

An Analysis for Economic Value of Nano-Technologies : Focused on Secondary Batteries

Seoung Hun Bae* · Jung Sun Lim* · Kwang Min Shin* · Jin Seon Yoon*
Sang Kyu Kang* · Sol Hee Lee* · Min Kwan Kim** · Jung Woo Lee***
Jun Hyun Kim*** · Min Soo Shin**** · Chang Hee Han****[†]

* Korea Institute of Science and Technology Information
** Institution of Knowledge Services, Hanyang University
*** Department of Management Consulting, Hanyang University
**** Department of Business Administration, Hanyang University

나노기술의 경제적 가치분석 : 이차전지 산업을 중심으로

배성훈* · 임정선* · 신광민* · 윤진선* · 강상규* · 이솔희*
김민관** · 이정우*** · 김준현*** · 신민수**** · 한창희****[†]

*한국과학기술정보연구원, **한양대학교 지식서비스연구소
한양대학교 경영컨설팅학과, *한양대학교 경상대학 경영학부

It is difficult to make an accurate estimate of the economic value and effects on societal economy of Nano-technologies. This research measures an economic value of Nano-technologies quantitatively and analyzes its influences on societal economy. This paper chooses some major industries as analysis targets and adapts the DEFRA comparative methodology model which has been developed in the UK and recommended by OECD. For this reason, some industries which are in range of economic value assessment were investigated and related data were collected. Also, the economic value and societal influences of Nano-technologies were calculated, through the procedure of the model. In addition, this study conducts a questionnaire to experts for the validity of measurement results and procedures. This paper suggests a guideline for economic value and effects on societal economy of Nano-technologies assessments through quantitative Defra comparative methodologies.

Keywords : Nano-Technology, Economic Value

1. 서 론

나노기술이 다양한 기술 및 산업 영역 간 융합을 가져 오고 신기술 개발, 연구조사, 투자활동 등에 큰 영향을

미치면서 나노기술의 경제적 가치를 측정하고 경제적 영향을 예측하는 활동들의 중요성이 더욱 커지기 시작했다. 그러나 나노기술의 경제적 가치나 영향력을 측정하기 위한 단일 방법론이 존재하지 않을뿐더러, 관련 사례조사 및 연구 활동도 활발히 이루어지고 있지 않기 때문에 나노기술의 경제적 가치와 영향을 예측하는 것은 어려운 일이다[8, 14].

나노기술은 다양한 산업의 제조 과정에서 갖가지 형

Received 25 February 2015; Finally Revised 2 March 2015;

Accepted 2 March 2015

[†] Corresponding Author : chan@hanyang.ac.kr

태와 절차로 개입할 수 있기 때문에 나노기술의 영향 범위는 매우 복잡하고 넓다. 이에 나노기술의 경제적 가치와 경제적 영향력을 보다 정확하게 예측하기 위해서는 이와 같이 복잡하고 광범위한 상황을 반영한 방법론의 개발이 필요하다. 즉, 나노의 경제적 평가는 단순한 재무적 접근법 중 하나를 선정하여 이루어질 수 없고, 보다 포괄적인 방법을 사용하여 정량적으로 측정해야 할 뿐만 아니라 정성적인 측면까지 모두 고려해야 한다.

본 연구에서는 나노 기반의 제품과 현존하는 제품 사이의 차이점을 비교 평가하여 나노기술의 혁신에 의한 경제적 가치를 추정하는 방안을 고려하였고 이를 조사하는 과정에서 OECD에 보고된 방법론 중 하나인 ‘Defra comparative methodology model’(이하 DEFRA 방법론)을 활용하여 경제적 가치를 추정하는 방안을 고려해 보았다. DEFRA 방법론은 영국 환경식품농무부(Department for Environment, Food and Rural Affairs)에서 나노기술의 경제적 가치를 측정하기 위해 고안한 방법론으로 주로 농산물과 식료품, 에너지 등과 관련된 영국 내 주요 산업들 중에서 특정 기술 또는 제품을 선정하여 나노기술의 경제적 가치를 추정하였다.

따라서 본 연구에서는 국내 주요 산업에서 나노기술의 경제적 가치를 산출해 보기 위하여 연구에 적합한 산업을 선정하고, 이들 산업에 앞서 언급된 비교 평가 방식의 도입 가능 여부를 판단하고 적용 가능한 나노기술 또는 제품을 선정하여 방법론 적용을 통한 추정치를 산정해 보고자 하였다. 이와 함께 연구의 객관성과 타당성을 보완하기 위하여 1차적으로 산출된 결과를 바탕으로 산업 내 전문가들로부터 절차와 내용적인 타당성을 검증받을 수 있는 전문가 설문을 진행하였다.

2. 이론적 배경

2.1 나노기술

나노기술이란 ‘물질을 나노미터 크기의 범주에서 조작·분석하고 이를 제어함으로써 새롭거나 개선된 물리적·화학적·생물학적 특성을 나타내는 소재·소자 또는 시스템을 만들어 내는 과학기술’¹⁾이라고 법령으로 제시하고 있다. 앞서 정의된 나노기술은 기존의 기술 분류를 횡적으로 연결함으로써 융합을 발생시키고 이를 통해 새로운 기술영역과 제품영역을 구축하게 된다. 따라서 급격한 기술간 제품 및 서비스 간 다양한 융합을 초래할

수 있다. 나노기술 자체는 앞서 언급한 바와 같이 극미세 수준(나노미터)에서 나노물질 또는 구조물의 분석, 제어, 합성 등의 높은 기술 집약도가 요구된다. 경제적인 관점에서 나노기술 자체가 기존 시장을 부분 또는 완전 대체 하거나 새로운 시장을 창출하는 등의 효과를 가져올 수 있으며, 이와 함께 모든 산업분야에서 응용이 가능하기 때문에 막대한 경제적, 기술적 파급효과를 가져올 수 있다.

2.2 나노기술의 특성과 경제적 평가

나노기술은 다양한 산업의 제조 과정에서 갖가지 형태와 절차로 개입할 수 있다. 연료(Diesel) 산업을 예로 들면, 나노기술이 연료의 촉매제에 사용되어 자동차 연비 향상에 영향을 미칠 수 있다. 이러한 상황에서 나노기술을 이용한 ‘세륨 산화물 연료첨가제’는 연료(Diesel) 산업에 영향을 미칠 뿐만 아니라, 기존 연료인 Diesel 연료의 소비형태, 연료 사용 감소로 인한 환경오염 물질 배출 감소 등에도 영향을 미칠 수 있다. 이와 같이 나노기술의 영향 범위는 매우 복잡하고 광범위 하다. 이에 나노기술의 경제적 가치와 경제적 영향력을 보다 정확하게 측정하기 위해서는 이와 같은 복잡하고 광범위한 상황을 반영한 방법론의 개발이 필요하다. 즉, 나노의 경제적 평가는 단순한 재무적 접근법 중 하나를 선정하여 이루어질 수 없고, 보다 포괄적인 방법을 사용하여 측정해야 할 뿐만 아니라 정성적인 측면까지 모두 고려할 필요가 있다.

2.3 나노기술의 경제적 가치 평가 방법

산업 전반에 걸쳐 연구 및 신기술 또는 제품개발, 공공 및 민간에 의한 투자, 경제 성장 등에서 큰 역할을 하고 있는 나노기술은 중요한 역할 만큼 사회 경제적으로 큰 영향을 미치고 있다. 특히, 다양한 산업에 걸쳐 융합의 형태로 응용되고, 결과에 따라 대규모 경제적 파급효과를 가져올 수 있는 나노 기술의 본질적인 특성은 하나의 경제적 모델로 이를 평가하기 어렵게 만든다. 때문에 나노기술이 미치는 경제적 영향에 대한 평가 방법에 대한 연구나 사례에 대한 분석 등이 활발히 이루어지고 있지 못한 상황이다.

OECD ‘Working Party on Nanotechnology’ 보고서에 의하면 나노기술의 가치를 평가하는 방법론으로 다음의 두 가지, 영국의 ‘DEFRA Comparative’ 방법론과 미국의 ‘STAR METRICS2’) 프로그램 등을 제시하고 있다. 영국의 ‘DEFRA

1) 나노기술개발촉진법 제2조 1항.

2) STAR Metrics : Science and Technology for America’s Reinvestment :

Comparative' 방법론은 기존(현존) 제품과 나노기술이 적용된 제품을 비교하여 나노기술의 가치를 측정하는 방안을 제시하고 있다[3].

2.3.1 'STAR METRICS'

미국의 'STAR METRICS' 프로그램은 산업간 분석을 통해 나노기술의 경제적 가치를 제시하고 있다. 'STAR METRICS' 프로그램은 나노기술뿐만 아니라 미국 전역의 모든 과학기술 연구 분야를 포함하고 있으며, 과학과 기술 산업분야에서 R&D에서 파생되는 가치까지 고려하고 있다. STAR METRICS는 미국 내 각 대학, 연구기관의 표준화된 데이터를 수집하여, 정부 연구개발사업의 장단기 경제적 효과를 측정하기 위해 도입되었다[13]. 장기간의 데이터 수집과 대규모의 데이터베이스 축적을 전제로 하는 'STAR METRICS' 프로그램은 현 단계에서 본 연구에 적용 하는데 한계가 있다.

2.3.2 'DEFRA' 방법론

'DEFRA' 방법론은 나노기술 적용을 통해 발생하는 기능성(Functionality)을 기준으로 해당 기능성과 동일한 기능성을 가지는 현존 기술과의 비교를 통해 경제적 가치를 산출하는 비교연구 방법론이다[1]. 따라서 'DEFRA' 방법론은 기본적으로 기능성 비교가 가능한 기존기술 및 제품을 필요로 한다. 이 모델은 나노기술 기반 제품의 가격을 제품의 가치로 정의하는 사전적 접근 방식을 취하는데, 본 기술에는 제품의 확산 및 수명주기가 포함된다. 'DEFRA' 방법론은 정의된 시장에서 응용프로그램 수준 또는 제품군 수준에서 부문별 결과를 취합해 결과를 제시하는 절차를 가지고 있다.

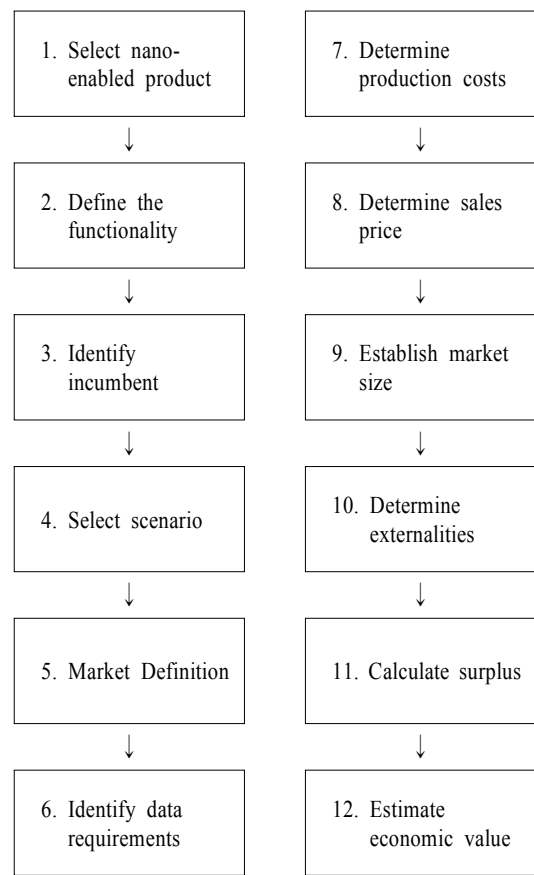
2.4 DEFRA 방법론의 절차와 한계

첫 번째 단계인 Stage 1은 나노기술 및 제품의 경제적 가치 계산의 가장 기초적인 부분을 정의하는 단계이다. 분석 대상인 나노제품, 현재 제품과 추정데이터, 분석에 필요한 데이터 및 정보에 대해 정의 하는 단계이다. 이 단계는 3단계 중에 가장 어렵고 시간이 많이 소요되며, 중요한 단계이다.

두 번째 단계인 Stage 2는 정보를 얻는 것이 어려운 데이터에 있어 정보를 획득하는 방법론상의 대안에 대하여 설명하는 단계이다. 실제 정보 수집이 가능하다면 본 단계는 상대적으로 간단한 단계라고 할 수 있다. 그러나 분석 대상인 나노기술이 개발 중이거나 기업의 기밀일

경우 해당 정보를 얻는 것은 매우 어렵다. 따라서 본 단계에서 제시하는 대안들은 획득하기 어려운 정보를 추정하기 위해 개발되었으며, 정확한 정보를 추정하는데 도움을 줄 수 있다.

세 번째 단계인 Stage 3은 나노기술 및 제품의 가치를 평가하기 위해 수집한 데이터와 정보를 바탕으로 계산을 수행하는 단계이다. 전체 잠재가치에 대해 계산하는 단계로써, 두 번째 단계에서 추정된 데이터를 좀 더 정확하게 확정하고 시장의 확산과 소요시간에 대해 추정치를 계산하는 단계이다.



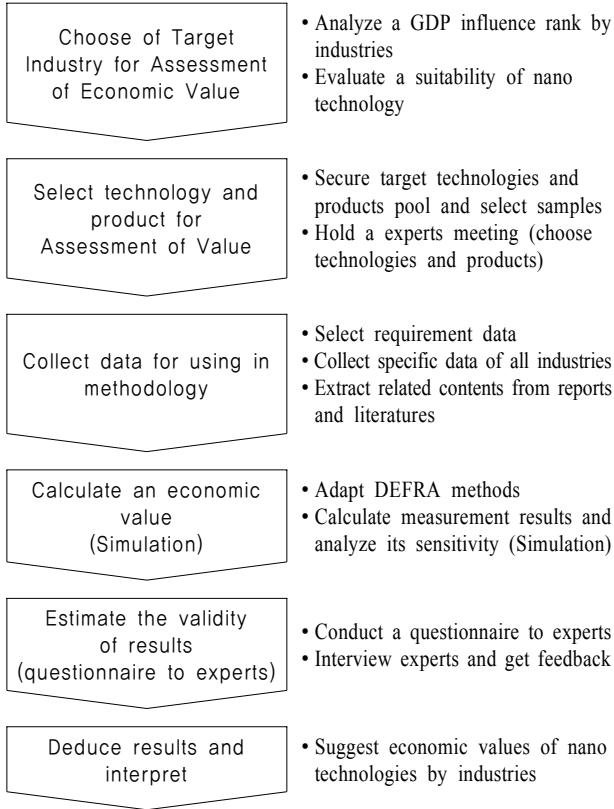
<Figure 1> Procedure of DEFRA Method

물론 'DEFRA' 방법론을 적용하여 가치를 측정할 때에는 수많은 가정이 요구된다. 모델은 기술 및 제품의 특성의 묶음으로 정의되며, 소비자 선호를 바탕으로 하기 때문에 전체 상품을 고려할 수는 없다. 기존 제품과 나노기반 제품을 비교하기 위해 기존 기술이 나노기반 제품과 동일한 기능을 수행하기 위해 추가되는 값은 궁극적으로 나노기반 제품으로 대체된다. 때문에 나노기반의 신규 기술 또는 제품과 동일한 기능을 수행하는 기존의 제품이 있다면 평가가 가능하다[13].

Measuring the Effects of Research on Innovation, Competitiveness and Science.

3. 연구 모형

본 연구의 절차는 다음과 같다.



<Figure 2> Study Framework

3.1 경제적 가치평가 대상 산업 선정

나노기술의 경제적 영향평가 분석 결과의 활용도를 높이고 산업적 의미를 반영하기 위해 나노기술 선정단계에서부터 산업적 기여도와 영향도, 나노융합산업 생산성 등을 고려하여 우선 평가 대상 산업을 선정하였다.

3.1.1 경제적 파급효과가 큰 대상 선정

본 연구에서는 나노기술 및 제품의 경제적 영향평가 대상 산업 선정에 있어서 우선적으로 국가 경제에 영향력이 큰 산업을 선정하기 위해, 산업분류표의 30대 제조업 중 주요 산업별 ‘GDP 성장 기여도3)’ 순위를 기준으

3) 기여도 : 물가상승·하락이나 GDP 성장률 등에 대해 특정 항목이 어느 정도 기여하고 있는가를 나타낸 것으로 「기여도 = 그 항목의 기여율 × 통계치의 전체 증감률」로 산정함. 기여율이란 합계값 또는 평균값의 증감에 대하여 그 구성항목이 전체를 증감시키는데 얼마나 공헌했는지를 나타냄 「기여율 = (개별구성항목의 증감액 / 전체 증감액) × 100」(source : 통계청, 통계용어지표이해).

로 하여 GDP에 영향력이 크게 미치는 산업을 우선 평가 대상으로 선정하였다. GDP 성장 기여도와 함께 개별 산업이 GDP에 얼마나 차지하고 있는지를 확인할 수 있는 산업별 GDP 비중도 함께 고려하였다. 즉, ‘GDP 비중’ 순위를 기준으로 하여 GDP에 영향력을 크게 미치는 산업을 우선 평가 대상으로 선정하고자 하였다.

3.1.2 ‘나노 기술 분야’에 적합한 산업 선정

나노기술의 경제적 영향평가 대상 산업 선정의 두 번째 기준의 목적은 나노기술의 적용이 활발히 이루어 질 수 있는 분야를 선정하는 것이다. 이를 위해 앞서 1차적으로 선정된 경제적 영향이 큰 산업 9개 중, 나노융합산업 생산액이 큰 산업을 최종적으로 선정하였다.

3.2 가치평가 대상 기술 및 제품 선정

기존 산업 내 기술이나 제품에 나노기술 또는 제품이 활용될 경우, 기존에 가지고 있던 기능상의 변화가 다양하게 일어난다. 본 연구에서는 이 같이 기술이나 제품이 전달하는 가치를 기능성(Functionality)이라 지칭하고 기존기술과 나노기술 사이에 확인되는 주요 기능성 간의 차이를 분석하여 경제적 가치로 제시하고자 한다.

이를 위해 가치평가 대상 산업별로 나노기술이 적용 가능한 기존 제품과 기술을 검토하고 이중 가치평가를 위한 데이터 수집이 가능하고 각 산업별로 기능성의 향상이 구체적으로 예상되는 분야의 기술 또는 제품을 분석대상으로 선정하였다.

3.3 방법론 적용에 필요한 데이터 수집

나노기술의 경제적 가치를 산출하기 위해서는 각 산업별로 분석대상 기술 및 제품과 관련된 데이터(시장규모, 가격, 매출원가 등)를 우선적으로 수집해야한다. 본 연구에서는 객관적인 데이터를 확보하기 위해 통계청이나 국책연구기관, 기업연구소 등에서 발간된 보고서 또는 통계 데이터를 주로 활용하였고, 재무적 데이터는 금융권이 발행하는 분석보고서 등을 참조하여 제시하였다.

이와 같이 수집된 원시데이터는 가치평가를 위해 가공되어야 하는데, 이 과정에서 데이터 가공 절차와 이에 필요한 가정, 비율 등은 OECD의 ‘DEFRA’ 방법론이 제시한 절차와 방법을 따라 수행되었다.

3.4 나노기술의 경제적 가치평가 수행

나노기술의 경제적 가치는 나노기술을 사용함으로써 발생하는 신규 기능성이 기존기술 대비 가지는 가치로

생산자 잉여⁴⁾와 소비자 잉여⁵⁾를 합산하여 계산하는 것을 기본 논리로 하고 있다. 생산자 잉여와 소비자 잉여, 외부적인 효과를 통해 1차적으로 산출된 경제적 가치는 해당 기술 및 제품의 생명주기(Product Life Cycle)와 기존 시장에서 확산(Diffusion)되는 정도를 반영하여 최종적인 경제적 가치로 산출된다.

선정된 산업별 나노기술의 경제적 가치평가는 앞서 제시한 나노기술과 비교되는 기존 기술의 시장규모를 파악하는 것을 시작으로 기존 기술 및 제품의 생산비용과 가격을 산정한다. 이를 위해 기존 기술 및 제품을 생산하는 주요 업체의 매출액, 매출원가 등 재무적인 데이터가 필요하며, 이는 이전 단계에서 수집된 객관적인 시장데이터를 활용할 수 있다.

3.4.1 생산자 잉여(Producer Surplus)

생산자 잉여는 기능성을 중심으로 향상된 기능을 생산하여 판매할 때 생산자가 얻을 수 있는 잉여에서 기존 제품을 생산해서 판매할 경우 생산자가 얻을 수 있는 잉여의 차이를 통해 최종 생산자 잉여를 계산하게 된다. 초기 나노기술 및 제품의 가격이 기존 기술 및 제품의 가격보다 비쌀 경우와 쌀 경우가 있지만, 가격은 시간이 지남에 따라 감소한다는 가정 하에 기간별로 발생하는 생산자 잉여의 감소분을 계산할 수 있다[Expression 1].

$$\Delta PS_{(t,0)} = [(P_t - C_N) - (P_0 - C_A)] \times Q_A$$

- $\Delta PS_{(t,0)}$: Producer Surplus at time(t)
- P_t : Price of Nano Product at time(t)
- C_N : Production cost of Nano Product
- P_0 : Wholesale price of previous Product
- C_A : Production cost of previous Product
- Q_A : Market size

[expression 1]

3.4.2 소비자 잉여(Consumer Surplus)

소비자 잉여는 나노기술 및 제품을 통해 소비자가 향상된 기능을 더 낮은 가격으로 구매하게 되면서 얻을 수 있는 경제적 효과를 의미한다. 초기 나노기술 및 제품의 가격이 기존 기술 및 제품의 가격보다 비쌀 경우와 쌀

경우가 있지만, 가격은 시간이 지남에 따라 감소한다는 가정 하에 기간별로 발생하는 소비자 잉여의 증가분을 계산할 수 있다[Expression 2].

$$\Delta CS_{(t,0)} = (P_t - P_0) \times Q_0$$

- $\Delta CS_{(t,0)}$: Consumer Surplus at time(t)
- P_t : Price of Nano Product at time(t)
- P_0 : Wholesale price of previous Product
- Q_0 : Market size

[Expression 2]

3.4.3 외부성 (Externality)

‘외부성(Externality)’은 나노기술의 개발, 개발 기술의 도입, 상용화 등에 있어서 외부적으로 발생할 수 있는 상황이 발생시킬 수 있는 외부적인 효과를 일컫는데, 예를 들어 똑같은 기능성을 구현하는데 나노기술을 통해 재료를 절감하여 탄소배출을 감소시키거나 낭비되는 전력을 절약할 수도 있는 것이다. 환경적인 외부성은 기술의 특성과 연구자의 관점에 따라 상이하게 측정될 수 있다.

본 연구에서는 나노기술의 도입에 따라 발생 가능한 다양한 외부적인 효과(외부성 : 온실가스 감소, 전력사용량의 감소, 세수효과의 감소 등) 중 기술의 특성과 연구자의 관점에 따라 상이하게 측정 가능한 환경적인 외부성은 제외하고 논리적으로 예측 가능한 세금의 변화 측면의 외부성만 반영하고자 하였다.

‘DEFRA’ 방법론 상 세금은 대상 제품의 시장규모가 고정되어 있다는 가정 하에 계산이 되므로 해마다 같은 금액의 세금이 덜 걷히게 된다. 하지만 시장 확산을 적용하게 되면 시장 내에서 나노기술이 적용된 제품의 점유율 비중을 고려하여 계산하게 되므로 시간의 지남에 따라 세금의 양은 음(-)의 값이 더욱 크게 증가하게 된다.

3.4.4 연차별 나노기술의 경제적 가치 추정

나노기술의 경제적 가치를 시간의 변화에 따라 추정하기 위해 연차별 경제적 가치를 계산할 수 있다. 이에 ‘DEFRA’ 방법론에서는 향후 예상되는 경제적 가치의 변화를 추정하기 위해, 다양한 사례와 연구결과 도출된 절차를 제안한다. 해당 절차는 기본적으로 시간(t)이 경과함에 따라 나노기술의 가격은 하락한다는 가정을 하고 있다.

나노기술 및 제품의 미래 가격은 시장으로부터 이용이 가능한 기존제품의 판매가격과 기존 제품의 단위당 생산비용, 나노기술의 단위당 생산비용 등의 변수를 통해 결정된다.

본 연구에서 측정하고자 하는 나노기술의 경제적 가치는 앞서 도출된 데이터와 변수 값을 바탕으로 시간(t)

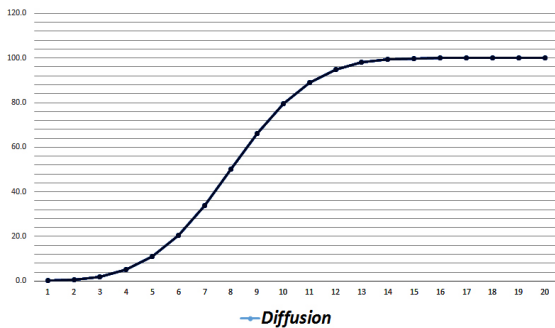
4) 생산자 잉여(producer's surplus) : 생산자가 어떤 상품을 판매하여 얻은 실제수입이, 생산자가 그 상품에서 반드시 받아야 하는 최저 수입을 초과하는 부분을 말한다(국세청(<http://taxinfo.nts.go.kr>)).

5) 소비자 잉여(consumer's surplus) : 소비자가 어떤 상품을 소비하기 위하여 지불할 용의가 있는 가격과 실제로 지불한 가격과의 차이를 말한다(국세청(<http://taxinfo.nts.go.kr>)).

의 경과에 따라 변동되는 변동가격을 기준으로 제품수명 주기(PLC) 기간 동안의 경제적 가치의 변화를 의미한다.

3.4.5 나노기술의 확산(Diffusion)에 따른 경제적 가치

나노기술 및 제품이 첫째부터 기존제품을 완전히 대체하여 시장 전체를 차지했을 경우를 가정한 상황에서 계산된 경제적 가치는 실제보다 과도하게 측정될 수 있다. 따라서 현실적인 시장상황을 고려하여 나노기술 및 제품이 시간 경과에 따라 점진적으로 기존 제품을 대체하며 확산(diffusion)될 것이라는 확산이론을 바탕으로 다시 계산할 수 있다.



<Figure 3> Changing Proportion of Diffusion

4. 사례 적용 : 이차전지 산업에서 나노기술의 경제적 가치 평가 분석

4.1 경제적 가치평가 대상 산업 선정

나노기술의 경제적 영향평가 분석 결과의 활용도를 높

이고 산업적 의미를 반영하기 위해 나노기술 선정단계에서부터 경제적 영향이 큰 산업을 선정하기 위해 GDP 기여도를 분석하고 이 중에서도 나노융합 기술 분야에 적합한 산업을 선정하기 위해 나노융합산업 생산성 등을 고려하여 우선 평가 대상 산업을 선정하였다.

4.1.1 경제적 영향력이 큰 산업 선정

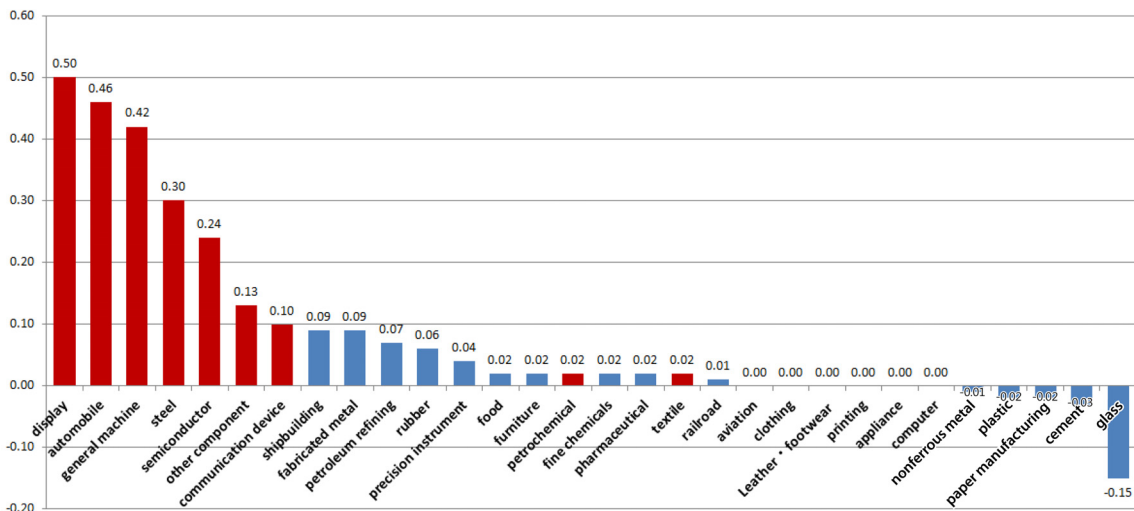
제조업 중 ‘산업별 GDP 성장 기여도’ 순위는 <Figure 4>과 같이 1위 : “디스플레이”(0.50), 2위 : “자동차”(0.46), 3위 : “일반기계”(0.42), 4위 : “철강”(0.30), 5위 : “반도체”(0.24), 6위 : “기타부품”(0.13), 7위 : “통신기기”(0.10) 등의 순서를 보이고 있다[4].

이를 바탕으로 경제적 영향이 큰 산업을 GDP ‘성장 기여도’를 기준으로 ‘디스플레이’, ‘자동차’, ‘일반기계’, ‘철강’, ‘반도체’, ‘기타부품’, ‘통신기기’, ‘석유화학’, ‘섬유’ 등 9개 산업이 선정될 수 있었다.

4.1.2 나노 융합 기술 분야에 적합한 산업

나노기술의 경제적 영향평가 대상 산업 선정의 두 번째 기준의 목적은 나노기술의 적용이 활발히 이루어 질 수 있는 분야를 선정하는 것이다. 이를 위해 앞서 1차적으로 선정된 경제적 영향이 큰 산업 9개 중, 나노융합산업 생산액이 큰 산업을 최종적으로 선정하였다.

산업통상자원부 보도자료(11년 나노융합산업생산 전년 대비 4.8% 증가고용인력 6.9% 증가 시현. 2013. 07. 30)에 따르면, 2011년 나노융합산업 분야별 생산액은 ‘나노소재 8조 7,190억 원(9.9%)’, ‘나노전자 77조 860억 원(87.5%)’, ‘나노바이오·의료 2,720억 원(0.3%)’, ‘나노장비·기기 1조 9,700억 원(2.3%)’ 순서를 나타내고 있다 (<Table 1> 참조).



<Figure 4> Rate of GDP Contribution by Industry

<Table 1> Production and Employment Statistics by Nano-fusion Industry

	2010	2011	Rate of Change
Nano Material	8,719 (9.9)	11,137 (12.1)	27.7
Nano Electronics	77,086 (87.5)	78,538 (85.1)	1.9
Nano Bio-Medical	272 (0.3)	293 (0.3)	7.9
Nano Device	1,970 (2.3)	2,317 (2.5)	17.6
Total	88,047 (100)	92,285 (100)	4.8

이상의 두 가지 기준 ‘경제적 영향이 큰 산업’, ‘나노 융합이 적합한 산업’ 등을 통해 본 연구에 적합한 산업군으로 “반도체”, “디스플레이”, “기타전자부품(2차 전지)”, “통신기기” 등이 선정되었다. 이 중 “통신기기”는 다양한 기술이 복합된 제품으로 나노기술의 영향을 측정하는데 무리가 있기 때문에, 최종적으로 “반도체”, “디스플레이”, “기타전자부품(이차전지)” 등을 선정할 수 있었다.

3.2 가치평가 대상 기술 및 제품 선정

앞서 선정된 주요 산업 분야인 ‘디스플레이’, ‘반도체’, ‘이차전지’ 등에 나노기술 및 제품이 활용되는 방식은 매우 다양하다.

3.2.1 반도체

반도체(DRAM 메모리)에 나노크기의 입자를 제작하여 투입하거나 나노 구조를 적용한 기술을 사용하거나, 새로운 소재(그래핀,⁶⁾ 유기나노입자 등) 등의 나노기술을 적용할 경우, 높은 전자이동도를 통한 처리속도 향상, 용량의 증대, 전력 소모의 감소, 발열 저하 등의 기능성이 향상될 수 있다.

3.2.2 디스플레이

디스플레이(LCD)에 나노크기의 입자를 제작하여 투입하거나 나노 구조를 적용한 기술(3차원 나노구조 등)을 사용, 혹은 새로운 소재(그래핀, QD(Quantum dot) 등) 등의 나노기술을 적용할 경우, 기존 디스플레이 보다 색재현성이 향상되거나 플렉서블 기능이 가능하거나, 액정 반응속도가 향상되는 등의 기능성이 향상될 수 있다.

6) 흑연에서 벗겨낸 얇은 탄소 원자막, 막의 두께가 0.35나노미터(100억분의 3.5m)지만 물리·화학적 안정도가 높다. 구리보다 100배 이상 전기가 잘 통하고, 실리콘보다는 140배 이상 전자를 빠르게 이동시킬 수 있어 이상적인 반도체 소자 소재로 꼽힌다.

3.2.3 이차전지

이차전지(리튬이온 배터리)에 나노크기의 입자를 제작하여 투입하거나, 나노 구조를 적용한 기술을 사용하여 나노와이어 구조를 가진 전극재를 제작하는 등의 나노기술을 적용할 경우, 기존 배터리의 수명이 연장되거나 용량의 증가, 전력 출력의 향상, 안정성의 향상, 충·방전의 한계가 향상되는 등의 기능성이 향상될 수 있다.

본 연구에서는 이중 이차전지 산업(리튬이온 배터리)을 중심으로 나노기술의 경제적 가치를 산출하는 과정과 결과를 제시하고자 한다.

3.3 방법론 적용에 필요한 데이터 수집

이차전지 산업의 대표적인 제품인 리튬이온 배터리 시장에서 나노기술의 경제적 영향을 ‘DEFRA’ 방법론을 적용하여 평가하기 위해 리튬이온 배터리의 시장 데이터를 다음과 같이 수집하였다.

3.3.1 시장규모 산정을 위한 데이터

이차전지(리튬이온 배터리) 산업에서 나노기술의 경제적 가치를 산출하기 위해 가장 먼저 확보해야 할 데이터는 기존 리튬이온 배터리 시장의 규모이다. 본 연구에서는 리튬이온 배터리의 시장규모를 미래창조과학부에서 발행하는 국가나노기술지도총괄보고서에 제시된 이차전지시장 규모 예측 데이터를 활용하였다. 국가나노기술지도총괄보고서는 IIT, Hiege, Frost and Sullivan, 노무라종합연구소 등 국내외 주요 시장조사기관의 자료를 재구성하여, 국내 리튬이온 배터리 시장을 2013년 기준 3억 달러로 제시하였다[14]. 본 연구에서 경제적 가치의 분석대상을 IT-소형 리튬이온 배터리로 선정하였기 때문에 보수적인 결과 산정을 위해서는 해당 시장에서 IT-소형 리튬이온 배터리만의 시장 규모를 산정해야 한다. 전체 리튬이온 배터리시장에서 IT-소형 리튬이온 배터리가 약 90%를 차지하고 있기 때문에, 이를 반영하여 2012년 IT-소형 리튬이온 배터리의 상규모를 최종적으로 2,519억 원으로 추정하였다. 이후 진행되는 연구에서 리튬이온 배터리 시장의 규모는 해당 규모인 2,519억을 기준으로 진행하였다[7, 9, 10, 11].

3.3.2 리튬이온 배터리의 생산비용과 가격

시장규모 산정 후 기존제품과 나노기술이 적용된 제품의 경제적 가치를 비교하기 위해서는 리튬이온 배터리(IT-소형)의 단위당 생산비용과 단위당 가격(도매가격/소매가격)이 필요하다. 기존 제품의 가격(3,239.3원/cel)은 시장에서 제시되었기 때문에 이를 활용할 수 있으나 생산비용의 경우, 시장에서 제시되어 있지 않기 때문에 방법

론에서 추천하는 절차에 따라 추정할 수 있다[1]. 리튬이온 배터리(IT-소형)의 생산비용을 산정하기 위해 본 연구에서는 리튬이온 배터리 시장에서 전 세계적으로 점유율이 가장 큰 삼성SDI와 LG화학의 재무제표를 사용하였다. 해당 내용은 금융감독원의 전자공시시스템(dart.fss.or.kr)에 등록된 각 기업의 3년간 사업보고서 상에 제시된 재무제표를 결과를 활용하였다[5, 6]. 이들 데이터를 통해 리튬이온 배터리(IT-소형)의 시장 가격은 2012년 기준 cel당 3,239.3원, 단위당 생산비용은 2,729.8원으로 산출되었다.

<Table 2> Configuration price of Lithium-ion Battery

Wholesale-Price		Retail Price	
Production Cost	Wholesale Mark-up	Duty	Retail Price
₩ 2,729.8	₩ 236.6	₩ 273	₩ 3,239.3

3.3.3 향상된 기능성에 대한 생산비용과 가격

기존 리튬이온 배터리와 나노기술이 적용된 리튬이온 배터리의 기능성을 비교하여 나노기술의 경제적 가치를 제시하기 위해 앞서 기존 리튬이온 배터리의 시장가격과 생산비용을 산정한 것과 마찬가지로 나노기술이 적용되어 향상되는 기능성을 수행하는데 필요한 생산비용과 예상되는 가격을 산정해야 한다[1]. 나노기술은 대부분 개발 중이거나 연구 중인 관계로 상용화 되지 못한 경우가 많다. 따라서 나노기술이 적용된 기능성에 대한 가격이나 생산비용 데이터는 시장에서 구할 수가 없다. 본 연구에서는 리튬이온 배터리 시장에서 나노기술의 경제적 가치 산정을 위해 기준이 되는 상황을 가정하고 해당 상황에서 구현 가능한 기능성을 수행할 수 있는 생산비용과 가격을 제시하였다.

향상된 기능성(저장용량 50%) 향상에 대한 가격은 기존 제품의 시장가격을 기준으로 동일한 기능성을 제공 시 필요한 가격을 대응시켜 산출한다. 즉, 향상된 저장용량 만큼 구현할 수 있는 기존 기술(나노기술이 적용되지 않은 리튬이온 배터리)의 가격에 향상된 기능의 정도 0.5 (1.5배 향상에 증가분)를 반영하였다. 그 결과 향상된 기능성에 해당하는 기존 리튬이온 배터리의 단위당 생산비용은 1,364.9(원/cel), 단위당 판매가격은 2,966.3(원/cel) 등으로 산출되었다.

리튬이온 배터리에 나노기술이 적용되어 기능성을 향상시키는 상황은 다양하게 발생할 수 있다. 본 연구에서는 이들 다양한 상황 중에서 나노기술이 리튬이온 배터리의 구성 요소인 ‘양극재’에 활용되어 배터리의 수명이 향상되는 상황을 가정하고 있다. 따라서 향상된 기능성을 나타내게 할 수 있는 ‘양극재’의 생산비용과 판매가격을 산출해야 한다.

나노기술이 적용된 양극재가 현재 기술개발 중에 있는 상태이므로 시장에서 가격 데이터를 확보할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 해당 기술이 개발될 경우, 기존 나노기술이 적용되지 않은 양극재 보다 얼마나 더 가격이 상승할 것인지에 대해 전문가 설문 등을 통해 도출한 결과를 반영하여 산출하였다.

본 연구에서는 설문조사 이전에 특정한 기준 상황에서 예상되는 경제적 가치를 산정하기 위해 나노기술이 적용된 양극재의 가격이 기존 나노기술이 적용되지 않은 양극재의 가격보다 1.3배 비싸다는 가정을 바탕으로 가격을 산정하였으며, 생산비용은 리튬이온 배터리의 생산비 비중 0.8을 그대로 활용하여 산정하였다[Expression 3].

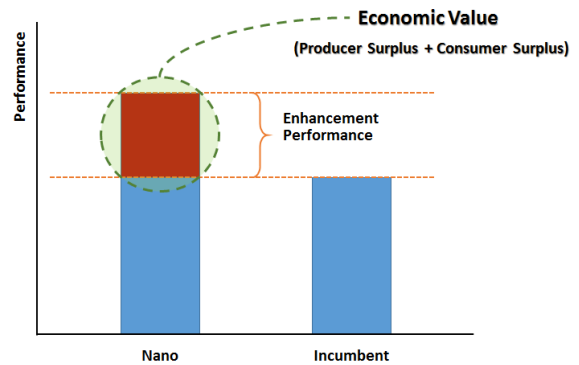
$$Retail\ price : 712.6(won) \times 1.3 - 712.6 = 213.8(won)$$

$$Production\ cost : 213.8(won) \times 0.8 = 149.7(won)$$

[Expression 3]

3.4 나노기술의 경제적 가치평가 수행

본 연구에서 활용하고 있는 ‘DEFRA’ 방법론에서는 나노기술의 경제적 가치를 기능성에 초점을 두고 나노기술과 동일한 기능성을 가지는 기존기술을 비교하여 계산하는 것을 기본 논리로 채택하고 있다. 따라서 본 연구에서 이차전지(리튬이온 배터리)산업에서 나노기술의 경제적 가치를 계산하기 위해 나노기술이 적용된 배터리와 기존 배터리의 기능성을 배터리의 ‘에너지 저장 용량’으로 선정하였다. 선정된 기존 기술(나노기술이 적용되지 않은 기술이나 제품)의 기능성(에너지 저장 용량) 대비 나노기술이 적용된 리튬이온 배터리의 기능성이 5배 향상되었다면, 향상된 5배가 가지는 경제적 가치를 기존기술과 비교하여 산출하는 것이다. 즉, 나노기술의 경제적 가치를 기능성에 초점을 두고 나노기술과 동일한 기능성을 가지는 기존기술을 비교하여 계산하는 것을 기본 논리로 채택하고 있다(<Figure 5> 참조).



<Figure 5> Assessment Target of Economic Value

위와 같은 논리를 바탕으로 이전 단계까지 수집한 데이터를 활용하여 1차적으로 나노기술의 경제적 가치를 산정해 볼 수 있다.

3.4.1 생산자 잉여(Producer Surplus)

이차전지(리튬이온 배터리)시장에서 나노기술이 적용된 양극재를 사용할 경우, 기존 리튬이온 배터리 보다 향상된 기능성(용량의 증대)을 제공함으로써 발생하는 새로운 가치에 대한 생산자의 잉여를 계산할 수 있다. 초기 나노기술 및 제품의 가격이 기존 기술 및 제품의 가격보다 비쌀 경우와 쌀 경우가 있지만, 가격은 시간이 지남에 따라 감소한다는 가정 하에 기간별로 발생하는 생산자 잉여의 감소분을 계산할 수 있다.

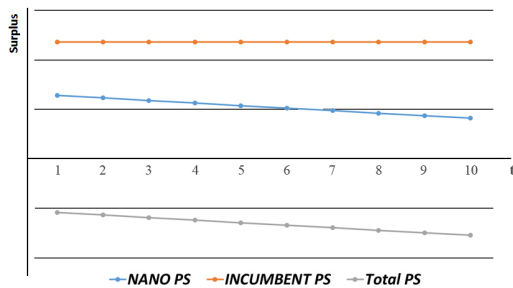
초기 나노기술 및 제품의 가격이 기존 기술 및 제품의 가격보다 비쌀 경우와 쌀 경우가 있지만, 가격은 시간이 지남에 따라 감소한다는 가정 하에 기간별로 발생하는 생산자 잉여의 감소분을 계산할 수 있다.

예를 들어, 첫 해(t = 1)에 리튬이온 배터리 시장에서 나노기술의 적용에 따른 생산자 잉여의 크기를 계산하면 다음과 같다[Expression 4].

$$\begin{aligned}
 \text{Producer Surplus} &= [(142.5-99.8)-(11,865.3-10,919.0)] \\
 &\times 80\text{million Cel} = -72,281,095,892 \\
 &\text{[Expression 4]}
 \end{aligned}$$

이와 같은 방식으로 각 시점(연차) 별로 계산했을 때, 연도별 생산자 잉여는 다음과 같은 형태를 가진다(<Figure 7> 참조).

결과적으로 리튬이온 배터리 시장에서 나노기술 적용을 통해 리튬이온 배터리의 기능성(에너지 저장 용량)이 향상될 경우, 나노기술의 판매가격과 생산비용의 차이가 기존 제품의 판매가격과 생산비용의 차이보다 작기 때문에, 전체적인 생산자 잉여가 음(-)의 값을 나타내게 되었다.



<Figure 6> Trend of Producer Surplus

기본적으로 가격은 시간이 지남에 따라 감소하게 되기 때문에 판매가격과 생산비용의 차이로 표현되는 생산자

잉여는 시간(t)이 경과함에 따라 지속적으로 감소하는 형태를 나타내고 있다(<Figure 6> 참조).

3.4.2 소비자 잉여(Consumer Surplus)

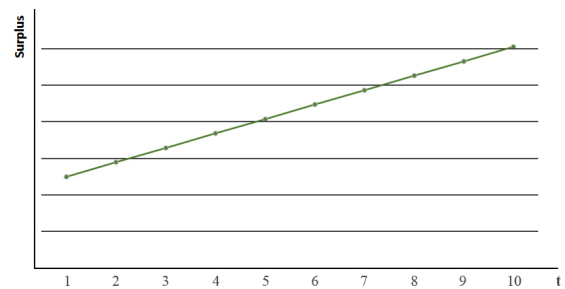
소비자 잉여는 나노기술 및 제품을 통해 소비자가 향상된 기능을 더 낮은 가격으로 구매하게 되면서 얻을 수 있는 경제적 효과를 의미한다. 초기 나노기술 및 제품의 가격이 기존 기술 및 제품의 가격보다 비쌀 경우와 쌀 경우가 있지만, 가격은 시간이 지남에 따라 감소한다는 가정 하에 기간별로 발생하는 소비자 잉여의 증가분을 계산할 수 있다.

나노기술의 활용을 통해 향상된 기능성(에너지 저장 용량의 증가 5배)을 소비자가 구매할 때 발생하는 소비자 잉여는 기존제품의 가격이 같은 기능성을 보이는 나노기술 또는 제품보다 비쌀 경우 소비자 잉여는 양(+)의 값을 나타내고, 반대로 나노기술이 더 비쌀 경우 기존 전체 소비자 잉여는 음(-)의 값을 나타낼 수 있다. 따라서 적은 가격으로 더 많은 기능성을 보일수록 소비자 잉여는 더욱 증가한다.

예를 들어, 첫해(t = 1)에 리튬이온 배터리 시장에서 나노기술의 적용에 따른 소비자 잉여의 크기를 계산하면 다음과 같다[Expression 5].

$$\begin{aligned}
 \text{Consumer Surplus} &= (11,865.3-213.8)\times 80\text{millioncel} \\
 &= 1,019,472,496,000(\text{won}) \\
 &\text{[Expression 5]}
 \end{aligned}$$

이와 같은 방식으로 각 시점(연차) 별로 계산했을 때, 연도별 소비자 잉여는 다음과 같은 형태를 가진다(<Figure 7> 참조).



<Figure 7> Trend of Consumer Surplus

기본적으로 가격은 시간이 지남에 따라 나노기술의 가격이 감소하게 되기 때문에 기존 제품의 판매가격과 나노기술이 적용된 제품의 가격 차이로 표현되는 소비자 잉여는 시간(t)이 경과함에 따라 지속적으로 증가하는 형태를 나타내고 있다(<Figure 7> 참조). 이 의미는 나노기술이 향상된 기능성을 제공함에도 불구하고 기술적인 혁

신의 결과 낮은 가격으로 제품을 생산하고 제공함으로써 기존 제품으로 동일한 기능을 구현하는 것보다 훨씬 적은 가격으로 가능하다는 것이다.

3.4.3 외부성(Externality)

본 연구에서는 나노기술의 도입에 따라 발생 가능한 다양한 외부적인 효과(온실가스 감소, 전력사용량의 감소, 세수효과의 감소 등) 중 기술의 특성과 연구자의 관점에 따라 상이하게 측정 가능한 환경적인 외부성은 제외하고 논리적으로 예측 가능한 세금의 변화 측면의 외부성만 반영하고자 하였다.

나노기술이 적용된 리튬이온 배터리를 사용할 경우, 기존 리튬이온 배터리가 나노기술이 적용된 리튬이온 배터리와 동일한 기능성(저장용량 2배)을 내기 위해서는 2배 만큼의 기존 리튬이온 배터리가 필요하다.

즉, 나노기술이 적용되지 않았으면 동일한 기능성을 충족하기 위해서는 기존 리튬이온 배터리가 2배 더 생산됐어야 한다. 하지만 나노기술이 적용되므로 이러한 생산 분이 발생하지 않으므로 정부측면에서는 제품 당 얻을 수 있는 세금이 감소하게 된다.

$$\begin{aligned} \text{Tax} &= -(273 \times 4 \times 80 \text{million Cel}) \\ &= -87,352,320,000(\text{won}) \end{aligned}$$

[Expression 6]

‘DEFRA’ 방법론 상 세금은 대상 제품의 시장규모가 고정되어있다는 가정 하에 계산이 되므로 해마다 같은 금액의 세금이 덜 걷히게 된다. 하지만 시장 확산을 적용하게 되면 시장 내에서 나노기술이 적용된 제품의 점유율 비중을 고려하여 계산하게 되므로 시간의 지남에 따라 세금의 양은 음(-)의 값이 더욱 크게 증가하게 된다.

3.4.4 연차별 나노기술의 경제적 가치 추정

리튬이온 배터리 시장에서 나노기술의 경제적 가치를 시간의 변화에 따라 추정하기 위해 연차별 경제적 가치를 계산할 수 있다.

<Table 3> Price Change of Lithium-ion Battery

(unit : won)

Period	0	1	2	...	19	20
Cost change	213.8	208.7	203.6	...	187.3	185.9

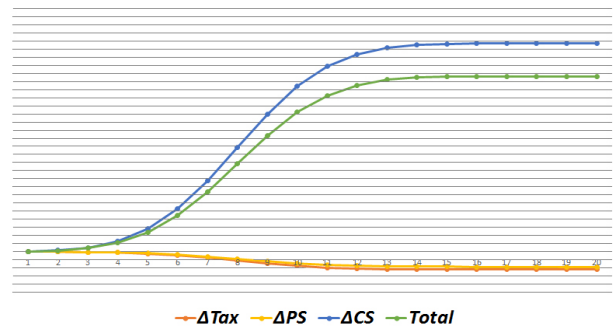
이처럼 ‘DEFRA’ 방법론에서는 향후 예상되는 경제적 가치의 변화를 추정하기 위해, 다양한 사례와 연구결과를 통해 도출된 절차를 제안한다. 해당 절차는 기본적으로 시간(t)이 경과함에 따라 나노기술의 가격은 하락한다

는 가정을 하고 있다(<Table 3> 참조).

앞서 산출한 연도별 생산자잉여(PS)와 소비자잉여(CS), 세금의 변화량에 시간(t)의 변화에 따라 변동하는 나노기술의 판매가격 변동 값을 대입하여 시간 별 경제적 가치를 산출할 수 있다.

3.4.5 나노기술의 확산(Diffusion)에 따른 경제적 가치

<Figure 9>은 나노기술의 경제적 가치가 시간의 변화에 따라 변화하는 것을 나타낸다. ‘DEFRA’ 방법론은 기본적으로 생산자 잉여, 소비자 잉여, 세금효과(외부성) 등을 변수로 경제적 가치를 산출한다. 즉, 기존 기술 및 제품에 나노기술이 적용되어 발생하는 가치를 기존기술 및 제품과 나노기술이 적용된 기술 및 제품을 비교하여 산출하는 것이다.



<Figure 8> Trend of Economic Value during time (t)

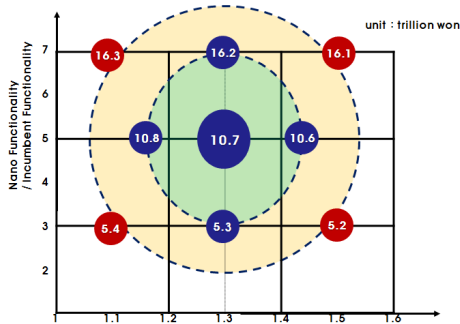
<Figure 8>에서 시간이 경과함에 따라 증가하는 소비자 잉여는 리튬이온 배터리(IT-소형)에 나노기술(나노 양극재)의 도입으로 소비자는 더 나은 기능성(에너지 저장용량의 증대)을 기존의 기술과 제품에서보다 훨씬 저렴한 가격(시간이 경과함에 따라 가격 하락)으로 이용하면서 얻게 되는 이익(Benefits)을 나타낸다. 따라서 이는 지속적으로 증가하게 된다.

리튬이온 배터리(IT-소형) 시장에 나노기술을 적용함에 따라 기존 제품을 생산해서 판매할 경우와 나노기술(나노 양극재)이 적용된 제품을 생산해서 판매할 경우를 비교했을 때, 생산자의 잉여는 지속적으로 감소하는 양상을 보인다. 이는 본 연구에서 시간이 경과함에 따라 가격은 하락하지만 시장의 규모는 고정되었다고 가정하고 보수적인 입장에서 경제적 가치를 추정했기 때문이다.

3.5 결과제시 및 타당성 검증

나노기술이 적용된 양극재를 활용한 리튬이온 배터리(IT-소형 기준)가 상용화되어 시장에 도입되고 기존 제품을 대체하면서 점진적으로 리튬이온 배터리(IT-소형) 시장

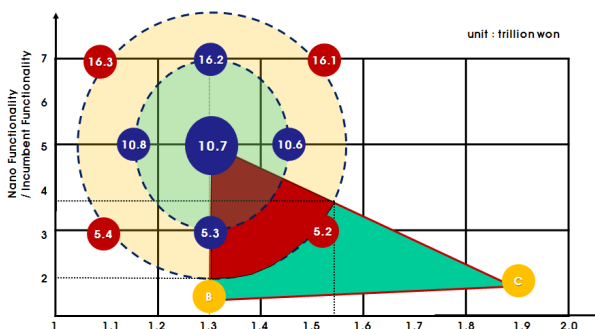
(800,000Cel)을 대체해 갈 경우, 경제적 가치는 S커브를 적용해 제시된 제품 생애주기 별 확산 비율을 반영하여 계산한다.



<Figure 9> Economic Value Range of Lithium-ion Battery Adapted Nano-technology

확산비율에 의해 새롭게 계산된 세금변화량과 생산자 잉여, 소비자 잉여를 합한 연간 나노기술의 가치를 일정 기간(20년) 동안의 결과치를 합치면, 10조 7천억 원의 가치를 나타내게 된다. 본 연구에서는 기준 상황(리튬이온 배터리: 에너지 용량 5배 증대, 나노소재 가격 1.3배)을 중심으로 나노기술의 경제적 가치가 포함될 수 있는 영역(Range)을 <Figure 9>과 같이 나타낼 수 있었다.

연구진이 산출한 나노기술의 경제적 가치를 측정하고 평가하는 과정에서 결과 값과 절차상의 타당성을 높이기 위해 이차전지 관련 기업체(매출액 상위 3위 이내 기업) 임원급 이상 및 관련 박사학위 소지자 전문가들에게 설문을 실시하였다.



<Figure 10> Economic Value Range of Lithium-ion Battery through Questionnaire to Experts

전문가 설문을 통해 나타난 리튬이온 배터리 기존 제품에 나노기술 적용 시 향상될 수 있는 기능성의 범위는 최소 1.5배에서 최대 5배이며, 증가되는 가격의 범위는 최소 1.3배에서 최대 1.9배로 조사되었다(<Figure 10> 참조). 전문가 설문을 통해 나온 수치를 ‘DEFRA’ 방법론에 적

용하였을 때 연구진이 제시한 결과와 겹쳐지는 전문가들의 범위는 최소 2.5조에서 최대 10.7조로 나타났다.

5. 결론

나노기술이 다양한 기술 및 산업 영역 간 융합을 가져오고 신기술 개발, 연구조사, 투자활동 등에 큰 영향을 미치면서 나노기술의 경제적 가치를 측정하고 경제적 영향을 예측하는 활동들 중요성이 더욱 커지기 시작했다.

하지만 나노기술의 경제적 가치와 영향을 측정하는 연구가 전혀 없는 현실이었고, 이에 나노기술의 경제적 가치와 영향을 정량적으로 측정하는 선도적인 연구를 수행하고자 하였다.

본 연구는 나노기술의 경제적 가치를 정량적으로 측정하고 그 영향을 분석하기 위해 분석 대상이 되는 주요 산업을 선정, 이를 OECD에서 제안하는 영국의 ‘DEFRA’ 방법론에 적용하여 각 산업별 나노기술의 경제적 가치 측정과 영향을 사례분석을 통해 산출해 보았다.

특히, 국내 주요 산업분야(디스플레이, 반도체, 이차전지 등)에서 나노기술의 경제적 가치와 영향을 정량적인 방법론(DEFRA)을 통해 분석한 사례를 제시함으로써 향후 나노기술의 경제적 가치와 영향을 평가하기 위한 기본적인 가이드를 제시할 것으로 기대된다.

뿐만 아니라 나노기술의 경제적 가치와 영향을 측정하는 연구를 지속적으로 수행하는데 있어서 어떤 측면을 더욱 고려해야하는지, 또는 어떤 데이터와 자료를 지속적으로 관리해야하는지 등의 정책적 고려사항을 확인해 볼 수 있는 계기가 되어 관련 연구 및 정책 수립에 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

향후, 본 연구에서 분석한 주요 산업분야 외에 타 산업분야에 대한 나노기술의 경제적 가치 및 영향 평가 연구들이 수행되어 국가 산업 전반에 나노기술이 미치는 경제적 영향과 그 가치를 분석해 볼 필요성이 있다.

Acknowledgement

이 논문은 국가나노기술정책센터의 '나노기술 경제적 영향 평가'를 기초로하여 작성되었음.

References

[1] Ben Walsh, Peter Willis and Alastair MacGregor, Oakdene Hollins Research and Consulting, A comparative methodology for estimating the economic value of innovation in nanotechnologies, 2010, pp. 1-106.

- [2] ‘Development Lithium-sulfur battery more durable than Lithium-ion battery’ Daeduknet, (hellodd.com), 3rd, Dec, 2013.
- [3] ‘Development of Lithium-sulfur battery which has quintuple of battery life cycle than existing Lithium-ion battery’ Enews, 5th Feb, 2014.
- [4] Economic trend Index of major industries, *KIET*, Jun, 2013.
- [5] Financial statements of LG Chemistry, Financial Supervisory Service(<http://dart.fss.or.kr>).
- [6] Financial statements of Samsung SDI, DART, Financial Supervisory Service(<http://dart.fss.or.kr>).
- [7] Full report of National Nano Technology Maps, Research Committee of Nano Technology, Ministry of Science. *ICT and Future Planning*, 2014, pp. 1-95.
- [8] Integrated Road-map of Small and Medium Business, Small and Medium Business Administration, Mar, 2011.
- [9] Ji, M.H. and Kim, S.E., Meritz Investment Bank. *Lithium-ion*, 2013.
- [10] Kim, Y.W. and Kim, Y.K., *Display/Secondary battery*, Industry Report, HMC Investment Bank, 2014.
- [11] Lee, J.W., The outlook of medium and large size secondary battery market. *Hana Finance Management Research Institution*, 2013, pp. 1-13.
- [12] The 2nd amendment 1st section to Nano Technology Development Act, 2013.
- [13] Working Party on Nanotechnology : OECD/NNI International Symposium on Assessing the Economic Impact of Nanotechnology Background Paper 4-Models, Tools and Metrics Available to Assess the Economic Impact of Nanotechnology, OECE, 2012.
- [14] National Nano Technology Maps ver2.0, Research Committee of Nano Technology/National Nano Technology Policy Center, 2013.

ORCID

Seoung Hun Bae | <http://orcid.org/0000-0002-0819-4386>

Chang Hee Han | <http://orcid.org/0000-0003-2414-8125>