

열원을 이용한 공정에서 지그재그 공구 경로 연결 알고리즘

김효찬*, 이상호**, 양동열***

Zigzag Tool-Path Linking Algorithm for Shaping Process Using Heat Source

Kim, H. C.* , Lee, S. H.** and Yang, D. Y.***

ABSTRACT

Recently, hot processing using the heat source like laser machining and RFS was developed and spreaded gradually. In order to generate tool-path for the proper hot tool, a new tool-path linking algorithm is needed because tool-path linking algorithm for machining can't be applied. In this paper, zigzag tool-path linking algorithm was proposed to generate tool-path automatically for RFS. The algorithm is composed of three steps: 1) Generating valid tool-path element, 2) Storing tool-path elements and creating sub-groups, 3) linking sub-groups. Using the proposed algorithm, CAD/CAM software for the tool-path generation of hot tool was developed. The proposed algorithm was applied and verified for Venus's face and die of cellular phone case.

Key words : Tool-path generation, Zigzag tool-path linking, Shaping using heat source

1. 서 론

최근 열, 레이저, 초음파 또는 전기 등과 같이 새로운 에너지 원을 이용하여 재료를 가공하는 공정이 많이 개발되고 있다. 이와 같은 다른 에너지 원을 이용하여 재료를 가공하는 방법은 기존의 절삭 방법에 의해 가공이 불가능하였던 재료를 가공할 수 있게 해주었을 뿐만 아니라 보다 정밀하고 빠르게 가공할 수 있어 현업에서 적용 범위가 점점 넓어지는 추세이다. 이러한 경향의 예로 최근 폼 재료를 열 공구를 이용하여 쾌속 가공할 수 있는 공정이 개발되고 있다¹⁾. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 새롭게 개발된 공정인 RFS(Rapid Feature Shaping) 공정은 열에 의해 가공하기 때문에 가공 저항이 거의 없고 가공시 발생하는 잔여 재료를 모두 열 분해하기 때문에 작업 환경이 개선되는 등 청정 생산 시스템 구축이 가능하다.

이러한 다른 에너지원에 의해 재료를 가공하는 공정들의 경우 각각의 공구 경로를 CAD 데이터에 맞게 공구 경로를 자동으로 생성하여 주는 CAD/CAM 시

스템이 필요하다. 이러한 새로운 에너지원에 의해 가공되는 공정의 경우에도 절삭 가공에서 사용하는 대부분 상업용 소프트웨어(LidgeCAM, EASY-ROB, PowerMill)를 사용하고 있는 실정이다. 이들 소프트웨어의 경우 절삭 공구를 사용하는 일반 절삭 가공에 적합하며 시스템 모델링과 시뮬레이션에는 뛰어난 성능을 보이지만, 사용법을 익히기 어렵고 고가인 관계로 사용이 용이하지 않았다.

또한, 절삭과 새로운 에너지원 즉 열에 대한 가공 특성이 다르기 때문에 기존의 절삭 전용 상업용 소프트웨어를 사용할 경우 예기치 못한 오차가 발생하게

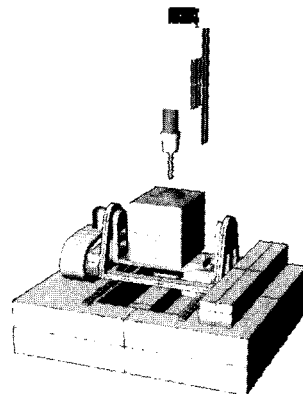


Fig. 1. Concept of RFS.

*학생회원, 한국과학기술원 기계공학과

**한국과학기술원 기계기술연구소

***한국과학기술원 기계공학과

논문투고일: 2004. 03. 31

심사완료일: 2004. 05. 31

된다. 예를 들어 절삭 공구에 대한 가공 경로 생성에서는 공구의 지체 시간(Dwell Time), 가공면 재이송, 공구 경로의 집중화 등은 전혀 고려 대상이 아니다. 그러나 열을 공구의 경우는 위의 현상에 의해 지명적인 오차가 발생한다. 열에 의한 가공의 경우 공구의 지체 시간은 과삭(Over Cutting)의 원인이 되며 가공면의 재이송의 경우 비록 섭축이 발생하지 않는다 하더라도 복사열에 의해 오삭(Error Cutting)이 될 위험이 있다. 또한, 공구 경로가 일정 영역에 집중될 경우 집중된 열에 의해 재료의 변형 및 오삭이 될 수 있다. 이러한 열 에너지원을 이용한 가공에서 열 특성을 고려한 CAD/CAM 소프트웨어 개발이 필요하며 공구 경로 구성시 기존의 절삭 가공과는 다른 방법과 알고리즘의 적용이 필수적이다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 열 공구에 적합한 새로운 가공 경로 생성 계획을 제안하며 구현하는데 그 목적이 있다.

기존의 절삭 가공 공구 경로 생성 소프트웨어와 열 가공에 적합한 가공 경로 생성 소프트웨어의 가장 큰 차이점이 되어야 할 것은 공구의 지체 시간과 열 집중 방지이다. 이러한 문제는 열 공구를 이용한 가공 뿐만 아니라 가공 시 공구의 지체 시간에 밀접한 관계가 있는 레이저 가공 및 EDM가공의 공구 경로 생성에서도 주요하게 다루어지고 있는 문제이다. 가공 경로 생성에서 공구의 지체 시간과 열 집중을 결정하는 주요한 요소는 공구 경로 요소(TPE)를 생성하고 연결하는 부분이다. 일반적으로 절삭 가공의 포켓 가공에서 공구 경로 요소 생성 및 연결(Tool-path linking)을 수행할 때에는 Guyder의 공구 경로 최적화 지침²⁾을 따라 공구경로가 생성된다. 지침을 살펴보면 1) 과삭이 없어야 한다, 2) 하나의 공구 경로가 가공되는 것에 양쪽에 이웃된 공구경로가 모두 가공되는 것은 피해야 한다, 3) 한번 가공한 경로를 다시 가공하는 것은 피해야 한다, 4) 오프셋 공구경로에서 가장 안쪽부터 가공을 시작하는 것이 좋다, 5) 형상면과 인접한 공구경로는 특별히 주의를 기울여서 가공해야 한다, 6) 공구 후퇴를 최소화한다, 7) 아직 가공되지 않은 부분을 공구가 가로지르는 것은 피해야 한다, 8) 이미 가공된 경로를 공구가 가로지르는 것은 허용할 수 있다. 1998년에는 Kai Tang 등은 지그재그 포켓 가공에서 공구의 후퇴를 최소화하기 위한 영역 분할 알고리즘을 제안하였으며³⁾ 2000년에 S. C. Park 등은 지그재그 공구 경로에서 최적의 공구 경로 계획을 위해 최적의 기준선(Sweep Line) 기술기, 공구 경로 연결 및 저장 알고리즘을 제안하였다⁴⁾. 2001년에 박상철 등은 Guyder의 지침에 맞는 포켓 가공을 위한 오프셋 공구

경로 연결 알고리즘을 제안하였다²⁾.

본 논문에서는 기존의 절삭가공에서 공구 경로 연결의 지침으로 사용하였던 Guyder의 지침을 열 가공에 적합한 공구 경로 지침으로 수정하도록 한다. 수정된 지침에 맞추어 열 가공시 공구의 지체와 한 영역의 머무름에 의해 과도하게 발생하는 열 집중이 발생하지 않도록 하는 새로운 지그재그 공구 경로 연결 방법을 제안하고 이를 구현하였다. 그리고 수행함으로써 제안된 가공 경로 연결 알고리즘 타당성을 검증하기 위해서 비너스 열균 형상과 휴대폰 금형 형상에 적용하였다.

2. 열 가공에 적합한 가공 경로 생성 지침

본 장에서는 절삭 가공에서 사용되어온 Guyder의 지침을 열 가공에 적합하게 수정하고자 한다. 다음의 지침의 경우는 열 가공에서도 기존 지침과 동일하게 적용되는 것들이다.

- 1) 과삭이 없어야 함
- 2) 하나의 공구 경로가 가공되는 것에 양쪽에 이웃된 공구 경로가 모두 가공되는 것은 피해야 할 것
- 3) 한번 가공한 경로를 다시 가공하는 것은 피할 것
- 5) 형상면과 인접한 공구 경로는 특별히 주의를 기울일 것
- 7) 아직 가공되지 않은 부분을 공구가 가로 지는 것은 피할 것

그러나 기존의 지침에서 4), 6), 8)의 경우는 가공 시간에 따라 지대한 영향을 받는 열원을 이용한 가공에 적합하지 않다. 따라서, 다음과 같이 수정할 수 있다.

- 4) 오프셋 공구 경로에서 가장 바깥쪽부터 가공하는 것이 좋음
- 6) 열 집중이 일어나지 않게 하기 위해서는 적절한 시점에서 공구의 후퇴가 발생해야 함
- 8) 이미 가공된 경로를 공구가 가로지르는 것을 피해야 함

수정 항목 별로 부가 설명을 하면 4)의 항목의 경우는 열 가공시에는 안쪽부터 가공 시 초기 공구가 재료에 진입할 때(절삭에서는 드릴링과정) 공구의 열이 정상 상태에 도달하지 않은 상태로 가공이 발생하여 가공 오차가 발생하기 쉽다. 따라서 이러한 현상을 없애기 위해 초기가공은 최외각부터 가공하는 것이 좋

다. 6)의 경우 열 가공에서는 적절하게 공구의 후퇴를 수행하여 과도하게 입열되는 열의 양을 조절해야 한다. 물론, 공구 후퇴에 따른 가공 시간 증가와 생산성의 감소가 우려되지만, 열 가공에서는 가공 속도가 절삭 가공에 비해 2배 이상을 빠르기 때문에 이러한 문제는 발생하지 않는다. 8)의 경우는 열 가공시에는 절삭 가공과 다르게 이미 가공된 경로에 열 공구가 지나갈 때 접촉이 일어나지 않더라도 공구에서 발생하는 복사열에 의해 재료가 과삭될 위험이 있다. 따라서, 이러한 상황을 허용할 수 없으며 새로운 가공 위치로 이동하기 위해서는 복사열의 영향이 없는 일정 높이에서 이동하도록 한다.

이와 같이 열 가공에 적합하게 구성된 가공 경로 생성 지침에 맞는 공구 경로 연결 알고리즘을 다음 장에 제안하였다.

2. 공구 경로 연결 알고리즘

공구 경로 연결 알고리즘은 Fig. 2와 같이 크게 세 부분으로 구성된다.

2.1 공구 경로 요소 생성

일반적인 지그재그 공구 경로 생성 순서는 Fig. 3¹⁾와 같다. 가공 형상의 윤곽선에 대해 공구 직경만큼 유효를 수행하여 가상의 가공 선을 생성한 다음 기준선(Sweep Line)을 주어진 각도만큼 일정 간격으로 생성하여 가상의 가공선과 교차점을 구한다. 구해진 교차점은 공구 경로 요소의 시작점과 끝점으로 저장된다. 이 때 생성된 공구 경로는 유효 공구 경로 탐색 알고리즘을 통해 유효 경로를 검색하여 다시 저장한다. 유효 경로 탐색 알고리즘은 간단히 다음과 같이

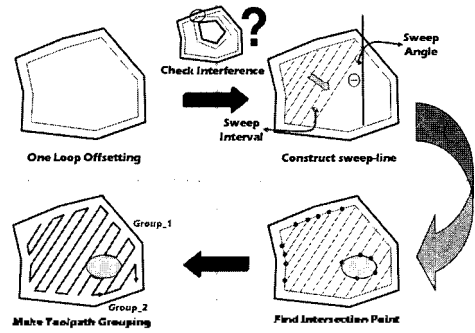


Fig. 3. Flowchart of generating zigzag toolpath.

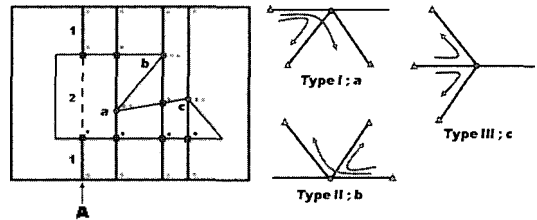


Fig. 4. Classification of double intersection vertex.

설명할 수 있다. 저장된 경로의 시작점을 이용하여 순차적으로 유효 경로를 저장한다. 예를 들어 Fig. 4(A)의 공구 선상에서 1의 경우는 공구가 가공할 영역의 선이며 2의 경우는 공구 경로가 아니다. 따라서, 생성된 교선들중 실제 가공 영역에 해당하는 선을 유효 가공 선이라 할 수 있다.

그러나 위의 경우는 이중 교차점(V_{DI} , Double Intersection Vertex)이 발생하지 않는 경우에 적용되는 알고리즘이며 이중 교차점이 발생할 경우에는 다음과 같이 탐색한다.

이중 교차점이란 Fig. 4의 a, b, c점처럼 교차점을 지나는 선분이 세 개 이상일 경우의 심을 말하는 것이다. 따라서, 이러한 경우 다음의 알고리즘을 통해 이중 교차점의 문제를 해결한다.

■ 유효 공구 경로 탐색 알고리즘

//입력 : 발생한 모든 공구 경로

//출력 : 유효한 공구 경로

// V_{DI} : Double Intersection Vertex

1) $TPE_v =$ 발생한 모든 교차선

2) If $TPE_v = NULL$, 멈춤

3) $TPE_v = TPE_g$ 일반 탐색

3) If TPE_g 에 V_{DI} 가 포함되어 있으면 $TPE_{temp} = TPE_g$

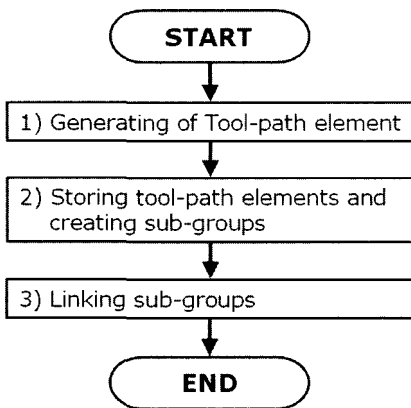


Fig. 2. Flowchart of algorithm toolpath linking.

- 4] V_{Dr} 를 지나는 선분에 포함된 점(Vertex)으로 Loop 구성
- 5] Loop 구성 방향이 다를 경우 Type III
- 6] Loop 구성 방향이 동일할 때
 - CASE I : CW 이면 Type I
 - CASE II : CCW이면 Type II
- 7] Type III의 경우 TPE_{temp} 삭제
- 8] Type I, II일 경우 $TPEV = TPE_{temp}$
- 9] $TPE_{temp} = NULL$ 일 경우 처음으로 되돌아 감

2.2 공구 경로 행렬화 및 서브(Sub) 경로 구성

본 장에서는 생성된 유효 공구 경로를 새롭게 제안된 규칙에 맞추어 행렬에 저장을 한다. 이 저장된 행렬의 행과 열의 정보를 이용하여 열 가공시 입열이 집중되지 않는 공구 경로 연결을 수행한다. 지그재그 공구 경로의 경우는 동일한 각도로 기울어진 기준선(Sweep line)을 일정 방향으로 일정 간격만큼 진행되기 때문에 다음의 형태로 저장할 수 있다.

TE_{ij}

- i : 기준선 수직 방향으로의 리스트 번호
- j : 기준선 방향으로의 리스트 번호

Fig. 5는 제안된 행렬화 방법에 대한 이해를 돕기 위해 도식으로 공구 경로 요소가 저장된 예를 나타낸다. 이와 같이 저장된 공구 경로 구성 요소들은 동일 성격을 가지는 서브 그룹으로 구성되어 저장된다. 동일 성격의 의미는 TPE 저장 행렬에서 j번째 열을 검색할 때 $TE_{i,j}$ 에서 $TE_{i,j}$ 까지 공구 경로 요소가 존재한다 가정하면 행값이 증가하면서 j+1열에 공구 경로 요소 존재 여부를 검색한다. 초기 i=0에서 j+1에 공

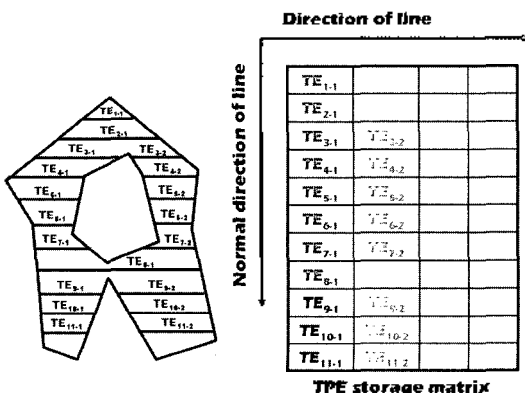


Fig. 5. TE_{ij} representation and TPE storage matrix.

구 경로 요소가 존재하지 않을 경우 검색하면서 j+1열에 공구 경로 요소가 존재하지 않는 것에 한하여 1차 서브 그룹핑을 한다. 1차 서브 그룹핑 후 다시 j열을 검색하여 j+1에 공구 경로 요소가 없는 행까지 검색하여 2차 서브 그룹핑을 한다. 이와 같은 방법으로 Fig. 5의 형상에 대한 공구 경로의 서브 그룹핑 수행결과는 다음과 같다.

- Subpath 1 : { $TE_{1,1}, TE_{2,1}$ }
- Subpath 2 : { $TE_{3,1}, TE_{4,1}, TE_{5,1}, TE_{6,1}, TE_{7,1}$ }
- Subpath 3 : { $TE_{8,1}$ }
- Subpath 4 : { $TE_{9,1}, TE_{10,1}, TE_{11,1}$ }
- Subpath 5 : { $TE_{3,2}, TE_{4,2}, TE_{5,2}, TE_{6,2}, TE_{7,2}$ }
- Subpath 6 : { $TE_{9,2}, TE_{10,2}, TE_{11,2}$ }

실명된 방법의 실제 구현을 위한 알고리즘은 다음과 같다.

■ 공구 경로 요소 서브 그룹 구성 알고리즘

```

//입력 : 유효한 공구 경로 요소
//출력 : 그룹핑된 서브 그룹
1]  $TE[i, j]$  정의 : Edge의 양끝의 점 데이터와 시작점에 플래그가 있는 클래스 구조
   TPEe는 유효 공구 경로 요소
2] while (TPEe == NULL)
   {
   //TPEe를 행렬 구조에 순차적으로 저장하는 모듈
   TPE[i, j] = TPEe;
   }
3] while (TE[i, j] == NULL)
   {
   //동일 성격 경로 요소를 검색하여 서브 그룹핑
   동일 성격을 가지는 그룹을 검색하여 저장
   Sub [k] = TE[i, j] ; //서브 그룹 k에 저장
   성격이 다른 그룹일 경우 k값 증가하여 다시 저장
   }
    
```

위 알고리즘에서 공구 경로 요소의 가공 방법이 단방향 가공이 아닌 지그재그 방향 가공이기 때문에 선분(Edge) 데이터 저장시 선분을 구성하는 점(Vertex)의 시작과 끝을 표시하여주는 플래그가 필요하며 이

는 저장 선분 데이터의 클래스 구조에 포함시켰다.

2.3 구성된 서브 그룹 경로의 연결

2.2절에서 동일한 성질로 구성된 서브 그룹은 가공 열량의 집중이 최소화 되는 방향으로 각각 연결하여 최종 열 가공 경로를 생성한다. 여기서는 지침중에서 공구 이송시 복사열에 의해 오샤이 발생하는 것을 방지하기 위하여 추가 경로(Dummy-path)를 생성하여 각 루프 사이를 연결시키는 방법을 적용하여 구현하였다.

■ 서브 그룹 연결 알고리즘

//입력 : 저장된 sub[k] 구조
//출력 : Finalpath Loop 구조체

- 1) Sub[k] 로딩
- 2) 각 서브 그룹 사이에는 공구의 이송을 위한 지정된 높이(h) 설정
- 3) Dummy-path (이송 경로) 생성
- 4) Finalpath = sub[k]; Finalpath = Dummy-path;
Finalpath=sub[k+1]
- 5) Sub[k] = = NULL이면 종료.

3. 제안된 알고리즘 적용 및 구현

2장에서 제안된 열 가공에 적합한 공구 경로 연결 알고리즘을 실제 개발된 CAD/CAM 소프트웨어에 적용/구현함으로써 타당성을 입증한다.

3.1 CAD/CAM 소프트웨어 구성

Fig. 6에서 보는 바와 같이 2장의 공구 경로 연결 알고리즘이 적용된 CAD/CAM 소프트웨어의 순서도는 다음과 같다. 개발된 소프트웨어 공구 경로 생성 과정은 STL 3차원 형상 데이터를 불러들여 사용자가 원하는 가공 두께 만큼 슬라이싱하여 동일 높이에 대한 윤곽 데이터 생성한다. 생성된 윤곽 데이터에 본 논문에서 제안한 방법을 적용하여 지그재그 가공 경로를 생성하며 TE_{ij} 형태로 공구 경로를 저장 및 서브 그룹핑하고 최종 연결하여 가공 경로를 생성한다.

3.2 제안된 알고리즘 구현 결과

본 절에서는 제안된 알고리즘을 이용하여 구현한 CAD/CAM 소프트웨어를 통해 실제 형상에 대한 가공 경로를 생성함으로써 알고리즘을 검증하도록 한다.

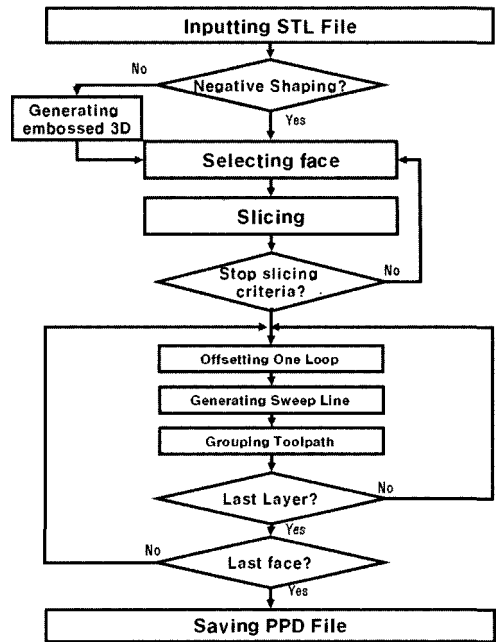


Fig. 6. Flowchart of CAD/CAM software using zigzag tool-path linking algorithm for hot shaping.

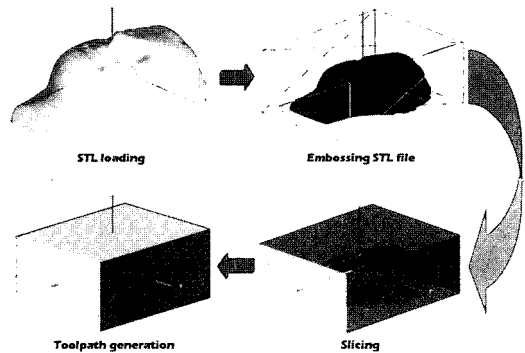


Fig. 7. Toolpath generation process for shaping Venus sculpture.

Fig. 7은 비너스 형상의 얼굴 부조면 열 가공을 위한 가공 경로를 생성한 예이다.

본 논문에서 제안한 알고리즘의 적용여부를 확인하기 위하여 Fig. 8처럼 일정 높이에서의 지그재그 가공 경로를 검토하였다. 기존의 절삭 가공에서 적용하는 공구 경로 연결 알고리즘을 적용할 경우 서브 경로 (Sub-path) 1, 2, 4가 하나의 서브 경로가 된다. 그러나 이러한 경우 열에너지 집중에 따라 서브 경로 2가 지나가는 형상부의 손상이 심각해진다. 그러나 본 논문에서 제안한 공구 경로 연결 알고리즘을 적용할 경

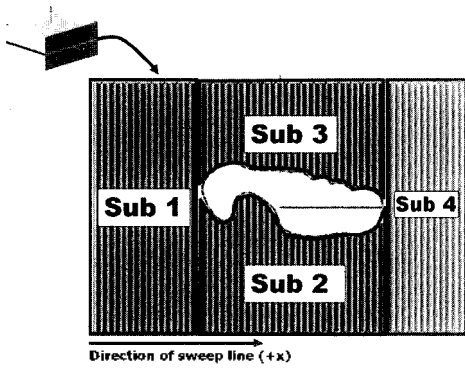


Fig. 8. Example of Sub-grouping and Tool-path linking.

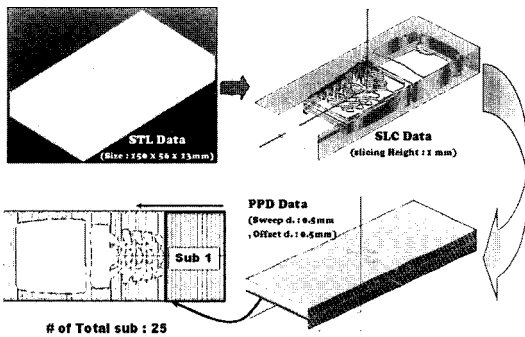


Fig. 9. Toolpath generation process for shaping cellular phone die.

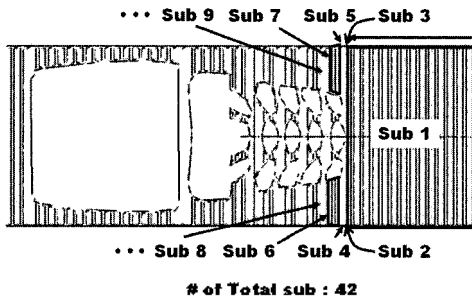


Fig. 10. Example of Sub-grouping and Tool-path linking.

우 Fig. 8과 같이 서브 경로 1, 2, 4가 분리됨으로써 가공시 발생하는 입열 집중을 방지할 수 있다. 이러한 현상은 다음 예제인 휴대폰 금형 형상에서 보다 명확하게 확인할 수 있다.

내부 형상이 많고 좁은 영역을 많이 가지는 휴대폰 금형 형상의 경우는 제안된 알고리즘을 적용할 경우 많은 서브 그룹(42개)이 발생함을 알 수 있다. 기존 절삭 가공 알고리즘을 적용할 경우 대부분의 서브 경

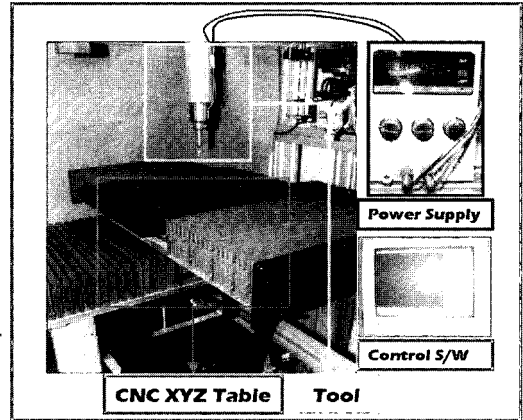


Fig. 11. Post-processing apparatus using hot tool.



Fig. 12. Hot tool.

로가 연결이 되어 하나의 경로가 되기 때문에 내부의 작은 고립 형상들은 과한 입열량에 의해 과삭이 발생하여 대부분 녹게 된다. 이와 같이 열원을 이용한 가공에서 내부에 많은 섬 형상이 존재하여 가공 영역이 좁을 경우 기존의 공구 경로 연결 방법으로 가공이 어려웠던 부분을 제안된 알고리즘의 적용을 통하여 해결함으로써 그 타당성을 검증할 수 있다.

3.3 제안된 알고리즘이 적용된 공구 경로를 생성하여 형상을 가공

본 논문에서 제안한 지그재그 공구 경로 연결 알고리즘의 타당성과 실용성을 검증하기 위하여 실제 열원을 이용한 공정에 적용을 해 보았다. 적용된 공정은 열 공구를 이용하여 형상을 가공하는 공정으로 제안된 알고리즘을 검증하기에 적합한 공정이다. Fig. 11은 열 공구를 이용한 가공 공정 장치의 모습이며 Fig. 12는 공정에 사용되는 열 공구의 모습이다.

형상 가공을 위해 인체 귀에 대한 공구 경로를 생

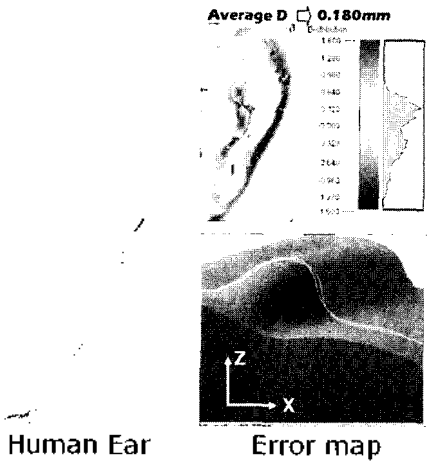


Fig. 13. Part using the toolpath applied the algorithm and error map.

성하였으며 생성시 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용하였다.

Fig. 13은 본 논문에서 제안한 열원을 이용하는 공정에 적합한 지그재그 공구 경로 연결 알고리즘을 적용하여 가공 경로를 생성한 다음 Fig. 11의 장치로 형상을 가공 결과와 가공 형상에 대한 형상 정밀도를 정량적으로 측정하기 위한 에러맵을 나타낸 것이다. 열원을 사용하여 폼을 가공하는 공정에서 허용 가능한 가공 정밀도는 0.1~0.5 mm이다 활용된 바 있다¹⁾. 본 공정에서는 가공된 결과물의 에러맵 평균값은 0.18 mm로 허용하는 가공범위 내의 값이므로 가공 결과물이 공구 경로 연결 알고리즘에 의해 허용 오차 범위내로 정밀도가 유지됨을 알 수 있다. 따라서, 본 논문에서 제안한 알고리즘의 타당성과 공정에서의 실용성을 검증할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 다른 에너지원 특히 열을 이용한 가공 공정(레이저 머신닝, 열 공구 가공, 용접)에 적합한 공구 경로를 생성하기 위해 공구 지체 시간이 최소화되고 열량 집중을 최소화 하는 공구 경로 연결 알고리즘을 제안하였다. 기존의 절삭 가공에서 사용되는 공구 경로 연결 알고리즘의 지침이 되었던 Guyder의 지침을 열 가공에 적합하게 수정된 지침을 제안하였다. 열 가공에 적합한 지침에 따라 지그재그 공구 경로 연결 알고리즘을 제안하였으며 다음과 같은 순서로 구현하였다.

- 1) 공구 경로 요소 생성 및 유효 경로 선정

- 2) TE_{ij} 제안 빛 유효 경로 저장
- 3) 서브 그룹핑 수행
- 4) 각 서브 루프간 연결을 통한 최종 경로 생성

제안된 열 가공에 적합한 공구 경로 연결 알고리즘을 구현하여 열 가공 공구 경로를 생성하는 CAD/CAM 소프트웨어에 개발하였다. 개발된 소프트웨어를 이용하여 가공 경로를 구현된 결과를 통해 제안된 알고리즘이 에제를 통하여 올바르게 적용됨을 검증할 수 있다. 또한, 제안된 알고리즘을 실제 열원을 이용한 공정에 적용하여 형상을 가공함으로써 알고리즘의 타당성과 실현성을 검증할 수 있었다. 따라서, 본 논문에서 제안된 알고리즘은 열원을 이용한 공정의 지그재그 공구 경로 연결에 적합함을 확인할 수 있었다. 향후에는 기존의 알고리즘과 제안된 알고리즘을 이용하여 열 가공 공구를 이용한 가공을 수행함으로써 가공 경로를 생성하여 제안된 가공 경로 연결 알고리즘의 적용성과 타당성을 입증해야 할 것이다.

참고문헌

1. 김효찬, 이상호, 양동규, 양동열, "비접촉식 열공구를 이용한 VLM-ST 제품의 미세 형상 가공 공정 개발에 관한 연구," 한국정밀공학회, Vol. 21, No. 1, pp. 149-158, 2004.
2. 박상철, 정연찬, "포켓가공을 위한 오프셋 공구경로 연결 알고리즘," 한국 CAD/CAM 학회 논문집, Vol. 6, No. 3, pp. 169-173, 2001.
3. Kai Tang, Shuo-Yan Chou, and Lin-Lin Chen, "An algorithm for reducing tool retractions in zigzag pocket machining," *Computer-Aided Design*, Vol. 30, No. 2, pp. 123-129, 1998.
4. Park, S. C. and Choi, B. K., "Tool-path planning for direction-parallel area milling," *Computer-Aided Design*, Vol. 32, pp. 17-25, 2000.
5. Hatna, A., Grieve, R. J. and Broomhead, P., "Automatic CNC milling of pockets: geometric and technological issues," *Computer Integrated Manufacturing Systems*, Vol. 11, No. 4, pp. 309-330, 1998.
6. Ahn, D. G., Lee, S. H. and Yang, D. Y., "Investigation into thermal characteristics of linear hotwire cutting system for variable lamination manufacturing(VLM) process by using expandable polystyrene foam," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 42, pp. 427-439, 2002.
7. Lee, S. H., Ahn, D. G., Choi, H. S., Yang, D. Y., Moon, Y. B. and Chae, H. C., "Generation of unit shape layer on CAD/CAM system for VLM-ST," 한국 CAD/CAM 학회 논문집, 제7권,

제3호, pp. 148-156, 2002.

8. Choi, H. S., Lee, S. H., Ahn, D. G. and Yang, D. Y., "Development of algorithms for accuracy improvement in transfer-type variable lamination manufacturing process using expandable polystyrene foam," 한국 CAD/CAM 학회 논문집, Vol. 8, No. 4, pp. 212-221, 2003.
9. 이상호, 안동규, 양동열, "VLM-Slicer에서 절단 경로 생성을 위한 측면 형상 복원," 한국 정밀 공학 회지, Vol. 19, No. 7, pp. 71-79, 2002.



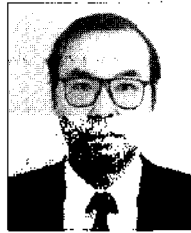
이 상 호

1998년 부산대학교 기계공학과 학사
 2000년 한국과학기술원 기계공학과 석사
 2003년 한국과학기술원 기계공학과 박사
 2004년 현재 한국과학기술원 기계기술연
 구소 선임연구원
 관심분야: Rapid Prototyping & Manu-
 facturing, CAD/CAM, Creative
 Design & Manufacturing, Concur-
 rent Engineering



김 효 찬

2001년 한국과학기술원 기계공학과 학사
 2003년 한국과학기술원 기계공학과 석사
 2003년~현재 한국과학기술원 기계공학과
 박사과정
 관심분야: Rapid Prototyping & Manu-
 facturing, CAD/CAM, Heat analysis
 for manufacturing, Creative problem
 solving



양 동 열

1973년 서울대학교 기계공학과 학사
 1975년 한국과학기술원 기계공학과 석사
 1978년 한국과학기술원 기계공학과 박사
 1981년~1982년 독일 Stuttgart 공대, 금속
 성형연구소 객원연구원
 1988년~1989년 불란서 ENSMP 공과대
 학, 재료성형연구소 방문교수
 1997년~현재 영국기계학회 아시아태평양
 지역편집장
 1978년~현재 한국과학기술원 기계공학과
 교수
 관심분야: Metal Forming, Computer-
 Aided Net-Shape Manufacturing,
 Rapid Prototyping & Manufacturing