

☒ 응용논문

퍼지만족함수를 이용한 강건 시스템 설계전략

- Strategies for Robust System Design Using Fuzzy Satisfaction Function -

황 인극*

Hwang, In Keuk

박 동진*

Park, Dong Jin

Abstract

With the increasing complexity of man-made systems, computer simulation has become a widely used tool for the design and analysis of complex system. When computer simulation is used for the purpose of system design, the analysts want to develop strategies to achieve some pre-defined target condition for an output of interest while simultaneously minimizing its variance. The goal of this research is to develop and demonstrate a new method for the design of robust systems with multiple responses using the fuzzy satisfaction function and computer simulation experiments.

1. 서론

시뮬레이션의 모델 설정은 특성상 보통 확률적 현상으로 표출되기 때문에, 좋은 결과를 얻기 위해 일반적으로 사용되는 모수 공간을 이용한 탐색기법으로는 좋은 결과를 얻을 수 없는 실정이다[4]. 그리고, 모든 시스템은 시스템을 설계할 때, 중요하다고 생각되는 하나 이상의 반응들을 가지고 있다. 이러한 반응들은 서로 상관관계를 형성하고 있기 때문에 원하는 성과를 얻기 위해서는 설계 변수들과의 변동으로 나타나는 관계를 충분히 고려해야 한다.

다꾸지는 시스템 설계시 관심을 가지고 있는 반응들에 대하여 설계하고자 하는 시스템이 여러 가지 잡음환경들(noise environments)에 강건(robust)할 수 있도록 그 반응들에 대한 평균과 분산을 동시에 고려할 수 있는 방법을 제시하였다. 그의 전략의 핵심은 "모수 설계(parameter design)" 방법과 "신호 대 잡음 비율(signal to noise ratio)" 방법을 사용한 강건 설계(robust design)라고 할 수 있다. 그러나 불행하게도 이러한 그의 접근 방법은 많은 비판을 이끌어 냈다 [3].

이 논문의 주요 목적은 시뮬레이션의 실험을 사용하여 여러 반응들을 가지고 있는 시스템을 강건하게 설계하기 위한 새로운 방법을 전개하는데 있다. 시스템을 강건하게 한다는 의미는 시스템 설계 및 운영 시 통제할 수 없는 변수들(noise variables, 잡음변수)의 출현으로 인하여 시스템이 영향을 받을 수 있는데, 그러한 변수들로부터 민감하지 않는(insensitive) 시스템을 구현하는 것을 의미한다.

* 공주대학교 산업과학대학 산업공학과

다양한 반응들을 가진 시스템을 강건하게 설계한다는 것은 사실상 매우 어려운 일이다. 왜냐하면, 각 반응들에 대한 목표의 기준(즉, 기준이 망대(larger-is-better) 특성이냐, 망소(smaller-is-better) 특성이냐, 혹은 망목(nominal-is-better) 특성이냐에 따라)이 틀리고, 그것들의 범위 혹은 크기 기준이 다르기 때문에 한가지 단일화되어진 기준이 설정되지 않는다면, 사실상 이러한 유형의 문제는 풀기 어렵다. 최근 Pignatiello [6]에 의해 처음으로 여러 반응들을 동시에 고려한 강건 설계를 위한 여러 가지 전략들이 제시되었다. 그의 전략들은 모든 품질 특성이 망목특성을 가진다는 가정 하에 전개한 것들이었다.

만약 나타나는 모든 반응들의 값들을 퍼지만족함수(fuzzy satisfaction function:FSF), (생산자나 소비자들이 제품의 반응을 판단하는데 있어, 주관적 만족도에 의해 만들어 지는 퍼지함수), 를 사용하여 나타난 반응들이 0과 1사이의 값을 갖도록 변형시킨다면, 모든 반응들을 가지고 있는 단위나 크기에 관계없이 공통된 크기와 범위로 표현할 수 있다. 그 때, 평균과 분산을 동시에 고려 할 수 있는 전략을 전개함으로써, 강건한 여러 반응을 가진 시스템 설계를 얻을 수 있을 것이다.

2. 퍼지만족함수 (Fuzzy Satisfaction Function)

여기서 두 가지 함수를 고찰해 보기로 한다. 첫 번째 함수는 망대특성과 망소 특성에 쓰일 수 있는 한쪽 측면(One-sided)만을 고려한 퍼지만족함수와 망목특성과 같이 양면(Two-sided)을 고려한 퍼지만족함수를 고려해 보기로 하자.

2.1 한쪽 측면만을 고려한 퍼지만족함수 (One-sided fuzzy satisfaction function)

퍼지만족함수는 반응값이 허용할 수 있는 반응값들의 영역에 포함된 목표값에 얼마나 근접하게 접근하고 있는가를 나타내는 척도(a scale invariant measure)라고 할 수 있다. 반응값들은 생산자의 주관적 만족정도에 따라 각 반응의 값은 0에서 1까지의 범위를 가지게 될 것이다. 허용할 수 없는 반응에 대해서는 0의 값을 주어 생산자가 그 반응에 대해 받아들일 수 없음을 표시하고, 기준이상의 반응 값에 대해서는 1의 값을 주어 생산자가 그 반응에 대하여 만족하고 있음을 표시할 수 있다. 퍼지만족함수는 생산자의 판단에 따라 많은 형태의 0과 1사이의 다양한 형태의 비감소함수(nondecreasing function: 망대특성의 경우) 혹은 비증가함수(non-increasing function: 망소특성의 경우)로 만들어 질 수 있다.

망대특성을 갖는 어떤 반응 y_i 에 대하여, 하나의 반응 측면만을 고려한 FSF는 다음과 같이 주어질 수 있다.

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } u_i \leq e_i \\ \left(\frac{l_i - u_i}{l_i - e_i}\right)^r & \text{if } e_i \leq u_i \leq l_i \\ 1 & \text{if } u_i \geq l_i \end{cases} \quad (2.1)$$

위의 식에서, 어떤 반응 i 에 대하여 생산자가 참을 수 있는 범위를 $e_i \leq u_i \leq l_i$ 이라고 하고, 그 때 e_i 는 받아들일 수 있는 최저 값이라 하고, l_i 는 반응 i 에 대하여 만족할 수 있는 값 중 최저 값이라 하였다. 이 때 u_i 는 나타난 반응의 만족의 정도를 나타낸다. 그리고 세 변수사이의 관계는 $[e_i, l_i]$, $e_i \leq u_i \leq l_i$ 로 표시할 수 있다. 또한, r 의 적절한 사용은 사용자에게 함수사용에 탄력성을 부과할 것이다. 즉, 어떤 생산자가 e_i 이상의 값에 대하여 대단히 관심을 가지고 있다면, r 은 큰값이 선택되어질 수 있고, r 의 작은 값의 사용은 그와 반대 경우로 해석되어 질 수 있다. 위의 식을 사용하여 한쪽 측면을 고려한 퍼지만족함수, 즉 망대특성의 경우, 는 그림2.1과 같이 만들어 질 수도 있다.

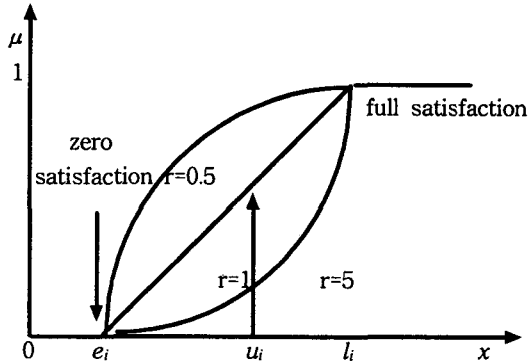


그림2.1 r에 대하여 한쪽 측면을 고려한 퍼지만족함수

위의 예를 통하여, 망대특성을 설명하였지만, 생산자 입장에서 여러 가지 퍼지만족함수가 제시될 수 있으며, 또한 망소특성의 경우도 동일하게 적용시켜 나갈 수 있다.

2.2 양면을 고려한 퍼지만족함수(Two-sided fuzzy satisfaction function)

양면을 고려한 퍼지만족함수는 망목특성을 가지고 있는 반응에 사용되어 질 수 있다.

그림 2.2의 그래프를 이용하여 양면을 고려한 퍼지만족함수를 전개할 수 있다. 일반적으로, 반응에 대한 만족의 정도에 대하여 3개 점(e_i, t_i, l_i)을 사용하여 표현하여 사용할 수 있기 때문에 퍼지숫자 중에서 삼각퍼지숫자 (triangular fuzzy number)를 사용할 수 있다. 예를 들면, 3개 점(e_i, t_i, l_i)은 그림2.2과 같은 퍼지숫자가 되고 이 때 각 숫자들의 소속함수는 다음과 같이 정의되어 질 수 있다.

$$\mu_i(x_i) = \begin{cases} 0 & \text{if } u_i < e_i \text{ or } u_i > l_i \\ \left[\frac{u_i - e_i}{t_i - e_i} \right]^m & \text{if } e_i \leq u_i \leq t_i \\ \left[\frac{l_i - u_i}{l_i - t_i} \right]^n & \text{if } t_i \leq u_i \leq l_i \end{cases} \quad (2.2)$$

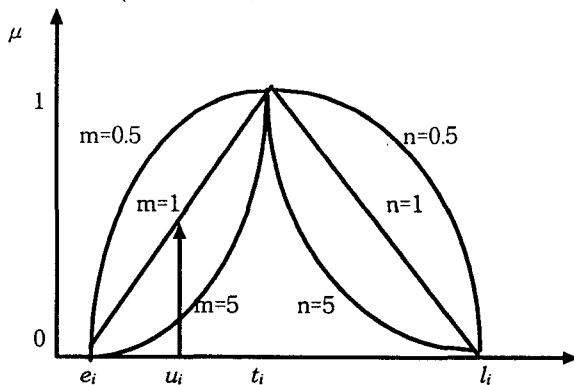


그림2.2 s와 t에 대한 양쪽측면을 고려한 퍼지만족함수

만약 생산자가 공정이나 시스템의 반응에 대하여 만족한다면, 만족도는 1로 표현되어지며, 만약 받아지기 힘든 반응이 나타난다면, 그 때 만족도는 0의 값이 주어질 것이다. 원하는 결과와 반응사이의 차가 클수록 만족도는 낮아질 것이며, 차가 좁을수록 만족도의 값은 커질 것이다.

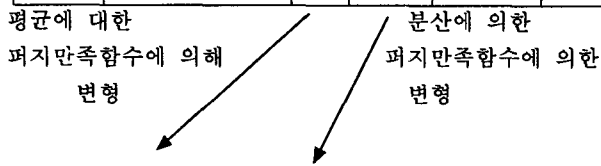
3. 방법론

이 장에서는 퍼지만족함수가 어떻게 다양한 반응들에 적용되는가를 설명하고, 통제변수 (control variable: CV)와 잡음변수(noise variable: NV)들이 어떻게 결합되며, 최적의 강건설계를 나타내는 디자인 점은 어떻게 결정되는가를 설명하게 될 것이다.

표 3.1은 통제변수와 잡음변수, 평균과 분산사이의 관계를 나타내고 있다. 여기서 p 개의 품질특성이, m 개의 잡음변수의 조합이, k 개의 통제변수의 조합이 존재한다고 가정하자. 즉, y_{ijl} 의 의미는 j 번째 잡음조건(noise condition)하에 i 번째 제품 디자인 점에 나타나는 l 번째 품질특성의 반응이라고 하자. 그리고, μ_{ik} 를 x 번째 디자인 점에서 i 번째 반응에 대한 평균값을 나타낸다고 하고, σ_{ik}^2 를 x 번째 디자인 점에서 i 번째 반응에 대한 분산이라 하자.

표3.1 변수들과 평균, 분산과의 관계도 및 FSF에 의한 변수의 변환표

	품질특성 1						품질특성 p									
	1	2	...	j	...	m		평균	표준편차	1	2	...	j	...	m	평균	표준편차
1	y_{111}	y_{112}	...	y_{11j}	...	y_{11m}	μ_{11}	σ_{S11}		y_{11p}	y_{112p}	...	y_{11jp}	...	y_{11mp}	μ_{1p}	σ_{1p}
2	y_{211}	y_{212}	...	y_{21j}	...	y_{21m}	μ_{21}	σ_{21}		y_{21p}	y_{212p}	...	y_{21jp}	...	y_{21mp}	μ_{2p}	σ_{2p}
...
i	y_{i11}	y_{i12}	...	y_{i1j}	...	y_{i1m}	μ_{i1}	σ_{i1}		y_{i1p}	y_{i12p}	...	y_{i1jp}	...	y_{i1mp}	μ_{ip}	σ_{ip}
...
k	y_{k11}	y_{k12}	...	y_{k1j}	...	y_{k1m}	μ_{k1}	σ_{k1}		y_{k1p}	y_{k12p}	...	y_{k1jp}	...	y_{k1mp}	μ_{kp}	σ_{kp}



	반응특성 1		반응특성 p	
	평균	표준편차		평균	표준편차
1	$F\mu_{11}$	$F\sigma_{S11}$		$F\mu_{1p}$	$F\sigma_{1p}$
2	$F\mu_{21}$	$F\sigma_{21}$		$F\mu_{2p}$	$F\sigma_{2p}$
...
i	$F\mu_{i1}$	$F\sigma_{i1}$		$F\mu_{ip}$	$F\sigma_{ip}$
...
k	$F\mu_{k1}$	$F\sigma_{k1}$		$F\mu_{kp}$	$F\sigma_{kp}$

각 반응에 대한 평균과 분산값은 생산자에 의해 제시된 각 반응에 대한 혹은 각 반응의 평균과 분산에 대한 퍼지만족함수를 사용하여, 평균과 분산에 대한 퍼지만족값을 구한다. 그리고 각 실험 점에 나타난 여러 반응들을 종합적으로 평가한다. 이 평가를 위해서 기하 평균을 사용하게 되는데, 이 기하평균의 사용은 생산자가 나타난 반응에 대하여 전혀 만족하지 않은 경우, 즉 0 만족도(즉, 불만족을 의미)를 가진 실험 점을 제거하기 위해 사용되어진다.

퍼지만족함수를 사용하면, μ_{ix} 와 σ_{ix}^2 는 퍼지 값 $F\mu_{ix}$ 와 $F\sigma_{ix}^2$ 로 변형되어 질 것이다. 그 때, 우리는 각 실험 점에서 평균과 분산에 대한 전반적인 만족도를 계산할 수 있다. 즉, 전반적인 평균값은 $F\mu_i = (F\mu_{1x} \times F\mu_{2x} \times \dots \times F\mu_{px})^{1/p}$ 로 분산값은 $F(\sigma_i)^2 = (F(\sigma_{1x})^2 \times F(\sigma_{2x})^2 \times \dots \times F(\sigma_{px})^2)^{1/p}$ 표현되어 진다.

여기서 사용될 전략은 다음과 같다.

3.1. 직접적 최적 방법 (Direct optimization strategy)

평균과 분산에 대한 전반적인 퍼지만족함수의 기하평균($\sqrt[p]{F\mu_i \times F\sigma_i}$, ($i=1, 2, \dots, p$))을 사용하여 결합한 뒤, 반응최적방법 (response surface methodology) 을 사용하여 최적 점을 찾아나아가는 방법을 말한다. 이 방법은 미분이나 복잡한 계산 혹은 과정 없이 간단한 사칙 연산을 이용하여 퍼지 함수를 통해 얻은 평균과 분산, 그리고 반응최적방법을 통해 최적해를 구하는 방법으로, 그 방법이 이해하기 쉽고 간단하고 단순하여 채택되었다. 실험 단계는 다음과 같다.

- (1) 디자인 변수들의 초기 영역을 설정하고 실험을 설계한다.
- (2) 각 반응에 대한 평균과 분산에 대한 퍼지만족함수들을 설정한다.
- (3) 디자인 점 i 에 대하여 여러 조합의 잠음변수를 고려하여 각 반응의 실험 값(y_{ij})을 얻은 후, 각 반응의 평균(μ_{ij})과 분산(σ_{ij}^2)을 구한다.
- (4) μ_{ij} 과 σ_{ij}^2 는 2 단계에서 설정한 평균에 대한 퍼지만족함수와 분산에 대한 퍼지만족함수를 이용하여 퍼지 값 $F\mu_{ij}$ 와 $F\sigma_{ij}^2$ 로 변형한다.
- (5) 각 반응의 만족정도는 두 퍼지 값 $F\mu_{ij}$ 와 $F\sigma_{ij}^2$ 의 기하평균을 계산하여 평가한다. 만약 반응을 나타내는 값이 1에 가까울수록 만족정도가 큰 것을 나타내며, 0에 접근할수록 불만족을 의미하게 된다.
- (6) 여러 반응들로 구성되어 있는 각 디자인 점의 만족정도를 평가하기 위해서 위 5단계에서 구한 값들의 기하평균값을 가지고 전반적인 디자인 점 I의 만족도가 평가될 것이다. 즉, 여러 반응 중에 어떤 하나의 반응에 대하여 불만족의 결과를 나타낸다면, 그 디자인 점은 제거될 것이다.
- (7) 초기 실험 영역으로부터 처음 영역으로부터 충분히 멀리 떨어질 때까지 혹은 더 이상 향상 방향(ascent direction gradient) 따라 적절히 예측 불가능 할 때까지 급경사 상승 (the steepest ascent)방법 계속 시행한다. 그 때, 실험을 위해 새로운 영역이 정의 되어 진다.
- (8) 새로운 영역에서 새로운 실험들을 수행하고, 이 과정은 더 이상 혹은 거의 값의 향상이 없을 때까지 실행한다.
- (9) 최종적으로, 가장 좋은 반응의 값이 발견되어 졌다고 의심하는 영역에서, 이 영역이 가장 좋은 영역임을 확인하기 위하여 증가된 실험을 수행한다.

이 직접 최적해를 찾는 방법은 어떤 종류의 평균(arithmetic or geometric average)을 이용하느냐에 따라 여러 가지 다른 방법들이 제시될 수도 있다. 그러나, 여기서는 단순히 다양한 반응을 가진 시스템의 로버스트 설계를 위한 방법론을 제시하기 위한 것이기 때문에 여러 다른 방법의 설명은 생략하기로 한다.

3.2. 반응 모델 전략 (Response Model Strategy)

반응 모델 전략은 먼저 관찰된 반응들을 모델화 시키고, 그 다음 적합한 모델(fitted model)을 만들 수 있는 가장 좋은 통제 변수들의 조합을 결정한다. 적합한 모델에서 가장 좋은 디자인 점을 찾기위한 문제들을 해결하기 위한 도구로써, 최적화 방법 혹은 반응 최적 방법등이 사용되어 질 수 있다.

이 반응 전략은 처음에 2개의 회귀 방정식(평균과 분산에 대한 각각의 회귀 방정식)을 이용한다. 이 반응의 기본적 사고는 퍼지만족함수를 통해 얻어진 평균에 관한 퍼지 값들, 그리고 분산에 관한 퍼지 값들을 통해 두 개의 회귀 방정식을 만드는 것이다. 두 회귀 방정식을 얻은 다음, 2개의 방정식을 더하여 최종적으로 하나의 회귀 방정식으로 만든다.

만들어진 방정식은 급경사 상승(steepest ascent) 방법을 사용하여, 하나의 회귀 방정식에 대한 가장 좋은 통제 변수의 조합을 찾는 것이다. 여기서 비선형 방법들이 사용 될 수 있지만 쉬운 설명을 위하여 선형 회귀 방정식을 사용하기로 한다.

반응 모델 전략은 다음과 같다.

(1)-(4)의 단계는 위의 직접적 최적해 전략과 동일하다.

(5) 퍼지 값들 $F\mu_i$ 와 $F\sigma_i^2$ 에 대한 적합한 각각의 회귀 방정식을 설정한다.

(6) 두 회귀 방정식들은 서로 더하여 하나의 방정식으로 만든다.

(7)-(9)의 단계는 위의 직접적 최적해 전략과 동일하다.

제시된 또 다른 반응 모델 전략은 두 회귀 방정식(평균과 분산에 대한)을 이용하는 방법이다. 하나의 방정식은 목적함수로, 또 다른 방정식은 제약함수로 설정하고, Box & Draper[2, sec. 6.5]의 "steepest ascent subject to a constraint" 방법을 사용하여 최적의 통제변수를 구하는 것이다. 전략의 단계는 위의 방법과 동일하다.

4. 예

여기에 사용되어진 예는 Pritsker[7]에 의해 제시된 단일 차선에서의 교통신호등 모델이다. 단일 차선 모델의 그림 4-1과 같다. 신호등이 파란색이면 기다리는 차는 출발하여 2초만에 신호등을 지난다. 파랑색의 신호일 때는 차가 기다리지 않고 지체없이 신호등을 지난다. 신호등의 한 주기는 (1) 방향 1에 파랑 신호, (2) 양방향 적신호, (3) 방향 2에 파랑 신호, 그리고 (4) 양방향 적신호로 구성된다고 가정하자.

이 시스템 설계의 목적은 몇 가지 잡음변수 하에 양쪽 방향에서 최소로 차들이 대기하도록 그리고 차의 대기 행렬이 최소화하도록 하면서, 양쪽 방향에서 차의 대기 시간과 대기 행렬의 변동을 줄이는 것이다.

이 예제는 2개의 반응 변수, 4개의 통제변수, 그리고 2개의 잡음변수들로 구성된다. 첫 번째 반응변수는 양방향에서 차들의 대기시간이고, 두 번째 반응변수는 양방향 차들의 대기행렬이다.

4개의 통제 변수는 x_i ($i=1, 2, 3, 4$)로 표시되며, 이것은 위에서 설명한 4 단계로 구성된 신호등 한 주기와 같다. 첫 번째 통제변수(x_1)는 방향 1에서 파랑 신호의 길이를 나타내며, x_2 는 양방향 적신호의 길이를 나타내며, x_3 는 방향 2에 푸름 신호의 길이를, 그리고 x_4 는 양방향 적신호의 길이를 나타낸다.

2개의 잡음변수는 N_i ($i=1,2$)로 나타내며, N_1 은 방향 1에서 차들의 도착사이시간(inter-arrival time)을, N_2 는 방향 2에서 차들의 도착사이시간을 나타내며, 두 잡음변수 모두지수분포를 갖는다고 한다. 모의실험을 위한 각 변수들 과의 관계는 표 4.1에서 나타난다.

표 4.1 교통 신호등 모델에서의 통제-잡음 변수들의 관계도

				Y ₁				Y ₂			
				1	1	-1	-1	1	1	-1	-1
				1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
X ₁	X ₂	X ₃	X ₄								
-1	-1	-1	-1								
1	-1	-1	1								
-1	1	-1	1								
1	1	-1	-1								
-1	-1	1	1								
1	-1	1	-1								
-1	1	1	-1								
1	1	1	1								

참고: -1과 1은 각각 "Low"와 "High"의 요소 수준을 의미한다.

통제변수 x_i에 관한 변화의 효과를 측정하기 위하여, 2⁴⁻¹ 일부실험, Resolution IV,가 사용되며, 분산의 효과를 측정하기 위하여, 잡음변수 N_i는 각 반응에 대하여 2²요인실험을 사용하였다. 통제-잡음변수의 최대, 최소값은 표 4.2에 나타난다

표4.2 통제-잡음변수의 범위

변수들	최소값	최대값
x ₁	30	90
x ₂	30	90
x ₃	30	90
x ₄	30	90
N ₁	8	12
N ₂	5	9

그림 4.1에서 그림 4.4는 교통 신호등 모델에 대한 퍼지만족함수를 나타낸다. 각 전략들의 결과는 표4.3에서 주어진다.

표4.3 각 전략의 향상률에 대한 비교

전략	반응최적방법(RSM)	시작점	향상률
직접적 최적 전략 1(D1)	52.6, 32.3, 41.9, 30.1	60, 60, 60, 60	15.22%
퍼지만족값	0.7636	0.6485	
직접적 최적 전략 2(D2)	49.8, 30.5, 36.8, 34.8	60, 60, 60, 60	26.58%
퍼지만족값	0.8358	0.8358	
반응 모델 전략 1(R1)	48.3, 30.1, 39.6, 31.4	60, 60, 60, 60	29.01%
퍼지만족값	0.7978	0.6184	
반응 모델 전략 2(R2)	69.1, 30.5, 45.8, 30.2	60, 60, 60, 60	16.67%
퍼지만족값	0.7881	0.6755	

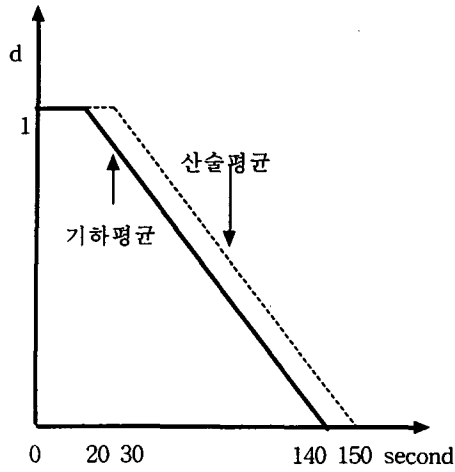


그림 4.1 평균에 대한 대기 시간에 대한 퍼지만족함수

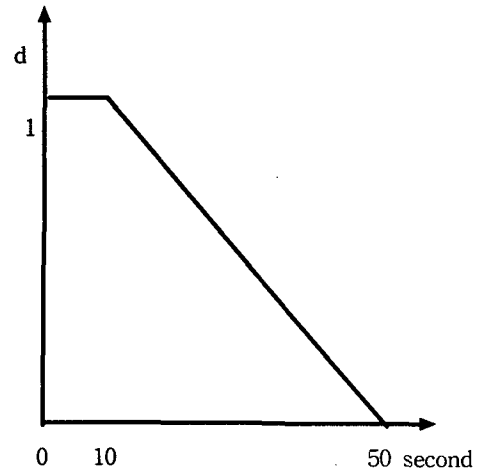


그림 4.2 표준편차에 대한 대기 시간에 대한 퍼지만족함수

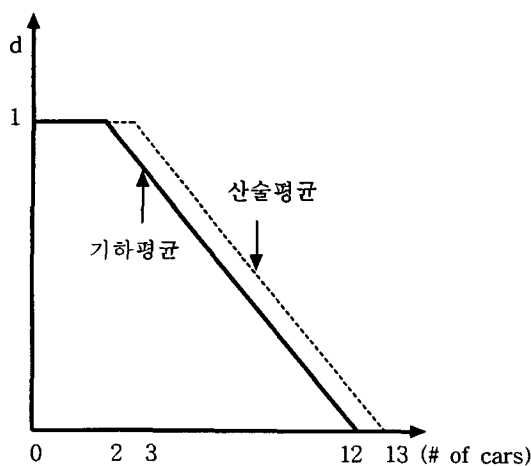


그림 4.3 평균적으로 대기 행렬에 대한 퍼지만족함수

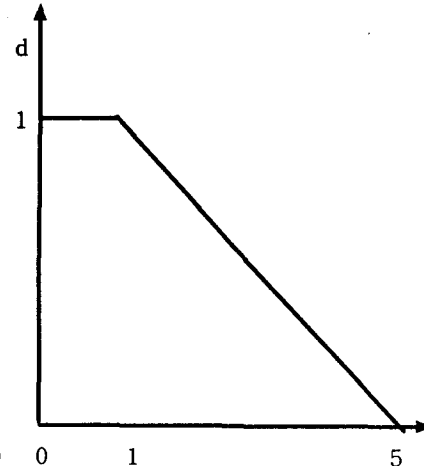


그림 4.4 표준편차에 대한 대기 행렬에 대한 퍼지만족함수

표4.3에서 사용된 향상률이란 최대값과 최소값의 평균점을 시작점(starting point)으로 설정하여, 시작점에서 각 전략들의 퍼지만족도를 계산한 후, 그 값들에 대한 각 전략의 최종점에서 계산된 퍼지만족도에 대한 비율을 나타낸다. 만약 기존에 퍼지만족함수를 사용하여 다양한 반응에 대한 전략이 출판되어 있다면 그 전략과 비교하여 현 전략들의 우수성을 제시하여야 함에도, 그러한 전략을 발견할 수 없어 향상률 방법을 선택하여 4가지 전략들을 비교하였다.

4개의 제시된 전략중 첫 번째 반응전략모델이 29.01%의 향상률을 보임으로 단일 차선 교통 신호등 예에서는 가장 좋은 전략으로, 첫 번째 직접적 최적 전략은 15.22%의 향상률과 함께, 가장 좋지 못한 결과를 나타내고 있다. 첫 번째 전략은 어려운 수학을 필요하지 않고 단순하고, 이해하기 쉽다는 이유로 선택되었지만 그 결과는 가장 우수하게 나타남을 알 수 있다. 반응모델 전략들은 어떤 반응을 목적함수로 선택하느냐에 따라 그 결과에 민감하게 영향을 미치는 것으로 판단되었다[3]. 특히, 다루는 반응들이 정반대의 특성을 지니고 있을 경우, 반응모델을 선택시, 목적함수와 제약 함수의 신중한 선택이 필요하다.

5. 결론

이 논문에서는 퍼지만족함수를 사용하여 다양한 반응 문제에 적용할 수 있는 몇 가지의 전략들을 제시하였다. 퍼지만족함수를 사용한 제시된 전략들은 강건하기 원하는 일반적인 시스템 설계에 적용할 수 있을 뿐만 아니라, 강건한 제품 설계를 위해서도 사용할 수 있다. 또한 제시된 전략들은 반응들에 의해 계산된 평균치는 생산자가 원하는 반응의 기대값에 근사하게 만들면서 그리고 잡음변수들에 의한 야기되는 분산에 대해서 민감하지 않게 하려는, 두 가지 목적을 해결함으로써 여러 반응에 대한 강건 설계를 만들 수 있는 방법들을 제시하였다. 이 전략들은 망목 특성 뿐만 아니라 망소, 망대 특성에도 적용할 수 있는 사고들을 통하여 여러 반응들에 대한 강건 설계를 위한 새로운 방법을 제안하였다.

참고문헌

- [1] 이광형, 오길록, 퍼지이론 및 응용, 홍릉과학출판사, 1991.
- [2] Box, G. E. P. and Draper, N. R., Empirical Model-Building and Response Surfaces, John Wiley & Sons, New York, 1988.
- [3] Hwang, I., Strategies for Multiple Response Robust Quality Engineering Using Desirability Functions, Ph.D Dissertation, Texas A&M University, College Station, TX, 1996.
- [4] Kleijnen, J. P. C., Statistical Tools for Simulation Practitioners, Marcel Dekker, Inc., New York, 1987.
- [5] Lin, D. K. and Tu, W., "Dual Response Surface Optimization", Journal of Quality Technology, Vol. 27, No. 1, pp34-39, 1995.
- [6] Pignatiello, J. J. Jr., Strategies for Robust Multiresponse Quality Engineering, IIE Transactions, Vol. 25, No. 1, pp1-15, 1993.
- [7] Pritsker, A. A., Introduction to Simulation and SLAMII, John Wiley & Sons, New York, 1995.