

# DRS 모델에 기반한 고성능 람다 네트워크의 설계

노민기<sup>†</sup> · 안성진<sup>††</sup>

## 요 약

대용량 연구자원과 실시간 데이터 전달을 필요로 하는 대용량 어플리케이션은 현재의 인터넷 환경보다 더 안정적이고 성능이 우수한 네트워킹 환경을 요구하고 있다. 최근의 글로벌 연구망에서는 이러한 어플리케이션의 요구를 충족하기 위해 람다 네트워킹 기술과 자원할당 시스템의 활용에 초점을 맞추고 있다. 본 논문에서는 성능과 안정성이 우수한 람다네트워킹의 장점을 반영하기 위해 기존 DRS(Dynamic Right-Sizing) 모델을 수정하였다. 아울러, 융합형 NRPS(Network Resource Provisioning System) 모델에 본 논문의 수정된 DRS 모델을 적용한 고성능 람다 네트워크의 설계 방안을 제시한다.

**주제어** : 람다 네트워킹, TCP 버퍼튜닝, 차세대 네트워크

## Design of High-Performance Lambda Network

### Based on DRS Model

Min-Ki Noh<sup>†</sup> · Sung-Jin Ahn<sup>††</sup>

## ABSTRACT

Large-scale applications, that needs large-capacity R&D resources and realtime data transmission, have demanded more stable and high-performance network environment than current Internet environments. Recently, global R&D networks have focuses on utilizing Lambda networking technologies and resource reservation systems to be satisfied with various applications' requirements. In this paper, we modify the existing DRS (Dynamic Right-Sizing) model to reflect various advantages in terms of the stability and high-capacity of Lambda network. In addition, we suggest the design methodology of high-performance Lambda network, which can integrate NRPS (Network Resource Provisioning System) into our modified DRS model.

**Keywords** : Lambda Networking, TCP Buffer Tuning, Next Generation Network

---

<sup>†</sup> 정 회 원: 한국과학기술정보연구원 선임연구원  
<sup>††</sup> 정 회 원: 성균관대학교 컴퓨터교육과 교수  
 논문접수: 2009년 02월 09일, 심사완료: 2009년 02월 23일

## 1. 서 론

현재 세계적 과학기술분야 커뮤니티를 중심으로 단대단(end-to-end) 네트워크의 성능과 품질 보장을 통한 어플리케이션 및 자원 분산화와 대용량화가 진행되고 있다. 네트워크 요구조건(대역폭, 성능, 안정성)을 충족하기 위해서는 데이터 전송 성능과 안정성이 필요하다. 그리고 일반적인 IP 라우팅 전달(Layer3)에서 발생하는 네트워크 자원(대역폭, 장비 활용포트 등)의 공유 문제, 충돌(congestion), 지연발생(latency), 가용 대역폭(available bandwidth) 등 가변성에 대한 제어가 가능해야 한다.

람다 네트워킹(Lambda Networking)은 트래픽 혼잡에 대한 영향이 적고, 네트워크 상황 변화에서 안정된 환경 구현이 가능하여 네트워크 예측이 우수한 장점이 있다. 또한, 데이터 전송에 필수적인 시스템 튜닝의 기준이 되는 BDP(Bandwidth Delay Product) 계산에 필요한 가용 대역폭 값과 RTT(Round Trip Time) 측정 값이 일정하고, 재설정 전달 윈도우(Advertised Window) 값이 일정하다는 특징이 있다. 이러한 특징은 대용량 전송과 성능향상을 위한 자동 튜닝(auto-tuning) 모델 적용에 매우 적합하다.

본 논문은 안정적이고 전송 성능이 우수한 람다 네트워킹 상에서 TCP 버퍼 튜닝을 적용하여 대용량 데이터 전송에 대한 성능 최적화를 목적으로 하고 있다. 또한, WAN 상에서 우수한 성능을 나타내고 있는 DRS(Dynamic Right-Sizing) 모델의 자동 튜닝의 장점과 다중 도메인 간 람다 네트워킹 자원(대역폭, 경로)의 실시간 관리가 가능한 NRPS(Network Resource Provisioning System)의 특징을 연계해서 자원 할당과 성능 향상이 동시에 가능한 융합형 NRPS 설계를 목적으

1) 람다네트워킹이란? 람다 네트워킹은 광 스위칭 개념에서 시작되었으며 대역폭 단위(STM-N/OC-N)로 채널을 사용자에게 나누어 할당함으로써 서로간의 혼잡이 없는 대역폭이 보장된 중단 간 연결을 제공할 수 있다. 현재는 발전적인 개념으로 VLAN(801.q), MPLS, ATM등이 포함되며, High Speed Lambda Service(HSLs), On-Demand Communications Circuit(OCC), Optically Extended LAN(OEL)등이 대표적인 서비스이다. 'Lambda Networking' Steven Wallace, ANM Lab, Indiana University.

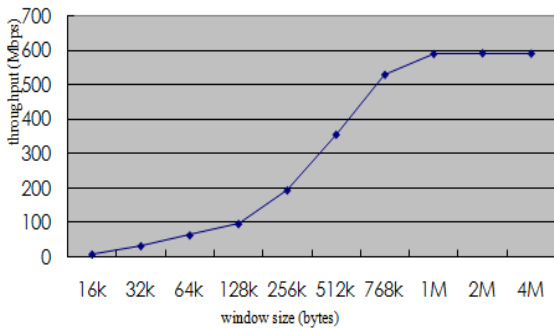
로 한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 네트워크 환경의 문제점과 이를 개선한 기존의 TCP 튜닝에 대한 연구를 조사하고, 기존의 네트워킹보다 안정적이고 효율적인 람다 네트워킹과 이를 제어하는 자원할당 시스템을 선행 연구한다. 3장에서는 선행연구를 바탕으로 TCP 튜닝 선행 연구 중 람다 네트워킹 상에서 효율적으로 적용이 가능한 DRS 모델을 제시하고, 람다 네트워킹에 적합하게 수정한다. 또한, 다수 도메인의 자원 관리가 가능한 NRPS 모델과 자동 튜닝 기능을 연계한 융합형 NRPS 모델을 설계 한다. 4장에서는 제안한 DRS기반의 TCP 튜닝을 람다 네트워킹에 적용한 실험을 수행하고, 기존 튜닝이 적용된 IP 네트워크와 비교하여 제안 방법의 우수성과 효율성을 검증한다. 마지막으로 본 논문의 결론은 5장에서 제시한다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 기존 네트워킹 상에서의 대용량 전송의 문제점 및 튜닝 선행 연구 조사

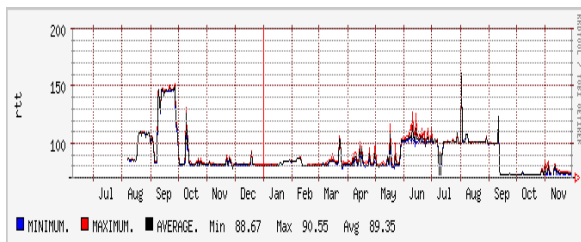
인터넷 백본의 속도는 근래에 들어 폭발적 수요에 따라 괄목할 만한 성장을 이루고 있다. 그러나 현재의 TCP 전송기반 인터넷은 단대단 성능의 구현과 분산 형태의 어플리케이션 즉, 거대범위에서 고용량 네트워크 전송성능을 요구하는 분산 시뮬레이션, 분산 계산, 원거리 협력에 따른 거대 데이터(수십 기가바이트~테라바이트) 전송에는 적합하지 않다. 왜냐하면 기존의 인터넷에 적합한 전송은 기본적으로 성능 면에서는 취약한 인터넷 구조에 맞도록 설계되었기 때문이다. 이로 인해 네트워크의 발전에 비해 연구자들은 연구에 필요한 충분한 성능을 활용할 수 없다. 이를 입증하는 측정치로 국가과학기술연구망(KREONET)의 20기가급 백본 상에서 30%이하의 트래픽 전체 사용자 상에서도 튜닝하지 않은 시스템간의 일반적인 ncftp 전송의 경우 10MB이상(6ms기준)의 전송성능 획득이 어렵다.



<그림 1> 윈도우 크기에 따른 성능 실험

<그림 1>은 1Gbps급의 네트워크에서 튜닝 (Fast TCP/9K MTU/Windows 크기를 조절)에 따른 성능 변화를 나타낸 그래프이다.

전송 프로토콜과 최고 전송 단위, 그리고 네트워크대역폭이 동일한 조건상에서도 각 시스템은 윈도우 설정 값에 따라 550Mbps이상의 성능차이를 보이고 있다.



<그림 2> IP망에서의 RTT 변화

<그림 2>는 일반적인 IP 네트워크에서 혼잡에 의해 RTT와 가용대역폭의 변화를 나타내는 그래프이다. 네트워크의 환경변화에 따라 TCP 튜닝의 핵심요소인 가용 대역폭과 지연시간 측정 결과 값이 변화된다. 즉, 상황 변화에 따라 가용 대역폭과 RTT의 변화는 튜닝을 위한 BDP 값에 영향을 주고, 결과적으로 윈도우 크기와 전송성능에 영향을 미치게 된다. 네트워크의 성능향상을 위해서는 튜닝 방법 선택과 버퍼의 설정 값을 상황에 따라 재설정하여야 하는데 이는 네트워크 전문가가 아닌 이상 쉽지 않은 일이다.

이처럼 네트워크 전송성능 향상을 필수적으로 고려되어야 하는 TCP 튜닝의 방법과 연구는 해외 주요 프로젝트(Web100, Net100)를 통해 다양

하게 제시되고 있다.

<표 1> 프로토콜 및 튜닝 선행 연구

튜닝/프로토콜	개선내용/특성	비고
1 TCP Vegas	· Bandwidth측정(Based RTT, cwnd on BW) · 패킷손실 예방 중심	
2 TCP Westwood	· 충돌 전까지 Reno 사용 → 대역폭상 cwnd 중심	· 무선네트워크중심
3 BIC	· 높은 대역폭 네트워크 · Reno TCP를 재구성	
4 Receiver Tuning	· Dynamic Right Sizing · 재송신 RTT중심의 Rcv window	· WAN 중심

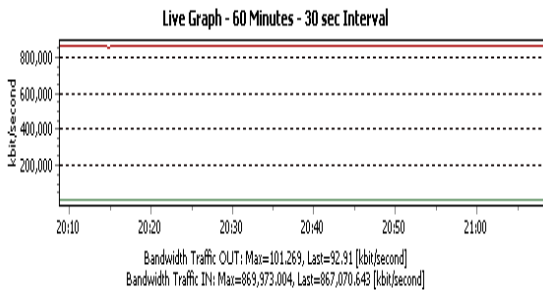
첫 번째는 TCP Vegas와 같이 IP 네트워크 상황에서 BDP 값을 결정하는 동적인 가용 대역폭과 혼잡 및 지연에 따른 측정값의 변화에 대한 예측 연구가 주를 이룬다[2]. 두 번째는 <표 1>의 Receiver Tuning처럼 지속적으로 버퍼 값을 갱신하기 위해 송신과 수신측의 재설정 전달 윈도우에 관련된 TCP 제어 루프 모델을 간소화하는 연구[3]가 있으며, 세 번째로 기존 Reno TCP를 현재 네트워크에 적합하게 수정하는 연구가 진행 중이다(예를 들어, <표 1>에서 BIC와 TCP Westwood 프로토콜).

## 2.2 람다네트워킹 및 자원할당 시스템 연구조사

우수한 전송 성능의 네트워크 구현을 위해서는 서킷(circuit)기반으로 트래픽을 전용으로 전송하는 패스를 구성하여 다른 트래픽과의 혼잡을 피하고, 전송 지연(serialized delay) 요소를 최소화하는 것이 필요하다. 이는 결과적으로 트래픽 예측과 함께 관리의 용이성을 보장한다. 람다 네트워킹은 EOS(Ethernet Over SONET/SDH) 즉, 이더넷 전송을 위해서 효율적 대역폭 관리 및 광스위칭, 이더넷 스위칭 등 신규기술을 통합·적용한 차세대 기술이다. 또한, 로컬 지역 네트워크간 전용회선 효율적 구성과 SDHVC 단위의 TDM(Time Division Multiplexer) 전송이 가능하여 고품질과 보안성이 우수한 기술이다. 이러한

통합 수용 이외에 SDH 링(SDH Ring) 기능의 복합적 구조가 가능하여 네트워크의 전반적인 확장성 또한 용이하다. 따라서 람다 네트워킹은 동일한 네트워크상에서 다수의 전송 계층의 구성이 가능하여 분산형태의 대규모 전송 환경의 구축에 적합하다. 이러한 특징으로 인해 과학기술 커뮤니티의 네트워크 요구조건(대용량 전송, 안정적 환경)과 확장성을 충족한다. 한편 람다 네트워킹에서의 전송 기반은 정의상 VLAN, QoS, MPLS 등을 포함하고 있지만 광 네트워킹 상에서 람다 패스가 대표적이다.

<그림 3>은 람다네트워킹 상에서 실제 트래픽을 측정 한 실험으로 860Mbps의 대용량 데이터를 전송할 때에도 성능 변화가 거의 없는 우수한 성능의 안정적 네트워크 환경을 보여 준다.



<그림 3> 람다패스 상에서의 성능추이

또한, 람다 네트워킹은 자원의 관리와 할당이 사용자 요구에 직접 대응이 가능하다. 제어평면(control plane)은 실시간으로 네트워킹 자원을 동적으로 구성하고, 사용자가 대역폭과 경로를 관리하고, 자원 할당 시간을 스케줄 할 수 있으며, NRPS(Network Resource Provisioning System)의 개발을 중심으로 발전하고 있다.

<표 2>는 현재 세계 주요연구망에서 개발·운영하고 있는 NRPS 특성 및 기능을 보여준다.

각 특성에 나타나듯이 자원 관리 및 제어를 담당하는 NRPS의 종류와 특성, 기능이 매우 다양하다. 또한 단일 포인트(point-to-point)에서 다중포인트(multi-point)의 전송형태가 가능하도록 확장성을 중심으로 발전하고 있다.

북미지역을 중심으로 캐나다 CANARIE [9]와 미국 Internet2 중심의 HPDMNet[10] 등이 다중

화 연결하여 네트워크 자원을 최적화 구현하는 대표적인 예이다.

<표 2> NRPS 종류 및 특성

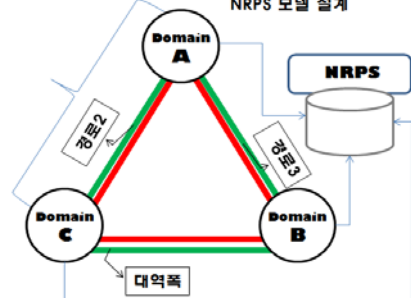
NRPS	ARGON	DRAC	UCLP
네트워크 가시화	X	X	○
네트워크 자원 예약	○	○	○
AAA	X	○	X
Restorations Protection	X	X	X
단대단 연결	○	○	○
다중점 연결	X	X	○
인터페이스 종류	웹 서비스	웹 서비스	웹 서비스

※NRPS(ARGON, DRAC, UCLP) 참고문헌[8]

### 3. 람다 패스와 DRS 모델 기반 융합형 NRPS 모델 설계

NRPS는 제어평면(control plane)을 통해 실시간으로 람다 네트워킹의 대역폭과 경로 재설정이 가능하다. 하지만, 성능 개선을 위해서는 재설정된 네트워크 구성에 적합한 새로운 튜닝을 고려해야 한다. 3장에서는 람다 네트워킹 상에서 가장 적합한 튜닝 모델을 제안하고, 다른 도메인과 연계가 가능한 융합형 NRPS 모델을 설계한다. 또한, 설정에 따라 변화되는 람다 네트워킹의 가용 대역폭과 경로 변화에 따라 자동 튜닝이 함께 서비스될 수 있는 융합형 NRPS 모델을 설계한다. <그림 4>는 람다 패스와 DRS 모델 기반 융합형 NRPS 모델의 전반적 설계 과정을 보여준다. 다음에서 각각의 설계 과정을 자세히 기술한다.

1. 람다 패스상에서의 DRS모델 최적화 2.멀티도메인용 연계하는 통합 NRPS 모델 설계



3. 자원관리/변화에 따른 튜닝-NRPS 연계 모델 설계

<그림 4> 다수 도메인에서의 자원할당 및 튜닝

### 3.1 람다 패스 상에서 DRS 수정 모델

일반적으로 TCP 자동 튜닝(auto-tuning)의 방식은 수신측 버퍼(rscv\_buffer)를 최대한으로 크게 하고 송신측에서 흐름제어를 수행하는 방법이 널리 쓰이고 있다. 이 경우에 수신측의 버퍼용량이 충분히 확보되어야 한다. 자동 튜닝을 위해서는 가용 대역폭과 RTT를 기준으로 버퍼 크기에 대한 최적 값을 유도하기 위해 지속적인 계산이 필요하다. 이를 위해 사용하는 대표적인 모델로 WAN상에서 적용되고 있는 DRS(Dynamic Right-Sizing) 모델이 있다.

일반적인 DRS 모델은 TCP의 두 가지 메커니즘인 fwnd와 cwnd를 조정하는 방식에 기반한다. 수신측의 fwnd에서 제공되는 정보에 의해 송신측은 수신측의 버퍼 크기가 넘지 않도록 조정하며, 가용대역폭 이상을 전송하게 않게 조정한다. 이때, fwnd와 cwnd의 적절한 값 변경에 의해 효율적 버퍼 크기의 제어가 이루어진다. fwnd/RTT는 전송데이터의 량으로 결정되며, cwnd는 네트워크의 상황에 따라 fwnd와 BDP에 의해 변하는 값(특히 가용대역폭)으로 결정된다.

물론 수신측의 버퍼 크기를 매우 크게 하면 안정적으로 네트워크 시스템이 동작할 수 있다. 하지만, 네트워크의 상황은 가변적이므로 매우 큰 버퍼 크기를 항상 사용하는 것은 네트워크 자원 사용률 측면에서 비효율적이다. 따라서 DRS 모델처럼 네트워크 상황에 맞추어 버퍼 크기를 가변적으로 변경하는 것이 효율적이다.

한편, WAN상에서 적용되는 DRS 모델은 송신측에서 수신측의 윈도우 크기에 의해서 자신의 버퍼를 크기를 결정하는데, 혼잡시에는 Slow-Start 방식에 의해 버퍼 크기를 줄인다. 이때 너무 작게 버퍼 크기를 줄인다면 전송 성능을 크게 저하시킬 수 있다.

따라서 WAN 상에서 적용되는 DRS 모델은 기본적으로 다음과 같은 전제조건에 의해 자동 튜닝이 수행된다[3].

①실제 네트워크에서 지연시간 변화(jitter)를 측정하였을 때 실제로 RTT 보다 20ms 이상 길지

않다.

②최초로 수신측에 전송된 윈도우 크기와 RTT를 기반으로 수신측 RTT를 대신한다.

③자동 튜닝을 위한 초기 값은 최초에 측정된 수신측 지연시간과 가용대역의 수치를 기준으로 한다.

위의 전제조건에 따라 DRS 모델을 WAN에 적용한다면, 지연시간의 변화가 적고(①), 최초 수신측 RTT 값이 일정하며(②), 타 트래픽 영향과 혼잡에 의한 영향이 적어 가용 대역폭이 보장(③)될 때가 가장 유리하다. 2장에서 설명하였듯이 람다 네트워크가 DRS 모델의 이러한 전제조건에 적합하다.

본 논문에서 제안하는 람다 패스상의 튜닝 모델은 DRS 모델을 기반으로 한다. 우선, 기존의 DRS 모델에서 사용되는 윈도우 크기의 결정 방법을 살펴보자. 기존의 DRS 모델에서는 수신측에서 송신측의 cwnd의 정보를 지속적으로 받아 fwnd 값을 조정하여 최적화된 최초 버퍼 값을 찾아낸다. 네트워크 환경 변화에 따라 변할 수 있는 윈도우의 크기를 수식 (1)과 같이 데이터의 전송량과 RTT를 통해 측정하고, DRS 자동튜닝을 위한 윈도우 크기는 RTT와 전달 데이터 크기에 좌우되는 윈도우의 평균값으로 간주한다.

$$\frac{d}{n_{\min}} \leq w \leq \frac{d}{n_{\max}} \quad (1)$$

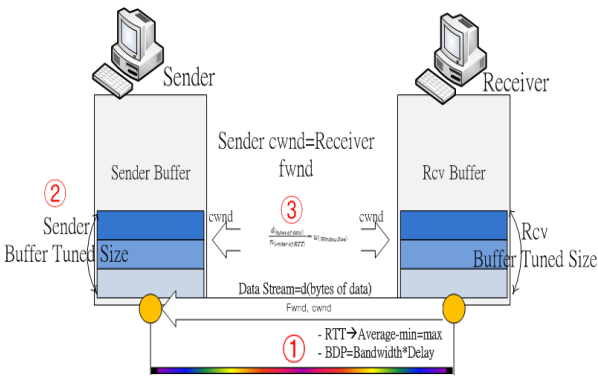
여기서,  $d$ 는 데이터의 전송량을 나타내고,  $n_{\min}$ 과  $n_{\max}$ 는 각각 측정 횟수에 따른 RTT의 최소와 최대값을 나타낸다.  $w$ 는 윈도우 크기이다.

반면, 람다 네트워크의 경우 2장의 성능측정 실험에서 기술하였듯이 가용 대역폭과 지연시간 변화가 아주 작기 때문에 초기 계산된 BDP가 거의 일정하다. 따라서 수식 (1)과 같이 윈도우 값을 평균값으로 결정하는 것 대신 다음과 같이 윈도우 값을 초기 계산된 RTT 값을 기반으로 설정할 수 있다.

$$w \simeq \frac{d}{n_{RTT}} \quad (2)$$

여기서, d는 데이터의 전송량을 나타내고,  $n_{RTT}$ 는 람다 패스 상에서 계산된 RTT 값을 나타낸다. w는 윈도우 크기이다.

<그림 5>는 수식 (2)에 따라 수정된 DRS 모델을 람다 패스에 적용하는 과정을 보여준다. <그림 5>①에서 초기에는 기존의 DRS 모델과 동일하게 수신측의 fwnd와 송신측의 cwnd 값으로 설정한 후 <그림 5>② 최초 측정되는 윈도우 값을 버퍼 크기로 결정한다. 자동 튜닝을 위해서는 지속적으로 윈도우 크기 변화를 측정해야 하지만 람다 패스의 특성에 따라 <그림 5>③ 윈도우 크기는 수식 (2)에 의해 일정한 값으로 결정한다. 한편, 윈도우 재설정에 대한 요청이 있을 시에는 요청 시점을 기준으로 수식 (2)에 의해 윈도우 크기를 재설정한다. 이러한 과정에 의해 본 논문의 람다 패스 상에서의 튜닝 모델은 기존 DRS 모델보다 빠르고 간단하게 버퍼 값을 갱신할 수 있다.



<그림 5> 람다패스 상에서의 DRS 적용모델

이상과 같이 람다 네트워크에 적합한 DRS 자동 튜닝에 대해서 설명하였다. <그림 6>은 리눅스 커널 2.3.23을 기준으로 람다패스 상에서 일부 수정된 DRS 패치를 보여준다. 이 그림과 같이 수정된 패치는 기존 DRS 자동 튜닝에서 평균 윈도우 값에 의한 버퍼 값의 재설정 부분을 수정하여, 람다 패스에 적합하도록 윈도우 크기를 설정한다. 수식 (2)와 같이, 최초 계산으로 설정된 최대 버퍼 값(maxw)을 기존 DRS 자동 튜닝에서의 평균 버퍼 값을 대신하도록 하여 람다 패스 상에서의

성능 향상을 시도하였다.

```

+ * DRS on Lambda networking:
+   (*rcv_wnd) = min(space, MAX_TCP_WINDOW);
+   (*rcv_wscales) = 0;
+   if (wscale_ok) {
+       __u32 maxw;
+       extern __u32 sysctl_rmem_max;
+ * Modified Optimized Lambda
+       maxw = max(sysctl_rmem_max);
+       while (maxw > 65535 &&
+ (*rcv_wscales) < 14) {
+           maxw >>= 1;
+           (*rcv_wscales)++;
+       }
+       if (*rcv_wscales &&
+ sysctl_tcp_app_win && space >= mss &&
    
```

<그림 6> 람다 패스에 최적화된 기존 DRS 모델의 패치

### 3.2 NRPS 확장 모델의 설계

이전 절에서 제시된 DRS 모델은 다중의 도메인(inter-domain)을 연결하는 WAN에 적합한 모델이며, 람다 네트워크의 자원과 경로를 효율적으로 관리하기 위해서는 NRPS(Network Resource Provisioning System)와의 통합 제어 연계가 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 NRPS의 각 계층에서 제공해야 하는 기능들은 다음과 같이 정의한다.

#### (1) 서비스 계층 (Service layer)

- 각 노드 및 시스템의 자원/네트워크 자원을 연계하는 API
- 다중 도메인에서 자원과 어플리케이션을 결정하고 할당할 수 있는 정책

#### (2) 네트워크 자원 할당 계층

- (Network Resource Allocation layer)
- 다중 도메인간 상호 연계성(interoperability)을 제공할 수 있도록 다른 NRPS와 연계 관리가 가능한 인터페이스

#### (3) 제어평면 계층 (Control Plane Layer)

- NRPS에 기초한 다른 GMPLS(Generalized Multi-Protocol Label Switching) 제어평면을 제어하는 어플리케이션 간 통신
- (예: G2MPLS, UCLP, DRAC, ARGON)

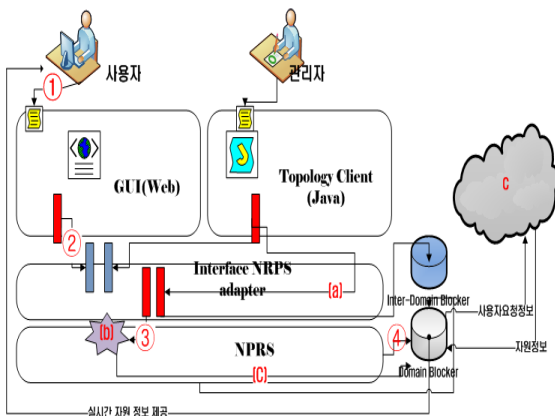
<그림 7>은 다중 도메인 구축을 위한 통합형 NRPS 다이어그램을 보여준다. 다음의 과정은 <그림 7>의 통합형 NRPS에서 일반 사용자에게 대한 요청 응답을 나타낸다.

- ① 사용자로부터 자원예약에 대한 요청을 받는다.
- ② 이러한 요청은 NSPS에서 Reservation 웹서비스를 통해 접수된다.
- ③ 접수된 요청은 Inter-Domain Broker를 통해 NRPS adapter에 등록된다.
- ④ 각 NRPS를 연계하여 요청시간에 네트워크 디바이스를 통해 자원할당이 완료된다.

다음은 관리자에게 대한 요청응답을 나타낸다.

- (a) 네트워크 관리자는 NRPS adaptor로 접속할 수 있는 권한이 부여 받는다.
- (b) 해당되는 NRPS에 직접 자원할당 요청이 등록된다.
- (c) 직접 각 NRPS에 연계하여 자원할당이 완료된다.

또한 ③의 NRPS와의 연계 시에 사용자가 요구하는 대역폭과 접속정보를 직접 제어할 수 있다.



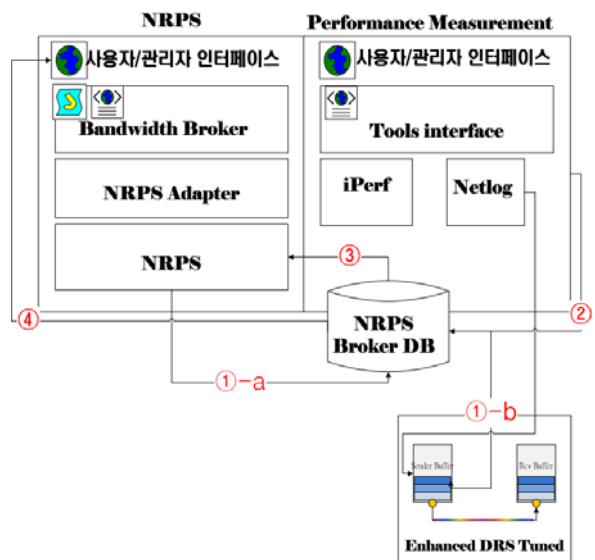
<그림 7> NRPS 확장 모델 다이어그램

### 3.3 NRPS 상에서 자동 튜닝 적용

글로벌 환경에서 다중 도메인 간 NRPS의 관리에 의해 자원이 재설정되면 가용대역폭과 경로가 변경되게 된다. 재설정된 네트워크의 성능을 향상

시키기 위해서는 새로운 튜닝 값이 요구된다. 이를 위해 본 논문에서는 3.1절에서 기술한 수정된 DRS 모델과 통합형 NRPS 모델을 기반으로 융합형 NRPS 모델을 설계한다. <그림 8>은 수정된 DRS 모델이 적용된 NRPS를 나타내며, 융합과정은 다음과 같다.

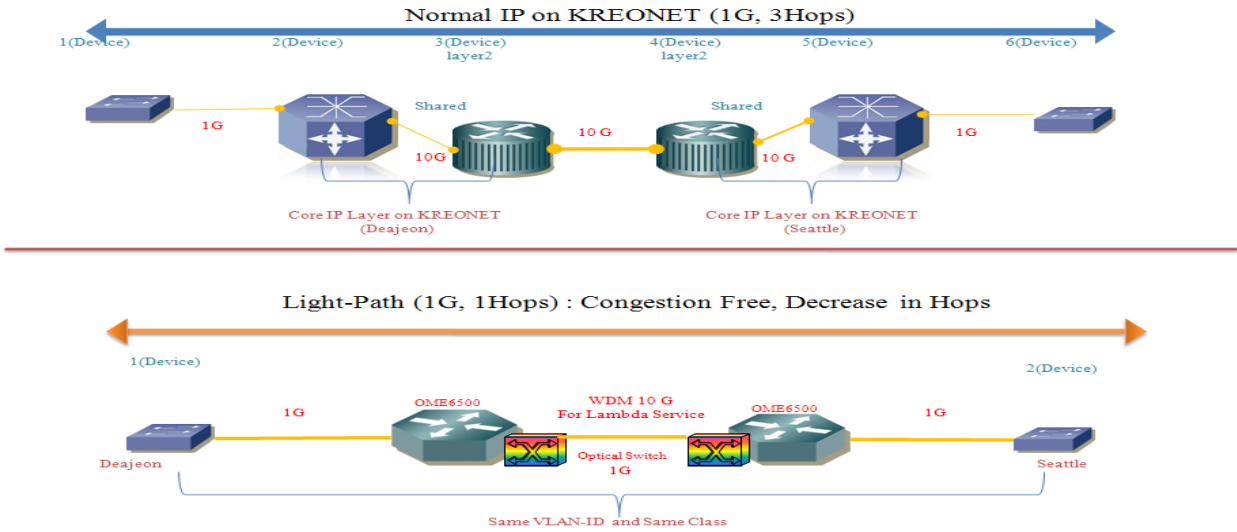
- (1) 송신측의 cwnd를 결정하는 BDP 결정요소 중 대역폭 값을 NRPS에 제공
  - 사용자의 요구에 따라 네트워크의 자원이 요구되면, NRPS에 의해서 예약할당되고(①-a), 할당된 대역폭은 가용대역폭 정보로써 튜닝시스템에 전달된다(①-b).
- (2) 실시간 지연시간 측정 및 저장
  - 사용자가 NRPS에 요구한 연결대상 정보는 측정시스템에 전달되고, RTT 값이 측정되어 정보 DB에 저장된다(②).
  - 예약에 따라 람다패스가 할당되면 요구된 구간의 RTT 값이 튜닝시스템에 전달된다(③).
  - 자동튜닝에 따라 새로 설정된 자원과 경로에 대한 윈도우 값이 계산되고 재설정된다.
- (3) 연동완료 후 가용시간 동안 튜닝 값은 DB에 저장되고, 사용자에게 피드백 된다(④).



<그림 8> DRS 모델이 적용된 NRPS 다이어그램

## 4. 실험 연구

분산 환경에서 공유 자원 간 성능은 대용량 데



<그림 9> 성능측정을 위한 테스트베드 구성도

이터 전달 성능과 통신의 안정성에 따라 좌우되고, 특히 특정 데이터의 전달속도에 따라 전체 공유 자원의 처리 성능이 달라진다.

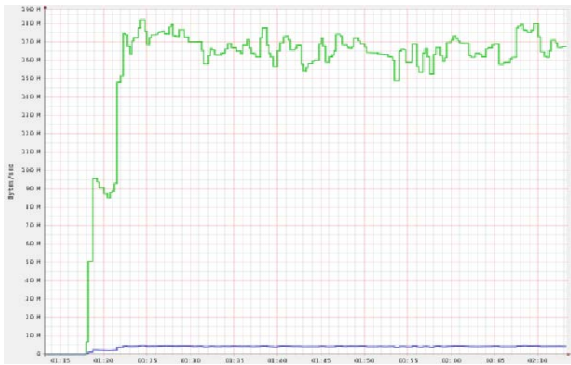
본 실험 연구를 위해 DRS 특성인 WAN 환경을 고려(20ms이상)하여 한국(A)과 미국(B) 간의 국제망을 기반으로 테스트베드 환경을 구축하였다. A와 B에 1G NIC의 시스템을 설치하고, 일반적으로 사용되는 IP 라우팅 패스(1Gbps)와 램다 패스(1Gbps)를 동일 시간에 구성한 후 IP 라우팅 패스의 경우에는 기존의 튜닝인 BDP 계산을 통한 수동적 튜닝을 하였다. 한편, 램다 패스의 경우에는 DRS 패치에 의한 자동 튜닝을 수행하였다. 기존 튜닝에 적용되는 BDP 값 중 대역폭은 1G로 설정하였다. 그리고 RTT는 135ms로 설정하였는데 이는 일반 IP 라우팅 패스에 적용할 RTT 평균값이다. 외부 환경의 영향을 최소화하기 위해 접속스위치에는 테스트 노드만 접속하도록 제한을 두었다. <표 3>은 본 실험 연구에서 사용된 네트워크 및 시스템 구성을 요약한 것이며, <그림 9>와 같이 테스트베드 환경을 구축한 후 동일한 사양의 시스템에서 Jperf를 활용하여 네트워크의 성능을 각각 측정하였다.

<표 3> 네트워크 및 시스템 구성

	대역폭 (IP)	대역폭 (LP)	네트워크 인터페이스	시스템 사양	MTU
지역 A	1Gbps	1Gbps	1Gbps GE (NETWORK)	CPU(1EA), 2.0GHz Linux(2.7)	9K
지역 B	1Gbps	1Gbps	1Gbps GE (NETWORK)	CPU(1EA), 2.0GHz Linux(2.7)	9K

램다패스에 기반한 네트워크에서의 성능을 알아보기 전에 일반 네트워크에서의 튜닝 전후의 성능을 살펴보자. <그림 10>은 일반 네트워크에서 BDP를 통한 TCP 튜닝과 튜닝을 하지 않은 상태의 네트워크 성능을 보여준다. 일반 네트워크에서 튜닝한 경우의 성능은 약 400Mbps로 나타났으며, 튜닝하지 않은 경우에는 약 6~7Mbps로 매우 낮은 데이터 전송 성능을 보여주었다. <그림 10>의 결과를 살펴볼 때, 일반 네트워크 환경에서도 튜닝을 적용하면 높은 성능의 데이터 전송을 얻을 수 있음을 알 수 있다.



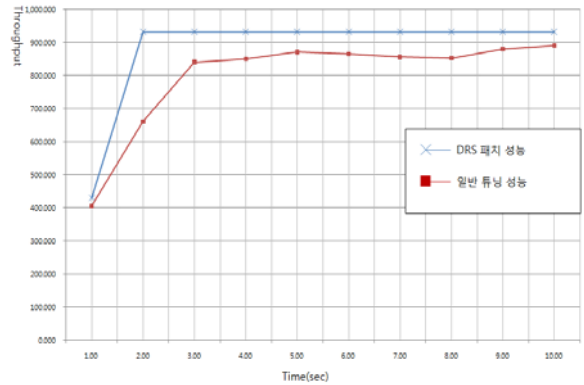


<그림 10> 일반 네트워크에서 튜닝 전후의 성능 추이

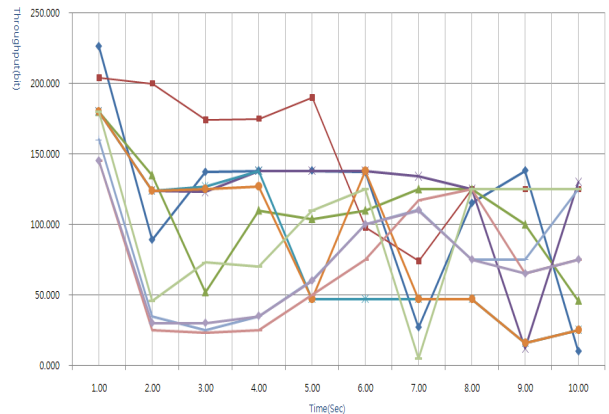
<그림 11>은 람다패스를 기반으로 연결된 네트워크 환경에서 단일 스트림으로 데이터를 전송한 경우에 산출된 데이터 전송 성능을 나타낸다. 제안한 DRS 커널 패치를 통한 자동 튜닝의 경우 <그림 11>(×선)와 BDP을 통한 일반적인 시스템 튜닝 <그림 11>(■선)에 대한 성능은 각각 930Mbps와 905Mbps로 측정되었다. <그림 11>의 결과는 수정된 DRS 모델이 적용된 자동 튜닝이 기존의 튜닝에 비해 약 3% 정도의 성능 향상을 보여준다. 더욱이 일반 네트워크에서 튜닝이 적용되지 않는 데이터 전송 성능(7Mbps)에 비하며 약 150배 이상의 성능 향상을 가져왔다. 이러한 결과는 튜닝 방식에 따라 데이터 전송 성능에 영향을 끼치고, 더욱이 동일한 람다패스 상에서라도 본 논문의 수정된 DRS 모델을 통한 TCP 튜닝의 성능이 기존의 BDP를 통한 튜닝에 비해 성능이 우수하다는 것을 나타낸다. 또한, 본 논문의 수정된 DRS 모델이 적용된 경우의 데이터 전송은 2초부터 최고치에 이르렀다. 반면, 기존 모델은 4초 이후에 최고성능을 나타내었다. 이는 전체적인 성능 향상뿐 아니라 최고성능의 도달시간도 빨라졌음을 입증한다.

<그림 12>는 10개의 스트림을 병렬로 전송한 경우의 측정 결과를 나타낸다. 이 실험에서 수정된 DRS 패치를 적용한 람다 패스의 전송성능이 <그림 11>의 측정 결과와 비교하여 그다지 우수하지는 않았다. 그 이유는 각 스트림을 동시에 전송하였기 때문에 혼잡이 발생하였고, 이로 인해 튜닝 효율이 전반적으로 저하되었기 때문이다. 따라서 스트림의 수 변화와 혼잡에 따른 튜닝 효과

의 저하는 향후에 보완되어야 할 것이다.



<그림 11> 단일스트림에서 Jperf 측정 결과



<그림 12> 병렬 스트림 Jperf 측정 결과

### 5. 결론

본 논문에서는 글로벌 연구망을 중심으로 서비스되고 있는 람다 패스의 특성인 안정적이고 우수한 성능을 자동튜닝과 결합하여 버퍼를 효율적으로 관리하고 동시에 대용량 전송성능을 낼 수 있는 네트워크 환경을 제안하였다. 또한 람다 네트워크 자원을 관리·할당과 함께 튜닝에 필요한 값을 함께 관리하여 향상된 네트워크 자원 할당뿐 아니라 성능까지 제공하는 NRPS를 설계하였다. 또한, 튜닝에 필요한 BDP의 결정인자를 간략화하고 일정한 송신자와 수신자의 버퍼의 최소 크기를 공유하여 람다 네트워킹에 적합한 DRS 모델을 통해 필요이상으로 소모되는 시스템의 버퍼를 최적화하고 동시에 네트워크상에서 우수한 대용량 전송 성능을 구현하였다.

차세대 네트워크 환경은 공유되는 자원의 용량

확대와 성능향상을 위해 글로벌 환경에서 대용량 전송성과 안정성을 동시에 만족하여야 한다.

제안된 NRPS와 자동 튜닝을 통해 네트워크 환경을 설계하면 고에너지물리, 천체물리, 그리드 컴퓨팅 등과 같이 대용량 데이터를 네트워크에서 지속적으로 전송하는 연구 대상으로 효율적 람다 네트워킹 자원과 분산된 환경에서의 고성능 자원 획득이 가능한 환경 구성이 기대된다.

### 참 고 문 헌

[ 1 ] Steven Wallance(2002). *Lambda Networking*.  
[http://usc.indiana.edu/pdf/lambda\\_networking](http://usc.indiana.edu/pdf/lambda_networking).

[ 2 ] J. Heffer(2003). *Auto-tuning in Web 100*.  
<http://www.web100.org>.

[ 3 ] E. Weigle, &W. Feng(2001). *Dynamic Right-Sizing*.  
 Proc. of IEEE Int. Conf.. pp. 187-191.

[ 4 ] M. Fisk, &W.Feng(2001). *Dynamic Right- Sizing: TCP flow-control adaptation*. Proc. of SC2001. pp. 76-79.

[ 5 ] J. Leigh et al(2006). *The Global Lambda Visualization Facility*. Future Generation Computer Systems. 22. pp. 964-971.

[ 6 ] J. Wu, M. Savoie, &B. St. Amaud(2006). *Layer1 Virtual Private Network Management by Users*. IEEE Communications Magazine. pp. 86-93.

[ 7 ] E. Grasa, S. Figuerola, A. López, G. Junyent, M. Savoie, B. St. Arnaud &M. Lemay(2007). *Articulated Private Networks in UCLP*. Proc. of TERENA Networking Conference. pp. 211-215.

[ 8 ] J. Antoni, &G Espin. *Lambda User Controlled Infrastructure for European Research* informational Document HDSHORUS-WP1(04115)

[ 9 ] CANARIE, webpage, <http://www.canarie.ca>

[10] HPDMNET, webpage, <http://www.hpdmnet.net>

### 노 민 기



2000 교육정보공학과  
 영상매체 석사  
 2001~현재 한국과학기술  
 정보 연구원  
 선임연구

관심분야: 광통신, 멀티캐스트, 동적네트워크  
 자원할당

E-Mail: mknoh@kisti.re.kr

### 안 성 진



1988 성균관대학교  
 정보공학과(학사)  
 1990 성균관대학교  
 정보공학과(석사)

1998 성균관대학교  
 정보공학과(박사)

2000~현재 성균관대학교  
 컴퓨터교육학과 교수

관심분야: Network Measurement, Network Security,  
 IPv6

E-Mail: sjahn@kisti.re.kr