

공리적 설계를 이용한 분해성 평가방법 개발

김영규*, 조규갑**, 문용락***, 차성운***

Evaluation Methodology Development of Disassembly Through Axiomatic Design

Young-Kyu Kim*, Kyu-kab Cho**, Yong-rak Moon***, Sung Woon Cha***

ABSTRACT

This paper proposes a design method for improving the disassembly by using the axiomatic approach. A product developer must design disassembly as well as assembly when designing the structure of a product. Axiomatic approach is a design tool that optimizes design. In this paper design evaluation method using information axiom sets impact variables and value function. As a result, examining the relationship between the functional requirements and evaluating the information can optimize designs.

Key Words : Axiomatic Design(공리설계), Information Evaluation(정보량 평가), Disassembly(분해), Value Function(가치함수)

1. 서론

최근에 국내외적으로 환경에 대한 사회적 관심이 높아지고 환경 규제가 범람화 되면서 환경 비용이 증가하게 되었을 뿐 아니라 고객이 친 환경 제품을 선호하게 됨에 따라 DFE(Design For Environment)에 대한 연구가 활발하다.⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾ 특히 DFE의 설계평가기술은 조립성에서 확장되어 분해성, 환경성까지 고려되는 경우와 전생애에 걸친 환경 영향성 평가 하는 기술의 연구로 볼 수 있고 제품의 환경 영향에 대하여 산업계의 사고가 변하였다. 과거에는 설계하고 생산하여 사용하는 단계 위주 였다면 근래는 분해하여 재활용하는 단계가

지 고려하게 되었다. 제품의 분해, 재활용하는 단계에서 발생하는 비용의 원인은 설계단계에서 설계자에 의해 결정되어지므로 설계단계에서 효율적으로 분해되고 재활용 되도록 제품을 개발하여야 한다. 따라서 설계자가 제품의 분해성을 고려하여 친 환경적인 방향으로 제품을 설계하도록 지원하는 도구(Tool)의 개발이 필요하다. 그런데 실제적으로 분해 단계에서는 다양한 제품과 복잡한 제품 구조, 크기, 형상과 재료 및 체결부품에 대한 정보의 부족 등으로 인하여 많은 문제가 있다. 이러한 이유로 재활용의 계획이 어렵다. 따라서 분해 비용의 감소라는 과제는 제품 개발단계에서부터 동시 공학적으로 고려되어야 한다. 즉 개발 초기

* LG 전자
** 부산대학교 산업공학과
*** 연세대학교 기계전자공학부

단계에 제품의 재활용성을 높일 수 있는 분해성을 고려하여 제품구조를 설계하고 그에 따른 제품의 평가를 통하여 최적의 분해성능을 갖는 제품을 개발하여야 한다.

본 논문에서는 분해성을 높이는 목적으로 정보 공리적 설계를 기반으로 하는 설계 평가도구를 개발하고 개발한 도구의 적용사례를 통하여 실용성을 제시한다.

2. 이론적 배경

경쟁력 있는 제품의 개발을 위해서는 설계단계에서 개발자가 고려해야 할 사항은 많다. 여기서 고객이 친 환경 제품을 선호하게 됨에 따라 최근에 DFE 평가기술의 개발이 요청되었다. Fiksel은 DFE란 제품의 전 생애와 프로세스에 걸쳐 환경적인 측면에서 건강성과 안전성에 관한 설계의 시스템적인 고려라고 정의 했다.⁵⁾ 따라서 DFE란 재료와 에너지의 자원 사용을 최소화하고 환경적이고 건강의 피해를 최소화하는 설계, 제조, 분배, 사용, 처분되도록 환경 친화적으로 적합한 제품을 개발하는 것을 의미 한다고 할 수 있다. 즉 환경의 영향성을 줄여주고, 재활용성을 높이는 설계라 할 수 있고, 재활용은 분해가 되지 않으면 불가능하므로 분해 설계 기법이 요구된다.

Nam P. Suh는 공리적 설계는 '좋은' 설계를 선택하기 위하여 쓰는 도구라고 정의했다.⁶⁾ 잘된 설계를 하기 위해서는 공리. 설계를 해야 한다고 주장하여 왔다. 설계공리는 독립공리와 정보 공리로 되어 있다. 독립공리는 기능적요구에 대하여 독립성 유지로 정의 한다. 정보의 공리는 설계의 복잡성과 관계가 있으며 상대적으로 단순한 설계가 더 좋은 설계라는 것은 의미한다. 정보의 공리는 기능적 요구를 만족시킬 수 있는 성공률에 의해서 설계요소를 선택한다. 즉, n 개의 기능적 요구를 갖고 있을 때

"정보량"을 다음과 같이 정의한다.⁶⁾

$$I = \sum_{i=1}^n \left[\log \left(\frac{1}{P_i} \right) \right] \quad (1)$$

여기서 P 는 성공률이며 I 는 정보량이 된다. 성공률이 100%일 때 $P=1$ 이 되어 가장 좋은 설계

가 되므로 정보량 I 가 적을수록 단순한 설계가 된다.⁷⁾ 공리적 접근에서의 정보는 '복잡성'을 나타내는 척도로 사용된다.

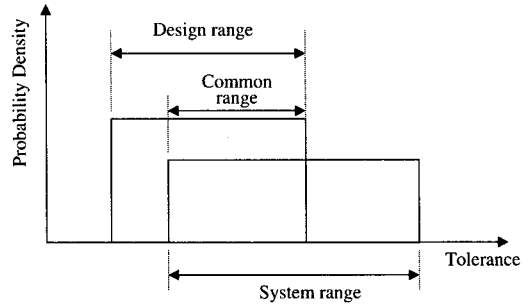


Fig. 1 Information contents in design

설계범위(design range)는 설계변수와 관계가 있는 설계자가 원하는 범위이고, 시스템범위(system range)는 주어진 공차에 대하여 제조설비의 성능이다. 이 두 가지 범위가 겹치는 부분을 공통범위(common range)라고 한다. 식 (1)을 사용하여 위 Fig.1에 나타나 있는 정보량을 표현하면 다음과 같다.

$$I = \log \left(\frac{\text{System_range}}{\text{Common_range}} \right) \quad (2)$$

식 (2)가 나타내는 정보량은 목표로 하는 분해성의 고려 정도를 나타내며 설계자가 원하는 바의 제품으로 만들기 위하여 만족시킬 수 있는 확률을 나타내는 것이다. 만일 설계범위가 시스템범위 전체를 포함하고 있다면 즉, 설계자가 원하는 분해성과 제품의 물리적인 분해성이 같게 되면 확률이 1이 되므로 정보량 I 는 0이 된다. 이것은 추가적인 노력이나 정보가 없이도 항상 원하는 분해성을 가지는 제품을 생산해 낼 수 있다는 것이다. 반면에 설계범위와 시스템범위의 중복된 부분이 없다면 공통범위는 0이 되어 정보량 I 는 무한대가 된다. 이것은 설계자의 요구 분해성을 맞추기 위해서는 실제 제품의 분해성 설계에 무한대의 정보가 필요하게 된다. 따라서 이러한 경우에는 원하는 분해성을 가지는 제품을 만들 확률은 0이 된다.

3. 설계 및 평가 Tool 개발

개발을 위한 접근방법은 다음과 같다. 첫째, 고객의 요구로부터 개발의 기준을 설정 하였다. 둘째, 기존의 조립성 평가에서 분해성을 추가하고 환경성으로 확장하도록 시스템을 설계하였다. 셋째, 제품의 특성에 따라 영향변수와 가치함수의 설정을 정보공리적으로 평가 가능하도록 알고리즘을 개발하였다.

실제 설계작업이나 제안되어진 설계들 중 최적의 분해성을 고려한 설계를 수행하거나 선택하기 위해서는 효과적인 의사결정 방법이 필요하다. 효과적인 의사결정은 설계자의 주관적이거나 경험적인 요소를 배제하고 객관적인 요소에 바탕을 두어야 한다. 따라서 최적의 분해성을 위한 도구를 개발하기 위한 기본 방향으로서 정보의 공리에 기반을 둔 설계를 평가할 수 있는 정보량 측정 방법을 개발 하였다. 본 논문에서는 독립공리가 만족된 후 정보공리를 평가하는 범위로 가정한다.

3.1 분해 단위 결정

작업 수에 있어서 분해는 조립과 다르다. 중간 조립품(sub-assembly)은 추가적인 분해 없이도 재 활용 될 수가 있기 때문에 분해의 목적은 조립의 목적과 같지 않을 수도 있다. 본 논문에서는 분해와 재활용에 적합한 단위를 분해단위(segments)라고 하였고, 분해단위는 하나 또는 여러 개의 부품들로 결합되어 있다.

분해단위를 결정하는 기준의 제약조건과 결정하는 알고리즘은 Fig. 2 와 같다. 분해 단위란 분해할 수준으로 모든 계산의 시작점은 분해되어야 할 부품 또는 중간조립품의 결정에서부터 시작이다. 초기배열(Initialize Arrays)이란 제품의 구성정보를 읽어 들이는 것이다. 여기서 제품구조상에서 선행적으로 분해되어야 할 부품은 우선행렬(Priority Matrix)조건으로 체크하고 이익과 비용의 측면에서 검토한다. 이익은 재활용으로 얻는 수익이고 비용은 분해비용과 폐기에 소요되는 비용이다. 다음은 유해한 물질인지의 여부를 확인하여 결정한다. 그리고 이웃의 분해단위와 합하여 새로운 분해단위의 형성이 가능한지를 분해비용과 수익으로 비교하여 경제적인 관점에서 최적의 분해단위를 결정한다. 즉 만약 비용이 수익보다 적으면 분해된다. 여기서 비용은 분해비용과 폐기비용의 합이고 분해비용은 분해시간에 임률을 곱하여 구한다.

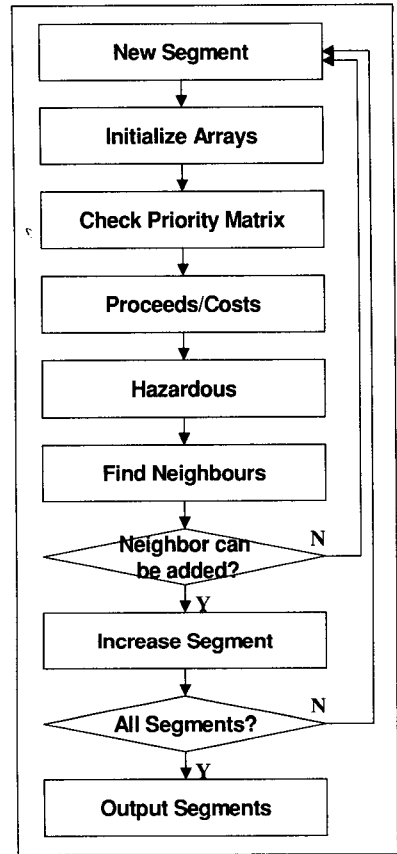


Fig. 2 Algorithm of segment decision

3.2 분해성 평가방법의 개발

설계에서 제시된 제품의 분해성을 평가하는데 있어서 가장 중요한 평가항목은 신속한 분해 여부이다. 따라서 여러 가지 분해 방법이 분석되어 빠르게 분해 할 수 있도록 해야 한다. 이를 측정 할 수 있는 것이 분해시간 이다. 분해시간은 식 (3) 과 같이 분해의 단계로 결정한다.

$$\text{분해시간} = \text{접근시간(R)} + \text{분리시간(D)} + \text{이동시간(M)} + \text{놓는 시간(P)} \quad (3)$$

접근시간(R)은 공구를 잡고, 체결요소나 부품의 부위에 공구를 위치시키는 시간으로 정의할 수 있고, 분리시간(D)은 체결을 분리하는 데 필요한 동작의 시간이다. 또한 이동시간(M)은 한 체결요

소에서 다음 체결요소로의 이동하는 시간이고 놓는 시간(P)은 부품을 정해진 장소에 놓는 데 걸리는 시간이다.

여기서 기본적으로 분해시간 중 분리시간(D)이 가장 중요한 요소가 되므로 분리시간의 최소화를 위해서는 정보공리적 설계의 기법을 이용하였다. 정보공리를 활용하기 위하여 분해성의 정보량 변화에 영향을 주는 주 인자는 부품간 체결종류, 분해 단위 수, 분리공구의 종류수로 설정할 수 있다.

첫째, 부품간 체결종류로서 각 부품간의 체결에 사용되는 다양한 체결방법을 줄여야 한다. 다양한 체결방법은 제품을 분해하는데 있어서 필요한 정보를 증가시키기 때문에 분해시간을 증가시키는 주 영향요인이 되므로 부품간 체결종류에 영향을 미치는 주 요인의 정보량을 평가하여 분해성을 위한 설계를 평가할 수 있다. 부품간 체결종류의 정보량 측정을 위해 평가 기준이 되는 가치함수(VFc)는 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$VFc = \frac{1}{1 - const} \left[\frac{J_2}{K_n} - const \right] \quad (4)$$

위 식에서 J_2 는 분해 단위간 체결된 체결 방법의 수이고 K_n 은 분해 단위간 체결 수이다. J_2 가 1, K_n 가 1 일 때가 최고 값이 1로 이상적인 설계이다.

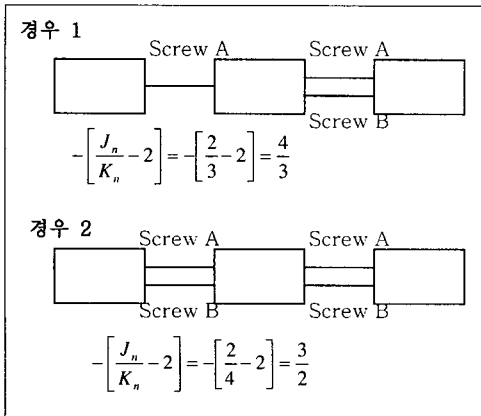


Fig. 3 Case of joining between segments

본 논문에서는 전기전자 제품을 대상으로 Const는 2로 설정하였다. 왜냐하면 전자제품을 분석하면 $-(J_2/K_n) - 2 = 1.5$ 가 경험적으로 보통이다. 따라서 2를 최저 점수로 보았다. Fig.3에서 경우의 예를 보여주고 있다. 여기서 경우 1이 경우 2보다 잘된 설계라 할 수 있으며 정보량도 적다.

Fig.4의 x 축은 특성값, J_2/K_n 에 따라 결정되어진다. 그리고 x 축의 특성값에 따라 y 축의 가치함수(VFc)의 평점이 산출되어짐을 나타내고 있다. 여기서 가치 함수란 설계목표를 만족시키는 확률값과 동일하다. 따라서 정보량 평가는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$I = \log\left(\frac{1}{P}\right) = \log\left(\frac{1}{VFc}\right) \quad (5)$$

여기서 P는 성공률이다.

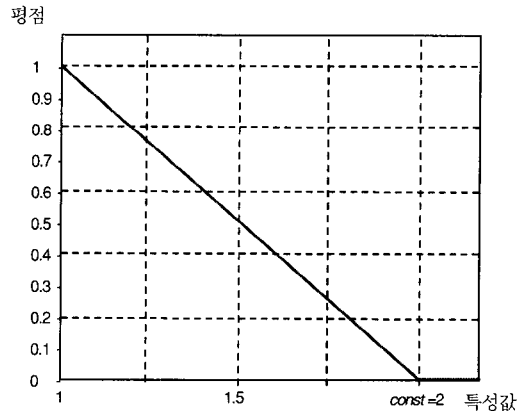


Fig. 4 Characteristic value of assembly type between parts

이와 같은 방법으로 두 번째 설계목표는 분해 단위 수의 감소로 설정할 수 있다. 분리시간의 감소를 위해서 제품이 분리될 수 있는 단위의 수를 줄여야 부품의 분리시간이 최소화 될 수 있다. 분해 단위수의 감소에 영향을 미치는 지배적 인자는 부품 총 개수(P_n)와 분해단위의 총 개수(T_n)이다.

부품의 분해단위 수의 정보량 측정을 위해 평가 기준이 되는 가치함수(VFn)는 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$VF_n = \frac{1}{1 + \left[\frac{T_n - 1}{C_x - 1} \right]^4} \quad (6)$$

$$C_x = P_n / 2$$

분해단위 수가 부품총수의 0.5 보다 적어지면 최고값에 가깝게 되고, 많아지면 최저값에 근접하는 함수관계에 있기 때문이다. Fig.5의 x 축은 특성값, T_n 에 따라 결정되어진다. 그리고 x 축의 특성값에 따라 y 축의 부품의 분해단위 수의 가치함수 (VF_n)의 평점이 산출되어짐을 표시한 그래프이다.

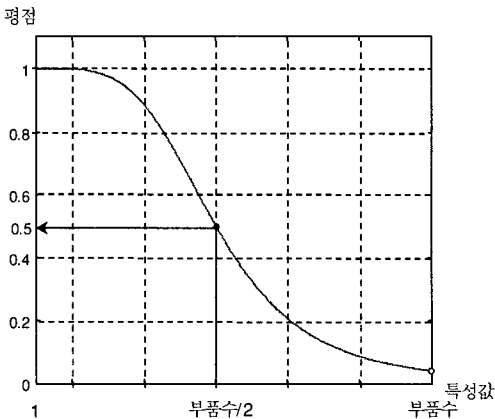


Fig. 5 Characteristic value of Disassembly unit

세 번째 설계목표는 분리공구의 종류를 최소화한다. 분리공구의 증가는 작업자로 하여금 각각의 연결컨넥터 공구에 대한 정보량을 증가시키고 공구의 교환시간의 증가를 가져오게 한다. 따라서 분리공구의 수가 최소화 되어야 정보량은 감소하게 되어 전체 부품의 분해시간의 단축을 가져오게 된다. 분리공구의 최소화에 지배적 영향을 미치는 요소는 필요한 공구 수(N_t)와 무공구분해수(W_t), 분해단위 간 체결된 케이블 수(C_n), 그리고 분해단위 간 케이블 체결이 아닌 체결 수(J_n)이다.

$$F = C_n + J_n$$

여기서 F 는 분해단위 간의 체결 케이블 수와 그 외의 체결 수에 따라 Fig.6와 같이 기울기의 선택이 달라짐을 보여주기 위하여 표기하였다. 왜냐하면 체결의 입력 정보는 체결방법에 따라 다르

고, 케이블로 체결하는 방법은 분해성의 측면에서 피해야 하는 방법이다. 또한 체결수가 적으면 분해공구의 수가 적게 필요하다.

따라서 분해시간의 최소화를 위하여 분리공구의 수에 관한 정보량을 측정하는 기준인 가치함수 (VF_w)는 다음과 같이 표현될 수 있다

$$VF_w = \frac{1}{0.5 - F} \cdot \left(\frac{W_t}{2} + N_t - F \right) \quad (7)$$

Fig.5의 x 축은 특성값, $W/2 + N_t$ 에 따라 결정되어진다. 그리고 x 축의 특성값에 따라 y 축의 분리공구의 수에 따른 가치함수(VF_n)의 평점이 산출되어짐을 표시한 그래프이다. 여기서 분해단위 간의 체결수가 7 이상이면 설계를 다시 해야 하는 최저값이다.

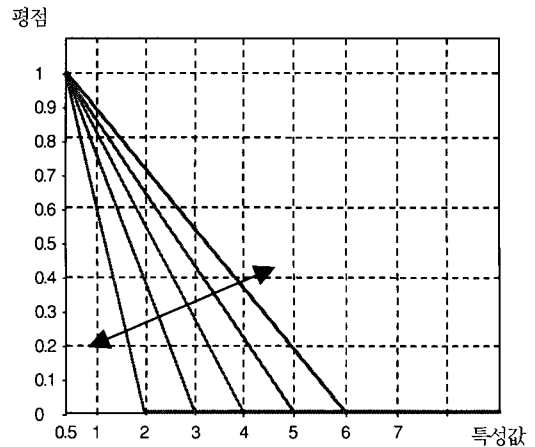


Fig. 6 Characteristic value of disassembly tool number

4. 분해성 평가 도구의 적용

분해성 평가 도구는 다음과 같은 순서에 따라서 설계의 분해성을 평가하게 된다. 우선 분해단위가 결정된다. 이 분해단위를 기반으로 분해 시간, 분해 순서의 정보가 산출되고 동시에 분해성과 관계된 제품 특성을 공리적 설계의 정보량 평가방법에 의하여 정보량을 측정하여 평가한다. 이런 결과는 DB에 저장되어 있는 제품 정보로부터 자동적으로 얻는다. 시범으로 적용한 제품은 에어컨이다.

Fig.7 은 에어컨의 계층구조를 바탕으로 하여 그룹화한 제품의 분해 단위로 표시된 평가 결과 화면이다. 제품의 계층구조상에서 재활용부품, 폐기부품,유해부품을 구분해서 표시하여 설계자가 쉽게 파악할 수 있게 하고 개선이 필요함을 보여 준다.

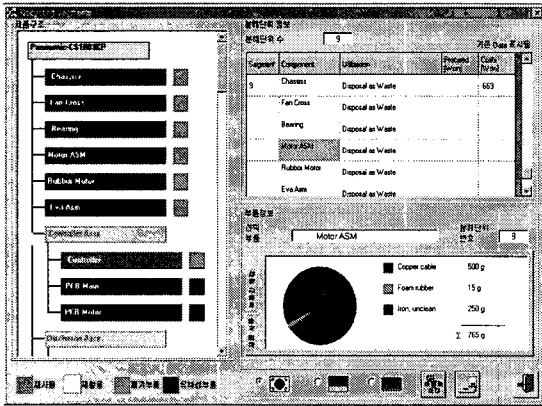


Fig. 7 Decision of disassembly segment unit

다음은 제품의 형상, 체결정보,구성의 설계 정보로부터 분해시간의 정보를 얻었다. 이러한 정보로부터 분해시간이 많이 걸리는 부품을 알 수 있으므로 개선되어야 할 부품을 알 수 있다. 개선되어야 할 부품의 체결종류,구조 등을 변경함으로써 분해성을 높일 수 있게 되었다.

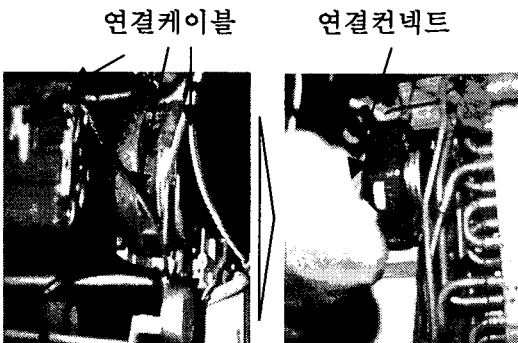


Fig. 8 Application of disassembly evaluation

예로 Fig.8는 에어컨의 모터 체결에 있어서 체결 방법의 변경과 체결 수를 줄임으로 분해시간을 절감하게 된 사례로 개선 전에는 연결케이블 체결 방법에서 개선 후에는 컨넥트 체결로 변경

함으로써 분해에 대한 정보량을 줄일 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 설계의 정보공리를 이용하여 분해성을 향상하기위한 설계 평가 방법을 개발하여 제안하였다. 개발된 평가 방법은 제품의 특성에 의한 영향변수와 그에 따른 가치함수를 설정하여 정보공리적으로 평가하도록 하였다. 그 평가 결과로 설계 안에 따라 분해성의 변화와 영향 요인을 파악할 수 있게 되었다. 따라서 분해성 향상하기 위한 해결방향을 제시할 수 있게 되었다.

본 연구의 결과로 제품 개발과 동시공학적으로 분해성 향상으로 인한 재활용성을 높일 수 있게 되었다. 개발된 도구는 전기, 전자 제품의 친환경 제품개발에 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Miyamoto, S., Tamura, T., and Fujimoto, J., "ECO-Fusion, Intergrated Software for Environmentally-Conscious Production," International Symposium on IEEE, pp. 179-184, 1996.
2. Hoffman III, W.F., Locasico, A., "Design for Environment Development at Motorola," IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, pp. 210-214, 1997.
3. 목학수, 김성호, 양태일, "제품의 분리 공정의 특성을 고려한 제품의 복잡도 평가," 정밀공학회지, 제 16 권, 제 6 호, pp. 14-24,1999.
4. Spath, D., "The Utilization of Hypermedia Based Information Systems for Developing Recyclable Products and for Disassembly Planning," Annals of the CIRP, Vol. 43, No. 1, pp. 153-156, 1994.
5. Fiksel, F., "Design for Environment," McGraw-Hill, pp. 3, 1996.
6. Suh, N. P., "The Principles of Design," Oxford University Press, pp. 46-69, 149-158, 1990.
7. 문용락, 차성운, 김영규, "DVD 설계평가 및 개선을 위한 공리적 접근 (I)," 정밀공학회지, 제 16 권, 제 5 호, pp. 124-127, 1999.