응용통계연구 제 12권 2호, 1999년, pp. 449-461

패널회귀모형에서 회귀계수의 신뢰구간에 관한 비교연구

송석헌[1)] 전명식[2)] 정병철[3)]

요 약

본 논문에서는 패널회귀모형에서 내부변환(within transformation)추정량을 이용하여 회귀계수에 대한 정확한 신뢰구간을 제시하였다. 아울러 이러한 신뢰구간의 효율성을 신뢰계수(confidence coefficient)와 신뢰구간의 평균길이(average length of confidence interval)를 사용하여 모의실험을 통하여 다른 근사적 신뢰구간들과 비교하였다. 실험결과, 내부변환추정량을 이용한 신뢰구간은 다른 근사적 신뢰구간들에 비해 명목신뢰계수를 정확히 유지하였고, 신뢰구간의 평균길이도 다른 방법들에 비해 짧은 결과를 보였다.

1. 서론

횡단면자료와 시계열자료가 병합된 패널(panel)자료에 대한 오차성분모형(error components model)은 최근 계량경제학 및 통계학의 여러 응용분야에서 널리 사용되고 있다(Hsiao(1986), Dielman(1989), Baltagi(1995), Matyas와 Sevestre(1996)). 오차성분모형은 크게 고정효과모형(fixed effects model)과 확률효과모형(random effects model)으로 나누어진다.

확률효과모형에서는 오차의 공분산행렬이 단위행렬의 상수배형태를 만족하지 못하므로 회귀계수에 대한 일반화 최소제곱(generalized least squares, GLS)추정량이 최량선형불편추정량임은 잘 알려진 사실이다. 그러나 현실적으로 오차성분의 분산이 알려지지 않은 경우가 대부분이며, 이 경우 GLS추정량은 단지 이론적인 추정량에 불과할 뿐이다. 물론 이에 대한 대안으로 회귀계수에 대한 여러가지 '추정가능' 일반화 최소제곱 (feasible generalized least squares, FGLS)추정량들이 고려되었으며(Tong과 Cornelius(1989), Weerakkody와 Johnson(1992), Baltagi(1995)) 특히, 이러한 추정량들을 이용한 신뢰구간의 구축을 위하여 여러 방법들이 제안되고 있다(Park과 Burdick(1994)). 그러나 FGLS추정량은 점근적으로 GLS추정량과 동일한 분포를 갖게 되지만 소표본인 경우에 추정량의 정확한 분포를 알지 못하는 문제가 있으므로 단지 근사적인 신뢰구간을 제공하게 된다. 반면 오차변량의 효과를 내부변환(within transformation)을 이용하여 소거시키고 변환된 모형에 보통최소제곱(ordinary least squares)을 이용하여 얻어지는 내부변환추정량은 비교적 손쉽게 구할 수 있으며, 추정량에 대한 정확한 분포를 알 수 있어 회귀계수에 대한 신뢰구간추정에 이용될 수 있다.

본 논문에서는 이원오차성분모형에서 내부변환추정량을 이용하여 회귀계수에 대한 정확한 신뢰구간을 제시하고, 내부변환추정량을 이용한 신뢰구간의 효율성을 모의실험을 통하여 다른 근사적 신뢰구간들과 비교하려 한다.

1) (132-714) 서울시 도봉구 쌍문동 419, 덕성여자대학교 통계학과, 부교수
2) (136-701) 서울시 성북구 안암동 5-1, 고려대학교 통계학과, 교수
3) (136-701) 서울시 성북구 안암동 5-1, 고려대학교 통계학과, 박사과정

2. 모형

다음과 같은 패널회귀모형을 고려해보자.

$$y_{it} = \alpha + x_{it}'\beta + u_{it}, \qquad i = 1, 2, \cdots, N, \qquad t = 1, 2, \cdots, T \tag{2.1}$$

여기서 y_{it}는 i번째 개체에 대한 시점 t에서의 관측치를 나타내는 반응변수이고, x_{it}는 k개의 변수로 이루어진 설명변수벡터이다. 모형 (2.1)에서 오차항 u_{it} 는 다음과 같은 이원확률효과모형(two-way error components model)을 따른다고 가정하자 (Amemiya(1971)).

$$u_{it} = \mu_i + \lambda_t + \nu_{it} \tag{2.2}$$

여기서 μ_i는 관측될 수 없는 개체효과(individual specific effect)를 나타내는 확률변수이고 λ_t는 시간효과(time specific effect)를 나타내는 확률변수이며, ν_{it}는 나머지 오차항을 나타낸다. μ_i, λ_t 와 ν_{it}는 서로 독립이며 각각 $\mu_i \overset{i.i.d.}{\sim} N(0, \sigma_\mu^2)$, $\lambda_t \overset{i.i.d.}{\sim} N(0, \sigma_\lambda^2)$와 $\nu_{it} \overset{i.i.d.}{\sim} N(0, \sigma_\nu^2)$이라고 가정하자. 모형 (2.1)을 행렬을 이용하여 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} y &= \alpha i_{NT} + X\beta + u \\ &= Z\delta + u \end{aligned} \tag{2.3}$$

여기서 y는 $NT \times 1$ 반응변수벡터, X는 $NT \times k$독립변수행렬, $Z = [i_{NT}\ X]$ 이고 $\delta' = (\alpha,\ \beta')$는 $(k+1) \times 1$인 회귀계수벡터를 나타내며, i_{NT} 모든 원소가 1인 $NT \times 1$ 벡터이다. 더불어 식 (2.2)의 오차항은 다음과 같이 표현된다.

$$u = (I_N \otimes i_T)\mu + (i_N \otimes I_T)\lambda + \nu \tag{2.4}$$

여기서 I_N 과 I_T는 각각 $N \times N$과 $T \times T$인 단위행렬이며, i_N과 i_T는 각각 모든 원소가 1인 $N \times 1$과 $T \times 1$인 벡터를 나타내며, $\mu = (\mu_1, \cdots, \mu_N)'$, $\lambda = (\lambda_1, \cdots, \lambda_T)'$, $\nu = (\nu_{11}, \cdots, \nu_{NT})'$이며 $\otimes$는 크로네커 곱(Kronecker product)을 나타낸다. 위의 가정으로부터 오차항 u의 공분산행렬은 다음과 같이 주어진다.

$$\Omega = E(uu') = (I_N \otimes J_T)\sigma_\mu^2 + (J_N \otimes I_T)\sigma_\lambda^2 + (I_N \otimes I_T)\sigma_\nu^2 \tag{2.5}$$

여기서, J_N과 J_T는 각각 모든 원소가 1인 $N \times N$과 $T \times T$인 행렬이다. 식 (2.5)에서 $\bar{J}_N = J_N/N$, $\bar{J}_T = J_T/T$이고 $E_N = I_N - \bar{J}_N$, $E_T = I_T - \bar{J}_T$라 할 때, I_N을 $E_N + \bar{J}_N$로 I_T를 $E_T + \bar{J}_T$로 치환하여 다시 표현하면, Ω는 다음과 같이 쓸 수 있다(Wansbeek과 Kapteyn(1982, 1983)).

$$\begin{aligned} \Omega &= \sigma_\nu^2 Q_1 + \lambda_1 Q_2 + \lambda_2 Q_3 + \lambda_3 Q_4 \\ &= \sigma_\nu^2 (Q_1 + \phi_1^{-1} Q_2 + \phi_2^{-1} Q_3 + \phi_3^{-1} Q_4) \end{aligned} \tag{2.6}$$

여기서 $\lambda_1 = T\sigma_\mu^2 + \sigma_\nu^2$, $\lambda_2 = N\sigma_\lambda^2 + \sigma_\nu^2$, $\lambda_3 = T\sigma_\mu^2 + N\sigma_\lambda^2 + \sigma_\nu^2$이고, $Q_1 = E_N \otimes E_T$, $Q_2 = E_N \otimes \bar{J}_T$, $Q_3 = \bar{J}_N \otimes E_T$, $Q_4 = \bar{J}_N \otimes \bar{J}_T$이며, $\phi_1 = \sigma_\nu^2/\lambda_1$, $\phi_2 = \sigma_\nu^2/\lambda_2$, $\phi_3 = \sigma_\nu^2/\lambda_3$ 이다.

3. 신뢰구간

본 절에서는 모형 (2.3)의 회귀계수에 대한 신뢰구간들을 제시하려 한다. 이를 위해서 필요한 요소들을 $W_{xx} = X'Q_1X$, $B_{xx} = X'Q_2X$, $C_{xx} = X'Q_3X$, $W_{xy} = X'Q_1y$, $B_{xy} = X'Q_2y$, $C_{xy} = X'Q_3y$ 와 같이 표기한다.

3.1. GLS 신뢰구간

식 (2.6)에서 ϕ_1과 ϕ_2이 알려진 경우 β에 대한 GLS추정량은 다음과 같다 (Maddala(1971)).

$$\hat{\beta}_{GLS} = [W_{xx} + \phi_1 B_{xx} + \phi_2 C_{xx}]^{-1}[W_{xy} + \phi_1 B_{xy} + \phi_2 C_{xy}] \tag{3.1}$$

이때 $\hat{\beta}_{GLS}$의 분산은 $\sigma_\nu^2(W_{xx} + \phi_1 B_{xx} + \phi_2 C_{xx})^{-1}$이며, $\hat{u} = y - X\hat{\beta}_{GLS}$라 했을 때 σ_ν^2에 대한 불편추정량은 $S_{GLS}^2 = \dfrac{\hat{u}'Q_1\hat{u} + \phi_1\hat{u}'Q_2\hat{u} + \phi_2\hat{u}'Q_3\hat{u}}{NT-k-1}$이다. 또한 $\hat{\beta}_{GLS}$와 $\hat{\sigma}_\nu^2$는 서로 독립이므로 i번째 회귀계수 β^i에 대한 $100(1-\alpha)\%$ 신뢰구간은 다음과 같이 구해진다.

$$\hat{\beta}_{GLS}^i \ \pm\ t_{(\alpha/2;NT-k-1)}\sqrt{S_{GLS}^2(W_{xx} + \phi_1 B_{xx} + \phi_2 C_{xx})_{(i,i)}^{-1}} \tag{3.2}$$

여기서 $(W_{xx} + \phi_1 B_{xx} + \phi_2 C_{xx})_{(i,i)}^{-1}$는 $(W_{xx} + \phi_1 B_{xx} + \phi_2 C_{xx})^{-1}$의 i번째 대각원소이다. 신뢰구간 (3.2)를 GLS추정량에 의한 신뢰구간이라 하며 이후로는 'TRUE' 라 표기하겠다. 이는 다른 신뢰구간과 비교할 때 기준이 되는 신뢰구간으로 사용한다. 그러나 현실적으로 σ_μ^2과 σ_λ^2이 알려지지 않은 경우가 대부분이며, 이 경우 TRUE는 회귀계수에 대하여 단지 이론적인 신뢰구간에 불과할 뿐이다. 물론 이에 대한 대안으로 일반적으로 FGLS를 사용하여 근사적 신뢰구간추정이 가능하다.

3.2. FGLS 신뢰구간

만일 식 (2.6)에서 ϕ_1과 ϕ_2이 알려지지 않은 경우, 이에 대한 대안으로 Swamy와 Arora (1972)에 의해서 제안된 β에 대한 2단계 FGLS추정량 을 이용하여 근사적 신뢰구간을 구하고자 한다. Swamy와 Arora는 분산성분을 추정하기 위하여 내부변환(within transformation)을 이용한 회귀, 개체변이를 이용한 회귀(between individual regression)와 시간변이를 이용한 회귀(between time regression) 등 3개의 회귀모형을 적합하였으며, 각 모형의 평균제곱오차로 σ_ν^2, λ_1과 λ_2를 먼저 추정하였다. 추정된 분산성분은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
\tilde{\sigma}_\nu^2 &= \frac{y'Q_1y - y'Q_1X(X'Q_1X)^{-1}X'Q_1y}{(N-1)(T-1)-k} := S_E \\
\tilde{\lambda}_1 &= \frac{y'Q_2y - y'Q_2X(X'Q_2X)^{-1}X'Q_2y}{N-1-k} := S_B \\
\tilde{\lambda}_2 &= \frac{y'Q_3y - y'Q_3X(X'Q_3X)^{-1}X'Q_3y}{T-1-k} := S_C
\end{aligned} \tag{3.3}$$

식 (3.3)에서 추정된 분산성분을 이용하여 β에 대한 FGLS추정량을 구하면 다음과 같다.

$$\hat{\beta}_{FGLS} = [W_{xx} + \tilde{\phi}_1 B_{xx} + \tilde{\phi}_2 C_{xx}]^{-1}[W_{xy} + \tilde{\phi}_1 B_{xy} + \tilde{\phi}_2 C_{xy}] \tag{3.4}$$

여기서 $\tilde{\phi}_1 = \dfrac{\tilde{\sigma}_\nu^2}{\tilde{\lambda}_1}$, $\tilde{\phi}_2 = \dfrac{\tilde{\sigma}_\nu^2}{\tilde{\lambda}_2}$이며, FGLS추정량을 이용한 i번째 회귀계수의 $100(1-\alpha)\%$ 근사신뢰구간은 다음과 같이 구해진다.

$$\hat{\beta}^i_{FGLS} \ \pm \ t_{(\alpha/2;\ df)}\sqrt{\tilde{\sigma}_\nu^2(W_{xx}+\tilde{\phi}_1 B_{xx}+\tilde{\phi}_2 C_{xx})^{-1}_{(i,i)}} \tag{3.5}$$

여기서, $(W_{xx}+\tilde{\phi}_1 B_{xx}+\tilde{\phi}_2 C_{xx})^{-1}_{(i,i)}$는 $(W_{xx}+\tilde{\phi}_1 B_{xx}+\tilde{\phi}_2 C_{xx})^{-1}$의 i번째 대각원소를 나타내며 df는 자유도를 나타낸다. 본 연구에서는 서로 다른 두 가지 자유도를 사용한 근사신뢰구간을 다루려한다. 첫 번째 신뢰구간(이하 'FGL1')은 전체 오차의 자유도인 $NT-k-1$을 사용하였으며, 두 번째 근사신뢰구간(이하 'FGL2')은 σ_ν^2의 추정에 사용된 자유도인 $(N-1)(T-1)-k$를 사용하였다(Tong 과 Cornelius(1991)). 만일 N과 T가 충분히 크다면 FGL1과 FGL2에서 얻어지는 신뢰구간은 매우 유사하게 될 것이다.

3.3. OLS 신뢰구간

모형 (2.3)에 대한 OLS 추정량은 다음과 같이 구해진다.

$$\hat{\beta}_{OLS} = T_{xx}^{-1}T_{xy} \tag{3.6}$$

여기서 $T_{xx} = (W_{xx}+B_{xx}+C_{xx})$, $T_{xy} = (W_{xy}+B_{xy}+C_{xy})$이다. 이때 $\hat{\beta}_{OLS}$의 분산은 다음과 같다.

$$Var(\hat{\beta}_{OLS}) = T_{xx}^{-1}(\sigma_\nu^2 W_{xx}+\lambda_1 B_{xx}+\lambda_2 C_{xx})T_{xx}^{-1} \tag{3.7}$$

식 (3.7)의 OLS 추정량을 이용하여 회귀계수에 대한 신뢰구간을 구하는 방법은 두 가지 가 있다. 첫 번째 방법은 분산성분 σ_μ^2과 σ_λ^2을 무시하고 신뢰구간을 구하는 것으로 i번째 회귀계수 β^i에 대한 $100(1-\alpha)\%$ 근사신뢰구간은 다음과 같이 구해진다.

$$\hat{\beta}^i_{OLS} \ \pm \ t_{(\alpha/2;NT-k-1)}\sqrt{S^2_{OLS}T_{xx}{}^{-1}_{(i,i)}} \tag{3.8}$$

여기서 $S^2_{OLS} = \dfrac{T_{yy}-\hat{\beta}'_{OLS}T_{xy}}{NT-k-1}$이고, $T_{yy} = y'(Q_1+Q_2+Q_3)y$이다. 식 (3.8)에서 구한 신뢰구간을 'OLSI'라 명명한다. 식 (3.8)에서 추정된 S^2_{OLS}는 $\sigma_\mu^2 \neq 0$와 $\sigma_\lambda^2 \neq 0$ 인 경우에 일반적으로 편향추정량이 된다(Moulton, 1986). 그러므로, 식 (3.8)에서 제안된 OLSI는 σ_ν^2에 대한 편향추정으로 인하여 회귀계수에 대한 신뢰구간을 왜곡시키게 된다.

OLS 추정량을 이용한 두 번째 신뢰구간은 Satterwaite 근사방법 (Neter, et al., (1996))을 이용하는 것이다. Satterwaite 근사를 이용한 i번째 회귀계수에 대한 $100(1-\alpha)\%$ 근사신뢰구간은 다음과 같이 구해진다.

$$\hat{\beta}^i_{OLS} \ \pm \ t_{(\alpha/2;m)}\sqrt{\Big[T_{xx}^{-1}\Big((I_k-W_1-W_2)S_E+W_1S_B+W_2S_C\Big)T_{xx}^{-1}\Big]_{(i,i)}} \tag{3.9}$$

여기서 $W_1 = T_{xx}^{-1}B_{xx}$, $W_2 = T_{xx}^{-1}C_{xx}$ 이고 S_E, S_B와 S_C는 식 (3.3) 에 정의되었다. 식 (3.9)의 신뢰구간을 'SATT'라 명명하면, SATT는 근사 자유도 m을 필요로 하는데, 이는 다음 식에 의해서 결정된다.

$$m = \frac{[(1-w_1^i-w_2^i)S_E + w_1^i S_B + w_2^i S_C]^2}{\left[\frac{(1-w_1^i-w_2^i)^2 S_E^2}{(N-1)(T-1)-k} + \frac{{w_1^i}^2 S_B^2}{N-1-k} + \frac{{w_2^i}^2 S_C^2}{T-1-k}\right]} \tag{3.10}$$

여기서 w_1^i와 w_2^i는 각각 행렬 W_1과 W_2의 i번째 대각원소를 나타낸다.

3.4. 내부변환(WITHIN TRANSFORMATION)추정을 이용한 신뢰구간

이제 모형 (2.3)에 $Q_1 = E_N \otimes E_T = I_N \otimes I_T - I_N \otimes \bar{J}_N - \bar{J}_N \otimes I_T + \bar{J}_N \otimes \bar{J}_T$를 곱하여 다음과 같은 변환모형을 고려하자.

$$\begin{aligned} y^* &= Q_1 y \\ &= Q_1 Z\delta + Q_1 u \\ &= Q_1 X\beta + Q_1 u \\ &= X^*\beta + u^* \end{aligned} \tag{3.11}$$

여기서 세 번째 등식은 $Q_1 \imath_{NT} = 0$이라는 사실을 이용하였다. 이때 y^*의 각 원소는 $(y_{it} - \bar{y}_{i.} - \bar{y}_{.t} + \bar{y}_{..})$이고 X^*의 j번째 열은 $(x_{itj} - \bar{x}_{i.j} - \bar{x}_{.tj} + \bar{x}_{..j})$로 이루어져 Q_1 행렬을 이용한 내부변환은 개체효과 및 시간효과를 모두 소거시키는 변환이 된다. 식 (3.11)은 Q_1을 이용하여 변환을 했음에도 식 (3.11)의 변환모형에서 u^*에 대한 공분산행렬은 $\sigma_\nu^2 Q_1$이되므로 GLS를 사용하여 회귀계수 β를 추정해야 한다. 그러나, 다음의 정리에 의하면 모형 (3.11)에서는 OLS추정량과 GLS추정량이 일치한다는 것을 볼 수 있다.

정리 3.1 모형 (3.11)에서 회귀계수에 대한 OLS추정량과 GLS추정량은 일치한다.

증명 : Seber(1977, p.63)참고.

정리 3.1을 이용하여, 내부변환된 모형 (3.11)에서 OLS를 통하여 얻어진 추정량

$$\hat{\beta}_{WTN} = (X^{*\prime}X^*)^{-1}X^{*\prime}y^* = (X'Q_1X)^{-1}X'Q_1y \tag{3.12}$$

을 내부변환추정량이라 하며, $\hat{\beta}_{WTN}$은 평균이 β이고 분산이 $\sigma_\nu^2(X'Q_1X)^{-1}$ 인 정규분포를 따르게 된다. 또한 변환된 모형의 잔차제곱합을 이용한 σ_ν^2에 대한 불편추정량은 다음과 같이 구해진다.

$$\hat{\sigma}_\nu^2 = \frac{y^{*\prime}[I - X^*(X^{*\prime}X^*)^{-1}X^{*\prime}]y^*}{(N-1)(T-1)-k} = \frac{y^{*\prime}M^*y^*}{(N-1)(T-1)-k} \tag{3.13}$$

여기서 $y^* = Q_1y$, $M^* = I - Q_1X(X'Q_1X)^{-1}X'Q_1 = I - X^*(X^{*\prime}X^*)^{-1}X^{*\prime}$이며 M^*는 대칭멱등 행렬이다. 식 (3.12)와 (3.13)에서 구해진 추정치를 이용하여 정확한 β에 대한 신뢰구

간(이하 'WTI'이라 하겠음) 을 유도하는데 필요한 다음과 같은 정리를 살펴보자.

정리 3.2 $[(N-1)(T-1)-k)]\hat{\sigma}_\nu^2/\sigma_\nu^2$는 자유도 $(N-1)(T-1)-k$인 카이제곱분포를 따르고, $\hat{\beta}_{WTN}$과 $\hat{\sigma}_\nu^2$은 서로 독립이다.

증명 : $y^* \sim N(Q_1 X\beta, \sigma_\nu^2 Q_1)$이고, M^*Q_1은 멱등행렬이 되며 $M^*Q_1X = 0$ 이므로 Searle (1971, p.57)의 정리 2에 의하여 $[(N-1)(T-1)-k]\hat{\sigma}_\nu^2/\sigma_\nu^2$는 자유도 $(N-1)(T-1)-k$인 카이제곱분포를 따르게 된다. 또한 $(X'Q_1X)^{-1}X'Q_1M^* = 0$가 되므로 Searle (1971, p.59)의 정리 3에 의하여 $\hat{\beta}_{WTN}$ 과 $\hat{\sigma}_\nu^2$은 서로 독립이다.

정리 3.2를 이용하여 i번째 회귀계수 β^i에 대한 정확한 신뢰구간을 구하기 위한 t 통계량을 구하면 이는 다음과 같다.

$$t = \frac{\hat{\beta}^i_{WTN} - \beta^i}{\sqrt{\hat{\sigma}_\nu^2 (X'Q_1X)^{-1}_{(i,i)}}} \tag{3.14}$$

여기서 $(X'Q_1X)^{-1}_{(i,i)}$는 $(X'Q_1X)^{-1}$의 i번째 대각원소를 나타내며, 식 (3.14)에서 얻어진 t통계량은 자유도 $(N-1)(T-1)-k$인 t분포를 따르게 된다. 그러므로 식 (3.12)를 이용한 β^i에 대한 $100(1-\quad)\%$ 정확한 신뢰구간(WTI)은 다음과 같이 구해진다.

$$\hat{\beta}^i_{WTN} \ \pm \ t_{[\alpha/2,((N-1)(T-1)-k)]}\sqrt{\hat{\sigma}_\nu^2 (X'Q_1X)^{-1}_{(i,i)}} \tag{3.15}$$

4. 모의실험

4.1. 모의실험 방법

3장에서 유도한 WTI가 다른 신뢰구간들에 비하여 얼마나 효율적인지를 알아보기 위하여 모의실험을 실시하였다. 비교를 위하여 모의실험에 사용된 모형은 독립변수가 하나인 단순패널 회귀모형을 이용하였다.

$$\begin{aligned} y_{it} &= \alpha + \beta x_{it} + u_i, \qquad i = 1,2,\cdots,N, t = 1,2,\cdots,T, \\ u_{it} &= \mu_i + \lambda_t + \nu_{it} \end{aligned} \tag{4.1}$$

모형 (4.1)에서 설명변수 x_{it}는 Nerlove(1971)에 의해 제안된 방법을 사용하여 생성하였다. 즉, w_{it}가 균일분포 $(-0.5, 0.5)$를 따르는 난수라고 했을 때 x_{it}는 $x_{it} = 0.1t + 0.5x_{i,t-1} + w_{it}$의 식에 의하여 반복적으로 생성하였으며, 이 때 초기값 x_{i0}은 $5 + 10w_{i0}$에서 구하였다. 모의실험 전체를 통하여 $\alpha = 5$, $\beta = 0.5$와 $\sigma^2 = \sigma_\mu^2 + \sigma_\lambda^2 + \sigma_\nu^2 = 20$으로 고정하였다. 각 실험에서는 $w_1 = \sigma_\mu^2/\sigma^2$, $w_2 = \sigma_\lambda^2/\sigma^2$의 값을 0.1에서 0.8사이에서 0.1단위로 변화시켜가며 항상 $1 - w_1 - w_2$의 값이 0보다 크도록 하였으며, μ_i, λ_t와 ν_{it}의 값은 각각 $N(0, w_1\sigma^2)$,

$N(0, w_2\sigma^2)$와 $N(0, (1-w_1-w_2)\sigma^2)$에서 생성하였다. 모든 실험은 1000번 독립적으로 반복 실시하였으며, SAS/IML 프로시져를 이용하여 수행하였다. 대부분의 패널자료는 개체의 수가 크고 관측시간이 작은 것이 일반적이다. 그러므로, 본 실험에 사용된 표본은 T를 작은 값($T = 5, 10, 20$)으로 고정하고 N을 10 부터 40까지 10단위씩 증가시키며 실시하였다. 각 실험에서는 3장에서 정의된 신뢰구간들에 대하여 각각의 신뢰계수(confidence coefficient)와 신뢰구간의 평균길이 (average length of confidence interval)를 계산하였다. 신뢰계수는 정의된 신뢰구간이 1000번의 반복에서 β를 포함하는 비율을 나타내며, 신뢰구간의 평균길이는 1000번 반복을 통하여 얻은 길이들의 평균을 나타낸다.

4.2. 모의실험의 결과

표 4.1에서 표 4.4는 3절에 제시되어 있는 6개 신뢰구간들에 대하여 모의실험된 신뢰계수의 일부이다(제시하지 않은 모의실험결과는 저자들에게 요구할 수 있음). 신뢰계수는 w_1과 w_2의 수준에서 추정방법에 의해 만들어진 신뢰구간에 참(true) β값이 속하는 비율을 나타낸 것이다. 이항분포의 정규분포에 의한 근사를 이용하면 명목(nominal)신뢰계수가 0.95인 경우, 1000번의 반복 중에서 모의실험된 신뢰계수가 0.936보다 작거나 0.964보다 크게 나타날 가능성은 5% 미만이다(Park과 Burdick(1994)). 표 4.1에서 표 4.4까지의 하단부에 나타낸 '벗어난 비율'은 36개의 모든 실험조합에서 실험된 신뢰계수가 0.936보다 작거나 0.964보다 크게 나타나는 비율을 의미한다. FGL1과 FGL2에서 만일 추정된 σ_μ^2과 σ_λ^2값이 0보다 작으면 이는 0으로 대치하였다.

표 4.1에서 표 4.4까지의 결과를 요약하면 다음과 같다. 먼저 OLSI의 모의실험된 신뢰계수는 고려된 모든 실험조합에서 명목신뢰계수 0.95를 유지하지 못하였다. 이와 같은 비효율성은 분산성분인 σ_μ^2 과 σ_λ^2을 무시하였기 때문에 발생한 것으로 $w_1 + w_2$의 값이 커질수록 더 심각해졌다. FGL1과 FGL2의 "벗어난 비율"은 $T = 5$인 경우에 $N = 10$일때 100%, $N = 40$일 때 86.1%를 나타내어 기대값인 5%의 수준을 넘는 값을 보였다. $T = 10$, $T = 20$인 경우에도 마찬가지로 기대수준인 5%보다 크게 나타났으며, $N \geq 30$일 때에 비로소 명목신뢰계수 0.95를 어느 정도 유지하는 것으로 나타났다. 이는 소표본인 경우에 β에 대한 신뢰구간추정에 있어서 FGLS를 사용하는 것에 주의를 기울일 필요성이 있음을 의미한다. 반면 SATT는 $T = 5$인 경우를 제외하고는 명목신뢰계수인 0.95를 유지하였으며, TRUE와 WTI는 고려된 모든 경우에 명목신뢰계수를 적절히 유지하는 것으로 나타났다.

다음 표 4.5와 표 4.6은 표 4.1에서 표 4.4까지에서 명목신뢰계수를 유지한 WTI와 SATT에 대한 신뢰계수의 평균길이를 나타낸다. 비교를 위하여 TRUE의 평균길이를 같이 제공하였다. 표 4.5와 표 4.6의 결과를 보면, WTI는 N이 증가할수록 TRUE에 대한 평균길이의 비(ratio)가 감소하는 경향을 보이는 반면 SATT는 증가하는 경향을 보이고 있다. 특히 $N = 40$, $T = 5$인 경우 $w_1 = 0.1$, $w_2 = 0.8$에서 SATT의 평균길이는 6.28로 나타나 TRUE의 평균길이 0.67보다 최대 9배가 넘는 평균길이를 나타내고 있다. 또한 N이 작고 $w_1 + w_2$의 값이 0.3보다 작은 값인 경우를 제외한 모든 경우에 WTI의 평균길이가 SATT보다 작게 나타났다. WTI의 평균길이는 $N = 10$, $T = 5$, $w_1 = 0.1$, $w_2 = 0.1$에서 TRUE보다 최대 60% 긴 평균길이를 보이고 있지만, N과 T가 증가하거나 $w_1 + w_2$의 값이 증가할수록 이 비율은

표 4.1: 모의실험에 의한 신뢰계수 추정결과 (명목신뢰계수 = 0.95)

		N=10		T=5				N=10		T=10			
w1	w2	TRUE	FGL1	FGL2	SATT	WTI	OLSI	TRUE	FGL1	FGL2	SATT	WTI	OLSI
0.1	0.1	0.942	0.915	0.916	0.956	0.946	0.901	0.949	0.928	0.929	0.954	0.934	0.894
0.1	0.5	0.951	0.903	0.908	0.949	0.958	0.747	0.953	0.937	0.937	0.950	0.950	0.754
0.1	0.8	0.956	0.913	0.914	0.942	0.965	0.653	0.962	0.948	0.948	0.941	0.963	0.651
0.2	0.1	0.952	0.919	0.921	0.955	0.954	0.901	0.950	0.928	0.932	0.941	0.939	0.886
0.2	0.4	0.954	0.896	0.899	0.951	0.955	0.773	0.945	0.929	0.929	0.951	0.947	0.773
0.2	0.7	0.939	0.916	0.917	0.941	0.947	0.637	0.959	0.948	0.950	0.961	0.957	0.690
0.3	0.1	0.955	0.910	0.911	0.954	0.957	0.882	0.950	0.936	0.937	0.947	0.945	0.888
0.3	0.4	0.961	0.919	0.921	0.944	0.956	0.760	0.950	0.934	0.935	0.953	0.954	0.789
0.3	0.6	0.940	0.904	0.907	0.934	0.938	0.665	0.949	0.946	0.946	0.952	0.943	0.662
0.4	0.1	0.943	0.889	0.892	0.956	0.944	0.875	0.945	0.931	0.932	0.953	0.944	0.875
0.4	0.4	0.960	0.922	0.923	0.955	0.961	0.768	0.956	0.949	0.949	0.954	0.959	0.754
0.5	0.1	0.957	0.900	0.904	0.961	0.956	0.870	0.941	0.925	0.925	0.960	0.938	0.876
0.5	0.4	0.944	0.906	0.909	0.942	0.948	0.731	0.951	0.950	0.950	0.950	0.950	0.740
0.6	0.1	0.939	0.903	0.906	0.951	0.940	0.840	0.951	0.934	0.935	0.958	0.954	0.861
0.7	0.1	0.955	0.902	0.905	0.958	0.940	0.855	0.955	0.951	0.951	0.961	0.956	0.851
0.8	0.1	0.939	0.898	0.902	0.960	0.939	0.826	0.960	0.944	0.944	0.945	0.957	0.834
벗어난 비율		0.028	1.000	1.000	0.028	0.028	1.000	0.028	0.500	0.472	0.028	0.056	1.000

감소하는 것을 볼 수 있다. 특히 $N \geq 30$, $T \geq 10$인 경우에는 $w_1 + w_2$의 값이 작을 때를 제외한 모든 경우에 TRUE와 비슷한 평균길이를 보이고 있다. 즉 제안된 WTI은 모의실험 결과, 신뢰계수의 관점이나 신뢰구간의 평균길이의 관점에서 다른 근사적 신뢰구간들에 비하여 좋은 효율성을 보이고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 오차항이 이원확률효과모형을 따르는 패널회귀모형에서 회귀계수에 대한 신뢰구간들의 효율성에 관하여 다루었다. 오차항의 분산성분이 알려져 있지 않은 경우, 본 연구에서 제안된 WTI가 모의실험 결과, 신뢰계수의 관점이나 신뢰구간의 평균길이의 관점에서 다른 근사적 신뢰구간들에 비하여 좋은 효율성을 보여주는 신뢰구간이다. 반면, 이러한 모형에서 FGL1이나 FGL2를 사용하는 것은 신뢰계수의 관점에서 비효율적인 결과를 제공해 주었으며 더욱이 소표본인 경우에는 신뢰구간추정에 있어서 FGLS를 사용하는 것에 주의를 기울일 필요성이 있음을 보여주고 있다. 더불어 SATT는 명목신뢰계수를 유지해주는 반면 신뢰구간의 평균길이 면에서 비효율적이었다. 특히 TRUE와 비교하여 WTI의 상대적 효율성이 크게 떨어지지 않는다는 점은 실제 패널자료의 분석시 회귀계수에 대한 효율적인 신뢰구간으로 이용될 수 있다. 더불어 회귀 계수에 대한 신뢰구간 추정을 위하여 WTI는 모형 내에서 내부변환을 통하여 쉽게 얻어질 수 있으므로, FGL1과 FGL2의

표 4.2: 모의실험에 의한 신뢰계수 추정결과(계속)

	N=20		T=20				N=30		T=5			
w1 w2	TRUE	FGL1	FGL2	SATT	WTI	OLSI	TRUE	FGL1	FGL2	SATT	WTI	OLSI
0.1 0.1	0.950	0.950	0.950	0.951	0.967	0.783	0.953	0.924	0.924	0.943	0.959	0.818
0.1 0.5	0.951	0.945	0.945	0.943	0.954	0.510	0.951	0.919	0.921	0.949	0.944	0.537
0.1 0.8	0.960	0.959	0.959	0.947	0.955	0.386	0.954	0.933	0.934	0.942	0.939	0.379
0.2 0.1	0.952	0.937	0.937	0.943	0.960	0.795	0.958	0.921	0.921	0.946	0.967	0.812
0.2 0.4	0.942	0.942	0.942	0.949	0.951	0.544	0.959	0.930	0.930	0.942	0.956	0.558
0.2 0.7	0.949	0.946	0.946	0.955	0.951	0.465	0.944	0.933	0.934	0.948	0.952	0.454
0.3 0.1	0.947	0.932	0.932	0.943	0.949	0.804	0.962	0.922	0.922	0.955	0.947	0.813
0.3 0.4	0.935	0.933	0.933	0.950	0.935	0.526	0.945	0.918	0.918	0.938	0.946	0.580
0.3 0.6	0.946	0.945	0.945	0.960	0.944	0.459	0.950	0.934	0.934	0.937	0.945	0.475
0.4 0.1	0.945	0.930	0.931	0.942	0.952	0.795	0.943	0.908	0.908	0.942	0.944	0.788
0.4 0.4	0.950	0.949	0.949	0.959	0.952	0.535	0.944	0.917	0.918	0.931	0.943	0.551
0.5 0.1	0.953	0.934	0.934	0.945	0.947	0.791	0.944	0.909	0.909	0.946	0.957	0.792
0.5 0.4	0.946	0.950	0.950	0.947	0.952	0.527	0.944	0.932	0.932	0.936	0.942	0.543
0.6 0.1	0.958	0.939	0.939	0.950	0.954	0.799	0.952	0.898	0.899	0.952	0.941	0.775
0.7 0.1	0.937	0.930	0.930	0.947	0.941	0.819	0.934	0.890	0.891	0.945	0.941	0.747
0.8 0.1	0.956	0.949	0.949	0.960	0.952	0.814	0.946	0.921	0.921	0.951	0.947	0.759
벗어난 비율	0.028	0.222	0.222	0.000	0.056	1.000	0.083	0.944	0.917	0.194	0.056	1.000

표 4.3: 모의실험에 의한 신뢰계수 추정결과(계속)

	N=30		T=10				N=40		T=5			
w1 w2	TRUE	FGL1	FGL2	SATT	WTI	OLSI	TRUE	FGL1	FGL2	SATT	WTI	OLSI
0.1 0.1	0.961	0.944	0.944	0.951	0.960	0.808	0.946	0.898	0.898	0.931	0.945	0.769
0.1 0.5	0.953	0.948	0.948	0.955	0.962	0.563	0.948	0.916	0.916	0.940	0.958	0.441
0.1 0.8	0.947	0.943	0.944	0.932	0.943	0.430	0.963	0.956	0.956	0.958	0.952	0.373
0.2 0.1	0.956	0.939	0.939	0.943	0.956	0.800	0.950	0.903	0.904	0.944	0.952	0.772
0.2 0.4	0.953	0.950	0.950	0.948	0.955	0.630	0.952	0.920	0.921	0.938	0.944	0.505
0.2 0.7	0.951	0.947	0.947	0.958	0.949	0.484	0.937	0.930	0.930	0.953	0.944	0.375
0.3 0.1	0.956	0.936	0.936	0.950	0.956	0.806	0.935	0.892	0.892	0.934	0.948	0.740
0.3 0.4	0.945	0.941	0.941	0.941	0.949	0.558	0.953	0.932	0.933	0.939	0.959	0.524
0.3 0.6	0.960	0.953	0.953	0.947	0.953	0.514	0.928	0.916	0.917	0.926	0.936	0.400
0.4 0.1	0.951	0.935	0.935	0.957	0.958	0.810	0.941	0.893	0.893	0.948	0.940	0.781
0.4 0.4	0.948	0.941	0.941	0.948	0.949	0.560	0.953	0.930	0.930	0.933	0.947	0.529
0.5 0.1	0.947	0.944	0.944	0.947	0.945	0.780	0.961	0.904	0.906	0.937	0.956	0.734
0.5 0.4	0.955	0.954	0.954	0.943	0.951	0.554	0.962	0.949	0.949	0.942	0.955	0.519
0.6 0.1	0.955	0.947	0.947	0.941	0.952	0.769	0.951	0.911	0.912	0.949	0.948	0.736
0.7 0.1	0.942	0.938	0.938	0.947	0.940	0.778	0.963	0.924	0.924	0.948	0.958	0.747
0.8 0.1	0.947	0.938	0.938	0.958	0.949	0.757	0.950	0.923	0.924	0.946	0.950	0.735
벗어난 비율	0.000	0.083	0.083	0.056	0.000	1.000	0.083	0.861	0.861	0.278	0.028	1.000

표 4.4: 모의실험에 의한 신뢰계수 추정결과(계속)

		N=40			T=10			N=40			T=20		
w1	w2	TRUE	FGL1	FGL2	SATT	WTI	OLSI	TRUE	FGL1	FGL2	SATT	WTI	OLSI
0.1	0.1	0.950	0.934	0.934	0.952	0.947	0.790	0.954	0.943	0.943	0.954	0.956	0.662
0.1	0.5	0.956	0.955	0.955	0.957	0.951	0.519	0.954	0.948	0.948	0.948	0.954	0.373
0.1	0.8	0.949	0.948	0.948	0.949	0.949	0.379	0.938	0.937	0.937	0.935	0.943	0.260
0.2	0.1	0.948	0.931	0.931	0.944	0.954	0.767	0.959	0.953	0.953	0.964	0.948	0.709
0.2	0.4	0.948	0.942	0.942	0.954	0.953	0.527	0.954	0.950	0.950	0.947	0.946	0.407
0.2	0.7	0.955	0.952	0.952	0.939	0.957	0.383	0.965	0.965	0.965	0.943	0.962	0.309
0.3	0.1	0.951	0.946	0.946	0.949	0.944	0.773	0.956	0.943	0.943	0.956	0.954	0.684
0.3	0.4	0.945	0.945	0.945	0.952	0.949	0.517	0.949	0.948	0.948	0.958	0.940	0.409
0.3	0.6	0.956	0.957	0.957	0.947	0.964	0.425	0.951	0.954	0.954	0.948	0.954	0.321
0.4	0.1	0.949	0.941	0.941	0.950	0.941	0.767	0.954	0.946	0.947	0.960	0.960	0.669
0.4	0.4	0.956	0.955	0.955	0.944	0.956	0.508	0.951	0.949	0.949	0.946	0.950	0.421
0.5	0.1	0.935	0.932	0.932	0.954	0.931	0.757	0.950	0.944	0.944	0.946	0.943	0.663
0.5	0.4	0.944	0.948	0.948	0.945	0.948	0.503	0.948	0.948	0.948	0.942	0.948	0.391
0.6	0.1	0.949	0.940	0.940	0.953	0.952	0.737	0.955	0.947	0.947	0.960	0.960	0.678
0.7	0.1	0.952	0.954	0.954	0.947	0.954	0.720	0.955	0.949	0.949	0.948	0.941	0.685
0.8	0.1	0.947	0.940	0.940	0.954	0.949	0.747	0.953	0.949	0.949	0.958	0.959	0.693
벗어난 비율		0.028	0.083	0.083	0.056	0.028	1.000	0.028	0.111	0.111	0.028	0.028	1.000

표 4.5: 신뢰구간의 평균길이

		N=10		T=5	N=10		T=10	N=20		T=20	N=30		T=5
w1	w2	TRUE	SATT	WTI	TRUE	SATT	WTI	TRUE	SATT	WTI	TRUE	SATT	WTI
0.1	0.1	2.87	3.47	4.58	2.54	2.88	3.30	1.17	1.39	1.76	1.69	2.44	2.43
0.1	0.5	2.46	5.27	3.22	2.12	4.10	2.33	1.14	2.59	1.24	1.36	4.94	1.71
0.1	0.8	1.43	6.44	1.60	1.14	4.94	1.17	0.62	3.16	0.63	0.77	6.34	0.85
0.2	0.1	2.85	3.51	4.25	2.45	2.92	3.05	1.13	1.38	1.65	1.70	2.43	2.27
0.2	0.4	2.59	4.88	3.20	2.16	3.85	2.35	1.13	2.31	1.25	1.45	4.33	1.72
0.2	0.7	1.50	6.03	1.62	1.14	4.65	1.17	0.61	2.99	0.62	0.81	5.91	0.86
0.3	0.1	2.76	3.44	3.93	2.32	2.97	2.85	1.08	1.35	1.53	1.67	2.49	2.11
0.3	0.4	2.40	4.83	2.78	1.88	3.90	1.99	1.00	2.29	1.08	1.33	4.27	1.49
0.3	0.6	1.50	5.58	1.59	1.15	4.45	1.18	0.61	2.76	0.62	0.82	5.49	0.86
0.4	0.1	2.67	3.57	3.63	2.18	3.08	2.61	1.02	1.33	1.39	1.59	2.50	1.92
0.4	0.4	2.08	4.90	2.30	1.58	3.96	1.64	0.84	2.31	0.88	1.13	4.36	1.21
0.5	0.1	2.48	3.62	3.19	1.98	3.13	2.31	0.95	1.32	1.25	1.48	2.51	1.71
0.5	0.4	1.54	4.81	1.62	1.13	3.97	1.16	0.61	2.32	0.62	0.83	4.29	0.85
0.6	0.1	2.24	3.64	2.77	1.78	3.20	2.02	0.86	1.32	1.08	1.32	2.46	1.48
0.7	0.1	1.93	3.71	2.27	1.50	3.33	1.65	0.75	1.30	0.88	1.13	2.49	1.22
0.8	0.1	1.45	3.76	1.61	1.10	3.41	1.16	0.57	1.29	0.62	0.82	2.54	0.86

표 4.6: 신뢰구간의 평균길이(계속)

		N=30		T=20	N=40		T=5	N=40		T=10	N=40		T=20
w1	w2	TRUE	SATT	WTI	TRUE	SATT	WTI	TRUE	SATT	WTI	TRUE	SATT	WTI
0.1	0.1	1.51	2.01	1.78	1.47	2.37	2.07	1.33	1.90	1.53	0.93	1.24	1.22
0.1	0.5	1.18	3.65	1.26	1.17	4.95	1.46	1.01	3.63	1.08	0.82	2.54	0.87
0.1	0.8	0.62	4.58	0.63	0.67	6.28	0.73	0.53	4.57	0.54	0.43	3.16	0.43
0.2	0.1	1.47	2.06	1.67	1.49	2.33	1.95	1.28	1.91	1.43	0.90	1.25	1.14
0.2	0.4	1.20	3.33	1.25	1.25	4.33	1.47	1.04	3.30	1.08	0.82	2.27	0.87
0.2	0.7	0.62	4.26	0.63	0.69	5.95	0.73	0.53	4.24	0.54	0.43	2.96	0.43
0.3	0.1	1.39	2.08	1.54	1.45	2.33	1.79	1.21	1.95	1.32	0.85	1.24	1.06
0.3	0.4	1.06	3.35	1.09	1.15	4.36	1.27	0.91	3.30	0.94	0.72	2.26	0.75
0.3	0.6	0.62	3.92	0.63	0.71	5.36	0.74	0.54	3.99	0.54	0.43	2.74	0.43
0.4	0.1	1.30	2.10	1.42	1.39	2.38	1.64	1.13	1.98	1.21	0.80	1.23	0.97
0.4	0.4	0.87	3.37	0.89	0.97	4.24	1.03	0.75	3.28	0.76	0.60	2.30	0.61
0.5	0.1	1.18	2.15	1.26	1.29	2.31	1.47	1.02	1.97	1.08	0.74	1.23	0.87
0.5	0.4	0.62	3.36	0.63	0.71	4.25	0.73	0.54	3.28	0.54	0.43	2.25	0.43
0.6	0.1	1.04	2.15	1.09	1.15	2.34	1.27	0.90	2.02	0.94	0.66	1.22	0.75
0.7	0.1	0.86	2.20	0.89	0.97	2.34	1.04	0.74	2.03	0.77	0.56	1.20	0.61
0.8	0.1	0.62	2.21	0.63	0.71	2.37	0.74	0.53	2.03	0.54	0.41	1.20	0.43

이용에 따른 계산상의 번거로움도 해소할 수 있으므로 적절한 신뢰구간으로 이용될 수 있다.

참고문헌

[1] Amemiya, T. (1971). The estimation of variances in a variance components model. *International Economic Review.* Vol. 12, 1-13.

[2] Baltagi, B.H. (1995). *Econometric Analysis of Panel Data.* Wiley, New York.

[3] Dielman, T.E. (1989). *Pooled Cross-Sectional and Time Series Data Analysis.* Marcel Dekker, New York, Basel.

[4] Hsiao, C. (1986). *Analysis of Panel Data.* Cambridge University Press, Cambridge.

[5] Maddala, G.S. (1971). The use of variace components models in pooling cross section and time series data. *Econometrica.* Vol. 39, 341-358.

[6] Matyas, L. and Sevestre, P. (1996). *The Econometrics of Panel Data: Handbook of Theory and Applications.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

[7] Moulton, B.R. (1986). Random group effects and the precision of regression estimates. *Journal of Econometrics.* Vol. 32, 385-397.

[8] Nerlove, M. (1971). Further evidence on the estimation of dynamic economic relations from a time-series of cross-sections. *Econometrica.* Vol. 39, 359-382.

[9] Neter, J., Kutner, M.H., Nachtsheim, C.J. and Wasserman, W. (1996). *Applied Linear Statistical Models.* Irwin, Illinois.

[10] Park, D.J. and Burdick, R.K. (1994). Confidence intervals on the regression coefficient in a simple linear regression model with a balanced one-fold nested error structure. *Communications in statistics-Theory and Methods.* Vol. 23, 43-58.

[11] Searle, S.R. (1971). *Linear Models.* Wiley, New York.

[12] Seber, G.A.F. (1977). *Linear Regression Analysis.* Wiley, New York.

[13] Swamy, P.A.V.B. and Arora, A.A. (1972). The exact finite sample properties of the estimators of coefficients in the error components regression models. *Econometrica.* Vol. 40, 261-275.

[14] Tong, L.I. and Cornelius, P.L. (1989). Studies on the estimation of the slope parameter in the simple linear regression model with one-fold nested error structure. *Communications in Statistics -Theory and Methods.* Vol. 18, 201-225.

[15] Tong, L.I. and Cornelius, P.L. (1991). Studies on the hypothesis testing of the slope parameter in the simple linear regression model with one-fold nested error structure. *Communications in Statistics -Theory and Methods.* Vol. 20, 2023-2043.

[16] Wansbeek, T.J. and Kapteyn, A. (1982). A simple way to obtain the spectral decomposition of variance components models for balanced data. *Communications in Statistics -Theory and Methods.* Vol. 11, 2105-2112.

[17] Wansbeek, T. J. and Kapteyn, A. (1983). A note on spectral decomposition and maximum likelihood estimation in ANOVA models with balanced data. *Statistics and Probability Letters.* Vol. 1, 213-215.

[18] Weerakkody, G. J. and Johnson, D.E. (1992). Estimation of within model parameters in regression models with a nested error structure. *Journal of the American Statistical Association.* Vol. 87, 708-713.

[1998년 7월 접수, 1999년 2월 최종수정]

A comparative study on the confidence intervals for regression coefficients in a panel regression model

Seuck-Heun Song[1)] Myoung-shic Jhun[2)] Byoung-Cheol Jung[3)]

ABSTRACT

This article considers a linear regression model with error components for panel data analysis. By using a within transformation. we suggest a practical way of constructing an exact confidence interval for the regression coefficient. It is shown through simulation study that the suggested confidence interval has an advantage over the existing ones.

1) Dept of Statistics, Duksung Women's University, Seoul 136-742, Korea
2) Dept of Statistics, Korea University, Seoul 136-701, Korea
3) Dept of Statistics, Korea University, Seoul 136-701, Korea