

3수준 다중소속 다층자료에 대한 모형의 명세화 오류가 모수추정값과 모형적합도에 미치는 영향: 모의실험 연구*

정 혜 원**

충남대학교

본 연구는 2수준에서 다중소속이 발생한 3수준 다중소속 다층자료 구조를 적절하게 모형화할 수 있는 3수준 다중소속 다층모형을 소개하고, 이러한 다중소속 다층자료의 구조를 적절하게 반영하지 못한 모형을 적용한 경우 모수추정값 및 모형적합도에 미치는 영향을 탐색하였다. 본 연구의 목적을 수행하기 위해 다중소속 비율(10%, 20%, 40%), 3수준 표본크기(30, 50, 100), 2수준 표본크기(10, 20), 1수준 표본크기(15, 30)의 조건들을 고려하여 모의자료를 생성하였고, 3수준 다중소속 다층모형을 준거모형으로 하고 다중소속 고정효과 적용모형, 전통적 3수준 다층모형을 적용하였다. 모의실험결과 2수준에서 발생한 다중소속을 무시할 경우 다중소속과 관련된 고정효과 및 2수준 임의효과 분산의 과소추정이 나타났으며, 하위수준인 1수준 임의효과 분산이 과대추정되었다. 모든 실험설계 조건에서 3수준 다중소속 다층모형을 적용하는 것이 더 적절한 것으로 나타났다.

주제어 : 3수준 다중소속 다층자료, 3수준 다중소속 다층모형

* 이 논문 또는 저서는 2016년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2016S1A5A8019334).

** 교신저자 : 정혜원, 충남대학교 부교수, chw7@cnu.ac.kr

I. 서 론

1990년대 후반 이후 학생의 인지적·정의적 행동특성에 영향을 미치는 학교교육의 효과에 대한 국내 연구들은 다층자료(multilevel data) 구조를 반영하기 위한 다층모형(multilevel modeling)을 주요 분석방법의 하나로 활용하여 왔다. 교육학 분야에서 대표적인 다층자료의 예를 든다면, 학생들이 학교에 내재된 자료의 경우 학생은 1수준 단위(level-1 unit)이며, 학교는 2수준 단위(level-2 unit)이다. 다층모형은 자료의 위계적 구조를 반영하여 통계검증 오류의 문제점(예, 1종 오류의 증가)을 통제하면서, 학생의 특성과 같은 학생의 변수뿐만 아니라 학생이 속해 있는 학교의 특성이 학생들의 인지적·정의적 성취에 미치는 영향의 통계적 검증이 가능하다(강상진, 2016).

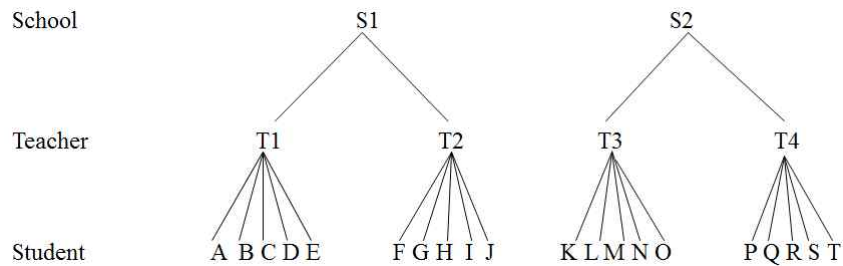
한편, 현장 중심의 교수·학습 과정의 효과 분석 측면에서 과정-결과 연구의 중요성이 강조됨에 따라 효과적인 교사, 효과적인 교실 또는 프로그램을 주제로 하여 교사 개인의 특성 또는 수업 방식 등이 학생의 인지적·정의적 성취에 미치는 영향에 대한 연구들이 수행되고 있다. 이때, 수업을 진행하는 교사나 수업이 이루어지는 교실맥락 연구는 학교효과의 한 분야로 볼 수 있으나, 학생의 인지적·정의적 성취에 영향을 주는 원인이 교사/교실의 특성에 의한 것인지 학교 풍토에 의한 것인지 보다 명확하게 구분하기 위해서는 교사의 특성을 학교의 특성에서 분리하여 학교맥락에 덜 의존하는 분석이 필요하다(Campbell et al., 2004). 이 경우 교육맥락에서 학생은 교실 또는 교사에, 교실 또는 교사는 학교에 내재된 구조를 고려해 볼 수 있다. 즉, 학생은 1수준 단위(level-1 unit) 또는 미시단위(micro-unit)이며, 교사(교실 또는 프로그램)는 2수준 단위(level-2 unit) 또는 중간단위(intermediate-unit), 학교는 3수준 단위(level-3 unit) 또는 거시단위(macro-unit)가 된다.

국내 데이터베이스인 한국학술정보(KISS), 학술연구정보서비스(RISS) 등을 이용하여 ‘3수준 다층모형’으로 논문을 검색하면 학생을 1수준, 교사 또는 교실을 2수준, 학교를 3수준으로 설정하여 3수준 다층모형을 적용한 논문들을 확인할 수 있다(예, 김경희, 2009; 김경희, 임현정, 2008; 박혜숙, 전명남, 2007; 유영민, 이자원, 2013). 이러한 3수준 위계적 자료의 특성을 반영하지 않은 상태로 연구를 실시할 경우, 연구결과의 타당성이 위협된다는 점이 국내외 여러 학자들에 의해 경고되었다(김경희, 2009; 김경희, 임현정, 2008; Morebeek 2004; Rowan, Correnti, & Miller, 2002). 모의실험을 수행한 Moerbeek(2004)의 연구에 의하면, 3수준 다층자료에서 중간수준인 2수준을 무시하면, 하위수준인 1수준과 상위수준인 3수준의 모수추정값에 영향을 미치고, 3수준인 학교효과성이 과대평가되는 결과를 가져온다고 경고하였다. 또한 대규모 자료인 수학·과학 성취도 변화 추이 국제비교 연구(TIMSS 2007) 자료를 활용하여 교사의 효과를 3수준 다층모형을 활용하여 분석한 김경희(2009)의 연구에 의하면, 1수준 학생

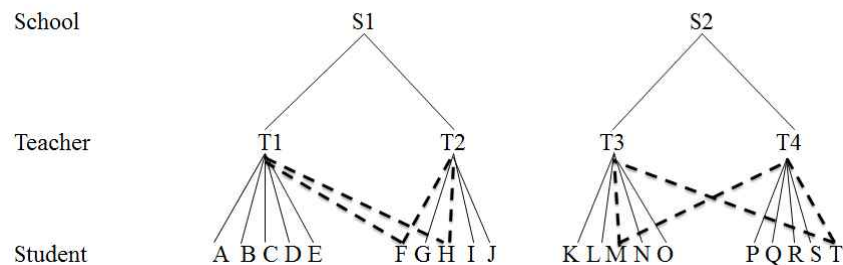
분산이 62.7%, 2수준 교사분산이 32.3%인데 비해 3수준 학교분산은 0.1%로 미비한 것으로 나타나, 3수준인 학교수준에서 분할된 교사수준의 차이가 학생들의 성취도 차이를 설명하는 중요한 분산원임을 밝혔으며, 이러한 결과는 2수준 교사를 무시한 모형을 설정할 시 다른 결과를 가져올 수 있음을 시사한다.

학교 내의 교사/교실수준을 학교에서 분리하여 분석하기 위한 전통적 3수준 다층모형은 하위수준인 학생들이 단 하나의 교사에 속하고, 중간수준인 교사는 상위수준인 학교에 속하는 순수 위계적 자료를 가정하고 있다. [그림 1]은 순수 3수준 위계적 자료를 가정한 다층자료를 도해한 것이다.

그러나 이러한 가정은 실증 자료 분석 시 위반되는 경우가 종종 발생한다. 교육 환경 자료를 예로 들어 본다면, 학생이 원래 속해 있는 교실 담임교사와, 영어 교과 수준별 이동 수업에 따른 영어 담당 교사가 각각 동시에 학생의 영어 학업성취에 영향을 주고 있는 경우이다. [그림 2]는 2수준에서 다중소속이 발생하는 3수준 다중소속 다층자료를 도해한 것으로, 학생 *F*의 경우 담임교사인 *T1*과 영어 담당 교사인 *T2*에 각각 소속되어 있는 것을 점선으로 나타내어 다중소속임을 나타내었다. 표집된 학생 중 실선으로 연결된 경우 담임교사와 영어 담당 교사가 동일한 것을 의미하고, 점선으로 연결된 일부 학생(*F*, *H*, *M*, *T*)의 경우 복수의 교사에 내재된 다중소속 다층구조가 된다.



[그림 1] 순수 3수준 다층자료



[그림 2] 3수준 다중소속 다층자료

학교효과성 연구나 학교 평가 연구를 살펴보면, 교실이나 교과, 방과 후 학교 프로그램, 동아리 활동 부서 등의 교과목이나 프로그램, 또는 활동하는 부서와 같은 학교 교육 활동 변인이 학생들의 인지적·정의적 성취에 미치는 영향을 탐색하기 위해서, 교실 또는 교사수준의 변수들을 학교수준으로 포함시켜 연구모형을 설정하여(예, 김양분 외, 2004; 남궁지영, 김양분, 2015; 남창우, 신수영, 2015) 중간수준인 교사와 교실맥락수준을 학교의 특성과 분리하여 고려하지 못하는 경우가 대부분이다. 이렇게 중간수준인 교실 또는 교사수준의 변수가 포함되지 못하는 데에는 교실 또는 교사에 대한 정보 부족과 더불어 자료구조의 복잡성을 원인으로 들 수 있다. 표집된 학생 중 일부 학생이 복수의 교사에 동시에 속하거나 또는 다수의 프로그램에 동시에 속하며 교사 또는 프로그램이 학교에 내재되는 3수준 다중소속 다층구조 자료를 형성하는 경우, 전통적 3수준 다층자료는 순수한 위계적 자료를 가정하고 있어 다중소속 다층자료의 복잡성을 고려하는 모형의 필요성이 제기된다.

복잡한 다중소속 다층자료 분석의 어려움을 해소하기 위한 실용적인 목적으로 전통적 다층모형의 기본가정인 순수 다층자료의 통계적 조건을 완화한 통계적 방법인 다중소속 다층모형(multiple membership multilevel modeling)이 개발·연구되어 왔으며 모형의 복잡성을 고려하여 MCMC 추정방법을 적용한 모형추정식을 제시하였다(Goldstein, 2010). 다중소속 다층모형을 적용한 선행연구들의 경우 하위수준인 학생이 상위수준인 학교에 내재되고 일부 학생의 경우 복수의 학교에 내재된 2수준 다중소속 다층자료를 활용하고 있다(Chung & Beretvas, 2012; Wolff-smith & Beretvas, 2014). 다중소속 다층자료를 활용한 모의실험 연구인 Chung과 Beretvas(2012)의 연구에서는 2수준 다중소속 자료에 학생이 단 하나의 학교에 내재된 순수한 위계적 다층구조에 적합한 전통적 2수준 다층모형을 적용할 경우 하위수준과 상위수준의 분산 및 상위수준의 고정효과 추정치에 있어 두 가지 문제점이 발생할 수 있음을 보고하였다. 첫째, 상위수준의 분산성분은 과소추정되는 반면 하위수준의 분산성분이 과대추정되어 결과적으로 상위수준의 분산이 하위수준으로 이동하는 경향을 나타내었다. 이 경우 상위수준인 학교수준의 분산이 종속변수인 학생들의 학업성취도에 미치는 영향을 과소추정하는 반면 하위수준인 학생수준의 분산이 학업성취도에 미치는 영향을 과대추정하게 된다. 둘째, 전통적 2수준 다층모형에서 상위수준의 독립변수의 고정효과 추정치도 과소추정되었다. 그러나 이 연구에서는 학생이 학교에 내재되고 일부 학생이 다수의 학교에 내재되는 2수준 다중소속 다층자료를 가정하고 있어, 학업성취도의 분산에서 학교 내의 교사/교실효과를 학교에서 분리하여 분석하지 못한 한계점이 있다.

학교현장에서 발생하는 3수준 자료의 경우, 중간수준인 교사 또는 교실수준의 변수에 대한 정보 부족 및 다중소속 다층모형의 복잡성으로 인해 상대적으로 많이 활용되지 않고 있다. 교육학 분야에서 측정평가 영역을 다루고 있는 학회지인 교육평가연구에서 2000년대 이

후 80여건의 다층자료 분석을 이용한 국내 논문이 발표되었으나, 이 중에서 하위수준이 두 개 이상의 상위수준에 속하는 비순수 다층자료의 경우 이를 상위수준에서 각각 두 개 이상의 교차요인으로 설정하는 모형인 3수준 교차분류 다층모형을 활용한 논문은 2편(전민정, 강상진, 2005; 정선영, 강상진, 2013)에 불과하였고, 3수준 다중소속 다층모형은 아직 소개된 것이 없다. 해외논문에서는 모의실험을 통한 방법론적 선행연구들의 경우 모형비교에 있어서 전통적 3수준 다층모형과 3수준 교차분류 다층모형의 비교(Luo & Kwok, 2009) 연구가 수행되었다. Luo와 Kwok(2009)의 모의실험 연구에서는 3수준 교차분류 다층자료에 2수준에서 발생한 복수의 교차요인을 적절하게 반영하지 못할 경우, 2수준에 설정된 요인과 하위수준의 임의효과 분산은 과대추정되거나 상위수준의 임의효과 분산은 과소추정되는 결과를 보고하였다. 반면 정선영과 강상진(2013)의 모의실험연구에서는 3수준 교차분류 다층자료에 2수준에서 발생한 복수의 교차요인을 적절하게 반영하지 못한 전통적 3수준 다층모형을 적용한 경우 누락된 교차요인의 임의효과 분산이 교차분류가 발생한 2수준의 두 개의 교차요인 중 모형에 상정한 요인의 임의효과 분산과 1 또는 3수준의 임의효과 분산의 과대추정에 영향을 주는 것으로 보고하였다.

또한 2수준 비순수 위계적 자료를 분석하기 위해 교차분류 다층모형과 다중소속 다층모형을 비교한 선행연구에서는 교차분류 다층모형에 비해 다중소속 다층모형의 적용이 2수준 비순수 위계적 자료에 더 적합함을 보고하였다(정혜원, 2017; Beretvas & Leite, 2010). 특히 상위수준에 각각의 교차요인을 설정한 경우 각각 독립적인 임의효과를 상정하여 임의효과수의 수가 증가할수록 추정의 어려움이 있으며, 임의효과 간 상호독립성을 가정하여 교차요인 간의 상호 관련을 반영하지 못하는 단점이 있다(Goldstein, 2010). 다중소속 다층모형을 이용한 모의실험 연구는 2수준 다중소속 다층자료만을 활용하여 왔기에(Chung & Beretvas, 2012; Wolff-Smith & Beretvas, 2014), 3수준 다중소속 다층모형을 직접 설명하지 않은 한계점이 있다.

이에 본 연구에서는 교육과정을 실행하는 주체로서 교사 또는 교실맥락수준을 고려한 학교의 평가가 가능하도록 기존의 2수준 다중소속 다층모형을 3수준으로 확장하여 소개하고자 한다. 이러한 3수준 다중소속 다층모형은 학생이 교사/교실에 내재되고, 교사/교실이 다시 학교에 내재되며, 학생이 복수의 교사 또는 교실에 내재되는 3수준 다중소속 다층자료를 이용한 연구에서 복수의 교사 또는 교실을 분석 자료에 포함시켜 분석할 수 있어 기존의 순수 위계적 자료를 가정하는 전통적 다층모형에 비해서 교사/교실 및 학교를 분리하여 교육 맥락평가의 공정성을 확보할 수 있다.

또한 본 연구에서는 3수준 다중소속 다층자료를 모의 생성하여 자료의 구조를 적절히 반영하는 3수준 다중소속 다층모형을 준거모형으로 하고, 모형 명세화 오류에 따른 모수추정

치의 변화를 설명하기 위하여, 고정효과 추정에서는 다중소속을 반영하였으나 임의효과 추정에서는 다중소속을 반영하지 못한 다중소속 고정효과 적용모형과, 고정효과와 임의효과 추정에서 모두 다중소속을 반영하지 못한 전통적 3수준 다층모형을 적용하였을 경우의 모수 추정값의 양호도와 모형적합도를 비교하고자 한다. 이는 실행된 교육과정의 영향력이 학교 수준보다는 교실맥락과 학교 내에서 교육과정을 실행하는 주체인 교사수준에서 더 크다는 상황을 고려하고, 동시에 학생이 두 명 이상의 교사, 교실에 소속되는 교사 또는 교실맥락수준을 고려한 3수준 다중소속 다층자료를 활용하고자 하는 후속 연구자에게 적절한 모형 선택 및 결과 예측에 도움을 줄 수 있는 실증적인 정보를 제공하고자 한다.

II. 이론적 배경

본 연구에서 2수준에서 다중소속이 발생하는 3수준 다중소속 다층자료 구조를 반영하기 위해 기존의 2수준 다중소속 다층모형을 3수준으로 확장하여 3수준 다중소속 다층모형의 모수추정방식, 제공되는 정보 유형을 전통적 3수준 다층모형과 비교하여 제시하고자 한다.

1. 3수준 무조건 전통적 다층모형

앞의 [그림 1]의 예시를 활용하여 학생 \subset 교사 \subset 학교 3수준 다층자료에 대한 3수준 무조건 전통적 다층모형의 수준별 모형은 다음과 같다.

$$1\text{수준 모형} : Y_{ijk} = \pi_{0jk} + e_{ijk} \quad (1)$$

$$2\text{수준 모형} : \pi_{0jk} = \beta_{00k} + r_{0jk} \quad (2)$$

$$3\text{수준 모형} : \beta_{00k} = \gamma_{000} + u_{00k} \quad (3)$$

위의 세 모형을 합하면 아래와 같은 모형으로 명세화 할 수 있다.

$$\text{통합 모형} : Y_{ijk} = \gamma_{000} + u_{00k} + r_{0jk} + e_{ijk} \quad (4)$$

위의 모형(4)에서 Y_{ijk} 는 k 중학교 재학 중이며 j 교사에 속한 i 학생의 영어학업성취도로 가정한다면, γ_{000} 는 전체 모집단의 영어 학업성취도 평균이다. 오차항 e_{ijk} 는 학생 내 잔차

이며, r_{0jk} 는 교사 간 차이, u_{00k} 는 학교 간 차이를 의미하며, 각각 독립적이고 정규분포를 따른다, $e_{ijk} \sim N(0, \sigma_{ijk}^2)$, $r_{0jk} \sim N(0, \tau_{r0jk})$, $u_{00k} \sim N(0, \tau_{u00k})$.

2. 3수준 조건 전통적 다층모형

3수준 조건 전통적 다층모형에서는 종속변수에 영향을 미치는 1수준 학생수준의 독립변수(X)뿐만 아니라 2수준의 교사수준의 독립변수(T)와 3수준 학교수준의 독립변수(S)를 모형에 투입하여 설명을 시도한다. 이에 따른 3수준 조건 다중소속 다층모형의 경우 수준별 모형은 다음과 같다.

$$1\text{수준 모형} : Y_{ijk} = \pi_{0jk} + \pi_{1jk}X_{ijk} + e_{ijk} \quad (5)$$

$$2\text{수준 모형} : \begin{cases} \pi_{0jk} = \beta_{00k} + \beta_{01k}T_{0jk} + r_{0jk} \\ \pi_{1jk} = \beta_{10k} \end{cases} \quad (6)$$

$$3\text{수준 모형} : \begin{cases} \beta_{00k} = \gamma_{000} + \gamma_{001}Z_k + u_{00k} \\ \beta_{01k} = \gamma_{010} \\ \beta_{10k} = \gamma_{100} \end{cases} \quad (7)$$

위의 세 모형을 합하면 아래와 같은 모형으로 명세화 할 수 있다.

$$\text{통합 모형: } Y_{ijk} = \gamma_{000} + \gamma_{001}Z_k + u_{00k} + \gamma_{010}T_{0jk} + r_{0jk} + \gamma_{100}X_{ijk} + e_{ijk} \quad (8)$$

본 연구모형에서는 1수준 독립변수(X)와 2수준 독립변수(T)의 계수는 2수준과 3수준에서 고정효과를 갖는 것으로 상정하였다.

3. 3수준 무조건 다중소속 다층모형

본 연구에서는 2수준 다중소속 다층모형¹⁾을 확장하여 학생이 교사에 내재되어 있고, 교사

1) 2수준 무조건 다중소속 다층모형에서는 수식 (9)과 수식 (10)만을 활용하며 모형화하며, 이에 대한

는 학교에 속하는 3수준 자료에서, 학생이 담임교사에 소속함과 동시에 교과 담당 교사에 속하는 3수준 다중소속 다층자료를 활용하여 모형을 설명하고자 한다. 무조건 다중소속 다층모형의 수준별 모형은 다음과 같다.

$$1\text{수준 모형} : Y_{i\{j\}k} = \pi_{0\{j\}k} + e_{i\{j\}k} \quad (9)$$

$$2\text{수준 모형} : \pi_{0jk} = \beta_{00k} + \sum_{h \in \{j\}} W_{ihk} r_{0hk} \quad (10)$$

$$3\text{수준 모형} : \beta_{00k} = \gamma_{000} + u_{00k} \quad (11)$$

위에서 제시한 모형을 통합하면 다음과 같다.

$$\text{통합 모형} : Y_{i\{j\}k} = \gamma_{000} + u_{00k} + \sum_{h \in \{j\}} W_{ihk} r_{0hk} + e_{i\{j\}k} \quad (12)$$

위의 모형(12)에서 $Y_{i\{j\}k}$ 는 k 중학교에 재학 중이며 $\{j\}$ 교사에 속하는 i 학생의 영어 학업 성취도이며, γ_{000} 는 전체 모집단의 영어 학업성취도 평균이다. $h \in \{j\}$ 의 경우 j 는 교사이고 h 는 학생 i 의 교사 소속 여부로서, $j = 1, 2, \dots, J$ 로서 학생이 최대한 속할 수 있는 2수준 집단의 수준은 J 이다. 본 연구에서는 학생이 담임교사와 교과담당교사에 속하는 상황을 가정하여 $J=2$ 로 설정하였다. u_{00k} 는 학교 간 차이, $e_{i\{j\}k}$ 는 학생 내 잔차효과이며 각각 독립적이고 정규분포를 따른다. $e_{i\{j\}k} \sim N(0, \sigma_{i\{j\}k}^2)$, $u_{00k} \sim N(0, \tau_{u00k})$. $\sum_{h \in \{j\}} W_{ihk} r_{0hk}$ 는 교사(들)에 대한 임의효과 r_{0hk} 에 가중치 W_{ihk} 를 곱한 것의 합을 나타낸다. 다중소속 다층모형에서는 각 소속 교사의 기여도에 따라 가중치를 부여하게 되는데, 이 경우 각 가중치의 총합은 1이 되어야 한다(Goldstein, 2010).

앞의 [그림 2]의 예를 들면 학생 A 의 경우 담임교사와 영어 담당 교사가 동일한 T_1 에 내재되어 있어 2수준 임의효과 $r_{0T_1S_1}$ 에 1이라는 가중치를 부여한다.

$$Y_{AT_1S_1} = \gamma_{000} + u_{00S_1} + r_{0T_1S_1} + e_{AT_1S_1} \quad (13)$$

구체적 모형명세화 및 연구모형에 대한 정보는 정혜원(2017)에서 확인할 수 있다.

또한 [그림 2]의 학생 F 의 경우 담임교사 T_1 과 영어 담당 교사인 T_2 가 다르며, 이에 각각의 교사에 동일한 가중치인 0.5를 부과하여 아래의 모형을 설정할 수 있다.

$$Y_{A\{T_1, T_2\}S_2} = \gamma_{000} + u_{00S_2} + 0.5r_{0T_10} + 0.5r_{0T_20} + e_{A\{T_1, T_2\}S_2} \quad (14)$$

4. 3수준 조건 다중소속 다층모형

3수준 조건 다중소속 다층모형에서는 종속변수에 영향을 미치는 1수준 학생수준의 독립변수(X)뿐만 아니라 2수준의 교사수준의 독립변수(T)와 3수준 학교수준의 독립변수(S)를 모형에 투입하여 설명을 시도한다. 이에 따른 3수준 조건 다중소속 다층모형의 경우 수준별 모형은 다음과 같다.

$$1\text{수준 모형} : Y_{i\{j\}k} = \pi_{0\{j\}k} + \pi_{1\{j\}k}X_{i\{j\}k} + e_{i\{j\}k} \quad (15)$$

$$2\text{수준 모형} : \begin{cases} \pi_{0\{j\}k} = \beta_{00k} + \beta_{01k} \sum_{h \in \{j\}} W_{ihk} T_{0hk} + \sum_{h \in \{j\}} W_{ihk} r_{0hk} \\ \pi_{1\{j\}k} = \beta_{10k} \end{cases} \quad (16)$$

$$3\text{수준 모형} : \begin{cases} \beta_{00k} = \gamma_{000} + \gamma_{001}Z_k + u_{00k} \\ \beta_{01k} = \gamma_{010} \\ \beta_{10k} = \gamma_{100} \end{cases} \quad (17)$$

위의 세 모형을 합하면 아래와 같은 모형으로 명세화 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{통합 모형: } Y_{i\{j\}k} = & \gamma_{000} + \gamma_{001}Z_k + u_{00k} + \gamma_{010} \sum_{h \in \{j\}} W_{ihk} T_{0hk} + \sum_{h \in \{j\}} W_{ihk} r_{0hk} \\ & + \gamma_{100}X_{i\{j\}k} + e_{i\{j\}k} \end{aligned} \quad (18)$$

조건 3수준 다중소속 다층모형에서 2-수준 다중소속과 관련된 독립변수(T)는 2수준 잔차 r_{0hk} 와 같은 가중치를 곱하게 된다. 본 연구 모형에서는 1수준 독립변수(X)와 2수준 독립변수(T)의 계수는 2수준과 3수준에서 고정효과를 갖는 것으로 상정하였다.

Ⅲ. 연구방법

본 연구는 2수준에서 다중소속이 발생한 3수준 다중소속 다층자료를 모형에 반영한 3수준 다중소속 다층모형과, 다중소속과 관련된 고정효과는 모형화 하였으나 임의효과에는 반영하지 못한 다중소속 고정효과 적용모형 및 다중소속과 관련된 고정효과와 임의효과 추정시 모형화 하지 못한 전통적 3수준 다층모형을 적용할 경우 고정효과와 임의효과의 모수추정값과, 베이지안 95% 신용구간 커버리지, 모형적합도를 비교하기 위해 다양한 조건을 고려한 모의실험을 수행하고자 한다.

1. 모의실험 조건

본 연구의 모의실험 조건은 다중소속 비율(10%, 20%, 40%), 3수준 표본 크기(30, 50, 100), 2수준 표본 크기(10, 20), 1수준 표본 크기(15, 30) 등 36(3*3*2*2)개 조건들이 서로 교차되도록 하였다.

1) 다중소속 비율

본 연구에서는 대규모 패널 자료를 참조하여 다중소속 비율을 설정한 선행연구의 다중소속 비율을 참조하고(예, 10%~30%, 정혜원, 2017; Chung & Beretvas, 2012; Wolff-Smith & Beretvas, 2014), 다중소속 다층자료 비율이 모형 명세화 오류 및 모수 복원에 미치는 영향력을 탐색하고자 다중소속 비율을 10%, 20%와 40%로 확대하여 분석하였다.

2) 3수준 표본 크기

3수준 표본 크기를 설정하기 위해 국내 대규모 패널자료에서 수집한 학교의 표본크기를 살펴본 결과 표집대상의 특성에 따라 24개 (서울교육중단연구, 전문계 고등학교), 63개(경기교육중단연구, 중학교), 98개 (한국아동 청소년 패널조사 초1패널), 150개 (한국교육중단연구 2005)의 학교가 표본으로 추출된 것을 확인하였다(김양분 외, 2006; 박현정 외, 2011; 이정연 외, 2015; 한국아동 청소년데이터 아카이브 2018.9.5. 인출). 또한 3수준 다층모형을 활용하여 모의실험을 수행한 여러 선행연구들의 조건을 조사한 결과 모수의 안정적인 추정을 위해 100개 이상의 표본의 수집을 권장하였다(Luo & Kwok, 2009; Moerbeek, 2004). 이에 본 연구에서는 30, 50, 100의 조건을 설정하여 3수준 표본 크기가 3수준 다중소속 다층모형의 모수 복원력에 미치는 영향 및 모수 복원에 요구되는 최소한의 3수준 크기를 연구하고자 하였다.

3) 2수준 표본 크기

국내의 대규모 패널 자료(예, 한국교육종단연구2005, 서울교육종단연구 일반계고)에서 교사 표집 크기를 확인한 결과 학교당 평균 약 10명~20명의 교사가 조사에 참여하고 있음을 확인하였다(김양분 외, 2006; 박현정 외, 2011). 또한 3수준 다층모형을 활용한 모의실험 연구들에서 표집한 2수준의 크기를 고려하여(Luo & Kwok, 2009; Moerbeek, 2004), 본 연구에서는 10, 20의 조건을 설정하여 2수준 표본 크기가 3수준 다중소속 다층모형의 모수 복원력에 미치는 영향 및 모수 복원에 요구되는 최소한의 2수준 크기를 연구하고자 하였다.

4) 1수준 표본 크기

3수준 다층모형을 활용한 모의실험연구에서 고려한 1수준 표본크기의 범위는 10~25이었다(Luo & Kwok, 2009; Moerbeek, 2004). 국내의 대규모 패널자료인 경기교육종단연구자료의 1차년도 초등패널에서 교사는 전체 156명이, 학생은 전체 3541명이 표집되어 교사와 학생이 약 1:23의 비율을 보였다(이정연 외, 2015). 2수준 다중소속 다층모형(Wolff-Smith & Beretvas, 2014)에서 활용한 1수준 표본크기가 20~40으로 평균 30임을 고려하여, 본 연구에서는 3수준 다중소속 다층모형의 복잡성을 고려하고 1수준의 표본크기로 15, 30의 조건을 선정하여 1수준 표본 크기가 3수준 다중소속 다층모형의 모수 복원력에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

2. 자료생성 및 모의실험 과정

본 연구에서 수행한 모의실험의 절차는 다음과 같다. 첫째, 중간수준인 2수준에 다중소속이 발생하는 3수준 다중소속 다층자료를 위의 공식(18)을 이용하여 다양한 수준의 모의실험 조건에서 자료를 생성하였다. 다중소속의 경우, 2수준 다중소속 다층모형을 이용하여 모의실험을 수행한 선행연구(Chung & Beretvas, 2012; Wolff-Smith & Beretvas, 2014)를 참조하여 다중소속 비율이 40%인 경우 전체 학생 중 2개의 교실 또는 2명의 다른 교사에 내재되는 학생을 40%로 하고 나머지는 60%는 동일한 교실 또는 교사에 내재되는 것으로 가정하여 자료를 생성하였다. 또한 모의자료의 생성을 위해 3수준 다층모형 및 다중소속 다층모형을 이용하여 모의실험을 수행한 선행연구를 참조하여 고정효과 모수로 $\gamma_{000}=1$, $\gamma_{010}=\gamma_{100}=\gamma_{001}=0.4$ 와 1수준 임의효과 분산 모수로 $\sigma_{i\{j\}k}^2=0.5$, 2수준과 3수준의 분산은 각각 $\tau_{u0\{j\}0}=0.2$, $\tau_{00k}=0.2$ 를 부여하였다(Chung & Beretvas, 2012; Luo & Kwok, 2009; Moerbeek, 2004). 자료의 생성을 위해 MlwiN 2.36 프로그램을 활용하였다(Rasbash, Charlton, Browne, Healy, & Cameron, 2016).

둘째, 동일한 자료에 대하여 중간수준에 다중소속 다층자료를 모형화한 준거모형인 3수준 다중소속 다층모형과, 다중소속 다층자료의 속성을 고정효과에는 반영하였으나 임의효과에

는 반영하지 못한 다중소속 고정효과 적용모형과, 다중소속 다층자료의 속성을 고정효과와 임의효과 모두에 반영하지 못한 전통적 3수준 다층모형을 적용하여 각 모형의 모수추정값과 적합도를 비교하였다. 본 연구에서는 3수준 다중소속 다층모형의 복잡성을 고려하고 추정방법선택에 따른 모수추정값의 차이를 방지하고자 모든 모형에 동일한 Markov chain Monte Carlo(MCMC) 추정방법을 사용하였으며, 3수준 다중소속 다층자료에 준거모형인 3수준 다중소속 다층모형을 적용할 경우 공식 (18)을 이용하여 모형을 추정하였고, 비교모형인 전통적 3수준 다층모형(공식 (8) 참조)을 적용할 경우 2수준에서 복수의 교사 또는 교실에 내재되는 다중소속을 무시하여 모형을 설정하였다. 본 연구에서는 답임교사에만 내재된 것으로 간주하여 모형화하였다.

추가로 본 연구에서는 2수준에서 다중소속이 발생한 3수준 다중소속 다층자료에 대한 모형 명세화 오류에 따른 모수추정치의 변화를 설명하기 위하여, 고정효과 추정에서는 다중소속을 반영하였으나 임의효과 추정에서는 다중소속을 반영하지 못한 모형을 다중소속 고정효과만 적용한 모형으로 간주하여 적용하고자 한다. 이에 따른 3수준 조건 다중소속 고정효과 적용모형의 수준별 모형은 다음과 같다.

$$1\text{수준 모형} : Y_{i\{j\}k} = \pi_{0\{j\}k} + \pi_{1\{j\}k}X_{i\{j\}k} + e_{i\{j\}k} \quad (19)$$

$$2\text{수준 모형} : \begin{cases} \pi_{0\{j\}k} = \beta_{00k} + \beta_{01k} \sum_{h \in \{j\}} W_{ihk} T_{0hk} + r_{0jk} \\ \pi_{1\{j\}k} = \beta_{10k} \end{cases} \quad (20)$$

$$3\text{수준 모형} : \begin{cases} \beta_{00k} = \gamma_{000} + \gamma_{001}Z_k + u_{00k} \\ \beta_{01k} = \gamma_{010} \\ \beta_{10k} = \gamma_{100} \end{cases} \quad (21)$$

위의 세 모형을 합하면 아래와 같은 모형으로 명세화 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{통합 모형: } Y_{i\{j\}k} = & \gamma_{000} + \gamma_{001}Z_k + u_{00k} + \gamma_{010} \sum_{h \in \{j\}} W_{ihk} T_{0hk} + r_{0jk} \\ & + \gamma_{100}X_{i\{j\}k} + e_{i\{j\}k} \end{aligned} \quad (22)$$

다중소속이 발생한 경우 고정효과에선 다중소속을 모형이 반영하였으나 $(\sum_{h \in \{j\}} W_{ihk} T_{0hk})$ 임의효과에서는 다중소속을 반영되지 못한 (r_{0jk}) , 다중소속 고정효과 적용모형으로 본 연구에서는 공식 (22)를 적용하여 모형을 추정하였다.

3. 모의실험 결과 비교

1) 상대편의성

본 연구에서는 준거모형인 3수준 다중소속 다층모형과, 임의효과 추정 시 다중소속을 반영하지 못한 다중소속 고정효과 적용모형 및 고정효과와 임의효과 모두 추정 시 다중소속을 반영하지 못한 전통적 3수준 다층모형을 각각 적용하여 모수추정값을 비교하기 위해 상대편의성(relative bias of a parameter estimate)을 사용하여 비교하고 평가하였다. 상대편의성은 다음 수식을 사용하여 계산하였다:

$$B(\hat{\theta}_i) = \frac{\bar{\theta}_i - \theta_i}{\theta_i} \quad (23)$$

여기서 $\bar{\theta}_i$ 는 모의실험 조건에 따라 200회 반복되어 생성된 자료로부터 각 모형을 적용하여 추정된 값들의 평균을 나타내며, θ_i 는 자료를 생성할 때 쓰였던 모수를 의미한다. 모수의 상대편의성의 절댓값의 크기가 0.05 이상일 경우 모수추정값이 적합하지 않다고 해석한다 (Hoogland & Boomsma, 1998).

2) 베이지안 95% 신용구간 커버리지

본 연구에서는 모의실험 조건에 따라 200회 반복되어 생성된 자료에 준거모형인 3수준 다중소속 다층모형과, 임의효과 추정 시 다중소속 자료 특성을 반영하지 못한 다중소속 고정효과 적용모형 및 고정효과와 임의효과 모두 다중소속 자료의 특성을 반영하지 못한 전통적 다층모형 적용 시 추정된 각 모수에 대한 베이지안 95% 신용구간(credible interval)²⁾이 모수를 포함하는 비율을 모의실험 조건별로 분석하고자 하였다. 즉, 95% 신용구간 커버리지는 각 모의실험 조건별로 생성된 200회 자료세트에 대하여 베이지안 95% 신용구간을 계산하였을 때, 그 중 모수를 포함하고 있는 신용구간들의 비율이다. 본 연구에서는 Bradley(1978)의 이론에 기반을 둔 Algina, Keselman과 Penfield(2005)가 제시한 하한값(lower bound)으로 .925

2) 베이지안 추론의 신용구간 해석은 고전적 추론에서의 신뢰구간의 해석과 차이가 있다. 고전적 추론에서 모수에 대한 95% 신뢰구간(confidence interval)은 표본을 반복하여 여러 번 추출해 얻어진 다수의 신뢰구간들 중 약 95%가 구간 내에 모수를 포함한다고 해석하는 반면 베이지안 신용구간은 확률구간(probability interval)으로 하나의 구간이 바로 그 모수를 포함할 확률이 95%라고 해석한다(김달호, 2015; 석혜은, 방희정, 김수영, 2017). 고전적 추론에서 구간 추정은 표본에 근거하여 모수를 추론하지만, 베이지안에서 95% 신용구간은 MCMC 알고리즘을 이용해 사후분포로부터 표본을 추출한 후 상위 2.5%와 97.5%에 해당되는 값을 추출하게 되며, 이 구간에 '0'을 포함하고 있지 않고 추정된 값이 이 범위에 포함되었다면 영가설을 기각하게 된다.

를, 상한값(upper bound)으로 .975를 사용하여 베이지안 95%의 신용구간 커버리지의 적절성을 판단하고자 한다.

3) 모형적합도 비교

본 연구에서는 2수준에 다중소속이 발생한 3수준 다중소속 다층자료에 이를 올바르게 모형화한 3수준 다중소속 다층모형, 임의효과 추정 시 다중소속 자료 특성을 반영하지 못한 오류모형 및 고정효과와 임의효과 모두 다중소속 자료의 특성을 반영하지 못한 전통적 다층모형의 모형비교를 위해, MCMC 추정방법 적용 시 활용하는 Deviance Information Criterion (DIC; Spiegelhalter, Best, Carlin, & van der Linde, 2002)을 사용하였다. DIC는 모형 간 비교를 위해 모형의 적합성과 복잡성을 고려하여 모형 선택의 정보를 제공한다. DIC는 아래 식과 같다.

$$DIC = \bar{D} + p_D \quad (24)$$

여기서 \bar{D} 는 MCMC 추정방법을 적용하여 추출된 사후표본을 활용한 베이지안 척도로 사후 평균 편차(posterior mean deviance)을 나타내며 값이 작을수록 자료가 모형에 적절한 것을 의미하는 모형 적합도이다. 또한 유효 모수의 개수(the effective number of parameters)를 의미하는 p_D 는 값이 클수록 모형이 복잡해지는 것을 의미한다. 따라서 모형의 적합성과 복잡성을 고려한 DIC는 값이 작을수록 자료에 적합한 모형임을 의미한다. 모형 비교시 DIC 값이 5이상 작을수록, 자료에 더 적합한 모형으로 해석한다 (Li, Bolt, & Fu, 2006).

IV. 연구결과

1. 상대편의성

각 모의실험조건 및 추정모형에 따른 고정효과의 상대편의성을 종합하여 제시한 <표 1>에 따르면, 준거모형인 3수준 다중소속 다층모형과 2수준에서 발생한 다중소속을 고정효과 추정에 반영한 다중소속 고정효과 적용모형에서는 3수준 표본크기가 30 또는 50의 일부조건에서 Hoogland와 Boomsma(1998)가 제시한 기준인 0.05이상의 약간 상회하는 상대편의성이 절편 모수추정값에서 발견되었으나, 그 외 각 수준별 독립변수의 고정효과의 모수추정값은 모두 안정적으로 추정되는 것으로 나타났다.

〈표 1〉 모의실험조건별 고정효과 모수추정값의 상대편의성

모의실험조건					다중소속 다중모형				다중소속 고정효과와 적용모형				전통적 다중모형			
다중 소속비율	표본크기															
	3 수준	2 수준	1 수준	1 수준	절편	3수준	2수준	1수준	절편	3수준	2수준	1수준	절편	3수준	2수준	1수준
0.1	30	10	15		0.046	-0.002	<.001	<.001	0.039	-0.001	<.001	<.001	1.050	-0.002	-0.050	<.001
0.1	30	10	30		-0.026	0.001	<.001	<.001	-0.028	0.001	<.001	<.001	0.979	<.001	-0.050	<.001
0.1	30	20	15		-0.058	0.003	<.001	<.001	-0.048	0.003	<.001	<.001	0.957	0.002	-0.050	<.001
0.1	30	20	30		0.017	-0.001	<.001	<.001	0.019	-0.001	<.001	<.001	1.009	-0.001	-0.050	<.001
0.1	50	10	15		-0.035	0.002	<.001	<.001	-0.036	0.002	<.001	<.001	0.966	0.002	-0.050	<.001
0.1	50	10	30		0.033	-0.001	<.001	<.001	0.040	-0.001	<.001	<.001	1.051	-0.001	-0.051	<.001
0.1	50	20	15		0.034	-0.001	<.001	<.001	0.032	-0.001	<.001	<.001	1.022	-0.001	-0.050	<.001
0.1	50	20	30		0.065	-0.002	<.001	<.001	0.067	-0.002	<.001	<.001	1.043	-0.001	-0.050	<.001
0.1	100	10	15		-0.042	0.002	<.001	<.001	-0.045	0.002	<.001	<.001	0.967	0.002	-0.050	<.001
0.1	100	10	30		-0.022	<.001	<.001	<.001	-0.025	0.001	<.001	<.001	0.980	0.001	-0.050	<.001
0.1	100	20	15		0.030	-0.001	<.001	<.001	0.030	-0.001	<.001	<.001	1.031	-0.001	-0.050	<.001
0.1	100	20	30		0.012	<.001	<.001	<.001	0.009	<.001	<.001	<.001	1.006	<.001	-0.050	<.001
0.2	30	10	15		0.042	-0.002	<.001	<.001	0.041	-0.001	<.001	<.001	2.067	-0.002	-0.101	<.001
0.2	30	10	30		-0.025	0.001	<.001	<.001	-0.025	0.001	<.001	<.001	1.998	<.001	-0.100	<.001
0.2	30	20	15		-0.060	0.003	<.001	<.001	-0.053	0.003	<.001	<.001	1.959	0.002	-0.100	<.001
0.2	30	20	30		0.015	-0.001	<.001	<.001	0.019	-0.001	<.001	<.001	2.018	-0.001	-0.100	<.001
0.2	50	10	15		-0.036	0.002	<.001	<.001	-0.038	0.002	<.001	<.001	1.977	0.002	-0.101	<.001
0.2	50	10	30		0.024	-0.001	<.001	<.001	0.038	-0.001	<.001	<.001	2.048	-0.001	-0.101	<.001
0.2	50	20	15		0.034	-0.001	<.001	<.001	0.030	-0.001	<.001	<.001	2.015	-0.001	-0.100	<.001

〈표 1〉 모의실험조건별 고정효과 모수추정값의 상대편의성 (계속)

모의실험조건					다중소속 다층모형				다중소속 고정효과와 적용모형				전통적 다층모형			
다중 소속비율	표본크기				절편	다중소속			절편	다중소속 고정효과			절편	전통적		
	3 수준	2 수준	1 수준	1 수준		3 수준	2 수준	1 수준		3 수준	2 수준	1 수준				
0.2	50	20	30		0.063	-0.002	<.001	<.001	0.069	-0.002	<.001	<.001	2.033	-0.001	-0.100	<.001
0.2	100	10	15		-0.041	0.002	<.001	<.001	-0.042	0.002	<.001	<.001	1.967	0.002	-0.100	<.001
0.2	100	10	30		-0.022	<.001	<.001	<.001	-0.025	0.001	<.001	<.001	1.983	0.001	-0.100	<.001
0.2	100	20	15		0.031	-0.001	<.001	<.001	0.029	-0.001	<.001	<.001	2.032	-0.001	-0.100	<.001
0.2	100	20	30		0.012	<.001	<.001	<.001	0.010	<.001	<.001	<.001	2.008	<.001	-0.100	<.001
0.4	30	10	15		0.043	-0.001	<.001	<.001	0.046	-0.001	-0.001	<.001	4.074	-0.001	-0.202	<.001
0.4	30	10	30		-0.015	<.001	<.001	<.001	-0.020	0.001	<.001	<.001	3.995	<.001	-0.200	0.001
0.4	30	20	15		-0.059	0.003	<.001	<.001	-0.055	0.003	<.001	<.001	3.962	0.002	-0.200	<.001
0.4	30	20	30		0.013	-0.001	<.001	<.001	0.019	-0.001	<.001	<.001	4.027	-0.001	-0.200	<.001
0.4	50	10	15		-0.052	0.002	<.001	<.001	-0.048	0.002	<.001	<.001	3.986	0.002	-0.201	<.001
0.4	50	10	30		0.070	-0.003	<.001	<.001	0.079	-0.004	<.001	<.001	4.058	-0.002	-0.200	<.001
0.4	50	20	15		-0.032	0.001	<.001	<.001	-0.034	0.001	<.001	<.001	3.975	0.001	-0.200	<.001
0.4	50	20	30		0.019	<.001	<.001	<.001	0.021	<.001	<.001	<.001	4.012	<.001	-0.200	<.001
0.4	100	10	15		-0.041	0.002	<.001	<.001	-0.037	0.002	<.001	<.001	3.971	0.002	-0.200	<.001
0.4	100	10	30		-0.024	<.001	<.001	<.001	-0.027	0.001	<.001	<.001	3.985	<.001	-0.200	<.001
0.4	100	20	15		0.031	-0.001	<.001	<.001	0.032	-0.001	<.001	<.001	4.047	-0.001	-0.201	<.001
0.4	100	20	30		0.012	<.001	<.001	<.001	0.010	<.001	<.001	<.001	4.012	<.001	-0.200	<.001

주. 상대편의성이 Hoogland와 Boomsma(1998)의 기준을 초과한 값을 진하게 표시함.

그러나 2수준에서 발생한 다중소속을 무시한 전통적 3수준 다층모형이 적용되었을 때, 2수준 독립변인의 고정효과와 모수추정값은 과소추정되었으며, 이와 반대로 같은 모의실험조건에서 절편의 고정효과 모수추정값은 과대추정되는 상대적 편의가 나타났다. 이러한 상대편의성은 다중소속 비율이 증가함에 따라 2수준 독립변수는 더욱 작게 추정되고, 같은 모의실험조건에서 절편의 경우 더욱 과대추정되는 경향을 보였다.

<표 2>에는 각 모의실험조건 및 추정모형에 따른 임의효과 분산 모수추정값의 상대편의성을 제시하였다. 3수준 임의효과 분산의 모수추정값은 세 모형에서 3수준 표본크기가 30인 경우와 3수준 표본크기가 50인 경우 일부 조건에서 기준치인 0.05 이상의 상대편의성이 발생하였으며 상대편의성의 크기도 매우 비슷하였다.

다중소속 다층모형의 경우 모형의 복잡성으로 인해 MCMC 추정방법을 이용하는 것이 강력하게 권장되고 있다(Rasbash et al., 2016). MCMC 추정방법을 다층모형 또는 다중소속 다층모형을 적용한 선행연구에서는 상위수준의 표본크기가 충분하지 않을 경우 임의효과와 분산 모수추정값이 과대추정되는 경향을 보고하고 있다(Browne & Draper, 2006; Wolff-Smith & Beretvas, 2014). 이는 3수준 다중소속 다층모형의 안정적인 모수추정을 위해서 3수준에서 일정수준 이상의 표집이 이루어져야 함을 의미한다. 또한 다중소속 고정효과 적용모형 및 전통적 3수준 다층모형을 적용할 경우 발생하는 3수준 임의효과 분산의 과대추정은 대부분 모형의 명세화 오류에 기인한 것이 아니라 3수준 표본크기가 충분하지 못하여 발생된 것으로 유추할 수 있다. 3수준 다중소속 다층모형을 적용하였을 경우 모든 모의실험조건에서 2수준과 1수준의 임의효과 분산 추정치의 상대편의성은 매우 미미한 것으로 나타났다.

2수준에서 발생한 다중소속의 고정효과 추정 시 이를 모형에 반영하였으나, 임의효과를 모형에 반영하지 못한 다중소속 고정효과 적용모형을 적용한 경우, 2수준의 임의효과 분산 추정량은 과소 추정되는 반면 하위수준인 1수준의 분산은 과대추정되는 경향을 보였다. 즉, 2수준에서 다중소속을 무시하여 임의효과를 추정하면, 이는 1수준 임의효과에 포함되어, 1수준의 임의효과 분산이 과대추정되는 결과를 보인 것으로 해석할 수 있다. 이러한 상대편의성은 다중소속 비율이 증가함에 따라 2수준의 임의효과 분산은 더욱 작게 추정되고, 그에 상응하는 1수준의 분산은 더욱 크게 추정되는 경향을 보였다.

2수준에서 발생한 다중소속의 고정효과와 임의효과 모두 모형에 반영하지 못한 전통적 3수준 다층모형을 적용한 경우, 2수준 임의효과 분산이 작게 추정된 상대편의성이 나타났으며, 이는 다중소속 고정효과 적용모형에서 나타난 상대편의성의 크기와 비슷하였다. 또한 1수준의 임의효과 분산은 크게 추정되었으나, 이는 오류모형에서 나타난 상대편의성의 크기에 비해 과대추정된 값의 크기가 더욱 큰 것으로 나타났다. 이러한 현상은 <표 1>에서 전통적 다층모형을 적용하였을 경우 나타난 2수준 고정효과가 과소추정되어 설명되지 않은 종속변수의 분산이 대부분 하위수준의 분산의 과대추정에 영향을 미친 것으로 유추해 볼 수 있다.

〈표 2〉 모의실험조건별 임의효과 분산 모수추정값의 상대편의성

다중 소속 비율	모의실험조건				다중소속 다중모형			다중소속 고정효과와 격용모형			전통적 다중모형		
	표본크기												
	3 수준	2 수준	10 수준	15 수준	3 수준	2 수준	1 수준	3 수준	2 수준	1 수준	3 수준	2 수준	1 수준
0.1	30	10	30	15	0.129	0.008	-0.003	0.122	-0.092	0.017	0.123	-0.085	1.511
0.1	30	10	30	30	0.070	0.006	-0.001	0.071	-0.093	0.018	0.079	-0.093	1.533
0.1	30	20	15	30	0.075	0.006	0.001	0.073	-0.091	0.020	0.070	-0.088	1.537
0.1	30	20	30	30	0.089	0.003	-0.002	0.087	-0.096	0.017	0.086	-0.094	1.540
0.1	50	10	15	15	0.071	-0.009	<.001	0.066	-0.106	0.019	0.057	-0.103	1.542
0.1	50	10	30	30	0.040	0.001	0.001	0.035	-0.095	0.020	0.028	-0.099	1.557
0.1	50	20	15	30	0.047	0.006	-0.001	0.045	-0.092	0.019	0.046	-0.095	1.529
0.1	50	20	30	30	0.044	-0.004	<.001	0.045	-0.101	0.019	0.046	-0.104	1.539
0.1	100	10	15	15	0.018	0.004	0.001	0.020	-0.094	0.020	0.024	-0.096	1.552
0.1	100	10	30	30	0.033	0.004	-0.001	0.039	-0.095	0.018	0.040	-0.099	1.541
0.1	100	20	15	30	0.018	0.002	-0.001	0.017	-0.096	0.018	0.019	-0.097	1.535
0.1	100	20	30	30	0.020	0.002	<.001	0.022	-0.095	0.018	0.024	-0.096	1.540
0.2	30	10	15	15	0.129	0.008	-0.003	0.123	-0.185	0.033	0.132	-0.178	2.886
0.2	30	10	30	30	0.065	0.008	-0.001	0.071	-0.187	0.036	0.073	-0.192	2.907
0.2	30	20	15	30	0.072	0.006	0.001	0.073	-0.185	0.037	0.073	-0.181	2.912
0.2	30	20	30	30	0.090	0.002	-0.002	0.087	-0.189	0.034	0.088	-0.187	2.922
0.2	50	10	15	15	0.069	-0.009	<.001	0.066	-0.198	0.036	0.050	-0.202	2.928
0.2	50	10	30	30	0.038	0.001	0.001	0.035	-0.189	0.037	0.026	-0.194	2.941

〈표 2〉 모의실험조건별 임의효과 분산 모수추정값의 상대편의성 (계속)

다중 소속 비율	모의실험조건				다중소속 다중모형			다중소속 고정효과 적용모형			전통적 다중모형		
	표본크기				다중소속 다중모형			다중소속 고정효과 적용모형			전통적 다중모형		
	3 수준	2 수준	1 수준	1 수준	3 수준	2 수준	1 수준	3 수준	2 수준	1 수준	3 수준	2 수준	1 수준
0.2	50	20	15		0.050	0.006	-0.001	0.045	-0.185	0.035	0.049	-0.193	2.904
0.2	50	20	30		0.041	-0.004	<.001	0.045	-0.194	0.036	0.046	-0.191	2.915
0.2	100	10	15		0.020	0.004	0.001	0.020	-0.187	0.037	0.023	-0.194	2.923
0.2	100	10	30		0.033	0.004	-0.001	0.038	-0.188	0.035	0.040	-0.195	2.915
0.2	100	20	15		0.017	0.002	-0.001	0.017	-0.189	0.036	0.017	-0.189	2.908
0.2	100	20	30		0.021	0.002	<.001	0.022	-0.188	0.035	0.024	-0.190	2.916
0.4	30	10	15		0.127	0.010	-0.002	0.125	-0.358	0.063	0.136	-0.367	5.135
0.4	30	10	30		0.065	0.007	-0.001	0.071	-0.358	0.063	0.075	-0.364	5.167
0.4	30	20	15		0.067	0.006	0.001	0.072	-0.356	0.064	0.064	-0.351	5.181
0.4	30	20	30		0.090	0.003	-0.002	0.087	-0.360	0.062	0.088	-0.363	5.196
0.4	50	10	15		0.071	-0.008	<.001	0.067	-0.367	0.064	0.057	-0.388	5.205
0.4	50	10	30		0.037	0.001	0.001	0.031	-0.360	0.064	0.024	-0.367	5.214
0.4	50	20	15		0.047	0.005	-0.001	0.045	-0.357	0.063	0.049	-0.366	5.160
0.4	50	20	30		0.037	-0.003	<.001	0.040	-0.363	0.064	0.041	-0.365	5.189
0.4	100	10	15		0.018	0.003	0.001	0.019	-0.358	0.065	0.023	-0.365	5.184
0.4	100	10	30		0.034	0.003	-0.001	0.037	-0.359	0.063	0.038	-0.364	5.188
0.4	100	20	15		0.017	0.002	-0.001	0.017	-0.360	0.063	0.016	-0.360	5.168
0.4	100	20	30		0.020	0.002	<.001	0.022	-0.359	0.063	0.023	-0.359	5.189

주. 상대편의성이 Hoogland와 Boomsma(1998)의 기준을 초과한 값을 진하게 표시함.

2. 베이지안 95% 신용구간 커버리지

<표 3>에서 제시된 것처럼 모의실험조건별 고정효과에 대한 베이지안 95% 신용구간 커버리지는 적용한 모형에 따라 매우 다른 양상을 보였다. 2수준 다중소속 다층자료를 적절히 반영한 준거모형인 3수준 다중소속 다층모형을 적용한 경우, 일부 모의실험조건을 제외한 거의 모든 조건에서 Algina와 동료들이(2005) 제시한 신용구간 커버리지인 .925~.975를 충족한 것으로 나타났다. 그러나 다중소속 고정효과 적용모형을 적용하였을 경우, 다중소속과 관련된 2수준 고정효과와 베이지안 95% 신용구간 커버리지의 하한기준인 92.5%에 도달하지는 못하였다. 전통적 다층모형을 적용하였을 경우 절편의 베이지안 95% 신용구간 커버리지가 하한기준에 도달하지 못하였으며, 다중소속비율이 증가함에 따라 0에 도달하였다. 또한 2수준 고정효과와 베이지안 95% 신용구간 커버리지는 모든 조건에서 모수를 포함하지 못하여 커버리지가 0으로 나타났다.

또한 <표 4>에서 제시된 것처럼 임의효과 분산에 대한 95% 베이지안 신용구간 커버리지에서도 적용한 모형에 따라 차이가 나타났다. 구체적으로, 3수준 다중소속 다층모형을 적용했을 시, 3수준 표본크기가 30인 경우 1수준 임의효과와 베이지안 5% 신뢰구간 커버리지가 Algina와 동료들이(2005) 제시한 신용구간 커버리지의 상한수준인 .975를 약간 상회하였으나, 이를 제외한 모든 조건에서 기준을 충족한 것으로 나타났다.

그러나 2수준 임의효과 분산 추정 시 다중소속을 적절하게 반영하지 못한 다중소속 고정효과 적용모형의 경우, 모든 모의실험조건에서 2수준과 1수준의 베이지안 95% 신용구간 커버리지가 하한기준인 92.5%에 도달하지 못하였으며, 다중소속 비율과 3수준의 크기가 증가함에 따라 커버리지가 0에 도달하였다. 또한 2수준 고정효과와 임의효과 추정 시 다중소속을 모두 반영하지 못한 전통적 3수준 다층모형을 적용한 경우, 2수준 임의효과와 베이지안 95% 신용구간 커버리지의 경우 동일한 모의실험조건에서 다중소속 고정효과 적용모형의 커버리지보다 약간 상회하거나 비슷한 수준을 보였으나, 1수준 임의효과와 베이지안 95% 신용구간 커버리지는 모든 모의실험조건에서 모수를 포함하지 못하여 0으로 나타났다.

3. 모형적합도 비교

<표 5>에는 모의실험조건별 세 모형을 적용하였을 때 모형적합도의 평균을 제시하였다. 동일한 조건에서 세 모형의 DIC 값을 비교한 결과, 3수준 다중소속 다층모형을 적용한 경우 Li 와 동료들(2006)이 제시한 기준을 적용하였을 때, 다중소속과 관련된 고정효과를 적절하게 반영하였으나 임의효과에는 반영하지 못한 오류모형의 적합도와 다중소속과 관련된 고정효

〈표 3〉 모의실험조건별 고정효과와 베이저안 95% 신용구간 커버리지

다중 소속비율	모의실험조건				다중소속 다중모형				다중소속 고정효과와 적용모형				진통적 다중모형			
	표본크기															
	3 수준	2 수준	1 수준	1 수준	절편	3수준	2수준	1수준	절편	3수준	2수준	1수준	절편	3수준	2수준	1수준
0.1	30	10	15		0.955	0.935	0.950	0.985	0.955	0.920	0.860	0.975	0.440	0.930	0	0.940
0.1	30	10	30		0.910	0.945	0.960	0.970	0.900	0.915	0.830	0.975	0.460	0.930	0	0.970
0.1	30	20	15		0.950	0.950	0.970	0.980	0.945	0.935	0.880	0.980	0.485	0.945	0	0.940
0.1	30	20	30		0.925	0.920	0.975	0.930	0.915	0.910	0.815	0.920	0.425	0.915	0	0.980
0.1	50	10	15		0.945	0.970	0.950	0.950	0.950	0.970	0.890	0.950	0.305	0.970	0	0.950
0.1	50	10	30		0.965	0.960	0.955	0.970	0.960	0.955	0.860	0.965	0.225	0.955	0	0.935
0.1	50	20	15		0.925	0.945	0.955	0.950	0.910	0.950	0.880	0.955	0.200	0.950	0	0.975
0.1	50	20	30		0.915	0.940	0.965	0.935	0.920	0.925	0.895	0.940	0.170	0.930	0	0.980
0.1	100	10	15		0.925	0.935	0.950	0.940	0.930	0.925	0.880	0.940	0.040	0.935	0	0.940
0.1	100	10	30		0.955	0.955	0.945	0.935	0.945	0.955	0.820	0.930	0.035	0.950	0	0.940
0.1	100	20	15		0.955	0.955	0.965	0.950	0.955	0.965	0.915	0.960	0.020	0.965	0	0.955
0.1	100	20	30		0.955	0.945	0.950	0.940	0.960	0.965	0.800	0.945	0.010	0.965	0	0.970
0.2	30	10	15		0.955	0.945	0.945	0.975	0.950	0.920	0.800	0.975	0.020	0.940	0	0.935
0.2	30	10	30		0.930	0.965	0.960	0.970	0.900	0.925	0.790	0.970	0.040	0.925	0	0.960
0.2	30	20	15		0.950	0.945	0.960	0.975	0.950	0.935	0.850	0.980	0.020	0.955	0	0.925
0.2	30	20	30		0.935	0.930	0.960	0.930	0.910	0.910	0.760	0.930	0.020	0.925	0	0.980
0.2	50	10	15		0.955	0.970	0.950	0.940	0.945	0.965	0.835	0.940	0.005	0.975	0	0.970
0.2	50	10	30		0.985	0.975	0.965	0.975	0.950	0.955	0.810	0.975	0	0.970	0	0.965
0.2	50	20	15		0.930	0.945	0.960	0.950	0.910	0.950	0.845	0.955	0	0.945	0	0.960

〈표 3〉 모의실험조건별 고정효과와 베이지안 95% 신용구간 커버리지																	(계속)														
모의실험조건					다중소속 다중모형				다중소속 고정효과 적용모형				전통적 다중모형																		
다중 소속비율	표본크기				정편	3수준			2수준			정편	3수준			정편	2수준			정편	3수준			정편	2수준			정편	1수준		
	3	수준	2	수준		1	수준	3수준	2수준	1수준	3수준		2수준	1수준	3수준		2수준	1수준	3수준		2수준	1수준									
0.2	50	20	30	30	0.920	0.935	0.950	0.945	0.930	0.925	0.830	0.945	0	0.940	0	0.960															
0.2	100	10	15	15	0.935	0.935	0.950	0.940	0.930	0.930	0.800	0.935	0	0.935	0	0.935															
0.2	100	10	30	30	0.965	0.955	0.940	0.935	0.940	0.955	0.740	0.925	0	0.960	0	0.915															
0.2	100	20	15	15	0.955	0.955	0.975	0.950	0.955	0.960	0.925	0.955	0	0.960	0	0.940															
0.2	100	20	30	30	0.950	0.960	0.960	0.940	0.950	0.965	0.710	0.945	0	0.970	0	0.960															
0.4	30	10	15	15	0.955	0.945	0.945	0.980	0.960	0.920	0.770	0.975	0	0.935	0	0.945															
0.4	30	10	30	30	0.920	0.960	0.955	0.970	0.890	0.920	0.670	0.965	0	0.940	0	0.960															
0.4	30	20	15	15	0.930	0.945	0.975	0.975	0.950	0.940	0.800	0.970	0	0.950	0	0.950															
0.4	30	20	30	30	0.935	0.920	0.970	0.940	0.910	0.910	0.685	0.935	0	0.935	0	0.950															
0.4	50	10	15	15	0.950	0.975	0.950	0.930	0.930	0.970	0.775	0.940	0	0.970	0	0.960															
0.4	50	10	30	30	0.965	0.970	0.955	0.965	0.940	0.955	0.740	0.970	0	0.965	0	0.960															
0.4	50	20	15	15	0.945	0.945	0.960	0.955	0.930	0.945	0.765	0.945	0	0.950	0	0.935															
0.4	50	20	30	30	0.915	0.940	0.945	0.940	0.920	0.920	0.720	0.955	0	0.925	0	0.945															
0.4	100	10	15	15	0.940	0.915	0.945	0.940	0.945	0.930	0.745	0.940	0	0.925	0	0.945															
0.4	100	10	30	30	0.945	0.950	0.940	0.945	0.940	0.950	0.670	0.925	0	0.965	0	0.915															
0.4	100	20	15	15	0.950	0.960	0.970	0.950	0.960	0.960	0.850	0.945	0	0.955	0	0.950															
0.4	100	20	30	30	0.940	0.955	0.950	0.940	0.950	0.965	0.700	0.960	0	0.975	0	0.940															

〈표 4〉 모의실험조건별 임의효과와 95% 신용구간 커버리지

모의실험조건				다중소속 다중모형			다중소속 고정효과 적용모형			전통적 다중모형		
다중소속비율	표본크기			다중소속 다중모형			다중소속 고정효과 적용모형			전통적 다중모형		
	3 수준	2 수준	1 수준	3 수준	2 수준	1 수준	3 수준	2 수준	1 수준	3 수준	2 수준	1 수준
0.1	30	10	15	0.940	0.960	0.945	0.935	0.855	0.865	0.930	0.870	0
0.1	30	10	30	0.950	0.925	0.960	0.950	0.815	0.815	0.950	0.850	0
0.1	30	20	15	0.960	0.960	0.980	0.960	0.720	0.750	0.950	0.825	0
0.1	30	20	30	0.965	0.950	0.930	0.950	0.665	0.610	0.950	0.735	0
0.1	50	10	15	0.940	0.955	0.950	0.950	0.700	0.780	0.950	0.820	0
0.1	50	10	30	0.960	0.955	0.965	0.955	0.720	0.640	0.960	0.770	0
0.1	50	20	15	0.945	0.950	0.965	0.950	0.545	0.645	0.955	0.655	0
0.1	50	20	30	0.965	0.955	0.960	0.965	0.435	0.385	0.965	0.475	0
0.1	100	10	15	0.925	0.945	0.965	0.950	0.555	0.625	0.945	0.660	0
0.1	100	10	30	0.950	0.940	0.955	0.950	0.470	0.450	0.940	0.535	0
0.1	100	20	15	0.940	0.960	0.970	0.945	0.235	0.400	0.945	0.390	0
0.1	100	20	30	0.940	0.965	0.955	0.945	0.160	0.115	0.950	0.255	0
0.2	30	10	15	0.935	0.945	0.935	0.935	0.450	0.665	0.915	0.715	0
0.2	30	10	30	0.955	0.920	0.960	0.950	0.355	0.360	0.940	0.570	0
0.2	30	20	15	0.960	0.950	0.985	0.960	0.220	0.360	0.965	0.480	0
0.2	30	20	30	0.955	0.950	0.930	0.950	0.085	0.110	0.945	0.275	0
0.2	50	10	15	0.945	0.940	0.945	0.950	0.210	0.460	0.950	0.505	0
0.2	50	10	30	0.965	0.955	0.960	0.955	0.180	0.100	0.965	0.370	0
0.2	50	20	15	0.955	0.945	0.965	0.950	0.045	0.190	0.950	0.210	0

〈표 4〉 모의실험조건별 임의효과의 95% 신용구간 커버리지 (계속)

모의실험조건				다중소속 다층모형			다중소속 고정효과 작용모형			전통적 다층모형		
다중 소속비율	표본크기			다중소속 다층모형			다중소속 고정효과 작용모형			전통적 다층모형		
	3 수준	2 수준	1 수준	3 수준	2 수준	1 수준	3 수준	2 수준	1 수준	3 수준	2 수준	1 수준
0.2	50	20	30	0.955	0.955	0.955	0.965	0.015	0.010	0.950	0.085	0
0.2	100	10	15	0.950	0.945	0.965	0.945	0.030	0.135	0.960	0.235	0
0.2	100	10	30	0.950	0.945	0.940	0.950	0	0	0.940	0.070	0
0.2	100	20	15	0.945	0.955	0.970	0.945	0	0	0.945	0.025	0
0.2	100	20	30	0.940	0.965	0.955	0.940	0	0	0.950	0.000	0
0.4	30	10	15	0.945	0.945	0.945	0.940	0	0	0.925	0.315	0
0.4	30	10	30	0.950	0.910	0.960	0.950	0	0	0.935	0.110	0
0.4	30	20	15	0.955	0.945	0.980	0.960	0	0	0.955	0.130	0
0.4	30	20	30	0.940	0.945	0.940	0.955	0	0	0.940	0.000	0
0.4	50	10	15	0.930	0.950	0.950	0.945	0	0	0.955	0.110	0
0.4	50	10	30	0.960	0.965	0.960	0.950	0	0	0.965	0.010	0
0.4	50	20	15	0.945	0.960	0.965	0.945	0	0	0.975	0.035	0
0.4	50	20	30	0.960	0.965	0.955	0.965	0	0	0.960	0.000	0
0.4	100	10	15	0.935	0.950	0.950	0.940	0	0	0.955	0.025	0
0.4	100	10	30	0.960	0.940	0.955	0.950	0	0	0.955	0.000	0
0.4	100	20	15	0.945	0.960	0.960	0.945	0	0	0.945	0.000	0
0.4	100	20	30	0.940	0.965	0.945	0.940	0	0	0.940	0.000	0

〈표 5〉 모의실험조건별 모형적합도 평균

모의실험조건				다중소속 다중모형				다중소속 고정효과와 작용모형				전통적 다중모형			
다중 소속 비율	표본크기			DIC	\bar{D}	p_D		DIC	\bar{D}	p_D		DIC	\bar{D}	p_D	
	3 수준	2 수준	1 수준												
0.1	30	10	15	9,903.93	9,636.67	267.26		9,982.22	9,722.99	259.23		14,000.96	13,784.94	216.02	
0.1	30	10	30	19,582.59	19,292.69	289.89		19,740.00	19,460.98	279.02		27,898.50	27,648.19	230.31	
0.1	30	20	15	19,830.74	19,308.00	522.75		19,986.51	19,474.34	512.17		28,087.13	27,666.37	420.76	
0.1	30	20	30	39,137.44	38,571.18	566.26		39,464.49	38,910.98	553.51		55,862.41	55,368.58	493.84	
0.1	50	10	15	16,526.19	16,083.17	443.01		16,654.07	16,224.49	429.58		23,426.37	23,070.64	355.73	
0.1	50	10	30	32,664.94	32,183.06	481.87		32,926.13	32,462.73	463.40		46,652.29	46,237.36	414.93	
0.1	50	20	15	33,029.39	32,159.27	870.12		33,295.62	32,443.64	851.98		46,779.78	46,081.04	698.74	
0.1	50	20	30	65,286.50	64,344.80	941.70		65,822.29	64,902.16	920.13		93,094.00	92,274.08	819.93	
0.1	100	10	15	33,066.74	32,181.12	885.62		33,323.26	32,464.92	858.34		46,925.37	46,215.39	709.98	
0.1	100	10	30	65,264.79	64,302.52	962.27		65,796.26	64,871.91	924.35		93,127.82	92,299.14	828.69	
0.1	100	20	15	66,061.69	64,325.03	1,736.66		66,591.38	64,891.26	1,700.13		93,638.70	92,245.24	1,393.46	
0.1	100	20	30	130,544.90	128,662.93	1,881.97		131,617.89	129,779.73	1,838.16		186,239.12	184,599.53	1,639.59	
0.2	30	10	15	9,904.58	9,635.77	268.80		10,050.67	9,796.03	254.64		15,927.68	15,746.54	181.14	
0.2	30	10	30	19,586.09	19,292.77	293.32		19,891.13	19,614.81	276.32		31,768.52	31,545.18	223.34	
0.2	30	20	15	19,830.60	19,308.62	521.98		20,125.43	19,623.07	502.36		31,911.91	31,563.63	348.28	
0.2	30	20	30	39,141.23	38,572.91	568.31		39,758.45	39,210.72	547.73		63,620.38	63,182.38	438.00	
0.2	50	10	15	16,528.96	16,083.47	445.49		16,767.79	16,345.96	421.82		26,627.31	26,331.19	296.12	
0.2	50	10	30	32,669.63	32,182.08	487.55		33,168.62	32,709.78	458.84		53,093.53	52,723.45	370.08	

〈표 5〉 모의실험조건별 모형적합도 평균 (계속)

다중 소속 비율	모의실험조건				다중소속 다중모형				다중소속 고정효과와 적용모형				전통적 다중모형			
	표본크기				다중소속 다중모형				다중소속 고정효과와 적용모형				전통적 다중모형			
	3 수준	2 수준	1 수준		DIC	\bar{D}	p_D		DIC	\bar{D}	p_D		DIC	\bar{D}	p_D	
0.2	50	20	15		33,027.52	32,158.54	868.98		33,525.49	32,689.88	835.61		53,166.75	52,590.64	576.10	
0.2	50	20	30		65,287.45	64,342.20	945.25		66,307.33	65,396.97	910.35		105,994.35	105,266.40	727.95	
0.2	100	10	15		33,074.07	32,183.26	890.82		33,559.50	32,716.82	842.68		53,258.52	52,665.72	592.80	
0.2	100	10	30		65,275.19	64,301.34	973.85		66,284.98	65,369.81	915.17		106,003.69	105,264.31	739.39	
0.2	100	20	15		66,061.31	64,326.86	1,734.45		67,060.95	65,393.83	1,667.12		106,377.29	105,223.59	1,151.70	
0.2	100	20	30		130,552.03	128,662.90	1,889.13		132,592.04	130,773.38	1,818.67		212,031.82	210,577.83	1,453.99	
0.4	30	10	15		9,905.69	9,637.57	268.12		10,164.99	9,921.59	243.39		17,932.61	17,800.37	132.24	
0.4	30	10	30		19,588.38	19,293.65	294.73		20,119.10	19,849.55	269.55		35,829.12	35,649.64	179.48	
0.4	30	20	15		19,823.19	19,307.31	515.88		20,340.06	19,861.17	478.89		35,930.36	35,679.92	250.44	
0.4	30	20	30		39,137.80	38,571.08	566.72		40,225.34	39,691.98	533.36		71,754.88	71,408.91	345.97	
0.4	50	10	15		16,526.72	16,082.62	444.09		16,947.50	16,544.60	402.91		29,973.66	29,759.17	214.49	
0.4	50	10	30		32,671.29	32,181.44	489.84		33,553.20	33,105.84	447.36		59,851.81	59,555.01	296.80	
0.4	50	20	15		33,018.23	32,158.98	859.25		33,887.14	33,090.32	796.82		59,841.40	59,429.34	412.06	
0.4	50	20	30		65,284.72	64,342.05	942.67		67,084.26	66,197.99	886.28		119,575.54	119,000.82	574.72	
0.4	100	10	15		33,071.94	32,183.52	888.41		33,919.25	33,113.66	805.59		59,925.81	59,490.06	435.74	
0.4	100	10	30		65,279.57	64,300.68	978.89		67,058.51	66,166.16	892.36		119,592.92	118,998.68	594.24	
0.4	100	20	15		66,038.07	64,323.70	1,714.38		67,777.01	66,188.27	1,588.74		119,736.83	118,911.40	825.43	
0.4	100	20	30		130,548.17	128,664.38	1,883.80		134,143.35	132,372.63	1,770.72		239,184.59	238,032.97	1,151.61	

주. DIC = Deviance Information Criterion; \bar{D} = 사후평균편차; p_D = 유효 모수 개수.

과와 임의효과 모두 적절하게 반영하지 못한 전통적 3수준 다층모형의 적합도보다 모두 DIC값이 5이상 작아, 3수준 다중소속 다층모형이 자료에 가장 적합함을 나타내었다.

V. 논의 및 결론

학교교육의 효과 분석은 전체적인 학교교육 안에서 학생의 인지적·정의적 성취를 향상시키기 위한 교육자원 및 환경 파악과 교육과정 개정 및 효과분석을 위해 필요하다. 또한 교사는 교육과정을 실행하는 주체로서 교사의 교육적 특성은 학생들의 인지적·정의적 성취에 절대적인 영향을 줄 수밖에 없으므로 학교의 특성과 분리하여 분석하는 접근이 필요하다. 본 연구는 교육맥락변인들을 교육과정 수행의 주체인 교사/교실 맥락과, 학교맥락으로 구분하고 다수의 교사/교실의 특성을 동시에 반영한 평가가 가능하도록 2수준에서 다중소속이 발생하는 3수준 다중소속 자료 분석에 적합하도록 기존의 2수준 다중소속 다층모형을 3수준으로 확장하여 소개하고, 이러한 다중소속을 무시한 모형을 적용할 경우의 모수추정값의 양호도와 모형적합도를 비교하여 제시함으로써 연구자들에게 잘못된 모형을 적용하였을 경우 발생하는 문제점을 제시하고, 올바른 모형을 선택하는 데 있어 실증적인 증거를 제공하고자 모의실험을 수행하였다.

모의실험 수행결과, 2수준에서 발생한 다중소속과 관련된 고정효과를 모형에 반영하지 못한 전통적 3수준 다층모형을 적용한 경우 2수준 고정효과가 과소추정되었고, 같은 모의실험 조건의 절편이 과대추정되었으며, 다중소속 비율이 증가할수록 상대편의성의 절댓값의 크기가 증가하였다. 2수준 다중소속과 관련된 임의효과를 모형에 반영하지 못한 다중소속 고정효과 적용모형과 전통적 3수준 다층모형을 적용하였을 경우, 2수준 임의효과 분산 추정치가 과소추정되었으며, 하위수준인 1수준 임의효과 분산의 추정치가 과대추정되었다. 다중소속 비율의 증가에 따라, 2수준 임의효과 분산은 더욱 작게 추정되고 1수준 임의효과 분산은 더욱 과대추정되어 임의효과 분산의 상대편의성의 절댓값의 크기도 증가하는 양상을 보였다. 또한 전통적 다층모형의 경우 1수준 임의효과 분산 추정치의 과대추정량은 같은 모의실험 조건의 다중소속 고정효과 적용모형의 1수준 임의효과 분산 추정치의 과대추정량과 비교할 때 상대적으로 더욱 크게 추정되는 양상을 보였다.

이는 2수준 다중소속 다층모형의 명세화 오류를 연구한 선행연구에서(Chung & Beretvas, 2012), 전통적 2수준 다층모형을 적용한 경우 다중소속과 관련된 상위수준인 2수준 임의효과 분산을 과소추정하고 하위수준의 임의효과 분산이 과대추정된 결과를 지지한다. 그러나 본 연구에서는 중간수준의 다중소속 다층구조를 적절하게 반영하지 못하였을 경우 상위수준인

3수준 분산의 추정치에 미치는 영향은 미미하였음을 밝혀내었고, 2수준에 발생한 다중소속에 대한 모형 명세화 오류를 구분하여 고정효과를 적절하게 반영하였으나 임의효과를 적절하게 반영하지 못한 다중소속 고정효과 적용모형과 고정효과와 임의효과를 모두 무시한 전통적 3수준 다층모형으로 구분하여 모수추정값을 비교함으로써, 다중소속과 관련된 고정효과 및 임의효과와 명세화 오류가 하위수준 분산의 과대추정에 영향을 주는 것을 밝혀내었다는 점에서 의의가 있다. 이를 통해 학생의 인지적·정의적 성취에 미치는 교육맥락효과를 추정함에 있어, 2수준에서 발생하는 다중소속 다층자료를 적절하게 모형화하지 못할 경우 교사/교실효과를 과소추정하는 한편, 학생 개인에 의한 차이를 과대추정하는 오류를 범할 수 있음을 유추해볼 수 있다. 즉, 하위수준인 학생 중 일부 학생이 복수의 교사/교실에 속하는 다중소속 다층자료의 분석에서 다중소속 다층자료를 무시한 전통적 3수준 다층모형을 사용하면 교사/교실의 분산의 부분을 과소추정하는 오류가 발생할 수 있으며, 이는 교육현장의 효과 추정 및 연구 결과의 타당성을 위협할 수 있음을 시사한다.

본 연구에서는 2수준 다중소속 다층자료에 적용하던 2수준 다중소속 다층모형을 3수준 다중소속 다층자료로 확대하여 교육맥락효과를 추정함에 있어 각 수준별 효과를 추정할 수 있도록 3수준 다중소속 다층자료에 적합한 3수준 다중소속 다층모형을 소개하고, 보다 정확한 교사/교실효과 분석을 위해 3수준 다중소속 다층모형의 적용이 필요함을 확인하였다. 특히 기존의 대부분의 선행연구들이 교사/교실의 특성을 학교효과로 분석한 반면, 본 연구에서는 2수준 다중소속 다층자료에 적용해오던 다중소속 다층모형을 3수준 다중소속 다층자료로 시각을 넓혀서 교사/교실맥락효과를 학교맥락과 구분함으로써, 3수준 다중소속 다층모형의 적용을 통해 실제 교육과정이 진행되는 다수의 교실, 복수의 교사 특성과 학교 특성을 분리하여 학생의 인지적·정의적·성취에 미치는 영향에 대한 연구를 가능케 하였다는 면에서 의의가 있다. 또한 3수준 다중소속 다층모형을 이용하여 다수의 교사/교실효과를 포함하고, 이를 학교효과와 구분하여 추정함으로써 보다 명확한 교사/교실 및 학교효과 측정이 가능하리라 기대한다.

본 연구에서의 모의실험결과를 토대로 후속 연구를 위해 다음과 같은 제안을 하고자 한다. 첫째, 본 연구에서는 모의실험조건과 고정효과 및 임의효과 분산 추정치의 상대편의성 및 베이지안 95%신용구간 커버리지를 고려하여 3수준 다중소속 다층모형의 안정적인 모수 추정을 위해 일정수준의 표본의 표집(예, 100개 이상의 학교, 10명 이상의 교사/교실에서 적어도 15명 이상의 학생)이 필요함을 확인하였다. 향후 다중소속 다층자료의 특성을 고정효과와 임의효과에 적절하게 반영하지 못한 오류모형을 적용할 경우 발생하는 모수추정값의 변화에 대한 해석 및 3수준 다중소속 다층모형을 활용하기 위한 보다 구체적인 상황을 제시하기 위해 다양한 조건을 고려한 모의실험을 수행할 필요가 있다. 둘째, 본 연구에서는 2수

준에서 다중소속이 발생하는 3수준 다중소속 다층자료에 적합하도록 기존의 2수준 다중소속 다층모형을 3수준 다중소속 다층모형으로 확장하여 소개하였다. 2수준 비순수 위계적 자료에 대한 분석모형으로 개발되어 소개된 교차분류 다층모형과 다중소속 다층모형에 대한 비교연구가 수행되어 왔으며(정혜원, 2017; Beretvas & Leite, 2010), 이를 확장하여 3수준 교차분류 다층모형과 3수준 다중소속 다층모형의 비교 연구도 진행되길 기대한다.

참고문헌

- 강상진(2016). **다층모형**. 학지사.
- 김경희(2009). 3수준 다층모형을 활용한 교사 효과 탐색, **교육평가연구**, 22(4), 961-986.
- 김경희, 임현정(2008). 3수준 다층모형을 활용한 교육맥락변인의 효과 분석. **교육평가연구**, 21(3), 145-171.
- 김달호(2015). **R과 WinBUGS를 이용한 베이지안 통계학**. 제2판. 파주: 자유아카데미.
- 김양분 외(2004). **학교 교육 수준 및 실태 분석 연구 : 중학교**. 한국교육개발원. 연구보고 RR 2004-3.
- 김양분 외(2006). **한국교육종단연구2005(II)**. 한국교육개발원. 연구보고 RR 2006-22.
- 남궁지영, 김양분(2015). 초등학생의 학교생활 행복에 영향을 미치는 학생 및 학교변인 탐색. **교육학연구**, 53(2), 1-25.
- 남창우, 신수영(2015). 고등학생의 학업성취도에 영향을 미치는 학교 교육 활동 변인 탐색. **열린교육연구**, 23(4), 1-18.
- 박혜숙, 전명남(2007). 자기효능감을 중심으로 살펴 본 중학생의 국어, 영어, 수학 교과 학업 성취에 미치는 학생, 교사 및 학교특성의 예측력. **교육심리연구**, 21(1), 145-168.
- 빅현정 외(2011). **‘서울교육종단연구 2차년도’ 기초분석 보고서**. 서울특별시교육연구정보원. 서교연 2012-21.
- 석혜은, 방희정, 김수영(2017). 영과잉 순서형 프로빗 모형의 베이지안 추론: 한국형 베일리-III 검사 자료에의 적용. **한국심리학회지**, 36(2), 215-239.
- 유영민, 이자원(2013). 다층모형분석을 활용한 지리교과 학업성취도의 학교효과에 관한 연구. **교육연구**, 58, 7-29.
- 이정연 외(2015). **경기교육종단연구 1~3차년도 기초분석 연구**. 경기도교육연구원. 기술보고 2015-06.
- 전민정, 강상진(2005). 다층자료의 구조적 특성에 따른 다층모형의 모수추정 비교 - 2-level

- HLM, 3-level HLM, CMM 방법의 비교. **교육평가연구**, 18(2), 123-147.
- 정선영, 강상진(2013). 교차분류 다층자료에 대한 모형의 명세화 오류가 모수 추정량의 편의에 미치는 영향 - 몬테카를로 시뮬레이션 연구. **교육평가연구**, 26(4), 845-873.
- 정혜원(2016). 교차분류 다중소속 다층자료에 대한 모형의 명세화 오류 연구: 몬테카를로 모의실험 연구. **교육평가연구**, 29(4), 619-642.
- 정혜원(2017). 비순수 위계적 자료 분석을 위한 교차분류 다층모형과 다중소속 다층모형의 비교. **교육평가연구**, 30(4), 693-715.
- 한국아동·청소년데이터 아카이브. http://archive.nypi.re.kr/brdartcl/boardarticleList.do?brd_id=BDIDX_k9Fd9oFi29nooCcJ7kX1I4&srch_ctgry_idx=CTIDX00042&menu_nix=qZc474Ak에서 2018년 9월 5일 인출.
- Algina, J., Keselman, H. J., & Penfield, R. D. (2005). An alternative to Cohen's standardized mean difference effect size: a robust parameter and confidence interval in the two independent groups case. *Psychological Methods*, 10(3), 317-328.
- Beretvas, S. N. (2010). Cross-classified and multiple membership random effects models. In J. Hox & J. K. Roberts (Eds.), *The handbook of advanced multilevel analysis* (pp. 313-334). New York, NY: Routledge.
- Beretvas, S. N., & Leite, W. L. (2010, April). *A comparison of multiple-membership and cross-classified random effects models*. The paper was presented at the annual meeting of american educational research association. Chicago, IL.
- Bradley, J. V. (1978). Robustness?. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 31(2), 144-152.
- Browne, W. J. (2015). *MCMC Estimation in MLwiN, v2.32*. Centre for Multilevel Modelling, University of Bristol.
- Browne, W. J., & Draper, D. (2006). A comparison of Bayesian and likelihood-based methods for fitting multilevel models. *Bayesian Analysis*, 1(3), 473-514.
- Campbell, J., Kyriakides, L., Muijs, D., & Robinson, W. (2004). *Assessing teacher effectiveness*. London and New York: RoutledgeFalmer.
- Chung, H., & Beretvas, S. N. (2012). The impact of ignoring multiple membership data structures in multilevel models. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 65(2), 185-200.
- Goldstein, H. (2010). *Multilevel statistical models* (4th ed.). New York: Hodder Arnold.
- Goldstein, H., Burgess, S., & McConnell, B. (2007). Modeling the effect of pupil mobility on school differences in educational achievement. *Journal of the Royal Statistical Society, A*, 170(4),

941-954.

- Hoogland, J., & Boomsma, A. (1998). Robustness studies in covariance structure modeling: An overview and a meta analysis. *Sociological Methods and Research*, 26(3), 329-367.
- Li, Y., Bolt, D. M., & Fu, J. (2006). A comparison of alternative models for testlets. *Applied Psychological Measurement*, 30(1), 3-21.
- Luo, W., & Kwok, O. (2009). The impacts of ignoring a crossed factor in analyzing cross-classified data. *Multivariate Behavioral Research*, 44(2), 182-212.
- Moerbeek, M. (2004). The consequence of ignoring a level of nesting in multilevel analysis. *Multivariate Behavioral Research*, 39(1), 129-149.
- Rasbash, J., Charlton, C., Browne, W.J., Healy, M., & Cameron, B. (2016). *MLwiN Version 2.36*. Centre for Multilevel Modelling, University of Bristol.
- Rowan, B., Correnti, R., & Miller, R. J. (2002). What large-scale survey research tells us about teacher effects on student achievement: Insights from the Prospects study of elementary schools. *Teachers College Record*, 104(8), 1525-1567.
- Spiegelhalter, D. J., Best, N. G., Carlin, B. P., & van der Linde, A. (2002). Bayesian measures of model complexity and fit. *Journal of the Royal Statistical Society, B*, 64(4), 583-640.
- Wolff-Smith, L. J., & Beretvas, S. N. (2014). The impact of using incorrect weights with the multiple membership random effects model. *Methodology: European Journal of Research Methods for the Behavioral and Social Sciences*, 10(1), 31-42.

© 논문접수: 2018. 7. 31 / 수정본 접수: 2018. 9. 9 / 게재승인: 2018. 9. 18

— 저 자 소 개 —

· 정혜원 : The City University of New York 조교수를 거쳐 현재 충남대학교 교육학과 부교수로 재직 중이며, 주요연구 분야는 고급다층모형, 잠재성장모형, 종단자료를 이용한 학교 효과 연구, 베이저안 추정 등임. chw7@cnu.ac.kr

〈ABSTRACT〉

**The Impact of Model Mis-specifications on the
Parameter Estimates and Model Fit Indices in the
Analysis of 3-level Multiple Membership Multilevel Data:
A Monte Carlo Simulation Study**

Hyewon Chung

Chungnam National University

This study introduced the 3-level multiple membership multilevel modeling and investigated the impact of mis-specifying facets of 3-level multiple membership multilevel data structures where the multiple membership occurred at the intermediate level. Simulation conditions were considered as follows: multiple membership rate (10%, 20%, 40%), level-3 sample size (30, 50, 100), level-2 sample size (10, 20), and level-1 sample size (15, 30). This simulation study compared parameter estimates and model fit indices across three multilevel models that ignored one or more facets of 3-level multiple membership multilevel data structure, including a conventional 3-level multilevel modeling (i.e. ignoring both random effect variance and fixed effects associated with multiple membership), a mis-specified multilevel modeling (i.e. ignoring random effect variance associated with multiple membership but correctly modeling fixed effects associated with multiple membership), and a 3-level multiple membership multilevel modeling (i.e. correctly modeling both variance and fixed effects associated with multiple membership). Ignoring a multiple membership at the intermediate level causes under-estimation of the predictor coefficient and variance components associated with the multiple membership, as well as over-estimation of variance component at level 1. Across all conditions, the selection of 3-level multiple membership random effects modeling was supported.

Keywords : 3-level multiple membership multilevel data, 3-level multiple membership multilevel modeling