

학술지를 평가하는 다양한 지표, 그 특징과 문제점



글 김기홍
아주대 물리학과 교수
과편협 정보관리위원장

학술지의 수준과 영향력을 정량적으로 나타내기 위한 지표들은 다양하다. 이 지표들은 모두 학술지들의 인용 데이터를 분석하여 얻는다. 가장 널리 알려지고 큰 영향력이 있는 지표는 impact factor(IF, 영향력 지수)이다. Impact factor는 매우 간단하고 이해하기 쉬운 방법에 의해 계산되는 반면 여러 가지 문제점도 있다. 이러한 문제점들이 보완되어 좀 더 신뢰성 있는 평가 기준을 제시하기 위한 여러 가지 다른 지표들도 제안되어 있다. 이 글에서는 impact factor를 비롯하여 현재 사용되는 여러 평가 지표의 정의 및 계산 방법을 설명하고, 각 지표들의 특징 및 문제점에 대해 간단하게 정리해본다.

Impact factor 및 관련 지표들

Impact factor의 아이디어는 1955년 유진 가필드(Eugene Garfield)에 의해 처음으로 제안되었다[1]. 이를 바탕으로 SCI(Science Citation Index, 과학인용색인)가 탄생하였고 학술지들에 대한 정량적인 평가가 이루어지기 시작했다. 이 지표는 매년 톰슨 로이터(Thomson Reuters)사의 JCR(Journal Citation Reports)에 발표되어 광범위하게 사용되고 있다. JCR에는 impact factor 외에도 여러 가지 연관된 지표들이 발표된다.

- ① 여러 가지 인용 지수: Impact factor, five-year impact factor, immediacy index, impact factor without self cites
주어진 해에 어떤 학술지의 impact factor는 그 전

2년 동안 그 학술지에 출판되었던 논문들이 주어진 해에 받은 인용 횟수의 편당 평균값이다. 구체적으로 다음과 같이 정의된다:

$$A = (X-1)\text{년과 } (X-2)\text{년에 학술지 } J\text{에 출판된 모든 item 이 } X\text{년에 조사 대상 학술지들에 인용된 총횟수}$$

$$B = (X-1)\text{년과 } (X-2)\text{년에 학술지 } J\text{에 출판된 모든 citable item의 총수}$$

$$X\text{년에 학술지 } J\text{의 impact factor} = A / B$$

여기서 citable item은 논문들만을 포함하며 erratum, editorial, abstract 등은 포함하지 않는다. 반면에 A를 구할 때는 J에 출판된 모든 item들에 대한 인용을 다 포함한다.

X년의 five-year impact factor(5년 인용 지수)는 (X-1)년부터 (X-5)년까지 5년간의 인용 데이터를 바탕으로 계산한다는 점만 다르다. 이 지표는 인용을 적

게 하거나, 출판된 논문들이 연구자들에게 받아들여지는 데 오래 걸리는 학문 분야들의 경우에 유용하다. Immediacy index는 X년에 출판된 item들이 X년에 인용된 횟수를 바탕으로 impact factor와 유사하게 계산한다. 이 지표가 클수록 그 학술지의 내용이 빨리 인용됨을 의미한다.

Self citation은 학술지 J에 출판된 item들이 그 학술지에 인용되는 것을 말한다. JCR에서는 self citation을 제외했을 때 얻어지는 impact factor도 매년 발표한다. Impact factor와 impact factor without self cites의 차이가 너무 클 경우 해당 학술지를 JCR 리스트에서 삭제하기도 한다.

② Cited half-life, citing half-life

Cited half-life(피인용 반감기)는 학술지 J에 역대에 출판된 모든 item들에 대해 X년에 받은 인용 횟수를 바탕으로 계산한다. 예를 들어 2011년에 J가 총 1,177회 인용되었다고 가정하자. 인용 횟수를 출판년도에 따라 분류한 표가 다음과 같다면 누적 백분율(cumulative percentage)이 50퍼센트가 되는 연도는 2003년과 2002년 사이이다. 인용이 매달 균일하게 이루어진다고 가정하여 50퍼센트가 되는 연도를 소수점 첫째 자리까지 구하면 Cited half-life가 9.3년이 됨을 알 수 있다. 이 지표는 출판된 내용이 얼마나 오랫동안 인용되는지를 나타내는 척도이다. 유사한 방법으로 J가 인용한 논문들에 대해서도 Citing half-life(인용 반감기)를 계산할 수 있다.

〈표 1〉 출판년도에 따라 분류한 인용 횟수

인용된 item의 출판년도	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001-all
2011년에 인용된 횟수	20	58	126	115	45	44	49	45	66	59	550
누적 백분율	1.70	6.63	17.33	27.10	30.93	34.66	38.83	42.65	48.26	53.27	100

③ Median Impact factor, aggregate impact factor

Impact factor의 문제점은 학문 분야에 따라 큰 차이를 나타낸다는 것이다. 이 때문에 JCR에서는 impact factor를 subject category, 즉 학문 분야별로 분류하여 발표하고, 동시에 각 subject category를 대표하는 지표들을 발표해오고 있다. Median impact factor(중간 인용 지수)는 학술지들을 각 카테고리 내에서 impact factor 순으로 나열했을 때 중간에 해당

되는 학술지의 impact factor를 말한다. 카테고리 내의 전체 학술지수 N이 홀수일 때는 $[1+(N-1)/2]$ 번째 학술지의 impact factor이고, N이 짝수일 때는 $N/2$ 번째 학술지와 $[1+N/2]$ 번째 학술지의 impact factor의 평균값이다.

특정 subject category의 aggregate impact factor(집단 인용 지수)는 (X-1)년과 (X-2)년의 카테고리 내에 속하는 모든 학술지에 출판된 item들이 X년에 인용된 총횟수를 (X-1)년과 (X-2)년에 같은 학술지

들에 출판된 모든 citable item 수로 나눈 것이다. Impact factor의 분포는 선형적이지 않고, 또 power law를 따르므로 일반적으로 cumulative impact factor는 median impact factor에 비해 상당히 높다. JCR에는 이외에도 aggregate immediacy index, aggregate cited half-life, aggregate citing half-life 등의 지표들이 발표된다.

문 분야의 특성에 따라 큰 편차를 보이는 것이다. 다음 표는 JCR에 발표된 몇 개의 subject category에 대한 2011년도 median impact factor, aggregate impact factor, aggregate cited half-life, 편당 인용 논문 수를 보여준다. 논문을 많이 인용하는 분야일수록, 그리고 cited half-life가 짧은 분야일수록 impact factor가 전반적으로 크다는 것을 알 수 있다. 또한 분야에 따라 impact factor 분포의 차이가 존재함도 알 수 있다.

④ Impact Factor의 문제점과 편집자 윤리
앞에서 지적한 것처럼 impact factor의 문제점은 학

〈표 2〉 JCR에 발표된 몇 개의 subject category에 대한 2011년도의 median impact factor, aggregate impact factor, aggregate cited half-life, 편당 인용 논문 수

subject category	median impact factor	aggregate impact factor	aggregate cited half-life	편당 인용 논문 수
Mathematics	0.560	0.709	>10.0	19.8
Physics, Multidisciplinary	0.983	2.680	7.7	30.4
Chemistry, Multidisciplinary	1.316	4.732	5.9	40.9
Biology	1.546	3.180	6.1	46.6
Astronomy & Astrophysics	1.683	4.242	6.8	49.3
Nanoscience & Nanotechnology	1.918	4.688	3.8	35.5
Cell & Tissue Engineering	3.728	6.021	3.7	50.4

Impact factor는 특정 학술지에 실린 item들의 인용 횟수의 산술 평균에 의해 얻어진다. 그러나 같은 학술지 내에서의 논문별 인용 횟수의 분포는 일반적으로 power law를 따른다고 알려져 있으므로 impact factor는 개별 논문들의 중요성을 과대평가하는 경향이 있음을 알 수 있다. 즉 대다수의 논문들은 impact factor가 나타내는 것보다 상당히 더 적게 인용된다.

그러므로 이 지표를 이용하여 개별 논문 또는 연구자의 우수성을 판단하는 것은 정확하지 않다.

학술자들 간의 경쟁이 치열해지면서 학술지 편집자들이 의도적으로 impact factor를 올리기 위한 정책을 시행하는 경우가 종종 발생한다. 윤리적으로 가장 문제가 되는 것은 저자들에게 self citation을 강요하는 방식이다. 이외에도 인용이 많이 되는 경향이 있는 종설

(review) 논문들을 의도적으로 많이 출판하거나, 인용 가능성이 많은 논문들을 연초에 몰아서 출판하는 방법들이 사용된다. 이러한 행위는 impact factor에 너무 많은 중요성을 불합리하게 부여하는 현실에서 비롯되며 지표를 의도적으로 왜곡하는 불공정 행위라고 볼 수 있다.

Eigenfactor score, article influence score

이 지표들은 칼 버그스트롬(Carl Bergstrom) 등이 impact factor의 결점을 보완하기 위한 목적으로 개발해 2007년 이후 JCR을 통해 제공하고 있다[2]. Eigenfactor의 개념은 complex network(복잡 연결망) 이론에 바탕을 두고 있으며, 래리 페이지(Larry Page) 등이 제안하여 구글 검색 엔진(Google search engine)에 사용되고 있는 페이지랭크 알고리즘(PageRank algorithm)과 유사한 방법을 사용한다. Eigenfactor의 계산을 위해서는 먼저 계산에 사용될 총 N개의 학술지들로 이루어진 데이터베이스를 정의한 후, 다음과 같은 형태의 N×N 행렬 H를 구성해야 한다.¹⁾

$$H_{ij} = \frac{Z_{ij}}{\sum_k Z_{kj}}$$

여기서 Z_{ij} 는 (X-1)년에서 (X-5)년까지 5년간 학술지 i에 출판된 item들이 X년도에 학술지 j에 인용된 횟수를 말한다. Eigenfactor의 계산에서는 self citation은 제외하므로 행렬 Z의 대각선 원소들은 모두 0이다.

1) Eigenfactor의 정확한 의미를 이해하기 위해서는 선형대수학과 complex network(복잡 연결망) 분야에 관한 전문 지식을 필요로 한다. 특히 주어진 행렬의 leading eigenvector를 구하고 그 의미를 해석할 수 있어야 한다. 4절의 SJR 지표도 선형대수학의 이론을 필요로 한다.

다음에는 article vector라고 불리는 벡터 a를 정의한다. 이 벡터의 i번째 원소 a_i 는 (X-1)년에서 (X-5)년까지 5년간 학술지 i에 출판된 논문들의 총수를 같은 기간 동안 데이터베이스 전체에서 출판된 논문의 총수로 나눈 수이다. Complex network와 관련된 계산을 할 때 특별히 고려해야 할 부분은 소위 dangling node 및 dangling cluster에 관한 것이다. dangling node의 예를 들면 어떤 학술지 j가 데이터베이스에 포함된 어떤 학술지도 인용하지 않았지만 다른 학술지에 인용되었을 경우 모든 k에 대해 $Z_{kj}=0$ 이다. 이 경우 행렬 H의 j번째 열이 정의되지 않으므로 이 열을 적절한 숫자들로 바꿔줄 필요가 있다. 모든 dangling node에 해당하는 학술지들에 대해, 해당하는 열을 벡터 a로 대체한 행렬을 H^* 라고 정의한 후 다음과 같은 N×N 행렬 P를 도입한다.

$$P = aH^* + (1-a) \begin{pmatrix} a_1 a_1 & \dots & a_1 \\ a_2 a_2 & \dots & a_2 \\ \vdots & \dots & \vdots \\ a_N a_N & \dots & a_N \end{pmatrix}$$

여기서 α 는 적절하게 선택된 상수이며 보통 0.85의 값을 선택한다. 이 행렬 P의 eigenvalue 중에서 가장 큰 절대값을 갖는 eigenvalue에 해당하는 eigenvector를 journal influence vector라고 부른다. 이 벡터를 v라고 할 때 v_i 는 network 내에서 i번째 학술지의 상대적인 중요성을 나타내는 weighing factor(가중치)의 의미를 갖는다. 최종적으로 학술지 i의 Eigenfactor score F_i 는 다음 식에 의해 계산된다.

$$F_i = 100 \frac{\sum_{j=1}^N H_{ij} v_j}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N H_{ij} v_j}$$

이 정의에 따르면 데이터베이스 내의 모든 학술지에 대한 Eigenfactor들의 합은 100이다. 이 양은 해당 학술지에서 출판된 논문들의 총수에 의해 규격화되지 않았으므로 같은 조건이라면 많은 논문을 출판하는 학술지일수록 큰 값을 갖게 되는 경향이 있다. 또한 학문 분야들 간의 인용 패턴의 차이가 조정되어 서로 다른 분야에 속하는 학술지들 간의 비교를 가능하게 한다. 특정 학술지에 발표된 개별 논문들의 영향력을 나타내는 지표로서 article influence score I_i 를 다음과 같이 정의한다.

$$I_i = 0.01 \frac{F_i}{a_i}$$

이 양은 impact factor를 대체하는 척도로서 사용될 수 있다.

SNIP (Source Normalized Impact per Paper)

SNIP은 학문 분야에 따라 다른 인용 패턴을 나타내는 현상을 보정해주는 지표로서 Hank Moed에 의해 제안되었다[3]. 이 지표는 Scopus를 통해 제공되며 impact factor 대신에 사용될 수 있다. SNIP은 다음 방법으로 계산된다.

RIP (raw impact per paper) = 특정 학술지에서 (X-1), (X-2), (X-3)년에 출판된 논문들이 X년도에 인용된 횟수를 논문 수로 나눈 값. 논문을 인용한 것만 포함하고 erratum이나 editorial 등에 대한 인용은 포함시키지 않는다는 점을 빼고는 Impact Factor와 유사함.

DCP (database citation potential) = 특정 학술지에서 (X-1), (X-2), (X-3)년에 출판된 논문들을 X년도에 인용한 모든 논문에서 인용한 reference들 중 같은 기간에 출판된

reference들의 총수를 인용한 논문들의 총수로 나눈 값. 이 계산에는 데이터베이스에 포함된 학술지들을 인용한 것만 포함하고 나머지는 무시함.

RDCP (relative database citation potential) = 데이터베이스에 포함된 학술지들에 대해 DCP를 순서대로 나열했을 때 중간값에 해당하는 학술지의 DCP로 규격화한 DCP.

$$SNIP = RIP / RDCP$$

SJR (SCImago Journal Rank)

SJR은 SNIP과 함께 Scopus를 통해 제공되는 지표이다[4]. SJR의 계산은 반복적으로(iteratively) 이루어지며 다음과 같이 정의된다. 먼저 N개의 학술지들로 구성된 데이터베이스 내에서 각 학술지의 상대적인 중요성을 나타내는 벡터 S를 도입한다. S_i 는 i번째 학술지의 weighting factor이다. 첫 단계에서 S 벡터의 값들은 임의의 숫자들로 주어진다. 최종 결과는 이 초기 값들에 의존하지 않는다. 다음 단계에서 각각의 S_i 는 다음 수식을 이용하여 계산한다:

$$\frac{1-d-e}{N} + ea_1 + d \frac{\sum_{j=1}^N H^*_{ij} S_j}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N H^*_{ij} S_j} \left[1 - \sum_{k \in \{dangling-nodes\}} S_k \right] + da_1 \sum_{k \in \{dangling-nodes\}} S_k \Rightarrow S_i$$

이 식에서 상수 d, e는 각각 d=0.85, e=0.1의 값을 선택하며, 행렬 H^* 와 벡터 a는 (X-1)년에서 (X-3)년까지 3년간의 인용 데이터를 사용하는 점을 제외하고는 앞에서 살펴본 Eigenfactor 계산 시와 유사하게 정의된다. 위의 식에 의해 새롭게 얻은 S 벡터를 이용

하여 다시 계산을 수행하고, S 벡터의 값들이 수렴할 때까지 유사한 계산을 반복한다. 최종적으로 학술지 i의 SJR은 다음 식을 이용하여 계산한다.

$$SJR_i = \frac{S_i}{A_i}$$

여기서 A_i 는 학술지 i에서 3년간 출판된 총논문 수이다. SJR은 다른 지표들과는 상당히 큰 차이를 나타내며 신뢰성에서 문제가 있다고 판단된다.


h index, g index

h index는 2005년 Jorge Hirsch가 개별 연구자들의 연구 역량을 평가하는 지표로 제안한 것이다[5]. 이 지표는 특정 연구자가 발표한 논문들이 받은 모든 인용을 바탕으로 계산한다. 특정 연구자의 논문들을 인용 횟수가 많은 논문부터 차례로 나열하여 h편의 논문이 각각 적어도 h회 이상 인용되었다고 할 때 얻을 수 있는 h의 최대값이 이 연구자의 h index이다. 같은 방법을 사용하여 특정 연도에 특정 학술지에 출판된 논문들에 대해서도 h index를 부여할 수 있으므로 학술지의 평가 지표로도 사용될 수 있다. h index는 각 논문의 통산 인용 횟수를 이용하여 구하므로 시간이 지나면서 점점 큰 값을 갖게 된다. 그러나 소수의 매우 우수한 논문을 발표한 연구자의 경우 낮은 지표를 갖게 된다는 문제점이 있다. 이 문제점을 보정하기 위해 Leo Egghe는 변형된 지표인 g index를 제안하였다. G index는 특정 그룹의 논문들 중에서 g편의 논문이 인용된 총수가 적어도 g^2 회 이상 되었다고 할 때 얻을 수 있는 g의 최대값을 말한다. G index는 항상 h index보다 큰 값을 갖는다.

마무리하며

지금까지 학술지들의 정량적인 평가를 위해 사용하는 여러 가지 지표에 대한 정의, 계산 방법, 특징 및 문제점 등을 간략하게 살펴보았다. 이 글에서 언급된 지표들 외에도 새로운 지표들이 계속해서 고안되고 있다. 그러나 어떤 지표도 완벽할 수는 없으며 나름대로의 한계와 문제점들이 존재한다. 그러므로 학술지, 개별 논문, 연구자를 평가할 때 정량적인 지표들에 지나치게 의존하지 않도록 주의할 필요가 있다.

참고 문헌

1. Garfield E. Citation indexes for science. *Science* 122, 108–111 (1955).
2. Bergstrom CT, West JD, Wiseman MA. The Eigenfactor metrics. *J. Neurosci.* 28, 11433–11434 (2008).
3. Moed HF. Measuring contextual citation impact of scientific journals. *J. Informetr.* 4, 265–277 (2010).
4. Gonzalez-Pereira B, Guerrero-Bote VP, Moya-Anegon F. A New approach to the metric of journals' scientific prestige: the SJR indicator. *J. Informetr.* 4, 379–391 (2010).
5. Hirsch JE. An Index to quantify an individual's scientific research output. *PNAS* 102, 16569–16572 (2005). 

[출처] 과편협 뉴스레터 4호