

碩士學位 請求論文  
指導教授 申 竣 錫

유망기술 모니터링 지표 적합성 평가  
- PV모듈과 BIPV 모듈 사례에 적용 -

成均館大學校 技術經營傳門大學院  
技 術 經 營 學 科  
吳 恩 景

碩士學位 請求論文  
指導教授 申 竣 錫

모니터링 지표 적합성 평가  
- PV모듈과 BIPV 모듈 사례에 적용 -  
Identifying monitoring indicators for emerging  
technological opportunities

成均館大學校 技術經營傳門大學院

技術經營學科

吳 恩 景

# 목차

제1장 서론 .....	1
1.1 연구의 필요성 .....	1
1.2. 연구의 목적 .....	2
제2장 문헌연구 .....	3
2.1 지표 수집과 분류 .....	3
제3장 연구 방법론 .....	7
3.1 연구의 프레임워크 (Research framework) .....	7
3.2 자기회귀모형 (Auto-regression model) .....	8
3.3 1차 민감도 분석 (First-order sensitivity analysis) .....	8
제4장 연구 결과 .....	9
4.1 태양광발전(PV)모듈과 건물통합형 태양광발전(BIPV)모듈 .....	9
4.2 모니터링 지표 풀의 구축 .....	9
4.3 자기회귀분석 (Auto-regression analysis) .....	12
4.4 민감도 분석 (Sensitivity analysis) .....	15
제5장 결론 및 한계점 .....	18
참고문헌 .....	21

ABSTRACT .....	25
----------------	----

## 표목차

<표 1> 기술 지표 .....	4
<표 2> 시장 지표와 정책 지표 .....	5
<표 3> 모니터링 지표 풀과 데이터 출처 .....	11
<표 4> 세계 시장 PV 모듈 자기회귀분석 결과 .....	12
<표 5> 글로벌 BIPV 모듈 자기회귀분석 결과 .....	13
<표 6> 국내 PV 모듈 자기회귀분석 결과 .....	14
<표 7> 국내 BIPV 모듈 자기회귀분석 결과 .....	15
<표 8> First-order sensitivity 분석 결과 .....	16
<표 9> 선정된 모니터링 지표 .....	17

## 그림 목차

<그림 1> 연구 프레임워크 .....	7
-----------------------	---

## 논문요약

### 모니터링 지표 적합성 평가

유망기술은 시간에 따라 가치가 변화한다. 많은 기관이 주기적으로 전문가 평가에 기반해 유망기술의 가치를 재평가하지만, 여러 핵심요인들이 상호작용하며 동적 추세를 가지는 경우에는 평가의 감도와 정확도가 떨어지는 문제가 있다. 개별 기술 가치 정량 모니터링 지표들은 동적 추세 변화에 대한 감도는 높으나, 복합적 상호작용 파악의 정확도에 약점이 있다. 본 연구는 기술가치의 변화를 파악할 수 있는 핵심 정량 모니터링 지표들을 파악하고, 이에 기반해 감도/정확도가 높은 모니터링 지표들을 파악하는 것을 목적으로 한다. 문헌연구를 통해 기술의 핵심 정량 모니터링 지표들을 파악했으며, 자기회귀분석을 통해 시차를 두고 지속적으로 영향을 미치는 유의한 지표들을 선정했다. 이후 동적 민감도 분석을 통해 미래 기술가치 변화에 대해 사전에 높은 감도로 반응하는 지표들을 선정했다. 유망기술 중 동적 가치변화가 큰 태양광발전과 건물통합형 태양광발전에 위 방법을 적용했다.

주제어 : 모니터링 , 유망기술 , 자기회귀 , 감도분석 , 태양광

# 제1장 서론

## 1.1 연구의 필요성

유망기술을 관리하는 것은 기업에게도, 국가에게도 중요한 일이다(AIRI, 2002; EIRMA, 1999; Lichtenthaler, 2003; Nosella, 2008). 그러나 기술의 가치는 국가 정책이나 기술의 진보 등의 요소의 변화에 따라 변동하는 경우가 많다. 따라서 여러 기관들은 그러한 변화 요소들을 지속적으로 모니터링하고, 유망 기술을 재평가하기 위해서 노력해야 한다(Veugelers and Viaene, 2010).

변화하는 핵심 요소들뿐만 아니라 유망기술을 파악하기 위해, 많은 기관들은 전문가 평가에 의존해왔다. 그러나 글로벌화가 이끈 복잡도 증가와 기술 수명 주기의 단축은 정성 평가의 어려움을 증대시켰다(Chang, 2008). 이러한 상황에서 전문가 평가의 정확도는 다소 낮아질 수 있다. 따라서 유망기술에 적합한 모니터링 지표를 파악하고 도출하는 것이 필요하다. 전문가 정성 평가를 대체하거나 보완하기 위한 방식으로서 몇몇 연구자들은 특허의 수나 신제품 출시 건수와 같은 다양한 정량지표를 제안해왔다. 그러나 각 지표들의 장점과 단점을 모두 고려하여 지표를 평가할 방법이 없었고, 적합한 모니터링 지표를 확인할 수 있는 방법에도 한계점이 존재했다.

이러한 지표들은 유망기술의 가치뿐만 아니라 그 가치에 영향을 미치는 핵심 요소의 변화에 민감하게 반응해야 한다(Guo et al., 2011). 또한 선행지표가 될 수 있어야 한다. 즉, 좋은 모니터링 지표는 미래 유망기술의 가치 변화의 원인인 핵심 요소의 변화를 파악할 수 있어야 한다.

## 1.2 연구의 목적

이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 유망기술에 적합한 모니터링 지표를 파악하고 도출하기 위한 방법을 제안한다. 자기회귀분석은 선행 지표를 식별하는 데에 적합하며, 민감도 분석을 통해 다른 지표들보다 민감하게 반응하는 지표를 선별해낼 수 있다. 따라서 두 가지 분석 기법을 순차적으로 사용하면 민감한 선행 지표를 도출할 수 있다. 본 연구에서는 태양광발전 모듈(Photovoltaic modules, PV module)과 건물통합형 태양광발전 모듈(Building-integrated photovoltaic module, BIPV module)의 두 가지 기술에 대해서 제안된 방법론을 적용하였다.

해당 결과를 통해 도출된 지표를 순차적으로 사용하여 기술이나 외부 상황의 특정한 변동 사항을 확인한 후 두 가지 측면 모두에서 명확한 변화를 식별할 수 있다. 이러한 연구결과는 공공기관 및 민간기관 모두에서 신기술을 모니터링하고, 정책 입안자 혹은 관리자가 과학 기술 정책, 연구 개발 및 기타 사업을 위한 의사 결정을 지원하는 데에 도움이 될 수 있다.

## 제2장 문헌연구

### 2.1 지표 수집과 분류

기술 모니터링에 대해 언급하고 있는 기존 연구에서는 (Porter et al., 1991; EIRMA, 1999; AIRI, 2002), 기술 모니터링은 크게 기술 인텔리전스, 기술 예측, 기술 평가의 세 가지 측면을 포함하고 있다. 즉, 기술에 대한 정보 제공을 위한 기술 인텔리전스, 기술 변화의 방향 예측을 위한 기술 예측, 잠재적 기술을 평가하고 식별하기 위한 기술 평가에 관한 연구가 있음을 알 수 있다(Nosella et al., 2008).

이러한 세 가지 측면을 고려하여 선행 연구를 검토하고 관련 지표를 수집하여 <표 1> 의 6가지 범주로 분류하였다. 범주는 지표의 목적에 따라 정의되었으며, <표 2> 에서 볼 수 있듯이 일부 연구는 시장과 정책 지표가 기술의 가치에 영향을 미친다고 주장하고 있다.

<표 1> 기술 지표

Indicator (Lv. 1)	Indicator (Lv. 2)	Source
Technological attractiveness	Advancement of technology, Generics of technology, Technological extendibility	Shen et al. (2012)
	R&D spending in the technological area, Number of new entrants	Brockley (2004), Porter (2005)
Dynamics of emerging technologies	Development in the technological diversity(of newly founded firms)	Van der Valk et al. (2009)
Technological maturity	Number of patents, Number of publications	Porter (2005), Brockley (2004), Verbeek et al. (2002), Watts & Porter (1997), Brenner (2005), Daim et al. (2006)
Technology applications	Application area, Patent class code spread	Porter (2005)

기술 지표에는 기술 매력도를 구성하는 참신성, 확장성, 적합성과 같은 요소들에 관한 것이 있다(Durand, 1992). 일부 연구자들은 R&D 투자가 늘어날수록 더 매력

적인 기술이 나올 수 있다고 생각하기에 연구개발비용과 같은 투입요소를 중요하게 간주하기도 한다(Brockley, 2004; Francis et al., 2004). 기술은 항상 과거보다 더 매력적으로 혹은 덜 매력적으로 변할 수도 있다. 이는 미래 잠재력뿐만 아니라 기술의 동태성을 고려해야 할 필요성을 시사한다(Shen et al., 2012; Van der Valk et al., 2009). 마지막으로, 기술의 성숙도와 넓은 응용 범위는 기술의 가치를 높여줄 수 있다(Porter, 2005).

<표 2> 시장 지표와 정책 지표

Indicator (Lv. 1)	Indicator (Lv. 2)	Source
Geographical spread	Research publication concentration, Technology cite in relation to	Porter (2005), Watts and Porter (1997)
Risk	Commercial risk, Technical risk, Technical difficulties	Shen et al. (2012)
Business effect	Potential return on investment, Effect on existing market share, New market potential	
Market adoption	New product introductions	Brockley (2004)
Policy impact	Trade policy impact, Government incentive and taxation, Regulatory assessment, Anti-trust policy impact, Environmental regulatory impact	Porter (2005)

어떤 시장 상황들은 기술의 가치가 높아지거나 낮아지고 있는 것을 보여준다. 예를 들어서, 시장 규모, 성장률, 채택률은 기술 확산, 즉 기술의 시장 가치 증가를 보여준다.

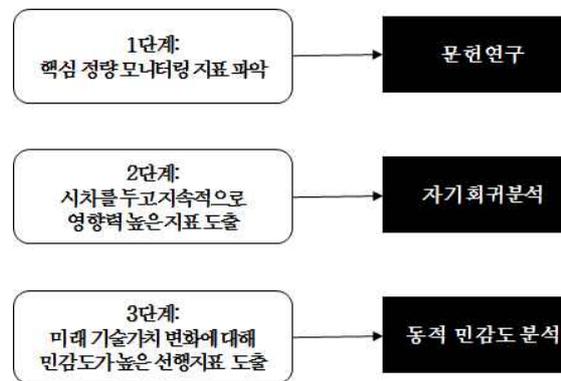
정책 역시 중요한 맥락으로 볼 수 있다. 일부 정책 조건들은 기술 기회의 가치에 영향을 미친다. BMO(Bruce-Merrifield-Ohe)와 같은 일련의 평가 기준은 규정, 세액 공제와 같은 요소들을 포함한 몇몇 중요한 정책 지표들을 제시하고 있다 (Merrifield et al., 1978). 에너지와 같은 일부 산업에서는 정책적 요건을 간과할 시 기술 기회가 과소평가되거나 과대평가될 수 있다(Chang et al., 2013; Shen et al., 2010; Verbruggen et al., 2010).

이들 중에서 일부 지표는 후행 지표들이다. 예를 들어, 특허나 논문의 건수와 같은 지표는 18개월에서 24개월 정도의 시차가 존재한다(Kajikawa et al., 2008). 선행 지표는 미래를 보여줄 수 있지만, 후행지표는 과거를 보여주기에, 몇몇 연구자들이 후행지표는 유망 기술을 모니터링 하는 데에 적절하지 않다고 주장한 바가 있다. 따라서 미래의 유망 기술과 관련 기회들을 예측하기 위해서는 선행지표를 사용하거나 후행지표의 향후 행태를 예측해야 할 필요가 있다.

## 제3장 연구 방법론

### 3.1 연구의 프레임워크 (Research framework)

본 연구의 프레임워크는 1) 핵심 정량 모니터링 지표 파악, 2) 시차를 두고 지속적으로 영향을 미치는 유의한 지표 선정, 3) 미래 기술가치 변화에 대해 사전에 높은 감도로 반응하는 지표 선정과 같은 세 가지 단계로 구성되어 있다.



<그림 1> 연구 프레임워크

이를 통해 본 연구의 목적인 기술가치의 변화를 파악할 수 있는 핵심 정량 모니터링 지표들을 파악하고, 이에 기반해 감도/정확도가 높은 모니터링 지표들을 파악하는 것을 달성할 수 있다. 문헌연구를 통해 기술의 핵심 정량 모니터링 지표들을 파악했으며, 자기회귀분석을 통해 시차를 두고 지속적으로 영향을 미치는 유의한 지표들을 선정했다. 이후 동적 민감도 분석을 통해 미래 기술가치 변화에 대해 사전에 높은 감도로 반응하는 지표들을 선정했다. 해당 프레임워크를 통해 미래 기술

가치 변화를 파악하기 위한 적합한 모니터링 지표군을 도출할 수 있다. 유망기술 중 동적 가치변화가 큰 태양광발전과 건물통합형 태양광발전에 위 방법을 적용했다.

### 3.2 자기회귀모형 (Auto-regression model)

자기회귀모형은 이전 산출물 값을 입력 변수로 사용하며, 모형은 입력 변수들 간의 선형 관계를 가정한다. 자기회귀모형에서 이전의 시계열 데이터는 현재 데이터와 공분산성을 가진다. AR( $p$ )은 차수  $p$ 의 자기회귀모형을 나타낸다. AR( $p$ ) 모형은 다음과 같이 정의된다(Shumway and Stoffer, 2011):

$$Y_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i Y_{t-i} + \epsilon_t$$

여기서  $\beta_1, \dots, \beta_p$ 는 모형의 파라미터이며,  $\beta_0$ 는 상수, 그리고  $\epsilon_t$ 는 백색잡음이다. 본 연구에서는 근미래의 변화를 예측하기 위하여 AR(1)을 사용하였다.

### 3.3 1차 민감도 분석 (First-order sensitivity analysis)

본 연구에서는 다음과 같은 1차 민감도 지수를 사용하였다(Sobol, 1993):

$$S_i = \frac{V_i}{Var(Y)}$$

여기서  $V_i$ 는  $E(Y|X_i)$ 의 분산을 나타낸다. 1차 민감도 지수( $S_i$ )는 독립변수( $X_i$ )의 변화에 의해 야기되는 종속변수( $Y$ )의 변동 정도를 보여준다. 그러므로 다른 독립변수들이 고정되어있다고 가정하면서, 해당 독립변수의 변동 영향만을 고려한다. 본 연구에서는 1차 민감도 지수를 사용하여 분석에 사용된 지표들의 영향력을 측정하였다.

## 제4장 연구 결과

### 4.1 태양광발전(PV)모듈과 건물통합형 태양광발전(BIPV)모듈

신재생에너지원 중, 태양광은 가장 주목받는 기술 중 하나이다. 태양광은 전체 신재생에너지 시장 중 약 8%를 차지하고 있다. 또한 2003년에서 2009년까지 약 45%의 성장률을 보이며 빠르게 성장하고 있다. 그러나 태양광의 전력 단가가 석유나 석탄과 같은 전통적인 에너지원보다 높아왔기 때문에, 태양광의 가치는 계속해서 변화해왔다. 태양광 시장 규모와 성장률은 다양한 기술 요소, 시장, 그리고 정책 요소에 따라 변할 수 있다. BIPV(건물통합형 태양광발전) 모듈은 태양광발전 모듈 중 하나로 비슷한 장단점을 가진다. 하지만 BIPV 모듈은 다른 에너지원을 대체하는 것이 아니라 건축 자재를 대체한다는 특유의 이점이 있다. 따라서 태양광발전 기술의 매력도가 떨어진다고 해도, BIPV 모듈의 가치는 올라갈 수 있다. 이러한 점 때문에 태양광발전의 모니터링 지표와 BIPV 모듈의 모니터링 지표를 비교하는 것은 의미가 있을 수 있다.

### 4.2 모니터링 지표 풀의 구축

문헌연구를 통해서 보편적으로 유망기술의 변화를 모니터링하기 위해 사용되는 지표들을 수집하고 지표들을 <표 1>, <표 2> 에서와 같이 기술, 시장, 정책의 세 가지 범주로 분류하였다. 해당 지표들을 PV 모듈과 BIPV 모듈 기술에 맞춰 사용하기 위해 <표 3> 에서와 같이 적합한 지표들을 다시 선별하였다. 또한 어떤 기술은 세계 시장에서 유망하나 국내에서는 그렇지 않을 수 있고, 그 반대의 경우도 가능

하므로 본 연구에서는 지표를 세계 시장과 국내 시장 단위로 나누어 적용하였다.

<표 3> 모니터링 지표 풀과 데이터 출처

범주	지역 단위	아이템 단위	지표명	데이터 출처
기술	세계 시장	PV 모듈/BIPV모듈	C-Si(HIT) efficiency, Organic cells efficiency	NREL, BEST RESEARCH CELL EFFICIENCIES
정책	세계 시장	BIPV모듈	Total number of Building Energy Efficiency Policies, Number of policy enforcement countries	IEA
		PV 모듈	PV industry investment amount (by government)	Bloomberg New Energy Finance
	국내 시장	PV 모듈/BIPV모듈	PV Feed in Tariff	Korea Energy Agency
시장	세계 시장	PV 모듈/BIPV모듈	Poly-silicon Price	Korea Eximbank
		PV 모듈	Size of the global solar photovoltaic module market	Statista
			Global PV market	Korea Eximbank
			PV O&M cumulative market Global	GTM research
			China Industry electricity consumption	IEA
			China's PV share in the world installation	Zhao et al., 2015
		BIPV모듈	Global BIPV module revenue	Solar&Energy, SNEresearch
	국내 시장	PV 모듈/BIPV모듈	Domestic PV module capacity, Domestic PV unit price of electricity generation	Korea Energy Agency, Korea Eximbank
		PV 모듈	PV R&D investment by government, Domestic PV revenue	Korea Energy Agency
		BIPV모듈	Domestic BIPV revenue	KIPRIS, KISVALUE

태양 전지의 효율은 BIPV와 PV 시장 모두에서 기술 매력도를 나타낼 수 있는 핵심 기술 지표라고 볼 수 있다. 정책의 경우, 각 정책은 PV와 BIPV에 각각 다른 영향을 미칠 수 있지만 PV의 확산을 촉진시킬 수 있다는 공통점을 가진다. 이러한 점을 고려해서 본 연구에서는 태양광 발전차액지원제도에 관한 정책 지표를 사용하였다. 마찬가지로, 시장 규모, 단가, 모듈 생산능력 등의 기본적인 시장 지표들을 수집하였다. 모든 지표 관련 데이터는 2009년에서부터 2015년의 데이터를 수집하였으며, 이는 PV와 BIPV의 가치가 해당 시기에 변동하였기 때문에 이를 반영하기 위함이다.

### 4.3 자기회귀분석 (Auto-regression analysis)

PV 모듈의 경우, 기술 및 정책 모니터링 지표의 경우 큰 이견이 없으나 시장 지표의 중요성에 대해서는 몇 가지 논쟁이 존재한다. 주류를 이루었던 유럽 시장이 약세를 보이며, 최근 중국 시장이 부상하고 있기 때문에 PV 모듈 기술을 모니터링을 위해 중국 시장을 살펴 볼 필요가 있다는 의견이 존재한다. 이를 고려하여 본 연구에서는 중국 시장 관련 지표가 포함된 모델을 세웠다. 모델 1-1, 1-2는 중국 시장을 모니터링하기 위한 지표와 함께 공통적으로 기술 및 정책 지표를 사용하였다. <표 4> 에서 보듯이 1-1 모델의 설명력은 충분하나, 독립 변수는 통계적으로 유의하지 않다. 이것은 주로 동시 인과성과 다중 공산성 때문이라고 볼 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 모델 1-2의 결과를 얻었고, 이를 통해 시장 지표의 중요성을 확인할 수 있었다.

<표 4> 세계 시장 PV 모듈 자기회귀분석 결과

	Model 1-1 (China)	Model 1-2
--	-------------------	-----------

Global PV module	Coef.	Std. error	Coef.	Std. error
(Intercept)	0.5254	0.1103	0.4144	0.1068
Global PV module market (t-1)	1.0809	0.6526	0.7951*	0.1656
C-Si(HIT) efficiency (t-1)	0.1222	0.3070	0.5220	0.1553
Polysilicon price (t-1)	0.0566	0.3330		
China industry electricity consumption (t-1)	-0.1958	0.2054	-1.1571*	0.1684
R <sup>2</sup>	0.9836		0.8177	
Adjusted R <sup>2</sup>	0.9180		0.6962	

Note: <0.1, <sup>^</sup><0.05, \*<0.01, \*\*<0.001, \*\*\*<0

BIPV 모듈의 경우, 사실상 BIPV 모듈에 특화된 지표를 사용하는 것은 어려웠다. 따라서 그 대신 본 연구에서는 PV 모듈에 적용될 수 있는 지표 중 적절한 대체 지표를 찾아 사용하였다. 중요한 PV 지표들을 포함하여 모델 1-1을 수립하였으나, 해당 모델에서는 통계적으로 유의한 지표가 나타나지 않았다. 수정된 모델 1-2에서는 BIPV 모듈 시장이 중국 시장의 확대와 세계 O&M(운영 및 유지보수) 시장의 성장에 달려있음을 보여준다.

<표 5> 글로벌 BIPV 모듈 자기회귀분석 결과

Global BIPV module	Model 1-1		Model 1-2	
	Coef.	Std. error	Coef.	Std. error
(Intercept)	0.2448	0.1267	0.1990	0.0994
Global BIPV revenue	-1.8628	0.5113	-2.0257*	0.4136

(t-1)				
China's PV share in the world installation (t-1)	-0.6184	0.1050	-0.6575*	0.0817
Global number of building energy efficiency policies (t-1)	0.0940	0.1229		
Global PV O&M cumulative market (t-1)	3.1113	0.2764	3.1209**	0.2458
R <sup>2</sup>	0.9979		0.9967	
Adjusted R <sup>2</sup>	0.9896		0.9917	

Note: <0.1, ^<0.05, \*<0.01, \*\*<0.001, \*\*\*<0

마찬가지로 국내 시장에서의 PV 모듈에 대해서도 자기회귀 모델을 수립하였다. 모델 1-1은 핵심적인 모니터링 지표들에 기반해 수립되었으나, 결과적으로 유의미한 변수가 없었으며 낮은 설명력을 보여주었다. 현재 PV 시장에서는 기존 기술을 대체하며 유기 전지 기술이 떠오르고 있다. 또한 몇몇 연구에 따르면, 발전차액지원 제도와 같은 정책요인 뿐 아니라 원자재 가격 또한 PV 모듈 시장에 큰 영향을 미칠 수 있다고 한다. 이러한 점을 고려하여 모델 1-2를 수립한 결과, 유기 태양전지의 효율이 PV 모듈 시장에 유의미한 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

<표 6> 국내 PV 모듈 자기회귀분석 결과

Domestic PV module	Model 1-1		Model 1-2	
	Coef.	Std. error	Coef.	Std. error
(Intercept)	0.3798	0.3168	0.3077*	0.0237
Domestic PV revenue (t-1)	1.4447	1.0327	0.0061	0.1074
Polysilicon price			2.4636*	0.1291

(t-1)				
Domestic PV				
Feed-In-Tariff	-1.9651	1.2434	-0.6166	0.1160
(t-1)				
Organic cells efficiency (t-1)	1.0648	0.6193	3.0346*	0.1129
R <sup>2</sup>	0.6031		0.9989	
Adjusted R <sup>2</sup>	0.0077		0.9946	

Note: <0.1, <sup>ˆ</sup><0.05, \*<0.01, \*\*<0.001, \*\*\*<0

<표 7> 에서 볼 수 있듯이 유의미하다고 도출된 지표는 t-1 시점에서의 유기 태양전지의 효율과 폴리실리콘 가격이며, 이는 한국의 BIPV 모듈 시장은 단가 혹은 부상 기술에 영향을 받는다는 것으로 해석해볼 수 있다.

<표 7> 국내 BIPV 모듈 자기회귀분석 결과

Domestic BIPV module	Model 1-1		Model 1-2	
	Coef.	Std. error	Coef.	Std. error
(Intercept)	0.41185**	0.03465	0.4035**	0.0338
Domestic BIPV revenue (t-1)	-0.2896 <sup>ˆ</sup>	0.09322	0.0304	0.0608
Organic cells efficiency (t-1)	0.84967**	0.09426		
Polysilicon price (t-1)			-0.5555**	0.0601
R <sup>2</sup>	0.988		0.9885	
Adjusted R <sup>2</sup>	0.98		0.9809	

Note: <0.1, <sup>ˆ</sup><0.05, \*<0.01, \*\*<0.001, \*\*\*<0

#### 4.4 민감도분석 (Sensitivity analysis)

자기회귀분석 결과를 통해 얻은 지표들 중에서 상대적으로 더 민감한 모니터링 지표를 선택하기 위해서 <표 8> 에서와 같이 1차 민감도 지수를 계산하였다. 이 값이 상대적으로 높으면 종속변수에 대한 민감도가 상대적으로 높다고 해석할 수 있다.

<표 8> First-order sensitivity 분석 결과

Item	Model	Variable	Coef.	Min	Max	1st-order sensitivity index
Global PV module	1-2	Global PV module market	0.795	-1.626	1.500	0.302
	1-2	China industry electricity consumption	-1.157	-1.459	1.624	0.622
	1-2	C-Si(HIT) efficiency	0.522	-0.700	1.699	0.077
Global BIPV module	1-1	Global BIPV revenue	-2.026	-0.692	2.144	0.305
	1-1	Global PV O&M cumulative market	3.121	-1.031	1.708	0.675
	1-1	China's PV share in the world installation	-0.657	-1.487	0.736	0.020
	2-1	Global BIPV revenue	-3.626	-0.692	2.144	0.772
	2-1	Polysilicon price	-0.737	-0.922	1.236	0.030
	2-1	C-Si(HIT) efficiency	2.341	-0.700	1.699	0.198

Domestic PV module	1-2	Domestic PV revenue	-0.539	-1.659	1.122	0.022
	1-2	Organic cells efficiency	3.209	-1.463	0.975	0.599
	1-2	Polysilicon price	2.881	-0.922	1.236	0.379
Domestic BIPV module	1-1	Domestic BIPV revenue	-0.290	-1.911	0.926	0.136
	1-1	Organic cells efficiency	0.850	-1.463	0.975	0.864
	1-2	Domestic BIPV revenue	0.030	-1.911	0.975	0.005
	1-2	Polysilicon price	-0.556	-0.922	1.236	0.995

해당 연구에서는 민감도 지수를 고려하여 국내 및 세계 시장 규모의 PV 모듈 및 BIPV 모듈에 대한 효과적인 모니터링 지표를 선택할 수 있었다. t-1 시점에서, <표 9> 의 지표는 t 시점에서의 기술 기회의 가치의 변화를 포착할 수 있다.

<표 9> 선정된 모니터링 지표

범주	모니터링 지표명
기술	Organic cells efficiency
	C-Si(HIT) efficiency
시장	China industry electricity consumption
	Polysilicon price
	Global PV O&M Cumulative market

## 제5장 결론 및 한계점

본 연구는 기술가치에 작용하는 핵심요인들이 상호작용하며 동적 추세를 가지는 경우 평가의 정확도를 높이며, 전문가 정성 평가를 보완할 수 있는 핵심 정량 지표를 도출하고자 하였다. 이를 통해 감도 및 정확도가 높은 선행 모니터링 지표 파악을 위한 프레임워크를 제안한 데 그 의의가 있다.

그러나 본 연구에서는  $t-1$  시점에 대한 분석을 실시했기 때문에, 단기적인 미래 예측에 보다 적합하다고 볼 수 있다. 따라서 이러한 지표는 비즈니스 환경의 장기적 변화를 반영하지 않을 수 있다. 이는 정책 지표가 최종 모니터링 지표로 선정되지 않은 이유로 해석될 수 있으며, 나아가 아이টে姆에 특화된 다양한 정책 및 이러한 정책 연계형 R&D 사업을 반영하여 보완할 수 있다고 본다. 태양광발전 시설이 조기에 보급될 수 있도록 하는 보급 정책에 연계되는 태양광 R&D 사업, 과제 지원에 대한 분석이 추가될 수 있다.

이러한 사업이나 정책의 효과가 단기간에 발휘되지 않는다는 점을 감안했을 때, 분석 프로세스에서 데이터의 시간 범위를  $t-2$ ,  $t-3$  시점 등으로 확장시키거나 1년 단위의 데이터 구간을 3개월 혹은 6개월 단위로 나누어 분석해 볼 수 있다. 또한 '빌딩 에너지 효율 관련 정책의 수'와 같은 영향력이 낮은 변수보다 PV 관련 사업이나 과제에 대한 펀딩 금액과 같은 변수를 추가한다면, 위에서 언급한 한계점을 극복할 수 있을 것으로 보인다.

이처럼 일반적으로 PV 산업에서 중요하게 고려되는 정책적 요소 외에 본 연구에서는 변화하는 시장 상황을 파악하고자 했다. 좀 더 정확한 파악을 위해서는 시장 요인을 수요와 공급 측면에서 구분해야 할 것이다. 즉, 수요 측면에서 전력시장

(전력 수요) 규모와 공급측면에서 태양광 모듈 시장 규모 등으로 나눌 필요가 있다.

국내 시장 외에 글로벌 추세를 반영하기 위해 신흥 시장으로 떠오르는 중국 시장 관련 지표를 선정했다는 점에서는 의미가 있다고 볼 수 있으며, 이러한 맥락에서 볼 때 본 연구는 2009년에서 2015년 사이의 태양광 산업의 구조 조정을 반영한다고 볼 수 있다. 2010년까지는 유럽이 해당 시장을 장악했지만, 2011년 이후 유럽 지역의 태양광발전 산업 투자 규모는 급격히 하락하였다.

2010년부터 2013년까지 정부 지원에 힘입어 성장해왔던 유럽 시장이 비용 경쟁력이 중요한 시장으로 변모함에 따라, 태양광발전 주요 시장이 유럽에서 중국, 미국 및 아시아 지역으로 이동하였다.

태양광발전 시장은 기존 제조업체의 급격한 생산용량 확장과 신규 업체들의 시장 진출로 성장하게 되었다. 그 중 BIPV 분야는 전체 태양광발전 시장에서 약 4~6% 정도를 차지하고 있는데, 최근 대형 창고 및 공장 지붕, 고층 건물, 고속도로 방음벽 등 다양한 분야에 확대됨에 따라 그 시장이 점차 성장하고 있다. 이러한 추세에 따라 유지 및 보수 시장이 확대될 수 있으며, 이는 보완적인 모니터링 지표로 사용될 수 있다. BIPV 시장은 2013년에 PV 시장의 성장률보다 더 높은 성장률을 보였으며, 이는 BIPV가 미래 PV 산업에서 새로운 성장 동력으로 작용할 수 있는 가능성을 내재하고 있다.

PV 산업은 2013년 이래로 비용 경쟁력과 효율성을 개선한 기술 주도의 시장이 되었다. 경쟁 우위는 다양한 요인에서 기인할 수 있으나, 본 연구의 결과를 고려할 때 유망기술의 가치는 부상 기술 또는 시장에 의해 변화가능하다고 볼 수 있다.

이는 두 가지 기술 지표와 가격 지표를 통해 추론할 수 있다. 기술 측면에서 BIPV 시장의 70% 이상은 결정질(C-Si) 태양전지가 차지하고 있고, 나머지 시장을 비정질 실리콘(a-Si) 태양 전지가 차지하고 있으며, 소규모로 CIGS가 시장을 형성하고 있다. 현재 주류 태양 전지인 결정계의 효율이 일정 수준에 도달하였기 때문에, 미래 유기 태양전지의 효율 상승을 모니터링 한다면 시장의 성장을 예측할 수

있다고 본다.

2015년에는 특히 환경오염 이슈 등으로 중국의 수요가 크게 증가했는데, 중국의 2020 신재생 보급 목표 향상으로 세계 태양광 시장의 확대를 예측해볼 수 있다. 이러한 점을 감안했을 때, 모니터링 지표로 선택된 원자재 가격 요인과 중국 시장 요인은 의미를 가진다고 볼 수 있다. 또한 주요 시장은 중국 이외의 개발도상국으로도 확대될 수 있으므로, 여타 국가의 상황에 대한 지표를 추가적으로 모니터링 할 필요가 있다. 향후 환경오염과 관련된 정책이나 규제 관련 데이터가 추가될 경우, 더욱 정교한 모니터링 지표 체계가 될 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

### (1) 국내문헌

1. 강만옥, 황욱, and 이상용. "에너지, 전력부문 보조금의 환경친화적 개편방안과 파급효과 연구 (1)." 기본연구보고서 2007.단일호 (2007): 1-180.
2. 권태형. "신재생에너지 시장 확대를 위한 정책수단의 비교." 한국정책과학학회보 18.2 (2014): 1-23.
3. 김승래, and 강만옥. "우리나라 에너지, 전력 부문 보조금의 환경친화적 개편 효과 분석: 연산일반균형분석을 중심으로." (2011).
4. 이충석, 이석주, and 최병구. "R&D 기술 선정을 위한 시계열 특허 분석 기반 지능형 의사결정지원시스템." 지능정보연구 18.3 (2012): 79-96.

### (2) 국외문헌

1. Auster, Ethel, and Chun Wei Choo. "How senior managers acquire and use information in environmental scanning." Information Processing & Management 30.5 (1994): 607-618.
2. Bengisu, Murat, and Ramzi Nekhili. "Forecasting emerging technologies with the aid of science and technology databases." Technological Forecasting and Social Change 73.7 (2006): 835-844.
3. Brenner, Merrill. "Technology intelligence at Air Products: Leveraging analysis and collection techniques." Competitive Intelligence Magazine 8.3 (2005): 6-19.
4. Brockley, Ellen Marie. Emerging technology intelligence: scanning and monitoring for strategic planning. Diss. Massachusetts Institute of Technology, 2004.
5. Chang, Hyun Joon, et al. "Business potential of sustainable energy in Korea: Hybrid method of various feasibility studies from path dependence and path evolution perspective." Renewable energy 50 (2013): 464-475.
6. Chang, Hua. A methodology for the identification of technology indicators. HNI, 2008.
7. Cho, Jaemin, and Jaeho Lee. "Development of a new technology product evaluation model for assessing commercialization opportunities using Delphi method and fuzzy AHP approach." Expert Systems with Applications 40.13 (2013): 5314-5330.

8. Daim, Tugrul U., et al. "Forecasting emerging technologies: Use of bibliometrics and patent analysis." *Technological Forecasting and Social Change* 73.8 (2006): 981–1012.
9. Day, George S., Paul JH Schoemaker, and Robert E. Gunther, eds. *Wharton on managing emerging technologies*. John Wiley & Sons, 2004.
10. Durand, Thomas. "Dual technological trees: Assessing the intensity and strategic significance of technological change." *Research policy* 21.4 (1992): 361–380.
11. Ena, Oleg, et al. "A methodology for technology trend monitoring: the case of semantic technologies." *Scientometrics* 108.3 (2016): 1013–1041.
12. Frazier, Rachel M., et al. "Recent progress in graphene-related nanotechnologies." *Recent patents on nanotechnology* 3.3 (2009): 164–176.
13. Guo, Hanning, Scott Weingart, and Katy Bärner. "Mixed-indicators model for identifying emerging research areas." *Scientometrics* 89.1 (2011): 421–435.
14. Haupt, Reinhard, Martin Kloyer, and Marcus Lange. "Patent indicators for the technology life cycle development." *Research Policy* 36.3 (2007): 387–398.
15. Heslop, Louise A., Eileen McGregor, and May Griffith. "Development of a technology readiness assessment measure: The cloverleaf model of technology transfer." *The Journal of Technology Transfer* 26.4 (2001): 369–384.
16. Hunt, Francis, et al. "Early valuation of technology: real options, hybrid models and beyond." *Journal of The Society of Instrument and Control Engineers* 43.10 (2004): 730–735.
17. Jarvenpaa, Heini M., and Saku J. Makinen. "Recognizing value creation potential: A bibliometric study of successful and unsuccessful technology." *Engineering Management Conference, 2007 IEEE International*. IEEE, 2007.
18. Kajikawa, Yuya, et al. "Tracking emerging technologies in energy research: Toward a roadmap for sustainable energy." *Technological Forecasting and Social Change* 75.6 (2008): 771–782.
19. Lichtenthaler, Eckhard. "Third generation management of technology intelligence processes." *R&D Management* 33.4 (2003): 361–375.
20. Merrifield, D. Bruce. "How to select successful R&D projects."

- Management Review 67.12 (1978): 25–39.
21. Narin, Francis. "Technology indicators and corporate strategy." *Review of Business* 14.3 (1993): 19.
  22. Nosella, Anna, Giorgio Petroni, and Rossella Salandra. "Technological change and technology monitoring process: Evidence from four Italian case studies." *Journal of Engineering and Technology Management* 25.4 (2008): 321–337.
  23. Porter, Alan L. "QTIP: Quick technology intelligence processes." *Technological Forecasting and Social Change* 72.9 (2005): 1070–1081.
  24. Shen, Yung-Chi, Grace TR Lin, and Gwo-Hshiung Tzeng. "A novel multi-criteria decision-making combining Decision Making Trial and Evaluation Laboratory technique for technology evaluation." *Foresight* 14.2 (2012): 139–153.
  25. Shen, Yung-Chi, et al. "An assessment of exploiting renewable energy sources with concerns of policy and technology." *Energy Policy* 38.8 (2010): 4604–4616.
  26. Shumway, Robert H., and David S. Stoffer. "ARIMA models." *Time Series Analysis and Its Applications*. Springer New York, 2011. 83–171.
  27. Sobol, Ilya M. "Sensitivity estimates for nonlinear mathematical models." *Mathematical Modelling and Computational Experiments* 1.4 (1993): 407–414.
  28. Utterback, James M., and James W. Brown. "Profiles of the future monitoring for technological opportunities." *Business Horizons* 15.5 (1972): 5–15.
  29. Van der Valk, Tessa, Ellen HM Moors, and Marius TH Meeus. "Conceptualizing patterns in the dynamics of emerging technologies: The case of biotechnology developments in the Netherlands." *Technovation* 29.4 (2009): 247–264.
  30. Verbeek, Arnold, et al. "Measuring progress and evolution in science and technology-I: The multiple uses of bibliometric indicators." *international Journal of management reviews* 4.2 (2002): 179–211.
  31. Verbruggen, Aviel, et al. "Renewable energy costs, potentials, barriers: Conceptual issues." *Energy policy* 38.2 (2010): 850–861.
  32. Veugelers, Mark, Jo Bury, and Stijn Viaene. "Linking technology intelligence to open innovation." *Technological Forecasting and Social*

- Change 77.2 (2010): 335–343.
33. Watts, Robert J., and Alan L. Porter. "Innovation forecasting." *Technological forecasting and social change* 56.1 (1997): 25–47.
  34. Yoon, Byungun, and Yongtae Park. "A text-mining-based patent network: Analytical tool for high-technology trend." *The Journal of High Technology Management Research* 15.1 (2004): 37–50.
  35. Zhao, Xin-gang, Guan Wan, and Yahui Yang. "The turning point of solar photovoltaic industry in China: Will it come?." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41 (2015): 178–188.
  36. Zitt, Michel, and Elise Bassecoulard. "Challenges for scientometric indicators: data demining, knowledge-flow measurements and diversity issues." *Ethics in science and environmental politics* 8.1 (2008): 49–60.

## ABSTRACT

# Identifying monitoring indicators for emerging technological opportunities

Oh, Eun Gyeong

Management of Technology

Sungkyunkwan University

Monitoring of emerging technologies needs indicators which are more sensitive to changes in context and time. To this purpose, organizations have depended on qualitative expert judgment, but it has increasingly suffered from reduced sensitivity and accuracy. A better way of monitoring is needed. As either alternative or supplement to expert judgment, some researchers suggested various quantitative indicators including number of patents, number of new products and others. However, it is not clear what indicators are good for monitoring of emerging technologies, and how we can identify such indicators because each indicator has advantages as well as disadvantages. Therefore, in this paper, we suggest a method of identifying appropriate quantitative monitoring indicators for emerging technological opportunities.

In the existing literature, appropriateness of monitoring indicators can be evaluated from three perspectives: 1) sensitivity to technological changes, 2) sensitivity to changes in external context, and 3) sensitivity to the value of a technological opportunity. In other words, good monitoring indicators send signals when important changes occur. Through literature review, we collect monitoring indicators and their time-series data of

two emerging technologies over last nine years. Selected technologies consist of building-integrated photovoltaic module and photovoltaic module. Reviewing existing literature, we construct a pool of monitoring indicators. Using autoregression and correlation analysis, we can choose monitoring indicators that can explain the variance of value of a technological opportunity. Then, sensitivity analysis helps us identify indicators that are sensitive to changes in technology and context.

For emerging technologies, we find some indicators that are sensitive to more than 70% of changes in technology and external context, but are sensitive to less than 10% of noises. However, some indicators are sensitive to more than 90% of changes in either technology or external context, and therefore are useful to monitor a certain kind of changes. By using these results, we can create a sequential use of indicators to identify a specific change in either technology or external context, and then to identify a clear shift in both aspects. Our finding can be useful to monitor emerging technologies on both public and private sides, and help policymakers as well as managers make good decisions for science and technology policy, R&D and further business.

**Key words : monitoring , technological opportunity , indicator ,  
autoregression , sensitivity**