



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

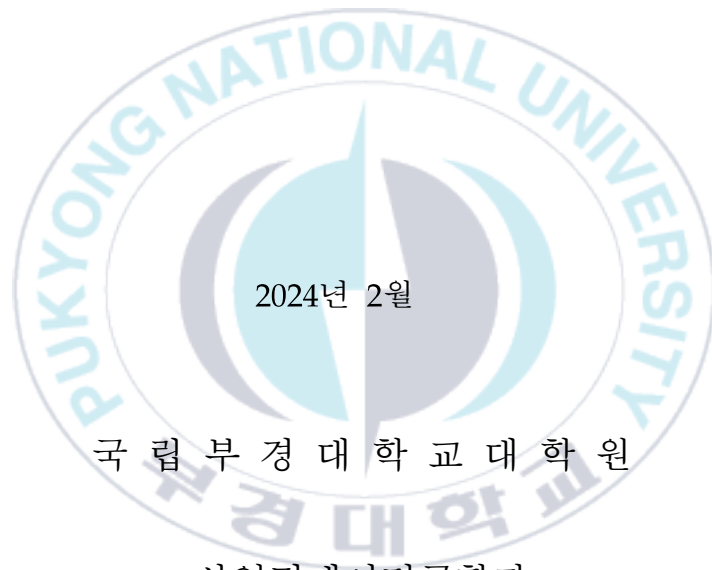
저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

디지털 서비스화와 환경적 성과의 관계 및 고객집중도의 조절 효과



2024년 2월

국립부경대학교 대학원

산업및데이터공학과

장 대 근

공 학 석 사 학 위 논 문

디지털 서비스화와 환경적 성과의 관계 및
고객집중도의 조절 효과

지도교수 김 민 수

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2024년 2월

국립부경대학교 대학원

산업및데이터공학과

장 대 근

장대근의 공학석사 학위논문을 인준함.

2024년 2월 16일

위 원 장 공학박사 김 영 진 (인)

위 원 공학박사 김 민 수 (인)

위 원 경제학박사 이 민 규 (인)

목 차

표 목차	i
그림 목차	ii
논문요약	iii
I. 서 론	1
II. 이론적 배경 및 가설 설정	5
1. 디지털화와 서비스화, 그리고 환경적 성과	5
2. 디지털 서비스화와 환경적 성과	8
3. 고객집중도와 환경적 성과	12
III. 연구 방법	14
1. 연구 데이터	14
2. 측정 방법	15
3. 분석 모델	18
IV. 연구 결과	22
1. 기술 통계표	22
2. 회귀분석 결과	22
3. 강건성 확인	25
V. 결론 및 시사점	28
1. 결과 요약	28
2. 이론적 시사점	29
3. 실무적 시사점	29
4. 한계점 및 추가 연구	30
참고문헌	31
영문초록	41

표 목차

[표 1] 디지털화의 환경적 성과 실증연구	10
[표 2] 서비스화의 환경적 성과 실증연구	11
[표 3] 기술통계량 및 상관행렬	24
[표 4] 기업의 디지털 서비스화 수준과 환경 성과의 관계	25
[표 5] 모델 3 필터 신뢰구간 테스트 결과	26
[표 6] 고객집중도의 조절 효과	27
[표 7] 강건성 확인 1 - 로그항 및 세제곱 항	29
[표 8] 강건성 확인 2 - tobit 검정	29

그림 목차

[그림 1] 역-U자형 관계에 대한 조절 효과	28
[그림 2] 연구 프레임워크	31



디지털 서비스화와 환경적 성과의 관계 및 고객집중도의 조절 효과

장 대 근

국립부경대학교 일반대학원 산업및데이터공학전공

요 약

디지털 기술의 확산으로 산업재 기업의 디지털 서비스화가 경영성과에 미치는 영향에 대한 연구가 주목받고 있다. 특히 디지털 서비스화는 자원의 효율적 사용을 위한 제조공정 구현, 기능 및 서비스 판매 중심의 매출 구조, 친환경 제품 개발의 관점에서 환경적 성과, 즉 탄소배출 저감에 기여할 수 있다. 그러나 디지털 기술과 자원에 대한 투자 확대는 환경적 성과 달성을 오히려 저해할 수 있다. 이러한 가운데 기업의 고객집중도 수준에 따른 공급사와 고객사의 비즈니스 관계 유형이 디지털 서비스화 전략과 환경적 성과 사이에 어떠한 조절 효과를 보이는지에도 관심이 모인다. 이에 본 연구에서는 미국 상장기업의 10-K 보고서와 Carbon Disclosure Project 자료를 통해, 기업의 디지털 서비스화 수준과 온실가스 배출집약도 간의 관계 및 이 관계에 대한 고객집중도의 조절 역할을 실증 분석하였다. 연구 결과, 디지털 서비스화 강도는 온실가스 배출집약도와 역-U자형 관계를 보이며, 고객집중도는 그 관계를 완화함을 확인하였다. 본 연구는 디지털 서비스화 전략이 산업재 기업의 환경적 성과 달성에 미치는 영향을 고찰하고, 공급사-고객사 간 긴밀 및 장기적 관계 형성의 관점에서 고객집중도의 조절 역할을 이해했다는 점에 의의가 있다.

I. 서론

4차 산업혁명을 통해 새롭고 다양한 디지털 기술들이 등장하였고, 동시에, 제조 기업들은 기존의 제품 판매 중심의 비즈니스 모델의 한계를 인식하고, 기능 및 서비스 판매 중심 비즈니스 모델로의 전환을 시도하였다. 이러한 흐름 속에서 디지털화 및 서비스화 연구는 체계화 되어갔고, 각각의 분석에 초점을 맞추었던 기존 연구 흐름은 이들의 상호 관계를 밝혀내는 연구로 관심을 옮기기 시작하였다(Coreynen et al., 2017; Frank et al., 2019; Vendrell-Herrero et al., 2017). 이는 디지털 기술을 이용하여 제품 중심의 비즈니스 모델을 서비스 중심으로 변경하여 기업의 프로세스, 제품, 서비스를 재구성하는 이른바, 디지털 서비스화(Digital Servitization)라는 새로운 개념으로 정착하였다(Coreynen et al., 2017; Favoretto et al., 2022; Kohtamaki et al., 2020a). 이러한 디지털 서비스화는 축적된 데이터를 통해 고객사의 요구와 프로세스에 대한 통찰력을 제공하고, 예기치 못한 상황을 예측하여 빠른 대응이 가능하며 탁월한 연결성을 통해 실시간 운영 및 유지보수 서비스를 제공하는 등 새롭고 경쟁력 있는 서비스를 가능케 하였으며, 기업의 경영성과 제고 측면에서 중요하게 다루어졌다.

한편, 최근에는 글로벌 기후변화에 대비하여 환경적 영향 및 성과에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다. 이에 디지털 서비스화 전략에 대한 논의 또한 환경적 성과에 초점을 맞춘 연구가 시작되고 있다. Schiavone et al.(2022)은 디지털 서비스화를 통해 제조 시스템을 재개념화하여, 사회적, 기술적, 환경적 지속가능성을 추구하는 제조 시스템의 진화궤적을 제시하였다. 그들은 제조 기업들이 일명, ‘지속가능한 스마트 통합 가치사슬’과 ‘순환적인 스마트 제품 서비스’, ‘지속가능한 스마트 제품 혁신 생태계’라는 제조 시스템 발전 양상을 따라야 한다고 설명하였다. 특히, 환경적 지속가능성의 구현을 위해서는 각각의 발전 양상 단계에서, 1) 자원의 효율적 사용과 2) 제품의 수명주기 연장, 3) 스마트 제품과 제조 시스템 사용이라는 디지털 서비스화의 역할이 필요하다고 설명한다.

하지만, 이러한 개념적 논의와 소수 기업의 정성적 사례연구가 진행됨에도 불구하고, 여전히 디지털 서비스화 전략이 공급사의 환경적 성과를 구현하는지에 대한 정량적 실증연구는 부족한 실정이다. 기존의 디지털화(Dubey et al., 2019; Schniederjans & Hales, 2016; Yang et al., 2023a)와 서비스화(Bhatti et

al., 2023; Doni et al., 2019; Kanatli & Karaer, 2022) 각각의 정량적인 환경적 성과 실증연구는 이미 다수 진행되어왔고, 각각 긍정적 또는 U자형(초기의 부정적 성과를 후기의 긍정적 성과가 지배하는 양상)의 관계가 확인되었다. 더불어 최근 전 세계적인 탄소 중립의 필요성이 대두됨에 따라 환경적 성과에 대한 실증 연구는 아주 중요하게 인식되고 있다(Li et al., 2020). 따라서, 디지털화와 서비스화의 개별적 논의를 넘어, 디지털 서비스화 고유의 관점에서 환경적 성과에 대한 실증적인 연구가 필요한 시점이라고 할 수 있다.

단, 디지털 서비스화는 초기 디지털 기술의 도입을 위한 막대한 투자가 필요한 동시에 서비스화를 위한 복잡하면서도 혁신적인 비즈니스 모델의 근본적인 변화가 요구되기 때문에(Gebauer et al., 2020; Kohtamaki et al., 2020b; Yang et al., 2023b), 제한적인 재무적 성과를 달성하는 이른바 디지털 서비스화 역설(Digital Servitization Paradox)에 직면하는 경우가 많다(Gebauer et al., 2020; Kohtamaki et al., 2020b). 이는 디지털 서비스화와 환경적 성과 간의 관계에서도 복잡한 메커니즘이 기저를 이룰 수 있음을 시사한다. 따라서 우리는 기업의 디지털 서비스화 강도를 정량적으로 측정하고, 매출 대비 온실가스 배출량으로 정의되는 온실가스 배출 집약도(Hoffmann & Busch, 2008; Luo & Tang, 2014)와 같은 환경적 성과에 미치는 영향을 고찰하고자 한다.

한편, 제조 기업은 고객집중도 수준에 따라 공급사와 고객사 간의 관계 유형에서 차이를 보인다. 고객집중도란 기업의 매출에서 소수의 고객이 차지하는 비중의 정도를 의미한다. 제조 기업의 경우, 비즈니스 모델이 제품 중심에서 서비스 중심으로 옮겨지면서 간접적(indirect) 비즈니스 관계에서 직접적(direct) 비즈니스 관계로의 전환을 꾀한다(Paiola & Gebauer, 2020). 하지만 이러한 비즈니스 관계의 전환은 기존 유통업체와의 갈등, 최종 소비자(end-user)와의 거리, IoT 기술 활용에 대한 준비 부족 등의 이유로 상당한 어려움이 존재한다(Paiola & Gebauer, 2020). 이에 의해 기업은 서비스 중심 비즈니스 모델로의 전환에 있어서 매출에서 차지하는 비중이 낮은 고객은 간접적 비즈니스 관계를 유지하게 되며, 해당 관계에서는 기존의 유통업체가 거래 및 유통, 왕래 등을 부담한다. 반면, 매출의 비중이 높은 고객의 경우, 공급사와 고객사 간의 직접적 비즈니스 관계를 구축하는 것을 지향하게 되고, 고객사에 디지털 서비스를 제공할 수 있게 된다. 하지만, 이러한 관계 전환에는 새로운 서비스 제공에 따른 갈등을 조정이 요구되므로, 공급사-고객사 간의 거래, 계약 등에서 직접적인 상호

작용을 하는 관계형 비즈니스가 요구된다(Paiola & Gebauer, 2020). 즉, 주요 고객집중도가 낮은 기업은 고객들과의 비즈니스 관계가 간접적으로 이루어지므로 거래 및 계약 등의 상호작용에서 원격을 통한 비즈니스가 가능하지만, 주요 고객집중도가 높은 기업의 경우 여전히 높은 직접적인 상호작용으로 인해 온실가스 배출집약도가 높으며, 디지털 서비스화 수준에 따른 배출집약도 감축 효과도 기대하기 어렵다. 따라서, 우리는 이러한 연구 결과를 바탕으로, 높은 고객집중도가 기업의 디지털 서비스화와 환경적 성과의 관계에서 보이는 부정적 조절 효과를 확인하고자 한다.

우리의 연구는 미국 상장기업의 10-K 연차보고서와 Compustat의 기업 재무 데이터, Carbon Disclosure Project의 온실가스 배출집약도 데이터를 사용한다. 분석 대상 기업은 산업재 기업을 대상으로 한다. 산업재 기업에서의 디지털 서비스화의 역할은 매우 중요하며, 선행 연구들을 통해 중점적으로 다루어져 왔다. 따라서 디지털 서비스화의 환경적 성과 제고 효과 및 이에 대한 고객집중도의 조절 효과를 분석함에 있어 데이터 샘플을 산업재 기업으로 한정한다. 결과적으로 독립변수와 종속변수, 조절변수 데이터가 함께 존재하는 66개 산업재 기업의 314개 관찰점을 최종 데이터로 분석을 실시한다. 연구 결과, 기업의 디지털 서비스화 전략 채택 초기에는 온실가스 배출집약도가 상승하나, 후기로 접어들면 변곡점을 그리며 온실가스 배출집약도가 감소하는 역-U자형 관계를 확인하였다. 또한, 기업의 주요 고객집중도가 증가함에 따라 독립변수와 종속변수의 역-U자형 관계가 완화(평평해짐)되며, 추가로 기본적인 온실가스 배출집약도가 증가함을 확인하였다.

우리의 연구는 디지털 서비스화 전략과 환경적 성과 연구에 여러 가지 관점에서 기여한다. 첫째, 본 연구는 디지털 서비스화 전략과 환경적 성과 간 관계에 대한 개념적 논의를 넘어(예: Schiavone et al., 2022), 산업재 기업의 맥락에서 디지털 서비스화 전략이 환경적 성과 달성에 역-U자형 관계를 형성하는 것을 다수의 기업을 대상으로 실증적으로 확인하였다. 기존의 연구는 소수 기업의 정성적 사례에 집중하고 있으며(de la Calle et al., 2021; Paiola et al., 2021), 공급사를 통한 직접적 성과가 아닌 소비자의 에너지 효율을 제고시키는 등의 간접적 파급효과를 확인했다는 점에서 한계가 존재한다(Paiola et al., 2021). 이러한 점에서 본 연구는 디지털 서비스화가 공급사의 온실가스 배출집약도라는 직접적인 성과에 미친 영향을 최초로 실증 분석하였다는 점에서 큰 의의를 갖

는다.

둘째, 디지털 서비스화 전략과 환경적 성과의 관계에 기업의 고객집중도가 부여하는 조절 효과를 확인하였다. 이는 디지털 서비스화의 환경적 성과 실증 연구에 다양한 조절변수의 역할이 유효할 수 있다는 가능성을 제시하였고, 다른 독립변수의 환경적 성과와의 관계에도 높은 고객집중도가 조절변수로서 부정적 조절 효과를 부여한다는 점을 확인했다는 점에서 의의를 가진다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 디지털화 및 서비스화 각각의 환경적 성과 논의를 소개한 후, 디지털 서비스화의 경영적 성과 및 환경적 성과 논의를 검토하여 디지털 서비스화가 어떻게 환경적 성과를 확보하는지 식별한다. 그리고 기업의 높은 고객집중도가 환경적 성과를 저해하는 이유를 정리하는 것으로 본 연구의 가설을 설정한다. 3장에서는 본 연구의 데이터 및 변수 측정 방법, 분석 모델을 소개한다. 4장에서는 연구 데이터를 분석한 회귀결과 및 모델 지지도, 강건성 확인 결과를 제시하고, 마지막으로 5장에서는 연구의 결론 및 시사점과 한계점을 제시하였다.



II. 이론적 배경 및 가설 설정

1. 디지털화와 서비스화, 그리고 환경적 성과

디지털화는 비즈니스 프로세스 및 조직 관리의 변화를 목표로 제조 기업의 생산활동에 디지털 기술을 적용하는 것을 말한다(Dubey et al., 2019; Yang et al., 2023a). 4차 산업혁명을 통해 Big data, AI, IoT, Cloud Computing, 3D printing 등 새롭고, 파괴적인 디지털 기술이 등장함으로써, 디지털화는 더욱 광범위한 분야에 적용되기 시작하였다. 이는 파괴적 혁신을 통한 디지털화의 효과가 기업의 백엔드 및 프론트엔드 모두에 걸친 가치사슬 단계와 관련되어 있음을 암시한다(Coreynen et al., 2017; Frank et al., 2019; Yang et al., 2023a). 이러한 디지털화의 특성으로 인해 기업은 새로운 지식 획득 및 적용, 프로세스 및 조직 관리 효율성 제고, 새로운 비즈니스 기회 창출 등 기업 활동 전반에 걸친 다양한 재무적, 운영적 성과를 얻을 수 있다(Castrogiovanni et al., 2016; Chen et al., 2022; Soto-Acosta et al., 2017).

한편, 디지털화는 기업의 환경적 성과를 개선하는 잠재력을 가지고 있다(Dubey et al., 2019; Meindl et al., 2021). 이는 크게 ‘자원 효율성 최적화’, ‘폐기물 및 오염물질 배출 감소’, ‘기업의 환경 관행에 대한 가시성 확보’ 등의 방법을 통하여 구현된다(Dubey et al., 2019; Meindl et al., 2021; Yang et al., 2023a). 디지털 기술을 통한 원활한 지식 탐색과 적용은 친환경 제품과 효율적인 솔루션의 프로세스 개발을 지원하여 제품 수명주기 내에서 오염물질과 천연자원 소비를 최소화한다(Li et al., 2020; Yang et al., 2023a). 또한, 디지털화를 통한 기업 내 외부 간의 지식공유 향상은 커뮤니케이션에서 발생하는 스크랩 폐기물을 줄이는 데 도움이 되며(Schniederjans & Hales, 2016; Yang et al., 2023a), 공급망 파트너와의 환경 거버넌스 및 정보 공유를 활성화해 환경적 성과를 제고한다(Liu et al., 2022).

하지만, 디지털화가 기업의 환경적 성과에 항상 긍정적인 영향을 미치는 것은 아니다. 일부 디지털 기술은 적용 시 소프트웨어 및 하드웨어의 투자

와 기술 적용을 위한 학습이 불가피하여 상당한 자원의 할당이 필요하다 (Chiarini, 2021; Kamble et al., 2018). 또한, 기술 서비스 제공업체와 고객 기업의 공급-수요의 비대칭성과 시스템 연결의 어려움 등 기술 서비스 제공업체와의 조정에도 제약과 비용이 발생하게 된다(Jardak & Hamad, 2022; Kiel et al., 2017). 이는 디지털화 초기 높은 자원과 에너지 수요, CO2 배출 및 전자폐기물 증가 등의 부정적인 환경적 영향과 함께, 기업의 초기 디지털화 적용 및 구현에 악영향을 미치는 것으로 환경적 성과에 부정적 영향을 미친다. 이렇듯 디지털화의 환경적 성과에 대한 논의는 긍정적인 관계성을 실증적으로 확인한 논의도 존재하지만(Dubey et al., 2019; Schniederjans & Hales, 2016), 도입 초기에 나타날 수 있는 부정적인 영향을 고려한 U자형 관계를 확인한 논의 또한 존재한다(Yang et al., 2023a).

서비스화는 기업이 제품 자체가 아닌 제품이 제공하는 기능 및 서비스를 판매하는 것을 의미한다(Baines et al., 2009; Doni et al., 2019; Kanatli & Karaer, 2022; Vandermerwe & Rada, 1988). 이는 기존의 단순 제품 판매 형식의 비즈니스 모델이 직면하게 되는 경쟁 심화, 이윤 감소 등의 상황에 대처하기 위해 제안된 개념이다(Baines et al., 2017; Vandermerwe & Rada, 1988). 서비스화를 통하여 기업은 수익 증가, 경쟁 우위 확보, 차별화 기회 획득, 소비자 채택률 증가 등의 긍정적인 경영적 성과를 얻을 수 있다(Anderson et al., 2003; Coreynen et al., 2018; Raddats et al., 2016). 최근, 서비스화는 제품과 서비스, 시스템의 결합을 의미하는 ‘제품-서비스 시스템(Product-Service System)’이라는 용어로 소개된다(Goedkoop et al., 1999; Kohtamaki et al., 2020a). 제품-서비스 시스템을 통한 비즈니스 모델로의 전환은 제조 회사가 생산 작업뿐만 아니라, 서비스 제공까지 직접 관리하게 하였고, 이를 통해 제조 회사는 중·장기적인 관점에서의 제품과 서비스, 커뮤니케이션의 통합 시스템을 개발하는 것을 목표로 한다(Fargnoli et al., 2012; Vezzoli & Ceschin, 2015).

이러한 서비스화의 특징은 제품 및 서비스의 전체 수명주기 동안 기업이 더 나은 환경적 성과를 달성할 기회를 제공한다(Sousa-Zomer & Cauchick-Miguel, 2017). Kastalli & van Looy(2013)에 의하면 서비스화가 제품의 유지 및 업그레이드, 재제조에 도움이 되어 제품의 수명을 연장하고 제품 회전을 감소시키는 데 도움이 된다고 설명한다. 또한, 서비스화

비즈니스 모델은 기존의 제품 판매형 비즈니스 모델에 비해 소수의 제품으로 다양한 소비자의 수요를 묶는 것이 가능하여 더 적은 에너지와 자재의 투입으로도 동일한 고객 가치 창출이 가능하다(Bellos & Ferguson, 2017). 또한, Kanatli & Karaer(2022)에 의하면, 종량제 모델의 사용이 소비자 스스로 사용량을 제한시키는 경향이 있다는 점을 확인하였다.

하지만 서비스화 또한 기업의 환경적 성과에 항상 긍정적인 영향을 미치는 것은 아니다. 우선 저렴한 사용량 기준의 요금은 신규 고객 유입 효과가 커, 전체 소비 및 환경 부담을 증가시킬 수 있다. 또한, 서비스화에 의해 효율적으로 생산된 제품은 저렴한 가격을 보이는 양상으로 오히려 소비를 증가시키는 반동 효과(Jevons paradox)를 불러올 수 있다(Bellos & Ferguson, 2017; Greening et al., 2000). 이렇듯 서비스화는 환경적 성과와 긍정적 관계를 형성하기도 하지만(Bhatti et al., 2023; Kanatli & Karaer, 2022; Tukker, 2015), 일부 조건적으로 긍정적인 영향을 미치는 것을 확인한 연구 또한 존재한다(Arani et al., 2023; Doni et al., 2019). 아래의 <표 1>과 <표 2>는 각각 디지털화와 서비스화의 환경적 성과를 분석한 실증 연구들의 목록이다.

<표 1> 디지털화의 환경적 성과 실증연구

번호	연구자	샘플 수	독립변수	종속변수	관계
1	Schniederjans & Hales. (2016)	247명의 IT 및 공급망 관리 전문가	클라우드 컴퓨팅	기업 환경 성과 관련 설문조사 점수	Positive
2	Dubey et al. (2019)	205개 기업	빅데이터 및 예측 분석 기술	Yakovleva et al. (2012)를 참조한 기업 환경 성과 점수	Positive
3	Yang et al. (2023c)	74개 기업	기업의 디지털화	기업 환경 성과 점수	U-Shape
4	Ye et al. (2023)	273개 기업	기업의 디지털 투자	기업의 이산화황 배출집약도	Positive ¹
5	Yang et al. (2023a)	2296개 관측치	기업의 디지털화	산업 오염물질 배출	Positive
6	Zhou et al. (2023)	8074개 관측치	기업의 디지털화	환경 관련 뉴스 및 여론지표	Positive

주1) 이산화황 배출집약도의 역지수(100-배출집약도)를 사용 -> Positive가 환경 성과에 긍정적

<표 2> 서비스화의 환경적 성과 실증연구

번호	연구자	샘플 수	독립변수	종속변수	관계
1	Doni et al. (2019)	208개 기업	기업의 서비스화	기업의 에너지 소비 성과	Positive in part
2	Zhang et al. (2021)	1413개 기업	기업의 서비스화	기업의 환경 성과	Positive in part
3	Huang et al. (2022)	18개 기업	생산 투입물 서비스화	기업의 오염물질 및 탄소 배출량	Negative ¹
4	Bhatti et al. (2023)	208명의 서비스형 중소기업 관리자	지속가능한 조달 서비스	기업의 환경 성과	Positive
5	Yuan et al. (2023)	43개 국가	국가별 서비스화 수준	소비자 기반 탄소 반동 효과	Negative ²
6	Zhang et al. (2023)	383개 기업	고객 지향 서비스	기업의 환경 성과	Positive
주1) 오염물질 및 배출량이 감소하는 방향의 회귀결과 -> Negative가 환경적 성과에 긍정적					
주2) 소비자 탄소 반동 효과가 감소하는 방향의 회귀결과 -> Negative가 환경적 성과에 긍정적					

2. 디지털 서비스화와 환경적 성과

디지털 서비스화는 기업이 디지털 기술을 통하여 기존의 제품 판매 중심의 비즈니스 모델을 서비스 판매 중심의 비즈니스 모델로 변경하는 것을 말하며, 이를 통해 기업은 기존의 프로세스, 제품, 서비스 등을 재구성하는 과정을 거치게 된다(Coreynen et al., 2017; Favoretto et al., 2022; Kohtamaki et al., 2020b). 이러한 디지털 서비스화는 기업의 경영적 성과에 도움을 준다(Coreynen et al., 2017; Favoretto et al., 2022; Kohtamaki et al., 2020a; Rymaszewska et al., 2017). 우선, IoT의 접목으로 연결성이 향상된 스마트 장비는 정보 공유 및 협업의 기반이 되어, 엄청난 양의 데이터를 생성하며, 궁극적으로 고객의 행동이나 시장 상황 패턴의 분석을 통해 고객의 요구와 프로세스에 대한 통찰력을 제공하며, 실시간 운영 및 유지보수 서비스를 제공하는 것을 가능하게 한다(Coreynen et al., 2017; Rymaszewska et al., 2017). 또한, 장비의 센서를 통한 데이터의 수집은 복잡한 추세와 패턴을 빠르게 비교 및 분석할 수 있고, 이를 통해 예기치 못

한 상황을 예측하여 빠른 대응력을 제공한다(Favoretto et al., 2022; Kohtamaki et al., 2020a; Rymaszewska et al., 2017). 이와 같이 디지털 서비스화는 기업으로 하여금 새롭고 경쟁력 있는 서비스를 가능하게 하며, 새로운 비즈니스 기회를 창출하는 것으로 기업의 경영적 성과를 제고하는 역할을 한다.

한편, Schiavone et al. (2022)는 디지털 서비스화를 통해 제조 기업이 지속가능성을 달성하기 위하여, 제조 메커니즘이 어떠한 진화궤적을 따라야 하는지에 대하여 연구하였다. 그들은 기업이 디지털 서비스화를 통하여 지속가능성을 달성하는 요인을 기술적, 사회적, 환경적 3가지 요인으로 나누어 설명하였고, 특히 환경적 요인의 진화궤적을 크게 재활용(Recycle), 재사용(Reuse), 재사고(Rethink)의 3가지 단계로 나누었다. 이 중 재활용 및 재사용의 단계는 각각, 기존의 자원의 효율적 사용과 제품의 수명주기 연장을 뜻하며, 이는 현재까지 적극적으로 사용된 전략 단계이다. 마지막 단계인 재사고는 그린 스마트 제품 개발 및 제조 프로세스의 재개념화를 의미하며, 지속 가능한 솔루션의 달성을 위해서라면 이러한 비즈니스 사고방식의 변화를 이끌어야 한다고 주장한다.

또한, Paiola et al. (2021)은 디지털 서비스화 전략을 통한 비즈니스 모델 혁신과 네트워킹의 지속가능성에 대하여 이탈리아 4개 중소 제조 기업을 대상으로 사례연구를 진행하였다. 해당 기업들은 IoT 및 클라우드 연결 서비스와 새로운 제품-서비스 시스템(PSS)의 개발을 통한 원격 모니터링으로, 향상된 연결성을 통한 원격 제어 및 유지보수 서비스를 제공한다. 이를 통해 그들은 고객사의 장비 성능 제고, 에너지 소비 효율성 향상, 제품의 수명주기 개선이라는 간접적인 지속가능 성과를 확보하는 데 성공하였고, 이는 결과적으로 기업의 환경적 성과 제고에도 도움이 된다. 이렇게 디지털 서비스화는 자원의 효율적인 사용, 제품의 수명주기 연장, 새로운 제조 프로세스 개발, 에너지 효율성 증가 등의 방식으로 기업의 환경적 성과를 제고시킨다(Schiavone et al., 2022; Paiola et al., 2021).

하지만, 동시에 기업은 디지털 서비스화 전략 채택을 통해 새로운 도전에 직면하게 된다(Frank et al., 2019; Gebauer et al., 2020; Paschou et al., 2020). 디지털 서비스화와 같이 혁신적이고 복잡한 전략은 기업의 운영 방식과 프로세스를 다양한 관점에서 근본적인 수준으로 혁신적인 변화를 일

으킨다. 이 과정에서 기업은 즉각적인 디지털 서비스화의 효과를 보기 어렵다(Kohtamaki et al., 2020a; Gebauer et al., 2020). 또한, 새로운 디지털 기술의 도입과 적용을 위하여 새로운 인프라 구축, 에너지 소모량 증가 등의 문제를 직면하게 된다(Gebauer et al., 2020; Paschou et al., 2020; Tronvoll et al., 2020; Yang et al., 2023b). 이러한 상반된 두 가지 영향력은 기업이 디지털 서비스화 전략을 채택함에, 초기-후기 사이의 환경적 영향력이 다를 수 있음을 암시하며, 단순한 긍정적 또는 부정적 관계로 해석하기 어려움을 의미한다. 따라서 우리는 이러한 디지털 서비스화의 영향력에 대한 상반된 두 가지 관점을 함께 고려하여, 결과적으로 환경적 성과와 어떠한 관계를 형성하는지 온실가스 배출집약도를 평가 기준으로 설명하고자 한다.

우선, 기업의 디지털 서비스화 수준이 낮은 전략 채택 초기에는 기업의 온실가스 배출집약도가 증가할 것으로 예상된다. 기업은 디지털 서비스화 추진 과정에서, 기존의 프로세스와 제품, 운영 등 다양한 방면에서의 변화가 요구된다. 이에 기업은 디지털 서비스화에 대응할 수 있는 대규모 데이터센터, 기계, 장비에 대한 IoT·센서 등의 디지털 자산의 투자가 강조된다(Ghosh et al., 2022; Guo et al., 2023). 특히 디지털 자산 투자는 높은 에너지와 자원 사용량을 요구하며(Kamble et al., 2018; Wang et al., 2015), 이는 기업의 자원 사용을 통한 직접적인 온실가스 배출과 에너지 사용을 통한 간접적인 온실가스 배출을 증가시킨다.

반면, 기업의 디지털 서비스화는 채택 초기, 효과의 구현에 어려움을 겪는다. 기업의 디지털 서비스화 도입 단계에는 공급사와 기술 서비스 제공업체와의 시스템 연결, 수요의 비대칭성 등의 조정 문제로 디지털화 구현 효과에 악영향을 미친다(Yang et al., 2023a). 또한, 기업은 전략 초기, 디지털 기술의 복잡성으로 인해 관리자 및 직원은 기술 적용에 대한 경험이 적고 깊은 이해에 어려움을 겪는다(Zeng et al., 2022). 이는 전략의 수립에서 진행 단계 사이의 단절을 초래하여, 디지털 기술의 효과에 큰 불확실성을 초래하고(Zeng et al., 2022), 기업에 디지털 기술에 적응하기 위한 시간을 요구하게 된다(Kohtamaki et al., 2020b). 이로 인해 기업은 전략 적용 초기, 디지털 서비스화를 통한 기대되는 성과에 비하여 제한적인 성과를 얻게 되는 디지털 서비스화의 역설을 겪게 되고, 디지털 서비스화 제품 및

서비스, 프로세스를 통한 환경적 성과도 제한된다. 따라서, 디지털 서비스화 전략 채택 초기에는 기업의 디지털 서비스화를 위한 디지털 자산 투자와 스마트 시스템의 높은 에너지 사용량을 통한 온실가스 배출 증가량이, 디지털 서비스화 효과를 통한 온실가스 배출 감축량보다 높은 양상을 보이며, 결과적으로 전체적인 온실가스 배출량은 증가하게 된다.

하지만, 기업의 디지털 서비스화 구현 수준이 일정 수준에 오르는 전략 채택 후기가 되면, 본격적으로 디지털 서비스화를 통한 온실가스 감축이 효과를 발휘하게 된다. 기업은 디지털 서비스화 수준을 높임으로써, 지속가능한 제조공정을 구축하며, 재활용, 재사용, 리퍼비쉬 등의 방식을 통해, 자원의 효율적인 사용과 제품의 수명주기 증가를 구현할 수 있다(Schiavone et al., 2022). Paiola et al(2021)에 따르면, AI 기반의 자산 운영 최적화와 공정상의 폐기물 최소화 등의 맞춤형 서비스의 제공은 소비자의 에너지 효율성의 증가와 자산의 수명주기 개선을 불러오는 것으로 확인되었다. 또한, 3D printing과 같은 적층제조 시스템은 유지보수 서비스에서의 자원 효율성을 높인다(Li & Found, 2017). 또한, 디지털 서비스화를 통한 예방정비·보수(Predictive/Preventive Maintenance) 서비스는 사물인터넷, 빅데이터, 데이터 분석 등의 기술을 바탕으로 제품의 수명주기 개선을 이루어낸다(Grubic, 2018; Paschou et al., 2020; Raddat et al., 2022). 이처럼 디지털 서비스화는 여러 제품-서비스 시스템들을 통하여 프로세스의 감소와 효율적인 자원 사용 및 제품 수명주기 개선으로 직접적인 배출을 감소시키고, 에너지 효율성의 증가를 통해 간접적인 배출 또한 감소시킨다. 특히, AI, 예방정비·보수, 3D printing과 같은 혁신적이고 파괴적인 기술들은 기업의 디지털 서비스화 역량이 성숙해지는 전략 채택 후기에 효과가 극대화된다(Raddats et al., 2022).

이렇듯, 기업의 디지털 서비스화 전략 수준이 높아지는 채택 후기에는 환경적 이점이 본격적으로 영향을 미친다. 이는 결과적으로 디지털 서비스화 전략 채택 후기에는 기업의 디지털 서비스 제공에 따른 온실가스 감축량이, 디지털 자산 투자와 에너지 사용량 증가를 통한 온실가스 배출 증가량을 압도하며, 결과적으로 전체적인 온실가스 배출량은 감소하게 된다. 따라서 우리는 디지털 서비스화와 온실가스 배출집약도의 관계를 초기에 증가하고, 후기에 감소하는 역-U자형 관계로 예상하며 연구의 첫 번째 가설

을 다음과 같이 설정한다.

가설 1) 기업의 디지털 서비스화 전략 수준은 온실가스 배출집약도와 역-U자형 관계를 형성한다.

3. 고객집중도와 환경적 성과

고객집중도는 기업의 매출에서 소수의 집중된 고객들의 비중의 정도를 의미한다. 이는 제조 기업이 디지털 서비스화를 통해 기존의 비즈니스 모델을 전환함에 있어, 공급사와 고객사 간에 새롭게 정의되는 비즈니스 관계에 영향을 미친다. 제조 기업은 비즈니스 모델이 제품 중심에서 서비스 중심으로 옮겨지면서 공급사와 고객사 사이에 유통업체를 경유하는 간접적(indirect) 비즈니스 관계에서 유통업체를 건너뛰거나 직접 통제하는 직접적(direct) 관계로의 전환을 꾀한다(Paiola & Gebauer, 2020). 이는 IoT, 클라우드 플랫폼, 빅데이터 등의 디지털 기술에 의해 가능해지며(Falkenreck & Wagner 2017; Paiola & Gebauer, 2020), 공급사는 고객사에 제품 서비스만을 제공하는 것만이 아니라, 거래 및 계약 등의 상호작용 또한, 디지털화를 통해中间的 유통과정을 건너뛰는 직접적인 관계를 형성하는 것을 목표로 한다(Paiola & Gebauer, 2020).

하지만, 이러한 직접적 관계의 형성에는 상당한 어려움이 따른다. Paiola & Gebauer(2020)는 이탈리아의 25개 기업의 사례와 인터뷰 등을 통해 이를 확인하였는데, 이 중 간접적인 판매 모델을 가진 16개의 기업 중 단 7개의 기업만이 최종 고객사와 직접적인 판매 모델로 전환하는 것을 시도한 것을 확인하였다. 이러한 직접적인 비즈니스 관계로의 전환에는 여러가지 어려움이 동반되는데, 첫 번째로, 기존 유통업체와의 갈등 관계가 예상된다. 이러한 갈등 관계는, 이미 기존의 유통 채널의 규모가 너무 커서 우회하기 어렵고, 해당 채널을 공급사가 직접 구매하기 어려우며, 채널이 과도하게 세분화되어 있는 등, 기존 유통업체에 과도하게 의존되어있는 경우에 발생한다. 두 번째로 유통 채널 및 최종 고객사와의 IoT 기술 기반의 준비수준이 낮음으로 인해 발생한다. 마지막으로 이러한 IoT 기술을 사용하기 위해선 공급사와 최종 고객사와의 거리가 너무 멀지 않아야 한다는 어려움

또한 존재한다.

위와 같은 어려움 들로 인하여 제조 기업은 그들의 매출에서 작은 비중을 차지하는 고객에 대해서는 기존의 간접적인 거래 관계를 유지할 가능성이 높다. 간접적인 고객과의 관계에서는 비대면 또는 원격을 통한 비즈니스가 가능하며, 기존의 유통 채널의 역할은 유지된다. 반면 제조 기업의 매출에서 비중이 높은 고객의 경우, 디지털 서비스화로의 전환에 따른 직접적인 거래 관계를 형성하는 것이 요구된다. 하지만, 이러한 비즈니스 관계로의 전환은 공급사와 고객사 간의 제품 및 서비스 제공은 디지털화가 진행되는 반면, 이와 관련된 많은 계약과 거래 등의 조정을 요구하게 되며, 해당 상호작용은 갈등 상황을 피하기 위해 여전히 직접적인 대면 관계가 중요시된다(Paiola & Gebauer, 2020). 즉, 주요 고객집중도가 높은 기업의 경우, 낮은 기업에 비해 계약 및 거래, 왕래 등의 상호작용 비중은 여전히 높은 양상을 보이지만, 상호작용 과정에서의 디지털 기술에 의한 비대면 및 원격 비즈니스 등의 수준은 낮다.

즉, 높은 고객집중도를 가진 기업이 낮은 고객집중도를 가진 기업에 비해, 계약 및 거래, 왕래를 통한 상호작용 빈도가 높으므로 기본적인 온실가스 배출집약도는 높아지면서, 상호작용 과정에서의 디지털화 수준은 비교적 낮음으로 인해 기업의 디지털 서비스화 수준에 따른 온실가스 배출집약도 감축 효과를 기대하기 어렵다. 즉, 고객집중도가 높아질수록 기업의 디지털화 수준과 온실가스 배출집약도 사이에서 보이는 역-U자형 관계의 곡률을 완만하게 만드는 완화(평평해짐) 조절 효과를 부여할 것으로 예상된다.

따라서 우리는 연구의 두 번째 가설을 다음과 같이 설정한다.

가설 2) 기업의 주요 고객집중도가 높아질수록 기업의 디지털 서비스화 전략 채택과 온실가스 집약도 사이의 관계는 완화(평평해짐)된다.

III. 연구 방법

1. 연구 데이터

본 연구에 사용된 데이터는 기업의 연차보고서 및 재무데이터, 그리고 환경 성과 데이터이다. 연차보고서는 미국 상장기업의 10-K 연차보고서를 사용한다. 해당 연차보고서는 미국 증권거래의 대상이 된 상장기업이 1년에 한 번 공시의 의무가 있는 서류이다. 우리의 연구는 기업의 디지털 서비스화 전략 수준과 고객집중도의 연 단위의 측정이 요구되므로, 기업의 1년간의 활동과 성과 등이 요약된 10-K 연차보고서를 사용하는 것이 적절하다고 판단한다. 또한, 통제변수로 사용될 기업의 업력, 기업의 규모(근로자 수), 기업의 여유 자원(Resource slack)의 수집과 종속변수의 측정에 이용될 기업의 연간 총 매출의 수집을 위하여 기업의 재무성치가 정리되어있는 Compustat 재무데이터를 수집하여 사용하였다.

다음으로 우리는 기업의 환경적 성과를 측정하기 위하여 영국의 Carbon Disclosure Project(CDP)에서 제공하는 Climate Change 데이터를 사용하였다. 해당 데이터는 2023년 기준, 글로벌 시장가치의 절반 이상의 가치를 가진 18,700개의 기업을 대상으로, 기업의 온실가스 배출량 및 환경 거버넌스, 에너지 사용 비용 등 환경적 성과를 정량적으로 측정한 데이터이다. 우리는 연구의 종속변수의 측정을 위해 해당 데이터에서 기업의 온실가스 배출량 절댓값을 수집하여 사용하였다.

다음으로, 우리의 연구는 선행 연구의 흐름을 따라 가장 많은 디지털 서비스화 관련 실증 연구가 다루어진 기계 및 산업 장비 분야와(Paschou et al., 2020), 금속 기계, 전기 및 운송 분야 등(Grubic, 2018; Rymaszewska et al., 2017)의 제조 산업 분야임과 동시에, B2B 유형의 공급사-고객사 관계를 지닌 기업인 산업재 기업을 분석의 대상으로 한다. 따라서, 연구 샘플은 미국의 산업분류 체계인 Standard Industrial Classification Code 중, ‘제조 금속 제품’, ‘산업용 및 상업용 기계 및 컴퓨터 장비’, ‘전자 및 기타 전기 장비 및 부품’, ‘운송장비’에 속하는 3400~3799번 사이 131개 하위 부문에 속한 기업으로 한정한다.

또한, 산업재는 소수의 전략적 고객과의 긴밀하면서도 장기적 관계를 구축하고, 이를 통해 규모의 경제 효과 창출, 고객 획득 비용 절감 등의 성과를 달성하는 것이 매우 중요한 산업이다(Kwak & Kim, 2020; Palmatier, 2008). 따라서 본 연구에서 고객집중도를 디지털 서비스화와 온실가스 배출집약도 간 관계의 조절변수로서 고려하는 것은 산업재 기업의 지속가능 성과를 이해하는 데 있어 중요한 통찰력을 제공할 것이다.

마지막으로, 수집이 완료된 세 개의 데이터셋은 각 기업이 보유한 식별 고유키인 ticker 코드와 cik 코드를 이용하여 하나의 메타 데이터로 병합하는 작업을 거쳤다. 다음으로, 세 가지 데이터셋이 데이터를 공유하는 기간인 2010~2020년으로 기간을 제한한 후, 독립변수 및 종속변수, 조절변수, 제어변수에 결측치가 존재하거나, 종속변수인 온실가스 배출집약도가 '0'인(CDP 데이터의 온실가스 배출량 정보 누락) 관측치를 제거하는 작업을 거친다. 일련의 작업을 통해 우리는 총 66개 기업의 314개 관측치를 포함한 불균형 패널 데이터를 생성하였다.

2. 측정 방법

(1) 환경적 성과

우리의 연구는 종속변수로 기업의 환경적 성과의 지표로 온실가스 배출집약도를 채택하였다. 온실가스 배출집약도란, 기업의 '온실가스 배출량 절댓값/총매출액'을 의미한다. 기존의 환경적 성과 연구에서는 온실가스 배출량 절댓값과 온실가스 배출집약도를 사용한 연구가 혼재한다(Adhiakry et al., 2020; Dahlmann et al., 2017; Damert et al., 2017; Luo & Tang, 2014). 여기서 온실가스 배출집약도를 통한 측정은 기업의 연간 총 매출을 배출량에서 나누는 것으로 기업의 비즈니스 활동을 고려하는 것으로, 산업 단위의 다수의 기업과 다양한 보고 기간을 동반하는 비교 분석 상황에서 적절하다(Hoffmann & Busch, 2008; Luo & Tang, 2014).

온실가스 배출집약도의 측정에 앞서, 기업의 온실가스 배출량 절댓값은 배출원에 따라 scope 1, 2, 3로 나눈 분류를 적용하고 있다. Scope 1 배출량이란, 기업이 직접 보유한 설비 및 장비의 사용으로 인해 기업의 활동 전반에서 발생하는

온실가스 배출인 직접 배출량을 뜻하며, 기업의 설비에 의한 화석연료, LPG 등의 이용으로 발생하는 온실가스 배출을 예로 들 수 있다. Scope 2 배출량은 기업이 전반적인 기업 활동을 목적으로 구매한 에너지로 인해 간접적으로 배출되는 온실가스 배출량을 뜻하며, 기업이 사용한 전기 및 열에너지를 생산하는 데 배출된 온실가스 배출량을 예로 들 수 있다. 마지막으로 Scope 3 배출량이란, 기업의 가치사슬 단계 전반에서 배출되지만, 기업의 직접적인 통제 범위를 벗어나 발생하는 모든 온실가스 배출량을 뜻하며, scope 2의 측정범위 이외의 모든 간접적인 배출을 포함한다. 이는 기업이 소유하지 않은 모든 운송 수단을 통한 운송, 고객이 구매한 자산의 사용, 폐기물의 처리를 통한 온실가스 발생 등 다양한 배출원이 포함된다(Huang et al., 2009).

자발적 온실가스 배출량 보고 기업은 위와 같이 scope를 기준으로 자사의 온실가스 배출량을 측정하고, 보고한다. 하지만, scope 3 배출량은 기업마다 측정하는 방식에서 차이를 보이며, 측정의 기준과 범위가 모호하다는 단점이 존재한다(Huang et al., 2009). 이로 인해 ESG 공시에 긍정적인 기업들도 scope 3 배출량의 공시에 많은 어려움을 겪고 있다(국제신문, 2023, 8, 27). 또한, CDP는 참여 기업에 대한 scope 3의 공시를 의무화하지 않았으며(Dahlmann et al., 2017; Huang et al., 2009), 데이터 확인 결과, 실제로 공시하지 않은 기업의 수가 많아 결측치가 다수 존재한다. 따라서 우리의 연구에서 scope 3 분류를 통해 측정된 온실가스 배출량은 종속변수의 측정에서 제외한다. 이는 고객사의 배출량을 통한 간접적인 환경적 성과가 아닌, 공급사가 보유한 설비 및 자산을 통한 배출과 에너지 사용을 통한 배출을 고려하는 직접적인 환경적 성과를 알아보고자 하는 본 연구의 방향과도 일치한다. 따라서 기업의 온실가스 배출량 절댓값은 기업의 자산으로 인한 직접적인 배출량과 에너지 사용 등을 통한 간접적인 배출량을 합한 수치인, 'scope 1 배출량 + scope 2 배출량'으로 정의한 후, 각 기업의 매출 규모에 따른 온실가스 배출량의 차이를 고려하여, 기업의 매출(Sales)을 나눈 값인 온실가스 배출집약도를 종속변수를 측정한다.

이와 같이, scope 1과 2로 한정된 온실가스 배출집약도 측정은 다수의 선행 연구에서의 측정과도 동일한 바이다(Dahlmann et al., 2017; Damert et al., 2017; Doba et al., 2015;)

(2) 디지털 서비스화 수준

우리는 독립변수로 설정한 기업의 디지털 서비스화 수준의 측정을 위해, 각 기업의 10-K 연차보고서를 이용하였다. Kohtamaki et al.(2021)에 따르면, 10-K 연차보고서는 기업의 디지털 서비스화와 관련된 내용을 포함하고 있는 것으로 확인되었다. 우리는 해당 정보를 이용하여 디지털 서비스화 수준을 측정하기 위해 Term Frequency - Inverse Document Frequency(TF-IDF)를 채택하였다. TF-IDF는 문서 내 용어의 가중치를 계산하여 용어의 중요성을 확인하는 체계이다. 이는 문서 내 용어의 중요성을 뜻하는 TF 부분과 전체 말뭉치에 대한 용어의 중요성을 나타내는 IDF 부분으로 구성된다(Aizawa, 2003; Loughran & McDonald, 2011). 해당 체계의 측정 공식은 다음과 같다.

$$w_{ijt} = \begin{cases} \frac{1 + \ln(tf_{ij})}{1 + \ln(\alpha_j)} \ln\left(\frac{N_t}{df_{it}}\right) & \text{if } tf_{ij} \geq 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

여기서 i 는 키워드를 뜻하며, j 는 문서, t 는 연도를 뜻한다. TF 부분인 좌측 항의 변수를 설명하면, tf_{ij} 는 문서 j 에서의 키워드 i 의 수를 뜻하며, α_j 는 문서 j 의 평균 단어 수를 나타낸다. IDF 부분인 우측 항의 변수를 설명하면, N_t 는 각 t 년도의 총 문서의 수, df_{it} 는 t 년도에서 키워드 i 가 한 번이라도 포함된 문서의 수를 나타낸다. 문서 내 tf_{ij} 값이 '0'인 관측치의 TF-IDF 측정치는 '0'으로 계산한다.

우리는 측정을 위해 디지털 서비스화와 관련된 키워드를 정리하였고, 이를 통하여 10-K 문서 내의 키워드를 측정하는 과정을 진행하였다. 측정 과정에서, 차후 분석의 정확도를 높이기 위해 몇 가지 전처리 과정을 거친다. 첫 번째로, 문서 내의 평균 단어 수를 정확히 측정하기 위해, we, the와 같은 일반적인 단어를 제거하는 불용어 처리 작업을 거쳤다. 다음으로, 형태는 다르나 동일한 어근을 가져 뜻이 일치하는 모든 단어를 같은 단어로 취급하는 표준화 과정을 거쳤다. 위의 일련의 과정을 거친 TF-IDF 측정치를 기업의 디지털 서비스화 수준을 나타내는 독립변수로 설정한다.

(3) 주요 고객집중도

1976년 이후, 미국 연방회계기준위원회(FASB)는 공급자가 그들의 매출 10% 이상을 점유하는 외부 고객사가 존재할 경우, 이를 공시함을 의무화하였다

(Dhaliwal et al., 2016). 따라서 기업들은 보고 양식의 차이는 존재하지만, 공통적으로 10% 이상의 매출 점유율을 가진 모든 주요 고객사를 10-K 연차보고서에 공시하고 있다. 이를 통해 우리는 10-K 보고서를 통해 각 기업의 고객집중도를 확인하였다.

기존 연구에서는 고객집중도를 허핀달-허쉬만 지수(HHI)를 이용하여 분석에 이용하였고(Dhaliwal et al., 2016; Huang et al., 2016), 측정을 위한 공식은 다음과 같다.

$$Customer\ HHI_{it} = \sum_{j=1}^J \left(\frac{Sales_{ijt}}{Sales_{it}} \right)^2$$

여기서 i 는 공급사를 의미하며, j 는 기업의 주요 고객사를, t 는 대상 연도를 의미한다. 여기서, HHI_{it} 는 i 공급사의 t 년도 고객집중도 HHI를 뜻하며, $Sales_{it}$ 는 i 공급사의 t 년도 총매출액, $Sales_{ijt}$ 는 i 공급사에 대한 j 주요 고객사의 t 년도 매출 점유율을 뜻한다. 이를 통해 우리는 10-K 연차보고서에 공시된 각 기업의 주요 고객 집중도를 HHI 지수로 측정하여 조절변수로 사용하였다.

(4) 통제변수

마지막으로 우리는 디지털 서비스화와 환경적 성과 간의 관계를 명확하게 분석하기 위해 분석에 영향을 미칠 수 있는 요인들을 통제하였다. 본 연구에서는 기업의 규모(종사자 수), 기업 업력, 여유 자원(Resource slack)을 통제변수로 채택하였다.

3. 분석 모델

본 연구의 메인 분석 모델로는 파이썬 기반의 statsmodels 라이브러리를 통한 패널 회귀분석을 사용하였다. 기업의 디지털 서비스화 수준과 온실가스 배출집약도 사이의 역-U자형 관계를 검증하기 위하여 독립변수인 디지털 서비스화 수준은 제곱 항을 포함하였다. 또한, 조절변수의 조절 효과를 확인하기 위해 조절변수항 및 독립변수*조절변수항, 독립변수 제곱 항*조절변수항을 포함하여 분석을 실시한다. 모든 변수는 이상치로 인한 오차를 완화하여 회귀결과에 미치는 영향을 최소화시키기 위해 5%와 95% 백분위수에서 원저라이징을 실시하였다.

(Dahlmann et al., 2017; Cooper et al., 2018).

본 연구의 패널 데이터가 가진 개체 간 고유적인 특성을 고려하기 위해서 패널 회귀모형은 고정효과 모형(fixed effect model)을 사용하였다. 일반적으로 개인을 대상으로 한 연구에 비해 개체 수가 비교적 적은 기업 연구에서는 대부분 고정효과 모형을 사용하는 경향이 존재하며, random sampling이 아닌 경우에도 고정효과 모형을 사용한다(Dougherty, 2011). 추가로 고정효과 모형과 확률효과 모형(random effect model) 중 우리의 분석에서 고정모형을 사용함을 좀 더 공고히 확인하기 위해 하우스만 테스트(Hausman test)를 실시하였다. 하우스만 테스트란, 회귀분석에서 독립변수와 오차항이 상관관계가 존재하는지 확인하는 검정 방법이다(Guggenberger, 2010; Hausman, 1978). 하우스만 테스트를 통해 독립변수와 오차항 간의 상관관계가 존재할 경우 오차항을 추정해야 할 모수로 간주하는 고정효과 모형을 사용하는 것이 바람직하며, 상관관계가 존재하지 않을 경우, 오차항을 확률변수로 간주하여, 고정효과 모형에 비해 자유도 손실이 적은 확률효과 모형을 사용하는 것이 바람직하다(Hill et al., 2018). 하우스만 테스트 실시 결과, 독립변수와 오차항 사이의 p-value가 0.008로써, 유의수준 1%에서 유의한 값을 나타내는 것을 확인하였다. 즉, 하우스만 테스트의 귀무가설인 ‘독립변수와 오차항 사이에 상관관계가 없다’를 기각함으로써, 고정효과 모형을 사용하는 것이 타당함을 확인할 수 있다.

본격적으로 역-U자형 회귀분석을 위한 모델 3의 회귀식을 나타내면 다음과 같다.

$$GHG_intensity_{i,t+1} = \beta_0 + \beta_1 DS_{i,t} + \beta_2 DS_{i,t}^2 + \beta_3 Firm\ size_{i,t} + \beta_4 Firm\ age_{i,t} + \beta_5 Resource\ slack_{i,t} + v_i + \varepsilon_t$$

여기서, $GHG_intensity_{i,t+1}$ 는 종속변수인 기업의 온실가스 배출집약도를 DS 는 독립변수인 기업의 디지털 서비스화 수준을 나타낸다. 종속변수인 $GHG_intensity$ 는 1년의 시간 지연 효과를 부여하였으므로 $t+1$ 로 표현하였다. $Firm\ size$ 와 $Firm\ age$, $Resource\ slack$ 은 각각 기업 규모, 기업 업력, 여유 자원을 의미하는 통제변수를 나타내며, 역-U자형 관계 확인을 위해 제곱 항을 추가하였다. v_i 는 고정효과로 인해 추가된 개체 더미, ε_t 은 시간 더미를 나타내며, i 와 t 는 각각 개체와 시간(년도)을 의미한다.

또한, 고객집중도의 조절 효과를 분석하기 위한 모델 5의 회귀식을 나타내면,

다음과 같다.

$$GHG_intensity_{t+1} = \beta_0 + \beta_1 DS_{i,t} + \beta_2 DS_{i,t}^2 + \beta_3 MCC_{i,t} + \beta_4 DS_{i,t} * MCC_{i,t} + \beta_5 DS_{i,t}^2 * MCC_{i,t} + \beta_6 Firm\ size_{i,t} + \beta_7 Firm\ age_{i,t} + \beta_8 Resource\ slack_{i,t} + v_i + \varepsilon_t$$

추가된 *MCC* 변수는 조절변수인 고객집중도를 나타내고, 고객집중도를 통한 조절 효과의 확인을 위해 독립변수 및 독립변수 제곱 항에 *MCC*를 곱한 항을 추가하였다.

추가로, 강건성 확인을 위하여 독립변수의 제곱 항과 로그 항을 포함하여, 메인모델에서 확인할 역-U자형 관계 이외의 비선형적 관계성이 존재하는지 확인한다. 이는 제곱 항과 로그 항이 포함된 모델의 통계적 유의성이 확보되지 않는지 분석하는 것으로 확인이 가능하다. 이 중, 로그 항을 사용한 모델 6의 경우, 기존의 독립변수의 추정치가 '0'인 경우, 자연로그의 값을 계산하는 것이 불가능하므로 결측치로 처리되고, 이로 인해 관측치가 238개로 감소하였다. 다음으로, 기업의 온실가스 배출량 보고 누락으로 인해 절단된 데이터를 사용한 메인모델을 결측치를 포함하여, 확인하기 위해 토빗 모형을 이용한 분석을 추가로 실시하였다(Amore & Murtinu, 2021). 토빗 모형 분석에는 STATA 패키지가 사용되었다. 토빗 모형은, 독립변수의 정보는 존재하나, 종속변수의 정보가 누락된 형태인 '중단자료 회귀모형'에 사용될 수 있는 대표적인 모형이다(박성익 외, 2017). 해당 모형에서는 정보가 누락된 종속변수를 '0'으로 설정하여 분석을 실시한다(Cowles et al., 1996). 이를 토대로, 우리는 토빗 모형 분석에 앞서 누락된 온실가스 배출량 데이터를 '0'으로 추가한 새로운 데이터셋을 활용하였다. 따라서, 토빗 모형을 통한 분석의 데이터셋은 662개의 관측치를 보인다.

분석에 사용된 모든 모델은 종속변수에 1년의 지연 효과($t+1$)를 적용하여 잠재적으로 발생 가능한 종속변수의 내생성 문제를 해결하였다(Irvine et al., 2016; Kwak & Kim, 2020; Patatoukas, 2012).

<표 3> 기술통계량 및 상관행렬

Variable	Mean	SD	Min	Max	Correlation Matrix					
					1	2	3	4	5	6
1. GHG intensity	226.1232	769.7883	0.3762	7149.7600	1.00					
2. Digital Servitization	0.9638	0.9911	0	4.8427	-0.03	1.00				
3. Major customer concentration	0.0512	0.1044	0	0.7396	-0.08	0.01	1.00			
4. Firm size(emp)	34.7581	46.0267	0.7280	209.0000	-0.13**	0.15***	0.38***	1.00		
5. Firm age	30.8667	19.2480	4.0000	69.0000	-0.15***	-0.04	0.15***	0.28***	1.00	
6. Resource slack	2.5490	1.5576	0.9327	8.4575	-0.07	-0.05	-0.15***	-0.35***	-0.16***	1.00

IV. 연구 결과

1. 기술 통계표

<표 3>은 연구에 쓰인 변수들의 기술 통계량과 상관행렬을 나타낸다. 모든 변수의 피어슨 상관계수는 절댓값 0.38 이하의 수치를 나타내고 있어, 분석에 사용된 변수 간의 다중공선성 문제는 없다고 볼 수 있다(Kennedy, 2003).

2. 회귀분석 결과

<표 4> 기업의 디지털 서비스화 수준과 환경 성과의 관계

	Firm's Environmental Performance		
	M1 (GHG_intensity _{t+1})	M2 (GHG_intensity _{t+1})	M3 (GHG_intensity _{t+1})
Digital Servitization(DS)		5.8207 (3.8293)	31.0662** (12.0877)
DS ²			-9.3247** (3.6689)
Major Customer Concentration (MCC)			
DS X MCC			
DS ² X MCC			
Firm size(emp)	0.6084 (0.3900)	0.5861 (0.3899)	0.5411 (0.3988)
Firm age	-1.6521 (3.8824)	-1.6861 (3.8366)	-1.6885 (3.5842)
Resource slack	8.0754** (3.4555)	7.7839** (3.3647)	6.6605** (3.2190)
Constant(intercept)	88.0311 (103.0302)	86.9923 (101.8743)	85.4401 (95.4998)
R-square	0.9257	0.9265	0.9287
F-Statistics	4.4961	4.3744	4.6887
Observation	314	314	314

주: () 안은 표준오차. *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

<표 4>는 기업의 디지털화 수준과 기업의 온실가스 배출집약도의 관계를 나타내는 회귀분석 결과를 요약한 표를 나타낸다. 모델 3을 확인하였을 때, 독립변

수인 DS 향의 계수는 종속변수인 기업의 온실가스 배출집약도 향과 양의 관계($\beta = 31.0662$, $p < 0.05$)를 가지고, DS 제곱 향의 계수는 음의 관계($\beta = -9.3247$, $p < 0.05$)를 가지는 것으로 나타났다. 이는 기업의 디지털 서비스화 수준과 온실가스 배출집약도의 관계가 역-U자형 관계를 나타냄을 의미한다. 또한, 우리는 모델 3의 지지도를 확인하기 위해 필러 신뢰구간 테스트를 실시하였다(Fieller, 1954). 필러 신뢰구간 테스트 결과인 <표 5>를 확인하면, 역-U자형 그래프의 변곡점을 나타내는 extreme point가 1.6039의 값이 나오는 것을 확인하였다. 이는 95% 신뢰구간의 fieller interval for extreme point인 1.2230 ~ 2.0471 사이에 위치함으로써, 역-U자형 그래프가 지지됨을 확인할 수 있다. 또한, Lower bound와 Upper bound의 기울기 값이 36.6208, -28.8802를 가짐으로써 각각 증가하는 기울기와 감소하는 기울기를 확인할 수 있고, 각각의 p-value가 0.0019, 0.0036으로 $p < 0.01$ 수준으로 통계적 유의성이 확보되었다. 이를 통해 우리는 모델 3의 분석을 통해 추출한 역-U자형 그래프가 강력하게 지지된다는 것을 다시 확인하였다(Cambrea et al., 2022; Kwak & Kim, 2020).

이를 통해 디지털 서비스화와 온실가스 배출집약도의 관계가 역-U자형임을 확인하였고, 가설 1은 유의한 것으로 확인되었다. 또한, 독립변수 DS만의 선형관계를 확인하는 모델 2는 통계적 유의성이 확보되지 않았으므로, 역-U자형 이외의 선형관계가 존재하지 않음을 알 수 있다.

<표 5> 모델 3 필러 신뢰구간 테스트 결과

Extreme Point: 1.60394		
	Lower bound	Upper bound
Interval	0	2.86885
Slope	36.62082	-28.88019
t-value	2.91583	-2.71154
P> t	0.00195	0.0036
Overall test of presence of a Inverse U shape		
t-value	2.71	
P> t	0.0036	
95% Fieller interval for extreme point: [1.22298; 2.04711]		

<표 6>은 고객집중도의 조절 효과를 분석한 회귀분석 결과를 요약한 표이다. 모델 5에서, DS 제곱 향 * 주요고객집중도 변수의 회귀계수가 양수를 나타내는 것을 확인하였다. Haans et al.(2016)은 조절변수가 역-U자형 관계에 어떻게 조절 효과를 부여하는지 설명한다. 그의 설명에 따르면, 역-U자형 관계에서 조절변수는 역-U자형 그래프를 완화(평평해짐)하거나, 강화(가팔라짐)한다고 설명한다. 이는 역-U자형 관계에 사용된 독립변수의 제곱 향과 조절변수의 곱셈 조합으로 확인할 수 있으며, 이는 조절변수인 Z가 증가하면 역-U자형 관계의 곡선성이 완

화되고, Z가 감소하면 곡선성이 강화된다고 설명한다. 따라서, $DS^2 \times MCC$ 의 회귀 계수가 양수를 나타내는 동시에 통계적 유의성이 확보($\beta = 41.5920$, $p < 0.1$)된 것은 고객집중도의 증가가 디지털 서비스화와 온실가스 배출집약도의 역-U자형 관계를 평평하게 만든다는 것을 의미한다.

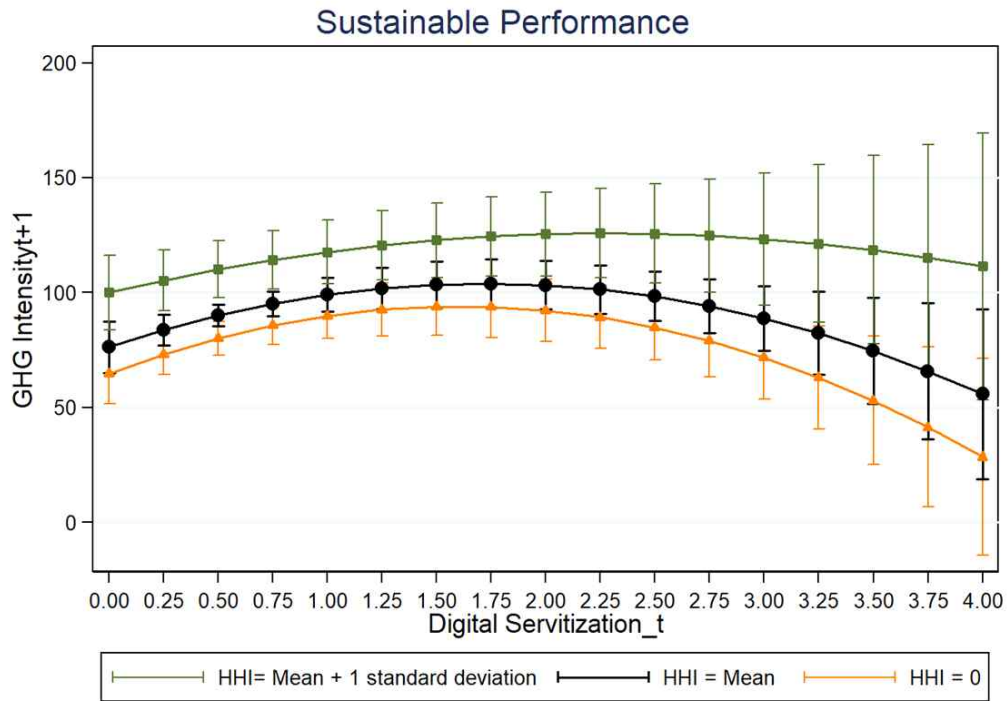
<표 6> 고객집중도의 조절 효과

	Firm's Environmental Performance	
	M4	M5
	(GHG_intensity _{t+1})	(GHG_intensity _{t+1})
DS	32.0090*** (11.5298)	36.6211*** (12.5590)
DS ²	-9.3149*** (3.4747)	-11.4162*** (3.8504)
MCC	197.0201*** (60.7247)	226.2301*** (59.4426)
DS X MCC		-90.0047 (60.3555)
DS ² X MCC		41.5920* (23.8892)
Firm size(emp)	0.4269 (0.3865)	0.4030 (0.3846)
Firm age	0.8758 (3.4010)	0.2967 (3.4782)
Resource slack	6.0448* (3.0877)	6.0657* (3.1105)
Constant(intercept)	6.8099 (119.6200)	27.0166 (122.1574)
R-square	0.9316	0.9320
F-Statistics	5.2012	4.6707
Observation	314	314

주: () 안은 표준오차. *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$

<그림 1>을 확인하면 고객집중도(MCC)가 높아질수록(빨강, 검정, 노랑 순), 디지털 서비스화 수준과 온실가스 배출집약도의 역-U자형 관계의 곡률이 완만해지는 것을 확인할 수 있다. 이는 고객집중도가 높아질수록 낮은 기업에 비해 거래 및 계약 등의 상호작용에서 여전히 직접 대면하는 관계를 요구함으로써, 디지털 서비스화를 통한 온실가스 배출집약도의 감축 효과가 적다는 것을 의미한다. 추가로, 고객집중도가 높아질수록 기본적인 온실가스 배출집약도가 증가하는 경향을 확인할 수 있다. 이는 고객집중도가 높은 기업일수록 공급사와 고객사 사이의 상호작용 수준이 높아 온실가스 배출집약도가 더욱 증가하는 것을 의미한다. 따라서, 우리는 가설 2가 유의한 것을 확인하였다.

<그림 1> 역-U자형 관계에 대한 조절 효과



3. 강건성 확인

<표 7>은 회귀분석 결과의 강건성을 확인하기 위한 분석결과를 나타낸 표이다. 우리는 독립변수의 로그항과 세제공 항을 각각 추가하여 본 연구의 다른 비선형 관계성이 설명 가능한지 확인하였다. 독립변수의 로그항과 세제공 항이 포함된 모델 6, 7은 모두 독립변수의 회귀계수가 통계적 유의성을 확보하지 못한 것으로 나타났다. 이는 비선형적 모델을 통한 독립변수와 종속변수의 새로운 유의한 관계는 확인하기 어려움을 의미하며, 메인 모델의 분석결과에 정당성을 부여한다.

<표 7> 강건성 확인 1 - 로그항 및 세제곱 항

	Firm's Environmental Performance	
	M6	M7
	(GHG_intensity _{t+1})	(GHG_intensity _{t+1})
LN_DS(Logarithm)	6.7734 (3.7974)	
DS		10.1554 (27.5832)
DS ²		11.7301 (22.9555)
DS ³		-5.1355 (5.2428)
Firm size(emp)	-0.0232 (0.4609)	0.5458 (0.4032)
Firm age	-0.2968 (4.3250)	-2.4908 (3.7049)
Resource slack	8.4370** (3.8141)	6.5626** (3.1710)
Constant(intercept)	64.5351 (114.9229)	108.6098 (99.3184)
R-square	0.9549	0.9290
F-statistics	4.3212	4.4542
Observation	225	314

주: () 안의 표준오차. *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

<표 8> 강건성 확인 2 - 토빗 모형

	Firm's Environmental Performance	
	M8	M9
	(GHG_intensity _{t+1})	(GHG_intensity _t)
DS	34.6061*** (14.1058)	44.3607*** (13.5866)
DS2	-11.5292*** (5.2256)	-15.2905*** (5.0025)
Firm size(emp)	0.1117 (0.1756)	-0.1270 (0.1704)
Firm age	-0.6399 (0.5376)	-0.4580 (0.5282)
Resource slack	-0.6446 (3.0151)	2.7301 (2.9141)
Constant(intercept)	38.7914 (21.6198)	-8.0630 (21.4896)
Log-likelihood	-2138.0424	-2357.9525
Wald (chi ²)	53.53	77.14
[p-value]	0.0000	0.0000
Observation	492	559

주: () 안의 표준오차. *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

<표 8>은 강건성 확인을 위한 토빗 모형의 분석결과를 요약한 표를 나타낸다. 이어서 토빗 모형의 분석결과, 지연 효과가 부여된 모델 8과 지

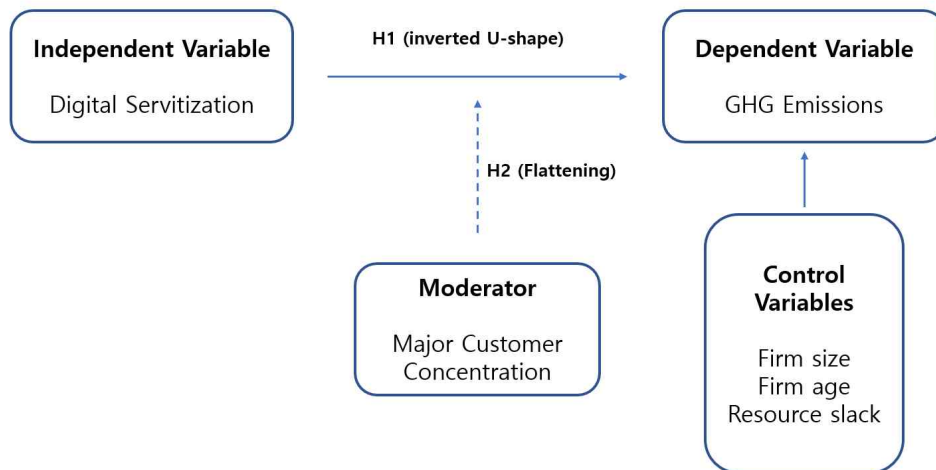
연 효과가 부여되지 않은 모델 9 모두 DS와 DS 제곱 항의 회귀계수가 각각 양수와 음수로 확인되었고, 통계적 유의성이 확보되었다. 이는 분석 대상 기업의 누락된 온실가스 배출량을 고려하여도, 독립변수와 종속변수의 관계가 역-U자형의 형태를 보인다는 것을 의미하며, 메인모델의 분석결과를 지원한다.



VI. 결론 및 시사점

1. 결과 요약

<그림 2> 연구 프레임워크



본 연구는 산업재 제조 기업의 디지털 서비스화 전략 채택에 의한 환경적 성과 및 고객집중도의 조절 효과에 대해 살펴보았다. <그림 2>는 연구 결과를 토대로 디지털 서비스화와 환경적 성과의 관계, 그리고 주요 고객집중도의 조절 효과를 나타낸 연구 프레임워크를 나타낸다. 결과적으로 산업재 제조 기업의 디지털 서비스화는 전략 채택 초기에는 디지털 자산 투자, 스마트 시스템의 높은 에너지 소모량, 기업의 비즈니스 모델 및 프로세스 재구성을 통해, 기업의 직·간접적인 온실가스 배출량이 증가하고, 초기의 디지털 서비스화 효과가 미미함으로 인해 전체적인 온실가스 배출량이 증가하나, 디지털 서비스화의 효과가 극대화되는 후기에는 기업의 운영 효율성 제고로 인한, 자원의 효율적 사용, 제품의 수명 주기 증가, 에너지 사용률 향상을 통해 온실가스 배출량의 감소치가 초기의 증가치를 압도하여 전체적인 온실가스 배출량이 감소하는 것을 확인하였다. 또한, 일련의 과정에서 주요 고객집중도가 높은 기업의 경우, 낮은 기업에 비해 높은 상호작용으로 인한 기본적인 배출량의 증가와 직접적인 관계형 비즈니스로 인하여 디지털 서비스화의 배출량 감축 효과가 구현되기 어렵다는 것을 확인하였다.

2. 이론적 시사점

본 연구는 이론적 관점에서 몇 가지 시사점을 제공한다. 첫째, 주로 개념적으로 다루어져왔던 기존의 디지털 서비스화의 지속가능성 성과에 대한 논의(Schiavone et al., 2022)를 산업재 기업의 맥락에서 기업의 환경적 성과에 주목하여 실증적으로 확인하였다. 기존의 디지털 서비스화의 지속가능성 연구는 소수의 기업 사례에 집중하고 있다(de la Calle et al., 2021; Paiola et al., 2021). 또한, 기존의 연구는 공급사를 통한 직접적인 환경적 성과가 아닌, 소비자의 에너지 효율을 제고시키는 등의 간접적 파급효과를 확인했다는 점에서 한계가 존재한다(Paiola et al., 2021). 여기서 나아가, 본 연구는 기존 디지털 서비스화의 연구가 가장 활발했던 산업재 분야에 초점을 맞춰 66개의 산업재 기업을 대상으로 분석 데이터의 크기를 확장하였고, 디지털 서비스화가 공급사의 온실가스 배출집약도라는 직접적인 성과에 미친 영향을 최초로 실증 분석하였다는 점에서 큰 의의를 갖는다.

둘째, 디지털 서비스화 전략과 환경적 지속가능성의 관계에서 조절변수인 기업의 고객집중도의 역할을 확인하였다. 기존의 고객집중도 연구는 독립변수 및 조절변수로서 경영적 성과에 미치는 영향을 확인한 논의는 존재하나(Chen et al., 2021; Eggert et al., 2015; Irvine et al., 2016), 환경적 성과를 조절하는 역할을 확인한 논의는 부족하고, 디지털 서비스화 전략과 환경적 지속가능성의 관계를 조절하는 논의는 전무하다. 하지만, 글로벌 기후변화에 대한 관심이 높아지면서 기업의 환경적 성과의 필요성이 높아지고, 이를 디지털 기술과 서비스를 통하여 해결하고자 하는 연구의 흐름이 자리를 잡은 현재, 높은 고객집중도가 조절변수로서, 디지털 서비스화를 통한 온실가스 배출량 감축 효과에 부정적인 영향을 미친다는 점을 확인하였다. 이는 차후 디지털 서비스화의 지속가능성 연구에 다양한 조절변수의 역할이 유효할 수 있다는 가능성을 제시하였고, 기업의 환경적 성과를 확인하는 다른 독립변수의 연구에도 고객집중도가 조절변수로서 부정적인 조절 효과를 부여할 수 있다는 점을 확인하였다는 것에 의의가 있다.

3. 실무적 시사점

또한, 본 연구는 기업경영 관점에서 산업재 기업에 몇 가지 시사점을 제공한다. 첫째, 산업재 기업은 디지털 서비스화의 환경적 성과를 본격적으로 구현하기 위해서 초기의 디지털 서비스화 역설을 극복해야 한다. 디지털 서비스화는 매우 복잡하고 혁신적인 전략이므로 전략 적용 초기 디지털 기술에 대한 지식과 경험

의 부족, 디지털 자산에 대한 막대한 투자 등의 어려움에 직면하게 된다. 이는 기업의 경영적 성과뿐만 아니라 환경적 성과에도 영향을 미치게 된다. 하지만, 이를 극복하여 전략 채택 후기, 디지털 서비스화 수준을 향상시키는 것에 성공하여 본격적인 효과를 획득하게 되면, 이후의 긍정적인 환경적 성과를 통해 기업의 ESG를 달성할 수 있다. 따라서 기업이 디지털 서비스화 전략을 채택한다면 장기적인 관점을 가지고 기업의 디지털 서비스화 수준을 향상하여 나아가야 한다.

4. 한계점 및 추가 연구

위와 같은 이론적 공헌 및 시사점에도 불구하고, 본 연구는 산업재 기업이라는 제한된 산업군의 분석에 국한되므로, 다양한 산업 분야 관점에서 연구 결과의 일반화의 한계가 있다(Yin, 2014). 또한, 10-K 및 CDP 데이터에 공통적으로 보고된 기업만을 대상으로 하여, 미국 외 기업과 소규모 기업의 성과를 확인하지 못했다. 또한, 기존의 연구로 다양하게 분류된 디지털 서비스화 유형의 각각의 역할과 성과에 대한 분석이 제한적이다. 우리는 디지털 서비스화 전략에 대해 소개하며, 3D printing, AI, 예방정비·보수 등 다양한 기술과 유형을 언급하였다. 디지털 서비스화 전략은 주체가 되는 기업 및 고객사에 따라 다양한 접근의 전략 채택이 필요하다. 따라서 이후의 연구는 다양한 산업군과 기업 규모, 그리고 다양한 디지털 서비스화 유형을 토대로 각 유형이 환경적 성과에 미치는 영향을 비교 분석하는 다각적 관점의 실증연구가 필요하다.

참고문헌

<국내문헌>

- 박성익, 류장수, 김종한, & 조장식. (2017). 패널 토빗모형을 이용한 청년채용비용 결정요인 분석. *한국데이터정보과학회지*, 28(4), 853-862.
- 정옥재 (2003). 대기업들도 ESG의무공시 힘들다. *국제신문*, 8월 27일.

<국외문헌>

- Adhiakry, A., Sharma, A., Diatha, K. S., & Jayaram, J. (2020). Impact of Buyer-Supplier Network Complexity on Firms' Greenhouse Gas (GHG) Emissions: An Empirical Investigation. *International Journal of Production Economics*, 230, 107864.
- Aizawa, A. (2003). An Information-theoretic Perspective of Tf-idf Measures. *Information Processing & Management*, 39(1), 45-65.
- Amore, M. D. & Murtinu, S. (2021). Tobit Models in Strategy Research: Critical Issues and Applications. *Global Strategy Journal*, 11(3), 331-355.
- Anderson, J. C. & Narus, J. A. (1995). Capturing the Value of Supplementary Services. *Harvard Business Review*, 73(1), 75-83.
- Arani, H. V., Pourakbar, M., van der Laan, E., & de Koster, R. (2023). How to Charge in Servitizing: Per Period or per Use? *European Journal of Operational Research*, 304(3), 981-996.
- Baines, T., Ziaee Bigdeli, A., Bustinza, O. F., Shi, V. G., Baldwin, J., & Ridgway, K. (2017). Servitization: Revisiting the State-of-the-art and Research Priorities. *International Journal of Operations & Production Management*, 37(2), 256-278.
- Baines, T. S., Lightfoot, H. W., Benedettini, O., & Kay, J. M. (2009). The Servitization of Manufacturing: A Review of Literature and Reflection on Future Challenges. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20(5), 547-567.
- Bellos, I. & Ferguson, M. (2017). *Moving from a Product-based Economy to a Service-based Economy for a More Sustainable Future*. Springer International Publishing.

- Bhatti, S. H., Rashid, M., Arslan, A., Tarba, S., & Liu, Y. (2023). Servitized SMEs' Performance and the Influences of Sustainable Procurement, Packaging, and Distribution: The Mediating Role of Eco-Innovation. *Technovation*, 127, 102831.
- Cambrea, D. R., Ponomareva, Y., Pittino, D., & Minichilli, A. (2022). Strings Attached: Socioemotional Wealth Mixed Gambles in the Cash Management Choices of Family Firms. *Journal of Family Business Strategy*, 13(3), 100466.
- Castrogiovanni, G., Ribeiro-Soriano, D., Mas-Tur, A., & Roig-Tiermo, N. (2016). Where to Acquire Knowledge: Adapting Knowledge Management to Financial Institutions. *Journal of Business Research*, 69(5), 1812–1816.
- Chen, M., Pu, X., Zhang, M., Cai, Z., Chong, A. Y. L., & Tan, K. H. (2022). Data Analytics Capability and Servitization: the Moderated Mediation Role of Bricolage and Innovation Orientation. *International Journal of Operations & Production Management*, 42(4), 440–470.
- Chen, X., Liu, C., Liu, F., & Fang, M. (2021). Firm Sustainable Growth during the COVID-19 Pandemic: The Role of Customer Concentration. *Emerging Markets Finance and Trade*, 57(6), 1566–1577.
- Chiarini, A. (2021). Industry 4.0 Technologies in the Manufacturing Sector: Are We Sure They are all Relevant for Environmental Performance?. *Business Strategy and the Environmental*, 30(7), 3194–3207.
- Cooper, S. A., Raman, K. K., & Yin, J. (2018). Halo Effect or Fallen Angel Effect? Firm Value Consequences of Greenhouse gas Emissions and Reputation for Corporate Social Responsibility. *Journal of Accounting and Public Policy*, 37(3), 226–240.
- Coreynen, W., Matthyssens, P., & Van Bockhaven, W. (2017). Boosting Servitization through Digitization: Pathways and Dynamic Resource Configurations for Manufacturers. *Industrial Marketing Management*, 60, 42–53.
- Coreynen, W., Matthyssens, P., De Rijck, R., & Dewit, I. (2018). Internal

- Levers for Servitization: How Product-oriented Manufacturers can Upscale Product-Service Systems. *International Journal of Production Research*, 56(6), 2184–2198.
- Cowles, M. K., Carlin B. P., & Connett, J. E. (1996). Bayesian Tobit Modeling of Longitudinal Ordinal Clinical Trial Compliance Data with Nonignorable Missingness. *Journal of the American Statistical Association*, 91(433), 86–98.
- Dahlmann, F., Branicki, L., & Brammer, S. (2017). 'Carrots for Corporate Sustainability': Impacts of Incentive Inclusiveness and Variety on Environmental Performance. *Business Strategy and the Environment*, 26(8), 1110–1131.
- Damert, M., Paul, A., & Baumgartner, R. J. (2017). Exploring the Determinants and Long-term Performance Outcomes of Corporate Carbon Strategies. *Journal of Cleaner Production*, 160, 123–138.
- de la Calle, A., Freije, & Oyarbide, A. (2021). Digital Product-Service Innovation and Sustainability: A Multiple-Case Study in the Capital Goods Industry. *Sustainability*, 13(11), 6342.
- Dhaliwal, D., Judd, J. S., Serfling, M., & Shaikh, S. (2016). Customer Concentration Risk and the Cost of Equity Capital. *Journal of Accounting and Economics*, 61(1), 23–48.
- Doba, B., Gennaioli, C., Gouldson, A., Grover, D., & Sullivan, R. (2016). Are Corporate Carbon Management Practices Reducing Corporate Carbon Emissions?. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 23(5), 257–270.
- Doni, F., Corvino, A., & Martini, S. B. (2019). Servitization and Sustainability Actions. Evidence from European Manufacturing Companies. *Journal of Environmental Management*, 234, 367–378.
- Dougherty, C. (2011). *Introduction to Econometrics*. Oxford University Press. USA
- Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S. J., Papadopoulos, T., Luo, Z., Wamba, S. F., & Roubaud, D. (2019). Can Big Data and Predictive Analytics Improve Social and Environmental

- Sustainability?. *Technological Forecasting and Social Change*, 144, 534-545.
- Eggert, A., Thiesbrummel, C., & Deutscher, C. (2015). Heading for New Shores: Do Service and Hybrid Innovations Outperform Product Innovations in Industrial Companies?. *Industrial Marketing Management*, 45, 173-183.
- Fagnoli, M., De Minicis, M., & Tronci, M. (2012). Product's Life Cycle Modelling for Eco-Designing Product-Service Systems. In *DS 70: Proceedings of DESIGN 2012*, the 12th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia.
- Falkenreck, C. & Wagner, R. (2017). The Internet of Things-Chance and Challenge in Industrial Business Relationships. *Industrial Marketing Management*, 66(10), 181-195.
- Favoretto, C., Mendes, G. H., Oliveira, M. G., Cauchick-Miguel, P. A., & Corenen, W. (2022). From Servitization to Digital Servitization: How Digitalization Transforms Companies' Transition towards Services. *Industrial Marketing Management*, 102, 104-121.
- Fieller, E. C. (1954). Some Problems in Interval Estimation. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*, 16(2), 175-185.
- Frank, A. G., Mendes, G. H., Ayala, N. F., & Ghezzi, A. (2019). Servitization and Industry 4.0 convergence in the digital transformation of product firms: A business model innovation perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 141, 341-351.
- Gebauer, H., Fleisch, E., Lamprecht, C., & Wortmann, F. (2020). Growth Paths for Overcoming the Digitalization Paradox. *Business Horizons*, 63(3), 313-323.
- Ghosh, S., Hughes, M., Hodgkinson, I., & Hughes, P. (2022). Digital Transformation of Industrial Businesses: A Dynamic Capability Approach. *Technovation*, 113, 102414.
- Goedkoop, M. J., Van Halen, C. J., Te Riele, H. R., & Rommens, P. J. (1999). Product Service Systems, Ecological and Economic Basics, *Report for Dutch Ministries of Environment(VROM)*

- and Economic Affairs(EZ)*, 36(1), 1-122.
- Greening, L. A., Greene, D. L., & Difiglio, C. (2000). Energy Efficiency and Consumption-the Rebound Effect-a Survey. *Energy Policy*, 28(6-7), 189-401.
- Grubic, T. (2018). Remote Monitoring Technology and Servitization: Exploring the Relationship *Computers in Industry*, 100, 148-158.
- Guggenberger, P. (2010). The Impact of a Hausman Pretest on the Size of a Hypothesis Test: The Panel Data Case. *Journal of Econometrics*, 156(2), 337-343.
- Guo, X., Li, M., Wang, Y., & Mardani, A. (2023). Does Digital Transformation Improve the Firm's Performance? From the Perspective of Digitalization Paradox and Managerial Myopia. *Journal of Business Research*, 163, 113868.
- Haans, R. F., Pieters, C., & He, Z. L. (2016). Thinking about U: Theorizing and Testing U-and Inverted U-shaped Relationships in Strategy Research. *Strategic Management Journal*, 37(7), 1177-1195.
- Hausman, J. A. (1978). Specification Tests in Econometrics. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1251-1271.
- Hill, R. C., Griffiths, W. E., & Lim, G. C. (2018). *Principles of Econometrics*. John Wiley & Sons.
- Hoffmann, V, H. & Busch, T. (2008). Corporate Carbon Performance Indicators: Carbon Intensity, Dependency, Exposure, and Risk. *Journal of Industrial Ecology*, 12(4), 505-520.
- Huang, H. H., Lobo, G. J., Wang, C., & Xie, H. (2016). Customer Concentration and Corporate Tax Avoidance. *Journal of Banking & Finance*, 72, 184-200.
- Huang, Y. A., Weber, C. L., & Matthews, H. S. (2009). *Categorization of Scope 3 Emissions for Streamlined Enterprise Carbon Footprinting*.
- Huang, Y., Zhang, Y., Xiang, Y., & Dong, X. (2022). Has Servitization Reduced the Embodied Carbon Emissions of Manufacturing Export Trade? Evidence from 38 Countries. *Environmental Technology & Innovation*, 28, 102950.

- Irvine, P. J., Park, S. S., & Yıldızhan, C. (2016). Customer-base Concentration, Profitability, and the Relationship Life Cycle, *The Accounting Review*, 91(3), 883–906.
- Jardak, M. K. & Ben Hamad, S. (2022). The Effect of Digital Transformation on Firm Performance: Evidence from Swedish Listed Companies. *The Journal of Risk Finance*, 23(4), 329–348.
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Gawankar, S. A. (2018). Sustainable Industry 4.0 Framework : A Systematic Literature Review Identifying the Current Trends and Future Perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 408–425.
- Kanatli, M. A. & Karaer, O. (2022). Servitization as an Alternative Business Model and Its Implications on Product Durability, Profitability & Environmental Impact. *European Journal of Operational Research*, 301(2), 564–560.
- Kastalli, I. V. & Van Looy, B. (2013), Servitization: Disentangling the Impact of Service Business Model Innovation on Manufacturing Firm Performance. *Journal of Operations Management*, 31(4), 169–180.
- Kennedy, P. (2003). *A guide to econometrics 5th ed*
- Kiel, D., Muller, J. M., Arnold, C., & Voigt, K. I. (2017). Sustainable Industrial Value Creation: Benefits and Challenges of Industry 4.0. *International Journal of Innovation Management*, 21(08), 1740015.
- Kohtamaki, M., Parida, V., Oghazi, P., Gebauer, H., & Baines, T. (2019). Digital Servitization Business Models in Ecosystems: A Theory of the Firm. *Journal of Business Research*, 104, 380–392.
- Kohtamaki, M., Parida, V., Patel, P. C., & Gebauer, H. (2020a). The Relationship between Digitalization and Servitization: The Role of Servitization in Capturing the Financial Potential of Digitalization. *Technological Forecasting and Social Change*, 151, 119804.
- Kohtamaki, M., Einoala, S., & Rabetino, R. (2020b). Exploring Servitization through the Paradox Lens: Coping Practices in Servitization. *International Journal of Production Economics*,

226, 107619.

- Kohtamaki, M., Rodrigo R., Einola, S., Parida, V., & Patel, P. (2021). Unfolding the Digital Servitization Path from Products to Product-Service-Software Systems: Practicing Change through Intentional Narratives. *Journal of Business Research*, 137, 379-92.
- Kohtamaki, M., Rabetino, R., Parida, V., Sjodin, D., & Henneberg, S. (2022). Managing Digital Servitization toward Smart Solutions: Framing the Connections between Technologies, Business Models, and Ecosystems. *Industrial Marketing Management*, 105, 253-267.
- Kwak, K. & Kim, N. (2020). Concentrate or Disperse? The Relationship between Major Customer Concentration and Supplier Profitability and the Moderating Role of Insider Ownership. *Journal of Business Research*, 109, 648-658.
- Li, A. Q. & Found, P. (2017). Towards Sustainability: PSS, Digital Technology and Value Co-creation. *Procedia Cirp*, 64, 79-84.
- Li, T., Pinto, M. C., & Diabat, A. (2020). Analyzing the Critical Success Factor of CSR for the Chinese Textile Industry. *Journal of Cleaner Production*, 260, 120878.
- Liu, Z., Wan, M. D., Zheng, X. X., & Koh, S. L. (2022). Fairness Concerns and Extended Producer Responsibility Transmission in a Circular Supply Chain. *Industrial Marketing Management*, 102, 216-228.
- Loughran, T. & Mcdonald, B. (2011). When is a Liability not a Liability? Textual Analysis, Dictionaries, and 10-Ks. *The Journal of Finance*, 66(1), 35-65.
- Luo, L. & Tang, Q. (2014). Does Voluntary Carbon Disclosure Reflect Underlying Carbon Performance?. *Journal of Contemporary Accounting & Economics*, 10(3), 191-205.
- Meindl, B., Ayala, N. F., Mendonca, J., & Frank, A. G. (2021). The Four Smarts of Industry 4.0: Evolution of Ten Years of Research and Future Perspectives. *Technological Forecasting and Social Change*, 168, 120784.

- Paiola, M. & Gebauer, H. (2020). Internet of Things Technologies Digital Servitization and Business Model Innovation in BtoB Manufacturing Firms. *Industrial Marketing Management*, 89, 245-264.
- Paiola, M., Schiavone, F., Grandinetti, R., & Chen, J. (2021). Digital Servitization and Sustainability through Networking: Some Evidences from IoT-based Business Models. *Journal of Business Research*, 132, 507-516.
- Palmatier, R. W. (2008). Interfirm Relational Drivers of Customer Value. *Journal of Marketing*, 72(4), 76 - 89.
- Paschou, T., Rapaccini, M., Adrodegari, F., & Saccani, N. (2020). Digital Servitization in Manufacturing: A Systematic Literature Review and Research Agenda. *Industrial Marketing Management*, 89, 278-292.
- Patatoukas, P. N. (2012). Customer-base Concentration: Implications for Firm Performance and Capital Markets: 2011 American Accounting Association Competitive Manuscript Award Winner. *The accounting Review*, 87(2), 363-392.
- Raddats, C., Baines, T., Burton, J., Story, V. M., & Zolkiewski, J. (2016). Motivations for Servitization: the Impact of Product Complexity. *International Journal of Operations & Production Management*, 36(5), 572-591.
- Raddats, C., Naik, P., & Bigdeli, A. Z. (2022). Creating Value in Servitization through Digital Service Innovations. *Industrial Marketing Management*, 104, 1-13.
- Rymaszewska, A., Helo, P., & Gunasekaran, A. (2017). IoT Powered Servitization of Manufacturing-an Exploratory Case Study. *International Journal of Production Economics*, 192, 92-105.
- Schiavone, F., Leone, D., Caporuscio, A., & Lan, S. (2022). Digital Servitization and New Sustainable Configuration of Manufacturing Systems. *Technological Forecasting and Social Change*, 176, 121441.
- Schniederjans, D. G. & Hales, D. N. (2016). Cloud Computing and Its Impact on Economic and Environmental Performance: A

- Transaction Cost Economics Persepctive. *Decision Support Systems*, 86, 73–82.
- Soto-Acosta, P., Popa, S., & Palacios-Marques, D. (2017). Social Web Knowledge Sharing and Innovation Performance in Knowledge-Intensive Manufacturing SMEs. *The Journal of Technology Transfer*, 42, 425–440.
- Sousa-Zomer T. T. & Cauchick-Miguel, P. A. (2019). Exploring Business Model Innovation for Sustainability: an Investigation of Two Product-Service Systems. *Total Quality Management & Business Excellence*, 30(5-6), 594–612.
- Tronvoll, B., Sklyar, A., Sorhammar, D., & Kowalkowski, C. (2020). Transformational Shifts through Digital Servitization. *Industrial Marketing Management*, 89, 293–305.
- Tukker, A. (2015). Product Services for a Resource-Efficient and Circular Economy-a Review. *Journal of Cleaner Production*, 97, 76–91.
- Vandermerwe, S. & Rada, J. (1988). Servitization of Business: Adding Value by Adding Services. *European Management Journal*, 6(4), 314–324.
- Vendrell-Herrero, F., Bustinza, O. F., Parry, G., & Georganzis, N. (2017). Servitization, Digitization and Supply Chain Interdependency. *Industrial Marketing Management*, 60, 69–81.
- Vezzoli, C., Ceschin, F., Diehl, J. C., & Kohtala, C. (2015). New Design Challenges to Widely Implement 'Sustainable Product-Service Systems'. *Journal of Cleaner Production*, 97, 1–12.
- Wang, L., Torngren, M., & Onori, M. (2015). Current Status and Advancement of Cyber-Physical Systems in Manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 517–527.
- Yang, T., Yang, X., Xiao, Z., & Liu, Z. (2023a). Digitalization and Environmental Performance: An Empirical Analysis of Chinese Textile and Apparel Industry. *Journal of Cleaner Production*, 382, 135338.
- Yang, Z., Hu, W., Shao, T., & He, Q. (2023b). How does Digitalization Alter the Paradox of Supply Base Concentration? The Effects of

- Digitalization Intensity and Breadth. *International Journal of Operations & Production Management*.
- Yang, J., Wang, Y., Tang, C., & Zhang, Z. (2023c). Can Digitalization Reduce Industrial Pollution? Roles of Environmental Investment and Green Innovation. *Environmental Research*, 117442.
- Ye, F., Ouyang, Y., & Li, Y. (2023). Digital Investment and Environmental Performance: The Mediating Roles of Production Efficiency and Green Innovation. *International Journal of Production Economics*, 259, 108822.
- Yin, R. K. (2009). *Case Study Research: Design and Methods*(Vol. 5). Sage.
- Yuan, K., Wang, K., Fei, R., Sun, Y., & Bao, S. (2023). The Impact of Manufacturing Servitization on Consumption-based Carbon Rebound Effect: A Global Value Chain Research Perspective. *Science of The Total Environment*, 896, 165177.
- Zeng, H., Ran, Zhou, Q., Jin, Y., & Cheng, X. (2022). The Financial Effect of Firm Digitalization: Evidence from China. *Technological Forecasting and Social Change*, 183, 121951.
- Zhang, J., Qi, L., Wang, C., & Lyu, X. (2021) The Impact of Servitization on the Environmental and Social Performance in Manufacturing firms. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 33(3), 425-447.
- Zhang, M., Chen, M., Zhang, M., & Liu, H. (2023). Environmental Performance of Servitized Manufacturing Firms: the (mis) Alignment Between Servitization Strategies and Inter-organizational Information Technology Capabilities. *Industrial Management & Data Systems*, 123(3), 722-745.
- Zhou, M., Jiang, K., & Zhang, J. (2023). Environmental Benefits of Enterprise Digitalization in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 197, 107082.

The Relationship between Digital Servitization and Environmental Performance and the Moderating role of Customer Concentration

Daegeun Chang

Department of Industrial and Data Engineering, The Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

With the spread of digital technologies, research on the impact of digital servitization on the performance of industrial goods companies is gaining attention. In particular, digital servitization can contribute to firm's environmental performance, i.e., carbon emission reduction, in terms of implementing manufacturing processes for efficient use of resources, a sales structure centered on services and functions of products, and the development of eco-friendly products. However, increased investment in digital technologies and resources can reduce environmental performance. In the meantime, there is raising the question of how the type of business relationship between suppliers and customers depending on the level of customer concentration of a company has a moderating effect between digital service strategies and environmental performance. This study empirically analyzes the relationship between firm's digital servitization level and GHG emission intensity, and the moderating role of customer concentration on this relationship using data from the 10-K reports of U.S. listed companies and the Carbon Disclosure Project. As the result, we find that the firm's digital servitization level has an inverted-U shape relationship with GHG emissions intensity, while customer concentration moderates the relationship. This study has significant implication that it examines the impact of digital servitization strategies on the environmental performance of industrial goods companies and understands the moderating role of customer concentration from the perspective of building close and long-term supplier-customer relationships.