

정책(사업)평가를 위한 구조방정식모형(SEM)의 이론과 응용

감사원 평가연구원 사회행정평가연구팀장 姜起春

I. 문제제기

2006년부터 시행되고 있는 정부업무평가에 주요정책과제에 대한 평가가 포함되어 있고 2007년 1월부터 시행될 국가재정법에 재정사업에 대한 심층평가 및 균형발전영향평가가 추가됨에 따라 정책 및 사업에¹⁾ 대한 평가의 중요성이 부각되고 있으며 이에 따라 정책(사업)의 효과성을 객관적이고 과학적으로 평가할 필요성이 증대되고 있다. 정책평가의 일반적인 방법으로는 미국의 정책평가학회(Evaluation Research Society)에서 유형화한 착수직진분석, 평가성 사정, 형성적 평가, 효과성 또는 영향평가, 모니터링, 메타평가 등이 있다.²⁾ 본 글에서는 심리학자, 사회학자, 교육학자들이 사업(program)의 평가를 위해 개발하였으나 이후 사업 및 정책의 효과성을 실증적으로 평가하는데 광범위하게 이용되고 있는 평가방법인 구조방정식모형(Structural Equation Modeling: SEM)에 대해 살펴보고자 한다. 본 글의 목적은 구조방정식모형(SEM)에 대한 기본적인 내용을 소개함으로써 연구자들의 구조방정식모형에 대한 관심을 제고시키고 구조방정식모형의 활용도를 높이는데 있다. 이를 위해 구조방정식모형의 이론적인 측면에 대해 먼저 살펴보고 구조방정식모형 응용 사례로써 우리나라 지방공기업정책의 효과성 분석에 대해 살펴본다.

II. 구조방정식모형의 이론

1. 구조방정식모형의 개요

1) 개념

구조방정식모형은 특정 현상에 대한 체계적인 이론을 분석하기 위한 다변량분석방법(multivariate data analysis)의 하나로서 상관계수, 공분산계수, 다중회귀분석, 경로분석, 요인분석 등이 구조방정식모형에 활용된다. 구조방정식모형은 종속변수에 영향을 주는 독립변수들 이외의 외생변수를 통제된 상태에서 원인변수인 독립변수가 결과변수인 종속변수에 미치는 영향의 방향과 크기를 나타내는 인과관계(causal relationship)를 설정하고 검증하기 위해서 많이 이용된다.³⁾

구조방정식모형에 사용되는 변수들은 관측변수, 잠재변수, 외생변수, 내생변수, 오차변수 등으로 분

1) 정책과 사업은 명확하게 구분될 수 없는데 본 글에서 정책은 “정부가 실현하고자 하는 사회를 만들기 위해 수행하기로 결정한 일련의 활동”(노화준, 2003)을 의미하며, 사업은 “정책집행을 위해 구체화된 정책 수단”(정정길 외, 2004)을 의미한다. 한편 정책(사업)평가는 현재 진행 중이거나 종료된 정책(사업)이 그 목적을 달성하는데 효과적이었는지, 즉 효과성을 살펴보는 것을 말한다.

2) 이에 대한 자세한 설명은 노화준(2006, 37-50)을 참고하면 된다. 이러한 분류에 따라 경우 본 글에서 설명하고 있는 구조방정식모형(SEM)은 효과성 또는 영향평가에 사용되는 평가모형이라고 할 수 있다.

3) 구조방정식모형은 공분산구조분석(covariance structure analysis), 잠재변수모형(latent variable model) 등으로도 불리는데 그 이유는 표본공분산 행렬을 분해(decomposition)하여 모형 내 모수를 추정하기 때문이다.

류가 된다. 관측변수(observed variable)는 직접 측정이 되는 변수로써 잠재변수와 연결되어 잠재변수를 측정하며 측정변수(measured variable), 명시변수(manifest variable)라고도 불린다. 잠재변수(latent variable)는 구성(construct)이⁴⁾ 직접 관찰되거나 측정되지 않는 변수를 말하며 잠재변수 자체로는 측정이 불가능하므로 관측변수에 의해 간접적으로 측정이 된다. 외생변수(exogenous variable)는 독립변수의 개념으로써 다른 변수에 영향을 주는 변수를 말한다. 내생변수(endogenous variable)는 최소한 한번은 직접 또는 간접적으로 영향을 받는 변수를 말한다.⁵⁾ 오차변수(error variable)는 잠재변수를 완전하게 설명하지 못하는 정도를 나타내는 측정오차(measurement error)와 내생변수가 하나 또는 둘 이상의 외생변수에 의해 설명되지 못하는 정도를 나타내는 구조오차(structural error) 또는 잔차(residual)로 구분된다.

구조방정식모형은 사전적(a priori)인 성격을 갖는데 그 이유는 연구모형에 포함되는 잠재변수와 관측변수 간의 관계, 잠재변수와 잠재변수 간의 관계 및 방향 등을 연구자가 사전에 가설로 설정한 모형을 기초로 분석하기 때문이다. 따라서 구조방정식모형을 이용하여 실증분석을 하기 위해서는 연구자가 이론을 토대로 사전에 설정한 모형이 있어야 하며, 구조방정식모형은 연구자가 사전에 설정한 모형이 자료에 의해 지지되는지를 검증하는 도구에 해당된다.

2) 유용성

구조방정식모형의 유용성은 회귀분석, 요인분석, 상관분석 등 다양한 통계기법을 한 번에 사용할 수 있으며, 외생 및 내생변수에 대한 오차를 고려하고 잠재변수를 이용하고 있으며, 직접효과, 간접효과, 총효과 등을 구분하여 측정할 수 있다는 것이다.

첫째, 구조방정식모형은 일련의 종속변수에 대한 개별적인 관계를 동시에 분석할 수 있다는 점에서 다변량분석방법과 다르다. 또한 다변량분석에서는 독립변수와 종속변수는 단일지표에 의해 분석이 이루어지지만 구조방정식모형에서는 다중지표를 이용할 수 있다.

둘째, 구조방정식모형은 잠재변수를 포함할 수 있다. 관측변수를 사용하지 않고 잠재변수를 사용하는 이유는 대부분의 관측변수는 측정오차가 포함될 가능성이 매우 높으며 그 경우 측정오차를 추정함으로써 개념 사이에 존재하는 순수한 구조계수를 파악할 수 있기 때문이다.

셋째, 구조방정식모형은 모형 내 잠재변수의 직접효과(direct effect)와 간접효과(indirect effect)의 크기를 파악할 수 있다. 직접효과란 한 변수가 다른 변수에 대해 직접적인 영향을 미치는 것을 말하며, 간접효과란 두 변수들 간의 효과가 다른 변수 즉, 매개변수에 의해 영향을 받는 것을 말하는데 간접효과를 고려하지 않으면 두 잠재변수들 간의 관계를 완전하게 파악할 수 없다.

3) 활용 분야 및 software

구조방정식모형은 LISREL의 개발자인 Jöreskog이 당초에 교육 및 의학 분야에 응용한 이후 널리

4) 특수한 현상들이 갖는 특징들을 일반화시켜 추상적으로 표현한 것을 개념(concept)이라 하고 개념 중에서 연구자가 특정한 연구를 위하여 의도적으로 선택하여 추가적인 의미를 부여한 개념을 구성이라고 한다(김계수(2004, 96)).

5) 실제 구조방정식모형에서는 4가지 변수가 결합되어 외생잠재변수, 내생잠재변수, 외생관측변수, 내생관측변수로 구분된다.

발전하여 현재는 심리학, 사회학, 경영학, 경제학, 정치학, 행정학, 교육학, 생물학, 유전학, 간호·의료 분야, 스포츠경영 분야 등 다양한 분야에서 많이 활용되고 있다. 구조방정식모형을 활용한 국내의 논문은 수없이 많이 있는데 그 중에서 몇 개 분야의 최근 국내문헌을 소개하면 다음과 같다.⁶⁾ 한인섭(2002)은 지방공기업법 개정을 전후한 지방공기업 정책의 효과성을 살펴보았는데 전국 45개 지방공사 및 지방공단 종사자를 대상으로 설문조사를 실시한 후 LISREL을 이용하여 실증분석을 하였다. 박성쾌·김정봉(2002)은 수산부문 제정지원 정책의 효율성을 분석하였는데 수산정책 담당자 및 어업인 설문조사를 실시한 후 LISREL을 이용하여 실증분석을 하였다. 문춘걸(2003)은 구조방정식모형을 이용하여 부문별 정보화지수의 추정치를 계측하는 방법을 개발하였다. 김윤수·노근호·권주형(2004)은 정부출연 연구소의 지방분원 설립이 지역혁신체제 구축의 관점에서 지방과학기술 확충에 어떻게 기여하는가를 구조방정식모형을 이용하여 실증분석을 하였다. 김성일·이형찬(2004)은 공공공사 특히 토목공사에서 어떠한 요인이 어떠한 경로를 통해 클레임 발생에 영향을 미치는지를 AMOS를 이용하여 실증분석을 하였다. 장우진·이왕무(2001)는 구조방정식모형을 이용하여 지적행정서비스의 품질 평가모형을 구축하고 AMOS를 이용하여 실증분석을 하였다.

구조방정식모형의 실증분석에 사용되는 프로그램으로는 LISREL(LInear Structural RELations), AMOS(Analysis of MOment Structure), EQS(EQuationS) 등이 있다.⁷⁾ LISREL은 구조방정식모형을 분석하기 위한 대표적인 프로그램으로서 Jöreskog와 Sörbom에 의해 개발되었으며 행렬과 그리스문자들로 구성되어 있어서 초보자가 사용하기에 다소 어려웠으나 경로도(path diagram)와 SIMPLIS(SIMple LISrel)가 보강되면서 사용하기 편리해 졌다. AMOS는 Arbuckle와 Werner에 의해 개발되었으며 사용자가 쉽게 프로그램을 운용할 수 있도록 설계된 사용자 중심의 프로그램(Graphic User Interface)으로 보급이 확산되고 있으며 또한 SPSS, Excel 등의 데이터와 호환성이 좋아 사용하기 편리하다. EQS는 Bentler에 의해 개발되었으며 Wald test, LM test 등을 제공하는 등 여러 가지 장점이 있음에도 불구하고 인지도는 다소 떨어진다.

4) 분석도구

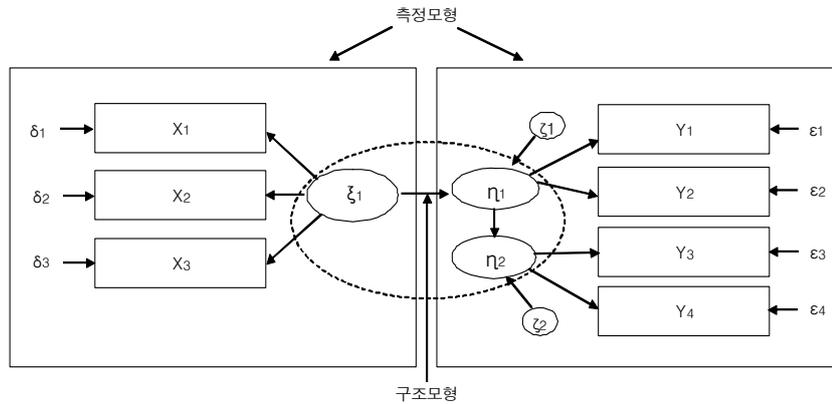
구조방정식모형은 측정모형(measurement model)과 구조모형(structural model)을 통해서 모형 간의 인과관계를 파악하는 방정식 모형으로서 측정모형은 확인적 요인분석으로, 구조모형은 경로분석을 통하여 분석된다.

요인분석(factor analysis)이란 여러 변수들 간의 상관관계를 기초로 정보의 손실을 최소화하면서 자료의 변수 개수보다 적은 수의 요인(factor)을 추출하는 방법으로써 탐색적 요인분석(exploratory factor analysis: EFA)과 확인적 요인분석(confirmatory factor analysis: CFA)으로 나누어진다. 탐색적 요인분석이란 연구자가 사전에 관측변수들과 요인들 사이의 특정한 구조를 정하지 않고 요인을 추출하는 방법을 말하며, 확인적 요인분석이란 사전에 탐색적인 연구가 이루어졌거나 미리 가정한 모형으로 자료를 충분히 설명할 수 있는지를 분석하는 방법을 말한다.

6) Tomarken and Waller(2005)는 구조방정식모형의 발전과정 및 외국문헌에 대해 잘 설명하고 있으며 외국의 응용 예와 그 내용에 대한 정리는 노형진(2006, 235-238)을 참고하면 된다.

7) 그 외에도 SAS의 CALIS procedure, GAUSS의 LINC procedure, MPLUS 등이 있다.

<그림 1> 구조방정식모형



구조방정식모형에서 사각형 안에 표시된 X_1, X_2, X_3 및 Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 는 관측변수를 나타내고, 타원 안에 표시된 ξ_1, η_1, η_2 는 잠재변수(요인)를 나타낸다. 또한 $\delta_1-\delta_3$ 및 $\epsilon_1-\epsilon_4$ 는 관측변수와 관련된 오차인 측정오차를 나타내고, $\zeta_1-\zeta_2$ 는 구조모형 내에서 지정된 변수에 의해 설명되지 않은 부분을 나타낸 오차로 잔차(residual)라고도 한다.

확인적 요인분석의 성격이 반영된 측정모형은 관측변수가 잠재변수에 대한 측정도구로서 도움을 주는지를 나타내는 것으로 관측변수의 변수군과 이 변수군으로 구성된 잠재변수와의 관계를 수식으로 나타낸 것이다. 즉, 측정모형은 관측변수와 잠재변수의 관계를 나타낸 모형으로서 X에 관한 측정모형을 수식으로 나타내면 다음의 (2)식과 같고 이를 행렬형태로 나타내면 (3)식과 같다.

$$\begin{aligned} X_1 &= \lambda_{x11}\xi_1 + \delta_1 \\ X_2 &= \lambda_{x21}\xi_1 + \delta_2 \\ X_3 &= \lambda_{x31}\xi_1 + \delta_3 \end{aligned} \tag{2}$$

$$X = \Lambda_x \xi + \delta \tag{3}$$

단, Λ_x 는 경로계수, ξ 는 외생개념, δ 는 오차를 각각 나타낸다.

한편, Y에 관한 측정모형을 수식으로 나타내면 다음의 (4)식과 같고 이를 행렬형태로 나타내면 (5)식과 같다.

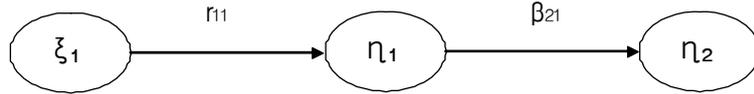
$$\begin{aligned} Y_1 &= \lambda_{y11}\eta_1 + \epsilon_1 \\ Y_2 &= \lambda_{y21}\eta_1 + \epsilon_2 \\ Y_3 &= \lambda_{y12}\eta_2 + \epsilon_3 \\ Y_4 &= \lambda_{y22}\eta_2 + \epsilon_4 \end{aligned} \tag{4}$$

$$Y = \Lambda_y \eta + \epsilon \tag{5}$$

단, Λ_y 는 경로계수, η 는 내생개념, ϵ 은 오차를 각각 나타낸다.

다중회귀분석 및 경로분석의 성격이 반영된 구조모형은 X에 관한 측정모형을 통한 외생개념(ξ)과 Y에 관한 측정모형을 통한 내생개념(η)을 <그림 2>와 같이 인과관계적 또는 경로분석적으로 결합하여 관계화한 모형을 의미한다. 즉, 구조모형은 변수 간에 어떤 구조를 가지고 있는지를 나타내는데 이러한 관계는 연구가설에 의해 정해진다.

<그림 2> 구조모형



이를 모형으로 나타내면 다음의 (6)식과 같다.

$$\eta = \Gamma\xi + B\eta + \zeta \quad (6)$$

단, B 는 내생잠재변수간의 관계를 나타내며 Γ 는 외생잠재변수와 내생잠재변수간의 관계를 나타내는 행렬이다.

따라서 측정모형과 구조모형을 결합한 구조방정식모형은 다음의 (7)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} X &= \Lambda_x \xi + \delta \\ Y &= \Lambda_y \eta + \epsilon \\ \eta &= \Gamma\xi + B\eta + \zeta \end{aligned} \quad (7)$$

일반적으로 구조방정식 모형의 가정은 잔차와 잠재변수 간의 상관관계가 없고, 외생(내생)잠재변수와 측정오차 사이에 상관관계가 없으며, 잔차와 측정오차 사이에 상관관계가 없다는 것이다.

2) 모형의 분석단계

구조방정식모형은 일련의 단계를 통하여 분석하게 되는데 일반적으로 모형설정, 모형식별, 모형추정, 모형검정, 모형수정 등의 5단계로 나누어진다.

①모형설정(model specification)

모형설정이란 연구자가 관심을 가지고 있는 모형 내 변수들의 관계를 설정하고 추정해야 할 모수(parameter)를 설정하는 것을 말하는데 관측변수를 잠재변수에 연결하는 측정모형의 설정, 잠재변수들을 연결하는 구조모형의 설정, 잠재변수 및 관측변수들의 상관관계의 설정, 오차변수의 설정 등을 포함한다. 구조방정식모형은 실질적으로 모든 모수를 설정할 수 있으므로 모형설정 시 이론에 기초한 모형설정이 매우 중요하다. 또한 모형 내 변수들의 방향적 관계를 나타내는 모수는 그 값이 추정되어야 하

는 자유모수(free parameter), 연구자가 사전에 값을 지정해 주는 고정모수(fixed parameter), 추정되는 모수이지만 하나 이상의 계수와 동일한 값을 갖는 제약모수(constrained parameter) 등이 있다. 한편, 모형설정 시 유의해야 할 사항 중의 하나는 측정모형 설정에서 잠재변수는 다중지표(multiple indicator)에 의해 측정되는 것이 바람직한데 최소 2개 이상의 지표를 사용할 것을 권장하고 있다.

②모형식별(model identification)

모형식별이란 표본공분산행렬에 모형을 적합시켰을 때, 모형의 모든 자유모수가 각각 고유한 해(unique solution)를 가질 수 있는지를 의미한다. 자유모수가 고유한 해를 가질 수 있으면 모형은 식별될 수 있고, 모형이 식별되면 모수의 추정과 모형검정이 가능하게 된다. 구조방정식모형은 표본공분산행렬(또는 상관행렬)을 토대로 모형 내 모수인 경로계수와 구조모수를 추정한다. 표본공분산행렬(S)은 대칭행렬이므로 S의 원소 중 중복되지 않은 원소의 수는 $\frac{k(k+1)}{2}$ 인데 이를 정보의 수라고 하며 여기서 k는 측정된 변수의 수를 나타낸다.

한편, 모형의 식별은 다음과 같다. 첫째, 정보의 수가 모수 중 미지수의 수보다 많으면 모형은 과대식별(over-identified)된다고 한다.⁹⁾ 이 경우 여러 가지의 고유한 해가 존재하는데 모형추정에서는 여러 가지 고유한 해 중에서 표본공분산행렬을 가장 잘 적합시키는 특정한 해를 찾는다. 과대식별의 경우 모형의 일반화 가능성을 확인할 수 있으므로 연구자의 관심의 대상이 된다. 둘째, 정보의 수가 미지수의 수와 같으면 모형은 적정식별(just-identified)된다고 하며 이 경우 유일한 고유의 해가 존재하며 그 해는 표본공분산행렬을 완벽하게 적합시키지만 일반화의 가능성이 없기 때문에 연구자의 관심의 대상이 되지 않는다. 셋째, 정보의 수가 미지수의 수보다 적으면 모형은 과소식별(under-identified)된다고 하며 이 경우 해가 존재하지 않고 어떤 모수를 고정하거나 제약하지 않으면 추정할 수 없다.

③모형추정(model estimation)

모형추정이란 모형에 포함된 자유모수 및 제약모수의 추정치를 구하는 것을 말하는데 구조방정식모형에서 모수의 추정치를 얻기 위해서는 예측공분산행렬($\hat{\Sigma}$)이¹⁰⁾ 표본공분산행렬(S)과 유사하도록 일련의 과정을 반복하는 작업이 필요하다. 구조방정식모형에서 설정된 경로는 그 값이 추정되어야 할 미지수이며 이 미지수를 원소로 갖는 행렬을 모수행렬 또는 모집단공분산행렬($\Sigma(\theta)$)이라고 한다. 모집단공분산행렬은 알 수 없으므로 표본공분산행렬(S)을 이용하여 모집단공분산행렬의 추정치를 얻는다. 이때 $\Sigma(\theta)$ 이 S와 가깝도록 해야 하는데 이 둘 간의 가까운 정도를 적합함수(fitting function)라고 하며 추정이 하나의 해로 수렴되면 예측공분산행렬과 표본공분산행렬 사이의 대응의 정도를 나타내는 단일한 값이 계산되는데 이를 적합함수값(value of fitting function)이라고 하고 적합함수값이 0에 가까울수록 예측공분산행렬이 표본공분산행렬에 근접함을 나타낸다. 모형의 추정방법으로는 수단변수법(instrumental

9) 미지의 수는 자유모수의 수와 제약모수의 수의 합인데 a=b라는 제약식 하의 제약모수의 경우 실제로는 하나의 제약모수로 계산된다.

10) 예측공분산행렬이란 자유모수 및 제약모수의 추정치와 고정모수의 값이 구조방정식에 대입되었을 때 산출되는 공분산행렬을 의미한다.

variables method), 최대우도법(maximum likelihood method) 및 최소자승법(least square method) 등이 있다.¹¹⁾

④모형검정(model testing)

모형추정 결과 위반추정치 없이 수용 가능한 추정치를 얻게 되면 모형의 적합도에 대한 검정 또는 평가를 해야 하는데 이를 모형검정이라고 한다. 즉, 모형검정이란 관측된 자료가 모형에 얼마나 잘 적합하는지 또는 이론적인 모형이 실제 관측자료에 의해 어느 정도 지지를 받고 있는지를 통계적 검정 또는 적합도 지수를 통해 모형의 적합도를 살펴보는 것이다. 모형의 적합도를 살펴보는 방법에는 모형 내 개별 모수의 적정성을 살펴보는 방법과 모형의 전반적인 적합도를 살펴보는 방법이 있다. 첫째, 개별 모수의 적정성을 살펴보는 방법으로는 추정치의 부호가 이론이 예상하는 것과 일치하는지를 살펴보고, 추정치의 값이 일정한 범위에 포함되는지를 살펴보고¹²⁾, 추정치의 통계적 유의성을 살펴보아야 한다. 둘째 모형의 전반적인 적합도(overall fit)를 살펴보는 지수로는 절대적합지수로서 χ^2 (카이제곱), 적합도지수(Goodness of Fit Index : GFI), 조정된 적합도지수(Adjusted Goodness of Fit Index : AGFI), 평균제곱잔차제곱근(Root Mean-square Residual : RMR) 등이 있고, 기초모형(independent model)과 제안모형(proposed model)을 통해 모형의 개선 정도를 파악하는 증분적합지수(incremental fit index)로서 비표준적합지수(Non-Normed Fit Index : NNFI), 표준적합지수(Normed Fit Index : NFI) 등이 있다.¹³⁾

⑤모형수정(model modification)

모형의 적합도 검정을 통해 모형이 관측자료에 잘 부합되지 않을 경우 모형을 수정해야 한다. 모형 재설정을 통해 모수를 추정하는 것을 모형수정이라고 하는데 모형수정을 통해 모형의 적합도를 개선하는 전략에는 크게 두 가지가 있다. 첫째는, 최초에 설정된 모형을 자료에 적합시키는 방법인 모형생성 전략(model generating strategy)인데 이 방법은 모형에 모수를 추가함으로써 모형의 적합도를 높이고자 모형을 수정하거나 적합도를 유의적으로 바꾸지 않고 모형 내 특정 모수를 제거함으로써 모형을 단순하게 수정한다. 모형생성전략에서 일반적으로 많이 사용되는 방법은 수정지수(modification index)를 활용하는 것인데 특정 모수의 수정지수는 그 모수가 모형에 도입될 경우 개선되는 적합도의 크기를 나타낸다. 둘째는, 여러 가지 대안모형을 설정하여 각 모형을 동일한 자료에 적합시키는 방법인 경쟁모형 전략(competing model strategy)인데 이 방법은 특정이론에 대한 경쟁이론이나 상충된 연구결과에 바탕을 두고 경쟁모형 또는 대안모형(alternative model)을 만들고 각각의 모형들을 자료에 적합시킨 후 몇 가지 기준에 의해 적합도를 평가한다.

11) 최소자승법에는 비가중최소자승법(unweighted least square : ULS), 가중최소자승법(weighted least square : WLS), 대각가중최소자승법(diagonally weighted least square : DWLS), 일반최소자승법(generalized least square : GLS), 2단계최소자승법(two-stage least square : TSLS) 등이 있다.

12) 예를 들면 분산 추정치는 반드시 양(+)의 값을 가져야 하고, 상관계수는 -1보다 크고 1보다 작아야 한다.

13) χ^2 값은 χ^2 분포에 의해서 유의성을 판별하고, GFI 및 AGFI는 그 값이 0.9 이상이면 타당성을 인정받고, RMR은 0.05 이하이면 타당성을 인정받으며, NFI 및 NNFI는 0.9 이상인 경우 타당성을 인정받는다.

3) 확장모형

일반적인 구조방정식모형은 여러 형태로 확장될 수 있는데 그 중 가장 많이 활용되는 분석이나 모형은 다중집단분석 및 패널모형 등이 있다.

①다중집단분석(multi-group analysis)

다중집단분석은 측정모형이나 구조모형에서 한 집단의 모수가 다른 집단의 모수와 동일한지를 검증하고자할 때 이용된다. 예를 들면 직무훈련을 받은 집단이 직무훈련을 받지 않은 집단에 비해 직무성도가 더 큰지 또는 청소년들의 비행이 집단(남성 대 여성, 고소득층 대 저소득층 등)에 따라 다른지 등 집단 간의 유사성을 살펴본다. 다중집단분석은 집단 간의 유사성을 살펴보기 위한 여러 가지 검정을 하는데 먼저 집단 간에 모형의 형태가 동일한지 검정하고, 다음으로 집단 간에 측정모형의 형태가 동일한지 검정하고, 마지막으로 집단 간에 구조모형의 형태가 동일한지 검정한다.

②패널모형(panel model)

패널모형 또는 종단모형(longitudinal model)으로는 잠재성장모형(latent growth model)과 동태적 요인모형(dynamic factor model) 등이 있다. 첫째, 잠재성장모형은 기간 경과에 따라 반복적으로 측정되는 관측변수의 전반적인 변화 추이를 포착하기 위한 것인데 각 요인들이 특정한 시간적 변화 추이를 나타낼 수 있도록 요인 적재값들을 사전에 고정하고 요인의 평균값을 추정한다. 잠재성장모형의 응용 예로는 청소년의 반사회적 행동의 종단적 변화를 분석한 연구, 아동들의 지능이 시간의 흐름에 따라 어떻게 변화하는지를 분석한 연구 등을 들 수 있다. 잠재성장모형의 장점은 개인별 성장곡선을 수리적으로 추정할 수 있을 뿐만 아니라 추정된 성장곡선의 개인차 계산이 가능하며, 개인별 성장곡선에 대해 집단수준에서의 통계치를 계산할 수 있고, 변화율에 영향을 미치는 요인의 식별과 변화곡선의 개인차를 설명할 수 있다는 장점이 있다. 반면에 잠재성장모형의 분석을 위해서는 대규모 표본이 필요하며, 시간 간격이 동일하게 측정되어야 하고, 시간의 변화에 따라 변화가 발생해야 한다는 제약을 가지고 있다. 둘째, 동태적 요인모형은 잠재변수의 사이에서 시간적인 전후관계(시간의존성)가 있는 인과관계를 다루는 모형으로서 동 모형의 응용 예로는 ‘소외감의 안정’을 들 수 있는데 소외감이라고 하는 구성개념이 시간적으로 변화하는지 아니면 시간적으로 어느 정도 안정되어 있는지를 살펴본다.

III. 구조방정식모형 응용 사례 : 지방공기업정책의 효과성 분석

구조방정식모형의 응용 사례는 많이 있지만 본 글에서는 지방공기업정책의 효과성 분석에 구조방정식모형이 어떻게 이용되는지를 보여준 연구를 인용하여 설명하고자 한다.¹⁴⁾

14) 이 사례는 한인섭(2002)의 연구에서 인용하였으며 논의의 필요에 따라 재구성하였다.

1. 연구배경

지방공기업법은 지방공기업의 설립 및 운영에 관한 제도적 기초로서 지방공기업의 운영과 성과에 영향을 미치는 기본적인 요소이다. 행정자치부가 지방공기업법 개정을 통하여 새로운 제도적 장치를 도입한 목적은 지방공기업의 경영성과와 신뢰성을 제고하는데 있다. 따라서 한인섭의 연구에서는 지방공기업법 개정에 포함되었던 제도적 장치들을 독립변수로 하고 경영성과 및 신뢰성 제고를 종속변수로 하는 가설적 모형을 설정하였다.

2. 모형

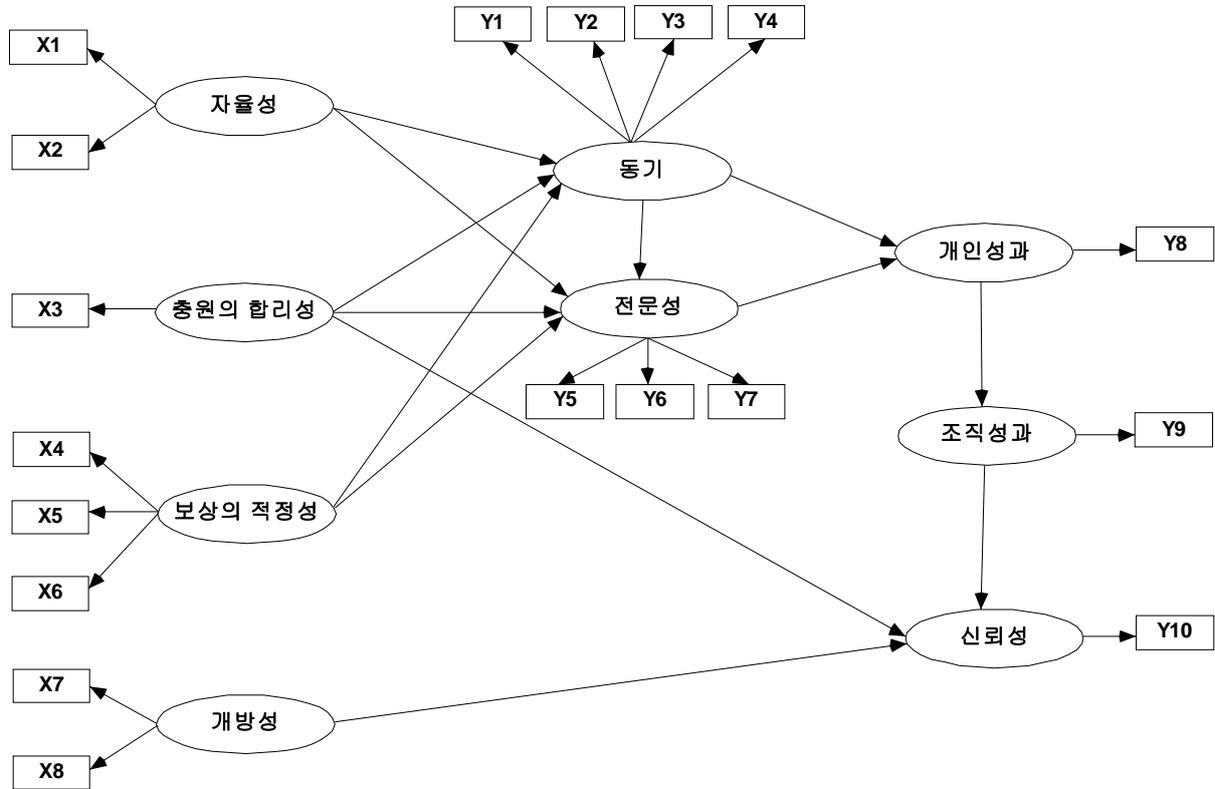
본 모형에서는 지방공기업법 개정에 포함되었던 제도적 장치들을 자율성, 충원의 합리성, 보상의 적정성, 개방성 등 4개의 외생잠재변수로 구분하고, 지방공기업법 개정으로 나타날 수 있는 기대나 효과를 동기, 전문성, 개인성과, 조직성과, 신뢰성 등 5개의 내생잠재변수로 설정하였다.

먼저, 외생잠재변수에 대한 측정모형을 살펴보면 자율성의 측정지표로는 운영에 대한 개입정도(X1), 직무수행의 재량권(X2), 충원의 합리성을 측정하는 지표로는 인사에 대한 개입 정도(X3), 보상의 적정성을 측정하는 지표로는 실적과 보수의 일치 정도(X4), 실적과 승진의 일치정도(X5), 실적과 인정감의 일치 정도(X6), 개방성을 측정하는 지표로는 정보공개의 정도(X7), 정보에의 접근성(X8) 등을 활용하였다. 다음으로, 내생잠재변수에 대한 측정모형을 살펴보면 동기의 측정지표로는 담당직무의 유의미성(Y1), 직무수행 기회에 대한 만족(Y2), 직무와 능력의 부합 정도(Y3), 전반적인 직무만족도(Y4), 전문성의 측정지표로는 관련 교육과 훈련(Y5), 지식 및 기술의 보유 정도(Y6), 관련 경험의 정도(Y7), 신뢰성을 측정하는 지표로는 지역주민의 평판(Y8), 개인성과를 측정하는 지표로는 개인의 생산성과 사회적 책임에 대한 인식 정도의 합(Y9), 조직성과를 측정하는 지표로는 조직의 생산성과 사회적 책임에 대한 인식 정도의 합(Y10)을 활용하였다.

한편, 내생 및 외생잠재변수의 관계는 지방공기업법 개정 시 제도적 장치들을 도입한 정책 의도에 따라 다음과 같이 설정하였다. 기업 운영 및 인사에 있어서의 자율성 향상은 조직 구성원의 동기와 전문성을 매개로 하여 개인성과와 조직성과 등 경영성과에 영향을 미칠 것이라는 가설을 설정하였고, 사장추천위원회 제도와 공개채용의 원칙 등 충원의 합리성은 전문성과 동기를 매개로 하여 경영성과에 영향을 미치고 또한 지방공기업에 대한 사회적 신뢰성을 제고시킬 것이라는 가설을 설정하였다. 또한 연봉제와 성과급 등 능력과 실적에 따른 보상은 지방공기업 구성원의 직무동기를 유발하고, 외부 전문가의 충원을 유도하여 지방공기업의 전문성을 높여 경영성과에 영향을 미치고, 경영공시제도 등 행정정보의 공개는 지방공기업에 대한 주민의 신뢰성 제고에 영향을 줄 것이라는 가설을 설정하였다.

이상과 같은 측정모형과 잠재변수 간 구조모형을 결합한 가설적 구조방정식모형을 도식화하면 다음의 <그림 3>과 같다.

<그림 3> 가설적 분석모형



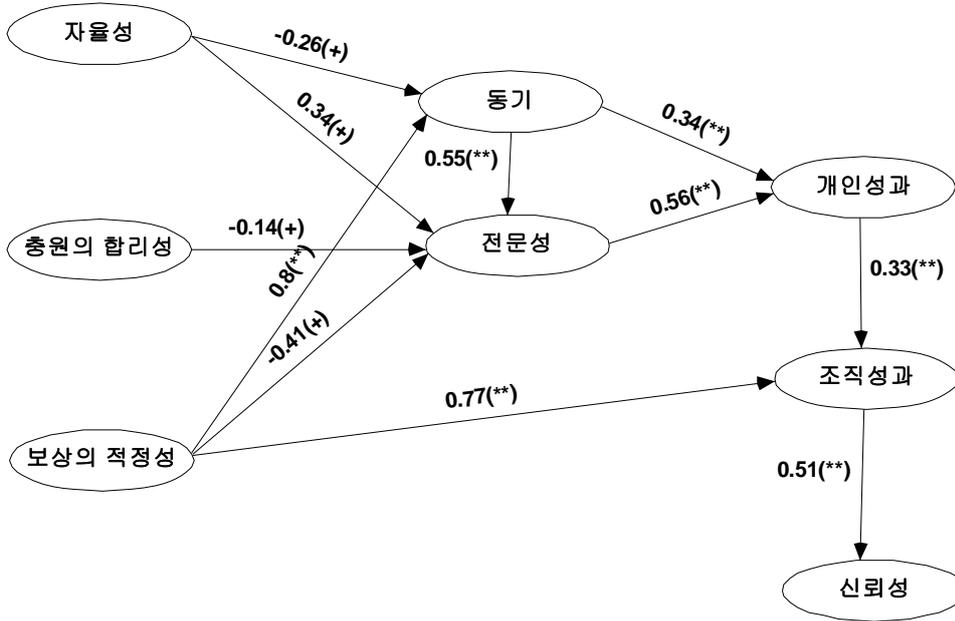
3. 분석결과

AMOS나 LISREL 프로그램을 이용하여 최대우도법으로 추정한 결과 먼저 개별 모수의 적정성을 살펴보니 가설적 분석모형의 13개 경로 가운데 8개의 경로가 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났고 다음으로 모형의 전반적인 적합도를 나타내는 지수 중 χ^2 , AGFI, RMR 등이 일반적인 수용 수준에 미치지 못하는 것으로 나타났다. 또한 수정지수에 있어서도 보수적인 기준인 10을 초과하는 수정지수가 잠재변수 간의 관계에서만 10개로 나타나 종합적으로 판단해 볼 때 모형수정을 통해 새로운 모형을 추정할 필요가 있는 것으로 나타났다.

수정지수와 critical ratio(t 값)에 기초하여 모형의 수정이 이루어지고 수정모형의 추정 결과는 <그림 4>와 같다.¹⁵⁾ 측정모형에 대한 추정치는 모두 1% 수준에서 유의한 것으로 나타났으며, χ^2 값은 다소 높았으나 GFI, AGFI, RMR 등이 일반적인 기준을 충족하는 것으로 나타나 수정모형은 비교적 적절한 것으로 판단하였다.

15) 그림에서 값은 표준화 계수를 나타내며 + 및 **는 각각 10% 및 1% 수준에서 통계적으로 유의함을 나타낸다.

<그림 4> 수정모형의 추정 결과



4. 결과해석

수정모형의 추정 결과를 보면 내생잠재변수 간의 관계는 기존의 이론적 논지와 비슷하다. 즉, 동기와 전문성, 동기와 개인성과, 전문성과 개인성과, 개인성과와 조직성과, 조직성과와 신뢰성 간의 관계는 1% 수준에서 모두 유의한 것으로 나타났다. 그러나 외생잠재변수와 내생잠재변수 간의 관계는 최초의 가설적 모형과 최종 수정모형 사이에 많은 차이가 발생하였다. 총원의 합리성이 지방공기업 구성원의 동기와 사회적 신뢰성에 긍정적인 영향을 미칠 것이라고 가정하였으나 실증분석 결과 유의하지 않은 것으로 나타났다. 또한 총원의 합리성과 전문성 간의 관계도 양(+)의 관계가 성립할 것으로 예상하였으나 실제로는 음(-)의 관계가 있는 것으로 나타났으며 자율성과 동기 간의 관계와 보상의 적정성과 전문성 간의 관계에서도 마찬가지이다. 한편, 개방성이 신뢰성에 미치는 영향은 최초의 모형과는 달리 유의하지 않은 것으로 나타났다.

지방공기업법에 도입된 제도적 장치들은 정부가 정책목표를 달성하기 위한 정책수단이라고 할 수 있다. 정책수단의 효과성은 각 정책수단이 가지고 있는 고유한 특징과 정책수단이 적용되는 현실에 영향을 받는다. 이러한 점을 고려해 볼 때 정부가 지방공기업의 경영성과 개선을 위해 도입한 정책수단들은 적절한 것으로 보이나 정책수단들이 현실에서 효율적으로 운영되지 못함으로 말미암아 당초에 의도한 결과를 달성하지 못하거나 의도와는 다른 결과를 가져온 것으로 평가할 수 있다.

IV. 맺음말

정책이나 사업평가는 비용-편익분석에 의해 이루어질 수도 있고, 실험에 의해 이루어질 수도 있다.

그러나 측정 상의 문제로 직접 평가할 수 없는 정책의 경우 구조방정식모형을 이용하면 측정 가능한 지표를 활용하여 정책의 효과성을 평가할 수 있다. 구조방정식모형은 활용 범위가 확대되면서 그 유용성을 인정을 받고 있기는 하지만 사용에 있어서 몇 가지 유의할 점이 있다.¹⁶⁾

첫째, 구조방정식모형은 주로 설문조사를 통해 관측된 자료를 이용하므로 연구 모형에 적합한 설문을 잘 디자인해야 하며 표본의 크기는 최소한 100-150개가 되어야 한다.

둘째, 각 잠재변수에는 2개 이상의 관측변수가 있는 것이 바람직하며 좋은 추정치를 얻기 위해서는 4개의 관측변수가 있는 것이 좋다. 그리고 모형수정에 활용될 수 있도록 가능한 한 많은 관측변수를 확보하는 것이 바람직하다.

셋째, 추정 모형의 신뢰성과 타당성에 주의를 기울여야 한다. 경로계수의 표준오차가 매우 큰 경우(일반적으로 2.5 이상), 오차의 분산이 마이너스이거나 추정치가 이상하게 큰 경우(이를 Heywood case라고 함), 추정된 상관계수가 매우 큰 경우(1에 가까울 때) 모형의 신뢰성과 타당성을 의심을 가질 필요가 있으며 이에 대한 해결책을 마련해야 한다.

한편, Thompson(2000)은 좋은 구조방정식모형 설정을 위한 10계명을 열거하고 있는데 이를 살펴보면 하나의 모형만을 고집하지 말 것, 수정 모형은 표본을 나누거나 새로운 표본으로 검정해 볼 것, 여러 가지 경쟁모형을 검정해 볼 것, 측정모형을 먼저 평가한 후 구조모형을 평가할 것, 이론·적합도·실용성으로 모형을 평가할 것, 여러 가지 모형의 적합도를 보고할 것, 다변량 정규분포의 가정을 충족시킬 것, 간결한 모형을 찾을 것, 측정변수의 척도를 고려할 것, 소표본을 이용하지 말 것 등이다.

참고문헌

- 김계수(2004). Amos 구조방정식 모형분석. SPSS 아카데미.
- 김계수(2006). Amos/Lisrel이용 인과분석 연구방법론. 청람.
- 김성일·이형찬(2004). 구조방정식모형을 이용한 공공공사 클레임 발생 가능성 분석. 국토연구 제41권: 53-68.
- 김운수·노근호·권주형(2004). 공공연구기관 설립의 지역혁신 파급효과에 대한 구조방정식 모형 분석. 응용경제 제6권 제3호:99-135.
- 노화준(2003). 정책학원론. 박영사.
- 노화준(2006). 정책평가론-제4판-. 법문사.
- 노형진(2005). SPSS/Amos에 의한 사회조사분석-범주형 데이터 분석 및 공분산구조분석-(개정판). 형설.
- 문춘걸(2003). 선형 구조방정식 모형을 이용한 정보화지수의 계측. 정보통신정책연구 제10권 제2호: 57-73.
- 박성쾌·김정봉(2002). 수산부문 정부재정지원정책의 정성 평가. 수산경영론집 제33권 제2호:1-29.
- 배병렬(2005). LISREL 구조방정식모델-이해와 활용-. 청람.
- 장우진·이왕무(2001). AMOS 구조방정식모델에 의한 민원인의 지적행정 서비스품질 평가모형 추정. 한국지적정보학회지 78-95.

16) Schumacker and Lomax(2004, 251-254)는 구조방정식모형을 위한 자료준비에서부터 시작하여 모형의 분석단계별로 분석결과를 제시하는데 있어 점검해야 할 사항에 대해 자세히 나열하고 있다.

- 정정길 외(2004). 정책평가: 이론과 적용. 법영사.
- 최이규(2006). 구조방정식모형. 무역경영사.
- 한인섭(2002). 인과모형에 의한 지방공기업 정책의 효과성 분석. 한국행정논집 제14권 제2호:335-352.
- Bollen K. A. (1989). Structural Equations with Latent Variables, John Wiley & Sons.
- Schumacker, R. E. and R. G. Lomax (2004). A Beginner's Guide to Structural Equation Modeling, second edition, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers.
- Thompson, B. (2000). Ten commandments of structural equation modeling. In L. Grimm & P. Yarnold (Eds.) Reading and understanding more multivariate statistics (pp. 261-284). Washington, DC: American Psychological Association.
- Tomarken, A. J. and N. G. Waller (2005). Structural Equation Modeling: Strengths, Limitations, and Misconceptions, Annual Review of Clinical Psychology 2005. 1:31-75.