

# 태양전지 전원 공급장치를 이용한 발파진동 자동화 계측시스템 운영사례

정민성 · 이태노<sup>1)</sup> · 김정렬<sup>2)</sup> · 김영석<sup>3)</sup>

## 1. 서론

오늘날 도심지를 비롯하여 중요 시설물 주변에서 발파공사가 많이 진행되고 있다. 발파공사시 발생하는 진동 및 소음은 민원을 야기할 뿐만 아니라 시설물에 손상을 입히게 되어 사회적 문제로 대두되는 경우를 흔히 볼 수 있다. 그래서 최 근래는 화약류사용 허가권자인 경찰청에서 내부지침을 통해 발파진동 및 소음 상시계측을 의무화 하도록 하고 있다.

상시계측 방법은 매 발파 시 마다 진동측정기 및 소음계를 계측원이 이동시켜 가며 계측하는 수동식 방법과 특정 지점에 진동측정기를 고정시킨 후 전원 공급장치를 비롯해서 모뎀과 데이터 로거(Data Logger)를 이용한 무선계측 시스템으로 운영되는 자동화 계측 방법이 있다. 이 중에서 자동화 계측방법은 계측원의 수동적 작동에 의한 방법에 의존하지 않고 별도의 공간(사무실 등)에서 원격장치를 이용하여 진동측정기를 작동시켜 데이터를 전송받게 된다. 그렇기 때문에 자동화 계측을 위해 사용되는 진동측정기에 장시간 전원을 공급시켜 항상 작동상태로 유지되도록 해야 한다.

그러나 진동측정기에 전원을 공급할 수 없는 위치와 공간에서는 별도의 전원 공급장치가 필요하다. 예를 들어 교량 구조물, 댐, 정유시설 등에서는 전기시설이 불충분하여 전원을 원활하게 활용할 수 없다. 이와 같은 경우에 활용할 수 있는 적합한 방법으로 태양전지 시스템으로 전원을 공급 받아 운영할 수 있다. 본 고에서는 태양전지를 이용한 발파진동 자동화 계측시스템 운영사례를 소개하고자 한다.

## 2. 태양전지를 이용한 발파진동 자동화 계측시스템 원리 및 특성

### 2.1 개요

장기간 무선 계측을 위해서는 안정적인 전원 확보가 필수적이다. 그러나 현재의 에너지 저장 기술, 특히 배터리 기술은 용량과 크기에 한계가 있어 장기계측에는 적합하지 않다. 기본적으로 배터리의 용량이 커진다 하더라도 추가적인 전력의 공급이 없으므로 전력의 사용에 따라 언젠가는 모두 소진되는 특성이 있다. 따라서 지속적으로 전력을 생성하여 공급하는 반영구적인 전원 공급장치가 필요하다.

이와같은 전원 공급장치는 진동계측기 주변의 태양광, 풍력, 온도차, 진동 등의 에너지를 모니터링 하다가 어느 한 가지라도 에너지가 발생하면 발전을 수행하여 배터리에 충전하

1) (주)성보지오택

2) 한국건설기술연구원 건설관리연구실

3) (주)가하

였다가 계측기의 구동에 사용하는 것으로 'Power Harvesting'이라는 개념을 도입하는 것이 가장 이상적이다. 그러나, 해외에서는 Zigbee 통신을 위해 태양광, 온도차, 진동 에너지를 이용한 모듈이 개발되어 있으나, 에너지 발생량이 미약하여 다양한 실제 계측(동/정적)에 활용하기에는 무리가 있으며, 일부 계측에서 태양광 전지가 사용되는 경우가 있지만 Zigbee 무선 통신에 최적화 되어 있지 않고, 필요시 마다 제작하는 방식을 취하고 있다. 따라서 본 현장에 적용된 태양전지는 Power Harvesting의 개념에 따라 태양광을 이용한 무선 통신용 전원 공급 모듈을 개발하여 활용하였다. 그림 1은 Power Harvesting 개념도이다.

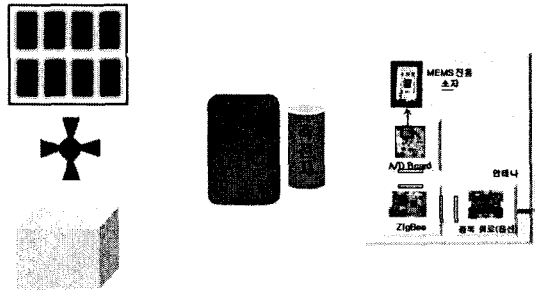


그림 1. Power Harvesting 개념도

## 2.2 태양전지의 원리 및 특성

태양광 발전기술은 햇빛에너지를 직류 전기에너지로 변환하는 태양전지와 태양전지로 부터 직류전력을 교류전력으로 변환하는 전력변환 및 제어기술이라고 정의할 수 있다. 태양전지는 실리콘으로 대표되는 반도체이며, 반도체는 전자기기의 LSI(대규모집적회로)나 트랜지스터, 포토다이오드 등에 사용되고 있는 전자산업에서 빠질 수 없는 중요한 재료이다. 태양전지는 반도체기술의 발달과 반도체 특성에 의해서 자연스럽게 개발되었으며, 그림 2와 같이 전기적 성질이 서로 다른 N형의 반도체와 P형의 반도체를 접합시킨 구조를 하고 있으며, 2개의 반도체 경계부분을 PN접합이라고 부른다.

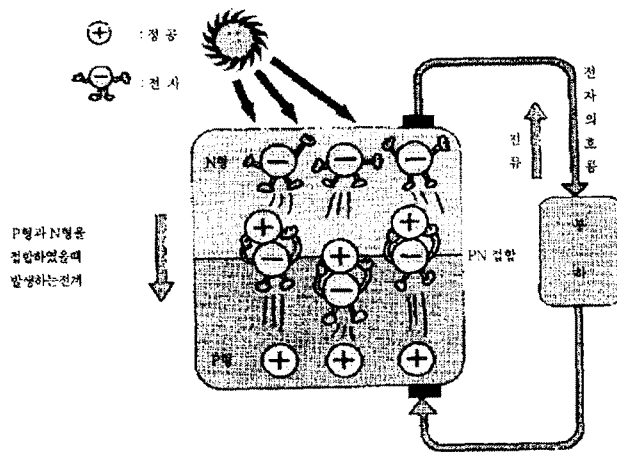


그림 2. 태양전지의 구조 및 PN접합의 발전원리

이러한 태양전지에 태양광선이 닿으면 태양광은 태양전지 속으로 흡수되며, 흡수된 태양광이 가지고 있는 에너지에서 + 와 - 의 전기를 갖는 입자(정공과 전자)가 발생하여 각각 자유롭게 태양전지 속을 움직이게 되지만, 전자는 N형 반도체 쪽으로, 정공은 P형 반도체 쪽으로 모이게 되어 전위가 발생하게 되며, 이 때문에 앞면과 뒷면에 붙여 만든 전극에 전구나 모터와 같은 부하를 연결하게 되면 전류가 흐르게 되는데, 이것이 태양전지의 PN접합에 의한 태양광발전의 원리이다.

### 2.3 태양전지를 이용한 자동화 계측시스템 운용체계

태양전지 발전 시스템을 이용한 발파진동 자동화 계측시스템 운용체계는 전원장치가 없거나 접근이 곤란한 지역에서 활용하는 시스템으로서 태양광을 이용하여 전력을 생산하고 계측 장치에 전력을 공급하게 된다. 태양광은 발전기 역할을 하는 태양전지 어레이를 통해 생산되는 전력을 전력 저장장치에 저장한 후 진동측정기와 CDMA 모뎀에 전력을 공급하게 된다. 전력을 공급받은 진동측정기와 CDMA 모뎀은 반 영구적으로 작동상태를 유지하게 되므로 별도로 전원장치를 조작할 필요가 없다.

실시간으로 진동측정기에 의해 수집된 진동 데이터는 CDMA 무선통신을 통해 별도공간(사무실, 중앙관측실 등)으로 데이터 전송하게 되는데 모니터링 PC 로 데이터를 확인할 수 있을 뿐만 아니라 저장할 수 있게 된다. 이를 체계화 하면, 태양열 → 태양전지 어레이 → 전력저장장치 → 진동측정기 및 CDMA 모뎀에 전력공급 → 진동측정기 작동 → CDMA 무선통신으로 데이터 전송 → 모니터링 PC → 계측 데이터 처리 등으로 이어진다. 그림 3. 은 태양전지 전원 공급장치를 이용한 자동화 계측시스템 운용체계를 나타낸 것이다.

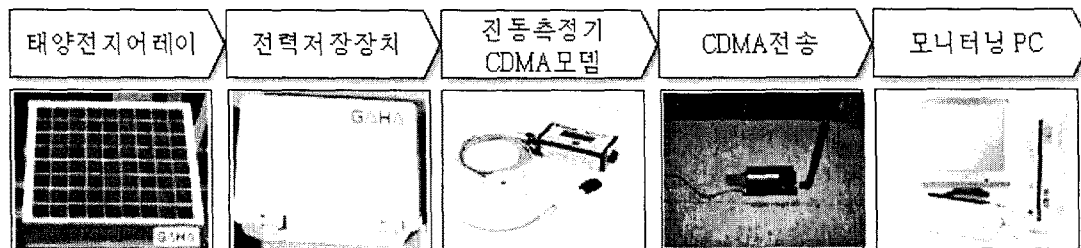


그림 3. 솔라셀을 이용한 자동화 계측시스템 운용체계

## 3. 태양전지를 이용한 자동화 계측 운영사례

### 3.1 개요

본 고의 자동화계측 운영사례 현장은 충남 서산시 00 지역에 위치한 정유시설 증축공사 현장으로서 발파구역 주변에 기존의 화학단지내 정유시설 저장탱크와 이를 콘크롤 하는 많은 전자기기와 각종 콤프레샤 등이 근접해서 산발적으로 존재하고 있다. 이와같은 정유시설은 진동에 매우 예민하여 미세한 진동으로 인하여 작동이 불능상태로 전개될 수 있다. 따라서 발파진동에 대한 허용치가 매우 낮게 설정되어 있을 뿐만 아니라 관리기준이 엄격히 설정되어 있다.

본 현장의 발파구역은 매우 넓은 구역으로 분포되어 있으며, 발파구역 위치에 따라 주변에 존재하는 각종 정유시설 구조물과 시설과의 이격거리가 다양하므로 적용되는 발파공법이 매우 다양하다. 그래서 발파작업시 발생하는 진동으로 인하여 구조물과 시설이 발파진동으로부터 손상을 받지 않도록 하기 위해서 매 발파시마다 발파진동 계측작업이 수행되었다. 그러나, 진동측정 지점이 15개소 이므로 계측원을 투입시켜 데이터를 실시간으로 수집하고 관찰하는 것은 무리일 수밖에 없다. 따라서 무선통신을 통한 자동화 계측시스템을 운영하게 되었다.

또한, 본 현장 주변 기존 정유시설에서 사용하고 있는 전원을 사용할 수 없는 사정으로 인하여 진동측정기와 무선통신시설에 전력을 공급할 수 없기 때문에 태양전지 발전 시스템으로 전원을 공급하는 시스템을 구축하게 되었다.

### 3.2 운영현장 현황

본 현장은 기존의 정유시설단지를 확장하는 현장으로서 단지조성작업이 이루어 지는 구역 주변에 근접해서 기존의 정유시설이 존재하고 있다. 이러한 정유시설은 24시간 가동되고 있기 때문에 발파진동이 허용치를 초과하여 각종 시설의 작동이 중단될 경우 엄청난 경제적 손실을 입게 된다.

본 현장의 기반암은 선캠브리아기의 흑운모 편암이 주종을 이루고 있으며, 편암 하부에는 화강편마암이 분포되어 있다. 지층구조는 표토층, 풍화잔류토층, 풍화암층, 연암 및 경암층 순으로 분포되어 있으며, 발파암은 대체적으로 절리가 발달되어있다. 그림 4 는 본 현장과 기존 정유시설단지와 확장공사 구역 지반모습을 나타낸 것이다.

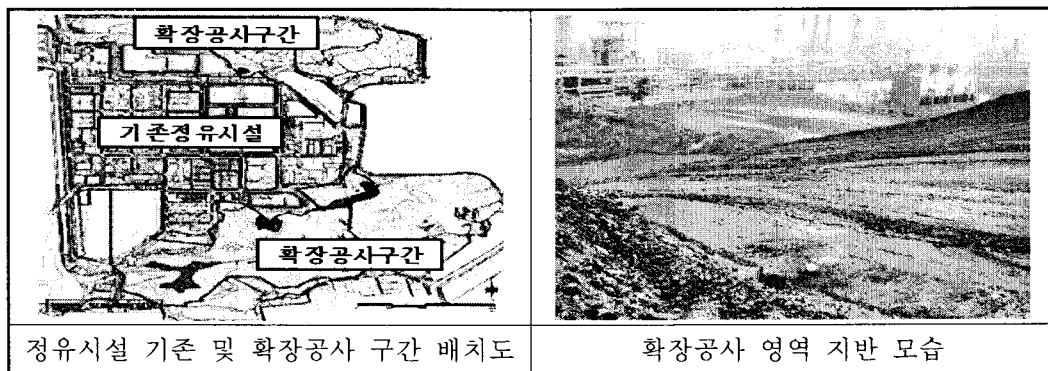


그림 4. 본 현장과 기존 정유시설단지

### 3.3 정유시설 확장공사 구간 발파설계

본 현장 발파구역에 적용할 수 있는 발파공법 및 패턴을 설계하기 위해서 시험발파를 실시하였다. 시험발파는 정밀진동제어발파공법, 진동제어(소규모, 중규모) 및 일반발파공법으로 다양하게 수행되었다. 그림 5 는 대표적인 시험발파 패턴도와 시험발파 모습이다.

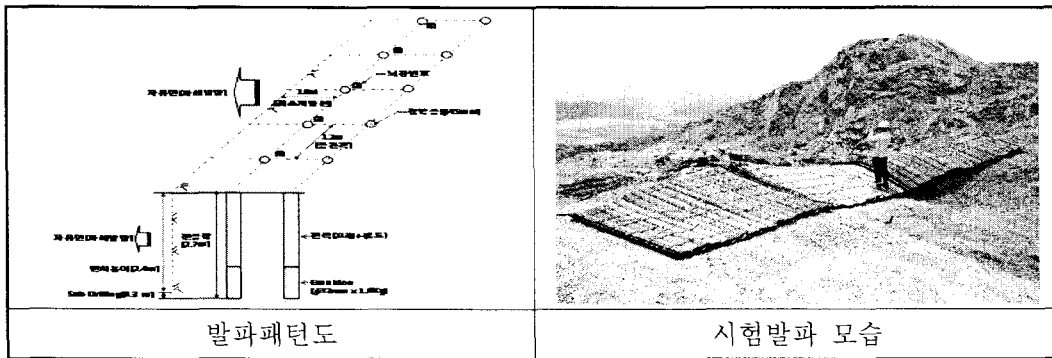


그림 5. 시험발파 패턴도

본 현장에서 시험발파를 수행한 후 그 결과를 분석해서 발파진동추정식을 산출하게 되었으며, 발파작업구역별로 적용 가능한 발파공법을 설정 하였다. 표 1 은 본 현장 발파진동추정식이며, 그림 6은 발파구역별로 설정된 발파공법을 나타낸 것이다.

표 1. 발파진동추정식 산출

발파진동추정식(95%)	회귀분석 그래프
$V = 171.04 \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.72}$ $V = 690.61 \left( \frac{D}{\sqrt[3]{W}} \right)^{-1.93}$	

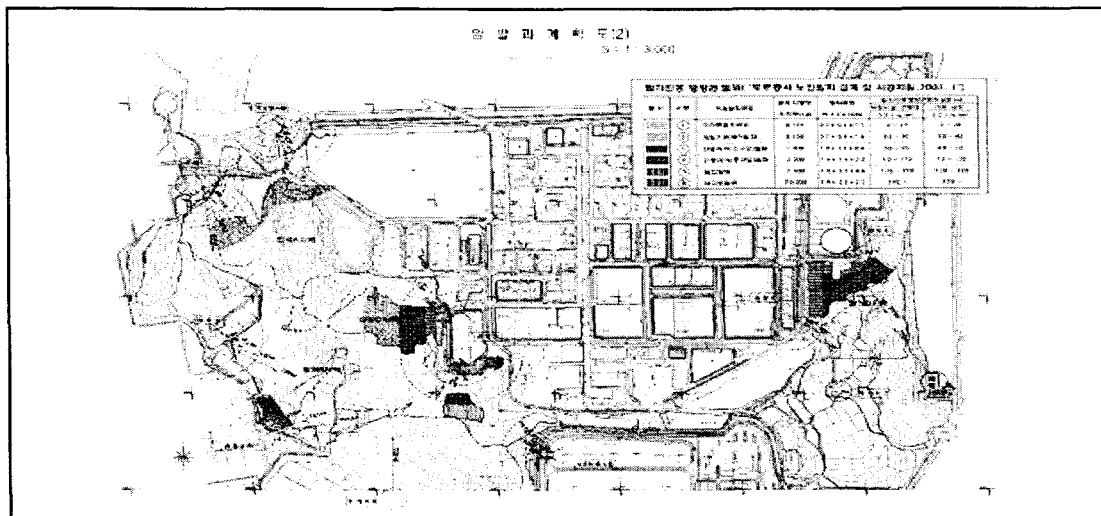


그림 6. 발파구역별로 설정된 발파공법 구분

### 3.4 기존 화학단지 정유시설의 배경진동 및 진동허용 기준 현황

본 현장 주변 정유시설 단지내에 존재하는 각종 시설물은 발파진동에 매우 예민하기 때문에 시설물별로 발파진동 허용치를 설정하여 관리하였다. 주요 정유시설은 콤프레샤, 프로판탱크, 펌프, 수소충전설비, 수소공장 구조물 등이다. 이와같은 시설물에 대한 발파진동 허용기준을 설정하기 위해서 각각의 시설물에서 배경진동을 측정하였으며, 시설물의 진동제어 특별사양 기준과 적용사례를 분석하여 허용기준을 설정 하였다. 표 2 는 대표적인 정유시설에서 측정한 배경진동값을 나타낸 것이며, 표 3 은 정유시설별 진동규제 사양과 허용기준치이다.

표 2. 대표적인 정유시설에서 측정한 배경진동값

주요시설물	전력자동계전기	Compressor	Reactor Charge Pump
배경진동(cm/sec)	0.0087 (0.27 $\mu$ m)	0.0666 (2.12 $\mu$ m)	0.0527 (1.68 $\mu$ m)

표 3. 주요 정유시설 진동규제 사양과 발파진동 허용 기준치

주요 시설물	진동규제 사양		허용기준
	Alarm(Warning)	Trip	
Compressor	60 $\mu$ m	80 $\mu$ m	0.1cm/sec -Alarm의 2~5% 수준 -Trip의 1~2% 수준
Steam Turbine Generator	93~150 $\mu$ m	137~190 $\mu$ m	
Gas Turbine Generator	165 $\mu$ m	254 $\mu$ m	
단위 변환근거	진동속도를 변위로 변환식 : $V=2\pi fD$ (Hz=50 적용)		

### 3.5 자동화 계측시스템 운영현황 및 방법

본 현장 정유시설 확장구간에서 발파작업시 주변에 존재하는 기존의 정유시설에서의 진동측정은 솔라셀을 이용한 자동화 계측시스템이 적용 되었다. 상시적인 자동화 계측을 위해서 태양광 발전 시스템과 전력저장장치를 이용하여 진동측정기와 CDMA에 전력공급이 가능하기 때문에 계측원이 매 발파시마다 정유시설내에 접근할 필요가 없으며 단지내의 전력시설을 이용한 전력공급이 불필요하게 되었다.

또한, 매 발파시마다 사무실의 컴퓨터를 이용하여 진동데이터를 전송받기 때문에 필요시 실시간으로 진동데이터 확인이 가능하여 발파작업에 대한 관리와 시설물에 대한 안전성 여부를 파악할 수 있다. 그림 7 은 정유시설내에 설치된 태양전자어레이 의한 자동화 계측 시스템의 모습을 나타낸 것이다.

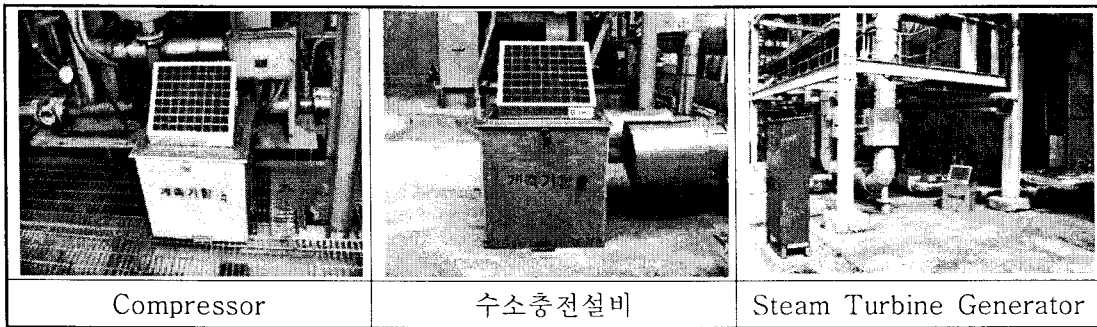


그림 7. 정유시설내에 설치된 태양전자어레이 의한 자동화 계측 시스템의 모습

### 3.6 발파진동 자동화계측 분석결과

본 현장에서 발파작업시 정유시설내에서 발파진동을 자동화 계측시스템을 이용하여 실시간으로 진동 데이터를 수집하여 분석 하였다. 자동화 계측시스템이 구축된 장소는 본 현장으로부터 다양한 거리에 존재하고 있지만 계측원이 직접 진동측정기를 매일 설치하고 작동할 필요가 없기 때문에 데이터 처리 및 분석작업이 신속히 이루어질 수 있고, 각 계측점의 발파진동 변화상태를 항상 확인이 가능하여 정유시설에 대한 안전관리가 철저히 이루어질 수 있었다. 본 현장에서 자동화 계측을 통해 분석된 정유시설별 발파진동 변화추이를 보면 그림 8 과 같다.

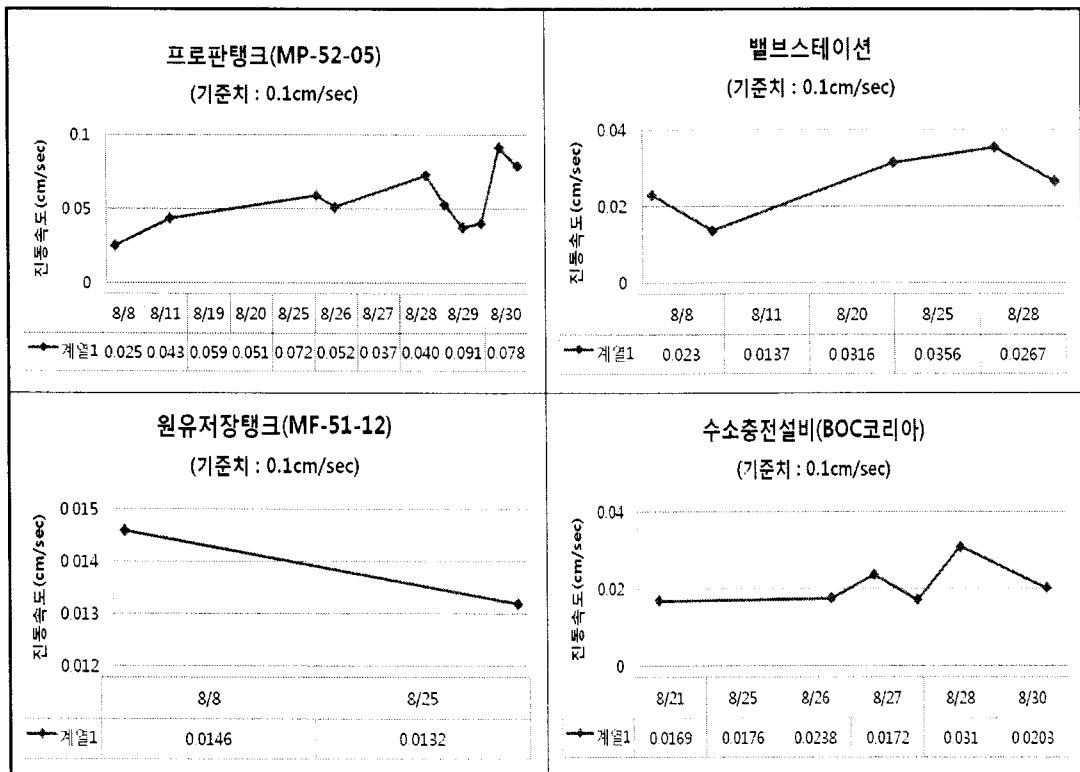


그림 8. 자동화 계측을 통해 분석된 정유시설별 발파진동 변화추이

위 그림에서 보는바와 같이 발파지점으로부터 약 80 ~ 500m 떨어진 지점에 위치한 정유

시설에서 발파진동을 측정된 결과 발파진동 허용치(0.1cm/sec) 보다 상당히 적은 진동값으로 계측되고 있음을 알 수 있다. 이와같은 광범위한 지역내에서 발파진동의 크기로 허용치 이내로 유지할 수 있었던 것은 발파진동의 감시체계가 가능한 자동화 계측 시스템을 운영함으로써 발파공사에 대한 안전관리가 가능했기 때문으로 본다.

#### 4. 결론

국내 ○○ 지역의 정유시설단지를 확장하기 위해 기존 정유시설 주변에서 대규모 발파공사가 진행될 현장에 발파진동 관리를 위한 자동화 계측시스템이 운영 되었다. 이와같은 자동화 계측시스템 운영을 위해 전원 공급장치로 태양광 발전 시스템(솔라셀)과 CDMA 모뎀을 이용한 무선통신 시스템이 활용 되었다.

본 현장 주변에 존재하는 정유시설은 외부인이 출입하는데 어려움이 있고, 각종 시설물이 광범위하게 배치되어 있을 뿐만 아니라 정유시설 내부 전원을 사용할 수 없기 때문에 솔라셀을 이용하여 전력을 공급받는 시스템을 적용이 불가피하다.

본 현장에 솔라셀을 이용한 자동화 계측 시스템을 도입함으로써 별도의 전원공급장치가 필요없게 되었으며, 계측요원을 광범위한 지역에 배치할 필요가 없을 뿐만 아니라 필요시 사무실에서 발파진동 변화상태를 확인이 가능하기 때문에 사전에 발파진동 허용치 초과여부 및 정유시설의 안전상태를 파악할 수 있게 되었다.

최근 들어 발파작업이 수행되는 현장 주변에 주요 시설물 및 구조물이 존재할 경우 발주 기관, 민원인 뿐만 아니라 허가관청에서 발파진동 상시계측을 요구하는 사례가 늘고 있는데, 계측원 접근이 어렵고 발파작업중에 진동값 변화추이를 수시로 관찰이 필요한 현장에서는 이와같은 솔라셀을 이용한 자동화 계측시스템이 매우 유용하게 활용될 수 있으며 발파진동 제어와 안전발파 관리가 효과적으로 이루어질 수 있을 것으로 본다.

#### 참고문헌

1. ○○ 정유시설 진동 규제기준 사양서
2. ○○ 정유시설확장공사 설계 보고서
3. 한국과학기술정보연구원 "태양광발전 시스템", 2002
4. 회전기계의 진동 및 장비 핸드북, 1998. 이병준
5. 도로공사 노천발파 설계·시공지침, 2006. 건설교통부