

2017 년~2019 년 ASME Tribology 논문을 통해서 본 트라이볼로지(Tribology) 연구동향 분석

트라이볼로지(Tribology)는 마찰, 마모, 윤활에 관한 여러 현상을 취급하는 과학 기술 분야로 사전적 의미로는 “상호 운동하는 표면과 연관된 물체 및 현상을 연구하는 학문이나 기술”을 의미한다.

트라이볼로지는 우주항공분야로부터 가전제품의 전반에 걸친 각종 기계장비의 마모 문제, 신뢰성 및 유지 보수 문제 등의 분석 연구하는 응용학문 분야이다. 트라이볼로지는 물리, 화학, 응용수학, 고체 역학, 열역학, 열전달, 재료공학, 물성학, 윤활, 기계설계, 신뢰성 공학, 생산성 학문 등 다양한 분야의 학문과 관련이 되어 있는 매우 중요한 분야이다. 윤활이 제대로 이루어지지 않을 경우 이에 따른 손실이 매우 크므로 세계 각국에서는 이를 개선하기 위해서 별도로 트라이볼로지 위원회나 윤활사라는 전문가를 배치하기도 한다. 미국 기계학회에서는 1984 년에 학회지 명칭을 Journal of Lubrication Technology 에서 Journal of Tribology 로 바꾸어 현재에 이르고 있으며, Georgia 공대의 Winer 교수에 의하면 미국의 92 개 대학, 정부 기관, 비영리 연구소 및 산업체 등에서 매년 400 개의 트라이볼로지 연구과제가 수행되고 있으며 연간 4900 만 불의 연구비가 투입되고 있다고 한다. 산업기술의 발달은 트라이볼로지 분야의 연구를 필연적으로 요구하고 있기 때문에 정부 기관 연구소를 주축으로 한 연구, 대학의 적극적인 교육 및 연구 활동, 산업체의 제품 개발을 통하여 이 분야의 발전이 이루어지고 있다.

1) 분석대상 및 분석방법

트라이볼로지 연구동향 분석을 위해 미국기계학회(ASME)에서 발행하는 Journal of Tribology(Figure 1)에 발표된 2017 년부터 2019 년까지 3 년간 총 438 편(2017 년에 149 편, 2018 년에 155 편, 2019 년에 134 편)의 논문에 대한 저자 및 소속, 키워드 등을 추출하여 정리하였다.



Figure 1. ASME Journal of Tribology
(<https://asmedigitalcollection.asme.org/Tribology>, IF 1.648)

1. 통계분석

1) 국가별 논문발표 순위

3년간 국가별 논문 발표 순위를 살펴보면 아래 Figure 2와 같이 3년간 27개국에서 참여하여 438편의 논문을 발표하였다. 이를 살펴보면 중국이 155편으로 제일 많은 논문을 발표하였으며, 그 다음으로 인도가 73편, 미국이 68편을 발표하고 있다. 다른 분야와 마찬가지로 트라이볼로지에서도 중국의 논문발표 수가 매우 많음을 알 수 있다. 2017~2019년까지의 국가별 논문발표 수는 중국, 인도, 미국 순으로 3년간 이어져 오고 있다. 중국은 2017년에 50편, 2018년에 59편, 2019년에 46편의 논문을 발표하였다. 또한 그 다음으로 일본이 18편, 이란이 12편에 이어 프랑스와 한국이 각각 10편의 논문을 발표하였다.

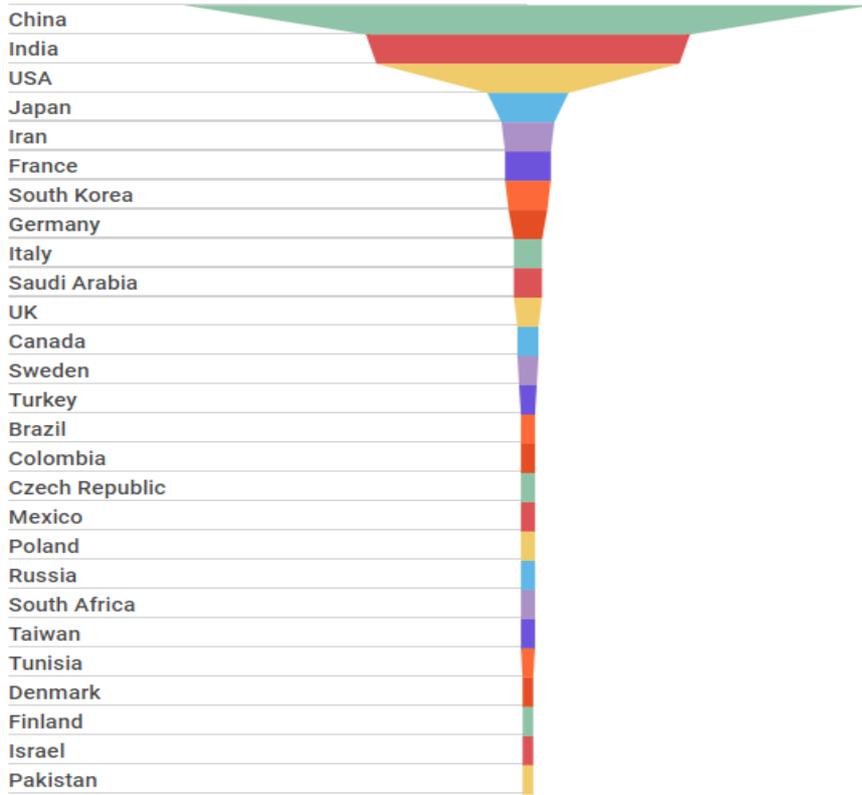


Figure 2. 트라이블로지 국가별 논문발표 순위(2017~2019 년, 3 년간)

NO	국가 명	논문 수 (2017~2019)
1	China	155
2	India	73
3	USA	68
4	Japan	18
5	Iran	12
6	France	10
7	South Korea	10
8	Germany	9
9	Italy	6
10	Saudi Arabia	6
11	UK	6
12	Canada	5
13	Sweden	5
14	Turkey	4

15	Brazil	3
16	Colombia	3
17	Czech Republic	3
18	Mexico	3
19	Poland	3
20	Russia	3
21	South Africa	3
22	Taiwan	3
23	Tunisia	3
24	Denmark	2
25	Finland	2
26	Israel	2
27	Pakistan	2
총합계		438

Table 1. 국가별 논문발표 순위 (2017~2019 년, 3 년간)

2) 기관별 논문발표 순위

3년간(2017년~2019년)의 기관별 발표 논문 수는 Table 2와 같이 미국의 Texas A&M University가 가장 많은 수인 16편의 논문을 발표하였으며, China University of Mining and Technology에서 14편의 논문을 발표하였고, Chongqing University와 Indian Institute of Technology Delhi에서 각각 11편의 논문을 발표하였다. 또한 Tsinghua University에서 9편의 논문을 발표하였다. 이외에도 Beijing Institute of Technology, Georgia Institute of Technology, Nagaoka University of Technology, 중국의 Southeast University에서 각각 7편의 논문을 발표하였다. 한국에서는 인하대학교가 5편의 논문을 발표한 것으로 나타난다.

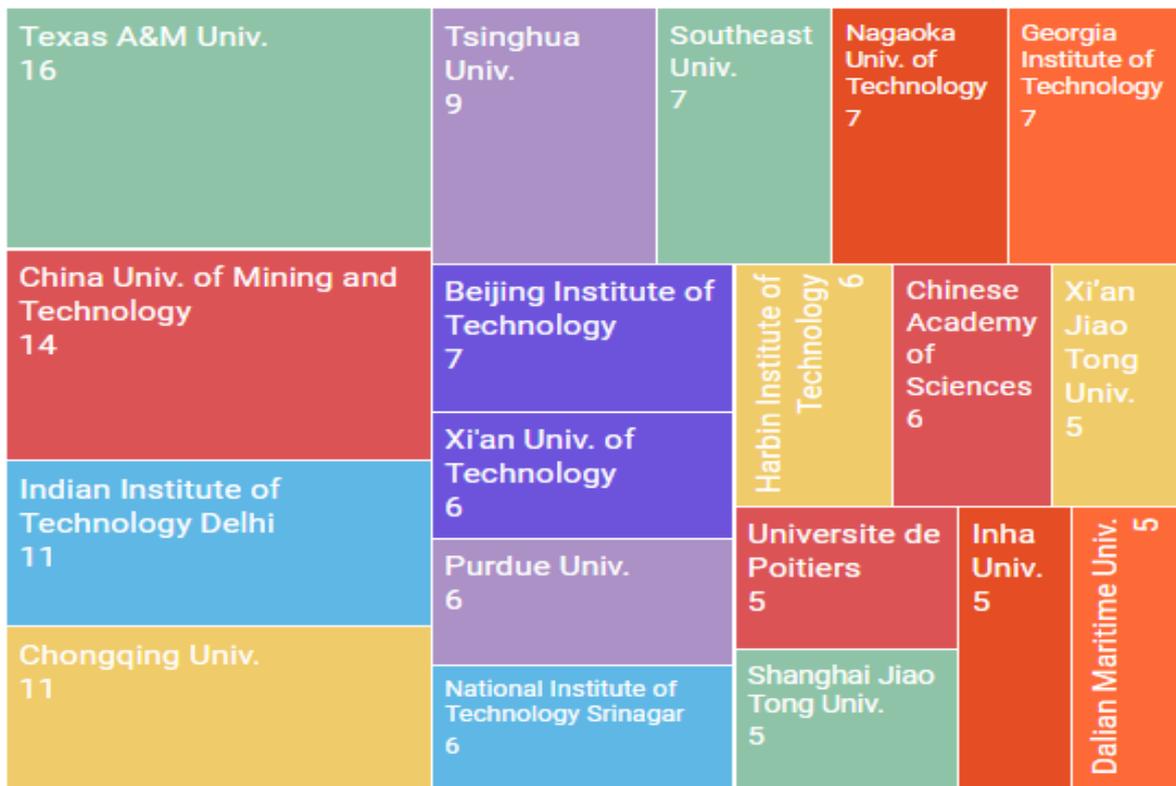


Figure 3. 기관별 논문 발표 수(3년간 / 5편 이상)

NO	기관명	논문수 (2017~ 2019)
1	Texas A&M University	16
2	China University of Mining and Technology	14
3	Chongqing University	11
4	Indian Institute of Technology Delhi	11
5	Tsinghua University	9
6	Beijing Institute of Technology	7
7	Georgia Institute of Technology	7
8	Nagaoka University of Technology	7
9	Southeast University	7
10	Chinese Academy of Sciences	6

NO	기관명	논문수 (2017~ 2019)
11	Harbin Institute of Technology	6
12	National Institute of Technology Srinagar	6
13	Purdue University	6
14	Xi'an University of Technology	6
15	Dalian Maritime University	5
16	Inha University	5
17	Shanghai Jiao Tong University	5
18	Universite de Poitiers	5
19	Xi'an Jiao Tong University	5

Table 2. 기관별 논문 발표 수(3년간, 5편 이상)

3) 한국 기관 논문발표

한국기관에서는 아래 Table 3 과 같이 3년간 인하대학교, 부산 대학교, 선문 대학교, 강릉원주 대학교, 국민 대학교, 공군사관학교에서 모두 10 편의 논문을 발표하였다.

NO	한국 기관	논문 수(3년간)
1	Inha University	5
2	Pusan National University	1
	Sun Moon University	1
	Gangneung-Wonju National University	1
	Kookmin University	1
	Korea Air Force Academy	1
6 개 기관		10 편

Table 3. 한국 기관의 논문 발표 수(3년간)

아래 Figure 5 은 연결 관계와 상관없이 빈도수의 비중을 계산하여 워드 클라우드로 표현한 그림이다. 여기에 나타난 논문의 총 키워드는 1,934 개이며, 이중 아래 Table 4 와 같이 빈도수 40 이상인 키워드는 Wear, Friction, Wear Mechanisms, Sliding, Bearings, Fluid Film Lubrication, Hydrodynamic Lubrication, Contact Mechanics 로 이와 관련된 논문이 활발하게 발표된 것을 알 수 있다.



Figure 5. Tribology 키워드 워드 클라우드 (3년 합계)

No	키워드	빈도수	No	키워드	빈도수
1	Wear	128	18	Coatings	28
2	Friction	108	19	Lubricants	27
3	Wear Mechanisms	61	20	Characterization	26
4	Sliding	53	21	Abrasion	24
5	Bearings	42	22	Adhesion	22
6	Fluid Film Lubrication	42	23	Seals	22

7	Hydrodynamic Lubrication	41	24	Tribological Systems	22
8	Contact Mechanics	40	25	Gas Bearings	18
9	Contact	38	26	Lubricant Additives	18
10	Journal Bearings	36	27	Rolling Element Bearings	18
11	Surface Roughness	36	28	Surface Treatments	18
12	Dry Friction	33	29	Mixed Lubrication	17
13	Bearing Design	30	30	Nano-Tribology	15
14	Hardness	30	31	Surfaces	13
15	Asperities	29	32	Viscosity	13
16	Elastohydrodynamic Lubrication	29	33	Contact Area	12
17	Surface Properties	29	34	Rheology	12

Table 4. 키워드 빈도수 순위 (3년간, 빈도수 12 이상)

Tribology 의 3년간 논문 키워드들의 Degree Centrality 의 결과는 아래 Figure 6 과 같다. 여기서 Degree Centrality 는 중심성(Centrality) 분석의 가장 기본적인 측정(measure)방법으로 네트워크(Network)를 구성하는 노드(node)와 그 노드와 직접 연결된 다른 노드들과의 연결(edge)정도를 측정하여 각각의 노드들이 네트워크에 얼마나 중심에 위치하는지를 알아보는 기법으로 네트워크상에서 정도(degree) 측면에서 가장 높은 중요도를 가지는 노드(node)를 파악할 수 있다. 또는 네트워크에서 Connector 또는 허브(Hub) 역할을 수행하는 노드를 파악할 수 있다.

2017 년 키워드	빈도수	2018 년 키워드	빈도수	2019 년 키워드	빈도수
Wear	47	Wear	53	Wear	29
Friction	37	Friction	43	Friction	29
Wear Mechanisms	23	Wear Mechanisms	33	Stress	11
Sliding	22	Sliding	31	Bearings	8
Bearings	21	Hydrodynamic Lubrication	24	Flow (Dynamics)	8
Fluid Film Lubrication	20	Fluid Film Lubrication	21	Tribology	8
Contact Mechanics	19	Characterization	20	Temperature	7
Contact	18	Contact	20	Journal Bearings	6
Bearing Design	16	Contact Mechanics	20	Lubricants	6
Hydrodynamic Lubrication	16	Surface Properties	20	Elastohydrodynamic Lubrication	5
Elastohydrodynamic Lubrication	15	Asperities	19	Pressure	5
Journal Bearings	15	Dry Friction	19	Surface Roughness	5
Dry Friction	14	Surface Roughness	19	Wear Mechanisms	5
Lubricants	13	Hardness	17	Coatings	4
Asperities	12	Journal Bearings	15	Damping	4
Surface Roughness	12	Abrasion	14	Film Thickness	4
Coatings	10	Coatings	14	Mixed Lubrication	4
Hardness	10	Adhesion	13	Surface Topography	4
Lubricant Additives	10	Bearing Design	13	Tribological Properties	4
Rolling Element Bearings	10	Bearings	13	Wear Resistance	4
Tribological Systems	10	Seals	13		
		Surface Treatments	11		
		Tribological Systems	11		
		Contact Area	10		

Table 5. 3 년간 키워드 빈도 변화

3) 연구자 네트워크 분석

키워드 분석과 마찬가지로 Tribology 의 2017~2019 년도 논문의 공저자들의 상관관계를 넷 마이너를 사용하여 시각화(Spring Layout)하였다. 아래 Figure 8 과 같이 많은 연구자 그룹이 형성되어 있는 것을 확인해 볼 수 있다. 이중 오른쪽 하단은 개인이나 실험실 단위로 그룹을 이루고 있으며, 왼쪽 상단으로 갈수록 여러 기관 소속의 연구자들이 모인 그룹임을 알 수 있다.

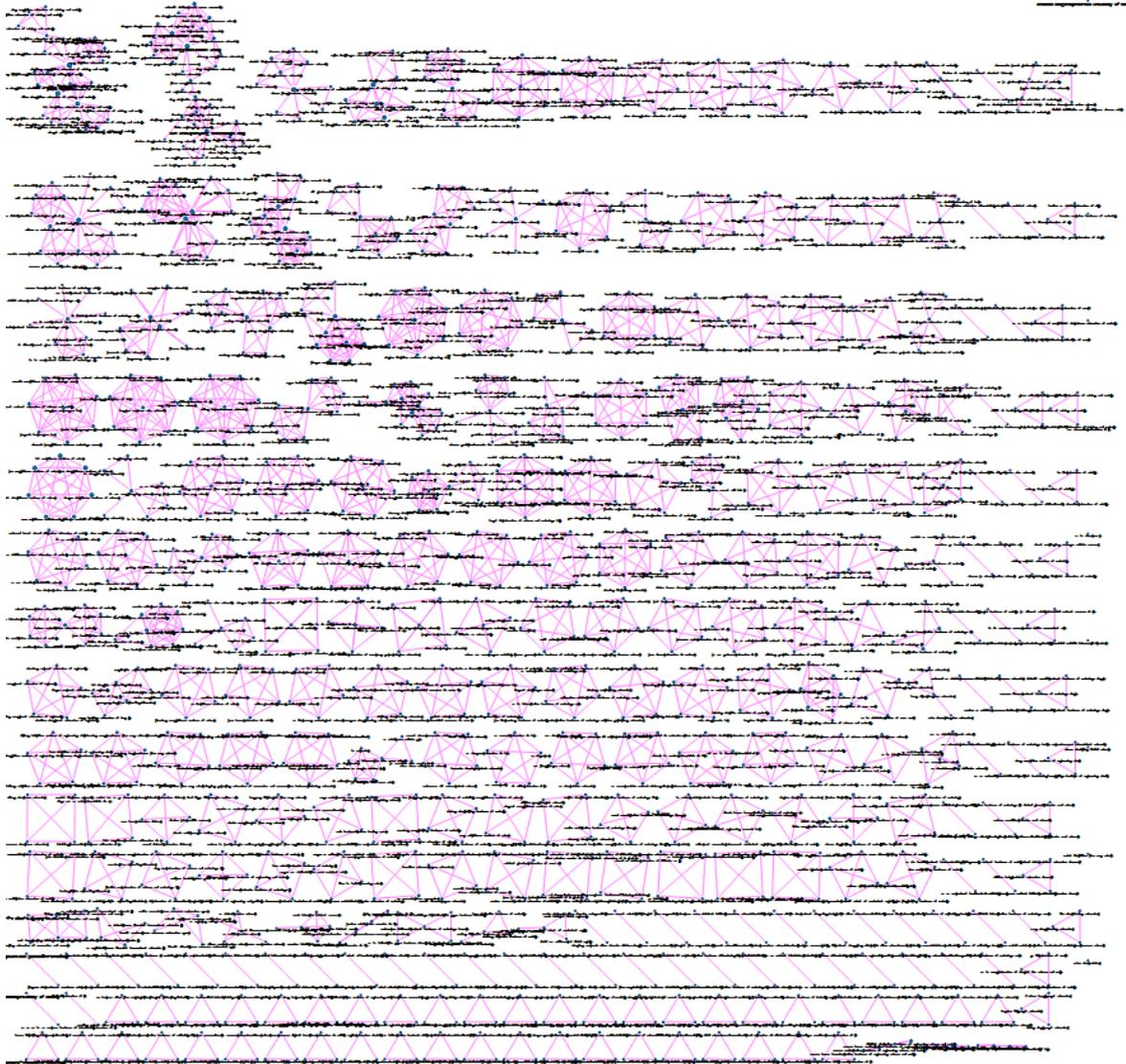


Figure 8. 연구자 네트워크 시각화(2017 년~2018 년, Spring Layout)

위의 연구자 그룹 중에서 가장 큰 그룹은 Figure 9 와 같이 대부분 China University of Mining and Technology 의 연구자들이 연결되어 있으며, Qingliang Wang 과 Dekun Zhang, 그리고 Kai Chen 의 3 명의 연구자를 중심으로 24 명의 연구자가 연결되어 있음을 볼 수 있다.

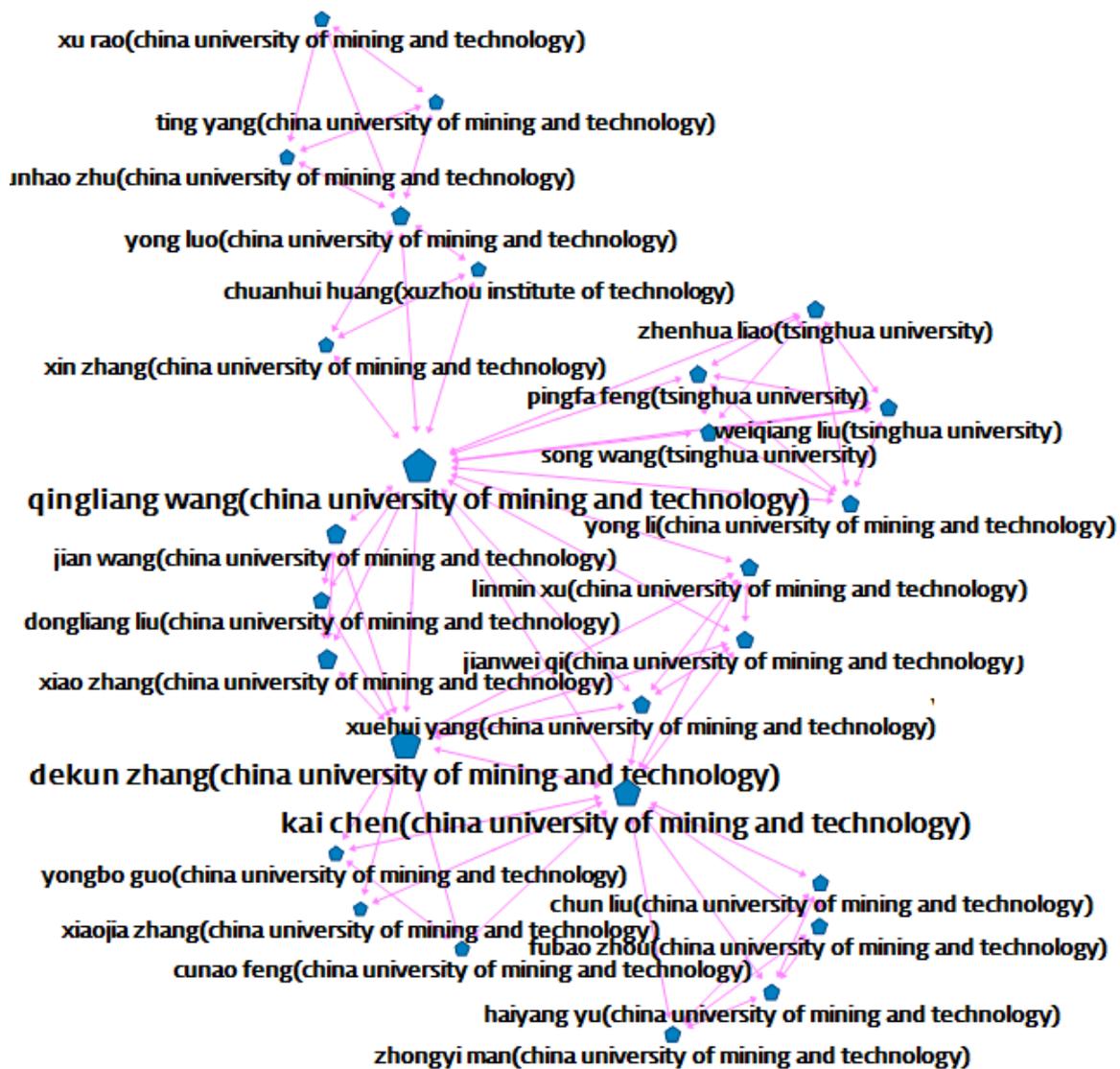


Figure 9. Qingliang Wang, Dekun Zhang, Kai Chen(China University of Mining and Technology) 중심그룹 (2017 년~2019 년, Spring Layout)

2 번째로 큰 그룹은 아래 Figure 10 과 같이 Northwestern University 의 Q. Jane Wang 과 Zhong Liu 를 중심으로 연결된 그룹과 Nanyang Technological University 의 Kun Zhou 을 중심으로 한 그룹이 연결되어 있음을 볼 수 있다. 이들 그룹에는 Northwestern University 와 Nanyang Technological University 외에도 Sichuan University, Harbin Engineering University 의 여러 중국의 연구자들이 연결되어 있음을 확인할 수 있다.



Figure 10. Q. Jane Wang 과 Zhong Liu(Northwestern University), Kun Zhou(Nanyang Technological University) 중심그룹 (2017 년~2019 년, Spring Layout)

3 번째로 큰 그룹은 아래 Figure 11 과 같이 Farshid Sadeghi 를 중심으로 한 Purdue University 의 연구자들이 모인 그룹으로 이 그룹에는 Sentient Science Corporation 과 Rolling Bearing Fundamentals, SKF Engineering & Research Centre, Cummins Technical Center 등 여러 업체와 기관이 참여하고 있다

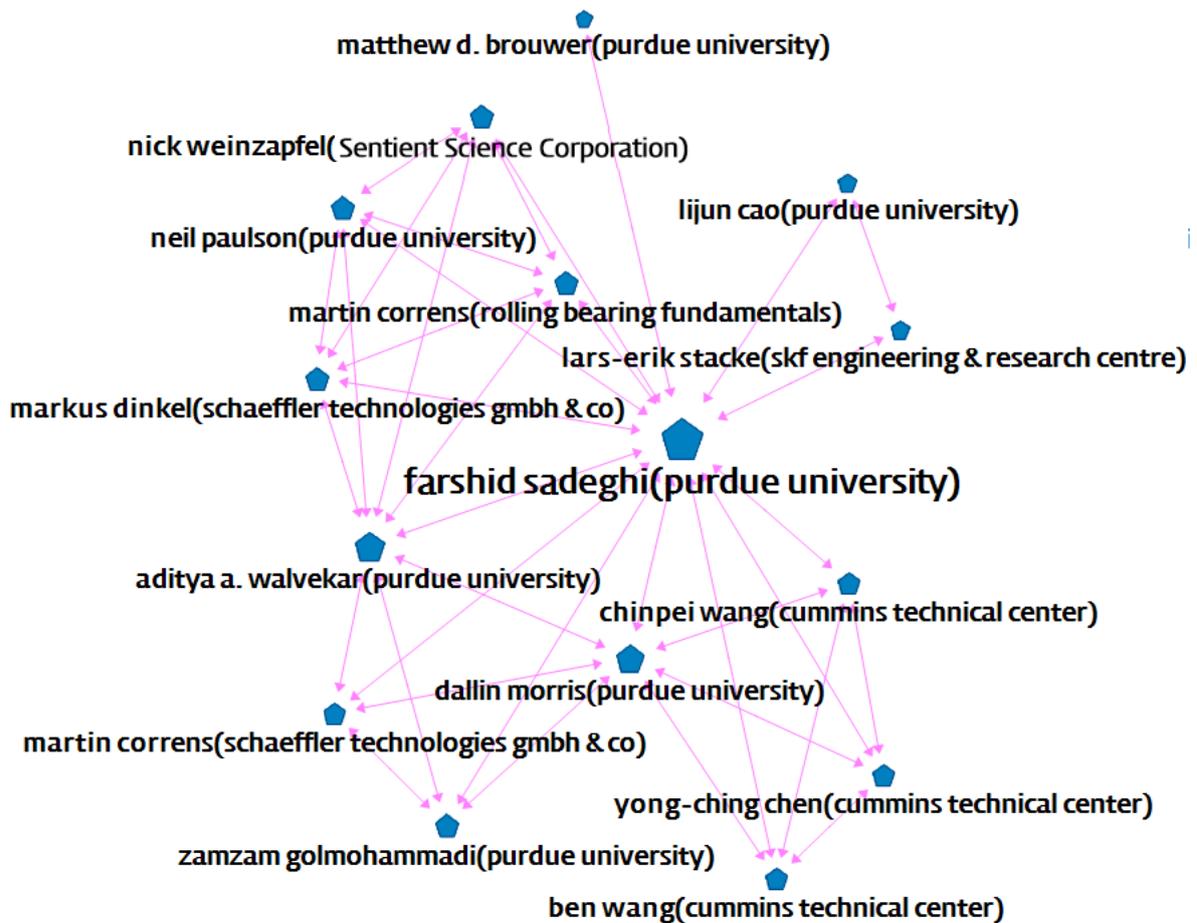


Figure 11. Farshid Sadeghi(Purdue University) 중심그룹 (2017 년~2019 년, Spring Layout)

4 번째로 큰 그룹도 아래 Figure 12 와 같이 Chengbiao Wang 와 Wen Yue 를 중심으로 China University of Geosciences 의 연구자들이 모인 그룹으로 여기에는 Beijing Precision Engineering Institute of Aircraft Industry, Nanjing University of Science and Technology, Tsinghua University 등의 연구자가 참여하고 있다.

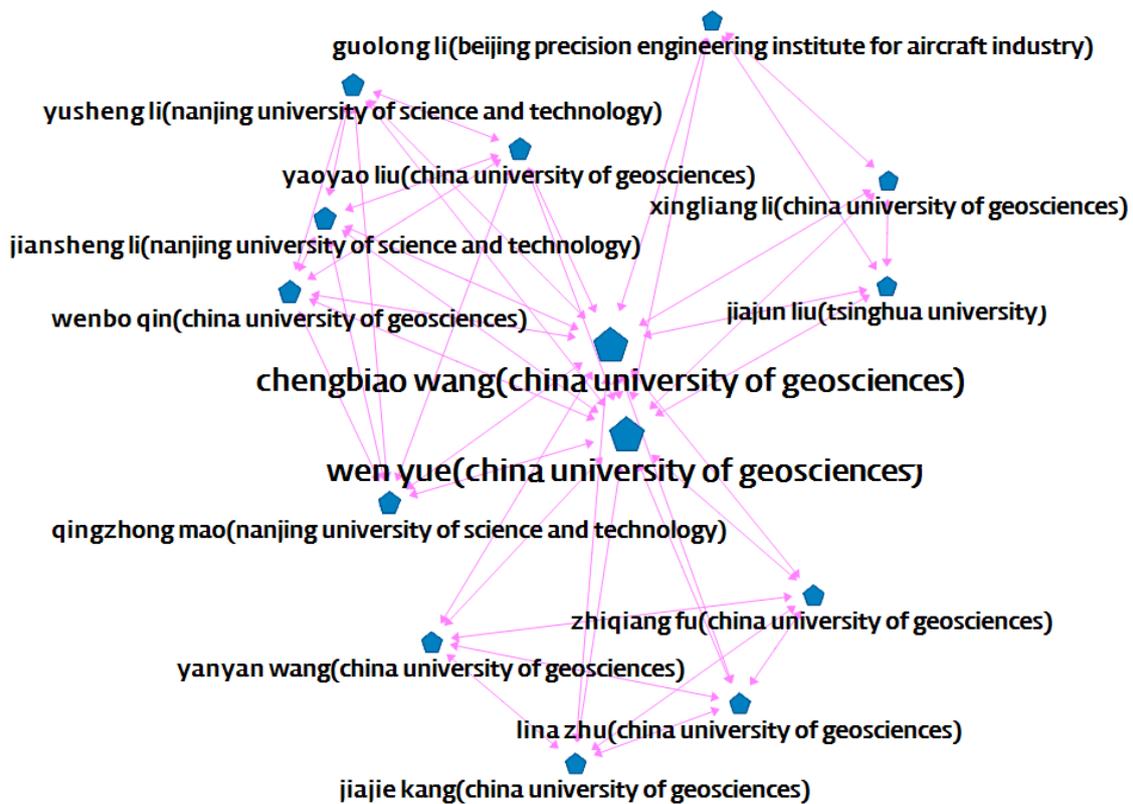


Figure 12. Chengbiao Wang 와 Wen Yue(China university of Geosciences) 중심그룹 (2017 년~2019 년, Spring Layout)

위에서 추출한 연구자 데이터를 바탕으로 하여 Figure 13 과 같이 연구자의 Degree Centrality 를 분석하였다. Degree Centrality 는 연결 정도 중심성으로 한 개인이 전체 네트워크에서 얼마만큼 중심에 가까이 자리 잡고 있는지를 나타내는 지표로 논문과 연구자와의 연결 관계가 많을수록 네트워크 가운데 쪽으로 위치하게 된다.

이를 살펴보면 Qingliang Wang(China University of Mining and Technology) 가 제일 중심에 위치하고 있으며, 그 다음 가까운 위치에 Dekun Zhang(China University of Mining and Technology), Farshid Sadeghi(Purdue University), Q. Jane Wang(northwestern University), Hua Zhu(China University of Mining and Technology)가 있는 것을 볼 수 있다.



Figure 13. 공저자 네트워크 시각화(2017 년~2019 년, Degree Centrality)

아래 Table 6 은 논문 수 4 편 이상의 연구자 순위로 가장 많은 8 개의 논문에 공저자로 참여한 Alan Palazzolo(Texas A&M University)의 경우 Figure 13 의 Degree Centrality 에서는 중심에 가까운 연구자로 나타나고 있지 않다. 반면 Q. Jane Wang(Northwestern University) 는 4 편의 논문에 공저자로 참여하고 있으나 2 번째 중심 연구자로 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 이렇게 공저 논문의 순위와 중심도 분석의 결과가 비례하지 않는 이유는 Degree Centrality 는 공저 논문 수와 함께 다른 연구자와의 공저 관계도 같이 고려되기 때문이다.

참고로 한국인 연구자로는 인하대학교 Chul-Hee Lee 와 Kwang-Hee Lee 는 5 개 이상의 논문에 공저자로 참여하고 있으며, 위의 Figure 13 에서는 중심에서 4 번째 가까운 원에 위치하고 있다.

No	공저자	공저 논문수
1	Alan Palazzolo(Texas A&M University)	8
2	Farshid Sadeghi(Purdue University)	6
	M. F. Wani(National Institute Of Technology Srinagar)	6
	Shuyun Jiang(Southeast University)	6
3	Chul-Hee Lee(Inha University)	5
	Dekun Zhang(China University Of Mining And Technology)	5
	Hua Zhu(China University Of Mining And Technology)	5
	Kwang-Hee Lee(Inha University)	5
	Qingliang Wang(China University Of Mining And Technology)	5
4	Q. Jane Wang(Northwestern University)	4
	Cong Ding(China University Of Mining And Technology)	4
	Deepak Kumar(Indian Institute Of Technology Delhi)	4
	F. M. Meng(Chongqing University)	4
	Gengxiang Wang(Xi'An University Of Technology)	4
	Guodong Sun(China University Of Mining And Technology)	4
	Hiralal Bhowmick(Thapar University)	4
	Hongzhao Liu(Xi'An University Of Technology)	4
	Itzhak Green(Georgia Institute Of Technology)	4
	Jayant Singh(Indian Institute Of Technology Delhi)	4
	Kai Chen(China University Of Mining And Technology)	4

Table 6. 공저자 빈도수 순위(3 년간)

● 주요 연구자 정보

1. Qingliang Wang(China University of Mining and Technology) :
https://www.researchgate.net/scientific-contributions/2013736677_Qingliang_Chang
2. Dekun Zhang(China University of Mining and Technology) :
https://www.researchgate.net/profile/Dekun_Zhang
3. Farshid Sadeghi(Purdue University):
https://engineering.purdue.edu/ME/People/ptProfile?resource_id=23987
4. Q. Jane Wang(northwestern University): <https://www.mccormick.northwestern.edu/research-faculty/directory/profiles/wang-jane-qian.html>
5. Hua Zhu(China University of Mining and Technology): https://www.researchgate.net/scientific-contributions/2146145138_Hua_Zhu
6. Alan Palazzolo(Texas A&M University): <https://engineering.tamu.edu/mechanical/profiles/palazzolo-alan.html>
7. Chul-Hee Lee(Inha University) :
https://mech.inha.ac.kr/about/member_detail.aspx?EncryptedID=hglQ6y%2baKn7vbf4M3fdCQ%3d%3d

4) 기관-키워드 분석(2MODE)

기관과 키워드의 연관성 분석은 어느 기관에서 어떤 분야 연구를 주로 하는지에 대한 객관적인 자료가 될 수 있다. 논문 주 저자의 기관과 그 논문에 대한 키워드를 정리하여 기관과 키워드 간의 관계를 네트워크 시각화 한 그림을 자세히 보기 위해 1 이하의 연결관계를 제외한(Link Reduction 1) 결과는 Figure 14 와 같다. 이를 살펴보면 가장 많이 나타난 키워드는 Wear 와 Friction 이며, 가장 많은 종류의 키워드의 논문을 가진 기관으로는 Texas A&M University, 인도의 National Institute of Technology Srinagar, China University of Mining and Technology, IIT Delhi 등이다.

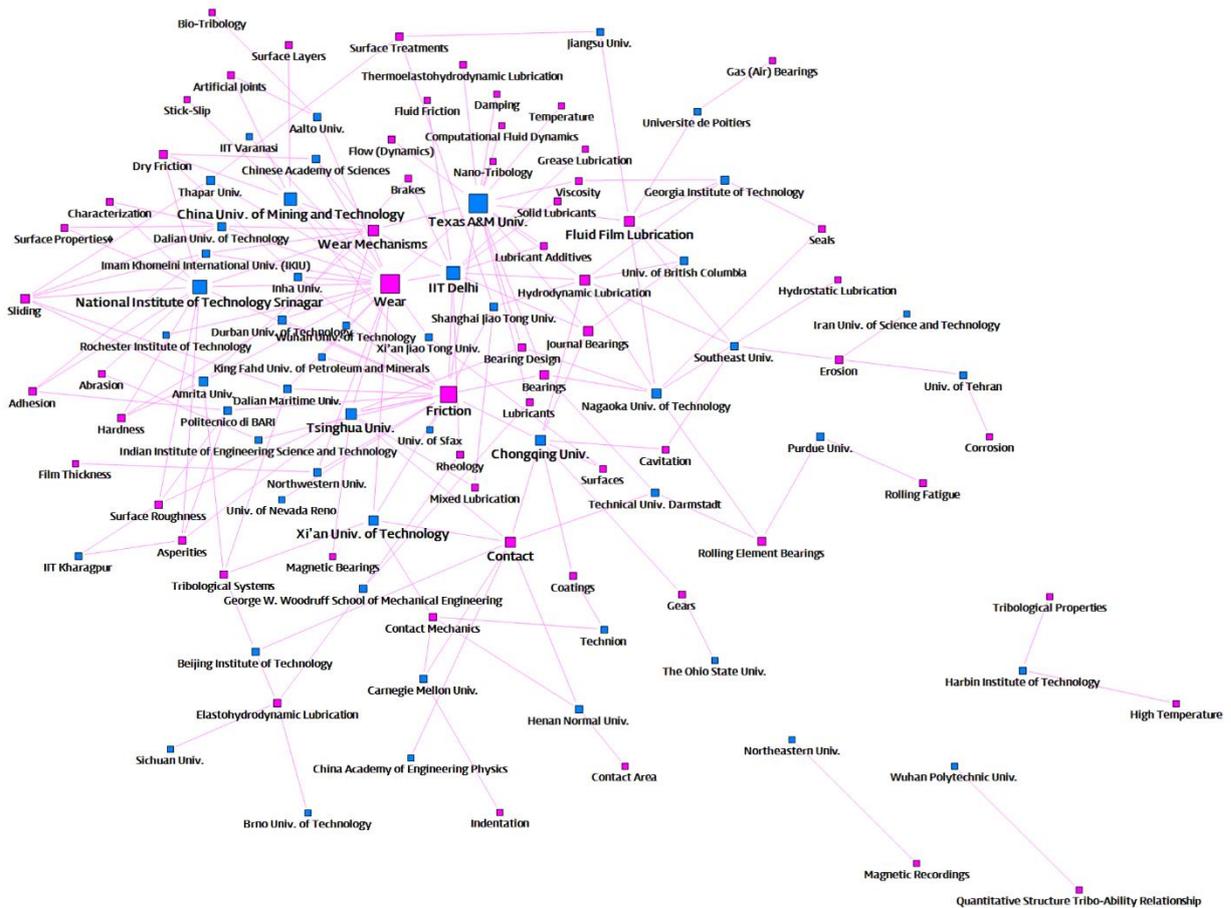


Figure 14. 기관-키워드 네트워크 시각화(2017~2019년, 2-MODE 분석, Link Reduction 1)

키워드 중 Wear 와 Friction 이 출연 빈도가 지나치게 높기 때문에 이들을 제거하고 다시 시각화한 것은 아래 Figure 15 와 같다. 여기에서는 Texas A&M University 를 중심으로 Chongqing University, Tsinghua University, Nagaoka University of Technology, Georgia Tech. 등의 기관이 Fluid Film Lubrication, Journal Bearings, Hydrodynamic Lubrication 등의 키워드와 연결된 영역과 China Univ. of Mining and Technology 와 IIT Delhi, National Institute of Technology Srinagar 등의 기관이 Wear Mechanisms 키워드와 연결된 부분으로 연결되어 큰 그룹을 이루고 있다.

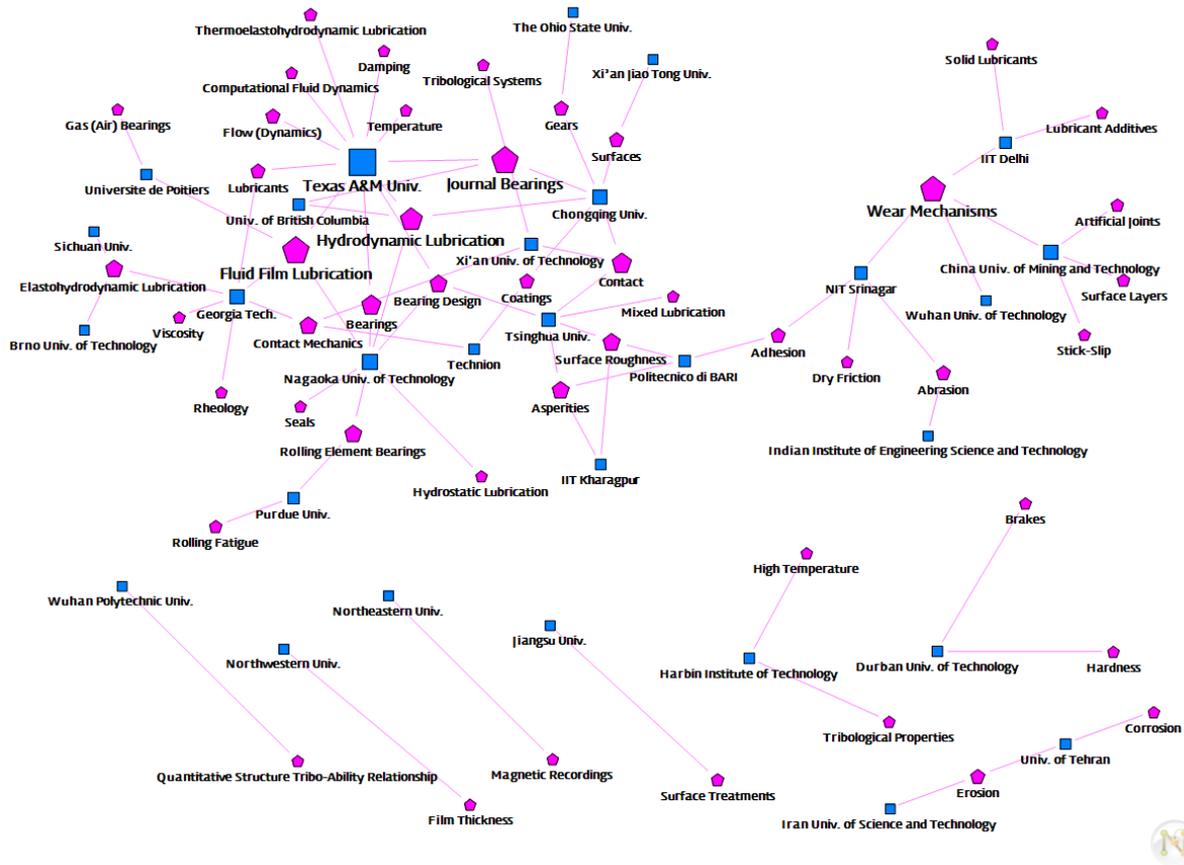


Figure 15. 기관-키워드 네트워크 시각화(2017~2019년, 2-MODE 분석, Link Reduction 1, Wear 과 Friction 제거)

Wear 와 Friction 을 제외하고 가장 많은 기관과 연결된 키워드는 Fluid Film Lubrication, Journal Bearings, Hydrodynamic Lubrication, Wear Mechanisms 가 있으며, 이들을 이웃한(Visualize Neighbor)기관과 연결한 네트워크는 아래 Figure 16 과 같다. 이를 살펴보면 Fluid Film Lubrication 과 연결된 기관은 Texas A&M University, Nagaoka University of Technology, Georgia Tech., University of British Columbia, University de Poitiers 이 있으며, Journal Bearing 의 키워드와 연결된 기관은 Texas A&M University, Chongqing University, University of British Columbia 이며, Hydrodynamic Lubrication 과 연결된 기관은 Texas A&M University, Nagaoka Univ. of Technology, University of British Columbia, Chongqing University 로 나타난다. 또한 Wear Mechanisms 과 연결된 기관은 China Univ. of Mining and Technology, NIT Srinagar, Wuhan University of

Technology 로 각 이들 키워드에 대한 논문이 주로 어떤 기관에서 발표되고있는지를 알 수 있다.
 이를 다시 정리하면 Table 7 과 같다.

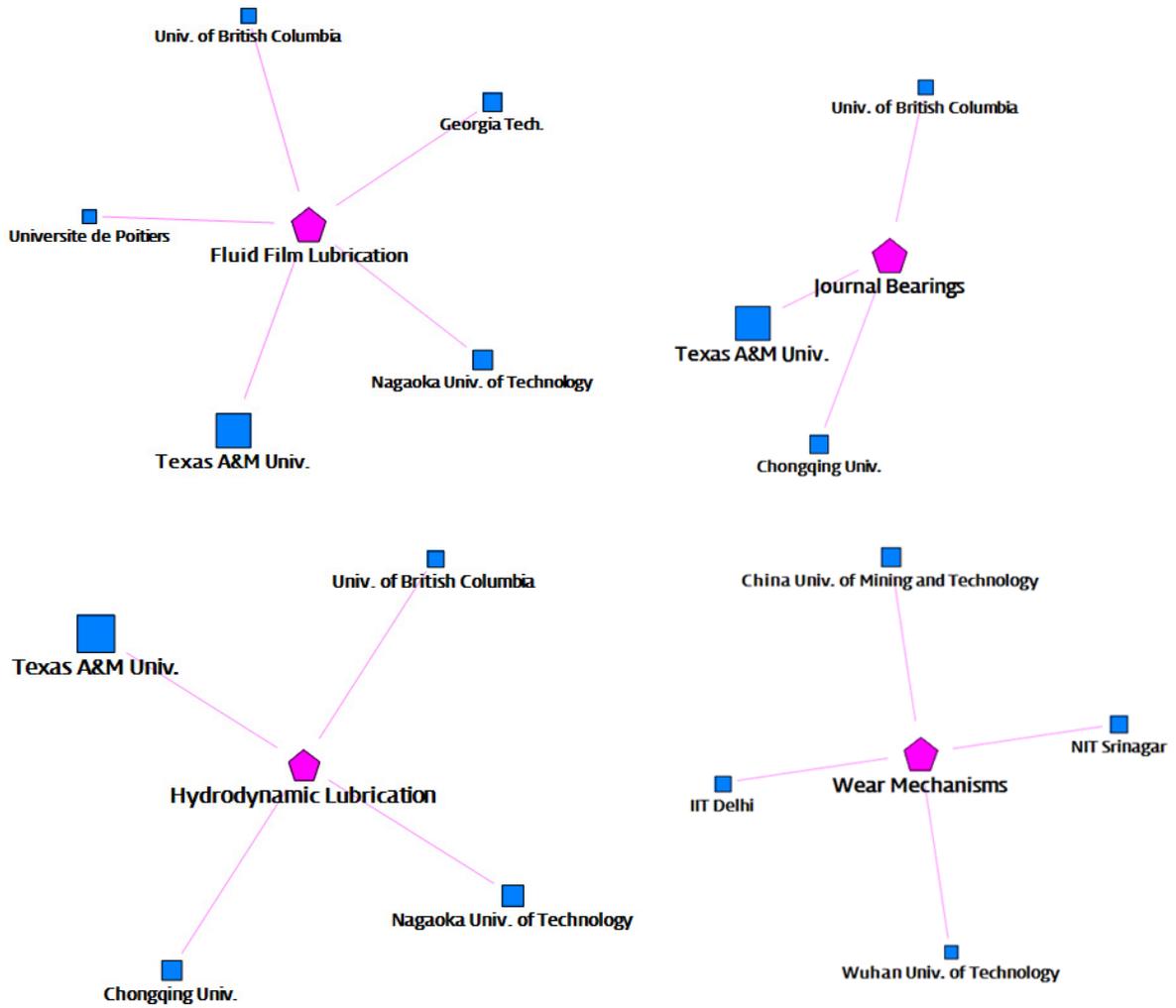


Figure 16. 4 개의 주요 키워드와 이웃한(Visualize Neighbor) 기관

주요 키워드	기관
Fluid Film Lubrication	Texas A&M University, Nagaoka University of Technology, Georgia Tech., University of British Columbia, University de Poitiers
Journal Bearings,	Texas A&M University, Chongqing University, University of British Columbia
Hydrodynamic Lubrication,	Texas A&M University, Nagaoka Univ. of Technology, University of British Columbia, Chongqing University
Wear Mechanisms	China Univ. of Mining and Technology, NIT Srinagar, Wuhan University of Technology

Table 7. 3 년간 논문의 주요 키워드와 발표한 기관 (Wear, Friction 제외)

또한 위의 Figure 15 에 비중이 높게 나온 기관은 Texas A&M University, Nagaoka University of Technology, China University of Mining and Technology, Tsinghua University, Chongqing University, Georgia Tech., NIT Srinagar 등이 있다. 이들 기관에 대해 키워드를 연결한 그림은 아래 Figure17 과 같다. 이를 살펴보면 **Texas A&M University** 에서는 Fluid Film Lubrication, Journal Bearings, Hydrodynamic Lubrication, Bearings, Lubricants, Bearing Design, Thermo-elasto-hydrodynamic lubrication, Temperature, Computational Fluid Dynamics, Flow Dynamics, Damping 등의 키워드가 연결되어 있으며, **Nagaoka University of Technology** 에서는 Fluid Film Lubrication, Hydrodynamic Lubrication, Bearings, Bearing Design, Rolling Element Bearings, Hydrostatic Lubrication, Seals 등의 키워드가, **China University of Mining and Technology** 에서는 Wear Mechanisms, Artificial Joints, Stick-Slip, Surface Layers 의 키워드가 Chongqing University 에서는 Journal Bearings, Hydrodynamic Lubrication, Contact, Surfaces, Gears, Coatings 의 키워드가 **Georgia Tech.** 에서는 Fluid Film Lubrication, Thermo-elasto-hydrodynamic lubrication, Contact Mechanics, Viscosity, Lubricants, Rheology 의 키워드가 연결되어 있으며, **NIT Srinagar** 에서는 Wear Mechanisms, Adhesion, Abrasion, Dry Friction 의 키워드가 **Tsinghua University** 에서는 Contact, Surface Roughness, Asperities, Mixed Lubrication, Bearing Design 등의

키워드가 연결되어 있음을 알 수 있다. 이를 통해 각 기관에서 어떤 키워드의 논문을 주로 발표하고 있는지 확인해 볼 수 있다. 이것을 다시 표로 정리한 결과는 아래 Table 8 과 같다. ,

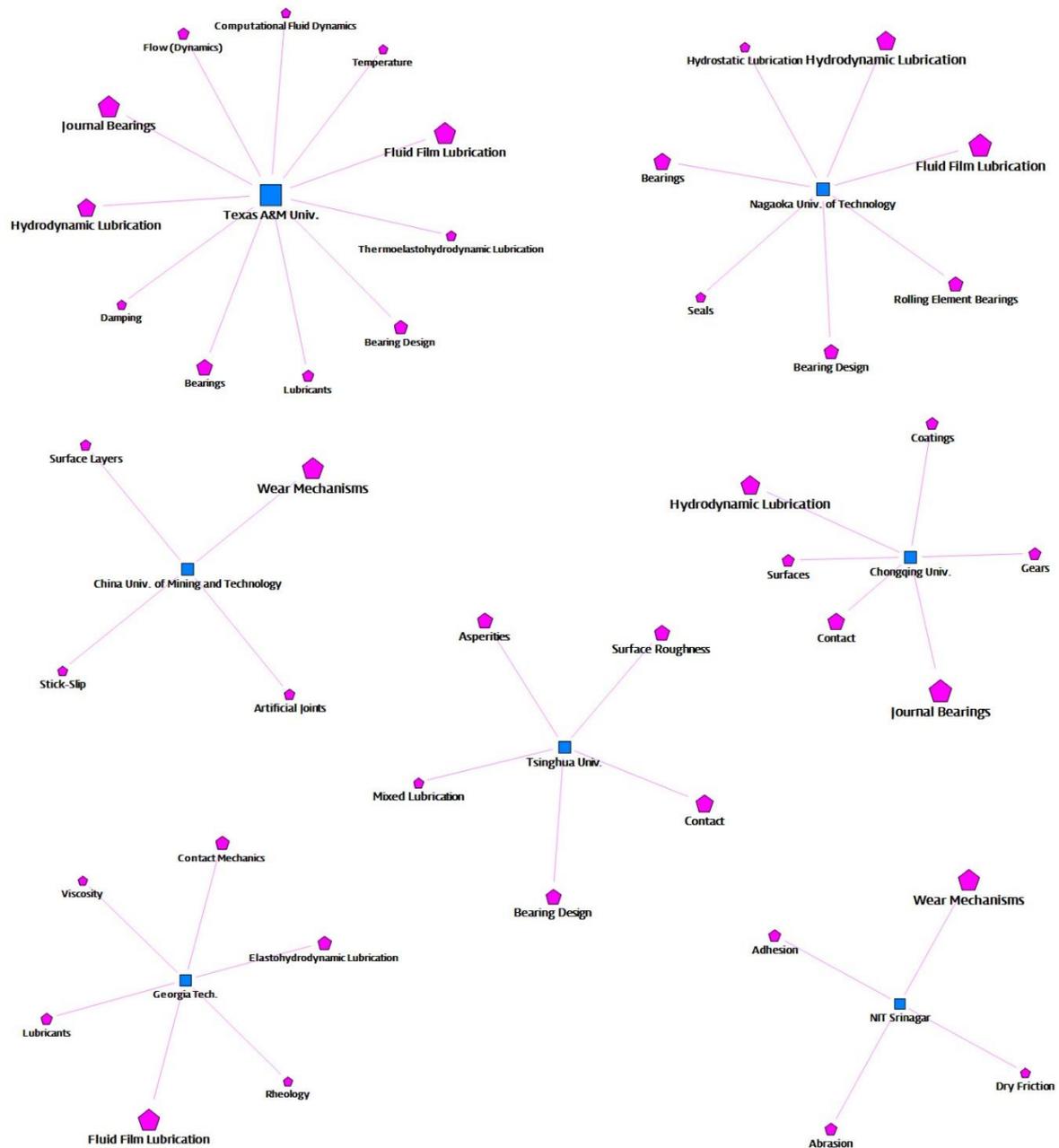


Figure 17. 주요 연구기관과 이웃한(Visualize Neighbor) 논문의 키워드 (Wear, Friction 제외)

주요 기관	키워드
Texas A&M University	Fluid Film Lubrication, Journal Bearings, Hydrodynamic Lubrication, Bearings, Lubricants, Bearing Design, Thermo-elasto-hydrodynamic lubrication, Temperature, Computational Fluid Dynamics, Flow Dynamics. Damping,
Nagaoka University of Technology	Fluid Film Lubrication, Hydrodynamic Lubrication, Bearings, Bearing Design, Rolling Element Bearings, Hydrostatic Lubrication, Seals
China University of Mining and Technology	Wear Mechanisms, Artificial Joints, Stick-Slip, Surface Layers
Chongqing University	Journal Bearings, Hydrodynamic Lubrication, Contact, Surfaces, Gears, Coatings
Georgia Tech.	Fluid Film Lubrication, Thermo-elasto-hydrodynamic lubrication, Contact Mechanics, Viscosity, Lubricants, Rheology
NIT Srinagar	Wear Mechanisms, Adhesion, Abrasion, Dry Friction
Tsinghua University	Contact, Surface Roughness, Asperities, Mixed Lubrication, Bearing Design

Table 8. 3 년간 주요 연구기관에서 발표된 논문의 키워드 (Wear, Friction 제외)

3. 결론

미국기계학회(ASME)에서 발행하는 Journal of Tribology 에서는 2017 년부터 2019 년까지 3 년간 438 편의 논문이 발표되었다. 중국이 155 편으로 가장 많은 논문을 발표했으며, 인도가 73 편, 미국이 68 편을 발표하였다. 연도별 논문발표 순위는 3 년간 변동 없이 중국, 인도, 미국 순으로 이어지고 있어 논문수에서는 중국이 연구를 주도하고 있음을 알 수 있다. 한국은 3 년간 10 편의 논문을 발표하였다.

반면, 기관별 발표 논문 수는 미국의 Texas A&M University 에서 가장 많은 수인 16 편의 논문을 발표했으며, 중국의 China University of Mining and Technology 에서 14 건을 발표하였으며, 인도의 IIT Delhi 와 중국의 Chongqing University 에서도 각각 11 건의 논문을 발표하였다.

또한 Tsinghua University 에서 9 편을, Southeast University, Nagaoka University of Technology, Georgia Institute of Technology, Beijing Institute of Technology 에서 각각 7 편을 논문을 발표하였다. 한국기관으로는 인하대에서 5 편의 논문을 발표하였다.

3 년간 논문에 나타난 키워드 중 빈도수 40 이상인 키워드는 Wear, Friction, Wear Mechanisms, Sliding, Bearings, Fluid Film Lubrication, Hydrodynamic Lubrication, Contact Mechanics 로 이와 관련된 논문이 활발하게 발표된 것을 알 수 있다. 키워드 네트워크 시각화를 통해 중심도 분석(Degree Centrality)을 해보면 Wear 와 Friction 이 압도적으로 많이 나오는데, 이 두가지 키워드를 제외하고 분석해 보면 Bearings, Journal Bearings, Sliding, Wear Mechanisms, Surface Roughness, Asperities, Characterization, Contact Mechanics, Fluid Film Lubrication, Wear Mechanisms, Characterization, Sliding, Surface Properties, Surface Roughness 가 주요 키워드로 등장하는 것을 확인할 수 있다. 연도별로 키워드 변화를 살펴보면 2017 년과 2018 년 Wear Mechanism, Sliding, Fluid Film Lubrication, Contact, Contact Mechanics 등 여러 공통된 키워드가 보였으나, 2019 년에는 Stress, Flow (Dynamics), Tribology, Temperature, Journal Bearings, Lubricants 등 새로운 키워드가 등장한 것을 볼 수 있다.

3 년간의 전체 연구자 네트워크를 분석해 보면 가장 큰 그룹은 Qingliang Wang, Dekun Zhang, Kai Chen 의 3 명을 중심으로 연결된 China University of Mining and Technology 의 연구자들만으로 구성된 그룹으로 이 그룹에는 27 명의 연구자로 연결된 것을 확인할 수 있다.

연구자 네트워크 분석에서는 Degree Centrality 를 살펴보면, Qingliang Wang(China University of Mining and Technology)이 제일 중심에 있는 가장 영향력 있는 연구자로 나타났다. 그 다음으로 Dekun Zhang(China University of Mining and Technology), Farshid Sadeghi(Purdue University), Q. Jane Wang(northwestern University), Hua Zhu(China University of Mining and Technology)가 있는 것을 볼 수 있다.

기관과 키워드의 연관성 분석은 어느 기관에서 어떤 분야 연구를 주로 하는지에 대한 객관적인 자료가 될 수 있는데 Texas A&M University 에는 Fluid Film Lubrication, Journal Bearings, Hydrodynamic Lubrication, Bearings, Lubricants, Bearing Design, Thermo-elasto-hydrodynamic

lubrication, Temperature, Computational Fluid Dynamics, Flow Dynamics, Damping 등 가장 많은 키워드가 연결되어 있어서 이 분야의 여러 주제를 연구하는 것으로 추정된다. 이외에도 Nagaoka University of Technology, China University of Mining and Technology 등에도 많은 키워드가 연결되어 있음을 확인할 수 있다.