http://dx.doi.org/10.5392/JKCA.2016.16.07.146

고객의 체류시간의존 보상에 기반한 M/M/1 대기행렬 시스템에서의 최적 가격책정 전략

An Optimal Pricing Strategy in An M/M/1 Queueing System Based on Customer's Sojourn Time-Dependent Reward Level

이두호
강원대학교 산업경영공학과

Doo Ho Lee(enjdhlee@kangwon.ac.kr)

요약

본 연구에서는 연속시간 M/M/1 대기행렬 시스템에서 고객들의 평형행동과 서버의 최적 가격책정 전략에 대해 다룬다. 본 연구에서는 두가지 유형의 가격지불 모형을 고려한다. 첫 번째로, 정액지불 모형은 고객의 시스템 내 체류시간에 관계없이 고정된 요금을 부과한다. 두 번째로, 정률지불 모형은 고객의 시스템 내 체류시간에 비례하여 요금을 부과한다. 각 지불 모형에서 시스템을 이탈하는 고객의 보상은 체류시간에 반비례한다. 본 연구는 각 가격지불 모형에서 단위시간당 서버의 기대수익을 최대화하기 위한 가격책정 전략과 그 전략에 따른 고객의 시스템 입장행동에 대해 분석한다. 마지막으로 수치예제를 통해 정액지불 모형과 정률지불 모형을 비교분석하고, 서버측면에서 어떤 가격지불 모형을 선택해야하는 지를 살펴본다.

■ 중심어 : | 최적 가격책정 | 고객 평행행동 | 기대수익 최대화 | M/M/1 대기행렬 시스템 |

Abstract

This work studies the equilibrium behavior of customers and optimal pricing strategies of the sever in a continuous-time M/M/1 queueing system. In this work, we consider two pricing models. The first one is called the ex-ante payment scheme where the server charges a flat price for all services, and the second one is called the ex-post payment scheme where the server charges a price that is proportional to the time a customer spends in the system. In each pricing model, the departing customer receives the reward that is inversely proportional to his/her sojourn time. The server should make the optimal pricing decisions in order to maximize its expected profit per unit time in each payment scheme. This work also investigates customer's equilibrium joining or balking behaviors under server's optimal pricing strategies. Numerical experiments are conducted to help the server best select one between two pricing models.

■ keyword : | Optimal Pricing | Equilibrium Behavior | Profit Maximization | M/M/1 Queueing System |

I. 서 론

구미의 주요 선진국에서와 같이 1980년대 말을 기점으로 우리 경제도 부가가치나 고용에서 제조업이 차지하는 비중이 낮아지는 대신 서비스업의 비중이 높아지는 경제의 서비스화가 빠르게 진전되고 있다. 최근의

접수일자 : 2016년 03월 21일
수정일자 : 2016년 04월 19일
심사완료일 : 2016년 04월 19일
교신저자 : 이두호, e-mail : enjdhlee@kangwon.ac.kr

통계자료에 따르면 서비스업의 부가가치 창출비중은 58.5%로 제조업의 두 배 수준을 웃돌고 있다. 이처럼 경제 규모의 확대와 서비스화 현상이 동시에 나타나는 것은 주요 선진국에서도 공통적으로 목격되는 현상으로, 제조업 부문의 효율증대를 위한 지원서비스의 분화, 산업전반의 지식정보화 트렌드, 소득수준 향상과 삶의 질 향상 욕구에 따른 서비스 수요 증대 원인이라 할 수 있다[1][2].

서비스는 콘텐츠와 그 콘텐츠를 제공하는 기술의 집합체라 할 수 있다. Netflix는 동영상 콘텐츠를 클라우드 컴퓨팅(cloud computing) 기술을 활용하여 고객들에게 제공하고, 고객들은 동영상 콘텐츠 서비스를 사용한 대가로 요금을 지불한다[3]. 최근 클라우드 컴퓨팅 기술의 발달로 Netflix 뿐만 아니라, Amazon Web Service[4], Google Apps[5], Microsoft office 365[6], Salesforce.com [7] 등과 같은 클라우드 컴퓨팅 서비스 제공업체가 천문학적인 수익을 거두고 있다. 클라우드 컴퓨팅의 자원 가상화(resource virtualization) 기술 덕택에 컴퓨팅 자원의 활용율을 극적으로 증가시킴으로써 전산시스템의 운영비용을 줄이고, 고객들에게는 저가의 초고품질 콘텐츠 서비스를 제공할 수 있게 되었다. 이러한 초일류 클라우드 컴퓨팅 서비스 기업들의 가장 큰 관심사는 그들의 수익을 최대화할 수 있는 콘텐츠 서비스 이용금을 결정하는 것이다.

본 연구에서는 서비스 시스템을 운영함에 있어 최적 가격책정 전략과 고객의 행위에 대해 경제학적 관점으로 접근한다. 서비스 시스템의 가장 큰 특징은 고객의 서비스에 대한 수요와 공급이 일반적으로 불확실하다(random)는 것이다. 이로 인해 많은 선행연구들이 확률모형(stochastic model) 관점으로 서비스 시스템을 다룬다[8-10]. 본 연구에서는 서비스 시스템을 연속시간 M/M/1 대기행렬 시스템(queueing system)으로 모형화하고, M/M/1 대기행렬 시스템을 운영함에 있어서 서버의 수익을 최대화하기 위한 최적 가격책정 전략과 고객의 행위에 대해 분석한다.

본 연구에서는 두 가지 유형의 가격지불 모형을 고려한다. 첫 번째로, 정액지불 모형(ex-ante payment model)은 고객의 시스템 내 체류시간(sojourn time)에 관계없이 서버는 고객에게 고정된 요금을 부과한다. 정액지불 모형은 시스템의 사용시간 및 사용량에 관계없이 일정한 요금을 부과하는 모든 시스템에 적용된다. 예를 들어 테마파크의 자유이용권, 외식업소, 대중 목욕시설, 이동통신 서비스의 정액 요금제 등은 서비스 사용자가 서비스 시스템의 사용시간과 사용량에 관계없이 일정한 금액을 지불하기로 서비스 공급자와 계약을 체결한다.

두 번째로, 정률지불 모형(ex-post payment model)은 고객의 시스템 내 체류시간에 비례하여 서버는 고객에게 요금을 부과한다. 정률지불 모형은 시스템의 사용시간과 사용량에 비례하여 요금을 부과하는 모든 시스템에 적용된다. 예를 들어 Amazon Web Service[4]의 빅데이터 웹서비스인 Amazon Elastic MapReduce 서비스는 사용량(가상 컴퓨팅 자원 인스턴스의 양)과 사용시간에 따라 과금하는 방식을 채택하고 있다. Amazon Web Service[4] 뿐 만 아니라 대부분의 클라우드 서비스에서는 더 많은 컴퓨팅 서비스 콘텐츠를 사용할수록 그리고 더 오랫동안 컴퓨팅 서비스 콘텐츠를 사용할수록 고객에게 더 많은 이용금을 부과한다. 또한, 인터넷 카페에서도 PC의 대여시간 만큼 사용량을 지불하는 방식을 채택하고 있다. 정액지불 모형과 정률지불 모형에 대한 보다 자세한 내용과 사례는 [11]와 [12]에 기술되어 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 수리적 모형과 가정에 대해 논한다. 3장에서는 정액지불 모형과 정률지불 모형에서의 최적 가격책정 전략과 그에 따른 고객의 행위에 대해 다룬다. 4장에서는 수치예제를 통해 정액지불 모형과 정률지불 모형을 비교분석하고, 서버측면에서 어떤 가격지불 모형을 선택해야 유리한지를 살펴본다. 마지막으로 본 논문의 내용 및 의의와 한계를 간략하게 정리한다.

II. 수리적 모형 및 가정

본 연구에서는 다음과 같은 특징을 갖는 M/M/1 대기행렬 시스템을 다룬다. 고객의 도착은 비율이 $\lambda(\lambda > 0)$인 포아송 과정(Poisson process)을 따른다.

시스템에 도착한 고객은 시스템 내 고객수에 대한 실시간 정보를 제공받지 않는다. 그러므로 시스템에 도착하는 모든 고객은 서비스로 부터 받을 보상과 서비스를 받기 위해 기다리는 시간에 대한 불확실성을 고려하여 시스템 입장의 최종 의사결정을 내린다. 즉, 시스템에 도착하는 고객은 대기시간에 비해 보상이 크다고 생각한다면 시스템의 불확실성을 고려하여 $q(0 \le q \le 1)$의 확률로 시스템의 대기공간으로 입장하고(joining), $1-q$의 확률로 입장을 거부하고 시스템을 이탈한다(balking). [13]에 따르면, 시스템에 입장하는 고객의 실질 도착과정(effective arrival process)은 비율이 λq인 포아송 과정을 따르게 된다. 서비스 시간은 평균이 $1/\mu(\mu>0)$인 지수분포(exponential distribution)를 따른다. 서버는 선입선출(first-in first-out) 방식으로 고객들에게 서비스를 제공한다. 고객의 도착과정과 서버의 서비스 제공은 상호 독립적(mutually independent)이며, 시스템의 안정상태(stability condition)를 만족하기 위해 $\lambda q<\mu$라 가정한다. 시스템에 입장하는 고객의 평균 시스템 체류시간을 ω라 하자. ω는 $1/(\mu-\lambda q)$로 알려져 있다[14].

U를 시스템 입장하는 고객의 기대효용이라 하자. $R(R>0)$을 시스템 입장 전, 각 고객이 서버로부터 제공 받을 서비스에 대한 기대보상(expected reward) 또는 만족도를 정량적으로 표기한 상수라 하자. 고객의 시스템 내 체류시간이 길어질수록 시스템을 이용하는 고객의 입장에서는 서비스에 대한 만족도가 체류시간에 반비례(inversely proportional)한다. 즉, 각 고객이 시스템을 이용한 후, 서비스에 대해 느끼는 기대보상은 체류시간에 의존하며 그 값은 R/ω로 표현된다. [12]에서는 각 고객이 시스템을 이용한 후 서비스에 대해 느끼는 기대 보상을 고정된 상수 R이라 정의했는데, 고객의 보상 또는 만족도는 체류시간에 반비례한다는 것이 더 현실적인 가정이라 사료된다.

고객이 시스템에 체류하고 있는 동안에 단위시간 당 $C(C>0)$의 비용이 발생한다. 마지막으로 각 고객은 위험중립적(risk-neutral)이며 서버가 유휴(idle) 상태에 도착한 고객의 보상은 항상 비용보다 커야하므로 $R>C/\mu$라 가정한다.

III. 최적 가격책정 분석

1. 정액지불 모형

첫 번째로 정액지불 모형을 고려하자. 서버는 고객의 체류시간에 상관없이 시스템에 입장하는 모든 고객에게 동일한 요금을 부과한다. $K_f(K_f>0)$를 서비스 이용금이라 하자. 정액지불 모형에서 고객의 기대효용은 식 (1)과 같다.

$$U=\frac{R}{\omega}-K_f-C\omega. \tag{1}$$

고객은 위험중립적이므로 기대효용이 0일 경우, 시스템은 고객 평형상태(customer's equilibrium state)에 도달한다. 즉, 고객 평형상태에서는 $R=\omega(K_f+C\omega)$이다. $\lambda q_f<\mu$이므로 도착하는 고객의 시스템 입장확률(joining probability) q_f는 다음과 같다.

$$q_f=\frac{2R\mu-K_f-\sqrt{K_f^2+4RC}}{2R\lambda}. \tag{2}$$

P_f를 정액지불 모형에서의 단위시간당 서버의 기대수익이라 하자. 정액지불 모형에서는 $P_f=\lambda q_f K_f$이다. 식 (2)를 이용하여 P_f를 표현하면 다음과 같다.

$$P_f=\frac{K_f\left(2R\mu-K_f-\sqrt{K_f^2+4RC}\right)}{2R}. \tag{3}$$

식 (3)을 살펴보면, P_f는 λ의 함수가 아니다. 즉, 단위시간당 서버의 기대수익은 고객의 도착률에 영향을 받지 않는다. 이는 다음과 같이 설명할 수 있다. 고객의 도착률이 증가 또는 감소하더라도 서버는 서비스 이용금을 증가 또는 감소함으로써 고객 입장확률을 조정하고, 시스템은 항상 고객 평형상태를 유지한다. 그러므로 고객 도착률은 단위시간당 서버의 기대수익에 전혀 영향을 끼치지 않는다.

식 (3)에서 P_f를 K_f에 대해 2차 미분하면

$$\frac{\partial^2 P_f}{\partial K_f^2}=-\frac{K_f^3+6RK_fC+\alpha^{3/2}}{R\alpha^{3/2}} \tag{4}$$

이다. 여기서 $\alpha = K_f^2 + 4RC$ 이다. 식 (4)에서 P_f는 K_f에 대한 완전 오목함수(strictly concave function)이며, $\partial P_f / \partial K_f = 0$ 을 만족하는 K_f는 P_f를 최대화 시킨다. 즉, 정액지불 모형에서 단위시간당 서버의 기대수익을 최대로 하는 최적 가격책정 전략은 다음과 같다.

$$K_f^* = \arg\max_{K_f > 0} P_f. \tag{5}$$

식 (5)에서 K_f^*를 명확한 형태(explicit form)로 표현할 수 있으나 그 식이 너무 길고 복잡하기 때문에 본 연구에서는 K_f^*를 수치해석(numerical analysis)적 방법으로 간단히 구할 수 있는 준-뉴턴 방법(quasi-Newton method)을 소개한다. [15]에 따르면, 목적함수(objective function)가 실행가능 영역(feasible region)에서 오목함수이면 준-뉴턴 방법에 의해 구한 국부 최적해(local optimal solution)는 전체 최적해(global optimal solution)가 된다. K_f^* 를 구하기 위한 준-뉴턴 방법의 의사코드(pseudo code)는 [그림 1]과 같다.

Algorithm 1: Determining the value of K_f^*
Inputs: R, C, μ, and K_f^0
Outputs: K_f^*

1 $n \leftarrow 0$;
2 $\varepsilon \leftarrow 10^{-10}$;
3 $K_f^n \leftarrow K_f^0$;
4 **repeat**
5 $\quad \nabla P_f(K_f^n) = \partial P_f(K_f^n) / \partial K_f$;
6 $\quad H(K_f) = \partial^2 P_f(K_f) / \partial K_f^2$;
7 $\quad K_f^n \leftarrow K_f^n - [H(K_f^n)]^{-1} \nabla P_f(K_f^n)$;
8 $\quad n \leftarrow n+1$;
9 **until** $|\nabla P_f(K_f^n)| < \varepsilon$;
10 $K_f^* \leftarrow K_f^n$;
11 **return** K_f^*;

그림 1. K_f^* 를 구하기 위한 준-뉴턴 방법의 의사코드

[그림 1]의 알고리즘은 다음과 같이 진행된다. 줄 1 부터 줄 3 까지 알고리즘 수행을 위한 초기값을 입력한다. 여기서 n은 K_f의 인덱스, ϵ은 허용오차, K_f^0는 K_f^*의 임의의 초기값이다. 줄 4 부터 줄 9 까지 헤시안 행렬식 (Hessian matrix determinant) 인 $H(K_f^n)$ 값을 계속 수정하면서 목적함수의 변화율 (gradient)인 $\nabla P_f(K_f^n)$을 계산한다. 최종적으로 목적함수 변화율의 절대값이 허용오차값 보다 작으면 알고리즘을 종료하고, K_f^* 를 반환한다.

2. 정률지불 모형

다음으로 정률지불 모형을 고려하자. 서버는 고객의 시스템 내 체류시간에 비례하여 요금을 부과한다. $K_t (K_t > 0)$ 를 단위시간당 서비스 이용금이라 하면, 정률지불 모형에서 고객의 기대효용은 식 (6)과 같다.

$$U = \frac{R}{\omega} - K_t \omega - C\omega. \tag{6}$$

고객 평형상태에서는 $R = (K_t + C)\omega^2$ 이고, $\lambda q_t < \mu$이므로 도착하는 고객의 시스템 입장확률 q_t는 다음과 같다.

$$q_t = \frac{R\mu - \sqrt{R(K_t + C)}}{R\lambda}. \tag{7}$$

P_t를 정률지불 모형에서의 단위시간당 서버의 기대수익이라 하자. 정률지불 모형에서는 $P_t = \lambda q_t K_t \omega$ 이다. 식 (7)을 이용하여 P_t를 표현하면 다음과 같다.

$$P_t = \frac{K_t\left(R\mu - \sqrt{R(K_t + C)}\right)}{R(\mu - \lambda q_t)}. \tag{8}$$

정액지불 모형에서와 같이 정률지불 모형에서도 P_t는 λ의 함수가 아니다. 식 (7)을 통해 λq_t는 항상 일정한 값을 갖는다. 즉, 고객 도착률이 증가 또는 감소하더라도 고객의 시스템 입장확률을 감소 또는 증가시켜 시스템의 실질 입력율은 항상 일정한 값을 가지게 한다. 그렇게 함으로써 단위시간당 서버의 기대수익에 영향을 끼치지 않는다. 식 (8)에서 P_t를 K_t에 대해 2차 미분하면

$$\frac{\partial^2 P_t}{\partial K_t^2} = -\frac{\lambda(3K_t + 4C)}{4\sqrt{R}(\mu - \lambda q_t)(K_t + C)^{3/2}} \tag{9}$$

이다. 식 (9)에서 P_t는 K_t에 대해 완전 오목함수이며, $\partial P_t / \partial K_t = 0$ 을 만족하는 K_t는 P_t를 최대화 시킨다. 즉, 정률지불 모형에서 단위시간당 서버의 기대수익을 최대로 하는 최적 가격책정 전략은 다음과 같다.

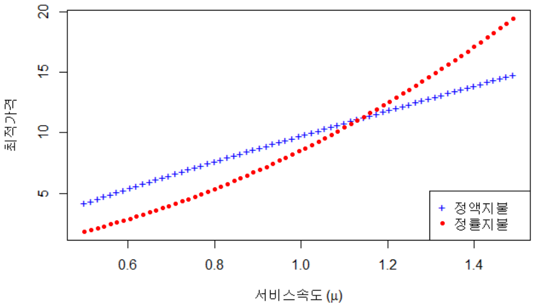
$$\begin{aligned} K_t^* &= \arg\max_{K_t > 0} P_t \\ &= \frac{2}{9}(R\mu^2 + \mu\sqrt{R^2\mu^2 + 3RC} - 3C) \end{aligned} \tag{10}$$

IV. 수치예제를 통한 비교분석

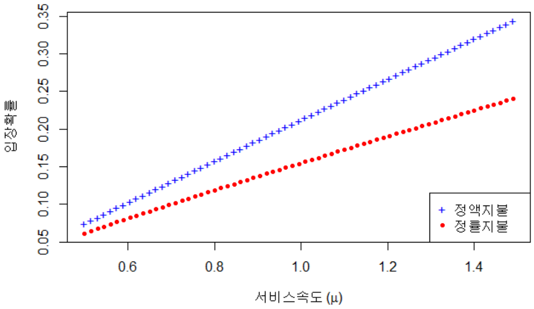
본 장에서는 수치예제를 통해 정액지불 모형과 정률지불 모형을 비교분석한다. 각 지불 모형에서의 주요 성능척도(performance measure)가 다양한 입력변수에 대해 어떻게 반응하는지를 살펴봄으로써, 단위시간당 기대수익을 최대화하기 위해 서버가 어떠한 지불모형을 선택해야하는지를 고찰한다. 본 절에서 행한 모든 수치예제는 통계 소프트웨어인 R(버전 3.2.4)을 통해 구현되었음을 알려둔다.

[그림 2]에서 서버의 서비스 속도에 따른 최적가격(a), 고객 평형 입장확률(b), 단위시간당 서버의 기대수익(c)을 도식하였다. [그림 2]를 살펴 본 결과 최적가격, 고객 평형 입장확률, 단위시간당 서버의 기대수익은 모두 서비스 속도에 대한 증가함수임을 확인할 수 있다. [그림 2]의 (a)에서 정률지불 모형의 최적가격은 서비스 속도가 1.143을 넘을 경우 정액지불 모형의 최적가격을 추월하게 된다. 즉, 서비스 속도가 낮을 경우에는 정률지불 모형이 정액지불 모형보다 더 낮은 가격을 책정함을 확인할 수 있다. 그러나, 서비스 속도가 1.143보다 낮을 경우, 정액지불 모형이 정률지불 모형보다 더 우월하다는 뜻은 아니다. [그림 2]의 (c)를 살펴보면, 단위시간당 서버의 기대수익 측면에서 정액지불 모형이 정률지불 모형보다 서비스 속도에 상관없이 항상 우월함을 알 수 있다. 즉, [그림 2]의 실험 하에서 정액지불 모형을 선택하는 것이 단위시간당 기대수익 측면에서 항상 유리하다.

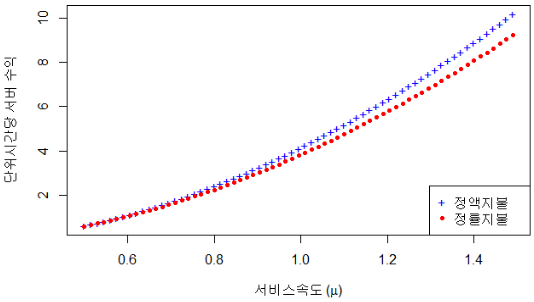
[그림 2]의 (b)를 살펴보면, 정액지불 모형의 고객 평형 입장확률이 정률지불 모형보다 항상 높다. 이는 다음과 같이 설명될 수 있다. 고객은 위험중립적이므로 서비스 이용요금에 변동성이 없는 정액지불 모형을 선택한 하는 것이 더 유리한 게임(game)이 된다. 그러므로, 고객은 항상 정액지불 모형을 선택한 시스템에 입장하는 것을 더 선호한다.



(a) 최적가격



(b) 고객 평형 입장확률

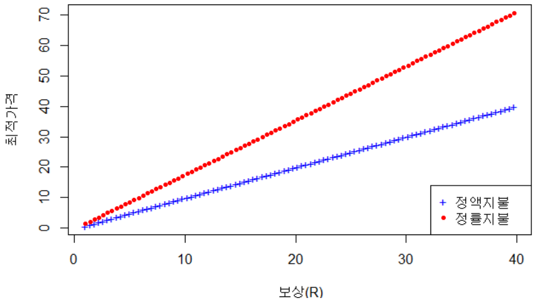


(c) 단위시간당 서버 기대수익

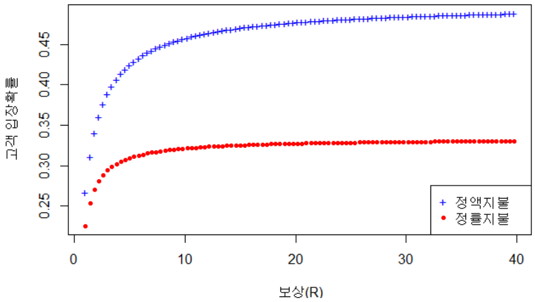
그림 2. 서비스 속도에 따른 성능척도 변화
$(\lambda = 1, R = 20, C = 1)$

[그림 3]에서는 고객의 보상에 따른 최적가격(a), 고객 평형 입장확률(b), 단위시간당 서버의 기대수익(c)을 도식하였다. [그림 3]를 살펴 본 결과 최적가격과 단위시간당 서버의 기대수익은 보상에 대해 증가함수이다. 이는 다음과 같이 설명할 수 있다. 고객 평형상태를 유지하기 위해($U=0$) 고객의 보상이 증가할수록 서버는 더 높은 가격을 책정하게 된다. 이는 단위시간당 서버의 기대수익을 증가시킨다. [그림 3]의 (a)를 살펴보면, 같은 보상값에서 정률지불 모형이 정액지불 모형보다 항상 높은 가격을 책정한다. 그러나 [그림 3]의 (c)의 결과는 서버의 기대수익 측면에서 정액지불 모형이 정률지불 모형보다 고객의 보상에 상관없이 항상 우월하다는 것을 알려준다.

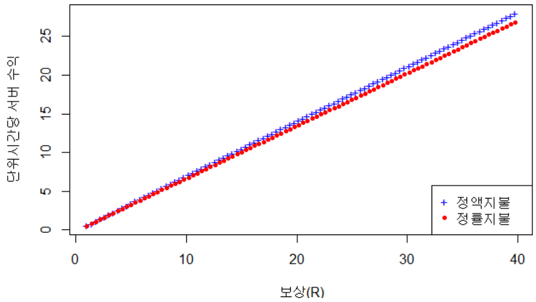
[그림 3]의 (b)를 살펴보면, 정액지불 모형의 고객 평형 입장확률이 정률지불 모형보다 항상 높다. 이는 [그림 2]의 (b)와 같은 이유로 설명될 수 있다. 또한, 보상이 낮을 때는 고객의 입장확률이 급격히 증가하다가 보상이 증가할수록 그 변화율이 감소한다. 그리고 보상이 임계값(threshold)을 넘긴 후에는 고객 입장확률이 특정값으로 수렴한다.



(a) 최적가격



(b) 고객 평형 입장확률

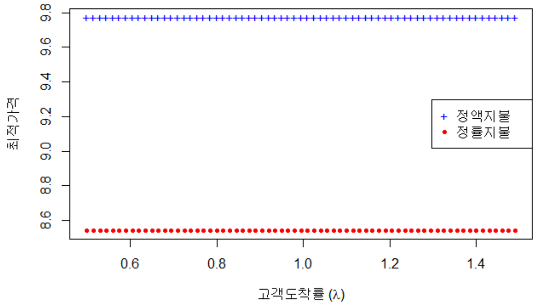


(c) 단위시간당 서버 기대수익

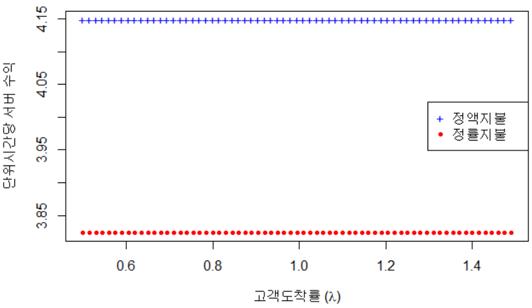
그림 3. 보상에 따른 성능척도 변화($\lambda=1,\ \mu=1,\ C=1$)

[그림 4]에서는 고객의 도착률에 따른 최적가격(a)과 단위시간당 서버의 기대수익(b)을 도식하였다. [그림 4]을 살펴보면 최적가격과 단위시간당 서버의 기대수익은 고객의 도착률과 관계없이 항상 일정하다. 앞서 3장에서 설명하였듯이 고객의 도착률은 최적가격과 서버의 단위시간당 기대수익에 영향을 끼치지 않는다. 또한, 고객 도착률이 증가 또는 감소하더라도 고객의 시스템 입장확률을 감소 또는 증가시켜 고객의 시스템 실질 도착률을 항상 일정한 값을 가지게 한다. 요약컨대, 고객의 도착률은 최적 가격책정 전략 수립 시 고려할 변수가 아님을 알 수 있다.

[그림 4]의 (b)에서 알 수 있듯이 단위시간당 서버의 기대수익 측면에서 정액지불 모형이 고객의 도착률과 상관없이 정률지불 모형보다 항상 우월함을 알 수 있다.



(a) 최적가격



(b) 단위시간당 서버 기대수익

그림 4. 고객 도착률에 따른 성능척도 변화 ($\mu=1$, $R=20$, $C=1$)

V. 결론

본 논문에서 정액지불 모형과 정률지불 모형 가정하에서 M/M/1 대기행렬 시스템의 최적 가격책정 전략과 그에 따른 고객의 평형행동에 대해 다루었다. 각 지불 모형에서 단위시간당 서버의 수익을 함수형태로 표현하고, 그것을 최대화하는 최적가격과 고객 입장확률 성능척도를 제시하였다. [12]에서는 정액지불 모형의 단위시간당 서버의 기대수익은 정률지불 모형에서의 단위시간당 서버의 기대수익과 동일하다고 주장하였으나, 본 논문의 수치예제를 통해서 확인한 결과 정액지불 모형이 정률지불 모형보다 항상 우월함을 확인할 수 있었다. 본 논문의 결과는 서비스 이용금의 가격책정에 있어 객관적이고 과학적인 의사결정 방법을 제공한다고 사료된다. 즉, 정액지불 정책과 정률지불 정책을 채택한 시스템을 운영함에 있어 기대수익을 최대화 할 수 있는 최적 서비스 이용금을 제시함으로써 시스템 운영에 효율성을 제고할 수 있게 해준다. 본 논문의 결과는 서론에서 언급한 서비스 시스템 뿐 만 아니라 물류배송, 재고관리관 같은 공급망 관리 분야에도 적용 될 수 있다. 예를 들어 중간창고에서의 수송품의 창고 이용금을 저장시간과 저장량에 따라 정액지불 모형 및 정률지불 모형을 적용할 수 있다.

본 논문의 한계는 다음과 같다. 첫 번째로, 분석의 편의를 위해 서비스 시스템을 간단한 M/M/1 대기행렬 시스템으로 가정하였으나 실제 서비스 시스템은 복수개의 서버, 서버의 고장 및 보전 정책, 고객 우선순위 등 수 많은 운영규칙이 존재한다. 차후 위와 같은 다양한 서버 운영규칙을 고려한 시스템을 고려해야 할 것이다. 두 번째로, 고객의 기대효용 함수를 보다 정밀하게 표현할 필요가 있다. 고객의 보상이 단순히 체류시간에 반비례하는 것이 아니라 역지수함수(inversely exponential function)의 형태로 간주할 수 있다. 마찬가지로 고객 비용함수 역시 지수함수 또는 로그함수의 형태로 간주할 수 있다. 위에 대한 연구는 차후 연구로 진행해야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] 김태웅, *서비스 운영관리*, 신영사, 2010.

[2] 조광문, “웹 서비스 기반의 비즈니스 모델에 서비스 과학 적용,” 한국콘텐츠학회논문지, 제9권, 제10호, pp.268-273, 2009.

[3] http://www.netflix.com/kr/

[4] http://aws.amazon.com/ko/

[5] http://apps.google.com/

[6] http://www.microsoftstore.com/Office365/

[7] http://www.salesforce.com/kr/

[8] 양원석, 김태성, 이두호, “정보보호위협하에서 경제적인 데이터백업 운영 정책 분석,” 한국콘텐츠학회논문지, 제14권, 제10호, pp.270-278, 2014.

[9] R. Ghosh, K. S. Trivedi, V. K. Naiky, and D. S. Kim, “End-to-End Performability Analysis for Infrastructure-as-a-Service Cloud: An Interacting Stochastic Models Approach,” Proceedings of IEEE 16th Pacific Rim International Symposium on Dependable Computing, pp.125-132, 2010.

[10] V. Gupta, M. H. Balter, K. Sigman, and W. Whitt, “Analysis of join-the-shortest-queue routing for web server farms,” Performance Evaluation, Vol.64, pp.1062-1081, 2007.

[11] W. Sun, S. Li, N. Tian, and H. Zhang, “Equilibrium analysis in batch-arrival queues

with complementary services," Applied Mathematical Modelling, Vol.33, pp.224-241, 2009.

[12] Y. Ma and Z. Liu, "Pricing analysis in Geo/Geo/1 queueing system," Mathematical Problems in Engineering, Vol.2015, Article ID 181653, 2015.

[13] S. M. Ross, *Stochastic Processes*, 2nd edition, JOHN WILEY & SONS, 1996.

[14] 이호우, *대기행렬이론*, 제3판, 시그마프레스, 2006.

[15] S. Boyd and L. Vandenberghe, *Convex Optimization*, Cambridge University Press, 2004.

저 자 소 개

이 두 호(Doo Ho Lee) 정회원

▪ 2006년 8월 : 동국대학교 산업시스템공학부 산업공학전공 학사

▪ 2008년 8월 : KAIST 산업 및 시스템공학과 석사

▪ 2012년 2월 : KAIST 산업 및 시스템공학과 박사

▪ 2012년 9월 ~ 2015년 2월 : 한국전자통신연구원 선임연구원

▪ 2016년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 산업경영공학과 조교수

<관심분야> : 확률모형, 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터