

## 솔리드 모델링

이 현 찬

홍익대학교 산업공학과

**솔리드** 모델링(solid modeling)은 형상 모델링(geometric modeling) 기법중 3차원 형상을 솔리드의 형태로 표현하기 위한 기법으로 컴퓨터가 디자인에 사용되기 시작하면서 3차원 형상을 컴퓨터에 어떻게 표현할 것인가를 연구하는 분야이다. 이 분야는 다른 CAD 분야의 핵심이 되고 있기 때문에 이들과 중복되는 내용이 많으나 다른 분야에 대한 내용이 별도로 서술되기 때문에 본 고에서는 이들과 중복되지 않는 내용을 중심으로 최근의 연구동향에 대하여 알아보기로 한다.

솔리드 모델링의 대표적인 방법으로는 경계표현법(boundary representation), CSG(Constructive Solid Geometry) 표현법, 스위핑 표현법(sweeping representation), 공간 분할법(spatial decomposition), primitive instancing 등이 있으며 1988년까지의 핵심적인 연구 내용이 참고문헌 [1]에 요약되어 있기 때문에 1990년 이후의 연구동향에 초점을 맞추고자 한다. 또한 이들 방법중 스위핑 표현법은 NC 가공이나 로보틱스에서 충돌 방지 운동 궤적 계산 등에 많이 쓰이고, 공간 분할법은 컴퓨터 그래픽스, 이미지 프로세싱, 의학분야 등에서의 응용이 많이 되고 있어 이들 분야에서의 응용 연구가 활발하며, primitive instancing은 주로 group technology에 응용되기 때문에 본 고에서는 경계표현법과 CSG를 중심으로 연구동향을 알아 본다.

경계표현법은 기존의 기하학에서 우리가 흔히 사용하는 개념으로 물체의 경계를 이용하여 3차원 솔리드를 오일러(Euler) 연산자를 이용하여 표현하고자 하는 방법이다. 이 방법에서는 물체의 경계를 이루는 면(face), 모서리(edge) 및 꼭지점(vertex)을 기본 요소로 하여 물체의 경계를 이루는 이러한 요소들을 보다 편리하게 다루기 위하여 모델(model), 셸

(shell), 루프(loop) 등의 개념을 추가하여 물체의 경계 요소들간의 연결관계와 기하학적인 형상 정보를 이용하여 물체를 표현한다.

경계표현법에 대한 초기 연구는 주로 데이터 구조 개발에 있었으나 이에 대한 연구는 충분히 이루어졌기 때문에 최근에는 솔리드의 수학적인 용어인 다양체(2-manifold)에 대한 연구보다는 이를 포함하고 보다 응용범위가 넓은 복잡다양체(non-manifold)에 대한 연구가 활발한 편이다. 복잡다양체는 3차원 물체뿐만 아니라 단일 모델 내에 2차원, 1차원, 0차원 물체까지도 포함하여 표현할 수 있는 방법이다. 이는 설계의 초기 단계에서는 완전한 물체보다는 설계하고자 하는 제품의 아이디어를 간단하게 표현할 수 있는 방법이 필요하며, 모델링 이외의 해석 등 다른 분야에서도 사용할 수 있는 표현법의 필요성 때문에 부각된 표현법으로 현재 많은 CAD 시스템이 이를 지원하고자하는 노력을 경주하고 있다.

복잡다양체에 대한 연구는 특히 80년대 중반이후부터 시작하여 90년대에 활발하게 이루어지고 있는데, 이에 대한 연구도 주로 복잡다양체를 표현할 수 있는 데이터 구조의 고안과 모델 구축을 위한 연산자의 개발에 초점이 맞추어 지고 있으며, 최근에는 이를 이용한 CAD 시스템 구축과 특정응용에의 적용 사례들이 보고되고 있다.

CSG는 3차원 물체를 육면체, 원통, 원추, 구, 토러스(torus) 등과 같은 3차원 솔리드 기본형상(primitive)들을 합집합, 교집합, 차집합 등의 집합 연산자를 이용하여 구성하고자 하는 방법이다. 이는 70년대말 제안되어 이를 이용한 CAD 시스템이 개발된 사례가 있으나 순수하게 이 방법만으로는 CAD 시스템을 구축할 수 없기 때문에 경계표현법과 병행한 시스템이 대부분이다. 즉, CSG는 주로 사용자 인

터페이스에 사용하며 내부적으로는 이를 경계표현법으로 변환하여 형상 정보를 저장하는 것이다. 이 과정에서 CSG로 표현된 물체의 boundary evaluation이 필요한데 이는 매우 계산량이 많은 부분이며 복잡한 계산이 연관되고 있기 때문에 이를 보다 효율적으로 수행하기 위한 연구가 최근까지도 매우 활발한 편이다.

솔리드 모델링에 대한 최신 연구동향을 파악하는 데는 1991년부터 시작되어 매 2년마다 5월경 한 번씩 열리는 국제 학술대회인 Symposium on Solid Modeling and Applications<sup>(2)</sup>에서 발표된 내용을 보는 것이 가장 손쉬운 방법이고, 이와 유사한 내용들이 최근 국제 학술지인 Computer-Aided Design<sup>(3)</sup>에 발표된 사실을 접할 수 있다.

이들 대표적인 학술대회와 학술지에 발표된 내용을 분류해보면 개략적으로 다음과 같다.

- 1) Non-manifold modeling
- 2) Conversion between representations including boundary evaluation
- 3) Composite representations
- 4) New representations for specific applications
- 5) Solid model construction from 2D drawing, sketch, point set, sheet model, etc

처음 두 항목에 대한 설명은 이미 위에서 했으며 세 번째 항목은 보다 효율적인 모델 구축 및 활용을 위해 CAD 시스템 내에서 여러 표현법을 사용하기 위한 연구로, 많은 상용 CAD 시스템들이 이러한 연구의 결과를 시스템 내에 수용하고 있으며 2번째 항목의 연구 결과가 필수적이라 할 수 있다.

네 번째 항목이 어떤 의미에서는 가장 핵심적인 연구분야라 할 수 있으나 기존의 연구성과가 이미 많은 CAD 시스템에서 구현되어 있는 상태이기 때문에, 이를 대체하기 위한 연구라기 보다는 이를 보완하기 위한 연구가 주된 흐름으로 진행되고 있다. 물론 이러한 연구의 결과중 획기적인 내용이 있으면 기존의 방법론을 대체할 수도 있으나, 이는 많은 검증이 필요하기 때문에 단시일 내에 이루어 질 수 있는 사항은 아니며, 현재는 이러한 연구결과로 거론되고 있는 내용은 없다. 이러한 연구의 예는 복잡다양체에 대한 연구를 꼽을 수는 있으나 기존의 방법을 대체하는 내용으로 보기는 어렵다. 구체적인 연구 결과들은 참고문헌을 참조하기 바란다.

마지막 항목은 꾸준히 연구가 되어 오고 있는 연구분야이며 앞으로도 지속적으로 연구가 많이 이루어질 분야라고 사료된다. 기존의 디자인 데이터가 2차원 도면으로 이루어져 있기 때문에 이를 이용하여 3차원 솔리드 모델을 구성하는 문제는 매우 중요하며, 문제가 비교적 어려운 편에 속하기 때문에 완전한 해에 이르기까지는 상당한 시간이 소요될 것으로 예측되며 어쩌면 완전한 해가 존재하지 않는 문제일 수도 있다. 아직까지는 이 문제에 대한 해는 polyhedral 모델이나 2차 곡선으로 이루어진 물체에 대한 연구에 집중되어 있으며 완전한 해를 제시하지 못하고 있는데 이는 주어진 입력 값에 따라 다중 해가 존재할 수 있기 때문이다.

Sketch로부터 솔리드 모델을 형성하는 문제는 기존의 디자인 관행을 보다 효율적으로 수행할 수 있으며 솔리드 모델로의 전환도 용이하게 하기 위한 연구로 아직은 초보적인 연구 결과가 대부분이다. Point set으로부터 솔리드 모델 형성을 reverse engineering에서 필요한 연구로 이는 surface modeling, rapid prototyping 분야와 매우 밀접한 연관관계가 있다고 할 수 있다. 기타 다른 유형의 모델을 솔리드 모델로 매핑하는 문제는 특정 응용 분야에서 솔리드 모델의 생성을 보다 용이하게 하기 위한 연구라 할 수 있다.

이상과 같이 간단히 최근의 솔리드 모델링에 대한 연구 동향을 살펴보았는데 관련 web site들은 주로 상용 시스템을 개발한 회사에서 이들 제품의 솔리드 모델링 기능을 선전하는 것이 주류를 이루고 있고, 연구 내용에 대한 일목 요연하게 정리한 site는 알고 있는 바가 없으며, 유사한 내용들에 대한 참고가 될 만한 site들은 주로 국내외 대학의 CAD Lab.에서 제공하는 것이 대부분으로 이는 한국 CAD/CAM 학회의 web site를 이용하면 쉽게 접근할 수 있기 때문에 본 고에서는 별도로 추천하지는 않겠다.

## 참고문헌

1. M. Mantyla, Solid Modeling, Computer Science Press, 1988.
2. Proceedings of Symposium on Solid Modeling and Applications, 1991, 1993, 1995, 1997.
3. Computer-Aided Design, 1994-1997.