

상하이형상 및 야간 무인가공을 고려한 와이어 EDM 전용 CAM 시스템 개발

유우식*, 정희민**

Development of the Wire EDM CAM System Considering a Variable Taper Wire-cut and an Unmanned Wire EDM During the Night

Yoo, W. S.* and Jeong, H. M.**

ABSTRACT

This paper describes the wire EDM (Electric Discharge Machining) CAM system considering a variable taper wire-cut and an unmanned wire EDM during the night. Wire EDM is applicable to all materials that are fairly good electrical conductors, including metals, alloys and most carbide. Thus it provides a relatively simple method for making holes of any desired cross section in materials that are too hard or brittle to be machined by most other methods. In this paper we classify variable taper wire-cut machining patterns and variable taper wire-cut geometries. Also we determine unmanned wire EDM patterns for the productivity of wire EDM industry. Developed system consists of two modules: 1) Variable taper wire EDM module guarantees the length ratio machining function, the parametric ratio machining function and the marking function. 2) Unmanned wire EDM module guarantees the automatic wire EDM during the night. The proposed system has been tested in the fields and found to be a useful system.

Key words : Wire EDM, CAM system, Variable taper

1. 서 론

금형산업의 발달로 인하여 다양하고 복잡한 형상의 정밀한 가공이 필요하게 되었는데, 특히 난삭성 재료에 대한 효율적이고, 정밀한 가공이 필요하게 되었다. 이에 대한 방안으로 방전가공(EDM), 전자빔가공(EBM), 이온빔가공(IBM), 레이저가공(LASER) 등과 같은 전기가공법의 이용이 점차 증가되고 있다. 그 중에서 방전가공은 방전 시 발생하는 열을 이용한 전기적 가공법으로 기계적 성질이 우수한 난삭성 신소재를 정밀하게 가공할 수 있다는 장점 때문에 널리 사용되고 있다. 일반적으로 방전가공기는 형조 방전가공기와 와이어 컷 방전가공기로 크게 나누어진다. 이중 와이어

컷 방전가공은 다른 가공법에 비해 난삭성 재료의 우수한 가공으로 인하여 우주항공, 자동차산업, 부품가공 등 그 이용도가 날로 증대되고 있다.

일반적인 와이어 컷 방전가공에서는 와이어를 수직으로 세워 가공함으로써 단순한 2차원 형상만을 가공한다. 그러나 기계 제어 기술의 발달로 인하여 4축 제어로 3차원 형상가공도 가능하게 되었다. 따라서 CAM 시스템에서도 상하이형상을 다양하게 지원해야 할 필요가 생기게 되었다. 즉 다양한 상하이형상을 와이어 컷 가공하기 위해서 가공유형을 분류하고 비례원칙과 마킹 기능 등을 포함한 풍부한 기능들을 제공하는 CAM 시스템의 개발 필요성이 대두되었다. 또한 생산성 향상을 위하여 현장에서는 많은 가공시간이 소요되는 와이어 컷 방전가공을 작업자가 퇴근 후 야간에 무인으로 실행되도록 CAM 시스템에서 지원되도록 희망한다. 그러나 와이어 컷 EDM 작업의 속성상 작업자가 절단되는 작업물을 작업 중 조치하여야 하는 부분이 필수적으로 수반된다. 따라서 CAM 시스템 개발 시 와

*중신회원, 인천대학교 산업공학과

**중신회원, 큐빅테크 기술연구소

- 논문투고일: 2001. 3. 29

- 심사완료일: 2001. 6. 1

이어 컷 EDM 작업의 속성을 고려하여 작업시간이 많은 부분을 야간에 일시에 가공되도록 NC 코드 생성 시 특별한 순서에 의하여 야간 무인가공용 NC 코드를 생성하는 기능이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 와이어 컷 방전가공기의 효율적인 사용을 위하여 상하이형 가공 및 야간 무인가공을 지원하는 와이어 EDM 전용 CAM 시스템의 개발 내용을 소개한다.

2. 상하이형을 지원하는 CAM기능

2.1 상하이형 가공형상 분류

상하이형이란 상형의 형상과 하형의 형상이 다른 것이다. 이런 상하이형을 가공하기 위해서는 4축(X, Y, U, V)의 제어가 필요하다. X, Y 축의 값은 주 프로그램 형상면, 즉 하부 기준면에서의 좌표값이며 U, V 축의 값은 상부 보조 형상면의 좌표로 X, Y 축 좌표값에서의 상대 위치로 나타낸다. Fig. 1에서 하면의 형상을 주 프로그램 형상면이라고 한다면, 경사진 A Wire 위치의 좌표값은 X-15 Y-15 U5 V5이고 경사진 B Wire 위치의 좌표값은 X15 Y-15 U-5 V5이다. Fig. 2는 상하이형의 가공 모습으로 상부 가이드와 하부 가이드를 각각 컨트롤하여 원하는 형상을 가공할 수 있다. Fig. 2의 TW는 가공물의 두께를 나타내고, TM은

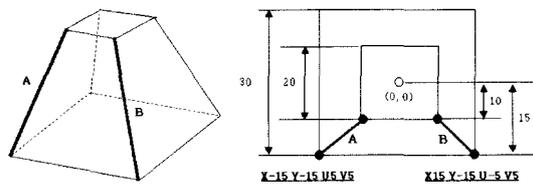


Fig. 1. Coordinate values of taper NC code.

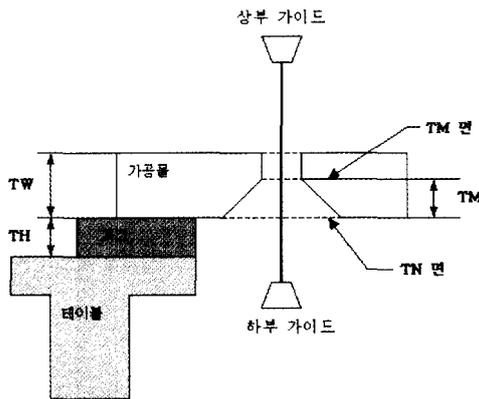


Fig. 2. Variable taper wire cutting.

가공물 바닥에서 주프로그램 평면까지의 거리, TH는 치구 및 지그의 두께, TN은 가공물 바닥에서 보조 프로그램 평면까지의 거리를 나타내는데 이들을 테이퍼 변수라고 부른다. 상하이형의 지원을 위해서는 먼저 가공 형상을 분류하고 분류된 각 형상에 적당한 가공방법을 정립하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 Fig. 3과 같이 상하이형을 3가지로 분류하였다.

(a) 위 형상이 직선이고 아래 형상도 직선인 경우 이 경우는 직선보간으로 가공하면 된다. 상하이형 직선보간의 NC 코드는 아래와 같다.

G01(직선보간) X, Y(주 평면), U, V(보조 평면) D(공구보정)

(b) 위 형상이 곡선이고 아래 형상도 곡선인 경우 이 경우는 원호보간으로 가공할 수 있다. 원호보간의 NC 코드는 다음과 같다.

G02(원호보간) X, Y, I, J(주 평면), U, V, K, L(보조 평면) D(공구보정)

G03(원호보간) X, Y, I, J(주 평면), U, V, K, L(보조 평면) D(공구보정)

G02: 시계방향, G03: 시계 반대방향

I, J: 좌표점 X, Y에서 원호 중심까지의 변위 벡터
K, L: 좌표점 U, V에서 원호 중심까지의 변위 벡터

(c) 위 형상이 직선이고 아래 형상은 곡선이거나 위 형상이 곡선이고 아래 형상은 직선인 경우

이와 같은 경우는 곧바로 직선보간이나 원호보간을 적용할 수 없다. 위의 형상은 직선보간으로 가공되고, 아래 형상은 원호보간으로 가공할 수 없기 때문이다.

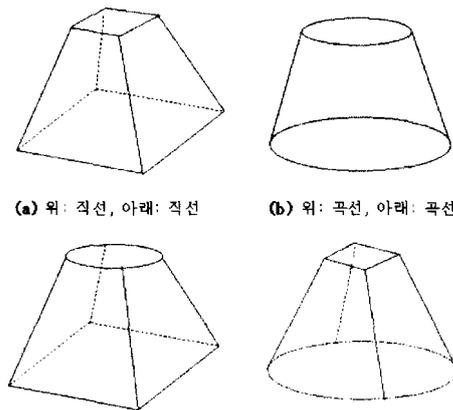


Fig. 3. Types of variable taper wire cut.

따라서 이 경우는 대응되는 상하 세그먼트를 잘게 쪼개어 곡선을 직선으로 잘게 나눈다. 그리고 분할된 상하 세그먼트를 직선보간으로 가공한다. 이때 주의해야 할 점은 Fig. 4와 같이 근사 오차가 허용 범위(가공오차) 내에 들도록 세그먼트 분할 개수를 정해야 된다는 것이다. 와이어컷 방전가공의 상하이형상 가공에서는 원호곡선가공이 일반적이므로 직선보간 세그먼트를 구할 때 아래 식 (1)을 만족하도록 해야 한다. 식 (1)에서 r 과 허용오차는 Fig. 5에서 표시된 바와 같다.

$$r(1 - \cos \frac{\theta}{2}) \leq \text{허용가공오차} \quad (1)$$

r : 원호반경

θ : 직선보간 세그먼트 각도

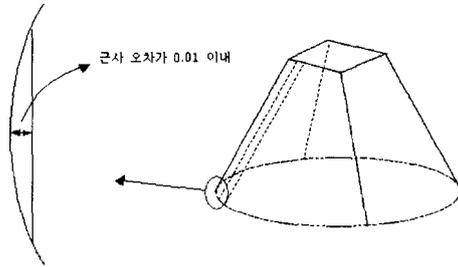


Fig. 4. Segmentation tolerance.

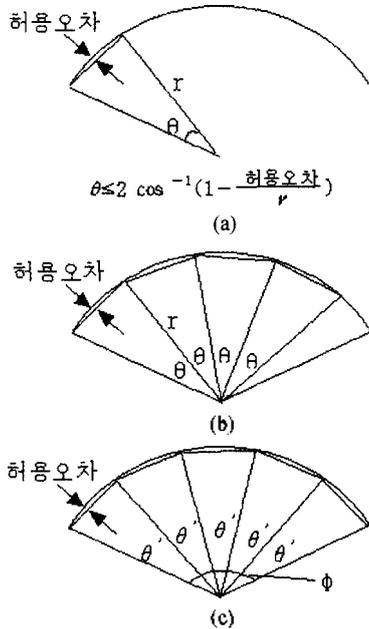


Fig. 5. Segmentation method.

따라서 허용오차를 만족하는 세그먼트 각도 θ 는 아래식 (2)과 같이 구할 수 있다. 그러나 Fig. 5(a)에서와 같이 각도를 구하여 원호구간을 직선보간하면 마지막 구간에서 크기가 동일하지 못한 세그먼트를 만나게 된다. 따라서 원호구간의 전체 각도 Φ 를 고려하여 θ 보다 작으면서 균등하게 분할된 각 θ' 를 구한 후 원호구간을 균등 분할한다.

$$\theta \leq 2 \cos^{-1} \left(1 - \frac{\text{허용가공오차}}{r} \right) \quad (2)$$

곡선의 세그먼트이션이 모두 이루어지면 이에 대응되는 직선을 곡선과 같은 세그먼트 개수로 균등하게 분할하여 직선보간으로 가공한다. NC 코드의 형식은 아래와 같다.

G01(직선보간) X, Y(주 평면), U, V(보조 평면) D(공구보정)

2.2 상하이형 가공 패턴 결정

와이어 컷 방전가공에서 가능한 가공유형의 조합은 Fig. 6과 같이 무수히 많다. 먼저 다이와 펀치에 따라 나누어지고 정밀마무리가 있느냐 없느냐에 따라 나뉘어진다. 또 상하이형 가공시에는 길이비로 가공할 것이냐 매개변수비로 가공할 것인가에 따라서 나뉘어진다. 그리고 한 방향으로 가공할 것이냐 양 방향으로 가공할 것이냐에 따라 나뉘어진다. 마지막으로 1차부터 5차까지의 가공 차수에 따라서 나뉘어진다. 본 시스템

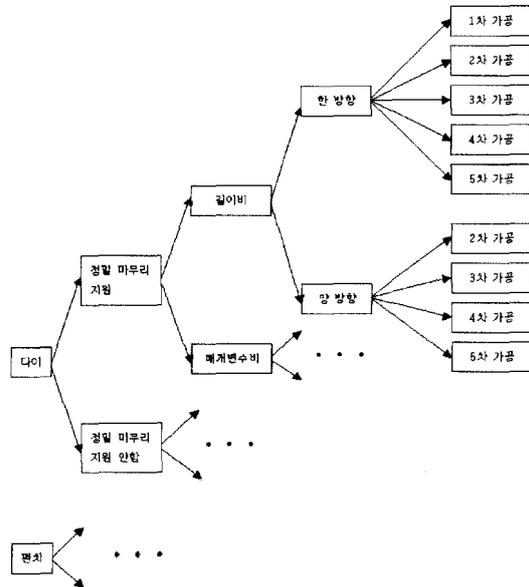


Fig. 6. Patterns of variable taper wire cut.

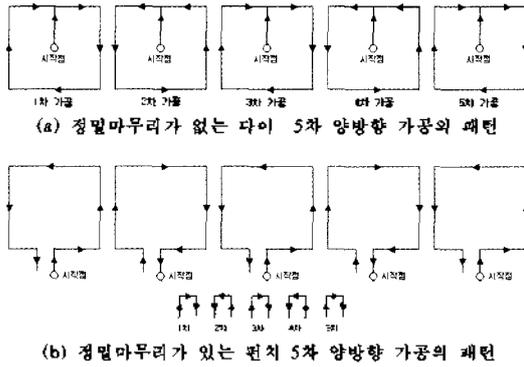


Fig. 7. Normal patterns of 5th wire cutting.

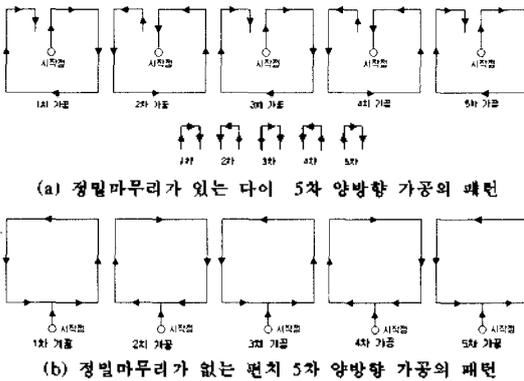


Fig. 8. Abnormal patterns of 5th wire cutting.

은 위의 가능한 모든 패턴을 지원하도록 설계하였다. 일반적으로 와이어 컷 방전가공에서는 다이인 경우는 정밀마무리 없이 가공하고, 펀치인 경우는 정밀마무리를 주고 가공한다. 왜냐하면 다이는 가공물의 내부를 버리기 때문에 정밀마무리를 할 필요가 없다. 반면 펀치는 가공물의 내부를 얻어야 하기 때문에 정지 위치에서 퇴각하여 가공한 후에 정밀마무리를 하게 된다.

만약 펀치에 대해 정밀마무리를 하지 않으면 1차 가공 후 제품이 바닥으로 떨어지기 때문에 더 이상의 다차 가공을 수행할 수 없게된다. 따라서 일반적인 상하이형 가공 패턴은 다이인 경우는 Fig. 7의 (a)와 같이 정밀마무리가 없는 5차 양방향 가공이고, 펀치인 경우는 Fig. 7의 (b)와 같이 정밀마무리가 있는 5차 양방향 가공이다. Fig. 8의 (a)는 정밀마무리가 있는 다이의 5차 양방향 가공이고, Fig. 8의 (b)는 정밀마무리가 없는 펀치의 5차 양방향 가공인데, 잘 사용되지 않는 패턴들이나 사용자의 선택에 따라 모든 유형의 NC 코드를 생성하도록 하였다.

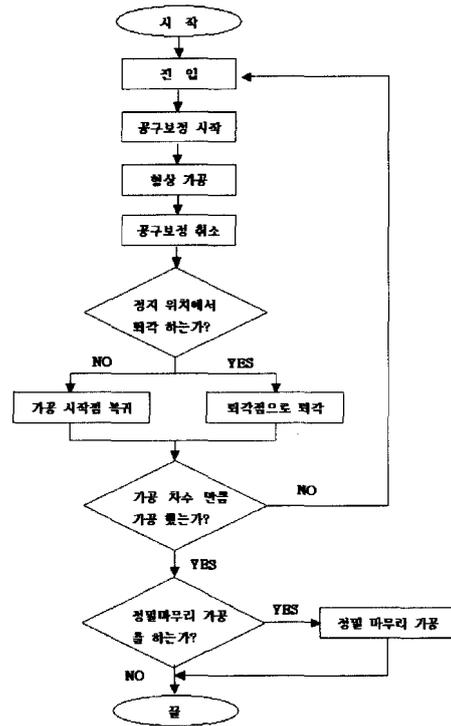


Fig. 9. Variable taper wire cutting process.

2.3 상하이형 가공 프로세스 설계

상하이형의 가공은 크게 3가지 부분으로 나눌 수 있다. 첫째는 진입 부분으로 가공 시작점(Piercing Point)에서 형상의 시작점까지 접근(Approach)이 이루어진다.

둘째는 형상(Body)가공 부분으로 모델링한 형상을 따라서 가공을 한다. 셋째는 퇴각 부분으로 지정한 정지위치에서 지정한 퇴각점으로 퇴각한다. 본 시스템에서는 진입하는 방법을 4가지 지원한다. 첫째는 최소점으로 진입하는 것이고, 둘째는 지정된 점으로 진입하는 것이고, 셋째는 곡선의 시작점으로 진입하는 것이고, 넷째는 각도로 진입하는 것이다. 진입이 이루어지는 동안에는 공구 보정이 시작됨으로써 형상을 가공할 때는 가공 옵션이 적용된다. Fig. 9는 상하이형 가공절차를 설명하고 있는데 형상가공은 정지점의 위치까지 이루어진다. 정지점을 주지 않고 형상의 끝까지 가공할 수도 있지만 일반적으로 정지점을 준다. 정지점에 이르게 되면 퇴각점으로 갈 것인지 아니면 가공시작점으로 갈 것인지 선택한다. 펀치 형상과 같이 가공 여유부분을 남기고 정밀마무리를 하는 경우는 퇴각점으로 이동했다가 역가공을 적용하여 정지점으로 진입한다. 그리고 다이 형상과 같이 정밀마무리를 하지 않는 경우는 가공시작점으로 퇴각했다가 다시 형상 시작점으

로 진입한다. 위와 같이 진입부터 퇴각의 과정을 가공 차수 만큼 반복한다. 모든 가공차수 만큼 가공이 이루어지면 정밀마무리가 필요한지 확인하여 정밀마무리 가공을 한다. 정밀마무리의 차수는 형상 가공 차수와 똑같으며 형상을 가공했던 각 차수의 방전조건과 가공 옵션을 적용하여 정밀마무리 가공을 한다. 따라서 형상의 가공정도와 정밀마무리에 의한 가공여유 부분의 가공정도는 일치하므로 연속성이 유지된다.

2.4 상하이형 가공 방법

본 연구는 상하이형상을 가공하는 2가지 방법을 지원하였다. 첫째는 길이비 방식이고, 둘째는 매개변수비 방식이다. 그리고 사용자가 원하는 형태로 가공할 수 있도록 마킹(Marking)이라는 기능을 지원한다.

2.4.1. 길이비

길이비 방식은 상형과 하형을 길이비로 분할하여 가공하는 방식이다. 따라서 길이비는 상하 세그먼트 개수가 틀린 경우에 유효하다. 길이비의 원리는 Fig. 10에 나타낸 것과 같이 상하 곡선의 세그먼트를 무시하고 길이비가 일치하는 곳에 상하 매칭점을 설정한다. 상하 매칭점은 상하 곡선의 각각의 세그먼트가 나누어지는 부분에서 길이비로 대응되는 점을 찾아 결정한다. Fig. 10을 보면 상형의 세그먼트 개수는 3개, 하형의 세그먼트 개수는 2개 인데 이를 길이비로 분할하였더니 4개의 세그먼트가 생성됨을 알 수 있다.

2.4.2. 매개변수비

상위 곡선과 하위 곡선을 매개변수비로 분할한다. 본 연구에서는 ACIS 커널을 이용하여 시스템을 구현하였는데, ACIS 커널에서는 한 세그먼트가 1의 매

개변수 값을 갖는다. 따라서 3개의 세그먼트로 이루어진 형상이 있다고 가정하면 Fig. 11과 같이 시작 매개변수 값은 0이고 끝의 매개변수 값은 3이 된다. 매개변수비의 원리는 세그먼트가 나누어지는 부분 즉 매개변수 값이 0, 1, 2, 3, ...이 되는 위치에서 상하 매칭점이 생성된다. 따라서 상하 세그먼트 개수가 같은 경우 효과적으로 가공된다. 그런데 상하 세그먼트 개수가 다른 경우는 길이비 방식처럼 세그먼트를 분할하여 상하 세그먼트 개수를 맞추는 후 가공에 들어간다.

따라서 상하 세그먼트 개수가 다른 경우는 사용자가 원하지 않는 형상으로 가공될 수 있다. 그래서 본 연구에서는 다음에 소개할 마킹(Marking) 기능을 이용하여 이 문제를 해결하였다.

2.4.3. 마킹(Marking)

마킹은 세그먼트가 시작하거나 끝나는 곳에 마킹 값을 부여하여 그 값이 같은 점에서 상하형상이 매칭되어 가공하도록 하는 기능이다. 이 기능을 이용하면 세그먼트 개수가 다른 상하 형상이 있을 때 사용자가 원하는 형상으로 가공할 수 있다. Fig. 12의 왼쪽 그림은 마킹 값을 주어 사용자가 의도한 형상으로 가공한 것이고, 오른쪽에 있는 그림은 마킹을 주지 않고 가공했

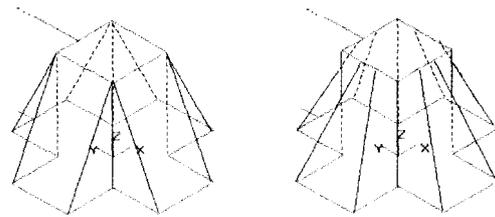


Fig. 12. Effect of marking function.

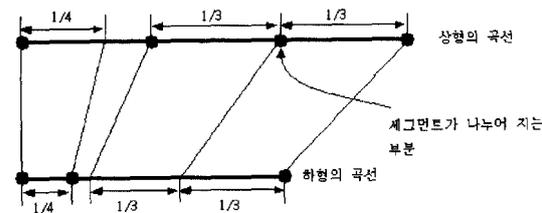


Fig. 10. Length ratio.

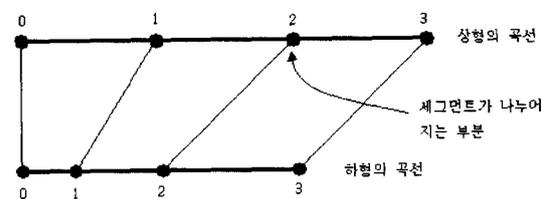


Fig. 11. Parameter ratio.

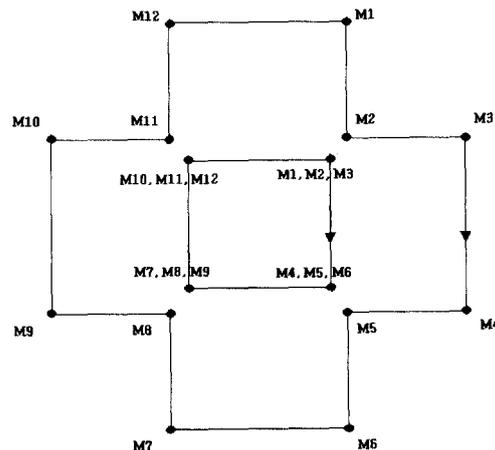


Fig. 13. Marking example.

을 때 상하 세그먼트 개수를 맞추기 위해 상위 형상의 세그먼트 개수가 4개에서 12개로 분할되어 가공된 모습을 보여준다. Fig. 12의 왼쪽 형상과 같이 가공하기 위한 마킹의 방법은 Fig. 13에서 설명하고 있다.

2.5 상하이형 가공 인터페이스

상하이형 가공을 위해서는 상위의 형상과 하위의 형상을 각각 모델링 해야 한다. 그리고 Fig. 14와 같은 가공 대화상자를 통해 주 프로그램 평면에 놓일 곡선과 보조 프로그램 평면에 놓일 곡선을 선택한다. Fig. 14의 왼쪽 대화상자에서는 공구 보정 방법, 자동결선 유무, 정밀마무리 유무, 매칭 방법, 공작물 세팅 정보 등을 입력해야 한다. 그리고 오른쪽 대화상자에서는 가공차수와 가공시작점(Piercing Point), 정지위치, 접근

방법, 퇴각 거리, 가공 유형 등을 결정해야 한다. Fig. 15는 상하이형 가공 후의 전체 화면의 모습이다. Fig.

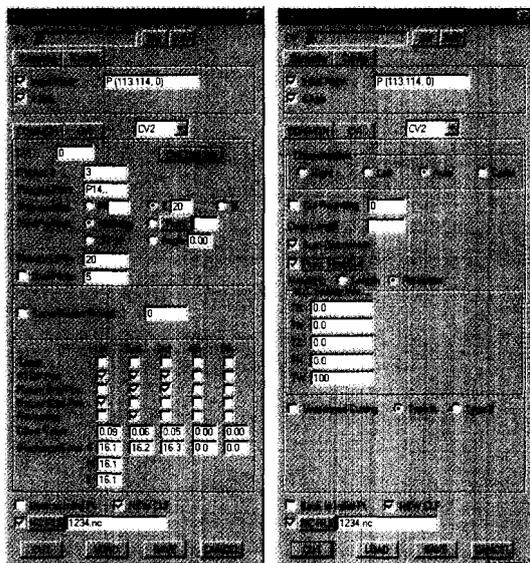


Fig. 14. Dialog box of variable taper wire cut.

```

%
O
L001 "DE0"
[MAIN START]
T0=50.
T1=50.
F0=0.
I2=50.1
T1=0.
H050=0. [DATA 0]
H051=16.1 [PROCESS COMPOSITION]
H052=16.2 [PROCESS COMPOSITION]
H053=16.3 [PROCESS COMPOSITION]
H054=0.005 [OFFSET]
H055=0.00 [OFFSET]
H056=0.054 [OFFSET]
M10=GET(X;V;00)
B7E
G90G92X120.Y0.
G59L5
G46
G63
M11=GET(X;V;010)
B11
F(H051)
D11=H050 [APPROACH OFFSET]
B12=H054 [1 Curve : 1st Cut Offset]
M104
M11=GET(X;V;010)
B11
G90G92X120.Y0.U0.U0.
M12
G1R53001X100.U=50.VB.D00
P(H051)
%
    
```

Fig. 16. NC code of variable taper.



Fig. 17. 1st wire EDM.

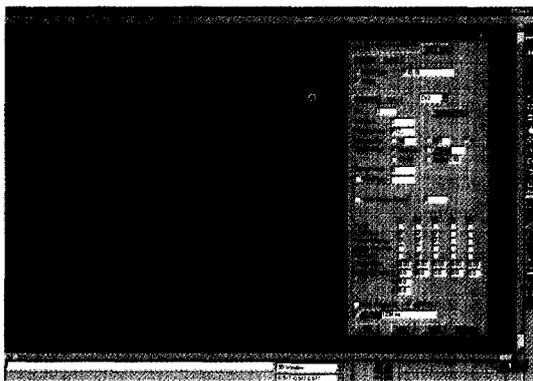


Fig. 15. Screen example of variable taper.



Fig. 18. 2nd wire EDM.

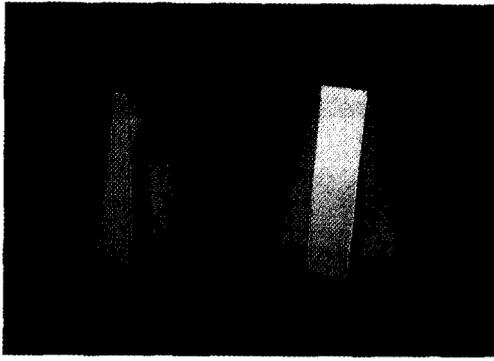


Fig. 19. Wire EDM samples.

16은 상하이형 가공을 통해 생성된 NC 코드이다. 본 연구에서는 생성된 NC 코드가 올바른지 검증하기 위해 실제 와이어 컷 방전가공을 통해 확인해 보았다. Fig. 17은 1차 방전가공의 모습으로 방전량이 많기 때문에 전해액이 탁함을 확인할 수 있다. Fig. 18은 2차 방전가공의 모습으로 이때는 방전량이 적기 때문에 전해액이 맑음을 확인할 수 있다. Fig. 19는 방전가공 결과 생성된 제품으로 왼쪽 제품은 마킹을 주지 않았기 때문에 상위의 세그먼트가 분할되어 하위의 세그먼트와 매칭되어 있다. 오른쪽 제품은 사용자가 적절하게 마킹을 준 것이다. 본 와이어 컷 전용 CAM 시스템에 대한 테스트 결과 만족할 만한 정밀도와 조도의 제품을 가공할 수 있음을 확인하였다.

3. 야간 무인가공을 지원하는 CAM 기능

3.1 야간 무인가공 유형 결정

와이어 컷 방전가공은 난삭성 재료에 대한 정밀한 가공이 가능하다는 장점이 있는 반면 가공 시간이 길다는 단점을 가지고 있다. 이런 문제를 극복하기 위해 야간 무인 가공이라는 방법이 도입되었다. 야간 무인 가공이란 작업자가 퇴근한 야간에 다수의 형상을 기계 스스로 가공하는 기능이다. 따라서 작업 생산성을 효과적으로 올릴 수 있다. 본 연구에서는 활용도가 높을 것으로 기대되는 2가지의 무인가공 유형을 결정하고 구현하였다. Fig. 20은 무인가공 유형 A인데 3개를 2차 가공해야 할 경우 전체 형상을 가공여유를 남긴 상태에서 2차 가공을 한 뒤 정지하게 된다. 3개의 형상에 대한 각각의 2차 정밀마무리는 작업자가 출근했을 때 작업자의 확인을 거쳐 수행하게 된다. Fig. 20에서 집선 부분은 와이어가 끊어진 상태를 나타낸다. 1번의 형상을 2차 가공을 한 뒤 2번의 형상으로 이동하기 위해

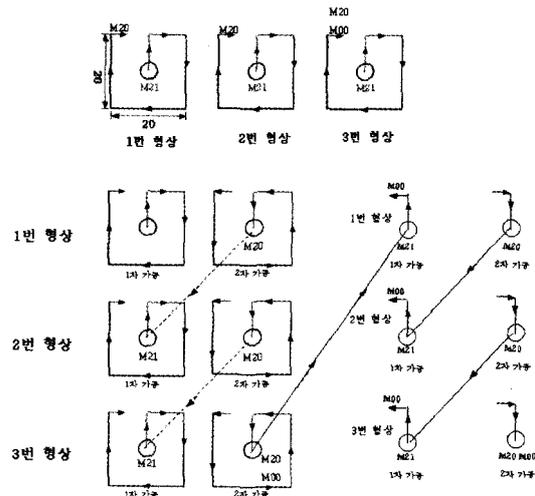


Fig. 20. Unmanned wire EDM - type A.

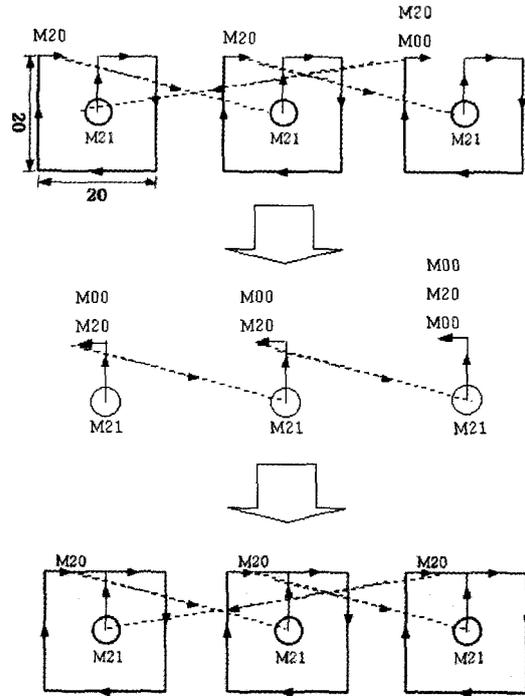


Fig. 21. Unmanned wire EDM - type B.

서는 와이어를 끊고 2번 형상의 가공 시작점으로 이동한 다음 자동 결선이 이루어지게 된다. Fig. 21은 무인가공 유형 B이다. 3개의 형상을 2차 가공을 해야 한다면 전체 형상에 대해 가공여유를 남긴 1차 가공만을 작업자가 없이 진행한 다음 정지한다. 작업자는 전체

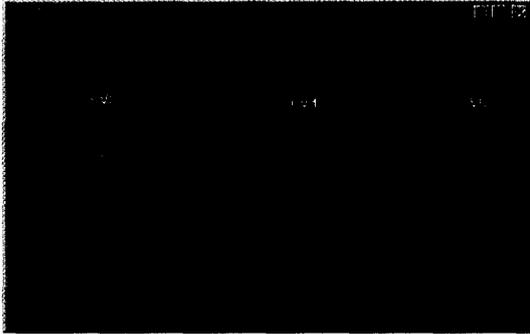


Fig. 22. Part curve modeling.



Fig. 24. Screen example of unattended wire EDM.

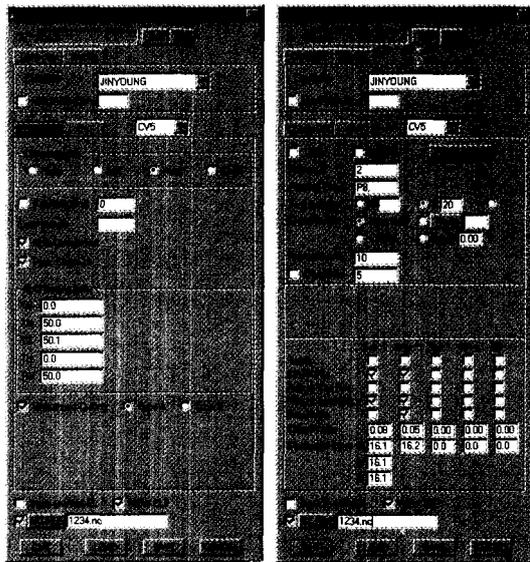


Fig. 23. DialogBox of unattended wire EDM.

형상에 대한 1차 정밀마무리와 2차 가공을 수행한다.

```

*
*001 "WED"
[MAIN START]
T1=50.
T10=50.
T10=0.
T2=50.1
T1=0.
H05=0. [DATA 0]
H051=16.1 [PROCESS CONDITION]
H052=16.2 [PROCESS CONDITION]
H053=0.005 [OFFSET]
H054=0.005 [OFFSET]
B10=GET(X;V;00)
B10
G90G92X-2.43902Y-62.6016Z
M59L5
G46
G03
B11=GET(X;V;010)
B11
P(H051)
O11-H050 [APPROACH OFFSET]
O12-H053 [1 Curve : 1st Cut Offset]
B100
B11=GET(X;V;010)
B11
G90G92X-2.43902Y-62.6016Z
M92
G42B01V-50.000
P(H051)
G27P00201
G01X-22.4390Z
    
```

Fig. 25. NC code of unattended wire EDM.

3.2 야간 무인가공 지원 인터페이스

야간 무인가공을 지원하기 위해서는 먼저 형상 모델링이 필요하다. Fig. 22는 3개의 펀치 형상을 모델링한 화면이다. Fig. 23은 무인가공 대화상자의 모습이다. Fig. 21의 왼쪽 대화상자에서는 공구보정 방법, 자동결선 유무, 정밀마무리 유무, 무인가공 유형 등을 결정한다. Fig. 23의 오른쪽 대화상자에서는 무인가공을 할 3개의 곡선을 선택하고 각 곡선에 대한 가공 치수와 방전조건, 가공음셋, 접근 방법, 정지거리, 퇴각거리 등의 정보를 각각 입력한다. 모든 정보의 입력이 끝나면 가공을 통해 NC 코드를 생성한다. Fig. 24는 가공을 마친 전체화면의 모습이다. Fig. 25는 가공을 통해 생성된 NC 코드이다.

4. 결 론

본 연구에서는 와이어 컷 방전가공기를 효과적으로 지원할 수 있는 전용 CAM 시스템을 개발하였다. 본 연구는 상하이형의 가공을 지원하기 위해 상하이형의 가공유형을 결정하고, 가공할 형상을 분류하였다. 또 길이비와 매개변수비의 가공방법과 마킹이라는 특수한 기법을 통해 어떤 상하이형도 가공할 수 있도록 설계하였다. 또한 본 연구는 무인가공의 지원을 위해 활용도가 높은 무인가공 유형을 결정하고 이를 구현하였다. 본 시스템은 Windows NT 기반에서 Visual C++ 6.0을 개발 툴로 사용하였다.

본 전용 CAM시스템은 국산 J정기 와이어 컷 EDM

가공기의 전용 CAM시스템으로 개발되었는데 상하이형과 야간 무인가공의 풍부한 기능 지원으로 목표 시장인 미주 및 유럽에서 와이어 컷 방전가공기의 매출에 크게 기여할 수 있는 도구가 될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 김기선, 정판동, CNC 방전가공 및 와이어 컷 가공법, 문운당, 1998.
2. 성준경, 강명창, 황경현, 김정석, "금형강의 와이어 컷 방전가공 시 방전조건과 가공 특성," 한국정밀 공학회, 96년도 춘계학술대회논문집, 1996.
3. 이진범, 주상윤, 황지남, "와이어 가공 조건 자동생성 2단계 신경망 추정," 한국정밀공학회지, 제15권, 제2호, pp. 7-13, 1998.
4. 유우식 외 6인, "방전조건 데이터베이스를 고려한 와이어컷 전용 CAM 시스템 개발," 2000 한국 CAD/CAM 학회 학술발표회 논문집, pp. 81-86, 2000.
5. 유우식 외 4인, "상하이형상 및 무인가공을 고려한 와이어 EDM 전용 CAM 시스템 개발," 2001 한국 CAD/CAM 학회 학술발표회 논문집, pp. 195-204, 2001.

6. 주상윤, 이진범, "Z-map을 이용한 3차원 방전가공조건의 결정방법," 한국 CAD/CAM학회 논문집, 제4권, 제4호, pp. 355-359, 1999.



유 우 식

1986년 서울대학교 산업공학과 학사
 1988년 한국과학기술원 산업공학과 석사
 1992년 한국과학기술원 산업공학과 박사
 1992년~1996년 금오공과대학교 산업공학과 조교수
 1996년~현재 인천대학교 산업공학과 부교수
 관심분야: Surface Modelling, NC Programming, Computational geometry, 생산자동화



정 희 민

1990년 서울대학교 산업공학과 학사
 1995년 한국과학기술원 자동차 및 설계공학과 석사
 1991년~(주) 큐빅테크 큐빅기술연구소 연구원, 연구소장
 관심분야: NC generation, computational geometry, 자동차 장비 simulation, 금형 제작 및 해석