

<응용논문>

DOI <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-A.2016.40.4.397>

ISSN 1226-4873(Print)
2288-5226(Online)

Aveva Marine과 SmartMarine 3D 간의 해양 플랜트 3D 배관 CAD 모델 유사도 평가 시스템 개발

이재선* · 김병철** · 김형기*** · 천상욱**** · 조민철**** · 이 광**** · 김진현* · 문두환† · 한순흥*****

* 경북대학교 정밀기계공학과, ** 동아대학교 기계공학과, *** 한국기계연구원 기계시스템안전연구본부, **** 대우조선해양 정보기술연구소, ***** 한국과학기술원 해양시스템공학과

Development of a Similarity Evaluation System for Offshore Plants' 3D Piping CAD Models Created Using Aveva Marine and SmartMarine 3D

Jaesun Lee*, Byung Chul Kim**, Hyungki Kim***, Sanguk Cheon****, Mincheol Cho****, Gwang Lee****, Jin-Hyun Kim*, Duhwan Mun† and Soonhung Han*****

* Dept. of Precision Mechanical Engineering, Kyungpook Nat'l Univ.,

** Dept. of Mechanical Engineering, Dong-A Univ.,

*** Mechanical Systems Safety Research Division, Korea Institute of Machinery and Materials,

**** Information Technology Research Institute, Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd.,

***** Division of Ocean Systems Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology

(Received August 28, 2015 ; Revised January 28, 2016 ; Accepted February 1, 2016)

Key Words: 3D Design(3D 설계), Aveva Marine(아비바 마린), Evaluation Metrics(평가척도), Offshore Plant(해양 플랜트), SmartMarine 3D(스마트마린 3D)

초록: 해양 플랜트의 설계·건설·운영 과정에 참여하는 다수의 이해관계자들은 일반적으로 서로 다른 플랜트 3D CAD 시스템을 사용한다. 그리고 플랜트 설계 및 건조 업체는 플랜트 주문주에게 설계 결과물로 계약서에 명시된 형식의 플랜트 3D CAD 모델을 납품해야 한다. 그러나 플랜트 3D CAD 시스템에서 제공되는 데이터 교환 기능의 제약으로 인해서 플랜트 설계 및 건조 업체는 많은 경우 계약서에 명시된 형식에 맞게 해양 플랜트 3D 모델을 수작업으로 다시 모델링을 하여 납품한다. 따라서 수작업으로 리모델링된 3D CAD 모델의 정확도를 검증하기 위해 원본 플랜트 3D CAD 모델과 재모델링된 플랜트 3D CAD 모델간의 비교를 해야 한다. 이를 위해 해양 3D CAD 모델의 유사도를 정량적으로 평가하는 시스템을 개발하였다. 이 논문에서는 시스템의 구조 및 세부 기능을 설명한다. 그리고 비교 시스템을 이용한 실험 결과에 대해서 설명한다.

Abstract: Diverse stakeholders engaged in design, construction, and operation and maintenance of offshore plants typically operate heterogeneous plant 3D CAD systems. Engineering, procurement, and construction (EPC) companies are required to submit plant design result to the owner in the form of a plant 3D CAD model, as specified in the contract. However, because of the limitations of data interface of plant 3D CAD systems, EPC companies frequently perform manual remodeling to fulfill the terms and conditions of the contract. Therefore, comparison should be performed between the source plant 3D CAD model and the remodeled plant 3D CAD model to prove the validity of the remodeled plant 3D CAD model. To automate the comparison process, we have developed a system for quantitatively assessing the similarity of the plant 3D CAD models. This paper presents the architecture and detailed functions of the system. In addition, experimental results using this system are explained.

1. 서론

† Corresponding Author, dhmun@knu.ac.kr

시화 기술의 발전에 따라 3D CAD 모델은 제품 개발, 공학 시뮬레이션, 가상 시작 등의 많은 분야에서 광범위하게 사용되고 있다. 이와 같은 흐름에 발맞춰 조선해양 산업에서도 선박 및 해양 플랜트의 설계, 시공, 및 유지보수 과정에서 3D CAD 모델을 적극적으로 활용하고 있다.

해양 플랜트의 설계·건조·운전 과정에 참여하는 다수의 이해관계자들은 일반적으로 서로 다른 플랜트 3D CAD 시스템을 사용한다. 그리고 플랜트 설계 및 건조 업체는 플랜트 주문주에게 설계 결과물로 계약서에 명시된 형식의 플랜트 3D CAD 모델을 납품해야 한다. 그러나 플랜트 3D CAD 시스템에서 제공되는 데이터 교환 기능의 제약으로 인해서 플랜트 설계 및 건조 업체는 많은 경우 계약서에 명시된 형식에 맞게 해양 플랜트 3D 모델을 수작업으로 다시 모델링을 하여 납품한다. 따라서 원본 플랜트 3D CAD 모델과 재모델링된 플랜트 3D CAD 모델간의 유사도 평가 시스템이 필요하다.

플랜트 3D CAD 모델은 3D 형상 정보뿐만 아니라 기자재 사양, 플랜트 논리적 구성, 포트 등의 비형상 정보도 다수 포함하고 있다. 특히 플랜트 3D CAD 시스템의 기자재 카탈로그에 저장된 기자재의 3D 형상은 동일 회사 내에서도 시스템마다 다르기 때문에 3D 형상의 비교만으로 플랜트 3D CAD 모델의 유사도를 평가하는 데에는 한계가 있다. 따라서 플랜트 3D CAD 모델의 비교를 위해서는 3D 형상의 유사도 비교뿐만 아니라 비형상 정보의 유사도 비교를 동시에 수행해야 한다. 그리고 두 항목간의 유사도를 종합적으로 고려하여 유사도를 정량적인 값으로 제시할 수 있어야 한다.

이 논문에서는 해양 플랜트 3D 설계 모델간의 유사도 평가 지원 시스템의 설계 및 개발 과정을 설명한다. 형상 정보 비교를 위해서 3D 형상 비교 방법 중 하나인 형상 분포(shape distributions) 기반 비교 방법⁽¹⁷⁾을 적용하였다. 그리고 형상 정보의 유사성과 비형상 정보의 유사성을 종합적으로 고려하는 유사도 평가 척도를 개발하였다. 그리고 개발된 평가 척도를 기반으로 해양 플랜트 3D 배관 CAD 모델간의 유사도를 정량적으로 평가하는 시스템을 개발하였다. 개발한 시스템의 유용성은 실제 배관 설계 모델을 대상으로 한 유사도 평가 실험을 통해서 검증하였다. 유사도 평가 실험은 국내 조선소가 사용하는 Aveva Marine⁽⁴⁾에서 생성된 3D 배관 CAD 모델과 납품을 하기 위해서 수

작업으로 재모델링된 SmartMarine 3D⁽⁵⁾의 3D 배관 CAD 모델을 대상으로 수행 하였다.

이 논문은 다음과 같이 구성된다. 2절에서는 3D 형상 비교에 관한 기존 연구들을 분석한다. 3절에서는 해양 플랜트 3D 배관 모델을 분석하고 이를 기반으로 유사도 평가 척도를 정의한다. 4절에서는 유사도 평가 시스템의 요구 사항을 정의하고 이를 기반으로 비교 시스템을 설계한다. 5절에서는 유사도 평가 시스템 프로토타입을 구현하고 Aveva Marine과 SmartMarine 3D의 3D 배관 CAD 모델에 대한 유사도 평가 실험 결과를 제시한다. 마지막으로 6절에서 결론을 맺고 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 관련 연구

두 개의 3D 형상 모델을 비교하기 위해서는 각각의 3D 형상 모델로부터 형상에 관한 특징 정보를 담고 있는 형상 디스크립터(shape descriptor)를 생성한 후 이 형상 디스크립터를 비교하여 3D 형상 모델의 유사도를 계산한다.⁽⁶⁾ 유사도 비교 방법은 형상 디스크립터의 생성 시 사용되는 입력 데이터에 따라서 구분된다. 유사도 비교 방법은 전역 특징형상 기반, 제조 특징형상 기반, 그래프 기반, 3D 객체 인식 기반, 히스토그램 기반, 제품 정보 기반 방법으로 구분된다.⁽⁷⁾

Paquet 등⁽⁸⁾은 3D 형상 매칭을 위해서 객체의 대략적인 형상, 크기, 복합 특성(composition properties)을 표현하는 간략한 방법을 제안하였다. Ramesh 등⁽⁹⁾은 기계 부품의 검색을 위해서 기계 가공 특징형상 기반 유사도 비교 방법을 제안하였다. El-Mehalawi 와 Miller⁽¹⁰⁾은 공학 부품의 CAD 모델을 비교하기 위해 그래프를 생성하는 표현 기법을 제시하였다. Horn⁽¹¹⁾은 물체 인식에 적합하도록 곡면의 형상을 표현하는 유용한 확장된 가우시안 이미지(extended Gaussian images)를 보고하였다.

Hermann 등⁽¹²⁾은 공정 계획의 유사도를 명시적으로 계산하여 변성형 공정 계획(variant processing planning)을 개선시키기 위해서 계획 기반 설계 유사도 척도를 제안하였다. Rodríguez와 Egenhofer⁽¹³⁾는 요소(element) 자체의 유사성 및 요소의 이웃에 대한 유사성을 계산하는 의미적(semantic) 유사도 측정 방법을 제안하였다. Alizon 등⁽¹⁴⁾은 부품의 유사도 측정을 위한 지식 재활용 절차를 제안하였다. Mun 등⁽¹⁵⁾은 부품의 유사도 비교 결과의 정확성을 개선하기 위해서 온톨로지와 다기준

의사결정 방법을 활용하여⁽¹⁴⁾에서 제안된 방법을 개선하였다.

히스토그램 기반 방법에서는 3D 모델에서 무작위로 샘플 포인트를 선택하고 샘플링된 점들로부터 특징을 추출하여 각 특징의 발생 빈도를 나타내는 히스토그램 또는 분포를 생성한다. Osada 등⁽¹⁶⁾은 3D 메쉬 모델을 비교하기 위해서 형상 분포를 이용하여 물체의 특징을 표현하는 방법을 제안하였다. 이 방법의 장점으로서는 간결한 디스크립터로 신속한 비교가 가능하다는 점, 상위 수준의 정보(예로, 특징형상 정보나 경계 표현 모델)를 필요로 하지 않아 범용적으로 적용 가능하다는 점, 회전 및 이동에 독립적인 비교가 가능한 점이 있다. Ohbuchi 등⁽¹⁷⁾은 D2 형상 함수를 기반으로 계산된 각도-거리(및 절대 각도-거리) 히스토그램을 적용하여 Osada 등⁽¹⁶⁾이 제안한 방법을 개선하였다. Tangelder 와 Veltkamp⁽¹⁸⁾는 형상 디스크립터로 가중치가 부여된 점 집합을 사용하였다. Hwang 등⁽¹⁹⁾은 RDS(ray distance to surface)와 NRDS(normalized ray distance to surface)을 이용하는 형상 유사도 측정 방법을 제안하였다.

Osada 등이 제안한 형상 분포 기반 비교 방법은 형상의 전체적인 특성은 비슷하지만 국부적인 형상이 다른 경우에 좋지 않은 유사도 비교 결과를 내며 3D CAD 모델이 복잡해 질수록 형상 분포가 세부 형상과 관계없이 중 모양의 정규 분포를 갖는다.⁽²⁰⁾ 이 문제를 해결하기 위해서 Ip 등은 4가지 종류의 점들의 쌍(point-pair)에 대해서 각각 형상 분포를 생성하고 이들을 형상 디스크립터로 사용하는 방법을 제안하였다. Cheng 등⁽²¹⁾은 형상 분포와 감법 특징형상 분해를 통합한 새로운 유사도 측정 방법을 제안하였다. 이와 유사하게, Chu와 Hsu⁽²²⁾는 특징형상 인접 그래프, 위상 그래프, 형상 분포를 모두 사용하는 통합된 유사도 측정 방법을 제안하였다.

3D 형상 비교 기술이 적용된 상업용 시스템으로는 CADENAS사의 PARTSolutions,⁽¹⁾ Dassault Systems사의 ENOVIA Live Similarity,⁽²⁾ Siemens PLM Software사의 Geolus Search⁽³⁾ 등이 있다. 이 시스템들은 일반적인 키워드 기반 검색 기능 외에도 스케치 기반 검색, 위상 기반 검색, 부분 형상 검색 등의 형상 기반 검색 기능을 제공한다. 그러나 이 시스템들에 적용된 3D 형상 비교 기술은 형상 정보뿐만 아니라 비형상 정보도 중요한 해양 플랜트 3D CAD 모델에는 직접적인 적용이 어렵다.

3. 해양 플랜트 3D 배관 CAD 모델의 유사도 평가 방법

3.1 해양 플랜트 3D 배관 CAD 모델의 구조 분석
 국내 조선소가 사용하는 Aveva Marine의 3D 배관 CAD 모델과 납품을 하기 위해서 수작업으로 재모델링된 SmartMarine 3D의 3D 배관 CAD 모델을 분석하였다. 분석에 사용된 3D 배관 CAD 모델은 국내 대형조선사인 'D'사가 Aveva Marine과 SmartMarine 3D로부터 추출하여 자체 형식으로 저장한 모델이다. 'D'사 제공한 Aveva Marine과 SmartMarine 3D의 3D 배관 CAD 모델은 XML 파일에 비형상 정보가 저장되고 SAT 파일인 3D 형상 정보가 저장된다. XML 파일은 플랜트의 논리적 구성, 기자재 사양, 3D 형상에 관한 참조 정보를 담고 있다. SAT 파일은 Aveva Marine을 기준으로 브랜치(Branch) 객체에 대한 3D 형상 정보를 담고 있다.

3.1.1 Aveva Marine 과 SmartMarine 3D 의 3D 배관 CAD 모델 특징

Aveva Marine⁽⁴⁾과 SmartMarine 3D⁽⁵⁾의 3D 배관 CAD 모델에서 플랜트의 논리적 구성 정보를 표현하는 방법은 매우 유사하다. 그러나 두 모델에서 배관 정보를 표현하는 방법은 매우 다르다.

Aveva Marine은 피팅(fitting)이나 엘보우(elbow) 중심으로 배관 정보를 표현하는데 반해서 SmartMarine 3D는 직관(straight pipe)를 중심으로 배관 정보를 표현한다. 그리고 Aveva Marine에서 배관 정보를 표현하는 가장 작은 단위의 객체는 브랜치

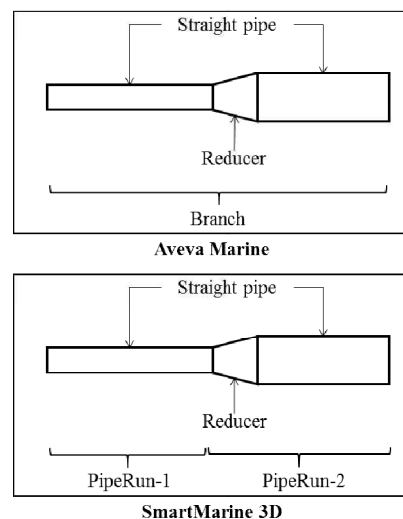


Fig. 1 Representation of 3D piping design information in Aveva Marine and SmartMarine 3D

(Branch)인데 반해서 SmartMarine 3D에서 배관 정보를 표현하는 가장 작은 단위의 객체는 파이프런(PipeRun)이다. 만약 브랜치(Branch)를 구성하는 여러 배관들의 직경이 서로 다를 경우 SmartMarine 3D에서는 직경에 따라 여러 개의 파이프런(PipeRun)이 생성된다.

예로 Fig. 1에서 볼 수 있는 것과 같이 Aveva Marine에서는 서로 다른 직경을 가진 2개의 직관과 1개의 피팅으로 구성된 배관을 1개의 브랜치(Branch)로 표현하는데 반해서, SmartMarine 3D에서는 2개의 파이프런(PipeRun)으로 표현한다. 따라서 Aveva Marine의 브랜치(Branch)는 SmartMarine 3D의 파이프런(PipeRun)과 일대다 관계를 가진다.

3.1.2 Aveva Marine의 3D 배관 CAD 모델 구조

Aveva Marine의 3D 배관 CAD 모델은, Fig. 2과 같이, 플랜트(Plant), 에어리어(Area), 유닛(Unit), 파이프(Pipe), 브랜치(Branch), 및 피팅(Fitting) 객체로 구성되는 트리 구조를 갖는다. 피팅(Fitting) 객체는 FLAN(flange), ATTA(attachment), ELBO(elbow), PCOM(piping component), VALV(valve), INST(instrument), FBLL(blind flange), TEE(tee), REDU(reducer), PLAT(plate), WELD(weld)로 구분된다. Aveva Marine의 피팅(Fitting) 객체와 일대일 대응되는 객체가 SmartMarine 3D에 존재한다. 브랜치(Branch) 객체는 SmartMarine 3D의 파이프런(PipeRun) 객체와 대응된다. 파이프(Pipe) 객체는 SmartMarine 3D의 파이프라인(PipeLine) 객체와 대응된다. 그 외에 플랜트(Plant), 에어리어(Area), 및 유닛(Unit) 객체는 Aveva Marine과 SmartMarine 3D에서 모두 존재한다.

Aveva Marine의 3D 배관 CAD 모델에 정의된 속성으로는 식별 속성, 스펙(spec) 카탈로그 속성, 기능 속성, 형상 관련 좌표 및 치수 속성, 객체 간의 연결 속성이 있다. 객체 식별 속성으로는 객체의 고유 아이디(id)를 담고 있는 Name 속성, 객체의 고유 데이터베이스 아이디(id)를 담고 있는 REFNO 속성, 및 형상 파일 이름 정보를 담고 있는 SAT 속성이 있다. 스펙 카탈로그 속성으로는 배관의 카탈로그 정보를 담고 있는 PSPE 속성, 피팅에 대한 카탈로그 정보를 담고 있는 SPRE 속성, 절연 처리용 자재(insulation) 정보를 담고 있는 ISPE 속성이 있다. 기능 속성으로는 설계 온도 및 설계 압력 정보를 담고 있는 TEMP 및 PRES 속성이 있다. 형상 속성으로는 객체의 좌표 정보를 담고 있는 HPOS, TPOS, POS, APOS, LPOS, 및 P3POS 속성, 객체의 직경 정보를 담고 있는 HBOR,

Table 1 Attributes of Aveva Marine's 3D piping CAD models and their corresponding relationships with SmartMarine 3D's 3D piping CAD models

Attribute type	Attribute name	Existence of corresponding attribute in SmartMarine3D
Identification type	NAME	Y
	SAT	Y
Spec-catalog type	PSPE	Y
	SPRE	Y
	ISPE	N
Shape type	HPOS/TPOS	Y
	HBOR/TBOR	Y
	HCON/TCON	N
	HDIR/TDIR	N
	HREF/TREF	N
	POS	Y
	APOS/LPOS	Y
	ABOR/LBOR	Y
	ORI	N
	P3BO	Y
Function type	P3POS	N
	P3DIR	N
	TEMP	N
Connection type	PRES	N
	ARRI/LEAV	N

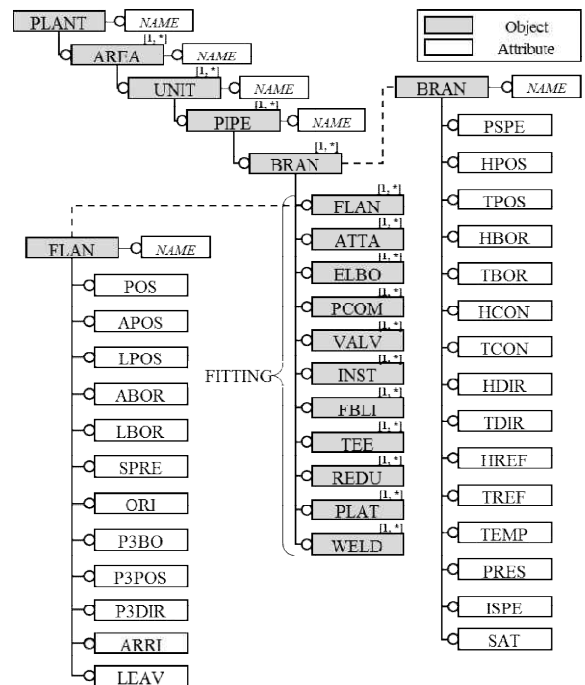


Fig. 2 Data structure of Aveva Marine's 3D piping CAD models

TBOR, ABOR, LBOR, 및 P3BO 속성, 객체의 방향 정보를 담고 있는 HDIR, TDIR, 및 P3DIR 속성이 있다. 마지막으로 연결 속성으로는 객체간의 연결

정보를 담고 있는 HREF 및 TREF 속성이 있다.

$$S_g = \frac{1}{n} \sum_1^n S_{g_si} \quad (2)$$

3.1.3 SmartMarine 3D 와 비교가능한 Aveva Marine 의 속성 분석

Aveva Marine의 3D 배관 CAD 모델을 기준으로 수작업으로 재모델링한 SmartMarine 3D의 3D 배관 CAD 모델과의 속성 대응 관계를 분석한 결과가 Table 1이다.

Aveva Marine과 SmartMarine 3D간에 비교 가능한 속성으로는 식별 속성, 카탈로그 속성, 및 형상 속성이 있다. 식별 속성은 Aveva Marine객체에 대응되는 SmartMarine 3D 객체를 찾는 데 사용된다. 스펙 카탈로그 속성 비교는 카탈로그를 정의하는 방식이 CAD 시스템마다 다르기 때문에 'D'사로부터 제공받은 카탈로그 매핑 파일을 이용하여 Aveva Marine의 스펙 코드와 대응되는 SmartMarine 3D의 쇼트 코드(short code)와 옵션 코드(option code)를 비교한다. 형상 속성과 기능 속성의 비교는 두 객체가 동일할 경우에 속성 값이 같기 때문에 속성 값의 일치 여부를 확인한다.

3.2 유사도 평가 척도의 정의

Aveva Marine과 SmartMarine 3D의 3D 배관 CAD 모델의 분석 결과를 바탕으로 두 모델간의 유사도 평가 척도를 정의하였다. 3D 배관 CAD 모델의 유사도는 형상 정보의 유사도(S_g) 및 비형상 정보 유사도(S_{ng})에 형상 정보 유사도 가중치(w_g)와 비형상 정보 유사도 가중치(w_{ng})를 곱하여 식 (1)과 같이 구할 수 있다. 형상 정보 및 비형상 정보의 유사도는 자동으로 계산이 되며 가중치는 사용자가 입력한다.

$$S = S_g * w_g + S_{ng} * w_{ng} \quad (1)$$

단, $w_g + w_{ng} = 1$

형상 정보의 유사도 계산을 위해서 SAT 속성에 기록된 형상 파일(SAT 파일)을 찾은 후 SAT 파일에 저장된 3D 형상 정보를 추출하여 비교를 수행한다. 3D 배관 CAD 모델에서 형상 파일은 브랜치(Branch) 객체만이 가지고 있다. 이에 따라 브랜치(Branch) 객체를 기준으로 하위 객체의 경우에는 형상 정보의 유사도를 계산하지 않는다. 그리고 상위 객체의 경우에는 형상 유사도를 아래의 식 (2)와 같이 하위 객체들의 형상 유사도(S_{g_si})의 평균으로 계산한다. 3D 형상 정보의 비교를 위해서 Ohbuchi 등⁽¹⁷⁾이 제안한 형상 분포 기반 비교 방법을 적용하였다.

비형상 정보의 유사도(S_{ng})는 해당 객체의 속성 정보의 유사도(S_p), 하위 객체의 비형상 유사도(S_{ng_si}) 평균, 배타적 속성의 유사도 평균(P_{excl})에 비형상 유사도의 가중치(w_p) 및 하위 객체의 비형상 유사도의 가중치(w_{ng_si})를 곱하여 아래의 식 (3)과 같이 계산한다. 배타적 속성이란 다른 속성에 비해 중요도에 있어서 배타적 우선권이 있는 속성을 말한다. 예를 들어 스펙 카탈로그 속성은 배타적 속성에 해당되기 때문에 해당 객체의 속성 정보의 유사도(S_p)가 높다 하더라도 스펙 카탈로그 속성이 서로 다를 경우 비형상 정보의 유사도(S_{ng})는 0이 된다.

$$S_{ng} = P_{excl} * (w_p * S_p + w_{ng_si} * \frac{1}{n} * \sum_1^n S_{ng_si})$$

단, $w_p + w_{ng_si} = 1$ (3)

속성 정보의 유사도(S_p)는 스펙 카탈로그 속성(P_{cat}), 형상 속성(P_{geo}), 기능 속성(P_{fn}), 포함 속성(P_{inc})의 유사도에 각 속성 타입별 가중치(w_{cat} , w_{geo} , w_{fn} , w_{inc})를 곱하여 아래의 식 (4)와 같이 계산된다. 여기서 r, s, t, u는 각 타입에 해당되는 속성의 개수이다. 그리고 각 속성의 유사도는 속성 값이 동일하면 1, 동일하지 않으면 0이 된다. 형상 속성의 경우 속성 값이 차이가 미리 입력 받은 허용 오차보다 작으면 유사도가 1이 된다. 객체들간의 연결 정보가 있는 경우에는 연결 속성의 유사도와 연결 속성의 가중치를 추가하여 속성 정보의 유사도(S_p)를 계산한다.

$$S_p = w_{cat} * \frac{1}{r} * \sum_1^r P_{cat_i} + w_{geo} * \frac{1}{s} * \sum_1^s P_{geo_j} + w_{fn} * \frac{1}{t} * \sum_1^t P_{fn_k} + w_{inc} * \frac{1}{u} * \sum_1^u P_{inc_l} \quad (4)$$

4. 해양 플랜트 3D 배관 CAD 모델 유사도 평가 시스템의 설계

4.1. 시스템 유즈케이스

유사도 평가 시스템의 설계를 위해서 국내 대형 조선사인 'D'사의 실무 담당자와의 인터뷰를 통해 사용자 요구사항을 분석하였다. 그리고 사용자 요구사항에 따라 평가 시스템의 유즈 케이스(use case)를 Fig. 3 과 같이 정의하였다. 평가 시스템의 유즈 케이스는 입력 모델 선택(XML file selection), 비교를 위한 추가 정보 입력(Additional data input),

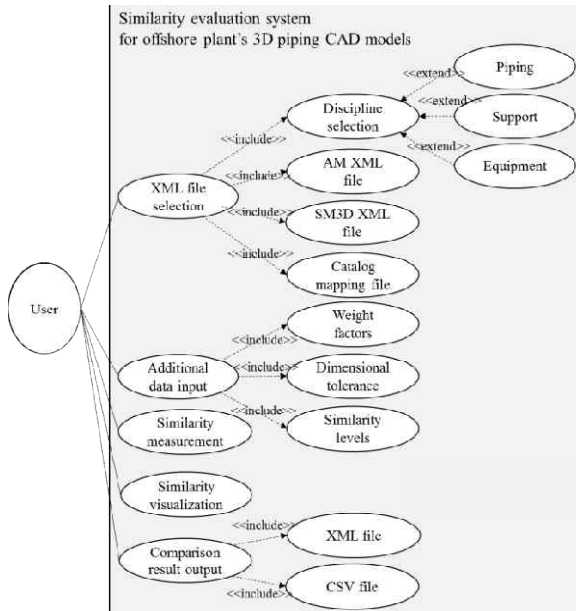


Fig. 3 Use case diagram of a similarity evaluation system

모델 비교 실행(Similarity measurement), 유사도 전시(Similarity visualization), 그리고 비교 결과 출력(Comparison result output)으로 구성된다. 선택 가능한 공종(discipline)으로는 배관 외에 지지대(support) 및 장비(equipment)가 있다. 그리고 추가 입력 정보로는 형상 및 비형상 유사도의 가중치와 형상 치수의 허용 오차가 있다. 치수 허용 오차의 단위는 mm 이다. 그리고 사용자가 유사도 평가 결과를 효과적으로 검토할 수 있도록 유사도 전시 기능과 결과 출력 기능을 정의하였다. 유사도 전시는 사용자의 입력한 높은 유사도와 중간 유사도의 경계 값(퍼센트 %) 및 중간 유사도와 낮은 유사도의 경계 값(퍼센트 %)에 따라서 브랜치(Branch) 객체의 색을 초록, 노랑, 빨강색으로 변경하여 전시한다.

4.2. 평가 시스템을 이용한 유사도 평가 절차

평가 시스템을 이용한 유사도 평가 절차는 평가 준비 단계, 유사도 평가 단계, 평가 후 처리 단계로 분류된다. 평가 준비 단계는 Aveva Marine과 SmartMarine 3D의 3D 배관 CAD 파일과 카탈로그 매핑 파일을 로딩하고 사용자로부터 추가 정보를 입력 받는다. 그리고 Aveva Marine의 3D 배관 CAD 모델의 형상 및 비형상 정보를 시스템에 가시화 한다. 유사도 평가 단계는 유사도 평가 척도를 적용하여 Aveva Marine과 SmartMarine 3D간에 형상 정보와 비형상 정보의 유사도를 비교한다. 평가 후 처리 단계는 비교 결과를 외부 파일로 출

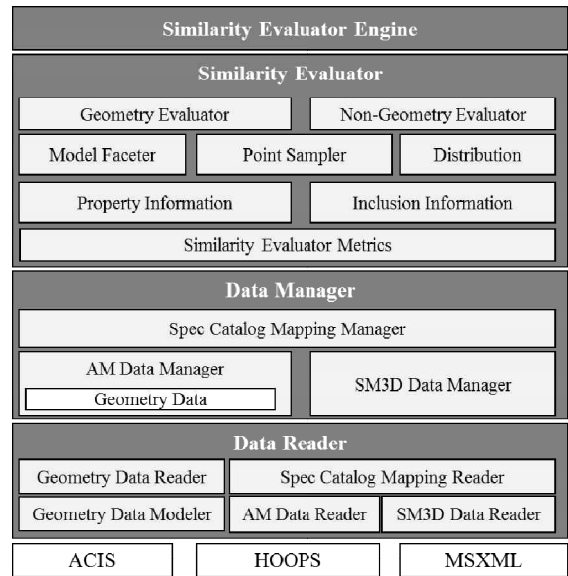


Fig. 4 System architecture of a similarity evaluation system

력하고 유사도에 따라 브랜치 (Branch) 객체의 색을 변경한다.

4.3 유사도 평가 시스템의 구조 정의

정의된 유즈 케이스를 바탕으로 평가 시스템의 제공 기능을 분류하고 시스템의 구조를 정의하였다. 평가 시스템은, Fig. 4와 같이, 시스템 관리 모듈(Similarity Evaluator Engine), 모델 비교 모듈(Similarity Evaluator), 데이터 관리 모듈(Data Manager), 데이터 읽기 모듈(Data Reader)로 구성된다.

시스템 관리 모듈은 전체 시스템을 관리하고 사용자가 입력한 정보를 내부 변수에 저장하여 관리하는 기능을 제공한다. 모델 비교 모듈은 형상 평가 모듈(Geometry Evaluator)와 비형상 평가 모듈(Non-Geometry Evaluator)로 구성된다.

형상 평가 모듈은 형상 분포 기반 3D 형상 정보 비교 기능을 제공하며 폴리곤 모델을 생성하는 Model Faceter, 점을 샘플링을 하는 Point Sampler, 샘플링한 점들 간의 거리를 계산하여 형상 분포를 생성하는 Distribution으로 구성된다. 비형상 평가 모듈은 비형상 정보 비교 기능을 제공하며 속성 정보 비교 기능을 지원하는 Property Information과 포함 정보 비교 기능을 지원하는 Inclusion Information으로 구성된다.

데이터 관리 모듈은 모델 비교를 위해서 입력 받은 데이터를 관리하며 Spec Catalog Mapping Manager, AM Data Manager, 및 SM3D Data Manager

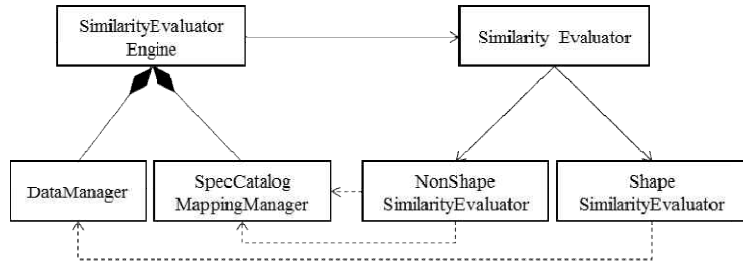


Fig. 5 High-level class diagram of a similarity evaluation system

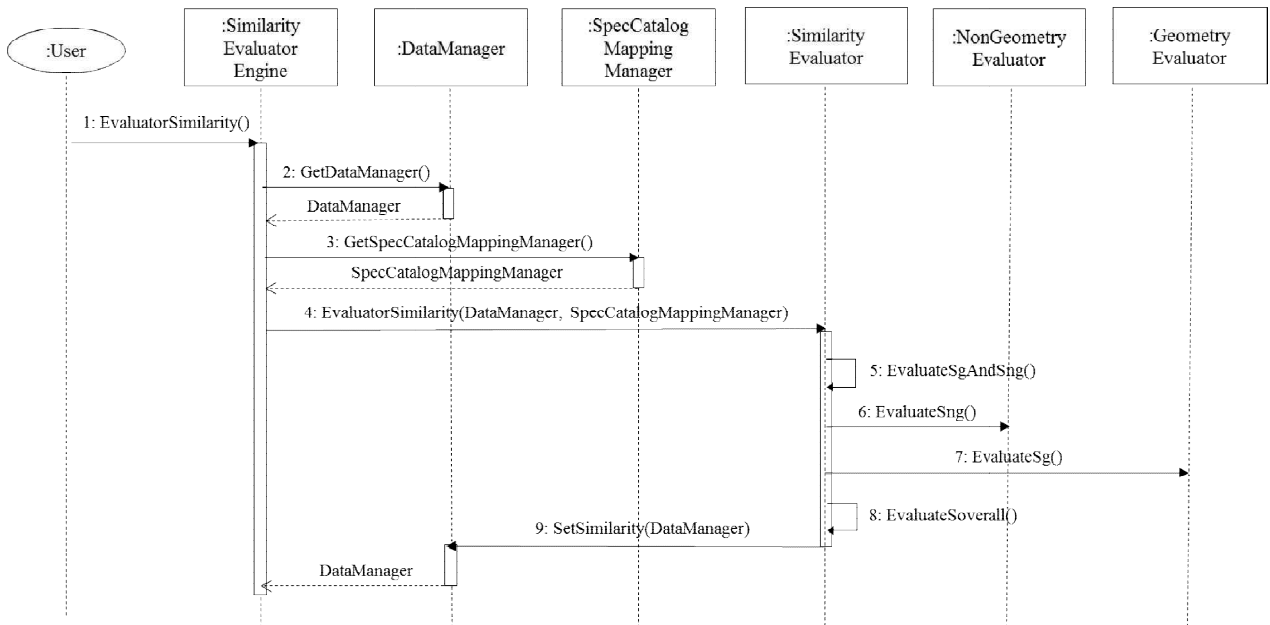


Fig. 6 Sequence diagram of a similarity evaluation system

로 구성된다. 마지막으로 데이터 읽기 모듈은 모델 비교를 위해서 입력 파일을 파싱(parsing)하여 추출된 정보를 내부 메모리에 저장하는 역할을 한다. 데이터 읽기 모듈은 Geometry Data Reader, Geometry Data Modeler, Spec Catalog Mapping Reader, AM Data Reader, 및 SM3D Data Reader 로 구성된다. 유사도 평가 시스템을 구성하는 주요 모듈들 간의 관계를 클래스 다이어그램 형식으로 표현한 것이 Fig. 5 이다.

유사도 평가 시스템의 모듈간 실행 절차를 시퀀스 다이어그램으로 표시한 것이 Fig. 6이다. 평가 준비 단계가 완료된 상태에서 사용자가 유사도 평가 실행 메뉴를 선택하면 평가 준비 단계에서 저장한 두 3D 배관 CAD 모델 정보와 스펙 카탈로그 매핑 정보를 불러온다(GetData Manager와 GetSpecCatalogMappingManager 함수). 그리고 3D 배관 CAD 모델 정보와 스펙 카탈로그 매핑 정보를 가지고 유사도 평가를 실행한다(Evaluator Similarity 함수). 유사도 평가는 객체별 비형상 유

사도(EvaluateSng함수)와 형상 유사도(EvaluateSg 함수)를 각각 계산한 후 하위 객체의 유사도를 고려하여 객체의 유사도를 다시 계산한다(EvaluateSoverall 함수). 계산된 유사도는 각 객체별로 저장된다(SetSimilarity 함수).

5. 구현 및 실험

해양 플랜트 3D 배관 CAD 모델 유사도 평가 시스템의 설계 결과를 바탕으로 유사도 평가 시스템을 Fig. 7과 같이 구현하였다. 3D 배관 CAD 모델 비교 시스템은 C++ 언어로 개발되었다. 시스템 GUI(graphic user interface)의 구현을 위해서 MFC(Microsoft foundation classes)를 사용하였다. 3D 형상의 가시화를 위해서 HOOPS 1919를 사용하였고 SAT 파일의 처리 및 형상 분포의 생성을 위해서 ACIS R25를 사용하였다. XML 형식의 입력 파일의 로딩을 위해서 MS XML 4.0을 사용하였다.

개발된 유사도 평가 시스템의 유효성을 검증하

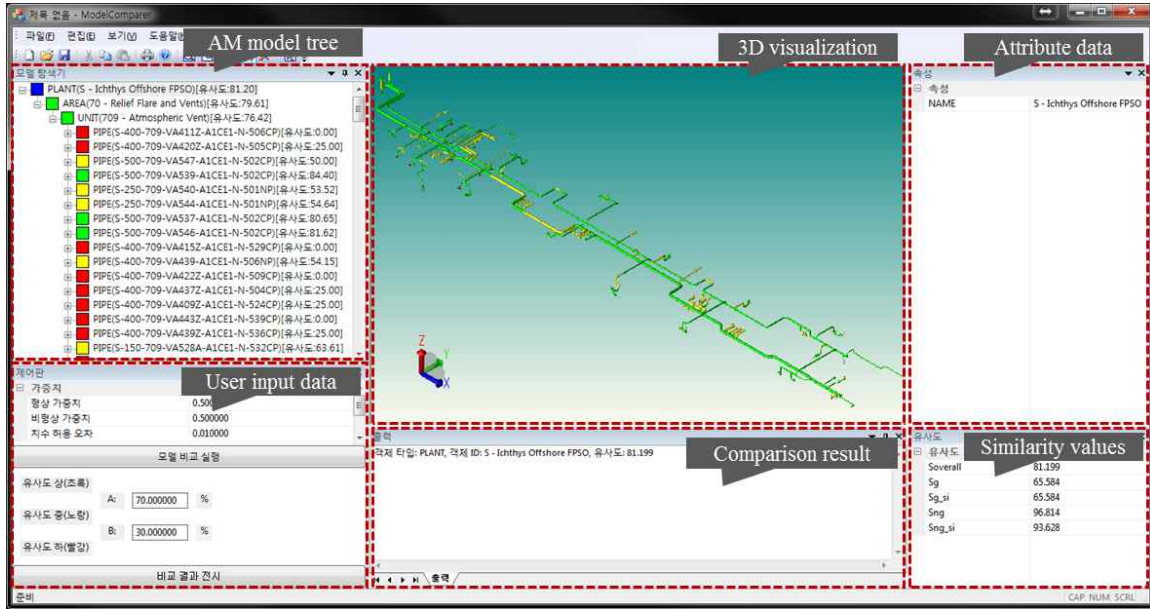


Fig. 7 Prototype of a similarity evaluation system

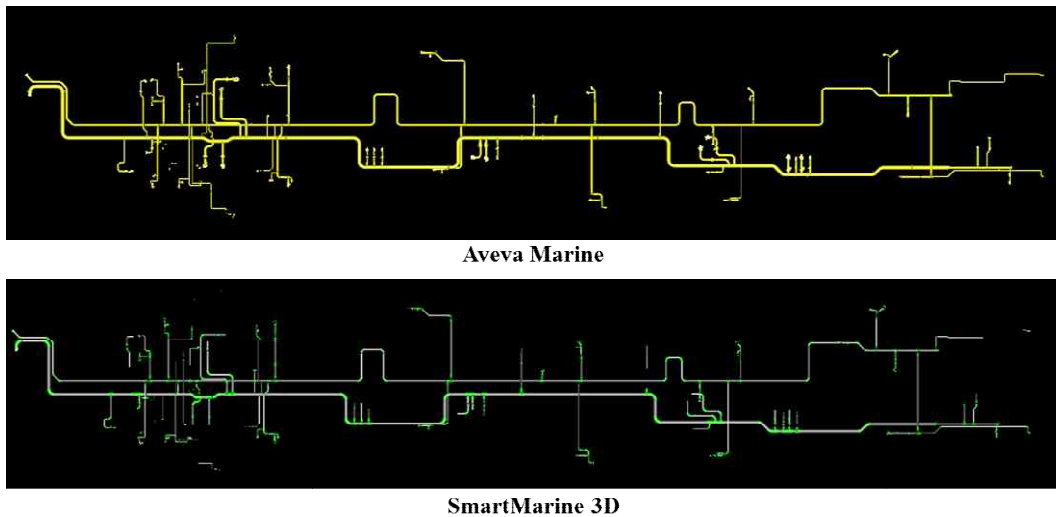


Fig. 8 3D piping CAD models of Aveva Marine and SmartMarine 3D

기 위해서 국내 대형조선사 ‘D’사 제공한 Aveva Marine과 SmartMarine 3D의 3D 배관 CAD 모델을 비교하는 실험을 수행하였다. 실험에서 사용한 3D 배관 CAD 모델은, Fig. 8과 같이, 유닛(Unit) 수준의 모델로 Aveva Marine을 기준으로 약 300개의 브랜치(Branch)로 구성된다. 이 실험에서 사용자가 입력 값으로는 초기 설정 값(형상 유사도 가중치: 0.5, 비형상 유사도 가중치: 0.5, 치수허용오차: 0.01)을 사용하였다.

실험 대상 3D 배관 CAD 모델의 유사도 평가 후 모델 비교 결과를 CSV 파일로 출력한 결과가 Fig. 9이다. 실험 결과, 유닛 수준의 두 3D 배관

CAD 모델의 유사도는 약 81%로 계산되었다.

전반적으로 대부분의 객체가 높은 유사도를 보였다. 이 그림을 보면 낮은 유사도를 보인 객체가 존재하는데, SmartMarine 3D의 3D 배관 CAD 모델에서 일부 정보가 누락되었거나 해당 객체에 대한 카탈로그 매핑 정보가 카탈로그 매핑 파일에 누락된 경우에 낮은 유사도를 보였다.

6. 결론

Aveva Marine의 원본 3D 배관 CAD 모델과 Smart Marine 3D에서 재모델링된 3D 배관 CAD 모

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	PLNAT ID	AREA ID	UNIT ID	PIPE ID	BRAN ID	FITTING TYPE	FITTING ID	Sooverall
2	S - Ichthys	Offshore FPSO						81.189
3	S - Ichthys	70 - Relief Flare and Vents						79.596
4	S - Ichthys	70 - Relief	709 - Atmospheric Vent					76.41
5	S - Ichthys	70 - Relief	709 - Atmo	S-400-709-VA411Z-A1CE1-N-506CP				0
6	S - Ichthys	70 - Relief	709 - Atmo	S-400-709- =201346425/1180581				0
7	S - Ichthys	70 - Relief	709 - Atmo	S-400-709- =201346425 PCOM		=201346425/1180583		0
8	S - Ichthys	70 - Relief	709 - Atmo	S-400-709-VA420Z-A1CE1-N-505CP				25
9	S - Ichthys	70 - Relief	709 - Atmo	S-400-709- =201346425/1180643				0
10	S - Ichthys	70 - Relief	709 - Atmo	S-400-709- =201346425 PCOM		=201346425/1180644		0
11	S - Ichthys	70 - Relief	709 - Atmo	S-500-709-VA547-A1CE1-N-502CP				49.953
12	S - Ichthys	70 - Relief	709 - Atmo	S-500-709- =201346425/1272114				61.572
13	S - Ichthys	70 - Relief	709 - Atmo	S-500-709- =201346425 VALV		S-709-PSV-826		0
14	S - Ichthys	70 - Relief	709 - Atmo	S-500-709- =201346425 FLAN		S-500-709-VA547-JF-005		0
15	S - Ichthys	70 - Relief	709 - Atmo	S-500-709- =201346425 BEND		=201346425/1272119		0
16	S - Ichthys	70 - Relief	709 - Atmo	S-500-709- =201346425 REDU		=201346425/1272120		70
17	S - Ichthys	70 - Relief	709 - Atmo	S-500-709- =201346425 FLAN		S-500-709-VA547-JF-006		0
18	S - Ichthys	70 - Relief	709 - Atmo	S-500-709- =201346425 VALV		S-709-MV-6874-B		0
19	S - Ichthys	70 - Relief	709 - Atmo	S-500-709- =201346425 FLAN		S-500-709-VA547-JF-007		0
20	S - Ichthys	70 - Relief	709 - Atmo	S-500-709- =201346425 OLET		=201346425/1272127		70
21	S - Ichthys	70 - Relief	709 - Atmo	S-500-709- =201346425 ELBO		=201346425/1272128		0

Fig. 9 Output CSV file containing the similarity evaluation result

델간의 유사도를 자동으로 평가하는 시스템을 개발하였다. 이를 위해서 사용자의 요구를 분석하고 시스템의 유즈 케이스를 정의하였다. 그리고 정의된 유즈 케이스를 지원하는 평가 시스템의 구조를 설계하였다. 해양 플랜트 3D CAD 모델은 형상 정보뿐만 아니라 비형상 정보를 담고 있기 때문에 형상 정보의 유사도 뿐만 아니라 비형상 정보의 유사도를 종합적으로 평가할 수 있는 평가 척도를 정의하였다. 개발된 시스템의 유효성을 검증하기 위해서 약 300개의 브랜치(Branch)로 구성된 유닛(Unit) 수준의 3D 배관 CAD 모델의 유사도 평가 실험을 수행하였다.

현재 개발된 평가 시스템은 3D 배관 CAD 모델의 유사도 평가 기능만을 제공하나 향후 지원 공종을 지지대와 장비로 확장할 필요가 있다. 그리고 다수의 3D 배관 CAD 모델을 일괄적으로 비교하기 위해서 현재의 GUI 기반 유사도 평가 시스템이 아닌 배치 모드 형태의 유사도 평가 시스템의 개발이 추가적으로 필요하다.

후 기

이 논문은 대우조선해양 산학과제, 산업통상자원부 산업핵심기술개발사업(과제번호: 10048341), 국토교통부 플랜트연구사업(과제번호: 14IFIP-B091004-01), 및 한국연구재단 기초연구사업(과제번호: NRF-2014R1A1A1006181)의 지원으로 수행된 연구 결과임을 밝힙니다.

참고문헌 (References)

- (1) PARTSolutions, 2014, <http://partsolutions.com/>.
- (2) ENOVIA Live Similarity, 2014, <http://www.3ds.com/>.
- (3) Geolus Search, 2014, <http://www.plm.automation.siemens.com/>.
- (4) Aveva Marine, 2014, <http://www.aveva.com/>.
- (5) SmartMarine 3D, 2014, <http://www.intergraph.com/>.
- (6) Tangelder, J.W. and Veltkamp, R.C., 2008, "A Survey of Content Based 3D Shape Retrieval Methods," *Multimedia tools and applications*, Vol. 39, No. 3, pp. 441~471.
- (7) Iyer, N., Jayanti, S., Lou, K., Kalyanaraman, Y. and Ramani, K., 2005, "Three-dimensional Shape Searching: State-of-the-art Review and Future Trends," *Computer-Aided Design*, Vol. 37, No. 5, pp. 509~530.
- (8) Paquet, E., Rioux, M., Murching, A., Naveen, T. and Tabatabai, A., 2000, "Description of Shape Information for 2-D and 3-D Objects," *Signal Processing: Image Communication*, Vol. 16, No. 1, pp. 103~122.
- (9) Ramesh, M., Yip-Hoi, D., Dutta, D., 2001, "Feature Based Shape Similarity Measurement for Retrieval of Mechanical Parts," *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, Vol. 1, No. 3, pp. 245~256.
- (10) El-Mehalawi, M., Miller, R.A., 2003, "A Database System of Mechanical Components Based on Geometric and Topological Similarity Part I: Representation," *Computer-Aided Design*, Vol. 35, No.

- 1, pp. 83~94.
- (11) Horn, B.K.P., 1984, "Extended Gaussian Images," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 72, No. 12, pp. 1671~1686.
- (12) Herrmann, J.W. and Singh, G., 1997, *Design Similarity Measures for Process Planning and Design Evaluation*, MARYLAND UNIV COLLEGE PARK DEPT OF MECHANICAL ENGINEERING.
- (13) Rodríguez, M.A. and Egenhofer, M.J., 2003, "Determining Semantic Similarity Among Entity Classes from Different Ontologies," *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 15, No. 2, pp. 442~456.
- (14) Alizon, F., Shooter, S.B. and Simpson, T.W., 2006, "Reuse of Manufacturing Knowledge to Facilitate Platform-based Product Realization," *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, Vol. 6, No. 2, pp. 170~178.
- (15) Mun, D. and Ramani, K., 2011, "Knowledge-based Part Similarity Measurement Utilizing Ontology and Multi-criteria Decision Making Technique," *Advanced Engineering Informatics*, Vol. 25, No. 2, pp. 119~130.
- (16) Osada, R., Funkhouser, T., Chazelle, B. and Dobkin, D., 2002, "Shape Distributions," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 21, No. 4, pp. 807~832.
- (17) Ohbuchi, R., Minamitani, T. and Takei, T., "Shape-similarity Search of 3D Models by Using Enhanced Shape Functions," *International Journal of Computer Applications in Technology*, Vol. 23, No. 2-4, pp. 70~85.
- (18) Tangelder, J. W. and Veltkamp, R.C., 2003, "Polyhedral Model Retrieval Using Weighted Point Sets," *International journal of image and graphics*, Vol. 3, No. 1, pp. 209~229.
- (19) Hwang, T.J., Lee, K., Oh, H.Y. and Jeong, J.H., 2004, "Shape Similarity Measurement Using Ray Distances for Mass Customization," *Proceedings of ACM Symposium on Solid Modeling and Applications*, pp. 279-284.
- (20) Ip, C.Y., Lapadat, D., Sieger, L. and Regli, W.C., 2002, "Using Shape Distributions to Compare Solid Models," *Proceedings of ACM Symposium on Solid Modeling and Applications*, pp. 273~280.
- (21) Cheng, H., Lo, C., Chu, C. and Kim, Y., 2011, "Shape Similarity Measurement for 3D Mechanical Part Using D2 Shape Distribution and Negative Feature Decomposition," *Computers in Industry*, Vol. 62, No. 3, pp. 269~280.
- (22) Chu, C.H. and Hsu, Y.C., 2006, "Similarity Assessment of 3D Mechanical Components for Design Reuse," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 22, No. 4, pp. 332~341.