

과학계량학적 HCP 분석을 통한 연구개발 성과 평가 -다학제분야의 논문과 경제적 효과를 중심으로-

Evaluation of governmental R&D results through bibliometrical HCP analysis

김현우(Hyun-woo Kim)* · 최윤정(Yun-jeong Choi)** · 문영호(Yeong-ho Moon)***

국문요약

본 연구의 목적은 과학기술의 정량적 결과물과 국가 경제 성장간의 관계를 분석함으로써, 향후 연구개발 인력에 대한 성과지표 설정에 기여하고자 함에 있다. 이를 위해 2004년부터 2013년까지 10년간 Scopus에 등재된 다학제분야 193,474개의 논문과 국가별 GDP 및 GDP per capita에 대한 과학계량학적 분석을 실시하였으며, 이를 바탕으로 상위인용논문(HCP) 구간별 논문 생산량과 국가 경제력 간의 상관관계를 분석하였다. 분석 결과, 국가별 HCP 논문수와 GDP/GDP per capita 사이에는 유의한 관계가 있음을 밝혀내었다. 성과 평가에 반영하기 위한 HCP의 적정 비율은 상위 30~40%인 것으로 예측되었으며, 이 비율은 국가의 정책 방향에 따라 해당 범위 내에서 유동적일 수 있음을 제시하였다. 본 결과는 향후 R&D 연구 인력에 대한 성과 평가 지표 개발에 근거로 활용될 수 있을 것이다.

핵심어 : 고인용논문(HCP), 국가 경제력, R&D 성과 평가, 정보계량학적 분석

ABSTRACT

The purpose of this study is to establish a proper evaluation system for R&D performance by analyzing relationships between quantitative results of science & technology and national wealth. We analyzed 193,474 research papers in multi-disciplinary fields from SCOPUS database and explored co-relations between HCP production by section and national wealth.

This research found a significant relationship between the number of HCP papers and GDP & GDP per capita by nation. Also, results from this study indicate that top 30 to 40 percent of researches should be reflected in the performance evaluation while these numbers could be flexible in accordance with the direction of national policy. In terms of future research, this study provides basis for designing more effective R&D performance evaluation systems.

Key Words : HCP, National wealth, R&D performance evaluation, Bibliometrics analysis, Scientometrics

* 김현우, 과학기술연합대학원대학교 과학기술경영정책전공 박사 과정, kimhc@kisti.re.kr, 02-3299-6071

** 최윤정, 과학기술연합대학원대학교 과학기술경영정책전공 부교수, 한국과학기술정보연구원 사업기획분석실 실장, 책임연구원, yjchoi@kisti.re.kr, 02-3299-6127

*** 문영호, 과학기술연합대학원대학교 지식정보공학전공 책임교수, 한국과학기술정보연구원 부원장, 책임연구원, yhmoon@kisti.re.kr, 02-3299-6090

I. 서론

최근 과학기술 분야의 지속적 투자확대가 국민경제에 미치는 효과에 대한 관심이 높아지면서 연구개발 성과물인 논문의 양과 질에 대한 평가가 활발히 진행되고 있다. 과학 기술이 급격히 발전함과 동시에 지식 창출이 국가 경쟁력과 부의 형성에 영향을 미치는 핵심 요인으로 주목받고 있다. 과학기술분야의 대표적 논문 데이터베이스인 SCOPUS에 등재된 전체 논문 수의 증가율은 2003년 145만 건에서 2013년 256만 건으로 최근 10년간 약 2배 가까이 증가하였다.

이처럼 폭발적으로 증가하는 과학기술의 정량적 결과물인 논문과 국가 경제 성장간의 상관성을 분석하는 다양한 연구가 있었다. 많은 연구자들에 의해 논문의 질적·양적 수준과 국가 경제력 간의 유의미한 상관관계가 있음이 밝혀졌으며, 후속 연구를 통해 과학기술 결과물을 측정하는 더욱 다양하고 세밀한 방법들이 개발되고 있다(Price,1978; Kealey,1996; King,2004; Vinkler, 2008).

논문, 특히 등과 국가 또는 기업의 경제적 성과와의 관계는 정보계량학(Scientometrics) 분야에서 중요한 연구 분야가 되고 있다. 방대한 양의 논문과 특허 등의 정보를 빅데이터 기반 기술과 접합시키는 증거기반의 접근법은 객관적 과학 기술 정책 수립에 필수적인 요소로도 인식되고 있다(정우성·양현재, 2013). 성과평가와 결과물간의 상관관계를 분석함으로써 정확한 성과평가를 통한 보상체계가 연구생산성에 긍정적 영향을 미친다는 것을 검증하려는 다양한 노력이 있었지만(황석원 외, 2012), 정부 출연 연구소를 포함하는 연구개발 조직의 평가는 결과물의 무형적 특징 및 목표와 성과간의 명확한 인과관계 도출이 힘들다는 점에서 성과의 개념을 명확히 정의하고 측정하는 것이 쉽지 않았다(이장재, 1996). 그러므로 연구개발 성과 측정이 용이한 논문 등의 정보계량학적 접근은 증거 기반의 성과평가 기준을 바탕으로 설득력 있는 성과평가 모델을 제시하는데 유용한 모델이 되고 있다.

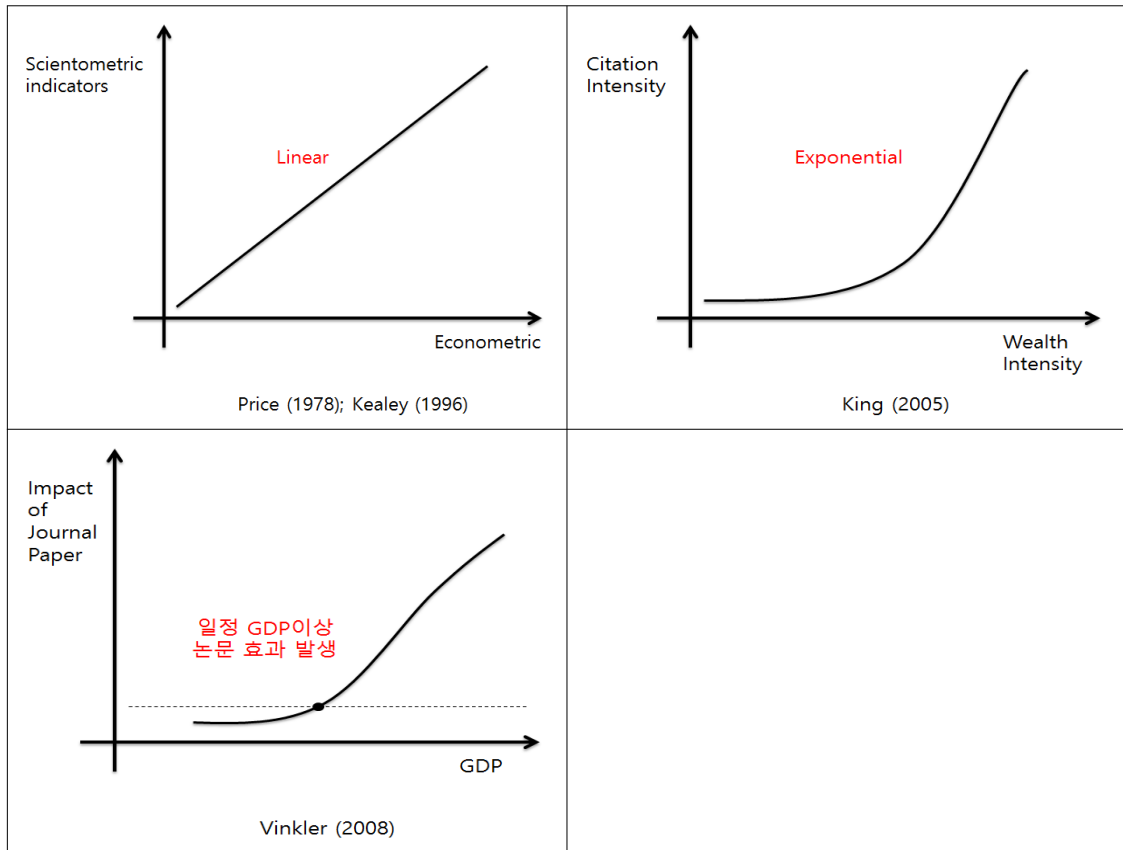
한편, ‘국가연구개발 성과평가 개선 종합대책(2013.10)’에 의하면 국가연구개발사업 성과 평가에서 질적 성과 평가에 대한 중요성이 강조되고 있다. 특히 과학적 성과 측정에 있어서 논문과 특허 등의 단순 건수가 아닌 영향력지수(IF)와 고피인용도(HCP:Highly Cited Papers) 등을 활용하는 안이 확정됨으로써 향후 질적 성과지표의 적절성에 대한 확인적 연구가 필요한 실정이다.

이에 본 연구에서는 HCP 반영 비율에 따른 논문 생산성과 GDP 및 GDP per capita(1인당 국민소득) 등 국가 경제력 지수 간의 상관관계를 분석하고자 한다. 이를 위해 2004년부터 2013년까지 최근 10년간 SCOPUS에 등재된 다학제분야 논문에 대한 과학계량학적 분석을 실시하여 기존 선행 연구에 의해 논의되었던 HCP 별 상위 논문 등을 이용하는 방법론의 타당성을 재검토하고, 향후 적절한 성과 평가 지표를 설정하는데 기여할 수 있는 논리적 근거를 제시하고자 한다.

II. 정책적 배경 및 선행 연구 검토

1. 논문의 양과 질의 국가 경제력

과학 기술 논문의 수와 효과에 관한 지표는 국가의 과학 경쟁력을 평가하는 가장 보편화된 방법이다(King,2004; Vinkler,2005). 학술지 등재 논문 수와 같은 성장 지표에 대한 분석은 과학적 활동의 발전, 더 나아가 국가 경쟁력 및 경제지표를 예상할 수 있는 유용한 정보가 될 수 있다.



(그림 1) 과학기술 결과물과 국가 경제력의 상관관계에 대한 선행연구

과학 기술 논문과 국가 경쟁력의 상관관계에 대한 연구는 Price(1978)가 시초라 할 수 있다. Price는 저널 논문의 수, 1인당 논문 수, 피인용 횟수, 논문 당 인용횟수 등 국가의 과학 계량적 지표와 GDP, GDP per Capita 등과 같은 경제적 지표 사이에 선형적 상관관계가 있음을 밝혀내었으며, 선형적 상관관계에 관한 이론은 이후 Kealey(1996)에 의해 더욱 발전하였다.

국가별 과학기술과 국가적 부에 관한 연구는 May(1997)와 King(2004)의 분석이 대표적이다. May(1997)는 논문의 피인용 분석을 기초로 과학성과의 질적 변화를 측정하고자 시도하였으며, King(2004)은 May의 연구를 확장하여 G8국가와 EU 15개국을 포함한 31개국에 대한 비교 분석을 실시한 결과로써 과학기술과 국가적 부 사이에 선형 혹은 기하급수적 관계가 존재함을 밝혀내었다. 이후 Vinkler(2008)는 GDP와 학술 논문이 높은 상관성을 보이며 선형으로 평행하게 성장함을 입증하였으며, 이러한 상관관계는 일정한 경제 수준이 넘었을 때 발생하는 것으로 예측하였다. 최근에는 과학기술의 투입물과 결과물간의 상관관계를 분석하는 연구들도 다양하게 진행되고 있다(Must, 2006; 박현우 외, 2009).

2. 논문의 질적 계량지표

1978년 Scientometrics지가 창간된 이후 다양한 방법론을 활용한 과학기술의 정량적 분석이 시도되어 왔다. Garfield(1979)는 과학인용색인(SCI)을 소개함으로써 후속 연구에 기반을 마련하였으며, 최근까지도 가장 보편적으로 사용되고 있는 IF(Impact Factor)개념을 도입하여 논문의 질적 계량화를 시도하였다(정우성·양현채, 2013). IF와 함께 가장 널리 사용되는 또 다른 계량화 방법은 HCP(Highly Cited Papers) 분석으로 일반적인

로 상위 1%의 논문을 선별하여 연구의 질을 평가한다.

<표 1> 논문의 질적 계량지표에 관한 선행연구

| 지 표 | 최초 적용 년도 | 최초 연구 | 후속연구 |
|---------------------|-------------|------------------|---|
| IF/HCP | 1979 | Garfield | Small et al.(1985), Narin(1990), Moed&Leeuwen(1995), Sen(1992), Marshakova- Shaikevich(1996) |
| H-Index | 2005 | Hirsch | Kosmulsky(2006), Anderson et al.(2008), Sanderson(2008), Batista et al.(2006), Schreiber(2008), Radicchi et al.(2008) |
| Eigenfactor Metrics | 2007 | Bergstrom et al. | Davis(2008), Franceschet(2010) |

자료: 「계량서지학」의 인용분석, 니콜라 드 벨리스(2010) 참조

이후 비교적 단순한 방법인 IF와 HCP에 대한 보완적 결과물로 좀 더 구체적인 방법론이 등장하였다. 그 중 Hirsch(2005)에 의해 개발된 H-Index는 연구자의 성과를 평가함에 있어서 연구자의 피인용 횟수와 발표 논문 수를 모두 반영하는 지표이다. 이는 과학적 결과물의 질적·양적 측면을 모두 고려한다는 점에서 많은 분야에서 활용되어 왔다. 또한 Bergstrom et al.(2007)은 상위 논문에 대해 가중치를 줌으로써 논문의 질적 중요성을 평가하는 Eigenfactor metrics를 창안하였으며, 단순 수량 비교에서 발생 가능한 정보 왜곡을 최소화하고자 하였다.

이외에도 Sen(1992), Marshakova-Shaikevich(1996) 등은 IF 방법론의 단점인 학문 분야 간의 편차를 줄이고자 normalized IF를 제안했으며, 국내에서는 한국연구재단(2007)의 modified IF값 및 상대적 순위 보정지수 등이 활용되어 왔다(오동훈 외, 2013).

III. 연구방법 및 연구결과

1. 연구방법 및 연구자원

본 연구의 목적은 인용별 상위 논문 수와 국가 경제력 간의 상관관계를 분석함으로써 기존 선행 연구에 의해 논의되었던 HCP 별 상위 논문 등을 이용하는 방법론의 타당성을 재검토하고, 향후 적절한 성과 평가 지표를 설정하는데 기여할 수 있는 논리적 근거를 제시하고자 하는 것이다. 연구의 목적을 달성하기 위해 SCOPUS에 2004년부터 2013년간 등재된 약 2,170만 건의 전체 논문 중 다학제분야 193,474개 논문에 대한 과학계량학적 분석을 실시하였다. 분석대상을 다학제분야로 한정된 것은 첫째, 분석 기간(2004~2013) 내의 전체 논문 약 2,170만 건에 대한 전수 조사를 위한 데이터 수집에 한계가 있었다는 점, 둘째, 학제간 융합 및 협업의 성과물인 다학제분야 논문에 대한 분석이 단일 분야의 논문 분석에 비해 정책적 함의를 도출하는데 더욱 적합할 것으로 판단하였기 때문이다.

국가 경제력에 관한 지표는 GDP와 GDP per Capita의 2가지 지표를 사용하였다. Vinkler(2008)의 연구에서 밝혀진 것처럼 과학기술 결과물이 국가 경제력에 미치는 영향이 즉각적이기보다는 일정 시간이 지난 후 효과가 나타나기 때문에, 이를 상쇄하기 위해서 연속적 데이터(2004~2013년)를 사용하였다. 국가 경제력과

관련된 지표는 OECD와 World Bank의 자료를 참조하였다.

2. HCP 1%(0.96%) 분석결과

HCP 1% 논문 수와 국가 경제력 간의 관계를 알아보기 위하여 다학제분야의 논문 193,474건을 피인용횟수 순으로 나열한 뒤 상위 1%(0.96%)에 해당하는 논문 1,863건을 추출하였다. 추출된 논문을 중심으로 국가별 저자 수를 분석하였으며, 이 때 한 논문에 중복되는 동일 국가 소속의 저자들이 다수 포함되어 있을 경우, 저자 수를 중복 계산하지 않았다.

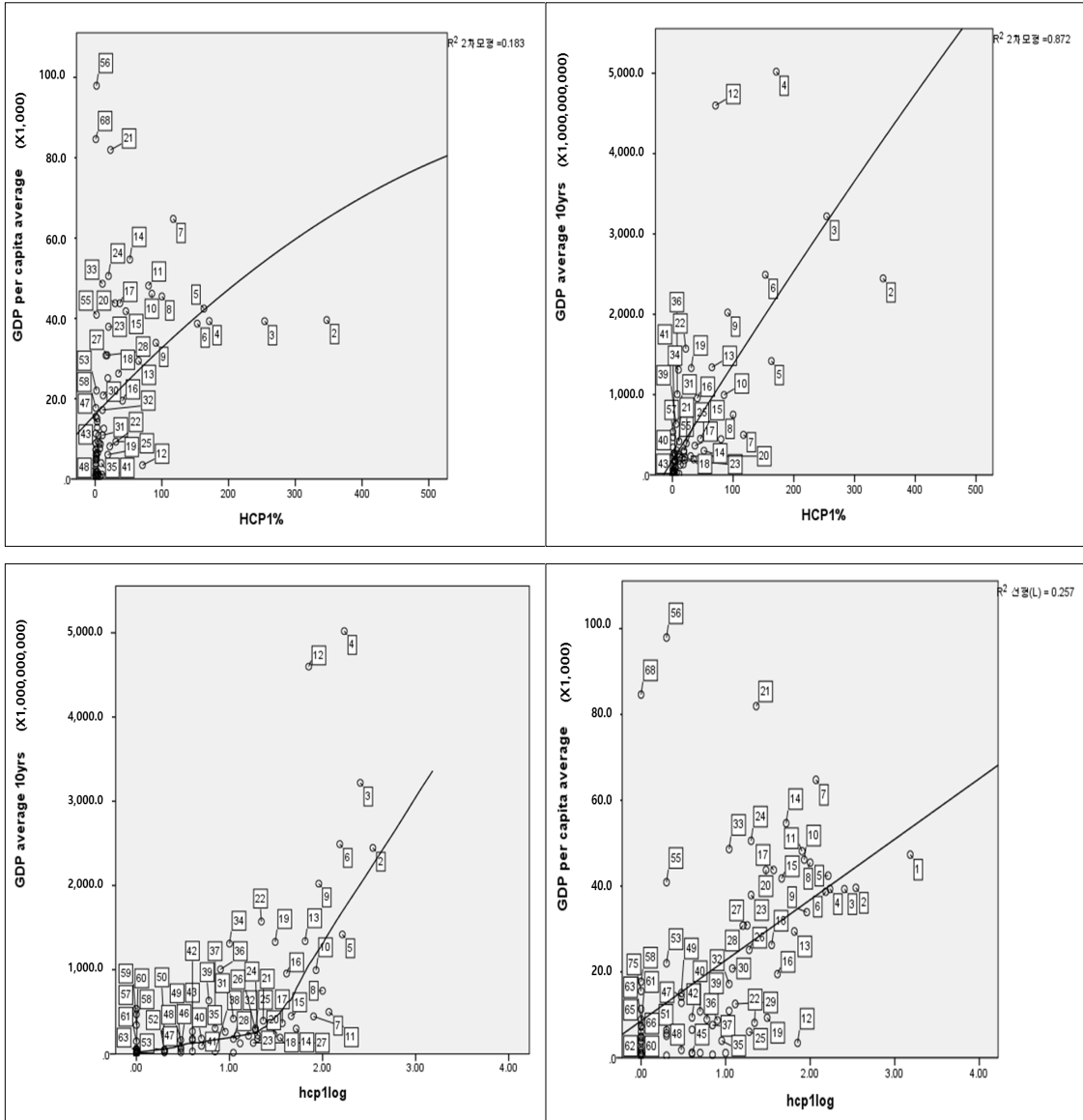
국가별로 보면 최근 10년간 다학제분야에서 피인용횟수 상위 1% 이상의 논문을 등재한 국가는 총 72개국이었으며 미국이 1,524회로 가장 많은 수를 차지했다. 이는 전체의 약 41.64%로 SCOPUS에 등재된 전체 논문을 대상으로 진행되었던 선행 연구의 결과와 크게 다르지 않았다(전체 논문 대상 미국 비중: 34.6%, 박현우 외, 2010). 또한 상위 10개국이 생산한 HCP 1% 논문 비중은 전체의 78.83%를 차지하였으며, 논문 상위 1% 논문 생산이 10회 미만인 국가가 72개국 중 41개국으로 나타났다.

<표 2>는 GDP, GDP per capita와 HCP 간의 상관관계를 분석한 것이다. HCP 1% 논문 수와 국가 경제력을 비교하였을 때, 1인당 국민 소득을 나타내는 GDP per capita의 10년간 평균치보다 국가 전체 GDP의 10년간 평균치가 HCP 1% 논문 수와 더 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 그러나 1인당 국민 소득 지표 또한 HCP 논문 수와 유의한 상관관계를 가지고 있는 것으로 나타났다.

<표 2> GDP, GDP per capita와 HCP 간의 상관관계 분석

| | | 0.96 | 5.0 | 10.09 | 15.13 | 20.29 | 24.70 | 29.73 | 39.97 | 57.08 | 100 |
|------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| GDPperCapita | Pearson상관계수 | .255* | .249* | .245* | .242* | .238* | .234* | .228* | .211 | .180 | .128 |
| | 유의확률(양쪽) | .027 | .031 | .034 | .036 | .040 | .043 | .049 | .069 | .121 | .274 |
| | N | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 |
| GDP average10yrs | Pearson상관계수 | .931** | .933** | .932** | .934** | .937** | .940** | .946** | .959** | .959** | .934** |
| | 유의확률(양쪽) | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 |
| | N | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 |

HCP 1% 논문에 대한 분석으로 과학기술 결과물인 논문의 수가 국가적 부와 정(+)의 관계에 있는 것을 확인할 수 있었으나, <그림 2>에서 보듯이 상위 1% 논문의 대부분이 일부 선진국들에 편중되어 있어 중진국 및 개발도상국을 평가하기에는 한계점이 있었다. 결과적으로, HCP 1% 논문을 3회 이상 등재한 국가가 전체 중 약 50여 개국 정도 밖에 되지 않았으며, HCP 1%에 등재된 횟수가 단 1회인 국가도 다수 포함되어 있어 (18개국) 정확한 평가를 위해 좀 더 넓은 범위에 대한 분석이 필요한 것으로 나타났다.

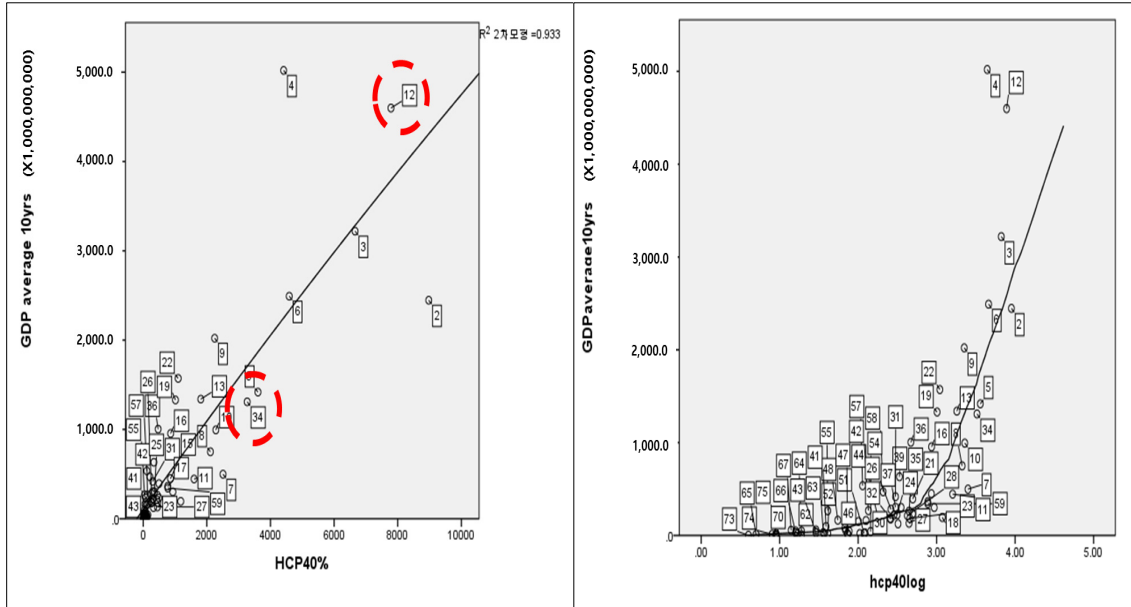


(그림 2) HCP 1%와 GDP, GDP per Capita

3. HCP 비율별 분석 결과

HCP 1% 분석 시 발생 가능한 문제점을 해결하기 위해 다양한 범위를 설정하여 가장 적합한 범주 탐색을 시도하였다. HCP 1%를 추출할 때와 동일한 방법으로 상위 5%~100%의 논문에 대해 국가별 분석을 시도하였다<표 4, 표 5>. HCP 5%, 10(10.09)%, 15(15.13)%, 20(20.29)%, 25(24.70)%, 30(29.73)%, 40(39.97)%, 60(57.08) % 및 100%에 대해서 분석을 하였다.

<표 5>에서 보는 것처럼 HCP 1%, 5%, 10%, 20%를 비교했을 때 각 지표별 국가 간 순위는 크게 변하지 않았다. 그러나, HCP 반영 비율이 20%를 초과하여 논문 수가 증가할수록 HCP 1% 분석 시의 순위와 달라지는 부분이 발생했으며, 특히 중국, 이스라엘, 러시아, 브라질, 인도, 이란 등의 국가 순위가 급격히 상승하는 현상이 관찰되었다(그림 3).



(그림 3) HCP 40% 반영 시 GDP와의 상관관계¹⁾

<표 3> GDP, GDP per capita와 HCP 간의 상관관계 분석

| | | 0.96 | 5.0 | 10.09 | 15.13 | 20.29 | 24.70 | 29.73 | 39.97 | 57.08 | 100 |
|------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| GDPperCapita | Pearson상관계수 | .255* | .249* | .245* | .242* | .238* | .234* | .228* | .211 | .180 | .128 |
| | 유의 확률(양쪽) | .027 | .031 | .034 | .036 | .040 | .043 | .049 | .069 | .121 | .274 |
| | N | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 |
| GDP average10yrs | Pearson상관계수 | .931** | .933** | .932** | .934** | .937** | .940** | .946** | .959** | .959** | .934** |
| | 유의 확률(양쪽) | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 |
| | N | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 |

다음으로, 각각의 HCP 반영비율과 1인당 국민 소득 및 GDP 총합을 비교해 보았다. 그 결과, HCP 반영비율이 커질수록 1인당 국민 소득과의 상관관계는 작아지는 반면 GDP 총합과의 상관관계는 일정 구간까지

<표 4> 피인용횟수에 HCP 비율 분류표

| 피인용횟수 | 논문 수 | 비율 (전체논문대비) |
|-------|--------|-------------|
| 0 | 193474 | 100% |
| 1 | 110434 | 57.08% |
| 2 | 88784 | 45.89% |
| 3 | 77325 | 39.97% |
| 4 | 69935 | 36.15% |
| 5 | 64665 | 33.42% |
| 6 | 60653 | 31.35% |
| 7 | 57528 | 29.73% |
| 8 | 54951 | 28.40% |
| 9 | 52800 | 27.29% |
| 10 | 50951 | 26.33% |
| 11 | 49280 | 25.47% |

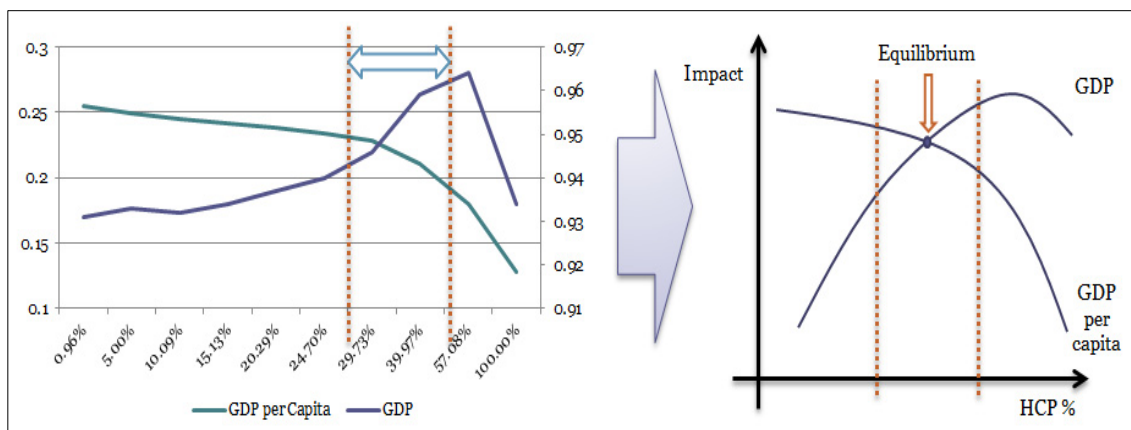
1) 사각형의 숫자는 HCP 1% 순위를 의미. 12(중국), 34(인도) 등이 눈에 띄게 순위가 상승.

| 피인용횟수 | 논문 수 | 비율 (전체논문대비) |
|-------|-------|-------------|
| 12 | 47796 | 24.70% |
| 13 | 46477 | 24.02% |
| 14 | 45189 | 23.36% |
| 15 | 44050 | 22.77% |
| 16 | 43021 | 22.24% |
| 17 | 41943 | 21.68% |
| 18 | 40994 | 21.19% |
| 19 | 40120 | 20.74% |
| 20 | 39248 | 20.29% |
| 25 | 35284 | 18.24% |
| 30 | 32025 | 16.55% |
| 35 | 29281 | 15.13% |
| 40 | 26797 | 13.85% |
| 45 | 24610 | 12.72% |
| 50 | 22703 | 11.73% |
| 55 | 20996 | 10.85% |
| 60 | 19529 | 10.09% |
| 65 | 18200 | 9.41% |
| 70 | 16981 | 8.78% |
| 75 | 15981 | 8.26% |
| 80 | 14931 | 7.72% |
| 85 | 13989 | 7.23% |
| 90 | 13153 | 6.80% |
| 95 | 12379 | 6.40% |
| 100 | 11644 | 6.02% |
| 110 | 10445 | 5.40% |
| 117 | 9676 | 5.00% |
| 120 | 9381 | 4.85% |
| 130 | 8499 | 4.39% |
| 140 | 7728 | 3.99% |
| 150 | 7032 | 3.63% |
| 160 | 6390 | 3.30% |
| 170 | 5874 | 3.04% |
| 180 | 5463 | 2.82% |
| 190 | 5024 | 2.60% |
| 200 | 4629 | 2.39% |
| 250 | 3243 | 1.68% |
| 300 | 2403 | 1.24% |
| 350 | 1863 | 0.96% |
| 400 | 1468 | 0.76% |
| 450 | 1217 | 0.63% |
| 500 | 996 | 0.51% |
| 1000 | 246 | 0.13% |
| 2000 | 34 | 0.02% |
| 3000 | 12 | 0.01% |
| 4000 | 5 | 0.00% |
| 5000 | 3 | 0.00% |
| 10000 | 1 | 0.00% |

<표 5> 각 HCP % 별 국가 순위 변동

| Country Name | HCP1% | | HCP5% | | HCP10% | | HCP20% | | HCP30% | | HCP40% | | GDP per capita | | GDP average 10yrs | |
|----------------------|-------|------|-------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|----------------|------|----------------------|------|
| | HCP1% | Rank | HCP5% | Rank | HCP10% | Rank | HCP20% | Rank | HCP30% | Rank | HCP40% | Rank | \$ | Rank | \$ | Rank |
| United States | 1524 | 1 | 7226 | 1 | 14297 | 1 | 27184 | 1 | 36242 | 1 | 41354 | 1 | 47346.9 | 9 | 14,398,388,888,888.9 | 1 |
| United Kingdom | 347 | 2 | 1563 | 2 | 3004 | 2 | 5608 | 2 | 7680 | 2 | 8974 | 2 | 39601.7 | 17 | 2,446,482,629,335.4 | 6 |
| Germany | 254 | 3 | 1284 | 3 | 2520 | 3 | 4541 | 3 | 5891 | 3 | 6659 | 4 | 39301.1 | 19 | 3,219,660,364,209.9 | 4 |
| Japan | 171 | 4 | 810 | 5 | 1506 | 5 | 2901 | 5 | 3827 | 5 | 4413 | 6 | 39316.5 | 18 | 5,019,817,665,988.0 | 2 |
| Canada | 163 | 5 | 658 | 6 | 1279 | 6 | 2358 | 6 | 3122 | 6 | 3606 | 7 | 42421.3 | 14 | 1,418,066,059,830.4 | 9 |
| France | 153 | 6 | 837 | 4 | 1638 | 4 | 3074 | 4 | 4018 | 4 | 4590 | 5 | 38706.9 | 20 | 2,491,413,783,549.4 | 5 |
| Switzerland | 117 | 7 | 524 | 7 | 982 | 7 | 1744 | 7 | 2228 | 7 | 2508 | 9 | 64767.8 | 4 | 498,630,708,866.7 | 19 |
| Netherlands | 100 | 8 | 475 | 8 | 857 | 8 | 1436 | 10 | 1869 | 10 | 2113 | 12 | 45470.6 | 11 | 750,046,626,143.5 | 16 |
| Italy | 91 | 9 | 440 | 9 | 824 | 9 | 1478 | 9 | 1947 | 9 | 2245 | 11 | 33921.8 | 22 | 2,021,339,736,461.1 | 7 |
| Australia | 85 | 10 | 401 | 10 | 757 | 10 | 1433 | 11 | 1914 | 11 | 2282 | 10 | 46147.5 | 10 | 994,605,457,134.0 | 14 |
| Sweden | 80 | 11 | 302 | 12 | 589 | 12 | 1086 | 13 | 1403 | 13 | 1599 | 14 | 48148.2 | 8 | 445,481,996,204.2 | 22 |
| China | 11 | 12 | 327 | 11 | 630 | 11 | 1604 | 8 | 3917 | 8 | 7787 | 3 | 3453.0 | 61 | 4,598,689,397,133.0 | 3 |
| Spain | 65 | 13 | 288 | 13 | 579 | 13 | 1104 | 12 | 1522 | 12 | 1809 | 13 | 29435.9 | 25 | 1,339,217,636,980.1 | 10 |
| Denmark | 52 | 14 | 194 | 14 | 374 | 15 | 639 | 15 | 826 | 15 | 932 | 18 | 54649.8 | 5 | 300,514,113,854.1 | 29 |
| Belgium | 46 | 15 | 169 | 16 | 327 | 16 | 569 | 16 | 749 | 16 | 858 | 20 | 41767.8 | 15 | 449,272,462,975.3 | 21 |
| Korea, Rep. | 41 | 16 | 150 | 18 | 307 | 17 | 539 | 18 | 734 | 18 | 862 | 19 | 19483.4 | 30 | 954,696,746,137.3 | 15 |
| Austria | 37 | 17 | 164 | 17 | 301 | 18 | 561 | 17 | 687 | 17 | 772 | 22 | 43749.8 | 12 | 364,427,999,703.3 | 25 |
| Israel | 35 | 18 | 189 | 15 | 400 | 14 | 785 | 14 | 1042 | 14 | 1180 | 15 | 26283.4 | 26 | 194,768,184,694.9 | 39 |
| Russian Federation | 31 | 19 | 100 | 21 | 196 | 20 | 346 | 21 | 538 | 21 | 1014 | 17 | 9320.6 | 42 | 1,329,658,373,132.8 | 11 |
| Finland | 30 | 20 | 119 | 19 | 201 | 19 | 334 | 22 | 425 | 22 | 494 | 24 | 43748.3 | 13 | 232,782,142,757.6 | 35 |
| Norway | 23 | 21 | 105 | 20 | 180 | 22 | 330 | 23 | 425 | 23 | 496 | 23 | 81946.9 | 3 | 393,646,869,004.1 | 24 |
| Brazil | 22 | 22 | 98 | 22 | 191 | 21 | 395 | 20 | 698 | 20 | 1099 | 16 | 8135.4 | 46 | 1,571,974,621,973.2 | 8 |
| Singapore | 20 | 23 | 73 | 25 | 139 | 25 | 249 | 25 | 370 | 25 | 456 | 26 | 37911.3 | 21 | 183,394,575,982.4 | 40 |
| Ireland | 20 | 24 | 71 | 26 | 127 | 26 | 207 | 27 | 279 | 27 | 314 | 33 | 50557.9 | 6 | 222,811,102,227.2 | 36 |
| South Africa | 19 | 25 | 74 | 24 | 127 | 27 | 219 | 26 | 296 | 26 | 352 | 30 | 6060.9 | 52 | 302,200,698,781.7 | 28 |
| Greece | 19 | 26 | 37 | 35 | 75 | 35 | 140 | 36 | 208 | 36 | 262 | 37 | 25131.9 | 27 | 280,979,024,737.6 | 30 |
| New Zealand | 18 | 27 | 82 | 23 | 148 | 24 | 262 | 24 | 375 | 24 | 445 | 28 | 30836.0 | 23 | 132,091,449,668.3 | 47 |
| Hong Kong SAR, China | 16 | 28 | 52 | 30 | 86 | 32 | 188 | 29 | 333 | 29 | 423 | 29 | 30792.9 | 24 | 214,423,412,417.6 | 38 |
| Hungary | 13 | 29 | 44 | 33 | 81 | 33 | 168 | 33 | 237 | 33 | 322 | 32 | 12535.9 | 37 | 125,700,034,358.6 | 48 |
| Portugal | 12 | 30 | 57 | 29 | 102 | 29 | 185 | 30 | 249 | 30 | 285 | 36 | 20814.8 | 29 | 219,357,531,059.2 | 37 |
| Hungary | 13 | 29 | 44 | 33 | 81 | 33 | 168 | 33 | 237 | 33 | 322 | 32 | 12535.9 | 37 | 125,700,034,358.6 | 48 |
| Portugal | 12 | 30 | 57 | 29 | 102 | 29 | 185 | 30 | 249 | 30 | 285 | 36 | 20814.8 | 29 | 219,357,531,059.2 | 37 |
| Poland | 11 | 31 | 58 | 28 | 100 | 30 | 182 | 31 | 245 | 31 | 299 | 34 | 10919.3 | 39 | 417,691,274,475.3 | 23 |
| Czech Republic | 11 | 32 | 49 | 31 | 94 | 31 | 174 | 32 | 231 | 32 | 260 | 38 | 17193.5 | 32 | 178,498,377,672.3 | 43 |
| Iceland | 11 | 33 | 27 | 37 | 40 | 39 | 57 | 41 | 70 | 41 | 74 | 51 | 48620.1 | 7 | 15,083,916,412.2 | 69 |
| India | 10 | 34 | 69 | 27 | 154 | 23 | 491 | 19 | 1652 | 19 | 3268 | 8 | 1104.2 | 68 | 1,308,930,353,021.1 | 12 |
| Thailand | 9 | 35 | 26 | 38 | 49 | 37 | 95 | 37 | 213 | 37 | 446 | 27 | 3958.0 | 59 | 262,065,828,866.2 | 33 |
| Mexico | 8 | 36 | 47 | 32 | 104 | 28 | 198 | 28 | 330 | 28 | 469 | 25 | 8705.9 | 45 | 1,003,837,179,313.8 | 13 |
| Argentina | 7 | 37 | 34 | 36 | 75 | 36 | 165 | 34 | 242 | 34 | 299 | 35 | 7602.3 | 47 | 303,908,624,846.1 | 27 |
| Kenya | 7 | 38 | 18 | 42 | 36 | 40 | 82 | 39 | 111 | 39 | 122 | 45 | 711.4 | 72 | 28,015,105,466.9 | 61 |
| Turkey | 6 | 39 | 19 | 40 | 35 | 41 | 73 | 40 | 167 | 40 | 336 | 31 | 8939.6 | 43 | 632,585,535,378.3 | 17 |
| Chile | 5 | 40 | 38 | 34 | 78 | 34 | 158 | 35 | 209 | 35 | 255 | 39 | 10781.7 | 40 | 182,554,126,445.9 | 41 |
| Vietnam | 5 | 41 | 12 | 48 | 16 | 50 | 24 | 53 | 31 | 53 | 39 | 59 | 1116.8 | 67 | 95,919,955,333.8 | 49 |
| Venezuela, RB | 4 | 42 | 14 | 46 | 19 | 48 | 34 | 48 | 64 | 48 | 135 | 43 | 9396.5 | 41 | 267,600,171,989.5 | 31 |
| Costa Rica | 4 | 43 | 11 | 49 | 15 | 53 | 18 | 57 | 26 | 57 | 29 | 62 | 6534.9 | 50 | 29,895,335,017.6 | 60 |
| Nigeria | 4 | 44 | 9 | 53 | 11 | 56 | 16 | 59 | 66 | 59 | 180 | 41 | 1172.4 | 65 | 180,812,049,174.3 | 42 |
| Pakistan | 4 | 45 | 7 | 57 | 10 | 59 | 16 | 60 | 47 | 60 | 126 | 44 | 956.6 | 70 | 161,307,135,695.1 | 45 |
| Croatia | 3 | 46 | 18 | 43 | 27 | 45 | 48 | 45 | 62 | 45 | 69 | 54 | 12813.5 | 36 | 56,305,196,611.8 | 52 |
| Estonia | 3 | 47 | 17 | 45 | 32 | 42 | 48 | 44 | 62 | 44 | 73 | 52 | 14236.2 | 35 | 19,081,581,175.0 | 67 |
| Philippines | 3 | 48 | 14 | 47 | 18 | 49 | 33 | 49 | 43 | 49 | 55 | 56 | 1799.8 | 63 | 164,645,623,173.3 | 44 |
| Slovak Republic | 3 | 49 | 10 | 51 | 16 | 51 | 31 | 51 | 48 | 51 | 68 | 55 | 15056.5 | 34 | 81,084,965,478.3 | 50 |
| Colombia | 2 | 50 | 19 | 41 | 29 | 44 | 39 | 47 | 57 | 47 | 72 | 53 | 5124.5 | 55 | 233,941,411,081.5 | 34 |
| Panama | 2 | 51 | 18 | 44 | 41 | 38 | 82 | 38 | 107 | 38 | 119 | 46 | 6427.4 | 51 | 23,099,677,777.8 | 62 |
| Tanzania | 2 | 52 | 10 | 52 | 16 | 52 | 30 | 52 | 39 | 52 | 41 | 57 | 465.2 | 75 | 19,471,038,106.1 | 66 |
| Slovenia | 2 | 53 | 8 | 54 | 20 | 47 | 45 | 46 | 61 | 46 | 77 | 50 | 22011.0 | 28 | 44,656,402,647.9 | 56 |
| United Arab Emirates | 2 | 54 | 6 | 58 | 9 | 60 | 16 | 61 | 27 | 61 | 41 | 58 | 40910.5 | 16 | 266,506,389,883.3 | 32 |
| Bulgaria | 2 | 55 | 6 | 59 | 14 | 54 | 18 | 58 | 38 | 58 | 144 | 42 | 5670.6 | 54 | 42,459,872,073.0 | 57 |
| Luxembourg | 2 | 56 | 4 | 63 | 7 | 63 | 10 | 65 | 14 | 65 | 16 | 67 | 97922.9 | 1 | 48,288,804,123.5 | 54 |
| Indonesia | 1 | 57 | 21 | 39 | 32 | 43 | 55 | 42 | 75 | 42 | 114 | 47 | 2259.1 | 62 | 535,876,951,050.7 | 18 |
| Saudi Arabia | 1 | 58 | 11 | 50 | 21 | 46 | 50 | 43 | 91 | 43 | 208 | 40 | 17707.5 | 31 | 470,697,032,639.1 | 20 |
| Iran, Islamic Rep. | 1 | 59 | 8 | 55 | 12 | 55 | 33 | 50 | 220 | 50 | 773 | 21 | 4661.6 | 57 | 342,913,422,776.6 | 26 |
| Ecuador | 1 | 60 | 8 | 56 | 11 | 57 | 15 | 63 | 20 | 63 | 29 | 63 | 4009.2 | 58 | 58,723,796,777.8 | 51 |

(57.8%) 증가 후 감소하는 것으로 나타났다. 이들 간의 상관관계는 (그림 4)와 같이 도식화할 수 있는데, 이때 발생하는 균형점이 GDP와 GDP per capita에 동일한 영향을 미치는 적정 HCP일 것으로 예측된다. GDP가 국가 전체의 양적 성장을, GDP per capita가 질적 성장을 대표하는 지표라는 점에서 향후 각 국가들이 성과평가에 HCP를 반영할 때 양적 혹은 질적 성장이라는 목표점에 따라 적절한 반영 비율을 설정해야 할 것으로 예상된다.



(그림 4) %별 HCP에 따른 GDP, GDP per capita 지표의 영향력

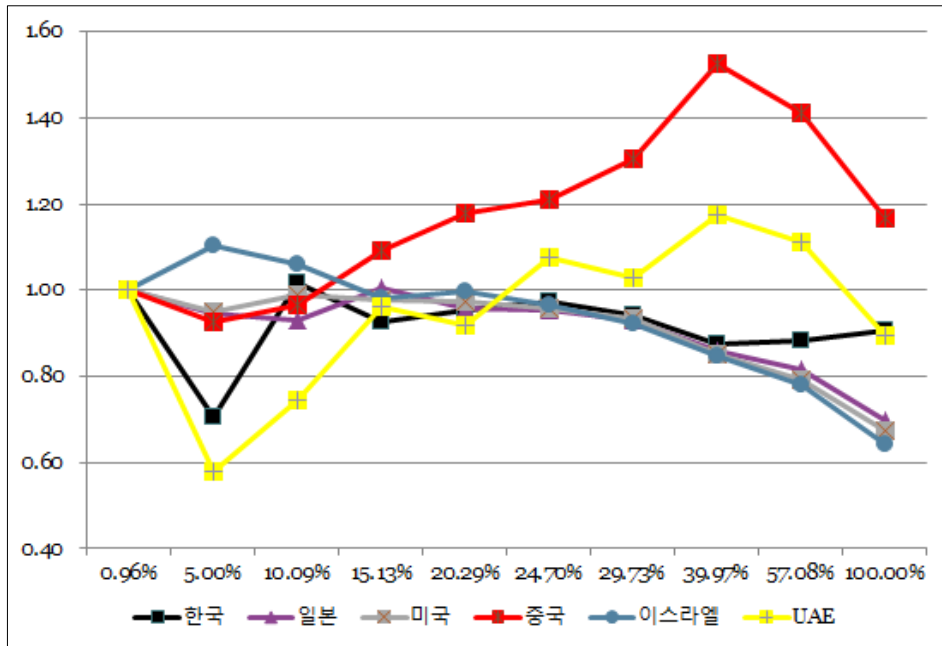
4. HCP 반영비율과 국가별 논문증가율 간의 상관관계 분석

앞에서 알 수 있듯이 HCP 반영비율과 GDP, GDP per capita의 균형점이 존재하지만, 이는 국가별 특성에 따라 다르게 나타날 수 있다. 따라서 본 논문에서는 국가별 특성에 따른 피인용 상위 논문의 반영 비율에 따른 변화 추이를 살펴봄으로써 각 국가별 특성에 따라 어떠한 변화를 보이는지 살펴보고자 하였다.

먼저 피인용 상위 1% 논문을 등재한 72개 국가 중 선진국, BRICs로 대표되는 신흥 강대국, 중동 국가 및 한국을 포함하는 6개국을 추출하여 변화 추이를 살펴 보았다(그림 5). 각 국가의 논문 증가율을 비교하기 위해 아래와 같은 공식을 통해 구간별 논문증가율을 산출하였다.

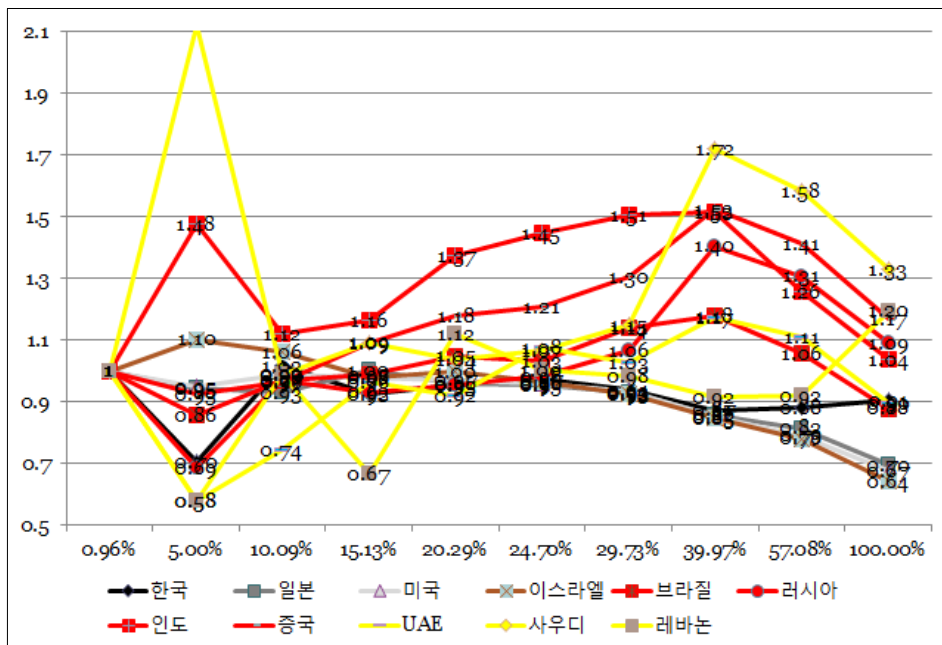
$$\frac{\text{해당 구간의 해당 국가 논문 수} - \text{해당 구간 바로 전 구간의 해당 국가 논문 수}}{\text{해당 구간의 다학제분야 전체 논문수} - \text{해당 구간 바로 전 구간의 전체 논문 수}}$$

변화 추이를 산출한 결과, 한국, 일본, 미국, 이스라엘 등 상대적으로 기술의존성이 강한 국가의 논문 증가율은 반영비율이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, BRICs로 대표되는 신흥 강대국은 약 40%까지 높은 증가율을 보이다가 감소하는 경향을, 마지막으로 자원의존성이 강한 중동국가인 UAE는 지그재그형 추세를 나타내었다.



(그림 5) 주요 6개국 논문 증가율 비교

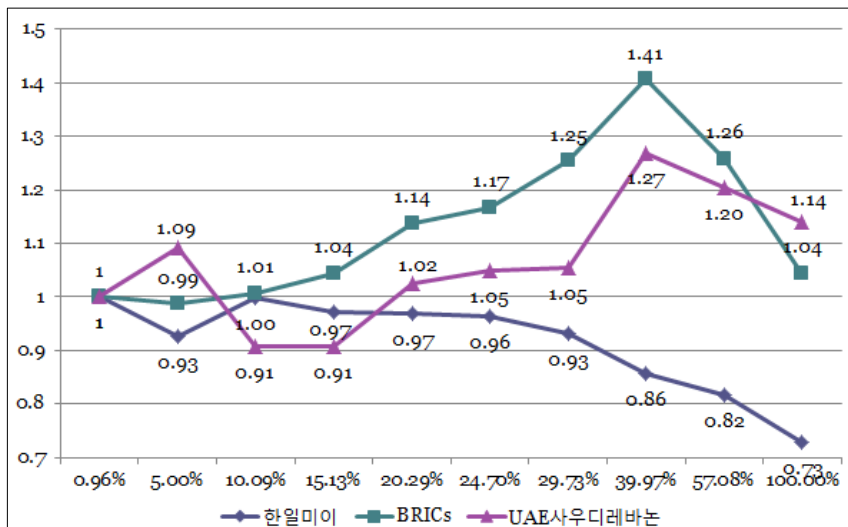
이를 기준으로 좀 더 많은 국가에 대한 변화 추이 분석을 시도하였다(그림 6). 기존의 6개국을 포함하여 BRICs 3개국, 및 중동국가 2개국을 추가로 분석해보았다. 그 결과, 기술의존성이 높은 4개국과 BRICs 4개국, 중동국가 3개국이 유사한 패턴을 보이는 것을 확인할 수 있었다.



(그림 6) 주요 11개국 논문 증가율 비교

마지막으로 3개 국가를 그룹핑하여 각각의 그룹들의 증가율 추이를 살펴보았다. 그 결과, 상대적으로 기술 의존성이 높은 한국, 미국, 일본, 이스라엘은 지속적인 감소 추세, BRICs는 지속적인 증가 이후 약 40%선에

서부터 감소 추세, 중동 3개국은 지그재그형 패턴을 보이는 것을 확인할 수 있었다(그림 7).



(그림 7) 3개 그룹별 논문 증가율 비교

IV. 요약 및 결론

1. 분석 결과 및 정책적 함의

현재 우리나라의 연구 성과에 대한 평가는 대부분 양적 지표(83.9%)이며 질적 지표에 대한 반영 비율(16.1%)이 낮은 편이다(유승준, 2014). 정부는 탈추격형 창조 경제의 기반 마련을 위해 연구의 질적 향상에 집중하고 있으며, 이를 위해 연구 성과 평가 기준을 상위 10~20% 이내의 논문 등을 활용할 계획을 가지고 있다(표 6).

본 연구는 정부가 제시한 상위 10~20% 이내의 논문이라는 기준에 대한 검증에 대해 실시되었다. HCP 1%, 5%, 10(10.09)%, 15(15.13)%, 20(20.29)%, 25(24.70)%, 30(29.73)%, 40(39.97) %, 60(57.08) %, 100%에 대한 논문 수를 국가 경제력 지표인 GDP 및 GDP per capita에 적용해 본 결과, HCP 1%처럼 지나치게 낮은 평가 지표는 상위 몇몇 선진국들이 전체 데이터에서 차지하는 비율이 지나치게 높아 성과 평가 지표로서 여러 가지 문제점을 발생시킬 소지가 있었다. 또한 한국의 다학제분야에서 상위 1% 논문 등재 횟수는 10년간 41회로 다학제분야의 논문(약 19만건)이 전체 논문(약 21,00만건)의 약 0.9%인 점을 감안하더라도 높지 않은 수치이기 때문에, 향후 연구원들의 동기부여에도 부정적인 영향을 미칠 수 있었다.

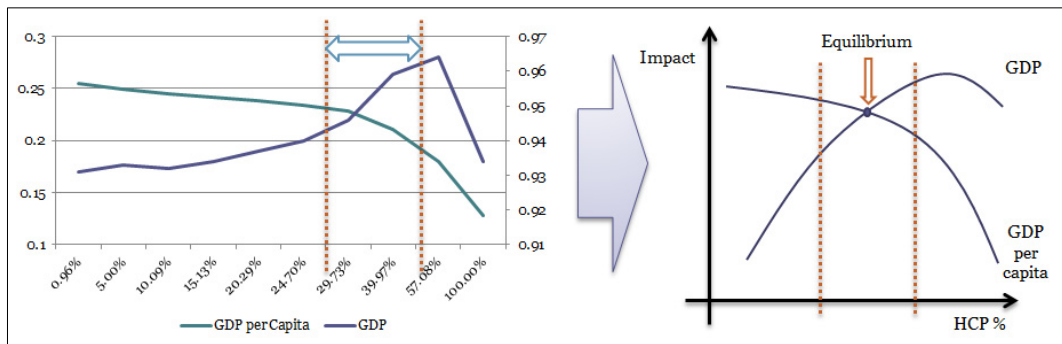
<표 6: 연구개발 성과지표>

| 5대 성과분야 | 주요 성과지표 |
|----------|--|
| 1 과학적 성과 | (논문) 표준 영향력 지수, 피인용도, (생명자원/화학물) 등록 활용 등 |
| 2 기술적 성과 | (특허) 3극특허, 가치평가, (기술혁신) 선진국 대비 기술수준 등 |
| 3 경제적 성과 | (기술료) 계약액(로열티), (기술활용 효과) 매출액/순이익 기여 등 |
| 4 사회적 성과 | (인력) 대학/훈련기관 인력양성, (일자리창출) 창업, 고용확대 등 |
| 5 인프라 성과 | (시설장비구축·활용) 가동률, 공동활용률, 서비스 만족도 등 |

| 주요성과유형 | 주요 성과지표 | |
|--------|-------------|---------------------|
| | 속 성 | 성과지표 |
| 논문 | 게재 학술지의 우수성 | 표준화된 영향력 지수 |
| | 논문의 우수성 | 피인용도, 고피인용도 논문 수 등 |
| | 저자의 역할 | 제1저자, 제2저자 및 교신저자 등 |

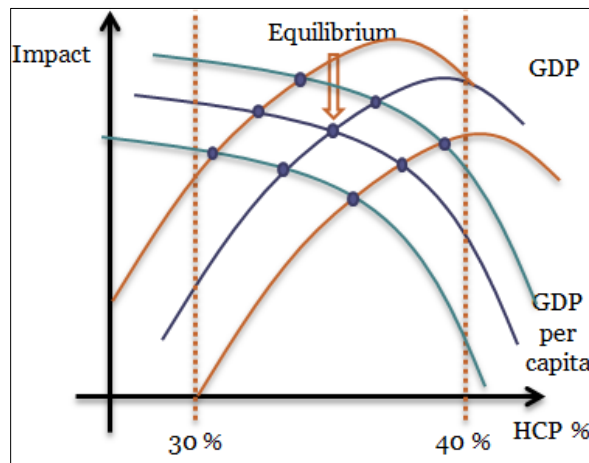
자료 : 5대 성과분야 주요 질적 성과 지표, 미래창조과학부(2013)

반대로 상위 30% 이상의 HCP에 대한 반영에서는 중국, 이스라엘, 러시아, 브라질, 인도, 이란 등의 순위가 급등하는 것으로 확인되었으며, 이들 국가는 모두 인구수 8,000만을 초과하는 대형국가들이었다. 이는 등재된 논문의 상위 30% 이외의 논문이 논문의 질적 수준뿐만 아니라 양적인 부분까지 포함할 수 있음을 암시하는 것으로 보여진다. 향후 이러한 현상에 대해 세부적인 연구가 필요할 것이다.



(그림 8) GDP, GDP per capita와 HCP 반영비율 상관관계

결론적으로, 정부가 제시한 상위 10~20%에 대한 성과 평가 반영은 적절한 것으로 판단된다. 하지만 타당성 있는 성과 평가 지표로의 개선을 위해서는 국가 경제력에 직접적으로 미치는 영향 외에도 연구원들의 동기부여, 국가 예산 현황 등 다양한 요인들을 고려하여 평가에 반영하는 상위 논문 적정 비율을 선정해야 한다. 앞서 논의한 것처럼 국가별 특성이나 정책 방향에 따라 연구개발 성과평가에 대한 상위 논문 반영 비율은 달라질 수 있다. <그림 8>에서 나타난 것처럼 국가별 변화 추세를 고려했을 때, 일반적으로 설정할 수 있는 적정 비율 구간은 각 국가들의 변화 추세가 급격하게 나타나는 30~40% 사이인 것으로 추정할 수 있다.



(그림 9) GDP, GDP per capita와 HCP의 균형점

또한, 정부의 정책 방향이 양적 성장과 질적 성장 중 어느 부분에 중점을 두느냐에 따라 성과 평가 반영 비율은 변동 가능하다. (그림 8)에서 보여지는 것처럼 GDP와 GDP per capita를 모두 적절하게 반영하는 균형점은 30~40%사이에서 형성되는 것이 바람직한 것으로 나타났지만, 이 균형점은 정부가 양적성장(GDP 상승)과 질적성장(GDP per capita 상승) 중 어떤 요소를 더 중요시하느냐에 따라 (그림 9)에서처럼 유동적일 수 있다. 결국, 연구개발 성과 평가에 반영할 최적의 상위 논문 반영 비율은 국가의 정책 및 상황에 따라 유동적일 수 있다.

2. 연구의 한계점 및 향후 연구과제

본 연구는 다음과 같은 한계점을 지니고 있다. 첫째, 본 연구는 SCOPUS 데이터 중 다학제 분야에 한정하여 10년간의 논문과 국가경제력 간의 상관관계를 분석하였다. 따라서 SCOPUS 등재 논문 전체를 분석하였을 경우 다른 결과가 도출될 수 있다. 향후 SCOPUS 전체 데이터를 대상으로 세부 연도별 국가 경제 성장 과정에 대한 연구가 필요할 것이다.

둘째, 본 연구는 국가별 논문 수와 GDP 및 GDP per capita 간의 관계를 단순 순위화하여 비교하였다. 향후 이들 간의 상관관계를 분석함에 있어서 좀 더 고차원적인 통계기법을 통해 각 HCP %별 중요도를 검증해야 할 것이다.

셋째, 본 연구에서 성과평가에 반영하기 위한 적정 HCP %를 산출함에 있어서 반영 HCP %가 낮을 때는 GDP per capita와, 반대로 높을 경우에는 GDP와 상관관계가 높은 것을 확인하였다. 그러나 정확히 어느 정도 비율의 상위 논문에 대해 성과 평가에 반영하는 것이 적절한지에 대해서는 밝혀 내지 못하였다. 따라서 향후 연구를 통해 좀 더 세밀한 측정법의 개발이 요구된다.

참고문헌

- 김지은·이성주 (2013), “특허정보를 활용한 산업융합성 평가 방법론: 기술연관분석”, 『Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers』, 39(3): 212-221.
- 미래창조과학부 (2013), “보도자료: 미래부, 국가연구개발 성과평가의 새로운 패러다임 제시”.
- 박현우 외 (2009), “국가별 과학연구 투입과 성과의 특성분석”, 『기술혁신학회지』, 12(3), pp.471-498.
- 손윤희 (2012), 『융합산업 정책현황 및 대응전략』, 서울: 산업연구원.
- 오동훈 외 (2013), “상대적순위보정지수를 활용한 주요국의 SCI 논문 질적 수준 비교분석”, 『기술혁신연구』, 21(1):85-108.
- 유승준 (2014), “기초연구평가, 다양성 확보해야”, 『디지털타임스』, (2014.06.16.), 22면.
- 이장재(1996), “국가연구개발사업 체계의 재정립 방향 모색연구” 『한국정책학회』.
- 정우성·양현채 (2013), 『과학계량학 연구동향 및 과학기술 정책 분야 응용가능성』, 서울: 한국과학기술기획평가원.
- 황석원 외 (2012), 『개인성과평가 및 보상체계에 따른 연구자 행동 변화 및 성과 분석』, 서울: 과학기술정책연구원
- Bergstrom, C. (2007), “Eigenfactor: measuring the value and prestige of scholarly journals”, 『C&RL News』, 68: 314-316.

- Garfield, E. (1955), "Citation Indexes for Science: A New Dimension in Documentation through Association of Ideas", *Science*, 122(3159): 108-111.
- Price, D. (1961), *Science since Babylon*, New Haven.
- Price, D. (1978), *Toward a model for science indicators, Toward a Metric of Science: The Advent of Science Indicators*, New York, John Wiley & Sons.
- King, D. A. (2004), "The scientific impact of nations. What different countries get for their research spending", *Nature*, 430: 311-316.
- Kealey, T. (1996), *The Economic Laws of Scientific Research*, New York, St. Martin's Press.
- May, R. M. (1997), "The Scientific Wealth of Nations", *Science* 281: 49-51.
- Small, H., Sweeney, E., and Greenlee, E. (1985), "Clustering the Science Citation Index using co-citations. II. Mapping science", *Scientometrics* 8(5): 321-340.
- Vinkler, P. (2004), "Characterization of the impact of sets of scientific papers: The Garfield (Impact) Factor", *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 55: 431-435.
- Vinkler, P. (2005), "Science indicators, economic development and the wealth of nations", *Scientometrics*, 63: 417-419.
- Vinkler, P. (2008), "Correlation between the structure of scientific research, scientometric indicators and GDP in EU and non-EU countries", *Scientometrics*, 74(2): 237-254.