
홍수 및 수질 오염 감시용 지능형 고속 광 통신 시스템 개발에 관한 연구

이진영*

The study on the development of intelligent optical communication system to monitor flood and water pollution

Jin-Young Lee*

요 약 본 연구는 강유역의 홍수 및 수질 오염을 보다 효율적으로 관리하기 위해 고품질의 영상정보를 고속으로 전달할 수 있는 광통신 장치로 기존의 장치에 비해 저렴하면서도 네트워크 광선로 및 장비상태를 실시간으로 모니터링이 가능한 시스템을 제안한다. 홍수 통제용으로 이용되는 통신장비는 주로 무인함체 내에 설치되어 있고 이는 장거리 구간의 강 하구에 위치한 홍수 통제소에서 운용하고 있기 때문에 광 케이블의 절단이나 노화 등에 의한 통신 장애 발생시 신속한 대처가 어려운 문제가 있다. 따라서, 본 연구에서는 광 선로를 이용하여 고품질의 영상정보를 고속으로 전달할 수 있으면서도 위와 같은 사고 발생시 1차적으로 이중화 광 케이블 보호절체 기능을 이용하여 문제를 해결하고, 실시간 모니터링 기능으로 발생 지점을 실시간으로 통보해줌으로써 보다 효율적인 관리가 가능한 시스템을 제안하였다. 또한, 제안된 시스템은 지능형 교통 시스템 등 다양한 분야에서 폭넓게 활용이 가능할 것으로 판단된다.

주제어 : 광인터넷, 광전송 변환 시스템, 보호절체

Abstract This study is aimed at suggesting optical communication equipment that can deliver high quality video information in high speed, to efficiently handle the flood and water pollution in the river basin. This system is cheaper than existing equipment, and can monitor optical Internet as well as the condition of equipment. Generally, the communication equipment to prevent flood is installed in an unmanned control box and operated by the flood control office situated at the river mouth in a long distance section. Therefore, it is hard to promptly cope with communication interruptions, which occur by the cutting or aging of the optical cable. Under the circumstances, this study suggested an efficient system that can deliver high quality video information in high speed (Optical Transmission Convert System) by using optical fiber. The system also solves problems by making use of automatic protection switching (APS) when an accident happens. Its real-time monitoring function gives notice of the problem-occurring points. The system is expected to be widely used in various areas such as intelligent traffic systems.

Key Words : Optical Internet, Optical Transmission Convert System, APS(Automatic Protection Switching)

1. 서 론

현대 정보화 사회에서 컴퓨터 통신은 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 통신 속도의 급격한 발전으로 인해 그 활용범위는 더욱 폭넓게 확대되고 있다. 특히, 국내에

서는 2004년부터 본격적으로 FTTO(Fiber To The Office)와 FTTH(Fiber To The Home)가 보급되면서 전국적인 광 케이블 기반의 초고속 통신망을 이용한 보다 효율적인 업무와 생산성 향상을 위한 연구가 진행되고 있다. 그중에서 강유역의 홍수 및 수질 오염 감시등을 보

* 본 논문은 강남대학교 연구과제로 수행되었음.

*강남대학교 교양학부 교수

논문접수: 2012년 10월 22일, 1차 수정을 거쳐, 심사완료: 2012년 11월 14일

다 효율적으로 관리하기 위해 고품질의 영상정보를 고속으로 전달하고 동시에 원거리 전송이 가능하면서도 비용이 저렴한 시스템의 개발이 가능하게 되었다.

홍수 통제용으로 사용되는 통신 장비는 다수의 관측 지점의 무인함체 내에 설치되어 있으며 장거리로 떨어진 강 하구에 위치한 홍수통제소에서 네트워크를 통해 운용되고 있다. 따라서, 광 케이블의 절단 및 노화 등으로 인한 통신 장애 원인을 빠른 시간내에 대처 할 수 있도록 광 선로 및 장비상태를 실시간으로 모니터링할 수 있는 시스템이 요구되어진다.

본 연구에서 광송수신이 가능한 모듈을 이용하여 단일 파장만으로 데이터의 송수신이 가능하고, 파장분할다중화(WDM: Wave Division Multiplexer) 소자를 이용하여 기존 방식에 비해 광 선로를 더욱 효율적으로 운용할 수 있도록 하면서 통신구 화재, 자연 재해 등의 사고에 대해 실시간으로 대체할 수 있도록 광케이블 보호절체 기능을 지원하면서 실시간 모니터링이 가능한 시스템을 제안한다.

2. 연구내용 및 개발방법

2.1 연구내용

광인터넷(Optical Internet) 기술이란 광 네트워크 기술과 인터넷 기술을 결합하여 망을 고도화하는 기술을 의미하는데 패킷전달 측면에서 IP패킷을 광 네트워크를 통하여 효과적으로 전달하는 기술과 망 신호 및 제어 측면에서는 IP 기술을 광 네트워크의 구성, 제어 및 관리를 위한 수단으로 사용하는 것으로 IP망의 광 네트워크 신경망 역할을 하여 광 네트워크의 효율을 증대시키는 기술로 나누어진다[1].

광인터넷 가입자가 광인터넷 서비스를 실시간으로 제공받기 위해서는 단말 장치로부터 기간망의 서비스 노드 장치까지 가장 경제적이고 효율적으로 연결시켜 주는 광가입자망 기술은 수동형 PON 기술과 능동형의 AON, WDM Ring 기술등이 있다. 또한, 광 가입자망 기술 중 Ethernet 기술은 기존에 SONET/SDN 광 장비에서만 실현한 보호절체 기술, OAM 기술 등이 추가되어서 캐리어급 Ethernet 기술이 개발되고 있으며, 이는 매우 우수한 가격 경쟁력과 단말 접속의 용이성으로 인해 향후 백본망에서 SONET/SDH 장비를 대체할 것으로

예상하고 있다. 또한, 광 이더넷(Optical Ethernet) 기술은 기존의 메트로 이더넷(Metro Ethernet) 기술 뿐만 아니라 무선 LAN 및 WiBro 등과 같은 무선 액세스를 그대로 통합 수용할 수 있어 BcN 등과 같은 통합 액세스 환경에 가장 효과적인 전달 수단을 제공한다. 그리고 액세스 구간의 QoS와 백본 구간의 QoS 제어 방식을 연동하여 프레임 형태의 변경 없이 종단간 서비스 품질을 보장할 수 있다[4].

대용량의 광 케이블과 광교환장치(OXC; Optical Cross-Connect)로 구성된 광 네트워크는 광선로를 사용하여 각 링크의 대역폭은 매우 큰 반면에 광 화이버 절단이나 광교환장치의 고장시 광인터넷 설계나 운용관리 차원에서 신속하게 복구하지 않으면 서비스의 질과 연속성에 치명적인 영향을 주게된다. 따라서, 망의 생존성을 위해 시스템 및 선로의 이중화가 필요한데 이는 많은 비용을 초래하는 단점이 있다.[3] 이는 각 링크의 고장 발생시 망 전체 차원에서는 50ms 이내에 절체를 시킬 수가 없기 때문에 모든 링크를 이중화시키는 것이다[1][2]. 이를 IP 기술을 활용하여 망 전체의 토폴로지와 망 리소스 운영 상태를 점검하여 일부 구간의 고장 발생시에 이를 빠른 시간 내에 우회 선로의 재구성을 가능하게 하면 망 전체 투자비를 혁신적으로 줄일 수 있다. 따라서, 본 연구에서 제안된 시스템은 50ms 이내의 절체 시간을 목표로 한다 [5][7].

일반적으로 강 유역의 홍수 및 수질 오염 감지는 주로 센서 및 Giga bps급의 고화질 디지털 비디오를 이용하여 이루어지고 있으며 이를 위해서는 고가의 디지털 전송 장치의 설치 및 운영이 요구된다. 이러한 장치들은 주로 무인함체내에 설치되기 때문에 장비의 소요면적 과대 필요, 고가의 설치비용 등으로 일부지점에서만 운영되고 있다. 또한, 통신 장애시 장애지점을 사람이 직접 장비점검장치인 광 케이블 거리측정 장비(OTDR; Optical Time Domain Reflectometer)를 이용해 예상 지점의 전·후 지점의 광 모듈에서 커넥터를 연결하여 측정하게 되므로 장애복구에 어려움이 많다. 반면, 제안된 시스템을 적용하면 통제소에서 실시간으로 GUI 상으로 확인이 가능하므로 짧은 시간내에 장애지점을 확인하고 조치 할 수 있다. 이는 망의 운용 효율을 제고하여, 망 운영 비용(OPEX; Operating Expenditure)을 혁신적으로 절감할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 홍수 및 수질 오염 감시 등을 보다 효율적으로 하기 위해 고품질의 영상정보를

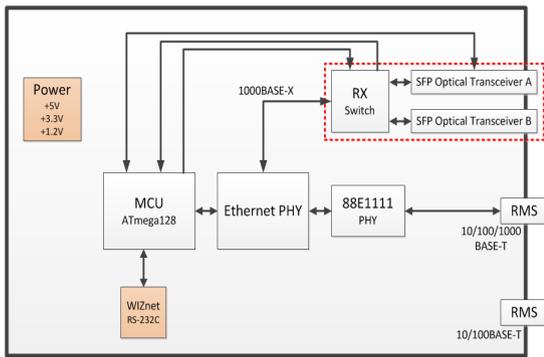
고속으로 전달하고 동시에 원거리 전송이 가능하면서도 비용이 저렴한 미디어 컨버터 개발을 목표로 하며 광 신호의 상태를 감시하여 절단 및 노화 등에 의한 통신장애를 실시간으로 감시할 수 있는 시스템을 제안한다.

2.2 개발 방법 및 기술

본 연구는 크게 제안된 장치인 지능형 광 전송 기가비트 컨버터의 하드웨어 개발과 네트워크를 통한 광 모듈 상태 모니터링을 위한 모니터링 소프트웨어 개발로 나누어진다.

2.2.1 광 전송 Gigabit 컨버터 기능 구현

본 연구에서는 자동 보호절체 기능(APS:Automatic Protection Switching)을 제공하는 Gigabit Ethernet 기반 광 스위치가 적용된 광 전송 기가비트 컨버터의 개발을 목표로 하며 구성도는 그림 1과 같다.

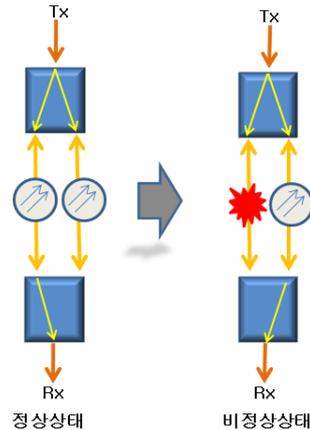


[그림 1] 광 전송 기가비트 컨버터 시스템 구성도

제안된 광 전송 기가비트 컨버터는 광 송수신기 두쌍과 두 개의 물리계층 구동 IC, 그리고 하나의 보호절체 스위치 및 제어부로 구성된다. 광 송수신기에 해당하는 모듈은 유연성과 다양성 그리고 유지보수의 용이 및 비용절감을 위해 SFP(Small Form-Factor Pluggable)형 광 모듈을 적용하였다.

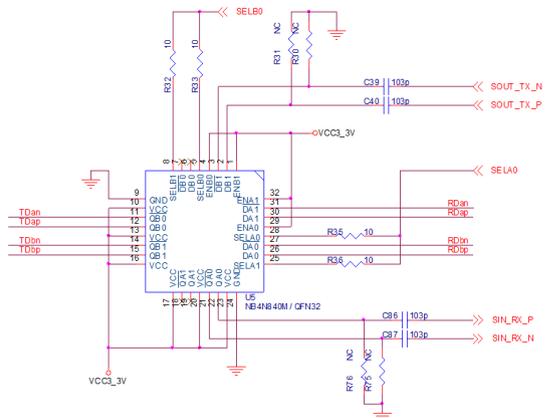
보호절체 기능을 제공하는 광 컨버터는, 정상상태에서는 정상상태 광섬유를 통해 다른 노드와 통신하는 반면, 보호절체가 이루어지면 물리계층에서 전기적인 스위치를 통해 보호절체가 광섬유를 통해 다른 노드와 통신하게 된다. 따라서, 자동 보호절체(APS; Automatic Protection Switching) 기능을 가진 광 스위치를 구현하기 위해 양방향으로 전송된 광신호의 LOS(Loss Of

Signal)을 감지하여 물리계층 칩(PHY1, PHY2)과 보호절체 스위치를 제어할 수 있는 보호절체 제어부를 개발·적용하였고 양방향 광전송에 따른 레일리 후방 산란(Rayleigh back scattering) 및 반사를 회피할 수 있는 LOS 감지 기술을 적용하였다.



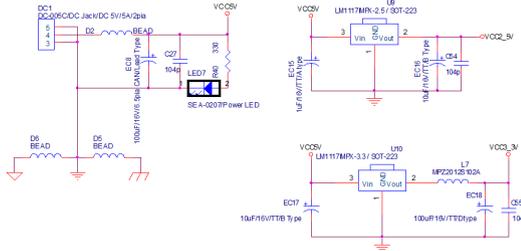
[그림 2] 자동보호절체 시스템 구성도

또한, 이더넷을 사용하면서도 크로스포인트 스위치(Crosspoint Switch)를 사용하여 보호절체가 가능하며 물리 계층의 보호절체를 통해 보다 빠른 보호절체가 가능하도록 하여 고속 멀티미디어 통신에 적용이 가능하도록 하였다. 그림 3은 개발된 크로스포인트 스위치의 회로도이며 광 라인의 직접적인 광 Los 신호에 의한 인터럽트 발생과 동시에 “SELA0”의 신호를 제어함으로써 “광 모듈 N”에서 “광모듈 P”로 절체하도록 설계하였다.



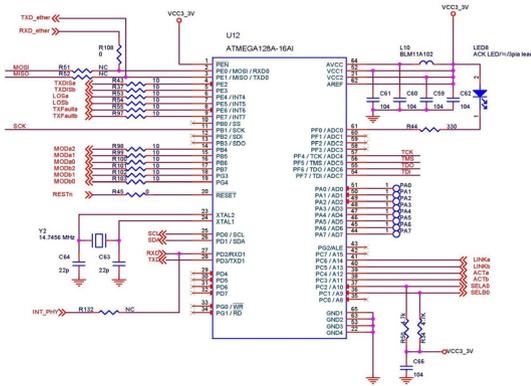
[그림 3] 크로스포인트 스위치 회로도

또한, 제안된 시스템은 하드웨어와 소프트웨어 개발의 기간을 단축하고 다양한 분야에서 활용이 가능하도록 상용화된 TCP/IP 모듈을 적용하여 확장성을 제고하도록 설계하였으며, 메인 +5V의 2A 전원을 공급받아 아날로그 및 디지털 전원 분리 작업 후 1.0V 와 2.5V, 3.3V의 전원을 정전압 IC로 사용하도록 하였다.



[그림 4] 전원 공급 회로도

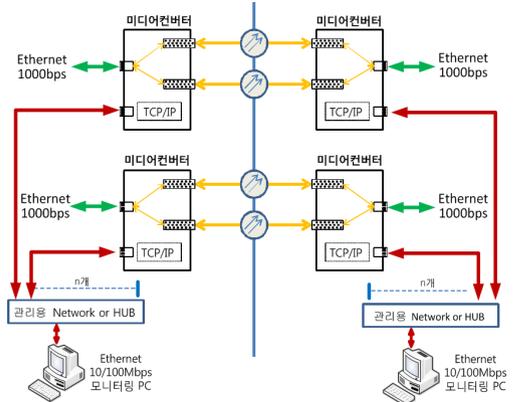
메인 컨트롤에 해당하는 CPU는 광 모듈 및 Switch chip, TCP/IP 모듈을 감시·제어함으로써 미디어 컨버터의 상태 정보를 수집하여 서버로 데이터를 전달한다. 그림 5는 메인 컨트롤 CPU의 회로도이다.



[그림 5] 메인 컨트롤 CPU의 회로도

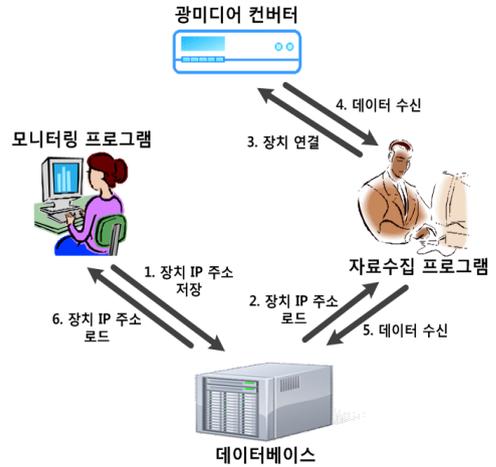
2.2.2 네트워크를 통한 광 모듈 상태 모니터링 및 관리 시스템 구현

본 연구에서 제안된 광 전송 기가비트 컨버터 이하 광 미디어 컨버터는 광모듈의 상태를 모니터링 및 관리하기 위해 관리용 PC와의 연결을 위한 RJ45 타입의 10/100Mbps 포트를 지원하고 TCP 혹은 UDP 통신을 통해 정보를 수집하도록 설계하였다. 광미디어 컨버터를 이용한 광 통신 선로의 운영 구성은 그림 6과 같다.



[그림 6] 광 통신 선로 운영 구성

특히, 광미디어의 상태에 대한 정보를 실시간으로 모니터링하기 위해 다양한 GUI 화면을 구현하고 광 케이블의 단선으로 인한 장애 발생시 즉각적으로 그 위치를 확인할 수 있도록 하여 유지보수 시간과 비용을 최소화할 수 있도록 한다.



[그림 7] 모니터링 시스템의 구성도

2.2.2 네트워크를 통한 광 모듈 상태 모니터링 및 관리 시스템 구현

모니터링 및 관리 시스템은 광미디어 컨버터로부터 광선로와 장비의 상태에 대한 정보를 실시간으로 수집하는 자료수집 프로그램과 수집된 자료들을 분석·처리하는 모니터링 및 관리 프로그램으로 구성된다. 모니터링 및 관리 프로그램은 기본적으로 국내 지도를 기반으로 광미디어 컨버터가 설치된 장소를 지도상에 직접 표기하여 장애 발생시 위치를 손쉽게 확인할 수 있도록 설계하였으며 장비 상태를 실시간으로 확인 가능하도록 하였다.

3. 연구 결과 및 분석

본 연구에서 제안된 시스템의 광 전송 속도는 광미디어 컨버터에 적용된 광 모듈의 특성에 따라 결정되므로 개발된 광미디어 컨버터에는 최대 2.7Gbps를 지원하는 SFP형 광 모듈을 적용하였다.



[그림 8] SFP형 광 모듈

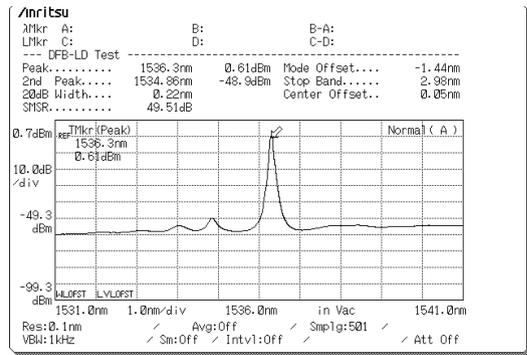
광 수신감도 측정을 위해 광 파워미터 및 가변 감쇄기를 이용하여 그림 9와 같이 구성한 후 전송 라인에 데이터를 전송한 후 가변 감쇄기 값을 조정하면서 에러가 발생하는지를 확인한다. 만약, 에러가 발생하면 가변감쇄기와 광모듈 Rx와 연결된 케이블의 광 모듈 Rx를 광 파워미터에 연결하여 광 파워 메타값을 확인한다.



[그림 9] 광 수신 감도 테스트 환경

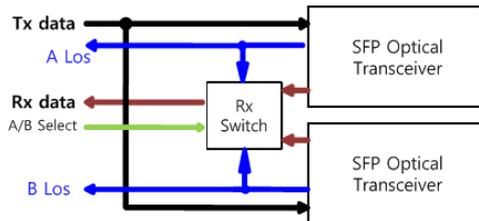
상기 시험을 1.25Gbps BER 10⁻¹²의 기반에서 10회 반복한 결과의 평균값을 확인한 결과 -35.4dBm 이하로 목표치 -36dBm와 매우 근소한 차이가 있는 것으로 나타났으나 실제 운영상에는 문제가 없는 것으로 판단되었다. 광모듈의 일반적인 요구 성능은 레이저 다이오드 (LD:Laser Diode)의 중심파장 최대 피크 값이 1550nm±50nm의 범위에 들고 최대파워와 주변모드 억제율(SMR; Side Mode Suppression Ratio)은 30dB 이상이

다. 따라서, 개발된 시스템을 광스펙트럼 분석기로 2.5G 광파장 시험 결과 그림 10에서의 같이 최대 피크 값 1534.86nm와 SMR 49.51dB로 측정되어 요구조건에 충족된 결과를 얻었다.

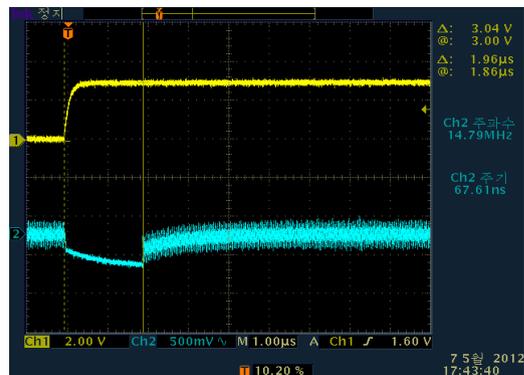


[그림 10] 광 스펙트럼 분석기에 의한 결과 화면

TCP/IP 패킷 등의 복구 시간을 측정하지 않고 광미디어 컨버터의 광 전송단의 실제 절체 타이밍을 측정하기 위해 그림 11과 그림 12에서와 같이 “A Los”와 “Rx data”에 오실로스코프를 연결하여 타이밍을 측정한 결과 2μs(Micro Second)으로 측정되어 목표치에 합당하였다.



[그림 11] 광 보호절체



[그림 12] Rx Data 라인에 절체 타이밍 측정

최대 관리 노드 수는 소프트웨어적으로 TCP/IP를 부
 여할 수 있는 IP 노드 수는 최대 250개로 설정하였으며
 시뮬레이션 결과 TCP/IP MAC Address와 SQL 데이터
 베이스를 100개의 노드에 적용한 결과 이상없이 동작되
 는 것을 확인하였다.

개발된 제품의 하드웨어 성능을 목표치와 비교한 검
 증 내용은 표 1과 같다.

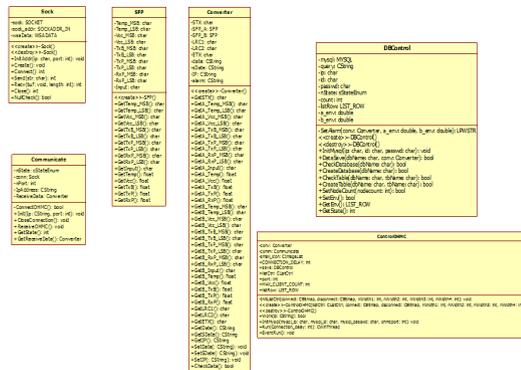
〈표 1〉 개발 하드웨어 성능 데이터

평가항목	단위	개발 목표치	개발제품 성능	평가방법
광 전송 속도	Mbps	2500	2700	광전송량 측정
광 수신 감도	dBm	-36	-35.4	1.25Gb/s BER 10-12
보호절체 시간	msec	20 ^{주)}	0.002	전송지연 제외 실측
최대 관리 노드 수량	ea	100	250	노드수 측정

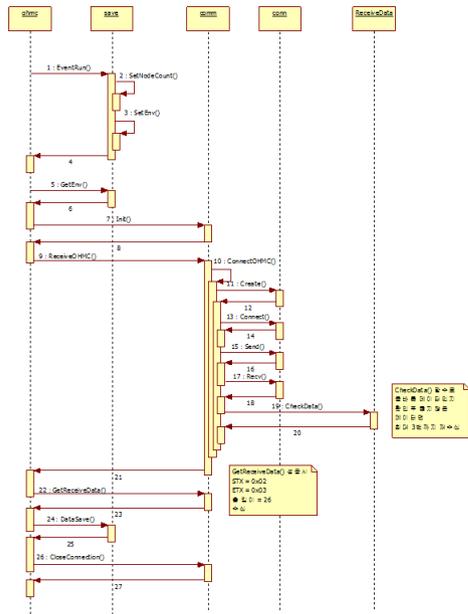
주)TCP/IP 패킷 등의 복구시간을 포함한 시간

개발 시스템에 적용된 소프트웨어는 통신 주기, 통신
 포트, 데이터베이스 관련 항목 등을 설정하는 자료수집
 프로그램과 데이터베이스로부터 수집된 정보를 이용하
 여 광미디어 컨버터의 상태를 실시간으로 확인하고 오류
 발생시 경보음과 함께 오류 발생 위치와 내역을 메시지
 로 즉시 알려주도록 구성된 모니터 및 관리 프로그램으
 로 구성되어 있다.

그림 13과 그림 14는 개발 프로그램의 클래스 다이어
 그램과 시퀀스 다이어그램이다.

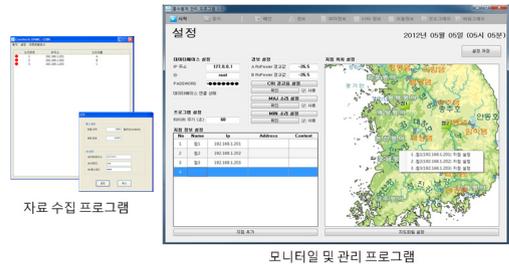


〔그림 13〕 클래스 다이어그램



〔그림 14〕 기본 동작의 시퀀스 다이어그램

자료수집 프로그램은 통신주기, 통신포트, 데이터베이
 스 IP, 데이터베이스 ID와 비밀번호 등을 설정할 수 있도
 록 구성되어 있으며 광미디어 컨버터의 설치 위치와 관
 련 설정 등은 모니터링 및 관리 프로그램에서 설정하도
 록 하였다.



〔그림 15〕 개발 소프트웨어의 화면

모니터링 및 관리 프로그램은 광미디어 컨버터 및 테
 이터베이스 관련 설정을 위한 화면과 장애 발생시의 경
 보 화면 그리고 각 정보를 확인할 수 있는 설치 사이트
 정보 화면, 로그(Log) 정보 화면, 모듈 정보 화면, 파워
 그래프 화면, 온도 그래프 화면 등으로 총 7가지의 그룹
 의 GUI(Graphic User Interface) 프로그램으로 개발되었
 다. 그림 16은 그림 15의 설정 화면을 제외한 나머지 화
 면이다.



[그림 16] 설정 화면을 제외한 나머지 화면

경보 화면의 경우, 광 선로의 감시 및 처리에 신속성의 요구에 따라 등급별로 표2와 같이 분류하여 상황에 따라 적절한 조치를 취할 수 있도록 하였다.

<표 2> 경고 메시지의 분류

메시지	내용
CRI	CRITICAL 경보로 2중화된 전송 라인 및 장비가 고장으로 시스템이 마비된 상태
MAJ	MAJOR 경보로 전송 라인 중 한 라인이 고장으로 전송 기능은 정상이나 위험한 상태
MIN	MINOR 경보로 미비한 경보 수준으로 장비의 변화나 이벤트 등으로 발생

현재 다수의 광미디어 컨버터 장비는 단순히 광세기만을 감시하고 있으나 신호의 전송 성능을 나타내는 광신호 대 잡음비(OSNR), 소광비(Extinction Ratio), BER(bit error rate test or tester)등 다양한 측정이 요구되는데[3] 본 연구에서는 모듈의 상태, 온도 변화, 파워 변화에 대한 상태를 확인할 수 있도록 하였다. 특히, 온도 변화 그래프의 경우에는 광모듈이 온도에 민감한 특성을 이용하여 광미디어 컨버터의 설치 장소의 주변환경에 온도 변화를 상대적으로 모니터링하는 참고용 자료로 활용될 수 있다.

광모듈 수신 파워(RxPower) 그래프 화면의 경우에는

일반적으로 Rx 파워의 값은 일정해야 하나 값의 변화가 발생하면 광 케이블 라인의 이상 원인이 발생하고 있음을 나타내므로 이에 대한 적절한 조치를 사전에 취할 수 있도록 해준다. 이상의 개발 시스템에 적용된 소프트웨어의 개발환경은 표 3과 같다.

<표 3> 소프트웨어의 개발환경

항목	개발환경
운영체제	Windows 7
컴파일러	Visual Studio 2008 Professional Edition
데이터베이스	MySQL 5.5.19-win32

4. 결론

본 논문에서는 강유역의 홍수 및 수질 오염을 보다 효율적으로 감시·관리하기 위해 고품질의 영상정보를 고속으로 전달할 수 있는 광통신 장치와 통신 장비에서 신속한 대처가 가능하도록 광선로 및 장비상태를 실시간으로 모니터링할 수 있는 시스템을 제안하였다.

특히, 이더넷을 사용하면서도 크로스포인트 스위치를 적용하여 보호절체가 가능하도록 구현함으로써 물리계층의 보호절체를 통해 보다 빠른 보호절체가 가능하도록 하여 고속의 멀티미디어 통신에 적용이 가능하도록 하였다. 따라서, 광 케이블의 절단이나 노화로 인한 통신장애 시 신속히 대처할 수 있도록 하여 망의 신뢰성을 높이고 시스템에 적용된 실시간 모니터링 소프트웨어는 비상상황에 효과적으로 대처할 수 있도록 하였다.

현재 국내에서는 각 하천별로 지자체나 각 지방국토청별로 별도의 환경 감시망을 구축·운영하고 있는데 제안된 시스템을 적용하면 전국각적인 통합 관제소의 운영이 가능하기 때문에 통합 홍수 및 감시망 구축이 가능하다.

제안된 시스템은 국내 4대강 홍수 및 환경 감시망에 활용하기 위해 하천별 관리 센터에 공급하여 시험 운용중에 있으며, 산림청 등에 산불 예방 및 경보망에도 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 향후 연구 과제로는 안드로이드 기반의 스마트폰 단말기에서 원격으로 홍수 및 환경 감시망을 실시간으로 모니터링할 수 있도록 하고 효율적인 통합관리를 위해 클라이언트/서버 기반의 시스템으로의 연구가 요구되어진다.

참 고 문 헌

- [1] 김정윤, 최준균, 이우섭, “광인터넷 기술”, 한국정보통신기술협회, TTA Journal, no.108, pp.124-131, 2006.12.
- [2] 신상배, 조성대, 박영일, “Ethernet 기반 가입자망의 보호 및 절체에 대한 연구”, 한국통신학회논문지, Vol.27, No.10C, pp.933-936
- [3] 엄종훈, 김근영, 채창준, “광 인터넷의 보호 및 복구 기술”, 전자공학회지, 제27권, 제6호, pp.604-616, 2000.6
- [4] 최준균, “IT839 전략 표준로드맵 완료보고서” 한국정보통신기술협회, ver.2006, pp.182-214, 2005.12
- [5] J. Ryoo et al., “Ethernet Ring Protection for Carrier Ethernet Network”, IEEE Comm. Mag., Sep. 2008, Vol. 46, No. 9, pp.136-143
- [6] P. Benenfant, “Protection and Restoration in Optical Network,” OFC’99, Tutorial, Feb. 1999, pp.199-216
- [7] T. H.Wu, Fiber Network Services Survivability, Artech House, Norwood, Mass., 1992.

이 진 영



- 1990년 2월: 단국대학교 토목공학과 (공학사)
- 1995년 2월: 단국대학교 전산통계학과(이학석사)
- 1998년 8월: 단국대학교 전산통계학과(박사과정 수료)
- 1999년 9월~현재: 강남대학교 교양학부 부교수

· 관심분야: 소프트웨어공학, 생체인식, 정보통신

· E-Mail: goodman3@kangnam.ac.kr