

## 패턴 가공에서의 기술적인 고려사항

김보현\*, 최병규\*\*

### Technical Issues in Pattern Machining

Kim, B. H.\* and Choi, B. K.\*\*

#### ABSTRACT

In stamping-die manufacturing, the first step is to build die patterns for lost wax casting process. A recent industry trend is to manufacture the die pattern using 3-axis NC machining. This study identifies technical considerations of the pattern machining caused by the characteristics of Styrofoam material, and proposes technical methods related to establishing a process plan and generating tool paths for optimizing the pattern machining. In this paper, the process plan includes the following three items: 1) determining a global machining sequence - a sequence of profile, top, bottom machining and two set-ups, 2) extracting machining features from a pattern model and merging them, and 3) determining a machining sequence of machining features. To each machining feature, this study determines the machining start point, generates the approach tool path, and proposes a tool path linking method for reducing the distance of the cutter rapid motion. Finally, a smooth tool path generation and an automatic feedrate adjustment (AFA) method are introduced for raising the machining efficiency.

**Key words :** Pattern machining, Process plan, Machining feature, Machining sequence, Smooth tool path, and automatic feedrate adjustment (AFA)

#### 1. 서 론

자동차 외관은 철판(sheet metal)으로부터 통상 3-4 개의 프레스 성형 공정을 거쳐서 최종 제품으로 완성된다. Table 1에는 자동차 외관 제작에 사용되는 프레스 성형 공정들이 나타나 있는데, 각 공정을 수행하기 위해서는 그 공정의 특성에 적합한 금형이 필요하다<sup>1)</sup>. 특히 다른 성형 공정과 달리 구멍을 뚫거나 불필요한 부분을 제거하는 트림/피어싱(trim/piercing) 공정에는 고 강도의 금형이 요구된다.

자동차 프레스 금형의 소재는 주물이며, 주물 공정에 앞서 패턴 모델이 제작되어야 한다. Fig. 1에 나타나 있는 패턴 모델의 형상은 최종 형상에서 실제 가공할 부분을 주물 가공 여유만큼 오프셋(offset)해서 생성한다. 이때 주물 가공 여유(오프셋량)는 소재 비용과 금형

가공 시간에 영향을 미치기 때문에 신중하게 결정해야 한다(일반적으로 소재 비용은 무게로 책정되고 있으며, 주물 가공 여유가 커면 그 만큼 황삭 가공의 부담이 늘어나게 된다). 국내 자동차 업계에서 사용하는 주물 가공 여유는 약 10 mm 정도이다.

패턴 모델의 재질은 성형성 및 용융성이 우수해야 하는데, 자동차 외관 프레스 금형 제작에서 가장 널리 사용되는 것이 스티로폼이다. 자유 곡면을 갖고 있는 패턴 모델의 형상 특징 및 생산성 등을 고려해 볼 때, NC 가공은 패턴 제작에 있어서 좋은 대안으로 여겨지고 있다. 미국 자동차 3사는 패턴 제작에 NC 가공을 도입하여 활발하게 적용하고 있지만, 대부분 국내 패턴 제작 업체는 일부 자유 곡면 형상 부위의 NC 가공을 제외하고는 대부분 수 작업으로 패턴을 제작하고 있다. 최근에 국내 H자동차 금형 부서에서 일부 패턴 모델에 대해서 NC 가공을 적용한 사례가 있지만, 이것은 아직 시험 단계에 불과한 것이다.

패턴 가공은 일반 NC 가공과 달리 소재의 특성을 고려하는 것이 매우 중요하다. Shin은 자동차 금형 패

\*정회원, 해양시스템 안전연구소

\*\*중신회원, KAIST 산업공학과

- 논문투고일: 2001. 05. 07

- 심사완료일: 2001. 09. 03

Table 1. Stamping process and panel shape

공정 구분 및 내용	패널 형상
초기 형상: 질판	
드로우잉 공정: 제품의 초기 형상을 성형	
트림/피어싱 공정: 구멍을 뚫거나 불필요한 부분 제거	
플랜징 공정: 가장자리 부분을 구부리는 공정	
리스트라이킹 공정: 최종 제품 형상을 성형	

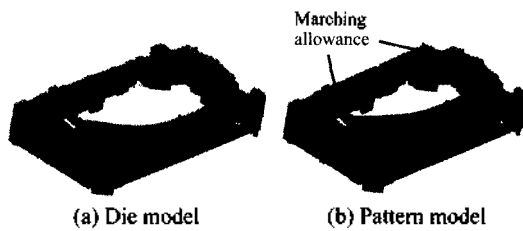


Fig. 1. Die and pattern model.

턴 제작 과정을 소개하고, 가공 특징 형상 및 가공 방법을 제안하였다<sup>2)</sup>. 이 연구의 확장 측면에서, 본 연구는 소재의 특성을 고려한 가공 계획 수립 방법 및 패턴 가공의 최적화를 위한 기술적인 방법을 제안한다.

2. 패턴 가공의 특성

스티로폼은 가공성이 우수하나 열에 매우 약하기 때문에 NC 가공시 고열이 발생할 수 있는 상황을 고려해야 한다. 특히 공구가 수직으로 이동할 때, 공구의 끝단에는 절삭이 일어나지 않고 마찰에 의해 고열이 발생한다. 이로 인해 스티로폼의 용융 현상이 자주 나타난다(Table 2 참조).

따라서 패턴 가공에서는 소재 (스티로폼)의 특성을 고려해서 가공 방법을 선택해야 한다. 본 저자가 1년여

Table 2. Machining characteristics of Styrofoam

구분	가공 특성
장점	가공성 우수 셋업이 용이(가벼움, 양면 Tape 사용)
단점	열에 약함(공구마찰: 수직접근 금지) 잘 부스러지고 날림(칩 제거 문제) 잘 부러짐(가공순서 결정)

동안 미국 D 자동차의 패턴 가공 업무를 관찰한 내용을 토대로 패턴 가공에서 고려할 사항을 정리하면 다음과 같다.

- 정삭 가공만으로 패턴 제작: 스티로폼은 가공성이 우수하기 때문에 황·정삭 가공 없이 곧바로 정삭 가공을 적용하여 최종 패턴 형상을 생성한다.
- 수직 가공 방지: 공구의 수직 이동은 절삭이 일어나지 않고 열을 발생시켜서 스티로폼의 용융 현상을 초래하기 때문에 사전에 방지해야 한다.
- 칩 제거: 패턴 가공은 직육면체 블록에서부터 가공을 시작하며, 정삭 가공만으로 최종 형상을 생성하기 때문에 많은 양의 칩이 발생한다. 더구나 스티로폼 칩은 가벼워서 작업장에 날리기 때문에 효과적인 칩 제거 방안이 수립되어야 한다.
- 칩 배출: 형상에서 깊은 부위를 가공할 때 원활하게 칩이 배출되지 않으면 열이 발생되기 때문에 절삭 순간마다 칩을 제거할 수 있어야 한다.
- 생산성: 작업물 셋업, 조립성 및 기존 장비의 활용 측면을 고려해볼 때, 패턴 제작에 있어서 3축 NC 가공이 가장 현실적인 대안으로 평가된다. 패턴 모델은 3축 공구가 접근할 수 없는 많은 언더컷(undercut) 형상을 포함하고 있기 때문에 모델을 2-3개로 분할해서 가공한 후에 조립한다. 패턴은 스티로폼의 두께 및 공구 길이 등을 고려해서 분할되는데, 패턴 제작 기간 단축을 위해서 분할 개수를 최소화시키는 것이 중요하다.

위의 사항을 고려한 패턴 가공을 수행하기 위해서는 패턴 제작 전용 NC 가공 설비가 필요하다. 상용화된 전용 가공 설비는 일반 CNC 밀링 기계에 기능을 추가한 것으로 공구 홀더를 통해서 칩을 흡입할 수 있도록 설계되었다. 전용 공구는 속이 비고 표면에 구멍

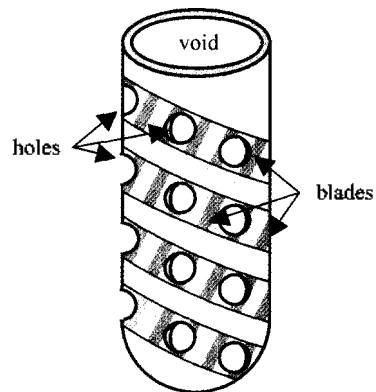


Fig. 2. Dedicated tool for pattern machining.

이 뿔려 있는 것으로 가공 중에 발생하는 칩을 흡입할 수 있다(Fig. 2 참조). 또한 추가적으로 공구 홀더를 통해 흡입된 스티로폼 칩을 모아서 압축할 수 있는 별도의 장치가 필요하다. 일반 CNC 밀링 기계에서 패턴 가공을 수행하기 위해서는 가공 도중에 발생하는 다량의 칩을 제거할 수 있는 부수적인 장치가 요구된다. 현장에서 쉽게 적용할 수 있는 방법은 칩을 흡입할 수 있는 치 공구를 CNC 밀링 기계에 장착해서 사용하는 것이다.

### 3. 패턴 가공 계획 수립

#### 3.1 전체적인 가공 계획 수립

이 절에서는 분할된 패턴의 가공 계획 수립, 가공 특징 형상 추출 및 가공 순서를 결정하는 방법을 제안한다. 패턴 가공은 세부적으로 윤곽 가공(profile machining: P), 윗면 가공(top machining: T), 바닥면 가공(bottom machining: B)으로 구분한다(Fig. 3 참조). 통상적으로 분할된 패턴 모델에서는 평탄한 부분을 바닥면으로 설정하며, 분할된 모델 전체를 가공하기 위해서는 두 번의 셋업(S1, S2)이 필요하다.

윤곽 가공은 불필요한 부분을 오려내는 것이기 때문에 공구 끝점이 기준면( $z=0$ ) 아래에 위치하게 된다(윗면 윤곽 가공과 바닥면 윤곽 가공을 순차적으로 수행해서 불필요한 부분을 제거할 수 있지만, 이 경우에는 보다 정밀한 가공이 요구되며 가공 시간도 길어지게 된다). 이를 위해서 CNC 밀링 기계의 베드 위에 평평한 스티로폼을 깔고 그 면을 기준면으로 설정한다. 설정된 기준면 상에 양면 테이프를 이용하여 육면체 스티로폼 블럭을 1차 셋업( $S_F$ )하게 된다.

1차 셋업을 위해서 부착시킨 테이프 라인이 윤곽 가공 공구 경로를 가로질러 놓이게 되면, 윤곽 가공시 테이프가 공구에 붙거나 찢어질 수 있다. 이로 인해 스티로폼 소재가 손상되거나 소재의 셋업 위치가 변할 수

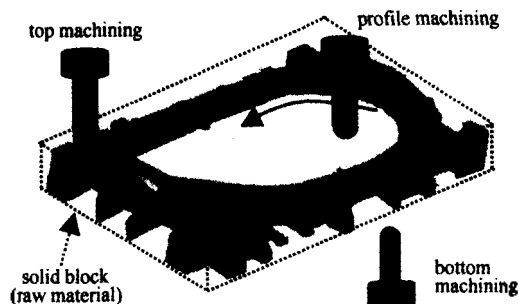


Fig. 3. Machining classification.

Table 3. Global machining sequence

Seq.	Machining step						cf (%)
	1	2	3	4	5	6	
A	M	S <sub>F</sub>	P <sub>B</sub>	B	S <sub>S</sub>	T	95
B	M	S <sub>F</sub>	B	P <sub>B</sub>	S <sub>S</sub>	T	5
C	M	S <sub>F</sub>	P <sub>T</sub>	T	S <sub>S</sub>	B	-
D	M	S <sub>F</sub>	T	P <sub>T</sub>	S <sub>S</sub>	B	-

P<sub>B</sub>: bottom profiling, P<sub>T</sub>: top profiling

도 있다. 따라서 1차 셋업에 앞서 테이프를 붙일 자리를 표시하기 위한 셋업 위치 표시용 가공(marking: M)을 수행한다. 셋업 위치 표시용 가공에서의 공구 경로는 윤곽 가공과 동일하지만 공구 축 방향으로 윤곽 가공에 비해 2-3 mm 정도 낮은 것이다. 1차 셋업에 의해서 공구가 접근할 수 있는 부분의 모든 가공이 끝나면 스티로폼 소재를 뒤집어서 가공해야 하는데, 이를 위해서 2차 셋업( $S_S$ )을 수행하게 된다.

Table 3은 전체적인 가공 계획을 의미하는 패턴 가공 순서가 나타나 있다. Table 3에 나타나 있듯이, 대부분의 패턴 가공에서는 바닥면 윤곽 가공, 바닥면 가공, 윗면 가공 순서로 수행됨을 알 수 있다. 이것은 분할된 패턴 모델의 윗면 형상은 복잡하고 굴곡이 많기 때문에 나중에 가공하는 것을 의미한다. 또한 윤곽 가공을 제일 먼저 수행함으로써 스티로폼 칩 배출을 원활하게 유도하고, 열린 포켓 형상(open pocket)의 가공 시작점으로 공구가 수평으로 접근할 수 있게 한다. 윤곽 가공을 제일 마지막에 수행하면, 열린 포켓 형상은 가공이 진행되는 동안에 닫힌 포켓 형상 모양으로 남게된다(이 경우 공구는 수직 방향으로 가공 시작점에 접근한다).

#### 3.2 가공특징 형상 추출 및 합병

Shin은 패턴 모델에서 가공 특징 형상(machining feature)의 종류를 분류하고 절단 평면(cutting plane)을

Table 4. Machining feature and tool path

Machining feature type	Tool path
Periphery	profiling
Through hole	profiling
Closed pocket	contour parallel pocketing
Partially open pocket	direction parallel scanning
Roof (totally open pocket)	direction parallel scanning
Bolt slot	profiling
Step/slot on a rib	direction parallel scanning

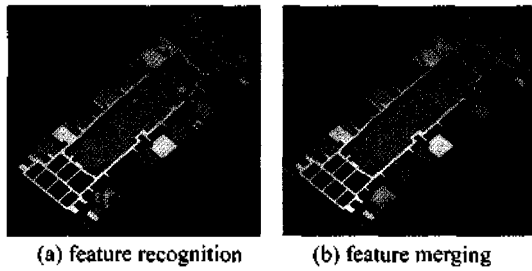


Fig. 4. Machining features merging.

이용해서 가공 특징 형상을 추출하는 방법을 제안하였다<sup>[2]</sup>. Table 4에는 패턴 가공에서 나타나는 가공 특징 형상과 여기에 적합한 공구 경로 형태가 나타나 있다<sup>[9]</sup>. 가공 특징 형상마다 특징을 잘 반영해서 가공할 수 있는 공구 경로를 생성한다.

패턴 모델로부터 몇번 가공을 위해서 추출된 가공 특징 형상들의 예가 Fig. 4(a)에 나타나 있다. Fig. 4(a)에 나타나 있듯이, 추출된 가공 특징 형상의 개수가 많으면 가공 특징 형상 사이의 급속 이동 횟수가 증가하여 가공 시간이 증가하게 된다(패턴 가공에서는 가공 이송 속도와 급속 이동 속도의 차이가 적기 때문에 급속 이송 거리가 전체 가공 시간에 미치는 영향이 상대적으로 크게 나타난다). 따라서 본 연구에서는 가공성에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 기하학적 특성이 비슷한 가공 특징 형상들을 합병하였다.

가공 특징 형상의 합병은 공구 축 방향에서의 높이 차 및 2차원 상의 인접 거리가 오차 범위 내에 포함되는 가공 특징 형상들에만 적용한다. 합병된 가공 특징 형상은 하나의 가공 특징 형상처럼 취급되며, 합병된 특징 형상 외곽의 기하학적인 특징을 반영하여 Table 4와 같이 공구 경로의 패턴을 결정한다. Fig. 4(b)에는 추출된 가공 특징 형상을 합병한 후의 모습이 나타나 있으며, 원 모양 표시는 합병이 수행되기 전과 후의 가공 특징 형상을 보여주기 위한 것이다.

3.3 가공 특징 형상의 가공 순서 결정

여기서는 가공 도중에 스티로폼 소재가 부서지거나 파손되지 않도록 가공 특징 형상들 사이의 가공 순서를 결정하는 것이다. Fig. 5의 MF5와 같은 리브 형상을 가공하는 경우를 살펴보면, 리브 형상의 두께가 얇으면 소재는 가공 도중에 발생하는 힘을 버티지 못하고 부러진다. 이렇듯, 리브 형상이 생성되는 것을 피하기 위해서 본 연구에서 적용하는 가공 순서 결정 규칙은 다음과 같이 두 가지로 요약할 수 있다.

- 결정 규칙 1. 높이가 높은 가공 특징 형상을 우선

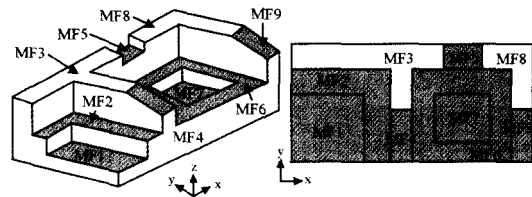


Fig. 5. Machining features in pattern machining.

- 결정 규칙 2. 인접한 가공 특징 형상을 우선 가공: 리브 형상이 아닌 경우에는 급속 이동 거리를 줄이기 위해서 인접한 가공 특징 형상을 가공.

Fig. 5에는 추출된 패턴 모델의 가공 특징 형상이 나타나 있는데, 여기서 그림자 진 가공 특징 형상들만 실제로 가공한다. 즉, 가공 특징 형상 MF3, 8은 소재 윗면과 동일한 높이를 갖기 때문에 가공할 필요가 없다. 따라서 MF3, MF8을 제외한 나머지 가공 특징 형상에 대해서 가공 순서를 결정한다.

결정 규칙 1에 따르면 MF4, MF5, MF9를 먼저 가공해야 하는데, 이 경우에는 현재 공구 위치에서 제일 가까운 것을 선택한다. 만약 MF4가 선택되었다면 MF4에 인접한 MF6이나 MF2가 다음 가공 특징 형상의 후보가 된다. 이때는 결정 규칙 2를 적용하는데, 인접한 가공 특징 형상들 중에서 MF4의 가공 끝점에서 제일 가까운 가공 시작점을 갖는 후보 가공 특징 형상을 선택한다. 만약 MF6이 다음 가공 특징 형상으로 선택되어서 가공되었다고 가정해 보자. 그러면 MF5가 리브 형상으로 남게되는 것을 발견할 수 있다. 그렇지만 결정 규칙 2보다 1이 우선하기 때문에 MF6이 아닌 MF5가 다음 가공 특징 형상이 된다. 이러한 방법으로 가공 순서를 결정하면 MF4→MF5→MF9→MF6→MF7→MF2→MF1과 같은 결과를 얻을 수 있다.

4. 공구경로 생성의 최적화

본 장에서는 패턴 가공을 위한 공구 경로 생성에 대한 기술적인 고려사항을 파악하고 및 이를 고려한 최적의 공구 경로 생성 방안을 제안한다. 즉, 가공 특징 형상별 공구 경로 생성 방법 및 생산성 향상을 위한 공구 경로의 최적화에 대해서 기술하고, 가공 부하를 고려해서 자동으로 공구 이송 속도를 조절하는 방법을 제안한다.

4.1 가공 특징 형상별 공구 경로 생성

각 가공 특징 형상을 가공하는 첫 번째 과정은 공구

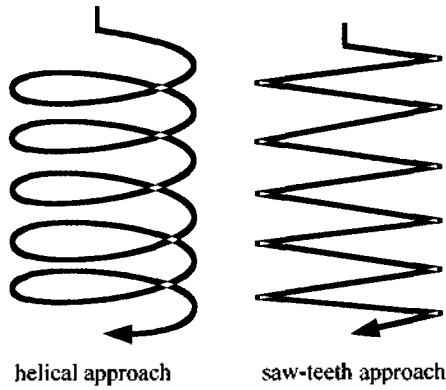


Fig. 6. Approach tool path.

가 가공 시작점으로 접근하는 것이다. 이때 소재의 특성 때문에 공구 시작점으로 수직 접근은 회피되어야 하기 때문에, 본 연구에서는 수직 방향 접근이 필요한 경우에 Fig. 6과 같은 나선형 접근(helical approach)이나 톱날형 접근(saw-teeth approach) 공구 경로를 사용한다. 그렇지만 이러한 공구 경로는 수직 접근에 비해 많은 가공 시간이 소요되며, 열에 의한 소재의 용융 현상 때문에 공구 이송 속도를 높일 수도 없다. 따라서 전체 패턴 가공 시간을 줄이기 위해서는 가능하면 나선형이나 톱날형 수직 방향 접근 방법은 피하도록 한다.

가공 특징 형상의 가공 시작점 위치 결정이나 그 지점에서의 접근 방법은 가공 계획이나 가공 상황에 따라 달라진다. 본 연구에서는 가공 상황에 따라 가공 특징 형상을 닫힌형상(closed feature)과 열린형상(open feature)으로 구분하였다. 구분된 형상에 따라 가공 시작점의 위치 결정 및 접근 방법이 다르게 결정되는데, 이를 정리하면 다음과 같다.

- 닫힌형상(closed feature): 가공이 수행되는 동안에 공구가 패턴 소재 외부로부터 수평으로 접근할 수 없는 가공 특징 형상을 닫힌형상이라 한다. 패턴 소재에서 윤곽 형상(periphery)을 제일 먼저 가공한다면, 공구가 수평으로 접근할 수 없기 때문에 나선형 경로를 따라 윤곽 가공의 가공 시작점으로 접근한다. 이 경우에 윤곽 형상은 닫힌 가공 형상이 된다. 닫힌 포켓 형상(closed pocket)을 제외하고 닫힌형상의 가공 시작점은 현재의 공구 위치에서 제일 가까운 지점으로 설정한다. 닫힌 포켓 형상은 등고선 평행 포켓(contour parallel pocket) 공구 경로를 사용하기 때문에 통상적으로 가공 특징 형상의 중심부에 가공 시작점을 설정한다. 이것은 전체적인 가공 방향을 형상 중심부에서 바깥쪽

방향으로 설정하는 것인데, 실무 적용을 통해서 살펴본 결과 이러한 가공 방향이 가공 도중에 리브 형상을 적게 만드는 것으로 나타났다.

- 열린형상(open feature): 닫힌형상과 반대로 가공이 수행되는 동안에 패턴 소재 외부로부터 공구가 수평으로 접근할 수 있는 가공 특징 형상을 의미한다. 전체 가공 계획에서 윤곽 가공을 마지막에 수행하면, 비록 현재 가공할 형상이 지붕 형상(roof)일지라도 소재 외곽에서 공구의 수평 접근이 어렵기 때문에 닫힌형상이 된다. 열린형상은 공구의 수평 접근이 가능하기 때문에 가공 시간을 단축할 수 있는 장점이 있다. 여기서 열린형상의 가공 시작점은 형상의 외곽 경계에서 수평접근이 가능한 지점으로 설정한다.
- 열린 포켓 형상(open pocket)이나 지붕 형상은 가공 효율 때문에 지그재그 공구 경로를 사용하는 데<sup>(4)</sup>, 형상의 가공영역에서 길이가 긴 방향으로 공구 경로 방향을 설정한다. 공구 경로를 생성하는데 있어서, 가공영역의 외곽 경계 곡선이 복잡한 경우에는 전체적인 가공 패턴의 유지 및 가공 경로의 효율적인 연결 방안이 고려되어야 한다. 즉, 전체적인 가공 방향을 유지함으로써 가공 도중에 발생되는 리브 형상의 생성을 줄이고, 공구 경로의 효율적인 연결을 통하여 공구의 급속 이동 거리를 최소화할 수 있다. 본 연구에서는 다음과 같은 공구 경로 연결 그래프 방법을 사용하여 전체적인 가공 방향 유지 및 공구의 급속 이동 거리를 줄이게 된다.

[공구경로 연결 그래프 방법]

- 단계 1. 공구 경로 노드 생성: 스캐닝 방향에서 일대일로 대응되는 선분들을 그룹으로 설정한다 (Fig. 7의 A, B, C, D, E 노드).
- 단계 2. 가공의 선행 관계 설정: 노드들 간의 가공 선행 관계를 아크로 표시한다.
- 단계 3. 가공 순서 결정: 리브 형상이 발생하는 것을 방지하기 위해서 물 채우기(water-fill) 알고리즘을 이용하여 노드들 간의 가공 순서를 결정한다(예제에서는 초기 공구 경로 위치에 따라 Fig. 7에 나타난 것처럼 두 가지 가공 순서가 가능하다).

4.2 생산성 향상을 위한 공구 경로 생성

지그재그 공구 경로로 열린 포켓 형상을 가공하는 실제 상황을 관찰해 보면, 공구의 방향이 전환되는 지점(경로와 경로사이의 연결 부위)에서 공구 이송 속도

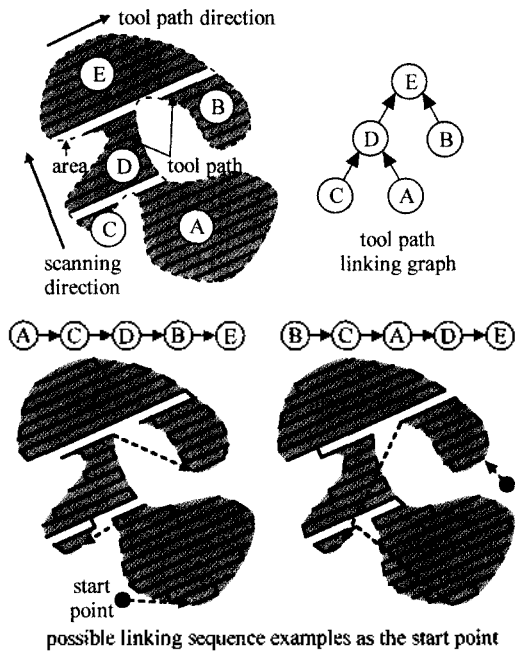


Fig. 7. Maintaining overall machining direction and tool path linking.

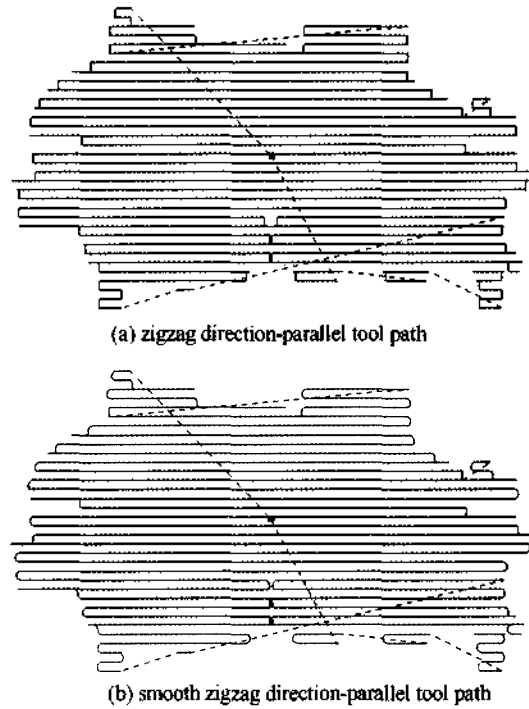


Fig. 9. An example of smooth tool path.

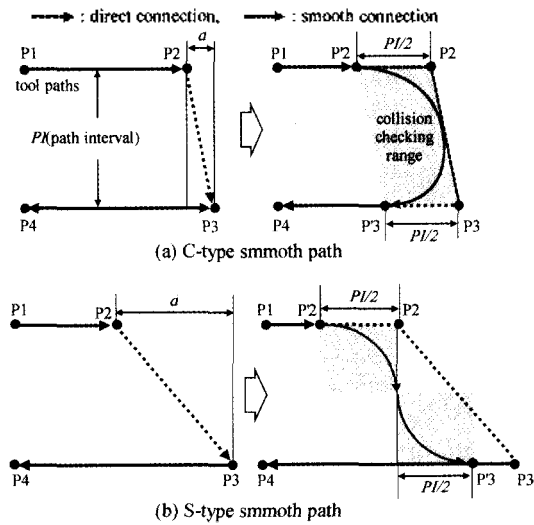


Fig. 8. Smooth tool path generation.

의 가·감속이 심하게 발생하는 것을 발견할 수 있다. 이러한 현상은 대부분의 NC 기계에서 나타나고 있으며, NC 기계의 컨트롤러에 따라 가·감속의 크기 정도는 다르게 나타난다.

Fig. 8(a)와 같이 NC 블록이 진행방향에 대해 45도 이상 꺾이는 경우를 살펴보면, 오목 점(concave point:

P2)에 도달하기 바로 직전에 공구의 이송 속도는 거의 0으로 떨어지고, 오목 점을 지난 이후에 다시 가속을 시작한다. 특히 NC 데이터가 많은 짧은 구간의 NC 블록들로 이루어진 경우에는 가·감속의 영향으로 인해 전체 가공 시간이 상당히 증가하게 된다. 본 연구에서는 가·감속의 영향에 둔감한 공구 경로를 생성하기 위해서 공구 경로가 급격하게 꺾이는 부분을 부드럽게 처리한다. 두 개의 경로 사이를 연결하는 부분에서 부드러운 방향 전환이 이루어질 수 있도록 기존의 직선에 의한 연결 방법 대신에 Fig. 8과 같이 부드러운 곡선(2차 베지어 곡선)을 삽입하였다<sup>15)</sup>.

공구경로 사이에 곡선을 삽입할 때 고려할 사항은 인접한 가공 특정 형상의 과삭이나 충돌을 검증하는 것이다. 새롭게 삽입된 곡선을 따라 공구가 진행되는 동안에 과삭이 발생하거나 주변의 측벽과 충돌이 발생 하는지 검사해야 한다. 본 연구에서 적용한 과삭 및 충돌 검증 방법은 주변의 측벽이나 가공 특정형 상과 충돌 없이 이동할 수 있는 공구의 C-space를 계산하고, 새롭게 정의된 곡선이 C-space내에 존재하는지 검사하는 것이다<sup>16)</sup>. 일반적인 지그재그 공구 경로와 방향 전환이 발생하는 지점에 2차 베지어 곡선을 삽입하여 생성한 지그재그 공구 경로의 예가 Fig. 9에 나타나

있다.

**4.3 자동 공구 이송 속도 조절**

패턴 모델은 한번의 정삭 가공에 의해서 완성되며, 이때 많은 양의 소재가 한 번에 제거된다. 이러한 특성 때문에 패턴 가공이 수행되는 동안에 공구에 걸리는 가공 부하는 연속적으로 변하게 된다. 또한 가공 도중에 나타나는 갑작스런 과부하 때문에 공구의 이송 속도를 높일 수도 없다. 따라서 작업자는 패턴 가공의 진행 상황을 관찰하고, 과부하가 발생하면 게인(gain)을 이용하여 공구의 이송 속도를 조절한다. 패턴 가공의 생산성 향상을 위해서는 가공 상황을 예측하고, 거기에 적합하게 공구 이송 속도를 조절할 수 있는 기능이 필요하다.

패턴 가공은 일반 금형가공에 비해 비교적 가공여유가 크고 소재의 가공성이 좋기 때문에, 적당한 수준의 공구 이송 속도 조절 기능만으로도 가공 생산성을 향상시킬 수 있다. Fig. 10에 나타나 있듯이, 본 연구에서 제안한 공구 이송 속도 조절 기능은 평균 절삭력 모델에 근거한 방법으로 현장에 쉽게 적용할 수 있다.

7. 제안된 공구 이송 속도 조절 방법은 다음과 같이 3 단계로 정리할 수 있다.

단계 1. 공구 이송 속도 테이블 작성: 실험을 통해서 소재 제거 부피와 공구 이송 속도의 관계를 나타내는 공구 이송 속도 테이블을 생성한다. Fig. 10에 나타나 있는 공구 이송 속도 테이블은 미국 D 자동차 패턴 공장에 적용했던 것으로, 가공 부하와 공구 이송 속도를 11단계로 구분하였다.

단계 2. NC 데이터의 소재 제거 부피 계산: 본 연구에서는 가공 부하의 평가 척도로 평균 소재 제거 부피를 사용하고 있는데, 이것은 소

재 형상의 모의 가공(cutting simulation)을 통해서 계산된다<sup>8)</sup>. NC 블록의 길이가 긴 경우에, 그 구간 내에서 가공 부하가 변할 수 있기 때문에 여러 개로 분할해서 평균 소재 제거 부피를 계산한다.

단계 3. 공구 이송 속도 조절: 계산된 NC 블록의 평균 소재 제거 부피로부터 가공 부하 수준을 계산하고, 공구 이송 테이블에서 해당되는 공구 이송 속도를 선택한다. 그리고 선택된 공구 이송 속도에 가공 상황(접근가공/일반가공)을 반영하는 변동 인자(correction factor)를 곱하여 최종 공구 이송 속도를 계산한다.

**5. 결 론**

본 연구에서는 우선 자동차 프레스 금형 패턴 제작의 생산성 향상을 위한 대안으로 최근에 활발하게 도입되고 있는 패턴 가공이 금형가공과 다른 일반적인 특성을 정리하였다. 또한 패턴 소재로 가장 많이 사용되는 스티로폼의 특성 때문에 패턴 가공시 고려할 여러 가지 기술적인 사항을 파악하였다. 이러한 패턴 가공의 특수성을 감안해서 효과적인 가공을 수행할 수 있는 전용 가공 설비를 소개하였다.

가공 계획의 수립은 전체적인 패턴 가공의 생산성에 영향을 미치기 때문에 중요하다. 본 연구에서는 세부적인 가공을 분류하고 실무에서 적용되는 가공 순서를 파악하였다. 여기서 가공 순서는 공정 계획을 의미하는 것인데, 이것은 후행하는 공구 경로 생성에 영향을 미치게 된다. 다음은 패턴 모델에서 가공 특징 형상을 추출하고 가공성을 고려해서 이들을 합병하는 방법을 제안하였다. 그리고 각 가공 특징 형상에 적합한 가공 공구 경로 패턴을 설정하였다.

패턴 가공 공구경로 생성에서 제일 먼저 수행하는 것이 각 가공 특징 형상별로 가공 시작점을 설정하고 그 지점으로 이동할 수 있는 접근 공구 경로를 생성하는 것이다. 여기서 수직 접근이 불가피한 경우에는 나선형이나 톱날형 공구 경로를 사용하는데, 이러한 공구 경로는 가공 시간이 많이 소요되기 때문에 가능하면 수평으로 접근하도록 한다. 그렇지만 가공 도중에 성형되고 있는 패턴 소재 외부로부터 현재의 가공 특징 형상으로 접근할 수 없으면 수직 방향으로 접근해야 한다. 그리고 가공 시작점 및 접근 방법은 가공 특징 형상이나 가공 도중의 형상 특성에 따라 다르게 설정한다. 열린 포켓 형상 및 지붕 형상은 지그재그 공구

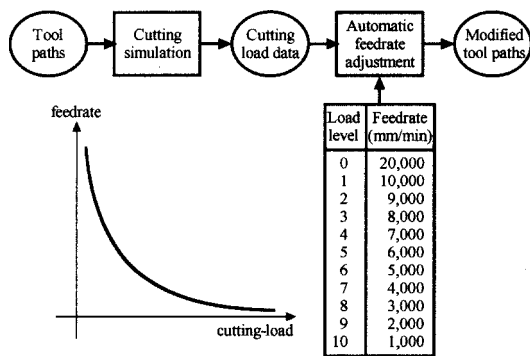


Fig. 10. Procedure of automatic feedrate adjustment.

경로로 가공하는데, 가공성 및 가공 시간 단축을 위한 공구 경로 연결 방법이 본 연구에 제안되었다. 또한 공구의 방향 전환이 급격하게 변하는 지점에서 가·감속의 영향 때문에 공구 이송 속도가 떨어지는 것을 방지하기 위해서 공구 경로를 부드럽게 생성하였다. 마지막으로 패턴 가공의 생산성 향상을 위해서 평균 질삭력 모델을 이용한 자동 공구 이송 속도 조절 기능을 적용하였다.

패턴 모델과 같은 특수 제품에 NC 가공을 적용하기 위해서는, 무엇보다도 먼저 소재 특성, 가공 특성 및 가공시 고려할 기술적인 사항을 파악해야 한다. 다음 단계는 기술적인 고려 사항을 반영하기 위한 해결방안을 수립하는 것이다. 패턴 가공의 경우에서도 알 수 있듯이, 대부분의 해결 방안은 지금까지 개발된 NC 가공의 개념 및 기술로부터 도출될 수 있다. 이것은 비록 가공 대상이 다를지라도 NC 가공의 개념 및 기본 기술은 동일하게 적용될 수 있기 때문이다.

### 감사의 글

주 저자가 미국 다임러 크라이슬러에서 Post-Doc.으로 연구를 수행하는 동안 본 연구와 관련하여 연구방향 및 기술적인 내용에 대해 많은 조언을 해 준 신하용 박사께 진심으로 감사의 말씀을 드린다.

### 참고문헌

1. Ko, K. H., Kim, B. H. and Choi, B. K., "사출 금형가공용 CAPP 시스템 개발," 2001 한국 CAD/CAM 학회 학술 대회 논문집, pp. 357-362.
2. Shin, H. Y., et al., "A Generative Approach for Pattern Machining," IFIP TC5 WG5.3 International Conf. on Sculptured Surface Machining, Nov. 9-11, Chrysler Technical Center, Michigan, USA, pp. 24-31.
3. Choi, B. K. and Jerard, R. B., Sculptured Surface

Machining, Kluwer Publish Co., 1998.

4. Kim, B. H. and Choi, B. K., "Machining efficiency comparison direction-parallel tool path with contour-parallel tool path," to be published Computer-Aided Design, No. 8, 2001.
5. Choi, B. K., Surface Modeling for CAD/CAM, Elsevier, 1991.
6. Choi, B. K., Kim, D. H. and Jerard, R. B., "C-space approach to tool-path generation for die and mold machining," Computer-Aided Design, Vol. 29, No. 9, pp. 657-669, 1997.
7. Ko, K. H., Seo, J. C. and Choi, B. K., "Automatic feedrate adjustment for profile milling," Transactions of the society of CAD/CAM Engineers, Vol. 5, No. 2, pp. 175-183, 2000.
8. Chung, C. Y., Cutting Simulation and Verification of NC Data for Unified CAM System for Die and Mold Manufacturing, KAIST Ph.D. thesis, 1996.



### 김 보 현

1991년 전남대학교 산업공학과 학사  
1993년 한국과학기술원 산업공학과 석사  
1998년 한국과학기술원 산업공학과 박사  
1998년~2000년 한국과학기술원 CIM연구센터  
2001년~현재 해양시스템안전연구원 선임연구원

관심분야: CAD/CAM, CAPP, Surface Modeling, VMS, Virtual Reality



### 최 병 규

1973년 서울대학교 산업공학과 학사  
1975년 한국과학기술원 산업공학과 석사  
1982년 미국 Purdue대 생산공학과 박사  
1982년~현재 한국과학기술원 산업공학과 교수

관심분야: Surface Modeling, CAD/CAM, CAPP, 자동화 제조시스템 모델링 및 시뮬레이션, VMS, e-Business