

# 설계대상물의 외부공간을 이용한 3차원 CAD 시스템에 의한 설계지원

남윤의\*<sup>†</sup> · 石川晴雄\*\*

\*국립 한밭대학교 기계설계공학과

\*\*일본 국립대학법인 전기통신대학 지능기계공학과

## Design Support Based on 3D-CAD System using Functional Space Surrounding Design Object

Yoon-Eui Nahm\*<sup>†</sup> · Haruo Ishikawa\*\*

\*Department of Mechanical Design Engineering, Hanbat National University, Daejeon, Korea

\*\*Department of Mechanical Engineering and Intelligent Systems, The University of Electro-Communications, Tokyo, Japan

Concurrent Engineering(CE) has presented new possibilities for successful product development by incorporating various product life-cycle functions from the earlier stage of design. In the product design, geometric representation is vital not only in its traditional role as a means of communicating design information but also in its role as a means of externalizing designer's thought process by visualizing the design product. During the last dozens of years, there has been extraordinary development of computer-aided tools intended to generate, present or communicate 3D models. However, there has not been comparable progress in the development of 3D-CAD systems intended to represent and manipulate a variety of product life-cycle information in a consistent manner. This paper proposes a novel concept, Minus Volume (MV), to incorporate various design information relevant to product life-cycle functions. MV is a functional shape that is extracted from a design object within a bounding box. A prototype 3D-CAD system is implemented based on the MV concept and illustrated with the successful implementation of concurrent design and manufacturing.

**Keywords :** Design Engineering, Computer Aided Design(CAD) and Modeling, Concurrent Engineering(CE), Feature

### 1. 서 론

근년, Concurrent Engineering(CE)이라는 공학 분야에 있어서 제품의 라이프사이클(lifecycle)을 설계단계에서부터 평가하는 방법이 연구 및 실용화되고 있다[1, 2]. 또한, CE는 설계공정에서 그 이후의 공정을 충분히 검토하여 후속공정에서 발생하는 설계변경을 줄임으로써 코스트 삭감, 제조기간 단축, 제품의 품질향상 등의 효과

가 있다[1, 2, 3]. 그러나, 이러한 후속공정을 위한 검토 작업을 포함하여 제품설계에는 일반적으로 많은 다른 공정의 전문지식을 필요로 하기 때문에 설계자의 부담은 증가하게 된다.

한편, 설계의 비전문가도 입체형상(solid model)에 대한 이해를 용이하게 할 수 있고 입체형상 데이터가 CAE 등의 많은 다른 국면에서 사용가능하다는 등의 이점 때문에 3차원 CAD(Computer-Aided Design) 시스템이 설계

시스템으로서 자주 사용되고 있다. 따라서, 3차원 CAD 시스템을 이용해 CE를 지원하는 방법이 검토되어 설계안을 평가하는 방법이 다수 제안되고 있다[4, 5]. 그런데, 이러한 연구에서는 설계 관점과 평가 관점에 관련된 정보를 동일한 설계대상물 또는 설계대상물 이외의 단순한 특징형상(feature)에 표현하고 있다.

그러나, 평가 관점으로부터의 관련 정보는 설계대상물 자체에도 존재하지만 설계대상물 이외의 공간에도 존재하는 경우가 많다. 예를 들면, 설계대상물에 있는 홈의 공간에는 가공이나 검사, 조립 등을 위한 여러 가지 정보가 포함되어 있고 그 중 개개 관점으로부터의 의도나 설계대상물의 제약이 되는 정보 등은 설계대상물과의 관계로부터 평가에 사용할 수 있다.

이와 같이 설계대상물 이외의 공간은 단순한 특징형상보다 많은 복잡한 정보를 가지고 있어 이러한 의미 있는 정보를 특징형상에 의해 모두 표현하는 것은 곤란하다. 따라서, 설계대상물과 설계대상물 이외의 공간의 정보를 동등하게 표현하여 동시에 평가에 이용함으로써 보다 타당한 설계안의 평가가 가능하리라 생각된다(평가의 타당성).

본 연구에서는 제품의 형상과 기능은 제품을 기하학적으로 둘러싸는 외측 공간(설계대상물의 외부공간)이 다양한 설계를 위해 기여한 결과로서도 설계가 성립하는 것으로 생각한다. 그리고, 설계대상물의 외부공간의 의미를 그 내용별로 실체화하여 제품을 평가하는 방법을 제안한다. 이 방법은 제품의 라이프사이클 등의 다양한 관점으로부터의 평가를 설계대상물의 외부공간으로부터 동일하게 수행할 수 있는 일반화된 방법이며(평가방법의 일반성), 평가에 이용하는 정보의 취급 방법이 통일되어 있기 때문에 평가가 용이한 방법이다. 또한, 앞에서 언급한 바와 같은 개개의 관점으로부터의 평가의 타당성과 평가방법의 일반성에 의해 다양한 복수 관점으로부터의 전체적 평가로서도 그 타당성을 높이는 것이 가능한 방법이라고 생각된다.

본 논문에서는 먼저 설계대상물의 외부공간의 정보를 이용한 평가 시스템의 구조와 평가 프로세스를 명확히 한다. 또한, 제안되는 방법이 설계지원에 유효하다는 것을 제시하기 위해서 머시닝센터에 의한 가공성 평가에 적용한 프로토타입 시스템을 구축한다.

## 2. 설계지원과 평가방법

### 2.1 설계지원에 있어서의 설계대상물의 외부공간

제품의 라이프사이클을 고려해 설계하는 방법에 대한

연구는 비교적 최근에 수행되어 설계시에 고려해야 할 항목으로서 정리되거나[1], 설계지원 시스템이 구축되거나 하고 있다[4, 5]. 그러나, 이것들이 제안되기 이전의 설계에 있어서도 설계자는 기본적으로는 제품의 라이프사이클을 고려해 설계를 진행시키고 있다. 설계시에 설계자가 고려할 내용에는 설계대상물을 둘러싸는 외측 공간의 정보에 의한 설계안으로의 제약에 관한 것도 많다. 그것은 예를 들면, 유닛(unit) 등의 레이아웃, 형상의 위상적 제약, 조립성, 유체의 흐름, 열의 방사, 가공도구나 측정도구의 성능·형상·운동, 진동·소음의 파급성, 경량화 공간 등이다.

이러한 설계대상물과 여집합(餘集合)의 관계에 있는 공간을 본 논문에서는 ‘설계대상물의 외부공간’이라고 부르기로 한다. 예를 들면, 설계자가 설계대상물에 구멍을 뚫었을 경우, 그 구멍에 삽입되는 부품이나 그 구멍의 절삭 공구, 측정 공구 등 여러 가지 정보를 고려하게 된다. 또한, 그 구멍에는 경량화를 위한 공간과 같은 의도가 내포되어 있는 경우도 있다. 그리고, 설계자는 이러한 설계대상물의 외부공간의 정보를 기초로 적합한 구멍의 치수·위치·표면거칠기 등 설계대상물의 정보를 결정해 간다.

이상으로부터 알 수 있듯이, 설계에 있어서 설계대상물의 외부공간은 설계대상물과 같이 유용한 정보를 가지고 있다. 따라서, 본 연구에서는 설계대상물과 설계대상물의 외부공간의 정보를 동시에 이용한 설계대상물의 평가방법을 검토한다. 본 방법은 설계대상물과 설계대상물의 외부공간의 양쪽 모두에 근거하여 설계의 사고(思考)를 수행한다는 의미에서 설계자의 사고에 부합된 방법이며, 설계의 개념이나 의도라는 애매모호한 것까지 표현할 수 있는 일반성 있는 방법이다. 또한, 설계대상물과 설계대상물의 외부공간에 정보를 나누어 생각함으로써 복잡한 평가에도 적용하기 쉽고, 불필요한 정보를 제거하고 필요한 정보를 선택함으로써 평가의 타당성을 높일 수 있는 방법이기도 하다.

### 2.2 설계의 평가방법

본 연구에 있어서 설계대상물을 평가하는 목적은 설계 후에 모든 관점으로부터 설계대상물을 검토해 설계를 지원하고자 하는 것이다. 설계대상물의 평가를 실시하는 방법으로서 매우 다양한 것이 제안되고 있다. 예를 들면, 다른 기술자와 의견교환을 하면서 설계를 수행하는 협조(collaboration)를 주체로 한 것이 있다[6]. 그러나, 사람의 판단에 의한 평가에서는 주관이 강하게 반영되어 공평한 평가를 할 수 없는 경우나 많은 평가항목에 모두 대처할 수 없다는 문제도 있을 수 있다. 또한, 설계

대상물의 구성을 트리(tree)나 그래프(graph) 등으로 표현함으로써 어느 관점에서의 프로세스나 경향을 명확하게 하여 평가하는 것이나[2], 수치화할 수 있는 정보를 이용하여 평가치를 계산하는 것 등이 있다[7].

그러나, 이 경우에는 평가에 이용할 정보를 추출해서 평가할 필요가 있고, 적용할 수 있는 분야가 한정되거나 실질적으로 대략적인 경향 평가에 그치는 등의 문제가 있다. 한편, 실제 현장에서의 설계 작업은 3차원 CAD 시스템을 이용해 실시하는 경우가 많아지고 있고, 형상 이해의 용이성이나 데이터의 높은 재이용성으로부터 3차원 CAD 모델을 이용한 설계 평가에 대한 연구가 활발하게 수행되고 있다[4, 5].

이러한 방법에서는 협조를 주체로 한 평가방법에 비해 객관적으로 대량의 데이터를 처리할 수 있고 게다가 솔리드 모델에 속하는 매우 많은 정보를 기초로 대략적인 평가로부터 매우 상세한 평가까지 실시할 수 있다. 구체적인 방법으로서 CAE와 같은 해석에 의한 평가 방법도 있지만, 다음과 같이 3차원의 설계 공간에 평가 정보를 부여하여 평가를 실시하는 연구가 최근 많이 수행되고 있다.

### 2.3 특징형상을 이용한 평가방법

설계 공간에 평가 정보를 부여하여 평가를 실시하는 연구 중에는 특징형상을 이용한 평가방법이 많이 있다 [8~12]. 특징형상이란 구멍이나 홈과 같은 제품 형상의 특징적인 부분 형상으로 의미가 있는 형상을 하나의 단위로 처리하는 것이다. 특징형상을 이용한 설계지원 방법의 대략적인 순서는 먼저 설계대상물의 형상으로부터 특징형상을 인식하고, 인식된 복수의 특징형상을 평가하여 어떠한 관점에서의 평가로 정리한다는 것이다. 이와 같이 특징형상을 이용하여 평가하는 경우에는 주로 다음의 두 가지 문제점이 있고, 이 분야의 연구의 상당수가 이 두 가지 중 어느 하나 또는 모두를 해결하기 위해서 수행되고 있다.

- (1) 특징형상을 인식하는 경우에 특징형상의 타당성이 문제가 되어, 특징형상으로서 적절한 부분을 인식하지 못하거나 특징형상으로서 적절하지 않은 부분을 특징형상으로서 인식해 버리는 경우가 있다.
- (2) 인식된 특징형상으로부터 평가하는 경우에 인식된 복수의 특징형상의 비교 및 처리 방법이 적절하지 않으면 타당한 평가를 할 수 없다.

특징형상 자체는 그 정의에 의해 다양한 관점에서의 평가에 이용할 수 있다. 그러나, 개개의 특징형상의 평

가 프로세스나 특징형상의 사용법은 정의된 관점에 크게 의존하고 있어, 일반적으로 다른 관점으로부터의 평가에 사용하려고 하면 그대로는 사용할 수 없다. 따라서, 현재의 특징형상에 근거한 평가에는 일반성이 없기 때문에 라이프사이클 전체와 같이 복잡한 평가를 실시할 때는 곤란하게 된다. 또한, 하나의 관점에서의 평가라도 다른 관점에서 작성된 특징형상의 정보를 평가에 이용해야 한다. 그것은 어떤 관점에서의 평가가 완전히 독립된 것이 아니고 다른 관점에서의 평가에 영향을 받기 때문이다.

현재, 특징형상을 이용한 평가에서는 특징형상의 정보가 설계대상물에 직접 부여되거나 그 정보에 근거하여 작성된 설계대상물 이외의 공간에 있는 입체에 부여된다. 이것은 평가항목이 단순할 때는 괜찮지만, 보다 많은 복잡한 관점으로부터 평가를 하려고 하면, 정보의 보관유지, 처리 등이 더욱 더 복잡하게 된다. 이것은 예를 들면, 설계대상물 이외의 공간의 의미를 취급하려고 하여 설계대상물에 그 정보를 부여함으로써 많은 관점의 정보가 설계대상물에 집중되어 그 정보를 처리하는데 부하가 증가하는 것 등을 생각할 수 있다. 따라서, 보다 많은 관점으로부터의 평가를 취급하려면 정보의 부여 대상을 분산시킬 필요가 있다.

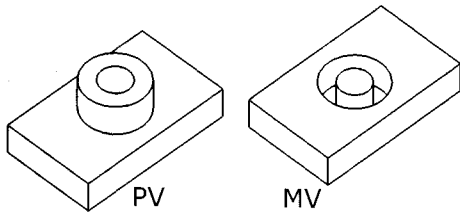
이와 같이 기존의 설계지원 방법은 여러 가지 문제점을 가지고 있다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하는 평가방법을 제안하기 위해서 저자들에 의해 제안된 마이너스 볼륨(Minus Volume; MV)[13]이라는 새로운 개념을 검토한다.

## 3. 마이너스 볼륨(Minus Volume; MV)

### 3.1 마이너스 볼륨의 정의

설계대상물의 외부공간의 정보를 활용하기 위해서 마이너스 볼륨(Minus Volume; MV)이라는 새로운 개념을 도입한다. <그림 1>에 나타내듯이 마이너스 볼륨(MV)이란 3차원 CAD상의 설계 공간에 있어서 설계대상물과 여집합(餘集)의 관계에 있는 설계대상물을 둘러싸는 외측의 공간 중에서 설계를 하는데 있어서 유용한 의미가 있는 공간을 설계대상물과 같이 실체화(實體化)한 것이다. 여기서, 실체화란 솔리드 모델로서 표현하는 것을 의미한다. 이 MV로서의 솔리드 모델에 대해 통상 설계를 하는 설계대상물의 솔리드 모델을 플러스 볼륨(Plus Volume; PV)이라고 부르기로 한다. MV와 PV의 관계는 대등하고 독립적으로 정의할 수 있고 개개에 솔리드 모델의 정보를 보관유지 및 처리하며, 필요한 경

우에 정보교환을 실시한다. 또한, MV는 PV를 감시하여 적절하게 설계자에게 평가결과를 알리는 등의 자율적(自律的)인 동작도 가능하게 된다.



<그림 1> 플러스 볼륨(PV)과 마이너스 볼륨(MV)

### 3.2 마이너스 볼륨을 이용하는 이점

설계지원에 MV를 이용하는 이점은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- (1) 설계자의 사고에 가까운 자연스러운 설계지원  
설계자는 설계대상물에 부여할 정보를 결정할 때 항상 그 설계대상물과 관계되는 정보를 고려한다. 그것은 예를 들면, 제조 시나 사용 시에 설계대상물의 설치장소, 설치환경, 부하상태 등이다. 이와 같은 설계대상물 이외의 정보를 MV로서 표현하는 것은 설계대상물 이외의 정보를 설계대상물의 외부에 갖게 하고자 하는 자연스러운 생각이며 설계자의 사고에 가까운 표현방법이다.
- (2) 적합한 부분에 설계정보를 부여  
MV는 PV와 같이 체적·형상을 가지므로 설계자의 의도나 속성의 의미에 어울리는 부분(체적·면·면 등)에 정보를 갖게 할 수 있다. 이것은 MV에 갖게 할 수 있는 의미의 종류를 늘릴 수 있게 된다는 것이다. 또한, 정보를 처리하는데 있어서 변이나 면 등의 기본적인 형상 부분에 정보를 부여하는 것은 탐색이나 비교 등의 처리를 용이하게 된다.
- (3) 표현이 용이하지 않았던 관점에서의 평가  
MV가 가지는 설계대상물 이외의 정보로서는 실제로 존재하는 공구나 부품 등과 같은 것뿐만 아니라 부품이나 기계가 통과하는 공간이나 경량화를 위한 공간과 같이 실체는 없지만 의미가 있는 공간 등도 있다. 이와 같이, 통상 표현이 용이하지 않았던 정보를 설계대상물과 동등하게 표현할 수 있어 설계지원에 이용할 수 있다.
- (4) 개념설계 단계에서의 정보량의 증가  
개념설계 단계에서는 설계대상물에 대한 정보가 적고 설계 실체는 비교적 애매모호한 경우가 많

다. 그 때문에 이 단계에서 설계를 올바르게 평가하기 위해서는 조금이라도 유익한 정보를 많이 모으는 것이 필요하다. 이 점에서 MV는 개념설계 단계에서부터 의미 있는 정보를 가질 수 있어 그 정보를 활용할 수 있다.

- (5) 임의의 설계 프로세스에 대한 설계지원  
MV는 설계 후에 설계안을 평가하는 것뿐만 아니라 설계해(설계안)를 보다 좋은 것으로 유도하기 위해서 사용될 수 있다. 그것은 MV가 설계 과정에 있어서 항상 존재하고 의미를 가지고 있어 설계자에게 어떠한 역할 또는 기능을 할 수 있기 때문이다.
- (6) MV와 PV의 관계의 대등성과 독립적인 처리  
MV와 PV는 서로 독립하고 있고 정보는 필요시에만 교환되므로 비교적 처리가 알기 쉽고 PV가 보관 유지하는 정보량을 줄일 수 있다. 또한, 필요한 관점에서의 MV만을 선택하여 설계 평가에 적용하는 것이 용이하게 된다.
- (7) 기존의 솔리드 모델링 커널(kernel)이 이용 가능  
MV는 새로운 개념이지만 그것이 가지는 정보는 기존의 3차원 CAD 시스템으로 설계할 수 있는 PV와 같기 때문에 3차원 CAD 시스템의 부분적인 변경은 필요하지만 솔리드 모델링 커널이나 설계 데이터를 변경하는 일 없이 설계지원 환경을 구축할 수 있다.

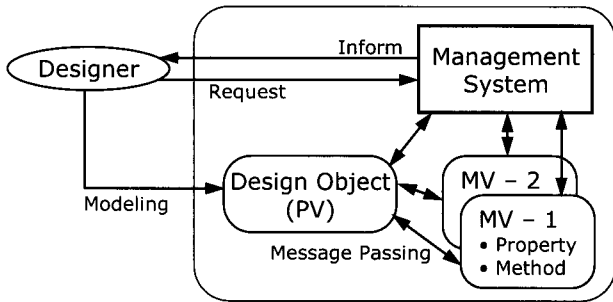
## 4. 평가 시스템

### 4.1 평가 시스템의 구조

<그림 2>는 MV를 이용한 평가 시스템의 구조를 나타낸다. MV를 이용한 평가 시스템은 PV와 MV, 그리고 MV의 관리(management) 시스템으로 구성된다. 설계자는 통상의 3차원 CAD 시스템에서 설계 작업을 행하고 어떠한 요구를 관리 시스템에 요청할 수 있다(Request). 이 요구란 예를 들면, 개개의 MV에 대한 형상이나 속성의 변경 요구나 MV 작성 요구 등이다. 또한, PV를 통해 간접적인 요구를 할 수도 있다. 이것은 예를 들면, 설계대상물(PV)에 설정된 재료의 변경을 통해 MV의 속성 정보를 변경시키는 것 등이다. 관리 시스템은 개개의 MV를 검토해 알려야 할 정보를 선별하여 설계자에게 응답한다(Inform).

또한, 관리 시스템은 고유의 평가 관점을 가지고 PV의 주위 공간으로의 MV 작성 기능과 작성한 MV를 관리하는 MV 총괄 기능을 가진다. MV 작성 기능은 PV

의 형상 정보나 속성 정보를 분석해 MV를 작성하는 기능이다. MV 총괄 기능은 작성한 개개의 MV의 정보나 PV의 정보를 분석한 다음 필요한 정보를 관리하는 기능이다. 개개의 MV는 작성된 시점에서 자신의 평가에 필요한 속성 정보나 처리 방법이 마련되고 PV나 다른 MV와 정보를 교환함으로써 필요한 정보를 얻어 개개의 관점에서 평가를 하여 그 평가결과를 관리 시스템에 보낸다. 즉, 관리 시스템은 MV의 작성과 총괄을 담당하지만, 개개의 MV의 평가에는 직접 관계하지 않는다. 그리고, 이들 개개의 MV와 관리 시스템 사이에서는 MV를 관리하기 위한 요구정보나 MV에 의한 평가 결과의 정보가 교환된다.



<그림 2> 평가 시스템의 구조

4.2 평가 프로세스

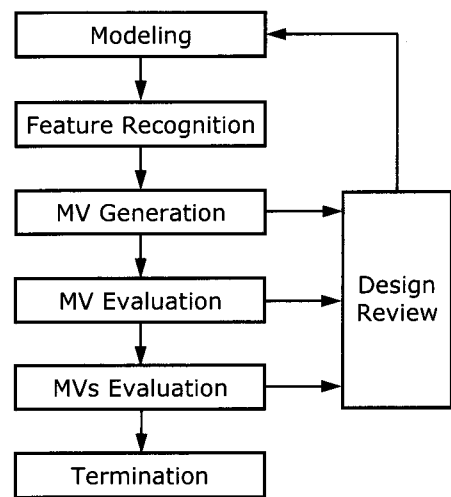
MV를 이용한 평가 시점은 설계자가 요구했을 때 평가를 실시하는 것과 시스템이 항상 감시를 계속해 수시 평가를 실시하는 것이 있다. 어느 쪽도 유용하지만, 본 논문에서는 평가에 의한 효과를 파악하기 쉬운 요구에 의한 평가에 대해서 설명하기로 한다.

또한, 관리 시스템은 설계대상물(PV)의 작성 후에 MV를 생성한다. MV의 생성에는 설계한 PV의 정보와 MV의 생성 관점(예를 들면, 가공성, 조립성, 분해성 등)에서의 관리 시스템의 정보로부터 MV를 자동적으로 생성하는 방법과 자동적인 생성이 곤란한 경우에 주로 설계자의 조작에 의해 생성하는 방법이 있다. 후자는 MV의 생성방법을 일반화하는 것이 곤란한 경우이고, 설계자의 의도를 표현하는 경우 등이 포함된다. 시스템으로서 평가 프로세스를 자동적으로 실시하는 것이 설계자의 부담을 줄일 수 있으므로, 본 논문에서는 전자의 MV를 자동적으로 생성하는 경우에 대해서 설명하기로 한다.

이러한 평가 시스템의 평가 프로세스를 <그림 3>에 나타낸다. 처음에 설계자는 통상의 설계 작업과 같이 설계를 실시한다(Modeling). 이 설계한 형상이 PV이다.

관리 시스템은 MV를 생성하기 위해서 먼저 PV의 형상으로부터 MV 생성에 이용할 수 있는 특징형상을 인식한다(Feature Recognition). 이것은 PV로부터 MV를 생성하기 위한 단서가 되는 것으로 관리 시스템의 평가 관점별로 적절한 인식 프로세스가 다르다. 종래의 연구에서 특징형상의 인식에 관한 연구가 다수 수행되어 있고[8, 9, 12] 이러한 연구에서 제안되는 방법을 여기서 이용하게 된다.

다음으로 인식된 특징형상을 기본으로 MV를 생성한다(MV Generation). 그 생성방법은 고려되는 평가 관점, 즉 관리 시스템에 의존한다. 게다가 최적의 MV 생성방법은 설계 형상이나 평가 항목에 따라 다르므로 일반적인 방법을 찾아내는 것은 어렵다. 그러나, 특징형상의 인식에 관한 연구에서는 가공 특징형상(manufacturing feature)이나 조립 특징형상(assembly feature)과 같이 어떤 관점의 범위에서 일반성 있는 인식 방법이 제안되고 있고 복수의 관점의 특징형상을 통합하여 취급하는 방법도 제안되고 있다. 따라서, 이들 특징형상의 인식방법들을 분류함으로써 MV의 생성에 있어서도 분류화된 일반성 있는 생성방법을 구축할 수 있다고 생각된다. 한편, 본 논문에서는 다음 절의 실행 예에서 MV의 생성방법의 일례를 들지만, 이하의 설명에서는 MV의 인식 프로세스는 위에서 언급한 것과 같은 종래의 특징형상 인식에 관한 연구결과들을 토대로 적절하게 실시할 수 있는 것으로 하여 설명을 진행한다.



<그림 3> 시스템의 평가 프로세스

MV의 생성 단계에서 MV를 적절히 생성할 수 없는 경우에 관리 시스템은 어느 특징형상에 어떠한 문제가 있는지 등의 정보를 보관 유지한다.

MV를 생성한 다음에는 개개의 MV가 자신의 데이터

와 계산방법을 이용해 자신을 평가한다(MV Evaluation). 이 단계의 평가에서 MV는 PV의 치수나 재료 등의 속성 정보를 얻어 평가를 실시한다. 또한, 관리 시스템은 개개의 관점에서의 복수의 MV로부터 전체 평가를 실시한다(MVs Evaluation). 그리고, 이러한 평가내용은 관리 시스템에 데이터로서 보존되고 관리 시스템의 판단에 따라 설계자에게 제시된다. 관리 시스템은 설계자로의 응답기능을 담당하므로 관리 시스템의 기능에 의해 설계자에게 제시하는 정보의 양이나 내용 또는 제시 단계는 바뀐다.

이러한 평가 프로세스에 의해서 제시된 평가내용을 바탕으로 설계자는 필요시에 설계안을 수정하여 평가 시스템의 동작을 반복시킨다. 또한, 설계자가 평가내용에 만족하는 경우에는 시스템을 종료한다(Termination). 설계안에 대한 평가내용은 수정의 필요성에 따라 다음의 두 종류로 분류된다.

- (1) 치명성(致命性) 평가
  - 수정을 하지 않으면 제조 불가능, 파손 사고 등의 중대한 문제를 일으킨다는 평가
- (2) 발전성(發展性) 평가
  - 수정을 하면 코스트 또는 시간의 삭감이나 제품의 품질 향상 등 제품을 발전시킬 수 있다는 평가

## 5. MV를 이용한 3차원 CAD 시스템의 구축

### 5.1 적용 대상 및 조건

앞에서 설명한 평가 시스템 및 평가 프로세스를 구현하는 MV를 이용한 3차원 CAD 시스템의 구축에 있어서, 전체 구성이나 동작을 파악하기 쉽게 하기 위해 단순한 구성 및 적용 예를 다루기로 한다. 설계대상물의 평가 관점은 매우 많은 기계제품의 절삭가공에 이용되는 대표적인 공작기계인 머시닝센터(Machining Center; MC)에 의한 가공으로 한다. 또한, 시스템의 동작은 설계자가 요구했을 때 설계안의 평가를 실시하는 것으로 하고 MV는 시스템에 의해 자동적으로 생성되는 것으로 한다. 이것들을 포함해 본 시스템에 있어서의 조건 및 정보는 다음과 같다.

- (1) 설계안의 평가 관점
  - 공작기계는 일반적인 형태의 입형(立形) MC이고 취급 가능한 공구는 실제로 사용빈도가 높은 드릴과 엔드밀의 두 종류로 한다. 각 공구의 직경은 <표 1>에 나타내는 종류의 것을 이용할 수 있는 것으로 한다.
- (2) PV로의 부가 정보
  - 설계자가 설계하는 PV에는 치수, 재료, 표면거칠

기의 정보를 부여한다. 이 중 치수와 재료는 반드시 부여하지만, 표면거칠기는 설계자가 필요로 하는 면(面)에만 부여한다.

#### (3) 특징형상의 인식 방법

본 시스템에서는 특징형상의 인식에 대해 SRG법 [12]을 이용하고 더욱이 원통형(圓筒形)의 인식을 추가한 방법을 이용한다. SRG법을 선택한 것은 간섭하고 있는 특징형상을 인식할 수 있고 인식되는 형상이 비교적 단순하기 때문이다. 예를 들면 구체적인 원통형의 인식 순서는 다음과 같다.

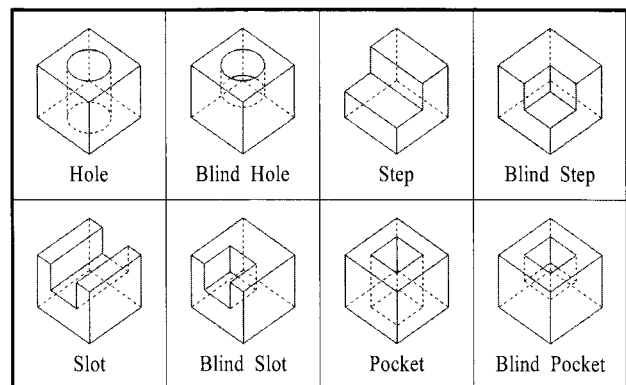
- (a) 설계 형상으로부터 원통면(圓筒面)을 찾아낸다.
- (b) 원통면으로부터 작성되는 축 방향으로 무한대로 연장된 원통형을 작성한다.
- (c) (b)에서 작성한 원통형과 설계대상물이 간섭하는 면을 찾는다.
- (d) 간섭하는 면이 없는 경우는 Hole Feature라고 한다.
- (e) 간섭하는 면이 있는 경우는 그 면과 원통면에서 Blind Hole Feature라고 한다.

한편, 여기에서는 작성한 원통형과 간섭하는 면이 2개 이상 있는 경우에 대해서는 고려하지 않는 것으로 한다. 이 인식에 의해 <표 2>에 나타내는 기본적인 8종류의 형상으로부터 특징형상을 인식할 수 있다.

<표 1> 고려되는 머시닝센터의 가공 공구

Tool	Diameter(mm)
Drill	6, 10, 12
End Mill	8, 12, 20

<표 2> 특징형상의 예



#### (4) MV의 설정

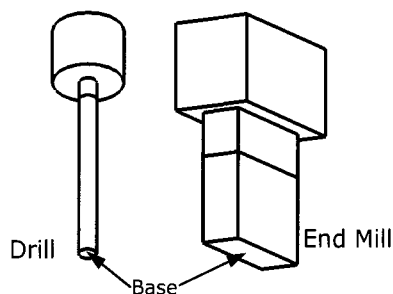
앞에서 언급한 관점의 경우, MV는 절삭을 위해

서 공구가 통과하는 공간으로 한다. 또한, MV의 형상은 추상화하여 <그림 4>에 나타내는 형상으로서 인식하는 것으로 한다. 이것은 드릴에 대해서는 공구 그 자체의 형상을 추상화한 것이고, 엔드밀에 대해서는 공구 자체의 형상을 시작과 끝을 각진 형상으로 추상화하고 회전축과 수직 방향으로 이동한 경우의 공구 형상의 합이다(이동방향 단부도 추상화하여 구형으로 한다). 또한, 각 MV는 정보로서 MV의 치수, MV의 재질, 가공 가능한 PV의 재료와 가공측 표면거칠기의 정보를 가진다.

#### (5) MV의 생성 방법

인식된 특징형상으로부터 MV를 생성하는 방법은 다음과 같다.

- MV의 바닥과 접촉할 가능성이 있는 면을 찾는다. 예를 들면, Slot은 1개, Hole은 2개, Blind Step은 3개와 같이 저면(底面)의 후보가 되는 면을 찾는다. 그리고, 저면 후보의 면에는 저면 후보라는 속성 정보를 부여한다.
- 저면을 1개로 정한다. 다른 특징형상과는 관계없이 저면을 1개로 좁힌다. 기준은 절삭 깊이가 가장 얇아지는 방향을 선택하고 같은 경우에는 절대 좌표계에 있어서 Z-X-Y축방향의 순서로 가공 방향을 우선하여 정한다.
- 사용하는 공구의 직경을 정한다. 드릴의 경우에는 원통면의 직경으로부터 정하고 일치하는 직径의 공구를 필요로 한다. 엔드밀의 경우에는 특징형상의 저면과 접촉하고 있는 측면이 서로 마주 보는 폭을 조사해 가장 좁은 폭을 기준으로 하여 그것보다 직径이 작은 것 중에 직径이 큰 것으로 정한다.
- 저면으로부터 데이터에 근거하여 형상을 생성한다. 저면과 공구 직径이 정해졌으므로 데이터베이스에 있는 공구 데이터를 기본으로 형상을 생성한다.



<그림 4> 머시닝센터의 가공 공구의 MV

#### (6) MV에 의한 평가 내용

이하의 (a)~(g)의 7항목으로 평가하는 것으로 한다.

- 적합한 직径의 공구가 없다. MV의 생성 단계에서 적합한 직径의 공구 데이터가 데이터베이스에 없는 경우에 이와 같이 평가한다.
- 공구가 설계대상물과 간섭한다. 적합한 직径의 공구는 있으나 데이터에 근거해 형상을 생성하면 PV와 간섭하는 경우에 이와 같이 평가한다.
- 가공 가능한 재료가 아니다. 개개의 MV가 자신을 평가할 때 PV의 재료의 데이터와 MV가 가지는 접촉 가능한 재료의 데이터를 비교하여 접촉 가능한 재료가 아닌 경우에 이와 같이 평가한다.
- 표면거칠기가 너무 정밀하다. 개개의 MV가 자신을 평가할 때 PV의 면에 부여된 표면거칠기와 MV가 가지는 가공시의 표면거칠기의 데이터를 비교하여 지시되고 있는 표면거칠기가 너무 정밀한 경우에 이와 같이 평가한다.
- 관통 구멍으로 하는 것이 좋다. 드릴의 경우에 직径과 같게만 절삭하면 관통되는 경우에 이러한 평가를 한다.
- 폭과 같은 직径의 공구가 좋다. 엔드밀의 경우에 기준치 이내의 설계 변경으로 절삭하는 부분의 폭과 공구의 직径이 일치하는 경우에 이와 같은 평가를 한다.
- 공구의 직径을 통일시키는 편이 좋다. 일 방향에서의 가공에 3개 이상의 가공이 있고 그 중 하나만 공구 직径이 다른 경우에 이와 같은 평가를 한다.

#### (7) MV 관리 시스템에 의한 응답

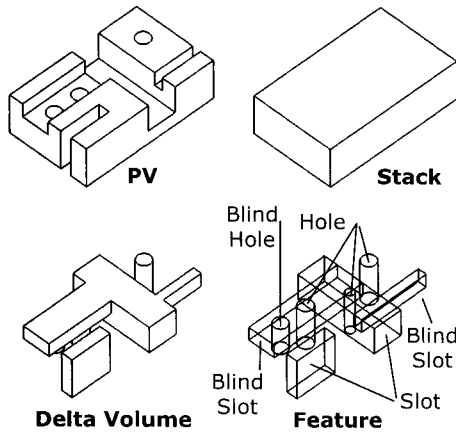
MV 관리 시스템은 요구될 때 다음의 3종류의 정보를 표시한다.

- MV를 생성할 때 문제가 되는 부분과 그 원인
  - 개개의 MV에 있어서 가공 불가능한 MV와 그 원인
  - 개개의 MV와 전체의 MV에 있어서 개선안과 그 이유
- (8) 시스템의 실장 환경

제안되는 MV를 이용한 설계대상물의 평가 시스템의 유효성을 제시하기 위한 프로토타입 시스템을 구축하기 위해서 geometric modeling kernel은 Siemens PLM Software사의 Parasolid를 이용하고 데이터베이스는 Microsoft사의 Microsoft Access를 이용한다.

### 5.2 시스템의 실행 예

이하 실제의 실행 예를 설명한다. 설계자는 설계대상물의 형상(<그림 5>의 PV)을 작성하고 설계대상물에 이것이 PV라는 속성 정보와 PV의 체적에 재료, 면에 표면거칠기 등의 속성정보를 부여한다. 또한, 가공성 평가를 위해서 가공 전의 형상(<그림 5>의 Stack)도 작성하고 가공 전 형상이라는 의미의 Stack 속성을 부여한다. 그리고, 「DV Create」 기능에 의해 도려내야할 형상(<그림 5>의 Delta Volume)이 PV와 Stack의 차이 연산으로 자동적으로 구해지고 「Feature Recognition」 기능에 의해 <그림 5>의 Feature에 나타내듯이 특징형상이 인식된다. 이 예에서는 복수의 Slot Feature와 Hole Feature, Blind Hole Feature가 인식되고 있다.

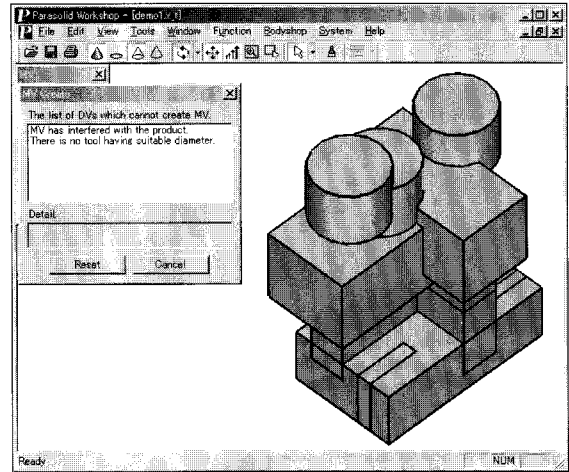


<그림 5> 특징형상의 인식

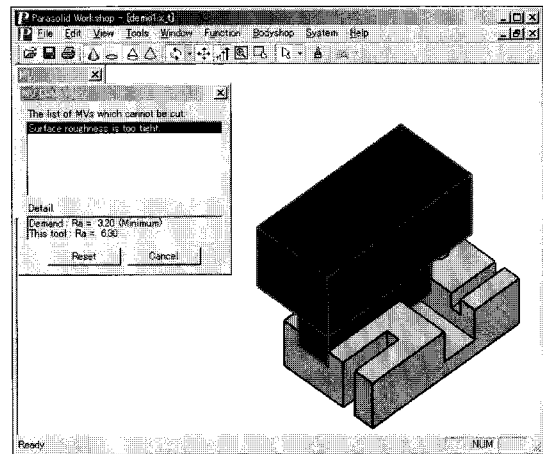
다음으로 <그림 5>의 PV를 생성하기 위해서는 실제로 드릴과 엔드밀뿐만 아니라 Blind Slot을 위한 EDM 가공 등이 필요하나 본 실행 예에서는 앞에서 언급한 드릴과 엔드밀만을 상정하여 MV를 생성하는 것으로 한다. 이에 따라 「MV Generation」 기능에 의해서 각 특징형상으로부터 MV를 자동 생성시키면 <그림 6>과 같이 된다. 이 MV의 자동 생성 시에 간섭 등의 문제가 발생하면 MV는 생성되지 않고 문제가 있는 특징형상이 다이얼로그에 의해 설계자에게 공지된다. 그리고, 공지된 항목의 선택에 의해 그 장소나 원인의 상세 설명을 시각적으로 확인할 수 있다. 또한, 데이터를 표시하는 기능에 의해 PV나 MV의 속성정보를 확인하거나 MV의 데이터 구조를 참조할 수 있다.

개개의 MV에 대한 「MV Evaluation」 기능을 사용하면, 예를 들면 <그림 7>의 예에서는 “이 공구로 가공했을 경우의 표면거칠기는 Ra6.3이지만, 지시되고 있는 것 중 가장 작은 표면거칠기가 Ra3.2이기 때문에 지시대로

가공할 수 없다”라는 평가결과가 표시된다. 이와 같이 MV는 필요한 정보를 PV로부터 얻어 자신의 평가를 실시하여 설계자에게 알린다. 한편, 이 기능에 의한 평가에서는 가공 불가능 등의 치명성 평가를 실시하고 있다.



<그림 6> MV의 인식

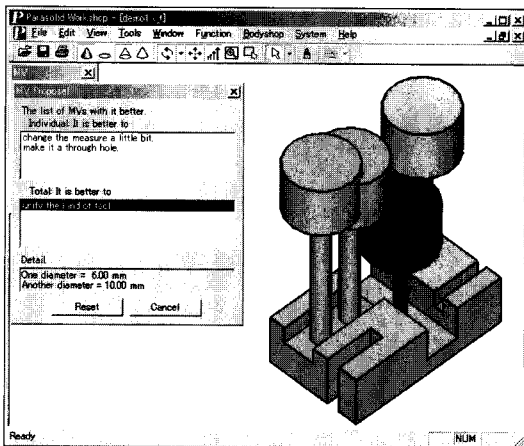


<그림 7> 설계안의 평가

마지막으로 「MV Proposition」 기능을 사용하면, 예를 들면 <그림 8>의 예에서는 “동일 방향의 드릴 구멍 중 1개만 직경이 다르므로 직경을 같게 하면 공구 교환의 코스트와 시간을 절약할 수 있다”라는 개선안이 제시된다. 이와 같이, 개선 부분의 제안에서는 개개의 MV뿐만 아니라 복수의 MV를 정리한 전체로서의 평가도 하고 있다. 이 기능에 의한 평가에서는 개선 부분 등의 발전성 평가를 실시하고 있다.

이와 같이 설계자는 필요할 때 유용한 평가 내용을 얻을 수 있고 그 평가결과를 설계대상물에 반영시켜 설계안을 수정함으로써 설계대상물의 가공성을 향상시킬 수 있다.





〈그림 8〉 설계안 수정의 제안

## 6. 결 론

본 연구에서는 제품을 평가하는 방법으로서 설계에 유용한 의미를 가지는 설계대상물 이외의 정보를 이용하여 설계를 지원하는 방법을 제안하였다. 이것은 마이너스 볼륨(MV)이라는 새로운 개념을 도입하는 것이다. 그리고, MV를 이용해 효과적인 설계지원을 할 수 있는 평가 시스템의 구조 및 평가 프로세스를 명확히 하여 MV를 이용한 설계안의 평가를 위한 3차원 CAD 시스템의 프로토타입을 구축하였다. 이것들에 의해 MV를 이용한 설계지원 방법의 유용성을 확인할 수 있었다.

향후의 과제로서는 라이프사이클 전체에 걸친 복수의 관점으로부터의 평가가 가능하도록 시스템을 확장하여 통합된 평가를 실시하는 것을 들 수 있다. 이것은 PV와 MV가 평가 관점에 의존하지 않고 정의되고 다양한 평가 관점에 적용할 수 있는 일반성을 가지기 때문이다. 따라서, 이러한 평가방법의 통합에 의해 평가 관점별로 다른 평가방법을 이용하고 있었을 경우의 평가의 어려움이 감소하여 보다 타당성 높은 평가가 가능하리라 생각된다.

## 참고문헌

[1] Boothroyd, G., Knight, W., and Dewhurst, P.; *Product Design for Manufacture and Assembly*, CRC, 2001.

- [2] Yamagiwa, Y., Iwata, S., and Kiriya, T.; "Design Principles to Compare Mutual Assembly and Disassembly Ease Factors and Achieve Product Design Enabling both Easy Assembly and Disassembly," *Trans. of the JSDE*, 36(3) : 34-39, 2001.(in Japanese).
- [3] Nikkei Mechanical; *Development Process Innovation for Mechanical Engineer*, Nikkei BP, 2001.(in Japanese).
- [4] Gupta, S.K., Regli, W.C., and Nau, D.S.; "Integrating DFM with CAD through Design Critiquing," *Univ. Maryland, Inst. Sys. Res., Technical Report*, 94(11), 1994.
- [5] Noort, A., Hoek, G. G. M., and Bronsvort, W. F.; "Integrating Part and Assembly Modeling," *Comput.-Aid. Des.*, 34(12) : 899-912, 2002.
- [6] Case, M. P., and Lu, S. C-Y.; "Discourse Model for Collaborative Design," *Comput.-Aid. Des.*, 28(5) : 333-345, 1996.
- [7] Ohashi, B.; "Design for Disassembly," *Trans. of the JSPE*, 64(4) : 503-507, 1998.
- [8] Regli, W. C.; "Geometric Algorithms for Recognition of Features from Solid Models," *Univ. Maryland, Inst. Sys. Res.*, Ph.D. Thesis, 1995.
- [9] Lee, J. Y., and Kim, K.; "A Feature-Based Approach to Extracting Machining Features," *Comput.-Aid. Des.*, 30(13) : 1019-1035, 1999.
- [10] Chu, C. P., and Gadh, R.; "Feature-Based Approach for Set-Up Minimization of Process Design from Product Design," *Comput.-Aid. Des.*, 28(5) : 321-332, 1996.
- [11] Noort, A., and Bronsvort, W. F.; "Enhanced Multiple-View Feature Modeling," *Delft Univ. Tech., Facul. Info. Tech. Sys.*, 1999.
- [12] Kao, C. Y., Kumara, S. R. T., and Kasturi, R.; "Extraction of 3D Object Features from CAD Boundary Representation using the Super Relation Graph Method," *Trans. Pat. Anal. Mach. Int.*, 17(12) : 1228-1233, 1995.
- [13] Nahm, Y. -E., and Ishikawa, H.; "ConCAD(concurrent computer-aided design) System for Supporting Multi-disciplinary Design Activities from Conceptual Design Stage(Part I : Concept and Related Technologies)," *Proceedings of JSME Conference*, Tokyo, Japan, 150-153, 2001.