

# NB-IoT를 활용한 삼호철새마을 태양광 모니터링 구축을 통한 온실가스 저감에 관한 연구

안준기<sup>\*†</sup> · 신동명<sup>\*\*</sup> · 이만식<sup>\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>행복에너지센터 주무관, <sup>\*\*</sup>(주)다스테크기술연구소 수석연구원, <sup>\*\*\*</sup>한국생산기술연구원 수석연구원

## A Study on Greenhouse Gas (CO<sub>2</sub>) Reduction through Solar Power Monitoring in Samho Migratory Bird Village Using NB-IoT

An, Jun Ki<sup>\*†</sup> · Shin, Dong Myong<sup>\*\*</sup> and Lee, Man Sig<sup>\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Economic Policy Division Public Officials, Department of Happy Energy Center, Namgu Ulsan Metropolitan City, Ulsan, Korea

<sup>\*\*</sup>Principal Researcher, Department of Technical Research Center, DASS Tech Co.,Ltd, Cheongju, Korea

<sup>\*\*\*</sup>Managing Director (Principal Researcher), Ulsan Regional Division, Korea Institute of Industrial Technology (KITECH), Ulsan, Korea

### ABSTRACT

In this study, solar monitoring was established in 492 households in Samho Migratory Bird Village, Nam-gu, Ulsan Metropolitan City, using Low Power Wide Area (LPWA) transmission technology (NB-IoT). As a result, the normal operation of solar power monitoring power generation of 492 households was more than 80% and power generation shutdown was less than 20%. To solve this problem, the results of the distributed access method and the Reference Signal Received Power (RSRP) are shown. In addition, the terminal cost of the dedicated communication gateway for NB-IoT is inexpensive, and installation is simple. This indicates total savings for each progressive stage according to the standby power saving effect, with and an estimated cost savings of 1 million won. Calculation of GHG emissions and comparative analysis showed that the a GHG reduction of 6,200 tons and a 250 million won expected profit from the sale of emission rights. Establishment of a solar power generation system and monitoring using Internet of Things Technology (IoT) is expected at the local level.

**Key words:** Greenhouse Gas (GHG), NB-IoT (Narrow Bandwidth Internet of Things), GHG Emission, GHG Emission Reduction, 4th Industrial Revolution, Solar Power Monitoring

### 1. 서론

지구온난화와 기후변화의 영향으로 도래한 범지구적인 당면한 기후변화 문제를 해결하기 위해 2015년 12월 유엔 기후변화 당사국 총회에서 채택된 “파리협정”이 2016년에 발효되었다. 37개 선진국에만 온실가스 감축의무를 부과

한 교토의정서와 달리 파리협정은 전 세계 195개국 참가국이 기후변화대응 방안 마련을 위해 참석하였다. 지금까지 누적된 온실가스 배출량만으로도 기후변화가 지속 될 것이 자명한 상황에서 온실가스 “감축(Mitigation)”과 더불어 변화하는 기후에 “적응(Adaptation)”을 위해 많은 노력과 관심을 가져야 한다. 또한 이러한 신(新)기후체제 도

<sup>†</sup> Corresponding author : [ajk2019@korea.kr](mailto:ajk2019@korea.kr) (44701, 233 Dotjil-ro, Nam-gu, Ulsan, Republic of Korea. Tel. +82-52-226-4952)

ORCID 안준기 0000-0001-7974-6347  
신동명 0000-0002-7194-1399

이만식 0000-0003-1565-9222

래에 따른 문제점을 해결하고, 실현하기 위해 선진국은 개발도상국에 대한 재정적, 기술적, 정책적 지원으로 그들의 역량을 높일 수 있도록 노력하고 있다. 아울러 개발도상국은 이러한 지원을 통해 기후변화 대응능력을 향상시키는 행동을 하고, 이행하고 있는지를 서로 투명하게 살펴보아야 한다. 당사국들은 2018년에 이 세부 실천을 위한 방안 마련하고 이를 채택하여 2020년 이후에 적용할 예정이다(Kim, 2017; Yeom et al., 2017). 파리협정을 통해 전 세계 모든 국가는 산업혁명 이전 대비 지구 기온상승을 2℃보다 낮은 수준으로 유지하고 더 나아가 1.5℃까지 제한하기로 합의하였다. 따라서 관련 해당 국가들은 온실가스 감축 및 기후에 적응을 위해 많은 노력을 하고 있다. 우리나라의 경우 국제 흐름에 발맞추어 2030년까지 BAU (Business as Usual, 배출량전망치)대비 37%(약 3.1억톤)의 온실가스 감축 목표를 제시하였고, 신(新)기후체제 하에서 기후변화 대응 분야의 시장 규모는 2030년도까지 1,800조 달러에 이를 것으로 전망하고 있다(Kim, 2017; Yeom et al., 2017). 이는 도전적인 수준의 온실가스 감축목표를 계획한 우리나라가 새로운 시장에 쉽게 진입하고 선점할 기회를 가질 수 있음을 보여준다. 신(新)기후체제 대응을 통해 지구온난화 문제 해결을 위해 노력을 하고 있으나, 지구온난화 물질 배출을 감소하기 위해 자발적 참여가 필요하다. 4차 산업과 연계된 지자체 차원의 새로운 기후 변화 대응 모델은 중앙-지방정부간의 상호협력관계 형성에 도움이 될 뿐만 아니라 기후변화대응 분야 신규시장에 선진입 할 수 있는 기회가 될 것으로 보인다. 지자체의 경우 그 동안 정부 정책의 수행 및 에너지 빈곤 계층에 대한 복지 정책 추진의 일환으로 주택용 태양광 설비의 보급에 적극적이었으나, 대부분 태양광 모듈, 인버터 등 설비의 구축에만 한정 되어있었다. 이러한 설비의 통합관제를 통해 효율적 관리를

통한 경제적 수익 모델 발굴 등 관리 운영에 미흡하였다(Seo, 2017). 따라서 2017년도에서 2019년까지 3차년 간 전국 최대 규모의 울산광역시 남구 삼호동 단일지역에 단독주택 847가구에 태양광을 설치하여 에너지자립마을이 조성되었다. 또한 이러한 문제 해결을 위해 지역 에너지산업 활성화 지원사업의 일환으로 2017년부터 2018년까지 4차 산업혁명기술인 저 전력광대역(LPWA:Low Power Wide Area)전송 기술(NB-IoT)을 활용하여 삼호철새마을 492가구에 태양광 모니터링 구축을 하였다. 따라서 본 연구에서는 태양광 모니터링 결과를 나타내었으며, 그에 따른 최적의 방안을 제시하였다. 또한 온실가스 배출량 산정 및 방법론 비교 분석을 통해 온실가스저감 결과를 나타내고자 하였다.

## 2. 이론적 배경 및 연구방법

국내·외 에너지 산업 현황의 경우 2017년 우리나라 에너지 소비량은 282백만 toe로 세계 9위이며, 석유소비 8위, 전력소비 7위로 이는 세계 14위인 경제 규모에 비해 높은 수준이다(Table 1, Earth energy, 2020).

또한 정부는 2017년 8.08%인 신재생 발전 비중을 2030년도까지 20%로 확대한다는 의지를 밝히고 태양광, 해상풍력, 수소 연료전지에 대한 육성 방안을 발표하였다. 신재생에너지 발전 비중을 확대하기 위해 재생에너지 2030 이행 계획에서 태양광과 풍력을 각각 30 GW, 16 GW 증설계획을 발표하였다. 무엇보다 2050년도까지 탄소 배출을 10 GtCO<sub>2</sub> 이하로 감소 진행하기 위해 에너지 효율 개선(37%)과 신재생에너지 보급(32%)이 주요 수단으로 이야기 되고 있다(Earth energy, 2020). 또한 관련제품 및 서비스의 국내외 시장규모 Table 2와 같다(Iplaza, 2021).

Table 1. Energy consumption by country (2017)

Division	1 <sup>st</sup> place	2 <sup>nd</sup> place	3 <sup>rd</sup> place	4 <sup>th</sup> place	5 <sup>th</sup> place	6 <sup>th</sup> place	7 <sup>th</sup> place	8 <sup>th</sup> place	9 <sup>th</sup> place	10 <sup>th</sup> place
Energy consumption (Million toe)	China	USA	India	Russia	Japan	Germany	Brazil	Canada	South Korea	Iran
	3,063	2,155	881	732	432	311	290	289	282	261
Oil consumption (Million ton)	USA	China	India	Japan	Saudi Arabia	Russia	Brazil	South Korea	Germany	Canada
	876	597	226	180	162	146	140	123	114	103
Power consumption (TWh)	China	USA	India	Japan	Russia	Germany	South Korea	Brazil	Canada	France
	6,302	4,098	1,268	1,027	987	574	548	527	521	483

Table 2. Related products, domestic and overseas market size

Division	Market	2018	2019	2020	2021	2022	Total
IoT product	Overseas (unit: million dollars)	4,592,000	5,648,000	7,065,000	8,000,000	9,650,000	34,955,000
	Domestic (unit: billion won)	45,000	50,000	70,000	80,000	96,000	341,000

태양광 발전시장은 20 ~ 25년의 수명을 가지며 이에 대한 지속적인 유지보수가 필요한 시장이다. 또한 발전량 저하는 이익률을 급감시키는 요인이며 지속적인 설비의 모니터링을 통해서 발전량을 유지하는 것이 중요시되고 있다. 또한 태양광 발전소의 발전 정보, 상태 정보 등의 다양한 모니터링 기능을 가진 모니터링 시스템의 저렴한 공급이 시장에서 요구되고 있다. 무엇보다 기존 모니터링 시스템은 통신 게이트웨이 기능을 갖춘 RTU (Remote Terminal Unit) 장비가 다수의 태양광 인버터와 주변장치(기상관측용 센서 박스 및 시스템 접속반 등)로부터 정보를 수집하여 모니터링 서버에 전송함으로써 발전사업자에게 PC 및 스마트폰을 통해 서비스를 제공하는 방식이다. 현재 이 방식은 대용량 발전 사업자 위주로 사용하는 모니터링 시스템으로 상대적으로 설치비용이 고가이며, 인터넷망 또는 통신망을 통해 서버로 태양광 발전 정보를 전송하기 때문에 매월 인터넷요금 또는 통신요금이 발생한다. 따라서 주택용 소용량급(5 kW 이하) 인버터에 기존의 방식을 적용하는 것은 상대적으로 과다한 통신비용이 발생하여 모니터링 시스템의 보급에 걸림돌이 된다. 또한 모니터링은 사용자의 사용편의성, 태양광 발전소 관리자의 정비 편의성 및 접근성 향상이 모니터링 시스템의 주요 성능지표이며, 이에 대한 개선 솔루션으로 기존 복잡한 통신체계를 단순화하여 통신장비의 설치 및 관리를 쉽게 하여야 한다(Seo, 2017).

통합 모니터링 관제시스템 구축은 다수의 가구별 소단위 태양광 발전소들을 효율적 방법과 합리적인 가격으로 설치할 수 있게 하는 것이다. 따라서 가구별 설치하는 발전소 형태는 소용량의 태양광 설비를 마을 단위 가구 옥상 또는 벽 외부에 설치하거나, 인터넷 연결이 어려운 도서지역이나 산간지역에 설치되는 경우에 인터넷에 연결하는 방식을 유선이 아닌 이동 통신을 이용한 무선 연결 방식이 선호되나, 기존의 LTE (Long Term Evolution) 방식으로는 수백 개의 소단위 발전소들을 저렴한 가격으로 연결하기는 사실상 어려운 실정이다. 이를 극복하기 위한

방법의 하나로 저렴한 신기술 이동통신 방식을 사용하면, 기존 이동통신망을 이용하거나 보다 합리적인 가격으로 관제 시스템 운영이 가능하다. 따라서 현재 상용화된 저렴한 형태의 NB-IoT 통신 방식을 적용하여 저전력·저가격의 태양광 모니터링을 관제시스템을 구축하였다(Seo, 2017; 2018). 또한 태양광 모니터링을 통해 최적의 조건 및 최적의 방안을 제시하고, 온실가스 감축을 위해 산출한 온실가스 배출량 산정은 온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률 시행, 외부사업 타당성 평가, 감축량 인증에 관한 지침을 적용한 배출계수를 각각을 대상으로 온실가스 배출량을 산정하였다.

## 2.1 온실가스 배출량 계산 및 산정

온실가스 배출량 계산 및 산정에 앞서 본 연구에 적용할 수 있는 온실가스 감축 방법론을 판단하여야 한다. Kim and Lee (2019)에서는 지자체의 사업 유형 분류를 보면 크게 온실가스·에너지감축 정책, 에너지 생산 및 흡수원 관리 등 3개 유형으로 구분이 가능하였으며, 이렇게 구분된 3개 유형별로 외부사업 방법론으로 분류 하였다. 따라서 본 연구에 해당되는 방법론은 에너지생산 유형의 방법론 중 재생에너지를 이용한 전력 생산 및 계통 연계 사업 방법론(01B-001-Ver01)과 재생에너지를 이용한 전력생산 및 자가 사용 사업방법론(01B-004-Ver01)이 해당된다(Ministry of Environment, 2016; Kim and Lee, 2019).

울산광역시 남구 삼호철새마을의 경우 2017년부터 2019년도까지 847가구에 태양광 발전 설비 설치를 지원하였으며, 492가구에 태양광 모니터링을 진행하고 있다. 또한 각 세대는 태양광 발전 설비를 통해 태양광 에너지를 이용한 전력을 생산한다. 따라서 본 연구에 방법론 적용 가능여부를 판단하기 위해 3장 연구결과 및 고찰에서 나타내었다. 또한 본 연구의 방법론을 표현할 경우 재생에너지를 이용한 전력 생산 및 계통 연계사업 방법론은

“01B-001-Ver01”로 표현 하였으며, 재생에너지를 이용한 전력생산 및 자가 사용 사업방법론 “01B-004-Ver01”로 나타내었다. 사업 경계는 본 사업의 재생에너지 발전과 관련된 모든 설비를 포함하며, 사업 경계 내 베이스라인 및 사업 활동에 포함되는 배출원 및 온실가스 종류는 Table 4와 같다.

Table 3. Methodologies of energy generation type

Methods	Version of methods	Valid Start data of methods
1) Methodology for power generation and grid-connection business using renewable energy	01B-001-Ver01	2015-04-21
2) Methodology for power generation and use business using renewable energy	01B-004-Ver01	2016-05-26

온실가스 배출량 산정을 위해 고정된 데이터 인자는 전력배출계수(0.466250 tCO<sub>2</sub>-eq/MWh), 데이터 단위는 배출량은 이산화탄소 상당량톤(tCO<sub>2</sub>-eq), 데이터출처는 ‘공공부분온실가스 에너지 목표관리제 운영 등에 관한 지침을 적용하였다(Environmental Notice No. 2020-3). 또한 베이스라인 및 모니터링 방법론은 온실가스 배출권거래제 상쇄제도 외부사업 방법론을 적용하였다(Ministry of Environment, 2016; Kim and Lee, 2019). 따라서 온실가스 감축량 산정은 아래와 같이 산정식 (1)을 적용하였다.

$$AB_y = B_{PJ,y} \times BC_{grid} \tag{1}$$

여기서,  $AB_y$  : y년도 베이스라인 배출량(tCO<sub>2</sub>-eq/년)  
 $B_{PJ,y}$  : 사업 후 y년도 태양과 발전을 통해 자가 사용된 순 전력량(MWh/년)  
 $BC_{grid}$  : 전력배출계수(0.46625 tCO<sub>2</sub> -eq/MWh)

순 전력량에는 태양광 에너지를 통해 생산된 전력량 중 발전 설비 가동을 위해 소비된 전력량(발전설비 가동을 위해 전력계통에서 공급받은 전력량은 포함)은 포함하지 않았다. 베이스라인 배출량 산정을 위한 순 전력량( $B_{PJ,y}$ )은 다음 식 (2)와 같다.

$$B_{PJ,y} = B_{i,PJ,y} \times D_{i,PJ,y} \times U_{i,PJ,y} \times 10^{-5} \tag{2}$$

여기서,  $B_{PJ,y}$  : 사업 후 y년도 태양과 발전을 통해 자가 사용된 순 전력량(MWh/년)  
 $B_{i,PJ,y}$  : 태양광 발전 설비 용량(kW)  
 $D_{i,PJ,y}$  : 발전설비의 연간 가동시간(시간/년)  
 $U_{i,PJ,y}$  : 발전설비의 연간 이용률(%)

태양광 발전 설비 용량은 ‘신(新)재생에너지 설비 설치 확인서’를 통해 확인하였으며, 실제 용량은 3.12 kW이며, 승인사업 용량은 3 kW이다. 태양광 발전 설비의 용량은 승인 사업용량인 3 kW를 적용하였으며, 총 세대수 494 대중 NB-IoT 모니터링을 설치한 492세대로 적용하였다. 따라서 온실가스 배출감축량(ER<sub>y</sub>)은 다음 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

Table 4. Emission sources and greenhouse gas types included in the baseline and business activities within the business boundary

Division	Emission source	Greenhouse gas (GHG)	Calculation included	Emission source description
Baseline emissions	Greenhouse gas emissions from Electricity Production generation in the power generation system	CO <sub>2</sub>	O	Main GHG emission sources
		CH <sub>4</sub>	O	
		N <sub>2</sub> O	O	
Business emissions	Methane missions from hydro power plant in water storage tanks	CO <sub>2</sub>	X	Main GHG emission sources
		CH <sub>4</sub>	O	
		N <sub>2</sub> O	X	

$$ER_y = BE_y - PE_y - CE_y \quad (3)$$

여기서,  $ER_y$  : y년도 온실가스 감축량(tCO<sub>2</sub>-eq/년)

$BE_y$  : y년도 베이스라인 배출량(tCO<sub>2</sub>-eq/년)

$PE_y$  : y년도 사업 배출량(tCO<sub>2</sub>-eq/년)

$CE_y$  : y년도 누출량(tCO<sub>2</sub>-eq/년)

## 2.2 저 전력광대역(LPWA)기술 특징 비교

무선통신신기술은 적용되는 기술에 따라 다양한 통신 반경과 전송특성을 가지게 되며 그 특징에 따라 응용되는 분야가 달라진다. 따라서 사물인터넷에 적용되는 MTC (Machine-Type Communication) 방식들에 대한 데이터 전송률과 통신반경을 나타내고 있다(Cho W., 2019, Fig. 1). MTC에서는 통신거리에 따라서 세 가지 방식으로 근거리, 중거리, 장거리로 분류 될 수 있다. LPWA 전송 기술에는 주파수사용에 따라 두 분류로 나타낼 수 있다. RFID, UWB, Bluetooth 등의 기술은 근거리 MTC에 해당되고, WiFi 및 ZigBee는 중거리 MTC에 해당되며 셀룰러통신 방식은 장거리 MTC에 해당됨과 동시에 높은 데이터 전송률을 지원한다. 하지만 장거리 통신을 지원하면서 낮은 데이터 전송률을 지원하는 MTC이 새로운 통신영역으로 등장하게 되었고 이와 같은 통신방식은 저 전력 광대역 (LPWA)기술로 소개되었다. 기존의 통신방식과는 다른 것은 낮은 데이터 전송률을 지원하는 반면에 매우 넓은 통신반경(3 ~ 15 Km)을 제공함으로써 매우 낮은 전력으로 동작할 수 있는 특징을 가지고 있다. 또한 사물인터넷 분야의 다양한 응용분야에 적용 될 수 있는 장점이 있다 (Cho W., 2019). LPWA기술을 보면 주파수사용에 따라 두

가지로 분류될 수 있으며, 비 허가 대역(unlicensed band)을 사용하는 LoRa, SigFox 그리고 허가대역(licensed band)을 사용하는 NB-IoT (Narrow Band : IoT), eMTC (evolved MTC) 등이 있다(Cho W., 2019, Table 4). Cho (2019)에서 넓은 대역폭으로 인해 eMTC가 가장 빠른 데이터 전송률을 제공하나 상대적으로 높은 모듈 가격을 가진다. Sigfox는 가장 넓은 통신 반경을 가지며, 낮은 데이터 전송률을 제공함을 알 수 있다. 또한 NB-IoT의 경우 데이터 전송 및 통신 반경을 포함하여 전반적으로 균형 있는 특징을 제공함으로써 보다 널리 사용되는 저 전력광대역 기술로 채택되고 있다(Xu J. et, al., 2018, Cho W., 2019). 따라서 NB-IoT의 기술의 경우 Table 5와 같이 모듈 가격으로 서비스가 가능하며, 확장된 커버리지가 저속으로 안정적 서비스 제공이 가능하다.

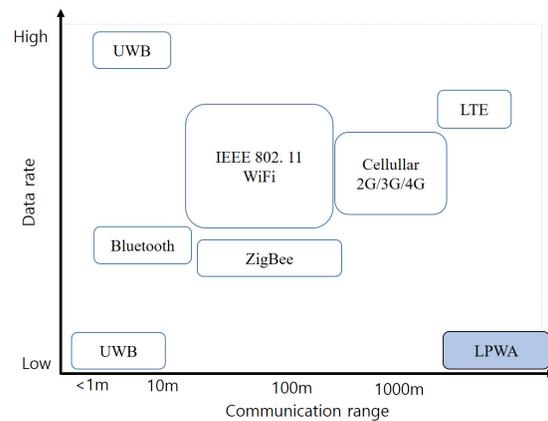


Fig. 1. Data rate and communication range depending on communication scheme

Table 5. Comparison of LPWA technical characteristics

Division	NB-IoT	LoRa	Sigfox	eMTC
Spectrum	licensed	unlicensed	unlicensed	licensed
Bandwidth	200 KHz	7.8 KHz ~ 500 KHz	200 KHz	1,4 MHz
Peak rate	160 ~ 250 kbps (DL) 160 ~ 200 kbps (UL)	290 bps~50 kbps (DL/UL)	110 ~ bps(DL) 600 bps(UL)	1 Mbps
Battery life	~ 10 years	~ 10years	8 ~ 10 years	5 ~ 10 years
Coverage	urban: ~ 8 km suburban: ~ 25 km	urban: ~ 5 km suburban: ~ 15 km	urban: ~ 10 km suburban: ~ 25 km	urban: ~ 8 km suburban: ~ 25 km
Module cost	< \$ 5	< \$ 5	< \$ 10	< \$ 10

### 2.3 통합 관제 시스템 구축

Fig. 2와 같이 통합 관제 시스템은 NB-IoT 게이트웨이 단말기를 통해 태양광 인버터와 1대1로 연결하며, NB-IoT 기지국에 연동 하여 모니터링 서버와 통신하여 데이터를 수집한다. 동시에 수집된 데이터를 통한 관제 태양광 모니터링 시스템을 통해 발전 정보를 종합 적으로 관리할 수 있다 (Seo, 2017; 2018). 통합 관제시스템은 스마트폰 App(안드로이드) 운영, 태양광 설치된 위치의 날씨를 참조하여 발전 예상치 예측, 현재 인버터 발전량, 누적 발전량 및 통계 등의 정보를 관리할 수 있으며, 이러한 정보는 연계된 스마트폰으로 확인, 인버터 상세정보 알람을 통해 인버터의 고장

유무를 빠르게 판단할 수 있다(Seo 2017, Seo. 2018).

### 2.4 NB-IoT 통신망 구조

Fig. 3과 같이 NB-IoT 통신망 구조는 태양광 인버터, NB-IoT 모듈, 기지국, Core, IoT플랫폼, IoT application 서버로 구성되어 있으며, 따라서 LTE망의 기지국과 일부 코어망 설비를 공유하게 된다(Seo, 2017; 2018). 신규 구축이 필요할 부분은 기지국 단말의 부속 카드와 코어망 설비 일부 증설, IoT플랫폼 서버 등이 추가되며, 신규 구축하는 것에 비해 저비용 고효율의 망이 구축가능하다 (Lee et al., 2017; Hwang et al., 2018).

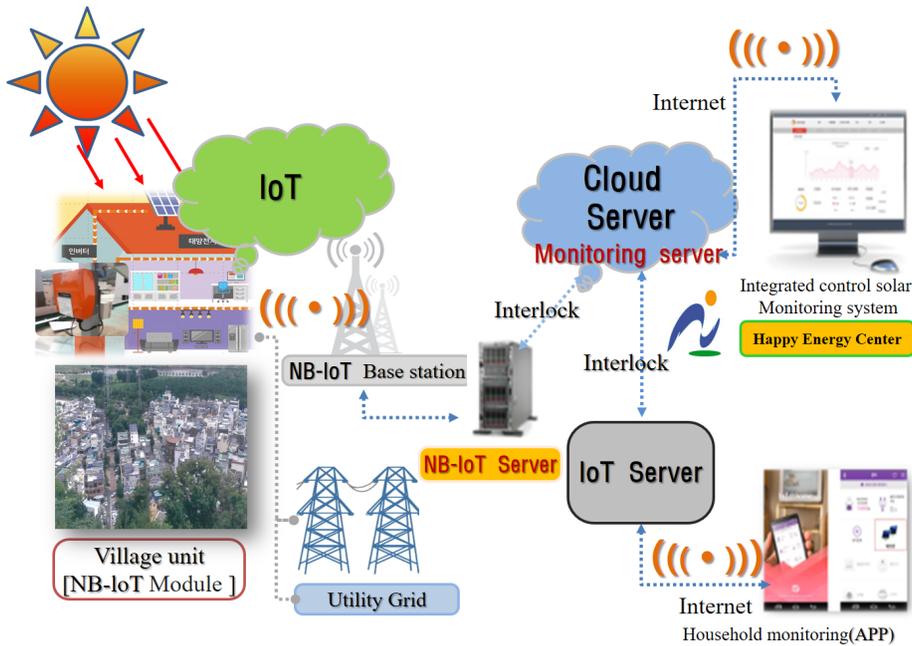


Fig. 2. Total system overview

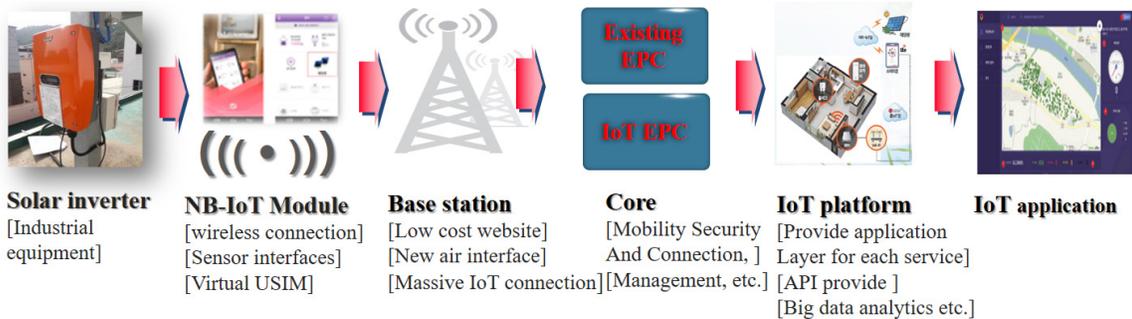


Fig. 3. NB-IoT network structure

### 3. 연구결과 및 고찰

#### 3.1 외부사업 방법론 비교 및 분석

온실가스 감축사업을 추진하기 위해서는 온실가스 배출량 계산 및 산정에 앞서 본 연구에 적용할 수 있는 외부사업 방법론을 우선 선정해야 한다. 온실가스 배출권 할당 및 거래에 관한 법률 및 동법 시행령과 외부사업 타당성 평가 등 감축량 인증에 관한 지침에 따라, 방법론 적용 조건, 사업경계, 베이스라인방법론, 모니터링방법론 등 본 연구에 적용가능한 방법론을 결정하기 위하여 01B-001-Ver01과 01B-004-Ver01을 비교 분석하였다.

Table 6과 같이 환경부 가이드라인(Ministry of Environment)에 의하면 본 연구에 해당되는 방법론 중 01B-004-Ver01의 적용 조건은 재생에너지 중 태양광, 풍력, 수력, 조력을 이용하여 생산된 전력을 자가 소비하는 경우, 재생에너지를 이용하는 전력을 생산하는 경우, 재생에너지를 통해 생산된 전력을 자가 사용하는 경우 해당되며, 또한 사업 이전 전력계통을 통해

수전 전력을 받을 경우 등 이에 적용가능하다. 01B-001-Ver01의 방법론 조건은 태양광, 풍력, 수력, 조력을 이용하여 생산된 전력을 계통에 연계하는 경우, 재생에너지를 이용하여 전력을 생산하는 경우 해당되며, 재생에너지를 통해 생산된 전력을 전력 계통에 연계하는 경우에 적용 가능하다. 따라서 본 연구에서 적용 가능한 방법론의 적용 조건은 사업 이전 삼호철새마을 내 가정에서 전기를 사용하고 있었으므로 01B-004-Ver01이 부합된다. 만약 사업 활동으로 인한 자가 사용 외의 경우 계통 송전 가능성도 고려해 필요는 있을 것으로 판단된다. 사업 경계의 경우 삼호철새마을에 거주하고 각 세대에 태양광 발전 설비 설치를 지원하며, 각 세대의 전력은 태양광 발전 설비 및 한국전력공사의 전력 계통을 통해서 공급되어 이 외의 다른 공정은 존재하지 않는다. 또한 태양광 에너지를 이용해 생산된 전력은 발전 설비가 설치된 각 세대 이외의 다른 세대 또는 다른 건물 등에 공급되지 않는다. 그러므로 01B-001-Ver01과 01B-004-Ver01은 사업경계에서는 동일 적용된다. 베이스라인 시나리오의 경우는 환경부 가이드라인에 의하면

Table 6. Comparative analysis data of application method

Division	Methodology for power generation and use business using renewable energy (01B-004-Ver01)	Methodology for power generation and grid-connection business using renewable energy (01B-001-Ver01)	Comparative analysis	
			Equivalence	Different
1	Methodology application	Methodology application		○
2	Business boundary	Business boundary	○	
3	Baseline methodology (Baseline scenario, Proof of Addability, Business emissions, Leakage, )	Baseline methodology (Baseline scenario, Proof of Addability, Business emissions, Leakage, )	○	
4	Baseline methodology (Baseline emissions)	Baseline methodology (Baseline emissions)		○
5	Baseline methodology (Greenhouse gas emission reduction amount)	Baseline methodology (Greenhouse gas emission reduction amount)	○	
6	Monitoring methodology (Net amount of electricity self-used through new and additionally installed renewable energy generation facilities)	Monitoring methodology (Total amount of electricity supplied to the system excluding electricity consumed in the facility through renewable energy in year y after the project(net electricity)		○
7	Monitoring methodology (Baseline fixed data factor)	Monitoring methodology (Baseline fixed data factor)	○	
8	Monitoring methodology (Baseline data factor)	Monitoring methodology (Baseline data factor)		○

“전력계통에 연계된 기존 발전소에서 생산된 전력을 이용하였을 것이다”라고 명시되어 있어 본 연구에서는 각 세대는 한국전력공사에서 생산한 전력을 전력 계통을 이용하여 두 방법론은 동일하게 적용되고 있음을 알 수 있었다. 또한 베이스라인 배출량 및 주요 모니터링 인자를 보면 01B-001-Ver01의 경우 사업 후 y년도 재생에너지를 통해 소내 소비된 전력량을 제외한 계통에 공급된 총 전력량(순 전력량)을 제시하고 있으며, 01B-004-Ver01의 경우 신규로 및 추가로 설치된 재생에너지 발전 설비를 통해 자가 사용된 순 전력량을 제시하고 있어 두 방법론은 온실가스 감축량 산정을 위해 자가 사용된 전력량과 전력 계통에 공급된 총 전력량 측정차이에 의해 서로 다르다고 판단할 수 있다.

### 3.2 온실가스 배출량 계산 및 산정 결과

삼호철새마을의 경우 태양광 발전 설비의 신규 설치이며, 베이스라인 배출량 산정을 식 (1)을 적용하여 그 결과 값을 나타내었다(Table 7). y년도 베이스라인 배출량 결과는 886.79 (tCO<sub>2</sub>-eq/년) 산정되었다. 또한 사업 후 y년도 태양광 발전을 통해 자가 사용된 순 전력량은 1,901.968 MWh/년으로 산정되었다.

태양광 발전 설비의 연간 가동시간은 8,760 시간/년 적용하였으며, 본 발전설비의 이용률은 ‘신재생에너지보급통계’의 ‘신(新)재생에너지 환산기준’에 제시된 태양광(자가용)이용률을 적용하였다. 또한 설비 설치 연도는 2017년이나, ‘신재생에너지보급통계’의 최신 이용률 데이터가 2016년이므로 2016년의 태양광 이용률 14.71% 적용하였다. 따라서 사업 후 y년도 태양광 발전을 통해 자가 사용된 순 전력량은 1,901.968 MWh/yr으로 산정되었다(Table 8).

태양광 발전 설비를 통해 생산 후 자가 사용한 전력량 중 발전 설비 운영과 직·간접적으로 연관된 시설 운영에 필요한 전력, 즉 소비전력을 차감한 순전력량을 측정해 베이스라인 배출량을 산정하므로 사업 배출량은 ‘0’(PEy=0)으로 하였다. 또한 누출량(CEy=0)은 고려하지 않았다. 따라서 온실가스 배출감축량(ERy) 식 (3)을 적용하여 y년도 베이스라인 배출량은 886.792 tCO<sub>2</sub>-eq/년으로 나타났으며, 온실가스 배출 감축량은 886 tCO<sub>2</sub>-eq/년으로 산정되었다(Table 9).

따라서 온실가스 감축량을 인증유효기간을 총 7년으로 가정하고, 인증 유효기간 동안의 총 예상 온실가스 감축량은 6,202 tCO<sub>2</sub>-eq의 결과를 나타내었다(Table 10).

Table 7. Results of data for estimating baseline emissions

Symbol	Justice	Value	Unit
$AB_y$	Baseline emissions in year y	886.79	tCO <sub>2</sub> -eq/yr
$B_{PJ,y}$	Net amount of electricity self-used through solar power generation in y year after business	1,901.968	MWh/yr
$BC_{grid}$	Power emission factor	0.46625	tCO <sub>2</sub> -eq/MWh

Table 8. Data result for calculating net power

Symbol	Justice	Value	Unit
$B_{PJ,y}$	Net amount of electricity self-used through solar power generation in y year after business	1,901.968	MWh/yr
$B_{i,PJ,y}$	Solar power plant capacity	1,476	kW
$D_{i,PJ,y}$	Annual operating house of power generation facilities	8,760	Time/yr
$U_{i,PJ,y}$	Annual utilization rate of power generation facilities	14.71	%

Table 9. Calculation result of greenhouse gas emission reduction amount

Symbol	Justice	Value	Unit
$ER_y$	Greenhouse gas reduction in year y	886	tCO <sub>2</sub> -eq/yr
$BE_y$	Baseline emissions in year y	886.79	tCO <sub>2</sub> -eq/yr
$PE_y$	y project emissions	0	tCO <sub>2</sub> -eq/yr
$CE_y$	Leakage in year y	0	tCO <sub>2</sub> -eq/yr

Table 10. Greenhouse gas reduction result

Year	Baseline emissions (adsorption)	Business emissions (adsorption)	Leakage amount	Greenhouse gas reduction (net adsorption)	Final reduction
1st year	886	0	0	886	886
2st year	886	0	0	886	886
3st year	886	0	0	886	886
4st year	886	0	0	886	886
5st year	886	0	0	886	886
6st year	886	0	0	886	886
7st year	886	0	0	886	886
Total expected reduction	6,202	-	-	6,202	6,202

### 3.3 NB-IoT 활용한 태양광 모니터링 시스템

NB-IoT 기존 LTE (Long Term Evolution)망과 연계된 저 전력 광역통신기술로 이를 활용한 태양광 모니터링 시스템은 LTE 커버리지가 닿는 곳이면 어디든 사용 가능한 장점이 있다. 태양광 발전은 태양빛을 전기에너지로 변화하여 사용하는 기술로 안정된 상용 전력을 변환하기 위한 전력변환 장치 운전이 필요로 한다. 이러한 전력변환장치 운전의 필요한 기본 정보를 취득하고 있으면 MMI (Man Machine Interface)를 위한 정보제공, 운전 정보는 시리얼 통신을 통하여 외부 장치와의 Interface가 가능하다(Seo, 2017). 태양광 모니터링시스템은 태양광 전지 어레이, 직류전력 조절 장치, 인버터, 기상관측용 센스 박스로 구성되어, 사용자가 시스템 접속반의 정보를 수집하여 서버에 전송하고 실시간 정보를 확인하거나 입력정보 조회 서비스를 제공받을 수 있도록 되어있다. 또한 PC 웹사이트 및 스마트폰 어플리케이션을 통해 태양광 발전 시스템의 실

시간 정보 확인, 입력정보 조회 서비스를 제공하며, 일보, 주보, 월보, 연보의 형태로 발전량을 체크하는 통합 관제 모니터링 시스템으로 구성되어있다(Seo, 2017; So et al., 2004; Lee et al., 2017).

### 3.4 통합모니터링 시스템 구현

통합관리모니터링 시스템은 태양광 인버터(Kim et al., 2015; So et al., 2004) 기상관측용 센서 박스 및 시스템 접속 등 정보를 수집하여 서버에 전송하고 사용자에게 실시간 정보 확인 및 입력정보 조회 서비스를 제공하는 통합 모니터링 솔루션이다. 태양광 모니터링 시스템은 PC 웹사이트 또는 스마트폰 어플리케이션을 통해 태양광 발전시스템의 실시간 정보 확인 및 입력정보 조회 서비스를 제공하며 일보, 주보 월보, 연보의 형태로 발전량 그래프를 Fig. 4에서 제공하고 있다(Seo, 2017; Seo, 2018).

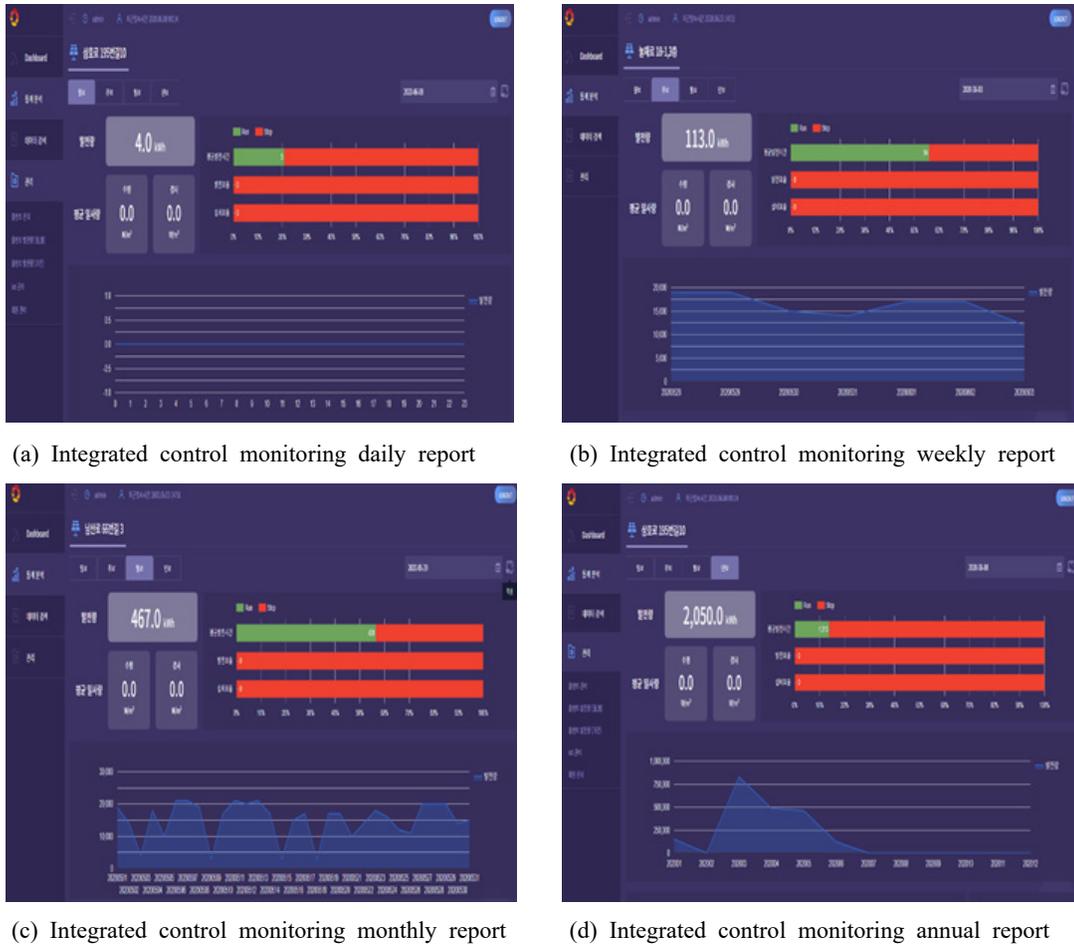


Fig. 4. Integrated control monitoring report

### 3.5 인버터 인증 및 시스템 관리 구현

모니터링 시스템을 성능구현과 인증을 받기 위하여 울산광역시 남구 삼호철새마을 492세대에 태양광 모니터링을 구축하고 운영하였다(Seo, 2018). 사용된 인버터의 사양은 Table 11과 같으며, Fig. 5는 인버터 시스템의 내부 및 외부 사진이다. 인증 시험은 한국 전기전자시험연구원에서 진행을 하였으며, 그중 대표 인증 시험 결과를 나타내었다. 단독 방지 시험 기능시험은 단독 운전을 검출하여 0.5초 이내에 개 폐시 개방 또는 게이트 블록 기능의 동작 시험 여부에 대하여 진행 하였다. 적용 검사 기준은 KSC 8565 및 인증심사기준을 사용하였으며, 이때 그에

따른 시험 조건에 따른 결과는 아래 Table 12와 같이 심사 기준에 부합되었다.

Table 11. Specifications of solar inverter

Item	Specification
Specifications	Single phase 2 wire type
Power capacity	3.1 kw
Frequency	60 Hz
Size	305×380×134.5 (mm <sup>3</sup> )
Wight	9.9kg
Efficiency	96.76%
Input range	100~ 500 (vdc)



(a) Product exterior picture (b) Product internal picture

Fig. 5. Inverter system picture (Seo, 2017)

### 3.6 운전 데이터 성능 분석

Fig. 6은 실시간으로 들어오는 492세대의 태양광 발전 정보를 시간 단위로 표출하는 화면으로 전체 모니터링에 대한 누적 발전량을 나타내는 대시보드 화면이다. Table 13은 NB-IoT 태양광모니터링 운영 현황에 대한 내용이며, Dash Board 서버 전송에 따라 수치 값 등 그에 따른 태양광 모니터링 운영 결과 내용이다.

Table 13은 태양광 모니터링 운영에 따른 일일 발전정지 및 발전정상에 따른 가동률을 나타낸다. 또한 현재 Dash board상 모니터링 데이터 결과를 나타내었다. 492세대에 따른 정상 가동은 100%이며, 그에 따른 모니터링 발전량 정지는 77개소로 나타났다. 따라서 발전량 정지 외 정상 가동은 전체 84.3%의 결과를 나타내었다. 또한 삼호철새마을 세대별 모니터링 발전 정지량을 알아보면 A지역 14개소, B지역 10개소, C지역 13개소, D지역 9개소, E지역 18개소, F지역 13개소로 전체 492세대 중 77개소가 발전량 정지를 나타내었다(Table 14).

Table 15, Table 16과 같이 태양광 모니터링 주간 운영

에 따른 데이터 결과를 나타내었다. 따라서 492세대에 따른 정상 가동은 100%로이며, 그에 따른 모니터링 발전량 정지는 4월 13일 78개소, 4월 14일 80개소, 4월 16일 80개소, 4월 17일 85개소, 4월 20일 77개소의 결과를 나타냈다. 세대별 발전 정지량을 보면 4월 13일 A로 15개소 외 63개소, 4월 14일 A로 16개소 외 64개소, 4월 16일 A로 14개소 외 66개소, 4월 17일 A로 15개소 외 70개소, 4월 20일 A로 14개소 외 63개소의 발전량 정지를 나타내었다 (Table 16). 따라서 발전정상 가동 분석내용을 보면 전체 비율 가동률은 80% 이상의 결과를 나타내었다(Table 15).

Table 15와 같이 전체 가동률 80% 이상, 발전량 정지는 20% 이하의 결과를 나타내고 있다. 이러한 문제의 현상을 분석한 결과 현재 태양광 인버터로부터 입력되는 전원(DC 5V)을 사용하는 NB-IoT 단말기 특성상 전원이 공급되는 구간이 인버터가 구동되는 시간대(일출, 일몰)에만 인가되어 단말기가 동작되는 시점이 거의 동시간대에 이뤄짐을 확인 할 수 있었다. 즉 492세대의 단말기가 거의 동시간대에 2대의 NB-IoT 중계기로 접속을 시도함이 망 접속 부하량을 증가시키는 요인이 확인되었다. 또한 분석된 현상은 개발 당시에는 애견하지 못했던 현상으로 이를 해결하기 위한 방안으로 초기 전원 인가 된 후 단말기가 동시간대 NB-IoT 망에 즉시 접속하려는 행위를 방지하기 위해 분산 접속 방식을 적용하였다(Fig. 7). 분산접속 방식은 각 단말기가 저장하고 있는 시리얼 번호를 파라미터로 활용하여 시간 지연을 설정함으로써 여러 단말기 대기하였다가 순차적으로 통신망에 접속하도록 소프트웨어를 읽어 실행하거나 수정하는 기능인 펌웨어를 수정하여 동시 접속에 이차 망부하량 급증으로 인해 발생될 수 있는 통신 장애 문제를 해결하였다(Seo, 2018).

Table 12. Contents of independent prevention test result

Division	Exam conditions	Experiment result
Test condition a	100% of rated output, 90% or more of input voltage range	Fitness
Test condition b	50 to 66% of rated power. 50% ± 10% of input voltage range	Fitness
Test condition c	25 ~ 33% of rated output, less than 10% of input voltage range	Fitness
Other input voltage Condition	If MPPT range is X ~ Y under test condition A (90%=X+0.9×(Y-X))	

(Applicable inspection standard: KSC 8586)

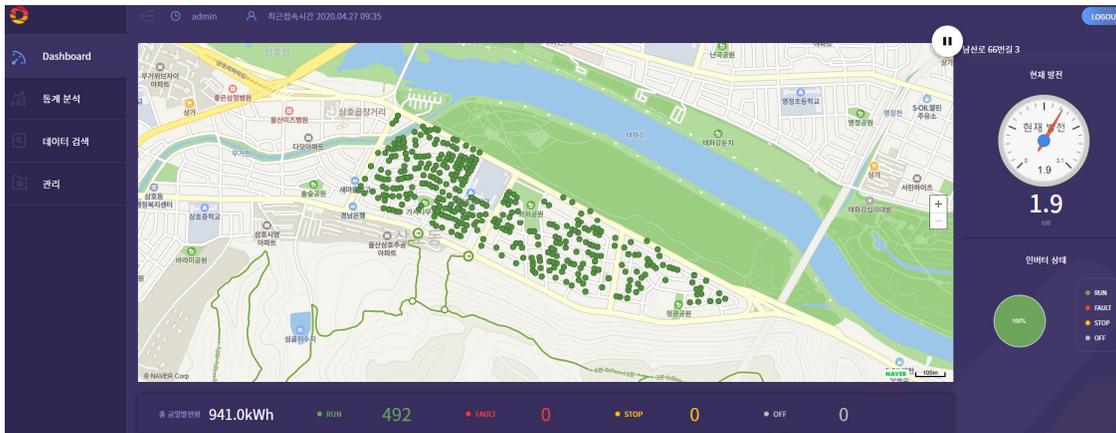


Fig. 6. Integrated control monitoring screen

Table 13. Daily operation status of solar power

Division	Monitoring Dash Board			Analysis of monitoring data		Power generation normal operation (%)
	Run	Stop	Ratio (%)	Power generation stop(OFF)	Ratio (%)	
Result analysis	492	0	100	77	15.7	84.3

(Standard: 2020.04.20.)

Table 14. Solar power generation operation status by region

Division	Area A	Area B	Area C	Area D	Area E	Area F	Sum
Power generation stop	14	10	13	9	18	13	77

(Standard: 2020.04.20. .Development stops by address of samho migratory birds village.)

Table 15. Daytime operation status of solar power

Division	Monitoring Dash Board			Analysis of monitoring data		Power generation normal operation (%)
	Run	Stop	Ratio (%)	Power generation stop (OFF)	Ratio (%)	
April 20	492	0	100	77	15.7	84.3
April 17	492	0	100	85	17.3	82.7
April 16	492	0	100	80	16.3	83.7
April 14	492	0	100	80	16.3	83.7
April 13	492	0	100	78	15.9	84.1

(Standard 2020.04.13. ~ 04.20 samho migratory birds village Village 492 households.)

Table 15와 같이 전체 가동률 80% 이상, 발전량 정지는 20% 이하의 결과를 나타내고 있다. 이러한 문제의 현상을 분석한 결과 현재 태양광 인버터로부터 입력되는 전원(DC 5V)을 사용하는 NB-IoT 단말기 특성상 전원이 공급

되는 구간이 인버터가 구동되는 시간대(일출, 일몰)에만 인가되어 단말기가 동작되는 시점이 거의 동시간대에 이뤄짐을 확인할 수 있었다. 즉 492세대의 단말기가 거의 동시간대에 2대의 NB-IoT 중계기로 접속을 시도함이 망 접

속 부하량을 증가시키는 요인이 확인되었다. 또한 분석된 현상은 개발 당시에는 애견하지 못했던 현상으로 이를 해결하기 위한 방안으로 초기 전원 인가 된 후 단말기가 동시간대 NB-IoT 망에 즉시 접속하려는 행위를 방지하기 위해 분산접속 방식을 적용하였다(Fig. 7). 분산접속 방식은 각 단말기가 저장하고 있는 시리얼 번호를 파라미터로 활용하여 시간 지연을 설정함으로써 여러 단말기 대기하였다가 순차적으로 통신망에 접속하도록 소프트웨어를 읽어 실행하거나 수정하는 기능인 펌웨어를 수정하여 동식 접속에 이차 망부하량 급증으로 인해 발생할 수 있는 통신 장애 문제를 해결하였다(Seo, 2018).

또한 수정한 펌웨어를 해당 지역에 설치된 모든 단말기에 적용하고 기타 펌웨어를 해당 지역에 설치된 모든 단말기에 적용하여 기타 단말기 이상 유무 확인을 하였으며, 전수 리

콜 서비스가 약 1년간(2019년 4월~2020년 3월) 방문 서비스를 통해 순차적으로 진행되었다. 하지만, 현재 통신 장애 발생률이 약 20% 내외로 나타나고 있으며, 이중 10%는 단말기 보관상의 문제(침수 또는 자연적 재해)로 인한 고장과 일부 분실에 의한 것이며, 나머지는 통신 장애가 발생한 것으로 추정된다. 또한 수신감도(RSRP: Reference Signal Received Power) 영향을 주는 성능시험은 정보통신산업진흥원의 LPWA(NB-IoT) 3D OTA 방사 성능시험(\*S190306-014) 의해 진행되었다. 측정방법은 Anechoic Chamber Method를 사용하였으며, 측정안테나 고정, DUT가 phi, theta 축으로 회전하는 step 측정 방식을 이용하였다. Table 17의 성능시험 조건을 바탕으로 시험하였으며, Table 18과 같이 모두 정상 범위 부합되었다.

Table 16. Solar daytime operation status

Division	Area A	Area B	Area C	Area D	Area E	Area F	Sum
April 20	14	10	13	9	18	13	77
April 17	15	15	13	9	19	14	85
April 16	14	12	13	8	19	14	80
April 14	16	11	13	9	17	14	80
April 13	15	11	13	8	17	14	78

(Standard 2020.04.20. Development stops by address of samho migratory birds village Village.)

Table 17. Measurement condition data

Division	ER Limit	Rx Sensitivity resolution	Test mode	Test point	Utilization
LTE-MTE	BLER 5% *Power control: max.	0.5 dB	TRP 30, TIS 30	120	○

(FS: Free Space)

Table 18. Result data

Division	BW (MHz)	TRP (CH2600)	TIS (CH20600)	Result
Reference value	10/10	17	-105	-
Test 1	10/10	18.45	-105.84	Pass
Test 2	10/10	18.57	-106.57	Pass

Table 19. Reference signal received power result

Division	PCI	SNR	RSRP (dBm)
A	187	0	-48.4 (very good)
B	232	0	-78.7 (usually)

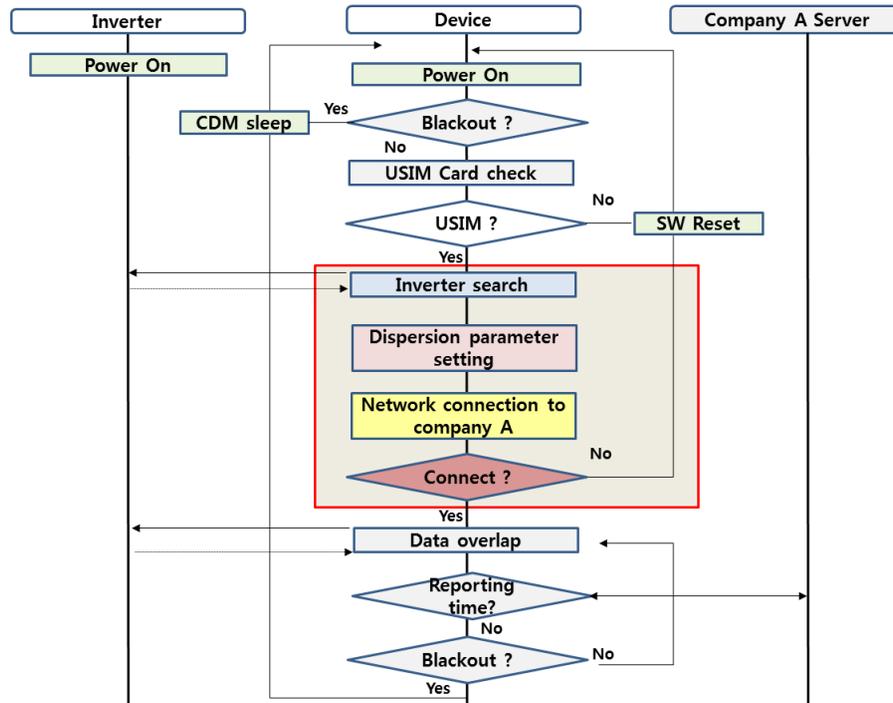


Fig. 7. Operates when the power of the NB-IoT terminal

추가적인 분석을 위해 2020년 10월 말부터 11월 초까지 해당 단말기들 중 무작위로 2곳을 대상으로 수신감도 (RSRP: Reference Signal Received Power)를 확인한 결과 모두 -100dBm 이상으로 양호한 수준으로 데이터 통신에는 영향이 없음을 알 수 있었다(Table 19).

### 3.7 IoT 적용을 통한 비용절감 효과

기존 태양광 모니터링 시스템을 설치하기 위해 RTU (Remote Terminal Unit) 단말기 구매, 설치비, 인터넷요금, LTE 통신요금 등의 비용이 발생하였다. 하지만 ‘NB-IoT 태양광 모니터링 시스템’의 경우 NB-IoT 전용통신 G/W의 단말 비용이 저렴하고 설치가 간단하며 통신요금이 저렴한 장점이 있다. 따라서 Seo (2017)에 의해 예상 비용 절감 결과를 나타

내었다(Table 20). 또한 Seo (2018)에서는 대기전력 절감효과를 Table 21에 나타내었으며, 누진단계별 총 절감액을 Table 22와 같이 나타내었다.

NB-IoT 활용을 통해 울산지역의 경우 4차 산업혁명의 주요 분야인 IoT 기술을 삼호철새마을단위 지역에 적용하고 태양광 모니터링을 구현함으로써 빅 데이터 처리를 가능하게 되었다. 또한 태양광 설비와 모니터링 시스템과의 연계를 통해 전력 공급 문제를 해결 할 수 있었다. 무엇보다 태양광 인버터 보급에 따라 모니터링 수요가 발생하고, 이에 따른 인터넷망 또는 LTE 라우터 임대비용등 통신비용이 발생된다. 하지만 NB-IoT 통신망을 이용하게 되면 인터넷망과 연결하기 위한 별도의 통신모뎀을 설치할 필요가 없으며, 저렴한 비용으로 이용할 수 있을 것으로 기대된다(Seo, 2018, Table 23).

Table 20. Cost reduction comparison analysis result

(Unit: KRW)

Division	Existing solar monitoring system	NB-IoT solar monitoring system	Cost reduction	Remarks
Terminal cost	1,000,000	100,000	900,000	Pay at once
Division	Internet	LTE	NB-IoT	Remarks
Communication fee	22,000	17,000	500	Month payment
Division	Existing solar monitoring system	NB-IoT solar monitoring system	Cost reduction	Remarks
Solar power generation equipment	Solar modules, Inverter, installation		Common cost	-
Monitoring terminal	RTU Terminal	NB-IoT external communication G/W	900,000	-
Monitoring terminal installation	RTU Terminal, Internet cable	Communication G/W Inverter	100,000	Labor cost, Material cost
Communication fee	Internet, LTE	NB-IoT	17,000	Month payment
<b>Total cost reduction</b>			<b>1,017,000</b>	

Table 21. Standby power reduction effect

Division	Home appliance name	Standby power	Usage time/day	Reduction time/day	Reduction day	Amount of Reduction (kWh)
Living room	TV	1.3	3	21	30	0.8
	Set-top box	12.3	3	21	30	7.8
	Stereo system	5.6	3	21	30	3.5
	Home theater system	5.1	3	21	30	3.2
Room/ Study	Computer	2.6	3	21	30	1.6
	Printer	2.6	3	21	30	1.6
	Router	4.0	3	21	30	2.6
	DVD	3.7	3	21	30	2.3
Kitchen	Water purifier	120	3	21	30	75.6
	Microwave	2.2	3	21	30	1.4
	Electric rice cooker	3.5	3	21	30	2.2
<b>Total reduction</b>						<b>102.6</b>

Table 22. Total reduction of progressive steps

Division	Electricity range	Unit price per kWh	Reduction (kWh)	Reduction amount (KRW)
Stage 1	200 kWh or less	93.3	102.6	10,884
Stage 2	Use 201~400 kWh	187.9	102.6	21,920
Stage 3	Over 401 kWh	280.6	102.6	32,734

Table 23. Current status of price plan operation

Division	Price plan name	Monthly fee (KRW)	Data provision amount
1	LPWA33	300	100 KB
2	LPWP110	1,100	5 MB
3	LPWA220	2,200	15 MB

Table 24. Emission reduction performance and economic effect of samho migratory birds village

		(Unit: 1 million won)							
Division	Subtotal	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Total
Credit (tCO <sub>2</sub> )	Reduction performance (KOC)	886	886	886	886	886	886	886	6,202
	Total Revenue	35	35	35	35	35	35	35	250
Consulting	business plan preparation	7	-	-	-	-	-	-	-7
	Monitoring Report Preparation	8	-	5	-	5	-	5	-23
Verification	Third party verification	5	-	5	-	5	-	5	-20
	Net profit	15	35	25	35	25	35	25	200

Note. Emission cost unit price: As of March 25, 2020 (tCO<sub>2</sub>: 40,300 won), however, the unit price may be changed according to the transaction standard

### 3.8 태양광 발전에 의한 온실가스 감축에 따른 경제적 효과

지자체에서 추진 중인 외부사업은 배출권 거래 수익 대비, 상대적으로 등록 및 관리비용이 크기 때문에 경제적 확보에 어려움이 있다. 이에 대안으로 극소규모 감축사업의 감축량 인증 기간을 조정할 수 있는 제도의 편익을 활용하여야 한다. 따라서 연간 500톤 미만의 감축사업은 외부사업 등록 시점으로부터 1년 이내에 모니터링 검증 의무가 없으므로, 2년 이상의 모니터링 기간을 두고 감축량을 인증을 추진함으로써 경제성 확보가 가능하다(Kim and Lee, 2019). 따라서 경제성 확보를 위한 인증실적 기간을 조정하여 산정하였다. 본 연구에서는 외부사업 타당성 평가 및 감축량 인증에 관한 지침 및 일부 개정(안)을 활용하여, 사업 전 및 사업 후 온실가스 배출량을 산정하였다. 배출량 산정에 필요한 전력량은 울산광역시 남구청이 구축한 모니터링 시스템 적산 데이터를 사용하였고, “재생 에너지를 이용한 전력 생산 및 자가 사용 사업”에 대한 한국에너지공단에서 배포한 극소규모 양식을 활용하였다. Table 24와 같이 온실가스저감 예상 효과는 약 6천2백 톤으로, 배출권 매매를 통한 기대수익은 2억 5천만 원이 될 것으로 예상된다.

## 4. 결론

본 연구에서는 울산지역의 NB-IoT를 활용하여 삼호철새마을 태양광 모니터링 구축하였으며, 최적의 조건 및 관리를 통해 선순환구조를 확보하고, 온실가스 감축을하고자 하였다. NB-IoT 활용을 통해 삼호철새마을 태양광 모니터링 구축 및 통합모니터링시스템 구현 결과 발전 정상가동은 80% 이상 나타났으며, 발전 정지는 약 20% 이하의 결과를 나타내었다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 수신감도(RSRP: Reference Signal Received Power)를 확인한 결과 -100 dBm 이상으로 양호한 수준으로 데이터 통신에는 영향이 없음을 알 수 있었다. 만약 지속적으로 통신 장애가 발생할 경우 자연 재해 및 각 세대별 보관상 문제 등을 고려할 필요가 있을 것으로 판단되며, 추가적으로 단말기 교체 등 통신망에 이상이 없는지 확인이 필요할 것으로 생각된다.

온실가스 방법론 비교 및 분석을 통해 삼호철새마을의 해당 가구의 경우 에너지생산 유형의 방법론에 해당됨을 알 수 있었으며, 방법론에서 제시한 베이스라인 배출량 산정 및 주요 모니터링 인자가 01B-001-Ver01 방법론의 경우 사업 후 재생에너지를 통해 소내 소비된 전력량을 제외한 계통으로의 순 송전량을 제시하고 있음을 알 수 있었다. 또한 01B-004-Ver01 방법론에서는 재생에너지

발전 설비를 통해 자가 사용된 순 전력량을 제시함과 동시에 극소규모 양식을 통해 태양광 발전설비의 용량 및 이용률로 산정할 수 있도록 하고 있으므로 방법론별 온실가스 감축량 산정방법은 다르다고 판단할 수 있었다. 또한 01B-004-01Ver의 방법론 적용조건으로써, 태양광 발전 이전에 삼호철새마을 가구에서 전기를 사용하고 있었으므로 01B-004-Ver01 방법론이 부합됨을 알 수 있었다.

NB-IoT를 활용하여 최적화된 모니터링 구축에 의해 삼호 철새마을 492세대에 실시간 데이터 수집을 가능하게 될 것으로 판단되며, 마을단위 최대 규모의 태양광 모니터링을 가능하게 함으로서 태양광 설비와 모니터링 시스템과의 연계를 통해 전력 수급 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 본 연구를 통해 6천 2백 톤의 온실가스 감축 효과가 나타남을 알 수 있었다. 무엇보다 IoT를 활용한 태양광 모니터링 구축을 통해 온실가스 감축을 함으로서 지자체 차원의 마을단위의 4차 산업혁명 기술을 활용한 모델이 될 것으로 기대된다.

## 사사

본 연구는 산업통상자원부의 지역 에너지산업 활성화 지원사업인 NB-IoT를 활용한 태양광 모니터링 시스템 개발 및 보급사업과 울산광역시 남구청 삼호철새마을 그린빌리지 조성사업의 일환으로 진행되었으며, 이에 감사료를 드립니다.

## References

- Cho HJ, Jeong KM. 2019. A Study on the Connective Validity of Technology Maturity and Industry for Core Technologies based on 4th Industrial Revolution. *Journal of the Korea Convergence Society* Vol. 10, No. 3, pp. 49-57, [accessed 2019. Oct 3]. <https://doi.org/10.15207/JKCS.2019.10.3.049>
- Cho W. 2019. LoRa for LPWA network overview and its performance enhancement technologies: Computer engineering, Jungwon University. Proceedings of 2018 Autumn academic conference; 2018 Nov 09~Nov 10; Seoul National University of Science and Technology. seoul, korea; *journal of the KIECS*. p283-288.
- Earth energy. 2020. Current address of solar power generation and national strategy; [accessed 2020 september 12]. <http://www.earthenergy.co.kr/postes/988>
- Enforcement Decree of the Act on Allocation and Transaction of Greenhouse Gas Emissions (abbreviation: Enforcement Decree of the Emissions Trading Act), [Enforced Feb. 8, 2019] [Presidential Decree No. 29518, Feb. 8, 2019, amended other laws]
- Firth SK, Lomas KJ, Rees SJ. 2009. "A simple model of PV system performance and its use in fault detection," *Solar Energy*, Vol. 84, pp.624-635, 010.[accessed 2020. March 3]. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.08.004>
- Guidelines on the operation of greenhouse gas and energy target management [Enforcement Jan. 10, 2020] [Environmental Notice No. 2020-3, Jan. 10, 2020, partially amended.]
- Han HS, Han YH, Sang S. 2006. A Study on Operating Characteristics of 3Kw Utility Interaction photovoltaic 2006. power generation Proceedings of the KIEE Conference, pp.537-538.
- Hong SM. 2005. Construction and Operation Analysis of Integrated Monitoring System for Monitoring of Solar Power System by Region. Korea : S Energy, Ministry of Trade, Industry and Energy. Policy Report 2005.
- Hwang HK, Seo YW, Kim TY. 2018. The Development of a Web-based Real time Monitoring System for Facility Energy Uses in Forging Processes. [accessed 2018. Feb 19]. <http://dx.doi.org/10.7472/jksii.2018.19.1.87>
- Hwang HS, Seo YW, Kim TY. 2018. The Development of a Web-based Realtime Monitoring System for Facility Energy Uses in Forging Processes, *Journal of Internet Computing and Services(JICS)* 2018. Feb.: 19(1): 87-95 87, [accessed 2018. Feb 19]. <http://dx.doi.org/10.7472/jksii.2018.19.1.87>
- Ipplaza. 2021. NB-IoT terminal modem high-level design technology 2021; [accessed 2021 January 1]. <http://itec.etri.re.kr>
- 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse gas.

- Kim CJ, Kim JK, Jang KS. 2015. An Implementation of Real time Remote-Monitoring System for Distributed Photovoltaic Power Plants. [accessed 2019. Aug 3]. <https://doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.10.245>
- Kim. HJ. 2017. 4th Industrial Revolution and Future Climate Change Response Technology, Meteorological Technology. Korea : Green Technology Center. Policy Report 2017.
- Kwon SH. 2018. Comparative Study of Voluntary Greenhouse Gas Emission Reduction and External Project [dissertation]. University of Korea.
- Kim JK, Lee SH. 2019. Problems and Improvements Affecting Local Government Carbon Offset Programs, Journal of Climate Change Research Vol. 10, No. 4, pp. 427-436. [accessed 2020. Feb 3]. Available from : <http://www.dbpia.co.kr>
- Lee JJ, Kim Kh, Park SV, Byun HJ, Shim KS, An BK. 2017. IoT based Mobile Smart Monitoring System for Solar Power Generation, Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers Vol. 54, No. 8, [accessed 2017. August 2]. <https://doi.org/10.5573/ieie.2017.54.8.55>
- Lee TG. 2019. A Study on the Local Government's Greenhouse Gas Reduction Project's Application of Emissions Trading System [dissertation]. University of Chung-Ang.
- Lee TH. 2019. A Study on the Application of Emissions Trading System for Local Government's Greenhouse Gas Reduction Project [dissertation]. University of Chung-Ang.
- Ministry of Environment Guidelines on feasibility assessment and reduction amount certification for external projects [Enforcement 2018. 6. 28.] [Environmental Notice No. 2018-98, June 28, 2018, partial revision.]
- Methodology of production and self-use business using renewable energy. 2016. 05. 26 version 01(Ministry of Environment).
- So JH, JanY S, Yu GJ, Choy CI. 2004. Performance Analysis and Evaluation of 3kW Grid - Connected PV System, KIEE. Vol. 538, No. 8, Aug. 2004.
- Seo LW. 2017. Development and dissemination report of solar monitoring system using NB-IoT. Korea : LG Uplus, Dastech, Ulsan Metropolitan city Nam-gu Office, Ministry of Trade, Industry and Energy, Policy Report 2017-8.
- Seo LW. 2018. Report on solar monitoring system development and distribution business using NB-IoT. Korea : LG Uplus, Dastech, Ulsan Metropolitan city Nam-gu Office, Ministry of Trade, Industry and Energy, Policy Report 2018-10.
- UNFCCC, CDM methodology AMS-I.A (Version 16.0).
- UNFCCC, CDM methodology AMS- I F (Version 3.0).
- UNFCCC, CDM methodology ACM 0002 (Version 16.0).
- Yeom SC, Sn Ji-won, Shin JO, Lee MA, Park JS, Noh WJ, Kim HJ. et al. 2017. Climate Research Classification Research, Research Report. Korea : Green Technology Center. Policy Report 2017.
- Xu J, Yao J, Wang, Ming K, Wu, Chen L. 2018. Narrowband internet of things : Evolutions, Technologies, and Open issues (in IEEE internet of Things journal 5 (3) : p1449-1462.