



금형제작을 지원하는 CAD/CAM/CAE 연계기술

발행인 _ 박성환 _ 한국기계연구원 시스템엔지니어링연구본부 _ swpark@kimm.re.kr

1. 서론

금형제작은, 그 설계·가공과 함께, 숙련자의 know-how 및 기능에 의존하는 것으로 알려져 왔다. 그것은 1980년대 후반부터 1990년대에 까지 3차원 CAD/CAM/CAE 시스템이 보급되고, 5축제어의 동작 기계가 도입되었던 상황에서도 마찬가지였다. 특히 일본에 있어서의 금형제작은, 숙련기능자에 크게 의존한 설계·가공방법이 채용되어, 세계적으로 비교되지 않는 고품질의 금형제작이 가능하였고, 금형입국 일본을 만드는데 크게 기여하였다.

그러나, 숙련기능·know-how에 의존한 금형제작은 lead-time 단축(고능률설계생산)의 관점 및 글로벌한 생산체제에의 전환에 있어서는 적합하지 않게 되었다. 물론 숙련기능, 즉 아날로그 기술이 없다면 제작할 수 없는 고도의 금형은 현재 및 미래에도 많이 있겠지만, 최근의 CAD/CAM/CAE 기술 즉 디지털기술은, 기능에 의존하는 부문을 크게 저감함으로써, lead-time을 단축한 글로벌한 금형생산을 가능하게 한다.

최근의 CAD/CAM/CAE 기술은, 숙련기능·know-how에 크게 의존하여온 금형제작을 효율화할 뿐 만 아니라, 고품질의 성형품을 생산할 수 있는 금형을 정

도 높게 제작하는 것을 가능하게 한다. 이제까지는 경험 및 기능을 기초로 한 시행착오 프로세스를 통하여 금형을 제작하여 왔지만, CAD/CAM/CAE 기술에 의해서는 금형제작에 있어서의 시행착오를 감소시킴과 동시에 금형을 고도화하고 성형제품의 품질향상을 달성하게 된다. 예를 들어 CAD와 CAE의 연계에 의해 설계금형형상을 기반으로 사출성형품의 수축오차 및 그 변형오차를 해석하고 이를 통하여 그들의 오차를 보정하는 금형설계가 가능하게 되었다. 프레스 성형에서는 CAD와 CAE의 연휴에 의해, spring back 예측에 기반하여 금형형상을 수정하고, try 단계에서의 형수정을 작게 하는 것이 가능하게 되었다. 또한, 설계변경에 따른 CAD 형상을 수정하는 경우가 있는데, 이 경우 CAD 데이터와 링크된 연계 CAM이 NC 데이터를 real time으로 수정하는 기능이 개발되어 효율적으로 고품질의 NC 데이터가 생성가능하게 되었다. 이외에도 많은 사례를 들 수 있다. (본 위고에서는 데이터의 상호교환에 기초한 협조시스템의 의미에서는 연휴(連携)라는 단어를, 그리고 CAD 데이터 교환에 기초한 그 활용 시스템이란 의미에서는 연계(連係)라는 단어를 사용하고 있다.)



이제까지의 금형은, 그 설계·가공에 있어서 기반 기술을 2개로 분류하고 있다고 생각한다. 그 하나는 고도의 기능·숙련기술을 바탕으로 시행착오 가운데 제작을 진행하는 아날로그 기술의 집대성으로서의 금형과, 또 하나는 3차원 CAD/CAM/CAE 시스템 혹은 고성능 공작기계라 할 수 있는 디지털기술을 기반으로 하여 고능률적으로 제작되는 금형이다. 금형제작을 지원하는 CAD/CAM/CAE는 그 각각에 있어서도 기능·성능이 진화되고 있지만, 본보에서는 금형제작을 지원하는 관점으로서의 CAD/CAE의 연휴기술, 실 모델과 CAD 연계기술, CAD와 CAM의 연계기술에 관하여 소개한다.

2. CAD와 CAE의 연휴

금형은 성형을 위한 불로서 사용된다. 성형이란 것은 디자이너 혹은 설계자가 요구하는 제품형상을 형태지우는 것이다. 금속 혹은 플라스틱 성형 프로세스에 있어서 금형형상과 성형품형상은 일치하지 않는 경

우가 많다. 다음의 2개는 그 대표적인 원인이다.

(1) 금속동판의 프레스 성형에 있어서는 성형하중을 재료로 돌리는 때에 탄성변형량 만큼 형상이 복원하는 현상(spring back 현상)이 발생한다.

(2) 수지를 사출성형하는 경우 용융된 수지가 형내에 흘러들어 그것이 고화하는 때에 수축이 발생, 성형품에 스트레인(변형)이 생긴다.

이 때문에 금형형상과 성형품형상이 일치하도록 spring back 및 수지응고시의 수축변형을 억제하도록 성형프로세스를 다듬는다. 그러나 금형형상과 성형품형상이 일치하지 않는다면 성형변형의 결과가 실제현상과 일치하도록 금형형상을 수정하는 기술이 도입되고 있다. 이는 숙련자의 기능·기술에 기초한 아날로그 기술과, CAE 결과를 기초로 금형형상을 수정하는 디지털기술에 의해서 실현되고 있다.

그림 1은 CAE에 의한 사출성형의 해석결과를 보이고 있다. 그림 1(a)은 수지의 흐름상황을, 그림 1(c)는 변형상태를 보이고 있다. 이와 같이 CAE에 의해

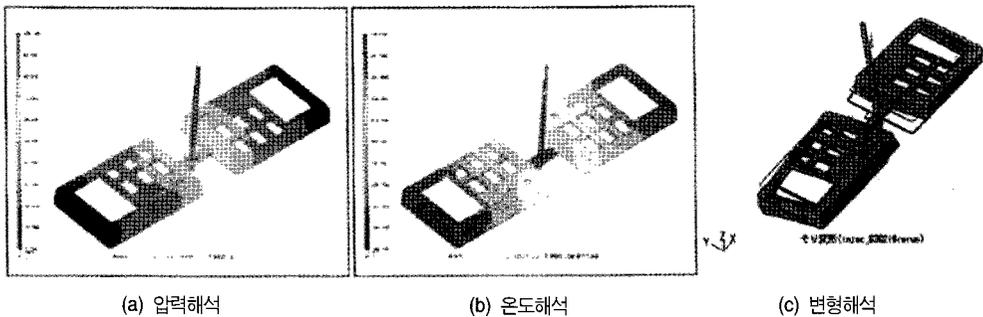


그림 1. 사출성형 CAE 해석사례 (자료제공: 히가시리 주식회사 3D TIMON)

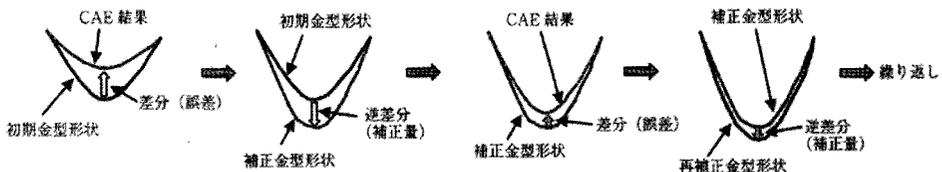


그림 2. Spring back 보정 금형형상설계

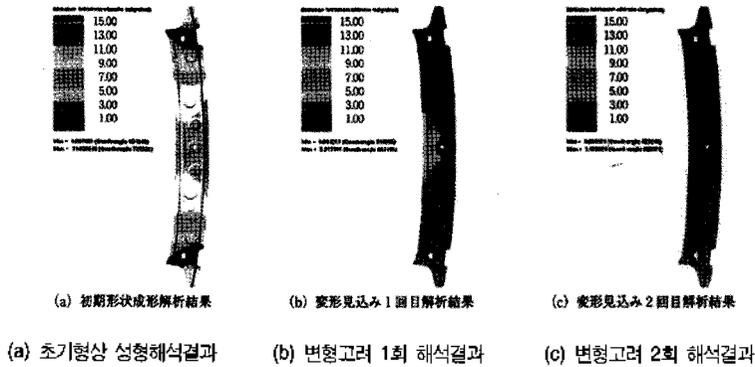


그림 3. 프레스성형 CAE 해석사례

사출성형에 있어서의 수지 흐름상황 및 성형변형, 또는 수지유동시의 수지 및 금형의 온도변화상태 등을 정량적으로 해석가능하다. 이들 결과에 의해 성형변형을 작게 하는 금형의 runner 및 gate의 최적배치설계, 사출조건 및 성형조건의 최적화가 가능하게 된다. 이 최적설계에서는 설계 및 해석의 시행착오가 기본이지만, 숙련자의 경험에 기반한 판단이 가해지면 효율적인 최적설계가 가능하다.

그림 2에서 나타낸 바와 같이 spring back량을 CAE 해석에 의해 구하고 그 성형오차를 역으로 성형형상에 부여하는 것에 의해 금형형상을 수정한다. 이 프로세스를 반복하게 되면 spring back량을 고려한 금형설계가 가능하고 성형품형상을 요구형상에 가깝게 하는 것이 가능하게 된다.

그림 3은 CAE에 의한 동판의 프레스 성형의 성형오차해석 결과를 보이고 있다. 그림 (a)는 제품형상(요구형상)을 금형형상으로서 동판을 프레스 성형한 경우의 형상오차를 표시하며, 그 오차량에 대하여 반대만큼 수정하여 금형형상을 수정한다. 그림 (b)는 그 수정금형에 의한 프레스 성형오차를 표시하고 있다. 그림(a)에 표시된 오차량보다는 성형오차가 작아지고 있음을 확인할 수 있다. 그림 (c)는 그림 (b)의 결과를 기반으로 동일한 절차를 행한 결과를 표시하고 있는

데 성형오차가 보다 향상되고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 CAE에 의한 프레스 성형해석을 수행하고 성형오차를 기반으로 금형형상을 수정하는 프로세스를 반복하는 것에 의해 spring back에 의한 형상오차를 보정하는 금형의 설계가 가능하게 된다. 이러한 수정 프로세스에 의해 55%의 영역에서 형상오차가 0.0~0.5 mm의 정도가 얻어지고 있다.

그러나 금형의 관점에서 이산적으로 다른 프레스 성형오차량에 기초하여 금형형상을 수정하는 작업은 용이하지 않다. 싱크·트리 주식회사의 thinkdesign은 global safe modelling 기능을 탑재하여 동기능을 프레스 금형의 spring back 보정에 응용한 Compensator 기능을 제공하고 있다. 동기능은 FEM에 의한 spring back 해석결과를 기초로 하여 금형보정형상을 자동적으로 제공한다.

고품질의 금형설계를 위해서 고도의 경험·know-how가 요구되어 왔지만, CAD와 CAE의 연휴에 의해 시험제작 없이도 가상형상에 의한 시행착오 수정이 가능하게 되었다. 디지털 기술에 의해 경험 및 know-how의 아날로그 기술부족을 보완할 수 있고, 보다 확실한 금형설계가 가능하게 되었다. 자동차 메이커에서는 CAE 해석의 결과를 지식으로 축적함으로써^(4,5) 동일한 해석을 반복수행하지 않는 대책을 세우고 있으며, 디지

털 데이터에 의한 보다 경험·know-how의 공유를 시도하고 있으며 그 효과가 얻어지고 있다.

3. 실 모델과 CAD의 연계

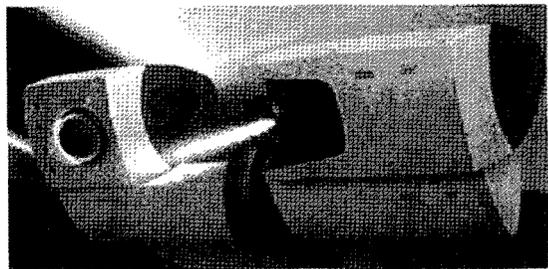
자동차 바디 프레스용 금형의 의장면(意匠面) 형상 CAD 데이터는 reverse engineering에 의해 구축된다. Reverse engineering은 디자이너가 제작한 크레이모델 혹은 목형모델 등의 실 모델의 측정 데이터로부터 CAD 모델을 구축하는 기술로서 1990대에 그 개발이 시작되어 1990년대 후반에서는 실용시스템으로서 등장하여 왔다. 현재에는 자동차 바디, 휴대전화, 가전제품 등의 의장형상의 CAD 모델 구축 툴로서 효과적으로 활용되고 있다. 이와 같은 형상 CAD 모델 구축에 대하여 reverse engineering이 적용된 이유는 디자이너로서는 형상을 감각적으로 만들어 나가는 프로세스가 요망되나, 현재의 CAD 시스템은 그러한 요구에 응하기 힘들고, 또한 복잡한 고품위 의장면 형상의 구축기능이 충분하지 못하다 점 등에 있다.

실 모델은 고밀도의 점군(點群: point group)데이터로서 측정된다. 고밀도의 점군(點群) 데이터를 획득하기 위해서는 광학식 비접촉 3차원 측정기가 사용되어진다. 수년전에는 광학식 비접촉 3차원 측정기의 측정정도가 그리 높지 않아 정도였지만 최근에는 그림 4에서 보이는 바와 같이 측정정도를 갖는 측정기^{6,7)}가 실용화되고 있다.

그림 5에서 보이는 바와 같이 reverse engineering은 실모델에서부터 CAD 모델 구축 프로세스에 사용되지만 금형제작 후에도 적용되는 경우가 있다. 자동차 바디 프레스용 금형 제작에서는 조정 프레스 및 try 프레스의 과정에서 금형과 등판에 맞는 치구의 수정 및 틈새발생대책을 위해 용접에 의한 두께보정 혹은 그라인딩에 의한 연삭이 행해지는 경우가 있고, 최종 금형형상이 CAD 형상과 다른 경우가 있다. 이 경우 최종 금형형상의 CAD 데이터가 존재하지 않게 되기 때문에 reverse engineering에 의해 최종적 금형형상으로부터 CAD 모델을 구축한다.



(a) Breuckmann 社の測定器⁶⁾



(b) Steinbichler 社の測定器⁷⁾

그림 4. 비접촉 고밀도 점군측정기

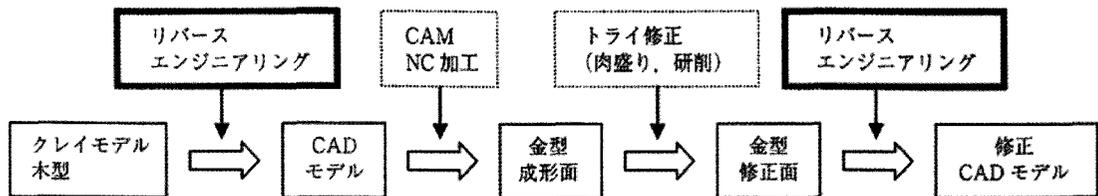


그림 5. 자동차 body 프레스용 금형제작에 적용된 reverse engineering

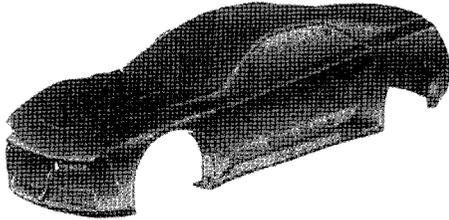


그림 6 Reverse engineering에 의한 CAD 모델 구축 예

그림 6은 reverse engineering에 의한 크레이 모델로부터 CAD 모델을 구축한 예를 보이고 있다.

4. CAD와 CAM의 연계

CAD와 타 시스템의 연휴, 특히 CAD와 CAM의 연휴에 있어서 오래되고도 새로운 문제로서 CAM이 CAD 데이터를 100% 정확히 교환하지 못하는 것을 들 수 있다. CAM이 CAD 데이터를 읽어 들일 시에 관련 기능을 CAM이 인터페이스로서 가지는 경우에는 문제가 발생하지 않는다. 그러나 IGES 및 STEP 등 표준 데이터 형식으로서 데이터를 교환하는 경우에는 형상데이터에 따르는 속성데이터(조밀도, 공차 등)가 누락되는 경우가 있을 뿐만 아니라, 형상데이터 자체도 완전히 교환되지 않는 경우도 있다. 이러한 경우에는 오퍼레이터가 형상의 세부까지 확인해 가면서 데이터 수정을 행하는 크나큰 장애가 발생한다. 이 문제를 해결하기 위해서 CAD와 CAM의 일련화 혹은 연휴강화를 꾀하고 있고, CAD에서 CAM에의 데이터 일관화를 시도하고 있다.

예를 들면 TOPsolid(CAD) - TOPcam(CAM)는 연휴를 강화한 CAD/CAM의 하나이다. 그림 7(a)에 나타난 바와 같이 TOPsolid에서부터 TOPcam으로 데이터가 옮겨질 때 NC 데이터가 생성되어진다면 그림 (b)

에서 표시되는 바와 같이 TOPsolid(CAD)에서 설계형상을 변경하는 경우에 CAM을 작동시키지 않고도 자동적으로 실시간적으로 NC데이터가 자동수정된다. 이 기능은 설계변경 후 NC데이터의 생성을 위해서 가공 조건의 재설정을 필요로 하지 않으므로 숙련자가 질이 높은 NC데이터를 생성해 두었다면 숙련자가 없더라도 설계변경에 따르는 고품질의 NC데이터를 생성하는 것이 가능하게 된다. 사용자가 공부하게 되면 숙련자의 가공 노하우 데이터 베이스 틀로서도 사용 가능하게 된다.

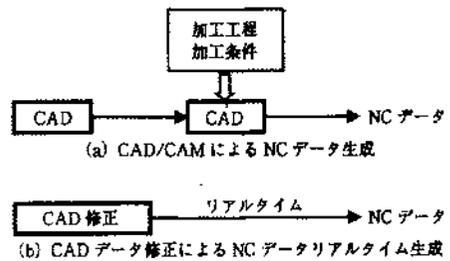


그림 7 CAD와 CAM의 연휴기능 예

또한 CAD와 CAM의 연휴강화에 의한 NC데이터 고품질화 기능으로서, 특징이 있는 가공형상(가공 피쳐라고도 함)에 덧붙여 가공방법 및 가공공정을 노하우로서 디지털데이터로서 등록하고, NC 데이터 생성 시에 이를 활용하는 수법이 도입되고 있다. 이와 같이 가공노하우를 디지털데이터로서 활용하는 기능을 갖는 CAM이 등장되고 있지만, 그와 같은 CAM을 효과적으로 이용하기 위해서는 숙련자의 노하우인 암묵지를 형식지로 바꾸는 것이 필요하다. 이는 매일의 작업에 쫓기는 숙련자에게 있어서는 매우 큰 부하이기 때문에 많은 needs가 있음에도 불구하고 그 이용은 부족하다. 이 과제를 해결하는 하나로써 독립행적법인 산업기술 총합연구소 디지털 모노쯔꾸리(생산)연구센터가 무상 공개하고 있는 가공기술데이터베이스^④을 이용하는 것도



생각할 수 있다.

5. 맺음말

금형은 일본이 생산력을 갖고 있는 제품의 하나이고 세계금형의 45% 이상을 생산한 실적도 갖고 있다. 그 기술의 기반은 숙련자의 기능에 크게 의존하고 있고, 기능의 계승이 과제이라고 말해져 왔다. 물론 기능의 축적과 기능에 기초한 창의공부가 있었다는 점이야말로 세계적으로 타국이 흉내 낼 수 없는 금형을 생산하는 것을 가능하게 하였다.

이제는 모노쓰꾸리 체제가 글로벌화 스피드화에 큰 변화가 오고 있다. 금형은 모노쓰꾸리의 틀이기 때문에 글로벌화와 스피드화의 생산체제에 얽여 들어가지 않으면 그 목적을 달성할 수 없다. 그러한 생산체제 가운데 금형제작기술을 확립시키기 위해서는 이제까지의 기술기반이 이었던 숙련기술인 아날로그 기술에 더하여 CAD/CAM/CAE 등의 디지털 기술의 효과적인 도입이 과제이며, 아날로그기술과 디지털기술을 양 바퀴로 하여 금형제작기술을 견인하여 나아가지 않으면 안된다.

본고에서는 금형기술의 효율화로서 금형의 고품질화를 지원하는 CAD/CAM/CAE 연휴 가운데에서도 특히 주목하는 기술에 대하여 기술하였다. CAD/CAM/CAE 기술은 성숙기에 있다라고 말하는 사람도 있지만, 착실히 고도화하는 단계에 있고 또한 그 기술이 커버하는 영역도 광범위화 되고 있다. 일본의 모노쓰꾸리 체제를 확실히 지원하는 아날로그 기술과 디지털 기술을 융합한 CAD/CAM/CAE 시스템으로 발전되길 바란다.

참고문헌

1. <http://www.3dtimon.com/product/module.html>
(access : 2011년 5월 2일)
2. <http://www.suzuki-kg.com/PUCA.pdf> (access : 2011년 5월 2일)
3. http://www.think3.com/uploads/05/08/08123bjoKnTX88h5doK8uACompensator_j.pdf (access : 2011년 5월 2일)
4. 福元賢二 외 3명 : Knowledge management 적용과 효과점진. 型技術, 25, 12 (2010) 52-53
5. 프레스 금형설계품질과 효율화를 양립하는 금형 knowledge 설계 사례. 型技術, 25, 12 (2010) 54-55
6. http://www.kenautomation.com/breuckmann/breuckmann_00.html
(access : 2011년 5월 2일)
7. <http://www.tbts.co.jp/product/noncontact/ccd01.html>
(access : 2011년 5월 2일)
8. http://www.monozukuvu.org/db_dmrc/index.html
(access : 2011년 5월 2일)

<<일본정밀공학회지. Vol.77, No.7, 2011>>



본 기사는 한국기계연구원의 박성환 편집위원이 “일본정밀공학회지” 2011년 7월호 pp.636-639을 번역한 것으로 일본정밀공학회지의 연락처는 다음과 같다.

- 주소 : 102-0073 東京都千代田区九段北 1-5-9(九段誠和Building 2F)
- 전화 : +81-3-5226-5191 / FAX : +81-3-5226-5192
- URL : <http://www.jspe.or.jp>