

구조방정식모형에서의 R을 이용한 부트스트랩 기반의 이중매개효과 분석 방안에 대한 연구

윤철호*, 최광돈**

국립목포대학교 경영학과*, 한세대학교 e-비즈니스학과**

A Study on the Double Mediation Analysis in Structural Equating Models with Bootstrapping Using R

Cheolho Yoon*, Kwangdon Choi**

Dept. of Business Administration, Mokpo National University*

Dept of e-business, Hansei University**

요 약 본 연구는 R을 이용하여 구조방정식모형에서 이중매개효과 분석을 수행하는 방안을 제시하고 있다. 이를 위해 본 연구에서는 매개효과 분석을 위한 다양한 기법들에 대한 문헌연구를 통해 부트스트랩 기법을 이중매개 효과 분석을 수행하는데 있어서 가장 적합한 기법으로 선정하고, PLS 경로분석 수행을 지원하는 R패키지인 *plspm*을 이용하여 구조방정식모형에서 부트스트랩 기반의 이중매개효과를 분석하는 방안을 개발했다. 결과물로 본 연구에서는 예시모형을 대상으로 한 이중매개효과 분석기법과 관련 R스크립트들이 제시되었다. 본 연구는 대부분의 SEM 패키지들에서 지원하지 못하는 구조방정식모형에서의 이중매개효과 분석을 포함하는 연구들에서 유용하게 활용될 것이며, 또한 연구자들에게 R을 이용한 새로운 매개효과 분석기법 제시를 통하여 심도 있는 연구를 위한 기반 지식을 제공할 것이다.

주제어 : 이중매개분석, 부트스트랩, R 프로그래밍, 구조방정식모형, 부분최소자승법, *plspm*

Abstract This study provides an approach to perform the double mediation analysis in structural equation models using the R. For this purpose, the study reviews a variety of techniques for mediation analysis, selects the bootstrapping technique as the most suitable way for performing the double mediation analysis and develops an approach for the double mediation analysis in structural equating models with the bootstrapping using the *plspm* which is the R package for the performing PLS path analysis. This study will be useful for the studies including the double mediation analysis in structural equation modeling, which is not supported by most of SEM packages, also will provide the knowledge base for in-depth analysis through suggesting the new mediation analysis technique using R for the researchers.

Key Words : Double mediation analysis, bootstrapping, R programming, Structural Equating Modeling (SEM), Partial Least Squares (PLS), *plspm*

*This Research was supported by Research Funds of Mokpo National University in 2015

Received 18 April 2016, Revised 29 July 2016

Accepted 20 September 2016, Published 28 September 2016

Corresponding Author: Kwangdon Choi(Hansei University)

Email: kdchoiyou@naver.com

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ISSN: 1738-1916

1. 서론

매개효과분석은 독립변수와 종속변수 사이에 매개변수로 알려진 변수들을 통하여 관계의 기초가 되는 메커니즘이나 프로세스를 해명하고자 한 것으로 경영학을 포함한 사회과학분야에서 변수들 간의 인과관계를 명확하게 파악하기 위해 광범위하게 이용되고 있다[1]. 오늘날까지 많은 연구들에서 매개효과분석은 전통적인 회귀분석에 기반을 둔 인과단계 방안과 계수산출 방안(e.g., Sobel-Test) 등이 사용되어왔으나, 이들 방법들은 매개변수의 측정오차를 반영하지 못하고 있으며 매개효과가 정규분포를 따르지 않을 경우 유의성의 문제 그리고 다중매개모형과 이중매개모형과 같은 정교한 매개모형을 검증하는데 한계를 갖고 있다[2]. 상기와 같은 전통적인 매개효과 분석 방안들에 대한 한계를 극복하기 위하여 기존 연구들에서는 다양한 방안들이 논의되고 있으며, 이러한 논의에서 부트스트랩 방식은 매개변수의 측정오차를 줄이고, 매개변수 효과의 비정규분포 문제 해결, 그리고 이중매개와 같은 정교한 매개모형을 검증 할 수 있는 대안으로 제시되고 있다[3,4,5,6].

한편 최근 다수의 사회과학 연구들은 전통적인 회귀분석 대신에 구조방정식모형을 이용하여 실증분석을 수행하고 있는 실정이다[7,8,9,10,11,12,13,14,15,16]. 구조방정식 모델링은 개념들의 측정오차를 줄이기 위하여 잠재변수를 사용한다는 장점 이외에도 매개변수들을 포함하는 경로모형에 대한 분석을 한번에 수행하는데 편리하다는 장점을 가지고 있다. 그러나 구조방정식 모델링을 지원하는 대부분의 패키지들이 부트스트랩을 지원함에도 불구하고 매개효과를 분석하기 위한 충분한 기능을 제공하지 못하고 있다. 비록 AMOS가 부트스트랩에 의한 간접효과의 통계적 유의성을 제공하여 매개효과분석을 지원하고 있으나, 이 역시 이중매개분석은 불가능하며, 특히 최근 AMOS와 같은 공분산기반의구조방정식모형에 비하여 상대적으로 표본크기나 잔치분포에 대한 요구사항에 덜 엄격하여 탐색적인 연구를 수행하거나 복잡한 모형을 분석하는데 유리한 것으로 알려져 있는 PLS 구조방정식 모델링을 지원하는 PLS Graph나 SmartPLS와 같은 소프트웨어의 사용이 급증하고 있는 실정이나, 이들 소프트웨어들은 간접효과에 대한 정보조차도 제공하지 않고 있다. 따라서 이러한 구조방정식 모델링 통계패

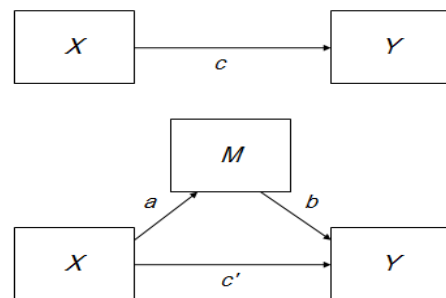
키지를 사용하는 연구들은 아직도 Sobel-test와 같은 다소 논란의 여지가 있는 매개효과 검증 방법들을 엑셀이나 수작업을 통하여 부가적으로 사용하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 최근 빅데이터 분석을 위한 도구로 실무적 인기를 끌고 있는 R을 이용하여 이중매개효과 분석을 수행하는 방안을 제시하고자 한다. 이를 위해 본 연구에서는 PLS 구조방정식모형 지원 R 패키지인 “plspm”을 이용하여 구조방정식모형에서 부트스트래핑 기반으로 이중매개효과분석 방안을 제시한다. 본 연구는 구조방정식모형에서 매개효과 분석을 위한 유용한 가이드가 될 것이며, 특히 기존에 구조방정식 패키지들로는 분석이 복잡하거나 불가능한 이중매개효과 분석을 R이라는 새로운 통계 환경을 통하여 유연하고 시각적인 분석을 위한 기반을 제공할 것이다.

2. 이론적 배경

2.1 매개효과분석

매개효과분석은 [Fig. 1]과 같이 독립변수(X)와 종속변수 사이(Y)에 매개변수(M)로 알려진 변수들 통해 관찰된 관계의 기초가 되는 메커니즘이나 프로세스를 해명하고자 한 것을 말한다. [Fig. 1]과 같은 모형에서 변수들 간의 직접적인 영향들인 a , b , c' 를 직접효과(direct effect)라 불리며, 독립변수(X)가 매개변수(M)를 중재하여 종속변수(Y) 영향을 미치는 $a \times b$ 를 간접효과(indirect effect)라 부른다.



[Fig. 1] Simple Mediation Model

2.2 전통적인 매개효과 분석기법

전통적인 매개효과 분석을 위한 방안들은 (a) 인과단

계법(causal steps), (b) 계수차이법(difference in coefficients), (c) 계수산출법(product of coefficients)으로 구분된다[17]. 첫 번째 기법인 인과단계법은 Baron and Kenny가 제시한 방안으로 매개효과가 있기 위해서는 다음 단계들의 조건들을 유지되어야 한다[2]. 1 단계, 단일회귀분석에서 독립변수(X)가 종속변수(Y)에 영향 있어야 한다. 2 단계, 단일회귀분석에서 독립변수(X)가 매개변수(M)에 영향이 있어야 한다. 3 단계, 단일회귀분석에서 매개변수(M)가 종속변수(Y)에 영향이 있어야 한다. 상기의 3단계의 조건들이 모든 만족이 되었다면, 4 단계에서 독립변수(X)와 통제변수로 사용하는 매개변수(M)가 모든 포함된 다중회귀분석을 시행한다. 4 단계에서 독립변수(X)가 종속변수(Y)에 영향이 없으면 완전 매개효과이며, 독립변수(X)와 매개변수(Y) 모두 종속변수(Y)에 모두 영향이 있으면 부분 매개효과가 있는 것으로 평가된다. 인과단계법은 사회과학 연구에서 가장 많이 사용되는 기법이기 는 하나 다음과 같은 약점들은 가지고 있다. 첫째, 실제적인 간접효과의 크기, 유의성의 수준과 같은 정보를 제공 하지 않는다. 둘째, 여러 개의 매개변수를 포함하는 이중 매개효과모형에 적용이 어렵다. 마지막으로 독립변수(X)가 종속변수(Y)에 영향이 있어야 하며, 모순된 매개 (inconsistent intervening) 모형들은 배제되어야 하는 제약 조건들이 있다. 두 번째 기법인 계수차이법은 Judd and Kenny가 제시한 방안으로 종속변수(Y)에 대한 독립변수(X)의 단일회귀분석에서의 경로계수(c)에서 독립변수(X)와 매개변수(M)가 포함된 다중회귀분석에서의 종속변수(Y)에 대한 독립변수(X)의 경로계수(c')의 차이를 비교하는 방법으로 매개효과 분석을 위한 합리적인 방법으로 평가 받는다는 못한다[8]. 세 번째 기법은 계수산출법으로 가장 바람직한 방안으로 평가 받고 있다. 계수산출법은 다중회귀분석을 시행하여 매개변수(M)를 통하여 종속변수(Y)에 영향을 미치는 독립변수(X)의 간접효과에 대한 경로계수를 직접 산출하고 유의성을 평가하는 방법이다. 이 분석에서 간접효과의 경로계수는 매개변수(M)에 대한 독립변수(X)의 경로계수(a)와 매개변수(M)에서 종속변수(Y)의 경로계수(b)의 곱으로 산출되며, 경로계수의 유의성 수준은 아래와 같이 간접효과(ab)를 표준오차(S_{ab})로 나눈 값을 정규분포(Z)를 통해 판정된다.

$$Z = \frac{a \times b}{S_{ab}}$$

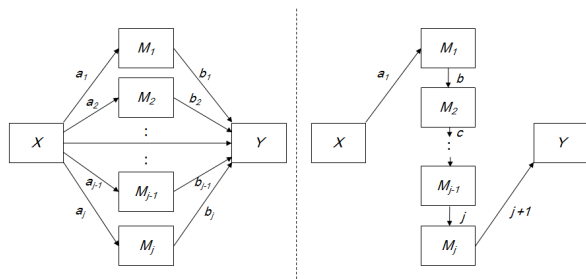
표준오차(S_{ab})는 최초 테일러의 일차 근사법에 기반한 다변량 델타방식(multivariate delta method)을 사용한 Sobel(1982)에 의하여 제시되었지만, 오늘날은 테일러의 이차근사법에 기반한 다변량 델타방식(Aroian 1944)에 의하여 경로계수들의 오차들($sa2sb2$)을 반영한 다음과 같은 수식이 주로 사용된다[19,20].

$$s_{ab} = \sqrt{b^2 s_a^2 + a^2 s_b^2 + s_a^2 s_b^2}.$$

계수산출법이 인과단계법에 비하여 Sobel-test를 통하여 매개변수효과 유의성을 명확하게 밝힌다는 장점을 가지고 있으나, 이 Sobel-test로 유의수준을 산출할 경우 실질적인 측정이 아닌 독립변수와 종속변수의 오차를 근간으로 표준오차를 산출하는 방식이기 때문에 매개변수의 측정오차를 반영하지 못하고 있으며, 매개효과(ab)가 정규분포를 따르지 않을 경우가 높음에도 정규분포를 이용하여 신뢰구간을 설정하는 모순, 그리고 다중매개모형과 이중매개모형과 같은 정교한 매개모형을 검증하는데 수식의 복잡함 등으로 어려움이 있다.

2.3 다중 매개효과와 이중 매개효과 분석

전통적인 매개효과 분석에서 제시하는 방안들은 일반적으로 매개변수를 하나로 하는 단순매개효과(Simple Mediation) 분석에 초점을 맞추고 있다. 그러나 실제로 독립변수(X)가 다수개의 매개변수를 통하여 종속변수(Y)에 영향을 미칠 수 있다. 다중매개효과(Multiple Mediation)는 [Fig. 2]의 외쪽과 같이 다수의 매개변수들(M_1, M_2, \dots, M_j)에 의하여 독립변수(X)가 종속변수(Y)로 간접적으로 영향을 미치는 형태로 사회과학연구들에서 쉽게 찾아볼 수 있다[3]. 또한 이중매개(double mediation)는 [Fig. 2]의 오른쪽과 같이 매개변수들(M_1, M_2, \dots, M_j)에 의하여 독립변수(X)가 종속변수(Y)로 연속적으로 영향을 미치는 형태로 이 역시 사회과학연구들에서 쉽게 찾아볼 수 있다[1]. 특히 오늘날 경로분석을 근간으로 하는 구조방정식 모델링 연구들에서는 독립변수(X)가 다수개의 매개변수들을 경유하여 종속변수(Y)에 영향을 미치는 이중 매개효과 분석에 대한 필요성은 높아지고 있다.



[Fig. 2] Multiple Mediation Model and Double Mediation Model

상기에서와 같이 다중매개효과(Multiple Mediation)나 이중매개(double mediation) 효과 분석을 위하여 Sobel-test를 통하여 간접효과 유의성을 검증하기 위한 표준오차를 산출하는 것은 상당히 복잡하다. 따라서 전통적인 매개효과 분석 방안들에 대한 한계를 극복하기 위하여 기존 연구들에서는 다양한 방안들이 논의되어왔으며, 매개변수의 측정오차를 줄이고, 매개변수 효과가 정규분포를 따르지 않을 경우 문제점에 대한 대안으로 부트스트랩을 이용한 방법이 언급되고 있다. 부트스트랩 방식은 간접효과에 대한 유의성 산출을 통하여 Sobel-test에 비하여 다중매개효과 분석이나 이중매개분석에 비교적 용이하고 향상된 방법으로 평가될 수 있다 [1]. 따라서 Hayes et al.는 부트스트랩 기법 기반으로 SPSS/SAS 매크로와 Mplus를 활용하여 이중매개효과 분석을 수행하는 방법들을 제시하고 연구자들이 사용할 수 있도록 그들의 웹사이트 (<http://www.afhayes.com/spss-sas-and-mplus-macro-s-and-code.html>)를 통해 공개하고 있다[5].

2.4 부트스트랩 기법

부트스트랩(bootstrap) 기법은 전통적인 모수적(parametric) 방식과 같이 모수에 대한 추론을 위한 방식으로 기존의 모수적 방법에서는 모집단의 분포가 정규성을 갖는다는 가정하는 것에 반해 부트스트랩은 표본자료를 이용하여 경험적인 분포를 형성하여 이를 근간으로 모수를 추정하는 통계적 기법이다[21]. 경험적인 분포를 형성하기 위하여 부트스트랩 기법에서는 표본자료로부터 그 표본크기가 동일한 수의 부표본들을 수백번 복원추출(sampling with replacement)하고 복원 추출된 부표본들을 가지고 추정치를 반복 추정하여 분포의 형태를 가정하지 않은

경험적 분포를 생성하고, 이러한 경험적 분포를 통하여 모수를 추정한다.

초기 Lisrel과 같은 공분산 기반의 구조방정식 모델링 프로그램들이 상관행렬을 입력자료로 사용하는 바람에 부트스트랩 기법을 지원하지 않았으나, 원시자료를 사용하는 PLS-Graph (Chin, 2003)나 SmartPLS (Ringle et al., 2005)와 같은 PLS 기반의 구조방정식 모델링 패키지들에서는 처음부터 부트스트랩 기법을 이용하여 경로계수의 유의성을 평가하도록 권고되어 왔다[22,23]. 최근의 AMOS나 Mplus와 같은 공분산 기반의 구조방정식 모델링 프로그램들에서도 원시자료를 직접 입력하는 방식을 통하여 부트스트래핑을 통한 직접효과, 간접효과 및 총효과의 통계적 유의성에 대한 정보를 제공하고 있다. 비록 최근의 대부분의 구조방정식 모델링 프로그램들이 부트스트래핑을 통하여 직접효과, 간접효과 및 총효과의 통계적 유의성을 제공하는 방법을 선호하고 있으나, 이중매개효과 분석을 위한 개별경로들에 대한 간접효과 정보는 제공하지 않고 있다. AMOS의 경우 다중매개분석을 위한 전체간접효과(total indirect effect)에 대한 통계적 유의성 정보는 제공하지만 개별간접효과(specific indirect effect)와 대한 통계적 유의성 정보를 제공하지 않고 있어 이중매개효과에 대한 분석이 불가능한 상태이다. 또한 SmartPLS의 경우 모든 부표본에 대한 부트스트래핑 작업결과 제공을 통하여 수작업에 의한 이중매개효과 분석이 가능하지만 이를 위해서는 많은 지식과 수많은 엑셀 작업이 필요하다. 이러한 이유로 본 연구에서는 복잡한 수학적, 통계적 절차를 스크립트를 통하여 자동화 할 수 있는 R을 이용하여 구조방정식모형에서 이중매개효과 분석을 수행할 수 있는 방안을 제시하고자 한다. 구조방정식 모델링 소프트웨어 중 유일하게 Mplus가 이중매개효과 분석을 지원하는 것으로 알려져 있으나, 실질적으로 패키지 구입의 문제점과 사용자 인터페이스의 어려움이 있을 것으로 판단되고 있다.

2.5 R을 이용한 통계분석

R은 통계 및 그래픽을 위한 프로그래밍 언어이자 오픈 소프트웨어 환경으로 패키지 개발이 용이하여 최근 통계 소프트웨어를 개발하는데 많이 활용된다. R로 개발된 패키지들은 GNU GPL(General Public License)하에 무료로 배포되어 일반인들에게 사용되고 있으며, R을 위

한 오픈 소스 프로젝트에서는 사용자가 직접 R을 사용한 응용 패키지를 생산하고 자유로이 배포할 수 있도록 지원하기 위하여 패키지 유통 저장소인 CRAN(the Comprehensive R Archive Network)을 운영하고 있다. R은 빅데이터 분석과 같은 실무분야에서 뿐만 아니라 최근 교육과 연구를 수행하는데 적극적으로 활용되고 있다. R이 SPSS나 AMOS와 같은 고가의 통계패키지를 대신 하여 무료로 배포되고 다양한 최신 통계분석 및 데이터 마이닝 기능들이 지속적으로 패키지 형태로 제공되며, 특히 구조방정식 모델링을 지원하는 패키지들이 속속 개발되어 발표되고 있어 의학이나 생물학과 같은 자연과학에서의 연구는 물론 사회과학연구 분야에서도 그 활용성이 높아 가고 있다.

3. 구조방정식모형에서 부트스트랩 근간의 이중매개효과분석 방안

본 연구는 다양한 장점들을 가지고 있는 R을 이용하여 구조방정식모형에서의 부트스트랩 기반의 다중매개효과분석이 가능한 새로운 방안을 제시해 보고자 한다.

3.1 구조방정식모형 분석을 위한 R패키지 선정

PLS 구조방정식 모델링은 공분산기반의 구조방정식 모델링에 비하여 표본크기나 잔차분포에 대한 요구사항에 덜 엄격하여 탐색적인 연구를 수행하거나 복잡한 모형을 분석하는데 유리한 것으로 알려져 있다[24]. 따라서 최근 PLS 구조방정식 모델링을 근간으로 하는 연구들이 경영학을 위시한 제반 사회과학 영역에서 급증하고 있는 실정이다[25]. 본 연구에서는 PLS 경로분석(Path Modeling)을 지원하는 R 패키지인 “plspm”을 구조방정식모형 분석용으로 사용한다. Sanchez가 개발한 “plspm”은 PLS 경로분석을 지원하기 위한 R 패키지로 다른 R 패키지들과 같이 무료 통계소프트웨어이며, 다른 패키지들과 연계하여 기술통계와 구조방정식모형 분석을 R이라는 하나의 통합된 환경에서 수행하는 것이 가능하다[26]. 또한 스크립트(script)형태의 언어인 R의 특성을 이용하여 구조방정식모형 분석시 요구되는 신뢰도 평가, 타당도 평가와 같은 절차에 대한 자동화는 물론 본 연구와 같이 이중매개효과 분석시 발생하는 많은 데이터를 엑셀처리와

같은 수작업 없이 프로그램화 하는 것이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 구조방정식모형에서 이중매개효과를 분석하는 방안을 제시하기 위해 “plspm”을 기본 R 패키지로 사용한다.

3.2 부트스트랩을 이용한 다중매개효과 분석방법

추정치의 유의성을 평가를 위하여 신뢰구간을 계산하는 방법은 표본추출 분포가 정규분포 또는 t분포를 따른다고 가정을 한다. 그러나 매개효과 분석을 위한 간접효과와 추정치의 경우 통계적 가정 하에 추정된 것이 아니라 주어진 자료로부터 계산해 낸 것이기 때문에 이러한 단점을 극복하기 위한 방법으로 부트스트랩 기법이 제시되고 있다(허원무 2013). 부트스트랩 기법을 이용한 구조방정식모형에서 이중매개효과 분석절차 다음과 같이 제시될 수 있다.

1단계: 표본자료로부터 그 표본크기 n 과 동일한 수의 표본자료를 k 번 복원 추출한다.

2단계: 복원 추출된 부표본들을 이용하여 구조방정식 모델링을 k 번 수행한다.

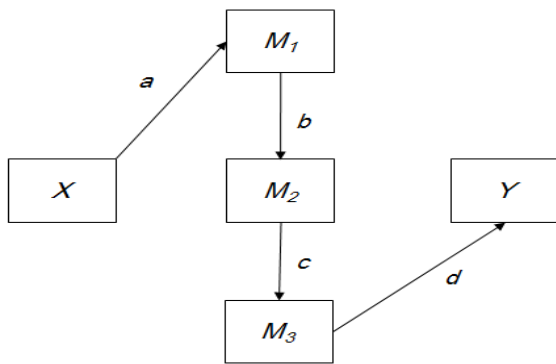
3단계: 다중매개효과분석을 위한 경로에 대하여 간접효과를 k 번 계산하고 이들로 이루어진 경험적 분포를 생성한다.

4단계: 원표본에 대하여 구조방정식 모델링을 수행하여 평가를 위한 간접효과를 산출한다.

5단계: 경험적 분포를 근간으로 간접효과와 유의성 평가를 위한 신뢰구간을 설정한다.

6단계: 신뢰구간에 근거하여 간접효과에 대한 유의성을 평가한다.

부트스트랩을 이용한 매개효과분석에서 간접효과와 추정치들은 경험적 분포를 생성하기 위한 기초 자료로서 중요한 의미를 갖는다. 이론적 배경에서 설명되었듯이 이중매개효과 분석을 위한 간접효과 추정치는 독립변수와 매개변수 그리고 종속변수 간의 경로계수들의 곱으로 산출된다. 예를 들어 [Fig. 3]과 같은 매개변수가 3개 (M_1, M_2, M_3)인 이중매개모형의 경우 간접효과와 각 경로들의 곱인 $f = a \times b \times c \times d$ 로 산출된다.



[Fig. 3] Multiple Mediation Model

간접효과 유의성 평가를 위한 신뢰구간은 3가지 종류로 설정이 가능하다. 표준오차를 근간으로 한 정상분포 신뢰구간과 부트스트랩 결과의 경험적 분포에 대한 백분율을 이용한 퍼센타일(Percentile) 신뢰구간과 추정치가 편향되었을 때 백분율에서 이를 보정하는 편향-보정된(Bias-corrected, BC) 신뢰구간을 사용할 수 있다.

3.3 구조방정식모형에서 개별 경로의 다중 매개효과 분석방안

최근의 대부분의 구조방정식 모델링 프로그램들이 부트스트래핑을 통하여 직접효과, 간접효과 및 총효과의 통계적 유의성을 제공하는 방법을 선호하고 있으나, 이중매개효과 분석을 위한 개별경로들에 대한 총 간접효과는 제공하지 않고 있다. 이러한 것은 이중매개효과 분석을 위한 사용자 인터페이스를 설계하는 것이 쉽지 않기 때문으로 추측된다. 즉, 다중매개효과를 분석하기 위해서는 분석하기 위한 경로에 포함되는 모든 매개변수들을 설정해야 하는데 경직된 패키지의 구조상 이러한 것을 사용자 인터페이스에 반영하기에는 다소 어려움이 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서 그래프 이론(Graph theory)을 이용하여 이중매개효과 분석을 위한 사용자 인터페이스를 부분을 개선하고자 한다. 즉, 본 연구에서는 두 지점 간의 모든 경로를 도출하는 알고리즘을 이용하여 독립변수와 종속변수에 대한 설정으로 구조방정식모형에서 두 변수간의 모든 개별 경로들을 자동으로 도출하고 이들에 대한 다중매개효과 분석을 한번에 모두 실행할 수 있도록 하고자 한다.

4. R을 이용한 구조방정식모형에서 이중매개효과 분석방안 적용

4.1 이중매개효과 분석을 위한 준비

R에서 구조방정식모형에서 이중매개효과를 분석하기 위해서는 관련 R 패키지 설치 및 라이브러리 설정과 분석모형에 대한 구조방정식모형 설정이 필요하다. 관련 R 패키지는 PLS 구조방정식 모델링을 지원하는 plspm 패키지, 부트스트래핑을 통하여 생성된 경험적 분포에 대한 정상분포 신뢰구간, 퍼센타일(Percentile) 신뢰구간과 편향-보정된(Bias-corrected, BC) 신뢰구간 검증을 지원하는 bmem 패키지 그리고 독립변수와 종속변수 간의 모든 매개경로를 도출하기 위해 그래프 이론을 지원하는 igraph 패키지가 필요하다.

plspm 패키지를 통하여 구조방정식모형 설정을 위해서는 우선 1) 분석을 위한 설문자료를 R로 불러들이고 2) 잠재변수들간의 관계를 행렬로 설정하며 3) 잠재변수와 관련된 관측변수들을 정의하고 4) 관측변수의 형태(조형 또는 반영지표) 설정을 통하여 구조방정식모형을 설정한다(윤철호 김상훈 2015 참조). 따라서 구조방정식모형 내의 변수들 간의 이중매개효과를 분석하기 위해서는 사전에 다음과 같은 plspm 패키지 기반의 구조방정식모형이 설정될 필요가 있다.

```
plsm_sem = plspm(pls_data1, pls_path2, pls_blocks3,
modes = pls_modes4, scheme="path")
```

¹) pls_data: 설문자료

²) pls_path: 잠재변수들 간의 경로행렬

³) pls_blocks: 잠재변수와 관측변수 관계

⁴) pls_modes: 관측변수 형태

4.2 표본자료를 k번 복원 추출 및 구조방정식 모델링 실행

이전 장에서 제시된 부트스트랩 기법을 이용한 구조방정식모형에서 이중매개효과 분석을 위한 1단계와 2단계는 표본자료로부터 그 표본크기 n과 동일한 수의 표본자료를 k번 복원 추출한 후 복원 추출된 부표본들을 이용하여 구조방정식 모델링을 k번 수행하는 것으로 이를

위하여 R에서 표본자료를 임의로 복원 추출하기 위해 임의의 샘플링을 지원하는 `sample()` 함수와 구조방정식 모델링을 k번 실행하기 위해 R 스크립트 구문인 `for` 문과 같은 반복문을 이용하여 다음과 같이 구현한다.

```
B = 500          # 부트스트래핑 횟수 설정
for (i in 1:B) {
  # 샘플링
  pls_data_s5) = pls_data[sample(nrow(pls_data), row_no, replace=TRUE),]

  # 부표본들에 대한 PLS 구조방정식 모델링 실행
  pls_pls_s = plspm(pls_data_s, pls_path, pls_blocks,
    modes = pls_modes, scheme = "path")
  result = rbind(result, pls_pls_s$effect6))
}
```

⁵⁾pls_data_s: 설문자료에 대한 부표본

⁶⁾pls_pls_s\$effect: 부표본의 구조방정식 모델링 경로 계수(직접효과)의 결과

샘플링 횟수를 설정(B = 500)하고 `sample()` 함수를 이용하여 부표본(pls_data_s)을 산출한 후 부표본들에 대한 PLS 구조방정식 모델링을 샘플링을 설정횟수만큼 반복 실행한다. 이후 구조방정식 모델링의 경로계수들의 결과(result)를 축적 보관한다.

4.3 간접효과들에 대한 경험적 분포 생성

다중매개효과분석을 위한 경로에 대하여 간접효과를 k번 계산하고 이들로 이루어진 경험적 분포를 생성하는 3단계는 이전에 산출된 부표본들의 경로계수들의 결과(result)를 근간으로 직접효과 값들에 대한 곱을 통해 간접효과 값들은 계산한 후 이들로 구성된 경험적 분포를 생성한다.

#부표본들의 결과들 값을 근간으로 경로에 대한 간접효과 값 계산

```
for (i in 1:nrow(id_path)) {
  cn = 1
  i_paths = 1
```

```
  for (j in 1:ncol(id_path)) {
    if (is.na(id_path[m,cn]) == FALSE)
    {
      i_paths7) = i_paths * subset(result, result[1] == id_path[m,cn])
    }
    cn = cn + 1
  }
  all_i_paths = cbind(all_i_paths, i_paths)
  m = m + 1
}
all_id_paths = cbind(all_id_paths,
  rowSums(all_i_paths[2:nrow(id_path)]))
```

⁷⁾i_paths: 간접효과

간접효과 값들 추출 및 경험적 분포 생성

```
indirects = all_id_paths[m+1]
```

```
nindirects8) = as.numeric(unlist(indirects))
```

⁸⁾indirects: 간접효과들의 집합(경험적 분포)

4.4 이중매개효과 분석을 위한 경로에 대한

간접효과 산출

이전에 생성한 경험적 분포를 가지고 이중매개분석을 하기 위해서는 4단계의 원표본을 대상으로 구조방정식 모델링을 수행하여, 이중매개효과 분석평가를 위한 원표본의 간접효과를 산출하는 다음과 같은 과정이 필요하다.

#원표본을 대상으로 한 PLS 모델링 실행

```
pls_pls = plspm(pls_data9), pls_path, pls_blocks,
modes=pls_modes, scheme="path")
```

⁹⁾ pls_data: 원표본자료

#원표본의 간접효과 값 추출

```
org_indirect10) = org_indirect *
as.numeric(unlist(subset(pls_pls$effect, relationships
== id_path[m,cn], direct)))
```

¹⁰⁾ pls_data: 원표본자료

4.5 신뢰구간 설정 및 간접효과에 대한 유의성 평가

5단계 간접효과 유의성 평가를 위한 신뢰구간을 설정과 6단계의 신뢰구간에 근거한 간접효과에 대한 유의성에 대한 평가는 4단계에서 추출된 원표본을 대상으로 한 간접효과에 대한 유의성 평가로서 신뢰구간 설정과 평가는 정상분포 신뢰구간, 퍼센트일(Percentile) 신뢰구간과 편향-보정된(Bias-corrected, BC) 신뢰구간 설정 및 검증을 지원하는 bmem 패키지의 bmem.ci.norm() 함수, bmem.ci.p() 함수 그리고 bmem.ci.bc() 함수를 이용한다. 각 함수들에 입력 값들로 경험분포인 이전에 산출한 부표본들의 간접효과 값들(indirects), 원표본의 간접효과 값(org_indirect) 그리고 신뢰구간의 임계값(95%)을 포함하여 다음과 같이 실행한다.

```
#정상분포를 이용한 CI(계수값 +1.96*SE)
n_CI = bmem.ci.norm(indirects, org_indirect, cl=.95)
```

```
#percentile 95% CI
p_CI = bmem.ci.p(indirects, org_indirect, cl=.95)
```

```
#bias-corrected 95% CI
bc_CI = bmem.ci.bc(indirects, org_indirect, cl=.95)
```

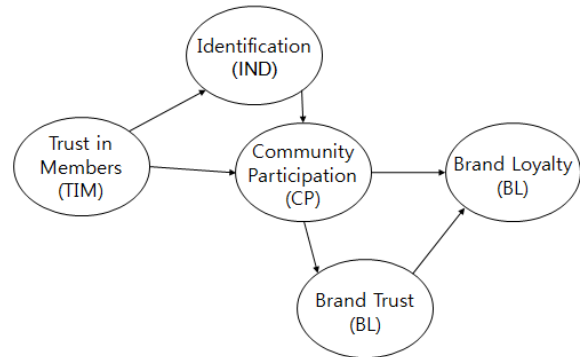
최종적으로 bmem.ci.norm() 함수, bmem.ci.p() 함수 그리고 bmem.ci.bc() 로 통하여 산출된 결과값들을 매트릭스로 생성하여 이후 표형태로 보여준다.

```
#산출결과를 표로 보여주기 위한 매트릭스 생성
CIs = c(n_CI, p_CI[3:4], bc_CI[3:4])
CIs = list(round(CIs,3))
ACIs = c(ACIs, CIs)
```

4.6 구조방정식모형에서 이중매개효과 분석 실행 예시

아래 [Fig. 4]의 예시모형은 윤철호 등(2014)의 온라인 브랜드 커뮤니티 성과모형으로 사회과학연구에서 일반적으로 볼 수 있는 이중의 매개변수들이 포함된 연구모형이다[27]. 본 예시모형은 독립변수인 회원들 간의 신뢰

(TIM)와 종속변수인 브랜드의 충성도(BL)간에는 4개의 개별적인 경로가 존재하고 이들에 대한 이중매개효과는 상기에서 제시된 R을 이용한 방법으로 분석이 가능하다.



[Fig. 4] Sample of Double Mediation Model

[Fig. 4]의 예시모형을 PLS 구조방정식모형으로 설정하고 TIM을 독립변수로 와 BL를 종속변수인 설정 후 이전 장들에서 제시된 이중매개분석을 위한 방안들을 적용한 R 스크립트¹⁾를 실행하면 [Fig. 5]와 같은 결과를 얻을 수 있다. [Fig. 5]에서 보이는 좌와 같이 독립변수인 TIM과 종속변수인 BL 간의 경로는 4개가 존재하며 이들에 대한 개별적인 이중매개효과 분석이 가능하도록 경로계수(Path coefficient)와 정상분포(Standard normal), 퍼센트일(Percentile) 신뢰구간과 편향-보정된(Bias-corrected) 신뢰구간 정보들이 제공되고 있다. 일반적으로 편향-보정된 신뢰구간이 사용되는 것이 권고되므로 이를 기준으로 평가하면 첫번째 경로(TIM→IND→CP→BT→BL)와 두번째 경로(TIM→IND→CP→BL)가 편향-보정된 신뢰구간이 0을 포함하지 않고 경로계수가 신뢰구간에 포함되고 있어 이중매개효과가 있는 것으로 평가 될 수 있다.

	Path coefficient	S.E.	Standard normal	Percentile	Bias-corrected
TIM -> IND -> CP -> BT -> BL	0.175	0.047	0.082 0.268	0.095 0.286	0.093 0.279
TIM -> IND -> CP -> BL	0.112	0.034	0.045 0.179	0.053 0.188	0.054 0.189
TIM -> CP -> BT -> BL	-0.022	0.040	-0.100 0.056	-0.105 0.051	-0.107 0.050
TIM -> CP -> BL	-0.014	0.026	-0.064 0.036	-0.065 0.039	-0.066 0.036

[Fig. 5] Result of Double Mediation Effect Analysis

1) R 스크립트(<http://ssra.or.kr/mediation.r>)와 예시데이터(http://ssra.or.kr/pls_data.csv)다운로드 가능함.

5. 결론

최근 다수의 사회과학 연구들은 전통적인 회귀분석 대신에 구조방정식 모델링을 이용하여 실증분석을 수행하고 있다. 구조방정식 모델링은 개념들의 측정오차를 줄이기 위하여 잠재변수를 사용한다는 장점 이외에도 다수의 매개변수들을 포함하는 경로모형에 대한 분석을 수행하는데 편리하다는 장점을 가지고 있다. 그러나 구조방정식 모델링을 지원하는 대부분의 패키지들이 변수들 간의 직접효과 분석에 초점을 맞추고 있어 매개효과를 분석하는 데는 충분한 기능들을 제공하지 못하고 있다. 본 연구에서는 매개변수의 측정오차를 줄이고, 매개변수 효과가 정규분포를 따르지 않을 경우 문제점에 대한 대안으로 최근 부각되는 부트스트랩 기법을 기반으로 R을 이용하여 구조방정식모형에서 이중매개효과를 분석하는 방안을 제시하였다. 이를 위해 본 연구에서는 매개효과 분석기법들과 부트스트랩 기법에 대한 문헌연구를 통하여 부트스트랩 기법을 이용한 구조방정식모형에서 이중매개효과 분석 방안을 도출하고 이를 실질적으로 R 명령어들로 구현하는 내용들을 제시하였다. 본 연구에서 제시된 구조방정식모형에서 이중매개효과 분석을 위한 R 명령어 내용들은 R이 스크립트 언어라는 특성을 이용하여 매크로 형태의 자동화가 가능하며, 특히 그래픽과 같은 기능들과 결합하여 시각적인 분석이 가능하도록 설계되었다. 아울러 그래프 이론을 기반으로 독립변수와 종속변수 간 모든 경로를 도출하는 기능을 포함하여 이중매개효과 분석시 다소 번잡스러울 수 있는 사용자 인터페이스 부분을 개선시켰다.

본 연구에서 제시된 구조방정식모형에서 이중매개효과 분석을 위한 기능은 기존의 대부분의 구조방정식 모델링 패키지들에서 제공하지 못하는 기능으로 연구자들은 본 연구에서 제시된 기능을 이용하여 최근 더욱더 복잡해지고 있는 구조방정식모형에서 개별 경로들에 대한 세밀한 분석을 통하여 좀더 심도 있는 연구를 할 수 있을 것이라 기대된다. 또한 본 연구에서는 무료소스인 R을 이용하여 매개효과 분석 방안을 제시함으로써 특정 패키지에 의존적인 연구에서 벗어나 보다 자유롭고 창의적인 연구를 수행하는데 도움을 제공할 수 있을 것으로 기대한다. 마지막으로 본 연구에서는 웹사이트 (<http://ssra.or.kr>)에 이중매개효과 분석을 위한 R 스크립트 전체와 예시데

이터를 첨부하여 연구자들이 실질적으로 분석하고 수행해 볼 수 있는 기회를 제공한다.

비록 본 연구가 이중매개효과 분석을 위한 방안을 제시하고 세부적인 R 스크립트를 제공하고 있으나, R에 익숙하지 않은 연구자들이 이를 활용하는 데는 다소 어려움이 있을 수 있을 것으로 예상된다. 따라서 향후에는 모든 연구자들이 본 연구에서 제시한 방안을 쉽게 이용할 수 있는 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGMENTS

This Research was supported by Research Funds of Mokpo National University in 2015

REFERENCES

- [1] MacKinnon, D. P., Cox, S., & Baraldi, A. N., "Guidelines for the investigation of mediating variables in business research", *Journal of Business and Psychology*, Vol. 27, No. 1, pp.1-14, 2012.
- [2] Baron, R. M., & Kenny, D. A., "The moderator - mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations", *Journal of personality and social psychology*, Vol. 51, No. 6, p.1173, 1986.
- [3] Preacher, K. J., & Hayes, A. F., "SPSS and SAS procedures for estimating indirect effects in simple mediation models", *Behavior research methods, instruments, & computers*, Vol. 36, No. 4, pp.717-731, 2004.
- [4] Preacher, K. J., & Hayes, A. F., "Asymptotic and resampling strategies for assessing and comparing indirect effects in multiple mediator models", *Behavior research methods*, Vol. 40, No. 3, pp.879-891, 2008.
- [5] Hayes, A. F., Preacher, K. J., & Myers, T. A., *Mediation and the estimation of indirect effects in political communication research*, *Sourcebook for political communication research: Methods, measures, and analytical techniques*, pp.434-465, 2011.
- [6] Won-Moo Hur., "How Researchers Estimate

- Indirect Effect using Bootstrapping : The Case of Simple, Multiple, and Double Mediation”, Korean Business Review, Vol. 6, No. 3, pp.43-59, 2013.
- [7] Jeong, Tae-Seog, “A Study on the Relationship between Customer and Supplier Network and Innovation Performance: Focused on Mediating Effect of T-Shaped Skill”, Journal of Digital Convergence, Vol. 13, No. 1, pp. 93-110, 2015.
- [8] Jeon, Jun-Ho;Han, Kyung-Il, “Impact of Supervisor’s Leadership Styles on Organizational Citizenship Behavior : Mediation Effects of Multi-dimensional Measure of Justice in the Service Industry”, Journal of Digital Convergence, Vol. 13, No. 3, pp. 75-84, 2015.
- [9] Jeon, Young-Gil, “The Mediating Effect of Job Satisfaction between Organizational Members’ Turnover Intention and the Leadership Type of Middle Managers in Agricultural Cooperatives”, Journal of Digital Convergence, Vol.13, No. 3, pp.85-93, 2015.
- [10] Cho, Ouk-Sun;Paik, Jina, “The Effect of Parent’s Neglect on Adolescents’ Sexual-Materials Addiction in the Times of Convergence : Focusing on the Mediating Effect of Self-Identity”, Journal of Digital Convergence, Vol. 13, No.4, pp. 349-356, 2015.
- [11] Hau, Yong Sauk, “IT SMEs’ Product Planning Capability and Manufacturing Capability in the Context of Digital Convergence: The Mediating Impacts of the Product Exterior and Interior Design Capabilities”, Journal of Digital Convergence, Vol. 13, No.12, pp. 55-62, 2015.
- [12] Jeon, Seon-Bok, “A Study on the Effects of Solely Operated Beauty Salon’s Relational Benefits on Recommendation and Defection Intentions: Mediating Effects of Customer Satisfaction”, Journal of Digital Convergence, Vol. 14, No.1, pp. 413-425, 2016.
- [13] Kim, Mi-Suk;Kim, Bok-Yeon;Choi, Jin-Ho, “The Relationship among Dropout, Organizational Trust, and Intention to Transfer in the Department affiliated with Physical Education”, Journal of Digital Convergence, Vol. 14, No. 1, pp. 453-463, 2016.
- [14] Song, Sun-Hee, “Mediation Effect of Marriage Satisfaction about Personality Traits of Married Female Immigrants to Affect on Preparing Their Old Age”, Journal of Digital Convergence, Vol. 14, No.2, pp. 49-56, 2016.
- [15] Lee, Kang-Min;Choo, Shi-Gak;Jeon, Sang-Gil, “The Influence of Transformational Leadership on Unethical Pro-Organizational Behavior-Mediating Effect of Organizational Identification”, Journal of Digital Convergence, Vpl. 14, No.2, pp. 83-98, 2016.
- [16] Lee, Eun-Roung, “The research about mediating effect of perceived organizational obstruction in the relationship with job insecurity and EVLN”, Journal of Digital Convergence, Vol. 14, No. 2, pp. 99-114, 2016.
- [17] MacKinnon, D. P., Lockwood, C. M., Hoffman, J. M., West, S. G., & Sheets, V., “A comparison of methods to test mediation and other intervening variable effects”, Psychological methods, Vol. 7, No. 1, p.83, 2002.
- [18] Judd, C. M., & Kenny, D. A., “Process analysis estimating mediation in treatment evaluations”, Evaluation review, Vol. 5, No. 5, pp.602-619, 1981.
- [19] Sobel, M. E., “Asymptotic confidence intervals for indirect effects in structural equation models”, Sociological methodology, Vol. 13, pp.290-312, 1982.
- [20] Aroian, L. A., “Some Methods for the Evaluation of a Sum”, Journal of the American Statistical Association, Vol. 39, No. 228, pp.511-515, 1944.
- [21] Efron, B., & Tibshirani, R. J., An introduction to the bootstrap. New York: Chapman & Hall, 1993.
- [22] Chin W.W., PLS Graph - Version 3.0., Soft Modeling Inc., 2003, <http://www.plsgraph.com/>
- [23] Ringle, C. M., Wende, S. and Will, A. SmartPLS - Version 2.0., Universit’at Hamburg, Hamburg, 2005.
- [24] Chin, W.W., “Issues and opinion on structural equation modeling”, MIS Quarterly Vol. 22, No. 1, pp.7 - 16, 1998.
- [25] Yoon, C., & Kim S., “Tutorial on PLS Structural Equating Modeling using R: (Centering on) Exemplified Research Model and Data”, Information Systems Review, Vol . 16, No. 3, pp.89-112, 2014.
- [26] Sanchez, G., PLS Path Modeling with R Trowchez

Editions. Berkeley, 2013. <http://www.gastonsanchez.com/PLSPathModelingwithR.pdf>.

- [27] Cheol ho Yoon, Chang kyu Kim, Sang hoon Kim, & Il Kyu Park., "Social Capital, Knowledge Quality, and Online Brand Community Success", Journal of the Korea society of IT services, Vol. 13, pp.183-200, 2014.

윤 철 호(Yoon, Cheol Ho)



- 1991년 2월 : 광운대학교 전자계산학과(이학사)
- 2004년 8월 : 광운대학교 경영정보학과(경영학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 목포대학교 경영학과 교수
- 관심분야 : 기술수용, 인터넷윤리, 정보보안, 전자상거래

• E-Mail : carlyoon@mokpo.ac.kr

최 광 돈(Choi, Kwang Don)



- 1987년 2월 : 한국외국어대학교 경영정보대학원(경영학석사)
- 2001년 2월 : 광운대학교 경영학과(경영학박사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 한세대학교 e-비즈니스학과 부교수
- 관심분야 : 모바일비즈니스모델, 빅데이터, 기업가정신, 인터넷윤리

• E-Mail : kdchoi@hansei.ac.kr