

시스템적 접근을 통한 레이저 미세가공 설계 프로세스 개발에 관한 연구

문성욱*** · 박영원* · 남기중***

*아주대학교

**고등기술연구원

***(주)젯텍

A Study on Application of Systems Approach for Laser Micro Machining Design Process

Seong-wook Moon***, Young-won Park* and Gi-jung Nam***

*Department of System Engineering, Ajou University

**Institute for Advanced Engineering

***JetTech, LTD.

Abstract

In this paper laser micromachining system design process for commercialization is suggested. The constructed system design process is properly adjusted for laser micromachining area after tailoring engine process of system engineering process such as requirement analysis, functional analysis and allocation, system synthesis and system optimization process. In the current laser machining system design, system components and specifications are determined on the basis of experimental experience which a laser is being used in machining some materials as well as the current machining and research trend. In this paper, however, systematic process is suggested in addition to experimental experience, which the laser and system components and their specifications are decided in the process of definition of functional requirements and engine design variables of system to satisfy the customer's requirements.

Key words : System engineering process, Laser micromachining, System design process, Functional requirement, Tailoring.

1. 서 론

현재 우리나라의 경쟁력을 주도적으로 이끌어 나가는 반도체 산업은 다양한 분야에서 집적회로 (integrated circuits)의 기판으로 얇은 실리콘을 사용하는 추세로 옮겨가고 있으며 초경박, 고집적화 기술로 발전하고 있다. 반도체 분야에서 재료가 가볍고, 얇고, 짧고, 작아지는 것(경·박·단·소)을 가능하게 하기 위해서는 수십 마이크로(Micro) 이하의 미세 구멍가공, 미세 패턴 형성, 미세 절단가공 등의 초정밀 미세가공기술이 뒷받침되어야 한다.^{1,2)}

반도체 재료의 미세가공은 금형에 의한 미세 절단 기술과 드릴(drill)을 이용한 초정밀 CNC(Computer Numerical Control) 가공기술³⁾ 등의 물리적인 접촉 방법을 이용하는 기술과 화학약품을 이용한 식각(Etching) 기술 등을 이용하여 재료를 가공하고 있다. 금형과 드릴과 같은 물리적인 접촉방식을 사용하는 가공기술은 재료의 두께가 얇아지고 크기가 작아짐에 따라 가공부 주위에 물리적인 깨짐(crack)이나 얇게 쪼개지는(delamination, chipping) 현상으로 인하여 가공이 어려울 뿐만 아니라 품질도 만족할 만한 수준을 넘지 못한다. 또한 화학약품을 이용한 식각기술은 가공 시간이 매우 느리며 환경오염을 일으키는 원인이 되어 국제적으로 규제하고 있는 상황이다^{4,5)}. 세계 각국에서는 이러한 미세 가공의 문제점들을 해결하기 위한 방법으로 레이저를 이용하는 가공 기술을 개발하고 있다^{6,7)}. 레이저 가공기술은 광을 이용하기 때문에 가공하고자 하는 재료와 물리적으로 접촉하지 않기 때문에, 물리적인 접촉 방법을 이용하는 미세 가공 기술에서 발생되는 문제점들을 해결할 수 있으며, 높은 출력과 높은 펄스 반복율을 이용하면 빠른 가공이 가능하다^{8,9)}.

레이저 미세 가공 시스템은 시스템을 어떻게 설계하느냐에 따라 가공 성능이 결정된다. 레이저 미세가공 시스템은 레이저를

포함한 H/W와 S/W로 구성된 복합적인 시스템이다. 현재 레이저 미세 가공 시스템의 설계와 개발은 레이저, 광학, 기계공학 등의 여러 분야에서 일하는 전문가들이 본인의 지식과 경험을 바탕으로 시스템을 설계하고 있기 때문에 동일한 레이저 가공 시스템을 설계하더라도 설계하는 사람의 지식과 경험의 차이에 따라 레이저 가공 시스템의 기능과 성능이 다소 차이가 난다. 이러한 차이는 시스템을 재설계하거나 심한 경우에는 고객의 요구사항을 만족시키지 못하여 결국에는 시스템 개발을 실패로 이끄는 원인이 된다.

레이저 미세 가공 시스템 설계가 실패하는 주요 원인으로서는 시스템을 설계하는 사람의 지식과 경험의 차이뿐만 아니라 시스템 설계 시 고려해야 하는 핵심 설계 변수(critical design parameters)들의 결여 및 부정확성과 시스템 설계 절차(design process)의 결여, 즉 고객의 요구사항 정의, 가공하고자 하는 재료의 특성 조사, 시스템의 임무와 경계 정의, 시스템의 기능과 성능 정의 그리고 시스템 구성 요소의 사양 선택과 같은 일련의 시스템 설계 프로세스가 정립되지 않았기 때문으로 판단된다. 우리나라의 국가 경쟁력을 이끌어가는 반도체 산업을 세계적인 수준으로 유지하기 위해서는 미세 가공의 핵심 기술 중의 하나인 레이저 미세 가공 기술 개발이 필요하며 이러한 기술 개발을 위한 레이저 미세 가공 시스템 설계 프로세스의 정립이 필요하다.

본 논문에서는 레이저 미세 가공 시스템 설계 시 시행착오를 줄이고 주어진 비용과 기간 내에 고객의 요구를 만족시킬 수 있는 시스템을 개발할 수 있도록 하기 위해서 수십여 년 간 연구되고 검증되어온 시스템 엔지니어링 프로세스(SE process : System Engineering Process)¹⁰⁾의 핵심 프로세스를 테일러링(tailoring)하여 레이저 미세 가공 시스템 설계 프로세스 개발에 관한 연구를 수행하였다.

2. 본 론

2.1 시스템 공학의 정의

Table 1은 시스템 공학의 표준들에서 정의하는 시스템의 정의와 시스템 공학의 정의를 보이고 있다. Table 1에서 보이는 바와 같이 시스템공학은 고객을 포함한 모든 이해당사자들의 이해사항을 하나의 목적성의 입장에서 총체적인 접근에 의해 문제를 정의하고 해결책을 정성적이고 정량적인 해석방법으로 정의하여 요구사항을 만족시키고 검증하는 방법이라 할 수 있다. 즉, 시스템 개발을 성공시키기 위한 접근법 및 방법이라 할 수 있다.

Table 1 Definition of system and system engineering⁽¹⁾

출 처	Definition of system
ELA-632 (1999)	주어진 목적을 성취하기 위해 운용적 기능을수행하는 최종 제품(End Product)들의 통합체와 이들을 생명주기에 걸쳐 지원하는 지원제품(Enabling Products)으로 구성되며, 관련된 조직들을 포함.
IEEE-1220 (1998)	고객/운용 요구를 만족시키기 위해 거동하는데 관련된, 인력, 제품, 프로세스 요소들의 집합.
ISO-15288 (2002)	정의된 요구 또는 목표를 만족시키기 위한 능력을 제공하는 한 개 이상의 프로세스, 하드웨어, 소프트웨어, 설비 및 인력의 통합체.
출 처	Definition of system engineering
INCOSE SE Handbook (Ver.2.0)	성공적으로 시스템을 구현하기 위한 학제간 접근법 및 방법
NASA SE Handbook	시스템을 설계, 구현 및 운영하기 위한 강진한 접근법
IEEE-1220 (1994)	고객의 기대를 만족시키고 공공의 수락을 얻는, 수명주기를 고려할 때 균형 잡힌 시스템 해법방안을 유도, 전개 및 검증하기 위한 학제간 협력 접근법
MIL-STD (499B)	고객의 요구를 만족시키는 시스템의 인력, 제품 및 프로세스 해결방안 세트를 전개 및 검증하기 위한 모든 기술적 활동을 포함하는 학제간 접근법

2.1 시스템 엔지니어링 프로세스 소개

Fig. 1은 James N. Martin의 시스템 엔지니어링 프로세스를 보이고 있으며 크게 4단계로 이루어져 있다. 초기 과정에서 프로젝트 진행을 위한 시스템 공학 계획과 관리 계획 그리고 프로젝트의 타당성 검토와 같은 개념적인 작업이 주가 된다. 요구사항 및 아키텍처 정의 업무는 시스템 엔지니어링의 핵심이라고 할 수 있으며 시스템 설계 프로세스라고 불린다. 이 과정에서는 획득하고자 하는 시스템의 기본이라 할 수 있는 요구사항을 추출/분석하고 요구사항을 보완할 수 있는 기능 분석, 요구사항이 실제로 구현될 수 있도록 시스템의 하부 시스템과 컴포넌트를 구축하는 아키텍팅 작업이 반복적으로 이루어진다. 이때, 비용이나 리스크 등의 중요 고려사항을 분석하는 시스템 분석 및 최적화 업무가 동시에 수행되어 최종적으로 시스템 사양서를 산출물로 내게 한다. 시스템 통합/검증 업무는 최상위 수준인 시스템에서부터 분해 되어 하부 시스템, 컴포넌트로 나뉘어져 구현된 부분들을 통합하고 시험/검증하는 업무로서 이 역시 시스템엔지니어링의 핵심 업무이다⁽²⁾.

시스템 공학에서 시스템 설계 프로세스는 Fig. 2에서 보이는 바와 같이 요구사항 분석, 기능분석 및 할당, 조합 그리고 시스템 분석 및 최적화의 4 단계로 나뉘어 지며,

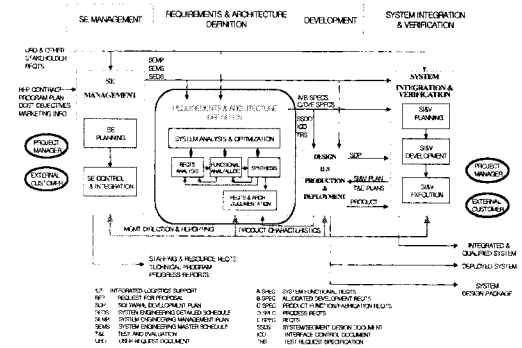


Fig. 1 The system engineering process⁽²⁾

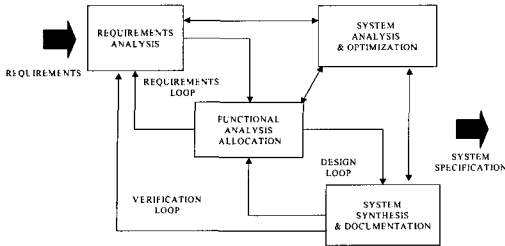


Fig. 2 The system design process¹⁰⁻¹²⁾

이 네 단계는 계속적으로 반복되는 특징을 가지고 있다. 이러한 과정에서 최초 요구사항으로부터 하부시스템의 설계에 이용될 수 있는 사양서를 최종 산출물로 발생하게 된다.

대부분의 레이저 미세 가공 기술은 기존의 미세 가공 기술의 한계를 극복하기 위한 대안 기술로 개발되는 경우와 기존 공정의 비용 절감과 생산량 증가를 위한 새로운 공정 기술로 개발되고 있기 때문에 시스템 엔지니어링 프로세스의 초기 단계인 프로젝트의 타당성 분석, 시장 분석, 기술 검토와 같은 시스템 엔지니어링 관리 과정은 대부분 수행되어진 상태에서 시스템 개발이 시작된다. 따라서 본 논문에서는 시스템 엔지니어링 프로세스의 핵심 프로세스인 요구사항 및 아키텍처 정의 단계로 표현되어 있는 시스템 설계 프로세스를 테일러링(tailoring)하여 레이저 미세 가공 시스템 설계에 적당한 프로세스를 제안하였다.

2.2 레이저 미세 가공 설계 프로세스

Fig. 3은 본 논문에서 제안하는 레이저 미세 가공 시스템 개발 프로세스를 나타내고 있다. 시스템 개발 프로세스는 크게 시스템 설계 프로세스와 시스템 조립 및 검증 프로세스로 분류할 수 있다. 시스템 설계 과정은 고객의 요구사항을 분석하고 요구사항을 만족시키기 위해 시스템의 기능요건을 정의한다. 정의된 기능 요건은 시스템 설계 해석 및 최적화 과정을 통해 시스템의 핵심 설계 변수를 정의하고 물리적인 구성요소에

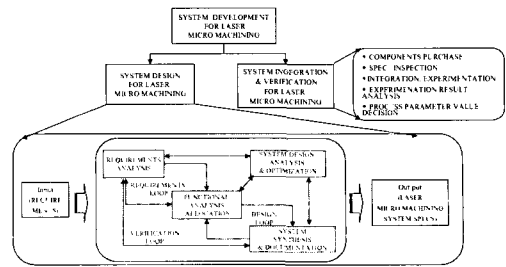


Fig. 3 Design process for laser micro machining system development

할당된다. 기능요건과 핵심 설계 변수가 할당된 물리적인 구성요소들은 요건을 충족시킬 수 있는지에 대한 타당성을 검증한 후에 시스템 설계 사양서로 문서화 된다. 이러한 일련의 과정이 레이저 미세 가공 시스템 설계 프로세스이다. 설계 프로세스에 입력되는 입력물은 고객의 요구사항이 되겠고, 프로세스를 거쳐 나오게 되는 출력물은 레이저 미세 가공 시스템 설계 사양서가 되겠다. 시스템 조립 및 검증 과정은 시스템 설계 프로세스를 거쳐 도출된 시스템의 사양대로 물리적인 구성요소들을 구입하고 사양을 검수한 후에 각각을 조립하여 가공 실험을 하고 실험 결과 분석을 통해 레이저 미세 가공 시스템의 공정 변수 값을 정확히 결정하는 과정이다.

Fig. 4는 시스템 엔지니어링 프로세스를 테일러링하여 만들어진 레이저 미세 가공 시스템 설계 프로세스를 보이고 있다. 시스

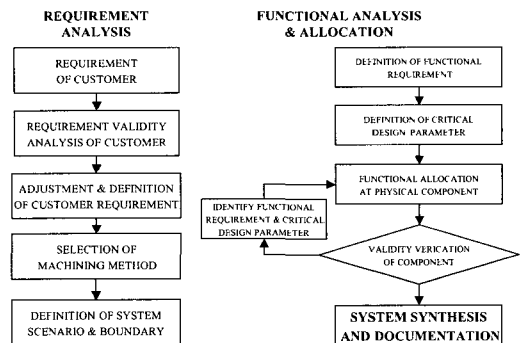


Fig. 4 Design process for laser micro machining system

템 설계 과정은 요구사항 분석과정, 기능분석 및 할당과정, 시스템 조합 및 문서화 과정으로 나누어지며, 시스템 설계 해석 및 최적화 과정은 시스템 설계 프로세스 전반에 걸쳐 적용되며 고객의 요구사항에 대한 타당성 분석과 요구사항 조정 및 확립, 가공 방법 선택, 핵심 설계 변수 정의 과정에서 이론적인 수식이나 모델링과 시뮬레이션 그리고 기존의 연구 결과를 바탕으로 수행되어 진다.

2.2.1 요구사항 분석 과정

레이저 미세 가공 설계 프로세스는 고객의 요구사항을 분석하는 것으로 시작된다. 레이저 미세 가공 기술을 필요로 하는 고객들은 가공하고자 하는 재료가 레이저 가공 방법으로 가공이 가능한지, 가능하다면 어느 정도의 품질로 가능한지, 가공 시간은 얼마나 걸리는지 그리고 시스템의 비용은 얼마인지를 순으로 요구사항을 나열하는 것이 일반적이다.

- 고객 요구사항의 타당성 분석

고객의 요구사항에 대한 타당성을 분석하기 위해서는 고객이 가공하고자 하는 재료의 물리적인 특성과 가공 종류의 확인을 우선적으로 수행하여야 한다. 레이저 미세 가공 기술은 재료의 재질과 형상 정보에 따라 가공 방법과 가공 품질 그리고 가공 시간 및 비용이 결정될 수 있기 때문에 고객이 가공하고자 하는 재료의 재질과 물리적 특성 그리고 형상 정보를 확인하여야 한다. 이러한 과정을 통해 재료가 금속인지 비금속인지, 재료의 크기와 두께는 어떠한지 그리고 열전도도와 같은 물리적인 특성을 알 수 있다. 또한 재료의 물리적인 특성은 재료를 가공하기 위해서 어느 정도의 에너지 밀도가 필요할 것인지를 예상할 수 있게 된다. 가공 재료의 재질 및 물리적 특성과 형상 정보의 확인이 끝나면 고객이 원하는 가공

이 무엇인지를 확인하여야 한다. 이 과정에서 재료가 레이저로 가공이 가능한지에 대해 개념적으로 판단할 수 있고, 고객이 원하는 요구사항이 타당성이 있는지에 대해 결정할 수가 있다. 또한 고객의 요구사항은 추상적이거나 의미가 없는 숫자에 불과할 수 있기 때문에 숫자의 명확성과 의미의 유무 그리고 요구사항 간의 모순적인 관계의 유무와 같은 관점에서 요구사항의 타당성을 분석해야 한다.

- 고객의 요구사항 조정 및 확립

요구사항의 타당성 분석 과정에서 고객의 요건이 타당하지 않다고 판명되면 고객과 협의하여 조정 가능한 범위 내에서 고객의 요건을 변경하여야 한다.

레이저 미세 가공에서 고객의 요구사항은 주로 재료의 가공 폭, 가공 깊이, 가공부 주위의 열적 손상, 가공면의 형상, 가공 후 이물질의 존재 여부 그리고 가공 시간이다. 따라서 고객의 요구사항을 정의할 경우에는 위에서 나열한 요소들을 고려하여 요구사항들을 정의하여야 한다.

- 가공 방법 선택

고객의 요구사항 조정 및 확립과정을 통해 요구사항이 정의되면 요구 사항을 만족시킬 수 있는 가공방법을 선택해야한다. 레이저 미세 가공 방법은 레이저 빔을 직접 조사하여 가공하는 방법(LDW : Laser Direct Writing, LDI : Laser Direct Imaging, LDP : Laser Direct Patterning)과 마스크를 이용하여 특정한 모양을 가공하는 방법, 레이저 빔과 샘플을 동시에 움직이며 가공하는 방법 그리고 마스크와 스테이지를 동시에 제어하여 가공하는 방법도 있다¹³⁾. 이러한 가공 방법 중에서 고객이 원하는 생산성과 가공 품질 그리고 비용을 고려하여 가공 방법을 선택하여야 한다. 이와 동시에 고객이 원하는 요구사항을 만족시킬 수 있는 레이

저 미세 가공 기술이 이미 존재하는 기술인지를 알아보아야 하며, 특허와 저작권에 관한 조사가 수행되어야 하고, 특허와 저작권이 이미 존재한다면 이를 피해가는 방법을 찾아야 한다. 그리고 벤치마킹을 통해 고객이 원하는 요구사항을 만족시킬 수 있는 레이저 미세 가공 기술에 관한 유사 연구가 존재하는 것인가를 검토하고, 유사 연구들의 장·단점들을 분석하여 레이저 가공 방법을 선택하여야 한다.

- 시스템의 거동 시나리오 및 경계 정의

레이저 가공 방법을 선택하게 되면 가공 방법에 따라 시스템의 거동 시나리오가 정의되어지고, 시스템의 거동 시나리오에 따라 시스템의 경계를 정의해야 한다. 레이저 가공 시스템의 경우에 거동 시나리오는 가공하고자 하는 시료를 가공 위치에 이송 및 정렬시키고 레이저를 조사하여 시료를 가공한 후 시료를 적재 위치로 이송하는 것이 될 수 있다. 이때 시료를 가공 위치로 이송시키는 기능과 가공이 완료된 시료를 적재 위치로 운반하는 기능 등을 포함시킬 것인지 아닌지에 따라 시스템의 경계가 정의될 수 있다.

2.2.2 시스템의 기능 분석 및 할당 과정

고객의 요구사항이 정의되고 가공방법이 선택되면 이를 만족시키기 위한 시스템 수준의 기능 요건과 핵심 설계 변수를 정의하고 이러한 요건들을 만족시킬 수 있는 구성 요소들을 선택하고 각각의 구성요소들의 타당성 논증과 사양 검증을 통하여 시스템을 통합하고 시스템의 사양을 문서화하여야 한다.

- 시스템의 기능 요건 정의

시스템의 기능요건은 레이저 미세 가공을 원하는 고객의 요구사항을 만족시키기 위해 필요한 시스템의 기능을 정의하는 과정이다. 시스템의 기능요건은 가공 방법과 시스

템의 거동 시나리오를 통해 정의하여야 한다.

레이저 가공 시스템은 레이저에서 나온 빔이 가공하고자하는 재료에 전달되어 재료를 가공하게 된다. 따라서 시스템이 수행해야 할 기능요건은 크게 빔 제어 기능 그리고 샘플 제어 기능이 될 수 있다. 빔 제어 기능은 빔 전달, 빔 차단, 출력 조절, 빔 형상 변형 등의 하부 기능으로 나뉠 수 있고, 샘플 제어 기능은 이송, 정렬, 고정 등의 하부 기능으로 분리될 수 있다. 기능요건은 시스템의 요구사항에 따라 추가되거나 삭제될 수 있기 때문에 정의된 기능요건이 시스템의 요구사항을 만족시킬 수 있는지 확인해가며 기능요건을 추가하거나 삭제하는 과정을 반복적으로 수행하여 시스템의 기능요건을 정의한다. 그리고 기능 요건은 독립적으로 기능이 수행될 수 있는 단계까지 시스템의 기능을 쪼개어 세분화 하는 것이 좋다. Fig. 5는 레이저 미세 가공 시스템에서 요구되는 기능요건을 정의하는 예제를 보여주고 있다.

- 핵심 설계 변수 정의

시스템의 거동을 통해 기능요건이 정의되면 그 기능이 얼마나 잘 수행 될 수 있는지에 대한 성능요건을 정의하여야 한다. 성능요건을 정의하기 위해서는 성능 값을 결정하는 변수들을 정의하여야 한다. 이러한 변수들을 시스템의 기능을 수행하는데 필요한 핵심 설계 변수라 한다.

빔 전달 기능의 경우를 예로 들면, Fig. 5에서 보이는 것처럼 하부 기능으로 빔 방출 기능과 빔 반사 기능, 빔 투과 기능, 빔 집속 기능이 있을 수 있다. 빔 방출기능은 빔 방출 기능이 수행된 후에 몇 초 만에 빔이 방출될 수 있을 것인가, 빔은 연속적으로 발진될 것인가 펄스 형태로 발진될 것인가, 빔의 출력은 얼마나 되어야 하는가와 같은 레이저의 특성들이 핵심 설계 변수가 된다. 빔 반사 기능은 파장에 대한 반사율이 얼마

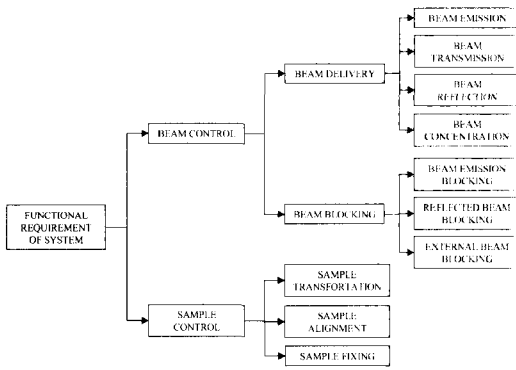


Fig. 5 Define to functional requirement of system

인가가 핵심 설계 변수가 될 수 있고 빔 집속기능은 파장에 대한 집속율과 집속거리 등이 핵심 설계 변수가 될 수 있다.

따라서 기능 요건에 대한 핵심 설계 변수를 정의하기 위해서는 시스템의 요구사항을 만족시킬 수 있도록 정량적이고 정성적으로 계산하여 정의하여야 한다. 또한 비 기능요건인 재료의 특성도 기능요건에 대한 핵심 설계 변수로 작용할 수 있다. 예를 들면 특정한 파장에 대해 흡수율이 높은 재료를 가공하기 위해서는 그 파장의 빔을 방출하는 광원과 그 파장에 대한 반사율 혹은 투과율이 높은 광학계가 사용되어야 하므로 기능요건에 대한 설계 변수로 작용할 수 있다.

Fig. 6은 시스템의 기능요건에 대한 핵심 설계 변수들을 정의하는 예를 보여주고 있

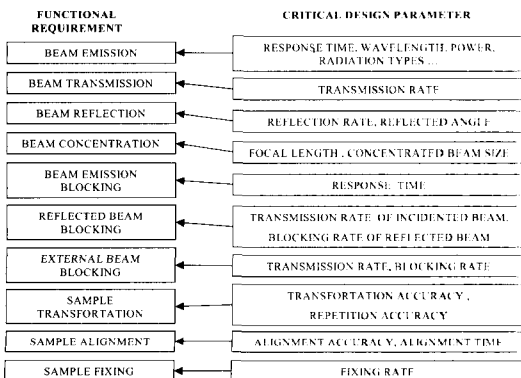


Fig. 6 Definition of critical design parameters for functional requirements

다. 빔 방출 기능의 경우에 반응시간과 파장, 출력, 발진 형태 등이 빔 방출 기능의 성능을 결정하는 핵심 설계 변수들이다. 이러한 설계 변수들의 값은 시스템 해석 및 최적화 과정에서 가공하고자하는 재료의 특성과 고객의 요구사항에 따라 정의될 수 있다. 시스템 해석 및 최적화 과정은 이론적인 수식과 모델링 및 시뮬레이션 그리고 기존의 연구 결과를 통해 시스템 설계 과정에서 고객의 요건 논증, 가공방법의 대안들을 검토하여 최적의 가공방법을 선택하는 일, 기능요건 및 핵심 설계 변수 정의 그리고 기능을 구성요소에 할당하는 프로세스에 적용되어 고객이 원하는 시스템을 최적으로 설계할 수 있도록 방향을 잡아주는 역할을 한다.

- 기능을 구성요소에 할당

시스템의 기능요건은 기능을 수행할 수 있는 물리적인 구성요소에 할당된다. 이때 구성요소들은 기능요건과 각각의 기능요건에 해당되는 핵심 설계 변수들의 값을 만족시켜야 한다.

Fig. 7은 시스템의 기능요건이 물리적인 구성요소에 할당되는 예를 보이고 있다. 기능요건이 할당된 물리적인 구성요소들은 핵

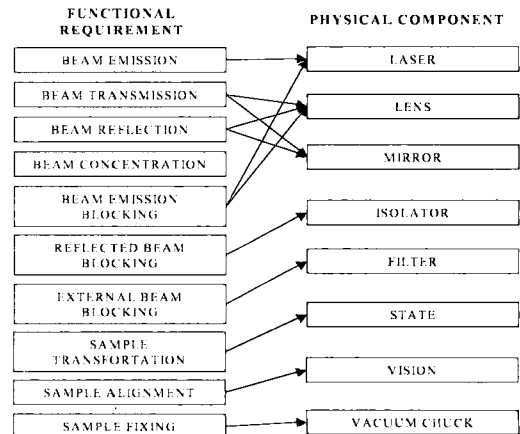


Fig. 7 Allocate functional requirements to physical components

심 설계 변수와 변수 값이 구성요소의 사양이 된다. 즉 빔 방출기능을 하는 레이저는 반응시간, 출력, 파장, 펄스 폭 등과 같은 핵심 설계 변수와 변수 값을 사양으로 가지고 있어야 한다. 기능요건이 물리적인 구성요소에 할당 될 경우에 여러 개의 기능요건이 한 개의 구성요소에 할당 될 수 있으며, 한 개의 기능요건이 여러 개의 물리적인 구성요소에 할당 될 수 있다. 이 경우에는 물리적인 구성요소들의 핵심 설계 변수 값이 다르게 정의될 수 있다.

- 구성요소의 타당성 논증

시스템의 요건을 만족시킬 수 있는 기능요건과 핵심 설계 변수와 변수 값들을 물리적인 구성요소에 할당하는 과정이 완료되면 할당된 구성요소가 기능요건 및 핵심 설계 변수들을 가지고 있는지에 관한 타당성을 논증하는 것이 필요하다. 구성요소의 타당성 논증은 고객의 요건과 시스템 요건, 기능요건, 핵심 설계 변수 그리고 물리적인 구성요소의 추적성 확보를 가능하게 한다. 논증 방법으로는 고객의 요건에서 출발하여 구성요소까지 연결되어지는 서로간의 상관관계의 타당성을 검증하는 하향식(Top-down) 방법과 물리적인 구성요소에서 출발하여 고객의 요건까지 연결되어지는 서로간의 상관관계의 타당성을 검증하는 상향식(Bottom-up)

방법이 있다. 이러한 하향식 검증 결과와 상향식 검증 결과가 일치할 때 까지 검증과정을 반복 수행하여 검증을 완료하여야 한다. Fig. 8은 고객의 요구사항이 시스템 요구사항으로 바뀌어 기능요건과 핵심 설계 변수를 만족시키는 물리적인 구성요소에 할당되는 것을 보이고 있다.

물리적인 구성요소로부터 시작되는 상향식 검증 방법은 이미 제작되어 있는 레이저 미세 가공시스템의 기능요건을 정의할 수 있고, 구성요소들의 핵심 설계 변수 값의 분석을 통해 시스템의 가공한계를 결정하는 것을 가능하게 해준다. 따라서 상향식 검증 방법은 기존에 제작되어 있는 레이저 미세 가공 시스템이 고객의 요구사항을 만족시킬 수 있는가에 대한 검증 프로세스로 사용되어 질 수 있다.

- 시스템 조합 및 문서화

시스템 요건을 만족시킬 수 있는 물리적인 구성요소들이 정해지면 각각의 구성요소들을 통합하여 시스템의 사양을 문서화한다. 시스템의 사양서에는 시스템 수준의 요구사항과 시스템을 구성하는 물리적인 구성요소들의 요구사항이 포함되어야 한다. 사양서는 기능 요구사항과 그 기능이 수행되는 성능 요구사항 및 핵심 설계 변수들을 정의하는 식으로 사양서를 작성한다. 레이저 시스템과 같은 소규모 시스템의 사양서는 요구사항을 글로 기술하는 것 보다는 표형식으로 작성하는 것이 이해하는데 더 편리하다. 아래의 요구사항 정의는 레이저 미세 가공 시스템 설계 프로세스를 설명하면서 예를 들었던 웨이퍼 가공 시스템의 시스템 수준의 요구사항과 구성요소들의 요구사항을 문서화하는 예를 보이고 있다.

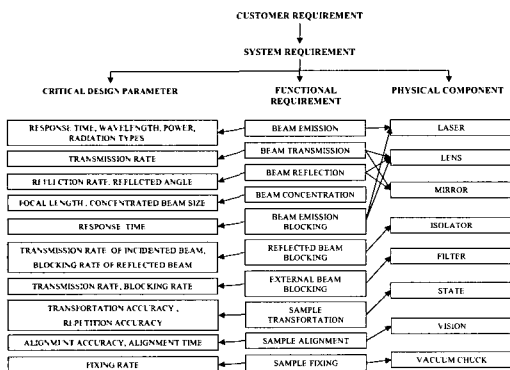


Fig. 8 Design process for laser micro machining systems

■ 시스템 수준의 요구사항

- 기능요구사항

: 레이저 시스템은 웨이퍼를 가공해야 한다.

- 성능요구사항
: 가공 폭은 10 μ m 이하 이어야 한다.
- 성능요구사항
: 가공 속도는 500mm/s 이상이어야 한다.

■ 구성요소의 요구사항

- 구성요소 : 레이저
- 기능요구사항
: 레이저는 빔을 방출해야한다.
- 핵심 설계 변수의 요구사항
: 반응시간은 1초 이하가 되어야 한다.
: 방출되는 빔의 출력은 6W 이상이 되어야 한다.
: 방출되는 빔의 형태는 펄스 형태이어야 한다.
: 펄스 폭은 100 나노 초 이하여야 한다.
: 펄스 반복율은 1MHz ~ 5MHz 이어야 한다.

Table 2는 요구사항을 표로 작성한 예를 보여주고 있다. 고객의 요구사항을 만족시키기 위한 기능 요구사항과 그 기능에 대한 핵심 설계 변수와 변수 값을 정의하고 물리적인 구성요소들에 할당한 것을 볼 수 있다.

Table 2 Requirement documentation

FUNCTIONAL REQUIREMENT		CRITICAL DESIGN PARAMETER & VALUE		PHYSICAL COMPONENT
SYSTEM	BEAM CONTROL	RESPONSE TIME	INSIDE 1S	LASER
		POWER	OVER 6W	
		EMISSION TYPE	PULSE TYPE	
		PULSE REPEATITION RATE	1 ~ 5 MHz	
	
	BEAM TRANSMISSION
	BEAM REFLECTION

SYSTEM	SAMPLE MOVING CONTROL	MOVING RANGE	400mm	x y z θ STAGE
		MOVING VELOCITY	500mm/s	
	SAMPLE ALIGNMENT

4. 결 론

본 논문에서는 레이저 미세 가공 시스템 설계 프로세스를 제시 하였다. 구축된 시스템 설계 프로세스는 시스템 공학 프로세스의 핵심 프로세스인 요구사항 분석, 기능 분석 및 할당, 시스템 조합 및 시스템 최적화 과정을 테일러링(Tailoring)하여 레이저 미세 가공 분야에 알맞도록 조정되었다.

테일러링에 사용된 마틴 프로세스는 복잡한 대형 시스템 개발에 유리한 프로세스이기 때문에 단계별 수행해야하는 업무가 매우 많다. 따라서 레이저 가공 시스템과 같은 소규모 시스템에 적용하기 위해서는 업무를 단순화하는 것이 필요하며, 프로세스의 순서를 적절히 조절하고 해당 업무 내용을 하고자 하는 시스템에 알맞도록 정의하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

본 논문에서 제안하는 레이저 가공 시스템 설계 프로세스는 어느 레이저가 어느 가공에 유리하다거나 또는 어느 가공에는 어떤 레이저를 사용하는 것이 좋다 라는 기존의 관점을 탈피하여 고객의 요건을 시작으로 시스템 요건을 정의하고 시스템의 기능요건과 핵심 설계 변수를 정의해 나가는 과정에서 자연스럽게 레이저와 그 밖의 구성요소들이 결정되어지는 프로세스이며, 레이저 미세 가공의 모든 영역에 적용될 수 있도록 일반화된 프로세스이다. 즉, 고객이 요구하는 공정이 재료를 절단하는 공정이든, 접합하는 공정이든, 세정(Cleaning)하는 공정이든 상관없이 본 논문에서 제안하는 프로세스를 적용하면 고객이 원하는 요건을 만족시킬 수 있는 시스템을 설계할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 이미 제작되어 있는 시스템에 본 논문에서 제안하는 프로세스를 역으로 적용할 경우에 시스템의 가공 요건을 정의할 수 있고, 개발에 실패한 시스템의 경우에는 실패 원인을 규명하는데 사용될 수 있다.

결론적으로, 레이저 미세 가공 시스템을 성공적으로 개발하기 위해서는 시스템 설계 사양 도출을 위한 올바른 시스템 설계 프로세스가 필요하며, 본 논문에서 제안한 시스템 설계 프로세스를 적용하여 시스템을 설계하게 되면 시스템 개발 시 발생하는 시행착오를 줄이고 개발시간과 개발비용의 초과를 방지하여 고객이 요구하는 가공 품질을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

12. 박중용, “안전중시 시스템을 위한 동시공학적 설계 모델”, 아주대학교 대학원 박사학위논문, 2003, 08.
13. Malcolm Gower and Nadeem Rizvi, “Application of laser ablation to microengineering”, Hanborough Park, Long Hanborough, Oxford OX8 8LH, United Kingdom.

참 고 문 헌

1. 이복영, 정호석, “레이저 가공 기술동향 조사”, 포항산업과학연구원, 인포베이스
2. 한국과학기술정보연구원, “미세 구멍 가공의 기술 동향”, 2003. 6.
3. 김영우, 허은행, “초정밀 가공 기술의 최근 동향”, 포항산업과학연구원, (주)비아글로벌.
4. 이제훈, 손현기, “첨단레이저 응용 미세 가공기술 현황”, 기계저널, 제 45 권 제 1 호.
5. 이제훈, 서정, 김정오, 신동식, 이영문, “레이저의 공정변수가 스텐실 절단특성에 미치는 영향”, 한국레이저가공학회지 제4권 제2호, 2001. 8.
6. 김원호, “레이저에 의한 투명재료의 마이크로 가공”, 한국과학기술정보연구원 KISTI.
7. 김원호, “레이저 가공 기술의 현황과 장애”, 한국과학기술정보연구원(KISTI).
8. 김원호, “레이저에 의한 미세구멍 가공 기술”, 한국과학기술정보연구원(KISTI).
9. 나도백, 김재우, 길상철, “레이저 가공 기술 - 심층정보분석보고서”, 2002.
10. Martin, J. N., Systems Engineering Guidebook: A Process for Developing Systems and Products, CRC Press, USA, pp 71-80, 1996.
11. 김진훈, “복잡한 개발프로젝트를 위한 제품, 프로세스 및 팀 통합설계 모델”, 아주대학교 대학원 박사학위논문, 2007, 01.