

신제품 개발에 있어서의 AHP 기법을 이용한 의사 결정에 관한 연구 - 인버터 제품을 중심으로 -

A Study on Decision Making Process for New Product Development using AHP

진성호¹, 한주윤², 정봉주²

동양전기(주)¹/연세대학교 산업시스템공학과²

Abstract

본 연구에서는 제품 개발과 관련된 시장 환경 요소들을 고려하여 신속한 제품 개발에 관한 의사 결정을 할 수 있는 AHP 모형을 제안하고, 정량화 된 데이터를 이용한 AHP 의사결정 프로세스를 구축하고자 하였다. AHP 모형의 경우 전문가 집단(연구원 집단, 엔지니어 집단, 판매자 집단)별로 의사결정의 차이점을 보여줌으로서 각각의 시장 상황에 맞는 의사결정을 경영자가 효율적으로 판단할 수 있도록 제시하였으며, 신제품 디자인 선정의 간단한 프로세스를 제시하여 반복적인 생산자의 의사 결정을 합리적이고 신속하게 할 수 있는 방법론을 제시하였다. 프로세스에서는 하위 의사결정 단계에서 가능한 데이터의 정량화를 통해 쌍별 비교 행렬을 만듦으로써, AHP기법의 정확성을 높이고 모델의 민감도 분석이 가능하게 하였다.

1. 서론

전동기의 가 변속 운전과 제어는 일상생활이나 공업 생산을 지탱하는 기본 기술의 하나로서 향후 그 중요성이 더욱 더 증대될 것으로 예상된다. 최근 가 변속 제어기술의 중심이 된 것은 인버터로서, 1958년에 GE사에서 사이리스터가 개발된 시기부터 이것을 사용한 인버터의 개발 연구가 다방면에 걸쳐 이루어져 왔다.[1] 인버터란 Thyristor, GTO(Gate Turn Off), MOSFET(Metal-Oxide Silicon Field Effect Transistor), IGBT(Isolated Gate Bipolar Transistor) 등의 반도체 전력용 스위칭 소자와 Inductor, Capacitor 등의 필터를 사용하여 직류 전원을 가변 주파수, 가변 전압의 교류 전원으로 변환하는 전력 변환 장치이며, 기본적으로 컨버터부, 인버터부, 제어부로 구성되어 있다.[2]

인버터는 철강 프로세스 산업, 플라스틱 관련 산업, 공작 기기 제작 산업, 승강기·크레인, 무정전 시스템(UPS), 정밀 기기 산업 등 그 적용분야가 매우 광대하다. 이와 같은 상황에서 인버터의 기술 동향 및 시장 마케팅 환경에 대한 우위를 점하기 위해서는 빠른 시간 내에 시장의 요구를 수용하고, 다양한 고객의 수요에 맞추어 의사결정이 이루어져야 한다. 의사결정은 복잡성, 중요성, 기술적 혁신에 따른 마케팅 환경의 빠른 변화로 점점 합리적인 요소의 필요성을 더 하고 있다.[3] 따라서 인버터를 생산하려고 하는 생산자의 경우, 시장 상황에 적합한 형태의 인버터 디자인을 선정하고 개발할 필요성이 있으며, 제품의 디자인에 대한 의사 결정은 시장 상황의 변화에 맞추어서 계속적으로 이루어져야 하기 때문에 개괄적인 형태의 선정에서부터 자세한 성능의 문제에 이르기까지 합리적이고 신속한 의사결정 프로세스를 이용하여 신제품의 디자인을 선정하는 것은 매우 중요한 일이다. 또한 제품의 디자인이라는 특수성은 의사 결정 프로세스에 정량화 된 수치의 정확한 반영을 요구하기도 한다.

AHP 기법의 경우 여러 분야에 걸쳐서 적용되어 왔지만,[7] 본 연구에서는 제품 개발과 관련된 시장 환경 요소들을 고려하여 신속한 제품 개발에 관한 의사 결정을 할 수 있는 AHP 모형을 제안하고, 정량화 된 데이터를 이용한 AHP 의사 결정 프로세스를 구축하고자 하였다.

2. 인버터의 평가 기준

우수한 인버터 제품이라 하더라도 고객의 사용욕구와 일치하지 않고 생산자의 생산 편의 위주로 제품이 디자인된다면 제품 가치는 그 성능에 비교하여 크게 떨어지게 된다.

본 연구는 인버터 제품 시장에서 고객이 정확한 수요의 파악과 가치있는 제품을 생산하기 위한 대안을 결정하기 위하여 참고 문헌([1], [4], [5], [6])을 바탕으로 매출, 품질, 고객의 3가지의 상위 기준과 소형 경량화, 저 소음화 및 고조파 개선, 토오크 특성 개선, 역률, 조작 편의성, 보호기능, 백터 제어, 가격의 8가지 하위 기준으로 평가 기준을 나누었다.

각각의 하위 기준은 모두 상위 기준에 어느 정도 영향을 미친다고 가정하였고, 전혀 영향을 미치지 않을 경우에는 가중치를 0으로 함으로써 영향력을 미치지 못하게 설정하였다. 이러한 방법은 다음과 같은 장점이 있다. 각각의 상위 기준에 독립적인 하위 기준을 만드는 것보다는 모든 하위 기준이 모든 상위 기준에 영향을 준다는 가정이 전체적인 디자인 선정 프로세스를 만드는데 훨씬 용이하고, 하위 기준이나 상위 기준의 변경 시에도 모델의 변형없이 각각의 기준 수정만을 통하여 간단히 모델을 다시 만들 수 있는 장점이 있다.

2.1 매출

매출은 기업에 있어서 가장 중요한 요소이다. 인버터의 판매가 곧 매출로 이어지기 때문에 일반

적으로 고 부가가치의 제품을 다량으로 판매하는 것이 가장 좋은 방법이다. 하지만 대부분의 경우 고 부가가치의 상품은 적게 팔리고, 저 부가가치의 상품은 많이 팔린다. 따라서 시장 상황을 고려한 제품 디자인의 trade-off가 필요하다. 또한 같은 고 부가가치의 상품이라 하더라도 같은 가격으로 판매가 가능하다면, 적은 생산비용으로 생산하는 것이 이익을 늘릴 수 있다. 또한 불필요한 기능을 추가 시킴으로써 원가의 상승을 가지고 오기보다는 적절한 기능만을 가진 제품을 디자인함으로써 최저의 원가로 제품을 생산하여 이윤을 극대화시킬 수 있다. 이러한 모든 과정을 제품의 디자인 선정 시에 결정되어야 할 문제이다.

2.2 품질

디자인 선정 시에 유의해야할 중요한 상위 기준으로 또한 품질을 들 수가 있다. 여기서 품질은 일반적으로 쓰여지고 있는 품질의 의미이다.

즉 여기서의 품질이란 인버터로써 지녀야 할 기본적인 기능의 만족여부를 말하는 것으로 시장에서 요구하지 않는 무리한 기본 성능의 향상은 오히려 원가의 상승으로 이어져 제품의 시장 경쟁력을 약화시킬 수도 있기 때문에 기본적인 기능이 소비자의 불만이 없도록 최소한의 품질 수준에 도달해야 하는 것을 의미한다. 따라서 이러한 의미의 품질을 만족시키기 위하여 제품의 디자인 선정 시에 이와 관련된 모든 사항을 비교 검토할 필요성이 있다.

2.3 고객 만족

고객 만족은 물론 여러 가지 분야가 있겠지만, 본 연구에서 다루고자 하는 것은 제품의 디자인에 국한된 문제이다. 사후 관리(A/S)와 같은 문제도 물론 중요하지만, 그것은 제품의 디자인 단계에서 고려할 요소가 아니다.

따라서 여기서는 소비자가 원하는 기능을 추가 시키는 의미의 고객 만족으로서, 현 시장에서의 일반적인 인버터에 대한 요구 사항을 떠나 사용자가 특별히 요구하거나 시장에서의 우위를 점할 수 있는 기능의 추가를 의미한다. 즉, 제품의 디자인 단계에서 고객 요구를 정확히 판단하여 최소의 원가 상승으로 소비자가 원하는 기능의 추가를 통하여 제품의 전체적인 품질을 향상시키고 경쟁력을 제고 시키는 것이 필요하다.

2.4 하위 기준

하위 기준은 총 8가지의 항목으로 구성되었다. 소형 경량화, 저 소음화 및 고조파 개선, 토오크 특성 개선, 역률, 조작 편의성, 보호기능, 백터 제어, 가격의 8가지 항목이 하위 기준에 속한다. 가격의 경우는 매출에 영향을 많이 미치는 요소이고, 저 소음화 및 고조파 개선, 토오크 특성 개선, 역률, 백터 제어는 품질에 많은 영향을 미치는 요소이다. 마지막으로 소형 경량화, 조작 편의성, 보호기능은 고객 만족에 영향을 미치는 요소로 파악할 수 있다. 물론 일부 하위 기준들은 복수의 상위 기준에 영향을 미치기도 하기 때문에 이러한 경우를 대비하여 모든 하위 기준들은 모든 상위 기준과 연관이 되도록 모델을 설계하였다.

3. 대안의 설정 및 모형 구조

인버터 시장의 환경 내에서 가장 시장 적응력과 지배력이 뛰어난 제품을 생산하기 위해서는 여

면 제품을 생산할 것인가를 결정하는 것이 매우 중요한 문제이다. 따라서, 대안의 선택은 시장의 전반적인 상황과 인버터 제품의 고유한 특성 등을 고려하여 가장 일반적인 규격별 대안 3가지로 결정하였다.

3.1 소형 인버터

첫 번째 대안은 0.4~5.5kW까지의 소형 인버터를 생산하는 것이다. 소형 인버터를 생산할 경우의 일반적인 특징을 말한다면, 제품의 규격과 용량이 적기 때문에 개발 기간과 비용의 절감이 가능하다는 것이다. 또한 소형 인버터는 수요가 월등히 많으며 제품 회전율이 높아 자금의 유동성 확보라든가 대량 생산으로 인한 원가의 감소를 가져올 수도 있다.

3.2 중형 인버터

두 번째 대안은 7.5~22kW까지의 중형 인버터를 생산하는 것이다. 중형 인버터를 생산할 경우는 소형에 비교하여 전체 시장은 적으나, 용량의 증가에 비례한 가격의 증가가 현저하다. 또한 소비재가 아닌 산업재이기 때문에 주문 생산으로 인한 재고 비용의 감소를 가져올 수 있다.

3.3 대형 인버터

세 번째 대안은 30kW이상의 대형 인버터를 생산하는 것이다. 대형 인버터는 소형이나 중형에 비해 기술적인 문제가 까다로우며, 가격대도 다양하다. 그러나 제품 판매에서 오는 수익은 중형 또는 소형 인버터에 비교할 수 없을 정도의 고부가가치를 가진다.

전체적인 AHP 모형 구조는 다음과 그림 1과 같다.

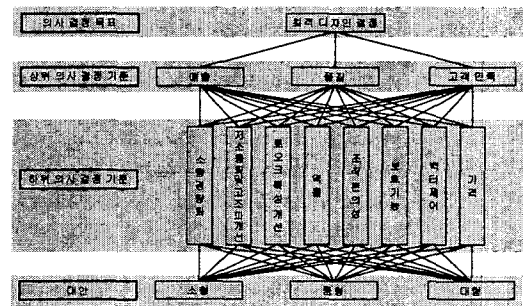


그림 1. 최적 Design 결정 AHP 모형 구조

4. AHP 의사 결정 프로세스

4.1 정량화를 통한 AHP 기법의 적용

최초 디자인 선정에서는 소형, 중형, 대형이라는 상위 개념의 대안의 선정이기 때문에 기준요소들의 정량화를 통한 AHP 기법의 적용이 어렵다. 또한 초기 디자인 선정에서는 디자인의 세부적인 요소를 결정하기는 어렵다. 물론 세부적인 디자인을 결정하여 초기 대안의 모델을 선정할 수도 있겠지만, 그럴 경우 동일한 대안의 세부 디자인은 비교가 어려워진다는 단점이 있다. 따라서 단계적인 의사 결정 프로세스가 필요하다.

세부적인 디자인 요소의 결정에는 데이터의 정

량화가 필요하다. 데이터의 정량화에 의한 AHP 기법의 적용은 먼저 막연히 개인의 경험에 의지하여 쌍별 비교 행렬을 만들 경우의 일관성이 적어지는 것을 방지해준다. 다음으로 데이터의 정량화에 의한 AHP 기법의 적용이 세부 디자인 선정 프로세스에서 더욱 중요한 이유는 디자인의 요소들을 변경할 경우 그것이 대안의 선정에 어느 정도 영향을 주는가를 쉽고 정확하게 파악할 수 있기 때문이다.

데이터의 정량화에 의한 AHP 기법의 적용을 위해서는 먼저, 최소값과 최대값의 합리적 결정이 필요하다. 만일 선택된 대안들간의 비교만을 통하여 최대값을 9로 결정하고 최소값을 1로 결정할 경우, 현재 선택된 대안 외의 다른 대안들이 존재할 경우 이를 반영할 수가 없다. 따라서, 현재 기준으로 대안이 선택되지 못했다 하더라도 시장 상황에서의 최대값을 9로 결정하고 최소값을 1로 결정해야 한다. 또한 평가자의 판단 용이성을 위하여 1, 3, 5, 7, 9의 척도로 만들었던 쌍별 비교 행렬을 실수 값을 이용해서 만들어야 한다. 그 이유는 단순하게 계산의 편의성을 위한 것도 있지만, 정확한 값의 반영과 적은 양의 변화도 민감하게 반영해 줄 수 있는 쌍별 비교 행렬을 만들기 위함이다.

대안이 n 가지일 경우 각 대안의 정량적인 값들을 V_1, V_2, \dots, V_n 이라 하고 현 시장에서의 최소값을 m , 최대값을 M 이라고 가정하자. ($m \leq V_1, V_2, \dots, V_n \leq M$) 그리고 m 을 1로 하고 M 을 9로 해서 보간법을 이용하여 나머지 값들을 환산해 주면 다음과 같다(표 1).

표 1. 보간법을 이용한 1차 정량화

m	V_1	V_2	...	V_n	M
1	$[8/(M-m)]$ $*(V_1-m)+1$ $= V'_1$	$[8/(M-m)]$ $*(V_2-m)+1$ $= V'_2$	...	$[8/(M-m)]$ $*(V_n-m)+1$ $= V'_n$	9

이 때 문제는 최소값 m 이 기준 1로 환산되었기 때문에 원하는 쌍별 비교 행렬을 얻기 위해서는 실제로 쌍별 비교 행렬에 들어갈 정량적인 값들을 기준으로 다시 환산해 줄 필요성이 있다. 즉 V_1 부터 V_n 까지의 각각의 값들을 기준으로 모든 값들을 다시 변환하면 다음과 같다(표 2).

표 2. 각각의 기준에 따른 2차 정량화

	m	V_1	V_2	...	V_n	M
기준: m	1	V'_1	V'_2	...	V'_n	9
기준: V_1	$1/V'_1$	1	V'_2/V'_1	...	V'_n/V'_1	$9/V'_1$
기준: V_2	$1/V'_2$	V'_1/V'_2	1	...	V'_n/V'_2	$9/V'_2$
...	...	...	...	1	...	...
기준: V_n	$1/V'_n$	V'_1/V'_n	V'_2/V'_n	...	1	$9/V'_n$
기준: M	$1/9$	$V'_1/9$	$V'_2/9$	...	$V'_n/9$	1

위에서 진하게 표시된 부분이 실제적으로 AHP 모형에 적용되는 쌍별 비교 행렬이 된다.

4.2 민감도 분석

대안이 n 개이고 의사 결정 기준이 N 개인 경우, 정량화 된 쌍별 비교 행렬에서 AHP기법의 일반적인 가중치를 구하는 방법[8]을 적용하면 다음과 같은 식을 통해 의사 결정 기준 k 에 대한 대안 l 의 가중치인 AW_{kl} 을 유도해 낼 수 있다.

$$V'_i = \frac{8V_i + M - 9m}{M - m} \rightarrow K_j = \frac{\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n V'_i}}{V'_j} \rightarrow AW_{kl} = \frac{K_l}{\sum_{j=1}^n K_j}$$

$(i=1, \Lambda, n)$ $(j=1, \Lambda, n)$ $(l=1, \Lambda, n)$
 $(k=1, \Lambda, N)$

N = 의사 결정 기준의 수
 n = 대안의 수
 M = 현 시장에서의 최대값
 m = 현 시장에서의 최소값
 V_i = 대안 i 의 실제값
 V'_i = 1차 정량화에 의한 환산 값
 K_j = AW_{kl} 를 구하기 위한 대안 j 의 중간과정의 값
 AW_{kl} = 의사 결정 기준 k 에 대한 대안 l 의 가중치

위 식을 이용하면 AW_{kl} 은 다음과 같은 형식으로 표현되며, M 과 m 은 상수이므로 아래 식을 이용하여 변수값인 V_i 값의 변화를 통한 가중치 AW_{kl} 의 변화를 알아낼 수 있다.

$$AW_{kl} = \frac{\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \left(\frac{8V_i + M - 9m}{M - m} \right)}}{\frac{8V_l + M - 9m}{M - m} \sum_{j=1}^n \left[\frac{\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \left(\frac{8V_i + M - 9m}{M - m} \right)}}{\frac{8V_j + M - 9m}{M - m}} \right]}$$

마지막으로 전체 대안에 대한 가중치를 구하기 위해서 N 개의 의사 결정 기준끼리의 우선 순위 ($CW_k, k=1, \dots, N$)를 쌍별 비교 행렬을 통해 구하면 각각의 최종 우선 순위는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\text{대안 } i \text{에 대한 최종 우선 순위} = \sum_{k=1}^N AW_{ki} \times CW_k \quad (k=1, \Lambda, N)$$

위 식을 통하여 한 가지 의사 결정 기준에 대한 민감도 분석을 수행할 경우, 변수는 단지 V_i 하나이기 때문에 간단하게 변화 폭을 살펴 볼 수 있다. 하지만 대부분의 경우 여러 가지 의사 결정 기준을 변화시키는 민감도 분석이 필요하므로 모델에 대한 간단한 전산 프로그램의 개발을 통해 민감도 분석을 수행하는 편이 용이하다.

이러한 정량화 된 데이터를 통한 민감도 분석은 정량적인 데이터의 변화에 대해 정확하게 의사 결정에 영향을 줄 수 있을 뿐만 아니라, 의사 결정에 미치는 변동폭이 실제적인 값에 어느 정도 반영되는지를 알 수 있기 때문에 매우 유용하다.

4.3 신제품 디자인 결정 프로세스

소비자가 의사 결정을 할 경우, 한번의 의사 결정이 중요하게 고려되어지기 때문에 의사 결정을 위한 AHP 기법 적용이 반복적으로 수행되지는 않는다. 하지만 생산자의 경우, 생산 제품의 디자인 선정은 소비자의 경향이나 마케팅의 영향 등 여러 외부적인 요인에 의해 의사결정을 반복적으로 해야 하는 경우가 대부분이다. 반복적인 의사 결정이 세부적인 판단 기준이나 의사 결정 모형을 다시 설정해야 하는 번거로운 단순한 작업의 복잡도를 높이는 문제를 발생시키기도 하지만, 일정한 기준 없이 임기응변으로 의사 결정을 하는 비합리적인 작업 방식을 발생시키기도 한다. 결국 합리적이고 상황

적용력이 뛰어난 의사 결정 기법의 일관된 프로세스 개발은 의사결정 기법 자체의 개발만큼이나 생산자에게는 중요한 문제이다.

이러한 프로세스의 개발에 있어서 고려해야할 점은 두 가지이다.

첫 번째, 변화된 상황에 합리적인 대응이 가능한 프로세스를 개발하는 것이다. 변화된 상황에 대한 대응이 합리적이지 않다면, 의사결정 기법 자체를 다시 적용시키는 편이 시간적인 낭비를 초래하더라도 결과적으로는 더 적절한 의사결정을 할 수 있기 때문이다.

두 번째, 신속한 의사결정이 가능한 프로세스의 개발이다. 신속한 대응이 불가능하다면, 의사결정이 늦게 이루어져 시장의 변화된 상황에 적절하게 대응하기가 어렵기 때문이다.

이러한 조건을 고려한 의사결정 프로세스는 다음과 같다.

1단계 - 상황 파악

변화된 상황하에서의 적절한 의사 결정 대안을 선정하고, 그에 알맞은 상위기준과 하위기준에 들어갈 요소를 정의한다.

2단계 - 요소 결정

각각의 기준에 적절한 요소를 선정하고, 선정된 요소의 기존 데이터를 현 상황과 비교하여 적절성을 판단한 후, 적절하지 않을 경우 분야별 전문가에게 새로운 데이터를 수집한다.

3단계 - 디자인 선정

수집된 데이터를 이용해 AHP 기법을 적용하여 최적 디자인을 선정한다.

4단계 - 민감도 분석 및 세부 사항의 결정

대안에 대한 의사결정이 이루어지면, 결정된 대안의 세부적인 요소를 결정하는 새로운 의사결정을 수행한다. 또한, 정량화 가능한 요소의 변화에 의한 대안의 이동 폭을 살펴보고, 그에 따른 최대 허용기준을 산출한 뒤 비용의 측면에서 최소화된 디자인의 사양을 결정한다. 세부적인 요소를 결정하는 AHP 모형은 상위 기준이 없는 하위 기준만으로 이루어진 3 단계 AHP 모형을 사용한다.

5. 사례 연구

본 논문에 제시된 인버터 디자인 선정의 AHP 모형을 적용한 기업은 현재 인버터 시장에 진입을 원하는 xx전기회사이다. 쌍별 비교 행렬을 만들기 위해 연구 집단(20명), 엔지니어 집단(20명), 도매상 집단(20명)에게 각각 설문지를 전달했으며, 모든 설문지를 회수한 결과, 그 중에서 일관성 지수인 C.I. 값이 0.1이하인 설문지43매(연구 집단:17명, 엔지니어 집단:14명, 도매상 집단:12명)만을 이용하여 쌍별 비교 행렬을 만들었다. 결과는 다음과 같다.

표 3. 인버터 디자인 선정 결과

		소형	중형	대형
연구 집단	가중치	0.378	0.322	0.300
	우선 순위	1	2	3
엔지니어 집단	가중치	0.187	0.221	0.592
	우선 순위	3	2	1
도매상 집단	가중치	0.300	0.316	0.384
	우선 순위	3	2	1
전체	가중치	0.260	0.249	0.491
	우선 순위	2	3	1

앞에서 선택된 대형 제품을 기준으로 세부 기능의 요소 중 정량화가 가능한 요소인 가격과 소형 정량화에 정량적인 방법론을 도입한 제품(대형1, 대형2, 대형3)에 대한 의사 결정 과정은 다음과 같다. 먼저 정량화하지 않은 나머지 세부 기능들에 대해서는 대형1, 대형2, 대형3의 순서로 정성적 우위를 가지고 있다고 평가했으며, 가격(최소값:220만원, 최대값:370만원)은 대형1이 365만원, 대형2가 306만원, 대형3이 235만원이고 소형 정량화(최소값:70m³, 최대값:550m³)는 대형1이 487.2m³, 대형2가 337.5m³, 대형3이 73.2m³ 이다. 평가 기준의 가중치는 2.5 에서 열거한 순서대로 각 0.254, 0.045, 0.023, 0.072, 0.076, 0.162, 0.021, 0.347 로 계산되었다. 최종 결과는 다음과 같다.

표 4. 인버터 세부 디자인 선정 결과

		대형1	대형2	대형3
전체	가중치	0.345	0.203	0.452
	우선 순위	2	3	1

가격에 대한 민감도 분석은 대상 제품만의 가격을 변화시킬 경우, 대안 선택의 변화를 보고자 하였다. 그 결과는 다음 그림 2 에서 보는 바와 같다.

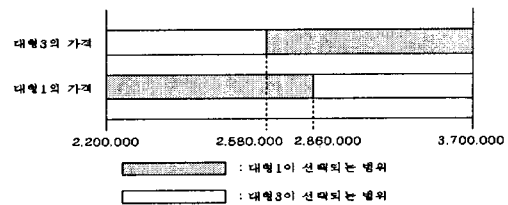


그림 2. 민감도 분석(가격)

6. 결론

본 논문에서는 신제품의 디자인 선정에 대한 의사 결정을 위한 AHP 모형을 제시하고 의사 결정이 반복적으로 이루어지는 생산자의 합리적이고 신속한 의사 결정을 위해 민감도 분석도 가능한 정량화를 통한 의사 결정 프로세스를 구축하였다.

사례 연구의 경우 하위 기준들이 기술적 부분에 치우쳐 고른 분포를 가지지 못하였다. 그러나, 정량화 및 민감도 분석에 대한 간단한 실험을 수행하여 정확한 의사 결정 기준을 제공하였다.

7. 참고 문헌

- [1] 장승식, 인버터 응용 매뉴얼, 기다리, 1995.
- [2] 전기 저널, 1998.4, pp.26.
- [3] 최낙환, 도정완, "AHP 접근법에 의한 마케팅 의사결정" 1997, pp.47-49.
- [4] 전력 변환 장치 현황, 한국 전기 연구소, 1994.
- [5] 전기 저널, "차세대 범용 인버터" 1998.8.
- [6] LG 산전, LG 인버터 응용 기술집, 1999.
- [7] Vargus, L. G. 『An Overview of the Analytic Hierarchy Process and its Applications』, (European Journal Operational Research, Vol.48, 1990), pp.3.
- [8] Saaty, T. L. 『The Analytic Hierarchy Process』, (McGraw-Hill, New York, 1980), pp.3-10.