

Perishable한 제품에 대한 동적 가격 결정에 관한 연구 분석1)

홍기성

고려대학교 산업시스템정보공학과

An analytical framework of Dynamic pricing for perishable products

Ki-sung Hong

Korea University, Department of Industrial Systems and Information Engineering

Abstract : This paper investigates dynamic pricing for perishable products. Many industries face the problem of selling a fixed stock of items over a finite horizon so that firms consider dynamic pricing to maximize the profit. This paper analyze such dynamic pricing for perishable products and propose further research direction.

Keyword : dynamic pricing; perishable product; revenue management;

1. 서론(introduction)

최근 20년 동안, 제품(또는 서비스)에 대한 고객의 요구가 다양해지면서 시장에 판매되는 제품(또는 서비스)의 종류 또한 다양해졌다. 이러한 소비자의 요구에 맞추어 기업은 경쟁적 우위를 얻기 위하여 새로운 제품(또는 서비스)을 시장에 지속적으로 소개하게 되었고, 이로 인해 제품의 수명 주기는 점점 짧아지게 되었다. 제품의 수명 주기가 짧아지면서 제품의 판매 기간 또한 줄어들게 되었고, 기업은 이 짧은 제품 판매 기간 동안에 수익성을 극대화시키는 방법을 찾게 되었다. 이러한 방법 중에 하나가 동적 가격 결정(dynamic pricing)이다. 동적 가격 결정은 <그림 1>과 같이 제품의 가격을 조정하여 제품에 대한 수요를 변화시킴으로써 기업의 수익을 극대화시키는 방법으로 수익관리(revenue management 또는 yield management) 기법에서 많이 연구되었다.

가격 결정은 수요와 공급의 균형을 맞추는데 있어서 중요한 요인이다. 기업이 제품에 대해 고객에게 청구하는 알맞은 가격을 결정하는 것은 복잡하고 어려운 일이다. 알맞은 가격 결정을 위해 기업은 기업의 운영 비용과 공급 능력뿐만 아니라



그림 1. 동적 가격 결정의 이점

라 고객이 제품을 어떻게 평가하는지 그리고 제품에 대한 수요가 어떻게 될 것인지에 대해 많은 정보가 필요하다.

과거에 기업은 상대적으로 긴 제품 수명 주기 전체에 걸쳐 제품(또는 서비스)의 가격을 고정하였다. 즉, 제품에 대한 가격은 확정적이고 변하지 않았다. 이것은 주로 가격에 대한 정확한 수요 정보의 결여, 가격 변화에 드는 막대한 처리 비용(transaction cost), 가격을 변화시키는 동적 가격 결정 전략의 실행에 필요한 소프트웨어와 하드웨어의 막대한 투자비용에서 비롯되었다.

하지만 제조 기술과 정보통신 기술의 발전은 동적 가격 결정 전략의 실행에 대해 엄청난 기회를 제공하였다. 이러한 기술의 발전은 기업이 시장과 고객에 대한 정보를 모으기 쉽도록 하였고, 가격의 조

1) 서울시 성북구 안암5가 고려대학교 자연계캠퍼스, Tel.02-3290-3873, e-mail:justlike wind@korea.ac.kr

정 또한 비용이 많이 드는 물리적 조정보다는 상대적으로 비용이 적게 드는 (혹은 거의 들지 않는) 전자적 조정으로 바꾸었다.

이러한 기술의 발전에 따라 동적 가격 결정 전략은 많은 기업에 점점 더 널리 적용되고 있다. 이러한 동적 가격 결정 전략이 실행되는 대표적인 산업은 음식 산업이다. 음식 산업에서 빵 또는 야채, 낙농품 같은 제품은 짧은 보관 수명(shelf life)을 갖는다. 이러한 제품은 처음에 신선한 상태로 들어오게 되고, 그러한 제품은 보통 소매가격(retail price)에 판매된다. 하지만 시간이 지날수록 제품은 상하게 되고, 판매 기간(유통 기간)이 지난 후에 판매되지 않은 모든 제품은 폐기되게 된다. 따라서 제품은 만료 날짜(expiry date)에 가까워지면서 더 많은 수익과 이익을 얻기 위하여 할인된 가격에 판매되게 된다. 즉, 동적 가격 결정 전략을 통해 판매 가격을 조정하는 것이다. 이러한 전략은 전자 산업에 또한 널리 적용된다. 예를 들어, <그림 1>과 같이 컴퓨터 CPU의 가격은 새로운 CPU가 시장에 소개될 때 수명 주기 동안 몇 번씩 떨어지게 된다. 이러한 산업에서 동적 가격 결정 전략은 기업의 이익을 주요하게 증가시킬 것이다.



그림 2. 신제품 출시에 따른 기존 제품의 가격 변화

본 연구에서는 이러한 perishable한 제품에 대한 동적 가격 결정과 관련된 연구에 대해 분석한다. 동적 가격 결정과 관련된 기존의 연구를 분석하고, 분석 결과를 바탕으로 동적 가격 결정에 대한 분류틀(taxonomy)을 제공한다. 그리고 이것을 바탕으로 현재까지의 연구 동향과 문제점에 대해 살펴보고, 추후 연구 진행 방향에 대해 알아본다.

본 논문의 나머지 구성은 다음과 같다. 2절에서는 동적 가격 결정과 관련된 기존

의 연구를 분석한다. 3절에서는 2절의 분석된 결과를 바탕으로 동적 가격 결정에 대한 분류틀(taxonomy)을 나타낸다. 그리고 마지막 4절에서는 분석에 대한 결론과 추후 연구에 관한 몇몇 제안들이 제시된다.

2. 동적 가격 결정 (dynamic pricing)

앞에서도 언급하였듯이 동적 가격 결정은 수익관리 기법에서 많이 연구되었다. 특히 항공사 수익관리와 관련하여 많이 연구되었는데, 주로 항공사 좌석의 가격 결정에 관하여 연구되었다.

항공사 수익관리에서 동적 가격 결정은 항공사 좌석의 운임 결정과 그 운임에 대한 좌석의 할당과 관련되어 연구되었는데, Littlewood(1972), Bhatia와 Parekh(1973), Glover et al.(1982), Richter(1982), Belobaba(1987, 1989), Curry(1990), Woollmer(1992), Brumelle와 McGill(1993), Robinson(1994), Subramanian et al.(1999), Liang(1999), Zhao와 Zheng(2000), Feng와 Xiao(2001) 등에 의해 연구되었다.

Littlewood(1972)는 한계 좌석 수익 원리(marginal seat revenue principle)를 제안하였다. 한계 좌석 수익 원리는 어떤 좌석에 대해 미래에 더 높은 운임(higher fare)으로 판매할 수 있다면, 낮은 운임(lower fare)에 대한 예약 요청을 거절하는 것이다. 이를 이용하여 Littlewood(1972)는 추계적인 두 가격(stochastic two-price)을 갖는 단일 노선 항공사 수익 관리 모델(single-leg airline revenue management model)을 개발하였다.

Glover et al.(1982)은 더 나아가 다중 운임 수준문제(multiple-fare-class problem)에 대하여 가격 결정 정책(pricing policy)을 세우고, 확정적 네트워크 모델(deterministic network model)을 개발하였다.

Bhatia와 Parekh(1973) 그리고 Richter(1982)는 한계 좌석 수익 원리를 이용하여 nested fare inventory system에서의 최적 예약 한계(optimal booking limit)를 결정하는 간단한 의사결정 규칙(simple decision rule)을 개발하였다.

Belobaba(1987, 1989)는 두 해에 걸친 연구에서 다중 운임 수준 문제(multiple-fare classes problem)에 한계 좌석 수익 원리를 적용한 기대 한계 좌석 수익 규칙(expected marginal seat revenue rule)을 제

안하였다. Curry(1990), Woollmer(1992), Brumelle와 McGill(1993), Robinson(1994) 등은 다중 운임 수준 문제에 대해 더욱 더 연구하였고, Belobaba의 휴리스틱이 sub-optimal이라는 것을 증명하였다.

Subramanian et al.(1999)은 단일 노선 항공사 좌석 할당 문제에 대해 이산 시간 마르코브 의사결정 과정(discrete-time Markov decision process)을 고려하여 연구하였다. 그들은 그들의 모델에 초과예약(overbooking), 예약취소(cancellation) 그리고 no-shows(항공기 출발시까지 나타나지 않는 예약 손님)를 고려하였고, 좌석과 시간에 대해 예약 한계가 주어지는 최적 예약 정책(optimal booking policy)을 제안하였다.

Liang(1999) 그리고 Feng와 Xiao(2001)는 동적 좌석 관리 문제(dynamic seat inventory control problem)에 대해 연속 시간(continuous-time)을 고려하여 연구하였고, 한도 관리 정책(threshold control policy)을 제안하였다. Zhao와 Zheng(2000)은 전환/갱신(diversion/upgrade) 그리고 no-show를 허용한 더 일반적인 항공사 좌석 할당 모델에 대하여 Liang(1999) 그리고 Feng와 Xiao(2001)와 비슷한 한도 관리 정책(threshold control policy)을 제안하고 그것이 최적임을 증명하였다.

항공사 수익 관리 문제와 관련된 다른 연구는 Bassok와 Ernst(1995), Talluri와 van Ryzin(1999), Chatwin(1999) 등의 연구에서 더 찾아볼 수 있다.

이러한 수익 관리 문제는 시간에 따라 변하는 자산의 가치에 대해 적절한 가격을 결정하는 방법에 대해 주로 연구되었다.

수익 관리와 관련된 문제 외에도 동적 가격 결정과 관련된 많은 연구가 진행되었는데, 주로 생산/재고 관리(production/inventory control)와 가격 결정을 통합하는 방법에 대해 연구되었다.

생산/재고 관리와 가격 결정의 통합 문제는 Whittin(1955)에 의해 처음으로 연구되었다. 생산/재고 관리와 가격 결정의 통합에 대한 기본적인 개념(idea)은 생산/재고를 관리할 때, 생산/보충 정책(production/replenishment policy)에 가격 결정을 통합하는 것이다(Yin과 Rajaram, 2005). 즉, 제품에 대한 생산 또는 보충 결정을 내릴 때 가격을 고려하여 결정하는 것이다.

생산/재고 관리와 가격 결정의 통합 문제에 대해서는 Whittin(1955), Mills(1959), Karlin과 Carr(1962), Hempenius(1970), Zabel(1972), Thowsen(1975), Veinott(1980), Li(1988), Gallego와 van Ryzin(1994), Feng와 Gallego(1995), Feng와 Xiao(1999, 2000a, 2000b) 등에 의해 연구되었다.

Whittin(1955)은 처음으로 재고 관리와 가격 결정의 통합에 대해 연구하였으며, 가격에 의존하는 수요를 갖는 신문 공급자 문제(newsvendor problem)에 대해 연구하였다. Mills(1959), Karlin과 Carr(1962), Hempenius(1970) 등은 한정된 기간(finite-horizon)에 대하여 단일 기간 가격 결정 모델(Single-period pricing model)을 개발하였으며, Zabel(1972), Thowsen(1975), Veinott(1980)는 역시 한정된 기간에 대하여 다중 기간 가격 결정 모델(Multi-period pricing model)을 개발하였다.

Li(1988)는 수요가 Poisson process를 따른다는 가정하에 연속시간 모델(continuous-time model)을 개발하였다.

Gallego와 van Ryzin(1994)은 생산-가격 결정 문제에서 수요가 지수함수(exponential function)를 따를 때, 동적 가격 결정 전략(dynamic pricing strategy)을 적용한 최적 정책(optimal policy)을 제안하였고, 확정적 수요 모델(deterministic demand model)에 대한 분석을 토대로 최적 수익에 대한 상한 경계(upper bound)를 얻었다.

Feng와 Gallego(1995)는 일반적인 수요 함수를 갖는 두 가격, 연속 시간 수익관리 모델(two-price, continuous-time revenue management model)에 대해 연구하였고, 최적 가격 결정 정책(optimal pricing policy)을 제안하였다.

Feng와 Xiao(1999, 2000a)는 다중 가격(multiple price)을 고려한 두 가격 모델(two-price model)에 대해 연구하였으며, 그 후, Feng와 Xiao(2000b)는 역전 가능한 가격 변화(reversible price change)를 허용한 연속 시간 동적 가격 결정 모델(continuous-time, dynamic pricing model)을 개발하였고, 가격 역전 정책(price reversal policy)이 더 향상된 수익과 이익을 낸다는 것을 보였다.

생산/재고 관리와 가격 결정의 통합 문제에 관련된 다른 연구는 Yin과 Rajaram(2005), Chen과 Simchi-Levi(2006), Feng와 Xiao(2006), Chew et al. (2006a,

2006b) 등의 연구에서 더 찾아볼 수 있다. 본 연구에서는 이러한 생산/재고 관리와 가격 결정의 통합 문제에 초점을 두고 관련 연구에 대해 분석한다.

3. 동적 가격 결정의 분류틀(taxonomy of dynamic pricing)

지금까지 동적 가격 결정에 관한 연구는 수없이 많았고, 이러한 연구들은 서로 다른 가정과 조건을 바탕으로 연구되었다. 하지만 몇몇 연구들은 서로 비슷한 문제의 특성과 가정, 조건을 바탕으로 연구되었고, 이러한 문제의 특성과 가정을 바탕으로 관련 연구들을 구별할 수 있었다. 본 연구의 목적은 동적 가격 결정과 관련된 연구를 분석하고 동적 가격 결정에 대한 기본틀(framework)을 제공하는데 있다. 본 연구에서는 동적 가격 결정에 관한 연구를 분석하여 문제의 특성과 가정을 바탕으로 다음과 같이 세 가지 기준에 따라 관련 연구를 분류하였다.

- 1) 재고(또는 가격) 검토 방법(review method)
 - 주기적(periodic): Code P
 - 연속적(continuous): Code C
- 2) 수요 함수의 형태(form of demand function)
 - 확정적(deterministic): Code D
 - 추계적(stochastic): Code : S
- 3) 제품의 종류(product type)
 - 단일 제품(single product): Code 1
 - 다중 제품(multiple product): Code M

3.1 재고(또는 가격) 검토 방법에 따라

동적 가격 결정과 관련된 연구는 재고(또는 가격) 검토 방법에 따라 주기적 검토 모델(periodic review model), 연속적 검토 모델(continuous review model)로 분류되었다. 따라서 관련된 연구를 먼저 재고(또는 가격) 검토 방법에 따라 다음의 두 가지로 분류하였다.

1) 주기적 검토 모델(periodic review model)

주기적 검토 모델은 특정 기간의 초에 재고와 가격에 관련된 의사결정을 하는 것이다. 즉, 정해진 주기의 시작에 재고

(또는 가격)를 파악하고 이를 바탕으로 재고와 가격에 관한 의사결정을 내리는 것이다.

많은 연구에서 이러한 주기적 검토 방법을 고려하였는데, 이러한 주기적 검토 방법을 고려하는 이유는 다음과 같다. 첫째, 많은 기업들이 주기적 검토 방법을 실제 사용하고 있다. 실생활에서 대형 소매점이나 공장의 경우 제품의 종류가 다양하고 많기 때문에 재고를 파악하는데 많은 시간과 비용이 든다. 이와 같은 이유로 대부분의 경우 일정한 주기를 가지고 재고를 파악한다. 둘째, 문제를 단순화 한다. 주기적 검토 방법의 경우 일정한 기간의 가격과 재고만을 고려하기 때문에 문제가 단순화되어 개발된 모델의 최적해를 찾기 쉽고, 계산 시간을 줄일 수 있다.

이러한 환경을 반영하여 많은 연구에서 주기적 검토 방법을 고려하였다.

2) 연속적 검토 모델(continuous review model)

연속적 검토 모델은 제품이 판매되어 재고가 변할 때마다 재고와 가격에 대한 의사결정을 하는 것이다. 즉, 제품의 재고가 변할 때마다 재고와 가격을 파악하고, 이를 바탕으로 재고와 가격에 관한 의사결정을 내리는 것이다.

실생활에서 많은 기업들이 주기적 검토 방법을 통해 재고를 파악하고 있지만, RFID, EDI와 같은 전자/정보 통신 기술의 발달에 따라 실시간으로 재고를 파악하는 기업도 많이 늘어나고 있다. 또한 항공이나 호텔, 렌트카 사업과 같은 경우 주기적으로 재고를 파악하는 것이 아니라 실시간으로 재고에 관한 정보가 갱신되기 때문에 이러한 산업과 관련된 문제의 경우 주기적 검토 방법은 적



그림 3. 주기적 검토 방법과 연속적 검토 방법의 비교

절하지 않다.

따라서 이러한 문제가 생김에 따라 연

속적 검토 방법을 고려한 연구가 나오게 되었다.

3.2 수요 함수의 형태에 따라

대부분의 다른 연구와 마찬가지로, 동적 가격 결정과 관련된 연구 역시 수요 함수의 형태에 따라 분류할 수 있다. 즉, 수요 함수가 확정적인 것과 추계적인 것으로 나뉠 수 있다. 따라서 수요 함수의 형태에 따라 관련된 연구를 다음의 두 가지로 분류하였다.

1) 확정적 수요 (deterministic demand)

확정적 수요는 제품에 대한 수요를 일정한 함수의 형태나 알려진 분포로 고정하는 것이다. 즉, 계획된 범위나 시간에 대해 수요를 정확히 알고 있다고 가정하는 것이다.

실생활에서 제품에 대한 수요가 고정되어있지 않고, 시간과 조건에 따라 변화하는데 이렇게 확정적 수요를 고려하는 이유는 다음과 같다. 첫째, 확정적 모델(deterministic model)의 경우 분석이 쉬우며, 추계적 모델(stochastic model)에 대해 추정값을 제공한다. 둘째, 확정적 모델의 해는 대체적으로 점근적인 최적이다. 확정적 모델의 해는 계획 범위 시간이 길어질 경우 수요에 대한 불확실성의 영향을 제거 할 수 있어 최적값에 가까워진다.

이러한 환경을 반영하여 많은 연구에서 확정적 수요를 고려하였다.

2) 추계적 수요 (stochastic demand)

추계적 수요는 제품에 대한 수요를 고정하지 않고 확률적으로 고려하여 실생활에서의 수요에 가깝게 나타내는 것이다.

확정적 모델의 경우 실생활에 적용하였을 때, 확정적 모델에서 고려하였던 수요와 실생활에서의 수요가 일치하지

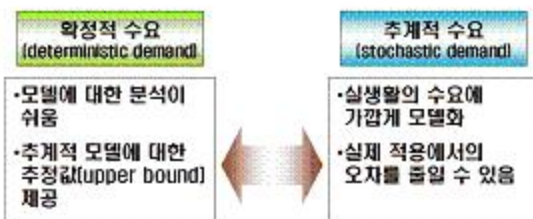


그림 4. 확정적 수요와 추계적 수요의 비교
 알아 결과값이 다르게 나올 수 있다. 즉,

실제 적용에서 오차가 크게 나타날 수 있으며, 확정적 모델에서의 최적값이 실제 적용에서 최적 값으로 나타나지 않게 된다. 따라서 이러한 오차를 줄이기 위하여 실생활의 수요에 가깝게 추계적 수요를 고려하였다.

3.3 제품의 종류에 따라

마지막으로 본 연구에서 분류한 방법은 제품의 종류이다. 제품 종류의 경우 하나의 제품만을 고려한 경우와 다중 제품을 고려한 경우로 구분 되었다. 따라서 제품의 종류에 따라 관련 연구를 다음과 같이 두 가지로 분류하였다.

1) 단일 제품(single product)

많은 연구에서 단일 제품의 경우를 고려하였다. 실생활에서 기업이 판매하는 제품(또는 서비스)의 경우 하나의 제품만을 판매하는 것이 아니라 다양한 제품을 동시에 판매하고 있다. 실생활에서 단일 제품만을 판매하는 경우는 거의 없지만 이렇게 단일 제품을 고려하는 이유는 단일 제품의 경우 분석이 쉽다는 것이다. 단일 제품에 대한 수요만을 고려하면 되기 때문에 제품들 간의 영향을 고려하지 않아도 되어 분석이 쉬워진다. 또한 단일 제품 모델을 이용하여 다중 제품 모델의 분석이 가능하다.

이러한 환경을 반영하여 많은 연구에서 단일 제품을 고려하여 연구를 진행하였다.

2) 다중 제품(multi-product)

지금까지 연구되었던 문헌들을 분석하였을 때, 대부분의 경우 단일 제품만을 고려하였으며, 다중 제품에 대한 연구는 거의 진행되지 않았다. 이는 제품의 종류가 증가할 때 마다 문제의 복잡성이 크게 증가하게 되기 때문이다.



그림 5. 단일 제품과 다중 제품의 비교
 다중 제품에 대해 연구한 문헌들의

경우에도 많은 가정을 통해 문제를 단순화하여 분석하였다. 실생활에서 단일 제품만을 판매하는 경우는 매우 드물며, 대부분의 경우 다양한 제품을 동시에 판매하고 있다. 고객 또한 단일 제품만을 고려하여 구매하는 것이 아니기 때문에 단일 제품에 대한 수요만을 고려하는 것은 적절하지 않다. 이러한 점을 반영하여 다중 제품을 고려한 연구가 진행되었다.

3.3 동적 가격 결정 관련 연구 분류표 (dynamic pricing content matrix)

본 연구에서는 동적 가격 결정과 관련된 연구를 재고 검토 방법과 수요 함수의 형태, 제품의 종류에 따라 분류하였다. 그 결과 <표 1>과 같이 분류되었는데, 이번 절에서는 분류된 각각의 항목과 관련된 연구에 대해 살펴본다.

1) P/D/1 (주기적 검토/확정적 수요/단일 제품)

주기적 검토, 확정적 수요, 단일 제품을 고려한 연구는 Thomas(1970), Kunreuther와 Richard(1971), Kunreuther와 Schrage(1973), Rajan et al.(1992) 등에 의

해 연구 되었다.

Thomas(1970)는 이전까지 연구되었던 가격을 일정하게 고려한 동적 재고 모델(dynamic inventory model)과는 다르게 알려진 확정적 수요 함수를 갖는 단일 제품에 대한 가격과 생산 결정을 동시에 하는 문제를 고려하였는데, backorder와 생산에 대한 용량 제한은 고려하지 않았다.

Kunreuther와 Richard(1971)는 외부 분배자로부터 상품을 주문하는 소매자의 가격 결정과 재고 결정 사이의 상관관계(interrelationship)에 대해 연구하였다. 소매업자는 각각의 주문에 고정비용이 들기 때문에 일정한 양을 주문하고, 재고를 유지하게 된다. 이런 상황에서 그들은 고정된 수요 곡선(stationary demand curve)이 주어졌을 때, 상품의 재고유지와 구매에 대해 일정한 한계 비용(constant marginal cost)을 고려하여 제품에 대한 판매 가격을 결정하였다. Kunreuther와 Schrage(1973)는 이전의 결과를 확장하여 기간 마다 다른 확정적 수요 곡선(deterministic demand curve)을 갖는 하나의 제품에 대한 가격과 주문량을 결정하는 알고리즘을 개발하였다.

표 1. 동적 가격 결정에 관한 연구 분류표

분류	D (확정적 수요, deterministic demand)		S (추계적 수요, stochastic demand)	
	I (단일 제품, single product)	M (다중 제품, multiple product)	I (단일 제품, single product)	M (다중 제품, multiple product)
P (주기적 검토, periodic review)	Thomas(1970) Kunreuther와 Richard(1971) Kunreuther와 Schrage(1973) Rajan et al.(1992)	Gilbert(2000) Biller et al.(2002)	Thomas(1974) Abad(1996) Bitran et al.(1998) Federgruen과 Heching(1999) Burnetas와 Smith(2000) Chen과 Simchi-Levi(2004a, 2004b) Yin과 Rajaram(2005) Chew et al.(2006a, 2006b)	
C (연속적 검토, continuous review)	Netessine(2005)	Kachani와 Perakis(2002)	Gallego와 Ryzin(1994) Feng과 Gallego(1995) Zhao와 Zheng(2000) Chatwin(2000) Chen과 Simchi-Levi(2006)	Gallego와 Ryzin(1997)

Rajan et al.(1992)은 이전의 연구와는 다르게 가격 변동에 따른 비용을 고려하였다. 그들은 이러한 가격 변동에 따른 비용을 고려하여 가격과 가격 조정의 횟수를 결정하였다.

2) P/D/M (주기적 검토/확정적 수요/다중 제품)

주기적 검토, 확정적 수요, 다중 제품을 고려한 연구는 Gilbert(2000), Biller et al.(2002) 등에 의해 연구되었다.

Gilbert(2000)는 같은 장비에서 생산되는 제품 집합에 대해 가격과 생산 계획(production schedule)을 공동으로 결정하는 문제에 대해 연구하였다. 그는 이 연구에서 생산 준비 비용(production setup cost)은 무시된다고 가정하여 모델을 개발하고, 이를 해결하기 위한 알고리즘을 개발하였다.

Biller et al.(2002)은 공급 사슬에서 여러 명의 생산자(manufacturer)가 존재할 때, 다중 제품에 대한 가격을 결정하는 방법에 대해 연구하였다.

3) P/S/I (주기적 검토/추계적 수요/단일 제품)

주기적 검토, 추계적 수요, 단일 제품에 대한 연구는 Thomas(1974), Abad(1996), Bitran et al.(1998), Federgruen(1999), Burnetas와 Smith(2000), Chen과 Simchi-Levi(2004a, 2004b), Yin과 Rajaram(2005), Chew et al.(2006a, 2006b) 등에 의해 이루어졌다.

Thomas(1974)는 이전까지 연구되었던 최적 재고 정책에 관한 대부분의 연구들이 판매 가격을 고려하지 않았고, 판매 가격을 고려한 연구들에 대해서도 확정적 수요만을 고려하였다는 점에 주목하고, 임의적 수요(random demand)를 처음으로 고려하였다.

추계적 수요를 갖는 주기적 검토 모델에 대해서 Abad(1996)는 backorder를 고려하여 연구하였으며, Bitran et al.(1998)은 여러 상점이 존재하는 소매 사슬(retail chain)에서 상점들 간에 가격을 조정하는 방법에 대해 연구하여, 확률 동적 프로그래밍(stochastic dynamic programming problem)으로 모델화 하였다.

Federgruen(1999)은 이전까지의 연구가 리드타임을 고려하지 않은 것과 비교하

여 보충에 따른 리드타임을 고려하였다. Chen과 Simchi-Levi(2004a, 2004b)는 가격 결정과 생산/재고 결정이 동시에 이루어지는 유한 범위/무한 범위에 대해 각각 연구하였는데, 서로 다른 기간에 대한 수요는 서로 독립이라고 가정하였다.

Chew et al.(2006a)은 두 기간의 수명 주기(lifetime)를 갖는 perishable한 제품의 동적 가격 결정과 주문량 결정의 조정에 초점을 두고 연구하였고, N 기간의 수명 주기를 갖는 경우로 확장하였다. 또한 Chew et al.(2006b)은 고객의 전략적 행동을 고려하지 않았던 이전 연구와 비교하여 고객의 전략적 행동을 고려하여 서로 다른 기간의 제품간에 수요 이동을 고려하였다.

Yin과 Rajaram(2005)은 Chen and Simchi-Levi(2004a)의 결과를 확장하여 exogenous markov chain에 의해 매 기간의 수요 분포가 정해지는 경우를 고려하여 연구하였다.

4) C/D/I (연속적 검토/확정적 수요/단일 제품)

연속적 검토, 확정적 수요, 단일 제품에 대해 연구한 논문은 우리가 분석하였을 때, Netessine(2005)이 유일하다.

Netessine(2005)은 짧은 기간 동안에 독점 시장에서 판매되는 단일 제품의 동적 가격 결정 문제에 대해 연구하였다. 이전까지의 연구와는 다르게 부분적인 고정가격 정책을 취하면서 가격 변동 횟수를 제한하는 방법에 대해 연구하였다.

5) C/D/M (연속적 검토/확정적 수요/다중 제품)

연속적 검토, 확정적 수요, 다중 제품에 대해 연구는 우리가 분석한 문헌 중에 Kachani와 Perakis(2002)가 유일하다.

Kachani와 Perakis(2002)는 용량이 제한된 다중 제품 동적 환경(capacited multi-product dynamic environment)에서 가격결정, 생산, 재고를 공동으로 결정하는 fluid model을 개발하였다. 그들은 동적가격결정과 재고 관리에 대한 continuous-time fluid dynamic model에 대해 연구하였고, 연속시간 비선형 최적화 문제(continuous-time non-linear optimization problem)로 모델을 나타내었다.

6) C/S/1 (연속적 검토/추계적 수요/단일 제품)

연속적 검토, 추계적 수요, 단일 제품에 대해서는 Gallego와 Ryzin(1994), Feng과 Gallego(1995), Zhao와 Zheng(2000), Chatwin(2000), Chen과 Simchi-Levi(2006) 등에 의해 연구 되었다.

Gallego와 Ryzin(1994)은 항공기의 빈 좌석이나 유람선의 선실, 호텔의 방과 같은 제품에 대한 가격 결정 문제에 대해 다루었다. 그들은 재고 수준과 시간에 대한 함수로 총 이익을 나타내었다. 재고 수준이 주어졌을 때 총 이익을 최대로 하는 시간을 구하고, 주어진 재고 수준과 시간에 대해 가격 함수를 나타내어 최적 가격을 결정하였다. 그들은 확정적 문제를 고려하였고, 이 확정적 문제의 해를 이용하여 추계적 문제의 해를 구하는 휴리스틱을 제안하였다. 또한 그들은 그들의 모델을 시간에 따라 변하는 수요(time varying demand)와 재공급, 취소, 초과예약을 고려한 경우로 각각 확장하였다.

Feng과 Gallego(1995)는 Gallego와 Ryzin(1994)의 결과를 바탕으로 하여, 처음으로 가격 조정 시점을 결정하는 문제를 고려하였고, Zhao와 Zheng(2000)은 이전까지의 연구와는 다르게 단위 구매 대신에 고객이 어떠한 양이라도 구매할 수 있는 batch demand를 허용하였으며, 학습효과를 고려하여 수요와 가격에 대한 정보가 지속적으로 갱신되는 경우와 판매기간 동안에 보충을 허용한 경우로 각각 확장하였다.

Chatwin(2000)은 항공사 좌석 문제에 적합한 변경 가능한 가격이 한정된 경우를 고려하였고, Chen과 Simchi-Levi(2006)는 주문 비용에 고정비용이 포함되고, 가격과 재고 결정은 동시에 이루어지는 유한 범위에 대한 단일 상품의 연속적인 평가 모델을 분석하였다. 일반적인 조건 하에서 Chen과 Simchi-Levi(2006)는 기대 또는 할인 평균 수익을 최대로 하는 고정된 (s, S) 재고 정책이 존재한다는 것을 증명하였다.

7) C/S/M (연속적 검토/추계적 수요/다중 제품)

연속적 검토, 추계적 수요, 다중 제품을 고려한 연구는 우리가 분석하였을 때, Gallego와 Ryzin(1997)이 유일하다.

Gallego와 Ryzin(1997)은 각각의 제품에 대한 수요는 도착률(arrival rate)이 가격의 함수로 나타나는 stochastic point process를 따른다고 가정하고, 총 기대 수익을 최대화하는 최종 제품의 가격을 결정하는 문제에 대해 연구하였다. 그들은 문제의 확정적 버전(deterministic version)을 먼저 분석하여 최적 기대 수익의 상한 경계(upper bound)를 얻고, 확정적 문제의 해로부터 추계적 문제에 대한 해를 구하는 두 가지 휴리스틱을 제안하였다. 하지만 이러한 모델은 항공사에 대한 적용에 초점을 두어 개발하였기 때문에 다른 산업에 잘 적용되지 못하는 단점이 있다. 따라서 multi-day hotel problem과 같은 다른 산업에 적용하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

4. 결론(conclusion)

오늘날 시장 환경이 불안해지고 경쟁이 가속화되면서 수익을 극대화하기 위해 가격과 재고 그리고 생산에 관한 결정을 동시에 하는 방법에 대한 관심이 크게 증가하였다. 이에 따라 관련 분야에 대한 연구 또한 크게 증가하였다.

우리는 이러한 분야에 대한 많은 문헌을 분석하여, 관련 분야에 대해 몇몇 주요한 특성을 도출하였다. 이러한 특성을 바탕으로 우리는 관련 연구를 분류하였다. 많은 연구자들이 이러한 특성에 따라 관련된 문제를 해결하기 위해 노력했을 뿐만 아니라 몇몇 주요한 결과를 도출하였다.

하지만, 여전히 주요한 해결 과제들이 남아있고, 여전히 실생활에 존재하는 문제와 연구하였던 문제들 사이에 차가 존재한다. 우리는 우리의 경험과 현재까지의 관련 연구 분석을 바탕으로 추후 연구 진행 방향에 대해 제안한다.

지금까지의 연구 결과에 대한 분석을 보면 다중 제품을 고려한 연구가 매우 적다는 것을 볼 수 있다. 하지만 실생활에서 단일 제품만을 판매하는 경우는 매우 드물고, 대부분 다중 제품에 대한 판매가 이루어진다. 다중 제품에 대한 문제는 제품

의 종류가 증가함에 따라 문제가 더 복잡해지지만, 제품들 간에 상관관계가 있을 때 문제는 더욱 복잡해진다. 하지만 실생활에서 많은 제품의 경우 이러한 상관관계가 존재하고 따라서 기업들 또한 이 문제에 대해 많은 관심을 가지고 있다. 따라서 이와 관련된 문제는 앞으로의 연구에 반드시 필요하며 매우 흥미로운 주제이다.

지금까지의 연구들은 소매점 또는 공급자만을 고려하여 이루어져왔다. 즉, 공급체인 상의 다른 요소들은 고려하지 않고 공급체인 상의 하나의 요소에 중점을 두고 이루어져왔다. 하지만 공급체인 상의 하나의 요소에 대한 변경 또는 조정은 다른 요소의 변경 또는 조정을 수반한다. 따라서 공급체인 상의 한 요소에 대한 최적의 공급체인의 전체 최적을 보장하지 않는 것이다. 따라서 공급체인 상의 다른 요소들을 고려한 연구가 필요하다.

여기에 추가적으로 고려할 요소는 고객들의 전략적 행동이다. 오늘날 시장에서 판매되고 있는 제품(또는 서비스)의 종류는 다양하며, 고객은 이러한 다양한 제품(또는 서비스)를 서로 비교하여 전략적으로 행동한다. 그러나 지금까지 이루어진 대부분의 연구에서는 이러한 고객의 전략적 행동을 무시하였다. 따라서 이에 대한 연구가 추가적으로 필요하다.

지금까지의 동적 가격 결정에 관련된 연구는 항공사의 수익 관리 문제와 생산/재고 관리와 가격 결정을 통합하는 방법에 대해 진행되었다. 하지만 가격결정은 기업의 가장 기본적인 의사결정 문제로 함께 연구될 수 있는 분야는 더 다양할 수 있다. 예를 들어, 현재 연구되고 있는 분야인 공급사슬 네트워크의 설계에 가격 결정을 고려하는 연구를 들 수 있다. 과거의 공급사슬 네트워크의 설계는 수요지의 수요를 모두 만족한다는 가정하에 비용을 최소화하는 네트워크를 설계하는 것이었다. 하지만 기업의 궁극적인 목적은 이윤추구로 이윤이 적은 수요는 만족시키지 않는 것이 더 효율적일 수 있다. 따라서 가격 결정을 통해 이러한 수요지를 선택적으로 만족시키는 방법이 연구되고 있다. 이렇듯 가격 결정은 기업의 가장 기본적인 의사결정 문제로, 동적 가격 결정은 다양한 분야로 확장이 가능하다.

지금까지 동적 가격 결정에 관해 이루어졌던 연구를 분석하고 추후 연구 방향에 대해 몇가지 제안을 하였다. 이상에서

볼 수 있듯이 동적 가격 결정에 관한 연구는 과거에서부터 지금까지 연구되었고, 마케팅과 생산의 상호 작용에 대해 지속적인 연구가 가능할 것으로 보여진다. 따라서 동적 가격 결정에 관하여 지금까지 연구를 바탕으로 연구 결과와 실생활의 적용에 따른 차를 들어가면서 다양한 분야로 확장하는 연구가 필요하다.

- | 주요 연구 방향(further research) |
|---|
| • 다중 제품(multiple product)을 고려한 더 많은 연구가 필요함 |
| • 공급사슬 상의 한 요소를 중심으로 한 연구가 아닌 공급사슬 전체를 대상으로 한 연구가 필요함 |
| • 고객들의 전략적 행동을 고려한 연구가 필요함 |
| • 기존의 연구 분야 외에 다양한 연구 분야로 확장이 필요함 |

그림 6. 추후 연구 방향

참고문헌

Abad, P.L. (1996), Optimal Pricing and Lot-Sizing under Conditions of Perishability and Partial Backordering, *Management Science*, Vol.42(8), pp.1093-1104.

Bassok, Y., R. Emst (1995), Dynamic allocations for multi-product distribution, *Transportation Science*, Vol.37, pp.256-266.

Belobaba, P.P. (1987), Airline yield management: An overview of seat inventory control, *Transportation Science*, Vol.21, pp.63-73.

Belobaba, P.P. (1989), Application of a probabilistic decision model to airline seat inventory control, *Operations Research*, Vol.37, 183-197.

Bhatia, A.V., S.C. Parekh (1973), Optimal allocation of seats by fare, Presentation by Trans World Airlines to AGIFORS Reservations Study Group.

Billar, S., L.M.A. Chan, D. Simchi-Levi, J. Swann (2002), Dynamic Pricing and the Direct-to-Customer Model in the Automotive Industry. Technica Results and Proofs, To appear in *E-Commerce Journal*, Special Issue on Dynamic Pricing.

- Bitran, G., R. Caldentey, S. Mondschein (1998), Coordinating Clearance Markdown Sales of Seasonal Products in Retail Chains, *Operations Research*, Vol.46(5), pp.609-624.
- Brumelle, S.L., J.I. McGill (1993), Allocation of airline seats between stochastically dependent demand, *Transportation Science*, Vol.24, pp.183 - 192.
- Burnetas, A.N., C.E. Smith (2000), Adaptive Ordering and Pricing for Perishable Products, *Operations Research*, Vol.48(3), pp.436-443.
- Chatwin, R.E. (1999), Continuous-time airline overbooking with time dependent fares and refunds, *Transportation Science*, Vol.33, pp.182 - 191.
- Chatwin, R.E. (2000), Optimal dynamic pricing of perishable products with stochastic demand and a finite set of prices, *European Journal of Operational Research*, Vol.125, pp.149-174.
- Chen, X., D. Simchi-Levi (2006), Coordinating inventory control and pricing strategies: The continuous review model, *Operational Research Letters*, Vol.34, pp.323-332.
- Chen, X., D. Simchi-Levi (2004a), Coordinating inventory control and pricing strategies with random demand and fixed ordering cost: the finite horizon case, *Operations Research*, Vol.52(6), pp.887-896.
- Chen, X., D. Simchi-Levi (2004b), Coordinating inventory control and pricing strategies with random demand and fixed ordering cost: the infinite horizon case, *Mathematics of Operations Research*, Vol.29(3), pp.698-723.
- Chew, E.P., C. Lee, R. Liu (2006a), Coordinated Dynamic Pricing and Ordering Decisions for Perishable Products with Multiple Demand Classes, Working Paper, Department of Industrial & Systems Engineering, National University of Singapore, Singapore.
- Chew, E.P., C. Lee, R. Liu (2006b), Optimal Dynamic Pricing and Ordering Decisions for Perishable Products, Working Paper, Department of Industrial & Systems Engineering, National University of Singapore, Singapore.
- Curry, R. (1990), Optimal seat allocation with fare classes nested by origins and destinations, *Transportation Science*, Vol.24, pp.193 - 204.
- Federgruen, A., A. Heching (1999), Combined Pricing and Inventory Control under Uncertainty, *Operations Research*, Vol.47(3), pp.454-475.
- Feng, Y., B. Xiao (2000b), A continuous-time yield management model with multiple prices and reversible price changes, *Management Science*, Vol.46(5), pp.644 - 657.
- Feng, Y., B. Xiao (2001), A dynamic airline seat inventory control model and its optimal policy, *Operations Research*, Vol.49, 938 - 949.
- Feng, Y., B. Xiao (1999), Maximizing revenues of perishable assets with a risk analysis, *Operations Research*, Vol.47, pp.337 - 341.
- Feng, Y., B. Xiao (2000a), Optimal policies of yield management with multiple predetermined prices, *Operations Research*, Vol.48, pp.332 - 343.
- Feng, Y., G. Gallego (1995), Optimal Starting Times for End-of-Season Sales and Optimal Stopping Times for Promotional Fares, *Management Science*, Vol.41(8), pp.1371-1391.
- Gallego, G., G. van Ryzin (1997), A Multiproduct Dynamic Pricing Problem and Its Applications to Network Yield Management, *Operations Research*, Vol.45(1), pp.24-41.
- Gallego, G., G. van Ryzin (1994), Optimal Dynamic Pricing of Inventories with Stochastic Demand over Finite Horizons, *Management Science*, Vol.40(8), pp.999-1020.
- Gilbert, S. M. (2000), Coordination of Pricing and Multiple-Period Production across Multiple Constant Priced Goods, *Management Science*, Vol.46(12), pp.1602-1616.

- Glover, F., R. Glover, J. Lorenzo, C. McMillan (1982), The passenger-mix problem in the scheduled airlines, *Interfaces*, Vol.12, pp.73-79.
- Hempenius, A.L. (1970), Monopoly with Random Demand, Rotterdam University Press, Rotterdam, The Netherlands.
- Kachani, S., G. Perakis (2002), A Fluid Model of Dynamic Pricing and Inventory Management for Make-to-Stock Manufacturing Systems, Working Paper, MIT.
- Karlin, S., C.R. Carr (1962), Prices and optimal inventory policies, In: Arrow, K.J., Karlin, S., Scarf, H., Studies in Applied Probability and Management Science, Stanford University Press, Stanford, CA.
- Kunreuther, H., J.F. Richard (1971), Optimal Pricing and Inventory Decisions for Non-Seasonal Items, *Econometrica*, Vol.39(1), pp.173-175.
- Kunreuther, H., L. Schrage (1973), Joint Pricing and Inventory Decision for Constant Priced Items, *Management Science*, Vol.19(7), pp.732-738
- Li, L. (1988), A stochastic theory of the firm, *Mathematics of Operations Research*, Vol.13, pp.447-466.
- Liang, Y. (1999), Solution to the continuous time dynamic yield management model, *Transportation Science*, Vol.33, pp.117-123.
- Littlewood, K. (1972), Forecasting and control of passengers, 12th AGIFORS Symposium Proceedings, pp.103-105.
- Mills, B.L. (1959), Uncertainty and price theory, *Quality Journal of Economics*, Vol.73, pp.117-130.
- Netessine, S. (2005), Dynamic pricing of inventory/capacity with infrequent price changes, *European Journal of Operational Research*.
- Rajan, A., R. Steinberg, R. Steinberg (1992), Dynamic Pricing and Ordergin Decisions by a Monopolist, *Management Science*, Vol.38(2), pp.240-262.
- Robinson, L.W. (1994), Optimal and approximate control policies for airline booking with sequential fare classes, *Operations Research*, Vol.42, pp.252-263.
- Subramanian, J., S. Stidham, A.C. Lautenbacher (1999), Airline yield management with overbooking, cancellations and no-shows, *Transportation Science*, Vol.33, pp.147-167.
- Talluri, K., G. van Ryzin (1999), An analysis of bid-price controls for network revenue management, *Management Science*, Vol.44, pp.1577-1593.
- Thomas, J. (1970), Price-Production Decisions with Deterministic Demand, *Management Science*, Vol.16(11), pp.747-750.
- Thomas, L.J. (1974), Price and Production Decisions with Random Demand, *Operations Research*, Vol.22(3), pp.513-518.
- Thowsen, G.T. (1975), A dynamic nonstationary inventory problem for a price/quality setting firm, *Naval Research Logistics*, Vol.22, pp.461-476.
- Veinott Jr., A. (1980), Unpublished Class Notes on Inventory Theory (Chapter 2).
- Whitin, T. M. (1955), Inventory control and price theory, *Management Science*, Vol.2, pp.61-68.
- Wollmer, R.D. (1992), An airline seat management model for a single leg route when lower fare classes book first, *Operations Research*, Vol.40, 2pp.6-37
- Yin, R., K. Rajaram (2005), Joint Pricing And Inventory Control With A Markovian Demand Model, Working Paper, University of California, Los Angeles.
- Zabel, E. (1972), Multi-period monopoly under uncertainty, *Journal of Economic Theory*, Vol.5, pp.524-536.
- Zhao, W., Y.S. Zheng (2000), Optimal Dynamic Pricing for Perishable Assets with Nonhomogeneous Demand, *Management Science*, Vol.46(3), pp.375-388.