

# ISP기업간 상호접속모형: 동등접속과 네트워크 용량에 대한 투자를 중심으로\*

김 경 수\*\*

1990년대 중반이후 인터넷 접속제공기업들(ISP) 사이에 상호접속의 주요 방식이 되고 있는 동등접속계약에 대해서 그 체결메커니즘을 네트워크 용량에 대한 투자를 중심으로 살펴본다. 네트워크 용량을 맹약이 있는 협조적 체제하에서 선택하든지 혹은 비협조적으로 선택하는지에 관계없이 시장의 규모가 충분히 크다면 두 기업간에 동등접속계약을 체결하는 것이 내쉬균형(Nash Equilibrium)이 될 수 있음을 보였다 또한 네트워크 용량을 맹약이 있는 협조적 체제하에서 선택하는 동등접속(peering with commitment)이 비협조적으로 선택하는 동등접속(peering without commitment)보다 사회후생수준이 더 크다는 것을 보였다. 정책적으로 보았을 때, ISP기업간 합병에 관한 제한이나 불허와 같은 규제는 최종재라고 할 수 있는 가입자수에 대한 규제로 국한시키고 가능한 네트워크 용량의 선택에 있어서는 인터넷 접속제공 기업들의 협조적인 조율이 있을 수 있도록 유도해야 할 것이다.

**핵심용어** : 인터넷 상호접속, 동등접속, 네트워크 용량, 망외부효과

## I. 서 론

인터넷상에서는 인터넷의 전역적 접속(global interconnection)이라는 특성 때문에 망상(on-net)에 있는 어느 누구와도 소통(communication)할 수 있고 개방형 접속(open interconnection) 때문에 어느 곳에 있는 콘텐츠(contents)에도 접속이 가능하다. 이는 거의 모든 인터넷 제공사업자(Internet Service Provider, 이하 ISP)들이 자발적으로 상호접속되어 있기 때문이다. 이렇게 상호접속하고

\* 유익한 논평을 해 주신 익명의 심사위원들께 감사드립니다.

\*\* 서강대학교 BK21 박사후 연구원

투고일: 2004. 9. 24 심사일: 2004. 9. 25 최종심사완료일: 2004. 11. 12

있는 인터넷망 사이의 트래픽량은 100일마다 거의 200% 이상 증가하였지만 전통적인 전화망 트래픽량의 경우 연간 약 5% 증가에 그치고 있다. 또한 유선으로 인터넷망에 접속하는 방법뿐만 아니라 IMT-2000과 같은 3세대 이동통신기술의 발전으로 인해서 무선으로 인터넷망에 접속하여 인터넷을 이용하는 사람의 비중도 지속적으로 상승할 전망이다. 한국의 경우 2003년 6월 현재 만 6세 이상 인구 중 64.1%(2,861만명)가 월평균 1회 이상 인터넷을 이용하고 있으며, 전년 동기 대비 인터넷 이용률은 6.1% 증가하였고 인터넷 이용자수는 296만명 증가하였다<sup>1)</sup> 인터넷 이용자의 폭증과 동시에 단순한 정보검색차원을 넘어 인터넷을 이용한 멀티미디어 방송, 게임, 오락, 학습, 채팅, 인터넷 전화, 인터넷 회의와 같이 단일 시점에서 커다란 대역폭(bandwidth)이 필요한 대용량의 정보가 인터넷망에서 트래픽으로 교환되고 있다 또한 이렇게 대용량 정보가 필요한 콘텐츠가 2000년대 이후 콘텐츠 공급시장의 주류를 이루고 있다 상호접속하고 있는 ISP사이에서는 이렇게 늘어나고 있는 트래픽량에 대응하여 좀더 큰 네트워크 용량(network capacity) 혹은 대역폭(bandwidth)이 필요하게 되었고 충분한 네트워크 용량을 갖추지 못하는 ISP사이의 상호접속이나 비대칭적인 네트워크 용량을 갖춘 ISP사이에 상호접속이 이루어질 경우 혼잡(congestion) 혹은 지체(delay)의 문제가 발생하게 되었다<sup>2)</sup>. 이러한 혼잡의 문제와 더불어 상호접속하고 있는 인터넷망들에게 있어서 인터넷의 기술적인 설계방식과 시장 조직 형태, 네트워크 용량의 차이, 인터넷을 제공하고 있는 기업들간의 전략적인 경쟁 등등으로 인해서 완전한 접속이 이루어지지 못할 가능성이 점점 더 커지게 되고 실제로 비효율적인 상호접속이 이루어져 왔다. 이를 타개하기 위해서 1990년대 중반 이후부터 본 논문에서 다루려고 하는 동등접속계약(peering contract)<sup>3)</sup>이나 중계접속계약(transit contract)과 같은 새로운 형태의 상호접속

1) 한국인터넷정보센터(2003), 『2003년 상반기 정보화 실태 보고서』

2) 이러한 혼잡현상의 또 다른 이유는 인터넷이 채택하고 있는 프로토콜 때문이다. 인터넷의 통신 프로토콜인 TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)는 고 용량의 정보를 실시간으로 다른 인터넷망에 끊임없이 전달하는 방식이 아니라 네트워크 용량 혹은 대역폭을 적절히 조절하여 조각으로 나누어 전달하는 방식이기 때문에 트래픽의 폭증이 나타나면 혼잡현상이 발생하게 된다

3) peering contract의 우리말식 표현은 아직까지 통일적으로 사용되고 있지 않다. 김희수(2003)는 peering contract를 ‘동등(同等)접속협정’으로 표현하였고, 윤기호(2003)는 ‘동료계약’으로 표현하였다. 또한 한국정보통신기술협회에서 발간하는 『정보통신용어사전』 제4판(2000년)에서는 peering을 ‘대등(對等)접속’으로 표현하고 있다 이하에서는 규모가 비슷한 인터넷망사이에서 peering이 주로 이루어진다는 의미에서 peering contract를 ‘동등접속계약’으로 표현한다

이 나타나게 되었다. 동등접속계약이란 규모가 비슷한 ISP들이 사적 접속점(private access point)을 만들어서 서로 상대방 ISP의 개별 이용자들에게 향해진 트래픽이 타 ISP망에 우회하지 않고 사적 접속점에서 트래픽이 교환될 수 있도록 하는, 직접적인 회선 접속(direct circuit interconnection)을 가능하게 하는 계약이다. 이러한 동등접속계약에서 각 ISP는 자기 고객이 최종 목적지인 모든 트래픽을 수용하여야 하지만, 제삼의 고객이 최종 목적지인 통과 트래픽(transit traffic)을 수용할 의무는 없다(윤기호(2003)). 또한 동등접속에서는 ISP 간 금전적인 거래가 없는 상호 무정산이 원칙이다. 이러한 동등접속계약은 규모 및 성능이 비슷한 ISP간에 체결되는 것이 일반적이다. 중계접속계약은 하나의 ISP가 통과서비스의 제공자가 되어 다른 ISP에게 인터넷 상의 모든 송신 및 수신 경로를 제공한다. 중계접속계약에서는 고객의 입장에 있는 ISP가 제공자의 입장에 있는 ISP에게 금전적인 지불을 하게 된다. 통상적으로 중계접속계약은 규모 등에서 차이가 있는 ISP간에 체결된다. 이러한 동등접속계약과 중계접속계약이 지금에 있어서 인터넷 상호접속의 주요 유형이 되었고 최근 들어 이에 대한 활발한 연구가 진행되고 있다. 인터넷 상호접속과 관련된 기존의 이론적 연구는 크게 시장지배력과 접속료 및 시장지배력과 접속품질에 관한 연구로 나뉜다. 주로 ISP와 IBP간의 시장지배력의 차이에 근거한 접속료와 접속품질의 결정을 다루는 연구가 대다수였다. Milgrom 등(2000), Laffont 등(2001), Besen 등(2001), 윤기호(2003)의 연구는 시장지배력과 접속료 사이의 관계와 각각의 결정요인을 분석하였으며 Cremer 등(2000), Foros 등(2001)의 연구는 시장지배력과 접속품질 사이의 관계 및 각 결정요인을 분석하였다. 전반적으로 인터넷 상호접속에 관한 기존 연구들은 1990년대 중반이후부터 폭증하고 있는 인터넷 이용자와 트래픽 때문에 발생하는 혼잡과 지체에 대한 분석과 신규 네트워크용량에 대한 투자를 각 인터넷 기업들이 어떻게 결정할 것인가에 대한 분석이 미흡한 실정이다. 특히 1990년대 후반 이후 상호접속의 새로운 유형이라고 할 수 있는 동등접속과 중계접속의 체결이 어떠한 메커니즘하에서 이루어지는지를 다루지 못하고 있다. 즉, 기존 연구는 인터넷 망 제공 기업들이 전략적인 상황에 노출되어 있을 때, 동등접속과 중계접속이 일종의 내쉬균형하에서 체결될 수 있음을 보이는데 미흡하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 인터넷산업의 중요한 이슈인 인터넷 상호접속을 인터넷이 지닌 특수성을 반영한 현실적인 모형을 제시하여 분석해 보고자 한다. 특히 비슷한 규모의 네트워크 용량을 가지고 있는 ISP기업들 사이에서 체결되고 있는 동

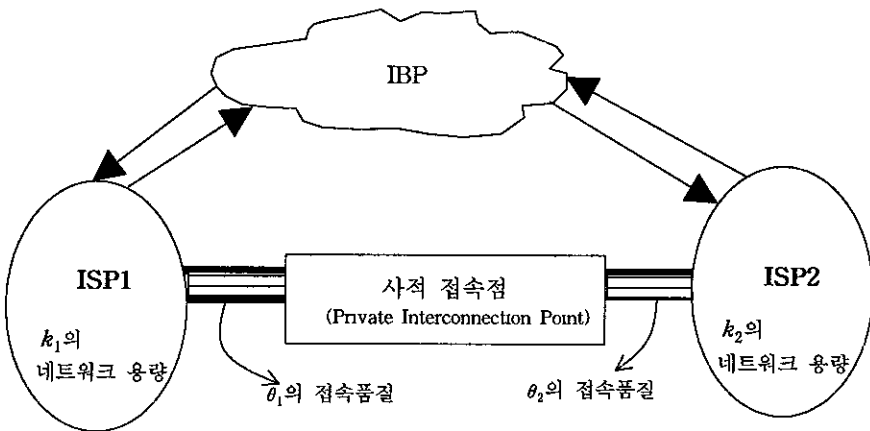
동접속계약을 중심으로, 동등접속계약의 체결 메커니즘과 네트워크 용량에 대한 선택, 가입자수 혹은 트래픽량이 어떻게 결정이 되는지를 중점적으로 살펴본다. 후술하게 될 동등접속계약은 대개 고객기반(installed base)이나 규모가 비슷한 IBP나 ISP기업 상호간에 이루어진다. 특히 이들 기업들은 동등접속계약의 체결여하에 따라서 자신의 신규가입자와 트래픽 증가에 따른 네트워크 용량에 투자를 선택하고 최종적으로 가입자선, 즉, 수량과 가격을 결정할 것이다. 본 논문에서는 인터넷 상호접속의 주요한 유형인 ISP간 동등접속을 복점시장의 게임상황으로 설정하여 분석한다. 1단계에서 각 ISP들이 동등접속의 여부를 결정하고 2단계에서는 네트워크 용량 혹은 대역폭을 결정하며, 3단계에서는 가입자수 혹은 네트워크 크기에 대한 Cournot수량경쟁을 하는 단계게임을 상정한다. 특히 2단계에서 네트워크 용량 혹은 대역폭의 결정을 ISP기업들 사이에서 비협조적으로 결정하는 맹약이 없는 경우(without commitment)와 협조적으로 결정하는 맹약이 있는 경우(with commitment)로 나누어 각 상황에서 동등접속계약의 선택과 네트워크 용량의 크기가 어떻게 도출되는지를 분석한다. 복점하에서 각 ISP기업들이 네트워크 용량을 맹약이 없이 비협조적으로 결정할 때, 동등접속계약을 체결할 때보다 동등접속계약을 체결하지 않을 때가 오히려 각 ISP들이 네트워크 용량을 더 많이 갖추게 된다는 것을 보인다. 반면에 네트워크 용량을 맹약하에서 결정할 때는 적절한 조건하에서 동등접속계약을 체결할 때가 체결하지 않을 때보다 네트워크 용량을 더 많이 갖추게 된다는 것을 보인다. 또한 ISP가입자수와 네트워크 용량이 주어지고 적절한 조건하에서 두 기업이 2단계에서 네트워크 용량에 대한 맹약의 여부와 관계없이 1단계에서 동등접속계약을 선택하는 것이 내쉬균형(Nash Equilibrium)임을 보인다. 동등접속계약에 고정비용이 들어간다면 1단계에서 두 기업이 동등접속을 하지 않는 것도 내쉬균형이다. 따라서 사회적 관점 혹은 사회후생의 측면에서 어떠한 균형이 좀더 우월한 균형인지를 살펴본다 적절한 조건하에서 두 기업이 동등접속계약을 하는 것이 동등접속을 하지 않는 것 보다 사회후생이 더 크다는 것을 보인다. 또한 2단계에서 두 기업이 네트워크 용량을 맹약하에서 선택하는 것이 맹약없이 선택하는 것보다 사회후생이 크다는 것을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제II장에서는 두 개의 ISP기업들이 존재하는 상호접속모형을 제시한다. 제III장에서는 맹약이 없는 비협조체제하에서의 네트워크 용량의 선택을 살펴보고 제IV장에서는 맹약이 있는 협조적 체제하에서의 네트워크 용량의 선택을 살펴본다. 제V장에서는 각 체제의 사회후생을 비교해 본다. 제VI장에서는 결론과 향후 과제를 제시한다.

## II. 인터넷 ISP간 상호접속모형: 기본모형

### 1. 기본모형과 가정

다수의 인터넷 이용자들을 대상으로 인터넷 접속서비스를 제공하는 2개의 ISP<sup>4)</sup>기업을 상정한다. 이 두 ISP를 각각 기업 1과 기업 2로 지칭한다. ISP들은 서로 상호접속하고 있다. 본 논문에서 상정하고 있는 ISP간 접속모형을 나타내면 <그림 1>과 같다. 기업 1과 기업 2는 두 네트워크간에 사적인 접속점(private interconnection point)를 만들어 직접적인 연결(direct link)을 할 수 있다. 이러한 직접적인 연결은 동등접속계약을 통해서 이루어진다. 동등접속계약 당사자들끼리 사적인 접속점을 선정하여서 두 ISP간 트래픽에 대해서는 타 ISP나 IBP로 우회하지 않고 직접 연결할 수 있는 것이다. 또한 이러한 사적 접속점은 2개 이상을 만들 수 있다. 이러한 동등접속계약을 모형화하기 위해서 기업 1과 기업 2는 접속점까지의 접속품질을  $\theta_1, \theta_2$ 로 선택하는 것으로 묘사할 수 있다. 여기서  $\theta_i$  ( $i=1,2$ )는 0 혹은 1이라는 이산적인 값을 가진다. 또한 각 ISP기업은 신규가입자가 늘어날 경우 늘어나는 트래픽에 대해서 이에 상응하는 대역폭 혹은 네트워크 용량을 갖추어야 한다. 이러한 네트워크 용량을 각각  $k_1, k_2$ 라고 표시한다.



<그림 1> ISP간 상호접속모형

4) 현실적으로 대다수 IBP와 ISP기업들이 동등접속계약을 체결하고 있다는 점에서 본 논문에서 IBP와 ISP의 구분은 중요하지 않을 것이다. 따라서 본 논문에서는 ISP기업간에 동등접속계약을 체결하는 상황을 상정한다

본 모형에서 사용하는 기본 가정은 다음과 같다.

첫째, 인터넷 가입자들에 의해 유발되는 트래픽은 크게 전송트래픽과 수신트래픽이 있지만 본 논문에서는 수신트래픽 즉, 다운로드 트래픽만이 존재한다고 가정한다. 전체적인 인터넷 트래픽에서 수신트래픽이 약 90% 이상을 차지하고 있기 때문에 이는 현실성이 있는 가정일 것이다.

둘째, 두 기업사이에 트래픽은 뜨거운 감자 라우팅(Hot-Potato Routing)방식으로 라우팅 혹은 교환된다. 뜨거운 감자 라우팅이란 ISP에 가입되어 있는 사용자 1이 ISP2에 가입되어 있는 사용자 2의 콘텐츠를 다운로드 받는 과정에서 ISP1은 ISP2의 네트워크와 가장 가까운 곳에 있는 점에서 접속점을 만들어 사용자 2의 트래픽을 전달하는 라우팅 방식이다. 따라서 동등접속계약의 체결시 상대방 트래픽에 대한 허용 대역폭 혹은 네트워크 용량은 수신자가 속한 네트워크의 용량에 의해 좌우된다.

셋째, 해외 혹은 규모가 큰 인터넷 백본제공사업자(IBP)와의 접속을 통해서 여타 세계 다른 지역의 웹사이트나 콘텐츠를 다운로드 받을 수 있다. 본 모형에서는 이러한 IBP와의 동등접속 혹은 중계접속은 외생적으로 주어져 있다고 가정하고 IBP와의 동등접속에 따른 비용부담은 무시하기로 한다. 현실적으로 상류기업이라고 할 수 있는 IBP와 하류기업이라고 할 수 있는 ISP간의 상호접속은 상호 무정산이 아닌 상류기업이 하류기업에게 일정한 비용을 부담시켜서 하류 ISP가 상류 IBP를 통해서 트래픽이 통과할 수 있게 하는 중계접속계약을 체결한다. 본 모형에서는 이러한 중계접속계약은 주어져 있다고 가정한다.

## 2. 수요측면(Demand Side): 인터넷 가입자의 효용

아직 어느 ISP기업에게도 가입하지 않은 소비자들이 인터넷에 가입하게 되어 콘텐츠를 다운로드 받게 될 경우 다음과 같은 세 가지의 효용이나 비효용을 얻는다

첫째, 신규로 인터넷망에 가입하여 인터넷망상(on-net)에 있게 됨으로써 해당 소비자가 얻는 고유의 유형별 효용,  $r$ 이다. 여기서  $r$ 은  $-\infty$ 과  $A$  사이에서 확률밀도함수  $f(r)=1$ 인 분포를 갖는다고 가정한다( $r \sim D[-\infty, A]$ ).  $A$ 는 후술하게 될 역수요함수(inverse demand function)의 절편에 해당하는 것으로서,  $A$ 가 커지게 되면 그만큼 시장수요가 커지게 되어 시장 전체의 규모가 커지게 된다는 것을 의미한다.

둘째, 인터넷망에 있게 되어서 기존 인터넷 가입자들<sup>5)</sup>의 의미있는 콘텐츠를 다운로드 받거나 상호 소통함으로써 느낄 것을 기대하는 만족감,  $s_i$ 이다( $i=1,2$ ).

셋째, 인터넷망에 있게 되어서 다운로드 혹은 업로드를 할 때, 네트워크상의 지체(delay) 혹은 정체(congestion)로 인해서 느끼는 비효용,  $d_i$ 이다( $i=1,2$ ).

고유의 유형별 효용을 제외한  $s_i - d_i$ 는 기업  $i$ 의 인터넷 서비스의 품질(Quality of Service: QoS)이라고 볼 수 있다. ISP기업이 가입자들은 월정액의 이용요금  $p_i$ 를 부과한다 따라서 어느 ISP기업의 인터넷에도 가입되어 있지 않은 소비자들이 신규로 ISP 기업  $i$ ( $i=1, 2$ )의 인터넷망에 가입함으로써 얻게 되는 순잉여(net surplus)를 나타내면 다음과 같다.

$$r + s_i - d_i - p_i \quad (1)$$

이제 각 효용과 비효용의 구성을 나타내 보면, 먼저 콘텐츠의 효용  $s_i$ 를 자세히 표시하면 다음과 같다.

$$s_i = v \cdot (q_i^e + \theta q_j^e) \quad (2)$$

여기서  $q_i^e$ 는 기업  $i$ 에 신규로 가입할 것이 기대되는 기대 가입자수 혹은 기대 네트워크 크기를 나타내고, 마찬가지로  $q_j^e$ 는 기업  $j$ 의 인터넷망에 가입할 것으로 기대되는 기대 가입자수를 나타낸다.  $\theta$ 는 ISP기업간 상호접속의 품질을 나타내는 것으로서 0과 1 중 하나로 결정된다고 가정한다<sup>6)</sup>. 만일  $\theta=1$ , 즉,  $\min[\theta_i, \theta_j]=1$ 이면 두 ISP기업들끼리 동등접속계약이 체결되어 두 인터넷 기업들의 가입자들끼리 콘텐츠가 직접적으로 교환이 가능하지만  $\theta=0$ , 즉,  $\min[\theta_i, \theta_j]=0$ 이면 콘텐츠가 직접적으로 교환되지 않고 타 ISP나 공공접속점을 통해서만 교환이 가능하다  $v$ 는 전역적인 연결성을 보장하는 인터넷의 특

5) 여기서 기존 인터넷 가입자라고 함은 단말 컴퓨터에 의해서 인터넷에 접속하는 개별 인터넷 이용자뿐만 아니라 자체 서버(Server)를 구축하거나 인터넷 데이터 센터(Internet Data Center)를 통해 각종 콘텐츠를 생산하여 판매하는 웹사이트기업도 포함된다.

6) Cremer 등(2000)에서는  $\theta$ 를 0과 1사이에서 연속적으로 선택할 수 있는 변수로 놓았으며 각 ISP기업들이 인터넷 서비스의 품질(Quality of Service QoS)을  $\theta$ 를 통해서 조절하며  $\theta$ 를 높이기 위해서는 볼록한 비용이 들어간다고 보았다. 본 논문에서는 동등접속계약의 체결의 중요성을 강조하기 위해  $\theta$ 를 0과 1로만 선택할 수 있는 변수로 놓았고 별도로 네트워크 용량  $k_i$ 라는 선택변수가 존재하여 접속서비스의 품질을 결정할 수 있다고 가정한다.

정을 나타내는 매개변수로서 인터넷 망 접속제공 기업간 상호 연결성 및 망의 부효과(network externality)의 중요성을 나타낸다.

다음으로 해당 ISP기업에 가입한 이용자들이 증가함으로써 발생하는 혼잡 혹은 지체의 비효용  $d_i$ 를 표시하면 다음과 같다.

$$d_i = \frac{\alpha q_i^e}{k_i} + \frac{(1-\alpha)\theta q_j^e}{k_j} \quad (3)$$

여기서  $k_i$ 는 기업  $i$ 가 신규고객들을 유치할 때, 그에 맞게 갖추어야 하고 선택할 수 있는 네트워크 용량(capacity)을 나타낸다. 그리고  $\alpha$ 와  $1-\alpha$ 는 각각 두 기업 사이의 트래픽 중에서 기업  $i$ 와 기업  $j$ 의 네트워크 상에 있는 on-net traffic 비율을 의미한다. 이러한 on-net 트래픽 비율은 외생적으로 주어지고 이하에서는 동등접속계약이 비슷한 규모와 트래픽량을 가진 ISP기업들 사이에서 이루어진다는 의미에서  $\alpha = \frac{1}{2}$ 라고 가정한다.  $k_i$ 는 기업  $i$ 의 신규 대역폭(bandwidth)으로 해석할 수 있어서 다른 조건이 일정할 때,  $k_i$ 가 작을수록  $i$ 기업의 가입자들이 느끼는 지체 혹은 정체가 더 커지게 되고  $k_i$ 가 커질수록 지체가 작아지게 된다. 전체적으로 혼잡의 비효용  $d_i$ 는 신규가입자가 인터넷망에 가입함으로써 기업  $i$ 의 인터넷망에 가입하는 전체 가입자들에게 끼치는 음의 망외부효과(negative network externality)의 정도를 나타낸다고 할 수 있다. 마지막으로 균형의 안정성을 위하여  $0 < v < 1$ 이라고 가정한다.

### 3. 공급측면(Supply Side): ISP시장의 비용조건과 시장구조

ISP를 통한 인터넷 접속시장의 공급측면에서 비용조건과 시장구조를 살펴본다. 두 ISP기업의 신규 가입자 가입으로 인한 한계비용은 분석의 편의상 0으로 놓는다. 또한 각 기업들은 신규가입자 증가나 동등접속으로 트래픽량이 증가해서 발생하는 음의 망외부효과, 즉, 혼잡에 대응하기 위해 네트워크 용량 혹은 대역폭을 증설한다. 특히 이러한 네트워크 용량에 대한 비용은 볼록한 비용함수를 가정한다. 즉, ISP기업  $i$ 의 네트워크 용량에 대한 증설비용은  $f(k_i)$ 이며  $f'(k_i) > 0$ ,  $f''(k_i) > 0$ 이다. 동등접속을 위해서는 두 기업 모두  $\gamma (> 0)$ 만큼의 고정비용이 들어간다고 가정한다.  $\gamma$ 는 동등접속을 위한 협상에 들어가는 물리



적, 시간적 비용뿐만 아니라 동등접속점을 만들어 각 ISP기업들의 망을 연결하고 라우팅을 위한 연산처리기계에 대한 고정적인 설치비용 등을 의미한다. 본 모형에서 상정하고 있는 인터넷 가입자 시장은 두 개의 ISP기업이 존재하는 복점시장이다. 따라서 담합의 가능성을 제기할 수가 있다. 특히 본 모형에서는 최종재, 즉, 인터넷망의 가입자수 혹은 네트워크 크기에 관한 담합이 아니라 대역폭과 같은 네트워크 용량에 대한 담합이 이루어질 수 있다고 가정한다. ISP기업에게 있어서 최종재의 판매량이라고 볼 수 있는 것은 인터넷망의 가입자수이다. 통상적인 의미에서 최종재화에 대한 수량과 가격에 대한 담합은 규제당국에 의해 제재를 받는다. 따라서 본 모형에서는 가입자수에 대한 담합은 불가능하다고 가정한다. 반면에 본 논문에서는 네트워크 용량을 선택하는데 있어서, 사전에 맹약(commitment)이 있는 협조가 이루어질 수 있다고 가정한다. 동등접속을 위한 계약 자체가 네트워크 용량을 협조적으로 결정할 가능성이 충분하다고 볼 수 있다. 즉, 가입자수에 대한 담합은 불가능하지만 네트워크 용량에 대한 담합의 가능성을 충분히 가지고 있는 것이다. 일반적으로 두 ISP기업의 동등접속에 대한 계약을 체결할 경우 (1) 지리적인 포괄성(geographic coverage), (2) 네트워크 용량(network capacity), (3) 트래픽량(traffic volume), (4) 고객기반(customer base)의 크기, (5) 인터넷망 시장에서의 지위 등이 비슷할 것을 계약조건으로 제시한다 여기서 네트워크 용량이라 함은 각 ISP의 망외 트래픽(off-net traffic)이 모이게 되는 동등접속점에서의 라우터 및 대역폭뿐만 아니라 망내 트래픽(on-net traffic)이 흐르게 되는 대역폭을 모두 일컫는다. 특히 동등접속점에서의 네트워크 용량은 동등접속에 참여하는 기업의 협상에 의해서 결정되지만 망내 트래픽에 대한 대역폭 혹은 망내 네트워크 용량에 대한 투자에 대한 조건은 각 상업적 ISP의 전략적 판단에 의해서 경쟁적으로 결정되는 경우가 많다. 본 논문에서는 동등접속계약을 하는 각 ISP들이 동등접속점에서의 네트워크 용량뿐만 아니라 망내 네트워크 용량에 대해서도 협조적으로 결정하는 상황을 맹약이 있는 동등접속(peering with commitment)이라고 설정하고 반면에 망내 네트워크 용량에 대해서 비협조적이며 경쟁적으로 결정하는 상황을 맹약이 없는 동등접속(peering without commitment)이라고 설정한다.

#### 4. 시장 수요(Market Demand)

각 ISP기업들은 신규고객에 대해서 Cournot경쟁을 한다. 두 기업이 경쟁하는 복점의 균형에서 양의 이윤을 얻기 위한 hedonic 가격 혹은 품질이 조정된 가격

$\hat{p}$ 는 다음과 같다.

$$p_1 - s_1 + d_1 = p_2 - s_2 + d_2 = \hat{p} \quad (4)$$

인터넷에 가입하는 것과 가입하지 않는 것에 무차별한(indifferent) 한계적인 소비자(marginal customer)는 그의 유형(type)인  $r$ 이 식 (4)에 의해 결정되는 hedonic가격과 같은 소비자이다. 즉,  $r = \hat{p}$ 인 소비자가 한계적인 소비자이다.  $r \geq \hat{p}$ 인 사람만이 인터넷망에 가입하려 할 것이고  $r$ 은  $-\infty$ 과  $A$ 사이에서 밀도가 1인 분포라고 가정했으므로 ISP기업에 신규로 가입하는 전체 시장 수요는 다음과 같이 결정된다.

$$q_1 + q_2 = A - \hat{p} \quad (5)$$

여기서  $q_1$ 과  $q_2$ 는 기업 1과 2의 실현된 시장수요를 의미한다. 식 (5)을 식 (4)에 대입하면 다음과 같은 역수요함수를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} p_1 &= A - (q_1 + q_2) + s_1 - d_1 \\ &= A + v \cdot (q_1^e + \theta q_2^e) - (q_1 + q_2) - \left( \frac{q_1^e}{2k_1} + \frac{\theta q_2^e}{2k_2} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

위의 식 (6)에서 보듯이 만일 동등접속계약이 체결되어  $\theta$ 가 1로 결정이 되면 소비자들의 지불의사가격(willingness to pay)에 있어서 크게 두 가지 영향을 미친다. 첫 번째로 두 기업이 동등접속을 체결함으로써 실질적으로 비슷한 규모의 망의 크기가 2배로 증가하게 됨으로써 소비자들에게  $v \cdot q_2^e$ 만큼의 효용이 증가한다. 즉, 양의 망외부효과가 발생하는 것이다. 두 번째로 동등접속으로 인한 두 ISP기업간 트래픽의 증가 때문에 지체 혹은 정체가 증가하여 추가적으로  $\frac{q_2^e}{2k_2}$ 만큼의 비효용이 발생한다. 즉, 음의 망외부효과가 발생하는 것이다.

## 5. 게임의 순서와 분석 방법

본 모형에서 상정하고 있는 게임의 순서 혹은 의사결정순서는 다음과 같다.

- (1) 1단계: 각 ISP기업들은 동등접속의 여부인  $\theta$ 를 결정한다
- (11) 2단계: 각 ISP기업들은 추가적인 네트워크 용량 혹은 대역폭  $k_i$ 를 결정

한다. 두 가지의 결정방식이 고려된다. 첫 번째는 네트워크 용량이 비협조적으로 각 기업의 독자적인 선택에 의해서 결정되는 것이고, 두 번째는 두 기업이 협조적으로 혹은 맹약(commitment)하에서 네트워크 용량을 결정하는 것이다

- (iii) 3단계: 각 ISP기업들은 Cournot 수량경쟁을 한다. 이에 따라서 가입자수인  $q_1^*$ ,  $q_2^*$ 가 결정된다. Cournot 수량경쟁은 비협조적으로 가입자수를 결정한다.

본 모형에서는 두 개의 복점기업이 동등접속계약을 1단계에서 어떻게 해서 체결하게 되는지를 살펴본다. 이를 위해 동등접속계약을 체결할 때와 체결하지 않을 때를 나누어서 각 경우의 3단계 Cournot균형을 살펴보고 이를 감안하여 2단계에서 각 기업의 네트워크 용량에 대한 결정을 살펴본다. 특히 2단계를 네트워크 용량에 대한 맹약이 없는 비협조적 체제(regime without commitment or noncooperative regime)와 맹약이 있는 체제(regime with commitment)로 나누어 각각 네트워크 용량이 어떻게 결정되는지를 보고 최종적으로 1단계에서 동등접속계약의 여부를 결정하는 메커니즘을 유도하여 본다.

## 6. 3단계 Cournot 수량경쟁

후방귀납(backward induction)에 의해서 3단계에서 기업들간의 Cournot 수량경쟁하에서의 균형을 먼저 살펴본다. 분석의 편의를 위해 1단계에서 동등접속계약이 체결될 경우와 체결되지 않을 경우로 나누어서 3단계 Cournot균형을 살펴본다. 1단계에서 동등접속계약이 체결되고(즉,  $\min[\theta_1, \theta_2]=1$ ) 앞서의 비용조건을 감안할 때, 기업  $i$ 는 다음과 같이 3단계에서의 목적함수를 극대화시키려 할 것이다.

$$\max \pi_i |_{\theta=1} = p_i \cdot q_i = \left\{ A + v \cdot (q_1^e + q_2^e) - (q_1 + q_2) - \left( \frac{q_1^e}{2k_1} + \frac{q_2^e}{2k_2} \right) \right\} q_i \quad (7)$$

여기서  $i=1,2$ 이다. 목적함수에 대한 1계조건을 통해서 최적반응함수를 구하고 다시 연립하여 풀면 다음과 같은 Cournot 균형산출수준을 구할 수 있다.

$$q_1^* = q_2^* = \frac{1}{3} \left\{ A + v \cdot (q_1^e + q_2^e) \right\} - \frac{1}{6} \left( \frac{q_1^e}{k_1} + \frac{q_2^e}{k_2} \right) \quad (8)$$

Katz 등(1985)의 “실현된 기대 Cournot 균형(Fulfilled Expectation Cournot Equilibrium)”의 개념을 이용하여  $q_1^e = q_1^*$ ,  $q_2^e = q_2^*$ 로 놓고 식 (8)을  $q_1^*$ ,  $q_2^*$ 에 대해서 정리하면 다음과 같은 실현된 기대 Cournot 균형산출수준을 도출할 수 있다<sup>7)</sup>.

$$q_1^{*(1)}(k_1, k_2) = q_2^{*(1)}(k_1, k_2) = \frac{2Ak_1k_2}{k_1 + k_2 + 2k_1k_2(3-2v)} \quad (9)$$

식 (9)의 윗 첨자인 (1)은 동등접속이 이루어질 때를 의미한다

위의 실현된 기대 Cournot균형산출수준에서 알 수 있듯이 두 기업의 3단계에서의 산출수준은 동일하게 결정된다. 이는 두 기업이 동등접속계약을 체결할 때, 두 기업이 서로 완전한 대체관계에 놓여있게 되기 때문이다.

위의 식 (9)에서 결정된 3단계의 균형산출수준을 식 (7)에 대입하면 다음과 같이 기업 1, 2의 3단계 균형이윤을 얻을 수 있게 된다.

$$\begin{aligned} \pi_1^{*(1)}(k_1, k_2) &= \frac{4A^2k_1^2k_2^2}{\{k_1 + k_2 + 2k_1k_2(3-2v)\}^2}, \\ \pi_2^{*(1)}(k_1, k_2) &= \frac{4A^2k_1^2k_2^2}{\{k_1 + k_2 + 2k_1k_2(3-2v)\}^2} \end{aligned} \quad (10)$$

이제 1단계에서 동등접속계약이 체결되지 않을 때, 즉,  $\min[\theta_1, \theta_2] = 0$ 이라고 가정하고 Cournot균형을 도출해 본다. 다른 조건은 동등접속계약이 체결되었을 때의 분석과 동일하고  $\theta = 0$ 을 고려할 때, 기업 1과 2의 3단계에서의 목적함수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \max \pi_1|_{\theta=0} &= p_1 \cdot q_1 = \left\{ A + v \cdot q_1^e - (q_1 + q_2) - \frac{q_1^e}{2k_1} \right\} q_1 \\ \max \pi_2|_{\theta=0} &= p_2 \cdot q_2 = \left\{ A + v \cdot q_2^e - (q_1 + q_2) - \frac{q_2^e}{2k_2} \right\} q_2 \end{aligned} \quad (11)$$

앞서의 방식에서처럼 실현된 기대 Cournot균형을 도출하면 다음과 같다.

$$q_1^{*(0)} = \frac{2Ak_1\{1 + 2k_2(1-v)\}}{1 + 2k_2(2-v) + 2k_1\{2-v + 2k_2(v^2 - 4v + 3)\}}$$

7) 이러한 실현된 기대 Cournot 균형하에서는 식 (8)에서 구했던 통상적인 Cournot 균형 수량이 기대 네트워크 크기와 같게 된다

$$q_2^{*(0)} = \frac{2Ak_2\{1+2k_1(1-v)\}}{1+2k_2(2-v)+2k_1\{2-v+2k_2(v^2-4v+3)\}} \quad (12)$$

식 (12)의 윗 첨자 (0)은 동등접속계약이 체결되지 않았을 때의 Cournot균형을 의미한다. 위에서 구한 Cournot 균형산출수준을 식 (11)에 대입하면 다음과 같이 기업 1과 2의 3단계에서의 이윤을 구할 수 있다.

$$\pi_1^{*(0)} = \frac{4A^2k_1^2\{1+2k_2(1-v)\}^2}{[1+2k_2(2-v)+2k_1\{2-v+2k_2(v^2-4v+3)\}]^2} = \{q_1^{*(0)}(k_1, k_2)\}^2$$

$$\pi_2^{*(0)} = \frac{4A^2k_2^2\{1+2k_1(1-v)\}^2}{[1+2k_2(2-v)+2k_1\{2-v+2k_2(v^2-4v+3)\}]^2} = \{q_2^{*(0)}(k_1, k_2)\}^2 \quad (13)$$

### Ⅲ. 맹약이 없는 비협조체제하에서의 네트워크 용량의 선택과 동등접속계약 체결의 유인

#### 1. 맹약이 없는 네트워크 용량(network capacity)의 선택

이제 3단계에서 결정된 실현된 기대 Cournot 균형이 주어지 있을 때, 2단계에서 각 기업이 선택하는 네트워크 용량  $k_1, k_2$ 의 선택문제를 살펴본다. 특히 이 절에서는 두 기업이 맹약이 없이 비협조적으로 네트워크 용량을 결정할 때의 상황을 상정하는 것이다. 네트워크 용량에 대한 비용조건에서 각 기업의 네트워크 용량에 대한 증설비용  $f(k_i)$  ( $i=1,2$ )는 볼록한 비용함수로서  $f(k_i) = \frac{k_i^2}{2}$ 로 가정한다<sup>8)</sup>. 두 기업의 실현된 기대 Cournot 산출수준이 주어지 있고, 1단계에서 두 기업 사이에 동등접속계약이 체결되어  $\min[\theta_1, \theta_2] = 1$ 일 때, 2단계에서 비협조체제하에서의 두 기업의 목적함수는 다음과 같다.

$$\max \Pi_i |_{\theta=1} = \pi_i^{*(1)} - f(k_i) = \frac{4A^2k_1^2k_2^2}{\{k_1+k_2+2k_1k_2(3-2v)\}^2} - \frac{k_i^2}{2}$$

8) 특정한 형태의 비용함수를 가정하지 않고 일반적인 형태의 볼록한 비용함수를 가정하여도 분석의 결과는 동일하다

$$\max \Pi_2 |_{\theta=1} = \pi_2^{*(1)} - f(k_2) = \frac{4A^2 k_1^2 k_2^2}{\{k_1 + k_2 + 2k_1 k_2(3-2v)\}^2} - \frac{k_2^2}{2} \quad (14)$$

목적함수에 대한 1계조건을 구한 뒤, 균형의 대칭성(symmetry)을 이용하여  $k_1 = k_2 = k$ 로 놓고 정리하면 다음과 같다.

$$k = \frac{A^2 k}{(1 + k(3-2v))^3} \quad (15)$$

경제학적으로 의미가 있는 균형이 되기 위해서  $A^2 > 1$ 임을 가정한다<sup>9)</sup>.

식 (15)를  $k$ 에 대해서 정리해 주면 다음과 같이 동등접속계약을 체결하고 비협조체제하에서의 두 기업의 균형 네트워크 용량을 구할 수 있다.

$$k_N^{*(1)} = \frac{\sqrt[3]{A^2 - 1}}{3 - 2v} \quad (16)$$

위의 균형 네트워크 용량은 시장규모라고 볼 수 있는  $A$ 와 망의부효과의 중요성인  $v$ 의 증가함수임을 알 수 있다. 위의 균형 네트워크 용량을 목적함수에 대입하면 다음과 같이 수량과 이윤을 구할 수가 있게 된다.

$$q_1^N(1) = q_2^N(1) = \frac{A - \sqrt[3]{A}}{3 - 2v}, \quad \Pi_1^N(1) = \Pi_2^N(1) = \frac{2A^2 + 4\sqrt[3]{A^2} - 5\sqrt[3]{A^4} - 1}{2(3 - 2v)^2} \quad (17)$$

이제 1단계에서 두 기업이 동등접속계약을 체결하지 않을 때의 네트워크 용량에 대한 선택을 살펴본다. 두 기업이 동등접속계약을 체결하지 않아서  $\min[\theta_1, \theta_2] = 0$ 이고 2단계에서 네트워크 용량에 대한 선택이 비협조체제일 때, 각 기업의 목적함수는 다음과 같다.

$$\max \Pi_1 |_{\theta=0} = \pi_1^* - f(k_1) = \frac{4A^2 k_1^2 \{1 + 2k_2(1-v)\}^2}{[1 + 2k_2(2-v) + 2k_1\{2-v + 2k_2(v^2 - 4v + 3)\}]^2} - \frac{k_1^2}{2}$$

9) 목적함수인 식 (14)에서  $k_1 = 0$ 일 때의 네트워크 용량에 대한 비용인,  $f(k_1)$ 을 제외한 이윤,  $\pi_1$ 에 대한 2계 미분값이  $f(k_1)$ 의 2계 미분값보다 커야지만 균형이 존재할 수 있다 만일  $\pi_1''(0) - f''(0) < 0$ 이어서  $A^2 < 1$ 이게 되면  $k_1 = 0$ 인 구석해(corner solution)만이 존재하게 된다

$$\max \Pi_2|_{\theta=0} = \pi_2^* - f(k_2) = \frac{4A^2 k_2^2 \{1 + 2k_1(1-v)\}^2}{[1 + 2k_2(2-v) + 2k_1\{2-v + 2k_2(v^2 - 4v + 3)\}]^2} - \frac{k_2^2}{2} \quad (18)$$

목적함수의 1계조건을 구하고 다시 균형의 대칭성(symmetry)을 이용하여  $k_1 = k_2 = k$ 로 놓고 정리하면 다음과 같다.

$$k = \frac{8A^2 k \{1 + 2k(2-v)\}}{\{1 + 2k(3-v)\}^3 \{1 + 2k(1-v)\}} \quad (19)$$

위의 식을  $k$ 에 대해서 정리하면 1단계에서 동등접속계약을 체결하지 않고 2단계에서 비협조체제하에서 네트워크 용량을 선택할 때의 균형 네트워크 용량,  $k_N^{*(0)}$ 을 구할 수가 있으나 완결된 형태의 해(closed form solution)로 나타내기가 힘들기 때문에 수식표현은 생략하기로 한다.

균형 수량과 이윤을  $k_N^{*(0)}$ 의 함수꼴로 나타내면 다음과 같다.

$$q_1^{N(0)} = q_2^{N(0)} = \frac{2Ak_N^{*(0)}}{1 + 2k_N^{*(0)}(3-v)},$$

$$\Pi_1^{N(0)} = \Pi_2^{N(0)} = \frac{4A^2 (k_N^{*(0)})^2}{\{1 + 2k_N^{*(0)}(3-v)\}^2} - \frac{(k_N^{*(0)})^2}{2} \quad (20)$$

지금까지는 1단계에서 동등접속계약을 체결하는 경우와 체결하지 않는 경우의 균형 네트워크 용량을 살펴보았다. 이제 2단계의 네트워크 용량의 결정이 맹약이 없는 비협조체제였을 경우의 균형 네트워크 용량을 비교하여 다음과 같은 정리를 얻을 수 있다.

**정리 1.**  $A^2 > 1$ ,  $0 < v < 1$ 이고 2단계에서 네트워크 용량이 비협조체제하에서 결정될 때, 1단계에서 동등접속계약을 체결하지 않는 경우가 동등접속계약을 체결한 경우보다 균형네트워크 용량이 더 크다. 즉,  $k_N^{*(0)} > k_N^{*(1)}$ 이다.

**정리 1의 증명.** 동등접속계약을 체결하지 않았을 경우의 균형 네트워크 용량  $k_N^{*(0)}$ 을 완결된 해로 나타낼 수가 없다. 식 (15)과 식 (19)의 우변을 각각  $G(k)$ ,  $F(k)$ 라고 놓자.  $A^2 > 1$ 이라는 가정하에서 균형 네트워크 용량이 유일하며 네트워크 용량  $k$ 가 0보다 큰 영역에서  $G(k)$ ,  $F(k)$ 는 단봉(single pea-

kedness)성향을 가진다는 것을 쉽게 보일 수 있다 따라서 식 (15)와 식 (19)의 양변을 같게 해주는  $k$ 가 균형 네트워크 용량이 되고 양식의 좌변은  $k$ 로 동일하기 때문에 식 (15)와 식 (19)의 우변인  $G(k)$ ,  $F(k)$ 를 직접 비교하면 네트워크 용량의 크기를 비교할 수가 있게 된다

식 (15)의 우변에서 식 (19)의 우변을 빼주면 다음과 같다.

$$F(k) - G(k) = \frac{8A^2k(1+2k(2-v))}{(1+2k(3-v))^3(1+2k(1-v))} - \frac{A^2k}{(1+k(3-2v))^3}$$

$$= \frac{A^2k \left\{ (1+k(3-2v))^3 \left( \frac{1+2k(2-v)}{1+2k(1-v)} \right) - \left( \frac{1}{2} + k(3-v) \right)^3 \right\}}{(1+k(3-2v))^3 \left( \frac{1}{2} + k(3-v) \right)^3} \quad (21)$$

가정에 의해 위의 식에서 분모는 모든  $A$ ,  $v$ 에 대해서 0보다 크게 된다. 따라서 식 (21)의 우변의 부호는 분자  $(1+k(3-2v))^3 \left( \frac{1+2k(2-v)}{1+2k(1-v)} \right) - \left( \frac{1}{2} + k(3-v) \right)^3$ 의 부호에 의해서 결정된다. 분자를 다시 풀어쓰게 되면 다음과 같다.

$$\frac{7+28k(3-2v)+24k^2(15-21v+7v^2)+8k^3(81-180v+128v^2+28v^3)+16k^4(27-81v+90v^2-42v^3+7v^4)}{8(1+2k(1-v))}$$

위의 식에서  $k$ 에 대한 1, 2, 3, 4차항의 계수값인  $(3-2v)$ ,  $(15-21v+7v^2)$ ,  $(81-180v+128v^2+28v^3)$ ,  $(27-81v+90v^2-42v^3+7v^4)$ 은 구간이  $0 < v < 1$ 인 모든  $v$ 에 대해서 0보다 크다. 따라서 식 (21)의 전체 부호는 양이 된다. 결국 2단계에서 비협조적으로 네트워크 용량을 결정할 때, 시장전체의 규모라고 볼 수 있는  $A$ 의 크기와 관계없이 1단계에서 동등접속계약을 맺지 않을 때가 맺을 때보다 각 기업은 더 큰 균형 네트워크 용량을 선택하게 된다. 즉,  $k_N^{*(0)} > k_N^{*(1)}$ 이 된다.(증명끝)

정리 1은 2단계에서 네트워크 용량을 비협조적 혹은 경쟁적으로 선택할 경우, 각 기업들이 동등접속계약을 체결할 때가 체결하지 않을 때 보다 네트워크 용량을 더 적게 선택한다는 것을 의미하는 것으로써 의외의 결과라고 할 수 있다. 동등접속계약이 체결되고 2단계에서 비협조적으로 네트워크 용량을 선택하게 될 때, 두 기업에게 일종의 무임승차(free rider)의 문제가 발생하게 된다고



말할 수 있다. 이는 앞서 기본모형에서 가정했던 수신트래픽만이 존재하고 두 기업이 '뜨거운 감자 라우팅(Hot-Potato Routing)' 방식을 택하는 것과 관련되어 있다. 즉, 두 기업이 동등접속계약을 맺게 되는 경우 상대방 트래픽에 대한 허용 대역폭 혹은 네트워크 용량은 수신자가 속한 네트워크의 용량에 의해 좌우된다. 따라서 네트워크 용량을 비협조적으로 선택하게 될 경우 동등접속계약으로 인한 상대방 기업의 네트워크에 존재하는 콘텐츠에 대한 수신트래픽의 증가의 부담을 자신의 네트워크 용량증대로 대처하기 보다는 상대방 네트워크 용량의 증가로 전가시키려는 유인이 발생하게 된다. 균형에서 동등접속계약을 맺지 않을 때, 가입자가 증가해서 발생하는 트래픽 증가가 혼잡으로 이어지는 음의 망외부효과를 자신의 네트워크 용량을 증대시킴으로써 내부화시킬 수 있지만 동등접속계약을 맺을 경우 발생하는 추가적인 혼잡이라는 음의 외부성은 내부화시킬 수 없는 것이다.

## 2. 맹약이 없는 비협조체제하에서의 동등접속계약(peering without commitment)의 체결유인

이제 1단계에서 각 기업의 동등접속계약의 선택여부에 대해서 살펴본다. 2단계에서 네트워크 용량에 대한 선택이 맹약이 없는 비협조체제일 때, 앞서 살펴 보았던 3단계에서의 실현된 기대 Cournot 균형 산출수준과 2단계의 균형 네트워크 용량을 토대로 1단계에서 각 기업의 동등접속계약의 유인이 있는지에 대해서 살펴본다. 3단계와 2단계의 비용조건이 주어져 있을 때, 동등접속을 위해서는 동등접속점을 적절한 위치에 설치하여 그곳에 동등접속의 방식에 따라서 라우터나 스위치 등을 설치해야 하고 계약체결과정에 시간비용이 들어간다. 따라서 이러한 비용을 감안하여 동등접속시  $\gamma$ 만큼의 고정비용이 들어간다고 가정한다.

다음의 정리는 두 기업이 1단계에서 동등접속계약을 체결할 유인이 존재한다는 것을 보이고 있다.

**정리 2.** 두 기업이 2단계에서 맹약이 없이 비협조적으로 네트워크 용량을 선택할 때,  $A$ 가 충분히 크다면 두 기업 모두 1단계에서  $\theta_i = 1$  ( $i = 1, 2$ )를 선택하여 동등접속계약을 체결하는 것과 두 기업 모두  $\theta_i = 0$ 을 선택하여 동등접속계약을 체결하지 않는 것이 내쉬균형(Nash Equilibria)이 된다.

**정리 2의 증명:** 두 기업이 1단계에서 선택할 수 있는 전략은  $\theta_i = 1$  ( $i = 1, 2$ )

과  $\theta_i=0$ 로 두 가지이다 그리고 만일  $\theta_i=1$ 을 선택하게 되면 추가적인 고정 비용  $\gamma$ 가 들어가게 된다. 또한 두 기업 모두가  $\theta_i=1 (i=1,2)$ 을 선택하는 경우에 동등접속계약이 체결되고 한 기업이라도  $\theta_i=0 (i=1,2)$ 로 결정하면 동등접속계약이 이루어지지 못한다. 이러한 점을 고려하고 두 기업이 선택한 전략에 따르는 보수 혹은 이윤이 식 (17)과 식 (20)으로 주어져 있을 때, 1단계의 게임의 상황을 정규형 게임(normal form game)으로 나타내면 다음과 같다.

기업 1 \ 기업 2	$\theta_2=0$	$\theta_2=1$
$\theta_1=0$	$\Pi_N^{*(0)}, \Pi_N^{*(0)}$	$\Pi_N^{*(0)}, \Pi_N^{*(0)} - \gamma$
$\theta_1=1$	$\Pi_N^{*(0)} - \gamma, \Pi_N^{*(0)}$	$\Pi_N^{*(1)} - \gamma, \Pi_N^{*(1)} - \gamma$

위의 정규형 게임의 보수구조에서 보듯이 우선 두 기업 모두 동등접속을 하려 하지 않는 상황인  $\theta_1=0, \theta_2=0$ 이 내쉬균형이 된다. 또 다른 내쉬균형을 찾기 위해서 두 기업이 동등접속계약을 체결할 때의 이윤인  $\Pi_N^{*(1)} - \gamma$ 와 체결하지 않을 때의 이윤인  $\Pi_N^{*(0)}$ 를 비교하여 본다. 두 이윤의 차이는 다음과 같다.

$$\Pi_N^{*(1)} - \gamma - \Pi_N^{*(0)} = \pi_N^{*(1)} - \pi_N^{*(0)} - \left\{ \frac{(k_N^{*(1)})^2}{2} - \frac{(k_N^{*(0)})^2}{2} \right\} - \gamma \quad (22)$$

균형 네트워크 용량,  $k_N^{*(1)}$ 은 완결된 해로 표시할 수 있으나  $k_N^{*(0)}$ 은 그렇지 못하기 때문에 명시적 형태의 이윤비교는 불가능하다. 따라서 간접적인 방식으로 이윤을 비교해 본다. 특히 시장의 전체규모라고 볼 수 있는  $A$ 가 충분히 클 때의 이윤비교가 가능하다.

동등접속의 경우 균형 네트워크 용량  $k_N^{*(1)}$ 은 식 (15)를 만족하는  $k$ 로 주어진다.  $k_N^{*(1)}$ 의 위수(order)를  $A^\alpha$ 로 놓자. 식 (15)에 의하여  $1 = \frac{A^2}{(1+k(3-2v))^3}$

이므로  $A^\alpha$ 의 지수인  $\alpha$ 를 구하는 식은  $\frac{2}{3\alpha} = 1$ 이 되고 결국  $k_N^{*(1)}$ 의 위수는  $A^{\frac{2}{3}}$ 이 된다. 또한  $A^{\frac{2}{3}}$ 의 계수를  $c$ 라고 놓자 그러면  $k_N^{*(1)}$ 는  $k_N^{*(1)} = cA^{\frac{2}{3}} + e$ 의 형태가 된다 여기서  $e$ 는 위수의 항을 제외한 나머지 항을 의미한다.  $c$ 만을 구하기 위해  $e$ 를 무시하고  $k = cA^{\frac{2}{3}}$ 로 놓으면  $1 = \frac{A^2}{(1+k(3-2v))^3}$  식에서

$1 = \frac{A^2}{(3-2v)^3 c^3 A^2}$  이 되어서 결국  $k_N^{*(1)}$ 의 위수  $A^{\frac{2}{3}}$ 의 계수는  $c = \frac{1}{3-2v}$  이 된다. 지금까지  $k_N^{*(1)}$ 의 위수와 계수를 구하는 방식과 동일한 논리로 Cournot 균형수량,  $q_i^{*(1)}$ ( $i=1,2$ )와 균형이윤  $\pi_N^{*(1)}$ 의 위수와 그 계수들을 구하면 각각 다음과 같다.

	위 수	위수의 계수
$q_i^{*(1)}$	$A$	$\frac{1}{3-2v}$
$k_N^{*(1)}$	$A^{\frac{2}{3}}$	$\frac{1}{3-2v}$
$\pi_N^{*(1)}$	$A^2$	$\frac{1}{(3-2v)^2}$

따라서  $\pi_N^{*(1)}$ 는 대략적으로  $\pi_N^{*(1)} = \frac{1}{(3-2v)^2} A^2 + d$ 의 형태로 표시할 수 있고  $k_N^{*(1)} = \frac{1}{3-2v} A^{\frac{2}{3}} + e$ 의 형태로 표시할 수 있다. 여기서  $d, e$ 는 위수 이하의 항들을 의미한다. 같은 방식으로 동등접속이 이루어지지 못할 때의 Cournot 균형수량, 균형네트워크 용량  $k_N^{*(0)}$ ,  $\pi_N^{*(0)}$ 의 위수와 그 계수들을 구하면 각각 다음과 같다.

	위 수	위수의 계수
$q_i^{*(0)}$	$A$	$\frac{1}{3-v}$
$k_N^{*(0)}$	$A^{\frac{2}{3}}$	$\frac{1}{3-v} \cdot \sqrt[3]{\frac{2-v}{1-v}}$
$\pi_N^{*(0)}$	$A^2$	$\frac{1}{(3-v)^2}$

역시 마찬가지로  $\pi_N^{*(0)} = \frac{1}{(3-v)^2} A^2 + f$ 의 형태로 표시할 수 있고,  $k_N^{*(0)} = \frac{1}{3-v} \cdot \sqrt[3]{\frac{2-v}{1-v}} A^{\frac{2}{3}} + g$ 의 형태로 표시할 수 있다.  $f, g$ 도 역시 위수 이하의 항들을 의미한다. 지금까지 구한 균형조건들의 위수와 그 계수들을 토대로 식 (22)으로 주어진 이윤의 차이를 표시하면 다음과 같다

$$\begin{aligned}
\Pi_N^{*(1)} - \Pi_N^{*(0)} - \gamma &= \pi_N^{*(1)} - \pi_N^{*(0)} - \left\{ \frac{(k_N^{*(1)})^2}{2} - \frac{(k_N^{*(0)})^2}{2} \right\} - \gamma \\
&= \frac{1}{(3-2v)^2} A^2 + d - \frac{1}{(3-v)^2} A^2 - f \\
&\quad - \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{(3-2v)^2} A^{\frac{4}{3}} + e' - \frac{1}{(3-v)^2} \left( \frac{2-v}{1-v} \right)^{\frac{2}{3}} A^{\frac{4}{3}} - g' \right\} - \gamma \\
&= A^2 \left\{ \frac{1}{(3-2v)^2} - \frac{1}{(3-v)^2} \right\} - \frac{A^{\frac{4}{3}}}{2} \left\{ \frac{1}{(3-2v)^2} - \frac{1}{(3-v)^2} \left( \frac{2-v}{1-v} \right)^{\frac{2}{3}} \right\} \\
&\quad + d - f - \frac{1}{2} (e' - g') - \gamma
\end{aligned}$$

여기서  $e', g'$ 는 위수이하의 항목을 의미한다.  $0 < v < 1$ 이기 때문에 윗 식의 첫 번째 항의 부호는 양이고 두 번째 항의 부호도 역시 양이다. 따라서  $A$ 가 충분히 크다면 첫 번째와 두 번째 항의 값이 나머지 항들을 압도하기 때문에 윗 식의 전체 부호는 양이 된다. 바꾸어 표현하면,  $\pi_N^{*(1)} - \pi_N^{*(0)}$ 의 위수가  $A^2$ 이고 그 부호가 양이며 여타 항들은 위수가  $A^{\frac{4}{3}}$ 이하이기 때문에  $A$ 가 충분히 크다면  $\pi_N^{*(1)} - \pi_N^{*(0)}$ 의 증가속도가 더 커서 다른 항들과 동등접속하에서의 고정비용을 모두 압도하여 전체 부호는 양이 되는 것이다. 결국 두 기업이 각각  $\theta=1$ 로 선택하여 동등접속계약을 맺는 것도 내쉬균형(Nash Equilibrium)이 된다. (증명끝)

정리 2는 역수요함수의 절편이고 전체 인터넷 가입자시장의 규모라고 볼 수 있는  $A$ 가 충분히 크다면 두 기업이 서로 간에 완전한 접속품질을 보장하는 동등접속계약을 맺는 것이 내쉬균형이 될 수 있음을 의미한다. 즉, 시장규모가 충분히 크다면 두 ISP기업이 균형에서 동등접속을 할 유인이 있는 것이다. 앞서 지적했듯이 1990년대 중반 이후 인터넷과 관련된 산업은 인터넷 이용자의 증가와 대용량 트래픽의 교환을 필요로 하는 콘텐츠 시장의 활성화로 지속적으로 성장하고 있다. 이렇게 성장하고 있는 인터넷 접속 제공 시장에서 1990년 이후 사적인 동등접속이 인터넷 상호접속의 주요 방법이 되었다는 점에서 정리 2는 이를 잘 설명하고 있다고 볼 수 있다. 하지만 동등접속을 위해서는 고정비용  $\gamma$ 가 들어가기 때문에 두 기업이  $\theta=0$ 을 선택하는 경우, 즉, 동등접속계약의 유

인이 없는 경우에도 내쉬균형이 될 수가 있다<sup>10)</sup>. 따라서 사회적인 관점에서 좀 더 올바른 균형이 무엇인지를 살펴볼 필요성이 있다. 이는 제 V장에서 살펴보기로 한다.

#### IV. 맹약이 있는 협조적 체제하의 네트워크 용량의 선택과 동등접속계약 체결의 유인

##### 1. 네트워크 용량의 선택

이제 2단계의 네트워크 용량의 선택이 맹약이 있는 협조적체제로 이루어질 경우를 살펴본다. 이 경우 앞서 지적했듯이 동등접속계약을 하는 각 ISP들이 동등접속점에서의 네트워크 용량뿐만 아니라 망내 네트워크 용량에 대해서도 협조적으로 결정하는 상황이다. 두 기업이 2단계에서 맹약을 통해서 네트워크 용량을 선택하는 경우에는 3단계에서의 실현된 기대 Cournot균형이 주어져 있는 상황하에서 두 기업의 결합이윤(joint profit)이 극대화 되도록 네트워크 용량을 선택할 것이다. 3단계에서의 Cournot균형은 2장의 2.6에서의 내용과 같다.

우선 1단계에서 동등접속계약이 체결된 경우, 두 기업의 결합이윤에 관한 목적함수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \max \Pi_1 |_{\theta=1} + \Pi_2 |_{\theta=1} &= \pi_1^* + \pi_2^* - (f(k_1) + f(k_2)) \\ &= \frac{8A^2 k_1^2 k_2^2}{(k_1 + k_2 + 2k_1 k_2 (3 - 2v))^2} - \left( \frac{k_1^2}{2} + \frac{k_2^2}{2} \right) \end{aligned} \quad (23)$$

위의 식을  $k_1 = k_2 = k$ 로 놓고  $k$ 에 대한 1계조건을 구한 뒤  $k$ 에 대해서 정리하면 다음과 같이 1단계에 동등접속계약이 체결될 경우 2단계 맹약이 있는 균형 네트워크 용량을 구할 수 있다.

$$k_C^{*(1)} = \frac{\sqrt[3]{2A^2 - 1}}{3 - 2v} \quad (24)$$

10)  $\gamma$ 가 매우 작은 값이 되면 두 기업이 동등접속계약을 맺는 것이 우월한(dominant)한 내쉬균형이 된다.

위의 균형 네트워크 용량을 목적함수와 Cournot 수량에 대입하면 2단계 맹약이 있는 협조적 체제하에서 1단계의 균형이윤과 수량을 구할 수 있다

$$q_1^{C(1)} = q_2^{C(1)} = \frac{A - 3\sqrt{\frac{A}{2}}}{3-2v}, \quad \Pi_1^{C(1)} = \Pi_2^{C(1)} = \frac{2A^2 + 3^3\sqrt{2A^2} - 3^3\sqrt{4A^4} - 1}{2(3-2v)^2} \quad (25)$$

다음으로 1단계에서 동등접속계약이 체결되지 않을 때, 2단계 맹약이 있는 협조적 체제하에서의 네트워크 용량에 대한 선택을 살펴본다. 이러한 경우 2단계에서 두 기업의 목적함수인 결합이윤은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \max \Pi_1|_{\theta=0} + \Pi_2|_{\theta=0} &= \pi_1^* + \pi_2^* - (f(k_1) + f(k_2)) \\ &= \frac{4A^2 k_1^2 \{1 + 2k_2(1-v)\}^2}{[1 + 2k_2(2-v) + 2k_1\{2-v + 2k_2(v^2 - 4v + 3)\}]^2} \\ &\quad + \frac{4A^2 k_2^2 \{1 + 2k_1(1-v)\}^2}{[1 + 2k_2(2-v) + 2k_1\{2-v + 2k_2(v^2 - 4v + 3)\}]^2} - \left(\frac{k_1^2}{2} + \frac{k_2^2}{2}\right) \end{aligned} \quad (26)$$

위의 식을  $k_1 = k_2 = k$ 로 놓고  $k$ 에 대한 1계조건을 구한 뒤,  $k$ 에 대해서 정리하면 다음과 같이 2단계 맹약이 있는 협조적 체제하에서 1단계에서 동등접속계약이 체결되지 않는 경우의 균형 네트워크 용량을 구할 수 있다.

$$k_C^{*(0)} = \frac{2^3\sqrt{A^2} - 1}{2(3-v)} \quad (27)$$

위의 균형 네트워크 용량을 목적함수와 Cournot 균형수량에 대입하면 다음과 같은 균형수량과 균형이윤을 구할 수가 있다.

$$q_1^{C(0)} = q_2^{C(0)} = \frac{2A - 3\sqrt{A}}{2(3-v)}, \quad \Pi_1^{C(0)} = \Pi_2^{C(0)} = \frac{8A^2 + 6^3\sqrt{A^2} - 12^3\sqrt{A^4} - 1}{8(3-v)^2} \quad (28)$$

이제 2단계에서 맹약이 있는 협조적 체제하에서 1단계의 동등접속계약의 유무에 따른 네트워크 용량에 대한 크기를 비교하여 본다.

**정리 3.**  $A$ 가 충분히 커서  $3\sqrt{A^2} > \frac{3}{2\{(3-v)^3\sqrt{2+2v-3}\}}$  이 성립하면 2단계에서 맹약하에서 네트워크 용량이 결정될 때, 1단계에서 두 기업이 동등접속계약을 체결할 때가 체결하지 않을 때보다 네트워크 용량이 더 크다 즉,  $A$ 가

충분히 클 때,  $k_C^{*(1)} > k_C^{*(0)}$ 이 된다.

**정리 3의 증명:** 정리 3은 두 가지 방식으로 증명한다. 첫 번째로 정리 2에서의 증명방식을 원용해 본다. 2단계에서 맹약하에서 협조적으로 네트워크 용량을 결정할 때, 동등접속계약의 체결 유무에 따르는 각각의 Cournot 균형수량, 균형네트워크 용량 및 이윤에 대한 위수와 그 위수에 대응하는 계수값을 구하면 다음과 같다.

- i) 네트워크 용량에 대한 선택이 맹약하에서 협조적 체제이고  $\theta=1$ 일 때의 위수와 계수

	위 수	위수의 계수
$q_i^{*(1)}$	$A$	$\frac{1}{3-2v}$
$k_C^{*(1)}$	$A^{\frac{2}{3}}$	$\frac{\sqrt[3]{2}}{3-2v}$
$\pi_C^{*(1)}$	$A^2$	$\frac{1}{(3-2v)^2}$

- ii) 네트워크 용량에 대한 선택이 맹약하에서 협조적 체제이고  $\theta=0$ 일 때의 위수와 계수

	위 수	위수의 계수
$q_i^{*(0)}$	$A$	$\frac{1}{3-v}$
$k_C^{*(0)}$	$A^{\frac{2}{3}}$	$\frac{1}{3-v}$
$\pi_C^{*(0)}$	$A^2$	$\frac{1}{(3-v)^2}$

위의 위수와 계수로 보았을 때, 맹약이 있는 협조적 체제하에서 균형 네트워크 용량은  $\theta=1$ 일 때,  $k_C^{*(1)}$ 는 식 (28)에 의해 주어진 것처럼  $k_C^{*(1)} = \frac{\sqrt[3]{2}}{3-2v} A^{\frac{2}{3}} + l$ 의 형태를 가지며,  $k_C^{*(0)}$ 은 식 (32)에 의해 주어진 것처럼  $k_C^{*(0)} = \frac{1}{3-v} A^{\frac{2}{3}} + m$ 의 형태를 가진다. 여기서  $l, m$ 은 위수 이하의 항을 의미한다.  $0 < v < 1$ 이므로  $k_C^{*(1)}$ 의 위수의 계수가  $k_C^{*(0)}$ 의 위수의 계수보다 크기 때문에  $A$ 가 충분히 크다

면  $k_C^{*(1)} > k_C^{*(0)}$  이 된다. 이제  $A$ 가 어느 정도 커야하는지를 살펴보기 위해 식 (28)에서 식 (32)를 빼주어 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} k_C^{*(1)} - k_C^{*(0)} &= \frac{\sqrt[3]{2A^2} - 1}{3 - 2v} - \frac{2\sqrt[3]{A^2} - 1}{3(2 - v)} \\ &= \frac{2(3 - v)\sqrt[3]{2A^2} - 2(3 - 2v)\sqrt[3]{A^2} - 3}{2(3 - 2v)(3 - v)} \\ &= \frac{2\sqrt[3]{A^2}\{(3 - v)\sqrt[3]{2} + 2v - 3\} - 3}{2(3 - 2v)(3 - v)} \end{aligned} \quad (29)$$

$0 < v < 1$  이라고 가정하였기 때문에 식 (29)의 분모는 양이 된다. 따라서 식 (29)의 부호는 분자의 부호에 의해서 결정이 되는데, 분자의 구성항목 중  $\{(3 - v)\sqrt[3]{2} + 2v - 3\}$ 은 양이 되므로 결국 식 (29)의 전체 부호는  $\sqrt[3]{A^2} > \frac{3}{2\{(3 - v)\sqrt[3]{2} + 2v - 3\}}$  이면 양이고 그 반대가 되면 음이 된다. 따라서  $0 < v < 1$  이기 때문에  $A$ 가 충분히 크다면  $k_C^{*(1)} > k_C^{*(0)}$ 이 된다.(증명끝)

정리 1에서 보았듯이 두 기업이 2단계에서 맹약이 없이 비협조적으로 네트워크 용량을 선택할 때에는  $A$ ,  $v$  값에 상관없이 1단계에서 동등접속계약을 체결하지 않을 때가 균형 네트워크 용량이 더 컸지만 두 기업이 맹약하에서 협조적일 때의 균형 네트워크 용량은  $A$ ,  $v$  값에 의해, 특히 충분히 큰  $A$ 에 대하여 동등접속계약을 체결하는 경우가 체결하지 않는 경우보다 오히려 더 큰 균형 네트워크 용량을 선택함을 알 수 있다. 정리 1에서 밝혔듯이 네트워크 용량을 비협조적으로 선택하게 될 경우 동등접속계약으로 인한 상대방 기업의 네트워크에 존재하는 콘텐츠에 대한 수신트래픽의 증가의 부담을 자신의 네트워크 용량증대로 대처하기 보다는 상대방 네트워크 용량의 증가로 전가시키려는 유인이 발생하게 된다. 따라서 비협조체제의 균형에서 동등접속계약을 맺지 않을 때, 가입자가 증가해서 발생하는 트래픽 증가가 혼잡으로 이어지는 음의 망의 부효과를 자신의 네트워크 용량을 증대시킴으로써 내부화시킬 수 있지만 동등접속계약을 맺을 경우 발생하는 추가적인 혼잡이라는 음의 외부성은 내부화시킬 수 없는 것이다 그러나 정리 3에서처럼 네트워크 용량을 맹약하에서 협조적으로 선택한다면 두 기업이 결합이윤을 극대화하는 방향으로 네트워크 용량



을 선택하기 때문에 동등접속으로 인한 인터넷 이용자와 트래픽 교환량의 증가에 충분히 대처할 만한 네트워크 용량을 갖추게 되는 것이다. 정리 3의 결과는 정리 1과는 달리 매개변수인  $A$ ,  $v$ 에 의해서 결정된다. 즉,  $A$ 가 작고,  $v$ 가 0에 가깝다면 오히려  $k_C^{*(1)} < k_C^{*(0)}$ 일 가능성이 생기게 된다. 그러나 인터넷 접속 제공 시장의 규모( $A$ )는 날로 커지고 있고 인터넷의 근원적인 가치라고 볼 수 있는 망과 망사이의 상호접속이 중요해 지고 있기 때문에  $A$ 가 작고,  $v$ 가 0에 가깝다는 것은 현실상으로 무시할 수 있는 상황이라고 할 수 있다.

2. 맹약이 있는 협조적 체제하에서의 동등접속계약체결(peering with commitment)의 유인

이제 2단계에서 네트워크 용량에 대한 선택이 맹약하에서 협조적으로 이루어질 때, 1단계에서 동등접속계약의 유인이 존재하는지를 살펴본다. 다음의 정리는  $A$ 가 충분히 클 때, 두 기업이 맹약이 있는 협조적 체제하에서 동등접속계약체결의 유인이 존재한다는 것을 보이고 있다.

정리 4. 두 기업이 2단계에서 네트워크 용량을 맹약하에서 협조적으로 선택할 때,  $A$ 가  $3\sqrt{A^2} > \frac{3}{2\{(3-v)\sqrt{2}+2v-3\}}$ 를 만족하면서 충분히 크다면 두 기업은 1단계에서 동등접속계약을 맺는 것이 내쉬균형(Nash Equilibrium)이 된다.

정리 4의 증명: 두 기업이 1단계에서 선택할 수 있는 전략은  $\theta_i=1(i=1,2)$ 과  $\theta_i=0$ 로 두 가지이다. 그리고 만일 기업  $i$ 가  $\theta_i=1$ 을 선택하게 되면 추가적인 고정비용  $\gamma$ 가 들어가게 된다. 또한 두 기업 모두가  $\theta_i=1$ 을 선택하는 경우에 동등접속계약을 체결되고 한 기업이라도  $\theta_i=0(i=1,2)$ 로 결정을 하면 동등접속계약이 이루어지지 못한다. 이러한 점을 고려하고 두 기업이 선택한 전략에 따르는 보수 혹은 이윤이 식 (25)와 식 (28)로 주어져 있을 때, 1단계의 게임의 상황을 정규형(normal form)으로 나타내면 다음과 같다.

	기업 1	$\theta_2=0$	$\theta_2=1$
기업 2	$\theta_1=0$	$\Pi_C^{(0)}, \Pi_C^{(0)}$	$\Pi_C^{(0)}, \Pi_C^{(0)}-\gamma$
	$\theta_1=1$	$\Pi_C^{(0)}-\gamma, \Pi_C^{(0)}$	$\Pi_C^{(1)}-\gamma, \Pi_C^{(1)}-\gamma$

위의 정규형에서 보듯이 우선 두 기업 모두 동등접속을 하려 하지 않는 상황인  $\theta_1=0, \theta_2=0$  이 내쉬균형이 된다. 또 다른 내쉬균형을 찾기 위해서 두 기업이 동등접속계약을 체결할 때의 이윤인  $\Pi_C^{*(1)}-\gamma$ 와 체결하지 않을 때의 이윤인  $\Pi_C^{*(0)}$ 를 비교하여 본다. 두 이윤의 차이는 다음과 같다.

$$\Pi_C^{*(1)}-\Pi_C^{*(0)}-\gamma=\pi_C^{*(1)}-\pi_C^{*(0)}-\left\{\frac{(k_C^{*(1)})^2}{2}-\frac{(k_C^{*(0)})^2}{2}\right\}-\gamma \quad (30)$$

앞의 정리 2의 증명에서와 같은 방식으로 식 (30)으로 주어진 이윤의 차이를 표시하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Pi_C^{*(1)}-\Pi_C^{*(0)}-\gamma &= \pi_C^{*(1)}-\pi_C^{*(0)}-\left\{\frac{(k_C^{*(1)})^2}{2}-\frac{(k_C^{*(0)})^2}{2}\right\}-\gamma \\ &= \frac{1}{(3-2v)^2}A^2+h-\frac{1}{(3-v)^2}A^2-i \\ &\quad -\frac{1}{2}\left\{\frac{\sqrt[3]{4}}{(3-2v)^2}A^{\frac{4}{3}}+j'-\frac{1}{(3-v)^2}A^{\frac{4}{3}}-k'\right\}-\gamma \\ &= A^2\left\{\frac{1}{(3-2v)^2}-\frac{1}{(3-v)^2}\right\}-\frac{A^{\frac{4}{3}}}{2}\left\{\frac{1}{(3-2v)^2}-\frac{1}{(3-v)^2}\right\} \\ &\quad +h-i-\frac{1}{2}(j'-k')-\gamma \end{aligned}$$

위 식의 첫 번째 항의 부호는 양이고 두 번째 항은 음이다. 하지만 첫 번째 항의 위수(order)는  $A^2$ 이고 두 번째 항의 위수는  $A^{\frac{4}{3}}$ 이다. 따라서  $A$ 가 충분히 크다면 첫 번째 항과 두 번째 항의 전체 부호는 양이 되며 그 절대치가 동등접속시의 고정비용인  $\gamma$ 를 포함한 여타 다른 항들을 압도하기 때문에 결국 위 식의 전체 부호는 양이 된다. 따라서  $A$ 가 충분히 크다면 2단계 담합체제하에서 1단계에서 두 기업 모두  $\theta=1$ 를 선택하는 것이 내쉬균형이 된다.(증명끝)

앞서 정리 2에서 맹약이 없는 비협조체제하에서 두 기업사이에 동등접속계약의 체결이 내쉬균형임을 보였다 따라서 정리 2, 4에 의해서 네트워크 용량의 선택에 대한 맹약의 여부에 관계없이  $A, v$ 가 충분히 크다면 두 기업은 동등접속계약을 체결할 유인이 존재한다.

## V. 사회후생(Social Welfare)의 비교

지금까지의 결과를 토대로 동등접속의 유무에 따른 사회후생과 2단계에서의 망약이 없는 비협조체제와 망약이 있는 협조적 체제의 사회후생을 비교하여 본다. 특히 앞서 살펴보았듯이 두 기업이 동등접속을 하지 않는 경우와 동등접속 계약을 체결하는 경우가 모두 내쉬균형(Nash Equilibria)이기 때문에 사회적인 관점에서 보았을 때, 어떠한 경우가 더 우월한 균형인지를 살펴본다.

사회후생을 비교하기 위해서 우선 소비자잉여와 사회후생함수를 정의하여 본다. 앞서의 식 (6)에 의해서 구해진 시장가격은 역수요함수(inverse demand function)이기도 하기 때문에 유형이  $r$ 인 소비자들의 소비자 잉여(consumers surplus)를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$CS_1(r) = r + s_1 - d_1 - p_1 \quad (31)$$

$r$ 이 hedonic가격인  $\hat{p} = A - (q_1 + q_2)$  이상인 소비자들이 인터넷에 가입한다 따라서 식 (31)을 구간  $[A - (q_1 + q_2), A]$ 에 속해있는 모든 가입자에 대해서 적분해 주면 다음과 같은 전체 소비자의 소비자잉여를 구할 수 있다.

$$CS = \int_{A - (q_1 + q_2)}^A [r - A + q_1 + q_2] dr = \frac{(q_1 + q_2)^2}{2} \quad (32)$$

전체 사회후생(social welfare)은 소비자잉여에 기업의 이윤을 합한 것이기 때문에 다음과 같은 사회후생을 구할 수 있다.

$$W = CS + \Pi_1 + \Pi_2 \quad (33)$$

여기서  $\Pi_1, \Pi_2$ 는 각각 기업 1, 2의 이윤이다.

앞서의 결과에 의해서  $\Pi_1^{N(1)} = \Pi_2^{N(1)}$ ,  $\Pi_1^{C(0)} = \Pi_2^{C(0)}$ 이므로  $\Pi_i^{N(1)} = \Pi_N^{*(1)}$ ,  $\Pi_i^{C(0)} = \Pi_C^{*(0)}$  ( $i = 1, 2$ )로 표시한다. 따라서 ISP기업간에 동등접속계약이 체결되고 2단계에서 망약이 있는 협조적 체제하에서 네트워크 용량을 선택하게 될 때, 전체 사회후생은  $W_C^{(1)} = CS_C^{(1)} + 2\Pi_C^{*(1)} - 2\gamma$ 로 표시할 수 있고 동등접속계약이 이루어지지 못한다면 전체 사회후생은  $W_C^{(0)} = CS_C^{(0)} + 2\Pi_C^{*(0)}$ 으로 나타낼 수 있다.

위에서 살펴본 소비자잉여와 사회후생의 정의와 개념을 이용하여 3단계와 2단계의 맹약이 있는 협조적 체제하에서 정해진 Cournot 산출량수준과 네트워크 용량이 주어져 있을 때, 동등접속계약의 체결 유무에 따른 산출량과 소비자잉여와 전체 사회후생을 구하면 다음과 같은 보조정리가 도출된다.

**보조정리 1.**  $A$ 가 충분히 커서  $\sqrt[3]{A^2} > \frac{3}{2\{(3-v)\sqrt[3]{2+2v-3}\}}$  이 성립하면

2단계 맹약이 있는 협조적 체제하에서 두 기업이 동등접속계약을 체결하는 경우가 체결하지 않는 경우보다 전체 산출량 혹은 가입자수 ( $Q_C = q_1 + q_2$ )가 더 크다. 즉,  $Q_C^{(1)} > Q_C^{(0)}$ 이다. 또한 동등접속계약을 체결한 경우가 체결하지 않는 경우보다 소비자 후생이 더 크게 된다. 즉,  $CS_C^{(1)} > CS_C^{(0)}$ 이다.

**보조정리 1의 증명:** 3단계의 Cournot 산출량수준은 두 기업 모두 대칭적으로 정해진다. 1단계에서 동등접속계약을 체결하고 2단계의 맹약이 있는 협조적 체제하에서 식 (24)로 주어진 균형 네트워크 용량,  $k_C^{*(1)}$ 에서 3단계의 Cournot 산출량 수준을  $k_C^{*(1)}$ 의 함수로 표시하면  $q_C^{*(1)} = \frac{Ak_C^{*(1)}}{1+k_C^{*(1)}(3-2v)}$ 이고 두 기업

이 1단계에서 동등접속계약을 체결하지 않을 때의 산출량 수준을  $k_C^{*(0)}$ 의 함수로 표시하면  $q_C^{*(0)} = \frac{2Ak_C^{*(0)}}{1+2k_C^{*(0)}(3-v)}$ 이다. 정리 4에 의하여  $A$ 가 충분히 커서

$\sqrt[3]{A^2} > \frac{3}{2\{(3-v)\sqrt[3]{2+2v-3}\}}$  이면  $k_C^{*(1)} > k_C^{*(0)}$ 이므로  $q_C^{*(1)} > q_C^{*(0)}$ 이다. 전

체가입자수는  $Q_C = q_1 + q_2$ 이므로 결국 가입자수의 크기는 동등접속을 체결할

때가 더 크게 된다. 또한 식 (32)에 의하여 전체 소비자 잉여,  $CS = \frac{(q_1 + q_2)^2}{2}$

$= \frac{Q^2}{2}$  이므로 산출량 수준 혹은 가입자수가 더 큰 동등접속계약체결시가 동등접속계약을 체결하지 않을 때보다 전체 소비자 잉여 혹은 소비자 후생이 더 크게 된다. 즉,  $CS_C^{(1)} > CS_C^{(0)}$ 이 된다.(증명끝)

다음으로 소비자잉여와 두 기업의 이윤을 합한 전체 사회후생을 동등접속계약의 체결유무에 따라 비교할 수가 있다

**정리 5.**  $A$ 가 충분히 크다면 두 기업이 네트워크 용량을 2단계에서 맹약이 있는 협조적 체제하에서 선택할 때, 1단계에서 동등접속계약을 체결할 때가 동등접속계약을 체결하지 않을 때보다 전체 사회후생이 더 크다. 즉,  $W_C^{(1)} > W_C^{(0)}$ 이다.

**정리 5의 증명:** 맹약하에서 동등접속이 이루어질 때의 전체 사회후생은  $W_C^{(1)} = CS_C^{(1)} + 2\Pi_C^{*(1)} - 2\gamma$ 로 표시할 수 있고 동등접속계약이 이루어지지 못할 때, 전체 사회후생은  $W_C^{(0)} = CS_C^{(0)} + 2\Pi_C^{*(0)}$ 으로 나타낼 수 있다. 보조정리 1에 의해서  $A$ 가 충분히 크다면  $Q_C^{(1)} > Q_C^{(0)}$ 이고  $CS_C^{(1)} > CS_C^{(0)}$ 이다. 또한 정리 4에 의해서  $A$ 가 충분히 크다면  $2\Pi_C^{*(1)} - 2\gamma > 2\Pi_C^{*(0)}$ 이므로 자명하게  $W_C^{(1)} > W_C^{(0)}$ 이다.(증명끝)

보조정리 1과 정리 5는 맹약하에서 협조적으로 네트워크 용량을 선택할 때, 두 ISP기업들이 동등접속하는 것이 소비자잉여와 사회후생이 더 크다는 것을 의미한다. 정리 4에서 살펴보았듯이 동등접속계약체결시에 0보다 큰 고정비용  $\gamma$ 가 들어간다면 동등접속계약을 체결하지 않는 것도 내쉬균형이 된다. 따라서 동등접속계약을 체결하는 것과 체결하지 않는 것 모두가 내쉬균형이 되기 때문에 어느 균형이 사회적으로 보았을 때, 우월한 균형인가가 문제가 될 것이다. 정리 5는 바로 2단계 맹약이 있는 협조적 체제하에서 동등접속을 체결하는 것이 더 우월한 균형임을 보이고 있다. 이는 동등접속으로 인해서 비슷한 규모의 인터넷망이 두 배 이상으로 커지게 됨으로써 사회전체적으로 얻게 되는 양의 망외부효과의 크기가 인터넷 이용자수와 트래픽 교환량의 증대로 때문에 발생하는 지체나 정체의 증가로 인해서 사회전체적으로 얻게 되는 음의 망외부효과를 압도하기 때문이라고 볼 수 있다. 많은 국가에서 인터넷 백본 시장은 과점적 구조를 가지고 있어서 동등접속을 거부하거나 중계접속료를 과도하게 부과하는 등 백본 ISP의 불공정 행위에 대한 우려가 국내외적으로 제기되어 왔다(김희수(2003)). 이러한 동등접속을 거부, 제한하는 것은 정리 5에서 보는 바와 같이 전체적인 사회후생의 증진을 가로막는 것이라고 볼 수 있다.

다음으로는 2단계 네트워크 용량을 결정할 때, 맹약이 없는 비협조체제와 맹약이 있는 협조적 체제에서 사회후생을 어떻게 비교할 수 있는지를 살펴본다.

**정리 6.** 두 ISP기업이 동등접속계약을 체결할 때, 2단계의 네트워크 용량에 대한 선택이 망약이 있는 협조적 체제일 때가 망약이 없는 비협조체제일 때보다 사회후생이 더 크다. 즉,  $W_C^{(1)} > W_N^{(1)}$ 이다.

**정리 6의 증명:** 자명하게 1단계에서 동등접속계약을 체결할 때, 균형 네트워크 용량은 2단계의 망약이 있는 협조적 체제하에서가 망약이 없는 비협조체제하에서보다 더 크고, 3단계의 균형이윤과 수량도 망약이 있는 협조적 체제하에서가 비협조체제하에서보다 더 크다. 즉,  $\theta=1$ 일 때,  $k_C^{*(1)} > k_N^{*(1)}$ ,  $q_1^{C(1)} = q_2^{C(1)} > q_1^{N(1)} = q_2^{N(1)}$ ,  $\Pi_C^{(1)} > \Pi_N^{(1)}$ 이다. 소비자 후생은  $CS = \frac{(q_1 + q_2)^2}{2} = \frac{Q^2}{2}$ 이므로 가입자수가 더 많은 협조적 체제가 비협조적 체제보다 소비자 후생이 더 크다. 즉,  $CS_C^{(1)} > CS_N^{(1)}$ 이다. 협조적 체제하에서의 동등접속할 때의 전체 사회 후생은  $W_C^{(1)} = CS_C^{(1)} + 2\Pi_C^{(1)} - 2\gamma$ 이고 망약이 없는 비협조체제하에서 동등접속할 때의 전체 사회후생은  $W_N^{(1)} = CS_N^{(1)} + 2\Pi_N^{(1)} - 2\gamma$  때문에 결국은 동등접속계약을 체결할 때, 망약이 있는 협조적 체제하에서가 망약이 없는 비협조체제하에서보다 사회후생이 더 크다. 즉,  $W_C^{(1)} > W_N^{(1)}$ 이다.(증명끝)

**정리 6은** 두 기업이 동등접속계약을 맺을 경우에는 망약이 있는 협조적 체제가 망약이 없는 비협조체제보다 사회적으로 보았을 때, 더 나은 체제라는 것을 의미한다. 일반적으로 최종생산물에 대한 담합체제란 복점 하에서 두 기업이 독점력을 유지하기 위해서 사회적 최적 수준보다 더 적은 양의 생산물을 생산해 내는 것으로 정의된다. 따라서 담합체제 하에서는 생산물이 적고 가격은 높기 때문에 소비자잉여가 경쟁체제 혹은 비협조체제보다 작게 된다. 그러나 본 모형에서는 두 ISP기업이 동등접속계약을 맺었을 경우 네트워크 용량을 망약하에서 협조적으로 선택했을 경우가 비협조적으로 선택했을 경우보다 오히려 소비자 잉여가 더 크고 나아가 사회후생도 더 크다는 결과가 나타났다. 본 논문에서 망약이 있는 협조적 체제란 결합이윤을 극대화하는 방향으로 네트워크 용량을 협조적으로 선택하는 것을 의미한다. 현실적으로 동등접속계약을 하는 각 ISP들이 동등접속점에서의 네트워크 용량뿐만 아니라 망내 네트워크 용량에 대해서도 협조적으로 결정하는 상황이 망약이 있는 협조적 체제이고 반면에 망내 네트워크 용량에 대해서는 전략적이고 경쟁적으로 결정하는 상황이 망약이 없는 비협조적 체제이다. 인터넷망 사이에 동등접속과 같은 새로운 상호접속으

로 인한 망외부효과의 이득과 혼잡이 동시에 발생한다. 이 때, 혼잡을 완화시키기 위한 올바른 시장구조는 경쟁적인 네트워크 용량의 선택보다는 동등접속점에서의 협조적인 네트워크 용량의 결정뿐만 아니라 자체 망에 대한 하부구조의 네트워크 용량에 대해서도 협조적으로 선택하는 체제가 사회적으로 보았을 때, 좀 더 우월한 체제라는 것을 보여주고 있다. 즉, 상호 동등접속계약을 체결할 경우 네트워크 용량의 선택은 경쟁보다는 조율이어야 한다는 것이다.

## VI. 결 론

지금까지 본 논문에서는 1990년대 중반이후 인터넷 접속제공기업들 사이에 상호접속의 주요 방식이 되고 있는 동등접속계약에 대해서 그 체결메커니즘을 네트워크 용량에 대한 투자를 중심으로 살펴보았다. 특히 ISP기업사이에 동등접속을 체결하는 것이 내쉬균형이 될 수 있다는 점을 보임으로써 동등접속계약의 경제학적 근거를 제시했다고 볼 수 있다. 사회적으로 보았을 때, 시장규모가 충분히 크다면 네트워크 용량에 대한 맹약이 있는 협조적 체제하에서 동등접속을 체결하는 것이 여타 체제보다 더 우월한 균형임을 보이고 있다. 한국을 비롯한 많은 국가에서 인터넷 백본 시장이나 ISP시장은 과점적 구조를 가지고 있다. 따라서 동등접속을 거부하거나 중계접속료를 과도하게 부과하는 방법 등으로 백본 ISP의 불공정 행위에 대한 우려가 국내외적으로 제기되어 왔다. 즉, 사회적으로 보았을 때 더 우월한 체제라고 할 수 있는 동등접속이 억제될 가능성이 있는 것이다. 현재 한국을 비롯한 대다수 외국정부의 인터넷 상호접속에 대한 규제는 백본 ISP들의 합병 제한이나 불허 등이 주된 형태이다. 따라서 인터넷 상호접속을 기존 통신 서비스에 적용되는 규제체계에 포함시켜서 비슷한 규모의 ISP기업 사이의 동등접속이 제도적으로 보장이 되게 해야 할 것이다. 또한 전체적으로 네트워크 용량을 맹약하에서 협조적으로 선택하는 것이 비협조적으로 선택하는 것보다 사회후생수준이 더 크다는 것을 보였다. 즉, 네트워크 용량에 선택이 협조적으로 이루어질 때, 두 ISP기업들이 동등접속하는 것이 소비자잉여와 사회후생이 더 크다. 이는 인터넷 접속제공시장에 관한 정책적 관점에서 보았을 때, 망사이의 상호접속으로 인한 망외부효과의 이득과 혼잡이 동시에 발생하는 상황에서 혼잡을 완화시키기 위한 올바른 시장구조는 경쟁적인 네트워크 용량의 선택보다는 협조적인 상황에서 전체적인 네트워크 용량의

조율이어야 한다는 것을 의미한다. 따라서 ISP기업간 합병에 관한 제한이나 불허와 같은 규제는 최종재라고 할 수 있는 가입자수에 대한 규제로 국한시키고 가능한 네트워크 용량의 선택에 있어서는 IBP와 ISP와 같은 인터넷 접속제공 기업들의 협조적인 조율이 있을 수 있도록 유도해야 할 것이다.

본 논문의 한계는 다음과 같다. 첫째, 본 논문에서는 ISP나 IBP사이의 중계접속계약(transit contract)에 대해서는 분석하지 못하였다. 중계접속계약의 경우 작은 망을 가진 ISP가 대규모망에 유발하는 혼잡비용(congestion costs)에 대해 보상을 한다. 따라서 규모가 비슷하고 대칭적인 트래픽량의 교환을 전제로 하고 있는 본 논문의 모형내에서 중계접속계약을 분석하기가 어렵다. 둘째, 모형내에서 일반적 형태의 함수가 아닌 특정 함수형태를 가정하였기 때문에 좀더 특정상황에 대해서 모형을 적용하기가 힘들다. 이러한 한계점에 대해서는 차후 연구과제로 남겨둔다.

### [참고문헌]

- 김희수(2003), “인터넷 상호접속 공정경쟁 이슈와 정책대안,” KISDI 이슈 리포트
- 이종화(2001), “인터넷 상호접속제도에 관한 연구,” 『정보사회연구』, 봄호, 1-18.
- 윤기호(2003), “인터넷 상호접속에서의 협상력 결정모형,” 『산업조직연구』, 11(1), 1-17.
- 진영민(2001), “인터넷망의 기술동향과 전망,” 『통신시장』, 제37호, 한국통신경영 연구소, 42-53.
- 한국인터넷정보센터(2002, 2003), 한국인터넷통계집.
- 한국인터넷정보센터(2002, 2003), 『주간 인터넷통계 동향보고』, 각호.
- 한국인터넷정보센터(2003), 2003년 5월 현재 인터넷 망구성도, [http://isis.nic.or.kr/sub03/sub03\\_index.html](http://isis.nic.or.kr/sub03/sub03_index.html).
- 한국인터넷정보센터(2003), 인터넷 통계월보, 2003년 각호.
- 한국정보통신기술협회(2000), 『정보통신용어사전』, 제4판.
- Bailey, J. P.(1995), “Economics and Internet Interconnection Agreements,” Bailey and McKnight(ed.)(1997), *Internet Economics*, MIT Press, Cambridge MA.
- Bailey, J. P. and McKnight, L.(1997), *Internet Economics*, MIT Press,



Cambridge MA.

- Besen, S., P. Milgrom, B. Mitchell and P. Srinagesh(2001), "Advances in Routing Technologies and Internet Peering Agreements," *American Economic Review*, 91(2).
- Cremer, J., P. Rey and J. Tirole(2000), "Connectivity in the Commercial Internet," *Journal of Industrial Economics*, 48(4), 433-472.
- Economides, N.(1996a), "The Economics of Networks," *International Journal of Industrial Organisation*, 14(6), 673-699.
- Ferguson, P. and G. Huston(1998), *Quality of Service: Delivering QoS on the Internet and in Corporate Networks*, Wiley, New York.
- Foros, O. and B. Hansen(2001), "Competition and Compatibility among Internet Service Provider," *Information Economics and Policy*, 13, 411-425.
- Foros, O., H. J. Kind and L. Sorgard(2000), "Access Pricing, Quality Degradation, and Foreclosure in the Internet," mimeo.
- Fudenberg, D. and J. Tirole(1998), *Game Theory*, MIT Press, Cambridge MA.
- Huston, G.(1999), "Interconnection, Peering, and Settlements," mimeo.
- Jeon, D and J-J. Laffont(2001), "On the Receiver Pay Principle," working paper, University of Toulouse.
- Katz, M and C. Shapiro(1985), "Network Externalities, Competition and Compatibility," *American Economic Review*, 75, 424-440.
- Kende, M.(2000), "The Digital Handshake: Connecting Internet Backbones," OPP Working Paper(32), FCC(미국 연방통신위원회).
- Laffont, J-J, P. Rey and J. Triole(1998a), "Network Competition: I. Overview and Nondiscriminatory Pricing," *Rand Journal of Economics*, 29, 1-37
- Laffont, J-J, P. Rey and J. Triole(1998b), "Network Competition: II. Price Discrimination," *Rand Journal of Economics*, 29, 38-56.
- Laffont, J-J, S. Marcus, P. Rey and J. Tirole(2001), "Internet Interconnection and the Of-net-cost Pricing Principle," mimeo, <http://www.idei.asso.fr/English/ECv/CvChercheurs/PageEcvTirole.html>.
- Laffont, J-J and J. Tirole(1996), "Creating Competition Through Interconnection: Theory and Practice," *Journal of Regulatory Economic*, 10,

227-256.

Laffont, J-J. and J. Tirole(2000), *Competition in Telecommunication*, MIT Press, Cambridge MA.

Milgrom, P., B Mitchell and P. Srinagesh(2000), "Competitive Effects of Internet Peering Policies," in *The Internet Upheaval*, edited by Ingo Vogelsang and Benjamin Compaine, MIT Press, Cambridge MA, 175-195.

(Abstract)

## A Study on Internet Interconnection: Peering and the Investment of Network Capacity

Gyeong Soo Kim

This study analysed the peering contracts, which have been a main method of internet interconnection among internet service providers(ISP) since mid 1990. In duopoly model, if ISP firms interconnect without network capacity commitment, ISP firms would choose less network capacity under peering contract than not peering irrespectively of market size and the important value of interconnection. On the other hand, when two ISP firms cooperatively choose the network capacity with commitment and market size is sufficiently large, we proposed ISP firms would choose the more network capacity under peering contract than not peering. We show that if market size is enough large, peering contracting can be Nash Equilibrium irrespectively of commitment about network capacity. In other words, each ISP firms have the incentive of peering contract in equilibrium. But it would be Nash Equilibrium that two ISP firms would not peer with each other having the fixed cost on peering. We showed it would be socially dominant equilibrium that two ISP firms would peer with each other under commitment on network capacity choice. A policy making point of view, we propose the regulation of government on internet service industry should include internet peering between ISP firms. In other words, the peering contract between similar sized ISP firms should be institutionally guaranteed by regulation government. Also, we showed that social welfare would be larger under cooperative regime than noncooperative regime on choosing network capacity. Therefore, regulation government must carefully think about the importance of cooperation selecting network capacity, but regulation about ISP industry should be restricted within merger and acquisition which is said to be the regulation about final commodity.

Keywords Internet Interconnection, Peering, Network Capacity, Network Externality