한국동력기계공학회지 제21권 제4호 pp. 51-56 2017년 8월 ISSN 1226-7813(Print) ISSN 2384-1354(Online)
Journal of the Korean Society for Power System Engineering http://dx.doi.org/10.9726/kspse.2017.21.4.051
Vol. 21, No. 4, pp. 51-56, August 2017

캘리포니아 표준 테스트 방법을 사용한 압전 발판의 경제성 분석
Economic Analysis of the Piezoelectric Power using the California Standard Test

정순성*†
Soon-Sung Jung*†

(Received 26 May 2017, Revision received 01 August 2017, Accepted 01 August 2017)

Abstract: The purpose of this study is to suggest economic analysis for piezoelectric power. Economic analysis method uses california standard test. Perspectives of california standard test is participant test, ratepayer impact measure test, program administrator cost test and total resource cost test. This study identifies the cost and benefit components. This study identifies benefit-cost calculation procedures from four test : participant test, ratepayer impact measure test, program administrator cost test and total resource cost test. In the economic analysis, the order of benefit cost ratio in piezoelectric power shows total resource cost test, program administrator cost test, ratepayer impact measure test and participant test.

Key Words : California Standard Test, Piezoelectric Power, Economic Analysis, Sensitivity Analysis, Benefit-Cost Ratio, Present Worth Method

1. 서 론

현재 인간 동력, 자동차 운행, 바람에 의한 발전에너지 생산이 차세대 신재생에너지의 한 분야로 이와 관련된 다양한 연구가 진행되고 있다. 국내의 압전 발전 장치에 관한 기술 수준은 초기단계로 압전 소자를 이용한 다양한 방법[1)]과 제어 및 계측에 관한 연구가 진행되고 있는 실정이다. 인간 동력에 의한 발전[2)]은 미세한 에너지 활용과 에너지 절약 의식 측면에서 의의를 두고 있으나, 압전 발전 장치의 상용화를 위해서는 경제성에 관한 다양한 접근 방법이 필요할 것이다.

1970년대 이후 에너지 보존 및 부하관리 프로그램은 발전소 건설 및 가스 공급 옵션에 대한 대안으로 캘리포니아 공공 유틸리티 위원회(CPUC : the California Public Utilities Commission)와 캘리포니아 에너지 위원회(CEC : the California Energy Commission)에 의해 추진되었다. 1983년 에너지 보존 및 부하 관리 프로그램의 편익 비용 분석을 위한 캘리포니아 표준 테스트가 제시[3)]되었다. 캘리포니아 표준 테스트의 표준화 된 절차 수립을 위하여 수요 관리 프로그램, 절약 프로그램, 부하관리 프로그램, 연료 대체 프로그램, 부하빌딩과 자가발전 프로그램 등 다양한 유형을 제시하였다.

캘리포니아 표준 테스트는 현재 수요 관리 자원의 비용 효과 분석 및 통합자원계획에 널리 사

*† 정순성(교신저자) : 동명대학교 건축공학과
E-mail : jungss66@hanmail.net, Tel : 051-629-2472

*† Soon-Sung Jung(corresponding author) : Department of Architectural Engineering, Tongmyong University.
E-mail : jungss66@hanmail.net, Tel : 051-629-2472

용되고 있는 실정이다.

본 연구는 캘리포니아 표준 테스트를 이용하여 압전 발판의 편익비용분석[4),5)]을 실시하여 압전 발판의 경제성과 관련된 다양한 기초적인 자료를 제시하고자 한다.

2. 캘리포니아 표준 테스트

캘리포니아 표준 테스트는 4가지 테스트를 통해 주요관점별 경제성을 평가하는 것이다. 참가자 테스트(Participant Test : P-Test)는 프로그램 참여로 인해 고객에게 정량적인 편익과 비용을 측정하는 것이다. 지방세 납세자 영향 측정 테스트(Ratepayer Impact Measure Test : RIM-Test)는 이전에 비참가가 테스트 또는 요금레벨테스트 영향이라고 불러졌으며, 유틸리티 수익과 프로그램으로 인한 운영비용의 변화에 따른 고객의 요금 청구서 변화에 관한 것이다. 프로그램 관리자 비용 테스트(Program Administrator Cost Test : PAC(UC)-Test)는 프로그램을 수행하는데 소요되는 유틸리티의 변화를 측정하는 것이다. 총 자원 비용 테스트(Total Resource Cost Test : TRC-Test)는 참가자와 유틸리티의 비용을 포함하여 프로그램의 종합적인 효과를 측정하는 것이다.

3. 압전발판의 캘리포니아 표준 테스트 적용을 위한 편익 비용 평가항목 선정

3.1 참가자 테스트

참가자 테스트를 위한 편익과 비용은 Table 1과 같다.

Table 1 Participant test

Perspectives	Benefit	Cost
P-Test	Electric charges reduction	Initial cost
	State Subsidy	Maintenance / management cost
	-	Demolition / sell cost
	-	Investment cost interest

편익 항목은 전기요금 절감액, 정부 및 지방자치단체의 무상보조금, 비용 항목은 압전 발판의 초기투자비, 유지관리비, 철거 매각비, 투자비 미활용 손실액으로 선정하였다.

3.2 지방세 납세자 영향 측정 테스트

지방세 납세자 영향 측정 테스트를 위한 편익과 비용은 Table 2와 같다.

Table 2 Ratepayer impact measure test

Perspectives	Benefit	Cost
RIM-Test	Electric charges raise avoided cost	State subsidy

편익 항목은 전기 공급 요금 인상 회피비용, 비용 항목은 정부 및 지방자치단체의 무상보조금으로 선정하였다.

3.3 프로그램 관리자 비용 테스트

프로그램 관리자 비용 테스트를 위한 편익과 비용은 Table 3과 같다.

Table 3 Program administrator cost test

Perspectives	Benefit	Cost
PAC(UC)-Test	Electric purchase price reduction	Electric sale revenues diminution cost
	Demand side management expenditure reduction	-

편익 항목은 전기 구매비용 절감액, 전력 수요관리 절감액, 비용 항목은 전력 판매수입 감소금액으로 선정하였다.

3.4 총 자원 비용 테스트

총 자원 비용 테스트를 위한 편익과 비용은 Table 4와 같다.

Table 4 Total resource cost test

Perspectives	Benefit	Cost
TRC-Test	Peak power generation (LNG) avoided cost	State subsidy
	Demand side management expenditure reduction	Energy tax saving
	Nation energy revenues cost saving	Initial cost
	Power generation construction avoided cost	Power generation industry production induction effect
	Industry production induction effect	-
	Environmental cost saving	-

편익 항목은 첨두발전(LNG) 회피비용, 전력 수요관리 절감액, 국가 에너지 수입비용 절감액, 발전소 건설 회피비용, 압전 발판 산업의 생산유발효과, 환경비용 절감액(온실가스)으로 선정하였다. 비용 항목은 정부 및 지방자치단체의 무상보조금, 전기 세금 감소 비용, 초기투자비, 발전소 설비산업의 생산유발효과 감소비용으로 선정하였다.

4. 압전 발판의 경제성 분석

4.1 전제조건

압전 발판의 경제성 분석을 하기 위한 전제조건은 다음과 같다.

압전 발판 1개의 예상 발전량은 0.5 Ws, 가격은 백만원, 1일 압전 발판 적용횟수 10,000번, 현재 정부 및 지방자치단체의 무상보조금 지원이 없으나 있는 것으로 가정하여 1,150,000/kw당, 철거 매각비는 철거비와 매각비가 동일한 것으로 가정, 투자비미활용손실액은 없는 것으로 가정, 유지관리비는 초기투자비의 1%, 전기요금 산출기준은 2017년 1월 1일 시행 일반용전력(갑) I 을 기준으로(봄 · 가을철 153일, 여름철 92일, 겨울철 120일) 산출하고 부가가치세 및 전력기반기금 포함, 에너지 공급비용 인상 회피비용과 전력 구매 비용절감액은 첨두발전(LNG) 회피비용으로 가정하여 kw당 165.6원으로 산출, 국가에너지 수입 비용 절감액은 국가 에너지 통계 종합정보시스템의 2010년 자료를 기준으로 128.1 원/kwh에서 연료비 비율 69% 적용하여 산출, 발전소 건설 회피비용은 2011 에너지·기후변화 편람 자료를 기준으로 2,302,158 원/kw 적용하여 산출, 압전 발판 산업의 생산유발비용은 국산으로 가정하여 초기투자비의 100%로 산출, 발전소 설비산업의 생산유발효과는 kw당 128.1원(연료비 제외 비율 31%), 환경비용 절감액으로 50,000원/TCO_2, 내용연수 10년, 할인율 6%, 전기요금 상승률 2%, 물가상승률 3%로 가정하였다.

4.2 현가법

편익 비용 계산을 위해 본 연구에서는 총비용을 집계하기 위해 현가법[6]을 적용하였다. 초기비용은 이미 현가이므로 미래에 발생되는 반복비용의 경우 식 (1)을 사용하여 현가로 환산한다.

$$P = A \times \frac{\left[\frac{1+e}{1+i}\right] \cdot \left[\left(\frac{1+e}{1+i}\right)^n - 1\right]}{\left(\frac{1+e}{1+i}\right) - 1} \tag{1}$$

여기서, P는 현가, A는 n년간 걸쳐 계속되는 일정한 기말지불액, i는 할인율, e는 물가상승률, n은 내용연수이다.

몇 년 후에 1회만 발생하는 비반복비용의 경우 식 (2)를 사용하여 현가로 환산한다.

$$P = F \times \frac{1}{i(1+i)^n - 1} \tag{2}$$

여기서, P는 현가, F는 n년 후 기말지불액, i는 할인율, n은 내용연수이다.

4.3 경제성 분석

위 전제조건에 따른 압전 발판 1개(10,000번/일)를 기준으로 캘리포니아 표준 테스트 결과는 Table 5와 같다.

Table 5 The result of california standard test

Perspectives	Item	Value
P-Test	Benefit	559 won
	Cost	1,085,684 won
	B-C ratio	0.0005
	PBP	1,943.19 years
RIM-Test	Benefit	0.19 won
	Cost	159.72 won
	B-C ratio	0.0012
PAC(UC)-Test	Benefit	2.20 won
	Cost	362.72 won
	B-C ratio	0.0061
TRC-Test	Benefit	1,000,297 won
	Cost	1,000,292 won
	B-C ratio	1.00001

참가자 테스트의 경우 편익은 연간 전기요금 절감액 49원, 정부 및 지방자치단체의 무상보조금 159.72원으로 나타났다. 비용은 초기투자비 1,000,000원, 유지관리비 연간 10,000원으로 나타났다. 현가법을 적용하면 편익 559원, 비용 1,085,684원, 편익비용비율 0.0005, 회수기간 1,943.19년으로 나타났다.

지방세 납세자 영향 측정 테스트의 경우 편익은 연간 전기 공급 요금 인상 회피비용 0.023원으로 나타났다. 비용은 정부 및 지방자치단체의 무상보조금 159.72원으로 나타났다. 현가법을 적용하면 편익 0.19원, 비용 159.72원, 편익비용비율 0.0012로 나타났다.

프로그램 관리자 비용 테스트의 경우 편익은 연간 전기구매비용 절감액 0.023원, 연간 전력 수요관리 절감액 0.273원으로 나타났다. 비용은 연간 전력 판매 수입 감소금액 49.00원으로 나타났다. 현가법을 적용하면 편익 2.20원, 비용 362.72원, 편익비용비율 0.0061로 나타났다.

총 자원 비용 테스트의 경우 편익은 연간 첨두발전(LNG) 회피비용 0.023원, 연간 전력 수요 관리 절감액 0.273원, 연간 국가 에너지 수입비용 절감액 33.53원, 발전소 건설 회피비용 319.74원, 압전 발판 산업의 생산유발효과 1,000,000원, 연간 환경 비용 절감액(온실가스) 10.812원으로 나타났다. 비용은 정부 및 지방자치단체의 무상보조금 159.72원, 전기 세금 감소 비용 6.71원, 초기투자비 1,000,000원, 발전소 설비산업의 생산유발효과 감소 비용 17.888원으로 나타났다. 현가법을 적용하면 편익 1,000,297원, 비용 1,000,292원, 편익비용비율 1.00001로 나타났다.

4.4 감도분석

압전 발판의 기술은 현재 지속적으로 발전하고 있으므로 압전 발판 1개의 예상 발전량 1Ws로 현재의 발전량보다 2배로 가정하여 감도분석을 실시하였다. 캘리포니아 표준 테스트의 결과는 Table 6과 같다.

Table 6 The result of california standard test in sensitivity analysis

Perspectives	Item	Value
P-Test	Benefit	958 won
	Cost	1,085,684 won
	B-C ratio	0.0009
	PBP	1133.63 years
RIM-Test	Benefit	0.375 won
	Cost	159.72 won
	B-C ratio	0.0023
PAC(UC)-Test	Benefit	4.39 won
	Cost	725.44 won
	B-C ratio	0.0061
TRC-Test	Benefit	1,001,087 won
	Cost	1,000,523 won
	B-C ratio	1.00056

참가자 테스트의 경우 현가법을 적용하면 편익 958원, 비용 1,085,684원, 편익비용비율 0.0009, 회수기간 1,133.63년으로 나타났다.

지방세 납세자 영향 측정 테스트의 경우 현가법을 적용하면 편익 0.375원, 비용 159.72원, 편익비용비율 0.0023으로 나타났다.

프로그램 관리자 비용 테스트의 경우 현가법을

적용하면 편익 4.39원, 비용 725.44원, 편익비용비율 0.0061로 나타났다.

총 자원 비용 테스트의 경우 현가법을 적용하면 편익 1,001,087원, 비용 1,000,523원, 편익비용비율 1.00056으로 나타났다.

압전 발판 1개의 예상 발전량을 현재보다 10배 정도 높게 5 Ws로 가정하여 감도분석을 실시하였다. 캘리포니아 표준 테스트의 결과는 Table 7과 같다.

Table 7 The result of california standard test in sensitivity analysis

Perspectives	Item	Value
P-Test	Benefit	4,117 won
	Cost	1,085,684 won
	B-C ratio	0.0038
	PBP	263.73 years
RIM-Test	Benefit	1.873 won
	Cost	159.72 won
	B-C ratio	0.0117
PAC(UC)-Test	Benefit	21.96 won
	Cost	3,597.23 won
	B-C ratio	0.0061
TRC-Test	Benefit	1,005,412 won
	Cost	1,001,970 won
	B-C ratio	1.00344

참가자 테스트의 경우 현가법을 적용하면 편익 4,117원, 비용 1,085,684원, 편익비용비율 0.0038, 회수기간 263.73년으로 나타났다.

지방세 납세자 영향 측정 테스트의 경우 현가법을 적용하면 편익 1.873원, 비용 159.72원, 편익비용비율 0.0117로 나타났다.

프로그램 관리자 비용 테스트의 경우 현가법을 적용하면 편익 21.96원, 비용 3,597.23원, 편익비용비율 0.0061로 나타났다.

총 자원 비용 테스트의 경우 현가법을 적용하면 편익 1,005,412원, 비용 1,001,970원, 편익비용비율 1.00344로 나타났다.

압전 발판 1개의 가격 500,000원으로 가정하여 감도분석을 실시하였다. 캘리포니아 표준 테스트의 결과는 Table 8과 같다.

Table 8 The result of california standard test in sensitivity analysis

Perspectives	Item	Value
P-Test	Benefit	539 won
	Cost	542,842 won
	B-C ratio	0.00103
	PBP	971.59 years
RIM-Test	Benefit	0.187 won
	Cost	159.72 won
	B-C ratio	0.0012
PAC(UC)-Test	Benefit	2.19 won
	Cost	362.72 won
	B-C ratio	0.0061
TRC-Test	Benefit	500,541 won
	Cost	500,341 won
	B-C ratio	1.0004

참가자 테스트의 경우 현가법을 적용하면 편익 539원, 비용 542,842원 편익비용비율 0.00103, 회수기간 971.59년으로 나타났다.

지방세 납세자 영향 측정 테스트의 경우 현가법을 적용하면 편익 0.187원, 비용 159.72원, 편익비용비율 0.0012로 나타났다.

프로그램 관리자 비용 테스트의 경우 현가법을 적용하면 편익 2.19원, 비용 362.72원, 편익비용비율 0.0061로 나타났다.

총 자원 비용 테스트의 경우 현가법을 적용하면 편익 500,541원, 비용 500,341원, 편익비용비율 1.0004로 나타났다.

압전 발판 1개의 예상 발전량 1Ws, 압전 발판 1개의 가격 500,000원으로 가정하여 캘리포니아 표준 테스트의 결과는 Table 9와 같다.

참가자 테스트의 경우 현가법을 적용하면 편익 958원, 비용 542,842원 편익비용비율 0.0018, 회수기간 566.82년으로 나타났다.

지방세 납세자 영향 측정 테스트의 경우 현가법을 적용하면 편익 0.375원, 비용 159.72원, 편익비용비율 0.0023로 나타났다.

프로그램 관리자 비용 테스트의 경우 현가법을 적용하면 편익 4.39원, 비용 725.44원, 편익비용비율 0.0061로 나타났다.

Table 9 The result of california standard test in sensitivity analysis

Perspectives	Item	Value
P-Test	Benefit	958 won
	Cost	542,842 won
	B-C ratio	0.0018
	PBP	566.82 years
RIM-Test	Benefit	0.375 won
	Cost	159.72 won
	B-C ratio	0.0023
PAC(UC)-Test	Benefit	4.39 won
	Cost	725.44 won
	B-C ratio	0.0061
TRC-Test	Benefit	501,087 won
	Cost	500,523 won
	B-C ratio	1.00113

총 자원 비용 테스트의 경우 현가법을 적용하면 편익 501,087원, 비용 500,523원, 편익비용비율 1.00113으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구는 압전 발판의 경제성 분석에 관한 것으로 경제성 분석 방법으로 캘리포니아 표준 테스트를 이용하여 참가자 테스트, 지방세 납세자 영향 측정 테스트, 프로그램 관리자 비용 테스트, 총 자원 비용 테스트를 실시하였다. 주요 연구 결과는 다음과 같다.

1) 압전 발판의 캘리포니아 표준 테스트 적용을 위한 테스트별 편익 비용 평가항목을 선정하였다.

2) 현시점의 경제성 분석 결과 참가자 테스트, 지방세 납세자 영향 측정 테스트, 프로그램 관리자 비용 테스트의 경우 경제성이 부족한 것으로 나타났으며, 총 자원 비용 테스트 측면에서는 경제성이 있는 것으로 나타났다.

3) 편익 비용 비율이 높은 순서는 총 자원 비용 테스트, 프로그램 관리자 비용 테스트, 지방세 납세자 영향 측정 테스트, 참가자 테스트로 나타났다.

4) 다양한 감도분석 결과 압전 발판의 경제성을 갖추기 위해서는 압전 발판 가격의 하락과 예상 발전량의 증가에 관한 기술 개발이 필요할 것으로 사료된다.

References

1. S. N. Yun and D. G. Kim, 2009, "A Study on Energy Harvesting Technique using Piezoelectric Element", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 13, No. 3, pp. 65-71.
2. M. H. Yi, W. J. Na, W. H. Hong and G. Y. Jeon, 2011, "A Study on Estimating Piezoelectric Generation by Observing Pedestrian Walking Characteristics on Stairs", Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, Vol. 27, No. 9, pp. 325-332.
3. California Public Utilities Commission, 2001, "California Standard Practice Manual".
4. S. S. Jung, 2014, "A Study on the Benefit-Cost Analysis of Photovoltaic System in the Green home", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 18, No. 3, pp. 124-117.
5. Y. H. Kim, S. S. Kim, S. I. Kim and S. G. Kim, 1994, "Engineering Economics", Cheongmungak Publishing Co, Seoul, p. 329.
6. S. S. Jung, 1999, A Study on the Development of Life Cycle Costing Influence Diagram for Decision Analysis of HVAC system, DR thesis, Dong-A University, Busan, Korea, p. 131.