

광센서와 카메라를 활용한 비접촉식 낙석감지 시스템 개발 및 적용

정용복¹⁾, 송원경^{1)*}, 김복철²⁾, 김명진³⁾

Development and Application of Non-Contact Rock Fall Detection System utilizing Photo Sensor and Camera

Yong-Bok Jung, Won-Kyong Song, Bok-Chul Kim, Myung-Jin Kim

Abstract Rockfall monitoring systems generally used in the country are mainly based on the detection of tension of protection wire or tilting of protection post due to rock fall. However, rock fall protection net must be installed prior to the monitoring system and continual maintenance work after each rock fall event is required for a normal operation of these detection systems. To solve these problems, we suggested and implemented a non-contact rock fall detection system using multiple photo sensors and additional camera. After a laboratory experiment and field application, we can conclude that this system is effective and reliable for detecting, collecting and analyzing the rock fall information. In addition, lighten and difference operations on two captured images were able to yield rough estimation of size and direction of rock fall.

Key words Photo sensor, Non-contact rock fall detection, Real-time monitoring, Image analysis

초 록 국내에서 현재까지 개발되어 적용된 낙석감지 시스템은 주로 낙석방지망에 와이어나 광섬유, 또는 경사계를 설치하여 와이어의 장력을 측정하거나 낙석 발생에 의해 와이어 단락이나 낙석방지망의 변형 또는 기울어지는 것을 감지하여 낙석을 확인하는 시스템들이다. 이러한 방법들은 낙석방지망이 먼저 설치되어 있어야 하며 낙석이 발생하면 일반적으로 관련 센서와 와이어 등에 대하여 재정비를 해야 다시 원래의 기능을 수행할 수 있게 된다. 이러한 단점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 장력이나 변위 측정방식이 아니라 광센서와 카메라가 설치된 구역에서 낙석 통과 여부를 비접촉 방식으로 실시간 감지가 가능하도록 하는 방법을 제시하고 이를 구현하였다. 개발된 시스템을 실내실험 및 현장 적용을 한 결과 낙석 관련 정보를 효과적으로 수집하고 분석할 수 있었다. 또한 낙석 감지 전후 획득한 2장의 사진에 대하여 lighten 또는 difference 연산을 적용할 경우 낙석의 크기와 이동 방향에 대한 개략적 평가가 가능하였다.

핵심어 광센서, 비접촉 낙석 감지, 실시간 모니터링, 사진분석

1. 서 론

국내에서는 전국을 연결하는 도로와 철도의 건설로 인하여 다수의 사면이 형성되고 있으며 시공 이후에도 폭우나 태풍, 지진과 같은 기상재해 발생시 완전 붕괴나 낙석 등이 발생하여 인명과 재산에 피해를 주는 경

우가 많다. 2002년 8월에 발생한 태풍 루사에 의해서 발생한 전국 국도변 도로의 유실과 절개사면 붕괴사고는 약 121개소에 달하였다(배규진 외, 2008).

이와 같은 사면 붕괴는 자연재해에 해당되기도 하지만 지속적인 연구와 대책을 마련해 간다면 피해 규모를 줄일 수 있다. 최근에 사면 붕괴를 예측하고 사전에 조치하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 이 중 IT분야의 기술을 도입하여 고속도로, 일반국도, 철도 사면 유지관리시스템이 관련 기관에 의해 운영되고 있다.

현재까지 개발되어 적용된 낙석감지 시스템은 주로 낙석방지망에 와이어나 광섬유, 또는 경사계를 설치하여 와이어의 장력을 측정하거나 낙석 발생에 의한 와이

¹⁾ 한국지질자원연구원 지구환경연구본부

²⁾ 한국지질자원연구원 기획조정부

³⁾ (주)휴비스

* 교신저자 : songwk@kigam.re.kr

접수일 : 2010년 6월 7일

심사 완료일 : 2010년 6월 21일

게재 확정일 : 2010년 6월 23일

어 단락이나 낙석방지망의 변형 또는 기울어지는 것을 감지하여 낙석을 확인하는 시스템이다(허광희 외, 2003).

이러한 방법들은 낙석방지망이 먼저 설치되어 있어야 하며 낙석이 발생하면 일반적으로 관련 센서와 와이어 등에 대하여 재정비를 해야 다시 원래의 기능을 수행할 수 있게 된다.

이러한 단점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 장력이나 변위 측정방식이 아니라 검지장치가 설치된 구역에서 낙석 통과 여부를 비접촉 방식으로 실시간 감지가 가능하도록 하는 방법을 제시하고 이를 구현하였다. 또한 개발된 시스템을 실내실험 및 현장 적용을 통하여 그 성능을 확인하였다.

2. 비접촉식 낙석감지 시스템 개발

2.1 방법론

비접촉 방식에서는 일반적인 광센서를 사용할 수 있으나 외부환경에 노출되기 때문에 방수와 충격에 강한 센서를 사용하는 것이 바람직하다. 비접촉 센서는 감지하고자 하는 대상 사면의 규모나 정확도, 감지 가능한 최소 낙석 크기 등을 고려하여 결정하면 된다. 또한 실시간 감지를 위해서는 센서의 반응시간을 고려하여야 한다. 대부분의 광센서는 ms 단위의 반응시간을 가지므로 실시간 감지가 가능한 것으로 판단된다.

낙석이 예상되는 비탈면에 낙석감지를 위하여 일련의 광센서를 일정간격으로 설치하고 설치된 광센서의 발

광부와 수광부 사이에 낙석이 떨어질 경우 센서의 감지 개수와 감지시간을 측정하여 낙석을 감지하고 크기를 측정하며 낙석발생 시 주변상황 확인을 위하여 온습도 센서, 강우량계를 사용하여 기후데이터를 수집한다. 또한 센서 감지물체가 낙석인지를 판단하기 위하여 카메라를 설치하여 센서 감지 시의 영상을 함께 저장한다. Fig. 1은 이러한 개념의 비접촉식 실시간 낙석감지 시스템의 개념도를 표시한 것이다.

2.2 구현

실시간 낙석감지시스템을 구축하기 위해서는 크게 하드웨어의 구성과 소프트웨어의 구성으로 대별하여 각각의 장치 및 프로그램을 설계하여야 한다.

2.2.1 Hardware

시스템의 하드웨어를 담당하는 부분은 크게 센서부, 데이터수집장치 및 전원공급장치 등으로 구분할 수 있으며, 소프트웨어를 구성하는 부분은 측정프로그램, 측정자료의 분석프로그램, 분석데이터 관리를 위한 데이터베이스 등으로 구분할 수 있다. 이 중, 본 절에서는 낙석감지 시스템을 구성하는 하드웨어적인 부분을 기능별로 분류하여 설명한다.

가. 광센서

본 연구에서는 낙석의 감지가 가능하다고 판단한 레이저, 포토센서, 광센서 중에서 측정거리와 정확도 그리

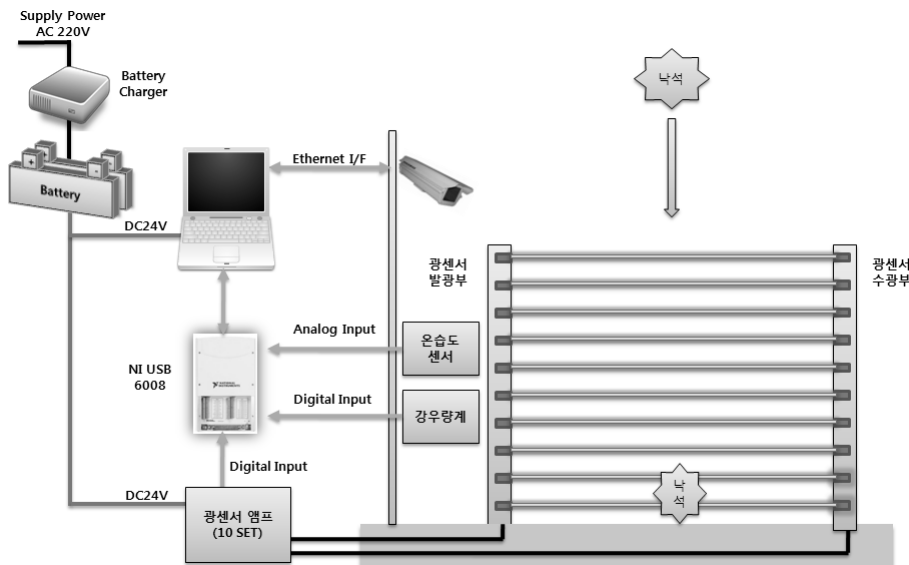


Fig. 1. Schematic diagram of non-contact rock fall detection system

고 내구성을 고려하여 방수형 광센서를 선정하였다 (Fig. 2). 이 센서는 기름이 유입되지 않으며 방수가 되고 견고한 스테인리스와 강철 틀로 되어 있어 충돌로 인한 손상을 방지할 수 있고 전기적 쇼크에 강하다. 또한 상당한 양의 흠먼지 속에서도 강력한 힘의 광선을 제공한다. 그리고 물이나 빗물 등은 투과하기 때문에 외부환경에서 사용하는데 적당하다.

나. 네트워크 카메라

네트워크 카메라는 기존의 아날로그 방식의 CCTV와는 달리 Ethernet기반의 네트워크를 통해 디지털화 된 비디오 스트림을 만들어 내고, 네트워크가 도달하는 한 멀리까지 원격 모니터링을 가능하게 하며, 인터넷 상의 어떠한 원격 위치에서도 모니터링 할 수 있는 카메라이다(Fig. 3).

네트워크 카메라는 IP 네트워크에 직접 연결되어 거리와 장소의 제한이 없으며 네트워크상에서 고품질의 이미지를 전송할 수 있다. 실시간 모니터링과 녹화 영상은 어느 PC를 통해서 세계 어느 곳에서라도 보여 질 수 있다. 또한 적외선카메라로서 야간에 자동으로 LED가 점등되어 야간에도 낙석발생 시 낙석의 형태를 판별할 수 있는 영상을 저장할 수 있다.

다. DAQ

DAQ(Data Acquisition) 란 DAQ 하드웨어를 이용한 아날로그 입/출력, 디지털 입/출력과 카운터/타이머 측정을 총칭하는 말이다. 또한, 여기서 DAQ 하드웨어란 센서나 시그널 컨디셔닝 모듈을 통하여 출력되는 전압값을 컴퓨터가 인식할 수 있는 디지털 신호로 변환시켜 주는 하드웨어를 말한다.

본 시스템에서는 최소 디지털 입력(DI)채널 11개와

아날로그 입력(AI)채널 2개가 필요하며 통신 타입은 넷북에 USB 타입으로 통신할 수 있는 DAQ 하드웨어가 요구되어 NI USB-6008을 선정하였다.

NI USB-6008 은 8개의 아날로그 입력(AI)채널, 2개의 아날로그 출력(AO) 채널, 12개의 디지털 입/출력(DIO)채널, 32비트 카운터를 고속 USB 인터페이스로 연결할 수 있다.

라. 온습도 센서

온습도 센서 THS-200M는 환경관리용, 정밀산업용, 빌딩제어용 등 다양하게 사용되는 정밀급 온습도 센서이다. 첨단 기술의 박막형 고분자 정정용량식 습도센서와 온도검출용 PT100Ω소자를 사용하여 정밀도가 뛰어나며, 마이크로프로세서의 트랜스미터가 4~20 mA의 출력신호를 각종 측정 또는 제어 장치에 전송한다. 고밀도 소결금속 필터가 오염물질이 많은 환경에서 감지소자를 보호하며 필터나사를 분리하여 감지소자를 항상 청결하게 청소할 수 있다. 트랜스미터 회로는 견고한 방습미장 알루미늄케이스에 내장하여 어떠한 열악한 환경에도 사용 가능하며 유동 프랜지로 센서의 삽입 위치를 자유롭게 조절하여 탈/부착이 매우 쉬우며 감지센서와 트랜스미터 회로 부분을 분리하여, 협소한 공간이나 고온 환경에 적합하다.

마. 강우량계

강우량계 WDR-205는 직경 20 cm 수구로 우량을 짐수하여 계량컵과 연계된 센서의 Reed Switch가 빗물 0.5 mm(15.7 cc)에서 1 펄스가 발생하는 강우량계이다. 계량컵은 센서의 베어링에 의해서 동작되어 장기간 사용 시 이물질로 인한 고장이 없으며 습기 또는 곤충 등에 방어적이다.

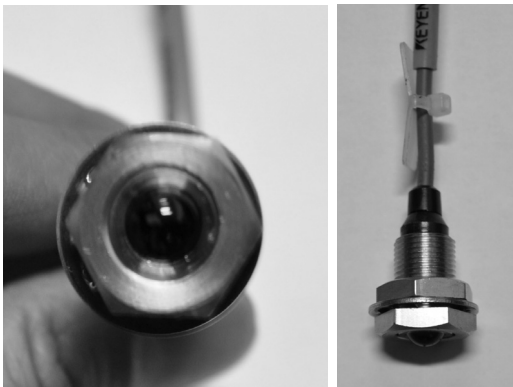


Fig. 2. Waterproof photoelectric sensor



Fig. 3. Network camera

바. 계측제어반 및 기타 부품

이 외에도 정전시 시스템 가동을 위한 배터리와 충전기 등이 있으며 이상의 하드웨어를 제어할 계측제어반은 Fig. 4와 같이 제작되었다.

2.2.2 Software

운용프로그램에서는 측정된 데이터를 가지고 낙석의 크기와 개수, 기후를 분석하고 낙석 발생 시 낙석 이미지를 촬영하며 분석된 데이터와 이미지를 DB 또는 FILE로 저장한다. 또한, 이전에 기록된 데이터를 검색하거나 관리할 수 있다(Fig. 5).

Fig. 6은 낙석감지 처리 알고리즘을 나타낸 것으로서 각 프로세스는 다음과 같은 작업을 처리한다.

- ① 센서에서 감지가 될 때까지 대기하는 부분이다.
- ② 센서에서 처음으로 감지가 되었을 때 처리되는 부분으로 사진을 촬영, 저장하며 감지되었을 때의 데이터를 배열에 쌓는다(사진 촬영과 저장부분은 다른 루프에 있어서 사진이 촬영 및 저장이 완료

되지 않아도 1 ms 단위로 센서 값을 판단하여 감지되고 있으면 배열에 계속 쌓는다).

- ③ 사진 촬영 및 저장이 완료된 후 데이터가 계속 감지되는지를 판단하는 부분이다.
- 계속 감지되고 있는 경우
- ④ 처럼 데이터를 배열에 계속 쌓는다.
- ⑤ 는 계속 감지된 시간이 5초 이상인지 판단하는 부분으로 5초 이상일 경우
- ⑥ 부분처럼 센서 고장 혹은 외부 요인으로 인한 측정 오류상태라 판단하여 감지되는 센서를 측정 센서에서 제외시킨다. 또한 감지했을 때의 사진을 삭제하고 감지 대기 상태로 돌아온다.
- 계속 감지되지 않는 경우
- ⑦ 데이터 측정이 끝났다고 판단하여 데이터 저장 및 차트에 표시하고 감지 대기 상태로 돌아간다(데이터 저장 및 차트에 표시가 완료되기 이전에 다시 센서에 감지가 되더라도 감지가 안 된 경우로 판단한다).

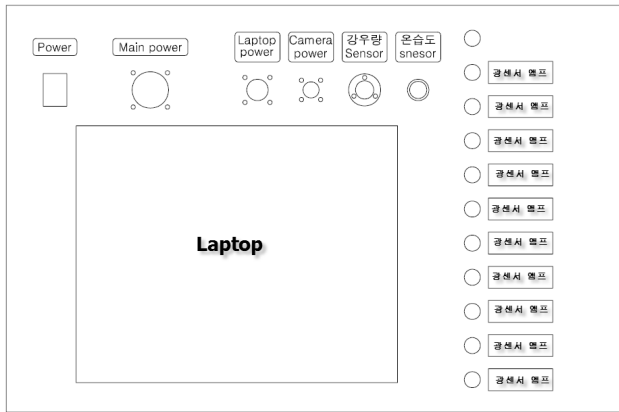


Fig. 4. Main controller of rock fall monitoring system



Fig. 5. Main components and interface of developed software

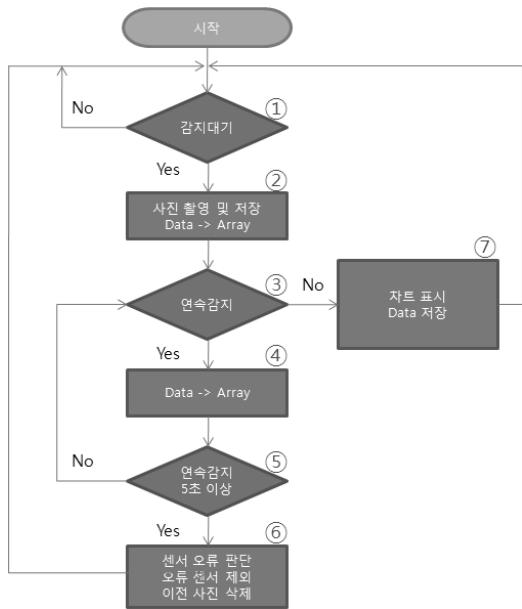


Fig. 6. Flowchart of rock fall monitoring sequences



Fig. 7. Captured image of laboratory rock fall experiment

3. 예비 실내 실험

개발된 시스템이 낙석을 실시간으로 감지하는지를 평가하기 위하여 실내에서 예비실험을 수행하였다. 아크릴 고정판을 사용하여 센서를 10 cm 간격으로 배치한 뒤 상부에서 크기를 알고 있는 박스를 자유낙하 시켜서 적절하게 감지하는지와 크기에 대하여 2차원적인 추정이 가능한지를 검토하였다.

33x19x12 cm 의 종이상자를 약 1 m 높이에서 떨어뜨릴 때 본 시스템은 정상적으로 이를 감지하였으며 가로 크기도 3~4개의 센서에 감지가 되어 20~40 cm 폭임을 알 수 있었다. 낙하 방향의 크기는 낙하속도를 사전에 알아야 정확히 크기를 산정할 수 있지만 수평으로

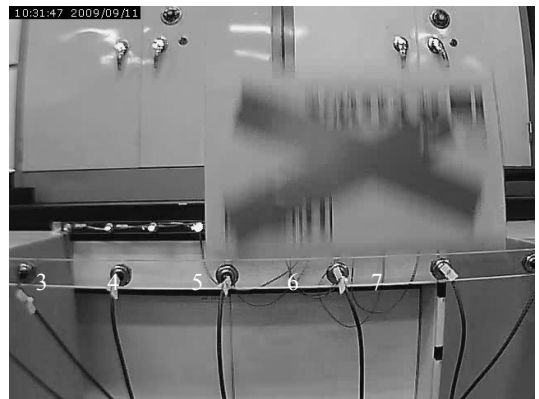
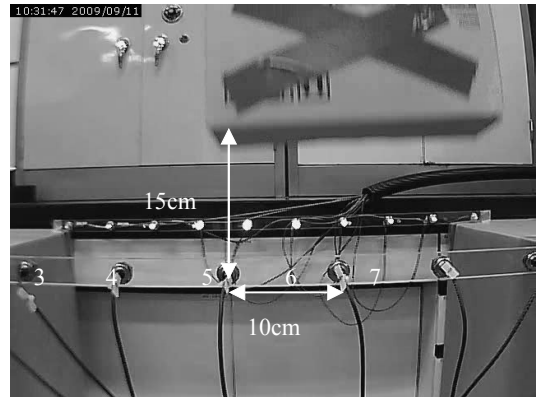


Fig. 8. Captured images before and after sensing of falling body

하나의 배열을 이용한 경우에는 속도를 알 수 없으므로 낙석 해석 등을 통해서 낙석속도를 평가하여 입력하면 이를 사용하여 크기를 계산한다. 2열의 배열을 사용할 경우에는 속도도 자동으로 계산되어 2차원적인 낙석의 크기를 정확히 평가할 수 있게 된다.

Fig. 7은 실내실험에서 낙하물체를 감지한 상태를 캡처한 것이며 Fig. 8은 감지가 시작된 시점과 일정한 시간(첫 번째 이미지 저장 완료 후 두 번째 이미지 요청 사이 소요된 시간으로서 일정하지 않음)이 경과한 후의 이미지를 표시한 것이다. 광센서에서 감지가 시작되고 카메라에 영상을 요청하는 과정에서 완전히 시간을 일치시킬 수는 없었다. 어떤 경우에는 감지되는 시점의 사진과 감지 이후의 사진을 정상적으로 캡처하지만 어떤 경우에는 감지 전의 사진과 감지했을 때의 사진이 저장되기도 하였다. 이는 카메라가 보관하는 디지털 영상 스트림에서 요청 시 전송하는 프레임이 일정하지 않기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 어느 경우라도 낙석을 확인하는 데는 문제가 없기 때문에 그대로 사용하

였다.

Fig. 8의 사진을 살펴보면 두 이미지 사이에서 약 15 cm를 이동한 것으로 추정할 수 있다. 이 경우 낙하속도는 4.5 m/s이며 1 m 높이에서 자유낙하 하는 물체의 이론적인 속도는 약 4.4 m/s이므로 사진을 통해서 낙하물체의 속도를 0.1 m 정도의 오차로 추정할 수 있었다. 그러나 반복실험을 수행한 결과 두 사진이 획득되는 시간이 1/30초로 일정하지 않기 때문에 이미지를 사용한 정확한 속도 파악은 어려움이 존재한다. 카메라 제조사의 정확한 규격이 나온다면 일정시간 간격으로 캡처한 이미지를 통해서 속도를 추정할 수 있으므로 후처리를 통해 좀 더 정확한 낙석의 크기와 속도를 평가할 수 있을 것으로 사료된다.

Fig. 9는 낙석 물체가 광센서에 최초 감지되어 지나가

는 동안의 값을 표시한 것으로서 이 실험의 경우 4개의 센서에 연속해서 3회 감지된 것으로 나타났다. Fig. 9에서 0은 센서 사이에 물체가 없는 경우이며 1은 물체가 있는 것이다. 이 경우에는 회전운동이 없이 그대로 낙하하여 정방형의 패턴으로 나타난 것이다. 회전이 있는 경우에는 Fig. 10과 같이 나타났다. 이 경우 반시계 방향으로 약간의 회전이 발생한 것을 알 수 있다.

연속적인 낙하 실험을 통해서 최초 낙석 감지 후 광센서 자료와 기타 센서자료 및 이미지의 저장과 같은 프로세스를 처리한 후 다시 낙석을 감지할 수 있도록 대기하는 데에는 평균적으로 200 ms 즉, 0.2초가 소요되었다. 이는 낙석시스템 설치 여건상 저전력이 요구되어 컴퓨터의 성능보다는 저전력 요구조건에 맞추어 저 성능의 넷북을 사용하여 나타난 것으로 판단된다.

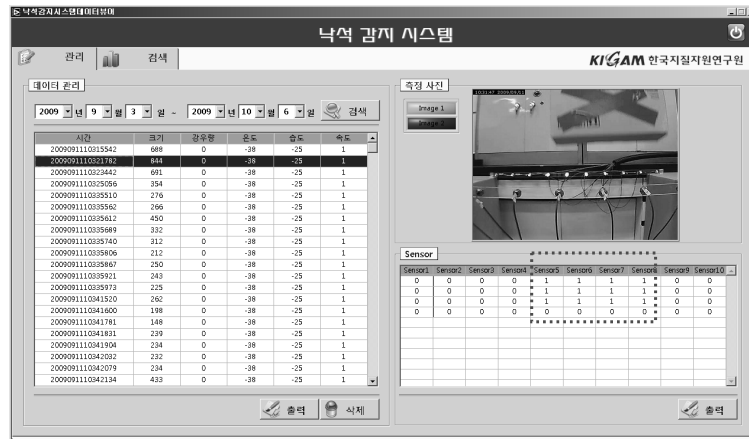


Fig. 9. Sensor data for translation movement of falling body

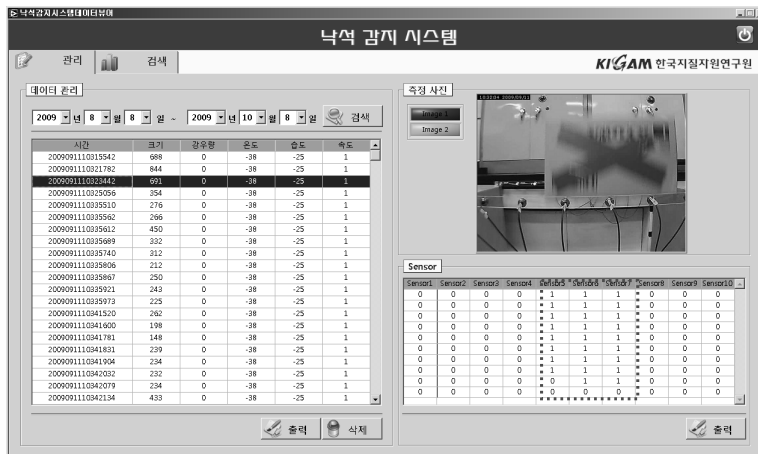


Fig. 10. Sensor data for translation and rotation movement of falling body

최종적으로 낙석 발생 시에 센서감지 및 카메라 영상 저장 등이 신속하게 처리되는 것으로 나타나 본 연구에서 구축한 실시간 낙석감지 시스템은 현장 적용성이 충분한 것으로 판단되었다.

4. 현장 적용

개발된 낙석감지 시스템을 낙석이 예상되는 건물 배후에 설치하여 일정기간 동안 낙석발생 현황을 파악하고자 하였다. 대상 건물 배후는 급경사 자연사면으로서 현장 암석의 특성상 낙석 발생이 예상되며 보강작업 등은 제한되어 있기 때문에 모니터링을 통해서 낙석 발생

빈도나 규모 등을 파악하고자 하였다. Fig. 11은 설치를 하고자 하는 현장의 전경이며 낙석감지 시스템은 건물 배후에 설치하였다.

현장 여건을 고려하여 센서 사이의 간격은 15 cm로 하였으며 발광부는 고정판을 이용하여 센서를 설치하였고 수광부 센서는 건물 외벽에 직접 고정하였다. 카메라는 발광부 상단에서 감지 영역 전체를 포함하도록 각도 및 위치를 정하였다. 온습도계는 외부 계단 측벽부에 설치하여 낙석 감지시 온도와 습도 자료를 동시에 저장할 수 있도록 하였다. 이와 같이 설치된 전체 시스템 및 전경은 Fig. 12와 같다.

설치가 완료된 후 암석을 투척하여 감지여부를 테스트



Fig. 11. A bird's eye-view of field installation site

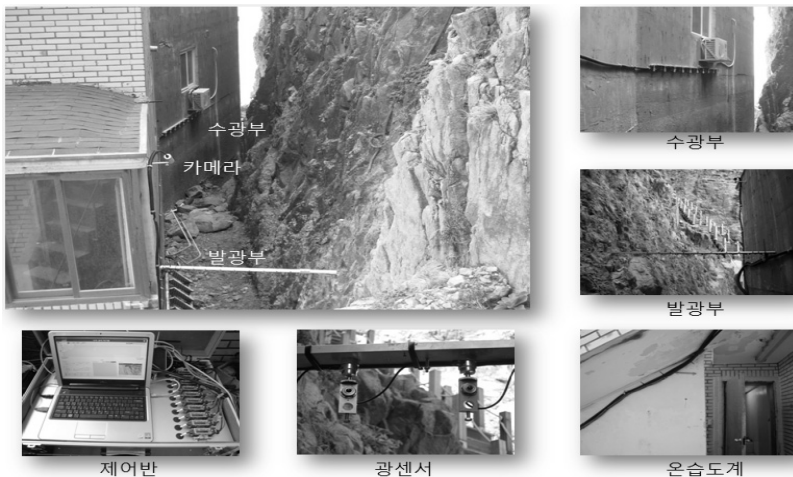


Fig. 12. Photos of installed noncontact rock fall monitoring system

트하였다. Fig. 13은 제어반의 메인 프로그램 화면이며 Fig. 14는 테스트한 암석을 감지한 것을 보여주고 있다. 실내 실험과 마찬가지로 현장 설치 및 테스트 결과 낙석을 잘 감지하는 것으로 나타났다.

5. 토 의

5.1 낙석 크기 추정

본 연구에서 개발된 시스템의 경우 낙석의 크기를 면적으로 추정한다. 먼저 가로 크기는 센서 배열 간격에 영향을 받는다. 따라서 비용과 측정 목적에 따라 적절한 센서 개수 및 간격을 결정하면 된다. 본 현장 적용시 15 cm 간격으로 10개의 센서를 배열하였기 때문에 1.5 m 넓이의 측정 영역과 15 cm의 가로크기 분해능을 가

진다.

낙석의 세로(낙하방향) 크기는 낙하속도와 관련이 있으므로 현재는 추정치로만 계산된다. 정확한 낙석 크기와 속도가 필요한 경우에는 이중 센서배열을 사용하면 되며 이는 추후 시스템 개선에 반영할 예정이다.

5.2 사진 이미지 분석

낙석 감지 후 저장되는 2장의 사진을 분석하면 더욱 쉽게 낙석의 발생 여부, 대략적인 크기, 낙석 형태, 운동 방향 등을 추정할 수 있다. 본 연구에서는 포토샵을 사용하여 두 장의 사진을 겹친 상태에서 픽셀 단위의 다양한 연산을 수행하여 낙석을 가장 잘 검출하는 연산을 결정하였다. 현장 낙석 실험에 대하여 이미지 처리를 적용한 결과 Fig. 15와 같이 픽셀단위의 빼기 연산과 밝

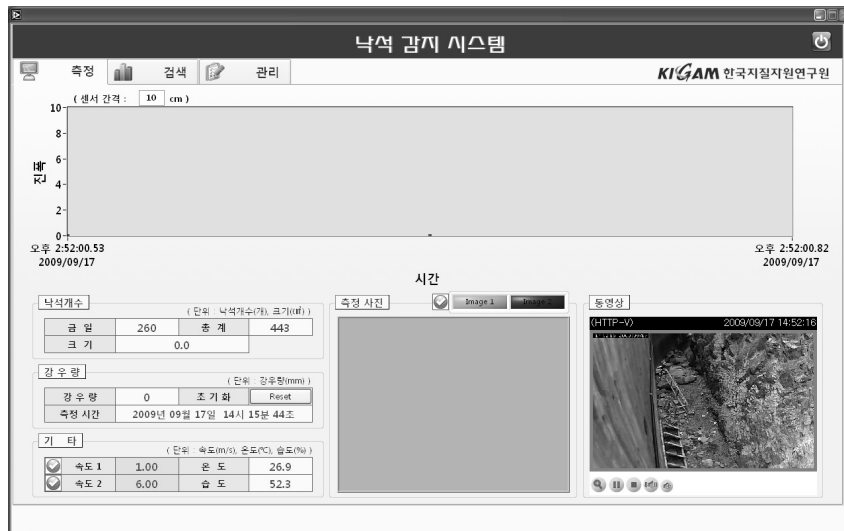


Fig. 13. Screenshot of installed main control program



Fig. 14. Captured photos of artificial rock fall experiment at the installation site

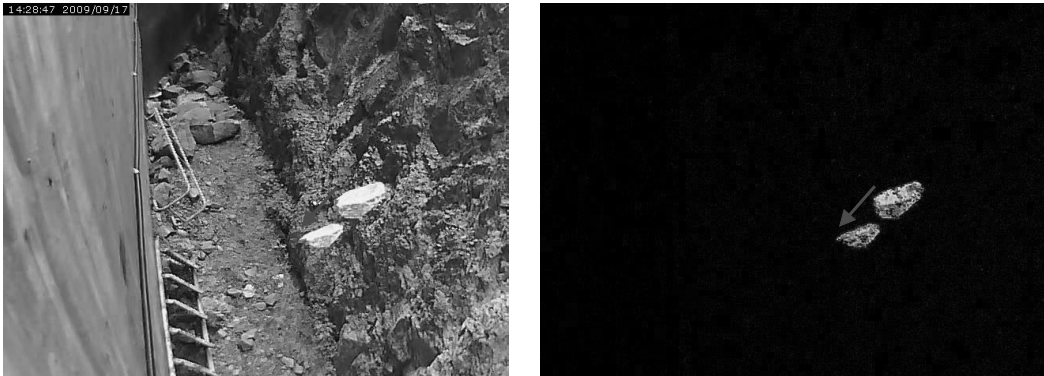


Fig. 15. Results of image processing for rock fall test (left : lighten, right : difference)

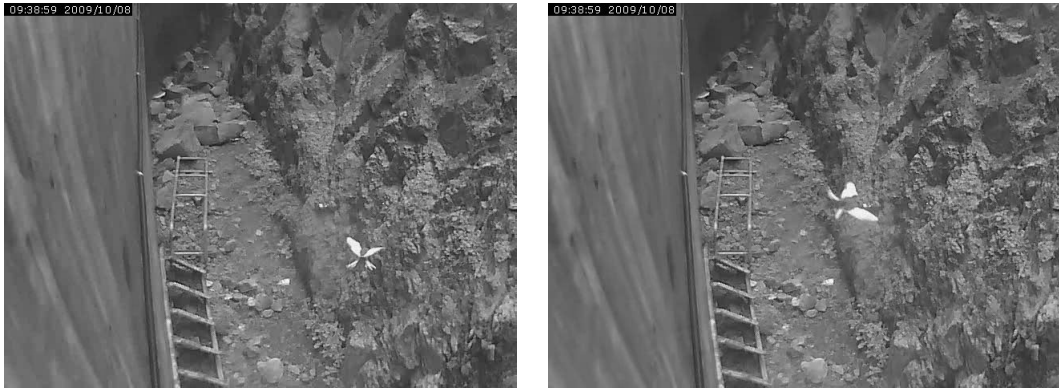


Fig. 16. Noise event due to bird's movement

계하기 연산이 낙석을 가장 잘 검출하였다(원홍선, 2007).

2009년 9월 17일 설치 이후 2009년 10월 12일 까지 실제 낙석은 발생하지 않았으며 낙석 외에 새의 이동에 의한 유사 이벤트도 발생하였다. 새의 경우 Fig. 16과 같이 아래에서 위로 이동한 것으로서 이중센서배열을 사용한다면 하부쪽 센서에서 먼저 감지되는 자료들은 노이즈로 처리하여 바로 제거하는 것도 가능하다.

이 결과를 근거로 하여 향후 본 연구에서 개발한 낙석감지시스템의 소프트웨어를 개선하여 CCTV로 획득하는 이미지도 자동적으로 분석하여 낙석관련 정보를 추가로 추출하도록 개선할 예정이다.

5.3 보안 및 향후 계획

본 연구에서 사용한 광센서의 경우 송신부와 수신부가 분리되어 있는 형식이다. 따라서 현장 설치시 송신부와 수신부의 정렬이 매우 중요하다. 즉, 송수신부가 외력에 의해 정렬상태가 변하면 수신부에서 신호감지가 되지 않으므로 낙석으로 판정할 수 가 있다. 이러한

경우 사진 분석과 낙석감지 알고리즘(5초 이상 계속 감지신호 발생시 해당 센서를 측정에서 제외)에 의해 낙석이 아닌 것을 알 수 있으나 낙석감지시스템의 효과를 감소시키는 원인이 될 수 있다.

또한 현재 사용한 1열의 센서배열로서는 낙석의 크기만 평가할 수 있으며 낙석의 속도는 파악할 수가 없다. 따라서 후속 연구에서는 센서 정렬문제 해결을 위한 반사형 센서류의 적용가능성과 센서의 2열 배열에 의한 낙석속도 확보에 대한 내용을 다룰 예정이다.

6. 결론

기존의 와이어 장력 측정 방식의 낙석감지 방법을 개선하고자 광센서와 카메라를 이용한 비접촉식 실시간 낙석감지 시스템을 개발하여 실내 및 현장 적용을 수행하였다. 수행 결과 실시간 낙석 감지와 낙석 관련 부가 정보를 용이하게 획득할 수 있음을 확인하였다.

개발된 시스템은 현재 현장에 설치되어 운영 중이며

강우 및 온습도 자료와 연계하여 낙석 정보를 수집하여 낙석발생 현황과 기상 특히 강우나 풍속 자료와 연계하여 자료 분석을 수행할 예정이다. 또한 송수신부 분리 형이 아닌 반사형 센서류의 사용가능성을 검토하고 센서의 2열 배열에 의한 낙석 속도 추정에 대한 연구도 후속 작업으로 진행할 예정이다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원 기본사업인 ‘지하 복공식 에너지 저장시스템 개발’과 국토해양부 과제 ‘독도

지반환경 모니터링 용역’의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 배규진, 백용, 김종민, 박덕근, 박중호, 박혁진, 송원경, 송평현, 유병옥, 이승호, 황영철, 2008, 사면공학실무, 예문사, 370p.
2. 원홍선, 2007, 영상검출 기법 활용을 통한 한국철도 낙석 개소의 효율적 영상감시 방안, 충남대학교 석사학위 논문, 68p.
3. 허광희, 최만용, 이인구, 2003, 보호망의 장력 측정을 이용한 암반사면 감시 시스템, 특허등록번호 0404569.

정용복



1994년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사
1996년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학석사
2000년 서울대학교 대학원 지구환경시스템 공학부 공학박사
Tel: 042-868-3097
E-mail: ybjung@kigam.re.kr
현재 한국지질자원연구원 지구환경연구본부 선임연구원

김복철



1983년 연세대학교 지질학과 이학사
1985년 연세대학교 본대학원 지질학과 이학석사
1997년 연세대학교 본대학원 지질학과 이학박사
Tel: 042-868-3033
E-mail: kbc@kigam.re.kr
현재 한국지질자원연구원 기획조정부 부장

송원경



1982년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사
1986년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학석사
1966년 프랑스 에콜데민 지질공학과 공학박사
Tel: 042-868-3247
E-mail: songwk@kigam.re.kr
현재 한국지질자원연구원 지구환경연구본부 책임연구원

김명진



2003년 원광대학교 공과대학 전기전자공학과 학사
Tel : 042-862-2080
E-Mail : mjkim@hubis.co.kr
현재 (주)휴비스 대표이사