 속도 분포)

그림 2.5 LRC의 영향력이 무시 가능한 사례

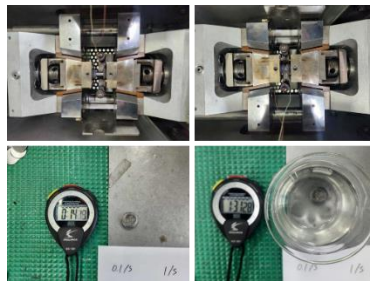
그림 2.4와 그림 2.5의 비교 결과, 전방압출 또는 전후방압출공정과 같이 재료의 유동이 단조의 방향(펀치의 이동방향)과 일치할 경우에 LRC가 발생할 가능성이 높고, 그 반대의 경우, 즉 재료의 유동이 측면 방향일 경우에는 LRC가 발생하지 않으며, 전통마찰법칙을 사용해도 공학적으로 무방하다.

개발자 그룹의 다양한 연구결과에 따르면, 재료의 변형경화가 작을수록, 계면에서 재료의 유효변형률이 클수록, 그리고 윤회상태가 불량할수록 LRC의 발생 가능성이 커진다. 따라서 알루미늄의 냉간 및 열간단조에서 LRC의 발생 가능성이 강에 비해서 훨씬 높다. LRC가 발생하면, 부분적인 계면의 특성이 전체 재료의 유동에 큰 영향을 미치며, 이것은 단조를 어렵게 만드는 요인이다. 따라서 이 LRC발생의 높은 가능성은 좁은 열간단조 온도 범위와 함께 알루미늄 단조를 어렵게 만드는 하나의 원인이다.

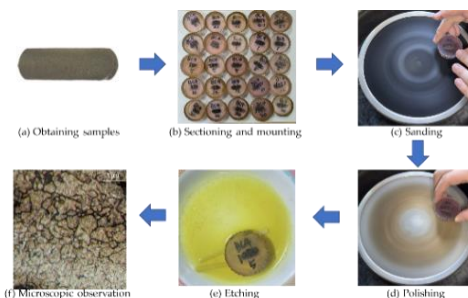
LRC가 발생할 경우에는, 정밀 단조 시뮬레이션을 위해서, 특히 국부적 형상의 정밀예측을 위해서는 LRC를 고려한 가변마찰계수를 사용하는 일반 Coulomb 마찰법칙의 사용이 필수적이다.

2.5 SCM440의 동적 및 정적 재결정화 및 결정립 성장에 대한 유한요소해석

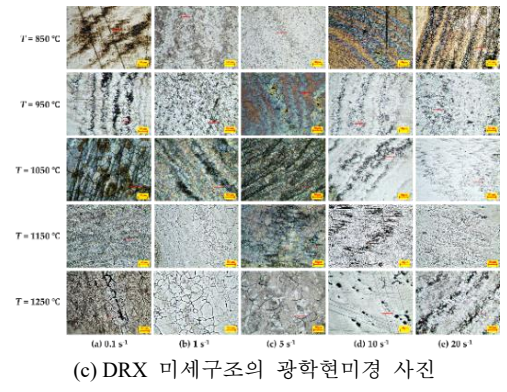
Dr. Razlai 가 이끈 MFRC-경상대 연구팀은 실험과 시뮬레이션을 병행하여 SCM440강의 고온 압축 과정에서 발생하는 동적 재결정(DRX), 정적 재결정(SRX) 및 결정립 성장(GG) 현상을 조사하였다. 850~1250°C의 온도와 0.1~20 s⁻¹의 변형률 범위에서 압축 시험을 수행하여 다양한 조건에서의 미세구조 변화를 분석하였다. 결정립 크기를 측정하여 DRX에서 SRX 및 GG로의 전이 과정을 추적하였다. AFDEX와 Siemens/Altair HyperStudy를 결합한 최적화 기법을 사용하여 주요 카이네틱 매개변수(Kinetic parameters)를 도출하고, 유한요소 시뮬레이션 결과와 실험 데이터 간의 상관관계를 분석하였다. 그 결과를 그림 2.6에 요약하였다.



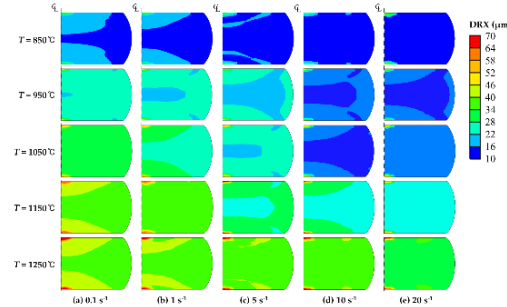
(a) SCM440 클리브 테스트(KITECH)



(b) 금속 조직 표본 준비과정



(c) DRX 미세구조의 광학현미경 사진



(d) $d_{DRX,avg}$ 의 FEM 예측

그림 2.6 미세구조 실험 및 해석

개발된 통합 모델은 변형 및 변형 후 단계에서의 결정립 크기 변화를 정확하게 예측하며, 실험결과와 우수한 일치성을 보였다. 이 연구는 합금강의 고온 성형 공정을 이해하고 최적화하는 데 효과적인 도구를 제공한다.

3. 주요 개선된 사용자 인터페이스

3.1.3차원 해석 모델의 STEP/IGES 파일 불러오기 기능 지원

3차원 모델링 데이터의 범용성을 향상시키기 위해 AFDEX_V26R01부터 STEP 및 IGES 불러오기 기능이 새롭게 추가된다. 이를 통해 별도의 파일 변환 과정 없이 원본 CAD 데이터를 시뮬레이션에 직접 활용할 수 있어 데이터 손실을 최소화하고 작업 속도를 향상시킬 수 있다.

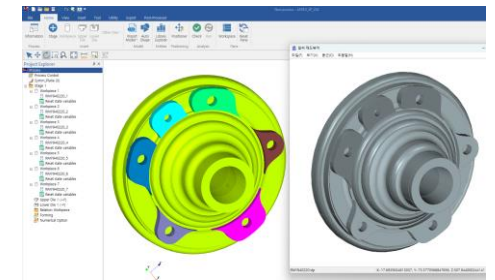


그림 3.1 stp파일 로딩 화면

3.2 이방성 Hill1948 모델 추가

성형 해석의 정밀도를 한 차원 높여줄 Hill 1948 이방성 항복(Anisotropic Yield Criterion) 모델이 추가되었다. 이제 압연 방향에 따라 달라지는 재료의 기계적 성질을 더욱 정교하게 시뮬레이션에 반영할 수 있다. 그림 3.2에서 이방성 계수 F, G, H, L, M, N을 직접 입력할 수 있고, R 계수를 입력하는 방식 2가지를 지원하고 있다.

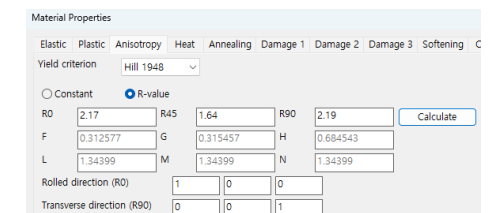


그림 3.2 이방성 계수 입력 다이얼로그

4. 소식 및 공지사항

4.1 2026년 소식

4.1.1 해외 고객 및 파트너 교류

2026년 1월 MFRC 대표 일행은 인도네시아의 딜러 및 사용자와 미팅을 가졌으며, 사용 교육과 함께 발전 방안을 협의하였다. 특히 KOMATSU와는 주요 재료의 유동함수의 획득 기술을 비롯한 단조 시뮬레이션의 요소기술에 관한 정례 교육에 합의하였다.



4.1.2 정완진 명예교수 영입

MFRC는 판단조 분야의 연구개발 역량의 도약을 위해, 정완진 서울과학기술대학교 명예교수를 영입하였다. 정 명예교수는 판재성형 FEM 해석 분야의 권위자로서 Z-STAMP (판재성형해석)를 개발하는 등 다양한 실용적 연구 실적을 갖추고 있다. 정 명예교수는 13년간 MFRC와 협력하였으며, AFDEX 탄소성 이방성 모듈의 개발에 공헌하였다.

4.1.3 박춘달 박사 영입

MFRC는 소성가공, 특히 판재성형 분야에서 전문가인 박춘달 박사를 영입하였다. 박 박사는 현대자동차에 근무하는 오랜 기간 동안 현대자동차의 CAE 활용의 발전에 공헌한 바 있다. 박 박사는, 현대자동차 근무 시절, 정완진 MFRC의 CTO를 비롯한 많은 학자들과 산학협력 연구를 실시하였으며 특히 판재성형 해석기술의 발전을 선도하였다. 그리고 대구기계부품연구원에서 차세대금형 기술혁신센터장으로 소성가공 분야, 특히 판재소성가공 분야의 연구경력과 기업지원 실적을 쌓아왔다. 한편, MFRC는 박 박사의 연구진과 함께 대구지역의 기업체와 다양한 R&D 프로젝트 수행에 협력하였다.

4.2 2026년 계획

4.2.1 2026년 정기 및 온라인 교육 안내

2026년 정기교육은 표 4.1의 일정으로 진행된다. 교육 참가 신청을 위하여, 교육일 3주 전에 구체적인 교육 계획을 공지할 예정이다. 교육일, 교육 내용은 변경될 수 있다.

표 4.1 2026년 정기교육 일정

회차	장소	날짜	지역
2	MFRC 교육장	4월 16일(목)	진주
3	경기TP	5월 20일(수)~21일(목)	안산
4	MFRC 교육장	7월 09일(목)	진주
5	경기TP	9월 16일(수)~17일(목)	안산
6	MFRC 교육장	11월 12일(목)	진주

AFDEX 공식 유튜브 채널에서 소성역학 및 유한요소법에 관한 이론과 AFDEX 사용법 등을 확인할 수 있다. 아울러 비전공자를 위하여 정역학, 고체역학, 수학 등에 관한 교육도 이루어지고 있다.

AFDEX 공식 유튜브 주소는 아래와 같다.

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

그리고 3월부터 격주로 아래의 일정으로 30분~1시간 이내의 온라인 교육 과정이 개설되어 진행되고 있다.

2026년 AFDEX 온라인 교육 안내

1. 참여방법 : <https://teams.microsoft.com/join/43325152100047p-kuNkNw41gkcBM9JpNZ>

2. 교육일정 및 내용

일	일	시간	교육명	내용	담당자
1월	17일		판재성형 사용법 1	- 판재성형 가능 범위 - 교차시나 기본 예제	장승준
4월	7일		판재성형 사용법 2	- 교차시나 조립 - 특성 및 해석결과 출력 방법	장승준
4월	21일		판재성형 사용법 3	- 링크, 등 시, 등 - 인라인에서 사용법 적용	장승준
7월	9일		판재성형 사용법 4	- 판재성형 예제 - 파일명, 교차시나 초기 배치	장승준
7월	19일		판재성형 사용법 5	- 판재성형 사용법 - 링크, 등 시, 등 - 링크, 등 시, 등	장승준
9월	2일		판재성형 사용법 6	- 판재성형 사용법 - 판재성형 사용법	장승준
9월	16일		판재성형 사용법 7	- 판재성형 사용법 - 판재성형 사용법	장승준
7월	7일		판재성형 사용법 8	- 판재성형 사용법 - 판재성형 사용법	장승준
7월	21일		판재성형 사용법 9	- 판재성형 사용법 - 판재성형 사용법	장승준
7월	21일	1400 - 1500	판재성형 사용법 10	- 판재성형 사용법 - 판재성형 사용법	장승준
8월	4일		판재성형 사용법 11	- 판재성형 사용법 - 판재성형 사용법	장승준
8월	18일		판재성형 사용법 12	- 판재성형 사용법 - 판재성형 사용법	장승준
9월	22일		판재성형 사용법 13	- 판재성형 사용법 - 판재성형 사용법	장승준
10월	6일		판재성형 사용법 14	- 판재성형 사용법 - 판재성형 사용법	장승준
10월	20일		판재성형 사용법 15	- 판재성형 사용법 - 판재성형 사용법	장승준
11월	3일		판재성형 사용법 16	- 판재성형 사용법 - 판재성형 사용법	장승준
11월	17일		판재성형 사용법 17	- 판재성형 사용법 - 판재성형 사용법	장승준
12월	1일		판재성형 사용법 18	- 판재성형 사용법 - 판재성형 사용법	장승준
12월	15일		판재성형 사용법 19	- 판재성형 사용법 - 판재성형 사용법	장승준

3. 문의 : 055-755-7529, mfrcc@afdex.com

4.2.2 방문 세미나 및 컨설팅

올해들어 사용자 현장 방문, 현장 세미나 및 컨설팅, 의견 청취 활동을 활발하게 진행하고 있다. 이미 1/4분기 동안에 국내 11여 사, 해외 3개 사와 함께 이루어졌다.

사용자 회사 또는 잠재 사용자 회사가 세미나 주제를 요청하면, 그에 적합한 자료를 준비하여 세미나에 임하고 있다.



<㈜진합에서 유동특성과 마찰에 관한 기술세미나 장면>

4.2.3 e-Book의 정식 발간

소성가공을 시뮬레이션 기술로 설명하는 e-Book이 4월 중에 발간된다. 기존의 e-Book은 용량의 제약으로 한계성을 보였지만, 기술의 발전에 따라 대폭 증가한 용량에 힘입어 다양한 주제에 관한 내용이 800여 페이지에 걸쳐 상세하게 기술되어 있다. E-Book은 동영상상을 담고 있고, 개정이 용이하므로 소성가공 시뮬레이션 기술의 고도화에 필수적 요소라고 판단된다. 사용자들이 관심을 가져야 할 새로운 요소이다. 그리고 개발자와 사용자가 공동으로 개선시켜 (부분 저자로 참여 가능함) 나아가야 할 공동의 가치가 될 것이다.

앞으로 구독자들의 의견을 반영하는 지속적인 개정 작업과 함께 이 e-Book을 근거로 한 다양한 교육이 실시될 계획이다.