

광산 Stacker, Reclaimer 무선제어에 관한 연구

장 성 남
(성신양회 공무부)

1. 서 론

무선(無線) 선이 없다는 말이며, 일반적으로 선이 없이 어떠한 신호를 주고 받는다면 획기적인 사실이 아닐 수 없다. 마르코니의 무선전신 발명이래 오늘날까지 끊임없는 발전이 거듭된 오늘날 우리는 무선전화기, (삐삐) pocket bell, 휴대용 무선전화기, 컴퓨터 등 이제는 없어서는 안 될 개인용 필수기기가 되었다.

이러한 기기는 복잡다양해진 사회에서 장소와 시간에 국한되지 않고 언제 어디서든 실시간 개인의 용무 및 기타의 업무처리 도구로 이용되고 있으며, 따라서 무선은 현대 및 미래 정보화 사회의 영역가운데 가장 핵심적인 도구가 될 것임을 알 수 있다.

그러나 이러한 통신장비 및 장치들은 기기제어보다는 개인간 또는 국간의 정보교류가 주목적이고 우리나라의 특수성을 고려한 법규 등의 제약을 받아 미약한 전파를 이용한 예는 공간이 확보된 공중 또는 개활지 등 전파의 특성 및 주파수 대역 등에 따라 모험항공기 실험기기 정도로만 응용을 하였다.

물론 산업현장에서 사용치 않은 것은 아니지만 특수목적이었고 최근에 와서야 응용분야를 확대하고 있다. 이렇게 응용분야를 확대해 나가는 가장 큰 이유는 전자기술의 발달이라 할 수 있으며, 최근에는 퍼스널 컴퓨터가 있으면 저가격의 통과원칩 MPU 등을 이용한 초소형, 고기능의 무선기기를 제작 사용하고 있다.

이와같이 응용되는 무선기기는 건축 공사현장의 tower crane, hoist와 같이 제어대상이 한

곳에 밀집되거나 제약된 공간내 유선제어가 용이치 않은 곳 등에 쉽게 장착 설치 사용하고 있다.

그러나 아직은 초기화단계로 표준화된 것은 없으나 1년여의 연구와 검토로 시멘트업계 최초로 당사에서 무선방식을 채택 광산 1, 2 stacker에 적용한 사례를 발표하고자 한다.

따라서 이번 논문의 주된 요지는 기존의 MCC와 stacker간(직선거리 500m)에 control reel cable(고장력 cable)에 의한 유선제어 방식을 무선으로 제어한 것으로 무선제어의 응용사례로 그 설치 및 사용을 검토하고자 한다.

2. 무선제어기 적용 공정 소개

적용하고자 하는 무선제어기는 광산 1, 2, 3차 크라샤를 통과한 원석을 1차적으로 blending 하기 위한 premixing 공정의 stacker와 reclaimer이며, 이들 설비는 premixing 공정의 핵심 설비라 할 수 있으며 공정수행위치는 적절한 원료배합을 위한 stacking과 배합된 원석을 reclaiming 하여 다음 공정인 raw mill로 공급, 최초로 cement 품질이 결정되는 중요한 raw matrix 공정이라 할 수 있다.

원료 배합을 위한 stacking, reclaiming pile은 longitudinal(경도) 형태로 2곳 모두 동서로 1pile당 개략 길이 194m, 너비 32m, 중심고 12m 가량의 pile을 교번하며 운영하고 있으며 주요 사양은 다음과 같다.

2.1 Pile 조성(1호 기준)

1) Pile 조성

- Material Limestone
- Grain size 95% : 0~40mm
5% : 40~140mm
- Moisture 1.2~5%
- Bulk density 1.4t/m³
- Angle of repose 37°

2) Stacking

- Stacking scheme Chevron
- Stockpile height 12060mm
- Stockpile width 32000mm
- Total length of stockpile...2×194m parallel
- Storing capacity 2×34500m³
- Capacity max. 1000t/h, nom. 800t/h

3) Reclaiming

- Unit Bridge scraper (1호)
Bucket wheel (2호)
- Capacity max. 800t/h, nom. 700t/h

2.2 설비 사양

1) Stacker

- Travel speed 23m/min
- Boom ascent +18°
- Boom descent -12°

2) Reclaimer

- Max. working speed 6.0m/h
- Min. working speed 0.3m/h

3. 무선장치의 설치배경 및 채택동기

3.1 설치 배경

위 2.1항 내용과 같이 설치 유형상 넓은 개활지를 이용 각 pile을 조성했고, 조성된 pile field는 1,2호가 동, 서 방향으로 나란히 길게 근접하여 위치하고 있다.

제어코자 하는 대상 stacker와 reclaimer는 longitudinal 형태의 pile로 조성된 pile과 pile사이의 중간 위치에서부터 서로 반대에 위치하여

각 구간의 rail 위로 stacker는 직선 왕복하여 pile을 조성하고 reclaimer는 양끝을 향해 reclaiming을 시작하게 된다.

따라서 각 설비는 구동 및 제어목적상 280m 가량의 전원을 공급받기 위한 고장력 power cable과 제어용 control cable을 가지고 있으며 각각의 cable은 reel을 이용하여 cable을 풀거나 감게 되어있다.

이와 같이 pile 및 설비의 구조상 설치된 reel과 cable은 설비의 구동 및 제어 목적으로 필수 불가결하게 사용되어져 왔지만 reel cable을 사용함으로써 발생하는 고장은 여러 고장 원인중 조치가 가장 어렵고 장시간 소요된다는 문제점이 초래되었고 reel cable을 사용함으로써 초래되는 cable 절단 사례는 분당 23m/min의 속도로 주행하는 stacker의 경우는 보다 심각한 문제가 발생되었다.

여기서 stacker #1,2호기에 대한 고장 빈도수와 cable의 절단 및 손상원인을 살펴보고자 한다 (<표 1> 참조).

<표 1> Stacker #1, 2 고장발생 현황
(발생기간 : 95. 1. 1~96. 6. 30)

Stacker #1 (전체건수 : 28건)

구분	고 장 내 용	건수	고장비율(%)	비 고
1	Reel cable 관련	11	38	96.1.1 이후 0건
2	Boom 관련	13	45	
3	기타	5	17	
누계		29	100	

Stacker #2 (전체건수 : 73건)

구분	고 장 내 용	건수	고장비율(%)	비 고
1	Reel cable 관련	17	22	
2	Truck wheel 관련	13	17	
3	Boom 관련	11	14	
4	Reversible L/S	11	14	
5	Cable, S/W 접촉불	10	13	
6	기타 고장	8	10	
누계		70	100	

위 <표 1>과 같이 control reel cable의 손상 및 절단사고의 고장은 각 호기 고장발생율의 36,

22%로 나타났으며 고장 빈도수가 가장 높다.

고장 빈도율이 상대적으로 높은 control reel cable 절단 및 손상의 요인을 크게 2가지로 요약하면,

- 1) Cable의 절단 및 손상
 - (1) Power cable과 control cable의 장력 차이.
 - (2) Cable의 cable reel 및 reel cable guide tray에서 이탈.
 - (3) Cable reel 구동부의 마모 및 파손.
 - (4) 4계절 노천 사용에 의한 변질 및 원석충격에 의한 피복손상.
 - (5) 기타 기계 및 전기에 의하여 수반되는 고장

- 2) 전기적인 고장
 - (1) Slip-ring의 brush면의 접촉불량(start/stop 및 기타제어 불능)
 - (2) Reel motor 및 reel 관련 장치 및 회로고장 (cable의 손상 및 절단원인 제공)
 - (3) Motor 소손 등이다.

3.2 무선장치의 채택동기

무선장치의 채택동기는 전파의 특성을 고려한 개활지인 점에 우선 착안하여 제어대상인 stacker, reclaimer를 제어할 수 있다는 것을 제안하였으며, 제안 당시 확신의 예를 살펴보기로 한다.

- 1) 전파의 전달특성이 용이한 개활지이며 방해할 만한 주변 건물이 없다.
- 2) 광산 part에 도입된 PLC를 응용할 수 있으므로 별도의 주변장치가 필요없다. (PLC의 통신 카드를 이용함으로써 별도의 in/out interface가 필요없이 전송장치인 modem만 설치하여 설치비용 절감)
- 3) PLC의 내장기능을 최대한 응용, PLC 기능의 기술적인 merit 향상.

4. 무선시스템 개요

본 시스템은 MCC #1,2와 stacker #1,2간의 제어신호를 무선으로 전송하는 시스템이다.

즉, 기존의 MCC #1,2에 설치된 PLC의 D/O (A/O) 출력을 RF 형태로 변환 송출하여, stacker #1,2 PLC의 D/I(A/I) port에 입력하고, 반대로 stacker #1,2에 설치된 PLC의 D/O(A/O) 출력을 역시 RF 형태로 송출하여, PLC #1,2 PLC의 D/I(A/I) port에 입력하는 양방향 (half duplex) data 전송 기능을 수행한다. 따라서 cable(유선)로 전기적인 신호를 주고받은 것과 동일한 기능을 대체하는 것이다.

5. 시스템의 구성

5.1 시스템의 구성

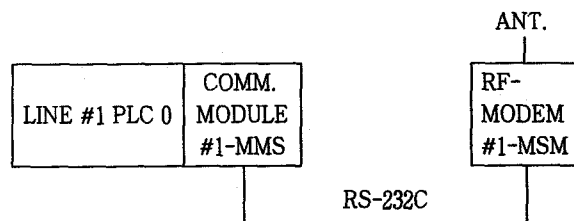
(1) MCC

MCC 쪽의 시스템은 1set의 interface unit와 1개의 RF-modem으로 구성된다(<그림 1>).

Interface unit는 line #1,2 각 PLC(MEL-SEC A2N)의 base에 slot-in 형태로 설치되는 2개의 serial communication module로 구성된다.

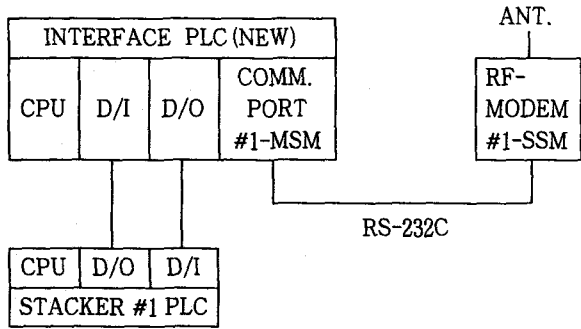
Comm. module #1-MMS는 line #1 PLC의 D/O의 state를 확인하여, RS-232C line을 통하여 RF-modem #1-MMS로 전송하고, RF-modem #1-MMS는 data를 stacker #1에 설치된 RF-modem #1-SMS로 송출한다.

Stacker #1에 설치된 RF-modem #1-SSM에서 송출한 stacker PLC의 A/O, D/O data는 RF-modem #1-MSM에서 수신되어 comm. module #1-MSM로 전송되고, 여기서 line #1 PLC의 내부 D/I, A/I port를 제어하여 통신이 완료된다.



주) Comm. unit와 RF-modem에서 #1은 line #를 표시, 첫째 기호 M/S/R은 MCC/stacker/REC. 쪽에 설치됨을 표시, 두번째와 세번째 기호는 앞의 OUT. data가 다음 기호로 전송됨을 표시.

<그림 1> 시스템의 구성/MCC



<그림 2> 시스템의 구성/stacker

향후 확장되는 analog I/O도 기존의 line #1 PLC의 base를 이용 확장 가능하다.

(2) Stacker

Stacker 쪽의 시스템은 1 set의 interface unit 와 1개의 RF-modem으로 구성된다(<그림 2>).

Interface unit는 stacker #1 PLC (SIEMENS S5) 와 RF-modem(궁극적으로는 line #1 PLC) 을 연결하는 기능을 하며, 자체 base에 slot-in 형태로 설치되는 1개의 CPU module, 2개의 serial port를 갖는 1개의 communication module 및 DI/DO 48/48점의 I/O module로 구성 된다.

Comm. port #1-SSM은 D/I port로 입력된 stacker #1 PLC의 D/O의 state를 확인하여, RS-232 line을 통하여 RF-modem #1-SSM로 전송하고, RF-modem #1-SSM는 data를 line #1에 설치된 RF-modem #1-MSM로 송출한다.

Line #1에 설치된 RF-modem #1-MMS에서 송출한 line #1 PLC의 D/O data는 RF-modem #1-SMS에서 수신되어 comm. port #1-SMS로 전송되고, interface PLC의 D/O port를 통하여 stacker #1 PLC의 D/I port로 전송, 통신이 완료된다.

향후 확장되는 analog I/O는 interface PLC 의 base에서 확장이 가능하여, 기존의 stacker #1 PLC와는 별도의 link가 필요없이 확장 가능하다.

5.2 Channel 할당

- Line #1에서 MCC-stacker 통신을 위한 2개

channel

RF-modem #1-MSM/#1-SSM : channel 1

RF-modem #1-MMS/#1-SMS : channel 2

- Line #1 REC와 MCC-reclaimer 통신을 위한 2개 channel

RF-modem #1-MRM/#1-RRM : channel 3

RF-modem #1-MMR/#1-RMR : channel 4

- LINE #2에서 MCC-stacker 통신을 위한 2개 channel

RF-modem #2-MSM/#2-SSM : channel 5

RF-modem #2-MMS/#2-SMS : channel 6

- LINE #2 REC와 MCC-reclaimer 통신을 위한 2개 channel

RF-modem #2-MRM/#2-RRM : channel 7

RF-modem #2-MMR/#2-RMR : channel 8

- Maintenance를 위한 예비 channel reserved : channel 9/10

6. 통신 프로토콜

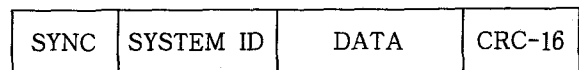
통신은 ARQ(Automatic Repeat Request)와 FEC(Feedforward Error Correction)을 조합하여 원활한(오류가 발생하지 않는) 통신이 되도록 운영한다.

6.1 Data format

Modem을 통하여 송출되는 신호는 아래의 data frame과 같다.

SYNC는 수신단에서 동기를 주기 위한 기준 신호이고, ID는 이 System의 고유번호이며, data는 실 I.O data이다.

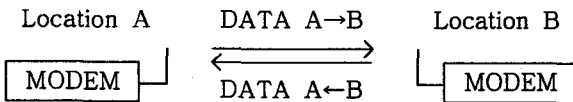
CRC-16(Cyclic Redundancy Check-16)은 실 data에 부가되는 code로 수신부에서 수신된 data의 error 발생여부(error detection)를 판단하고, 일부 data를 정정(error correction)하는데 사용된다.



<그림 3> Data frame

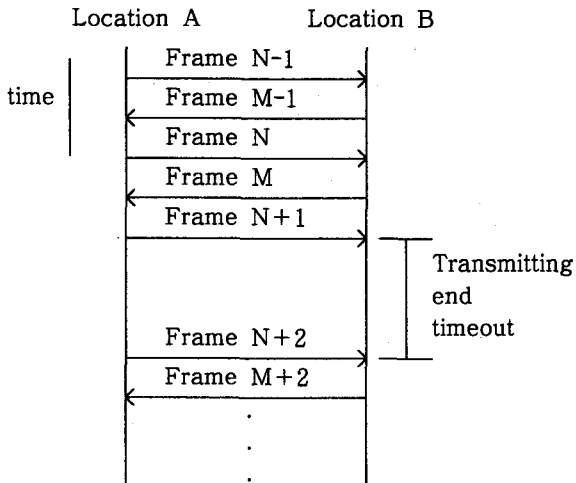
6.2 Data flow

Location A에서 data 전송을 시작하고 location B에서는 이에 대한 ACK로 location A로 전송할 data를 보낸다. Location A에서는 time out내에 location A로부터 정상적인 응답이 오면 즉시 다음 data를 전송하고, 반면 time out후 다음 data를 전송한다.



<그림 4> Data flow

ARQ sequence를 상세히 설명하면 아래의 <그림 5>와 같다.



<그림 5> ARQ sequence

6.3 FEC(Feedforward Error Correction)

FEC는 실 data(message)에 별도의 부호를 부가하여, data의 훼손 여부를 검출하고, 일부가 훼손된 경우 이를 정정한다. (정정이 가능한 경우는 ARQ sequence에 따라 ACK를 송출) error control algorithm은 아래와 같은 CRC-16을 적용한다.

$$\text{CRC } 16 : \text{generating polynominal} = X^{16} + X^{15} + X^1 + 1$$

7. 당사 응용례

7.1 MELSEC PLC

(1) 무선 modem을 위한 초기화

Data register (D) 25개 및 내부 relay (M) 96개가 소요된다.

Dn 무선 channel(주파수) 설정

Dn+1 : 0 ≤ input data 갯수 (Word) ≤ 11

Dn+2 : 0 ≤ output data 갯수 (Word) ≥ 11

Dm : digital input (Mn - Mn + 15)

Dm+1 : digital input (Mn + 16 - Mn + 31)

Dm+2 : digital input (Mn + 32 - Mn + 47)

Dm+3 : analog input 0

Dm+4 : analog input 1

Dm+5 : analog input 2

Dm+6 : analog input 3

Dm+7 : analog input 4

Dm+8 : analog input 5

Dm+9 : analog input 6

Dm+10 : analog input 7

DK : digital output (Mk - Mk + 15)

Dk+1 : digital output (Mk + 16 - Mk + 31)

Dk+2 : digital output (Mk + 32 - Mk + 47)

Dk+3 : analog output 0

Dk+4 : analog output 1

Dk+5 : analog output 2

Dk+6 : analog output 3

Dk+7 : analog output 4

Dk+8 : analog output 5

Dk+9 : analog output 6

Dm+10 : analog output 7

(2) 통신 프로토콜

가. MELSEC AJ71C24 → RF-modem MSM
(MCC 출력 → stacker 입력)

RF-MODEM	E	국	P번	W	0	D0903	3	Sum Check Code
	N		L					
	Q	번	C호	R				

AJ71C24	S	국	P번	data	E	Sum Check Code
	T		L		T	
	X	번	C호		X	

ENQ : enquire
 WR : device memory 일괄 read 명령어
 STX : start of text
 ETX : end of text

나. MELSEC AJ71C24←RF-modem MSM
 (stacker status→MCC 입력)

RF-MODEM	E N Q	국 번	P 번 C 호	W 번	0	D0914	3	data	Sum Check Code
----------	-------------	--------	------------------	--------	---	-------	---	------	----------------------

AJ71C24	A C K	국 번	P 번 C 호
---------	-------------	--------	------------------

WW : device memory 일괄 write 명령어
 ACK : acknowledge

7.2 RF-modem

RF-modem↔RF-modem
 RF-modem 간의 통신은 ARQ(Automatic Repeat Request)와 FEC(Feedforward Error Correction)을 조합하여 원활한(오류가 발생하지 않는) 통신이 되도록 운영한다.

1) Data frame

SYNC	SYSTEM ID	DATA	CRC-16
------	-----------	------	--------

7.3 GE-FANUC PLC

(1) RF-modem→GE-FANUC CMM 311
 (MCC status→stacker 입력)

RF-MODEM	국 번	10	0072	0003	06	data	CRC-16
----------	--------	----	------	------	----	------	--------

CMM 311	국 번	10	0072	0003	CRC-16
---------	--------	----	------	------	--------

CRC-16 : cyclic redundancy check

(2) RF-modem←GE-FANUC CMM 311
 (stacker status→MCC 입력)

RF-MODEM	국 번	03	0067	0003	CRC-16
----------	--------	----	------	------	--------

CMM 311	국 번	03	06	data	CRC-16
---------	--------	----	----	------	--------

8. 효과분석

Stacker의 control cable reel을 무선제어 system으로 대체한 결과 아래와 같다.

8.1 유형효과

1) 유·무선 설치비, 1호기 분(95년 단가 기준)

① 유선 설치, 유지비

A. 고장력 제어 reel cable : (2년 주기 교체)
 $2.0 \text{ SQ} \times 24\text{C/m} = 43,500\text{원}$
 $\times 1\text{대 소요 CABLE} = 280\text{m}$
 $= 12,180,000\text{원}$

B. 년간 유지비

- 보수 자재비
 Cable 절단접속 $100\text{m} \times 43,500 = 4,350,000\text{원}$
 - 보수 인건비
 보수시간 : 건당 5명×5시간×11회 = 330시간
 \times 평균시급 : $= 2,953\text{원}$
 $= 974,490\text{원}$

년간 유지보수비 합계 : 5,324,490원

총합계 : 고장력 제어 reel cable (12,180,000)
 $+ 2\text{년간 유지보수비} (10,648,980)$
 $= 22,828,980\text{원}$

② 무선설비 설치비 및 예상 유지보수비(2년간)

A. 무선 modem 제작 설치비 = 23,500,000원
 B. 예상유지보수비 = 약 1,000,000원
 (근거 : 무선설치후 6월까지 단 한건의 고장도 없었으나, 예상 낙뢰피해가 2회 정도 발생될 것으로 판단하여 보수 1회당 50만원 정도 계상한 것임)

합 계 = 24,500,000원

2) 유형효과 파악

- (1) 단기효과(최초 설치부터 2년간)
무선설비 설치비 (24, 500, 000) - 유선설비 (22, 830, 000) = +1, 670, 000원으로 설치비용이 현재는 무선설비가 다소 고가임.
- (2) 실질 향후 효과
향후 2년후부터는 무선설비는 반영구적으로 고장율이 낮고, reel cable처럼 2년 주기로 교환사례가 없어지므로 2년마다 reel cable + 유지보수비=2천4백5십만원의 비용이 절감되어, 연간 1호기당 1천3백만원 비용절감으로 현설치 대수가 2대이므로 연간 2천6백만원 정도 비용절감이 예상되어짐.

8.2 무형효과

1) 설비 무형효과

- (1) 설비의 고장율 30% 감소 및 1호기당 연간 55시간 생산성 향상.
- (2) Control reel cable이 없어짐.
- (3) Control reel 관련 부가설비가 없어짐(cable reel, 감속기, motor, slip-ring, 관련 전장품(magnet, relay 등)).
- (4) 관련 부가기능 설치에 따른 비용최소화 추후 부가기능 :
 - ① Reclaimer의 전진 step 제어를 광산 desk에서 운전자가 직접 수행(96년 12월부터 시행중).
 - ② Reclaimer, stacker 내부설비의 운전상태를 신속관찰 기능-drive ampere, drive status 및 고장 check.

설비의 간소화, 고장율 감소, 기능 극대화 전기 마련

2) 인적 무형효과

- (1) 기술력 향상(무선설비와 PLC 응용으로 고 기술배양)
- (2) 유지보수시간 단축으로 타설비 유지보수 기회 연장.

9. 맺음말

Reclaimer, stacker를 종전에는 원거리에서 단순히 start/stop만 하였다. 물론 유선제어라도 그 이상의 기능을 부가할 수 있지만 거리에 따른 noise, 선로부족 등 현장의 특수성 때문에 제약을 받았다.

그 부가 내용으로 장치들의 내부정보 status 및 제어로 reclaimer의 step 전진 상태제어, stacker의 boom 각도, 기타 device status 및 alarm 등으로 사전에 운전실에서 알고자 하는 내용들이다.

그러나 본 무선장치는 운전전에 필요한 그 기능을 간단한 program 조작으로 수행함으로써 자체의 절감은 물론, 기술적인 신뢰도 향상, 사전에 많은 장치의 정보 제공과 함께 적절한 제어를 함으로써, 장기적으로 생산성 향상, 기타 응용차원에서 당사에 많은 파급효과를 기대할 수 있다고 보겠다.

그리고 modem에 관한 기술적인 내용으로 1 장치 1 modem을 system에 따라 별도로 1 chip에 coding을 하여 주어진 장치에 적용을 하였으나 앞으로는 software적인 요소를 담은 것으로 micom화 된 modem으로 적용장치의 정보를 사전내장 및 통신 protocol을 사용자가 알기 쉬운 언어로 입력 또는 선택을 할 수 있는 고기능의 산업용 무선 modem 출현을 제언 및 기대하여 본다.