

CATIA API를 활용한 프레스금형 트림스틸 설계 자동화 S/W 모듈 개발

김강연
울산과학기술대학교 기계공학부

Development of A Software Tool for Automatic Trim Steel Design of Press Die Using CATIA API

Gang-Yeon Kim

School of Mechanical Engineering, Ulsan College

요약 본 논문은 자동차 프레스 절단 금형의 설계 자동화를 위한 설계 지원 툴 개발에 관한 연구를 다룬다. 현업에서 진행하는 자동차 패널 절단 공정 금형설계 프로세스를 분석하고 패턴을 가지는 반복 작업들을 그룹화 하여 자동화 모듈을 개발하였다. 제안하는 시스템은 절단금형 스틸파트를 자동 생성하는 템플릿 모델과 자동 생성된 절단금형 스틸파트를 자동 배치하는 UI 기능의 두 가지 모듈로 구성 하였다. 템플릿 모델은 트림스틸 설계에 활용되는 유형들을 고려하여 4가지 종류로 개발하였으며, 자동생성시 오류발생을 제로화 하기 위해 벡터 내적과 외적을 활용하여 설계기준이 되는 점, 선, 곡선, 면, 곡면의 방향을 체크 하고 바로잡는 방향성 제어 관계식 룰을 구현 하였다. 개발한 시스템을 대표 상용 CAD시스템 중 하나인 CATIA V5의 확장 메뉴형태로 탑재하기 위하여 CATIA Knowledgware, CATIA SDK, Visual C++를 사용하여 개발하였다. 제안하는 시스템을 다양한 자동차 외관 패널에 적용한 결과 전통적인 방법에 비해 약 74%의 시간감축 효과를 얻을 수 있었다.

Abstract This paper focuses on the development of a supporting S/W tool for the automated design of an automotive press trim die. To define the die design process based on automation, we analyze the press die design process of the current industry and group repetitive works in the 3D modeling process. The proposed system consists of two modules, namely the template models of the trim steel parts and UI function for their auto-positioning. Four kinds of template models are developed to adapt to various situations and the rules of the interaction formula which are used for checking and correcting the directions of the datum point, datum curve, datum plane are implemented to eliminate errors. The system was developed using CATIA Knowledgware, CAA(CATIA SDK) and Visual C++, in order for it to function as a plug-in module of CATIA V5, which is one of the major 3D CAD systems in the manufacturing industry. The developed system was tested by applying it to various panels of current automobiles and the results showed that it reduces the time-cost by 74% compared to the traditional method.

Keywords : Automatic Design, CAA, CATIA V5R20, Press Die Design, Template model

1. 서론

3차원 설계기술은 실물과 같은 3차원 모델을 통해 제작이전 초기 개발단계에서 문제점을 빠르게 파악하여 개선함으로써 제품개발비용을 최소화 한다. 자동차 제조

산업의 대표적인 핵심기술 중 하나인 프레스 금형기술은 이러한 3차원 설계로의 전환을 이끈 대표적인 분야이다.

하지만 급속한 IT기술의 발전과 더불어 제품 디자인의 다양화와 고급화에 대한 사회적 요구가 증가함에 따라 제품 개발기간의 단축을 요구한다. 이에 따라 기업이

본 논문은 2014년 울산과학기술대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행되었음.

*Corresponding Author : Gang-Yeon Kim(Ulsan College)

Tel: +82-52-279-3107 email: kykim@uc.ac.kr

Received January 26, 2017

Revised February 20, 2017

Accepted March 10, 2017

Published March 31, 2017

시장에서 살아남기 위해서는 단순히 설계 데이터의 3차원화를 넘어서서 개발 프로세스의 혁신을 강요받고 있다 [1]. 금형설계에서 3D 모델링은 설계자의 판단에 따른 수작업으로 진행될 뿐 아니라 홀생성 등과 같은 많은 단순 반복 작업을 포함한다. 이러한 작업자의 직관적인 판단과 단순 반복 작업은 확률적으로 설계불량을 야기한다. 통상 설계불량은 제작 불량에 비해 고비용을 동반하므로 설계데이터의 오류를 점검하고 수정하는 표준화된 방법론을 개발하고 이를 프로그래밍화 하여 자동 또는 반자동으로 설계오류 및 품질저하를 방지할 필요성이 있다 [2, 3].

전통적인 수작업 기반 3차원 금형 설계 프로세스의 비효율성을 줄이고 설계 오류를 없애고자 금형설계 자동화에 대한 연구가 지속적으로 수행되어 왔다 [4]. 이러한 연구들은 현장 경험자의 노하우를 반영하여 철판의 스탬핑(stamping) 과정에서의 재료 성형을 정확히 시뮬레이션 하기 위해 경험을 기초로 한 설계지원 시스템(rule based system), 지식을 기반으로 한 전문가 시스템(knowledge based expert system) 수학적 모델을 표현 하는 시스템 형태로 구축하였다. 하지만 국외에서 개발한 시스템들은 국내업체 설계방법 및 부품표준의 상이함에 직접적인 도입에 한계가 있다 [5].

또한, 국외의 대표 CAD 시스템 개발업체를 중심으로 범용 3D CAD시스템의 선택사양인 금형 설계 지원 모듈 형태로 개발, 판매되고 있다 [6]. 국외에서 개발된 대부분의 설계지원 모듈들은 직접적으로 금형 설계데이터를 자동 생성하는 기술이 아니라 CAD 시스템에 사용자 입력 프로그래밍 기능을 제공하는 설계자동화 인프라 기술이다. CATIA CAD 시스템의 경우 CATIA SDK(Software Development Kit)인 CAA와 템플릿 모델(Template Model) 생성을 지원하는 CATIA Knowledgeware가 대표적이다 [7].

국내연구의 경우 대학연구실 중심으로 수행해 왔고 많은 연구들이 육색 곡면 생성 방법 [8, 9], 자료구조 [10] 등의 요소기술에 초점을 맞추고 있다.

상용 3D CAD 시스템에 적용 가능한 금형설계 지원 시스템을 수행한 국내 연구사례가 있다. 이상현 등 [11]은 기존 순차적 모델링 프로세스가 아닌 설계변경이 용이한 모듈기반 사출금형 설계 지원 CAD 시스템 개발을 연구 하였다. 신장순 등 [12]은 금형부품의 DB화를 통한 금형 설계 지원 시스템을 개발하였다.

국내 대표적인 자동차 제조업체인 H사와 K사의 경우 제품 설계, 금형 설계, 해석, NC가공데이터에 이르기까지 모든 CAD S/W를 일원화하여 이중 CAD S/W사용에 따른 문제점 해결 비용을 최소화 하기 위해 2012년 6월부터 CATIA V5를 표준 플랫폼으로 지정 하였다 [13]. 박주삼 등 [14]은 CATIA API를 활용하여 DB기반 사출금형 설계지원 시스템을 제안 하였다. 노영환 [13]은 프레스 금형 공정 중 굽힘금형 설계자동화를 위한 CATIA Knowledgeware기반 상향식(bottom-up) 타입 설계지원 시스템을 제안하였다.

오늘날 자동차 외관 프레스 금형공정은 원자재(철판)를 패널모양으로 성형하는 굽힘 공정, 필요 없는 철판부분을 잘라내는 절단 공정, 플랜지 접기 및 홀가공을 하는 상세가공 공정, 이전 공정에서 완성하지 못한 형상을 보완하는 마무리 공정의 4단계가 일반적이다. 본 연구에서는 자동차 프레스 금형설계 중 절단공정의 상형 금형에 초점을 맞추어 CATIA V5 CAD 시스템에 이식 가능한 설계자동화 모듈을 개발하고 자한다. 이를 위해, 절단공정 금형설계 프로세스를 분석하고 패턴을 가지는 반복 작업들을 그룹화 하여 자동화 모듈을 개발한다.

2. 절단공정 금형 설계 프로세스

자동차 프레스 절단공정의 상형금형은 절단이 발생하는 트림스틸(trim steel)과 트림스틸을 지지하는 상형다이(upper die)로 구성된다. 트림스틸은 여러 개의 파트금형으로 구성되고 현업에서 파트금형을 흔히 트림스틸파트(trim steel part) 또는 스틸파트라 하고 트림스틸파트의 조합으로 구성된 전체 트림스틸을 트림스틸제품(trim steel product)라고 지칭한다. 트림스틸 금형의 설계는 다음과 같은 절차로 이루어 진다.

- 1) 고객사가 제공하는 제품표면 형상정보로부터 die layout을 설정한다. 참고로 die layout을 현업에서는 흔히 스켈파트 작업(skeleton parting)이라 명칭한다.
- 2) 설정된 die layout에 따라 트림스틸 Part를 순차적으로 생성하여 트림스틸 Product를 완성한다.
- 3) 설계된 트림스틸 product는 고객사의 검토 또는 구조해석결과에 따라 트림스틸 Part의 개수 및 크기 변경에 따른 재설계과정을 거쳐서 최종 확정된다.

Die layout은 트림커브(trim curve)를 따라 몇 개의 트림스틸 Part로 구성할 것인가와 캠금형 여부에 따라 트림스틸 Part가 놓이는 part base plane, trim curve, 잉여철판을 조각내는 scrap cutter curve 들로 구성된다. Fig. 1은 3개의 캠금형을 포함하는 10개의 트림스틸 Part로 나눈 상형금형 layout 예이다.

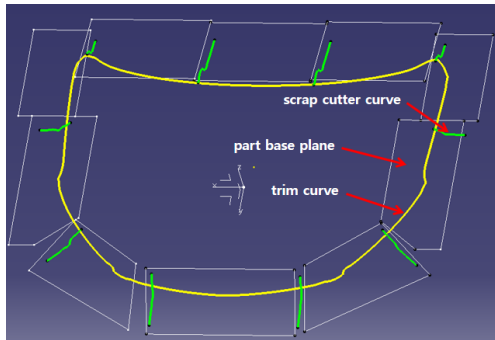


Fig. 1. An example of trim upper die layouts

본 연구에서 제안하는 트림스틸 생성 자동화의 전체 프로세스는 Fig. 2와 같다. CATIA Knowledgeware기반으로 트림스틸 Part를 자동 생성하는 템플릿 모델을 개발하고 CATIA SDK를 기반으로 트림스틸 Product를 생성하기 위한 트림스틸 Part 자동배치 모듈을 개발한다.

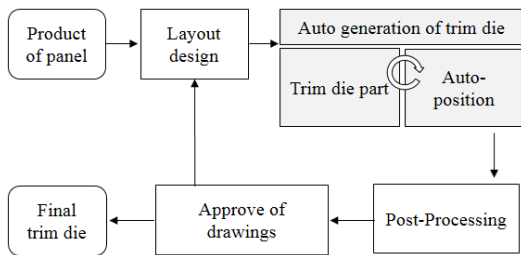


Fig. 2. The proposed overall process for efficient trim steel design

3. 모델자동생성을 위한 템플릿 모델

CATIA 템플릿 모델이란, 3D모델을 생성하는 모든 입력요소들이 파라미터화 하여 입력 파라미터를 변경하면 이에 대응하여 3D모델의 형상이 자동변경 및 생성되는 설계자동화의 핵심 기반기술이다. Fig. 3은 입력 파라미터인 제품곡면 변경에 따른 금형 자동생성 예를 보여준다.

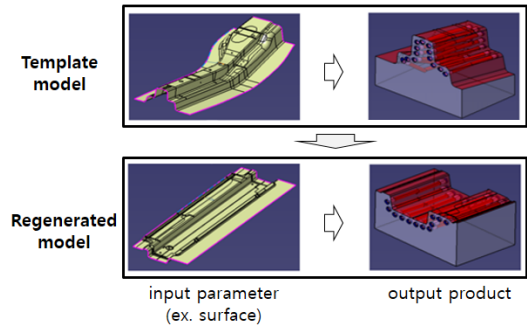


Fig. 3. An example of design automation based on CATIA template models

3.1 절단(trim)금형 파트 템플릿 모델

Fig. 1에 보이는 제품외곽 trim curve를 따라서 트림스틸 Part가 구역별 배치되고 구역별 영역(part base plan)의 크기와 형상, trim curve 구역별 형상, scrap curve 형상에 따라 cutter(인부)의 형상 및 크기가 변형되어야 한다. 트림스틸 Part의 배치 방법에 따라 잉여철판을 조각내어 분할하는 scrap cutter가 필요 없는 경우, 좌측 또는 우측 한쪽만 필요한 경우, 양쪽 모두 필요한 경우가 발생한다. 본 연구에서는 다음과 같이 4가지 타입으로 템플릿 모델을 개발하였다. Fig. 4는 개발한 4가지 타입의 트림스틸 part의 템플릿 모델을 보여준다.

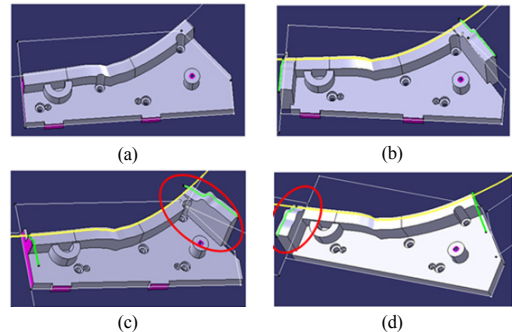


Fig. 4. Our template models of trim steel part
(a) simple trim cutter (b) trim cutter with both scrap cutters (c) trim cutter with right side scrap cutter (d) trim cutter with left side scrap cutter

Fig. 5는 템플릿 모델의 기본형인 simple trim cutter(Fig. 4(a))의 구조를 보여준다. 템플릿 모델의 트리구조는 trim curve를 활용하여 part base plan의 잉여형상 제거, part base plan 법선벡터 방향제어(rule 적용), part base plate생성, trim curve 방향제어 (rule 적용), trim curve를 따라서 Main INBU생성, Spring Flanger

Bush생성, Bolt 및 Dowel Pin생성, BackUp Plate 생성, 상형다이로 정보전달 Publish 생성의 순서로 구성된다.

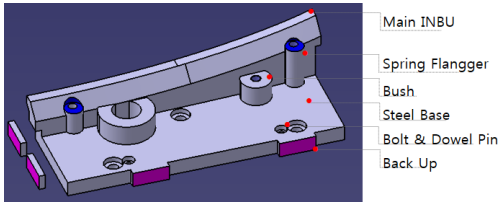


Fig. 5. Structure of our simple trim cutter

3.2 관계식(relations)기반 방향성/기준점 제어

관계식이란 CAD모델의 파라미터들 간의 상관관계를 정의하는 방법들의 총칭으로 이에 속하는 CATIA기능으로는 formula, rules, checks, reactions, design table 등이 있다[13]. CATIA 템플릿 모델을 활용하여 3D 모델 자동생성시 발생하는 대부분의 오류는 입력 파라미터로 활용되는 로컬좌표계, 곡선(직선), 곡면(면)의 방향이 뒤집혀서 발생한다. (Fig. 6 참조)

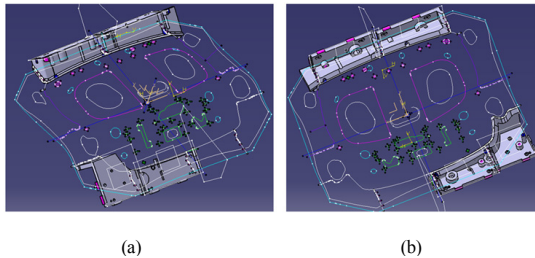


Fig. 6. An example of errors of template model
(a) incorrect case (b) correct case

국내 대표 자동차 제조사인 H사와 K사는 글로벌 좌표계 원점이 금형의 중심으로 설계한다. 본 연구에서는 금형의 중심에 글로벌좌표계 원점이 있다는 가정 하에 템플릿 모델의 입력데이터인 die layout의 scrap cutter curve, trim curve, part base plan의 방향성 및 기준점을 다음과 같이 정의하였다. (Fig 1. 참조)

- 1) scrap cutter curve 방향: 글로벌좌표계 원점에서 멀어지는 방향
- 2) trim curve 방향: 스탬핑 방향 기준 반시계방향(CCW)
- 3) part base plan 방향: 스탬핑 방향 기준 반시계방향(CCW)
- 4) part base plan 기준점: 스탬핑 방향 기준으로 part

base plan에서 글로벌좌표계 원점을 바라 봤을 때 글로벌좌표계 원점에 가장 먼 선분의 원편 모서리 점 여기서, 상형금형의 경우 스탬핑 방향은 글로벌좌표계 기준 (-)Z축이다. 캠금형은 글로벌좌표계 XY평면에 투영하여 방향을 잡는다.

작업자가 layout 설계시 템플릿 모델의 입력데이터의 방향설정에 오류를 범할 수 있으므로 템플릿 모델 상에서 입력데이터의 방향을 자동 확인/수정하는 기능이 요구된다. 이를 위해 벡터의 내적(inner product)과 외적(cross product)을 활용 하여 CATIA 매크로 언어기반으로 scrap cutter curve 방향제어, trim curve 방향 제어, part base plan 방향 제어, part base plan 기준점 제어의 4가지 관계식 rule을 구현하였다.

4. 템플릿 모델 자동배치 모듈

개발된 템플릿 모델을 활용하여 전체 트림스틸 Product를 생성하기 위해서는 어셈블리 모드에서 각 템플릿 모델을 불러와서 die layout의 각 트림스틸 Part 금형위치를 지정하여 순차적으로 배치하여야 한다. 이러한 자동배치 기술은 툴 기반 템플릿 모델 생성기술, 모델의 형상, 배치 위치, 방향에 관계없이 설계 데이터의 기준이 동일하게 적용되기 위한 방향성 제어기술, 설계자 편의성이 높은 UI기술 뿐만아니라 최종 어셈블리 모델 파일에 추가하고자 하는 트림스틸 Part모델의 정보가 안정적으로 이식되어야 한다. CATIA V5 CAD 시스템에서는 추가 구매 가능한 PKT(1)라이브러리 사용시 템플릿 모델을 불러와서 최종 어셈블리 모델 데이터에 이식 가능하나 다음의 문제점이 있다.

첫째, 고비용을 들여 추가 라이브러리를 구매해야 함
둘째, 직관적이지 않고 편의성이 낮은 CATIA 시스템의 UI를 사용해야함

이러한 문제로 본 연구에서는 고비용의 추가 라이브러리 없이 개발한 템플릿 모델을 사용자가 직관적으로 자동배치 하기위해 Visual C++와 CAA(CATIA SDK)를 활용하여 자동배치 모듈 UI를 개발하였다. 개발한 4종의 템플릿 모델을 CATIA 시스템에서 인식하기 위하여 각 템플릿 모델의 형상을 분석하고 입력파라미터를 추출하여 결과형상을 생성하는 UDF(user define feature)과 이를 연동하는 UI를 개발하였다.



Fig. 7. UI of our automatic positioning module

Fig 7.은 자동배치를 위해 개발한 UI를 보여준다. 개발한 UI 모듈의 아이콘을 클릭하여 파라미터입력 다이얼로그 박스를 띄운다. 다이얼로그 박스 상의 ‘type항목’에서 생성하고자 하는 트림커터 타입을 지정 후 입력 요소별로 화면상의 해당 파트를 클릭하면 입력된다. 이후 다이얼로그 박스의 “OK”버튼을 누르면 해당 영역에 트림스틸 Part가 자동 생성 및 배치된다.

5. 실험결과

제안하는 방법의 성능을 평가하기 위해 다양한 자동차 외관 패널의 트림스틸 product 생성에 적용해 보았다. Fig 8.은 Fig 1.에 보이는 layout에 대해 절단금형 product를 생성한 결과 예이다. 자동생성과정은 유튜브(U-tube) 웹사이트에서 동영상으로 확인 가능하다[15].

Table 1는 다양한 자동차의 테일게이트(tail gate), 후드(hood), 루프(roof) 패널에 적용하여 전통적인 설계방법과의 공수 비교 결과를 보여준다.

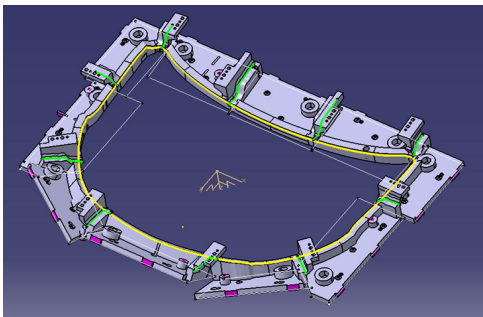


Fig. 8. A trim steel product obtained by the proposed method

Table 1에서 method #1 (the proposed)는 수작업으로 진행되는 layout 설계와 개발한 시스템을 적용한 결과이고, method #2 (the proposed)는 스프링 플랜저, 볼트 위치 조정 등의 후처리 작업이 포함된 공수이다. 자동화 과정은 실제 10분~20분 정도 소요되고 die layout 작업이 40분~60분, 후처리작업이 60분~90분 정도 소요되었다. Traditional method는 국내 대표 자동차 제조업체 H사의 금형설계 1차 협력사인 기혼엔지니어링(주)에서 설계경력 4년 정도의 직원이 해당 모델을 설계시 소요하는 공수에 대해 설문 응답한 값이다. 제안하는 방법(method #2)은 전통적인 방법에 비해 평균 약 74% 정도의 공수절감을 보인다. 실험에서 검토에 의한 layout재설계 과정은 제외 하였으므로 실제 적용시 공수절감은 더 클 것으로 판단된다.

Table 1. Experimental results

| | tail gate | hood | roof |
|-----------------------------|-----------|------|------|
| method #1 (the proposed) | 1.5H | 1H | 1H |
| method #2 (the proposed) | 3H | 2H | 2H |
| traditional method | 12H | 8H | 7H |

6. 결론

본 연구에서는 절단공정의 트림스틸 설계에 초점을 맞추어 현업에서 이루어지는 설계 프로세스를 분석하여 반복작업 또는 패턴이 있는 설계과정을 모듈화 하고 설계자의 개입을 최소화 할 수 있는 방안에 관해 사례연구를 수행하여 다음과 같은 개발결과물과 실험결과를 얻었다.

- 1) 절단공정 금형의 트림스틸 Part 금형을 자동생성 가능한 CATIA V5 R20 knowledgeger기반 템플릿 모델을 개발하였다.
- 2) CATIA CAA와 Visual C++를 기반으로 트림스틸 Part 배치하여 트림스틸 Product를 생성 가능한 자동배치 UI모듈을 개발하였다.
- 3) 실험결과로써, 설계공수는 74% 이상 단축되었고 설계오류가 없는 동일한 품질의 설계 데이터를 획득할 수 있었다

향후 연구로 급힘공정, 플랜지 접기 및 홀가공을 하는 상세가공공정에 대한 설계자동화를 추진할 예정이다. 국내 금형산업이 경쟁력을 제고하기 위해서는 제조기술 뿐만 아니라 최근 선진국형 금형기술로 일컫는 S/W기술(공정기술, 설계자동화, CAE 연계기술)의 연구 활성화가 필요하다고 판단된다.

References

- [1] S. Danjou, P. Koehler, "Challenges for Design Management," Computer-Aided Design & Applications, vol. 4, pp. 109-116, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1080/16864360.2007.10738531>
- [2] Kye-Kwang Choi, Sei-Hwan Kim, "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.
DOI: <https://doi.org/10.5762/kais.2010.11.11.4108>
- [3] Ho-Young You, "Development of A Software Tool for Supporting Metal Mold Design Based on The Pro/E CAD System," J. of the KAIS, vol. 13, no. 3, pp. 1014-1020, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.5762/kais.2012.13.3.1014>
- [4] V. Naranje, S. Kumar, "AI Applications to Metal Stamping Die Design - A Review," International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronics and Manufacturing Engineering, vol. 4, no. 8, pp. 721-727, 2010.
- [5] S. H. Lee, K.-S. Lee, K.-B. Kim, C.-J Kim, J.-W. Jang, S. C. Kim, S. Y. Kim, Y. M. Huh, J. S. Yang, "An Unigraphics-Based CAD System for Injection Mold Design," Proc. of KSME, pp. 257-262, Juen 2001.
- [6] V. Naranje, S. Kumar, "Expert Systems with Applications," Expert Systems with Applications, vol. 41, pp. 1419-1431, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.08.041>
- [7] Dassault systems CATIA V5R20 Online Documents, Dassault Systems, 2009, Available From: http://cатиadoc.free.fr/online/CATIA_P3_default.htm
- [8] YongMin Kim, Sang Hun Lee, Kunwoo Lee, "Development of Offset and Ruled Surface Modeling Methods for Three-Dimensional Die Design," Proc. of KSAE, pp. 1963-1967, June 2006.
- [9] Dong-Jin Yoo, "Offsetting of Triangular Net Using Distance Field," J. of the KSPE, vol. 24, no. 9, pp. 148-156, 2007.
- [10] Byounghyun Yoo, S. H. Han, "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.
- [11] S. H. Lee, S. L. Lim, K.-S. Lee, "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.
- [12] J. S. Shin, Y. J. Kim, Y. M. Huh, G. S. Yoon., "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.
- [13] Roh Young-Hwan, Comparative Study on the Automatic Press Die Design Supporting System, pp. 1-69, Ajou University Master Degree Dissertation, 2014.
- [14] Joo Sam Park, Jae Hyun Kim, Jung Whan Park, "A Study on the 3D Injection Mold Design Using CATIA API," J. of KSPE, vol. 20, no. 12, December, 2003.
- [15] Gang Yeon Kim, Design Automation for Press Die of Trim Process CATIA V5, YouTube, 2017, Available From: <https://youtu.be/cKGsYcuYob8>

김 강 연(Gang-Yeon Kim)

[정회원]



- 2002년 8월 : 광주과학기술원 기전공학과 (공학석사)
- 2011년 2월 : 광주과학기술원 기전공학과 (공학박사)
- 2011년 1월 ~ 2011년 8월 : LG전자 생산기술원 선임연구원
- 2011년 9월 ~ 현재 : 울산과학기술대학교 기계공학부 조교수

<관심분야>

머신비전, CAD/CAM, 설비운용S/W개발