

건축물에 설치된 태양광발전설비를 위한 세척장치의 편익-비용 분석

An Benefit-cost Analysis of the Cleaning Device for Photovoltaic Power Generation Systems in Buildings

김 재 엽

원 종 성*

Kim, Jae-Yeob

Won, Jongsung*

Department of Architectural Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju, South Korea

Abstract

This study aims to analyze the benefit-cost of the cleaning device for photovoltaic power generation systems in buildings in order to check its economic feasibility. A product, which has similar characteristics to the ultrasound-based cleaning device and is widely used in South Korea, was selected to compare with the benefit-cost value of the ultrasound-based cleaning device in this study. In order to quantitatively and qualitatively analyze benefit and cost aspects of the two products, categories and evaluation factors of each aspect as well as evaluation criteria were identified. Based on the identified evaluation factors and criteria, this study conducted face-to-face interviews with 15 experts to measure weights of benefit and cost aspects of the products. As the results, the total benefit weight of the ultrasound-based cleaning device was larger than its total cost weight since the benefit-cost value was greater than 1, which was 1.6 times of that of compared product. Therefore, from the economic perspective, it is worth to develop the cleaning device for photovoltaic power generation systems applying ultrasound technology.

Keywords : cleaning device for photovoltaic power generation system, benefit-cost analysis, ultrasound technology, expert questionnaire

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건축물 등에 설치되고 있는 태양광발전설비는 일사량, 온도, 오염, 적설 등 주변 환경에 따라서 발전효율이 저하된다. 따라서 적절한 사후 유지관리를 통해서 발전효율을 향상시키는 것이 필요하다[1]. 따라서 먼지, 황사, 조류 분비물과 같은 오염물질로 인한 출력저하를 방지하기 위하여 살수 냉

각이나 세척 장치 등이 개발·보급되고 있다. 하지만 시중에 보급되고 있는 태양광발전설비 세척 장치는 설치비용이 고가이거나, 길이 조절의 어려움, 세척 도구의 잦은 교체 등의 한계점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 비용이 저렴하고, 세척시간이 단축되며, 세정력 향상이 가능한 태양광발전설비 세척 장치[2]를 개발 중에 있다. 이를 통하여 태양광발전설비의 유지관리를 활성화하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

그러나 개발 중인 초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장비를 실용화하기 위해서는 기존 세척 장치와 비교하여 경제성을 평가할 필요성이 있다. 따라서 본 연구에서는 AHP (Analytic hierarchy process)[3]를 이용하여 건축물 등에 설치된 태양광발전설비를 위한 세척장치의 편익-비용을 정량적, 정성적으로 분석하고, 상품화 가능성을 확인하고자 한다.

Received : November 8, 2016

Revision received : November 17, 2016

Accepted : November 23, 2016

* Corresponding author : Won, Jongsung

[Tel: 82-43-841-5209, E-mail: jwon@ut.ac.kr]

©2016 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장치를 연구대상으로 하고, 비교대상으로 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 태양광발전설치 세척 장치를 선정하여 편익-비용을 분석, 비교하고자 한다. 기존 연구 자료 및 개발된 태양광발전설비 세척 장치에 대한 검토를 통하여 현재의 세척 장치의 특성 및 한계점을 분석하였고, 초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장치의 경제성 비교에 적절한 기존의 세척 장치를 선정하였다. 전문가 면담을 통해서 두 비교대상의 차이점을 분석하고, 분석된 차이점을 기반으로 평가항목과 각 평가항목에 대한 평가기준을 도출하였다. 태양광발전설비 세척 장치 전문회사, 대학교, 연구소 등에 재직 중인 15인의 전문가들을 대상으로 각 평가항목에 대한 쌍대비교평가를 위한 설문조사를 실시하였다. 설문조사 방법은 직접대면에 의한 심층면접방식으로 이루어졌으며, 설문결과분석 및 편익-비용 분석을 위해서 AHP 방법이 이용되었다. 연구의 흐름은 Figure 1과 같다.

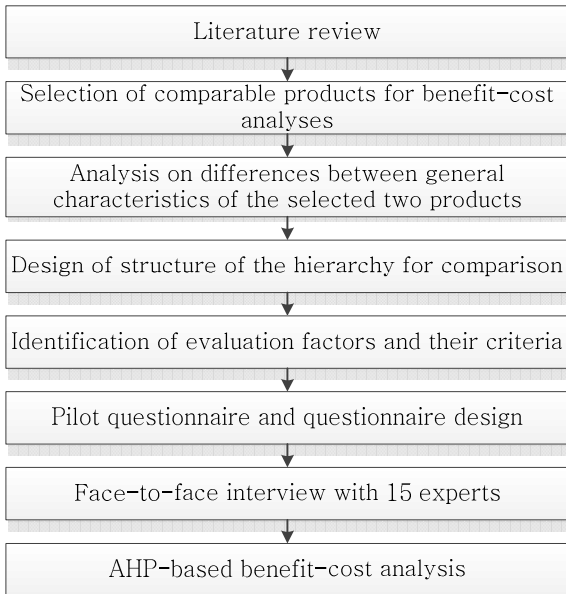


Figure 1. Research procedure

2. 기존 연구의 고찰

2.1 태양광발전설비의 유지관리 및 세척장치 연구

태양광발전설비의 유지관리와 관련된 연구는 Table 1과 같이 유지관리 시스템 개발, 발전량 분석, 유지관리 단계에서 발생하는 문제점 분석 등이 주를 이루고 있다. Choi et

al.[4]이 태양광모듈 청소 및 냉각시스템 개발에 대한 연구를 수행했지만, 태양광발전설비의 세척 장치에 관한 연구는 아직까지 미흡한 실정이다. 하지만 국내외에서 태양광발전설비의 효율성을 높이기 위해 다양한 기술을 적용한 세척 장치가 개발되어 활용되고 있다. 개발되어 활용되고 있는 세척 장치는 3장에서 설명하였다.

Table 1. Previous studies on maintenance of photovoltaic power generation systems

Author (year)	Content
Choi et al. [4]	To develop a cleaning and cooling system of photovoltaic solar modules to improve performance of photovoltaic power generation
Kang et al. [5]	To analyze power generation efficiency according to maintenance conditions of a photovoltaic equipment for detached houses
Kim[6]	To propose a manual for operation and maintenance of photovoltaic power generation systems
Yoo[7]	To analyze the number and types of problems detected in the operation stage of photovoltaic systems for apartment houses

2.2 편익·비용 분석을 이용한 연구

편익·비용 분석은 여러 가지 적용 가능한 대안들을 평가 분석하여 최적의 대안을 선정하는 의사결정문제의 해결도구이다. 편익·비용 분석은 Table 2와 같이 태양광발전설비와 녹색건축, 주거환경관리, 마케팅 등 다양한 분야에서의 의사결정과정에 활용되고 있다. 본 연구의 목적은 기술개발 중인 (시제품 제작단계) 태양광발전설비 세척 장치에 대한 경제성 평가이다. 따라서 다양한 요소에 대하여 정량적, 정성적으로 분석할 수 있는 편익-비용 분석을 활용하였다.

Table 2. Previous studies on benefit-cost analyses

Author (year)	Content
Jung[8]	To identify evaluation indicators associated with cost and benefits and investigate validity of various alternatives by analyzing benefit-cost ratio and payback periods
Hong and Hong[9]	To identify evaluation indicators to determine appropriate areas for residential environment management projects
Lee et al. [10]	To identify potential factors to evaluate social values of green buildings in South Korea using AHP and analyze their importances

3. 태양광발전설비 세척 장치 고찰

3.1 기존 태양광발전설비 세척 장치에 대한 고찰

국내외에서 다양한 태양광발전설비 세척장치가 개발, 보급되었으며, 국내에 보급된 대표적인 세척장치의 특징 및 한계점은 다음과 같다.

S사의 H제품은 반복적인 작동으로 인한 브러쉬 마모와 오염, 하절기의 과열, 동절기의 적설, 동결 등으로 인한 내구성 저하, 태양전지모듈 표면 유리 파손 등으로 주기적인 세척도구의 교체가 필요하며, 이로 인한 추가적인 유지관리 비용이 요구된다(Figure 2 (a)). H사의 S시스템은 살수 냉각 방식을 통하여 모듈의 표면을 냉각함으로써 효율성을 향상했지만, 높은 설치비용, 이동시 불편함, 많은 물의 사용량 등의 한계점을 가지고 있다(Figure 2 (b)). 특허로 출원된 태양광발전설비 프레임을 이용한 세척 및 냉각시스템은 태양광발전설비 프레임에 레일을 장착하여 대차가 이동하면서 모듈에 세척액과 냉각액을 분사하는 방식으로 설치제작비가 고가이며, 소형 태양광발전설비에만 적용이 가능한 한계가 있다[11].



Figure 2. Existing washing devices for photovoltaic power generation systems

국내뿐만 아니라 일본, 독일, 중국 등 국외에서도 다양한 태양광발전설비 세척장치가 개발되어 보급하였다. 일본에서 개발된 F회사의 E제품과 독일에서 개발된 K회사의 I제품은 휴대용 장비로 기존의 수작업 방식의 비해 작업 성능 및 편리성이 향상되었다. 하지만 E제품은 사용자가 물통(세정액통)을 메고 사용해야 하고, 길이조절이 불가능하여 고소작업 및 대규모 현장에는 적용하기 어려우며(Figure 2 (c)), I제품은 고가의 고압세척기를 별도로 장착해야 한다(Figure 2 (d))는 단점이 있다. 독일에서 개발된 S제품은 태양광발전설비에 장착하여 사용하는 고정형 장비로 태양광 모듈 1m² 당 1,000리터 빗물을 사용하여 세척이 이루어지며, 별도의 펌프나 물탱크가 필요 없다. 화학약품을 전혀 사용하지 않는 100% 친환경 제품이다(Figure 2 (e)). 중국의 위천 지능로봇 유한공사가 개발한 태양광 발전소용 지능형 청소로봇은 고도 해발 지역 작업이 가능하고, 운행 능력이 뛰어나며 물 없이 청소를 하는 등 여러 기능을 갖고 있는 에너지 절약 및 친환경 로봇이다(Figure 2 (f)).

다수의 태양광발전설비 세척 장치는 설치비용이 높다는 단점이 있고, 설치비용이 상대적으로 낮은 세척 장치는 길이 조절이 어렵거나, 세척하는 부분의 교체를 필요로 하는 등의 한계가 있었다. 이를 해결하기 위하여 국내에서 초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장치가 개발 중이다[2].

3.2 초음파 기술 적용 태양광발전설비 세척 장치

초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장치는 크게 태양광 모듈의 세척을 담당하는 브러쉬와 길이 조절 장치(Figure 3 (d))로 구성된다. 브러쉬 부분은 물 분사 장치(Figure 3 (a)), 휴대용 초음파 장치(Figure 3 (b)), 전동시스템(Figure 3 (c))을 포함한다.

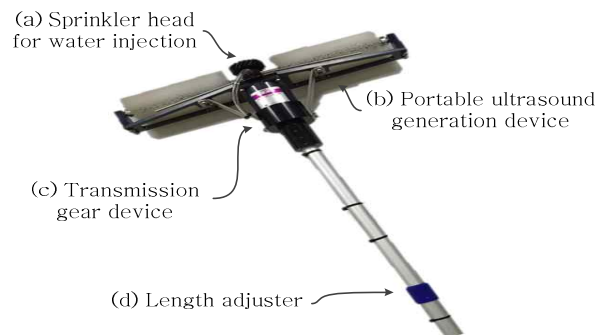


Figure 3. Proposed cleaning device for photovoltaic power generation systems

3.2.1 브러쉬(세척 부분)

브러쉬 앞면에 소방 설비의 스프링클러 헤드를 벤치마킹 한 물 분사 장치로 물을 분사시키면서 휴대용 초음파 장치와 전동시스템을 이용하여 초음파를 생성시킴으로써 기존의 제품보다 높은 모듈 세척 및 냉각효과를 제공한다.

3.2.2 길이 조절 장치

일반적으로 사용되는 태양광발전설비 세척 장치의 길이 조절 장치는 다단 폴대 형태로 이루어져 있다. 다단 폴대형 구조의 세척 장치는 세척을 담당하는 브러쉬에 가까울수록 두께가 가늘어지기 때문에 브러쉬의 무게를 견디기 어렵고, 이로 인하여 잘 휘어져 사용하기에 어려움이 있다. 따라서 초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장치의 길이 조절 장치에 커플러 이음을 적용하여 손잡이 끝에서 브러쉬까지의 힘 전달력을 높였다. 커플러의 사용으로 증가할 수 있는 길이 조절 장치의 무게를 절감하기 위하여 탄소재질을 이용하였다. 길이조절은 최대 10m까지 연장 가능하여 고소 작업 시 낙상 위험성을 감소시킬 수 있다.

4. 평가기준 선정

4.1 비교대상 선정

초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장치의 편익-비용의 상대적인 비교, 분석을 위하여 국내 S사의 제품 H를 비교대상으로 선정하였다. 비교대상으로 선정한 이유는 중형 태양광발전설비(설비용량 30kW이상 100kW미만)에 적합한 세척 장치로 국내에 가장 많이 알려져 있을 뿐만 아니라 사용자가 장치를 이용해서 직접 세척을 해야 하는 수동적인 장치라는 공통점이 있기 때문이다. 또 초음파 세척 장치가 강조하는 기술(휴대용 초음파 장치, 전동시스템, 길이 조절 장치의 경량화와 이음 형태, 유효길이)을 제외한 장치의 기본 구성(장치본체의 물 분사장치, 현장 상황에 따라 변동 가능한 길이조절)이 동일하여 보유 기술 적용 시 발생하는 차이점을 비교할 수 있다.

4.2 비교대상의 차이점 분석

태양광발전설비를 효율적으로 세척하기 위해서는 세정성능, 경제성, 사용편의성, 안전성이 보장되어야 한다. 따라서 본 연구에서 초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장치와 제품 H의 차이점 분석을 위하여 두 비교 대상의 세정성

능, 경제성, 사용편의성, 안전성을 분석하였고, 추가적으로 브러쉬의 형태, 무게를 조사하였다. 두 비교대상의 대표적인 차이점은 제품 H의 본체는 물 분사 장치만을 포함한 단순 브러쉬 형태인 반면, 초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장치는 휴대용 초음파장치와 전동시스템을 포함한 롤러형식의 전동 브러쉬 형태라는 점이다. 또한 4단 폴대형 구조로 구성된 제품 H의 길이조절장치의 최대 길이는 8m이지만, 초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장치의 길이조절장치는 최대 길이가 10m이고, 커플러 이음을 사용하였다. 두 비교대상들이 강조하는 기술들로 인해 차이가 있는 주요 특징은 Table 3과 같다.

Table 3. Comparison of the ultrasound-based cleaning device and product H

Product	Product H	Ultrasound-based cleaning device
Brush type	Simple brush	Brush integrated with ultrasound technology
Weight	10kg	7kg
Cleaning capability	Brush	Including a portable ultrasound generation device and transmission gear device
		Sprinkler head for water injection
Length adjuster	Telescoping pole method for adjusting length	Coupler connection method for adjusting length (Improved force transmission capability)
	Material: aluminium	Material: carbon
Productivity	Low cleaning productivity due to simple brush	Cleaning productivity improved by weight reduction and improved cleaning capability
Economic feasibility	Amount of used water	-
	Labor cost	-
Maintenance cost	Additional cost for brush replacement due to its abrasion and pollution	Water reduction by reduced cleaning time Labor cost reduction by reduced cleaning time
Investment cost	KRW 500,000	A/S cost due to breakdown of ultrasound generation and transmission gear devices
Usability	Weight reduction	KRW 1,000,000
	Usability of length adjusters	-
Safety	Risk of falling	Increased mobility by weight reduction Additional time required for adjusting length because of the coupler connection method during cleaning processes
	Risk of electric shock	Reducing the risk of falling due to relatively short length of the device (total length: 8m)
		Reducing the risk of falling due to relatively long length of the device (total length: 10m) Increased risk of electric shock due to application of ultrasound generation and transmission gear devices

4.3 평가기준 선정

본 연구에서는 초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장치와 제품 H의 차이점 분석을 통해서 초음파 세척 장치 이용 시 발생하는 장점을 편익 측면으로, 단점을 비용 측면으로 분류하였다. 세척 장치의 세정성능, 경제성, 사용편의성, 안전성 총 4가지의 상위평가항목으로 분류하였고, 상위항목에 대한 하위평가항목에 대한 평가기준은 전문가 4인(현장 실무 전문가 2인, 연구 분야 전문가 2인)과의 전문가 면담을 통하여 도출되었다. 면담에 참여한 전문가들의 실무 경력은 최소 7년 이상, 평균 15.3년이였다. 도출된 편익측면과 비용측면의 평가기준은 Table 4, 5와 같다.

Table 4. Evaluation indicators and criteria of the benefit aspect

Category	Evaluation indicator	Description
Cleaning capability	Cleaning performance improvement	Improvement of the cleaning performance by applying ultrasound technology Quickly cleaning through water-injection of a sprinkler head installed in the front part of the washing device
	Improvement of force transmission capability of the grip	Improvement of the cleaning performance by force transmission capability enhanced by implementing the coupler connection method
Economic feasibility	Productivity improvement	Reduction of labor cost through productivity improved by weigh reduction, enhanced cleaning performance, etc.
	Water reduction	Water reduction caused by reduction of cleaning time
Usability	Weight reduction	Improvement of the mobility by weight reduction
Safety	Reduction of risk of fall	Reduction of risk of falling due to increased length of the device

Table 5. Evaluation indicators and criteria of the cost aspect

Category	Evaluation indicator	Description
Cleaning capability	Damage of glass surface of modules	Damage of glass surface of modules
Economic feasibility	Maintenance cost increase	Rising maintenance cost due to breakdown of devices · Product H - brush replacement, etc. · Ultrasound-based cleaning device - A/S of ultrasound devices and transmission gears, battery recharging and replacement, etc.
	Investment cost increase	Rising investment cost for applying new technologies · Product H - KRW 500,000 · Ultrasound-based cleaning device - KRW 1,000,000
Usability	Usability of length adjusters	Additional working time for adjusting length of devices during cleaning · Product H - telescoping pole · Ultrasound-based cleaning device - coupler connection method
Safety	Increase of risk of electric shock	Increasing risk of electric shock due to application of ultrasound generation and transmission gear devices

5. 편익-비용 분석

5.1 AHP를 이용한 편익-비용 분석 방법

본 연구에서는 개발 중인 초음파 기술 적용 태양광발전설비 세척 장치의 경제성을 평가하기 위해 AHP기법에 의한 편익-비용 분석을 실시하였다. AHP기법을 이용한 분석은 정량적인 요소뿐만 아니라 정성적인 요소들도 고려할 수 있으며, 편익-비용 분석은 대안별 편익적 가치와 비용적인 가치를 동시에 고려하여 체계적인 경제적 분석이 가능하다[3].

AHP기법에 의한 편익-비용 분석을 위해서는 먼저 의사결정 문제를 상호 관련된 의사결정 요소로 분류하여 계층화해야 한다. 계층화는 편익측면의 평가기준으로 구성된 편익계층과 비용측면의 평가기준으로 구성된 비용계층으로 각각 구성하며, 고유치 방법을 통하여 각 계층별 요소들 간의 가중치 값을 산정하게 된다. 산정된 가중치 값을 종합하여 비용측면과 편익측면의 종합 우선순위를 도출하고 대안간의 편익-비용 비율을 비교하여 최종대안을 선정한다.

5.1.1 평가기준의 계층화

AHP기법의 적용을 위한 첫 번째 과정은 상호 관련되어 있는 여러 의사결정사항들을 계층화하는 것이다. 계층 구성은 계층과 요소의 선정, 개념 규정, 질문수립이라는 3단계를 상호 관련시켜 진행했다. 전문가들과의 1:1 심층 면담을 통해 3단계의 반복 과정으로 계층의 수와 요소들을 결정하여 Table 4와 Table 5와 같이 구성하였다.

5.1.2 설문조사 개요

설문 응답자는 태양광발전설비에 대하여 충분한 지식을 가진 전문가와 신기술개발에 풍부한 경험을 가진 전문가를 대상으로 하였고, 직종별 평균 실무경력은 Table 6과 같다. AHP를 이용한 편익-비용에 대한 설문조사는 응답자들의 전문성과 정확한 응답을 필요로 하기에 1:1 직접 대면에 의한 심층면접방식으로 실시하였다. 수집된 설문지는 18부였으나, 일관성 비율이 10% 이상인 설문 3부를 제외한 15부(유효한 설문 응답률: 83.3%)를 분석에 사용하였다.

응답자의 평균 경력은 5.38년이였다. 상위계층과 하위평가항목에 가중치 산출과 초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장치와 제품 H의 가중치 도출은 편익과 비용 두 가지 측면 모두에서 수행하였으며, 각각 설문의 가중치 값을 기하평균하고, 종합가중치로 편익-비용 분석을 실시하여

최적대안을 도출하였다.

Table 6. Summary of the survey results

Classification	# of response	# of valid response		Average working experience (year)
		Number	Rate (%)	
Industry	12	11	91.7	5.00
University	3	2	66.7	8.53
Institute	3	2	66.7	4.33
Total	18	15	83.3	5.38

5.2 AHP를 이용한 편익-비용 분석 결과

5.2.1 평가항목의 가중치 분석

편익, 비용 측면의 가중치를 분석한 결과는 Table 7, 8과 같이 나타났다. 편익계층과 비용계층의 상위평가항목 가중치 분석 결과, 편익계층은 세정성능(0.357), 경제성(0.343), 안전성(0.179), 사용편의성(0.121)의 순으로 나타났고, 비용계층은 경제성(0.377), 세정성능(0.290), 안전성(0.221), 사용편의성(0.111)의 순으로 중요도를 보였다. 편익계층 하위평가의 중요도 가중치는 작업 능력 향상(경제성, 0.287)과 세정 성능 강화(세정 성능, 0.282)가 높았던 반면, 용수절감(경제성, 0.056)과 손잡이의 힘 전달 능력 향상(세정성능, 0.075)은 낮은 가중치 값을 보였다.

비용계층 하위평가의 중요도 가중치는 모듈 표면 유리 파손(세정성능, 0.290), 감전 위험성 증가(안전성, 0.221)가 높았고, 길이 조절 장치의 용이성(사용편의성, 0.111)의 가중치가 낮았다. 비용계층의 하위평가항목간의 가중치 값의 차이가 편익계층의 중요도 가중치 값의 차이보다 큰 편차를 보였다.

Table 7. Weights of the categories and evaluation indicators of the benefit aspect

Category		Evaluation indicator		Alternative	
Description	Weight	Description	Weight	Ultrasound device	Product H
Cleaning capability	0.357	Cleaning performance improvement	0.282	0.222	0.071
		Improvement of force transmission capability of the grip	0.075	0.045	0.020
Economic feasibility	0.343	Productivity improvement	0.287	0.228	0.066
Usability	0.121	Water reduction	0.056	0.036	0.013
		Weight reduction	0.121	0.075	0.046
Safety	0.179	Reduction of risk of fall	0.179	0.142	0.036
Total weighted value				0.748	0.252

Table 8. Weights of the categories and evaluation indicators of the cost aspect

Category		Evaluation indicator		Alternative	
Description	Weight	Description	Weight	Ultrasound device	Product H
Cleaning capability	0.290	Damage of glass surface of modules	0.290	0.148	0.142
		Maintenance cost increase	0.173	0.086	0.041
Economic feasibility	0.377	Investment cost increase	0.203	0.191	0.060
		Usability of length adjusters	0.111	0.080	0.032
Safety	0.221	Increase of risk of electric shock	0.221	0.137	0.084
Total weighted value				0.642	0.358

5.2.2 두 비교대상의 평가항목별 가중치 분석

AHP를 이용한 편익-비용 분석결과는 초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장치와 제품 H의 편익과 비용에 대한 전문가들의 의견을 종합한 것으로, 두 비교 대상의 종합 가중치를 비교하여 계산되었다. 초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장치와 제품 H에 대한 AHP 기반 편익-비용 분석결과는 Table 9와 같다. 초음파 기술 적용 태양광발전설비 세척 장치의 편익-비용이 1.167로서 1보다 큰 값으로 분석된 반면, 제품 H는 0.704였다. 즉, 초음파 세척 장치는 비용에 비해 편익이 크다는 것을 의미하며, 개발 가치가 있다는 것을 의미한다. 설문조사과정에서 심층설문에 참여한 대부분의 전문가들도 초음파 기술 적용 태양광발전설비 세척 장치가 성공적으로 개발된다면, 제품 H에 비해 상대적으로 경쟁력이 있을 것이라는 것에 동의하였다.

Table 9. Results of benefit-cost analyses

Alternative	Benefit	Cost	B/C	Rank
Ultrasound-based cleaning device	0.748	0.642	1.165	1
Product H	0.252	0.358	0.704	2

편익계층과 비용계층 모두 초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장치(편익계층: 0.748, 비용계층: 0.642)가 제품 H(0.252, 0.358)보다 높은 종합가중치 값을 보였다. 이는 태양광발전설비 세척 장치에 초음파를 적용하는 하는 것이 제품 H보다 더 많은 설치비용이 요구되고, 적용에 따른 이익이 더 많은 것으로 예상된다는 것을 의미한다.

초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장치의 장단점을 세부적으로 분석하기 위하여 상위, 하위평가항목에 대

한 가중치들을 비교하였다. 가중치 값이 가장 높은 항목이 편익계층에서는 가장 큰 장점, 비용계층에서는 가장 큰 단점으로 판단할 수 있다. 초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척장치의 편익계층의 경우, 상위항목 세정성능(0.267)과 경제성(0.264)의 중요도 가중치가 가장 높게 나왔다. 그에 따른 하위평가의 중요도 가중치도 작업 능력 향상(경제성, 0.228)과 세정 성능 강화(세정 성능, 0.222)가 가장 높았다. 특히, 초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장치를 이용함으로써 예상되는 낙상 위험성 감소와 작업 능력 향상의 가중치는 제품 H보다 각각 3.9배, 3.5배 높았다(평균 3.0배). 반면, 경량화에 대한 가중치는 1.6배 향상에 그쳤다.

비용계층의 경우 상위항목 경제성(0.277)과 세정성능(0.148)의 중요도 가중치가 가장 높았고, 그에 따른 하위평가의 중요도 가중치는 초기구매비용증가(경제성, 0.191)와 모듈 표면 유리 파손(세정성능, 0.148)의 가중치가 높았다. 초기구매비용증가 가중치의 경우, 제품 H보다 3.2배 높았지만(평균 1.8배), 모듈 표면 유리 파손의 경우, 1.0배로 제품 H의 가중치 값과의 차이가 거의 없었다. 하위 평가항목 자체의 가중치는 감전 위험성 증가(0.221)가 초기구매비용 증가(0.203)보다 높았지만 초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장치의 하위 평가항목 가중치는 초기 구매비용 증가(0.191)가 감전 위험성 증가(0.137)보다 더 높았다. 이는 상대적으로 초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장치의 초기 투자비용 증가에 따른 비용 측면에의 영향도가 높다는 것은 의미한다.

초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장치에 대한 편익계층, 비용계층의 가중치를 상호 비교해보면, 우선 세정성능을 기준으로 편익측면의 항목인 세정성능강화(0.222)가 모듈표면 유리 파손(0.148)에 대한 가중치보다 높게 나와 비용적인 측면에서 유리할 것으로 판단된다. 경제성의 경우, 작업능력향상(0.228)에 대한 가중치가 초기구매 비용 증가(0.191)보다 높았다. 이러한 결과가 나타난 이유는 여러 가지의 기술적용으로 인해 초기구매비용은 높지만, 태양광발전설비의 유지관리 시 작업의 능률이 향상되어 세척시간과 인건비 감소가 가능하기 때문인 것으로 보인다. 그러나 사용 편의성과 안전성의 경우, 편익계층과 비용계층의 하위평가항목의 가중치는 유사하여 초기투자비용에 대한 효과는 크지 않은 것으로 분석되었다.

6. 결 론

본 연구에서는 초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장치의 편익-비용 분석을 진행하여 경제성을 분석함으로써 장치에 대한 개발가능성을 확인하고자 하였다. 세척 장치의 편익, 비용 측면에 대한 정량적인 요소뿐만 아니라 정성적인 요소의 영향도 고려하기 위하여 AHP를 이용한 편익-비용 분석을 이용하였다. AHP는 각 평가항목의 평가기준을 기반으로 평가대상을 선택, 비교함으로써 우선순위를 선정하는 방법으로, 자료에 대한 일관성과 신뢰성을 높일 수 있다.

분석 결과, 초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장치의 편익-비용 값은 1.167로 경제적 측면에서 개발 가치가 있다고 판단되었다. 초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장치와 초음파 기술을 제외하고 유사한 특성을 가지는 국내 세척 장치의 편익-비용 값보다 1.6개 높았다. 초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장치의 최대 장점은 작업 능력 향상, 최대 단점은 초기구매 비용 증가였다. 본 연구의 결과는 초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장치의 개발연구를 위한 참고자료로서, 향후 세척 장치 개발에 있어 장점을 최대화하고, 단점을 최소화 하는 방향으로 진행할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 AHP를 이용한 편익-비용 분석을 위해서 편익계층과 비용계층에 대한 가중치 산정과 그 비교의 과정에서 동일한 산정법을 적용하여 결과를 도출하였으나 보다 신뢰성 있는 결과 값을 도출하기 위해서는 각 평가항목의 부분적 상황에 적합한 분석 방법에 대한 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것으로 사료된다.

요 약

본 연구에서는 개발 중인 초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장치의 경제성 분석을 위하여 AHP 편익-비용을 분석하였다. 초음파 기술을 적용한 태양광발전설비 세척 장치와 유사한 특성을 가지며, 국내에서 널리 사용되고 있는 태양광발전설비 세척 장치를 비교 대상으로 선정하여 상대적인 편익-비용 분석 값을 비교하였다. 두 비교 대상의 편익, 비용을 정량적, 정성적으로 분석하기 위하여 각각의 측면의 상위계층과 하위평가항목을 도출하고, 하위 평가항목에 대한 평가기준을 도출하였다. 도출된 평가기준을 기반으

로 15인의 전문가 인터뷰를 수행함으로써 두 비교 대상의 편익, 비용 가중치를 계산하였다. 분석 결과, 초음파를 사용한 태양광발전설비의 편익-비용 분석 값은 1이상으로 비용 대비 이익이 더 높을 것으로 예상되었고, 비교 대상의 편익-비용 분석 값보다 약 1.6배 높았다. 이는 경제적인 측면에서 초음파를 적용한 태양광발전설비 세척 장치의 개발 가치가 있다는 것은 의미한다.

키워드 : 태양광발전설비 세척 장치, 편익-비용 분석, 초음파기술, 전문가설문

Acknowledgement

This work was supported by the Technological Innovation R&D Program (C0399094) funded by the Small and Medium Business Administration(SMBA, Korea)

References

1. Hong S, A study on the photovoltaic power generation according to installation of a cooling system [master's thesis]. [Seoul (South Korea)]: Department of Electrical Engineering, Hongik University; 2010. 81 p.
2. Solar CS, Development of a Washing Device for Photovoltaic Power Generation Facilities using Ultrasound Technology, Small and Midium Business Administration, Chungbuk, South Korea, 2015.
3. Cho G, Cho Y, Kim H, Decision Making of Leaders Using Analytic Hierarchy Process, Seoul (South Korea): Donghyun Publications: 2003. 311 p. Korean.
4. Choi DS, Kim JU, Son YD, Photovoltaic solar module cleaning and cooling system development for improving performance characteristic. Proceeding of the Conference of the Korean Institute of Electrical Engineers, 2013 Oct 25-26; Busan, South Korea, Seoul (South Korea): The Korean Institute of Electrical Engineers; 2013. p. 295-6.
5. Kang SH, No ST, Kim JY, Analysis of power generation according to maintenance conditions of photovoltaic equipment for detached houses. Journal of the Building Environment Institute of Chungwoon University. 2014 Dec;9(2):43-51.
6. Kim JY, A study on effective maintenance of solar power generation system [master's thesis]. [Daegu (South Korea)]:

Department of Mechatronics Engineering, Kungil University; 2012. 106 p

7. Yoo JH, Field survey on the operation and maintenance in photovoltaic system for apartment house. Proceedings of the Conference of the Architectural Institute of Korea, 2014 Oct 23-25; Tongmyoung University, Busan, South Korea, Seoul (South Korea): The Architectural Institute of Korea; 2014. p. 281-2.
8. Jung SS, A study on the benefit-cost analysis of photovoltaic system in the greenhome. Journal of the Korean Society for Power System Engineering. 2014 Jun;18(3):112-7.
9. Hong S, Hong YW, Evaluation indicator for areas to applicate residential environment management project, Journal of Korea Planning Association, 2015 Aug;50(5):153-67.
10. Lee JH, Lee KG, Ahn TK, Park JC, A study on the survey and analytic hierarchy process for the green buildings. Journal of The Korean Society of Living Environmental System, 2014 Jun;21(3):398-406.
11. Seo Y, Y Seo, Cleanning and cooling system for solar photovoltaic power generation device, South Korea patent KR 10-1330358-0000, 2012 May 18.