

CAD 모델 재사용을 위한 특징형상기반 유사도 측정에 관한 연구

박병건*, 김재정**

Feature-based Similarity Assessment for Re-using CAD Models

Byoung Keon Park* and Jay Jung Kim**

ABSTRACT

Similarity assessment of a CAD model is one of important issues from the aspect of model re-using. In real practice, many new mechanical parts are designed by modifying existing ones. The reuse of part enables to save design time and efforts for the designers. Design time would be further reduced if there were an efficient way to search for existing similar designs. This paper proposes an efficient algorithm of similarity assessment for mechanical part model with design history embedded within the CAD model. Since it is possible to retrieve the design history and detailed-feature information using CAD API, we can obtain an accurate and reliable assessment result. For our purpose, our assessment algorithm can be divided by two: (1) we select suitable parts by comparing MSG (Model Signature Graph) extracted from a base feature of the required model; (2) detailed-features' similarities are assessed with their own attributes and reference structures. In addition, we also propose a indexing method for managing a model database in the last part of this article.

Key words : Design history, Feature-based design, Model signature graph, Similarity assessment

1. 서 론

과거의 소품종 대량생산의 기업환경과는 달리, 현재의 기업들은 소비자 개개인의 요구에 맞춘 다품종 소량생산 체제를 지향하고 있다^[1]. 이로 인해 한 제품의 생명 주기는 급속히 난축되고 있으며, 좀 더 빠른 시간안에 시장에 제품을 출시하는 것이 매우 중요해졌다. 이에 따라 제품 개발 기간을 단축하기 위한 여러 기술들이 제안되고 있는데 기존 제품 데이터의 재사용(re-using)이 그 한 예이다. 이미 설계된 제품의 재사용은 제품의 형상의 변화가 심하지 않은 기계설계분야에서 특히 많이 사용된다. 기존 모델의 변동부만 재설계함으로써 모델링을 완성할 수 있으므로 고정부 설계에 들어가는 비용을 줄이기 때문이다. 또한 기존 모델의 재사용은 기존의 설계 모델에 담긴 설계 지식의 재활용과 직결 되므로 기업 내에 설계 지식의 전달

및 축적에도 큰 도움이 된다.

이러한 기존 설계 제품의 재활용을 위해서는 가장 유사한 제품 모델을 검색하는 과정이 필요하다. 관련된 기존의 연구들은 모델의 '유사함'을 정의하는 기준에 따라 크게 형상기반(geometry-based) 유사도와 특징형상기반(feature-based) 유사도로 나뉠 수 있다. 형상정보를 기반한 유사도 측정은 말 그대로 제품의 외관 형상의 유사함을 측정하는 것으로 곡면 정보만으로 유사도를 측정할 수 있다는 장점이 있다. 특징형상정보를 기반으로 한 유사도 측정은 모델링 과정에서 사용된 특징형상들의 정보와 그 이력의 유사함을 기준으로 평가하는 기술이다. 앞서 언급된 재사용의 입장에서 본다면 수정될 부분의 파라미터 및 구조조건의 변경으로 국부적 수정이 용이한 특징형상기반 유사도 평가 기술이 더 적합함을 알 수 있다. 하지만 기존의 특징형상기반 유사도 평가에 관련한 연구들은 모델 내의 특징형상정보를 획득하는 데에 있어 대부분 모델의 형상정보를 기준으로 하기 때문에 정보 추출의 제약이 있으며^[2], 그 정보 또한 정확하지 않다는 한계를 가지고 있다.

본 연구에서는 앞서 언급한 기업 내의 기존 제품

*학생회원, 한양대학교 기계공학과
**교신저자, 종신회원, 한양대학교 기계공학과
- 논문투고일: 2010. 07. 21
- 논문수정일: 2010. 10. 18
- 심사완료일: 2010. 11. 09

모델의 재사용 요구의 증대를 배경으로 기존의 방법들을 발전시킨 특징형상기반 유사도 측정 방안을 제시한다. 이를 위해 다음과 같이 연구 목표를 설정한다. 첫째로 CAD 시스템의 API를 이용해 솔리드 모델의 설계 이력정보를 추출하고 이를 통해 특징형상기반 유사도를 측정한다. 이로 기존 제품 모델 중 유사한 특징형상 구조를 가지고 있는 모델을 검색해 재사용이 가능하도록 하는 방안을 제안한다. 둘째로 모델의 기저형상을 이용하여 데이터베이스 내의 유사 솔리드 모델들을 효율적으로 검색, 정렬할 수 있는 방법을 제시함에 있다. 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 유사도 측정에 관련된 연구들을 소개하고, 3장과 4장에서 유사도 측정 및 데이터베이스 운용방안에 대한 연구를 제안한다. 5장에 이를 구현한 프로그램과 적용 예제를 소개한다.

2. 관련연구

특징형상 기반 유사도 측정은 두 모델 내에 존재하는 특징형상들의 계층구조 간의 유사한 정도를 통해 유사도를 측정하는 방법이다. 여기서 특징형상이란, 관심 어플리케이션(Application)이나 또는 도메인(Domain)내에서 의미를 가지는 기술적인 객체(Technical Object)를 일컫는다. 실제로 설계자가 관심을 가지는 형상을 대상으로 유사도를 평가하는 것이기 때문에 이 연구들은 다른 관련 연구 분야들에 비해 재사용의 목적에 부합된다는 장점을 가진다. 특징형상은 공학적 의미를 부여하는 도메인에 따라 분류를 달리 하는 특성을 가진다. 때문에 이에 기반한 비교 알고리즘 또한 관심 도메인에 따라 분류된다. 기존의 특징형상 기반 비교에 관한 대부분의 관련 연구는 가공 특징형상(Machining Feature), 즉 passage, fillet, pocket 등의 가공에 필요한 특징형상들을 기준으로 유사도를 측정하는 연구가 주로 이루어 졌다. Elinson¹⁾, McWherter⁴⁾와 Cardone⁵⁾이 이 방법에 대하여 제안하였다. 또한 상용프로그램으로는 CADENAS의 PARTsolutions¹⁰⁾가 특징형상 기반의 유사 검색 서비스를 하고 있다. 이 제품은 다양한 상용 CAD 모델에 대한 검색이 가능하다는 특징을 가지며, 주로 모델 내의 특징형상들의 기하학적 형상(Geometry)을 기반으로 유사도를 판별한다.

가공특징형상이 아닌 모델링 특징형상(Form feature)를 기준으로 한 유사도 측정에 대한 연구도 진행되어왔다^{2),13)}. 즉, 제품의 가공 단계가 아닌 제품 모델링 단계에서 의미를 가지는 특징형상을 기준으로

유사도를 측정해 기존 CAD 모델 중 모델링 시에 재사용이 가능한 부품을 찾는 방법이다. 특히 Hong의 연구에선 모델 비교의 효율성을 높이기 위해 Kim⁶⁾의 “Wrap-around”와 “Smooth out”이라는 기술을 이용해 모델을 단순화 하였고, 단순화된 형상이 유사한 모델들을 대상으로 모델 내의 특징형상을 비교하였다. Fig. 1에 이 연구에서 제시한 특징형상 매칭 예를 나타내었다. 즉, 모델 내의 특징형상들의 유사도를 평가하기 위해 비교할 만한 특징형상들을 찾아 매칭하는 과정이 필요한데, 이 연구에서는 모델의 B-rep정보에서 유추한 특징형상들의 종류와 볼륨으로 비교 대상을 선정하였다. 하지만 특징형상의 볼륨만으로는 올바른 비교 대상을 선정하는 데에 실패할 확률이 높다. Fig. 1의 예에서와 같이 모델 내의 다른 참조(Renference, 혹은 부모 특징형상)를 가지는 특징형상끼리 매칭될 가능성이 존재하기 때문이다. 이처럼 잘못된 매칭이 존재하면 유사도 측정 방법이 아무리 우수한 것이라도 결과의 신뢰도는 낮아지게 마련이다. 이를 해결하기 위해서는 각 특징형상 종류와 속성, 그리고 계층구조 정보를 모두 활용하여 비교하여야 한다.

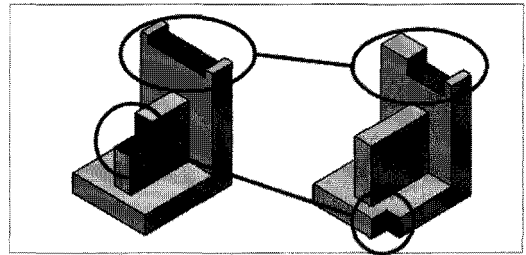


Fig. 1. An example of feature matchings according to its volume attributes; red features are matched properly, but the blue features are matched improperly.

대부분의 주요 상용 특징형상 기반 CAD 시스템(Major Commercial CAD Systems; Dassault CATIA, UGS UGNX, PTC Pro/E)들은 사용자에게 설계 환경에 맞는 CAD 시스템을 구축할 수 있도록 자사 제품의 API(Application Programming Interface)를 제공한다. API를 통한 특징형상 정보의 수집은 API에서 제공하는 함수 형태에 따라 구현 방법이 상이해 진다는 제약 조건을 가진다. 하지만, 모델의 B-Rep정보를 통해 특징형상들의 유사도를 비교하였던 기존 연구와 비교한다면, 특징형상 인식 과정이 필요하지 않아 효율적이고 설계자의 설계의도가 반영된 특징형상의 계

충정보를 얻을 수 있다는 장점을 가진다. 따라서 만일 유사도를 측정하려는 모델들이 특징형상 기반 CAD 시스템에서 모델링 되었다면 해당 API를 통하여 모델 내의 특징형상 정보를 분석할 수 있기 때문에, 본 논문은 이를 통해 기존 특징형상 기반 유사도 측정 연구들에 비해 좀 더 신뢰성있는 유사도 측정방안을 제시하고자 한다.

3. 특징형상의 계층구조를 이용한 유사도 평가

CAD 모델들 간의 유사도를 측정하기에 앞서 본 논문에서 의미하는 유사도를 정의하면 다음과 같다. 본 논문에서의 유사도란 모델의 최종 형상과 부피 생성에 사용된 특징형상의 형상정보 및 계층구조의 유사한 정도를 의미한다. 즉, 비교 대상인 두 모델이 있을 때, 두 모델의 형상이 일치하기 위해 필요한 특징형상의 수정 량을 기준으로 유사도를 측정하는 것이다. 따라서 임의의 모델의 외과 형상이 주어진 모델과 많이 다르더라도 모델을 일치시키기 위한 수정 작업 량이 적으면 더 유사하다 판단된다. 본 논문에서 제안하는 방법은 CAD API를 사용하여 모델 내의 특징형상 정보를 분석하는 방법이기 때문에 유사도 측정의 대상이 되는 모델은 특징형상 기반 시스템에서 모델링된 CAD 모델에 한정된다.

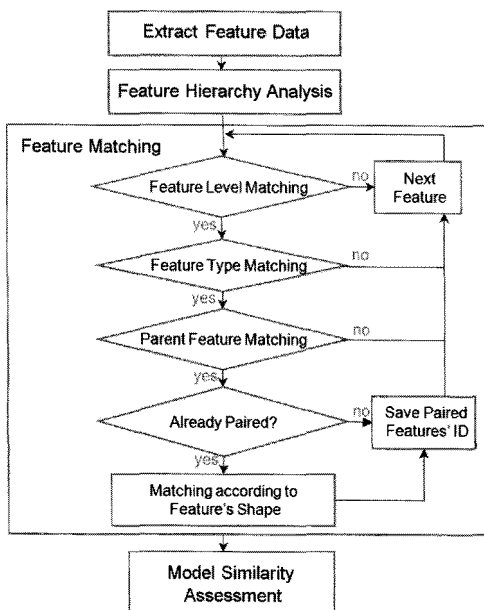


Fig. 2. A flow chart of the similarity assessment algorithm.

본 장에서 비교 대상 모델의 유사도 평가 방안의 순서도는 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2의 순서도와 같이 제시된 알고리즘은 크게 네 가지 단계로 나뉜다. 첫째 단계는 CAD API를 통해 모델 내의 특징형상의 정보를 추출하는 과정이다. 그리고 두 번째 단계는 그 정보를 바탕으로 각 모델의 특징형상 계층구조를 분석하는 단계이며, 세 번째는 비교할 특징형상끼리 매칭(Matching)하는 단계이다. 최종적으로 네 번째 단계는 매칭된 정보를 이용해 모델 간의 유사도를 측정하는 단계이다. 특히 비교할 특징형상을 매칭 하는 세 번째 단계는 개략도에서처럼 특징형상의 레벨과 종류, 계층구조와 형상 등을 이용해 매칭을 한다. 이 부분은 해당 각 절에서 자세히 설명하기로 한다.

3.1 특징형상 계층구조를 이용한 특징형상 매칭

두 모델 간의 유사도를 측정하기에 앞서 비교할 특징형상끼리 매칭하는 과정이 필요하다. 2장에서 언급했듯이 유사도 측정 계산식이 매우 우수한 것이라도 비교되는 특징형상의 매칭이 올바르게 않다면 결과 또한 신뢰할 수 없기 때문에, 타당한 특징형상 매칭 방안이 필요하다. 본 절에서는 특징형상의 매칭에 필요한 정보를 수집하여 그의 구조를 분석하고 이를 적절히 매칭할 수 있는 기준들을 제시한다.

3.1.1 특징형상 정보 수집

첫 번째 단계로 유사도를 측정하기에 앞서 두 모델에 속한 각 특징형상의 속성정보를 CAD API를 통하여 추출하는 작업이 선행된다. 각 특징형상의 정보들은 크게 특징형상 매칭을 위한 정보와 편차 측정을 위한 정보로 나뉠 수 있다. Table 1에 표시하였듯이 특징형상의 적합한 매칭을 위해서 특징형상의 종류와 부모정보, 그리고 특징형상이 포함하는 형상정보를 활용한다. 그리고 매칭된 특징형상 간의 편차를 측정하기 위해 해당 특징형상의 델타볼륨과 여타 속성정보를 활용한다.

두 번째 단계로 특징형상 내의 정보들을 모두 추출한 후, 모델을 이루는 특징형상들의 계층구조를 분석

Table 1. Feature data structure

Type	Attribute
Feature matching	- Feature type - Parent ID - Including geometry
Deviation evaluating	- Feature attribute - Delta volume

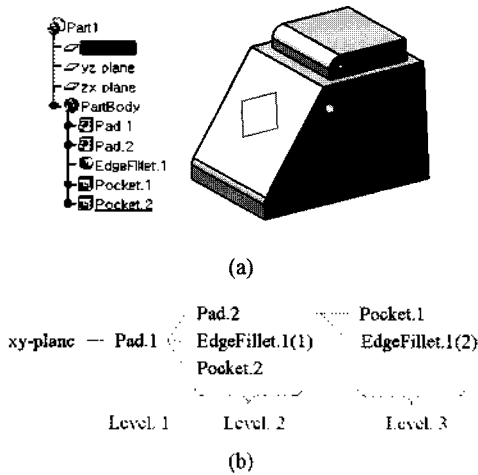


Fig. 3. An example of a feature-based part model and its feature reference relationship.

하는 과정이 진행된다. 특징형상의 계층구조는 각 모델을 이루는 특징형상들 간에 어떠한 관계들로 이루어져 있는가를 나타내는 구조로, 특징형상에 담긴 부모 ID를 통해 분석할 수 있다. Fig. 3(a)에 특징형상을 기반으로 모델링 된 모델과 그에 해당하는 특징형상들의 예를 나타내었다. 예를 들어, Fig. 3(b)의 Pad. 1은 기본요소인 xy-plane을 참조하여 생성되었으므로 xy-plane의 자식 특징형상이다. 동일하게 Pad. 2의 경우는 Pad. 1을 참조로 생성된 특징형상이므로 Pad. 1이 Pad. 2의 부모 특징형상이 된다.

특징형상 중에는 다중 참조를 할 수 있는 특징형상들이 있는데 Fig. 3의 EdgeFillet. 1이 그 예이다. EdgeFillet. 1은 Pad. 1(Level 1)의 한 모서리와 Pad. 2(Level 2)의 한 모서리를 참조하여 정의 되었다. 이 경우 EdgeFillet. 1의 참조 레벨은 각 참조를 독립적으로 평가한다. 즉, Fig. 3(b)와 같이 EdgeFillet. 1을 독립된 두 개의 특징형상으로 분리해 레벨을 평가하게 된다.

이와 같은 방법으로 각 특징형상의 부모/자식 정보로부터 특징형상 계층구조를 분석하면 Fig. 3(b)와 같다. 특징형상 계층구조 트리에 표시된 레벨은 계층구조 상의 참조 깊이를 나타낸다. 즉, CAD 시스템의 기본요소를 레벨 0으로 하였을 경우, 그의 자식 특징형상들을 레벨 1로 정의하며, 같은 방법으로 레벨 n을 부모로 하는 특징형상은 레벨 n+1으로 계산된다. 참고로 다음 절에 소개 되는 특징형상 매칭은 레벨이 가장 높은 레벨 1에 속하는 특징형상부터 순서대로 검사한다.

레벨의 활용이 가지는 또 하나의 의미는 설계자가 원하는 레벨까지의 특징형상들로 유사도를 판별할 수 있다는 데에 있다. 실제로 본 연구의 구현 부에서는 사용자로부터 유사도를 비교할 레벨을 입력 받을 수 있도록 하였다. 즉, 사용자가 설정한 레벨에 속하는 후보특징형상(Candidate Feature)를 선정한 후 유사도를 측정하는 것이다. 이를 통해 완성 설계 모델 간의 유사도 비교뿐만이 아니라, 기본적인 형상만을 설계한 후 그 레벨까지의 유사한 부품을 찾을 수 있을 수 있으며, 설계자가 원하는 최종 모델을 미리 검색해 설계 시간을 줄일 수 있도록 하였다.

3.1.2 특징형상 매칭 절차

특징형상 매칭에서 첫 번째 절차는 특징형상의 레벨이 같은가를 검사하는 것이다. 즉, 현재 검사하고 있는 두 특징형상이 같은 레벨에 속하는 특징형상인지를 평가하는 것이다. 만약 두 특징형상의 레벨이 같지 않다면 다음 특징형상을 검사한다.

특징형상 매칭의 두 번째 절차는 특징형상의 종류(Type)가 동일한가를 평가하는 것이다. 기존의 연구들에서는 모델 내부에 있는 형상 정보로부터 특징형상을 인식하는 방법을 채택하였기에 종종 설계자의 의도와 벗어난 분석 결과를 야기할 수 있었다^{2,5}. 이는 다른 특징 형상을 통해 동일한 형상의 결과물을 모델링 할 수 있기 때문이다. 특징형상의 종류는 결과물의 형상 이상의 의미를 가진다. 앞 장에서 언급하였듯이 특징형상은 관심 도메인 내에서 설계자가 공학적 의미를 유추할 수 있는 형상 단위로 정의, 분류되기 때문이다. 본 논문에서는 CAD API를 통해 모델의 정보를 읽어 들여 분석하기 때문에 비교적 쉽게 모델 내부의 특징 형상 종류를 읽어 들일 수 있으며, 더불어 설계자의 의도 또한 파악할 수 있다. Fig. 4(a)의 두 모델을 예로 들면, 현재 매칭 대상인 Pad.1과 Pad.2는 모두 레벨이 1로 같으며, 두 특징형상의 종류 또한 'Pad'로 같기 때문에 다음 매칭 절차로 진행하게 된다.

세 번째 특징형상 비교대상 선정 기준은 “부모 특징형상들이 매칭되었는가”이다. 즉, 현재 매칭 대상인 특징형상들의 부모들이 서로 매칭 관계인지를 확인하는 과정이다. Fig. 4(b)에 이 과정의 예를 나타내었다. 가령 현재 레벨 3에 속하는 두 'EdgeFillet' 특징형상을 평가하고 있다고 하자. 이 두 특징형상 매칭 시점은 앞에서 언급하였듯이 상위 레벨에 해당하는 특징형상들부터 검사하므로 레벨 2에 해당하는 특징형상들의 매칭이 완료된 시점으로 볼 수 있다. 때문에 레벨 3의 두 특징형상의 레벨 2 부모 특징형상들이 이

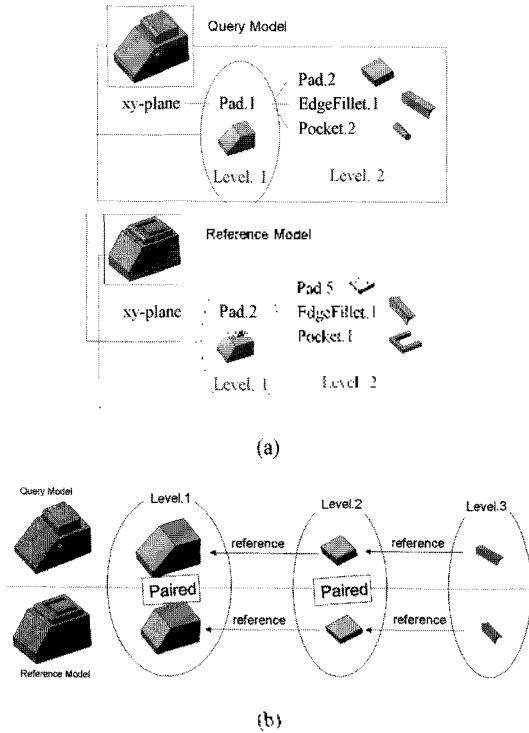


Fig. 4. A scheme of feature matching: (a) using level and type attributes and (b) using hierarchical matching information.

전에 서로 매칭이 되었는가를 평가하는 것이다. 레벨 2의 두 부모가 매칭 되려면 당연히 레벨 1의 각 부모 역시 매칭 관계여야 하기 때문에, 결론적으로 이 과정은 현재 평가 중인 두 특징형상의 상위 계층구조가 같은가를 평가하는 것이다. 다시 말해, 각 모델에서 두 특징형상이 같은 위치에 자리하고 있는지를 이 과정에서 평가할 수 있게 된다.

이상의 세 가지 기준을 통해 두 모델 내의 각 특징형상들을 매칭한다. 그러나 Form Feature의 경우 위의 기준들을 모두 만족하는 복수의 특징형상이 존재할 수 있다. 아래 Fig. 5(a)처럼 동일한 평면을 참조로 생성된 'Pad' 특징형상들의 경우가 그러하다. 이러한 경우, 본 연구에서는 특징형상의 형상의 유사한 순으로 매칭을 하기로 한다. 즉, 각 특징형상의 생성에 사용된 프로파일의 편차가 가장 적은 순으로 특징형상을 매칭하는 것이다.

수많은 프로파일의 편차 측정 방안이 있을 수 있지만 그 중 일반적으로 두 가지 방법을 생각할 수 있다. Fig. 5(b)에서 나타내었듯이 프로파일의 크기를 기준으로 측정하는 방법(점선)과 프로파일의 형상 요소 구

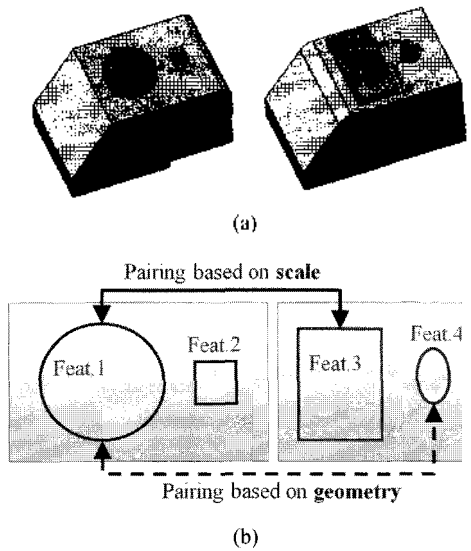


Fig. 5. A scheme of profile paring: (a) target profiles (colored) of paring, (b) two paring methods.

성을 기준으로 측정하는 방법(점선)이 있다. 본 연구가 기존 모델의 재사용을 목적으로 하고 있기 때문에 설계자가 특징형상을 수정하기 용이한 순으로 매칭하는 것이 바람직하다. 때문에 이 과정에서는 형상요소의 구성을 통해 특징형상을 매칭하는 후자를 택하였다. API에서 추출한 프로파일 정보를 이용해 다음과 같이 프로파일의 편차(D_p ; Profile Deviation)을 계산한다.

$$D_p = \sum_{i=1}^n |Nq_i - Nr_i|$$

Where n : the number of geometry types

Nq_i : the number of i th type within query profile

Nr_i : the number of i th type within ref. profile

즉, n 은 형상 요소의 종류의 개수이며, N 은 해당 형상 요소의 개수, q 와 r 은 각각 요구 모델(Query Model)의 프로파일과 비교 모델(Reference Model)의 프로파일을 의미한다. 최종적으로 프로파일의 편차가 낮은 특징형상부터 짝지어 저장하여 매칭 절차를 종료한다. 즉, 위의 계산의 결과로부터 Feature 1과 Feature 4, 그리고 Feature 2와 Feature 3가 각각 매칭된다.

3.2 모델 유사도의 점량적 표현 방안

본 절에서는 모델 유사도 평가를 위해 사용될 유

사도 측정 항목들과 그 측정 방법에 대해 설명한다. 유사도의 정량적 표현을 위해 본 연구에서는 다음과 같이 세 가지 항목을 분류해 측정하고, 각 항목에 따라 순서대로 우선순위를 달리해 모델 유사도를 평가한다.

- (1). R_p (Paired Ratio)
- (2). D_f (Total Deviation of Paired Feature)
- (3). R_m (Model Scale Ratio)

R_p 는 두 모델 내의 후보 특징형상들 중 매칭 알고리즘을 통해 매칭된 특징형상이 차지하는 비율로 다음과 같이 계산된다.

$$R_p = \frac{N_p}{N_c}$$

where N_p : the number of paired features

N_c : the number of candidate features

이 비율이 의미하는 바는 설계자가 원하는 모델로 수정하는 데에 어느 정도의 특징형상들을 생성 또는 삭제해야 하는가를 뜻한다. 다시 말해, R_p 가 100(%)이면 특정 특징형상을 생성하거나 삭제 할 필요 없이 모델 내의 특징형상들의 속성만을 수정하여 원하는 모델을 설계할 수 있음을 의미한다. 반대로, R_p 가 0(%)이면 비교 모델 내의 모든 특징형상을 삭제한 후 새로 생성해야 요구 모델로 설계할 수 있음을 의미한다. 항목 중 두 번째인 D_f 는 매칭된 특징형상끼리의 편차를 모두 합한 값이다. 즉, 매칭된 특징형상이 얼마만큼 수정되어야 요구 모델의 특징형상과 같게 되는가를 측정하는 것이다. D_f 는 다음과 같은 편차 계산식을 사용하여 계산한다^[2].

$$D_f = \sum_{n=1}^f \left(\left| \frac{V'q_n}{Vq} - \frac{V'r_n}{Vr} \right| \times F_d \right)$$

where f : the Number of feature pair

$V'q_n$: Delta volume of n th query feature

$V'r_n$: Delta volume of n th ref. feature

Vq : Volume of query model

Vr : Volume of ref. model

F_d : the difference of the number of faces +1

즉, 해당 특징형상들의 델타볼륨과 각 모델의 부피의 비율의 차와, 특징형상 간의 면 개수의 차(F_d)를 이용해 편차를 측정하는 것이다. 특징형상의 델타볼륨만이 아닌 모델의 부피와 특징형상의 비율로 편차를

계산한 이유는 모델 자체의 크기차이로 인한 오차를 감안하기 위함이며, 또한 해당 특징형상이 전체 모델에 미치는 영향도에 따른 편차를 함께 고려하기 위함이다. F_d 는 특징형상간의 형상 차를 고려하기 위해 곱하여 진 것으로 0으로 계산되는 것을 방지하기 위해 면 개수의 차에 1을 더하여 준다. F_d 는 단순히 특징형상간의 면 개수 차이므로 특징형상의 형상을 완벽하게 고려한다고 볼 수 없으나 어느 정도는 고려한다 볼 수 있기 때문에 편차 계산에 사용되었다. 마지막 우선순위의 항목인 R_m 은 두 모델의 전체 스케일의 비율로, 다음과 같이 계산된다.

$$R_m = \frac{V_q}{V_r}$$

where V_q : the volume of query model

V_r : the volume of reference model

4. 기저형상을 이용한 DB 운용방안

4.1 모델 기저형상 추출 및 비교 방안

데이터베이스 내의 여러 파트 모델들을 효율적으로 관리 및 검색하기 위한 방안으로 기저형상(base feature)을 이용한 클러스터링을 적용하였다. 이를 위해 우선 모델로부터 기저형상을 먼저 추출하여야 한다. 본 연구에서는 모델을 대표하는 기저형상을 추출하기 위해 Wrap-around와 Smooth out이라는 기술을 이용하였다^[6]. 간략히 소개하면, Wrap-around는 모델에 랩을 두른 형상을 뜻하며, 특정 특징형상의 주위의 면들을 확장시켜 특징형상을 소개하는 방법이다. 그리고 Smooth-out은 모델의 부피에 비해 비교적 부피가 작은 특징형상들을 제거해 모델을 단순화 하는 작업이다. 위의 작업들은 특징형상 기반 시스템 내에서 비교적 쉽게 수행될 수 있는 작업이며, 본 연구에서는 이 두 가지 작업을 통해 단순화 된 모델을 기저형상이라 정의한다.

기저형상의 비교에 대한 선행 연구들을 보면 기저형상의 형상 자체를 비교했기 때문에 파라미터나 구속 조건의 수정으로 인한 형상의 변화에 대처하지 못하는 단점을 가졌다. 추가로 형상 변화에 대처하기 위해 위상 구조만을 사용해 비교하는 연구들도 선행되었으나 그 역시 모델의 형상을 고려하지 못한 이유로 결과의 신뢰성이 낮았다^[2]. 이러한 이유로, 본 연구에서는 기저형상의 B-rep(Boundary representation)을 이용하여 위상구조와 형상을 동시에 다루되, 형상 비교에는 그 형상학적인 타입(ex; Plane, Cone, Line,

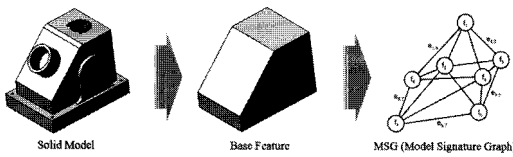


Fig. 6. Extract Base Feature and MSG from a Part Model.

Table 2. MSG Information Table

node (f_i)	- Topological type for the face (planar, conical, etc.); - ID of related braches (edges)
branch (e_i)	- Topological type for the edge - concavity/convexity of edge - ID of related nodes (faces)

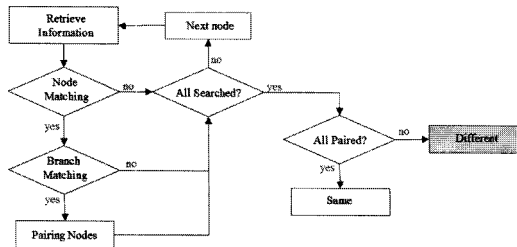


Fig. 7. Algorithm for MSG Matching.

circle, etc)만을 고려해 기저형상을 비교했다. 하지만 자세한 형상 정보(곡선의 길이, 곡면의 수직 벡터 집합 등)의 비교는 특징형상의 공학적인 속성과는 상관이 없으므로 배제 하였다. 이를 통해 기저형상이 공학적인 속성을 유지하며 형상이 변화되었을 경우에 대해서도 대응할 수 있도록 하였다.

본 논문에서는 기저형상의 비교를 위해 MSG (Model Signature Graph)^[7]를 사용하였다(Fig. 6). MSG란 모델이 가지고 있는 B-rep 정보를 그래프로 가시화 한 것으로 각 절점(nodc)은 한 면(face)을 나타내고, 그 사이의 가지(branch)는 면 사이의 모서리(edge)를 나타낸다(Fig. 6). 앞서 설명한 기저형상의 추출 정보를 MSG 구조에 사상하면 Table 2와 같다.

기저형상의 MSG를 비교하는 알고리즘은 Fig. 7에 나타내었다. 우선 두 기저형상의 MSG를 추출한 후, 각 절점과 가지를 순차적으로 비교하게 된다. 특정 두 절점 간의 형상 정보와 위상 정보가 일치하면 인접한 가지들의 형상 및 위상 정보들을 비교하고 다시 그 가지의 연결 절점들을 검사하는 식으로 신뢰도를 높일

수 있다. 이렇게 절점 간의 모든 저장 정보 구조가 일치하면 해당 절점들을 짝지어 ID를 기록한다. 최종적으로 모든 절점 요소가 짝을 찾으면 기저형상의 MSG가 서로 같다고 판단하며, 누락된 절점이 존재 시에 다르다고 판단하게 된다. MSG가 같다 하여 기저형상이 반드시 같다고 볼 수는 없지만 제시된 방법으로도 충분한 효과를 얻을 수 있다.

4.2 기저형상을 이용한 클러스터링 및 인덱싱

클러스터(Cluster)란 사전적인 의미로 “묶음, 다발”을 의미하며, 데이터베이스 운영 측면에선 공통의 속성을 가지는 자료들을 그룹화하여 효율적인 검색을 돕는 방법을 뜻한다^[8]. 즉, 데이터베이스 내에 수 많은 제품 모델을 대상으로 일일이 특징형상 정보를 분석하기 이전에, 비교 대상이 될만한 모델들을 선정하여 유사도 측정의 효율을 높이려는 것이다. 앞 절에서 설명한 모델의 기저형상 MSG가 비슷한 모델들을 대상으로 클러스터를 구성하면 설계자가 요구 모델의 유사한 모델들을 검색할 때 효율을 높일 수 있다.

이를 위해선 우선 MSG를 구분할 수 있는 인덱스(Index)의 정의가 필요하다. 본 장에서 클러스터를 위한 인덱스는 다음과 같이 정의한다.

$$Nf - Nv - Nc$$

where Nf : the number of faces

Nv : the number of convex edges

Nc : the number of concave edges

Nf 는 MSG의 기저형상의 면의 개수, Nv 와 Nc 는 각 기저형상의 볼록 모서리와 오목 모서리의 개수를 의미한다. Fig. 8에 임의의 모델 데이터베이스를 구성하여 인덱스가 같은 그룹끼리 클러스터를 구현한 결과를 나타내었다.

본 연구에서 제안하는 데이터베이스 내 모델들의 유사도 측정 시나리오는 다음과 같다. 우선 데이터베이스 내에 있는 모델들의 기저형상을 통해 MSG와 인덱스를 분석하고, 이를 활용해 제품 모델들을 클러스터링한다. 사용자가 모델을 요구하면 요구모델의 인덱스를 통해 동일한 인덱스를 가지는 클러스터를 검색하고, 그에 속한 MSG 그룹 중 요구 모델의 MSG와 동일한 그룹을 택해 3장의 유사도 측정 방법으로 요구모델과 유사한 순으로 정렬한다. 사용자가 요구한 요구모델의 인덱스가 데이터베이스 내에 존재하지 않을 시엔 새로운 클러스터를 생성해 해당 인덱스와 MSG를 등록한다. 물론 모델의 기저형상이 아닌 모델

INDEX	MSG	PART MODELS
10f-22v-2c		
6f-12v-0c		
10f-22v-2c		
4f-6v-0c		
9f-6v-1c		

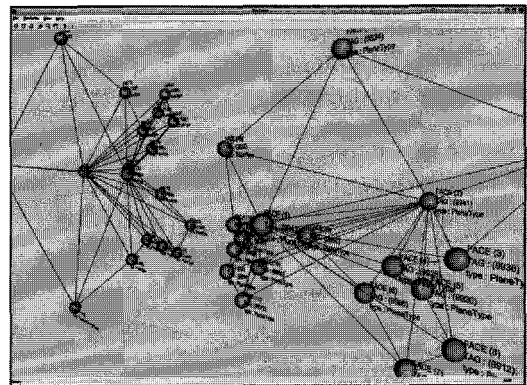
Fig. 8. Example of Database Cluster and Indexing.

자체의 형상을 통해 인덱싱을 구현할 수 있지만 그 경우 클러스터가 매우 세분화되어 클러스터 자체의 의미가 소멸될 수 있다.

5. 시스템 구현

본 논문에서 제안하는 방법을 통해 부품 모델의 유사도를 측정하는 프로그램을 개발하였다. 개발에 사용된 상용 CAD 시스템은 Dassault Systems의 CATIA V5이며, 특정형상 정보 분석을 위한 API로 Dassault Systems의 CAA V5를 사용하였다. 또한 MS Windows 기반의 프로그램을 Visual C++, OpenGL을 사용하여 구현하였다. 본 프로그램은 크게 두 가지 모듈로 구성되는데, MSG 비교를 나타내기 위한 모듈(Fig. 9(a)), 그리고 상세 특정형상을 비교하고 유사도 측정 항목들을 표시하는 다이얼로그 모듈 Fig. 9(b)로 나뉘어 진다.

Fig. 10에 본 논문에서 제안된 프로그램으로 유사도 평가를 한 결과들을 나타내었다. 총 세 개의 모델에 대하여 유사도 검색 및 평가를 수행하였고, 총 세 개의 평가항목 중 R_p 와 D_p 에 대한 수치만을 표기하였다. 평가의 대상이 된 부품 모델들은 모두 CATIA V5로 모델링 되었으며 임의의 로컬 데이터베이스 내에 환경을 구성하여 테스트한 결과이다.



(a)

(b)

Fig. 9. (a) MSG Comparing Dialog, (b) Detailed-Feature Assessment Dialog and Result-out Controls.

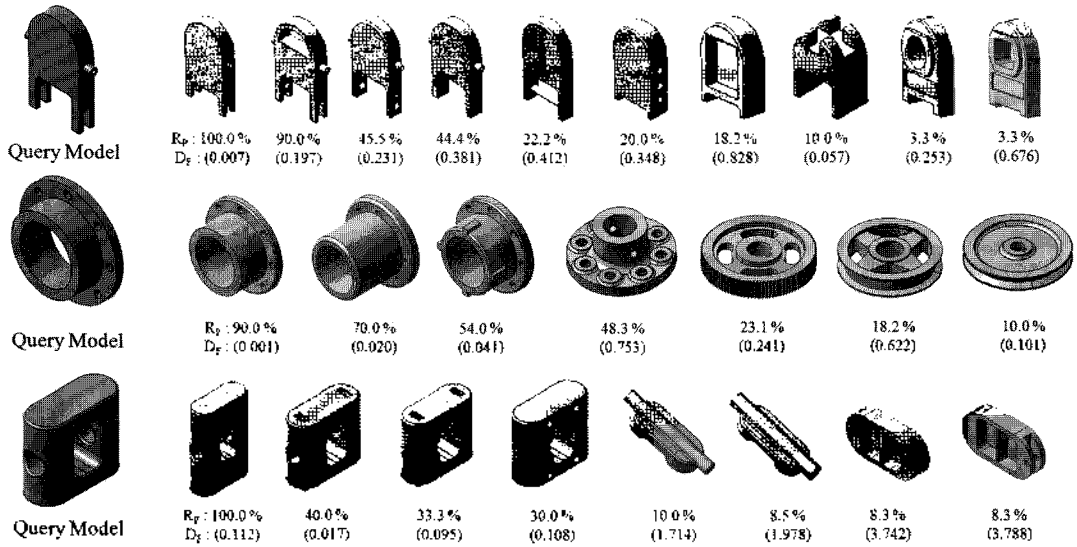


Fig. 10. Results of similarity assessment with the proposed algorithm.

6. 결 론

본 연구에서는 모델의 재사용을 위해 데이터베이스 내의 부품 모델 간의 유사도를 효율적으로 측정할 수 있는 방법을 제안하였다. 기존의 특징형상을 이용한 연구들과의 가장 큰 차이점은 CAD API를 통한 모델 내의 정보를 분석함으로써 좀 더 신뢰성 있고 실용적인 방법을 제시함에 있다. 또한 모델의 기저형상 비교를 진행하여 데이터 베이스 내 모델들의 유사도 비교에 효율을 높였고, 본 연구에 맞는 MSG를 정의 하여 이를 통해 기저형상의 파라미터에 수정에 따른 변화를 고려한 유사도 비교를 수행하였다. 요구 모델과 비교 모델 내의 특징형상들 간의 비교에는 먼저 특징형상의 계층 구조와 형상을 함께 고려하여 대상을 선정할 수 있는 기준들을 제시하였다. 그리고 각 특징형상의 레벨을 나누어 사용자가 원하는 특징형상만을 대상으로 유사도 측정을 할 수 있도록 하였고, 유사도 측정 항목을 세 가지로 나누어 좀 더 정밀한 유사도 측정이 가능하도록 하였다. 최종적으로는 이러한 유사도 측정이 데이터베이스 내에서 효율적으로 활용될 수 있도록 인덱스를 정의하고 클러스터링을 구현하였다.

그러나 본 연구에서 기저형상의 추출을 위해 사용한 단순화 작업의 결과로는 완벽히 클러스터링을 구현할 수 없다. 물론 같은 형태의 모델에 대해선 단순화된 모델의 형태 역시 같아 클러스터를 구성하는 데에 문제가 없다. 하지만 모델의 작은 형태의 변화로도

단순화된 결과가 다를 수 있는 이유로 인해 비슷한 모델임에도 다른 클러스터로 분리될 수 있다는 문제를 가지고 있다. 때문에 좀더 강건한 결과를 갖는 기저형상 추출과정이 제안되어야 할 것이다. 또한 본 연구의 구현은 특정 CAD 시스템에 종속적인 양상을 띠는데, 매크로 파라미터 방법론^[12]을 이용한 유사도 측정 방안을 통해 여러 CAD 시스템에서도 활용 가능하도록 개선할 필요가 있다.

본 연구는 제품의 파트를 대상으로 유사도를 측정하였으나 향후 과제로 제품 어셈블리(Assembly)를 대상으로 유사도를 측정하는 연구가 진행되는 것이 바람직할 것이다. 또한 각 부품간의 구속조건과 기능의 추상적인 설계 모델을 통해 이에 해당하는 유사 제품을 찾는 연구도 향후 연구과제로 의미가 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 이 논문은 2010년 국방과학연구소 생존성기술 특화연구센터의 사업으로 지원받아 연구되었습니다.

참고문헌

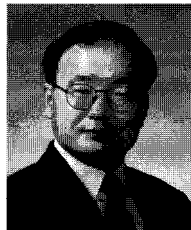
1. 조규갑, "Development of Production Control Information System for Multi-product, Small-lot-sized Production," 한국경영과학회, 한국경영과학회지, 제10권 pp. 43-59, 1993.

2. Hong, T. S., Lee, K. W. and Kim, S. C., "Similarity Comparison of Mechanical Parts to Reuse Existing Designs," *Computer-Aided Design*, Vol. 38, pp. 973-984, 2006.
3. Alexei Elinson, Dana S. Nau and William C. Regli, "Feature based Similarity Assessment of Solid Models," In *Fourth Symposium on Solid Modeling and Applications*, C. Hoffman and W. Bronsvort, Eds., ACM, ACM Press, pp. 297-310, Atlanta, GA, 1997.
4. David McWherter, Mitchell Peabody, Ali Shokoufandeh and William C. Regli, "Database Techniques for Archival of Solid Models," *Proceedings of the Sixth ACM Symposium on Solid Modeling and Applications*, pp. 78-87, 2001.
5. Antonio Cardone, Satyandra K. Gupta, Abhijit Deshmukh and Mukul Karnik, "Machining Feature-based Similarity Assessment Algorithms for Prismatic Machined Parts," *Computer-Aided Design*, Vol. 38 pp. 954-972, 2006.
6. Kim, S. C., Lee, K. W., Hong, T. S., Kim, M. C., Jung, M. K. and Song, Y. J., "An Integrated Approach to Realize Multi-resolution of B-rep model," School of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University, *Proceedings of the Sixth ACM Symposium on Solid Modeling and Applications* 2005, submitted, 2004.
7. David McWherter, Mitchell Peabody, Ali Shokoufandeh and William C. Regli, "Database Techniques for Archival of Solid Models," In *Proc. 6th ACM/SIGGRAPH Symp. on Solid Modeling and Applications*, pp. 78-87, 2001.
8. Dassault Systems, "CAA V5 Encyclopedia Online Document: Feature Modeler Overview", 1994-2004.
9. 서영덕, "Parallel Processing of Multiple Queries in a Declustered Spatial Database," 한국정보과학회, 정보과학회 논문지, 제29권 pp. 44-57, 2002.
10. Weiler, K., "Topological Structures for Geometric Modeling," PhD Thesis, *Rensselaer Polytechnic Institute*, August 1986.
11. CADENAS, "PARTsolutions," <http://www.part-solutions.com>
12. 문두환, 한순홍, "매크로 파라메트릭 방법론을 이용한 CAD 모델의 교환," 한국 CAD/CAM 학회, 학술발표회 논문집, 2001.
13. 김용세, 강병구, 정용희, "계층적 특징형상 정보에 기반한 부품 유사성 평가 방법: Part 1 - 볼록입체 분할방식 및 특징형상 분할방식 이용," 한국 CAD/CAM학회 논문집, 제9권, 제1호, pp. 44-50, 2004.



박 병 건

2005년 한양대학교 기계공학부 학사
 2007년 한양대학교 기계공학과 공학석사
 2007~현재 한양대학교 기계공학과
 박사과정
 관심분야: PDM/PLM, Bio-CAD



김 재 정

1981년 한양대학교 정밀기계공학과 학사
 1983년 미국 George Washington대학
 공학석사
 1983년~1984년 미국 National Food
 Processors Association 연구원
 1989년 미국 MIT 공학박사
 1989년~1991년 미국 IBM T.J. Watson
 연구소 연구원
 1991년~1993년 한국 IBM 소프트웨어
 연구소 연구원
 2002년~2003년 미국 NIST 객원 연구원
 2003년 프랑스 Dassault System 객원
 연구원
 1993년~현재 한양대학교 기계공학부 교수
 관심분야: Geometric Modeling, CAD/
 CAM 응용, PDM/PLM