

한국 코로나19 데이터 분석

3부. 델타와 오미크론 변이 기간 코로나 상황 분석

윤복원

조지아 공대 물리학과

email: bwyoona@gmail.com, bokwon.yoon@physics.gatech.edu,

facebook: facebook.com/bwyoona68

3-1. 백신 접종률이 높아지면 치명률이 감소할까?

백신 접종 초기에는 치명률이 감소한다.

하지만 백신 접종이 마무리되는 시점에는 치명률이 다시 증가한다.

백신의 감염 예방효과가 감소하면 치명률은 오히려 감소한다.

백신은 감염 자체를 예방하기도 하지만 감염이 되었어도 위증증과 사망으로부터 보호하기도 한다.[1][2] 화이자 백신의 임상시험 결과에서 감염 예방효과는 95%였다. 임상시험에 참가한 사람은 약 4만명으로 그 중에 받은 플라시보(placebo)라고 불리는 가짜 백신을 접종했고 받은 진짜 백신을 접종했다. 가짜 백신을 접종한 그룹에서는 162명의 확진자가 나온 반면, 백신을 접종한 그룹에서는 8명의 확진자가 나왔다. 사망자는 어느 그룹에서도 나오지 않았다.

모더나 백신의 임상시험 결과에서 감염 예방효과는 94%였다. 가짜 백신을 접종한 그룹에서는 185명의 확진자가 나온 반면, 진짜 백신을 접종한 그룹에서는 11명의 확진자가 나왔다. 코로나19 감염으로 인한 사망자는 가짜 백신을 접종한 그룹에서 한 명 나왔지만, 진짜 백신을 접종한 그룹에서는 나오지 않았다.

전세계에서 가장 많이 접종하고 있는 화이자와 모더나 백신의 임상시험 결과를 보면 적어도 초기 코로나 바이러스에 대한 감염 예방효과는 상당히 컸다. 임상시험 후에 국가가 국민을 대상으로 한 대규모 백신 접종의 결과에서는 입원과 사망을 예방하는 효과도 상당히 큰 것으로 밝혀졌다.[3]

영국의 데이터가 말해주는 백신의 사망 예방효과

2020년 12월 8일에 세계 최초로 국가가 국민을 대상으로 백신접종을 시작한 나라는 영국이다. 백신 접종을 시작하기 전인 2020년 11월 한 달동안 영국에서 코로나19 감염으로 사망한 사람수는 12,786명이었다. 신규 확진자수 규모가 매우 크고 접촉자 추적을 제대로 할 수

없었던 영국은 감염 시점 대비 평균 확진 시점이 한국보다 더 늦었을 것이고, 그 만큼 확진과 사망사이의 시차는 상대적으로 짧았을 가능성이 크다. 영국의 확진과 사망 사이의 시차를 14일로 가정하면, 11월에 사망한 사람들은 10월 17에서 11월 16일 사이에 확진된 사람들로 볼 수 있다. 이 기간동안 영국에서 확진된 사람수는 696,354명이다. 11월에 사망한 사람수를 이 숫자로 나눈 확진자 치명률은 1.84%이다.

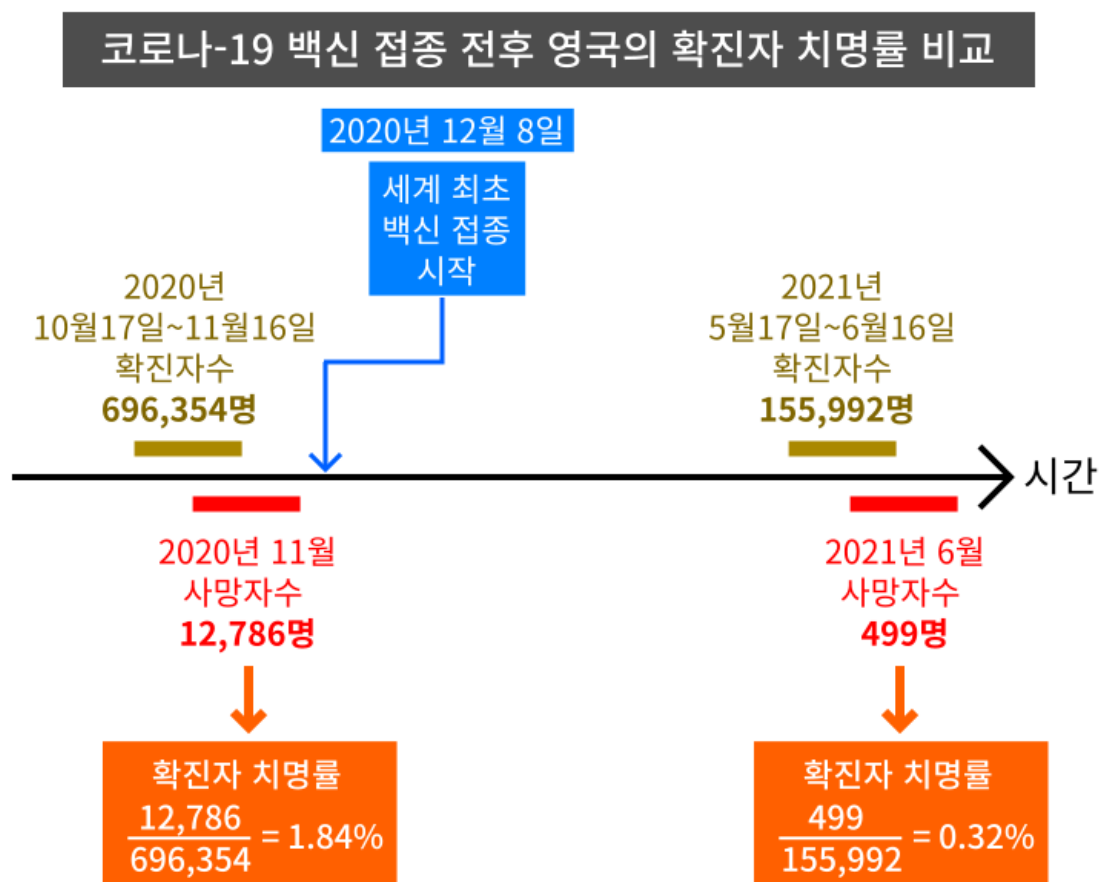


그림 3-1. 영국에서 코로나19 백신 접종 전후로 확진자 치명률이 어떻게 변하는지 보여주는 그림. 확진과 사망 사이의 시차는 14일로 가정했다.

영국에서 코로나19에 취약한 고령층과 다른 질환을 앓고 있는 사람들에 대한 접종이 충분히 시행된 2021년 6월에 사망한 사람수는 499명이다. 11월에 영국에서 코로나19로 사망한 사람수 12,786의 25.6분의 1 수준에 불과하다. 영국의 확진-사망 시차로 가정한 14일을 반영하면 6월에 사망한 사람들의 확진 시점은 대략 5월 17일에서 6월 16일 사이이다. 이

기간동안 영국에서 확진된 사람수는 155,992명이다. 11월에 확진된 사람수 696,354명의 4.5분의 1이다. 이 숫자들로 계산한 확진자 치명률은 0.32%이다. 2020년 11월에 사망한 사람들에게 대한 확진자 치명률의 6분의 1 수준이다.

영국에서 확진자수가 줄어든 비율보다 사망자수가 줄어든 비율이 더 큰 이유는 백신 접종률과 관계있다. 영국에서는 4월 말까지 국민의 51.1%가 1차 백신접종을 마쳤고 22.3%가 2차 백신 접종까지 마쳤다. 코로나19 감염으로 인한 사망 위험이 높은 사람들부터 백신 접종을 하는 것을 감안하면 4월 말에는 고령층과 다른 질환을 앓고 있는 사람들에게 대한 백신 접종이 마무리됐다고 볼 수 있다. 2011년 인구 센서스 분석에 의하면 영국 인구에서 60세 이상인 차지하는 비율은 22%이다.[4] 이를 감안하면 영국의 60세 이상 연령층에 대한 백신 접종은 4월 말에 마무리됐다고 볼 수 있다. 한편 코로나19 감염으로 인한 사망자의 약 90%가 60세 이상에서 나온다.[5] 따라서 충분한 백신 효과가 나오는데 걸리는 시간과 확진-사망 시차를 감안하면 6월 1일 이후에 사망한 사람들의 대부분은 4월말까지 백신 접종을 마무리한 연령층에서 나왔다고 볼 수 있다.

그런데 4월말까지 1차 접종도 하지 않은 사람들은 영국 전체 인구의 48.9%에 달한다. 5월 말까지로 봐도 영국 전체 인구의 41.3%가 백신 1차 접종도 하지 않았다. 주로 젊은 연령층인 이들은 백신 접종을 하지 않았으므로 백신의 감염 예방효과를 볼 수 없는 사람들이다. 대신 이들 중에서는 코로나19 감염으로 사망하는 사람들이 거의 없기 때문에, 사망자수에는 영향을 거의 주지 않았다.

종합하면 사망자의 대부분이 나오는 나이 많은 연령층에 대한 백신 접종이 마무리 되면서 백신의 사망 예방효과로 사망자수가 매우 많이 줄었고 감염 예방효과로 확진자수도 많이 줄었다. 하지만, 백신 접종을 하지 않은 젊은 연령층에서는 백신의 감염 예방효과를 보지 못하면서 여전히 확진자가 계속 나왔다. 결국 더 큰 비율로 줄어든 사망자수를 상대적으로 더 작은 비율로 줄어든 확진자수로 나눠 계산한 확진자 치명률은 백신 접종 전보다 많이 낮아졌다.

백신 접종 시작 전인 2020년 11월의 확진자 치명률과 비교해, 고령층 백신 접종이 마무리된 상황에서의 6월 확진자 치명률이 6분의 1로 낮아진 것은 백신의 사망 예방효과가 상당히 높았음을 시사한다. 물론 검사 시스템이 제대로 자리 잡으면서 감염자를 더 많이 찾아낸 결과로 확진자가 상대적으로 더 많이 나오면서 치명률이 낮아지는 것에 기여했을 수도 있다.

백신 접종률 높아지면 확진자 치명률이 줄어든다가 다시 증가한다.

코로나19 백신 접종은 2021년 후반에 이르러 3차 또는 그 이상 접종 하는 것을 권고하지만, 그 이전에는 두 번 접종하는 것이 기본이었다. 1차 접종을 마친 경우 보다는 2차 접종을 마쳤을 경우에 감염과 사망으로부터 보호효과가 더 큰 것으로 알려졌다. 1차 백신 접종률이 증가함에 따라 확진자수와 사망자수가 변하고 2차 백신접종률이 증가할 때도 확진자수와 사망자수가 변한다. 이런 변화에 따라 확진자 치명률도 변한다. 백신 접종을 시작하고 접종률이 올라가는 초기에는 사망자수가 확진자수보다 더 많이 줄어들면서 확진자 치명률이 낮아지지만, 백신 접종률이 충분히 높아지면 오히려 확진자 치명률이 다시 높아지는 상황도 일어난다.

아주 간단한 모델을 보자. 그림 3-2의 왼쪽의 표에 제시한 것과 같이 인구는 70세 이상을 제외한 모든 연령에 고르게 분포해 있고 연령별 치명률은 나이가 많을수록 높다고 하자. 70세 이상인 사람수는 전체 인구의 8분의 1인 12.5%이고, 60-69세도 8분의 1인 12.5%, 50-59세도 8분의 1인 12.5%인 식이다. 백신접종을 하지 않았을 경우의 확진자 치명률은 70세 이상은 13%, 60-69세는 2%, 50-59세는 0.7%, 40-49세는 0.2%, 30-39세는 0.1%, 30세이하면 0%라고 하자. 이러한 연령별 치명률은 표 3-1에 정리한 한국의 실제 연령별 치명률을 참조해 설정했다. 나이에 관계없이 골고루 감염되면 치명률은 2%이다. 백신 접종전에 연령대 별로 1천명씩 총 8천명이 확진되면, 그 중 160명이 사망하면서 확진자 치명률은 2%가 된다.

이 모델에서 감염자와 접촉하는 확률을 유지하기 위해 전국민이 아닌 무작위로 선택한 일부 국민을 백신 접종 대상으로 선정하고, 백신 접종 대상으로 선택되지 않은 국민들 사이에서의 코로나19 유행은 일정하게 유지된다고 가정한다. 백신 접종은 선택한 대상 중에 나이가 많은 순서대로 하고, 모든 연령대에서 대상자의 90%까지 접종한다고 하자. 백신은 한 번만 접종해도 감염 예방효과는 80%이고 사망 예방효과는 90%라고 하자. 여기에서 감염 예방효과는 백신을 접종하지 않은 사람들중에 확진자가 나오는 비율과 백신 접종을 한 사람들중에 확진자가 나오는 비율을 비교한 값이다. 사망 예방효과도 마찬가지로 백신을 접종하지 않은 사람들중에 사망자가 나오는 비율과 백신 접종을 한 사람들중에 사망자가 나오는 비율을 비교한 값이다. 물론 현실에서는 2번 접종이 기본이고, 백신의 효과도 2주 정도는 지나야 나타나지만 이런 것까지 고려하면 계산이 더 복잡해지기 때문에 훨씬 간단한 모델을 만들었다.

표 3-1. 한국에서 코로나19로 사망한 사람들의 연령별 분포 (데이터 출처: 질병관리청)

	2020-10-31	2021-06-30	2022-01-31	2022-07-27
계	464 (100%)	2,018 (100%)	6,755 (100%)	24,932 (100%)

80세 이상	232 (50%)	1,100 (54.51%)	3,350 (49.59%)	14,655 (58.78%)
70-79세	152 (32.76%)	576 (28.54%)	1,860 (27.54%)	5,743 (23.03%)
60-69세	53 (11.42%)	243 (12.04%)	1,067 (15.80%)	2,950 (11.83%)
50-59세	21 (4.53%)	73 (3.62%)	320 (4.74%)	1,031 (4.14%)
40-49세	4 (0.86%)	15 (0.74%)	97 (1.44%)	338 (1.36%)
30-39세	2 (0.43%)	3 (0.15%)	44 (0.65%)	113 (0.45%)
20-29세	0	0	14 (0.21%)	62 (0.25%)
10-19세	0	0	0	13 (0.05%)
9세 이하	0	0	0	27 (0.11%)

단순한 인구 분포와 치명률 가정		
연령	인구 분포	치명률
70세 이상	12.5%	13%
60-69세	12.5%	2%
50-59세	12.5%	0.7%
40-49세	12.5%	0.2%
30-39세	12.5%	0.1%
20-29세	12.5%	0%
10-19세	12.5%	0%
0 - 9세	12.5%	0%
계	100%	2%

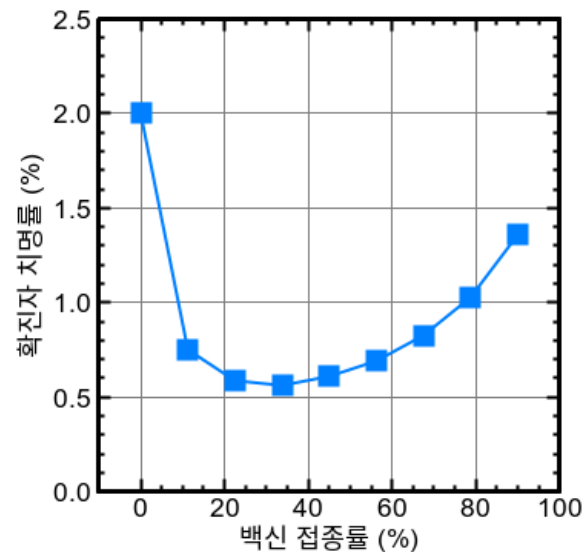


그림 3-2. 인구가 나이에 따라 고르게 분포하고 확진자 치명률은 나이가 많을수록 커지는 간단한 모델에서 백신 접종률에 따라 확진자 치명률이 어떻게 변하는지 보여주는 그림. 계산을 간단하게 하기 위해 백신은 한 번 접종으로 감염 예방효과와 사망 예방효과가 바로 나타난다고 가정했다. 이 모델에서는 백신 접종률이 33.75%일 때 치명률이 최저가 된다. 실제 상황에서는 백신을 2차례 이상 접종하고, 백신 접종 후 감염과 사망 예방효과가 나타나는 데는 시차가 필요하다. 백신을 접종하면 확진자수가 줄고 줄어드는 확진자수는 다시 다른 사람들을 감염시키는 것을 줄이는 것이 반복되는 연쇄적인 감염 확산 감소효과도 감안해야 한다.

이 모델을 계산한 결과를 보자. 백신 접종률이 11.25%에 이르면 전체 접종 대상자의 12.5%를 차지하는 70세 이상의 90%가 접종을 마친다. 이 연령대에서 백신 접종 전에 1,000명의 확진자가 나왔다고 하면, 백신 접종 후에는 1천명중 백신을 접종한 90%에서는 감염 예방효과로 확진자가 80%줄고 백신 접종을 하지 않은 나머지 10%에서는 확진자가 백신 접종 전처럼 나온다. 결국 $1,000 \times 0.9 \times 0.2 + 1,000 \times 0.1 = 180 + 100 = 280$ 명의 확진자가 이 연령대에서 나온다. 이 연령대에서 사망하는 사람은 백신 접종 전에는 확진자수 1,000명의 13%인 130명이 나왔지만, 백신접종 후에는 130명중 백신을 접종한 90%에서는 사망 예방효과로 사망자의 90%가 줄고 백신 접종을 하지 않은 나머지 10%에서는 백신접종 전처럼 나온다. 결국 $130 \times 0.9 \times 0.1 + 130 \times 0.1 = 11.7 + 13 = 24.7$ 명의 사망자가 이 연령대에서 나온다.

백신접종률이 11.25%일때 전 연령대를 합쳐 치명률을 계산해보자. 70세 이상만 백신 접종을 했으니 나머지 연령대에서는 확진자수와 사망자수가 7,000명과 30명으로 백신 접종 전과 똑같이 나온다. 여기에 70세이상의 확진자수와 사망자수를 더하면, 확진자수는 $7,000 + 280 = 7,280$ 명이고 사망자수는 $30 + 24.7 = 54.7$ 명이다. 확진자 치명률은 $54.7 \div 7,280 = 0.751\%$ 이다. 백신접종 전 2%이었던 확진자 치명률보다 많이 줄었다. 60세 이상의 연령대까지 백신 접종이 마무리되어 백신 접종률이 22.5%가 되면 확진자 치명률은 0.587%가되고 50세 이상의 연령대까지 백신 접종이 마무리되어 백신 접종률이 33.75%가 되면 확진자 치명률은 0.562%로 최소가 된다.

하지만 이후에는 백신 접종률이 증가하면 오히려 확진자 치명률이 더 증가한다, 젊은 연령층에서는 백신접종 전에도 사망자가 거의 안 나왔으므로 백신 접종으로 사망자수가 감소하는 효과는 없는 것이나 마찬가지다. 하지만 확진자수는 백신 접종 후에 감염 예방효과로 많이 줄어든다. 결국 젊은 연령대까지 접종되면 이 연령대에서 사망자수는 원래 거의 없었고 확진자수는 많이 감소하기 때문에 사망자수를 확진자수로 나눠 계산하는 확진자 치명률은 다시 증가한다. 전 연령대에 대한 백신 접종이 마무리되면 확진자 치명률은 1.357%까지 올라간다. 대신 사망자수 자체는 백신 접종하기 전과 비교하면 5분의 1수준으로 감소한다. 종합하면 백신 접종으로 감염으로 인한 사망 피해는 확실하게 감소하지만, 확진자 치명률은 처음에는 상당히 큰 폭으로 감소했다가 다시 증가하는 현상이 나타난다.

실제 상황은 지금까지 다룬 모델처럼 간단하지 않다. 백신도 두 번 이상 접종하고 매번 백신 접종을 할 때마다 예방효과가 다르다. 예방효과도 접종 후 2주는 되어야 충분히 올라간다. 접종 후 두 달 이상 시간이 지나면 예방효과가 다시 떨어지기 시작한다.[6] 백신 접종을 하면 감염

예방효과로 감염자가 감소하고, 감염자간 줄어드는 만큼 감염확산도 덜 되면서 2차 감염이 줄고 이는 다시 3차 감염을 줄이는 식으로 연쇄적으로 감염자가 줄어들면서 확진자수는 간단한 모델로 계산한 것보다 더 줄어든다. 감염자 또는 확진자가 줄면 사망하는 사람도 줄면서, 전체적으로는 위에서 따진 것보다 확진자수와 사망자수의 절대 수치가 더 많이 줄어든다. 같은 연령대 사람들과 더 많이 접촉하기 때문에, 고령층만 백신 접종이 집중된 경우에도 그 연령층에서는 확진자수와 사망자수는 모델보다 더 많이 줄어든다.

코드 3-1. 아주 간단한 모델로 백신 접종률에 따라 확진자 치명률이 어떻게 변하는지 계산하는 파이썬 코드.

```
#!/usr/bin/python3

# 연령대별 확진자수 초기화
# 0-9세:1,000명, 10-19세:1,000명, ...
cases = [1000 for k in range(8)]

# 연령대별 사망자수 (확진자 치명률)
# 70세 이상: 130명(13%)
# 60 - 69세: 20명(2%)
# 50 - 59세: 7명(0.7%)
# 40 - 49세: 2명(0.2%)
# 30 - 39세: 1명(0.1%)
# 0 - 29세: 0명(0%)
deaths = [130, 20, 7, 2, 1, 0, 0, 0]

# 감염 예방효과
ip = 0.8

# 사망 예방효과
dp = 0.9

print('백신접종률 확진자수 사망자수 확진자치명률')

# 백신 접종하기 전
# 백신접종률, 확진자수, 사망자수, 확진자 치명률
csum = sum(cases)
dsum = sum(deaths)
f = dsum/csum
print('{:7.4f} {:5.0f} {:7.2f} {:.5f}'
      .format(0.0, csum, dsum, f))
```



```

# 백신 접종한 후
# 백신접종률, 확진자수, 사망자수, 확진자 치명률
for n in range(8):
    # 백신 접종률
    # 11.25%, 22.5%, 33.75%, ...
    v = (n+1)/8*0.9

    # 백신을 접종을 끝낸 연령대의 확진자수
    # 백신을 접종한 사람(90%)중의 확진자수
    # 백신 접종 전 확진자수 × 0.9 × (1-감염 예방효과)
    c = cases[n]*0.9*(1.0-ip)
    # 백신을 접종하지 않은 사람(10%)중의 확진자수
    # 백신 접종 전 확진자수 × 0.1
    c += cases[n]*0.1

    # 백신을 접종을 끝낸 연령대의 사망자수
    # 백신을 접종한 사람(90%)중의 사망자수
    # 백신 접종 전 확진자수 × 0.9 × (1-사망 예방효과)
    d = deaths[n]*0.9*(1.0-dp)
    # 백신을 접종하지 않은 사람(10%)중의 사망자수
    # 백신 접종 전 확진자수 × 0.1
    d += deaths[n]*0.1

    cases[n] = c
    deaths[n] = d

# 백신 접종하기 시작한 후
# 백신접종률, 확진자수, 사망자수, 확진자 치명률
csum = sum(cases)
dsum = sum(deaths)
f = dsum/csum
print('{:7.4f} {:5.0f} {:7.2f} {:.5f}'
      .format(v, csum, dsum, f))

```

백신의 감염 예방효과가 낮아져도 확진자 치명률은 낮아진다.

백신 접종 후에 일정 시간동안 감염 예방효과가 유지되지만 시간이 지나면서 자연적으로 효과가 감소한다.[6] 변이 바이러스의 등장도 감염 예방효과를 줄인다. 베타, 감마, 델타 변이가 나오면서 백신의 감염 예방효과는 감소했다[6] 2021년 말 남아프리카 공화국에서 발견된

오미크론 변이는 감염 전파력이 더 강력해지고 백신의 감염 예방효과는 훨씬 더 감소하면서 전 세계적으로 엄청나게 많은 확진자들을 쏟아냈다.[7]

백신의 감염 예방효과가 감소하면 확진자도 늘어난다. 만약에 사망 예방효과가 감염 예방효과만큼 감소하지 않으면 사망자수는 상대적으로 덜 늘어나고 확진자수는 상대적으로 더 늘어나면서 사망자수를 확진자수로 나눠 계산하는 확진자 치명률은 감소한다. 그림 3-3은 그림 3-2에서와 같은 아주 간단한 모델에서 감염 예방효과가 변할 때 확진자 치명률이 어떻게 변하는지를 보여준다.

감염 예방효과가 어느 정도 되는지와 관계없이 백신 접종을 시작한지 얼마 안됐을 때는 확진자 치명률이 감소한다. 백신 접종률이 충분히 올라가 젊은 연령층까지 백신 접종이 확대되면, 젊은 연령대에서는 원래 사망자가 거의 안나와서 사망자수 변화는 거의 없지만 감염 예방효과로 확진자수가 줄어들면서 확진자 치명률은 다시 증가하기 시작한다. 계산에서 설정한 아주 간단한 모델에서 감염 예방효과가 80%, 60%, 40%이면 백신 접종률이 45%일 때부터 확진자 치명률이 다시 증가하지만, 감염 예방효과가 20%인 경우에는 백신 접종률이 67.5%일 때부터 다시 증가한다. 사망 예방효과는 90%로 변하지 않는다고 가정했다.

그런데 확진자 치명률이 증가하는 정도는 감염 예방효과에 따라 차이가 있다. 감염 예방효과가 크면 높은 백신 접종률에서 확진자 치명률이 눈에 띄게 증가하는 반면, 감염 예방효과가 작으면 확진자 치명률이 증가하는 정도가 크지 않고 확진자 치명률 자체도 더 낮게 유지되는 것을 그림 3-3에서 확인할 수 있다. 감염 예방효과가 80%로 유지되는 경우, 백신접종률이 33.75%일 때 확진자 치명률이 0.562%였다가 백신 접종률이 90%이면 1.36%로 2배 이상 증가한다. 하지만 감염 예방효과가 20%로 낮게 유지되면, 백신확진자 치명률이 56.25%일 때 확진자 치명률이 0.428%였다가 백신 접종률이 90%이면 확진자 치명률이 0.463%가 되면서 아주 약간 증가하는 데 그친다. 백신의 감염 예방효과가 낮을 때 오히려 확진자 치명률이 감소하는 것을 확인 할 수 있다.

감염예방효과 감소

→ 확진자수 증가

→ 확진자 치명률 감소

감염예방효과 감소 주요 요인:
시간이 지나면서 자연적인 감소
새로운 변이 출현

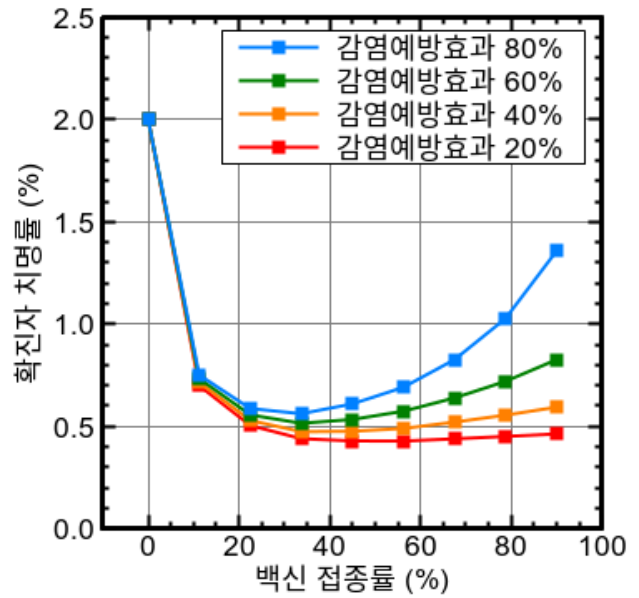


그림 3-3. 감염 예방효과에 따라 변하는 확진자 치명률. 사망 예방효과가 일정할 경우, 감염 예방효과가 낮으면 치명률이 더 낮아지고 백신 접종률이 증가하면서 치명률이 재상승하는 정도가 더 약해진다.

3-2. 단기 확진자 치명률을 계산해야 하는 이유

7일 이동평균을 계산하면 7일 주기의 변동과 통계적 변동이 감소한다.

과거의 사망자 영향을 제거하려면 단기 확진자 치명률을 계산해야 한다.

단기 확진자 치명률은 신규 확진자수와 사망자수의 7일 이동평균으로 계산할 수 있다.

백신 접종률에 따른 확진자 치명률의 변화를 보려면 누적 사망자수를 누적 확진자수로 나눠 계산하는 ‘누적 확진자 치명률’은 적절하지 않다. 과거의 백신 접종 하기 전의 모든 확진자와 사망자 정보가 들어있기 때문이다. 여러개의 짧은 기간으로 나눈 다음 각각의 기간동안에만 확진된 사람수와 사망한 사람수로 계산하는 ‘단기 확진자 치명률’이 백신 접종률에 따른 변화를 보기에 적절하다.

단기 확진자 치명률을 계산하려면 신규 확진자수와 신규 사망자수를 이용하는 것이 편리하다. 이 값들은 매일 질병관리청이 발표하기도 하지만 매일 증가하는 누적 확진자수와 누적 사망자수로부터도 계산할 수 있다. 특정 날짜의 신규 확진자수는 그날까지의 누적 확진자수에서 그 전날까지의 누적 확진자수를 빼면 된다. 신규 사망자수도 마찬가지로 그날까지의 누적 사망자수에서 그 전날까지의 누적 사망자수를 빼면 된다.

신규 확진자수에 나타나는 7일 주기의 변동 패턴

그런데 신규 확진자수와 신규 사망자수를 보면 매일 변동이 적지 않음을 볼 수 있다. 이 때문에 신규 사망자수를 신규 확진자수로 나눠 계산하는 확진자 치명률에도 큰 변동이 생긴다. 이런 변동은 우리가 보려고 하는 변화를 물어버려 잘 보이지 않게 만드는 일종의 잡음(noise)으로 작용한다. 이 때문에 신규 확진자수와 신규 사망자수에 나타나는 변동을 제거할 필요가 있다. 변동을 제거하는 간단한 방법의 하나는 일정 기간동안의 평균값을 계산하는 것이다, 이전에서 언급한 것처럼 여러개의 짧은 기간으로 나눠 기간별로 신규 확진자수와 사망자수를 더하는 것이 이에 해당한다. 하지만 데이터 갯수가 나눈 기간의 갯수로 줄어든다는 문제점이 있다. 한 예로 100개의 데이터를 5개씩 묶어 20개로 나눈 후 평균을 계산하면 데이터 갯수가 20개로 줄어든다.

짧은 기간의 변동을 없애면서 데이터 갯수도 그대로 유지하려면 이동평균을 계산하면 된다. 데이터를 몇개씩 묶어 나누지 않고, 주위 값의 평균을 계산하는 작업을 모든 데이터 위치에서 반복하는 방법이다. 데이터 처리에서는 필터링(filtering) 또는 합성곱(convolution)의 한

종류이다. 평균을 계산하는 과정에서 다듬질(smoothing) 효과가 나타나면서 변동이 줄어드는 점을 이용한 것이다. 이동평균은 주식 시세를 분석하는 그래프에서도 볼 수 있다.

코로나19 신규 확진자수의 변화를 보면 증가했다가 감소하는 변동 패턴이 7일마다 반복되는 것을 볼 수 있다. 그림 3-4의 막대 그래프는 2021년 2월부터 4월까지 3개월동안 한국에서 하루 신규 확진자수가 얼마나 나왔는지를 보여준다. 전 구간에 걸쳐 주말 또는 월요일에 저점을 찍고 주중 수요일이나 목요일 즈음에 고점을 찍는 변동 패턴이 7일마다 반복된다. 한국뿐만 아니라 다른 대부분의 나라에서도 이런 변동 패턴이 나타난다. 주중에 다른 사람들과 더 많이 접촉해서 감염이 더 많이 늘어나고 주말에는 다른 사람들과의 접촉이 적어서 감염이 줄어들 수도 있다. 하지만 신규 확진자수에 이런 7일 주기의 변동 패턴이 생기는 주요 이유는 검사량의 변화에 있다. 주중에는 정상적으로 검사를 하기 때문에 신규 확진자가 상대적으로 많이 나오지만, 주말에는 검사 인력이 쉬면서 검사량이 대폭 줄어들면서 신규 확진자수도 줄어든다. 그 결과로 신규 확진자수에는 7일 주기의 변동 패턴이 나타난다. 이 말은 또한 주말에도 주중처럼 검사수를 많이 늘리면 신규 확진자수가 좀 더 늘어날 수 있음을 의미한다.

대한민국에서 2021년 2월에서 4월까지의 신규 확진자수 변화

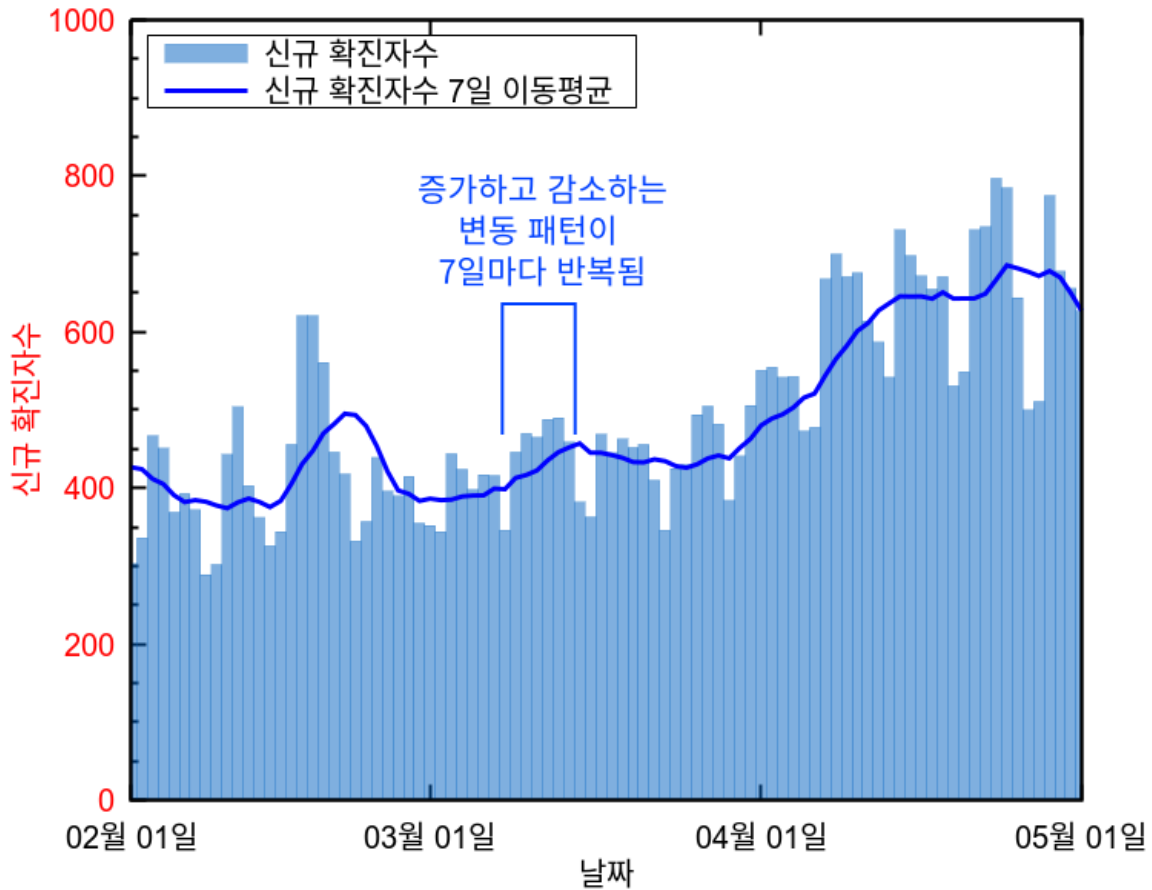


그림 3-4. 2021년 2월에서 4월 사이에 신규 확진자수와 (밝은 파란색 막대) 신규 확진자수의 7일 이동평균 (파란색 곡선). 신규 확진자수에 나타나는 7일 주기의 변동이 7일 이동평균 곡선에서는 사라진다.

7일 이동평균 곡선에서 사라지는 7일 주기 변동 패턴

검사량이 변하기 때문에 신규확진자에 나타나는 주기적인 변동 패턴은 데이터를 분석하는 데 도움이 되지 않는다. 이런 변동 패턴은 같은 주기의 이동평균을 계산하는 방법으로 제거할 수 있다. 7일을 주기로 증가하고 감소하는 신규확진자수의 경우는 7일 이동평균을 계산하면 된다. 월요일에는 이전 화요일부터 당일 월요일까지 7일간 신규확진자수를 더해 7로 나눠 평균을 계산하고, 다음 날인 화요일에는 이전 수요일부터 당일 화요일까지의 신규확진자수를 더해 7로 나눠 평균을 계산하는 식이다.

그림 3-4의 막대 그래프를 보면, 신규확진자수가 증가하고 감소하는 변동 패턴이 7일마다 반복된다. 파란색 곡선은 신규 확진자수의 7일 이동평균이다. 신규 확진자수에 나타나는 7일 주기의 변동 패턴이 7일 이동평균 곡선에서는 사라진 것을 확인할 수 있다. 이동평균을 계산하는 기간이 7일이 아니면 7일 주기로 반복되는 변동 패턴이 이동평균 곡선에서 완전히 사라지지 않는다. 다른 코로나19 데이터 분석에서도 7일 이동평균을 계산하는 것도 같은 이유 때문이다.

그런데 신규 확진자수에서 나타나는 전반적인 변화가 이동평균 곡선에서는 약간 더 오른쪽으로 옮겨간 것을 볼 수 있다. 한 시점에서의 이동평균을 계산할 때 그 시점의 값과 이전 6일간의 값의 평균으로 계산한다. 평균을 계산하는 기간의 중간 시점은 3일 전에 위치한다. 이 중간 시점이 평균값을 대표하는 시점이기 때문에, 평균값 계산 기간의 마지막 날을 기준으로 이동평균값을 나타내는 곡선에서는 원래 데이터에서 나타나는 변화가 3일이 더 지난 후에 나타난다.

신규 사망자수에는 신규 확진자수만큼 뚜렷한 7일 주기의 변동 패턴은 보이지 않는다. 하지만 신규 확진자수보다 크기 자체가 훨씬 적은 신규 사망자수에는 통계적인 변동이 더 크게 나타난다. 이런 변동을 줄이는 데에도 이동평균을 계산하는 방법이 유용하다.

7일 주기의 변동 패턴이 없어진 신규 확진자수 7일 이동평균과 통계적인 변동이 줄어든 신규 사망자수의 7일 이동평균으로 ‘단기 확진자 치명률’을 계산하면, 불필요한 변동에서 오는 값의 출력임을 많이 줄일 수 있다. 이 경우에도 확진과 사망 사이의 시차를 반영해 단기 확진자 치명률을 계산해야 좀 더 정확한 치명률을 계산할 수 있다. 한국의 경우 하루 신규 확진자수가 1,000명 수준이나 그 보다 적을 때는 접촉자 추적을 잘 한 것으로 알려졌다. 이런 경우 비교적 빨리 확진되기 때문에 확진-사망 시차는 시차는 길게 잡아야 한다.

하지만 하루 신규 확진자수가 수천명 이상이면 접촉자 추적이 어렵다.[8] 접촉자 추적을 못하면 그만큼 일찍 확진되는 사람들이 줄어든다. 확진이 늦게 되면 확진과 사망 사이의 시차는 줄어든다. 따라서 신규 확진자수가 많은 경우에는 확진-사망 시차를 짧게 잡고 단기 확진자 치명률을 계산해야 좀 더 정확하게 계산할 수 있다.

코드 3-2. 신규 확진자수와 신규 사망자수의 이동평균으로 단기 확진자 치명률을 계산하는 파이썬 코드

MovingAverage.py: 입력변수 `interval`로 지정하는 간격만큼의 데이터로부터 평균값을 계산해 새 배열에 저장해 내보낸다. 간격이 7이라면 n 번째 이동평균값은 $n-6, n-5, \dots, n-1, n$ 번째

데이터의 평균값이다. 데이터 앞부분은 이전 데이터가 충분하지 않으므로 더 작은 간격의 평균값을 계산한다

```
def MovingAverage(data, interval):
    # 입력 데이터 길이
    datalen = len(data)
    # 출력 데이터 초기화
    data_ma = [0.0]*datalen
    data_sum = 0
    for n in range(datalen):
        data_sum += data[n]
        # 계산할 데이터 갯수가 충분하지 않은 앞부분
        if n < interval:
            data_ma[n] = data_sum/(n+1)
        # 계산할 데이터가 충분한 나머지 부분
        else:
            data_sum -= data[n-interval]
            data_ma[n] = data_sum/interval

    return data_ma
```

getcoviddata-st.py: 월드오미터 웹사이트에서 데이터를 받아 신규 확진자수와 신규 사망자수의 이동평균을 계산한 후 이로부터 단기 치명률을 계산해 파일에 저장하는 파이썬 코드. 확진-사망 시차 0일, 10일, 14일, 17일, 21일을 반영한다.

```
#!/usr/bin/python3

import sys
import os
from CovidDataWorldometer import GetCovidData
from MovingAverage import MovingAverage

# 영문 국가이름을 입력하지 않으면 멈춤
if len(sys.argv) < 2:
    print(f"USAGE: {sys.argv[0]} Country")
    exit(1)

# 영문 국가이름
Country = sys.argv[1]
OutFile = f"covid-{Country.lower()}-st.dat"

data = GetCovidData(Country)
```



```

date = data['date']
cases = data['cases']
dcases = data['dcases']
deaths = data['deaths']
ddeaths = data['ddeaths']

# 7일 이동평균 계산
dc7ma = MovingAverage(dcases, 7)
dd7ma = MovingAverage(ddeaths, 7)

# 데이터 파일에 출력
with open(OutFile, 'wt') as f:
    s = "날짜 확진자수 신규확진자수 사망자수 신규사망자수 "
    s += "신규확진자수7일이동평균 신규사망자수7일이동평균 "
    s += "단기치명률 단기치명률10 단기치명률14 "
    s += "단기치명률17 단기치명률21\n"
    f.write(s)
    for n in range(len(date)):
        s = f"{date[n]} {cases[n]} {dcases[n]} "
        s += f"{deaths[n]} {ddeaths[n]} "
        s += "{:.3f} {:.3f} ".format(dc7ma[n], dd7ma[n])

# 단기치명률 계산
c = int(dc7ma[n])
d = int(dd7ma[n])
f0 = 0.0 if c == 0 else d/c
s += '{:.7} '.format(f0)
# 단기치명률 (확진-사망 시차 10일) 계산
c = int(dc7ma[n-10])
f10 = 0.0 if n < 10 else (0.0 if c == 0 else d/c)
s += '{:.7} '.format(f10)
# 단기치명률14 (확진-사망 시차 14일) 계산
c = int(dc7ma[n-14])
f14 = 0.0 if n < 14 else (0.0 if c == 0 else d/c)
s += '{:.7} '.format(f14)
# 단기치명률 (확진-사망 시차 17일) 계산
c = int(dc7ma[n-17])
f17 = 0.0 if n < 17 else (0.0 if c == 0 else d/c)
s += '{:.7} '.format(f17)
# 단기치명률 (확진-사망 시차 21일) 계산
c = int(dc7ma[n-21])
f21 = 0.0 if n < 21 else (0.0 if c == 0 else d/c)

```

```
s += '{:.7}\n'.format(f21)  
f.write(s)
```

3-3. 델타 변이 정점 때 한국의 의료 위기는 어떻게 일어났나?

한국은 단기 확진자 치명률은 2021년 8월까지 꾸준히 감소했다.

하지만 2021년 12월에는 전례 없는 의료 상황 위기가 닥친다.

상당히 많은 감염자를 놓치고 늦게 확진되면서 위기가 왔을 가능성이 크다.

2021년 7월까지 한국의 코로나19 상황

한국은 2021년 2월 26일에 공식적인 첫 백신 접종을 시작했다.[9] 백신 접종의 효과가 단기 확진자 치명률이 나타나려면 한 달 정도 기다려야 한다. 백신을 접종한 후 몸에 항체가 충분히 생겨 감염을 예방하는 효과가 나타나는데 시간이 필요하고, 감염 후 사망에 이르는 시차도 있기 때문이다. 한국에서는 3월 말 단기 확진자 치명률부터 백신 접종의 효과가 나타난다고 볼 수 있다. 한국의 단기 확진자 치명률은 2021년 3월이 되기 전부터 하락하기 시작했다. 2021년 1월에 2%가 넘는 단기 확진자 치명률은 꾸준히 감소해, 백신 효과가 나타나는 3월 하순에 이미 0.8% 수준으로 낮아졌다.

백신 접종 효과가 본격적으로 나타나기 전에도 치명률이 감소한 이유는 몇가지가 있다. 첫째로 고령층과 다른 질환이 있는 대한 보호가 꾸준히 향상되었을 가능성이 있다. 요양시설이나 의료시설에 있는 코로나19에 취약한 사람들을 감염으로부터 잘 보호할수록 사망자수가 줄어들면서 확진자 치명률은 낮아진다. 둘째로, 적극적으로 많은 사람을 검사해 그동안 찾지 못했던 감염자를 추가로 찾아내면 확진자수가 늘어나고, 사망자수를 확진자수로 나눠 계산하는 확진자 치명률은 낮아진다. 셋째로 위중증 환자 치료에 대한 경험이 쌓이면서 사망자수를 줄였을 수도 있다.

한국은 2020년 말부터 임시 선별 검사소를 운영하면서 무증상 감염자를 선제적으로 찾아내고 있었다는 점을 주목해야 한다.[10] 2020년 연말 하루 신규 확진자가 1,000명수준인데 그중의 약 10%인 100명정도가 선제적으로 찾아내는 무증상 감염자이다.[11] 그 만큼 확진자수가 더 늘어나면서 사망자수를 확진자수로 나눠 계산하는 치명률은 낮아진다. 2020년 12월 중순에 수도권에서 본격적으로 임시 선별 검사소를 운영하면서 확진자를 더 많이 찾아낸 것은 2021년 1월 초의 단기 확진자 치명률에 나타나기 시작한다.

1월 20일부터 3월 중순까지는 신규 확진자수 이동평균이 300명대 후반에서 400명대 후반 사이에서 오르락 내리락 하지만 전반적으로 뚜렷한 증가나 감소의 경향이 보이지는 않는다. 그런데 이 기간에 확진된 사람들중에서 사망하는 사람들이 나오는 2월 6일부터 3월 말까지

신규 사망자수의 이동평균 곡선은 꾸준히 하락하는 것을 볼 수 있다. 감염확산 자체가 줄어서 신규 사망자수는 줄었지만, 임시 선별 검사소를 운영하면서 감염자를 더 많이 찾아내 확진자수는 줄지 않는 상황이었을 수 있고, 감염확산은 눈에 띄게 줄지 않았지만 고령층과 다른 질환을 지닌 사람들을 잘 보호하거나 치료를 잘해 사망자수가 줄었을 수도 있다. 둘 모두 일어나는 상황이었을 수도 있다.

또 다른 이유로 변이 바이러스의 영향을 들 수 있다. 세계보건기구는 **2021년** 초에 이미 알파, 베타, 감마 변이가 주요 변이 바이러스로 지정했다. **[12]** 변이에 따라 치명률이 달라질 수 있다. 하지만 질병관리청 발표에 의하면 **2021년 3월 11일** 이후의 일부 확진자에 대한 유전자분석 결과는 국내발생 **299건** 중 **12건**만 변이 바이러스 감염임이 밝혀져 변이 바이러스의 비율이 **3월** 중순까지는 상당히 낮은 것으로 알려졌다.**[13]** 따라서 변이 바이러스로 인한 치명률 감소효과는 크지 않다고 볼 수 있다. 결국 백신 접종 효과가 나타나기 전인 **2021년 1월**에서 **3월** 사이의 단기 확진자 치명률 감소는 접촉자 추적을 통해 감염자를 더 많이 찾아내는 것과 고령층과 다른 질환을 앓는 사람들에 대한 보호와 치료가 꾸준히 상승한 것이 복합적으로 작용한 결과였을 것으로 보인다.

2021년 1월에서 7월까지 대한민국의 단기 확진자 치명률

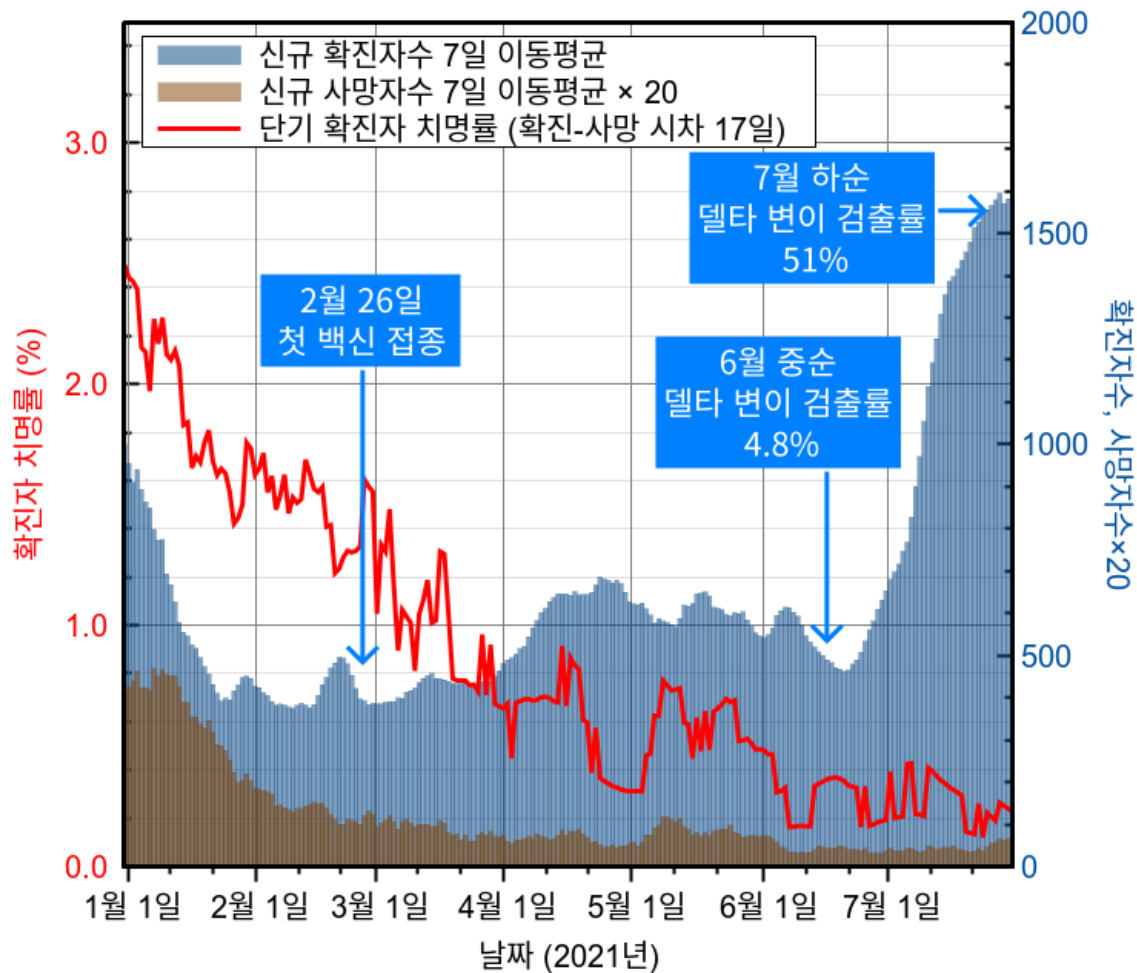


그림 3-5. 2021년 1월부터 7월까지 한국의 신규 확진자수 7일 이동평균(파란색 막대), 신규 사망자수 7일 이동평균 (밤색 막대), 단기 확진자 치명률 (빨간색 곡선). [14][15] 백신 접종 이전부터 조금씩 감소하기 시작했던 단기 확진자 치명률은 백신 접종이 시작되어서 꾸준히 감소해 7월 하순에는 0.2%수준까지 낮아졌다.

백신 접종의 효과가 본격적으로 나타나기 시작하는 2020년 4월 초에 0.6% 수준이었던 단기 확진자 치명률은 그 이후 꾸준히 감소해서, 7월 말에는 0.2%수준까지 낮아진다. 7월 말에 사망한 사람들 중에 백신 접종 효과를 본 사람들은 6월 말까지 백신 접종을 한 사람들이다. 7월

1일에 발표된 백신 접종 현황을 보면 1차 접종을 마친 사람은 전체 인구의 29.9%였고 2차 접종까지 마친 사람은 9.8%였다.[16][17]

한국의 연령별 인구분포를 감안하면[18], 2021년 7월 초에 50대 중반 이상에 대한 백신 1차 접종은 마무리되었고, 70세 이상에 대해서는 백신 2차 접종이 마무리되는 중이었다. 코로나19 감염으로 사망할 위험이 높은 사람들 위주로 백신 접종이 마무리 되면서 사망자수는 충분히 줄어든 상황이었지만, 젊은 층은 백신 1차 접종도 받지 않아 확진자수는 상대적으로 덜 줄어드는 상황이었다. 단기 확진자 치명률이 충분히 낮아질 수 있는 조건이었다.

2021년 11월에서 12월 사이에 한국에서는 무슨 일이?

델타 변이가 한국에서 우세종이 된 시기는 2021년 7월 20일 전후이다. [15] 이 시기에는 백신 접종률이 증가하는 것도 탄력을 받기 시작한다. 8월에 들어서 단기 확진자 치명률이 0.2%수준에서 0.4% 가까이 일시적으로 증가한 기간이 있었고, 이후 9월 초에는 0.3% 수준으로 다시 낮아진다. 이 때부터 단기 확진자 치명률을 천천히 상승하기 시작한다. 단기 확진자 치명률에 백신 접종의 효과가 나타나려면 한 달 정도가 걸린다는 것을 감안하면, 7월부터의 백신 접종률이 단기 확진자 치명률에 영향을 끼쳤다고 볼 수 있다. 8월 1일에 백신 1차와 2차 접종률은 37.9%와 13.9%로 사망 위험이 거의 없는 연령 층에도 백신 접종이 시작되었다. 백신의 감염 예방효과로 신규 확진자수가 줄어들면서 단기 확진자 치명률이 높아지는 조건이 충족되기 시작했다.

시기별로 단기 확진자치명률은 10월 1일 전후로 0.4%였고 10월 하순에는 0.7%였다. 그런데 11월 초에 확진-사망 시차 17일을 적용한 단기 확진자 치명률이 1%를 넘더니, 12월 초에는 1.9%에 이르는 수준까지 높아졌다. 11월 25일에서 12월 15까지 3주간 단기 확진자 치명률 평균은 1.74%이다. 10월 1일 발표 백신접종률을 보면 1차 접종은 76.6%였고 2차 접종은 50.1%였다. 11월 1일 발표 백신접종률은 1차 접종은 80.1%였고 2차 접종은 75.3%였다. 1차 백신 접종률은 이미 충분히 높은 수준이었고, 2차 백신 접종률도 빠르게 상승해 11월초에 충분히 높아진 상황이었다.

그런데 7월 20일에서 8월 9일까지 3주간 단기 확진자 치명률의 평균이 0.204%이었던 것과 비교하면 11월말과 12월 중순 사이의 1.74%는 8.5배 큰 수치이다. 아주 간단한 모델이긴 하지만 백신 접종률에 따라 확진자 치명률이 어떻게 변하는지를 계산한 그림 3-3의 결과와 비교해도, 2021년 11월과 12월의 단기 확진자 치명률 상승 정도는 지나치게 컸다. 백신 접종률이 한국과 비슷하고 델타 변이가 우세종인 기간동안 다른 나라에서는 단기 확진자 치명률이 어땠는지 비교해 볼 필요가 있다.

2021년 7월에서 2022년 1월까지 대한민국의 단기 확진자 치명률

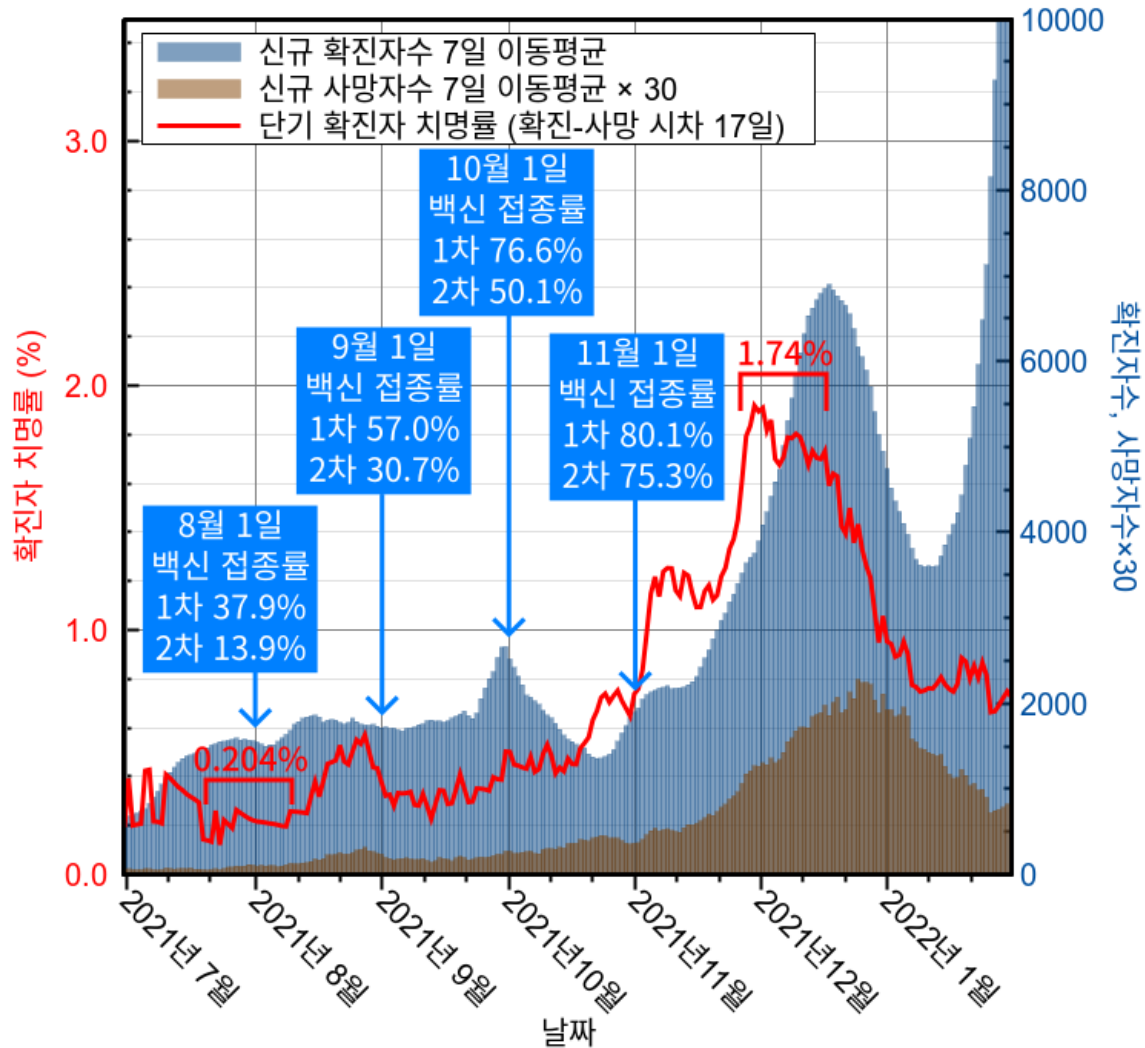


그림 3-6. 델타 변이가 우세종일 때 한국의 신규 확진자수 7일 이동평균(파란색 막대), 신규 사망자수 7일 이동평균 (밤색 막대), 단기 확진자 치명률 (빨간색 곡선).[19][20][21][22] 단기 확진자 치명률 계산에 사용한 확진-사망 시차는 17일이다. 7월 말에서 8월초에 0.2% 수준까지 감소했던 단기 확진자 치명률은 8월 하순에 0.5%를 잠시 넘었다가 9월에는 0.3% 수준을 유지한다. 이후 단기 확진자 치명률은 다시 증가하기 시작해 11월 말과 9월초에 매우 높은 수치까지 상승하는 위기가 온다.

영국에서 델타 변이가 우세종일 때 단기 확진자 치명률

영국에서 델타 변이에 감염된 사람들이 확인되기 시작한 때는 4월 중순이었고,[24] 델타변이가 우세하기 시작된 때는 발표일 기준 6월 2일이다.[25] 오미크론 변이가 우세종이 되기 전인 11월 말까지[26] 영국의 단기 확진자 치명률은 0.5%를 넘은 적이 없다. 영국의 확진-사망 시차는 감염자와 접촉한 사람들을 추적하지 않는 영국의 상황으로 고려해 한국보다 늦게 확진된다고 보고 14일로 가정했다.

2021년 11월 1일 발표 기준 백신 접종률은 1차 접종은 74.4%, 2차접종은 68.0%였다. 한국의 11월 1일 발표 기준 백신 접종률과 비교하면 1차는 5.7%p, 2차는 7.3%p 낮은 수치였다. 하지만 백신 효과가 나타나기 위해 필요한 시간인 14일 후 11월 15일까지 영국의 누적 확진자수는 9,821,223명으로 전체인구의 16.5% 수준이다. 그 중에는 감염된 후에 백신 접종을 한 사람들도 있고, 백신 접종을 한 후에 감염된 이른바 돌파감염이 된 사람들도 있다. 이들을 제외한 확진자들은 백신 접종을 하지 않고도 실제 감염되어서 자연 면역을 얻을 경우로 볼 수 있다. 자연 면역을 얻은 사람들까지 포함하면 백신을 접종한 것과 비슷한 사람들이 인구에서 차지하는 비율은 한국의 백신 접종률과 큰 차이가 없다고 볼 수 있다.

그럼에도 불구하고 영국의 단기 확진자 치명률은 0.5%를 넘지 않았다는 것에 주목해야 한다. 영국에서는 확진자와 접촉한 사람들을 추적하지 않지만 검사를 통해 감염자는 비교적 잘 찾아내고 있었다고 볼 수 있다. 적어도 델타 변이가 우세종이었던 기간으로 한정해서 보면, 영국은 감염자를 잘 찾아내는 나라이고 당시 단기 확진자 치명률은 감염자를 잘 찾아내는 나라의 단기 확진자 치명률의 기준으로 볼 수 있다.

2021년 10월 15일에서 11월 12일까지 4주동안 영국의 단기 확진자 치명률 평균은 0.374%이다. 확진-사망 시차를 10일로 낮춰 계산해도 이 기간동안 단기 확진자 치명률 평균은 0.365로 비슷했다. 영국에서 오미크론 변이 감염이 처음으로 확인됐다고 발표된 날이 2021년 11월 말이었으므로 [26], 11월 12일 까지의 단기 확진자 치명률에는 오미크론 변이로 인한 영향이 없었다고 봐야한다..

2021년 6월에서 12월까지 영국의 단기 확진자 치명률

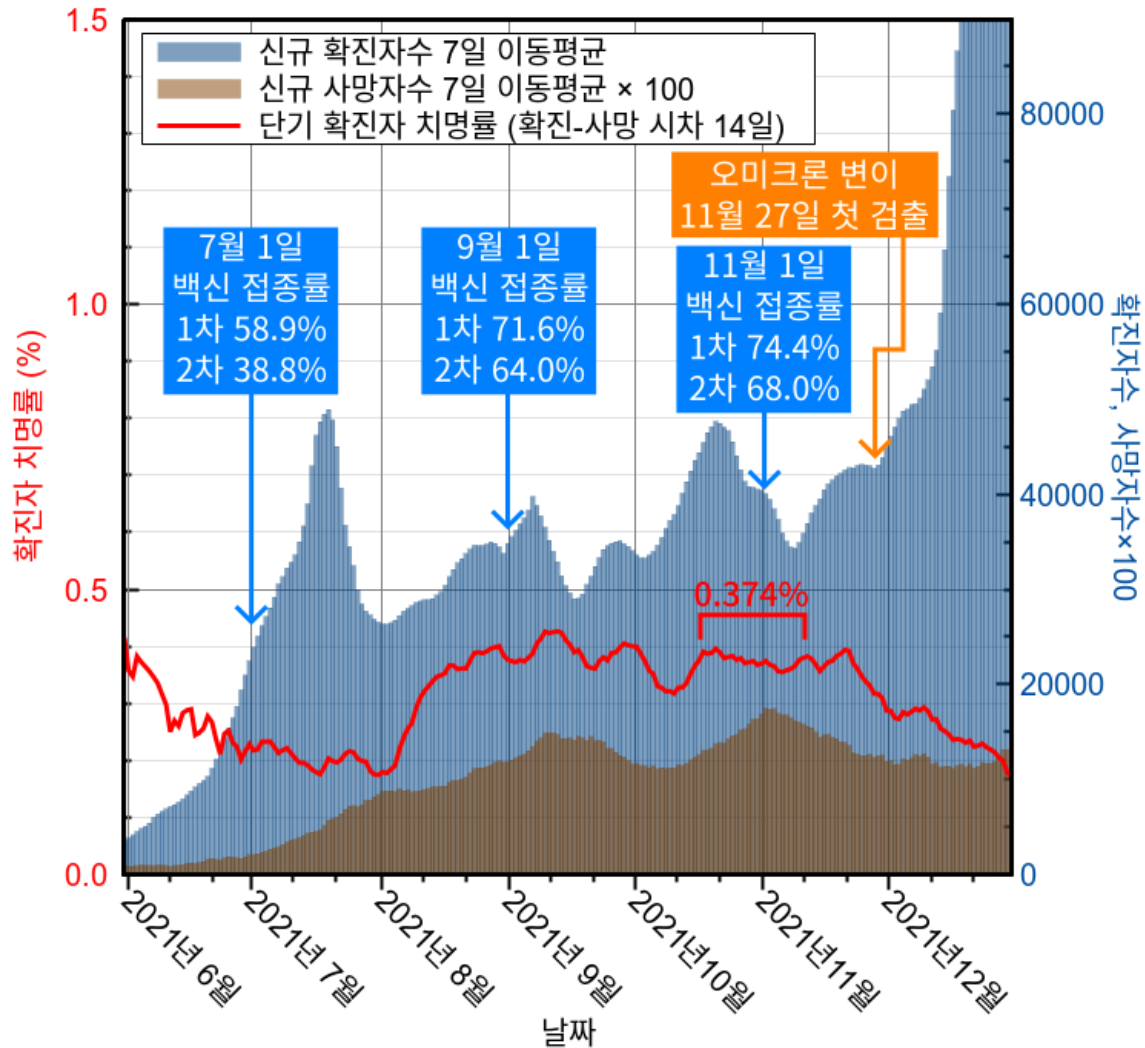


그림 3-7 델타 변이가 우세종일 때 영국의 신규 확진자수 7일 이동평균(파란색 막대), 신규 사망자수 7일 이동평균 (밤색 막대), 단기 확진자 치명률 (빨간색 곡선).[23] 단기 확진자 치명률에 사용한 확진-사망 시차는 14일이다.

델타 변이 시기 한국과 영국의 단기 확진자 치명률 비교.

한국의 단기 확진자 치명률은 2021년 12월 초에 1.9%에 이른다. 영국의 11월 단기 확진자 치명률과 비교하면 5배 이상 더 크다. 당시 한국의 단기 확진자 치명률이 지나치게 높았음을 알 수 있다. 그 원인은 무엇일까? 중요한 단서의 하나가 ‘확진과 사망 사이의 시차’에 있다.

한국에서 델타 변이가 우세종일 때 신규 확진자가 가장 많이 나온 시기는 12월 중순이다. 12월 15일에 하루 신규 확진자수는 7,800명을 넘었다. 이 시기 이전부터 감염 확산에 대한 위기감이 고조되어 있었고 강력한 거리두기도 시행됨에 따라 12월 15일 이후부터는 신규 확진자수가 줄어들기 시작한다. 신규 확진자수가 12월 15일에 고점을 찍은 상황이었다.

사망자는 확진 후 2-3주의 시차를 두고 나타나는 것으로 알려졌는데, 12월의 경우 신규 사망자수의 고점이 그보다 빨리 왔다. 신규 확진자수 7일 이동평균 곡선이 만드는 봉우리와 신규 사망자수 7일 이동평균 곡선이 만드는 봉우리 사이의 시차는 9일 정도 밖에 안됐다. 확진이 늦게 되면서 확진과 사망 사이의 시차가 짧아졌다고 해석할 수 있다. 한국의 단기 확진자 치명률을 계산할 때 지금까지 가정했던 확진-사망 시차가 더 이상 유효하지 않은 상황이었다.

11월 말에 1.9%까지 높아졌던 단기 확진자 치명률은 확진-사망 시차를 17일로 가정하고 계산한 수치이다. 확진-사망 시차가 9일 정도였던 때는 12월이었지만, 신규 확진자수가 급증하면서 신규 확진자수 이동평균 곡선이 가파르게 상승하기 시작했던 때는 11월 중순이다. 새로운 감염자가 많이 나오면서 기존 검사소에서 검사를 받으려는 사람들을 충분히 소화하지 못했을 수 있다. 그러면 검사를 제때 받지 못하고 뒤로 밀리면서 확진이 늦게 됐을 것으로 보인다. 이런 상황에서는 검사를 받기 위해 기다리는 시간이 너무 길어지면서, 처음 검사를 받을 때 증상이 없거나 미미한 사람들은 검사를 포기했을 수도 있다. 그러다 증상이 심해져서 검사를 받으면 확진 시점이 늦어진다. 이런 이유들이 11월 중에 확진-사망 시차가 10일 정도로 더 짧아지게 만들었을 가능성이 충분히 있다.

확진-사망 시차를 10일로 가정하고 계산한 단기 확진자 치명률은 그림 3-8 그래프의 오렌지색 곡선으로 그렸다. 확진-사망 시차 17일로 계산한 단기 확진자 치명률보다 낮게 나오는 것을 확인할 수 있다. 11월 말 수치가 1.5%가 넘기는 했지만, 확진-사망 시차 17일로 계산하면 1.9%가 넘는 것을 감안하면 상당히 낮다. 11월 25일에서 12월 15일까지 3주간 평균을 계산하면 1.41%가 나온다.

2021년 9월에서 2022년 1월까지 대한민국의 단기 확진자 치명률

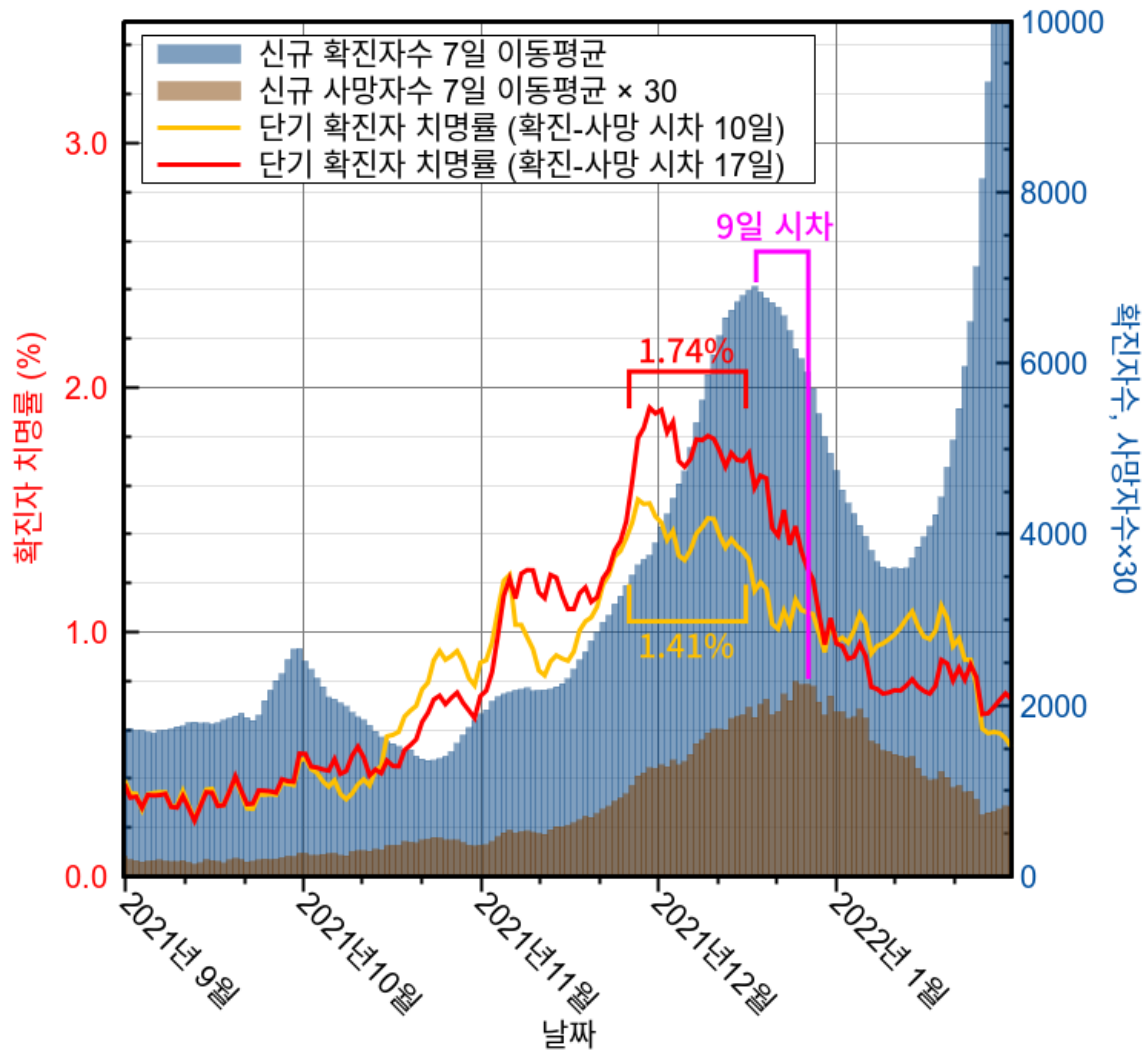


그림 3-8. 델타 변이가 우세종인 기간동안 확진-사망 시차를 달리해 계산한 한국의 단기 확진자 치명률. 빨간색 곡선은 확진-사망 시차를 17일로 가정하고 계산한 단기 확진자 치명률이고 오렌지색 곡선은 확진-사망 시차를 10일로 가정하고 계산한 단기 확진자 치명률이다. 보라색 선은 신규 확진자 7일 이동평균 봉우리의 중간점과 신규 사망자 7일 이동평균 봉우리의 중간점 사이의 시차를 나타낸다.

확진-사망 시차를 10일로 가정하고 계산한 11월말 단기 확진자 치명률도 영국의 11월 단기 확진자 치명률보다 3.8배 이상 크다. 당시 한국은 영국보다 감염자를 3.8배 이상 못찾고 있던 상황이었다. 한국이 영국처럼 검사를 했으면 11월 18일 쯤에 10,000명에 가까운 신규 확진자수가 나와서 11월 11월 28일에 단기 확진자 치명률이 영국처럼 0.4%를 밑도는 값이 나왔어야 했다. 하지만, 2,500명정도의 신규확진자 밖에 안나오면서 치명률 계산에서의 분모 크기가 작아져 1.4%를 넘나드는 단기 확진자 치명률이 나왔다고 볼 수 있다.

영국도 검사받지 않아 확진자 통계에 잡히지 않은 사람들이 있었을 것이기 때문에, 실제 감염자수는 확진자수보다 많았다고 봐야한다. 이를 감안하면 영국의 델타 변이 시가 '감염자 치명률'은 '단기 확진자 치명률'보다 낮았을 것이다. 이를 고려하면 한국의 11월말 1.41%의 단기 확진자 치명률은 감염자 치명률의 5배 이상 컸을 가능성도 충분히 있다. 이럴 경우 실제 감염자수는 확진자수의 5배 이상이었고 그중 찾지 못한 감염자수는 확진자수의 4배이상이었을 것이라고 볼 수 있다.

백신의 사망 예방효과가 낮아졌을 가능성을 생각해 볼 수도 있다. 하지만 백신 접종을 더 일찍 시작한 영국에서는 사망 예방효과가 더 일찍 낮아졌을 것임에도 불구하고, 델타 변이가 지배하던 시기에 단기 확진자 치명률을 0.4% 이하로 유지 했던 것과 비교해야 한다. 11월 말에 한국에서 단기 확진자 치명률이 1.4% 이상까지 치솟았던 상황은 백신의 사망 예방효과가 낮아진 것으로 설명하기에는 너무 큰 수치이다.

한편 10월 초부터 10월 20일 쯤까지 신규 확진자수가 꾸준히 감소한 기간을 주목할 필요가 있다. 비록 신규 확진자수는 줄어드는 경향이 있었지만, 10월 중순부터는 단기 확진자 치명률은 증가하고 있었다. 이는 원래 나와야할 신규 확진자수보다 적게 나오면서 단기 확진자 치명률이 올라갔을 가능성이 충분히 있다. 이 기간부터 감염자를 충분히 찾아내지 못하면서 '찾지 못한 감염자'가 늘어났고, 이들을 격리하지 못하면서 감염 확산 규모가 커지는 악순환이 벌어졌을 수 있다.

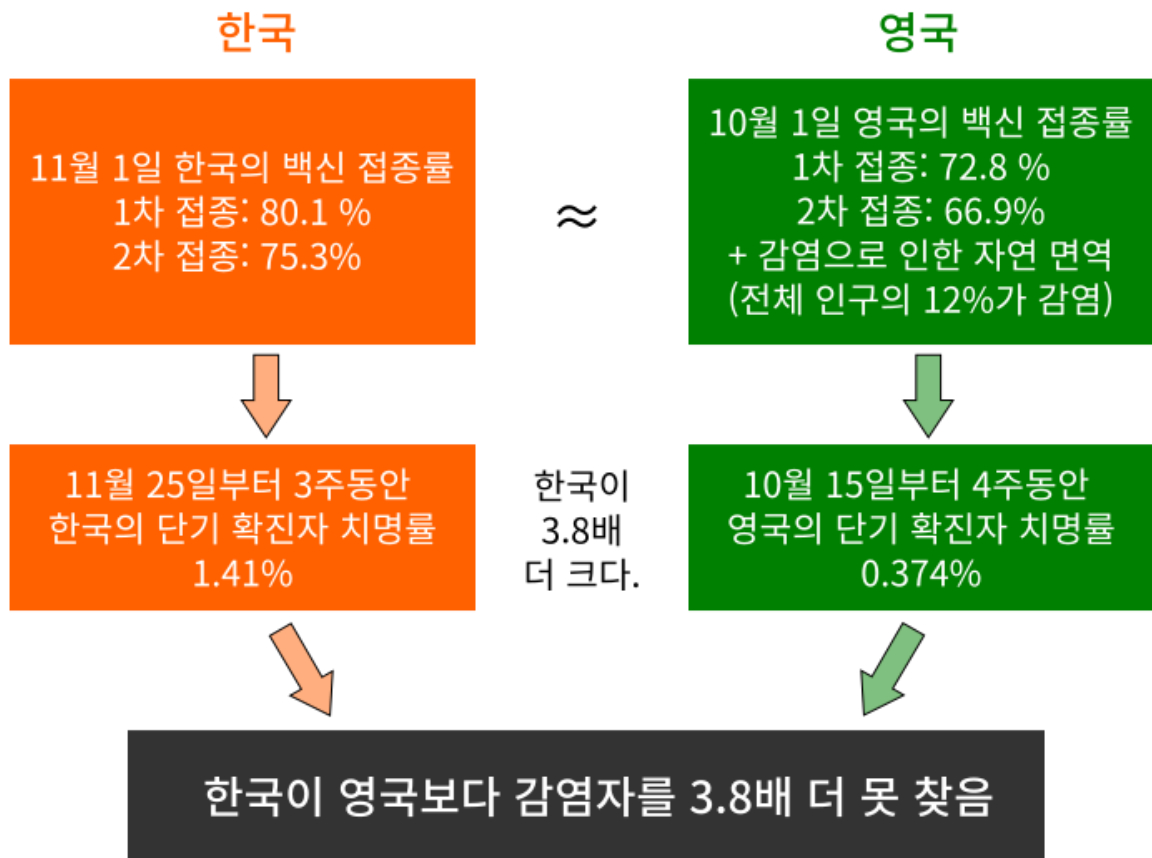


그림 3-9. 한국에서 11월말부터 치솟은 단기 확진자 치명률을 영국과 비교. 한국은 12월에 9일 정도로 짧아진 확진-사망 시차를 고려해 11월 25일에서 12월 15일까지 사망한 사람들의 확진-사망 시차를 10일로 가정했다. 영국의 확진-사망 시차는 14일로 가정했다. 영국의 확진-사망 시차를 10일로 가정하면 단기 확진자 치명률이 0.365로 차이가 작다.

3-4. 오미크론 변이 때 한국은 어떻게 성공적으로 대처했나?

기존 백신의 감염 예방효과가 상당히 낮았던 오미크론 변이

오미크론 변이 때 항원 검사 체제로 전환한 것은 적절한 판단이었다.

한국의 오미크론 변이 치명률은 가장 낮은 국가의 하나

오미크론 변이 때 항원 검사 위주의 검사 체제로 전환한 한국

오미크론 변이는 한국도 피해갈 수 없었다. 국내 신규확진자 중에서 오미크론 변이에 감염된 사람이 차지하는 비율이 50%를 넘었다고 발표한 때는 2022년 1월 24일이다. 이후 한국의 하루 신규 확진자수는 엄청난 속도로 증가하기 시작했다. 질병관리청은 2월 1일부터 임시 선별 검사소에서 검사를 받는 사람들 중 고령층과 질병이 있는 사람들을 제외한 모든 사람들은 본인 직접 검체를 채취해 항원 검사 방식으로 검사하는 방식의 체제로 전환하기 시작했다.

이미 오미크론 변이 감염 확산 폭증을 경험한 다른 나라의 상황을 고려하면, 한국에서도 하루 신규 확진자수가 10만명에 이를 것이라는 예상이 1월말에 이미 나오기 시작했다.[27] PCR 검사 체제를 유지할 경우 검사를 받는 사람들 중에 감염자가 차지하는 비율이 5%이면 200만명을 검사해야 하고, 감염자 비율이 10%이면 100만명을 검사해야 하는 상황이었다. 한국의 PCR검사 역량으로는 감당할 수 없는 검사량이다. 항원 검사 위주의 검사 체제로의 전환이 불가피한 상황이었다. 하루 신규 확진자수는 2월 2일에 2만명을 넘었고, 2월 10일에는 5만명을, 2월 18일에는 10만명을 넘었다. 3월 2일에는 20만명을 넘었고 3월 17일에는 60만명을 넘으면서 최고점을 찍었다.

항원 검사 위주의 검사 체제에서는 PCR검사에 비해 더 늦게 확진되는 것은 피할 수가 없다. 항원 검사는 바이러스 양이 적은 감염 초기에는 음성이 나올 확률이 크기 때문이다.[28] 중증과 사망 위험이 높은 사람들은 계속 훨씬 더 정확한 PCR검사로 감염 여부를 판단했기 때문에 항원 검사보다는 좀 더 일찍 양성이 나왔을 수 있다.[29] 하지만 너무 확진자가 많이 나와서 감염자 추적을 할 수 없기 때문에 대부분의 사람들은 선제적으로 검사를 받을 수 없었던 것도 감안해야 한다.

신규 확진자수 7일 이동평균 곡선 봉우리 모양의 중간 시점과 신규 사망자수 7일 이동평균 곡선 봉우리 모양의 중간 시점으로 추정된 확진과 사망 사이의 시차는 약 10일 정도이다.(그림 3-10) 2021년 12월 한국에서 델타 변이가 정점일 때 확진과 사망 사이의 시차와 비슷하다. 이

시차를 반영해 계산한 단기 확진자 치명률을 보면 2월 1일에 0.5%를 뚫고 내려갔다.(오렌지색 곡선). 이 후 빠르게 감소하는 단기 확진자 치명률은 3월 1일에 0.127%까지 낮아지면서 한달 만에 4분의 1 수준이 된다. 다시 한 달 후인 3월 29일에는 0.0806%까지 낮아진다. 3월 29일부터 4월 25일까지 4주간 단기 확진자 치명률 평균은 0.0924%이다.

2022년 1월에서 5월까지 대한민국의 단기 확진자 치명률

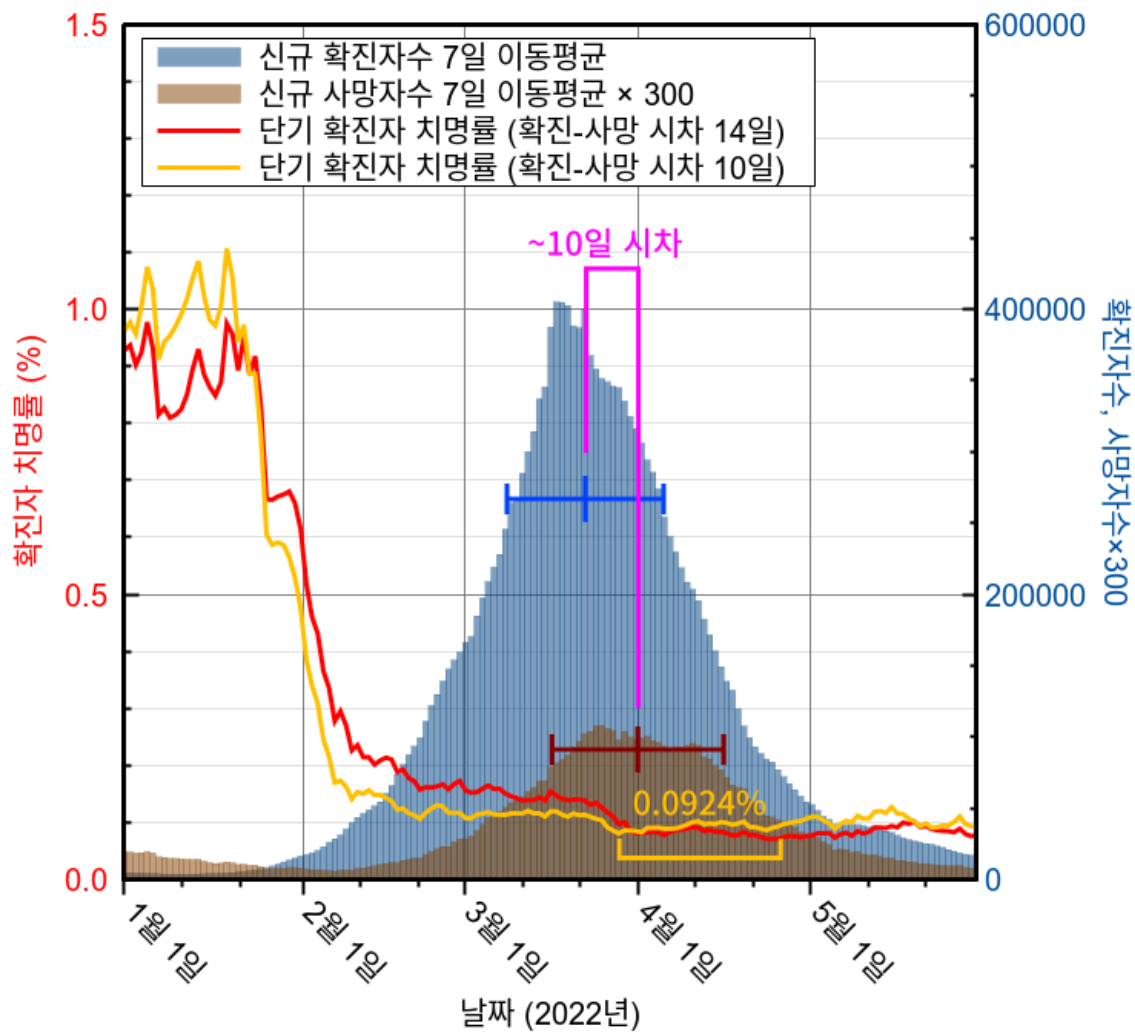


그림 3-10. 오미크론 변이가 지배할 때 한국의 신규 확진자수 7일 이동평균(파란색 막대), 신규 사망자수 7일 이동평균(밤색 막대), 그리고 단기 확진자 치명률 (빨간색 곡선: 확진-사망 시차 14일, 오렌지 색: 확진-사망 시차 10일) 신규 확진자수 이동평균 봉우리의 같은 높이 능선의 중간 시점과 신규 사망자수 이동평균 봉우리의 같은 높이 능선의 중간 시점 사이에서는 약 10일의 시차가 있다.

델타 변이 때 감염자를 더 잘 찾은 영국, 오미크론 변이 때는 한국보다 못했다.

델타 변이가 지배할 때 감염자를 한국보다 훨씬 잘 찾아내서 단기 확진자 치명률이 한국보다 낮았던 영국과 비교해 보자. (그림 3-11) 영국에서 오미크론 변이가 지배하는 동안 단기 확진자 치명률이 가장 낮았던 기간은 2021년 12월 말에서 2022년 1월 2중순까지이다. 2021년 12월 28일부터 2022년 1월 17일까지 3주간 단기 확진자 치명률 평균은 0.134%이다. 한국에서 단기 확진자 치명률이 저점인 기간동안의 평균이 0.0924%보다 1.45배 크다.

본격적으로 오미크론 변이로 인한 신규 확진자수가 증가하기 시작한 때는 12월 10일 쯤으로 이 때 영국의 백신접종률은 1차는 76.1% 2차는 69.4%였다. 한국에서 오미크론 변이로 인해 확진자수가 본격적으로 증가하기 시작한 즈음인 2월1일의 한국 백신 접종률은 1차는 87.0%, 2차는 85.7% 였다. [30] 오미크론 변이로 인한 신규 확진자수가 본격적으로 증가하기 시작한 시점의 백신 접종률은 한국이 10% 이상 높지만, 한국은 누적 확진자수가 86만 4,042명으로 전체 인구의 1.7% 정도였지만, 영국의 경우 이미 누적 확진자수가 1,100만명으로 전체 인구의 16%가 넘었다. 당시 누적 확진자 치명률은 0.247%였다. 감염으로 인한 자연 면역까지 고려하면 국민 전체의 코로나19에 대한 면역 수준은 서로 비슷했다고 볼 수 있다. 이런 상황에서 한국의 단기 확진자 치명률이 영국에 비해 낮았다는 것은 한국이 감염자를 영국에 비해 더 잘 찾았다는 것을 의미한다.

당시 한국에서는 항원 검사 위주로 검사를 했기 때문에 감염자를 일찍 찾아내지 못했다는 문제가 있었다. PCR 검사와 비교해 항원 검사는 시간이 더 지나 몸에서 바이러스를 더 많이 배출해야 양성 나오기 때문이다. 그 만큼 격리를 늦게 하면서 감염 확산 규모가 커질 수 밖에 없었다. PCR검사만으로 감당할 수 없는 수준으로 감염자가 많이 생기는 상황에서는 불가피한

상황이었다. 그럼에도 불구하고 확진과 사망 사이의 시차는 델타 변이가 정점이었던 **2021년 12월**동안의 확진과 사망 사이의 시차와 거의 비슷했다.

델타 변이로 확진자수가 많았을 때는 한국의 단기 확진자 치명률이 영국보다 훨씬 높았다. 그만큼 델타 변이 때는 한국이 감염자를 더 못찾았다고 볼 수 있다. 하지만 오미크론 변이가 지배하면서 신규 확진자수가 폭증할 때는 한국의 단기 확진자 치명률이 오히려 더 낮았다. 불과 **3-4달** 사이에 이렇게 상황이 역전된 이유는 검사 방식의 전환, 치료제 사용, 국민의 건강 상태의 차이등 여러 가지가 있을 수 있다. 델타 변이 정점 때는 한국이 영국에 비해 감염자를 **3.8배** 더 못 찾는 상황이었지만, 불과 **3-4달**의 차이로 오미크론 변이 정점 때는 오히려 영국보다 감염자를 더 잘 찾는 상황으로 반전되었다. 결과적으로 **2022년 1월** 항원 검사 위주로의 검사 체제 전환은 감염자를 많이 놓치는 상황에서 감염자를 매우 잘 찾는 상황으로 급반전하는 계기를 가져왔다고 볼 수 있다.

2021년 12월에서 2022년 4월까지 영국의 단기 확진자 치명률

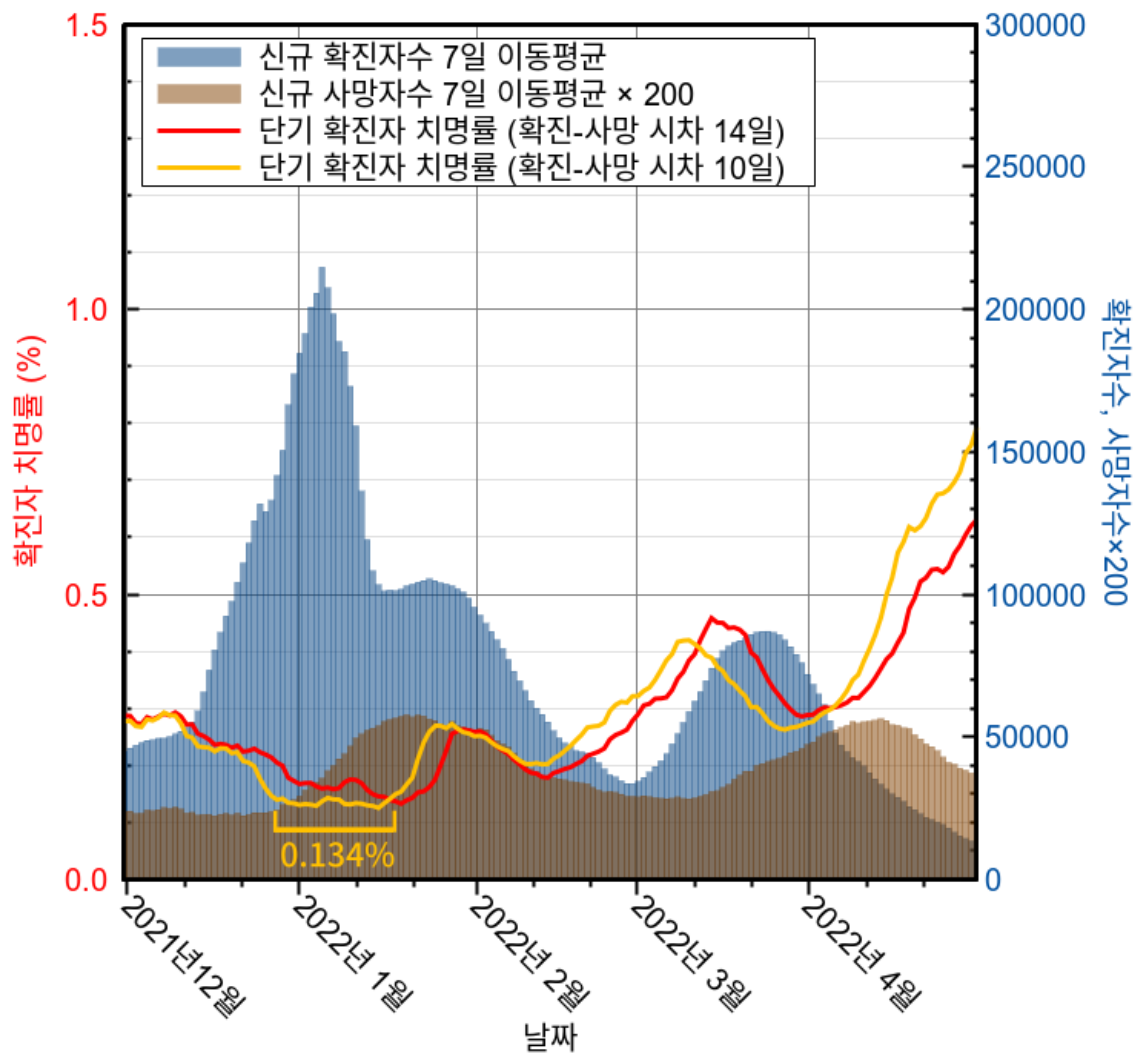


그림 3-11. 오미크론 변이가 지배할 때 영국의 신규 확진자수 7일 이동평균(파란색 막대), 신규 사망자수 7일 이동평균(밤색 막대), 그리고 단기 확진자 치명률 (빨간색 곡선: 확진-사망 시차 14일, 오렌지 색: 확진-사망 시차 10일)

프랑스는 단기적으로 한국보다 감염자를 더 찾았다.

프랑스에서 오미크론 변이가 지배할 때 단기 확진자 치명률을 보자. (그림 3-12) 2022년 1월 19일부터 2월 8일까지 3주일 동안 프랑스에서의 단기 확진자 치명률의 평균은 0.0822%로

한국에서 단기 확진자 치명률이 저점일 때 4주 동안의 평균인 0.0924%보다 작다. 하지만 한국은 3월 이후 5월까지도 0.1%내외의 단기 확진자 치명률을 유지한 반면, 프랑스는 단기 확진자 치명률이 0.1% 아래로 내려가기도 하지만 0.2%이상으로 올라가기도 하는 등 등락이 한국보다 더 컸다. 저점 기간이 시작된 1월 19일부터 두 달간 단기 확진자 치명률 평균은 0.148%이다. 반면 한국은 저점이 시작된 3월 29일부터 5월 28일까지 두 달간 단기 확진자 치명률 평균은 0.0986%로 더 낮다. 일시적으로는 프랑스의 단기 확진자 치명률 평균이 더 낮지만, 좀 더 긴 기간동안에는 한국의 단기 확진자 치명률 평균이 더 낮다.

비록 긴 기간동안에는 프랑스에서의 단기 확진자 치명률의 평균이 상대적으로 높지만, 3주 동안의 낮았던 프랑스의 단기 확진자 치명률에 주목할 필요가 있다. 프랑스에서 오미크론 변이로 인한 신규 확진자수가 본격적으로 증가하기 시작한 시점인 2021년 12월 20일의 백신접종률은 1차는 78.5%, 2차는 72.6%로 영국보다는 약간 높은 수준이었지만 큰 차이는 없었다.[31] 프랑스의 2021년 12월 20일의 누적 확진자수는 864만명으로 프랑스 전체 인구의 약 13%수준이다. 이 때 누적 확진자 치명률은 0.282%이다. 인구 대비 누적 확진자수가 영국보다 약 3%p 낮지만, 누적 확진자 치명률은 영국의 0.247%보다 높은 것을 감안해서 볼 필요가 있다. 프랑스에서 감염으로 자연 면역을 획득한 사람들을 포함하면 프랑스 국민의 면역 수준도 한국과 비슷한 수준이라고 볼 수 있다.

프랑스에서 단기 확진자 치명률이 낮게 유지되던 3주간의 평균값은 오미크론 변이의 ‘감염자 치명률’을 가능하는 기준이 될 수 있다. 백신 접종이 충분히 된 상태에서 오미크론 변이의 ‘감염자 치명률’은 0.0822%보다 낮다고 말할 수 있다.

2021년 12월에서 2022년 4월까지 프랑스의 단기 확진자 치명률

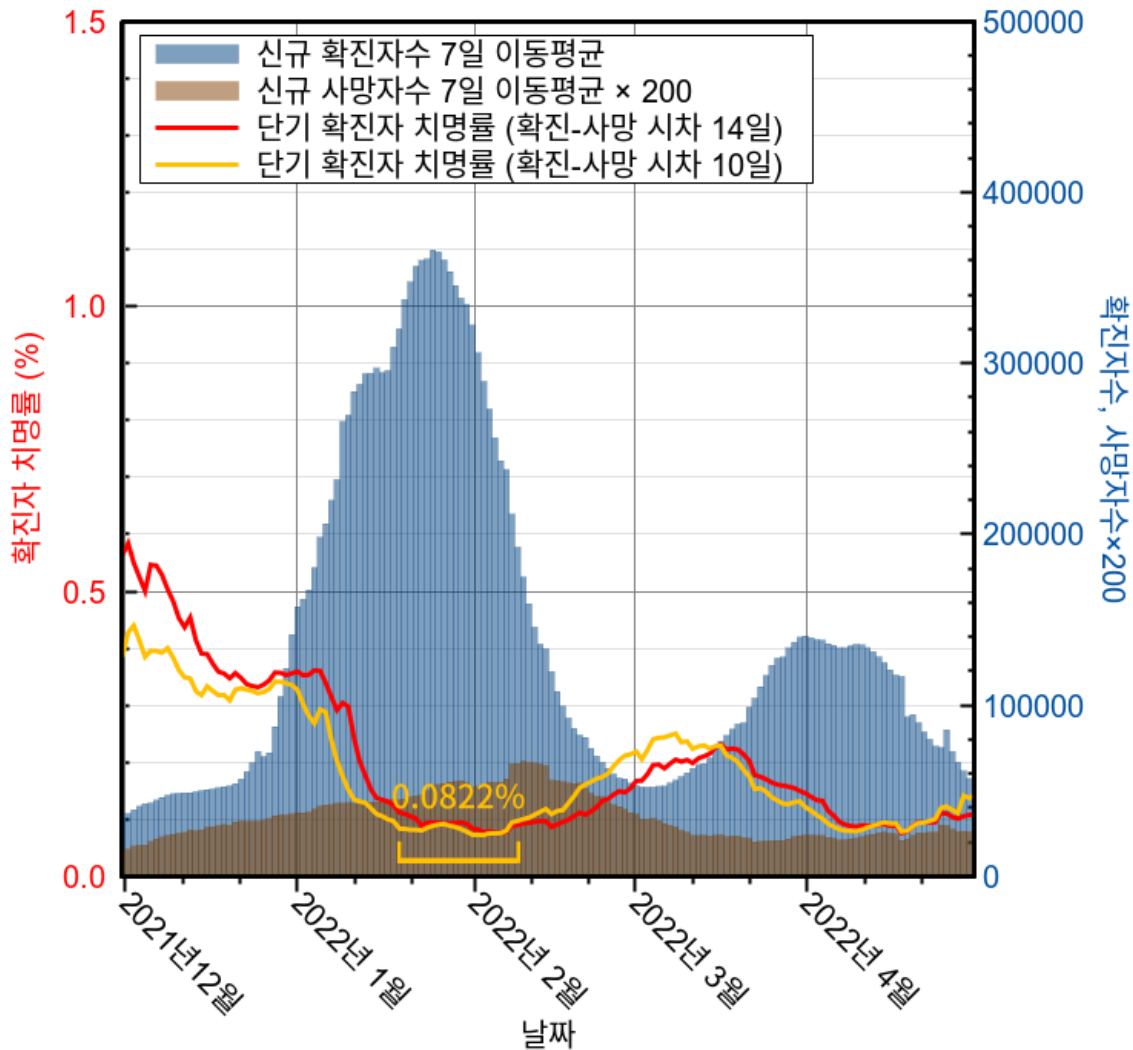


그림 3-12. 오미크론 변이가 지배할 때 프랑스의 신규 확진자수 7일 이동평균(파란색 막대), 신규 사망자수 7일 이동평균(밤색 막대), 그리고 단기 확진자 치명률 (빨간색 곡선: 확진-사망 시차 14일, 오렌지 색: 확진-사망 시차 10일)

오미크론 변이 때 한국에서 찾지 못한 감염자수는?

치료제의 영향도 살펴보자. 코로나19에 효과적인 치료제인 팩스로비드가 미국에서 사용 허가가 난 때는 2021년 12월 말이고 유럽에서는 1월에 허가가 나온 것을 감안하면 프랑스에서 신규 확진자수가 최고점에 이른 2022년 1월 중순까지는 팩스로비드 치료제를 사용이

제한적이었다고 봐야한다. 따라서 확진-사망 시차를 감안하면 2022년 1월 19일부터 2월 8일까지 3주일 동안 프랑스의 단기 확진자 치명률 평균 0.0822%는 치료제의 영향이 별로 없는 단기 확진자 치명률로 봐야한다. 백신 접종은 마무리 했지만 치료제를 사용하지 않을 때 오미크론 변이의 ‘감염자 치명률’은 0.0822% 미만이라는 것을 의미한다. 만약에 치료제 까지 사용했다면 오미크론 변이의 감염자 치명률은 0.0822%보다 훨씬 더 낮아져야 한다.

한국에서 오미크론 변이로 확진자가 폭증하던 2월 이후에는 이미 치료제를 사용하던 때였다. 백신 3차 접종 비율도 상당히 높았다. 2022년 2월 1일에 백신 3차 접종률은 53.1%였다.[30] 이보다 한달 전인 2022년 1월 1일에 백신 3차 접종률은 35.9%로 코로나19로 중증과 사망 위험이 높은 사람들에게 대한 백신 접종을 마친 상황이었다. 여기에 더해 치료제를 사용했던 것까지 감안하면, 한국의 오미크론 변이 ‘감염자 치명률’은 상당히 낮았을 것이라고 봐야 한다.

한국에서 오미크론 변이로 인한 1차 감염 확산 기간으로 볼 수있는 2022년 2월에서 5월까지 네 달 동안 확진된 사람수는 1,725만 7,929명이다. 확진-사망 시차를 10일 이라고 하면 2월에서 5월 사이에 확진된 사람들중 사망한 사람들은 2월 11일부터 6월 10일 사이에 사망했다고 볼 수 있다. 이 기간동안 사망한 사람수는 17,378명이다. 이 기간만 떼어서 계산한 확진자 치명률은 0.101%이다.

만약에 한국의 오미크론 변이에 대한 감염자 치명률이 0.0667%이면 실제 감염된 사람수는 확진된 사람수보다 1.5배 더 많았을 것이고, 감염자 치명률이 0.05%이면 실제 감염된 사람수는 확진된 사람수보다 2배 더 많았을 것으로 봐야 한다. 감염자 치명률은 항체 검사로 통해 좀 더 정확하게 추정할 수 있다. 지역별 연령별로 골고루 분포된 충분히 많은 사람들을 대상으로한 항체 검사율 유행 규모가 크지않은 적절한 시기에 할 필요가 있다.

한국 질병관리청은 2022년 8월초에서 9월 초에 이르는 기간동안 국민 항체 검사를 실시했다.[32] 2022년 9월 23일에 발표한 항체양성률 조사 결과에 의하면 국민들중 감염으로 인해 항체를 보유하게된 사람의 비율은 57.65%로 2022년 1월 20일에서 7월 30일 사이에 확진된 사람의 비율 38.15%보다 약 1.51배 높은 것으로 밝혀졌다.[32] 한편 오미크론 변이 확산 시기의 확진-사망 시차 10일을 반영해 확진자 치명률을 계산하면 0.101%로 위에서 다른 기간동안 계산한 확진자 치명률과 같다. 항체 검사 결과를 적용하면 한국의 오미크론 변이 감염자 치명률은 $0.101\% \div 1.51 \approx 0.0669\%$ 라고 볼 수 있다.

오미크론 변이 대응 개량 백신은 치명률에 어떤 영향을 끼칠까?

오미크론 변이가 우세종이 되기 시작한 때인 1월 말의 한국 백신 접종률은 1차는 87.0% 2차는 85.7% 3차는 53.1%이었다. 사실상 전국민 백신 접종을 2차까지 마쳤고 3차 접종도 국민의 반 이상이 마친 상황이었다. 기존 백신이 위중증과 사망으로부터 보호하는 사망 예방효과는 오미크론 변이에도 충분히 컸지만, 감염으로부터 보호하는 감염 예방효과는 상당히 낮았다. 이 때문에 신규 확진자수가 신규 사망자수에 비해 훨씬 많이 나오면서, 2022년 3월 29일부터 4월 25일까지 4주간 단기 확진자 치명률 평균은 0.0924%정도 까지 낮아졌다.

2022년 9월부터 오미크론 변이에 대응해 새로 나오는 개량 백신의 접종이 미국에서 시작되었다. 개량 백신 접종이 한국에서 진행되면 단기 확진자 치명률은 어떻게 될까? 오미크론 변이의 감염 예방효과가 큰 개량 백신 접종하면 신규 확진자수가 줄어드는 효과는 커진다. 기존 백신도 오미크론 변이에 대한 사망 예방효과가 충분히 컸기 때문에, 개량 백신 접종으로 사망자수가 감소하는 것보다 확진자수가 감소하는 효과가 더 크다. 그 만큼 확진자 치명률이 높아질 가능성이 있다. 하지만 고위험층에서는 신규 확진자수가 감소하면서 신규 사망자수도 감소하기 때문에 사망자수가 줄어드는 자체만으로 개량 백신의接种의 의미는 상당히 크다.

주.

[1] "Safety and Efficacy of the BNT162b2 mRNA Covid-19 Vaccine", F.P. Polack, et al., The New England Journal of Medicine, 383, 2603 (2020).

[2] "Efficacy and Safety of the mRNA-1273 SARS-CoV-2 Vaccine", L.R. Baden, et al., New England Journal of Medicine, 384, 403 (2021).

[3] "Effectiveness of the Pfizer-BioNTech and Oxford-AstraZeneca vaccines on covid-19 related symptoms, hospital admissions, and mortality in older adults in England: test negative case-control study", J. I. Bernal, et al., BMJ 2021;373:n1088 (2021), doi: <https://doi.org/10.1136/bmj.n1088>

"영국 "화이자·아스트라제네카 백신 고령층에 큰 효과"", 강훈상, 연합뉴스, 2021년 3월 2일, <https://www.yna.co.kr/view/AKR20210302034100009>

"BNT162b2 mRNA Covid-19 vaccine in a nationwide mass vaccination setting", N. Dagan, et al., The New England Journal of Medicine, 384, 1412 (2021), doi: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2101765>

"Effectiveness of a third dose of the BNT162b2 mRNA COVID-19 vaccine for preventing severe outcomes in Israel: an observational study", N. Barda, et al., Lancet, 98, 2093 (2021), doi: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)02249-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02249-2)

[4] "Age Groups - GOV.UK ethnicity facts and figures", GOV.UK, <https://www.ethnicity-facts-figures.service.gov.uk/uk-population-by-ethnicity/demographics/age-groups/latest>

[5] "Coronavirus (COVID-19) latest insights: Deaths", GOV.UK, <https://www.ons.gov.uk/peoplepopulationandcommunity/healthandsocialcare/conditionsanddiseases/articles/coronaviruscovid19latestinsights/deaths>

[6] "Elevated risk of infection with SARS-CoV-2 Beta, Gamma, and Delta variant compared to Alpha variant in vaccinated individuals", S. P. Andeweg, et al., Science Translational Medicine, 2022 Jul 21:eabn4338. doi: 10.1126/scitranslmed.abn4338.

[7] "Covid-19 Vaccine Effectiveness against the Omicron (B.1.1.529) Variant", N. Andrews, et al., The New England Journal of Medicine, 386, 1532, (2022), doi: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2119451>

"Characterization and antiviral susceptibility of SARS-CoV-2 Omicron BA.2", R. Uraki, et al., Nature, 607, 119, (2022).

[8] "중증 700명 초과, 연일 최악...역학조사 사실상 '포기'", 김소영, 조건희, 동아일보, 2021년 12월 1일, <https://www.donga.com/news/article/all/20211201/110555863/1>

[9] "국내 첫 백신접종 시작...전국 보건소·요양병원서 '동시 스타트'", 신선미, 연합뉴스, 2021년 2월 26일, <https://www.yna.co.kr/view/AKR20210225157500530>

[10] "코로나바이러스감염증-19 국내 발생 현황 (12월 21일, 정례브리핑)", 보도자료, 질병관리청, 2021년 12월 15일, http://ncov.mohw.go.kr/tcmBoardView.do?brdId=3&brdGubun=31&ncvContSeq=4462&board_id=312

[11] "코로나19 예방접종 및 국내 발생 현황(12.31., 0시 기준)", 보도자료, 질병관리청, 2021년 12월 15일, http://ncov.mohw.go.kr/tcmBoardView.do?brdId=3&brdGubun=31&ncvContSeq=4539&board_id=312

[12] ""Tracking SARS-CoV-2 variants", World Health Organization, <https://www.who.int/activities/tracking-SARS-CoV-2-variants>

[13] "코로나19 국내 발생 및 예방접종 현황", 정례브리핑, 질병관리청, 2021년 3월 15일, http://ncov.mohw.go.kr/tcmBoardView.do?brdId=3&brdGubun=31&ncvContSeq=4972&board_id=312

[14] "세계적 변이바이러스 증가, 예방접종완료·방역수칙 준수 필요", 정례브리핑, 질병관리청, 2021년 6월 22일, http://ncov.mohw.go.kr/tcmBoardView.do?brdId=3&brdGubun=31&ncvContSeq=5575&board_id=312

[15] "비수도권 발생 증가에 따른 주의 당부(7.27., 정례브리핑)", 질병관리청, 2021년 7월 27일, http://ncov.mohw.go.kr/tcmBoardView.do?brdId=3&brdGubun=31&ncvContSeq=5723&board_id=312

[16] Coronavirus (COVID-19) Vaccinations, <https://ourworldindata.org/covid-vaccinations?country=KOR>

[17] "코로나19 국내 발생 및 예방접종 현황(7.01., 0시 기준)", 질병관리청,
http://ncov.mohw.go.kr/tcmBoardView.do?brdId=3&brdGubun=31&ncvContSeq=5624&board_id=312

[18] "주요연령계층별 추계인구", 한국 국가 통계 포럼
https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1BPA003&language=ko

[19] "코로나19 국내 발생 및 예방접종 현황(8.01., 0시 기준)", 질병관리청,
http://ncov.mohw.go.kr/tcmBoardView.do?brdId=3&brdGubun=31&ncvContSeq=5741&board_id=312 37.9% 13.9%

[20] "코로나19 국내 발생 및 예방접종 현황(9.01., 0시 기준)", 질병관리청,
http://ncov.mohw.go.kr/tcmBoardView.do?brdId=3&brdGubun=31&ncvContSeq=5878&board_id=312 57.0% 30.7%

[21] "코로나19 국내 발생 및 예방접종 현황(10.01., 0시 기준)", 질병관리청,
http://ncov.mohw.go.kr/tcmBoardView.do?brdId=3&brdGubun=31&ncvContSeq=5969&board_id=312 76.6% 50.1%

[22] "코로나19 국내 발생 및 예방접종 현황(11.01., 0시 기준)", 질병관리청,
http://ncov.mohw.go.kr/tcmBoardView.do?brdId=3&brdGubun=31&ncvContSeq=6058&board_id=312 80.1% 75.3%

[23] Coronavirus (COVID-19) Vaccinations,
<https://ourworldindata.org/covid-vaccinations?country=GBR>

[24] “Delta coronavirus variant: scientists brace for impact”, E. Callaway, Nature, 595, 17 (2021), <https://www.nature.com/articles/d41586-021-01696-3>

[25] “Variants of concern or under investigation: data up to 2 June 2021”, GOV.UK, <https://www.gov.uk/government/publications/covid-19-variants-genomically-confirmed-case-numbers/variants-distribution-of-case-data-3-june-2021>

“Covid-19: Delta variant is now UK’s most dominant strain and spreading through schools”, I. Torjesen, 2021년 6월 4일, BMJ 2021;373:n1445, doi: <https://doi.org/10.1136/bmj.n1445>

[26] “새 변이 '오미크론' 공포에 문 걸어 잠그는 유럽”, 최윤정, 연합뉴스, 2021년 11월 26일, <https://www.yna.co.kr/view/AKR20211126155000085>

“First UK cases of Omicron variant identified”, GOV.UK, 2021년 11월 27일, <https://www.gov.uk/government/news/first-uk-cases-of-omicron-variant-identified>

[27] ““2말3초 신규 확진자 10만명 넘을수도” 오미크론 충격 전망”, 이환희, 중앙일보, 2022년 1월 25일, <https://www.joongang.co.kr/article/25043358>

“오미크론발 대확산 시작... 2월 최대 12만명까지 간다”, 김영지 & 최정석, 조선비즈, 2022년 1월 26일, <https://biz.chosun.com/it-science/bio-science/2022/01/26/25KHLZ7KBJEBNJW27CCFJRU3MI/>

[28] “Validation of a rapid antigen test as a screening tool for SARS-CoV-2 infection in asymptomatic populations. Sensitivity, specificity and predictive values”, A. Fernandez-Montero, J. Argemi, J. A. Rodríguez, A. H. Ariño, and L. Moreno-Galarraga, EClinicalMedicine, 37, 100954 (2021), doi: <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2021.100954>

[29] “오미크론 국내 검출률 50% 넘어 우세종됐다...”의료체계 전환”, 김기훈, 연합뉴스, 2022년 1월 24일, <https://www.yna.co.kr/view/AKR20220124026800530>

[30] "코로나19 국내 발생 및 예방접종 현황(2.01., 0시 기준)", 질병관리청, http://ncov.mohw.go.kr/tcmBoardView.do?brdId=3&brdGubun=31&ncvContSeq=6338&board_id=312

[31] Coronavirus (COVID-19) Vaccinations, <https://ourworldindata.org/covid-vaccinations?country=FRA>

[32] "실외 마스크 착용 자율 전환 및 전국단위 코로나19 항체양성률 조사 결과 발표", 질병관리청, <http://ncov.mohw.go.kr/tcmBoardView.do?ncvContSeq=372996&contSeq=372996>