

## 조립 및 기구학 구속 조건, 공차를 포함하는 기계 조립체의 개념적 정보 모델

한 영 현\*

### A Conceptual Information Model of Mechanical Assemblies Incorporating Assembly and Kinematic Constraints, and Tolerances

Han, Y.-H.\*

#### ABSTRACT

This paper proposes an object-oriented conceptual information model of mechanical assemblies, named open assembly model (OAM). The proposed assembly model primarily defines hierarchical relationships between parts and subassemblies. Together with the assembly hierarchy, the model also provides a way to represent tolerances, kinematic information, and parametric assembly constraints. Relational information such as mating conditions and degree of freedom between parts and subassemblies is captured via assembly features and relationships thereof. The information model is described using class diagrams of the Unified Modeling Language (UML), and instance diagrams are used to exemplify the proposed information model. The conceptual model presented in this paper is an integrated information model for assembly representation, which could supply necessary information for tolerance analysis and synthesis, kinematic simulation, and assembly simulation. Such a conceptual information model plays an important role for the exchange of information between modeling, analysis and planning systems. Hence, the proposed model could serve as a framework for developing data exchange standards of mechanical assemblies. The proposed model is demonstrated through a case study of a planetary gear assembly.

**Key words :** Mechanical assemblies(기계조립체), Object-oriented representation(객체지향 표현), Unified Modeling Language(UML; 통합 모델링 언어), Conceptual information model(개념 정보 모델), Tolerance(공차), Kinematic information(기구학 정보), Assembly constraints(조립 구속 조건)

#### 1. 서 론

최근 제품 개발 과정에 있어서 분산 및 이기종 시스템을 이용한 설계가 보편화 됨에 따라 제품 조립체의 형상정보뿐만 아니라 부품들 간의 조립관계 혹은 공차 등의 정보도 함께 교환해야 할 필요성이 크게 증가하고 있다. 하지만 제품의 정보 교환을 위한 국제 표준인 STEP(ISO 10303)의 part44<sup>[1]</sup>에서는 아주 제한적인 조립체 정보(조립체의 계층구조, 부품들의 위치와 방위)만을 규약하고 있다. 따라서 현재에는 이기종 설계 및 해석 시스템들 간에 부품들의 형상 및 위치/방위 정보만 교환이 가능한 상태이고(ISO 10303-

42)<sup>[2]</sup>, 조립체를 구성하고 있는 부품들 간의 조립 구속 조건이나 기구학적 운동조건, 그리고 공차 등의 정보는 모두 유실되고 있는 실정이다. 예를 들면, 기존 CAD 시스템에서 조립체의 형상을 모델링 한 후에, 기구학 분석을 위해서는 기구 해석 전용 시스템으로 형상 정보를 이전하고 해당 시스템에서 조립 관계 및 기구학적 구속 조건을 다시 부여해야 하는 비효율적 작업을 해야 한다.

이런 문제점을 극복하기 위해 ISO차원에서 향상된 조립체 표현 방법<sup>[3]</sup>을 제안하기도 했고 현재는 조립체를 위한 기구학 및 기하학적 구속 조건에 대한 표준규약을 마련 중이다. 또한 부품들 간의 구속 조건을 파라메트릭하게 표현하기 위한 표준 규약<sup>[4]</sup>도 개발되고 있다. 한편, 기구학적 운동조건<sup>[5]</sup>이나 공차<sup>[6]</sup>는 이니 표준규약이 존재하고 있다. 하지만, 앞서 언급한 여

\*정회원, (주)아이너스기술  
- 논문투고일: 2004. 07. 15  
- 심사완료일: 2004. 11. 03

러 개별 규약들이 조립체 수준에서 어떻게 통합되고 사용될 수 있는 지에 대한 사례 연구는 미약한 상태이다. 몇몇 학술적인 연구<sup>18, 19)</sup>도 그 동안 수행되었지만, 이들의 주요 영역은 중립적 정보 표현이나 교환이라기보다는 특정한 목적을 위한 조립체 표현, 설계 및 모델링 방법론의 개발이라고 할 수 있다.

기계 조립체의 기하학적, 기구학적 구속 조건과 공차에 대한 개별적 표준(혹은 표준화 작업 진행 중인) 규약들을 실제 설계 및 해석 시스템에서 조립체 레벨에서 함께 사용하고, 이기종 시스템 사이에 조립체 정보를 원활히 교환하기 위해서는, 이들을 통합적으로 표현할 수 있는 표준적인 정보모델의 개발이 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 통합적 조립체 정보모델을 개발하기 위한 첫 단계로서 우선 개념적 정보모델을 제시하고 그 타당성의 검증을 시도하고자 한다. 뿐만 아니라, 궁극적으로는 좀더 광범위한 제품 정보모델<sup>12)</sup>과의 통합도 지향하고 있다.

본 논문에서 제안된 개념적 조립체 모델은 조립체의 상하 계층구조와 관계형 조립정보인 기구학 및 조립 구속 조건, 그리고 공차 등의 정보를 통합적으로 표현하는 것을 목표로 한다. 공차, 기구학 및 조립 구속 조건은 기존의 표준 규약을 그대로 사용하여 모델링함으로써 추후 호환성을 고려하였다. 제시된 정보 모델은 객체지향적 모델링 기법에 기반하여 설계되었고 정보 모델링 언어로서는 UML(Unified Modeling Language)<sup>13)</sup>을 사용하였다. 제안된 정보모델을 이용하여 조립체에 관련된 여러 정보의 통합적 표현을 시도함으로써, 추후 더욱 구체적인 정보모델 및 표준 규약을 개발하기 위한 기반을 구축하는 데 유용할 것이다.

## 2. 조립체 정보 모델

본 연구에서 제안된 조립체 정보모델을 구성하는 주요 클래스 간의 관계가 Fig. 1의 클래스 다이어그램(class diagram)에 나타나 있다. 이 모델은 조립체의

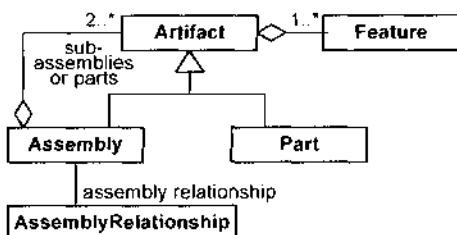


Fig. 1. Main schema of assembly.

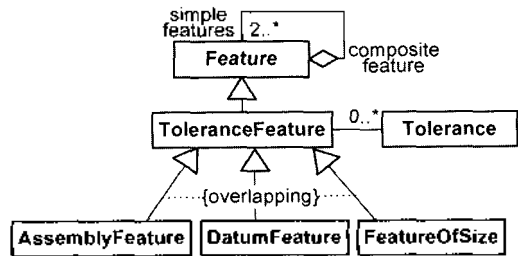


Fig. 2. Feature and its subclasses.

구성정보와 구성품 사이의 관계를 통합하여 표현하고 있다. 이 논문에서 정보모델을 기술할 때 클래스 이름은 볼드체로 표시되고, 클래스의 객체인 경우는 보통체로 표시하기로 한다.

**Artifact**는 설계의 개체로서, 제품 또는 그 구성품 등을 표현할 수 있는 최상위클래스이다. 이 클래스는 이들 제품 또는 그 구성품의 공통된 정보를 정의하고 지장할 수 있다. 예를 들면, 설계 사양, 기능, 형상, 재료, 거동 등의 정보를 포함할 수 있다<sup>12)</sup>.

**Artifact**로부터 상속된 (is-a/is-a-kind-of relationship) 하위클래스인 **Assembly**와 **Part**는 조립체(assembly)/하위조립체(subassembly), 그리고 부품(part) 등을 나타낸다. 어떤 조립체가 다른 조립체의 일부분을 구성하면 하위조립체가 되는데, 이러한 하위조립체도 **Assembly**로서 같이 표현된다. 조립체와 하위조립체/부품 간의 상하 구성관계(part-of relationship)는 전체-부분(whole-part)의 관계이므로 집합연관(aggregation)으로 표시한다. 하위조립체와 부품을 일반화(generalization)한 상위클래스가 **Artifact**이므로, 집합연관은 Fig. 1에서와 같이 **Assembly**와 **Artifact** 사이에 맺어진다. 이 연관의 다중성(multiplicity) 2..\*는 조립체는 최소한 2개 이상의 artifact(하위조립체 또는 부품)들로 구성되어야 함을 의미한다.

## 3. 특징 형상

특징형상(feature)은 어떤 artifact의 일부분으로서 순수한 기하학적인 형상뿐만 아니라 기능이나 재료 등의 정보도 포함할 수 있다<sup>12)</sup>. 이 특징형상은 Fig. 1의 **Feature**에 의해 표현된다. **Feature**는 **Artifact**와 전체-부분의 관계이므로 Fig. 1에 나타난 것과 같이 집합연관으로 표시되며, 다중성 1..\*는 artifact(즉, assembly와 part)가 최소한 1개 이상의 Feature로 구성됨을 나타낸다.

Fig. 2는 **Feature**와 그로부터 파생된 하위클래스들

을 보여준다. 먼저, 2개 이상의 단순 특징형상들이 모여 하나의 단위로서 복잡한 특징형상을 표현하는 복합 특징형상(composite feature)은 Fig. 2에서와 같이 재귀 집합연관(recursive aggregation)으로 표현된다.

**ToleranceFeature**는 공차정보를 가질 수 있는 특징형상을 나타내는데, 직접적으로 공차정보를 표현하는 **Tolerance**와 연관(association)을 갖는다. 이 클래스로부터 다시 몇 개의 하위클래스가 상속된다.

**AssemblyFeature**는 조립체의 구성품들 간의 상호 관계를 지정하는 데 사용되는 조립 특징형상을 나타낸다. 보통 해당 구성품의 기하학적 형상의 일부분으로 정의될 수 있다. 즉, 구성품의 꼭지점, 모서리, 면 또는 그것들의 조합으로 표현된다. 예를 들면, 베어링-축 조립체인 경우 베어링의 구멍과 축의 원통면이 조립 특징형상이 될 수 있다.

**DatumFeature**는 공차의 기준면(datum)을 지정하는 데 사용되는 기준 특징형상을 표현하며, **FeatureOfSize**는 구형 혹은 원추형 곡면의 반경, 두 평행한 면 사이의 거리 등과 같이 크기 치수와 관련된 특징형상을 표현한다.

이들 구체화된 하위클래스들은 서로 다른 타입(type)이지만, 어떤 특징형상은 동시에 여러 타입에 의해 기술되어야 할 경우가 있다. 예를 들면, 어떤 특징형상이 조립 특징형상인 동시에 기준 특징형상일 수도 있다. 이런 관계가 {overlapping}이라는 구속 조건으로 표현되어 있다. 실제 구현에 있어서는 가능한 조합의 클래스들을 다중 상속(multiple inheritance) 받아 새로운 클래스들을 정의할 수 있다.

#### 4. 조립 관계

어떤 조립체에서 (하위)조립체/부품의 상하 구성 계층구조(hierarchy)를 제외한 나머지 모든 관계는 Fig. 1의 **AssemblyRelationship**에 의해 표현된다. 예를 들면, 하위조립체/부품 간의 조립 구속 조건(assembly constraints), 기구학적 구속 조건(kinematic constraints) 등이 여기에 해당된다. **AssemblyRelationship**은 artifact들간의 관계를 나타내는 **ArtifactAssociation**으로 구성되는데, 이 연관은 Fig. 3과 같이 복합연관(composition)으로 나타낼 수 있다.

**ArtifactAssociation**은 일반적으로 2개 또는 그 이상의 artifact 사이의 관계를 표현한다. 하지만 예외적인 경우로서 단지 1개의 artifact만을 포함하기도 한다. 예를 들면, 조립체 전체를 공간 상에 고정시키기 위해서는 먼저 어떤 한 부품의 위치 및 방향을 절대 좌표

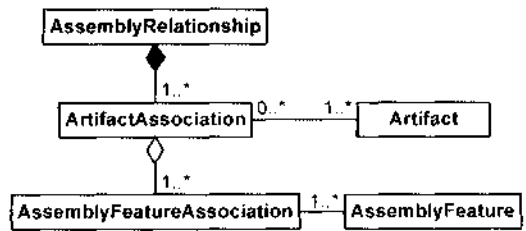


Fig. 3. Assembly relationship.

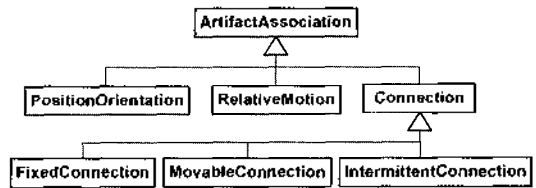


Fig. 4. Artifact association and its specializations.

계(world coordinate)에 대해 기술해야 하는데, 이런 경우에는 오직 하나의 artifact만이 연루된다(개념적으로는 해당 artifact와 ground 사이의 이항 관계라고도 생각할 수 있다). Fig. 3의 **Artifact** 쪽 다중성 1..\*은 이런 특수한 경우도 고려하고 있다.

Artifact들 사이의 구체적 관계는 조립 특징형상들 사이의 관계로 기술된다. 이런 조립 특징형상들 간의 관계를 나타내기 위해 **AssemblyFeatureAssociation**이 사용된다. 서로 연관을 갖는 artifact들은 동시에 여러 개의 특징형상 레벨에서 관계를 가질 수 있으므로, Fig. 3에 나타난 것과 같이 **ArtifactAssociation**은 **AssemblyFeatureAssociation**들의 집합연관으로 표현된다. 일반적으로 **AssemblyFeatureAssociation**은 2개 이상의 조립 특징형상들 사이의 관계를 기술하지만, 앞서 설명한 것과 같이 artifact association이 단 하나의 artifact만을 연루시키는 경우에는 관련된 assembly feature association도 단 하나의 assembly feature만을 관계시킨다. 따라서 Fig. 3에서와 같이 **AssemblyFeature** 쪽 다중성은 2..\*가 아니고 1..\*로 표현된다.

한편, **ArtifactAssociation**은 Fig. 4에 나타난 것과 같이 몇몇 하위클래스로 특화(specialization)된다. **PositionOrientation**은 물리적으로 연결되지 않은 artifact들 간의 상대적 위치와 방향을 표현한다. **RelativeMotion**은 물리적으로 연결되지 않은 artifact들 간의 상대적 운동 관계를 표현한다. 예를 들면, 로봇 end effector의 베이스 링크에 대한 상대적 운동을 기술하는 데 사용될 수 있다. **Connection**은 물리적으로 연결된 artifact들 사이의 관계를 표현하

는데, 다음과 같은 하위 클래스들로 더욱 특화된다. **FixedConnection**은 볼트/너트, 핀, 용접 등과 같은 고정된 연결 관계를 표현한다. **MovableConnection**은 서로 상대적으로 운동하는 연결 관계를 나타낸다. 전형적인 예로서는 기구학적 대우(kinematic pair) 관계를 생각할 수 있다. **IntermittentConnection**은 리미트 스위치나 압력밸브 등과 같은 간헐적 연결 관계를 나타낸다.

### 5. 조립 및 기구학적 운동조건

조립 특징형상들 간의 관계를 나타내는 **Assembly Feature Association**은 조립 구속 조건, 기구학 구속 조건(기구학적 대우), 기구학적 운동경로 등의 정보를 포함하고 있다. 이러한 정보들은 각각 해당 클래스에 의해 표현되는데, **AssemblyFeatureAssociation**은 Fig. 5에 나타난 것과 같이 이들 클래스들의 집합연관으로 표현된다. 이 클래스들의 다중성은 모두 0을 포함하고 있는데, 이것은 이 클래스들이 선택적으로 존재할 수 있음을 나타낸다. 즉, 관련된 특징형상들의 관계를 기술할 때, 필요한 경우에만 존재하고 관련이 없는 경우에는 존재하지 않는다.

**ParametricAssemblyConstraint**는 두 artifact 간의 기구학적 조립 구속 조건을 지정한다. 어떤 artifact의 위치와 방위를 조절하기 위한 구속 조건은 여러개가 필요하기 때문에 다중성은 0..\*로 표현된다. 이 구속 조건은 ISO 10303 Part 108<sup>[5]</sup>에 정의되어 있다. **ParametricAssemblyConstraint**로부터 특화된 구체적인 구속 조건들로서 **FixedComponent**, **Parallel**, **ParallelWithDimension**, **SurfaceDistanceWithDimension**, **AngleWithDimension**, **Perpendicular**, **Incidence**,

**Coaxial**, **Tangent** 등이 있다. 자세한 내용은 참고문헌<sup>[5,14]</sup>을 참조하기 바란다.

**KinematicPair**는 두 artifact 사이의 조인트(joint)에 서기구학적 구속 조건을 정의한다. 기구학적 대우에 관해서는 ISO 10303 Part 105<sup>[6]</sup>에 정의되어 있다. Fig. 6은 조인트에서 기구학적 대우를 기술하기 위해 존재하는 상위클래스들 간의 관계를 보여주고 있다. **PairFrame**은 조인트에서 각각의 링크에 부착되어 있는 좌표계를 나타낸다. **PairRange**는 조인트 변수의 허용되는 운동 범위를 나타내며, **PairValue**는 조인트 변수의 현재 값을 표현한다. 기구학적 대우의 구체적인 타입은 **KinematicPair**로부터 특화된 **RevolutePair**, **PrismaticPair**, **GearPair** 등의 총 17가지의 클래스에 의해 구체적으로 기술된다. 참고문헌<sup>[6,14]</sup>에 자세한 내용이 기술되어 있다.

**KinematicPath**는 두 artifact 간의 상대적 운동을 정의하는 데 사용된다. 이것 역시 앞에서 설명한 ISO 10303 Part 105에 기술되어 있는데, 기구학적 운동 경로와 변환을 표현하기 위한 여러 클래스들이 정의되어 있다. 자세한 내용은 참고문헌<sup>[6,14]</sup>을 참조하기 바란다.

### 6. 공 차

앞서 3장에서 설명한 것과 같이 본 연구에서 도입된 특징형상들은 공차정보를 포함할 수 있는데, 이러한 공차에 대해서는 ANSI/ASME Y14.5M-1994 표준<sup>[7]</sup>에 정의되어 있다. 공차 표현을 위한 구체적인 정보 모델링은 본 논문의 범위를 벗어나므로 생략하고 여기서는 필요한 부분에 대해서만 설명하기로 한다.

공차정보는 **Tolerance**에 의해 기술되는데, Fig. 7과 같이 치수공차를 나타내는 **DimensionalTolerance**와 기하공차를 나타내는 **GeometricTolerance**로 특화된 다. **GeometricTolerance**는 다시 **FormTolerance**,

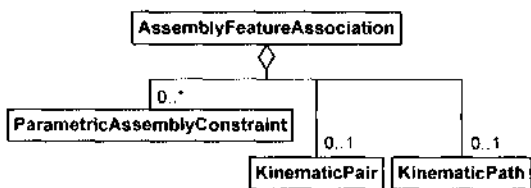


Fig. 5. Assembly feature association and its aggregations.

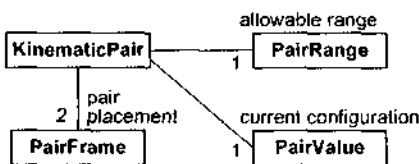


Fig. 6. Kinematic pair.

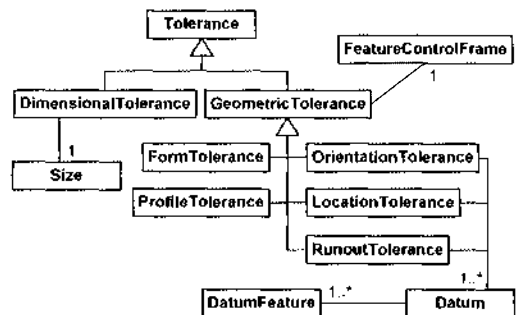


Fig. 7. Tolerance and its specializations.

**ProfileTolerance, OrientationTolerance, LocationTolerance, RunoutTolerance** 등으로 특화된다. Fig. 7 에는 나타나 있지 않지만, 이들 클래스는 다시 상속되어 더 세분화된 클래스들로 특화될 수 있다. 예를 들면, **FormTolerance**는 **StraightnessTolerance, FlatnessTolerance, CircularityTolerance, CylindricityTolerance** 등으로 특화된다.

**DimensionalTolerance**는 크기에 관한 정보를 제공하므로 Fig. 7와 같이 **Size**와 연관을 갖는다. 한편, **GeometricTolerance**는 기하학적 특성, 최대/최소 물질 허용조건, 기준 등의 정보를 포함하고 있는 **FeatureControlFrame**과 연관을 갖는다.

기하공차 중에서 **OrientationTolerance, LocationTolerance** 및 **RunoutTolerance**는 공차 정보를 표현하기 위해 기준(점, 직선, 면)이 필요하므로 **Datum**과 연관을 갖고, **Datum**은 자신을 설정하기 위한 물리적 특징형상을 의미하는 **DatumFeature**와 연관을 갖는다.

## 7. 사례 연구

### 7.1 계층구조 정보 모델

본 연구에서 개발한 정보 모델을 Fig. 8(a)의 유성기어 감속기 조립체에 대해 적용해 보았다. 유성기어

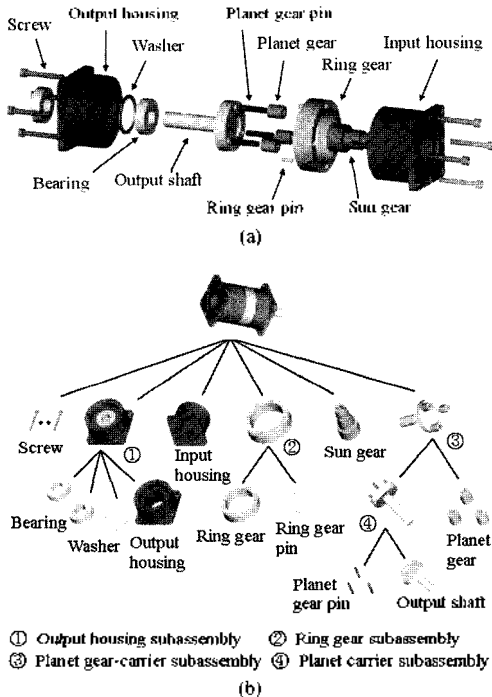


Fig. 8. A planetary gear system and its assembly hierarchy.

감속기는 Fig. 8(b)와 같은 조립 계층구조를 갖는다고 가정한다. 이 계층구조는 단지 조립관계를 설명하기 위해 가정한 것이고, 실제 조립순서와는 무관하다. 이 유성기어는 가장 상층에서는 입력측 하우징, 태양기어, 나사 등의 파트들과 다음에 설명되는 3개의 하위 조립체로 구성된다.

- (1) Fig. 8(b)의 ①: 출력측 하우징 하위조립체는 2개의 베어링, 와셔, 출력측 하우징 등으로 구성된다.
- (2) Fig. 8(b)의 ②: 링기어 하위조립체는 링기어와 2개의 링기어 핀으로 구성된다.
- (3) Fig. 8(b)의 ③, ④: 유성기어 캐리어 하위조립체는 캐리어 하위조립체와 3개의 유성기어로 구성되며, 캐리어 하위조립체는 다시 3개의 유성기어 핀과 출력축으로 구성된다.

이러한 조립체의 계층구조는 Fig. 9와 같은 인스턴스 다이어그램(instance diagram)으로 표현될 수 있다. 루트노드는 전체 조립체, 중간노드들은 하위조립체, 그리고 잎노드들은 파트를 나타낸다.

### 7.2 관계형 정보 모델

앞에서 설명한 유성기어 조립체의 상하 계층구조를 제외한 다른 수평적 관계형 정보는 Fig. 9의 우측 상단에 표시된 것과 같이 **AssemblyRelationship**의 객체인 **assemblyRelations**에 저장된다. 이 조립체의 각 하위조립체 및 파트 사이에는 여러 가지 종류의 관계가 존재하는데, 그 중에서 대표적인 것들을 예를 들어 살펴 보자.

#### 7.2.1 파트-파트 연관관계: 출력측 하우징 하위조립체

Fig. 8(b)의 ①에 있는 출력측 하우징 하위조립체를 구성하는 구성품들 사이의 조립관계 중 일부가 Table 1에 나타나 있다.

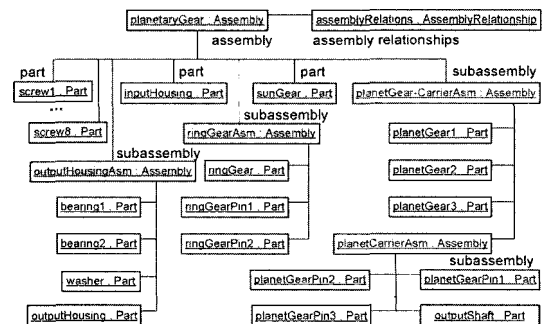
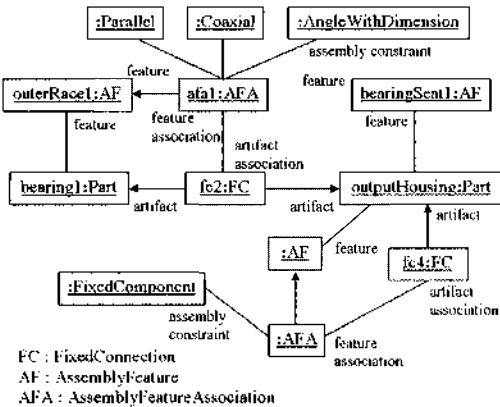


Fig. 9. Instance diagram of the planetary gear system.

**Table 1.** Assembly relationships of output housing assembly

AA	Artifacts	AFs	ACs
fc2	Output housing	Inner cylinder (bearingSeat1:AF)	Coaxial Parallel Angle w/dimension
	Bearing1	Rim of bearing (outerRace1:AF)	
fc4	Output housing	Entire part	FixedComponent

\*AA: Artifact Association, AFs: Assembly Features, ACs: Assembly Constraints



**Fig. 10.** Instance diagram of output housing assembly.

먼저, 첫 번째 행의 하우징과 베어링 사이의 조립 관계를 살펴 보자. 이 두 부품은 역시 끼워맞춤에 의해 고정 상태로 조립되기 때문에, 이 두 부품의 조립 관계를 표현하는 artifact association은 Fig. 4의 클래스 계층구조 중에서 **Connection**의 하위 클래스인 **FixedConnection**에서 실체화(instantiation)되며, 이 객체는 fc2로 이름 붙여졌다. 이 두 부품 사이의 자세한 조립정보는 해당 assembly feature association에 의해 표현되는데, 관련된 조립 특징형상과 포함된 정보인 조립 구속 조건이 Table 1에 나타나 있다. 이 조립 구속 조건은 베어링의 위치와 방위를 출력축 하우징에 대해 고정시키는 데 필요한 것들이다. 앞서 설명한 조립 관계들을 표현하기 위한 객체들과 그들 간의 관계가 Fig. 10의 인스턴스 다이어그램에 나타나 있다.

한편, 유성기어 조립체 전체를 공간 상에 위치시키기 위해서는 최소한 하나의 부품은 그 위치와 방위가 공간 상에서 고정되어야 한다. 이 예에서 출력축 하우징이 그 역할을 한다고 가정한다면, 이 부품은 **FixedComponent**라는 조립 구속 조건을 가져야 한다. Table 1의 artifact association fc4가 이 조립관계를 나타낸다. 이 경우에는 연관된 artifact 및 조립 특징형상이 단 1개씩만 존재한다(함축적으로 ground가 다른 상대방 artifact라고 생각할 수도 있다). 이 조립정보를 표현하는 데 필요한 객체들과 그들 간의 관계도 역시 Fig. 10에 나타나 있다.

7.2.2 하위조립체-하위조립체 연관관계: 출력축 하우징과 유성기어 캐리어 하위조립체

Fig. 8(b)의 조립 계층구조에서 ①번 출력축 하우징 조립체와 ③번 유성기어 캐리어 하위조립체 사이의 조립관계를 살펴 보자. 이 관계는 Fig. 8(a)에서와 같이 유성기어 캐리어 하위조립체의 출력축이 출력축 하우징 하위조립체의 베어링 속으로 결합되면서 이루어진다. 이 조립관계에 대한 구체적 내용이 Table 2와 Fig. 11에 나타나 있다. 해당 artifact association mc4는 상대적 운동을 하는 물리적 연결관계를 나타내므로 Fig. 4의 클래스 계층구조 중 **MovableConnection**에서 실체화된다. 여기에는 조립체를 공간 상에 위치시키기 위한 조립 구속 조건과 두 조립체 사이의 상대적 운동을 기술하기 위한 기구학적 구속 조건 (`rp5:RevolutePair`) 등 2가지 종류의 조립정보가 포함되어 있다.

**Table 2.** Assembly relationships between output housing assembly and planet gear-carrier assembly

AA	Artifacts	AFs	ACs	KCs
mc4	Planet gear-carrier assembly	Bearing seat of output shaft surface (bearingSeat3 : AF)	Coaxial Parallel	Relative motion (rp5:RevolutePair)
	Output housing assembly	Inner race surface of bearing (innerRace1 : AF)		
		Inner race surface of bearing (innerRace2 : AF)		

\*KCs: Kinematic Constraints

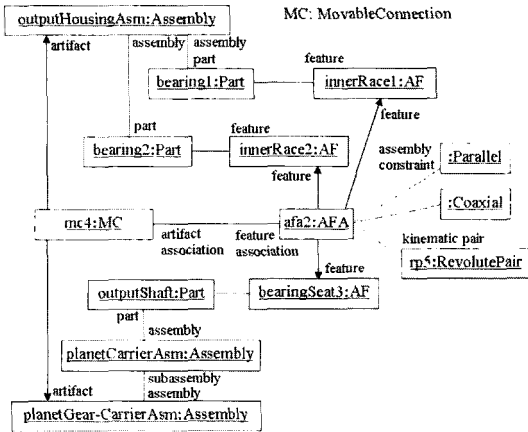


Fig. 11. Instance diagram between output housing assembly and planet gear-carrier assembly.

Artifact association mc4는 표면적으로는 2개의 artifact(이 경우는 2개의 하위조립체)를 연관시키고 있지만, 이 관계를 구체적으로 표현하는 afa2:AFA를 통해 본다면 3개의 조립 특징형상을 연관시키고 있고, 최종적으로는 출력축과 베어링 2개 등 총 3개의 파트가 이 조립관계에 참여하고 있음을 알 수 있다.

이 예에서와 같이 본 연구에서 도입된 artifact association이나 assembly feature association들은 2개의 개체에 대한 이항관계뿐만 아니라 3개 이상의 개체에 대한 관계도 표현할 수 있다. 하지만, 기존의 STEP에서 제시된 조립 구속 조건이나 기구학적 구속 조건들은 모두 이항관계를 전제로 하고 있어 모순이 발생한다. 하지만 현재 본 연구에서 다루는 것은 개념적 모델이기 때문에, Fig. 11의 예에서처럼 3개의 특징형상(그에 따른 3개의 파트)을 연관시키고 있는 afa2:AFA에 이항관계인 조립 및 기구학적 구속 조건을 바로 연결시키는 것이 허용된다고 할 수 있다. 그러나, 좀더 구체적인 사양 모델이나 구현모델을 정의하는 경우에는 이에 대한 고려가 필요하다는 것을 밝혀 준다.

7.2.3 파트-하위조립체 연관관계: 태양기어/유성기어 캐리어 하위조립체

Fig. 8의 조립 계층구조에서 태양기어와 ③번 유성기어 캐리어 하위조립체 사이의 조립관계 중에서 조

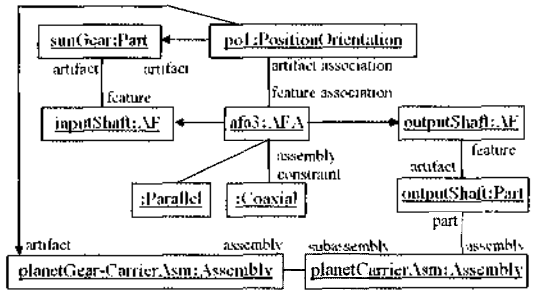


Fig. 12. Instance diagram between sun gear and planet gear-carrier assembly.

립 구속 조건에 대해 살펴 보자. 태양기어를 공간 상에 위치 시키기 위해 유성기어 캐리어 하위조립체의 출력축을 기준으로 사용한다고 가정한다. 이때, 주목할 점은 태양기어와 출력축이 서로 물리적으로 연결되어 있지 않다는 점이다. 따라서 이 관계를 나타내기 위해 Fig. 4의 계층구조에서 Connection의 하위클래스들을 사용할 수 없다는 것이다. 대신 서로 떨어진 2개의 artifact들 사이의 상대적 위치와 방향을 표현하기 위한 PositionOrientation을 실체화시켜 사용할 수 있다. 이 조립관계에 관련된 객체들과 그들 간의 관계가 Table 3와 Fig. 12에 나타나 있다.

7.3 공차 정보 모델

제한된 정보 모델에서 공차정보를 표현하는 예를 살펴보자. Fig. 13은 태양기어에 공차를 지정한 도면

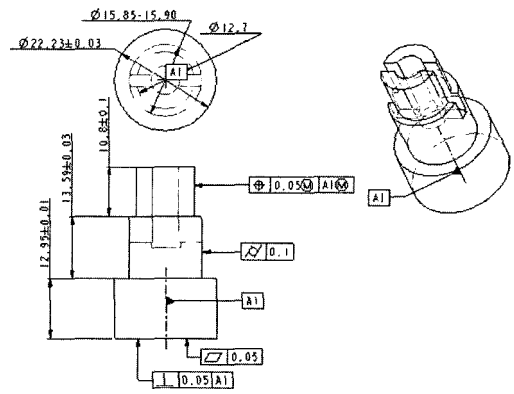
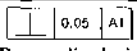
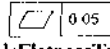
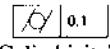
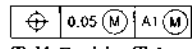


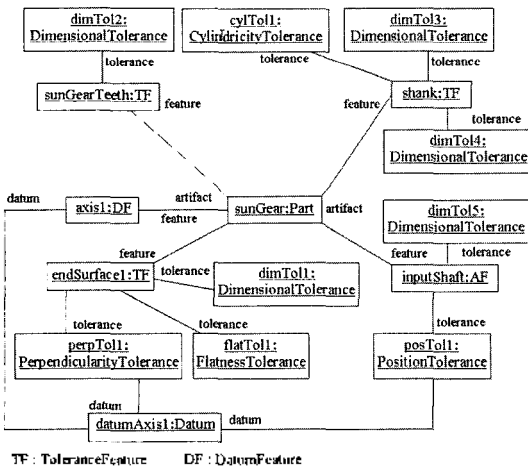
Fig. 13. Tolerance specification of sun gear.

Table 3. Assembly relationships of between sun gear and planet gear-carrier assembly

AA	Artifacts	AFs	ACs
po1	Planet gear-carrier assembly	Shaft surface (outputShaft:AF)	Coaxial Parallel
	Sun gear	Shaft surface (inputShaft: AF)	

**Table 4.** Tolerances and relevant features of sun gear

Features	Tolerance	Feature Control Frames/ Dimensional Tolerances
Datum axis A1 (axis1:DF)	N/A	N/A
End surface (endSurface:TF)	Perpendicularity tolerance	 (perpTol1:PerpendicularityTolerance)
	Flatness tolerance	 (flatTol1:FlatnessTolerance)
	Dimensional tolerance	$(\phi 22.23) \pm 0.03$ (dimTol1:DimensionalTolerance)
Sun gear teeth (sunGear:TF)	Dimensional tolerance	$(12.95) \pm 0.01$ (dimTol2:DimensionalTolerance)
Shank (shank:TF)	Cylindricity tolerance	 (cylTol1:CylindricityTolerance)
	Dimensional tolerance	$(13.59) \pm 0.03$ (dimTol3:DimensionalTolerance)
	Dimensional tolerance	$\phi 15.85 - \phi 15.90$ (dimTol4:DimensionalTolerance)
Input shaft* (inputShaft:AF)	Position tolerance	 (posTol1:PositionTolerance)
	Dimensional tolerance	$(10.80) \pm 0.10$ (dimTol5:DimensionalTolerance)



**Fig. 14.** Instance diagram of tolerances of sun gear.

이다. 이 예에서는 축(A1)이 기준선으로 사용되었고, 태양기어에 대한 치수공차와 기하공차가 예시되어 있다. 이 도면에 나타나 있는 공차정보와 이를 표현하기 위한 특징형상들이 Table 4에 정리되어 있다.

Fig. 14의 인스턴스 다이어그램은 관련된 객체들과 그들 간의 관계를 보여준다. 치수공차의 객체는 모두 **DimensionalTolerance**로부터 실체화되며, 기하공차들은 6장에서 설명한 클래스들로부터 실체화 된다. 이

들 중에서 직각도(perpTol1:PerpendicularityTolerance)와 위치도(posTol1:PositionTolerance)의 경우는 공차를 지정하기 위해 기준축 A1이 필요하므로, 이 기준축의 객체(datumAxis1:Datum)가 **Datum**으로부터 실체화되어 해당 객체들에 링크되어 있다. 또한, 이 기준축과 연관된 기하학적 특징형상(axis1:DF)이 **DatumFeature**로부터 실체화되어 서로 링크되어 있다.

이 예에서와 같이 공차정보를 갖는 특징형상들은 Fig. 2의 특징형상 계층구조에서 **ToleranceFeature**로부터 실체화(endSurface:TF; sunGear:TF; shank:TF)된다. 만약 공차정보를 포함하는 외에 추가적인 역할을 더 수행해야 하는 경우에는 Fig. 2의 클래스 계층구조에서 좀더 전문화된 하위클래스로부터 실체화할 수 있다. 예를 들면, Table 4의 마지막 행에 있는 입력축 특징형상(inputShaft:AF)은 치수공차와 위치공차 등의 정보 외에 assembly feature association에 참여하는 조립 특징형상의 역할(7.2.3장에서 태양기어의 위치와 방향을 지정하기 위해 사용되었다)도 수행하므로 **AssemblyFeature**로부터 실체화되어야 한다. 한편, **DatumFeature**의 객체인 axis1:DF의 경우와 같이 **ToleranceFeature**의 하위클래스라도 관련된 공차가 없는 경우에는 공차정보를 가지지 않을 수도



있다. 이런 상황은 Fig. 2에서 **ToleranceFeature**와 **Tolerance** 사이의 연관에서 **Tolerance** 쪽 다중성 0..\*에 의해 모델링되어 있다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 조립체 정보를 표현하기 위한 객체 지향적, 개념 정보 모델을 제시하였다. 제안된 정보 모델은 기존의 계층적 조립관계뿐만 아니라, 조립 특징 형상을 도입함으로써 기구학 및 조립 구속 조건, 공차 정보도 함께 통합적으로 표현할 수 있다. 먼저, 조립체 및 조립 관계를 구성하는 각종 클래스들을 정의하고 이들 간의 연관관계를 클래스 다이어그램을 이용하여 모델링하였다. 그리고 유성기어 시스템에 대해 적용하여 관련된 객체들과 그들 간의 조립관계를 인스턴스 다이어그램을 이용하여 구체적으로 도시해 봄으로써 제안된 정보 모델의 타당성을 검증해 보았다.

제안된 정보 모델은 객체지향적 방법론에 기반하여 설계되어 개방성, 확장성 및 재사용성이 뛰어나다. 그리고, 조립체의 기구학적 분석, 공차 분석 및 합성, 조립 순서 생성 및 시뮬레이션 등의 응용에 필요한 정보를 통합적으로 표현하고 교환할 수 있는 토대를 제공해 줄 수 있다. 이러한 통합적 정보 모델을 통하여 CAD 시스템과 공차 및 기구 분석용 CAE 시스템들 사이에 관련된 정보를 효율적으로 공유할 수 있으며, 데이터 교환 과정의 정보 유실 및 그에 따른 재작업 등의 비효율성을 극복할 수 있다. 뿐만 아니라, 개별적 표준 규약들을 기반으로 개발되었기 때문에, 추후 조립체 정보 교환을 위한 표준적 정보 모델을 개발하는 데도 유용하게 사용될 수 있다.

본 연구에서 제안된 정보 모델은 조립체의 통합적 정보 표현을 위한 추상적 개념 모델로서, 추후 수정과 확장을 통하여 더욱 개선, 향상되어야 하는 초안 모델이라는 한계를 가지고 있다. 예를 들면, 본 정보 모델에서 사용하는 특정 형상은 해당 개념만 도입되었을 뿐이므로 추후 더 구체적인 레벨의 하위 클래스까지 정의해야 할 필요가 있다. 본 연구에서는 비록 사례 연구를 통하여 제안된 정보 모델의 타당성에 대해 추상적 레벨에서 검증은 하였지만, 제안된 개념 정보 모델을 더욱 구체화시켜 사양 모델 및 구현 모델을 개발하고 실제 구현하여 여러 CAD 및 공학 해석 시스템 간의 정보 교환 가능성 및 그 효율성을 시험, 평가해 볼 필요가 있다. 이런 점들은 추후 연구를 통해 해결되어야 할 과제이다.

## 감사의 글

본 연구는 미국 표준기술연구소(NIST)의 Open Assembly Design Environment (OpenADE) 프로젝트의 일환으로 수행되었으며, 본 연구를 수행하는 데 많은 조언과 도움을 준 SudarsanRachuri, Shaw C Feng, Fujun Wang, Ram D Sriram, Kevin W Lyons 에게 감사의 뜻을 전합니다.

## 참고문헌

1. ISO, ISO 10303-44: 2000, *Industrial Automation Systems and Integration -- Product Data Representation and Exchange -- Part 44: Integrated Generic Resource: Product Structure Configuration*, 2000.
2. ISO, ISO 10303-42: 2000, *Industrial Automation Systems and Integration -- Product Data Representation and Exchange -- Part 42: Integrated Generic Resource: Geometric and Topological Representation*, 2000.
3. Sugimur, N., ISO 'TC184/SC4/WG12 N597, *JNC Proposal of STEP Assembly Model for Mechanical Products*, June 2000.
4. ISO, ISO/DIS 10303-109, *Industrial Automation Systems and Integration -- Product Data Representation and Exchange -- Part 109: Integrated Application Resource: Kinematic and Geometric Constraints for Assembly Models*, June 2004.
5. ISO, ISO/DIS 10303-108, *Industrial Automation Systems and Integration -- Industrial Data -- Part 108: Integrated Application Resources: Parameterization and Constraints for Explicit Geometric Product Models*, Sep. 2003.
6. ISO, ISO 10303-105: 1996, *Industrial Automation Systems and Integration -- Product Data Representation and Exchange -- Part 105: Integrated Application Resource: Kinematics*, 1996.
7. ANSI/ASME, ANSI/ASME Y14.5M-1994, *Dimensioning and Tolerancing*, 1994.
8. Whitney, D. E. and Mantripragada, R., "The Datum Flow Chain: A Systematic Approach to Assembly Design and Modeling", *Proc. ASME Design Engineering Technical Conferences*, DETC98/DFM-5713, 1998.
9. Heissermann, J. and Mattikalli, R., "Representing Relationships in Hierarchical Assemblies", *Proc. ASME Design Engineering Technical Conferences*, DETC98/DFM5749, ASME, 1998.
10. Mantyla M., *A Modeling Environment for Top-down Design of Assembled Products*, Technical Report RC 15250 (68063) IBM T.J. Watson Research Center,

- 1989.
11. Rochleau, D. N. and Lee, K., "System for Interactive Assembly Modelling", *Computer-Aided Design*, Vol. 19, No. 2, pp. 65-72, 1987.
  12. Fenves, S. J., *A Core Product Model for Representing Design Information*, Tech. Rep. NISTIR 6736, April 2001
  13. Booch, G., Jacobson, I. and Rumbaugh, J., *The Unified Modeling Language User Guide*, Addison Wesley, 1999.
  14. Rachuri, S. and Han, Y. *et al.*, "Object-Oriented Representation of Electro-Mechanical Assemblies Using UML", Tech. Rep. NISTIR 7057, October 2003.



### 한영현

1989년 서울대학교 기계설계학과 학사  
 1993년 서울대학교 기계설계학과 석사  
 1999년 서울대학교 기계설계학과 박사  
 1999년~2000년 (주)아이너스기술 객원연구원

2000년~2001년 미국 University of Wisconsin - Madison 방문연구원  
 2001년~2003년 미국 표준기술연구소 (NIST) 객원연구원

2003년~현재 (주)아이너스기술 연구위원  
 관심분야: Reverse engineering, Geometric & Solid modeling,  
 Intelligent CAD, Design theory and methodology