

PART
01

공학설계와 공학설계 프로세스

Engineering Design
and Engineering Design Process

공학설계란 주어진 제한조건 내에서 원하는 기능을 수행하거나 특별한 형태를 갖는 새로운 사물을 체계적으로 개발하고 테스트하는 과정을 의미한다. Part 01에서는 공학설계 프로세스를 이해하는 데 필요한 핵심 내용을 다루며, 이를 위해 설계에 대한 기본적인 개념과 여러 설계 프로세스 모델 중 가장 일반적인 모델에 대해서 설명한다. 여기서 제안하는 모델은 특정 분야에 국한되는 설계 프로세스에 대한 것이 아니므로 전체 과정 중 각 단계를 어떻게 구분하는지에 대해 개념적으로 설명하였다. 따라서 공학설계의 진행 과정을 이해하고, 이를 연구개발 업무에 활용할 수 있게 하는 데 그 목적이 있다. 또한 실제 공학설계 프로세스를 적용하여 제품화가 된 사례를 통해 서로 다른 분야에 설계 프로세스를 어떻게 적용시키는지를 살펴보고자 한다.

CHAPTER

01_공학설계

02_공학설계 프로세스

03_공학설계 사례

1장

공학설계

Engineering Design

1.1 공학설계란?

1.2 공학적 문제해결

1.3 품질관리

연습문제

공학설계는 주어진 조건에 따라 수요자의 요구를 충족시킬 수 있는 새로운 기능과 형태를 창조하는 행위를 뜻하는 말이다. 이와 관련하여 이 장에서는 공학설계의 기본적인 개념과 구성요소, 팀 구성의 일반적인 원리와 구성원의 역할 및 특징 등을 살펴보고자 한다. 아울러 공학설계가 적용되는 다양한 분야에 대해 알아볼 것이다. 이 장을 통해 공학설계에 있어서 문제란 무엇이며, 이 문제를 해결한다는 것이 어떤 의미인지 이해 할 수 있기를 바란다.

1.1

공학설계란?

이 절에서는 공학설계에 대한 전반적인 개념을 이해하고, 공학설계를 진행하는 데 필요한 팀 구성과 관련 공학 분야에 대해 소개한다.

학습 목표

- 공학설계의 개념을 정의하고, 그 구성요소를 살펴본다.
- 팀 구성의 일반적인 원리와 구성원의 역할 및 특징을 살펴본다.
- 학부 과정에서 다루는 대표적인 공학 분야를 간략하게 살펴본다.

1.1.1 공학설계의 개념

우리가 일상적으로 사용하는 스마트폰이나 노트북은 ‘인간의 필요’에 의해 기술을 창의적으로 활용한 결과물이라고 할 수 있다. 이를 제품이 만들어지기까지 공학자를 비롯하여 다양한 분야의 전문가들이 오랜 시간과 많은 비용을 투자하는 기획·개발·생산 과정을 거치게 되는데, 이 과정을 가리켜 공학설계(engineering design)라 한다.

핵심포인트

공학설계

공학설계는 지금까지 찾아볼 수 없었던 새로운 장치나 시스템을 만들어 내거나 현재의 것을 좀 더 나은 상태로 개선하는 창의적인 활동이다.

흔히 공학(engineering)이라 함은 기능 개선 및 생산성 향상을 목적으로, 창의적인 아이디어를 제품이나 시스템에 물리적으로 구현하는 응용과학기술을 연구하는 학문을 말한다. 창의성이 요구된다는 점에서 예술 활동과 크게 다르지 않지만, 그 목적이 인간의 필요를 충족시키는 제품이나 시스템을 개발하는 데 있다는 점에서 설계(design)라 한다.

이와 관련하여 미국공학기술인증원(ABET : Accreditation Board for Engineering and Technology)¹은 공학설계를 다음과 같이 정의한다.

¹ ABET는 1932년 공학교육 프로그램의 개선과 발전을 도모하기 위해 설립된 연구기관이다. 이 기관을 통해 공학교육인증 프로그램을 실시한 결과, 미국의 공과대학은 세계 최고 수준의 명문대학으로 성장할 수 있었다. 오늘날 미국의 공학교육인증 제도는 세계적으로 큰 반향을 불러일으키고 있어, 수많은 기업과 교육기관 등에서 이 프로그램을 실행하고 있다.

“공학설계는 시스템(system)이나 컴포넌트(component), 프로세스(process) 등을 수요자의 요구에 맞도록 설계하는 과정이다. 이 과정은 설계 목적에 따라 기준을 설정하고 합성·분석·구현·평가 등의 절차에 따라 진행되는데, 수요자의 요구를 충족시킬 수 있도록 사용 가능한 자원을 효율적으로 활용하기 위해서는 기본적인 의사소통 능력이 필요하다. 아울러 기초과학과 수학, 응용과학 이론이 동원되기도 한다.”

공학설계의 개념을 보다 정확하게 이해하기 위해서는 그 구성요소를 살펴보면 되는데, 여기에는 창의성을 비롯하여 개방형 문제해결(open-ended problem) 능력, 동시공학설계 (concurrent engineering design)의 확보 등이 포함된다. 또한 미학적 요소와 경제적 요소, 안전성, 신뢰성, 윤리성 등 사회에 미치는 영향에 대해서도 고려해야 한다.

핵심포인트 공학설계의 구성요소

- 창의성
- 개방형 문제해결 능력
- 최신 설계 이론 및 방법의 적용
- 설계 명세와 규격의 공식화
- 대안 및 실현 가능성 모색
- 동시공학설계의 확보
- 시스템에 대한 구체적 서술
- 현실성 있는 고려와 고찰

공학설계의 개념은 결코 단순하지 않다. 이는 기본적으로 해결해야 할 문제 자체가 하나 이상의 답을 요구하는 개방형 문제인데다가 그로 인해 야기되는 파급 효과까지 고려해야 하기 때문이다. 더욱이 설계 대상이나 환경에 따라 설계 적용 범위와 비용 면에서 절차와 복잡도가 달라진다. 예를 들어 기계 공학자는 효율적인 기계를 개발하기 위해 설계 프로세스를 적용하지만, 전기 공학자는 크기가 작고 휴대하기 간편한 통신 장비를 개발하기 위해 설계 프로세스를 적용한다.

그러므로 공학자란 문제를 해결하는 사람이라고 정의할 수 있다. 이때 설계자가 설계 문제를 해결한다는 말은 단순히 수학 공식을 적용해서 답을 얻는다는 의미가 아니라, 수요자의 요구와 그 수요를 만족시키기 위해 모든 제한요소를 반영해 가장 적합한 형태의 시스템을 만들어 나가는 과정이라고 할 수 있다.

오늘날과 같은 고도기술사회에서는 문제해결 과정에 공학자들의 팀워크가 필요할 뿐만 아니라 공학적인 접근법 외에도 환경전문가, 경제학자, 사회학자 등의 협력이 필요하다. 때로는 적절한 기술의 적용뿐만 아니라 정부의 규제와 같은 기술 외적인 요소를 고려해야 할 경우도 있다.

공학설계의 개념은 지난 수십 년간 많은 변화를 겪었다. 1960년대에 설계라는 개념은 분석 (analysis)보다 한 단계 낮은 수준의 작업으로 제도판에서 도구를 이용하여 그림을 그리는 제도사들의 작업처럼 인식되었다. 그러나 오늘날 설계는 공학도의 주된 업무가 되었으며, 설계 전 단계 작업인 분석은 부수적인 절차처럼 인식되고 있다. 설계를 담당하는 공학자는 자신의 설계가 실현될 수 있도록 설계에 적용할 수 있는 기술을 결정해야 하고, 다른 프로세스 와 조화를 이룰 수 있도록 만들어야 한다. 즉 공학자라도 공학적인 관점에서 경영에 대한 지식을 갖추어야 하며, 회사의 경영자와 교류를 유지해야 하는 것이다. 그러므로 공학자는 기본적으로 의사소통 능력이 뛰어나야 한다. 왜냐하면 팀 프로젝트를 원활하게 수행하기 위해서는 경영자는 물론이고 조직 구성원과 원활한 의사소통이 무엇보다 중요하기 때문이다.

일반적으로 설계 문제는 프로세스를 반복할수록 해결 방안이 점차 개선되기 마련이다. 설계를 구현하는 과정에서 해결 방안의 안전성과 가격이 적절하지 않다는 사실을 알 수도 있고, 때로는 처음 의도했던 대로 동작하지 않는다는 사실을 알 수도 있다. 이러한 경우에는 설계의 초기 단계로 다시 돌아가 주어진 조건을 만족시키는 해결 방안을 찾아야 한다. 왜냐하면 설계 문제의 해답은 갑자기 생겨나는 것이 아니라, 대부분 그 문제를 해결하는 프로세스에 의해서 결정되기 때문이다. 따라서 여러 공학자가 서로 다른 문제해결 방안을 제안할 수 있듯이 설계에도 다양한 프로세스가 존재한다.

1.1.2 팀 구성

1876년 에디슨은 15명의 인원으로 발명 그룹을 조직했는데, 이 그룹은 1887년까지 전구와 축음기를 포함해 400여 개가 넘는 특허를 취득했다. 초기 공학설계의 전형적인 모습은 에디슨의 접근법처럼 한 사람이 한 분야의 모든 지식을 소유하고, 새로운 제품에 대한 연구개발

분석 문제와 설계 문제

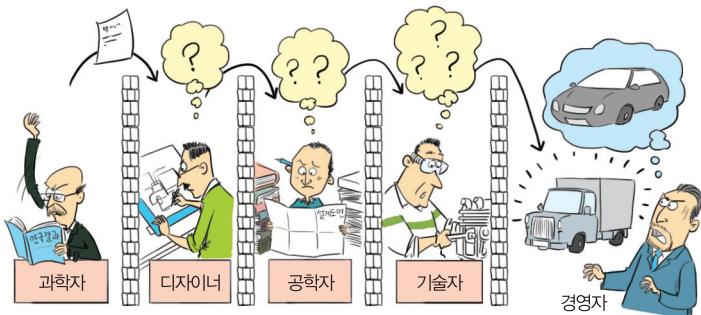
Note

초기 속도와 높이가 주어진 상태에서 공을 위로 던졌을 때, 그 공이 올라갈 수 있는 최대 높이를 정하는 문제가 주어졌다고 가정해보자. 이 문제는 공을 위로 던질 때의 초기 속도와 높이의 공식에 의해 오직 하나의 정답만 갖는 분석 문제에 속한다. 하지만 이 문제를 다음과 같이 바꿔보자.

“1kg 무게의 공을 최소한 100m 높이로 쏘아 올릴 수 있는 장치를 고안하라.”

이러면 단순한 분석 문제가 설계 문제로 바뀌게 된다. 이 문제의 정답은 ‘1kg 무게의 공을 100m 높이로 쏘아 올릴 수 있는 장치’와 구체적인 기능을 갖는 시스템이 된다. 공을 100m 높이로 쏘아 올릴 수 있는 장치를 만드는 방법은 많기 때문에 이 장치를 설계하는 문제는 개방형 문제가 된다. 반면에, “공을 위로 던졌을 때 최대 높이를 계산하라.”와 같은 문제는 정답이 단 하나이므로 개방형 문제가 될 수 없다.

뿐만 아니라 설계와 생산까지 총괄하는 것이었다. 그러나 오늘날에는 기술이 비약적으로 발전함에 따라 한 사람이 복잡한 개발 과정의 전체 프로세스를 파악하는 것이 현실적으로 불가능하므로 기술적인 문제는 팀 단위로 연구하여 해결해야 한다.



(a) 팀워크를 무시한 설계 방식



(b) 팀워크를 고려한 설계 방식

[그림 1-1] 팀워크에 따른 설계 방식

공학설계에서 팀을 구성하는 방식은 다양하지만, 일반적으로 공학자를 비롯하여 과학자와 기술자로 구성한다. [그림 1-1(a)]에서 보듯이 팀워크를 무시한 설계 방식은 팀 구성원 간의 의사전달이 정확하게 이루어지기 어렵다. 그러므로 팀을 구성하여 설계를 진행할 때는 [그림 1-1(b)]와 같이 팀워크를 고려한 설계 방식을 따라야 한다. 이때 팀 구성원은 각자의 영역에서 구체적인 역할을 담당하고, 다른 구성원의 역할을 이해하고자 노력해야 한다.

팀을 구성할 때는 기술을 담당하는 구성원 외에도 경영인, 판매 대리인, 현장 서비스 기술자, 재무 담당자, 구매 담당자 등을 포함할 수 있다. 팀은 프로젝트가 시작되는 시점부터 개발 일정과 설계 요구사항이 충족되는지 점검하기 위해 모임을 자주 해야 하며, 잠재적인 문제점을 사전에 충분히 파악하고 있어야 한다.²

² 이러한 접근법을 전사적 품질경영(TQM : Total Quality Management) 또는 지속개선(CI : Continuous Improvement)이라고 한다.

이제 일반적인 팀 구성원의 역할과 특징을 살펴보자.

과학자

과학자(scientist)는 주변에서 발생하는 자연현상에 대한 지식 자체를 연구 목표로 삼는다. 아울러 새로운 지식을 탐구할 때, 다음과 같은 절차에 따라 연구를 진행한다.

- ① 자연현상을 설명하기 위해 가설을 정립한다.
- ② 가설을 테스트하기 위해 실험을 구상하고 실행한다.
- ③ 실험 결과를 분석하고 결론을 도출한다.
- ④ 실험 결과가 가설과 부합하면 가설을 과학적 이론으로 정립한다.
- ⑤ 새로운 이론과 지식을 발표한다.

과학자는 자연현상을 이해하기 위해 개방적이고 탐구적인 태도를 취한다. 그들의 목적은 순수하게 자연현상에 대한 새로운 지식을 얻는 데 있지만, 자신의 아이디어를 응용해서 새로운 창조물을 개발하는 데 관여하기도 한다.

공학자

공학자(engineer)는 분석과 설계의 원리에 따라 모든 과학적 지식을 활용하여 유용한 장치 및 시스템 개발을 목표로 삼는다. 공학자와 과학자 모두 수학 및 과학 교육을 받지만, 과학자는 자연현상에 대한 새로운 지식을 얻기 위해 지금까지 배운 지식을 이용하는 반면, 공학자는 이러한 지식을 응용하여 실제 사용할 수 있는 장치와 구조를 설계하고 개발한다.

공학과 과학은 상호 의존적이다. 과학자에 의해 발견된 핵분열의 원리를 활용하여 공학자들이 핵발전소를 건설하거나 핵반응을 이용하는 장치 및 시스템을 개발한다. 또한 공학적 개발이 과학적 지식으로 이어지기도 하는데, 실례로 열역학의 원리는 공학자가 개발한 스팀 엔진을 공부하던 물리학자에 의해 발견되었다.

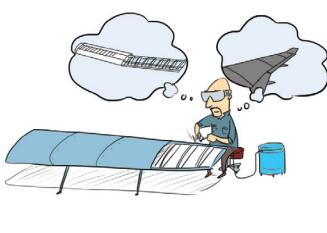
이처럼 과학자와 공학자는 역할이 일정 부분 겹치므로 정확하게 구분하기가 쉽지 않다. 그러나 광범위한 의미에서 공학자는 주어진 문제를 해결하기 위해 연구 활동을 하고, 과학자는 자연현상을 탐구하기 위해 연구 활동을 한다. 즉 공학자가 계산기를 개발하는 이유는 손으로 하는 계산보다 빠르고 정확한 물건을 만들기 위한 것이지만, 과학자가 만유인력을 연구하는 이유는 유용한 물건을 만들기 위한 것이 아니다.

기술자

기술자(technician)는 작업장에서 실제로 적용되는 기술에 능통한 사람으로, 공학자가 설계한 대로 기술을 적용하여 물건을 제작한다. 특정 분야에 숙련된 기술자는 이론에 관한 한 중간 정도의 지식을 갖지만, 해당 기술 분야에서는 누구보다 조예가 깊다. 예를 들어 음향 기술자는 음향 공학자처럼 음향학 이론을 전문적으로 배운 적은 없지만 음향기기를 다루는 데 숙련되어 있으며, 음악가보다 음향에 대해 더 많은 지식을 갖고 있다.

이러한 팀 구성원의 역할과 특징을 정리하면 [표 1-1]과 같다.

[표 1-1] 일반적인 팀 구성원의 역할과 특징

	과학자	공학자	기술자
역할	자연현상을 관찰하고, 과학적 지식을 탐구한다.	과학 이론과 지식을 바탕으로 유용한 물건을 개발한다.	숙련된 기술을 적용하여 물건을 제작한다.
특징	자연현상을 이해하기 위해 개방적이고 탐구적인 태도를 취한다.	기술적 요소와 경제성 등 현실적인 제한요소를 고려하여 과학 이론을 적용한다.	이론적 배경지식은 부족하지만, 설계를 구현하는데 필요한 경험적 기술이 풍부하다.
사례	새가 유선형 날개로 공기저항을 최소화하여 추진력을 얻는다는 사실을 알아낸다. 	새가 하늘을 나는 원리를 적용하여 비행기 날개를 설계한다. 	공학자가 설계한 비행기 날개를 제작한다. 

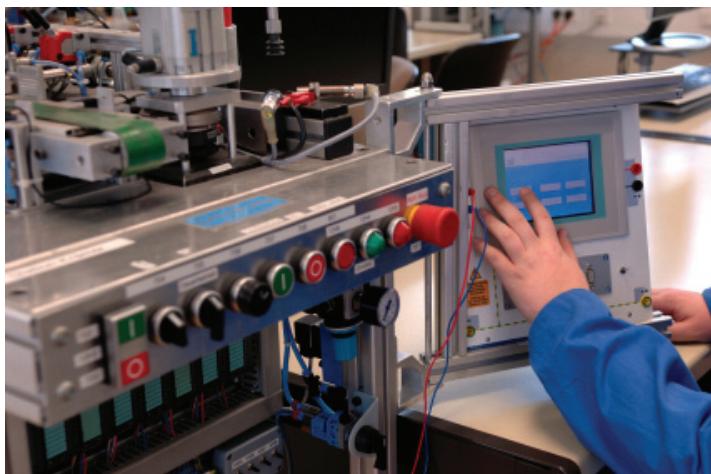
1.1.3 공학 분야

학부 과정의 공학 분야를 규모 기준으로 세분화하면 대규모 전공으로는 전기전자/컴퓨터공학, 기계공학, 토목공학 등이 있고, 중규모 전공으로는 항공우주공학, 화학공학, 산업공학, 생명공학 등이 있다. 소규모 전공으로는 환경공학, 건축학, 공업경영학, 공업물리학, 공업과학, 재료학, 원자력공학, 자원공학 등이 있으며, 기타 특화된 전공으로 해양공학이 있다.

전기전자/컴퓨터공학

전기전자공학(electric electronic engineering)은 전기의 응용과 전자의 운동을 연구하는 분야이다. 전기전자공학은 크게 고출력을 다루는 전기공학과 저출력을 다루는 전자공학으로 나눌 수 있는데, 관련 기술이 빠르게 성장하면서 점차 그 범위가 넓어지고 있다. 대표적인 전문 분야로는 [표 1-2]와 같이 통신, 전력, 전자, 제어계측 등이 있다.

컴퓨터공학(computer engineering)은 전자공학에서 파생되어 나온 새로운 분야로, 모든 산업 분야에 큰 영향을 미치고 있다. 컴퓨터공학의 응용에는 연구, 교육, 설계 공학, 회계, 공정 제어 및 가정에서의 컴퓨터 수요를 포함한다.



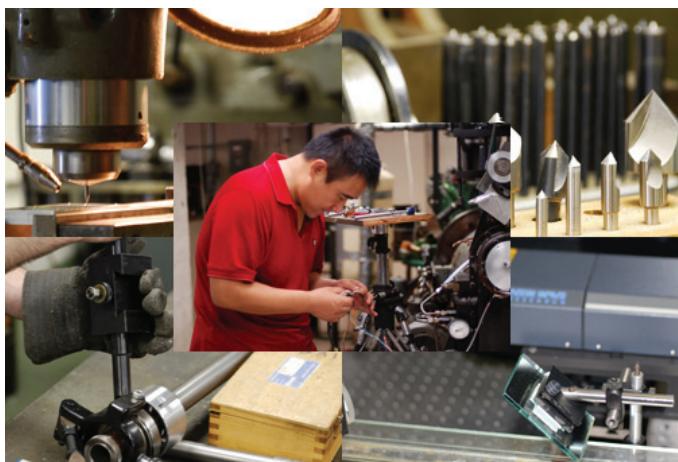
[그림 1-2] 전기전자공학 분야(출처 : <http://www.ictwa.org.au>)

[표 1-2] 전기전자공학의 전문 분야

분야	설명
통신 분야	전화, TV 및 라디오는 일상생활에서 쉽게 접할 수 있는 통신장치이다. 이밖에 통신회사에서 설치한 기간망에서 사용되는 다양한 통신장비들이 있다.
전력 분야	전력 분야는 주거, 사무실 및 산업용 전기를 생산하고 공급한다. 전력 공학자들은 태양, 바람 및 연료전지 등과 같은 대체 자원을 연구하고 개발하는 일에 관여한다.
전자 분야	전자 분야는 전자회로의 개발로 인해 전자 제품의 신뢰도가 높아지고 양산이 가능해졌으며, 마이크로 전자로 인해 컴퓨터 산업과 전자 제어에 혁명을 가져왔다.
제어계측 분야	모든 종류의 공정에서 발생하는 현상을 계측하고 제어하는 기술이다. 온도, 흐름 속도, 압력, 전압, 가속과 같은 물리적인 양은 공정을 가장 적절하게 제어하기 위해 실시간으로 표시되어야 한다.

기계공학

기계공학(mechanical engineering)은 기계 장치의 분석·설계·생산·관리를 위한 물리적/화학적 원리를 연구하는 분야이다. 이 분야를 연구하기 위해서는 일반역학, 운동학, 열역학, 유체역학과 에너지 중심 개념에 대한 확실한 이해가 필요하다. 또한 제품의 생산 라인, 공업용 장비, 냉난방 장치, 모터 장치, 비행 장치 등을 설계하고 분석할 수 있어야 한다. 이 분야에서는 설계 단계에서 제품을 시각화하여 보다 완전한 제품을 설계할 수 있도록 CAE(Computer Aided Engineering), CAD(Computer Aided Design)를 이용한 2D 및 3D 모델링 등의 프로그램을 활용한다.



[그림 1-3] 기계공학 분야(출처 : <http://www.eng.wayne.edu>)

토목공학

토목공학(civil engineering)은 구조물의 설계·건설·유지에 관한 이론과 실제를 연구하는 분야이다. 공학 분야에서도 가장 고전적인 학문으로 자연의 물질을 구조역학적인 관점에서 효율적/경제적으로 설계·공사·운용하는 것을 목표로 한다. 토목공학의 전문 분야로는 건설경영, 토양과 암석 분석, 구조 공학, 도시공학, 지구 표면의 측량, 수자원공학 등이 있다.



[그림 1-4] 토목공학 분야
(출처 : <http://www.cyberworldjobs.com>)

항공우주공학

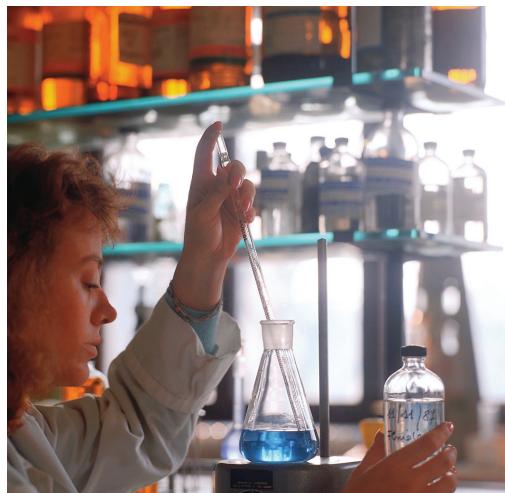
항공우주공학(aerospace engineering)은 항공기와 우주 비행체의 설계·제작을 연구하는 분야이다. 항공우주공학은 크게 대기권 안의 비행체를 다루는 항공학(aeronautical engineering)과 대기권 밖의 비행체를 다루는 우주공학(astronautical engineering)으로 나눌 수 있는데, 비행체 개발과 관련하여 대기 압력과 온도, 기체 표면의 부하 같은 극한 조건을 고려해야 하므로 기체역학, 항공전자, 재료과학 등 다양한 분야의 기술이 필요하다.



[그림 1-5] 항공우주공학 분야(출처 : <http://www.liv.ac.uk>)

화학공학

화학공학(chemical engineering)은 물질의 물리적/화학적 상태에 변화를 주는 설비의 설계·조작을 연구하는 분야이다. 전통적인 관점에서 화학공학하면 석유화학을 떠올리기 쉽지만, 최근에는 천연자원의 고갈로 인해 대체 에너지 개발을 비롯하여 산업의 전 분야로 영역이 확대되고 있다.



[그림 1-6] 화학공학 분야
(출처 : <http://www.tonygreen.name>)

산업공학

산업공학(industrial engineering)은 복잡한 시스템이나 공정을 최적화하는 방법을 연구하는 분야이다. 초기에 산업공학이라는 용어는 생산에만 제한적으로 적용되었으나 최근에는 다양한 분야로 확대되고 있다. 산업공학의 전문 분야는 분류 방식에 따라 운영관리, 경영과학, 시스템공학 또는 생산공학으로 나눌 수 있다. 산업공학과 관련된 주제에는 공업경영, 유통경영, 공정공학, 인체공학, 비용과 가치 공학, 품질공학, 시설계획과 공학설계 프로세스 등이 있다.



[그림 1-7] 산업공학 분야(출처 : <http://www.cimerr.net>)

환경공학

환경공학(environmental engineering)은 자연과학의 기초 이론을 토대로 환경 문제를 연구하는 분야이다. 유능한 환경 공학자가 되기 위해서는 환경에 관련된 법을 이해하는 것뿐만 아니라 수질 오염과 대기 오염의 제어, 재활용, 쓰레기 처리, 공중위생 등의 문제에 관심을 가져야 한다. 대학에서 환경공학은 별도의 분야로 구분하지 않고 도시공학 혹은 화학공학 프로그램을 따르기도 한다. 환경공학에서는 공정공학, 환경화학, 물, 하수처리(위생공학), 수자원 관리와 오염 방지 등과 같이 다양한 영역을 다룬다.



[그림 1-8] 환경공학 분야(출처 : <http://www.enve.unl.edu>)

1.2

공학적 문제해결

이 절에서는 공학적 문제와 이를 해결하는 것이 어떤 의미를 갖는지 이해하기 위한 공학설계 프로세스를 함축적으로 설명한다.

학습 목표

- 공학적 문제의 개념과 이를 해결하기 위한 과정을 살펴본다.
- 공학적 문제해결의 구체적인 방법을 살펴본다.

1.2.1 공학적 문제의 개념

공학적 문제는 이론과 현실 사이에 괴리가 크다. 이론에서 접하는 대부분의 문제는 내용이 명확하기 때문에 유일한 답이 있을 수 있으나, 현실의 공학적 문제는 선택 가능한 답이 다수여서 문제를 해결하는 답이 하나만 존재하지 않는다. 따라서 공학적 문제를 해결하기 위해서는 복잡한 수학적 관계를 통달하는 것이 아니라 독창적이고 다양한 해결 방안을 도출하는 직관력이 필요하다.

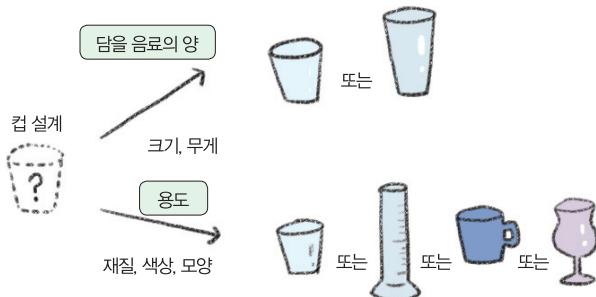
핵심포인트 개방형 문제

개방형 문제(open-ended problem)는 같은 문제에 대해서 다양한 해결 방안을 갖는 문제를 의미한다. 일반적으로 개방형 문제는 답을 ‘어떻게’ 또 ‘왜’ 얻게 되었는지 보여줘야 하므로 답뿐만 아니라 평가 방법도 포함해야 한다.

공학적 문제를 해결할 때는 공식을 찾는 과정을 거치지는 않는다. 문제가 주어지면 가장 먼저 문제를 단순하게 만들어야 한다. 문제를 해결하는 과정은 문제를 단순하게 만드는 것부터 시작해 모델의 예측, 적절한 도구의 선택, 결과의 일반화 및 테스트를 반복적으로 실행하는 과정에서 이루어진다. 이 말은 쉽게 들리겠지만, 실제로 문제가 무엇인지 파악하는 것이 가장 중요하다. 예를 들어 새로운 컵을 설계하기 위해 컵의 무게를 결정한다고 가정해보자. 이 문제를 해결하기 위해 가장 먼저 해야 할 일은 컵의 용도를 알아내는 것이다.³

³ 실제 문제에서는 가격, 생산 시기, 운송 방법 등 문제를 해결하는 데 직접적인 관련이 없어 보여도 반드시 고려해야 하는 시항이 매우 많다. 또한 답을 구하는 데 도움을 줄 수 있는 데이터가 부족하므로 다양한 자료와 정보 수집을 통해 근사치를 구해야 한다.

즉 컵을 설계할 때 실린더에 담기는 음료수의 양을 계산하는 것보다, 컵의 용도를 파악하고 용도에 적합한 형태와 무게, 재질을 결정해야 한다. 이 문제는 단순히 무게와 같은 물리적인 양을 결정하기 위해 어떤 수학 공식이나 물리적인 도구를 찾는 것과 다르다. 제한된 무게를 넘지 않는 범위 내에서 음료수 용기로 사용 가능한 재료를 결정하는 것처럼 상당히 많은 항목을 고려해야만 해결할 수 있다. 따라서 일반적으로 이런 과정에서는 정량적인 수단이 동원되기 전에 브레인스토밍(brain storming) 과정을 거쳐야 한다.



[그림 1-9] 컵을 설계할 때 고려해야 할 사항

문제의 답은 “이 제품의 무게는 얼마인가?”처럼 결정적인(deterministic) 답과 “이 제품의 색상은 어떤 것이 적절한가?”처럼 비결정적(nondeterministic)인 답으로 나뉜다. 결정적인 답은 공식이나 연립방정식을 적용하여 얻을 수 있다. 그러나 공학적 문제에서는 결정적인 답을 내리기 전에 다른 대안에 대해 신중히 고려하고 우선순위를 정한 후 구체적인 선택을 해야 한다. 그리고 이러한 과정에서도 브레인스토밍은 매우 유용한 수단이다.

1.2.2 공학적 문제해결 방법

공학설계는 수요자의 요구를 파악하고, 이를 충족시키기 위한 해결 방법을 개선해가는 창의적인 과정이다. 이러한 해결 방법은 제품, 기술, 구조, 프로젝트, 문제 유형에 따라서 달라질 수 있다. ‘창의적인 문제해결을 위한 공학적 방법’은 우수한 공학설계를 완성하기 위한 일반적인 프로세스, 즉 설계 과정을 의미한다. 공학자가 풀어야 할 문제의 본질은 여러 공학 분야에서 다양한 형태로 발생한다. 문제의 다양성으로 인해 모든 문제를 해결할 수 있는 보편적인 과정이나 해결 방법은 없다. 다만, 공학적 품질관리라는 측면에서 명확하게 정의된 문제해결 방법은 다음 사항을 만족할 수 있어야 한다.

- 팀 구성원이 현재 상황을 제대로 이해할 수 있어야 한다.
- 모든 설계 프로세스에서 수요자의 요구 조건에 대한 평가 항목과 기준을 정하고, 구체적으로 평가를 실행해야 한다.
- 사실에 근거한 해결 방법이어야 한다. 설계 팀에서는 선택된 해결 방법을 정당화하기 위해 데이터를 분석하고 측정해야 한다.

공학자들이 설계를 할 때 항상 동일한 설계 프로세스를 따르는 것은 아니지만, 대부분 다음과 같은 설계 프로세스를 따른다. 이때 주어진 문제에 따라 중간 과정이 생략되거나 다른 과정이 추가될 수도 있다.

핵심포인트 일반적인 설계 프로세스

- 1 수요 파악(identification of a need) 및 문제 정의(problem definition)
- 2 정보 수집(gathering information)
- 3 설계 기준과 제한요소(criteria and constraint) 결정
- 4 다양한 해결 방안(multiple solutions) 모색
- 5 분석과 결정(analysis and decision)
- 6 설계 구현(design Implementation)
- 7 의사소통(communication)
- 8 생산설계(production design)

1 수요 파악 및 문제 정의

수요자의 요구를 파악하는 것은 설계 프로세스에서 가장 첫 번째 단계이다. 수요를 제대로 파악하지 못하고, 문제를 적절하게 정의하지 못하면 시간을 허비하게 되고 때로는 잘못된 답을 도출할 수도 있다. 따라서 현실적인 수요를 파악하고, 현실적인 문제를 정의하는 것이 매우 중요하다. 만일 설계한 결과의 효용가치가 크지 않다면 그 설계는 가치없는 것이다. 따라서 문제 정의는 현실성이 있게 객관적이고 명확하게 명시되어야 한다.

다음은 객관적으로 표현된 문제 정의의 사례이다. 두 문제를 비교해보자.

- ① 무게는 600kg을 넘지 않고, 연비가 25km/l 이상인 새로운 자동차를 설계하라.
- ② 무게는 가볍고, 연비가 매우 높은 새로운 자동차를 설계하라.

정의 ①은 의미가 명확하므로 설계 목표에 따라 일을 진행하기가 쉽다. 그러나 정의 ②는 기준이 명확하지 않아 설계할 때 혼란을 겪을 수밖에 없다. 정의 ②에 따라 작업할 경우, 주어

진 설계 기준이 명확하지 않으므로 최종 결과물이 잘 된 것인지 알 수가 없다. 그러므로 문제를 정의할 때는 좀 더 명확하게 표현해야 한다.

공학자는 필요 이상으로 제한요소를 두지 않도록 주의를 기울여야 한다. 문제에 너무 많은 제한을 두는 것은 문제해결을 어렵게 하거나 불가능하게 만들어 해결 방안이 현실적이지 못 할 가능성이 크다. 예를 들어 정의 ①은 큰 문제가 없어 보이지만, 유심히 살펴보면 자동차의 무게를 600kg으로 줄이고 연비를 25km/l 이상으로 높이기 위해서는 차체를 이루는 소재를 탄소섬유와 같은 최첨단 경량소재를 사용해야 한다. 그러나 이러한 소재는 너무 고가이기 때문에 자동차의 판매 가격이 올라가고, 자동차의 가격이 비싸지면 판매가 되지 않을 수 있다는 문제점이 있다. 그러므로 문제는 현실적인 제한 범위 내에서 정의해야 한다.

2 정보 수집

문제를 정의한 후에는 그 문제를 해결하기 위해 필요한 정보를 수집해야 한다. 이러한 정보는 물리적인 측정, 실험, 의견 수렴 등 형태가 다양하다. 특히 공학자는 기존에 이미 만들어진 것을 참고하여 문제를 해결하려고 해야 한다. 해결이 된 유사한 문제, 해결되지 않은 문제의 원인과 관련 정보를 면밀히 검토하는 것은 최상의 답을 찾아내는 데 큰 도움이 된다.

3 설계 기준과 제한요소 결정

설계를 정확하게 명세화하는 작업을 설계 기준(criteria) 수립이라고 하고, 이 과정에서 부과되는 제약을 제한요소(constraint)라 한다. 이 단계에서는 실질적으로 문제해결에 적용될 설계 기준과 제한요소를 결정해야 한다. 이는 프로젝트를 제어하는 하드웨어 및 소프트웨어의 파라미터를 결정하는 중요한 단계이다. 또한 이 과정에서 실행 가능성성이 평가되어야 하는데, 이는 프로젝트가 설계 단계로 진행될 수 있는지를 결정하는 중요한 과정이다. 이를 결정하기 위해서는 프로젝트가 실현 가능성성이 있어야 하며, 제한된 범위 내에서 제약을 받아야 한다.

4 다양한 해결 방안 모색

개방형 문제의 특징은 다양한 해결이 가능하다는 것이다. 다양한 해결 방안을 얻기 위해서는 그룹이나 개인이 창의적인 생각을 할 수 있도록 유도하는 기술을 이용하여 많은 아이디어를 제시해야 한다. 이러한 기술로는 브레인스토밍이나 체크리스트(check list) 작성, 속성 열거법(attribute listing), 강제적 결합(forced relationship technique) 및 다른 관점을 수용하는 방법 등이 있다.

5 분석과 결정

다양한 아이디어를 수집해서 해결 방안을 도출한 후에는 각 방안을 분석하여 설계의 최종 답을 결정해야 한다. 공학자들이 해결 방안이나 설계의 가치를 평가하기 위해 사용하는 기준은 매우 다양하다. 만일 수요자의 요구를 만족시키는 제품을 개발하는 문제라면 기능, 가격 및 안정성 등과 같이 “수요자가 어느 정도 수용할 수 있는가?”에 많은 평가 비중이 주어진다. 이 때 프로토타입(prototype)⁴을 사용하는 것은 설계 동작을 테스트함으로써 설계가 제대로 되었는지 확인하기 위한 최선의 방법이다. 그러나 시작품을 제작해서 동작을 평가하는 데 많은 시간이 걸리고 비용이 많이 들기 때문에 간단한 제품이나 전체 중의 일부에 대해 시험 모델을 제작한다.

모든 해결 방안의 원형을 제작하는 것은 불가능하므로 공학자들은 설계 과정을 용이하게 하기 위해 모델링을 이용한다. 모델링은 시스템이나 과정을 단순화해서 이해하기 쉽게 만들어 설계에 사용한다. 공학 분야에서 일반적으로 사용하는 모델링에는 수학적 모델, 컴퓨터 시뮬레이션 모델, 물리적 모델이 있다.

■ 수학적 모델

수학적 모델(mathematical models)은 물리적인 시스템을 표현하는 하나 또는 그 이상의 수식을 가리키는 말이다. 대부분 물리적인 시스템은 수학적 모델로 표현될 수 있으며, 이는 오랜 기간 동안 시험을 거친 과학적인 이론이나 법칙, 실험 또는 관찰에 의한 경험적인 데이터에 근거한다. 일반적으로 복잡한 시스템은 수식으로 모델링되는 것이 어려우므로 수학적 모델은 단순한 시스템에 적용된다.

■ 컴퓨터 시뮬레이션 모델

컴퓨터 시뮬레이션 모델(computer simulation models)은 복잡한 시스템을 모델링할 때 사용한다. 이때 시뮬레이션 모델은 다양한 수학적 모델을 수용하고, 다양한 가상의 동작 환경에서 시뮬레이션된다.

■ 물리적 모델

물리적 모델(physical models)은 복잡한 시스템을 이해하기 위해 공학자들이 오랫동안 이용한 방식이다. 구조적인 설계를 표현하기 위한 모델링 방법으로 장치, 구조 또는 시스템에 대한 사전 지식 없이도 연구할 수 있다는 장점이 있다. 물리적 모델은 대부분 분석 단계에서 축소 모델을 통해 시스템의 동작을 분석할 때 가장 정확한 결과를 보여준다.

⁴ 프로토타입은 양산에 앞서 미리 제작하는 원형을 말한다. 양산 모델에 가장 근접한 모델을 제작함으로써 설계 과정에서 고려하지 못했던 문제를 발견하고 개발자와 사용자 간의 의사소통 도구로 사용할 수도 있다.

6 설계 구현

설계 프로세스의 최종 단계는 설계를 구현하는 것이다. 이 단계에서는 시작품을 제작하며, 동시공학, 문서화 및 특히 출원 등 제반 사항을 다룬다.

■ 시작품

시작품(trial product)은 문제에 대해 결정된 답이 완벽하게 동작하도록 제작한 첫 번째 모델이다. 이를 제작하는 목적은 문제에 대한 답이 실제 환경에서 어떻게 동작하는지 알아보기 위한 것이다.

■ 동시공학

동시공학(concurrent engineering)은 제품 설계 단계에서 제조 및 사후 지원 업무까지 통합적으로 고려하여 설계하는 시스템적 접근 방법이다. 동시공학의 전제 조건은 제품의 라이프사이클(life cycle) 과정에서 발생할 수 있는 모든 요소들이 설계의 초기 단계에서 주의 깊게 고려되어야 한다는 것과 선행하는 설계 활동이 모두 동시에 발생해야 한다는 것이다. 따라서 제품 개발 담당자는 개발 초기부터 해당 제품을 폐기할 때까지의 전 과정에서 제품에 대한 품질, 원가, 일정, 수요자의 요구사항 등 전체 라이프사이클을 고려해야 한다. 이러한 개념은 설계 초기 단계에서 오류(error)를 발견하고 재설계가 가능하게 하므로 프로젝트가 좀 더 구체적인 모델로 진전되면서 발생할 수 있는 문제를 피할 수 있다.

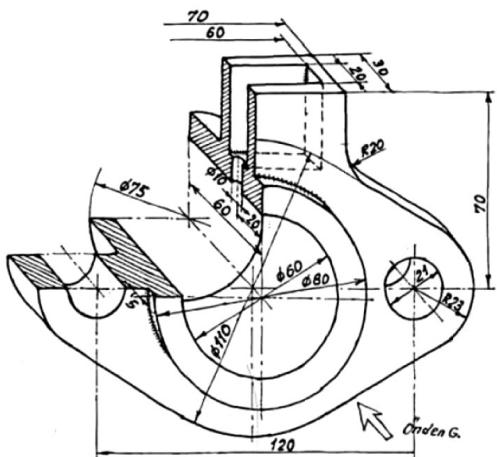
설계를 구현하기 위해서는 설계서를 작성해야 한다. 여기에서 말하는 설계란 시작품을 제작하기 위해 필요한 구체적인 설계를 의미한다. 편의상 설계는 개념설계에서 시작해서 예비설계를 거쳐 상세설계로 완성된다. 개념설계란 이미 수요자의 요구사항을 수렴하고 다양한 해결 방안을 분석한 후에 결정된 최종 해결 방안으로 정의된다. 그러나 이 개념설계만을 가지고 실제 상황에서 동작할 수 있는 시작품을 제작할 수는 없다. 따라서 설계개념이 좀 더 구체적으로 정의된 예비설계와 그보다 더 구체적으로 정의된 상세설계를 통해 시작품을 직접 제작해야 최초의 개념대로 제작할 수 있다.

7 의사소통

우선순위가 높은 설계 방안을 선택한 후에는 이를 승인, 지원, 구현해 줄 사람과 의사소통을 해야 한다. 이는 공학 보고서, 기획 문서 및 규격의 형태를 가져야 한다. 기획 문서와 규격은 제작 또는 제조 설계를 제조 부서나 계약자에게 구체적으로 설명하는 공학자의 표현 방법이 될 수 있으며, 설계 구현 단계에서 작성하는 설계 문서가 될 수도 있다. 의사소통을 위해서는 공학도면, 문서, 발표가 매우 중요하다.

■ 공학도면에 의한 의사소통

공학도면(engineering drawings)은 설계를 시각적으로 보여주기 위해 공학자가 그리는 기술도면(technical drawing)이다. 공학도면에서는 어떤 부품들이 필요한지, 그들을 어떻게 조립하는지, 그리고 제작됐을 때 어떻게 조작하는지를 보여준다. 이러한 도식적인 규격은 공학설계에서 기술 팀과 말로 표현하기 어려운 내용을 전달할 수 있는 시각적인 의사소통 방법이다. 그러므로 공학도면의 그림은 명확해야 하며, 표준을 따르고 팀에서 이해할 수 있는 규격이어야 한다. [그림 1-10]은 공학도면의 예를 나타낸 것으로, 보통 접합부에 끼워 물이나 가스, 오일 등이 새지 않도록 설치하는 개스킷(gasket) 프로토타입 제작을 위한 도면이다.



[그림 1-10] 개스킷 프로토타입 제작을 위한 도면의 예(출처 : <http://www.dailyautocad.com>)

■ 문서에 의한 의사소통

메모는 가장 간단하고 효율적인 방법이고, 기술 보고서는 설계 과정을 좀 더 완성도 있게 작성한 문서로 어떤 문제를 풀기 위해 실행된 모든 사항을 상세하게 포함해야 한다. 다른 의사소통 방법과 마찬가지로 문서는 명확해야 하며, 읽는 사람이 쉽게 이해할 수 있어야 한다. 문서는 일반적으로 다음과 같은 순서로 기술한다.

- ① 표지, 프로젝트 이름, 회사 이름, 작성자 이름, 작성 일자
- ② 개요(작업 내용을 개략적으로 설명)
- ③ 목차
- ④ 본문(해결된 문제, 배경, 사용된 프로세스, 결과 및 작업의 중요성 등을 기술)
- ⑤ 결론 및 권고 사항(결과와 작업의 중요성을 요약)
- ⑥ 부록

■ 발표에 의한 의사소통

공학자는 설계 프로세스의 중간 과정에서 설계 팀, 감독자, 관리자, 마케팅 담당자에게 구두로 진행 상황을 발표할 필요가 있다. 구두로 발표를 하는 목적은 듣는 사람들에게 정보를 제공하고 현재 진행 상황에 대한 확신을 준다는 점에서 문서화된 보고서와 동일하지만, 의사전달 방법은 전혀 다르다. 구두 발표는 제한된 시간 내에 전체 내용을 일목요연하게 전달해야 하기 때문에 사전에 많은 준비와 연습이 필요하다. 다음은 구두 발표를 잘 하기 위해 필요한 사항들이다.

- 자료 조사자를 통해 발표 주제에 대한 정보를 많이 습득하고 주제와 친숙해진다.
- 발표에 할당된 시간 내에 모두 발표할 수 있도록 연습을 많이 한다.
- 발표의 난이도를 청중이 이해할 수 있는 수준으로 맞춘다.
- 말은 명료하게 하고, 적절한 몸짓과 함께 표정을 풍부하게 한다.
- 시각적인 자료를 활용하되, 하나의 시각적인 자료에 너무 많은 정보를 넣지 않는다.
- 발표에서 중요한 부분을 강조하기 위해 요약과 결론을 활용한다.
- 청중에게 질문이 있는지 물어본 후에 발표를 마친다.

8 생산설계

시작품을 대상으로 품질 테스트를 통해 수요자가 원하는 동작을 정상적으로 하고, 설계 초기에 수립된 설계 기준과 제한요소를 충족하면 설계 프로세스는 거의 완료되어 제품을 최종적으로 생산할 수 있는 단계가 된다. 그러나 설계 프로세스가 완료되었다고 하더라도 생산 과정에서 문제가 발생할 수 있으므로, 생산 팀과 설계 팀이 협조하여 발생한 문제를 해결할 수 있도록 한다. 생산설계에는 다음과 같은 항목이 포함된다.

■ 생산 조립 프로세스

생산 조립 프로세스는 제품의 제작과 조립을 향상시킬 수 있는 과정이다. 생산 조립 프로세스를 수립하기 위해서는 재료 선택, 취급, 공정, 품질관리, 물품 구매와 조립 등의 다양한 생산 공정 간의 상호작용을 이해해야 한다. 특히 제품의 설계와 생산 시스템의 상호작용은 물론이고, 생산 비용을 낮추기 위한 설계와 시장에 신속하게 출시할 수 있는 방안을 이해해야 한다.

■ 합격 판정 시험

합격 판정 시험은 생산 과정에서 제작된 제품이 시작품과 일치하는지 확인하는 과정이다. 합격 판정 시험 방식에는 전수검사 방식과 샘플검사 방식이 있다.

■ 생산 제어

생산 제어는 작업의 일정을 조절하고, 제조 과정에 필요한 재료와 기술 데이터를 제공하는 것을 말한다. 이 제어는 부품과 모듈, 그리고 조립 부품을 공급하는 것과 중요한 조립 프로세스에 대한 일정을 수립하여 무리 없이 생산 활동을 하는 데 필요한 작업 지시서와 데이터를 제공해준다. 제조 프로세스에 관련된 문서를 신속히 준비하고 제공하기 위해 컴퓨터를 이용하여 문서를 생성하고 전송한다. 또한 이 시스템은 생산 라인 전 분야의 생산 활동을 결정하는 문서를 생성, 유지, 전달하고 저장하는 역할을 한다.



손자병법과 기업경영

공학설계의 구체적인 목적은 기업의 이윤 추구에 있다. 이와 관련하여 손자병법의 시계(始計) 편을 보면, 전투를 시작하기 전에 작전을 잘 세워야 한다는 것을 알 수 있다. 손자병법의 13편 중 첫 번째 편 제목을 시계로 정한 깊은 철저한 계산과 분석에 바탕을 둔 전략이 있어야 전투에 승리할 수 있기 때문이다. 당시 전투는 오늘날의 기업경영과 다를 바 없다. 장군이 전투를 지휘하는 일이나 기업가가 기업을 경영하는 일은 조금도 다르지 않기 때문이다.

손자병법의 시계 편에서는 이해득실을 충분히 검토한 뒤에 전투를 시작해야 하며, 나와 적의 우열을 5가지 원칙에 따라 헤아리고, 7가지 기준으로 상황을 판단함으로써 승산이 있으면 싸우고 그렇지 않으면 피하라고 충고한다.

■ 5가지 원칙

제1원칙 : 죽어도 함께 죽고, 살아도 함께 살겠다는 마음가짐[道]은 어느 편에 있는가?

제2원칙 : 낮과 밤, 추위와 더위, 맑고 흐림, 계절 등 시간적 조건[天]은 어느 편에 유리한가?

제3원칙 : 거리, 지세, 지역, 지형 등 공간적 조건[地]은 어느 편에 유리한가?

제4원칙 : 지모, 신의, 인자, 용기, 위엄 등 장군의 기량[將]은 어느 편이 더 강한가?

제5원칙 : 군대의 편성, 책임, 분담, 군수 물자 등 군제인 법[法]은 어느 편이 더 엄격한가?

■ 7가지 기준

제1기준 : 어느 편의 군주가 더 출중한 정치를 하고 있는가?

제2기준 : 어느 편의 장수가 더 유능한가?

제3기준 : 시간적 조건과 공간적 조건은 어느 편에 더 유리한가?

제4기준 : 법령은 어느 편이 더 엄격한가?

제5기준 : 군대는 어느 편이 더 강한가?

제6기준 : 군사는 어느 편이 더 훈련되어 있는가?

제7기준 : 상벌은 어느 편이 더 공정한가?

1.3

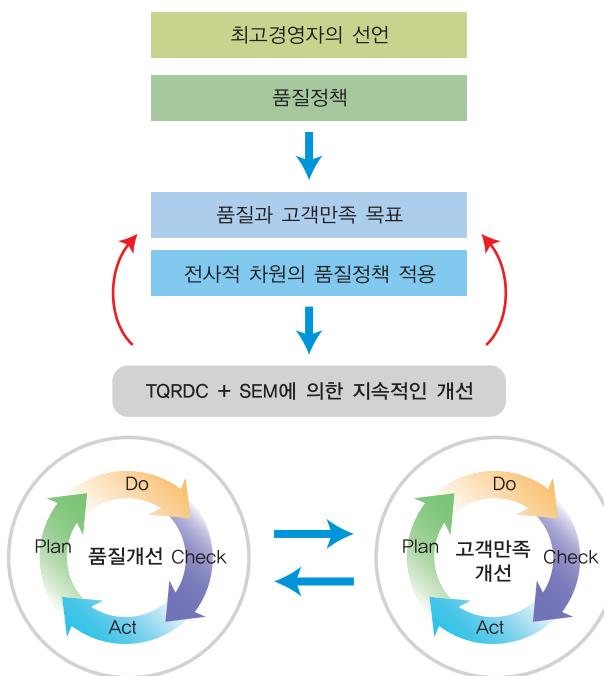
품질관리

품질관리는 공학설계의 최종 단계이다. 이 절에서는 품질관리의 필요성과 품질관리의 성공여부를 결정하는 요소들에 대해서 설명한다.

학습 목표

- 품질관리의 개념과 필요성에 대해 살펴본다.
- 품질관리를 위한 리더와 구성원 간의 역할에 대해서 알아본다.
- 전사적 품질경영(TQM)이 성공하기 위한 요건에 대해 살펴본다.

공학설계 과정에서 품질관리 프로세스는 필수항목은 아니지만 매우 중요한 절차이다. 이를 위해 공학자는 전사적 품질경영(TQM : Total Quality Management)이라는 개념을 이해하고 있어야 한다. TQM은 1980년대 이후 지속적으로 발전한 개념으로, 현재는 일반화된 경영 방법이다. 이러한 TQM의 핵심은 [그림 1-11]과 같다.



[그림 1-11] TQM의 핵심

수요자 중심의 품질관리

TQM은 수요자 만족을 최우선 과제로 생각한다. 따라서 회사에서는 지속적으로 수요자의 요구를 감지하여 빠르게 대응해야 한다. 회사의 모든 부서는 전사적 품질 업무와 관련되어 있으며, 심지어 수요자조차 동반자로 인식해야 한다.

수요자란 실제로 어떤 물건이 만들어졌을 때 사용하게 될 잠재 고객을 의미한다. 여기에서 물건이란 일반 대중이 아무 조건 없이 사용할 수 있는 생활용품, 자동차, 가전기기 등에서부터 교량, 도로와 같은 공공시설물 등이 포함된다. 이때 일반 생활용품의 수요자는 일반 대중이며, 공공 시설물의 수요자는 정부가 된다.

최고 경영자의 TQM 리더십

최고 경영자의 리더십은 회사가 목표로 삼은 품질과 그 목표를 달성하기 위한 시스템을 구성하며, 목표 달성을 여부를 가늠하는 데 필수 요소가 된다. 즉 최고 경영자의 적극적인 리더십은 품질과 관련된 활동을 고무시키는 원동력이 된다. 개발에 대한 성능 지표를 측정하고 평가하는 것은 수요자의 요구와 만족이 어느 정도 충족되었는지에 대해 달성을 정량적으로 알 수 있는 방법이며, 이 결과가 보상에 영향을 미칠 수 있기 때문에 모든 고용자가 적극적으로 참여하도록 유도할 수 있다.

경영자란 조직의 목표를 효율적으로 달성하기 위해서 인적·물적·금융적·정보적 자원을 계획하고 조직하며 통제하는 사람이다. 경영자는 일에 대한 책임을 져야 하므로 한 조직의 성패는 경영자의 능력에 크게 좌우된다. 경영자는 공학설계 프로세스에 직접 관여하지 않지만 설계 프로세스가 원만하게 진행될 수 있도록 계획을 수립하고 조직을 편성하는 데 관여하고 지원한다.

품질 개선을 위한 지속적인 노력

지속적인 품질 개선 활동은 TQM의 가장 중요한 핵심이다. 수요자의 만족은 오직 제품의 품질 만족에 의해서만 달성이될 수 있기 때문이다. TQM은 제품의 품질과 수요자의 만족을 연관 시킬 뿐만 아니라, 제품의 품질을 설계 및 생산 공정에서 얼마나 수요자의 요구가 잘 반영되었는가에 대한 결과로 인정한다. 따라서 회사는 제품의 품질 개선을 위해 공정을 개선하려는 노력을 해야 한다. 결과적으로 공정 개선은 품질 개선으로 연결되고 수요자의 만족도를 높이는 결과가 된다. 설계와 제품을 개발하는 모든 활동에서 주기적인 개선이 필요하며, 통상적인 지원과 행정적인 서비스를 통해 수요자와 관계를 관리해야 한다. 또한 회사는 지속적인 개선을 위해 자신의 회사에 대한 평가뿐만 아니라 다른 회사에 대한 평가를 실시하고 벤치마킹해야 한다.

수요자의 요구에 대한 신속한 조치

수요자의 요구를 설계 과정에 반영한다면 발생할 수 있는 오류를 사전에 방지할 수 있고 결함이 없는 제품을 만들어 낼 수 있다. 어떤 문제가 제품을 개발하는 과정에서 발생하면 문제의 원인을 밝혀내고 해결하는 데 집중해야 한다. 결과적으로 대부분의 문제들은 수요자에게 제공되기 전에 발견되고 해결되어야 한다.

생산 주기가 짧아짐에 따라 수요자의 요구에 빨리 반응하는 것이 필수적이다. 이는 모든 생산 활동을 주기적으로 관찰하고 모니터링함으로써 개선의 기회를 포착해야 한다는 것을 의미한다. 수요자의 요구 및 프로세스에 의해 진행되는 제품 개발의 장점 가운데 하나는 제품 개발을 효율적으로 하여 시간을 줄일 수 있고 개발 과정이 단순화된다는 점이다. 단순화하는 것은 동시공학을 통해 여러 설계 단계에서 설계를 동시에 진행함으로써 성취될 수 있고, 효율성은 제품의 품질 개선에 크게 영향을 미치지 않는 재설계 과정을 없앰으로써 이를 수 있다. 결과적으로 제품의 구상 단계에서 최초 시작품이 제작되는 시간을 크게 줄일 수 있다. 또한 제품에 있어서 불필요한 요소를 제거하는 것은 품질 개선 접근 방법에 있어서 매우 중요한 부분이다. 이 방법에서는 불필요한 요소를 나중에 발견하는 것보다 설계 단계에서부터 발생하지 않도록 예방하는 것이 더 효율적이다.

데이터와 분석에 의한 대처

TQM의 중심에는 공학적 통계 분석과 생산 정보가 있다. 데이터를 수집하고 분석함으로써 새로운 제품을 기획할 수 있고, 성능을 평가하고 운영 방법을 개선하며, 경쟁 제품과 품질을 비교할 수 있다. TQM은 객관적인 데이터에 기초하며, 이 데이터는 의사결정을 내리기 전에 감성적인 판단보다 이성적인 판단을 하도록 유도한다.

피고용인의 참여 의식

성공적인 TQM 환경은 혁신적이며, 잘 훈련되고, 품질 개선 활동에 적극적으로 참여하는 노동력이 필요하다. 이러한 참여 의식은 품질 개선 노력의 효과가 가시적일 때, 즉 피고용인에게 적절한 보상을 제공하고 품질 목표를 달성하도록 격려하는 시스템을 구축함으로써 더욱 높아진다. 모든 피고용인을 지속적으로 교육하고 훈련하는 것은 품질을 개선하는 추진력이 된다. 이를 통해 피고용인은 강한 책임 의식을 느끼게 되며, 효율적으로 대화하려고 노력한다. 또한 창의적인 활동을 통해 혁신을 이루며, 이러한 노력과 기술은 경영자에 의해 존중받게 된다.

**01** 공학설계가 무엇인지 정의하라.**02** 다음 요구 조건을 충족하는 사다리를 개발하려고 한다. 이때 요구 조건에 대한 정량적인 설계 기준을 제시하라.

요구 조건	정량적인 설계 기준
(a) 한 사람이 운반할 수 있어야 한다.	(예) • 한 사람이 운반할 수 있으려면 사다리 무게가 10kg 이내여야 한다. • 한 사람이 운반할 수 있으려면 사다리 길이가 1.5m를 넘지 않아야 한다. 따라서 접이식 또는 슬라이드를 이용해 접을 수 있어야 한다.
(b) 한 사람이 올라가서 작업할 수 있어야 한다.	
(c) 실내에서 사용한다.	

03 과학자, 공학자, 기술자의 역할을 설명하고, 그 차이가 무엇인지 설명하라.**04** 공학설계 팀을 구성할 때 공학자와 기술자 이외에 어떤 구성원이 참여할 수 있는지 설명하고, 각각의 역할을 설명하라.

05 공학적 문제가 개방형 문제여야 하는 이유를 설명하라.

06 다음 문제를 분석 문제 또는 설계 문제로 각각 구분하고, 그 이유를 설명하라.

- (a) 연비가 20km/l 인 자동차를 개발하라.
- (b) 1kg 의 물건을 수직으로 올리기 위해서는 초기 속도가 얼마여야 하는가?
- (c) 교량에 1톤 의 자동차 2대 가 동시에 통과할 때 교량이 견뎌야 할 하중이 얼마인가?
- (d) 1톤 의 자동차 100대 가 동시에 통과할 수 있는 교량을 설계하라.

07 휴대용 MP3 플레이어를 설계할 때, 수요자(구매자), 설계자, 생산자, 경영자 입장에서 고려 할 수 있는 사항을 최소한 3개씩 나열하라.

08 문제를 정의할 때 현실적인 문제가 정의되어야 한다는 것이 무엇을 의미하는지 설명하라.

09 유용한 쓰레기통을 설계한다고 가정할 때, 고려해야 할 문제가 무엇인지 정의하라.

10 개방형 문제의 관점에서 연비가 20km/l 인 자동차를 설계하기 위한 문제해결 방안을 나열 하라.