

코로나19 확산이 거시경제에 미치는 영향 분석: SIR 기반의 거시역학 모형을 중심으로[†]

최봉석*·박호정**

요약 : 본 연구는 코로나19 확산에 대응한 최적 방역정책이 국내 거시경제에 미치는 동태적 효과를 분석하였다. 백신, 치료제, 사회적 거리두기의 다양한 조치가 취해지는 상황에서 감염병 예방노력의 도덕적 부주의를 결합한 거시역학 모형을 제시하였다. Eichenbaum, Rebelo and Trabandt(2020)의 거시역학 모형에 도덕적 부주의 상황을 추가하였으며, 확산모형을 이용하여 국내의 코로나19 감염율을 추정하였다. 사회적 후생을 극대화하는 램지 문제의 동태적 분석결과, 과는 사람들의 일상 중 생활속 거리두기 준수가 정부의 방역정책과 치료제, 백신 도입이 효과를 발휘하는 데 매우 중요한 역할을 한다는 점을 시사한다. 도덕적 부주의가 있는 경우의 최적 방역정책은 2배 더 강화되어야 하며, 총소비는 7% 하락하고, 회복하는 데 저점부터 12주가 소요된다. 백신과 치료제 개발에 성공하는 데 평균 13주 소요되는 경우에 총소비는 2% 하락하는 것으로 도출되었다.

주제어 : 생활속 거리두기, 방역정책, 역학, 백신, COVID-19, SIR-거시모형

JEL 분류 : E1, I1, H0

접수일(2021년 3월 4일), 수정일(2021년 3월 16일), 게재확정일(2021년 3월 17일)

[†]본 연구는 고려대학교 특별연구비에 의하여 수행되었습니다.

* 국민대학교 국제통상학과 조교수, 제1저자(email: bchoi4@kookmin.ac.kr)

** 고려대학교 식품자원경제학과 교수, 교신저자(email: hjeongpark@korea.ac.kr)

The Effects of COVID-19 Diffusion in the Korean Economy: Using SIR-based Macro-Epidemiological Model

Bongseok Choi* and Hojeong Park**

ABSTRACT : We extend and modify the canonical epidemiology model of Eichenbaum, Rebelo and Trabandt (2020) to investigate the general equilibrium effects of COVID-19 spread in the Korean economy when vaccine, treatment and social distancing are available. Particularly, we develop a SIR-macro model which considers possibility of moral inattention of the overconfident agents through which people is more likely to be infected. Our model implies that people's decision to cut back on consumption and work reduces the severity of the epidemic and thus exacerbate the size of the economic recession caused by the epidemic. Another finding is that the average 13 weeks to develop the vaccine and treatment will lead to 2% drop of consumption.

Keywords : Containment, COVID-19, epidemic, immunity, quarantine, testing

Received: March 4, 2021. Revised: March 16, 2021. Accepted: March 17, 2021.

* Bongseok Choi, Assistant Professor, Department of Commerce and Finance, Kookmin University, First author (bchoi4@kookmin.ac.kr)

** Hojeong Park, Professor, Department of Food and Resource Economics, Korea University, Corresponding author(hjeongpark@korea.ac.kr)

I. 서론

2020년 2월 코로나19라는 새로운 감염병이 불러온 위기는 세계 경제침체라는 예상치 못한 충격을 가져왔다. 과거 동아시아 금융위기, 세계 금융위기, 유럽 재정위기가 과도한 부채와 금융기관 부실에 의해 발생한 반면에 이번 위기는 감염병 확산이라는 경제 외 충격으로 발생한 이례적 사건이다. 국제통화기금(IMF)의 2020년 10월 전망기준으로 세계 경제 성장률은 -4.4%까지 하락하였으며 특히 선진국의 성장률 하락 폭은 더욱 크게 나타났다. 국가별 방역정책 이행 상황에 따라 경기 하강 폭은 다르나 전반적으로 가계와 기업 등 경제주체들의 소비와 생산 활동을 크게 위축되었으며 미래 투자 불확실성은 증대되었다. 우선 가계는 경제 및 소비 활동 제약으로 소득이 감소하며 소비도 감소하였다. 불확실성에 대비한 가계의 예비적 저축 유인은 증대될 수 있으나 총소득 감소로 가계 부채는 늘어나고 소득 불균형은 악화되었다. 기업 역시 감염 우려, 자가격리 등으로 인한 생산 차질을 겪으면서 노동의존도는 줄이고 생산라인의 자동화를 확대하는 추세이다. 결국, 코로나19 경제위기 대응 과정에서 정부의 방역 정책 및 사회안전망 역할이 매우 중요하게 부각되었다.

본 연구는 Eichenbaum, Rebelo and Trabandt(2020, 이하 ERT)의 거시-역학(SIR-macro) 모형을 확장하여 코로나19 확산에 대응한 최적 방역정책이 국내 거시경제에 미치는 동태적 효과를 분석하였다. ERT(2020) 모형은 Kermack and McKendrick (1927)의 고전 역학(SIR; Susceptible-Infected-Recovered) 모형을 거시경제 일반균형 모형으로 확장한 버전으로 모형 내의 감염병 유행에 따른 경제 충격은 총수요 측의 수요 위축과 총공급 측의 노동공급 감소로 영향을 경기 위축을 야기한다. 본 연구가 ERT(2020) 연구와는 차별되게 기여하는 바는 다음과 같다. 우선, 모형에 감염 가능 그룹의 일상 중 감염 노출 정도가 개별 건강상태에 따라 달라지는 도덕적 부주의 상황을 반영하였다. 즉, 감염 가능 그룹에 속한 건강상태가 양호한 자는 감염상황에 노출되더라도 코로나19에 걸릴 확률이 작다고 믿으므로 일상적 상황에서 더 부주의할 수 있는 현실적 상황을 반영하였다. 또한 본 연구는 코로나19 발생 초기 상황에서 상당히 가상적 수치에 의존하였던 ERT(2020)와는 달리 한국의 코로나19 확진자 수를 바탕으로 한 보다 실증적인 시뮬레이션을 수행하였다는 점에서 기여도가 있다고 판단된다. 본 논문은 한국 내 코로나19 감염 가능 그

롭의 이러한 도덕적 부주의 상황을 반영한 가운데 사회적 후생을 극대화하는 동태적 램지 문제의 해를 도출하였다.

램지 문제의 동태적 분석결과는 사람들의 일상 중 사회적 거리두기 준수가 정부의 방역정책과 치료제, 백신 도입이 효과를 발휘하는 데 매우 중요한 역할을 한다는 점을 시사한다. 도덕적 부주의가 있는 경우의 최적 방역정책은 2배 더 강화되어야 하며, 총소비는 7% 하락하고, 회복하는 데 저점부터 12주가 소요된다. 백신과 치료제 개발에 성공하는 데 평균 13주 소요되는 경우에 총소비는 2% 하락하는 것으로 도출되었다.

코로나19가 확산되는 2020년 한 해 동안 수많은 연구들이 역학 모형 주제를 다루었다. Atkeson(2020)은 기본 SIR 모형 이론이 코로나19 확산의 경제 분석에 시사하는 바를 논의하였다. Alvarez, Argente and Leppi(2020)은 사망률이 감염률에 비례하는 가정 아래 고전 SIR 모형을 확장하여 최적 격리(lock-down) 정책 효과를 분석하였다. Jones, Philippon and Venkateswaran(2020)은 경제주체가 동태적으로 상호작용하며 경제활동을 하는 환경에서 최적 이주(migration) 정책 분석을 시도하였으며 ERT(2020)는 경제주체가 쇼핑, 근로, 일상 중에 대면 접촉하며 감염되는 상황이 설정되도록 고전 SIR 모형을 확장한 후 최적 램지 문제를 풀었다. Kozlowski, Veldkamp and Venkateswaran(2020)은 코로나19 확산에 따른 극단적 사건 빈도를 비모수적 접근법을 이용하여 경제주체가 재난 상황을 겪고 학습하는 과정에 의해 경제충격이 장기 지속되는 과정을 분석하였다. 본 연구는 ERT(2020)을 더 확장하여 감염 가능한 그룹의 도덕적 부주의 상황을 고려한 후 한국 사례를 적용하여 최적 램지문제를 분석한다. 한국의 코로나19 확산 상황을 살펴본 최근 연구로는 Park and Kim(2020)이 있는데, 백신의 사회적 비용과 편익을 고려하여 집단면역을 달성할 수 있는 수준의 최적 백신규모를 분석하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 모형을 소개하고 제3장에서는 캘리브레이션과 모형 시뮬레이션 결과를 논의한다. 제4장에서는 결론 및 정책적 함의를 기술하였다.

II. 모형 경제

본 장에서는 ERT(2020)의 고전 역학모형(Kermack and McKendrick, 1927)을 거시경제 모형으로 확장한 SIR-Macro 모형을 소개한다.

1. SIR-Macro 기본 모형

전염병이 유행하기 이전의 경제는 다음과 같다. 모형경제는 다수의 동일한 대표 가계 또는 경제주체들로 이루어져 있으며 이들은 사전적으로 무한기간을 산다고 가정한다. 코로나19 확산에 앞서 대표 가계는 다음과 같은 목적함수를 극대화한다.

$$U = \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t u(c_t, n_t) \quad (2.1)$$

여기서 $\beta \in (0, 1)$ 는 할인인자이며, c_t 와 n_t 는 각각 소비와 노동시간이다. 계산의 편의상 대표 가계의 효용함수는 다음과 같이 가정한다.

$$u(c_t, n_t) = \ln c_t - \frac{\theta}{2} n_t^2$$

대표 가계의 예산제약식은 다음과 같다.

$$(1 + \mu_t)c_t = w_t n_t + \Gamma_t \quad (2.2)$$

여기서 w_t 는 실질임금, μ_t 는 소비세율, Γ_t 는 정부의 일괄이전지출(lump-sum transfers)을 의미한다. μ_t 는 정부의 방역정책의 대리변수로도 해석할 수 있는데, 사람들의 쇼핑 중의 사회적 거리두기를 강화하여 감염을 차단하는 정책의 정도로 볼 수 있다. 대표 가계의 일계 조건은 $(1 + \mu_t)\theta n_t = c_t^{-1} w_t$ 이고 연속적인 대표 가계의 합은 1로 정규화할 수 있다.

모형 경제의 생산기술은 총 생산량 Y_t 이 총 노동시간 N_t 에 선형형태로 표현되는 $Y_t = AN_t$ 라 가정하면, 균형조건인 $n_t = N_t$ 와 $c_t = C_t$ 가 성립하고 총 소비 $C_t = AN_t$ 이다. 정부의 예산제약식은 $\mu_t c_t = \Gamma_t$ 이다.

2. 동태적 SIR 과정

Kermack and McKendrick(1927)의 고전 역학모형은 구획모형(compartment model)이다. ERT(2020)는 코로나19의 확산경로를 쇼핑 중, 근로시간 중, 그 외 일상 중으로 구분하고 사람들이 세 가지 경로 중에 내리는 의사결정이 감염률에 영향을 미친다고 가정한다. 코로나19 유행이 확산되면 총 인구는 감염가능한 그룹(susceptible; S), 감염된 그룹(infected; I), 회복된 그룹(recovered; R), 사망한 그룹(deceased; D) 4가지 그룹으로 나뉜다. 그룹 S에서 새로 감염되어 그룹 I로 이동하는 그룹은 T(transferred)라고 지칭한다. 그룹 S에 속한 사람들은 세 가지 경로에 의해 감염되는데, 우선 쇼핑과 근로시간 중 감염률은 해당 시간 중 감염자와 대면 접촉률에 비례한다. 따라서 쇼핑 중에 새로 감염되는 수는 $\pi_1(S_t C_t^S)(I_t C_t^I)$, 근로시간 중에 새로 감염되는 수는 $\pi_2(S_t N_t^S)(I_t N_t^I)$ 로 표현된다. $(S_t C_t^S)$, $(I_t C_t^I)$, $(S_t N_t^S)$, $(I_t N_t^I)$ 는 그룹 S나 그룹 I에 속한 사람들의 쇼핑시간 또는 근로시간을 의미하므로 각 상호작용항은 두 그룹의 사람들의 대면 접촉률을 나타낸다. 그 외의 일상적 상황의 새 감염자 수는 $\pi_3(S_t I_t)$ 로 표현된다.¹⁾ π_1, π_2, π_3 는 각 상황에 1인 대면접촉 시의 감염률을 의미한다. 종합하여 새로 유입되는 총 감염자 수는 다음과 같이 정의된다.

$$T_t = \pi_1(S_t C_t^S)(I_t C_t^I) + \pi_2(S_t N_t^S)(I_t N_t^I) + \pi_3(S_t I_t) \quad (2.3)$$

Kermack and McKendrick(1927)의 고전역학 모형은 π_1 과 π_2 가 0이고 일상 중 감염되는 특별한 경우에 해당한다. SIR 모형의 동태적 과정은 다음 식으로 표현된다.

$$S_{t+1} = S_t - T_t \quad (2.4)$$

$$I_{t+1} = I_t + T_t - (\pi_r + \pi_d)I_t \quad (2.5)$$

1) 일상 시의 감염의 예로 도서관과 같은 공공시설이나 종교시설, 병원시설에서 전이되는 사례를 들 수 있다. 쇼핑이나 근로시간과 달리 정부의 방역지침 이행 감독과 법정 제재가 쉽지 않으므로 일상 중에 발생하는 감염률은 다른 상황의 감염률보다 크다.

$$R_{t+1} = R_t + \pi_r I_t \quad (2.6)$$

$$D_{t+1} = D_t + \pi_d I_t \quad (2.7)$$

$$\text{총인구수}_{t+1} = \text{총인구수}_t - \pi_d I_t \quad (2.8)$$

여기서, π_r 과 π_d 은 각각 치료율과 사망률을 의미하며, 처음 0기의 총인구수는 1로 가정한다. 감염된 자들 중 치료된 자들은 항체가 생겨서 재감염되지 않는다고 가정하고 감염 가능한 그룹에서 제외된다. 사망한 자들은 총인구수에서 제외된다.

3. 경쟁균형

경쟁균형의 해를 얻기 위해 우선 그룹 $j = \{s, i, r\}$ 별 가계주체의 효용극대화 문제의 해를 도출한다. 논의에 앞서 각 그룹별 가계주체의 예산제약식은 (2.2')와 같이 재정의 한다.

$$(1 + \mu_t) c_t^j = w_t \phi^j n_t^j + \Gamma_t \quad (2.2')$$

그룹별 생산성 차이를 반영하기 위해 감염 가능한 그룹과 치료된 그룹의 생산성은 $\phi^s = \phi^r = 1$ 로 가정하는 반면 감염된 그룹의 생산성은 $\phi^i < 1$ 로 가정하여 코로나19에 의한 노동자의 생산성 저하를 설정한다. 이제 각 그룹별 경제주체의 효용극대화 문제의 해를 도출한다.

1) 감염 가능 그룹(\mathcal{S})

t기의 감염률 τ_t 의 제약(2.10)과 예산제약(2.2')가 주어진 아래 감염 가능 그룹 \mathcal{S} 에 속한 가계는 자신의 평생 효용함수(2.9)를 극대화한다.

$$U_t^s = u(c_t^s, n_t^s) + \beta[(1 - \tau_t) U_{t+1}^s + \tau_t U_{t+1}^i] \quad (2.9)$$

$$\tau_t = \pi_1 (c_t^s)(I_t C_t^I) + \pi_2 (n_t^s)(I_t N_t^I) + \pi_3 (I_t) \quad (2.10)$$

c_t^s, n_t^s, τ_t 에 관한 일계 조건은 아래와 같이 도출된다. λ_{bt}^s 와 $\lambda_{\tau t}$ 는 예산제약식과 전이율 제약의 라그랑지 승수에 해당한다.

$$u_1(c_t^s, n_t^s) - (1 + \mu_t)\lambda_{bt}^s + \lambda_{\tau t}\pi_1(I_t C_t^f) = 0$$

$$u_2(c_t^s, n_t^s) + w_t\lambda_{bt}^s + \lambda_{\tau t}\pi_2(I_t N_t^f) = 0$$

$$\beta(U_{t+1}^i - U_{t+1}^s) - \lambda_{\tau t} = 0$$

2) 감염 그룹(I)

t 기의 예산제약(2.2')가 주어진 아래 감염 그룹 I 에 속한 가계는 자신의 평생 효용함수 (2.11)을 극대화한다.

$$U_t^i = u(c_t^i, n_t^i) + \beta[(1 - \pi_r - \pi_d)U_{t+1}^i + \pi_r U_{t+1}^r] \quad (2.11)$$

c_t^s, n_t^s, τ_t 에 관한 일계 조건은 아래와 같이 도출된다. λ_{bt}^i 는 예산제약식의 라그랑지 승수에 해당한다.

$$u_1(c_t^i, n_t^i) = (1 + \mu_t)\lambda_{bt}^i$$

$$u_2(c_t^i, n_t^i) = -\phi^i w_t \lambda_{bt}^s$$

3) 치료된 그룹(R)

t 기의 예산제약(2.2')가 주어진 아래 치료된 그룹 R 에 속한 가계는 자신의 평생 효용함수 (2.12)를 극대화한다.

$$U_t^r = u(c_t^r, n_t^r) + \beta U_{t+1}^r \quad (2.12)$$

c_t^s, n_t^s, τ_t 에 관한 일계 조건은 아래와 같이 도출된다. λ_{bt}^r 는 예산제약식의 라그랑지 승수에 해당한다.

$$u_1(c_t^r, n_t^r) = (1 + \mu_t)\lambda_{bt}^r$$

$$u_2(c_t^r, n_t^r) = -w_t\lambda_{bt}^r$$

4) 경쟁균형

정부의 예산제약식은 (2.13)과 같다. 그룹별 세수를 일괄이전지출로 돌려주므로 조세 정책에 따른 소득효과는 발생하지 않는다.

$$\mu_t(S_t c_t^s + I_t c_t^i + R_t c_t^r) = \Gamma_t(S_t + I_t + R_t) \quad (2.13)$$

경쟁균형에서 각 그룹의 대표 가계는 자신의 효용을 극대화하고 정부의 예산제약이 성립하며, 재화시장과 노동시장은 (2.14)와 (2.15)와 같이 균형을 이룬다.

$$S_t C_t^s + I_t C_t^i + R_t C_t^r = AN_t \quad (2.14)$$

$$S_t N_t^s + I_t N_t^i \phi^i + R_t N_t^r = N_t \quad (2.15)$$

4. 도덕적 부주의와 백신을 고려한 확장모형

1) 일상 중에 도덕적 부주의 상황

감염 가능 그룹에 속한 경제 주체 중에 건강상태가 양호한 자는 감염상황에 노출되더라도 코로나19에 걸릴 확률이 작으므로 일상적 상황에서 더 부주의할 수 있다. 결과적으로 감염 가능 그룹에서 건강상태가 양호한 자들이 더 쉽게 감염될수록 감염 가능 그룹에서 감염 그룹으로 이동하는 건강상태의 임계치도 상승하며 감염률을 증가한다. 감염 가능한 자의 건강상태를 x_t 로 정의하고 매기 x_t 는 로그-정규분포 (2.16)을 따른다고 가정한다.

$$\ln x_t^j \sim N(0, \sigma_x^2) \quad (2.16)$$

도덕적 부주의 상황 하에서 감염 가능한 자가 감염되는 확률을 $\gamma_t = \Pr(x_t \leq \tilde{x}_t) = F(\tilde{x}_t)$ 로 정의하면 매기 자신의 건강상태 x_t 가 특정임계치 \tilde{x}_t 보다 작으면 감염되는 경우를 설정할 수 있다. 이 경제주체의 효용함수는 (2.17)과 같다.²⁾

$$U_t^{s'} = u(c_t^s, n_t^s) + \beta[(1 - \gamma_t)U_{t+1}^s + \gamma_t U_{t+1}^i] \quad (2.17)$$

매기 감염 가능한 자가 도덕적 해이할 때 얻는 효용이 본래의 효용보다 크면 ($U_t^s < U_t^{s'}$) 일상 감염에 더 노출된다. 임계치 \tilde{x}_t 는 매기 τ_t 와 γ_t 가 동일시되는 정도에서 정해진다. 결과적으로 일상 속에서 대면 접촉을 통한 감염률 π_3 는 상수가 아니라 γ_t 이며, t기의 평균 감염률 제약 (2.13)은 다음과 같이 수정된다.

$$\tau_t = \pi_1 (c_t^S)(I_t C_t^I) + \pi_2 (n_t^S)(I_t N_t^I) + \gamma_t (I_t) \quad (2.18)$$

이 식에는 감염 가능한 자가 자신의 세 가지 경로의 평균 감염률을 근거로 도덕적 부주의 결정을 내린다는 상황이 고려된다. 정부는 개개인의 건강상태를 알 수 없으므로 어떤 자가 감염에 더 쉽게 노출되는가를 파악하는 데 한계가 있다.³⁾ 따라서 최적의 방역 정책을 수립하기 위해 정부는 이러한 도덕적 부주의 상황도 고려하여 예상 감염률을 예측해야 한다는 시사점을 제시한다.

2) 치료제와 백신 개발 상황

코로나19 확산이 경제에 미치는 영향은 완전한 백신과 치료제의 개발이 성공하는 기 대울에 영향을 받는다. 매기 실제 감염된 자가 보건 당국에 의해 적절한 시기에 파악될 확률을 δ_c 라고 가정한다. 일단 감염 여부가 확인되어 적절한 치료가 이루어지면 다음 기

2) 계산 편의를 위해 감독기관에 의해 도덕적 해이 상황이 걸려서 부과되는 벌금은 0이라고 가정한다. 현실에서도 쇼 핑과 근로 외의 일상에서 감독기관이 개개인을 감독하고 지침을 불이행 시 법정 제재를 가하는 것은 매우 어렵다.

3) 현실에서 아동, 65세 이상의 노령인구, 기저질환이 있는 환자들을 고위험군으로 분류하는 사례도 있다.

에 치료된 그룹 R 로 이동할 수 있다. 편의상 δ_c 를 완전한 치료제 개발에 성공한 확률로 정의한다면 그 역수는 완전한 치료제가 개발되는 데까지 걸리는 시간을 의미한다. 감염 그룹의 경제 주체의 효용함수는 (2.19)와 같다.

$$U_t^i = u(c_t^i, n_t^i) + (1 - \delta_c)[(1 - \pi_r - \pi_d)\beta U_{t+1}^i + \pi_r \beta U_{t+1}^r] + \beta \delta_c U_{t+1}^r \quad (2.19)$$

치료제 개발 성공의 경우와 마찬가지로 매기 감염 가능한 자가 백신을 맞는다면 감염에서 예방되어 다음 기에 바로 치료된 그룹 R 로 이동할 수 있다. δ_v 를 완전한 감염 백신 개발에 성공한 확률로 정의한다면 그 역수는 완전한 백신이 개발되는 데까지 걸리는 시간을 의미한다. 감염 가능 그룹의 경제 주체의 효용함수는 (2.20)과 같다.

$$U_t^s = u(c_t^s, n_t^s) + (1 - \delta_v)[(1 - \tau_t)\beta U_{t+1}^s + \tau_t \beta U_{t+1}^i] + \delta_v \beta U_{t+1}^r \quad (2.20)$$

3) 병상 부족으로 사망률이 증가

일상 중에 도덕적 부주의의 상황이나 역학 조사 실패로 감염자 수가 급등한다면 병상부족으로 사망률이 증가할 수 있다. 이 극단적 상황을 반영하기 위해 다음과 같이 사망률이 매기 감염자수에 비례한다고 가정한다⁴⁾.

$$\pi_{dt} = \pi_d + \kappa I_t^2, \kappa > 0 \quad (2.21)$$

5. 간단한 램지 문제

경쟁균형에서 개별 주체는 감염이나 도덕적 해이에 발생하는 외부효과를 내재화하지 않으므로 그 해는 파레토 최적(Pareto optimal)이 아니다. 본 고에서는 외부성을 고려하는 간단한 램지(Ramsey) 문제를 고려한다. 첫 기 $R_0 = D_0 = 0$ 라고 가정하고 사회적 후생(social welfare)은 $U_0 = S_0 U_0^s + I_0 U_0^i$ 가 된다. 이 사회적 후생을 극대화하는 방역정

4) ERT(2020)는 κ 값을 0.9로 설정하여 감염자 1% 중 사망률이 κ 값이 0일 때보다 두배 높은 경우를 분석하였다. 본 논문에서도 유사한 상황을 설정하여 분석한다.

책 수준 $\{\mu_t\}_{t=0}^T$ 을 계산한다. 도출된 방역정책 수준 아래 경쟁균형의 해와 새로운 사회적 후생을 계산한다. 이러한 과정을 최적의 해를 도출할 때까지 시뮬레이션을 반복하여 시행한다.

III. 모형 시뮬레이션

1. 모수 설정

본 절에서는 모형에서 사용된 모수 값을 설정하는 문제를 다룬다. 모형의 모수 값은 대체로 ERT(2020)을 따라 설정하되, 국가 경제와 코로나19 확산 상황을 나타내는 모수는 국내 자료를 기초하여 설정한다.

매 기간의 단위는 한 주(week)이므로 할인율 β 는 $0.96^{1/52}$ 로 정하였다. 국내 주당 근로소득은 $\$32,000/52$ 로 정하고 주당 근로시간은 40시간으로 설정하였다.⁵⁾

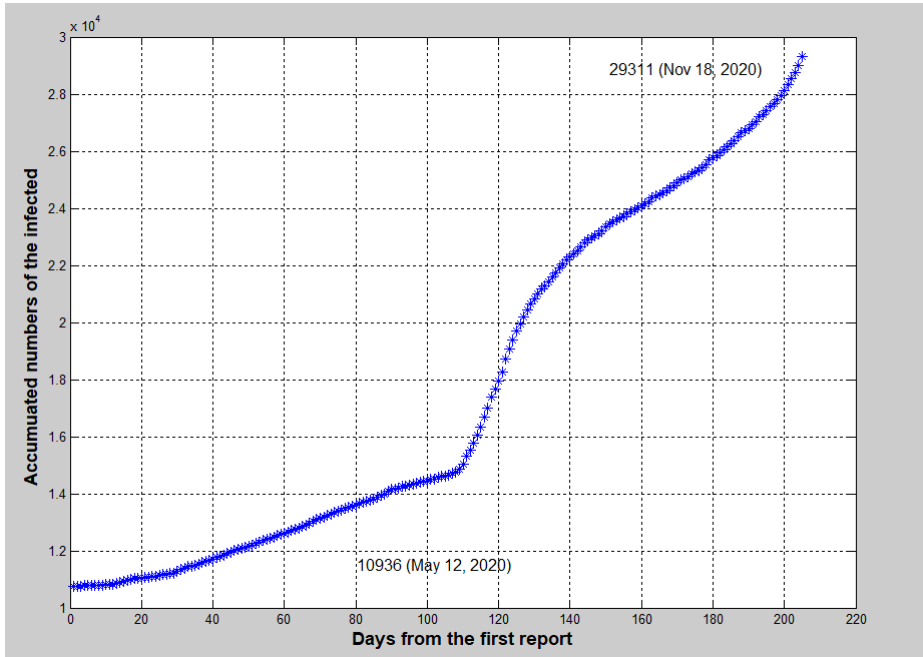
코로나19 확진자 통계는 질병관리본부의 공식 데이터를 이용하였다. 2020년 11월 18일까지의 확진자 대비 사망자 기준으로 사망률 π_d 는 1.69%인 것으로 나타났다. 감염된 이후 사망하거나 회복하는 데 평균 18일이 소요되므로(Atkeson, 2020), 1.69%의 사망률 π_d 는 0.0066을 의미한다. $\pi_d + \pi_r = 7/18$ 가 성립하므로 주당 평균 회복 또는 완치율 π_r 은 0.3823이다.

세 가지 감염 경로의 대면접촉 감염률 π_1 는 2018년 기준 미국의 1인당 소비지출 24,489달러와 한국의 16,202천 원을 비교하여 $4.48e-08$ 을 구하였으며, 직장 내 감염인 π_2 는 미국 근로시간 대비 한국 근로시간으로 평가하여 ERT(2020)의 수치를 보정하여 $1.48e-04$ 를 구하였다. 아울러 π_3 는 다음 <그림 1>에서의 한국 확진자 추세를 로지스틱 역학모형으로 추정하여 0.0394를 구할 수 있었다.

감염 그룹(I)의 노동 생산성 ϕ^i 는 ERT(2020)와 마찬가지로 0.8로 정하였다. 즉 감염자 그룹에 속한 자의 노동생산성은 다른 그룹에 속한 자의 노동생산성의 80% 수준이다. 도덕적 해이 상황을 반영하기 위해 도입한 감염 가능한 그룹의 건강상태의 분포함수 통

5) <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD?locations=KR>

〈그림 1〉 국내 코로나19 확진자 수 추세



계량은 σ_x 는 Park and Choi(2015)에서 노동자의 이질적 충격 분포 통계량으로 사용된 값 0.13을 적용한다.⁶⁾ 총 인구는 1로 정규화하며 초기 감염 충격은 총 인구 중 0.01%를 감염인구로 설정한다.

벤치마크 사례의 치료제와 백신 개발 성공률 δ_c 와 δ_v 는 둘다 0이고 시나리오 분석에서 1/52, 2/52, 3/52, 4/52로 다양한 값을 적용한다.

2. 시뮬레이션 결과

본 절에서는 다음 시나리오 상황의 정부의 최적 방역 정책 결과를 비교분석 한다. 시나리오 b는 ERT(2020)의 도덕적 부주의 상황을 고려하지 않은 최적 정책을 도출한 기본 결과에 해당하며 시나리오 s는 ERT(2020) 모형에 도덕적 해이 상황을 반영한 최적 정책

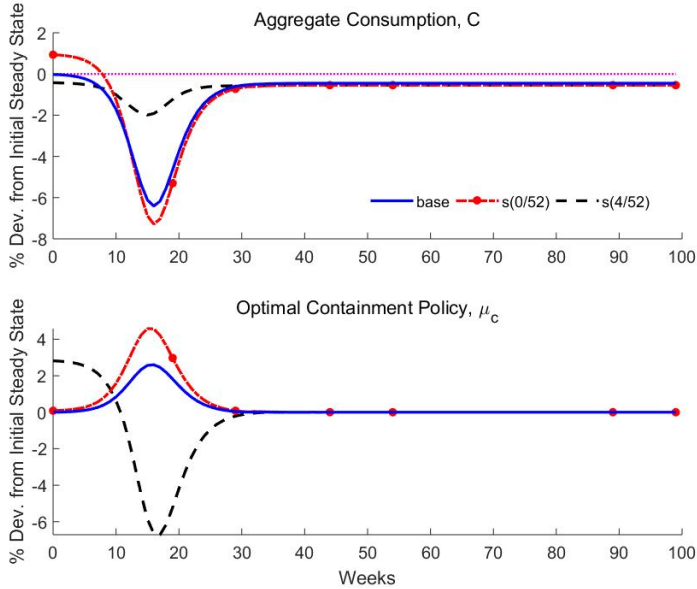
6) Park and Choi(2015)의 해당 모수 설정은 Walsh(2005)가 job separation 충격으로 고려한 정보에 근거한다.

을 도출한 결과이다. 이 시나리오 분석에서는 δ_c 와 δ_v 값에 따라 치료제와 백신 개발 성공률이 달라지는 시나리오를 고려한다. 시나리오 d는 도덕적 부주의 상황을 고려하나 일상 중 방역지침이 이행되는 데 실패하여 사망률이 2배로 증가한 상황을 설정한다. 현실에서 발생할 가능성은 매우 낮으나 일상 중 도덕적 부주의 상황이 빈번히 발생하여 치료제와 백신 접종률이 감염 확산 속도를 따라오지 못하는 경우를 상정하였다. 시나리오 들은 다음과 같이 요약된다.

- ① base: ERT(2020)의 기본 결과
- ② s(0/52): 도덕적 해이 상황을 고려
- ③ s(2/52): 도덕적 해이 상황을 고려하고 치료제와 백신 개발에 성공하는 데 26주 소요 ($\delta_c = \delta_v = 2/52$)
- ④ s(4/52): 도덕적 해이 상황을 고려하고 치료제와 백신 개발에 성공하는 데 13주 소요 ($\delta_c = \delta_v = 4/52$)
- ⑤ d: 도덕적 해이 상황을 고려하고 사망률이 2배 증가 ($\kappa = 0.9$)

<그림 2>는 시나리오 b와 s(0/52), s(4/52)의 총소비(aggregate consumption, C)와 최적 방역정책(optimal containment policy, μ_c)을 비교하여 제시한다. ERT(2010)의 기본 모형의 최적 방역 정책 경로(base)에 의해 총 소비는 정상상태(steady state)부터 6% 하락한다. 최적 방역정책 μ_c 는 정상수준보다 2.5% 크게 도출되었으며 코로나19 확산에 의한 총소비 하락을 막아낸다. 도덕적 부주의를 고려한 상황의 μ_c 는 정상수준보다 4.5% 크게 도출되었다. base 상황보다 2배 가까이 방역정책 강도를 높이거나 총소비는 7%까지 하락한다. 총소비가 회복하는 데 저점부터 12주 소요된다. 치료제와 백신 개발에 성공하기까지 13주가 소요될 것으로 예상되는 상황에서 총소비 하락 폭은 크게 감소한다. 총소비는 정상상태부터 2% 하락하는 데 그치며 정부는 백신과 치료제를 공급할 수 있는 여유가 있으므로 감염병 확산 초기에 선제적으로 강한 방역정책을 이행한다. 백신과 치료제 공급이 가능한 시점부터 방역정책은 소비를 규제가 아닌 장려하는 정책으로 전환하여 코로나19 확산으로 침체된 경기를 부양한다. 즉, 백신과 치료제의 개발이 성공하는

<그림 2> 총 소비와 최적 방역정책 비교



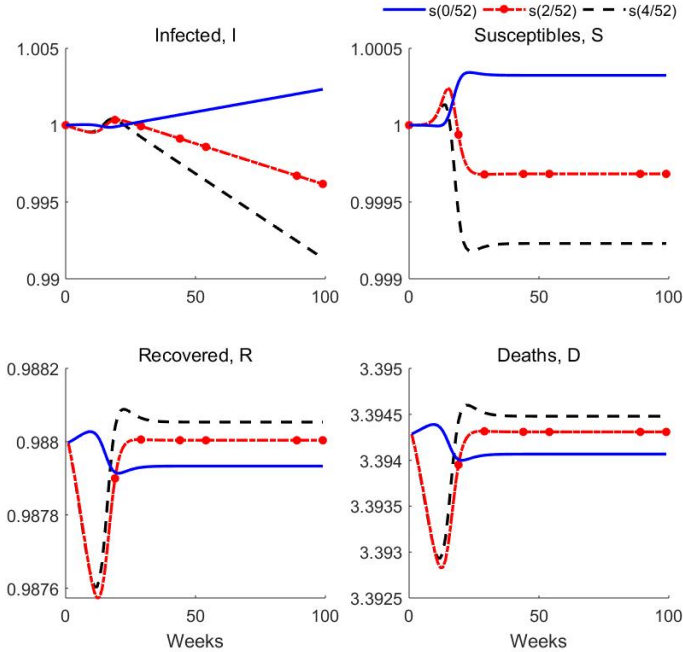
경우 초기에 방역정책을 선제 강화하고 이후 오히려 소비 촉진 정책을 추진한다.

<그림 3>은 그룹 I, S, R, D의 인구, 즉 그룹에 속한 경제주체 수의 동태적 변화를 제시한다. 변화 폭이 크지 않으므로 base 시나리오 대비 상대적 인구 비율로 표현하였다.⁷⁾ 백신과 치료제 개발의 성공률에 따라 그룹별 인구의 동태적 과정을 비교하기 위해 s(0/52), s(2/52), s(4/52)를 살펴보았다. 도덕적 해이를 고려한 s(0/52) 시나리오에서는 base 시나리오보다 방역정책은 강화하여 감염가능 인구는 더 큰 수준을 유지하나 감염인구는 더 증가한다. 완치되는 인구도 상대적으로 적은 수준을 유지하며 사망 인구수는 3.4배 가까이 늘어난다.

백신과 치료제 개발 성공률이 커지면서 감염자 수(I)도 점차 감소세를 보여준다. 백신 공급에 의해 사람들은 감염 가능 그룹(S)에서 완치 그룹(R)으로 바로 이동하므로 충격 이후 s(2/52)와 s(4/52)의 완치 그룹(R) 인구수는 s(0/52)의 해당 그룹 인구수보다 증가한다. 다시 말해서 백신과 치료제 개발 성공률이 클수록 감염자 수가 빠르게 감소하고 완치

7) 최적 정책의 해에서 인구, 노동시간 변화가 그룹 별로 크지 않으나 <그림 1>에서 알 수 있듯이 총 경제에 미치는 영향은 적지 않다. 이와 같은 모형의 특징은 ERT(2020)에서도 확인할 수 있다.

〈그림 3〉 그룹별 인구 상대 비교

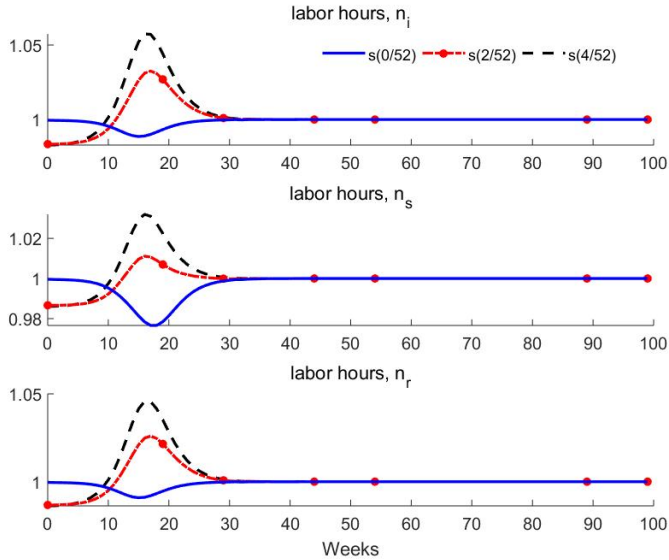


그룹의 인구수도 더 증가한다. 코로나19 확산 초기 $s(2/52)$ 와 $s(4/52)$ 의 사망자 수(D)는 줄어드나 충격 이후 오히려 늘어난 수준을 유지한다. 이러한 결과는 확산 초기에 선제적 방역정책을 강화한 이후에 소비를 촉진하며 균형 사망 인구가 소폭 증가한 것으로 해석할 수 있다. 부록〈그림 A1〉은 백신과 치료제 개발 성공률에 따른 총 소비와 최적 방역정책을 비교한다. δ_c 와 δ_v 가 커질수록 총소비 하락 폭은 증가하는 반면에 최적 방역정책의 강도는 작아지고 있다.

〈그림 4〉는 그룹별 노동시간을 base 시나리오 대비 상대 비교하여 제시한다. 도덕적 부주의 시나리오 $s(0/52)$ 의 모든 그룹의 노동공급은 base 시나리오 대비 줄어드나 백신과 치료제 개발에 성공할수록 노동공급은 점차 늘어나고 있다.

도덕적 부주의 상황을 고려하되 정책당국이 사람들의 일상 중에 방역지침 이행을 철저히 감독하는 데는 한계가 있다. 따라서 확산 초기에 감염자들의 동선에 관한 역학 조사가 제대로 이루어지지 못한 경우에는 병상 등 치료시설이 부족한 극단 상황까지 초래될

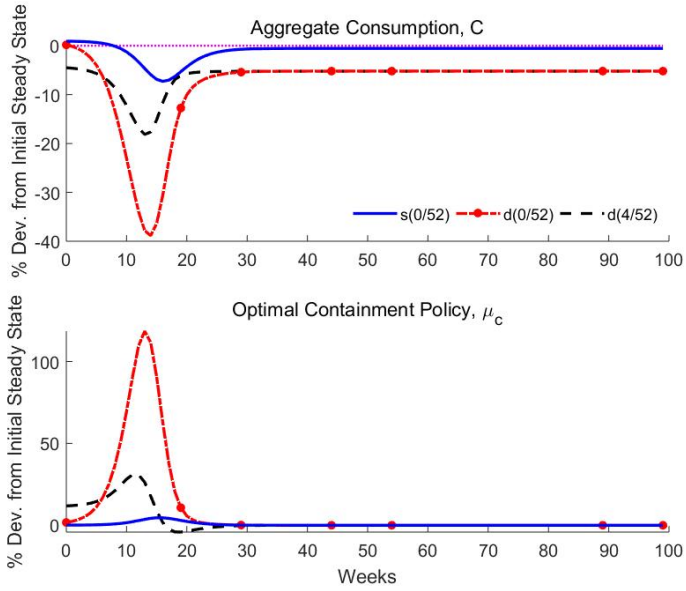
〈그림 4〉 그룹별 노동시간 상대 비교



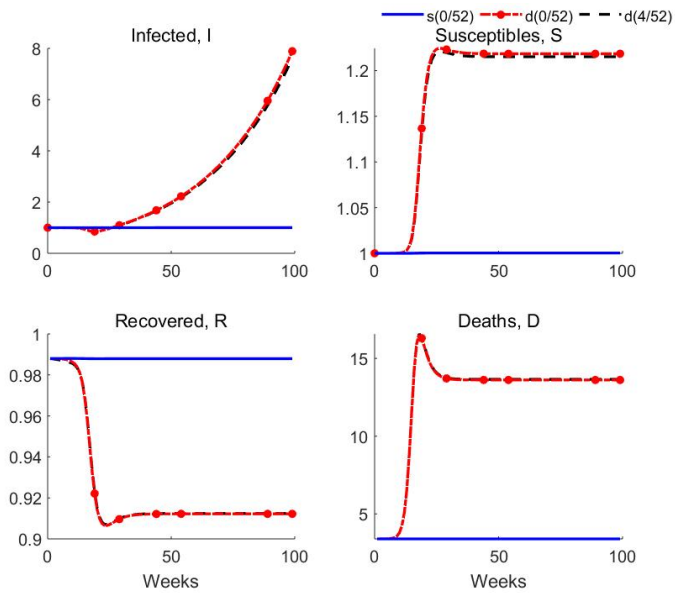
수 있다. 시나리오 d는 도덕적 부주의 상황을 고려하나 사망률이 2배로 증가한 상황 ($\kappa = 0.9$)을 상정한다. <그림 5>는 도덕적 부주의 상황의 시나리오 s(0/52)와 사망률이 2배 증가한 시나리오 d(0/52), d(4/52)의 총소비와 최적 방역정책을 비교하여 제시한다. 시나리오 d(0/52)의 방역정책 수준은 시나리오 s(0/52) 대비 30배 가까이 강화되며, 총소비는 40% 가까이 하락한 후 저점부터 회복하는 데 15주가 소요된다. 한편, 백신과 치료제 개발을 성공하는 데 평균 13주 소요되는 경우, 총소비는 18% 하락하며, 회복하는 데 저점부터 6주 소요된다. 시나리오 d에서 백신과 치료제의 개발이 성공하지 못한 경우의 방역정책 강도는 성공한 경우보다 4배 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 백신과 치료제 개발에 성공하고 정부가 사회적 후생을 극대화하는 최적의 방역정책을 제시하더라도 일상 중의 일상 속 거리두기 등 방역지침이 제대로 이행되지 않는 경우 사회적, 경제적 손실이 매우 클 수 있다는 점을 시사한다.

<그림 6>과 <그림 7>은 시나리오 d의 그룹별 상대 인구나 노동시간을 비교한다. 사망률이 2배 증가하는 상황에서 감염 인구는 늘어나고 완치된 인구는 감소하며 사망 인구가 늘어나고 있다. 이러한 추세는 백신과 치료제가 개발되더라도 거의 동일하다. 백신과

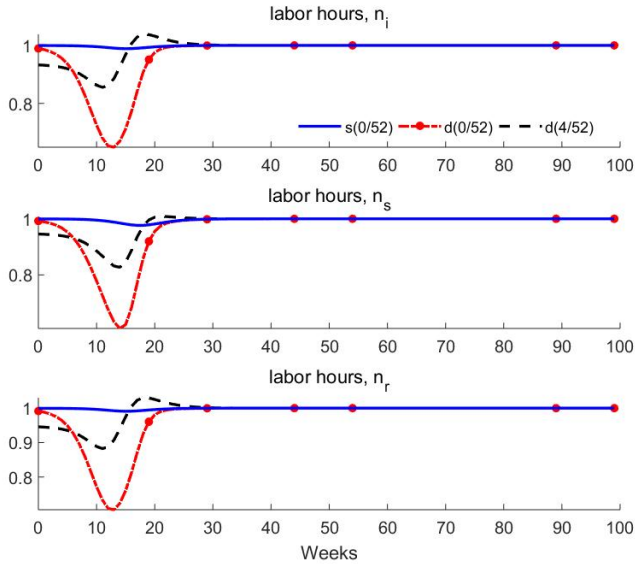
〈그림 5〉 총 소비와 최적 방역정책 비교 ($\kappa = 0.9$)



〈그림 6〉 그룹별 인구 상대 비교 ($\kappa = 0.9$)



〈그림 7〉 그룹별 노동시간 상대 비교 ($\kappa = 0.9$)



치료제가 개발되면 방역정책 강도는 낮아지고 그룹별 노동시간의 변화는 발생하나 백신과 치료제 접종 속도보다 감염 확산속도가 매우 빠르므로 감염 인구와 사망 인구를 줄이는 것이 매우 어렵다는 점을 시사한다.

IV. 결론

본 연구는 코로나19 확산에 대응한 최적 방역정책이 국내 거시경제에 미치는 동태적 효과를 분석하였다. Eichenbaum, Rebelo and Trabandt(2020)의 거시-역학 모형에 감염 가능 그룹의 일상 중 감염 노출 정도가 개별 건강상태에 따라 달라지는 도덕적 부주의 상황을 추가하여 모형을 개발하였다. 사회적 후생을 극대화하는 램지 문제의 동태적 분석 결과는 사람들의 일상 중 사회적 거리두기 준수가 정부의 방역정책과 치료제, 백신 도입이 효과를 발휘하는 데 매우 중요한 역할을 한다는 점을 시사한다. 도덕적 부주의가 있는 경우의 최적 방역정책은 2배 더 강화되어야 하며, 총소비는 7% 하락하고, 회복하는 데 저점부터 12주가 소요된다. 백신과 치료제 개발에 성공하는 데 평균 13주 소요되는 경우

에 총소비는 2% 하락하는 것으로 도출되었다.

최근 코로나19 관련 연구가 매우 빠른 속도로 진행되면서 새롭고 다양한 내용들이 발표되고 있다. Shen et al.(2021)의 경우 미국의 코로나19 확산을 분석하면서 백신접종과 함께 사회적 거리두기, 마스크 쓰기가 병행되지 않으면 백신의 효과가 급격히 감퇴될 것으로 전망하였다. 예를 들어, 사회적 거리두기가 없어지고 마스크 쓰기가 강제되지 않을 경우에는 12개월 사이에 80만에서 4백만명이 감염될 것인데, 이 경우에 백신이 도입될 지라도 감염 규모는 부분적으로만 감소할 것으로 보았다. 본 논문 역시, 백신의 도입과 함께 도덕적 부주의의 해소에 대한 정책적 노력도 각별히 기울여야 한다는 점에서 Shen et al.(2021)과 유사한 시사점을 갖는다. 코로나19 관련 연구가 아닐지라도 질병의 확산 제어에서 행위자끼리의 상호 게임적 관계가 중요하다는 것은 오래 전부터 지적되어 왔다. 대표적으로는 AIDS의 확산을 다룬 Kremer (1996)인데, AIDS 감염 리스크의 증가가 섹스 파트너의 선택 시 역선택으로 연결되는 현상이 발생할 수 있음을 증명하였다.

코로나19의 확산 과정 역시 백신 접종에 대한 거부 운동, 백신 부작용에 관한 페이크 뉴스, 보건당국의 적절한 정보공개 미달과 SNS를 통한 허위정보의 선택 등 다양한 의미에서 행위자간의 게임 관계가 형성되는바, 향후 이 분야에 대한 연구가 요구된다고 하겠다. 본 논문은 ERT(2020)의 거시모형에 도덕적 부주의를 추가하였지만 보다 엄밀한 의미의 게임적 역학관계, 그리고 사회 네트워크 등의 모형을 보강한 형태로 추후 보완되어야 할 것이다.

[References]

- Alvarez, F., D. Argente, and F. Lippi, *A Simple Planning Problem for COVID-19 Lockdown*, manuscript, University of Chicago, 2020.
- Atkeson, A., *What will be the economic impact of COVID-19 in the US? Rough estimates of disease scenarios*, NBER Working Paper No. 26867, National Bureau of Economic Research, 2020.
- Eichenbaum, M. S., S. Rebelo, and M. Trabandt, *The Macroeconomics of Epidemics*. NBER Working Paper No. 26882, National Bureau of Economic Research, 2020.

- Jones, C. J., T. Philippon, and V. Venkateswaran, *Optimal Mitigation Policies in a Pandemic: Social Distancing and Working from Home*. NBER Working Papers 26984, National Bureau of Economic Research, 2020.
- Kermack, W. O., and A. G. McKendrick, "A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics," *Proceedings of the Royal Society of London*, series A 115, No 772, 1927, pp. 700~721.
- Kozlowski, J., L. Veldkamp, and V. Venkateswaran, *Scarring Body and Mind: The Long-Term Belief-Scarring Effects of COVID-19*, the 2020 Jackson Hole Economic Policy Symposium Proceedings Working paper, 2020.
- Kremer, M., "Integrating Behavioral Choice into Epidemiological Models of AIDS," *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 111, No. 2, 1996, pp. 549~573.
- Park, H. and S. H. Kim, "A Study on Herd Immunity of COVID-19 in South Korea: Using a Stochastic Economic-Epidemiological Model," *Environmental and Resource Economics*, Vol. 76, 2020, pp. 665~670.
- Park, K. and B. Choi, "Efficiency Wage and Cyclical Asymmetry," *Journal of Economic Theory and Econometrics*, Vol. 26, No. 2, 2015, pp. 1~35.
- Shen, M., J. Zu, C. K. Fairley, J. A. Pagan, L. An, Z. Du, Y. Guo, L. Rong, Y. Xiao, G. Zhuang, Y. Li, and L. Zhang, *Projected COVID-19 Epidemic in the United States in the Context of the Effectiveness of a Potential Vaccine and Implications for Social Distancing and Face Mask Use*, Vaccine, <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2021.02.056>, 2021.
- Walsh, C. E., "Labor Markets Search, Sticky Prices, and Interest Rate Policies," *Review of Economic Dynamics*, Vol. 8, No. 4, 2005, pp. 829~849.

[부록]

<그림 A1> δ_c 와 δ_v 변화에 따른 총 소비와 최적 방역정책 비교

