

## 공작기계 설계자동화 적용방안 연구

여진욱\*, 편영식\*\*

### An application of design automation in machine tools design

Jin Wook Yeo\*, Young Shik Pyoun\*\*

\* 선문대 생산시스템기술연구소, \*\* 선문대 기계 및 제어공학부

### Abstract

The purpose of the present paper are not to develop machine tools of new concepts and advanced mechanisms but to introduce and apply new methods and concepts in the design procedure by using and changing the previously existing technologies. In this paper 3D modeller was proposed for designing machine tools and the design automation software(DesignMecha 2000) was used. 3D modeller enabled more fast design and the better manufacturability checking than 2D one so that design error was dramatically reduced. As designer may easily understand the real shape of a part and assembly object, it's easy to draw the drawings not only in a conceptual design but also in a detailed design. Also, design automation software enabled designer to consider the real important design parameters by reducing time to spend in estimating and calculating the strength of the model by the computer aided automatic calculation instead of a tedious and complex calculation by manual method and help him to easily make the decision for selecting the stocks and design the structure of part or unit of machine tools.

Keywords : Machine Tools(공작기계), 3D Modeller(3차원 모델러), Conceptual Design(구상설계), Detailed Design(상세설계), Design Automation Software(설계자동화 소프트웨어)

### 1. 서론

현대의 기계는 고도화·복잡화되고 사용되는 기계 요소도 다양해져서 부품 전문 메이커에 의해 설계 제작된 시판 부품을 이용하지 않고는 기계를 설계·제작한다는 것은 납기 및 개발능력의 문제로 불가능하게 되었다. 다종·다양한 시판 부품이 풍부하게 존재한다는 것은 기계 설계자에게는 상용 시판 부품 중 개발사양에 맞는 것을 선정해서 쉽게 설계할 수 있어서 매우 고마운 일이지만, 그 선정이 잘못되면 최종 제품의 트러블(trouble)의 원인이 되어 기계성능이 재대로 나오

지 않는 결과를 초래한다. 실제로 구입 시판부품은 개발기계의 구조물, housing 또는 shaft등에 결합되기 때문에 이런 것들과의 상관관계를 고려하여 항상 interactive한 설계를 하지 않으면 안된다. 이렇게 하기 위해서는 설계 구상설계 단계에서도 간단한 계산이라도 수행하여 시판 부품 및 기계의 주요 unit를 설계해야 하지만 개발기간에 쫓기는 산업계 현실상 일반적으로 수행하기 힘든 상황이다.

따라서 고효율의 새로운 개념의 신기종 unit를 개발하는 것 이상으로, 기존의 설계과정을 체계화하고, 설계 각 단계에서 필요한 요소기술 설계

를 쉽게 하기 위한 설계 방법론을 제시하여, 설계검증을 수행하면서 설계를 할 수 있는 여러 가지 설계경우에 적용해보는 것이 중요하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 새로운 개념의 기계 unit의 개발이라는 측면보다는 기존의 설계과정을 효율적으로 체계화하고, 기계요소설계 계산 소프트웨어 및 3차원 modeller를 활용하여 기계설계 기간의 단축 및 기계설계 능력을 향상시키고자 하였다.

실제로 본 연구에서는 교육용 머시닝센터 및 조각기 설계에 시스템설계 및 기계요소설계 계산 소프트웨어(DesignMecha 2000) 및 3차원 modeller(SolidWorks 98 Plus)를 활용하여 기존의 설계방법에 비해 설계 및 조립 Error를 현저히 줄일 수 있었고, 설계기간도 단축할 수 있었다. 향후, 국내의 기계제작업체에 많은 도움이 되리라 기대한다.

## 2. 기계시스템 설계

### 2.1 산업계에서의 동작기계설계 현황

실제로 설계할 경우 다른 선진국도 예외 없이 설계하려고 하는 기계크기도 기본적으로는 규격화가 되어 있고 시장을 공략하려는 규격을 선택한 후에는 시장에서 잘 팔리는 타사 기계 사양을 비교 검토하여 경쟁력을 가지기 위한 약간의 사양향상을 하여 설계하는 것이 관례가 되어 있고 그렇게 해도 아무 문제도 없이 시장을 공략할 수 있었으며 처음부터 새로운 설계를 하지 않는 것은 다 알고 있는 사실이다.

예를 들어, motor마력을 산출할 때 설계하려는 기계로서 가공하려고 하는 가공능력(cc/min)을 절삭이론에 입각하여 공구사양과 비절삭 저항을 입력하여 주분력으로는 spindle motor마력을 산출하고 이송분력과 마찰 및 가속도를 고려하여 feed motor의 torque를 결정할 수가 있지만 생략하는 경우가 많고 현재 생산되어 있는 기계에 비교하여 결정하는 경우가 많다.

또 제품을 생산공급을 할 때 수요자가 요구하는 제품의 용도에 맞추어 제품의 최종목적이 무엇인가를 확실하게 정하여 제작 및 공급해야 되지만, 그 것을 간과하고 있는 경우가 많다. 동작

기계의 목적이 철 또는 비철을 가공하고 필요한 품질을 내는 것이 목적이다. 그렇다면 가공에 관한 know-how가 축적되어 있어야만 진실로 좋은 동작기계를 개발 및 생산할 수 있다. 또 가공에 관한 연구가 잘 되어야 기계의 가공효율 및 가공품질도 향상할 수 있지만 현재는 그렇지 않은 것이 현실이다. 동작기계업계는 가공에 관한 생산기술도 동시에 공급해야 되며 그렇게 해야지만 기계의 개선방향이 나올 것으로 생각한다. 한편, 기계가 강성이 약할 때는 공구선택을 잘하면 가공기술로 이송속도를 올리고 기계의 강성을 cover할 수 있는 대책도 낼 수가 있는 것이다. 그러나, 근본적으로 기계본체의 정·동적 강성이 약하면 가공 소프트웨어나, tooling에서 만회하기란 정말로 어렵거나 불가능 할 수도 있다. 동작기계의 목적이 가공한다는 개념을 기초로 하여 정밀가공을 위한 새로운 구조의 동작기계도 출현될 수 있을 것이다. 실질적으로 최근에 여러 가지 새로운 구조의 동작기계가 개발되고 있는 추세이다.

특히 가공속도를 올리기 위하여 각운동 속도가 고속화가 되어 나가고 있는 추세를 고려할 때 운동부분의 질량을 최소화할 수 있는 구조를 근본적으로 연구해야 되며 또 유압장치가 불안정한 요소를 내포하고 있는 현실을 고려하여 운동부는 cam기구가 되는 추세이고, 또 clamp기구는 기계적으로 clamp하는 것이 강성 면에서도 공간적으로도 유리하다고 본다. 또 기계구조의 힘의 loop가 적게 설계되는 것이 보기에는 약하게 보이지만 실제로는 강성과 열변위 면에서는 반대로 유리하다는 시각으로 compact하고 강성이 있는 고속의 저렴한 기계 개발이 시급하다고 생각한다.

### 2.2 개발기계의 시스템설계

본 연구에서는 소비자의 요구에 맞추어 소형 조각기를 개발하였다. spindle unit와 같은 주요 unit의 고속화를 위한 신기술의 도입에 중점을 두기 보다는, 기계 시스템 전체의 balance를 보는 설계, cost-down을 고려한 설계를 수행하였다.

기존의 국내의 조각기의 경우 가공능력이 너무 약해서 가공시간이 많이 소요된다는 문제가 있었지만 본 연구의 개발기계의 시스템은 황삭전용

spindle로 강력가공(3mm)하고 정삭전용 spindle로 정밀조각을 함으로써 가공시간을 최소화 할 수 있게 설계하였다. 실제로 황삭전용, 정삭전용의 two spindle system을 채택하여 가공시간을 4분 이내로 줄일 수 있었다.

또, 조각기 경우 빠른 이송을 별로 쓰지 않기 때문에 다른 종류의 기계처럼 빠른 이송속도로 올릴 필요가 없으므로 최대이송속도를 20m/min으로 설계하였으며 이송계의 고속화보다는 강성면과 cost-down을 고려한 설계를 하였다.

tool clamping 장치는 machining center의 경우처럼 별도의 cylinder unit를 부착하여 tool clamping 할 경우 설계공간상의 제약이 있을 수도 있고, 별도의 clamping unit의 설치를 위해서 많은 경비가 소요된다. 따라서 본 연구에서는 간단한 nut unit를 사용하여 tool clamping 할 수 있는 방법을 채택하여 cost-down을 실현 할 수 있었다.

정삭용 주축회전속도(20000 rpm), 황삭용 주축회전속도(9000rpm) 및 급속 이송속도(20m/min)를 맞추기 위하여 S1, S2, X, Y, Z1, Z2축에 적절한 servo motor를 선정 하였으며, 선정된 motor에 맞게 spindle 및 이송계를 rough하게 구상설계한 후 목표로 하는 각축의 stroke를 낼 수 있게 movement check를 수행하면서 동시에 구조설계 및 housing 설계를 수행하였다. 구상설계단계에서 rough하게 완성된 3차원 도면을 가지고 2차원 도면화 하여 설계변경에 쉽게 대응하면서 각축의 stroke check 및 기계 전체 size를 결정하는 작업을 수행하고, 어느 정도로 개발사양이 결정되면 각 unit 별로 다시 구체적인 기계요소를 선정하면서 세부설계를 수행한다.

### 3. 설계자동화 소프트웨어를 활용한 기계 요소 설계

설계는 항상 이론적 근거가 뒷받침되어 있어야 하고 그 이론을 정량적으로 표현해 수식화한 것이 설계 계산법이며 많은 학자, 연구자, 기술자에 의해 수많은 계산식이나 데이터가 제공되고 있다. 그리고 기계 공업의 오랜 경험, 실적에 의해 이들 계산법이나 계산식의 대부분은 그 타당성이

나 신뢰성이 증명된다고 할 수 있다. 따라서 설계자는 항상 이들 계산법을 이용해서 설계를 하고 계산이야말로 설계의 근거라고 할 수 있다.

기계에는 항상 어떤 힘이 작용하기 때문에, 힘이 작용하면 강도나 변형의 문제가 생겨 적어도 응력, 강성, 변형에 대한 정적계산이 필요해진다. 또 사용해야할 동력은 어느 정도인가, 열의 영향은 어떤가, 진동은 발생하는가, 중량은 적당한가 등 계산할 항목은 대단히 많다.

공작기계나 자동차와 같이 정밀도 및 안정성이 고도로 요구되는 경우에는 부품 하나라도 문제가 되면 상품으로의 가치가 충분하지 않다. 따라서 설계자는 prototype이 나오기 이전단계에서 설계 검증 계산으로 확인하면서 설계를 진행시킬 필요가 있다. 그것이 손으로 하는 계산일 수도 있고 경험에 의한 선택일 수도 있다. 그러나, 손으로 계산하는 경우는 간단한 기계요소 선정 외에 정적해석 및 동적해석을 한다는 것은 많은 시간소요를 필요로 하기 때문에 실제 설계단계에서 수행한다는 것은 개발기한에 쫓기는 상황에서는 적용될 수 없다. 또한, 경험에 의한 설계는 가장 좋은 결과를 얻을 수 있지만, 때때로 아주 중요한 실수의 원인이 되기도 하므로, know-how를 가진 기술자 스스로 한번 이론적인 계산으로 설계검증을 해보고 싶은 경우가 많다. 이러한 관점에서 볼 때, 설계자동화 소프트웨어(DesignMecha 2000)를 이용하여 짧은 시간소요로 이론적 계산 및 설계를 수행함으로써 실제 설계기간을 단축시킬 수 있었다. 본 연구에서는 설계자동화 소프트웨어를 이용하여 공작기계 설계 및 전용기 설계를 하여 많은 도움을 받았다. 그것을 이용하여 기계요소 설계한 내용은 다음과 같다.

#### 3.1 Spindle Unit

이번 기계개발에서의 중점적인 개발 point는 4분 이내에 중절삭(3mm)까지 할 수 있는 기계를 만드는 것이었다. 기존의 조각기들은 하나의 spindle로 황삭 및 정삭을 수행해야 하기 때문에 강력절삭이 되지 않는 문제점이 있었다. 본 연구에서는 두 개의 spindle을 이용함으로써, 한 개의 spindle은 황삭을 하고 또 다른 한 개의 spindle은 정삭을 수행함으로써 spindle의 설계에서도 별

다른 무리가 없이 빠른 시간내에 강력 절삭할 수 있는 기계를 개발할 수 있었다.

목표로 하는 회전수(20000rpm)에 견딜 수 있게 P4급 이상의 고정밀 bearing을 선정하였다. 실제로 bearing 같은 경우는 bearing 선정만큼 조립 기술이 중요하다고 할 수 있다. 따라서 조립을 생각한 설계가 필수적이라고 할 수 있다.

선정된 베어링의 외경에 근거하여 spindle housing을 설계하였으며, bearing의 mounting distance는 bearing경의 3배정도로 rough하게 설계한 후 자동설계프로그램(DesignMecha 2000)을 활용하여 최적의 mounting distance를 결정하였다.

본 연구의 기계개발사양과 같이 고속으로 회전하는 경우에는 spindle shaft의 정적 강도설계 뿐만 아니라, 동적 해석 또한 중요한 design parameter가 된다. 본 연구에서는 설계자동화 소프트웨어를 활용하여 정적해석 뿐만 아니라 동적 해석을 수행하면서 shaft설계를 수행하였다. 또한, 고속회전에서는 진동문제로 balancing에 주의하지 않으면 안 된다. 본 연구에서는 별도의 automatic balancing unit나 진동측정기를 이용하여 balancing hole을 이용하여 balancing을 보았다.

그 외의 spindle unit관련 부품선정 및 설계는 지면 관계상 생략한다. 요약하면, 조립의 편리성을 도모하기 위해 간단한 구조로 설계하였으며 A/S에도 쉽게 대응할 수 있는 구조를 채택하였다.

### 3.2 이송 시스템

feed motor의 선정에서는 이송 시스템이 가지는 torque에 견딜 수 있는 motor를 선정한다. 본 연구에서도 ball screw, coupling, motor의 torque를 고려하여 원하는 이송속도(20m/min)에 충분한 servo motor를 선정하였다. 그리고 역으로 선정된 ball screw가 작동조건에 안정한지 계산해보았다. 특히, rough하게 ball screw의 직경을 결정하고, ball screw의 mounting을 위해서 필요한 bearing groove, oil seal을 위한 단차, 연삭여유, lock nut를 위한 나사부에 있어서의 파괴를 설계자동화 소프트웨어를 이용하여 해석해 보면서 적

당한 ball screw를 선정하였다. 그리고, 기계 개발기간에 제약이 있는 현실에서는 납기를 고려한 설계도 중요하기 때문에 납기문제로 ball screw의 기타 부품이 변경된 경우에 대비해서 설계변경에 유연하게 대응할 수 있는 기계설계가 될 수 있도록 하였다.

### 3.3 Workpiece Clamping Unit 및 기타 Unit 설계

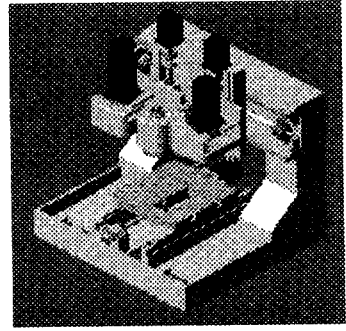
본 연구의 개발기계는 소비자가 여러 형태의 workpiece 중 원하는 형태의 workpiece를 선정가공하여 공급하는 것이다. 따라서 자동으로 공급되는 여러 형태의 workpiece에 맞는 jig로 구성된 clamping unit를 설계하였다. clamping unit의 설계시 cost-down 및 설계공간상의 제약조건으로 인하여 하나의 cylinder의 stroke를 입력으로 여러개의 clamping jig가 workpiece를 clamping 해야하므로 link 기구를 이용하여 설계하였다. 이 설계시 원하는 최종 clamping jig의 stroke(15mm) 및 clamping force(75kg)를 내기 위해서 어느 정도의 cylinder를 사용해야하는지 계산을 수행해야 한다. 본 연구에서는 설계자동화 소프트웨어를 사용하여 간단히 선정 할 수 있었다.

그 외 unit 및 체결기구 설계에서도 설계자동화 소프트웨어를 활용하여 설계검증할 수 있었다.

### 4. 3D를 활용한 설계

80년대의 drafter 설계시대가 90년대 들어와서 2차원 CAD 설계시대로 변했을 때는 도면관리 및 설계수정의 편의성, 작업속도 향상이라는 측면에서 강제로 drafter를 제거하고 2차원 CAD를 활용한 설계로 바꾸었다. 기존의 설계 경력자들의 반대도 조금은 있었지만 근본적으로 2차원 CAD는 2차원 drafter의 연결선상에서 손으로 그리는 drafter를 computer를 이용한 전자 drafter 개념이었기 때문에 결과적으로 큰 무리 없이 성공적으로 2차원 CAD의 시대가 도래했었다. 최근에 똑같은 방법으로 강제로 2차원 CAD를 3차원 CAD로 바꾸어 설계에 적용한 결과 일본의 J사 및 몇몇 회사의 경우 실패한 사례가 있다. 실패한 원인을 분석해 보면, 2차원과 3차원설계의 개념상 차이점이 있음에도 불구하고 기존의 2차원 설계개념

및 설계단계를 그대로 3차원 설계에 접목하려 했다는 것이다. 인간의 머리 속에서 언제나 3차원으로 구상 되어있는 idea가 2차원 형상으로 CAD에 입력되면 3차원 입체형상을 강제적으로 2차원으로 생각하게 되어서 인간의 두뇌가 자연상태가 아닌 표면상태가 되어 누가 봐도 이해할 수 있는 형태가 아닌 설계한 기술자나 특별한 기술자만이 이해할 수가 있는 암호 같은 정보가 되어 도면을 검토하는 작업에서 많은 수고와 시간이 소요된다. 또한, 검토된 최종도면이 현장으로 가서 현장 engineer가 완벽한 이해를 하고 공정계획을 새우기까지는 많은 시간이 걸린다. 3차원 modeller를 사용하면 실제가공형상을 보면서 설계를 하기 때문에 설계, 검토, 가공, 조립 어느 면에서도 이해가 쉽고 이에 따라 설계 및 완제품이 나오기까지의 시간을 단축시킬 수 있다.



<Fig. 1> 개발기계의 3D 조립도

3차원 CAD를 설계에 이용하는 경우의 장점에 대해서 다음과 같이 정리해 본다.

- (a) 기술자가 아니어도 시각적으로 개발품을 화면에서 볼 수가 있기 때문에 전사원이 참여하는(특히 경영자도) 개발을 추진할 수가 있음.
- (b) 외관에 관한 design을 설계자 자체가 쉽게 할 수가 있음.
- (c) 부품의 간섭을 입체적으로 check할 수가 있기 때문에 개발품의 조립 시 발생하는 dimension 문제를 최소화 할 수가 있음.
- (d) CAE/CAM에 쉽게 연결되어 미리 분석하고 생산준비가 단축됨.
- (e) 생산, 영업을 지원할 수 있는 수단이 풍부하게 준비가 됨.
- (f) 입체화가 된 부품표로 도면없이 부품관리가 가능함.
- (g) 작업공정을 입체적으로 표현할 수가 있음.
- (h) 시각적으로 뛰어난 영업자료를 제공할 수가 있음.
- (i) 고객에게 제공하는 part list를 쉽게 편집할 수가 있음.

본 연구에서 3차원을 활용하여 개발한 기계의 조립입체도는 Fig. 1과 같다.

결론적으로 본 연구에서는 기존업체의 3차원

CAD의 적용실패를 교훈 삼아 CAD적용에 앞서서 동작기계 및 기계요소의 설계단계를 새롭게 정리 및 구축하여 설계에 적용한 결과, 설계기간을 기존 2~3개월 정도에서 2~3주로 단축시킬 수 있었고, 2차원 설계에서 고려하기 힘든 조립성을 고려한 설계를 수행하여 실제 조립한 결과 조립 error도 현격하게 줄일 수 있었다.

## 5. 결과 및 고찰

본 연구의 개발대상 기계는 소형 조각기 종류로 가공 특성상 황삭을 하고 정삭을 하는 기계이다. 따라서 기존의 황삭가공 후 정삭가공을 위한 tool을 장착하는 시간이 소요된다. 이에 착안하여 one setting으로 tool 장착시간이 필요 없고 고속가공할 수 있는 two spindle 구조로 설계하였다. 결론적으로 말하면, 기계의 가공특성을 고려한 설계로 가공능력의 향상 및 가공시간을 획기적으로 줄일 수 있었다. 또한 본 연구의 기계개발단계에 있어서 자동 설계계산 소프트웨어 및 3차원 CAD를 이용하였다.

설계자가 구상설계 및 세부설계를 수행 할 때 구상한 구조물이나 mechanism이 재성능을 발휘할 수 있을지 직접 설계검증을 통하여 확신을 가지지 않으면 되지 않지만, 실제 설계단계에서 손으로 기계 mechanism이나 기계 본체구조물, housing, spindle shaft, 용접부 등 손으로 계산하기 어려운 것이 사실이다. 따라서 설계자들은 기존의 설계자료를 참고로 비교 설계하는 경우가 많은데 새로운 요구가 계속 돌출 되는 현대 소비자의 요구에 대응하는 기계를 설계하기 위해서는

설계검증 및 설계능력배양이 필요시 되고 있다. 만약 이러한 장점에도 불구하고 설계검증을 하는데 많은 시간이 소비된다면, 납기기간이 단축되어가고 있는 현실정에 보조를 맞추지 못하게 되어 설계검증을 실제 설계현장에서 사용될 수 없을 것이다.

본 연구에서 수행한 설계검증은 일반적 손으로 설계검증 하는데 시간이 많이 걸리거나, 계산하기 어려운 부분들을 설계자동화 소프트웨어를 활용하여 설계검증을 하면서 동시에 시간적 risk도 줄일 수 있었다. 궁극적으로는, 설계자동화 소프트웨어를 활용하여 국내의 기계설계관련 업체, 특히 설계능력이 부족한 중소기업에 많은 도움이 되리라 기대한다.

그리고, 3차원 modeller를 설계에 적용하여 설계기간 단축 및 앞서 논한바와 같이 많은 이익을 얻을 수 있었다. 본 연구에서는 기계개발기간의 제약으로 구조해석까지 수행하지는 못했지만, 3차원을 설계에 활용함으로써 설계단계 및 설계완료 후 3차원 data를 이용하여 쉽게 구조해석을 가능하게 하는 장점 또한 있다. 최근 PC가 고속화가 되어 처리용량도 빠른 속도로 발전하고 있으며, 3차원 CAD가 시간이 가면 갈수록 편하게 쓸 수 있도록 발전하는 시세를 고려하면, 지금이야말로 빨리 3차원 CAD를 도입하여 아마도 향후 2~3년후 세계가 3차원 설계로 변화하는 시대적 요구사항에 뒤떨어지지 않고 더 나아가서는 세계 설계기술 선진국으로 도약할 수 있을 것이다.

## 6. 향후계획

일반적으로 설계단계를 크게 나누면, 구상설계, 세부설계, 해석으로 나눌 수 있다. 설계 초기단계의 구상설계에서 기계 시스템설계에 소홀하게 되면 많은 시간에 걸쳐 세부 설계한 조립품이 기계개발목표 인 사양에 못 미치는 경우가 종종 있어서 문제가 된다. 이는 납기기간의 단축으로 구상설계에 치중하는 시간이 상대적으로 줄어들었기 때문에 기계시스템설계에 소홀하게 되는 경우나, 설계 부서의 know-how를 가지고 있는 경력자와 초보 engineer 사이의 의사전달에 되지 않거나 의사전달에 오류가 있기 때문일 것이다.

일반적으로 설계 경력자들은 CAD 활용 면에서 젊은 초보 engineer에 비해 CAD의 사용능력이 떨어진다고 가정할 때, 경력자가 참신한 idea가 있다 할지라도 세부설계를 위한 초기설계 data를 CAD data로 지원할 수 없는 현실이기 때문에 종종 의사전달상의 오류나 혹은 의사전달이 단절되어 초보 engineer가 광의의 설계라는 의미에서 설계하지 못하고 drafter 개념을 CAD를 사용한 결과 최종적으로는 개발사양과 차이가 있는 기계를 설계할 수 있다.

일반적으로 설계자는 설계사양에 대한 기능설계를 먼저 머리 속에 구상하고 도면화를 진행하기 전에 세부적인 geometry를 전부 표현하지 않고 설계기능을 간단히 표현할 수 있는 수단으로 symbol를 활용하고 표현하는 경우가 많다.(전기설계 및 유공압 설계에는 표준화된 당연한 방법이지만) 또한, CAD가 전자 drafter 이상의 역할을 하려고 하면 경력자들의 구상설계를 지원할 수가 있어야 하는데 그 한가지 방법으로 symbol화 된 부품 및 기능을 표준화하여 경력자들의 설계구상을 지원할 수가 있어야 된다.

향후 기계부품 및 기능의 symbol화로 경력자의 know-how 및 idea 만으로 기계시스템 설계를 쉽게 할 수 있게 하고 이를 3차원 CAD까지 지원되어 구상 설계한 data가 세부설계의 초기 data로 사용할 수 있는 기계시스템설계 소프트웨어를 개발할 것이다.

## 참고문헌

1. “機械設計必修知識” pp. 31~65, 1992.
2. “最新の工作機械技術”, pp. 153~179,
3. F. Koenigsberger, “Design principles of metal-cutting machine tools”, 1964.
4. S. Kanai, H. Tankahashi, H. and Makino, “Computer-Aided Assembly Sequence Planning and Evaluation System Based on Predetermined Time Standard”, Annal of the CIRP, Vol. 45, pp. 35 ~ 39, 1996.
5. Gunter Spur, “Integrated Simulation of Manufacturing Processes in CAD Systems -Ideas and Concepts”, Annals of the CIRP, Vol. 45, pp. 157~160, 1996.