
국내 AS 수준 인터넷 위상 분석과 인터넷 위상 생성기 비교에 관한 연구

오동익* · 이강원**

A Comparative Study of The Internet Topology Generators for Domestic AS-Level Topology

Dong-ik Oh* · Kang-won Lee**

요 약

본 논문에서는 UCLA IRL의 BGP 데이터, IRR, IXP 데이터를 이용하여 한국 AS 수준 인터넷 위상 데이터를 구축하였다. 그리고 지금까지 소개된 인터넷 위상 생성 모형(Waxman, BA and GLP)를 이용하여 한국 AS 수준 인터넷과 동일한 노드수를 가지는 위상 데이터를 생성한 뒤, 각각의 모형이 얼마나 한국 AS 수준 인터넷 위상을 잘 묘사하는지 분석하였다. 본 연구를 통해 기존의 인터넷 위상 생성기 모형들은 한국 AS 수준 인터넷을 잘 묘사하지 못하는 것을 확인하였다.

ABSTRACT

To obtain Korea AS-level internet topology, we used three data sources, which include BGP data of UCLA IRL, IRR and IXP data. Using Internet topology generator models(Waxman, BA and GLP), we developed three graphs that have same number of nodes as Korea AS-level Internet. Then we compared each graph with the Korea AS-level Internet topology. Through this study we could find that the existing Internet topology generators can't simulate Korea AS-level internet.

키워드

AS 수준 인터넷 위상, 위상 생성기, 파워-로 BGP, Autonomous System

Key word

AS-level Internet Topology, Topology Generator, Power-law, BGP, Autonomous System

* 정회원 : 서울과학기술대학교 (주저자)

접수일자 : 2012. 06. 12

** 정회원 : 서울과학기술대학교 (교신저자, kwlee@seoultech.ac.kr)

심사완료일자 : 2012. 06. 20

I. 서 론

인터넷의 많은 문제점들을 해결하기 위한 가장 좋은 방법은 실제 인터넷 상에서 새로운 알고리즘, 관리 정책들을 적용하여 테스트 하는 것이다. 그러나 실제 인터넷 상에서 새로운 알고리즘이나, 관리정책들의 테스트는 불가능하다. 때문에 인터넷 구조와 유사한 특성을 가지는 모델을 토대로 시뮬레이션을 통해 알고리즘과 관리정책들을 분석, 평가하는 방법이 사용되어진다. 그러나 지난 몇 년 동안의 연구에도 불구하고 인터넷 위상의 모델링은 아직도 중요한 공개 문제로 남아있다[7].

정확한 인터넷 구조를 정의하고 인터넷과 유사한 위상을 생성하는 작업은 매우 중요한 연구이며, 인터넷 연구에 큰 영향을 끼친다. 첫째, 인터넷의 망 관련 다양한 알고리즘을 분석하고 평가하는데 중요한 역할을 하고 둘째, 위상의 특성을 이용하여 더욱 효율적인 알고리즘을 개발할 수 있게끔 하며 셋째, 네트워크의 사고와 공격에 더욱 신뢰할 수 있는 네트워크 구조를 구축하는데 도움을 줄 수 있다. 마지막으로 향후 급격하게 성장할 인터넷에 적합한 전략을 계획하고 설계할 수 있게 해준다[4]. 다양한 네트워크 문제를 연구하기 위해 정량, 정성적으로 정확한 인터넷 위상 모델을 만들기 위해 많은 노력이 있어왔다.

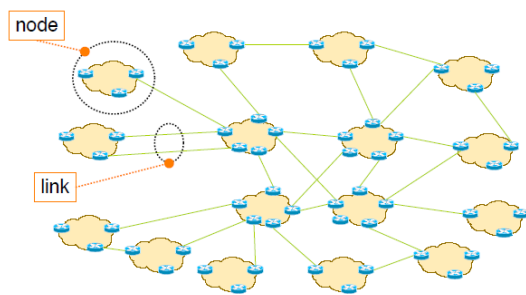


그림 1. AS 수준 인터넷 위상
Fig. 1 AS-level Internet Topology

인터넷은 (그림 1)과 같이 동일한 관리정책 하에 있는 서브네트워크의 연결로 재구성할 수 있다. 이러한 서브 네트워크를 Domain 또는 Autonomous System(AS)이라고 부른다. 즉 네트워크 또는 네트워크의 모임인

AS가 연결되어 있는 그래프로 생각할 수 있다. 인터넷 위상의 연구는 크게 두 가지 관점에서 이루어지는데, 라우터 수준의 연구는 각 노드를 라우터로 표현하며 링크는 라우터 간 연결을 나타낸다. AS 수준의 연구에서는 각 노드를 각각의 AS로 링크는 AS 간 연결로 표현한다. 이 중에서 AS 수준의 위상에 대한 연구가 주요 연구 대상이다.

AS 수준의 인터넷 위상 연구가 중요한 이유는 첫째, AS는 인터넷의 가장 상위에 위치한 구조이며, 다른 수준의 인터넷 위상은 AS 수준 위상에 의존적이다. 둘째, 인터넷의 end-to-end QoS(Quality of Service)는 AS간 트래픽 흐름과 정책에 의존적이다. 셋째, AS간 라우팅(BGP Routing)과 트래픽 흐름은 AS 운영 기관의 경제적, 정책적인 요인에 의해 설계되어지기 때문에 예측하기가 힘들다. AS의 위상 파악과 AS간의 상호 관계 분석을 통해 어느 정도 라우팅과 트래픽 흐름을 예측 할 수 있다. 마지막으로 AS 수준의 인터넷 위상 데이터가 상대적으로 얻기 쉽다. 다른 수준의 위상은 때때로 개인적인 정보로 간주되며, 데이터 획득이 어렵다[12].

본 논문에서는 한국 인터넷의 AS 수준 연구를 수행하였다. 우리는 실제 AS 수준의 인터넷 위상을 알지 못한다. 단지 BGP 라우팅 테이블로부터 AS 수준의 위상을 추론할 뿐이다. 본 연구에서는 UCLA의 Inernet Rsearch Lab(IRL)이 실제 인터넷의 BGP 라우팅 테이블에서 추론한 AS 수준 위상 자료와 IRR(Internet Routing Registry) 데이터, IXP(Internet Exchange Point) 데이터를 토대로 국내 AS 수준 인터넷 위상 데이터를 구성하였다. 인터넷 위상 생성기는 Random Graph Generator, Structural Generator, Degree Power-law Generator와 같이 크게 세 가지 분류로 나눌 수 있으며, Degree Power-law Generator가 가장 유사하게 인터넷 위상을 모사하는 것으로 알려져 있다[6].

한국 AS 수준의 인터넷 위상에 대한 연구는 거의 없었다. 특히 한국 AS 수준의 인터넷 위상을 분석하고 한국 인터넷 위상의 특성을 모사하는 위상 생성기에 대한 비교 연구는 전무한 상태이다. 서두에서 언급하였듯이 AS 수준의 위상 연구는 인터넷의 다양한 문제 해결을 위한 테스트 베드를 구축하는데 가장 기본이 된다. 따라서 한국 AS 수준의 인터넷 위상의 특성을 분석하고 기존의 인터넷 위상 모델들이 한국 AS 수준의 인터넷 특성을 얼마나 잘 반영하는지에 대한 연구는 국내 인터넷 연구 분

야에 반드시 필요한 연구라고 할 수 있고 이 점이 바로 본 연구의 주된 연구 목표다.

본 논문에서는 2절에서 국내 AS 수준 인터넷 위상 데이터 구축에 대해 설명한다. 3절에서 대표적인 위상생성기에 대해서 소개하고자 한다, 4절에서 국내 AS 수준 인터넷과 위상 생성기로 만든 그래프의 특성을 비교하여 위상 생성기가 국내 AS 수준의 인터넷을 얼마나 잘 묘사하는지 분석해 볼 것이다. 마지막으로 5절에서 결론을 말하고 논문을 마친다.

II. AS 수준 인터넷 위상 추출

인터넷은 네트워크 또는 네트워크의 모임인 AS가 연결되어 있는 그래프로 생각할 수 있다. 실제 AS 수준의 인터넷 위상을 직접적으로 알 수 있는 방법은 없다. 다만 AS간 라우팅 프로토콜인 BGP(Border Gateway Protocol) 라우팅 테이블로부터 AS 수준 인터넷 위상을 간접적으로 추론할 수 있다. 이렇게 추론한 인터넷 위상도 인터넷의 완전한 위상을 나타내지 못하는 것으로 알려져 있다 [9,10].

두 AS는 사용자-제공자나 피어-피어 관계를 갖는데, 사용자-제공자 관계에서 사용자는 트래픽을 제공자에게 전송하며, 제공자는 사용자에게 모든 경로를 알려주고, 사용자의 인터넷 트래픽을 전달한다. 피어-피어 관계는 트래픽을 비용 지불 없이 상호 교환하고, 피어-피어 링크를 자신의 제공자, 다른 피어에게 광고하지 않는다. BGP 데이터로부터 완전한 인터넷 위상을 만들지 못하는 이유를 살펴보면 다음과 같다.

예를 들어 (그림 2) A의 경우 일반적인 상황에서 5번 노드에서 1번 노드로 데이터를 전송하기 위해 2번 노드를 이용한다. 4번 노드와 3번 노드를 통해서 데이터를 전송하는 경우는 2번 노드를 통해 데이터를 전송할 수 없을 때 백업용으로 사용하는 것이다. 이러한 경우 4번 노드를 통한 링크를 PublicView(RouteViews나 RIPE-RIS)에서 발견하는데 오랜 시간이 걸린다. (그림 2) B의 경우에 8번 노드는 밸리-프리 라우팅 정책(Valley-Free Routing Policy)으로 인해 8번과 9번 노드간의 peer 링크를 노드 10번으로 광고하지 않기 때문에 PublicView에서는 관찰 될 수 없다. PublicView만을 사용할 경우 모든

AS들의 단지 4%만 피어 링크를 포함한 완전한 연결을 추론 할 수 있고, 나머지 96%인 AS들은 hidden 링크를 제외한 사용자-제공자 링크는 확인 할 수 있지만 (그림 2) B의 invisible 피어 링크는 확인 할 수 없다[9,10]. 결과적으로 인터넷상의 사용자-제공자 링크는 hidden 링크를 제외한 거의 대부분 찾아낼 수 있지만, 아직까지 모든 피어 링크들은 찾아 낼 수 없다.

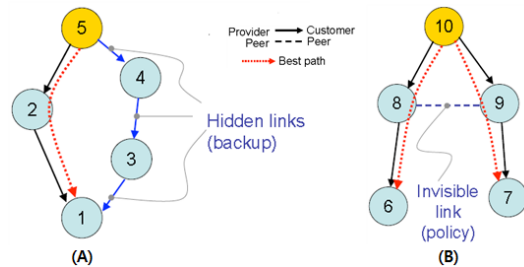


그림 2. AS-level 링크 관찰
Fig. 2 Observation of AS-level links

국내 AS 수준 인터넷 위상 특성을 분석하기 위해 다음의 세가지 데이터 소스를 이용하였다; 1)BGP 데이터를 위한 UCLA IRL의 “Internet Topology Collection”[16], 2)IRR(Internet Routing Registry) 데이터[20], 3)IXP (Internet Exchange Point) 데이터[21].

2.1. BGP데이터

UCLA IRL에서 제공하는 2012년 1월 한 달간의 실제 인터넷 AS 위상 데이터를 누적하여 사용 하였다. IRL 데이터는 Routeview[19]나 RIPE-RIS[18]가 제공하는 BGP 라우팅 테이블의 BGP 라우팅 경로를 분석하여 구축한 데이터다. 이와는 별도로 IRL에서는 Route Server나 Looking Glasses로부터 추출한 데이터도 이용하여 위상 데이터의 정확성과 최신성을 확보하였다. 국내 AS 수준 인터넷 위상 데이터를 추출하기 위해 KISA(한국인터넷진흥원)에서 제공하는 국내 AS번호 현황 자료와 IRL에서 제공하는 MAP 데이터를 매칭 하여 국내 AS의 링크를 추출하는 작업을 하였다. IRL에서는 AS 링크, AS 노드, AS 맵 데이터 등을 제공하고 있으며, KISA에서 제공하는 데이터는 단순히 한국에 할당된 AS번호의 목록, 기관명, AS번호 확보일을 제공하는 수준에 머물고 있다.

2.2. IRR 데이터

한국 IRR 데이터는 APNIC의 FTP서버에서 제공하고 있는 데이터를 사용하였다. IRR데이터는 AS 관리자의 자발적 참여에 의존하기 때문에 만료된 데이터들과 불완전한 데이터들이 다수 포함되어 있다. 때문에 IRR 데이터를 사용하기 전에 데이터를 검증하는 작업을 수행하였다. IRR 데이터의 검증 방법은 Beichuan Zhang et al.[22]이 제안한 IRR 데이터 4단계 검증 방법을 이용하였다. 각 단계마다 IRR 레코드들을 검사하고 각 단계를 통과하지 못한 레코드들은 최종 위상 데이터 구성 시 제외 하였다.

4단계 검증을 모두 마친 결과 모든 데이터가 IRR 데이터 검증 4단계를 통과하지 못했다. 이러한 결과의 이유는 small AS 혹은 stub AS의 IRR 레코드에는 대형 ISP의 AS번호가 이웃 노드로 등록 되어 있지만 대형 ISP 업체의 IRR 레코드에는 그들의 이웃으로 있는 AS들이 등록 되어 있지 않았다. 이 문제를 수정하기 위하여 대형 ISP의 이웃들을 수작업으로 조사하였는데, small AS 혹은 stub AS들의 IRR 레코드에 이웃으로 대형 ISP가 등록 되어 있다면, 두 AS간에 링크가 반드시 존재하는 것을 확인 하였다. 따라서 대형 AS의 IRR 레코드에 small AS 혹은 stub AS가 등록 되어 있지 않더라도 이를 neighbor conflict로 간주 하지 않았다.

2.3. IXP 데이터

KISA(Korea Internet Security Agency) 홈페이지에서 한국 AS 업체들의 연결 지도를 제공하고 있다. KISA에서 제공하는 데이터는 추론된 데이터가 아니기 때문에 신뢰할 수 있는 데이터다. AS 연결지도는 각 AS의 이름과 AS 번호를 알려주며, 지도에서 AS 이름에 마우스를 올리면 연결된 다른 AS와의 연결을 보여준다. AS연결 지도는 국내 ISP 업체들이 매달 제공하는 데이터를 이용하여 KISA에서 정리한 데이터다. 이는 한국 인터넷 위상 분석을 하는데 기존의 데이터에서 얻을 수 없는 중요한 데이터이다.

KISA에서 제공된 2012년 1월 현재 국내 AS 보유 현황은 755개인데 위의 세가지 데이터 소스를 이용하여 구축한 AS 위상 그래프 AS의 수는 685개, 링크 1,428개, 그리고 평균 차수 4.17개를 확인할 수 있었다. 추출된 데이터의 국내 최대 차수는 384이다(표 1).

표 1. 한국 AS 그래프(2012. 1)
Table. 1 Korea AS-level Graph(2012. 1)

모형	노드수	링크수	평균차수	최대차수
KR	685	1,428	4.17	384

표 2는 IRL 분류 기준으로 각 노드들을 분류한 것이다. 한국의 노드 중 Tier-1 노드는 존재하지 않고, 고객 트리를 50이상 가지는 Large ISP인 AS는 주식회사 케이티, (주)엘지유플러스, 에스케이브로드밴드주식회사, 에스케이텔레콤(주), (주)세종텔레콤과 같은 대형 ISP업체이며, 대부분의 노드는 stub임을 확인할 수 있다.

표 2. AS 타입 분류
Table. 2 Clasifying AS type

AS Type	분류기준	AS 수
Tier-1	제공자 없음	0
Large ISP	고객 트리 ≥ 50	6
Small ISP	$50 >$ 고객 트리 ≥ 5	36
Stub	고객 트리 < 5	643

III. 인터넷 위상 생성기(Internet Topology Generator) 소개

지금까지 다양한 위상 생성기들이 개발되었다. 위상 생성기들은 표 3과 같이 Random Generator, Structural Generator, Degree Power-law Generator로 크게 분류할 수 있다. 초기 위상 발생기는 노드 쌍을 확률에 의해 연결시키는 Random Generator였다. 그 다음으로 네트워크의 계층 구조에 초점을 맞추어 위상을 생성하는 GT-ITM과 Tiers 같은 Structural Generator다. Faloutsos [7]에 의한 Power-law의 소개는 인터넷 위상 생성 모델의 변화를 가져왔으며, 많은 수의 Power-law를 토대로 한 위상 생성기가 제안 되었다. Power-law 위상 생성기는 다른 두 종류의 위상 생성기보다 보다 현실적으로 인터넷 특성을 잘 나타낸다. 하지만 아직도 완벽하게 인터넷의 위상 특성을 모사하는 위상 생성기는 없다고 알려져 있다[6]. 표 3에 지금 까지 소개된 인터넷 위상 생성기를 분류하였다.

표 3. 인터넷 위상 생성기 비교[6]
Table. 3 Comparison of Internet Topology Generators

	Random Generator	Structural Generator	Power-law-based Generator
위상 생성기	Erdos-Renyi, Waxman	GT-ITM Tiers	BA, AB, PLRG, Inet, GLP, PFP
기본 개념	노드간 거리에 대한 연결 확률 함수	계층적 구조에 초점을 맞춤	네트워크의 지역적 특성을 충실히 재현(노드의 차수 분포, power-law)
차수 분포 특성	power-law를 따르지 않음	power-law를 따르지 않음	power-law 특성을 잘 반영
연결 특성	인터넷과 유사하지 않다	인터넷과 유사하지 않다	인터넷과 유사한 특징을 보임
전역 특성	인터넷과 유사하지 않다	인터넷과 유사하지 않다	인터넷과 유사한 특징을 보임
구조적 특성	구조적 특성을 보이지 않는다.	인터넷보다 엄격한 구조적 특성을 보인다.	인터넷과 유사한 특징을 보임

3.1. Waxman 모델

초기 모델 중 하나인 Waxman 모델[3]은 랜덤 네트워크를 생성하는데 기본적으로 노드 u 와 v 의 연결에 Waxman 확률을 이용하는 랜덤 위상 생성기이다.

$$P(u, v) = \alpha e^{-d/\beta L} \quad (1)$$

여기서 $0 < \alpha, \beta < 1$, d 는 노드 u 와 v 사이의 유클리디안 거리, L 은 그래프 내 노드사이의 최대 거리이다.

3.2. BA 모델

Barabasi-Albert 모델[2]은 점진적 성장과 우선적 연결이라는 두 가지 개념을 가지고 네트워크를 생성한다. 점진적 성장은 초기에 하나의 노드로 시작하고 노드를 추가하면서 네트워크가 커지는 것을 말한다.

우선적 연결은 새로 추가되는 노드가 기존의 연결성이 좋은 노드에 연결되는 것을 더욱 선호한다는 것을 말한다. 네트워크에서 새로 추가되는 노드 i 가 이미 네트워크에 존재하는 노드 j 에 연결될 확률은 식(2)와 같다.

$$P(i, j) = \frac{d_j}{\sum_{k \in V} dk} \quad (2)$$

여기서 d_j 는 타겟 노드의 차수이며, V 는 네트워크에 있는 노드의 집합, $\sum_{k \in V} dk$ 는 이미 네트워크에 있는 모든 노드들의 차수의 합이다.

3.3. GLP 모델

GLP(The General Linear Preference) 모델[13]은 m_0 의 노드와 $m_0 - 1$ 의 링크로 시작한다. 그리고 각각의 단계마다 다음 중 하나를 수행하여 네트워크를 구축한다. $m \leq m_0$ 보다 작을 때 노드 i 의 새로운 링크를 위해 노드 i 가 노드 j 에 연결 될 확률 $\Pi(d_i)$ 로 정의된다. 이것은 새로운 링크는 더 높은 차수를 가지는 노드를 선호하는 사실을 반영한 것이다.

$$\Pi(d_i) = (d_i - \beta) / \sum_j (d_j - \beta) \quad (3)$$

여기서 d_i, d_j 는 노드 i 와 j 의 차수이며, β 는 조정 가능한 파라메타로 $\beta < 1$ 이다. β 의 값이 1보다 작은 것은 확률이 0이 되는 것을 피하기 위해서다. 새로운 노드를 위한 확률은 $1 - P$ 이다. 새로운 노드는 새로운 링크 m 을 가지게 된다. 새로운 링크 m 이 이미 시스템에 있는 노드 i 와 연결될 확률은 $\Pi(d_i)$ 를 따른다.

3.4. Inet 모델

Inet(Internet Topology Generator) 모델[5]은 미시간 대학에서 개발한 인터넷 위상 생성기이다. Inet은 커브 피팅과 우선적 연결을 고려하여 네트워크를 구성한다. 차수 분포에 Faloutsos et al. 가 제안한 $f(d) \propto d^{-\alpha}$ (d 는 노드에 연결된 링크수를 나타내는 노드 차수)는 높은 차수부분에서 잘 적용되지 않음을 지적하고 이를 사용하는 대신 CCDF(complementary cumulative distribution function)

인 $\bar{F} = \sum_{i>d} f(d)$ 에 주목하여, $\bar{F}(d) \propto d^\alpha$ 을 사용하였다. 새로운 지수 성장 법칙으로 $\bar{F}(d) = e^c d^{a+b}$ 를 사용 t 시점의 인터넷 위상을 생성한다. 여기서 c, a 그리고 b 는 알고 있는 상수이며, t 는 1997년 11월부터 현재시점의 개월 수 이다. 노드 i 가 노드 j 에 연결 될 확률 $P(i, j)$ 는 식(4)를 사용한다.

$$P(i, j) = \frac{\omega_i^j}{\sum_{k \in G} \omega_i^k} \tag{4}$$

$$\omega_i^j = \text{MAX}(1, \sqrt{(\log \frac{d_i}{d_j})^2 + (\log \frac{f(d_i)}{f(d_j)})^2}) \cdot d_j$$

여기서 d_i 와 d_j 는 노드 i 와 j 의 차수이며, $f(d_i)$ 와 $f(d_j)$ 는 노드 i 와 j 의 차수 빈도이다. ω_i^j 는 d_i 가 d_j 에 기대하는 가중치(weighted value)이다. Inet 위상생성기는 최소 노드의 수가 3,037개 이상일 때만 적용 가능하다.

지금까지 대표적인 인터넷 위상 생성기 모델을 소개하였다. 국내 AS의 수가 682개로 3,037개 이하이기 때문에, 최종적으로 본 논문에서는 Inet을 제외한 WAXMAN, BA, GLP 모델들이 국내 AS 수준 인터넷 위상을 얼마나 잘 묘사하는지 분석하였다.

IV. 국내 AS 위상과 위상 생성기를 통해 구축한 위상 비교

IRL에서 추출한 국내 AS 위상 데이터와 기존에 제안된 위상 생성기들로부터 구한 위상 데이터를 비교해 보았다. 각 모형의 위상을 생성하기 위해 보스턴 대학 컴퓨터공학과에서 개발한 BRITE[1]를 이용하였다. BRITE에서 기본적으로 Waxman, BA, GLP 모델들에 대한 위상 생성이 가능하다. 각 모형의 입력 파라미터는 <표 4> 와같이 BRTE의 기본 파라미터 값을 사용하였다.

표 4. 모형별 입력 파라미터
Table. 4 Parameters of Generators

모형	입력 파라미터
Waxman	alpha = 0.15, beta = 0.2
BA	없음
GLP	p(add) = 0.45, beta = 0.64

4.1. 평균 차수 및 최대 차수 특성

그래프의 가장 기본적인 특성은 노드의 수(n)와 링크의 수(m) 그리고 노드가 갖고 있는 평균 링크의 수인 노드의 평균 차수($\bar{k} = 2m/n$)이다. <표5>에서와 같이 BGP 데이터로부터 추론한 국내 AS 위상의 총 링크수와 각 모형에서 발생한 총 링크 수와 평균 차수는 모형별로 5%~10% 이내의 차이를 보였다. 그러나 국내 AS 망의 최대 차수는 384로 각 모형에서 발생한 최고 차수와는 큰 차이가 있었으며, 최저 차수를 가지는 AS의 수도 큰 차이를 보였다.

표 5. 평균 차수 특성 비교
Table. 5 Comparison of Average of Degree from Different Generators

모형	링크 수	평균차 수	최대차수 (노드 수)	최저차수 (노드 수)
KR	1,428	4.17	384(1)	1(193)
Waxman	1,370	4.00	19(1)	2(222)
BA	1,367	3.99	55(1)	2(345)
GLP	1,276	3.72	92(1)	1(517)

4.2. 차수 분포 특성

Faloutsos et al.[4,7,14]은 1997년 말에서 1998년 말까지 BGP 라우팅 테이블(Route Views)을 이용하여 AS 수준에서 인터넷 위상이 $y \propto x^\alpha$ 형태인 power-law에 의해 묘사될 수 있음을 보였다. 이 연구는 이후 인터넷 위상 연구에 큰 영향을 끼쳤다. Power-law는 높은 차수의 빈도는 낮고, 낮은 차수의 빈도는 높은 것을 의미한다. 한국 AS의 92.7%는 평균 차수 4.17보다 낮은 것을 확인하였다. 각 모형별로는 Waxman이 55%, BA가 69%, 그리고 GLP가 82%로 한국의 92.7% 보다 낮은 값을 가지는 것을 확인 할 수 있었다.

이는 생성기를 통해 구축한 AS 위상이 실제 인터넷의 AS 위상에 존재하는 매우 편향(skewed)된 차수 분포를 제대로 나타내지 못함을 보여준다.

차수 분포 특성은 전체 노드를 고려할 경우 한국 AS 수준 인터넷과 GLP 모형으로 생성된 그래프에서는 상관관계수가 각각 0.718, 0.885로(표6의 괄호안의 값) power-law를 따르지 않는 것으로 분석되었다. 이것은 상위 차수의 노드들의 빈도가 차수의 변화에 따라 거의 변화가 없기 때문이다. Faloutsos[7]가 노드 차수 분포의 power-law 분석에서 행 한대로 한국 인터넷 그래프와 GLP 그래프의 상위 차수 노드를 각각 12개, 13개를 제거하고 분석한 결과 power-law 특성을 보임을 확인하였다. Waxman과 BA 모형은 전체 노드들을 모두 포함하여 도 power-law를 따르는 것으로 분석되었다.

표 6. 차수-빈도 분포 특성
Table. 6 Degree-Frequency Distribution

모형	Degree-Frequency exponent($-r_f$)	Correlation coefficient
KR	2.49 (0.839)	0.931 (0.718)
Waxman	2.644	0.973
BA	1.912	0.944
GLP	1.379 (1.074)	0.924 (0.885)

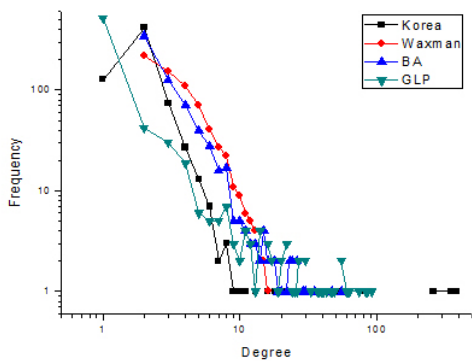


그림 3. 차수-빈도 분포(log-log 그래프)
Fig. 3 Degree-Frequency Distribution(log-log plot)

<표 6>의 r_f 의 값을 보면 한국이 2.49로 Waxman 모형과 가장 유사한 r_f 의 값을 가지는 것을 확인할 수 있다.

하지만 Waxman 모형은 최대 차수가 단지 19개로 384개인 한국 위상과 큰 차이를 보인다. 평균 차수 이하의 노드 분포도 앞에서 언급한대로 한국 인터넷과 가장 큰 차이를 보인다. (그림 3)의 오른쪽 하단 부분인 상위 차수의 분포를 보면 기존의 모든 위상 생성기가 한국 인터넷과 유사한 차수-빈도 분포를 가지지 못하는 것을 확인할 수 있다.

4.3. 거리 분포 특성

Shortest path는 두 노드 사이를 연결하는 최소 홉 수를 말한다. Average shortest path는 모든 노드 쌍의 shortest path의 평균값이다. Shortest Path Distance distribution은 임의의 두 노드를 선택했을 때 두 노드의 거리가 x 홉일 확률로 정의된다. 인터넷에서의 라우팅 알고리즘 성능은 shortest path distance distribution의 값에 큰 영향을 받는다. <표 7>에서처럼 한국 AS 수준 인터넷의 노드 간 평균 거리는 2.49로 Waxman의 4.68, BA의 4.00, GLP의 3.28과 비교하여 보면 짧다. (그림 4)는 각 모형별 거리 분포를 보여주며, 다른 모형의 거리 분포와 차이를 확인할 수 있다.

표 7. 두 노드 간 평균 거리
Table. 7 Average Distance between two nodes

모형	두 노드 간 평균 거리	표준편차
KR	2.49	0.58
Waxman	4.68	0.88
BA	4.00	0.66
GLP	3.28	0.59

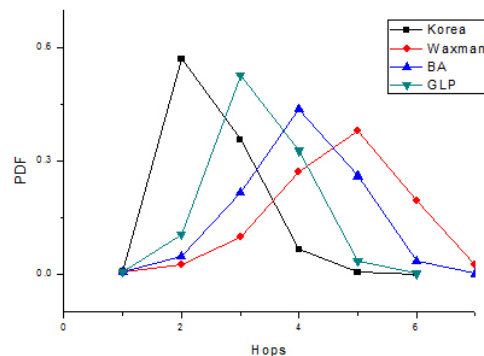


그림 4. 최단 거리 분포
Fig. 4 Shortest Distance distribution

V. 결 론

참고문헌

지금까지 한국 AS 수준의 인터넷 위상 데이터를 구축하고, 기존에 발표된 인터넷 위상 생성기를 이용하여 한국 AS 수준 인터넷과 동일한 노드수를 가지는 그래프를 생성하였다. 그리고 이렇게 생성한 위상 데이터가 실제 한국 AS 수준 인터넷을 잘 묘사하는지를 대표적인 위상 특성치인 평균 차수 및 최대 차수, 차수 분포 특성, 그리고 거리 분포 특성을 통하여 분석하였다. 가장 기본적인 위상 특성인 링크 총수와 평균 차수는 별 차이가 없음을 확인 하였다.

그러나 최대 차수와 최저 차수를 갖는 노드의 수는 한국 AS 수준 인터넷과 큰 차이를 확인 할 수 있었다. 또한 차수 분포 특성은 Waxman 모형의 r_f 값은 2.644로 한국의 2.49 값과 가장 유사한 결과를 보였다. 하지만 Waxman 모형은 최대 차수가 단지 19로 384인 한국 위상과 큰 차이를 보인다. 평균 차수 이하의 노드 분포도 앞에서 언급한대로 한국 인터넷과 가장 큰 차이를 보인다. BA, GLP 위상 생성기 역시 Waxman 모형의 그래프와 같은 한계를 가지고 있다. 두 노드 간 평균 거리는 한국 AS 수준 인터넷이 다른 그래프에 비해 작은 값을 가지며, 본 연구에서 이용한 모든 위상 생성기가 실제 한국 AS 수준 인터넷의 거리 분포를 잘 묘사하지 못하는 것을 확인하였다. 결과적으로 지금까지 인터넷 위상 생성기로는 한국 AS 수준 인터넷을 묘사하는데 한계가 있는 것으로 나타났다.

현재 국내에서는 인터넷 위상 연구를 위한 기초 데이터를 수집, 제공하는 어떠한 단체나 기관이 존재하지 않는다. 본 연구에서 가장 많은 정보를 제공하는 BGP 데이터는 UCLA에서 제공하는 데이터 중 한국 AS 관련 부분만을 발췌하여 사용하였다.

그런데 관측 지점들(monitoring points)의 위치가 한국과는 무관하게 설정 되어있기 때문에 데이터의 정확성이나 최신성이 떨어질 수밖에 없다. APNIC에서 제공하는 한국 IRR 데이터도 조사 결과 많은 수가 사용할 수 없는 데이터였다. 국내에서 인터넷 위상 관련 연구가 보다 활발히 진행되려면 우선적으로 보다 정확한 그리고 최신의 위상 데이터를 획득할 수 있는 체계가 정립되어야 할 것이다.

- [1] Alberto Median, Anukool Lakhim Matta, John Byers, "BRITE: Universal Topology Generation from a User's Perspective," *BUCS-TR-2001-003*, Boston University
- [2] A. L. Barabasi, R. Albert, Hawoong Jeong, "Scale-free characteristics of random networks : the topology of the WWW," *Physica A : Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 281, pp. 69-77, 2000
- [3] B. M. Waxman, "Routing of Multipoint Connection," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 6, No. 9, pp. 1617-1622, 1998
- [4] Georgos Siganos, M. Faloutsos, P. Faloutsos and C. Faloutsos, "Power-Laws and the Internet Topology," *IEEE/ACM Trans. On Networking* Vol.11, No4, 2003, pp.514-524.
- [5] Jared Winick, Sugih Jamin, "Inet-3.0: Internet Topology Generator," *CES-TR-456-02*, University of Michigan, 2002
- [6] Kang Won Lee, Kwang Ho Kook. "A Literature Survey of the Internet Topology Generation Models," *Journal of Korean institute of industrial Engineers*, 2007, pp.138-152
- [7] M. Faloutsos, P. Faloutsos and C. Faloutsos, "On Power-Law Relationships of the Internet Topology," *In Proc. of ACM SIGCOMM*, 1999, pp.251-256.
- [8] Priya Mahadevan, Dmitri KRioukov, Marina Fomenkov, Bradley Huffaaker, Xenofontas Dizmitropoulos, Kc clsffy, Amin Vahda, "The Internet AS-level Topology: Three Data Source and One Definitive Metrics," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 2006, pp.17-26.
- [9] Ricardo Oliveira, Dan Pei, Walter Willinger, Beichuan Zhang, Lixia Zhang, "In Search of the Ground Truth: The Internet's AS-level Connectivity Structure," *In Proc. ACM SIGMETRICS'08*, 2008.
- [10] Ricardo Oliveira, Dan Pei, Walter Willinger, Beichuan Zhang, Lixia Zhang, "Quantifying the Completeness of the Observed Internet AS-level Structure," *Technical Report TR-080026*, Computer

Science Department UCLA, 2008.

[11] Shi Zhou, Guo-Qiang Zhang, Guo-Qing Zhang, "Chinese Internet AS-Level Topology," *IET Communications*, vol.1 no.2, 2007, pp.209-214.

[12] Tangmunarunkit, H., Agarwal, S., Jamin. S., Shenker, S. and Willinger, W., "Network Topology Generators : Degree-based Vs. Structural," *ACM SIGCOMM*.

[13] Tian Bu, Don Towsley, "On Distinguishing between Internet Power Law Topology Generators," *In Proc. IEEE INFOCOMM*, 2002, pp. 638-647.

[14] Yihua He, Georgos Siganos, Michalis Faloutsos, "Internet Topology," In R. Meyers, editor, *Encyclopedia of complexity and System Science*, 2009, pp.4930-4947

[15] 강홍구, "BGP 벨리-프리 라우팅 정책에 기반한 국내 AS 레벨 인터넷 토폴로지의 파워-로 지수," 한국 인터넷 정보학회(11권4호), 2010, pp.41-49

[16] UCLA IRL Internet Topology Collection, <http://irl.cs.ucla.edu/topology/>

[17] 국내 AS번호 목록, <https://ip.kisa.or.kr/main.html>

[18] RIPE, Routing Information Service Project, <http://www.ripe.net/>

[19] RouteViews, Routing Table Archive. <http://www.routeviews.org/>

[20] APNIC FTP 한국 IRR 데이터, <http://ftp.apnic.net/apnic/dbase/data/>

[21] 국내 IX, ISP 연결 지도, <http://isis.kisa.or.kr/>

[22] Beichuan Zhang et al., "Collecting the Internet AS-level Topology," *SIGCOMM, Computer Communication Review*, Vol.35, 2005, pp.53-61.

저자소개

오동익(Dong-ik Oh)



서울과학기술대학교
산업정보시스템(공학석사)
서울과학기술대학교
산업정보시스템(박사과정)

※관심분야: 정보통신, 무선통신, 통신시스템 성능 평가

이강원(Kang-won Lee)



서울대학교대학원(공학석사)
Kansas State Univ. U.S.A
공학박사(산업공학)
서울과학기술대학교
산업정보시스템공학과 교수

※관심분야: 정보통신, 품질 및 신뢰성, O.R.