

# A study on prediction for reflecting variation of fertility rate by province under ultra-low fertility in Korea

Jinho Oh<sup>1,a</sup>

<sup>a</sup>Department of Mathematical Sciences, HanBat National University

---

## Abstract

This paper compares three statistical models that examine the relationship between national and province-specific fertility rates. The three models are two of the regression models and a cointegration model. The regression model is by substituting Gompit transformation for the cumulative fertility rate by the average for ten years, and this model applies the raw data without transformation of the fertility data. A cointegration model can be considered when fitting the unstable time series of fertility rate in probability process. This paper proposes the following when it is intended to derive the relation of non-stationary fertility rate between the national and provinces. The cointegrated relationship between national and regional fertility rates is first derived. Furthermore, if this relationship is not significant, it is proposed to look at the national and regional fertility rate relationships with a regression model approach using raw data without transformation. Also, the regression model method of substituting Gompit transformation data resulted in an overestimation of fertility rates compared to other methods. Finally, Seoul, Busan, Daegu, Incheon, Gwangju, Daejeon and Gyeonggi province are expected to show a total fertility rate of 1.0 or less from 2025 to 2030, so an urgent and efficient policy to raise this level is needed.

Keywords: province-specific fertility rates, gompit transformation, cointegration model, regression model

---

## 1. 서론

통계청 (KOSIS, 2019) 장래인구특별추계의 출산율에 따르면 합계출산율(total fertility rate; TFR)은 2005년 1.08명에서 우상향 증가추세로 2015년 1.24명을 찍은 후, 하강기조를 보이면서 2018년 0.98명, 2019년은 0.92명으로 1명 보다 낮은 수준을 보인다. 1명 이하의 한국의 출산율 수준은 OECD 가입국 중 최하위이며, ‘인구구조 붕괴, 어려운 인구문제에 직면 등’이라는 매체 보도 (GEFIRA, 2018; BBC, 2019)와 Lutz 등 (2006)의 저출산의 덫(trap of low-fertility), Yoo와 Soborka (2018)의 초저출산율(ultra-low fertility)로 비유되고 있다.

장래인구추계는 시도별 장래인구추계에 반영되며, 특히 전국 출산율은 시도별 출산율로 분해되는 구조이고, 현재의 1명 이하의 출산율은 시도별 출산율에 영향을 미치고 전반적인 하강 추세가 형성되게 한다. 시도별 장래인구추계는 전국 장래인구추계와 동일하게 세종시를 포함한 17개 지방자치단체에서 지역발전계획, 교육, 건강과 복지 등과 같은 지역정책을 마련하기 위한 필수자료로 활용되고 있으므로, 사망률, 국내이동보다 상대적으로 영향력이 높은 시도별 출산율에 대한 추이가 중요하다 (Kim과 Oh, 2019). 최근 통계청 (KOSIS, 2019) 자료에 따르면 시도별 TFR은 일정 격차를 유지하고 있으며, 2015년 이후 격차가 커졌으나 이후 점차 감소하며 전국의 TFR과 동일한 추세를 보이고, 서울, 부산, 대구 등 특·광역시는 전국에 비해 낮고, 세종, 제주, 전남 등은 상위수준을 유지하고 있다.

---

<sup>1</sup> Department of Mathematical Sciences, HanBat National University, 125 Dongseodaero, Yuseong-gu, Daejeon 34158, Korea. E-mail: [jhoh75@hanbat.ac.kr](mailto:jhoh75@hanbat.ac.kr)

통계청의 시도별 출산율 추계방법은 다음과 같다. 2017년은 최근 10년간(2007~2016) 전국 및 시도별 연령별 출산율(age-specific fertility rate; ASFR) 관계에 대한 식 (1.1)과 같은 선형회귀모형을 적용하였다. 추정된 선형회귀모형에 전국 추계의 2015~2045년 ASFR을 대입하여 시도별 ASFR을 추계한다.

$$f_{x,i} = \alpha + \beta \times f_{x,national} + e_{x,i}, \quad i = \text{provinces},$$

$$\begin{cases} f_{x,i} : (\text{province}) \text{ mean of ASFR for 2007-2016 at mother age } x, \\ f_{x,national} : (\text{national}) \text{ mean of ASFR for 2007-2016 at mother age } x. \end{cases} \quad (1.1)$$

2019년은 최근 10년간(2009~2018)의 전국 및 시도별 연령별 누적출산율(age-specific cumulative fertility rate; ASCFR)관계에 대한 식 (1.2)와 같은 선형회귀모형을 적용하였다. 적합한 선형회귀모형에 전국 추계의 2017~2047년 ASFR을 적용하여 시도별 ASFR을 예측한다.

$$g_{x,i} = \alpha + \beta \times g_{x,nation} + e_{x,i}, \quad i = \text{provinces}$$

$$\begin{cases} g_{x,i} : (\text{province}) \text{ mean of ASFR from 2007 to 2016 up to mother age } x, \\ g_{x,nation} : (\text{nation}) \text{ mean of ASFR from 2007 to 2016 up to mother age } x, \end{cases} \quad (1.2)$$

where,  $g_x = \ln \left( -\ln \left( \frac{F(x)}{TF} \right) \right)$ ,

$$\begin{cases} F(x) : \text{province or nation mean of ASCFR from 2007 to 2016 up to mother age } x, \\ TF : \text{max of total fertility rate (TF = 2)}. \end{cases}$$

식 (1.1)과 (1.2)는 최근 10년간의 ASFR과 ASCFR을 활용하여 전국과 시도와의 출산율 관계를 모색하는 것이며, 이런 적합한 모형식에 전국 추계의 ASFR을 적용하여 시도별 ASFR을 예측한다. 특히 식 (1.1)의  $f_{x,i}$ (10년간의 평균연령별 출산율)에서 식 (1.2)의  $g_{x,i}$ (누적출산율을 Gompit변환)으로 변환하여 최대합계출산율(TF)에 대한 상대적 연령별 누적출산비(ratio)을 살펴보는 것은 개선된 부분으로 평가할 수 있다.

출산율에 대한 선형연구 분야는 다양한데 출산율 저하원인 (Lee, 2012; Jeon, 1997; Jeon 등, 2002; Lee와 Choi, 2012), 출산율 변동요인 분해 (Bongaarts, 1978; Kim 등, 2016; Oh, 2019), 모수적, 비모수적, 그리고 베이지안 모형 접근의 출산율 예측 (Park 등, 2013; Kim과 Jeon, 2015; Ramsay와 Silverman, 2005; Hyndman과 Ullah, 2007; Hyndman과 Booth, 2008; Hyndman 등, 2013; Oh, 2018; Alkema 등, 2011; Sevcikova 등, 2011; Raftery 등, 2012, 2014)으로 분류된다. 이런 선형연구들은 TFR, ASFR의 추이나 패턴 변화 분석에 초점이 맞춰져 있다.

그러나 전국 장래추계의 인구변동요인인 출산율에 대한 선형연구에 비해 시도별 출산율 예측에 대한 연구 (Kim과 Oh, 2019)는 상대적으로 많지 않다. Kim과 Oh (2019)는 연도별 ASFR의 시계열 자료를 활용함으로써 전국과 시도별 관계를 모형화하는 방법과 출산율 수준 변화가 미비한 연령대를 그룹화하여 모형하는 방법으로 구분하는 연구를 소개하였다. 이들은 전국추계와 다르게 시도별 출산력 추계시 주요하게 고려해야 할 사항으로 예측된 미래의 시도별 출산율 수준이 연도별로 안정적(stable)인 패턴을 유지하는 것과 과거 시도별 출산율 수준과 추이 차이가 미래에도 지속될 수 있는가의 차별성을 강조하고 있다.

하지만 식 (1.1)과 (1.2)는 최근 10년간의 전국의 평균 ASFR과 ASCFR을 시도에 반영하는 방법이므로, 연도별 시계열 변동 효과가 반영되기 어려운 구조적 문제점이 있으며 10년간의 평균 ASFR과 ASCFR의 전국과 시도의 적합한 관계모형으로 미래의 ASFR을 1년 단위로 예측하는 것은 합리적이지 못하다. 또한 통계청은 식 (1.2)의 Gompit 변환과 TF = 2에 대한 학술적 근거를 밝히지 않고 있다. 이런 상황에서 본 논문은 전국과 시도의 출산율 모형의 구조적 문제와 근거를 진단하고 개선하는 것이 주요 내용으로 볼 수 있다. 이런 차별적

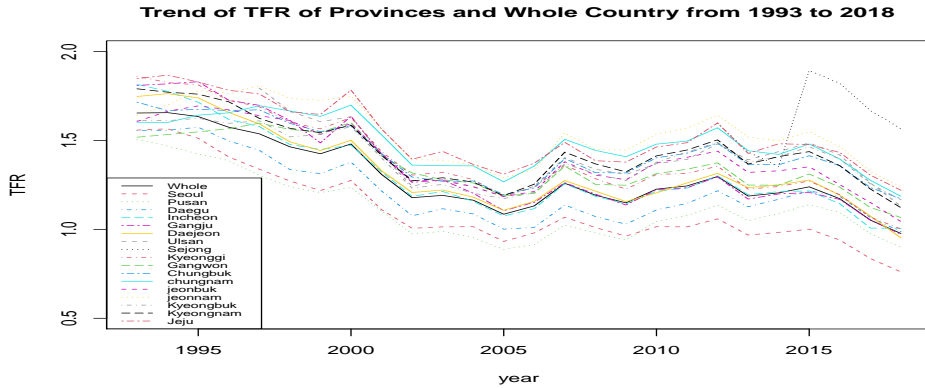


Figure 1: Trend of TFR of provinces and whole country (Source: Kosis.kr).

연구 수행을 위해 본 논문은 4개의 장으로 구성한다. 2장은 구조적 문제와 근거에 대한 부분을 다루고자 한다. 3장은 Gompit 모형과 유사한 이진 반응변수(binary response variable)를 다루는 Logit, Probit 모형간의 변환 비교를 살펴보고, 전국과 시도별 출산율 변동을 동시에 살펴볼 수 있는 공적분점정(cointegration test) (Johansen, 1988) 등과 같이 다양한 통계적 변환과 검정을 제시하여 구조적 문제를 해결할 수 있는 방안을 모색해 본다. 4장은 3장의 결과를 통해 시사점과 요약과 함께 향후연구과제를 제안한다.

## 2. 시도별출산율 예측 모형

### 2.1. 예측 모형의 구조적 문제 진단

앞장에서 지적한 바와 같이 식 (1.1)과 (1.2)는 최근 10년간의 전국의 평균 ASFR과 ASCFR을 시도에 반영하는 방법으로 연도별 시계열 변동 효과가 반영되지 못하는 구조적 문제가 있다. 그리고 Figure 1처럼 시도별 TFR을 살펴보면 시도별로 전국과 동일한 추세를 보인다. 이런 추세 경향을 식 (1.1)과 (1.2)의 ASFR과 ASCFR의 수년간의 평균으로 접근하여 도출된 선형회귀식에 2017~2047년 전국자료를 대입하여 미래의 시도별 ASFR을 예측하는 것은 시도별 출산율의 하강추세를 감안할 때 합리적이지 않다고 판단된다.

더불어 자료의 대푯값과 변동을 다루는 평균과 분산 측면에서 살펴볼 때, 10년간의 평균연령별 출산율은 10년간의 하나의 대푯값에 불과하며 시도별 ASFR의 변동을 고려하지 않은 접근방법으로 볼 수 있다. 즉, 식 (1.1)과 (1.2)는 10년간의 평균으로 변동이 상쇄된 결과가 반영된 모형식이다. 그리고 식 (1.2)의  $g_x = \ln(-\ln(F(x)/TF))$ 는 시도, 전국의 모 연령  $x$ 세까지의 누적출산율을 Gompit변환한 값으로 정의하고 있다. Gompit모형은 Complementary Log-Log (CLL)와 동일한 링크함수(link dunction)으로 사건, 결점수, 찬성수 등에 대한 zero나 하나 이상의 이벤트 횟수에 대한 포아송분포를 가정한다. 출생 이벤트를 사건으로 간주하여 출생확률( $p$ )를 Gompit모형에 적합시켜보면, 식 (2.1)과 같다.

$$P(X = 0) = \frac{e^{-\lambda}\lambda^0}{0!} = e^{-\lambda},$$

$$\text{if } \lambda = \mu, 1 - p = P(X = 0) = e^{-\lambda}, \quad \log(\mu) = \log[-\log(1 - p)]. \quad (2.1)$$

통계청에서 제안하는 Gompit 모형 정의에 따르면 출산확률이 라고 했을 때 된다. 따라서 출산하지 않을 확률이 최대 합계출산율에 대한  $x$ 세까지의 누적출산율의 비와 같다는 등식으로 표현된다. 따라서 식 (1.2)의 우변을  $\ln[-\ln(1 - F(x))/TF]$ 로 수정되어야 한다. 추가적으로 식 (1.2)는 Log-Log모형( $\ln[-\ln(F(x)/TF)$ ))

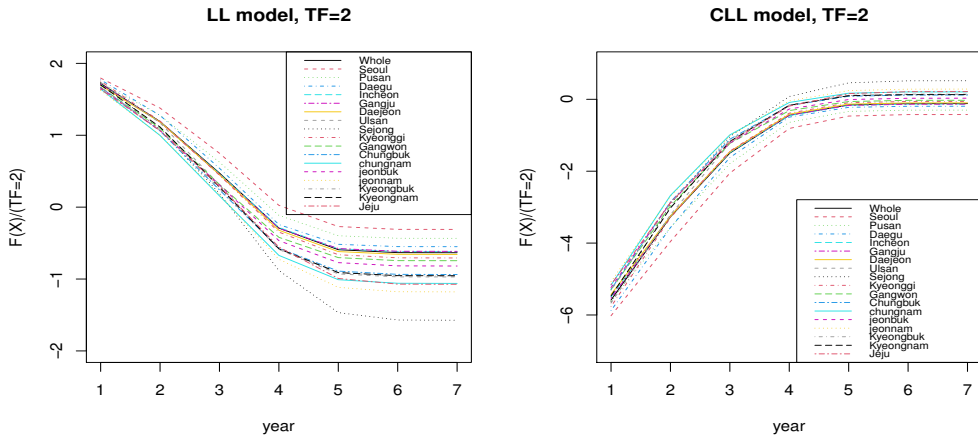


Figure 2: Log-Log and Gompit transformation on ASCFR of provinces and whole country (Source: Kosis.kr).

을 CLL모형(Gompit 모형)로 잘못 표기한 것으로 판단된다. 또한 누적 출산율에 대한 Gompit 적용으로 기간 출산율이 아닌 코호트 출산율의 규칙성(regularity)을 살펴본 연구 (Goldstein, 2010; Sobotka와 Lutz, 2011)가 있다. Figure 2는 KOSIS의 시도별 연령별 출산율 자료(1993~2018년)를 다운로드하여 Log-Log와 Gompit 변환을 그려본 것이며, 최대합계출산율에 대한 누적출산율의 비를 살펴보는 합리적 그림은 Log-Log보다는 Gompit 변환임을 알 수 있다.

## 2.2. 최대 합계출산율에 대한 근거

이번 절은 식 (1.2)의 최대 합계 출산율(TF)을 다루고자 한다. 식 (1.2)의 TF는 McDonald (2007)의 인구대체율(replacement level fertility) 2.1명, 안전지역(safety zone) 1.5명, 그리고 1.3명 아래의 초저출산율(ultra-low 또는 lowest-low TFR below 1.3) (Lee와 Choi, 2012; Yoo와 Sobotka, 2018) 등과 같은 이론적 근거를 찾을 수가 없다.  $F(X)/TF$ 로서 최대합계출산율의 연령별 누적출산율 비를 고안한 부분은 분명히 평균 ASFR을 대입한 식 (1.1)을 개선한 부분은 있지만, TF = 2를 지정한 학술적 근거와 타당한 이유가 있어야 할 것으로 판단된다. 현 시점의 TF = 2는 시도별 출산율 기준으로 누적출산율이 2.0을 넘지는 않지만, 출생아수와 가임연령인구가 동시에 감소되고 있으므로 미래의 가임연령 진입세대가 반영되는 시도별출산율은 자연히 1.5명 미만으로 나타날 가능성이 높다. 따라서 2.0을 고정상수로 지정해서 2047년까지 도출한 방식은 합리적이지 않으며, 2030~2035년 이후는 2.0보다 낮은 수치로 변경되어야 할 것으로 판단된다. 이진 반응변수에 대한 통계 모형으로 log, logit, probit, log-Log, CLL모형 등이 있다. 만약 TF가 경험적 수치이고 TF = 2로 고정한 후, 시도별 ASCFR 자료를 이들 변환에 대입한 결과는 Figure 3처럼 유사한 패턴을 나타내고 있어 변환을 식 (1.2)를 log, logit, probit 모형을 대입한 변환과 비교해  $F(X)/TF$ 의 근거와 상대적 우수성을 확인해 볼 필요가 있다.

## 3. 시도별 출산율 추계

### 3.1. 연결함수와 반응변수

일반화선형모형(generalized linear model; GLM)은 일반선형회귀를 유연하게 일반화한 방법으로 오차항에 대해 정규분포를 가정하는 일반선형모형에 비해 오차항의 분포로 정규분포 이외의 지수족(exponential family)

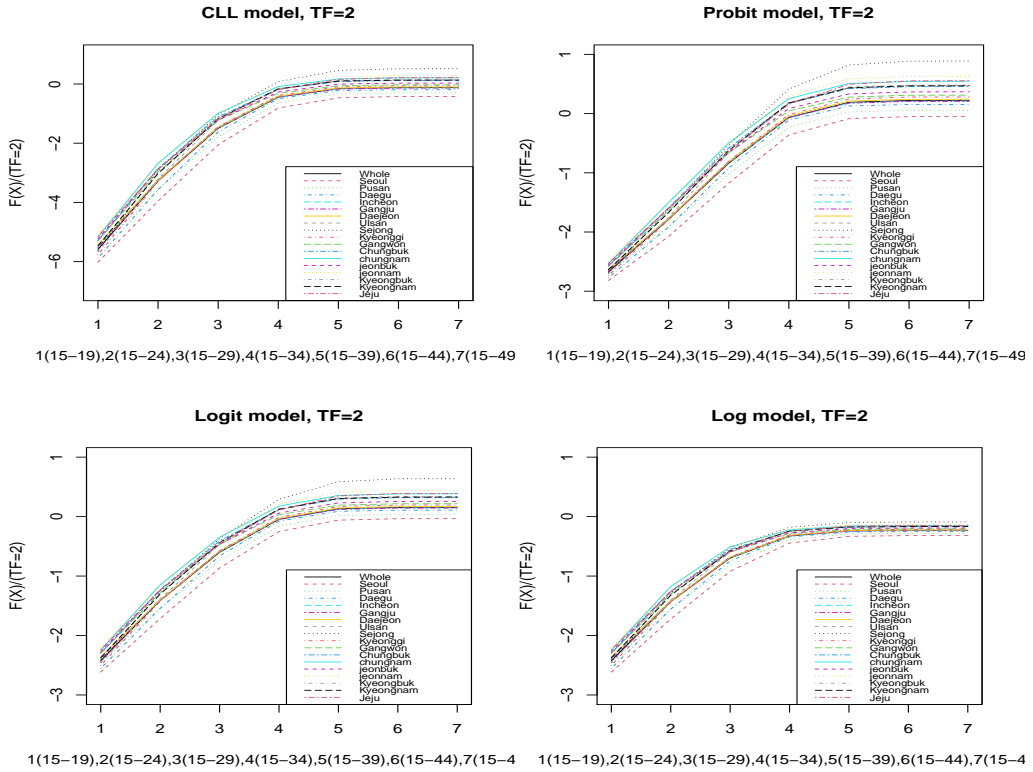


Figure 3: Gompit, probit, logit, and log transformation for ASCFR by provinces and whole country (Source: Kosis.kr)

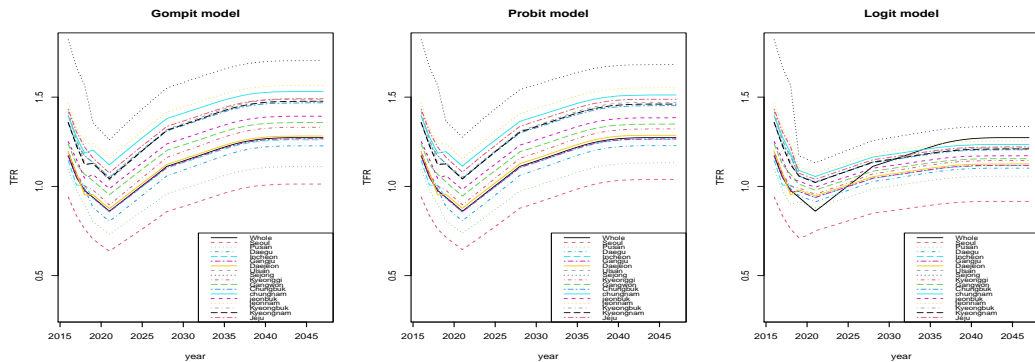


Figure 4: Trend of TFR for 2016~2047 on province by Gompit, probit, logit transformation.

분포도 가능하도록 한 회귀모형이다 (Na, 2017). GLM의 일반적인 구조는  $g(\mu) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p$  이고  $\mu = E(Y|x)$ 이며,  $g(\cdot)$ 는 연결함수(link function)이다. 연결함수는 반응변수의 형태에 따라 다양하게 선택되는데 반응변수가 이항분포를 따르는 경우 로짓(logit) 또는 프로빗(probit)함수, 사건, 결점수, 찬성수 등에 대한 zero나 하나 이상의 이벤트 횟수에 대한 포아송분포를 따르는 경우 로그(log), 로그-로그(log-log),

Table 1: TFR by province on three types transformations from Seoul to Sejong

| 지역 |        | MSE   | MAPE  | 2019  | 2020  | 2025  | 2030  | 2035  | 2040  | 2045  | 2047  |
|----|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 전국 |        |       |       | 0.939 | 0.900 | 1.004 | 1.142 | 1.220 | 1.267 | 1.273 | 1.273 |
| 서울 | Logit  | 0.000 | 0.111 | 0.712 | 0.724 | 0.807 | 0.862 | 0.894 | 0.914 | 0.916 | 0.916 |
|    | Probit | 0.000 | 0.014 | 0.716 | 0.680 | 0.775 | 0.907 | 0.985 | 1.033 | 1.039 | 1.039 |
|    | Gompit | 0.001 | 0.008 | 0.705 | 0.670 | 0.761 | 0.887 | 0.962 | 1.007 | 1.013 | 1.013 |
| 부산 | Logit  | 0.000 | 0.061 | 0.913 | 0.897 | 0.940 | 0.999 | 1.033 | 1.054 | 1.057 | 1.057 |
|    | Probit | 0.000 | 0.106 | 0.809 | 0.773 | 0.870 | 1.002 | 1.079 | 1.126 | 1.132 | 1.132 |
|    | Gompit | 0.001 | 0.116 | 0.802 | 0.767 | 0.860 | 0.987 | 1.061 | 1.105 | 1.111 | 1.111 |
| 대구 | Logit  | 0.000 | 0.094 | 0.949 | 0.931 | 0.978 | 1.041 | 1.077 | 1.100 | 1.102 | 1.102 |
|    | Probit | 0.000 | 0.091 | 0.886 | 0.846 | 0.951 | 1.093 | 1.174 | 1.222 | 1.228 | 1.228 |
|    | Gompit | 0.001 | 0.094 | 0.883 | 0.843 | 0.949 | 1.091 | 1.172 | 1.221 | 1.227 | 1.227 |
| 인천 | Logit  | 0.000 | 0.046 | 0.971 | 0.954 | 0.999 | 1.058 | 1.092 | 1.113 | 1.116 | 1.116 |
|    | Probit | 0.000 | 0.028 | 0.934 | 0.895 | 0.997 | 1.134 | 1.211 | 1.258 | 1.263 | 1.264 |
|    | Gompit | 0.000 | 0.029 | 0.934 | 0.895 | 0.997 | 1.133 | 1.209 | 1.255 | 1.261 | 1.261 |
| 광주 | Logit  | 0.000 | 0.051 | 0.972 | 0.955 | 1.000 | 1.060 | 1.094 | 1.115 | 1.118 | 1.118 |
|    | Probit | 0.000 | 0.017 | 0.936 | 0.896 | 0.999 | 1.136 | 1.214 | 1.260 | 1.266 | 1.266 |
|    | Gompit | 0.000 | 0.020 | 0.937 | 0.898 | 1.001 | 1.137 | 1.215 | 1.261 | 1.267 | 1.267 |
| 대전 | Logit  | 0.000 | 0.077 | 0.980 | 0.963 | 1.008 | 1.068 | 1.102 | 1.123 | 1.126 | 1.126 |
|    | Probit | 0.000 | 0.016 | 0.956 | 0.916 | 1.020 | 1.157 | 1.234 | 1.281 | 1.286 | 1.286 |
|    | Gompit | 0.000 | 0.015 | 0.954 | 0.914 | 1.017 | 1.153 | 1.230 | 1.276 | 1.282 | 1.282 |
| 울산 | Logit  | 0.000 | 0.147 | 1.058 | 1.039 | 1.088 | 1.153 | 1.190 | 1.213 | 1.215 | 1.215 |
|    | Probit | 0.000 | 0.038 | 1.127 | 1.083 | 1.197 | 1.341 | 1.420 | 1.466 | 1.471 | 1.471 |
|    | Gompit | 0.002 | 0.033 | 1.126 | 1.080 | 1.199 | 1.351 | 1.434 | 1.482 | 1.488 | 1.488 |
| 세종 | Logit  | 0.000 | 0.330 | 1.172 | 1.152 | 1.204 | 1.272 | 1.310 | 1.333 | 1.336 | 1.336 |
|    | Probit | 0.001 | 0.221 | 1.365 | 1.321 | 1.434 | 1.570 | 1.639 | 1.677 | 1.682 | 1.682 |
|    | Gompit | 0.001 | 0.219 | 1.357 | 1.309 | 1.433 | 1.582 | 1.657 | 1.699 | 1.704 | 1.704 |

Gompit(complementary log-log; CLL) 함수가 사용된다.

$$Y|x \sim B(1, p) : g(\mu) = \log\left(\frac{\mu}{1-\mu}\right) \equiv \text{logit}(\mu) = \beta_0 + \beta_1 x \quad (3.1)$$

$$g(\mu) = \phi^{-1}(\mu) = \beta_0 + \beta_1 x, \quad \text{probit}$$

$$Y|x \sim \text{Poisson}(\mu) : g(\mu) = \log(\mu) = \beta_0 + \beta_1 x, \quad \text{log}$$

$$g(\mu) = \log[-\log(\mu)] = \beta_0 + \beta_1 x, \quad \text{log-log}$$

$$g(\mu) = \log[-\log(1-\mu)] = \beta_0 + \beta_1 x, \quad \text{complementary log-log,}$$

출생확률( $p, Y = 1|x$ )에 대한 평균에 대해 위 5개의 모형에 적합이 가능하다. 즉, 출생확률과 출산사건을 다양한 연결함수에 의해 선형으로 표현이 가능하다. 이와 같은 유사성을 가지고 있으므로 Gompit 변환과 Logit, Probit 변환과의 결과비교를 통해 Gompit의 적절성을 논하고자 한다. 즉, 를  $\text{Logit}[\log((F(X)/TF)/(1-F(X)/TF))]$ ,  $\text{Probit}[\phi^{-1}(F(X)/TF)]$ ,  $\text{Gompit}[\ln(-\ln(1-F(x)/TF))]$  변환으로 치환하여 전국과 시도의 식 (3.2)와 같은 관계모형을 살펴본다.

$$g_{x,i}^1 = \alpha + \beta \times g_{x,nation}^1 + e_{x,i}, \quad i = \text{provinces}$$

$$g_{x,i}^2 = \alpha + \beta \times g_{x,nation}^2 + e_{x,i}, \quad i = \text{provinces} \quad (3.2)$$

$$g_{x,i}^3 = \alpha + \beta \times g_{x,nation}^3 + e_{x,i}, \quad i = \text{provinces}$$

Table 2: TFR by province on three types transformations from Gyeonggi to Jeju

| 지역 |        | MSE   | MAPE  | 2019  | 2020  | 2025  | 2030  | 2035  | 2040  | 2045  | 2047  |
|----|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 전국 |        |       |       | 0.939 | 0.900 | 1.004 | 1.142 | 1.220 | 1.267 | 1.273 | 1.273 |
| 경기 | Logit  | 0.000 | 0.051 | 0.991 | 0.973 | 1.021 | 1.084 | 1.120 | 1.142 | 1.145 | 1.145 |
|    | Probit | 0.000 | 0.043 | 0.979 | 0.937 | 1.046 | 1.188 | 1.268 | 1.316 | 1.322 | 1.322 |
|    | Gompit | 0.000 | 0.046 | 0.980 | 0.938 | 1.048 | 1.195 | 1.277 | 1.325 | 1.331 | 1.331 |
| 강원 | Logit  | 0.000 | 0.078 | 1.013 | 0.996 | 1.040 | 1.098 | 1.132 | 1.153 | 1.155 | 1.155 |
|    | Probit | 0.001 | 0.012 | 1.025 | 0.985 | 1.088 | 1.223 | 1.299 | 1.343 | 1.349 | 1.349 |
|    | Gompit | 0.001 | 0.018 | 1.032 | 0.992 | 1.096 | 1.232 | 1.307 | 1.352 | 1.358 | 1.358 |
| 충북 | Logit  | 0.000 | 0.132 | 1.058 | 1.041 | 1.086 | 1.147 | 1.181 | 1.202 | 1.205 | 1.205 |
|    | Probit | 0.000 | 0.021 | 1.126 | 1.085 | 1.192 | 1.328 | 1.403 | 1.446 | 1.452 | 1.452 |
|    | Gompit | 0.001 | 0.013 | 1.134 | 1.091 | 1.201 | 1.341 | 1.418 | 1.462 | 1.468 | 1.468 |
| 충남 | Logit  | 0.000 | 0.082 | 1.090 | 1.073 | 1.118 | 1.178 | 1.212 | 1.232 | 1.235 | 1.235 |
|    | Probit | 0.000 | 0.029 | 1.195 | 1.154 | 1.259 | 1.393 | 1.465 | 1.507 | 1.512 | 1.512 |
|    | Gompit | 0.001 | 0.027 | 1.204 | 1.162 | 1.272 | 1.410 | 1.484 | 1.526 | 1.532 | 1.532 |
| 전북 | Logit  | 0.000 | 0.076 | 1.029 | 1.012 | 1.056 | 1.115 | 1.148 | 1.169 | 1.171 | 1.172 |
|    | Probit | 0.000 | 0.028 | 1.061 | 1.021 | 1.125 | 1.260 | 1.335 | 1.379 | 1.384 | 1.385 |
|    | Gompit | 0.000 | 0.032 | 1.067 | 1.027 | 1.132 | 1.268 | 1.343 | 1.388 | 1.393 | 1.393 |
| 전남 | Logit  | 0.000 | 0.155 | 1.109 | 1.092 | 1.137 | 1.197 | 1.232 | 1.252 | 1.255 | 1.255 |
|    | Probit | 0.000 | 0.014 | 1.238 | 1.197 | 1.303 | 1.436 | 1.506 | 1.547 | 1.552 | 1.552 |
|    | Gompit | 0.000 | 0.013 | 1.240 | 1.198 | 1.308 | 1.445 | 1.518 | 1.560 | 1.565 | 1.565 |
| 경북 | Logit  | 0.000 | 0.152 | 1.061 | 1.044 | 1.089 | 1.150 | 1.185 | 1.206 | 1.209 | 1.209 |
|    | Probit | 0.000 | 0.046 | 1.133 | 1.092 | 1.199 | 1.337 | 1.412 | 1.455 | 1.461 | 1.461 |
|    | Gompit | 0.000 | 0.042 | 1.138 | 1.095 | 1.206 | 1.347 | 1.424 | 1.469 | 1.475 | 1.475 |
| 경남 | Logit  | 0.000 | 0.092 | 1.058 | 1.040 | 1.087 | 1.149 | 1.185 | 1.207 | 1.210 | 1.210 |
|    | Probit | 0.000 | 0.011 | 1.126 | 1.084 | 1.194 | 1.334 | 1.411 | 1.455 | 1.461 | 1.461 |
|    | Gompit | 0.001 | 0.010 | 1.129 | 1.085 | 1.199 | 1.345 | 1.425 | 1.471 | 1.477 | 1.477 |
| 제주 | Logit  | 0.001 | 0.156 | 1.074 | 1.057 | 1.102 | 1.162 | 1.197 | 1.218 | 1.221 | 1.221 |
|    | Probit | 0.001 | 0.030 | 1.163 | 1.122 | 1.229 | 1.366 | 1.440 | 1.483 | 1.488 | 1.488 |
|    | Gompit | 0.002 | 0.031 | 1.159 | 1.117 | 1.227 | 1.366 | 1.442 | 1.485 | 1.491 | 1.491 |

식 (3.2)의  $g_{x,i}^1, g_{x,i}^2, g_{x,i}^3$ 는 시도의 모연령  $x$ 세까지의 ASCFR을 Logit, Probit, Gompit 변환을 각각 의미하며,  $g_{x,nation}^1, g_{x,nation}^2, g_{x,nation}^3$ 은 전국의 모연령  $x$ 세까지의 ASCFR을 Logit, Probit, Gompit 변환을 각각 의미한다.

따라서 본 논문은 식 (1.1)과 (1.2)에서 언급한 10년간의 평균 접근방식과 시도별 출산율 연도별 변동을 살펴볼 수 있는 원자료에 대해 3가지 변환으로 도출된 결과를 비교해 볼 것이다. 먼저 10년간의 평균 접근방식의 결과이다. Figure 4는 식 (3.2)의 3가지 모형에 대한 시도별 TFR 추이를 보여주고 있으며, Table 1과 Table 2는 식 (3.2)의 3가지 변환에 대한 적합 결과를 정리한 것이다.

모형적합과 모형평가를 위한 지표로는 mean square error (MSE)와 mean absolute percentage error (MAPE), 모형적합기간 1993~2014년, 검증기간 2015~2018년(단, KOSIS에 제공하고 있는 단기 시계열 세종지역은 2012~2016, 2017~2018, 울산지역은 1997~2014년, 2015~2018년)을 채택하기로 한다. MSE는 모형 적합 후 실측값과 적합값의 차이로 이 값이 작을수록 좋고, MAPE는 전반적으로 10% 미만이면 예측력이 우수한 모형으로 판단한다.

Figure 4는 Gompit, Probit은 유사한 패턴을 보이는 반면 Logit은 시도별 출산율 변동이 상대적으로 낮고 세종과 서울을 제외하고는 시도별로 매우 유사한 수치와 궤적을 보인다. 그리고 Figure 1과 2016~2018년도 추이를 참고할 때 Logit 보다는 Gompit, Probit이 더 합리적인 접근이다. 이를 확인하기 위해 Table 1, 2를

Table 3: Trend of Group-ASFR for province-specific by Gompit transformation 1

| 지역 | 연령    | MSE   | MAPE  | 2019  | 2020  | 2025  | 2030  | 2035  | 2040  | 2045  | 2047  |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 서울 | 15~19 | 0.003 | 0.021 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
|    | 15~24 | 0.000 | 0.015 | 0.015 | 0.015 | 0.019 | 0.022 | 0.022 | 0.022 | 0.022 | 0.022 |
|    | 15~29 | 0.000 | 0.011 | 0.143 | 0.134 | 0.150 | 0.169 | 0.169 | 0.169 | 0.169 | 0.169 |
|    | 15~34 | 0.000 | 0.020 | 0.467 | 0.440 | 0.493 | 0.563 | 0.585 | 0.587 | 0.587 | 0.587 |
|    | 15~39 | 0.000 | 0.024 | 0.676 | 0.642 | 0.726 | 0.844 | 0.911 | 0.948 | 0.949 | 0.949 |
|    | 15~44 | 0.000 | 0.023 | 0.704 | 0.670 | 0.761 | 0.886 | 0.961 | 1.006 | 1.012 | 1.012 |
|    | 15~49 | 0.000 | 0.023 | 0.705 | 0.670 | 0.761 | 0.887 | 0.962 | 1.007 | 1.013 | 1.013 |
| 부산 | 15~19 | 0.005 | 0.049 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
|    | 15~24 | 0.003 | 0.099 | 0.022 | 0.021 | 0.027 | 0.032 | 0.032 | 0.032 | 0.032 | 0.032 |
|    | 15~29 | 0.001 | 0.078 | 0.184 | 0.173 | 0.193 | 0.215 | 0.215 | 0.215 | 0.215 | 0.215 |
|    | 15~34 | 0.001 | 0.055 | 0.551 | 0.521 | 0.579 | 0.654 | 0.677 | 0.679 | 0.679 | 0.679 |
|    | 15~39 | 0.001 | 0.067 | 0.772 | 0.737 | 0.824 | 0.943 | 1.010 | 1.047 | 1.049 | 1.049 |
|    | 15~44 | 0.001 | 0.070 | 0.801 | 0.766 | 0.859 | 0.986 | 1.060 | 1.104 | 1.110 | 1.110 |
|    | 15~49 | 0.001 | 0.070 | 0.802 | 0.767 | 0.860 | 0.987 | 1.061 | 1.105 | 1.111 | 1.111 |
| 대구 | 15~19 | 0.002 | 0.047 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
|    | 15~24 | 0.001 | 0.054 | 0.019 | 0.019 | 0.024 | 0.029 | 0.029 | 0.029 | 0.029 | 0.029 |
|    | 15~29 | 0.000 | 0.050 | 0.186 | 0.175 | 0.196 | 0.220 | 0.221 | 0.221 | 0.221 | 0.221 |
|    | 15~34 | 0.000 | 0.049 | 0.597 | 0.564 | 0.630 | 0.716 | 0.741 | 0.743 | 0.743 | 0.743 |
|    | 15~39 | 0.001 | 0.058 | 0.849 | 0.809 | 0.908 | 1.042 | 1.117 | 1.158 | 1.159 | 1.159 |
|    | 15~44 | 0.001 | 0.058 | 0.882 | 0.842 | 0.948 | 1.090 | 1.171 | 1.220 | 1.226 | 1.226 |
|    | 15~49 | 0.001 | 0.058 | 0.883 | 0.843 | 0.949 | 1.091 | 1.172 | 1.221 | 1.227 | 1.227 |
| 인천 | 15~19 | 0.005 | 0.163 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 |
|    | 15~24 | 0.001 | 0.078 | 0.027 | 0.026 | 0.033 | 0.039 | 0.039 | 0.039 | 0.039 | 0.039 |
|    | 15~29 | 0.000 | 0.023 | 0.223 | 0.210 | 0.233 | 0.260 | 0.260 | 0.260 | 0.260 | 0.260 |
|    | 15~34 | 0.000 | 0.022 | 0.653 | 0.619 | 0.685 | 0.770 | 0.795 | 0.798 | 0.798 | 0.798 |
|    | 15~39 | 0.000 | 0.019 | 0.901 | 0.862 | 0.958 | 1.086 | 1.157 | 1.196 | 1.197 | 1.197 |
|    | 15~44 | 0.001 | 0.020 | 0.933 | 0.894 | 0.996 | 1.132 | 1.208 | 1.254 | 1.260 | 1.260 |
|    | 15~49 | 0.001 | 0.020 | 0.934 | 0.895 | 0.997 | 1.133 | 1.209 | 1.255 | 1.261 | 1.261 |
| 광주 | 15~19 | 0.002 | 0.024 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 |
|    | 15~24 | 0.000 | 0.013 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 |
|    | 15~29 | 0.000 | 0.018 | 0.027 | 0.026 | 0.033 | 0.039 | 0.039 | 0.039 | 0.039 | 0.039 |
|    | 15~34 | 0.000 | 0.030 | 0.222 | 0.209 | 0.233 | 0.259 | 0.259 | 0.259 | 0.259 | 0.259 |
|    | 15~39 | 0.001 | 0.029 | 0.654 | 0.620 | 0.687 | 0.772 | 0.798 | 0.800 | 0.800 | 0.800 |
|    | 15~44 | 0.001 | 0.029 | 0.904 | 0.865 | 0.961 | 1.091 | 1.162 | 1.201 | 1.202 | 1.202 |
|    | 15~49 | 0.001 | 0.029 | 0.936 | 0.897 | 1.000 | 1.136 | 1.214 | 1.260 | 1.266 | 1.266 |
| 대전 | 15~19 | 0.005 | 0.096 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 |
|    | 15~24 | 0.001 | 0.041 | 0.028 | 0.027 | 0.035 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 |
|    | 15~29 | 0.000 | 0.019 | 0.230 | 0.217 | 0.241 | 0.268 | 0.268 | 0.268 | 0.268 | 0.268 |
|    | 15~34 | 0.000 | 0.015 | 0.669 | 0.635 | 0.702 | 0.788 | 0.814 | 0.816 | 0.816 | 0.816 |
|    | 15~39 | 0.000 | 0.009 | 0.920 | 0.881 | 0.978 | 1.107 | 1.178 | 1.216 | 1.218 | 1.218 |
|    | 15~44 | 0.000 | 0.008 | 0.953 | 0.914 | 1.016 | 1.152 | 1.229 | 1.275 | 1.281 | 1.281 |
|    | 15~49 | 0.000 | 0.008 | 0.954 | 0.914 | 1.017 | 1.153 | 1.230 | 1.276 | 1.282 | 1.282 |

살펴보면 MSE 기준에 따른 적합력은 소수 둘째 자리까지 동일해 이들 변환에 대한 우열을 판단하기는 어렵지만, MAPE 기준으로는 적합 시계열이 짧은 세종을 제외하고는 Gompit, Probit, Logit 순서임을 알 수 있다. 따라서 통계청에서 제시한 모 연령  $x$ 세까지의 ASCFR의 Gompit 변환은 타당하다고 볼 수 있으며, 시도별 출산율 추이와 예측은 ASCFR을 Gompit 변환 후 전국과 시도별 출산율 관계모형으로 살펴보는 것은 합리적인



Table 4: Trend of Group-ASFR for province-specific by Gompit transformation 2

| 지역 | 연령    | MSE   | MAPE  | 2019  | 2020  | 2025  | 2030  | 2035  | 2040  | 2045  | 2047  |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 울산 | 15~19 | 0.005 | 0.057 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
|    | 15~24 | 0.002 | 0.063 | 0.026 | 0.025 | 0.032 | 0.039 | 0.039 | 0.039 | 0.039 | 0.039 |
|    | 15~29 | 0.001 | 0.039 | 0.252 | 0.237 | 0.265 | 0.298 | 0.298 | 0.298 | 0.298 | 0.298 |
|    | 15~34 | 0.002 | 0.060 | 0.787 | 0.745 | 0.827 | 0.931 | 0.961 | 0.964 | 0.964 | 0.964 |
|    | 15~39 | 0.002 | 0.066 | 1.087 | 1.041 | 1.154 | 1.300 | 1.378 | 1.419 | 1.421 | 1.421 |
|    | 15~44 | 0.002 | 0.065 | 1.125 | 1.079 | 1.198 | 1.350 | 1.433 | 1.481 | 1.487 | 1.487 |
|    | 15~49 | 0.002 | 0.065 | 1.126 | 1.080 | 1.199 | 1.351 | 1.434 | 1.482 | 1.488 | 1.488 |
| 세종 | 15~19 | 0.008 | 0.152 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
|    | 15~24 | 0.001 | 0.172 | 0.029 | 0.028 | 0.037 | 0.045 | 0.045 | 0.045 | 0.045 | 0.045 |
|    | 15~29 | 0.004 | 0.181 | 0.314 | 0.294 | 0.330 | 0.372 | 0.372 | 0.372 | 0.372 | 0.372 |
|    | 15~34 | 0.009 | 0.266 | 0.977 | 0.928 | 1.024 | 1.144 | 1.178 | 1.181 | 1.181 | 1.181 |
|    | 15~39 | 0.023 | 0.321 | 1.316 | 1.266 | 1.387 | 1.534 | 1.607 | 1.644 | 1.646 | 1.646 |
|    | 15~44 | 0.026 | 0.341 | 1.356 | 1.308 | 1.432 | 1.581 | 1.656 | 1.698 | 1.703 | 1.703 |
|    | 15~49 | 0.026 | 0.342 | 1.357 | 1.309 | 1.433 | 1.582 | 1.657 | 1.699 | 1.704 | 1.704 |
| 경기 | 15~19 | 0.001 | 0.067 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
|    | 15~24 | 0.001 | 0.011 | 0.023 | 0.022 | 0.029 | 0.034 | 0.034 | 0.034 | 0.034 | 0.034 |
|    | 15~29 | 0.000 | 0.015 | 0.216 | 0.203 | 0.227 | 0.255 | 0.255 | 0.255 | 0.255 | 0.255 |
|    | 15~34 | 0.000 | 0.014 | 0.674 | 0.638 | 0.710 | 0.802 | 0.829 | 0.832 | 0.832 | 0.832 |
|    | 15~39 | 0.000 | 0.024 | 0.944 | 0.902 | 1.006 | 1.145 | 1.221 | 1.262 | 1.263 | 1.263 |
|    | 15~44 | 0.001 | 0.026 | 0.979 | 0.937 | 1.047 | 1.193 | 1.275 | 1.324 | 1.330 | 1.330 |
|    | 15~49 | 0.001 | 0.026 | 0.980 | 0.938 | 1.048 | 1.195 | 1.277 | 1.325 | 1.331 | 1.331 |
| 강원 | 15~19 | 0.002 | 0.035 | 0.002 | 0.002 | 0.003 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.004 |
|    | 15~24 | 0.001 | 0.017 | 0.034 | 0.033 | 0.042 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 | 0.049 |
|    | 15~29 | 0.001 | 0.021 | 0.265 | 0.250 | 0.277 | 0.307 | 0.307 | 0.307 | 0.307 | 0.307 |
|    | 15~34 | 0.001 | 0.028 | 0.739 | 0.703 | 0.773 | 0.863 | 0.889 | 0.891 | 0.891 | 0.891 |
|    | 15~39 | 0.001 | 0.029 | 0.998 | 0.958 | 1.056 | 1.186 | 1.256 | 1.294 | 1.295 | 1.295 |
|    | 15~44 | 0.001 | 0.029 | 1.031 | 0.991 | 1.095 | 1.231 | 1.306 | 1.351 | 1.357 | 1.357 |
|    | 15~49 | 0.001 | 0.030 | 1.032 | 0.992 | 1.096 | 1.232 | 1.307 | 1.352 | 1.358 | 1.358 |
| 충북 | 15~19 | 0.001 | 0.057 | 0.001 | 0.002 | 0.003 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.004 |
|    | 15~24 | 0.000 | 0.015 | 0.036 | 0.035 | 0.045 | 0.052 | 0.052 | 0.052 | 0.052 | 0.052 |
|    | 15~29 | 0.000 | 0.009 | 0.291 | 0.275 | 0.305 | 0.339 | 0.339 | 0.339 | 0.339 | 0.339 |
|    | 15~34 | 0.000 | 0.016 | 0.818 | 0.779 | 0.855 | 0.953 | 0.981 | 0.984 | 0.984 | 0.984 |
|    | 15~39 | 0.001 | 0.023 | 1.098 | 1.055 | 1.159 | 1.294 | 1.366 | 1.404 | 1.405 | 1.405 |
|    | 15~44 | 0.001 | 0.023 | 1.133 | 1.091 | 1.200 | 1.340 | 1.417 | 1.461 | 1.466 | 1.466 |
|    | 15~49 | 0.001 | 0.022 | 1.134 | 1.091 | 1.201 | 1.341 | 1.418 | 1.462 | 1.468 | 1.468 |
| 충남 | 15~19 | 0.002 | 0.034 | 0.002 | 0.002 | 0.004 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 |
|    | 15~24 | 0.001 | 0.056 | 0.041 | 0.040 | 0.051 | 0.060 | 0.060 | 0.060 | 0.060 | 0.060 |
|    | 15~29 | 0.001 | 0.044 | 0.324 | 0.306 | 0.338 | 0.375 | 0.375 | 0.375 | 0.375 | 0.375 |
|    | 15~34 | 0.001 | 0.038 | 0.883 | 0.842 | 0.922 | 1.022 | 1.050 | 1.053 | 1.053 | 1.053 |
|    | 15~39 | 0.002 | 0.032 | 1.169 | 1.126 | 1.230 | 1.364 | 1.433 | 1.471 | 1.472 | 1.472 |
|    | 15~44 | 0.002 | 0.032 | 1.204 | 1.161 | 1.271 | 1.409 | 1.483 | 1.525 | 1.531 | 1.531 |
|    | 15~49 | 0.002 | 0.032 | 1.204 | 1.162 | 1.272 | 1.410 | 1.484 | 1.526 | 1.532 | 1.532 |

접근이라 볼 수 있다. Gompit변환 기준의 시도별 TFR 수준이 높은 시도는 세종, 전남, 충남, 제주이며, 낮은 시도는 인천, 대구, 부산, 서울로 나타났다. 특히 경기, 대전, 광주, 인천, 대구, 부산, 서울은 2030년까지 TFR 1명이하의 시도로 예측되어 출산율 제고정책과 방안이 조속히 마련되어야 할 것으로 보인다.

Tables 3-5은 Table 1과 Table 2의 시도별 TFR을 연령 그룹별로 살펴본 것이다. 평균출산연령이 32세

Table 5: Trend of Group-ASFR for province-specific by Gompit transformation 3

| 지역 | 연령    | MSE   | MAPE  | 2019  | 2020  | 2025  | 2030  | 2035  | 2040  | 2045  | 2047  |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 전북 | 15~19 | 0.002 | 0.100 | 0.002 | 0.002 | 0.003 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.004 |
|    | 15~24 | 0.001 | 0.079 | 0.036 | 0.035 | 0.045 | 0.052 | 0.052 | 0.052 | 0.052 | 0.052 |
|    | 15~29 | 0.000 | 0.046 | 0.278 | 0.263 | 0.291 | 0.323 | 0.323 | 0.323 | 0.323 | 0.323 |
|    | 15~34 | 0.000 | 0.028 | 0.769 | 0.732 | 0.804 | 0.896 | 0.922 | 0.925 | 0.925 | 0.925 |
|    | 15~39 | 0.001 | 0.024 | 1.033 | 0.993 | 1.092 | 1.222 | 1.292 | 1.330 | 1.331 | 1.331 |
|    | 15~44 | 0.001 | 0.024 | 1.067 | 1.026 | 1.131 | 1.267 | 1.342 | 1.387 | 1.392 | 1.392 |
|    | 15~49 | 0.001 | 0.024 | 1.067 | 1.027 | 1.132 | 1.268 | 1.343 | 1.388 | 1.393 | 1.393 |
| 전남 | 15~19 | 0.003 | 0.086 | 0.002 | 0.002 | 0.004 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 |
|    | 15~24 | 0.001 | 0.084 | 0.043 | 0.042 | 0.053 | 0.063 | 0.063 | 0.063 | 0.063 | 0.063 |
|    | 15~29 | 0.001 | 0.042 | 0.338 | 0.320 | 0.353 | 0.392 | 0.392 | 0.392 | 0.392 | 0.392 |
|    | 15~34 | 0.002 | 0.023 | 0.914 | 0.873 | 0.954 | 1.056 | 1.085 | 1.088 | 1.088 | 1.088 |
|    | 15~39 | 0.002 | 0.019 | 1.204 | 1.161 | 1.266 | 1.399 | 1.468 | 1.505 | 1.506 | 1.506 |
|    | 15~44 | 0.002 | 0.021 | 1.240 | 1.197 | 1.307 | 1.444 | 1.517 | 1.559 | 1.564 | 1.564 |
|    | 15~49 | 0.002 | 0.020 | 1.240 | 1.198 | 1.308 | 1.445 | 1.518 | 1.560 | 1.565 | 1.565 |
| 경북 | 15~19 | 0.005 | 0.157 | 0.001 | 0.001 | 0.003 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.004 |
|    | 15~24 | 0.001 | 0.021 | 0.035 | 0.034 | 0.043 | 0.051 | 0.051 | 0.051 | 0.051 | 0.051 |
|    | 15~29 | 0.000 | 0.008 | 0.289 | 0.273 | 0.302 | 0.336 | 0.337 | 0.337 | 0.337 | 0.337 |
|    | 15~34 | 0.001 | 0.022 | 0.819 | 0.779 | 0.857 | 0.955 | 0.984 | 0.986 | 0.986 | 0.986 |
|    | 15~39 | 0.001 | 0.039 | 1.102 | 1.059 | 1.164 | 1.300 | 1.372 | 1.411 | 1.412 | 1.412 |
|    | 15~44 | 0.001 | 0.041 | 1.137 | 1.094 | 1.205 | 1.346 | 1.423 | 1.468 | 1.474 | 1.474 |
|    | 15~49 | 0.001 | 0.041 | 1.138 | 1.095 | 1.206 | 1.347 | 1.424 | 1.469 | 1.475 | 1.475 |
| 경남 | 15~19 | 0.004 | 0.062 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 |
|    | 15~24 | 0.001 | 0.018 | 0.031 | 0.030 | 0.038 | 0.045 | 0.045 | 0.045 | 0.045 | 0.045 |
|    | 15~29 | 0.000 | 0.009 | 0.272 | 0.256 | 0.285 | 0.318 | 0.318 | 0.318 | 0.318 | 0.318 |
|    | 15~34 | 0.001 | 0.010 | 0.802 | 0.762 | 0.841 | 0.941 | 0.971 | 0.973 | 0.973 | 0.973 |
|    | 15~39 | 0.001 | 0.018 | 1.092 | 1.048 | 1.156 | 1.296 | 1.371 | 1.411 | 1.412 | 1.412 |
|    | 15~44 | 0.001 | 0.017 | 1.128 | 1.084 | 1.198 | 1.344 | 1.424 | 1.470 | 1.475 | 1.476 |
|    | 15~49 | 0.001 | 0.017 | 1.129 | 1.085 | 1.199 | 1.345 | 1.425 | 1.471 | 1.477 | 1.477 |
| 제주 | 15~19 | 0.005 | 0.085 | 0.002 | 0.002 | 0.003 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.004 |
|    | 15~24 | 0.001 | 0.035 | 0.038 | 0.037 | 0.047 | 0.055 | 0.055 | 0.055 | 0.055 | 0.055 |
|    | 15~29 | 0.000 | 0.010 | 0.303 | 0.287 | 0.317 | 0.352 | 0.352 | 0.352 | 0.352 | 0.352 |
|    | 15~34 | 0.000 | 0.010 | 0.841 | 0.802 | 0.879 | 0.978 | 1.006 | 1.009 | 1.009 | 1.009 |
|    | 15~39 | 0.000 | 0.011 | 1.123 | 1.081 | 1.185 | 1.319 | 1.390 | 1.428 | 1.429 | 1.429 |
|    | 15~44 | 0.000 | 0.012 | 1.158 | 1.116 | 1.226 | 1.365 | 1.441 | 1.484 | 1.490 | 1.490 |
|    | 15~49 | 0.000 | 0.012 | 1.159 | 1.117 | 1.227 | 1.366 | 1.442 | 1.485 | 1.491 | 1.491 |

(KOSIS, 2019)이고, 그룹별 ASCFR은 30~34세, 35~39세 연령층에서 큰 변화가 있으므로 판단되므로 타 연령층에 비해 출산비중과 연령대가 높음을 알 수 있다.

### 3.2. 원자료를 활용한 시도별 출산율 추계

이번 절은 전국과 시도별 출산율 추이를 살펴보는 데 있어, ASCFR를 Gompit로 변환하지 않고 원자료를 식 (3.3)에 대입하여 분석한다. 앞 절의 결과를 살펴본 바와같이 시도별, 연도별 출산율이 같지 않고, 최근 10년간의 평균 ASFR과 ASCFR을 전국과 시도에 반영하는 방법은 연도별 시계열 변동 효과가 반영되기 어려울 뿐만 아니라 10년간의 평균 ASFR과 ASCFR의 전국과 시도의 적합된 관계모형으로 미래의 1년 단위의 ASFR을 예측하는 것은 합리적이지 못하므로, 식 (3.3)은 이런 부분을 개선한 모형으로 평가할 수 있다. 이와 유사한

선행연구인 Kim과 Oh (2019)는 연도별 출산율이 안정적인 연령대를 그룹화한 후 회귀모형으로 가정해 추정 모수의 수를 간소화하였다. 하지만 본 연구는 KOSIS의 시도별 가임연령(15~49세) 출산율 자료가 5세 자료로 제공되고 있으므로 15~19세, 20~24세, 25~29세, 30~34세, 35~39세, 40~44세, 45~49세의 7개로 나누어 식 (3.3)에 대입해 전국과 시도의 출산율 관계를 도출하고자 한다.

$$g_{x,i}^4 = \alpha + \beta \times g_{x,nation}^4 + e_{x,i}, \quad i = \text{provinces},$$

$$\begin{cases} g_{x,i}^4 : (\text{province}) \text{ The fertility rate of mother age 5-year-old interval,} \\ g_{x,nation}^4 : (\text{nation}) \text{ The fertility rate of mother age 5-year-old interval.} \end{cases} \quad (3.3)$$

Tables 6-8은 식 (3.3)의 모형적합과 평가 그리고 연도별 ASFR추이를 보여주고 있다.

시도별 MSE 값이 낮고 MAFE 값이 전반적으로 0 근방에 분포되어 있어 적합과 예측에 별다른 문제가 없음을 알 수 있다. 전국과 시도별의 회귀모형식으로 시도별 출산율 변동을 살펴보기 위해 이 두 지표를 기준으로 Gompit변환과 10년간의 평균 모형 접근방식과 원자료를 활용한 회귀모형을 비교할 때, 식 (3.3)을 적용한 방법이 우수함을 알 수 있다. 두 방법의 예측 결과를 비교하면 변환과 평균의 접근 방식은 원자료의 적합 결과와 다르게 서울, 부산, 세종, 제주지역은 출산율을 과소추정, 그 외 지역은 과대추정되는 결과가 도출되었다. 따라서 17개 지역 중, 단 4개 지역만 과소추정 결과이므로 Gompit변환과 평균의 접근방식이상대적으로 시도별 출산율을 높게 예측한 결과임을 알 수 있다. 따라서 변환과 평균의 방식은 시도별 출산율 변동 반영을 원자료로 적합하여 접근하는 것보다 시도별 출산율을 과대추정한 결과이며, 이런 결과는 평균의 개념으로 접근해 시도별 하강 추세의 출산율 변동을 상쇄한 것임을 알 수 있다. 더불어 최근 3년간(2016~2018년)의 시도별 출산율 추세를 참고할 때 변환과 평균 방식보다는 원자료를 사용하여 식 (3.3)의 모형식으로 접근하는 것이 상대적으로 시도별 출산율 변동을 반영한 방법으로 판단된다. 그리고 ASFR을 합친 TFR에 대한 전국과 지역별 회귀분석의 신뢰구간은 Figure 5와 같다. 세종을 제외한 16개 지역 모두 95% 신뢰구간은 비슷한 양상을 보이며, 울산을 제외한 5대 광역시와 서울특별시는 낮은 출산율이 전망되며, 세종, 울산, 충북, 충남, 전남, 경북, 경남은 1.5 미만의 상대적으로 높은 출산율이 예상된다.

그런데 출산율 자료는 비정상(non-stationary) 시계열인 경우가 많으며, 시계열이 짧은 출산율의 경우 차분에 의한 정상화(stationary)보다는 차분하지 않고 변동을 살펴보는 것이 적절한 사례가 많다 (Oh, 2014). 다음 절에서는 이 부분에 대한 논의와 통계적 검정과 모형을 다루고자 한다.

### 3.3. 공적분 검정과 시도별 출산율 추계

이번 절은 전국과 시도별 출산율 추이를 정상, 비정상 시계열 판정과 원 시계열의 비정상성을 수용할 수 있는 모형을 제안한다. 일반적으로 TFR, ASFR는 대부분 비정상 시계열이다. 일반적으로 정상화를 위해 원자료를 차분하지만 경제 시계열의 경우 비정상성은 차분에 의한 변화율보다 원자료 또는 로그변환된 자료에 관심이 많고 원시계열의 비정상성을 수용할 수 있는 모형이 필요하다 (Jo 등, 2019). 따라서 본 논문은 경제시계열 처럼 전국, 시도별 TFR, ASFR이 확률과정(stochastic process)관점에서 유사한지 여부를 판단하고, 전국과 시도별 관계에 대한 모형화 여부를 공적분 검정으로 살펴보고자 한다. 이런 일련의 분석을 위해 R의 urca 패키지 (Bernhard Pfaff, 2016)를 활용하였음을 밝힌다. 공적분 검정이란 비정상적인 시계열들끼리 회귀분석할 수 있는 방법중의 하나이며, 공적분 관계가 도출된다면 이를 모형식으로 표현해 2047년까지 TFR(ASFR)을 예측할 수 있을 것이다.

본 논문은 이를 위한 세부적인 과정으로 먼저 전국, 시도별 TFR(ASFR)의 시계열 관찰과 자료의 안전성에 관한 단위근 검정(unit root test)으로 차분 제거 유무와 정상화를 살펴본다. 다음으로 차분 전의 원자료로 공적분 검정을 실시한다. 끝으로 도출된 공적분 모형에 KOSIS의 2047년까지의 전국 TFR(ASFR)을 대입하여

Table 6: Trend of Group-ASFR for province-specific by raw fertility data (1)

| 지역 | 연령    | MSE   | MAPE  | 2019  | 2020  | 2025  | 2030  | 2035  | 2040  | 2045  | 2047  |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 서울 | 15~19 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
|    | 20~24 | 0.000 | 0.009 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 |
|    | 25~29 | 0.001 | 0.041 | 0.054 | 0.042 | 0.059 | 0.081 | 0.081 | 0.081 | 0.081 | 0.081 |
|    | 30~34 | 0.001 | 0.051 | 0.430 | 0.418 | 0.442 | 0.474 | 0.488 | 0.489 | 0.489 | 0.489 |
|    | 35~39 | 0.000 | 0.019 | 0.264 | 0.258 | 0.289 | 0.335 | 0.382 | 0.420 | 0.421 | 0.421 |
|    | 40~44 | 0.000 | 0.001 | 0.036 | 0.036 | 0.044 | 0.052 | 0.060 | 0.068 | 0.074 | 0.074 |
|    | 45~49 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| 부산 | 15~19 | 0.000 | 0.001 | 0.004 | 0.004 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 |
|    | 20~24 | 0.000 | 0.015 | 0.008 | 0.007 | 0.012 | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.016 |
|    | 25~29 | 0.001 | 0.065 | 0.109 | 0.097 | 0.113 | 0.134 | 0.134 | 0.134 | 0.134 | 0.134 |
|    | 30~34 | 0.000 | 0.012 | 0.402 | 0.381 | 0.423 | 0.481 | 0.506 | 0.508 | 0.508 | 0.508 |
|    | 35~39 | 0.000 | 0.005 | 0.256 | 0.250 | 0.284 | 0.333 | 0.385 | 0.426 | 0.427 | 0.427 |
|    | 40~44 | 0.000 | 0.003 | 0.033 | 0.033 | 0.040 | 0.048 | 0.056 | 0.064 | 0.069 | 0.069 |
|    | 45~49 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| 대구 | 15~19 | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 |
|    | 20~24 | 0.000 | 0.011 | 0.008 | 0.008 | 0.013 | 0.017 | 0.017 | 0.017 | 0.017 | 0.017 |
|    | 25~29 | 0.000 | 0.038 | 0.163 | 0.151 | 0.167 | 0.189 | 0.189 | 0.189 | 0.189 | 0.189 |
|    | 30~34 | 0.000 | 0.035 | 0.422 | 0.398 | 0.448 | 0.515 | 0.543 | 0.546 | 0.546 | 0.546 |
|    | 35~39 | 0.000 | 0.019 | 0.241 | 0.235 | 0.266 | 0.312 | 0.359 | 0.397 | 0.399 | 0.399 |
|    | 40~44 | 0.000 | 0.002 | 0.028 | 0.028 | 0.034 | 0.040 | 0.046 | 0.053 | 0.057 | 0.057 |
|    | 45~49 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| 인천 | 15~19 | 0.000 | 0.003 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
|    | 20~24 | 0.000 | 0.018 | 0.007 | 0.006 | 0.014 | 0.021 | 0.021 | 0.021 | 0.021 | 0.021 |
|    | 25~29 | 0.000 | 0.011 | 0.196 | 0.184 | 0.200 | 0.222 | 0.222 | 0.222 | 0.222 | 0.222 |
|    | 30~34 | 0.000 | 0.013 | 0.414 | 0.391 | 0.438 | 0.501 | 0.528 | 0.530 | 0.530 | 0.530 |
|    | 35~39 | 0.000 | 0.011 | 0.250 | 0.244 | 0.276 | 0.321 | 0.369 | 0.407 | 0.408 | 0.408 |
|    | 40~44 | 0.000 | 0.001 | 0.033 | 0.033 | 0.039 | 0.046 | 0.053 | 0.060 | 0.065 | 0.065 |
|    | 45~49 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| 광주 | 15~19 | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.003 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.004 |
|    | 20~24 | 0.000 | 0.002 | 0.024 | 0.023 | 0.029 | 0.035 | 0.035 | 0.035 | 0.035 | 0.035 |
|    | 25~29 | 0.000 | 0.015 | 0.184 | 0.171 | 0.189 | 0.213 | 0.213 | 0.213 | 0.213 | 0.213 |
|    | 30~34 | 0.000 | 0.006 | 0.446 | 0.429 | 0.464 | 0.512 | 0.532 | 0.534 | 0.534 | 0.534 |
|    | 35~39 | 0.000 | 0.014 | 0.232 | 0.227 | 0.253 | 0.291 | 0.330 | 0.362 | 0.363 | 0.363 |
|    | 40~44 | 0.000 | 0.002 | 0.030 | 0.030 | 0.035 | 0.041 | 0.046 | 0.052 | 0.056 | 0.056 |
|    | 45~49 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| 대전 | 15~19 | 0.000 | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 |
|    | 20~24 | 0.000 | 0.010 | 0.015 | 0.014 | 0.021 | 0.027 | 0.027 | 0.027 | 0.027 | 0.027 |
|    | 25~29 | 0.000 | 0.006 | 0.200 | 0.188 | 0.205 | 0.226 | 0.227 | 0.227 | 0.227 | 0.227 |
|    | 30~34 | 0.000 | 0.010 | 0.443 | 0.421 | 0.465 | 0.526 | 0.551 | 0.553 | 0.553 | 0.553 |
|    | 35~39 | 0.000 | 0.006 | 0.247 | 0.241 | 0.271 | 0.314 | 0.359 | 0.394 | 0.396 | 0.396 |
|    | 40~44 | 0.000 | 0.002 | 0.030 | 0.030 | 0.035 | 0.041 | 0.047 | 0.053 | 0.057 | 0.057 |
|    | 45~49 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |

시도별 TFR(ASFR)을 예측한다. 부록에 단위근 검정 결과를 제시하였으며, 단위근 검정결과 전국과 시도별 출산 시계열이 가성회귀(spurious regression)의 문제를 갖는 불안정적인 시계열로 판명된다. 이런 단위근을 갖는 시계열들이 공적분되어 있다면 일치성을 갖는 회귀계수들의 추정값을 도출할 수 있다. 이를 위해 이 절

Table 7: Trend of Group-ASFR for province-specific by raw fertility data (2)

| 지역 | 연령    | MSE   | MAPE  | 2019  | 2020  | 2025  | 2030  | 2035  | 2040  | 2045  | 2047  |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 울산 | 15~19 | 0.000 | 0.001 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.004 |
|    | 20~24 | 0.000 | 0.017 | 0.010 | 0.009 | 0.017 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 |
|    | 25~29 | 0.000 | 0.011 | 0.277 | 0.264 | 0.282 | 0.306 | 0.306 | 0.306 | 0.306 | 0.306 |
|    | 30~34 | 0.001 | 0.052 | 0.448 | 0.414 | 0.484 | 0.579 | 0.619 | 0.623 | 0.623 | 0.623 |
|    | 35~39 | 0.000 | 0.011 | 0.254 | 0.248 | 0.282 | 0.331 | 0.382 | 0.423 | 0.425 | 0.425 |
|    | 40~44 | 0.000 | 0.005 | 0.028 | 0.028 | 0.034 | 0.040 | 0.046 | 0.053 | 0.057 | 0.057 |
|    | 45~49 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| 세종 | 15~19 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
|    | 20~24 | 0.000 | 0.036 | 0.026 | 0.024 | 0.036 | 0.046 | 0.046 | 0.046 | 0.046 | 0.046 |
|    | 25~29 | 0.001 | 0.147 | 0.460 | 0.457 | 0.462 | 0.468 | 0.468 | 0.468 | 0.468 | 0.468 |
|    | 30~34 | 0.002 | 0.234 | 0.736 | 0.738 | 0.734 | 0.729 | 0.727 | 0.726 | 0.726 | 0.726 |
|    | 35~39 | 0.000 | 0.075 | 0.207 | 0.194 | 0.263 | 0.363 | 0.468 | 0.551 | 0.554 | 0.554 |
|    | 40~44 | 0.000 | 0.021 | 0.002 | 0.002 | 0.003 | 0.004 | 0.005 | 0.006 | 0.007 | 0.007 |
|    | 45~49 | 0.000 | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| 경기 | 15~19 | 0.000 | 0.003 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|    | 20~24 | 0.000 | 0.005 | 0.007 | 0.005 | 0.014 | 0.021 | 0.021 | 0.021 | 0.021 | 0.021 |
|    | 25~29 | 0.000 | 0.035 | 0.216 | 0.203 | 0.220 | 0.243 | 0.243 | 0.243 | 0.243 | 0.243 |
|    | 30~34 | 0.000 | 0.008 | 0.448 | 0.424 | 0.472 | 0.537 | 0.564 | 0.567 | 0.567 | 0.567 |
|    | 35~39 | 0.000 | 0.003 | 0.256 | 0.251 | 0.281 | 0.326 | 0.372 | 0.409 | 0.410 | 0.410 |
|    | 40~44 | 0.000 | 0.001 | 0.033 | 0.033 | 0.039 | 0.046 | 0.051 | 0.058 | 0.062 | 0.062 |
|    | 45~49 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| 강원 | 15~19 | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.003 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.004 |
|    | 20~24 | 0.000 | 0.015 | 0.057 | 0.056 | 0.062 | 0.067 | 0.067 | 0.067 | 0.067 | 0.067 |
|    | 25~29 | 0.001 | 0.044 | 0.313 | 0.304 | 0.317 | 0.333 | 0.333 | 0.333 | 0.333 | 0.333 |
|    | 30~34 | 0.000 | 0.014 | 0.419 | 0.398 | 0.440 | 0.498 | 0.522 | 0.525 | 0.525 | 0.525 |
|    | 35~39 | 0.000 | 0.004 | 0.221 | 0.217 | 0.241 | 0.276 | 0.313 | 0.342 | 0.343 | 0.343 |
|    | 40~44 | 0.000 | 0.002 | 0.030 | 0.030 | 0.035 | 0.040 | 0.045 | 0.050 | 0.053 | 0.053 |
|    | 45~49 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| 충북 | 15~19 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 |
|    | 20~24 | 0.000 | 0.010 | 0.056 | 0.055 | 0.061 | 0.067 | 0.067 | 0.067 | 0.067 | 0.067 |
|    | 25~29 | 0.000 | 0.033 | 0.338 | 0.329 | 0.342 | 0.359 | 0.360 | 0.360 | 0.360 | 0.360 |
|    | 30~34 | 0.000 | 0.044 | 0.424 | 0.397 | 0.452 | 0.526 | 0.558 | 0.561 | 0.561 | 0.561 |
|    | 35~39 | 0.000 | 0.014 | 0.237 | 0.232 | 0.260 | 0.301 | 0.344 | 0.379 | 0.380 | 0.380 |
|    | 40~44 | 0.000 | 0.001 | 0.030 | 0.030 | 0.035 | 0.040 | 0.045 | 0.051 | 0.055 | 0.055 |
|    | 45~49 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| 충남 | 15~19 | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.004 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 |
|    | 20~24 | 0.000 | 0.032 | 0.091 | 0.090 | 0.096 | 0.101 | 0.101 | 0.101 | 0.101 | 0.101 |
|    | 25~29 | 0.002 | 0.069 | 0.397 | 0.388 | 0.400 | 0.416 | 0.416 | 0.416 | 0.416 | 0.416 |
|    | 30~34 | 0.000 | 0.034 | 0.431 | 0.404 | 0.459 | 0.533 | 0.565 | 0.568 | 0.568 | 0.568 |
|    | 35~39 | 0.000 | 0.010 | 0.233 | 0.228 | 0.255 | 0.294 | 0.334 | 0.366 | 0.367 | 0.367 |
|    | 40~44 | 0.000 | 0.002 | 0.031 | 0.030 | 0.035 | 0.040 | 0.045 | 0.051 | 0.054 | 0.054 |
|    | 45~49 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |

에서는 식 (3.3)을 차용해 공적분 회귀라 명명하고 기울기 를 공적분 모수로 간주한다. Tables 9–12는 공적분 검정 결과와 이들의 관계식을 보여주고 있다.

Table 8: Trend of Group-ASFR for province-specific by raw fertility data (3)

| 지역 | 연령    | MSE   | MAPE  | 2019  | 2020  | 2025  | 2030  | 2035  | 2040  | 2045  | 2047  |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 전북 | 15~19 | 0.000 | 0.003 | 0.002 | 0.002 | 0.004 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 |
|    | 20~24 | 0.000 | 0.026 | 0.068 | 0.067 | 0.072 | 0.077 | 0.077 | 0.077 | 0.077 | 0.077 |
|    | 25~29 | 0.000 | 0.040 | 0.282 | 0.271 | 0.286 | 0.305 | 0.305 | 0.305 | 0.305 | 0.305 |
|    | 30~34 | 0.000 | 0.012 | 0.433 | 0.410 | 0.456 | 0.519 | 0.546 | 0.548 | 0.548 | 0.548 |
|    | 35~39 | 0.000 | 0.006 | 0.235 | 0.230 | 0.257 | 0.295 | 0.336 | 0.368 | 0.369 | 0.369 |
|    | 40~44 | 0.000 | 0.002 | 0.033 | 0.033 | 0.038 | 0.045 | 0.051 | 0.057 | 0.061 | 0.061 |
|    | 45~49 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| 전남 | 15~19 | 0.000 | 0.004 | 0.006 | 0.006 | 0.007 | 0.008 | 0.008 | 0.008 | 0.008 | 0.008 |
|    | 20~24 | 0.000 | 0.033 | 0.082 | 0.081 | 0.087 | 0.092 | 0.092 | 0.092 | 0.092 | 0.092 |
|    | 25~29 | 0.001 | 0.054 | 0.365 | 0.355 | 0.369 | 0.386 | 0.387 | 0.387 | 0.387 | 0.387 |
|    | 30~34 | 0.001 | 0.045 | 0.462 | 0.433 | 0.492 | 0.572 | 0.606 | 0.610 | 0.610 | 0.610 |
|    | 35~39 | 0.000 | 0.014 | 0.258 | 0.252 | 0.282 | 0.325 | 0.370 | 0.406 | 0.408 | 0.408 |
|    | 40~44 | 0.000 | 0.003 | 0.035 | 0.035 | 0.041 | 0.048 | 0.054 | 0.061 | 0.065 | 0.065 |
|    | 45~49 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| 경북 | 15~19 | 0.000 | 0.004 | 0.005 | 0.005 | 0.006 | 0.007 | 0.007 | 0.007 | 0.007 | 0.007 |
|    | 20~24 | 0.000 | 0.009 | 0.058 | 0.057 | 0.063 | 0.067 | 0.067 | 0.067 | 0.067 | 0.067 |
|    | 25~29 | 0.000 | 0.015 | 0.320 | 0.310 | 0.324 | 0.342 | 0.342 | 0.342 | 0.342 | 0.342 |
|    | 30~34 | 0.001 | 0.049 | 0.432 | 0.403 | 0.463 | 0.545 | 0.580 | 0.584 | 0.584 | 0.584 |
|    | 35~39 | 0.000 | 0.019 | 0.246 | 0.240 | 0.272 | 0.317 | 0.365 | 0.402 | 0.404 | 0.404 |
|    | 40~44 | 0.000 | 0.002 | 0.031 | 0.031 | 0.037 | 0.043 | 0.049 | 0.056 | 0.060 | 0.060 |
|    | 45~49 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| 경남 | 15~19 | 0.000 | 0.001 | 0.003 | 0.003 | 0.004 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 |
|    | 20~24 | 0.000 | 0.004 | 0.036 | 0.035 | 0.042 | 0.048 | 0.048 | 0.048 | 0.048 | 0.048 |
|    | 25~29 | 0.000 | 0.034 | 0.307 | 0.295 | 0.311 | 0.332 | 0.332 | 0.332 | 0.332 | 0.332 |
|    | 30~34 | 0.000 | 0.035 | 0.440 | 0.409 | 0.473 | 0.558 | 0.595 | 0.598 | 0.598 | 0.598 |
|    | 35~39 | 0.000 | 0.008 | 0.245 | 0.240 | 0.271 | 0.316 | 0.363 | 0.401 | 0.402 | 0.402 |
|    | 40~44 | 0.000 | 0.001 | 0.029 | 0.029 | 0.034 | 0.041 | 0.046 | 0.052 | 0.056 | 0.056 |
|    | 45~49 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| 제주 | 15~19 | 0.000 | 0.002 | 0.005 | 0.005 | 0.006 | 0.007 | 0.007 | 0.007 | 0.007 | 0.007 |
|    | 20~24 | 0.000 | 0.013 | 0.063 | 0.063 | 0.068 | 0.072 | 0.072 | 0.072 | 0.072 | 0.072 |
|    | 25~29 | 0.000 | 0.006 | 0.292 | 0.282 | 0.296 | 0.315 | 0.315 | 0.315 | 0.315 | 0.315 |
|    | 30~34 | 0.000 | 0.018 | 0.527 | 0.512 | 0.542 | 0.583 | 0.601 | 0.602 | 0.602 | 0.602 |
|    | 35~39 | 0.000 | 0.008 | 0.304 | 0.298 | 0.329 | 0.374 | 0.420 | 0.458 | 0.459 | 0.459 |
|    | 40~44 | 0.000 | 0.002 | 0.048 | 0.048 | 0.056 | 0.064 | 0.072 | 0.080 | 0.086 | 0.086 |
|    | 45~49 | 0.000 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |

이 표들은 R의 *urca* 패키지를 활용하여 선형추세가 있고 공적분 모형에 절편항이 있는 경우를 가정한 후 최대 고유치(max-eigenvalue)에 대한 결과와 통계량(max-eigenvalue statistics), 정규화된 공적분 관계(coefficient of cointegration realtions by normalized), 그리고 2047년까지 ASFR 예측값을 정리한 것이다. 이들 결과는 통계량을 기준으로 10%, 5%, 1% 유의수준 하에서 공적분 관계가 존재하지 않는다는 귀무가설에 대한 검정을 실시하고, 시도별로 1개의 공적분 관계에 대한 분석 결과이다. 예를 들어 서울의 경우 25~29세 ASFR의 전국과 서울은 공적분 관계가 존재하고 정규화된 공적분 모형은 예를 들어 서울의 경우 25~29세 ASFR의 전국과 서울은 공적분 관계가 존재하고 정규화된 공적분 모형은  $g_{25-29,\oplus}^4 = -0.068 + 0.804 \times g_{25-29,nation}^4$ 이다. 경기의 30~34세 경우 이들의 공적분 관계가 존재하고 모형은  $g_{30-34,0}^4 = -0.076 + 1.186 \times g_{30-34,nation}^4$ , 전남의 35~39세, 제주의 45~49세도 전국과 시도의 공적분 관계가 존재하고 모형은  $g_{35-39,\oplus}^4 = 0.016 + 0.985 \times g_{35-39,nation}^4$

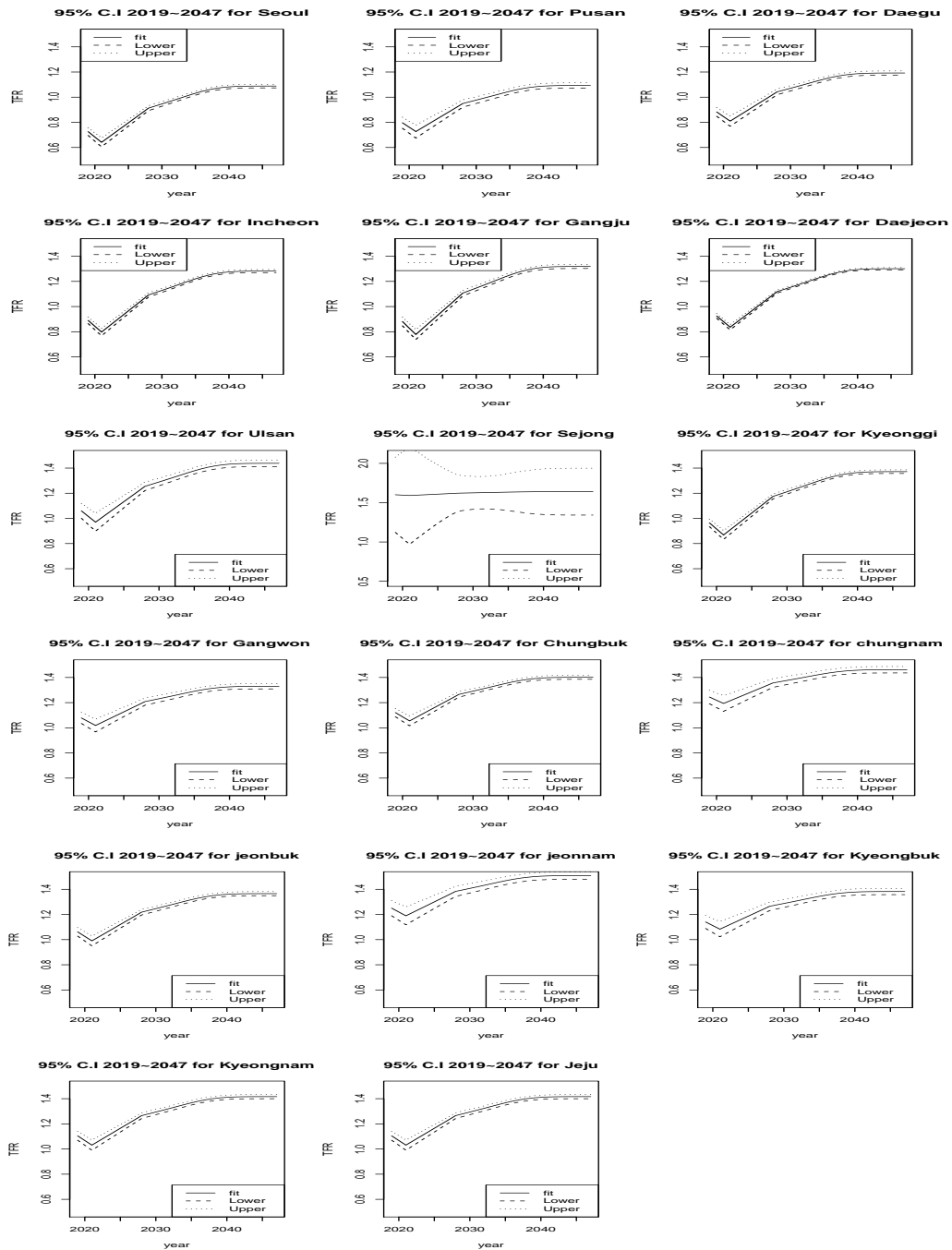


Figure 5: 95% confidence interval of TFR by regression for raw data.

Table 9: Cointegration test and model by province and TFR and ASFR from 2020 to 2047

| 지역 | 연령  | Cointegration rank test | Max-eigenvalue statistics | Coeff. of cointegration | ASFR  |       |       |       |
|----|-----|-------------------------|---------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|
|    |     |                         |                           |                         | 2020  | 2030  | 2040  | 2047  |
| 서울 | 1   | 0.454                   | 14.53*                    | 1.00, -0.904, -0.0      | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
|    | 2   | 0.666                   | 26.34**                   | 1.00, -0.575, 0.006     | 0.008 | 0.014 | 0.014 | 0.014 |
|    | 3   | 0.730                   | 31.41***                  | 1.00, -0.804, 0.068     | 0.078 | 0.108 | 0.108 | 0.108 |
|    | 4   | 0.511                   | 17.20**                   | 1.00, -0.290, -0.275    | 0.395 | 0.425 | 0.433 | 0.433 |
|    | 5   | 0.463                   | 14.90*                    | 1.00, -1.118, 0.010     | 0.266 | 0.350 | 0.444 | 0.445 |
|    | 6   | 0.448                   | 14.26*                    | 1.00, -1.122, 0.003     | 0.034 | 0.049 | 0.064 | 0.069 |
|    | 7   | -                       | -                         | -                       | -     | -     | -     | -     |
|    | TFR | 0.550                   | 19.16**                   | 1.00, -0.506, -0.341    | 0.796 | 0.919 | 0.982 | 0.985 |
| 부산 | 1   | 0.452                   | 14.43*                    | 1.00, -0.127, -0.006    | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 |
|    | 2   | 0.703                   | 29.12***                  | 1.00, -0.579, -0.012    | 0.026 | 0.032 | 0.032 | 0.032 |
|    | 3   | 0.385                   | 11.66                     | 1.00, -0.051, -0.299    | 0.308 | 0.310 | 0.310 | 0.310 |
|    | 4   | 0.439                   | 13.86*                    | 1.00, -0.960, 0.014     | 0.382 | 0.482 | 0.509 | 0.509 |
|    | 5   | 0.310                   | 8.91                      | 1.00, -1.11, 0.023      | 0.252 | 0.335 | 0.428 | 0.429 |
|    | 6   | 0.385                   | 11.66                     | 1.00, -1.010, 0.006     | 0.030 | 0.045 | 0.060 | 0.065 |
|    | 7   | -                       | -                         | -                       | -     | -     | -     | -     |
|    | TFR | 0.222                   | 6.03                      | 1.00, -0.461, -0.459    | 0.874 | 0.985 | 1.043 | 1.046 |
| 대구 | 1   | 0.392                   | 11.94                     | 1.00, -0.242, -0.003    | 0.003 | 0.004 | 0.004 | 0.004 |
|    | 2   | 0.321                   | 9.29                      | 1.00, -1.065, 0.016     | 0.009 | 0.021 | 0.021 | 0.021 |
|    | 3   | 0.410                   | 12.68                     | 1.00, -0.937, 0.102     | 0.068 | 0.103 | 0.103 | 0.103 |
|    | 4   | 0.360                   | 10.73                     | 1.00, -1.069, 0.038     | 0.403 | 0.514 | 0.544 | 0.544 |
|    | 5   | 0.428                   | 13.42                     | 1.00, -1.009, 0.009     | 0.240 | 0.316 | 0.400 | 0.402 |
|    | 6   | 0.445                   | 14.14*                    | 1.00, -1.065, 0.004     | 0.031 | 0.045 | 0.060 | 0.064 |
|    | 7   | 0.607                   | 22.42***                  | 1.00, -2.25, 0.001      | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.002 |
|    | TFR | 0.261                   | 7.26                      | 1.00, -0.787, -0.146    | 0.854 | 1.045 | 1.143 | 1.148 |
| 인천 | 1   | 0.619                   | 23.13***                  | 1.00, -0.848, 0.001     | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
|    | 2   | 0.511                   | 17.19**                   | 1.00, -1.362, -0.019    | 0.013 | 0.028 | 0.028 | 0.028 |
|    | 3   | 0.411                   | 12.69                     | 1.00, -1.003, 0.014     | 0.168 | 0.205 | 0.205 | 0.205 |
|    | 4   | 0.469                   | 15.17*                    | 1.00, -1.111, 0.072     | 0.387 | 0.502 | 0.533 | 0.533 |
|    | 5   | 0.473                   | 15.38*                    | 1.00, -1.025, 0.011     | 0.242 | 0.319 | 0.405 | 0.406 |
|    | 6   | 0.516                   | 17.39**                   | 1.00, -1.025, 0.001     | 0.033 | 0.046 | 0.060 | 0.065 |
|    | 7   | -                       | -                         | -                       | -     | -     | -     | -     |
|    | TFR | 0.539                   | 18.56**                   | 1.00, -1.060, 0.082     | 0.872 | 1.129 | 1.261 | 1.267 |

p-value: \* < 0.10, \*\* < 0.05, \*\*\* < 0.01; 연령: 1(15-19), 2(20-24), 3(25-29), 4(30-34), 5(35-39), 6(40-44), 7(45-49);  
 -: system is computationally singular: reciprocal condition number = 8.87576e-33.

$g_{45-49,\theta}^4 = 1.644 \times g_{45-49,nation}^4$  이다. 이들 모형식에 2047년까지 전국의 25~29, 30~34, 35~39, 45~49세 ASFR을 대입하면 2047년까지의 서울 25~29세 ASFR, 경기 30~34세, 전남 35~39세, 제주 45~49세의 ASFR값이 예측된다. 유의한 공적분 관계를 보이는 다른 시도들도 동일 방식으로 ASFR을 예측한다. 전국과 시도별 TFR에 대한 공적분 관계를 살펴보면 서울, 인천, 경기, 강원, 충남, 전북, 전남, 경북, 제주지역의 출산율은 전국과 공적분 관계가 유의하며 그 외 지역은 유의하지 않게 분석되었다. 이는 전국의 TFR의 패턴과 경향이 공적분 관계가 있는 지역과 그렇지 않은 시도로 분리할 때 용이하게 활용될 수 있을 것이다.

TFR을 7개 ASFR 그룹의 관점에서 전국, 시도별의 공적분 검정을 실시하면, 분석결과 7개 ASFR 그룹 중에서 대구는 5개, 부산, 대구, 광주, 강원, 경북, 경남은 4개 그룹이 전국 ASFR 그룹과는 공적분 관계가 성립하지 않았지만 서울, 경기, 충북, 충남, 전남지역은 1, 2개 ASFR 그룹을 제외하고는 공적분 관계가 성립하는



Table 10: Cointegration test and model by province and TFR and ASFR from 2020 to 2047

| 지역 | 연령  | Cointegration rank test | Max-eigenvalue statistics | Coeff. of cointegration | ASFR  |       |       |       |
|----|-----|-------------------------|---------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|
|    |     |                         |                           |                         | 2020  | 2030  | 2040  | 2047  |
| 광주 | 1   | 0.510                   | 17.10**                   | 1.00, -1.212, 0.000     | 0.001 | 0.003 | 0.003 | 0.003 |
|    | 2   | 0.480                   | 15.67**                   | 1.00, -1.043, 0.004     | 0.021 | 0.032 | 0.032 | 0.032 |
|    | 3   | 0.373                   | 11.21                     | 1.00, -1.139, 0.039     | 0.168 | 0.210 | 0.210 | 0.210 |
|    | 4   | 0.232                   | 6.33                      | 1.00, -0.737, -0.129    | 0.433 | 0.510 | 0.530 | 0.530 |
|    | 5   | 0.369                   | 11.04                     | 1.00, -0.833, -0.026    | 0.232 | 0.295 | 0.364 | 0.365 |
|    | 6   | 0.337                   | 9.86                      | 1.00, -0.923, -0.002    | 0.032 | 0.045 | 0.057 | 0.061 |
|    | 7   | 0.582                   | 20.91***                  | 1.00, -0.550, -0.001    | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
|    | TFR | 0.351                   | 10.36                     | 1.00, -1.351, 0.430     | 0.786 | 1.113 | 1.282 | 1.290 |
| 대전 | 1   | 0.604                   | 22.23***                  | 1.00, -0.838, -0.002    | 0.003 | 0.004 | 0.004 | 0.004 |
|    | 2   | 0.452                   | 14.44*                    | 1.00, -0.885, -0.007    | 0.028 | 0.038 | 0.038 | 0.038 |
|    | 3   | 0.388                   | 11.78                     | 1.00, -1.102, -0.026    | 0.226 | 0.267 | 0.267 | 0.267 |
|    | 4   | 0.237                   | 6.50                      | 1.00, -1.031, 0.008     | 0.418 | 0.525 | 0.553 | 0.553 |
|    | 5   | 0.467                   | 15.11**                   | 1.00, -1.029, -0.003    | 0.257 | 0.335 | 0.421 | 0.422 |
|    | 6   | 0.320                   | 9.27                      | 1.00, -1.414, 0.000     | 0.047 | 0.065 | 0.084 | 0.091 |
|    | 7   | 0.690                   | 28.08***                  | 1.00, -0.179, -0.001    | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
|    | TFR | 0.316                   | 9.12                      | 1.00, -1.094, 0.100     | 0.884 | 1.149 | 1.286 | 1.293 |
| 울산 | 1   | 0.480                   | 13.10*                    | 1.00, -0.646, -0.003    | 0.004 | 0.005 | 0.005 | 0.005 |
|    | 2   | 0.438                   | 11.51                     | 1.00, -0.925, -0.014    | 0.036 | 0.046 | 0.046 | 0.046 |
|    | 3   | 0.417                   | 10.80                     | 1.00, -1.160, -0.090    | 0.300 | 0.343 | 0.344 | 0.344 |
|    | 4   | 0.546                   | 15.80**                   | 1.00, -1.782, 0.325     | 0.411 | 0.596 | 0.645 | 0.645 |
|    | 5   | 0.263                   | 6.11                      | 1.00, -1.081, 0.013     | 0.254 | 0.336 | 0.426 | 0.427 |
|    | 6   | 0.746                   | 27.42***                  | 1.00, -1.345, 0.007     | 0.037 | 0.055 | 0.073 | 0.079 |
|    | 7   | 0.494                   | 13.61*                    | 1.00, 0.249, -0.001     | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
|    | TFR | 0.182                   | 4.02                      | 1.00, -0.547, -0.680    | 1.172 | 1.305 | 1.373 | 1.376 |
| 세종 | 전연령 | -                       | -                         | -                       | -     | -     | -     | -     |
| 경기 | 1   | 0.503                   | 16.77**                   | 1.00, -1.292, 0.004     | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|    | 2   | 0.554                   | 19.38**                   | 1.00, -1.332, 0.028     | 0.004 | 0.018 | 0.018 | 0.018 |
|    | 3   | 0.572                   | 20.37***                  | 1.00, -1.208, 0.088     | 0.131 | 0.176 | 0.176 | 0.176 |
|    | 4   | 0.525                   | 17.87**                   | 1.00, -1.186, 0.076     | 0.414 | 0.537 | 0.570 | 0.570 |
|    | 5   | 0.271                   | 7.59                      | 1.00, -1.001, -0.004    | 0.251 | 0.327 | 0.410 | 0.412 |
|    | 6   | 0.661                   | 25.94***                  | 1.00, -0.958, -0.002    | 0.034 | 0.046 | 0.059 | 0.063 |
|    | 7   | 0.581                   | 20.86***                  | 1.00, -0.903, 0.000     | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
|    | TFR | 0.497                   | 16.47**                   | 1.00, -1.054, -0.037    | 0.985 | 1.241 | 1.373 | 1.379 |

p-value: \* < 0.10, \*\* < 0.05, \*\*\* < 0.01; 연령: 1(15-19), 2(20-24), 3(25-29), 4(30-34), 5(35-39), 6(40-44), 7(45-49); -: system is computationally singular: reciprocal condition number = 8.87576e-33; \*\*: Sejong is exactly singular due to short-term time series.

것으로 분석되었다. 특히 시계열이 짧은 세종과, 출산율이 거의 0에 근접하는 그룹인 45~49세 연령층으로 고유치 계산시 singular 가 될 가능성이 높아 공적분검정이 유의하지 않았다. 지금까지 설명한 시도별 공적분 검정 결과를 지역별로 Table 9~12에 정리하였으며, 서울, 경기, 충북, 충남, 전남지역은 전국의 ASFR과 공적분 관계가 뚜렷하고, 특히 서울, 경기, 충남, 전남지역은 전국의 TFR과 공적분 관계를 보였다. 공적분 관계를 간주하고 도출한 ASFR, 원자료를 대입해 식 (3.3)을 적용한 회귀분석, 그리고 Gompit 변환과 전국과 시도의 ASCFR의 관계식으로 접근한 결과를 비교해보면 공적분 관계와 원자료를 활용한 예측결과가 유사하고 시도 별 변동을 잘 반영하는 결과임을 알 수 있다. 이들 결과는 Figure 6에 잘 나타나 있으며, Figure 6은 전국과 9개

Table 11: Cointegration test and model by province and TFR and ASFR from 2020 to 2047

| 지역 | 연령  | Cointegration<br>rank test | Max-eigenvalue<br>statistics | Coeff. of<br>cointegration | ASFR  |       |       |       |
|----|-----|----------------------------|------------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|
|    |     |                            |                              |                            | 2020  | 2030  | 2040  | 2047  |
| 강원 | 1   | 0.390                      | 11.85                        | 1.00, 1.507, -0.005        | 0.003 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
|    | 2   | 0.405                      | 12.45                        | 1.00, -0.816, -0.029       | 0.048 | 0.057 | 0.057 | 0.057 |
|    | 3   | 0.645                      | 24.88***                     | 1.00, -1.200, -0.077       | 0.262 | 0.300 | 0.300 | 0.300 |
|    | 4   | 0.381                      | 11.52                        | 1.00, -0.916, -0.027       | 0.405 | 0.500 | 0.526 | 0.526 |
|    | 5   | 0.322                      | 9.33                         | 1.00, -0.788, -0.025       | 0.220 | 0.279 | 0.345 | 0.346 |
|    | 6   | 0.462                      | 14.87**                      | 1.00, -0.688, -0.007       | 0.030 | 0.039 | 0.048 | 0.051 |
|    | 7   | 0.618                      | 23.11***                     | 1.00, -0.073, 0.001        | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
|    | TFR | 0.530                      | 18.14**                      | 1.00, -1.286, 0.272        | 0.885 | 1.197 | 1.358 | 1.365 |
| 충북 | 1   | 0.487                      | 16.02**                      | 1.00, 3.823, -0.013        | 0.009 | 0.003 | 0.003 | 0.003 |
|    | 2   | 0.496                      | 16.45**                      | 1.00, -1.197, -0.022       | 0.050 | 0.064 | 0.064 | 0.064 |
|    | 3   | 0.526                      | 17.94***                     | 1.00, -0.908, -0.182       | 0.347 | 0.380 | 0.380 | 0.380 |
|    | 4   | 0.317                      | 9.14                         | 1.00, -1.252, 0.112        | 0.405 | 0.535 | 0.570 | 0.570 |
|    | 5   | 0.465                      | 14.99*                       | 1.00, -0.940, -0.005       | 0.237 | 0.308 | 0.386 | 0.388 |
|    | 6   | 0.613                      | 22.81***                     | 1.00, -0.803, -0.004       | 0.030 | 0.041 | 0.052 | 0.056 |
|    | 7   | 0.595                      | 21.72***                     | 1.00, -0.573, -0.002       | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
|    | TFR | 0.358                      | 10.63                        | 1.00, -1.058, -0.111       | 1.063 | 1.319 | 1.452 | 1.458 |
| 충남 | 1   | 0.417                      | 12.95                        | 1.00, -3.099, 0.003        | 0.000 | 0.005 | 0.005 | 0.005 |
|    | 2   | 0.504                      | 16.81**                      | 1.00, -1.967, 0.015        | 0.032 | 0.053 | 0.053 | 0.053 |
|    | 3   | 0.545                      | 18.91**                      | 1.00, -1.407, -0.137       | 0.392 | 0.444 | 0.445 | 0.445 |
|    | 4   | 0.526                      | 17.93**                      | 1.00, -1.254, 0.105        | 0.413 | 0.543 | 0.578 | 0.578 |
|    | 5   | 0.428                      | 13.42*                       | 1.00, -0.892, -0.015       | 0.235 | 0.303 | 0.377 | 0.378 |
|    | 6   | 0.402                      | 12.36                        | 1.00, -0.704, -0.006       | 0.029 | 0.038 | 0.048 | 0.051 |
|    | 7   | 0.531                      | 18.19**                      | 1.00, 0.616, -0.002        | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
|    | TFR | 0.633                      | 24.05***                     | 1.00, -0.969, -0.281       | 1.153 | 1.388 | 1.509 | 1.515 |
| 전북 | 1   | 0.593                      | 21.55***                     | 1.00, -1.664, 0.001        | 0.001 | 0.004 | 0.004 | 0.004 |
|    | 2   | 0.435                      | 13.72*                       | 1.00, 2.262, -0.271        | 0.217 | 0.193 | 0.193 | 0.193 |
|    | 3   | 0.501                      | 16.70**                      | 1.00, -1.050, -0.084       | 0.274 | 0.313 | 0.313 | 0.313 |
|    | 4   | 0.167                      | 4.37                         | 1.00, 0.155, -0.555        | 0.491 | 0.475 | 0.471 | 0.471 |
|    | 5   | 0.296                      | 8.41                         | 1.00, -0.882, -0.017       | 0.235 | 0.301 | 0.375 | 0.376 |
|    | 6   | 0.412                      | 12.73                        | 1.00, -0.879, -0.003       | 0.032 | 0.044 | 0.055 | 0.059 |
|    | 7   | 0.561                      | 19.77**                      | 1.00, -0.442, -0.001       | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.002 |
|    | TFR | 0.530                      | 18.13**                      | 1.00, -1.113, 0.028        | 0.973 | 1.243 | 1.382 | 1.389 |

*p*-value: \* < 0.10, \*\* < 0.05, \*\*\* < 0.01; 연령: 1(15-19), 2(20-24), 3(25-29), 4(30-34), 5(35-39), 6(40-44), 7(45-49);

-: system is computationally singular: reciprocal condition number = 8.87576e-33.

시도 공적분관계, 공적분 관계가 유의하지 않는 8개 시도에 대한 전국과 원자료를 활용한 회귀모형, 그리고 통계청 Gompit변환과 ASCFR을 적용한 결과를 비교하고 있다. 이 결과에서도 알 수 있듯이 17개 시도를 단일 방식으로 ASFR을 추이나 예측을 살펴보는 것보다는 공적분관계, 원자료를 적용한 방식이 과거의 시도별 출산율 패턴을 잘 반영하고 있음을 알 수 있다. 지금까지 분석된 결과를 토대로 전국과 시도별 출산율 관계를 규명하고자 할 때 다음과 같은 단계적 접근을 제시할 수 있다. 먼저 전국과 시도별 출산율과 같은 불안정한 시계열을 적합할 경우 공적분 관계를 선행적으로 도출하고, 다음으로 이 관계가 유의하지 않으면 원자료를 활용한 회귀모형 접근이 전국과 시도별 출산율 관계를 살펴보는 합리적인 방법으로 판단된다. 결론적으로 초저출산 시대에 시도별 출산율 변동을 반영한 예측 방법은 전국과 시도별 출산율의 공적분관계 모형을 이용하거나 자료변환 없는 원자료를 활용한 회귀모형 접근이다. 부가적으로 첫 번째 모형방식인 ASCFR이나

Table 12: Cointegration test and model by province and TFR and ASFR from 2020 to 2047

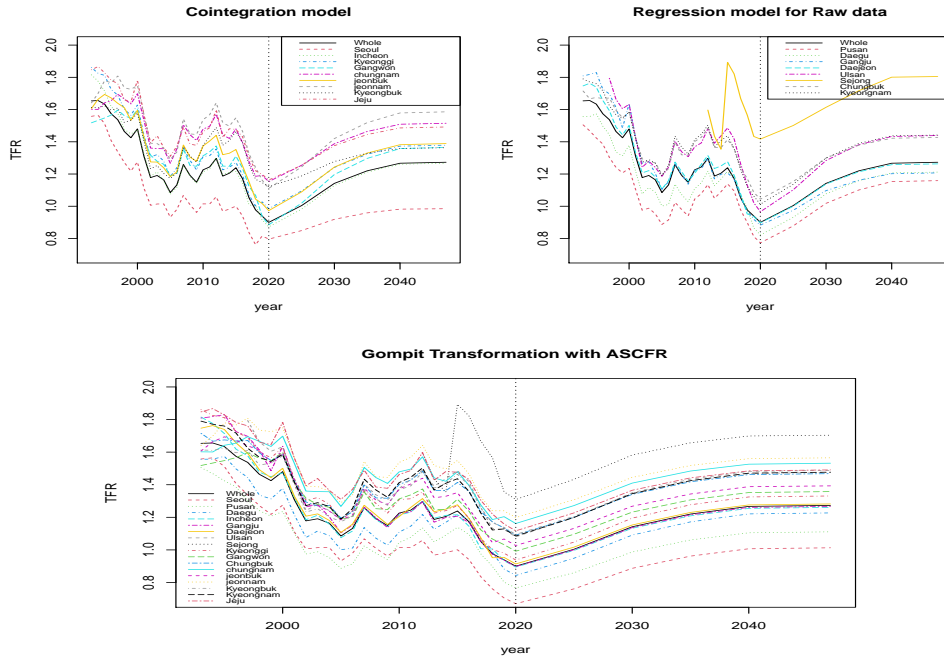
| 지역 | 연령  | Cointegration rank test | Max-eigenvalue statistics | Coeff. of cointegration | ASFR  |       |       |       |
|----|-----|-------------------------|---------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|
|    |     |                         |                           |                         | 2020  | 2030  | 2040  | 2047  |
| 전남 | 1   | 0.442                   | 14.00*                    | 1.00, -1.977, 0.001     | 0.001 | 0.004 | 0.004 | 0.004 |
|    | 2   | 0.579                   | 20.80***                  | 1.00, -1.100, -0.039    | 0.065 | 0.077 | 0.077 | 0.077 |
|    | 3   | 0.647                   | 25.00***                  | 1.00, -1.099, -0.141    | 0.340 | 0.381 | 0.381 | 0.381 |
|    | 4   | 0.256                   | 7.09                      | 1.00, -1.211, 0.054     | 0.446 | 0.572 | 0.605 | 0.605 |
|    | 5   | 0.533                   | 18.26**                   | 1.00, -0.985, -0.016    | 0.259 | 0.334 | 0.416 | 0.417 |
|    | 6   | 0.640                   | 24.52***                  | 1.00, -0.384, -0.010    | 0.023 | 0.028 | 0.033 | 0.035 |
|    | 7   | 0.566                   | 20.05**                   | 1.00, -0.024, -0.002    | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
|    | TFR | 0.611                   | 22.63***                  | 1.00, -1.272, 0.033     | 1.111 | 1.420 | 1.579 | 1.586 |
| 경북 | 1   | 0.416                   | 12.90                     | 1.00, -1.990, 0.000     | 0.002 | 0.005 | 0.005 | 0.005 |
|    | 2   | 0.400                   | 12.26                     | 1.00, -1.599, -0.022    | 0.060 | 0.077 | 0.077 | 0.077 |
|    | 3   | 0.749                   | 33.19***                  | 1.00, -1.316, -0.104    | 0.343 | 0.391 | 0.392 | 0.392 |
|    | 4   | 0.320                   | 9.27                      | 1.00, -1.447, 0.185     | 0.412 | 0.563 | 0.603 | 0.603 |
|    | 5   | 0.349                   | 10.30                     | 1.00, -1.024, 0.007     | 0.246 | 0.323 | 0.409 | 0.410 |
|    | 6   | 0.456                   | 14.68*                    | 1.00, -1.030, 0.001     | 0.033 | 0.046 | 0.061 | 0.065 |
|    | 7   | 0.684                   | 27.67***                  | 1.00, -3.746, 0.003     | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.002 |
|    | TFR | 0.633                   | 24.03***                  | 1.00, -0.648, -0.538    | 1.121 | 1.278 | 1.359 | 1.363 |
| 경남 | 1   | 0.346                   | 10.20                     | 1.00, -0.789, -0.003    | 0.004 | 0.005 | 0.005 | 0.005 |
|    | 2   | 0.509                   | 17.05**                   | 1.00, -1.234, -0.010    | 0.039 | 0.053 | 0.053 | 0.053 |
|    | 3   | 0.470                   | 15.22**                   | 1.00, -1.179, -0.112    | 0.326 | 0.370 | 0.370 | 0.370 |
|    | 4   | 0.577                   | 20.62***                  | 1.00, -1.537, 0.222     | 0.412 | 0.572 | 0.615 | 0.615 |
|    | 5   | 0.391                   | 11.91                     | 1.00, -1.019, 0.009     | 0.243 | 0.320 | 0.405 | 0.406 |
|    | 6   | 0.256                   | 8.07                      | 1.00, -0.828, -0.000    | 0.027 | 0.038 | 0.049 | 0.053 |
|    | 7   | -                       | -                         | -                       | -     | -     | -     | -     |
|    | TFR | 0.381                   | 11.51                     | 1.00, -0.902, -0.322    | 1.134 | 1.352 | 1.465 | 1.470 |
| 제주 | 1   | 0.461                   | 14.84**                   | 1.00, -0.538, -0.005    | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 |
|    | 2   | 0.366                   | 10.93                     | 1.00, -0.851, -0.042    | 0.062 | 0.072 | 0.072 | 0.072 |
|    | 3   | 0.497                   | 16.48*                    | 1.00, -0.849, -0.124    | 0.278 | 0.309 | 0.310 | 0.310 |
|    | 4   | 0.194                   | 5.17                      | 1.00, -0.564, -0.287    | 0.521 | 0.579 | 0.595 | 0.595 |
|    | 5   | 0.437                   | 13.81*                    | 1.00, -1.002, -0.053    | 0.301 | 0.376 | 0.460 | 0.461 |
|    | 6   | 0.368                   | 11.02                     | 1.00, -1.081, -0.009    | 0.045 | 0.059 | 0.074 | 0.078 |
|    | 7   | 0.624                   | 23.50***                  | 1.00, -1.644, 0.000     | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
|    | TFR | 0.439                   | 13.88*                    | 1.00, -0.881, -0.370    | 1.163 | 1.376 | 1.486 | 1.492 |

p-value: \* < 0.10, \*\* < 0.05, \*\*\* < 0.01; 연령: 1(15-19), 2(20-24), 3(25-29), 4(30-34), 5(35-39), 6(40-44), 7(45-49);  
 -: system is computationally singular: reciprocal condition number = 8.87576e-33.

Gompit 변환 자료를 평균방식의 회귀모형으로 접근하는 것은 최근 출산율의 하강 추세를 상쇄시켜 출산율을 과대추정하는 오류를 범할 수 있으므로 주의를 요한다.

#### 4. 결론 및 제언

본 논문은 전국과 시도별 출산율의 관계를 규명하는 Gompit변환과 10년간의 평균 연령별 누적출산율을 활용한 회귀모형, 출산율 자료 변환 없이 원자료를 회귀모형에 적용하는 방법, 그리고 확률과정 관점에서 비정상 성인 출산율과 같은 불안정한 시계열을 적합할 경우에 고려할 수 있는 공적분 모형을 소개하고 비교하였다. 분석 결과 우리나라 전국과 시도별 출산율은 거의 대부분이 비정상성으로, 단위근 검정결과 가성회귀의 문제



Gompit transformation with ASCFR, Raw data regression, Cointegration model

Figure 6: Trend of TFR and comparison for three methods.

를 보인다. 따라서 공적분 검정으로 시도별을 구분한 후, 공적분 모형과 원자료를 이용한 회귀모형 두 방식을 제안하였다. 이들 방법은 시도별 출산력 추계시 고려할 점인 안정적 패턴과 차별성 관점에서 Gompit변환과 10년간의 평균 연령별 누적출산율을 활용한 회귀모형보다 우수한 방법으로 평가된다. 또한 시도별 출산율 경우 통계청의 Gompit변환과 평균 접근방식으로 예측할 경우 과대추정하는 결과가 도출되며, 평균으로 출산율의 변동을 상쇄하는 결과를 초래한다. 더불어 이 방식은 최근 출산율의 하락추세를 반영하지 못하는 결과를 보임을 파악하였다.

하지만 본 연구를 수행하면서 몇 가지 한계점과 향후 연구과제는 여전히 남아있다. 첫째 본 연구는 TFR과 ASFR을 살펴본 결과는 17개 지방자치별에 따른 전국과의 모형을 살펴본 것이다. 우리나라는 총 226시군구으로 17개 시도 아래 75개 시, 82개 군, 69개 구가 존재한다. 본 논문은 17개 시도별 TFR, ARFR를 규명한 것으로 이를 확대하여 시, 군, 구 또는 지역적 시도별로 살펴보는 출산율 추계 로직 연구가 필요하다. 둘째, 전국 출산율은 시도별 출산율로 분해되는 구조이지만 시도별 출산율을 산정한 후 총합을 구하면 전국 출산율과 상이한 결과가 도출되는 결과가 일반적이다. 이는 전국 출산율 추계방식과 시도별 출산방식이 상이하기 때문에 발생하는 문제이다. 따라서 전국과 시도별 출산율을 동시에 살펴보고 관계를 규명하는 전국 → 시도별 (top-down), 시도별 ← 전국(bottom-up), 혼합 출산율 예측방법(hybrid fertility rate projection method)을 고려할 필요가 있다. 셋째, 본 논문의 초점은 서로다른 모형을 비교하는 것이지만, 관점을 전환하여 지역의 MSE합계, MAPE합계로 지역별 출산율을 비교하는 추가 연구도 고려할 수 있다. 이상 언급한 3가지는 향후 연구과제로 다루고자 한다.

지금까지 전국과 시도별 출산율을 통계적 모형으로 살펴볼 수 있는 방법에 대해 장단점을 비교하였다. 우리나라의 경우 1.00명 이하로 당분간 지속될 것으로 예상되고 동시에 17개 지방자치별로 상이한 출산율

이 존재하므로, 보다 객관적인 추계는 전국과 시도별 출산율을 살펴보는 단일 모형보다는 공적분 모형 또는 원자료를 활용한 회귀모형 등과 같은 다양한 방식을 적용해 산출하는 방법이 합리적으로 판단된다. 그리고 서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 경기도는 2025~2030년까지 타 지역과 다르게 합계출산율이 1.0명 이하로 예측되므로 시급하고 효율성 있는 출산율 제고정책이 필요하고, 만약 정책적 준비가 늦어진다면 광역시의 출산율 저하현상, 세종, 강원, 전남, 제주의 완만히 상승하는 출산율 추세로 판단할 때 2025년 이후는 시도별 출산율 양극화가 심화될 가능성도 있다.

### Appendix: Augmented Dickey-Fuller(ADF) test result

Table A.1: The result of ADF test

| 지역 |                      | 15-19  | 20-24  | 25-29  | 30-34  | 35-39  | 40-44  | 45-49  |
|----|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 서울 | <i>t</i> -statistics | -3.030 | -3.030 | -1.440 | 1.010  | -1.910 | -1.010 | NaN*   |
|    | <i>p</i> -value      | 0.180  | 0.180  | 0.790  | 0.990  | 0.610  | 0.920  | NA     |
| 부산 | <i>t</i> -statistics | -3.110 | -2.130 | -0.979 | -0.488 | -1.760 | -0.814 | NaN*   |
|    | <i>p</i> -value      | 0.150  | 0.520  | 0.920  | 0.980  | 0.670  | 0.950  | NA     |
| 대구 | <i>t</i> -statistics | -2.760 | -3.970 | -0.652 | -0.456 | -1.610 | -0.662 | -2.510 |
|    | <i>p</i> -value      | 0.280  | 0.024  | 0.960  | 0.980  | 0.720  | 0.960  | 0.380  |
| 인천 | <i>t</i> -statistics | -3.280 | -2.230 | -1.090 | -0.744 | -2.050 | -0.792 | -2.720 |
|    | <i>p</i> -value      | 0.095  | 0.490  | 0.910  | 0.950  | 0.550  | 0.950  | 0.300  |
| 광주 | <i>t</i> -statistics | -3.430 | -1.690 | -1.080 | -0.807 | -1.770 | -0.930 | -2.730 |
|    | <i>p</i> -value      | 0.074  | 0.690  | 0.910  | 0.950  | 0.660  | 0.930  | 0.300  |
| 대전 | <i>t</i> -statistics | -3.430 | -2.340 | -1.180 | -0.126 | -1.880 | -1.230 | -2.040 |
|    | <i>p</i> -value      | 0.074  | 0.440  | 0.880  | 0.990  | 0.620  | 0.860  | 0.560  |
| 울산 | <i>t</i> -statistics | -2.250 | -4.630 | -1.970 | -0.073 | -2.020 | -0.356 | -1.820 |
|    | <i>p</i> -value      | 0.480  | 0.010  | 0.580  | 0.990  | 0.560  | 0.980  | 0.640  |
| 세종 | <i>t</i> -statistics | -1.270 | -5.980 | -1.260 | -1.380 | -0.793 | -2.410 | -1.580 |
|    | <i>p</i> -value      | 0.850  | 0.010  | 0.850  | 0.810  | 0.950  | 0.410  | 0.730  |
| 경기 | <i>t</i> -statistics | -3.410 | -2.410 | -1.290 | 0.281  | -1.730 | -0.721 | -1.880 |
|    | <i>p</i> -value      | 0.077  | 0.420  | 0.840  | 0.990  | 0.680  | 0.960  | 0.620  |
| 강원 | <i>t</i> -statistics | -2.180 | -1.390 | -2.230 | -0.221 | -1.210 | -1.210 | -3.540 |
|    | <i>p</i> -value      | 0.500  | 0.800  | 0.480  | 0.990  | 0.870  | 0.870  | 0.058  |
| 충북 | <i>t</i> -statistics | -1.870 | -1.520 | -1.450 | -0.932 | -1.390 | -0.768 | -3.610 |
|    | <i>p</i> -value      | 0.620  | 0.750  | 0.780  | 0.930  | 0.810  | 0.950  | 0.050  |
| 충남 | <i>t</i> -statistics | -2.610 | -2.230 | -1.920 | -0.910 | -1.600 | -0.973 | -2.120 |
|    | <i>p</i> -value      | 0.340  | 0.490  | 0.600  | 0.930  | 0.720  | 0.920  | 0.520  |
| 전북 | <i>t</i> -statistics | -2.530 | -1.840 | -1.640 | -0.716 | -1.650 | -1.650 | -4.040 |
|    | <i>p</i> -value      | 0.370  | 0.630  | 0.710  | 0.960  | 0.700  | 0.710  | 0.022  |
| 전남 | <i>t</i> -statistics | -2.910 | -2.100 | -1.740 | -1.100 | -1.300 | -2.010 | -2.840 |
|    | <i>p</i> -value      | 0.230  | 0.540  | 0.670  | 0.910  | 0.840  | 0.570  | 0.250  |
| 경북 | <i>t</i> -statistics | -1.870 | -1.590 | -1.570 | -0.899 | -1.590 | -0.539 | -2.960 |
|    | <i>p</i> -value      | 0.620  | 0.730  | 0.740  | 0.940  | 0.730  | 0.970  | 0.210  |
| 경남 | <i>t</i> -statistics | -2.060 | -1.940 | -1.450 | -0.763 | -1.940 | -1.450 | -2.620 |
|    | <i>p</i> -value      | 0.550  | 0.600  | 0.780  | 0.950  | 0.590  | 0.780  | 0.340  |
| 제주 | <i>t</i> -statistics | -2.240 | -1.640 | -1.470 | -0.935 | -1.440 | -1.790 | -4.000 |
|    | <i>p</i> -value      | 0.480  | 0.710  | 0.780  | 0.930  | 0.790  | 0.650  | 0.023  |

NaN\*: This figure is outside for the *p*-values are interpolated from Table 4.2, p. 103 of Banerjee *et al.* (1993).

## References

- Alkema, L., Raftery, A. E., Gerland, P., Clark, S. J., Pelletier, F., Buettner, T., and Heilig, G. K. (2011). Probabilistic projections of the total fertility rate for all countries, *Demography*, **48**, 815–839.
- Banerjee, A., Dolado, J., Galbraith, J. W., and Hendry, D. F. (1993). *Co-Integration, Error-Correction, and the Econometric Analysis of Non-Stationary Data*. Advanced Texts in Econometrics. Oxford University Press, Oxford.
- BBC (2019). South Korea's population paradox, <https://www.bbc.com/worklife/article/20191010-south-koreas-population-paradox>.
- Bernhard Pfaff (2016). urcs R package: Unit Root and Cointegration Tests for Time Series Data, <http://https://cran.r-project.org/web/packages/urca/urca.pdf>.
- Bongaarts, J. (1978). A framework for analyzing the proximate determinants of fertility, *Population and Development Review*, **4**, 105–132.
- GEFIRA (2018). The collapse of the South Korean population: the countdown has begun, <https://gefira.org/en/2018/01/11/childless-south-korea>.
- Goldstein, J. R. (2010). *A Behavioral Gompertz Model for Cohort Fertility Schedules in Low and Moderate Fertility Populations*, MPIDR Working Paper WP 2010-021 February 2010.
- Hyndman, R. J. and Booth H. (2008). Stochastic population forecasts using functional data models for mortality, fertility and migration, *International Journal of Forecasting*, **24**, 323–342.
- Hyndman, R. J., Booth, H., and Yasmeeen, F. (2013). Coherent mortality forecasting: The product-ratio method with functional time series models, *Demography*, **50**, 261–283.
- Hyndman, R. J. and Ullah, S. (2007). Robust forecasting of mortality and fertility rates: a functional data approach, *Computational Statistics and Data Analysis*, **51**, 4942–4956.
- Jeon, K. H. (1997). A mechanism of fertility transition, Understanding of Korea fertility Phase, Ilshin Press.
- Jeon, K. H., Kim, D. S., Park, S. T., and Eun, K. S. (2002). Fertility, Population for Korea, Statistics Korea.
- Jo, S. S., Son, Y. S., and Seong, B. C. (2019). *Time Series Analysis*, Yul Gok Press, Seoul.
- Johansen, S. (1988). Statistical analysis of cointegration vectors, *Journal of Economic Dynamics and Control*, **12**, 231–254
- Kim, K. W. and Jeon, S. B. (2015). Scenario analysis of fertility in Korea using the fertility rate prediction model, *The Korean Journal of Applied Statistics*, **28**, 685–701.
- Kim, H. S., Gye, B. O., and Kim, H. T. (2016). A study on policy and improvement of projection method on fertility in 2016, Statistics Korea.
- Kim, S. Y. and Oh, J. H. (2019). A study on forecasting provinces-specific fertility for Korea, *The Korean Journal of Applied Statistics*, **32**, 229–263.
- KOSIS (2017). province population projection 2015~2045.
- KOSIS (2019). population projection 2017~2067.
- KOSIS (2019). province population projection 2017~2047.
- Lee, C. H. (2012). A Decomposition of Decline in total fertility rate in Korea: Effects of changes in marriage and marital fertility, *The Korean Journal of Population Studies*, **35**, 117–144.
- Lee, S. S. and Choi, H. J. (2012). Development of model estimating fertility rate for Korea, *The Korean Journal of Population Studies*, **35**, 109–134.
- Lutz, W., Skirbekk, V., and Testa, M. R. (2006). The low-fertility trap hypothesis: forces that may lead to further

- postponement and fewer births in Europe, *Vienna Yearbook of Population Research*, **4**, 167–192.
- McDonald, P. (2007). Low fertility and policy, *Ageing Horizons*, **7**, 22–27.
- Na, J. H. (2017). *R Applied Regression Analysis*, Freeaca Press, Seoul.
- Oh, J. H. (2014). Review of the latest trends in Fertility model for the population projections, Statistical Research Institute.
- Oh, J. H. (2018). A study on forecasting cohort incomplete fertility for Korea, *The Korean Journal of Population Studies*, **41**, 109–134.
- Oh, J. H. (2019). Forecast and identifying factors on a double dip fertility rate for Korea, *The Korean Journal of Applied Statistics*, **32**, 463–483.
- Park, Y. S., Kim, M. R., and Kim, S. Y. (2013). Probabilistic fertility models and the future population structure of Korea, *The Korean Association for Survey Research*, **14**, 49–78.
- Ramsay, J. O. and Silverman, B. W. (2005). *Functional Data Analysis* (2nd ed), Springer, New York.
- Raftery, A. E., Li, N., Chunn, J. L., Sevcikova, H., Gerland, P., and Heilig, G. K. (2012). Bayesian probabilistic population projection for all countries. In *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **109**, 13915–13921.
- Raftery, A. E., Alkema, L., and Gerland, P. (2014). Bayesian population projections for the United Nations, *Statistical Science*, **29**, 58–68.
- Sevcikova, H., Alkema, L., and Raftery, A. E. (2011). bayesTFR: an R Package for Probabilistic Projections of the Total Fertility Rate, *Journal of Statistical Software*, **43**, 1–29.
- Sobotka, T. and Lutz, W. (2011). Misleading policy messages derived from the period TFR: Should we stop using it?, *Comparative Population Studies*, **35**, 637–664.
- Yoo, S. H. and Sobotka, T. (2018). Ultra-low fertility in south Korea: The role of the tempo effect, *Demographic Research*, **38**, 549–576.

Received September 17, 2020; Revised November 30, 2020; Accepted December 1, 2020

## 초저출산율에 따른 시도별 출산율 변동을 반영한 예측 연구

오진호<sup>1,a</sup>

<sup>a</sup>한밭대학교 공과대학 수리과학과

---

### 요 약

본 논문은 전국과 시도별 출산율의 관계를 규명하는 세 가지 통계적 모형을 비교한다. 세 모형은 10년간 평균 연령별 누적출산율의 Gompit변환 자료를 대입한 회귀모형, 연령별 출산율 자료 변환 없이 원자료를 적용한 회귀모형, 그리고 확률과정 관점에서 불안정한 연령별 출산율 시계열을 적합할 경우 고려할 수 있는 공적분 모형이다. 본 논문은 전국과 지역간 비정상성 출산율의 관계를 도출하고자 할 때 다음을 제안한다. 전국과 지역 출산율의 공적분 관계식을 선행적으로 도출한다. 더 나아가 이 관계가 유의하지 않으면 변환 없는 원자료를 활용한 회귀모형 접근으로 전국과 시도별 출산율 관계를 살펴보는 것을 제안한다. 또한 Gompit 변환 자료를 대입한 회귀모형 방법은 출산율이 다른 방식과 비교해 과대추정되는 결과가 도출되었다. 끝으로 서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 경기도는 2025~2030년까지 타 지역과 다르게 합계출산율이 1.0명 이하로 예측되므로 시급하고 효율성 있는 출산율 제고정책이 필요하다고 판단된다.

주요용어: 시도별 출산율, Gompit 변환, 회귀모형, 공적분 모형

---