

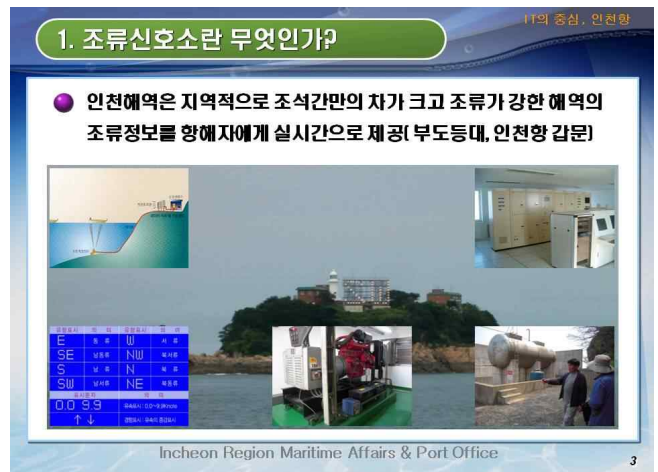
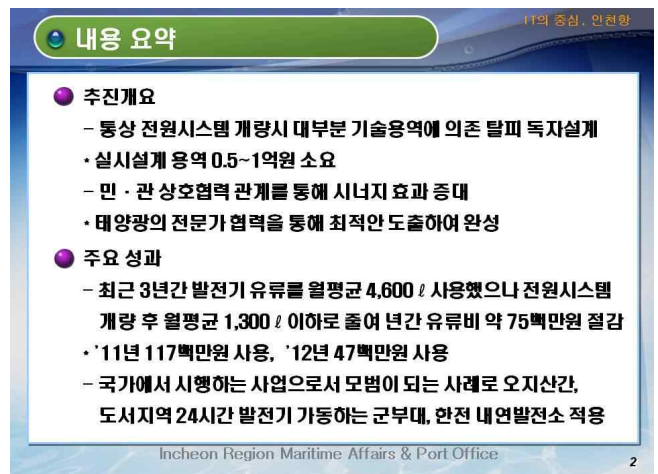
# 신재생 에너지를 활용한 부도등대 유류비 절감에 관한 연구

최금성\*

\* 인천지방해양항만청 주무관

**요 약** : 부도등대는 무인도서로 조류신호소 및 등대 운영에 필요한 전력을 발전기로 생산하고 있어 많은 유류소모 발생으로 저탄소 녹색성장의 정책방향에 따라 태양광에너지 이용을 확대하고, 발전기 가동시간을 최소화하여 유류비 절감하고자 함, 최근 3년간 발전기 유류를 월평균 4,600ℓ 사용했으나 전원시스템 개량이후 월평균 1,300ℓ 이하로 줄여 연간 유류비 예산 약 69,000천원 절감되었다.

**핵심용어** : 조류신호소, 태양광, 발전기



\* 종신회원, c5179@korea.kr

## 2. 무엇이 문제인가?

### ● 유류비 증가에 따른 예산액 증가

- 부도등대는 무인도사로 조류신호소 및 등대 운영에 필요한 전력을 '05년부터 발전기로 생산하고 있어 많은 유류소모 발생하고, 잦은 고장 및 엔진 보링 등 유지비 증가
- 매일 15시간 발전기 가동, 최근 3년 평균 경우 56,000ℓ 소모 (약 1억원/년)

### ● 최소의 비용으로 사업추진

- 유인등대 누전공사로 예정된 예산을 부도등대 전원시스템 개량 공사로 활용하는데 쉽지 않았음
- 정장님(인천해양안전)에게 문제점 및 시급성 등을 설명 후 내부방침을 받아 추진

Incheon Region Maritime Affairs & Port Office

4

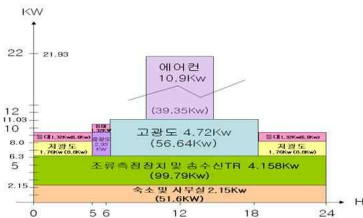
## 3. 전원시스템 분석

### ● 일일 부하량

- 부도등대 및 조류신호소 등 총 전력량 : 270,087[Wh/day]

[단위 : Wh/Day]

계	조류신호	사무실	등대	속소	에어컨
270,087	164,659	15,286	14,520	36,274	39,348



Incheon Region Maritime Affairs & Port Office

5

### [표2-1] 조류신호장비 전력부하량

구분	장비 및 부하명	설계정격 [V]	최대전력 [W]	평균 수발량 [h]	사용시간 [시간]	소요전력 [Wh/day]	비고
1) 조류신호장비(0500 ~ 0500)	11시간 운영						
	표고표시 유동	20	30	98	1.83	5,380	
	표고표시 유속	20	30	112	1.83	6,149	
표고표시 정밀	20	30	26	1.83	1,427		
계					53	12,956	
2) 등용도 표시(0500 ~ 0600)	14시간 운영						
	표고표시 유동	60	60	98	1.166	976	
	표고표시 유속	60	60	112	1.166	1,316	
표고표시 정밀	60	60	26	1.166	259		
계					670	2,551	
3) 조류도 표시(0600 ~ 0800)	12시간 운영						
	표고표시 유동	70	105	98	2	20,580	
	표고표시 유속	70	105	112	2	23,520	
표고표시 정밀	70	105	26	2	5,660		
계					6	49,760	
4) 기타 조류신호장비	24시간 운영						
조류신호장비 및 등용도 표시장비 합	220	4,158		24	91,702		
TOTAL						164,659	

Incheon Region Maritime Affairs & Port Office

6

### [표2-2] 속소 및 등대(방파기, 국내등대 및 관공방비 등) 전력부하량

구분	장비 및 부하명	설계정격 [V]	최대전력 [W]	평균 수발량 [h]	사용시간 [시간]	소요전력 [Wh/day]	비고
1) 방파기	24시간 운영						
	방파기	200	1,000	24	24	24,000	
	방파기	200	1,000	24	24	24,000	
계						48,000	
2) 등대	24시간 운영						
	등대	200	1,000	24	24	24,000	
	등대	200	1,000	24	24	24,000	
계						48,000	
3) 사무실	24시간 운영						
	사무실	200	1,000	24	24	24,000	
	사무실	200	1,000	24	24	24,000	
계						48,000	
4) 속소	24시간 운영						
	속소	200	1,000	24	24	24,000	
	속소	200	1,000	24	24	24,000	
계						48,000	
5) 방파기	24시간 운영						
	방파기	200	1,000	24	24	24,000	
	방파기	200	1,000	24	24	24,000	
계						48,000	
6) 등대	24시간 운영						
	등대	200	1,000	24	24	24,000	
	등대	200	1,000	24	24	24,000	
계						48,000	
7) 사무실	24시간 운영						
	사무실	200	1,000	24	24	24,000	
	사무실	200	1,000	24	24	24,000	
계						48,000	
8) 속소	24시간 운영						
	속소	200	1,000	24	24	24,000	
	속소	200	1,000	24	24	24,000	
계						48,000	

Incheon Region Maritime Affairs & Port Office

6

### ● 태양전지 용량

$$\text{태양광 } 100\% = \frac{\text{일일필요부하전력} [KW/day]}{\text{경사면 일사량} [kcal/m^2] \times \text{시스템효율}} = \frac{270.087}{1.827 [KW/m^2] \times 0.6} = 104.9 [KW]$$

시산 30도 기준 경사면 일사량 [1kcal/m <sup>2</sup> ]=1.163[kwh/m <sup>2</sup> ]
최대 4,626 [kcal/m <sup>2</sup> ] = 5.380 [kwh/m <sup>2</sup> ]
최소 2,754 [kcal/m <sup>2</sup> ] = 3.202 [kwh/m <sup>2</sup> ]
평균 3,690 [kcal/m <sup>2</sup> ] = 4.291 [kwh/m <sup>2</sup> ]

$$- 240W \text{ 태양전지 수량} = \frac{\text{필요한 태양전지용량}}{\text{태양전지 모듈용량}} = \frac{104.9 [kw]}{0.24 [w]} = 437 \text{매}$$

- (태양광 35%) 태양전지 105[KW]설치가 필요하나 부도등대 부지가 협소하여 설치 가능한 36[KW]만 설치

- 노후된 태양전지를 철거하여 태양전지 240W 150매 신설

### ● 전력조정기 용량

- 신설하는 태양광 발전량에 해당하는 40[kW] 전력조정기 설치
- 신설 전력조정기는 가능한 MPPT(최대전력지점 추적) 기능이 있는 제품 구매

Incheon Region Maritime Affairs & Port Office

7

### ● 축전지 용량

- 일일 부하량 : 270,087[Wh/day] \* 80%(수용률) = 216,069[Wh/day]

- 부조일수 1일, 부도등대 UPS 입력전압(240V) 고려

$$- (1 + \text{부조일수}) \times \frac{\text{일일필요전력사용량} [kwh/day]}{\text{시스템 효율}(60\%)} = \frac{(1+1) \times 216.069}{0.6} = 720 [kWh]$$

$$- \text{축전지 용량} = \frac{\text{축전지용량}}{\text{전압}} = \frac{720,230}{240} = 3,000 [AH]$$

- PS 2V 1,000Ah 축전지 사용 시 120개 3조 병렬연결

※ 부조일수를 감안하지 않을 경우 축전지 용량은 약 1,500[A]

- 예산절감을 위해 기존 축전지 재배치 활용(240V 1,800Ah)

구분	현행	제배치
종류	PS 2V600A	ES 12V200A
수량	110개 1조	20개 3조
용량	220V 600A	240V 600A
용도	미사용	조류신호용 등대시설용
설치년월	'06.11	'11.11

- 축전지 내구연한 도래 시 사이클용 또는 저용량용 축전지를 설치하고, 가급적 대용량 축전지를 설치하여 2초 이상 병렬연결 지양

Incheon Region Maritime Affairs & Port Office

8

### ● 인버터 용량

- 최대부하량은 중간에 에어컨을 사용할 경우 약 22[KW]이므로

$$- \text{인버터 용량} = \frac{22 [KW]}{0.9 \times 1.5} = 36.6 [KW] \approx 40 [KW]$$

• 인버터 효율 90%, 부하 가동시 순간 소비전력을 고려하여 여유율 1.5배

• 서지출력 용량이 정격용량의 3배를 견딜수 있는 현행파 인버터 구매

- 40[KW] 인버터가 필요하나 예산절감을 위해 기존 UPS 40[KW] 3대중 자체 소모전력 감소를 위해 UPS 1대만 사용

- UPS 2대를 주·예비로 연결하여 평상시 예비 UPS는 OFF

- 발전기 생산전력의 효율적인 충전을 위해 UPS의 충전기능을 사용하지 않고, 충전기를 통해 직접 충전

Incheon Region Maritime Affairs & Port Office

9

● 충전기 용량

- (부조일수 1일) 축전지 용량이 3,000[AH]로 10시간을 충전전류는 300A, 충전기 효율 90%, 여유율 1.25 적용 시
  - $\frac{(\text{전압} \times \text{전류})}{\text{시스템효율(90\%)}} \times \text{여유율(1.25)} = \frac{(240 \times 300)}{0.9} \times 1.25 = 100[\text{KW}]$
  - 충전기 교체 시 성능·효율이 우수한 IGBT<sup>1)</sup> 정류방식의 충전기 설치 필요
- (기존 축전기활용) 축전지 용량이 240V 1,800[AH]로 10시간을 충전전류는 180Ah에므로
  - $\frac{(\text{전압} \times \text{전류})}{\text{시스템효율(90\%)}} \times \text{여유율(1.25)} = \frac{(240 \times 180)}{0.9} \times 1.25 = 60[\text{KW}]$
- 예산절감을 위해 기존 설치된 충전기(220V 400A/88KW)를 240~265V 충전할 수 있도록 조절, 기판 및 계기판 교체 등 개량 후 사용
  - 1) 절연 게이트 양극성 트랜지스터(IGBT: insulated gate bipolar mode transistor) : 파워 MOS FET와 바이폴라 트랜지스터의 구조를 가지는 스위칭(switching) 소자(素子)이다. 또 구동전력이 작고, 고속스위칭, 고내압화(高耐壓化), 고전류 밀도화(高電流密度化)가 가능한 소자임

● 발전기 가동시간 산정

- (부하량) 일일 부하사용량 270[kW]
- (태양광) 태양전지 36[kW] 설치 시 일일 충전량
  - 36[kW] \* 3.5시간/일 \* 0.6(시스템 효율) = 75.6 ≒ 75[kWh]
- (발전기) 잔여 충전을 위한 발전기 최적 가동시간
  - 잔여 충전량 : 270 - 75 = 195[kW]
  - 195[kW] 충전을 위한 발전량 : 195/(0.7\*0.9) = 309[kW]
  - 발전기 효율 : 0.7, 충전기 효율 : 0.9
  - 최대 부하량 추정 : 48 + 14.3 = 62.3[kW]
  - 충전기 : 240V \* 200A = 48[kW]
  - 조류신호소 및 업무용(선측) : 14.3[kW]
  - 최대부하량이 62.3[kW]이므로 발전기의 부하율은 50%에 해당
  - 부하율 50%시 발전기 가동시간 : 309/62.5 = 4.944 ≒ 5시간
- (전력분담율) 태양광 28%, 발전기 72%

● 발전기 용량

- 발전기 가동시 축전지를 동시에 충전해야 하고 모터펌프 등 유도부하 사용을 고려하여 부하량은 최대부하 사용량의 2배로 산정
  - 22[kW]\*2/0.8(부하의 역율)/0.85(부하의 효율) = 64.7 ≒ 60[kW]
  - 부하량 변동에 따라 RPM을 자동으로 조절하며 발전하는 전자식 발전기 설치 필요(로터리 발전기에 비해 유류소모량 20~30% 절감)
  - 초기 시스템구성자재가 발전기에 의존하여 조류신호소, 사무실, 숙소 및 등대의 전력을 사용하기 위해 추진되었고, 항후 숙소동 에어컨 및 가전제품 등 소요 전력이 증대될 가능성을 고려하여 125[kW]급을 반영한 사항
- 약 60[kW] 발전기가 필요하나 예산절감을 위해 기존 설치된 125[kW] 발전기 사용
  - 발전기 내구연안 경과 시 60[kW]급 전자식 발전기 설치

● 발전기 유류비 절감액

- (개선 전) 현 발전기의 부하율 추정
  - 시간당 유류소모량 : 150리터/15시간 = 10리터
  - 시간당 10리터를 소모하는 발전기 부하율은 약 22%
- (개선 후) 50% 부하율로 5시간 발전기 가동시 유류량
  - 18.1리터 \* 5시간 = 90.5리터
  - 일일 유류 절감량 : 150리터 - 90.5리터 = 59.5리터
  - 년 유류비 절감액 : 59.5리터\*1,800원\*365일 = 39,091,500원

4. 발전기 가동시간 산출

● 발전기 제원 및 가동 현황

- 발전기 제원(모델명 : NEGES-125T)

형식	주파수	비상력	상용출력	전압	전류	역율
3상4선	60Hz	125KW	114KW	380/240V	237A	0.8

- 일일 부하사용량 270[kW] 충당을 위해 발전기 3대를 일평균 15시간씩 교대로 가동 중

- 과전류 계전기(OCR)가 223A로 설정되어 있으므로 상용출력 107[kW]
  - 223A\*380V\*1.732\*0.8\*0.912 = 107,083 ≒ 107[kW]

- 발전기 유류소모량

엔진 모델	부하율	공회전	연료소비량 (단위 : Lit/h)								
			21.9%	25%	50%	75%	95.6%	100%	110%		
AD 136T											
(PS/RPM)	유류량(l)	2.9	10	11.4	18.1	24.9	31.07	32.5	35.1		
170/1800	발전용량(KW)	0	21.375	31.25	62.5	93.75	119.5	125	137.5		

5. 유류비 절감 그래프

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	누계
'11 가동시간	510	504	543	475	465	538	744	744	733	744	538	465	6,980
유류소모량	4,904	4,755	5,113	4,324	4,185	4,706	6,228	6,138	5,800	5,070	4,654	4,270	63,907
'12 가동시간	465	435	465	450	465	450	465	465	399	42	122	153	4,334
유류소모량	4,335	4,040	4,335	4,110	4,210	4,150	4,225	4,185	3,656	634	1,336	1,647	41,735





## 6. 태양광 각도 선정

IT의 중심, 인천항

### 태양광 입지선정, 각도, 어레이 등 최대 일사량 도출

THE IRRADIATION ON THE TILTED SURFACE IN DAILY (1) (KCAL/CM<sup>2</sup>)

태 1-50) 계절에 따른 일사량

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1월	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211
2월	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211
3월	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211
4월	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211
5월	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211
6월	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211
7월	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211
8월	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211
9월	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211
10월	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211
11월	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211
12월	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211

태 1-50) 계절에 따른 일사량

THE IRRADIATION ON THE TILTED SURFACE IN DAILY (2) (KCAL/CM<sup>2</sup>)

태 1-50) 계절에 따른 일사량

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1월	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211
2월	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211
3월	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211
4월	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211
5월	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211
6월	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211
7월	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211
8월	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211
9월	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211
10월	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211
11월	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211
12월	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211	1,211

Incheon Region Maritime Affairs & Port Office

16

## 8. 결론

IT의 중심, 인천항

### 경제적 이득 및 근무여건 개선

- 유류비 절감 전년 대비 약 75백만원 절감 (\* 향후 10년간 750백만 절감)
- $(4,600 \text{ \textit{€}} - 1,300 \text{ \textit{€}}) \cdot @1,894 \cdot 12 \text{월} = 75,002,400 \text{원/년}$

구분	'11년 유류구입	'12년 유류구입	'12년 유류잔량	비고
절감	75,000 \text{ \textit{€}}	25,000 \text{ \textit{€}}	8,164 \text{ \textit{€}}	
금액	117,745천원	47,360천원	-	

- 발전기 운전시간 단축으로 발전기 수리 및 엔진보링 유지관리 절감
- 발전기 순찰 등을 해야 하는 유인등대 직원의 근무여건 개선)

### 독자적인 설계 및 기술력 확보

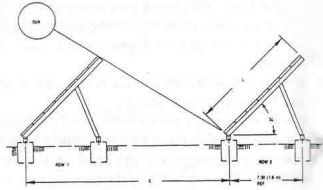
- 용역사에 추진하던 방식을 벗어나 독자적인 설계 및 기술력 확보
- 해양수산부 11개 지방항만청에 태양광 공사 설계 메뉴얼 제작
- 배포하여 태양광 공사설계 시 예산절감 추진

- 타부처, 지자체 및 공사 등 설계시 활용 가능

Incheon Region Maritime Affairs & Port Office

19

### 어레이 지지대 설치 간격



$$X = 3.0 \times (\cos(60^\circ) + \sin(60^\circ) \tan(36.7^\circ + 23.5^\circ)) = 6.04$$

$$X = L \cdot (\cos(\text{tilt}) + \sin(\text{tilt}) \cdot \tan(\text{lat} + 23.5))$$

X : 각열 사이의 최소 이격 거리

L : 지지대 길이

tilt : 지지대 경사각

lat : 설치장소의 위도

Incheon Region Maritime Affairs & Port Office

17

# 감사합니다

Incheon Region Maritime Affairs & Port Office

선미도등대 20

## 7. 태양광 설치로 유류비 절감 성공

IT의 중심, 인천항



Incheon Region Maritime Affairs & Port Office

18