

충진재를 이용한 특징형상 가공용 RFPE 공정 개발

최두선*, 이수홍**, 신보성*, 윤경구*, 황경현*, 이호영***

Development of Feature-based Encapsulation Process using Filler Material

Doo-Sun Choi*, Soo-Hong Lee**, Bo-Sung Shin*, Kyung-Ku Yoon*,
Kyung-Hyun Whang*, and Ho-Young Lee***

ABSTRACT

Machining is the most commonly used process in the manufacturing of prototypes. This process offers several advantages, such as rigidity of the machine, precision of the operation and specially a quick delivery. The weight and immobility of the machine support and immobilize the part during the operation. However, despite these advantages it shows, machining still presents several limitations. The immobilization, location and support of the part are referred to as fixturing or workholding and present the biggest challenge for time efficient machining. So it is important to select and design the appropriate fixturing assembly. This assembly depends on the complexity of the part and the tool paths and may require the construction of dedicated fixtures. With traditional techniques, the range of fixturable shapes is limited and the identification of suitable fixtures in a given setup involves complex reasoning.

To solve this limitation and to apply the automation, this paper presents the Reference Free Part Encapsulation(RFPE) and implementation of the encapsulation system. The feature-based modeling system and the encapsulation system are implemented. The small part of which it is difficult to find out the appropriate fixturing assembly is made by this system.

Key Words : CAD(Computer Aided Design), CAM(Computer Aided Manufacturing), Feature(특징형상), Fixturing(고정구), Encapsulation(인캡슐레이션), Setup(셋-업), Rapid Prototyping(쾌속조형)

1. 서론

1.1 연구의 목적

가공은 시작품의 제작에서 가장 일반적으로 사용되는 공정이다. 이 공정은 손으로 다루는 공작기계에 대하여 기계의 강성, 공정의 정확성 그

리고 특별하게 빠른 수송의 몇 가지 장점을 제공한다. 기계의 무게와 고정성은 가공 공정을 수행할 때 부품을 지지하고 고정시킨다. 그러나 앞의 모든 장점들에도 불구하고 가공시에 여전히 몇 가지 제약이 발생하게 된다.

* 한국기계연구원, 연세대학교 대학원
** 연세대학교 기계공학과
*** 충남대학교 대학원

부품의 고정, 위치, 그리고 지지는 fixturing 또는 workholding으로써 이루어지며 시간 효율적인 가공을 결정하는 중요한 요소 중에 하나이다. 전형적인 가공 프로세스는 clamps와 V-block, 바이스, 평행 또는 모돌 고정구 뿐만 아니라 특정한 형상에 대해서는 그에 적당한 고정구의 조립을 선택하고 설계하기 위한 전문가가 요구된다. 작은 규모의 작업이나 시작품의 생산에 있어서 좀 더 효율적이고 현실적인 작업 그리고 시간을 절약하기 위하여 fixturing 방법을 새로이 하여 이러한 문제점들을 해결하고자 하는 노력들이 진행 중에 있다.⁽¹⁾⁽²⁾

본 논문에서는 현재의 문제점인 자동화를 하려는 경우 임의의 형상에 대한 fixturing 계획의 결정 때문에 효과적인 자동화를 구성하기 어렵다는 문제점과 표준 장치를 가지고는 fixturing이 가능한 범위가 한정적이라는 문제점을 해결하기 위한 방법으로 RFPE(Reference Free Part Encapsulation)라는 새로운 workholding 기술의 개념에 대하여 기술하고 특징형상 기반의 모델링과 셋업 및 가공순서를 결정하는 시스템^{(3)~(12)} 그리고 실제 Encapsulation 시스템을 구성하여 작은 가공품을 만들어 본다.

1.2 연구의 Background

Fixturing 제한을 극복하기 위하여 상당한 연구가 이루어지고 있다. 해결책으로 제공되어왔던 "Universal fixturing techniques" 사이에서 캡슐화 방법들이 가장 인기가 있으며 Cerro 합금과 Rigidax 같은 충전물의 사용은 삼십 년 전에서부터 사용되어 졌었다. 이들 저용융점 합금 또는 폴리머의 사용은 섬세하고 복잡한 부품을 고정하고 형성하는데 사용된다. 그러나 셋업시간과 쉬운 fixturing이란 점에서 장점을 제공하고 있음에도 불구하고 Pratt & Whitney Co. 와 Lawrence Berkeley Lab.에서 몇 가지만이 응용되고 있다. 이는 몇 가지 실제적인 구속조건 때문에 캡슐화의 일반적인 사용에는 제한이 발생되기 때문이다.

본 논문에서는 이러한 RFPE 기법에 대하여 기술하고 실제 시스템에 적용하여 본다.

2. RFPE 공정 및 소프트웨어 개발

2.1 RFPE 공정 설명

이상적인 fixturing의 방법은 모든 방향에서 공구가 접근할 수 있도록 하는 것일 것이다.

RFPE 공정은 개념적으로 공간상에 요소를 고정시키는 메카니즘에 하나이다. 이 공정의 기본 개념은 공간상에 작업물을 위치시킬 때 작업물을 고정하기 위하여 공간에 다른 저용융점의 물질을 채워서 한다는 것이다. 이 공정은 손쉬운 fixturing을 위한 방법을 제공한다.

본 공정의 개념적인 순서는 다음과 같다.

1. 먼저 입방체 틀에 stock을 넣고 충전재를 이용하여 채운다.
2. 입방체 틀을 바이스 또는 고정구를 이용하여 작업 테이블 위에 고정시킨다.
3. 입방체 틀과 stock 상에서 원하는 형상의 가공 공정을 수행한다.
4. 현재의 셋업으로 가공이 가능한 가공이 끝나면 다음의 가공을 위하여 다시 채운다.
5. 셋업을 변경한다.
6. 모든 셋업에 대하여 가공공정이 수행될 때까지 2번 단계에서부터 5번 단계의 과정을 반복한다.
7. 모든 특징형상에 대한 가공이 끝나면 충전재를 녹여서 완성품을 얻고 녹여낸 충전재는 다음에 재 사용한다.
8. 가공된 충전재도 재사용을 위하여 재생시킨다.

다음의 Fig. 1은 위에서 설명한 Encapsulation 공정의 순서를 도식적으로 나타낸 것이다.

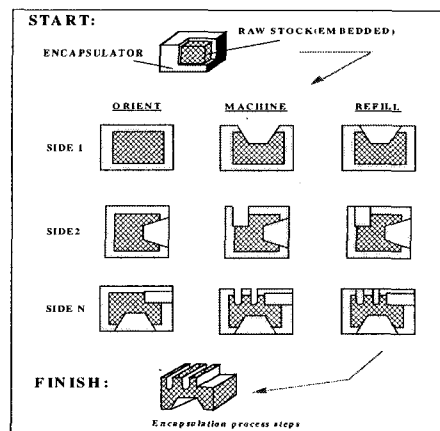


Fig. 1 The encapsulation process steps

2.2 RFPE 공정을 위한 특징형상 기반 소프트웨어

본 연구에서는 특징형상을 기반으로 하는 모델링 시스템과 특징형상으로 모델링 된 데이터를 이용하여 셋업 순서와 가공 순서를 생성하는 프로그램을 구성하였다. 다음의 Fig. 2는 소프트웨어의 전체 구조를 보여 준다. 소프트웨어는 크게 두가지의 모듈로 구성이 된다. 먼저 특징형상을 기반으로 하는 모델링을 하는 부분과 모델링된 데이터를 가지고 가공에 대한 정보를 얻어내는 부분으로 나눌 수 있으며 부가적으로 간단한 공구 데이터베이스를 이용하여 각각의 특징형상에 대한 사용가능한 공구를 선정해주는 부분으로 구성이 되어있다.

본 논문에서는 먼저 특징형상에 대한 라이브러리를 구성하고 3차원 솔리드 모델러인 SolidWorks API와 Visual C++을 이용하여 특징형상 기반 모델링 기법으로 모델링을 수행하여 공정 계획에 필요한 가공정보를 저장한다.⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾

본 논문에서 정의한 특징형상의 종류는 가공 특징형상으로 크게 Pocket, Slot, Step, Hole, Groove의 5가지로 분류하고 각각에 대하여 Pocket은 9가지, Slot, Step, Hole은 6가지, Groove는 1가지로 세분하여 총 28가지에 대하여 정의하였다. 특징형상을 위한 자료구조는 클래스로 구현하였다. 특징형상을 모델링하기 위해서는 특징형상에 대한 위치, 방향, 치수 등의 기하학적인 정보가 필요하며 이 기하학적인 정보로부터 3차원 솔리드 모델링을 수행하게 된다. 이 모델링 과정에서 셋업 및 가공순서의 결정을 위한 가공 정보들도 저장하게 된다.

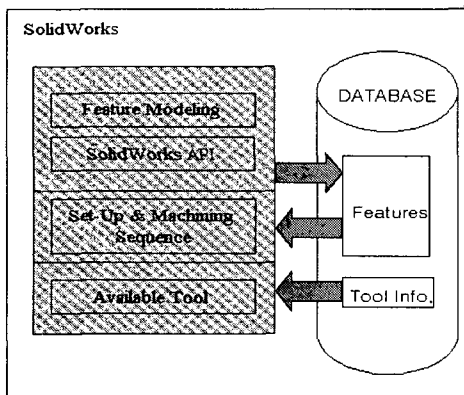


Fig. 2 The diagram of the software system

본 논문에서는 3차원 솔리드 모델링을 위하여 SolidWorks API를 이용하였으며 모델링 방법은 먼저 만들고자 하는 특징형상의 종류를 선택한 다음 특징형상의 종류에 따라 필요한 기하학적 정보를 입력한다. 입력된 정보를 이용하여 선택된 평면에 생성할 특징형상의 프로파일을 그리고 입력된 깊이 정보를 이용하여 선택한 평면의 법선 방향과 반대 방향으로 작업물의 프로파일에 해당하는 부분을 제거함으로써 모델링을 수행하게 된다.

이러한 모델링 방법을 프로그램을 인스톨할 때 사용되는 워저드 형식을 이용하여 사용자가 단계마다 필요한 입력을 주면 되므로 사용하기 편리하도록 구성하였으며 모델링하는 과정에서 셋업 및 가공순서의 결정에 필요한 정보를 입력받거나 계산하여 저장하게 된다. 다음의 Fig. 3은 특징형상을 모델링하는 워저드 중에 특징형상의 치수를 기입하는 화면이다. 위쪽의 콤보박스를 이용하여 특징형상의 세부적인 종류를 선택할 수 있으며 오른쪽의 그림은 특징형상의 모양을 나타낸다.

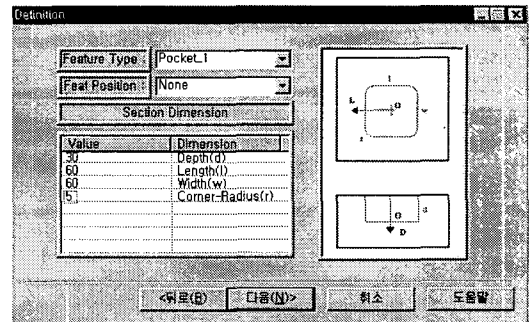


Fig. 3 The input of the feature dimensions

모델링 된 데이터를 이용하여 셋업과 가공순서를 결정한다. 본 논문에서는 셋업을 변경하는 주된 이유를 공구가 가공물에 접근하여 가공을 수행할 수 있도록 하기 위함이므로 셋업을 결정함에 있어서 공구의 접근방향을 주로 고려하여 셋업을 결정하였다.

위에서 언급된 각 특징형상의 공구접근방향에 대한 정보를 이용하여 셋업변경을 최소로 할 수 있는 셋업의 순서를 결정한다. 그 다음 각각의 셋업 방향에 대한 특징형상들간의 가공순서를 결정하여 최종적인 가공순서를 결정한다. 또한 각각의 특징형상마다 사용 가능한 공구의 목록을 보여주고 사용할 공구를 사용자가 선택할 수 있도록 하였다.

3. 실험

3.1 소재선정

Encapsulation에 사용되는 소재 즉, 충전제의 선정은 매우 중요하다. 견고하고 정확한 fixturing을 하기 위해서 소재의 선정은 실험에 의하여 선정하였다. 먼저 stock보다 낮은 용융점을 가지고 열팽창에 의한 변형이 적어야 하므로 열팽창 계수가 낮거나 stock과 비슷한 열팽창 계수를 갖는 소재의 선정이 필요하다. 또한 환경 친화적이어야 한다. 이런 소재의 선정은 실험을 통하여 수행되었으며 선정된 합금은 Bi/Sn(58/42) 합금으로 선정하였다. 선정된 합금의 용융점은 135°C이며 열팽창 계수는 약 $15 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 이다.⁽¹⁶⁾

3.2 소형 및 중형 Encapsulation 장비 소개

작업물과 충전물 블록상에서 가공공정을 수행한 다음 블록을 녹은 충전물로 다시 채우기 위해서는 Encapsulation 시스템이 필요하다. Encapsulation 시스템은 완전하게 블록을 채우고 적은 다공성과 부드러운 면의 마무리, 치수의 안정성을 만족하여야 한다. 몰드가 불완전하게 채워지게 되면 블록내에서 작업물이 움직일 수 있으며 다공은 몰드의 경도 및 강도, 면의 정확도를 감소시키며, 위치의 기준면이 되기 때문에 면의 마무리의 정확도에 중요하게 된다. 또한 가용성 합금에서 수축, 팽창 그리고 면의 침식에 의하여 영향을 받는 치수의 안정성도 정확도를 유지하는데 중요하다. 이러한 점들을 고려하여 인젝션 시스템을 설계하고 주입, 몰드 온도, 주입 온도의 파라미터를 결정하여야 한다. 주입 압력을 증가시킬수록 몰드와 작업물에 주입된 용융 금속을 맞추는 데에는 좋으나 기공이 생기고 면의 마무리가 나빠지게 된다. 몰드 온도는 110°C 이상이면 블록을 완전하게 채우는데 적합하며 120°C 이상이면 좋은 면의 마무리를 얻을 수 있다. 그러나 높은 온도는 냉각 시간이 오래 걸리고 열팽창이 크게 생길 수 있다. 주입온도는 높을수록 블록을 채우는 것과 다공성, 치수 안정성에 좋다.

다음의 Fig. 4는 소형 Encapsulation 시스템을 보여준다. 소형 Encapsulation 시스템의 Stock 크기는 25.4mm× 25.4mm× 33.0mm이다. 소형 시스템은 작은 물체를 만드는 경우에 사용한다. 중형 Encapsulation 시스템은 큰 부품을 생산하기 위한

것으로 충전제의 저장소를 두 개를 두었으며 stock의 크기는 80mm× 80mm× 98mm 이다. Fig. 5는 중형 Encapsulation 시스템을 나타낸다.

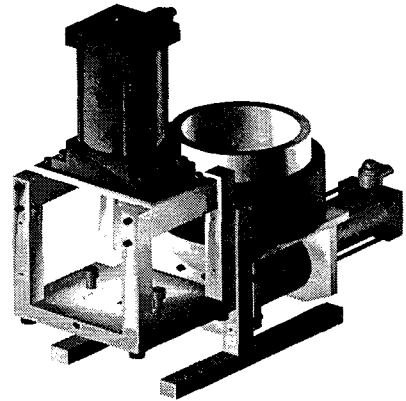


Fig. 4 the small encapsulation system

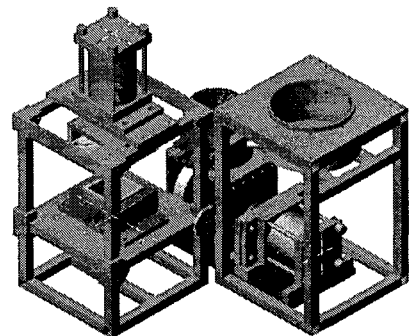


Fig. 5 The middle encapsulation system

3.3 소프트웨어 적용 사례

다음의 특징형상 기반 소프트웨어를 이용하여 모델링을 한 후 모델링 데이터를 이용하여 셋업과 가공순서를 결정하는 것에 적용하여 보았다. 다음의 Fig. 6은 적용된 모델을 나타낸다. 먼저 특징형상 중 Hole과 CutOutside를 이용하여 Fig. 6과 같은 형상을 모델링한 후 셋업과 가공순서를 결정하여 보면, Fig. 7과 같이 셋업과 가공순서가 생성된다. 또한 공구 데이터베이스를 이용하여 사용할 공구를 선정할 수 있다. 이것이 결정된 상태에서 가공에 필요한 코드를 생성한다. 먼저 생성하기 전에 소프트웨어 상에서 CL 데이터를 생성하여 보고 제대로 생성되는지를 확인한 후에 가공 코드를 생성한다. Fig. 8은 CutOutside 형상에 대한 CL 데이터를 디스플레이한 모습을 보여주고 있다.

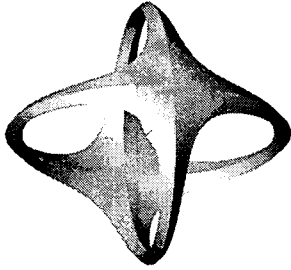


Fig. 6 The test model

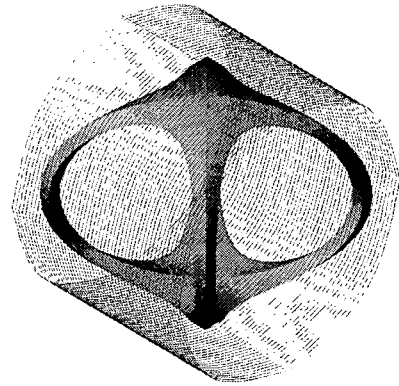


Fig. 8 The CL data of the CutOutside

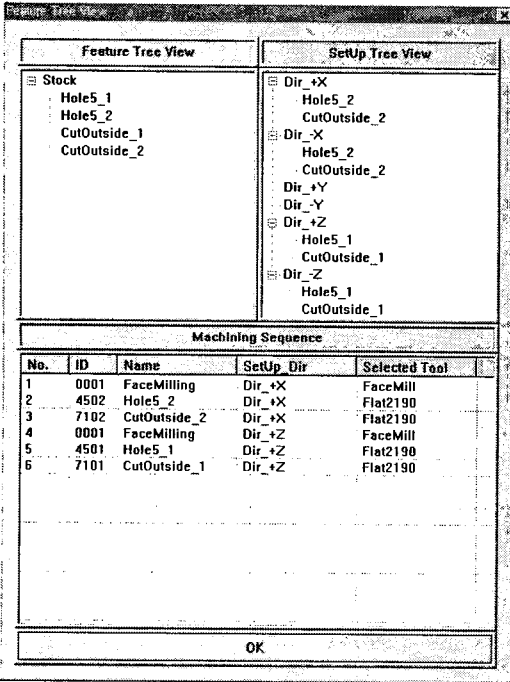


Fig. 7 The SetUp and machining sequence result

다음의 Fig. 9는 3R system 칩에 Encapsulation 된 블록을 장착하고 가공 작업을 수행하는 모습을 보여준다. 충전재와 stock을 동시에 가공하게 된다. Fig. 10은 CutOutside 특징형상을 가공한 후의 모습을 보여준다. 이는 다시 Encapsulation 장비에 의하여 원래의 블록 형태로 다음 가공을 위하여 채워지게 된다. 이때 블록은 Encapsulation 할 때나 가공 작업을 수행할 때 항상 3R system 칩에 고정시켜 놓아서 위치정보를 소실하지 않게 되어 셋업 작업을 손쉽게 할 수가 있다.



Fig. 9 Machining

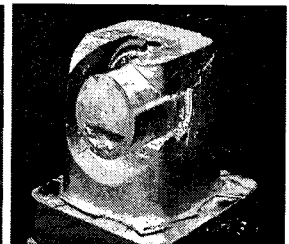


Fig. 10 After machining

3.4 가공 실험

앞 절에서 소프트웨어에 의하여 선정된 셋업과 가공 순서 그리고 공구에 대한 데이터를 가지고 CL 데이터를 생성 후 가공 코드를 생성하였다. 이 가공 코드를 가지고 소형 Encapsulation 시스템과 가공 장비를 이용하여 가공 작업을 수행하였다. 가공 작업은 3R system 칩을 이용하여 회전에 의하여 손쉽게 셋업을 바꿀 수 있도록 하였다.

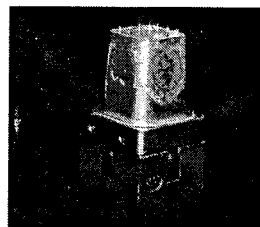


Fig. 11 After remolding



Fig. 12 Final parts

이 가공된 블록을 다시 Encapsulation 장비에서 Fig. 11 처럼 채워지게 된다. 그런 다음 모든 가공 작업을 수행하고 stock을 감싸고 있던 충전재를 녹여내면 Fig. 12과 같은 최종형상을 얻을 수 있게 된다. 다음과 같은 방법으로 가공 작업을 수행하면 셋업이 바뀔모로서 생기는 fixturing의 문제점을 손쉽게 해결할 수가 있으며 얇은 부분의 가공이 생길 수 있는 파단의 문제점을 충전재가 보강의 역할을 하므로 안전하게 가공을 할 수가 있는 장점이 있다. 그러나 단점으로는 stock의 크기가 커지게 되면 충전재의 양이 많이 들게 되고 이에 따라 냉각시간이 많이 필요하게 될 것이다.

4. 결론 및 향후 연구 내용

본 연구에서는 특징형상을 기반으로 하는 형상에 대한 가공을 위한 RFPE 공정 시스템에 대한 연구를 수행 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

특징형상을 기반으로 한 모델링 시스템과 셋업 및 가공 순서를 생성하는 소프트웨어를 개발하였다.

임의의 형상에 대하여 간단하게 fixturing을 할 수 있는 RFPE 공정을 개발하였다. 이는 가공자동화 시스템에 아주 유용하게 이용될 수 있으리라 생각된다.

작은 가공에 적합한 소형과 중간 크기의 물체를 위한 중형 Encapsulation 시스템을 구성하여 RFPE 공정을 실제에 적용하여 보았다. 적용하여 본 결과 실제적으로 가공하기 힘든 형상을 손쉬운 fixturing 방법으로 가공할 수 있었다.

향후 연구과제로는 현재 개발된 Encapsulation 시스템과 가공 시스템을 통합하여 하나의 자동화 시스템을 구성하는 것에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- Sanjay E. Sarma, Paul K. Wright, "Reference Free Part Encapsulation: A New Universal Fixturing Concept," Journal of Manufacturing System, Vol. 16, No. 1, pp. 35-47, 1997.
- M.V. Gandhi, B.S. Thompson, and D.J. Mass, "Adaptable Fixture Design: An Analytical and Experimental Study of Fluidized Bed Fixturing," ASME Journal of Mechanisms, Transmissions and Automation in Design, Vol. 108, pp. 155-161, 1986.
- Leo Alting, Hangchao Shang, "Computer Aided Process Planning: the state-of the-art survey," INT. J. PROD. RES., Vol. 27, No. 4, pp. 553-585, 1989.
- F.L.M. Delbressine, R. de Groot, A.C.H. van der Wolf, "On the Automatic Generation of Set-Ups Given a Feature-Based Design Representation," Annals of the CIRP Vol. 42, pp. 527-530, 1993.
- Chu, C.C.P and Gadh R., "Feature-Based Approach for Set-up Minimization of Processing Design from Product," Computer-Aided Design, Vol. 28, No. 5 pp. 321-332, 1996.
- 박철민, 노형민, 이수홍, "특징형상을 이용한 Set-up 순서 결정 및 공정분할도면의 자동 생성," 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, pp. 1031-1036, 1998.
- 오익수, "솔리드 모델러를 기반으로 한 특징형상 모델링 시스템 개발에 관한 연구," 박사학위논문, 충남대학교, 1996.
- Willian. C. Regli, "Geometric Algorithms for Recognition of Feature from Solid Models," The University of Maryland, 1995.
- 민상기, "다면체 합물 특징형상의 기계절삭 공정계획에 관한 연구," 박사학위논문, 충남대학교, 1998.
- 노형민 외, "사출금형의 가공자동화를 위한 공정설계 시스템 개발," 한국과학기술연구원, 제3차년도 연구보고서, 1991.
- 노형민 외, "가공자동화를 위한 특징형상인식, 한국과학기술연구원," 연구보고서, 1992.
- 최두선, 신보성, 이호영, "특징형상을 이용한 가공순서 및 셋업 결정에 관한 연구," 한국 CAD/CAM 학회 학술발표회 논문집, pp. 349-352, 1999. 2.
- SolidWorks Corporation, "SolidWorks 98 User's Guide," 1998.
- SolidWorks API support, "http://www.solidworks.com/html/products/api/".
- 곽준기, 백정렬, "Inside Secrets Visual C++5.0," 1997.
- Alloy Digest, "OSTALLOY 281," 1980.