

연구개발과제의 양적·질적 성과분석지수 개발 : IT핵심기술개발사업을 중심으로

유승훈¹⁾, 이종식²⁾, 김상태³⁾

초 록

질적인 측면을 충분히 감안하지 못한 양적 성과분석은 연구개발 과제의 성과를 제대로 반영하지 못하는 문제점을 안고 있다. 따라서 양적 성과와 질적 성과를 함께 종합적으로 고려할 수 있는 종합적인 성과분석지수를 개발할 필요가 있다. 본 연구에서는 주성분 분석과 동일 가중치를 부여하는 방식을 이용하여, 특허 출원 건수, SCI 게재논문 건수, 기술이전 건수라는 3가지 양적 성과지표와 이에 대응되는 특허 심사청구 항수, 논문게재 학술지의 IF, 총 연구비 대비 기술료 비중의 3가지 질적 성과지표를 성과지표로 고려하면서 성과분석지수를 개발하고자 하였다. 주성분 분석의 적용 결과 특허 출원 건수(0.2160), SCI 논문게재 건수(0.1510), 기술이전 건수(0.1564), 특허 심사청구 항수(0.2257), 논문게재 학술지의 IF(0.2218), 기술료 비중(0.0291)의 가중치를 얻을 수 있었다. 이 6가지 평가지표는 종합평가지수라는 하나의 틀로 결합되어 개별 과제의 성과를 평가하는 데 활용될 수 있다. 더 나아가 양적 성과지표와 질적 성과지표로 구분하여 평가할 수 있다. 가중치 결정 방법에 따라 평가결과가 크게 달라지지는 않았지만, 가중치 결정 방법과 상관없이 양적 성과지표 평가결과와 질적 성과지표 평가결과는 크게 달랐다. 한 가지 흥미로운 점은 과제 평가등급과의 상관관계를 따져보았더니 질적 성과지표와 과제등급과의 상관관계가 양적 성과지표와 과제등급과의 상관관계보다 더 크다는 것이다. 따라서 성과분석에 있어서 질적 성과지표를 반영한 질적 성과분석이 반드시 수행될 필요가 있다. 앞으로 특허 인용도 등 보다 다양한 질적 변수를 확보하여 성과분석지수를 보완할 필요가 있을 것이다.

주제어 : 질적 성과; 양적 성과; 주성분 분석; 성과분석지수

1) 호서대학교 해외개발학과 교수(shyoo@hoseo.edu)

2) 정보통신연구진흥원 성과총괄팀 책임연구원(leejs@iita.re.kr)

3) 정보통신연구진흥원 성과총괄팀 연구원(stkim@iita.re.kr)

1. 서론

현행 양적 위주의 성과분석으로 질(quality)이 낮은 연구성과를 양산하는 문제가 발생할 수 있다. 예를 들어, 2008년 9월 10일 교육과학기술부가 발표한 과학기술논문색인(SCI) 데이터베이스 분석 결과에 따르면 한국에서 2007년에 발표한 SCI 논문은 2만5천494편으로 조사대상 180개국 중 12위를 차지했는데, 이는 2006년과 비교해 1단계 상승한 것이다. 하지만 2007년까지 5년 간 논문 1편당 피인용 횟수도 3.44회로 전년도 조사 3.27회과 비교해 5.2% 늘어났으나, 국가 순위는 28위에서 30위로 하락, 논문의 질 문제가 제기되고 있다.

따라서 질적 성과분석의 필요성이 제기되고 있다. 앞으로는 성과분석시 양적인 측면뿐만 아니라 질적인 측면까지 함께 고려함으로써 연구개발 성과의 질적 수준을 제고하도록 유도할 필요가 있다. 기존에 주로 사용되는 성과분석 평가 지표인 논문건수, IF(Impact Factor), CI(Citation Index)는 [표 1]에 요약된 바와 같이, 나름대로의 한계를 가지고 있다.

[표 1] 논문관련 주요 성과지표의 한계점

성과지표	한계점
논문 건수	<ul style="list-style-type: none"> - 수량 위주의 지표로 분야별 특성을 제대로 반영하지 못함 - 복수저자 논문에서 개인의 실제 기여도를 구별하기 어려움 - 조각 논문에 영향을 많이 받음
학술지 영향력 지수(IF)	<ul style="list-style-type: none"> - IF는 개별논문이 아닌 학술지의 영향력을 나타내는 척도임 - IF 자체로는 분야별 편차를 반영하지 못함
논문 인용수(CI)	<ul style="list-style-type: none"> - 인용횟수는 연구의 질이 아닌 양적 실적만을 측정할 뿐임 - 긍정적 인용과 부정적 인용을 구별할 수 없음 - 논문 인용이 누적되기 위해서는 상당한 기간이 필요 - 자기인용에 영향을 많이 받음

논문건수의 경우 수량 위주의 지표로서 연구분야별 특성을 효과적으로 반영할 수 없다. 아울러 복수저자 논문에서 개인의 실제 기여도를 구별하기가 어렵다. 예를 들어, 입자물리학 분야의 논문의 경우 공저자수가 500명 이상인 사례도 존재한다. 한편 조각 논문의 영향을 많이 받는다.

IF의 경우는 학술지는 영향력 평가하는 지표인데, 개별 논문의 영향력이 아

닌 학술지의 영향력을 나타내는 척도이므로 연구개발사업 성과분석의 평가지표로는 한계점을 안고 있다. 높게 평가받는 논문이라 하더라도 해당 논문이 실린 학술지의 IF 값이 낮다면 부당한 평가를 받을 수 있으며, 낮은 평가를 받는 논문이라도 IF 값이 높은 학술지에 출판된다면 원래의 성과 이상으로 과대평가를 받을 수 있다. 또한 IF 자체로는 분야별 편차를 제대로 반영하지 못한다.

인용수를 의미하는 CI는 연구의 질이 아닌 양적 실적만을 측정할 뿐이다. 또한 긍정적 인용과 부정적 인용을 구별할 수가 없다. 아울러 아무리 훌륭한 논문이라도 논문이 인용되기까지는 상당한 기간이 소요되므로, 좋은 논문이 부당한 평가를 받을 수 있다. 한편 자기인용에 영향을 많이 받는다.

물론 피인용 횟수 자체가 논문의 질적 수준을 제대로 반영하고 있는지에 대해서는 논란의 여지가 있지만, 논문의 질적 수준에 대해 국제적으로 통용되는 중요한 기준임에는 틀림없다.

본 연구의 목적은 연구개발과제의 양적·질적 성과분석지수 개발하여 IT핵심기술개발사업에 적용해 보는 것이다. 이를 위해 먼저 제2장에서 관련 연구사례로서 한국학술진흥재단의 학술연구조성사업 성과분석의 방법론, 절차, 결과, 시사점 등에 대해 검토한다. 다음으로는 제3장에서 여러 질적 성과지표를 통합된 하나의 틀에서 평가할 수 있는 종합평가지수를 산정하는 데 있어서 핵심인 개별 성과지표별 가중치 결정 방법론에 대해 크게 비통계적 접근법과 통계적 접근법으로 구분한 후 각 방법론에 대해 설명한다. 비통계적 접근법으로는 다속성 효용이론, 계층화 분석법, 퍼지집합이론의 3가지가 언급될 것이며, 통계적 방법론으로는 요인분석, 주성분 분석, 프로빗 분석의 3가지를 언급할 것이다. 제4장에서는 2003년부터 2007년 사이에 수행된 IT핵심기술개발사업 과제의 성과자료를 이용하여 질적 성과분석 실증분석을 시도한다. 마지막 장은 결론으로 할애한다.

2. 사례분석 : 한국학술진흥재단의 사례

2.1 평가의 개요

학술연구조성사업은 전 학문분야의 국가 기초연구력 증진과 연구-교육의 연계를 통한 인력양성을 바탕으로 지식강국, 인재강국 실현의 토대를 구축하기 위하여, 교육과학기술부가 지원하고 학술진흥재단이 주관하는 대표적인 기초연

구지원사업으로, 지난 2007년에는 총 3100억 원의 예산으로 4개군 21개 사업의 8,119과제(신규 및 계속)를 지원하였다. 2008년에 개발한 연구성과 추적 시스템 모형은 연구지원등급을 연구비 투입 규모에 따라 구분하고, 연구성과의 양적, 질적 수준을 측정하기 위한 정량적 결과 지표로서, SCI 논문이 게재된 학술지의 영향도 지수(IF), 1차 피인용 횟수, 2차 피인용 횟수로 설정하여 투입변수와 결과변수간의 인과관계를 측정할 수 있도록 개발되었다.⁴⁾

연구성과를 평가하기 위해 고안된 성과측정용 지표(이하 복합지표)는 학술지의 질적 수준을 측정하기 위해 많이 활용되고 있는 미국의 ISI SCI(Science Citation Index)의 저널평가지수인 IF와 실제 논문의 과급 정도를 알 수 있는 1, 2차 피인용 횟수를 복합적으로 사용하여 만들어진 지표(기준)로서, 연구비의 지원규모에 따라 성과의 수준을 평가할 수 있는 선진적인 성과평가지표라 할 수 있다.⁵⁾

이 복합지표를 활용하여 연구비 규모에 따라 평가등급을 정함으로써 지원된 연구비의 규모별로 과제, 사업, 대학 등의 연구성과에 대한 질적 평가를 도출할 수 있으며, 연구자별 성과논문의 지표값에 따라 우수성과 논문을 측정하는 기준으로 활용될 수 있다.

구체적인 연구 내용을 살펴보면, 인문사회를 포함한 전 학문분야의 기초연구를 지원하는 학술연구조성사업의 연구성과 중 2003~2007년에 게재된 SCI급 논문의 1차 피인용 횟수는 평균 3.56회로 국가평균 1차 피인용 횟수(최근 5년간 평균) 2.65회보다 약 1.34배 높은 것으로 조사되었으며, 특히 5개 대표 연구지원사업(기초연구과제, 신진교수, 우수학자, 지역대학우수과학자, 여성과학자)의 경우 1차 피인용 횟수가 평균 3.79회로 국가평균대비 1.43배 높은 것으로 나타났다.

4) 논문의 1차 피인용 횟수는 논문이 다른 논문에 인용된 횟수를 의미하며 논문의 직접적인 전파효과에 대한 판단기준으로 활용된다. 논문의 2차 피인용 횟수 : 어떤 논문을 인용한 논문이 다시 인용된 횟수를 합한 수치로서, 궁극적으로 한 논문이 2단계 걸쳐 인용된 현황을 파악하여 연구결과가 전파되어 미치는 수준을 파악할 수 있는 간접적인 증거이다.

5) SCI는 과학인용색인(Science Citation Index)의 약자로 미국 톰슨-로이터사에서 개발되어 세계적인 유수 저널의 논문 색인과 인용정보가 수록된 데이터베이스임. 이 데이터베이스를 통해 과학분야 학술저널의 수준을 평가하는 지표인 영향도지수(Impact Factor) 등의 정보를 제공하고 있으며, 재단이 조사한 SCI급 논문은 SCI DB와 사회과학분야 SSCI(Social Science Citation Index), 인문예술분야 A&HCI(Art & Humanity Citation Index) DB를 포함하여 전 학문분야에 걸친 우수논문을 말함(SCI Expanded(확장본) 포함)

연구비 지원규모에 따른 성과논문의 질적 수준을 파악하기 위하여 이번 연구에서 개발된 복합지표를 적용하여 대학별 SCI 논문의 질적 평가를 실시하였으며, 개별 프로그램에 대한 평가도 수행하였다. 최근 우수한 연구 성과 도출과 성과평가에 대한 국가적 관심이 높아지는 것이 세계적인 추세인데, 이 연구를 통해 연구지원 사업의 합리적인 성과평가를 위한 측정방법이 개발되었으며 향후에도 효율적인 국가연구지원사업의 추진을 위해 더욱 노력을 기울여 나갈 필요가 있다.

2.2 분석 모형

한국학술진흥재단은 재단에서 주관하는 학술연구조성사업의 연구성과 중 2003~2007년에 게재된 SCI급 논문의 피인용도 조사 결과를 2008년 6월에 발표하였다. 이번 조사 결과는 재단의 성과분석팀과 성균관대 연구팀이 학술연구조성사업의 지원을 받아 도출한 연구성과 중 최근 5년간(2003년 1월~2007년 10월) SCI급 논문 7,675편의 피인용 정보를 통해 연구비 규모에 따른 논문의 질적 수준을 고려한 새로운 ‘평가복합지표모형’을 개발하여 사업별, 과제별, 소속대학별 연구성과를 추적 조사한 것이다. 이 모형의 내용은 [그림 1]에 요약되어 있다.

모형 개발 절차	모형 개발 내용
모형대상 변수도출 ↓	<ul style="list-style-type: none"> • 연구성과 추적을 위한 모형에 사용할 질적, 양적 변수 도출 • 변수를 ‘복합지표 사용’, ‘등급 사용’, ‘Y값 사용’으로 구분함
복합지표 산정 ↓	<ul style="list-style-type: none"> • 복합지표에 사용될 변수를 대상으로 적용 가중치를 산정 • 가중치를 이용한 복합지표를 산정
적용등급 산정 ↓	<ul style="list-style-type: none"> • 복합지표를 적용하기 위한 등급을 산정
등급별 복합지표 산정	<ul style="list-style-type: none"> • 최근 5년간 학진자료를 대상으로 등급별 복합지표를 산정

[그림 1] 한국학술진흥재단의 평가복합지표모형

이 모형은 학술진흥재단의 사업별 과제의 결과물인 논문 각각에 대하여 성과를 측정할 수 있도록 하는 복합지표의 내용을 담고 있다. 먼저 선행된 사회연결망, 데이터마이닝, 의사결정지원시스템을 이용한 학술진흥재단 자료분석 결과를 종합하여 복합지표모형에 사용될 수 있는 질적 변수와 양적 변수를 [표 2]와 같이 선별하였다. 다음 단계로 복합지표를 산정하기 위해 각 변수별 가중치를 산정해야 하는데, 이를 위해 Alyuda Forecaster XL을 이용하였으며, 그 결과는 [표 3]과 같다. 따라서 연구성과 극대화를 위한 성과 측정용 복합지표식은 [표 4]와 같이 구성된다.

[표 2] 모형에서 사용된 질적 변수 및 양적 변수

구분	변수 명	복합지표 사용	등급 사용	Y값 사용
질적 변수	Impact Factor	○		
양적 변수	1차 피인용 횟수	○		
	2차 피인용 횟수	○		
	연구비		○	○
	연구기간			○
	참여연구원수			○

주) Y는 복합지표를 구성하는 변수간의 가중치를 구하기 위하여 사용되는 종속변수임

[표 3] 복합지표 대상 변수의 가중치

구분	변수 명	가중치	가중치 누적값
질적 변수	Impact Factor	0.514	0.514
양적 변수	1차 피인용 횟수	0.393	0.907
	2차 피인용 횟수	0.093	1

[표 4] 복합지표의 식

$$\text{복합지표} = \text{Impact Factor} * (0.514) + 1\text{차 피인용횟수} * (0.393) + 2\text{차 피인용횟수} * (0.093)$$

2.3 적용등급 및 등급별 복합지표 산정

학술진흥재단이 지원한 사업별 과제의 결과물인 논문 중에서 출판년도 기준으로 2003년부터 2007년까지의 자료 7,675개에 대해 연구비 규모 기준으로 등급을 4단계로 구분하였는데, 구체적인 적용등급은 [표 5]의 첫 번째 열에 제시되어 있다. 이 모형 개발의 의의는 3가지로 요약된다. 첫째, 연구비를 기준으로 개별 논문의 등급을 미리 책정한 다음 복합지표를 적용하기 때문에 사업별, 과제별 규모에 맞는 성과 측정이 가능하다. 둘째, 사업별, 과제별 논문의 복합지표에 대한 평균을 구하면 해당 사업 또는 과제에 대한 종합적인 성과 측정이 가능하다. 셋째, 과거 5년 간의 데이터에서 추출된 모형이기 때문에 측정 대상인 논문에 대하여 비교적 정확하게 A(우수), B(보통), C(미흡), D(부적정)으로 성과 측정이 가능하다. [표 5]는 A대학교의 연구성과 현황을 요약하고 있다. 여기서 SCI 논문수는 학술연구조성사업을 통해 산출된 논문에 국한된다.

[표 5] A대학교의 성과 현황

지원연구비 대비 등급	SCI 논문수	점유율 (%)	IF 평균	1차피인용 횟수평균	2차피인용 횟수평균	복합지표 평균
165.0백만원 이상 대규모 과제	223	34.20	2.47	3.82	12.45	3.93
59.2백만원 이상 165.0백만원 미만 중규모 과제	160	24.54	3.22	6.08	4.10	4.43
28.6백만원 이상 59.2백만원 이하 중소규모 과제	143	21.93	2.75	7.00	4.22	1.67
28.6백만원 미만 중소규모 과제	126	19.33	2.06	2.88	1.88	4.54
소계	652	8.50	2.64	4.89	6.55	3.88

3. 세부 평가지표의 종합화 방법론

3.1 가중치 도출의 필요성

성과분석을 위한 여러 세부 평가지표를 하나로 종합화한 것을 우리는 지수(index)라고 한다. 어떤 지수이건 간에 지수체계를 살펴보면 다양한 평가지표들로 구성되어 있기 마련이다. 또한 동일한 목적을 갖는 지수라 하더라도 연구자에 따라, 시대적·사회적 상황에 따라, 평가의 목적과 시각에 따라 세부 평가지표는 얼마든지 다를 수 있다. 뿐만 아니라 질적 성과분석을 위한 평가지수 개발에서의 여러 평가지표는 동일한 비중으로 다뤄지는 것보다는 평가의 목적에 따라 적절한 가중치가 부여되는 것이 바람직하다. 예를 들어, 현재의 성과 측면을 중시하느냐, 아니면 인프라 측면에 대한 잠재능력을 중시하느냐의 문제에 있어서 평가기관이 처한 상황에 따라 또 평가기관의 구성원이 처한 상황에 따라 가중치가 달라질 수 있다.

여러 평가지표에 대한 평가점수를 종합화하기에 앞서, 여러 평가지표에 대한 가중치를 구하는 것이 중요하게 된다. 질적 성과분석을 위한 평가지표의 상대적 중요도를 도출하기 위해서는 다양한 분야의 이해관계자 및 전문가의 견해를 종합적으로 반영할 수 있는 기법을 선택해야 한다. 다른 대안으로 통계적인 측면에서 가중치를 결정할 수도 있다. 물론 평가지표 간의 중요도를 각각 비교하거나, 그 우선순위를 도출할 수 있는 어떤 객관적인 모형 또는 정량적인 틀을 설정하는 일은 결코 쉬운 작업이 아니다. 특히 전문가의 견해를 반영할 때, 노벨 경제학상 수상자인 Kenneth Arrow가 증명한 불가능성 정리(impossibility theorem)에 따라, 모든 사람을 만족시키는 가중치의 결정방법은 지구상에 존재하지 않는다.

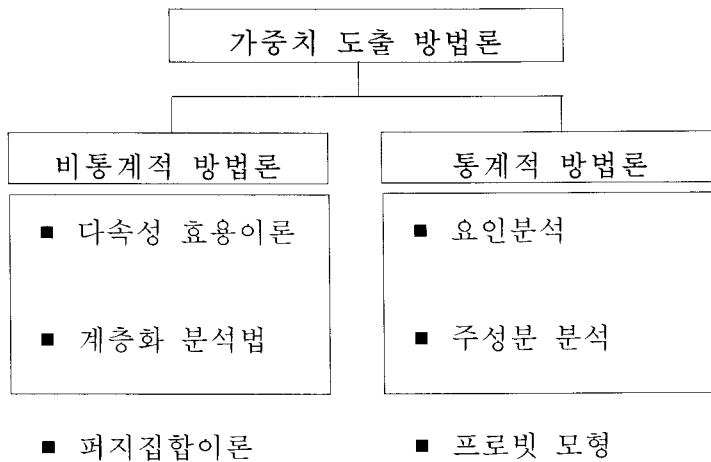
따라서 가중치를 결정하는 작업은 최대한 신중하게 이뤄져야 하며, 가중치 결정에 관한 최근의 학문적 발전에 근거해야 한다. 따라서 본 절에서는 우선 가중치 결정과 관련된 다양한 방법론적 이론들을 살펴보고자 한다. 광범위한 국내외 문헌조사에 근거하여 가중치 도출에 적용가능한 방법론들을 소개할 것이다. 다음으로 제4절에서는 여러 평가지표로 구성된 지수체계를 구성한 다음에, 본 연구에서 선정된 가중치 결정방법론의 적용 절차를 설명하고, 질적 성과분석에 필요한 가중치를 실제로 도출한다. 아울러 실제 자료를 적용하여 질적 성과분석을 시도한다.

3.2 가중치 도출 방법론의 분류

가중치 도출을 위한 방법론은 크게 비통계적(non-statistical) 방법론과 통계적(statistical) 방법론으로 구분할 수 있으며, 세부적인 내용은 [그림 2]로 요약될 수 있다. 비통계적인 방법론은 최종점수를 구성하는 각 평가지표에 대해 점수라는 개념을 사용하여 전문가와 이해당사자의 견해를 이끌어내고 이것을 수치로 변환하여 각 평가지표의 가중치를 산출하는 방식을 취한다.

하지만 비통계적 방법론을 운용시, 전문가와 이해당사자를 최대한 객관적인 방법으로 섭외하고 설문지의 작성을 의뢰해야 하는데 현실적으로 객관성을 완벽하게 유지하기란 쉽지 않다. 따라서 평가지수의 객관성 및 공정성에 대해 공격을 받기가 쉽다.

통계적 방법론은 최종점수를 구성하는 각 평가지표에 해당하는 실제 자료의 값을 가지고, 각 변수들의 상관관계나 공통요인 등을 추출하여 각 평가항목에 대한 가중치를 설정하는 데 응용될 수 있다. 다수의 평가지표라는 다차원(multi-dimension)의 문제를 통계학적인 관점에서 단일차원(single dimension)의 문제로 단순화시키기 때문에 소위 전문가라는 집단의 임의적 판단을 배제할 수 있는 장점을 가진다. 하지만 가치판단이 개입되지 못하고 통계적인 관점에서만 가중치가 결정된다는 점에서 한계점도 존재한다.



[그림 2] 가중치 도출 방법론의 구분

즉, 비통계적인 방법론이 전문가, 이해당사자 또는 일반대중의 가치판단에 근

거하여 개별 평가지표를 수학적으로 결합하는 가중치 또는 개별지표의 중요도를 유도한다면, 통계적인 방법론은 인간의 판단에 근거하지 않고, 통계적인 절차에 의해 가중치 또는 중요도를 계산하는 과정을 취한다.

본 연구에서는 가중치 도출 방법론으로 비통계적 방법론을 먼저 고찰한 다음에, 통계적 방법론에 대해 살펴본다. 비통계적 방법론에는 대표적으로 다속성 효용이론, 계층화 분석법, 퍼지집합이론이 있다. 대표적인 통계적 가중치 결정 방법론으로는 요인분석, 주성분 분석, 프로빗 모형 등이 있다.

3.3 주성분분석

3.3.1 주성분분석의 개요

주성분분석은 변수들이 지닌 정보를 압축하여 예측에 필요한 최소한의 요인들을 추출하는 것을 목적으로 한다. 주성분분석은 변수들로부터 어떤 요인을 추출한다는 점에서 요인분석과 동일한 연구방법론의 범주에 속할 수 있다. 그러나 요인분석이 변수들의 저변에 공존하지만 쉽게 인지할 수 없는 특성을 규명하고자 하는 것을 목적으로 한다는 점에서 두 방법론 사이에는 차이점이 있다. 주성분분석과 요인분석의 차이점은 [표 6]에 정리하였다.

[표 6] 주성분분석과 요인분석의 차이점

구 분	주성분분석	요인분석
분석목적 측면	변수들이 가진 정보를 압축한 최소한의 요인추출	변수들에 내재하지만 쉽게 인지할 수 없는 요인의 규명
분석방법 측면	총분산을 요인적재치행렬에 적용함	공통분산만을 요인적재치행렬에 적용함
사전지식수준 측면	총분산 중 특수분산과 오차분산이 차지하는 비율이 적음을 알고 있을 경우에 사용함	특수분산이나 오차분산에 대한 사전지식이 전혀 없어, 이러한 분산을 분석에서 제외하고자 할 때 사용함

주성분분석은 상관관계행렬의 대각선 항을 1로 대체함으로써 총분산⁶⁾을 요인적재치행렬에 적용한다. 또한 주성분분석은 분석가가 예측을 목적으로 원래 변수들의 변량을 최대한 반영하는 최소한의 요인을 추출하고자 할 경우, 총분산 중 특수분산과 오차분산이 차지하는 비율이 적음을 알고 있을 경우에 사용된다.

여러 개의 양적 변수들 사이의 분산-공분산 관계를 이용하여 이 변수들의 선형결합(linear combination)으로 표시되는 주성분(principal component)을 찾고, 이 중에서 중요한 m 개의 주성분으로 전체 변동의 대부분을 설명하고자 하는 다변량 분석법이 주성분분석이다(송문섭·조신섭, 1997).

주성분분석은 자료의 요약이나 선형 관계식을 통하여 차수(dimension)를 감소시켜 해석을 용이하게 하는데 목적이 있다. 여기서 얻어진 주성분은 회귀분석에서 포함시킬 설명변수의 수를 결정하는 데 사용되기도 하며, 군집분석(cluster analysis) 등과 같은 분석법의 입력변수로서 이용되기도 한다. 특히 요인분석에서는 요인을 구하는 방법 중의 하나로 사용된다. 이외에도 처음 몇 개의 중요한 주성분들의 산점도(scatter diagram)는 정규성 검정에 이용되며, 별로 중요하지 않은 주성분들이 산점도는 이상점의 탐색에 이용되기도 한다.

3.3.2 주성분의 개념

주성분분석에서는 변수들 사이의 관계를 분석하기 위해서는 주로 공분산행렬(covariance matrix) 또는 상관행렬(correlation matrix)을 사용한다. 예를 들어, 주성분의 개념에 대해 설명하면 다음과 같다. 110명에 대해 키(x_1), 몸무게(x_2), 가슴둘레(x_3)를 관측했다고 하자. 이들의 상관행렬에서 고유값은 (2.1, 0.6, 0.3)이며 다음과 같은 주성분을 얻었다고 하자.

6) 총분산은 한 변수가 다른 변수들과 공유하는 분산을 뜻하는 공통분산(common variance), 한 변수가 특정변수와 공유하는 분산인 특수분산(specific variance), 그리고, 자료수집단계와 측정과정에서 발생하는 분산인 오차분산(error variance)으로 구성된다.

$$y_1 = 0.8x_1 + 0.5x_2 + 0.3x_3$$

$$y_2 = -0.5x_1 + 0.8x_2 + 0.3x_3$$

$$y_3 = -0.3x_1 + 0.3x_2 + 0.9x_3$$

제1주성분인 y_1 은 x_1, x_2, x_3 의 계수가 모두 양수이므로 크기(size)를 나타내는 변수로 해석할 수 있으며, y_2 및 y_3 는 모양(shape)을 나타내는 변수로 해석할 수 있다. 또한 제1주성분인 y_1 만으로 전체 변동의 70% ($2.1/3=0.7$)를 설명할 수 있으며, (y_1, y_2) 로는 전체의 90% ($(2.1+0.6)/3=0.9$)를 설명할 수 있으므로, (x_1, x_2, x_3) 대신에 y_1 또는 (y_1, y_2) 로 인체의 특성을 나타낼 수 있다.

4. 양적 · 질적 성과분석지수 개발 실증분석

4.1 분석절차

본 연구에서는 질적 성과분석을 위해 2003년~2007년에 착수한 선도기반기술개발사업의 기술개발 과제를 대상으로 한다. 자료를 확인한 결과 성과분석을 위해 사용가능한 지표로는 2003년부터 2007년까지의 SCI 논문 게재건수, 논문게재 학술지의 IF, 게재된 논문의 인용횟수(CI), 특허등록수, 기술이전건수, 기술료(가 있었다.)⁷⁾ 따라서 실제로 이용한 질적 변수는 논문게재 학술지의 IF, 기술이전건수, 기술료이며, SCI 논문게재건수, 게재된 논문의 인용횟수(CI), 특허등록건수는 양적 변수에 해당한다. 이 중에서 CI는 양적인 변수이긴 하지만 질적 성과도 어느 정도 나타낸다고 볼 수 있다.

요컨대 본 연구에서는 3개의 질적 성과지표와 3개의 양적 성과지표를 체계적으로 결합하는 종합평가지수를 개발한다. 이렇게 질적 지표와 양적 지표를 결합함으로써 개발 과제를 평가할 수 있는 정량적 지표를 만들어 낼 수 있다. 논문출판 학술지의 IF를 계산하는 데 있어서 발표된 논문이 여러 편인 경우에는 개별 학술지 IF의 평균값을 취하며, 출판된 논문의 인용횟수도 마찬가지로

7) 특허인용도도 고려하였으나 거의 대부분의 과제에 대해 0의 값을 가져 실제 이용은 용이하지 않았다.

개별 논문 인용횟수의 평균값을 취한다.

따라서 종합평가지수는 다음과 같은 형태를 취한다.

$$\text{종합평가지수} = \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \beta_3 \cdot X_3 + \beta_4 \cdot X_4 + \beta_5 \cdot X_5 + \beta_6 \cdot X_6$$

여기서 $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$ 는 $\sum_{i=1}^6 \beta_i = 1$ 을 만족시키는 가중치이며,

$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$ 는 각각 SCI 논문 게재건수, 게재논문의 인용횟수, 특허등록건수, 논문게재 학술지의 IF, 기술이전건수, 기술료를 의미한다. 즉 앞의 3개 변수는 양적 변수이며 뒤의 3개 변수는 질적 변수이다.

4.2 가중치의 결정

지표 간의 가중치를 도출하는 방법은 앞서 살펴보았듯이, 통계적 방법과 전문가가 관련 이해당사자의 의견을 반영하는 비통계적 방법이 있다. 물론 자의적(Arbitrary) 방법도 존재한다. 자의적 방법은 지표를 산출하는 소수의 전문가들에 의해 항목간 가중치가 결정되는 방법으로서, IMD의 국가경쟁력 평가가 대표적이다. IMD의 국가경쟁력지수는 각 개별항목의 통합을 위해 정량적 지표에 대해 2/3의 가중치를, 정성적 지표에 대해서는 1/3의 가중치를 임의로 부여하여 통합지수를 산출하고 있다.

통계적 방법은 세부지표들간의 통계적 관계에 의해 가중치를 결정하는 방법으로서 요인분석이나 주성분분석 방법이 가장 많이 사용된다. 미국의 국가경쟁력위원회의 혁신지수는 회귀분석의 계수를 가중치로 활용하여 최종 혁신지수를 도출하고 있으며, 일본 과학기술정책연구소의 종합과학기술지수는 요인분석결과를 개별지표의 가중치로 결정하고 있다.

전문가 의견에 기초한 방법은 세부지표들의 중요성 순위에 대한 전문가 혹은 이해 당사자들의 의견에 따라 가중치를 결정하며, 다속성 효용이론, 계층화 분석법, 퍼지집합이론 등이 사용되는데 주로 지표산출과 관련된 연구논문에서 방법론으로 사용된다.

전문가 의견에 기초한 가중치 도출방법은 도출된 가중치 수치가 복잡하고, 매년 변동될 수 있어 계산과정이 복잡해질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 주성분분석을 통해 가중치를 결정하되, 별도의 가중치를 주지 않고, 즉 동일한 가

중치를 부여한 평가도 평행하여 두 결과를 비교해 본다.

4.3 자료의 표준화

선정된 6개의 평가지표는 측정 단위 및 기준, 분포 유형 등이 서로 상이하다. 따라서 이와 같이 이질적인 변수들을 동일한 기준에서 평가하기 위해서는 자료의 표준화(normalization) 과정이 필수적으로 요구된다. 예를 들어, 논문발표건수는 건수로 표시되며, IF는 비율로 표시된다. 자료의 표준화 방법에는 [표 7]과 같이 여러 방법이 있으나, 자료의 분포를 표준정규분포로 변환하였을 때의 값인 Z값으로 변환하는 방법, 최대값 및 최소값과의 거리로 변환하는 Re-scaling 방법 등이 널리 사용된다.

[표 7] 자료의 표준화 방법

- Z값 : $(\text{실제값} - \text{평균값}) / \text{표준편차}$
- Re-scaling: $[(\text{실제값} - \text{최소값}) / (\text{최대값} - \text{최소값})]$
- Distance from group leader: $(\text{측정치} / \text{최대치}) * 100$
- Distance from the mean: $(\text{측정치} / \text{평균치}) * 100$
- Categorical Scale: 고, 중, 저 등

본 연구에서는 종합평가지수의 계산 및 과제간 비교를 용이하게 하기 위하여 최대값을 갖는 과제가 1, 최소값을 갖는 과제가 0의 수치를 가질 수 있도록 Re-scaling 방법을 적용한 다음에, 다시 100을 곱해 100점 만점으로 전환한다. 이러한 접근방식은 EIU(2007)에서 IT산업의 경쟁력 평가지수를 개발할 때 사용된 것이며⁸⁾, 국가과학기술혁신역량지수를 개발할 때도 적용되었던 방식이다.

4.4 자료 및 가중치

8) EIU(2007), *The means to compete Benchmarking IT industry competitiveness.*

2003년부터 2007년까지 수행된 총 288개의 자료를 대상으로 한다. 주성분 분석을 적용하였는데, 첫 번째 성분이 전체의 27.4%를 설명한다. 아울러 모든 계수의 부호가 양수라 가중치로 사용하기에도 적합하였다. 각 계수의 합이 1이 되도록 정규화시키면 추정된 가중치는 [표 8]과 같이 계산된다. 즉 논문게재 학술지의 IF에 대한 가중치 값이 가장 크며, 다음으로 게재논문의 인용횟수, 특허등록 건수, SCI 논문게재 건수, 기술이전건수, 기술료의 순서이다. 기술료에 대한 가중치 값이 가장 작음을 알 수 있다. 동일 가중치를 부여한다면 6개 평가지표 모두 1/6이라는 가중치를 가지게 된다.

[표 8] 주성분 분석을 이용한 가중치 도출결과

SCI 논문게재 건수 (β_1)	게재 논문의 인용횟수 (β_2)	특허등록 건수 (β_3)	논문게재 학술지의 IF (β_4)	기술이전 건수 (β_5)	기술료 (β_6)	계
0.1489	0.2402	0.2046	0.2819	0.0869	0.0375	1.0000

편의상 2003년 및 2004년에 25개 과제의 6개 성과지표에 해당하는 값과 주성분분석 및 동일 가중치를 적용한 결과는 [표 9]에 제시되어 있다. 주성분 분석을 이용한 경우와 동일 가중치를 준 경우는 약간의 차이가 있으나 큰 차이는 없음을 알 수 있다.

다음으로 살펴볼 것은 양적 성과지표를 이용한 분석결과와 질적 성과지표를 이용한 분석결과를 서로 비교하는 것이다. 양적 성과지표를 이용한 점수(M_1)와 질적 성과지표(M_2)를 이용한 점수는 각각 다음과 같이 계산된다.

$$M_1 = \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \beta_3 \cdot X_3$$

$$M_2 = \beta_4 \cdot X_4 + \beta_5 \cdot X_5 + \beta_6 \cdot X_6$$

주성분분석을 이용한 경우와 동일 가중치를 이용한 경우 각각에 대해 양적 성과지표를 이용한 평가결과와 질적 성과지표를 이용한 평가결과는 [표 10]에 제시되어 있다. 양적 성과지표의 순위와 질적 성과지표의 순위 사이에는 제법 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 이러한 양상은 주성분분석을 이용하느냐 또는

동일 가중치를 이용하느냐에 상관없이 동일하게 나타나고 있다. 예를 들어, 5 번째 과제의 경우 주성분분석 이용시 양적 성과지표는 17위였으나, 질적 성과지표는 1위를 차지하였다. 또한 동일 가중치를 사용했을 때, 12번째 과제의 경우 양적 성과지표의 값이 23위였지만 질적 성과지표의 값은 1위였다.

[표 9] 2003년 및 2004년에 착수한 25개 과제의 종합평가 결과

SCI 논문게재 건수	게재 논문의 인용횟수	특허등록 건수	논문게재 학술지의 IF	기술이전 건수	기술료	주성분분석		동일 가중치	
						종합평가 지수	순 위	종합평가 지수	순 위
0.0000	16.6667	9.0909	8.3596	0.0000	0.0000	8.2206	19	5.6862	19
0.0000	11.1111	4.8951	20.0630	0.0000	0.0000	9.3269	17	6.0115	18
0.0000	16.6667	13.2867	0.0000	18.1818	3.5000	8.4327	18	8.6059	15
0.0000	0.0000	16.0839	30.3853	27.2727	3.3611	14.3516	12	12.8505	11
0.0000	0.0000	15.3846	100.0000	0.0000	0.0000	31.3393	3	19.2308	4
6.6667	25.0000	2.7972	17.4582	0.0000	0.0000	12.4925	13	8.6537	14
6.6667	25.0000	3.4965	46.2321	0.0000	0.0000	20.7474	8	13.5659	9
20.0000	18.0556	0.0000	11.0613	18.1818	5.0609	12.2027	14	12.0599	12
0.0000	0.0000	0.0000	7.3177	18.1818	5.0000	3.8295	23	5.0832	22
0.0000	0.0000	3.4965	0.0000	9.0909	0.2778	1.5154	25	2.1442	25
0.0000	11.1111	100.0000	24.6184	0.0000	0.0000	30.0703	4	22.6216	3
0.0000	0.0000	2.0979	40.5622	54.5455	8.4000	16.9166	10	17.6009	8
6.6667	13.8889	9.7902	18.1245	0.0000	0.0000	11.4419	15	8.0784	16
0.0000	0.0000	3.4965	7.3177	9.0909	1.1111	3.6096	24	3.5027	24
0.0000	0.0000	0.0000	21.1534	9.0909	0.6667	6.7780	22	5.1518	21
0.0000	11.1111	13.9860	29.6099	9.0909	1.6667	14.7304	11	10.9108	13
0.0000	5.5556	16.0839	8.4323	0.0000	0.0000	7.0027	21	5.0120	23
0.0000	0.0000	9.7902	54.9067	36.3636	8.3111	20.9520	7	18.2286	6
0.0000	0.0000	4.8951	32.6387	0.0000	0.0000	10.2029	16	6.2556	17
0.0000	100.0000	11.1888	76.8839	9.0909	1.3889	48.8287	1	33.0921	1
0.0000	5.5556	5.5944	20.0630	0.0000	0.0000	8.1353	20	5.2022	20
26.6667	3.3333	2.7972	46.9784	0.0000	0.0000	18.5877	9	13.2959	10
6.6667	30.5556	2.7972	60.5282	9.0909	0.2778	26.7692	5	18.3194	5
60.0000	40.0000	3.4965	62.8738	0.0000	0.0000	36.9838	2	27.7284	2
0.0000	27.7778	39.8601	30.3853	9.0909	1.3333	24.2344	6	18.0746	7

따라서 양적 성과지표의 평가결과와 질적 성과지표의 평가결과 사이에는 유

의한 차이가 존재한다고 결론을 내릴 수 있다. 양적 성과지표만 가지고 과제를 평가해서는 안 되며, 질적 성과지표까지도 함께 고려하여 과제를 평가해야 한다는 시사점을 얻을 수 있다.

이제 마지막 단계로 개별 과제에 대한 최종 평가등급과 본 연구에서 앞서 도출한 종합평가지수와 관계에 대해 살펴보고자 한다. 과제 평가등급은 0이 실질불량, 1이 평가제외, 2가 연차점검, 3이 보통, 4가 우수, 5가 아주우수이다. 상관계수 계산결과는 [표 11]에 제시되어 있다. 주성분분석 사용의 경우와 동일 가중치 사용의 경우에 상관없이 질적 성과지표 평가결과와 종합평가지수는 평가등급과 양의 상관관계를 보이고 있다. 반면에 양적 성과지표 평가결과와 평가등급은 음의 상관관계를 보이고 있다. 이 점은 양적 성과지표 평가결과와 평가등급이 조화를 이루지 못하고 있음을 의미한다. 따라서 질적 성과지표와 종합평가지수는 과제 평가등급을 잘 반영한다고 볼 수 있지만, 양적 성과지표는 과제 평가등급을 잘 반영하지 못한다고 볼 수 있다.

[표 10] 양적 성과지표 및 질적 성과지표의 평가결과 비교

주성분분석						동일 가중치					
양적 성과지표		질적 성과지표		종합 성과지표		양적 성과지표		질적 성과지표		종합 성과지표	
값	순위	값	순위	값	순위	값	순위	값	순위	값	순위
5.8639	11	2.3567	23	8.2206	19	4.2929	12	1.3933	25	5.6862	19
3.6708	15	5.6561	15	9.3269	17	2.6677	16	3.3438	18	6.0115	18
6.7224	9	1.7103	24	8.4327	18	4.9922	11	3.6136	17	8.6059	15
3.2909	16	11.0607	9	14.3516	12	2.6807	15	10.1699	7	12.8505	11
3.1478	17	28.1915	1	31.3393	3	2.5641	17	16.6667	2	19.2308	4
7.5708	7	4.9217	18	12.4925	13	5.7440	8	2.9097	22	8.6537	14
7.7138	6	13.0335	8	20.7474	8	5.8605	7	7.7054	9	13.5659	9
7.3155	8	4.8872	19	12.2027	14	6.3426	6	5.7173	12	12.0599	12
0.0000	24	3.8295	20	3.8295	23	0.0000	24	5.0832	15	5.0832	22
0.7154	21	0.8000	25	1.5154	25	0.5828	21	1.5614	23	2.1442	25
23.1301	2	6.9403	13	30.0703	4	18.5185	2	4.1031	16	22.6216	3
0.4292	23	16.4873	6	16.9166	10	0.3497	23	17.2513	1	17.6009	8
6.3324	10	5.1096	17	11.4419	15	5.0576	10	3.0208	20	8.0784	16
0.7154	21	2.8942	21	3.6096	24	0.5828	21	2.9199	21	3.5027	24
0.0000	24	6.7780	14	6.7780	22	0.0000	24	5.1518	14	5.1518	21

5.5309	12	9.1995	12	14.7304	11	4.1829	13	6.7279	11	10.9108	13
4.6255	14	2.3772	22	7.0027	21	3.6066	14	1.4054	24	5.0120	23
2.0032	19	18.9489	3	20.9520	7	1.6317	19	16.5969	3	18.2286	6
1.0016	20	9.2014	11	10.2029	16	0.8159	20	5.4398	13	6.2556	17
26.3123	1	22.5164	2	48.8287	1	18.5315	1	14.5606	4	33.0921	1
2.4793	18	5.6561	15	8.1353	20	1.8583	18	3.3438	18	5.2022	20
5.3438	13	13.2439	7	18.5877	9	5.4662	9	7.8297	8	13.2959	10
8.9054	5	17.8638	4	26.7692	5	6.6699	5	11.6495	5	18.3194	5
19.2587	3	17.7251	5	36.9838	2	17.2494	3	10.4790	6	27.7284	2
14.8288	4	9.4056	10	24.2344	6	11.2730	4	6.8016	10	18.0746	7

[표 11] 종합평가지수와 평가등급과의 상관계수

구분	주성분분석			동일 가중치		
	양적 성과지표	질적 성과지표	종합평가지 수	양적 성과지표	질적 성과지표	종합평가지 수
상관계수값	-0.0089	0.0259	0.0085	-0.0016	0.0899	0.0509

5. 결론

질적인 측면을 충분히 감안하지 못한 양적 성과분석은 과제의 성과를 제대로 반영하지 못하는 문제점이 발생할 여지를 안고 있다. 이런 관점에서 한국학술진흥재단에서 학술연구조성사업을 평가해 본 것은 나름대로 참신한 시도였다고 판단된다. 하지만 지수체계를 구성하는 데 있어서 변수간의 규모(scale)를 유사하도록 조정하는 작업이 추가적으로 수행될 필요가 있었다.

여러 성과지표를 하나의 종합평가지수로 결합해야 체계적인 평가가 가능하데 이 때 핵심은 성과지표간 가중치를 정하는 것이다. 가중치를 도출하는 방법론은 구조화된 설문지 및 분석기법을 통해 전문가 혹은 이해당사자의 견해를 종합적으로 반영하는 비통계적 방법론과 통계적인 분석기법을 이용하는 통계적 방법론으로 구분되었다. 전자에는 다속성 효용이론, 계층화 분석법, 퍼지집합이론의 3가지가 있으며, 후자에는 요인분석, 주성분 분석, 프로빗 모형의 3가지가 있다.

각 방법론은 나름대로의 장단점이 있으나, 본 연구에서는 여러 여건을 고려하여 주성분 분석을 이용하되, 동일 가중치를 부여하는 방식도 함께 적용하였다. 고려한 성과지표로는 SCI 게재논문 건수, 게재논문 인용건수(CI), 특허등록건수의 3가지 양적 성과지표와 게재학술지의 영향력 지수(IF), 기술이전건수, 기술료의 3가지 질적 성과지표가 있었다. 따라서 본 연구는 양적 성과분석뿐만 아니라 질적 성과분석도 함께 수행했다고 말할 수 있다.

이 6가지 평가지표는 종합평가지수라는 하나의 틀로 결합되어 개별 과제의 성과를 평가하는 데 활용될 수 있었다. 더 나아가 양적 성과지표와 질적 성과지표로 구분도 하여 평가할 수 있었다. 가중치 결정 방법에 따라 평가결과가 크게 달라지지는 않았지만, 양적 성과지표 평가결과와 질적 성과지표 평가결과는 크게 달랐다. 한 가지 흥미로운 점은 과제 평가등급과의 상관관계를 따져보았더니 질적 성과지표와 종합평가지수는 양의 상관관계를 가졌지만 양적 성과지표는 음의 상관관계를 가졌다는 것이다.

무엇보다도 다양한 질적 변수의 확보가 필요하다고 판단된다. 더 나아가 질적 변수와 양적 변수를 하나로 지수로 통합하기 위한 노력도 좀 더 경주될 필요가 있다. 그렇게 하기 위해서는 무엇보다도 관련 성과지표에 대해 충분한 자료가 확보되어야 한다.

논문 인용횟수는 양적 변수로 볼 수 있으나 다른 측면에서 보면 질적 변수로도 볼 수 있으므로, 성과조사시 인용횟수에 대한 정량적 정보도 함께 잘 수집하고 DB화하여 질적 성과분석에서 유용하게 활용할 필요가 있다.

특허건수라는 양적 변수뿐만 아니라 특허 인용도라는 질적 변수도 함께 꾸준히 확보될 필요가 있으며, 기술이전의 성과를 반영할 수 있도록 기술이전건수나 기술료 수입에 대한 정보도 체계적으로 수집되어 DB화될 필요가 있다. 더 나아가 국내 학진 등재학술지 게재 여부에 대한 정보, 주요 학술대회 발표 여부에 대한 정보 등 SCI 등재 학술지 논문출판 이외의 연구성과도 함께 수집되어 성과분석에 포함된다면 질적 성과분석을 보완할 수 있을 것이다.

또한 성과조사시 연구진이 입력한 성과관련 자료의 정확도에 대해 검증하여 부정확한 자료에 대해서는 수정 또는 보완할 것으로 요청하는 등의 환류시스템(feedback system)도 체계적으로 운영될 필요가 있다. 수정 및 보완을 제대로 이행하지 않는 경우에 대해서는 과제 선정시 불이익을 주는 등 성과조사에 성실하게 임하는 것도 연구진의 기본 책무 중에 하나라는 점을 인식시킬 필요가 있어 보인다.

참고문헌

- 과학기술부 (2006), 2006 WEF 국가경쟁력평가 중 과학기술 관련 부문 평가 결과.
- 김응하 (2007), 통신·방송 융합 서비스 제어 기술 동향. 주간기술동향, 통권 1296호, 정보통신연구진흥원.
- 김창환 (2007) 통신·방송 융합 서비스 기술, 주간기술동향, 통권 1293호, 정보통신연구진흥원.
- 박상현·김재경 (2006), 미국의 IT 연구개발 체계 변화와 시사점, ITFIND 주간동향, 1257호, 정보통신연구진흥원.
- 산업연구원 (2004), 우리나라의 국가혁신역량 분석과 시사점, 산업경제정보, 제219호.
- 산업연구원 (2005), 한국 산업의 발전비전 2020.
- 서갑양 (2006), NBIT 융합기술의 과학기술적 의미와 파급효과, <http://www.cheric.org>.
- 성숙희 (2008), 방송통신융합 논의와 향후의 과제, KBI 포커스, 한국방송영상산업진흥원.
- 이중만·송영화·엄기용 (2005), 미국의 IT 기술정책방향: Gap분석을 중심으로, ITFIND 주간동향 1191호, 정보통신연구진흥원.
- 임호순·유석찬·김연성 (1999), 연구개발사업의 평가 및 선정을 위한 DEA/AHP 통합모형에 관한 연구, 한국경영과학회지 제24권 제4호, pp. 1-12.
- 정병주 (2007), IT Readiness로 측정하는 유비쿼터스 사회, 한국정보사회진흥원.
- Aiginger, K. (1998), A framework for evaluation the dynamic competitiveness of countries, *Structural Change and Economic Dynamics*, vol. 9, pp. 159-188.
- EIU (2007), *The Means to Compete Benchmarking IT Industry Competitiveness*.
- EU (2006), *European Innovation Scoreboard 2005*.
- Furman, J. L., Porter, M. E. and Stern, S. (2002), The determinants of national innovative capacity, *Research Policy*, vol 31, pp. 899-933.
- IBM. 2007. IBM 한국보고서, 한국경제신문사.

- International Institute for Management Development (2000–2006), *World Competitiveness Yearbook*, Lausanne, Switzerland.
- International Telecommunications Union (2007), *ITU World Telecommunications Indicator 2006*, Geneva, Switzerland.
- Lall, S. (2001), Competitiveness indices and developing countries: An economic evaluation of the global competitiveness report. *World Development*, vol. 29, pp.1501–1525.
- Lopez–Claros, A., Porter, M. E. and Schwab, K. (2005), *Global Competitiveness Report 2005–2006: Policies Underpinning Rising Prosperity*.
- Nasierowski., W. and Arcelus, F. J. (2003), On the efficiency of national innovation systems. *Socio–Economic Planning Sciences*, vol. 37, pp. 215–234.
- OECD (2003), *Composite Indicators of Country Performance: A Critical Assessment*. STI Working Paper.
- OECD (2006), *OECD Information Technology Outlook 2006*. Paris, France.
- OECD (2007), *OECD Communications Outlook 2007*. Paris, France.
- RAND (2006), *The Global Technology Revolution 2020*. National Security Research Division.
- Roessner, J. D., Porter, A. L., Newman, N. and Cauffiel, D. (2001), Anticipating the Future High–tech Competitiveness of Nations: Indicators for Twenty–Eight Countries, *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 51, pp. 133–149.
- World Economic Forum (1996–2005). *The Global Competitiveness Report*. Oxford University Press, New York.