디자인-기술 통합 제품개발을 위한 디자인 엔지니어의 역할

기업 내 지식네트워크 및 협력네트워크를 기반으로

GOING팀 허지수

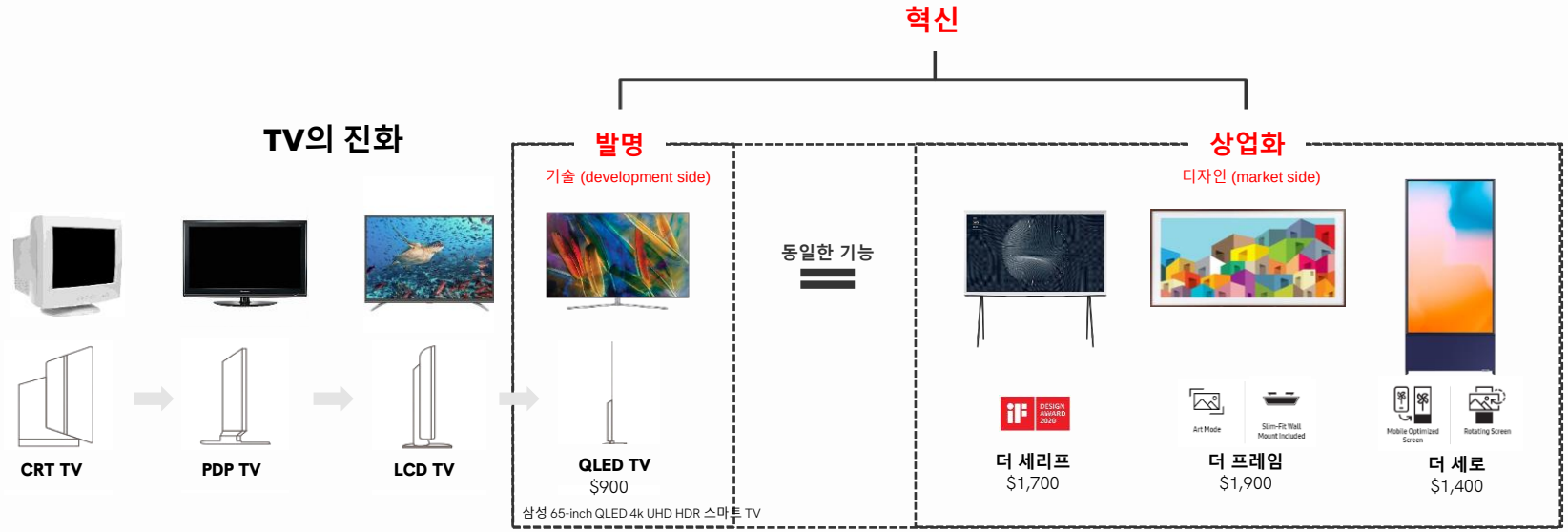
서울대학교 기술경영경제정책대학원

2023년 11월 4일

01

연구배경 및 목적

1-1. 연구 배경: 왜 기업은 디자인혁신을 해야 하는가?

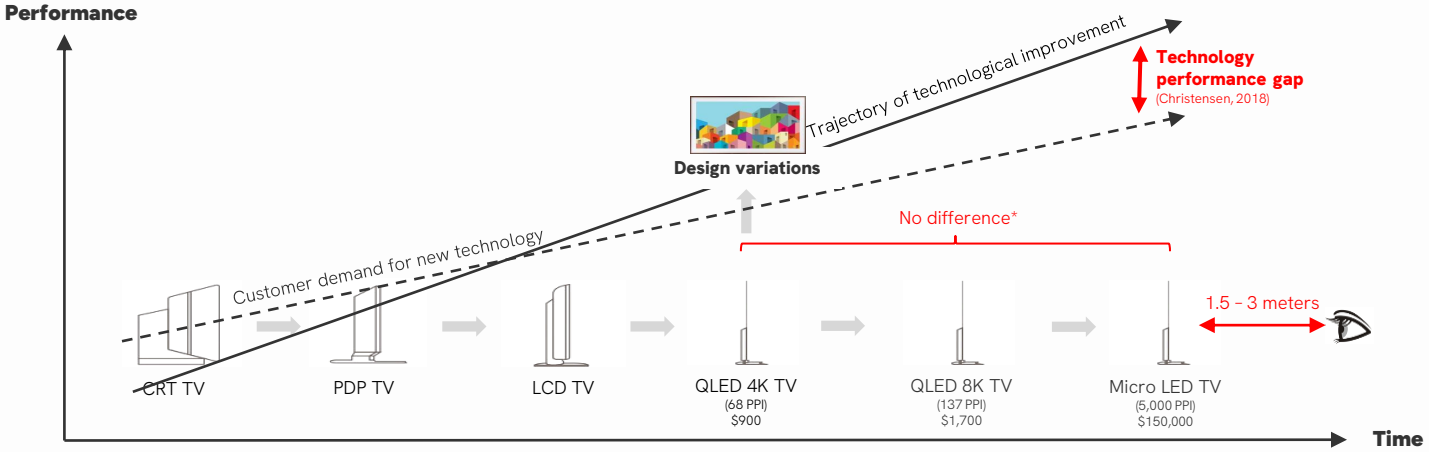


기술적으로 뛰어나더라도 소비자의 심미적 요구사항에 충족하지 못한 제품은 시장에서의 성공을 단정할 수 없음

- 혁신은 단순히 기존에 없던 새로운 기술을 '발명'하는 것만이 아니라 이러한 기술이 경제사회적 편익과 결합될 때 비로소 발생함 (Keller, 2004)
- 디자인 혁신은 단순히 제품의 외관을 넘어서 사용자 편의성, 브랜드 이미지, 제품에 대한 인지적 가치와 직결됨 (Montresor & Vezzani, 2020)
- 기술(Invention)과 디자인(Commercialization)은 상호보완적 (Talke et al., 2009; Rubera & Droge, 2013)

Keller (2004). A resource-based study of new product development: Predicting five-year later commercial success and speed to market. ***International Journal of Innovation Management, 8(3),*** 243-260.

1-1. 연구 배경: 왜 기업은 디자인혁신을 해야 하는가?



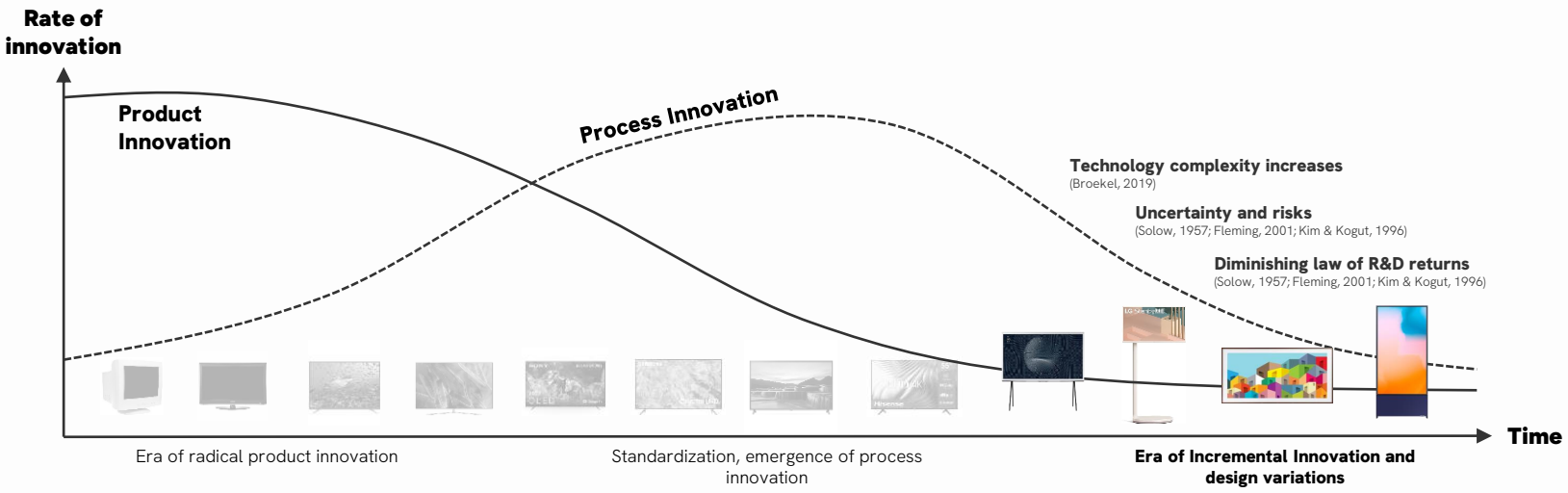
현대의 제품경쟁 시장에서는 단순히 선진 기술을 개발하거나 기술 및 기능적 요소를 기반으로 한 제품 차별화 전략은 기업의 경쟁우위를 보장하는데 한계가 있음

- 현대 기술의 발전 속도는 소비자들이 제품 사용에 있어서 필요로 하거나, 수용 가능한 수준의 상승 속도를 초과함 (Christensen, 2018)
- 소비자 중심적인 제품 개발에 있어서는 해당 분야의 최신기술보다 소비자에게 필요한 기술과 기존 제품과의 차별성을 가져다 줄 수 있는 심미적 디자인이면 충분할 수 있음 (Rubera & Droge, 2013)

* For a 65-inch TV with a viewing distance of 1.5 - 3 m, the maximum ppi that the human eye can see is 58 ppi (Morrison, 2022).

Verganti, R. (2009). Design-driven innovation: Changing the rules of competition by radically innovating what things mean. Havard Business Press.

1-1. 연구 배경: 왜 기업은 디자인혁신을 해야 하는가?

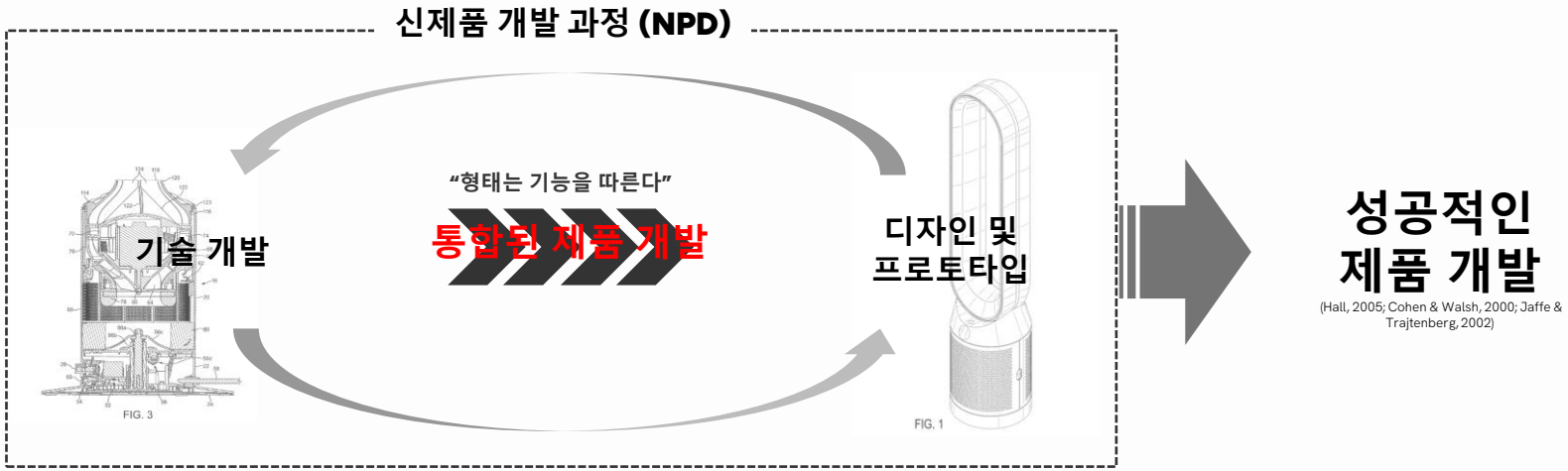


제품은 갈수록 기능적으로 비슷해지고, 경쟁은 디자인에서 비롯됨

- 실제로 대부분의 기업들이 기술 생애주기의 후기 단계에서 점진적 혁신을 기반으로 한 디자인적 변화에 의존함 (Akiike et al., 2019; Eisenman, 2013)

Abernathy & Utterback (1975). A dynamic model of process and product innovation. ***Omega 3***, 639-656.

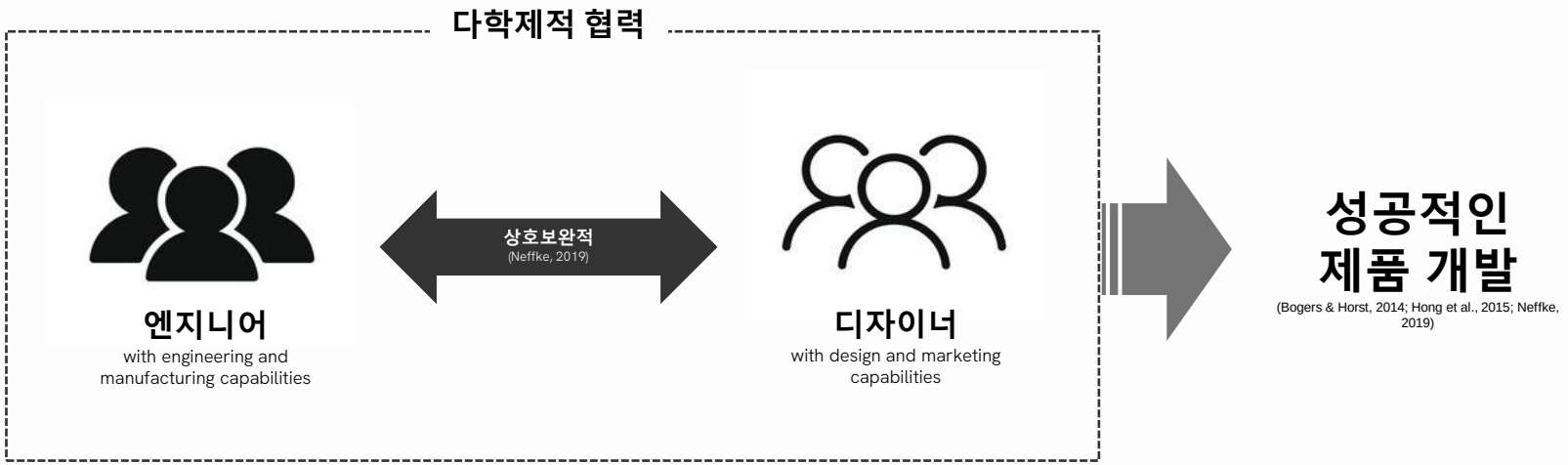
1-1. 연구 배경: 디자인과 기술 통합의 필요성



- James Dyson 인터뷰 *"일부 엔지니어가 디자인 교육을 받기도 하지만, 다이슨에서 디자인은 일부일 뿐이다. … 무엇이 디자인이고 무엇이 기술인지 구별할 수 없을 정도로 통합된 제품 설계를 통해 군더더기 없이 핵심 기능만을 강조한 기능미를 제시한다."*
- ***"Successful product design depends on the ability to effectively manage and share engineering knowledge throughout the entire development process"*** (Chen et al., 2008)

Chen et al., (2008). Enabling collaborative product design through distributed engineering knowledge management. ***Computers in Industry, 59(4)***. 395-409.

1-1. 연구 배경: 디자이너-엔지니어 협력의 필요성



신제품개발 과정에서 디자인과 기술적 지식을 통합한 다학제적 이해 기반 제품개발을 위해서는 디자이너와 엔지니어 간의 협력이 필수적 (Christensen, 2013; Riel et al., 2012)

- *"Collaborations between and across organizational groups with different bodies of knowledge is crucial for successful cross-functional product development"* (Hong et al., 2005)
- 디자이너와 엔지니어 간의 협력은 제품의 기능과 심미적 요소를 통합적으로 고려하는 디자인-기술 통합 제품개발 환경을 조성하는데 기여함 (Bogers & Horst, 2014)

Hong et al., (2005). Role change of design engineers in product development, ***Journal of Operations Management, 24.***

1-1. 연구 배경: 디자이너-엔지니어 협력의 어려움

디자이너와 엔지니어는 각자 다른 분야의 지식 보유로 협력이 어려움

- 다른
- 의사
- 학자
- 조직

매트 스틸 다이슨 수석 디자인 엔지니어

“다이슨에선 엔지니어가 곧 디자이너”

TOP

최한나 | 153호 (2014년 5월 Issue 2)

Article at a Glance - 혁신

날개 없는 선풍기로 유명한 영국 가전업체 다이슨은 디자이너와 엔지니어를 구분하지 않는다. 디자인과 엔지니어링이 같은 방향을 향해 움직이도록 하기 위해서다. 가장 좋은 성능을 얻기 위한 외적 형태가 그들의 디자인이다. 제품이 제대로 작동하지 않으면 어떤 아름다움도 의미를 지니지 못한다. 제품이 아닌 프로젝트별로 직원들이 모였다 흩어지게끔 하거나 정해진 계획표 없이 관심 있는 기술을 갖고 놀 수 있도록 하는 조직 구조는 독창적인 아이디어를 얻기 위한 다이슨만의 특징이다.

디자인 엔

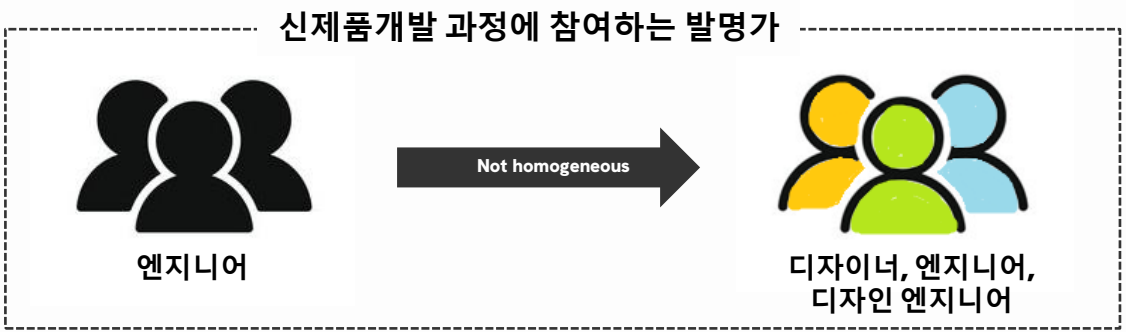
발명가로

전파하고, 학제 간 소통 및 지식 공유를 촉진한다 (Hong et al., 2005; Cross, 2008)

6 9 10 14 11

Yin et al., (2006). Connection and stratification in research collaboration: An analysis of the COLLNET network. *Information Processing and Management, 42.* 1599-1613.

1-2. 연구 목적



디자이너, 엔지니어, 디자인 엔지니어는 고유한 지식 기반을 바탕으로 NPD에 서로 다른 기여를 함

- 갈수록 융합적이고, 다 학제적인 현대 제품개발의 특성을 고려할 때, 디자인 엔지니어의 역할은 매우 흥미로운 주제!

신제품개발에 참여하는 발명가를 ①엔지니어, ②디자이너, ③디자인 엔지니어로 구분하고,
이들 간의 지식 포트폴리오와 협력 패턴을 비교

02

이론적 배경 및 연구가설

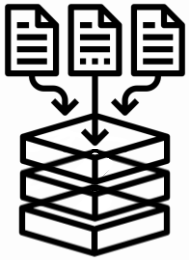
2. 이론적 배경 및 연구가설

지식 전문화와 제품 개발

과거의 연구자

철학자
+ 물리학자
+ 수학자
+ 천문학자

과거에는 개인이 다양한 지식 분야에 대한 폭넓은 이해를 바탕으로 발명



지식 축적

현대의 연구자

사회가 보유한 노하우 > 개인이 습득할 수 있는 지식의 양

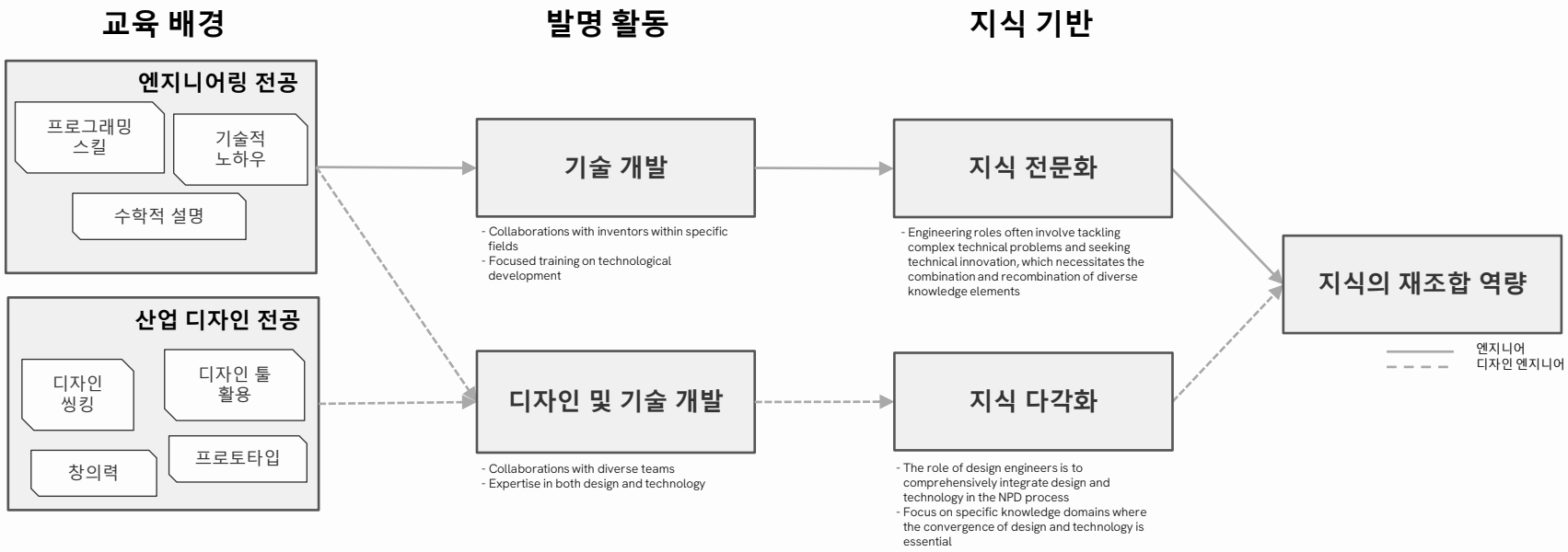
과학기술 지식의 폭팔적인 증가로 인해 개인은 특정 분야에 한정적으로 전문성을 보유

발명가는 저마다 서로 다른 지식을 보유

- 현대의 제품개발은 전문화된 지식과 기술을 가진 발명가 간의 효율적인 의사소통과 협력을 필요로 함 (Riel et al., 2012)

Neffke, (2019). The value of complementary co-workers. *Science Advances, 5.*

2. 이론적 배경 및 연구가설



가설 1

기업의 지식네트워크 내 연구자가 보유한 지식요소의 (A) 연결 중심성과 (B) 매개 중심성은 디자인 엔지니어보다 엔지니어가 더 높을 것이다

2. 이론적 배경 및 연구가설

기업의 협력네트워크 내 디자인 엔지니어의 역할

디자인 엔지니어는 기업 내 주요 협력자(collaborator)이자 이질적인 그룹 간의 소통을 돕는 지식 중재자(mediator)로서 역할한다

- 디자인 엔지니어는 기술적 지식과 디자인적 지식을 통합적으로 활용하여 디자인과 기술 간의 간극을 좁히고, 성공적인 제품 개발을 촉진하는데 중요한 역할을 한다 (Cross, 2008)

가설 2

기업의 협력네트워크 내 연구자의 (A) 연결 중심성과 (B) 매개 중심성은 엔지니어보다 디자인 엔지니어가 더 높을 것이다

2. 이론적 배경 및 연구가설

디자이너의 협력 패턴

디자인은 통합적 (non-decomposable)

분해 불가능

협력을 통한 지식 다양성 ↑ 조정 비용 ↑

Single inventor > Team working

기술은 구분적 (decomposable)

분해 가능

협력을 통한 지식 다양성 ↑ 혁신 ↑

Single inventor < Team working

가설 3

(A) 기업의 협력네트워크 내 연구자의 연결 중심성은 디자이너보다 엔지니어가 더 높을 것이다
(B) 기업의 협력네트워크 내 연구자의 매개 중심성은 엔지니어보다 디자이너가 더 높을 것이다

Chan et al., (2021). Revisiting the role of collaboration in creating breakthrough inventions. *Manufacturing and Service Operations Management, 23(5):* 1005-1024.

03

데이터 및 방법론

3-1. 분석 프레임워크

사회연결망 분석(Social network analysis) 및 이원고정효과모형

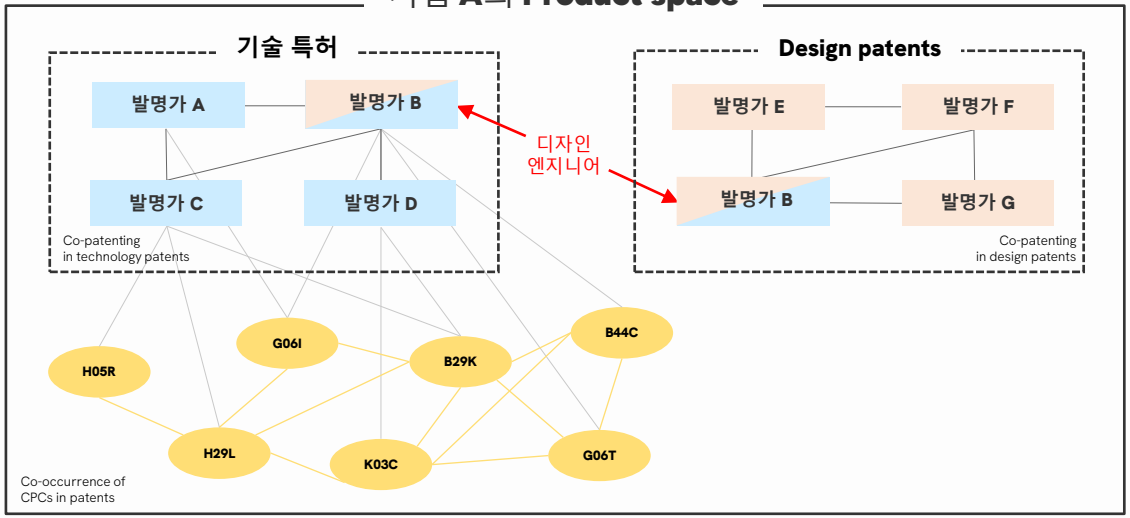
$$Y_{it} = \alpha + \beta_n Dummy_{int} + \beta_n Control_{int} + \mu_i + \lambda_t + \epsilon_{it} \quad (1)$$

$$where\ Y_{it} = KNOW_DEG_{it}, KNOW_BTW_{it}, COLLAB_DEG_{it}, and\ COLLAB_BTW_{it}$$

기업 **A**의 **Product space**

협력 네트워크

지식 네트워크



기업의 협력네트워크 내 발명가의 구조적 중심성 파악

기업의 지식네트워크 내 발명가가 보유한 지식요소의 평균 중심성 파악

Wang et al. (2014). Knowledge networks, collaboration networks, and exploratory innovation. *The Academy of Management Journal, 57(2),* 484-514.

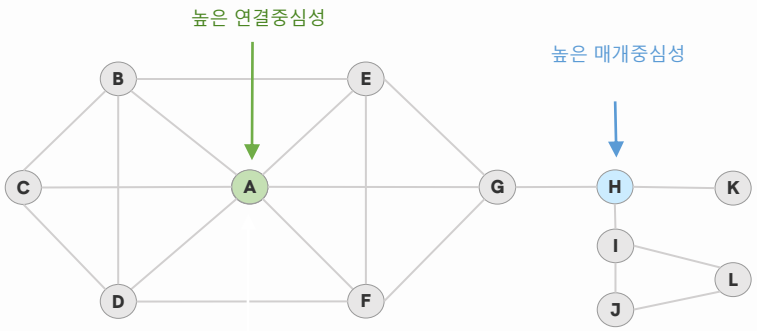
3-2. 변수

독립 변수

협력네트워크 연결중심성 및 매개중심성

$$COLLAB_DEG(i) = \sum_{j \in G_C} w_{ij} \qquad (2)$$

$$\mathrm{COLLAB_BTW}(i) = \sum_{m \neq i \neq n} \frac{\sigma_{mn}(i)}{\sigma_{mn}} \qquad (3)$$



협력 네트워크

협력네트워크 연결중심성

- Having many collaborators (Wang et al., 2014)
- Access to information (Wang et al., 2014)
- Opportunities for more collaborations (Das et al., 2018)
- Influence (Das et al., 2018)
- Central inventors (Beaudry & Schiffauerova, 2011)

협력네트워크 매개중심성

- A bridge for communication between other inventors (Opsahl et al., 2010)
- Control over interactions between other inventors (Freeman et al., 1979)
- Dissemination of knowledge (Ahuja, 2000; Freeman et al., 1979)
- Engagement in interdisciplinary research (Yan & Ding, 2009)
- Inventors serving intermediary roles (Beaudry & Schiffauerova, 2011)

Beaudry & Schiffauerova, (2011). Impacts of collaboration and network indicators on patent quality: The case of Canadian nanotechnology innovation. ***European Management Journal, 29(5):*** 362-376.

3-2. 변수

독립 변수

지식네트워크 평균 연결중심성 및 매개중심성

$$KNOW_DEG(i) = \frac{1}{K(i)} \sum_{k \in K(i)} \left(\sum_{q \in G_K} w_{kq} \right) \quad (4)$$

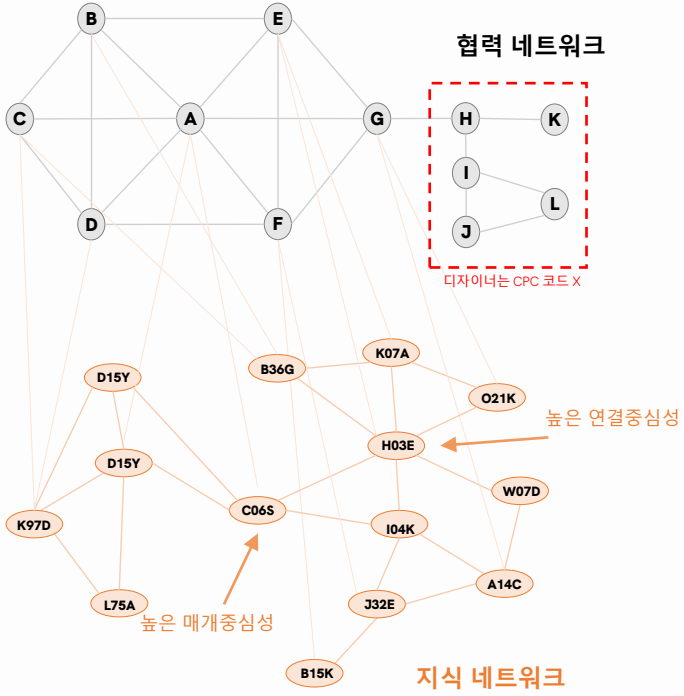
$$\mathrm{KNOW_BTW}(i) = \frac{1}{K(i)} \sum_{k \in K(i)} \left(\sum_{s \neq k \neq t} \frac{\sigma_{st}(k)}{\sigma_{st}} \right) \quad (5)$$

지식네트워크 연결중심성

- Combinatorial potential within specific knowledge domains (Guan & Liu, 2016; Innocenti et al., 2020)

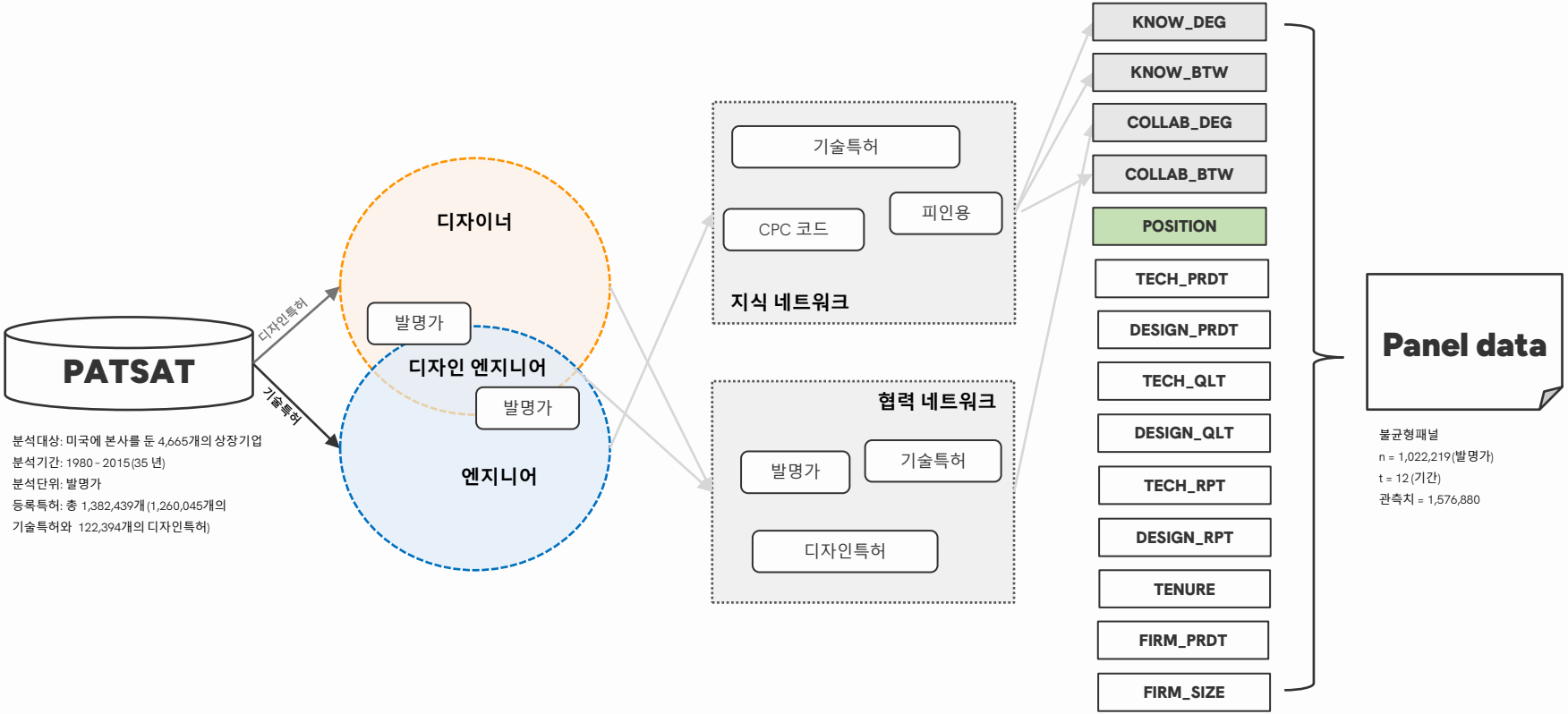
지식네트워크 매개중심성

- Extended combinatorial opportunities across other knowledge domains (Wang et al., 2014)
- The extent to which inventors' knowledge elements act as intermediaries between pairs of knowledge elements



Beaudry & Schiffauerova, (2011). Impacts of collaboration and network indicators on patent quality: The case of Canadian nanotechnology innovation. ***European Management Journal, 29(5):*** 362-376.

3-3. 데이터 수집 및 패널데이터 구축



분석대상: 미국에 본사를 둔 4,665개의 상장기업
분석기간: 1980 - 2015(35 년)
분석단위: 발명가
등록특허: 총 1,382,439개 (1,260,045개의 기술특허와 122,394개의 디자인특허)

불균형패널
n = 1,022,219(발명가)
t = 12 (기간)
관측치 = 1,576,880

04

분석 결과

4-1. 실증분석 결과

Table 1. 이원고정효과모형 분석 결과

		Knowledge network				Collaboration network			
		(1) DEG	(2) DEG	(3) BTW	(4) BTW	(5) DEG	(6) DEG	(7) BTW	(8) BTW
Control variables	PRDT	0.337*** (0.001)	0.342*** (0.001)	0.077*** (0.001)	0.077*** (0.006)	0.474*** (0.001)	0.476*** (0.001)	0.397*** (0.001)	0.396*** (0.001)
	QLT	0.003*** (0.000)	0.003*** (0.000)	-0.000* (0.000)	-0.000** (0.000)	0.002*** (0.000)	0.001*** (0.000)	0.006*** (0.000)	0.006*** (0.000)
	RPT	-0.004*** (0.000)	-0.004*** (0.000)	0.000*** (0.000)	0.000*** (0.000)	0.001*** (0.000)	0.001*** (0.000)	0.006*** (0.000)	0.006*** (0.000)
	TENURE	-0.003*** (0.000)	-0.004*** (0.000)	-0.000 (0.000)	-0.000 (0.000)	-0.003*** (0.000)	-0.003*** (0.000)	-0.005*** (0.000)	-0.005*** (0.000)
	FIRM_PRDT	-0.178*** (0.001)	-0.177*** (0.001)	-0.012*** (0.000)	-0.012*** (0.000)	-0.001 (0.001)	-0.001 (0.001)	-0.188*** (0.001)	-0.188*** (0.001)
	FIRM_SIZE	-0.255*** (0.002)	-0.253*** (0.002)	-0.032*** (0.001)	-0.032*** (0.001)	-0.023*** (0.003)	-0.025*** (0.003)	-0.275*** (0.002)	-0.275*** (0.002)
Dummy variables	DESIGN_ENGINEER		-0.582*** (0.009)		-0.049*** (0.004)		0.150*** (0.012)		0.122*** (0.008)
	DESIGNER						-0.034** (0.015)		0.133*** (0.010)
	Constant	-2.820*** (0.010)	-2.849*** (0.010)	-6.558*** (0.005)	-6.560*** (0.005)	-7.024*** (0.013)	-7.015*** (0.013)	-2.456*** (0.009)	-2.457*** (0.009)
	Observations	1,498,586	1,498,586	1,498,586	1,498,586	1,576,880	1,576,880	1,576,880	1,576,880
	Group	966,199	966,199	966,199	966,199	1,022,219	1,022,219	1,022,219	1,022,219
	VIF	1.71	1.61	1.71	1.61	1.66	1.57	1.66	1.57
	Hausman test	8769.86***	15474.62***	283.53***	315.28***	2425.89***	1292.47***	10585.15***	10697.67***

Notes: * p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01. Standard errors are in parentheses below the coefficients.

지식네트워크 내 중심성 (가설 1A & 1B)

엔지니어 > 디자인 엔지니어

협력네트워크 내 중심성

엔지니어 > 디자이너 (가설 3A)

엔지니어 < 디자이너 (가설 3B)

4-2. 강건성 검증

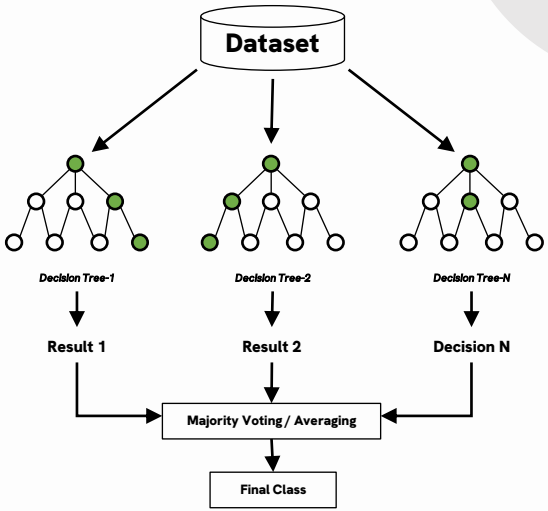
성향점수 매칭 (PSM)

이상적인 매칭 방법 → 정확한 매칭

- 정확히 같은 쌍을 찾아서 비교하는 것은 현실적으로 불가능
- 통제변수들의 영향을 최대한 제어하고 그룹 간의 비교를 더 정확하게 수행하는 방법 → PSM

성향점수 매칭 방법

1) 통제변수가 주어진 상태에서 각 그룹에 할당될 확률 계산 = propensity score
2) 유사한 propensity score를 가진 발명가끼리 매칭



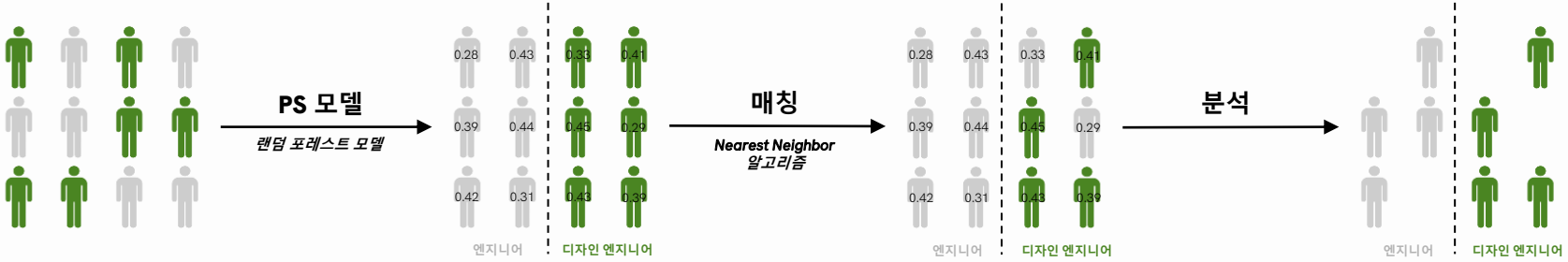
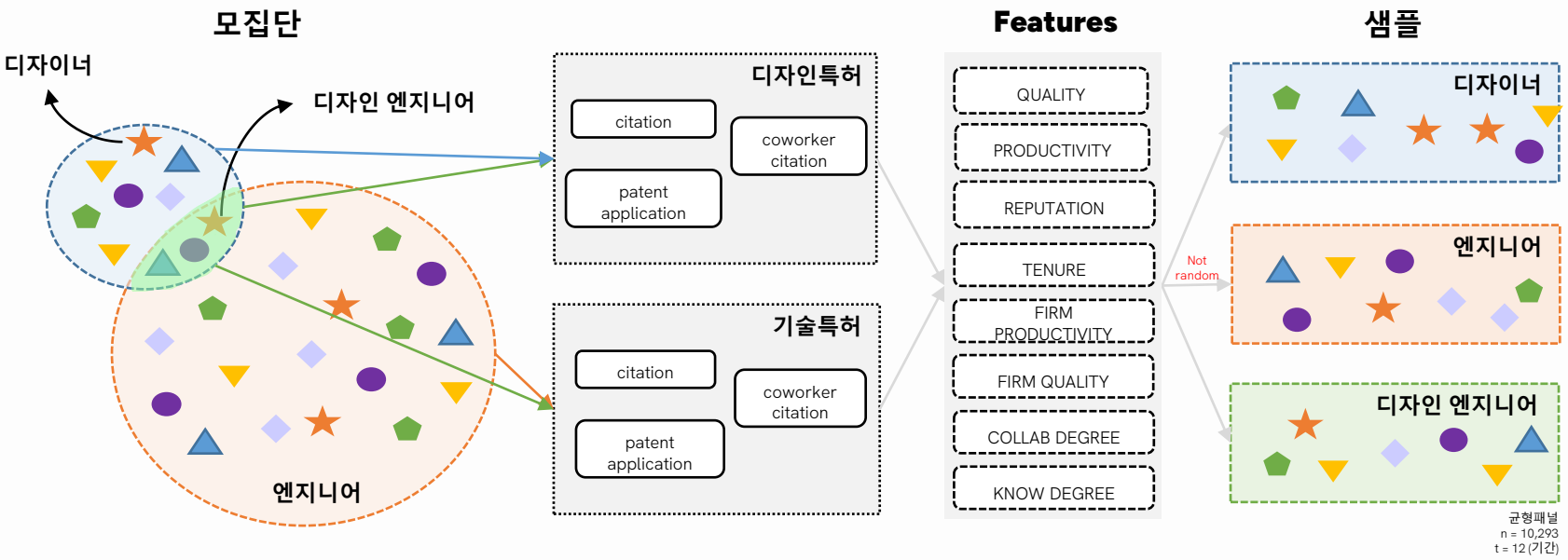


Figure 1. PSM 분석 과정

Rosenbaum & Rubin, (1983). The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. ***Biometrika, 70 (1).*** 41-55.

4-2. 강건성 검증

성향점수 매칭 (PSM)

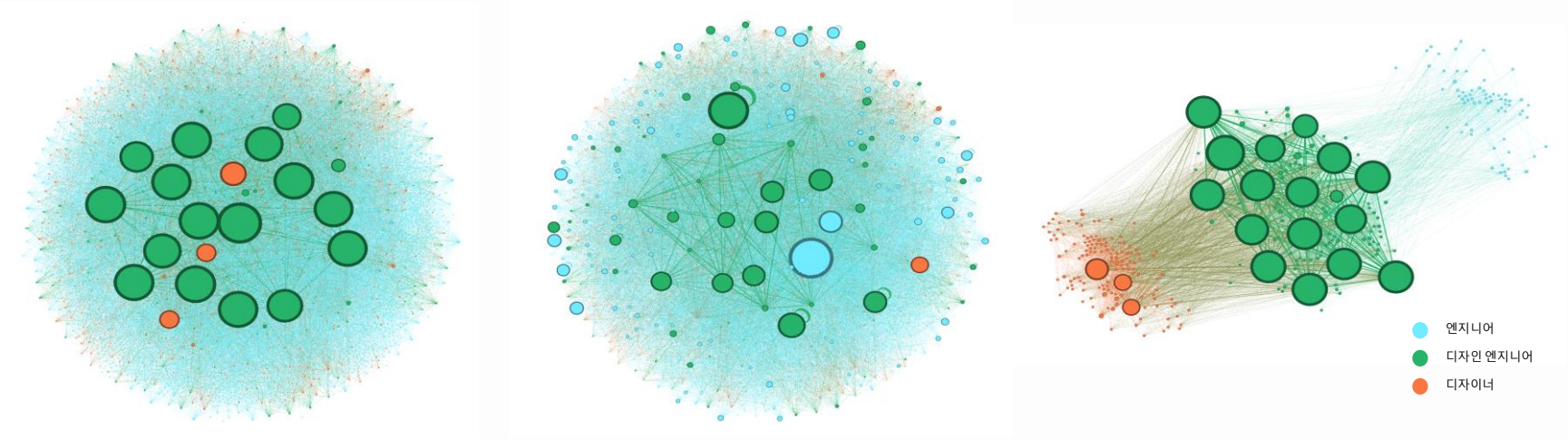


주 검증 결과와 일정한 결과 확인

Rosenbaum & Rubin, (1983). The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. ***Biometrika, 70 (1).*** 41-55.

4-3. 사례 연구

Apple Inc.



a. 협력 네트워크 (노드 크기 = 연결 중심성)

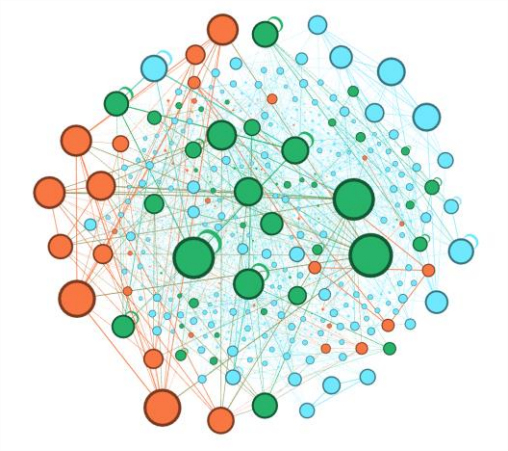
b. 협력 네트워크 (노드 크기 = 매개 중심성)

c. 기업 내 주요 디자인 엔지니어의 협력 네트워크 (노드 크기 = 연결 중심성)

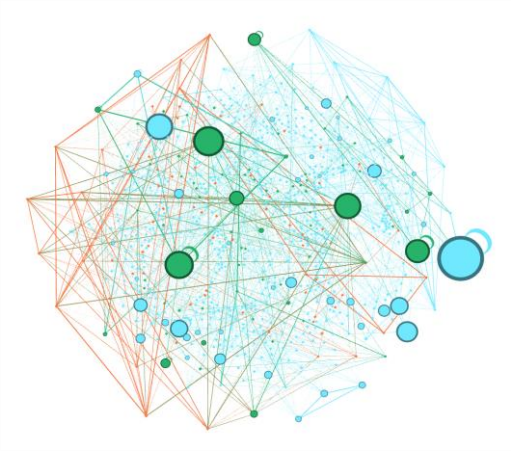
Figure 2. Apple Inc.의 협력 네트워크 (기간: 2012 – 2015)

4-3. 사례 연구

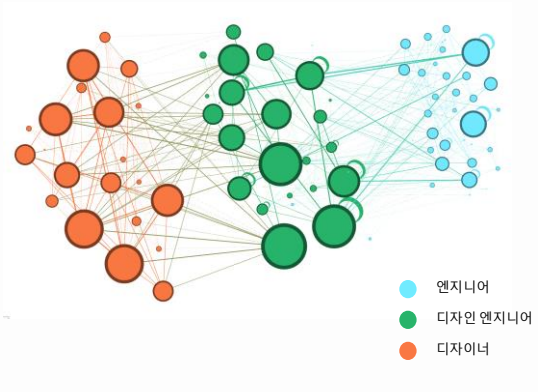
Becton Inc.



a. 협력 네트워크 (노드 크기 = 연결 중심성)



b. 협력 네트워크 (노드 크기 = 매개 중심성)



c. 기업 내 주요 디자인 엔지니어의 협력 네트워크 (노드 크기 = 연결 중심성)

Figure 3. Becton Inc.의 협력 네트워크 (기간: 2012 – 2015)

4-3. 사례 연구

Google Inc.

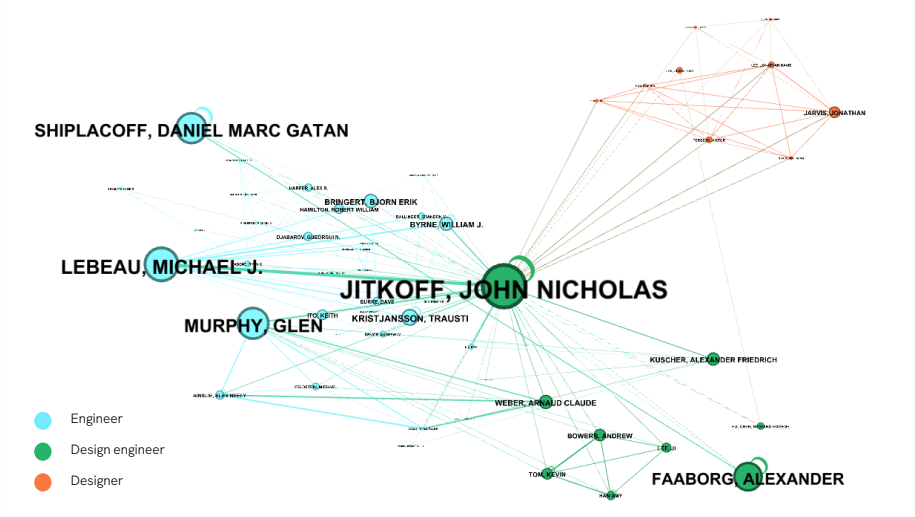


Figure 4. Google Inc.의 주요 디자인 엔지니어 협력 네트워크 (기간: 2012 – 2015)

Jiktoff John Nicholas

- Principal designer (2006 – 2017)
- Yale University (Computer Science B.S.)
- Carnegie Mellon University (Human Computer Interaction Masters)

John Nicholas Jitkoff has an impressive background in design and technology, having worked for top companies in the industry such as Oculus, Dropbox, Google, Venrock, and Blacktree. With experience as Android Visual Designer at Google, he has developed a strong foundation in visual and interface design. In his most recent role at Oculus, Jitkoff has become a leading expert in the ever-growing field of virtual reality. Prior to that, he served as VP of Design at Dropbox, where he oversaw the design team and developed design strategies that helped enhance the user experience for millions of users. Jitkoff's contributions at Material at Google were also noteworthy, working on design projects for Google's platform to make it more accessible and more visually appealing. Overall, John Nicholas Jitkoff's diverse experience and expertise in design and technology make him a valuable asset to any team.

A list of patents

- Audio notifications (US-8805690)
- Background auto-submit of login credentials (US-8607306)
- Computerized systems and methods for analyzing and determining properties of virtual environments (US-9607427)
- Edge swiping gesture for home navigation (US-9851896)
- Display screen with animated graphical user interface (US-D769317)
- Display screen with icon (US-D777784)
- Keyboard (US-D667407)

05

결과 및 함의

5-1. 결과 요약

	지식 네트워크		협력 네트워크	
	연결 중심성 (연구자의 지식 분야 내 발명)	매개 중심성 (기업 내 새로운 발명)	연결 중심성 (협력자 및 중심 발명가)	매개 중심성 (지식의 매개 역할)
엔지니어 vs. 디자인 엔지니어	엔지니어	엔지니어	디자인 엔지니어	디자인 엔지니어
엔지니어 vs. 디자이너	기업의 기술혁신을 주도		기업 내 영향력 (예, NPD 감독)	학제 간 지식 공유 촉진

✓ **디자인 엔지니어는 엔지니어에 비해 지식네트워크 내 연결성이 떨어지며, 비교적 낮은 지식의 결합 가능성을 보임**

- 디자인 엔지니어는 기술적 지식과 디자인적 지식을 통합적으로 활용하여 디자인과 기술의 융합이 필요한 특정 지식 분야에서만 기술개발에 참여함

✓ **그럼에도 불구하고, 협력네트워크 내에서는 디자인 엔지니어가 엔지니어에 비해 더 많은 발명가와 협력할 뿐만 아니라, 이질적인 그룹 간의 소통을 돕는 연결자 또는 지식 중재자로서 역할하는 것으로 나타남**

- 디자인 엔지니어는 디자이너와 엔지니어 간의 지식 공유를 촉진하여 디자인과 기술 간의 간극을 좁히고, 성공적인 제품 개발을 촉진하는데 중요한 역할을 함

✓ **디자이너의 경우, 디자인의 non-decomposability 특성으로 인해 덜 협력적이지만, 제품의 세부적인 요소까지 디자인하기 위해 NPD에 참여하는 다양한 팀(예, mechanical, software and hardware engineering teams)과 협력함**

5-1. 결과 요약

지식 네트워크		협력 네트워크	
연결 중심성 (연구자의 지식 분야 내 발명)	매개 중심성 (기업 내 새로운 발명)	연결 중심성 (협력자 및 중심 발명가)	매개 중심성 (지식의 매개 역할)

디자인 엔지니어는 기업 내에서 **주요한 협력자 및 다학제적 지식이전의 촉진제**로서 역할하며 디자인-기술 통합 제품 개발 환경을 조성하는데 기여

- 디자인 엔지니어는 디자이너와 엔지니어 간의 지식 공유를 촉진하여 디자인과 기술 간의 간극을 좁히고, 성공적인 제품 개발을 촉진하는데 중요한 역할을 함

✓ **디자이너의 경우, 디자인의 non-decomposability 특성으로 인해 덜 협력적이지만, 제품의 세부적인 요소까지 디자인하기 위해** NPD에 참여하는 다양한 팀(예, mechanical, software and hardware engineering teams)과 협력함

5-2. 함의

학술적 기여

기존 연구에서는 기존 기업 혁신 연구에서 발명자는 엔지니어로 국한되어 정의되거나 (Argyres et al., 2020; Arroyabe et al., 2020; Crescenzi et al., 2016; Tóth & Lengyel, 2021), 엔지니어와 디자이너로 구분하여 이들의 역할와 기여를 분석함 (Agogué et al., 2015; Punstein & Glückler, 2020; Yoshioka-Kobayashi & Watanabe, 2016; Yu et al., 2018)

신제품개발에서 다학제적 지식을 보유한 디자인 엔지니어의 역할 및 중요성에 대한 실증적 근거 및 함의 제공

경영학적 기여

디자이너, 엔지니어, 디자인 엔지니어의 지식 및 협력 패턴에 대한 이해를 바탕으로 혁신 전략 수립 (예, 엔지니어의 기술혁신 역량을 적극 활용, 학제 간 소통 및 의사결정 도출을 위해 디자인 엔지니어를 활용)

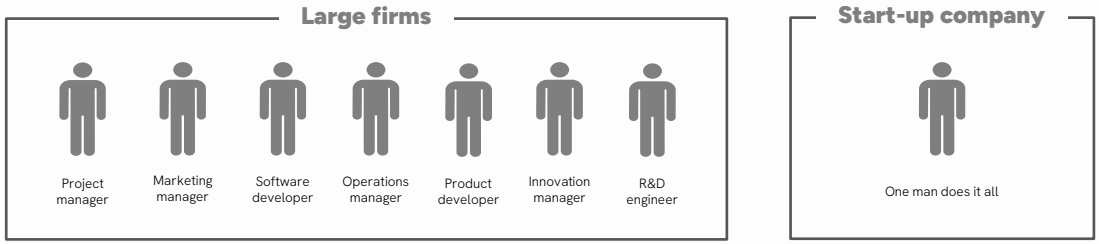
기술개발과 시장성공 간의 간극을 최소화하기 위해서는 디자인팀과 기술개발팀 간의 협력을 도모하고, 숙련된 디자인 엔지니어를 전략적으로 NPD팀에 배치

5-3. 한계점

본 연구는 특허 데이터를 기반으로 발명가의 직무를 식별하였기에 실제 발명가의 역할과 기여를 완전히 파악하는 데에는 한계가 있음 **(**예**,** 프로젝트 매니저**)**

본 연구는 미국에 본사를 둔 상장 기업을 대상으로 하였기에 발명가의 직무가 매우 세분화되어 있으며 제품 개발에 더 많은 인력이 투입되었을 가능성이 높음 예) 디자인 엔지니어의 역할은 기업 크기에 따라 달라질 수 있음

향후 연구는 산업 또는 기업 크기 별로 각 발명가 그룹의 역할이 어떻게 달라지는지 분석해볼 필요가 있음



감사합니다

참고문헌

Agogué, M. et al (2015), Resisting classical solutions: The creative mind of industrial designers and engineers. Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts 9, 313–318.
Ampornphan, P., Tongngam, S. (2020), Exploring Technology Influencers from Patent Data Using Association Rule Mining and Social Network Analysis. Information 11, 333.
Beaudry, C., Schiffauerova, A. (2011), Impacts of collaboration and network indicators on patent quality: The case of Canadian nanotechnology innovation. European Management Journal, Management & Social Networks: Stretching Boundaries 29, 362–376.
Bogers, M., Horst, W. (2014), Collaborative Prototyping: Cross-Fertilization of Knowledge in Prototype-Driven Problem Solving. Journal of Product Innovation Management 31, 744–764.
Bonsiepe, G. (2007), The Uneasy Relationship between Design and Design Research, in: Michel, R. (Ed.), Design Research Now: Essays and Selected Projects, Board of International Research in Design. Birkhäuser, Basel, pp. 25–39.
Cassi, L., Plunket, A. (2015), Research Collaboration in Co-inventor Networks: Combining Closure, Bridging and Proximities. Regional Studies 49, 936–954.
Chan, T.H. et al. (2021), Revisiting the Role of Collaboration in Creating Breakthrough Inventions. M&SOM 23, 1005–1024.
Chan, T.H. et al. (2018), On Styles in Product Design: An Analysis of U.S. Design Patents. Management Science 64, 1230–1249.
Chen, Y.-J. et al. (2008), Enabling collaborative product design through distributed engineering knowledge management. Computers in Industry 59, 395–409.
Chowdhury, A.N. et al. (2011), Analysing the structure of public–private partnership projects using network theory. Construction Management and Economics 29, 247–260.
Christensen, J.F. (1995), Asset profiles for technological innovation. Research Policy 24, 727–745.
Cross, N. (2023), Design thinking: What just happened? Design Studies 86, 101187.
Das, K. et al. (2018), Study on centrality measures in social networks: a survey. Soc. Netw. Anal. Min. 8, 13.
Dias, A. et al. (2020), Network centrality analysis in management and accounting sciences. RAUSP Manag. J. 55, 207–226.
Dosi, G. (1988), Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation. Journal of Economic Literature 26, 1120–1171.
Ettlie, J.E. (1997), Integrated design and new product success. Journal of Operations Management 15, 33–55.
Fleming, L. (2001), Recombinant Uncertainty in Technological Search. Management Science 47, 117–132.
Freeman, L.C. et al. (1979), Centrality in social networks: ii. experimental results. Social Networks 2, 119–141.
Gabrow, R.Y. (2021), Concurrent engineering, product life cycle management using cross-functional teams: a case study. Periodicals of Engineering and Natural Sciences 9, 842–857.
Gemser, G., Leenders, M.A.A.M. (2001), How integrating industrial design in the product development process impacts on company performance. Journal of Product Innovation Management 18, 28–38.
Goldberg, J.R., Malassigne, P. (2017), Lessons Learned from a 10-Year Collaboration Between Biomedical Engineering and Industrial Design Students in Capstone Design Projects. Int J Eng Educ 33, 1513–1520.
Grunspan, D.Z. et al. (2014), Understanding Classrooms through Social Network Analysis: A Primer for Social Network Analysis in Education Research. LSE 13, 167–178.
Guan, J., Liu, N. (2016), Exploitative and exploratory innovations in knowledge network and collaboration network: A patent analysis in the technological field of nano-energy. Research Policy 45, 97–112.
Hong, P. et al. (2005), Role change of design engineers in product development. Journal of Operations Management 24, 63–79.
Jaffe, A.B. (1986), Technological Opportunity and Spillovers of R&D: Evidence from Firms' Patents, Profits and Market Value. Working Paper Series.
Krippendorff, K. (2007), Design Research, an Oxymoron? https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8472-2_5
Kutner, M. et al. (2004), Applied Linear Regression Model, Technometrics.
Punstein, A.M., Glückler, J. (2020), In the mood for learning? How the thought collectives of designers and engineers co-create innovations. Journal of Economic Geography 20, 543–570.
Riel, A. et al. (2012), Process and product innovation needs integrated engineering collaboration skills. Journal of Software: Evolution and Process 24, 551–560.
Sandström, J., Toivanen, J. (2002), The problem of managing product development engineers: Can the balanced scorecard be an answer? International Journal of Production Economics 78, 79–90.
Veryzer, R.W., Borja de Mozota, B. (2005), The Impact of User-Oriented Design on New Product Development: An Examination of Fundamental Relationships*. Journal of Product Innovation Management 22, 128–143.
Wang, C. et al. (2014), Knowledge Networks, Collaboration Networks, and Exploratory Innovation. AMJ 57, 484–514.
Yan, E., Ding, Y. (2009), Applying centrality measures to impact analysis: A coauthorship network analysis. Journal of the American Society for Information Science and Technology 60, 2107–2118.
Yayavaram, S., Ahuja, G. (2008), Decomposability in Knowledge Structures and Its Impact on the Usefulness of Inventions and Knowledge-Base Malleability. Administrative Science Quarterly 53, 333–362.
Yin, L. et al. (2006), Connection and stratification in research collaboration: An analysis of the COLLNET network. Information Processing & Management, Special Issue on Informetrics 42, 1599–1613.
Yoshioka-Kobayashi, T., Watanabe, T. (2016), An alternative resource for technology innovation: Do industrial designers create superior invention?, in: 2016 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET). Presented at the 2016 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET), pp. 844–854.
Yu, F. et al. (2018), Prototyping in theory and in practice: A study of the similarities and differences between engineers and designers. Creat Innov Manag 27, 121–132.
Zhang, N. et al. (2023), Complex product configuration updating oriented by changing customer requirements. Journal of Engineering Design 34, 522–560.