

공리적 설계 방법에 의한 Bonding Mechine의 개념 설계

Bonding Mechine for Axiomatic Design

김원종¹, 황은하^{†2}

Won-Jong Kim¹, Eun-Ha Hwang^{2†}

〈Abstract〉

Bonding Machine is new concept of semi industry.

In this study, bonding machine is designed with aximatic design, then manufactured based on it. Axiomatic design offers a scientific base for design in an efficient way.

Many application of the independence axiom have been pulished, however, the information axiom has been mainly applied to FR - DP problems except for few case studies.

Keywords : Bonding Mechine, Axiomatic Design, Finite Elements Analysis

1. 서 론

근 반도체 장치 산업에서는 고객 요구를 충족하기 위한 설계의 방법이 매우 중요해 지고 있다. 공리적 설계는 공학에서 제시하는 유용한 설계 이론이며 독립 공리와 정보 공리로 나누어지고 최소한의 기능 요구를 정의하고 기능 요구들 사이의 독립성을 항상 만족해야 한다. 정보 공리는 독립 공리를 만족하는 설계 중에서 정보량이 가장 적은

설계가 가장 우수한 설계임을 의미한다.

본 논문에서는 공리적 설계를 이용하여 반도체 산업에 필수 장비인 Bonding Machine의 개념 설계를 생성하는 것이다.

¹ 종신회원, 금오공과대학교 대학원 기계설계공학과 박사 工博, LG-Display, E-mail : gcrow@hanmail.net

² 교신저자, 종신회원, 금오공과대학교 기계설계공학과 교수 工博, 한국과학기술원, E-mail : ehhwang@kumoh.ac.kr

¹ Graduate Student, Department of Engineering Science & Mechanics, Graduate School, KIT

² Corresponding Author, Professor, Department of Mechanical Design Engineering, KIT, Ph.D., KAIST

2. 관련 이론

2.1 공리적 설계

공리적 설계는 기계역학(Mechanism)과 같이 설계과정을 과학적인 원리와 기본지식으로 표현한 것이다. 설계시 설계자들은 각자의 주관적인 기준에 따라 목적하는 것과 그것을 얻는 수단을 패드백 하는 과정을 연관시켜 설계를 진행한다. 이는 설계자가 설계 과정에 대한 논리적이고 체계적인 기준을 제시하여 시행 착오를 줄일 수 있게 해준다. 즉 공리적 설계란 설계를 위한 기초 도구라 할 수 있다. 이 도구인 공리적 설계에는 크게 독립 공리와 정보공리로 나누어진다. 첫 번째 독립 공리는 기능적 요구의 선택에 있어서 설계자에게 도구가 되고 꼭 만족해야 하는 기능에 관한 지침과 그 방안을 제공하여 준다. 두 번째 도구인 정보공리는 설계의 질을 판단할 수 있는 기준을 제시하여 준다.

제1공리 : 독립 공리
기능요구의 독립성을 유지하라.

제2공리 : 정보 공리
설계 대상의 정보량을 최소화하라

제1공리는 설계과정 중 기능적 영역에서 물리적 영역으로 연관시키는 과정에서 어느 DP(Design Parameters)의 변화는 단지 관련된 FR에만 영향을 주어야 한다는 것이다.

즉 FRs(Functional Requirements)는 각각 독립되어야 한다. 제2공리는 공리1을 만족시키는 설계중에서 정보량이 가장 적은 설계가 가장 좋은 설계임을 나타낸다.1)

2.2 독립 공리

독립 공리는 설계의 목적을 특성화하는 최소한

의 기능요구(FR)를 정의하고, 기능요구들 사이의 독립성을 유지해야 한다는 것을 말한다.

공리적 설계에서 Domain에 있는 영역간의 사상 과정에서 오른쪽 영역에 정의되는 사항들이 왼쪽 영역의 사항들을 독립적으로 만족 시키는 것이 좋은 설계이다.

이는 FR-DP 혹은 DP-PV간의 관계를 독립적으로 유지하라는 것이며 복수의 기능요구(FR)가 정의 되었을 때, 각 설계파라미터(DP)가 각 기능요구(FR)를 독립적으로 만족시킬 수 있어야 한다.

이러한 FR-DP간의 관계는 설계 행렬로 표현할 수 있다.

기능적 영역 내의 기능요구와 물리적 영역내의 설계파라미터 상의 사상과정을 수학적으로 표현한 것이 설계행렬(design matrix)이며 다음과 같다.

$$\{FRs\} = [A] \cdot \{DPs\} \quad (1)$$

여기서, FRs 는 독립적인 여러개의 기능요구로 구성된 기능요구의 벡터이며 설계대상의 기능적 영역을 표현한다.

DPs 는 FRs의 영향하에서 설계 대상을 정의하는 설계파라미터 벡터이다.

A는 이들 사이의 관계를 나타내는 설계 행렬 (design matrix, DX)을 의미하며 설계행렬 A는 일반적인 수학적 연산 가운데 곱셈만 가능하고 좌표변환 등의 연산은 불가능하다.

설계행렬 요소에서 '0'은 관계가 없음을 의미한다.

FRs와 DPs의 관계는 설계행렬[A]의 곱으로 나타내고, 설계 행렬내의 각 인자Aij는 다음과 같이 나타낸다.

$$A_{ij} = \frac{FR_i}{DP_j} \quad (2)$$

위 식은 수학적 정의에 불구하고, 설계행렬 내의 요소들을 모든 경우에 대하여 정확히 표현하는 예는 많지 않다. 따라서 많은 경우에 설계행렬 내의 각각의 요소들은 기능요구와 설계파라미터 사이의 영향 관계만을 표현한다. 위에서 기능요구(FR)와 설계파라미터(DP)를 표기할때, 각 요소들을 구분하기 위해 아래 첨자를 사용한다.

표현 방법에 따라 아래 첨자를 사용하지 않는 경우도 있다. 행렬 표현 방법에서 O, X의 두가지가 있으며, O로 표기된 항목은 기능요구와 대응하는 대각 행렬(diagonal matrix)이나 삼각 행렬(triangular matrix)이어야 한다.

설계행렬이 대각행렬인 설계를 비연성설계(uncoupled design), 설계행렬이 삼각행렬인 설계를 비연성화설계(decoupled design)라 하며, 이런 설계는 독립공리는 만족한다. 이 외에 다른 설계행렬을 갖는 설계는 연성설계(coupled design)라 한다.

설계행렬이 대각행렬이 되는 경우를 비연성 설계라 하며 이 경우 각 설계 파라미터가 대응하는 기능요구를 독립적으로 만족 할 수 있으므로 완벽하게 독립공리가 만족하게 된다.

설계행렬이 삼각 행렬인 경우는 비연성화 설계라 하며 비연성화 설계는 설계 파라미터를 결정하는 순서에 따라 기능요구를 독립적으로 만족 시킬 수 있다.

2.3 정보 공리

“정보”란 단어는 다양한 의미를 가지며, 흔히 사용되는 단어다. 정보는 두 집단 사이에 전달되는 지식이나 메시지이고 또한 복잡성의 개념이기도 하다. 즉, 어떤 현상이나 장치가 복잡할수록 그것을 표현하기 위해 요구되는 정보는 더욱 많아진다.

공학에서 정보는 많은 다양한 속성들과 관계이다. 그 예로 통신에서 정보는 전달되는 메시지를 의미하기도 하며 설계 및 제조에서는 길이, 경도, 표면 다듬질, 비용 등과 같이 많은 다양한 종류의 속성들이기도 하다.

정보에는 유용한 정보와 불필요한 정보의 두 종류가 있다. 이 두 가지 정보의 차이점을 이해하기 위해서 “휴대폰의 정보량이란 무엇인가?”라는 질문을 생각해 보자. 휴대폰은 통화의 질, 각각의 부품들의 기하학적인 형상, 재료의 특성과 그 특성들의 변화등도 정보일 수 있다.

‘이처럼 휴대폰에 내재되어 있는 정보량은 무한할 수 있지만 그 정보의 대부분이 휴대폰 통화의 질이라는 점에만 관심이 있는 사람에게는 다양한 정보는 쓸모 없을 것이다. 유용한 정보란 이처럼 특정한 임무에 대한 만족도에만 관계가 있다.

이러한 임무는 기능요구사항과 제약조건에 의해 구체화 될 수 있다. 독립공리가 기능적 영역에 있는 FRs의 독립성에만 관련이 되어 있으나 정보공리는 물리적 영역에서 정의한 변수의 특정한 FR에 대한 만족도와 연관된다.

정보량은 FR을 만족하기 위해 필요한 지식의 척도로서 정의될 수 있다.

어떠한 임무를 달성하기 위해 필요한 지식은 성공률(The probability of success)에 의존된다. 만약 임무가 잘 구성되어서 선지식이나 부가적인 지식이 없이도 항상 만족될 수 있다면, 그때의 성공률은 1이고 필요한 정보는 0이 된다.

실제 설계와 제조 문제에서 확률은 대개 1보다는 작지만 그 임무를 달성할 수 있는 확률을 가능한 한 높이기 위해서 충분한 양의 지식을 전달하려고 노력한다.

성공률은 그 임무의 복잡성에 의존하므로 정보는 복잡성과 관계가 있다. 설계와 제조에서 정보량은 일반적으로 다른 영역에서 직면하게 되는 것

보다 더욱 복잡하다.

정보량은 설계자의 명세서와 제조 시스템의 능력과 밀접하게 관련되어 있다.

설계와 제조가 복잡하게 되는 다른 요인은 가능한 변수들의 수는 무한하고, 대부분의 경우 구속되어 있지 않기 때문이다.

예를 들어, 비평형 연소문제를 분석할 경우에 고려할 수 있는 화학식의 종류는 유한하고 자연법칙에 의해서 구속이 된다. 그러나 설계에 있어서 설계자는 무한히 많은 수의 가능성을 가지고 시작해야 하며, 그 설계가 진행됨에 따라 추가적인 제약조건들을 도입하여 변수들의 수를 점차적으로 줄여나가야 한다.

최근에는 컴퓨터의 발전으로 이전보다 더욱 많은 정보가 컴퓨터에 저장되고 있다.

컴퓨터와 같은 기계가 도입되기 전에는 이러한 정보량에 대한 모든 지식은 숙련된 장인들의 지식일 뿐이었지만 현재는 컴퓨터를 다룰 줄 아는 사람 모두의 지식이 즉 정보량이 되었다.

여러 설계 중 가장 우수한 설계를 선택하기 위해서는 정량적인 정보량이 최소가 되는 것 즉 변수의 최소화를 선정하여야 한다.

구체적으로 말하면, 기능적 영역인 독립공리를 만족하는 모든 설계들 중에서 최소한의 정보를 갖는 설계가 가장 좋은 설계라는 것이다.

정보량은 정의된 기능요구에 관해서만 정의할 수 있으며 일반적으로 복잡성(Complexity)을 의미한다.

정보량을 계산하기 위해서는 지수를 정의하여 각 설계의 특성에 따라 정보량의 지수를 다르게 한다. 설계에서 적용 가능한 정보 지수는 성공의 확률(Probability of Success)이 있다.

설계한 제품을 실제로 사용할 때 특정 DPi가 해당 FRi를 만족하는 성공의 확률을 p라 하고 이때의 정보량을 I라 하면 다음과 같이 정의 할 수

있다.

정보량 I는 성공의 확률을 Ps에 역수를 취하여 정보량을 최소화 한다.2)~3)

$$I = \log_2 \frac{1}{p_s} \quad (3)$$

$$I = \frac{\text{Common Range}}{\text{System Range}}$$

정보량 I에서 확률의 역수는 성공의 확률이 높을수록 정보량을 적게 하기 위해서이며 로그함수는 정보의 가산성(Additivity)를 증가 시키기 위함이다.

로그함수의 밑수 2는 정보량을 비트(bit) 단위로 표시하기 위해서이다.

n개의 기능 요구를 갖는 설계이면 정보량의 합은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$I = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n \log_2 \frac{1}{p_i} \quad (4)$$

2.4 공리적 설계의 적용 방법

공리적 설계 적용 방법은 요구사항과 그 요구사항을 충족하기 위한 방법의 양 영역간에 상호작용을 포함한다.

먼저 기능요구와 설계변수를 정의하고 설계 행렬을 구성하여, 독립공리에 대한 만족 여부를 판단한다.

독립공리를 만족하지 않을 경우에는 사상과정을 통해 새로운 설계안을 모색한다.

이때 두가지 이상의 설계안이 도출 될 수 있으며 독립공리를 만족 시키는 설계안이 다수인 경우에는 두 번째 공리인 정보공리가 이용될 수 있다.

정보량이 더 적은 다른 설계안이 있을 수 있으므로 독립공리를 만족시키는 또 다른 설계안을 찾는다.

제안된 복수의 설계안 중에서 어떤 것을 선택하느냐의 문제는 각 설계안의 정보량을 계산하여 판단 할 수 있으며 정보공리는 정보량이 가장 적은 설계를 가장 좋은 설계로 정의하므로 이를 이용하여 최종 설계안으로 선택한다.

- 1) 설계자는 의뢰자 혹은 수요자가 무엇을 원하는지 파악한다.
- 2) 원하는 것을 만족 시킬 수 있는 요구사항을 분석한다.
- 3) 분석한 결과를 토대로 요구사항을 충족하기 위한 방법을 찾는다.
- 4) 제품화 시키는 공정에서 문제점이 없는지를 찾는다.4)~6)

3. Bonding Machine 개념 설계

3.1 CAs, FRs, DP의 선정

공리적 설계의 첫 단계는 의뢰자나 혹은 수요자의 요구사항인 CAs를 파악하여 분석, 정리 후 공리적 접근의 적용범위와 그 방향을 설정하는 것이다.

Bonding Mechine은 Wafer Chip 즉 Die를 LeadFrame에 Bonding 하는 기구여야 하며 생산 과정에서 Machine의 유지보수가 용이해야 한다. 또한 설비의 제작 과정을 고려하여 설계가 이루어져야 한다.

즉 Table3.1 같이 CAs를 결정할 수 있다.

설계 과정에 있어서 설계자는 CAs를 통해 FRs를 결정해야 한다.

Table 3.1 CA of Bonding Mechine

CAs	CA1	Die를 LeadFrame에 Bonding 가능할 것.
	CA2	생산과정 및 유지보수가 용이할 것.

CAs를 기능적 영역으로 표현하면 Die를 Lead Frame에 Bonding하는 기능을 가져야 하고 생산 및 유지보수에 사용자가 장비를 사용하기 용이한 기능이어야 한다.

이를 FRs로 정리하면 Table3.2와 같다

Table 3.2 FR of Bonding Mechine

FRs	FR1	Die를 Lead Frame에 Bonding하는 기능
	FR2	생산 및 유지 보수시 사용자가 장비를 사용하기 용이한 기능

공리적 설계에서는 FRs를 만족 시키는 DPs를 연결하는 것이 좋은 설계이다.

즉 파악한 기능적 요구사항을 만족시키는 설계 변수를 물리적 영역에서 도출하는 것이 중요하다.

Fig3.1는 FRs와 DPs의 mapping 과정을 도식화 하였다.

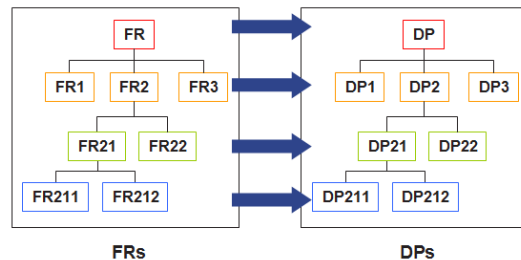


Fig 3.1 FRs & DPs Mapping

최상위 FRs를 만족 시키는 최상위 DP를 도출한 것은 Table3.3과 같다.

Table 3.3 DPs of Bonding Mechine

DPs	DP1	Die를 Lead Frame에 Bonding시 Machine의 구동 Unit 설계
	DP2	생산, 유지 보수를 위한 Unit이 분리된 구조의 설계

Bonding Machine의 공리적 설계를 위해 기능적 요구사항을 만족시키는 설계변수를 물리적 영역에서 도출하면 Die를 Lead Frame에 Bonding 하기 위해 구동할 수 있는 Unit 과 생산, 유지 보수를 위한 Unit이 분리된 구조의 기계 구조 설계가 필요하다.

3.2 하위 FRs, DPs의 선정

앞서 정의한 FRs와 DPs는 상위계층의 물리적 요소들과 기능적 요소들이다.

Table3.2, 3.3에서 볼수 있듯이 FRs 와 DPs는 계층구조로 분리 될 수 있다.

Table3.4 FR1&FR2 of Bonding Mechine

FR1	FR11	Die Bonding을 위해 투입 재료를 Machine에 공급하는 기능
	FR12	Die를 Bonding하는 기능
FR2	FR21	제품 생산시 생산품이 사용 자에 의해 관찰 될 수 있는 기능
	FR22	장비의 유지 보수시 소모품을 쉽게 교환 할 수 있는 기능

최상위 FRs를 정의하고 DPs를 연결하는 과정이 공리적 설계이며 계층구조에서의 FRs가 하위의 FRs로 분해되기 위해서는 물리적 영역으로 연결 되어야 하며 이를 DPs를 통해 나타내어야 한다

Bonding Machine 설계에서 하위 FRs은 Table 3.4 같이 정리 할 수 있다.

FR1 이었던 Die를 Lead Frame에 Bonding하는 기능인 상위 기능적 영역을 FR11 Die Bonding을 위해 투입 재료를 Machine에 공급하는 기능과 FR12 Die를 Bonding 하는 기능으로 나누었다.

이는 Die를 Bonding하기 위해 Machine에 재료를 투입한 후 Machine에서 Bonding을 위한 자동화된 Process를 따르기 위함이다.

하위 FRs을 하위 DPs으로 각각 Mapping 하면 아래와 같이 표현 할 수 있다.

Table 3.5 DP1&DP2 of Bonding Mechine

DP1	DP11	Die Bonding을 위해 투입 재료를 Machine에 공급하는 Unit
	DR12	Die를 Bonding하는 Unit
DP2	DP21	제품 생산시 생산품이 사용 자에 의해 관찰 될 수 있는 Unit
	DR22	장비의 유지 보수시 소모품을 교환 할 수 있는 Unit 의 분리

3.3 FRs, DPs 의 하부 계층

앞서 정의한 FR11, FR12, DP11, DP12의 하위 계층 요소들을 분해하여 Bonding Machine 설계시의 복잡함을 단순화하고 Machine 설계시에 체

계적인 기준을 수립 할 수 있다.

FR11, FR12를 하위 계층으로 분해하면 Table 3.6과 같다.

Table 3.6 FRs of Bonding Machine

FR11	FR111	Wafer를 Machine에 고정할 수 있는 기능
	FR112	Lead Frame을 Machine에 투입시 적재,이송 할 수 있는 기능
	FR113	Die Bonding후 Lead Frame을 적재 or Wire Bonding Machine에 공급할 수 있는 기능
FR12	FR121	Wafer에서 Die를 Pick-up 할수 있는 기능
	FR122	Pick-up된 Die를 Lead Frame 위로 이동 시킬 수 있는 기능
	FR123	Lead Frame을 가열하고 Bonding 영역까지 이송하는 기능
FR21	FR211	제품 생산 과정을 사용자가 눈으로 확인 할 수 있는 기능
	FR212	제품 생산시 모니터링을 통해 Die의 Bond 위치를 확인 할 수 있는 기능
	FR213	Die Bonding 완료 후 사용자가 눈으로 확인 할 수 있는 기능
FR22	FR221	장비의 유지 보수를 위해 소모품을 Unit 의 분리 없이 교체 할 수 있는 기능
	FR222	Pick-up된 Die를 Lead Frame 위로 이동 시킬 수 있는 기능
	FR223	장비의 수리 및 Unit의 기능 전환을 위해 Unit을 교체 할 수 있는 기능

DP11	DP111	Wafer를 Machine에 고정할 수 있는 Unit (Wafer Stage Unit)
	DP112	Lead Frame을 Machine에 투입시 적재,이송 Unit (Loader Unit)
	DP113	Die Bonding후 Lead Frame을 적재 or Wire Bonding Machine에 공급할 수 있는 Unit (Unloader Unit)
DP12	DP121	Wafer에서 Die를 Pick-up 할 수 있는 Unit (Head Collect Unit)
	DP122	Pick-up된 Die를 Lead Frame 위로 이동 시킬 수 있는 Unit 설계 (Head Unit)
	DP123	Lead Frame을 가열 후 Bonding 영역까지 이송하는 Unit설계 (Rail Unit)
DP21	DP211	Die 이동 경로를 사용자가 확인 할 수 있도록 각 Unit의 배치 설계
	DP212	Die가 모니터링 될 수 있도록 Camera 의 배치 설계
	DP213	Bonding 완료 후 사용자가 확인 할 수 있도록 Monitor의 배치
DP22	DP221	장비의 동작 여부를 사용자가 원거리에서 확인 할 수 있는 알람 Lamp의 배치 설계
	DP222	장비의 유지 보수를 위해 소모품을 Unit 의 분리 없이 교체 할 수 있도록 각 Unit의 전면 배치 설계
	DP223	기능별 각 Unit의 개별 설계

3.4 Machine의 개념 설계

앞서 보았던 공리적 설계의 결과를 통해 Bonding Machine의 구성요소 즉 Machine의 Unit을 Fig.3.3와 같이 정리 할 수 있다.

Bonding Machine의 설계시 Die Bonding을 위한 구동 Unit과 Machine의 관리를 위한 Unit으로 나눌 수 있으며 Machine의 구동은 투입 되는 재료를 Machine에 공급하는 Input Unit과 Die Bonding을 위한 Unit으로 나눌 수 있다.

Input Unit으로는 Wafer를 고정하기 위한 Stage, Lead Frame을 Machine에 순차적으로 투입하기 위한 Loader, Die Bonding이 완료된 Lead Frame을 배출 혹은 Wire Bonding의 입력되는 재료로 보내기 위한 Unloader로 구분 될 수 있다.

Die Bonding을 위한 Unit으로는 Die를 Pick up 하기 위한 Collect, Pick up된 Collect을 Lead Frame 영역으로 이동시키기 위한 Head 구동 Unit, Lead Frame위에 Die를 Bonding 후 일정 압력으로 누를 수 있는 누름 Unit으로 각각 구분할 수 있다.

Machine의 관리를 위한 Unit의 경우 투입되는 재료를 Monitoring하기 위한 Unit과 Machine의 작동여부를 확인 할 수 있는 기능별 Unit의 설계로 구분할 수 있으며 재료의 Bonding 위치를 관찰하기 위해 우선 각 기능별 Unit의 설계후에 Camera와 Monitor의 배치 설계가 필요하며 원거리에서도 Machine의 정상 가동 여부를 사용자가 확인할 수 있는 Lamp, 사용자의 접근성이 고려된 Machine 조작을 위한 Machine 조작부의 전면 배치, 각 Unit의 교체 및 유지 보수를 위한 기능별 Unit의 설계 배치로 구분할 수 있다.

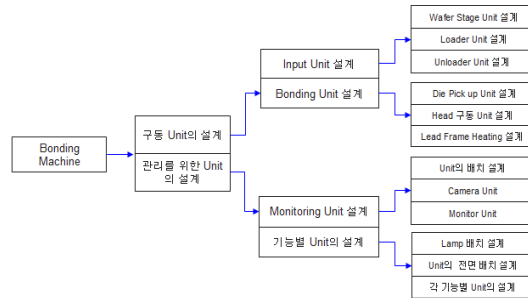


Fig 3.2 Logic Tree of Bonding Machine

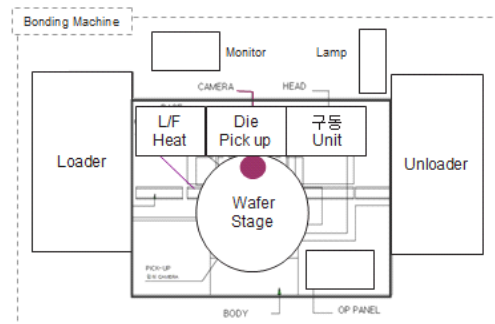


Fig 3.3 Outline of Bonding Machine

4. 결론

최근 반도체 산업의 장비 설계 분야에서는 효과적인 설계를 도출하는 방법에 대한 노력이 제기되고 있다. 본 연구에서는 반도체 산업의 요구사항을 반영한 Bonding Machine의 효율적인 설계를 위하여 공리적 설계 기법을 적용하여 사용자의 요구사항을 정의하고 독립공리를 적용하여 기능요구와 설계파라미터들 간의 관계를 파악하여 설계를 정의하였다.

요구사항에 의해 수집된 CAS에 의해 FRs 와 DPs를 정의하여 설계안을 도출하였다.

Bonding Machine의 기능요구와 설계파라미터들간의 관계를 명확히 함으로써 체계적인 설계를 위한 가이드라인을 제시하여 효율적인 개념 설계를 도출 하였다.

참 고 문 헌

- 1) 신광섭, TRIZ를 도입한 공리적 설계 방법에 의한 레이저 마커의 빔 분해기 개념설계, (2004)
- 2) 신광섭, 공리적 설계에서 정보량의 계산, (2005)
- 3) 황광현, 강건성을 고려한 공리적 설계의 새로운 정보 지수, (2002)
- 4) 이정욱, 공리적 설계를 이용한 모니터용 EPS 완충 포장 설계 시스템 개발, (2003)
- 5) 송기남, 공리적 설계를 이용한 원자로 핵연료 봉 지지격자체의 설계, (2001)
- 6) 김진호, 공리적 설계를 이용한 온라인 전기자동차의 설계분석, (2009)

(접수:2014.08.20. 수정:2014.09.01. 게재확정:2014.09.11.)