

# 공리 설계의 3차원적 접근

## 3-Dimensional Approach on Axiomatic Design

\*안정훈<sup>1</sup>, #차성운<sup>2</sup>

\*Jeonghun Ahn<sup>1</sup>, #Sung Woon Cha(swcha@yonsei.ac.kr)<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 연세대학교 기계공학과, <sup>2</sup>연세대학교 기계공학부

Key words : Axiom, Axiomatic Design, FR, Functional Requirements, Level curve, 3-Dimension

### 1. 서론

산업혁명이후 기술은 눈부시게 발전하였다. 그 발전 속도는 날이 가면 갈수록 빨라지고 있으며, 그 기술수준역시 가파르게 향상 되고 있다. 이러한 기술발전을 토대로 근래에는 더욱 복잡하고 다 기능적이며, 거대하고 복잡한 제품의 개발이 수행되고 있다. 하지만 이러한 제품개발에 있어서의 제품설계과정은 매우 큰 비중을 가지고 있다. 제품설계과정에서 발생한 설계오류는 공정의 구체화에 있어서 시간적, 물적 피해를 야기한다. 된다.

이러한 설계오류를 줄이기 위해 공리설계라는 설계방식을 이용하고 있다. 이 공리설계는 두 가지의 설계공리인 ‘독립공리’와 ‘정보공리’를 이용하여 제품, 공정, 소프트웨어, 조직 등의 다양한 분야의 설계에 적용 할 수 있는 설계 방법론이다. 특히, 개념설계과정 중, 설계를 할 때 나타나는 인자들의 상호 연관성을 설계행렬을 통해 확인할 수 있고, 이 설계행렬을 통하여 설계자는 올바른 설계안에 대한 방향을 제시 받게 된다.

이는 두 가지 설계공리 중 독립공리에서 확인할 수 있다. 독립공리란 기능요구사항(FRs: Functional Requirements)과 설계파라미터(DPs: Design Parameters)와의 독립성을 판단하게 된다. 여기서, 비연성 설계(Uncoupled design), 비연성화 설계(Decoupled design)의 경우에는 FRs를 DPs를 이용하여 해결할 수있다고하여 FRs를 잘 설정하였다고 판단하게 되며, 연성설계(Coupled design)인 경우에는 FRs가 잘못 설정되었기 때문이며, FRs를 다시 설정하여야한다는 판단을 내리게 된다.

그러나 기존의 설계행렬을 통한 독립공리의 경우 다음과 같이 FR을 설계행렬[A]와 벡터 DP의 곱의 꼴로 나타내게 된다.

$$\{FR\} = [A]\{DP\}$$

이 식을 풀게 되면, 다음 식과 같이 표현이 되며, 기존의 판단 방식의 경우 FRs가 DPs에 관한 선형함수일 경우에만 판단이 가능하다는 결론을 얻을 수 있다.

$$FR_i = \sum_{j=1}^n (A_{(i-1, j-1)} \cdot DP_j)$$

(단,  $i$ 는  $n$ 보다 작거나같은 양의 정수)

따라서 본 논문에서는 FRs가 DPs에 대한 선형함수가 아닌 다른 모든 함수일 경우의 적용가능 예를 보이고, 이에 따른 FRs의 판단 결과의 변화를 알아본다. 또한 2×2의 설계행렬에서의 벡터적 표현이 아닌 3차원적 표현에 대해서 제안하고자 한다.

### 2. 독립공리의 벡터적 표현

기존의 2×2 행렬의 비연성 설계(Uncoupled design)과, 비연성화 설계(Decoupled design)을 벡터적 표기법에 따라 그리면 다음과 같다.

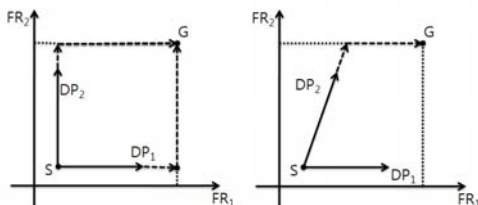


Fig. 1 Vector method for estimation of axiomatic design

벡터적 표기방법에서 FR<sub>1</sub>과 FR<sub>2</sub>는 점선을 순서대로 따라가게 되면 DP<sub>1</sub>과 DP<sub>2</sub>에 의해 완벽하게 정의가 되게 된다. 하지만, 연성설계(Coupled design)에서는 정의가 되지 않는다고 판단하여 FRs를 다시 설정하게끔 한다.

이러한 판단은 FRs가 DPs에 관한 선형함수 일 때에만 적용가능하며, FRs가 어느 정도 오류가 있는지, 어떠한 방향으로 설정을 해야 독립공리를 만족 시킬 수 있는지는 제시하지 못하게 된다.

### 3. FRs의 등위 곡선적 표현

본 논문에서는 공리설계의 3차원적 접근을 통하여 기존에는 해결하기 힘들었던 두 가지 문제를 해결하고자한다. 첫째로는 FRs가 DPs에 선형함수로 이루어지지 않았을 때의 표현방법을 해결하고자 함이고, 두 번째로는 독립공리를 만족하지 않는 FRs의 수정방향을 제시하는 것에 있다.

FRs를 DPs에 대한 선형함수가 아닌 꼴로 표현하기 위해서는 다음과 같이 표기를 한다.

$$FR_i = f_i(DP_0, DP_1, DP_2, \dots, DP_n)$$

(단,  $i$ 는  $n$ 보다 작거나 같은 양의 정수)

이를 3차원 그래프 상에 나타내면 다음과 같이 표현할 수 있다.

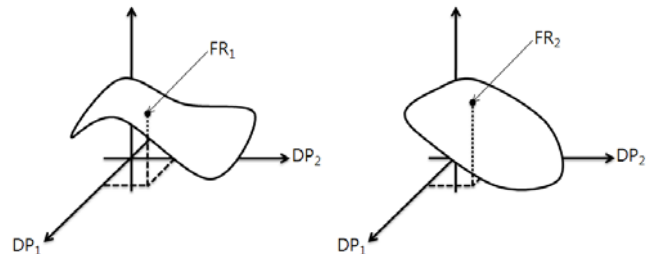


Fig. 2 3-Dimensional Graph of axiomatic design

3차원 공간상에 DP<sub>1</sub>과 DP<sub>2</sub>를 x,y로, FR은 z로 변환하여 FR의 함수를 그려주게 되면, FRs값을 만족하는 공간상의 임의의 곡면으로 그래프가 그려지게 된다.

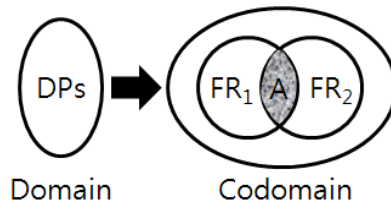


Fig. 3 Domain and codomain

여기에서 정의역을 DPs평면이라 하고, 치역을 FRs의 해구간이라 할 때, FRs의 Goal Point가 Fig. 3의 A구간에 존재해야 하게 되며, 오직 한 가지 FR의 해구간만을 만족하는 경우에는 다른 FR의 해로의 근사가 필요하며, 두 가지 FR의 해 구간을 만족하지 못할 경우에는 두 가지 FR의 재설정이 필요하게 된다.

이렇게 FRs의 재설정이 필요한 경우 어떻게 근사를 할 것이며, 해의 재설정의 방향을 어떻게 잡을 것인지 문제가 발생하게 된다. 이를 손쉽게 하기위해서 3차원 공간상에 그려진 FRs 곡면을 2차원 평면상에 등위 곡선으로 표현 한다.

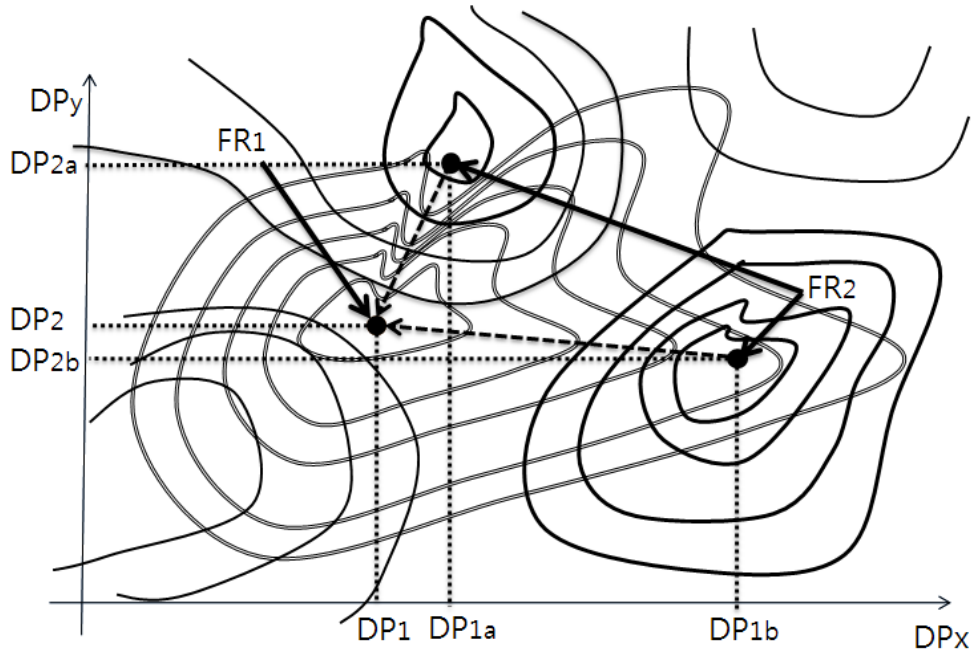


Fig. 4 Level curve of Axiomatic Design

Fig. 4는 FRs를 2차원 평면상에 등위곡선으로 표시한 예이다. FR<sub>1</sub>의 경우 2중 접선으로, FR<sub>2</sub>의 경우는 실선으로 표시하였다. 여기서 각 등위 곡선 간의 차이는 dFRs로, 각 FR의 중요도 혹은 민감도에 따라 다르게 설정할 수 있다.

Fig. 4는 DP<sub>1</sub>과 DP<sub>2</sub>에 대하여 FR<sub>1</sub>만이 만족되어있는 상태이다. 이 상태에서 FR<sub>2</sub>의 해는 DP<sub>1a</sub>, DP<sub>2a</sub> 와 DP<sub>1b</sub>, DP<sub>2b</sub>에서 만족하고 있다. 이와 같은 상황에서 FR<sub>2</sub>만을 해가 만족하도록 근사를 해야 한다. 이때, Goal Point 까지 FR<sub>2</sub>를 근사함에 있어서 가장 적은 Gradient 값을 가지면서 이동할 수 있는 FR<sub>2</sub> Point를 설정하여 근사를 하면 FR<sub>2</sub>의 완전한 재설정을 하지 않아도 되고, 초기 설계에서 기능요구사항(FR: Functional Requirements)를 크게 변화시키지 않게 설계 오류를 수정할 수 있다.

#### 4. 후기

본 연구는 ‘서울시 산학연 협력사업(11101)’의 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사 드립니다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 기존의 공리에서 이루어지던 FRs의 DPs에 대한 선형함수에서 벗어나 일반적인 함수에서 FRs가 공간상에 어떻게 표시할 수 있는지를 제시하였으며, 이를 이용하여 독립공리에서 연성설계(Coupled Design)되어 FRs를 반드시 재설정 하여야한다는 기존의 이론에서 벗어나 DPs와 FRs의 주어진 조건에 따라 재설정할 FRs의 수를 줄이고, 재설정하는 과정에 있어서도 FRs의 Gradients 값을 이용하여 간편한 수정 방향을 제시하게 된다. 또한 기존의 벡터방식보다 일반화된 함수의 표시 방법이기 때문에 기존의 설계 및 새로운 설계의 평가를 포함한 더욱 넓은 범위에서 적용이 가능 하다. 추후 실제 설계의 적용할 때, FRs과 DPs의 상관관계가 어떠한 함수로 나타날 것인지에 대한 추가 연구가 필요할 것이다.

#### 참고문헌

1. Nam Pyo Suh, "Axiomatic Design - Advances and Applications", Oxford University Press, New York, 2001. ISBN 0-19-51346-4
2. Suh, N. P., "The Principles of Design," OxfordUniversityPress, NewYork,1990.
3. Kim, Y. K., Cho, K. K., Mun, Y. R., Cha, S. W.

,"EvaluationMethodologyDevelopmentofDisassemblyThrough AxiomaticDesign",JournaloftheKoreanSocietyofPrecisionEngineering,**18**,197-202,2001.

4. Hwang, Y. D., Cha, S. W., Kang, Y. J., "Tool Development for Evaluation of Quantitative Independence Between FRs in Axiomatic Design," International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, **3**,52-60,2002.
5. George B. Thomas, "Calculus 11th", Pearson Addison Wesley, ISBN 978-89-7088-307-6
6. 문용락, "공리적 접근을 이용한 설계평가도구의 개발", 연세대학교 석사학위논문
7. B.J. Jeon, S.W. Cha, K.S. Lee, "A Novel Approach for Estimation of Axiomatic Design Using RGB Color Coordinates", 2007, 한국정밀공학회 추계학술대회논문집