

# 요금부과를 기반으로 구별되는 서비스와 혼잡관리

## (Congestion Control and Differentiated Services based Pricing)

지 선 수\*  
(Seon-su Ji)

**요약** 현재의 대역폭 매카니즘에서 서비스 공급자는 그들 도메인 안에서 보장된 대역폭을 공급하고 있다. 네트워크에서 가능한 대역폭을 개선할지라도 대역폭 요구가 더 빨리 증가하기 때문에 인터넷에서의 혼잡관리는 매우 중요하며 미래의 네트워크 안정성에 커다란 영향을 줄 것이다. 인터넷 사용자의 사용시간을 조절할 전략이 필요하다. 혼잡이 발생할 경우 경매 제도를 기반으로 한 차등요금제를 적용함으로써 차별적인 서비스가 일어나는 인터넷 시장개념은 차세대 혼잡을 해결할 수 있는 유일한 대안 중의 하나가 될 것이다. 이 논문에서 통계적으로 보장된 QoS를 위해 구별되는 서비스와 요금계획을 제안한다.

**핵심주제어** : 스마트마켓, 혼잡관리, 차등요금

**Abstract** In the current bandwidth mechanism, ISPs provide guaranteed internet bandwidth within itself domains. Also transmission of data through the network can cause congestion. An inevitable consequence is partly responsible for the difficulties to ISPs and customers. In economic views, multiple demands for a scarce resource are mediated through a bandwidth market. Using the auction-based admission algorithm to price congestion, I propose a different pricing scheme for statistically guaranteed QoS.

**Key Words** : smart market, congestion control, differentiated pricing

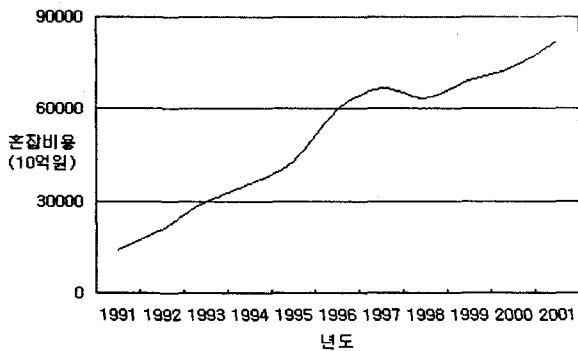
### 1. 서론

시간과 공간의 한계성을 극복하여 다양한 정보를 얻을 수 있는 인터넷은 미래사회의 중심적 역할을 할 것이다. 국가, 기업 그리고 인터넷 사업자가 네트워킹을 위한 인프라 구축에 막대한 투자를 한 덕분에 사용자는 최저비용을 가지고 최대의 활용을 하게되었다. 인터넷에서의 정보활용은 개인의 능력에 따라 차이가 있지만 사용 면에서 그 누구로부터 간섭을 받지 않는

이기적이고 부정적인 사용자에서부터 건강한 사용자에게 이르기까지 독립성, 자율성, 공정성이 실현되었다. 인터넷 사용자의 급증으로 인터넷을 통한 각종 서비스, 비즈니스, 교육 등이 활발히 이루어지고 있으며, 수 천년 동안 세습되어온 인간사회의 변화를 가져옴으로서 우리 모두에게 새로운 생존전략으로 대두되었다. 다양한 멀티미디어 적용과 개발이 빠르게 이루어지고 있으며, 현재는 인터넷을 운영해주는 하드웨어 및 소프트웨어의 투자에 비해 이를 이용하는 사용자가 폭증하여 많은 네트워크 사용자들이 데이터 송수신에 불편을 초래하고 있다.

\* 원주대학 컴퓨터정보관리과

1990년대 이후에 개인용 PC가 대량 보급되고 인터넷 이용이 활성화되면서 정치, 경제, 사회, 문화 측면에는 커다란 변화가 일어났다. 인터넷 사용자를 위한 정보 인프라 구축은 한 차원 높은 정보 서비스를 주고받을 수 있지만 인터넷 서비스 공급자(ISP)에게 무조건적인 투자를 강요하는 것은 문제가 있다. 이것은 예를 들어, 도로건설은 자동차 산업의 시장개척 활동이 되기도 하는 것이므로 정부가 세금을 투입해 도로를 넓히고 도로시설을 개선하면 자동차 사용자들의 편의는 증진되고 자동차는 더 잘 팔리게 된다. 그러나 개인소유의 자동차와 자동차 산업을 위한 도로가 소유자 및 사용자가 아닌 국가에 의해서 끊임없이 건설되어 공급되는 것은 커다란 모순구조와 같다. 또한 이로 인한 정체와 혼잡으로 인한 시간지체 비용, 사용자의 불편 등의 사회적 손실규모가 천문학적이다. 교통 혼잡비용이 도로관련시설 관련예산의 2배를 넘는다는 통계는 인터넷의 네트워크 구축, 활용, 혼잡 면에서 비교하여 연구해야 할 과제이다. <그림1>은 한국의 도로에서 발생한 연도별 혼잡지체 비용을 나타낸 것이며 연간 19.6%의 증가추세를 보인다. 이들 자료로부터 인터넷에서의 대역폭 혼잡에 따른 손실비용의 규모 및 증가 추세를 참고하여 대역폭 혼잡에 따른 대응책을 강구해야 할 것이다.



<그림 1> 도로에서 발생한 연도별 혼잡지체비용

인터넷 사용자는 이용시간대별로 몰려 이용하며 실질적인 정보 이용 면에서 건설적인 정보보다는 부적절한 정보이용을 많이 한다. Cerberan.com에서 조사한 자료에 의하면 직장에서 인터넷 사용자의 70%가 포르노관련 사이트를 검색하며, 60.7%는 개인적인 이용을 위해 자료를 송수신하는 것으로 조사되었다. 특히 이들 중 41%는 주당 3시간 이상을 개인적인 용무를 위해 사용하였으며, 사용자의 18%는 구매사이트에

서 개인적인 상품구매를 시도하였다. 직장인 60% 이상이 그들의 사무실에서 주당 21시간 이상 인터넷에 접속하는 반면에 집에서는 9.5시간을 접속하였다. eBay Company의 온라인 경매 이용자들이 집에서 접속하는 월 단위 시간이 126분인데 반하여 직장에서 157분을 사용하였다.[26,27,28]

몇 명의 사람들이 연결된 링크를 통해 인터넷을 이용하여 데이터 검색 및 음악/동영상 서비스, Web 전화서비스, 파일다운로드, 네트워크게임 등을 각각 할 때 링크용량이 이러한 작업을 지원하기에 충분하지 않는다면 혼잡이 발생할 것이다. 그러나 이들 중 누군가는 네트워크를 점유하여 이용할 것이며 경제적인 논리에서 본다면 부족한 자원의 다양한 요구를 시장을 통해 증대되는 것이 가장 효과적인 방법이다. 즉, 제한된 대역폭 링크시장을 고려할 때 주식이나 경매 시장에서의 수요와 공급에 의한 구매와 같다. 물론 현재의 인터넷은 이용자 사이의 사용권한에 대한 차별은 없다. 즉, 앞에서 제시한 인터넷 사용자들에게 만들어 주는 대역폭 할당은 경제적인 면에서 임의적이다. 불행하게도 오늘날 인터넷은 사용자의 네트워크 점유권의 지불의지를 반영할 수 있는 메카니즘이 없으며 오직 네트워크의 결정에 의존되어 있다. 모든 인터넷 이용자들이 같은 목적으로 접속되어 있다면 경제적인 문제가 일어나지 않지만 목적과 내용이 다르다.

고정요금 계획은, Berkeley에서 실험한 것에 의하면 [5,20], 인터넷의 낭비를 촉진하고, 비용을 증가시키며, 인터넷의 과중한 이용자들 때문에 간단하면서 꼭 필요한 이용자들이 밀려남으로서 피할 수 없는 부정적인 혼잡이 나타나게 되었다. 특히, 서비스 공급자들에게 이러한 고정요금체계는 사용자들에게 비용의 낭비와 보충, 서비스 품질 저하를 초래하였다. 서비스 공급자는 서비스를 공급하기 위해 필요로 하는 시설 투자를 확보하기 위한 충분한 수익을 만들 수 없기 때문에 네트워크 사업이 어려움에 직면하고 있다. 즉, 인터넷의 폭발적인 이용증가에 비례해서 하드웨어 및 소프트웨어적인 투자가 따라가지 못하기 때문이다. 지금까지의 서비스 공급자들은 이러한 수익을 보전하기 위해 묶어서(bundle) 싸게 파는 방법으로 서비스의 경쟁력을 향상시켜왔다. 그러나 이것은 근본적으로 서비스 공급자와 인터넷 사용자 모두를 만족시켜 줄 수 없다.

이들 인터넷 사용자의 사용 시간구간 조절을 유도할 필요가 있으며 사용자에게 꼭 필요한 정보만을 이

용하도록 유도하는 정책이 필요하다. 일반적으로 인터넷 사용자들은 자신들이 지불한 요금보다 항상 더 많은 서비스를 성공적으로 획득하려는 의지가 강하다. 때문에 인터넷 사용자들에게 더 많은 대가를 지불할 의지에 호소하기 위해서는 더 좋은 서비스와 초과보상 전략이 필요하다. 즉, 네트워크에서 통계적으로 보장된 서비스를 위해 매카니즘의 혼잡관리, 차별되는 QoS, 보상전략, 효과적인 리소스 할당을 바탕으로 하는 요금 매카니즘이 필요하다. 따라서 인터넷 사용자에게 대역폭 시장을 열어 더 좋은 품질과 차등 요금으로 인한 효과적인 네트워크 사용기법을 제안한다.

## 2. 관련연구 및 타당성

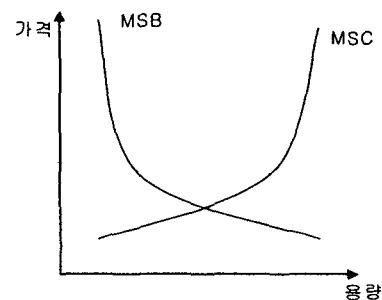
현재의 고정요금체계의 대역폭 시장에서 효율적인 인터넷 자원배분이 이루어지더라도 인터넷 가입자에게 골고루 사용권한이 분배된다는 보장이 없으므로 형평의 문제가 제기된다. 이를 해결하기 위한 기본적인 방법으로 첫 번째 완전한 평형으로 모든 사람에게 동일한 서비스 수준을 보장하는 것이다. 두 번째로 임의의 인터넷 사용자에게 최소한의 서비스 수준이 보장되도록 하는 것이다. 첫 번째 방법은 가난한 인터넷 사용자나 부유한 인터넷 사용자 모두에게 같은 가중치를 두기 때문에 현실적인 차별성에 대한 배려가 없다. 두 번째 방법은 인터넷 전체의 효율성 증대를 위해 가장 가난한 인터넷 사용자의 효율성을 기준으로 함으로서 혼잡은 발생하지 않지만 값비싼 하드웨어 장비를 제대로 활용하지 못한다. 그러나 경제적인 관점에서 볼 때 다른 어떤 사람에게 손해를 끼치지 않고는 어느 한 사람을 더 이상 좋게 할 수 없다. 따라서 네트워크를 통한 데이터 전송은 혼잡이 발생할 수밖에 없으며 개인에게 효율적인 인터넷 사용을 호소하는 유일한 길 중의 하나가 네트워크를 많이 이용하고 차별화된 전송 품질 서비스를 받고자하는 사용자에게 더 많은 요금을 부과하는 것이다. 즉, 서비스 공급자에게 고정비용(fixed cost) + 변동비용(variable cost)/한계비용(marginal cost)을 최대한 하도록 허용하되 네트워크 접속을 적게 하거나 감소하게 하는 건 강한 사용자에게는 환불정책을 고려한다.[10,16,18]

넓은 영역의 네트워크에서 매번 요금을 갱신하면서 가까운 미래의 서비스 품질 예측과 현재 요금 같은 네트워크 서비스의 변화에 대해 피드백 정보를 획득

하는 것은 쉬운 일이 아니다. 그러나 Yuksel, Kalyanaraman과 Goel는 가격 변화가 40 RTT(round trip time)보다 큰 시간 척도에서 수행된다면 요금을 통한 혼잡관리는 달성될 수 없음을 보였다. 때문에 가격을 통한 혼잡관리를 이루기 위해 서비스 가격을 자주 갱신해주어야 한다. 또한 이들은 POCC(pricing over congestion control)를 이용하여 종단간 혼잡관리 기법을 연구하였다. 기본적인 혼잡관리가 없을 때 요금 프로토콜(pricing protocol)은 작은 시간척도에서 작동해야하고, 자주 가격을 갱신해야 하는 단점이 있다. 에지 대 에지 요금(Edge-to-Edge pricing) 모델을 위해 고객이 edge 라우터에서 배치한 공급지(provider station)에 계약하는 것에 의해 네트워크에 접근할 수 있음을 보였다. 그리고 보장된 서비스를 내부 도메인에 공급할 수 있는 계획을 구현하는 Distributed-DCC(dynamic capacity contracting) 구조를 이용한다. 이와 같은 edge 전략은 bidding과 contracting의 기본적인 의사결정(decision making) 매카니즘을 이용한다.[13,24]

Mackie-Mason과 Varian은 혼잡관리를 위해 Smart Market 개념을 이용한 동적인 가격(요금)을 기반으로 한 경매기법을 제안하였다. 이것은 패킷당 혼잡 요금을 부과하는데 기본을 두며 모든 라우터의 향상이 요구되었다. 물론 하드웨어적인 향상은 실현될 수 없었지만 소프트웨어적으로 부분적 개선이 이루어 졌다.[14]

Dolan과 Simon은 균등요금, 비 선형요금, 혼합요금 계획의 한계비용을 기반으로 하여 요금 부과 기법을 구현하였다.



<그림 2> 사회적 한계비용과 사회적 한계편익

참고로 인터넷 사용자가 늘어남에 따라 증가된 사용자들을 위해 드는 사회적인 한계비용(MSC:marginal

social cost)은, 네트워크 구축에 필요한 하드웨어 및 소프트웨어 개발비용, 점점 증가하는 반면 인터넷 사용자들이 느끼는 사회적 한계편익(MSB:marginal social benefit)은 점점 하락한다. 효율적인 인터넷 사용은 사회적인 총 편익과 사회적인 총비용의 차이인 순 사회편익(marginal social cost)이 가장 큰 수준이다. 네트워크 전체의 자원을 효율적으로 배분하게 되고 더 이상 네트워크 전체의 순 편익을 증가시킬 수 없으므로, 이를 파레토 최적(pareto optimum)이라 한다, 차별화 된 서비스 품질을 이용한 요금부과 정책의 타당성을 보였다.[6,10]

Gupta, Stahl과 Whinston는 Priority Pricing 개념, Kelly, Maulloo와 Tan은 PFP(proportional fair pricing) 개념, Wang과 Schulzrinne은 RNAP(resource negotiation and pricing) 개념을 설명하였다. 그러나 혼잡 요금과 허용관리의 통합을 위해 완벽한 구현을 했음에도 불구하고 사용상 문제점이 발생되었다. 이것은 혼잡 요금 결정에 모든 네트워크 라우터의 참가가 요구되기 때문이며 현실적으로 상당한 문제가 발생할 수 있다. 또한 Odlyzko은 정적개념의 Paris Metro Pricing에 관해 연구하였다.[7,11,22]

Aboulfadl, Gupta, Pradhan과 Kalyanaraman는 대역폭 서비스를 보증하는 내부 도메인의 요금과 위험을 다루기 위한 현물 요금(가격)구조를 연구하였다. 이들은 7개의 가정을 전제로 하여 demand profile과 demand curve 개념을 이용하여 모델을 개발하였다. 이들은 Ramsey rule을 기본으로 하여 최적 요금모델을 다음과 같이 제안하여 사용하였다.[1]

$$p(q) = c(q) + \frac{\delta q}{n} \quad (1)$$

여기에서  $m$ 과  $n$ 은 공급자에 의해 추정되는 모수로서  $q=m+np$  혹은  $p(q) = \frac{q-m}{n}$  을 참고하여 결정한다.  $\delta$ 는 상수로서 보통  $0 \leq \delta \leq 1$ 에서 주어진다.  $c(q)$ 는 한계비용이다.

Shu와 Varaiya는 통계적으로 보장된 서비스를 위해 이론적인 요금 매카니즘인 SPAC(smart pay admission control)을 제안하였는데 이것은 경매기반 허용 알고리즘이다. 여기에서 서비스 배달의 통계적 보증으로서 QoS, 서비스가 성공적으로 완수될 수 있는 확률 등을 사용한다. 혼잡관리에 DiffServ (differentiated-

services)를 기본으로 QoS의 차별을 제안하였다. Shu와 Varaiya가 제안한  $t$ 번째 패킷의 혼잡료를 계산하기 위한 함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.[18]

$$p_t(b) = p_{t-1}(b) + (d_t - d_{t-1}) \cdot b_{(n - \sum_{k=1}^{t-1} A_k)} \quad (2)$$

여기에서  $n$ 은 에이전트의 수를 나타내며,  $d_t$ 는  $t$ 번째 수준의 서비스 배달속도이다.  $b_t$ 는 에이전트  $t$ 의 입찰가이며,  $b = (b_1, \dots, b_t, \dots, b_n)$ 이다. 이때 모든 인터넷 사용자들에게  $\sum_{k=0}^{m-1} A_k \geq n$  제약을 부여한다.

$t$ 번째 지불비용함수는 다음과 같이 정하여 사용하였다.[18]

$$U_t(b, \theta_t) = \theta_t x_t - \sum_{k=0}^{m-1} p_k Q_k(x_t) \quad (3)$$

여기에서  $\theta_t$ 는 에이전트  $t$ 의 참값(true value)이며,  $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_t, \dots, \theta_n)$ 이다.  $x_t$ 는 에이전트  $t$ 가 받는 서비스 배달료이다.  $x_t \in X$ ,  $X = (d_0, \dots, d_{m-1})$ 이며,  $Q_k(x_t)$ 는 행위자  $t$ 가 받는 QoS 수준을 의미한다.  $\sum_{k=0}^{m-1} Q_k(x_t) = 1$ 의 제약 조건을 갖는다. 따라서  $\sum_{k=0}^{m-1} p_k Q_k(x_t)$ 는 임의의 QoS 수준에서 서비스를 받기 위해  $t$ 번째 행위자가 지불하는 요금을 의미한다.

### 3. Network Pricing Model

네트워크 사용요금의 다른 형태로부터 혼잡요금을 구별하는 것이 중요하다. 대부분의 국가에서는 사용자가 계약한 ISP에 인터넷 접속에 대한 고정비용(flat-rate charge)을 지불한다. 그러나 유럽에서는 사용자가 네트워크에 연결된 시간만을 고려하는 이용기반 요금(usage based pricing)을 채택하고있다. 이러한 요금정책은 인터넷 이용자들에게 꼭 필요한 때에만 네트워크를 이용하도록 유도하며, 네트워크를 이용하지 않을 때 인터넷으로부터 사용자가 연결을 스스로 끊도록 유인하는 것이 ISP, 네트워크와 사용자 모두에게 이익이 된다. 미래의 인터넷 시장은 ISP가 고객

에게 네트워크 품질서비스 범위를 제공한다. 부하가 없는 네트워크일지라도 수행능력이 서비스 수준사이에 차이가 있다면 양질의 서비스를 위해서 초과비용을 지불할 의지가 있는 이용자를 위해 사용자 선택 중심의 차등 요금제를 허용해야 한다. 가장 간단한 요금지불 방법은 패킷이 모두 전송되지 않으면 비용은 0으로 계산된다. 병목을 통해 패킷이 모두 전달될 때 지불비용은 1이 된다.

### 3.1 Congestion Pricing

네트워크 혼잡을 초래하는 원인 제공자인 사용자에게 사회적인 비용을 책임 지우게 하는 것이 효과적인 네트워크 이용을 유도하는 것이다. 혼잡 요금부과가 인터넷 이용자의 효율적인 운영과 서비스 품질 향상을 가져올 수 있다. 사용자는 그들의 ISP와의 계약에서 고정비용을 지불한다. 혼잡이 없을 때 네트워크 링크의 사회적 한계비용을 0으로 한다. 혼잡수준의 적절한 지적과 사용자 의지에 의한 혼잡 요금적용은 네트워크 용량을 관리하고 준비하는 관리자에게 적절한 피드백 정보를 부여할 수 있다.

### 3.2 Smart Market

Mackie-Mason과 Varian이 제안한 것으로 각 혼잡 라우터에서 각 입력 패킷에 의한 bidding 값은 패킷 소지자가 라우터를 통해 패킷을 보내려는 요금을 지불하려는 의지가 있는 양을 지적한다. 라우터는 시장을 열어 가장 높은 bidding을 갖는 패킷이 네트워크를 사용하도록 허용한다. t 번째 패킷의 bidding,  $B_t$ 를 가지고 송신된다. 여기에서  $B_t$ 는 패킷을 안전하게 보낼 수 있도록 송신자가 초과 지불할 의지가 있는 요금을 의미한다. Mackie-Mason과 Varian이 제안한 Smart Market은 몇 가지 구현문제를 가지고 있다. Packet by Packet 기반에서 사용자에게 bidding을 기대하는 것은 논리적으로 타당하지 못하다. 또 다른 문제는 새로운 라우터 장비를 교체해야하는데 현실적으로 많은 문제점이 있다. 마지막으로 개별적인 링크를 포함하기 때문에 네트워크 전체의 안정성을 보장할 수 없다.[14]

Kelly는 단순한 경제학 개념을 이용한 네트워크 개발을 제안하였다. 즉, 시장 매커니즘에 TCP 개념을 조합하여 전송율, bidding, 부과(charge)를 고려하였다.

전송율은 단위시간마다 전송된 패킷 수를 나타내며, bidding은 단위시간마다 사용자가 사용할 의지가 있는 량(요금)을 나타낸다. 또한 Smart Market에서 링크는 수요와 공급의 균형이 이를 때 평형성을 이룰 수 있다는 사실을 기초로 한다. 이러한 평형성은 시스템이 전체적으로 안정하다는 것을 의미하며 시스템은 항상 평형성으로 수렴되도록 시도한다는 것을 보였다.[12]

### 3.3 Statistical Approach

혼잡이 발생할 때 패킷을 버리는 것 대신에 라우터에 이러한 혼잡정보를 표시한다. IP 헤더의 사용하지 않는 비트 2개를 이용하여 사용할 것을 Henderson, Crowcroft와 Bhatti가 제안하였다.[8] 이것은 명확한 혼잡표시(explicit congestion notification: ECN)로 알려졌으며 네트워크 혼잡요금을 표시하기 위해 ECN 표시를 이용한다. 수신자는 ECN 표시의 수를 관찰하고 이러한 정보에 의존하는 데이터 흐름을 계속 선택할 것인지 중지할 것인지를 선택한다. 패킷이 살아있는 동안에 링크가 과부하가 걸리지 않으면 초과비용이 발생되지 않는다. 이러한 0-1 요금부여는 ECN 비트를 통해 유도될 수 있으며 패킷이 활동하는 동안 과부하 링크를 발생시키면 패킷은 1이 된다. 그렇지 못할 경우 0이 된다.

소단위 대역폭 시장 즉, 내부 인터넷망에서 사용자 그룹간의 서비스 사용량을 조사하여 필요한 모델식을 만들 수 있다. 예를 들어 모 대학에서 교수, 행정 및 기술, 운영자, 학생들이 인터넷을 접속하여 서비스를 받는 양을 각각 조사한 후 다음과 같은 모델식을 얻을 수 있다.

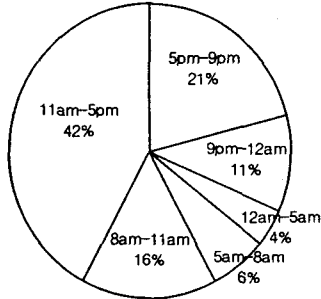
$$C(\cdot) = 0.86 \cdot \text{교수} + 2.4 \cdot \text{행정(기술)} + 7.02 \cdot \text{운영자} + 0.91 \cdot \text{학생} \quad (4)$$

모델식에서 각각의 계수는 통계적으로 유의하며 회귀식의 결정계수( $R^2$ )는 0.646이다.

Berkeley 대학에서 조사한 것에 의하면 네트워크를 이용하는 사용자의 81%는 8Kbyte 미만의 대역폭을 사용하였으며, 32Kbyte 이상 사용자는 17%, 특히 128Kbyte 이상의 대역폭을 이용하는 사용자는 4%에 지나지 않음을 확인하였다.

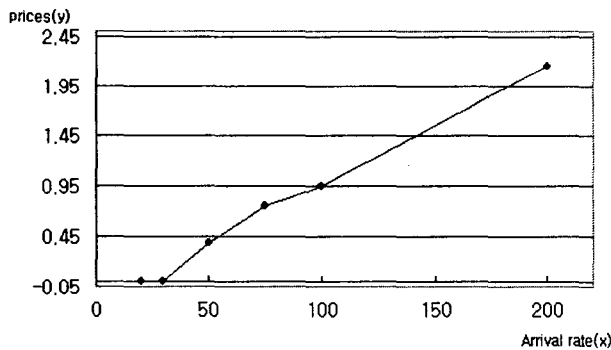
인터넷을 이용하는 사용자는 오전 11시부터 오후 5

시 사이 전체 사용량의 42%가 몰려 있으며, 오전 8시부터 오후 9시 사이의 대부분 사용자가 인터넷에 접속하여 사용함을 확인하였다.[20]



<그림 3> 인터넷 사용자의 시간대별 이용분포

Gupta, Stahl과 Whinston의 모의실험 자료를[7] 바탕으로 하여 패킷 도착율과 가격사이의 관계를 그래프로 나타낼 수 있다. 이들 자료를 이용하여 두 변수 사이의 상관관계를 구한 후 1차 선형식이,  $y = 0.0121x - 0.2532$  이며 이때  $R^2$ 은 0.9923이다, 됨을 확인할 수 있다.

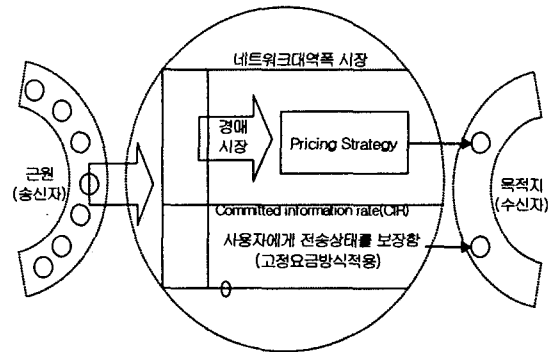


<그림 4> 패킷 도착율과 가격(요금)관계

#### 4. 최적구현기법

인터넷을 통한 데이터를 전송 및 수신할 때 사용자는 지연을 최소화하고 대역폭 공유를 최대로 하길 원한다. 고정요금과 이용기반요금 정책을 함께 쓰는 혼합방법을 제시한다. 인터넷 이용자로 하여금 고정요금이 포함된 계약금액을 지불한다.

다음과 같은 요금부과를 기반으로 하는 혼잡관리를 고려한다. 혼잡이 발생하지 않을 때 즉, 허용된 정보 전송율을 유지할 때 고정요금적용에서의 같이 사용자에게 제한조건 없이 전송상태를 보장하며 네트워크를 사용할 수 있다. 그러나 혼잡이 발생할 조짐이 보이거나 발생되었을 때부터 차등요금을 적용하는 대역폭 시장 원리에 의해 패킷이 전송되도록 한다. 이때 경매 시스템과 차등요금부과 알고리즘을 적용한다.



<그림 5> 차등요금과 서비스 적용을 위한 네트워크 대역폭 시장(Pricing Strategy)

다음과 같은 간단한 차등요금 함수를 적용한다.

$$C(x) = m_0 + a_0^x, \quad a_0 > 0, \quad a_0 \neq 1 \quad (5)$$

여기에서  $m_0 \geq m_1$ 은 기본요금을 나타내며,  $a_0 \geq a_1$ 은 임의 상수이다.  $m_0, a_0$ 은 요금부과요인이고  $m_1, a_1$ 는 요금환불인자이다.

혹은

$$C(p_{i,j,t}) = \alpha_i + \beta_i \lambda_{jt} \quad (6)$$

여기에서  $C(p_{i,j,t})$ 는 t시점에서 i용도에 대한 j 이용자의 가격(요금)을 나타낸다.  $\alpha_i = [\frac{E(R_i)}{Q_i}]FCR$ 은 i용도의 기본요금을 나타낸다.  $E(R_i)$ 은 i용도의 단위 시간 기대수익을 나타내며,  $Q_i$ 는 i용도의 단위시간 수량을 나타낸다. FCR은 고정비율이다.  $\beta_i$ 는 균형상태에서의 i용도의 단위사용요금을 나타낸다.[25]

$$\beta_i = \frac{[\frac{E(R_i)}{Q_i}](1-FCR)}{\lambda_i^*} \quad (7)$$

$\lambda_i^*$ 는 i용도에 대한 이용량의 평균요금을 나타낸다.  
 $\lambda_{jt}$ 는 t시점에서 j이용자의 인터넷 서비스 이용량을 나타낸다.

혼잡이 발생하여 경매 시스템을 적용할 때 외적인 즉, 데이터 크기(패킷 수)와 사용 구간별에 따라 가중치를 고려한 Bidding 값(Chip 수)은 다음과 같이 계산되도록 제안한다.

$$B_t(p, d) = (1 + \xi_p + \xi_d)B_t \quad (8)$$

여기에서  $B_t(p, d)$ 는 t시점에서 p 데이터 크기, d 사용구간 대에 경매에 참가할 Bidding 값을 나타낸다.

$\xi_p$ 와  $\xi_d$ 는 데이터 크기에 따른 가중치와 전송구간 대에 따른 가중치를 각각 의미한다. 즉, 데이터 크기가 클수록, 인터넷 사용빈도가 많은 시간구간일수록 가중치가 커진다.

대역폭 시장에서 다음과 같은 경매 시스템을 제안한다.

- 1 단계 : 네트워크에서 혼잡이 발생할 경우 대역폭 시장에서 전송권한을 갖기 위해 Bidding Chip을 가지고 경매에 참가한다. 이때 Chip 수는 송신자의 전송의지에 따라 결정하되 (8)식을 참고한다.
- 2 단계 : 임의 단위 구간경매(periodic interval auction)를 실시한다. 관리자는 각 송신자 패킷의 Bidding Chip 수를 검토하여 두 번째로 높은 전송자의 패킷에게 전송권한을 부여한다. 이것은 터무니없이 너무 높은 Bidding을 하여 대역폭 시장을 위협하려는 사용자에게 심리적 자극을 주기 위함이다.[8,21]
- 3 단계 : 전송이 성공했을 경우 경매에 참가한 Chip 수만큼을 감소시킨다. 경매에 실패했을 경우 원래의 Chip 수를 유지하도록 하며, Bidding 순위를 참고로 상위  $\rho\%$ 까지의 패킷들만 또 다른 경매에 참가하도록 허용한다.  $\rho$ 는 대역폭 크기(처리율), 네트워크 용량, 지연율, 패킷 손실율 등을 참고하여 정한다.

다음과 같은 요금부과 알고리즘을 제안한다.

- 1 단계 : 인터넷 이용자는 계약과 동시에 ISP로부터 서비스 허용시간과 Bidding Chip을 받는다.
- 2 단계 : Red Point(R) = 0, Green Point(G) = Bidding Chip 수.
- 3 단계 : 송신자가 대역폭을 이용하여 패킷을 전송할 때 IP 헤더에 사용자의 의지에 따른 Bidding 정보를 탑재한다. 소단위(1일 혹은 1단위 시간)로 인터넷을 사용할 때 혼잡이 발생되지 않으면 전송 보장과 함께 패킷 전송을 실시한다(5 단계로 간다). 혼잡이 발생할 경우 다음 단계로 간다.
- 4 단계 : 대역폭 시장에서 Bidding Chip을 이용한 경매 매카니즘을 적용한다. 주어진 조건 안에, 일반적으로 RTT가 40이 되기 전에 전송을 마친다, 전송을 완료할 경우에 Bidding의 성공과 함께 Chip 수를 감소시킨다. 허용 받은 Bidding Chip 수를 초과했을 경우 ISP로부터 필요한 수만큼 추가 할당받고 Red Point에 그 수만큼 더 하여 준다.
- 5 단계 : 계약시간을 검사한다. 혼잡이 발생했을 경우에만 초과 단위시간마다 Red Point를 누적화한다. 사용하지 않은 단위시간만큼 Green Point를 누적화 한다. 3단계로 간다.
- 6 단계 : G-R을 계산하여 양의 수만큼 이용자에게 보상(환불)을 한다. 음의 수만큼 추가요금을 부과한다. 이때 (5)식을 참고로 한다.
- 7 단계 : 1단계로 간다.

이와 같은 알고리즘은 송신자 및 수신자 모두에게 적용할 수 있다.

제안된 요금부과 알고리즘을 <그림6>과 같이 도식화하여 나타낼 수 있다.

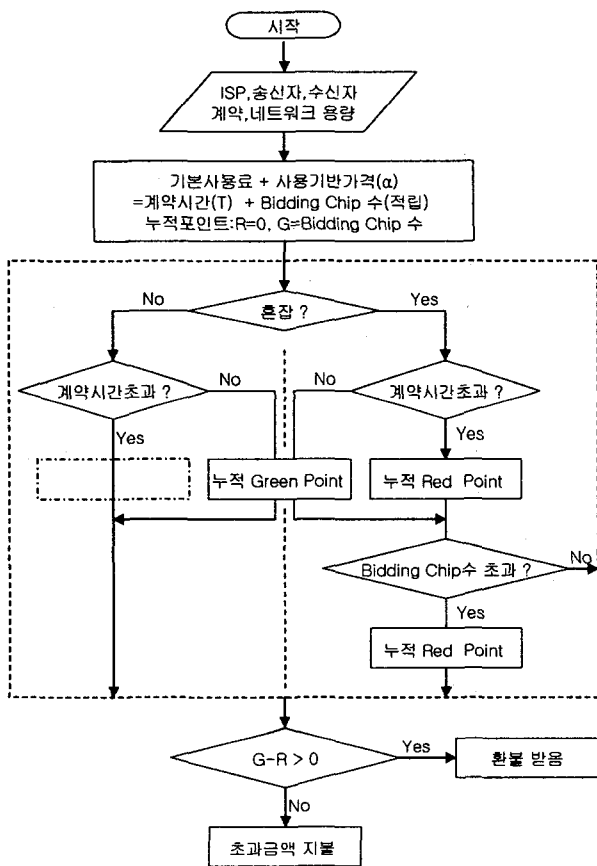
## 5. 결론 및 향후 연구과제

현재 및 미래세계에는 일상생활에서부터 전문적 활동에 이르기까지 인터넷을 기반으로 한 데이터 전송에 의해 모든 작업이 이루어 질 것이다. 또한 복잡하고 다용도 프로그램 개발로 인한 데이터 크기가 증가

될 것이다. 특히 인터넷을 이용하는 사용자의 폭발적인 증가에 비해 하드웨어 및 소프트웨어의 개발과 투자가 매우 느리기 때문에 네트워크에서의 혼잡은 필연적일 수밖에 없다. 현재의 고정 요금체계에 의해 인터넷에 접속한 모든 사용자에게 공평하게 사용권한을 부여하는 것은 더욱 심각한 혼잡을 초래하게 될 것이다. 즉, 고정요금체계에 의한 모든 이용자가 공평하게 네트워크를 활용한다면 혼잡은 더욱 증가되어 네트워크의 손실 및 효율적 이용감소 등이 초래될 것이다. 관리자 입장에서 누구의 작업이 더 가치가 있으며 중요하다고 판단할 수 없으며 오직 사용자의 경제적인 지불의사가 더 있는 이용자에게 사용의 우선 권한을 부여하는 것이 지극히 타당한 논리이다.

한 대안 중의 하나가 될 것이다. 또한 차별된 요금 부과 정책은 심리적으로 사용자가 인터넷을 이용하지 않을 경우 사용자가 스스로 연결을 끊도록 영향을 줄 수 있다. 또한 혼잡이 발생하지 않을 경우 계약시간을 초과하여 인터넷을 사용하여도 초과요금을 부과하지 않음으로서 인터넷 사용자의 분산효과를 가져올 수 있다. 특히 계약 후 인터넷 접속을 거의 하지 않았거나 필요한 접속만을 행한 건강한 사용자에게는 오히려 요금을 환불해 주는 것이 서비스 공급자 및 인터넷 사용자 모두에게 매력적인 정책이 될 것이다.

### 참고 문헌



<그림 6> 경매 시스템을 이용한 차등요금과 서비스기반 모델의 흐름도

혼잡이 발생할 경우 경매 제도를 기반으로 한 차등 요금제를 적용함으로써 차별적인 서비스가 일어나는 인터넷 시장개념은 차세대 혼잡을 해결할 수 있는 유일

- [1] M. Aboulfadl, A. Gupta, R. Pradhan and S. Kalyanaraman, "A Spot Pricing Framework to enable Pricing and Risk Management of Inter-Domain assured Bandwidth Services", Proceeding of the 2002 Winter Simulation Conference, 2002.
- [2] S. Ben Fredj, T. Bonald, A. Proutiere and G. Regnie, J. W. Roberts, "Statistical Bandwidth Sharing: A Study of Congestion at Flow Level", pp 111-122, Aug. SIG-COMM 2001.
- [3] T. Bonald, A. Proutiere, G. Regnie and J. W. Roberts, "Insensitivity Results Statistical Bandwidth Sharing", In Proceeding of ITC17, Sep. 2001.
- [4] R. Cole, Y. Dodos and T. Roughgarden, "Pricing Network Edges for Heterogeneous Selfish Users", STOC'03, pp 521-530, 2003.
- [5] R. J. Edell and P. P. Varaiya, "Providing Internet Access: What we learn from the INDEX Trial", INDEX Project Report #99-010W, 1999.
- [6] R. J. Dolan and H. Simon, "In Power Pricing-How Managing Price Transforms the Bottom Line", Free Press, NY, 1996.
- [7] A. Gupta, D. O. Stahl and A. B. Whinston, "Why are Pricing issues the Key to Infrastructure Investment and Future growth of the Internet?", Communication of the ACM, Vol 42, No 9, pp 57-63, 1999.



- [8] T. Henderson, J. Crowcroft and S. Bhatti, "Congestion Pricing", IEEE Internet Computing, pp 77-81, Oct. 2001.
- [9] V. Jacobson, "Congestion Avoidance and Control", Proceeding of the ACM SIGCOMM'88, Vol 18, No 4, pp 314-329, Aug. 1988.
- [10] R. Johari, "Mathematical Modeling and Control of Internet Congestion", SIAM News, Vol 33, No 2. 2002.
- [11] F. P. Kelly, A. K. Maulloo and D. H. K. Tan, "Rate Control in Communication Networks: Shadow Prices, Proportional Fairness and Stability", J. Oper. Res. Soc. Vol. 49, 1998.
- [12] F. P. Kelly, "Mathematical Modeling of the Internet", in Mathematics Unlimited-2001 and Beyond, pp 685-702, Springer-Verlag, Berlin, 2001.
- [13] W. Liu, "Congestion based Pricing", Helsinki University of Technology, Finland, 2002.
- [14] J. K. Mackie-Mason and H. Varian, "Pricing the Internet - Public Access to Internet", MIT Press Cambridge, MA, 1995.
- [15] A. O'Donnell and H. Sethu, "A Novel, Practical Pricing Strategy for Congestion Control and Differentiated Services", Proceeding of the IEEE International Conference on Communications, May 2002.
- [16] A. Penttinen and J. Virtamo, "A Packet Marking Algorithm for Congestion Pricing", Helsinki University of Technology, Finland, 2002.
- [17] J. Roberts, "Insensitivity in IP Network Performance", France Telecom R&D, 2001.
- [18] J. Shu and P. Varaiya, "Pricing Network Services", INFOCOM, 2003.
- [19] H. Sirsena, M. Hassan and A. Haider, "Optimal TCP Congestion Control", University of New South Walse, Sydney, Australia, 2002.
- [20] H. R. Varian, "Estimating the Demand for Bandwidth", UC, Berkeley, <http://www.sims.berkeley.edu/~hal/Papers/>, 2000.
- [21] W. Vickrey, "Counter Speculation and Competitive Sealed Tenders", J. Finance, Vol. 16, No 1, pp 8-37, 1961.
- [22] X. Wang and H. Schulzrinne, "An integrated Resource Negotiation, Pricing, and QoS Adaptation Framework for multimedia applications", IEEE Journal of Selected Areas in Communications, Vol. 18, 2000.
- [23] C. Yuen and W. Tjioe, "Modeling and Verifying a Price Model for Congestion Control in Computer Networks", In Proceedings of the 8th International SPIN Workshop (SPIN 2001), pages 272-287, LNCS 2057, Toronto, May 2001.
- [24] M. Yuksel, S. Kalyanaraman and A. Goel, "Congestion Pricing Overlaid on Edge-to-Edge Congestion Control", In the Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC), Anchorage, AK, May, 2003.
- [25] S.K. Lee and Y.D. Pyun, "The pricing of Electricity through the ESPM" The Korean Operations and Management Science Society, Vol. 27, No 4. Dec. 2002
- [26] "Increasing Internet Abuse", <http://www.cerberian.com>, February 2002.
- [27] "Employee Computer & Internet Abuse Statistics", [Online] Available : <http://www.snapshotspy.com>
- [28] "Hourly Access Statistics for this WebSite & Server Load Average", [Online] Available : <http://www.gocee.com>



지 선 수 (Seon-Su Ji)

중앙대학교 응용통계학과에서 석사 및 박사학위를 받았으며 Towson state Univ. 컴퓨터공학과에서 1년간 공부함.

현재 원주대학 컴퓨터정보관리과 교수로 재직하고 있음.

(관심분야 : Congestion control, network pricing model)