

## KMTNet 자료 전송 실험 DATA TRANSFER TEST FOR KMTNet DATA

김동진, 이충욱, 김승리  
한국천문연구원

DONG-JIN KIM, CHUNG-UK LEE, AND SEUNG-LEE KIM  
<sup>1</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute, Daejeon 305-348, Korea  
E-mail: keaton03@kasi.re.kr

(Received December 05, 2014; Revised March 09, 2015; Accepted March 09, 2015)

### ABSTRACT

We develop a real-time data transfer system for the Korea Microlensing Telescope Network (KMTNet) photometry data and test whether it is suitable for Korea Astronomy and Space Science Institute (KASI) and three different observatories, which are Cerro Tololo Inter-American Observatory (CTIO) in Chile, Siding Springs Observatory (SSO) in Australia, and South African Astronomical Observatory (SAAO) in South Africa. For this test, we use a high speed global network being dedicated for researches. From the test, we obtain that the elapsed times between KASI and each three observatories, CTIO, SSO, and SAAO to transfer 650 MB of data are 99.0, 9.2, 119.0 seconds, respectively. This means that the system can be used for the real-time data processing of KMTNet.

*Key words: methods: miscellaneous, site testing, techniques: miscellaneous*

### 1. 서론

한국천문연구원에서는 2009년부터 외계행성 탐색시스템 (Korea Microlensing Telescope Network; KMTNet)을 개발해오고 있다(Kim et al., 2013). 현재 칠레 Cerro Tololo Inter-American Observatory(CTIO)와 남아프리카 공화국 South African Astronomical Observatory(SAAO)에 18 K 사이언스 카메라를 설치하고 이를 이용한 시험관측을 진행하고 있고, 호주 Siding Spring Observatory (SSO)의 경우에는 아직 18 K 사이언스 카메라가 설치되지 않아 4 K 카메라를 이용한 시험관측이 이루어지고 있다. CTIO와 SAAO에서는 하루 최대 200 GB의 관측 영상이 생성되고 있으며, SSO에 18 K 사이언스 카메라를 장착하여 3대의 KMTNet 시스템이 모두 가동되면 하루 최대 약 600 GB의 관측 영상이 생성된다.

실시간 자료전송은 국제연구망의 상태에 따라 전송 속도 변화와 접속불가, 지속적인 망 사용료 등의 부담이 있지만, 대용량 자료를 신속하게 전송하고 체계적으로 관리하고 보관할 수 있다. 또한 한곳에서 자료의 관리가 이루어지므로 각각의 관측소마다 전산기를 설치하지 않아도 되기 때문에 전산자원 낭비를 막을 수 있다.

이 연구는 한국과학기술정보연구원(KISTI)이 운영하는 국제 연구망을 통해 칠레, 남아공, 호주에서 얻은

관측영상을 대전 본원으로 전송한 결과를 다룬다. 2장에서는 대륙별로 연결된 국제연구망에 대해, 3장에서는 실시간 자료전송을 위한 프로그램에 대해 기술한다. 4장에서는 실제 관측영상 자료를 사용한 전송시험 결과를 정리하였다.

### 2. 국제연구망 구성

통신 환경이 급격하게 변하고, 보안문제처럼 인터넷의 근본적 문제점이 드러남에 따라 차세대 인터넷이 큰 이슈가 되고 있다. 세계 각국은 차세대 네트워크 기술을 연구하고 있으며 연구 결과를 실제 네트워크에 적용하고 시험할 수 있는 연구 목적의 시험망을 운영하기 위해 미국은 Internet2 연구망<sup>1</sup>, 일본은 JGN<sup>2</sup>, 유럽은 GEANT 연구망<sup>3</sup>을 구축/운영하고 있다(Song, 2010). 또한 이러한 국가별 연구망을 각 국가에서만 사용하지 않고 모두 연결하여 교육, 연구 목적으로 적극 활용하고 있다. 유럽입자물리연구소(CERN)는 이러한 국제연구망을 사용하여 대용량의 자료를 전 세계 연구기관으로 전

<sup>1</sup> 향상된 인터넷을 개발하기 위한 비영리 대학연합 연구망.

<sup>2</sup> Japan Gigabit Network. 차세대 광통신 개발을 위한 네트워크망.

<sup>3</sup> 유럽 전역의 국가연구교육망을 연결시켜주는 네트워크 통신망.



Figure 1. Topology map of Gloriad Network (Korea Institute of Science and Technology Information, 2014).

송을 하여 공동실험을 수행하고 있다.

외계행성 탐색시스템 또한 국제 연구망을 이용하여 관측 영상을 전송한다. 이를 위해 한국과학기술정보연구원(KISTI) 첨단연구망서비스실의 도움을 받아 한국천문연구원과 KMTNet 관측소간에 국제 연구망 연동 작업을 진행하였고, 이 과정에서 한국천문연구원에는 국제 연구망 접속을 위한 전용선도 설치하였다. 칠레 CTIO에 접속하기 위해 한국천문연구원부터 미국까지는 Gloriad 연구망<sup>4</sup>을 사용하였다. 미국 내에서는 Internet2 연구망을, 미국 마이애미에서 칠레 Santiago까지 AmLight<sup>5</sup>/LAUREN<sup>6</sup>(1 Gbps) 연구망을 거쳐 La Serena까지는 Reuna<sup>7</sup>(1 Gbps) 연구망을 지나가며 La Serena에서 CTIO까지는 155 Mbps 대역폭<sup>8</sup>의 이중화된 Microwave link를 사용한다(R. Chris Smith & Ron Lambert, 2014). 현재 연결된 연구망 전체 구간에서 KMTNet 자료 전송에 사용할 수 있는 최대 대역폭은 155 Mbps이다. 그러나 CTIO 관측소는 네트워크 분담금에 따라 전송속도<sup>9</sup>를 2.5 Mbps, 20 Mbps, 100 Mbps로 제한하고 있으며, 현재 한국천문연구원은 최대 100 Mbps 속도로 파일을 전송할 수 있다. Figure 1은 Gloriad 망 구성도이고, Figure 2는 AmLight 망 구성도



Figure 2. Topology map of AmLight (<http://www.amlight.net/about/about.html>).

이다.

남아프리카 공화국의 SAAO 관측소와의 네트워크 연결은 한국에서 유럽까지 Gloriad 연구망을 사용하였고, 유럽에서 GEANT 연구망으로 접속한 후 다시 UbuntuNet Alliance<sup>10</sup> 연구망을 통해 남아프리카 공화국의 케이프타운까지 연결하였다. 남아프리카 공화국 국내에서는 주요 도시와 교육 및 연구기관들은 SANREN<sup>11</sup>과 TENET<sup>12</sup>의 1 Gbps ~ 10 Gbps 광 네트워크로 연결되어 있다. SAAO 천문대는 케이프타운과 TENET 1Gbps 네트워크로 연결되고, 케이프타운에서 국제 연구망 접속 시 대역폭은 17 Mbps로 제한되어있었으나, 현지 ISP(Internet Service Provider)인 TENET과 계약하여 2015년 2월 1일부터 KMTNet 자료전송에 50 Mbps 대역폭을 사용할 수 있다. Figure 3은 아프리카 대륙의 해저 광케이블 설치도이며, UbuntuNet Alliance는 해당 광케이블 망을 사용한다. KMTNet은 자료 전송에 아프리카 대륙 서부의 WACS 광케이블을 사용하며, WACS 망이 문제가 있을 경우 동부의 seacom 광케이블로 우회한다.

후주 SSO의 KMTNet 관측소는 Gloriad 망으로 미국

4 Global Ring Network for Advanced Applications Development. 국제협력을 통한 과학기술 연구개발을 위해 한국, 미국, 러시아, 중국, 캐나다, 네덜란드, 북유럽 5개국 등 11개국이 공동으로 참여하여 지구 전체를 10 Gbps급 환(Ring)형 광통신 망으로 연동하는 글로벌 과학기술협업연구망으로 2005년에 시작되었다.

5 Americas Lightpaths. 아메리카 대륙 전체의 연구와 교육을 위한 인터넷 망.

6 Latin American University Research & Education Network. 남미 대학들이 참여하여 만든 연구 교육망.

7 Red Univeritaria Nacional(National University Network, Chile). 칠레 15개 대학과 AURA, 국가 과학기술연구 위원회 등이 참여하여 만든 비상업 연구망.

8 Bandwidth. 초당 전송될 수 있는 최대량을 의미함.

9 초당 전송되는 현재 비트의 평균 속도를 나타냄.

10 동부 아프리카와 남부 아프리카 지역의 연구 교육망 네트워크. 말라위, 모잠비크, 케냐, 르완다, 남아프리카 공화국의 연구교육망 운영 기관이 연합하여 수립.

11 South African National Research Network. 남아프리카 공화국의 새로운 국가 연구교육망 프로젝트.

12 The Tertiary Education and Research Network of South Africa. 남아프리카 공화국의 대학들과 연구 및 지원기관과 연계하기 위한 인터넷 서비스.

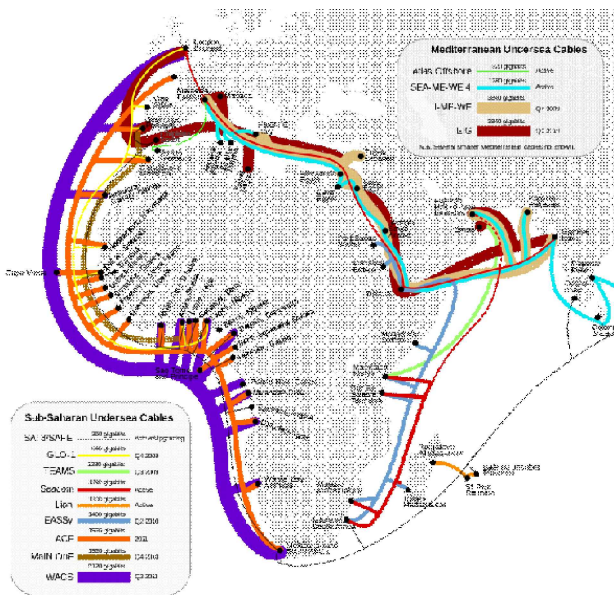


Figure 3. Topology map of Africa's submarine communication cables (<http://www.itnewsafrika.com/2011/04/wacs-submarine-cable-nears-completion/>).

Seattle을 경유한 후 호주 Sydney에서 AARNet<sup>13</sup>과 연결되며, SSO까지 AARNet으로 연결되어있다. 3개의 KMTNet 관측소 중 네트워크 연결구조가 가장 단순하며, 가장 빠른 속도를 얻을 수 있다. Figure 4는 호주 AARNet 연구망 구성도이다.

### 3. 자료 생성 검출

KMTNet 관측소에는 망원경과 돔, 각종 센서를 제어하기 위한 PC-TCS 컴퓨터와 AUX 컴퓨터가 설치되어있고, 18 K × 18 K의 사이언스 CCD 카메라 제어를 위한 9대의 컴퓨터가 설치되어 있다. Figure 5는 칠레 CTIO의 KMTNet 관측소에 설치한 컴퓨터들의 모습이다. 관측소의 모든 컴퓨터는 해킹을 막기 위해 VPN Router 하단에 설치하였고, 사실 IP를 설정하여 외부 접속이 반드시 필요한 일부 컴퓨터만 VPN Router의 Network Address Translation (NAT)에 등록하여 외부 접속이 가능하도록 하였다.

KMTNet으로 관측한 자료를 실시간 전송하기 위해 칠레 CTIO 관측소와 호주 SSO 관측소, 남아프리카 공화국 SAAO 관측소에 자료전송 시스템(Data Transfer System, DTS)를 설치하였다.

관측이 이루어진 후 18 K 모자이크 CCD 카메라를 통합 제어하는 ICS 컴퓨터에 관측 영상이 저장되면,

<sup>13</sup> Australia's National Research & Education Network. 호주 국가 연구 교육망.

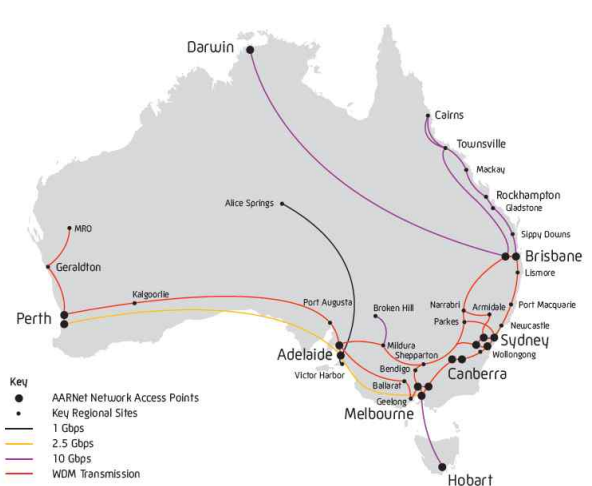


Figure 4. Topology map of AARNet ([https://www.aarne.edu.au/images/uploads/resources/National\\_Map\\_August\\_2014.pdf](https://www.aarne.edu.au/images/uploads/resources/National_Map_August_2014.pdf)).

ICS에 설치된 inotifywait 프로그램이 ICS 디스크의 inode 변화를 감지하여 파일이 새로 생성되었음을 알려주게 되고, 그 즉시 파일 전송 프로그램을 실행하여 자료전송 컴퓨터로 전송하게 된다. ICS에서 한국천문연구원으로 관측 영상을 직접 자료를 전송하지 않는 것은 국제 연구망의 문제 등으로 자료전송에 문제가 발생하면 ICS에서 파일 전송을 위한 작업이 지속적으로 시스템에 부하를 발생시켜 관측에 지장을 줄 가능성도 있기 때문에, DTS를 거쳐 파일을 전송하도록 하였다.

Figure 6은 ICS에서 생성된 관측 영상을 한국천문연구원까지 자동으로 전송하기 위한 프로그램의 순서도로 ICS\_PROG와 DTS\_PROG 구성된다. ICS\_PROG는 ICS에서 DTS로 관측 영상을 전송하기 위한 프로그램으로 CTIO 내부에서의 관측영상 전송을 담당하고, DTS\_PROG는 DTS에서 한국천문연구원의 전처리 서버로 관측 영상을 전송하는 프로그램으로 국제연구망을 통한 관측영상 전송을 담당한다.

ICS에 FITS 포맷의 관측 영상이 생성되면 ICS에 설치된 전송 프로그램인 ICS\_PROG가 실행되어 FITS 파일에 대한 HASH 0 값을 생성한 후 두 파일을 DTS로 전송하게 된다. 그러면 ICS는 DTS로 전송한 FITS 파일에 대해 HASH 1 값을 원격으로 생성한 후 ICS에서 생성한 HASH 0과 HASH 1 값을 비교하여 파일 전송이 정상적으로 종료되었는지 확인한다. HASH 값은 SHA(Secure Hash Algorithm)-1 프로그램으로 생성하였고, 파일의 크기 및 내용이 동일하다면 어떠한 컴퓨터에서도 동일한 HASH 코드가 생성된다. 만약 파일 전송 과정에 문제가 발생하여 전송된 파일의 내용이 조금이라도 변조되었다면 상이한 HASH 코드를 생성하기 때문에 HASH 코드의 비교를 통해 파일이 정상적으로 전



Figure 5. CCD Control computers, PC-TCS & AUX Computer are installed in the KMTNet Observatory at CTIO.

송되었는지 손쉽게 확인할 수 있다. 이런 원리를 적용하여 전송 파일의 무결성을 확인한다. 하지만 HASH 코드는 사용하는 알고리즘과 출력 비트수, 파일의 크기에 따라 생성하는 시간이 달라지며, 이 시간은 파일의 전송 시간에도 영향을 미치게 된다. HASH 0과 HASH 1을 비교하여 일치하면 FITS 파일은 정상적으로 전송한 것이고, 그렇지 않으면 ICS의 FITS 파일을 d\_ERR 폴더로 이동시킨다. Error 폴더에 저장된 FITS 파일은 관측이 종료되면 재전송 과정을 통해 다시 전송한다.

ICS에서 DTS로 FITS 파일이 정상적으로 전송되면 DTS의 inotifywait가 한국천문연구원으로 전송하기 위한 목록을 생성한다. DTS에서 목록을 생성한 후 전송하는 이유는 관측 주기인 2분 30초 이내에 전송을 마치지 못했을 경우 다음 FITS 영상이 들어오면 파일 전송의 중복으로 전송 누락이 되는 현상이 있기 때문이다. 목록이 생성되면 한국천문연구원 전산실에 설치된 전처리 서버 (PREPROC)의 현재 상태를 점검하게 된다. 확인 작업은 DTS에서 PREPROC으로 ping을 보낸 후 응답이 있으면 online 상태로 인식하고 전송목록 파일의 내용에 해당되는 파일을 전송하기 시작한다. 이때 PREPROC에서 응답이 없으면 해당 파일을 미전송 폴더로 이동한다. 미전송 폴더로 이동한 FITS 파일은 모든 관측이 종료된 후 재전송을 시도한다.

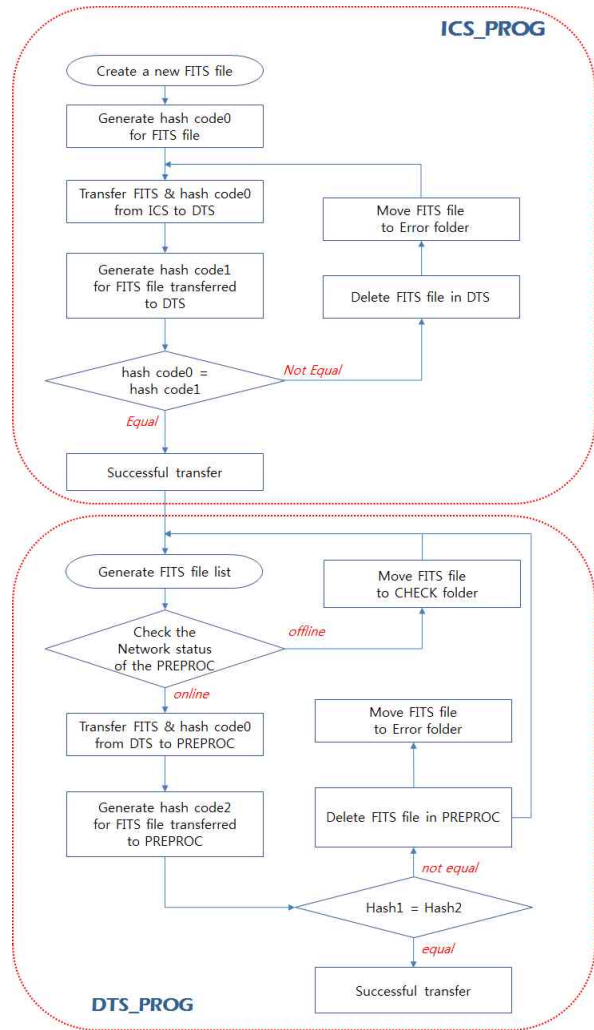


Figure 6. KMTNet Automatic transfer program flow chart. ICS\_PROG represents a program for FITS file transfer between ICS and DTS in CTIO. DTS\_PROG represents a program for FITS file transfer between DTS of CTIO and KASI.

DTS에서 PREPROC으로 FITS 파일과 HASH 1 코드의 전송이 종료되면 DTS에서 PREPROC 서버의 FITS 파일에 대해 원격으로 HASH 2 코드를 생성한다. 이는 DTS에서 PREPROC으로 전송이 정상적으로 이루어졌는지 확인하기 위한 것으로 HASH 코드가 일치한다면 ICS에서 DTS를 거쳐 PREPROC까지 성공적인 전송이 이루어졌다는 것을 의미한다. 만약 HASH 코드가 다르다면 PREPROC 서버로 전송된 FITS 파일과 HASH 1 코드는 즉시 삭제하고 DTS는 해당 파일은 DTS의 d\_ERR 폴더로 이동시켜, 관측이 종료된 후 재전송한다. 파일 전송과정에서 에러 발생 즉시 재전송을 하지 않는 것은 다음 전송에 영향을 미치지 않도록 하기 위한 조치이다.

Table 1. Specification of PREPROC

Description	Specification
CPU	Intel Xeon E5-2690 2.90 GHz × 2
RAM	128 GB (DDR3)
HDD	600 GB 6 Gbps SAS × 2 (RAID 0) 512 GB SSD × 8 (RAID 1)
RAID Controller	PERC H710P (1 GB Cache)
OS	CentOS 6.5 (EXT4 filesystem)

#### 4. 자료 전송 실험

일반적으로 TCP 프로토콜을 사용하여 자료 전송을 하면 전송 최소 단위인 패킷으로 분할하여 전송한다. 이 과정에 전송제어, 혼잡회피 등의 다양한 알고리즘을 사용해서 데이터 손실이 없도록 제어하기 때문에 전송 시간이 오래 걸리지만 그만큼 신뢰성이 높다. 그러나 UDP 프로토콜은 TCP와 같은 자료보호 기술 없이 스트림 방식으로 전송하므로 TCP에 비해 빠른 속도로 전송이 가능하지만, 네트워크 상태에 따라 자료의 일부 손실 또는 전체 손실 등의 문제가 발생할 수 있다. 이러한 전통적인 프로토콜 자체만으로는 대용량의 자료를 안전하게 전송하는데 시간이 많이 소요되거나 안정성이 떨어지기 때문에 안전하게 대용량 자료를 전송하기 위한 방법이 필요해졌다. 그래서 이들 프로토콜의 장단점을 합하거나 여러 포트를 사용하여 병렬화 방식으로 전송하는 등 다양한 방법이 개발되었고, 이들 방법을 사용한 다양한 고속 전송 프로그램이 개발되었다.

고속전송 방법으로는 Parallel TCP를 사용하는 방법과 Reliable UDP를 사용하는 방법이 있다. Reliable UDP는 TCP의 접속/전송 제어 및 혼잡제어를 사용하고 데이터 전송은 UDP를 사용함으로써 신뢰성을 확보한 상태에서 전송 속도를 끌어올린 방식으로 ASPERA<sup>14</sup>, Thttp://tsunami-udp.sourceforge.net/, Rapidant<sup>15</sup> 등의 프로그램이 이 방식을 사용한다. Parallel TCP는 TCP 프로토콜만을 사용하지만 하나의 포트가 아닌 복수의 포트를 할당하여 TCP 프로토콜의 전송효율을 높인 방식으로 BBFTP<sup>16</sup>, Rapidant 등의 프로그램이 이 방식을 지원한다.

KMTNet의 DTS는 해외 KMTNet 관측소에 위치해 있기 때문에 이 시스템에 심각한 문제가 발생하면 현지 관측자가 운영체제와 필요한 소프트웨어를 재설치하여야 한다. 그러므로 누구나 손쉽게 설치하고 별 다른 설

Table 2. Specification of DTS

Description	Specification	
	DTS (CTIO)	DTS (SAAO / SSO)
CPU	Intel i5-3210 M (2.50 GHz)	Intel i5-4590T (2.00 GHz)
RAM	16 GB (DDR3)	16 GB (DDR3)
HDD	512 GB SATA3 SSD 2 TB SATA3 HDD 4 TB SATA3 HDD (EXT4 filesystem)	512 GB SATA3 SSD 2 TB SATA3 HDD 4 TB SATA3 HDD (EXT4 filesystem)
OS	CentOS 6.5	CentOS 6.6

정 없이 사용할 수 있어야하고, 고속 자료처리 소프트웨어 역시 이러한 부분을 고려하였다. 고속전송 프로그램 중 상용 소프트웨어는 ASPERA P2P를, 공개 소프트웨어로는 RBUDP, BBFTP, Tsunami-udp 등을 후보군으로 선택하였고, 설치과정부터 실제 전송과정 등의 실험을 통하여 ASPERA P2P와 Tsunami-udp를 선택하였다. RBUDP, BBFTP 소프트웨어는 방화벽 등의 문제로 전송이 제대로 이루어지지 않거나 사용의 어려움 등으로 제외하였다. ASPERA P2P는 상용프로그램으로 라이선스에 따라 최대 전송속도에 제한이 있으나 운영체제별로 설치파일을 제공하여 간편하게 설치 가능하고, CLI와 GUI 모두 지원하여 쉽게 사용할 수 있다. 한국천문연구원에서는 ASPERA의 45 Mbps 라이선스를 보유하고 있으며, 이와 별도로 소프트웨어 제작사에 사용기간이 제한된 속도 무제한의 Unlimited Demo 라이선스를 요청하여 추가 실험을 진행하였다. Tsunami-udp는 공개소프트웨어로 ASPERA Unlimited Demo 라이선스와 같이 속도 제한이 없고, 소스 코드를 컴파일하면 즉시 사용이 가능하며 사용법 또한 어렵지 않다는 장점이 있다. 하지만 Tsunami client와 Tsunami server로 기능이 분리되어 있고, client에서 서버로 접속하여 파일을 가져오는 단방향 전송만 가능하다는 단점이 있다. 하지만 KMTNet 관측영상 전송은 단일 스트림을 통한 단방향 전송만 사용하므로 두 소프트웨어 모두 사용이 가능하다.

연구용 카메라는 9 K × 9 K의 CCD 칩 4장을 모자이크 배열로 구성하였으며, 관측 후 ICS에 생성되는 파일은 각각의 칩별로 생성이 되며 각 칩은 8개의 앰프를 가지고 있기 때문에 FITS MEF(FITS Extension Format) 형태를 가진다. 각 칩 당 생성되는 파일의 크기는 163 MB이며 각각의 영상을 하나의 파일로 만들었을 때의 크기는 650 MB이다. 은하 중심부 관측 전략에 의하면 2분 30초마다 4개의 관측 영역을 관측하므로 실시간 전송을 통한 실시간 자료처리를 위해서는 관측 주기인 2

<sup>14</sup> <http://asperasoft.com/>.

<sup>15</sup> [http://acube.co.kr/swbiz/solution\\_pr/solution/rapidant/rapidant\\_main.jsp](http://acube.co.kr/swbiz/solution_pr/solution/rapidant/rapidant_main.jsp).

<sup>16</sup> [http://www.nas.nasa.gov/hecc/support/kb/bbftp\\_147.html](http://www.nas.nasa.gov/hecc/support/kb/bbftp_147.html).

Table 3. Results of the KMTNet data (650 MB) transfer test at CTIO

		Bandwidth 100 Mbps				
		FTP	SFTP	ASPERA (45 Mbps License)	ASPERA (Unlimited License)	Tsunami-udp (100 Mbps)
International Research Network	transfer duration (sec)	404 + 7	777 + 17	125 ± 0.16	72 ± 0.19	99 ± 4.1
	rate (Mbps)	13.2 ± 0.11	6.9 ± 0.15	43.2 ± 0.05	75.8 ± 0.07	55.2 ± 2.35
Commercial Network	transfer duration (sec)	1030 ± 34.2	1436 ± 37.4	-	-	-
	rate (Mbps)	5.2 ± 0.18	3.6 ± 0.09	-	-	-

Table 4. Results of the KMTNet data (650 MB) transfer test at SAAO

		Bandwidth 17 Mbps			Bandwidth 50 Mbps		
		SFTP	ASPERA (45 Mbps License)	Tsunami-udp	SFTP	ASPERA (45 Mbps License)	Tsunami-udp
International Research Network	transfer duration (sec)	698.8 ± 20.37	416 ± 4.43	-	291.6 ± 3.79	118.7 ± 0.12	-
	rate (Mbps)	8.6 ± 0.25	13.1 ± 0.09	-	17.8 ± 0.23	43.8 ± 0.05	-
Commercial Network	transfer duration (sec)	734.1 ± 39.11	-	-	326.4 ± 11.22	-	-
	rate (Mbps)	7.1 ± 0.36	-	-	16 ± 0.56	-	-

분 30초 이내에 관측 영상을 전송해야 한다(Kim et. al., 2013).

칠레 CTIO에서의 전송 실험은 FTP, SFTP, ASPERA P2P, Tsunami-udp를 사용하였고, 남아프리카 공화국 SAAO에서는 ASPERA P2P를, 호주 SSO에서는 SFTP, ASPERA P2P, Tsunami-udp를 사용하였다. 관측소별로 사용 소프트웨어가 다른 이유는 네트워크 환경의 차이, 방화벽 정책, DTS 구축 시기가 다르기 때문이다. 전송 실험은 국제 연구망과 일반 상업망으로 전송 시간과 평균 전송속도 등을 측정하였다. DTS에서 한국천문연구원의 PREPROC 까지 파일이 전송되는 시간을 기준으로 하였고, 전송 실험은 각 프로그램별로 650 MB의 파일을 10번씩 전송을 하여 최고/최저 속도를 제외한 평균 값을 사용하였다. ICS에서 DTS까지의 전송은 근거리 내부통신을 사용하기 때문에 전송시간이 일정하고, 실제 전송 과정에도 큰 영향을 미치지 않아 제외하였다. Table 1은 한국천문연구원에 위치한 PREPROC의 사양이고, Table 2는 칠레 CTIO 전송 실험에 사용한 DTS의

사양으로 세 대 모두 유사한 성능을 가지고 있으며, 약 20일 정도의 자료를 저장할 수 있다.

Table 3은 칠레 CTIO KMTNet 관측소에서 한국천문연구원의 PREPROC으로 전송할 때 전송 프로그램과 전송망에 따른 전송실험의 결과이다. 국제 연구망 사용 시 SFTP가 가장 느렸고, ASPERA Unlimited Demo 라이선스가 75.8 Mbps로 가장 빨랐다. SFTP가 FTP 대비 느린 것은 통신 과정에서 보안을 위한 암호화 과정을 거치기 때문으로 FTP 대비 약 2배의 속도 저하가 발생하였다. ASPERA 45 Mbps 라이선스 사용 시 평균 43.2 Mbps 전송속도로 2분 5초가 소요되었으며, FTP 대비 약 3.3배 빠른 속도이다. ASPERA Unlimited Demo 라이선스 사용 시 평균 75.8 Mbps의 전송 속도를 보이며 1분 12초가 소요되었고, FTP 대비 약 5.6배 빠른 속도를 보였다. CTIO 관측소에 설치된 네트워크 스위치의 최대 대역폭은 100 Mbps이므로 ASPERA Unlimited Demo 라이선스는 허용치의 약 76%를 사용한 것이다. Tsunami-udp는 55.2 Mbps, 1분 39초의 시간이 소요되었

Table 5. Results of the KMTNet data (650 MB) transfer test at SSO

		Bandwidth 1Gbps			
		SFTP	ASPERA (45 Mbps License)	Tsunami-udp (1 Gbps rate)	Tsunami-udp (100 Mbps rate)
International Research Network	duration rate (sec)	131 ± 1.08	124 ± 0.15	9.21 ± 0.22	55.1 ± 0.58
	rate (Mbps)	40 ± 0.27	43.7 ± 0.05	564. ± 7.56	94.2 ± 0.99
Commercial Network	duration rate (sec)	138 ± 1.69	-	-	-
	rate (Mbps)	37.6 ± 0.46	-	-	-

다. 일반 상업망에서 FTP와 SFTP는 국제 연구망 대비 2 ~ 2.53배 정도 느렸으며 파일 전송이 완료되지 못하는 현상도 발생하였다. TCP와 UDP를 모두 사용하는 ASPERA와 Tsunami-udp는 모든 테스트에서 파일 전송이 실패하였다. 이는 상업망에서 DDoS(Distributed Denial of Service) 공격 등에 많이 사용되는 UDP 전송을 제한되는 것으로 보인다.

Table 4는 남아프리카 공화국 KMTNet 관측소에서 PREPROC으로 전송한 결과이다. 남아프리카 공화국 SAAO 천문대에서 국제 연구망에 접속 허용된 전송대역폭은 최대 17 Mbps로, ASPERA 사용 시 평균 13.1 Mbps 전송속도를 보였다. 이는 전송대역폭 17 Mbps의 약 77%를 사용하는 수준으로 650 MB 전송에 약 7분 정도 소요되었다. 전송대역폭을 50 Mbps로 증설한 이후 ASPERA 사용 시 43.8 Mbps의 전송속도로 123초가 소요되어 관측주기인 2분 30초 이내 전송이 가능해졌다. 전송대역폭을 50 Mbps로 증설한 후 국제연구망을 통한 SFTP 전송은 평균 4분 52초가 소요되었으며, 국제연구망과 상업망과의 전송 속도 차이가 크지 않았다. Tsunami-udp는 서버 간 접속은 이루어졌으나 파일전송은 이루어지지 않았으며, 이는 Tfsunami-udp가 사용하는 포트가 방화벽에 막혀서 발생한 문제로 판단된다.

Table 5는 호주 SSO의 KMTNet 관측소에서 한국천문연구원으로 전송한 결과이다. 방화벽 문제로 FTP로는 실험을 진행하지 못하였고, 칠레와 호주의 자료전송 시스템 구축 시기가 달라 ASPERA Unlimited 데모 라이선스의 사용 기간이 종료되어 실험에 사용하지 못하였다. 호주 관측소는 칠레와 남아프리카 공화국 관측소와 달리 국제 연구망의 경로가 두 단계로 단순하기 때문에 다른 관측소에 비해 매우 빠른 전송이 가능하다. SFTP는 국제 연구망 사용 시 ASPERA(45 Mbps 라이선스)와 비슷한 전송시간을 보여주고 있으며, 관측주기 2분 30초 이내에 전송이 가능하다. 이는 칠레 관측소에서 SFTP와 ASPERA(45 Mbps 라이선스)의 전송속도 차이

가 6배 발생한 것과 큰 대조를 이루고 있다. 또한 Tsunami-udp는 564.01 Mbps의 평균 전송속도로 650 MB 파일을 10초 이내에 전송하였다. 이는 일반 상업망의 SFTP 전송에 비해 15배 빠른 수치이다. Tsunami-udp에서 전송 대역폭을 칠레와 동일한 100 Mbps로 제한하였을 경우 약 94.24 Mbps의 전송 속도를 보여 칠레의 Tsunami-udp보다 1.7배 더 빠른 전송이 가능하였다. 상업망을 통한 전송 역시 칠레 관측소와 동일하게 UDP로의 전송은 정상적으로 진행되지 않았다.

5. 결론 및 토의

우리는 KMTNet 관측 영상의 실시간 전송을 위해 칠레 CTIO, 남아프리카 공화국 SAAO, 호주 SSO에 건설한 KMTNet 관측소와 국제 연구망으로 연결하였고, 여러 고속 전송 소프트웨어를 사용하여 관측 영상을 실시간으로 전송이 가능한지 실험하였다. 실험은 모든 관측소에서 관측 주기인 2분 30초 즉, 전송속도 34 Mbps 이상으로 관측 영상을 받아들 수 있는가에 중점을 두었다.

칠레는 고속전송 소프트웨어의 종류에 상관없이 관측주기인 2분 30초 이내에 전송이 가능하며, ASPERA (45 Mbps 라이선스)로는 2분 5초, Tsunami-udp로는 1분 39초의 전송속도를 얻었다. ASPERA(45 Mbps)와 Tsunami-udp 모두 안정적으로 전송 가능하기 때문에 더 빠른 속도로 자료를 받을 수 있는 Tsunami-udp를 사용하여 전송하고 있다. 남아프리카 공화국은 국제 연구망 접속대역폭이 17 Mbps일 때 ASPERA(45 Mbps 라이선스) 사용 시 6분 56초가 소요되었으나, 50 Mbps로 증설한 후 칠레 CTIO와 비슷한 2분 3초에 전송하여 실시간 전송이 가능해졌다. 하지만 남아프리카 공화국은 Tsunami-udp를 통한 전송이 이루어지지 않고, 남아공 국내 사정에 따라 전송속도가 떨어지는 문제도 있기 때문에 ASPERA(45 Mbps 라이선스)를 사용하여 전송하고 있다. 호주는 칠레와 남아프리카 공화국과는 달리 SFTP

로도 관측주기 이내로 전송이 가능하고, Tsunami-udp 사용 시 650 MB의 파일을 9.2초 만에 전송하였다. 이는 국제연구망이 지나가는 경로가 칠레, 남아프리카 공화국에 비해 매우 단순하기 때문이다.

일반 상업망 사용 시 칠레, 호주, 남아프리카 공화국의 각 KMTNet 관측소까지 접속은 가능하지만 TCP 프로토콜 전송만 가능하고 이마저도 전송이 자주 대기상태가 되는 불안정함을 보였다. 각 관측소까지의 네트워크 접속 경로를 추적해보면 국제 연구망에 비해 접속 단계가 많고, 구간별로 수많은 ISP의 네트워크 망을 지나가기 때문에 각 ISP 별로 운영하는 포트 제어, DDoS로 의심되는 UDP의 대량 트래픽 제어 등 각종 운영 및 보안정책의 영향을 받게 된다. 그러므로 일반 상업망을 과학연구 목적의 자료전송에 사용하는 것은 적합하지 않다.

우리는 이 연구를 통해 KMTNet 관측 영상의 실시간 자료처리를 위해 국제 연구망과 연동하였고, 실시간 자료전송 시스템을 구축하였다. 현재는 각 관측소별로 하나의 네트워크 망으로만 구축되어 있어 국제 정세나 화산, 지진 등의 자연재해로 인해 네트워크 망에 문제가 발생하여 자료 전송이 불가능해 질 수도 있다. 그러므로 우회 네트워크 망을 확보하여 KMTNet 관측 영상 전송이 원활히 이루어지도록 해야 할 것이다.

## REFERENCES

- Kim, D. -J., Lee, C. -U., Kim, S. -L., & Park. B. -G., 2013, Development of Real-time Data Reduction Pipeline for KMTNet, PKAS, 28, 2
- Song, J. S., 2010, Research & Testbed Network, Hundred times Faster than the Internet, Narakyongje, 2010 January, 44
- Korea Institute of Science and Technology Information (KISTI), 2014, Support Cases for Advanced Applications on KREONET, 13
- Smith, R. C. & Lambert, R., 2014, AURA Networking Update April 2014, SAACC meeting, 2