

공학 시스템 설계를 위한 체계적인 개념 설계 프로세스 구조 개발

박용택[#], 국금환^{*}

Structure Development of Systematic Conceptual Design Process for Designing Engineering Systems

Yong Taek Park[#] and Kum Hoan Kuk^{*}

ABSTRACT

The design process must be planned carefully and executed systematically in order to support designers who are faced with many engineering design problems. In particular, conceptual design stage is very important than other stages such as detailed design or manufacturing stage on designing engineering systems. When designers are faced contradictory situation in task, conceptual design usually requires inventive thinking which depends on their creativity. And in order to develop good concepts, it is necessary to resolve contradictory situations during conceptual design. This paper presents a structure of systematic conceptual design process for designing engineering systems. And we developed the automatic feeding screw device using the proposed design process structure.

Key Words : Conceptual design (개념 설계), TRIZ (트리즈), Axiomatic design (공리적 설계), Engineering systems (공학 시스템), Automatic feeding screw device (자동 나사 공급 장치)

1. 서론

설계자들이 설계 과정에서 내리는 결정은 제품의 품질, 내구성 또는 공정 등에까지 영향을 미치게 되었다. 그 결과, 설계자들은 설계 과정을 빠르게 수행할 수 있고 또한 최소한의 자원과 시간을 사용하여 설계의 마지막 단계에 도달할 수 있는 방법들을 찾아야 한다는 필요성을 인식하게 되었다.¹

Pahl 과 Beitz 는 설계 과정을 네 개의 주요 단계로 나누었다-제품 기획과 과제 규명, 개념 설계,

구체 설계, 상세 설계.² 그 중에서 개념 설계는 설계하고자 하는 어떤 것의 목적과 구조를 차츰 명확하게 하여 설계의 대강을 결정하는 단계로서 가장 중요한 단계이다. 그 동안 개념 설계를 지원하기 위한 많은 설계 프로세서와 개념적 도구 및 방법론들이 개발되었다.¹⁻⁵ Pahl 과 Beitz 는 체계적인 설계에 관한 방대한 지식을 엮어 기능 중심적 모델 확립을 통한 개념설계 프로세서를 제안하였고², Gausemeier 등은 다양한 분야의 전문가 그룹의 상호조화를 강조한 개념설계를 위한 V-Model 을 제안하였다.³ 그리고 Salmine 과 Verho 는 그들의

접수일: 2007 년 1 월 22 일; 게재승인일: 2007 년 7 월 3 일

교신저자: 경상대학교 제어계측공학과

Email: maestro93@hanmail.net Tel. (055) 751-5367

* 경상대학교 제어계측공학과, 공학연구원 연구원

경험을 토대로 한 개념설계 프로세서를 제안하였다.⁴

하지만 현대의 공학 설계가 메카트로닉스화되고 또한 작업이 점점 더 복잡해짐에 따라 설계자들은 많은 어려운 상황에 직면하게 되었다. 특히, 정의한 어떤 기능적 요구사항들(Functional requirement, FRs)이 서로 종속적인 관계에 있거나 또는 어떤 FR 을 만족시키기 위해 개발한 설계 파라미터(Design parameters, DPs)가 다른 FR 에 영향을 주는 모순적 상황에 직면할 경우, 대부분의 전통적인 개념 설계 프로세스들은 이러한 모순적 상황에 대하여 타협안(Trade-off)을 제시하거나 또는 심리학을 토대로 한 기법들이나 도구들을 사용하여 해결안을 도출하도록 제안하였다. 그 결과, 그것들을 실제의 공학 설계 문제에 적용하기에는 불충분하다. 따라서 공학 시스템 설계 시 모순적 상황을 논리적으로 해결하기 위한 체계적인 개념 설계 프로세스가 요구된다.

본 연구에서는 Pahl 과 Beitz 가 제안하는 전통적인 개념 설계 프로세스, 공리적 설계(Axiomatic design, AD) 그리고 트리즈(TRIZ)를 비교 분석함으로써 창의적 개념안 도출 작업을 지원하기 위한 체계적인 개념 설계 프로세스의 구조를 제안하고자 한다.

2. 전통적인 개념 설계 프로세스

공학 설계 문제는 새로운 FRs 을 만족시키기 위해 기존에 존재하지 않는 새로운 기술 시스템을 설계하는 고유 설계 문제와 기존 기술 시스템의 부정적인 상황을 없애려고 하는 것뿐만 아니라 긍정적인 상황을 더욱 발전시키기 위한 적응 설계

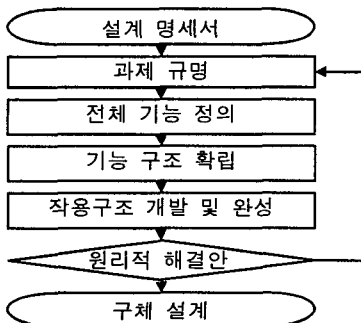


Fig. 1 Pahl and Beitz's conceptual design process

문제로 구분된다. 종종 적응 설계 시, 개별 조립품이나 부품에 대하여 고유 설계를 해야 할 때도 있기 때문에 공학 설계 문제에서 개념 설계는 필수적이다. Pahl 과 Beitz 는 다소 명료하게 정리된 합리적이며 포괄적인 개념 설계 프로세스를 제안하였다(Fig. 1). 그들이 제안하는 개념 설계는 시스템의 입출력 관계를 에너지, 물질 그리고 신호의 흐름으로 표현하는 기능적 모델을 특징으로 하고 있다.²

현대의 많은 공학 시스템은 메카트로닉스 시스템으로써 전기전자 시스템, 기계 시스템 그리고 제어 시스템 등으로 구성된다. 따라서 시스템을 구성하는 요소들 사이에는 에너지, 물질 그리고 신호의 흐름은 반드시 규정되고 분석되어야 하기 때문에 본 연구에서는 Pahl 과 Beitz 가 제안하는 개념 설계 프로세스를 공학 설계 문제의 기본 프로세스로 선정하였다.

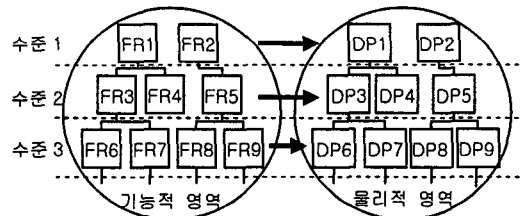


Fig. 2 Pahl and Beitz's design process

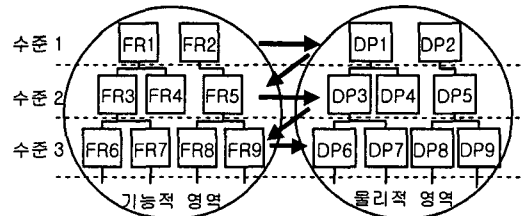


Fig. 3 Design process of AD

하지만 Pahl 과 Beitz 는 개발하고자 하는 목적 시스템의 전체 기능을 만족시키기 위해 완전한 기능 구조를 확립한 다음 각각의 FRs 에 대한 DPs 을 탐색하도록 제안하고 있다(Fig. 2). 그에 반해 공리적 설계는 우선 i 번째 단계의 FRs 를 만족시키는 모든 DPs 를 개발한 후에 i 번째 단계의 FRs 를 다음 단계의 계층구조로 분해하도록 제안하고 있다(Fig. 3).⁶ 모든 기술 시스템은 자신만의 사용

시스템에 포함되어 있다.⁹ 따라서 표준 시스템의 이용은 DP 를 개발하고 또한 개발한 DP 를 개선시키는데 있어서 유용하게 사용할 수 있다. Table 1 은 현대의 공학 시스템 설계 관점에서 전통적인 개념 설계 프로세스, 공리적 설계 그리고 트리즈의 장단점을 비교한 것이다.

Table 1 Comparison conventional process vs. AD vs. TRIZ from conceptual design of view

	장점	단점
Pahl 과 Beitz 의 프로세스	<ul style="list-style-type: none"> 체계적인 설계 절차 확립 전체 기술 시스템의 기능 구조적 분석 방대한 지식의 체계화 	개념안 도출 작업 자체를 직접적으로 지원하지 못함
AD	<ul style="list-style-type: none"> 지그재그식 설계 과정 전체 기술 시스템의 설계 해의 논리적 분석 및 평가 좋은 설계 해를 도출하기 위한 이론 제공 	개념안 도출 작업 보다는 개념안의 해석과 평가에 적합
TRIZ	<ul style="list-style-type: none"> 특히 분석을 통한 구체적인 기술문제 해결 도구 지원 최소 기술 시스템의 정성적 해석 및 해결 방향 제시 개념안 발상 작업 자체의 절차(아리즈) 제공 	<ul style="list-style-type: none"> 설계 과정 자체를 지원하지 않음 복잡한 시스템을 다루지 않음

4. 개념 설계와 모순적 상황

하나의 완전한 기술 시스템은 여러 개의 기능들 즉, 최소 기술 시스템들의 집합으로 구성된다. 따라서 전체 기술 시스템을 구성하는 기능들과 최소 기술 시스템들 간에는 물질, 에너지, 신호가 논리적으로 흘러가야 한다.

전체 기술 시스템의 개선은 최소 기술 시스템들의 개선으로 성취된다. 하지만 각각의 최소 기술 시스템들의 발전 속도가 저마다 다르기 때문에 어떤 시스템의 개선이 다른 이웃한 시스템에 영향을 미칠 수 있다(시스템 불균등 발전 법칙). 뿐만 아니라 기술 시스템은 독립적으로 존재하지 못하고 그 시스템이 요구하는 입력 또는 처리 대상들을 생산하는 이웃 시스템들이나 그것들을 운송하는 공정들에 의해 영향을 받게 된다. 그리고 그 시스템의 출력 대상 또한 다음 시스템에 영향을 줄 수 있다(Fig. 4).

모순(Contradiction)은 기술적 모순과 물리적 모순으로 구분된다. 기술적 모순이란 어떤 것(시스템,

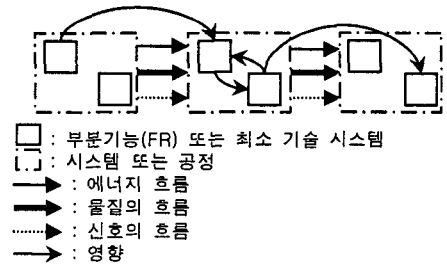


Fig. 4 Construction of system

Table 2 Contradictory situations in conceptual design

FRs 정의	정의한 핵심 FRs 또는 보조 FRs 이 서로 종속적인 경우: 공리 1 위배, 기술적 모순
DPs 개발 및 평가	<ul style="list-style-type: none"> 개발한 DP 의 변화가 다른 FR 에 악영향을 초래 또는 다른 DP 가 개발한 DP 에 악영향을 미침: 공리 1 위배, 기술적 모순 서로 다른 FRs 또는 하나의 FR 을 만족시키기 위하여 최소 기술 시스템(DP)의 요소 또는 대상들 중 어떤 속성이 존재해야 하는 동시에 존재하지 말아야 함: 물리적 모순

공정 등)의 개선이 다른 것에 악영향을 초래하는 상황을 말한다. 예를 들어, 골판지용 자동 급지 장치의 급지 속도와 급지 정밀도의 종속적 관계.⁸ 물리적 모순이란 어떤 한 부분이 어떤 작용을 수행하기 위해 특성 'A'를 가져야 하는 동시에 상반된 특성 'anti-A'도 가져야 하는 상황을 말한다. 예를 들어, 레이저를 이용한 광레코 발생장치 중 레이저 광 출력은 센서가 인식하기 위해서는 커야 하지만 인체의 안전성을 위해서는 작아야 한다.¹⁰ 이러한 모순적 상황들은 개념 설계를 포함해서 설계 과정의 전 영역에 걸쳐 다양한 형태로 발생할 수 있다.

Table 2 는 개념 설계 과정에서 발생할 수 있는 모순적 상황들을 보여주고 있다. 특히 기술적 모순은 공리적 설계의 공리 1 과 관련이 있으며 기술적 모순을 해결하지 못할 경우, 설계 해는 나쁜 설계(연성 설계)가 된다. 하지만 공리적 설계는 이러한 모순적 상황을 해결하기 위한 개념적 도구를 지원하지 않는다. 이에 반해, 트리즈는 모순적 상황을 극복할 수 있는 아이디어 발상을 지원하는 많은 개념적 도구들을 제공한다. 대표적으로 기술적 모순을 해결하기 위한 40 가지 발명원리, 물리적 모순을 해결하기 위한 분리의 원리, 그리고 모순을 논리적으로 해결하기 위한 절차인 아리즈를

지원한다.¹¹ 광케도 발생장치의 레이저 광 출력은 인체 감지 센서를 이용하여 사람이 작업 공간에 있을 경우 OFF 시키고 그렇지 않을 경우 ON 시키는 시간적 분리를 통해 해결이 가능하다.

5. 개념 설계와 이상적인 기술 시스템

전체 기술 시스템은 최소 기술 시스템들의 집합으로 구성되므로 그것의 성공은 최소 기술 시스템들의 성공으로 보장된다. 핵심 FRs 간의 독립성을 보장하는 DPs 를 개발하였음에도 불구하고(공리 1 만족), 최소 기술 시스템의 성공을 보장하기 위해서는 많은 하위 수준의 보조 FRs 가 요구된다(Fig. 3). 만일 어떤 DP의 성공을 보장하기 위해 요구되는 모든(n 개) 보조 FRs 를 정의하지 못할 경우, 개발한 최소 기술 시스템은 잠재적으로 실패할 가능성을 가지게 된다. 이는 공학수학에 있어서 Taylor 급수를 이용한 근사값을 계산하는데 있어서 절단 오차로 인한 근사값의 부정확성으로 설명이 가능하다. 즉, Talyor 급수에서 버려지는 나머지 항들로 인해 절단오차가 발생하고 계산값에 있어서 부정확성이 발생하여 잘못된 계산 결과를 가져올 수 있다. 하지만 하나의 DP 를 만족시키기 위하여 많은 보조 FRs 를 만족시키기 위한 DPs 의 개발이 요구될 경우, 전체 기술 시스템은 복잡해진다.

공리적 설계에서 제안하는 공리 2 는 최소한의 정보량을 가진 설계가 가장 좋은 설계라고 소개하고 있지만 공리 2 는 그것을 달성하기 위한 도구는 아니다. 트리즈가 지향하는 것은 최소한의 자원을 이용하여 이상적인 시스템을 달성하기 위한 해결안을 도출하는 것이다. 이상적인 시스템이란 시스템은 존재하지 않지만 그것의 원하는 결과를 달성시키는 시스템을 말한다. 즉, 이상적인 기술 시스템은 최소한의 기술 시스템의 집합으로 구성되어야 한다. 모순 해결을 지원하는 도구들을 포함하여 트리즈의 개념적 도구들(예를 들어, 이상적인 최종 결과)은 이러한 이상적인 기술 시스템의 달성을 위하여 개발된 것들이다. 따라서, 공리 2 를 만족시키고 또한 이상적인 기술 시스템의 달성을 위하여 핵심 또는 상위 수준의 DPs 의 성공을 보장하기 위한 하위 수준의 보조 FRs 를 최소한으로 정의한 기능 구조를 확립하여야 한다.

6. 공리적 설계와 트리즈

공리적 설계는 실제 설계 과정에서 더욱 쉽게 적용할 수 있는 추론들을 제시하고 있다. Fig. 5는 2 가지 설계 공리와 그것들로부터 파생된 추론들과의 연관성을 보여주고 있다.⁶ 트리즈의 도구들 또한 20 만 건 이상의 전세계 우수한 특허들을 분석하여 도출된 것들로써 서로 연관성을 가지고 있다. Table 3 과 Table 4 는 트리즈 도구들의 용도와 그것들의 사례(특허)들을 분석하여 확인한 이들 도구들간의 연관성을 보여주고 있다.

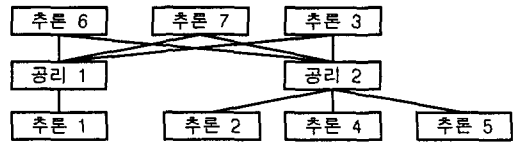


Fig. 5 The origin of corollaries

Table 3 Inventive principles vs. Standard systems

발명 원리	표준 시스템	발명 원리	표준 시스템
#1	2.2.4, 3.2.1, 5.1.2	#23	5.4.1, 2.4.8
#2	2.3.3, 5.3.2	#24	1.2.2, 1.2.3, 1.2.4, 1.2.5, 1.1.7, 2.4.5, 2.4.9, 4.1.2, 5.1.1
#3	1.2.5, 2.2.6, 3.1.1, 5.1.1, 5.3.3	#25	2.4.8, 5.4.1
#4	5.3.4, 5.3.5, 2.2.6	#26	4.1.2, 5.1.1
#5	1.2.2, 1.2.3, 1.2.4, 1.2.5, 3.1.4, 3.1.5	#28	2.2.1, 2.4.1, 2.4.3, 2.4.4, 2.4.5, 2.4.6, 2.4.7, 2.4.8, 2.4.9, 2.4.10, 2.4.11, 2.4.12, 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4
#6	3.2.1	#29	2.4.3, 5.1.1, 5.1.4
#7	5.3.1	#30	2.2.6
#8	5.3.2	#31	2.2.3, 5.1.1, 2.2.6, 2.4.4
#9	5.3.3	#32	4.1.3, 4.3.1
#10	5.3.4, 5.3.5	#34	5.1.3
#11	1.1.8, 5.5.1, 5.5.2	#35	1.1.2, 1.1.3, 1.1.4, 1.1.5, 2.4.12
#13	2.4.6	#36	2.4.7, 4.1.1, 5.3.1, 5.3.2, 5.3.4, 5.3.5
#15	2.2.4, 2.4.8	#38	5.1.1, 5.5.1, 5.5.2
#16	1.1.6, 5.1.4	#39	1.1.3, 1.1.5
#18	2.3.1, 2.4.10, 4.3.2	#40	5.1.1
#19	2.2.5, 2.4.10		
#20	2.3.3		
#22	1.2.2		

Table 4 Separation principles vs. inventive principles

분리의 원리	발명원리
공간적 분리	#1, #2, #3, #4, #5, #7
시간적 분리	#9, #10, #11, #21

공리 1 과 공리 2 가 각각 트리즈의 핵심 개념인 모순 해결과 이상적인 시스템의 달성과 연관성이 있는 것처럼 각각의 추론들 또한 트리즈의 도구들과 연관성을 갖는다(Table 5). 추론 1 은 연성설계의 비연성화를 추구하는 것으로써 모순적 상황(기술적 모순과 물리적 모순)의 해결과 관련이 있다. 따라서 추론 1 의 달성은 Table 4 의 분리의 원리와 그것들과 관련한 발명원리 그리고 아리즈로 가능하다. 추론 2 는 FRs 의 최소화를 추구하는 것으로써 이상적인 기술 시스템의 달성과 관련이 있다. FRs 를 최소화하는 방법으로는 동질적인 사물들 또는 연속적으로 작동하도록 되어 있는 사물들을 통합하는 원리(#5)와 한 가지 사물로 여러 가지 다른 기능을 수행하게 하는 다용도 원리(#6)와 관련이 있다. 또한 이들 발명 원리들은 물리적 개체를 통합한다는 점에서 추론 3 과 관련이 있다. 깨지기 쉽고 작동하기 불편한 객체 대신에 간단하고 값싼 제품을 사용하는 복제의 원리(#26)와 비싼 객체를 값싼 객체로 대체하는 일회용품의 원리(#27)는 표준화되거나 호환 가능한 부품을 이용한다는 점에서 추론 4 와 관련이 있다. 그리고 추론 5 의 대칭성의 이용은 자명한 것으로써 대부분의 제품의 형상이 그러하다. 하지만 대칭 형태의 객체와 관련하여 발생하는 문제들은 이 대칭을 깨뜨리기만 하면 쉽게 해결될 수 있다(비대칭의 원리(#4)). 비록 추론 5 와 비대칭의 원리가 서로 상반되지만 설계자는 이러한 특징들을 잘 숙지하고 있어야 한다. 그리고 원하는 효과를 100% 달성하는 것이 어렵다면 그보다 많게 또는 적게 달성하는 과부족 조치의 원리(#16)는 수용 가능한 최대 공차를 명시하도록 하는 추론 6 과 연관성이 있다. 또한 더 적은 정보량을 가진 비연성 설계가 존재한다는 것(추론 7)은 개발한 기술 시스템 보다 좀더 이상적인 기술 시스템이 존재함을 의미한다. 트리즈는 값싼(거의 공짜) 또는 최소한의 자원을 사용하여 이상적인 기술 시스템을 추구하므로 고유 주파수를 이용한 원리(#18)나 해로운 요소를 이로운으로 전환하는 원리(#22) 그리고 상태가 바뀔 때 발생하는 현상을 이용한 상전이 원리(#36) 등은 모두 이러한 측면에서 추론 7 과 연관성이 있다. 또한 Table 3 에서처럼 표준 시스템 역시 추론들과 연관성이 있음을 간접적으로 알 수 있다.

이처럼, 공리적 설계는 설계 과정에서 쉽게 적용할 수 있는 이론들(공리, 추론, 정리)을 지원하는

반면에 트리즈는 그것들의 달성을 가능하게 하는 구체적인 도구들을 지원함으로써 이들 방법론은 설계 과정에서 서로 상호 보완적인 역할을 한다. Table 6 은 설계 관점에서 이들 두 방법론을 비교한 결과이다.

Table 5 Relationship between AD and TRIZ

AD	TRIZ
공리 1	모순 해결
공리 2	이상적인 기술 시스템
추론 1	분리의 원리-발명원리, 아리즈
추론 2	발명원리(#5, #6)
추론 3	발명원리(#5, #6)
추론 4	발명원리(#26, #27)
추론 5	발명원리(#4)
추론 6	발명원리(#16)
추론 7	발명원리(#7, #8, #12, #14, #15, #16, #17, #18, #19, #20, #22, #25, #31, #35, #36, #37)

Table 6 TRIZ vs. AD from design of view

	TRIZ	AD
주요도	모순 해결을 위한 아이디어 발상 지원 도구 제공 (40 가지 발명원리, 분리의 원리, 표준 시스템, 아리즈 등)	좋은 설계 해를 얻기 위한 설계 과정과 설계 과정에 적용 가능한 공리, 추론, 정리 제공
문제 모델링 기법	<ul style="list-style-type: none"> 최소한의 집합으로 구성된 최소 기술 시스템에 집중 물질-장 모델을 통한 정성적 해석 모순이 발생하는 시간과 영역에 집중 	<ul style="list-style-type: none"> 설계 방정식을 통한 수학적 모델 설계 해의 논리적 해석 가능(연성, 비연성, 연성화)
설계 문제 해결 접근법	<ul style="list-style-type: none"> 최소 기술 시스템에서 점차 복잡한 전체 시스템으로 확대 내부 혹은 값싼(공짜) 자원의 활용을 통한 이상적인 최종 결과를 이용한 개념안 도출 기술 시스템 발전의 객관적 법칙 제공 	<ul style="list-style-type: none"> 공리 1 과 설계 방정식을 통한 좋은 설계 해 도출 방법 제시 공리 2 를 통한 좋은 설계 해의 평가 아이디어 발상 측면에서 소극적 제조 가능한 설계와 제조 가능한 설계 중 제조 비용이 적은 설계를 판단하는 이론 제공
제조 가능성	<ul style="list-style-type: none"> 제조 가능성은 일반적으로 보장하지 않음 검증된 모순 해결 방법과 효과를 활용한 측면에서 제조 가능성을 부분적으로 보장 	<ul style="list-style-type: none"> 제조 가능성을 직접적으로 판단하는 확실한 이론 제공 설계 해들의 실제 구현(제조)시의 제조비용을 상대적으로 비교할 수 있는 일반적 이론 제공

7. 체계적인 개념 설계 프로세스 구조

프로세스(Process)란 입력 집합을 출력 집합으로 변화시키기 위한 단계들의 연속이다.¹² 하나의 완전한 프로세스는 몇 가지 주요한 단계들로 구성된다. 그리고 각각의 단계는 자신의 목적(원하는 결과)을 달성하기 위해 세부적인 단계들과 활동들 그리고 그것들을 지원하는 방법론들이나 도구들로 이루어진다.

Fig. 6 은 Pahl 과 Beitz 가 제안한 개념 설계 프로세스의 개선된 형태를 보여주고 있다. 그리고 Table 7 은 본 연구에서 제안하는 창의적 개념안 도출 작업을 체계적으로 지원하기 위한 개념 설계 프로세스의 구조를 보여주고 있다. 여기서 각 단계의 출력은 다음 단계의 입력에 해당한다.

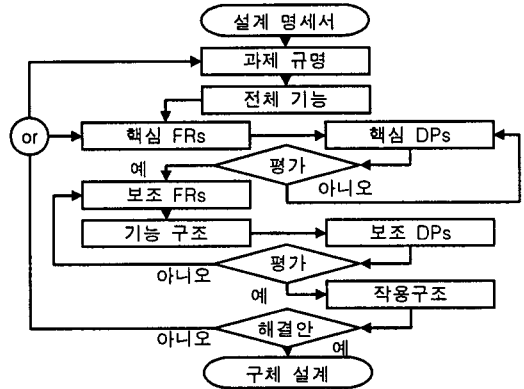


Fig. 6 Improved conceptual design process

8. 사례 연구: 나사 자동 공급 장치 개발

나사 체결기까지 자동으로 나사를 공급하기 위한 장치는 진동 사발에 의해 정렬된 나사를 공압으로 유연한 호스를 따라 나사 체결기까지 운송하고 있다. 하지만 휴대폰 기기가 점점 소형화됨에 따라 휴대폰 조립 시 사용되는 나사 또한 작아지고 있는 실정이다. 그 결과 현장에서 나사 머리의 직경이 나사의 길이와 같거나 또는 그 보다 큰 나사는 운송 중 호스 내에서 회전할 수 있기 때문에 정렬된 자세를 유지한 상태로 정확하게 운송되지 못하는 문제점이 있다. 따라서 나사의 머리가 몸체보다 큰 나사를 자동으로 나사 체결기까지 공급하기 위한 새로운 장치의 설계가 요구된다.

Fig. 7, Fig. 8 그리고 Fig. 9 는 각각 현재 기술 시스템과 그것의 기능 구조 그리고 그것의 상호작용 다이어그램을 보여주고 있다. 작업자에 의해 진동 사발에 공급된 나사는 ‘+’ 또는 ‘-’ 방향으로 이동한다. 이때 ‘-’ 방향으로 이동하는 나사들은 선별되어 다시 진동사발로 복귀된다. 그리고 ‘+’ 방향으로 이동한 나사들은 중력에 의해 ‘T’ 방향으로 일렬로 정렬되어 이동한다. 그리고 정렬된 나사들은 유연한 호스를 따라 공압에 의해 하나씩 나사 체결기까지 운송된다. 그리고 운송된 나사들은 체결기에 의해 자동으로 체결된다.

현재 기술 시스템에 요구되는 전체 기능은 정렬된 나사를 방향이 유지된 상태로 이동시키는 것이다. Fig. 10 은 개발하고자 하는 목적 시스템의 전

Table 7 Structure for systematic conceptual design

단계	목적	활동 사항 및 지원도구	출력
과제 규명	개념안 도출 방향 설정	<ul style="list-style-type: none"> 설계 명세서 및 제약조건 확인 현재 시스템 분석: 기능 구조 분석, 작용구조 분석, 상호작용 다이어그램 전체 기능 및 핵심 FRs 정의 장부수집: 특허, 문헌 조사 등 	핵심 FRs
개념안 도출	아이디어 도출	<ul style="list-style-type: none"> FRs 분석: 물질-장 모델 최소 기술 시스템(DPs) 개발: 표준 시스템, DB화된 자료들 모순 발생시 해결: 40 가지 발명 원리, 분리의 원리, 아리즈 등 	핵심 DPs
개념안 평가	개념안 선정	<ul style="list-style-type: none"> DP 평가: FRs 독립성 보장, 제약조건 만족, 실험 DPs의 선정 보조 FRs의 체계적 분해 및 전개 	보조 FRs
개념안 선정	기능 구조 확립	<ul style="list-style-type: none"> 보조 FRs의 최소화 완전한 기능 구조 확립: 기술 시스템 발전 법칙 기능 구조의 최적화 	기능 구조
	작용 구조 확립	<ul style="list-style-type: none"> 보조 DPs의 개발: 모순 해결 보조 DPs의 평가: 실험 모순 발생시 해결 보조 DPs의 선정 원리적 해결안 도출 	작용 구조

체 기능을 보여주고 있다. 그리고 개발하고자 하는 장치의 핵심 FR 은 나사를 호스 내에서 정렬된 자세로 유지시키는 것이다.

Fig. 8 과 Fig. 9 에서 나사의 방향을 유지시키기 위한 기능과 그것의 기술 시스템은 존재하지 않는다. 이러한 상황에 대한 물질-장 모델과 표준 시스템은 Fig. 11 로써 나사(S1)의 방향을 유지시키기 위한 도구(S2)와 도구의 에너지원(F)을 추가하여 새로운 기술 시스템을 완성하는 것이다.

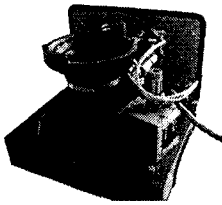


Fig. 7 Automatic feeding screw machine



Fig. 8 Functional structure of a current system

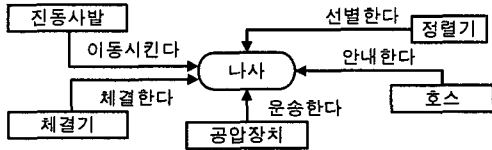


Fig. 9 Interaction diagram of a current system

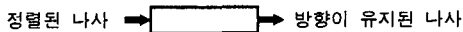


Fig. 10 Required overall function

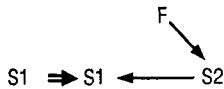


Fig. 11 Standard 1.1.1; Building a Su-Field model

정의를 한 핵심 FR 을 만족시키는 이상적인 최종 결과는 나사가 스스로 호스 내에서 방향을 유지한 상태로 이동하는 것이다. 그러기 위해서는 나사의 형상(또는 몸체)은 이동하는 동안 스스로 호스 내에서 길어져야 한다. 그리고 체결되기 전에 스스로 작아져야 한다. 본 연구에서는 시스템에 주어진 자원들 중 나사의 도체 성질을 이용하여 개념안을 도출하였다. 나사를 이동시키기 전에 막대자석(S2)을 나사에 부착하여 운송 중 나사가 회전하는 것을 방지하고 그리고 나사를 이동시킨 후, 막대자석을 나사로부터 분리시킨다(Fig. 12). 하지만 도출한 개념안의 성공을 보장하기 위한 실험에서 Fig. 12의 ①번 나사에 막대자석을 부착할 경우, 이웃한 나사들(②, ③)이 ①번 나사에 달라붙는 문제가 발

생하였다. 이 상황은 FR 을 만족시키기 위해서는 자성은 있어야 하고 동시에 없어야 하는 물리적 모순이다. Fig. 13 은 자성과 비자성이 동시에 요구되는 상황에 있어서 공간적 분리 원리를 적용하여 도출한 개념안을 보여주고 있다. 막대자석을 비자성 물질 속에 넣음으로써 상기의 물리적 모순을 해결하였다.

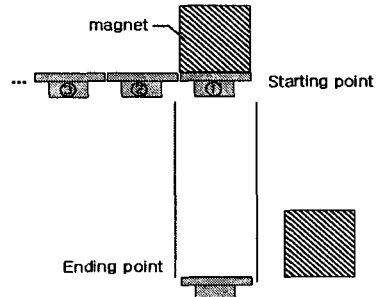


Fig. 12 Keeping direction of screw using magnet(DP)

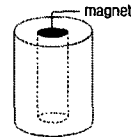


Fig. 13 Spatial separation

Fig. 12 의 작용원리(DP)를 수행하기 위해서 추가로 요구되는 보조 FRs 는 자석의 공급(FR1)과 공급된 자석의 분리(FR2)이다. Fig. 14 는 요구되는 핵심 FR 과 그것의 보조 FRs 를 추가한 전체 기술 시스템의 기능 구조를 보여주고 있다.

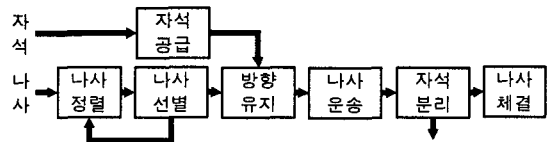


Fig. 14 Functional structure

Fig. 15 는 FR1 과 FR2 를 만족시키기 위한 작용 원리들(DP1, DP2)을 보여주고 있다. 자석 공급은 나사 운송 기능을 결정하는 공압 장치의 공기 주입 주기에 의해 영향을 받을 수 있기 때문에 본 연구에서는 기술 시스템 발전 법칙 중 리듬조화의

법칙에 따라 회전판의 회전 주기(모터의 주기)를 공기를 인가하는 주기와 동기화시킴으로써 이들 기능들을 서로 독립시켰다. Fig. 16 은 개발한 나사 자동 공급 장치로써 기존의 장치에 Fig. 15의 장치들과 그것들을 제어하기 위한 제어 장치들로 구성되어 있다.

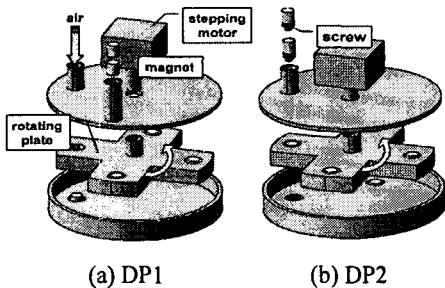


Fig. 15 Mechanism for separating a magnet

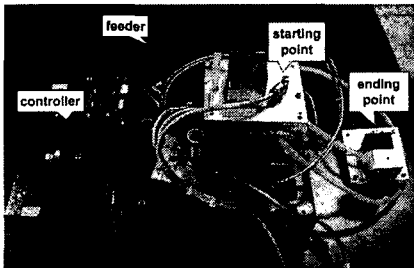


Fig. 16 Automatic feeding screw device

9. 결 론

본 연구에서는 전통적인 개념 설계 과정과 공리적 설계에서 제안하는 설계 과정을 비교 분석하여 개선된 형태의 개념 설계 프로세스의 구조를 제안하였다. 본 연구에서 제안하는 개념 설계 프로세스는 추상적인 전체 기능으로부터 핵심 FRs를 정의하고 그것들을 만족시키기 위한 핵심 DPs를 개발한 다음 개발한 DPs를 만족시키기 위한 최소한의 보조 FRs를 정의하고 그것들로 구성된 기능구조 및 그것들을 만족시키기 위한 작용구조를 완성하도록 구성되어 있다. 그리고 개념 설계 과정에서 발생하는 모순적 상황들은 트리즈의 도구들을 사용하여 해결하도록 제안하고 있다.

향후 연구는 본 연구에서 제안하는 개념 설계 프로세스 구조를 모순적 상황을 논리적으로 해결

하기 위한 창의적 개념안 도출 작업을 지원하는 세부적인 단계들로 구성된 체계적인 개념 설계 프로세스로 발전시키는 것이다.

참고문헌

1. Ullman, D. G., "The Mechanical Design Process," McGraw-Hill, 2002.
2. Pahl, G and Beitz, W., "Engineering Design," Springer, 1996.
3. Gausemeier, J., Flath, M. and Mohringer, S., "Conceptual Design of Mechatronic Systems Supported by Semi-formal Specification," 2001 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics Proceedings, Vol. 2, pp. 888-892, 2001.
4. Salminen, V. and Verho, A., "Systematic and Innovative Design of A Mechatronic Product," Mechatronics, Vol. 2, Issue 3, pp. 257-275, 1992.
5. Rzevski, G., "On Conceptual Design of Intelligent Mechatronics Systems," Mechatronics, Vol. 13, Issue 10, pp. 1029-1044, 2003.
6. Suh, N. P., "The Principles of Design," Oxford University Press, 1990.
7. Kankey, A. and Ogot, M., "Improving the Acoustics in a Historic Building Using Axiomatic Design and TRIZ," TRIZ-Journal, 2005.
8. Park, Y. T. and Kuk, K. H., "Development of Automatic Feeding System for Corrugate Cardboard Boxes Using TRIZ," J. of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 24, No. 2, pp. 95-102, 2007.
9. Altshuller, G. S., Zlotin, B. and Susman, A., "Tools of Classical TRIZ," Ideation International Inc., 1999.
10. Altshuller, G. S., "Creativity as an Exact Science," Gordon and Breach Publishers, 1998.
11. Park, Y. T. and Kuk, K. H., "Absolute Positioning System of Mobile Robot using Light Navigation Path," J. of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 20, No. 10, pp. 141-147, 2007.
12. Ulrich, K. T. and Eppinger, S. D., "Product Design and Development," McGraw Hill, 2004.