

디지털 컨버전스 인프라로서의 NgN 환경에서 인터넷 산업구조 : ISP, CP, CDN 사업자간 경쟁을 중심으로

김도훈*

Study on the Internet Industry Structure under the NgN
Regime-Competitive Landscape of ISPs, CPs, and CDNs

Do hoon Kim*

■ Abstract ■

ITU-T's NgN(Next generation Network) architecture is expected to offer a new Internet platforms such as QoS (Quality of Service) guaranteed services as it overcame the limitations of the existing best-effort Internet architecture. However, policy development crucial for the NgN framework(e.g., interconnections and billing) is lagging far behind technology development. For example, arguments over network neutrality clearly indicate little understanding of the Internet industry structure where diverse providers including ISP and CP coexist. This study employs a network economics approach to predict how the competitive landscape involving various providers will evolve under the traffic-based billing system under the NgN environment. Applied is the non-cooperative game theory, in particular, Stackelberg's repeated game in order to build and analyze model for competition among those providers. We also studied possible impacts that CPs would have on the competitive landscape if they have an option to replace ISP: i.e., CDN(Content Delivery Network) provider. Lastly, based on the model analysis and experiments, presented are their implications to policy development and the future prospect.

Keyword : NgN, Convergence, Internet Industry, ISP, CDN, Stackelberg Game

1. 서론

디지털 컨버전스(digital convergence)의 핵심 인프라는 모든 정보통신서비스를 IP(Internet Protocol)를 기반으로 하는 All-IP 네트워크 환경이다. ITU(International Telecommunication Union)의 NgN(Next generation Network)이나 우리나라의 BcN(Broadband convergence Network), 영국 BT의 21st CN(21st Century Network) 등이 All-IP 컨버전스 네트워크 인프라의 대표적인 예이다. 특히 2010년 까지 많게는 약 70조 원이 투자될 것으로 예상되는 거대 국책사업인 우리나라의 BcN은, 그 이름이 의미하듯이 모든 서비스에 광대역 파이프(broadband pipe)를 제공하는 네트워크 기반을 제공할 계획이다[9]. 이러한 측면에서는 과거의 B-ISDN(Broadband Integrated Switched Network)과도 일견 비슷해 보이나, 단순히 네트워크의 고도화나 단순한 통합(integration)에 그치는 것이 아니라, 모든 IT 서비스를 IP를 기반으로 융합(convergence)하는 All-IP 환경을 전제로 한다는 점에서 B-ISDN과는 다르다. 따라서 NgN 혹은 BcN의 성공과 관련된 주요 이슈들은 기술적인 것보다는 사회/경제적이고 정책적인 것이다.

NgN 서비스는 현재 도입단계에 있는 VoIP (Voice over IP)나 IP-TV를 비롯하여, 이보다 발전된 매우 다양한 실시간 멀티미디어 서비스가 대세를 이룰 것이다. 이러한 서비스들의 공통점은 QoS (Quality of Service)를 보장하는 전송(delivery)이 전제되어야 한다는 것이다. 이는 기존 인터넷의 최선형(best-effort) 방식과는 매우 다른 특성을 지니는 트래픽을 처리해야 하며, 네트워크 자원 사용 패턴에서도 큰 변화가 발생할 것임을 의미한다. 따라서 email이나 ftp 서비스 등에 적용되어 왔던 기존의 정액제(flat rate) 중심의 과금(charging)과는 다른 방식을 개발할 필요가 있다.¹⁾ 이에 따라 많은 전문가들이

NgN 형태의 서비스에 대해서는 트래픽 규모나 사용량에 비례하는(usage-based) 과금체계가 도입될 것으로 전망하고 있다[15, 22, 24].

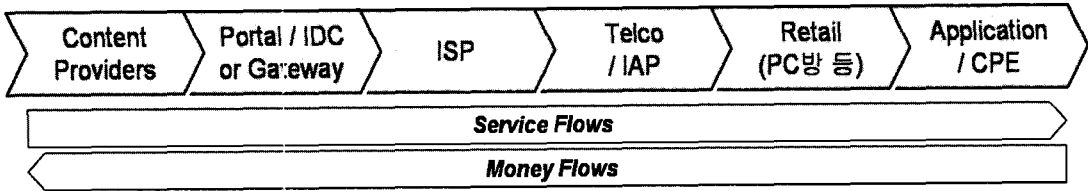
또한 기존의 ISP(Internet Service Provider)와 CP(Content Provider)간의 관계에 있어서도 새로운 방향을 정립할 필요가 있다는 주장도 제기되고 있다. 예를 들면, 2005년 SBC/AT&T CEO인 Whitacre은, ISP가 NgN과 같은 차세대 인터넷 인프라를 구축하는 것을 돕기 위해서라도, Google이나 Yahoo 같은 대형 CP로부터 발생하는 트래픽에 대해 새로운 정산모형(financial settlement model)이 필요함을 역설하였다[1, 25]. 이러한 주장은 망중립성(network neutrality)에 관한 논쟁을 촉발시켰고, 결국 미국 의회에서 망중립성 법안의 입법에 대한 투표로까지 이어졌다[1, 8, 15].²⁾

실제로 Wall Street Journal[25]을 비롯한 여러 대중매체에서도 이제는 쉽게 접할 수 있는 바와 같이, 최선형 인터넷 서비스와 관련하여 대형 CP의 수익구조는 ISP 등 네트워크 사업자들의 그것을 능가하고 있으며, 이러한 추세는 인터넷 자체의 전반적이고 근본적인 변화 없이는 앞으로도 지속될 전망이다. 즉, 가치창출의 중심이 네트워크 사업자로부터 CP로 이동하고 있는 것이다. NgN과 같은 컨버전스 인프라에 대한 논의도, 이러한 배경에서 ISP 등 네트워크 사업자들이 새로운 돌파구를 모색하는 과정에서 자연스럽게 제기된 것이다.

그런데 NgN이나 BcN 등 디지털 컨버전스 인프라에 대한 논의는 망중립성과 같은 정책적 이슈와 ISP 및 CP간 경쟁구도 등에 대한 충분한 분석과 이해 없이는 별다른 진전을 볼 수 없을 것이다. 그러나 이러한 문제인식은 비교적 최근에 와서야 형성되기 시작하였기 때문에 관련된 연구가 많지 않다. 뿐만아니라 ISP를 중심으로 한 인터넷 산업구조에 대한 연구도, [6, 11, 18]

1) 현재의 최선형 인터넷 서비스에 대해서도 정액제 방식이 경제적으로 최적이 아니라는 주장도 많이 제기되고 있다([6] 등을 참조).

2) 2006년 8월 현재 망중립성 법안은 받아들여지지 않고 있으며 계속 논의가 진행 중에 있다. 보다 자세한 내용은 [1, 8, 15] 등을 참조.



〈그림 1〉 인터넷 산업의 가치사슬[4]

등과같이 주로 인터넷 요금이나 ISP간 상호접속에 국한되고 있으며, 이종사업자간 상호작용과 산업 생태계(industrial ecosystem) 분석에 관한 연구는 발견하기 어렵다. 특히 NgN 환경에서 사업자간 경쟁과 상호작용을 분석적으로 연구한 문헌은 쉽게 찾아보기 어렵다.

본 연구에서는 NgN 환경에서³⁾ 트래픽 기반 과금체계를 전제로 할 때, ISP와 CP간 경쟁구도가 어떻게 전개될 것인지를 네트워크 경제학적 접근을 적용하여 고찰한다. 특히 CP가 CDN(Content Delivery Network)이라는 또 다른 대체 수단을 가지고 있을 경우, 경쟁구도와 산업구조 진화에 미치는 영향도 살펴본다. 다음 장에서는 먼저 디지털 컨버전스 인프라로서의 NgN 환경에 대해 소개한다. 특히 현행과는 달리, NgN 환경에서는 QoS 등 서비스 품질과 사업자간 정산(financial settlement) 등이 핵심적인 경쟁차원(competitive dimension)이 됨을 밝힌다. 3장에서는 ISP-CP간 경쟁을 분석하기 위한 네트워크 경제학적 모형을 제시하고, 이에 대한 비협력 게임이론(non-cooperative game theory) 적 접근에 따른 분석 결과를 4장에서 제공한다. 또한 예제를 통하여 제시된 모형에서 ISP, CP, CDN 사이의 관계를 검토하고, 정책적 시사점과 앞으로의 전망 등을 제공하면서 본 논문을 마무리한다.

2. 디지털 컨버전스 인프라로서의 NgN과 사업자간 정산 이슈

2.1 NgN:개요와 전망

〈그림 1〉에서 보는 바와 같이, 인터넷의 기술적 특성상 한 끝(end-supplier)에서 다른 끝(end-user)까지 단대단(end-to-end) 서비스를 완성하기 위해서는 매우 다양한 사업자가 개입되어야 한다. 즉, CP이건 ISP이건 통신회사이건, 어느 한 사업자가 서비스전달과정(service delivery process) 전체를 책임질 수는 없다. 〈그림 1〉의 관점에서 볼 때, 디지털 컨버전스는 디지털 기술을 기반으로 한 다양한 제품/서비스가 융합되어 새로운 형태의 제품/서비스로 재구성되는 현상을 말한다. 즉, 음성/데이터/영상과 같은 정보의 융합이나 방송/통신/인터넷 등의 네트워크의 융합, 컴퓨터/통신/정보가전과 같은 기기의 융합 등을 통하여 통신과 교통의 텔레매틱스 서비스 등의 디지털 기술을 기반으로 새로운 형태의 제품이나 서비스가 창출되는 것이다.

NgN은 디지털 컨버전스의 핵심 인프라로서, 통신망/방송망/데이터망 등이 융합된 품질보장형 광대역 멀티미디어 서비스를 언제 어디서나 끊김없이(seamless) 안전하고 빠르게 이용할 수 있는 차세대 통합 인프라를 제공한다. 이는 또한 음성, 데이터, 유/무선, 통신/방송 융합형 멀티미디어 서비스를 언제 어디서나 편리하게 이용할 수 있는 서비스 통합 플랫폼이기도 하다. 즉, 콘텐츠, 네트워크, 단말장비를 가리지 않고 상용자가 원하는 것은 모두 지원하겠다는(any content, any network, any device)

3) NgN, BcN, 21CN 등이 모두 비슷한 동기와 목적에서 출발하였고 그 전개방향도 유사하기 때문에, 본 연구에서는 이러한 개념을 처음으로 제기한 ITU의 NgN으로 나머지 개념들을 대표한다.

것이 NgN을 통한 컨버전스의 비전이자 목표이다. 이를 위해 다양한 서비스를 용이하게 개발하여 제공할 수 있는 개방형 플랫폼(Open API 등)이 요구된다. 또한 보안, 품질보장(QoS 및 SLA(Service Level Agreement), IPv6 등의 확장되고 유연한 주소체계 등이 지원되어야 한다. 그리고 네트워크, 단말, 위치 등에 구애받지 않고 다양한 서비스를 끊임없이 이용할 수 있는 유비쿼터스 서비스 환경도 포함해야 한다.

<그림 1>과 같은 관점에서 볼 때, 디지털 컨버전스는 인터넷 산업의 가치사슬에 직접 개입되는 이해당사자들(ISP, 유/무선 통신회사, CP, IDC(Internet Data Center), 기타 PC망과 같은 유통채널, 최종사용자(end-user), 정부 등) 사이의 기술적, 제도적, 경영정책적 협력이 담보되어야만 성공할 수 있다. 예를 들어, NgN 서비스의 트래픽 특성이 기존의 최선형 서비스와는 많이 다르기 때문에 ISP와 최종사용자, ISP와 CP, CP와 최종사용자간의 새로운 정산체계(settlement system)가 요구된다. 또한 ISP들간의 상호접속(interconnection)과 정산체계가 확립되지 않고서는 글로벌한 연결(global connections) 자체가 원칙적으로 불가능하다. 결과적으로 NgN이 추구하는 단대단 QoS 제공을 위해서는 이러한 상호 연결 관계가 기존의 최선형 서비스에서와는 달라져야 할 것이다. 본 연구에서 인터넷 사업자간 관계 설정에 주목하는 이유가 바로 여기에 있다. 특히, <그림 1>에 나타난 인터넷 산업의 가치사슬 중 핵심 사업자인 ISP와 CP간의 관계에 논의의 초점을 맞추고자 한다.

2.2 NgN 환경에서 ISP와 CP간 관계의 재설정

오늘날의 인터넷은 다양한 사업자들의 상업적인 협정을 통하여 서로 연결된 네트워크들의 집합이다. 사용자 입장에서 볼 때, 전체가 하나의 네트워크인 것으로 인식되는 차별없는 연결(any-to-any connection)을 통하여 인터넷의 본질적인 가치가 형성되어 왔다. 그리고 이러한 이유에서 지금까지 인터넷 상호접속은 최소한의 규제만을 받아 왔다. 그러나 인터넷이 급속히 성장하고 사회적 가치창출의 한 축을 담당하게 되면서부터 차별없는 연결의 이념도 도전에 직면

하고 있다. 망중립성이란 개념도 이러한 이념의 변화에 대응하기 위해 제안된 것이다.

미국의 일부 인터넷 사업자들(주로 Google, Yahoo 등의 CP)은 ISP들이 NgN 등 차세대 인터넷 인프라 구축을 계기로 특정 웹사이트에 대한 접근 통제와 차별적 요금부과 등이 개방성과 차별없는 연결이라는 인터넷 고유의 가치를 침해한다고 주장한다. 그리고 망중립성의 입법을 통하여 차별없는 연결을 보장할 것을 요구하고 있다. 이에 반하여 AT&T 나 Verizon 과같은 ISP들은 망중립성이 NgN에 대한 가격규제(price regulation)에 해당한다고 주장하면서 강력하게 반발하고 있다. 현재 망중립성 법안(실제로는 망중립성을 강화하는 내용을 담은 통신법 개정안)은 미국 의회에 발의된 이후 상원 상무위원회(Senate Committee of Commerce)에서 부결되어 계류중인 상태이다(보다 자세한 진행 과정은 [1, 8] 등을 참조).

망중립성을 둘러싼 논쟁은, 기존의 최선형 인터넷에 적용되어 오던 관행이 NgN 환경에서는 더이상 받아들여질 수 없음을 잘 보여주는 사례이다. 특히 ISP와 CP간의 관계에 대해서는 새로운 정리가 필요한 시점이다. VoIP, IP-TV와 같은 새로운 컨버전스형 서비스와 기술의 등장으로 인터넷 트래픽이 상품성이 점차 강화되면서, 사업자간 상호접속 등 관계에 있어서도 과거 POTS(Plain Old Telephone Services)에서와 같은 수준의 합리적이고 체계적인 방안이 마련되어야 한다는 의견이 점차 주목을 받고 있다. 이러한 맥락에서 한국의 정보통신부를 비롯하여 호주의 ACCC(Australian Competition and Commission)나 영국의 Ofcom(Office for communication) 등도 최근에 인터넷 상호접속방식을 기존의 통신사업자에게 적용되는 강한 규제의 틀에 포함시키려는 다양한 시도를 하고 있다. 특히 Ofcom은 NgN의 성공적인 도입과 정착이 사업자간 원활한 상호연동에 크게 의존하는 만큼, 사업자간 상호접속과 정산제도를 재검토할 것을 지시하는 등 제도 개선에 적극적으로 나서고 있다('인터넷망 상호접속제도'에 관한 정보통신부 고시(2004년 12월 22일)나 [2] 등을 참조). 그러나 우리나라는 NgN과 관련된 기술에 있어서는 앞서가

고 있으면서도, 현행 정책과 규제에서는 차세대 인프라 투자를 유인할 만한 적절한 제도적 뒷받침이 아직 마련되어 있지 않은 것으로 보인다.

한편으로 학계에서의 연구는 네트워크 외부성(network externality)이나 ISP 및 최종사용자간의 인터넷 요금체계를 중심으로 진행되어 왔으며, 망중립성과같은 현실적인 흐름을 제대로 반영하지 못하고 있다. 이에 대한 이유 중의 하나는, 기존의 POTS에서와는 다르게, 콘텐츠와 전송을 담당하는 주체가 별도로 존재하는 등 다양한 인터넷 사업자가 존재하여 체계적인 분석이 원천적으로 쉽지 않다. 실제로 인터넷 산업의 주요 행위자(key player)인 ISP와 CP들은 가격 및 서비스 품질의 차원에서 서로 경쟁하면서도 동시에 서로 협력해야만 하는 독특한 상황에 놓여 있다. 특히 NgN에서 실시간 멀티미디어 서비스가 보편화되기 위해서는 이들 사업자간의 이해관계를 고려하는 새로운 상호연동 및 정산체계를 정립해야 할 시점이다.

현재의 인터넷 기술만으로도 대규모의 다자간 실시간 커뮤니케이션이 가능함에도 불구하고 이러한 종류의 서비스를 현실에서는 찾아 볼 수 없는 가장 큰 이유는, 인터넷 운영과 관련된 사업자들의 전략과 정책적/제도적 뒷받침이 서로 부합되지 않기 때문이다. 그리고 제도적 지원과 비즈니스적 동기부여를 서로 조화시키는 방안을 찾기 위해서는 먼저, (NgN 환경에서) 인터넷 산업구조에 대한 체계적 이해가 전제되어야 하는데, 이 역시 많이 부족하다. 다음의 3장과 4장에서는 이러한 선행연구의 일환으로, 두 주요 행위자인 ISP와 CP간의 관계를 중심으로, NgN 환경에서 인터넷 생태계의 구조를 계량적이고 분석적인 접근을 통해 고찰한다.

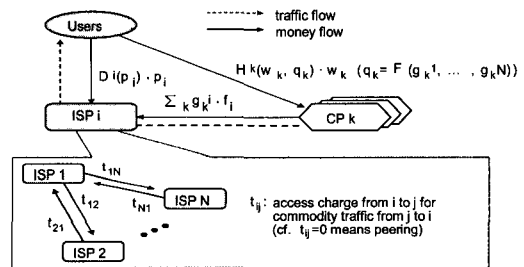
3. NgN 환경에서 인터넷 산업구조 : ISP-CP간 경쟁을 중심으로

3.1 연구 모형의 배경과 시나리오

NgN 환경에서 인터넷 산업구조 혹은 생태계에 대한 계량적 분석을 위해, 본 연구에서는 네트워크

경제학적 접근과 Stackelberg 유형의 반복게임(repeated game) 모형[14]을 적용한다.

먼저, <그림 1>에서와 같이 표현된 인터넷 가치사슬 전체를 하나의 모형을 통해 분석하는 것은 불가능하기 때문에, 본 연구에서는 연구의 범위를 ISP와 CP간 경쟁으로 국한하기로 한다. 우리나라 인터넷 및 정보통신 산업의 구조적 특성상, <그림 1>에서의 통신사업자, IDC, ISP 등은 모두 동일 사업자(그룹)에 해당된다. 따라서 연구 범위에 대한 이러한 제한이(최소한 우리나라의 경우에는) 비현실적인 것이 아니다. 본 연구에서 고려하는 인터넷 산업의 가치사슬구조를 정리하면 아래 그림과 같다.



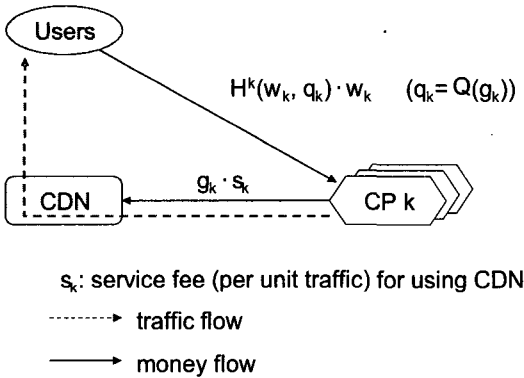
<그림 2> 시나리오-1 : ISP 중심의 인터넷 생태계

위 그림에서 보는 바와 같이, 여기서의 연구모형은 인터넷과 NgN의 특성을 반영하기 위하여 서비스 품질과 인터넷 접속 비용 등을 주요 변수로 고려한다. 서비스 품질은 NgN에서 All-IP 컨버전스 서비스가 활성화되기 위해서는 QoS의 보장이 가장 중요하다는 기존의 연구결과[7, 10, 23] 등을 반영하는 것이다.4)

또한 ISP와 최종사용자 및 CP간의 과금체계는 다양한 서비스의 신속한 개발과 이종 서비스간 융합이라는 현실적인 이슈에서 중요하다. 본 연구에서는(특히 망중립성 논의와 관련지어 볼 때) ISP측의 입장을 반영하여 트래픽 기반 과금체계를 가정

4) 사용자 관점에서 볼 때, 단대단 QoS는 어떤 ISP에 가입되어 있더라도 동일한 품질의 서비스를 보장받을 수 있도록 하기 때문에 NgN의 가장 매력적인 요소임을 많은 문헌들이 지적하고 있다. ISP 입장에서, 단대단 QoS가 실현될 수 있는 틀이 마련된다면 보다 수익성 높은 고부가가치 통신서비스를 개발할 유인도 충분하다.

한다. 인터넷 산업의 특성상, 투자 재원을 마련할 수 있는 가장 효과적이면서 거의 유일한 방안은 트래픽의 증가가 수익의 증가로 이어지는 선순환(positive loop)을 통해 투자 유인을 확보하는 것이다. 트래픽 증가가 수익으로 이어지지 않고 단지 비용만을 유발한다면 사업자의 입장에서 투자를 확대할 유인이 없는 것은 당연하다. 특히 통신산업과 같이 대규모 고정비용으로 인하여 과거 자연독점(natural monopoly)까지 허용되었던 경우에는, 투자비용을 보전할 수 있는 적절한 보상체제로서 트래픽 기반 과금체계가 제도적으로 보장되어야 한다.



<그림 3> 시나리오-II : CP와 CDN 중심의 인터넷 생태계

그러나 위와 같은 시나리오(시나리오-I)가 CP에게 일반적으로 불리한 결과를 낳을 가능성을 보완하기 위하여 본 연구에서는 대체 시나리오(시나리오-II)도 고려한다. 즉, CP가 CDN 등을 통하여 ISP를 우회(bypass)하는 대체 경로를 확보하고 있는 경우이다. [15, 24] 등에서는 CP 등이 요구하는 망중립성을 제도화하려는 논리의 경제학적 근거가 부족함을 지적하면서, NgN의 망중립성이 수용되지 않더라도 ISP의 반경쟁적 행위를 차단하는 공정거래법(anti-trust law)을 강화하여 이에 버금가는 효과를 얻을 수 있다고 주장한다. 또한 CP가 CDN 등을 활용하여 ISP의 협상력 우위(negotiation power)를 충분히 완화시킬 수 있는 가능성에 대해

서도 언급하고 있다. 시나리오-II는 바로 이러한 가능성을 검증하기 위함이다.

3.2 연구 모형

3.2.1 수요함수와 비용 : 가정 및 기호

본 연구에서는 가입자⁵⁾로부터의 요청에 의해 CP가 트래픽을 발생시키는 경우를 집중적으로 고려한다. NgN에서는 최선형 서비스인 email이나 ftp와는 달리, CP의 역할과 비중이 강화되므로, 위와 같은 상황 설정이 트래픽 흐름의 대부분에 해당될 것이다. CP와 가입자간 연결관계를 커머디티(commodity)로 정의하고, 이 커머디티에 대해 ISP가 CP와 가입자에게 각각 과금한다. ISP i 는 가입자와 CP에게 한 단위의 커머디티 트래픽당 각각 p_i 와 f_i 의 요금을 부과한다. 가입자와 CP는 어느 ISP에게도 가입할 수 있으며, 이들은 ISP가 부과하는 요금에 따라 반응한다. 따라서 ISP i 가 직면하는 가입자 수요함수 $D^i(-)$ 와 CP k 에 대한 수요함수 $g_k^i(-)$ 는 각각 p_i 와 f_i 의 함수이다. 또한 각 가입자와 CP k 사이에는 한 단위의 커머디티에 해당하는 트래픽이 발생한다고 가정한다. 따라서 가입자와 CP k 사이의 트래픽량은 $D^i(p_i)g_k^i(f_i)$ 로 나타낼 수 있다. 이는 인터넷 경제학(Internet economics)에 관한 많은 문헌 [12, 18] 등에서 일반적으로 받아들여지는 수요함수로서, 특히 Metcalfe의 법칙에 따른 네트워크 외부성을 반영하는 수요함수이다. 이상의 내용을 기호와 함께 보다 자세히 정리하면 다음과 같다.

- $d^i = D^i(p_i)$

가입자수로 대변되는 수요함수로서, 일반적으로 충분히 많은 잠재 가입자가 존재한다고 가정할 수 있기에, d^i 는 가분적(divisible)이며 $D^i(-)$ 도 연속함수로 볼 수 있다. 특히 본 논문에서는 $D^i(-)$ 는 연속

5) 여기서의 가입자는 앞에서의 최종사용자(end-user)를 의미한다. 이하 별다른 언급이 없는 이상 가입자는 최종사용자를 나타낸다. <그림 2>의 관점에서는 최종사용자라는 표현보다는 가입자라는 표현이 더 적당하기 때문이다.

으로 미분가능하며 p_i 에 대하여 단조감소(monotonic decreasing)한다고 가정한다. 또한 $D^i(-)$ 는 아래 [조건 A]를 만족한다. 즉, 가입자 집단의 전체 크기를 1로 정규화(normalize)하며, 가격이 커질수록 그 수효는 0으로 매우 빠르게 수렴한다.

[조건 A] 함수 $f(-)$ 는 \mathbb{R}^+ 의 실수(정의역(domain)으로 하는 실함수(real-valued function)로, $f(0) = 1$ 이고 $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 0$ 이며 $\lim_{x \rightarrow \infty} xf(x) = 0$ 이다.

• $g_k^i(f_i)$

시나리오-I에서 CP k 가 가격 f_i 에서 ISP i 를 통해 가입자에게 제공하는 서비스 용량(service capacity)으로, 뒤에서 증명되듯이 역시 미분가능한 연속함수로 가정할 수 있다. 또한 바로 뒤에서 설명되는 $H^k(-)$ 가 몇가지 조건을 만족하면 f_i 의 함수 $g_k^i(-)$ 가 위의 [조건 A]를 만족한다는 것을 보일 수 있다(4.1절 참조).

• g_k

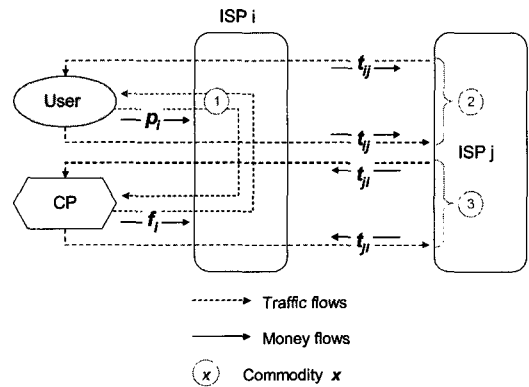
시나리오-II에서 CP k 가 ISP를 우회하여 CDN 등의 대체 수단을 통해 가입자에게 서비스를 제공할 때, CDN으로부터 구입하는 서비스 용량.

• $H^k(w_k, q_k)$

CP k 가 직면하는 수요함수로, (인터넷 상호접속을 통해) 모든 가입자를 대상으로 서비스를 제공하고 이에 대한 사용료 w_k 를 받는다. CP간 경쟁에 의하여 w_k 는 (완전경쟁시장의 원리에 따라) 시장에서 \bar{w} 로 결정된다고 가정한다. 수요함수에 영향을 미치는 또 다른 요소인 q_k 는 CP k 가 제공하는 서비스의 품질수준을 나타낸다. 여기서는 q_k 가 CP가 구입하는 서비스 용량 (g_k^1, \dots, g_k^N) 만의 함수인 $\Phi(-)$ 에 의해 결정된다고 가정한다(시나리오-I). 시나리오-II의 경우, q_k 는 g_k 만의 함수인 $\Theta(-)$ 에 의해 결정된다. 마지막으로 $H^k(-)$ 는 w_k 와 q_k 에 대해 원점 근방에

서 매우 가파른 기울기를 가진다고 가정한다.

본 연구는 네트워크 설비의 대대적인 증설이나 변경이 없는 단계를 가정하기 때문에 변동 혹은 한계비용(variable or marginal cost)만 고려한다. 즉, 단기 의사결정 모형이기 때문에 고정비용(fixed cost)은 0이라고 가정할 수 있다. 이때 α_i 와 β_i 는 각각 ISP i 가 한 단위의 커머디티 트래픽을 처리하기 위한 한계비용을 나타낸다. 또한 s_k 는 시나리오-II에서 CP k 가 CDN에게 커머디티 트래픽 한 단위당 지불해야 하는 서비스 요금을 나타낸다.



<그림 4> 커머디티의 정의

ISP는 또한 상호접속을 통해 자신의 가입자 이외의 모든 최종사용자들을 연결하는 글로벌 연결을 제공한다. 이러한 과정을 통해 CP가 어느 ISP에 접속되더라도 상호접속을 통하여 임의의 가입자에게 연결될 수 있다. 본 연구에서는 인터넷의 특징을 제대로 반영하기 위하여 ISP간 상호접속을 산업구조 분석 모형에서 명시적으로 고려한다. <그림 4>에서 t_{ij} 는 ISP i 가 ISP j 에게 지불하는 접속료(transit fee)로서, ISP i 의 가입자로부터 유발되어 j 의 CP로 향하는 커머디티 트래픽 한 단위에 대해 ISP i 가 ISP j 에게 지불해야 하는 비용을 나타낸다.

3.2.2 시나리오-I : ISP-CP간 경쟁 관계에 대한 게임이론적 접근

ISP가 선도자(leader)가 되고 CP가 후발자(follower)가 되는 Stackelberg 유형의 게임에 따라 두 사업자

집단이 경쟁한다고 가정한다. 즉, 선도자인 ISP는 첫번째 단계에서 접속료 f_i 를 결정하고, 후발자인 CP는 두번째 단계에서 주어진 f_i 에 따라 g_k^i 를 결정한다. 또한 이 게임은 무한히 반복된다고 가정한다. ISP와 CP는 할인된(discounted) 기별 이익의 총합을 극대화하며, (할인하기 이전의) 매기의 이익 π 와 $\bar{\pi}$ 는 각각 아래와같이 결정된다. 필요한 경우 임의의 한 기에서의 Stackelberg 게임을 일회성 게임(one-shot game 또는 single step game)이라고 부를 것이다(따라서 전체 게임은 일회성 게임이 무한히 반복되는 것으로 볼 수 있다).

$$\begin{aligned} \bullet \pi_i &= \sum_k D^i(p_i)g_k^i(p_i + f_i - \alpha_i - \beta_i) + \\ &\sum_{j \neq i} \sum_k D^i(p_i)g_k^j(p_i - \alpha_i - t_{ij}) + \\ &\sum_{j \neq i} \sum_k D^j(p_j)g_k^i(f_i - \beta_i + t_{ji}) \end{aligned}$$

임의의 기의 ISP i 의 이익함수(profit function)로, p_i 와 f_i 에 대하여 이익을 극대화한다. 첫번째 항목은 자신의 망자원만을 이용하는 커머리티 ①에 대한 ISP의 수입과 비용을 나타낸다. 두번째와 세번째 항목들은 각각 다른 ISP 망자원을 이용하는 커머리티 ②와 다른 ISP가 자신의 망자원을 이용하는 커머리티 ③에 대한 수입과 비용을 나타낸다.

$$\bullet \bar{\pi}_k = H^k(w_k, q_k)w_k - \sum_i g_k^i f_i$$

CP k 의 이익함수로, CP k 의 콘텐츠 사용료 w_k 와 서비스 품질 q_k 에 대하여 이익극대화 행태를 가정한다. 단, 여기서는 CP의 수가 완전경쟁에 가까울 정도로 많다고 가정하기 때문에 w_k 는 시장으로부터 모든 CP에게 \bar{w} 로 결정되어 주어진다. 또한 q_k 는 CP k 가 ISP들로부터 구입한 용량($g_k^i, i = 1, \dots, N$)의 함수 $q_k = \phi(g_k^1, \dots, g_k^N)$ 로 정의되며, 함수 $\phi(-)$ 는 g_k^i 에 대해 단조증가(monotonic increasing)한다고 가정한다.

3.2.3 시나리오-II : CDN을 통한 ISP 우회(Bypass)

이 시나리오에서는 ISP를 우회하기 때문에 π_i 는

고려할 필요가 없으며, CP의 이익극대화만 살펴보면 된다.⁶⁾

$$\bullet \bar{\pi}_k = H^k(w_k, q_k)w_k - s_k g_k$$

CP k 의 이익함수로 q_k 에 대하여 이익극대화를 추구한다. s_k 는 CDN 사업자가 CP를 차별하지 않거나, 상대적으로 시장지배력이 있는 CP가 의사결정변수로 고려하지 않는다면 $s_k = s$ 로 단순화할 수 있다. 앞서서와 비슷하게 $q_k = \theta(g_k)$ 이며, $\theta(-)$ 는 g_k 에 대하여 단조 증가 한다.

4. 모형 분석과 예제

4.1 시나리오별 모형 분석

4.1.1 시나리오-I 모형 분석

무한히 반복되는 Stackelberg게임은, 일반적으로 일회성 게임을 분석하여 내쉬 균형(Nash equilibrium)을 찾고(존재한다면), 그러한 균형이 반복 게임에도 적용되는 전략 프로파일(strategy profile)을 구성하여 분석한다(이러한 접근법에 대한 보다 자세한 논의는 [14] 등을 참조). 본 연구에서도 이러한 접근법에 따라 시나리오-I을 분석한다.

먼저, 두번째 단계에서 CP의 최적 의사결정을 살펴보면 다음과 같다.

CP의 최적 의사결정의 일계조건(FOC, First Order Condition)은 $f_i = w_k \partial H^k / \partial q_k \cdot \partial \phi / \partial g_k^i$ 이며, 이 식을 만족하는 g_k^{i*} 가 ISP i 로부터 구입하는 최적 서비스 용량이 된다. 위 식은, ISP i 가 부과하는 요금 f_i 와 서비스 용량 구입에 따른(q_k 를 통한) CP의 한계수입 증분이 같아질 때 최적 구매량이 결정된다는 점에서 전형적인 한계비용과 한계수입이 일치하는 최적화

6) 시나리오 II의 경우, ISP 대신 CDN 사업자와 CP간의 경쟁을 고려하여 시나리오-I에서와 유사하게 Stackelberg 게임으로 모형화할 수도 있으나(이 경우 CP가 선도자이고 CDN이 후발자가 되는 것이 현재 시장지배력으로 볼 때 타당할 것임), 분석의 복잡성만 증가할 뿐이며 그 결과의 질적인 차이는 없기 때문에, 본 연구에서는 연구의 효율성 차원에서 CP만의 의사결정문제로 모형화하였다.

조건을 의미하는 것으로 볼 수 있다.

FOC에 따르면 g_k^{i*} 는 f_i 의 함수가 되는데, 여기서 $g_k^{i*}(f_i)$ 가 [조건 A]를 만족하도록 다음과 같은 CP의 의사결정 행태를 규정한다. 먼저, $f_i=0$ 이면 $g_k^i=1$ 이다. 즉, ISP가 CP에게 서비스 요금을 부과하지 않으면 CP는 자신이 ISP i 로부터 사용할 수 있는 최대 용량(1로 정규화되어 있는)을 구입한다. 이 경우 함수 $H^k(-)$ 와 $\Phi(-)$ 는 원점 근방에서 매우 가파른 기울기를 가지기 때문에, $g_k^{i*}(f_i)$ 는 [조건 A]를 만족한다.

CP의 행태에 대한 완전 정보를 가진 ISP의 첫번째 단계에서의 의사결정은 일회성 게임에서 내쉬 균형을 유도하는 전략을 시행하는 것이다. 여기서는 먼저 π 함수의 특성을 이용해서 내쉬 균형이 존재함을 보이고, 이를 유도하는 전략을 찾는다. 먼저, ISP의 의사결정이 합리성을 가질 수 있는 조건(individual rationality)을 규정하는 집합 Ω 를 다음과 같이 정의하자.

$$\Omega = \{ (p_i, f_i) \mid p_i - \alpha_i - t_{ij} \geq 0, f_i - \beta_i + t_{ji} \geq 0, p_i > 0, f_i > 0 \}$$

[정리 1] 일회성 게임에서 내쉬 균형은 존재한다.

<증명> 내쉬 균형이 존재함을 증명하기 위해서는 주어진 ISP i 의 이익함수 π_i 를 극대화하는 의사결정변수 p_i 와 f_i 가 존재함을 보이면 된다. 함수 $D^i(p_i)$ 와 $g_k^i(f_i)$ 가 [조건 A]를 만족하기 때문에 $\lim_{p_i, f_i \rightarrow \infty} \pi_i(p_i, f_i) = 0$ 이며, 이는 임의의 양의 실수 ϵ 에 대하여 $p_i > \lambda_1$ 이고 $f_i > \lambda_2$ 일 때, $\pi_i(p_i, f_i) \leq \epsilon$ 를 만족시키는 λ_1 과 λ_2 가 언제나 존재함을 의미한다. 따라서 ISP i 의 이익극대화 모형을 $\bar{\Omega} = \Omega \cap \{ (p_i, f_i) \mid p_i \leq \lambda_1, f_i \leq \lambda_2 \}$ 로 한정할 수 있다. π_i 는 연속함수이고 $\bar{\Omega}$ 는 콤팩트집합(compact set)이므로, ISP i 의 이익극대화는 항상 유한 극대값(finite maximum)을 가진다. 즉, 유한한 p_i^* 와 f_i^* 가 존재한다.

이제 ISP들이 협력하여 자신들의 이익을 극대화하기 위한 전략과 그 전략의 성격에 대해 살펴보자.

$$\pi_i = D^i(p_i) \{ \sum_j \Sigma_k g_k^j(f_j)(p_i - \alpha_i - t_{ij}) \} + \Sigma_k g_k^i(f_i) \{ \sum_j D^j(p_j)(f_i - \beta_i + t_{ji}) \} \quad (1)$$

로 정리될 수 있으므로, 상호접속료와 변동비용 등이 서로 동일할 경우(즉, $t_{ij} = t_{ji} = \bar{t}, \alpha_i = \bar{\alpha}, \beta_i = \bar{\beta}$), ISP들이 p_i 와 f_i 를 모든 사업자에 걸쳐서 \bar{p} 와 \bar{f} 로 동일하게 설정함으로써 내쉬 균형이 존재함 보일 수 있다([정리 2] 참조). \bar{p} 와 \bar{f} 는 π_i 가 양수가 되는 Ω 상의 임의의 값이면 충분하지만, 이 모형의 의사결정 맥락에서는 ISP의 이익을 극대화하는 값이 될 것이다(ISP 이익극대화의 FOC를 만족하는 \bar{p} 와 \bar{f} 의 예를 4.2절에서 보일 것이다).

[전략 C] $p_i = \bar{p}, f_i = \bar{f}, (p_i, f_i) \in \Omega, \forall i$

$\Sigma_i D^i(\bar{p}) = \bar{D}(\bar{p}), \Sigma_i g_k^i(\bar{f}) = \bar{G}_k(\bar{f}), \Sigma_k g_k^i(\bar{f}) \bar{G}^i(\bar{f}), \Sigma_k \bar{G}_k(\bar{f}) = \bar{G}(\bar{f})$ 라고 정의하자. 3.2절의 수요함수에 대한 가정 및 사업자들의 의사결정 행태를 전제로, 일반적인 경제학적 논리에 따라 때 $D^i(\bar{p}) = \bar{D}(\bar{p})/N$ 이고 $G^i(\bar{f}) = \bar{G}(\bar{f})/N$ 으로 규정하는 것이 타당하다(여기서 N 은 시장에 존재하는 ISP의 수). 즉, 모든 ISP가 동일한 가격을 제시한다면 시장이 N 으로 균등분할된다. 따라서 전략 C에 의한 임의의 ISP의 이익함수는 $\pi_c = \bar{D}(\bar{p}) \bar{G}(\bar{f}) (\bar{p} + \bar{f} - \bar{\alpha} - \bar{\beta})/N$ 으로 표현된다(여기서 π 에 붙은 하첨자 C는 'Cooperation'을 표시하며, ISP들간 협력을 통한 전략 C와 결부된다).⁷⁾

[정리 2] 전략 C에 따른 내쉬 균형이 존재한다.

<증명> 앞의 [정리 1]에서와 비슷한 방법으로, $(\bar{p}, \bar{f}) \in \Omega$ 인 조건에서 $\pi_c > 0$ 이 되는 해가 존재함을 보일 수 있다.

7) 이하의 논의에서 문맥상 별다른 혼동의 여지가 없을 경우에는, 사업자 i 에 해당하는 첨자는 논의의 편의를 위하여 생략한다.

그러나 모든 ISP가 동일한 가격정책(\bar{p}, \bar{f})을 취한다고 해서 항상 양(positive)의 이익을 기대할 수 있는 것은 아니다. 즉, $\bar{p}_T = \bar{\alpha} - \delta$ 이고, $\bar{f}_T = \bar{\beta} - \delta$ 인 가격정책에 대해서는 식 (1)에 따를 때, 모든 ISP의 이익이 0가 된다. 그리고 이러한 전략 역시 (바람직한 것은 아니지만) 또다른 내쉬 균형을 유도한다.

$$[\text{전략 T}] \quad \bar{p}_T = \bar{\alpha} - \delta, \bar{f}_T = \bar{\beta} - \delta$$

[정리 3] 전략 T는 내쉬 균형 전략⁸⁾이다.

<증명> 전략 T로부터의 이탈(deviation)을 통해 사업자가 이득을 볼 수 있는 유인이 없음을 보이된다. 먼저, 어떤 사업자가 \bar{p}_T 혹은 \bar{f}_T 로부터 이를 증가시키는 방향으로 이탈하면 가입자 혹은 CP 전체를 잃기 때문에 이러한 방향으로의 이탈은 고려하지 않아도 된다. 반면에 \bar{p}_T 를 약간($\epsilon > 0$ 만큼) 감소시킨다면 모든 가입자가 해당 사업자로 흡수될 것이다. 그러나 이 역시 커머디티 ①에 대한 단위당 이익을 오히려 $\epsilon + 2\delta$ 만큼 감소시키며, 커머디티 ②에 대한 단위당 이익도 $\bar{i} + \epsilon + \delta$ 만큼 감소된다. 결국 확대된 가입자 수요는 오히려 ISP의 수입 감소를 초래하여, 이탈 전의 상황보다 더 나쁜 결과를 낳는다. 이와 비슷하게 \bar{f}_T 의 감소 역시 이탈 전의 이득보다 못한 결과를 초래한다. 결국, 사업자는 전략 T로부터 이탈할 유인이 없으므로, 위 전략은 내쉬 균형을 유도한다.

내쉬 균형 전략 C과 T를 결합하면, 반복게임에서도 하위게임 완전한(subgame perfect) 내쉬 균형을 유도하는 전략 프로파일을 구성할 수 있다. 즉, 다른 사업자가 협력에 응할 경우 전략 C를 유지하지만, 어느 한 사업자라도 전략 C에서 이탈하면 그 다음부터는 전략 T로 끝까지 벌칙을 주는 것이다. 다음 정리는 이러한 전략이 반복게임에서 하위게임 완전하며 신뢰성 있는 위협(credible threat)이 됨을

의미한다.

[전략 프로파일 CT] 반복게임에서 어떤 ISP도 전략 C로부터 이탈하지 않으면 전략 C를 지속적으로 유지하지만, 이탈이 발생할 경우 이하 모든 단계에서 전략 T를 시행한다.

[정리 4] 시나리오-I의 반복게임에서 조건 ⑤가 만족된다면, ISP들의 전략 프로파일 CT는 하위게임 완전한 내쉬 균형을 유도한다. 여기서 π_c 는 앞에서 마찬가지로 임의의 기에서 모든 사업자들이 전략 C를 시행할 때의 이익(할인전)을 나타낸다.

[조건 B] 할인요소(discount factor) $r (= 1/(1+\rho))$, ρ 는 할인율이 $(N-1)/N$ 보다 크다.

<증명> 반복게임의 어떤 특정 기수 m 에서 ISP i 가 전략 C로부터 이탈한다면 ISP i 는 m 기에서는 이득을 볼 수 있으나, 그 이후에는 다른 사업자들이 전략 T를 시행하기 때문에 끝까지 0의 이익을 얻는다. 따라서 m 기에서 이탈 사업자 i 가 기대할 수 있는 최대 이익이, 전략 C를 고수할 때 m 기 이후에 얻을 수 있는 할인된 π_c 의 합보다 클 경우에만 사업자 i 는 전략 C를 포기할 것이다. 먼저, m 기 이후의 할인된 이익의 합 Π_m 은 다음과 같다.

$$\Pi_m = r^m \pi_c / (1-r).$$

또한, m 기에서 p_i 와 f_i 를 \bar{p} 와 \bar{f} 로부터 ϵ 만큼 인하여 가입자 시장과 CP 시장을 모두 독점할 때 얻을 수 있는 이익의 할인된 상한은 $r^m \bar{D}(\bar{p}) \bar{G}(\bar{f}) (\bar{p} + \bar{f} - \bar{\alpha} - \bar{\beta}) = r^m N \pi_c$ 이 된다. 결과적으로 할인 요소에 대한 [조건 B]에서는 임의의 기에서 사업자가 내쉬 균형 전략 C로부터 이탈할 이유가 없기 때문에, 위 전략 프로파일은 하위게임완전하다.

[조건 B]를 살펴 보면, 현실적인 상황에서 전략 프로파일 CT는 타 ISP의 이탈을 방지하는 신뢰성 있는 위협이 된다. 즉, 소수의 ISP가 서로 경쟁할 경

8) 내쉬 균형을 유도할 수 있는 전략을 내쉬 균형 전략이라고 부른다.

우에는 r 이 [조건 B]를 자동적으로 만족할 가능성이 높다. 일반적으로 할인율이 20%를 넘지는 않기 때문에 할인요소 r 은 보통 80%를 넘기 때문이다. 이는 1~5개의 ISP가 존재할 때에는 [조건 B]가 자동적으로 만족됨을 의미하며, 전략 프로파일 CT의 위협의 신뢰성을 높인다. 반면에 시장에 존재하는 ISP가 증가할수록 [조건 B]가 자동적으로 만족될 가능성은 그만큼 낮아지나, ISP 산업의 특성상, [조건 B]가 적용되지 않을 정도의 많은 ISP가 시장에 존재하는 경우를 관찰하는 것은 쉽지 않을 것이다.

4.1.2 시나리오-II 모형 분석

시나리오-I 모형 분석의 두번째 단계에서와 유사한 방식으로, CP는 자신이 CDN 사업자로부터 구매할 최적 서비스 용량을 다음과 같이 결정한다. 즉, 최적 의사결정의 FOC는 $s = w_k dH^*/dq_k \cdot d\theta/dg_k$ 이며, 이 방정식을 만족시키는 g_k^* 가 CDN으로부터 최적 구매량이 된다. 위 FOC에 대한 해석도 앞에서와 동일하다.

4.2 예제를 통한 해석

이 절에서는 앞에서 분석한 내용을 예를 통하여 살펴보고 그 결과를 해석함으로써 NgN 시대의 ISP-CP간 경쟁구도에 대한 시사점을 찾는다. NgN 서비스는 아직 제대로 실현되지 않은 미래 서비스이므로, 현상에 부합되는 함수를 추정하여 현실적인 예를 구성하는 것은 시기상조이다. 따라서 아래 예의 절대적 수치보다는 실험결과가 함의하는 구조적 패턴이 더 중요함을 미리 밝힌다.

먼저, N개의 ISP와 M개의 CP가 존재하는 상황에서 다음과 같은 수요함수들을 고려한다. 이러한 수요함수는 3.2절의 가정과 조건들을 모두 만족한다.9) 여기서 ξ 와 ζ 는 조정 파라미터로 위 수요함수가 각

각 [조건 A]에 적합한 값을 갖도록 하는 역할을 하며, w 는 CP와 가입자간 콘텐츠 서비스 시장이 완전 경쟁이라는 가정하에 시장에서 결정되어 주어진다.

$$D(p) = 1/(1 + \xi p^2) \text{ 및 } H(q; w) = \zeta q/(1 + wq)$$

CP가 (ISP 혹은 CDN을 통하여) 구입한 용량 g 와 가입자가 CP 서비스를 향유할 때 지각하는 품질간의 관계를 나타내는 함수 ϕ 와 θ 의 형태는 각각 $q = \phi(g) = N\theta_1 g$ 와 $q = \theta(g) = \theta_2 g$ 로 주어진다(θ_1, θ_2 역시 조정 파라미터이다). $\phi(-)$ 가 위와 같이 단순해지는 이유는, [정리 4]에 의하여 모든 ISP가 동일한 서비스 요금 f 를 부과하므로 CP가 각 ISP로부터 동일한 서비스 용량 g 를 구매하기 때문이다.

시나리오-I에서 ISP의 한계비용 α 와 β 및 접속료 t 등은 모든 ISP에 걸쳐서 동일하다고 가정하자. 시나리오-II에서 단위 트래픽당 CDN 비용 역시 모든 CP에게 동일하게 s 로 주어진다.

또한 이 예에서는 할인요소 r 이 [정리 4]의 [조건 B]를 만족하여, 시나리오-I의 경우 첫 번째 단계에서 ISP들이 내쉬 균형 전략 C 를 이탈하지 않는다고 가정한다. 이때 두번째 단계에서 CP k 의 최적 의사결정은 $g_k^* = \{(\theta_1 \zeta w / f^*)^{1/2} - 1\} / N\theta_1 w$ 이다. 결과적으로 CP가 ISP로 구입하는 총용량은 $\{(\theta_1 \zeta w / f^*)^{1/2} - 1\} / \theta_1 w (\theta_1 \zeta w / f^*)^{1/2} - 1 = X$ 라고 치환할 때 CP의 이익은 $\bar{\pi} = X \{ \zeta / (1 + X) - f^* / \theta_1 w \}$ 로 정리된다. 이에 대하여 단계 1에서의 ISP의 최적 의사결정은 $\xi p^2 - 2\xi(\alpha + \beta - f)p - 1 = 0, 2f^{3/2} - Yf + (p - \alpha - \beta)Y = 0$ 의 연립방정식의 해인 p^* 와 f^* 에서 결정된다(위 식에서 Y 는 $(\theta_1 \zeta w)^{1/2}$ 를 치환한 것임). 위 연립방정식의 해를 해석적으로(exact) 구할 수는 없기 때문에, 본 예제에서는 간단한 수치해석 휴리스틱(heuristic)을 통해 해를 찾거나 추정하였다.10) 이때 ISP의 이

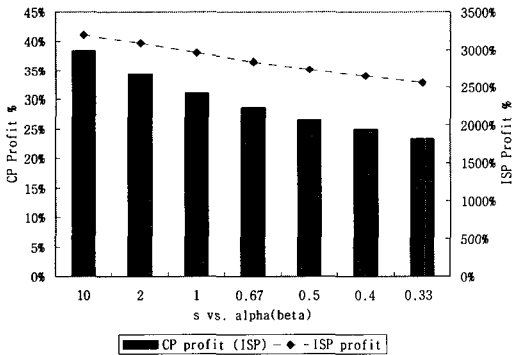
9) 앞의 각주 7에서와 같은 이유로, 혼동의 여지가 없고 판단될 경우에는 ISP 혹은 CP를 구분하는 첨자 i 와 k 는 생략한다. 또한 사업자간 동일한 값이 주어지는 파라미터를 표시하기 위한 $\bar{(-)}$ 기호도 생략한다.

10) 휴리스틱을 간단히 설명하면, 첫 번째 방정식에서 f 를 상수로 놓았을 때 p^* 가 만족해야 할 조건과 Excel의 goal seek 함수를 이용하여 연립방정식을 반복적으로 풀 수 있는 Excel macro를 작성하였다. 지정된 순환(iteration) 내에서 연립방정식의 해에 수렴하지 못할 경우 macro는 해의 근사치를 제공하도록 프로그램 되었다.

익은 $\pi_c = Z(p^* + f^* - \alpha - \beta)$ 로 정리 된다(여기서 Z 는 $M \cdot X / \{\theta_1 w(1 + \xi p^{*2})\}$ 을 치환한 것임).

시나리오-I의 두번째 단계에서와 비슷하게, 시나리오-II에서 CP k의 최적 구매 용량은 $g_k^* = \{(\theta_2 \zeta w / s)^{1/2} - 1\} / \theta_2 w$ 로 결정된다. $X' = (\theta_2 \zeta w / w)^{1/2} - 1$ 로 치환할 경우 CP의 이익은 $\bar{\pi}' = X' \{ \zeta / (1 + X') - s / \theta_2 w \}$ 로 정리된다.

위 예에서 CP가 CDN을 이용하는 것이 이익이 되는 조건은 $\bar{\pi}' > \bar{\pi}$ 이므로, $\theta_1 = \theta_2$ 이고 기타 다른 조건이 일정할 때, f^* 가 s 에 대하여 매우 크다면 CDN을 이용하여 ISP를 우회하는 것이 CP에게 유리할 것이다. s 에 대한 α 와 β 의 비율과 ζ 등을 주요 파라미터로 하여 이러한 예상을 실험해 본 결과를 아래 그림으로 정리하였다. 여기서 $N=10, M=100, w=t=\xi=1, \theta_1 = \theta_2 = 10$ 등으로 고정하였으며, $\zeta=1, s=0.1, \alpha=\beta=0.01$ 등을 기본값으로 설정하였다.

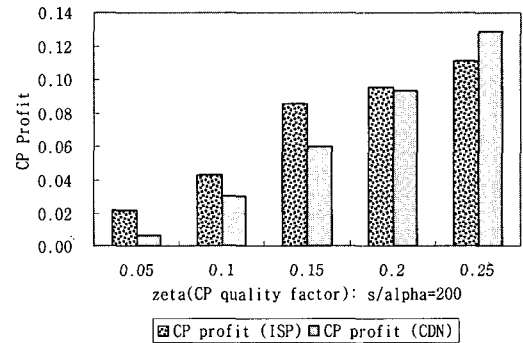


〈그림 5〉 시나리오-I과 II에서의 CP 및 ISP 이익 비교: $s/\alpha(\beta)$ 에 따른 변화

위 그림은 시나리오-II에서 CP의 이익을 100으로 보았을 때, 시나리오-I에서의 CP 및 ISP의 이익을 비교한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, $s/\alpha(\beta)$ 의 비율이 감소하면서 ISP를 이용할 때의 CP의 이익과 CDN을 이용할 때의 이익의 차이가 점차 커지고 있음을 알 수 있다. 이는 ISP의 한계비용(α 와 β)이 상대적으로 커짐에 따라, 비용을 보전하기 위해 CP에 부과하는 서비스 요금 f^* 이 상승하면서,

CDN을 이용하는 것을 CP에게 유리하도록 만들기 때문이다. 실제로 $s/\beta=10$ 일 때 $f^*/s=19.56$ 이지만, $s/\beta=1/3$ 일 때 $f^*/s=31.89$ 로 상승한다. 이는 f^* 가 s 에 비해 커질수록 CDN을 이용하는 것이 CP에게 유리할 것이라는 앞에서의 예상을 뒷받침한다.

이러한 예상은 시나리오-I이 II보다 CP에게 더 유리한 상황에서도 마찬가지이다. 즉, <그림 6>에서 보는 바와 같이, s 가 $\alpha(\beta)$ 에 비하여 200배일 때에는 CDN을 이용하는 비용이 극단적으로 커서 ISP를 이용할 수밖에 없을 것인데, 이때의 f^*/s 는 0.28~1.39로 <그림 5>에서의 결과와는 큰 차이를 보인다. 그러나 이 경우에도 f^* 가 점차 상승하면서 CDN을 이용하는 것이 보다 유리하게 됨을 알 수 있다.

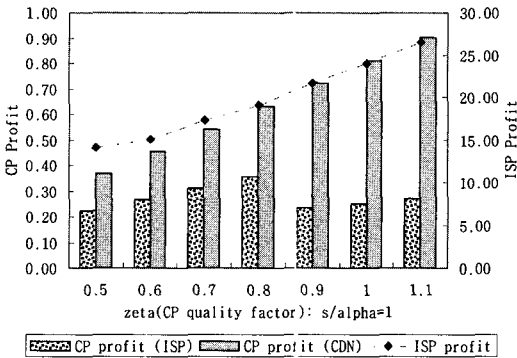


〈그림 6〉 시나리오-I과 II에서의 CP 및 ISP 이익 비교: $s/\alpha(\beta) = 200$

위 그림은 또한 CP의 서비스 품질에 영향을 미치는 파라미터 ζ 에 대한 효과도 보여주고 있다. ζ 값이 점차 커질수록, 즉 CP 가입자가 서비스 품질을 중요하게 생각할수록 ISP를 우회하여 CDN을 이용하는 것이 CP에게 유리해진다.(비록 예제의 수치가 현실적인 의미를 가지는 것은 아니지만) 심지어 CDN을 이용하는 비용이 ISP의 서비스 원가(β)의 200배에 달하여도 ζ 가 어느 정도만 된다면(위 그림에서는 0.2511), 시나리오-II의 경제성이 확보되는

11) 이는 예제에서 가정하는 CP 가입자에 대한 수요함수 $H(w, q)$ 의 모양을 고려할 때, CP가 제공하는 물리적 수준의 약 25% 정도가 CP 서비스 수요에 직

것이다. ζ 의 영향은 <그림 7>에서도 잘 관찰되는 데, CP 가입자에 대한 품질 영향력이 강화될수록 CDN을 이용할 때의 CP 이익이 ISP를 이용하는 경우와 유의한 차이를 보이며 증가한다.



<그림 7> 시나리오- I 과 II에서의 CP 및 ISP 이익 비교 : ζ 에 따른 변화¹²⁾

이는 현실적인 타당성을 가지는 결과인데, CDN 서비스 개념 자체가 여러 ISP를 거치지 않고 멀티미디어 콘텐츠를 빠르게 전송하기 위해 고안된 것이기 때문이다. 즉, 가입자 접속(last mile) 문제만 해결된다면, CP 입장에서 볼 때, CDN이 NgN 서비스를 제공할 수 있는 가장 이상적인 환경을 제공한다. 따라서 NgN 서비스에 대해 ISP가 CP에게 현행과는 다른 과금체계(트래픽에 보다 직접적으로 관계되는 과금체계 등)를 적용할 경우, CP가 전송 수단(carrier)을 CDN과 같은 대안으로 전환할 유인이 높다는 것을 보여주는 것이다. ISP의 입장에서는 CDN으로 전환하고자 하는 한계 CP 고객(marginal user)을 찾고 그 성향을 규명하는 것이 전략적으로

중요함을 시사한다.

5. 결 론

인터넷을 비롯한 정보통신기술의 지속적인 발전은 서비스 융합을 가속화시키면서 NgN을 근간으로 하는 디지털 컨버전스의 전망을 밝게 해주고 있다. 그러나 다양한 사업자간 접속 및 정산과 같이 NgN 서비스 개발에 핵심적인 정책적 이슈를 효율적이고 효과적인 방식으로 해결하지 못한다면 NgN의 성공도 낙관할 수 없다. 예를 들면, 망중립성을 둘러싼 논쟁은 아직도 ISP와 CP같은 다양한 사업자가 존재하는 인터넷 산업구조에 대한 이해가 부족함을 잘 보여주고 있다.

이러한 배경에서 본 연구에서는 NgN 환경에서 트래픽 기반 과금체제를 전제로 할 때, ISP와 CP간 경쟁구도가 어떻게 전개될 것인지를 네트워크 경제학적 접근을 적용하여 고찰하였다. 특히 ISP와 CP간의 경쟁을 Stackelberg 반복게임으로 모형화하고 분석하였다. 또한 망중립성과 관련된 논의를 반영하기 위하여 CP가 CDN이라는 대안을 가지고 있을 경우, 인터넷 산업구조에 미치는 영향도 고찰하였다. 모형에 대한 이론적 분석과 예제를 통한 실험을 통하여, 망중립성과 무관하게, CDN의 존재가 CP의 협상력을 높일 가능성이 있음을 보였다.

이러한 결과는 또한 NgN 환경에서 CP에 대한 과금체제를 기존의 최선형 서비스에서와는 달리할 수 있음을 의미한다. 즉, 망중립성과 같은 이슈가 가격 규제나 NgN 과금체제에 대한 정책당국의 간섭으로 확대되어서는 안된다는 것이다. 망중립성에 대한 논의는 가격규제를 떠나서 반경쟁 행위를 차단하는 방향으로 진전되는 것이 바람직하다.

본 연구는, 인터넷 경제학에 관한 대부분의 연구들과 마찬가지로, 분석가능성을 위해 많은 가정과 추상화에 의존하였다. 향후 연구에서는 시뮬레이션과 같은 방법을 도입하여 분석가능성은 유지하면서도 현실에 보다 가까운 모형으로 확장시킬 필요가 있다. 예를 들면, ISP간 경쟁력이 비대칭적인 경우, 위의

접적인 영향을 미친다는 것으로 해석할 수 있다.

12) 위 그림에서 ISP를 이용하는 CP의 이익이 증가하다가 $\zeta=0.8$ 이후에 다시 감소하는 이유는, $\zeta=0.5 \sim 0.8$ 에서는 비선형연립방정식을 풀기 위한 휴리스틱이 수렴하지 못하여 정확한 f^* 와 p^* 를 찾지 못하고 대신 근사치만을 제공하였기 때문인 것으로 보인다. $\zeta=0.9$ 이후부터는 휴리스틱이 정확한 f^* 와 p^* 를 발견하였다.

연구결과에서와 같이 CDN을 레버리지로 이용하는 CP의 협상력이 지속되는지 검토할 필요가 있다.

참고 문헌

- [1] 박정호, "미국의 망중립성 도입 논의", 「정보통신정책」, 제18권, 제10호(2006), pp.31-37.
- [2] 박정호, "호주의 인터넷 망 상호접속 관련 논의", 「정보통신정책」, 제16권, 제3호(2004), pp.63-68.
- [3] 김도훈, "NgN과 망중립성 논의 : 역사적 배경과 정책적 시사점", 「주간기술동향」, 통권 1266(2006), pp.15-29.
- [4] 김도훈, "All-IP 컨버전스에서 End-to-End QoS의 효과적 구현을 위한 ISP 상호접속", 「Telecommunications Review」, 제16권, 제1호(2006), pp.35-46.
- [5] 김희수, "인터넷 상호접속 공정경쟁 이슈와 정책 대안", 「KISDI 이슈리포트」, 03-10, 정보통신정책연구원(2003).
- [6] 이운선, 윤민영, "인터넷 자원의 효율적 이용을 위한 가격결정 방법", 「한국정보처리학회 논문지」, 제6권, 제11호(1999), pp.3350-3355.
- [7] 하원규, 박권철, 최준규, "BcN 분석과 과제", 「Telecommunications Review 특집부록」, 2004.
- [8] 한국전산원, "네트워크 중립성의 이해 및 주요 이슈 분석", 「IT Issues Weekly」, 2006년 8월 1일, pp.10-14.
- [9] 한국전산원 BcN 구축기획단, 「Broadband IT Korea 건설을 위한 광대역통합망 구축 기본계획」, 정보통신부(2005).
- [10] 한국통신학회, "광대역통합망(BcN) 특집호", 「한국 통신학회지」, 제21권, 제8호(2004).
- [11] Baake, P. and T. Wichmann, "On the Economics of Internet Peering," 「Technical Report」 (at Berlecon Research)(1998).
- [12] Bailey, J. and L. McKnight, "Scalable-Internet Interconnection Agreements and Integrated Services," in *Coordinating the Internet*, MIT Press(1997), pp.309-324.
- [13] Dewan, R., M. Freimer and P. Gundepudi, "Interconnection Agreements between Competing Internet Service Providers," *Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences*(2000).
- [14] Fudenberg, D. and J. Tirole, *Game Theory* (7th ed.), MIT Press, 2000.
- [15] Hahn, R. and S. Wallsten, "The Economics of Net Neutrality," *The Economist's Voice*, June Issue(2006), pp.1-7.
- [16] Heckmann, O., J. Schmitt, and R. Steinmetz, "Optimizing Interconnection Policies," *Computer Networks*, Vol.46(2004), pp.19-39.
- [17] Huston, G., *ISP Survival Guide : Strategy for Running a Competitive ISP*, Wiley, 1999.
- [18] Laffont, J.J., S. Marcus., P. Rey, and J. Tirole, "Internet Peering," *American Economic Review*, Vol.91(2001), pp.287-291.
- [19] Metz, C., "Interconnecting ISP Networks," *IEEE Internet Computing*, (2001), pp.74-80.
- [20] Norton, W.B., "A Business Case for ISP Peering," White Paper(available at <http://www.equinix.com>)(2002).
- [21] Norton, W.B., "Internet Service Providers and Peering," White Paper(available at <http://www.equinix.com>)(2001).
- [22] Odlyzko. A.M., "Internet Traffic Growth : Sources and Implications, Optical Transmission Systems and Equipment for WDM Networking II," *Proceedings of SPIE*(2000), pp.1-15.
- [23] Pongpaibool, P. and H.S. Kim, "Providing End-to-end Service Level Agreements across Multiple ISP Networks," *Computer Networks*, Vol.46(2004), pp.3-18.

[24] "Getting a Fix on Network Neutrality," Knowledge@Wharton(available at [http:// knowledge.wharton.upenn.edu](http://knowledge.wharton.upenn.edu)), June 14th 2006.

[25] "Phone Companies Set Off a Battle over Internet Fees," *Wall Street Journal*, Jan. 6th, 2006.