

저진공 펌프 특성평가 기술개발 프로그램의 경제적 파급효과

안용환*, 남경희**, 안병덕*, 박병선***, 원동유***

{uhahn, khnam, duk9403, bspark, wondy}@kriss.re.kr

The Economic Impact of the Characteristic Evaluation for Low Vacuum Pump

U. H. Ahn*, K. H. Nam**, B. D. Ahn*, B. S. Park***, D. Y. Won***
Korea Research Institute of Standards and Science(KRISS)

1. 서론

최근 산업발전을 위해 특정 산업에 대한 연구개발 프로그램의 필요성을 검토하고 사전 심의함에 있어서 그 경제적 근거의 제시가 요구되고 있다. 이는 프로젝트가 결정되고 나면 그것을 효과적으로 관리하기 위한 전략적인 기획과 경제적 파급효과의 평가가 뒤따라야 한다는 것이다. NIST 등에서는 공공부문에서 진행 중이거나 완료된 연구프로젝트에 대한 사회적 수익률(SRR : Social Rate of return)을 산정하기 위해 내부수익률(IRR : Internal Rate of return) 산정법을 사용한다.

우리나라의 국가측정표준 대표기관인 한국표준과학연구원(표준원)은 국가측정표준을 확립·보급함으로써 한국 산업의 경쟁력과 기술수준의 향상을 기하고 있다. 그 일환으로 수행하고 있는 진공 기술센터(CVT : Center for Vacuum Technology)의 저진공 펌프 특성(성능)평가 기술개발은 1999년도 이후 저진공 펌프 공급업체에 대한 펌프 성능의 정확한 데이터를 제공하여 기기의 신뢰성을 향상시키고, 납기단축 등의 효과를 제공하여 왔다. 저진공 펌프는 반도체(LCD 포함), 식품, 화학, 포장, 금속(재련), 과학연구 등에 주로 응용되고 있다. 연간 국내 판매량은 1,000 억원 정도로, 주로 반도체(LCD 포함) 용의 드라이 펌프(dry pump)가 대부분이며, 일반산업용 등을 포함하면 판매량은 계속 증가(연간 5% 정도)할 것으로 예상된다.

본 연구의 목적은 표준원 진공기술센터의 저진공 펌프(주로 반도체 산업용 드라이 펌프 중심) 성능평가 기술개발 프로그램을 통한 기술 하부구조에서 이루어진 투자가 한국 산업에 미친 경제적 파급효과를 분석하는 것이다.

여기서, 저진공 펌프 성능평가 기술의 개발로부터 저진공 펌프 사용자와 공급자가 얻는 편익을 다음 세 가지로 분류하였다.

- 1) 저진공 펌프 성능평가시험을 수행하기 위해 필요한 기술지식의 보급과 개발
- 2) 사용자와 공급자 사이의 거래비용 절약
- 3) 제품 성능과 공정효율의 강화를 통한 사용자의 경쟁력 향상

위에서 1)과 2)의 두 가지는 평가가 가능하나 3)번은 국가경쟁력 관점에서는 다른 사항보다 더 중요하게 보이지만 평가하기는 매우 까다롭다. 따라서 본 연구에서의 파급효과분석은 저진공 펌프 성능평가기술개발의 output과 관련된 비용데이터와 경제적 편익의 평가에 기초하였다.

순 편익은 국내 저진공 펌프 산업의 경제적 파급효과를 가상현실(counterfactual) 시나리오를 통

* 한국표준과학연구원 기술이전그룹, 주소: 대전광역시 유성구 도룡동 1번지, (042) 868-5413, 5417

** 한국표준과학연구원 정책연구실, 주소 상동 (042) 868-5412

*** 한국표준과학연구원 측정품질그룹, 주소 상동 (042) 868-5586, 5418

해 산정하였다. 분석결과, 내부수익률이 144.1%, 편익/비용(BCR : Benefit to Cost Ratio)의 값이 14.1로 높게 나타났는데, 이는 저진공 펌프 성능평가 기술개발이 광범위한 국내 산업에 큰 영향을 주는 사회적 가치가 있는 활동을 추구하고 있음을 의미한다.

2. 기술적 개요

2.1 저진공 펌프 성능평가 기술개발

저진공 펌프 성능평가 기술개발은 표준원의 진공기술센터에서 1999년부터 수행하고 있으며, 그 임무는 진공기술 하부구조를 구성하여 한국 산업의 경쟁력을 강화하는 것이다.

진공기술은 산업체의 연구개발, 생산의 응용, 제품의 설계 및 제조의 수준 향상, 성능 평가, 한국 제품의 국제시장 진출을 포함한 시장 거래 등으로 산업체를 위한 개발이 필수적이라 하겠다. 진공기술의 중심인 표준원은 기술 및 무역장벽의 제거를 위해서는 다음과 같은 특수한 특성이 요구된다.

- 산업 전반의 진공기술관련 문제해결을 위한 기술정보 제공
- 저진공 펌프 성능평가 기술지원을 위한 하부구조 기술의 분류와 설명
- 표준원이 하부구조 기술에 기여함으로써 발생하는 경제적 파급효과에 관한 양적 및 질적인 데이터의 획득

2.2 기술개발의 당위성

저진공펌프 성능평가 관련 국제규격의 경우에는 다음과 같은 문제점이 있다:

- 유사한 형태의 진공 펌프들이 여러 회사에서 생산 중이나, 각 사양들이 성능 면에서 크고 작은 차이점을 보이고 있음.
- 각 회사에서 제공하는 데이터 혹은 성능 곡선은 보통 각각 다른 진공용기에서 측정되거나, 다른 평가 방법에 의하여 측정되고 있음.
- 배기속도의 경우 성능평가 절차는 ISO, AVS, JIS, PNEUROP 등의 기구에서 제정한 절차에 의해 정의되고 있으나 세부 항목에서 많은 차이점을 나타내고 있음.
- 국내에서는 대부분의 진공펌프들을 수입에 의존하고 있으나 이러한 평가절차의 문제점들에 의해 정확하고 명확한 global 성능 데이터의 확보가 절실한 형편에 있음.

그 해결책은 다음과 같다:

- 관련 규격의 명확한 이해와 적용범위, 절차에 따른 성능평가방법의 정립
- 성능평가 실험에 의거한 국제 규격의 검증작업 후 국내 규격의 통일된 제정 요구

2.3 기술개발 요약

저진공 펌프의 일종인 루츠펌프, 드라이펌프의 성능평가는 대기압에서 약 10^4 Torr의 저진공 영역까지 넓은 영역에서 수행되며, 평가의 신뢰성은 기체유량흐름장치 및 진공계이지의 정확도와 불가분의 관계를 가지고 있다. 약 875 liter의 체적을 가지는 진공용기를 기체주입 시의 표준유량흐름 측정장치로 이용하여 정확한 기체유량을 측정할 수 있다. 2,000 m³/hr 정도의 루츠펌프 및 드라이 펌프에 관한 배기속도는 이러한 정적형 유량계와 0.2%의 불확도를 가지는 CDG(Capacitance Diaphragm Gauge)를 사용하여 23 °C의 상온에서 도달진공도부터 대기압까지 연속적으로 측정할 수 있다. 저진공 펌프의 도달진공도, 배기속도 등 성능평가 방법에 관한 관련 규격은 ISO, AVS, DIN, JIS, PNEUROP 등 세계 여러 나라의 표준제정기구에서 제정한 문서에 그 초안을 두고 있다. 특성평가 시 적용되는 진공용기, 유량주입장치, 진공계이지, 온도, 평가항목 등에 관한 각종 평가 기준의 고찰을 통하여 현재 진공기술센터에서 실시 중인 저진공펌프 성능평가 실험 값과의 비교 검증을 통해 그 타당성의 기준을 제시하고 있다. 현재 반도체 생산공정에 가장 많이 적용되고 있는 드라이펌프를 그 주된 측정 대상으로 하여 기존 규격의 적용 여부를 검토하며 정적형 유량계

의 현재 응용 범위인 10^{-3} torr-l/s까지의 유량범위에서 불연속적 및 연속적인 유량측정의 장단점을 제시할 수 있다.

2.3 기술개발 검토 결과

저진공펌프 내구성평가 및 국제규격에 부합하는 복합 성능평가 방법의 활용으로 저진공펌프의 전반적인 성능 및 신뢰성을 제공하였다. 나아가 로타리펌프에서 드라이펌프 적용 범위의 급속한 확대, 99% 수입에 의존하는 드라이펌프의 국산화 시급성으로 저진공펌프 성능평가 방법의 표준화를 유도하였다.

진공기술센터의 진공 표준장비 및 국제적 인지도를 활용하여 국내 진공 산업의 활성화를 유도하고, 산학연위원회(committee) 구성을 통한 비교 검증의 활성화를 이룩하였다.

3. 평가의 틀과 접근 방법

3.1 평가의 범위

표준원의 저진공 펌프 성능평가 결과물

3.1.1 기능의 참조

- 표준원 저진공 성능평가 기술개발에 대한 보고서
- 주로 드라이 펌프에 집중

3.1.2 일차 교정 서비스

- 표준원의 진공기술센터에서 일차 교정실시

3.1.3 산업체에 대한 기술지원

- 교정/시험
- 기술자문
- 주기적으로 저진공 펌프 기술관련 회의, 세미나 개최

3.2 이점

- 공급자와 사용자들과의 인터뷰로부터 다음의 결과를 도출
 - (1) 필요한 하부구조 기술개발로 국가적 자체 평가기술의 확보로 효율증진
 - (2) 공급자와 사용자간의 상업적 분쟁 해결에서 비용과 시간 절약
 - (3) 더 나은 시장성을 형성하기 위한 국내 공급자 및 사용자들의 경쟁력 증진

3.3 비교 시나리오

- 저진공 펌프 성능평가 기술개발의 경제적 편익에 대한 평가를 위해 하부구조에서의 공적인 투자에 대한 평가방법을 채택함.

: NIST의 경제적 파급효과 산정 기법을 활용

표준원의 실제 비용을 가상현실 시나리오를 사용하여 얻은 순편익의 추정치와 비교하였다. 즉, 편익은 표준원의 저진공 펌프 성능평가 서비스가 없을 경우 일어날 산업체의 추가비용의 향으로 추정될 수 있다. 다시 말하면 표준원의 저진공 펌프 성능평가 기술개발의 존재로 인해 산업체가 피할 수 있었던 비용이다.

경제성 분석의 가장 중요한 틀은 만일 표준원의 하부구조 결과물이 없으면 산업체들이 어떻게 대처할 것인가 하는 가정에 기초를 두고 있다.

4. 자료수집 및 분석

4.1 자료수집

높은 정확도를 요구하는 많은 저진공 펌프 사용자들은 공급자들의 주장보다 국가측정표준 대표 기관에서 수행된 시험 데이터를 더 신뢰한다. 이는 정확도를 요구하는 저진공 펌프의 유지공정 과정에서 유효한 수단의 불일치에서 기인한다. 그러나 모든 저진공 펌프 사용자들이 국가측정표준대표기관을 이용할 수는 없는 일이다. 근본적인 이유는 저진공 펌프 공급자들이 믿을 수 있는 제품을 공급하지 못한다는 것이 저진공 펌프 성능평가 기술개발과 직접적으로 연관된 것은 아니다. 어떠한 표준원은 그 중립적인 역할을 이용하여 산업체가 이러한 문제를 극복하고 더 높은 기술에 접근할 수 있도록 도와줄 수 있다.

조사결과 표준원은 저진공 펌프 성능평가 기술개발의 건전한 투자를 하였고, 만일 표준원이 이러한 투자를 하지 않았다면 산업체가 부정적인 경제적 결과로 고통을 받았을 것이다. 그러나 사용자들의 편익은 이 하부구조(기반) 기술이 공급업체의 실제적인 필요에 효과적으로 부응할 수 있는 때를 맞추어 구체화될 수 있었던 것으로 판단된다. 아마도 이러한 투자는 시의적절 하였으며 산업을 위한 경제적 이익의 때에 맞춰 유용하게 사용된 것으로 볼 수 있다. 그러므로 최신 기술하부구조에 대한 투자전략은 산업의 요구와 현실적으로 맞추어야 한다.

4.2 조사방법

방문조사 및 전화조사를 실시

4.2.1 저진공 펌프 산업의 조사

저진공 펌프 산업의 조사는 가상현실 시나리오에서 일차적 편익과 관련된 데이터의 수집에 실행 가능한 초점을 맞추기로 결정하였다. 5.2에서 제시되고 6장에서 경제적 파급효과 산정의 계산에 사용된 미래의 편익 데이터는 주요 공급업체들 여섯 군데와의 직접면담에 기초하였다. 국내 시장점유의 집합수준에 근거하여 이들 샘플들은 국내 전체 저진공 펌프 산업을 효과적으로 대표한다고 할 수 있다.

4.2.2 저진공 펌프 사용자의 조사

저진공 펌프 성능평가 기술개발로부터 경제적 파급효과의 사례를 얻기 위해 저진공 펌프의 성능평가를 요구해 실시하고 있는 반도체 제조업체 1개업체를 방문해서 조사를 실시하였다. 이러한 경제적 파급효과가 사용자들에게서 정확하게 직접적으로 정량화 되지 않는 이유는 다음과 같다.

- (1) 표준원의 저진공 펌프 성능평가 기술개발의 경제적 효과는 저진공 펌프공급자들에게는 보다 직접적이고 계량적이지만 사용자들에게는 보다 간접적이고 계량화하기가 어려우며 공급자와 편익이 중복될 소지가 있다.
- (2) 실제로 사용자들의 제품과 공정상의 경제적 편익과 저진공 펌프 성능평가 기술개발 사이의 연결고리에서 분별하는 것은 매우 어렵고 정량화 할 수 있는 것은 매우 적다. 그러므로 2차층(tier)의 산업(사용자 기업)에 대한 경제적 편익데이터를 얻는 것이 실질적인 것처럼 보이지만 앞의 이유로 데이터 수집은 1차층 산업(공급자 기업)들에게 초점을 맞췄다.

참고로 우리나라 최대규모 반도체 제조 사용업체 경우의 간접적 효과를 검토하면 정확한 성능평가 데이터의 제공으로 저진공 드라이 펌프 평균 불량률인 20%를 15%로 5% 「포인트」만 کم줄이면 연간 100억 정도의 손실비용 절감, 확보 중인 10%(1,200대)의 spare를 5%(600대)로 줄이면 240억원 (대당 4천만원)의 비용절감을 얻을 수 있다.

5. 조사 결과

5.1 저진공 펌프 성능평가 기술 활용자

표준원의 저진공 펌프 성능평가 기술개발로부터 받은 가치에 대한 그들의 인식을 확인하기 위해 6개의 저진공 펌프 공급업체와 현재 성능평가를 요구하고 있는 사용업체 1개에 대하여 방문 또는 전화 조사가 실시되었다.

5.1.1 특성평가 지원

이용업체는 공급자들이 주장하는 정확도 보다 표준원에서 수행된 결과를 더 신뢰하고 있다.

5.1.2 거래비용

- 분쟁해결로 거래비용 감소
- 저진공 펌프 사용자의 장비와 기술의 확보에서 비용절감
: 표준원의 정보 및 기술지원

5.2 저진공 펌프 산업

국내시장은 5개 외국기업이 국내 저진공 펌프 시장을 대부분 장악하고 있고, 국내기업 1개가 신규로 시장에 참여하고 있는 실정이다. 이들 6개 공급업체들의 시장점유율이 거의 100%를 차지하고 있고, 국내시장의 규모는 1,000억 원 정도 이다.

5.2.1 저진공 펌프 공급업체들

표준원의 성능평가 서비스가 없을 경우는 해외 본사에서 받아오고 있으며, 그러나 사용업체 대부분은 국가측정표준대표기관인 표준원의 평가 데이터를 요구하고 있다. 표준원의 기술지원이 없을 경우, 공급업체의 추가비용을 편익으로 간주할 수 있다. 저진공 펌프 공급업체는 매출액의 구성이 신제품 판매 75%, 판매된 제품의 수리 25% 정도로 되어있다. 이 중 신제품의 경우 5%의 불량률이 발생하고, 수리제품에 대해서는 25%의 불량률을 보이고 있다. 여기에서 불량이란 사용자가 요구하는 특성을 충족시키지 못하는 부분을 의미하며, 이들 모두에 대한 특성평가가 요구된다. 공급업체들은 표준원에서 직접 특성평가 지원을 받음으로써 전체 불량률 10% 만큼은 줄일 수 있는 것으로 밝히고 있다. 즉, 표준원의 평가지원이 없다면 이 정도만큼의 비용을 더 투입해야 하는 것으로 볼 수 있다. 이를 계량화하여 기술개발 지원에 따른 편익(조사결과 최소 매출액의 약 1% 수준)으로 추정할 수 있다. 따라서 표준원의 저진공 펌프 성능평가 기술개발 지원으로 인하여 2002년 순 현재가치(순현재가 : NPV)로 총 24억 8천만원 만큼 추가로 비용을 절감하는 것으로 추정된다(5개 업체의 응답 + 1개 업체의 추정치). 즉, 표준원의 기술지원을 같은 수준으로 해외에서 받을 경우 위와 같은 비용만큼 추가로 비용을 지출해야 한다.

5.2.2 요약

저진공 펌프 공급업체들에게 주는 표준원의 경제적 편익은 2002년 기준으로 총 24억 8천만원으로 추정된다.

6. 경제적 파급효과 분석

6.1 비용과 순편익 데이터

6.1.1 표준원의 연간 비용지출과 수입

<표 1-1>은 3.1에서 서술한 결과물과 관련된 표준원의 비용을 보여주고 있다(정부 회계년도 1999-2002).

주로 저진공 펌프 성능평가 기술개발을 뒷받침하는 기본적인 연구비를 계산한 것이다. 이러한 노력으로 표준원은 저진공 펌프 성능평가기술을 확립하였다.

<표 1-1> 저진공 펌프 성능평가 기술개발의 지출(비용)과 수입
(단위 : 백만원)

구 분	1999	2000	2001	2002
기술자문			30	40
총 수입			30	40
기반구축	25	150	150	150
총 비용	25	150	150	150

6.1.2 경제적 파급효과 분석을 위한 데이터

<표 1-2>는 경제적 파급효과 분석을 위해 사용된 데이터이다. 총비용은 <표 1-1>에서 가져왔다. 표준원의 총비용은 저진공 펌프 성능평가기술의 연구개발 구축관련 장비와 방법의 유지 및 향상 그리고 시험 서비스와 관련된 것이다. 이 사례연구는 예측치를 근거로 사용하므로 시험 서비스의 현수준을 유지하기 위한 비용은 현수준에서 2002년 이후 미래의 비용은 해당 연구실의 추정치를 활용하였다.

<표 1-2> 저진공 펌프 성능평가 기술개발의 비용과 산업체가 얻은 순편익
(단위 : 백만원)

회계년도	표준원 비용	산업체의 순편익
1999	25	---
2000	150	---
2001	150	---
2002	150	---
2003	150	2,604.0
2004	30	2,734.2
2005	33	2,870.9
2006	36	3,014.5
2007	40	3,165.2

1999년에 저진공 펌프 성능평가 기술개발을 위한 연구가 시작되어 기준년도를 1999년도로 택한 것은 적절하다. 즉, 1999년부터 신규 연구투자를 시작하였다.

<표 1-2>는 1999년도부터 2007년까지 업체들이 얻은 편익의 연간 추정치를 보여주고 있다. 2002년도 현재의 업체 순편익의 추정치는 24억 8천만원이다. 2003년 부터의 순편익은 연간 5%의 증가율(인터뷰에서 얻은 자료)로 외삽(extrapolation)하여 2007년까지 5년간의 추정치를 나타내었다.

여기서 5년간의 예측을 택한 두 가지 이유는 다음과 같다:

- (1) 가상현실 시나리오에 적합함.
- (2) 저진공 펌프 성능평가 기술개발 투자의 사회적 수익률 계산은 매우 보수적임.

6.2 경제적 파급효과의 산정

업체들이 받는 편익의 계산은 가장 널리 사용되는 다음의 세 가지 방법을 사용함.

- (1) 내부 수익률
- (2) 사회적 수익률
- (3) 편익 대 비용 비율

6.2.1 내부 수익률

정의에 따르면 IRR은 일련의 비용과 수입이 적당한 등가(等價)성을 제공하는 할인율(rate of discount)이다. 이 개념을 연구 프로젝트의 평가에 적용하면, IRR은 비용흐름과 순편익에 대한 순현재가(NPV)가 0으로 감소하도록 하는 할인율이다. 수학적으로 IRR은 다음 방정식을 만족시키는 할인율 r^* 이다.

$$NPV(r^*) = \frac{(B_0 - C_0)}{(1 + r^*)^0} + \dots + \frac{(B_t - C_t)}{(1 + r^*)^n} = 0$$

단, $(B_t - C_t)$ 는 t 년도에서의 순편익이고, n 은 연구프로젝트가 수행되는 연수이다.

순현재가(NPV)가 0으로 감소하는 것을 편익 대 비용의 비율 1과 비교하면 다른 규모의 프로젝트 사이에서 내부수익률(IRR)의 비교를 가능케 한다. 그러면 IRR은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$NPV(r^*) = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1 + r^*)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1 + r^*)^t} = 0$$

및

$$\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1 + r^*)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1 + r^*)^t}$$

<표 1-2>에 있는 회계년도 1999년에서 2007년까지의 비용과 순편익 데이터의 흐름에 기초하여 계산된 NPV를 0이 되게 하는 r^* 값은 1.441이다.

다시 말하면 1.441은 현재 편익과 현재 비용과의 비를 방정식으로 하는 할인율이다.

6.2.2 편익 대 비용 비율

BCR은 표준원 저진공 펌프 성능평가 기술개발의 현재 값 대 업체가 얻은 편익의 비율이다. 비용 대 편익은 통상 활용하는 명목상 할인율 10.0%를 사용하여 계산하였다. BCR은 1999년 현재 값을 사용하여 14.1이었다(비용 : 5억 7천 5백만원, 편익 : 81억 2천만원).

6.2.3 정성적 파급효과

저진공 펌프 성능평가 기술개발에 따른 산업체 지원으로

- 납기의 단축(수리/검사 기간의 단축 포함)
- 동종업체간의 성능비교 가능
- 제품의 이미지 제고
- 현장 업무 로드(load)의 감소
- 제품의 신뢰성 향상 → 기업의 가치 증가

등의 정성적인 파급효과를 거두고 있는 것으로 인식하고 있다.

7. 결론

7.1 저진공 펌프의 경제적 중요성

저진공 펌프가 고급 제품에서 차지하는 비용은 작지만, 경제적인 면에서 우리나라 주력 산업인 반도체 제조 등에 커다란 파급효과를 갖는다.

상대적으로 낮은 연구개발비를 투입한 연구에서 알 수 있는 것은 저진공 펌프 사용자와 공급자 모두 표준원에서 제공하는 저진공 펌프의 성능을 평가하는 유효한 기술을 믿고 있었다는 것이다.

7.2 표준원의 저진공 펌프 성능평가 기술개발의 경제적 파급효과

NIST 등에서는 공공부문에서 진행 중이거나 완료된 연구프로젝트에 대한 사회적 수익률을 산정하기 위해 내부수익률 산정법을 사용한다. 본 사례연구에서 만일 7.2.1에서 계산된 144.1%의 IRR이 표준원의 최소 수용 수익률(hurdle rate) 이상이면 표준원 저진공 펌프 성능평가 기술개발 및 관련된 활동에서의 투자는 사회적 견지에서 볼 때 가치가 있는 것이다. 또한 공동 연구 프로젝트를 위한 약 12%(NIST의 경우)의 최소 수용 수익률과의 비교에서, 저진공 펌프 성능평가 기술개발 투자는 일반적인 경제적 관점으로부터 볼 때 매우 유익하다.

7.3 개선 가능성

사용자가 공급자의 시험결과를 믿지 못하고 다시 중복된 시험을 한다는 것은 저진공 펌프 산업에서 시장실패의 원인이다. 이러한 바람직하지 못한 상황이 나타나는 근본적인 이유는 저진공 펌프 공급자들의 제품 품질을 보증하지 못하기 때문이며, 이러한 문제들은 표준원의 저진공 펌프 성능평가 기술관련 노하우와 직접적으로 연계되어 있기 때문이다. 표준원은 중립적인 위치를 이용하여 이러한 문제들을 극복할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 과학기술부: "진공기술 기반구축 기획연구", 한국과학기술평가원, (1999)
- [2] 한국표준과학연구원: "국가측정표준의 경제적 파급효과분석", (2002)
- [3] 한국표준과학연구원: "저진공 펌프 성능 특성평가 기술개발의 경제적 파급효과 분석", (2003)
- [4] 한국표준과학연구원: "정책 및 모험 연구", (2004)
- [5] 한국표준과학연구원: "진공기술기반구축 사업 활용성과", 설명자료, (2002)
- [6] Gregory Tessey: "Lessons Learned about the Methodology of Economic Impact Studies: the NIST Experience", NIST, SPEA Group, (1998)
- [7] Marx, M., Link, A., and Scott, J.: "Economic Assessment of the Impact of the NIST Thermocouple Calibration Program", NIST Planning Report 97-1, U.S. Department of Commerce, July. (1997)