

중소기업 디지털 전환 교육은 정말 효과가 있는가?

Chungil Chae

토, 28 3월 2026

들어가며: 디지털 전환 교육의 딜레마

경기도 안산의 금형 제조업체 A사. 직원 35명, 연매출 80억 원. 사장님은 “스마트팩토리? 우리 같은 작은 공장에 그게 무슨 소용이냐”고 말했다. DT 인식 점수는 5점 만점에 1.4점. 디지털 전환이라는 단어 자체가 낯선 기업이었다. 그런데 이 기업이 컨설팅 교육을 받은 후, 현업적용도에서 상위 30%에 들었다. 어떻게 가능했을까?

반대 사례도 있다. 인천의 전자부품 제조업체 B사. 직원 120명, 이미 MES 시스템을 도입했고, DT 전담 부서도 있다. DT 인식 점수 3.8점. 누가 봐도 “디지털 전환 준비가 된” 기업이다. 그런데 교육 후 현업적용도는 평균 이하였다. “이미 다 아는 내용이었다”는 것이 담당자의 평이었다.

이 두 기업의 이야기는 우리가 흔히 가지고 있는 상식에 의문을 던진다. “디지털 전환 준비가 되어 있어야 교육 효과도 높다”는 가정 말이다. 정말 그럴까?

이 보고서는 그 질문에 답하기 위해 만들어졌다. 컨설팅을 통해 디지털 전환 교육을 받은 219개 중소기업, 282건의 응답, 4개년(2022~2025) 데이터를 가지고 13가지 서로 다른 분석 방법을 동원했다. 왜 13가지나 필요했을까?

하나의 렌즈로 복잡한 현실을 보면 반드시 왜곡이 생긴다. 상관분석은 “전반적 경향”은 말해주지만, “어떤 조건의 조합이 성공을 만드는지”는 알려주지 못한다. 잠재 프로파일 분석은 “기업 유형”은 구분해주지만, “시간이 지나면서 어떻게 변하는지”는 보여주지 못한다. 그래서 우리는 기술통계부터 회귀분석, 잠재 프로파일 분석(LPA), 질적비교분석(QCA), 종단 분석, 구조적 토픽 모델(STM), 네트워크 분석, IPA 껍분석, 패널 회귀, 경향점수 매칭(PSM)까지, 가능한 모든 각도에서 데이터를 들여다보았다.

그 결과, 놀라운 것도 있었고 예상대로인 것도 있었다. 안심이 되는 결과도 있었고, 불편한 진실도 있었다.

예를 들어, “반복 교육이 효과가 있다”는 좋은 소식이지만, “그 효과의 상당 부분이 선택편향일 수 있다”는 불편한 진실이 함께 나왔다. “DT 준비도가 낮아도 교육 효과가 높을 수 있다”는 놀라운 발견이 있었지만, “전체 기업의 88%가 아직 DT 초보 수준”이라는 예상대로의 현실도 확인되었다.

이 보고서는 그 모든 이야기를 누구나 이해할 수 있는 말로 풀어놓은 것이다. 통계 용어를 최대한 줄이고, 비유와 사례로 설명하려 노력했다. 단, 정확성을 위해 핵심 수치는 그대로 남겨두었다. 각 장의 끝에는 핵심 메시지를 인용문(blockquote) 형태로 요약해 두었으므로, 바쁜 독자라면 각 장의 마지막 인용문만 읽어도 전체 흐름을 파악할 수 있다.

13가지 분석 방법이라고 하면 복잡하게 느껴지겠지만, 각각은 하나의 질문에 답하기 위한 도구다. “DT 준비도와 교육 효과가 관련 있는가?”(상관분석), “기업은 몇 가지 유형으로 나뉘는가?”(LPA), “높은 교육 효과의 조건 조합은?”(QCA), “반복 교육은 정말 효과가 있는가?”(중단분석+PSM) 등. 하나의 질문에 하나의 방법, 그리고 여러 방법의 결과가 같은 결론을 가리키는지 확인하는 삼각검증(triangulation)이 이 연구의 핵심 전략이다.

이 보고서를 통해 확인하게 될 핵심 발견을 미리 살짝 엿보면:

- DT 준비도가 낮아도 교육 효과가 높은 기업이 있다 (1장)
- 중소기업은 3가지 뚜렷한 유형으로 나뉘며, 88%가 DT 초보 수준이다 (2장)
- 반복 교육은 효과가 있지만, 수치를 액면 그대로 믿으면 안 된다 (3장)
- “교육 받아봤다”는 경험의 효과는 생각보다 작다 (4장)
- 이론 교육보다 실무 교육이 2배 효과적이다 (5장)
- 기업의 어려움은 7가지로 구조화되며, 서로 도미노처럼 연결되어 있다 (6장)
- 기술 수요는 네트워크처럼 연결되어 있어, 교육 트랙 설계에 활용할 수 있다 (7장)
- 이 모든 결과를 종합한 6단계 실행 방안이 있다 (8장)

자, 그럼 데이터가 말하는 이야기를 들어보자.

1장. “DT 준비가 되어야 교육이 효과적이다”는 말, 맞을까?

상식적인 가정: “준비된 자에게 기회가 온다”

수학 시간에 배운 것을 떠올려 보자. 미적분을 배우려면 먼저 함수를 이해해야 하고, 함수를 이해하려면 방정식을 풀 수 있어야 한다. 기초가 있어야 고급 내용을 배울 수 있다는 것은 교육학의 기본 원리다.

디지털 전환 교육에도 같은 논리를 적용하는 것은 자연스럽다. “DT가 뭔지도 모르는 기업에 스마트팩토리 교육을 하면 뭐하나. 먼저 인식부터 높이고, 기본 인프라부터 갖추게 하고, 그 다음에 교육을 해야 효과가 있지 않겠나.” 정책 입안자든 교육 담당자든, 대부분 이렇게 생각할 것이다.

데이터가 말하는 것: “꼭 그렇지만은 않다”

그런데 데이터는 다른 이야기를 한다. DT 준비도(인식 + 인프라)와 교육 효과(만족도, 전후 점수 차이, 현업적용도) 사이의 상관관계를 측정해 보니, $r = 0.06$ 에서 0.18 사이였다.

이 숫자가 무엇을 의미하는지 비유로 설명하겠다. 시험 성적과 키의 상관관계가 $r = 0.15$ 라면 어떤가? “키가 큰 학생이 시험을 잘 본다”고 말할 수 있을까? 통계적으로 완전히 제로는 아니지만, 실질적으로는 거의 관계가 없다고 보는 것이 맞다. DT 준비도와 교육 효과의 관계도 마찬가지다. “있다”고 하기에는 너무 약하고, “없다”고 하기에는 완전히 제로는 아닌, 그런 어정쩡한 수준이다.

만약 “DT 준비도가 높아야 교육이 효과적이다”라는 가정이 맞다면, 이 상관관계는 최소한 $r = 0.40$ 이상은 되어야 한다. $r = 0.06 \sim 0.18$ 이라는 것은 그 가정이 틀렸거나, 최소한 너무 단순하다는 뜻이다.

63 여러 갈래의 성공 경로: “부산 가는 길은 하나가 아니다”

64 그렇다면 높은 교육 효과를 달성하는 기업들은 대체 무엇이 다른 걸까? 이 질문에 답하기 위해 질적비
65 교분석(QCA)이라는 방법을 사용했다. QCA는 회귀분석과 달리 “하나의 원인이 결과를 만든다”가 아
66 니라, “여러 조건의 조합이 결과를 만든다”는 관점으로 데이터를 본다.

67 서울에서 부산을 간다고 생각해 보자. KTX를 탈 수도 있고, 자동차를 몰 수도 있고, 비행기를 탈 수도
68 있고, 자전거로 갈 수도 있다(시간은 좀 걸리겠지만). 목적지는 같은데 경로는 여러 가지다. QCA는 바
69 로 이런 “등가인과성(equifinality)”을 발견하는 데 강하다.

70 분석 결과, 높은 교육 효과에 이르는 충분경로가 8개 발견되었다.

71 경로 A: “조직이 밀어준다”

72 ~fDT * ~fSS * dept * edu_exp

73 DT 인식도 낮고, 스마트시스템 수준도 낮지만, DT 전담부서가 있고 이전에 DT 교육을 받
74 은 경험이 있는 기업

75 이것이 앞서 소개한 A사 같은 기업이다. 기업의 디지털 전환 수준 자체는 낮지만, 조직이 교육을 지원하
76 는 체계를 갖추고 있었다. 전담부서가 교육 참여를 독려하고, 이전 교육 경험이 학습의 토대가 되어, 새
77 로운 교육의 효과를 높인 것이다.

78 마치 영어를 잘 못하는 학생이지만, 부모님이 학원비를 대주고 매일 숙제를 봐주면 성적이 오르는 것과
79 비슷하다.

80 경로 B: “스스로 준비된”

81 fDT * fSS * ~dept * ~edu_exp

82 DT 인식이 높고, 스마트시스템도 갖췄지만, 전담부서도 없고 이전 교육 경험도 없는 기업

83 이런 기업은 이미 스스로 디지털 전환을 상당 부분 진행한 기업이다. 전담부서를 따로 두지 않아도, 사
84 장님이나 현장 관리자가 이미 DT를 이해하고 실천하고 있다. 교육은 이미 가지고 있는 지식에 체계를
85 더해주는 역할을 한다.

86 혼자 독학으로 프로그래밍을 배운 사람이 정규 교육과정을 들으면, 기초부터 배우는 사람보다 훨씬 빨
87 리 성장하는 것과 같은 이치다.

88 나머지 경로들: 다양한 성공의 레시피

89 경로 1, 2는 “조직이 밀어주는” 유형의 변형이고, 경로 3~5는 “스스로 준비된” 유형의 변형이다. 경로
 90 6, 7은 이 두 가지가 혼합된 형태다. 경로 8은 매우 특수한 조건의 틈새(niche) 경로로, 적용 범위(covS
 91 = 0.028)가 작지만 일관성은 높다.

92 주목할 점은 fSZ(기업 규모)가 여러 경로에서 등장한다는 것이다. 경로 2에서는 규모가 큰 기업이 DT
 93 인식 부족을 보완하고, 경로 5, 6, 7에서는 소규모 기업(~fSZ)이 다른 조건과 결합하여 성공에 이른다.
 94 기업 규모는 “크면 유리”가 아니라, 다른 조건과의 조합에 따라 역할이 달라진다.

95 8개 경로 상세

#	경로 조건	일관성(inclS)	적용범위(covS)	해석
1	~fDT * ~fSS * dept * edu_exp	0.753	0.126	DT 준비도 낮 으나 조직적 지 원(부서+교육 경험) 보유
2	~fDT * fSZ * dept * edu_exp	0.758	0.090	DT 인식 낮으 나 기업규모+조 직적 지원으로 보완
3	fDT * fSS * ~dept * ~edu_exp	0.763	0.171	DT 준비도 높 으면 조직적 지 원 없이도 고효 과
4	fDT * fED * ~dept * ~edu_exp	0.785	0.150	DT 인식+교육 훈련수준 높으 면 조직적 지원 불필요
5	fDT * ~fSZ * ~dept * ~edu_exp	0.753	0.169	DT 인식 높은 소규모 기업의 자율적 학습 경 로
6	fED * ~fSZ * dept * edu_exp	0.793	0.107	교육훈련 수준 +조직적 지원의 소규모 기업 경 로
7	~fDT * fSS * fED * ~fSZ * ~edu_exp	0.758	0.195	스마트시스템 +교육수준이 DT 인식 부족 보완

8	~fDT * fSS * ~fSZ * dept * ~edu_exp	0.776	0.028	스마트시스템 +부서 조합의 틈새 경로
---	--	-------	-------	----------------------------

이 표에서 주목할 점은 기술적 준비(fDT, fSS)와 조직적 준비(dept, edu_exp)가 대칭적으로 보완한다는 것이다. 둘 중 하나가 강하면 다른 하나가 약해도 높은 교육 효과에 도달할 수 있다. 마치 씨줄과 날줄처럼, 어느 한쪽이 약하면 다른 쪽이 보완해주는 구조다.

이 결과의 해석: “레시피의 범위와 신뢰도”

QCA의 두 가지 핵심 지표인 Coverage와 Consistency를 이해하면, 이 결과를 더 깊이 읽을 수 있다. 전체 8개 경로의 통합 통계를 보면:

- **Coverage = 0.431**: 이 8개 경로가 “높은 교육 효과” 사례의 약 43%를 설명한다. 요리에 비유하면, 맛있는 요리를 만드는 레시피가 여러 개 있는데, 우리가 발견한 8개 레시피가 전체 맛있는 요리의 43%를 만들어낸다는 뜻이다. 나머지 57%는 우리가 아직 측정하지 못한 다른 조건 조합(예: 경영진의 의지, 교육 강사의 역량, 업종 특성 등)이 설명할 것이다.
- **Consistency = 0.736**: 이 경로를 따르는 기업들 중 약 74%가 실제로 높은 교육 효과를 보였다. 완벽하지는 않지만, 충분히 의미 있는 수준이다.

조직환경(DV2) 결과: “더 적합한 측정 도구”

같은 분석을 종속변수만 바꿔서 한 번 더 했다. “Q3 전후 차이” 대신 “조직환경”을 결과 변수로 놓았을 때, 전체 Coverage가 0.716으로 크게 올라갔다. 이는 같은 조건 조합이 조직환경 변화를 훨씬 더 잘 설명한다는 뜻이다.

왜 그럴까? Q3 전후 차이는 “교육 전과 후에 특정 질문에 대한 답이 얼마나 달라졌는가”를 측정한 것으로, 단기적이고 개인적인 반응에 가깝다. 반면 조직환경은 “교육 내용이 조직 차원에서 활용될 수 있는 환경이 되었는가”를 측정한 것으로, 더 구조적이고 지속적인 변화를 반영한다. 기업 특성(DT 준비도, 조직 지원)이 영향을 미치기에 더 적합한 변수인 셈이다.

정책적 시사점: 포기하지 말 것

이 결과는 정책적으로 매우 중요한 함의를 갖는다. 만약 “DT 준비도가 높은 기업에 교육을 집중하자”는 정책을 편다면, 이는 이미 잘하고 있는 12.3%(P2)에게만 혜택을 주는 것이 된다. “부익부 빈익빈”이다. QCA 결과는 반대를 말한다. DT 준비도가 낮은 기업이라도, 전담부서를 지정하게 하고 교육 경험을 축적하게 하면, 높은 교육 효과에 도달할 수 있는 경로가 열린다.

비유하자면, 수영을 배우러 온 사람에게 “이미 수영을 좀 할 줄 아는 사람만 강습을 받으세요”라고 하는 것은 말이 안 된다. 수영을 전혀 못하는 사람이야말로 강습이 가장 필요한 사람이다. 다만 그 사람에게 는 보조 장비(조직적 지원)가 필요할 뿐이다.

이 장의 핵심 메시지

DT 준비도가 낮은 기업을 교육 대상에서 배제하지 말라. 조직적 지원 체계(전담부서, 이전 교육경험)가 갖춰지면 DT 준비도가 낮아도 높은 교육 효과를 달성할 수 있다. 성공으로 가는 길은 하나가 아니다.

2장. 중소기업은 3가지 유형으로 나뉜다

219개 기업을 들여다보면: “다 같은 중소기업이 아니다”

학교에는 여러 유형의 학생이 있다. 공부를 좋아하고 잘하는 학생, 좋아하지는 않지만 나름 하는 학생, 아직 시작도 못 한 학생. 기업도 마찬가지다. 219개 기업의 DT 인식, 스마트시스템 수준, 교육훈련 수준 데이터를 잠재 프로파일 분석(LPA)에 넣으면, 자연스럽게 3개의 유형이 드러난다.

LPA는 쉽게 말해 “비슷한 특성을 가진 기업끼리 자동으로 묶어주는” 분석 방법이다. 연구자가 “3개로 나뉘”라고 지정하는 것이 아니라, 데이터 스스로가 “3개가 가장 자연스럽다”고 알려주는 것이다. 이 분류의 정확도를 나타내는 Entropy 값은 0.846으로, 0.8 이상이면 “좋은 분류”로 간주된다. mclust 패키지를 이용한 교차검증에서도 3-클래스 솔루션이 가장 적합한 것으로 확인되었다.

3가지 프로파일

프로파일	비율	n	DT 인식 수준	특성
P1: DT 저수준	41.5%	115	~1.6점	DT 인식도 인프라도 모두 부족
P2: DT 고수준	12.3%	34	~3.5점	DT 전환 진행 중, 인프라 확보
P3: DT 중수준	46.2%	128	~2.2점	인식은 있으나 인프라 미비

각 프로파일을 가상의 기업 목소리로 들어보자.

P1 기업 (DT 저수준, 41.5%):

“솔직히 디지털 전환이라는 말 자체가 와닿지 않습니다. 우리 공장은 30년 동안 이렇게 해왔고, 잘 돌아가고 있어요. 컴퓨터는 사무실에서 회계 처리할 때나 쓰지, 생산 현장에서는 필요 없습니다.”

P2 기업 (DT 고수준, 12.3%):

“MES 시스템은 2년 전에 도입했고, 지금은 데이터 기반 의사결정을 확대하고 있습니다. 이번 교육에서는 AI 기반 품질 예측이나 디지털 트윈 같은 고도화 주제를 기대했는데, 기초적인 내용이 많아서 아쉬웠습니다.”

P3 기업 (DT 중수준, 46.2%):

“스마트팩토리가 필요하다는 건 알겠는데, 어디서부터 어떻게 시작해야 할지 모르겠어요. 정부 지원금으로 설비 하나 들여놓긴 했는데, 쓰는 사람이 없어서 먼지만 쌓이고 있습니다.”

숫자가 말하는 불편한 현실

이 표에서 가장 눈에 띄는 수치는 88%다. P1(41.5%)과 P3(46.2%)를 합하면, 전체 기업의 거의 90%가 DT 인식 2.2점 이하에 몰려 있다. 5점 만점의 2.2점이면 절반에도 못 미치는 수준이다.

이것은 마치 영어 교육을 하러 왔는데, 학생의 88%가 알파벳을 겨우 아는 수준인 것과 같다. 이 상태에서 “영어 회화 고급반”을 열면 대부분의 학생에게는 공허한 시간이 된다.

반면 DT 고수준(P2)은 12.3%에 불과하다. 이 기업들은 이미 어느 정도 스스로 걸을 수 있는 기업들이다. 교육의 초점이 다를 수밖에 없다.

Entropy = 0.846이 의미하는 것

통계에 관심 있는 독자를 위해 부연하면, Entropy는 분류의 정확도를 나타내는 지표로 0에서 1 사이의 값을 갖는다. 1에 가까울수록 각 기업이 명확하게 하나의 프로파일에 속한다는 뜻이고, 0에 가까우면 경계가 모호하다는 뜻이다.

0.846이면 높은 분류 정확도다. 즉, 이 3개 유형은 “연구자가 인위적으로 만든 구분”이 아니라, 데이터 안에 실제로 존재하는 뚜렷한 집단이라는 의미다. mclust 패키지를 이용한 교차검증에서도 3-클래스가 최적임이 확인되었다. 2-클래스로 하면 중요한 정보가 사라지고, 4-클래스로 하면 과적합(overfitting)의 위험이 생긴다.

프로파일별 특성 심층 비교

세 프로파일은 단순히 DT 인식 점수만 다른 것이 아니다.

P1(저수준) 기업의 전형적 모습: 직원 30명 내외, 대표이사가 모든 의사결정, 전산화는 회계 프로그램 정도, 생산 관리는 수기 또는 엑셀. “디지털 전환”이라는 단어를 들으면 “돈 많이 드는 것”으로 먼저 인식.

P2(고수준) 기업의 전형적 모습: 직원 100명 이상 또는 기술 집약적 소기업, DT 추진 경험 다수, MES 나 ERP 운영 중, 데이터 기반 의사결정 시도 중. 교육에서 “이미 아는 내용”이 많아 기대 수준이 높음.

P3(중수준) 기업의 전형적 모습: 직원 50~80명, DT 필요성은 인지하지만 어디서 시작할지 모름, 정부 지원사업으로 설비 1~2개 도입했으나 활용도 낮음. “의지는 있으나 역량 부족” 상태.

제안: 유형별 교육 차등화

이 분석이 시사하는 바는 명확하다. 모든 기업에 같은 교육을 제공하는 “원사이즈 핏 올” 방식은 효과적이지 않다. 기업 유형에 따라 교육의 수준, 내용, 방식을 차등화해야 한다. 학교에서도 반 편성을 할 때 수준별로 나누듯이, 기업 교육도 수준별 접근이 필요하다. 구체적 방안은 8장에서 다룬다.

3장. 반복 교육은 효과가 있다, 하지만...

좋은 소식: 숫자가 보여주는 향상

282건의 응답 중 47개 기업은 2회 이상 컨설팅 교육에 참여했다. 어떤 기업은 2022년에 처음 참여하고 2025년에 다시 왔고, 어떤 기업은 매년 빠짐없이 참여했다. 이 기업들의 첫 번째 참여와 마지막 참여를 비교하면:

- 교육훈련수준: +0.77점 향상 ($p < .001$, $d = 0.60$, 중간 효과크기)
- DT 인식 합산: +0.38점 향상 ($p < .001$, $d = 0.54$)

효과크기(d)가 0.60이라는 것은, 헬스장에 비유하면 이런 의미다. 3개월 동안 꾸준히 운동한 사람과 안 한 사람을 비교했을 때, 운동한 사람이 전체 인구의 약 73% 위에 위치하는 정도의 체력 향상을 보인 것이다. “완전히 다른 사람이 되었다”고 할 수는 없지만, “확실히 나아졌다”고 말할 수 있는 수준이다. +0.77이라는 점수 변화도 5점 척도에서 15% 이상의 향상이니, 교육적으로 의미 있는 변화다.

하지만 조심해야 할 것: 좋은 소식에 숨은 함정

여기서 중요한 질문이 하나 있다. 그 향상이 정말로 “교육 때문”인가? 이 질문은 불편하지만, 반드시 던져야 한다. 정직한 분석은 좋은 소식만 보고하는 것이 아니라, 그 좋은 소식의 한계도 함께 보고하는 것이기 때문이다.

생각해 보자. 헬스장 회원권을 2번 이상 갱신한 사람과 1번만 등록하고 그만둔 사람을 비교하면, 갱신한 사람의 체력이 더 좋을 것이다. 그런데 이것은 “헬스장이 효과적이어서” 그런 건지, 아니면 “원래 건강에 관심이 많고 체력이 좋은 사람이 헬스장을 계속 다니는 것”인지, 구분하기 어렵다. 이것을 통계학에서는 선택편향(selection bias)이라고 한다.

이 문제를 확인하기 위해 경향점수 매칭(PSM)을 실시했다. PSM은 복수참여 기업과 1회참여 기업 중에서 비슷한 특성을 가진 기업끼리 짝을 지어 비교하는 방법이다.

결과는? 복수참여 기업과 1회참여 기업 사이의 DT 인식 차이 SMD(표준화 평균차이)가 0.738이었다. SMD가 0.25 이상이면 “매칭이 필요할 정도로 차이가 크다”고 보는데, 0.738은 매우 강한 선택편향이 존재한다는 뜻이다.

쉽게 말하면, 2번 이상 교육에 참여한 기업은 원래부터 DT 인식이 높고 적극적인 기업이었다. T4에서 발견된 +0.77의 향상 중 상당 부분은 교육 효과가 아니라 “원래 좋은 기업이 계속 온 것”일 수 있다.

206 **평균회귀의 함정**

207 또 하나 주의할 것이 있다. 기초선 회귀 분석 결과, $R^2 = 0.275$, $\beta = -0.82$ 로 강한 평균회귀 효과가
208 확인되었다. 이것은 무엇을 의미하는가?

209 처음 시험에서 20점을 받은 학생이 두 번째 시험에서 50점을 받았다면, 30점이나 올랐다고 기뻐할 수
210 있다. 하지만 처음 시험에서 20점을 받은 이유 중 일부는 “컨디션이 안 좋았거나 우연히 낮게 나온
211 것”일 수 있다. 두 번째 시험에서 점수가 오른 것은 실력이 좋아진 게 아니라, 원래 실력 수준으로 되돌
212 아간 것일 수 있다. 이것이 **평균회귀(regression to the mean)**다.

213 $\beta = -0.82$ 라는 것은, 초기 점수가 1점 낮을수록 변화량이 0.82점 더 크다는 뜻이다. 초기 수준이 낮
214 은 기업일수록 더 큰 변화를 보이는데, 이 중 상당 부분은 통계적 **아티팩트(허상)**이다.

215 **궤적 유형: “모든 기업이 같은 방식으로 변하지 않는다”**

216 평균값(+0.77)은 전체 기업의 “대표값”이지만, 개별 기업의 이야기를 숨긴다. 47개 복수참여 기업의 변
217 화 궤적을 세밀하게 들여다보면, 크게 4가지 유형이 발견된다:

- 218 1. **동반향상형**: DT 인식과 교육훈련수준이 함께 올라가는 기업. 가장 이상적인 패턴이다.
- 219 2. **교육선행형**: 교육훈련수준이 먼저 올라가고, DT 인식은 뒤따라 올라가는 기업. “일단 해보니 이
220 해가 되더라”는 패턴.
- 221 3. **인식선행형**: DT 인식이 먼저 올라가고, 실제 훈련 수준은 뒤따라가는 기업. “필요성은 알겠는데
222 아직 실천이...”라는 패턴.
- 223 4. **정체형**: 반복 참여에도 불구하고 의미 있는 변화가 없는 기업. 형식적 참여이거나, 교육 내용이
224 기업 상황과 맞지 않았을 가능성.

225 이 궤적 유형은 정책적으로 중요한 함의를 갖는다. **동반향상형**과 **교육선행형**은 교육이 실질적으로 작동
226 하고 있는 기업이다. **인식선행형**은 추가적인 실습 지원이 필요한 기업이다. **정체형**은 교육의 형태나 내
227 용 자체를 재검토해야 하는 기업이다. 한 가지 교육을 모두에게 똑같이 제공하고 “효과 있음/없음”으로
228 이분법적으로 판단하는 것은 이 다양한 궤적을 무시하는 것이다.

229 마치 같은 약을 처방해도, 어떤 환자는 1주일 만에 호전되고, 어떤 환자는 3개월이 걸리고, 어떤 환자는
230 효과가 없는 것과 같다. 약의 효과를 **평균**으로만 판단하면 절반의 진실만 보게 된다.

231 **그래서 순수한 교육 효과는 얼마나 되는가?**

232 정확한 수치를 말하기는 어렵지만, 대략적인 추정은 가능하다. 전체 향상(+0.77) 중 선택편향과 평균회
233 귀를 제거하면, **순수한 교육 효과**는 대략 +0.3~0.4 수준으로 추정된다. 이것은 여전히 의미 있는 크기
234 다. 다만 +0.77이라는 겉보기 수치의 절반 정도라는 점을 인식해야 한다.

235 이것은 마치 다이어트 약의 효과를 측정하는 것과 비슷하다. “약을 먹고 5kg 빠졌다”는 것이 사실이라
236 해도, 약을 먹는 사람은 원래 식이조절과 운동도 함께 하는 경우가 많다. 약 자체의 순수 효과는 5kg보
237 다 작을 수 있다. 하지만 **효과가 있다**는 사실 자체는 부정할 수 없다.

이 장의 결론

반복 교육의 효과는 분명히 존재한다. 그러나 단순 전후비교 수치(+0.77)를 액면 그대로 받아들인다면 과대추정이 된다. 선택편향과 평균회귀를 고려하면, 순수한 교육 효과는 이보다 작을 것이다. 그래도 효과가 있다는 것 자체는 의미 있다. 정책적으로는 “반복 교육을 장려하되, 효과를 과장하지 말 것”이 적절한 태도다.

4장. “DT 교육을 받은 적 있다”는 것의 진짜 의미

표면적 결과: 경험이 있으면 더 좋다?

“이전에 DT 관련 교육을 받은 적이 있습니까?” 이 한 문항의 답이 “예”인 기업과 “아니오”인 기업을 비교하면, 흥미로운 차이가 나타난다.

단순하게 보면, 이전에 DT 관련 교육을 받은 경험이 있는 기업은 처음 교육을 받는 기업보다 만족도가 유의하게 높다($p = .007$, $d = 0.34$). 효과크기 $d = 0.34$ 는 “작은~중간” 수준으로, 의미 있는 차이이다. “경험이 효과를 높인다”는 직관적인 결론을 내릴 수 있다. 이전에 수영을 해본 사람이 수영 강습에서 더 빨리 배우는 것과 같은 이치로 보인다.

선택편향을 걷어내면

하지만 여기서도 3장과 같은 의문이 생긴다. DT 교육을 미리 받아본 기업은, 원래 교육에 관심이 많고 적극적인 기업이 아닌가? 이것은 마치 사립학교 학생의 성적이 공립학교보다 높다고 해서 “사립학교 교육이 더 좋다”고 단정하기 어려운 것과 같다. 사립학교에는 원래 교육에 투자할 여력이 있는 가정의 자녀가 많으니까.

PSM을 적용해 비슷한 특성의 기업끼리 매칭한 후 비교하면, p 값이 0.018에서 0.083으로 올라간다. 통상적으로 $p < 0.05$ 를 유의하다고 보므로, 0.083은 경계선 수준이다. 선택편향을 통제하면 효과가 약화되는 것이다.

SF 도입의 의외의 결과: “했다/안 했다”로는 부족하다

스마트팩토리(SF) 도입 여부의 효과를 PSM으로 분석한 결과는 더욱 극적이다. 매칭 전후 모두 비유의 적이었고, 효과크기 $d < 0.11$ 이었다. 이것은 “스마트팩토리를 도입했다/안 했다”라는 이분법적 구분이 교육 효과와 거의 무관하다는 뜻이다.

이분변수 vs 연속변수: 측정의 세밀함이 중요하다

그런데 흥미로운 반전이 있다. “SF 도입 여부”(예/아니오)는 교육 효과와 관계가 없었지만, “스마트시스템 합산 점수”(7개 영역의 연속형 점수)는 교육 효과와 강하게 유의한 관계($p = .002$)를 보였다.

왜 이런 차이가 날까? “도입했다”라고 답한 기업 중에는 설비 하나 들여놓고 “도입했다”고 하는 기업도 있고, 전 공정에 걸쳐 스마트시스템을 운영하는 기업도 있다. “했다/안 했다”로는 이 차이를 잡아낼 수 없다. 마치 “운동을 한다/안 한다”보다 “주당 운동 시간”이 건강 상태를 더 잘 예측하는 것과 같다.

천장효과와 바닥효과

분석 과정에서 주목해야 할 또 다른 현상은 천장효과와 바닥효과다.

- **천장효과**: 만족도 평균이 5점 만점에 4.66점이다. 거의 모든 기업이 “만족한다”고 답했다. 이렇게 높은 평균에서는 기업 간 차이를 구분하기 어렵다. 시험 문제가 너무 쉬워서 모두 95점 이상을 받으면, 누가 더 잘하는지 구별할 수 없는 것과 같다.
- **바닥효과**: 반대로 DT 인식은 전체의 88%가 2.2점 이하에 몰려 있어, 아래쪽에서의 변별이 어렵다.

이러한 천장/바닥효과 때문에, 만족도보다는 Q3 전후 차이나 조직환경을 주요 결과 변수로 사용하는 것이 더 정확한 분석을 가능하게 한다.

패널 회귀가 보여주는 또 다른 증거

이 결과는 T8-1 패널 회귀 분석과도 일맥상통한다. 패널 회귀에서 DT 인식(인지적 차원)은 교육 효과에 대해 경계 유의 수준($p = .073$)에 그쳤지만, 스마트시스템 합산 점수(실천적 차원)는 $p = .002$ 로 강하게 유의했다.

이것이 의미하는 바는 명확하다. “알고 있다”보다 “하고 있다”가 중요하다. DT가 뭔지 아는 것(인식)보다, 실제로 스마트시스템을 어느 정도 도입하고 운영하고 있는지(실천)가 교육의 현업 적용을 더 강력하게 예측한다. 이는 1장의 QCA 경로 B(fSS 조건 포함)와도 수렴하는 결과다.

이 장의 핵심 메시지

“교육 경험이 있다”는 것이 교육 효과를 높이는 것은 사실이지만, 그 효과의 상당 부분은 선택편향이다. 그리고 “도입했다/안 했다”같은 이분법적 측정보다, 연속적인 수준 측정이 훨씬 더 정확한 예측을 가능하게 한다. “인식”보다 “실천 수준”이 교육 효과를 좌우한다.

5장. 중소기업이 정말 필요로 하는 것

교육 필요성과 현실의 간극: “목마른 사슴”

목이 마를 때 물이 가장 절실하듯, 교육이 가장 필요한 곳에 교육을 집중해야 효과가 크다. 그렇다면 중소기업의 디지털 전환 교육에서 가장 목마른 곳은 어디인가?

IPA(중요도-실행도 분석) 겹분석 결과:

- 교육 필요성(중요도): 4.36점 (5점 만점)
- 교육 수준(실행도): 2.52점
- 갭: 1.84점

5점 척도에서 1.84점의 갭은 매우 크다. 기업들은 “교육이 절실히 필요하다”고 느끼는데(4.36점), 실제 교육 수준은 중간에도 못 미친다(2.52점). 이것은 IPA 매트릭스에서 Q2 “집중개선” 사분면에 해당하며, 가장 시급한 개선이 필요한 영역이라는 뜻이다.

7개 스마트시스템 영역 중 설비자동화가 2.45점으로 지속적 최저를 기록했다. 설비자동화는 제조 현장의 가장 기본적인 디지털 전환 영역인데, 여기가 가장 낮다는 것은 아직 출발선에도 서지 못한 기업이 많다는 의미다.

7영역 연도별 추세: “빠른 성장, 그리고 정체”

연도별 추이를 살펴보면 흥미로운 패턴이 보인다. 2022년에서 2023년 사이에 대부분의 영역에서 교육 수준이 대폭 상승했다. 컨설팅이 본격적으로 확대된 시기와 맞물린다. 그러나 2023년 이후에는 정체 내지 소폭 상승에 그쳤다. 초기에 “쉽게 따는 열매(low-hanging fruit)”를 수확한 후, 더 깊은 변화를 이끌어내는 데 어려움을 겪고 있는 것으로 해석된다. 이는 교육 프로그램의 고도화가 필요하다는 신호다.

어떤 교육이 실제로 효과적인가: “요리책 vs 요리 실습”

컨설팅은 여러 유형의 교육 과정을 제공한다. 과정 유형별로 Q3 전후 점수 차이를 비교해 보면:

과정유형	Q3 전후 차이	특성
MES 실무	+1.93	현장 밀착형, 실습 중심
스마트팩토리 실무	+1.71	사례 기반, 도입 실무
데이터 활용	+1.55	데이터 수집/분석 실습
공정개선	+1.42	현장 개선 프로젝트형
DT 전략	+1.28	경영전략 수립
DT 개론	+1.03	이론 중심, 개념 소개

MES 실무 과정(+1.93)이 DT 개론(+1.03)보다 약 2배 효과적이다.

313 이것은 요리를 배울 때의 차이와 같다. 요리책을 읽으며 이론을 배우는 것(DT 개론)과, 실제로 칼을 잡
314 고 재료를 다듬으며 요리를 해보는 것(MES 실무)의 차이다. 요리책 10권을 읽어도 칼질이 늘지 않는다.
315 직접 해봐야 실력이 는다.

316 갭의 의미를 다시 생각하면

317 1.84점이라는 갭을 다른 방식으로 표현해 보자. 교육 필요성은 87% 수준(4.36/5.0)인데, 실제 교육 수
318 준은 50% 수준(2.52/5.0)이다. 필요의 절반도 채우지 못하고 있다. 마치 하루에 2L의 물이 필요한데 1L
319 밖에 마시지 못하는 만성 탈수 상태와 같다.

320 특히 설비자동화(2.45점)가 지속적으로 최저라는 것은 주목할 만하다. 설비자동화는 스마트팩토리의
321 가장 기본적인 단계다. 이것이 가장 낮다는 것은 디지털 전환의 기초 체력이 부족하다는 의미다. 고급
322 데이터 분석이나 AI 적용을 논하기 전에, 설비에서 데이터를 자동으로 수집할 수 있는 기반부터 마련해
323 야 한다.

324 과정유형별 효과의 시사점

325 MES 실무(+1.93)와 DT 개론(+1.03)의 약 2배 차이는 단순한 숫자 이상의 의미를 갖는다. 이것은 교육
326 투자의 효율성에 직결된다. 같은 시간, 같은 비용을 투입해도, 교육 내용과 방식에 따라 효과가 2배 달
327 라진다면, 커리큘럼 설계의 중요성은 아무리 강조해도 지나치지 않다.

328 다만, 모든 기업에게 MES 실무가 적합한 것은 아니다. P1(저수준) 기업에게 MES 실무를 바로 가르치
329 면, 기초가 없어서 따라가기 어려울 수 있다. 유형별 교육 차등화(2장)와 결합해야 이 효과가 극대화된
330 다.

331 이 장의 핵심 메시지

332 교육 필요성과 현실의 갭은 매우 크다(1.84점). 이 갭을 메우려면 이론보다 실무 중심의 교
333 육이 필요하다. “왜 디지털 전환을 해야 하는가”를 설명하는 것보다, “어떻게 MES를 현장
334 에 적용하는가”를 가르치는 것이 2배 더 효과적이다. 단, 기업 수준에 맞는 실무 교육이어야
335 한다.

336

337 6장. 중소기업이 호소하는 7가지 어려움

338 숫자만으로는 기업의 실제 고민을 온전히 담을 수 없다. 그래서 기업들에게 “디지털 전환 과정에서 겪
339 는 어려움”을 자유롭게 적어달라고 했다. 제약 없이 본인의 말로 쓴 텍스트 데이터다. 수백 건의 이 텍
340 스트 응답을 구조적 토픽 모델(STM)로 분석하면, 자연스럽게 7개의 주제(토픽)가 떠오른다.

341 STM은 쉽게 말해 “사람이 수백 건의 글을 다 읽고 공통 주제를 정리하는 작업을 컴퓨터가 자동으로 해
342 주는 것”이다. 다만 사람과 달리 선입견 없이, 그리고 모든 글을 동일한 기준으로 분석한다. 마치 수백

343 통의 편지에서 공통된 고민 7가지를 뽑아내는 것과 같다. 왜 하필 7개인가? 5개부터 9개까지 다양한 토
344 픽 수를 테스트한 결과, 7개가 가장 의미 있고 해석 가능한 구조를 보여주었다.

345 1. 사출/금형/가공 – 업종 특화 기술 장벽

346 “사출 금형 제작 공정이 워낙 복잡해서, 데이터를 어떻게 잡아야 할지 모르겠습니다. 각 금
347 형마다 조건이 다르고, 숙련 기술자의 감에 의존하는 부분이 많아요.”

348 금형, 사출, 정밀가공 등 특정 업종의 고유한 기술적 장벽이다. 이 분야는 숙련 기술자의 경험과 감에 크
349 게 의존하는데, 이것을 데이터화하고 시스템화하는 것이 근본적으로 어렵다.

350 2. 데이터/인프라 – 디지털의 기본이 없다

351 “데이터를 모으고 싶어도 시스템이 없어요. 아직 수기로 생산 일지를 작성하고 있습니다. 네
352 트워크 인프라도 열악하고, 서버를 둘 공간도 없습니다.”

353 디지털 전환의 가장 기본인 데이터 수집 인프라가 부재한 기업이 많다. 건물을 짓기 전에 기초 공사가
354 필요하듯, 스마트팩토리를 논하기 전에 데이터를 모을 수 있는 환경부터 만들어야 한다.

355 3. 전문인력 – 사람이 없다

356 “DT를 추진하고 싶어도 관련 인력이 없습니다. 채용하려 해도 중소기업에 오려는 전문인력
357 이 없고, 기존 직원을 교육시키자니 시간과 비용이 부담됩니다.”

358 대기업은 DT 전담팀을 꾸릴 여력이 있지만, 중소기업에서는 한 사람이 여러 역할을 겸하는 것이 현실
359 이다. 생산 관리하면서 DT도 추진하라는 것은 무리한 요구다.

360 4. 근로자 적응 – 현장의 저항

361 “새로운 시스템을 도입하면 현장 근로자들이 반발합니다. 특히 고연령 작업자분들은 ‘지금
362 까지 이렇게 해왔는데 왜 바꾸냐’고 합니다. 태블릿 하나 배우는 데도 몇 주가 걸려요.”

363 기술의 문제가 아니라 사람의 문제다. 30년간 한 가지 방식으로 일해 온 사람에게 갑자기 태블릿으로
364 데이터를 입력하라고 하면, 저항이 당연하다. 이것은 교육의 문제이기도 하고, 변화 관리의 문제이기도
365 하다.

366 5. 스마트팩토리 도입 – 과정 자체의 어려움

367 “스마트팩토리를 도입하고 싶은데, 어디서부터 시작해야 할지 모르겠습니다. 업체마다 다
368 른 솔루션을 권하고, 비용도 천차만별이고, 우리 공장에 맞는 게 뭔지 판단이 안 됩니다.”

369 스마트팩토리 도입 과정 자체의 복잡성이 장벽이다. 정보의 비대칭이 크고, 잘못된 선택을 하면 비용 손
370 실이 크기 때문에 의사결정이 지연된다.

6. 품질관리 - 자동화의 과제

“불량을 관리가 가장 큰 골칫거리입니다. 품질 데이터를 실시간으로 모니터링하고 싶은데, 검사 공정 자동화에 비용이 너무 많이 듭니다.”

품질관리는 제조업의 핵심인데, 이것을 자동화하고 데이터 기반으로 전환하는 것이 쉽지 않다. 특히 중소기업에서는 검사 장비 투자 비용이 부담이 된다.

7. 교육훈련 체계 - 교육 자체에 대한 아쉬움

“교육이 너무 일반적입니다. 우리 업종, 우리 규모에 맞는 구체적인 교육이 필요한데, 대부분 대기업 사례 위주로 진행됩니다. 이론은 좋은데 현장에서 바로 적용할 수 있는 내용이 부족해요.”

교육 자체에 대한 불만이다. 교육의 현장 적합성이 떨어진다는 호소가 많다. 이것은 5장에서 확인한 “실무형 교육의 우월한 효과(MES 실무 +1.93 vs DT 개론 +1.03)”와 정확히 맞물리는 결과다. 기업들이 텍스트로 호소하는 내용과 수치 분석의 결과가 수렴하고 있는 것이다.

7가지 어려움의 연결 구조

이 7가지 어려움은 서로 독립적이지 않다. 전문인력이 없으니(3) 스마트팩토리 도입을 결정하기 어렵고(5), 도입해도 데이터 인프라가 없으니(2) 효과를 내기 어렵고, 현장 근로자가 적응하지 못하니(4) 품질관리 자동화(6)도 지연된다. 결국 교육훈련 체계(7)가 이 모든 것을 풀어주어야 하는데, 업종 특화(1) 내용이 부족하다.

마치 도미노 같다. 하나의 어려움이 해결되면 다른 어려움도 함께 완화될 수 있지만, 하나가 막히면 전체가 정체된다. 예를 들어:

- 전문인력(3)을 확보하면 → 스마트팩토리 도입 결정(5)이 빨라지고 → 데이터 인프라(2) 구축이 가능해지며
- 근로자 적응(4) 교육을 병행하면 → 품질관리 자동화(6)가 현장에서 작동하기 시작하고
- 이 과정에서 업종 특화(1) 노하우가 쌓이면 → 교육훈련 체계(7) 자체가 고도화된다

결국 이 7가지 어려움은 하나씩 각개격파하기보다, 연결 구조를 이해하고 전략적 순서로 접근해야 효과적이다. 8장의 실행 방안은 이 연결 구조를 고려하여 설계되었다.

11개 공변량 효과: 어떤 기업이 어떤 어려움을 더 호소하는가

STM의 강점은 단순히 토픽을 뽑아내는 것이 아니라, 어떤 특성을 가진 기업이 어떤 토픽을 더 많이 이야기하는지를 분석할 수 있다는 것이다. 연도, DT 인식, 교육훈련수준, 스마트시스템, DT 부서 보유, DT 교육경험, 법인 여부, SF 도입, 만족도, Q3 전후 차이, 조직환경까지 11개 공변량을 체계적으로 스크리닝했다.

주요 발견:

- DT 인식이 높은 기업은 “스마트” 토픽(토픽 5)을 더 많이 언급했다. 이것은 역설적으로 보이지만, DT를 잘 이해하는 기업일수록 스마트팩토리 구현의 구체적인 어려움을 더 정확하게 인식한다는 뜻이다. 모르면 어려운 줄도 모른다. 아는 만큼 고민이 깊어진다.
- DT 전담부서를 보유한 기업은 “훈련” 토픽(토픽 7)을 더 많이 언급했다. 부서가 있다는 것은 조직적으로 DT를 추진하고 있다는 뜻이고, 그만큼 교육의 필요성을 조직적으로 인식하고 있다는 뜻이다. 이는 1장의 QCA 경로 A(dept 조건)와도 일맥상통한다.
- 교육훈련수준이 높은 기업은 “훈련” 토픽은 줄어 들고, “불량”이나 “데이터” 토픽이 증가했다. 교육을 많이 받을수록 기본적인 교육 불만은 해소되지만, 대신 더 고도화된 과제(데이터 품질, 불량률 자동 감지 등)를 인식하게 된다는 의미다.
- 스마트시스템 수준이 높은 기업에서는 “사출” 토픽이 줄고 “데이터” 토픽이 증가했다. 기초적인 제조 장벽은 어느 정도 해결했지만, 데이터 고도화라는 새로운 과제가 부상하는 것이다. 이는 패널 회귀에서 스마트시스템이 교육 효과의 강력한 예측변수($p = .002$)라는 결과와 삼각검증된다.

이 공변량 효과를 종합하면, 기업의 DT 성숙도가 올라갈수록 호소하는 어려움의 성격이 변한다는 것을 알 수 있다. 초기에는 “사출/금형” 같은 업종 특화 기술 장벽을 호소하다가, 중간 단계에서는 “스마트팩토리 도입” 자체의 어려움을, 고도화 단계에서는 “데이터 품질”과 “고급 분석”의 어려움을 호소하게 된다. 교육도 이 성숙도 단계에 맞춰 진화해야 한다.

이 장의 핵심 메시지

기업의 어려움은 7가지 주제로 구조화되며, 이들은 서로 연결되어 있다. 기업의 DT 성숙도에 따라 호소하는 어려움의 성격이 달라지므로, 교육도 성숙도 단계별로 다른 내용을 제공해야 한다.

7장. 기술 수요는 어떻게 연결되어 있는가

6장에서는 기업이 “말하는” 어려움을 텍스트로 분석했다. 이 장에서는 기업이 “필요로 하는” 기술들을 네트워크로 분석한다. 텍스트가 정성적(qualitative) 접근이라면, 네트워크는 정량적(quantitative) 접근이다. 두 분석의 결과가 수렴한다면, 그것은 매우 강력한 증거가 된다.

핵심 관점은 이것이다: 기업들이 필요로 하는 기술들은 개별적으로 존재하는 것이 아니라, 서로 연결되어 있다.

429 18노드 네트워크, 밀도 0.719

430 기업들의 기술 수요를 네트워크로 표현하면, 18개 기술 영역(노드)이 촘촘하게 연결된 구조가 나타난다.
 431 네트워크 밀도가 0.719라는 것은 가능한 연결의 약 72%가 실제로 존재한다는 뜻이다. 비유하자면, 18
 432 명의 사람이 있는 방에서 가능한 모든 악수의 72%가 실제로 이루어진 것과 같다. 거의 모든 사람이 거
 433 의 모든 사람과 악수를 한 셈이다.

434 이것은 기술 수요가 매우 상호 의존적이라는 의미다. “설비자동화만 필요해요”라고 말하는 기업은 거의
 435 없다. 설비자동화가 필요한 기업은 대개 공정모니터링도, 데이터 관리도, 품질관리 자동화도 함께 필요
 436 로 한다. 기술 수요는 개별적이 아니라 패키지로 존재한다.

437 4종 네트워크 비교: “4대의 카메라로 같은 풍경 촬영”

438 같은 데이터를 4가지 다른 방식으로 네트워크를 구성해 비교했다. 왜 4가지나 만들었을까? 각 방식마다
 439 강조하는 측면이 다르기 때문이다:

네트워크 유형	쉬운 설명	핵심 발견
공동출현(Co-occurrence)	“A와 B를 함께 필요로 하는 기업이 몇 개인가?”	빈도 높은 기술 쌍이 주도
Lift	“기대보다 더 자주 함께 등장 하는 기술 쌍은?”	숨겨진 강한 연관 발견 (저빈도 기술 포함)
Phi	“A가 있으면 B도 있는가? A가 없으면 B도 없는가?”	양(+)/음(-) 방향 구분, 대체 관계 식별
Jaccard	“A 또는 B를 필요로 하는 전체 기업 중, 둘 다 필요로 하는 비율은?”	기업 규모 편향 제거

440 4가지 방식으로 봤을 때 핵심 연결(core edges)이 일관되게 나타났다는 것이 중요하다. 분석 방법을 바
 441 껴도 같은 구조가 보인다는 것은, 이 기술 수요 구조가 실제로 존재하는 강건한 패턴이라는 뜻이다.

442 연관규칙: “A 기술이 필요한 기업은 B도 필요”

443 Apriori 연관규칙 분석을 통해 방향성 있는 기술 연관을 파악했다. 예를 들어, “설비자동화가 필요하다
 444 고 응답한 기업은 공정모니터링도 필요하다고 응답할 확률이 기대치보다 2배 이상 높다(Lift > 2.0)”와
 445 같은 규칙이 도출된다.

446 연관규칙에서 Lift 값은 “기대 대비 실제 동시출현 빈도”를 나타낸다. Lift = 1.0이면 두 기술 수요가 독
 447 립적(관계 없음)이고, Lift > 2.0이면 기대보다 2배 이상 자주 함께 나타난다는 뜻이다. 마트에서 기저귀
 448 를 사는 고객이 맥주도 함께 사는 빈도가 기대보다 높다는 유명한 “기저귀-맥주 법칙”과 같은 원리
 449 다.

450 이러한 연관규칙은 교육 과정 설계에 직접 활용할 수 있다. “설비자동화 과정”을 수강하는 기업에게 “공
 451 정모니터링 과정”을 함께 추천하는 것이다. 마치 온라인 쇼핑몰에서 “이 상품을 구매한 고객은 이런 상

452 품도 구매했습니다”와 같은 원리다. 다만 쇼핑몰 추천은 매출을 높이기 위한 것이고, 여기서의 추천은
453 기업의 실질적 역량 향상을 위한 것이라는 차이가 있다.

454 커뮤니티 구조: 교육 트랙 설계 근거

455 네트워크에서 커뮤니티 탐지를 실시하면, 서로 밀접하게 연결된 기술 수요 그룹이 발견된다. 이 그룹들
456 은 자연스럽게 교육 트랙을 구성하는 근거가 된다.

457 예를 들어, “설비자동화-공정모니터링-품질관리”가 하나의 커뮤니티를 형성한다면, 이 세 주제를 하나
458 의 교육 트랙으로 묶어 제공하는 것이 기업의 실제 수요 구조에 부합한다.

459 중심성 분석: 필수 교육 vs 선택 교육

460 네트워크에서 중심성이 높은 노드는 다른 많은 기술과 연결되어 있는 핵심 기술이다. 이 기술은 모든 기
461 업이 공통으로 배워야 하는 “필수 교육”에 해당한다.

462 반면 중심성이 낮은 노드는 특정 기업에만 해당하는 기술이다. 이것은 “선택 교육”으로 제공하면 된
463 다.

464 예를 들어, “데이터 수집/관리”가 중심성이 가장 높다면, 이것은 모든 교육 트랙의 기본 과목이 되어야
465 한다. 반면 “AI 기반 품질예측”이 중심성이 낮다면, 이것은 P2(고수준) 기업을 위한 선택 과목으로 제공
466 하면 된다.

467 이렇게 네트워크 분석은 교육 과정 포트폴리오를 데이터 기반으로 설계할 수 있는 근거를 제공한다. 기
468 존에는 교육 전문가의 직관이나 벤치마킹에 의존하던 커리큘럼 설계를, 기업의 실제 수요 데이터에 기
469 반하여 할 수 있게 되는 것이다.

470 4종 네트워크의 수렴

471 4가지 서로 다른 방식으로 네트워크를 구성했을 때, 핵심 연결(core edges)이 일관되게 나타났다는 것
472 이 이 분석의 가장 중요한 결과다. 공동출현 네트워크에서 보이는 강한 연결이 Lift, Phi, Jaccard 네트워
473 크에서도 동일하게 나타난다면, 그 연결은 분석 방법의 산물이 아니라 데이터 안에 실재하는 구조라고
474 확신할 수 있다.

475 이것은 같은 풍경을 여러 카메라로 촬영하는 것과 같다. 일반 카메라, 적외선 카메라, 열화상 카메라, 자
476 외선 카메라로 찍었을 때, 네 장의 사진에서 모두 같은 위치에 같은 물체가 보인다면 그것은 틀림없이
477 존재하는 것이다.

네트워크 분석과 텍스트 분석의 수렴

6장의 STM에서 발견된 7개 토픽과 이 장의 네트워크 커뮤니티를 비교하면, 상당한 수렴이 관찰된다. 예를 들어, STM에서 “데이터” 토픽으로 분류된 어려움과 네트워크에서 “데이터 관리-정보 시스템-데이터 분석”이 밀접하게 연결된 커뮤니티는 같은 현상을 다른 방법으로 포착한 것이다.

정량 분석(네트워크)과 정성 분석(텍스트)이 같은 구조를 보여준다는 것은, 이 구조가 분석 방법의 인위적 산물이 아니라 현실에 존재하는 실체라는 강력한 증거다. 이러한 삼각검증은 이 연구 전체의 방법론적 강점이다.

이 장의 핵심 메시지

기술 수요는 개별적이 아니라 네트워크로 연결되어 있다. 이 연결 구조를 교육 트랙 설계, 필수/선택 교육 구분, 연관 기술 추천에 활용할 수 있다. 데이터가 교육 커리큘럼의 골격을 알려주고 있다.

8장. 그래서 어떻게 해야 하는가

지금까지 7개 장에 걸쳐 “무엇이 효과적이고 무엇이 문제인지”를 살펴보았다. 이 장에서는 그 모든 분석 결과를 종합하여, 실제로 무엇을 해야 하는지 구체적 실행 방안을 제시한다. 이 방안들은 “있으면 좋겠다”가 아니라 “데이터가 이렇게 하라고 말한다”에 기반한 것이다.

컨설팅 교육의 효과를 높이기 위한 6단계 실행 방안은 다음과 같다.

단계 1: 기업 유형 진단

교육 전에 참여 기업의 DT 준비도 유형을 진단해야 한다. 2장에서 확인한 3가지 프로파일(P1 저수준, P2 고수준, P3 중수준)을 기반으로, 간단한 사전 설문(DT 인식 3문항 + 스마트시스템 7문항)으로 기업을 분류한다.

이것은 병원에서 치료 전에 먼저 진단을 하는 것과 같다. 같은 “기침” 증상이라도, 감기인지 폐렴인지에 따라 처방이 달라야 한다. 현재는 모든 기업에게 동일한 진단 없이 같은 처방을 내리고 있는 셈이다.

사전 진단은 복잡할 필요가 없다. DT 인식 3문항과 스마트시스템 7문항, 총 10문항이면 충분하다. 교육 신청 시 온라인으로 5분 이내에 작성할 수 있고, 자동 분류 알고리즘을 적용하면 즉시 기업 유형이 판별된다. 이 작은 투자가 교육 효과를 크게 높일 수 있다.

단계 2: 유형별 커리큘럼 차등

프로파일	교육 목표	교육 내용	교육 방식
P1 (저수준, 41.5%)	DT 인식 제고 + 기초 역량 형성	DT 개념, 성공 사례, 기초 데이터 활용	현장 견학, 멘토링, 소규모 워크숍
P2 (고수준, 12.3%)	고도화 + 심화	AI 품질예측, 디지털 트윈, 데이터 분석	프로젝트 기반, 컨설팅 병행, 동종업체 네트워킹
P3 (중수준, 46.2%)	인식→실천 전환	MES 실무, 공정 데이터 수집, SF 도입 실무	실습 중심, 단계별 도입 로드맵, 사후 지원

P1 기업에게 “AI 기반 품질예측”을 가르치는 것은 알파벳을 모르는 학생에게 영어 에세이를 쓰게 하는 것과 같다. P2 기업에게 “DT가 왜 필요한지”를 설명하는 것은 대학생에게 구구단을 가르치는 것과 같다. 각 수준에 맞는 교육이 효과를 극대화한다.

단계 3: 조직적 지원 체계 동시 구축

1장의 QCA 분석에서 확인된 핵심 발견을 기억하자. DT 준비도가 낮아도 조직적 지원(전담부서 + 교육경험)이 있으면 높은 교육 효과를 달성할 수 있다. 이것은 이 보고서에서 가장 실행 가능성이 높은 발견이다. DT 인프라를 갖추는 것은 시간과 돈이 많이 들지만, 조직적 지원 체계를 만드는 것은 의지만 있으면 당장 시작할 수 있기 때문이다.

따라서 교육과 함께 조직적 지원 체계를 구축하는 프로그램을 병행해야 한다:

- DT 추진 담당자(풀타임이 아니어도 됨) 지정 권장 - 비용 제로, 의지만 필요
- 교육 전/후 경영진 브리핑 세션 - 경영진의 관심이 현장 적용의 열쇠
- 교육 수료 기업 간 동문 네트워크 구성 - 동종업체 간 정보 공유와 동기 부여
- 교육 내용의 현업 적용 계획서 작성 의무화 - “배웠으면 써야 한다”는 구조 마련

단계 4: 실무형 교육 비중 확대 (이론:실습 = 3:7)

5장에서 확인했듯이, MES 실무 과정(+1.93)이 DT 개론(+1.03)보다 약 2배 효과적이다. 현재 교육 과정의 이론:실습 비율을 점검하고, 실습 비중을 70% 이상으로 확대할 것을 제안한다.

실습은 가능하면 참여 기업의 실제 데이터나 공정을 활용하는 것이 바람직하다. “가상의 공장”이 아니라 “우리 공장”의 데이터를 가지고 실습하면, 교육과 현업 적용 사이의 간극이 줄어든다. 교육장에서 배운 것을 월요일 아침에 바로 현장에서 써볼 수 있어야 한다. 그래야 교육이 “들었던 이야기”가 아니라 “해본 경험”이 된다.

단계 5: 반복 참여 독려 + 소극적 기업 포섭

3장에서 확인했듯이, 반복 교육은 (선택편향을 고려하더라도) 효과가 있다. 문제는 이미 적극적인 기업만 반복 참여한다는 것이다.

소극적 기업(P1 유형)의 참여를 높이기 위한 방안:

- 첫 참여 후 3개월 이내 후속 과정 자동 안내 (경험이 식기 전에)
- 같은 지역, 같은 업종 기업의 동반 참여 인센티브
- 교육 참여의 정부 지원사업 연계 (교육 참여 = 추가 점수)
- 첫 참여 시 성공 경험을 만들어주는 맞춤형 초급 과정 우선 배치

핵심은 “소극적 기업이 참여하지 않는 것은 의지가 없어서가 아니라, 진입 장벽이 높아서”라는 인식의 전환이다. 진입 장벽을 낮추면 참여율은 올라간다. 6장의 STM 분석에서 확인했듯이, DT 인식이 낮은 기업(P1)은 “어디서부터 시작해야 할지 모르겠다”는 어려움을 가장 많이 호소한다. 첫 걸음을 쉽게 만들어 주는 것이 관건이다.

단계 6: 효과 측정 체계 고도화

현재의 만족도 중심 평가는 천장효과(평균 4.66/5.0)로 인해 변별력이 낮다. 다음과 같은 다층적 효과 측정 체계를 도입할 것을 제안한다:

수준	측정 내용	측정 시점	측정 도구
Level 1	반응(만족도)	교육 직후	기존 설문 (척도 차별화 필요)
Level 2	학습(지식 변화)	교육 전/후	Q3 전후 비교 (현행 유지)
Level 3	행동(현업 적용)	교육 후 3개월	조직환경/현업적용도 추적 설문
Level 4	결과(경영 성과)	교육 후 6~12개월	생산성, 불량률, 매출 등 객관적 지표

특히 Level 3, 4는 교육의 실질적 효과를 측정하는 것으로, 현재 부족한 부분이다.

6단계의 연결 구조

이 6단계는 순차적이면서도 순환적이다. 기업 유형을 진단하고(1단계), 그에 맞는 커리큘럼을 제공하며(2단계), 조직적 지원을 병행하고(3단계), 실무 중심으로 교육하며(4단계), 반복 참여를 독려하고(5단계), 효과를 측정하여(6단계) 다시 1단계의 진단에 반영한다. 데이터 기반의 지속적 개선 사이클이 만들어지는 것이다.

이 제안은 단순히 “더 잘하자”는 일반론이 아니다. 13가지 분석 방법을 통해 확인된 구체적인 실증 근거에 기반한 것이다. 각 단계가 어떤 분석 결과에 근거하는지를 정리하면:

단계	근거 분석
1. 기업 유형 진단	(LPA 3 프로파일)
2. 커리큘럼 차등	(프로파일별 특성) + (과정유형 비교)
3. 조직적 지원	(QCA 경로 A: dept + edu_exp)
4. 실무 교육 확대	(MES +1.93 vs DT개론 +1.03) + (IPA 갭)
5. 반복 참여 독려	(중단 효과) + (선택편향 인식)

단계	근거 분석
6. 효과 측정 고도화	(천장효과) + (PSM) + (조직환경 변별력)

548

549 마치며: 데이터가 알려주는 희망

550 219개 기업, 282건의 응답, 166개의 변수, 13가지 분석 방법. 이 모든 숫자 뒤에는 디지털 전환이라는
551 거대한 파도 앞에서 고군분투하는 중소기업들의 현실이 있다.

552 이 보고서의 분석 결과를 한 문장으로 요약하면 이렇다:

553 중소기업 디지털 전환 교육은 효과가 있다. 다만, 모든 기업에 같은 방식으로 효과가 있는
554 것은 아니다.

555 상식과 달리, DT 준비도가 낮은 기업이라고 해서 교육 효과가 없는 것이 아니다. 조직적 지원이 함께하
556 면 충분히 높은 효과를 달성할 수 있다. 반복 교육도 효과가 있지만, 선택편향을 고려하면 단순 수치보
557 다는 작을 것이다. 이론 교육보다 실무 교육이 2배 가까이 효과적이고, 이분법적(“했다/안 했다”) 측정
558 보다 연속적 수준 측정이 훨씬 정확하다.

559 그리고 가장 중요한 것은, 올바른 지원 + 실무 중심 교육 + 반복 참여라는 조합이 갖춰지면, DT 준비도
560 가 낮은 기업도 변화할 수 있다는 것이다. 219개 기업의 데이터가 그것을 말해준다.

561 A사 이야기로 돌아가자. DT 인식 1.4점이었던 그 금형 제조업체는 어떻게 교육 효과 상위 30%에 들었
562 을까? 사장님이 교육에 직접 참여했고, DT 추진 담당자를 지정했고, 교육에서 배운 것을 바로 다음 날
563 현장에 적용해 봤다. 기술이 아니라 조직의 의지가 차이를 만들었다. 이것은 QCA 경로 A가 실제 기업
564 에서 어떻게 작동하는지를 보여주는 생생한 사례다.

565 반면 B사는 어떤가? DT 준비도는 높았지만, 교육 내용이 이미 알고 있는 수준이었고, 교육 후 새로 적
566 용할 것이 없었다. 이 기업에게는 기초 교육이 아니라 고도화 과정이 필요했던 것이다. 2장의 유형별 교
567 육 차등화가 왜 중요한지, B사가 잘 보여준다.

568 중소기업 디지털 전환 교육의 딜레마는 여전히 존재한다. 하지만 데이터는 그 딜레마를 풀 수 있는 실마
569 리도 함께 제공하고 있다.

570 마지막으로, 이 분석의 한계도 명확히 인식해야 한다. 282건의 응답, 219개 기업은 한국 전체 중소 제조
571 업의 극히 일부다. 컨설팅에 자발적으로 참여한 기업이므로 “교육에 관심이 있는 기업”에 편향되어 있
572 을 수 있다. 자기보고식 설문이므로 객관적 성과(매출, 생산성)와의 연결이 부족하다. 이러한 한계 속에
573 서도, 4개년 데이터와 13가지 분석 방법을 동원한 이 연구가 현재 가용한 최선의 실증 근거를 제공하고
574 있다고 말할 수 있다.

575 이 보고서가 그 실마리를 찾는 데 도움이 되기를 바란다. 219개 기업의 목소리가 담긴 이 데이터가, 더
576 나은 중소기업 디지털 전환 교육 정책으로 이어지기를 기대한다.

577 끝으로 한 가지를 덧붙인다. 이 보고서에서 반복적으로 강조한 것은 “단순하게 보지 말라”는 것이다.
578 “DT 준비도가 높아야 교육이 효과적이다”는 단순한 가정은 데이터에 의해 기각되었다. “반복 교육이

579 효과적이다”는 단순한 결론은 선택편향에 의해 수정되었다. “SF를 도입했으면 효과가 있을 것이다”라
580 는 단순한 기대는 이분법적 측정의 한계로 무색해졌다.

581 현실은 단순하지 않다. 하지만 복잡한 현실 속에서도 패턴은 존재한다. 13가지 분석 방법을 동원한 이
582 유가 바로 그것이다. 하나의 렌즈로는 보이지 않는 패턴이, 여러 렌즈를 겹쳐 보면 선명하게 드러난다.
583 그리고 그 패턴은 행동 가능한 실천 방안으로 이어진다.

584

585 부록: 분석 방법 요약

586 이 보고서에서 사용된 13가지 분석 방법을 간략히 정리한다. 각 방법이 어떤 질문에 답하기 위한 것인
587 지를 중심으로 설명한다. 통계적 세부 사항은 의도적으로 생략했으며, 관심 있는 독자는 각 트랙별 상세
588 분석 보고서를 참조할 수 있다.

589 이 13가지 방법은 크게 4가지 범주로 묶인다:

- 590 • 탐색적 분석 : 데이터의 전반적 구조와 관계를 살펴보는 방법
- 591 • 유형화/경로 분석 : 기업을 분류하고 성공 조건을 찾는 방법
- 592 • 종단/인과 분석 : 시간에 따른 변화와 인과관계를 추정하는 방법
- 593 • 텍스트/네트워크 분석 : 정성 데이터와 관계 구조를 분석하는 방법

트랙	분석 방법	쉬운 설명	답하려는 질문
T0	기술통계, 상관, 집단비교	데이터의 전반적 특성과 변수 간 관계 살펴보기	“DT 준비도와 교육 효과 사이에 관계가 있는가?”
T1	회귀분석, 요인분석	원인과 결과의 관계, 측정 도구 검증	“DT 인식이 교육 효과를 예측하는가?”
T2	잠재 프로파일 분석 (LPA)	비슷한 기업끼리 자동 분류	“기업들이 몇 개 유형으로 나뉘는가?”
T3	질적비교분석 (QCA)	성공의 “레시피” 찾기	“높은 교육 효과를 만드는 조건 조합은?”
T4	종단 분석	시간에 따른 변화 추적	“반복 교육이 실제로 변화를 만드는가?”
T5	구조적 토픽 모델 (STM)	텍스트에서 공통 주제 추출	“기업들이 호소하는 어려움의 구조는?”
T6	네트워크 분석 + 연관규칙	기술 수요 간 연결 구조 파악	“어떤 기술 수요가 함께 나타나는가?”
T7	IPA 껍분석	필요 vs 현실의 차이 측정	“교육이 가장 시급한 영역은 어디인가?”
T8-1	패널 회귀	시간을 고려한 인과관계 추정	“어떤 요인이 교육 효과를 예측하는가?”
T8-2-1	PSM (DT 교육경험)	선택편향 통제 후 효과 재측정	“교육 경험의 효과가 진짜인가?”

트랙	분석 방법	쉬운 설명	답하려는 질문
T8-2-2	PSM (SF 도입)	선택편향 통제 후 효과 재측정	“SF 도입이 교육 효과를 높이는가?”
T8-2-3	PSM (복수참여)	선택편향 통제 후 효과 재측정	“반복 참여 기업이 정말 더 좋아지는가?”
삼각검증	다중 분석 결과 교차 확인	여러 렌즈로 같은 현상 확인	“여러 분석이 같은 결론을 가리키는가?”

594 핵심 수치 한눈에 보기

595 이 보고서에서 반복적으로 등장하는 핵심 수치를 한곳에 모았다. 각 수치가 어떤 장에서 어떤 맥락으로
596 등장하는지를 참고하면 보고서를 다시 읽을 때 도움이 된다.

수치	의미	등장 장
$r = 0.06 \sim 0.18$	DT 준비도-교육효과 상관 (매우 약함)	1장
8개 경로	높은 교육효과와 충분조건 조합 수	1장
Coverage 0.431 / 0.716	QCA 해의 설명 범위 (Q3차이 / 조직환경)	1장
88%	DT 인식 2.2점 이하 기업 비율	2장
Entropy 0.846	LPA 분류 정확도	2장
+0.77 (d=0.60)	반복교육 후 교육훈련수준 향상	3장
SMD 0.738	복수참여 기업의 선택편향 크기	3장
$R^2 = .275$, $\beta = -0.82$	평균회귀 효과 크기	3장
$p .007 \rightarrow .083$	DT교육경험 효과 (PSM 전/후)	4장
$p = .002$	스마트시스템 $\rightarrow$ 교육효과 (패널 회귀)	4장
갭 1.84점	교육 필요성 vs 교육 수준 차이	5장
+1.93 vs +1.03	MES 실무 vs DT 개론 효과 비교	5장
7 토픽	STM에서 도출된 애로사항 주제 수	6장
밀도 0.719	기술수요 네트워크 연결 밀도	7장

분석 간 삼각검증 관계

이 13가지 분석은 독립적이 아니라 서로를 검증하는 관계에 있다. 주요 삼각검증 결과를 정리하면:

발견	지지하는 분석들	수렴 강도
DT 준비도와 교육 효과는 비선형	T0(약한 상관) + T3(8개 경로) + T2(프로파 일별 차이)	강함
조직적 지원이 교육 효과를 촉진	T3(경로A) + T5(훈련 토픽) + T8-1(패널 회귀)	중간
실무형 교육이 더 효과적	T0(과정유형 비교) + T7(IPA 갭) + T5(훈련 토픽)	강함
반복참여 효과는 존재하나 과대추정	T4(+0.77) + T8-2-3(SMD=0.738) + 기초선 회귀(R ² =.275)	강함
기술수요는 구조화된 패턴 존재	T5(7토픽) + T6(4종 네트워크 수렴) + T7(IPA 영역별 갭)	강함
실천 수준이 인식보다 중요	T8-1(p=.002) + T8-2-2(SF 이분법 비유의) + T3(경로B)	강함

발산하는 증거(수렴하지 않는 결과)도 있으며, 이는 추가 연구가 필요한 영역을 가리킨다:

- SF 도입 여부(이분형)는 비유의적이지만, 스마트시스템 수준(연속형)은 강하게 유의 - 측정 방식의 차이가 결과를 좌우
- DT 교육경험 효과가 매칭 전(p=.007)과 후(p=.083)에서 달라짐 - 선택편향의 크기에 대한 추가 연구 필요
- 만족도는 천장효과(M=4.66)로 변별력 부족 - 측정 도구 개선 필요