Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 13, No. 3 pp. 1014-1020, 2012

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.3.1014

프로엔지니어(Pro/E) 기반 금형설계 지원 소프트웨어 툴 개발

유호영[1*]
[1]울산과학대학교 디지털기계학부

Development of A Software Tool for Supporting Metal Mold Design Based on The Pro/E CAD System

Ho-Young You[1*]
[1]**School of Digital Mechanics, Ulsan College**

요 약 본 논문은 3D 캐드모델을 기반으로 작업자의 수작업 및 설계오류를 최소화하는 금형설계 지원 툴 개발에 초점을 맞춘다. 금형설계 지원범위는 자동차 산업의 프레스 금형설계 공정에서 필수 요소인 선직 곡면 생성 및 옵셋, 패딩력 자동산출, 수정사항을 반영하는 재료표 자동출력, 홀 가공데이터 자동 산출, 원소재 크기 출력 및 검증 등 이다. 개발한 시스템을 주요 범용 3D 모델러 중 하나인 프로엔지니어의 확장 메뉴형태로 탑재하기 위하여 프로엔지니어 API와 Visual C++를 사용하여 개발하였다.

Abstract This paper focuses on the development of a supporting S/W tool that can minimize designer's manual operations and errors in metal mold design based on a 3D solid model. The scope in this work includes the offset surface modeling, the computation of the padding force, the generation of material table, the decision of hole position, the estimation of the size of raw material, which are the essential parts of press die and mold design in automotive industry. The proposed system has been developed as a plug-in type using Pro/E API and Visual C++ in order to put the system into the menu functions of Pro/E which is one major 3D CAD systems in the manufacturing industry.

Key Words : Metal Mold Design, 3 Dimensional Solid Model, Design Automation, Pro/E API

1. 서론

오늘날 제품의 다양화와 고급화에 대한 소비자의 요구가 증대함에 따라 고품질의 신제품을 빠르게 개발하는 것은 기업이 시장에서 살아남기 위한 핵심 동력이 되었다. 제품의 개발주기를 단축시키기 위해서는 각각의 개발단계에서 발생하는 작업자의 수작업을 최소화하고 자동화 할 필요가 있다. 다양한 개발단계 중에서 금형의 설계 및 제작은 대량생산을 전제로 하는 제조업에서 제품개발기간에 큰 영향을 끼치는 필수적인 공정이다 [1].

금형설계단계에서 검증 및 확인을 설계자의 판단과 수동 체크에 의해서 수행하게 되면 확률적으로 따라오는 불량을 완전히 방지 할 수가 없고, 이는 고(高)비용을 동반하는 설계변경을 야기한다. 따라서 설계데이터의 확인 및 검증을 수행하는 표준화된 방법론을 개발하고 이를 S/W 프로그램으로 시스템에 넣어서 자동 또는 반자동으로 수행하여 설계오류 및 품질 저하를 방지해야 할 필요성이 있다.

2D 도면 시스템을 기반하는 전통적인 금형 설계 및 제작은 평면적인 설계정보만을 가지고 있기 때문에 가공을 위한 작업내용을 충분히 전달하지 못하는 경우가 많을 뿐더러 작업자가 형상 및 도면에 대해 충분히 이해해야만 가공을 진행할 수 있다[2-4].

전통적인 금형 설계 프로세스의 비효율성을 줄이고자

본 논문은 2010년 중소기업청의 산학연 공동기술개발 지원사업에 의해 연구되었음.
*교신저자 : Ho-Young You
Tel: +82-10-3882-7098 e-mail: hyyou@uc.ac.kr
접수일 12년 02월 09일 수정일 12년 03월 05일 게재확정일 12년 03월 08일

3D CAD 모델과 NC가공 기반의 금형 설계 및 제작에 대한 연구가 지속적으로 진행되어왔다. 이러한 연구들은 국외의 주요 CAD 모델러 업체를 중심으로 수행되어 범용 3D CAD시스템에 선택사양의 금형 설계 전용 모듈 형태로 개발, 판매되고 있다[5].

국외에서 개발한 시스템들은 고(高)비용이라는 점과 더불어 국내업체 설계방법 및 부품표준의 상이함에 따른 문제점을 가진다[5]. 이에 따라, 국내에서는 대학연구실을 중심으로 국내 설계환경에 적합한 3D CAD 모델 기반 금형 설계에 관한 연구가 수행되어왔다. 하지만 이들 국내연구의 대부분은 옵셋 및 선직 곡면 생성 방법[2][6], 자료구조[7-8] 등의 요소기술에 초점을 맞추고 있기 때문에, CAD 시스템 개발 기술력을 갖춘 대형 업체가 아닌 현업의 중소업체에서 직접 적용하기 힘든 점이 있다.

이와 달리, 국내의 몇몇 연구자들에 의해 상용 CAD 시스템을 기반한 금형 설계 전용 시스템을 개발한 사례가 있다. 이상헌 등[5]은 Unigraphics의 UG/Open API(application programming interface)를 사용하고, 순차적 모델링 방법이 아닌 모듈(module)기반으로 설계변경이 용이한 사출금형설계용 CAD시스템을 제안하였다. 신장순 등[9] 역시 범용 CAD 시스템인 Unigraphics를 기반으로 금형부품의 DB화를 통한 금형 설계 지원 시스템을 개발하였다. 하지만, 이들 연구는 Unigraphics 시스템을 사용하지 않는 산업체에서 도입하기 어려운 점이 있다.

본 연구에서는 국내 제조업체에서 사용하는 주요 3D 캐드 시스템 중의 하나인 프로엔지니어(Pro/E)를 기반으로 하는 프레스 금형설계 지원 S/W 툴의 개발에 초점을 둔다. 금형산업 관련 업체의 요구 및 현업 프로세스의 문제점의 분석을 통해 금형설계 지원 S/W로서 필요한 기능들을 도출한다. 또한, 구현에 있어서 프로엔지니어의 개발 API인 프로 툴킷(pro-tool kit)을 사용하여 프로엔지니어 자체의 기능을 구체화하고 메뉴화하여, 산업현장에서 실질적으로 활용 가능한 툴을 개발한다.

2. 개발 범위

국내 자동차 금형관련 산업체의 설계 및 제작 프로세스에 대한 분석과 애로기술 설문을 통하여 다음과 같은 현장의 요구사항 및 문제점을 도출할 수 있었다.

- 현업에서 발생하는 불량 및 품질저하는 대부분 작업자의 실수에 기인하고, 단순 반복 작업 일수록 불량 발생 확률이 높다.
- 국부적인 설계변경이 발생 할 경우, 금형 제작의 모든 단계에서 수정 사항이 반영되어야 한다.
- 각각의 단계에서 설계가 타당하게 이루어 졌는지, 오류가 없는지 검증하는 데에 많은 시간 소요가 발생한다.
- 설계 전용 시스템에서 모든 금형 설계를 지원 해 줄 수 없으므로 CAD 시스템의 범용 기능을 이용하여 만든 CAD 요소들을 전용 시스템에서 받아들여 설계에 이용할 수 있도록 해야 한다[5].

이러한 요구 사항을 만족시키기 위하여 본 연구에서는 금형설계 및 제작 절차에 따라 다음과 같은 필수 요소기능들을 설정하였다. 각 기술 개발에 대한 상세 분석내용은 다음과 같다.

1) 옵셋(off-set) 곡면 생성 기술

금형설계를 위해서는 캐드툴 상호간 데이터 교환은 필연적이나 IGES나 STEP등으로 형식변환 할 경우 형상공차의 차이로 인해 면과 면 사이에 틈(gap)이 발생하여 3D 형상 생성시 오차를 발생시킨다. 형상면을 스플라인(spline) 면으로 새롭게 생성하고 연결부의 갭(gap)을 제거하여 원하는 선직 곡면을 생성하고 옵셋(off-set)하는 기능이 요구된다.

2) 패딩력(padding force) 자동 산출 기능

패딩력 F는 식 (1)과 같이 작업구간의 길이와 작업 내용에 의해 결정된다.

$$F = l \cdot t \cdot \sigma_a \cdot Z \qquad (1)$$

여기서, l은 플랜지 작업 길이를, t는 패널두께를, σa는 패널허용강도, Z는 가공계수 이다.

전통적인 방법에서는 작업구간의 길이를 계산하기위해 각 곡선의 길이를 파악하고 그것을 합하여 수작업으로 패딩력을 계산하는데, 현업에서 이 작업은 오류가 발생할 확률이 매우 높다. 곡선을 화면에서 연속적으로 선택하고 자동으로 길이를 계산하여 필요한 압력원의 수량을 자동으로 계산하여 압력원 수량 선정의 과부족 문제를 해결하는 기능이 요구된다.

3) 재료표 자동 출력 및 검증 기술

설계된 데이터를 기반으로 금형을 제작하기 위해서는 각 부품별 재료정보를 요구한다. 자동화를 위해 각 화면상의 모델 트리구간을 선택하면 설계된 3D 부품의 파라미터를 찾아서 원하는 형식의 엑셀(MS Exel) 시트로 재료표를 자동 출력하는 기능을 요구한다. 이때 부품의 수

정이나 추가시 화면상에서 일어난 구간을 선택하면 자동으로 정보가 수정 되어야 한다.

4) 홀 가공 데이터의 자동 산출 기능

종래의 금형제작 프로세스에서는 설계된 금형데이터를 기반으로 작업자가 수작업으로 가공데이터를 산출하여 입력하였다. 이 작업은 큰 작업소요시간 더불어 작업자의 실수를 유발시키므로, 금형설계가 완료되면 솔리드 데이터를 가공 데이터를 산출하여 자동으로 수치표를 생성할 필요가 있다.

5) 소재 크기 자동출력 및 검증

설계자동화를 위하여 금형설계가 완료된 솔리드 모델로부터 좌표 또는 에지(edgy) 값의 최대와 최소점을 탐색하여 소재크기를 자동으로 측정하여 작업에 요구되는 재료 크기를 도출해야 한다.

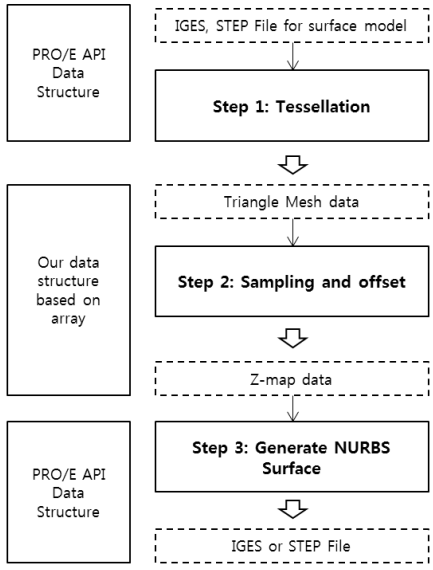
6) 코어 컷의 자동화 기술

금형제작에는 코어(core)를 많이 생성하게 되는데 코어가 배치될 면만 선택 가능하도록 함으로서 코어 작업이 손쉽게 이루어지도록 코어의 컷(cut) 후보가 자동생성되어야 한다.

3. 데이터처리 파이프라인

프로엔지니어를 포함한 주요 CAD시스템에서 각각 제공하는 API들은 3D 모델의 데이터 변환, 모델의 구성요소 검색 ,생성, 선택 그리고 구성 요소의 길이, 면적, 부피 해석 등의 다양한 기능에 대한 기본 함수들을 제공한다. 하지만, API에서 제공하는 기본 함수만을 가지고 3D 캐드모델에 대응하는 다이페이스(die face)를 설계 하는 것은 틈(gap) 발생과 같은 심각한 문제를 야기 시킨다 [2]. 이러한 문제를 해결하기 위해 김용민 [2]의 접근법과 유사하게 3D 캐드모델의 표면을 샘플링하여 점데이터들을 획득하고 점데이터로부터 NURBS 곡면을 재생성하는 방법을 사용한다. 그림 1은 다이페이스 모델링 전체 과정과 사용된 데이터구조를 보여준다.

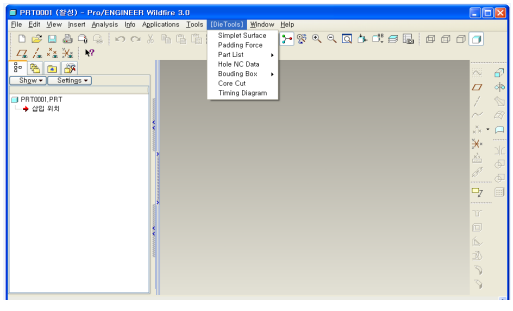
그림 1의 1단계에서 IGES나 STEP 등의 표준 파일 포멧을 갖는 3D 곡면모델을 PRO/E API에서 제공하는 점, 법선, 면의 정보로 이루어진 삼각망 모델로 근사화 한다. 2단계에서는 획득된 삼각망 모델의 표면으로부터 일정간격으로 점데이터를 샘플링 및 옵셋하여 Z-map 데이터를 획득한다. 최종적으로 3단계에서 Z-map 데이터를 기반으로 PRO/E API에서 제공하는 NUBS 곡면 패치들을 생성시킴으로써 PRO/E API에서 다룰 수 있는 데이터구조를 가지는 곡면모델을 획득한다. 옵셋곡면 생성 이외의 기능에 대해서는 PRO/E API에서 제공하는 데이터 구조를 그대로 사용하여 개발하였다.



[그림 1] 옵셋(off-set)곡면 생성과정
[Fig. 1] Overall flow of the surface offsetting process

4. 개발 결과

본 연구에서 개발한 금형지원 S/W 툴은 프로엔지니어 Wildfire 3.0, 프로툴킷 Wildfire 3.0, Visual C++ 2005 기반으로 구현하였다. 서론에서 언급한 바와 같이, 현업에서의 적용성을 높이기 위해 상용 CAD 시스템에서 일체형으로 구동 가능하도록 구현하였다. 그림 2는 개발한 S/W 툴이 모듈형태로써 Pro/E CAD 시스템의 메뉴로 탑재된 초기화면을 보여준다.



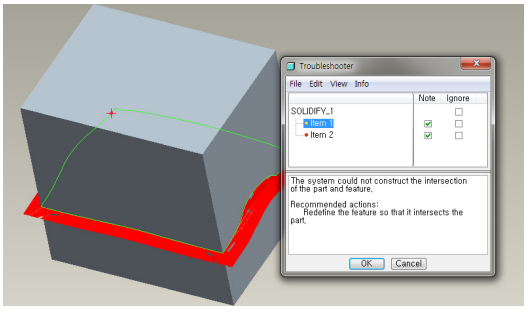
[그림 2] 개발한 프로그램의 초기 메뉴 화면
[Fig. 2] The main menu frame of the developed system

4.1 옵셋곡면 생성 기술 개발 결과

3장에서 언급한 바와 같이 형상면을 삼각망으로 테슬레이션(tessellation) 시켜주는 프로툴킷의 함수를 사용하여 생성 삼각망에서 점데이터를 Z-map형태로 추출한다. Z-map의 생성과 생성된 Z-map 데이터로부터 심플면의 생성은 오버샘플링(oversampling) 접근 방법을 적용하였다. Z-map은 투명면의 두 축인 u, v 좌표축에 대해 0.2mm 간격으로 생성하고, 4x4 창(window)에 대해 한 점씩 샘플링하여 여러 개의 영역을 가진 스플라인 곡면 패치를 생성 시켰다. 생성된 스플라인 곡면끼리 제어점(control point)을 공유시킴으로서 곡면과 곡면의 연결을 G1 연속성(continuity)을 갖도록 하였다.

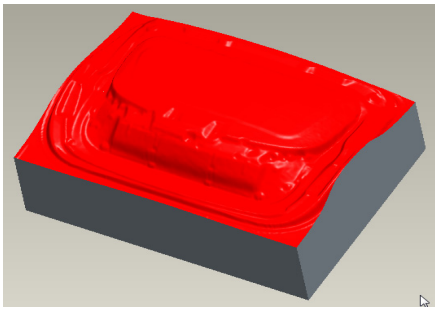
[그림 3] 옵셋곡면 생성 전의 갭 발생상태
[Fig. 3] A directly reconstructed surface having gaps and holes without surface offsetting process

그림 3은 옵셋곡면을 생성하지 않은 단계에서의 발생한 갭 발생 상태를 보여주고, 그림 4는 갭이 발생한 상태에서 금형모델 생성시 개발한 시스템에서 알람(alarm)을 나타낸다.



[그림 4] 갭이 있는 면으로 모델 생성시 실패한 화면
[Fig. 4] A popped-up window that notifies the failure of surface generation due to gaps and holes

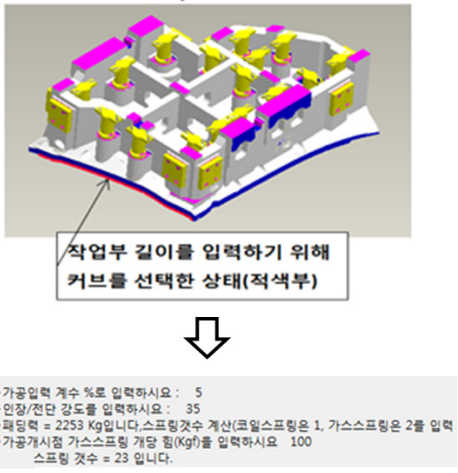
그림 5는 개발한 시스템에서 제안하는 방법으로 심플면을 생성하여 얻은 금형 솔리드 모델을 보여준다.



[그림 5] 갭이 없는 선직곡면으로 솔리드 모델 생성
[Fig. 5] Offset NURBS surface generated from Z-map data

4.2 패팅력 자동산출 기술 개발 결과

그림 6은 개발한 시스템에서의 금형제작을 위한 패딩력 산출과 적정 압력원(스프링) 개수 도출결과 예를 보여준다. 제안하는 시스템에서는 작업부의 곡선을 마우스기반의 사용자 조작으로 선택하고, 프로툴킷의 내부 함수를 사용하여 커브의 길이를 구한다.



[그림 6] 적정 압력원(스프링) 개수 도출 과정
[Fig. 6] A result for estimating the optimal number of the force sources

사용자 입력으로 패널두께, 패널허용강도, 가공계수를 설정하여 식(1) 을 사용하여 패딩력이 연산된다. 최종적으로, 연산된 패딩력으로부터 다음의 식 (2)를 사용하여 압력원(스프링)의 적정 수량 N을 결정한다.

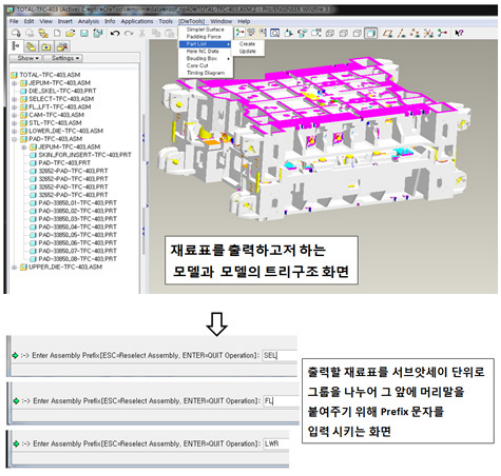
$$N = \frac{F}{S \cdot P} + 1 \qquad (2)$$

여기서, F는 패딩력, S는 Kgf단위의 스프링 발생력, P는 스프링 타입에 대한 보상계수이다. 보상계수 P는 코일

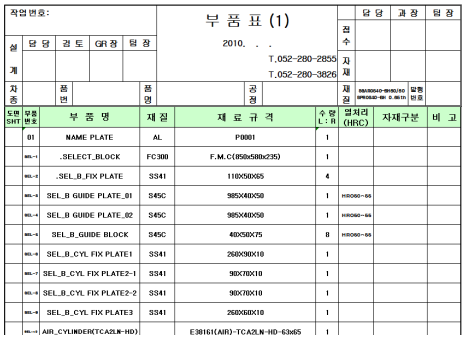
스프링을 사용하는 경우 1의 값을 설정하고, 가스 스프링일 경우 2의 값을 설정한다.

4.3 재료표 출력 기술 개발 결과

재료표 출력기능은 출력하고자 하는 모델을 모델트리(model tree)에서 선택하는 형태의 UI(user interface)를 구성하였다. 현업에서의 요구사항에 따라 모델트리 상에서 서브 앗세이(Sub Ass'y)를 선택하여 프리픽스(Prefix)를 입력 가능하도록 하였고, 입력된 프리픽스는 각 부품의 파라메터와 연동하여 지정한 엑셀 양식으로 품번 앞에 붙어서 그룹이 구분되도록 하였다. 개발한 시스템에서 엑셀 재료표와 Pro/E의 모델이 연동되어 모델이 업데이트 되면 재료표가 자동 수정이 된다. 그림 7은 재료표 출력 과정을 보여주고, 그림 8은 개발한 시스템에서 출력된 재료표 예를 보여준다.



[그림 7] 재료표 출력 과정
[Fig. 7] The process for listing parts and their materials



부 품 표 (1)

2010. . .

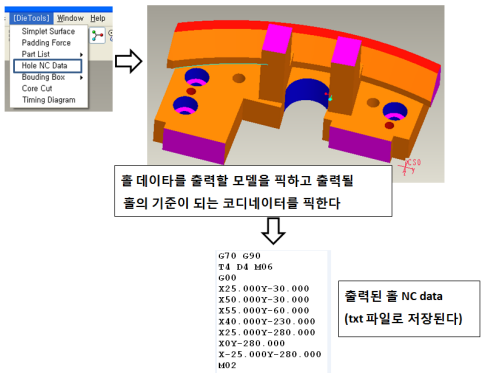
T.052-280-2855
T.052-280-3826

도면 SHT	부품 번호	부 품 명	재 질	재 료 규 격	수량 L : R	열처리 (HRC)	재구분	비 고
	01	NAME PLATE	AL	P0001	1			
	MA-1	.SELECT_BLOCK	FC300	F.M.C(850x580x235)	1			
	MA-2	.SEL_B_FIX PLATE	SS41	110X50X65	4			
	MA-3	SEL_B GUIDE PLATE_01	S45C	985X40X50	1	HRC60~65		
	MA-4	SEL_B GUIDE PLATE_02	S45C	985X40X50	1	HRC60~65		
	MA-5	SEL_B_GUIDE BLOCK	S45C	40X50X75	8	HRC60~65		
	MA-6	SEL_B_CYL FIX PLATE1	SS41	260X90X10	1			
	MA-7	SEL_B_CYL FIX PLATE2-1	SS41	90X70X10	1			
	MA-8	SEL_B_CYL FIX PLATE2-2	SS41	90X70X10	1			
	MA-9	SEL_B_CYL FIX PLATE3	SS41	260X60X10	1			
	MA-10	AIR_CYLINDER(TCA2LN-HD)		E3016(AIR)-TCA2LN-HD-63x65	1			

[그림 8] 개발한 시스템에서 자동 출력된 재료표
[Fig. 8] A result of the automatically listed part-material table

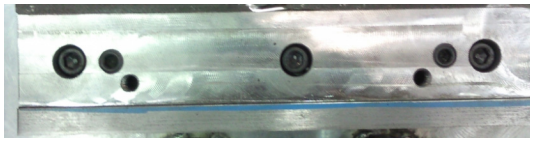
4.4 스틸 홀 가공 데이터 자동 산출 결과

그림 9는 생성된 금형모델로부터 홀 가공 데이터의 산출과정 예을 보여준다.



[그림 9] 홀 가공데이터 산출 과정
[Fig. 9] The process of hole-data generation

전통적인 금형 제작 프로세스에서는 CAD 시스템 화면상에서 기준점에서 홀 거리를 측정하고, 이 데이터를 기반으로 수동의 홀작업을 진행하였다. 개발한 시스템에서는 홀 설계 기준을 구속조건으로 주고 좌표계 기준이 되는 데이텀(datum)을 선택하는 방식으로 구현 하였다. 이로 인해 전통적인 방법에서는 측정실수로 인한 불량이 다수 발생했으나 개발한 시스템을 현업에 적용하였을 때, 홀가공에 있어서 불량률은 6-σ 수준으로 향상되었다. 그림 10은 개발한 시스템에서 산출한 홀 가공데이터를 기반으로 홀을 제작한 예를 보여준다.

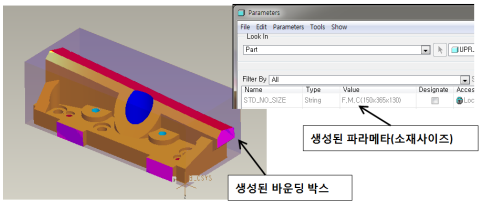


[그림 10] 자동 출력된 데이터로 홀 가공한 모습
[Fig. 10] An example of a mold manufactured according to the hole-data

4.5 소재 크기 자동출력 결과

금형의 부품은 다양한 형상으로 이루어져 있으나, 이를 가공하기 위한 원소재는 직육면체 형태의 소재로 절단되어 공급한다. 따라서 주어진 부품을 가공하기 위해서는 가공전 원소재의 크기를 구해야 하는데 이는 주어진 부품을 감싸는 바운딩 박스(bounding box)를 구하는 문제가 된다. 소재 사이즈는 금형 모델의 최대 꼭지점과 최소 꼭지점을 선택하여 기준 좌표계를 생성한다. 설정된 기준

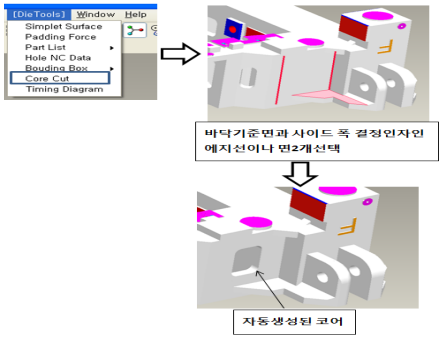
좌표계를 기준으로 금형 모델의 바운딩 박스를 생성하고, 생성된 바운딩 박스의 체적을 소재 크기로 출력하는 방식으로 구현하였다. 그림 11은 개발한 시스템에서의 소재 크기 출력 결과 예를 보여준다.



[그림 11] 바운딩 박스 생성 예
[Fig. 11] An example of the bounding box generation

4.6 코어컷의 자동 생성

그림 12는 제안하는 시스템에서의 코어컷 자동 생성 예를 보여 준다. 일반적으로 코어의 형상은 단순하여 수작업으로 하는 것과 큰 차이는 없으나 현업의 금형제작에 있어서 코어의 수량이 많기 때문에 단순 반복 작업의 지루함과 공수를 줄이는 효과가 있었다.



[그림 12] 코어컷 자동 생성
[Fig. 12] An example of the core-cut process

5. 결 론

자동차 금형설계지원을 위한 소프트웨어 툴 개발에 대해 다음과 같은 결과를 얻게 되었다.

1) 3D CAD 시스템과 금형설계지원 시스템을 하나의 시스템에서 구현할 경우, 산업체에서는 시스템 추가구매 및 유지보수 그리고 작업자 추가교육 등의 비용부담을 해소하게 된다. 본 연구에서는 대표적 범용 캐드 시스템 중 하나인 프로엔지니어의 API와 Visual C++를 이용하여 프로엔지니어 자체의 기능을 개발 및 메뉴화 하였다.
   제안하는 지원 툴은 옵셋 곡면 생성 기술, 패딩력 자동 산출 기능, 재료표 자동출력 수정 사항 반영 기술 등 금형설계 및 제작에 있어서 요구되는 일련의 기능들을 작업자의 수작업과 오류를 최소화 하도록 개발된 금형설계 전용 CAD 시스템이다.
2) 전통적인 방법과 제안하는 시스템의 성능을 정량적으로 비교하는 것은 매우 힘든 일이지만, 개발한 시스템을 현업에 적용해본 결과 설계변경을 반영하는 재료표 자동출력, 홀 가공데이터 자동 산출, 코어컷 생성 기능 등의 단순반복 작업에 있어서 높은 효과를 보였다. 이는 작업자의 실수가 발생할 확률이 높은 단순반복 작업을 설계된 3D 데이터를 활용하여 최소화 시켰기 때문으로 사료된다.
3) 제안하는 시스템은 국내 자동차 금형관련 업체들의 요구사항 및 현업 프로세스를 분석하여 개발하였다. 중공업, 가전제품 등 보다 다양한 산업의 금형설계 지원을 위해서는 표준화된 방법 개발 및 시스템 모듈화에 관한 향후 연구를 요한다.

References

[1] S. H. Lee et al., “Development of a Runner and Gate Design System for Injection Mold Design based on Unigraphics”, Proc. of KSPE, pp.716-719, October 2001.
[2] YongMin Kim et al., “Development of Offset and Ruled Surface Modeling Methods for Three-Dimensional Die Design”, Proc. of KSAE, pp.1963-1967, June 2006.
[3] Kye-Kwang Chio, “Study on die plate design and machining using the 3D CAD/CAM system”, J. of the KAIS, Vol. 7, No. 4, pp.550-553, 2006.
[4] Kye-Kwang Choi et al., “A Study on the Automation of Manufacturing and Production Process for Press Die”, J. of the KAIS, Vol. 11, No. 11, pp.4108-4114, 2010.
[5] S. H. Lee et al., “An Unigraphics-Based CAD System for Injection Mold Design”, Proc. C of KSME, pp.257-262, Juen 2001.
[6] Dong-Jin Yoo, "Offsetting of Triangular Net Using Distance Field," J. of the KSPE, Vol. 24, No. 9, pp.148-156, 2007.
[7] Byounghyun Yoo et al., "Boolean Operation of Non-manifold Model with the Data Structure of Selective Storage," J. of Society of CAD/CAM Engineers, Vol. 5, No. 4, pp.293-300, 2000.
[8] S. H. Lee et al., "Development of Injection Mold Design

System for Pseudo-Solid Part Models," J. of Society of CAD/CAM Engineers, Vol. 10, No. 3, pp.151-161, 2005.

[9] J. S. Shin et al., “Development of The Die & Mould-Design System for The Productivity Increase of Die & Mould," Trans. of Material Processing, Vol. 14, No. 3, pp.230-244, 2005.

유 호 영(Ho-Young You) **[정회원]**

- 1985년 2월 : 부산대학교 기계설계학과 (기계공학학사)
- 1988년 2월 : 울산대학교 대학원 기계공학과 (기계공학석사)
- 1998년 8월 : 울산대학교 대학원 기계공학과 (기계공학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 울산과학대학교 디지털기계학부 부교수

<관심분야>
금형설계자동화, 고등소성가공