

주조물 가공을 위한 가공 특징 형상 추출

Machining Feature Extraction of Casting and Forging Components

박형태*, 박상철**

* 아주대학교 (taiji416@ajou.ac.kr)

** 아주대학교 (scpark@ajou.ac.kr)

Abstract

본 논문은 기계 가공시 형상의 인지 절차에 대해 기술한다. 주조와 단조 공정의 특성 중 한가지는 기계 가공시 원재료가 최종 형상에 매우 근접하다는 것이다. 이때 가공 형상 추출은 가공될 면을 인지하는 것과 가공면을 균집으로 그룹화 하는 두 단계로 수행될 수 있다. 이중 가공될 면을 인지하기 위한 기존의 방법은 3D Boolean difference operation을 수행하는 것이다. 그러나 3D Boolean difference operation의 계산적 난점 때문에 복잡한 형상에는 실용적이지 못하다. 본 논문의 목적은 가공 면을 인지하는 효율적인 알고리즘을 개발하는 것이다.

1. Introduction

제조 산업에서의 공정 계획은 주어진 part 생산에 필요한 제조 공정을 정하며 또 그것을 경제적으로 생산하기 위한 공정 순서를 결정하는 것이다. 그리고 Computer-Aided Process Planning(CAPP)은 사람의 최소한의 개입으로 part 생산을 위한 공정 계획을 자동적으로 산출하는 것이 그 목적이다. 이 일을 하기 위해서는 산출물로부터 적절한 정보를 이끌어 내는 것이 필요 하며 이런 관점에서 특징 형상은 디자인과 제조 사이의 다리 역할로 작용한다. 형상은 적용 범위에 따라 디자인 형상, 가공 형상, 조립 형상, 검사 형상 등 다양한 종류가 있으나 이 논문에서는 기계 가공의 결과물인 가공 형상으로 범위를 제한한다. 비록 CAPP가 제품 개발 공정을 향상시키는 핵심 기술로 여겨지나 실용적인 시스템과는 다소 거리가 있다. 실용적인 CAPP 시스템 개발을 위한 중요한 이슈중의 하나는 가공 형상을 자동적으로 뽑아내는 것이다.

Figure 1 과 같이 기계 가공을 위한 파트는 원재료에 따라 두가지로 나뉜다. 첫째는 단순한 직각 육면체 모양의 원재료며 둘째는 주조나 단조 같은 공정에 의한 최종 산출물의 형상에 근접한 원재료이다. 앞의 경우 직각 박스 형태부터 전체적인 기계 가공을 시작하는 반면, 후자는 치수를 맞

추거나 조립을 위한 높은 정밀도가 필요한 부분에서만 기계 가공이 이뤄진다. 여기서 가공 시간의 축소 관점에서 후자의 경우(주조, 단조)가 직각 형태의 원재료 보다 제거 될 재료의 부피가 작기 때문에 더 선호된다 [1,3]. 큰 부피에서 생산된 파트일수록 주조와 단조는 더 바람직하며 자동차나 기계 공구 제조 산업에서 일반적으로 사용된다. 본 논문은 주조와 단조물의 기계 가공 특징 형상의 추출에 초점을 둔다.

형상 추출 분야에 관한 많은 연구가 있으나 대부분의 경우 산출물은 직각형태의 원재료로부터 가공되는 것을 가정 한다 [5-9]. 가공 형상의 생성에는 graph-based 접근법 [5, 6], convex hull 분해 접근법 [7], cell-based 분해 접근법 [9] 그리고 hint-based 접근법[8] 등 다양한 접근법이 있다. 이 방법들은 직각 블록을 원재료로 가정하기 때문에 주조 및 단조의 적용에 필연적으로 문제점이 발생한다.

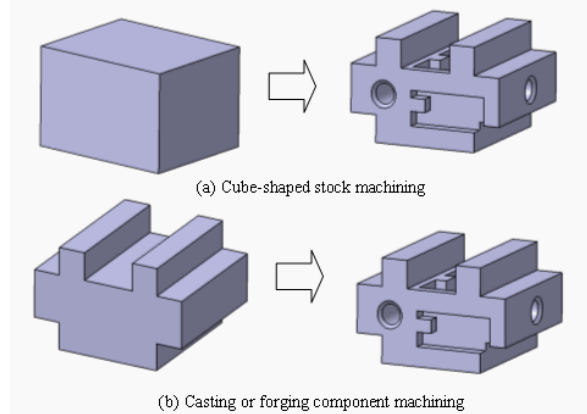


Figure 1. Two types of stocks(rough part model)

소수의 연구[1-4]만이 주조를 위한 가공 형상의 추출에 이용 가능하다. Kim 과 Wang [3]은 volume decomposition 방법을 적용하여 가공을 위한 원재료 part를 생성하는 방법을 제안하고 또 가공 형상 추출을 위해 이 방법을 사용 하였다. Kailash et al. [1]은 공정 중심의 접근법에 기초한 흥미로운 방법을 기술 하였다. 그 방법은 세 가지의 단계로 구성되며 그 중 첫째는 3D Boolean Operation을 수행한 제거 될 가공 부피를 얻는 것이며 둘째는 제거 될 부피로부터 가공 면을 인지하는 것이다. 그리고

셋째는 가공 면을 군집으로 그룹화 하는 것이다. 여기서 각 군집은 한 번의 기계 가공으로 생산 된다. 이들은 과정 설계 중에 주조물 가공의 특징을 유심히 고려한다. 그리고 이것은 직각 형태의 원재료를 가정하는 이전의 연구에서는 고려되지 않은 점이다. Kailash et. al이 제안한 방법이 주조물을 위한 가공 특징 형상 추출에 적절하나 여기에는 3D Boolean Operation의 계산적 난점이 있다. 만약 파트 디자인이 단순하다면 3D Boolean Operation은 어려움 없이 수행된다. Figure 1(b)는 상대적으로 단순한 가공 부피 산출의 예를 보여준다. 그러나 Chain Cover같은 좀 더 복잡한 파트를 생각해 보자. 상업용 CAD 시스템일지라도 그런 수천의 면을 가진 복잡한 모델에 대해 3D Boolean Operation을 수행하는 것은 극단적으로 어렵다. 때문에 Kailash et al의 방법은 복잡한 형상을 다루는 데에는 적절하지 않을 것이다.

본 논문의 목적은 주조물을 위한 가공 특징 형상 추출을 위한 실용적인 절차를 고안하는 것이다. 앞서 언급한 계산적 난점을 피하기 위해 제안된 절차는 3D Boolean Operation같이 무겁고 복잡한 계산에 적절하지 않은 3차원 알고리즘이 아닌 2차원 기하 알고리즘을 적용한다.

논문의 나머지는 다음과 같다. 섹션 2는 가공 특징 형상 추출을 위한 본 논문의 접근법을 기술하며 섹션 3은 최종 part 모델로부터 가공 면의 인지 알고리즘을 자세히 기술한다. 마지막으로 섹션 4는 결론 및 비평이 기술 된다.

2. 특징 형상 추출의 접근법

형상을 다룰 때의 중요한 이슈 중의 하나는 그것의 표현이다. 이전의 연구에서 일반적으로 두 가지의 접근법이 있다. 표면 접근법과 부피 접근법. 표면 접근법이 위상적인 관계에 있는 면들의 집합으로 형상을 정의하는 반면, 부피 접근법은 형상을 나타내기 위해 부피를 사용한다. 주조물의 가공 형상에 대해 표면 접근법은 최종 산출물로부터 가공된 범위를 나타내며, 부피 접근법은 원재료로부터 가공된 부피로 나타낸다. 원재료로부터 많은 부분이 제거된다면 제거될 부피는 공정 계획에서 중요한 의미를 지닐 것이다. 이 경우, 부피 접근법이 형상을 나타내는 데에 더 바람직할 것이다. 왜냐하면 공정 엔지니어는 얼마나 많이 그리고 어떤 종류의 공정이 이뤄져야 하는지를 결정하기 위해 제거될 부피를 유심히 살펴 볼 필요가 있기 때문이다. 한편 만약 원재료와 최종 산출물 사이의 부피 차이가 상대적으로 작다면 최종 산출물로부터의 가공 범위를 나타내는 것이 제거될 부피를 보이는 것보다 공정 계획을 위해 더 좋은 정보를 제공할 것이다. 구조와 단조 가공은 이 범위에 속하며 즉, 본 논문은 표면 접근법을 적용하여 최종 산출물로부터 가공될 범위를 찾는 것에 초점을 둔다.

일반적으로 주조물을 위한 가공 특징 형상 추출의 접근은 두 단계로 구성된다. 첫째, 최종 산출물로부터 가공될 범위를 인지하는 것과 둘째, 가공 면적들을 가공 형상에 대응되는 각 군집으로 그룹화 하는 것이다. 첫 번째 단계엔 계산적인 이슈(효율성, 강건성)가 있으며 두 번째는 패턴 매칭 문제로 여겨진다. 두 번째 단계에 대한 많은 해결책[1, 3, 5-9]이 제시된 반면, 첫 번째 단계는 상대적으로 관심을 덜 받았다. 첫 번째 단계를 위해서는 최종

part와 거기 대응하는 원재료 part 사이의 비교가 필요하다. 그 비교를 위한 가장 직관적인 접근법은 3D Boolean Operation을 수행하는 것이다. 그러나 이것은 다음의 이유 때문에 복잡한 모델의 적용시에 결정적인 계산적 난점을 가진다. 첫째, 최종 part와 원재료 part는 매우 비슷하여 3D Boolean Operation 수행 시 해결되기 힘든 퇴보를 야기시킬 수 있는 무수히 많은 동일 면이 존재 한다. 둘째, 3D Boolean Operation은 수 천개의 면을 가진 복잡한 모델을 수행 할 때 엄청난 계산적 비용이 요구된다. 이런 난점을 피하기 위해 새로운 알고리즘이 개발됐으며 다음 장에서 기술 된다. 이 알고리즘은 최종 part로부터 가공 될 면을 찾기 위해 3D Boolean Operation 대신 2D geometry algorithm을 사용 한다.

3. 가공될 범위의 인지

효율적인 가공 범위를 찾는 알고리즘을 개발하기 위해서는 원재료 part와 최종 part의 본질적인 특성을 찾기 위한 깊은 관찰이 필요하다. 여기엔 일반적인 입체 비교와 구분되는 두 가지 중요한 특성이 있다. 첫째, 원재료 part는 항상 대응되는 최종 part를 둘러싼다. 둘째, 원재료 part와 최종 part는 매우 비슷하며 많은 동일 면을 가지고 있다. 이런 특성들이 3D Boolean Operation같은 일반적인 알고리즘보다 훨씬 효율적인 알고리즘의 가능성을 제공한다. 첫 번째 특성을 이용하면 최종 파트의 한 점이 가공 면에 속한지 속하지 않는지를 쉽게 결정할 수 있다. 왜냐하면 원재료 part는 항상 최종 part를 포함하기 때문에 최종 part의 어떠한 점이라도 대응하는 원재료 part에 존재하지 않는다면 이것은 곧 가공 될 점이란 걸 의미하기 때문이다. 우리는 이 관점을 최종 part로부터 가공될 범위 인지를 위한 알고리즘 개발로 확장시킬 수 있다. 다음 용어는 논문 전체에 걸쳐 사용 된다.

Definition 1 (R-areas): 최종 part에 존재하지 않는 원재료 part의 표면 부분은 *R-area* 이다(Figure 2(c)).

Definition 2 (C-areas): 원재료 part와 최종 part에 동시에 존재하면 *C-area* 이다 (Figure 2(d)).

Definition 3 (F-areas): 원재료 part에 존재하지 않는 최종 파트의 표면은 *F-area* 이다 (Figure 2(e)).

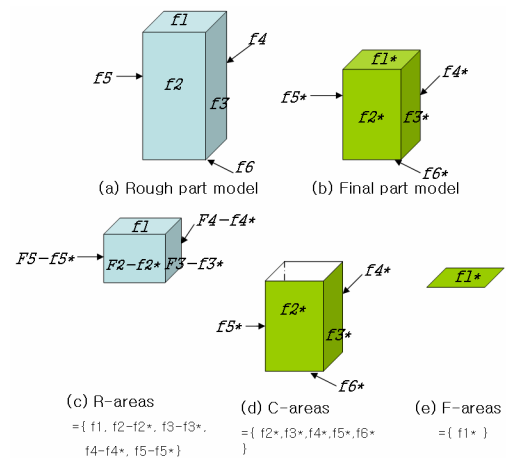


Figure 2. Definition of R-areas, C-areas, and F-areas

정의에 의해 *F-area*는 가공될 면과 같다. 왜냐하면 최종 part의 모든 점은 그것들이 만약 원재료 Part위에 존재 하지 않는다면 가공 되어야 하기 때문이다. 여기서 한가지 흥미로운 점은 *R-areas*와 *F-areas*의 합은 가공 될 부피의 경계를 짓는다는 것이다. 다시 말하면, *F-areas*와 *R-areas*를 사용하면 가공 범위와 가공 될 부피 또한 인지가 가능하다. 그렇다면 문제는 어떻게 이런 범위들을 효율적으로 계산하느냐 이다.

입체 모델은 면으로 구성되며, 면은 근원 평면과 그 2D domain의 트리밍 곡선의 조합으로 정의된다. 다음 알고리즘은 근원 평면에서 2D Boolean Operation을 수행함으로써 *F-areas*를 인지 한다.

// Input: a final part model and a rough part model.
 // Output: F-areas (machined areas from the final part model).

- Step 1) $F\text{-areas} = \emptyset$
- Step 2) Initialize a set of parent surfaces ($PS[i], 1 = i = n$) from the final part model
- Step 3) For ($i = 1; i = n; i++$) { // for each parent surface.
 - Step 3-1) S_F = a set of faces of the final part model whose parent surface is $PS[i]$
 - Step 3-2) S_R = a set of faces of the rough part model whose parent surface is $PS[i]$
 - Step 3-3) If ($S_F = S_R$) continue;
 - Step 3-4) A_F = trimming areas of S_F on the 2D domain of $PS[i]$
 - Step 3-5) A_R = trimming areas of S_R on the 2D domain of $PS[i]$
 - Step 3-6) A_B = subtract A_R from A_F
 - Step 3-7) Convert A_B into 3D areas and add to F-area
- Step 4) Output F-areas

알고리즘의 효율성을 평가하기 위해 우리는 두 가지 측면을 고려해야 한다. 첫째, 이 알고리즘은 2D Boolean Operation에 기초한다. 둘째, 만약 S_F 가 S_R 와 같다면(두 입체는 매우 유사하며 많은 동일한 면을 가지고 있는 것을 상기하라), 2D Boolean Operation을 건너뛰는 Step 3-3 에 의해 2D Boolean Operation의 횟수는 면의 수보다 훨씬 작을 것이다. 또 다른 이점은 면이 트리밍 곡선과 근원 평면의 조합으로 표현되는 한, 면의 형태에 대한 제한이 없다는 점이다. 이 알고리즘은 2D Boolean Operation에 기초하기 때문에 구현 또한 직관적이며 단순하다. Figure 3은 최종 part 와 원재료 part를 보여 준다. $f1^*$ 와 $f1$ 이 동일 기원평면으로 수직평면 $PS[1]$ 을 공유 한다고 가정 하자. 이때 Step 3-4 와 3-5는 A_F 와 A_R 을 Figure 3-(c)와 (d)에 보이는 것처럼 인지한다. Step 3-6은 A_F 에서 A_R 을 뺀으로써 2D Boolean Operation을 수행한다. 이 경우 A_R 이 A_F 를 포함하기 때문에 2D Boolean Operation의 결과인 A_B 는 비어 있게 된다. 이것은 $f1^*$ 는 가공 될 부분이 없다는 것을 의미한다. Figure 4는 다른 예를 보여 준다. Figure 4(a)와 (b)는 같은 기원 평면 $PS[2]$ 에 속하는 $f2^*$ 와 $f2$, 두 면을 보여 준다. 이때 이것의 트리밍 범위(A_F 와 A_R)는 Figure 4-(c) 와 (d)에 보이는 것처럼 인지된다. 이 경우 A_F 는 A_R 보다 크며 따라서 $f2^*$ 의 일정 부분은 가공 되어야 한다. Figure 4-(e)는 Step 3-6(A_B)의 2D Boolean Operation 결과를 보여준다. Step 3-7은 A_B 를 Figure 4-(f)에 보

이는 것처럼 3차원 범위로 변환 한다. 이런 방법으로 우리는 최종 part로부터 모든 가공 범위를 쉽게 인지 할 수 있다. Figure 5은 제안된 알고리즘에 의해 인지된 가공된 범위(*F-areas*)를 나타낸다.

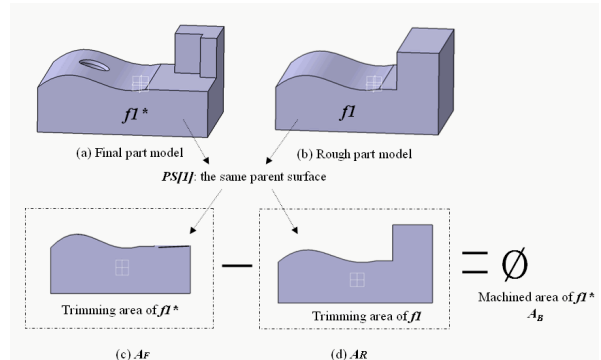


Figure 3. Machined area extraction from $f1^*$

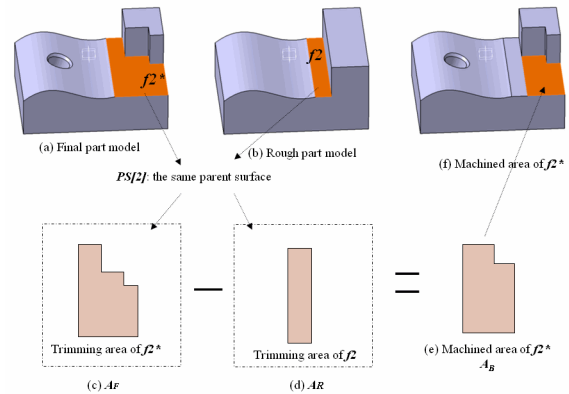


Figure 4. Machined area extraction from $f2^*$

제안된 알고리즘이 최종 part로부터 가공 범위의 인지에 초점을 두고 있지만 이것은 또한 원재료 part로부터의 가공 부피 인지로 확장될 수 있다. 앞서 논의한 대로 *R-areas*와 *F-areas*의 합은 원재료 part로부터의 가공될 부피를 경계 짓는다. 따라서 *R-areas* 인지를 위해 Step 3-6을 ' $A_B = \text{subtract } A_F \text{ from } A_R$ '로 대체함으로써 쉽게 *F-areas* 알고리즘을 바꿀 수 있다.

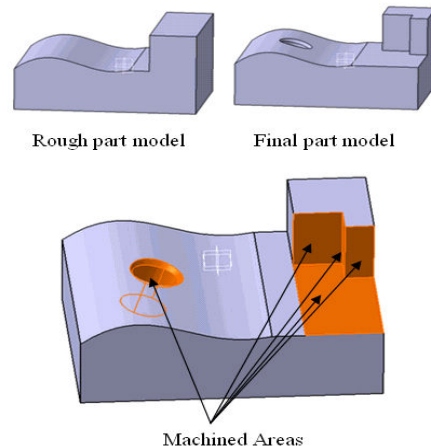


Figure 5. Extracted machined area

4. Conclusions

본 논문은 주조물 가공을 위한 가공 특징 형상 추출의 절차를 다루며 주된 초점은 최종 part로부터 가공된 범위를 인지하는 것이다. 주조물의 경우 가공 범위 인지를 위한 입력 변수는 최종 part와 그에 대응하는 원재료 part, 두 입체이다. 이 두 입체를 비교함으로써 우리는 최종 part로부터 가공된 범위를 인지하는 것을 필요로 한다. 효율적인 알고리즘을 개발하기 위해 본 논문은 문제의 본질적인 두 가지 특징을 사용한다. 첫째,는 원재료 parts는 항상 최종 part를 둘러싼다는 것이며 둘째는 최종 part와 원재료 part는 매우 비슷하며 무수한 동일 면을 가진다는 것이다. 이 특징에 기초하여 본 논문은 3차원 알고리즘에 비해 가볍고 효율적이며 안정적인 2D Boolean Operation을 제안한다. 제안된 알고리즘이 가공 범위 추출을 위해 개발 됐지만 이것은 또한 원재료 part로부터의 가공 부피 추출로 확장될 수 있다.

참고문헌

- [1] Kailash SB, Zhang YF, Fuh JYH. A volume decomposition approach to machining feature extraction of casting and forging components, *Computer-Aided Design*, 2001;33(8):605-17.
- [2] Park SC. Knowledge capturing methodology in process planning, *Computer-Aided Design* 2003;35(12):1109-1117.
- [3] Kim YS, Wang E. Recognition of machining features for cast then machined parts, *Computer-Aided Design* 2002;34(1):71-87.
- [4] Ramesh M, Belludi N, Yip-Hoi D, Dutta D, Wascher P. Application of feature technology to modeling and dimensioning the intermediate geometry of automotive powertrain components. *Proceedings seventh ACM symposium on solid modeling and applications*, Saarbrucken, Germany, 2002:313-20.
- [5] Joshi S, Chang TC. Graph-based heuristics for recognition of machined features from a 3D solid model, *Computer-Aided Design* 1988;20(2):58-66.
- [6] Gayankar P, Henderson MR. Graph-based extraction of protrusions and depressions from boundary representations, *Computer-Aided Design* 1990;22(7):442-50.
- [7] Woo TC. Feature extraction by volume decomposition, *Proceedings of the Conference on CAD/CAM Technology in Mechanical Engineering* 1982:76-94.
- [8] Vandenbrande JH, Requicha AAG. Spatial reasoning for the automatic recognition of machinable features in solid models, *IEEE Transactions Pattern Analysis & Machine Intelligence* 1993;15(12):1269-85.
- [9] Dong J, Vijayan S. Manufacturing feature decomposition and extraction- Part I: optimal volume segment, *Computer-Aided Design* 1997;29(6):427-40.