

플라스틱 사출 금형의 분할면 자동 생성을 위한 관통 특징 형상 추출 알고리즘의 개발

정강훈*, 이건우**

Passage Feature Recognition Algorithm for Automatic Parting Surface Generation in Plastic Injection Mold

Chung, K. H.* and Lee, K. W.**

ABSTRACT

This paper proposes a topology-based algorithm for recognizing the passage features using a concept of *multi-face hole loop*. The *Multi-face hole loop* is a conceptual hole loop that is formed over several connected faces. A passage feature is recognized in the proposed approach by two multi-face hole loops that constitute its entrance and exit. The algorithm proposed in this paper checks the connectivity of the two multi-face hole loops to recognize passage features. The total number of passage features in a part is calculated from Euler equation and is compared with the number of found passage features to decide when to terminate. To find all multi-face hole loops in a part, this paper proposes an algorithm for finding all combinations of connected faces. The edge convexity is used to judge the validity of multi-face hole loops. By using the algorithm proposed in this paper, the passage features could be recognized effectively. The approach proposed in this paper is illustrated with several example parts.

Key words : passage feature, feature recognition, multi-face hole loop, injection mold

1. 서 론

1.1 연구 배경

사출 성형 공정은 현재 플라스틱 제품의 가장 일반적인 생산 방법으로, 전기, 전자, 자동차 공업 등에서 그 부품의 생산에 널리 사용되고 있다. 더욱이 플라스틱 재료의 급격한 발달로 인해 기존에는 금속 재료로 생산되던 부품이 점차 플라스틱 재료로 대체되고 있어 사출금형에 대한 중요성은 날로 증가되고 있다.

사출 성형 공정은, 제품의 형상을 결정하는 코어와 캐비티로 이루어진 공간에 플라스틱 수지를 고압으로 주입하여 제품을 생산하는 공정이며, 그 일반적인 구성은 Fig. 1과 같다.

기존의 사출 금형을 설계하는 방법은, AutoCAD

와 같은 이차원 CAD 시스템을 사용하여, 설계자가 직접 도면을 작성하는 방식이었다. 그러나, 근래에 들어 하드웨어의 발전과 더불어 PC에서도 삼차원

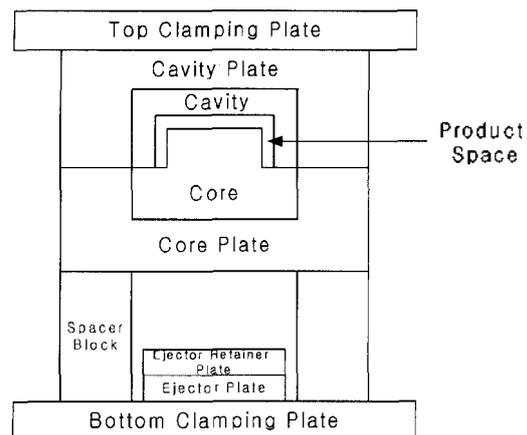


Fig. 1. General configuration of injection mold.

*정희원, 삼성 SDI M/E 사업팀
**중신희원, 서울대학교 정밀기계설계공동연구소

CAD 시스템을 사용할 수 있게 됨에 따라 사출금형의 설계도 이와 같은 삼차원 CAD 시스템을 사용하여 설계하고자 하는 노력이 행해지고 있다.

제품파트의 면들을 상하면으로 나누어 코어와 캐비티를 생성하게 되며, 상하면을 나누는 경계가 되는 면을 분할면이라 하고 이들과 제품의 면이 만나 이루는 선을 분할선이라 하는데, 3차원 모델러를 사용하여 금형을 설계하는 데 있어 분할면의 자동생성은 현재 주요 연구 대상이 되고 있다. 또한, 분할면을 자동 생성하여 코어와 캐비티를 생성하는 과정에서 제품에 존재하는 관통특징형상(Passage feature)을 인식해 내는 작업은 코어블록을 분할하는 작업에 있어서 가장 큰 걸림돌이 되고 있다.

1.2 관통특징형상 자동인식의 필요성

삼차원 CAD를 이용한 사출금형 설계 시스템에서는, 제품의 형상을 3차원으로 모델링하여 설계를 시작하게 된다. 제품 모델로부터 가장 먼저 생성하는 금형 부품은 코어와 캐비티이며, 그 생성과정은 Fig. 2와 같다. 이러한 과정을 Fig. 3에 나타난 제품 모델에 대해 예를 들어 설명하면 다음과 같다.

우선, Fig. 3와 같은 제품 모델에 대해 이를 둘러싸는 육면체를 Fig. 4와 같이 생성한다. 이때 생성한 코어 블록은 최종적으로 코어와 캐비티로 분할될 형상이다.

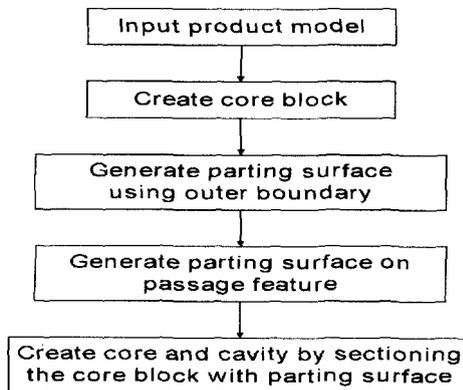


Fig. 2. Flow chart for generation of core and cavity.

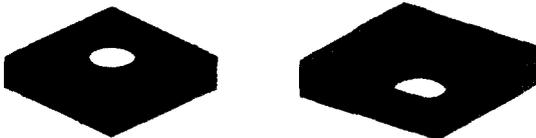


Fig. 3. Example part with one passage feature.

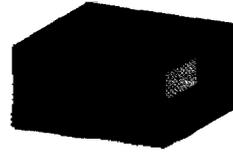


Fig. 4. Core block.

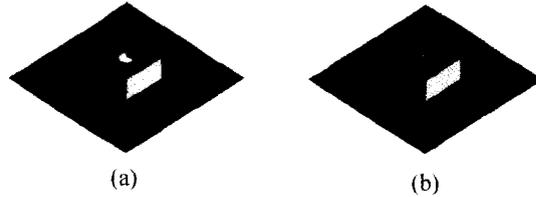


Fig. 5. Generating parting surface.

다음으로, Fig. 5(a)와 같이 설계자가 지정한 분할선으로부터 제품에서 멀어지는 방향으로 분할면을 생성하며, 제품에 관통특징형상이 있을 경우, Fig. 5(b)와 같이 이를 막아주는 면을 생성하여 분할면으로 사용한다.

이렇게 생성한 분할면과 제품의 면을 이용하여 코어 블록의 위아래를 구분하게 되며, 코어 블록에서 아래에 해당하는 부분을 코어로 생성하고, 위에 해당하는 부분을 캐비티로 생성하게 된다. 생성된 코어와 캐비티는 Fig. 6과 같은 형상을 가지게 된다.

이와 같이, 코어와 캐비티를 생성하는 과정에서 코어 블록의 위아래 부분을 분할면으로 구분하기 위해서, 제품에 관통특징형상이 있는 경우에는 Fig. 5(b)와 같이 이를 막아주는 분할면을 생성해 주는 작업을 해야 한다. 위 예제와 같이 간단한 관통특징형상의 경우에는 작업이 단순하지만, 관통특징형상이 여러면에 걸쳐져 있는 Fig. 7과 같은 경우에는, 관통특징형상을 구성하는 루프를 인식하고 이를 막아주는 작업이 복잡하게 된다.

Fig. 8은 Fig. 7과 같은 제품 모델에 대해 관통특징형상을 막아 분할면을 생성한 모습을 보여주고 있

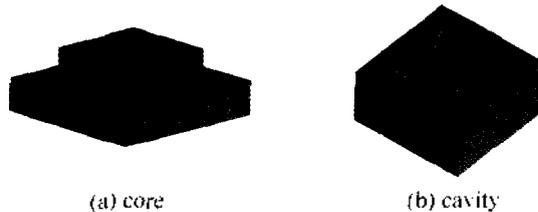


Fig. 6. Core and cavity.

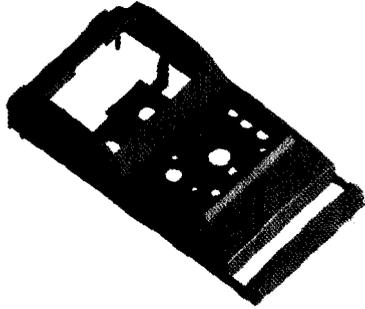


Fig. 7. Simplified mini-component from cover.

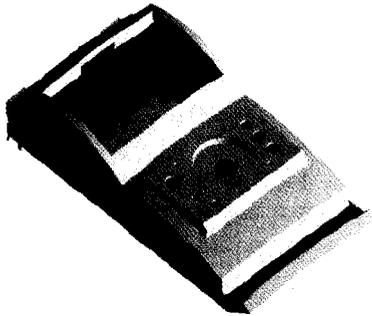


Fig. 8. Parting surfaces generated in passage feature.

다. Fig. 9(a)는 관통특징형상 부위에 생성된 분할면만을 보여 주고 있다. Fig. 9(b)에서 볼 수 있듯이 여러 면에 걸쳐져 있는 관통특징형상의 경우, 그 부위의 분할면은 상당히 복잡한 형상을 가지게 된다.

실제 금형업체에서 생산되는 제품의 경우, 대부분의 관통특징형상이 여러 면에 걸쳐져 있으며, 이렇게 여러 면에 걸쳐져 있는 관통특징형상으로 인해 그 인식 및 분할면의 자동생성에 어려움을 겪고 있다. 따라서, 분할면의 자동생성을 위해서는 이러한 관통특징형상을 자동으로 인식하는 작업이 필요하다.

본 논문에서는 제품에 존재하는 임의의 형상을 가

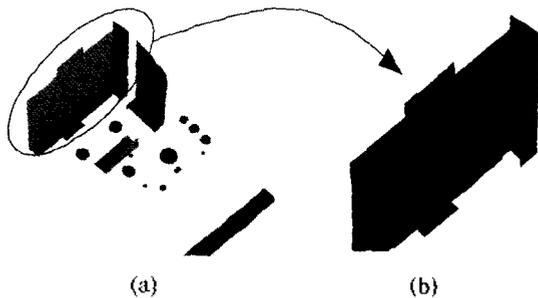


Fig. 9. Complicated parting surfaces in a passage feature.

진 관통특징형상을 자동으로 인식할 수 있는 알고리즘을 제안하여, 관통특징형상 부위의 분할면 생성을 자동화함으로써 금형설계 시간의 혁신적인 단축을 도모하고자 한다.

1.3 관련 연구

지금까지 CAD(Computer Aided Design)와 CAM(Computer Aided Manufacturing)을 서로 연결시키기 위해 특징형상인식(feature recognition)에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔다. Kiprianou가 1980년에 "Shape Classification in Computer Aided Design"을 발표한 이후로 솔리드 모델에서의 특징형상인식이 연구의 초점이 되면서¹⁾, 최근까지의 특징형상인식에 대한 연구는 CAD 데이터로부터 가공특징형상(machining feature)을 추출하는 데에 초점이 맞춰져 있었으며, 주로 홈이나 슬롯, 포켓의 인식을 위해 사용되어 왔다²⁾. 지금까지 개발된 특징형상인식을 위한 방법은 크게 네가지로 구분지을 수 있으며, 각각 Graph Pattern Matching, Convex Hull Decomposition, Cell-based Decomposition, Hint-based Reasoning 등이 있다.

Graph Pattern Matching은 Joshi와 Chang에 의해 제안된 기법으로서, 특징형상인식에 있어 가장 많은 연구가 진행된 방법이다³⁾. 이 기법은, B-Rep으로 표현된 CAD 데이터를 기반으로, 면을 node로 표현하고 모서리를 연결곡선으로 표현하여 이들의 관계를 그래프 형태로 표현하며, 이러한 그래프를 FAG(Face Adjacency Graph)라 한다. 그 다음 각 특징형상에 해당하는 그래프의 형태와 대상모델을 구성하는 하부그래프(subgraph)와의 국소 형태 비교를 통해 특징형상을 인식하게 된다.

Convex Hull Decomposition은 Woo에 의해 제안된 기법으로⁴⁾, 모델과 모델을 둘러싸는 볼록다각형과의 볼리언에 의해 특징형상을 인식하는 기법이다. 모델과 모델을 둘러싸는 볼록다각형과의 볼리언 결과물에 대해 동일한 작업을 반복하며, 모델이 볼록한 형상으로 구성될 때까지 작업은 계속된다. 따라서, 볼리언 작업이 항상 수렴하는 것은 아니며, 이를 해결하기 위해 Kim, Y는 원형 모델의 모든 면에 표시를 해 두고, 볼리언을 위해 생성한 볼록다각형과 표시된 면과의 관계를 통해 특징형상을 인식하는 방식을 제안했다⁵⁾.

Cell-based Decomposition은 H. Sakurai에 의해 제안된 기법으로⁶⁾, 가공전 재료형상(stock)과 모델과의 차이인 가공부피(delta volume)를 최소크기의 세

포(cell)로 분할하여 이들을 서로 병합함으로써 특징 형상을 인식하는 기법이다.

Hint-based Reasoning은 Vandenbrande에 의해 제안된 기법으로¹⁷⁾, Graph Pattern Matching의 문제점인 간섭특징형상(intersecting feature)을 인식하기 위해 사용되며, 각 특징형상의 존재유무를 판단할 수 있는 최소한의 조건을 힌트(hint)로 정의하여 이를 기반으로 특징형상을 인식하는 기법이다.

이상에서와 같이, 가공특징형상의 인식에 대한 연구는 활발히 이루어져 왔으나, 관통특징형상과 같이 제품의 모델링 과정에서 참조되어 모델링 작업을 도와줄 수 있는 특징형상에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다.

2. 관통특징형상 인식 알고리즘

이 장에서는 이 논문이 제안한 알고리즘에 대해 상세히 설명하고자 한다. 2.1절에서는 알고리즘의 기본 개념에 대해 설명하고, 여러 면에 걸쳐 있는 관통특징형상의 인식을 위해 새로이 제안된 개념인 다면 구멍루프(multi-face hole loop)에 대해서는 2.2절에서 설명하도록 한다.

2.3절에서는 관통특징형상을 구성하기 위해 다면 구멍루프가 가져야할 조건에 대해 설명하고, 다면 구멍루프를 검색하기 위해 필요한 병합시킬 면을 선정하는 과정에 대해 2.4절에서 설명하였다.

2.1 기본 개념

관통특징형상은 Fig. 10와 같이 두 개의 구멍루프 및 이를 연결하는 면들로 이루어져 있다. 따라서, 관통특징형상을 찾는 과정은 서로 연결된 두 구멍루프를 찾아내는 과정이다. 이를 Fig. 11의 예제 파트를 사용하여 설명하면 다음과 같다.

Fig. 11은 하나의 관통특징형상을 가진 제품으로

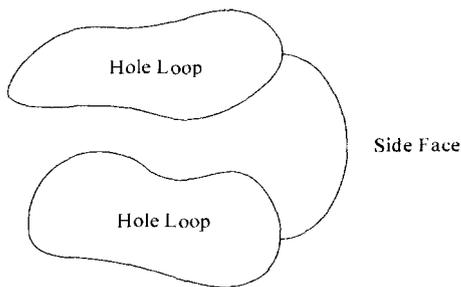


Fig. 10. Configuration of passage feature.

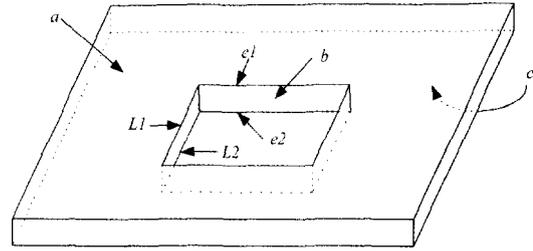


Fig. 11. Simple example part with one passage feature.

서 각 기호들은 다음과 같이 정의된다.

- a : 파트의 윗면
- b : 관통특징형상을 이루는 면
- c : 파트의 아래면
- e1 : a면과 b면이 공유하는 모서리
- e2 : c면과 b면이 공유하는 모서리
- L1 : a면의 구멍루프(hole loop)
- L2 : c면의 구멍루프

이 파트에서 관통특징형상을 이루는 루프는 L1과 L2이며, 이들은 b면과 같이 관통특징형상을 이루는 면들에 의해 연결되어 있다. 일반적으로, 하나의 면(b)에 대해 양 옆에 연결된 면(a, c)들과 공유되는 모서리가 양 옆의 면(a, c)들에서 구멍루프를 이룰 때, 그 면은 관통특징형상을 구성하는 면이 된다. 즉, b는 관통특징형상옆면(side face)이 되며, a와 c는 각각 관통특징형상입구면(entrance face)과 관통특징형상출구면(exit face)이 된다.

따라서, 관통특징형상을 찾는 기본적인 순서는 다음과 같다.

- ① 면(관통특징형상입구면)에서 구멍루프 검색
- ② 검색된 구멍루프를 구성하는 모서리 검색
- ③ 검색된 모서리를 공유하는 면(관통특징형상옆면) 검색
- ④ 검색된 면(관통특징형상옆면)을 구성하는 각 모서리들에 대해 해당 모서리가 다른 면(관통특징형상출구면)에서 구멍루프를 구성하면 그 구멍루프는 관통특징형상을 이루는 루프로 인식

이상에서 설명한 내용은 하나의 면에 존재하는 구멍루프로 구성된 관통특징형상을 찾는 과정이며, 여러 면에 걸쳐 있는 관통특징형상을 찾기 위해서는 이 개념을 확장하여 다음 절에서 설명될 다면구멍루프에 적용하여야 한다.

2.2 다면구멍루프의 정의

일반적으로 구멍루프라 함은 하나의 면에 대해 외곽루프(peripheral loop)와 내부루프(internal loop)가 존재할 때, 내부루프를 구멍루프라 한다. 본 논문에서는 여러 면에 걸쳐져 있는 관통특징형상의 인식이 필요하므로, 여러 면에 걸쳐져 있는 구멍루프에 대

다면구멍루프(multi-face hole loop):
 관심의 대상이 되는 면들의 집합에서 공유되는 모서리들을 제거하고 하나의 면으로 생각했을 때 내부루프가 존재하면, 그 내부루프를 여러 면에 걸쳐져 있는 구멍루프-다면구멍루프-라고 한다.

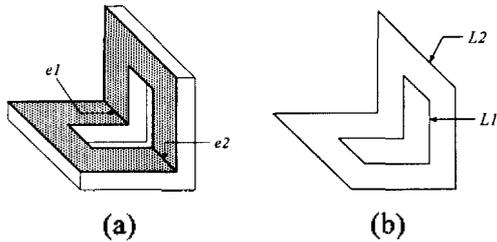


Fig. 12. Recognizing multi-face hole loop.

한 정의를 다음과 같이 내리고자 한다.

Fig. 12는 $e1$ 과 $e2$ 모서리를 공유하는 두 개의 면에 대한 그림이다. 두 개의 면에서 서로 공유하고 있는 모서리들인 $e1$ 과 $e2$ 를 제거하고 하나의 면으로 생각하면 Fig. 12(b)와 같이 두 개의 루프가 형성되며, $L1$ 은 내부루프에 해당하고, $L2$ 는 외곽루프에 해당한다. 따라서, 이 경우 다면구멍루프는 $L1$ 이 된다.

마찬가지로, 임의의 n 개의 면에서 서로 공유되는 모서리들을 제외하고 나머지 모서리들로 루프를 생성했을 때 내부루프가 존재하면, 그 내부루프는 다면구멍루프로 정의된다.

2.3 다면구멍루프의 필요조건

다면구멍루프가 관통특징형상을 구성하기 위해서는 몇가지 조건이 필요하다. 관통특징형상을 구성하기 위해서 다면구멍루프를 구성하는 모서리들은 모두 볼록성질을 가져야 하며, 또한 이러한 성질을 만족시키는 다면구멍루프라 하더라도 제품모델을 구성하는 면들과의 관계에 의해 예외적인 경우로 분류되어 관통특징형상의 인식과정에서 제외되는 경우가 있다. 이 절에서는 이러한 다면구멍루프의 조건들에 대해 살펴보도록 한다.

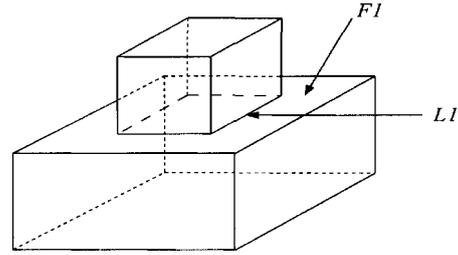


Fig. 13. Hole loop which does not construct passage feature.

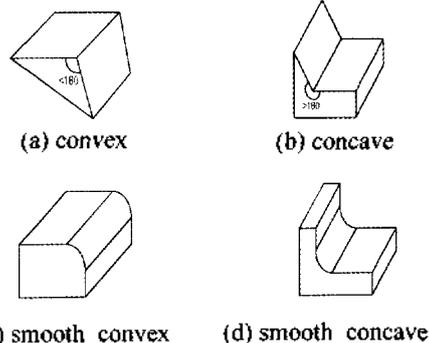


Fig. 14. Kyprianou's edge classification^[8]

2.3.1 모서리의 볼록성질

다면 구멍루프가 가져야 할 특성으로, 다면 구멍루프를 이루는 모든 모서리는 볼록성질(convexity)을 가져야 한다. 예를 들어, Fig. 13과 같은 파트가 있을 경우 루프 $L1$ 은 면 $F1$ 에서 구멍루프가 되지만, 실제로 파트에서는 관통특징형상을 구성하지 않는다. 따라서, 모서리의 볼록성질을 판별하는 과정이 필요하며, Kyprianou에 의한 모서리 볼록성질의 분류는 Fig. 14와 같다^[8].

이와 같이 모서리의 볼록성질을 검사하여, 오목이나 완만오목의 성질을 가지는 모서리가 포함된 다면구멍루프는 관통특징형상의 검색에서 제외되게 된다.

2.3.2 예외 경우(Exceptional Case)

다면구멍루프는 관통특징형상 부위에 분할면을 생성하는 과정에서 분할면을 구성하는 모서리들의 집합이 된다. 또한, 관통특징형상을 막기 위해 생성한 분할면은 제품 파트를 구성하는 면들과 겹쳐져서는 안된다.

Fig. 15는 이러한 조건을 만족시키는 다면구멍루프의 예이며, Fig. 16은 이러한 조건을 만족시키지 않는 다면구멍루프를 보여 주는 예이다. 즉, Fig. 15(a)와 같은 병합면들에 의해 인식되는 다면구멍루프는 Fig. 15(b)의 루프 $L2$ 가 되며, 이 다면구멍루프를

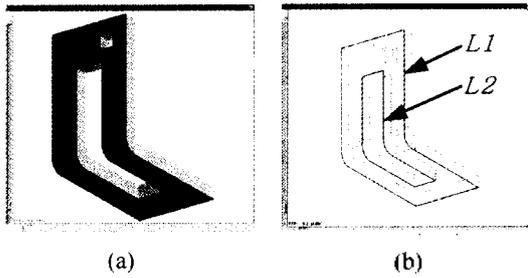


Fig. 15. Example of valid multi-face hole loop.

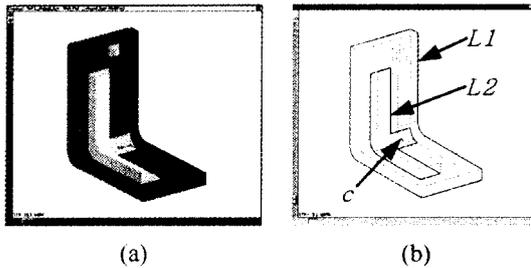


Fig. 16. Example of invalid multi-face hole loop.

사용하여 생성한 분할면은 제품 파트를 구성하는 면들과 겹쳐지는 부분이 없지만, Fig. 16(a)의 병합면들을 통해 인식된 다면구멍루프인 Fig. 16(b)의 루프 L2를 사용하여 관통특징형상 부위에 분할면을 생성하게 되면, 제품 파트를 구성하는 면인 c와 생성된 분할면은 서로 겹쳐지게 된다. 각각에 대해 루프 L1은 외곽루프로 인식되는 루프이다. 이 두가지의 다면구멍루프가 모두 인식될 수 있으며, 따라서 이들 중 조건을 만족시키지 않는 다면구멍루프는 관통특징형상의 인식과정에서 고려하지 않도록 해야 한다. 이와 같이, 잘못된 분할면을 생성하게 되는 다면구멍루프를 인식하지 않기 위한 조건은 다음과 같다.

다면구멍루프를 구성하는 모서리를 공유하는 면들 중에서 병합에 참여하지 않은 면들이 관통특징형상 옆면이 된다. 관통특징형상 옆면끼리 공유하는 모서리의 시작점과 끝점이 모두 같은 다면구멍루프에 연결되어 있을 경우, 이 모서리와 다면구멍루프의 일부 모서리는 하나의 루프를 형성하게 된다. 이 루프를 사용하여 생성한 분할면은 관통특징형상 옆면과 동일한 면이 되며, 따라서 제품 파트를 구성하는 면과 겹쳐지게 된다.

Fig. 17은 Fig. 16(b)를 2차원으로 표현한 것으로 F1, F2, F3, F4는 병합면이 되고, S1, S2, S3, S4, S5는 관통특징형상 옆면이 된다. Fig. 17에서 모서리

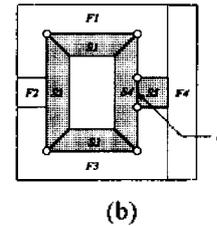
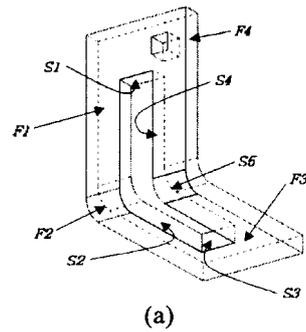


Fig. 17. 2-D View of Fig. 16(b).

a의 경우, 관통특징형상 옆면끼리 공유하는 모서리가 되며, 그 시작점과 끝점이 모두 같은 다면구멍루프 상에 연결되어 있다. 따라서, 다면구멍루프를 구성하는 모서리 중 면 S5에 속해 있는 모서리들과 모서리 a는 하나의 루프를 형성하며, 이 루프를 사용하여 생성한 분할면은 면 S5와 동일한 면이 되어 서로 겹쳐지게 된다. 참고로, F2면과 S5면은 동일한 형상을 가진 면이지만, 관통특징형상 옆면인 S5면은 이 면을 구성하는 모서리들에 의해 생성된 분할면과 겹쳐지게 되지만, 병합면인 F2면은 생성된 분할면과 겹쳐질 가능성이 없게 되므로, F2면과 같은 병합면들은 고려의 대상에서 제외된다.

그러므로, 관통특징형상 옆면끼리 공유하는 모서리들의 양끝점이 모두 다면구멍루프에 존재할 경우 이 다면구멍루프를 제외함으로써, 잘못된 분할면을 생성하게 되는 다면구멍루프의 인식을 막을 수 있다.

2.4 병합시킴 면 선정 과정

파트에서 다면 구멍루프를 찾기 위해서는, 서로 연결되어 있어 병합할 수 있는 면들의 조합을 찾아내는 과정이 필요하다. 이는 두가지 방법이 있을 수 있는데, 그 첫번째 방법은 파트의 모든 면에서 임의의 k개 병합할 면의 개수의 면조합을 추출한 다음, 이들의 연결성을 판별하여 병합할 면들의 조합을 찾는 방법이다. 하지만, 이 방법은 Eq. (1)에서 볼 수 있듯이 조합의 특성상 파트의 전체 면의 개수가 많을

경우, 병합할 면의 개수가 증가함에 따라 그 조합의 수는 근사적으로 전체 면 개수의 병합할 면 개수승의 비율로 증가하게 된다.

$${}_n C_r = \frac{n!}{r!(n-r)!} = \frac{n(n-1)(n-2)\dots(n-r+1)}{r(r-1)(r-2)\dots 1}$$

$$X = O(n^r) \tag{1}$$

- X : 조합의 수
- n : 전체 면의 개수
- r : 병합할 면의 개수

실제로 제품의 전체 면의 개수가 200개 정도일 경우, 4개의 면들의 조합의 개수는 64,684,950개이다. 따라서, 이 방법은 병합할 면들의 조합을 찾는 데에 효율적인 방법이 되지 못한다.

두번째 방법은 각 면에서 연결되어 있는 다른 면들을 찾아가는 방식으로, 하나의 면에 대해 연결된 면들을 검색하고 검색된 면들 중 하나의 면에 대해 또다시 연결된 면들을 검색해 가는 방식이다. 조합을 검색하는 과정에서 조합의 멤버(member)가 되는 병합면들은 스택(stack)에 의해 기억된다. 즉, 이미 조합의 멤버로 등록된 면들 중 가장 마지막에 등록된 면에 연결되어 있는 면들을 검색하여 조합의 멤버로 등록하며, 더 이상 연결된 면이 없을 경우에는 가장 마지막에 등록된 멤버를 제거하고 그 이전에 등록된 멤버에 대해 검색을 수행한다. 이 방법은 위의 첫번째 방법이 서로 연결되지 않은 면들의 조합들도 모두 검색하여 그 연결성을 검사하는 데 비해, 서로 연결되어 있는 면들만을 검색함으로써 병합할 면들을 찾는 데 걸리는 시간을 효율적으로 줄일 수 있다.

이렇게 하여 생성된 병합면 조합은 다면구멍루프를 찾는 모듈에서 사용되게 되며, 병합시킬 면의 개수가 증가할 때마다 수행되어 조합을 생성하게 된다.

3. 구현 및 적용에

3.1 프로그램의 구조 및 구현

알고리즘의 기본 개념은 관통특징형상 인식작업을 통해 찾아낸 관통특징형상의 개수가 오일러식을 통해 알아낸 관통특징형상의 전체 개수와 같아질 때까지 서로 병합(merge)되는 면의 개수를 증가시키면서 다면구멍루프를 찾고, 그 다면구멍루프와 연결된 면의 모서리들을 검색하여 또 다른 다면구멍루프와 연결되는지를 판단하여 관통특징형상을 이루는 다면구멍루프들을 찾아내는 것이다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 병합시킬 면의 개수를 하나씩 증가시키면서 관통특징형상을 검색하므로, 제품 모델에 존재하는 전체 관통특징형상을 검색하는 데에 소요되는 시간은 가장 많은 면에 걸쳐져 있는 관통특징형상에 의해 결정되며, 이는 최대 병합면 개수에서의 병합면 조합의 개수로 표현될 수 있다.

2.4절에서 살펴본 바와 같이, 병합면 조합을 검색하는 방식이 하나의 면에 대해 연결된 면들을 검색하고 검색된 면들 중 하나의 면에 대해 또다시 연결된 면들을 검색해 가는 방식이므로, 모델을 구성하는 전체 면의 개수가 n개이고 각 면에 대해 평균적으로 연결되어 있는 면의 개수가 m개, 병합할 면의 개수가 r개이면 병합면 조합의 개수는 다음과 같은 정도가 된다.

$$X = O(n \cdot m^{r-1}) \tag{2}$$

- n : 전체 면의 개수
- m : 각 면에 대해 평균적으로 연결되어 있는 면의 개수
- r : 병합할 면의 개수
- X : 병합면 조합의 개수

대부분의 제품 모델의 경우, 각 면에 대해 평균적으로 연결되어 있는 면의 개수는 전체 면의 개수에 비해 매우 작은 수로 4개에서 8개 사이의 값을 가진다.

Fig. 18과 같은 모델의 경우, 전체 면의 개수는 286개이며 각 면에 대해 평균적으로 연결되어 있는 면의 개수는 5개이다. 이에 대해 예상되는 병합면 조합의 개수는 다음과 같다.

본 논문에서 개발한 프로그램의 구조는 Fig. 19과 같으며, UniGraphics V15.0 API를 사용하여 Windows

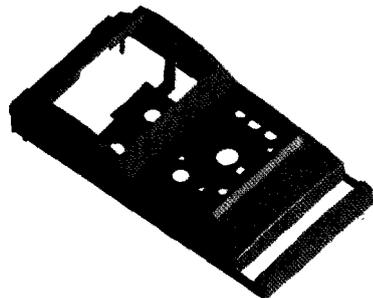


Fig. 18. Simplified mini-component front cover.

Table 1. Order of combinations for part in Fig. 18

병합면 수	예상되는 병합면 조합의 수
1	286
2	1430
3	7150
4	35750

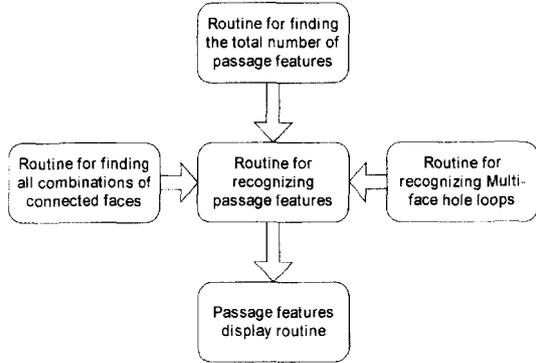


Fig. 19. Modules in developed program.

NT 환경에서 구현되었다.

3.2 적용예

3.2.1 관통 포켓 형상

이 예제는 포켓형상 및 홀형상들로 구성되어 있으며, 하나의 면에 존재하는 구멍루프로 구성된 관통 특징형상의 인식을 보여주는 것이다. 다만 포켓 형상의 경우에는 가장 좁은 통로가 되는 부분이 관통 특징형상으로 인식되게 된다. Fig. 20의 (b)는 총 6개의 인식된 관통특징형상을 보여주고 있다.

3.2.2 L자형 파트

이 예제는 L자 형상으로 중앙에 관통특징형상을 가진 파트이며, 사출 제품에서 쉽게 찾아볼 수 있는 형상이다. 이 예제의 경우 관통특징형상은 4개의 면에 걸쳐져 있는 구멍루프로 구성되어 있으며, Fig.

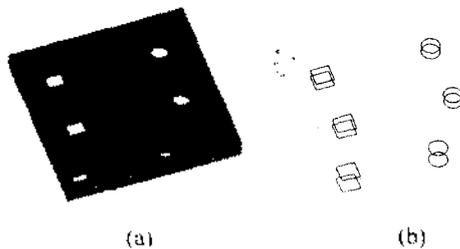


Fig. 20. Example part with floorless pocket and thru-hole.

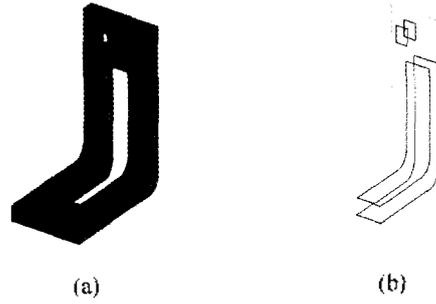


Fig. 21. L-shaped example part.

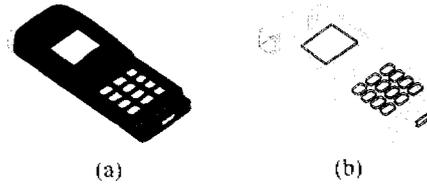


Fig. 22. Example part-handphone.

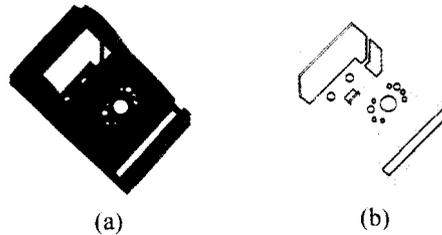


Fig. 23. Example part-mini-component.

21의 (b)는 인식된 관통특징형상을 보여주고 있다.

3.2.3 핸드폰

이 예제는 플립형 핸드폰을 모델링한 것으로 실제 제품과 유사하게 곡면처리되었다. 총 14개의 관통특징형상으로 구성되어 있으며, Fig. 22의 (b)는 인식된 관통특징형상을 보여주고 있다.

3.2.4 미니컴포넌트(Mini-component)

이 예제는 미니컴포넌트의 프론트 커버(front cover)를 모델링한 것으로, 여러 면에 걸쳐져 있는 관통특징형상의 인식을 보여주는 예이다. 총 15개의 관통특징형상으로 구성되어 있으며, Fig. 23의 (b)는 인식된 관통특징형상을 보여주고 있다.

4. 결론 및 향후연구과제

본 논문에서는 다면구멍루프라는 개념을 사용하여 관통특징형상을 인식하는 알고리즘을 개발하였다. 다

품질 소량생산이라는 제품 생산 추세에 따라 금형의 설계 및 생산 속도는 제품의 생산성으로 직결되며, 따라서 3차원 모델러를 이용한 금형데이터 생성으로 CAD와 CAM을 통합하여 금형 생산 속도를 높이려는 노력이 행해지고 있다. 특히, 3차원 모델러를 사용하여 금형을 설계하는 데 있어 분할면의 자동생성은 현재 주요 연구 대상이 되고 있다.

분할면은 코어와 캐비티를 생성하는 과정에서 제품을 상면과 하면으로 나누기 위해 사용되는데, 제품에 존재하는 관통특징형상은 이러한 분할면의 자동생성에 있어 가장 큰 걸림돌이 되고 있다. 특히, 여러 면에 걸쳐져 있는 관통특징형상의 경우, 그 인식에 있어서도 많은 어려움을 겪고 있다. 따라서, 본 논문에서 개발한 알고리즘은 여러 면에 걸쳐져 있는 관통특징형상의 인식에 사용되어 분할면의 자동생성을 도움으로써, 궁극적으로 사출금형의 설계시간을 단축시킬 수 있을 것이다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 병합할 면의 개수를 하나씩 늘려가면서 관통특징형상을 찾는 방식이므로 관통특징형상을 찾는 데에 소요되는 시간은 관통특징형상에 연결되어 있는 최대 면의 개수에 의해 좌우된다. 또한, 병합할 면의 개수가 많아질수록 찾아야 할 병합면 조합의 수가 많아져서 병합할 면들을 찾는 데에 걸리는 시간이 증가하게 된다. 그러므로, 파트를 구성하는 면들의 연결관계를 통해 보다 빠른 시간내에 병합할 면들을 찾아낼 수 있는 알고리즘의 개선이 필요하다. 또한, 실제적인 금형 설계 과정에 효과적으로 적용될 수 있도록, 본 논문의 알고리즘을 통해 인식된 관통특징형상에 대한 정보들을 기반으로 분할면을 자동으로 생성하는 알고리즘의 개발이 요구된다.

참고문헌

1. Sutherland, I. E., "Sketchpad: A man-machine graphical communication system", *Proc. Of Spring Joint Computer Conference*, 23, pp. 329-349, 1963.
2. Kyprianou, L. K., *Shape Classification in Computer Aided Design*, Ph.D. dissertation, Kings College, U. of Cambridge, UK., 1980.
3. JungHyun Han, *Survey of Feature Research*, Technical Report IRIS-96-346, Institute for Robotics and Intelligent Systems, USC, USA, 1996.
4. Joshi, S. and Chang, T. C., "Graph based Heuristics for Recognition of Machined Features from a 3-D Solid Model", *Computer Aided Design*, Vol. 20, pp. 58-66, 1988.
5. Woo, T., "Feature Extraction by Volume Decomposition", *Proc. Conf. CAD/CAM Technology in Mechanical Engineering*, Cambridge, MA, USA, March 1982.
6. Sakurai, H. and Chin, C., Defining and Recognizing Cavity and Protrusion by Volumes, *ASME Computers in Engineering Conference Proc.*, pp. 59-65, Sep. 1993
7. Vandenbrande, J. H., *Automatic Recognition of Machinable Features in Solid Models*, Ph.D. dissertation, Elec. Eng. Dept., Univ. of Rochester, 1990.
8. Jami J. Shah, Martti Mantyla, *Feature Recognition Technique: Parametric and Feature-based CAD/CAM*, John Wiley & Sons, Inc. pp. 323.
9. Marefat, M. and Kashyap, R. L., Geometric Reasoning for Recognition of 3-D Object Features, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 12, No. 10, pp. 949-965, October 1990.
10. Kim, Y., Recognition of Form Features using Convex Decomposition, *Computer Aided Design*, Vol. 24, No. 9, pp. 461-476, 1992.
11. Coles, J., Crawford, R. and Wood, K., Form Feature Recognition using Base Volume Decomposition, *ASME Design Automation Conf.*, pp. 281-297, Sep. 1994.
12. Kunwoo Lee, *Principles of CAD/CAM/CAE Systems*, Addison Wesley, Inc.
13. R. Gadh, F. B. Prinz, Recognition of Geometric Forms using the Differential Depth Filter, *Computer Aided Design*, Vol. 24, pp. 583-598, 1992.
14. S. Gao, J. J. Shah, Automatic Recognition of Interacting Machining Features based on Minimal Condition Subgraph, *Computer Aided Design*, Vol. 30, pp. 727-739, 1998.
15. J. Han, *3D Geometric Reasoning Algorithms for Feature Recognition*, Ph.D. thesis, Computer Science Dept., Univ. of Southern California, Los Angeles, 1996.
16. 정승욱, 정강훈, 정종훈 외, 상용 Solid Modeler 기반 사출금형 설계 CAD System의 개발, 99한국 CAD/CAM학회 학술발표회 논문집, pp 199-203, Feb. 9, 1999.



정 각 훈

1998년 서울대학교 기계설계학과 학사
2000년 서울대학교 기계설계학과 석사
2000년 삼성 SDI 입사
관심분야 : Feature recognition, CAD systems for injection mold, Computer aided geometric modeling



이 건 우

1978년 서울대학교 기계공학과 학사
1981년 미국 MIT 공학석사
1984년 미국 MIT 공학박사
1984년~1986년 Univ. of Illinois at Urbana-champaign 조교수
관심분야 : Computer aided geometric modeling, Rapid prototyping & tooling, Virtual design & prototyping, CAD systems for injection mold, Custom-made shoe design