

공동연구 특성을 고려한 연구자 유형 구분에 대한 연구*

A Study on Categorizing Researcher Types Considering the Characteristics of Research Collaboration

이재윤 (Jae Yun Lee)**

초 록

기존의 연구자 유형 구분 모델은 대부분 연구성과 지표를 활용해왔다. 이 연구에서는 인용 영향력이 공동연구와 관련이 있다는 점을 감안하여 인용 데이터를 활용하지 않고 공동연구 지표만으로 연구자 유형을 분석하는 새로운 방법을 모색해보았다. 공동연구 패턴과 공동연구 범위를 기준으로 연구자를 Sparse & Wide (SW) 유형, Dense & Wide (DW) 유형, Dense & Narrow (DN) 유형, Sparse & Narrow (SN) 유형의 4가지로 구분하는 모델을 제안하였다. 제안된 모델을 양자계측 분야에 적용해본 결과, 구분된 연구자 유형별로 인용지표와 공저 네트워크 지표에 차이가 있음이 통계적으로 검증되었다. 이 연구에서 제시한 공동연구 특성에 따른 연구자 유형 구분 모델은 인용정보를 필요로 하지 않으므로 연구관리 정책과 연구지원서비스 측면에서 폭넓게 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

ABSTRACT

Traditional models for categorizing researcher types have mostly utilized research output metrics. This study proposes a new model that classifies researchers based on the characteristics of research collaboration. The model uses only research collaboration indicators and does not rely on citation data, taking into account that citation impact is related to collaborative research. The model categorizes researchers into four types based on their collaborative research pattern and scope: Sparse & Wide (SW) type, Dense & Wide (DW) type, Dense & Narrow (DN) type, Sparse & Narrow (SN) type. When applied to the quantum metrology field, the proposed model was statistically verified to show differences in citation indicators and co-author network indicators according to the classified researcher types. The proposed researcher type classification model does not require citation information. Therefore, it is expected to be widely used in research management policies and research support services.

키워드: 연구자 유형, 공동연구, 연구성과, 인용영향력, 공저네트워크, 네트워크분석, 군집화계수
researcher type, collaborative research, research performance, citation impact,
co-authorship network, network analysis, clustering coefficient

* 이 논문에서는 과학기술정책연구원(STEPI)의 “정부R&D 수행 이력 분석을 통한 대학 연구자 성장경로 모형 개발 연구”의 보고서(발간 2022년 12월) 일부를 활용하였다.

** 명지대학교 문헌정보학과 교수(memexlee@mju.ac.kr)

■ 논문접수일자: 2023년 5월 13일 ■ 최초심사일자: 2023년 6월 4일 ■ 게재확정일자: 2023년 6월 8일
■ 정보관리학회지, 40(2), 59-80, 2023. <http://dx.doi.org/10.3743/KOSIM.2023.40.2.059>

※ Copyright © 2023 Korean Society for Information Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>) which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided that the article is properly cited, the use is non-commercial and no modifications or adaptations are made.

1. 서론

연구자 유형 구분 모델은 연구자의 연구 경력에서 측정되는 특성을 이용해서 연구자를 특정한 유형으로 분류하려는 시도이다. 이는 연구자 개인의 연구 활동을 파악하는데 사용될 뿐만 아니라 특정 연구분야 연구자들의 특성을 집단적으로 이해하는 데에도 도움이 된다. 또한 유형별 연구자 집단에 속한 연구자들에 대해 측정된 계량서지적 지표를 분석함으로써 연구자 평가 지표의 특성을 파악하는 용도로 활용될 수도 있다.

기존의 연구자 유형 구분 모델은 Cole과 Cole (1967)이 시작한 연구성과의 양적 지표와 질적 지표를 조합하는 접근방식이 가장 일반적이며 Costas와 Bordons(2008)를 비롯해서 변형된 모델이 여러 가지 제시되었다. 이런 방식에서는 두 가지 차원을 조합하여 4가지 유형(2×2)으로 연구자를 구분한다.

연구성과 지표만을 사용하지 않고 공동연구 지표를 함께 활용하는 시도도 있었다. Ding, Yang, Liu(2013)는 연구자의 인용 영향력과 공동연구 영향력을 나타내는 여러 지표에 대한 요인 분석을 수행하여 두 가지 차원을 도출하고 요인점수로 연구자를 구분하는 방법을 시도하였다. 그런데 이렇게 여러 지표를 종합한 요인점수를 활용하면 복합지표라는 장점은 있으나 좌표의 의미가 직관적이지 않으므로 해석에 다소 어려움이 있다. 또한 요인점수는 측정 집합에 따라서 다르게 얻어지므로 분석 대상 연구자 집단이나 분석 시기에 따라서 일관된 평가를 수행하기가 어렵다.

연구성과 지표로 흔히 사용되는 인용 지표는

연구활동에 대한 후행 지표라는 점에서 약점이 있음에도 불구하고 앞서 언급된 기존의 연구자 유형 구분 모델은 모두 이에 의존하고 있다. 그런데 인용 영향력은 공동연구와도 관련이 있다. Bornmann(2017)은 F1000Prime의 오픈피어 리뷰 데이터와 인용빈도를 분석한 결과, 논문의 질적 수준과 상관없이 공동연구 정도가 논문의 인용 영향력과 관련이 있다고 보고하였다. 한편 Larivière et al.(2015)의 연구에서는 소속 기관이 다른 연구자들끼리의 공동연구가 인용 영향력을 높인다고 하였다. 소속 기관이 같은 연구자들 사이의 공동연구, 즉 같은 연구팀 내부의 공동연구는 인용 영향력을 높이는데 한계가 있다는 것이다. 이를 감안하면 연구자 유형을 나누기 위한 기준으로 연구자의 공동연구 정도만 고려하는 것으로는 충분하지 않고 공동연구 대상자들 사이의 관계도 고려할 필요가 있다. 또한 인용은 연구활동에 대한 후행 모델이라는 점에서 논문이 인용될 만한 충분한 시간을 가지지 못한 신진 연구자들을 구분하는 목적으로 사용하기에는 적절하지 않다. 따라서 이 연구에서는 연구자의 공동연구 네트워크에서 측정되는 공동연구 범위(extent of research collaboration)와 공동연구 패턴(Research collaboration pattern)을 고려한 연구자 유형 구분 모델을 제시하는 것을 목적으로 한다. 또한 제시한 공동연구 특성에 따라 구분한 연구자 유형별로 인용 영향력의 차이가 있는지도 검증하고자 한다.

분석대상으로는 공동연구가 활발한 양자계측(quantum metrology) 분야의 연구자들을 선택하였고, Web of Science에서 검색된 논문으로부터 연구자 인용 지표와 공동연구 지표를 산출하여 분석하였다. 먼저 기존의 연구경력 역

할 유형 모델과 지표에 대해서 2장에서 살펴본 후, 3장에서 공동연구 특성을 고려한 새로운 연구자 유형 구분 모델을 제시하였다. 4장에서 공동연구 네트워크 구축 과정과 지표 측정 결과를 설명한 후 5장에서 새로운 모델의 적용 결과와 연구자 유형별 특징을 살펴보았다.

2. 이론적 배경

2.1 연구자 유형 구분 선행연구

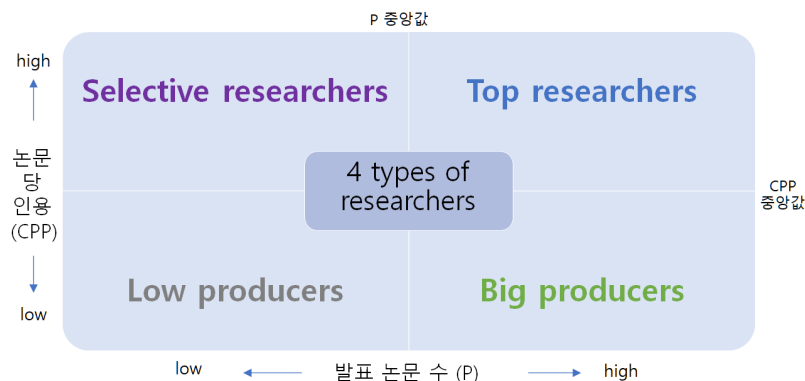
계량서지적 지표로 연구자의 유형을 구분하는 시도는 두 가지 지표를 조합하여 2×2의 분할표 형태로 4가지 유형을 나누는 경우가 많다. 예외적으로 Sidiropoulos, Katsaros, Manolopoulos(2015)는 완벽주의 지수(Perfectionism Index)라는 복합 지표 하나로 유력자(influentials)와 대량생산자(mass producers)를 구분하는 방안을 제안하였고, 이재윤(2019)은 이를 개선한 준완벽주의 지수(Near Perfectionism Index)를 제안하기도 하였다. 2×2 분할표로 연구자 유형을

구분하는 시도는 연구성과 지표만 활용하는 경우와 공동연구 지표도 함께 활용하는 경우로 나눌 수 있다.

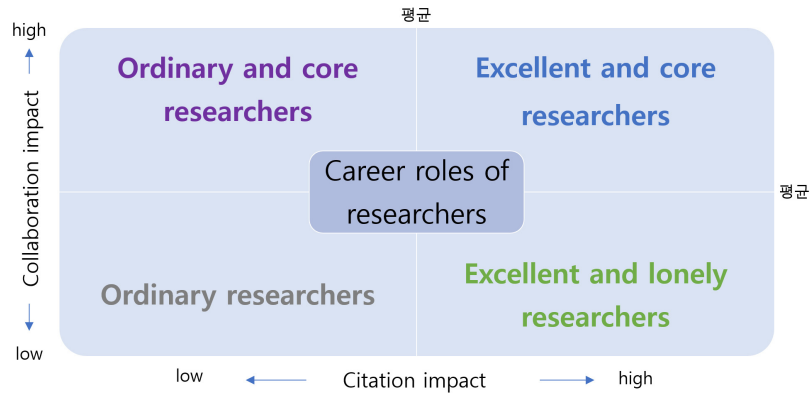
연구성과 지표를 활용해서 연구자 유형을 나누는 경우는 Cole과 Cole(1967), Costas와 Bordons(2008) 등이 있는데 이들은 모두 논문 수와 같은 양적 지표와 인용횟수와 같은 질적 지표를 조합하여 4가지 유형(2×2)으로 연구자를 구분하였다. Costas와 Bordons(2008)가 제안한 연구자 유형 구분 모델은 <그림 1>과 같다.

Costas와 Bordons(2008)의 모델에서는 연구성과의 양과 질이 모두 높으면 Top researchers, 연구성과의 양만 높으면 Big producers, 연구성과의 질만 높으면 Selective researchers, 양과 질이 모두 낮으면 Low producers 유형으로 구분하였다. 이 네 가지 유형은 Cole과 Cole(1967)의 모델에서 Type I, Type II, Type III, Type IV로 제안된 것과 거의 동일하다.

이와 달리 Ding, Yang, Liu(2013)는 연구자의 인용 영향력과 공동연구 영향력을 두 축으로 하여 연구자의 연구경력 역할(career roles of researcher) 유형을 <그림 2>와 같이 4가지로



<그림 1> 연구성과지표에 의한 연구자 구분 모델(Costas & Bordons, 2008)



〈그림 2〉 Ding, Yang, & Liu(2013)의 연구경력 역할 유형 구분 모델

구분하였다.

이들은 인용 영향력과 공동연구 영향력을 나타내는 여러 지표들을 대상으로 요인 분석을 수행하여 얻어진 두 차원의 요인점수를 기준으로 각 연구자의 유형을 구분하였다. 인용 영향력이 높은 연구자는 'Excellent', 그렇지 않은 연구자는 'Ordinary'로 구분하였고, 공동연구 영향력이 높은 연구자를 'Core'로 지칭하여 4가지 유형에 명칭을 부여하였다. 이를테면 인용이 많이 되는 연구자 중에서 공동연구 네트워크에서 중심성이 높은 연구자는 'Excellent and core researcher'로 구분하고 중심성이 낮은 연구자는 'Excellent and lonely researcher'로 구분하는 식이다.

이상의 선행연구들은 모두 연구성과 지표만을 활용하거나 연구성과 지표를 포함하는 모델을 제시하였다. 연구성과 지표는 연구활동의 후행 지표인만큼 연구자를 구분하는 좋은 설명 모델이 될 수 있다. 하지만 후행지표가 아닌 현재의 연구활동 양태를 반영하는 지표를 통해서 연구성과 예측에도 활용할 수 있는 연구자 유형 구분 모델이 필요하다.

2.2 인용 지표와 공동연구 지표

이 연구에서는 인용 지표와 공동연구 지표를 연구자 구분 모델의 요소로 활용하거나, 각 유형의 특징을 확인하기 위한 용도로 활용하였다. 사용된 인용 지표는 5개이며 논문 수 지표까지 포함하여 6가지 지표의 개념을 소개하면 다음과 같다.

- TC: 발표한 논문의 총 인용횟수 합계(total citations)를 의미한다.
- h: Hirsh(2005)의 h-지수이다.
- hc: 공저 보정 h-지수(co-authorship corrected h-index)(이재윤, 2016a)로서, 각 논문의 인용회수를 해당 논문의 저자수로 나눈 값인 공저보정 인용회수가 논문 순위보다 높거나 같은 가장 큰 수치가 hc이다. 연구자가 소속 분야나 소속 연구그룹에 따라서 받게 되는 불평등 문제를 완화시키는 특징이 있다.
- hs: h위 이내 각 논문의 인용빈도의 제곱근을 합산하여 산출한 지표이다(이재윤, 2006). 변별력이 낮고 최상위권 논문 인용빈도의 차이

를 전혀 반영하지 않는 h-지수의 단점을 보완하기 위해 제안된 지표이다.

- g: g-지수(Egghe, 2006)는 연구자의 논문을 인용빈도가 높은 순부터 나열하였을 때, 논문의 인용빈도 누적합계가 논문 순위의 제곱보다 크거나 같은 마지막 논문의 순위이다. 최상위권 논문 인용빈도의 차이를 반영하지 않는 h-지수의 단점을 보완하기 위해 제안된 지표이다. 최상위 논문의 인용빈도에 크게 좌우되는 단점이 있다(이재윤, 2006).
- P: 발표한 총 논문 수이다.

이 연구에서 공동연구 네트워크를 구축하여 측정된 공동연구영향력 지표는 6개이며 각각의 개념은 다음과 같다.

- Degree: 연결정도 중심성으로서 연결된 이웃의 수, 즉 1회 이상 공동연구를 수행한 연구자의 수를 의미한다.
- SSR: 동일 연구자와 공저한 횟수를 고려하기 위해 각 공저자와의 공저횟수의 제곱근합계를 산출하는 지수이다(이재윤, 2014). 공동연구의 강도를 반영한다.
- BC: 매개중심성(Betweenness Centrality)으로서 한 노드가 다른 노드 사이의 최단거리에 위치하여 매개해주는 정도를 측정한다(Freeman, 1979).
- EC: 아이겐벡터 중심성(Eigenvector Centrality)은 중요한 이웃과 많이 연결될수록 높은 중요도를 가지도록 고안된 지표이다(Bonacich, 1987).
- PR: 페이지랭크(PageRank)는 아이겐벡터 중심성과 마찬가지로 위세중심성의 일종이며, 이웃이 내보내는 링크의 개수로 이웃의 중요

도를 나누는 것이 다른 점이다.

- CC: 군집화계수(Clustering Coefficient)는 이웃 노드들이 서로 연결되는 정도를 0에서 1사이의 값으로 나타낸 것이다(Watts & Strogatz, 1998). 공저 네트워크에서 군집화계수는 어떤 연구자의 공저자끼리도 서로 공저하였는지 여부를 측정하게 되며, 군집화계수가 높을수록 밀집된 연구그룹에 강하게 소속되어 연구를 수행하고 있음을 의미한다.

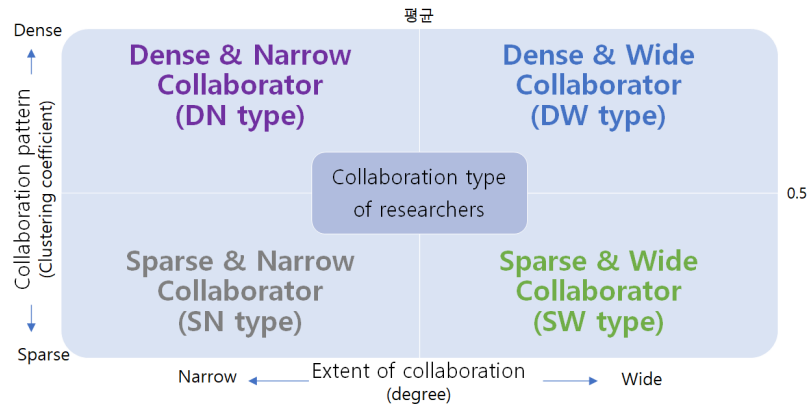
이외에 각 연구자마다 발표한 논문의 평균 공저자 수를 산출해서 보조 지표로 활용하였다.

3. 공동연구 특성에 따른 연구자 유형 모델

이 연구에서는 연구자의 공동연구 범위(extent of research collaboration)와 공동연구 패턴(Research collaboration pattern)을 기준으로 공동연구 특성에 따른 연구자 유형을 4가지로 <그림 3>과 같이 구분해보고자 한다.

공동연구 범위는 연구자가 얼마나 많은 연구자와 공동연구를 수행하는가를 나타내는 특성으로서 공동연구 네트워크에서 연결정도 중심성(degree)으로 측정하기로 한다. 분석대상 연구자 집단에서 연결정도 중심성의 평균보다 높은 연구자는 공동연구 범위가 넓은 연구자, 평균 이하의 연구자는 공동연구 범위가 좁은 연구자로 구분한다.

공동연구 패턴은 연구자가 특정 연구집단 내에 종속되어 활동하는지 여부를 나타내는 특성으로서 공동연구 네트워크에서 군집화계수 CC



〈그림 3〉 공동연구 특성에 따른 연구자 유형 구분 모델

로 측정하기로 한다. 앞에서 공동연구 지표와 인용 지표 사이의 상관관계를 분석했을 때, 군집화계수 CC는 다른 공동연구 지표와의 상관관계가 매우 약하게 나타났으며 인용지표들과는 모두 약한 부정적 상관관계를 보이는 것을 확인했었다. 반면에 매개중심성 BC는 공동연구 지표보다 오히려 인용지표와의 상관관계가 더 강하게 나타났었으므로, 특정 연구그룹에 소속되어 그룹 내부에서의 집단 연구만 수행하는 신진 연구자는 인용지표가 높아지는데 한계가 있으며, 이질적인 연구자(들) 사이를 넘나들면서 공동연구를 수행하는 중견 연구자가 최상위 수준의 연구영향력을 발휘할 가능성이 높아진다고 해석한 바 있다. 따라서 군집화계수로 공동연구 패턴을 살펴보는 것은 연구자의 공동연구 특성 파악에 중요하다.

군집화계수는 0에서 1 사이로 측정되는데 0.5보다 큰 연구자는 자신의 공동연구자들끼리도 서로 공동연구 관계인 밀집된(dense) 공동연구 관계를 유지하는 연구자이고, 0.5 이하인 연구자는 자신의 공동연구자들끼리는 관계가 없는 희박한(sparse) 공동연구 네트워크에 속한

연구자이다.

군집화계수가 0.5보다 높으면서 공동연구 범위가 넓은 연구자는 Dense & Wide Collaborator라고 할 수 있으며 약칭으로 DW 유형이라고 부르기로 한다. DW 유형은 〈그림 3〉의 오른쪽 위에 위치하고 있으며 많은 연구자가 서로 공동연구 관계로 얹힌 큰 연구집단에 속한 연구자일 가능성이 높다.

군집화계수가 0.5보다 높으면서 공동연구 범위가 좁은 연구자는 Dense & Narrow Collaborator라고 할 수 있으며 약칭으로 DN 유형이라고 부르기로 한다. DN 유형은 〈그림 3〉의 왼쪽 위에 위치하고 있으며 소수의 연구자가 서로 공동연구 관계로 얹힌 작은 연구팀에 속한 연구자일 가능성이 높다.

군집화계수가 0.5 이하이면서 공동연구 범위가 넓은 연구자는 Sparse & Wide Collaborator라고 할 수 있으며 약칭으로 SW 유형이라고 부르기로 한다. SW 유형은 〈그림 3〉의 오른쪽 아래에 위치하고 있으며, 다수의 연구팀과 함께 공동연구를 수행하는데 각 연구팀들 사이에는 공동연구 관계가 없는 경우이다. 이들 중에 일

부는 여러 연구팀 각각과 개별적으로 공동연구를 수행하는 연구집단 리더인 경우도 포함된다.

군집화계수가 0.5 이하이면서 공동연구 범위가 좁은 연구자는 Sparse & Narrow Collaborator라고 할 수 있으며 약칭으로 SN 유형이라고 부르기로 한다. <그림 3>의 왼쪽 아래에 위치하고 있으며 적은 수의 연구자 각자와 개별적으로 공동연구를 수행하는 경우이다. 이들은 공동연구를 거의 하지 않는 독자적 연구자이거나 소수의 제자를 지도하면서 각자와 개별적으로 공동연구 성과를 발표하는 멘토 유형의 연구자일 수도 있다.

이후에는 각 유형을 지칭할 때 DW, DN, SW, SN 유형의 네 가지 약칭으로 표기하기로 한다.

4. 공동연구 네트워크 구축 및 지표 산출

4.1 공동연구 네트워크 구축

양자계측은 외부 섭동에 대한 양자계의 높은 민감도를 활용하여 물리량에 대한 계측 성능을 향상시키는 것을 연구하는 분야이다(Wang & Song, 2020). 양자계측 분야는 계측기법과 적용분야에 따라서 다양한 배경의 연구자가 폭넓게 공동연구를 수행하고 있다. 여러 분야의 기술이 응용될 뿐만 아니라 양자계측 기술이 활용되는 분야도 다양하기 때문에 양자계측 분야 논문을 수집하기 위해서는 학술지 몇 종을 선정하기 보다는 적절한 검색식을 사용해서 논문을 수집하는 것이 바람직하다. 이 연구에서는 양자계측 관련 SCIE 문헌을 수집하기 위해서

전문가의 의견에 따라 작성된 아래의 검색식으로 Web of Science에서 2021년 9월에 검색한 데이터를 사용하였다.

("quantum" and "single spin sensor") or ("quantum sensor" or "quantum sensing" or "quantum light sensor" or "quantum photomechanical sensor" or "quantum photodynamic sensor" or "quantum gravity sensor" or "quantum gravity gradiometer" or "quantum magnetometer" or "quantum magnetometry" or "quantum magnetics" or "quantum magnetoresistance" or "quantum magnetic resonance analyzer" or "quantum electro sensor" or "quantum electro-sensor" or "quantum electromagnetic sensor" or "quantum gyroscope" or "quantum gyro-sensor" or "quantum light detection" or "quantum LiDAR" or "LiDAR" or "quantum imaging" or "quantum image" or "quantum medical imaging" or "quantum lithography")

검색결과 22,837건의 문헌이 확보되었다. 양자계측 분야 공동연구 네트워크를 구축하기 위해서 Web of Science 데이터에서 저자ORCID 정보를 추출하였다. 연구성과 분석에서는 논문을 많이 발표한 소수의 핵심 저자 위주로 분석하면 되므로 저자명을 기준으로 연구자를 식별하고 일부 저자명 불일치 문제를 처리해서 분석했다. 그러나 공동연구 네트워크는 논문을 한 건만 발표했더라도 모든 저자를 식별해서 공저 관계를 파악해야 하므로 저자명으로 저자를 식별하는 것은 데이터의 부정확성이 높다. 따라서 저자식별이 완벽히 이루어지는 저자식

별기호를 확보할 필요가 있다. Web of Science 데이터에서 확보할 수 있는 저자식별기호는 ResearcherID와 ORCID가 있는데, ORCID가 부여된 경우가 더 많으므로 ORCID를 기준으로 분석을 수행하였다.

Web of Science 데이터에서 저자의 ORCID 정보를 추출한 결과, 동일 문헌에 ORCID가 중복해서 입력된 경우가 1,265건이 있어서 이를 모두 제외하였다. 이들 중 상당수는 저자의 WoS ResearcherID가 둘 이상이어서 각각이 입력된 경우에 이에 대응하는 ORCID를 반복해서 입력한 경우였다. 이를 보아서도 WoS ResearcherID보다는 ORCID가 더 정확하고 포괄적인 것으로 판단된다.

양자계측 분야 논문에서 ORCID로 식별된 연구자는 16,919명이었다. 이들을 발표한 논문 수별로 집계해서 <표 1>을 작성하였다. <표 1>의 왼쪽 윗부분에서부터 가장 많은 129편을 발표한 연구자가 1명(G. Asner)이고 그 다음으로 110편을 발표한 연구자(J. Hyypä)와 84편

을 발표한 연구자(N. Coops)가 각 1명씩이며 67편을 발표한 연구자가 2명임을 제시하였다. 이처럼 다수의 논문을 발표한 연구자는 소수인 반면에 단 한 편만을 발표한 연구자가 전체의 63.9%인 10,814명에 달하였다.

식별된 16,919명의 연구자 중에서 4편 이상의 논문을 발표한 2,118명 사이의 공저관계를 추출하였다. 분석 기간 10년 동안 두세 편 이하의 논문을 발표한 연구자는 일시적인 연구활동자로 판단하였고, 4편 이상을 발표한 연구자를 지속적인 연구활동자로 판단하여 공동연구 네트워크 분석의 대상으로 삼았다. 이는 선행연구인 Ding, Yang, Liu(2013)의 기준에 맞춘 것이다. 4회 이상 논문을 발표한 2,118명 중에서 220명은 단독 저술만 수행했으며 1,898명이 공저 활동을 수행하였다. 1,898명은 총 89개의 컴포넌트로 분리되었는데, 이 중에서 전체의 85%인 1,612명이 포함된 메인 컴포넌트의 네트워크 지름은 17이며 평균 거리는 5.85이고 밀도는 0.0063으로 매우 낮다.

<표 1> ORCID로 식별된 양자계측 분야 발표논문 수별 해당 연구자 수

논문 수	연구자 수	논문 수	연구자 수	논문 수	연구자 수	논문 수	연구자 수	논문 수	연구자 수
129	1	45	2	33	1	21	6	9	122
110	1	44	1	32	3	20	13	8	130
84	1	43	1	31	1	19	10	7	203
67	2	42	4	30	7	18	14	6	226
66	2	41	1	29	2	17	22	5	358
56	1	40	3	28	5	16	26	4	628
54	1	39	2	27	5	15	23	3	1,220
52	2	38	1	26	8	14	31	2	2,767
50	1	37	2	25	4	13	39	1	10,814
49	1	36	2	24	10	12	42	전체	16,919
47	1	35	2	23	9	11	55		
46	1	34	3	22	8	10	68		

4.2 인용 지표와 공동연구 지표 분석

4편 이상 논문을 발표한 2,118명을 대상으로 인용 지표 5종, 논문 수, 그리고 공동연구 지표 6종을 측정하였다. 산출된 12가지 지표값 사이의 상관관계를 피어슨 상관계수로 측정해본 결과는 <표 2>와 같다.

인용 지표 5개 사이의 상관관계는 최소 0.780 이상으로 강한 관계로 나타났다. 공저 보정 h-지수를 제외한 4개 인용 지표 사이의 상관관계는 0.841로 더욱 강하게 나타났다.

공동연구 지표들 사이에서는 SSR과 Degree 사이의 상관계수가 매우 높았으며, 이들은 EC나 PR와도 0.78 이상의 높은 상관관계를 보였다. 상대적으로 매개중심성 BC는 PR을 제외한 나머지 공동연구 지표와는 0.2대의 약한 상관관계를 보였으며, 오히려 인용지표들과의 상관계수가 0.4 내외로 더 높게 나타났다.

공동연구 지표와 인용 지표 사이의 상관관계를 보면 PR, SSR, Degree, BC, EC의 순으로 인

용 지표와의 관계가 강한 것으로 나타났으며 대체로 0.7대(PR과 인용 지표)에서 0.2대(EC와 인용 지표)까지 폭넓은 수준의 상관관계가 확인되었다. 오래전부터 최근까지 과학기술 분야에서는 공동연구와 연구생산성 사이에 긍정적인 상관관계가 있는 것으로 보고되고 있다(Abbasi, Altmann, & Hossain, 2011; Beaver, 1979). 하지만 사회과학 분야에서는 생산성과 영향력이 높은 연구자일수록 오히려 공동연구 비중이 덜하다는 보고도 있다(Corley & Sabharwal, 2010). 국내 문헌정보학 분야 연구자들을 대상으로 한 이재윤(2016b)의 연구에서도 공저 활동의 정도는 연구성과와 상관관계가 없거나 오히려 부정적인 것으로 나타났다. Corley와 Sabharwal(2010)의 연구는 공공행정 분야 주요 23개 저널에 1973년부터 2007년까지 35년 동안 논문을 게재한 저자 중 논문 수 최상위 5% 연구자와 인용횟수 최상위 5% 저자들을 대상으로 분석한 것이다. 다만 최상위 5% 집단과 나머지 95% 집단을 비교한 것이라는 점에

<표 2> 인용 지표, 공동연구 지표, 논문수 사이의 상관계수

		인용 지표					P	공동연구 지표					
		TC	h	hc	hs	g		SSR	Degree	BC	EC	PR	CC
인용 지표	TC		0.852	0.780	0.957	0.841	0.842	0.576	0.519	0.398	0.215	0.694	-0.144
	h	0.852		0.840	0.956	0.953	0.898	0.673	0.620	0.386	0.322	0.752	-0.179
	hc	0.780	0.840		0.849	0.796	0.745	0.314	0.285	0.335	0.030	0.519	-0.237
	hs	0.957	0.956	0.849		0.917	0.873	0.648	0.597	0.407	0.283	0.750	-0.168
	g	0.841	0.953	0.796	0.917		0.950	0.673	0.612	0.398	0.308	0.766	-0.188
P		0.842	0.898	0.745	0.873	0.950		0.652	0.575	0.381	0.292	0.727	-0.168
공동 연구 지표	SSR	0.576	0.673	0.314	0.648	0.673	0.652		0.977	0.275	0.822	0.788	-0.033
	Degree	0.519	0.620	0.285	0.597	0.612	0.575	0.977		0.284	0.843	0.786	-0.030
	BC	0.398	0.386	0.335	0.407	0.398	0.381	0.275	0.284		0.059	0.436	-0.168
	EC	0.215	0.322	0.030	0.283	0.308	0.292	0.822	0.843	0.059		0.457	0.016
	PR	0.694	0.752	0.519	0.750	0.766	0.727	0.788	0.786	0.436	0.457		-0.162
	CC	-0.144	-0.179	-0.237	-0.168	-0.188	-0.168	-0.033	-0.030	-0.168	0.016	-0.162	

서 결과를 일반화하기는 다소 어렵다. 연구생산성이나 영향력이 낮은 연구자들은 대부분 지도교수와 공동으로 논문을 발표하는 학문후속세대이거나 연구그룹에 속해서 연구활동을 수행하는 신진연구자이기 마련이므로 상대적으로 공동연구 비중이 높을 수밖에 없다. 연구생산성이 중간 수준 이상인 중견 연구자들을 대상으로 분석했을 때에는 결과가 다를 수 있다.

공동연구 지표 중에서 군집화계수 CC는 다른 지표와의 상관관계가 매우 약하게 나타났다. CC는 특히 인용지표들과는 모두 약한 부정적 상관관계를 보였다. Bordons et al.(2015)의 연구에서는 나노과학 분야와 약학 분야에서 CC가 g-지수에 부정적인 영향을 끼치는 것으로 나타났고 통계학 분야에서는 영향이 없는 것으로 나타났다. 그들은 연구자가 연구성과를 향상시키려면 서로 다른 연구팀에 속해서 협력관계가 아닌 연구자들과 개별적으로 공동연구를 수행하는 것이 효과적임을 의미한다고 해석하였다. 이재운(2016b)의 연구에서도 전체 연구자를 대상으로 할 경우 군집화계수 CC는 총인용빈도나 h-지수와는 상관관계가 통계적으로 부정적이었다. 결국 특정 연구팀에 소속되어 팀 내부의 집단 연구만 수행하는 연구자는 인용지표가 높아지는데 한계가 있다는 것이다. 매개중심성 BC가 다른 공동연구 지표들보다 오히려

인용지표와의 상관관계가 더 강한 것도 같은 맥락이다. 이질적인 연구자(들) 사이를 넘나들면서 공동연구를 수행하는 연구자는 연구영향력이 높은 시니어 연구자일 가능성이 높기 때문이다. 결국 연구자가 최상위 수준으로 올라가기 위해서는 자신의 연구그룹을 이끌면서 외부 연구자와 유연하게 연구협력을 수행해야 함을 의미한다.

5. 공동연구 특성에 따른 연구자 유형 분석

5.1 공동연구 특성에 따른 연구자 유형 구분 결과

양자계측 분야 2,118명의 연구자를 3장에서 제시한 모델과 같이 공동연구 범위와 패턴에 따라서 4가지 유형으로 구분하여 집계해보면 <표 3>과 같다. 전체의 44%가 적은 수의 공동연구자와 개별적으로 협력하는 SN(Sparse & Narrow) 유형에 해당한다. 공동연구자가 많은 DW(Dense & Wide) 유형은 9.9%이고 공동연구자가 적은 DN(Dense & Narrow) 유형은 29.9%이다. 이 두 유형은 모두 군집화계수 CC가 0.5보다 높은 연구팀 멤버 유형으로서 합쳐

<표 3> 양자계측 분야 연구자 2,118명의 공동연구 특성에 따른 유형별 인원

Dense & Narrow (DN) 유형 ($0.5 < CC$ & $degree \leq 9.01$) 634명 (29.9%)	Dense & Wide (DW) 유형 ($0.5 < CC$ & $9.01 < degree$) 209명 (9.9%)
Sparse & Narrow (SN) 유형 ($CC \leq 0.5$ & $degree \leq 9.01$) 932명 (44.0%)	Sparse & Wide (SW) 유형 ($CC \leq 0.5$ & $9.01 < degree$) 343명 (16.2%)

서 전체의 39.8%에 달한다. 나머지 16.2%의 연구자는 여러 팀으로 나뉜 다수의 공동연구자와 개별적으로 협력하는 SW(Sparse & Wide) 유형이다.

공동연구 특성에 따른 양자계측 분야 연구자 유형별 연구자들의 지표를 유형마다 5명씩 제시하면 <표 4>와 같다.

5.2 공동연구 특성에 따른 연구자 유형별 사례 심층 비교

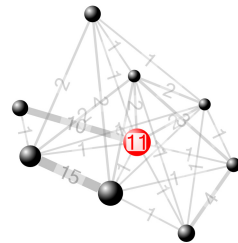
공동연구 특성에 따른 연구자 유형마다 공동연구 관계가 어떻게 형성되는지에 대해서 개별 사례를 통해 살펴보기로 한다. 우선 각 연구자

를 중심으로 연결된 이웃 연구자들 사이의 연결구조를 보여주는 에고 네트워크(ego network)를 각 유형별로 하나씩 <그림 4>에 제시하였다. 각 에고 네트워크에서 에고인 사례 연구자는 <표 4>에 제시한 연구자 명단에서 유형별 첫째 줄에 있는 연구자이다.

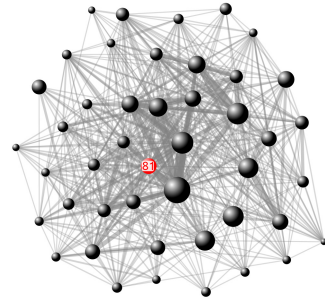
<그림 4> (a)의 DN 유형 사례 연구자는 4회 이상 논문을 발표한 8명과 공동연구를 수행했으며 군집화계수 CC가 0.643이어서 이웃 8명들끼리도 2/3 정도가 서로 공동연구 관계를 형성하고 있다. 흥미로운 것은 에고인 연구자 P. W. Chan의 공동연구자 중에서 왼쪽 아래에 위치한 두 명이다. 이들은 Chan과는 1회씩밖에 공동연구를 수행하지 않았으나 서로 간에는 15

<표 4> 각 유형 연구자 중 논문 수 최상위 5명씩의 연구영향력 지표

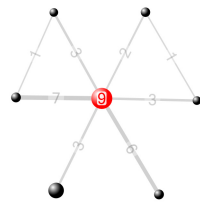
유형	연구자	P	TC	C/P	h	hc	hs	g
SW 유형	Asner, Gregory	129	4411	34.2	37	23	322.0	61
	Hyypä, Juha	110	3861	35.1	34	18	298.0	58
	Coops, Nicholas	84	2450	29.2	29	18	211.0	44
	Alados-Arboledas, Lucas	67	1750	26.1	25	6	167.5	39
	Wulder, Michael A	67	2223	33.2	27	16	203.5	44
DW 유형	Reyes, Francisco Jose Olmo	24	352	14.7	13	3	60.8	18
	Riveiro, Belen	24	498	20.8	13	7	72.7	22
	Martinez, Joaquin	22	369	16.8	11	7	58.5	19
	Escola, Alexandre	22	482	21.9	14	5	75.3	21
	Wang, Zifa	19	331	17.4	11	5	56.0	18
DN 유형	Chan, Pak Wai	52	374	7.2	10	8	47.0	16
	Xu, Lijun	28	211	7.5	10	8	39.2	13
	McLaughlin, Stephen	20	364	18.2	11	6	58.1	19
	Miffre, Alain	19	298	15.7	11	6	50.8	17
	Lucieer, Arko	16	1433	89.6	10	7	100.5	16
SN 유형	LI, Jonathan	54	1398	25.9	20	19	144.9	36
	Su, Yanjun	42	1052	25.0	19	10	122.1	31
	Olsen, Michael	40	679	17.0	15	13	81.6	24
	Pradhan, Biswajeet	40	775	19.4	16	11	93.7	27
	Hofle, Bernhard	35	695	19.9	15	11	89.9	26



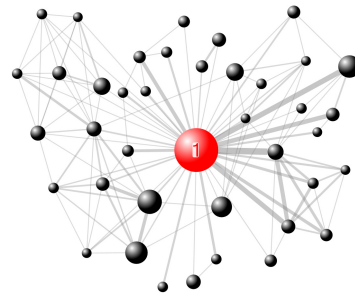
(a) DN 유형 연구자 사례
(Chan, Pak Wai)



(b) DW 유형 연구자 사례
(Reyes, Francisco Jose Olmo)



(c) SN 유형 연구자 사례
(LI, Jonathan)



(d) SW 유형 연구자 사례
(Asner, Gregory)

〈그림 4〉 공동연구 특성에 따른 양자계측 분야 연구자 유형별 에고 네트워크 사례

(식별번호가 적혀있는 빨간색 원이 에고 연구자임. (a)와 (c)에는 링크에 공저횟수를 표시했으나 복잡한 (b)와 (d)에는 생략함)

회나 공동연구를 수행하여 독자적인 연구팀을 이루고 있다. 즉 견고한 파트너십을 이루고 있는 두 연구자에게 Chan이 편승한 형국이다. 이 에고 네트워크에서 에고인 Chan을 제외하더라도 나머지 연구자들은 모두 하나의 컴포넌트로 연결이 유지된다.

〈그림 4〉 (c)의 SN 유형 사례 연구자는 4회 이상 논문을 발표한 6명과 공동연구를 수행했으며, 군집화계수 CC가 0.133으로서 이웃 6명 끼리는 일부만 공동연구 관계를 맺고 있다. 이 에고 네트워크에서 에고 노드를 제거하면 네트워크는 4개의 컴포넌트로 잘게 분할되어버린다.

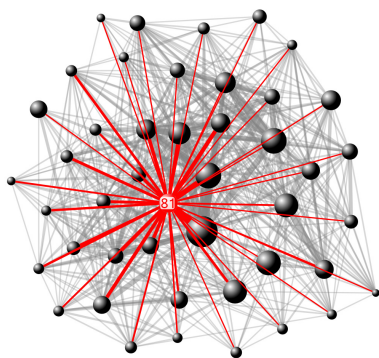
〈그림 4〉 (b)의 DW 유형 사례 연구자는 F. J. O. Reyes이다. Reyes는 4회 이상 논문을 발표한 44명과 공동연구를 수행했으며 군집화계수 CC가 0.530으로서 이웃 44명들끼리도 절반 이상이 서로 공동연구 관계로 연결되어 있다. 이처럼 밀집된 연구팀에 소속되어 있는 Reyes에게는 자신보다 인용지표가 높고 자신의 이웃들과 대부분 연결되어 있는 유력한 이웃 연구자가 있다. 그는 에고인 Reyes의 바로 오른쪽 아래에 위치하고 논문 수가 많아서 더 크게 표시된 L. Alados-Arboledas로서 degree가 113, CC가 0.270인 SW 유형 연구자이다(〈표 4〉의

명단 중 4번째). 예고 연구자 Reyes의 이웃에 있는 최유력 연구자인 Alados-Arboledas는 <그림 5>와 같이 Reyes의 공동연구자 44명 전체와 모두 연결되어 있고 공저 횟수도 더 많아서 선들이 더 굵게 표현되어 있다. Reyes의 예고 네트워크에서 오히려 Alados-Arboledas가 더 지배적인 입지를 차지하고 있으므로 Reyes가 없더라도 이웃 44명은 Alados-Arboledas를 통해 연결이 유지된다. DW 유형인 Reyes와 이웃 44명의 공동연구 네트워크는, SW 유형인 Alados-Arboledas와 이웃 113명의 공동연구 네트워크에 포함된 부분 네트워크로 확인되었다.

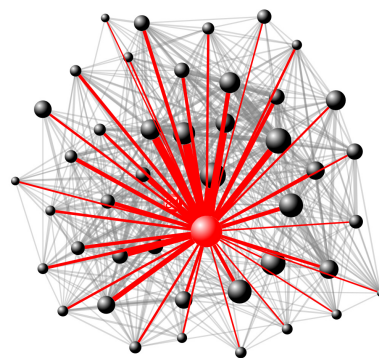
소속 정보를 확인해보면 Reyes는 Universidad de Granada 응용물리학과 교수인데, 이웃의 유력 연구자인 Alados-Arboledas는 같은 학과 교수이면서 지구시스템연구소 소장을 맡고 있다. 이처럼 DW 유형인 Reyes가 SW 유형인 Alados-Arboledas의 연구 그룹에 속해있음이 확인된다.

<그림 4> (d)의 SW 사례 연구자 G. Asner는 4회 이상 논문을 발표한 39명과 공동연구를 수행했으며, 군집화계수 CC가 0.111으로서 이웃끼리는 일부만 연결되어 있다. 예고 노드까지 포함하여 40명이 연결된 Asner의 예고 네트워크에서 Asner 다음으로 많은 링크를 가진 연구자는 <그림 6>의 (b)와 같이 전체의 1/3인 13명과 연결된 이웃 연구자이다. 따라서 SW 유형인 Asner는 자신의 예고 네트워크에서 확고하게 지배적인 입지를 차지하고 있음이 확인된다. 만약 Asner의 예고 네트워크에서 Asner를 제거한다면 4개의 하위 컴포넌트로 네트워크가 분할된다.

이상에서 살펴본 유형별 예고 네트워크 사례의 특징을 다시 정리해보면 <표 5>와 같다. 군집화계수 CC가 높고 연구팀에 종속된 성향이 강한 DN 유형과 DW 유형의 사례 연구자는 예고 네트워크에서 자신이 제거되더라도 전체 네트워크 연결이 유지된다. 예고 연구자를 대신하여 예고 네트워크의 연결을 유지시킬 수 있

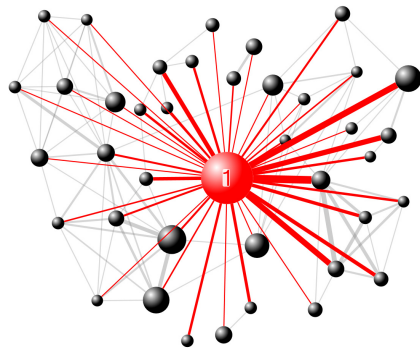


(a) 예고와의 연결관계를 강조한 경우

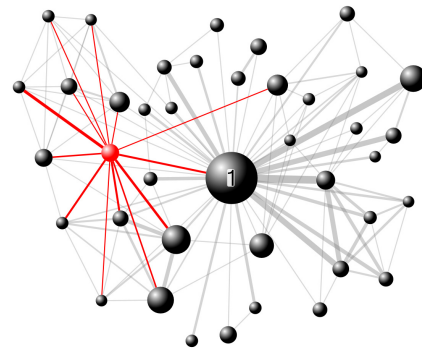


(b) 대표 이웃과의 연결관계를 강조한 경우

<그림 5> DW 유형인 F. J. O. Reyes의 예고 네트워크에서 예고의 연결관계(a)와 대표 이웃 연구자 L. Alados-Arboledas의 연결관계(b) 비교
(두 그림은 동일한 네트워크에서 강조하는 연결관계만 다르게 빨간색으로 표시한 것임)



(a) 에고와의 연결관계를 강조한 경우



(b) 대표 이웃과의 연결관계를 강조한 경우

〈그림 6〉 SW 유형인 G. Asner의 에고 네트워크에서
에고의 연결관계와 대표 이웃 연구자(alter)의 연결관계 비교
(강조된 연결관계는 빨간색으로 표시)

〈표 5〉 유형별 사례로 제시된 각 에고 네트워크의 특징

특성 \ 유형		DN 유형	DW 유형	SN 유형	SW 유형
에고 연구자		P. W. Chan	F. J. O. Reyes	J. Li	G. Asner
노드 수		9	45	7	40
링크 수		26	545	8	121
네트워크 직경		2	2	2	2
평균 경로거리		1.136	1.417	1.388	1.799
네트워크 밀도		0.722	0.551	0.381	0.155
에고 이웃 중 가장 많은 링크를 가진 노드의 링크 수	절대값	7	44	2	13
	상한 대비 비율	87.5%	100.0%	33.3%	33.3%
에고를 제외할 경우		전체 연결 유지	전체 연결 유지	4조각으로 분할	4조각으로 분할

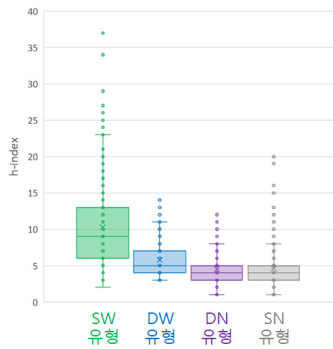
을만큼 많은 링크를 가진 대체 연구자가 존재 하므로 이들은 자신의 공동연구 네트워크를 좌 우할만큼 지배력을 가지고 있지 못한 것이다. 반면에 군집화계수 CC가 낮은 SW 유형과 SN 유형의 사례 연구자는 에고 네트워크를 지배 하고 있어서, 에고 네트워크에서 자신이 제거 된다면 네트워크가 여러 조각으로 분할되어버 린다.

5.3 공동연구 특성에 따라 구분된 연구자 유형별 특징 분석

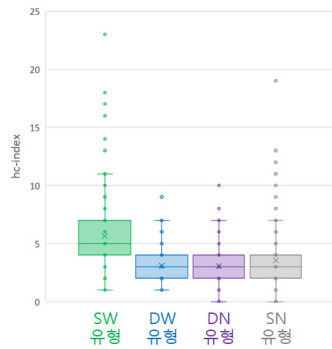
공동연구 특성에 따른 4가지 연구자 유형별로 인용 지표와 공동연구 지표 평균을 산출해보면 〈표 6〉과 같다. 평균만으로는 집단 간 차이를 확 인하기 어려우므로 각 지표값이 집단별로 분포 된 정도를 〈그림 7〉 ~ 〈그림 17〉에 각각 제시하

〈표 6〉 공동연구 특성에 따른 연구자 유형별 인용 지표와 공동연구 지표 평균

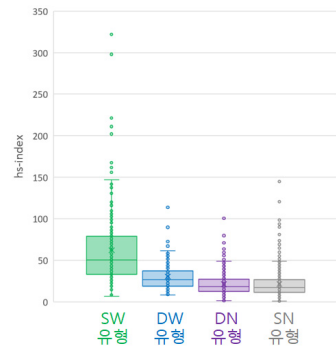
지표		유형	SW 유형	DW 유형	DN 유형	SN 유형	전체
인용 지표	TC 평균		487.2	201.8	129.4	132.1	195.7
	C/P 평균		29.2	27.0	21.6	19.6	22.5
	h 평균		10.3	5.8	4.5	4.6	5.6
	hc 평균		5.6	3.1	3.0	3.5	3.7
	hs 평균		61.9	30.3	21.1	21.4	28.8
	g 평균		15.1	7.7	5.8	6.1	7.6
논문 수 평균			17.3	8.0	6.1	6.5	8.3
공동 연구 지표	평균공저자수 평균		5.3	7.4	3.8	2.7	3.9
	BC 평균		12682.6	1070.6	334.1	2138.2	3323.6
	EC 평균		0.00140	0.00230	0.00004	0.00002	0.00053
	PR 평균		1.80	1.20	0.74	0.79	1.00



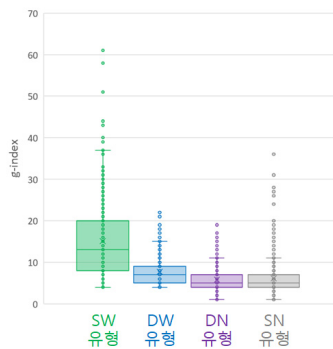
〈그림 7〉 유형별 h-지수 분포



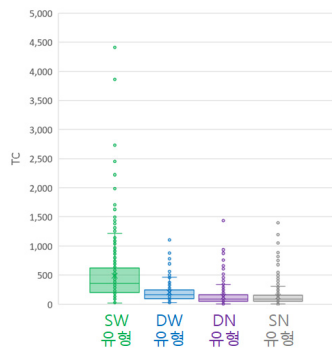
〈그림 8〉 유형별 hc-지수 분포



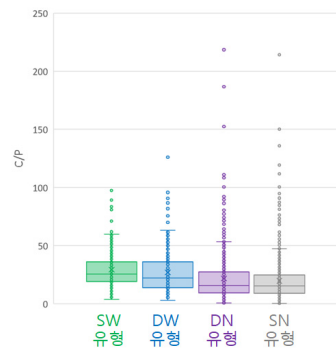
〈그림 9〉 유형별 hs-지수 분포



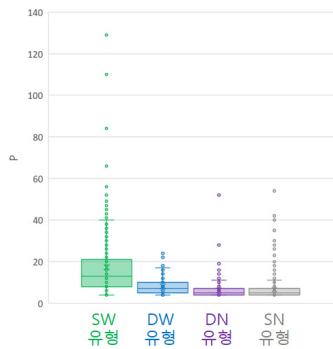
〈그림 10〉 유형별 g-지수 분포



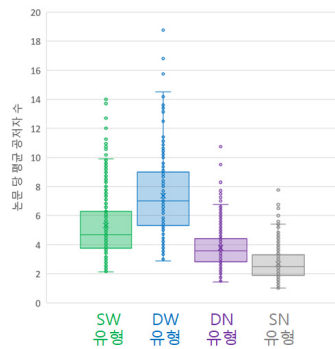
〈그림 11〉 유형별 총 인용 분포



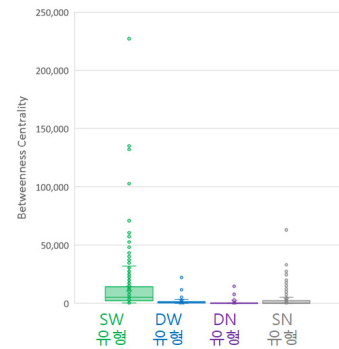
〈그림 12〉 유형별 C/P 분포



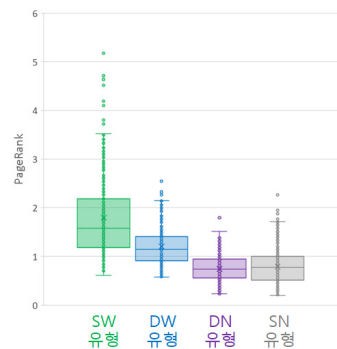
〈그림 13〉 유형별 논문 수 분포



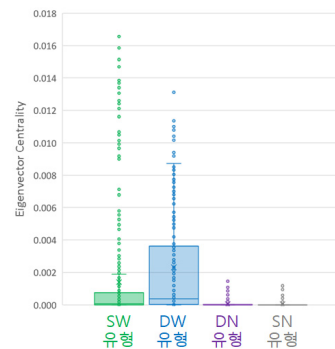
〈그림 14〉 유형별 논문 당 평균 공저자 수 분포



〈그림 15〉 유형별 매개중심성 분포



〈그림 16〉 유형별 페이지랭크 분포



〈그림 17〉 유형별 아이겐벡터 중심성 분포

고, 4개 유형 집단별 지표값 평균의 차이를 비모수 분산분석 방법인 Kruskal-Wallis 검정으로 비교해보았다. 그 결과 모든 지표값이 95% 유의수준에서 유형 간에 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

분산분석 결과가 통계적으로 유의하더라도 각 집단 사이의 차이에 대해서는 추가로 검정할 필요가 있다. 따라서 개별 집단 간 차이를 Bonferroni 사후검정으로 확인해본 결과를 정리하여 〈표 7〉에 제시하였다.

총인용빈도와 h-지수 및 변형 지수, 논문 수를 비롯한 대부분의 연구성과 지표는 공동연구

자가 많은(degree가 높은) 두 집단(SW 유형과 DW 유형)이 공동연구자가 적은 두 집단(DN 유형, SN 유형)보다 더 높았으며, 그중에서도 SW 유형이 가장 높게 나타났다. 다만 저자 수를 보정한 hc-지수의 경우에는 군집화계수가 낮은 집단이 더 높았으며 그중에서도 SW 유형이 SN 유형보다 더 높았다. 저자 수를 보정하면 밀집된 공동연구 팀에 속한 DW 유형과 DN 유형의 연구성과가 평균적으로 더 낮게 측정된다는 것은, 이들이 공동연구의 폭과는 상관없이 밀집된 공동연구 팀에 속해서 얻는 이득에 크게 의존하고 있음을 시사한다.

〈표 7〉 공동연구 특성에 따른 4가지 유형 집단 간 차이에 대한 Bonferroni 사후검정 결과

지표	4가지 유형 집단 간 통계적 차이 검정 결과
총인용 (TC) ; 논문당 평균인용 (C/P) ; h-지수 ; hs-지수 ; g-지수 ; 논문 수 (P)	SW 유형 > DW 유형 > DN 유형 ≍ SN 유형
hc-지수	SW 유형 > SN 유형 > DW 유형 ≍ DN 유형
논문당 공저자수 ; 아이겐벡터 중심성 (EC)	DW 유형 > SW 유형 > DN 유형 > SN 유형
매개중심성 (BC)	SW 유형 > SN 유형 > DW 유형 > DN 유형
페이지랭크 (PR)	SW 유형 > DW 유형 > DN 유형 > SN 유형

논문당 공저자수와 아이겐벡터 중심성(EC) 평균은 군집화계수가 높고 공동연구자가 많은 DW 유형이 가장 높았고 SW 유형이 그 다음이었으며 DN 유형, SN 유형의 순이었다. 즉 공동연구자가 많을수록, 특정 연구팀에 종속되어 연구를 수행할수록 아이겐벡터 중심성은 높게 나타났다. 이전에도 공동연구 네트워크에 대한 일부 연구에서 아이겐벡터 중심성을 중요 지표로 제시한 경우가 지속적으로 발표되어 왔다(강현무 외, 2010; 손용정, 2017; 이윤정, 김은정, 김지선, 2019; Abbasi, Altmann, & Hossain, 2011; Servia-Rodríguez et al., 2015; Xu & Chang, 2020). 그런데 이 연구에서 확인되었듯이 아이겐벡터 중심성은 연구그룹 리더가 주로 포함된 SW 유형보다 공동연구 팀으로부터 많은 이득을 얻는 DW 유형에 속한 연구자에게 유리한 지표이므로 이를 지나치게 강조할 필요는 없다. 아이겐벡터 중심성을 기준으로 하면 동일한 공동연구 팀에 속한 여러 연구자들이 한꺼번에 상위권에 자리할 가능성이 높다.

이와 달리 페이지랭크의 평균은 SW 유형이 가장 높았고, DW 유형, DN 유형, SN 유형의 순이었다. 따라서 공동연구 네트워크에서 중요한 연구자를 파악하기 위한 용도로는 아이겐벡터 중심성 보다는 연구그룹 리더에게 유리한 지표인 페이지랭크를 적용하는 것이 더 바람직

하다.

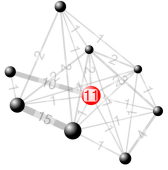
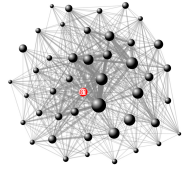
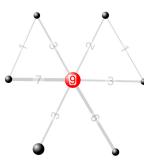
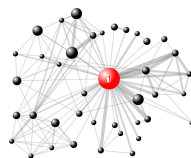
이상에서 관찰된 공동연구 특성에 따른 4가지 유형 집단별 지표 관찰값의 주요 특징을 간략하게 요약해서 제시하면 〈표 8〉과 같다.

6. 결 론

이 연구에서는 인용 영향력이 공동연구와 관련이 있다는 점을 감안하여 인용 데이터를 활용하지 않고 공동연구 지표만으로 연구자 유형을 분석하는 새로운 방법을 제시하였다. 특히 공동연구자들이 소속된 기관이 서로 다르면 인용 영향력이 더 높다는 기존 연구(Larivière et al., 2015)의 결과를 감안하여 연구자 유형을 나누기 위한 기준으로 연구자의 공동연구 범위와 공동연구 패턴을 기준으로 공동연구 특성에 따른 연구자 유형을 4가지로 구분하는 모델을 제안하였다. 제안된 모델에 대한 주요 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 제안된 모델을 양자계측 분야 연구자 유형 구분에 적용해본 결과, 구분된 연구자 유형별로 인용지표와 공저 네트워크 지표에 차이가 있음이 통계적으로 검증되었다. 특히 모든 인용 지표에서 연구그룹 리더가 포함된 SW 유형이 가장 높은 수준임이 통계적으로 확인되었다.

〈표 8〉 공동연구 특성에 따른 4가지 유형 집단별 지표 관찰값의 특징 요약

Dense & Narrow (DN) 유형 (주로 소형 연구팀 멤버) 		Dense & Wide (DW) 유형 (주로 대형 연구팀 멤버) 	
기본 특성(공통적으로) <ul style="list-style-type: none"> • 군집화계수가 높음 • 공동연구자가 적음 	관찰된 특징(평균적으로) <ul style="list-style-type: none"> • 낮은 인용 지수 • 매우 낮은 매개중심성 • 낮은 페이지랭크 	기본 특성(공통적으로) <ul style="list-style-type: none"> • 군집화계수가 높음 • 공동연구자가 많음 	관찰된 특징(평균적으로) <ul style="list-style-type: none"> • 높은 인용 지수 • 낮은 매개중심성 • 높은 페이지랭크
Sparse & Narrow (SN) 유형 (주로 독자 연구자 혹은 멘토 연구자) 		Sparse & Wide (SW) 유형 (주로 연구팀 리더) 	
기본 특성(공통적으로) <ul style="list-style-type: none"> • 군집화계수가 낮음 • 공동연구자가 적음 	관찰된 특징(평균적으로) <ul style="list-style-type: none"> • 낮은 인용 지수 • 높은 매개중심성 • 매우 낮은 페이지랭크 	기본 특성(공통적으로) <ul style="list-style-type: none"> • 군집화계수가 낮음 • 공동연구자가 많음 	관찰된 특징(평균적으로) <ul style="list-style-type: none"> • 매우 높은 인용 지수 • 매우 높은 매개중심성 • 매우 높은 페이지랭크

둘째, 공동연구 지표 중에서는 논문당 공저 수와 아이겐벡터 중심성은 DW 유형이 가장 높았으나 매개중심성과 페이지랭크는 SW 유형이 가장 높게 나타났다. 공동연구 네트워크를 통해 중요 연구자를 파악할 때 흔히 사용되던 지표인 아이겐벡터 중심성이나 평균 공저자 수는 동일 연구팀에 속한 연구자들이 연구팀에서의 역할과 무관하게 집단적으로 상위권을 차지하는 문제가 확인된다. 이는 연구팀 리더의 명성에 소속 연구자들이 편승하는 셈이어서 연구자 개인의 순수한 역량으로 간주하기에는 무리가 있다. 따라서 주변 연구자들에 대한 지배적인 입지를 반영하고 다른 기관이나 다른 연구팀 소속 연구자와의 협력 정도도 고려하는 페이지랭크를 사용하는 것이 바람직하다.

셋째, 연구자의 인용영향력을 평가할 때 공저자 수를 고려하지 않으면 소속 연구팀의 규

모가 클수록 유리하게 평가될 수 있는 것으로 나타났다. 모든 인용지표에서 SW 유형이 가장 높은 수준임이 통계적으로 확인되었는데 공저 고려 여부에 따라서 두 번째로 높은 유형은 달랐다. 대부분의 인용지표는 DW 유형이 2위였으나 공저를 고려한 hc-지수만은 SN 유형이 2위였고 DW 유형과 DN 유형 사이에는 차이가 없었다. 즉, 공저를 고려한 인용영향력은 연구팀을 이끄는 SW 유형 연구자가 아닐 경우에는 소속 연구팀의 규모와 상관없이 없다고 나타난 것이다. 이는 대형 연구팀의 규모에 편승해서 연구영향력을 높게 평가받는 소속 연구자도 있음을 의미한다.

이상의 연구 결과는 공동연구 정도와 연구성과 사이의 관계에 대해서 긍정적 상관을 보고한 연구와 부정적 상관을 보고한 연구가 공존하는 이유에 대해서도 힌트를 제공하고 있다.

공동연구 지표 중에서 군집화계수 CC가 높은 연구자는 특정 연구팀에 소속되어 팀 내부의 집단 연구를 주로 수행하는 DW 유형 연구자인데, 이들보다는 자신의 연구그룹을 이끌면서 외부 연구자와 유연하게 연구협력을 수행하여 군집화계수가 낮은 SW 유형 연구자들이 연구성과가 더 높게 나타난 것이다. 이 두 집단은 공동연구의 범위는 모두 넓어서 구분이 되지 않는다. 따라서 연구자의 공동연구 범위만 아니라 공동연구 행태도 함께 고려하는 것이 연구성과를 평가하거나 향후 연구성과를 예측하는데 더 유용하다고 할 수 있다.

이 연구에서 제시한 공동연구 특성에 따른 연구자 유형 구분 모델은 연구활동의 후행 지표인 인용정보를 필요로 하지 않고 논문발표

정보만을 필요로 하므로 연구관리정책과 연구지원서비스 측면에서 폭넓게 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 다만 공동연구의 형태는 중견 연구자와 학문후속세대의 공동연구, 중견 연구자 개인 간의 공동연구, 연구팀과 연구팀 간의 공동연구 등으로 다양하지만 모든 경우를 모델에서 고려하지는 못했다. 물론 연구팀 간의 공동연구는 개인 단위의 공동연구 네트워크에서 대형 연구팀의 형태로 병합되어 나타나게 될텐데, 그것이 미치는 효과는 후속 연구에서 검토해볼 필요가 있다. 또한 제시된 모델은 과학기술 분야 중 하나인 양자계측 분야를 대상으로 개발되었으므로, 공동연구 양태가 다른 사회과학 분야에 모델을 적용할 수 있는지에 대해서도 검증이 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- 강현무, 김정식, 이용순, 노태천 (2010). 기술교육학 연구집단의 사회네트워크분석: 한국기술교육학회지에 게재된 학술논문을 중심으로. 한국기술교육학회지, 10(1), 47-69.
- 손용정 (2017). 사회연결망 분석을 이용한 항만경제학 분야 공동연구의 중심성에 관한 연구. 한국도서관연구, 29(1), 95-110.
- 이윤정, 김은정, 김지선 (2019). 실과(기술·가정)교육 분야 연구의 공저자 네트워크 분석. 한국실과교육학회지, 32(1), 103-124. <http://doi.org/10.24062/kpae.2019.32.1.103>
- 이재윤 (2006). 연구성과 측정을 위한 h-지수의 개량에 관한 연구. 정보관리학회지, 23(3), 167-186. <http://doi.org/10.3743/KOSIM.2006.23.3.167>
- 이재윤 (2014). 공동연구 네트워크 분석을 위한 중심성 지수에 대한 비교 연구. 정보관리학회지, 31(3), 153-179. <http://doi.org/10.3743/KOSIM.2014.31.3.153>
- 이재윤 (2016a). 공저자 수를 고려한 h-지수 산출. 정보관리학회지, 33(3), 7-29. <http://doi.org/10.3743/KOSIM.2016.33.3.007>
- 이재윤 (2016b). 공저자 수를 고려한 공저 네트워크 중심성과 연구성과의 연관성 분석. 정보관리학회지,

- 33(4), 175-199. <http://doi.org/10.3743/KOSIM.2016.33.4.175>
- 이재운 (2019). 완벽주의 지수 PI의 개량을 통한 유력 학술지와 대량생산 학술지의 구분. 정보관리학회지, 36(2), 201-222. <http://doi.org/10.3743/KOSIM.2019.36.2.201>
- Abbasi, A., Altmann, J., & Hossain, L. (2011). Identifying the effects of co-authorship networks on the performance of scholars: A correlation and regression analysis of performance measures and social network analysis measures. *Journal of Informetrics*, 5(4), 594-607. <http://doi.org/10.1016/j.joi.2011.05.007>
- Beaver, D. B. (1979). Studies in scientific collaboration: part II. Scientific co-authorship, research productivity and visibility in the French scientific elite, 1799-1830. *Scientometrics*, 1(2), 133-149. <https://doi.org/10.1007/BF02016966>
- Bonacich, P. (1987). Power and centrality: A family of measures. *American Journal of Sociology*, 92(5), 1170-1182. <https://doi.org/10.1086/228631>
- Bordons, M., Aparicio, J., González-Albo, B., & Díaz-Faes, A. A. (2015). The relationship between the research performance of scientists and their position in co-authorship networks in three fields. *Journal of Informetrics*, 9(1), 135-144. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2014.12.001>
- Bornmann, L. (2017). Is collaboration among scientists related to the citation impact of papers because their quality increases with collaboration? An analysis based on data from F1000Prime and normalized citation scores. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 68(4), 1036-1047. <http://doi.org/10.1002/asi.23728>
- Cole, S. & Cole, J. R. (1967). Scientific output and recognition: Study in operation of reward system in science. *American Sociological Review*, 32(3), 377-390. <http://doi.org/10.2307/2091085>
- Corley, E. A. & Sabharwal, M. (2010). Scholarly collaboration and productivity patterns in public administration: Analysing recent trends. *Public Administration*, 88(3), 627-648.
- Costas, R. & Bordons, M. (2008). Is g-index better than h-index? An exploratory study at the individual level. *Scientometrics*, 77(2), 267-288. <http://doi.org/10.1007/s11192-007-1997-0>
- Ding, J., Yang, L., & Liu, Q. (2013). Measuring the academic impact of researchers by combined citation and collaboration impact. *Proceedings of the 2013 ISSI Conference*, 1177-1187.
- Egghe, L. (2006). Theory and practise of the g-index. *Scientometrics*, 69(1), 131-152 (2006). <http://doi.org/10.1007/s11192-006-0144-7>
- Freeman, L. C. (1979). Centrality in social networks conceptual clarification. *Social Networks*, 1(3), 215-239. [http://doi.org/10.1016/0378-8733\(78\)90021-7](http://doi.org/10.1016/0378-8733(78)90021-7)

- Hirsch, J. E. (2005). An index to quantify an individual's scientific research output. *PNAS*, 102(46), 16569-16572. <http://doi.org/10.1073/pnas.0507655102>
- Larivière, V., Gingras, Y., Sugimoto, C. R., & Tsou, A. (2015). On the relationship between collaboration and scientific impact since 1900. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 66(7), 1323-1332. <http://doi.org/10.1002/asi.23266>
- Servia-Rodríguez, S., Noulas, A., Mascolo, C., Fernández-Vilas, A., & Díaz-Redondo, R. P. (2015). The evolution of your success lies at the centre of your co-authorship network. *PLoS ONE*, 10(3), e0114302. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0114302>
- Sidiropoulos, A., Katsaros, D., & Manolopoulos, Y. (2015). Ranking and identifying influential scientists versus mass producers by the perfectionism index. *Scientometrics*, 103(1), 1-31. <http://doi.org/10.1007/s11192-014-1515-0>
- Wang, Y. & Song, X. (2020). Quantum science and quantum technology. *Statistical Science*, 35(1), 51-74. <http://doi.org/10.1214/19-STS745>
- Watts, D. J. & Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of 'small-world' networks. *Nature*, 393(6684), 440-442. <http://doi.org/10.1038/30918>
- Xu, Q. A. & Chang, V. (2020). Co-authorship network and the correlation with academic performance. *Internet of Things*, 12, 100307. <http://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100307>

• 국문 참고문헌에 대한 영문 표기
(English translation of references written in Korean)

- Kang, Hyunmoo, Kim, Cheong Sig, Lee, Yongsoon, & Rho, Thae Tscheon (2010). A study on the social network of the technological education in Korea: focused on the journal of KTEA. *The Korean Journal of Technology Education*, 10(1), 47-69.
- Lee, Jae Yun (2006). Some improvements on h-index: Measuring research outputs by citations. *Journal of the Korean Society for Information Management*, 23(3), 167-186. <http://doi.org/10.3743/KOSIM.2006.23.3.167>
- Lee, Jae Yun (2014). A comparative study on the centrality measures for analyzing research collaboration networks. *Journal of the Korean Society for Information Management*, 31(3), 153-179. <http://doi.org/10.3743/KOSIM.2014.31.3.153>
- Lee, Jae Yun (2016a). Calculating the h-index and its variants considering the number of authors in a paper. *Journal of the Korean Society for Information Management*, 33(3), 7-29. <http://doi.org/10.3743/KOSIM.2016.33.3.007>

- Lee, Jae Yun (2016b). Comparative analysis on the relationships between the centralities in co-authorship networks and research performance considering the number of co-authors. *Journal of the Korean Society for Information Management*, 33(4), 175-199.
<http://doi.org/10.3743/KOSIM.2016.33.4.175>
- Lee, Jae Yun (2019). Improving the perfectionism index to identify influential journals versus mass producers. *Journal of the Korean Society for Information Management*, 36(2), 201-222.
<http://doi.org/10.3743/KOSIM.2019.36.2.201>
- Lee, Yoon-Jung, Kim, Eunjeung, & Kim, Ji Sun (2019). Analysis of co-author network in technology & home economics education of practical arts. *Journal of Korean Practical Arts Education*, 32(1), 103-124. <http://doi.org/10.24062/kpae.2019.32.1.103>
- Son, Yong-Jung (2017). The centrality of joint research in port economics using social network analysis. *The Journal of Korean Island*, 29(1), 95-110.