

Strategic Pricing Framework for Closed Loop Supply Chain with Remanufacturing Process using Nonlinear Fuzzy Function

Jinbae Kim · Taesung Kim · Hyunsoo Lee[†]

School of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology

재 제조 프로세스를 가진 순환 형 SCM에서의 비선형 퍼지 함수 기반 가격 정책 프레임워크

김진배 · 김태성 · 이현수[†]

국립 금오공과대학교 산업공학부

This paper focuses on remanufacturing processes in a closed loop supply chain. The remanufacturing processes is considered as one of the effective strategies for enterprises' sustainability. For this reason, a lot of companies have attempted to apply remanufacturing related methods to their manufacturing processes. While many research studies focused on the return rate for remanufacturing parts as a control parameter, the relationship with demand certainties has been studied less comparatively. This paper considers a closed loop supply chain environment with remanufacturing processes, where highly fluctuating demands are embedded. While other research studies capture uncertainties using probability theories, highly fluctuating demands are modeled using a fuzzy logic based ambiguity based modeling framework. The previous studies on the remanufacturing have been limited in solving the actual supply chain management situation and issues by analyzing the various situations and variables constituting the supply chain model in a linear relationship. In order to overcome these limitations, this paper considers that the relationship between price and demand is nonlinear. In order to interpret the relationship between demand and price, a new price elasticity of demand is modeled using a fuzzy based nonlinear function and analyzed. This paper contributes to setup and to provide an effective price strategy reflecting highly demand uncertainties in the closed loop supply chain management with remanufacturing processes. Also, this paper presents various procedures and analytical methods for constructing accurate parameter and membership functions that deal with extended uncertainty through fuzzy logic system based modeling rather than existing probability distribution based uncertainty modeling.

Keywords : Remanufacturing, Closed loop Supply Chain Management, Ambiguous Type Uncertainty, Fuzzy Nonlinear Control, Price Elasticity of Demand

1. 서론

공급사슬 관리(SCM, Supply Chain Management)에서

의 큰 이슈 중 하나는 지속 가능한 제조 및 서비스의 운영으로 이는 4세대 공급사슬관리를 추진 중인 여러 기업들의 주요한 경영 목표로 추진되고 있다[1, 8]. 이를 위하여 많은 기업들은 다양한 방법의 지속가능 기술을 연구함과 더불어, 제품 회수 및 재활용 공정의 관리가 내재된 순환 형 공급사슬관리(Closed-loop SCM) 구현에 노력을

Received 27 November 2017; Finally Revised 5 December 2017;
Accepted 11 December 2017

[†] Corresponding Author : hsl@kumoh.ac.kr

기울이고 있다.

여러 순환 형 공급사슬관리를 위한 대상 중 하나인 회수와 재활용은 기업경영의 지속가능만을 보장하는 의미가 아니라, 이윤창출이라는 기업의 본질적인 목적에도 부합하는 활동이다. 재활용 프로세스와 관련된 투자의 결과는 낮은 수익률과 장기간의 시간투자에 의한 비용을 추가적으로 동반할 수 있다. 하지만, 스마트 기기(Smart Device)를 제조하는 첨단 산업에서는 빠른 제조 사이클과 짧은 회수기간을 필요로 하므로, 회수와 재활용 기반의 재 제조(remanufacturing) 생산전략을 세우는 것이 보편화되고 있다.

이러한 전략 중 대표적인 사례로서 소비자에게 판매된 제품이 수리 또는 재활용을 위해 재 가공되어 다시 소비자에게 전달되는 프로세스가 탑재한 공급사슬의 추진이다. 이때 회수를 통한 제품의 재 제조가 이루어지면 제품가격, 회수에 들이는 비용, 부품의 가격과 같은 다양한 의사결정 변수와 상황들이 모델링 되고 분석 되어야 한다. 또한 회수에 영향을 주는 요소뿐만 아니라 제조 프로세스 전반에 고려되는 변수들에 대해서도 기존에 관리했던 방법과는 다른 접근이 필요하다.

그러나, 기존의 재 제조에 관한 주요 연구들은 공급사슬 모델을 구성하는 다양한 상황과 변수를 선형관계를 가지고 분석하여 실제 공급사슬관리 현황 및 이슈를 해결하는데 제한이 있었다.

이러한 한계를 극복하기 위한 관련 연구에서 단일 수요자, 단일 공급자가 존재하고 가격과 수요의 관계가 비선형 관계일 때 최적의 가격 및 생산량을 조정하는 전략을 제안하고 있다[2]. 공급사슬에 내재되어 있는 비선형 관계를 다룬 연구에서는 모호성 기반 불확실성(Ambiguity Type Uncertainty)을 다루며, 비선형 퍼지 함수로 모델링 하여 이를 분석한다[9]. 이는 현대 공급사슬 모형이 가지고 있는 난제가 기존의 제어변수들이 가지는 값의 분산보다는 제어변수의 선정과 관련된 모호성에 있으며, 이를 정량화하여 분석하려는 연구동향과 일치한다[3, 6, 11, 14].

이를 위하여 다음 장에서는 회수와 재 제조가 고려된 순환 형 공급사슬과 퍼지 이론을 응용한 공급사슬의 관리 그리고 퍼지 기반 비선형 제어에 관련된 배경 및 기존 연구들을 고찰한다. 제 3장에서는 스마트 기기 중 하나로서 재 제조 프로세스가 일반화되어 있는 스마트 폰 생산 프로세스를 대상으로 본 연구에서 제안하는 프레임워크를 적용한다. 제 4장 및 제 5장에서는 제시된 프레임워크를 통하여 다양한 수요 불확실성이 가미된 시나리오에서의 효율적 가격결정 전략이 이루어질 수 있음을 사례와 함께 보여준다.

2. 이론적 배경

2.1 재 제조 프로세스를 가지는 순환 형 공급사슬

재 제조 프로세스와 관련한 연구에서 비용의 최소화를 목적으로 회수율을 변수로 설정하고, 다양한 회수방법 별로 공급사슬모형을 수립하였다. 이와 관련된 여러 연구들에서 재 제조 프로세스에서 회수율을 가장 중요한 변수로 강조하였고, 회수율의 제어를 위한 모델링 및 최적화가 주요 내용으로 다루어졌다[12].

그러나, 대부분의 연구에서 공급사슬에 내재된 불확실성을 선형함수를 통하여 모델링함으로써 실제의 다양한 비선형적 불확실성을 다루는데 한계를 보여주었다.

2.2 불확실성이 내재된 공급사슬 모형

공급사슬에서 고려되는 모형들이 가지는 불확실성을 다루는 연구에서 분산 형과 모호성으로 불확실성을 구분하며, 이 중 분산 형 불확실성은 확률분포를 사용하여 주로 모델링 하고 모호성에 기반한 불확실성은 퍼지 로직에 기반하여 모델링 하고 있다[9].

확률적 제약조건 기반 계획법(Chance Constraint Programming)에 기반한 연구와 확률적 최적화(Stochastic Optimization) 기법을 통해 분산 형 불확실성이 내재된 공급사슬을 모형화하는 연구가 소개되었다[4, 5].

그러나, 이러한 분산 형 기반의 불확실성 모델링은 현실의 복잡하고, 동적인 불확실성을 반영하는데 한계가 있으며, 이를 위해 모호성 중심의 불확실성 모델링이 많이 연구되고 있다. 본 연구에서는 이러한 추세를 반영하여 공급사슬의 비선형적 수요 불확실성을 모호성 기반으로 모델링하고, 이를 분석한다.

2.3 퍼지 이론을 응용한 공급사슬의 관리

기업이 공급사슬관리 시스템을 도입할 때, 기업의 상황에 걸 맞는 평가 범주들을 체계적으로 확인하여 도입하기 위한 관련 연구에서 퍼지 AHP(Analytic Hierarchy Process)를 이용해 평가 범주들의 중요도를 분석하여 의사결정 할 수 있는 모델을 개발하였다[13]. 또한 공급사슬 관리에서 공급업체의 선정 문제를 결정 하는 연구에서 공급업체 평가 요소들 관계의 중요성에 대한 모호성을 퍼지 ANP(Analytic Network Process)을 이용하여 기존의 퍼지 AHP에서 요소간 독립성 가정을 요소간 의존과 피드백을 내재한 복잡한 네트워크 문제로 확장하여 문제를 해결한다[7].

2.4 퍼지 비선형 계획법

모호성 타입의 불확실성은 주로 퍼지 로직을 사용하여 모델링 되는데, 퍼지 멤버십 함수(Fuzzy Membership Function)의 선형성에 기초하여 선형 퍼지 계획법과 비선형 퍼지 계획법으로 구분된다.

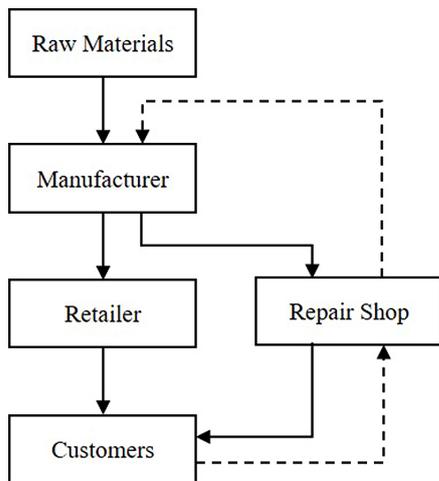
선형 퍼지 계획법에 관련된 관련하여 선형의 퍼지 목적 함수와 제약식을 가지는 문제를 퍼지숫자(Fuzzy Number)를 통하여 그 상, 하한 값을 구하고, 각 한계의 평균을 통해 최적 해를 구하는 방식이 연구되고 있다[3]. 비선형 퍼지 계획법에 서는 주로 비선형의 퍼지 목적함수를 구성하고, 퍼지 연산자 중 하나인 알파 컷(Alpha-cut)을 사용하여 목적함수의 값을 도출하고, 이를 분석하는 방법 등이 제시되고 있다[6]. 일반적으로 퍼지 기반의 수리계획 프로그래밍에서는 주어진 문제마다 퍼지 모델링 및 비 퍼지화(Defuzzification) 과정이 다른 특징을 가진다[10].

본 연구에서는 이러한 퍼지모델을 통하여 불확실한 수요가 내재된 재 제조 공정 및 이를 포함하는 공급사슬을 분석하고 효과적인 가격정책을 도출한다.

3. 순환 형 공급사슬 프레임워크의 설계

3.1 순환 형 공급사슬의 시나리오

본 연구에서 가정하는 재 제조 프로세스를 가지는 순환 형 공급사슬 프레임워크는 <Figure 1>과 같은 시나리오를 가지고 집행된다.



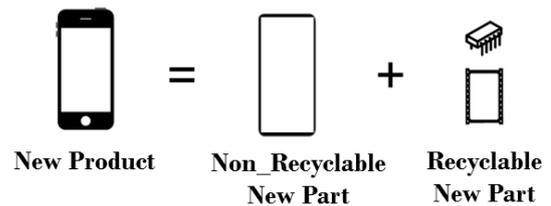
<Figure 1> Main Scenario of Closed Loop SCM

생산공장은 원재료를 공급받아 제품을 생산하고, 생산된 제품은 소매점에 공급된다. 고객은 소매점을 통해 제

품을 구매하게 되고, 구매 후 사용 중이던 제품이 고장이 날 경우 수리 점을 통해 수리하게 된다. 수리 의뢰가 접수되면, 전문 수리 기사 진단을 통해 재활용이 가능한 부품(Recyclable part)일 경우 이를 회수하여 공장으로 보내 재 가공한다. 이러한 서비스를 리퍼비시 서비스(Refurbished Service)라고 하는데, 주로 스마트폰 등의 생산 및 제조 서비스에 사용된다.

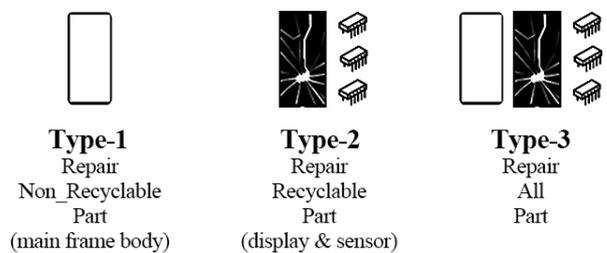
3.2 제품 구성과 고장 유형의 분류

본 연구에서 고려되는 전체 완제품은 <Figure 2>와 같이 재활용 여부에 따라, 재활용이 불가능한 부품과, 재활용이 가능한 부품으로 구성된다.



<Figure 2> New Product Consists of Two Parts

<Figure 3>에서는 제품의 고장 유형을 3가지로 구분한다. 첫 번째 유형은, 재활용이 불가능한 부품만이 고장 나는 경우로서 본 연구에서 대상으로 하는 스마트폰의 경우 전체 외곽 프레임의 균열이 이에 해당된다. 두 번째 유형은, 재활용이 가능한 부품만 고장 나는 경우이다. 이는 스마트폰의 디스플레이나 센서기기의 고장 유형에 해당한다. 마지막 유형은 재활용 가능부품, 불가능 부품 모두가 고장 나는 경우이다. 본 연구에서는 재활용 여부에 따른 부품이 복수가 아닌 단일 부품임을 가정하여 고려한다.



<Figure 3> Three Types of Repair

3.3 수리기호의 표기 및 수리모형

본 연구에서 제안하는 모형의 변수 및 기호표현은 <Table 1>을 따른다.

<Table 1> Definition of Variable

Notation	Description
$F(C_m)$	Manufacturing cost function
C_m	Unit of manufacturing cost
$C_{m,1}$	Unit of manufacturing cost for non-recyclable parts
$C_{m,2}$	Unit of manufacturing cost for recyclable parts
$F(P_r)$	Retail price function
P_r	Unit of Retail price
$P_{r,1}$	Unit of Retail price of the non recyclable parts
$P_{r,2}$	Unit of Retail price of the recyclable parts
$D(P)$	Demand function
τ	The return rate of repaired part
K_S	Scaling parameter
I	Investment in collection activities(cost)
A	Cost of handling a returned unit
Δ	Unit cost savings from recyclable parts

본 연구의 목적은 재 제조 부품이 포함된 제품의 최적 소매가격의 유사 최적 값(Pseudo optimal value)을 도출하는데 있으며, 목적함수는 식 (1)과 같다.

$$Sup D(P)[F(P_r) - F(C_m)] - I - A\tau D(P) \quad (1)$$

수요함수의 경우 기존 연구에서는 $D(P) = \varphi - \beta P$ 와 같이 선형으로 표현한 반면, 본 연구에서는 수요의 불확실성을 표현하기에 보다 적합한 비선형 함수 $D(P) = \gamma - \gamma / (1 + (P_{r,1} + P_{r,2})^{-\beta})$ 을 사용하였다. 선형 수요함수가 가지는 문제점은 <Figure 4>에서 보는 것과 같이 특정 가격에서 과다 예측(Over Forecasting)될 수 있기 때문이다. 이러한 이유를 근거와 더불어 현실상황의 가격에 대한 수요의 경향을 견주어 보았을 때 소매가격이 커지면 수요가 비선형적으로 줄어드는 특징을 반영한 것으로서, 기울기 β 을 모양 파라미터(Shape Parameter)로서 설정하여 제어한다.

$$F(C_m) = C_{m,1} - \tau\Delta \quad (2)$$

$$\Delta = C_{m,1} - C_{m,2}$$

$$F(C_m) = C_{m,1} - \tau(C_{m,1} - C_{m,2})$$

$$F(C_m) = (1 - \tau)C_{m,1} + \tau C_{m,2}$$

$$F(C_m) = \{C_m | 0 \leq \tau \leq 1\}$$

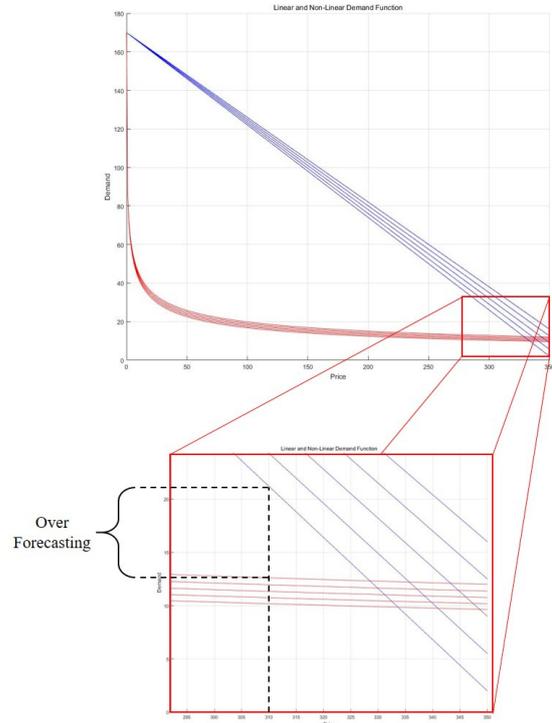
$$F(P_r) = P_{r,1} - \tau\Delta \quad (3)$$

$$\Delta = P_{r,1} - P_{r,2}$$

$$F(P_r) = P_{r,1} - \tau(P_{r,1} - P_{r,2})$$

$$F(P_r) = (1 - \tau)P_{r,1} + \tau P_{r,2}$$

$$F(P_r) = \{P_r | 0 \leq \tau \leq 1\}$$



<Figure 4> Over Forecasting of Linear Demand Function and Shape of Non-linear Demand Function

식 (2)와 식 (3)은 각각 단위 제품 제조비용, 단위 제품 소매가격에 대한 함수이다. 회수율 τ 가 $[0, 1]$ 값 사이의 실수를 가짐에 따라 모든 제품이 회수 되었을 때를 $\tau = 1$ 이라 할 수 있으며, 곧 $C_m = C_{m,2}$ 라고 할 수 있다. 마찬가지로, 회수활동이 전혀 이루어 지지 않아 회수율이 $\tau = 0$ 인 경우, $C_m = C_{m,1}$ 이라 할 수 있다.

재활용 불가능 부품의 단위 생산비용 $C_{m,1}$ 에서 재활용 부품의 단위 생산비용 $C_{m,2}$ 의 차이를 Δ 라고 할 때, 이는 재활용 부품을 생산 하여 절약 할 수 있는 비용이라 할 수 있고, 제품의 평균 단위당 생산 비용은 $C_{m,1} - \tau\Delta$ 와 같이 표현한다.

따라서 단위 제품 제조비용 함수 $F(C_m)$ 는 식 (2)와 같이 선형결합(Linear Combination)관계를 띄는 함수로 모델링 될 수 있다. 마찬가지로 회수율에 따른 단위 제품 소매가격 함수 $F(P_r)$ 도 식 (3)과 같이 모델링 할 수 있다.

$$\tau = \sqrt{I/K_S} \quad (4)$$

회수된 제품에 대한 관리 및 처리 비용은 A 로 표현하며, 기업이 회수 활동 중 정성적 요인에 대한 비용을 I 로 모델링 하며, 척도 파라미터(Scaling Parameter)인 K_S 로 정량화하여 모델링하고, 회수율 τ 를 구성하는 식 (4)에 포함한다.

4. 비선형 퍼지 계획법 기반의 가격 정책결정 및 프레임워크

4.1 비선형 퍼지 계획법

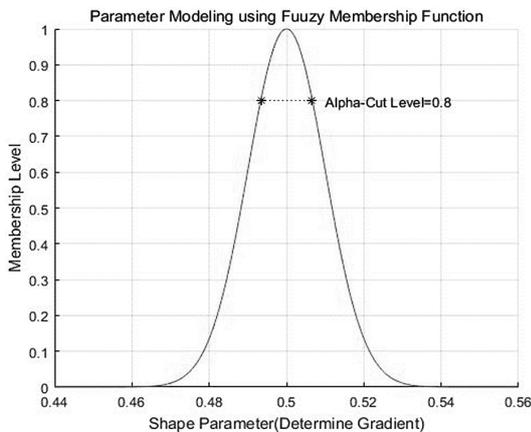
본 연구에서는 제 3장에서 정의한 수요함수의 불확실성을 표현하기 위하여 파라미터인 기울기 β 에 퍼지넘버 $\tilde{\beta}$ 를 적용하여 모델링 한다. 퍼지넘버가 적용된 수요함수 $D(P)$ 는 식 (5)와 같다.

$$\tilde{D}(P) = \gamma - \frac{\gamma}{1 + (P_{r,1} + P_{r,2})^{-\tilde{\beta}}} \tag{5}$$

기울기 $\tilde{\beta}$ 는 연속적인 값을 가질 수 있으므로, 멤버십 함수는 식 (6)과 같이 표현된다.

$$\tilde{\beta} = \int_x \mu_{\tilde{\beta}}(x) dx / x \tag{6}$$

본 연구에서는 <Figure 5>과 같이 가우시안(Gaussian) 타입의 퍼지 멤버십 함수를 기울기 파라미터로 사용하였다.



<Figure 5> Gaussian Type Fuzzy Membership Function

Alpha-cut을 사용한 비 퍼지화를 위하여 본 연구에서는 MeOM(Mean of Maxima)기반의 비 퍼지화를 통하여 $\tilde{\beta}$ 을 추정한다. 식 (5)과 같이 Fuzzy Number가 적용되어 실제의 불확실성이 묘사된 비선형의 수요함수 $D(P)$ 가 구성되면, 목적함수는 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$Sup D(P)[F(P) - F(C)] - I - A\tau D(P) \tag{7}$$

Where, $\tilde{D}(P) = \gamma - \frac{\gamma}{1 + (P_{r,1} + P_{r,2})^{-\tilde{\beta}}}$

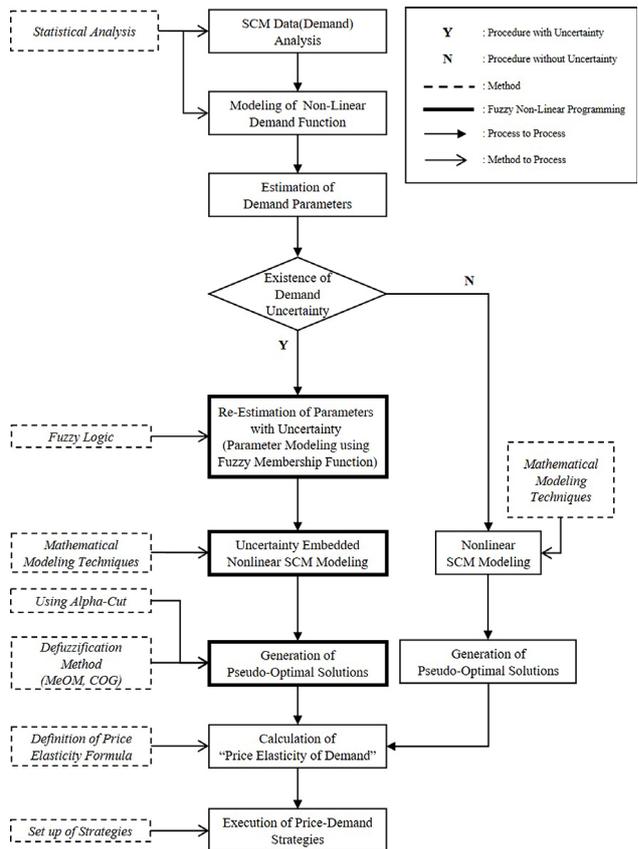
$$F(C_m) = (1 - \tau)C_{m,1} + \tau C_{m,2}$$

$$F(P_r) = (1 - \tau)P_{r,1} + \tau P_{r,2}$$

$$\tau = \sqrt{I/K_S}$$

4.2 비선형 퍼지 계획법을 사용한 프레임워크의 구현

본 절에서는 재 제조 프로세스가 내재된 순환형 공급망의 가격정책 결정을 도출하기 위한 분석 절차를 <Figure 6>과 같이 수립하였다.



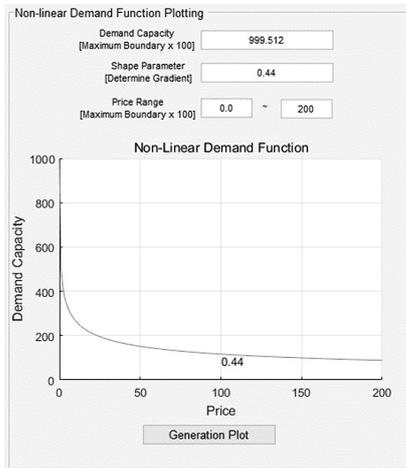
<Figure 6> Strategic Pricing Framework for Closed Loop Supply Chain with Remanufacturing Process

<Figure 7> SCM Data Collection and Analysis

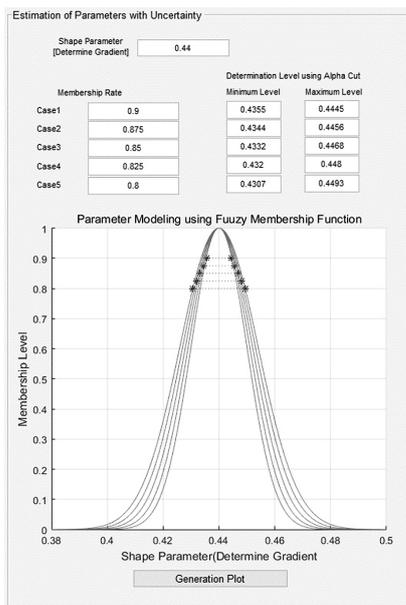
우선 수요, 제조 가격, 판매, 가격, 회수율 등과 같이 공급사슬을 구성하는 요소들에 대한 데이터들을 <Figure 7>과 같이 수집하고 분석한다.

이어서 실제상황을 잘 묘사하기 위해 수요함수를 선형이 아닌 비선형의 형태로 모델링 한다. 그 이유는 수요함수가 선형으로 모델링 될 경우 수요예측에 따른 가격 정책 결정에서 있어서 수요의 과다 예측(Over Forecasting)이 이뤄 질 수 있기 때문이며, 가격의 변화에 따른 수요의 변동이 비선형의 형태를 띠는 현실 상황을 모델링하기 위해서 이다.

과거의 데이터들로부터 비선형 수요함수의 모양을 결정 짓는 기울기 파라미터를 <Figure 8>과 같이 추정한다.



<Figure 8> Slope Parameter Estimation of Nonlinear Demand Function

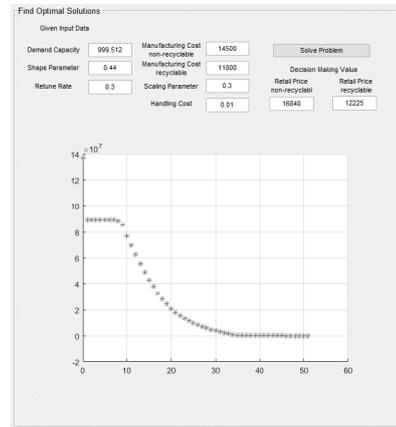


<Figure 9> Estimated Slope with Uncertainty

그리고, 비선형 수요함수의 불확실성을 추가적으로 모델링하기 위하여 <Figure 9>와 같이 퍼지 로직을 사용하여 재 추정한다.

이로써 불확실성이 내재된 수요함수가 구축되면 의사결정 변수인 제조 가격 그리고 모형을 구성하는 변수들인 판매 가격, 회수율이 포함된 공급사슬 수리모형을 모델링 하게 된다.

불확실성이 내재된 비선형 공급사슬 수리모형을 풀기 위해 최적화 알고리즘을 적용하여 의사결정 변수인 제조 가격의 근사 최적 값(pseudo-optimal value)을 찾는다 (<Figure 10> 참조).

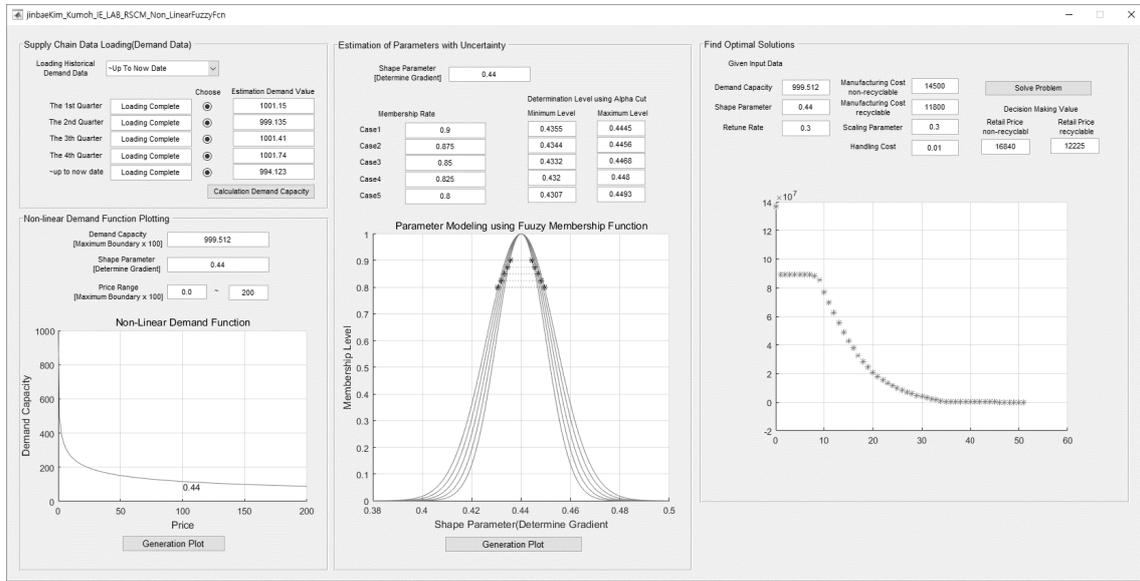


<Figure 10> Pseudo-Optimal Value of Decision Variable

마지막으로, 앞서 구한 의사결정 변수인 제조 가격으로 수요량을 구한 뒤 수요의 변화에 따른 제조 가격의 변화 비율을 비교하여 수요의 가격 탄력성을 구한다. 이로써 불확실한 수요에 대응하는 제조 가격 정책을 결정 지을 수 있는 체계적인 프로세스가 완성된다.

5. 수치실험 및 분석

본 연구에서는 다음 조건($\gamma = 100,000$, $\tau = 0.3$, $C_{m,1} = 14,500$, $C_{m,2} = 11,100$, $K_S = 0.01$, $A = 0.3$)을 상정하여 체계적으로 구현 된 <Figure 11>의 프레임워크를 통해 의사결정 변수인 제품의 소매가격 $P_{r,1}$, $P_{r,2}$ 을 구한다. <Table 2>는 상기 설정 값에 근거하여 비 퍼지화 된 파라미터의 추정 및 이에 기반한 비선형 함수를 풀어 도출한 값들을 정리 하였다. 수요 함수가 선형일 때와 비선형 일 때의 함수 값과 변화 량, 가격의 변화 량, 선형 수요함수 및 비선형 수요함수 각각에 대한 탄력성 그리고 목적함수 값을 보여준다.



<Figure 11> Implement of Pricing Strategy Considering Demand Uncertainty

<Table 2> Numerical Study Result

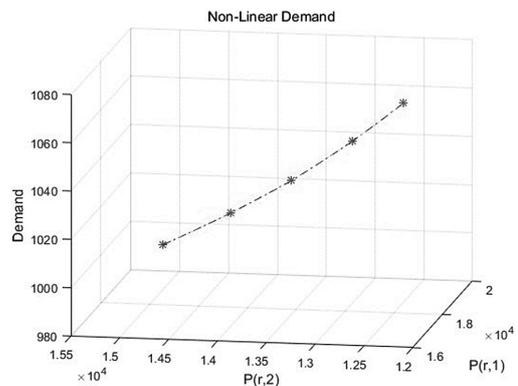
Experimental Conditions	$\gamma = 100,000, \tau = 0.3, C_{m,1} = 14,500, C_{m,2} = 11,100, K_S = 0.01, A = 0.3$				
Defuzzification Set $\tilde{\beta}$	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48
$P_{r,1}$ (unit : \$)	16,840	17,600	18,440	19,115	19,805
$P_{r,2}$ (unit : \$)	12,225	12,860	13,615	14,339	15,140
$P_r = P_{r,1} + P_{r,2}$	29,065	30,460	32,055	33,454	34,945
$D(P)$ (non-Linear)	107,500	95,098	83,874	74,178	65,511
$D(P)$ (Linear)	8,721,100	8,629,300	8,525,500	8,427,700	8,322,600
Over Demand Forecasting	8,613,600	8,534,300	8,441,600	8,353,500	8,257,100
$\Delta D(P)$ (non-Linear)	12402	22335	9696	8667	
$\Delta D(P)$ (Linear)	91,800	103,800	91,800	105,100	
$\Delta(P_r)$	1,395	1,595	1,399	1,491	
E_d (non-Linear)	2.423	2.231	2.649	2.631	
E_d (Linear)	0.219	0.230	0.263	0.280	
Objective Function Value(non-Linear)	244,620,000	273,830,000	274,900,000	270,510,000	263,640,000
Objective Function Value(Linear)	19,845,000,000	24,739,000,000	27,550,000,000	29,773,000,000	32,032,000,000

분석 결과, 수요와 가격은 <Figure 12>에서 보는 바와 같이 비선형 반비례 관계를 보이는데, 보다 정확한 분석을 위하여 식 (10)의 가격 탄력성을 정의하여 분석한다.

$$E_d = \left| \frac{\frac{\Delta D(P)}{D(P)}}{\frac{\Delta P_r}{P_r}} \right| \quad (10)$$

Where, $\Delta D(P) = D(P)_{t+1} - D(P)_t$

And, $\Delta P_r = P_{r,t+1} - P_{r,t}$



<Figure 12> Pricing Strategy Considering Price Elasticity and Demand Uncertainty

수요의 가격탄력성 E_d 는 가격의 변화율 ΔP_r 에 대해 대응하는 수요의 변화율 $\Delta D(P)$ 의 비율을 의미하는데, $E_d > 1$ 의 경우 탄력적이라고 정의하고, $0 < E_d < 1$ 인 경우, 비탄력적이라고 정의한다.

<Table 2>에서 보는 바와 같이 본 예제에서는 비선형 수요함수의 경우 수요의 가격 탄력성이 모두 $E_d > 1$ 의 값을 가지므로, 탄력적이라고 볼 수 있고, 이는 가격의 변화에 따라 수요량이 민감하게 반응한다고 볼 수 있다. 이 경우 시장 동향은 가격에 민감하기 때문에 <Figure 11>과 <Table 2>의 $\Delta D(P)$ 와 ΔP_r 에서 보는 것과 같이 가격이 소폭 하락하더라도 수요량이 가격 하락폭에 비해 상대적으로 크게 증가하기 때문에 전략적 가격 대책이 수립되어야 한다는 것을 보여준다.

반면, 수요함수가 선형인 경우 이와 반대로 탄력성이 0과 1사이의 값 즉, $0 < E_d < 1$ 과 같은 값을 가지게 되면 가격의 변화에 따라 수요량의 변동이 크지 않다는 것이다. 그리고 가격의 변화는 수요함수의 모양을 결정짓는 제어변수 β 의 추정 값에 의해 결정된다. 이는 제어변수인 β 의 추정에 따른 가격 정책 수립이 중요함을 보여준다.

선형 수요함수로 모델링 하였을 때, 앞서 제 3장의 3.3절에서 우려한 바와 같이 수요가 과다 예측되어 비선형 수요함수로 모델링 하였을 경우와의 차이가 큰 것을 <Table 2>에 정리하였다.

6. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 수요데이터에 비선형 기반의 불확실성을 내재하고 있는 재 제조 프로세스를 비선형 퍼지 함수를 사용하여 모델링하고, 이를 분석하는 프레임워크를 제안하였다. 기존의 확률분포 기반의 불확실성 모델링이 아닌 퍼지 로직 기반의 모델링을 통하여 보다 확장된 불확실성을 다루며 정확한 파라미터 및 멤버십 함수를 구성하기 위한 여러 절차 및 분석방법을 구현과 함께 제시하였다.

또한, 비 퍼지화 및 퍼지 비선형 모델을 통하여 도출된 가격을 분석하기 위하여 가격 탄력성 공식을 통해 수요와 가격간의 관계 및 정책을 결정하고 분석할 수 있도록 하였다.

향후 연구과제로 회수율을 구성하는 다른 변수들이 불확실성을 가질 때 여러 유형의 불확실성이 재 제조 프로세스 및 이를 포함한 공급사슬에서 어떻게 영향을 미치는지를 분석하는 것과 퍼지 비선형 모형의 목적함수를 다수로 설정하는 다목적 퍼지 모형의 연구 그리고 제품의 구성이 단일 부품이 아닌 복수의 부품인 경우에 대한 제어가 고려된다.

Acknowledgement

This research was supported by The Leading Human Resource Training Program of Regional Neo industry through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Science, ICT and future Planning grant number(NRF-2016H1D5A1908116).

References

- [1] Apple, Apple Supplier Responsibility 2013 Progress Report, Apple Inc, 2013, pp. 1-37.
- [2] Feng, H., Lv, T., and Lian, W., Supply chain coordination with market scale and price sensitivity coefficient disruptions under nonlinear demand function. *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCom 2007, International Conference on IEEE*, 2007, pp. 4914-4918.
- [3] Gasimov, R.N. and Yenilmez, K., Solving fuzzy linear programming problem with linear membership functions, *Turkish Journal of Mathematics*, 2002, Vol. 26, No. 4, pp. 375-396.
- [4] Gupta, A. and Maranas, C.D., Managing demand uncertainty in supply chain planning, *Computers and Chemical Engineering*, 2003, Vol. 27, No. 8, pp. 1219-1227.
- [5] Gupta, A., Maranas, C.D., and McDonald, C.M., Mid-term supply chain planning under demand uncertainty : customer demand satisfaction and inventory management, *Computers and Chemical Engineering*, 2000, Vol. 24, No. 12, pp. 2613-2621.
- [6] Jameel, A.F. and Sadeghi, A., Solving nonlinear programming problem in fuzzy environment, *Int. J. Contemp. Math. Sci.*, 2012, Vol. 7, No. 4, pp. 159-17.
- [7] Jung, U., Fuzzy ANP Application for Vender Prioritization, *Journal of the Society of Korea Industrial and System Engineering*, 2011, Vol. 34, No. 2, pp. 9-18.
- [8] Kim, J.B. and Lee, H.S., Framework and analysis of nonlinear closed loop scm incorporating remanufacturing process, *Proceedings of 2013 the Fall Conference on Korea Institute of Industrial Engineering*, 2014, pp. 82-93.
- [9] Lee, H.S. and Banerjee, A., Design, Simulation and Analysis of Logistics with Uncertainties, *International Conference on Value Chain Sustainability*, 2009, pp. 1-6.
- [10] Leekwijck, W.V. and Kerre, E.E., Defuzzification : cri-

teria and classification, *Fuzzy sets and systems*, 1999, Vol. 108, No. 2, pp. 159-178.

- [11] Peidro, D., Mula, J., Poler, R., and Verdegay, J.L., Fuzzy optimization for supply chain planning under supply, demand and process uncertainties, *Fuzzy Sets and Systems*, 2009, Vol. 160, No.18, pp. 2640-2657.
- [12] Savaskan, R.C., Bhattacharya, S., and Van Wassenhove, L.N., Closed-loop supply chain models with product re-manufacturing, *Management Science*, 2004, Vol. 50, No. 2, pp. 239-252.
- [13] Seo, K.K., A Fuzzy AHP based Decision-making Model

for SCM System Selection, *Journal of the Society of Korea Industrial and System Engineering*, 2007, Vol. 30, No. 3, pp. 158-164.

- [14] Zadeh, L.A., Fuzzy sets, *Information and Control*, 1965, Vol. 8, No. 3, pp. 338-353.

ORCID

- Jin Bae Kim | <http://orcid.org/0000-0001-5133-8739>
Tae Sung Kim | <http://orcid.org/0000-0002-3674-981X>
Hyun Soo Lee | <http://orcid.org/0000-0001-5512-2986>