

솔리드 모델을 이용한 판재 부품의 소재 정보 추출

김영일*, 전차수**

Material Information Extraction for Plate Parts Using Solid Models

Kim, Y.I.* and Jun, C.S.**

ABSTRACT

A method for extracting material information on sheet metal parts from an assembly model is proposed. In order to estimate the cost and order the required sheet metals, their outline profiles, thicknesses, quantities, and etc. are needed. The proposed method consists of two steps: First, sheet metal parts are selected through a feature recognition process from an assembly model. Then, some geometric information for the parts is calculated. In the later step a flattening process of bent parts is included. The method is implemented on a commercial CAD/CAM system Unigraphics with API routines and applied to steam turbine generators and large scale boilers.

Key words : Sheet-metal, unfold, Solid model

1. 서 론

터빈 발전기, 발전기용 보일러, 그리고 선박 엔진 등에는 많은 판재 부품(sheet metal parts)이 있다. 판재 부품의 소재를 발주하기 위해서는 제품의 어셈블리 데이터에서 판재 부품들을 선별하고 전개한 다음, 이를 네스팅(nesting)하여 필요한 소재량을 파악하여야 한다. 발전기 등과 같은 복잡한 대형제품인 경우에는 부품수가 많기 때문에 수작업으로 판재 부품을 선별하고 전개하는 데는 많은 시간이 소요된다. 또한 네스팅 작업 역시 설계자의 현업 노하우를 바탕으로 수작업으로 진행되는 경우도 많고, 네스팅 전용 시스템을 사용하고 있는 경우에도 부품 형상, 두께, 수량, 재질 등의 정보를 네스팅 시스템의 입력 포맷에 맞추어야 하며, BOM도 시스템의 입력 자료용으로 별도로 작성해야 하는데 이를 수작업에 의존하는 경우에는 많은 시간이 소요된다.

본 연구에서는 이러한 판재 부품 선별 및 전개 과정과 데이터 변환 작업을 자동화하여 업무 효율을 향

상시킬 수 있는 방법을 제안하고자 한다.

판재 부품에 대한 형상 인식 및 전개에 대한 연구는 오래 전부터 활발하게 진행되어 오고 있다. Trappey와 Lai^[1]는 판재 부품을 특정 형상(feature) 별로 계층화하는 방법을 제안하였고, Chuang과 Huang^[2]은 솔리드 모델로부터 필요한 면들을 추출하여 2D 형상의 전개도를 얻는 방법을 제시하였다. Shummugam과 Kannan^[3]은 2D 도면상에 표현된 직교 투상을 이용한 판재 부품의 전개법에 대해 소개하였고, Toh 등^[4]은 PC와 AutoCAD 기반의 전개 시스템을 개발하였다. 이들의 연구는 판재 부품의 소재 정보 추출 과정에 필요한 핵심 기술들이다. 그런데 시스템을 현업에 성공적으로 적용시키고, 그것의 기능을 이용하여 작업시간 단축 및 품질 향상을 위해서는 이들 외에 추가적인 기능도 필요하다. 예를 들어 판재 판별이나 네스팅을 위한 외형선을 구하기 위한 chamfer 형상등의 suppress 기능이 필요하다. 그리고 개별 부품의 두께 정보로만으로는 판재 부품의 여부를 판단하기 어렵다. 이것은 회사별로 판재 부품에 적용하는 판재 두께가 몇가지로 정해져 있기 때문에 이것에 대한 사전 DB작업이 필요하고, 두께 정보 획득후에 그것이 DB내에 속하는 지를 판단해야 한다. 또한 외서와 너트 같은 부품들은 두께 DB에 포함된 두께와 동일할 수 있어, 판재 부품으로 판별될 가능성이 있다.

*정회원, (주)씨테크시스템, 경상대학교 대학원

**교신저자, 종신회원, 경상대학교 산업시스템공학부, 공학연구원

- 논문투고일: 2006. 02. 17

- 심사완료일: 2006. 07. 28

따라서 이와 같은 경우는 부품명 등의 정보를 이용하여 판재 부품으로 판별되지 않게 해야 한다. 와셔와 너트 부품의 경우 외에도 획득한 두께 정보나 부품명으로는 판별이 곤란한 부품들이 있을 수 있으므로 이들 부품들을 별도로 분리하여 설계자가 최종적으로 판별할 수 있도록 하는 기능도 필요하다. 그리고 경우에 따라서는 기존 남은 소재를 사용하기 위해 설계된 소재 두께를 수정하는 경우도 있다. 이 외에도 실제 소재 정보를 추출하기 위해 생산 현장별로 가진 작업 특성들을 지원하는 추가 시스템 기능이 필요할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 기존 연구를 바탕으로 판재 소재 판별, 전개에 필요한 기능을 구현하고 현장 작업 환경에서 필요한 기능을 추가한 판재 부품의 소재 정보 추출 시스템을 개발하였다.

본 연구에서는 부품의 솔리드 모델을 이용하여 형상을 '부피재(bulk metal)' 부품과 '판재(sheet metal)' 부품으로 나누고, 다시 판재 부품은 '굽힘가공 부품'과 전단 가공된 '평판 부품'으로 분류한다. 판재 부품의 분류를 위해서는 형상 판별 과정이 필요하며, 굽힘가공 형상은 전개 과정을 통하여 평판 형상을 구한다. 판재 부품의 두께 및 외형선 등의 기하학적 정보는 부품 모형에서 추출하고, 부품명, 부품번호, 재질 등의 BOM 정보는 파일 내에 저장된 해당 내용을 이용한다. 대부분의 네스팅 시스템의 입력은 각 부품의 형상과 BOM으로 구성되는데, 본 연구에서는 형상 입력용으로 dxf 파일을 출력하고, BOM 정보들은 주어진 포맷에 맞춰 텍스트나 엑셀 파일로 출력한다.

본 논문의 2장에서는 부품 종류의 판별에 대한 내용을 서술하고 3장은 전개의 일반적인 이론과 그것을 바탕으로 한 굽힘가공 부품의 전개에 대해 다룬다. 4장에서는 제안된 방법을 구현한 시스템을 소개하고 마지막으로 5장에서 본 연구에 대한 결론을 맺고자 한다.

2. 부품 종류 판별

부품 모형은 설계 형상과 가공 형상이 다른 경우가 많다. 가공의 효율성 등을 고려하여 관련 부서의 협의 하에 형상을 변경하는 경우도 있다. 이 경우 3D 데이터 내에 한 부품에 대한 설계 형상과 가공 형상을 별도로 저장한다. 또한 가공 형상에 가공 여유를 추가한 데이터도 생길 수 있다. 현재, 상용 CAD/CAM 시스템에서는 하나의 솔리드 모델로 다양한 용도의 데이터를 표현할 수 있는 적절한 기능이 없기 때문에 개별 모델 별로 저장하는 경우가 일반적이다.

이와 같이 한 파일 내에 같은 부품의 모델이 용도별로 다수 개가 존재하는 경우에는 대부분 모델명 이름이 별도로 지정되어 있어, 시스템에 적용할 모델을 검색할 수 있다.

본 연구에서 다루는 판재 부품은 발전기와 대형 보일러에 사용되는 것으로써 '평판 부품'과 '굽힘가공 부품'으로 나누어진다. 양쪽으로 굽은 곡면(doubly curved surface) 판재 부품은 연구 대상 제품에 사용되지 않으므로 본 연구의 범위에서 제외된다.

또한 판재 부품이라 하더라도 모서리에 라운딩이나 모따기가 되어있는 경우는 판재로 분류하거나 판재의 네스팅을 위한 외형선을 구하기가 어렵다. 따라서 이 경우는 솔리드 모델러가 갖고 있는 feature suppress 기능을 이용하여 Fig. 1과 같이 모따기 등의 부분 형상을 일시적으로 취소하고 판재로부터 필요한 기하학적 정보를 구한다.

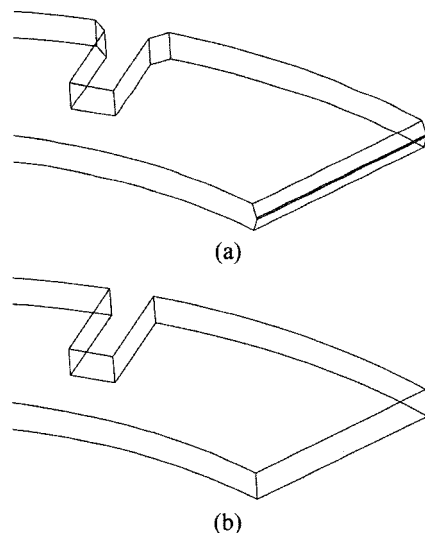


Fig. 1. Feature suppress.

판재(sheet metal)로 만들어진 부품은 두께가 일정하다는 특징을 갖고있다. 두께는 한 번과 평행면 또는 읍셋면까지의 최단거리로 정의할 수 있다. 그런데 판재부품이 아닌 경우도 평행면을 가진 경우가 많다. 예를 들어 직육면체의 경우는 세개의 평행면 쌍을 갖고 있고, 와셔, 너트, 육각 머리 볼트 등도 평행면을 갖고 있으나 판재 부품은 아니다.

따라서 한 부품에 대하여 여러 개의 평행면들 중에서 실제 사용하는 판재와 같은 두께를 갖고 있는 것을 판재 부품으로 분류하는 것이 실용적이다. 이를 위해 본 연구에서는 판재 부품에 사용되는 판재들의 두께

들을 입력 받고, 평행면이 존재하는 면들을 대상으로 구한 두께가 입력된 두께에 포함되지 않는 부품은 판재 부품에서 제외시키는 과정을 거친다.

판별과정을 설명하기 위해 필요한 용어에 대한 정의는 다음과 같다.

[용어 정의]

(1) 기초면(base face)

판재부품의 면들 중에서 가장 넓은 면이나 가장 많은 모서리수를 가진 면으로 실제 대부분의 판금 공정에서 판재 두께의 기준으로 사용된다^[1].

(2) 파트너면(partner face)

판재부품의 두께를 정의하는 한 쌍의 평행면들 중에서 상대편 면으로 두께만큼 오프셋된 면이다.

(3) 절단면셀

판재에서 부품의 외형선을 절단하면서 생긴 면(face)들의 집합이다.

(4) 기초면셀과 파트너면셀

기초면셀(base shell)은 기초면에 인접면(face)들이 연결된 복합 곡면이고, 파트너면셀은 기초면셀을 구성하는 face들의 파트너면이 위상학적 관계를 갖고 연결된 복합곡면이다. 기초면셀과 파트너면셀은 절단면셀에 의해 구분된다.

판재 부품의 판별 절차는 다음과 같다.

[Procedure 1. 판재 부품 판별]

- 1) 도따기 등의 부분 형상을 suppress 한다
- 2) 기초면을 선정한다. 본 연구에서는 가장 넓은 면을 기초면으로 선정한다.
- 3) 기초면의 파트너면을 찾는다. 기초면은 기초면셀, 파트너면은 파트너면셀로 둔다.
- 4) 기초면셀의 인접면을 찾아 파트너면을 찾고, 인접면은 기초면셀과 파트너면은 파트너면셀에 붙인다. 이 과정을 더 이상 남은 면이 없을 때까지 반복한다. 파트너면을 찾는 절차는 평면인 경우 그것의 파트너면은 반대 방향의 법선 벡터를 가지는 평면들 중에서 거리가 제일 짧은 것이 되며, 원통인 경우 회전 중심축의 위치가 동일하고 방향이 반대인 면 중에서 거리가 제일 짧은 것이다. 두 면사이의 거리는 한 면의 중심점에서 다른 면까지의 최단거리를 의미한다. 조건에 맞는 평행면이 있고 두 면사이의 거리가 입력된 두께 정보에 포함되어 있으면 파트너면으로 결정한다.
- 5) 기초면셀 중에 원통 면(face)이 있으면 굽힘가공 부품이고 그 외는 평판 부품으로 분류한다.

판재 부품으로 판별된 경우, 부품의 기초면셀과 파트너면셀을 얻게 된다. Fig. 2(b)의 아래와 위 그림은 각각 부품 (a)의 기초면셀과 파트너면셀을 보여주고 있다. 그림에서 실선 화살표는 평면의 법선 벡터를 의미하고, 점선 화살표는 원통면의 회전축을 나타낸다.

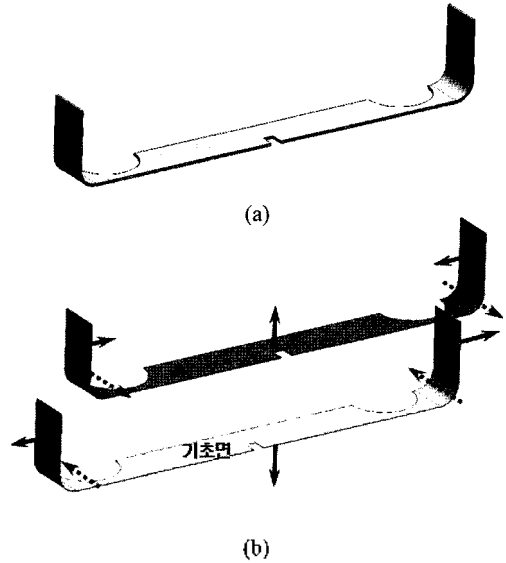


Fig. 2. Partner faces.

3. 전개 및 외형선 추출

굽힘가공 판재는 외측으로는 인장, 내측으로는 압축이 발생한다. 외측 면과 내측 면 사이에 길이가 변하지 않는 가상의 면을 중립면(neutral plane)이라고 한다. 소재의 크기는 중립면의 크기로 결정된다. 중립면의 위치는 판재 내측 면까지의 거리를 판재의 두께에 대한 비율로 표현하며 이를 *k factor*라고 한다. *k factor*의 값은 보통 0.33에서 0.5 사이이며, 재질, 두께 및 굽힘 반경에 따라 달라진다^[6]. Fig. 3의 t 와 r_i 은 각각 판재 두께와 굽힘가공의 내경을 나타낸다.

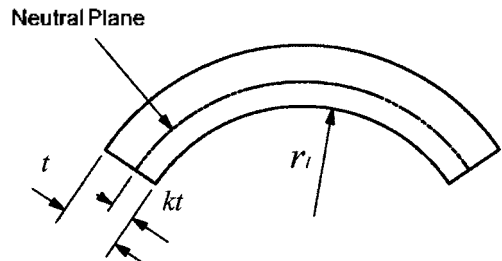


Fig. 3. Bending and unfold.

중립면은 부품 형상 판별 과정에서 구한 기초면셀을 오픈셋하여 설정할 수 있다. 본 연구에서는 단순 원통형상의 굽힘가공 판재의 경우를 제외하고는 중립면에서 제일 넓은 평면을 '전개 평면'으로 지정한다. 다수개의 평면과 원통면으로 구성된 일반적인 굽힘가공 판재의 전개 과정은 전개평면을 기준으로 인접한 원통면을 순차적으로 전개하는 것으로 이루어지며, 전개 절차는 다음과 같다.

[Procedure 2. 굽힘가공 판재의 전개 및 외형선 추출]

- 1) 전개평면에 인접한 원통의 굽힘 각(θ)을 구한다. Fig. 4(a)에서는 전개평면의 우측면들이 전개 대상이 되며, 첫 번째 원통면을 전개한 결과는 Fig. 4(c)와 같다.
- 2) 전개평면에 인접한 원통 면을 전개한다(Fig. 4(b)). 그 결과로 전개된 원통면에 해당되는 평면이 생성되고, 이것은 전개 평면과 인접면을 유지하게 되며, 전개되지 않은 나머지 면과는 떨어지게 된다.
- 3) 나머지 면들은 $-\theta$ 만큼 회전이동한 후, 전개 원통면의 모서리로 평행이동시켜 인접면 관계를 유지시킨다(Fig. 4(c)).

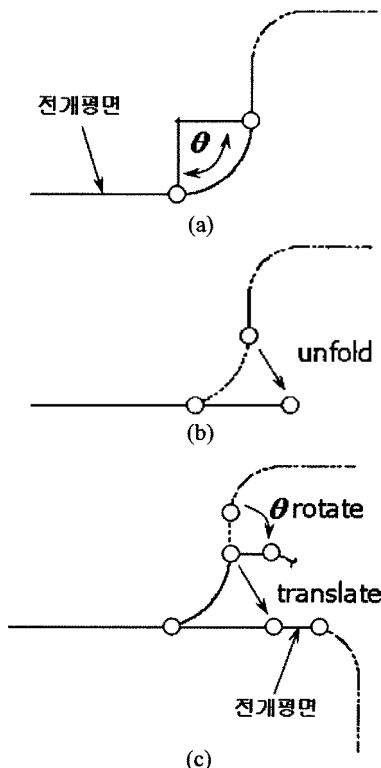


Fig. 4. Unfolding of a neutral plane.

4) 절차 3)에 의해 다음 전개 대상인 원통면과 그 우측 평면은 전개 평면상에 위치하게 되며 이 평면들을 전개 평면으로 포함시킨다. 이때 각 면들의 위상학적 정보를 새롭게 부여하기 위해 Unigraphics의 'Sew' 기능을 사용한다.

5) 전개되지 않은 원통면이 남아 있으면 절차 1)에서부터 전개 과정을 반복한다.

6) 전개가 완료되면 전개평면의 위상학적 정보를 이용하여 인접 모서리를 갖지 않는 모서리들 연결하여 외형선을 추출한다.

4. 시스템 구현

제안된 방법들을 바탕으로 상용 CAD/CAM 시스템인 Unigraphics의 API를 이용하여 판재 부품의 소재 정보를 추출하는 전용 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 솔리드 모델의 부품들로 구성된 어셈블리 파일을 입력받아 판재부품을 선별하고, 전개 과정을 거쳐, 두께, 수량, 재질 및 외형선의 정보들을 출력한다. Fig. 5는 시스템의 구조를 보여준다.

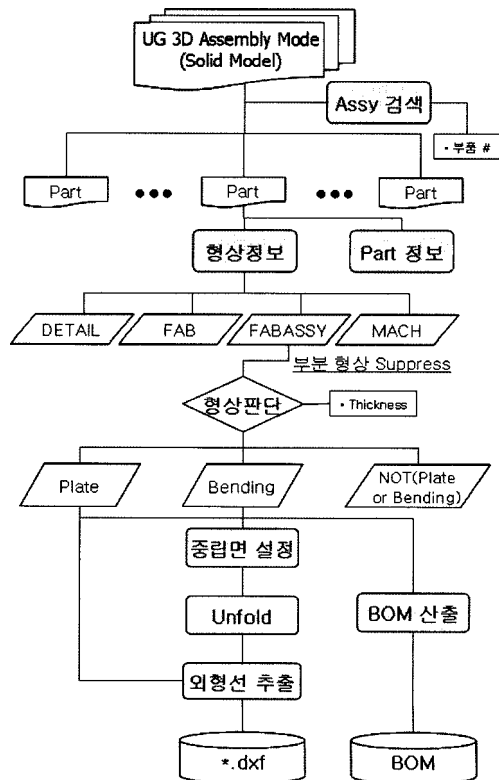


Fig. 5. System structure.

4.1 제품 어셈블리 모델 입력

제품의 어셈블리 파일을 입력받는다. 이 파일에는 개별 부품이 솔리드 모델로 이루어져 있다. 부품 파일 내의 부품번호, 부품명 및 재질 등의 BOM 정보를 읽고, 어셈블리 탐색을 통해 각 부품의 수량을 파악한다. Unigraphics 시스템에서 작성된 솔리드 모델 외에도 다른 상용 시스템에서 작성된 파일을 STEP 파일로 변환하여 Unigraphics로 import하여 사용할 수 있다. 본 연구에서는 Pro/E 시스템에서 작성된 어셈블리 파일에 적용한 사례도 있다.

4.2 개별 실행 및 일괄 실행

개발된 시스템은 앞 절에서 제안된 방법들을 바탕으로, 2가지 모드로 실행할 수 있다. 첫 번째는 사용자가 개별 부품을 대상으로 해당 작업을 하는 것으로 중요 부품의 처리 결과를 확인하기 위해 사용된다. 두 번째는 어셈블리 전체를 대상으로 일괄적으로 처리하는 것이다. 이 경우 처리 결과를 텍스트 파일로 출력하여 사용자가 확인할 수 있도록 했다.

4.3 부가 기능

입력된 어셈블리 파일의 부품들 중에는 와셔, 너트와 같이 무게와 형상 인식 알고리즘으로 파악하기 힘든 부품들이 다수 존재할 수 있다. 이들 부품에 대한 판별법은 많은 사람들에 의해 연구되고 있지만, 모든 형상을 정확하게 판별하기 어려운 것이 현실이며, 같은 형상이라도 각 업체별 판단 기준이 다를 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 형상들 중의 일부를 설계자가 직접 판별하도록 하였다. 설계자는 이러한 부품에 대한 정보를 사전에 파악할 수 있으므로 화면상의 부품 모델 선택이나 어셈블리 트리 상에서 해당 부품을 선택하여 시스템 적용에서 배제시킬 수 있다.

4.4 출력물

부품의 형상 정보는 dxf 파일로 출력되어 2D CAD 사용자들이 형상을 확인하거나 네스팅 시스템에 입력하는데 사용된다. 또한 특정 부서의 양식에 의거하여 BOM 파일도 출력한다.

본 연구에서 개발된 시스템은 터빈발전기와 대형 보일러의 판재 부품 정보 추출에 적용되었다. Fig. 6은 터빈발전기의 외형 어셈블리 모델의 일부인데, 전체 159개의 부품중 131개가 판재 부품이다. 본 시스템의 적용으로 종전 7일 정도 걸리던 작업시간이 5시간으로 단축되었다. Fig. 7은 대형 보일러의 일부로서 Pro/E에서 작성된 모델을 STEP 파일로 변환하여 적

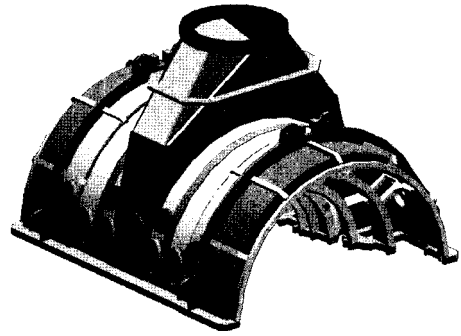


Fig. 6. A sub-assembly of a turbine generator.

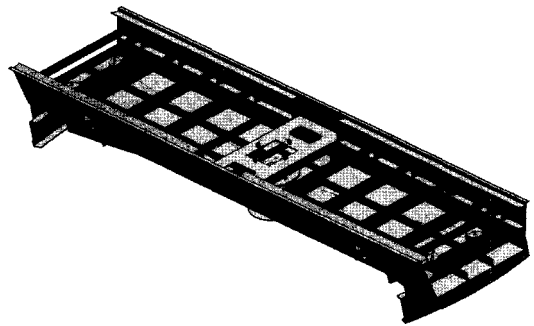


Fig. 7. A sub-assembly of a boiler.

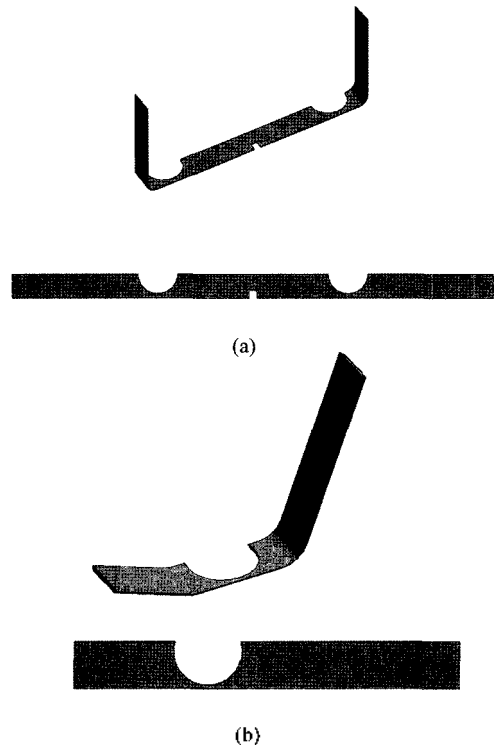


Fig. 8. Two bent parts.

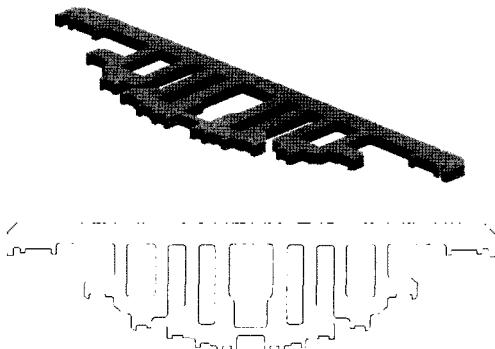


Fig. 9. A flat part.

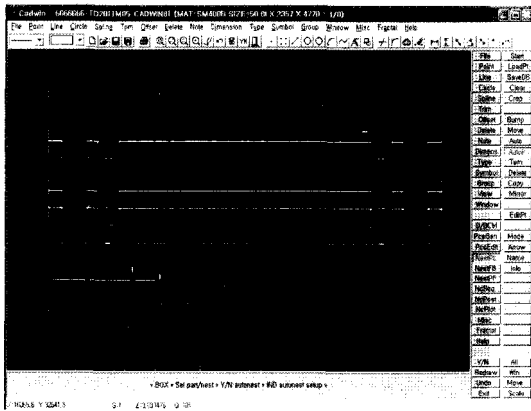


Fig. 10. Nesting.

용하였다. 879개의 부품 중 판재부품은 561개로서, 상대적으로 판재 부품이 아닌 부품의 비중이 높은 사례로서 터빈발전기의 적용 사례와 비슷한 효과를 보였다. Fig. 8의 (a)와 (b)는 굽힘가공 부품으로서 3D 모델과 전개 형상을 보여 주고 있고, Fig. 9는 평판 부품의 모델과 외형선을 추출한 결과를 보여주고 있다. Fig. 10은 시스템에 의해 출력된 외형선과 BOM을 이용하여 네스팅 한 사례를 보여주고 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 제품의 3D 어셈블리 데이터를 입력 받아 판재 부품을 선별하고, 판재부품에 대한 두께 및 외형선 등을 추출하는 방법들을 제안하고, 이를 바탕으로 앞서 언급된 일련의 과정들을 자동화하고 통합 지원하는 전용 시스템을 개발하였다.

부품의 판재 소요량 계산은 원가 예측 등의 초기 작업뿐만 아니라 소재 발주로 시작되는 생산납기에

중요한 역할을 하므로 최대한 빠른 시간 내에 정확하게 이루어져야 한다. 그러나 판재 부품의 판별 및 굽힘가공, 부품의 전개 등의 작업을 수작업에 의존함으로써 많은 시간이 소요되고 있고, 네스팅 시스템을 도입하여 사용하고 있는 업체의 경우에도 소재의 2D 형상을 얻기 위한 추가적인 작업을 수작업으로 하고 있어 효율적이지 못하였다. 이러한 판재 부품의 소재 정보 추출 과정을 지원하는 시스템은 기본적으로 형상 인식 및 전개 기능이 필요하다. 그러나 이들 기능만으로는 다양한 생산환경속에서 필요한 작업을 수행하기가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 기본 기능외에 외형선 추출 등에 필요한 suppress 기능, 판재 소재 판별이 곤란한 부품을 별도로 구분하여 설계자가 최종 판단할 수 있게 하는 기능 등을 추가하여 생산 현장에서 판재 소재 추출 과정이 보다 효율적이고 편리하게 이루어 질 수 있도록 하는 시스템을 개발하였다.

본 시스템은 현장에서 터빈 발전기 등에 적용하였는바 대부분의 수작업 요소를 제거하여, 평균 7일 정도의 견적 산출 시간을 5시간 내외로 단축시키는 효과를 보게 되었다. 또한 이는 전체 제작 납기 단축의 효과도 클 것으로 예상하고 있다. 그 결과, 본 시스템은 터빈 발전기나 대형 고일러 외에 유사한 공정을 갖고 있는 대형 설비 생산에 계속해서 보급될 계획에 있다.

참고문헌

1. Trappey, J. C. and Lai, C. S., "A Data Representation Scheme for Sheetmetal Parts: Expressing Manufacturing Features and Tolerance Requirements", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 14, pp. 393-405, 1995.
2. Chuang, S. H. and Huang, S. F., "Feature Decomposition from Solid Models for Automatic Flattening", *Computer Aided Design*, Vol. 28, pp. 473-481, 1996.
3. Shunmugam, M. S. and Kannan, T. R., "Automatic Flat Pattern Development of Sheet Metal Components from Orthographic Projections", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 42, pp. 1415-1425, 2002.
4. See Toh, K. H., Loh, H. T., Nee, A. Y. C. and Lee, K. S., "A feature-based Flat Pattern Development System for Sheet Metal Parts", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 48, pp. 89-95, 1995.
5. Kang, T. S. and Nnaji, B. O., "Feature Representation and Classification for Automatic Process Planning System", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 12, No. 2, pp. 133-145.
6. 김영일, 김덕수, 전차수, "터빈발전기의 Steam Path

전용 CAD/CAM 시스템”, 한국CAD/CAM학회논문
 집, 제10권, 제4호, pp. 254-261, 2005. 8.
 7. 최병규 외, CAD/CAM 시스템과 CNC 절삭 가공(3

판), 사이텍 미디어, 2003.
 8. Unigraphics NX2 Open/API Reference Guide, EDS,
 2002.



김 영 일

1991년 경상대학교 산업시스템공학과
 학사
 1996년 경상대학교 산업시스템공학과
 석사
 1996년~1999년 LG전자 생산기술센터
 규형팀
 1999년~2001년 나라엠앤디(주)M/D설
 계팀

2001년~2006년 (주)효원시스템 CAD/PLM팀
 2002년~현재 경상대학교 산업시스템공학과 박사과정
 2006년~현재 (주)씨테크시스템 부설연구소
 관심분야: 3D Product Development Process, PLM



전 차 수

1983년 부산대학교 기계공학과 학사
 1985년 한국과학기술원 산업공학과 석사
 1989년 한국과학기술원 산업공학과 박사
 1989년~현재 경상대학교 산업시스템공학
 부 교수
 1993년~1994년 Purdue University 객원
 연구원

2001년 North Carolina State University 객원연구원
 관심분야: Geometric modeling, NC machining, CAD/CAM, e-
 manufacturing