

맥주배송게임에서 다구찌 방법에 의한 불확실 정보 기반 의사결정 연구

이기광[†]

단국대학교 경영학부

Decision-Making based on Uncertain Information in a Beer Distribution Game Using the Taguchi Method

Ki-Kwang Lee[†]

School of Business Administration, Dankook University

Information is known to be a key element for the successful operation of a supply chain, which is required of the efficient ordering strategies and accurate predictions of demands. This study proposes a method to effectively utilize the meteorological forecast information in order to make decisions about ordering and prediction of demands by using the Taguchi experimental design. It is supposed that each echelon in a supply chain determines the order quantity with the prediction of precipitation in the next day based on probability forecast information. The precipitation event is predicted when the probability of the precipitation exceeds a chosen threshold. Accordingly, the choice of the threshold affect the performances of a supply chain. The Taguchi method is adopted to deduce a set of thresholds for echelons which is least sensitive to changes in environmental conditions, such as variability of demand distributions and production periods. A simulation of the beer distribution game was conducted to show that the set of thresholds found by the Taguchi method can reduce the cumulative chain cost, which consists of inventory and backlog costs.

Keywords : Meteorological Forecast Information, Taguchi Method, Simulation, Beer Distribution Game

1. 서 론

1990년대부터 지금까지 기업의 경쟁우위를 달성할 수 있는 한 방안으로 공급사슬관리(Supply chain management, SCM)에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 공급사슬관리란 서비스 수준을 만족시키면서 공급사슬 전체 시스템의 비용을 최소화하기 위해 관련 제품의 적정량을 적시에 생산 및 분배할 수 있도록 공급사슬의 모든 구성원 즉, 공급업체, 유통업체, 도매업체 및 소매업체

를 효율적으로 통합 관리하는 일련의 접근방법로 정의 할 수 있다[19]. 즉, 하나의 공급사슬은 제품이 최종 고객에게 전달되는 과정에서 관계되는 공급업체, 유통업체, 도매업체 및 소매업체들의 네트워크로 인식될 수 있다. 네트워크에는 흐름(flow)이라는 것이 존재한다는 측면에서 공급사슬에도 세 가지의 흐름이 존재하는데, 제품흐름, 정보흐름 및 현금흐름이 그것이다[18]. 본 연구에서는 위 세 가지 흐름 중 정보 흐름에 관심을 두고 이를 효과적으로 활용할 수 있는 방법에 대한 고찰을

논문접수일 : 2010년 07월 20일 논문수정일 : 2010년 09월 03일 게재확정일 : 2010년 09월 09일

[†] 교신저자 kiklee@dankook.ac.kr

* 본 연구는 2007년도 한국학술진흥재단의 기초연구과제지원사업(KRF-2007-327-B00216)의 지원으로 수행되었음.

하고자 한다.

최근 정보시스템의 발달로 공급사슬 구성원들간의 정보공유가 양적 및 질적 측면에서 뚜렷한 증가추세를 보이고 있다. 이와 같은 정보공유를 통해 공급사슬 내 구성원들간의 협업이 강조되고 있으며, 이는 공급사슬 전체의 수행도를 향상시키는 경영 성과를 올리고 있다[12, 17]. 이와 같은 공급사슬에서의 정보공유에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는데, 크게 수리적인 연구방법과 시뮬레이션을 활용한 연구방법으로 분류할 수 있다.

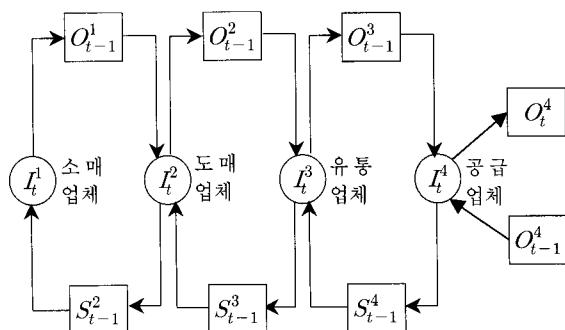
수리적인 방법은 다시 두 가지 접근방법으로 연구가 진행되었는데, 첫 번째는 베이지안 프로세스를 활용하여 수요분포를 보다 정확하게 예측하기 위해 과거 수요프로세스를 분석하는 방법이 있으며[9, 15], 두 번째는 정보흐름을 함께 고려하는 새로운 수리적 모형을 개발하는 것이다. Lanzenauer[13]는 맥주배송게임에 혼합정수 계획모형을 적용하여 기업 간 협력을 통해 공급사슬의 의사결정을 할 때, 주문, 재고, 배송을 포함한 공급사슬 전체 시스템의 성과가 올라갈 수 있음을 보였다. 또한, 두 가지 제품만을 고려한 공급사슬에서 정보흐름의 가치를 분석한 연구도 있는데[20], 이를 통해 두 가지 제품의 미충족된 주문량과 관련된 정보를 활용하는 것이 공급사슬 시스템의 수행도를 향상시킬 수 있음을 보인 바 있다. 지금까지 살펴본 수리적 연구방법은 연구모형 및 결과를 명확하게 분석할 수 있다는 측면에서 강점이 있으나, 공급사슬 시스템 자체의 복잡도와 다양한 상황을 모두 수리적 모형에 반영시킬 수 없는 한계점도 지니고 있다. 이에 따라, 시뮬레이션 모형을 통한 연구방법이 공급사슬 연구에 활용되고 있다.

두 개의 구성원이 존재하는 공급사슬에서 고객의 불확실한 수요에 대처하기 위한 공장생산용량 결정에 관한 의사결정 문제를 시뮬레이션과 수리적 방법을 함께 사용한 연구가 있었고[7], 공급사슬 내에서 공유되는 정보가 틀릴 수도 있는 불확실 정보의 공유문제를 다루고자 맥주배송게임을 시뮬레이션으로 구현하여 분석하기도 하였다[2, 3]. 이와 같은 정보의 불확실성은 의사결정자의 주관적인 판단에 따라 의사결정의 일관성을 상실할 수도 있기에 명확한 판단기준이 필요하다[4]. 특히, 공급사슬 시스템 내 상/하위 단계 기업들의 의사결정은 서로 밀접한 영향을 미친다는 점에서 공급사슬 구성원의 비일관적인 의사결정은 공급사슬 전체의 수행도에 부정적인 영향을 미칠 것이다. 이와 같은 불확실 정보 중에 대표적인 예로서 기상예보를 생각할 수 있는데, 기상정보가 공급사슬, 유통산업, 전력산업 및 레저산업 등 실제 경영의사결정문제에 유용하게 활용되고 있는 사례와 함께 그 가치를 정량적으로 분석한 연구들이 다수 존재한다[3, 5, 8, 14].

이에 본 연구는 공급사슬 내에서 공유되는 불확실 정보를 보다 정량적이며 일관적으로 활용할 수 있는 방안에 대해 대표적인 불확실 정보이면서 실제 공급사슬의 수요예측에 필요한 중요한 요소의 하나인 기상정보를 활용한 공급사슬 의사결정 문제를 분석하고자 한다. 이를 위해 가상의 공급사슬 시스템으로서 맥주배송게임을 시뮬레이션 모형으로 구현하였는데, 맥주배송게임은 원래 공급사슬 시스템의 채찍효과를 입증하기 위해 만들어진 모델이었으나, 최적 재고정책을 결정하는 문제에 이를 활용한 연구가 있으며[6], 재고정보의 가치 및 채찍효과의 원인을 행동론적인 측면에서 분석하기 위해 맥주배송게임을 시뮬레이터로 구현하여 실험을 하기도 하였다[11]. 본 연구에서는 맥주배송게임을 마이크로소프트 엑셀의 매크로를 활용하여 시뮬레이션 모형으로 구현한 후, 강수유무에 의해 맥주 수요가 달라진다는 가정 하에 기상정보로서 강수예보를 활용하여 맥주 수요를 예측하여 공급사슬 내 구성원들의 주문량 및 생산량을 결정하도록 하였다. 이때, 강수예보라는 불확실 정보에 근거하여 기상현상에 따라 특정 분포의 특성을 갖는 맥주 수요를 보다 정확하고 일관되게 예측하기 위한 의사결정방법을 고안하고자 다구찌 실험계획법을 도입하였다. 이를 통해 여러 잡음 요인에 관계없이 상대적으로 우수한 수행도의 의사결정 기준치를 도출할 수 있었다.

2. 연구모형 : 맥주배송게임

맥주배송게임은 그동안 많은 연구가 이 모형을 통해 이루어져 왔으며, 맥주의 수요가 실제 강수 유무에 따라 그 편차가 존재한다는 점에 착안하여 본 연구에서 채택하였다. <그림 1>에서와 같이 소매업체, 도매업체, 유통업체 및 공급업체로 구성된다. 각 업체는 상위단계



<그림 1> 맥주배송게임 공급사슬모형

의 공급업체에게 주문을 하고 하위단계의 고객(또는 업체)에게 주문받은 양을 공급한다. 주문 및 배송 리드타임은 각 단계별로 1일로 가정하며, 맥주수요는 정규분포를 따르고 관련된 평균 및 표준편차는 강수유무 및 다구찌 실험계획법의 잡음인자 수준에 따라 구별하여 할당하게 된다. 단, 공급업체의 생산 리드타임은 생산결정시점으로부터 2일의 리드타임이 소요된다.

<그림 1>의 모형은 각 시점 t ($t=1, \dots, T$)마다 다음과 같은 일련의 사건이 반복된다. 즉, 첫 번째 단계는 상위단계의 공급업체로부터 제품이 배송되고, 두 번째 단계로 새로운 주문이 하위단계의 업체로부터 상위단계 업체로 발송된다. 이 때 소매업체의 경우에는 발송받은 주문은 최종 고객의 수요량이 될 것이다. 세 번째 단계에서는 새로운 주문을 충족시킬 만한 재고량을 보유한 경우 그대로 제품 배송이 이루어지고, 재고량이 주문량에 비해 부족하다면 부족한 만큼을 수주잔량(backlog)으로 처리하게 된다. 그리고, 마지막 단계에서는 t 시점에서의 재고량 또는 수주잔량과 함께 $t+1$ 시점에서의 수요 예측량을 고려해서 주문량을 결정한다. 따라서, t 시점 말에 구성원 i 가 배송하게 될 제품의 양 S_t^i 은 다음과 같이 정의된다.

$$S_t^1 = \min(D_t, \max(I_{t-1}^1 + S_{t-1}^2, 0)) \quad (1)$$

$$S_t^2 = \min(O_{t-1}^1, \max(I_{t-1}^2 + S_{t-1}^3, 0)) \quad (2)$$

$$S_t^3 = \min(O_{t-1}^2, \max(I_{t-1}^3 + S_{t-1}^4, 0)) \quad (3)$$

$$S_t^4 = \min(O_{t-1}^3, \max(I_{t-1}^4 + O_{t-2}^4, 0)) \quad (4)$$

이 때, 위 식에서 t 시점 말에 구성원 i 의 재고량 I_t^i 은 다음과 같다.

$$I_t^1 = I_{t-1}^1 + S_{t-1}^2 - D_t \quad (5)$$

$$I_t^2 = I_{t-1}^2 + S_{t-1}^3 - O_{t-1}^1 \quad (6)$$

$$I_t^3 = I_{t-1}^3 + S_{t-1}^4 - O_{t-1}^2 \quad (7)$$

$$I_t^4 = I_{t-1}^4 + O_{t-2}^4 - O_{t-1}^3 \quad (8)$$

단, D_t 는 t 시점 말의 수요량이며, O_t^i 는 t 시점 말에 구성원 i 가 상위단계의 업체에 발주한 주문량을 나타낸다. 맥주배송게임에서 의사결정은 매 시점마다 각 구성원들의 주문량을 결정하는 것으로서, 이를 위해 본 연구에서는 다음 시점에서의 강수유무의 판단을 근거로 소비자 수요량 또는 하위 단계 업체의 주문량을 예측하여 현재 시점의 재고량을 반영한 주문량을 결정한다. 이와 같은 주문량 결정 공식은 아래 식 (9)와 같다.

$$O_t^i = \text{Max}(ED_{t+1}^i - \sum_{j=1}^i I_t^j, 0) \quad (9)$$

위 식 (4)와 식 (8)에서 O_{t-2}^4 는 최종 공급업체 즉, $t-2$ 시점에서 공장의 주문량(여기서는 상위 구성원이 더 이상 존재하지 않으므로 자신의 생산계획량으로 해석할 수 있다)을 의미한다. 또한 그 생산 리드타임은 2 시점이 소요됨을 알 수 있는데, 이는 다른 하위 구성원들(소매업체, 도매업체 및 유통업체)의 배송은 주문 후 바로 다음 시점에 이루어지는 것과 구별된다.

맥주배송게임 공급사슬의 수행도 평가는 누적 공급사슬비용의 최소화를 목표로 하며, 이 때 매 t 시점에서의 누적공급사슬비용은 공급사슬의 네 구성원들의 재고 및 수주잔량 비용의 총합으로 정의하며, 따라서 전체 T 시점까지의 누적 공급사슬비용은 아래 식 (10)와 같이 계산할 수 있다.

$$C(T) = \sum_{i=1}^4 \sum_{t=1}^T (h_i^i \max(I_t^i, 0) - s_i^i \min(I_t^i, 0)) \quad (10)$$

단, h_i^i 및 s_i^i 는 각각 구성원 i 의 재고 및 수주잔량에 대한 단위비용을 나타내며, 본 연구에서는 Croson and Donohue[11]의 비용구조를 그대로 도입하여 네 구성원 모두가 동일한 재고비용(\$0.5) 및 수주잔량 비용(\$1)을 가진다고 가정한다.

본 연구는 위에서 설명된 강수유무에 따라 고객 수요 변동이 큰 맥주 제품의 배송게임에 있어서 수요나 생산 일정의 미예측 변동 환경 하에서 누적 공급사슬비용을 최소화시키는 것을 목적으로 하여, 공급사슬 내 각 구성원들이 자신의 하위단계 고객의 주문량을 보다 정확히 예측할 수 있도록 주어진 강수예보를 활용하는 최적 기준치를 도출하고자 한다. 이를 위해 환경조건의 변동에도 흔들리지 않는 로버스트(robust)한 예보활용 기준치를 도출하기 위해 다구찌 실험계획법을 활용하고자 한다.

3. 연구 방법론

본 연구에서 활용하게 될 다구찌 실험계획법은 제품 및 프로세스 품질을 향상시키기 위해 실시하는 실험의 설계 및 분석을 수행하는 일종의 실험계획법으로서, 일반 실험계획법과 구별되는 가장 큰 특징은 파라미터 설계에 있다. 이는 기존 실험계획법이 제어불가능한 환경 조건이나 공정조건 등의 원인(잡음인자)을 차단하여 실험을 수행한 것에 대비하여, 다구찌 방법은 이를 환경

조건을 포함하면서 환경조건의 변동에 최대로 강건한 제품 파라미터의 값이나 프로세스 인자의 수준을 결정하는데 사용된다[1, 10].

파라미터 설계의 첫 번째 단계는 제어인자와 잡음인자를 결정하는 것이다. 첫째, 제어인자란 쉽게 그 값을 변경할 수 있는 인자로서, 본 연구에서는 공급사를 내구성원 각각이 주문량을 의사결정하는데 고려해야 할 강수예보의 판단기준을 제어인자로 간주한다. 확률 형태로 주어지는 24시간 강수예보로부터 실제 익일 강수유무를 예측 판단하기 위해서는 임의의 판단기준치가 필요하다[3, 16]. 즉, 강수예보의 확률이 해당 기준치보다 작다면 익일에 강수사건은 발생하지 않는다고 판단하며, 반대의 경우에는 익일 강수가 발생한다고 예측 판단하게 된다. 이와 같은 판단기준은 강수예보가 단순한 강수유무, 즉 확정적 형태로 제공된다면 필요치 않은 개념이나 한국을 비롯한 대다수 선진국들이 확률적 강수예보를 제공한다는 점에서 본 연구에서 제어인자로 도입되었다. 한국의 확률적 강수예보는 10% 단위로 제공되고 있다는 사실로부터 판단기준의 값도 10%에서부터 100%까지 10개가 존재할 수 있다. 따라서, 고려해야 할 제어인자의 수준은 이론적으로 10개가 되어야 하나, 다구찌 실험계획법에서 사용하는 제어인자의 수준 수가 3개 내외라는 점과 판단기준의 값이 40% 내외일 때 강수예보의 가치가 극대화된다는 기존 연구[3, 16]의 결과로부터 본 연구에서는 30%, 40% 및 50%의 3수준만을 제어인자의 수준으로 고려하고자 한다.

둘째, 잡음인자란 그 값을 조절하기가 쉽지 않거나 불가능한 인자로서, 본 연구에서는 맥주 수요량의 변동 및 생산 리드타임의 변동을 잡음인자로 설정하였다. 맥주의 수요는 강수 유무에 따라 달라지는데, 강수가 발생할 경우의 수요량이 그렇지 않는 경우보다 그 수요량이 상대적으로 적을 것이다. 또한, 똑같이 강수가 발생하는 경우나 발생하지 않는 경우라도 수요량이 일정 크기를 유지하지는 않을 것이고 어떤 통계적 분포를 따르고 값이 변동될 것이다. 따라서, 본 연구에서는 수요량의 분포는 정규분포를 따른다고 가정하고 강수 발생시 평균은 25, 강수 미발생시 평균은 55로 지정하였으며, 수요의 변동 즉, 공급사를 구성원들이 제어할 수 없는 잡음인자의 수준을 나타내는 파라미터로서 정규분포의 표준편차를 5와 10 두 수준으로 각각 설정하였다.

두 번째 잡음요소로서 생산 리드타임을 설정하였는데, 첫 번째 잡음요소인 수요의 변동이 최종 수요 측면에서의 변동이라면 두 번째 잡음요소는 최종 공급 측면에서의 변동으로 볼 수 있다. 즉, 공급사들의 외부 환경 요인의 변동으로서 제일 상단과 하단의 변동을 고려하고자 설정한 것이다. 생산 리드타임의 변동 수준, 즉 두

번째 잡음요소의 수준은 계획되었던 생산량의 50%만을 생산하는 이상사건이 특정 확률로 발생한다고 가정하여 1% 및 10% 두 수준의 이상사건 발생 확률로 생산 리드타임의 변동 수준을 설정하였다.

지금까지 정의한 잡음인자에 불구하고 신뢰할 만한 수행도를 얻을 수 있는 제어인자의 최적 수준 조합을 결정하기 위해 본 연구에서 수행하게 될 다구찌 실험계획법은 <표 1>과 같은 변형된 직교배열표를 사용한다.

<표 1> 다구찌 방법의 직교배열표

구 분	내측 배열				외측 배열				SN비
	요인 배치	A	B	C	D	0 0	0 1	1 0	1 1
1	0	0	0	0	y_{11}	y_{12}	y_{13}	y_{14}	SN ₁
2	0	1	1	1	y_{21}	y_{22}	y_{23}	y_{24}	SN ₂
3	0	2	2	2	y_{31}	y_{32}	y_{33}	y_{34}	SN ₃
4	1	0	1	2	y_{41}	y_{42}	y_{43}	y_{44}	SN ₄
5	1	1	2	0	y_{51}	y_{52}	y_{53}	y_{54}	SN ₅
6	1	2	0	1	y_{61}	y_{62}	y_{63}	y_{64}	SN ₆
7	2	0	2	1	y_{71}	y_{72}	y_{73}	y_{74}	SN ₇
8	2	1	0	2	y_{81}	y_{82}	y_{83}	y_{84}	SN ₈
9	2	2	1	0	y_{91}	y_{92}	y_{93}	y_{94}	SN ₉

직교배열표는 크게 내측배열(inner array)과 외측배열(outer array)로 구성되는데, 내측배열은 제어인자들로 이루어진 직교배열이며 외측배열은 잡음인자들로 구성된 직교배열을 의미한다. 외측배열의 주 목적은 제어인자의 적정수준을 선택하는 과정에서 실험 중 외부 환경요인의 잡음 역할을 하는 것인데, 내측배열의 각 제어인자 조합마다 외측배열의 잡음인자 수준 조합을 통해 반복 실험의 효과를 얻게 된다. 위 <표 1>은 내측배열의 인자의 수준은 3개, 외측배열의 인자의 수준은 2개인 경우의 직교배열표를 예로 나타내고 있다.

기존 실험계획법에서는 반복 실험 결과의 평균치를 기준으로 제어인자의 최적 조합을 결정하지만, 다구찌 방법은 각 반복 실험 결과치의 SN비를 계산하여 이를 새로운 특성치로 삼아 분산분석 등을 실시한다. SN비는 원래 통신공학 분야에서 신호 대 잡음의 비율을 나타내는 것인데, 다구찌 방법에서는 평균 대 표준편차의 비율로 재해석하여 목적함수의 특성에 따라 다양하게 정의하여 사용한다. 본 연구의 목적함수에 해당하는 공급사슬 전체의 누적비용은 그 값이 작을수록 좋은 경우로서 망소특성(smaller-the-better characteristics)에 해당하며, 이때 제어인자의 임의의 한 조합의 실험결과에 대한 SN비는 아래 식 (11)과 같이 정의된다.

<표 2> 다구찌 방법의 시뮬레이션 결과

구 분 요인배치	공급사슬계층				잡음요인				SN비	
	A	B	C	D	DF0		DF1			
					SF0	SF1	SF0	SF1		
1	0	0	0	0	3798475	4484242	4005632	4544563	-132.506	
2	0	1	1	1	3695584	3947197	3724331	3964977	-131.675	
3	0	2	2	2	3844671	4171646	4089798	4772630	-132.534	
4	1	0	1	2	3724127	4259390	3787755	4072680	-131.969	
5	1	1	2	0	3850040	3962937	3734173	4096952	-131.851	
6	1	2	0	1	4026122	4311031	4496777	4020556	-132.503	
7	2	0	2	1	4431697	4516395	4422509	4617334	-133.060	
8	2	1	0	2	4228777	4103432	4133964	4248175	-132.422	
9	2	2	1	0	4044532	4408212	4109314	4405385	-132.558	

$$SN = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (11)$$

단, n 은 잡음인자들의 수준별 조합의 총 경우의 수이며, y_i 는 i 번째 잡음인자 조합에서의 실험결과치를 나타낸다. 위 식 (10)에서 볼 수 있듯이 SN비는 그 수치가 클수록 바람직한 것으로 판단할 수 있다.

지금까지 설명한 다구찌 실험계획법을 통한 최적 제어인자의 조합을 찾기 위한 절차는 아래와 같이 요약될 수 있다[1, 10].

- (1) 직교배열표를 사용하여 제어인자들로 이루어진 실험을 구성한다. 이때 잡음인자들의 수준별 조합을 통해 반복측정치가 있도록 한다.
- (2) 각 실험조건의 반복측정치로부터 SN비를 계산한다.
- (3) SN비에 대한 분석분석을 통하여 SN비에 영향을 미치는 제어인자를 찾는다.
- (4) 위 (3)단계에서 찾은 유의한 제어인자들의 최적수준으로부터 SN비를 최대로 하는 수준조합을 찾는다.

4. 연구 결과

<그림 1>과 같은 맥주배송게임에서 강수예보를 활용하여 주문량을 결정함으로써 누적공급사슬비용을 최소로 하기 위한 각 구성원들의 예보 판단 기준치를 제어인자로 설정하여 다구찌 실험계획법을 통해 외부환경요인의 변동에도 신뢰할 만한 최적의 판단기준치 조합을 찾고자 하는 것이 본 연구의 목적이다. 이를 위해 마이크로소프트 엑셀환경에서 매크로를 활용하여 맥주 배송게임을 시뮬레이션으로 구현하고, <표 1>에서의 제

어 및 잡음인자들의 수준별 조합에 따라 시뮬레이션을 수행하여 그 결과치를 도출하였다. 단, 본 연구에 사용된 강수예보 데이터는 기상청이 2003년에서 2005년까지 총 1367일 동안 서울지역의 강수확률을 예측한 자료이다. 또한 실제 강수유무에 대한 판단은 기존 연구[2, 3, 5, 14, 16]에서 사용된 기준을 그대로 적용하여 최소 0.254mm 이상의 강수량이 발생하였을 경우 비가 내린 것으로 간주하였고, 강수유무에 따라 서로 다른 평균을 갖는 정규분포에 따르도록 맥주 수요량을 발생시켰다. 공급사슬의 각 구성원들의 의사결정은 상위 단계의 구성원에게 주문량을 결정하는 것으로서 매시점마다 7의사결정이 진행된다. 주문량의 결정은 제 2장에서 설명한 바와 같이 익일 강수유무에 따른 맥주 수요의 예측량에 근간하는데, 수요예측은 지수평활법을 사용하였다. 본 연구에서의 다구찌 실험계획법의 제어인자인 강수유무의 판단기준은 각 구성원마다 다를 수 있으므로 제어인자는 구성원의 개수인 4개가 되며, 각 인자는 3수준으로 설정하여 실험을 진행하였다. <표 1>의 직교배열표의 각 인자의 조합에 대한 공급사슬비용의 실험 결과는 아래 <표 2>와 같다. 단, <표 2>의 수치는 시뮬레이션의 안정화 기간으로 판단한 $t=1$ 에서 $t=100$ 까지의 누적비용은 제거하고, 그 이후 시점부터의 누적 공급사슬비용을 합산한 결과이다. 단, 제어인자 A, B, C 및 D는 다음과 같이 정의되고 그 수준은 모두 3수준으로서 0은 30%, 1은 40% 그리고 2는 50%에 해당한다.

A : 소매업체의 강수유무 판단기준치

B : 도매업체의 강수유무 판단기준치

C : 유통업체의 강수유무 판단기준치

D : 공급업체의 강수유무 판단기준치

또한, 비제어인자로서 잡음요인 DF 는 맥주수요의 변동을 나타내고 아래와 같이 2수준으로 정의된다.

DF_0 : 수요의 표준편차가 5인 경우

DF_1 : 수요의 표준편차가 10인 경우

두 번째 잡음요인인 SF 는 생산리드타임의 변동을 의미하고 역시 2수준으로 정의된다.

SF_0 : 계획된 생산량의 50%만 생산할 확률 = 1%

SF_1 : 계획된 생산량의 50%만 생산할 확률 = 10%

<표 2>에서의 SN비에 대한 분산분석을 수행하면 <표 3>과 같은 분산분석표를 얻을 수 있는데, 오차항이 없어 F-검정이 불가능하므로 제곱합이 제일 작은 요인 D를 오차항으로 간주하여 나머지 요인 A, B, C에 대한 F_0 값을 구한 것이다. 분산분석결과를 보면 A, B, C 인자 모두 유의수준 5%에서 유의한 인자라는 것을 알 수 있다. 즉, 소매업체, 도매업체 및 유통업체의 강수유무 판단기준치는 전체 공급사슬의 수행도 평가지표인 누적 공급사슬비용에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

<표 3> SN비의 풀링된 분산분석표

요인	제곱합	자유도	평균제곱	F_0
A	0.53898	2	0.26949	23.9188*
B	0.58172	2	0.29086	25.8155*
C	0.33926	2	0.16963	15.0557*
D(오차)	0.02253	2	0.01126	
합계	1.48249	8		

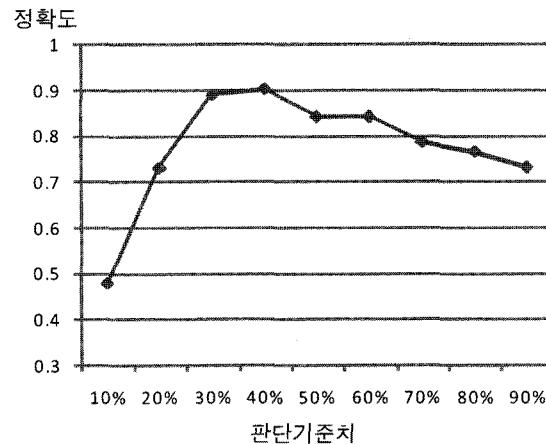
<표 3>의 분산분석 결과로부터 유의한 인자 A, B, C에 대해 SN비 측면에서의 최적수준조합을 도출하기 위해 A, B, C 인자들의 각 수준에서 누적 공급사슬비용의 SN비 모평균에 대한 점추정치 및 95% 신뢰구간을 구하여 보면 <표 4>와 같은 결과를 산출할 수 있다.

SN비를 크게 하는 조건이 좋은 조건이므로 A, B, C 인자의 최적수준은 $A_1B_1C_1$ 임을 알 수 있다. D인자는 유의하지 않으므로 기존 연구[3, 16]에서 최대의 경제적 가치를 산출한다고 밝혀진 바 있는 판단기준치 30% 즉, 0수준을 사용한다고 가정하면 전체 공급사슬비용을 최소로 하는 각 구성원들의 최적 판단기준치는 소매업체 40%, 도매업체 40%, 유통업체 40% 그리고 공급업체 30%

<표 4> A, B, C 인자의 SN비 모평균 추정

인자	수준	점추정치	95% 신뢰구간
A	0	-132.24	(-132.50, -131.97)
	1	-132.11	(-132.37, -131.84)
	2	-132.68	(-132.94, -132.42)
B	0	-132.51	(-132.78, -132.25)
	1	-131.98	(-132.25, -131.72)
	2	-132.53	(-132.80, -132.27)
C	0	-132.48	(-132.74, -132.21)
	1	-132.07	(-132.33, -131.80)
	2	-132.48	(-132.75, -132.22)

라고 판단할 수 있다. 또한, 이와 같은 최적 판단기준치 조합은 <그림 2>의 실제 각 판단기준치별 정확도와도 밀접한 상관관계가 있음을 알 수 있다. 즉, 다구찌 방법에 의해 선택된 최적 판단기준치인 40%는 실제 강수판단 정확도에서도 가장 높은 수치를 나타내고 있기 때문이다.



<그림 2> 판단기준치별 강수판단의 정확도

강수예보를 의사결정에 활용하는 경우에 도출된 최적 판단기준치 조합이 강수예보를 활용하지 않는 의사결정에 비해 어느 정도의 개선 효과를 가져오는지 분석하기 위해, 강수유무를 고려하지 않고 수요예측을 하였을 때의 누적 공급사슬비용을 SN비로 도출한 결과 -132.75을 얻을 수 있었다. 반면에 도출된 최적조합에서의 SN비 추정치는 -131.44로 계산된다. 따라서, 1.31만큼의 SN비의 증가가 이루어졌고 이를 망소특성의 손실함수 측면에서 본다면 $10^{0.131} = 1.352$ 배의 손실금액이 감소하게 됨을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 불확실 정보로 대표되는 기상예보를 활용하여 공급사슬의 수행도를 향상시킬 수 있는 방법론을 제시하였다. 즉, 강수예보를 이용해서 강수유무에 따라 그 수요가 민감한 제품에 대해 보다 정확한 수요 예측을 수행함으로써 공급사를 관련 비용 중 재고비용 및 수주잔량 비용을 감소시킬 수 있는 방법을 제안하였다. 확률 형태로 주어지는 강수예보로부터 강수유무를 판단하기 위한 최적 판단기준치의 결정을 위해 다구찌 실험계획법을 사용하였다. 또한 시뮬레이션을 활용하여 다구찌 방법이 공급사를 운영 상 피할 수 없는 외부환경 요인들, 예를 들어 수요 및 공급의 변동에도 만족할 만한 수준의 수행도를 보일 수 있는 최적 기준치를 결정하는데 효과적인 방법이라는 것을 증명할 수 있었다. 맥주배송게임의 시뮬레이션 결과 약 3년 간 누적 공급사슬운영비용은 기상정보를 활용하여 최적의 의사결정을 하는 경우가 기상정보를 활용하지 않는 경우에 비해 약 1.35배의 비용절감 효과가 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] 송서일; 실험계획법, 한경사, 2008.
- [2] 이기광, 김인겸, 고광근; “불확실성 정보가 맥주배송 게임 기반의 공급사슬 수행도에 미치는 영향 평가 : 기상정보 사례를 중심으로”, *Journal of Information Technology Applications and Management*, 14(4) : 139-158, 2007.
- [3] 이기광, 이중우; “가치스코어 모형을 이용한 기상정보의 기업 의사결정에 미치는 영향 평가”, 산업경영시스템학회지, 30(2) : 89-98, 2007.
- [4] 이대주; “불완전 정보하의 의사결정에서의 다중요인 추계적-통계적 우세법칙”, 한국경영과학회지, 18(2) : 45-55, 1993.
- [5] 이중우, 이기광; “레저산업의 고객관계관리 문제에서 기상예보의 정보가치를 최대화시키는 의사결정전략 분석”, 경영과학, 27(1) : 33-44, 2010.
- [6] 조면식, 김현수; “Beer Distribution Game에서의 최적 재고정책”, 산업경영시스템학회지, 24 : 11-22, 2001.
- [7] 지요한, 임석진, 김경섭; “불확실한 수요를 고려한 공급사슬의 공장생산용량 결정에 관한 연구”, 한국시뮬레이션학회, 12(1) : 35-48, 2003.
- [8] 한창희, 이중우, 이기광; “전력 수요 예측 관련 의사결정에 있어서 기온예보의 정보 가치 분석”, 경영과학, 26(1) : 77-91, 2009.
- [9] Azoury, K. S.; “Bayes Solutions to Dynamic Inventory Models under Unknown Demand Distributions,” *Management Science*, 31(9) : 1150-1160, 1985.
- [10] JByrne, D. M. and Taguchi, S.; “The Taguchi Approach to Parameter Design,” *Quality Progress*, 19-26, 1987.
- [11] Croson, R. and Donohue, K.; ‘Behavioral Causes of the Bullwhip Effect and the Observed Value of Inventory Information,’ *Management Science*, 52(3) : 323-336, 2006.
- [12] Gavirneni, S., Kapuscinski, R., and Tayur, S.; “Value of Information in Capacitated Supply Chains,” *Management Science*, 45(1) : 16-24, 1999.
- [13] Lanzenauer, C. H. V. and Glombik, K. P.; “Coordinating Supply Chain Decisions : an Optimization Model,” *OR Spectrum*, 24(1) : 59-78, 2002.
- [14] Lee, K., Kim, I., and Han, C.; “Decision Strategies Based on Meteorological Forecast Information in a Beer Distribution Game,” *Journal of Information Technology Applications and Management*, 15 : 79-90, 2008.
- [15] Lovejoy, W. S.; “Myopic Policies for Some Inventory Models with Uncertain Demand Distributions,” *Management Science*, 36(6) : 724-738, 1990.
- [16] Mylne, K. R.; “Decision-Making from Probability Forecasts Based on Forecast Value,” *Meteorology Applications*, 9 : 307-315, 2002.
- [17] Porter, M. E. and Millar, V. E.; “How Information Gives You a Competitive Advantage,” *Harvard Business Review*, 63 : 149-160, 1985.
- [18] Routroy, S. and Kodali, R.; “Differential Evolution Algorithm for Supply Chain Inventory Planning,” *Journal of Manufacturing Technology Management*, 16(1) : 7-17, 2005.
- [19] Simchi-Lev, D., Kaminsky, P., and Simchi-Lev, E.; *Designing and Managing the Supply*, Irwin McGraw-Hill, Boston, MA, 2000.
- [20] Zheng, Y. and Zipkin, P.; “A Queuing Model to Analyze the Value of Centralized Inventory Information,” *Operations Research*, 38 : 296-307, 1990.