

지능형 CAD 모듈을 이용한 굴삭기 프론트 초기 설계 시스템 구축

주수석*, 배일주**, 이수홍***

An Implementation of an Initial Design System for an Excavator Front Group with an Intelligent CAD Module

Su Suk Ju*, Il Ju Bae** and Soo Hong Lee***

ABSTRACT

It's difficult for manufacturers to derive a new design from the demands of consumers as quickly as possible and a designer carries out design operation using insufficient resources in initial design. To carry out initial design process efficiently for an excavator front group, it is necessary for a designer to manage lots of parameter with an existing knowledge or with in-house know-how and develop function module that calculates working range and excavator force. By doing so, it will bring up the optimized values of parameters based on the DOE in the early design stage. In this paper, a new approach to improve the process with optimized parameters is proposed to reduce a product development time of the excavator front design.

Key words : Intelligent CAD, Design Parameter, Optimization Design, DOE, Excavator Front, Knowledge Management

1. 서 론

생산기술 발달로 제품의 생산비용 절감, 생산기간 단축, 품질 개선이라는 성과를 이루었다. 하지만 근래의 제조회사들은 글로벌 경쟁과 대량생산 체제 안에서 다양한 고객들의 요구 조건을 만족시켜야 하는 급변하는 환경에 처해 있다.

굴삭기는 직업의 다기능성과 고효율성 등으로 인해 건설 현장에서 널리 사용되고 있다. 그러므로 양산시 제작 단가를 낮추고, 작업 성능을 높이기 위해서는 초기 설계 단계에서부터 세심한 고려가 있어야 한다. 다양한 소비자의 요구를 충족시키기 위해 굴삭기의 성능 개선은 중요한 문제이며 더 나아가 잠재적인 요구 사항을 파악하고 이를 제품에 빠르게 적용하는 것이 필요하다.

그 동안 산업 현장에서는 설계자 경험적 지식이나

반복 작업을 통한 설계를 해왔다. 객관적인 자료를 바탕으로 한 설계가 아닌 주관적인 지식이나 경험에 근거한 설계 작업은 반복작업으로 인한 설계시간 증가 및 비효율화를 초래한다. 객관적인 지식이란 수학적 근거나 기존 연구의 방법론에 근거한 설계를 의미하며, 이러한 설계 방법에는 다구적방법론, 공리설계, 최적설계등과 같은 다양한 설계 기법과 방법론들이 존재한다.

1998년 미국 SDRC(Structural Dynamics Research Corporation)사와 Fiat-Allis사는 굴삭기 제작 시 내구성을 향상시키기 위해 봄 모델의 최적화 설계를 수행하였다¹⁾. 각 판재의 두께는 설계 변수로 변위와 응력은 제한조건으로 설정하였고 구조물의 자중은 목적함수로 정식화 하였으며, 이를 해결하기 위해 경사도 투영 최적화 알고리즘을 사용하여 최적화에 대한 연구를 수행하였다. 각 단계별로 독립적인 형태로 존재하고 설계 단계를 마친 뒤 해석과 최적화 단계 순으로 프로세스가 이루어진다. 본 논문에서는 초기 설계 단계에서 다양한 고객의 요구조건을 입력으로 받았을 때 이를 빠르고 효과적으로 설계에 적용시킬 수 있는 방법론과 시스템을 구축하였다. 건설중장비용 설계엔

*교신저자, 학생회원, 연세대학교 기계공학과

**학생회원, 연세대학교 기계공학과

***중신회원, 연세대학교 기계공학과

- 논문투고일: 2007. 04. 11

- 심사완료일: 2007. 08. 14

지니어링 기반 SMART 생산 시스템¹⁾의 일부분으로 지능형 CAD 모듈을 활용한 굴삭기 프론트 초기 설계 시스템을 구축하였다. 구체적으로 설계 지식 관리 모듈, 작업환경 및 굴삭력 계산 모듈, 실험계획법 가시화 모듈, 최적설계 모듈을 개발하였다. 굴삭기 프론트 설계의 프로세스를 개선하여 효율을 향상시키고 반복 작업에 소요되는 시간을 줄여 전체 제품 주기를 단축할 수 있는 효과를 얻을 수 있도록 하였다.

2. 연구 배경

2.1 지식 기반 공학

지식기반공학(KBE: Knowledge-Based Engineering)은 제품에 관련된 지식, 즉 제품을 설계, 해석, 생산하는데 사용되는 기술에 대한 지식을 하나의 특수한 Product Model 속에 포함시키고자 하는 엔지니어링 방법론이다²⁾. 이러한 방법론은 제품의 수장을 용이하게 하며 리드 타임(Lead time)을 단축시키는데 중요한 역할을 한다.

최근 설계분야의 관심사항은 보다 빨리 그리고 저렴하게 설계를 하는데 있다. 지식기반공학(KBE)은 제품 모델 이면에 숨겨진 엔지니어링 지식을 볼로 정의하여 제품모델 속에 담을 수 있으며 이를 이용해 보다 빠르고 효율적인 설계변경이 가능하다³⁾.

현재 지식기반공학을 지원해 주는 CAD Tool은 PTC의 Behavioural modeling, CATIA Knowledgeware, UGS의 Knowledge Fusion, EDS의 Wave 등이 있다. 본 논문에서는 CATIA Knowledgeware를 이용하여 굴삭기 모델링 작업, 변수 및 지식관리, 함수계산, 최적화 설계를 수행하였다. 본 논문에서 언급하는 지식기반시스템은 CAD와 연계하여 처리를 자동화함으로써 편의와 지식 재활용을 돕는 시스템으로, 설계 단계의 프로세스 변화를 통해 전체 제품 주기를 단축 하도록 도와주는 시스템을 말한다.

2.1 관련연구

지식기반 설계는 지식의 재활용도를 돕고 지식을 룰(Rule)로 표현하는데 도움을 주며 CAD와 연계하여 자동화를 구현할 수 있게 하는 것이다.

전기현⁴⁾은 건설기계 도메인에 대한 품질기능 전개(QFD; Quality Function Deployment) 분석을 수행하여 고객요구에 적절한 설계변수를 도출하였고 문제적인 What - How의 불명확한 관계를 공리설계를 적용하여 고객 요구에 대한 적절한 설계 변수를 제공하여 건설기계에 적용할 수 있는 기반을 마련하였다.

신대진⁵⁾은 설계 프로세스를 지원하기 위해 CAD 시스템인 CATIA의 기능성 모듈 중 Knowledgeware를 사용하여 지식기반 설계환경을 구축하였고, 설계 지원 시스템의 구축 시 발생하는 문제점인 기능 확장성과 지능형 CAD와의 연계성을 개선하여 사용자가 원하는 형태의 설계 지원 시스템을 빠른 시간 안에 구성할 수 있도록 도와주는 기능 확장형 설계지원 시스템을 제안하였다.

이러한 설계 지원 시스템과 방법론에 기초하여 자동화된 설계에서 도출되는 지식은 지능형 CAD 모듈을 이용하여 표현하며, 설계 지식을 재사용 하여 활용할 수 있는 시스템의 개발과 도입이 추진되고 있다.

3. 굴삭기 프론트 초기 설계 방법론

3.1 굴삭기 설계 프로세스 개선

프로세스란 특정고객이나 시장에 특정 산출물을 내기 위해 설계가 구조화되고 측정이 가능한 활동들의 집합이다⁶⁾. Fig. 1은 굴삭기 프론트에 대한 문제점 및 이슈 분석, 실행과제, 개선효과를 파악하여 프로세스를 분석한 것을 보여주고 있다.

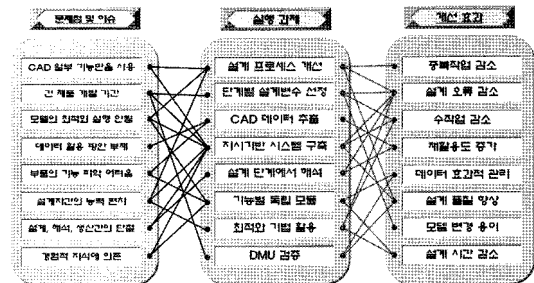


Fig. 1. An analysis of an excavator front's design process.

현 굴삭기 설계에는 CAD가 가지고 있는 일부 기능만을 사용하며, 설계, 해석, 생산 등의 부서별 단절로 전체 제품 수명주기를 단축시키기가 어렵다. 또한 부품의 기능 파악이 어렵고 설계자간의 능력 편차와 데이터 활용 방안의 부재로 부서별 단절 현상이 발생한다.

이러한 문제점을 개선하기 위해 단계별 설계 변수를 적용하여 모델 변경이 용이하게 한다. CAD 데이터가 가지고 있는 변수, 관계, 룰 등을 추출하여 CAD의 지식을 설계자간 원활히 전달할 수 있게 한다. DOE, 민감도 분석을 통해 민감한 변수를 설계자에게 제안하여 설계 시간을 단축시킨다. 다목적 함수 최적화와 작업환경에 대한 기능별 독립 모듈을 구축하여 설계자가 목표표 하는 설계 변수 값을 도출하고

설계 소요 시간을 감소시킨다.

굴삭기 프론트 설계 프로세스 분석을 기초로 Fig. 2와 같이 설계 프로세스를 개선하였다. 기존의 설계 프로세스와 차별화 되는 단계는 5단계, 6단계, 7단계이다. 이는 지능형 CAD 모듈을 활용하고 실험계획법과 최적설계를 수행하여 설계자의 주관적인 설계 변수와 지식을 사용하는 것이 아니라 객관적인 자료에 근거한 설계를 수행할 수 있도록 한다. 다음은 각 단계별 개선된 수행 내용에 대한 설명이다.

- 5단계: 독립 보들을 사용하여 작업반경 및 굴삭력을 계산하는 기능 담당
- 6단계: 실험계획법을 이용한 민감도 분석을 통해 민감한 변수 제공.
- 7단계: 다양한 함수들을 고려한 다목적 함수 최적화(MO; Multi-Objective Optimization)를 수행.

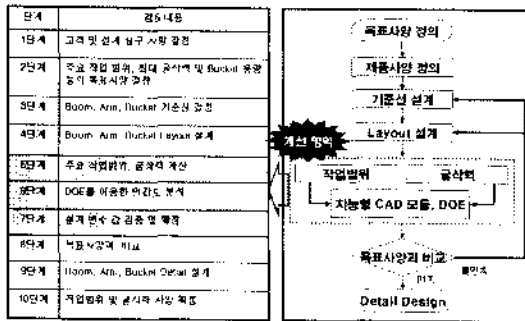


Fig. 2. A modified design process for the excavator front.

3.2 굴삭기 프론트 모델 정의

3.2.1 Top-down 방식의 모델링

Fig. 3은 굴삭기 프론트 부분을 Top-Down 방식을 이용하여 모델링 작업을 수행하였다. Top-Down 방식은 각 부품을 개별적으로 설계하고 부품간 관계 형성 작업이 간단한 장점을 가지고 있고 Bottom-Up 방식

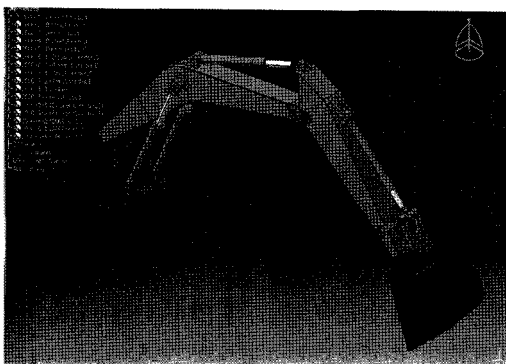


Fig. 3. A geometric model of an excavator front.

은 설계 의도를 반영하는데 있어 제한적이고 치수 제어가 어려운 분체집을 가지고 있다. 이러한 이유 때문에 Top-Down 방식은 사용자 의도대로 표현이 가능하고 형상의 치수를 변경할 때 다른 부품의 구속 제어가 가능한 설계를 지원한다. 굴삭기 프론트 모델링은 붐, 암, 버킷, 스키펠톤의 총 13개의 하위 어셈블리 파일을 가지고 있고, 각각의 하위 어셈블리는 8~12개의 파트 파일로 구성하였다. 전체적으로 287개의 변수와 693개의 관계, 25개의 볼을 가지고 있다.

3.2.2 작업 반경 및 굴삭력 계산

굴삭기 설계에 대한 지식을 체계화하기 위해 프론트 부분 설계 시 고려해야 하는 6가지 작업반경과 굴삭력에 대한 수학적 분석을 통해 함수들을 도출하였다. Table 1에 있는 변수들은 Fig. 4에 나와 있는 굴삭기 레이아웃 단계 변수들의 목록과 가장 많이 사용되는 21본 굴삭기의 설계 변수 값을 나타내고 있다.

Table 1. Levels of design variables used in orthogonal array

인자	변수명	기본값	설명
x	Boom Length	5700 mm	Pin1에서 Pin2까지의 직선거리
y	Arm Length	2900 mm	Pin2에서 Pin3까지의 직선거리
z	Bucket Length	1500 mm	Pin3에서 버킷 Tip point까지의 거리
a	BoomAngle_Max	70 deg	Boom_angle의 최대 각도
b	BoomAngle_Min	40 deg	Boom_angle의 최소 각도
c	ArmAngle_Max	90 deg	Arm_Angle의 최대 각도
d	ArmAngle_Min	30 deg	Arm_Angle의 최소 각도
e	Bucket_Max	100 deg	Bucket_Angle의 최대 각도
f	Bucket_Min	30 deg	Bucket_Angle의 최소 각도

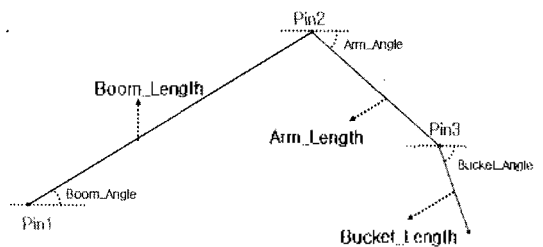


Fig. 4. A layout model of an excavator front.

Table 1의 붐, 암, 버킷의 3개의 길이 변수와 6개의 각도 변수들을 이용하여 작업반경과 굴삭력에 대한 6개의 함수들을 Table 2와 같이 생성하였다. 사용자가

지능형 CAD모듈을 이용하여 설계 초기 단계인 레이아웃 설계 단계에서 6가지 작업반경을 확인할 수 있도록 지식 베이스를 구축하였다. 이 함수들은 변수들과 복잡한 상관관계를 가지고 있으며, 함수의 값을 변경할 때 어떠한 변수들을 우선으로 고려해야 하는지 3.4, 3.5절에 구체적으로 기술하고 있다.

Table 2. The function of the working range and excavator force by cylinder

Name	Function
최대굴삭반경	$\sqrt{x^2+y^2-2*x*y*\cos(180\text{ deg}-a+d))+z}$
최대날삭깊이	$z+y+x*\sin(b)-1600$
최대굴삭높이	$x*\sin(a)+y*\sin(d)+z*\sin(f)+1600$
최대덤프높이	$x*\sin(a)+y*\sin(d)-z*\sin(f)+1600$
최소선회반경	$x*\cos(a-7\text{ deg})$
최대수직굴삭깊이	$(\sqrt{x^2+y^2-2*x*y*\cos(180\text{ deg}-a+d))+z)*\sin(b)$
암 실린더에 의한 굴삭력	ArmCylinder_Force * 1.2/1.1 L1: Pin 2에서 버킷 선단까지 거리 L2: Pin 2에서 암 실린더까지 수직거리
버킷 실린더에 의한 굴삭력	(BucketCylinder_Force/1.4)*(L1 * L3)/L2 L1: Pin8에서 실린더까지 수직거리 L2: Pin8에서 링크까지 수직거리 L3: Pin3에서 링크까지 수직거리 L4: Pin3에서 버킷 선단까지 수직거리

3.3 CAD 지식 관리

하나의 제품은 여러 개의 부품으로 구성되어 있고, 각각의 부품은 여러 개의 설계 변수를 포함하고 있다. 조립품은 설계 변수간의 복잡한 관계와 구조를 이루고 있고 여러 설계 틀이 적용되는 경우에는 관계 파악이 어려운 문제점이 있다. 또한 A라는 설계자가 작업한 CAD를 B라는 사람에게 설명하기에는 많은 시간이 소요되며 모든 지식을 전달하기는 쉽지 않다. 이로 인해 설계자들간의 설계 정보를 공유하거나 지식을 타인에게 전달하는 과정에 소요되는 시간이 발생한다.

이러한 문제점들을 해결하기 위해 지능형 CAD 모듈을 이용하여 CAD가 가지고 있는 설계 변수(Parameter), 관계(Relation), 룰(Rule) 등의 지식을 CAD로부터 직접 추출 및 생성하여 CAD 지식을 관리 하는 것이 필요하다.

CAD 시스템의 변수 및 지식 추출 및 생성 모듈은 Fig. 5와 같은 시스템 프로세스와 데이터 흐름을 가지고 있고 진행 순서는 다음과 같다. 첫 번째, CAD 모델링 작업을 수행한 후 CAD가 가지고 있는 모델 구조를 파악한다. 두 번째, 변수 및 지식을 추출하는 작

업을 수행한다. 세 번째, 추출한 변수와 지식이 소속된 위치를 파악한다. 네 번째, 추출된 지식들을 설계자가 원하는 지식으로 필터링(Filtering)하는 작업을 통해 CAD의 지식을 관리하도록 한다. 이를 통해 설계의 필수 자원인 CAD 데이터의 재활용도를 높이고 설계자 경험에서 오는 지식을 저장할 수 있도록 하였다.

본 논문에서는 CATIA Knowledgeware라고 하는 지능형 CAD 모듈을 사용하였다. 이는 설계 형상과 관련된 변수(Parameter), 제약조건(Constraint), 룰(Rule), 관계(Relation) 등의 표현을 지원하며, 구축한 시스템은 Fig. 11를 통해 확인할 수 있다.

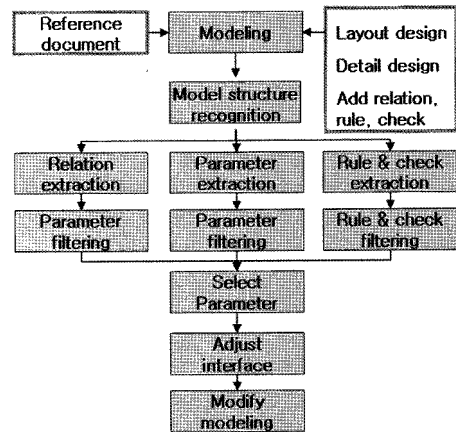


Fig. 5. A process of Knowledge Extraction module.

3.4 실험계획법

직교배열표와 분산분석법을 이용하여 굴삭기 프론트 부분의 6가지 작업반경에 대한 함수에 사용되는 9개 설계변수에 대하여 3수준의 L₂₇ 직교배열표와 분산분석법을 이용하여 민감도를 분석하였다. 이 결과 데이터는 최적화를 수행하는데 불필요한 인자를 줄이는 장점이 있다. Table 3은 실험계획법에 사용할 9개

Table 3. Levels of design variables used in orthogonal array

인자	1수준	2수준	3수준
Boom_Length	5130 mm	5700 mm	6270 mm
Arm_Length	2610 mm	2900 mm	3190 mm
Bucket_Length	1350 mm	1500 mm	1650 mm
BoomAngle_Max	65 deg	70 deg	75 deg
Boomangle_Min	35 deg	40 deg	45 deg
ArmAngle_Max	90 deg	90 deg	90 deg
ArmAngle_Min	25 deg	30 deg	35 deg
BucketAngle_Max	100 deg	100 deg	100 deg
BucketAngle_Min	25 deg	30 deg	35 deg

변수의 수준 별 설계변수 값을 보여주며, 설계변수 범위를 길이 변수의 $\pm 10\%$, 각도 변수는 $\pm 5\%$ 로 정하였다. 이들 변수들 중 Table 2에서 사용하지 않는 ArmAngle_Max (C)와 BoomAngle_Max(B)는 90 deg, 100 deg로 고정하였다. 이는 실제 사용되고 있는 21 ton 굴삭기의 변경 가능한 범위를 기준으로 정하였다.

각 실험에 대한 결과의 산출은 지능형 CAD 모듈인 PEO와 연동하여 수행하며 이 데이터 값들은 엑셀 파일로 저장하여 확인할 수 있도록 시스템으로 구현하였다. 설계변수에 대한 민감도는 분산분석표(ANOVA: Analysis of Variation)를 이용하였고, 구성을 위한 절차는 다음과 같다¹⁴⁾.

- ① 실험의 배당에 사용한 직교배열표의 우단에 실험값을 기입한다.
- ② 측정값의 총계를 산출한다.
- ③ 모든 측정값의 계급 합을 산출한다.
- ④ 총 변동을 계산한다.
- ⑤ 인자를 배당한 열의 수준별 측정값의 합을 구한다.
- ⑥ 각 인자에 대한 변동 값을 산출한다.
- ⑦ 각 인자 및 오차의 자유도를 산출한다.

이와 같은 순서로 산출된 값들을 이용하여 분산분석표를 작성한다. 분산비(F_0)로부터 각 인자가 오차에 비해 결과값에 영향이 있고 특정치의 산포를 요인 별로 분해하여 어느 요인이 큰 산포를 나타내고 있는가를 규명한다.

Fig. 6은 작업반경에 사용되는 설계 변수와 최대 굴삭 반경과의 독립적인 관계를 나타내고 있다. 최대 굴삭 반경에 가장 민감하게 영향을 미치는 인자는 붐 길이(x)이고 붐 최소 각도(b), 암 최대 각도(c), 버킷 최대 각도(e), 버킷 최소 각도(f)는 거의 영향을 미치지 않는다.

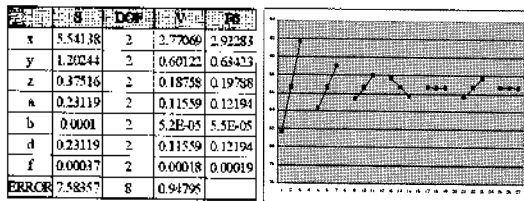


Fig. 6. ANOVA for design parameters and Variation design parameter in maximum digging reach.

분산분석법 구성 절차에 따라 최대 굴삭 깊이, 최대 굴삭 높이, 최대 덤프 높이, 최소 선회 반경, 최대 수직 굴삭 깊이에 대한 민감도 분석도 수행하였다. 6가지 작업반경에 영향을 최소한으로 미치는 변수부터

차례대로 나열하였고, 그 결과는 다음과 같다.

- 최대굴삭반경: b - f - a - d - z - y - x
- 최대굴삭깊이: d - f - a - z - y - x - b
- 최대굴삭높이: b - z - f - y - a - d - x
- 최대덤프높이: b - z - f - y - d - a - x
- 최소선회반경: y - z - d - b - x - f - a
- 최대수직굴삭깊이: f - a - d - a - z - y - x

작업반경 함수들을 모두 고려했을 때 독립변수 9개가 함수 변화에 얼마나 큰 영향을 주는지 파악하였고 이들 변수의 우선 순위에서 영향력이 적은 변수인 붐 최소각도(b)부터 영향력이 가장 큰 변수인 붐 길이(x) 순서로 나열하였다. 설계자가 9개의 독립 변수 중에서 6개의 변수를 고려하고자 할 때에는 c, f, e를 제외한 x, y, z, a, b, d를 고려하면 된다.

3.5 최적설계

설계자가 원하는 목표사양을 만족시키기 위해 설계 변수를 반복적으로 변경하고 경험적 지식에 근거하여 설계 변수 값을 입력하는 방식의 설계를 하였다. 이러한 반복 작업에서 생기는 시간을 줄이고 초기 설계에서 좀 더 정확한 설계 인자를 도출하기 위해 최적설계를 수행하였다.

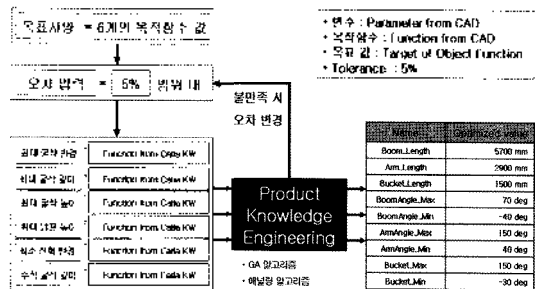


Fig. 7. The optimization design process.

Fig. 7은 본 연구에서 제안한 최적설계 프로세스를 나타낸다. 목표사양으로 6개의 작업반경에 대한 값을 입력한다. 다음 단계로 오차 범위를 입력하고 지능형 CAD모듈을 이용하여 작업반경 함수에 대한 최적화를 수행한다. 그 결과값이 오차 범위 안에 존재하지 않으면 오차범위를 조정하여 최적화를 다시 수행한다.

6가지 작업 반경을 모두 만족하는 최적설계를 수행하기 위해 이 목적함수들을 하나의 목적함수로 변경한다. 이를 위해 각각의 목적함수에 가중치를 부여하는 가중치 합 방법(Weighted Sum Method)을 사용하여 하나의 목적함수를 도출하고, 이를 최소화시키는 최적설계를 수행한다.

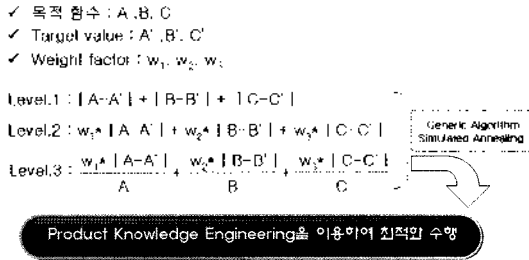


Fig. 8. Weighted Sum Method.

Fig. 8은 본 논문에서 사용한 가중치 방법론을 설명하고 있다. 3개의 목적함수가 존재할 때 다목적 함수들을 1개의 목적함수로 바꿔주기 위해 각각의 목적함수에 가중치를 부여하여 Level.1, Level.2, Level.3를 목적함수로 선정한다. 본 논문에서는 6개의 함수를 이용하여 목적함수를 선정하도록 하였다. 설계자가 상황에 맞는 중요 함수 순으로 높은 가중치를 부여하도록 하였으며, 결과적으로 1개의 목적함수를 도출하여 목적함수를 최소화 시키는 최적화를 수행한다.

Table 4. Comparison optimal values with initial values

	변수명	단위	21 ton (제원표)	29.3 ton (제원표)	29.3 ton (최적화)	오차 (%)
x	몸길이	mm	5700	6245	6211	0.54444
y	암길이	mm	2900	3100	3164	2.06452
z	버켓길이	mm	1500	1550	1514	2.32258
a	Boom의 최대각도	deg	70	70	67.7	3.58571
b	Boom의 최소각도	deg	40	40	40.1	0.25
c	Arm의 최대각도	deg	150	150	148.7	0.86667
d	Arm의 최소각도	deg	40	40	39.2	2
e	Bucket의 최대각도	deg	150	150	148	1.33333
f	Bucket의 최소각도	deg	-30	-30	-29	-3.3333
	최대굴삭반경	mm	9680	10450	10450	0
	최대굴삭깊이	mm	6495	7080	7080	0
	최대굴삭높이	mm	9750	10330	10337	0.06776
	최대덤프높이	mm	7050	7660	7690	0.39164

앞에서 기술한 최적화 방법을 이용하여 굴삭기 사양 별 제원표에 기초하여 최적화를 수행하였다. 5가지 사양은 21톤, 29.3톤, 37.5톤, 40.9톤, 49.5톤이며 각 단계 별로 톤수를 높여 가며 최적화를 수행하였

다. Table 4는 21톤 굴삭기의 작업반경을 목적함수로 설정하고 29.3 톤의 사양을 만족하는 최적화에 대한 결과 데이터를 보여주고 있다. 최적화 검증 결과 데이터로부터 20톤, 29.3톤, 37.5톤은 5% 미만의 오차범위를 나타낸다. 이는 모든 중량에 하나의 레이아웃 모델을 사용할 수 있는 것이 아니라 중량 별 다른 레이아웃 모델을 사용한다는 것을 알 수 있다.

4. 시스템 구현

4.1 시스템 구성도

Fig. 9는 굴삭기 프론트 초기 설계 시스템의 전체 구성도를 나타내고 있다. 본 논문에서 사용된 지능형 CAD는 CATIA V5R14의 Knowledgeware이며, 개발 도구로는 Visual Basic 6.0을 사용하였다.

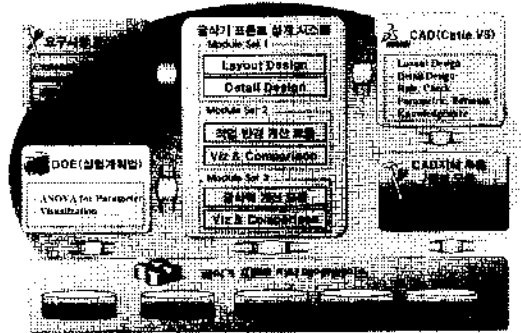


Fig. 9. A System Architecture.

4.2 시스템 구축

Fig. 10은 굴삭기 프론트 초기 설계 시스템의 초기 화면으로 시스템 개략도를 나타내며, 다음과 같은 기능들을 시스템적으로 구현하였다.

- 단계별 설계 변수 선정

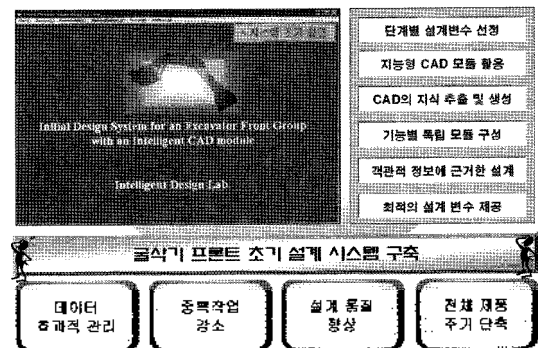


Fig. 10. Initial interface of the System.

- 지능형 CAD 모듈 활용
- CAD의 지식 추출 및 생성
- 객관적 정보에 근거한 설계
- 최적의 설계 변수 제공

CATIA는 KW라고 하는 지식처리 모듈을 가지고 있다. 이 모듈은 설계 형상과 관련된 변수, 제약조건, 규칙, 연관관계 등의 표현을 지원한다.

Fig. 11은 CAD 지식 추출 및 생성하는 모듈이다. 지식기반 설계 시스템과 CATIA KW와의 유연한 연계를 위해 CATIA KW의 설계 정보를 추출하고 생성할 수 있는 모듈을 개발하였다. CATIA가 가지고 있는 설계자 고유의 지식인 변수, 관계, 물, 지식 등을 추출하고 데이터베이스에 저장하고 수정할 수 있도록 하여 지식을 재활용하도록 하였다.

Fig. 12는 기능 모듈로써 암 실린더에 의한 굴삭력과 버킷 실린더에 의한 굴삭력을 계산하는 모듈이다. CAD 모델에 있는 변수 값을 추출해서 얻은 값들을 초기 값으로 설정하였으며 작업 반경과 굴삭력 계산 모듈은 설계 변수의 값을 설계자가 임의로 변경을 할 수 있도록 독립 모듈로 구현하였다

Fig. 13의 위편 인터페이스는 작업반경 분석 모듈이며, 6가지 작업반경을 계산하고 부적합수를 만족하는 최적 설계를 수행하는 모듈이다. 오른쪽 인터페이스는 6가지 작업반경 함수 안에 있는 변수들의 민감도 분석을 수행한 결과 데이터를 시각화하는 모듈이다.

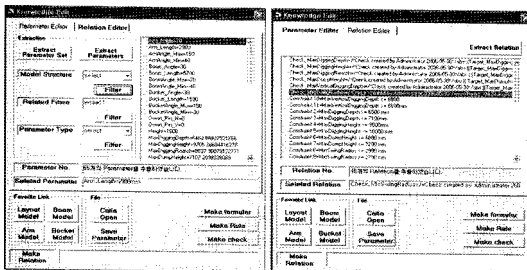


Fig. 11. Knowledge Extraction module from CAD.

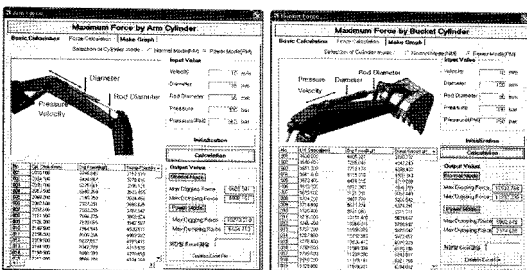


Fig. 12. Excavator force calculation module.

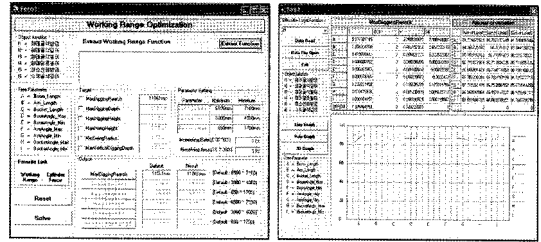


Fig. 13. Working range analysis module and DOE visualization module.

4. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 굴삭기 프론트 부분의 설계 프로세스를 분석하여 개선기회들을 도출하였고 이를 기반으로 지능형 CAD 모듈을 활용한 굴삭기 프론트 부분에 대한 초기 설계 시스템을 구축하였다. 기존의 설계는 경험적인 지식에 근거한 설계였다면 본 논문에서는 객관적 지식에 근거한 설계를 할 수 있는 시스템을 구현하였다. 개념설계 단계에서 최적화된 설계 변수 값을 제공하는 시스템을 구축하여 효율을 높일 수 있도록 하였고, 이를 통해 얻을 수 있는 의의는 다음과 같다.

- 지능형 CAD 모듈의 다양한 기능들을 활용한 굴삭기 프론트 모델 구현.
- 기능별 독립 모듈의 구현 및 이를 통합한 지식기반 설계 시스템 개발.
- 실험계획법을 이용한 설계 민감도 분석모듈 개발.
- 최적화 설계를 통해 목표사양을 만족시키는 변수 값 제안 모듈을 개발.

이러한 작업은 설계 변경 및 해석, 최적설계를 동시에 고려하는 농사공학적 설계기반을 구축하고 설계/해석/최적화 작업의 유기적인 연계를 통해 다양한 소비자의 요구 조건을 설계에 신속하고 정확하게 만족시킬 수 있는 효과와 전체 제품 수명 주기를 줄여 기술경쟁력을 확보할 수 있는 효과를 낼 수 있다.

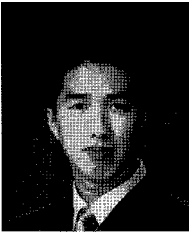
본 논문에서 제공하고 있는 최적화는 지능형 CAD 모듈 안에 있는 기능들을 활용하여 설계 작업을 수행한 것이다. 하지만 이러한 최적화 모듈을 독립 모듈로 구현하여 다양한 CAD에 적용 가능하도록 할 수 있는 독립 모듈로의 구현이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 한국생산기술 연구원의 증기저점기술 개발사업(과제번호:00116621) 지원으로 수행하였습니다.

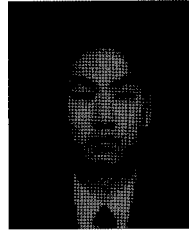
참고문헌

1. Peter W., Andrew., Richard W. and Richard R., "Design of an Excavator Arm Using Optimization Techniques", Society of Automatic Engineers, pp. 2.1248-2.1252, 1998.
2. 두산인프라코어 외, "설계 엔지니어링기반 SMART 제조시스템", 산업자원부 연구과제, 2005.
3. 9 Square Homepage, "http://www.9sq.co.kr"
4. Richard M. Wood, Steven X. S. Bauer, "Discussion of Knowledge-Based Design", *Journal of Aircraft(AIAA)*, Vol. 39, pp. 1053-1060, 2002.
5. 전기현, "고객지향적 제품 개발을 위한 낱삭기 프론트 초기설계시스템 개발에 관한 연구", 연세대학교 석사학위 논문, 2006.
6. 신대진, "기능 확장을 고려한 설계 지원 시스템 프레임 구현에 관한 연구", 연세대학교 석사학위 논문, 2006.
7. Davenport, T., 1993, "Process Innovation: Reengineering Work through Information Technology", Harvard Business School Press, Boston, MA.
8. 최재민, "다양한 설계변수를 고려한 단일치아용 임플란트의 형상 최적화", 연세대학교 석사학위 논문, 2005.



주 수 석

2005년 국민대학교 자동차공학과 학사
 2007년 연세대학교 기계공학과 석사
 2007년~현재 GMDAI Technical Center 연구원
 관심분야: 지식기반시스템, 설계자동화



배 일 주

2001년 연세대학교 기계전자공학부 학사
 2003년 연세대학교 기계공학과 석사
 2003년~현재 연세대학교 기계공학과 박사과정
 관심분야: 지식기반공학, 은플로지



이 수 홍

1981년 서울대 기계공학과 학사
 1983년 서울대 기계설계학과 석사
 1991년 Stanford대학 Design Division Concurrent Engineering 전공, 박사
 1991년~1992년 Lockheed Missile and Space Co. Cable Harness Design System개발 Post-Doc.

1983년~1994년 KIMM CAD/CAM실, 선임 연구원
 1994년~현재 연세대학교 기계공학부 정교수
 관심분야: 동시공학설계, 지식기반시스템설계, DFM