전문가 쉘(Shell)을 이용한 굴삭기 프론트 지식기반설계 시스템 구현

신대진*(연세대 대학원 기계공학과), 배일주(연세대 대학원 기계공학과),
이수홍(연세대 기계공학과), 노태성(AMS㈜), 김성태(AMS㈜)

An Implementation of Knowledge Based Engineering Design System for the Front Section of the Excavator with an Expert Shell

D. J. Shin*(Mechanical Eng. Dept., Yonsei Univ.), I. J. Bae(Mechanical Eng. Dept., Yonsei Univ.),
S. H. Lee(School of Mechanical Eng. Yonsei Univ.), T. S. Noh(AMS(Co.)), S. T. Kim(AMS(Co.))

ABSTRACT

A design for the front section of an excavator requires kinematic and kinetic mechanism consideration for several configurations. Key parameters for an appropriate configuration can be obtained through a mechanical verification and numerical formulation with a design expert's know-how. In this paper, we propose a knowledge-based system with an expert-shell(CATIA) and Visual Basic to assist for the design of the front section of an excavator. The designers can achieve more efficient design through a CAD model, implemented design knowledge, and a user friendly interface. The implemented design knowledge is retrieved through the whole design process from an early design stage to a detailed design stage based on the multiple levels of abstraction scheme.

Key Words : Knowledge-based Design (지식기반 설계), Rule-based Design (규칙기반설계), Layout Design (레이아웃 설계)

1. 서론

국내 중공업 분야는 기술력과 생산량에 있어 세계 시장에서 상위권을 유지하고 있다. 그러나 시장이 다양화 되고, 국제 경쟁이 치열해짐에 따라 보다 발전된 설계 기술을 확보할 필요가 있게 되었다. 세계의 다양한 시장에서 발생하는 소비자의 요구사항을 파악하고 설계 핵심 기술과 전문가의 노하우를 반영하여 빠르게 설계 결과를 도출할 수 있어야 한다.

이를 위해 디지털 마이스터라고 하는 설계 지식을 활용할 수 있는 시스템의 개발과 도입이 추진되고 있다. 그러나 이러한 시스템을 현업에 적용하기 위해서는 현업 설계 분야에 대한 정확한 도메인 분석이 필요하고, 지식이 적용 가능한 설계 기반 환경을 마련할 필요가 있다.

본 논문에서는 디지털 마이스터 환경 구축을 위하여 도메인 분석을 수행하고, 설계 기반 환경을 구성하는 것에 중점을 두고 있다.

도메인 분석을 위해 QFD 방법을 사용하였다. 전문가와 인터뷰를 수행하고, 도메인의 변수를 추출하고 이의 연관관계를 파악하였다. 그리고 지식기반 설계 환경 구축을 위해 CATIA v5.0에서 제공되는 Knowledgeware 모듈을 사용하였다. 이를 통해 실제 활용되는 설계 모델러 기반의 설계 환경을 구축하여 설계 업무에 효율적인 적용이 가능하게 하였다.

2. 관련 연구

본 논문에서 사용된 지식기반 설계(Knowledge base Design)란 설계 단계에서 사용된 암묵적인 설계자의 전문 지식과 기술 등을 제품 모델에 포함시켜 재사용 가능하게 하는 설계 방법론이다.[1] 즉, 형상, 재료, 기능제약 등의 제품에 관련된 물리적인

정보는 물론이거니와 제품이 설계, 검토되어지는 모든 Process들에 대한 지식도 제품 모델에 저장한다. 단순히 형상 관련된 정보만 포함하는 CAD 모델과는 달리 지식기반 모델은 설계에서 요구되는 다양한 종류의 정보를 포함한다.

지식기반 시스템은 초기 투자비용이 큰 편이지만 한번 투자 되었을 경우 제품 모델로 수집, 저장된 제품 관련 설계 정보를 이용하여 설계기술자는 제품 모델에서 요구되는 입력정보를 변경하는 작업만으로 신속하고, 용이하게 새로운 제품 설계를 만들어 낼 수 있으며, 제품 모델을 확장, 변경하여 설계변경을 할 수 있다. 이는 반복적인 계산 작업 등과 같은 시간 집약적인 엔지니어링 업무로부터 설계자들을 해방시켜 좀 더 창조적인 설계 작업에 시간을 할애 할 수 있도록 한다.[2]

이런 지식 제공을 통한 설계의 효율성을 높이고자 했던 연구가 많이 진행되었다. 특히 효율적인 지식제공을 위하여, Johannsen, G.는 설계자에게 엔지니어링 지식을 지원할 수 있는 인터페이스 개발에 대한 연구를 수행하였다.[3] 그러나, 이러한 지능형 모델을 생성하기 위해서는 많은 시간과 노력이 필요하며 특히 설계초기의 핵심인 개념설계(Conceptual Design)에 대한 지원은 하지 못하고 있다.

이러한 문제점을 해결하고자 전상민은 개념설계 단계에서 기능기반 설계(FBD)를 적용하고, 이후 상세설계 단계에서는 지식기반설계(KBD)를 적용하여 각각의 설계 방법론이 가지는 장점을 획득하여 빠르고 효율적인 제품 설계 및 설계 변경이 가능한 하이브리드설계 시스템을 제시하였다.[4]

그러나 기능기반설계는 소비자의 요구사항까지 반영된 설계 도메인 분석에는 부적합한 면이 있다. 따라서 본 논문에서는 상위 개념의 설계를 파악하기 위해 보다 일반적으로 사용되는 QFD 방법론을 사용하였다.

3. 방법론 및 시스템 아키텍처

3.1 도메인 분석

도메인 분석을 위해 분야별 전문가 인터뷰를 수행하였다. 이를 토대로 주요 설계 인자를 추출하고, 상관관계를 파악하여 1차, 2차, 3차의 QFD를 작성하였다.

1차 QFD에서는 소비자 요구사항과 기능 요구사항의 관계를 파악하였다. 소비자 요구사항은 규제, 기본 성능, 보조 성능, 내구성, 조작성, 편의성, 정비성과 관련하여 3단계의 카테고리로 분류하였다. 기능 요구사항은 최대 굴삭 깊이, 최대 굴삭 반경, 최대 견인력, 주행 속도, 연비 등의 항목을 고려하였다. 각 인자 간의 관계는 강한 양의 상관관계, 약한 양의 상관관계, 강한 음의 상관관계, 약한 음의 상관관계로 파악된다.

2차 QFD는 기능 요구사항과 시스템 사양을, 3차 QFD는 시스템 사양과 부품 사양의 관계를 파악하였다. 1차 QFD와 마찬가지로 각 관계는 강한 양, 약한 양, 강한 음, 약한 음의 관계로 파악하였다.

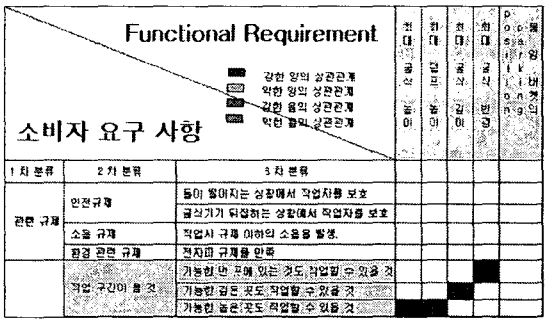

Fig. 1 1st QFD: Customer Requirement & Functional Requirement

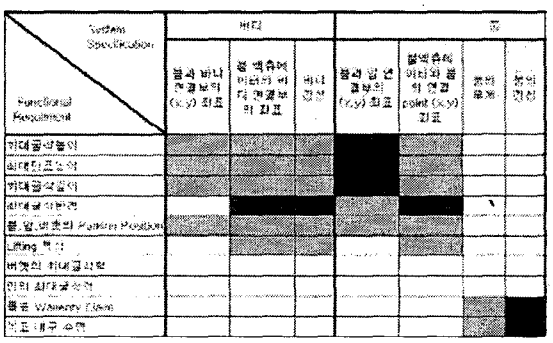

Fig. 2 2nd QFD: Functional Requirement & System Specification

3차에 걸친 QFD 분석을 통한 설계 인자 추출과 관계 파악을 통하여 소비자 요구사항에서 부품 사양에 이르는 연결 관계를 파악하게 된다. 이를 통해 소비자의 요구사항이 최종 부품 사양에는 어떻게 반영되는지를 파악할 수 있고, 역으로 부품 설계 내용에 소비자 요구사항이 충실히 반영되었는지를 판단하는 지표로 사용할 수 있다.

또한 이 결과는 지식 맵 작성과 설계 업무 문제점 파악 및 향상 방안 도출, CATIA Knowledgeware 및 디지털 마이스터 개발 방향 수립을 위한 토대로 사용된다.

Part Specification / System Specification		바디				
		바디와 붐 연결부				
		주변부 두께	핀의 직경	위경	중심의 위치	폭
바디	바디와 붐의 핀포인트의 (x,y)좌표				■	
	바디와 붐 실린더의 연결 핀포인트 (x,y)좌표					
	바디강성	■	■	■	■	■
붐	붐과 암의 연결 핀포인트의(x,y)좌표					
	붐과 붐 실린더의 연결 핀포인트 (x,y) 좌표				■	
	붐의 무게				■	
	붐의 강성	■	■	■	■	■
	붐실린더 단면적					
	붐 실린더의 길이					
	붐실린더 stroke					
	붐과 암 실린더 연결 핀포인트 (x,y)좌표					

Fig. 3 3rd QFD: Functional Requirement & System Specification

3.2 설계 수준에 맞는 설계 환경 제공

도메인 분석을 통해 추출된 설계 인자를 바탕으로 설계 수준과 목적에 맞는 다단계 변수 설계 환경을 (Multiple levels of abstraction) 제공한다. 각 설계 인자는 설계 변수로 활용된다.

효율적인 의사결정을 위하여 각 설계 변수는 단계적으로 제공되어 단계적인 설계 의사결정을 지원할 필요가 있다. QFD에서 파악한 설계인자 간의 관계는 규칙 형태의 설계 지식으로 생성되어 변수 간의 영향을 설정하고 파악 할 수 있게 한다.

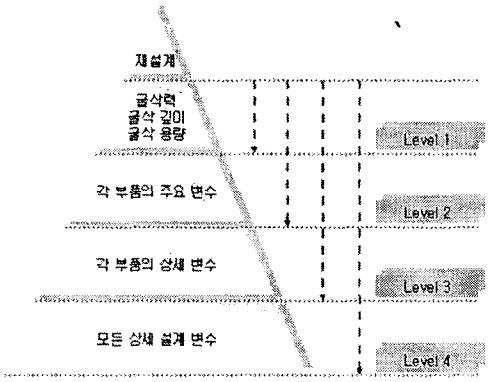

Fig. 4 Design Parameter Levels

1차 level: 설계 용량, 굴삭 범위 설정
2차 level: 주요 부품의 주요 치수 설정, 상세 치수와 주변 부품의 치수는 자동 설정 제공
3차 level: 주요 부품의 상세 치수 설정, 주변 부품의 치수는 자동 설정 제공
4차 level: 세부 설계 변수

이와 같은 설계 수준에 따른 설계 환경은 Top-Down 방식의 설계가 가능하도록 한다. 즉, 소비자의 요구사항을 반영하는 설계가 가능하도록 한다. 또한 추후 디지털 마이스터를 이용하여 중간 단계나 상위 단계의 변수를 제어함으로 효과적으로 설계 지식을 반영할 수 있도록 한다.

3.3 설계 지식 정형화

본 연구에서 다루는 설계 지식은 변수 간의 관계 및 역학적 해석에 기초를 둔 지식으로 한정하였다. 보다 폭 넓은 설계 지식의 활용은 디지털 마이스터의 개발과 함께 이루어질 것이다. 변수 간의 관계는 앞 절에서 기술하였고, 여기서는 역학적인 지식에 대해 기술한다. 제품 형상 변수들의 관계를 역학적 해석과 연구 및 참고 자료들을 활용하여 정형화 하였다.[5,6]

1) Layout 설계 관련 수식

① Pin Point 결정

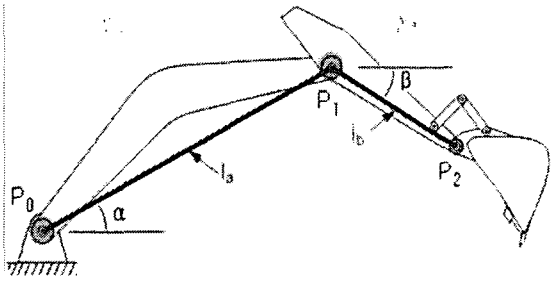

Fig. 5 Pin Point Decision

② 붐 실린더 위치 결정

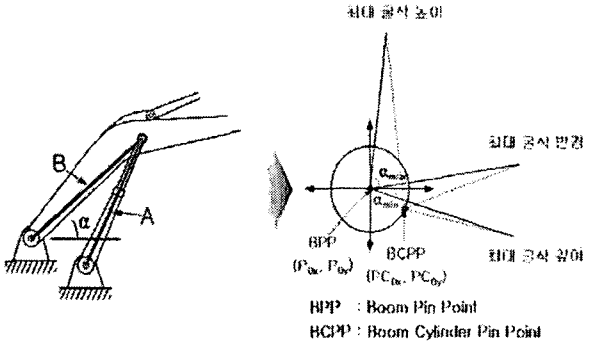

Fig. 6 Decision of a Location of the Boom Cylinder

③ 실린더 출력 계산

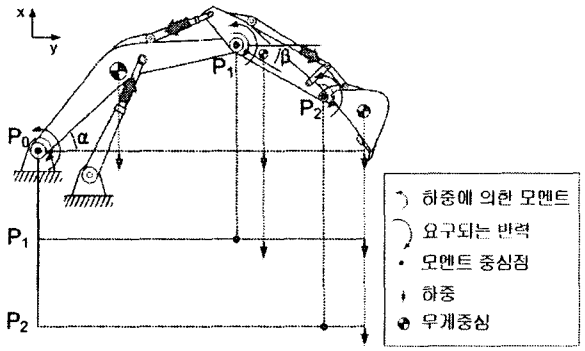

Fig. 7 Calculation of Cylinder Power

④ 굴삭력 계산

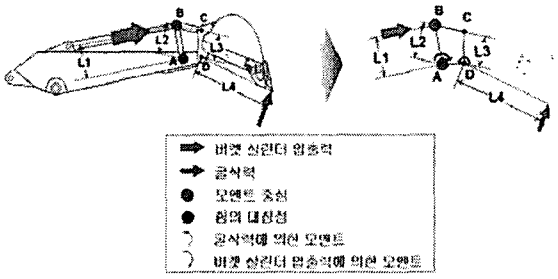

Fig. 8 Calculation of Excavation Power

이와 같은 지식들은 설계 시스템에서 이용할 수 있는 형태로 표현되어야 한다. 이를 설계 지식 정형화 과정이라고 하며 현재는 변수 간의 관계 및 역학적 지식을 CATIA Knowledgeware에서 이용 가능한 규칙 형태로 표현하는 작업을 수행하였다. Fig. 9은 CATIA에서 구현한 설계 지식이 반영된 암 형상 모델을 보여주고 있다.

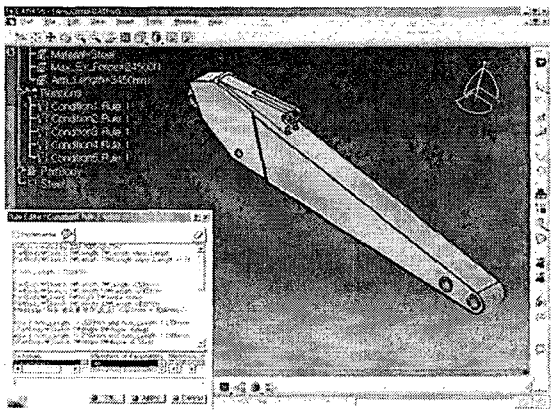

Fig. 9 A Geometric Model of an Arm

설계 규칙을 구성할 때 변수들 간의 수식적 관계는 전술한 역학적 관계규칙이 뿐만 아니라 설계 도면상의 기하학적 형상을 유지하기 위한 수식도 포함된다. 이렇게 구성된 규칙과 변수들 간의 관계는 규칙에 기여하는 중요도에 의해 분류, 표기하였으며 이 변수들 간에 연관된 규칙을 수식화 하였다. Fig. 10은 암과 관련된 규칙과 변수 관계를 나타낸다.

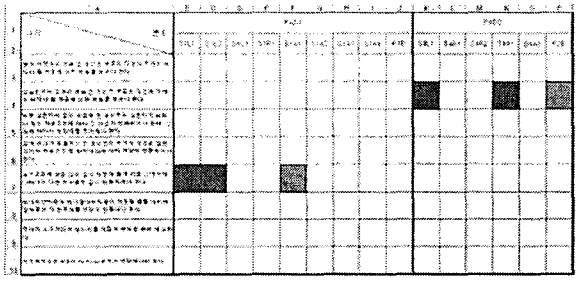

Fig. 10 A Relation between Rules and Parameters

3.3 설계 지원 기능 제공 환경

앞서 기술된 방법으로 정립된 모델링 환경을 기반으로 설계를 위한 기능 제공 환경을 구축한다. 주요 설계 지원 기능은 레이아웃 지원 기능, 내구성 확인 기능, 통합적 설계 평가 기능이다.

레이아웃 설계란 주요 부품들에 대한 연결부(Pin-Point)를 결정하는 설계 단계이다. 굴삭기는 그 운동성에 대한 문제가 굴삭기의 성능을 좌우하기 때문에 간섭이 일어나지 않는 범위 안에서 최대한의 효율을 낼 수 있는 부품 간 조합을 만들어 내야 한다. 그러기 위해서는 각 부품들 간에 연결부를 최적의 상태로 조절해야 한다. Fig. 11는 11개의 연결부를 나타내고 있는 그림이다.

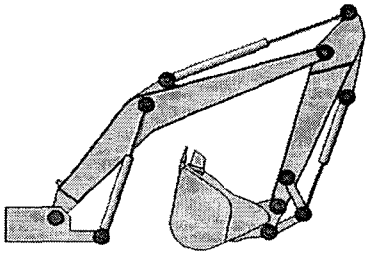

Fig. 11 Pin-points of Layout Design

내구성 확인 기능은 3.2절에서 기술된 역학적 해석을 바탕으로 수행된다. 설계 후 적절한 내구성을 가지는 지는 CAE 시뮬레이션과 내구성 실험 등의 과정을 거쳐 해결하여야겠지만 설계 단계에서 간단하게 해석 단계의 지식을 적용할 수 있는 경우 반복되는 설계 과정을 줄일 수 있다.

Fig. 9에서와 같이 암 부분 모델링을 마치고 설계자는 제공되는 인터페이스를 통해 암과 다양한 힘을

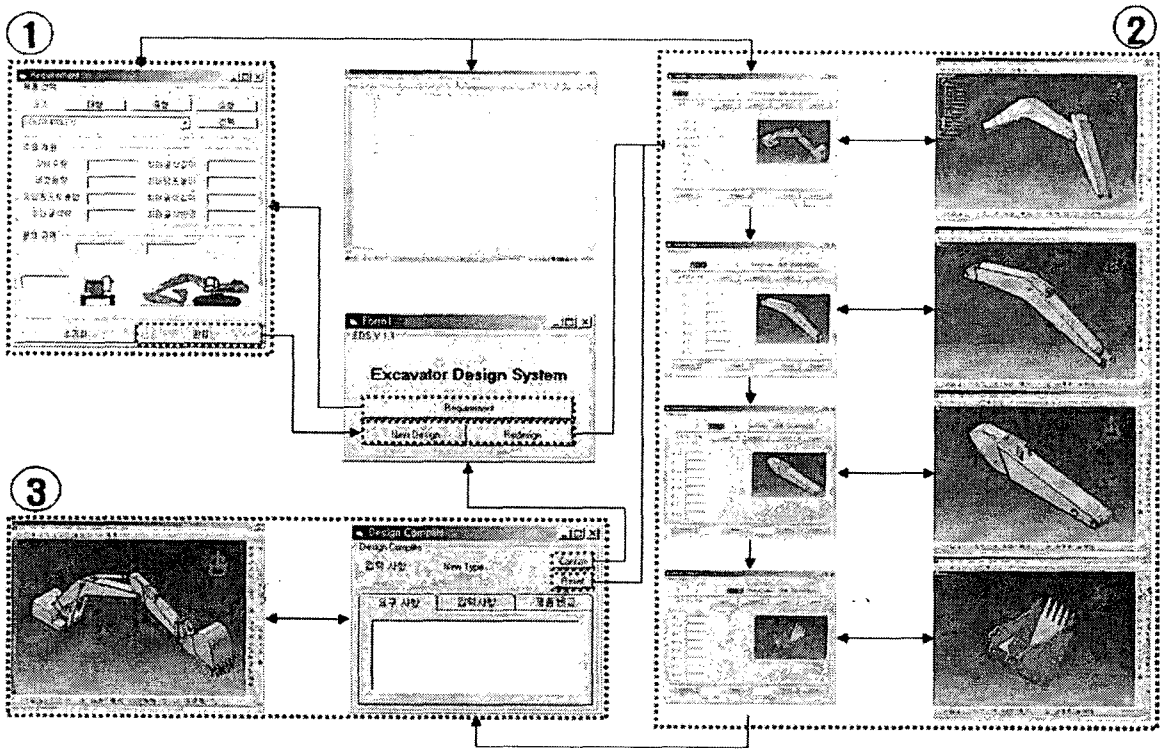

Fig. 12 An Early Design Interface and a Design Process

가하는 테스트를 하게 된다. 이 기능은 설계자가 부품의 내구성에 대해 간단하지만 적절한 지식을 제공받게 한다. 이 기능의 개발에 핵심적인 사항은 내구성 테스트를 위한 지식의 질이며, 이러한 지식은 설계자의 경험과 현장의 데이터에 의존하고 있다.

인터뷰를 통해 이런 지식에 접근하며, 관련 연구에 대한 참조 및 역학적 해석 과정을 통해 지식을 축적한다. 더 나아가 현장 데이터를 적용한 디지털 마이스터와의 결합을 염두에 두고 있다.

통합적 설계 평가란 모든 설계 지식, 제한 조건 등의 만족 여부에 대한 모니터링 환경과 설계 제품의 체적 및 중량, 예상 비용을 계산하는 것을 말한다. 이 기능은 CATIA Knowledgeware 내의 함수와 Visual Basic API를 이용하여 구현되고, 평가 모듈을 이용하여 설계 모델을 최종적으로 평가할 수 있는 환경을 제공한다. Fig. 13는 전체적인 시스템 아키텍처이다.

4. 시스템 구현

4.1 설계 인터페이스 구현

굴삭기 프론트 부분 지식기반 설계 시스템 업무 흐름도는 Fig. 12에 나타나 있다. ①번 부분에서는 새로운 제품에 대한 설계 또는 기존 제품에 대한 재

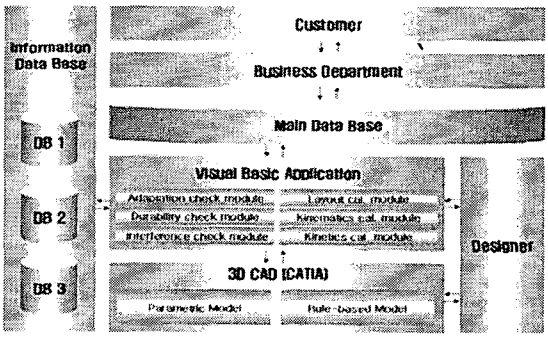

Fig. 13 A System Architecture

설계와 관련된 요구 사항들을 입력하게 된다. 이 정보들은 관련된 세부 설계 정보와 생산 정보 등을 참조하여 설계의 타당성과 생산 가능 여부와 관련된 정보들을 제공한다.

①번 부분에서 얻은 설계 정보를 이용하여 ②번 부분에서는 새로운 모델의 설계나 혹은 재설계가 필요한 부품 항목에 대해 설계 변수를 변경 하게 된다. 이때 각 설계 인터페이스 창은 실제 도면과 연결되어 있어 사용자는 변수 값에 의한 변화를 CAD 툴을 통해 즉시 인지할 수 있다. 시스템 구성에 있어서 설계 인터페이스 상에 표기되는 변수들은 전체 부품이나 레이아웃 관련 위치를 선정하는데 있어서

핵심적 역할을 하는 변수들만을 선정하였다. 상세설계에 해당하는 이 부분은 순서적으로 레이아웃 설계와 부품 별 설계로 나누어진다.

③번 단계에서는 지금까지 설계해온 항목들이 얼마나 초기 요구사항에 잘 부합하는지를 판단하게 된다. 요구사항과 재설계과정에서 입력되어진 사항, 그리고 그 두 가지 사항들을 비교하여 어떤 측정항목들이 만족되었는가를 확인하는 부분들로 구성된다. 전체적인 정보는 데이터베이스에 축척되며 이 내용들은 차후 재설계를 수행할 경우 참고 사항이 된다.

4.2 설계 시나리오

최초 설계자는 주문되어진 재설계 정보를 확보한 후 시스템에 접속한다. 시스템 초기 화면은 요구조건, 새 설계, 재설계의 3가지 선택 항목으로 구성된다. 본 논문에서는 요구조건과 재설계에 대해서만 언급하겠다.

요구조건 입력에서 크기와 제품 타입을 선정하게 되면 각 변수 항목에 맞추어 Database에 구성된 정보들을 읽어 오게 된다. 여기서 제품 타입은 현재 시판되는 제품 정보에 맞추었다. 재설계를 위해 기존 제품을 선정하고 수정하는 이유는 전체적인 설계 변경을 위한 데이터 생성과정보다는 시간적인 면에서 효율적이기 때문이다. 설계자는 필요한 부분에 대한 정보만 수정하여 저장하면 된다. 참고로 요구사항 입력 창에 구성된 변수들은 앞에서 언급한 1차 레벨에 해당되는 정보들로써 제품을 사용하는 사람들에게 알려지는 제품 정보들을 의미한다. 요구조건 입력창에서 저장된 정보는 시스템 초기 화면에서 재설계 항목을 선택함으로써 본격적인 재설계 단계로 옮겨지게 된다.

재설계는 핵심 부분들(Layout, Boom, Arm, Bucket)에 맞추어 총 4단계로 구성되어 있고 순차적으로 설계를 진행해 나간다. 첫 번째 단계로 Layout 설계에서는 미리 구성된 응용 모듈에 의해 주요 부품들 간 간섭 효과를 최대한 줄여주는 데이터를 만든다. 또한 설계자의 수준에 따라 설계 시 다루어야 하는 변수들에 차이가 있을 수 있으므로 각 Level에 의한 지원 변수들을 다르게 두었다. 최종적으로는 각 레벨에 상관없이 Layout을 위한 11개의 연결부 좌표를 얻게 된다.

다음 단계들은 Boom, Arm, Bucket 순으로 설계과정이 진행되며 최종적으로 첫 단계에서 수행하였던 Layout 설계와 연계하여 기구학적, 동역학적 고찰을 수행하게 된다.

설계자가 재설계 단계를 전부 마무리 하면 수행되었던 모든 설계 정보가 최종 결과 창에 표시되고 요구조건 입력창에서 수정하였던 데이터와 얼마나 부합하는지를 계산하여 설계자에게 보여준다. 또한 기존 시판 제품과의 비교를 통해 재설계의 성과가 어느 정도인지도 파악할 수 있도록 표기해 준다.

5. 결론

본 논문에서는 디지털 마이스터 구축을 위한 설계 기반을 제안하였다. 도메인 분석을 통해 설계 인자를 추출하였고, 설계 수준에 맞게 단계적 적용이 가능하게 구성하였다. 또한 도메인 분석과 역학적 해석을 토대로 설계 지식을 정형화 하였고, 정형화된 지식을 CATIA Knowledgeware에 적용하고, Visual Basic API를 연동하여 지식기반 설계 환경을 구성하였다. 설계자의 재설계 관련 업무에 있어서 자동화된 응용 모듈들을 사용함으로써 시간적 측면에서의 효율성을 얻을 수 있으며 기존 설계자의 노하우나 관련 지식들을 정형화 하여 내부 모듈로 구성함으로써 계산상의 오류나 정보 누락 등에 의해 발생하는 문제들을 미연에 방지할 수 있다.

본 논문에서 제안된 방법론과 시스템을 기반으로 디지털 마이스터와 연계함으로 소비자의 요구에 빠르게 대응하고, 설계 노하우를 충분히 재활용하는 설계 환경 구축에 대한 연구가 추가될 것이다.

후기

본 연구는 한국생산기술 연구원의 중기거점기술개발사업(과제번호:00116621)지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Richard. M. Wood, Steven X. S. Bauer, "Discussion of Knowledge-Based Design", Journal of Aircraft(AIAA), Vol. 39, pp. 1053-1060, 2002
2. Jeong young jun, Kim young don, Lee chang hun, "CAD & Graphics", pp. 50-60, 2003. 4.
3. Johannsen, G., 1995, 'Knowledge-based design of human-machine interfaces', Control engineering practice, Vol.3 No.2, pp.267-273
4. 전상민, 이수홍, 전홍재, "기능기반설계와 지식기반설계를 이용한 하이브리드 설계시스템", 한국정밀공학회 추계학술대회, pp.783~786, 2003
5. 한동영, 김희국, 이병주, "굴삭기의 기구학적 최적설계와 성능해석", 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집 pp.617~622, 1995
6. 홍제민, 김희원, 강동해, "실험결과를 이용한 굴삭기 작업장치부의 동역학 해석", 대한기계학회 춘계학술대회논문집, 2003