creative commons

COMMONS DEED

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

dCollection

교육학박사학위논문

구조적 인과 모형을 활용한 중등교사의 교수역량에 대한 영향요인 분석

2023년 8월

서울대학교 대학원

교육학과 교육학전공

양 혜 원

구조적 인과 모형을 활용한 중등교사의 교수역량에 대한 영향요인 분석

지도교수 백 순 근

이 논문을 교육학박사 학위논문으로 제출함
2023년 5월

서울대학교 대학원
교육학과 교육학전공
양 혜 원

양혜원의 박사 학위논문을 인준함
2023년 7월

위 원 장 _____

부위원장 _____

위 원 _____

위 원 _____

위 원 _____

국 문 초 록

교사는 학생들과 신뢰와 사랑을 바탕으로 한 관계를 토대로 교수활동을 수행하면서 개별 학생의 지식, 기능, 태도 등이 바람직한 방향으로 변화할 수 있도록 도움을 줄 것으로 기대된다. 따라서 교사의 교수역량에 대한 이해를 바탕으로 이를 증진하기 위한 연구들이 충분히 이루어질 필요가 있다. 교사의 교수역량의 중요성이 그동안 지속적으로 강조되면서 교수역량에 영향을 미치는 요인이 무엇인지 탐색하는 연구들이 수행되어 왔다. 그러나 기존의 선행연구는 교수역량의 영향요인에 대해 이론적인 논의에 초점을 맞추고 경험적으로 입증하는 데까지는 이르지 못하였거나, 연구자가 선정한 몇 가지 관심 변인 간의 관계를 규명하는 데에만 초점을 맞추는 등 제한적으로 이루어져 왔다. 따라서 교직 환경의 다양한 요인들과 교수역량 사이의 인과 관계를 종합적으로 파악하기 위해서는 추가적인 연구가 필요한 실정이다. 한편, 미국과 일본은 한국의 교육체제에 큰 영향을 주었을 뿐만 아니라, 한국의 교원정책 수립 및 개선에도 중요하게 참고하고 있는 국가들이다. 이러한 점들을 고려하여 이 연구에서는 구조적 인과 모형을 활용하여 한국, 미국, 일본 중등교사의 교수역량에 대한 영향요인을 분석하였다. 주요 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 한국, 미국, 일본 중등교사의 교수역량과 이에 대한 주요 예측요인들로 구성된 인과 그래프는 어떠한가?

둘째, 한국, 미국, 일본의 인과 그래프에 나타난 중등교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 관계는 어떠한가?

셋째, 한국, 미국, 일본의 인과 그래프는 교수역량과 영향요인 간의 인과 효과 추정에 어떻게 활용될 수 있는가?

분석 자료는 OECD가 주관하는 교수학습국제조사에서 가장 최근 실시된 3주기 조사(TALIS 2018) 자료를 활용하였으며, 한국, 미국, 일본 중

등교사 및 학교장의 응답 자료를 연구 대상으로 하였다. TALIS 2018 데이터는 한 학교에 여러 명의 교사가 속해있는 다층 구조를 지니고 있음을 고려하여 혼합효과 랜덤 포레스트 모델을 적용하여 국가별 교사의 교수역량에 대한 예측요인을 중요도 값을 기준으로 상위 20개씩 추출한 이후, 인과 디스커버리 알고리듬을 적용하여 국가별 교사의 교수역량과 예측요인들로 구성된 인과 그래프를 산출하였다. 그리고 국가별 인과 그래프를 바탕으로 교사의 교수역량과 영향요인 사이의 인과 관계를 분석하였으며, 인과 그래프에 나타난 변인 간 인과 관계에 대한 메커니즘을 바탕으로 한 인과 추론의 예시를 사례로 제시하였다. 주요 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 혼합효과 랜덤 포레스트 분석을 통해 추출된 한국, 미국, 일본 중등교사의 교수역량에 대한 예측요인들의 합집합은 35개였다. 국가별로 동일하게 35개의 예측요인들을 인과 디스커버리 분석에 투입하였으며, 이때 3개의 알고리듬(PC, Tabu Search, MMHC)을 적용하였다. 분석 결과, 알고리듬별로 산출된 평균 그래프 구조에 차이가 있었으며, 이 연구에서 활용한 TALIS 2018 데이터에는 Tabu Search 알고리듬이 가장 적합한 것으로 나타났다. 이와 같은 결과를 토대로 Tabu Search 알고리듬을 적용한 3개 국가의 인과 그래프의 노드는 결과변인인 교수역량을 포함하여 총 36개이며, 방향성 화살표는 한국 96개, 미국 99개, 일본 124개로 구성되었다. 또한 평균 마코프 블랭킷 크기와 평균 분기 계수도 국가별로 차이가 있었는데, 일본의 그래프에서 평균 마코프 블랭킷 크기와 평균 분기 계수가 가장 크고, 한국의 그래프에서는 가장 작은 것으로 나타났다.

둘째, 국가별 인과 그래프를 바탕으로 교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 경로 및 공변인 조정 집합을 분석하였다. ‘교사의 자기 효능감’ 주제에서 3개 요인(수업지도 자기 효능감, 학생참여 자기 효능감, 교실관리 자기 효능감), ‘교사의 직무 만족도 및 동기’ 주제에서 5개 요인(사회적 효용에 대한 동기, 직장 복지 및 스트레스, 학생 태도 스트레스, 업무량 스트레스, 특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스), ‘교사의 피드

백 및 전문성 개발' 주제에서 2개 요인(범교과 기술에 대한 교수법, 교사-학부모(보호자) 협력을 주제로 한 전문성 개발 활동 참여), '학교 풍토' 주제에서 1개 요인(지각된 규율 환경)이 3개 국가에서 공통적으로 교사의 교수역량에 인과적으로 영향을 주는 것으로 나타났다. 다만, 국가 간 공통적인 영향요인이라고 하더라도, 교수역량과의 인과 효과를 추정하고자 할 때 통제해야 하는 공변인 조정 집합은 국가별 인과적 메커니즘에 따라 차이가 있었다. 이 밖에, 한국에서 4개, 미국에서 8개, 일본에서 12개의 영향요인이 추가로 확인되었다.

셋째, 인과 그래프에 기반한 교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 효과 분석의 예시로, '교사-학부모(보호자) 협력을 주제로 한 전문성 개발 활동 참여'가 중등교사의 '교수역량'에 미치는 평균처치효과(ATE)를 분석하였다. 분석 결과, 3개 국가에서 모두 교사-학부모(보호자) 협력을 주제로 한 전문성 개발 활동 참여가 중등교사의 교수역량에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 추가로, 인과 효과 추정 과정에서 공변인 통제 방식의 차이를 분석하기 위해, 한국 데이터를 활용하여 ①구조적 인과 모형에 근거하여 선정된 공변인 집합과 ②전통적인 통계적 유의확률에 근거하여 선정된 공변인 집합을 비교하였다. 분석 결과, 구조적 인과 모형에 근거한 공변인 집합은 1개이고 통계적 유의확률에 근거한 공변인 집합은 14개였으며, 인과 그래프에 나타난 변인 간의 인과적인 메커니즘을 고려하였을 때 구조적 인과 모형을 활용하여 인과 효과를 추정하는 것이 더 효율적인 것으로 나타났다.

이 연구는 한국, 미국, 일본 중등교사의 교수역량과 이에 대한 영향요인들 사이의 인과적 메커니즘에 국가별로 차이가 있음을 명시적으로 드러내었다. 또한 교육학 연구에서 구조적 인과 모형에 바탕을 둔 인과 관계 분석의 유용성을 확인하였으며, 구조적 인과 모형을 활용하여 효과적으로 인과 관계를 추정할 수 있음을 드러내었다는 점에서 의의가 있다. 이 연구에서 활용한 구조적 인과 모형은 교육학 연구의 다양한 범위에서 다루는 인과 추론 문제에 적용될 수 있을 것이며, 후속 연구를 통해 정교하게 발전시킬 필요가 있다. 아울러 구조적 인과 모형에 근거한 교사

의 교수역량 관련 종단 연구를 수행하거나 교수역량 증진을 위한 정책 효과 분석 등의 심층적인 후속 연구가 수행될 필요가 있다.

주요어 : 구조적 인과 모형, 영향요인, 교수역량, 혼합효과 랜덤 포레스트, 인과 디스커버리, 인과 추론

학 번 : 2020-32051

목 차

Ⅰ. 서론 ····· 1
1. 연구의 필요성 및 목적 ····· 1
2. 연구 문제 ····· 6

Ⅱ. 이론적 배경 ····· 7
1. 교수역량 ····· 7
가. 교수역량의 정의 ····· 7
나. 교수역량에 대한 영향요인 ····· 12
2. 구조적 인과 모형 ····· 19
가. 구조적 인과 모형의 개요 ····· 20
나. 구조적 인과 모형에 근거한 인과 추론 ····· 28

Ⅲ. 연구 방법 ····· 37
1. 분석 데이터 ····· 37
가. 결과 변인 ····· 40
나. 예측요인 ····· 43
2. 분석 방법 ····· 48
가. 혼합효과 랜덤 포레스트 모델 ····· 48
나. 인과 디스커버리 알고리듬 ····· 50
다. 인과 경로 및 효과 분석 ····· 56
3. 연구 절차 ····· 58

Ⅳ. 연구 결과 ····· 59
1. 국가별 중등교사의 교수역량과 주요 예측요인들로 구성된 인과 그래프 산출 ····· 59
가. 국가별 중등교사의 교수역량에 대한 주요 예측요인 ····· 59
나. 인과 디스커버리 알고리듬에 따른 국가별 인과 그래프 산출 결과 비교 ····· 67
다. 국가별 인과 그래프 ····· 72
2. 국가별 중등교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 관계 분석 ····· 79
가. 국가별 중등교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 경로 ····· 81
나. 국가 간 중등교사의 교수역량에 대한 영향요인 비교 ····· 97
3. 국가별 중등교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 효과 분석(예시) ····· 102
가. 구조적 인과 모형에 근거한 인과 효과 분석 ····· 102
나. 구조적 인과 모형과 통계적 유의확률에 근거한 공변인 집합 비교 ····· 105

Ⅴ. 요약 및 논의 ····· 110
1. 요약 ····· 110
2. 논의 및 제언 ····· 113
가. 논의 ····· 113
나. 연구의 의의 및 제언 ····· 118

참고문헌 ····· 121
부록 ····· 142
Abstract ····· 154

표 목 차

<표 Ⅱ-1> 인과 관계의 위계적 특징 ····· 25
<표 Ⅲ-1> 국가별 조사 표본 개요 ····· 39
<표 Ⅲ-2> 교수역량 측정 문항 내용 ····· 41
<표 Ⅲ-3> 국가별 결과 변인(교수역량) 기술통계 ····· 42
<표 Ⅲ-4> 교수역량 예측요인(교사 수준) ····· 45
<표 Ⅲ-5> 교수역량 예측요인(교장 수준) ····· 47
<표 Ⅲ-6> 인과 디스커버리 분석을 위한 R 코드 예시 ····· 56
<표 Ⅲ-7> 인과 경로 분석을 위한 R 코드 예시 ····· 57
<표 Ⅳ-1> 한국 교사의 교수역량에 대한 상위 20개 주요 예측요인 61
<표 Ⅳ-2> 미국 교사의 교수역량에 대한 상위 20개 주요 예측요인 63
<표 Ⅳ-3> 일본 교사의 교수역량에 대한 상위 20개 주요 예측요인 ·65
<표 Ⅳ-4> 국가별 교사의 교수역량에 대한 상위 20개 주요 예측요인 66
<표 Ⅳ-5> 유의미 임계값(significance threshold)에서 인과 디스커버리 알고리듬별 분석 결과 비교(한국) ····· 69
<표 Ⅳ-6> 유의미 임계값(significance threshold)에서 인과 디스커버리 알고리듬별 분석 결과 비교(미국) ····· 70
<표 Ⅳ-7> 유의미 임계값(significance threshold)에서 인과 디스커버리 알고리듬별 분석 결과 비교(일본) ····· 71
<표 Ⅳ-8> 그래프 노드 번호 목록 ····· 74
<표 Ⅳ-9> 국가별 인과 그래프의 특징 비교 ····· 78
<표 Ⅳ-10> 한국 교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 경로 ····· 82
<표 Ⅳ-11> 미국 교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 경로 ····· 86
<표 Ⅳ-12> 일본 교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 경로 ····· 91

<표 Ⅳ-13> 국가 간 교사의 교수역량에 대한 영향요인 비교 ·· 100
<표 Ⅳ-14> 교사-학부모(보호자) 협력을 주제로 한 전문성 개발 활동 참여가 교수역량에 미치는 영향 ····· 105
<표 Ⅳ-15> 공변인 탐색을 위한 로지스틱 회귀 분석 결과 ····· 107

그 림 목 차

[그림 Ⅱ-1] 인과 그래프 예시(1) ····· 22
[그림 Ⅱ-2] 인과 그래프 예시(2) ····· 23
[그림 Ⅱ-3] 순환하는 경로를 지니는 방향성 그래프 예시 ····· 24
[그림 Ⅱ-4] 개입 체제에서의 인과 그래프 예시 ····· 27
[그림 Ⅱ-5] 뒷문 기준의 적용 예시 ····· 29
[그림 Ⅱ-6] 앞문 기준의 적용 예시 ····· 32
[그림 Ⅱ-7] 인과 효과 유도에 대한 그래프 G의 하위 그래프 ···· 34
[그림 Ⅲ-1] 경험적 CDF $F_{\hat{p}(.)}$(좌측), CDF $F_{\tilde{p}(.)}$(중앙), L_1-norm(우측) 54
[그림 Ⅲ-2] 연구 추진 절차 ····· 58
[그림 Ⅳ-1] 인과 디스커버리 알고리듬별 임계값에 따른 BIC 점수 73
[그림 Ⅳ-2] 한국의 인과 그래프 ····· 75
[그림 Ⅳ-3] 미국의 인과 그래프 ····· 76
[그림 Ⅳ-4] 일본의 인과 그래프 ····· 77
[그림 Ⅳ-5] 인과 그래프를 활용한 인과 관계 분석의 예시 ····· 80
[그림 Ⅳ-6] TALIS 2018 주제에 따른 국가별 영향요인의 수 비교 101
[그림 Ⅳ-7] 영향요인과 결과변인 사이의 인과 경로 및 뒷문 경로 · 103
[그림 Ⅳ-8] 경향점수 균형성 측정 결과 ····· 109

Ⅰ. 서론

1. 연구의 필요성 및 목적

세계 각국과 국제기구들은 교사의 역량을 강화하기 위해 지속적인 노력을 기울이고 있다(국가교육회의, 2022; European Commission, 2011; 2012; Okayama University ESD Promotion Centre, 2020; Québec Ministère de L'Education, 2021). 교사에게 요구되는 다양한 역량 중에서도 교수역량(teaching competency)은 교사가 효과적으로 교수활동을 수행하기 위해 갖추어야 할 중요한 역량이다. 교사는 학교에서 교과지도, 생활지도, 행정업무 등의 다양한 직무를 수행한다. 그중에서도 학생들에게 교과 내용을 가르치는 데 할애하는 시간은 교사의 총 근무 시간 중 가장 많은 부분을 차지한다(OECD, 2019b; 2022). 특히 교사는 학생들과 신뢰와 사랑을 바탕으로 한 관계를 토대로 교수활동을 수행하면서 개별 학생의 지식, 기능, 태도 등이 바람직한 방향으로 변화할 수 있도록 도움을 줄 것으로 기대된다(백순근, 2000)는 점에서 교수역량에 대한 연구들이 충분히 이루어질 필요가 있다.

교수역량은 교사의 개인적인 특성 및 교사가 근무하는 학교의 특징과 관련된 다양한 요인들과 인과적인 관계를 맺을 수 있다. 따라서 교수역량에 영향을 주는 요인들을 파악함으로써 교사의 교수역량 증진을 위한 정보를 제공하고자 하는 선행연구들이 수행되어왔으나, 기존의 선행연구는 다음과 같은 제한점이 있다.

첫째, 일부 선행연구는 교수역량의 영향요인에 대해 이론적으로 논의하는 데 초점을 맞추고 경험적으로 입증하는 데까지는 이르지 못하였다. 예컨대, OCED(2014) 보고서에서는 교수활동(teaching practices), 교사의 신념(teachers' beliefs), 교실 환경(classroom environment), 학교 분위기(school climate), 직무 관련 태도(job-related attitudes) 사이의 관계에

대한 프레임워크를 개념적으로 제시하였다. 이 개념도에서는 교사가 근무하는 학교 배경 및 학교 리더십이 교사의 배경(예: 전문적 훈련 또는 경험)에 영향을 미치며, 교사의 배경은 교사의 교육적 신념에 영향을 미치는 것으로 표현되었다. 또한 교사의 교육적 신념, 전문적 역량(교과 내용 지식 및 교육적 지식), 교사의 전문적 활동 등의 다양한 요인들이 교사의 교수활동으로 향하는 화살표로 연결되어있으나 이와 같은 관계는 경험적으로는 입증되지 않은 상태에서 제시된 것이다. 또한 한국교육개발원의 보고서(박영숙 외, 2015)에서 교사를 대상으로 한 면담 결과, 교수역량을 향상하기 위해 학급당 인원수 감소, 학교 행정 업무 축소, 상담교사 추가 배치, 현장 수업 및 평가에 유용한 자료 지원 등에 대한 요구가 있음을 확인하고 교원정책 방향 및 과제를 제시하였다. 그러나 이러한 요인들이 실제로 교수역량에 영향을 미치는지에 대해서는 검증되지 않았다.

둘째, 기존의 연구에서는 교수역량과 관련된 수많은 요인들 중 연구자가 선정한 몇 가지 관심 변인 간의 관계를 규명하는 데 초점을 맞추는 경향이 있었다. 예컨대, 선행연구들에서는 교사의 자기효능감(박주호 외, 2015), 교육수준(안도희, 김유리, 2015), 교사의 지식(Kersting et al., 2012), 교육실습(박인숙, 이영선, 2012; 백순근, 함은혜, 2007; 정미재, 정제영, 2012), 교사의 자기평가 활동(김정환, 이계연, 2005; 원효헌, 2002), 교사의 동기(Thoonen et al., 2011), 학교 리더십(박선형 외, 2017; Thoonen et al., 2011) 등의 특정 요인이 교수역량에 미치는 영향을 밝히기 위한 연구를 수행하였다. 그리고 이를 위해 실험 설계, 회귀 분석, 구조방정식 분석 등의 통계 분석을 적용하였다. 그러나 통계 분석의 결과값이 추리통계를 위한 가정들을 바탕으로 도출되었다는 점과 연구자들이 소수의 변인 간 관계에 집중함으로써 미처 고려하지 못한 요인으로 인한 통제되지 않은 교란효과의 존재 가능성 등의 이유를 고려하였을 때, 연구의 결과를 인과 관계로 해석하기에 제약이 있을 가능성이 있다.

셋째, 교사를 둘러싼 교직 환경의 다양한 요인들 중 교수역량을 예측하는 요인이 무엇인지 종합적으로 탐색한 연구들도 수행하였으나, 교수

역량과의 인과 관계 및 효과를 확인하는 데까지는 이어지지 못하였다. 예컨대, 백순근 외(2020)의 연구에서는 다양한 교직 환경 요인들을 랜덤 포레스트 분석 모델에 투입하여 한국 교사의 교수역량에 대한 예측요인들을 추출하였다는 점에서 의의가 있으나, 이와 같은 예측요인들이 교수역량에 인과적으로 어떠한 영향을 미칠 수 있는지에 대한 분석은 미흡하였다.

이처럼 기존의 선행연구에서는 교직 환경의 다양한 요인들과 교수역량 사이의 인과 관계에 대해 종합적으로 파악하는 데 다소 미흡하였기에, 교수역량에 대한 영향요인을 체계적으로 살펴보기 위한 추가적인 연구가 필요한 실정이다.

이에 이 연구에서는 OECD에서 주관하는 '교수학습국제조사(Teaching and Learning International Survey: TALIS)' 자료를 활용하여 국가별 교수학습 환경의 맥락을 토대로 교수역량에 대한 영향요인을 탐색하고자 한다. TALIS 조사는 교사와 학교장이 학교에서 경험하고 있는 다양한 활동에 대해 의견을 반영할 수 있도록 구성되어 있으며, 특히 3주기 조사(TALIS 2018)에서는 교직환경과 관련된 11개의 주제에 대한 교사 및 학교장의 응답을 수집하였다(OECD, 2019b). 따라서 국가별 교수학습 맥락에서 어떠한 요인들이 교사의 교수역량에 인과적인 영향을 미치는지 종합적으로 살펴볼 수 있는 자료라는 점에서 이 연구에 적합하다.

TALIS 2018에 참여한 48개의 국가 및 지방자치단체 중에는 한국의 연구진이 교원정책 관련 연구에서 주로 참고하고 있는 주요 국가들인 미국, 스웨덴, 싱가포르, 영국, 일본, 캐나다, 프랑스, 핀란드, 호주(김미숙, 2016; 김병찬 외, 2018; 김자미, 2017; 박영숙 외, 2017; 이동엽 외, 2018a; 정미경 외, 2010; 정일화, 천세영, 2017) 등이 포함되어 있다. 이 중에서도 특히 미국과 일본은 한국의 교육체제에 큰 영향을 주었을뿐만 아니라(김병찬 외, 2018), 우리나라의 교원정책 수립 및 개선에도 중요하게 참고하고 있는 국가들이다. 예컨대, 우리나라에서 교원능력개발평가제도의 도입을 검토하기 위해 미국과 일본의 교사평가제도를 검토하거나(한국교육개발원, 2010), 교사의 전문성 개발 정책과 관련하여 일본의 교사면허

갱신제를 참고해 교사자격갱신제 도입을 제안하며(허주 외, 2018), 교육전문대학원의 도입과 관련하여 미국 Stanford 대학교의 석사학위프로그램(STEP) 또는 일본의 교직대학원 개설 사례를 제시하는 등(고전, 2009), 우리나라의 교원정책을 논의하기 위해 미국과 일본의 교원정책 사례를 검토하는 연구들이 수행된 바 있다. 이러한 점들을 고려하여 이 연구에서는 한국, 미국, 일본을 비교연구 대상 국가로 선정하고, 각 국가 중등교사의 교수역량에 대한 영향요인을 비교·분석하고자 하였다.

각국의 교사의 교수역량과 이에 대한 영향요인들 간의 인과 관계를 분석하기 위하여 최근 인과 추론에 대한 접근 방법으로 주목받고 있는 구조적 인과 모형(structural causal model: SCM)을 활용하였다. 인과 관계를 파악하기 위해 교사를 대상으로 무작위 통제 실험(randomized controlled trial)을 수행하는 것은 거의 불가능하며, 데이터를 통한 관측연구의 경우 데이터에서 확인되는 변인 간 상관으로부터 인과 관계를 도출해내기에 어려움이 있다. 그러나 이 연구에서 활용하고자 하는 구조적 인과 모형의 경우 인과 관계에 대한 가정을 인과 그래프에 나타내고, 인과 그래프의 구조에 따라 개입 체제에서 인과 효과를 파악할 수 있기 때문에 무작위 통제 실험에 가까운 인과 추론을 할 수 있다는 점에서 이 연구에 적합하다고 볼 수 있다.

사회과학 분야 연구에서 많이 활용되고 있는 선형 구조방정식 모형은 만일 오차항의 일부가 상관되었거나 모형에 포함된 몇 개의 변인이 관찰되지 않아 모수를 추정할 수 없는 경우 결합분포의 추정이 불가하여 모형 검증이 어렵다. 또한 적합도 검정을 통과하지 못한 모형의 경우, 연구자가 모형 설정 시 설정한 가정 중 어떤 부분에 문제가 있었는지에 대한 판단이 어려우며, 모형에 많은 변인이 포함되었거나 측정오차 혹은 표본분산이 심할 때 추정이 불안정하다는 점에서 인과 추론 문제를 다루는데 제한점이 있다(김미정 역, 2016; Pearl, 2009).

구조적 인과 모형에 근거한 인과 추론은 다음의 측면에서 장점을 지닌다. 첫째, 처치변인과 결과변인의 인과 메커니즘에 대한 가정을 그래프로 표현함으로써 연구자 간에 명료한 의사소통을 가능하게 한다. 인과 분석

은 데이터 자체에서는 도출될 수 없는 인과적 가정에 근거한다. 인과 그래프는 이를 활용하는 연구자들이 가정하는 변인 간 인과 관계를 그래프에 표상하고, 그래프에 나타난 인과 관계의 옳고 그름에 대해 논의할 수 있는 투명한 언어를 제공함으로써 그래프가 지니는 가정의 타당성을 논의할 수 있도록 한다. 만일 합의에 도달하지 못한 경우 의견의 차이를 해결하기 위해 어떠한 추가적인 관찰이 필요한지, 그리고 해당 그래프로부터 인과 효과를 추정하는 것이 가능할지 식별할 수 있도록 하는 강력한 도구가 된다(Pearl, 2009).

둘째, 구조적 인과 모형은 처치변인과 결과변인 간의 인과 효과를 파악할 수 있도록 내적 타당도를 확보할 수 있는 체계적이고 명시적인 방안들을 제시한다. 기존의 인과 추론 연구에서는 변인 간의 인과적 관련성을 파악하는데 있어 회귀분석, 구조방정식 모형 등의 통계적 기법들을 적용해왔다. 그러나 이와 같은 통계기법들은 변인 간의 상관관계에 기반한 분석 방법이었다는 점에서 인과적인 관계를 파악하는데 제한이 있다. 한편, 혼재변인으로 인한 편향(bias)은 처치변인과 결과변인 사이의 관계에서 인과 효과의 추정을 방해한다고 알려져 왔다. 기존의 통계학적 방법에 기반한 분석의 경우 혼재변인의 통제를 위해 선행연구의 의존하거나, 처치변인 이전의 변인은 통제한다는 Rubin(1974)의 제안을 따라왔다. 하지만 Pearl(1995)의 연구에서는 인과적 메커니즘을 고려하지 않고 Rubin의 제안에 따라 변인을 통제하였을 때 발생할 수 있는 문제점을 인과 그래프 접근을 통해 드러냄으로써, 인과적 메커니즘을 고려하는 것의 중요성을 강조한 바 있다. 또한 처치변인과 결과변인 간 관계가 그래프 위에 표상된 후에는 효과적으로 혼재변인의 영향을 통제함으로써 인과 추론의 내적 타당도를 확보할 수 있는 방안들(예: 뒷문 기준, 조정 기준, 앞문 기준 등)과 같은 방법들이 제안되었다(Pearl, 1995; 2009; Imbens, 2020).

요컨대, 이 연구는 구조적 인과 모형을 활용하여 한국, 미국, 일본의 인과 그래프에 나타난 중등교사의 교수역량에 대한 영향요인을 비교·분석하는 것이다. 인과 그래프를 산출할 때 많은 변수를 분석에 투입할 수

도 있지만, 수많은 복잡한 정보가 담긴 인과 그래프에서는 변수 간의 관계에 대한 의미 있는 정보를 식별하기에 어려움이 있다. 따라서 교사를 둘러싼 교직 환경의 다양한 요인 중에서 인과 그래프를 구성할 요인들을 선별하고자 하였다. 이에 TALIS 2018 데이터에 내재된 다층 구조를 반영할 수 있는 머신러닝 기법인 혼합효과 랜덤 포레스트 기법을 활용하여 한국, 미국, 일본 중등교사의 교수역량에 대한 주요 예측요인들을 추출하고, 이들을 인과 디스커버리 분석에 투입하여 인과 그래프를 산출하고자 하였다. 산출된 인과 그래프를 통해 중등교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 관계를 체계적으로 비교·분석하고자 하였다. 나아가 인과 그래프가 교수역량과 영향요인 간의 인과 효과 추정에 어떻게 활용될 수 있는지 살펴보고자 하였다. 이 연구에서 혼합효과 랜덤 포레스트 기법을 통해 추출된 요인의 경우 교수역량과의 인과성을 담보하기에 어려움이 있기에, 인과 그래프에 나타난 교수역량에 대한 원인이 되는 요인들과 구분하기 위하여 전자를 '예측요인', 후자를 '영향요인'이라는 용어로 구분하였다.

2. 연구 문제

이 연구의 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 한국, 미국, 일본 중등교사의 교수역량과 이에 대한 주요 예측요인들로 구성된 인과 그래프는 어떠한가?

둘째, 한국, 미국, 일본의 인과 그래프에 나타난 중등교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 관계는 어떠한가?

셋째, 한국, 미국, 일본의 인과 그래프는 교수역량과 영향요인 간의 인과 효과 추정에 어떻게 활용될 수 있는가?

Ⅱ. 이론적 배경

1. 교수역량

가. 교수역량의 정의

‘역량’은 1973년 McClelland의 연구에서 ‘특정한 상황이나 맥락에서 업무를 성공적으로 수행할 수 있는 능력’으로 정의하고 소개하면서 큰 주목을 받았다. 교사의 역량(teacher competencies)에 대한 선행연구들을 살펴보면, 시대와 연구의 관점에 따라 논의되는 역량의 범위에 조금씩 차이가 있다(김창환 외, 2015; Cooper et al.., 1973; European Commission, 2011; 2012; Medley & Cook, 1980; OECD, 2012; Québec Ministère de l’Éducation, 2021; Roelofs & Sanders, 2007).

20세기 후반 교사의 역량에 대한 논의는 주로 학생들의 학업성취를 이끌어내기 위해 효과적인 교사가 지녀야 하는 역량이 무엇인지에 대한 질문으로부터 출발하였기에, 대부분 교수(teaching)에 초점이 맞추어졌다(Cooper et al., 1973; Medley & Cook, 1980). 예컨대, Cooper 외(1973)의 연구에서는 교사의 역량으로, 어떻게 그리고 왜 가르쳐야 하는지 아는 ‘지식 역량’, 교사가 실제로 가르치는 행동 및 태도를 의미하는 ‘수행 역량’, 학생의 정서적 지식적 성장을 이끌어내는 ‘결과 역량’을 제시하였다.

이후 21세기 초반, OECD의 DeSeCo(Defining and Selecting Key Competencies) 프로젝트는 교육 분야에서 역량에 대한 논의를 다시금 촉발하였다. 학생들이 미래사회를 살아가기 위해 준비해야 할 역량에 대한 논의는 자연스럽게 이러한 학생들의 역량을 증진할 수 있는 교사의 역량에 대한 논의로 이어졌다(OECD, 2012). 예컨대, 김창환 외(2015)의 연구에서는 미래에 교사의 직무가 변화함에 따라 새로운 직무 수행을 위해 교사의 역량 강화가 필요하다고 보았으며, 교사의 역량을 교수역량,

학생이해 및 지도역량, 교육공동체 형성 및 참여 역량, 자기개발 및 관리 역량의 네 가지로 구체화하였다. 또한 홍후조 외(2017)는 지능정보사회에서 교사에게 요구되는 9가지 핵심역량으로 교육과정 역량, 수업 역량, 생활지도 역량, 진로지도 역량, 학교학급 경영 역량, 교직 실무 역량, 변화 대응 역량, 교직 관리 역량, 자기 관리 역량을 제시하였다. Gümüş, (2022)는 21세기 교사가 학습자의 상황에 유동적으로 대처하며 교수학습 활동을 실시할 수 있기 위한 역량을 4개의 그룹, 즉 사고 방식(학의성과 혁신, 비판적 사고 및 문제해결), 업무 도구(정보 문해력, 기술 활용 능력), 업무 방식(협업 및 팀워크), 세계에서의 생활(지역 및 글로벌 시민의식, 경력, 개인 및 사회적 책임)으로 구분하기도 하였다.

이처럼 교사가 갖추어야 하는 역량에 대한 논의는 다양한 맥락 속에서 확장되어왔지만, 대부분의 연구에서 '교수역량'은 교사에게 요구되는 핵심적인 역량으로 강조되어왔다. 실제로 교수활동은 교사로서의 정체성을 드러내는 주요한 업무 중 하나이며, 교수의 질은 학생들의 학습 성과에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(OECD, 2012). 따라서 시대의 변화에 따라 교사에게 강조되는 역량이 조금씩 달라질 수 있으나 교수역량은 변함없이 교사가 갖추어야 할 주요한 역량이다. 교수역량은 교사가 교과교육을 성공적으로 수행할 수 있는 능력이라고 할 수 있다(백순근 외, 2007; McClelland, 1973). 이러한 교수역량의 개념과 구성요소를 체계적으로 탐색하는 연구들이 꾸준히 수행되어왔으며, 연구자들이 역량을 분류한 관점에 따라 교수역량에 대한 선행연구를 정리하면 다음과 같다.

첫째, OECD(2018)에서는 역량의 개념을 '복잡한 요구를 충족하기 위해 지식, 기술, 태도 및 가치를 동원할 수 있는 능력'으로 정의하고 있다. 일부 선행연구에서는 이와 같은 역량에 대한 관점에 따라 교수역량을 지식, 기능, 태도로 분류하고 개념화하였다(최진영 외, 2009; 홍후조 외, 2017; European Commission, 2012; Ministry of National Education Republic of Turkey, 2017; Swank & Houseknecht, 2019). 예컨대, 유럽연합 집행위원회(European Commission, 2012)는 21세기에 효과적인 교수활동을 위해 필요한 역량을 지식(Knowledge and Understanding), 기능

(Skills), 성향(Disposition)의 세부 영역으로 구분하여 정리하였다. 교수역량의 '지식' 영역에서는 교과 지식, 교육학 내용 지식, 교육 정책, 포용 및 다양성, 테크놀로지 활용, 발달심리, 평가 절차 및 방법 등이 포함되어 있다. 또한 '기능' 영역에서는 계획·관리·조정, 교수 자료 및 테크놀로지 활용, 교수·학습 개선을 위한 데이터 수집 및 해석, 협상 기술, 교사 학습을 위한 반성·메타인지·대인관계능력 등이 포함되었다. '성향' 영역은 교사의 신념, 태도, 가치, 헌신이 포함된 개념으로, 모든 학생의 학업 증진을 위한 교사의 헌신, 비판적 태도, 협업 및 네트워킹에 대한 태도, 자기 효능감, 변화·유연성·진행 중인 학습 및 전문성 향상에 대한 태도 등이 포함되었다. 국내의 선행연구 중 홍후조 외(2017)의 연구에서는 수업역량을 '수업과 평가에 관한 지식과 학생에 대한 이해를 바탕으로 교수·학습을 효과적·효율적으로 운영하여 교육목표 달성에의 책무를 다하는 능력'으로 정의하고, 이를 지식, 기능, 태도로 구분하여 각 하위 역량 요소를 도출하였다. 이때 '지식' 영역은 교수·학습 방법, 교수 전략 지식, 학생 평가 지식, 학습자의 학습과 발달 이해로 구성되어 있다. '기능' 영역에서는 창의적 교수·학습 구현, 학생 맞춤형 수업 운영, 교수·학습 자료와 평가도구 개발, 교수·학습 실천, 평가 결과 분석 및 피드백으로 역량 요소가 구성되어 있으며, '태도' 영역은 학습자에 대한 관심과 존중, 학생 학습에 대한 책무성, 수업 실천에 있어서의 자신감, 수업 진행과 평가에 있어서의 공정성으로 구성되었다.

둘째, 일부 다른 선행연구 중에서는 효과적으로 교수활동을 수행하는 교사의 특성을 토대로 교수역량에 속한 하위요인들을 나열하거나, 선행연구에 제시된 요인들을 종합한 후 이를 재분류함으로써 교수역량의 구성요소를 구분한 연구들도 있었다(김창환 외, 2015; 백지연 외, 2015; 이대용, 2015; Catano & Harvey, 2011; Ibrahim et al., 2019; Klein et al., 2004; Medley & Crook, 1980; Metsäpelto et al., 2020; Oliva & Henson, 1980; Parrish & Sadera, 2020; Thakur & Shekhawat, 2014). 예컨대, Parrish와 Sadera(2020)의 연구에서는 델파이 조사 결과를 바탕으로 교수역량의 하위 영역을 수업 계획(Instructional Planning), 수업 전달

(Instructional Delivery), 학습 평가(Assessment of Learning), 교실 관리(Classroom Management), 전문성 및 리더십(Professionalism and Leadership)으로 제시하였다. 국내의 선행연구 중 김창환 외(2015)의 연구에서는 선행연구 분석 및 전문가 델파이 조사 결과를 토대로 교수역량의 하위역량을 교과전문역량, 수업역량, 학생학습지원역량으로 구분하였다. 이 중 교과전문역량의 하위 구성요소는 미래사회 변화 이해, 미래사회의 학생 역량 이해, 교과전문지식, 교과교육 관련 전문성 개발이 제시되었고, 수업역량의 하위 구성요소는 수업기획·실행·평가 능력을 제시하였다. 또한 학생학습지원역량의 하위 구성요소는 학생의 학습수준 진단, 학습지도 및 촉진, 자기주도학습 지원, 학습동기촉진 역량이 포함되었다. 한편, 백지연 외(2015)는 중등학교 교사의 역량을 교수역량, 평가역량, 생활지도역량, 학급경영역량, 조직역량, 행정업무관리역량, 정의적 역량의 7개로 구분하였다. 그 중 교수역량은 '교육계획을 수립하고 교육과정을 구성하는 역량들의 집합을 의미하며, 학습자의 인지수준과 다양한 문화적 특성에 대한 이해를 바탕으로 학생들의 수준에 맞게 학습 자료를 적절히 활용하여 학습자의 흥미를 유발할 수 있는 역량'으로 정의하였다. 그리고 교수역량의 구성요인으로 교수설계, 교수법 활용, 교과 전문성 활용, 학습자 이해, 학습 동기부여, 교수 학습 자료 활용, 수업 진행, 수업 내용 정리, 창의적 학습 촉진, 수업 내용 전달, 전문성 개발, 교수학습평가를 제안하였다.

셋째, 일부 연구자들은 기존의 선행연구에서 교수역량의 이론적 측면이 소홀히 다루어졌다는 점을 지적하며, 이론적 측면과 실천적 측면을 모두 강조함으로써 교수역량을 이론적 교수역량과 실천적 교수역량으로 구분하기도 하였다. 예컨대 백순근 외(2007)는 교수역량을 측정·평가함에 있어 대체로 실천적인 측면이 강조되었다는 제한점을 토대로 교수역량의 이론적 측면과 실천적 측면을 종합적으로 측정·평가할 수 있는 방안을 고안하였다. 또한 교수역량을 '교사가 교과교육을 수행할 때 가져야 하는 이론적 교수역량과 실천적 교수역량의 총체'로 정의하고, 현직 교사 및 전문가와의 면담 결과 등을 토대로 이론적 교수역량과 실천적 교수역량

각각의 하위요인을 구성하였다. ‘아는 능력’과 관련된 이론적 교수역량의 다섯 가지 하위요인으로 교과 지식, 학습자와 학습, 교수 설계 및 개발, 교수·학습 환경, 평가를 제안하였고, ‘행하는 능력’과 관련된 실천적 교수역량의 다섯 가지 하위요인으로는 계획과 조직, 의사소통, 상호작용, 조정, 성의와 열의를 제안하였다. 이와 유사하게, 임윤진과 나승일(2011)의 연구에서도 교수역량의 이론적·실천적 측면을 모두 고려하여, 교수역량을 ‘교사가 교과교육을 성공적으로 수행하기 위해 필요한 이론과 실제 모두 포함한 능력’으로 정의한 바 있다.

이밖에도, 교과별 특성이나(Daling, 2017; Kim & Kim, 2016), 다문화 환경 또는 비대면 교육 등과 같이 특정한 교육맥락(Bukvić, 2014; Farmer & Ramsdale, 2016; Spanierman, 2011)에 따라 교수역량을 개념화하는 연구들도 수행되었다.

이처럼 선행연구들에서는 다양한 관점에서 교수역량을 정의하고 개념화하고 있다. 연구마다 사용하고 있는 용어에는 조금씩 차이가 있으나, 그 의미를 중심으로 종합하였을 때 교수역량의 구성요소는 교과 관련 전문성, 교수설계, 교수·학습을 위한 환경 조성, 학생들의 학업 증진을 위한 태도, 평가활동 등 교수활동에 핵심이 되는 요소들을 중심으로 제시되고 있다.

이 연구에서는 위에서 검토한 선행연구에 근거하여, 이 연구의 분석자료인 TALIS 2018에서 교사가 수업을 담당하고 있는 학급에서 수행하는 교수활동에 대한 20개 문항의 내용을 개념적으로 ‘교수역량’으로 상정하였다(백순근 외, 2020; 양혜원, 백순근, 2022). TALIS 연구에서 ‘교사의 교수활동’은 교사가 수업목표를 명확히 제시하고 수업 전개 및 마무리에 이르기까지의 활동에 대한 ‘교수 명확성(clarity of instruction)’, 학생이 주어진 문제를 해결해나갈 수 있도록 돕는 교수활동인 ‘학생 인지 역량 활성화(cognitive activation)’, ICT 또는 프로젝트 수업 등의 강화된 학습경험을 제공하는 ‘강화된 활동(enhanced activities)’, 수업에 참여하는 학생들이 질서 있게 수업에 참여할 수 있는 환경을 제공하는 ‘교실 관리(classroom management)’, ‘평가 활동(assessment practices)’의 5개 하위

구인으로 구분된다(이동엽 외, 2018a, 2019; OECD, 2019b). 이와 같은 하위 구인들은 선행연구에서 제안하고 있는 교수역량의 핵심적인 구성요소들을 모두 포함하고 있다. 또한 TALIS에서는 이 20개 문항에 대해 의도적으로 빈도응답 척도를 활용하였기에, 교사의 교수역량, 즉 교사가 교과교육을 성공적으로 수행할 수 있는 능력을 확인할 수 있다.

나. 교수역량에 대한 영향요인

교사의 교수역량이 향상될 수 있도록 지원하기 위해서는 교수역량에 인과적으로 영향을 미치는 요인들을 파악하는 것이 필요하다. 국내외 연구에서 교수역량에 대한 개념이 체계적으로 정리되고 이를 평가할 수 있는 준거를 마련하는 연구들이 수행됨에 따라, 교직 환경의 다양한 요인들 중 어떠한 요인이 교수역량에 영향을 미치는지 살펴보는 연구들이 꾸준히 축적되어왔다. 이와 관련하여 선행연구들에서 주목하였던 요인들을 주제별로 정리하면 다음과 같다.

1) 교사양성 및 초기 준비 교육

교사는 일련의 교사 양성 과정을 통해 교직 활동을 수행하기 위한 준비 과정을 거친다.

교사 양성 기관 유형과 관련하여, 안도희와 김유리(2015)의 연구에서는 교육대학원 과정을 이수한 예비교사들과 대학에서 교직 과정을 이수한 예비교사 간에 교수능력에 차이가 있는지 확인하기 위해 t-검정을 실시하였다. 분석 결과, 교육대학원생의 교수역량이 대학생에 비해 통계적으로 유의하게 높은 것으로 나타났다. 이는 교사의 학력 수준과 관련하여, 최종학력이 대학 졸업인 교사와 대학원 졸업인 교사의 교수역량 지수값을 비교하였을 때, 대학원 졸업인 교사의 교수역량 지수값이 높게 나타났다고 보고한 김창환 외(2015)의 연구 결과와 유사한 결과이다.

한편, 초기교육으로서 교사가 이수한 교원양성 교육내용과 관련하여,

백순근 외(2020)의 초등학교 교사의 다문화 또는 다언어 환경에서의 교수법에 대한 준비 정도가 높을수록 교수역량 상위집단으로 분류될 확률이 증가하는 것으로 나타났다. 또한 중학교 교사의 범교과 지식 및 기술에 대한 교육의 준비 정도가 일정 수준 이상일 때 교수역량의 상위 집단으로 분류될 확률이 높아지는 것으로 나타났다. 이와 유사하게, Kersting et al.(2012)의 연구에서는 회귀분석 및 2수준 다층 분석을 실시하여 교사의 지식(teacher knowledge)이 교수의 질(instructional quality)을 매개로 학생들의 학습(student learning)에 영향을 미친다고 보고한 바 있다. 따라서 교사가 초기 교육을 통해 교수학습에 필요한 지식을 습득하는 것은 교수역량에 영향을 미칠 것으로 예측할 수 있다. 그러나 Kömür(2010)의 연구에서 실시한 설문 결과 중 개방형 문항 응답을 살펴본 결과, 예비교사의 수업 교과 지식이 높게 나타났더라도 학습자의 수준 또는 태도로 인해 교수활동이 어렵다고 인식하는 응답이 있었으며, 교실 관리 역량에 있어 어려움을 느끼는 교사들도 있는 것으로 나타났다. 따라서 교원양성 교육내용의 어떠한 내용 혹은 특성이 교사의 교수역량에 영향을 미치는지 세세히 확인할 필요가 있다.

이밖에, 교원양성기관에서 실시하는 교육실습과 관련하여, 백순근과 함은혜(2007)의 연구에서는 교육실습이 예비교사의 실천적 교수역량에 미치는 영향을 단일집단 사전·사후 검사를 실시하였다. 연구 결과, 교육실습 후 교육실습생들의 실천적 교수역량이 향상된 것으로 보고하였다. 이와 유사하게, 박인숙과 이영선(2012), 정미재와 정제영(2012)의 연구에서도 교육실습은 교수역량에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

2) 교사의 자기 효능감, 직무 만족 및 동기

교사의 자기 효능감은 교사가 다양한 업무를 수행하기 위해 필요한 능력에 대한 개인의 종합적인 판단 또는 신념이라고 할 수 있다(이동엽 외, 2018a). 박주호 외(2015)의 연구에서는 구조방정식 모형 분석을 통해 수업효능감이 교사의 협력활동과 수업전문성 효과 인식의 관계를 부분매

개하고 있는 것으로 밝혔다. 이와 유사하게, Allinder(1994)의 연구에서는 다중회귀분석을 통해 교사의 효능감이 교사의 교수 실천에 통계적으로 유의한 긍정적인 영향을 미치는 것으로 보고하였다. 이밖에도 백순근 외(2020)의 연구에서는 네 가지 자기 효능감(수업지도 자기 효능감, 학생참여 자기 효능감, 교실관리 자기 효능감, 디지털 기술을 활용한 학습 지원 자기 효능감)을 측정하는 문항들 중 일부가 교수역량을 예측하는 주요 예측요인들인 것으로 보고하였다. 소연희(2018)의 연구에서는 다문화 교수역량에 대한 변수 간 관계를 파악하기 위해 구조방정식 모형을 사용하였다. 분석 결과, 교사가 학생에 대한 이해를 바탕으로 학생과 긍정적인 관계를 형성할 수 있는 효능감인 교사-학생관계 교사효능감은 다문화 교수역량에 대해 정적인 직접효과를 가질뿐만 아니라, 교직적응탄력성을 매개로 다문화 교수역량에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

한편, 교사의 직무만족도와 관련하여, Emmer와 Stough(2001)의 연구에서는 문헌분석을 통해 학생의 공격성, 수업 활동을 방해하는 태도 등으로 인해 교사가 경험하는 스트레스가 교수역량의 주요 하위요인 중 하나인 교실 관리 능력에 성취감을 주지 못하거나 교사에게 번아웃을 느끼게 할 가능성이 있는 것으로 지적하였다. 이와 관련하여 Jennings와 Greenberg (2009)의 연구에서는 문헌분석을 통해 교사의 사회적·정서적 역량 및 웰빙이 효과적인 교실 관리에 영향을 줄 수 있다는 내용의 역량 모델을 제시한 바 있다. 또한 백순근 외(2020)의 연구에서는 학생으로부터의 위협 또는 언어 폭력에 의한 업무상 스트레스가 초등학교 교사의 교수역량을 예측하는 주요 요인으로 드러나기도 하였다.

교사의 동기와 관련하여, Thoonen et al.(2011)의 연구에서는 구조방정식 분석을 교사의 동기, 조직 요인, 리더십, 교수 실천의 관계를 살펴보았다. 이때, 교사의 배경변인인 성별과 경력은 구조방정식 모형을 구성하는 모든 측정변인들에 직접 효과를 갖는 것으로 가정하였다. 교사의 동기 중 학교의 교육 목표 달성에 기여하고자 하는 동기인 가치 요소(value component)의 경우 전문적 학습 활동을 매개로 교수 실천에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이와 유사하게, 백순근 외(2020)의 연구에

서는 교직 선택 동기의 다양한 동기가 교사의 교수활동을 예측하는 주요 요인으로 나타났다. 또한 Jugović et al.(2012)의 연구에서는 예비교사의 교직관 중 사회에 대한 봉사 또는 희생이 교수능력과 긍정적인 상관 관계인 것으로 보고된 바 있다.

3) 교사 피드백 및 전문성 개발

교사 피드백 및 전문성 개발 활동은 현직 교사의 교직 수행을 지원하기 위한 방안으로 활용되고 있다.

교사에게 제공되는 피드백과 관련하여, 백순근과 윤승혜(2011)의 연구에서는 이질집단 사전·사후검사 설계를 통해 교사의 비디오 포트폴리오 평가에 대한 피드백 제공이 교사의 교수역량에 미치는 역량을 분석하였다. 사전·사후 평가 결과에 대해 종속표집 t-검정을 실시한 결과, 교사의 비디오 포트폴리오 평가는 현직 교사의 실천적 교수역량에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히 이 연구에서는 비디오 포트폴리오 평가 방식 중 자기평가 방식도 교수역량에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났는데, 이는 교사 스스로 피드백을 제공하는 활동으로 볼 수 있는 교사의 수업반성(김현정 외, 2010; 박경석, 2014, 최종림 외, 2009), 교사의 자기평가 활동(김정환, 이계연, 2005; 원효헌, 2002)이 교수역량에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 보고한 선행연구와 유사한 결과이다.

한편, 피드백 방식이 교수역량에 미치는 영향에 대해서는 백순근과 윤승혜(2011)의 연구에서는 비디오 포트폴리오 평가에 대한 피드백 제공 방식 중 전문가 평가협의회가 자기평가 또는 전문가 서면평가에 비해 효과적인 것으로 보고하였다. 박찬홍(2023)의 연구에서는 예비교사를 대상으로 실천적 교수역량을 평가하기에 적절한 주체에 대한 인식을 살펴보고자 계층분석을 실시한 결과, 교수역량의 평가영역(수업시연, 수업에 대한 몰입, 물리적 환경 조성 및 수업 준비도 등)에 따라 평가하기에 적절한 주체(전문가, 동료평가, 자기평가)가 다르게 인식되고 있는 것으로 나타났다.

교사의 전문성 개발 활동과 관련하여, Gamlem(2015)의 연구에서는 현직 교사를 대상으로, 교사가 학생에게 제공하는 형성적 교실 피드백(formative classroom feedback)에 대해 1년간 그룹 워크샵, 비디오 레슨 제공, 개별 워크샵과 같은 전문가의 개입(intervention)을 통해 교사의 형성적 교실 피드백에 대한 실행 및 신념에 변화가 있는지 살펴보았다. 연구 결과, 연구에 참여하였던 3명의 교사 모두에게서 긍정적인 변화가 관찰되었다. 이와 유사하게, Doğan와 Yurtseven(2018)의 연구에서도 교수활동과 관련하여 코칭 또는 협력적 멘토링을 받는 개선 기반(Reform-based)의 전문적 개발 활동 참여가 교수활동의 질에 정적인 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 국내의 연구 중 우연경(2020)의 연구에서도 교사의 협력적 수업개선활동 유형 중 수업공개 및 교과협의회 참여는 교사효능감을 매개하여 수업역량을 예측하는 것으로 보고된 바 있다.

또한 전문성 개발에 참여하는 교사의 태도와 관련하여, 연수 참여 적극성(임윤진, 나승일, 2011)은 교수역량에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 보고되었으며, 백순근 외(2020)의 연구에서는 교사의 전문성 개발 필요성 인식이 교수역량을 예측하는 주요 요인인 것으로 나타났다.

4) 학교 풍토

학교풍토는 학교 구성원 간의 공동체 관계, 의사결정 과정, 조직 구조, 학교 리더십 등에 의해 조성된다고 할 수 있다(이동엽 외, 2018a).

신승인과 최은수(2018)의 연구에서는 중등학교장의 온정적 합리주의 리더십, 조직 내 의사소통, 학습조직문화, 교사학습공동체 활성화 수준, 교사의 교수역량의 다섯 개 요인들 간의 관계를 구조방정식 모형을 활용하여 분석하였다. 분석 결과, 중등학교장의 온정적 합리주의 리더십, 조직 내 의사소통, 학습조직문화는 교수역량에 정적으로 유의하게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

특히 학교 리더십과 관련하여, 이영철과 이윤식(2017)의 연구에서는

교장 수업지도성, 교감 수업지도성, 교장교감 상호협력, 교사 학습공동체성, 교사 교수역량의 네 개 요인들 간의 관계를 구조방정식 모형으로 분석하였다. 분석 결과, 교장 수업지도성과 교감 수업지도성은 교장교감 상호협력과 교사 학습공동체성을 부분매개하여 교사의 교수역량에 유의한 정적 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 앞서 살펴보았던 신승인과 최은수(2018)의 연구 결과와 유사하다. 또한 Thoonen et al.(2011)의 연구에서도 학교 리더의 변혁적 리더십은 학교 구성원 간의 협력, 교사의 동기, 교사의 전문적 학습 활동을 매개로 교수활동에 영향을 미치는 것으로 보고되었다.

한편, 교사가 동료 교사와 자발적으로 맺는 협력적 관계와 관련하여, Doğan와 Yurtseven(2018)의 연구에서는 학교에서 동료 교사들과의 전문적 학습 공동체 참여가 교수활동의 질에 통계적으로 유의한 정적인 영향을 미치는 것으로 보고하였다. 임윤진과 나승일(2011)의 연구에서는 단계적 회귀분석을 통해 교사의 학습공동체 활동과 교수역량의 관계에서 교재연구 역량의 매개 효과를 살펴보았다. 분석 결과, 교사의 학습공동체 활동은 교수역량에 직접적인 영향을 미칠뿐만 아니라, 교재연구 역량을 매개로 간접적인 영향도 미치며, 그 영향은 모두 정적인 것으로 나타났다.

이밖에. 교사가 인식하는 학교의 분위기와 관련하여, 학교의 대다수의 교사가 학생들의 의견에 관심을 기울이며, 학생들의 웰빙에 관심이 갖고, 학생들의 지원 요청시 학교가 제공한다는 교사의 인식은 교수역량에 영향을 미치는 주요 요인인 것으로 나타났다(백순근 외, 2020). 또한 박선형 외(2017)의 연구에서는 창의적 조직풍토, 교사의 창의적 교수행위, 학교장의 변혁적 리더십 간의 구조적 관계를 살펴본 결과, 창의적 조직풍토가 학교장의 변혁적 리더십과 교사의 창의적 교수행위 간의 관계를 완전매개 하는 것으로 나타났다.

5) 교사 및 학교 배경변인

김창환 외(2015)의 연구에서는 한국의 중학교와 고등학교에서 근무하

는 교사를 대상으로 교사 개인 및 교사가 근무하는 학교 배경변인에 따라 교수역량 지수값을 비교하였다. 연구 결과, 중학교 교사와 고등학교 교사 모두 성별이 여성이고 담당과목이 예체능 및 기술·가정일 때, 그리고 학교 소재지가 특별·광역시 지역일 때 교수역량의 지수값이 높게 나타났다. 이 밖의 변인들은 교사가 근무하는 학교가 중학교인지 고등학교인지에 따라 교수역량 지수값의 차이가 상이하게 나타났다. 예컨대 중학교 교사의 경우, 교사의 연령이 40대 및 50대 이상일 때가 20~30대일 때에 비해 높게 나타났다. 또한 근무연수가 20~25년 미만일 때, 학교 설립유형이 사립학교일 때 교수역량의 지수값이 높게 나타난 것으로 보고하였다. 또한 고등학교 교사의 경우 연령이 50대 이상일 때, 근무연수가 30년 이상일 때, 교수역량 지수값이 높게 나타난다고 보고하였으며, 학교 설립유형 간에는 교수역량의 지수값에 차이가 거의 나타나지 않았다. 하지만 이처럼 교사 및 학교 배경변인에 따라 교수역량 지수값에 차이가 나타난 것이 인과성에 기인한 것인지 검토하기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다.

특히 교사의 성별과 관련하여, Parveen et al.(2021)의 연구에서는 파키스탄의 중등교사를 대상으로 t-검정을 실시한 결과, 여성 교사의 교수역량 수준이 남성 교사의 교수역량에 비해 통계적으로 유의하게 높게 나타났으며, 사립학교 교사의 교수역량 수준이 공립학교에서 근무하는 교사의 교수역량에 비해 통계적으로 유의하게 높게 나타났다고 보고하였다. 이는 김창완 외(2015), Maji(2022)의 연구와도 유사한 결과이다. 또한 양혜원, 백순근(2022)의 연구에서는 혼합효과 랜덤 포레스트 분석 결과 교사의 성별은 핀란드 교사의 교수역량을 주요하게 예측하는 요인 중 하나로 추출되기도 하였다.

또한 랜덤포레스트 분석을 활용하여 한국 교사의 교수역량의 예측요인을 살펴보았던 백순근 외(2020)의 연구에서는 교직근무 연수와 교사가 담당하고 있는 교과가 교수역량을 예측하는 주요 요인인 것으로 보고된 바 있다.

2. 구조적 인과 모형(Structural Causal Model)

인과 추론(causal inference)에 대한 논의는 오래전부터 철학, 통계학, 의학 등 다양한 각 분야에서 이루어져 왔다.

고대의 철학자 Aristotle는 한 사물에 대한 '원인'을 질료인(material cause), 형상인(formal cause), 작용인(efficient cause), 목적인(final cause)으로 구분하여 현상 세계를 탐구할 수 있는 양식을 마련하였다. Locke는 1690년 어떠한 간단하거나 복잡한 아이디어를 생성하는 것을 '원인(cause)'이라 하고, 생성된 것을 '효과(effect)'라고 정의한 바 있다. 이는 Aristotle의 아이디어가 '원인'에 강조점이 있었던 것을 '원인에 의한 효과'로 확장한 논의라고 볼 수 있다. 1700년대에 이르러 Hume은 인과성(causation)을 두 경험 간의 관계로 보았다. Hume은 원인이 결과를 생성한다는 것은 경험적으로 입증할 수 있는 것이 아니며, '효과'라고 불리는 경험적 사건이 '원인'이라고 불리는 경험적 사건 뒤에 따라오는 것이라고 주장한 바 있다. 이러한 Hume의 관점은, 통계의 역할을 '관찰된 사실에 근거하여 관찰되지 않는 것을 추론하는 것'이라고 보는 전통적 통계의 견해와 일맥상통하는 것으로 볼 수 있다(Holland, 1986).

1900년대에는 통계학자들에 의해 인과 관계를 살펴보기 위한 다양한 접근들이 시도되었다. Cox는 인과 효과를 밝히기 위한 실험 계획에 대한 소개를 담은 책에서 처치 효과(true treatment effect)에 대해 논의한 바 있으며, Fisher는 실험 설계에 대한 이론을 정립하기도 하였다. Neyman은 무작위 실험 연구를 바탕으로 평균 인과 효과(average causal effect)에 개념을 제안하여 인과 효과에 대한 통계학적 발전에 기여하였다(Holland, 1986).

Neyman은 1923년 박사학위논문에서 '잠재 결과(potential outcome)'라는 용어를 처음으로 제시하기도 하였는데, 1974년 Rubin은 Neyman의 잠재 결과의 개념을 비실험 관찰자료에서 인과 효과를 정의할 수 있는 방법으로 확장하였다. 이와 같이 잠재 결과에 기반한 인과 추론 접근을 '네이만-루빈 모형(Neyman-Rubin model)' 또는 '루빈 인과 모형(Rubin

causal model; RCM)'이라고 한다. Rubin의 모형에서 인과 효과는 동일한 개체(unit)에서 서로 다른 처치에 따른 반사실적 결과(counterfactuals)를 나타내는 잠재결과 변인의 차이로 정의된다. 이때 동일한 개체는 처치를 받거나, 받지 않는 상황 중 한 가지 사례에만 속하게 되는데, 이러한 한계를 극복하고 무작위 실험 상황을 가정하기 위해 루빈은 확률에 기반한 할당 메커니즘(assignment mechanism)을 제시하고 구조화하였다(Rubin, 2005).

한편, 컴퓨터 과학자인 Judea Pearl의 연구팀을 중심으로 정립된 '구조적 인과 모형(structural causal models; SCM)'은 Rubin의 인과 모형과 함께 관찰 자료를 활용한 인과 추론 접근 방법으로 주목받고 있다(Morgan & Winship, 2015). 구조적 인과 모형은 노드(nodes)와 방향성 화살표(directed edges)로 작성된 방향성 비순환 그래프(DAGs)로부터 인과적 결론 도출에 필요한 정보들을 파악할 수 있는 직관적인 방법들을 제시한다. Judea Pearl은 기계가 학습할 때 인과성에 대한 이해가 결여되어있다는 문제의식으로부터 구조적 인과 모형의 개념틀을 정립하였다(Pearl & Mackenzie, 2018). 구조적 인과 모형은 기계가 인과 관계에 대해 이해할 수 있는 언어를 제공함으로써 인과 관계에 추론 과정을 알고리즘화하여 사람이 사고하는 방식과 비슷한 수준의 인공지능을 생성할 수 있다는 점에서도 다양한 분야의 연구자들에게 주목받고 있다(Holzinger et al., 2019; Pearl, 2019).

이 장에서는 이 연구에서 활용한 인과 추론의 개념틀인 구조적 인과 모형에 초점을 두어 정리하고자 한다.

가. 구조적 인과 모형의 개요

구조적 인과 모형 $\mathcal{M}$은 4-튜플(tuple) $\langle \mathbf{U}, \mathbf{V}, \boldsymbol{\mathcal{F}}, \boldsymbol{P}(\mathbf{U}) \rangle$로 정의할 수 있다(Bareinboim et al., 2022). 이때, 'n-튜플(tuple)'은 n개의 요소로 구성된 세트를 의미하며, 요소들은 '( )' 또는 '< >' 기호 안에 표기한다(Matthews, 2014).

구조적 인과 모형의 구성 요소들을 살펴보면, **U**는 배경변인 또는 외생변인의 집합 세트를 의미하며, 모형의 외부 요소에 의해 결정된다. **V**는 내생 변인들의 집합 세트로, **U**와 **V**의 합집합 안에 있는 다른 변인들에 의해 결정된다. 이때 각 내생변인(V_i)들은 모델에 내재되어 있는 인과적 과정(causal process) 또는 메커니즘에 의해 결정된다. $\boldsymbol{\mathcal{F}}$는 함수들의 집합 세트를 의미한다. 각 함수(f_i)는 각 외생변인(U_i)과 내생변인(V_i), 그리고 내생변인(V_i)에 영향을 미치는 또 다른 내생변인인 부모(Pa_i) 변인 간의 관계에 대응되며, 이러한 관계는 '$v_i \leftarrow f_i(pa_i,\ u_i)$'로 표현될 수 있다(Bareinboim et al., 2022). 참고로, 구조적 인과 모형에서 변인 간 관계를 나타내는 데 사용되는 용어들은 매우 직관적이다. 예컨대 X→Y의 경로에서 변인 X의 결과가 되는 변인 Y를 자녀(child), 변인 Y의 원인이 되는 변인 X를 부모(parent)라고 한다. 또한 X→ … →Y의 경로에서와 같이 변인 X가 변인 Y에 영향을 미치는 메커니즘에서 여러 단계의 방향성 경로에 선행하는 원인으로 작용할 때 변인 X는 변인 Y의 조상(ancestor), 변인 Y는 변인 X의 자손(descendant)이라고 일컫는다(Morgan & Winship, 2015). 마지막으로 $\boldsymbol{P}(\mathbf{U})$는 **U**에 대해 정의된 확률함수를 의미한다(Bareinboim et al., 2022).

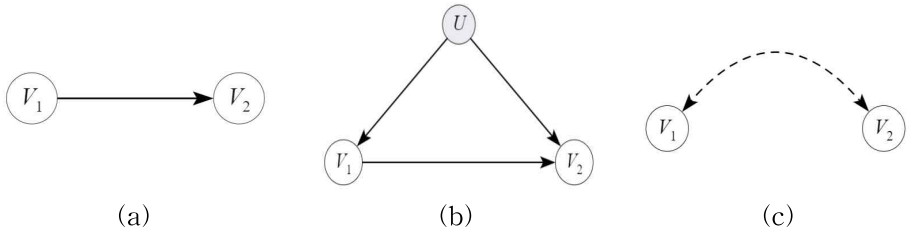
구조적 인과 모형에서는 변인 사이의 인과 관계를 파악하는데 관련된 모든 인과 관계들을 하나의 그래프(causal graph)에 압축하여 표현해낼 수 있다는 장점을 지니며, 잠재 결과의 관점에서와 같이 인과 분석을 위한 반사실적 접근을 취할 수 있는 점에서 인과 추론을 위한 주요한 개념틀로 주목받고 있다(Morgan & Winship, 2015). 먼저, 인과 그래프에 인과 관계를 표현하는 방법과 그래프로 표현되었을 때의 장점을 살펴보면 다음과 같다.

1) 인과 그래프의 표현

인과 그래프는 구조적 인과 모형으로부터 정의될 수 있으며, 구조적 인과 모형은 각 모형에 따라 각각의 독특한 인과 그래프로 표현될 수 있

다. 구조적 인과 모형 $\mathcal{M}$ = <$\mathbf{U}$, $\mathbf{V}$, $\boldsymbol{\mathcal{F}}$, $\boldsymbol{P}(\mathbf{U})$>이며, $\mathcal{M}$의 인과 그래프를 $\mathcal{G}$라고 할 때 $\mathcal{G}$는 노드(node), 방향성 화살표(directed arc), 양방향 화살표(bidirected arc)의 세 가지 요소로 구성된다. 먼저, 모형의 모든 내생변인 세트 $\mathbf{V}$는 그래프에 노드로 나타낸다. 그리고 내생변인 V_j가 f_i의 인수로 포함되는 함수관계에 있다면, 그 관계는 '$V_i \rightarrow V_j$'와 같이 화살표로 표현할 수 있다. 그래프를 구성하는 노드 사이의 방향성 화살표는 원인과 결과 변인 사이를 화살표로 연결함으로써 인과 효과의 방향성을 부여한다(Bareinboim et al., 2022; Morgan & Winship, 2015; Pearl, 2009). 만약, 외생변인 세트 $\mathbf{U}$의 원소 U_i와 U_j 사이에 상관이 있거나, 이에 대응되는 함수 f_i, f_j에 $\mathbf{U}$의 원소가 인수로 포함될 때는 '$V_i \leftrightarrow V_j$'와 같이 노드 사이에 양방향 화살표를 사용하여 나타낸다(Bareinboim et al., 2022).

예컨대 두 확률 변인을 각각 V_1, V_2라고 하고, [그림 II-1]의 (a)에서와 같이 V_1에서 V_2로 향하는 화살표를 표시한다면, 이는 V_1가 V_2의 원인이 됨을 의미한다. (b)의 경우, U는 관찰되지 않은 변인을 의미하며, V_1과 V_2에게 공통의 원인이 되는 변인으로 작용함으로써 V_1과 V_2 사이에 혼재된 상관이 나타나도록 하는 혼재변인(confounder)이다. 화살표의 모양은 [그림 II-1]의 (a), (b)에서와 같이 단방향 화살표일 수도 있지만, 상황에 따라 [그림 II-1]의 (c)에서와 같이 구부러진 점선의 양방향 화살표를 통해 변인 간의 관계를 보다 간결하게 나타내기도 한다. [그림 II-1]의 (b)와 (c)는 같은 의미를 담고 있는 인과 그래프로, 변인 V_1과 변인 V_2가 상호 의존적인 관계에 있거나, 원인변수(V_1)와 결과변수(V_2)에게 동시에 영향을 주는 관찰되지 않은 변인(U)가 존재하고 있음을 의미한다.



[그림 II-1] 인과 그래프 예시(1)

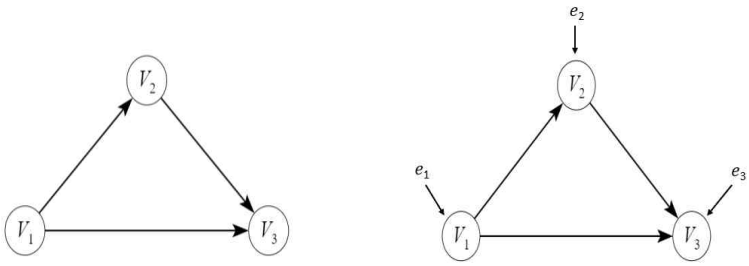
한편, 인과 그래프에는 오차를 생략하고 간결하게 나타낼 수 있다. 즉, [그림 II-2]의 (a)와 (b)는 동일한 그래프를 나타낸 것으로, 인과 그래프를 나타낼 때는 (a)의 형태로만 제시해도 (b)에 나타난 오차들이 담겨있는 것으로 본다. [그림 II-2]의 (b)에서 오차항 e_1, e_2, e_3, e_4는 각각 변인 V_1, V_2, V_3에 대해 고유한 원인으로 작용하며, 서로 다른 오차항 또는 다른 변인들에 대해서는 모두 독립이라고 가정한다(Morgan & Winship, 2015).

기존에 교육학 연구에서 주로 사용되었던 경로 모형 또는 구조방정식(structural equation model)에서는 선형을 가정하였으나, 구조적 인과 모형은 변인 사이의 관계에 대해 선형, 비선형, 상호작용 등의 제약을 두지 않는 비모수적 구조 방정식으로 쓰여진다(수식1-수식3 참조).

$$V_1 = f_{V_1}(e_1), \qquad \text{(수식 1)}$$

$$V_2 = f_{V_2}(V_1, e_2), \qquad \text{(수식 2)}$$

$$V_3 = f_{V_3}(V_1, V_2, e_3). \qquad \text{(수식 3)}$$



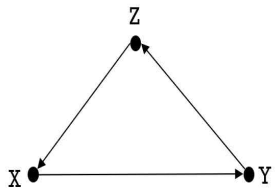
(a) (b)

[그림 II-2] 인과 그래프 예시(2)

2) 방향성 비순환 그래프

인과 그래프의 한 유형인 방향성 비순환 그래프(Directed Acyclic Graphs; DAGs)는 두 변인 간의 관계에서 원인이 되는 변인이 결과 변인으로부터 직·간접적으로 다시 방향성 화살표를 받는 경로가 없는 그래프를 의미한다. 예컨대 [그림 II-3]에서 변인 X를 중심으로 그래프를 볼

때, X→Y→Z→X의 방향성 경로로 순환되고 있어, 변인 X가 곧 자신의 자손(descendant)이 되기 때문에, 이 경우는 방향성 비순환 그래프로 볼 수 없다. 방향성 비순환 그래프는 변인들 사이의 순환적 관계를 금지하기 때문에, 인과 관계에 대한 논의에서 활용될 수 있다(Pearl, 2009). 한편, 방향성 비순환 그래프는 Pearl(1985)의 연구에서 베이지안 네트워크(Bayesian networks)라는 용어로 소개되기도 하였다



[그림 Ⅱ-3] 순환하는 경로를 지니는 방향성 그래프 예시

방향성 비순환 그래프는 단순히 변인 사이의 인과 관계를 그림으로 표현해내려는 목적뿐만 아니라 변인 간 확률적 독립이 성립할 수 있는 조건을 파악하기 위한 도구로도 활용될 수 있다. 먼저, 확률적 독립(probabilistically independent)이란 변인 X의 값을 아는 것이 변인 Y의 값에 대한 믿음에 영향을 미치지 않는 경우 X와 Y는 확률적 독립이라고 한다. 이는 $P(Y=y|X=x)=P(Y=y)$으로 나타낼 수 있으며, $P(y,x)=P(y)P(x)$로 표현되기도 한다. Bareinboim et al.(2020)은 인과적 구조 모형 $\mathcal{M}^*$ = <**U**={U_1, U_2}, **V**={X, Y}, $\boldsymbol{\mathcal{F}}^*$, $\boldsymbol{P}$(**U**)>에서 $\boldsymbol{\mathcal{F}}^*$ = $\begin{cases} X \leftarrow U_1 \\ Y \leftarrow U_2 \end{cases}$ 이고, U_1, U_2가 각각 P(U_1=1)=P(U_2=1)=1/2인 이분형 변수라고 할 때 변인 X와 Y 사이에 인과 효과가 없다고 말할 수 없는 상황임에도 통계적으로 독립($\boldsymbol{P}_{\mathcal{M}^*}$(x, y)=1/4)으로 계산될 수 있음을 보여준 바 있다.

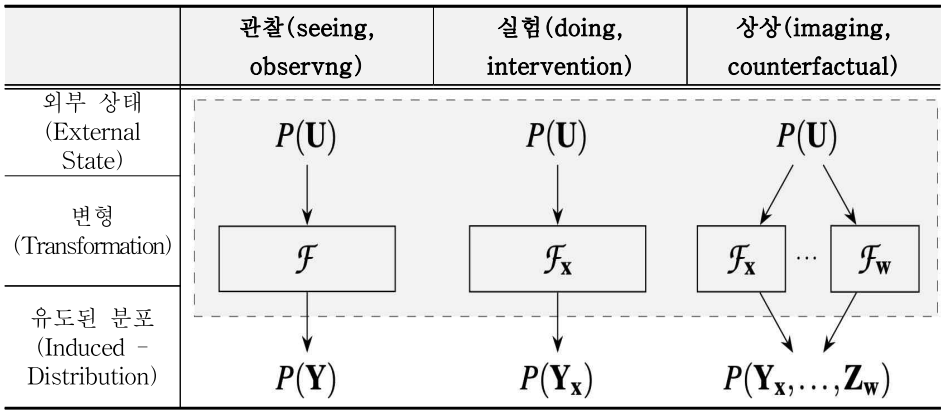
Pearl이 제안한 'd-분리 기준(d-separation criterion)'은 방향성 비순환 그래프 $\mathcal{G}$에 세 분리 집합 변인들인 **X**, **Y**, **Z**가 노드로 있는 상황에서, **Z**가 주어졌을 때 **X**와 **Y**가 독립인지 파악하기 위한 방법이다. 그래프 상에서 집합 **Z**가 **X**에서 **Y**로 향하는 모든 경로를 막을 때, 집합 **Z**는 **X**와 **Y**를

d-분리한다고 한다. 이와 같은 상황은 크게 두 가지로 구분해볼 수 있다. 첫째, 경로 상에 인과적 체인(causal chain)(예시: $i \rightarrow m \rightarrow j$) 또는 포크 구조(fork)(예시: $i \leftarrow m \rightarrow j$)에서 경로의 가운데에 있는 노드 m이 집합 $\mathbf{Z}$에 속하는 경우이다. 인과적 체인과 포크 구조에서는 i와 j가 상호 의존적이지만, 경로의 가운데에 있는 m이 통제되었을 때는 i에 대한 정보가 j의 확률에 영향을 미치지 않는 상태인 통계적 독립이 된다. 둘째, 경로 상에 뒤집어진 포크 구조(inverted fork)(예시: $i \rightarrow m \leftarrow j$)에서 m 또는 m의 자손이 집합 $\mathbf{Z}$에 속하지 않는 경우이다. 뒤집어진 포크 구조는 두 개의 서로 다른 원인변수가 하나의 공통 효과를 보이는 상황이다. 이처럼 서로 다른 원인변수가 서로 독립이었을 경우, m 또는 m의 자손이 집합 $\mathbf{Z}$에 속하는 상황에서 $\mathbf{Z}$를 통제하면 독립이었던 변인들 사이에 정보가 흐르게 되어 비인과적인 관련성이 발생하기 때문이다(Pearl, 2009).

3) 방향성 비순환 그래프와 인과 추론

Pearl은 '인과 관계의 사다리(ladder of causation)'라는 표현을 통해 인과 관계의 위계적 특징을 구분하여 정리하였다(Pearl & Mackenzie, 2018). 인과 관계의 위계적 구조는 관찰(seeing), 실행(doing), 상상(imaging)으로 구분된다(<표 Ⅱ-1> 참조).

<표 Ⅱ-1> 인과 관계의 위계적 특징



출처: Bareinboim et al.(2020), p. 11

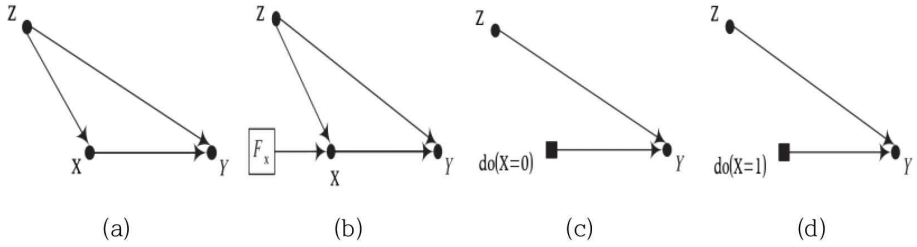
인과 관계 위계적 구조에서 첫 번째 층에 해당하는 '관찰'은 어떠한 현상에 대해 있는 그대로 관찰하는 것이며, 관찰한 바에 대해 추론을 실행할 수도 있다. 구조적 인과 모형 $\mathcal{M}$ = <**U**, **V**, $\boldsymbol{\mathcal{F}}$, $\boldsymbol{P}$(**U**)>은 각 **Y**⊆**V**에 대하여 결합확률분포 $\boldsymbol{P}_{\mathcal{M}}(\mathbf{y}) = \sum_{\{u \mid Y(u) = y\}} P(u)$가 유도된다.

두 번째 층인 '실험'에서는 어떠한 결과를 가져오기 위해 세계(world)에 개입하는 것이다. 이때 $\mathcal{M}$을 인과 모형이라고 할 때, **X**는 **V**의 변인 세트이며, **X**는 **X**의 특정한 현실화 값이라고 한다면, $\mathcal{M}$의 하위 모델 $\mathcal{M}_{\mathbf{X}}$는 $\mathcal{M}_{\mathbf{X}}$ = <**U**, **V**, $\boldsymbol{\mathcal{F}}_{\mathbf{X}}$, $\boldsymbol{P}$(**U**)>로 나타낼 수 있다. 단, $\boldsymbol{\mathcal{F}}_{\mathbf{X}} = \{f_i : \mathbf{V}_i \notin \mathbf{X}\} \cup \{\mathbf{X} \leftarrow \mathbf{x}\}$을 만족한다. 이처럼 외부의 개입(또는 실행)은 **X**와 상관관계에 있던 원래의 메커니즘을 'do-연산자(do-operator)'로 표현되는 일정한 값 **X**=**x**로 대체하는 것이다. 개입의 결과로 생성된 결과 변인 **Y**는 잠재 반응(potential response)라고 한다. 이때 $\boldsymbol{P}_{\mathcal{M}}(\mathbf{Y}_{\mathbf{X}}) = \sum_{\{u \mid Y_x(u) = y\}} P(u)$와 같이 분포가 유도된다.

세 번째 층은 '상상'으로, 현재의 세계와는 다르게 만들 수도 있는 대안적인 방안에 대하여 생각하는 것이다. 이때 구조적 인과 모형 $\mathcal{M}$ = <**U**, **V**, $\boldsymbol{\mathcal{F}}$, $\boldsymbol{P}$(**U**)>에서 내생변인 집합 **V**에 포함되어 있는 **Y**, **Z**, **X**, **W**의 반사실적 사건들($\mathbf{Y}_{\mathbf{X}}, \cdots\cdots, \mathbf{Z}_{\mathbf{W}}$)에 대한 결합분포 $\boldsymbol{P}_{\mathcal{M}}(\mathbf{Y}_{\mathbf{X}}, \cdots\cdots, \mathbf{Z}_{\mathbf{W}}) = \sum_{\{u \mid Y_x(u) = y,\ \cdots,\ Z_w(u) = z\}} P(u)$를 유도한다(Bareinboim et al., 2020).

위에서 언급한 'do-연산자'는 Pearl이 도입한 실험적 개입(intervention)의 개념으로, 인과 그래프 모델에서 인과 관계에 대한 반사실적 접근이 가능하도록 한다(Morgan & Winship, 2015). Pearl은 개입 전 체제(pre-intervention regime)와 개입 체제(under-intervention regime)로 구분하고 있다. [그림 Ⅱ-4]의 (a)에서 변인 X가 0 또는 1의 값을 갖는다고 할 때, 개입 전 체제에서는 변인 X의 값이 구조적 인과 모형에서 방정식 $X = f_X(c, e_X)$에 의해 결정된다. 한편 개입 체제에서는 X의 값이 개입에 의해 결정된다. 변인 X가 0 또는 1의 값을 갖는다고 할 때, 개입은 $do(X=0)$ 또는 $do(X=1)$으로 표현된다. Pearl은 인과에

대한 양적인 표현은 개입 전 분포가 아닌 개입 상태에서의 분포로 정의된다고 보았다. 예컨대, [그림 Ⅱ-4]의 (a)에서 인과 효과를 나타내는 확률분포는 $P[Y|(X=0)]$ 또는 $P[Y|(X=1)]$이 아니라, $P[Y|do(X=0)]$ 또는 $P[Y|do(X=1)]$으로 표현된다. 또한 평균 인과 효과는 $E[Y|do(X=1)]-E[Y|do(X=0)]$로 표현된다. 이때 개입 체제에서는 변인 X가 이상적인 실험 환경에서 개입에 의해 결정된다고 보기 때문에 혼재변인(confounder) Z가 X에게 미치는 영향의 경로는 끊어진다.



[그림 Ⅱ-4] 개입 체제에서의 인과 그래프 예시

출처: Morgan & Winship(2015) p. 96

인과 그래프는 관심 변인과 인과 관계에 있는 모든 경로를 표현하는 것으로, 비모수 구조방정식에서 오차항을 표시하지 않는 것과 같이 개입에 대한 정보도 표시하지 않아도 되지만, 이를 의도적으로 표현하고자 한다면 [그림 Ⅱ-4]의 (b)와 같이 나타낼 수 있으며, [그림 Ⅱ-4]의 (c), (d)에서와 같이 개입은 ●가 아닌 ■로 표현되고, 혼재변인 Z와 처치변인 X의 경로는 끊어서 나타낼 수 있다(Morgan & Winship, 2015).

이처럼 인과적 정보를 담고 있는 방향성 비순환 그래프에 do-연산자($do(\cdot)$)를 적용하면 관찰자료로부터 인과 효과를 계산할 수 있으며, 다음과 같을 때 인과 효과가 식별(identification)된다고 할 수 있다(Pearl, 2009).

(인과 효과의 식별)

인과 그래프 $\mathcal{G}$에서 $P(y|do(x))$가 관측된 변인들의 양(+)의 확률에서 특유의 값으로 계산된다면 **Y**에 대한 **X**의 인과 효과가 식별된다고 할 수 있다.

즉, $\mathcal{G}$에서 유도된 모든 모형들 $\mathcal{M}_1$, $\mathcal{M}_2$에서 $P^{M_1}(v) = P^{M_2}(v) > 0$ 일 때,

$$P^{M_1}(y|do(x)) = P^{M_2}(y|do(x))$$

모든 관련 변인들이 관측된 마코프 모델 하에서 인과 그래프 $\mathcal{G}$가 주어졌을 경우에는, 인과 효과 $P(y|do(x))$가 잘린 인수 분해(truncated factorization)에 의해 구해질 수 있다.

즉, $P(v'|do(x)) = \prod_{\{V_i \in V \setminus X\}} P(v_i \ pa_i)$에서 $P(y|do(x)) = \sum_{v' y} \prod_{\{V_i \in V \setminus X\}} P(v_i \ pa_i)$ $= \sum_{pa_X} P(y \ x, pa_X) P(pa_X)$이다.

나. 구조적 인과 모형에 근거한 인과 추론

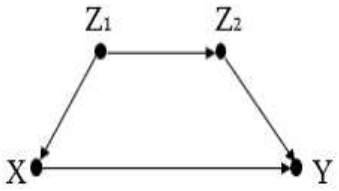
인과 추론 연구를 설계함에 있어 내적 타당도를 확보하는 것은 정확한 인과 관계를 파악함에 있어 필수적이라 할 수 있다. 연구의 내적 타당도란 연구의 결과를 믿을 수 있는가와 관련된 것으로, 독립변인과 종속변인의 관계를 파악하는데 영향을 미칠 수 있는 다른 변인들을 잘 통제하여 연구 진행 과정이 타당하게 수행되었는지를 살펴보는 것이다(백순근, 2018). 이와 같은 연구의 내적 타당도의 개념에 비추어볼 때, 주어진 자료를 바탕으로 인과 관계를 추론함에 있어 내적 타당도를 확보한다는 것은, 추정된 처치변인과 결과변인의 인과 관계가 혼재변인과 같은 제3의 변인들의 영향을 받지 않은 두 변인 사이의 순수한 인과 관계를 충실히 파악한다는 것임을 의미한다고 할 수 있다.

인과 그래프를 통해 처치변인과 결과변인 간 관계가 그래프 위에 표상된 후에는 인과 추론의 내적 타당도를 확보할 수 있는 방안들인 '뒷문 기준(back-door criterion)', '적응 기준(adjustment criterion)', '앞문 기준(front-door criterion)'과 같이 혼재변인으로 인한 편의를 통제할 수 있는

방법들이 제안되었다(Pearl., 1995; 2009; Imbens, 2020).

1) 뒷문 기준(back-door criterion)

뒷문 기준을 이해하기 위해서는 먼저 '뒷문 경로(back-door path)'가 무엇인지 이해하는 것이 필요하다. 뒷문 경로는 처치변인과 결과변인 사이에서 인과적으로 나열된 경로들 중, 처치변인으로 향하는 화살표로 시작되는 경로를 의미한다. 예컨대 [그림 Ⅱ-5]에서 처치변인을 X, 결과변인을 Y라고 할 때, 두 변인 사이를 연결해주고 있는 경로는 ①$X \leftarrow Z_1 \rightarrow Z_2 \rightarrow Y$와 ②$X \rightarrow Y$가 있다. 두 경로 중 $X \leftarrow Z_1 \rightarrow Z_2 \rightarrow Y$는 뒷문 경로로, X와 Y 사이에 비인과적인 상관이 생기게 한다. 이때 Z_1, Z_2, 또는 Z_1와 Z_2 모두를 통제하면, 뒷문 경로가 닫히면서 변인 X가 변인 Y에 미치는 인과효과에 대한 편의가 없는 추정치를 얻을 수 있다. 이처럼 통제를 활용하는 것은 처치변인과 결과변인 사이에서 비인과적인 경로로 발생한 상관관계를 부분적으로 제거해주는 역할을 한다(Morgan & Winship, 2015).



[그림 Ⅱ-5] 뒷문 기준의 적용 예시

인과 그래프 $\mathcal{G}$와 관찰변인 **V**의 부분집합 **X**, **Y**에 대한 비실험 데이터가 주어졌을 때, 개입 $do(X=x)$이 반응변인 **Y**에 미치는 효과를 추정하는 것은 곧 $\mathcal{G}$에 담긴 가정을 바탕으로 $P(y|do(x))$를 추정한다는 것이다. Pearl에 의해 정립된 뒷문 기준은 인과 그래프에 직관적으로 적용할 수 있으며, $P(y|do(x))$를 식별하기에 충분한 변인 집합 **Z**(단, **Z**⊆**V**)를 찾아낼 수 있도록 한다(Pearl, 2009).

뒷문 기준은 처치변인과 결과변인 사이에서 비인과적인 상관을 전달하는 모든 경로를 닫는 데 목적이 있으며, 어떤 관찰변인 집합을 통제했을 때 인과 효과를 확인할 수 있을지에 대한 기준을 제시한다.

뒷문 기준은 다음의 두 단계를 통해 적용할 수 있다(Morgan & Winship, 2015; Pearl, 1995).

1단계: 처치변인에서 결과변인으로 향하는 모든 뒷문 경로를 파악하고, 열려있는 뒷문 경로를 닫기 위해 통제해야하는 관찰변인 집합의 후보들을 파악한다.

2단계: 모든 뒷문 경로를 닫을 수 있는 변인 집합 후보들 중 뒷문경로를 닫아줄 수 없거나 오히려 인과 경로를 막는 등 인과 효과를 찾는데 방해되지 않을지 검토한다.

위의 두 단계에 대하여, 통제 변인 집합 Z를 선정하는데 논리적 근거가 되는 조건들은 다음과 같다(Morgan & Winship, 2015).

조건1. 모든 뒷문 경로는 Z를 통제하고 나면 모두 닫힌다. 이때 뒷문 경로를 닫아줄 수 있는 조건들은 다음과 같다.

(a) 매개 경로(A→C→B)에서 매개변인(C)가 통제 집합에 있을 경우

(b) 하나의 변인이 두 개의 다른 변인의 공통된 원인변수로 작용하는 경로(A←C→B)에서 혼재변인(C)가 통제 집합에 있을 경우

(c) 두 개의 다른 변인이 하나의 공통된 결과변인을 지니는 경로(A→C←B)에서 충돌변인(C)와 이 충돌변인의 모든 자손(decendants) 변인들이 통제 집합에 있지 않은 경우

조건2. 통제 변인 집합 Z에 속한 변인들과 그 변인들의 자손 변인들은 처치변인에서 결과변인으로 도달하는 직접 경로(directed paths) 내에 존재하지 않는다.

2) 조정 기준(adjustment criterion)

Shpitser 외(2010)는 조정 기준을 제안하였다. 이 연구에서는 뒷문 기준을 만족시키는 변인들 외에도 인과 효과를 알아낼 수 있는 변인들이 존재함을 확인하고, 인과 효과 추정을 위한 통제변인 집합 선정 방식을 포괄할 수 있는 기준을 마련하였다. 조정 기준은 뒷문 기준과 매우 유사하나, 조정 기준은 모든 허용 가능한 통제변인 집합을 찾기 위한 방안이라고 할 수 있다. 참고로, Pearl이 제안한 뒷문 기준을 충족한다는 것은 관심 변인 사이의 인과 효과를 식별할 수 있는 최소한의 조건이 통과되었음을 의미한다.

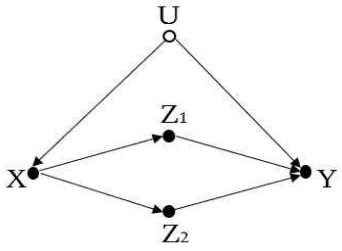
1단계: 처치변인에서 결과변인으로 향하는 모든 인과 경로(causal path)와 처치변인으로부터 시작된 모든 비인과 경로(noncausal path)를 파악한다. (이때, 비인과 경로란 뒷문 경로를 포함하는 모든 비인과 경로를 의미한다.)

2단계: 통제변인 집합 후보들 중 비인과 경로를 닫을 수 없거나 오히려 인과 경로를 막는 등 인과 효과를 찾는데 방해되지 않을지 검토한다.

3) 앞문 기준(front-door criterion)

앞문 기준은 뒷문 기준 또는 조정 기준을 적용할 수 없는 상황에서도 처치변인과 결과변인의 인과 관계를 식별하기 위한 방법으로 고안되었다(Pearl, 1995).

아래의 [그림 Ⅱ-6]을 살펴보면, 주어진 인과 그래프에서 변인 X가 변인 Y에 미치는 인과 효과를 파악하고자 할 때, 관찰되지 않은 변인 U가 포함된 경로 X←U→Y로 인해 뒷문 경로가 열려있다. 그러나 변인 U는 관찰이 불가하기에 통제할 수 없어, 뒷문 기준을 적용할 수 없다.



[그림 Ⅱ-6] 앞문 기준의 적용 예시

Pearl은 이처럼 뒷문 기준의 적용이 불가능한 상황에서 인과 효과를 식별할 수 있으며, 이를 위해 통제 가능한 관측변인 집합 Z를 파악하는데 논리적 근거가 되는 조건들을 아래와 같이 제시하였다(Morgan & Winship, 2015; Pearl, 2009).

조건1. (남김없음, exhaustiveness). 집합 Z에 속하는 변인들은 처치변인으로부터 결과 변인으로 향하는 직접 경로(directed paths) 내에 존재하지 않는다.

조건2. (고립, isolation). 처치 변인과 집합 Z에 속한 변인들 사이에 열려있는 뒷문 경로가 존재하지 않으며, 집합 M으로부터 결과변인으로 향하는 모든 뒷문 경로는 처치 변인을 통제함으로써 닫힐 수 있다.

앞문 기준의 적용은 뒷문 기준과 같이 직관적이지는 않다. 위에서 살펴본 앞문 기준을 활용하면 [그림 Ⅱ-6]의 예시와 같은 인과적 메커니즘에서 원인변수 X가 결과변인 Y에 미치는 인과 효과 식별이 가능하다. 먼저, $X \rightarrow Z_1$와 $X \rightarrow Z_2$ 경로의 경우 열려있는 뒷문 경로가 없기 때문에 인과 효과 추정이 가능하다. 또한 X를 조건화하면, $Z_1 \rightarrow Y$와 $Z_2 \rightarrow Y$의 경로에 대한 모든 뒷문 경로가 막히게 된다. 이때 $X \rightarrow Z_1$과 $Z_1 \rightarrow Y$, 그리고 $X \rightarrow Z_2$과 $Z_2 \rightarrow Y$은 모두 관찰변인이며 관찰되지 않은 변인 U의 영향을 받지 않기 때문에, 추정된 인과 효과를 조합함으로써 X와 Y 사이의 인과

효과를 추정할 수 있는 것이다.

즉, Z가 (X, Y)에 대한 앞문 기준을 만족하며 P(x, z) > 0일 때 변인 X와 Y 사이의 인과 효과는 식별될 수 있으며, 이때 인과 효과는 아래의 수식과 같이 나타낼 수 있다(Pearl, 2009).

$$P(y|do(x)) = \sum_{z} P(z|x) \sum_{x'} P(y|x', z) P(x').$$

4) *do*-연산(*do*-calculus)

앞서 살펴본 뒷문 기준 및 앞문 기준은 인과 효과를 나타내는 $P(y|do(x))$의 값을 $do(\cdot)$가 없는 표현식으로 바꿔주는 역할을 함으로써 관찰된 분포($P(v)$)로부터 그 효과를 계산할 수 있도록 한다. *do*-연산 규칙은 인과 효과를 $do(\cdot)$가 없는 표현식으로 나타낼 수 있도록 하는 보다 체계적인 접근 방식이다.

Pearl(1995)은 인과 그래프에서 $P(y|do(x))$ 형태의 인과 효과를 관찰된 변인들의 확률로 표현할 수 있을지 확인할 수 있는 추론 규칙인 *do*-연산을 제안하였다. 이때, 일련의 추론 규칙을 순차적으로 적용하였을 때 $P(y|do(x))$의 고유한 값을 관측된 변인의 확률로부터 구할 수 있다는 것이 확인된다면, 주어진 인과 그래프로부터 인과 효과의 식별이 가능하다는 것이 증명된 바 있다. *do*-연산의 세 가지 규칙은 아래와 같다.

규칙1. 관찰변인의 첨가/제거

$$P(y|do(x), z, w) = P(y|do(x), w) \text{ if } (Y \perp\!\!\!\perp Z | X, W)_{G_{\overline{X}}}$$

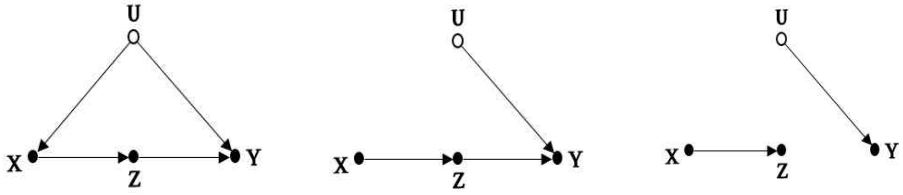
규칙2. 개입/관찰변인 교환

$$P(y|do(x), do(z), w) = P(y|do(x), z, w) \text{ if } (Y \perp\!\!\!\perp Z | X, W)_{G_{\overline{X}\underline{Z}}}$$

규칙3. 개입의 첨가/제거

$$P(y|do(x), do(z), w) = P(y|do(x), w) \text{ if } (Y \perp\!\!\!\perp Z | X, W)_{G_{\overline{X}, \overline{Z(W)}}}$$

방향성 비순환 그래프를 G 가 아래 [그림 Ⅱ-7]의 (a)와 같이 주어졌다고 할 때, $G_{\overline{X}}$는 G의 하위 그래프로, 그림 (b)와 같이 변인 X로 향하는 화살표가 모두 지워진 경우를 의미하며, $G_{\overline{X}\underline{Z}}$는 그림 (c)와 같이 변인 X로 향하는 화살표가 모두 지워지고 변인 Z에서 나가는 화살표가 모두 지워진 G의 하위 그래프를 의미한다. 위의 규칙 1은 $do(X=x)$인 개입 조건에서 분포가 조건부 독립을 만족하는지, 즉 d-분리가 되었는지를 확인하는 것이다. 규칙 2는 외부 개입 $do(Z=z)$이 관측 Z=z과 동일한 영향을 Y에 미치는 조건에 대한 것이며, 규칙 3은 Y=y의 확률에 영향을 미치지 않고 외부 개입을 도입 또는 삭제할 수 있도록 하는 조건에 대한 것이다. 이처럼 인과 효과 모수 추정치(estimand)는 인과 그래프를 활용하여 일련의 추론 규칙을 통해 최종적으로 관측값들로 계산된 $P(y|do(x))$로 식별된다.



(a) (b) (c)

[그림 Ⅱ-7] 인과 효과 유도에 대한 그래프 G의 하위 그래프

5) 인과 그래프에 근거한 인과 추론의 내적 타당도 확보 방안의 장점

연구에서 경험적 가설과 데이터를 활용한 추론 문제를 다룸에 있어 식별의 요소와 통계적 요소로 구분하여 생각해볼 수 있다(Manski, 1994). 식별은 연구자가 이론과 선행연구들에 근거하여 변인 간 인과 관계에 대한 가설을 설정하고, 무한한 크기의 모집단을 가정했을 때 인과

효과가 계산될 수 있을지를 살펴보는 것이다. 만약 식별이 불가한 문제라면 어떠한 통계적 분석을 실시하더라도 그 결과는 무의미하다. 따라서 식별이 될 수 있음이 확인된다면, 연구자는 통계적 추정 절차를 수행하여 편향되지 않은 추정치를 구할 수 있을 것이다(Morgan & Winship, 2015).

오랜 시간에 걸쳐 연구자들은 '어떠한 변인을 통제할 것인가'에 대한 질문을 던져왔는데, 이와 같은 질문은 인과 관계의 식별을 위한 물음일 것이다. 변인을 통제하는 방법에 대해 연구자들은 층화 분석, 혼재 변인을 회귀 모델에 투입, 매칭 등의 다양한 통제 기법을 제시해왔다(Rohrer, 2018). 사회과학 연구에서 통제변인으로 투입하는 변인들은 주로 나이, 성별 등의 인구통계학적 변인이거나, 처치변인 및 결과변인과의 관계가 설명되지 못한 채로 사용되는 경향이 있다(박원우 외, 2010). 이러한 현상과 관련하여, Pearl이 구조적 인과 모형에서 제안한 충돌변인(collider)나 매개변인의 개념을 고려하였을 때, 이와 같은 통제변인 선택을 위한 접근은 인과 효과 추정에 오류를 발생을 유도할 가능성이 있음을 이해할 수 있다. 예컨대, 만일 통제된 변인이 충돌변인라면, 충돌변인에 의해 변인들 사이에서 막혀있던 경로가 열리면서 변인들 혼재된 상관관계가 나타나게 된다. 통제변인을 사용하는 것은 인과와 관계없는 상관관계를 전달할 수 있는 경로를 막기 위함인데(하여진, 박현정, 2015; Elwert & Winship, 2014; Rohrer, 2018), 충돌변인을 통제할 경우 오히려 잘못된 상관이 나타나게 될 수도 있는 것이다(Elwert & Winship, 2014; Rohrer, 2018). 한편, Rosenbaum과 Rubin(1983)은 변인 사이의 인과 관계를 추론하는데 문제가 될 수 있는 표본선택편의를 최소화하기 위해서는 처치 이전의 집단 간 특성, 즉, 처치 집단과 통제 집단 간 균형 상태를 확보할 수 있어야 한다고 보았다. 또한 관찰 자료를 활용하여 인과 효과를 추정하는데 경향점수가 핵심적인 역할을 할 수 있을 것으로 보았다. 경향점수란 관찰된 공변인 벡터가 주어졌을 때 피험자가 처치집단에 배치될 조건부 확률을 의미한다. 이때 처치 후 변인은 통제변인에 포함하지 않는 것으로 알려져 왔는데, Pearl(2013)은 그래프에 담긴 인과적 메커니즘에

따라 비록 처치 후 변인라도 통제해야만 인과 효과를 추정할 수 있는 사례를 제시한 바 있다.

이처럼 인과적 구조 모형에서는 처치변인과 결과변인에 영향을 미치는 변인들 간의 모든 관계를 그래프에 담아내고, 인과 그래프에서 드러나는 인과적인 메커니즘에 근거하여 관심 변인 사이의 인과 관계를 효과적이고 효율적으로 파악할 수 있다. 인과 그래프는 통제변인 선택에 대해 안내하여 인과 추론의 내적 타당성을 확보할 수 있도록 할 뿐만 아니라 인과에 관련된 다양한 연구 문제에 대한 체계적인 접근을 가능하게 하였다. 예컨대 Pearl & Mackenzie(2018)는 확률 및 통계학에서 유명한 몬티 홀 문제(Monty Hall problem)와 심슨의 역설(Simpson's paradox), 그리고 생물통계학자 벅슨이 제기한 벅슨의 역설(Berkson's paradox) 등을 데이터 생성 과정을 고려하여 작성한 인과 그래프를 통해 해결한 사례를 제시하고 있다. 또한 기존의 통계 모형에서 논의되어 온 고정 효과 및 무선 효과, 억제 변수, 사전·사후검사, 편의, 통제변수 선택의 문제 등과 관련된 주제들에 대해서도 인과 그래프를 바탕으로 재해석할 수 있는 틀을 제공하고 있다(김용남 외, 2023; 김용남, 양혜원, 2021; 양혜원, 백순근, 2022; Kim, 2019; Kim & Steiner, 2021a; 2021b; Pearl, 2013).

Ⅲ. 연구 방법

이 연구에서는 원인변수와 결과변수 및 이들 사이에 관련이 있는 모든 변인들의 인과 관계를 그래프로 표상하여 인과 관계를 식별하는 데 유용한 프레임워크를 제공하는 구조적 인과 모형을 활용하여 국가별 교수역량에 대한 영향요인을 비교·분석하고자 한다. 이를 위하여 OECD가 주관하는 교수학습국제조사(Teaching and Learning International Survey: 이하 TALIS)에서 가장 최근 실시된 3주기 조사(TALIS 2018) 자료를 활용하였다. 구체적인 연구 방법은 다음과 같다.

1. 분석 데이터

TALIS 조사는 세계 각국의 효과적인 교수학습을 위한 정책 검토 및 수립을 지원하기 위하여 국제 지표를 구축하고, 정책 관련 분석 결과로부터 국가 및 지역적 맥락에서 교사와 교수활동에 대한 의미 있는 해석을 도출할 뿐만 아니라 다른 참여국 간 교원 및 교직환경을 체계적으로 비교할 수 있는 기회를 제공하는데 목적을 두고 있다. 1주기 조사는 2008년에 처음으로 시작되었으며, 5년을 주기로 하여 2013년에는 2주기, 2018년에는 3주기 조사가 시행되었다.

TALIS 2018은 교사와 교장의 근무 환경과 관련된 11개 주제(교사 양성 및 초기 준비 교육, 교사의 직무 만족도 및 동기, 교사 피드백 및 전문성 개발, 교사 자기효능감, 교사의 전문적 실천, 교사의 교수 실천, 인적 자원 문제 및 이해관계자 관계, 학교 풍토, 학교 리더십, 혁신, 형평성 및 다양성)를 포함하고 있다(OECD, 2019b). 따라서 TALIS 2018 데이터는 세계 각국의 어떠한 교직 환경 관련 요인이 교사의 교수역량과 인과적 관계를 맺고 있는지, 그리고 그 효과는 어떠한지를 종합적으로 파악하기 위한 이 연구의 목적에 적합하다.

TALIS 2018에는 48개 국가 및 지방자치단체가 참여하였으며, 학교급은 중학교(ISCED 2011 level 2)[1]를 주요 대상으로 실시되었고, 초등학교(ISCED 2011 level 1)와 고등학교(ISCED 2011 level 3)는 선택사항이었다(Ainley & Carstens, 2018). 각 국가마다 학교급별 조사 참여 여부가 다소 상이한데, 한국의 경우 초등학교와 중학교에서 조사에 참여하였다(OCED, 2019b).

이 연구에서는 TALIS 2018 조사의 주요 대상인 ISCED level 2 학교에서 근무하는 한국, 미국, 일본의 교사 및 학교장의 응답 자료를 연구 대상으로 하였다. 이때, ISCED level 2는 학교급의 구분상으로는 중학교에 해당하는데, 이 연구의 대상 국가인 미국의 경우 각 주별로 중학교와 고등학교의 구분이 상이하거나 구분되어있지 않은 경우가 있어, TALIS 2018에 참여한 교사를 중학교 교사로 단정하기에 어려움이 있다. 또한 한국의 경우에도 교원임용시 중학교와 고등학교를 분리하지 않고 선발하며, 교사의 희망에 따라 중학교와 고등학교 간 전보가 가능하는 특성이 있다. 따라서 이 연구에서는 TALIS 2018 조사에 참여한 ISCED level 2 학교의 교사를 '중등교사'로 명명하였다. 특히 한국의 경우 초등교사의 양성은 절대적으로 교육대학의 특수목적형 양성체제 하에서 이루어지고 있으므로(김신호 외, 2001), 비교적 한국의 교사들이 경험하는 체제의 다양성이 높은 중등교사의 TALIS 2018 조사 응답 데이터를 살펴보는 것은 의미가 있다고 판단하였다.

분석 대상 국가별로 시행된 조사의 표본 개요는 <표 III-1>과 같다(OECD, 2019c). 한국의 경우 중학교(7~9학년)에서 근무하는 교사를 대상으로 조사가 실시되었다. 표본 추출 시 교사 수가 3명이 되지 않는 매우 작은 규모의 학교, 지리적으로 외진 지역에 있는 학교, 대안학교 등을 제외하고, 학교 규모에 비례하여 17개 시도에서 체계적 표집을 실시하였다. 실제 본조사에는 163개 중학교에서 2,931명의 교사가 응답에 참여하였다.

1) ISCED(Internatinoal Standard Classification of Education)는 UNESCO에서 제안한 교육 국제 표준 분류 방식으로, ISCED level 1은 초등학교(Primary school), ISCED level 2는 중학교(Lower secondary school), ISCED level 3은 고등학교(Upper secondary school)에 해당한다(OECD, 2019b).

미국의 경우 지역 및 학교의 위치에 따라 학년이 다양하게 분포한다. 따라서 ISCED 구분에 따라 ISCED 2011 level 2와 ISCED 2011 level 3가 학교별로 명확하게 구분되지 않는 경우들이 많다. 표본추출시 2가지의 학교 재정 유형(공립, 사립) 및 3개 등급(gradeSt1, gradeSt2, gradeSt3)의 조합으로 학교가 표집되었다. 이때, 유치장, 병원, 치료 센터에 있는 학교들은 표집에서 제외되었다. 실제 본조사에는 165개 중학교에서 2,560명의 교사가 응답에 참여하였다.

일본의 경우 중학교(7~9학년)에서 근무하는 교사를 대상으로 조사가 실시되었다. 2가지 학교 유형(공립, 사립 또는 국가) 및 4개 지역(매우 큰 도시, 큰 도시, 작은 도시, 비도시)의 조합으로 학교가 표집되었다. 이때, 학교 유형 중 '사립 또는 국가'의 경우 모집단 크기가 작으므로 4개의 지역으로 세분화하지 않았다. 실제 본조사에는 196개 중학교에서 3,555명의 교사가 응답에 참여하였다.

<표 Ⅲ-1> 국가별 조사 표본 개요

국가	모집단 학교 수 (교사 수)	표본 추출 기준 및 목표 학교 수 (교사 수)	실제 표본	표본 평가
한국	3,059개교 (68,341명)	17개 지역 200개교 (4,000명)	163개교 2,931명	양호
미국	63,226개교 (12,061,144)	재정 유형 × 3개 학년 구조 220개교 (4,400명)	165개교 2,560명	양호
일본	10,426개교 (264,356명)	3개 유형 × 4개 지역 200개교 (4,000명)	196개 3,555명	우수

출처: OECD (2019c). pp.103~104, 463~469, Annex E.

가. 결과 변인: 교수역량

TALIS 2018에 포함된 20개 문항을 통해 조사된 '교사의 교수활동'은 '교수 명확성(Clarity of instruction)', '학생 인지 역량 활성화(Cognitive activation)', '강화된 활동(Enhanced activities)', '교실 관리(Classroom management)', '평가 활동(Assessment practices)'의 5개 하위 구인으로 구분된다(이동엽 외, 2018a; 2019; OECD, 2019b). 이에 대하여 백순근 외(2020)의 연구에서는 선행연구를 종합하여 '교사의 교수활동'을 개념적으로 '교수역량'으로 상정할 수 있으며, 통계적으로도 양호한 구인타당도(CFI: .939, TLI: .923, RMSEA: .059, SRMR: .069)와 신뢰도(Cronbach's alpha: .877)를 갖추고 있음을 보여주었다. 따라서 이 연구에서도 백순근 외(2020)의 연구에서와 같이 4점 Likert 척도로 구성된 20개 문항의 평균으로 교수역량을 측정하고 결과변인으로 활용하였다. 특히 TALIS 조사에서는 이 20개 문항에 대해 의도적으로 빈도응답 척도를 활용하였기에, 교사의 교수역량, 즉 '교사가 교과교육을 성공적으로 수행할 수 있는 능력'을 측정하기에 적합하다.

<표 Ⅲ-2> 교수역량 측정 문항 내용

영역	문항 내용
교수의 명확성	① 최근에 배운 내용을 요약해서 제시함 ② 수업의 시작 전에 학습목표를 설정함 ③ 학생들에게 배워야 할 사항을 설명함 ④ 새로운 주제와 지난 주제가 어떻게 연관되는지 설명함 ⑤ 새로운 지식이 왜 유용한지를 설명하기 위하여 일상생활이나 일상적인 작업에서의 문제들을 활용함 ⑥ 모든 학생이 주제를 이해할 때까지 유사한 과제를 연습하게 함
학생 인지 역량 활성화	① 명확한 해답이 없는 과제를 제시함 ② 비판적 사고를 요하는 과제를 제공함 ③ 문제나 과제에 대한 공동 해결책을 찾아내도록 학생들에게 소그룹 활동을 하게 함 ④ 복잡한 과제를 해결하기 위한 스스로의 절차를 학생들이 결정하도록 함
강화된 활동	① 완성하는데 최소 일주일이 걸리는 프로젝트를 학생들에게 부여함 ② 학생들이 ICT(정보통신기술)을 사용하여 프로젝트 또는 과제를 수행하게 함
교실 관리	① 학생들에게 학급 규칙을 따르라고 말함 ② 학생들에게 교사의 말에 집중하라고 말함 ③ 수업을 방해하는 학생들을 진정시킴 ④ 수업을 시작할 때 학생들에게 신속히 조용히하라고 말함
평가 활동	① 나만의 평가방법을 개발하고 실시함 ② 학생의 과제에 성적(예: 점수 또는 등급)과 더불어 의견을 적어줌 ③ 학생들이 자신의 학습 과정을 스스로 평가하게 함 ④ 학생들이 특정 과제를 수행하는 것을 관찰하고 신속한 피드백을 제공함

출처: 백순근 외(2020), 이동엽 외(2018a; 2019), OECD(2019b)의 관련 내용을 재구성함.

이 연구에서는 20개 문항 중 한 문항에라도 결측이 있는 사례는 분석에서 제외하였으며, 최종적으로 한국의 교사 2,551명(163개 학교), 미국의 교사 1,930명(165개 학교), 일본의 교사 2,918명(194개 학교)의 응답 자료를 분석 대상으로 하였다. 아래 <표 Ⅲ-3>은 각 분석 대상 국가에서 결과 변인인 교수역량의 기술통계를 나타낸 것이다. 분석대상 국가들 중 미국의 교수역량 평균이 2.83로 가장 높은 것으로 나타났으며, 한국(2.75), 일본(2.41)이 그 뒤를 이었다.

<표 Ⅲ-3> 국가별 결과 변인(교수역량) 기술통계

분석 대상 국가	사례수	교수역량 평균* (사례수)	표준 편차	최솟값	최댓값	왜도	첨도
한국	2,931	2.75 (2,551)	.42	1	4	.45	3.60
미국	2,560	2.83 (1,930)	.38	1	4	.20	3.97
일본	3,555	2.41 (2,918)	.41	1	4	.13	3.33

*교수역량 결측치가 하나라도 있는 경우를 제외한 평균을 나타냄

나. 예측요인

TALIS 2018 데이터를 구성하는 변인들 중 분석에 투입할 예측요인을 다음의 과정을 통해 선별하였다. 첫째, 설문 문항에 대한 응답으로 수집된 변인들 외에 TALIS 2018 데이터에 포함되어 있는 변인들(국가 및 교사 ID, 일시, 가중치 등)을 삭제하였다. 둘째, 교사 및 학교장 대상 설문 문항들 중 결과변인 산출을 위해 활용한 교수역량 측정 문항 20개는 예측요인에서 제외하였다. 셋째, 파생변인 산출에 사용된 변인들을 삭제하였다. TALIS 2018 데이터에는 몇 개 문항들을 활용하여 측정한 지표(index) 혹은 척도(scale)를 파생변인으로 제시하고 있다. 예컨대 TALIS 2018 데이터에서 제공하는 지표(index) 중 '학생-교사 비율(변인명: STRATIO)'은 학생 수를 묻는 문항(TC3G16)에 대한 응답을 교사 수를 묻는 문항(TC3G13A)에 대한 응답으로 나눈 값으로 제공된다. 또한 TALIS 2018 데이터에서 제공하는 척도(scale) 중 교수활동 자기효능감(변인명: T3SEINS)은 4개 문항(TT3G34C, TT3G34J, TT3G34K, TT3G34L)을 통해 산출되었다(OECD, 2019c). 이 연구에서 적용한 랜덤포레스트 기법은 분석에 투입되는 변인들 간의 상호작용 및 다중공선성 문제에 강건하여(김미림, 2019; 백순근 외, 2020; Strobl, Malley, & Tutz, 2009), 대부분의 선행연구에서는 개별 문항들을 그대로 투입하여 분석을 실시하였다. 그러나 이 연구에서는 변인 간의 인과적 관계를 밝히는 것에 목적을 두고 있으므로, 개별 문항보다는 파생변인의 사용을 우선하였으며, 파생변인 산출에 활용된 개별 문항은 분석에서 제외함으로써 변인 간 의미적 독립(semantic independence)을 확보하고자 하였다.

참고로, TALIS 2018 데이터에서 제공하는 변인들에 대한 세부적인 정보들은 'TALIS 2018 Technical Report(OCED, 2019c)'에 자세히 제시되어 있다.

1) 교사 수준 예측요인

TALIS 2018에서 교사용 설문 문항은 총 58개 문항으로 구성되어 있으며, 이 중 일부 문항은 세부 하위 문항들로 구성되어 있다. 이때, 일부 문항의 경우 조사 참여 각 국가의 학교 교육 및 교육 정책의 맥락에 따라 선택적으로 사용할 수 있도록 하여, 각 국가의 교사용 설문지에 제시된 문항 수는 국가마다 다소 차이가 있다.

설문 문항 중 서답형 문항의 경우, 응답자에 의해 오류가 발생할 가능성이 높으므로, 사분위 값을 바탕으로 이상치를 확인하여 결측값으로 처리하였다. 한 예로, 한국의 데이터에서는 '가장 최근 빠짐없이 근무한 일주일 동안 실제 수업에 사용한 시간'에 대한 질문에 '90시간', '95시간'으로 응답하는 등, 실제로는 발생할 가능성이 적은 사례들이 발견되었다. 이처럼 이상치 제거로 발생한 결측을 포함하여, 분석 대상 변인 중 20% 이상의 결측이 발생한 문항은 분석에서 제외하였다.

한편, 문항 중 2점 척도(예시: 1=예, 2=아니오)인 경우에는 통계적 분석 결과에 대한 해석을 위해 2를 0으로 재코딩하였다. 또한 문항 중 명명척도인 경우에는 원핫인코딩(One Hot Encoding)을 실시하였다. 최종적으로 이 연구에서 투입한 국가별 교사 수준 예측요인들은 <표 Ⅲ-4>와 같다.

<표 Ⅲ-4> 교수역량 예측요인(교사 수준)

TALIS 2018 주제	설문 내용 (설문지 문항 수)	국가별 예측요인 수		
		한국	미국	일본
배경정보 및 자격	성별(1), 나이*, 현재 고용형태**, 전반적 고용형태(2), 직업 경력(6), 특수교육 학생 현황(1)	13	13	13
교사 양성 및 초기 준비	최종 학위**, 교원자격 취득 경로**, 교원자격 취득연도(1), 교원양성 교육내용(24), 개인적 효용 동기*, 사회적 효용 동기*, 교직 외 직업경험(1), 교과 공식교육 포함 여부(12)	54	50	48
교사의 직무 만족도	대상 학급 자치권에 대한 만족도*, 희망 근무 연수(1), 직장 복지 스트레스*, 업무량 스트레스*, 학생 태도 스트레스*, 업무상 스트레스(3), 전문성 만족도*, 근무 환경 만족도*, 교직 만족도(2)	12	12	12
교사 피드백 및 전문성 개발	입직활동 참여 경험(6), 입직활동 유형(10), 멘토링 참여 여부(2), 전문성개발활동 유형(10), 전문성개발활동 주제 포함 여부(15), 전문성개발활동 지원 여부(8), 전문성개발활동 효과 인식(1), 효과적인 전문성개발활동 특성*, 전문성개발활동 특성(8), 교과 및 교육에 대한 전문성개발 필요성*, 다양성에 대한 전문성개발 필요성*, 전문성개발 필요성(6), 전문성개발방해*, 피드백 제공 주체(24), 피드백 효과 인식(1), 피드백 효과 영역(6)	84	76	76
교사의 전문적 실천	직무 총시간(1), 수업 시간(1), 수업 외 근무시간(10), 교수활동 전문적 협력*, 교사 간 자료교환*, 해외 파견 여부(5), 해외 파견 목적(7), 해외 파견 기간(3)	14	14	14
교사의 교수 실천	특수교육 학생 수(1), 교과 수업 여부(12), 수업 교과**, 학급 학생수(1), 활동별 수업시간 활용비중(3)	11	12	12
인적 자원 문제/ 이해관계자관계	가치 및 정책 영향에 대한 인식*, 급여/근무조건 만족(2), 예산사용에 대한 인식(9)	12	12	12
학교 풍토	지각된 규율 환경*, 이해관계자간 참여*, 학교풍토(3), 교사-학생관계*, 교사간 관계(1)	7	7	7
혁신	교사 혁신*	1	1	1
형평성 및 다양성	학급 학생 특징별 비율(8), 특수학급 여부(1), 다문화 학급 수업 여부(1), 다문화 교실에서 자기 효능감*, 다문화 학생 포함 여부(1), 다양성 실행*, 다문화 교실에서 자기 효능감*	12	13	12
합계		224	214	211

주1) 설문 내용별 주제 분류는 Ainley & Carstens (2018), pp. 106-107에 근거하였음

주2) '*'표시는 TALIS 2018 데이터에서 제공하는 파생변인이며, '**'표시는 원핫인코딩 변인임

2) 학교 수준 예측요인

학교장용 설문지는 총 45개 문항으로 구성되어 있으며, 이 중 일부 문항은 여러 개의 하위 문항으로 구성되어 있다.

설문 문항 중 서답형 문항의 경우, 응답자에 의해 오류가 발생할 가능성이 높으므로, 사분위값을 바탕으로 이상치를 확인하여 결측값으로 처리하였다. 한 예로, 한국의 데이터에서는 '이 학교에서 학교장으로 근무한 연수'에 대한 질문에 '34년'으로 응답하는 등, 실제로는 발생할 가능성이 적은 사례들이 발견되었다. 이처럼 이상치 제거로 발생한 결측을 포함하여, 분석 대상 변인 중 20% 이상의 결측이 발생한 문항은 분석에서 제외하였다.

한편, 문항 중 2점 척도(예시: 1=예, 2=아니오)인 경우에는 통계적 분석 결과에 대한 해석을 위해 2를 0으로 재코딩하였다. 또한 문항 중 명명척도인 경우에는 원핫인코딩(One Hot Encoding)을 실시하였다.

최종적으로 이 연구에서 투입한 국가별 학교 수준 예측요인들은 <표 Ⅲ-5>와 같다.

<표 Ⅲ-5> 교수역량 예측요인(교장 수준)

TALIS 2018 주제	설문 내용 (설문지 문항 수)	국가별 예측요인 수		
		한국	미국	일본
교장 배경정보 및 자격	성별(1), 나이*, 학교 소재지**	5	5	4
교장의 직무 만족도	희망 근무 연수(1), 스트레스*, 업무상 스트레스 원인(6), 전문성 만족도*, 근무 환경 만족도*, 학교장직 만족도(2), 학교 지원 만족도(5)	17	17	17
교사 피드백 및 전문성 개발	교사 평가 제공 주체(5), 교사 평가 결과 활용 주체(36), 교사평가 결과 피드백(8), 입직활동 유무(2), 입직활동 대상(1), 입직활동 유형(10), 멘토링 프로그램 유무**, 멘토-멘티 교과 일치 여부(1), 멘토링 중요성 인식(6)	83	101	94
인적 자원 문제 및 이해관계자 관계	교사-학생 비율*, 교사-교육지원인력 비율*, 교사-행정직원 비율*, 기타 직원 수(1), 학교급별 프로그램 운영 여부(4), 학교급별 경쟁학교 유무(5), 학교 학생 수*	9	11	11
학교 풍토	교사 기여 및 이직(3), 학급 학생 특징별 비율(5), 의사결정 참여*, 학교 풍토(6), 학부모 학업 압박*, 파트너십*, 교육 인력 부족*, 자원 부족*, 자료 부족*, 특수교육 인력 부족*, 학교 제약사항(3), 학생 지도 곤란도*, 학교 안전(3)	28	27	28
학교 리더십	교장 최종학위**, 교장 경력(5), 교장 근무유형**, 교장 교육이수(3), 교장 전문성 개발 활동 유형(10), 교장 전문성 개발 필요성 인식(11), 전문성개발 방해 인식(7), 학교 예산 출처(4), 학교 운영(공립/사립)(1), 학교운영팀 유무(1), 학교운영팀 구성(9), 직원에 대한 학교 자치권*, 예산에 대한 학교 자치권*, 교육 정책에 대한 학교 자치권*, 교수 정책에 대한 학교 자치권*, 교육과정에 대한 학교 자치권*, 업무별 소요 시간(7), 교장 리더십*, 교장 역량(8)	35	49	47
혁신	조직 혁신*	1	1	1
형평성 및 다양성	다문화 학생 재학 여부(1), 다양성 관련 행사 여부(4), 다양성 관련 실행 여부(4), 다양성 신념*, 다양성 관련 교사 인식(4)	10	14	10
합계		188	225	212

주1) 세부 영역의 분류는 Ainley & Carstens (2018), p. 108에 근거하였음

주2) *표시는 TALIS 2018 데이터에서 제공하는 파생변인이며, **표시는 원핫인코딩 변인임

2. 분석 방법

이 연구에서는 TALIS 2018 데이터로부터 국가별 중등교사의 교수역량에 대한 주요 예측요인을 추출하고, 주요 예측요인들과 교수역량으로 구성된 국가별 인과 그래프를 산출하였다. 그리고 산출된 인과 그래프를 바탕으로 교수역량에 대한 영향요인을 비교·분석하였다. 이를 위해 활용한 분석 방법은 다음과 같다.

첫째, 교수역량에 대한 주요 예측요인을 추출하고자 랜덤 포레스트 기법을 활용하였다. 특히, TALIS 2018 데이터는 한 학교에 여러 명의 교사가 속해있는 다층 구조를 지니고 있음을 고려하여 혼합효과 랜덤 포레스트 모델을 적용하였다. 둘째, 교수역량에 대한 상위 20개 주요 예측요인들로 구성된 인과 그래프를 산출하기 위해 구조적 인과 모형에 바탕을 둔 인과 디스커버리 알고리듬을 적용하였다. 셋째, 인과 그래프에 드러난 교수역량에 대한 영향요인을 살펴보기 위해 인과 경로 및 공변인 조정 집합 분석을 실시하였다.

가. 혼합효과 랜덤 포레스트(Mixed-effect Random Forest) 모델

랜덤 포레스트는 예측적 성격을 지니며 분류와 회귀에 모두 적용 가능한 머신러닝 기법으로(Breiman, 2001), 다양한 분야에서 예측의 효과성을 인정받고 있다(Biau & Scornet, 2016).

이 연구에서 적용한 혼합효과 랜덤 포레스트 모델은 다음과 같다 (Hajjem et al., 2014).

$$y_i = f(X_i) + Z_i b_i + \epsilon_i,$$
$$b_i \sim N(0, D), \quad \epsilon_i \sim N(0, R_i), \quad i = 1, \cdots, K \qquad (1)$$

혼합효과 랜덤 포레스트 모델은 선형 혼합효과 모델과 매우 유사하며,

선형 혼합효과 모델의 고정효과 부분을 표준 랜덤 포레스트 기법으로 추정하고, 2수준의 변량을 확률효과로 추정한다(남나라, 2021).

분석 자료에 K개의 학교가 있으며(i = 1, 2, ⋯ , K), 학교 i에 n_i명의 교사 관측치를 갖는다고 할 때, 식 (1)에서의 y_i = [y_{i1}, ... ,y_{in_i}]는 i 학교에 속한 n_i명 교사들의 교수역량(결과변수) 벡터이다. X_i는 고정효과 공변인 행렬이고, $f(X_i)$는 표준 랜덤 포레스트 기법으로 추정된다. Z_i는 확률효과 공변인 행렬이고, b_i은 i 학교의 확률효과에 대한 알려지지 않은 벡터(unknown vector)이며, $Z_i b_i$는 선형인 것으로 가정한다. ϵ_i는 오차 벡터이다. D는 b_i의 공분산행렬이며, R_i는 ϵ_i의 공분산행렬이고, b_i와 ϵ_i은 서로 독립이며 정규분포인 것으로 가정한다. 또한 학교 간(between-clusters) 관측치들도 독립인 것으로 가정한다. 추가로, 이 연구에서는 각 학교효과의 평균에 대해서만 절편 모형을 설정하였기에, Z_i = [1]로 설정하였다(양혜원, 백순근, 2022).

혼합효과 랜덤 포레스트 분석의 절차는 다음과 같다.

먼저, 데이터 전처리 과정에서 결측치를 대체할 수 있는 다양한 방법들 중, 선행연구를 참고하여 R의 randomForest 패키지에서 제공하는 na.roughfix 함수를 활용하여 결측치를 대체하였다(남나라, 2021; 백순근 외, 2020; RColorBrewer & Liaw, 2018).

다음으로. 혼합효과 랜덤 포레스트 분석을 위해 Python의 MERF 라이브러리를 사용하였다. 특히 랜덤 포레스트 회귀 분석에 필요한 파라미터 설정을 위해, Hajjem et al(2014)과 남나라(2021)의 연구에서 분석에 적용하였던 파라미터의 기본값을 동일하게 적용하였다. 즉, 의사결정나무의 생성 개수는 1,000개, 투입하는 예측요인의 수는 p(국가별 총 투입 변인 수)/3개, 최종 노드의 관측치 수는 5개로 설정하였다. 이 연구에서 분석에 활용한 교사 및 학교 수준 예측요인의 수(p)는 한국의 경우 412개, 미국은 439개, 일본은 423개이다.

마지막으로, 혼합효과 랜덤 포레스트 분석 결과를 토대로 상위 20개의 주요 예측요인을 선정하기 위한 중요도 지수는 SHAP(SHapley Additional ExPlanations) 값을 활용하여 산출하였다. SHAP 값은 게임

이론을 따르는 샤플리 값을 기반으로 하며, 분석에 투입한 개별 요인을 조건화하였을 때 기대되는 모델 예측의 변화로 계산된다(Lundberg & Lee, 2017; Lundberg et al., 2018; 2020). SHAP에 근거한 주요 예측요인 선정을 위해 Python의 shap 라이브러리를 사용하였다.

혼합효과 랜덤 포레스트 분석을 위한 주요 Python 코드의 예시는 남나라(2021)를 참고할 수 있다.

나. 인과 디스커버리(Causal Discovery) 알고리듬

구조적 인과 모형은 원인변수와 결과변수, 그리고 이 두 변수 사이의 관계에 대해 관련되어있는 변수들의 인과 관계에 대한 가정이 압축적으로 표현된 인과 그래프(causal graph)를 토대로 하는 인과 추론의 개념틀이다(Morgan & Winship, 2015). 따라서 구조적 인과 모형을 토대로 인과 관계를 추론하기 위해서는 먼저 원인변수와 결과변수 사이의 관계들을 인과 그래프에 빠짐없이 담아내는 것이 중요하다. 인과 그래프는 연구자의 전문적 지식, 상식, 데이터 등의 모든 정보를 활용하여 나타낼 수 있는데, 이 중에서도 특히 관찰 데이터만을 활용하여 인과 관계에 대한 정보를 밝히는 것을 인과 디스커버리(causal discovery)라고 한다(Spirtes et al., 2000). 인과 디스커버리 분석은 확률분포와 인과 그래프로 표상되는 인과성을 연결하기 위해 인과적 마코프 조건(causal markov condition), 인과적 최소성 조건(causal minimality condition), 충분성 조건(faithfulness condition)을 가정한다(Spirtes et al., 2000).

이 연구에서는 인과 디스커버리 알고리듬을 적용하여 혼합효과 랜덤 포레스트 분석을 통해 추출된 국가별 교수역량에 대한 주요 예측요인들과 교수역량 사이의 인과 관계를 시각적으로 나타내는 인과 그래프를 산출하였다. 또한 국가 간 비교를 위해, 3개 국가에서 교수역량에 대한 주요 예측요인으로 도출된 요인들의 전체 집합을 각 국가의 인과 디스커버리 분석에 활용하고자 하였다. 이 연구에서 인과 디스커버리 분석에 투입할 데이터에는 이분형 변수(discrete variable)와 연속형 변수

(continuous variable)가 모두 포함되어있다(<표 Ⅳ-1>~<표 Ⅳ-3> 참조). 따라서 베이지안 네트워크 모델 중에서도 이분형 변수와 연속형 변수를 모두 포함할 수 있는 조건부 가우스 베이지안 네트워크(Conditional Gaussian Bayesian Networks; CGBN)를 산출하였다(양혜원, 백순근, 2022; Cowell, 2005; Koller & Friedman, 2009; Lauitzen & Jensen, 2001; Malinsky & Danks, 2018; Scutari & Denis, 2021). 조건부 가우스 베이지안 네트워크는 연속형 노드가 연속형 및 이분형 부모 노드(parent node)를 취할 수 있는 반면 이분형 노드는 이분형 부모 노드만 취할 수 있다는 가정을 지닌다. 이와 같은 가정은 일반적으로는 강한 가정으로 여겨질 수 있으나, 인과 디스커버리 분석을 위한 데이터 세트에 포함되어있는 대부분의 이분형 변인의 경우(예: 가르치는 과목, 성별, 피드백 제공의 주체 등), 다른 변인의 자녀 노드(child node)가 된다는 것은 의미상 어려움이 있으므로, 이 통계적 가정은 분석 결과에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단하였다. 또한, 일반적으로 베이지안 네크워크를 활용한 선행연구들에서는 이러한 가정을 피하기 위해 일반적으로 모든 변인을 이분형 변인으로 변환하는 절차를 취하기도 하는데, 잘못된 변인 변환은 변환을 하지 않은 경우와 상당히 차이가 있는 독립성 판단을 산출할 위험이 있다(Malinsky & Danks, 2018). 따라서 이 연구에서는 베이지안 네트워크 내 변인들의 결합분포(joint distribution)가 조건부 가우스 분포라는 가정에 기초하여 인과 그래프를 도출하였다.

이 연구에서 베이지안 네트워크 내 변인들의 결합분포(joint distribution)에 대한 가정은 다음 식과 같다.

$$p(x) = p(i, y) = \prod_{\delta \in \Delta} p(i_\delta | i_{pa(\delta)}) \prod_{\gamma \in \Gamma} p(y_\gamma | i_{pa(\gamma)}, y_{pa(\gamma)}) \qquad (2)$$

위의 식 (2)에서 Δ는 이분형 노드의 세트, Γ는 연속형 노드의 세트이며, i는 이분형 변수, y는 연속형 변수이다. 그리고 이에 따라 산출된 그래프에서 서로 다른 두 노드 사이에 방향성 화살표가 없다는 것은 주어진 결합확률분포에서 변수 간의 조건부 독립임을 의미한다(Bøettcher &

Dethlefsen 2003; Bøttcher, 2005).

인과 디스커버리 방법은 제약 기반(constraint-based) 방법, 점수 기반(score-based) 방법, 그리고 하이브리드(hybrid) 방법으로 구분할 수 있다. Briganti et al.(2022)는 여러 선행연구에서 분석한 시뮬레이션 연구 결과, 제약 기반(constraint-based) 방법, 점수 기반(score-based) 방법, 그리고 하이브리드(hybrid) 방법 간에 성능이나 오류에 대한 민감도에서 체계적인 차이가 나타나지 않았으며, 개별 알고리듬에서도 일관되게 좋은 성능을 보이는 특정한 알고리듬은 없기 때문에, 연구자들이 두 개 이상의 알고리듬을 수행할 것을 제안하였다. 따라서 이 연구에서는 세 가지 방법을 적용하여 인과 그래프를 도출하고, 그 결과를 비교하여 최종 모형을 결정하였다.

먼저, 제약 기반 방법은 통계 검정을 통해 조건부 독립("제약(constraints)")을 식별하는 방법이다. 제약 기반 방법 중 PC 알고리듬은 가장 보편적으로 활용되고 있는 알고리듬으로(Scutari et al., 2018), 완전한 비방향성 그래프(complete undirected graph)로부터 시작하여, 두 변인 쌍($X_i - X_j$)에서 조건부 독립이 성립하면 두 변인 사이의 연결을 삭제한 후에 두 변인 사이의 화살표 방향을 판단하는 절차로 이루어진다(Colombo & Maathuis, 2014). 이 연구에서와 같이 이분형 및 연속형 변인으로 이루어진 하이브리드 베이지안 네트워크(hybrid Bayesian networks)에서 조건부 독립 검정은 상호 정보(mutual information)로 수행된다.

점수 기반 방법은 일반적인 휴리스틱(heuristic) 최적화 기법을 네트워크 구조 학습에 적용하는 것으로, 적합도(goodness of fit)를 반영하는 네트워크 점수를 할당하고 학습을 통해 이를 최대화한다. 점수 기반 방법 중 하나인 Hill-Climbing 알고리듬은 주로 빈 그래프(empty graph)에서 시작하여 노드 사이의 하나의 화살표마다 추가(adding), 삭제(deleting), 반전(reversing)을 수행하며 점수가 개선되지 않을 때까지 학습하는 반면, 이 연구에서 사용한 Tabu search 알고리듬은 모든 화살표의 추가, 삭제, 반전하였을 때 점수가 개선되지 않는 첫 번째 DAG에서

학습을 멈추지 않고, 더 나은 DAG를 찾기 위해 DAG의 공간을 더 탐색하는 수정된 Hill-Climbing 알고리즘이다(Colombo & Maathuis, 2014; Nagarajan et al., 2013). 그래프 구조 학습을 위한 점수로는 AIC(Akaike Information Criteri), BIC(Bayesian Information Criterion), BDeu(Dirichlet equivalent score) 등을 활용할 수 있는데(Scutari et al., 2022), 이 중 bnlearn 패키지에서는 Tabu Search 알고리듬 실행시 기본값(default)으로 BIC를 적용한다. BIC는 아래의 식 (3)과 같이 정의된다(Chickering, 1995).

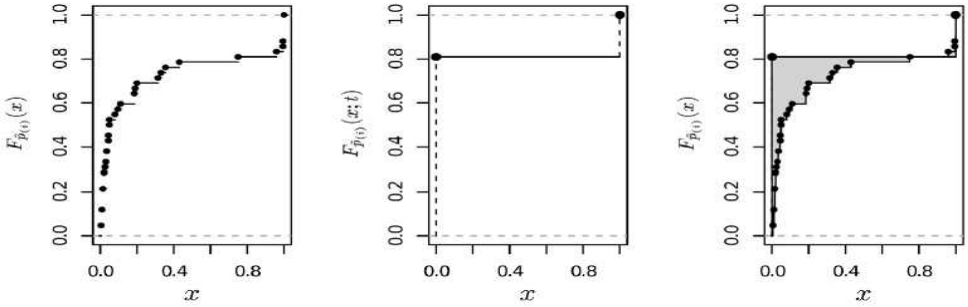
$$M_{BIC}(G, D) = \log M_{ML}(G, D) - \frac{1}{2} Dim(G) \log N \qquad (3)$$

BIC 점수 메트릭(M_{BIC})은 베이지안 네트워크 구조(G)와 관찰 데이터(D)를 입력(input)받아, 해당 그래프 구조가 데이터에 얼마나 잘 맞는지를 반영하는 값을 반환하는 함수이다. $M_{ML}(G, C)$은 최대우도 메트릭, $Dim(G)$은 그래프를 구성하는 각 노드들과 부모 노드간의 조건부 독립을 특정하기 위해 필요한 파라미터의 수, N은 데이터의 사례수를 의미한다. 따라서 BIC 값은 클수록 좋은 값이다(Beretta et al., 2018; Scutari et al., 2022).

마지막으로, 하이브리드 방법은 제약 기반 방법과 점수 기반 방법을 조합한 방법으로, 조건부 독립 제약을 학습하여 네트워크 후보 개수를 줄인 후에 점수를 최대화하는 네트워크를 탐색하는 방식으로 수행된다(Briganti et al., 2022). 이 연구에서는 하이브리드 방법으로 MMHC 알고리듬을 사용하였다. MMHC 알고리듬은 먼저 Max-Min Parents and Children(MMPC) 알고리듬으로 그래프의 골격(skeleton)을 학습하고, 점수 기반 방법 중 하나인 Hill-Climbing 알고리듬을 통해 화살표의 방향을 탐색하는 방법이다(Tsamardinos et al., 2006).

한편, Briganti et al.(2022)는 100에서 200회의 부트스트랩(bootstrap)을 실시하여 얻어진 안정적인 네트워크를 보고할 것을 제안하였다. 따라

서 이 연구에서는 Briganti et al.(2022)의 연구를 바탕으로 PC, Tabu Search, MMHC 알고리듬에서 안정적인 네트워크를 얻기 위해 부트스트랩 횟수(R)를 200회로 설정하였으며, averaged.network 함수를 사용하여 평균 네트워크 구조를 산출하였다. averaged.network 함수에서는 분석 결과로 유의미 임계값(significance threshold)을 제시하는데, 이는 그래프에 나타난 화살표를 유의미한 것으로 여길 수 있는 임계값을 의미한다. Scutari와 Nagarajan(2013)는 그래프를 구성하는 화살표들이 그래프 $\mathcal{G}_0$에 존재할 경험적 확률 집합($\hat{p}(.)$)에 대한 누적 분포 함수(CDF)와, 화살표가 불확실성 없이 모두 유의하거나 유의하지 않은 것으로 특징 짓는 확률 집합($\tilde{p}(.)$)에 대한 누적 분포 함수 사이의 L_1-norm을 최소화하는 임계값을 추정하여, 그래프 모델에서 유의미한 연관성을 식별하는 방법을 제안한 바 있다([그림 Ⅲ-2] 참조). 이렇게 추정된 임계값보다 큰 강도(arc strengths) 값을 보이는 화살표는 모두 유의미한 것으로 볼 수 있다(Nagarajan et al., 2013; Scutari & Nagarajan, 2013).



[그림 Ⅲ-1] 경험적 CDF $F_{\hat{p}(.)}$(좌측), CDF $F_{\tilde{p}(.)}$(중앙), L_1-norm(우측)
출처: Scutari & Nagarajan (2013)의 Figure 1

또한, 인과 디스커버리 분석 시 연구자의 판단에 따라 특정 변인 간의 인과적 관계를 의미하는 방향성 화살표를 포함하거나(화이트리스트; whitelist), 포함하지 않도록 지정(블랙리스트; blacklist)하여 분석할 수 있으며, 사전지식에 따라 화이트리스트 또는 블랙리스트를 활용하는 것

은 좋은 모델을 선택하는데 도움이 된다(Briganti et al., 2022; Scutari et al., 2022). 이 연구에서 사용한 TALIS 2018 데이터는 횡단 데이터(Cross-sectional data)로, 인과 디스커버리 분석 알고리듬에서는 'A 사건이 B 사건 이전에 발생했다면 A가 B의 원인이 된다'라는 인과적 선행(causal precedence)(Nogueira et al., 2022)을 반영할 수 없다. 따라서 이 연구에서는, TALIS 2018 설문지에서 '배경정보 및 자격' 섹션(section)에 해당하는 변인들 중 다른 변인들에 대해 시간적으로 선행하는 것으로 볼 수 있는 변인들에 대하여, 시간 순서가 인과 디스커버리 분석 결과에 반영되도록 블랙리스트를 설정하였다.

서로 다른 알고리듬은 서로 다른 조건부 독립 검정 및 네트워크 점수 계산으로 네트워크 구조를 학습하기 때문에, 알고리듬에 따라 동일한 노드를 포함하고 있더라도 화살표의 방향 또는 포함 여부에 차이가 발생할 수 있다(Scutari et al., 2019). 따라서 이 연구에서는 알고리듬별 그래프 학습 결과를 비교하기 위해 그래프를 구성하는 화살표의 개수, 평균 마코프 블랭킷 크기(markov blanket size), 평균 분기 계수(average branching factor), SHD(Structural Hamming Distance), BIC(Bayesian Information Criterion) 점수를 비교하였다. 마코프 블랭킷(markov blanket)은 그래프의 부분집합으로, 한 노드의 부모 노드, 자녀 노드, 자녀 노드들의 부모노드로 구성되며(Nagarajan et al., 2013), 분기 계수(branching factor)는 한 노드의 자녀 노드 수를 의미한다. SHD는 그래프의 구조에서 방향성(또는 비방향성) 화살표의 추가, 삭제, 그리고 화살표의 방향이 반대인 경우의 수로 정의된다(Tsamardinos et al., 2006).

선행연구에서는 인과 디스커버리 분석 결과를 그래프로 제시할 때, 부트스트랩을 실시하여 추정된 임계값에서의 그래프를 제시하거나(Nagarajan et al., 2013; Scutari & Nagarajan, 2013), 임계값보다 큰 강도(arc strengths) 값을 보이는 화살표는 모두 유의미한 것으로 볼 수 있으므로 임계값 이상의 화살표 강도에서 특정 값(예: 0.5 또는 0.85 등)을 임의로 선택하여 그래프를 제시하기도 하였다(Briganti et al., 2022; Lee et al., 2023). 이와 같은 선행연구들에 근거하여, 이 연구에서는 세

가지 알고리듬 분석 결과로 산출된 평균 네트워크 구조의 임계값 이후의 화살표 강도(arc strengths)에 대해 BIC 값을 비교하여 국가별 분석 데이터에 적합한 알고리듬을 선정하였다. 또한 적합도가 높게 나타난 화살표 강도 값에서의 그래프를 교사의 교수역량에 대한 최종 인과 그래프 모형으로 제시하였다. 이때 BIC와 같은 모형점수는 서로 다른 인과 디스커버리 알고리듬 간의 분석 결과를 비교하는 지표 중 하나로 사용되고 있다(Scutari et al., 2018).

인과 디스커버리 분석을 위해 R 4.2.0에서 bnlearn과 Rgraphviz 패키지(Scutari et al., 2022)를 사용하였다. 인과 디스커버리 분석을 위해 활용한 주요 R 코드 예시는 <표 Ⅲ-6>과 같다.

<표 Ⅲ-6> 인과 디스커버리 분석을 위한 R 코드 예시

```
# 인과 디스커버리
avgnet_pc <- averaged.network(boot.strength(dat, R=200,
                                algorithm = "pc.stable"), # PC 알고리듬
                                algorithm.args = list(blacklist = bl))
avgnet_tabu <- averaged.network(boot.strength(dat, R=200,
                                algorithm = "tabu"), # Tabu Search 알고리듬
                                algorithm.args = list(blacklist = bl))
avgnet_mmhc <- averaged.network(boot.strength(dat, R=200,
                                algorithm = "mmhc"),  # MMHC 알고리듬
                                algorithm.args = list(blacklist = bl))
graphviz.plot(avgnet_pc, avgnet_tabu, avgnet_mmhc,
                  shape = "rectangle", layout = "circo",  # 그래프 모양
                  main = c("PC", "Tabu Search", "MMHC"), # 그래프 제목
```

다. 인과 경로 및 효과 분석

인과 분석은 인과적 가정에 근거한다. Pearl과 Bareinboim(2014)의 연구에서는 인과적 가정을 인코딩하고, 이를 토대로 가설을 검증하며 데이

터와 결합하는 체계적인 방법으로 인과 추론이 이루어져야함을 강조하고 있다. 즉, 인과 모형을 토대로 하여 연구자가 지니고 있는 연구 질문에 대한 인과 효과를 파악할 수 있을지 식별(identification) 가능 여부가 확인이 되었을 때 그 효과의 추정(estimation)도 의미가 있음을 강조하는 절차이다. 인과 그래프가 주어지면, 그래프에 나타난 변인 간 인과 경로와 공변인 조정 집합(covariate adjustment sets) 등을 파악할 수 있다. 공변인 조정 집합은 인과 관계 그래프가 정확하다고 가정하였을 때 관찰 데이터에서 인과 관계의 편향되지 않은 추정을 허용하는 변인들의 집합을 의미한다.

인과 경로 및 공변인 조정 집합 분석을 위해 dagitty 패키지(Textor et al., 2022)를 사용하였으며, 분석에 활용한 주요 R 코드 예시는 <표 Ⅲ-7>과 같다.

<표 Ⅲ-7> 인과 경로 분석을 위한 R 코드 예시

```
# 공변인 조정 세트 분석
adjustmentSets(dag, exposure = ‘exposure variable′,
                    outcome ='competency′, type="minimal″, effect="total″)
    # dag : 국가별 인과 그래프
    # exposure: 교수역량(결과변인)에 대한 원인변수
# 인과 경로 분석
paths(dag, from = ‘exposure variable′, to = ′competency′, limit = 100,
       directed = FALSE)
```

위의 절차에 따라 처치변인과 결과변인 사이의 인과 관계가 식별되면, 그 결과를 바탕으로 인과 효과 추정을 위한 연구를 설계할 수 있다. 인과 효과 추정은 연구자가 답하고자 하는 연구 질문에 따라 다양한 방식으로 수행될 수 있다. 인과 그래프를 바탕으로 한 인과 효과 분석의 사례(예시: 매칭, 회귀 불연속, 도구변인, 이중차분법 등) 및 주요 R 코드 예시는 Cunningham(2021) 등을 참고할 수 있다.

3. 연구 절차

이 연구의 추진 절차는 다음 [그림 Ⅲ-2]와 같다.

단계	내용	프로그램
선행연구 분석	교수역량, 구조적 인과 모형 관련 국내외 선행연구 분석	
⇩		
데이터 전처리	결과 변인 및 예측요인 탐색 데이터 클리닝	R
⇩		
국가별 교수역량 주요 예측요인 추출	혼합효과 랜덤 포레스트 기법을 활용하여 국가별(한국, 미국, 일본) 교수역량에 대한 주요 예측요인 추출	Python: merf, scikit-learn
⇩		
국가별 인과 그래프 산출	인과 디스커버리 분석을 활용하여 국가별(한국, 미국, 일본) 교수역량에 대한 인과 그래프 생성	R: bnlearn, Rgraphviz
⇩		
국가별 교수역량 인과 관계 분석	인과 그래프에 기반한 국가별(한국, 미국, 일본) 교수역량에 대한 인과 관계 분석	R: dagitty
⇩		
국가별 인과 효과 분석	인과 그래프에 기반한 국가별(한국, 미국, 일본) 교수역량에 대한 인과 효과 분석	R: WeightIt, cobalt
⇩		
결과 정리	연구 결과 정리 및 논문 작성	

[그림 Ⅲ-2] 연구 추진 절차

Ⅳ. 연구 결과

1. 국가별 중등교사의 교수역량과 주요 예측요인들로 구성된 인과 그래프 산출

한국, 미국, 일본 중등교사의 교수역량과 이에 대한 주요 예측요인들로 구성된 인과 그래프 산출을 위한 분석 절차를 요약하여 제시하면 다음과 같다. 첫째, 혼합효과 랜덤 포레스트 모델을 적용하여 한국, 미국, 일본 중등교사의 교수역량에 대한 주요 예측요인을 국가별로 20개씩 추출하였다. 둘째, 3개 국가에서 주요 예측요인으로 추출된 20개 변인들의 합집합과 결과변인인 교수역량 사이에 측정되지 않은 혼재변인이 없다는 인과 충분성 가정 하에 인과 디스커버리 분석을 수행하였다. 특히 인과 디스커버리 알고리듬 중 제약 기반 방법인 PC 알고리듬, 점수 기반 방법인 Tabu Search 알고리듬, 하이브리드 방법인 MMHC 알고리듬을 적용하고, 알고리듬에 따른 국가별 인과 그래프 산출 결과 비교하였다. 셋째, 알고리듬별로 부트스트랩을 실시하여 산출된 평균 그래프 구조에 차이가 있었기에, 국가별 인과 그래프의 최종 모형을 정하기 위하여 알고리듬별로 유의미 임계값 이상의 화살표 강도에 따른 BIC 점수의 변화를 살펴보고, 적합도가 가장 높은 지점에서의 인과 그래프를 국가별 최종 모형으로 선정하였다.

가. 국가별 중등교사의 교수역량에 대한 주요 예측요인

혼합효과 랜덤 포레스트 기법을 활용하여 분석한 국가별 상위 20개 주요 예측요인별 주제 분류는 Ainley & Carstens(2018)에 제시된 TALIS 2018 문항별 주제 구분에 근거하였다. 한국 중등교사의 교수역량

을 예측하는 상위 20개 요인은 <표 Ⅳ-1>과 같다.

첫째, ‘교사의 자기 효능감’ 주제에 포함되는 요인들인 수업지도 자기 효능감(1위), 학생참여 자기 효능감(2위), 교실관리 자기 효능감(4위), 디지털 기술을 활용한 학습 지원 자기 효능감(8위)이 한국 교사의 교수역량을 예측하는 주요 요인들로 나타났다.

둘째, ‘교사의 전문적 실천’ 주제에 해당하는 예측요인 중, 팀티칭·수업 피드백·전문적 학습 협력 등을 자주 수행하는지에 대한 척도인 ‘교사 간 전문적인 수업 협력’은 20개의 교수역량 주요 예측요인들 중 3위로 나타났으며, 동료 교사와 자료 교환·특정 학생의 학습 발달에 대한 논의·평가 협의회 운영 등을 자주 하는지에 대한 척도인 ‘교사 간 교류 및 조정’은 11위로 나타났다.

셋째, ‘교사의 직무 만족도 및 동기’ 주제에서는 대상 학급 자치권에 대한 만족도와 사회적 효용에 대한 동기가 각각 9위와 10위로 한국 교사의 교수역량을 예측하는 요인인 것으로 나타났다. 또한 직장 복지 및 스트레스(13위), 특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스(16위), 학생 태도 스트레스(19위), 업무량 스트레스(20위)와 같이 다양한 ‘스트레스’ 관련 요인들이 한국 교사의 교수역량을 주요하게 예측하는 것으로 나타났다.

넷째, ‘교사의 피드백 및 전문성 개발’ 주제에 속하는 예측요인 중, 다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요(5위), 전문성 개발 장벽(17위), 교사 네트워크 참여를 통한 전문성 개발 활동(18위)은 한국 중등교사의 교수역량을 예측하는 주요 요인들로 나타났다.

다섯째, ‘학교 풍토’ 주제에 해당하는 예측요인 중, 학교 및 동료 교사들이 학생에게 관심을 갖고 필요한 지원을 제공하는지에 대한 인식을 측정한 척도인 ‘교사-학생 관계’는 20개의 교수역량 주요 예측요인들 중 7위로 나타났다. 또한 학교 직원·학부모·학생들의 학교 의사결정 참여, 학교 이슈에 대한 책임감 공유, 협력적 학교 문화에 대한 교사의 인식을 측정한 척도인 ‘이해관계자 간 참여’는 12위, 학생 태도로 인한 수업 분위기 조성의 어려움을 측정한 척도인 ‘지각된 규율 환경’은 15위로 나타났다.

이 밖에, '교사 양성 및 초기 준비 교육'과 '교사 배경정보 및 자격' 주제와 관련하여, 범교과 지식 및 기술에 대한 교육 준비 정도와 교원자격 취득 연도는 각각 6위와 14위에 해당하는 한국 중등교사의 교수역량에 대한 예측요인으로 드러났다.

<표 Ⅳ-1> 한국 교사의 교수역량에 대한 상위 20개 주요 예측요인

순위	변인명	Talis 2018 주제	내용	척도	중요도
1	t3seins	교사의 자기 효능감	수업지도 자기 효능감	파생변인	0.0652
2	t3seeng	교사의 자기 효능감	학생참여 자기 효능감	파생변인	0.0490
3	t3coles	교사의 전문적 실천	교사 간 전문적인 수업 협력	파생변인	0.0224
4	t3secls	교사의 자기 효능감	교실관리 자기 효능감	파생변인	0.0221
5	t3pdiv	교사의 피드백 및 전문성 개발	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	파생변인	0.0202
6	tt3g06g2	교사 양성 및 초기 준비 교육	범 교과 지식 및 기술에 대한 교육 준비 정도	4점[1)]	0.0106
7	t3stud	학교 풍토	교사-학생 관계	파생변인	0.0105
8	tt3g34m	교사의 자기 효능감	디지털 기술을 활용한 학습 지원 자기 효능감	4점[2)]	0.0092
9	t3satat	교사의 직무 만족도 및 동기	대상 학급 자치권에 대한 만족도	파생변인	0.0087
10	t3socut	교사의 직무 만족도 및 동기	사회적 효용에 대한 동기	파생변인	0.0076
11	t3exch	교사의 전문적 실천	교사 간 교류 및 조정	파생변인	0.0066
12	t3stake	학교 풍토	이해관계자간 참여	파생변인	0.0061
13	t3wels	교사의 직무 만족도 및 동기	직장 복지 및 스트레스	파생변인	0.0060
14	tt3g05	교사 배경정보 및 자격	교원자격 취득 연도	연속형	0.0053
15	t3disc	학교 풍토	지각된 규율 환경	파생변인	0.0050
16	tt3g52k	교사의 직무 만족도 및 동기	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	4점[3)]	0.0049
17	t3pdbar	교사의 피드백 및 전문성 개발	전문성 개발 장벽	파생변인	0.0047
18	tt3g22h	교사의 피드백 및 전문성 개발	전문성 개발 활동 유형(교사 네트워크 참여)	2점	0.0047
19	t3stbeh	교사의 직무 만족도 및 동기	학생 태도 스트레스	파생변인	0.0046
20	t3wload	교사의 직무 만족도 및 동기	업무량 스트레스	파생변인	0.0045

*각 척도의 세부 내용은 다음과 같음
2점: 0: 아니요, 1: 예
4점[1)]: 1: 전혀 준비되지 않음, 2: 어느정도 준비됨, 3: 잘 준비됨, 4: 매우 잘 준비됨
4점[2)]: 1: 할 수 없음, 2: 조금 할 수 있음, 3: 꽤 잘할 수 있음, 4: 매우 잘 할 수 있음
4점[3)]: 1: 전혀 안됨, 2: 어느 정도 됨, 3: 상당한 정도로 됨, 4: 아주 많이 됨

혼합효과 랜덤 포레스트 기법을 활용하여 분석한 미국 중등교사의 교수역량을 예측하는 상위 20개 요인은 <표 Ⅳ-2>와 같다.

첫째, ‘교사의 자기 효능감’ 주제에 포함되는 요인들인 수업지도 자기 효능감(1위), 학생참여 자기 효능감(2위), 디지털 기술을 활용한 학습 지원 자기 효능감(4위), 교실관리 자기 효능감(6위)이 미국 교사의 교수역량을 예측하는 주요 요인들로 나타났다. 또한, TALIS 2018 주제 분류상 ‘다양성과 형평성’ 주제로 분류되어있는 다문화 교실에서 자기 효능감(3위)도 미국 교사의 교수역량에 대한 주요 예측요인으로 나타났다.

둘째, ‘교사의 전문적 실천’ 주제에 해당하는 예측요인 중, 팀티칭·수업 피드백·전문적 학습 협력 등을 자주 수행하는지에 대한 척도인 ‘교사 간 전문적인 수업 협력’은 20개의 교수역량 주요 예측요인들 중 10위로 나타났으며, 동료 교사와 자료 교환·특정 학생의 학습 발달에 대한 논의·평가 협의회 운영 등을 자주 하는지에 대한 척도인 ‘교사 간 교류 및 조정’은 12위로 나타났다. 또한 근무시간(기타)은 11위로 나타났다.

셋째, ‘교사의 직무 만족도 및 동기’ 주제에서는 사회적 효용에 대한 동기가 7위, 학생 태도 스트레스가 9위, 대상 학급 자치권에 대한 만족도가 13위, 업무 결과에 대한 만족이 18위로 미국 중등교사의 교수역량을 예측하는 요인인 것으로 나타났다.

넷째, ‘교사의 피드백 및 전문성 개발’ 주제에 속하는 예측요인 중, 전문성 개발 활동 주제(교사-학부모(보호자) 협력)(16위)와 교사 네트워크 참여를 통한 전문성 개발 활동(17위)은 미국 중등교사의 교수역량을 예측하는 요인들로 나타났다.

다섯째, ‘교원양성 및 초기 준비 교육’ 주제에 해당하는 예측요인 중, 학생의 발달과 학습에 대한 모니터링 준비 정도(8위)와 다양한 학업능력을 가진 학생들에 대한 교육 준비 정도(19위)는 미국 중등교사의 교수역량에 대한 주요 예측요인인 것으로 나타났다.

여섯째, ‘학교 풍토’ 주제에 해당하는 예측요인 중, 학생 태도로 인한 수업 분위기 조성의 어려움을 측정한 척도인 ‘지각된 규율 환경’은 20개의 교수역량 주요 예측요인들 중 5위로 나타났다. 또한 학교 직원·학부

모·학생들의 학교 의사결정 참여, 학교 이슈에 대한 책임감 공유, 협력적 학교 문화에 대한 교사의 인식을 측정한 척도인 '이해관계자 간 참여'는 20위로 나타났다.

이 밖에, '교사의 교수 실천' 주제에 속하는 요인 중 수업 학급에서 행동에 문제가 있는 학생의 비율은 15위로 나타났다. 또한 '교사 배경정보 및 자격'과 관련하여 교사로 근무한 총 연수는 14위에 해당하는 미국 중등교사의 교수역량 예측요인으로 드러났다.

<표 Ⅳ-2> 미국 교사의 교수역량에 대한 상위 20개 주요 예측요인

순위	변인명	Talis 2018 주제	내용	척도	중요도
1	t3seins	교사의 자기 효능감	수업지도 자기 효능감	파생변인	0.0576
2	t3seeng	교사의 자기 효능감	학생참여 자기 효능감	파생변인	0.0433
3	t3sefe	다양성과 형평성	다문화 교실에서 자기 효능감	파생변인	0.0315
4	tt3g34m	교사의 자기 효능감	디지털 기술을 활용한 학습 지원 자기 효능감	4점[1)]	0.0143
5	t3disc	학교 풍토	지각된 규율 환경	파생변인	0.0128
6	t3secls	교사의 자기 효능감	교실관리 자기 효능감	파생변인	0.0076
7	t3socut	교사의 직무 만족도 및 동기	사회적 효용에 대한 동기	파생변인	0.0073
8	tt3g06j2	교사 양성 및 초기 준비 교육	학생의 발달과 학습에 대한 모니터링 준비 정도	4점[2)]	0.0059
9	t3stbeh	교사의 직무 만족도 및 동기	학생 태도 스트레스	파생변인	0.0059
10	t3coles	교사의 전문적 실천	교사 간 전문적인 수업 협력	파생변인	0.0056
11	tt3g18j	교사 배경정보 및 자격	근무 시간(기타)	연속형	0.0054
12	t3exch	교사의 전문적 실천	교사 간 교류 및 조정	파생변인	0.0051
13	t3satat	교사의 직무 만족도 및 동기	대상 학급 자치권에 대한 만족도	파생변인	0.0048
14	tt3g11b	교사 배경정보 및 자격	교사로 근무한 총 연수	연속형	0.0045
15	tt3g35d	교사의 교수 실천	대상학급 구성(행동에 문제가 있는 학생)	5점	0.0043
16	tt3g23m	교사의 피드백 및 전문성 개발	전문성 개발 활동 주제 (교사-학부모(보호자) 협력)	2점	0.0041
17	tt3g22h	교사의 피드백 및 전문성 개발	전문성 개발 활동 유형 (교사 네트워크 참여)	2점	0.0039
18	tt3g53i	교사의 직무 만족도 및 동기	업무 결과에 대한 만족	4점[3)]	0.0036
19	tt3g06e2	교사 양성 및 초기 준비 교육	다양한 학업능력을 가진 학생들에 대한 교육 준비정도	4점[2)]	0.0035
20	t3stake	학교 풍토	이해관계자간 참여	파생변인	0.0033

*각 척도의 세부 내용은 다음과 같음
2점: 0: 아니요, 1: 예
4점[1)]: 1: 할 수 없음, 2: 조금 할 수 있음, 3: 꽤 잘할 수 있음, 4: 매우 잘 할 수 있음
4점[2)]: 1: 전혀 준비되지 않음, 2: 어느정도 준비됨, 3: 잘 준비됨, 4: 매우 잘 준비됨
4점[3)]: 1: 매우 동의하지 않음, 2: 동의하지 않음, 3: 동의함, 4: 매우 동의함
5점: 1: 없음, 2: 1~10%, 3: 11~30%, 4: 31~60%, 5: 60% 이상

혼합효과 랜덤 포레스트 기법을 활용하여 분석한 일본 중등교사의 교수역량을 예측하는 상위 20개 요인은 <표 Ⅳ-3>과 같다.

첫째, '교사의 자기 효능감' 주제에 포함되는 요인들인 수업지도 자기 효능감(1위), 학생참여 자기 효능감(2위), 교실관리 자기 효능감(9위), 디지털 기술을 활용한 학습 지원 자기 효능감(12위)이 일본 중등교사의 교수역량을 예측하는 주요 요인들로 나타났다.

둘째, '교사의 전문적 실천' 주제에 해당하는 예측요인 중, 동료 교사와 자료 교환·특정 학생의 학습 발달에 대한 논의·평가 협의회 운영 등을 자주 하는지에 대한 척도인 '교사 간 교류 및 조정'은 20개의 교수역량 주요 예측요인들 중 3위로 나타났으며, 팀티칭·수업 피드백·전문적 학습 협력 등을 자주 수행하는지에 대한 척도인 '교사 간 전문적인 수업 협력'은 8위로 나타났다.

셋째, '교사의 직무 만족도 및 동기' 주제에서는 대상 학급 자치권에 대한 만족도가 18위, 향후 교직 종사 희망기간이 19위로 일본 중등교사의 교수역량을 예측하는 요인인 것으로 나타났다.

넷째, '교사의 피드백 및 전문성 개발' 주제에 속하는 예측요인 중, 다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요(6위), 전문성 개발 활동의 특성(교수법 혁신에 초점)(10위), 교과 및 교육에 대한 전문성개발 필요성(11위), 전문성 개발 활동 주제(범교과 기술에 대한 교수법)(13위), 교과지식에 대한 평가 제공(현재 학교에서 없음)(16위), 효과적인 전문성 개발 활동(20위)은 일본 중등교사의 교수역량을 예측하는 주요 요인들로 나타났다.

다섯째, '교사의 교수 실천' 주제에 해당하는 예측요인 중, 수업 시간 중 교실에서의 질서 유지에 사용한 시간(4위), 수업 시간 중 실제 교수·학습에 사용한 시간(5위), 학급 내 특수교육대상 학생의 비율(14위)은 일본 중등교사의 교수역량에 대한 주요 예측요인인 것으로 나타났다.

여섯째, '학교 풍토' 주제에 해당하는 예측요인 중, 학생 태도로 인한 수업 분위기 조성의 어려움을 측정한 척도인 '지각된 규율 환경'은 20개의 교수역량 주요 예측요인들 중 15위로 나타났다. 또한 학교 직원·학부모·학생들의 학교 의사결정 참여, 학교 이슈에 대한 책임감 공유, 협력적 학교

문화에 대한 교사의 인식을 측정한 척도인 '이해관계자 간 참여'는 17위로 나타났다.

이 밖에, '교사 배경정보 및 자격'과 관련하여 교사로 근무한 총 연수는 일본 중등교사의 교수역량을 예측하는 요인들 중 7위로 나타났다.

<표 Ⅳ-3> 일본 교사의 교수역량에 대한 상위 20개 주요 예측요인

순위	변인명	Talis 2018 주제	내용	척도	중요도
1	t3seins	교사의 자기 효능감	수업지도 자기 효능감	파생변인	0.0578
2	t3seeng	교사의 자기 효능감	학생참여 자기 효능감	파생변인	0.0311
3	t3exch	교사의 전문적 실천	교사 간 교류 및 조정	파생변인	0.0284
4	tt3g39b	교사의 교수 실천	수업 시간 중 교실에서의 질서 유지에 사용한 시간(%)	연속형	0.0184
5	tt3g39c	교사의 교수 실천	수업 시간 중 실제 교수·학습에 사용한 시간(%)	연속형	0.0168
6	t3pdiv	교사의 피드백 및 전문성 개발	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	파생변인	0.0105
7	tt3g11b	교사 배경정보 및 자격	교사로 근무한 총 연수	연속형	0.0091
8	t3coles	교사의 전문적 실천	교사 간 전문적인 수업 협력	파생변인	0.0091
9	t3secls	교사의 자기 효능감	교실관리 자기 효능감	파생변인	0.0089
10	tt3g26l	교사의 피드백 및 전문성 개발	전문성 개발 활동의 특성 (교수법 혁신에 초점)	2점	0.0086
11	t3pdped	교사의 피드백 및 전문성 개발	교과 및 교육에 대한 전문성개발 필요성	파생변인	0.0079
12	tt3g34m	교사의 자기 효능감	디지털 기술을 활용한 학습 지원 자기 효능감	4점[1)]	0.0078
13	tt3g23k	교사의 피드백 및 전문성 개발	전문성 개발 활동 주제 (범교과 기술에 대한 교수법)	2점	0.0074
14	tt3g35c	교사의 교수 실천	대상학급 구성 (특수교육대상 학생)	5점	0.0074
15	t3disc	학교 풍토	지각된 규율 환경	파생변인	0.0057
16	tt3g29c4	교사의 피드백 및 전문성 개발	교과지식에 대한 평가 제공 (현재 학교에서 없음)	2점	0.0055
17	t3stake	학교 풍토	이해관계자간 참여	파생변인	0.0051
18	t3satat	교사의 직무 만족도 및 동기	대상 학급 자치권에 대한 만족도	파생변인	0.0049
19	tt3g50	교사의 직무 만족도 및 동기	향후 교직 종사 희망 기간	연속형	0.0041
20	t3effpd	교사의 피드백 및 전문성 개발	효과적인 전문성 개발 활동	파생변인	0.0038

각 척도의 세부 내용은 다음과 같음

2점: 0: 아니요, 1: 예

4점[1)]: 1: 할 수 없음, 2: 조금 할 수 있음, 3: 꽤 잘할 수 있음, 4: 매우 잘 할 수 있음

국가별 교수역량의 주요 예측요인을 분석하기 위해 혼합효과 랜덤 포레스트 모델을 적용한 결과로 도출된 한국, 미국, 일본 중등교사의 교수역량에 대한 주요 예측요인을 종합하여 TALIS 2018 주제별로 살펴보면 <표 Ⅳ-4>와 같다.

<표 Ⅳ-4> 국가별 교사의 교수역량에 대한 상위 20개 주요 예측요인

Talis 2018 주제	변인명	내용	중요도 순서		
			한국	미국	일본
교사의 자기 효능감	t3seins	수업지도 자기 효능감	1	1	1
	t3seeng	학생참여 자기 효능감	2	2	2
	t3secls	교실관리 자기 효능감	4	6	9
	tt3g34m	디지털 기술을 활용한 학습 지원 자기 효능감	8	4	12
교사의 전문적 실천	t3coles	교사 간 전문적인 수업 협력	3	10	8
	t3exch	교사 간 교류 및 조정	11	12	3
	tt3g18j	근무 시간(기타)	-	11	-
교사의 직무 만족도 및 동기	t3satat	대상 학급 자치권에 대한 만족도	9	13	18
	t3socut	사회적 효용에 대한 동기	10	7	-
	t3wels	직장 복지 및 스트레스	13	-	-
	t3stbeh	학생 태도 스트레스	19	9	-
	t3wload	업무량 스트레스	20	-	-
	tt3g50	향후 교직 종사 희망 기간	-	-	19
	tt3g52k	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	16	-	-
	tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	-	18	-
교사의 피드백 및 전문성 개발	t3pdiv	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	5	-	6
	t3pdbar	전문성 개발 장벽	17	-	-
	t3pdped	교과 및 교육에 대한 전문성개발 필요성	-	-	11
	t3effpd	효과적인 전문성 개발 활동	-	-	20
	tt3g22h	전문성 개발 활동 유형(교사 네트워크 참여)	18	17	-
	tt3g23k	전문성 개발 활동 주제(범교과 기술에 대한 교수법)	-	-	13
	tt3g23m	전문성 개발 활동 주제(교사-학부모(보호자) 협력)	-	16	-
	tt3g26l	전문성 개발 활동의 특성(교수법 혁신에 초점)	-	-	10
	tt3g29c4	교과지식에 대한 평가 제공(현재 학교에서 없음)	-	-	16
교사의 교수 실천	tt3g35c	대상학급 구성(특수교육대상 학생)	-	-	14
	tt3g35d	대상학급 구성(행동에 문제가 있는 학생)	-	15	-
	tt3g39b	수업 시간 중 교실에서의 질서 유지에 사용한 시간(%)	-	-	4
	tt3g39c	수업 시간 중 실제 교수·학습에 사용한 시간(%)	-	-	5
학교 풍토	t3stud	교사-학생 관계	7	-	-
	t3stake	이해관계자간 참여	12	20	17
	t3disc	지각된 규율 환경	15	5	15
교사 양성 및 초기 준비 교육	tt3g06e2	다양한 학업능력을 가진 학생들에 대한 교육 준비정도	-	19	-
	tt3g06g2	범 교과 지식 및 기술에 대한 교육 준비 정도	6	-	-
	tt3g06j2	학생의 발달과 학습에 대한 모니터링 준비 정도	-	8	-
다양성과 형평성	t3sefe	다문화 교실에서 자기 효능감	-	3	-
교사 배경정보 및 자격	tt3g05	교원자격 취득 연도	14	-	-
	tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	-	14	7

나. 인과 디스커버리 알고리듬에 따른 국가별 인과 그래프 산출 결과 비교

국가별 교사의 교수역량에 대한 인과 그래프를 도출하기 위해, 앞서 분석한 교수역량의 주요 예측요인들을 활용하여 국가별 인과 디스커버리 분석을 실시하였다. 국가 간 비교를 위해, 각 국가의 주요 예측요인으로 도출된 요인들(<표 Ⅳ-4> 참조)을 모두 분석에 활용하였다. 이 중 '교원 자격 취득 연도(tt3g05)'는 국가 선택 문항이었기에 미국과 일본에서는 응답이 수집되지 않았으며, '다문화 교실에서 자기 효능감(t3sefe)'은 한국과 일본의 자료에서 20% 이상의 결측이 발생한 문항이기에 인과 디스커버리 분석에서 제외하였다. 따라서 인과 디스커버리 분석을 위한 국가별 데이터 세트는 국가별로 추출된 교수역량에 대한 주요 예측요인 35개와 결과변인인 교수역량을 포함하여, 총 36개의 변인으로 구성되어 있다.

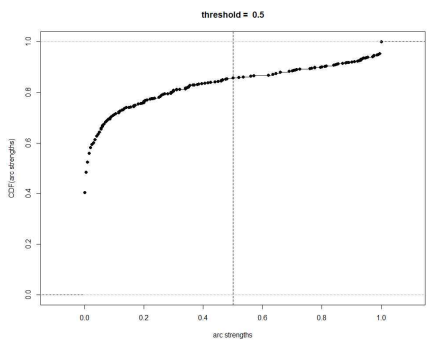
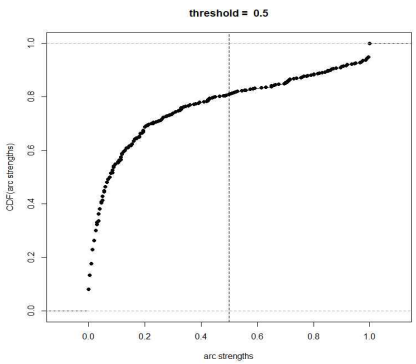
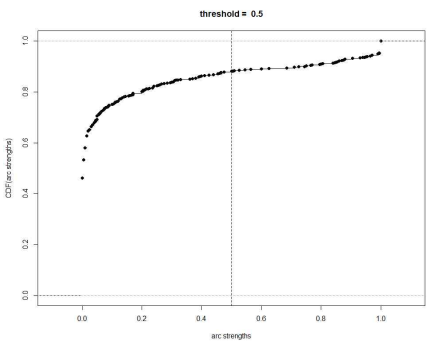
국가별 교사의 교수역량에 대한 인과 그래프를 도출하기 위해, 인과 디스커버리 알고리듬 중 제약 기반 방법인 PC 알고리듬, 점수 기반 방법인 Tabu Search 알고리듬, 하이브리드 방법인 MMHC 알고리듬을 적용하였으며, 알고리듬별로 200회의 부트스트랩을 실시하여 평균 네트워크(averaged network)를 산출하였다. 이때, 인과 디스커버리 분석을 위한 데이터 세트의 변인들 중, '교직을 선택하게 된 동기(사회적 효용(t3socut)'는 다른 변인들보다 시간적으로 앞서는 것으로 보았다. 따라서 인과 디스커버리 분석 시 이러한 시간의 순서를 반영하여, 시간적으로 앞선 변인이 다른 변인의 자식 노드가 될 수 없도록 블랙리스트(blacklist)로 지정하였다.

인과 디스커버리 분석을 통해 도출된 평균 네트워크를 구성하는 각 화살표의 강도(strength)는 부트스트랩 샘플에서 학습한 네트워크 세트로부터 경험적 빈도로 추정된다. 유의미 임계값(significance threshold)에서의 인과 디스커버리 알고리듬별 분석 결과를 국가별로 살펴보면 <표 Ⅳ-5>~<표 Ⅳ-7>과 같다. 분석 결과를 살펴보면, 인과 디스커버리 알고리듬에 따라 각 국가에서 도출된 교사의 교수역량에 대한 인과 그래

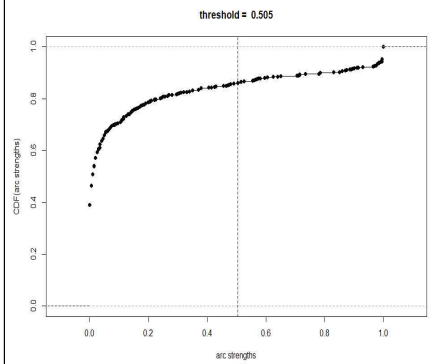
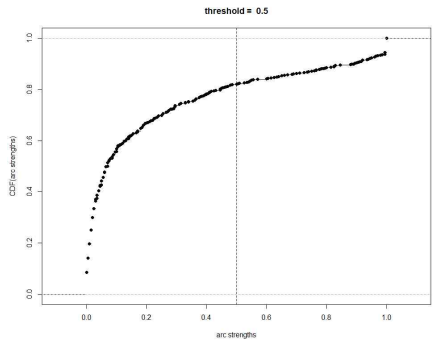
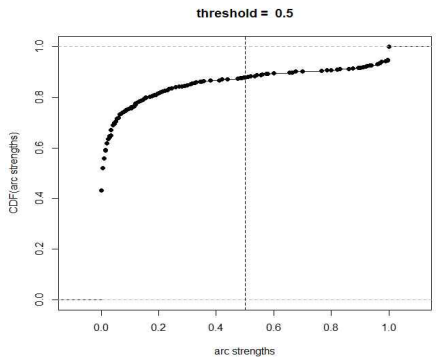
프는 화살표 수(방향성/비방향성), 평균 마코프 블랭킷 크기(markov blanket size), 평균 분기 계수(average branching factor)에서 모두 차이가 나타났다. 이는 곧 알고리듬에 따라 산출된 인과 그래프에 차이가 있음을 의미한다. 모든 국가에서 Tabu Search 알고리듬을 통해 산출된 인과 그래프에서 화살표의 수, 평균 마코프 블랭킷 크기, 평균 분기 계수가 가장 큰 것으로 나타났다.

알고리듬별로 산출된 그래프 사이에 나타난 차이의 정도를 확인하기 위해, 그래프를 구성하는 두 노드 간 화살표(방향, 추가, 삭제)에 차이가 나타난 경우의 수를 의미하는 SHD(Structural Hamming Distance) 값을 살펴보았다. 국가별로 서로 다른 알고리듬을 적용하여 산출된 그래프 간의 SHD 값을 비교한 결과, 모든 국가에서 제약 기반 방법인 PC 알고리듬과 점수 기반 방법인 Tabu Search 알고리듬 사이의 SHD 값이 가장 높게 나타났다. 이 연구에서는 그래프가 36개(n)의 노드로 이루어져 있으므로, 그래프를 구성하는 노드 간의 관계에서 나타날 수 있는 화살표의 경우의 수는 n(n-1)/2인 630이다. 서로 다른 알고리듬 사이의 SHD 값을 전체 경우의 수로 나눈 값인 차이 비율을 살펴본 결과, 그래프 산출에 적용한 알고리듬에 따라 한국은 약 13.49% 이내, 미국은 12.70% 이내, 일본은 약 16.35% 이내에서 차이를 보이는 것으로 나타났다.

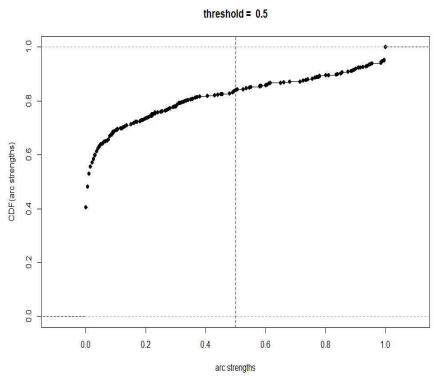
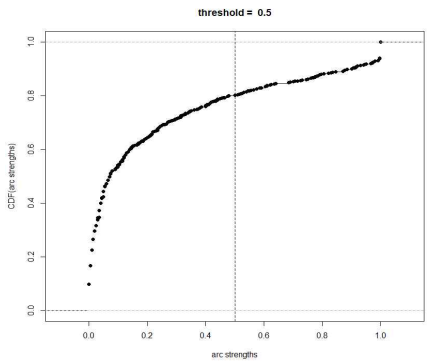
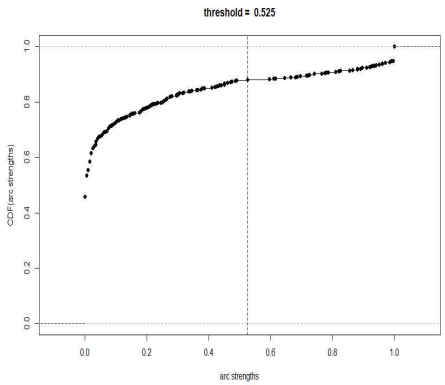
<표 Ⅳ-5> 유의미 임계값(significance threshold)에서 인과 디스커버리 알고리듬별 분석 결과 비교(한국)

구분	PC	Tabu Search	MMHC
화살표 강도(strength) 값의 누적 분포 함수 (CDF)			
유의미 임계값	0.5	0.5	0.5
화살표 수 (방향성/비방향성)	89 / 0	118 / 0	74 / 0
평균 마코프 블랭킷 크기	10.39	14.06	6.94
평균 분기 계수	2.47	3.28	2.06
SHD 값 (차이 비율)	Tabu Seach: 85 (약 13.49%) MMHC: 53 (약 8.41%)	PC: 85 (약 13.49%) MMHC: 61 (약 9.68%)	Tabu Seach: 61 (약 9.68%) PC: 53 (약 8.41%)

<표 Ⅳ-6> 유의미 임계값(significance threshold)에서 인과 디스커버리 알고리듬별 분석 결과 비교(미국)

구분	PC	Tabu Search	MMHC
화살표 강도(strength) 값의 누적 분포 함수 (CDF)			
유의미 임계값	0.505	0.5	0.5
화살표 수 (방향성/비방향성)	84 / 0	111 / 0	73 / 0
평균 마코프 블랭킷 크기	10.00	11.89	6.50
평균 분기 계수	2.33	3.08	2.03
SHD (차이 비율)	Tabu Seach: 80 (약 12.70%) MMHC: 52 (약 8.25%)	PC: 80 (약 12.70%) MMHC: 50 (약 7.94%)	Tabu Seach: 50 (약 7.94%) PC: 52 (약 8.25%)

<표 Ⅳ-7> 유의미 임계값(significance threshold)에서 인과 디스커버리 알고리듬별 분석 결과 비교(일본)

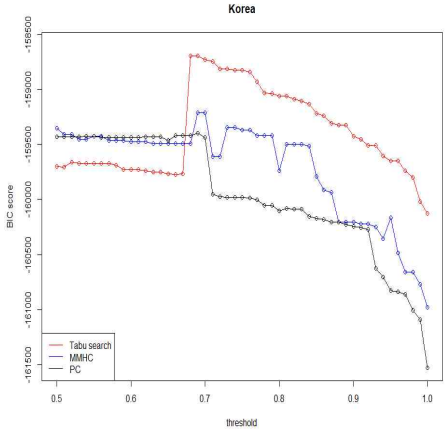
구분	PC	Tabu Search	MMHC
화살표 강도(strength) 값의 누적 분포 함수 (CDF)			
유의미 임계값	0.5	0.5	0.525
화살표 수 (방향성/비방향성)	100 / 0	124 / 0	72 / 2
평균 마코프 블랭킷 크기	13.67	14.50	6.33
평균 분기 계수	2.78	3.44	1.94
SHD (차이 비율)	Tabu Seach: 103 (약 16.35%) MMHC: 66 (약 10.48%)	PC: 103 (약 16.35%) MMHC: 64 (약 10.16%)	Tabu Seach: 64 (약 10.16%) PC: 66 (약 10.48%)

다. 국가별 인과 그래프

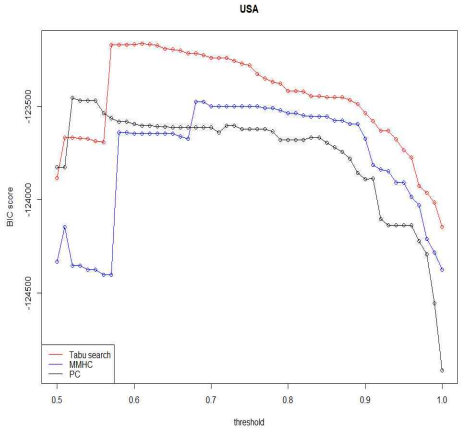
위의 연구 결과에서와 같이, 인과 디스커버리 알고리듬에 따라 산출된 인과 그래프에 차이가 있었다. 평균 네트워크에서 유의미 임계값보다 큰 강도(strength)의 값을 갖는 화살표들은 유의미한(significant) 것으로 볼 수 있다(Nagarajan et al., 2013; Scutari & Nagarajan, 2013). 따라서 이 연구에서는 국가별 인과 그래프의 최종 모형을 결정하기 위하여, 임계값을 기준으로 그 크기가 커짐에 따른 BIC 점수 변화를 살펴보았다. 세 종류의 알고리듬에서 임계값(threshold)으로부터 화살표 강도(arc strength)가 커짐에 따라 산출된 그래프의 BIC 점수는 [그림 Ⅳ-1]과 같다. 이때, 일본의 MMHC 알고리듬 분석 결과에서는 그래프의 임계값에서 비방향성(undirected) 화살표가 1개 포함되어 있었으며, 화살표 강도가 1이 될 때까지 비방향성 화살표가 남아있었기에 BIC 점수의 산출이 불가하였다.

알고리듬별 BIC 점수를 결과를 살펴본 결과, 한국과 미국에서는 3개 알고리듬 중 Tabu Search 알고리듬을 사용하였을 때 BIC 점수의 최댓값이 관찰되었으며, 일본에서는 Tabu Search 알고리듬이 PC 알고리듬에 비해 꾸준히 높은 BIC 점수를 보였다. 따라서, 이 연구에서는 3개 국가에서 모두 Tabu Search 알고리듬을 적용하였을 때 BIC 점수가 최댓값으로 나타난 화살표 강도(한국: 0.68, 미국: 0.61, 일본: 0.50)에서의 인과 그래프를 국가별 인과 그래프의 최종 모형으로 선정하였다.

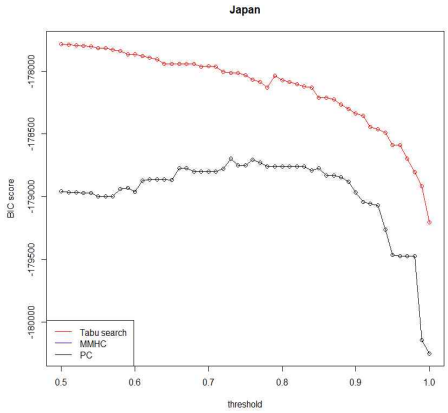
최종 모형으로 선정한 국가별 인과 그래프를 구성하는 화살표에 대한 확률과 그래프에 각 화살표가 존재할 때 해당 화살표의 방향에 대한 조건부 확률에 대한 정보는 [부록]에 자세히 제시하였다.



한국



미국



일본

<3개 국가별 최대 BIC 점수 비교>

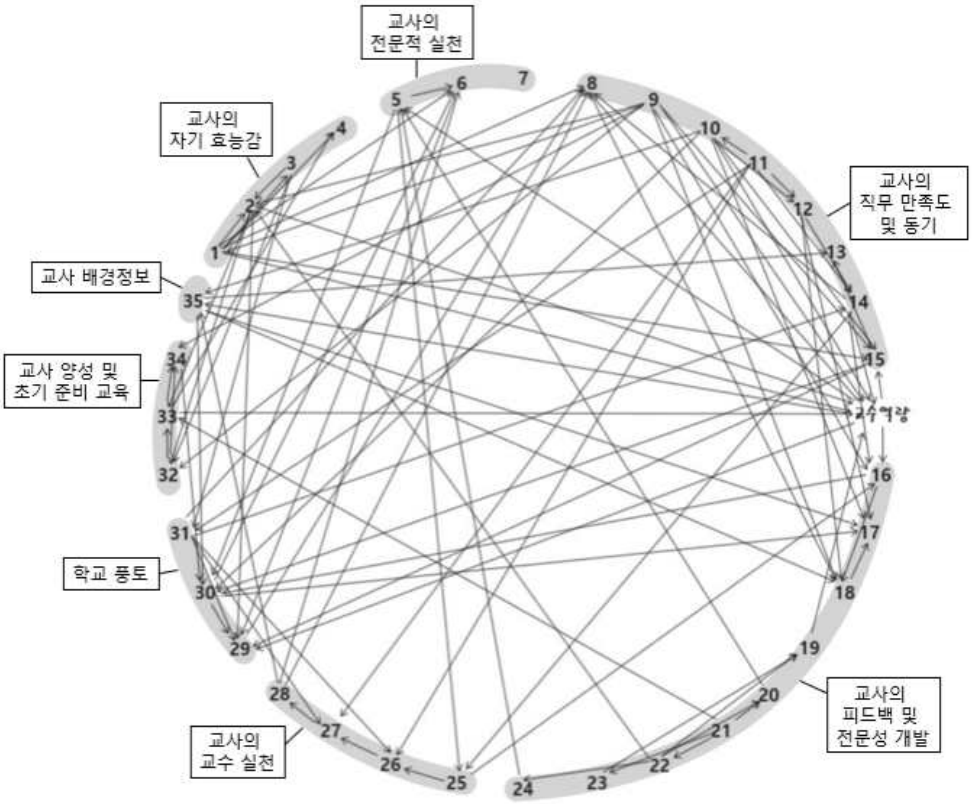
구분	알고리듬	화살표 강도	BIC 점수
한국	Tabu Search	0.68	-158698.4
미국	Tabu Search	0.61	-123163.3
일본	Tabu Search	0.50	-177785.5

[그림 Ⅳ-1] 인과 디스커버리 알고리듬별 임계값에 따른 BIC 점수

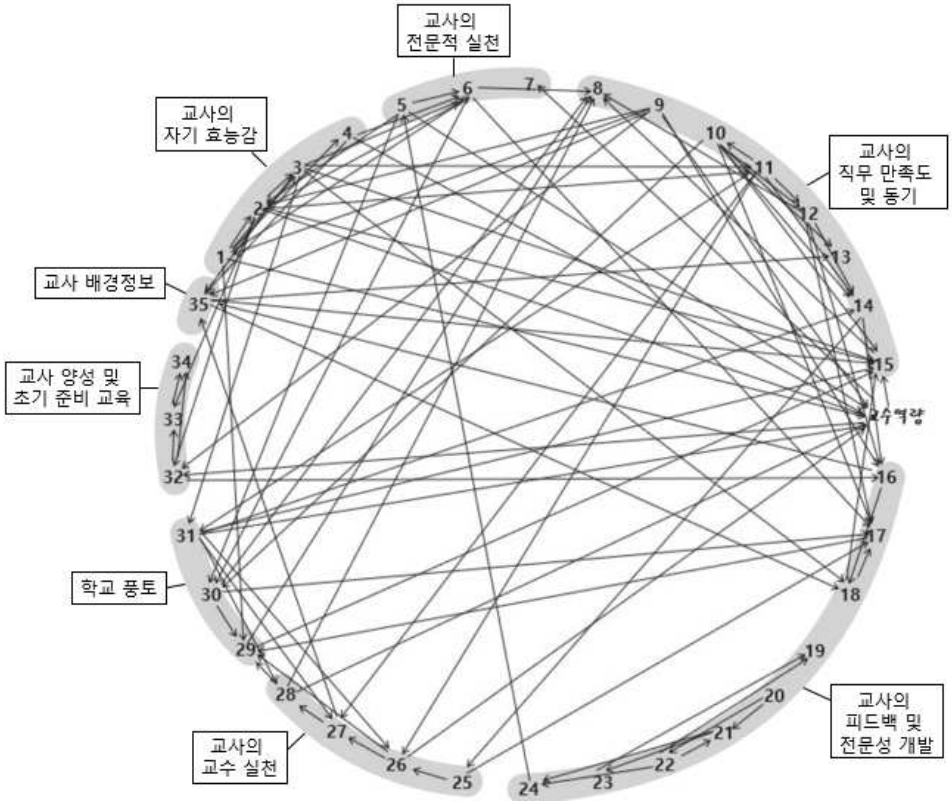
국가별 인과 그래프는 [그림 Ⅳ-2]~[그림 Ⅳ-4]에 제시하였다. 인과 그래프를 구성하는 노드 번호는 같은 주제끼리 인접한 번호를 갖도록 부여하였다. 또한 한국, 미국, 일본의 인과 그래프에서 같은 변인은 같은 노드 번호를 갖도록 하였다. 변인별 노드 번호는 <표 Ⅳ-8>과 같다.

<표 Ⅳ-8> 그래프 노드 번호 목록

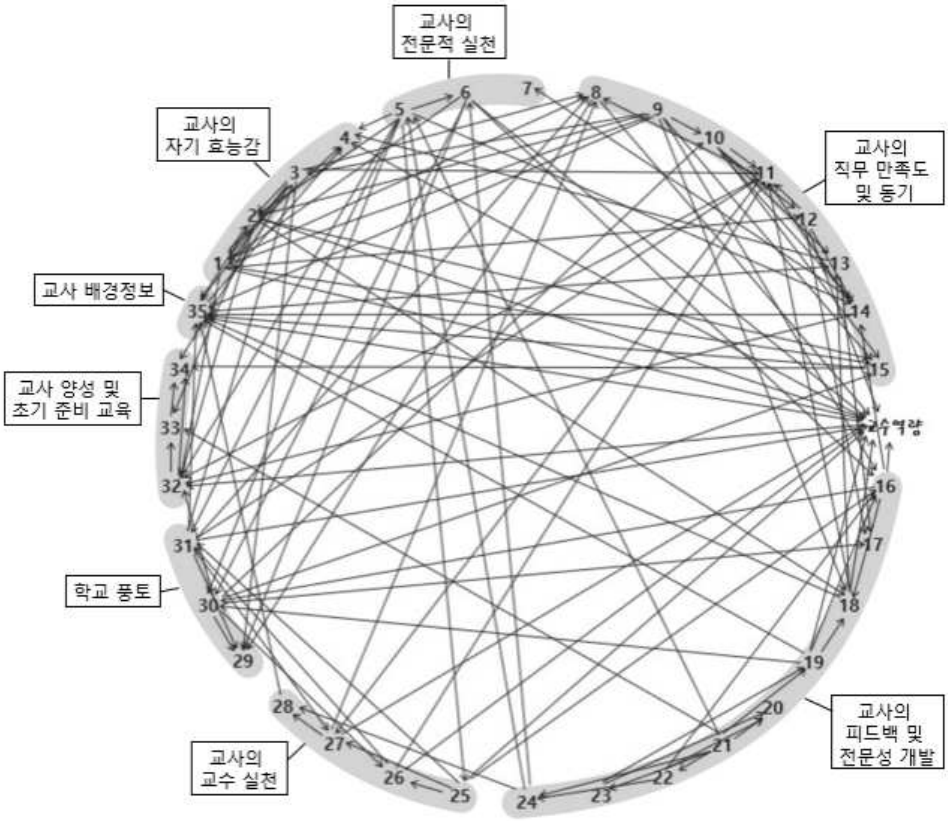
그래프 노드 번호	변인명	Talis 2018 주제	내용
①	t3seins	교사의 자기 효능감	수업지도 자기 효능감
②	t3seeng		학생참여 자기 효능감
③	t3secls		교실관리 자기 효능감
④	tt3g34m		디지털 기술을 활용한 학습 지원 자기 효능감
⑤	t3coles	교사의 전문적 실천	교사 간 전문적인 수업 협력
⑥	t3exch		교사 간 교류 및 조정
⑦	tt3g18j		근무 시간(기타)
⑧	t3satat	교사의 직무 만족도 및 동기	대상 학급 자치권에 대한 만족도
⑨	t3socut		사회적 효용에 대한 동기
⑩	t3wels		직장 복지 및 스트레스
⑪	t3stbeh		학생 태도 스트레스
⑫	t3wload		업무량 스트레스
⑬	tt3g50		향후 교직 종사 희망 기간
⑭	tt3g52k		특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스
⑮	tt3g53i		업무 결과에 대한 만족
⑯	t3pdiv	교사의 피드백 및 전문성 개발	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요
⑰	t3pdbar		전문성 개발 장벽
⑱	t3pdped		교과 및 교육에 대한 전문성 개발의 필요
⑲	t3effpd		효과적인 전문성 개발 활동
⑳	tt3g22h		전문성 개발 활동 유형(교사 네트워크 참여)
㉑	tt3g23k		전문성 개발 활동 주제(범교과 기술에 대한 교수법)
㉒	tt3g23m		전문성 개발 활동 주제(교사-학부모(보호자) 협력)
㉓	tt3g26l		전문성 개발 활동의 특성(교수법 혁신에 초점)
㉔	tt3g29c4		교과지식에 대한 평가 제공(현재 학교에서 없음)
㉕	tt3g35c	교사의 교수 실천	대상학급 구성(특수교육대상 학생)
㉖	tt3g35d		대상학급 구성(행동에 문제가 있는 학생)
㉗	tt3g39b		수업 시간 중 교실에서의 질서 유지에 사용한 시간(%)
㉘	tt3g39c		수업 시간 중 실제 교수·학습에 사용한 시간(%)
㉙	t3stud	학교 풍토	교사-학생 관계
㉚	t3stake		이해관계자간 참여
㉛	t3disc		지각된 규율 환경
㉜	tt3g06e2	교사 양성 및 초기 준비 교육	다양한 학업능력을 가진 학생들에 대한 교육 준비정도
㉝	tt3g06g2		범 교과 지식 및 기술에 대한 교육 준비 정도
㉞	tt3g06j2		학생의 발달과 학습에 대한 모니터링 준비 정도
㉟	tt3g11b	교사 배경정보	교사로 근무한 총 연수



[그림 Ⅳ-2] 한국의 인과 그래프



[그림 Ⅳ-3] 미국의 인과 그래프



[그림 Ⅳ-8] 일본의 인과 그래프

이 연구에서 최종 모형으로 선정된 국가별 인과 그래프의 특징을 비교하면 <표 Ⅳ-9>와 같다. 각 국가의 인과 그래프는 공통적으로 교수역량(competency)을 포함하여 총 36개의 노드로 이루어져 있으며, 한국 96개, 미국 99개, 일본 124개의 방향성 화살표로 구성되어 있다. 또한 평균 마코프 블랭킷의 크기는 한국과 미국에서 약 10 내외로 나타났으며, 일본은 14.50으로 가장 큰 마코프 블랭킷을 갖는 그래프가 도출되었다. 평균 분기 계수의 경우, 국가별로 2.67에서 3.44 사이의 값을 보였는데, 이 중 일본의 그래프에서 평균 분기 계수가 가장 큰 것으로 나타났으며, 한국의 그래프에서는 가장 작은 것으로 나타났다. 즉, 일본의 인과 그래프는 한국과 미국의 인과 그래프에 비해 변인(노드) 간의 관계가 복잡하게 얽혀 있으며, 특정 변인에 대한 인과적 정보를 얻기 위해서는 보다 많은 변인으로부터의 정보가 필요한 것으로 볼 수 있다.

<표 Ⅳ-9> 국가별 인과 그래프의 특징 비교

구분	한국	미국	일본
방향성 화살표 수	96	99	124
평균 마코프 블랭킷 크기	9.89	10.17	14.50
평균 분기 계수	2.67	2.75	3.44

2. 국가별 중등교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 관계 분석

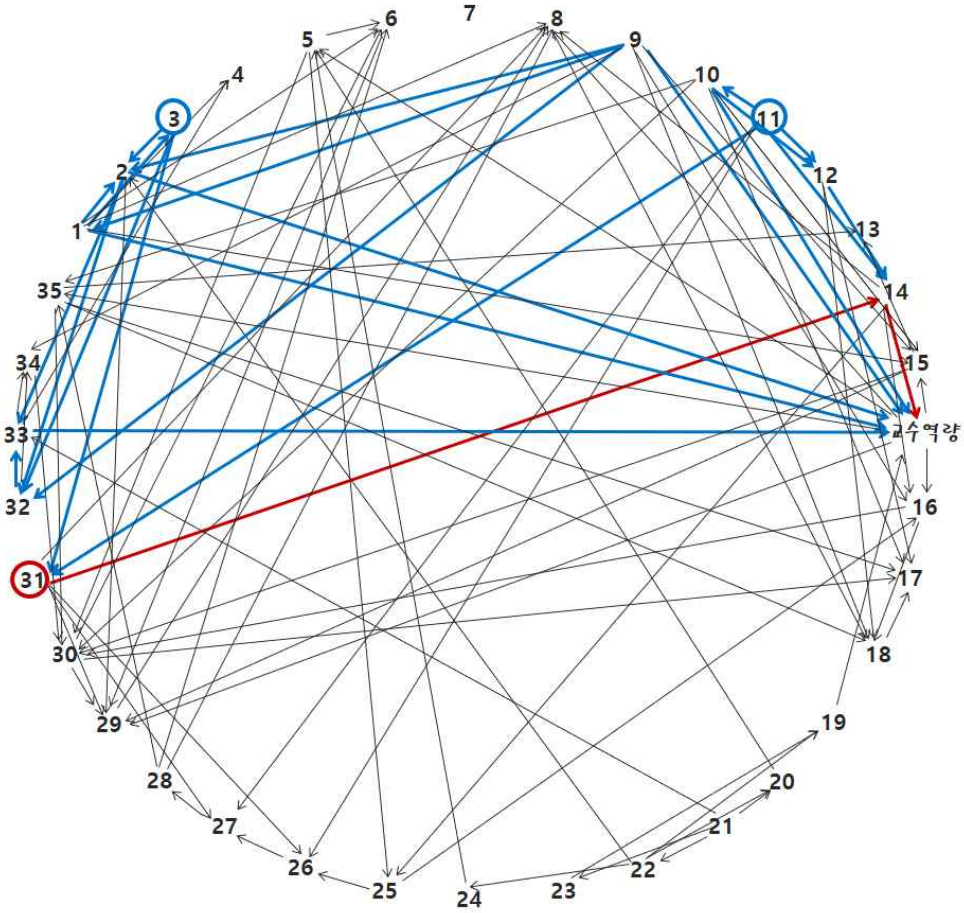
인과 디스커버리 분석을 통해 산출된 각 국가의 인과 그래프에 나타난 교수역량과 영향요인 간의 인과 경로와 공변인 조정 집합(covariate adjustment sets)을 국가별로 살펴보았다. 참고로, 이 연구에서는 영향요인과 결과변인 사이의 인과 효과 추정을 위해 통제해야 하는 공변인 집합 중 가장 적은 수의 요인으로 구성된 공변인 집합만을 '공변인 조정 집합'으로 제시하였으므로, 이 연구에서 제시된 집합 외에도 추가적인 공변인 조정 집합이 다수 존재할 수 있다.

예컨대, 한국의 인과 그래프를 살펴보면 교수역량에 대한 영향요인 중 하나인 '지각된 규율 환경(노드 번호: ㉛)'은 결과변인인 '교수역량'과 '㉛ → ⑭ → 교수역량'의 인과 경로로 연결되어 있을 뿐만 아니라([그림 Ⅳ-5]의 빨간색 경로 참조), '지각된 규율 환경'으로 향하는 화살표로 시작하여 결과변인인 교수역량으로 향하는 경로인 뒷문 경로들도 열려있다([그림 Ⅳ-5]의 파란색 경로 참조).

따라서 이들의 인과 관계를 파악하고자 할 때, 뒷문 경로에 포함되는 변인들 중 인과 경로 안에 있는 변인들을 제외하고 모두 통제하면 혼재변인의 영향을 받지 않은 인과 관계를 추정할 수 있다. 그러나 뒷문 경로를 통해 결과변인과 이에 대한 영향요인과의 관계를 비인과적으로 연결하는 모든 변인들을 통제하지 않더라도, 몇 개 변인들의 조합을 통제함으로써 뒷문 경로를 닫을 수 있는 공변인 조정 집합들이 존재한다. 이 예시에서는 {③, ⑪}, {①, ②, ⑨, ⑪, ⑲, ㉝}, {①, ②, ⑨, ⑪, ㉒, ㉜}, {①, ②, ⑨, ⑪, ㉒, ㉓, ㉝}, {①, ②, ⑨, ⑪, ㉑, ㉒, ㉝}, {①, ②, ⑨, ⑪, ⑲, ㉑, ㉜} 중에서 하나의 집합만 통제하더라도 인과 효과의 추정이 가능하다.

이처럼 변인 간의 관계에서 인과 효과를 추정하기 위한 다양한 공변인 집합이 존재할 수 있음에도, 이 연구에서는 가장 적은 수의 요인으로 구성된 공변인 집합만을 <표 Ⅳ-10>~<표 Ⅳ-12>에서 '공변인 조정 집

합'으로 제시하였다. 따라서 한국 중등교사의 '지각된 규율 환경'과 '교수 역량' 사이의 인과 효과를 추정하기 위한 공변인 조정 집합은 {③, ⑪}로 제시하였다(<표 Ⅳ-10> 참조).



[그림 Ⅳ-5] 인과 그래프를 활용한 인과 관계 분석의 예시

가. 국가별 중등교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 경로

1) 한국

한국의 인과 그래프([그림 Ⅳ-2])를 구성하는 35개의 교수역량 예측요인들 중 15개만이 한국 중등교사의 교수역량에 대한 영향요인인 것으로 나타났다.

특히, ‘수업지도 자기 효능감(노드번호: ①)’, ‘학생참여 자기 효능감(노드번호: ②)’, ‘사회적 효용에 대한 동기(노드번호: ⑨)’, ‘직장 복지 및 스트레스(노드번호: ⑩)’, ‘특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스(노드번호: ⑭)’, ‘효과적인 전문성 개발 활동(노드번호: ⑲)’, ‘범 교과 지식 및 기술에 대한 교육 준비 정도(노드번호: ㉝)’의 7개 변인은 교수역량에 직접적인 영향을 미치는 요인인 것으로 나타났다.

이밖에, ‘교실관리 자기 효능감(노드번호: ③)’, ‘학생 태도 스트레스(노드번호: ⑪)’, ‘업무량 스트레스(노드번호: ⑫)’, ‘전문성 개발 활동 주제(범교과 기술 교수법(노드번호: ㉑)’, ‘전문성 개발 활동 주제(교사-학부모(보호자) 협력)(노드번호: ㉒)’, ‘전문성 개발 활동의 특성(교수법 혁신에 초점)(노드번호: ㉓)’, ‘지각된 규율 환경(노드번호: ㉛)’, ‘다양한 학업능력을 가진 학생들에 대한 교육 준비정도(노드번호: ㉜)’의 8개 변인은 교수역량에 간접적인 경로로만 영향을 미치는 영향요인으로 나타났다.

이러한 영향요인들과 교수역량 간의 구체적인 인과 경로 및 인과 효과 추정을 위해 통제해야 하는 공변인 조정 집합에 대한 정보는 <표 Ⅳ-10>과 같다.

<표 Ⅳ-10> 한국 중등교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 경로

Talis 2018 주제	그래프 노드 번호	변인명	내용	영향요인 여부	공변인 조정 집합	인과 경로
교사의 자기 효능감	①	t3seins	수업지도 자기 효능감	○	{⑨}	① -> 교수역량 ① -> ③[2] -> … -> 교수역량 ① -> ②[3] -> … -> 교수역량
	②	t3seeng	학생참여 자기 효능감	○	{①, ③, ⑨, ㉒}	② -> 교수역량 ② -> ㉝ -> 교수역량 ② -> ㉜ -> ㉝ -> 교수역량
	③	t3secls	교실관리 자기 효능감	○	{①}	③ -> ②[4] -> … -> 교수역량 ③ -> ㉛ -> ⑭ -> 교수역량 ③ -> ㉜ -> ㉝ -> 교수역량
	④	tt3g34m	디지털 기술을 활용한 학습 지원 자기 효능감	×	-	-
교사의 전문적 실천	⑤	t3coles	교사 간 전문적인 수업 협력	×	-	-
	⑥	t3exch	교사 간 교류 및 조정	×	-	-
	⑦	tt3g18j	근무 시간(기타)	×	-	-

2) ① -> ③ -> … -> 교수역량의 경로는 5개임
3) ① -> ② -> … -> 교수역량의 경로는 3개임
4) ③ -> ② -> … -> 교수역량의 경로는 3개임

<표 Ⅳ-10> 한국 중등교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 경로 (계속)

Talis 2018 주제	그래프 노드 번호	변인명	내용	영향요인 여부	공변인 조정 집합	인과 경로
교사의 직무 만족도 및 동기	⑧	t3satat	대상 학급 자치권에 대한 만족도	×	-	-
	⑨	t3socut	사회적 효용에 대한 동기	○	∅	⑨ -> 교수역량 ⑨ -> ①[5] -> … -> 교수역량 ⑨ -> ②[6] -> … -> 교수역량 ⑨ -> ㉜ -> ㉝ -> 교수역량
	⑩	t3wels	직장 복지 및 스트레스	○	{⑪}	⑩ -> 교수역량 ⑩ -> ⑫ -> ⑭ -> 교수역량
	⑪	t3stbeh	학생 태도 스트레스	○	∅	⑪ -> ⑩[7] -> 교수역량 ⑪ -> ⑭ -> 교수역량 ⑪ -> ㉛ -> ⑭ -> 교수역량 ⑪ -> ⑫ -> ⑭ -> 교수역량
	⑫	t3wload	업무량 스트레스	○	{⑩, ⑪}	⑫ -> ⑭ -> 교수역량
	⑬	tt3g50	향후 교직 종사 희망 기간	×	-	-
	⑭	tt3g52k	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	○	{⑪, ⑫, ㉛}	⑭ -> 교수역량
	⑮	tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	×	-	-

5) ⑨ -> ① -> … -> 교수역량의 경로는 9개임
6) ⑨ -> ② -> … -> 교수역량의 경로는 3개임
7) ⑪ -> ⑩ -> … -> 교수역량의 경로는 2개임

<표 Ⅳ-10> 한국 중등교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 경로 (계속)

Talis 2018 주제	그래프 노드 번호	변인명	내용	영향요인 여부	공변인 조정 집합	인과 경로
교사의 피드백 및 전문성 개발	⑯	t3pdiv	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	×	-	-
	⑰	t3pdbar	전문성 개발 장벽	×	-	-
	⑱	t3pdped	교과 및 교육에 대한 전문성개발 필요성	×	-	-
	⑲	t3effpd	효과적인 전문성 개발 활동	○	{㉑, ㉒}	⑲ -> 교수역량
	⑳	tt3g22h	전문성 개발 활동 유형(교사 네트워크 참여)	×	-	-
	㉑	tt3g23k	전문성 개발 활동 주제(범교과 기술에 대한 교수법)	○	∅	㉑ -> ㉝ -> 교수역량 ㉑ -> ㉒[8] -> … -> 교수역량 ㉑ -> ㉓ -> ⑲ -> 교수역량
	㉒	tt3g23m	전문성 개발 활동 주제 (교사-학부모(보호자) 협력)	○	{㉑}	㉒ -> ⑲ -> 교수역량 ㉒ -> ②[9] -> … -> 교수역량
	㉓	tt3g26l	전문성 개발 활동의 특성(교수법 혁신에 초점)	○	{㉑}	㉓ -> ⑲ -> 교수역량
	㉔	tt3g29c4	교과지식에 대한 평가 제공(현재 학교에서 없음)	×	-	-
교사의 교수 실천	㉕	tt3g35c	대상학급 구성(특수교육대상 학생)	×	-	-
	㉖	tt3g35d	대상학급 구성(행동에 문제가 있는 학생)	×	-	-
	㉗	tt3g39b	수업 시간 중 교실에서의 질서 유지에 사용한 시간(%)	×	-	-
	㉘	tt3g39c	수업 시간 중 실제 교수·학습에 사용한 시간(%)	×	-	-
학교 풍토	㉙	t3stud	교사-학생 관계	×	-	-
	㉚	t3stake	이해관계자간 참여	×	-	-
	㉛	t3disc	지각된 규율 환경	○	{③, ⑪}	㉛ -> ⑭ -> 교수역량
교사 양성 및 초기 준비 교육	㉜	tt3g06e2	다양한 학업능력을 가진 학생들에 대한 교육 준비정도	○	{②, ③, ⑨}	㉜ -> ㉝ -> 교수역량
	㉝	tt3g06g2	범 교과 지식 및 기술에 대한 교육 준비 정도	○	{②, ㉑, ㉜}	㉝ -> 교수역량
	㉞	tt3g06j2	학생의 발달과 학습에 대한 모니터링 준비 정도	×	-	-
교사 배경정보	㉟	tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	×	-	-

8) ㉑ -> ㉒ -> … -> 교수역량의 경로는 4개임
9) ㉒ -> ② -> … -> 교수역량의 경로는 3개임

2) 미국

미국의 인과 그래프([그림 Ⅳ-3])를 구성하는 35개의 교수역량 예측요인들 중 19개만이 미국 중등교사의 교수역량에 대한 영향요인인 것으로 나타났다.

특히, ‘수업지도 자기 효능감(노드번호: ①)’, ‘학생참여 자기 효능감(노드번호: ②)’, ‘디지털 기술을 활용한 학습 지원 자기 효능감(노드번호: ④)’, ‘교사 간 전문적인 수업 협력(노드번호: ⑤)’, ‘사회적 효용에 대한 동기(노드번호: ⑨)’, ‘대상 학급 구성(행동에 문제가 있는 학생)(노드번호: ㉖)’, ‘수업 시간 중 실제 교수·학습에 사용한 시간(노드번호: ㉗)’, ‘지각된 규율 환경(노드번호: ㉛)’의 8개 변인은 교수역량에 직접적인 영향을 미치는 요인인 것으로 나타났다.

이밖에, ‘교실관리 자기 효능감(노드번호: ③)’, ‘직장 복지 및 스트레스(노드번호: ⑩)’, ‘학생 태도 스트레스(노드번호: ⑪)’, ‘업무량 스트레스(노드번호: ⑫)’, ‘특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스(노드번호: ⑭)’, ‘전문성 개발 활동 유형(교사 네트워크 참여)(노드번호: ⑳)’, ‘전문성 개발 활동 주제(범교과 기술 교수법(노드번호: ㉑))’, ‘전문성 개발 활동 주제(교사-학부모(보호자) 협력)(노드번호: ㉒)’, ‘교과지식에 대한 평가 제공 여부(노드번호: ㉔)’, ‘대상학급 구성(특수교육대상 학생)(노드번호: ㉕)’, ‘수업 시간 중 교실에서의 질서 유지에 사용한 시간(노드번호: ㉗)’의 11개 변인은 교수역량에 간접적인 경로로만 영향을 미치는 영향요인으로 나타났다.

이러한 영향요인들과 교수역량 간의 구체적인 인과 경로 및 인과 효과 추정을 위해 통제해야 하는 공변인 조정 집합에 대한 정보는 <표 Ⅳ-11>과 같다.

<표 Ⅳ-11> 미국 중등교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 경로

Talis 2018 주제	그래프 노드 번호	변인명	내용	영향요인 여부	공변인 조정 집합	인과 경로
교사의 자기 효능감	①	t3seins	수업지도 자기 효능감	○	{⑨}	① -> 교수역량 ① -> ④ -> 교수역량 ① -> ③[10] -> … -> 교수역량 ① -> ②[11] -> … -> 교수역량
	②	t3seeng	학생참여 자기 효능감	○	{①, ⑤, ⑨}	② -> 교수역량 ② -> ③[12] -> …-> 교수역량 ② -> ⑪[13] -> … -> 교수역량
	③	t3secls	교실관리 자기 효능감	○	{①, ②}	③ -> ㉛[14] -> …-> 교수역량 ③ -> ⑪[15] -> … -> 교수역량
	④	tt3g34m	디지털 기술을 활용한 학습 지원 자기 효능감	○	{①}	④ -> 교수역량
교사의 전문적 실천	⑤	t3coles	교사 간 전문적인 수업 협력	○	∅	⑤ -> 교수역량 ⑤ -> ②[16] -> …-> 교수역량
	⑥	t3exch	교사 간 교류 및 조정	×	-	-
	⑦	tt3g18j	근무 시간(기타)	×	-	-

10) ① -> ③ -> … -> 교수역량의 경로는 25개임
11) ① -> ② -> … -> 교수역량의 경로는 44개임
12) ② -> ③ -> …-> 교수역량의 경로는 25개임
13) ② -> ⑪ -> … -> 교수역량의 경로는 18개임
14) ③ -> ㉛ -> …-> 교수역량의 경로는 7개임
15) ③ -> ⑪ -> … -> 교수역량의 경로는 18개임
16) ⑤ -> ② -> …-> 교수역량의 경로는 44개임

<표 Ⅳ-11> 미국 중등교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 경로 (계속)

Talis 2018 주제	그래프 노드 번호	변인명	내용	영향요인 여부	공변인 조정 집합	인과 경로
교사의 직무 만족도 및 동기	⑧	t3satat	대상 학급 자치권에 대한 만족도	×	-	-
	⑨	t3socut	사회적 효용에 대한 동기	○	∅	⑨ -> 교수역량 ⑨ -> ②[17] -> … -> 교수역량 ⑨ -> ①[18] -> … -> 교수역량
	⑩	t3wels	직장 복지 및 스트레스	○	{⑪}	⑩ -> ⑫[19] -> … -> 교수역량 ⑩ -> ⑭[20] -> … -> 교수역량
	⑪	t3stbeh	학생 태도 스트레스	○	{②, ③}	⑪ -> ㉛[21] -> … -> 교수역량 ⑪ -> ⑩[22] -> … -> 교수역량 ⑪ -> ⑫[23] -> … -> 교수역량 ⑪ -> ㉖[24] -> … -> 교수역량 ⑪ -> ⑭[25] -> … -> 교수역량 ⑪ -> ㉗ -> ㉘ -> 교수역량
	⑫	t3wload	업무량 스트레스	○	{⑩, ⑪}	⑫ -> ⑭[26] -> … -> 교수역량
	⑬	tt3g50	향후 교직 종사 희망 기간	×	-	-
	⑭	tt3g52k	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	○	{⑪, ㉛}	⑭ -> ㉕[27] -> … -> 교수역량
	⑮	tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	×	-	-

17) ⑨ -> ② -> … -> 교수역량의 경로는 44개임
18) ⑨ -> ① -> … -> 교수역량의 경로는 71개임
19) ⑩ -> ⑫ -> … -> 교수역량의 경로는 2개임
20) ⑩ -> ⑭ -> … -> 교수역량의 경로는 2개임
21) ⑪ -> ㉛ -> … -> 교수역량의 경로는 7개임
22) ⑪ -> ⑩ -> … -> 교수역량의 경로는 4개임
23) ⑪ -> ⑫ -> … -> 교수역량의 경로는 2개임

<표 Ⅳ-11> 미국 중등교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 경로 (계속)

Talis 2018 주제	그래프 노드 번호	변인명	내용	영향요인 여부	공변인 조정 집합	인과 경로
교사의 피드백 및 전문성 개발	⑯	t3pdiv	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	×	-	-
	⑰	t3pdbar	전문성 개발 장벽	×	-	-
	⑱	t3pdped	교과 및 교육에 대한 전문성개발 필요성	×	-	-
	⑲	t3effpd	효과적인 전문성 개발 활동	×	-	-
	⑳	tt3g22h	전문성 개발 활동 유형(교사 네트워크 참여)	○	∅	⑳ -> ㉑[28] -> … -> 교수역량 ⑳ -> ㉒[29] -> … -> 교수역량
	㉑	tt3g23k	전문성 개발 활동 주제(범교과 기술에 대한 교수법)	○	{㉒}	㉑ -> ㉔[30] -> … -> 교수역량
	㉒	tt3g23m	전문성 개발 활동 주제 (교사-학부모(보호자) 협력)	○	{⑳}	㉒ -> ㉑[31] -> … -> 교수역량 ㉒ -> ㉔[32] -> … -> 교수역량
	㉓	tt3g26l	전문성 개발 활동의 특성(교수법 혁신에 초점)	×	-	-
	㉔	tt3g29c4	교과지식에 대한 평가 제공(현재 학교에서 없음)	○	∅	㉔ -> ⑤[33] -> … -> 교수역량

24) ⑪ -> ㉖ -> … -> 교수역량의 경로는 2개임
25) ⑪ -> ⑭ -> … -> 교수역량의 경로는 2개임
26) ⑪ -> ⑭ -> … -> 교수역량의 경로는 2개임
27) ⑭ -> ㉕ -> … -> 교수역량의 경로는 2개임
28) ⑳ -> ㉑ -> … -> 교수역량의 경로는 45개임
29) ⑳ -> ㉒ -> … -> 교수역량의 경로는 90개임
30) ㉑ -> ㉔ -> … -> 교수역량의 경로는 45개임
31) ㉒ -> ㉑ -> … -> 교수역량의 경로는 45개임
32) ㉒ -> ㉔ -> … -> 교수역량의 경로는 45개임
33) ㉔ -> ⑤ -> … -> 교수역량의 경로는 45개임

<표 Ⅳ-11> 미국 중등교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 경로 (계속)

Talis 2018 주제	그래프 노드 번호	변인명	내용	영향요인 여부	공변인 조정 집합	인과 경로
교사의 교수 실천	㉕	tt3g35c	대상학급 구성(특수교육대상 학생)	○	{⑭}	㉕ -> ㉖[34] -> 교수역량
	㉖	tt3g35d	대상학급 구성(행동에 문제가 있는 학생)	○	{⑪, ㉛}	㉖ -> 교수역량 ㉖ -> ㉗ -> ㉘ -> 교수역량
	㉗	tt3g39b	수업 시간 중 교실에서의 질서 유지에 사용한 시간(%)	○	{⑪, ㉖, ㉛}	㉗ -> ㉘ -> 교수역량
	㉘	tt3g39c	수업 시간 중 실제 교수학습에 사용한 시간(%)	○	{㉗, ㉛}	㉘ -> 교수역량
학교 풍토	㉙	t3stud	교사-학생 관계	×	-	-
	㉚	t3stake	이해관계자간 참여	×	-	-
	㉛	t3disc	지각된 규율 환경	○	{③, ⑪}	㉛ -> 교수역량 ㉛ -> ㉖[35] -> …-> 교수역량 ㉛ -> ㉗ -> ㉘ -> 교수역량 ㉛ -> ㉘ -> 교수역량 ㉛ -> ⑭[36] -> …-> 교수역량
교사 양성 및 초기준비교육	㉜	tt3g06e2	다양한 학습능력을 가진 학생들에 대한 교육 준비정도	×	-	-
	㉝	tt3g06g2	범 교과 지식 및 기술에 대한 교육 준비 정도	×	-	-
	㉞	tt3g06j2	학생의 발달과 학습에 대한 모니터링 준비 정도	×	-	-
교사 배경정보	㉟	tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	×	-	-

34) ㉕ -> ㉖ -> …-> 교수역량의 경로는 2개임
35) ㉛ -> ㉖ -> …-> 교수역량의 경로는 2개임
36) ㉛ -> ⑭ -> …-> 교수역량의 경로는 2개임

3) 일본

일본의 인과 그래프([그림 Ⅳ-4])를 구성하는 35개의 교수역량 예측요인들 중 23개만이 일본 중등교사의 교수역량에 대한 영향요인인 것으로 나타났다.

특히, ‘수업지도 자기 효능감(노드번호: ①)’, ‘학생참여 자기 효능감(노드번호: ②)’, ‘교사 간 교류 및 조정(노드번호: ⑥)’, ‘대상 학급 자치권에 대한 만족도(노드번호: ⑧)’, ‘업무량 스트레스(노드번호: ⑫)’, ‘다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요(노드번호: ⑯)’, ‘교과 및 교육에 대한 전문성개발 필요성(노드번호: ⑱)’, ‘효과적인 전문성 개발 활동(노드번호: ⑲)’, ‘대상 학급 구성(특수교육대상 학생(노드번호: ㉕), 행동에 문제가 있는 학생(노드번호: ㉖))’, ‘수업 시간 중 교실에서의 질서 유지에 사용한 시간(노드번호: ㉗)’, ‘지각된 규율 환경(노드번호: ㉛)’의 12개 변인은 교수역량에 직접적인 영향을 미치는 요인인 것으로 나타났다.

이밖에, ‘교실관리 자기 효능감(노드번호: ③)’, ‘교사 간 전문적인 수업협력(노드번호: ⑤)’, ‘사회적 효용에 대한 동기(노드번호: ⑨)’, ‘직장 복지 및 스트레스(노드번호: ⑩)’, ‘학생 태도 스트레스(노드번호: ⑪)’, ‘특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스(노드번호: ⑭)’, ‘전문성 개발 활동 주제(범교과 기술에 대한 교수법(노드번호: ㉑), 교사-보호자 협력(노드번호: ㉒))’, ‘전문성 개발 활동의 특성(교수법 혁신에 초점)(노드번호: ㉓)’, ‘교과지식에 대한 평가 제공 여부(노드번호: ㉔)’, ‘이해관계자간 참여(노드번호: ㉚)’의 11개 변인은 교수역량에 간접적인 경로로만 영향을 미치는 영향요인으로 나타났다.

이러한 영향요인들과 교수역량 간의 구체적인 인과 경로 및 인과 효과 추정을 위해 통제해야 하는 공변인 조정 집합에 대한 정보는 <표 Ⅳ-12>와 같다.

<표 Ⅳ-12> 일본 중등교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 경로

Talis 2018 주제	그래프 노드 번호	변인명	내용	영향요인 여부	공변인 조정 집합	인과 경로
교사의 자기 효능감	①	t3seins	수업지도 자기 효능감	○	{③, ⑥, ⑨}	① -> 교수역량 ① -> ⑧ -> 교수역량 ① -> ②[37] -> … -> 교수역량 ① -> ⑫[38] -> … -> 교수역량
	②	t3seeng	학생참여 자기 효능감	○	{①, ③, ⑤, ⑨}	② -> 교수역량 ② -> ⑱[39] -> … -> 교수역량
	③	t3secls	교실관리 자기 효능감	○	{⑨, ㉛}	③ -> ⑧ -> 교수역량 ③ -> ②[40] -> …-> 교수역량 ③ -> ①[41] -> … -> 교수역량 ③ -> ⑪[42] -> … -> 교수역량
	④	tt3g34m	디지털 기술을 활용한 학습 지원 자기 효능감	×	-	-

37) ① -> ② -> … -> 교수역량의 경로는 5개임
38) ① -> ⑫ -> … -> 교수역량의 경로는 7개임
39) ② -> ⑱ -> … -> 교수역량의 경로는 4개임
40) ③ -> ② -> … -> 교수역량의 경로는 5개임
41) ③ -> ① -> … -> 교수역량의 경로는 14개임
42) ③ -> ⑪ -> … -> 교수역량의 경로는 3개임

<표 Ⅳ-12> 일본 중등교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 경로 (계속)

Talis 2018 주제	그래프 노드 번호	변인명	내용	영향요인 여부	공변인 조정 집합	인과 경로
교사의 전문적 실천	⑤	t3coles	교사 간 전문적인 수업 협력	○	{㉑, ㉔}	⑤ -> ㉛[43] -> … -> 교수역량 ⑤ -> ⑥[44] -> … -> 교수역량 ⑤ -> ②[45] -> … -> 교수역량 ⑤ -> ㉚[46] -> … -> 교수역량 ⑤ -> ㉕[47] -> … -> 교수역량 ⑤ -> ⑭[48] -> … -> 교수역량
	⑥	t3exch	교사 간 교류 및 조정	○	{⑤, ㉔}	⑥ -> 교수역량 ⑥ -> ⑯[49] -> … -> 교수역량 ⑥ -> ①[50] -> … -> 교수역량 ⑥ -> ㉚[51] -> … -> 교수역량
	⑦	tt3g18j	근무 시간(기타)	×	-	-
교사의 직무 만족도 및 동기	⑧	t3satat	대상 학급 자치권에 대한 만족도	○	{①, ③, ⑪, ㉗, ㉛}	⑧ -> 교수역량
	⑨	t3socut	사회적 효용에 대한 동기	○	∅	⑨ -> ⑯[52] -> … -> 교수역량 ⑨ -> ⑱[53] -> … -> 교수역량 ⑨ -> ③[54] -> … -> 교수역량 ⑨ -> ②[55] -> … -> 교수역량 ⑨ -> ①[56] -> … -> 교수역량 ⑨ -> ⑩[57] -> … -> 교수역량

43) ⑤ -> ㉛ -> … -> 교수역량의 경로는 30개임
44) ⑤ -> ⑥ -> … -> 교수역량의 경로는 117개임
45) ⑤ -> ② -> … -> 교수역량의 경로는 5개임
46) ⑤ -> ㉚ -> … -> 교수역량의 경로는 47개임
47) ⑤ -> ㉕ -> … -> 교수역량의 경로는 122개임
48) ⑤ -> ⑭ -> … -> 교수역량의 경로는 3개임
49) ⑥ -> ⑯ -> … -> 교수역량의 경로는 55개임
50) ⑥ -> ① -> … -> 교수역량의 경로는 14개임

<표 Ⅳ-12> 일본 중등교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 경로 (계속)

Talis 2018 주제	그래프 노드 번호	변인명	내용	영향요인 여부	공변인 조정 집합	인과 경로
교사의 직무 만족도 및 동기 (계속)	⑩	t3wels	직장 복지 및 스트레스	○	{⑨, ㉚}	⑩ -> ⑪[58] -> … -> 교수역량 ⑩ -> ⑫[59] -> … -> 교수역량 ⑩ -> ⑭[60] -> … -> 교수역량
	⑪	t3stbeh	학생 태도 스트레스	○	{③, ⑩, ⑫, ⑭, ⑱, ㉖, ㉛}	⑪ -> ⑧ -> 교수역량 ⑪ -> ㉗[61] -> … -> 교수역량
	⑫	t3wload	업무량 스트레스	○	{①, ⑩}	⑫ -> 교수역량 ⑫ -> ⑪[62] -> … -> 교수역량 ⑫ -> ⑭[63] -> … -> 교수역량
	⑬	tt3g50	향후 교직 종사 희망 기간	×	-	-
	⑭	tt3g52k	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	○	{⑤, ⑩, ⑫, ⑯}	⑭ -> ⑪[64] -> … -> 교수역량
	⑮	tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	×	-	-

51) ⑥ -> ㉚ -> … -> 교수역량의 경로는 47개임
52) ⑨ -> ⑯ -> … -> 교수역량의 경로는 55개임
53) ⑨ -> ⑱ -> … -> 교수역량의 경로는 4개임
54) ⑨ -> ③ -> … -> 교수역량의 경로는 23개임
55) ⑨ -> ② -> … -> 교수역량의 경로는 5개임
56) ⑨ -> ① -> … -> 교수역량의 경로는 14개임
57) ⑨ -> ⑩ -> … -> 교수역량의 경로는 13개임
58) ⑩ -> ⑪ -> … -> 교수역량의 경로는 3개임
59) ⑩ -> ⑫ -> … -> 교수역량의 경로는 7개임
60) ⑩ -> ⑭ -> … -> 교수역량의 경로는 3개임
61) ⑪ -> ㉗ -> … -> 교수역량의 경로는 2개임

<표 Ⅳ-12> 일본 중등교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 경로 (계속)

Talis 2018 주제	그래프 노드 번호	변인명	내용	영향요인 여부	공변인 조정 집합	인과 경로
교사의 피드백 및 전문성 개발	⑯	t3pdiv	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	○	{⑥, ⑨, ⑲, ㉕, ㉒}	⑯ -> 교수역량 ⑯ -> ⑱[65] -> … -> 교수역량 ⑯ -> ㉚[66] -> … -> 교수역량 ⑯ -> ⑭[67] -> … -> 교수역량
	⑰	t3pdbar	전문성 개발 장벽	×	-	-
	⑱	t3pdped	교과 및 교육에 대한 전문성개발 필요성	○	{②, ⑨, ⑯, ⑲}	⑱ -> 교수역량 ⑱ -> ⑪[68] -> … -> 교수역량
	⑲	t3effpd	효과적인 전문성 개발 활동	○	{㉑}	⑲ -> 교수역량 ⑲ -> ⑯[69] -> … -> 교수역량 ⑲ -> ⑱[70] -> … -> 교수역량 ⑲ -> ㉚[71] -> … -> 교수역량
	⑳	tt3g22h	전문성 개발 활동 유형(교사 네트워크 참여)	×	-	-
	㉑	tt3g23k	전문성 개발 활동 주제 (범교과 기술에 대한 교수법)	○	∅	㉑ -> ⑤[72] -> … -> 교수역량 ㉑ -> ⑲[73] -> … -> 교수역량 ㉑ -> ㉒[74] -> … -> 교수역량 ㉑ -> ㉓[75] -> … -> 교수역량

62) ⑫ -> ⑪ -> … -> 교수역량의 경로는 3개임
63) ⑫ -> ⑭ -> … -> 교수역량의 경로는 3개임
64) ⑭ -> ⑪ -> … -> 교수역량의 경로는 3개임
65) ⑯ -> ⑱ -> … -> 교수역량의 경로는 4개임
66) ⑯ -> ㉚ -> … -> 교수역량의 경로는 47개임
67) ⑯ -> ⑭ -> … -> 교수역량의 경로는 3개임
68) ⑱ -> ⑪ -> … -> 교수역량의 경로는 3개임
69) ⑲ -> ⑯ -> … -> 교수역량의 경로는 55개임
70) ⑲ -> ⑱ -> … -> 교수역량의 경로는 4개임
71) ⑲ -> ㉚ -> … -> 교수역량의 경로는 47개임

<표 Ⅳ-12> 일본 중등교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 경로 (계속)

Talis 2018 주제	그래프 노드 번호	변인명	내용	영향요인 여부	공변인 조정 집합	인과 경로
교사의 피드백 및 전문성 개발 (계속)	㉒	tt3g23m	전문성 개발 활동 주제 (교사-학부모(보호자) 협력)	○	{㉑}	㉒ -> ⑯[76] -> … -> 교수역량 ㉒ -> ㉔[77] -> … -> 교수역량
	㉓	tt3g26l	전문성 개발 활동의 특성(교수법 혁신에 초점)	○	{㉑}	㉓ -> ⑲[78] -> … -> 교수역량
	㉔	tt3g29c4	교과지식에 대한 평가 제공(현재 학교에서 없음)	○	{㉑, ㉒}	㉔ -> ⑤[79] -> … -> 교수역량 ㉔ -> ⑥[80] -> … -> 교수역량
교사의 교수 실천	㉕	tt3g35c	대상학급 구성(특수교육대상 학생)	○	{⑤}	㉕ -> 교수역량 ㉕ -> ㉛[81] -> … -> 교수역량 ㉕ -> ⑯[82] -> … -> 교수역량 ㉕ -> ㉖[83] -> … -> 교수역량 ㉕ -> ㉗[84] -> … -> 교수역량

72) ㉑ -> ⑤ -> … -> 교수역량의 경로는 324개임
73) ㉑ -> ⑲ -> … -> 교수역량의 경로는 107개임
74) ㉑ -> ㉒ -> … -> 교수역량의 경로는 493개임
75) ㉑ -> ㉓ -> … -> 교수역량의 경로는 107개임
76) ㉒ -> ⑯ -> … -> 교수역량의 경로는 55개임
77) ㉒ -> ㉔ -> … -> 교수역량의 경로는 441개임
78) ㉓ -> ⑲ -> … -> 교수역량의 경로는 107개임
79) ㉔ -> ⑤ -> … -> 교수역량의 경로는 324개임
80) ㉔ -> ⑥ -> … -> 교수역량의 경로는 117개임
81) ㉕ -> ㉛ -> … -> 교수역량의 경로는 30개임
82) ㉕ -> ⑯ -> … -> 교수역량의 경로는 55개임
83) ㉕ -> ㉖ -> … -> 교수역량의 경로는 34개임
84) ㉕ -> ㉗ -> … -> 교수역량의 경로는 2개임

<표 Ⅳ-12> 일본 중등교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 경로 (계속)

Talis 2018 주제	그래프 노드 번호	변인명	내용	영향요인 여부	공변인 조정 집합	인과 경로
교사의 교수 실천 (계속)	㉖	tt3g35d	대상학급 구성 (행동에 문제가 있는 학생)	○	{㉕, ㉚}	㉖ -> 교수역량 ㉖ -> ㉛[85] -> … -> 교수역량 ㉖ -> ⑪[86] -> … -> 교수역량
	㉗	tt3g39b	수업 시간 중 교실에서의 질서 유지에 사용한 시간(%)	○	{⑪, ㉕, ㉛}	㉗ -> 교수역량 ㉗ -> ⑧ -> 교수역량
	㉘	tt3g39c	수업 시간 중 실제 교수학습에 사용한 시간(%)	×	-	-
학교 풍토	㉙	t3stud	교사-학생 관계	×	-	-
	㉚	t3stake	이해관계자간 참여	○	{⑤, ⑥, ⑲, ⑯}	㉚ -> ㉖[87] -> … -> 교수역량 ㉚ -> ⑩[88] -> … -> 교수역량
	㉛	t3disc	지각된 규율 환경	○	{⑤, ㉕, ㉖}	㉛ -> 교수역량 ㉛ -> ⑧ -> 교수역량 ㉛ -> ③[89] -> … -> 교수역량 ㉛ -> ⑪[90] -> … -> 교수역량 ㉛ -> ㉗[91] -> … -> 교수역량
교사 양성 및 초기 준비 교육	㉜	tt3g06e2	다양한 학업능력을 가진 학생들에 대한 교육 준비정도	×	-	-
	㉝	tt3g06g2	범 교과 지식 및 기술에 대한 교육 준비 정도	×	-	-
	㉞	tt3g06j2	학생의 발달과 학습에 대한 모니터링 준비 정도	×	-	-
교사 배경정보	㉟	tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	×	-	-

85) ㉖ -> ㉛ -> … -> 교수역량의 경로는 30개임
86) ㉖ -> ⑪ -> … -> 교수역량의 경로는 3개임
87) ㉚ -> ㉖ -> … -> 교수역량의 경로는 34개임
88) ㉚ -> ⑩ -> … -> 교수역량의 경로는 13개임
89) ㉛ -> ③ -> … -> 교수역량의 경로는 23개임
90) ㉛ -> ⑪ -> … -> 교수역량의 경로는 3개임
91) ㉛ -> ㉗ -> … -> 교수역량의 경로는 2개임

나. 국가 간 중등교사의 교수역량에 대한 영향요인 비교

한국, 미국, 일본의 인과 그래프를 토대로 각국의 중등교사의 교수역량과 이에 대한 영향요인과의 관계를 종합하여 TALIS 2018 주제별로 살펴보면 <표 Ⅳ-13>과 같다.

첫째, ‘교사의 자기 효능감’ 주제에 포함되는 ‘수업지도 자기 효능감’, ‘학생참여 자기 효능감’, ‘교실관리 자기 효능감’은 3개 국가에서 공통적으로 교사의 교수역량에 대한 영향요인인 것으로 나타났다. 이 중에서 특히 ‘수업지도 자기 효능감’과 ‘학생참여 자기 효능감’은 모든 국가에서 교사의 교수역량에 직접적인 인과적 영향을 미치는 것으로 나타났다(<표 Ⅳ-9>~<표 Ⅳ-11> 참조). 다만, 세 가지 교사의 자기 효능감 관련 변인이 모든 국가에서 영향요인으로 나타났다고 하더라도, 교수역량과의 인과 효과를 추정하고자 할 때 통제해야 하는 공변인 조정 집합은 국가별 영향요인과 결과변인 사이의 경로에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다. 한편, 교사의 자기 효능감에 속하는 요인 중 ‘디지털 기술을 활용한 학습 지원 자기 효능감’은 미국에서만 영향요인으로 작용하는 것으로 드러났다. 분석 대상 국가들의 인과 그래프를 구성하는 35개의 요인들 중 ‘교사의 자기 효능감’ 주제에 포함된 영향요인의 개수는 한국·일본은 3개, 미국은 4개이다.

둘째, ‘교사의 전문적 실천’ 주제에 해당하는 변인 중, 교사의 협력 활동을 의미하는 ‘교사 간 전문적인 수업 협력(팀티칭·수업 피드백·전문적 학습 협력 등)’과 ‘교사 간 교류 및 조정’의 2개 변인은 한국 교사의 교수역량에 대해 인과적으로 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. ‘교사 간 전문적인 수업 협력’의 경우, 미국과 일본에서는 공통적으로 교사의 교수역량에 대한 영향요인인 것으로 나타났으며, ‘교사 간 교류 및 조정’은 일본에서만 영향요인으로 밝혀졌다. 분석 대상 국가들의 인과 그래프를 구성하는 35개의 요인들 중 ‘교사의 전문적 실천’ 주제에 포함된 영향요인의 개수는 한국 0개, 미국 1개, 일본 2개이다.

셋째, ‘교사의 직무 만족도 및 동기’ 주제에서는 ‘사회적 효용에 대한

동기'가 3개 국가에서 공통적으로 교수역량에 대한 영향요인이며, 특히 한국과 미국 교사의 교수역량에 대해 직접적인 인과 경로를 갖는 것으로 나타났다. 한편, 3개 국가에서 모두 '스트레스(직장 복지, 학생 태도, 업무량, 특수교육 학생을 위한 수업 조정)' 관련 4개 변인들이 모두 교사의 교수역량에 인과적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히 한국의 경우 '직장 복지 및 스트레스'와 '특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스'가 교수역량에 직접적인 인과 경로를 가졌으며, 일본의 경우 '업무량 스트레스'가 교수역량에 직접적인 인과적 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이밖에, '대상 학급 자치권에 대한 만족도'는 일본에서만 영향요인인 것으로 드러났다. 분석 대상 국가들의 인과 그래프를 구성하는 35개의 요인들 중 '교사의 직무 만족도 및 동기' 주제에 포함된 영향요인의 개수는 한국·미국 5개, 일본은 6개이다.

넷째, '교사의 피드백 및 전문성 개발' 주제에 속하는 변인 중 '전문성 개발 활동 주제(범교과 기술에 대한 교수법, 교사-보호자 협력)'의 2개 변인들은 한국, 미국, 일본 교사의 교수역량에 대한 영향요인인 것으로 나타났다. 한편, '효과적인 전문성 개발 활동'과 '전문성 개발 활동의 특성(교수법 혁신에 초점)'의 2개 변인들은 한국과 미국에서만 교사의 교수역량에 인과적 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 '현재 근무하고 있는 학교에서 교과지식에 대한 평가 제공 여부'는 미국과 일본에서 교사의 교수역량에 대한 영향요인인 것으로 나타났다. 이밖에, 일본에서는 '전문성 개발의 필요(다양성 교육, 교과 및 교육)'가 교사의 교수역량에 대한 영향요인인 것으로 나타났으며, 미국에서는 '전문성 개발 활동 유형(교사 네트워크 참여)'이 교수역량에 인과적 영향을 미치는 것으로 드러났다. 분석 대상 국가들의 인과 그래프를 구성하는 35개의 요인들 중 '교사의 피드백 및 전문성 개발' 주제에 포함된 영향요인의 개수는 한국·미국 4개, 일본 7개이다.

다섯째, '교사의 교수 실천' 주제에 속한 변인들의 경우, 어떠한 변인도 한국 교사의 교수역량에 대해서는 영향요인으로 작용하지 않음을 확인하였다. 그러나 미국에서는 이 주제에 속한 4개 변인들 모두 교사의

교수역량에 대한 영향요인이며, 일본에서는 3개의 변인이 교수역량에 대한 인과적 원인이 되는 변인인 것으로 나타났다. 특히, 미국과 일본에서 '대상학급의 구성(특수교육대상 학생, 행동에 문제가 있는 학생)', '수업 시간 중 교실에서의 질서 유지에 사용한 시간 비율'이 공통된 영향요인으로 나타났다. 추가로, '수업 시간 중 실제 교수·학습에 사용한 시간'은 미국에서만 교수역량에 대한 영향요인이었다. 분석 대상 국가들의 인과 그래프를 구성하는 35개의 요인들 중 '교사의 교수 실천' 주제에 포함된 영향요인의 개수는 한국 0개, 미국 4개, 일본 3개이다.

여섯째, '학교 풍토' 주제에 속한 변인 중, 학생 태도로 인한 수업 분위기 조성의 어려움을 의미하는 '지각된 규율 환경'은 모든 국가에서 교수역량에 대한 영향요인인 것으로 드러났다. 한국의 경우에는 지각된 규율 환경이 특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스를 통해서만 교수역량에 영향을 미치고 있는 것으로 나타난 반면, 미국과 일본에서는 교수역량에 대한 직접적인 인과적 영향도 있는 것으로 나타났다(<표 Ⅳ-10>~<표 Ⅳ-12> 참조). 다만, 인과 효과 추정을 위한 공변인 조정 집합은 한국과 미국은 동일하였으나, 일본과는 차이가 있었다. 한편, '이해관계자간 참여'는 일본에서만 교사의 교수역량에 대한 영향요인인 것으로 나타났다. 분석 대상 국가들의 인과 그래프를 구성하는 35개의 요인들 중 '학교 풍토' 주제에 포함된 영향요인의 개수는 한국·미국 1개, 일본은 2개이다.

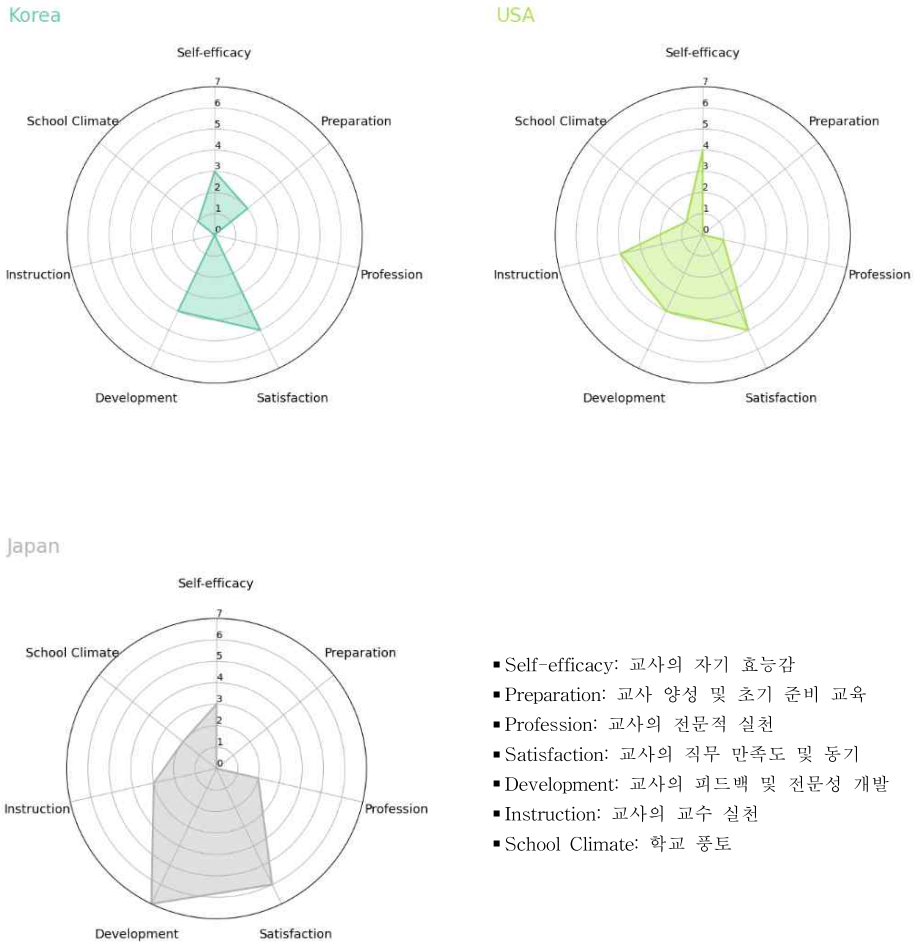
일곱째, '교사 양성 및 초기 준비 교육' 주제에 속한 변인들의 경우 한국에서만 교수역량에 대한 영향요인이 확인되었다. '다양한 학업 능력을 가진 학생들에 대한 교육 준비 정도'와 '범 교과 지식 및 기술에 대한 교육 준비 정도'는 한국 교사의 교수역량에 대한 영향요인인 것으로 나타났다. 특히 '범 교과 지식 및 기술에 대한 교육 준비 정도'의 경우, 교수역량과 직접적인 인과 관계를 보였다. 분석 대상 국가들의 인과 그래프를 구성하는 35개의 예측요인들 중 '교사 양성 및 초기 준비 교육' 주제에 포함된 영향요인의 개수는 한국 2개, 미국·일본은 0개이다.

<표 Ⅳ-13> 국가 간 교사의 교수역량에 대한 영향요인 비교

Talis 2018 주제	변인명	그래프 노드 번호	내용	공변인 조정 집합		
				한국	미국	일본
교사의 자기 효능감	t3seins	①	수업지도 자기 효능감	⑨	⑨	③, ⑥, ⑨
	t3seeng	②	학생참여 자기 효능감	①, ③, ⑨, ㉒	①, ⑤, ⑨	①, ③, ⑤, ⑨
	t3secls	③	교실관리 자기 효능감	①	①, ②	⑨, ㉛
	tt3g34m	④	디지털 기술을 활용한 학습 지원 자기 효능감		①	
교사의 전문적 실천	t3coles	⑤	교사 간 전문적인 수업 협력		∅	㉑, ㉔
	t3exch	⑥	교사 간 교류 및 조정			⑤, ㉔
	tt3g18j	⑦	근무 시간(기타)			
교사의 직무 만족도 및 동기	t3satat	⑧	대상 학급 자치권에 대한 만족도			①, ③, ⑪, ㉗, ㉛
	t3socut	⑨	사회적 효용에 대한 동기	∅	∅	∅
	t3wels	⑩	직장 복지 및 스트레스	⑪	⑪	⑨, ㉚
	t3stbeh	⑪	학생 태도 스트레스	∅	②, ③	③, ⑩, ⑫, ⑭ ⑱, ㉖, ㉛
	t3wload	⑫	업무량 스트레스	⑩, ⑪	⑩, ⑪	①, ⑩
	tt3g50	⑬	향후 교직 종사 희망 기간			
	tt3g52k	⑭	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	⑪, ⑫, ㉛	⑪, ㉛	⑤, ⑩, ⑫, ⑯
	tt3g53i	⑮	업무 결과에 대한 만족			
교사의 피드백 및 전문성 개발	t3pdiv	⑯	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요			⑥, ⑨, ⑲, ㉒, ㉕
	t3pdbar	⑰	전문성 개발 장벽			
	t3pdped	⑱	교과 및 교육에 대한 전문성 개발의 필요			②, ⑨, ⑯, ⑲
	t3effpd	⑲	효과적인 전문성 개발 활동	㉑, ㉒		㉑
	tt3g22h	⑳	전문성 개발 활동 유형(교사 네트워크 참여)		∅	
	tt3g23k	㉑	전문성 개발 활동 주제(범교과 기술에 대한 교수법)	∅	㉒	∅
	tt3g23m	㉒	전문성 개발 활동 주제(교사-학부모(보호자) 협력)	㉑	⑳	㉑
	tt3g26l	㉓	전문성 개발 활동의 특성(교수법 혁신에 초점)	㉑		㉑
	tt3g29c4	㉔	교과지식에 대한 평가 제공(현재 학교에서 없음)		∅	㉑, ㉒
교사의 교수 실천	tt3g35c	㉕	대상학급 구성(특수교육대상 학생)		⑭	⑤
	tt3g35d	㉖	대상학급 구성(행동에 문제가 있는 학생)		⑪, ㉛	㉕, ㉚
	tt3g39b	㉗	수업 시간 중 교실에서의 질서 유지에 사용한 시간(%)		⑪, ㉖, ㉛	⑪, ㉕, ㉛
	tt3g39c	㉘	수업 시간 중 실제 교수-학습에 사용한 시간(%)		㉗, ㉛	
학교 풍토	t3stud	㉙	교사-학생 관계			
	t3stake	㉚	이해관계자간 참여			⑤, ⑥, ⑯, ⑲
	t3disc	㉛	지각된 규율 환경	③, ⑪	③, ⑪	⑤, ㉕, ㉖
교사양성 및 초기 준비교육	tt3g06e2	㉜	다양한 학업능력을 가진 학생들에 대한 교육 준비정도	②, ③, ⑨		
	tt3g06g2	㉝	범 교과 지식 및 기술에 대한 교육 준비 정도	②, ㉑, ㉜		
	tt3g06j2	㉞	학생의 발달과 학습에 대한 모니터링 준비 정도			
교사 배경정보	tt3g11b	㉟	교사로 근무한 총 연수			

주1) 각 국가 교사의 교수역량에 대해 인과적인 원인으로 작용하는 변인에 속하는 경우, 해당 셀에는 인과 효과 추정을 위한 공변인 조정 집합을 표기하였음.
주2) 교수역량에 대한 영향요인 아닌 경우 음영으로 처리하였음

아울러, TALIS 2018 주제에 따른 영향요인의 수를 국가별로 살펴보면 [그림 Ⅳ-6]과 같다.



[그림 Ⅳ-6] TALIS 2018 주제에 따른 국가별 영향요인의 수 비교

주1) TALIS 2018 주제 중 '인적자원 문제 및 이해관계자 관계', '학교 리더십', '혁신', '교사 배경정보 및 자격' 영역에서는 3개 국가에서 모두 영향요인으로 도출되지 않았으므로 그림에서 제외하였음

3. 국가별 중등교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 효과 분석(예시)

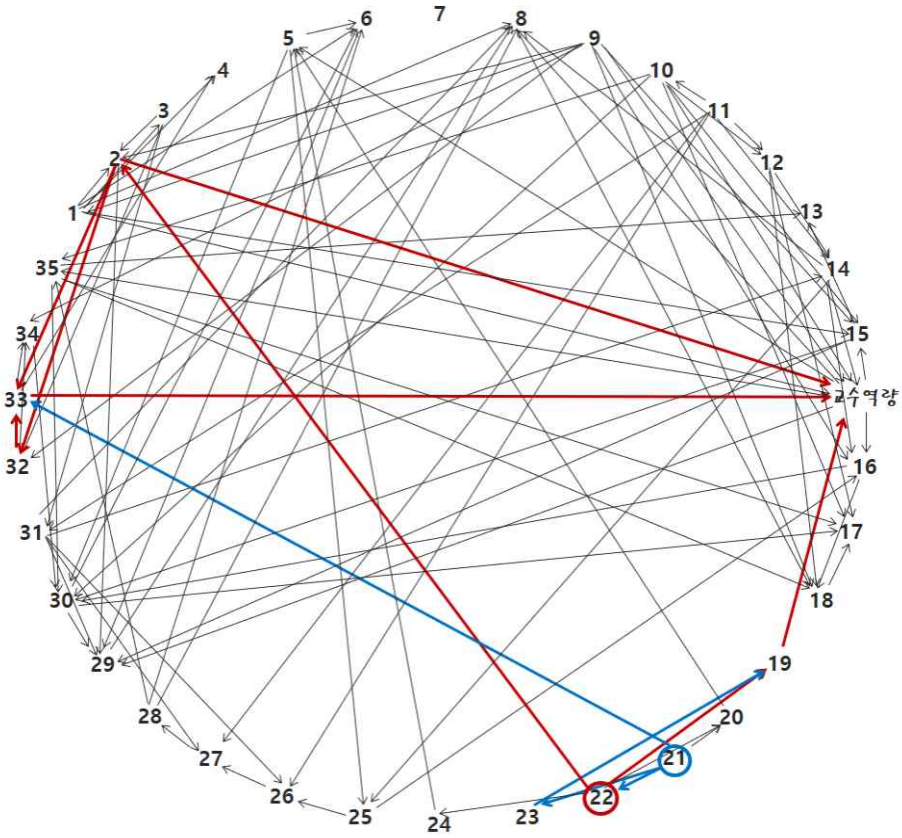
가. 구조적 인과 모형에 근거한 인과 효과 분석

구조적 인과 모형에 근거한 인과 추론은 처치변인과 결과변인의 인과 메커니즘에 대한 가정을 그래프로 표현함으로써 명료한 의사소통을 가능하게 할 뿐만 아니라, 해당 그래프로부터 인과 효과를 추정하는 것이 가능할지 식별하고 내적 타당도를 확보할 수 있도록 하는 강력한 도구가 된다(Pearl, 2009). 따라서 앞서 산출한 국가별 인과 그래프는 각 국가의 교직 환경을 토대로 교사의 교수역량에 대한 인과 관계를 파악할 수 있는 도구로 활용될 수 있다.

국가별 인과 그래프에 근거한 교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 효과 분석의 예시로, '교사-학부모(보호자) 협력을 주제로 한 전문성 개발 활동 참여'가 '교수역량'에 미치는 영향에 대한 분석 결과를 제시하고자 한다. 산업혁명 이후 교육은 국가와 교사에게 주도권이 집중되어 있었으나, 지식정보화사회에서는 학생이 교육의 주체적인 행위자가 되며 교사, 학부모, 학교 관리자, 지역사회 등 교육공동체의 협력이 강조되고 있다(이종각, 2014; OECD, 2018). 이에 따라 교육부(2022)는 교사와 학부모의 관계를 포함한 교육공동체 참여 역량을 정교사 자격연수 표준 교육과정으로 제시하고 있다. 이에, 중등교사가 교사-학부모(보호자) 협력을 주제로 한 전문성 개발 활동에 참여하는 것이 교수역량에 어떠한 영향을 미칠지 주목하여 볼 필요가 있다.

구조적 인과 모형을 활용하여 인과 효과를 추정하기 위해서는 먼저 영향요인과 결과변인 간의 인과 경로 및 비인과적인 경로를 모두 파악하는 것이 필요하다. 앞서 교수역량에 대한 영향요인들과 교수역량 사이의 인과 경로 및 공변인 조정 집합을 파악한 바 있으나, 그래프상에서 '교사-학부모(보호자) 협력을 주제로 한 전문성 개발 활동 참여 여부(노드번

호: ㉒)'와 '교수역량'의 관계를 확인할 수 있음을 한국의 인과 그래프 예시를 통해 다시 한번 살펴보면 [그림 Ⅳ-7]과 같다.



[그림 Ⅳ-7] 영향요인과 결과변인 사이의 인과 경로 및 뒷문 경로

인과 경로 (빨간색 경로)	뒷문 경로 (파란색 경로)
㉒ → ⑲ → competency ㉒ → ② → competency ㉒ → ② → ㉝ → competency ㉒ → ② → ㉜ → ㉝ → competency	㉒ ← ㉑ → ㉝ → competency ㉒ ← ㉑ → ㉓ → ⑲ → competency

[그림 Ⅳ-6]의 한국 인과 그래프에서는 '전문성 개발 활동 주제(범교과 기술에 대한 교수법)(노드번호: ㉑)'가 '교사-학부모(보호자) 협력을 주제로 한 전문성 개발 활동 참여 여부(노드번호: ㉒)'와 '교수역량'에 모두 영향을 미치는 혼재변인으로 작용하고 있어, 영향요인과 결과변인 사이의 뒷문 경로가 열려있다. 이와 같은 뒷문 경로를 모두 막아 혼재 변인의 영향을 받지 않은 인과 효과를 추정하기 위해, 이 연구에서는 공변인을 통제하기 위한 통계적 방법들 중 경향점수를 활용하였으며(Rosenbaum & Rubin, 1983), 각 국가의 인과 그래프를 바탕으로 도출한 공변인 조정 집합(<표 Ⅳ-12> 참조)을 경향점수 산출을 위한 공변인으로 투입하였다. 따라서 국가별 인과 그래프에 근거하여, 한국과 일본에서는 '전문성 개발 활동 주제(범교과 기술에 대한 교수법)(노드번호: ㉑)', 미국에서는 '전문성 개발 활동 유형(교사 네트워크 참여)(노드번호: ⑳)'을 공변인으로 설정하면 '교사-학부모(보호자) 협력을 주제로 한 전문성 개발 활동 참여'가 교수역량에 미치는 영향을 파악할 수 있다.

이 연구에서 추정하고자 하는 관심 모수(estimand)는 교사 전체 모집단에서 교사-학부모(보호자) 협력을 주제로 한 전문성 개발 활동 참여 집단과 미참여 집단의 교수역량 평균 차이인 평균처치효과(Average Treatment Effect: ATE)로 하였다.

또한 경향점수의 역수를 가중치(ω_i)로 적용한 역확률 처치 가중방법(Inverse Probability of Treatment Weight: IPTW)을 이용하여 처치집단 및 통제 집단에 배정될 확률을 동일하게 적용함으로써 공변인의 균형을 이루는 유사 모집단을 구성하고자 하였다. 이때, 식 (4)의 가중치 부여 방식을 적용하여 평균처치효과를 추정하였다(박현정, 변상민, 2020; 장현진 외, 2019). 식에서 $ps(x)_i$는 공변인(x)이 주어졌을 때 해당 공변인 값을 가진 사례가 처치집단에 배정될 조건부 확률인 경향점수이며, T_i는 처치 여부를 의미한다.

$$w_i = T_i \frac{1}{ps(x)_i} + (1 - T_i) \frac{1}{1 - ps(x)_i} \qquad (4)$$

분석 결과, 3개 국가에서 모두 교사-학부모(보호자) 협력을 주제로 한 전문성 개발 활동 참여가 교수역량에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다(<표 Ⅳ-14> 참조).

<표 Ⅳ-14> 교사-학부모(보호자) 협력을 주제로 한 전문성 개발 활동 참여가 교수역량에 미치는 영향

구분	사례수(원자료)		가중치		공변인 균형 측정		Coefficients (CI.95)
	통제집단	처치집단	최솟값	최댓값	경향점수 Diff.Un[1](Diff.Adj)[2]	공변인 Diff.Un(Diff.Adj)	
한국	1354	1197	1.351946	3.841346	0.5951 (0)	0.2627 (0)	0.16 [0.12, 0.19]
미국	1348	582	1.283453	4.527919	0.3637 (0)	0.1771 (0)	0.13 [0.10, 0.17]
일본	2082	836	1.207784	5.812698	0.7550 (0)	0.3514 (0)	0.09 [0.06, 0.12]

1) Diff.Un: 가중치를 적용하지 않았을 때, 공변량에 대한 처치집단, 통제집단 간 평균 차이
2) Diff.Adj: 가중치를 적용했을 때, 공변량에 대한 처치집단, 통제집단 간 평균 차이

나. 구조적 인과 모형과 통계적 유의확률에 근거한 공변인 집합 비교

이 연구에서는 구조적 인과 모형에 근거하여 공변인 집합을 선정하고, 이를 활용하여 변인 간의 인과 효과를 추정하였다. 추가로, 이 연구에서 확인된 공변인 집합과 전통적인 통계적 유의확률에 근거하여 선정된 공변인 집합 간에 차이가 있을지 비교·분석하기 위해, 한국의 데이터를 활용하여 '교사-학부모(보호자) 협력을 주제로 한 전문성 개발 활동 참여'가 '교수역량'에 미치는 영향에 대한 추가 분석을 실시하였다.

전통적인 통계적 접근으로 인과 추론 연구를 수행하였던 선행연구들에서는 성별, 나이 등의 배경 변인들을 공변인으로 선정하거나, 처치변인에 통계적으로 유의미한 영향을 주는 것으로 확인된 변인들을 공변인으로 선정하는 경향을 보인다(장현진 외, 2019; 편창훈, 2021). 이와 같은 방법들은 변인 간의 인과 효과를 추정할 때 처치 여부가 정해지기 전에 측정된 변인들을 통제해야 한다는 '처치 전 기준(pretreatment criterion)'과 처치

변인의 원인인 동시에 결과변인의 원인인 변인들을 통제해야 한다는 '공통 원인 기준(common cause criterion)'을 따르기 위한 방안의 일환으로 활용되었다.

이와 같은 선행연구에 근거하여, 이 연구에서는 공변인 선정을 위해 추정하고자 하는 인과 관계의 영향요인인 '교사-학부모(보호자) 협력을 주제로 한 전문성 개발 활동 참여'에 통계적으로 유의한 것으로 나타난 변인들을 공변인으로 설정하였다. 이를 위해 로지스틱 회귀 분석을 실시하였으며, 구조적 인과 모형에 근거한 방법과의 비교를 위해 인과 그래프를 구성하는 35개의 변인들을 모두 분석에 활용하였다.

로지스틱 회귀 분석 결과, '교사-학부모(보호자) 협력을 주제로 한 전문성 개발 활동 참여'에 통계적으로 유의미한 영향을 주는 것으로 확인된 변인들은 '교사 간 전문적인 수업 협력(노드번호: ⑤)', '교사 간 교류 및 조정(노드번호: ⑥)', '근무 시간(기타)(⑦)', '사회적 효용에 대한 동기(노드번호: ⑨)', '다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요(노드번호: ⑯)', '전문성 개발 장벽(노드번호: ⑰)', '교과 및 교육에 대한 전문성 개발의 필요(노드번호: ⑱)', '효과적인 전문성 개발 활동(노드번호: ⑲)', '전문성 개발 활동 유형(교사 네트워크 참여)(노드번호: ⑳)', '전문성 개발 활동 주제(범교과 기술에 대한 교수법)(노드번호: ㉑)', '교과지식에 대한 평가 제공(현재 학교에서 없음)(노드번호: ㉔)', '대상학급 구성(행동에 문제가 있는 학생)(노드번호: ㉖)', '수업 시간 중 실제 교수·학습에 사용한 시간(%)(노드번호: ㉘)', '학생의 발달과 학습에 대한 모니터링 준비 정도(노드번호: ㉞)'의 14개 변인이다(<표 Ⅳ-15> 참조).

<표 Ⅳ-15> 공변인 탐색을 위한 로지스틱 회귀 분석 결과

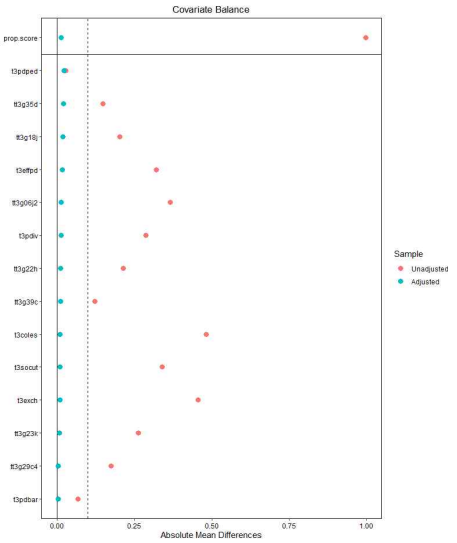
예측 변인				계수 추정치	S.E.	Odds Ratio
Talis 2018 주제	변인명	그래프 노드 번호	내용			
			(Intercept)	-4.869***	0.899	
교사의 자기 효능감	t3seins	①	수업지도 자기 효능감	-0.052	0.033	0.95
	t3seeng	②	학생참여 자기 효능감	0.059	0.037	1.06
	t3secls	③	교실관리 자기 효능감	0.032	0.032	1.03
	tt3g34m	④	디지털 기술을 활용한 학습 지원 자기 효능감	0.069	0.072	1.07
교사의 전문적 실천	t3coles	⑤	교사 간 전문적인 수업 협력	0.084**	0.028	1.09
	t3exch	⑥	교사 간 교류 및 조정	0.105***	0.028	1.11
	tt3g18j	⑦	근무 시간(기타)	0.085**	0.031	1.09
교사의 직무 만족도 및 동기	t3satat	⑧	대상 학급 자치권에 대한 만족도	-0.040	0.024	0.96
	t3socut	⑨	사회적 효용에 대한 동기	0.058**	0.020	1.06
	t3wels	⑩	직장 복지 및 스트레스	0.012	0.024	1.01
	t3stbeh	⑪	학생 태도 스트레스	-0.012	0.030	0.99
	t3wload	⑫	업무량 스트레스	-0.035	0.029	0.97
	tt3g50	⑬	향후 교직 종사 희망 기간	0.010	0.007	1.01
	tt3g52k	⑭	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	0.102	0.079	1.11
	tt3g53i	⑮	업무 결과에 대한 만족	-0.012	0.075	0.99
교사의 피드백 및 전문성 개발	t3pdiv	⑯	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	0.102***	0.023	1.11
	t3pdbar	⑰	전문성 개발 장벽	0.051*	0.023	1.05
	t3pdped	⑱	교과 및 교육에 대한 전문성 개발의 필요	-0.095***	0.024	0.91
	t3effpd	⑲	효과적인 전문성 개발 활동	0.095***	0.028	1.1
	tt3g22h	⑳	전문성 개발 활동 유형(교사 네트워크 참여)	0.746***	0.105	2.11
	tt3g23k	㉑	전문성 개발 활동 주제(범교과 기술에 대한 교수법)	1.034***	0.104	2.81
	tt3g26l	㉓	전문성 개발 활동의 특성(교수법 혁신에 초점)	-0.077	0.109	0.93
	tt3g29c4	㉔	교과지식에 대한 평가 제공(현재 학교에서 없음)	-0.458***	0.101	0.63
교사의 교수 실천	tt3g35c	㉕	대상학급 구성(특수교육대상 학생)	-0.137	0.081	0.87
	tt3g35d	㉖	대상학급 구성(행동에 문제가 있는 학생)	0.190**	0.071	1.21
	tt3g39b	㉗	수업 시간 중 교실에서의 질서 유지에 사용한 시간(%)	-0.006	0.008	0.99
	tt3g39c	㉘	수업 시간 중 실제 교수·학습에 사용한 시간(%)	-0.013*	0.005	0.99
학교 풍토	t3stud	㉙	교사-학생 관계	-0.044	0.023	0.96
	t3stake	㉚	이해관계자간 참여	0.007	0.023	1.01
	t3disc	㉛	지각된 규율 환경	0.014	0.027	1.01
교사 양성 및 초기 준비 교육	tt3g06e2	㉜	다양한 학업능력을 가진 학생들에 대한 교육 준비정도	0.053	0.076	1.05
	tt3g06g2	㉝	범 교과 지식 및 기술에 대한 교육 준비 정도	-0.083	0.075	0.92
	tt3g06j2	㉞	학생의 발달과 학습에 대한 모니터링 준비 정도	0.180*	0.077	1.2
교사 배경정보	tt3g11b	㉟	교사로 근무한 총 연수	0.000	0.007	1

주1) 각 국가 교사의 교수역량에 대해 인과적인 원인으로 작용하는 변인에 속하는 경우, 해당 셀에는 인과 효과 추정을 위한 공변인 조정 집합을 표기하였음.
주2) 교수역량에 대한 영향요인 아닌 경우 음영으로 처리하였음

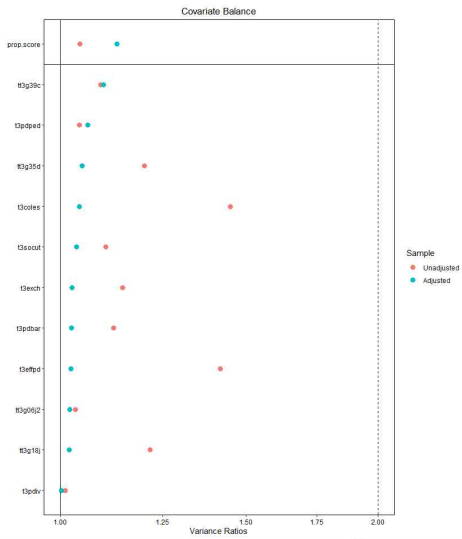
위의 변인들을 통제할 경우, 추정되는 인과 효과의 특징은 다음과 같다. 첫째, '교사-학부모(보호자) 협력을 주제로 한 전문성 개발 활동 참여 여부(노드번호: ㉒)'와 '교수역량'과 결과변인 사이의 인과 경로 중 일부 경로가 막히게 되어, 영향요인과 결과변인 사이의 총 효과를 추정할 수 없다. 한국의 인과 그래프에서 인과 경로는 '㉒ → ⑲ → 교수역량', '㉒ → ② → 교수역량', '㉒ → ② → ㉝ → 교수역량', '㉒ → ② → ㉜ → ㉝ → 교수역량'의 4개 경로가 있는데([그림 Ⅳ-6] 참조], 이 중 ⑲ 변인이 공변인에 포함되어 있어, '㉒ → ⑲ → 교수역량'의 인과 경로가 막히기 때문이다. 둘째, 영향요인과 결과변인 사이의 뒷문 경로를 모두 막을 수 있다. 예컨대 한국의 인과 그래프에서 '㉒ ← ㉑ → ㉝ → 교수역량', '㉒ → ㉔ → ⑤ ← 교수역량'과 같은 분기 구조 또는 역방향 분기 구조에서 자칫 전달될 수 있는 상관관계가 위의 변인들을 모두 통제함으로써 차단될 수 있다.

영향요인에 통계적으로 유의미한 영향을 주는 변인들을 공변인으로 투입할 경우 산출된 경향점수의 균형성 및 분포는 [그림 Ⅳ-8]과 같다. 경향점수 추정 후, 경향점수 가중 방법을 활용하여 분석한 '교사-학부모(보호자) 협력을 주제로 한 전문성 개발 활동 참여가 교수역량에 미치는 영향'에 대한 추정치는 0.06이며 이때 신뢰구간은 [0.03, 0.10]로, 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 이때 추정치는 구조적 인과 모형에 근거한 분석 결과와 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 참고로, 가중치의 최댓값이 10 이상인 사례들은 분석에서 제외하였다.

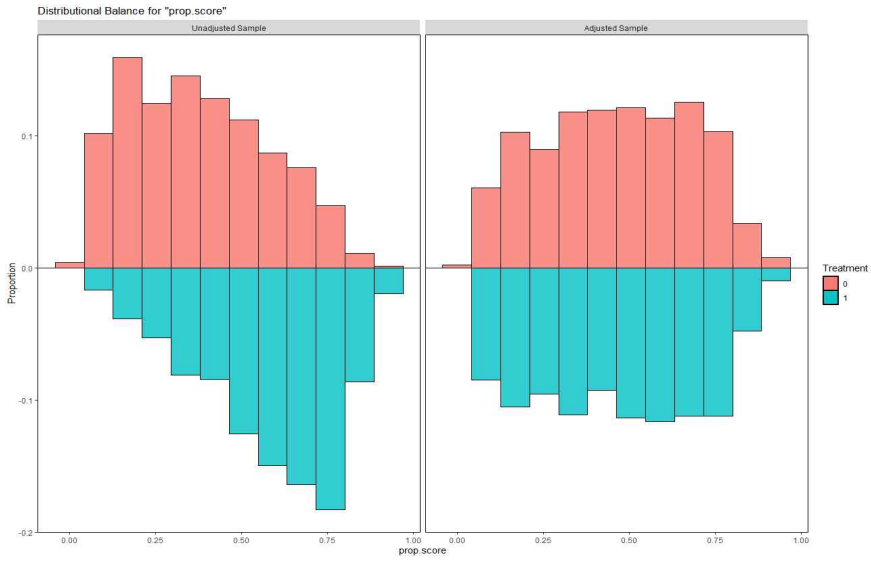
이와 같은 결과는, 영향요인과 결과변인 사이의 혼재변인이 인과 효과 추정에 적절히 반영되지 않을 경우, 추정된 값에 혼재된 상관의 영향이 반영되거나, 추정된 값을 영향요인과 결과변인 사이의 인과 효과로 보기에 어려움이 있을 가능성을 시사한다.



균형성 측정 결과 (평균)



균형성 측정 결과 (분산)



처치집단과 통제집단의 경향점수 분포 비교

[그림 Ⅳ-8] 경향점수 균형성 측정 결과

Ⅴ. 요약 및 논의

1. 요약

교사는 학생들과 신뢰와 사랑을 바탕으로 한 관계를 토대로 교수활동을 수행하면서 개별 학생의 지식, 기능, 태도 등이 바람직한 방향으로 변화할 수 있도록 도움을 줄 것으로 기대된다. 따라서 교사의 교수역량에 대한 이해를 바탕으로 이를 증진하기 위한 연구들이 충분히 이루어질 필요가 있다. 교사의 교수역량의 중요성이 그동안 지속적으로 강조되면서 교수역량에 영향을 미치는 요인이 무엇인지 탐색하는 연구들이 수행되어 왔다. 그러나 기존의 선행연구는 교수역량의 영향요인에 대해 이론적인 논의에 초점을 맞추고 경험적으로 입증하는 데까지는 이르지 못하였거나, 연구자가 선정한 몇 가지 관심 변인 간의 관계를 규명하는 데에만 초점을 맞추는 등 제한적으로 이루어져 왔다. 따라서 교직 환경의 다양한 요인들과 교수역량 사이의 인과 관계를 종합적으로 파악하기 위해서는 추가적인 연구가 필요한 실정이다. 한편, 미국과 일본은 한국의 교육체제에 큰 영향을 주었을 뿐만 아니라, 한국의 교원정책 수립 및 개선에도 중요하게 참고하고 있는 국가들이다. 이러한 점들을 고려하여 이 연구에서는 구조적 인과 모형을 활용하여 한국, 미국, 일본 중등교사의 교수역량에 대한 영향요인을 분석하였다. 주요 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 한국, 미국, 일본 중등교사의 교수역량과 이에 대한 주요 예측요인들로 구성된 인과 그래프는 어떠한가?

둘째, 한국, 미국, 일본의 인과 그래프에 나타난 중등교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 관계는 어떠한가?

셋째, 한국, 미국, 일본의 인과 그래프는 교수역량과 영향요인 간의 인과 효과 추정에 어떻게 활용될 수 있는가?

분석 자료는 OECD가 주관하는 교수학습국제조사에서 가장 최근 실시된 3주기 조사(TALIS 2018) 자료를 활용하였으며, 한국, 미국, 일본 중등교사 및 학교장의 응답 자료를 연구 대상으로 하였다. TALIS 2018 데이터는 한 학교에 여러 명의 교사가 속해있는 다층구조를 지니고 있음을 고려하여 혼합효과 랜덤 포레스트 모델을 적용하여 국가별 교사의 교수역량에 대한 예측요인을 중요도 값을 기준으로 상위 20개씩 추출한 이후, 인과 디스커버리 알고리듬을 적용하여 국가별 교사의 교수역량과 예측요인들로 구성된 인과 그래프를 산출하였다. 그리고 국가별 인과 그래프를 바탕으로 교사의 교수역량과 영향요인 사이의 인과 관계를 분석하였으며, 인과 그래프에 나타난 변인 간 인과 관계에 대한 메커니즘을 바탕으로 한 인과 추론의 예시를 사례로 제시하였다. 주요 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 혼합효과 랜덤 포레스트 분석을 통해 추출된 한국, 미국, 일본 중등교사의 교수역량에 대한 예측요인들의 합집합은 35개였다. 국가별로 동일하게 35개의 예측요인들을 인과 디스커버리 분석에 투입하였으며, 이때 3개의 알고리듬(PC, Tabu Search, MMHC)을 적용하였다. 분석 결과, 알고리듬별로 산출된 평균 그래프 구조에 차이가 있었으며, 이 연구에서 활용한 TALIS 2018 데이터에는 Tabu Search 알고리듬이 가장 적합한 것으로 나타났다. 이와 같은 결과를 토대로 Tabu Search 알고리듬을 적용한 3개 국가의 인과 그래프의 노드는 결과변인인 교수역량을 포함하여 총 36개이며, 방향성 화살표는 한국 96개, 미국 99개, 일본 124개로 구성되었다. 또한 평균 마코프 블랭킷 크기와 평균 분기 계수도 국가별로 차이가 있었는데, 일본의 그래프에서 평균 마코프 블랭킷 크기와 평균 분기 계수가 가장 크고, 한국의 그래프에서는 가장 작은 것으로 나타났다.

둘째, 국가별 인과 그래프를 바탕으로 교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 경로 및 공변인 조정 집합을 분석하였다. ‘교사의 자기 효능감’ 주제에서 3개 요인(수업지도 자기 효능감, 학생참여 자기 효능감, 교실관리 자기 효능감), ‘교사의 직무 만족도 및 동기’ 주제에서 5개 요인(사회

적 효용에 대한 동기, 직장 복지 및 스트레스, 학생 태도 스트레스, 업무량 스트레스, 특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스), '교사의 피드백 및 전문성 개발' 주제에서 2개 요인(범교과 기술에 대한 교수법, 교사-학부모(보호자) 협력을 주제로 한 전문성 개발 활동 참여), '학교 풍토' 주제에서 1개 요인(지각된 규율 환경)이 3개 국가에서 공통적으로 교사의 교수역량에 인과적으로 영향을 주는 것으로 나타났다. 다만, 국가 간 공통적인 영향요인이라고 하더라도, 교수역량과의 인과 효과를 추정하고자 할 때 통제해야 하는 공변인 조정 집합은 국가별 인과적 메커니즘에 따라 차이가 있었다. 이 밖에, 한국에서 4개, 미국에서 8개, 일본에서 12개의 영향요인이 추가로 확인되었다.

셋째, 인과 그래프에 기반한 교사의 교수역량과 영향요인 간의 인과 효과 분석의 예시로, '교사-학부모(보호자) 협력을 주제로 한 전문성 개발 활동 참여'가 중등교사의 '교수역량'에 미치는 평균처치효과(ATE)를 분석하였다. 분석 결과, 3개 국가에서 모두 교사-학부모(보호자) 협력을 주제로 한 전문성 개발 활동 참여가 중등교사의 교수역량에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 추가로, 인과 효과 추정 과정에서 공변인 통제 방식의 차이를 분석하기 위해, 한국 데이터를 활용하여 ①구조적 인과 모형에 근거하여 선정된 공변인 집합과 ②전통적인 통계적 유의확률에 근거하여 선정된 공변인 집합을 비교하였다. 분석 결과, 구조적 인과 모형에 근거한 공변인 집합은 1개이고 통계적 유의확률에 근거한 공변인 집합은 14개였으며, 인과 그래프에 나타난 변인 간의 인과적인 메커니즘을 고려하였을 때 구조적 인과 모형을 활용하여 인과 효과를 추정하는 것이 더 효율적인 것으로 나타났다.

2. 논의 및 제언

가. 논의

이상의 분석 결과를 바탕으로 이 연구에서 활용한 구조적 인과 모형에 대해 논의하면 다음과 같다.

첫째, 인과 디스커버리 분석은 구조적 인과 모형에 바탕을 둔 비지도 학습의 일종으로 볼 수 있으며(Murphy, 2012), 데이터로부터 변인 사이의 관계에 대해 체계적으로 찾아낼 수 있는 다양한 인과 디스커버리 분석 알고리듬들이 개발되고 있다(Pearl, 2019). 지금까지 다양한 인과 디스커버리 알고리듬을 개발하고 그 성능을 비교하기 위한 연구들이 수행되어왔으며, 그러한 연구들에서는 그래프 구조를 이미 알고 있는 분석 자료를 활용하여 알고리듬별 분석 속도, 화살표 방향의 차이, 모형 점수 등의 지표들을 비교하였다. 그러나 이 연구에서와 같이 관찰 데이터를 분석하는 경우, 분석 결과를 비교할 수 있는 실제 모델(true model)을 알 수 없다. 따라서 이 연구에서는 TALIS 2018 데이터를 활용하여 인과 그래프를 산출하기 위해 인과 디스커버리 분석 알고리듬 중 제약 기반, 점수 기반, 하이브리드 방법에서 각 1개의 대표적인 알고리듬을 선정하여 비교·분석하였다. 한국, 미국, 일본의 TALIS 2018 데이터에서는 3개의 알고리듬 중 점수 기반 방법인 Tabu Search 알고리듬이 변인 간의 관계를 나타내기에 가장 적합한 것으로 확인되었다. 참고로 Tabu Search 알고리듬은 Scutari 외(2019)의 연구에서도 제약 기반 방법에 비해 정확도가 높고 학습 속도가 빠른 것으로 보고된 바 있다. 그러나 분석 데이터에 따라 적합한 알고리듬이 다를 수 있으므로 특정한 알고리듬을 임의로 선택하기보다는 여러 알고리듬의 분석 결과를 체계적으로 비교하는 절차를 통해 인과 그래프를 산출할 필요가 있다.

둘째, 이 연구에서 산출된 국가별 인과 그래프는 각 국가에서 중등교사의 교수역량과 이에 대한 영향요인 간의 인과 관계를 명시적으로 드러내어, 국가별 인과 메커니즘에 기반한 인과 관계 분석이 가능하였다. 한

국, 미국, 일본 중등교사의 교수역량에 대한 인과 그래프는 국가별로 교수역량과 예측요인들의 관계에 대해 서로 다른 메커니즘을 가정하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 동일한 변인라고 하더라도 교수역량에 대한 영향요인 여부는 국가별로 차이가 있었다. 또한 특정 영향요인과 교수역량과의 인과 관계를 추정하기 위해 통제해야 하는 공변인 조정 집합도 국가별로 조금씩 차이가 있었다.

전통적인 통계적 기법을 활용한 국제 비교 연구들에서는 영향요인과 결과변인의 관계를 파악하기 위해 회귀, 구조방정식 등의 모형을 모든 비교 대상 국가들에서 동일하게 설정하는 경향이 있다. 또한 통제변인의 경우 분석에 투입하지 않거나, 투입을 하더라도 비교 대상 국가 모두 동일한 통제변인을 사용하는 경우들이 있다. Morgan과 Winship(2015)은 인과 관계에 대해 식별이 불가한 경우 어떠한 통계적 분석을 실시하더라도 그 결과는 무의미하므로, 통계 분석에 앞서 인과적 메커니즘을 먼저 파악하는 것이 필요하다고 보았다. 이와 관련하여, 이 연구에서도 교수역량에 대한 예측요인으로 도출된 변인라도 국가에 따라 교수역량에 대한 영향요인이 아닌 것으로 나타난 변인들이 있었으며, 동일한 영향요인에 대해 국가별로 공변인 조정 집합에 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과를 고려할 때, 국가별 인과 관계에 대한 특징을 고려하지 않은 채 모든 국가의 데이터에 동일한 통계 모형을 설정하고 분석하는 것은 변인 간의 인과 관계가 아닌 편향된 추정치를 구할 가능성이 있음을 시사한다. 따라서 국가별로 변인 간 관계를 파악하기 위해 통계 분석을 시행하기에 앞서 각 국가의 독특한 인과적 메커니즘을 파악하는 것이 필요하며, 이는 인과 관계에 대한 내적 타당도뿐만 아니라, 한 국가에서 확인된 인과 효과가 다른 국가에서도 적용될지 파악할 수 있는 인과 추론의 외적 타당도 확보를 위한 토대가 될 수 있다.

셋째, 구조적 인과 모형을 활용한 공변인 선정 방식은 인과적 메커니즘을 바탕으로 인과 효과 추정에 적절한 통제변인을 탐색할 수 있기에 명료하며, 상대적으로 적은 변인들로도 혼재경로를 차단할 수 있다는 점에서 효율적일 수 있음을 확인하였다.

이 연구에서 구조적 인과 모형에 근거한 공변인 조정 집합과 전통적인 통계적 유의확률에 근거한 공변인 집합을 한 가지 사례를 예시로 비교·분석한 결과, 구조적 인과 모형에 근거하면 1개의 변인으로도 모든 혼재 경로를 통제할 수 있었으며, 통계적 유의확률에 근거한 공변인은 처치변인에 대해 통계적으로 유의한 것으로 나타난 14개의 변인을 통제해야 하기에 구조적 인과 모형에 근거한 방법에 비해 많은 변인들을 공변인으로 사용하게 되는 것으로 나타났다. 또한 통계적 유의확률을 토대로 공변인을 탐색할 경우, 인과 경로 내에 있는 변인이 공변인 중 하나로 도출되었다. 이는 영향요인에 통계적으로 유의미한 영향을 미치는 변인을 분석하는 과정에서 영향요인과 상관관계가 높은 인과 경로 내의 변인이 통계적으로 유의한 변인으로 포함된 것으로 예측할 수 있다. 이러한 결과는 통계적 유의확률만을 근거로 하였을 때 혼재변인을 타당하게 탐색하기에 어려움이 있을 수 있으며, 영향요인과 결과변인 사이의 혼재변인이 인과 효과 추정에 적절히 반영되지 않을 경우, 추정된 값에 혼재된 상관의 영향이 반영되거나, 추정된 값을 처치변인과 결과변인 사이의 인과 효과로 볼 수 없다는 가능성을 실제 데이터 분석을 통해 확인한 사례로 볼 수 있다.

인과 그래프에 담긴 변인 간의 인과 관계에 대한 가정을 바탕으로 한 인과 추론은 연구의 내적 타당도 확보에 대한 투명한 근거를 제공한다. 따라서 구조적 인과 모형은 연구자가 선정한 공변인 및 연구 설계에 대한 타당성을 연구자 간 논의할 수 있는 도구로 활용될 수 있다.

이처럼 인과 추론 문제에 접근하는데 장점을 지닌 구조적 인과 모형을 활용하여 분석한 한국, 미국, 일본 중등교사의 교수역량과 영향요인들 간의 인과 관계에 대해 논의하면 다음과 같다.

첫째, 교사가 지니는 개인적 특성과 관련하여, ‘자기 효능감(수업지도 자기 효능감, 학생참여 자기 효능감, 교실관리 자기 효능감)’과 ‘사회적 효용에 대한 동기’는 한국, 미국, 일본 교사의 교수역량에 인과적인 영향을 주는 것으로 나타났다. 교사의 자기 효능감은 교사가 다양한 업무를

수행하기 위해 필요한 자신의 능력에 대한 종합적인 판단 또는 신념이라고 할 수 있다(이동엽 외, 2018a). 일부 선행연구에서는 교사의 자기 효능감을 교수역량의 태도에 대한 구성요소로 구분하기도 하였다(European Commission, 2012). 그러나 이 연구에서 TALIS 2018의 개념틀에 따라 정의한 교수역량은 교수활동의 핵심적인 영역에 해당하는 '교수의 명확성', '학생 인지역량 활성화', '강화된 활동', '교실관리', '평가활동'의 차원에서 교사가 교과교육을 효과적으로 실행할 수 있는 역량(백순근 외, 2020; 이동엽 외, 2018a)이라고 할 수 있다는 점에서 교사의 자기 효능감과 교수역량은 개념적으로 구분된다. TALIS 2018에서 교사의 자기 효능감은 '할 수 없음'부터 '잘 할 수 있음'에 이르는 4점 리커트 척도로 자신의 능력에 대한 주관적 판단으로 측정하며, 교수역량의 경우 '전혀 또는 거의 안함'부터 '항상 상용함'에 이르는 빈도응답 척도를 활용하여 교사의 교수활동에 대한 빈도를 체계적으로 측정하였다(이동엽 외, 2018a).

자기 효능감 관련 변인 중 수업지도를 효과적으로 수행할 수 있는 전략에 관한 '수업지도 자기효능감'과 학생들에게 동기를 부여하여 학습활동에 참여할 수 있도록 도울 수 있는 전략에 관한 '학생참여 자기 효능감'은 3개 국가 교사의 교수역량에 직접적으로 영향을 미치는 것으로 나타났다. 전문성 개발 활동의 참여는 교사의 자기 효능감에 긍정적인 영향을 미친다는 것은 많은 선행연구를 통해 밝혀진 바 있다(이동엽 외, 2018b). 이와 같은 선행연구의 결과와 유사한 맥락으로, 이 연구에서도 한국 교사가 참여한 '전문성 개발 활동 주제(교사-학부모(보호자) 협력)'가 '학생참여 자기 효능감'을 매개로 교수역량에 영향을 미칠 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 현직 교사 대상 연수 및 전문성 개발 활동 등을 통해 교사가 마주할 수업 상황에서 교사가 효능감을 가지고 교수활동을 수행할 수 있도록 지속적으로 지원하는 것이 필요할 것이다.

교사가 직업으로써 교직을 선택하게 된 동기 중 '사회적 효용에 대한 동기'는 교수활동이 학생들의 성장·발달에 영향을 줄 수 있으며 국가와 사회에 기여할 수 있기에 교사를 직업으로 선택하였음을 의미하는 변인이다. '사회적 효용에 대한 동기'는 3개 국가에서 모두 교수역량에 대한

영향요인인 것으로 나타났으나, 특히 한국과 미국 교사의 교수역량에 직접적인 영향을 미치는 경로가 있는 것으로 나타났다. 따라서 대학 입시에서 사범대학 지원자를 대상으로 실시되는 교직적성·인성면접, 교원자격 취득을 위한 교직적성 및 인성검사, 교사임용시험 면접 전형 등을 통해 예비교사의 교직선택 동기를 충분히 살펴볼 필요가 있다.

둘째, 교사가 담당하는 학생들의 특성 및 교사가 근무하는 학교의 특성과 관련하여, '스트레스(직장 복지 스트레스, 학생 태도 스트레스, 업무량 스트레스, 특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스)' 관련 4개 변인들과 '지각된 규율 환경'은 3개 국가에서 모두 교수역량에 중요한 영향을 미치는 것으로 나타났다. '직장 복지 스트레스'는 교사라는 직업이 교사의 생활·정신 건강·신체 건강 등에 부정적인 영향을 미친다는 인식의 정도를 의미하며, '학생 태도 스트레스'는 학생들의 학업성취에 대한 책임, 교실 규율 유지, 학생들의 언어폭력으로부터 교사가 경험하는 스트레스의 정도를 의미한다. 또한 '업무량 스트레스'는 수업 준비량, 수업 시수, 행정 업무량 등의 과중으로 인한 스트레스 정도를 의미하며, '지각된 규율 환경'은 수업시간에 학생들의 방해에 대한 교사의 인식에 대한 변인이다. '학생 태도 스트레스'의 경우 국가별로 다소 차이가 있기는 하지만, 업무량 스트레스, 직장 복지 및 스트레스 등을 매개하여 교수역량에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 한국의 경우 '직장 복지 및 스트레스'가, 일본의 경우 '업무량 스트레스'가 교사의 교수역량에 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. '지각된 규율 환경'의 경우 일본과 미국에서 교수역량에 직접적인 영향을 미치는 경로가 있는 것으로 나타났다. 박영숙 외(2015)의 연구에서는 중학교 교원 대상 면담 결과, 교사들은 수업역량을 위해 학급당 인원 수 감축, 학교 행정 업무 축소, 행정실무사 확충, 상담교사 추가 배치 등의 지원이 필요하다고 인식하고 있는 것으로 보고하였는데, 이와 같은 지원은 교사가 스트레스 요인으로 인식하고 요인들과 밀접한 관련이 있기에, 교수역량에 실질적인 도움이 될 수 있을 것으로 유추할 수 있다.

셋째, 교사의 국가별 특성이 비교적 많이 반영된 것으로 보이는 영향

요인들은 다음과 같다. 한국에서는 교사 간의 협력을 의미하는 변인인 '교사 간 전문적인 수업 협력'과 '교사 간 교류 및 조정' 모두 교수역량에 대한 영향요인이 아닌 것으로 나타났다. '교사 간 전문적인 수업 협력'의 경우 한국을 제외한 모든 국가에서는 교수역량에 대한 영향요인이며, 특히 미국에서는 직접적인 인과 경로를 갖는 주요한 변인이다. 추가로, 일본에서는 '교사 간 교류 및 조정'이 교수역량에 직접적인 인과 경로를 갖는 영향요인으로 나타났다. 김혜숙과 함은혜(2019)의 연구에서는 PISA 2015 협력적 문제해결력의 상위 성취수준 학생 비율이 일본, 핀란드 등의 국가에 비해 낮으며, PISA 2012에서 시행된 개인 수준의 문제해결력 평가 결과에 비해서도 상대적으로 낮은 결과를 보였다는 점을 지적한 바 있다. 이와 관련하여, 한국의 문화적 특성이 교사의 협업과 관련이 있는지 탐색할 필요가 있다.

한편, 한국에서는 다른 국가들과는 달리 교원양성 초기 준비 교육과 관련된 변인들(다양한 학업능력을 가진 학생들에 대한 교육 준비 정도, 범 교과 지식 및 기술에 대한 교육 준비 정도, 학생의 발달과 학습에 대한 모니터링 준비 정도)이 교수역량에 대한 영향요인으로 나타났다.

또한 한국과 일본에서는 미국에 비해 교사의 전문성 개발 활동과 관련된 다양한 변인들이 교수역량에 대한 영향요인으로 도출되었다. 전문성 개발 활동 '주제'와 관련된 변인들은 3개 국가에서 모두 영향요인들이 도출되었으며, 한국과 일본에서는 전문성 개발 활동의 '특성'과 관련된 영향요인들이 도출되었다. 또한 일본의 경우 전문성 개발의 '필요'에 대한 변인들이 추가로 영향요인으로 도출되었다. 한국과 일본에서는 교사 교육 시스템(교사양성교육, 입직연수, 지속적 전문성 개발)이 국가 수준에서 체계적으로 운영되는데(박선형 외, 2019), 이러한 국가 시스템적 차이가 분석 결과에 영향을 미쳤을 가능성이 있다.

나. 연구의 의의 및 제언

이 연구는 구조적 인과 모형을 활용하여 한국, 미국, 일본 교사의 교

수역량을 예측하는 다양한 요인들과 교수역량 사이의 인과적 메커니즘에 국가별로 차이가 있음을 인과 그래프를 활용하여 명시적으로 드러내었다. 또한 교육학 연구에서 구조적 인과 모형에 바탕을 둔 인과 관계 분석의 유용성을 확인하였다는 데 의의가 있다. 이 연구에서 활용한 구조적 인과 모형은 교육학 연구의 다양한 범위에서 다루는 인과 추론 문제에 적용될 수 있을 것이며, 후속 연구를 통해 더욱 정교하게 발전시킬 필요가 있다.

이 연구의 제한점과 후속 연구를 위한 제언은 다음과 같다.

첫째, 이 연구에서는 TALIS 2018에 참여한 한국, 미국, 일본 중등교사의 응답 자료를 분석에 활용하였다. 설문에 대한 응답이 수집된 2018년도 이후, 코로나(COVID-19) 팬데믹 발생으로 학교 및 학생들에게 크고 작은 변화들이 있었다. 따라서 추후 진행될 TALIS 2024 조사 자료를 활용하여 교직 환경의 변화가 교수역량에 어떠한 영향을 주고 있는지 파악할 필요가 있다.

둘째, 이 연구에서는 분석 대상 국가 교사의 교수역량에 대한 인과 그래프를 구성하는 변인들을 선정하기 위해, 혼합효과 랜덤 포레스트 분석을 실시하였다. 그리고 분석을 통해 추출된 35개의 예측요인들과 결과변인인 교수역량 사이에 측정되지 않은 공통원인 및 선택 변인이 없다는 인과 충분성 가정 하에 인과 디스커버리 분석이 수행되었다. 또한 최종 모형을 결정할 때 BIC 점수를 사용하였기에, 방향성 화살표가 있는 경우에만 최종 모형을 결정할 수 있었다. 하지만 인과 그래프는 데이터뿐만 아니라 전문적 지식, 연구자가 그래프에 대해 알고 있는 상식 등의 모든 정보들을 활용하여 나타낼 수 있으며(Spirtes et al., 2000), 경우에 따라 양방향 화살표로 연결된 변인 간 관계도 다룰 수 있다. 따라서 교수역량에 영향을 미치는 또 다른 요인에 대한 이론적·경험적 근거가 있거나, 연구자 간 합의가 도출된 인과 경로가 있다면, 이를 바탕으로 그래프를 수정·보완해나감으로써 실재에 가까운 인과 관계를 나타내는 그래프를 생성할 필요가 있다.

셋째, 이 연구는 국가별 교사의 교수역량에 대한 인과 그래프를 산출

하고, 변인 사이의 인과 관계에 대해 분석한 것이다. 즉, 이 연구의 초점은 국가별 교수역량의 주요 예측요인과 교수역량 사이의 관계를 분석하고 시사점을 도출하는데 있었으므로, 인과 그래프를 토대로 한 세부 변인들 사이의 인과 효과 분석은 연구범위에서 제외되었다. 따라서 교사의 교수역량 증진을 위한 정책 수립 및 개선을 위해서는 변인 간 인과 경로 및 공변인 조정 집합 등에 대한 정보를 활용하여 각 변인과 교수역량 사이의 인과 효과를 정밀하게 추정하는 후속 연구가 수행될 필요가 있다.

넷째, 구조적 인과 모형은 인과적 메커니즘에 대해 명시적으로 드러내어 인과 추론의 내적 타당성을 확보할 수 있도록 할 뿐만 아니라, 종단자료 분석을 위한 인과 디스커버리 알고리듬(Entner & Hoyer, 2010; Spirtes & Zhang, 2016), 외적 타당도 확보를 위한 트랜스포터빌리티 이론 등 인과 추론을 위한 다양한 연구 문제에 대한 체계적인 접근 방법들이 제안되어왔다. 따라서 후속 연구로서 서울시교육청의 서울교원종단연구(정송 외, 2021), 한국교육개발원의 교원종단연구(송효준, 최인희 외, 2022; 최인희 외, 2020)와 같은 자료를 활용하여 구조적 인과 모형에 근거한 교사의 교수역량 관련 종단 연구를 수행하거나 교수역량 증진을 위한 정책 효과에 대한 일반화 문제 등의 심층적인 연구가 수행될 필요가 있다.

참 고 문 헌

고전(2009). 교육전문대학원 도입 방안의 검토와 과제. **한국교원교육연구, 26**(2), 345-364.

교원능력개발평가 실시에 관한 훈령(시행 2020. 1. 1.)(교육부훈령 제320호, 2020. 1. 1., 일부개정).

교육부(2021.7.). 현장성과 미래 대응력 제고를 위한 초중등 교원양성체제 발전 방안(시안). 교육부.

교육부(2022.2.). 출발선 평등을 위한 2022년 다문화교육 지원계획. 교육부.

교육부(2022.11.). 2023년 교원 연수 중점 추진방향. 교육부.

교육부 보도자료(2021.4.). 교육자치 강화 및 학교자율화를 위한 유·초·중등교육 권한 시도교육청에 배분 박차. 교육부.

국가교육회의(2022.2.) **제4기 국가교육회의 백서**. 국가교육회의.

김난옥, 손원숙(2021). 자기보고식 핵심역량 측정에서 응답양식의 탐색 및 효과. **교육평가연구, 34**(4), 707-733.

김미숙, 윤종혁, 최수진, 구자억, 윤정현, 정광석(2016). 주요국의 교육 정책 비교 연구(교육부 정책연구 CRM 2016-163). 교육부, 한국교육개발원.

김병찬, 김갑성, 박상완, 송경오, 이기영, 안희진(2018). **교원 양성 및 임용 체제 개편 방안**. 국가교육회의.

김용남, 양혜원(2021). 완전매개 결과의 타당성과 통제변인의 활용: 국내 교육학 분야를 중심으로. **교육평가연구, 34**(4), 679-705.

김용남, 이상윤, 곽나람(2023). 다중회귀모형을 활용한 '영향요인 연구'의 인과적 타당성에 대한 비판적 검토. **교육평가연구, 36**(1), 141-165.

김자미(2017). 해외의 교원양성 체제 비교 분석. **컴퓨터교육학회 논문지, 20**(5), 49-59.

김정환, 이계연(2005). 수업의 질 개선을 위한 교사 수업능력 자기평가 방략에 관한 논리적 고찰. **교육평가연구, 18**(3), 19-38.

김창환, 김본영, 문성빈, 박종효, 문성빈, 김진숙, 김이경, 박현정, 이광현,

채재은(2015). **한국의 교육지표·지수 개발 연구(IV): 교원역량지수 개발 연구**(연구보고 RR 2015-28). 한국교육개발원.

김현수(2021). 미래를 대표하기(Representing the Future): 핀란드 정부의 청소년 참여 정책 (Global Youth & Now 21-S21). 한국청소년정책연구원.

김현정, 홍훈기, 전화영(2010). 수업 평가와 반성 저널쓰기를 통한 예비과학교사들의 수업 수행능력 개선에 대한 연구. **한국과학교육학회지, 30**(6), 836-849.

김혜숙, 함은혜(2019). PISA 2015 협력적 문제해결력에 영향을 미치는 학생 및 학교 수준 특성 분석: 과학성취도와의 비교를 중심으로. **교육과정평가연구, 22**(3), 199-224.

김혜진, 박효원, 박희진, 이동엽, 이승호, 최인희, 길혜지, 김정현, 이호준(2020). **교원 및 교직환경 국제비교 연구: TALIS 2018 결과를 중심으로(Ⅱ)** (연구보고 RR 2020-04). 한국교육개발원.

남나라(2021). 혼합효과 랜덤 포레스트 기법을 활용한 중학생의 학업성취도 예측요인 분석. 서울대학교 박사학위논문.

박경석(2014). 초등교사의 체육수업반성과 교수역량 및 교수자신감의 인과관계. **한국체육과학회지,23**(2), 855-863.

박선형, 김혜숙, 권도희, 함승환(2019). 우수교사 확보를 위한 교사교육 개선 방향: 호주, 캐나다, 핀란드, 싱가포르 사례를 중심으로. **한국교원교육연구, 36**(3), 183-205.

박선형, 임성범, 이승연(2017). 학교장의 변혁적 리더십과 교사의 창의적 교수행위의 관계에서 창의적 조직풍토의 매개효과. **교육행정학연구, 35**(5), 331-359.

박세진, 하민수(2020). 순환신경망을 적용한 초등학교 5학년 과학 서술형 평가 자동채점시스템 개발 및 활용 방안 모색. **교육평가연구, 33**(2), 297-321.

박영숙, 박균열, 정광희, 김갑성, 전제상, 양설희(2015). 교직환경 변화에 따른 교원정책의 진단과 과제(연구보고 RR 2015-03). 한국교육개발

원.
박영숙, 양승실, 황은희, 허은정, 김갑성, 김이경, 전제상, 정바울, 황지원(2017). 교직환경 변화에 따른 교원 정책 혁신 과제(Ⅰ): 교원 양성 및 채용 정책의 혁신 과제(연구보고 RR 2017-06). 한국교육개발원.
박원우, 고동운, 윤은성(2010). 연구의 인과성 제고: 통제변인의 의의, 활용 현상 분석 및 제언. **勞使關係硏究, 21**. 1-49.
박인숙(2018). 초등교사의 다문화민감성과 다문화교육역량의 관계에 대한 교원학습문화의 조절효과. **학습자중심교과교육연구, 18**(10), 233-252.
박인숙·이영선(2012). 전환중심 교육실습 프로그램이 예비특수교사의 전환교육지식과 교수수행역량에 미치는 영향. **특수아동교육연구, 14**(3), 373-394.
박주호, 송인발, 김화영, 곽현주(2015). 교사협력활동과 수업전문성 효과 인식의 관계에서 수업효능감의 매개효과 분석. **한국교육, 24**(1), 81-105.
박찬홍(2023). 실천적 교수역량 평가 주체의 적절성에 대한 예비 국어 교사의 인식 연구. 영주어문, 53(2023.2.), 457-476.
박현정, 변상민(2020). 잠재결과변인에 대한 시간의존 처치의 종단 선택편의 조정을 위한 역확률 처치가중방법의 적용: 구조방정식으로의 확장과 모의실험 연구. **교육평가연구, 33**(2), 401-425.
백순근(2000). 교육평가의 개념에 대한 고찰 - '교육적 가치'를 중심으로. **교육평가연구, 13**(1), 1-20.
백순근(2018). 학위논문 작성을 위한 교육연구 및 통계분석. 교육과학사.
백순근, 길혜지, 박경인(2012). 계층분석과정(AHP)을 이용한 중등교사 교수역량 척도의 하위 요인 간 상대적 중요도 분석. **교육평가연구, 25**, 389-409.
백순근, 남나라, 조시정, 양혜원, 김연경(2020). TALIS 2018 자료를 활용한 교사의 교수역량에 대한 예측요인 탐색: 초등학교와 중학교 교사 간 비교를 중심으로. **한국교육, 47**(3), 33-63.

백순근, 윤승혜(2011). 비디오 포트폴리오 평가와 피드백 방식이 현직 교사의 실천적 교수역량에 미치는 영향. **교육평가연구, 24**(4), 849-871.

백순근, 함은혜(2007). 중등 예비교사의 교육실습이 '교육적 가치'에 미치는 영향. **교육평가연구, 20**(4), 1-29.

백순근, 함은혜, 이재열, 신효정, 유예림(2007). 중등학교 교사의 교수역량 구성요인에 대한 이론적 고찰. **아시아교육연구, 8**(1), 47-69.

백지연, 조현정, 송민영 (2015). 중등교사 역량모델 개발. **직업과 자격연구, 4**(2), 85-110.

소연희(2018). 지각된 학교조직 문화지향성과 다문화 교수역량의 관계에서 교사-학생관계교사효능감과 교직적응탄력성의 매개효과. **교사교육연구, 57**(2), 279-296.

손윤희, 박현정, 박민호(2020). 랜덤 포레스트를 활용한 읽기소양 수준에 따른 집단 결정요인 분석: PISA 2018 자료를 중심으로. **아시아교육연구, 21**(1), 191-215.

송효준, 최인희, 권희경, 김혜진, 이동엽, 이주연, 김미림, 정애경, 함은혜(2022). 한국초등교원종단연구(Ⅱ)(연구보고 RR 2022-20). 한국교육개발원.

신승인, 최은수(2018). 중등학교장의 온정적 합리주의 리더십, 조직 내 의사소통, 학습조직문화, 교사의 교수역량 및 교사학습공동체 활성화 수준 간의 구조적 관계. **한국교원교육연구, 35**(4), 41-70.

안도희, 김유리(2015). 교직이수 학생들의 교직핵심역량, 교수능력 및 교직전문성 열망 간의 관계. **교원교육, 31**(1), 203-226.

양혜원, 백순근(2022). 구조적 인과 모형에 기반한 교수역량에 대한 인과경로 분석: TALIS 2018 자료를 활용한 한국, 영국, 핀란드 간 비교를 중심으로. **교육평가연구, 35**(4), 657-686.

우연경(2020). 교사의 협력적 수업개선활동 참여가 교사효능감과 수업역량에 미치는 영향. **학습자중심교과교육연구, 20**(7), 327-345.

원효헌. (2002). 교수활동의 질 개선을 위한 교사 자기평가. **한국교원교**

육연구, 19(3), 147-168.
이대영, 이현숙(2021). LDA 토픽 모델링의 적정 토픽 수 결정 방법 탐색. **교육평가연구, 34**(1), 1-30.
이동엽, 허주, 박영숙, 김혜진, 이승호, 최원석, 함승환, 함은혜, 신연재(2019). 교원 및 교직환경 국제 비교 연구: TALIS 2018 결과를 중심으로(I) (연구보고 RR2019-22). 한국교육개발원.
이동엽, 허주, 이희현, 최원석, 함승환, 함은혜, 신연재(2018a). 교원 및 교직환경 국제비교 연구: 3주기 OECD TALIS 본조사 지원 사업(Ⅲ) (TR2018-98). 한국교육개발원.
이동엽, 허주, 최원석, 이희현, 김혜진, 함승환, 함은혜(2018b). 한국 교사의 자기효능감은 왜 낮은가? : TALIS 2주기 결과를 중심으로(이슈페이퍼 IP 2018-03). 한국교육개발원.
이서진, 민경석(2022). 텍스트 자료에 대한 네트워크 분석과 토픽 모델링 : 대학 역량기반 교육을 중심으로. **교육평가연구, 35**(1), 165-188.
이영철, 이윤식(2017). 교장 수업지도성, 교감 수업지도성, 교장교감 상호협력, 교사 학습공동체성, 교사 교수역량 간의 구조적 관계. **교육행정학연구, 35**(4), 73-96.
이재열(2008). 비디오 포트폴리오 평가가 중등 예비교사의 발표역량에 미치는 영향. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
이종각(2014). 학부모학 연구의 필요성과 의의. **학부모연구, 1**(1), 1-20.
이지아, 유진은(2019). Elastic net을 활용한 교사효능감 관련 변인 탐색. **아시아교육연구, 20**(1), 149-172.
임윤진, 나승일(2011). 중학교 기술교사의 학습공동체 활동과 교수역량의 관계. **한국기술교육학회지,11**(1), 104-127
이주연, 장윤선(2021). A multilevel item response tree model for measuring a cross-national variability in response styles. **교육평가연구, 34**(1), 131-153.
정일화, 천세영(2017). 교육전문대학원 교원양성체제의 탐색. **한국교원교육연구, 34**(1), 149-173.

장현진, 정혜경, 민경석(2019). 경향점수를 활용한 인과효과 추정 방법 비교: 대응, 가중, 층화, 이중경향점수 보정. **교육과정평가연구, 22**(2), 269-291.

정미재, 정제영(2012). 교육실습이 예비교사의 역량 변화에 미치는 영향 분석. **한국교원교육연구, 29**(4), 63-83.

정설미, 김영롱, 이승민, & 정동욱. (2021). 초등교원의 교직 이탈 현황과 관련 요인 탐색. **교육재정경제연구, 30**(2), 105-134.

정송, 노언경, 장유나, 안영은, 천주영(2021). 『서울교원종단연구 2020』 1차년도 시행 및 결과 분석(서교연 2021-76). 서울특별시교육청교육연구정보원.

정혜경(2022). BART 기반 기계학습 인과효과 추정 사례 연구. **교육평가연구, 35**(2), 355-377.

정혜원, 김아름, 백예은(2022). 혼합효과 랜덤 포레스트를 적용한 중학생의 학업성취도 설명 변인 탐색: 국가수준 학업성취도 평가 결과를 중심으로. **교육평가연구, 35**(1), 107-136.

정혜원, 박소영(2021). 다층자료에 대한 벌점화 회귀모형의 모수추정값과 예측성과 비교 연구. **교육평가연구, 34**(1), 183-205.

조시정(2022). TIMSS 2019 자료를 활용한 한국과 미국 중학생들의 수학 사교육 참여 요인 비교. **교육평가연구, 35**(2), 219-246.

조영진, 노혜림, 류지훈(2022). ECLS-K:2011 자료에서 SEMtree와 SEMforest의 적용. **교육평가연구, 35**(2), 299-326.

조영진, 이현숙(2022). IRTree 모형을 활용한 TIMSS 2019 자료의 극단 응답양식 탐색. **교육평가연구, 35**(1), 189-218.

조영하, 박소연(2019). 교원양성교육이 예비교사의 문화적 역량, 자기효능감, 사회정의에 대한 신념에 미치는 영향에 관한 연구: 일반대학 교직과정과 교육대학원을 중심으로. **한국교육문제연구, 37**(1), 41-65.

최인희, 박경호, 권희경, 김혜진, 함은혜, 최원석, 정민주(2020). 교원종단연구 설계 방안(II)(RR2020-28). 한국교육개발원.

최종림, 이선경, 김찬종, 유은정, 김제홍, 오현석(2009). 반성적 실천을 통

한 과학교사의 교수실행변화에 관한 사례 연구. **한국과학교육학회지, 29**(8), 793-811.

최진영, 이경진, 장신호, 김경자 (2009). 초등학교 교사의 핵심역량 탐색. **한국교육학연구, 15**(3), 103-130.

편창훈. (2021). 나눔이 삶의 만족을 증대시키는가?. **통계연구, 26**(1), 1-22.

하여진, 박현정 (2015). 인과매개모형을 활용한 영어 사교육 참여의 학업성취도 향상효과 분석: 서울시 중학생을 대상으로. **교육평가연구, 28**(1), 77-95.

한국교육개발원(2010). 교원능력개발평가제도의 현장 적합성 검토(2010 교육정책네트워크 교육현장순회토론회(충청북도교육청))(연구자료 CRM 2010-65-2). 한국교육개발원.

허주, 이동엽, 김소아, 이상은, 최원석, 이희현, 김갑성, 김민규, 이슬아 (2018). 교직환경 변화에 따른 교원 정책 혁신 과제(Ⅱ): 교사전문성 개발 지원 체제 구축 방안 연구(연구보고 RR 2018-13). 한국교육개발원.

홍유정, 박현정(2021). 기초학력 미달 학생 예측을 위한 심층인공신경망 모형의 활용. **교육평가연구, 34**(4), 615-647.

홍후조, 조호제, 민부자, 임유나, 강익수, 김선은, 길호진, 조동헌 (2017). **지능정보사회 대비 교원의 핵심역량 도출 및 교원 연수 분류 체계 개발**. 교육부 사업용역 보고서.

황은희(2008). 중등교사의 교수역량에 대한 경험적 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문.

황은희, 백순근(2008). 중등교사의 실천적 교수역량에 대한 자기평가와 전문가평가의 비교연구. **교육평가연구, 21**(2), 53-74.

Ainley, J., & R. Carstens (2018). Teaching and Learning International Survey (TALIS) 2018 Conceptual Framework, *OECD Education Working Papers*, No. 187, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/799337c2-en.

Airaksinen, T., Halinen, I., & Linturi, H. (2017). Futuribles of learning 2030-Delphi supports the reform of the core curricula in Finland. *European Journal of Futures Research, 5*(1), 1-14.

Allinder, R. M. (1994). The Relationship between Efficacy and the Instructional Practices of Special Education Teachers and Consultants. *The Journal of the Teacher Education Division of the Council for Exceptional Children*, 17(2), 86-95.

Arti, S., Hidayah, I., & Kusumawardani, S. S.(2020). Research Trend of Causal Machine Learning Method: A Literature Review. *IJID (International Journal on Informatics for Development), 9*(2), 111-118.

Bareinboim, E., Correa, J. D., Ibeling, D., & Icard, T. (2020). *On pearl's hierarchy and the foundations of causal inference*. Technical Report R-60, Causal Articial Intelligence Lab, Columbia University, Jul 2020. In: "Probabilistic and Causal Inference: The Works of Judea Pearl", ACM Books, in press.

Bareinboim, E., Correa, J. D., Ibeling, D., & Icard, T. F. (2022). On Pearl's Hierarchy and the Foundations of Causal Inference. *Probabilistic and Causal Inference.*

Bareinboim, E., & Pearl, J. (2012, July). Transportability of causal effects: Completeness results. *In Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence* (Vol. 26, No. 1).

Bareinboim, E., & Pearl, J. (2013, April). Meta-transportability of causal effects: A formal approach. *In Artificial Intelligence and Statistics* (pp. 135-143). PMLR.

Bareinboim, E., & Pearl, J. (2014). Transportability from multiple environments with limited experiments: Completeness results. *Advances in Neural Information Processing*

Systems, 27, 280-288.

Bareinboim, E., & Pearl, J. (2016). Causal inference and the data-fusion problem. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 113*(27), 7345-7352.

Beretta, S., Castelli, M., Gonçalves, I., Henriques, R., & Ramazzotti, D. (2018). Learning the structure of bayesian networks: A quantitative assessment of the effect of different algorithmic schemes. *Complexity, 2018*.

Berk, R. A. (2008). *Statistical learning from a regression perspective*. New York: Springer.

Biau, G., & Scornet, E. (2016). *A random forest guided tour. Test (Madrid, Spain), 25*(2), 197-227.

Bøttcher, S. G. (2005). *Learning conditional Gaussian networks*. Aalborg Universitetsforlag. Research Report Series No. R-2005-22.

Bøettcher, S. G., & Dethlefsen, C. (2003). deal: A Package for Learning Bayesian Networks. ***Journal of Statistical Software, 8***(20), 1-40. ISSN 1548-7660. URL http://www.jstatsoft.org/v08/i20.

Box-Steffensmeier, J., Brady, H. E., & Collier, D. (2008). *Political science methodology*. The Oxford handbook of political methodology, 3-31.

Breiman, L. (1996). Bagging predictors. *Machine learning, 24*(2), 123-140.

Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning, 45*, 5 - 32.

Breiman L., Friedman J. H., Olshen R. A., & Stone C. J. (1984). *Classification and regression trees*. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton.

Briganti, G., Scutari, M., & McNally, R. J. (2022). A tutorial on

bayesian networks for psychopathology researchers. *Psychological methods,* 2022.

Bukvić, Z. (2014). Teachers Competency for Inclusive Education. *The European Journal of Social & Behavioural Sciences, 11*(4), 407-412.

Catano, V. M., & Harvey, S. (2011). Student perception of teaching effectiveness: development and validation of the Evaluation of Teaching Competencies Scale (ETCS). *Assessment & Evaluation in Higher Education, 36*(6), 701-717.

Charles F. Manski (1993). Identification Problems in the Social Sciences. *Sociological Methodology, 23*, 1-56.

Chickering, D. M. (1995). "A Transformational Characterization of Equivalent Bayesian Network Structures". *Proceedings of the Eleventh Annual Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*, 87 - 98.

Coleman, J. S. (1968). Equality of educational opportunity. *Integrated education, 6*(5), 19-28.

Colombo, D., & Maathuis, M. H. (2014). Order-independent constraint-based causal structure learning. *Journal of Machine Learnning Research., 15*(1), 3741-3782.

Constantinou, A. C., Liu, Y., Chobtham, K., Guo, Z., & Kitson, N. K. (2021). Large-scale empirical validation of Bayesian Network structure learning algorithms with noisy data. *International Journal of Approximate Reasoning, 131*, 151-188.

Cooper, J. M., Jones, H. L., & Weber, W. A. (1973). Specifying teacher competencies. *Journal of Teacher Education, 24*(1), 17-23.

Cunningham, S. (2021). *Causal inference: The mixtape*. Yale

university press.

Darling-Hammond, L. (2017). Teacher education around the world: What can we learn from international practice?. *European Journal of Teacher Education, 40*(3), 291-309.

Daling, R. F. (2017). Secondary school teachers' competency in information and communication technology. *International Journal of Education and Research, 5*(11), 117-122.

Darwiche. A. (2017). Human-Level Intelligence or Animal-Like Abilities? Technical Report. Department of Computer Science, University of California, Los Angeles, CA. arXiv:1707.04327.

Department for Education (2015). *Carter review of Initial Teacher Training (ITT)*. London: The Stationery Office.

Doğan, S., & Yurtseven, N. (2018). Professional learning as a predictor for instructional quality: a secondary analysis of TALIS. *School Effectiveness and School Improvement, 29*(1), 64-90.

Elwert, F., & Winship, C. (2014). Endogenous selection bias: The problem of conditioning on a collider variable. *Annual Review of Sociology, 40*, 31-53.

Entner, D., & Hoyer, P. O. (2010). On causal discovery from time series data using FCI. *Probabilistic graphical models*, 121-128.

European Commission (2011). *Literature review - Teachers' Core Competences: Requirements and Development*.

European Commission (2012). *Supporting the Teaching Professions for Better Learning Outcomes*.

European Commission (2013). *Supporting Teacher Competence Development for Better Learning Outcomes*.

Farmer, H., & Ramsdale, J. (2016). Teaching competencies for the

online environment. *Canadian Journal of Learning and Technology/La revue canadienne de l'apprentissage et de la technologie, 42*(3).

Gamlem, S. M. (2015). Feedback to support learning: changes in teachers' practice and beliefs. *Teacher Development, 19*(4), 461-482.

Gasse, M., Aussem, A., & Elghazel, H. (2014). A hybrid algorithm for Bayesian network structure learning with application to multi-label learning. *Expert Systems with Applications, 41*(15), 6755-6772.

Glymour, C., Zhang, K., & Spirtes, P. (2019). Review of causal discovery methods based on graphical models. *Frontiers in Genetics, 10*, 524.

Gümüş, A. (2022). *Twenty-First-Century Teacher Competencies and Trends in Teacher Training*. In: Alpaydın, Y., Demirli, C. (eds) Educational Theory in the 21st Century. Maarif Global Education Series. Palgrave Macmillan, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9640-4_11

Hajjem, A., Bellavance, F., & Larocque, D.(2011). Mixed effects regression trees for clustered data. Statistics & Probability Letters, 81(4), 451-459.

Hajjem, A., Bellavance, F., & Larocque, D.(2014). Mixed-effects random forest for clustered data. *Journal of Statistical Computation and Simulation, 84*(6), 1313-1328.

Holzinger, A., Langs, G., Denk, H., Zatloukal, K., & Müller, H. (2019). Causability and explainability of artificial intelligence in medicine. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, 9*(4), e1312.

Ibrahim, M. Y., Yusof, M. R., Yaakob, M. F. M., & Othman, Z. (2019). Communication skills: Top priority of teaching competency. International Journal of Learning, *Teaching and Educational Research, 18*(8), 17-30.

Imbens, G. W. (2020). Potential outcome and directed acyclic graph approaches to causality: Relevance for empirical practice in economics. *Journal of Economic Literature, 58*(4), 1129-79.

Jugović, I., Marušić, I., Pavin Ivanec, T., & Vizek Vidović, V. (2012). Motivation and personality of preservice teachers in Croatia. *Asia-Pacific Journal of Teacher Education, 40*(3),271-287.

Kerr, D. H. (1983). Teaching competence and teacher education in the United States. *Teachers College Record, 84*(3), 525-552.

Kersting, N. B., Givvin, K. B., Thompson, B. J., Santagata, R., & Stigler, J. W. (2012). Measuring usable knowledge: Teachers' analyses of mathematics classroom videos predict teaching quality and student learning. *American Educational Research Journal, 49*(3), 568-589.

Kim, B. H., & Kim, J. (2016). Development and validation of evaluation indicators for teaching competency in STEAM education in Korea. Eurasia Journal of Mathematics, *Science and Technology Education, 12*(7), 1909-1924.

Kim, Y. (2019). The causal structure of suppressor variables. *Journal of Educational and Behavioral Statistics, 44*(4), 367-389.

Kim, Y., & Steiner, P. M. (2021a). Causal graphical views of fixed effects and random effects models. *British Journal of Mathematical and Statistical* Psychology, *74*(2), 165-183.

Kim, Y., & Steiner, P. M. (2021b). Gain scores revisited: A graphical models perspective. *Sociological Methods & Research, 50*(3),

1353-1375.

Klein, J. D., Spector, J. M., Grabowski, B. L., & de la Teja, I. (2004). *Instructor Competencies: Standards for FacetoFace, Online, and* Blended Settings. Information Age Publishing.

Kömür, Ş. (2010). Teaching knowledge and teacher competencies: A case study of Turkish preservice English teachers. *Teaching Education, 21*(3), 279-296.

Lee, K., Kummerfeld, E., Robinson, E., Anderson, L., & Rantz, M. (2023). Data-Driven Analytics to Discover APRN's Impact on Nursing Home Hospitalization: Causal Discovery Analysis. *Journal of the American Medical Directors Association*.

Lee, S., Correa, J., & Bareinboim, E. (2020). Generalized transportability: Synthesis of experiments from heterogeneous domains. *In Proceedings of the 34th AAAI Conference on Artificial Intelligence.*

Lee, S., & Honavar, V. (2013). Transportability of a Causal Effect from Multiple Environments. In Proceedings of the 27th Conference on Artificial Intelligence (AAAI 2013).

Locke, E. A. (1969), "What is job satisfaction?" *Organizational Behavior and Human Performance, 4*(4), 309-336.

Lundberg, S. M., Erion, G., Chen, H., DeGrave, A., Prutkin, J. M., Nair, B., ... & Lee, S. I. (2020). From local explanations to global understanding with explainable AI for trees. *Nature machine intelligence, 2*(1), 56-67

Lundberg, S. M., & Lee, S. I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in neural information processing systems, 30*. 31st Conference on Neural Information Processing Systems, Long Beach, CA, USA.

Lundberg, S. M., Nair, B., Vavilala, M. S., Horibe, M., Eisses, M. J., Adams, T., Liston, D. E., Low, D. K. W., Newman, S. F., Kim, J., & Lee, S. I. (2018). Explainable machine-learning predictions for the prevention of hypoxaemia during surgery. *Nature Biomedical Engineering, 2*(10), 749-760.

Matthews, P. H. (2014). *The Concise Oxford Dictionary of Linguistics*. Oxford University Press.

Maji, P. K. (2022). Effect of Gender and Age on Teaching Competencies of the Undergraduate College Teachers. *International Journal of Research Publication and Reviews, 3(4)*, 1277-1281.

McClelland, D. C. (1973). Testing for competence rather than for" intelligence.". *American psychologist, 28*(1), 1.

Mehrotra, M. L. (2019). *From Trials to Public Health Impact: Transportability of Causal Effects to Inform Implementation of HIV Pre-exposure Prophylaxis*. University of California, San Francisco.

Medley, D. M., & Cook, P. R. (1980). Research in teacher competency and teaching tasks. *Theory into Practice, 19*(4), 294-301.

Meloni, A., Ripoli, A., Positano, V., & Landini, L. (2009). Mutual information preconditioning improves structure learning of Bayesian networks from medical databases. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 13*(6), 984-989.

Metsäpelto, R. L., Poikkeus, A. M., Heikkilä, M., Heikkinen-Jokilahti, K., Husu, J., Laine, A., Lappalainen, K., Lähteenmäki, M., Mikkilä-Erdmann, M., & Warinowski, A. (2020). Conceptual framework of teaching quality: A multidimensional adapted

process model of teaching. OVET (in English DOORS) Project Working Paper 21.2.2020.

Ministry of National Education Republic of Turkey (2017). *General Competencies for Teaching Profession*. Ministry of National Education Republic of Turkey.

Morgan, S. L., & Winship, C. (2015). *Counterfactuals and Causal Inference*. Cambridge University Press.

Murphy, K. P. (2012). *Machine learning: a probabilistic perspective*. MIT press.

Myte, R., Gylling, B., Häggström, J., Schneede, J., Magne Ueland, P., Hallmans, G., ... & Van Guelpen, B. (2017). Untangling the role of one-carbon metabolism in colorectal cancer risk: a comprehensive Bayesian network analysis. *Scientific reports, 7*(1), 1-12.

Nagarajan, R., Scutari, M., & Lèbre, S. (2013). *Bayesian networks in R : With Applications in Systems Biology*. NY : Springer.

Nellitawati, N. (2018). Motivation and innovation role of school's principal in improving teacher professionalism. *COUNS-EDU: The International Journal of Counseling and Education, 3*(2), 48-56.

OECD (2002). *Definition and Selection of Competencies(DeSeCo): Theoretical and Conceptual Foundations Strategy Paper*. Paris: OECD Publishing.

OECD (2005). *The Definition and Selection of Key Competencies*. Paris: OECD Publishing.

OECD (2012). *Preparing Teachers and Developing School Leaders for the 21st Century. Lessons from around the world*. Edited by Andreas Schleier. Paris: OECD Publishing.

OECD (2013). *Education and Social Progress (ESP). Longitudinal Study of Skill Dynamics*. Paris: OECD Publishing.

OECD (2014). *TALIS 2013 Results: An International Perspective on Teaching and Learning*. OECD Publishing, Paris.

OECD (2018). *The Future of Education and Skills:* Education 2030 Position Paper. OECD.

OECD (2019a). *TALIS 2018 and TALIS starting strong 2018 user guide*. OECD Publishing, Paris.

OECD (2019b). *TALIS 2018 Results (Volume I): Teachers and School Leaders as Lifelong Learners*, TALIS, OECD Publishing, Paris.
https://doi.org/10.1787/1d0bc92a-en.

OECD (2019c). *TALIS 2018 Technical Report*, TALIS, OECD Publishing, Paris.

Okayama University ESD Promotion Centre (2020). Guide for the Effective Dissemination of the Asia-Pacific ESD Teacher Competency Framework. Okayama University ESD Promotion Centre.

Parrish, A. H., & Sadera, W. A. (2020). Teaching Competencies for Student-Centered, One-to-One Learning Environments: A Delphi Study. *Journal of Educational Computing Research, 57*(8), 1910 - 1934. https://doi.org/10.1177/0735633118816651

Parveen, F., Nazir, N., & Zamir, S. (2021). Analyzing teacher competency: Knowledge, skills, aptitude of secondary school teachers. UMT *Education Review, 4*(1), 58 - 79.

Pawlewicz, D. D. A. (2020). *Blaming teachers: Professionalization policies and the failure of reform in American history*. Rutgers University Press.

Pearl, J. (1995). Causal diagrams for empirical research. *Biometrika, 82*(4), 669-688.

Pearl, J. (2009). *Causality*. Cambridge university press.

Pearl, J. (2013). Linear models: A useful "microscope" for causal analysis. *Journal of Causal Inference, 1*(1), 155-170.

Pearl, J. (2015). Generalizing experimental findings. *Journal of Causal Inference, 3*(2), 259-266.

Pearl, J. (2019). The seven tools of causal inference, with reflections on machine learning. *Communications of the ACM, 62*(3), 54-60.

Pearl, J., & Bareinboim, E. (2011, August). Transportability of causal and statistical relations: A formal approach. *In Twenty-fifth AAAI conference on artificial intelligence.*

Pearl, J., & Bareinboim, E. (2014). External validity: From do-calculus to transportability across populations. *Statistical Science, 29*(4), 579-595.

Pearl, J, Mackenzie, & Mackenzie, Dana (2018). *The Book of Why : The New Science of Cause and Effect*. New York, NY.

Prosperi, M., Guo, Y., Sperrin, M., Koopman, J. S., Min, J. S., He, X., ... & Bian, J. (2020). Causal inference and counterfactual prediction in machine learning for actionable healthcare. *Nature Machine Intelligence, 2*(7), 369-375.

Québec. Ministère de l'Éducation (2021). *Reference Framework for Professional Competencies for Teachers*.

RColorBrewer, S., & Liaw, M. A. (2018). *Package 'randomforest'*. University of California, Berkeley, CA, USA.

Roelofs, E., & Sanders, P. (2007). Towards a Framework for Assessing Teacher Competence. *European journal of vocational training, 40*(1), 123-139.

Rohrer, J. M. (2018). Thinking clearly about correlations and causation: Graphical causal models for observational data. *Advances in Methods and Practices in Psychological Science, 1*(1), 27-42.

Rosenbaum, P.R. and Rubin, D.B. (1983). The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. *Biometrika, 70,* 41-55.

Rubin, D. B. (2005). Causal inference using potential outcomes: Design, modeling, decisions. *Journal of the American Statistical Association, 100*(469), 322-331.

Ruth Zuzovsky & Smadar Donitsa-Schmidt (2017). Comparing the effectiveness of two models of initial teacher education programmes in Israel: concurrent vs. consecutive, *European Journal of Teacher Education, 40*(3), 413-431, DOI: 10.1080/02619768.2017.1318377.

Scutari, M., & Denis, J. B. (2021). *Bayesian networks: With examples in R*. Chapman and Hall/CRC.

Scutari, M., Graafland, C. E., & Gutiérrez, J. M. (2019). Who learns better Bayesian network structures: Accuracy and speed of structure learning algorithms. *International Journal of Approximate Reasoning, 115*, 235-253.

Scutari, M., Graafland, C. E., & Gutiérrez, J. M. (2018). Who learns better bayesian network structures: Constraint-based, score-based or hybrid algorithms?. *Proceedings of the Ninth International Conference on Probabilistic Graphical Models in PMLR(Proceedings of Machine Learning Research), 7,* pp.416-427.

Scutari, M., & Nagarajan, R. (2013). Identifying significant edges in

graphical models of molecular networks. *Artificial intelligence in medicine, 57*(3), 207-217.

Scutari, M., Silander, T., & Ness, R. (2022, September). ***Package 'bnlearn'***. Retrived October 11, 2022, https://cran.r-project.org/web/packages/bnlearn/bnlearn.pdf

Spanierman, L. B., Oh, E., Heppner, P. P., Neville, H. A., Mobley, M., Wright, C. V., Dilon, F. R. & Navarro, R. (2011). The multicultural teaching competency scale: Development and initial validation. *Urban Education, 46*(3), 440-464.

Spirtes, P., Glymour, C. N., Scheines, R., & Heckerman, D. (2000). *Causation, Prediction, and Search*. MIT press.

Spirtes, P., & Zhang, K. (2016). Causal discovery and inference: concepts and recent methodological advances. *In Applied informatics, 3*(1), 1-28. SpringerOpen.

Textor, J., Zander, B., & Ankan, A. (2022). Package 'dagitty'. Retrived March 1, 2023, https://cran.r-project.org/web/packages/dagitty/dagitty.pdf

Thakur, A., & Shekhawat, M. (2014). The study of different components of teacher competencies and their effectiveness on student performance (according to students). *International Journal of Engineering Research & Technology(IJERT), 3*(7), 2278-0181.

Thoonen, E. E., Sleegers, P. J., Oort, F. J., Peetsma, T. T., & Geijsel, F. P. (2011). How to improve teaching practices: The role of teacher motivation, organizational factors, and leadership practices. *Educational administration quarterly, 47*(3), 496-536.

Tsamardinos, I., Brown, L. E., & Aliferis, C. F. (2006). The max-min hill-climbing Bayesian network structure learning algorithm. *Machine learning, 65*, 31-78.

Watt, H., & Richardson, P. (2007). Motivational Factors Influencing Teaching as a Career Choice: Development and Validation of the FIT-Choice Scale. *The Journal of Experimental Education, 75*(3), 167-202.

Zhang, J., & Spirtes, P. (2016). The three faces of faithfulness. *Synthese 193*, 1011 - 1027. https://doi.org/10.1007/s11229-015-0673-9

부 록

[부록] 국가별 인과 그래프

1) 한국

from		to		화살표 강도	방향
변인명	내용	변인명	내용		
tt3g06e2	다양한 학습능력을 가진 학생들에 대한 교육 준비정도	tt3g06g2	범 교과 지식 및 기술에 대한 교육 준비 정도	1.00	0.77
tt3g06e2	다양한 학습능력을 가진 학생들에 대한 교육 준비정도	tt3g06j2	학생의 발달과 학습에 대한 모니터링 준비 정도	1.00	0.84
tt3g06g2	범 교과 지식 및 기술에 대한 교육 준비 정도	tt3g06j2	학생의 발달과 학습에 대한 모니터링 준비 정도	1.00	0.68
tt3g06g2	범 교과 지식 및 기술에 대한 교육 준비 정도	tt3g34m	다지털 기술을 활용한 학습 지원 자기 효능감	0.88	0.60
tt3g06g2	범 교과 지식 및 기술에 대한 교육 준비 정도	competency	교수역량	0.97	0.80
tt3g06j2	학생의 발달과 학습에 대한 모니터링 준비 정도	t3stake	이해관계자간 참여	0.80	0.88
tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	tt3g50	향후 교직 종사 희망 기간	1.00	1.00
tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	t3pdbar	전문성 개발 장벽	0.86	0.76
tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	t3pdped	교과 및 교육에 대한 전문성개발 필요성	0.92	0.61
tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	t3stake	이해관계자간 참여	0.71	0.57
tt3g22h	전문성 개발 활동 유형(교사 네트워크 참여)	t3coles	교사 간 전문적인 수업 협력	0.85	1.00
tt3g23k	전문성 개발 활동 주제(교과 기술에 대한 교수법)	tt3g06g2	범 교과 지식 및 기술에 대한 교육 준비 정도	0.70	1.00
tt3g23k	전문성 개발 활동 주제(교과 기술에 대한 교수법)	tt3g22h	전문성 개발 활동 유형(교사 네트워크 참여)	0.88	0.51
tt3g23k	전문성 개발 활동 주제(교과 기술에 대한 교수법)	tt3g23m	전문성 개발 활동 주제(교사-학부모(보호자) 협력)	1.00	0.52
tt3g23k	전문성 개발 활동 주제(교과 기술에 대한 교수법)	tt3g26l	전문성 개발 활동의 특성(교수법 혁신에 초점)	1.00	0.51
tt3g23m	전문성 개발 활동 주제 (교사-학부모(보호자) 협력)	tt3g22h	전문성 개발 활동 유형(교사 네트워크 참여)	1.00	0.52
tt3g23m	전문성 개발 활동 주제 (교사-학부모(보호자) 협력)	tt3g29c4	교과지식에 대한 평가 재능(현재 학교에서 없음)	1.00	0.57
tt3g23m	전문성 개발 활동 주제 (교사-학부모(보호자) 협력)	t3effpd	효과적인 전문성 개발 활동	0.84	1.00
tt3g23m	전문성 개발 활동 주제 (교사-학부모(보호자) 협력)	t3seeng	학생참여 자기 효능감	0.70	1.00
tt3g26l	전문성 개발 활동의 특성(교수법 혁신에 초점)	t3effpd	효과적인 전문성 개발 활동	1.00	1.00
tt3g29c4	교과지식에 대한 평가 재능(현재 학교에서 없음)	t3coles	교사 간 전문적인 수업 협력	0.87	1.00
tt3g35c	대상학급 구성(특수교육대상 학생)	tt3g35d	대상학급 구성(행동에 문제가 있는 학생)	1.00	0.77
tt3g35c	대상학급 구성(특수교육대상 학생)	t3pdiv	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	0.85	0.54
tt3g35d	대상학급 구성(행동에 문제가 있는 학생)	tt3g39b	수업 시간 중 교실 내의 질서 유지에 사용한 시간	0.87	0.71
tt3g39b	수업 시간 중 교실 내의 질서 유지에 사용한 시간	tt3g39c	수업 시간 중 실제 교수학습에 사용한 시간	1.00	1.00
tt3g39c	수업 시간 중 실제 교수학습에 사용한 시간(%)	tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	0.72	0.73
tt3g39c	수업 시간 중 실제 교수학습에 사용한 시간(%)	t3exch	교사 간 교류 및 조정	0.79	0.76
tt3g39c	수업 시간 중 실제 교수학습에 사용한 시간(%)	t3satat	대상 학급 자치권에 대한 만족도	0.80	0.78
tt3g52k	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	tt3g35c	대상학급 구성(특수교육대상 학생)	1.00	0.84
tt3g52k	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	t3pdiv	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	0.82	0.68
tt3g52k	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	t3satat	대상 학급 자치권에 대한 만족도	0.98	0.88
tt3g52k	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	competency	교수역량	0.83	0.75

from		to		화살표 강도	방향
변인명	내용	변인명	내용		
tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	tt3g50	향후 교직 종사 희망 기간	0.99	0.99
tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	t3stake	이해관계자간 참여	1.00	0.79
tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	t3stud	교사-학생 관계	0.91	0.90
t3stbeh	학생 태도 스트레스	tt3g35d	대상학급 구성(행동에 문제가 있는 학생)	1.00	0.94
t3stbeh	학생 태도 스트레스	tt3g39b	수업시간 중 교실 내의 질서 유지에 사용한 시간(	1.00	0.94
t3stbeh	학생 태도 스트레스	tt3g52k	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	0.82	0.86
t3stbeh	학생 태도 스트레스	t3disc	지각된 규율 환경	1.00	0.71
t3stbeh	학생 태도 스트레스	t3wels	직장 복지 및 스트레스	1.00	0.86
t3stbeh	학생 태도 스트레스	t3wload	업무량 스트레스	1.00	0.94
t3coles	교사 간 전문적인 수업 협력	tt3g35c	대상학급 구성(특수교육대상 학생)	0.78	0.92
t3coles	교사 간 전문적인 수업 협력	t3exch	교사 간 교류 및 조정	1.00	1.00
t3coles	교사 간 전문적인 수업 협력	t3stake	이해관계자간 참여	1.00	0.94
t3effpd	효과적인 전문성 개발 활동	competency	교수역량	0.71	0.87
t3exch	교사 간 교류 및 조정	t3stud	교사-학생 관계	0.82	0.74
t3disc	지각된 규율 환경	tt3g35d	대상학급 구성(행동에 문제가 있는 학생)	1.00	0.65
t3disc	지각된 규율 환경	tt3g39b	수업시간 중 교실 내의 질서 유지에 사용한 시간(	1.00	0.93
t3disc	지각된 규율 환경	tt3g52k	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	0.76	0.69
t3disc	지각된 규율 환경	t3satat	대상 학급 자치권에 대한 만족도	0.92	0.95
t3disc	지각된 규율 환경	t3stud	교사-학생 관계	0.76	0.96
t3pdiv	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	t3pdped	교과 및 교육에 대한 전문성개발 필요성	1.00	0.96
t3pdiv	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	t3stake	이해관계자간 참여	0.77	0.66
t3pdped	교과 및 교육에 대한 전문성개발 필요성	t3pdbar	전문성 개발 장벽	0.90	0.83
t3satat	대상 학급 자치권에 대한 만족도	t3pdped	교과 및 교육에 대한 전문성개발 필요성	0.73	0.69
t3secls	교실관리 자기 효능감	tt3g06e2	다양한 학습능력을 가진 학생들에 대한 교육 준비 정도	0.72	0.90
t3secls	교실관리 자기 효능감	t3disc	지각된 규율 환경	1.00	0.61
t3secls	교실관리 자기 효능감	t3seeng	학생참여 자기 효능감	1.00	0.58
t3seins	수업지도 자기 효능감	tt3g34m	디지털 기술을 활용한 학습 지원 자기 효능감	1.00	0.94
t3seins	수업지도 자기 효능감	tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	0.90	0.96
t3seins	수업지도 자기 효능감	t3exch	교사 간 교류 및 조정	0.95	0.92
t3seins	수업지도 자기 효능감	t3satat	대상 학급 자치권에 대한 만족도	0.99	0.99
t3seins	수업지도 자기 효능감	t3secls	교실관리 자기 효능감	1.00	0.56
t3seins	수업지도 자기 효능감	t3seeng	학생참여 자기 효능감	1.00	0.57
t3seins	수업지도 자기 효능감	competency	교수역량	1.00	0.94
t3seeng	학생참여 자기 효능감	tt3g06e2	다양한 학습능력을 가진 학생들에 대한 교육 준비 정도	0.78	0.96
t3seeng	학생참여 자기 효능감	tt3g06g2	범교과 지식 및 기술에 대한 교육 준비 정도	0.72	0.97
t3seeng	학생참여 자기 효능감	t3stud	교사-학생 관계	0.85	0.97
t3seeng	학생참여 자기 효능감	competency	교수역량	0.95	0.95
t3socut	사회적 효용에 대한 동기	tt3g06e2	다양한 학습능력을 가진 학생들에 대한 교육 준비 정도	0.94	1.00
t3socut	사회적 효용에 대한 동기	tt3g06j2	학생의 발달과 학습에 대한 모니터링 준비 정도	0.92	1.00
t3socut	사회적 효용에 대한 동기	tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	0.71	1.00
t3socut	사회적 효용에 대한 동기	t3pdiv	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	0.99	1.00

from		to		확실표 강도	방향
변인명	내용	변인명	내용		
t3socut	사회적 효용에 대한 동기	t3pdped	교과 및 교육에 대한 전문성개발 필요성	0.87	1.00
t3socut	사회적 효용에 대한 동기	t3seins	수업지도 자기 효능감	0.77	1.00
t3socut	사회적 효용에 대한 동기	t3seeng	학생참여 자기 효능감	0.99	1.00
t3socut	사회적 효용에 대한 동기	competency	교수역량	0.97	1.00
t3stake	이해관계자간 참여	t3exch	교사 간 교류 및 조정	0.86	0.64
t3stake	이해관계자간 참여	t3pdbar	전문성 개발 장벽	0.71	0.75
t3stake	이해관계자간 참여	t3stud	교사-학생 관계	1.00	0.99
t3stud	교사-학생 관계	t3satat	대상 학급 자치권에 대한 만족도	0.99	0.76
t3wels	직장 복지 및 스트레스	tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	0.97	0.72
t3wels	직장 복지 및 스트레스	tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	1.00	0.96
t3wels	직장 복지 및 스트레스	t3pdbar	전문성 개발 장벽	1.00	0.96
t3wels	직장 복지 및 스트레스	t3stake	이해관계자간 참여	1.00	0.98
t3wels	직장 복지 및 스트레스	t3wload	업무량 스트레스	1.00	0.64
t3wels	직장 복지 및 스트레스	competency	교수역량	0.90	0.86
t3wload	업무량 스트레스	tt3g52k	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	1.00	0.77
t3wload	업무량 스트레스	t3pdbar	전문성 개발 장벽	0.92	0.90
t3wload	업무량 스트레스	t3pdped	교과 및 교육에 대한 전문성개발 필요성	0.70	0.98
competency	교수역량	tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	0.72	0.59
competency	교수역량	tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	0.74	0.79
competency	교수역량	t3coles	교사 간 전문적인 수업 협력	1.00	0.58
competency	교수역량	t3pdiv	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	0.98	0.78
competency	교수역량	t3satat	대상 학급 자치권에 대한 만족도	0.98	0.78
competency	교수역량	t3stud	교사-학생 관계	0.71	0.78

2) 미국

from		to		화살표 강도	방향
변인명	내용	변인명	내용		
tt3g06e2	다양한 학습능력을 가진 학생들에 대한 교육 준비정도	tt3g06g2	범교과 지식 및 기술에 대한 교육 준비 정도	1.00	0.83
tt3g06e2	다양한 학습능력을 가진 학생들에 대한 교육 준비정도	tt3g06j2	학생의 발달과 학습에 대한 모니터링 준비 정도	1.00	0.85
tt3g06e2	다양한 학습능력을 가진 학생들에 대한 교육 준비정도	t3pdiv	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	1.00	0.63
tt3g06g2	범 교과 지식 및 기술에 대한 교육 준비 정도	tt3g06j2	학생의 발달과 학습에 대한 모니터링 준비 정도	1.00	0.83
tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	tt3g50	향후 교직 종사 희망 기간	1.00	0.94
tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	0.77	0.53
tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	t3pdped	교과 및 교육에 대한 전문성개발 필요성	0.79	0.62
tt3g22h	전문성 개발 활동 유형(교사 네트워크 참여)	tt3g23k	전문성 개발 활동 주제(범교과 기술에 대한 교육법)	0.99	0.51
tt3g22h	전문성 개발 활동 유형(교사 네트워크 참여)	tt3g23m	전문성 개발 활동 주제 (교사-학부모(보호자) 협력)	1.00	0.51
tt3g23k	전문성 개발 활동 주제(범교과 기술에 대한 교육법)	tt3g26l	전문성 개발 활동의 특성(교수법 혁신에 초점)	1.00	0.503
tt3g23k	전문성 개발 활동 주제(범교과 기술에 대한 교육법)	tt3g29c4	교과지식에 대한 평가 제공(현재 학교에서 없음)	0.94	0.51
tt3g23m	전문성 개발 활동 주제 (교사-학부모(보호자) 협력)	tt3g23k	전문성 개발 활동 주제(범교과 기술에 대한 교육법)	1.00	0.503
tt3g23m	전문성 개발 활동 주제 (교사-학부모(보호자) 협력)	tt3g29c4	교과지식에 대한 평가 제공(현재 학교에서 없음)	0.95	0.51
tt3g23m	전문성 개발 활동 주제 (교사-학부모(보호자) 협력)	t3effpd	효과적인 전문성 개발 활동	0.64	1.00
tt3g26l	전문성 개발 활동의 특성(교수법 혁신에 초점)	t3effpd	효과적인 전문성 개발 활동	1.00	1.00
tt3g29c4	교과지식에 대한 평가 제공(현재 학교에서 없음)	t3coles	교사 간 전문적인 수업 협력	0.97	1.00
tt3g34m	디지털 기술을 활용한 학습 지원 자기 효능감	tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	0.92	0.76
tt3g34m	디지털 기술을 활용한 학습 지원 자기 효능감	t3exch	교사 간 교류 및 조정	0.62	0.64
tt3g34m	디지털 기술을 활용한 학습 지원 자기 효능감	competency	교수역량	1.00	0.82
tt3g35c	대상학급 구성(특수교육대상 학생)	tt3g35d	대상학급 구성(행동에 문제가 있는 학생)	1.00	0.85
tt3g35c	대상학급 구성(특수교육대상 학생)	t3pdbar	전문성 개발 장벽	0.73	0.73
tt3g35d	대상학급 구성(행동에 문제가 있는 학생)	tt3g39b	수업 시간 중 교실 내 질서 유지에 사용한 시간	0.80	0.66
tt3g35d	대상학급 구성(행동에 문제가 있는 학생)	t3stud	교사-학생 관계	0.83	0.95
tt3g35d	대상학급 구성(행동에 문제가 있는 학생)	competency	교수역량	0.91	0.82
tt3g39b	수업 시간 중 교실 내 질서 유지에 사용한 시간	tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	0.77	0.92
tt3g39b	수업 시간 중 교실 내 질서 유지에 사용한 시간	tt3g39c	수업 시간 중 실제 교수학습에 사용한 시간	1.00	0.98
tt3g39c	수업 시간 중 실제 교수학습에 사용한 시간(%)	t3satat	대상 학급 자치권에 대한 만족도	0.78	0.99
tt3g39c	수업 시간 중 실제 교수학습에 사용한 시간(%)	t3stud	교사-학생 관계	0.66	0.92
tt3g39c	수업 시간 중 실제 교수학습에 사용한 시간(%)	competency	교수역량	0.75	0.92
tt3g52k	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	tt3g35c	대상학급 구성(특수교육대상 학생)	1.00	0.52
tt3g52k	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	t3pdiv	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	1.00	0.96
tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	t3satat	대상 학급 자치권에 대한 만족도	0.90	0.69
t3stbeh	학생 태도 스트레스	tt3g35d	대상학급 구성(행동에 문제가 있는 학생)	1.00	0.81
t3stbeh	학생 태도 스트레스	tt3g39b	수업 시간 중 교실 내 질서 유지에 사용한 시간	0.94	0.66
t3stbeh	학생 태도 스트레스	tt3g52k	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	1.00	0.98
t3stbeh	학생 태도 스트레스	t3disc	지각된 규율 환경	1.00	0.58
t3stbeh	학생 태도 스트레스	t3wels	직장 복지 및 스트레스	1.00	0.95
t3stbeh	학생 태도 스트레스	t3wload	업무량 스트레스	0.89	0.96
t3coles	교사 간 전문적인 수업 협력	t3exch	교사 간 교류 및 조정	1.00	0.90
t3coles	교사 간 전문적인 수업 협력	t3seeng	학생참여 자기 효능감	0.74	0.59

from		to		확실표 강도	방향
변인명	내용	변인명	내용		
t3coles	교사 간 전문적인 수업 협력	t3stake	이해관계자간 참여	0.99	0.78
t3coles	교사 간 전문적인 수업 협력	competency	교수역량	0.83	0.70
t3exch	교사 간 교류 및 조정	t3pdbar	전문성 개발 장벽	0.90	0.78
t3exch	교사 간 교류 및 조정	t3satat	대상 학급 자치권에 대한 만족도	0.83	0.74
t3exch	교사 간 교류 및 조정	t3stake	이해관계자간 참여	0.69	0.62
t3pdbar	전문성 개발 장벽	t3stud	교사-학생 관계	0.89	0.63
t3disc	지각된 규율 환경	tt3g35d	대상학급 구성행동에 문제가 있는 학생	1.00	0.77
t3disc	지각된 규율 환경	tt3g39b	수업시간중 교실내의 질서유지에 사용한 시간	1.00	0.75
t3disc	지각된 규율 환경	tt3g39c	수업 시간중 실제 교과학습에 사용한 시간	1.00	0.84
t3disc	지각된 규율 환경	tt3g52k	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	0.85	0.79
t3disc	지각된 규율 환경	tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	0.64	0.92
t3disc	지각된 규율 환경	competency	교수역량	0.65	0.95
t3pdiv	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	0.98	0.53
t3pdiv	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	t3pdped	교과 및 교육에 대한 전문성개발 필요성	1.00	0.99
t3pdped	교과 및 교육에 대한 전문성개발 필요성	tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	0.95	0.70
t3pdped	교과 및 교육에 대한 전문성개발 필요성	t3pdbar	전문성 개발 장벽	1.00	0.54
t3secls	교실관리 자기 효능감	tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	0.73	0.94
t3secls	교실관리 자기 효능감	tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	0.97	0.98
t3secls	교실관리 자기 효능감	t3stbeh	학생 태도 스트레스	1.00	0.54
t3secls	교실관리 자기 효능감	t3exch	교사 간 교류 및 조정	0.69	0.56
t3secls	교실관리 자기 효능감	t3disc	지각된 규율 환경	1.00	0.85
t3secls	교실관리 자기 효능감	t3pdped	교과 및 교육에 대한 전문성개발 필요성	0.94	0.94
t3seins	수업지도 자기 효능감	tt3g34m	디지털 기술을 활용한 학습 자원 자기 효능감	1.00	0.57
t3seins	수업지도 자기 효능감	t3exch	교사 간 교류 및 조정	0.95	0.64
t3seins	수업지도 자기 효능감	t3secls	교실관리 자기 효능감	1.00	0.91
t3seins	수업지도 자기 효능감	t3seeng	학생참여 자기 효능감	1.00	0.72
t3seins	수업지도 자기 효능감	t3stud	교사-학생 관계	0.63	0.98
t3seins	수업지도 자기 효능감	competency	교수역량	1.00	1.00
t3seeng	학생참여 자기 효능감	tt3g06e2	다양한 학습자를 가진 학생들에 대한 교육 준비정도	0.76	0.89
t3seeng	학생참여 자기 효능감	tt3g06g2	범교과 지식 및 기술에 대한 교육 준비 정도	0.67	0.78
t3seeng	학생참여 자기 효능감	tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	0.97	1.00
t3seeng	학생참여 자기 효능감	t3stbeh	학생 태도 스트레스	0.79	0.82
t3seeng	학생참여 자기 효능감	t3exch	교사 간 교류 및 조정	0.74	0.68
t3seeng	학생참여 자기 효능감	t3secls	교실관리 자기 효능감	1.00	0.70
t3seeng	학생참여 자기 효능감	competency	교수역량	1.00	0.96
t3socut	사회적 효용에 대한 동기	tt3g06e2	다양한 학습자를 가진 학생들에 대한 교육 준비정도	0.92	1.00
t3socut	사회적 효용에 대한 동기	tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	0.71	1.00
t3socut	사회적 효용에 대한 동기	t3pdiv	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	0.92	1.00
t3socut	사회적 효용에 대한 동기	t3seins	수업지도 자기 효능감	0.90	1.00
t3socut	사회적 효용에 대한 동기	t3seeng	학생참여 자기 효능감	0.96	1.00
t3socut	사회적 효용에 대한 동기	competency	교수역량	0.91	1.00

from		to		확실표 강도	방향
변인명	내용	변인명	내용		
t3stake	이해관계자간 참여	t3pdbar	전문성 개발 장벽	1.00	0.81
t3stake	이해관계자간 참여	t3satat	대상 학급 자치권에 대한 만족도	0.96	0.94
t3stake	이해관계자간 참여	t3stud	교사-학생 관계	1.00	0.96
t3stud	교사-학생 관계	tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	1.00	0.72
t3stud	교사-학생 관계	t3satat	대상 학급 자치권에 대한 만족도	0.65	0.78
t3wels	직장 복지 및 스트레스	tt3g50	향후 교직 종사 희망 기간	1.00	0.96
t3wels	직장 복지 및 스트레스	tt3g52k	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	1.00	0.90
t3wels	직장 복지 및 스트레스	tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	0.80	0.96
t3wels	직장 복지 및 스트레스	t3pdbar	전문성 개발 장벽	0.88	0.81
t3wels	직장 복지 및 스트레스	t3stake	이해관계자간 참여	1.00	0.81
t3wels	직장 복지 및 스트레스	t3wload	업무량 스트레스	1.00	0.88
t3wload	업무량 스트레스	tt3g52k	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	1.00	0.72
t3wload	업무량 스트레스	t3pdbar	전문성 개발 장벽	0.82	0.72
t3wload	업무량 스트레스	t3pdiv	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	0.64	0.94
t3wload	업무량 스트레스	t3satat	대상 학급 자치권에 대한 만족도	0.78	0.91
competency	교수역량	tt3g06e2	장애학생을 가진 학생에 대한 교육 준비도	0.70	0.85
competency	교수역량	tt3g18j	근무 시간(기타)	0.92	0.99
competency	교수역량	tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	0.83	0.75

3) 일본

from		to		확실성 강도	방향
변인명	내용	변인명	내용		
tt3g06e2	다양한 학습능력을 가진 학생들에 대한 교육 준비 정도	tt3g06g2	범교과 지식 및 기술에 대한 교육 준비 정도	1.00	0.92
tt3g06e2	다양한 학습능력을 가진 학생들에 대한 교육 준비 정도	tt3g06j2	학생의 발달과 학습에 대한 모니터링 준비 정도	1.00	0.94
tt3g06g2	범교과 지식 및 기술에 대한 교육 준비 정도	tt3g06j2	학생의 발달과 학습에 대한 모니터링 준비 정도	1.00	0.77
tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	tt3g34m	다지털 기술을 활용한 학습 자원 자기 효능감	0.97	0.96
tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	tt3g50	향후 교직 종사 희망 기간	1.00	1.00
tt3g23k	전문성 개발 활동 주제(범교과 기술에 대한 교수법)	tt3g06g2	범교과 지식 및 기술에 대한 교육 준비 정도	0.99	1.00
tt3g23k	전문성 개발 활동 주제(범교과 기술에 대한 교수법)	tt3g22h	전문성 개발 활동 유형(교사 네트워크 참여)	1.00	0.51
tt3g23k	전문성 개발 활동 주제(범교과 기술에 대한 교수법)	tt3g26l	전문성 개발 활동의 특성(교수법 혁신에 초점)	1.00	0.51
tt3g23k	전문성 개발 활동 주제(범교과 기술에 대한 교수법)	tt3g29c4	교과지식에 대한 평가 재(현재 학교에서 없음)	0.78	0.51
tt3g23k	전문성 개발 활동 주제(범교과 기술에 대한 교수법)	t3coles	교사 간 전문적인 수업 협력	0.80	1.00
tt3g23k	전문성 개발 활동 주제(범교과 기술에 대한 교수법)	t3effpd	효과적인 전문성 개발 활동	0.72	1.00
tt3g23m	전문성 개발 활동 주제(교사-학부모(보호자) 협력)	tt3g29c4	교과지식에 대한 평가 재(현재 학교에서 없음)	1.00	0.56
tt3g23m	전문성 개발 활동 주제(교사-학부모(보호자) 협력)	t3pdiv	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	0.55	1.00
tt3g26l	전문성 개발 활동의 특성(교수법 혁신에 초점)	tt3g22h	전문성 개발 활동 유형(교사 네트워크 참여)	1.00	0.51
tt3g26l	전문성 개발 활동의 특성(교수법 혁신에 초점)	t3effpd	효과적인 전문성 개발 활동	1.00	1.00
tt3g29c4	교과지식에 대한 평가 재(현재 학교에서 없음)	tt3g39c	수업 시간 중 실제 교수학습에 사용한 시간	0.88	1.00
tt3g29c4	교과지식에 대한 평가 재(현재 학교에서 없음)	t3coles	교사 간 전문적인 수업 협력	0.98	1.00
tt3g29c4	교과지식에 대한 평가 재(현재 학교에서 없음)	t3exch	교사 간 교류 및 조정	0.63	1.00
tt3g35c	대상학급 구성(특수교육대상 학생)	tt3g35d	대상학급 구성(행동에 문제가 있는 학생)	1.00	0.97
tt3g35c	대상학급 구성(특수교육대상 학생)	tt3g39b	수업 시간 중 교실 내의 질서 유지에 사용한 시간	0.89	0.98
tt3g35c	대상학급 구성(특수교육대상 학생)	t3disc	지각된 규율 환경	0.58	0.89
tt3g35c	대상학급 구성(특수교육대상 학생)	t3pdiv	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	0.92	0.55
tt3g35c	대상학급 구성(특수교육대상 학생)	competency	교수역량	0.75	0.87
tt3g35d	대상학급 구성(행동에 문제가 있는 학생)	t3stbeh	학생 태도 스트레스	0.91	0.74
tt3g35d	대상학급 구성(행동에 문제가 있는 학생)	t3disc	지각된 규율 환경	1.00	0.74
tt3g35d	대상학급 구성(행동에 문제가 있는 학생)	competency	교수역량	0.53	0.75
tt3g39b	수업 시간 중 교실 내의 질서 유지에 사용한 시간	tt3g39c	수업 시간 중 실제 교수학습에 사용한 시간	1.00	0.99
tt3g39b	수업 시간 중 교실 내의 질서 유지에 사용한 시간	t3satat	대상 학급 자치권에 대한 만족도	0.69	0.68
tt3g39b	수업 시간 중 교실 내의 질서 유지에 사용한 시간	competency	교수역량	0.95	0.74
tt3g39c	수업 시간 중 실제 교수학습에 사용한 시간(%)	tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	0.59	0.99
tt3g50	향후 교직 종사 희망 기간	tt3g34m	다지털 기술을 활용한 학습 자원 자기 효능감	0.52	0.73
tt3g50	향후 교직 종사 희망 기간	t3pdbar	전문성 개발 장벽	0.63	0.84
tt3g52k	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	tt3g06e2	다양한 학습능력을 가진 학생들에 대한 교육 준비 정도	0.79	0.72
tt3g52k	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	1.00	0.80
tt3g52k	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	tt3g18j	근무 시간(기타)	0.91	0.56
tt3g52k	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	tt3g35c	대상학급 구성(특수교육대상 학생)	1.00	0.51
tt3g52k	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	t3stbeh	학생 태도 스트레스	1.00	0.60
tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	tt3g06j2	학생의 발달과 학습에 대한 모니터링 준비 정도	0.79	0.80
tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	1.00	0.67
tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	t3disc	지각된 규율 환경	0.50	0.63

from		to		확실표 강도	방향
변인명	내용	변인명	내용		
t3stbeh	학생 태도 스트레스	tt3g06e2	다양한 학습 능력을 가진 학생들에 대한 교육 준비도	0.55	0.80
t3stbeh	학생 태도 스트레스	tt3g39b	수업 시간 중 교실 내의 질서 유지에 사용한 시간	0.93	0.52
t3stbeh	학생 태도 스트레스	t3satat	대상 학급 자치권에 대한 만족도	0.58	0.56
t3coles	교사 간 전문적인 수업 협력	tt3g06e2	다양한 학습 능력을 가진 학생들에 대한 교육 준비도	0.62	1.00
t3coles	교사 간 전문적인 수업 협력	tt3g34m	디지털 기술을 활용한 학습 자원 자기 효능감	0.52	1.00
t3coles	교사 간 전문적인 수업 협력	tt3g35c	대상학급 구성(특수교육대상 학생)	0.57	0.94
t3coles	교사 간 전문적인 수업 협력	tt3g52k	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	0.52	0.98
t3coles	교사 간 전문적인 수업 협력	t3exch	교사 간 교류 및 조정	1.00	1.00
t3coles	교사 간 전문적인 수업 협력	t3disc	지각된 규율 환경	0.54	0.99
t3coles	교사 간 전문적인 수업 협력	t3seeng	학생참여 자기 효능감	0.77	0.73
t3coles	교사 간 전문적인 수업 협력	t3stake	이해관계자간 참여	1.00	1.00
t3effpd	효과적인 전문성 개발 활동	tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	0.61	1.00
t3effpd	효과적인 전문성 개발 활동	t3pdiv	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	0.64	0.98
t3effpd	효과적인 전문성 개발 활동	t3pdped	교과 및 교육에 대한 전문성개발 필요성	0.92	0.78
t3effpd	효과적인 전문성 개발 활동	t3stake	이해관계자간 참여	0.69	0.87
t3effpd	효과적인 전문성 개발 활동	competency	교수역량	0.59	0.99
t3exch	교사 간 교류 및 조정	t3pdiv	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	0.64	0.68
t3exch	교사 간 교류 및 조정	t3seins	수업지도 자기 효능감	0.82	0.65
t3exch	교사 간 교류 및 조정	t3stake	이해관계자간 참여	0.94	0.74
t3exch	교사 간 교류 및 조정	t3stud	교사-학생 관계	0.95	0.89
t3exch	교사 간 교류 및 조정	competency	교수역량	1.00	0.78
t3disc	지각된 규율 환경	tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	0.83	0.89
t3disc	지각된 규율 환경	tt3g39b	수업 시간 중 교실 내의 질서 유지에 사용한 시간	1.00	0.94
t3disc	지각된 규율 환경	t3stbeh	학생 태도 스트레스	1.00	0.80
t3disc	지각된 규율 환경	t3satat	대상 학급 자치권에 대한 만족도	0.76	0.79
t3disc	지각된 규율 환경	t3secls	교실관리 자기 효능감	1.00	0.57
t3disc	지각된 규율 환경	t3stud	교사-학생 관계	0.91	0.82
t3disc	지각된 규율 환경	competency	교수역량	0.92	0.89
t3pdiv	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	tt3g52k	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	0.77	0.52
t3pdiv	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	t3pdped	교과 및 교육에 대한 전문성개발 필요성	1.00	0.95
t3pdiv	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	t3stake	이해관계자간 참여	0.79	0.67
t3pdiv	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	competency	교수역량	0.90	0.59
t3pdped	교과 및 교육에 대한 전문성개발 필요성	tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	0.99	0.86
t3pdped	교과 및 교육에 대한 전문성개발 필요성	tt3g50	향후 교직 종사 희망 기간	0.78	0.94
t3pdped	교과 및 교육에 대한 전문성개발 필요성	t3stbeh	학생 태도 스트레스	0.87	0.73
t3pdped	교과 및 교육에 대한 전문성개발 필요성	competency	교수역량	0.53	0.52
t3satat	대상 학급 자치권에 대한 만족도	t3stud	교사-학생 관계	0.88	0.84
t3satat	대상 학급 자치권에 대한 만족도	competency	교수역량	0.75	0.63
t3secls	교실관리 자기 효능감	tt3g06j2	학생의 발달과 학습에 대한 모니터링 준비 정도	0.95	0.84
t3secls	교실관리 자기 효능감	tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	0.61	0.86
t3secls	교실관리 자기 효능감	t3stbeh	학생 태도 스트레스	0.81	0.88

from		to		화살표 강도	방향
변인명	내용	변인명	내용		
t3secls	교실관리 자기 효능감	t3satat	대상 학급 자치권에 대한 만족도	0.97	0.85
t3secls	교실관리 자기 효능감	t3seins	수업지도 자기 효능감	1.00	0.77
t3secls	교실관리 자기 효능감	t3seeng	학생참여 자기 효능감	1.00	0.85
t3secls	교실관리 자기 효능감	t3stud	교사-학생 관계	0.92	0.91
t3seins	수업지도 자기 효능감	tt3g06e2	다양한 학습력을 가진 학생에 대한 교육 준비도	0.51	0.98
t3seins	수업지도 자기 효능감	tt3g34m	다시털 기술을 활용한 학습 자원 자기 효능감	1.00	1.00
t3seins	수업지도 자기 효능감	tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	0.69	0.63
t3seins	수업지도 자기 효능감	t3satat	대상 학급 자치권에 대한 만족도	1.00	0.81
t3seins	수업지도 자기 효능감	t3seeng	학생참여 자기 효능감	1.00	0.85
t3seins	수업지도 자기 효능감	t3wload	업무량 스트레스	0.61	0.69
t3seins	수업지도 자기 효능감	competency	교수역량	1.00	0.96
t3seeng	학생참여 자기 효능감	tt3g06e2	다양한 학습력을 가진 학생에 대한 교육 준비도	0.85	0.95
t3seeng	학생참여 자기 효능감	tt3g06g2	범교과 지식 및 기술에 대한 교육 준비 정도	0.78	0.76
t3seeng	학생참여 자기 효능감	tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	1.00	0.92
t3seeng	학생참여 자기 효능감	tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	1.00	0.69
t3seeng	학생참여 자기 효능감	t3pdped	교과 및 교육에 대한 전문성 개발 필요성	0.81	0.73
t3seeng	학생참여 자기 효능감	competency	교수역량	0.98	0.67
t3socut	사회적 효용에 대한 동기	tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	0.71	1.00
t3socut	사회적 효용에 대한 동기	tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	0.56	1.00
t3socut	사회적 효용에 대한 동기	t3pdiv	다양성 교육을 위한 전문성 개발의 필요	1.00	1.00
t3socut	사회적 효용에 대한 동기	t3pdped	교과 및 교육에 대한 전문성 개발 필요성	0.53	1.00
t3socut	사회적 효용에 대한 동기	t3secls	교실관리 자기 효능감	0.76	1.00
t3socut	사회적 효용에 대한 동기	t3seins	수업지도 자기 효능감	0.89	1.00
t3socut	사회적 효용에 대한 동기	t3seeng	학생참여 자기 효능감	0.88	1.00
t3socut	사회적 효용에 대한 동기	t3wels	직장 복지 및 스트레스	0.73	1.00
t3stake	이해관계자간 참여	tt3g06e2	다양한 학습력을 가진 학생에 대한 교육 준비도	0.59	0.69
t3stake	이해관계자간 참여	tt3g35d	대상학급 구성행동에 문제가 있는 학생	0.61	0.61
t3stake	이해관계자간 참여	tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	1.00	0.54
t3stake	이해관계자간 참여	t3pdbar	전문성 개발 장벽	0.61	0.89
t3stake	이해관계자간 참여	t3stud	교사-학생 관계	1.00	0.98
t3stake	이해관계자간 참여	t3wels	직장 복지 및 스트레스	1.00	0.58
t3wels	직장 복지 및 스트레스	tt3g50	향후 교직 종사 희망 기간	1.00	1.00
t3wels	직장 복지 및 스트레스	tt3g52k	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	0.98	0.67
t3wels	직장 복지 및 스트레스	tt3g53i	업무 결과에 대한 만족	1.00	0.59
t3wels	직장 복지 및 스트레스	t3stbeh	학생 태도 스트레스	1.00	0.63
t3wels	직장 복지 및 스트레스	t3wload	업무량 스트레스	1.00	0.87
t3wload	업무량 스트레스	tt3g52k	특수교육 학생을 위한 수업 조정 스트레스	1.00	0.62
t3wload	업무량 스트레스	t3stbeh	학생 태도 스트레스	1.00	0.57
t3wload	업무량 스트레스	t3pdbar	전문성 개발 장벽	1.00	0.98
t3wload	업무량 스트레스	competency	교수역량	0.73	0.71

from		to		확실성 강도	방향
변인명	내용	변인명	내용		
competency	교수역량	tt3g06e2	다양한 학습 수준을 가진 학생들에 대한 교육 관심도	0.55	0.90
competency	교수역량	tt3g11b	교사로 근무한 총 연수	0.97	0.89
competency	교수역량	tt3g34m	디지털 기술을 활용한 학습 지원 자기 효능감	0.84	0.96

Analysis of Influencing Factors on Teaching Competency of Secondary School Teachers Using Structural Causal Model

A Dissertation for the Degree

of

Doctor of Philosophy in Education

by

Hye-Won Yang

Major Advisor: Sun-Geun Baek, Ph.D.

Department of Education

The Graduate School

Seoul National University

2023

Abstract

Analysis of Influencing Factors on Teaching Competency of Secondary School Teachers Using Structural Causal Model

Hye-Won Yang
Department of Education
The Graduate School
Seoul National University

By establishing trust and love in the teaching and learning environment, teachers are expected to help students. To do so, conducting research on teaching competency is imperative. However, there is a limited amount of empirical research focusing on the factors influencing teaching competency. Or, they are working with selective variables that do not sufficiently encompass secondary school teaching and learning landscape. Therefore, comprehensive research identifying the pathways and causal linkage between a multitude of factors applicable to the teaching environment and competency is integral. Conventionally, Japan and the United States

are the two major countries whose teacher policies are frequently used as references when South Korean policymakers devise teacher policies. Therefore, in this study using structural causal model, factors influencing secondary school teachers in those countries have been incorporated. The primary research questions are as follows.

First, how is the causal graph constructed, incorporating the teaching competency of secondary school teachers in South Korea, the United States, and Japan, along with the key predictors?

Second, what is the causal relationship between the teaching competency of secondary school teachers and the influencing factors shown in the causal graphs of South Korea, the United States, and Japan?

Third, how can the causal graphs of South Korea, the United States, and Japan be utilized when estimating the causal effects between teaching competency and influencing factors?

The research data utilized in this study was the latest cycle of the Teaching and Learning International Survey, organized by the OECD, known as TALIS 2018. This study focused on the responses from secondary school teachers and principals in South Korea, the United States, and Japan. Considering the multilevel structure of teachers within each school in the TALIS 2018 data, a mixed-effects random forest model was applied to extract the top 20 predictors for teaching competency in each country based on their importance scores. Subsequently, a causal discovery algorithm was applied to construct causal graphs representing the relationships between teaching competency and the predictors of each country. Using the country-specific causal graphs, the causal relationships between

teaching competency and the influencing factors were analyzed. Furthermore, details of causal inference were provided, utilizing the causal mechanisms observed in the causal graphs. The main findings of this study are as follows.

First, through the mixed-effects random forest analysis, a total of 35 predictors for the teaching competency of secondary school teachers in South Korea, the United States, and Japan were extracted. The same set of 35 predictors was then used for causal discovery analysis in each country, employing three algorithms (PC, Tabu Search, MMHC). The analysis results showed variations in the average graph structures produced by each algorithm. Among the algorithms applied, the Tabu Search algorithm was found to be the most suitable for the TALIS 2018 data used in this study. Based on these results, the causal graphs for the three countries (South Korea, the United States, and Japan) were generated using the Tabu Search algorithm, comprising a total of 36 nodes, including teaching competency, which was the outcome variable. The directed arcs in the graphs were as follows: 96 arcs for South Korea, 99 arcs for the United States, and 124 arcs for Japan. Furthermore, the average Markov blanket size and average branching factor differed by country, with the largest average Markov blanket size and average branching factor in the graph for Japan and the smallest in the graph for South Korea.

Second, based on the country-specific causal graphs, an analysis was conducted to examine the causal paths and covariate adjustment sets for identifying the relationship between teaching competency and influencing factors. Under the theme of 'Teachers Self-Efficacy' three factors (Self-efficacy in instruction, Self-efficacy in student engagement, Self-efficacy in classroom management) were found to

have a causal impact on teaching competency across all three countries. For the theme of 'Teacher Job Satisfaction and Motivation,' five factors (Social utility value, Workplace well-being and stress, Student behaviour stress, Workload stress, Stress for modifying lessons for students with special needs) were identified as common causal factors influencing teaching competency in the three countries. Regarding the theme of 'Teacher Feedback and Development,' two factors (Participation in professional development activities focusing on Teaching cross-curricular skills, Teacher-parent (guardian) cooperation) were found to be causally linked to teaching competency across all three countries. Under the theme of 'School Climate,' one factor (Teachers perceived disciplinary climate) was identified as a common causal factor influencing teaching competency in all three countries. However, even though there were common influencing factors across the countries, the covariate adjustment sets that needed to be controlled when estimating the causal effects between these influencing factors and teaching competency varied depending on the country-specific causal mechanisms. Additionally, four factors were specific to South Korea, eight factors to the United States, and twelve factors to Japan, indicating additional influencing factors unique to each country's context.

Third, as an example of the causal effect analysis between teaching competency and influencing factors based on the causal graph, the average treatment effect (ATE) of "participation in professional development activities focusing on teacher - parent(guardian) cooperation" on "teaching competency" of secondary school teachers were examined. The results showed that in all three countries, participating in professional development activities focusing on teacher - parent(guardian) cooperation had a positive effect on teaching competency.

Furthermore, to investigate the differences in covariate control approaches in the causal effect estimation process, the South Korean data was used to compare the covariate adjustment sets selected based on ①the structural causal model and ②the traditional statistical significance test. The analysis revealed that the covariate sets based on the structural causal model consisted of one variable, while the covariate set based on the traditional statistical significance test was comprised of 14 variables. Considering the causal mechanisms observed in the causal graph, utilizing the structural causal model for estimating causal effects was found to be more efficient.

The results explicitly demonstrated that there are national differences in the causal mechanisms between the teaching competency of secondary school teachers and the influencing factors in the three respective countries. It also confirmed the usefulness of causal analysis based on a structural causal model in educational research and highlighted the significance of effectively estimating causal relationships using this model. The structural causal model employed in this study can be applied to a wide range of causal inference problems in educational research, thus calling for further research in the future. Additionally, in-depth follow-up research is necessary, including longitudinal studies on teaching competency based on a structural causal model and analyzing the policy effects to enhance teaching competency.

Keywords : Structural Causal Model, Influencing Factor, Teaching Competency, Mixed-Effects Random Forest, Causal Discovery, Causal Inference

Student Number : 2020-32051