

## 대화형 작업장 프로그래밍을 위한 최소 시간 포켓 가공 사이클

### The Minimum Time Pocketing Cycle for the Dialog Workshop Oriented Programming

류제석\*, 강성균\*, 전용주\*\*

\*현대정공 기술연구소 공작기계 연구부 (Tel:0331-284-3111; Fax:0331-284-0341)

\*\*University of Illinois at Chicago 기계공학과 (Tel:312-996-5457; Fax:312-996-5457)

**Abstracts** Based on the minimum cutting time criteria, the tool path generation algorithm of a pocket machining is developed as a form of a built-in cycle for the WOP(workshop oriented programming) of a CNC controller. Based on the given CAD database and tool information, an optimal cutting depth and geometric properties can be generated, then six different tool paths will be generated internally and automatically. Finally, the G code which commands tool movements is generated for CNC machining.

**Keywords** CNC controller, Pocket, Cycle, Workshop Oriented Programming

#### 1. 서론

수치제어 장치를 채용한 공작기계의 작업명령 언어인 파트 프로그램(part program)을 작성하기 위해서는 일반적으로 미리 약정되어 수치제어 장치에서 기본으로 제공되는 G code를 많이 사용하지만, 이를 위해서는 숙련된 가공 프로그래머가 필요하게 되며, 복잡한 형상 가공을 위한 파트 프로그램 작성은 많은 시간과 노력이 소요되기에 전체 생산성이 지대한 영향을 미친다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 전산기를 이용한 CAM(Compter Aided Manufacturing) 시스템이 개발되어 사용되고 있으나 고가이며 이 시스템을 위한 전문 프로그래머가 필요하다. CNC 콘트롤러 외부에서 프로그램을 작성하는 외장형 시스템이기 때문에 공구에 관련된 정보, 초기 시험절삭시 작업자 보정량, 최적 절삭조건등을 반영하는 데 한계점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 최근에는 CNC콘트롤러 상에서 단시간에 그리고 간편하게 파트프로그램을 작성하는 시스템이 개발되고 있으며, 이를 작업장 프로그래밍(Workshop Oriented Programming) 방식이라 한다.

이러한 작업장 프로그램은 기본으로 제공되는 G code뿐만 아니라 자주 쓰이는 가공 동작을 한 개의 매크로 또는 블록으로 지령하여 파트 프로그램을 간편하고 효율적으로 작성하도록 도와주는 사이클(cycle)을 포함하고 있다. 선반용 수치제어 장치의 경우에는 황삭 사이클인 G71, G72등을 비롯하여, 나사, 구멍, 홈 가공등을 위한 다양한 가공 사이클이 개발되어 사용되고 있으나, 밀링용 수치제어 장치에는 구멍 가공용 드릴 및 보링 사이클만 제공되고 있는 경우가 대부분이다.

또한 작업장 프로그램은 장시간 기계앞에 서서 프로그램을 작성하는 점을 제거하기 위해서는 신속하게 프로그램을 작성하는 방식이 제공되어야 하며, 가공자의 Know-how에 의존해서 결정되어지는 입력요소들을 사이클 자체에서 자동결정하는 지능형의 알고리즘이 포함되어 있어야 한다.

이에 본 논문에서는 작업장에서 대화방식으로 작업자가 최소한의 데이터를 입력하면, 최적의 절입깊이 및 황삭 경로를 신속하게 생성해 주는 밀링용 포켓 가공 사이클을 개발한다.

#### 2. 포켓 가공 방식

임의의 형상을 가진 포켓을 가공하는데는 일반적으로 황삭과 정삭공정이 필요하다. 정삭에서는 정밀도가 가장 중요한 요소가 되며 황삭에서는 짧은 가공시간이 최우선이 된다. 황삭에서의 짧은 가공시간은 전체 가공시간을 줄이는 것이며 따라서 생산성을 높이며 비용을 절감하게 된다.

황삭 가공 방법 중에는 일반적으로 그림 1에서 보인 바와 같이 Offset strategy 와 Contour map strategy가 있다. Offset strategy에서는 ball end mill을 사용하기 때문에 절삭량이 작고 또한 에어 컷이 생기는 경우가 많아 가공시간이 길어진다. 따라서 황삭에서는 Flat end mill을 사용하여 절삭량이 높고 절삭량이 많은 장점을 가지고 있으며, 에어 컷이 적은 Contour map strategy가 이상적이기에, 이를 근간으로 포켓 가공 사이클을 개발한다.

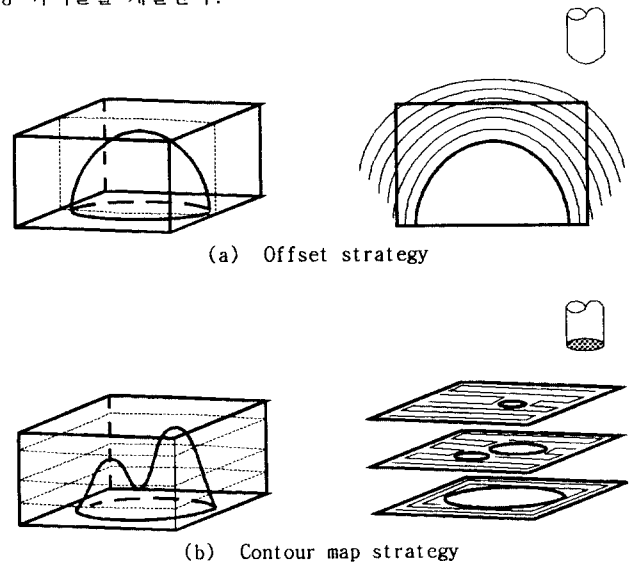


그림 1. 포켓 황삭 방법

Fig. 1. Machining strategy for pocket roughing

### 3. 싸이클의 구조 및 알고리즘

황삭가공을 최적화 하기 위해서 여러가지 요소들이 고려되지만, 본 논문은 최소시간의 공구 경로 생성만을 고려한다. 최적의 황삭 공구 경로를 얻기위한 많은 연구가 발표되어 왔으나 상당수의 연구가 어떤 특정한 모양의 가공물, 즉 아일랜드가 하나만 있을 경우에 대한 최적 공구 경로 생성[2][4][6], 또는 여러가지 종류의 멀티 아일랜드에 대하여 한 가지 종류의 공구경로를 이용, 최적 공구경로를 생성하는 방법에 대한 연구이다[3][5]. 본 연구에서 제안된 싸이클은 임의의 형상을 가지며, 한개 이상의 아일랜드를 갖는 포켓의 내부 또는 외부를 제거하기 위한 최적의 황삭 공구경로를 생성해준다.

개발된 싸이클의 기본 구조는 그림 2에서 보이는 바와 같이 입력부, 알고리즘 수행부, 출력부로 구성되어 있으며, 각 부분에 대한 설명은 다음과 같다.

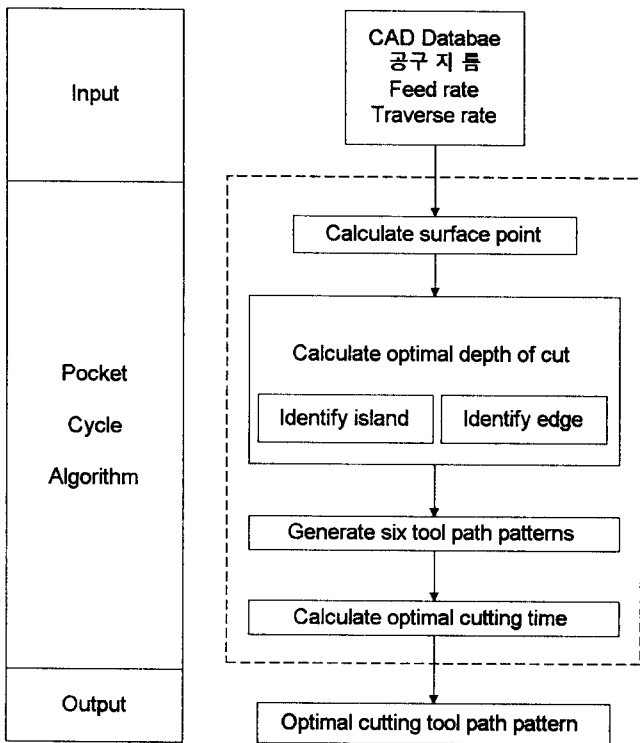


그림 2. 포켓 가공 싸이클의 기본 구조  
Fig. 2. Basic structure of pocket machining cycle

#### 3.1 입력부

형상을 정의하는 CAD Database를 비롯하여 가공 공구의 지름, 가공 속도등을 정의해 주는 모듈이다. 일반적으로 곡선이나 곡면을 나타내기 위해 여러 가지 수학적 정의들 즉, Cubic-spline, Coons, Bezier, B-spline 그리고 Non-Uniform Rational B-Spline (NURBS) 이 있다. 그 중에서도 Bezier, B-spline 그리고 NURBS 가 임의의 형상을 표현하는 데에는 적합하며 본 논문에서는 가장 일반적이고 범용의 곡면정의 방식인 NURBS를 이용하여 형상 디자인을 수행한 CAD data의 인터페이스를 제공한다.

#### 3.2 포켓 싸이클부

Contour map strategy를 이용, 황삭 공구경로를 생성할 때 수행해야 하는 모듈에는 일정한 간격으로 나누어진 곡면의 포인트들 구하는 부분과 레이어의 기하학적 특성과 황삭시의 허용 오차 그리고 공구의 최대 절입 깊이를 고려하여 구해지는 최적 절입깊이 및 절삭할 레이어의 생성이다. 또한 각 레이어 상의 island를 구분하는 것이 필요하며, 이에 따른 다양한 공구계획이 생성된다. 하기는 각 모듈에 대한 설명이다.

##### 3.2.1 Surface Points

일반적으로 임의의 형상은 analytical form으로는 표현이 힘들며 대부분 implicit form으로 표현이 된다. 이렇게 implicit로 표현된 surface의 경우, 그림 3에서처럼 xy-면에 대하여 일정한 간격으로 나누고 각각의 (x, y) 좌표 치에 대한 z 포인트, 즉 곡면 또는 형상의 높이는 Newton-Raphson method를 이용하여 계산해내어 구한다. 입력요소가 직교좌표계에서 측정된 점 데이터일 경우에는 이 과정은 생략된다.

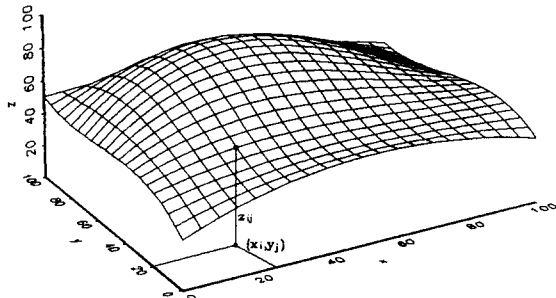


그림 3. 일정한 간격의 xy에 대한 곡면의 높이  
Fig. 3. Desired surface point by regular xy interval

##### 3.2.2. 레이어의 형상정의

이제는 절삭할 레이어의 형상 정의를 해야한다. 어떤 원하는 높이를 정하여 그림 4에서처럼 그 높이가 z 수치보다 작으면 0을 할당하고 크면은 1로 할당한 후에 멀티 아일랜드가 존재하는가에 대한 조사를 실시한다. 만약에 아일랜드가 하나밖에 없다면 위의 레이어의 형상정의로도 충분하지만 많은 경우가 아일랜드가 하나이상인 경우가 많다. 그래서 본 논문에서는 그림 5에 보이는 operator를 이용한 Sequential Labeling Algorithm[1]을 적용하여 멀티 아일랜드를 구별해 낸다.

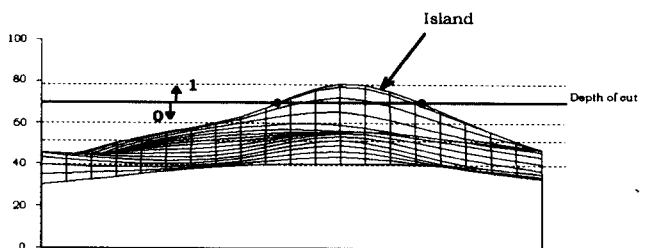


그림 4. 절삭할 레이어의 형상 정의  
Fig. 4. Cutting-layer definition

### 3.2.3 아일랜드의 에지클 구별

절삭할 레이어의 아일랜드가 구별된 후에는 각 아일랜드의 에지클 구별해야 한다. 에지클 구별해내는 순서는 다음과 같다.  
Step1 : 만약 A가 0이면, 계속 진행.

Step2 : 만약 A가 0이 아니면, B, C, D, E를 확인한다.

Step3 : 만약 B, C, D, E가 label이 되어있으면, A는 에지가 아니고, 만약 B, C, D, E중 아무거나 0을 가지고 있으면 A는 에지이다.

Step4 : 모든 면을 검색할 때까지 계속 반복한다.

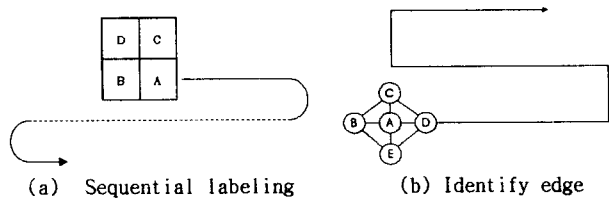


그림 5. Sequential labeling과 에지 구별을 위한 operator  
Fig. 5. Operator of Sequential labeling and Identify edge

### 3.2.4. 최적의 절입 깊이

최적의 절입 깊이는 황삭에서의 허용오차와 형상의 기하학적 특성을 바탕으로 결정된다. 최초의 절삭할 레이어의 깊이는 공구의 최대 절입 깊이로 선택된다. 하나의 레이어는 위의 면과 아래 면으로 구성되며 공구 경로는 아래의 형상을 기본으로 생성되므로 가공 후에 원래의 위의 가공 되어야 할 형상과 가공된 위의 형상에 차이가 발생된다. 그러므로, 가장 큰 차이를 계산해 내어 이 차이가 허용오차안에 들어오면 레이어의 깊이는 공구의 최대절입 깊이로 결정되지만 그 차이가 허용오차를 벗어나게 되면은 차이가 허용오차안에 들어올 때까지 레이어의 깊이를 조금씩 줄여나간다. 이렇게 하여 각 절삭할 레이어의 최적의 절입 깊이가 결정된다.

### 3.2.5. 공구 경로 생성

절삭할 레이어가 생성된 후에는 각 레이어마다 형상의 기하학적 특성을 고려하여 최적의 공구 경로를 생성 해내야 한다. 이 논문에서 고려하는 형상의 기하학적 특성에는 아일랜드 숫자, 아일랜드의 크기, 아일랜드의 centroid, centroid간의 거리, 각 아일랜드의 최대 그리고 최소 포인트, 전체 아일랜드의 최대 그리고 최소 포인트, 아일랜드간의 가장 짧은 거리가 있다. 이와같은 고려요소에 따라 그림 6과 같은 여섯 가지의 공구경로, 즉 island offset, island & stock offset, zigzag offset, zigzag & stock offset, continuous offset 그리고 continuous & stock offset을 제시한다. 각 공구경로의 형상 및 기하학적 특성, 그리고 장단점은 아래와 같다.

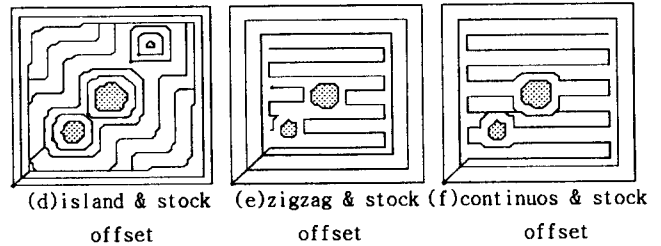
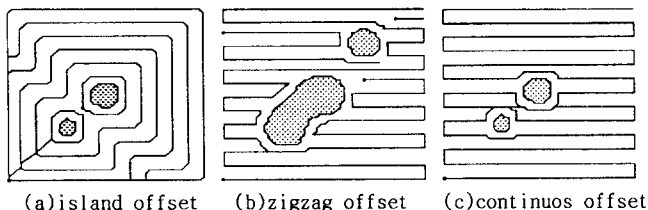


그림 6. 여섯 가지 공구 경로 패턴  
Fig. 6. Six tool path patterns

A. island offset 패턴은 공구가 오프셋 시킨 아일랜드의 모양을 따라가는 패턴이다. 만약에 두 개의 아일랜드 사이에 거리가 공구의 지름보다 작으면 이 두 개의 아일랜드는 하나로 인식이 되어 오프셋을 시키며 나중에는 모든 아일랜드가 하나로 인식이 된다. 이 패턴은 절삭할 레이어의 아일랜드가 포켓 중앙에 위치하며 그 아일랜드의 형상이 포켓의 형상과 비슷할 때 효과적이며, 한개 혹은 여러 개의 아일랜드가 포켓의 어느 모서리에 치우쳐 있을 때는 비효과적이다.

B. zigzag offset 패턴은 공구가 평행으로 좌우로 왔다갔다하며 층계 식으로 올라가다 아일랜드를 만나면, 아일랜드의 에지를 쫓아가다 다시 반대 방향으로 진행된다. 그러기 때문에 가공이 안된 부분이 생기며, 다시 공구를 그 부분으로 움직여 같은 방법으로 가공된다. 이 패턴은 한개 혹은 여러 개의 아일랜드의 크기가 포켓의 크기와 비교하여 상대적으로 클 때 효과적이며, 아일랜드의 모양이 복잡하거나 굴곡이 심할 때에는 비효과적이다. 이유는 가공이 안된 부분이 많아지므로 그 곳을 가공하기 위해 에어 컷이 많이 생기기 때문이다.

C. continuous offset 패턴은 공구가 평행으로 좌우로 왔다갔다하며 층계 식으로 올라가다 아일랜드를 만나면 아일랜드의 에지를 쫓아가다 반대편의 아일랜드의 에지에서 처음과 같은 방향으로 계속 진행된다. 아일랜드를 쫓아갈 때의 도는 방향은 아일랜드의 centroid에 의하여 결정된다. 이 패턴은 하나 혹은 여러 개의 아일랜드의 크기가 포켓의 크기보다 상대적으로 작을 때 효과적이며 아일랜드의 크기가 클 때 비효과적이다.

D. 전술한 three tool path pattern과 Stock offset Stock offset 방법은 아일랜드의 위치와 크기에 따라 적용된다. 아일랜드의 위치는 기하학적 특성들 즉, 아일랜드의 크기, 각 아일랜드의 최대 그리고 최소 포인트, 전체 아일랜드의 최대 그리고 최소 포인트, 아일랜드간의 가장 짧은 거리를 이용하여 구별될 수 있다. stock offset과 앞에서 언급한 공구경로들과의 결합으로 이루어진 패턴들은 다음과 같다.

- island & stock offset 패턴은 작은 아일랜드나 포켓 가운데나 가장자리 위치한 single 아일랜드에 적합하며 멀티 아일랜드에는 비효율적이다.
- zigzag & stock offset 패턴은 작은 single 아일랜드나 작은 또는 중간 크기의 멀티 아일랜드에 효과적이다. 그 이유는 stock offset이 불필요한 에어 컷을 줄여주기 때문이다. 그러나 복잡한 형상의 아일랜드에는 부적합하다.
- continuous & stock offset 패턴은 복잡한 형상의 작은 아일랜드나 작은 멀티 아일랜드에 유리하며 복잡한 형상의 아일랜드에는 부적합하다.

### 3.2.6. 최소 시간 공구 경로

최적의 공구 경로는 각 절삭할 레이어의 여섯 가지 공구 경로 중에서 전체 가공 시간이 가장 짧은 것으로 선택한다. 전체 가공시간은 실 절삭시간과 비 절삭시간의 합으로 결정된다.

$$\text{실 절삭시간 } (T_R) \quad T_R = \frac{L_T}{V_C} \quad (1)$$

where  $L_T$  is the length of tool path.  
 $V_C$  is the cutting feed rate.

$$\text{비 절삭시간 } (T_M) \quad T_M = \frac{L_B}{V_P} \quad (2)$$

where  $L_B$  is the length of noncutting traverse.  
 $V_P$  is the positioning rapid traverse rate.

$$\text{전체 가공 시간: } T_{total} = T_R + T_M \quad (3)$$

### 3.5. 출력부

최적 시간 가공 경로에서 생성된 CL data를 수치제어 장치를 위한 G code 형태로 변경하여 파트 프로그램을 생성하는 모듈

## 4. 적용 예

개발된 pocket 싸이클을 그림 7과 같은 multi-island를 가지는 경우에 대하여 적용한 결과, 그림 8에 보인 바와 같이 각 레이어에 따라 각각의 공구 경로가 생성되었음을 보이고 있으며, 전체적으로 continuous 형태의 공구 경로가 최적임을 알 수 있다. 그림 9는 일정한 패턴으로 전 레이어를 가공했을 경우의 가공 시간과 각 레이어별 최적 공구 경로를 선택한 경우를 비교한 도표로서, 각 레이어별 최적 공구 경로 가공하는 것이 시간상 유리함을 나타내고 있다.

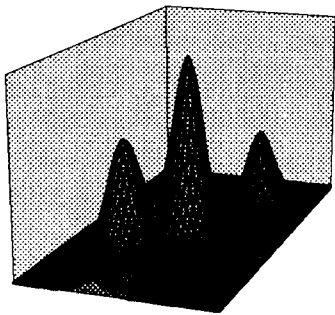


그림 7. 가공 소재  
 Fig. 7. Example of workpiece

## 4. 결론

작업자의 최소한의 데이터 입력으로 절입 깊이 및 최소 시간으로 가공 가능한 황삭 경로를 자동으로 생성해 주는 포켓 가공 싸이클을 개발 하였으며, 이 가공 싸이클은 임의의 형상과 한 개 이상의 island를 갖는 포켓 가공을 간편하게 해준다. 따라서 기존의 밀링용 수치제어 장치에 이 포켓 가공 싸이클을 도입하여 작업장 프로그램(WOP)을 가능하게 해준다.

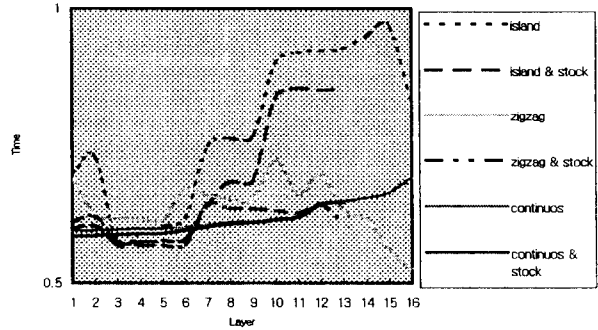


그림 8. 각 레이어에 대한 각 공구 경로의 가공 시간  
 Fig. 8. The cutting time of each tool path pattern with respect of each layer.

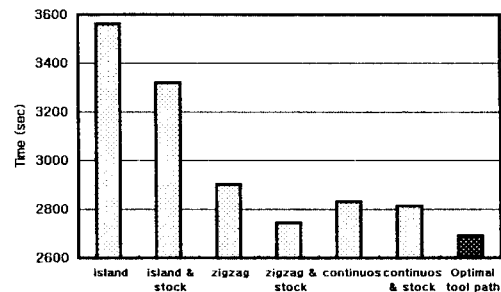


그림 9. 각 공구 경로의 전체 가공 시간  
 Fig. 9. Total cutting time of each tool path pattern

## 참고문헌

- [1] Cho, M.W., Kim, K., "New Inspection Planning Strategy for Sculptured Surfaces Using Coordinate Measuring Machine," International Journal of Production Research, Vol. 33, No. 2, pp 427-444, 1995
- [2] Dong, Z, Li, H., Vickers, G.W. : Optimal Rough Machining of Sculptured Parts on a CNC Milling Machine, Transactions of the ASME, Vol 115, pp424-431, November, 1993.
- [3] Held, M., Lukacs, G. and Andor, L. : Pocket Machining based on Contour-parallel tool paths generated by means of proximity maps, Computer Aided Design, Vol. 26, No. 3, pp189-203, March, 1994.
- [4] Li, H., Dong Z. and Vickers G.W. : Optimal Toolpath Pattern Identification for Single Island, Sculptured Part Rough Machining using Fuzzy Pattern Analysis, Computer-Aided Design, Vol. 26, No. 11, pp787-795, November, 1994.
- [5] Suh, Y.S. and Lee, K. : NC Milling Tool Path Generation for arbitrary Pockets Defined by Sculptured Surfaces, Computer-Aided Design, Vol. 22, No. 5, pp273-284, June, 1990.
- [6] Vickers G.W., Li, H. and Dong Z. : Automated Rough Machining of Curved Surfaces, Transactions of the CSME, pp 647-657, Vol. 17, No. 4A, 1993.