



Private Effort, Public Policy and Insurance against Pandemic Health Risks

김 경 선(보험연구원 연구위원)

2022.3.31.



목 차

I. 서론

II. 벤치마크 모형

III. 모형

IV. 시사점

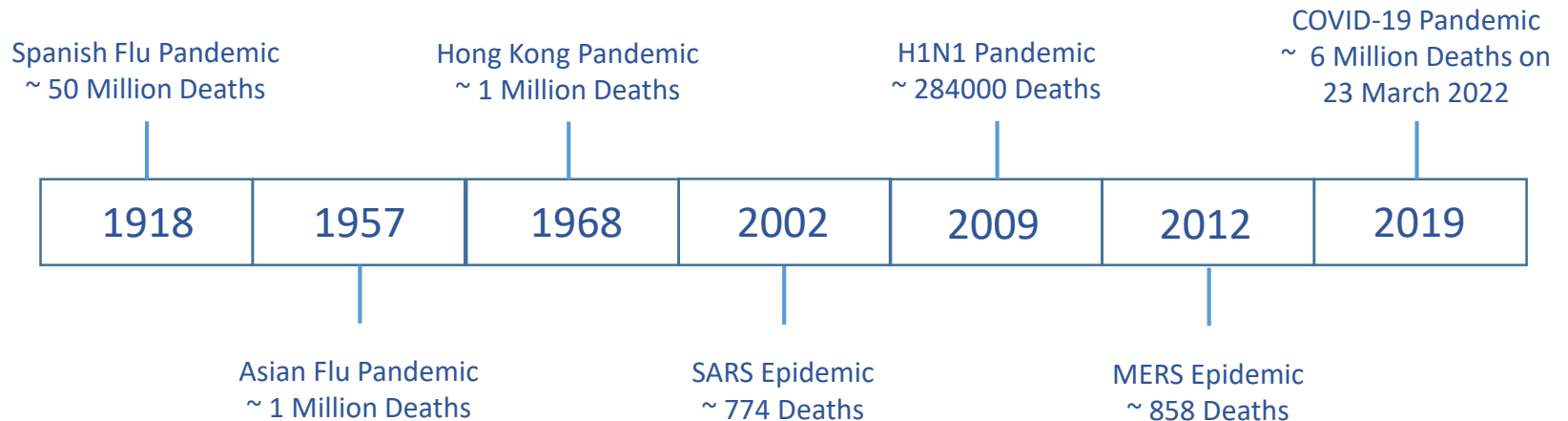




서론

Timeline of Pandemic Health Risk

- 역사적으로 인류는 엄청난 사망자를 초래한 전염병을 끊임없이 겪어왔음
- 가장 심각한 경우는 5000만 명 이상이 사망한 1918-1919년 스페인 독감이었으며, 최근에는 COVID-19으로 2년간 전세계에서 600만 명 이상이 사망하였음



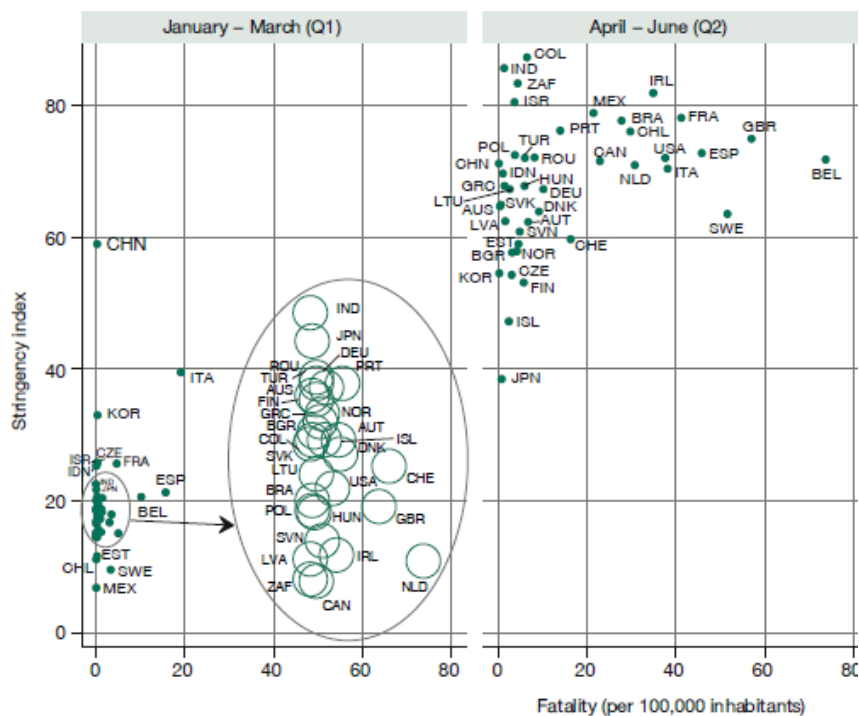
팬데믹의 발생

- 팬데믹의 발생은 바이러스의 진화보다는 인적 요소가 주요한 영향을 미침(Hui, 2006)
 - 도시화, 인구이동 → 동물-인간 또는 인간-인간 간의 바이러스 확산 ↑
 - 산림 벌채, 토지 개발 → 새로운 전염병에 대한 노출 ↑
 - 지구온난화 → 바이러스/박테리아의 숙주인 모기의 성장에 유리한 환경 조성
- 이러한 환경 변화로 인하여 미래에 또 다른 팬데믹이 일어날 가능성도 높아짐

팬데믹에 대한 대응

- 새로운 전염성 질병이 발생하면 효과적인 치료법과 백신의 개발까지 일반적으로 상당한 시간이 소요됨
- 그 전까지는 개인과 정부의 노력이 질병 확산을 막는데 필수적임
 - 코로나19의 경우 문화적 차이로 인하여 팬데믹에 대한 개인의 대응(e.g. 마스크 착용)에 상당한 차이가 있었음 (Velamoor and Persad, 2020)
 - 특히 팬데믹 초반에는 정부 정책 또한 나라별로 상당한 차이를 보였으며, 이는 나라별 감염률 차이에 영향을 미침 (Hale et al., 2020)

팬데믹에 대한 대응



Sources: Hale et al. (2020) and authors' calculations.

* Stringency index: 직장 폐쇄, 재택, 나라별 이동제한 등 '락다운' 스타일 정부 정책의 강도를 나타내며 0과 100 사이의 값을 가짐

Europe

195,496,854
confirmed

Americas

149,905,827
confirmed

South-East Asia

56,837,669
confirmed

Western Pacific

40,518,070
confirmed

Eastern Mediterranean

21,523,010
confirmed

Africa

8,534,463
confirmed

Source: World Health Organization
23 March 2022

팬데믹에 대한 대응

- **개인의 노력**: 마스크 착용, 사회적 거리두기, 손씻기
- **정부 정책**: 감염이력 검사(testing), 역학조사(tracing), 격리(quarantine), 락다운(lockdown), 치료(treatment)
- 이에 더해 **건강보험**은 감염이력 검사 및 치료에 대한 개인의 행동에 영향을 미치므로 중요함
 - 정부가 직접 치료비를 보전해 줄 수도 있으나, 초기 팬데믹 시기에는 그 결정에 대한 불확실성이 존재함
 - 건강보험 시스템이 잘 마련되어 있는 경우 불확실한 정부 정책보다는 보험이 더 효과적일 수 있음

선행연구: 정부 정책

- Salanie and Treich (2020)

- 강제적인 예방 노력(self-protection)은 감염확률을 낮춤에 따라 사회적 거리두기를 줄일 유인이 있어 양(+)과 음(-)의 외부효과를 모두 가짐

- Smeters (2020)

- 격리의 효과가 비용보다 크려면 감염이력 검사(mass testing), 치료 및 백신 접종이 제때 이루어져야 하며, 단기간에 이를 이루지 못한 경우에는 대가가 큰 격리는 중지되어야 함

- Acemoglu et al. (2020)

- 나이 그룹(young/middle/old)에 따라 차별적인 격리 정책을 펼치고 감염이력 검사를 늘리는 것이 격리의 비용과 사망률을 낮출 수 있음

- Favero et al. (2020)

- 정책의 경제적 효과(GDP loss)와 건강효과(saved lives)를 고려하였을 때, 점진적인 일터로의 복귀는 제한된 비용으로 사망률을 줄일 수 있음

선행연구: 개인의 노력

- Ehrlich and Becker (1972)

- 자가보험(self-insurance)과 시장 보험은 서로 대체관계를 가지나, 예방적 노력(self-protection)과 시장 보험은 보완관계(complements)를 가질 수 있음

- Muermann and Kunreuther (2008)

- 예방적 노력이 가지는 양(+)의 외부효과로 인해 개인은 노력에 과소투자하게 됨

- Hoffmann and Rothschild (2019)

- 예방적 노력은 양(+)의 외부효과를 가지므로 예방적 노력과 보험은 대체관계를 가질 수 있음

연구 목적

- 팬데믹 하에서 보험이 개인의 노력과 정부 정책에 미치는 효과를 종합적으로 살펴본 연구는 없었음
- 본 연구는 보험의 유·무에 따라 팬데믹에 대응하는 정부·개인의 예방노력 간의 관계를 분석하였음
 - 개인의 노력(effort): 감염 확률을 줄임
 - 정부 정책(test): 감염 확률의 감소 및 감염자의 조기치료를 통해 건강 손실을 줄여줌
 - 보험: 건강손실을 보전(치료비)하여 건강 위험을 헛지함
- 본 연구는 보험의 유·무에 따른 최적 정부 정책 및 개인의 노력 변화를 살펴보고자 하였음

연구 결과

- 균형에서 완전보험(full coverage)이 주어짐으로 인해 보험은 건강 위험을 줄이고, 따라서 후생을 증가시킴
- Effort (test) 수준이 주어진 경우, 보험은 test (effort)의 efficacy를 높일 수 있음
- 보험이 도입된 경우 최적 test 및 effort 수준은 보험 유·무에 따른 두 기제의 상대적인 효율에 따라 달라짐
- 보험이 있는 경우 test와 effort는 Edgeworth-Pareto substitute(대체관계)를 가지나, 보험이 없는 경우에는 대체/보완관계가 모두 가능함
- 기준 전염률(baseline contagion rate), 감염률(infection probability), 건강 손실의 크기 등 parameter가 변할 때 보험이 있는 경우 test 및 effort가 증가할 필요충분조건을 제시함



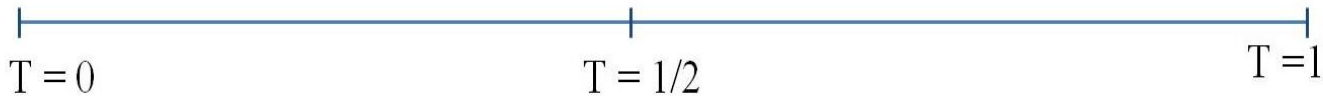
벤치마크 모형

Timeline of the Model

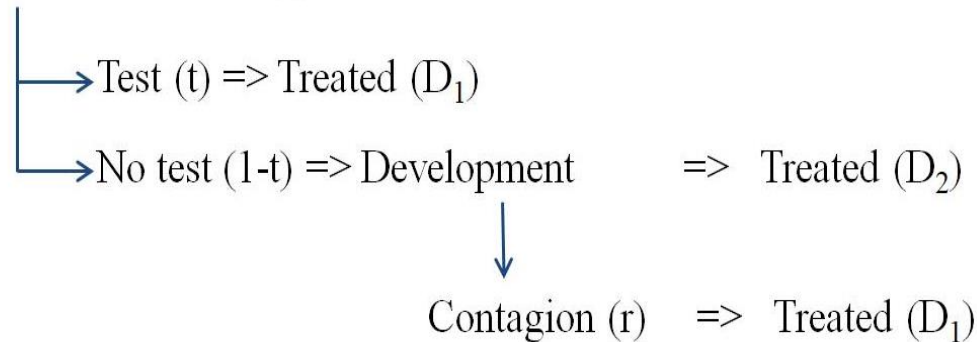
Insurance system:
public or market

Premium (Q) paid

Indemnity (I) paid



Initial infection (f)



Model Description

• Notation

- f : Infection rate
- r : contagion rate
- $D_1 < D_2$

Proportion of policyholders of Public Insurance with t	Probability	$T = 1/2$, Infected?	$T = 1$, Infected?	Health loss
Infected at $T = 1/2$ & successful test	ft	Yes	No	D_1
Infected at $T = 1/2$ & failed test	$f(1 - t)$	Yes	Yes	D_2
Not infected at $T = 1/2$, infected at $T = 1$	$(1 - f)rf(1 - t)$	No	Yes	D_1
Not infected at $T = 1/2$ & $T = 1$	$(1 - f)(1 - rf(1 - t))$	No	No	$D_0 = 0$

Model Description

• Notation

- $C(t)$: cost of test, $C'(t) > 0$, $C''(t) > 0$
 - $r = r_0 r_p(e)$ where r_0 is baseline contagion rate and $r_p(e)$ is contagion rate affected by effort e ,
 $r_p'(e) < 0$, $r_p''(e) > 0$
 - $c(e)$: cost of effort, $c'(e) > 0$, $c''(e) > 0$
 - W : initial wealth
 - $U(\cdot)$: utility function which is twice differentiable, increasing and concave in wealth
-
- test 비용은 특히 보험이 없는 경우 세금으로 부과될 수 있으며, 보험이 있는 경우에는 (분석 결과에 영향을 미치지 않으므로) 보험료에 포함되는 것으로 가정함
 - 개인의 예방적 노력과 정부의 test 정책은 전염률과 보험료에 영향을 미침

벤치마크 모형 (보험이 없는 경우)

- test 비용은 세금 T 로 부과됨
- 건강손실 D_1 은 p_1 의 확률로, D_2 는 p_2 의 확률로 발생

$$- p_1 = ft + (1 - f) \left(r_0 r_p(e) \right) f(1 - t)$$

$$- p_2 = f(1 - t)$$

- 감염되지 않을 확률: $p_0 = 1 - p_1 - p_2$

- 개인의 효용 극대화 문제:

$$\max EU_0 = p_0 U(W - T - c(e)) + p_1 U(W - T - c(e) - D_1)$$

$$+ p_2 U(W - T - c(e) - D_2)$$

$$\text{s.t. } T = C(t)$$

$$- U_0 = U(W - T - c(e))$$

$$- U_1 = U(W - T - c(e) - D_1)$$

$$- U_2 = U(W - T - c(e) - D_2)$$

Optimal Outcome without Insurance

- [Proposition 1] 1계 조건에 따라 최적 effort와 test 수준 (e^0, t^0)는 다음과 같이 결정됨

$$\begin{aligned}(p_0 U'_0 + p_1 U'_1 + p_2 U'_2) C'(t^0) &= f[U_1 - U_2 + (1 - f)r(U_0 - U_1)] \\ (p_0 U'_0 + p_1 U'_1 + p_2 U'_2) c'_e(e^0) &= -(1 - f)f(1 - t)r_0 r'_{pe}(e^0)(U_0 - U_1)\end{aligned}$$

- 최적 (e^0, t^0)는 한계비용과 한계효용이 같아지는 수준에서 선택됨

- $\frac{dt}{de} < 0$: 에지워드-파레토(Edgeworth-Pareto) 타입의 대체관계

- 한 선택변수(e)가 증가할 때 다른 선택변수(t)에 대한 한계효용이 감소함을 의미

- [Lemma 1] 다음 조건이 성립하면 test와 effort는 에지워드-파레토(Edgeworth-Pareto) 타입의 대체관계를 가짐

$$\begin{aligned}& -(1 - f)f(1 - t)r_0 r'_p(e)(-U'_0 + U'_1)C'(t) + (1 - f)fr_0 r'_p(e)(U_0 - U_1) \\ & < -(p_0 U''_0 + p_1 U''_1 + p_2 U''_2)c'_e(e)C'(t)\end{aligned}$$

- Test의 증가는 effort에 대한 한계효용을 언제나 감소시키는 것은 아님



모형

모형 (보험이 있는 경우)

- 공보험이 존재하는 경우를 가정하며, 보험료는 기대 보험금과 test 비용의 합으로 결정됨
- 정보 비대칭 문제는 없는 것으로 가정함
- 개인의 효용 극대화 문제:

$$\begin{aligned} \max EU_1 &= p_0 U(W - Q - c(e)) + p_1 U(W - Q - c(e) - D_1 + I_1) \\ &\quad + p_2 U(W - Q - c(e) - D_2 + I_2) \\ \text{s.t. } Q &= E(I) + C(t) \end{aligned}$$

where $E(I) = p_1 I_1 + p_2 I_2$, $p_1 = ft + (1 - f) \left(r_0 r_p(e) \right) f(1 - t)$, and $p_2 = f(1 - t)$

- $U_0^i = U(W - Q - c(e))$
- $U_1^i = U(W - Q - c(e) - D_1 + I_1)$
- $U_2^i = U(W - Q - c(e) - D_2 + I_2)$

보험이 있는 경우

· 1계 조건:

$$\mathcal{L}_t = p_{0t}U_0^i - p_0U_0^{i'}Q_t + p_{1t}U_1^i - p_1U_1^{i'}Q_t + p_{2t}U_2^i - p_2U_2^{i'}Q_t = 0,$$

$$\mathcal{L}_{I_1} = -p_0U_0^{i'}p_1 + p_1U_1^{i'}(1 - p_1) - p_2U_2^{i'}p_1 = 0,$$

$$\mathcal{L}_{I_2} = -p_0U_0^{i'}p_2 - p_1U_1^{i'}p_2 + p_2U_2^{i'}(1 - p_2) = 0,$$

$$\mathcal{L}_e = \{-(1 - f)f(1 - t)I_1r_0r_{pe}'(e) - c_e'(e)\}(p_0U_0^{i'} + p_1U_1^{i'} + p_2U_2^{i'}) = 0,$$

where $\frac{\partial p_j}{\partial t} = p_{jt}$, $j = 0, 1, 2$, $\frac{\partial Q}{\partial t} = Q_t$, $\frac{\partial r_p(e)}{\partial e} = r_{pe}'(e)$, and $\frac{\partial c(e)}{\partial e} = c_e'(e)$.

Optimal Outcome with Insurance

- [Proposition 2]

(1) 건강 손실은 전부 커버됨: $I_k^* = D_k$ for $k = 1, 2$.

(2) 최적 test t^* 와 effort e^* , 보험료 Q^* 는 다음과 같이 결정됨:

$$\begin{aligned} C'(t^*) &= f(D_2 - D_1) + f(1 - f)rD_1, \\ c'_e(e^*) &= -(1 - f)f(1 - t)D_1r_0r'_{pe}(e^*), \\ Q^* &= f[t^* + (1 - f)r(1 - t^*)]D_1 + f(1 - t^*)D_2 + C(t^*). \end{aligned}$$

- 건강 손실 위험이 완전히 헷지되는 전부보험이 최적임

- 최적 (e^*, t^*) 는 한계비용과 한계효용이 같아지는 수준에서 선택됨

- [Lemma 2] test와 effort는 에지워드-파레토(Edgeworth-Pareto) 타입의 대체관계를 가짐

- 보험이 없는 경우와 달리, test의 증가는 effort에 대한 한계효용을 언제나 감소시킴

보험이 있는 경우

- Test (effort)가 given인 경우, 보험 유·무에 따른 effort (test) 선택 비교:

- [Lemma 3]

(1) Given effort, test with insurance is higher than that without insurance when

$$f(D_2 - D_1) + f(1 - f)rD_1 > \frac{f[U_1 - U_2 + (1 - f)r(U_0 - U_1)]}{p_0U'_0 + p_1U'_1 + p_2U'_2}$$

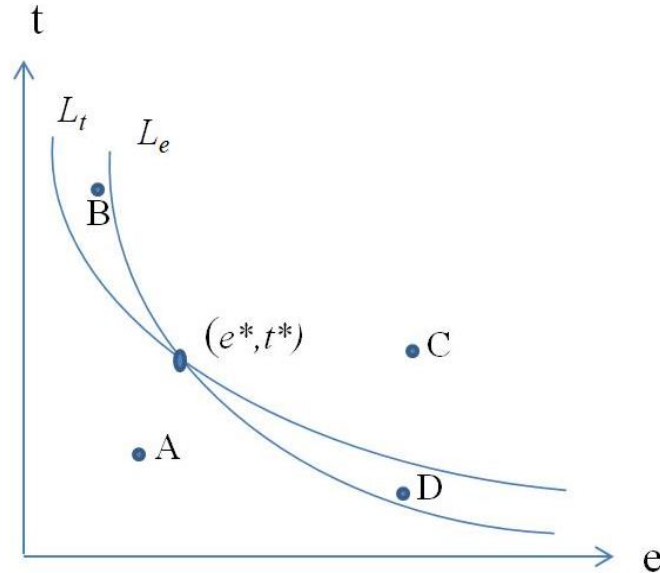
(2) Given test, effort with insurance is higher than that without insurance when

$$D_1 > \frac{U_0 - U_1}{p_0U'_0 + p_1U'_1 + p_2U'_2}$$

- 보험 유·무에 관계 없이 effort 선택을 동일하게 e^0 로 가정했을 때, Lemma 3 (1)을 만족하면 보험이 있는 경우 test의 efficiency가 더 높아지고 따라서 보험이 없는 경우보다 test를 늘림
- 마찬가지로 test 선택을 동일하게 t^0 로 가정했을 때, Lemma 3 (2)를 만족하면 보험이 있는 경우 effort의 efficiency가 더 높아지고 따라서 보험이 없는 경우보다 effort를 늘림

Optimal outcome의 비교

- 보험 없는 경우와 있는 경우 각각의 최적 (e^0, t^0) 와 (e^*, t^*) 간 비교



- Case A: 무보험인 경우 대비 보험이 있는 경우 test와 effort의 efficiency가 증가함 $\Rightarrow e \uparrow$ or $t \uparrow$
 $-\mathcal{L}_e|_{e=e^0, t=t^0} > 0, \mathcal{L}_t|_{e=e^0, t=t^0} > 0$
- Case B: 무보험인 경우 대비 보험이 있는 경우 test의 efficiency는 감소하고 effort의 경우 증가함
- Case C: 무보험인 경우 대비 보험이 있는 경우 test와 effort의 efficiency가 감소함
- Case D: 무보험인 경우 대비 보험이 있는 경우 test의 efficiency는 증가하고 effort의 경우 감소함

Optimal Outcome의 비교

- [Proposition 3]

(1) 무보험인 경우보다 보험이 있는 경우 소비자 후생이 증가함

(2) 무보험인 경우의 최적 결과 (e^0, t^0)와 비교할 때, 보험이 있는 경우의 최적 결과 (e^*, t^*)는 다음과 같음

A. Case A의 경우, e^* 와 t^* 는 무보험인 경우의 최적결과보다 동시에 작을 수 없음

B. Case B의 경우, $e^* > e^0$ 이고 $t^* < t^0$ 임

C. Case C의 경우, e^* 와 t^* 는 무보험인 경우의 최적결과보다 동시에 클 수 없음

D. Case D의 경우, $e^* < e^0$ 이고 $t^* > t^0$ 임

- 전부보험으로 인해 건강 손실 위험이 완전히 헛지되므로 소비자 후생이 증가함

- 만약 보험이 test의 efficiency를 증가(감소)시키고, effort의 efficiency를 감소(증가)시키면, 보험이 도입됨에 따라 test는 증가(감소)하고 effort는 감소(증가)함

- 만약 보험이 test와 effort의 efficiency를 모두 증가(감소)시키면, 보험이 도입됨에 따라 test와 effort가 모두 감소(증가)할 수는 없음

Numerical Example

- $U(W) = K_1 - K_2 \exp(-K_3 W)$, where $K_1, K_2, K_3 > 0$
- test 비용: $C(t) = at^2$ for $t \in [0, 1]$, where $a > 0$
- effort 비용: $c(e) = ce^2$ for $e \in [0, \infty)$, where $c > 0$
- contagion rate: $r = r_0 r_p(e) \in (0, 1)$, where $r_p(e) = \frac{1}{b+e}$ with $b > 1$, and $r_0 \in (0, b)$
- 보험이 없는 경우와 있는 경우의 최적 결과는 각각 (e^0, t^0) 와 (e^*, t^*) 으로 표기함
- 소비자 효용은 균형에서의 기대효용으로 정의함
- 무보험인 경우 소비자 효용은 CW^0 으로, 보험이 있는 경우는 CW 로 표기함
- 보험이 도입됨으로 인한 소비자 효용 증가분은 $\Delta CW (= CW - CW^0)$ 로 표기함

Numerical Example (Case A)

- $\Delta CW > 0$
- e^* 와 t^* 는 둘 중 하나 또는 둘 다 무보험인 경우의 최적결과보다 큼

Initial Value				Without Insurance		With Insurance		Change	
a	3	K_1	10	e^0	1.2379	e^*	3.8031	$e^* - e^0$	2.5652
b	1.9945	K_2	5	t^0	0.7373	t^*	0.7362	$t^* - t^0$	-0.0011
c	0.0013	K_3	0.16	CW^0	8.2744	CW	8.6076	ΔCW	0.3332
f	0.7	W	15			$L_e _{e=e^0, t=t^0}$	0.0285		
r_0	1	D_1	6			$L_r _{e=e^0, t=t^0}$	0.1658		
		D_2	12						
a	1.75	K_1	12	e^0	0.5886	e^*	3.3386	$e^* - e^0$	2.75
b	1.99	K_2	8	t^0	0.4797	t^*	0.7917	$t^* - t^0$	0.312
c	0.001	K_3	0.5	CW^0	11.8841	CW	11.9623	ΔCW	0.0782
f	0.65	W	15			$L_e _{e=e^0, t=t^0}$	0.0700		
r_0	1	D_1	4			$L_r _{e=e^0, t=t^0}$	1.2740		
		D_2	8						
a	1.31	K_1	10	e^0	0.0004	e^*	1.44e-04	$e^* - e^0$	-0.00026
b	1.9945	K_2	5	t^0	0.9995	t^*	0.9999	$t^* - t^0$	0.0004
c	0.01	K_3	0.001	CW^0	5.0294405	CW	5.0294413	ΔCW	8e-07
f	0.6536	W	8			$L_e _{e=e^0, t=t^0}$	2.56e-05		
r_0	1	D_1	1.2			$L_r _{e=e^0, t=t^0}$	0.0011		
		D_2	5						

Numerical Example (Case B)

- $\Delta CW > 0$
- $e^* > e^0$ 이고, $t^* < t^0$ 임

Initial Value				Without Insurance		With Insurance		Change	
a	2	K_1	10	e^0	3.7011	e^*	3.7450	$e^* - e^0$	0.0439
b	1.99	K_2	5	t^0	0.3198	t^*	0.3157	$t^* - t^0$	-0.0041
c	0.001	K_3	0.02	CW^0	5.2910	CW	5.2933	ΔCW	0.0023
f	0.6	W	5			$L_e _{e=e^0, t=t^0}$	0.0002		
r_0	1	D_1	1.5			$L_r _{e=e^0, t=t^0}$	-0.0161		
		D_2	3.5						

Numerical Example (Case C)

- $\Delta CW > 0$
- e^* 와 t^* 는 둘 중 하나 또는 둘 다 무보험인 경우의 최적결과보다 작음

Initial Value				Without Insurance		With Insurance		Change	
a	2	K_1	10	e^0	0.5913	e^*	2.6212	$e^* - e^0$	2.0299
b	1.9945	K_2	5	t^0	0.9974	t^*	0.6205	$t^* - t^0$	-0.3769
c	0.001	K_3	0.1999	CW^0	8.2007	CW	8.3118	ΔCW	0.1111
f	0.6536	W	8			$L_e _{e=e^0, t=t^0}$	-0.0011		
r_0	1	D_1	1.3			$L_t _{e=e^0, t=t^0}$	-1.4574		
		D_2	5						
a	1.5	K_1	10	e^0	0.6607	e^*	0.6606	$e^* - e^0$	-0.0001
b	1.55	K_2	5	t^0	0.2351	t^*	0.2305	$t^* - t^0$	-0.0046
c	0.1	K_3	0.01	CW^0	6.0356	CW	6.0369	ΔCW	0.0013
f	0.24	W	25			$L_e _{e=e^0, t=t^0}$	-0.0008		
r_0	1	D_1	4.6			$L_t _{e=e^0, t=t^0}$	-0.0138		
		D_2	5.9						
a	1.6	K_1	10	e^0	0.6569	e^*	0.1446	$e^* - e^0$	-0.5123
b	1.9	K_2	7	t^0	0.9228	t^*	0.9245	$t^* - t^0$	0.0017
c	0.01	K_3	0.2	CW^0	6.5146	CW	6.5988	ΔCW	0.0842
f	0.8	W	6			$L_e _{e=e^0, t=t^0}$	-0.0112		
r_0	1	D_1	1			$L_t _{e=e^0, t=t^0}$	-0.0103		
		D_2	4.6						

Numerical Example (Case D)

- $\Delta CW > 0$
- $e^* < e^0$ 이고 $t^* > t^0$ 임

Initial Value				Without Insurance		With Insurance		Change	
a	1.31	K_1	10	e^0	0.7723	e^*	0.0852	$e^* - e^0$	-0.6871
b	1.9945	K_2	5	t^0	0.7919	t^*	0.9729	$t^* - t^0$	0.181
c	0.01	K_3	0.25	CW^0	8.7400	CW	8.8580	ΔCW	0.118
f	0.6536	W	8			$L_e _{e=e^0, t=t^0}$	-0.0081		
r_0	1	D_1	1.2			$L_r _{e=e^0, t=t^0}$	0.4417		
		D_2	4.9						

Comparative Statics Analysis

- 파라미터 r_0, f, D_1, D_2 의 변화가 test 와 effort에 미치는 영향을 살펴봄
- [Proposition 4] (보험이 있는 경우)

(1) r_0 증가가 test를 증가시킬 필요충분조건:

$$f(1-f)D_1(1-t)r_0[r_p(e)r_p''(e) - r_p'(e)^2] + r_p(e)c_e''(e) > 0$$

r_0 증가가 effort를 증가시킬 필요충분조건:

$$(1-t)C''(t) - (1-f)fD_1r_0r_p(e) > 0$$

(2) f 의 증가가 test를 증가시킬 필요충분조건:

$$(1-f)f(1-t)D_1r_0[(D_2 - D_1)r_p''(e) + (1-2f)D_1r_0\{r_p(e)r_p''(e) - r_p'(e)^2\}] \\ + \{(D_2 - D_1) + (1-2f)rD_1\}c_e''(e) > 0$$

f 의 증가가 effort를 증가시킬 필요충분조건:

$$(1-2f)\{(1-t)C''(t) - (1-f)fD_1r_0r_p(e)\} - (1-f)f(D_2 - D_1) > 0$$

(3) D_1 이 증가하면 test는 감소하고, effort는 증가함

(4) D_2 가 증가하면 test는 증가하고, effort는 감소함

Comparative Statics Analysis

- [Proposition 4]의 결과는 r_0 와 f 의 변화가 test를 한 방향으로만 변화시키지는 않음을 보여줌

$$\bullet \text{sign} \left(\frac{dt}{dr_0} \right) = -\mathcal{L}_{ee} \left[\underbrace{\mathcal{L}_{tr_0}}_{\text{Indirect effect (-)}} - \underbrace{\mathcal{L}_{te} \frac{\mathcal{L}_{er_0}}{\mathcal{L}_{ee}}}_{\text{Direct effect (+)}} \right]$$

$$- \mathcal{L}_{tr_0} = f(1-f)D_1 r_p(e) > 0$$

$$- \mathcal{L}_{er_0} = -f(1-f)f(1-t)D_1 r'_p(e) > 0$$

$$- [\text{Lemma 2}] \text{에 따라 } \mathcal{L}_{te} < 0$$

- Direct effect 가 indirect effect 보다 우세하면, r_0 증가는 test를 증가시킴

- 이때 $r_p(e)r''_p(e) - r'_p(e)^2 > 0$ 이면, $\text{sign} \left(\frac{dt}{dr_0} \right) > 0$ 를 만족함

$$- \text{이 조건을 재배열하면, } \frac{r''_p(e)}{r'_p(e)} < \frac{r'_p(e)}{r_p(e)} \iff -\frac{\frac{dr'_p(e)}{de}}{\frac{r'_p(e)}{e}} > -\frac{\frac{dr_p(e)}{de}}{\frac{r_p(e)}{e}}$$

- 즉, effort 의 한계 생산성(marginal productivity)의 증가가 effort 의 생산성의 증가보다 빠르면, r_0 가 증가할 때 effort 의 증가를 둔화시키고, 따라서 test는 증가함

Comparative Statics Analysis

• $\text{sign}\left(\frac{de}{dr_0}\right) > 0$ 일 조건을 재배열하면,

$$\begin{aligned} (1-t)C''(t) - (1-f)fD_1r_0r_p(e) - f(D_2 - D_1) + f(D_2 - D_1) \\ = (1-t)C''(t) - C'(t) + f(D_2 - D_1) \end{aligned}$$

• 이때 $(1-t)C''(t) - C'(t) > 0$ 이면, $\text{sign}\left(\frac{de}{dr_0}\right) > 0$ 를 만족함

Policy penetration

$$\text{- 이 조건을 재배열하면, } \underbrace{\frac{\frac{dC'(t)}{C'(t)}}{\frac{dt}{t}}}_{\text{Test에 대한 } C'(t) \text{의 탄력성}} > \underbrace{\frac{t}{1-t}}_{\text{Policy penetration}}$$

Test에 대한 $C'(t)$ 의 탄력성

- Policy penetration은 tested 와 untested 간의 비율로, 정부가 얼마나 많은 사람들을 검사했는지를 나타냄
- 즉, test가 증가함에 따라 $C'(t)$ 가 penetration 보다 빠르게 증가하면, effort 는 증가함

Comparative Statics Analysis

- [Proposition 4] (2)

- $\text{sign}\left(\frac{dt}{df}\right) > 0$ 일 충분조건: $f \leq \frac{1}{2}$ and $-\frac{\frac{dr'_p(e)}{de}}{\frac{r'_p(e)}{e}} > -\frac{\frac{dr_p(e)}{de}}{\frac{r_p(e)}{e}}$

- $\text{sign}\left(\frac{de}{df}\right) > 0$ 일 충분조건: $f \leq \frac{1}{2}$ and $\frac{\frac{dC'(t)}{C'(t)}}{\frac{dt}{t}} > \frac{t}{1-t}$

- [Proposition 4] (3) $\text{sign}\left(\frac{dt}{dD_1}\right) < 0$ and $\text{sign}\left(\frac{de}{dD_1}\right) > 0$

- Effort 는 p_1 을 감소시키는 반면, test 는 p_1 을 증가시킴
 - 따라서 D_1 의 증가는 test 보다는 effort 로의 자원 배분을 야기함 ($t \downarrow, e \uparrow$)

- [Proposition 4] (4) $\text{sign}\left(\frac{dt}{dD_2}\right) > 0$ and $\text{sign}\left(\frac{de}{dD_2}\right) < 0$

- Effort 는 p_2 에 영향을 미치지 않는 반면, test 는 p_2 을 감소시킴
 - 따라서 D_2 의 증가는 test 를 증가시키고 effort 를 감소시킴 ($t \uparrow, e \downarrow$)

참고

- 샘플: 대부분의 OECD 국가를 포함하는 42개 국가
- 샘플 기간: January 2020 - March 2021
- Source: GitHub database, Oxford Stringency Index database, Google Community Mobility Reports
- *Fatality*
 - Quarterly deaths per 100,000 inhabitants
- *Stringency Index*
 - Calculated as quarter means
 - Measures the strictness of 'lockdown style' policies and takes a value between 0 and 100
- *Containment and Health Index (test proxy)*
 - Government's policies that extend the *Stringency* by using additional indicators of health system policies such as **testing policy**, the extent of **contact tracing**, and emergency investments in health care
 - Calculated as quarter means and takes a value between 0 and 100
- *Mobility (effort proxy)*
 - Calculated as quarter means of the change in visits relative to the baseline period
- *Reproduction Rate*
 - Calculated as quarter means of the effective reproduction rate of Covid-19
 - Shows how many individuals are infected by one infectious individual
 - If reproduction rate is less than 1, this implies that effective suppression of epidemic

참고

Country	Fatality	Stringency	Containment and Health	Mobility	Reproduction Rate
Austria	20.702 (26.600)	56.448 (18.681)	54.420 (25.004)	-20.526 (8.602)	1.291 (0.569)
Belgium	40.302 (36.172)	55.864 (13.514)	51.938 (19.828)	-23.788 (8.219)	1.313 (0.599)
Bulgaria	37.571 (46.532)	46.515 (9.108)	39.852 (15.959)	-9.249 (4.033)	1.134 (0.053)
Brazil	30.758 (22.196)	63.036 (18.043)	54.678 (23.316)	-6.030 (5.249)	1.373 (0.589)
Canada	12.391 (10.532)	60.936 (18.900)	54.874 (21.777)	-11.716 (5.147)	1.352 (0.676)
Chile	24.705 (15.213)	68.036 (25.993)	62.127 (29.844)	-28.784 (12.165)	1.331 (0.580)
China	0.070 (0.102)	68.704 (5.481)	66.978 (6.574)	.	1.031 (0.097)
Colombia	25.680 (19.984)	69.398 (22.025)	59.782 (25.931)	-10.868 (6.561)	1.271 (0.411)
Czech Republic	49.711 (66.552)	55.446 (16.217)	53.141 (22.790)	-12.521 (10.811)	1.274 (0.429)
Germany	18.713 (21.040)	60.717 (16.916)	54.707 (19.334)	-18.695 (9.571)	1.334 (0.662)
Denmark	8.351 (7.630)	52.892 (12.372)	46.665 (19.349)	-12.890 (6.345)	1.146 (0.252)
Spain	32.250 (19.192)	62.405 (14.365)	52.566 (19.099)	-25.368 (13.555)	1.356 (0.638)
Estonia	13.646 (21.397)	41.056 (14.117)	36.43545 (16.82907)	-8.606 (5.097)	1.157 (0.250)
Finland	3.060 (2.589)	43.591 (9.062)	39.416 (14.296)	-11.873 (5.118)	1.146 (0.227)
France	28.559 (24.705)	60.523 (13.088)	54.645 (17.595)	-20.644 (13.668)	1.348 (0.618)
United Kingdom	38.132 (34.077)	64.769 (21.603)	57.193 (23.712)	-29.895 (13.981)	1.277 (0.601)
Greece	15.082 (19.398)	62.315 (19.031)	58.930 (27.331)	-14.877 (19.926)	1.151 (0.158)
Hungary	42.426 (55.263)	56.544 (16.794)	50.245 (20.173)	-10.644 (8.513)	1.229 (0.297)
Indonesia	3.053 (2.744)	58.689 (12.908)	50.839 (18.824)	-17.036 (8.952)	1.234 (0.353)
India	2.401 (2.415)	66.847 (17.461)	62.115 (22.733)	-14.029 (12.800)	1.313 (0.450)
Ireland	19.259 (21.980)	64.478 (24.020)	57.098 (26.349)	-22.764 (11.562)	1.283 (0.570)
Iceland	1.644 (2.209)	40.510 (12.472)	45.053 (15.596)	.	1.046 (0.365)

참고

Israel	13.980 (12.951)	63.871 (14.521)	59.6412 (23.104)	-21.702 (5.025)	1.338 (0.695)
Italy	36.194 (25.717)	69.319 (10.328)	65.181 (17.859)	-26.558 (14.073)	1.263 (0.526)
Japan	1.450 (1.783)	38.382 (5.988)	37.932 (10.083)	-10.215 (5.603)	1.132 (0.174)
South Korea	0.672 (0.595)	51.675 (7.810)	52.980 (12.687)	-6.532 (1.819)	1.132 (0.228)
Lithuania	25.515 (33.698)	50.642 (18.134)	46.146 (21.927)	-10.251 (5.614)	1.165 (0.282)
Latvia	19.708 (28.833)	48.739 (12.409)	45.068 (17.862)	-9.048 (4.035)	1.118 (0.189)
Mexico	32.207 (22.793)	59.487 (26.593)	50.401 (24.787)	-22.642 (12.490)	1.247 (0.382)
Netherlands	19.193 (14.089)	57.551 (19.866)	50.36653 (21.32529)	-14.809 (4.888)	1.287 (0.554)
Norway	2.534 (1.846)	50.205 (13.665)	42.36591 (19.31997)	-10.488 (1.509)	1.221 (0.413)
Poland	27.937 (35.289)	55.332 (20.019)	48.098 (21.821)	-10.076 (6.475)	1.313 (0.464)
Portugal	32.766 (40.274)	63.625 (16.287)	55.289 (22.144)	-15.753 (7.982)	1.331 (0.718)
Romania	24.184 (23.238)	58.142 (15.499)	49.266 (22.920)	-10.646 (4.661)	1.265 (0.426)
Russia	13.458 (12.339)	52.544 (17.861)	48.304 (20.770)	-11.824 (10.815)	1.332 (0.585)
Slovakia	35.687 (60.160)	53.966 (17.486)	55.320 (22.534)	-16.205 (7.512)	1.139 (0.169)
Slovenia	41.854 (56.500)	54.987 (14.515)	52.882 (22.503)	-12.312 (2.735)	1.129 (0.155)
Sweden	26.468 (21.716)	54.176 (19.973)	48.224 (18.607)	-10.927 (3.748)	1.305 (0.330)
Switzerland	22.844 (26.327)	49.035 (11.519)	47.782 (18.373)	-16.585 (5.869)	1.306 (0.568)
Turkey	7.662 (6.347)	60.384 (14.598)	56.840 (20.824)	-11.384 (7.656)	1.571 (1.179)
USA	33.806 (22.382)	61.564 (16.171)	56.424 (21.432)	-7.926 (3.299)	1.444 (0.929)
South Africa	18.292 (16.838)	56.170 (23.406)	57.130 (26.382)	-19.982 (13.476)	1.252 (0.476)

참고

· Correlation Matrix

	Fatality	Containment and Health	Residual Mobility	Lagged Reproduction Rate
Fatality	1.0000			
Containment and Health	0.4714* (0.0000)	1.0000		
Residual Mobility	-0.1278* (0.0646)	0.1456* (0.0350)	1.0000	
Lagged Reproduction Rate	0.0084 (0.9143)	0.2081* (0.0068)	-0.4242* (0.0000)	1.0000

Notes: * $p < 0.1$

- * 개인의 예방 노력의 proxy로 *Mobility*를 사용하면 일종의 정부 정책 변수인 *Stringency Index*와도 상관성을 가지므로, *Mobility*를 *Stringency*에 선형회귀한 잔차 *Residual Mobility*를 사용 → 'lockdown style'의 public policy로 설명되지 않는 effort를 매겨
- 전분기 기초감염재생산지수(reproduction rate)의 증가는 더 강한 정부 정책과 더 많은 개인의 노력으로 이어질 수 있음
- 사망률이 높을수록(p_2 의 증가) 정부는 더 강한 정책을 펼치고, 개인의 노력 수준 또한 높아지는 경향이 있음



시사점

시사점

- 팬데믹이 발생하면 질병 확산을 막고 사회 후생을 유지하기 위해 정부·개인·보험이 모두 중요한 기능을 하며, 각각의 기제가 서로에게 미치는 영향 또한 중요하게 고려해야 할 요소임
- 균형에서 완전보험(full coverage)이 주어짐으로 인해 보험은 건강 위험을 완전히 헷지하고, 따라서 후생을 증가시킴
- Effort (test) 수준이 주어진 경우, 보험은 test (effort)의 efficacy를 높일 수 있음
- 보험이 도입된 경우 최적 test 및 effort 수준은 보험 유·무에 따른 두 기제의 상대적인 효율에 따라 달라짐
 - 보험의 도입으로 건강 손실 위험이 헷지된다고 해서 반드시 test 또는 effort의 감소로 이어지는 것은 아님
- 도덕적 해이 또는 예방적 노력이 가지는 양(+)의 외부효과를 고려하는 경우에는 보험의 역할을 축소(부분 보험, 자기부담금 등)할 필요도 있을 수 있음
- 바이러스의 치명률, 재생산지수 등에 따라 최적 test와 effort가 달라지며, 특히 강제성을 가지는 정부 정책은 각각의 위험 경감 기제의 상대효율에 따라 적절한 강도를 선택할 필요가 있음

감사합니다.