

업무 프로세스 분석을 통한 PCB 용 CAM to CAE 인터페이스

송일환*, 신수철*, 오대웅**, 김민성***, 한순홍****

A CAM to CAE Interface for PCB based on Analysis of the Design Process

Ilhwan Song*, Suchul Shin*, Daewoong Oh**, Minsung Kim*** and Soonhung Han****

ABSTRACT

For an engineering analysis to predict a bending of PCB by heat, geometry information from CAM data should be transferred to CAE system. But because this work is done by people, not computer, in PCB manufacturing company, it takes too much time, makes many errors and a result is unreliable. To solve these problems, we analyze a working process of company, then develop a CAM to CAE interface to translate a CAM data into a data to be input into a CAE system automatically.

Key words : CAM, CAE, PCB, System integration

1. 서 론

최근 여러 산업 분야 전반에 걸쳐 제품의 최종 디자인을 결정하는 데에 공학적 해석의 결과를 반영하는 것이 필수적인 과정이 되었다. 이는 PCB 분야에서도 마찬가지인데, PCB를 생산하는 과정 중 열을 쬐는 공정에서 PCB가 휘는 현상이 발생하기 때문이다. 휨 현상을 최소화하기 위한 최적의 디자인을 만들어 내기 위해서는 여러 조건의 실험을 수행할 수도 있지만, 이는 시간적, 자원적 낭비가 너무 심한 작업이기 때문에 공학적 해석으로 이를 대체할 수 있다.

그러나 공학적 해석을 수행하는 것 역시 간단한 작업은 아니다. 공학적 해석을 수행하기 위해서는 형상이나 물성치 등의 정보들이 정확하게 입력되는 것이 필요한데, 이들 정보를 얻기 위한 과정이 단순하지 않다. PCB 제조산업의 특성상 생산 공정은 고객의 주문에서 시작되는데, 이 때에 고객이 제공하는 정보는

CAM정보이다. 이 CAM 정보를 생산디자인 팀에서 생산 공정에 맞게 가공한 뒤, 해석팀으로 보내진다.

해석 팀에서는 이 CAM 정보만을 가지고 공학적 해석을 위한 정보들을 생성해야 하는데, 이 때 주어지는 정보가 너무 적을 뿐 아니라 그 정보의 형태도 해석에 필요한 형태와 너무 상이하기 때문에, 이를 해석 수행에 알맞은 형태의 정보로 가공하는 데에도 많은 시간이 소비된다.

CAM 정보로부터 형상 정보를 생성하기 위해서는 2D CAD와 3D CAD시스템을 거쳐 해석프로그램 형태에 맞는 형상 정보로 바꿔주는 과정을 거쳐야 한다. 또 물성치 등의 해석에 필요한 여러 정보들을 생성하고 입력하는 데에도 많은 시간이 소비된다. 여기에 해석 시간과 이를 최종 디자인에 반영하는 시간까지 더해지면 생산을 시작하기 이전부터 너무 많은 시간을 소비하게 된다. 이렇게 되면 제품을 뭉 수 있는 한 빠른 시일 내에 받기 원하는 고객의 요구를 충족시키는 게 점점 어려워진다.

이토록 생산설계에 걸리는 시간들을 줄이기 위해서는 무엇보다 해석 데이터 생성 시간을 줄여야 한다. 본 연구에서는 CAM 데이터에서 해석데이터를 얻어 내기까지의 업무 프로세스를 분석하고, 그 분석을 통해 프로세스를 단순화할 수 있는 방안을 제시한다. 또한 그 방안을 적용한 인터페이스 프로그램을 개발하

*학생회원, 한국과학기술원 기계공학과

** (주)부품디비

***삼성전기 기관사업부 simulation 팀

****중신회원, 한국과학기술원 기계공학과

- 논문투고일: 2010. 08. 09

- 논문수정일: 2010. 10. 16

- 심사완료일: 2010. 10. 20

고, 실제 PCB 생산 현장에 적용하여 그 효과를 분석한다.

1.1 거버 파일

거버 파일은 PCB(Printed Circuit Board) 생산 기계에 의해 사용되는 파일로, traces나 vias, lands 같은 기계적 연결관계를 나타내는데 사용된다. 또한, 이 파일은 drilling이나 milling 정보도 포함하고 있다.

이 파일들은 PCB를 나타내는 프로그램들에 의해 만들어지고, 적당한 기계를 갖추고 있는 생산 공장으로 보내진다. 현재는 RS-274X 포맷이 가장 널리 사용되고 있다.

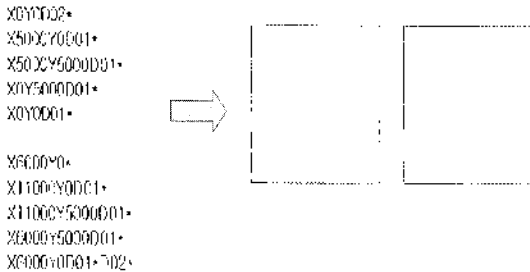


Fig. 1. 거버 파일의 내부 구조.

Fig. 1은 거버 파일 예제와 이를 그림으로 옮겨 본 것이다. 실제 거버 파일엔 각 라인마다 공구의 이동경로와 동작지시만이 존재하지 오른쪽 그림과 같은 형상은 존재하지 않는다.

1.2 PCB

PCB는 컴퓨터의 메인보드나 디지털 카메라나 MP3 등에서 흔히 볼 수 있는 초록색깔의 칩을 올릴 수 있는 보드를 말한다. 그러나 실제 생산에 있어서는 흔히 볼 수 있는 모양과는 약간의 차이가 있는데, 생산단계에서의 PCB는 그림과 같다.

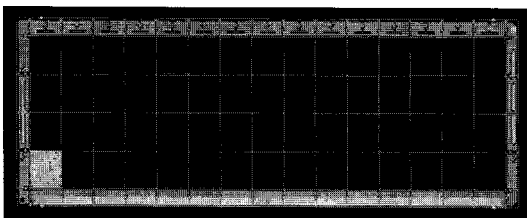


Fig. 2. PCB의 전면 형상.

Fig. 2에서 보듯 많은 사각형으로 이루어져 있는 판과 같은 모양인데, 이 판 자체가 다시 여러 영역으로 나뉜다.

화면에 보이는 여러 개의 사각형영역이 Unit이라 불리는 영역으로 칩이 올라가게 될 가장 중요한 부분이다. 그 다음으로는 Dummy라 불리는 영역으로 사각형의 외곽 부를 뜻한다. 이 영역은 실제로는 버려지는 부분이나 생산단계에서는 중요한 역할을 한다. 그 다음으로 Moldgate란 영역이 있는데, 위의 그림에는 나타나지 않지만, 구리가 삽입되는 부분으로 해석에 많은 영향을 미치는 부분이기도 하다. 그 외에도 Sawstreet 등의 여러 영역이 제품에 따라 추가되기도 한다.

Board는 각 층별로 다양한 물질로 구성되어 있는데, 그 중 가장 핵심적인 물질은 Cu이다. 이 Cu가 들어가는 층의 개수에 따라 전체 층의 개수가 바뀌는데, Cu층을 n개라 하면 전체 층의 개수는 2n+1개가 된다. Cu외에도 Sr, CCL, PPG 등의 재료들이 사용되면, 이들 재료들은 자체도 합성 물질이기 때문에 종류가 다양하다. Cu 개수에 따른 물질 구성은 Fig. 3과 같다.

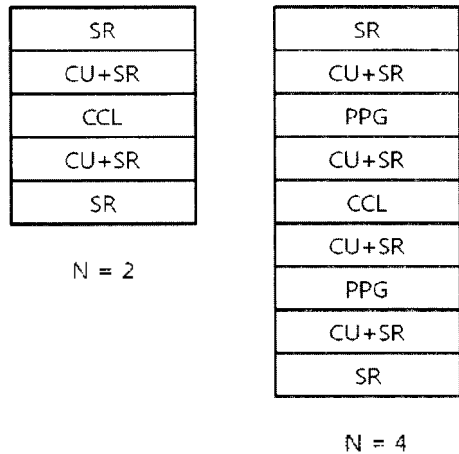


Fig. 3. PCB의 층별 물질 구성.

그림상에서는 n=2, 4일 때만 나타내었지만 n=10까지 존재하며 n의 값은 항상 짝수여야 한다.

2. AS-IS업무 프로세스 분석

본 장에서는 실제 PCB를 생산하는 회사에서 현재 이루어지고 있는 업무 프로세스를 자세히 살펴보고, 이를 상세히 분석하도록 하겠다.



Fig. 4. 현재의 업무 프로세스.

Fig. 4는 현장에서 이루어지고 있는 업무의 프로세스를 사용 프로그램을 기준으로 정리해 본 것이다. 우선 전자 제품 생산 업체인 고객으로부터 의뢰받은 CAM 정보를 생산 현장에 맞게 수정을 하게 되고, 수정된 CAM 정보는 뷰어를 통해 2D CAD 정보로 변환된다. 다시 이를 3D CAD 프로그램에서 읽어 들여 3D 정보로 바꾸어 주고, 최종적으로 해석을 수행할 CAE 프로그램에 입력되게 된다.

그러나 이러한 복잡한 과정을 거치면서 얻게 되는 정보는 형상 정보뿐이며, 해석에 필요한 그 외의 다른 정보들을 얻기 위해서는 여러 가지 새로운 업무가 추가되어야 한다.

2.1 파일의 변환

PCB 제품의 CAM 형상 정보들을 살펴보면, 복잡하게 얽혀있는 형상이 존재함을 알 수 있다. PCB 제품의 특성상 Chip이 얹혀질 Unit이란 부분에 매우 복잡한 회로가 존재하기 때문에 그러하다. Unit 외에 다른 부분에도 복잡한 형상이 존재하는데, 실제 이러한 형상을 그대로 3D CAD로 변환하였을 시에는 그 파일의 용량이 매우 커질 뿐 아니라, 형상자체가 생성 불가능한 경우가 생긴다. 또한 형상을 유지한 채 해석 프로그램에 전달이 되었다 하더라도, 형상의 복잡성 때문에 해석자체가 수행되지 못할 것이다.

이러한 문제들이 존재하기 때문에, 현재는 2D CAD에서 3D CAD로 변환하는 단계에서 형상을 단순화 해주는 작업을 수행하고 있다. 형상단순화에는 요소들을 삭제하는 방법과 새로운 레이어에 새로운 형상을 생성하는 방법, 두 가지가 있는데 CAM 정보의 형상 요소들의 수가 너무 많고 복잡하기 때문에 새로이 형상을 만들어주는 방법이 현재 많이 쓰이고 있다. 그러나 이 방법에도 문제가 존재한다. 새로운 형상을 생성할 시에는 반드시 기존 형상정보를 기반으로 해서 생성하여야 하는데, 이를 위해 현재는 마네킹에 그림을 그리듯이 새로운 레이어에 기존 2D 그림을 덧대어서 형상을 그려주는 작업을 수행하고 있다. 그러나 이 작업이 사람의 눈으로 집작을 통해 이루어지고 있기 때문에 오랜 시간이 걸릴 뿐 아니라, 닫히지 않는 사각형이나 교차하는 선 등의 많은 에러들이 이 작업 중에 발생한다. 한번 에러가 발생하면 에러를 찾

고 수정하는 데에도 많은 시간이 걸리기 때문에 여러 수정에만도 많은 시간이 허비되고 있다.

2.2 타 팀과의 업무 공조

공학 해석에는 형상 정보 외에도 해석에 따라 물성치, 경계조건 등의 많은 정보가 요구된다. 하지만 제품의 의뢰에 따라서 이러한 정보들이 미세하게 다르기 때문에, 모든 제품의 해석마다 새로운 정보들을 적용해주어야 한다. 그러나 이러한 정보들은 회사라는 조직의 특성 상, 한 곳에서만 처리하지 못하고, 여러 특화된 곳에서 자신들에게 특화된 정보만을 처리하게 된다.

예를 들면, PCB가 주로 복합 물질로 이루어져 있기 때문에 그 물질의 비율 구성이 중요 정보 중 하나인데, 이 정보는 제품 설계 팀에서 보유하게 된다. 해석을 수행하는 입장에서는 이러한 정보들이 매우 중요한데, 설계 팀과의 업무 공조에 있어서 많은 어려움이 존재한다.

2.3 해석 프로그램 상에서의 작업

앞 절에서의 작업을 거쳐, 최종 작업인 해석프로그램에 정보들을 입력하는 작업이 남지만, 역시 어려움은 여전히 존재한다. 앞서서도 설명 하였듯이 PCB에는 여러 층이 존재하고 있고, 각 층은 여러 물질로 이루어져 있거나, 빈 공간과 함께 존재하고 있기 때문에, 이러한 상황들을 반영한 새로운 값의 물성치가 필요하다. 이를 Effective 물성치라고 부르는데, 각 층에 따라, 또 영역에 따라 그 값들도 달라진다.

예를 들어, PCB가 9개의 층과 5개의 영역으로 이루어져 있다고 하면, 총 45개의 Effective 물성치가 필요하다. 이를 각 물질의 고유 물성치와 설계 팀으로부터 입수한 물질의 비율을 이용해서 사람이 직접 계산을 하고 입력하는 데, 이 과정에 상당히 많은 시간이 소비된다. 또한 이 과정에서 계산오류나 입력 오류 등의 에러들이 빈번히 발생하는데, 이를 해석 프로그램 자체가 확인할 방법은 없기 때문에 입력된 물성치에 대한 검사 또한 사람을 통해 이루어진다. 결국 많은 인력과 시간이 낭비되면서도 100%의 정확도를 자신할 수 없는 다는 사실이 현재의 문제점이다.

3. TO-BE 새로운 프로세스의 제안

2장에서 CAM 정보를 이용해 해석에 필요한 정보를 얻어 내는 과정과 그 과정 중 시간을 많이 소비하게 되는 요인에 대해 분석해 보았다. 그 결과, 형상을

뽑아 내는 과정과 Effective 물성 치라는 대표 물성치의 값을 구해주는 과정, 그리고 해석 프로그램에 정보들을 입력해 주는 과정에서 많은 시간이 소비됨을 알 수 있었다. 이 장에서는 이러한 문제점에 따른 해결책들을 제시하고, 이들을 하나로 합친 새로운 프로세스를 제안하도록 하였다.

3.1 Sketch editor

앞장에서도 설명하였듯이 CAM 내의 형상 정보가 너무 복잡하기 때문에, 이를 단순화 해 주는 작업이 필요하다. 그 과정 중에 Viewer와 2D CAD를 거치게 되는데, 이 두 가지 단계를 한 번에 처리할 수 있는 sketch editor를 제안한다. Editor가 기본적으로 읽어 들일 수 있는 파일은 GERBER 파일이고, PCB의 형상이 나타나면 자동적으로 새로운 레이어가 생성되어 그 위에 단순화된 PCB의 형상을 그릴 수 있다.

이 editor에는 여러 방지를 위한 새로운 기능을 추가 하였다. Osnap이라 불리는 기능으로써, snap과 다른 것은 고정 점이 아닌 기존의 존재하는 요소들의 점을 참조하여 새로운 점을 생성한다는 것이다. 이 기능을 추가 함으로써 이 전 장에서 언급하였던 어려움들을 제거할 수 있다.

또한 CAM 정보와 2D CAD 정보들을 분석하여, PCB를 그려줄 때 쓰이는 기능들을 정리하였고, 이에 해당되는 기능들만을 본 editor에 추가하였다. 2D CAD 시스템 중에서 사용자가 이 본 작업에 사용하는 함수들은 그리 많지 않기 때문에, 이러한 작업을 통해 사용자의 편의를 증대 시킬 수 있다.

3.2 Effective 물성 치의 계산

앞장에서 설명 하였듯이, PCB의 어떤 영역은 두 가지의 복합 물질로 이루어져 있고, 이 혼합 비율이 각 영역마다 다르기 때문에, 정확한 해석을 위해서는 각 영역을 대표할 수 있는 effective 물성 치가 필요하다.

Effective 물성치는 각 영역의 구성 물질과 그 비율을 곱해주어서 계산하는 그 계산식은 다음과 같다.

$$MP_Ef = MP_Cu * Po_Cu + Mp_Other * Po_other$$

위 식에서 MP_Ef는 Effective 물성치를 의미하고, MP_Cu와 Po_Cu는 각각 구리의 고유 물성치와 구성 비율을 의미한다. Mp_Other과 Po_other는 구리 이외의 다른 물질의 고유 물성치와 구성 비율을 의미한다.

본 연구에서는 물질 비율의 정보를 획득하기 위해 pixel 계산 방법을 도입하였다. 4.1에서의 CAM 뷰어에서 각 물질들이 차지하고 있는 pixel의 비율을 계산하

여 물질의 비율을 유추해내는 방법이다. 또한 각각의 영역의 Effective 물성 치를 일일이 계산하는 것은 너무나도 방대하고 복잡한 작업이기 때문에, 내부 메모리에 미리 저장해 놓은 고유 물성정보와 자동적으로 계산이 되도록 하였고, 이를 통해 많은 계산, 입력 오류를 줄일 수 있었다.

3.3 해석 프로그램과의 연동

본 연구에서는 최종적으로 해석을 수행하게 될 프로그램인 해석 프로그램과의 연동을 위해 Script 언어를 사용하였다. 이 Script 언어에는 형상 정보뿐 아니라, 그 외에 필요한 정보를 해석프로그램에 직접 입력이 되도록 하는 것인데, 특히 시간지연과 오류의 주요 원인이었던, effective 물성 치 및 경계 조건의 입력이 주요 기능이다.

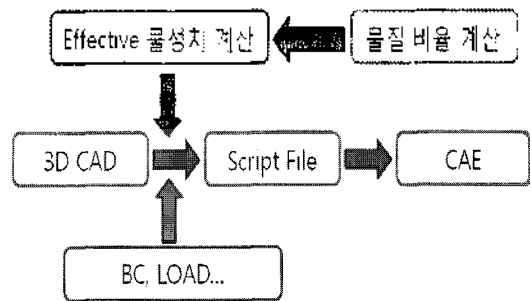


Fig. 5. 필요기능 별 정리.

Fig. 5는 작업 프로세스를 기능별로 도식화 한 것으로서 물질 비율 과정과 합쳐져 자동적으로 effective 물성 치가 계산되어 Script 언어에 입력되는 형태로 프로세스를 정의하였다.

4. 구현과 실험

본 장에서는 앞의 장에서 정의 해 놓은 개선 사항들을 하나로 모은 개선 업무 프로세스를 제시하고, 그에 맞게 개발된 본 연구의 결과물인 Kicad 프로그램에 대해 설명하도록 하겠다.

Fig. 6은 3장에서 정의한 기능들을 정리해서 하나의 프로세스 흐름으로 나타낸 것이다. Open-sourced gerber viewer인 Kicad를 기반으로 해서 각 기능을 추가해 나가는 작업을 하였다. 외부에서 생성된 거버 파일을 보여주고 이를 바탕으로 하여 Sketch를 완성한 뒤, 그 외에 필요한 정보들을 입력하도록 하는 방식으로 프로그램을 구성하였다.

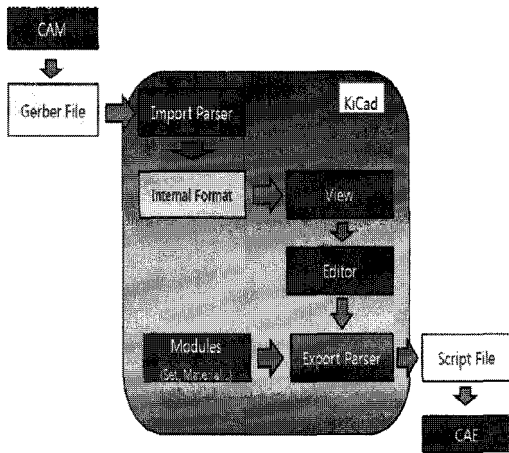


Fig. 6. 개선 업무 프로세스.

Fig. 7은 개발한 Sketch Editor를 이용해 그림을 완성한 것이다. 이와 같은 그림을 위해서는 Line, Rectangle, Circle, Arc, Pattern의 함수가 필요하며, 수정을 위해 delete, undo 기능도 추가하였다.

Fig 8은 모든 작업이 끝난 뒤, Script 파일을 통하여 타겟 해석프로그램인 ABAQUS로 데이터를 전달한 뒤, 출력한 화면이다. ABAQUS는 세계적으로 널리 쓰이는 상업용 공학 해석 프로그램의 하나로써, 구조, 유동, 열 해석등 다양한 분야에 걸쳐 사용되고 있으며, Python 형식의 Script 파일을 사용하고 있다. 그림에서 보듯, 화면 창을 통해 스케치 정보가 제대로 전달되었음을 확인할 수 있고, 왼쪽의 메뉴 트리를 통해서 물성 치 등의 정보들이 제대로 전달되었음을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 연구를 통해 개발된 프로그램을 세계적인 PCB 생산 업체 중 하나인 삼성전기 기관사업 팀에 제공하였고, 약 두 달간에 걸쳐 실제 업무에 적용을 하여 본 프로그램의 효과를 알아보았다.

5.1 기존 해석과의 차이

우선 제일 중요한 점이 기존해석과의 차이점이 없어야 한다는 것이다. 업무 프로세스상 같은 정보들을 이용하여 해석 정보를 구성하기 때문에 그 차이가 없어야 함은 자명한 것이다.

Fig. 9는 기존의 해석 결과와 본 프로그램을 사용하여 샘플 모델의 해석을 수행해 본 결과중 하나를 나타낸 것으로, 기존 해석 결과와 1% 이내의 결과 차이를 보이고 있어 거의 비슷한 결과를 얻어 내었음을 알 수 있었다. 약간의 오차가 발생하는 이유는 본 연구에서는 CAM데이터로부터 정확한 수치를 받아들여 전달하지만, 기존의 수동 작업에서는 확대 화면을 통한 눈

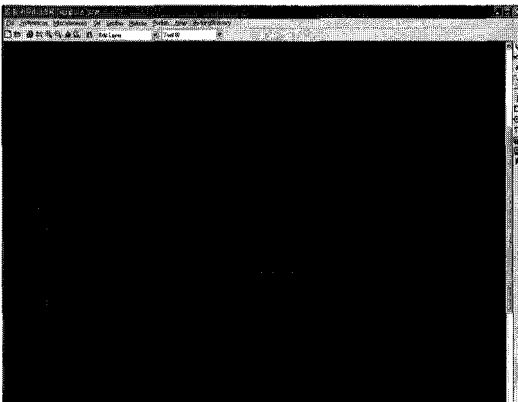


Fig. 7. 스케치 기능 구현.

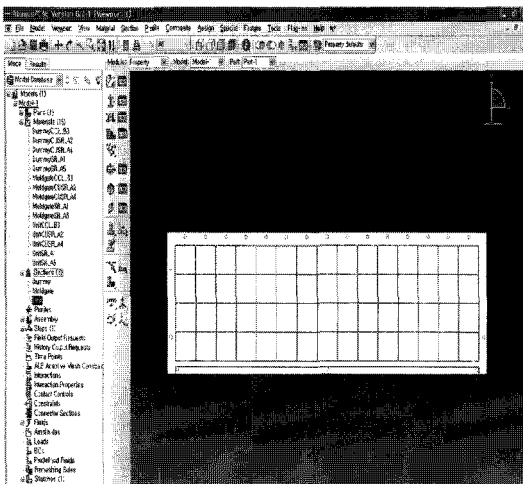


Fig. 8. 해석 프로그램(ABAQUS)으로 전달.

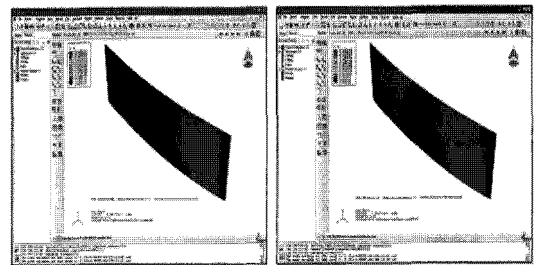


Fig. 9. 기존 해석 결과 (좌)와 본 프로그램 적용시의 해석 결과 (우).

Table 1. 기존 연구들과의 비교

	AS-IS 프로세스	Kicad	본 연구
목적	CAM 데이터를 이용한 CAE 데이터의 획득	CAE 데이터 확인	CAM 데이터를 이용한 CAE 데이터의 획득
프로세스	CAM Viewer → 2D CAD → 3D CAD → CAE system	CAM Viewer	CAM → CAM system
방법	사람이 직접 수동 작업	텍스트 CAM 데이터를 읽고, 가시화	업무분석을 통한 데이터의 직접 교환 방식
시간	약 14일	X	약 3일

집작을 통해 작업을 하기 때문에 약간의 수치적 차이가 발생하기 때문이다. 또한 수치 전달하는 과정에 있어서 CAM 데이터 내부의 단위와 해석프로그램의 단위가 다르기 때문에 이를 변환하는 과정에 있어서 번잡함을 해주기 때문이다.

5.2 해석 정보 획득 시간의 단축

본 연구를 시작하게 된 가장 큰 동기가 바로 CAM 정보로부터 해석에 필요한 정보를 얻기까지의 시간을 단축해보고자 하는 것이었다.

Table 1은 기존 프로세스와 본 연구, 그리고 본 연구의 참고 프로그램인 Kicad 간의 비교표이다. Kicad의 경우는 단순 Viewer이기 때문에 비교자체가 많이 어렵지만, 기존 프로세스와 본 연구가 제안하고자 하는 방법의 비교는 명확하다. 기존 프로세스의 경우, 해석에 필요한 정보를 얻고 이를 설계에 반영하기까지는 기존의 경우, 약 14일 정도의 시간이 걸렸다. 그러나 본 연구를 통한 프로세스를 도입한 이후로는 전체적으로 약 3일 정도로 단축이 되었다.

또한 기존 방법의 경우, 사람이 직접 그리고, 계산하고, 입력하는 방식이었기 때문에 실수가 많이 발생할 수 밖에 없었고, 이러한 오류의 수정에 많은 시간을 투입해야 했다. 그러나 본 프로그램은 이러한 작업들을 자동적으로 처리하고, 해석 프로그램에 입력하기 때문에 오류가 발생할 가능성을 현저하게 줄여주었기 때문에 오류로 인한 시간 낭비역시 크게 감소시킬 수 있었다. 실제 현장에서도 기존에 발생하였던 형상 오류, 계산 오류 등이 나타나지 않았음을 알 수 있었다.

5.3 향후 연구

본 연구를 보다 사용하기 편리하고, 이용성을 높이기 위한 개선 사항은 다음과 같다.

첫째, 3차원을 지원하는 방향으로 바뀌어야 한다. 현재의 해석 모델은 2차원 스케치 정보를 shell에 덮어 씌우는 방식으로 하여 해석이 진행되는데, 더욱 정

확한 해석 결과를 위해서는 실제 제품과 같은 3차원 모델로 바꾸어 적용해야 한다.

둘째, 대용량 파일을 지원해야 한다. 현재 본 프로그램이 효과적으로 읽어 들여 보여줄 수 있는 파일은 10 MB 정도의 가벼운 파일들이다. 그러나 모델에 따라 50 MB 정도의 큰 파일들도 존재하기 때문에 이를 역시 읽어 들일 필요가 있다. 현재는 이들 대용량 파일도 읽어 들여 줄 수 있지만, 속도가 현저히 느려지고, 화면에 다 보여지는 데에도 2시간이란 오랜 시간이 걸려 실제 사용엔 큰 지장이 있다. 데이터를 읽고, 화면에 나타내는 부분을 개선하여 이 부분을 수정해야 한다.

셋째, UI 부분의 개선이다. 현재는 기능만을 고려하여 만들어 졌기 때문에, 사용자가 이용하는 데에 약간의 어려움이 있다. UI의 개선을 통해 사용자가 이용하기 쉽고, 프로그램 자체에도 멋을 더할 필요성이 존재하기 때문에 UI의 다변화를 구축해야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 삼성전기(Samsung Electro-Mechanics)의 지원을 받아 연구되었음을 밝히며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. McKAY, K. N., Safayenib, F. R. and Buzacotte, J. A., "'Common Sense' Realities of Planning and Scheduling in Printed Circuit Board Production", *International Journal of Production Research*, 1995
2. Wen-Yen Wu, Mao-Jim J. Wang and Chih-Ming Liu, "Automated Inspection of Printed Circuit Boards Through Machine Vision", *Computers in Industry* Vol. 28, pp. 103-111, 1996.
3. Crama, Y., Kolen, A. W. J., Oerlemans, A. G. and Spijksma Frederik, "Throughput Rate Optimization in the Automated Assembly of Printed Circuit Boards", *Annals of Operations Research*, Vol. 26,

pp. 455-480.

4. Joseph LaDou, "Printed Circuit Board Industry", *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, Vol. 209, Issue 3, pp. 211-219, 2006.

5. Mark S. Hillier and Margaret L. Brandeau, "Cost Minimization and Workload Balancing in Printed Circuit Board Assembly", *IIE Transactions*, Vol. 33, No. 7, 2001.

6. Gerber RS-274X Format User Guide.

7. Song, I. H. and Han, S. H., "Implementation of a

CAM to CAE Interface Through an Analysis of the Working Process", *PLM09*, 2009.

8. Kicad homepage, "<http://iut-tice.ujf-grenoble.fr/kicad/>"

9. 신수철, 송일환, 오대용, 김민성, 한순홍, "GERBER 파일을 이용한 PCB 뿔 해석용 물성치 자동 계산 모듈 개발", 2009한국 CAD/CAM 학회 학술발표회 논문집, 2009.

10. 문두환, 한순홍, "매크로 파라메트릭 방법론은 이용한 CAD모델의 교환", 한국 CAD/CAM 학회 논문집, 제6권, 제4호, 2001.



송 일 환

2003년 한국과학기술원(KAIST) 기계공학과 학사
 2006년 한국과학기술원(KAIST) 기계공학과 석사
 2006년~현재 한국과학기술원(KAIST) 기계공학과 박사과정
 관심분야: CAD, CAE, PLM



신 수 철

2006년 한국과학기술원(KAIST) 전산학과 학사
 2008년 한국과학기술원(KAIST) 기계공학과 석사
 2008년~현재 한국과학기술원(KAIST) 기계공학과 박사과정
 관심분야: 가상현실, 모션생성, 실감효과



오 대 용

2008년 대전보건대학교 회사
 2008년~현재 (주)부품디비



김 민 성

1992년 한양대 기계설계학과 학사
 1994년 KAIST 기계공학과 석사
 1994년~1999년 삼성중공업 중앙연구소 simulation팀
 2006년 KAIST 기계공학과 박사
 2006년~현재 삼성전기 기관사업부 simulation팀



한 순 홍

1977년 서울대학교 조선공학과 학사
 1979년 서울대학교 조선공학과 석사
 1985년 영국 Newcastle 대학 석사
 1990년 미국 Michigan 대학 박사
 1979년~1992년 해산 기술 연구소
 1993년~1995년 한국과학기술원 자동차 설계공학과
 1996년~현재 한국과학기술원 기계공학과, 해양시스템공학과 교수
 관심분야: STEP, 가상현실 응용, 지능형 CAD