

한국 코로나19 데이터 분석

1부. 2020년 초 대구 지역 코로나 상황 재구성

윤복원

조지아 공대 물리학과

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

facebook: [facebook.com/bwyoona68](https://www.facebook.com/bwyoona68)

1-1. 시차를 두고 일어나는 감염, 확진, 사망, 격리 해제

감염자수는 확진자수보다 많고 사망자수는 확진자수보다 많다.

감염, 확진, 사망, 격리 해제 사이의 시차를 반영해야

데이터를 좀 더 정확하게 분석할 수 있다.

한국 방역 당국에서 코로나19와 관련해서 매일 여러 수치를 발표한다. 그 중에는 확진자수, 사망자수, 격리 해제자수가 있다.[1][2] 각각의 정보는 하루동안 새로 발생한 숫자와 그동안 나온 숫자를 합한 누적값 이렇게 두 개의 수치로 발표한다.

‘확진자’는 진단검사를 받고 양성이 나와서 ‘확진’된 사람이다. 검사에서 양성이 나왔다는 것은 코로나19 바이러스에 감염된 것을 의미한다. 하지만 감염됐음에도 불구하고 검사를 받지 않은 사람들도 있다. 감염됐어도 증상이 없는 사람은 본인 감염됐는지를 모를 수도 있고, 증상이 있어도 미미하면 그냥 지나칠 수도 있다. 이들은 ‘확진’이 되지 않으니 확진자로 분류되지 않는다. 여기에 더해 감염됐음이 확실함에도 불구하고 이런 저런 이유로 검사를 받지 않았거나 못한 사람들도 감염자에 포함된다.

결국 확진자는 감염자이지만 감염자라고 해서 확진자인 것은 아니다. 감염자는 모든 확진자를 다 포함하지만 확진자는 감염자를 다 포함하지 못하므로, 확진자는 감염자의 일부인 부분집합이다. 확진자에 포함되지 않은 감염자는 ‘찾지 못한 감염자’로, 감염자 집합에서 확진자 집합의 ‘여집합’(complementary set)이다.

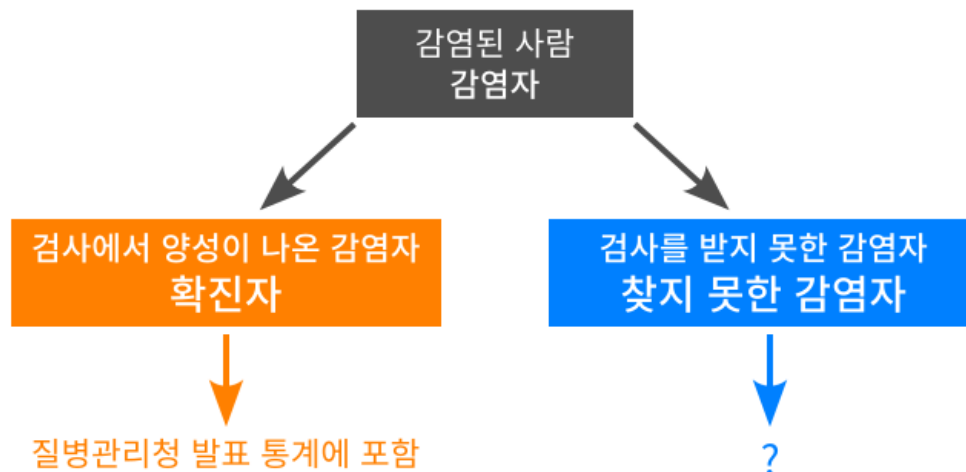


그림 1-1. 감염자 중에는 확진자도 있고 ‘찾지 못한 감염자’도 있다. 확진자는 질병관리청이 매일 발표하는 통계에 포함되지만 ‘찾지 못한 감염자’는 통계에 포함되지 않는다.

있을 수 밖에 없는 ‘찾지 못한 감염자’

감염자를 최대한 많이 찾아내려면 일시에 전국민을 빠짐없이 검사해야 한다. 단순히 전국민을 검사한다는 것만으로는 감염자를 다 찾아낼 수 없다. 검사를 받은 후에 검사받지 않은 다른 감염자에 의해 감염될 수 있기 때문이다. 일시에 전국민을 검사한다고 하더라도 감염자가 또 생길 수 있다. 감염된지 얼마되지 않아 몸에서 바이러스를 생산하지 않는 경우에는 검사를 받아도 양성 나오지 않기 때문이다. 이렇게 감염된지 얼마되지 않아 검사를 받고 음성이 나온 감염자는 며칠 후에 몸에서 바이러스를 본격적으로 생산하면서 접촉한 다른 사람들에게 바이러스를 전파할 수 있다. 결국 완벽하게 감염자를 다 찾아내는 것은 사실상 불가능하다.

전국민 또는 지역별로 모든 주민을 검사하는 이른바 ‘전수 검사’를 통해 감염자를 최대한 많이 찾아내면 그들을 격리함으로써 감염 전파를 최소화할 수는 있다. 효과를 최대화하기 위해 중국의 경우처럼 전수 검사 기간동안 주민의 이동과 주민들 사이의 접촉을 막는 조치를 할 수도 있다. 하지만 한국과 같은 사회에서 주민의 이동과 접촉을 막으면서 전수검사를 하는 것은 경제적 사회적 문제로 시행이 거의 불가능하다. 결국 코로나 바이러스가 완전히 종식되지 않는 이상 감염자는 존재하고 그중에는 검사를 받지 않아 확진되지 않는 사람들, 다시 말해 ‘찾지 못한 감염자’들이 있을 수 밖에 없다.

코로나-19 데이터에 나오는 ‘사망자’는 코로나19에 확진된 사람들 중에 증상이 악화되어 사망한 사람이다. 때로는 사망한 사람을 검사했더니 양성 나온 이른바 사후에 확진되는 특별한 경우도 있다. 코로나19로 사망한 사람은 확진자의 일부이기 때문에, 사망자는 확진자의 부분집합이다.

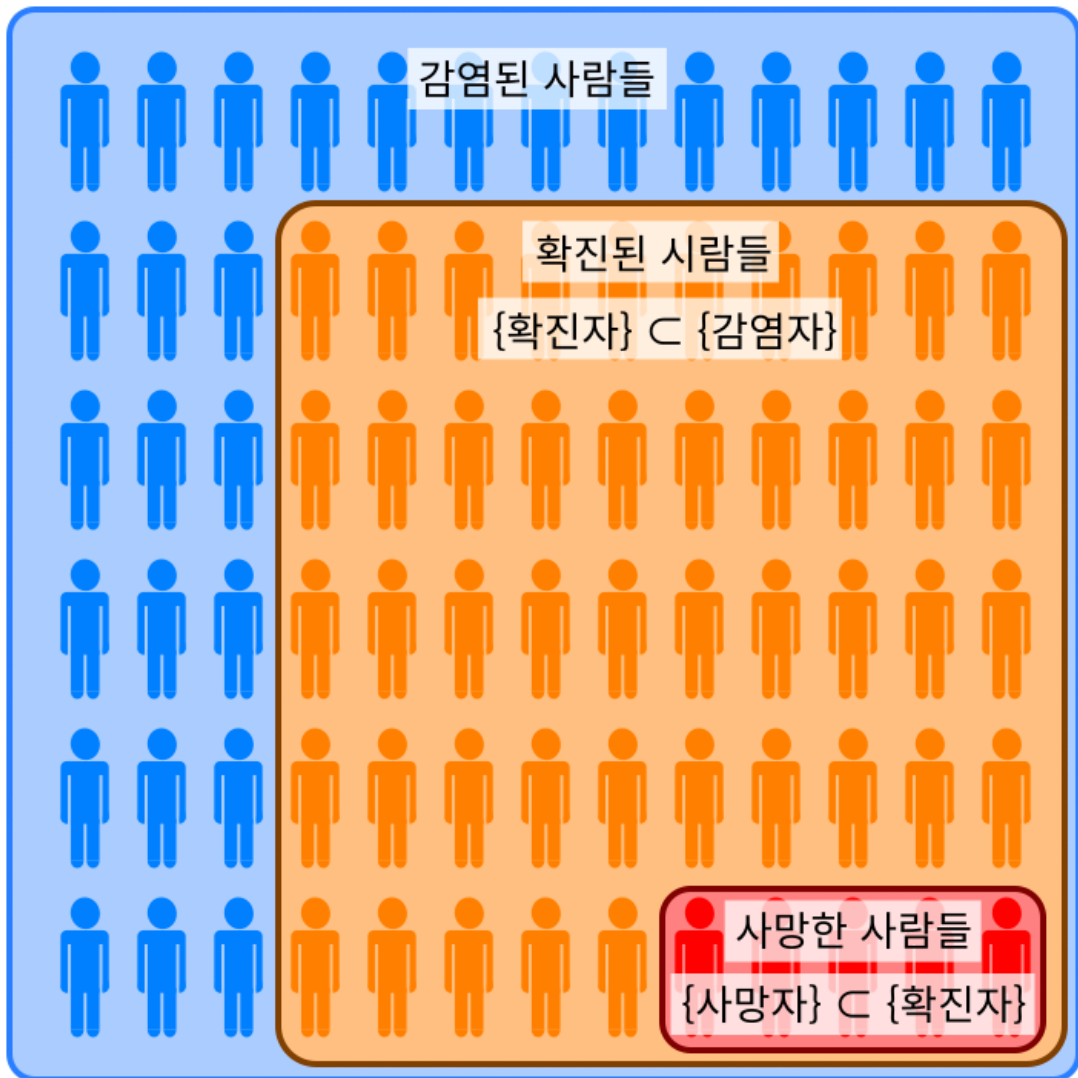


그림 1-2. 확진자는 모두 감염자이므로 감염자의 부분집합이다. 사망자는 확진자중에서 나온다. 모든 감염자를 빠짐없이 진단검사로 찾아내지 못하므로 찾지 못한 감염자들이 존재한다. 감염으로 사망한 사람들은 사후 진단을 포함해서 확진된 사람들에서 나오므로, 사망자는 확진자의 부분집합이다.

확진된 사람들은 방역당국이 정한 원칙에 따라 다른 사람들과 접촉을 제한하길 격리에 들어간다. 확진자 중에 증상이 심한 사람이나 사망 위험성이 높은 사람들은 치료를 받는다. 이후 격리를 끝낼 수 있는 기준이 만족되면 격리에서 해제된다. 이들이 '격리 해제자'이다. 격리 해제 기준은 시기와 상황에 따라 다르다. 감염 확산 초기 한국에서는 격리 해제 기준이 상당히 엄격했다. 감염된 이후 얼마나 오랫동안 다른 사람들을 감염시키는지에 대한 정보가 충분하지 못했던 2020년 상반기까지만 해도, 격리가 해제되려면 PCR 검사에서 이를 연속 음성이

나와야 했다. 몸에서 바이러스가 거의 사라질 때까지 격리하는 엄격한 확진자 관리였다. 이렇게 엄격하게 적용한 격리 해제 기준은 새로운 정보를 제공하면서 데이터를 좀 더 정확하게 분석하는 데 도움을 준다.

시차를 두고 나타나는 감염, 확진, 사망, 격리해제

감염, 확진, 사망, 격리 해제는 시차를 두고 일어난다. 감염이 먼저 일어난다. 검사를 받고 확진이 되는 때는 감염된 이후이다. 검사는 이유는 사람마다 다를 수 있다. 증상이 나타나서 검사를 받을 수도 있고, 증상과 상관없이 확진된 사람과 접촉이 있어서 검사를 받을 수도 있다. 주기적으로 검사를 받는 사람도 있을 수 있고, 의무적으로 참여하는 전수 검사의 경우도 있을 수 있다. 검사를 받는 이유는 방역당국의 검사 전략과 검사 역량의 영향을 상당히 받는다. 검사를 받는 이유가 다른 만큼 감염과 검사 사이의 시차로 다를 수 있다. 따라서 감염과 확진 사이의 시차는 특정한 값이 아닌 시간대에 퍼져있는 분포로 나타난다.

특정 시점에 감염된 사람수를 $f(t)$ 라고 하면, 확진자수 $h(t)$ 는 합성곱(convolution)의 형태의 수식으로 표현할 수 있다.

$$h(t) = (g * f)(t) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t - \tau) f(\tau) d\tau$$

여기에서 함수 $g(t)$ 는 감염과 확진사이의 시차에 따라 확진되는 사람수의 분포가 어떻게 나타나는지를 결정하는 함수이다.

위와 같은 수식은 과학과 공학 분야에서는 흔하게 접한다. 선형 응답 이론 (linear response theory), 그린 함수 (Green's function), 합성곱 (convolution), 필터링 (filtering) 등 여러 분야의 이론, 분석 또는 변환 방법에 등장하고 응용된다. 그림 1-3에서는 이해를 돕기 위해 단순한 모양의 분포로 감염-확진 사이의 시차 분포를 나타냈다. 실제 상황에서는 더 복잡한 모양의 분포로 나타나고, 감염확산 규모나 시기, 검사전략 등과 같은 요인들에 의해 분포의 모양과 위치가 달라질 수 있다.

증상이 나타나는 사람만 검사를 하는 경우 증상이 나타나기까지 기다려야하기 때문에 감염과 확진 사이의 시차가 길어질 수 있다. 이 경우에는 증상이 없는 사람들은 검사하지 않기 때문에 무증상 감염자가 확진자에 포함되지 않을 가능성이 크다. 그만큼 실제 감염자수에 비해 확진자수가 상당히 적게 나올 수 있다. 반면 접촉자 추적으로 찾은 접촉자 모두를 검사하거나 전수 검사 또는 그에 준하는 검사로 증상이 없어도 검사하는 경우에는 감염되지 얼마되지 않은 감염자도 찾을 수 있다. 이런 경우에는 감염과 확진사이의 시차가 짧아지고 확진자에서 누락되는 감염자들도 줄어든다. 반면 감염된 후 증상이 없어 검사를 받지 않고 지내다가 주위 사람들이 확진되면서 뒤늦게 검사를 받는 경우에는, 감염과 확진사이의 시차가 상당히 길어질 수도 있다.

사망하는 사람은 사후 확진이라는 특별한 경우를 제외하고 확진된 이후에 일어난다. 사망 시점도 치료를 잘 받는 경우와 잘 받지 못하는 경우에 따라 달라질 수 있고, 나이와 건강상태에

따라 달라질 수 있다. 이 때문에 감염과 사망 사이 또는 확진과 사망 사이의 시차도 시간대에 퍼져있는 분포로 나타난다.

격리를 해제하는 시점도 확진 이후이다. 확진된 사람들은 격리되고 이들중 사망한 사람들을 제외한 나머지 사람들은 시차를 두고 격리에서 해제된다. 특정 시점에 확진된 ‘확진자’ 대부분은 ‘격리 해제자’가 되고 일부는 사망하면서 ‘사망자’가 된다. 최종적으로 확진자수는 격리 해제자수에 사망자수를 더한 값이다. 하지만 확진된지 얼마 안 된 시점에서는 격리가 해제되지 않은 사람들도 있고 앞으로 사망하는 사람들도 있어서, 확진자수는 격리 해제자수와 사망자수를 더한 값보다 크다. 감염 또는 확진과 격리 해제 사이의 시차도 격리 해제 조건에 따라 일정하지 않고 여러 시차가 나타나는 분포를 지닐 수도 있다.

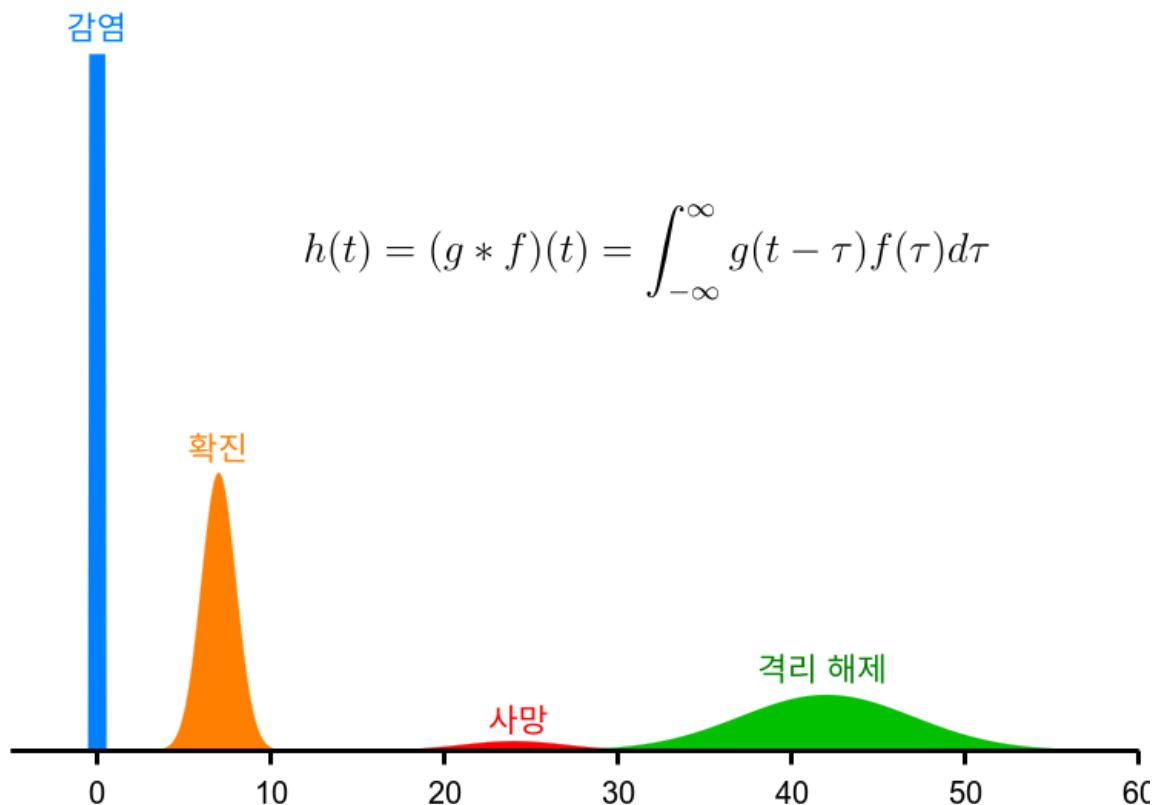


그림 1-3. 특정 날짜에 ‘감염’된 사람중에 많은 사람들은 시차를 두고 검사를 받아 ‘확진’되고, 확진된 사람들중의 일부는 시차를 두고 ‘사망’한다. 확진된 사람은 사망한 사람을 제외하고 모두 시차를 두고 ‘격리 해제’된다. 확진, 사망, 격리 해제가 일어나는 시점은 특정 시점이 아닌 시간대에 퍼져있는 분포를 지닌다. 과학과 공학 분야에는 이런 분포를 다루는 이론과 계산을 흔하게 접한다. 격리 해제 시점은 시기와 나라마다 다르다. 2020년 상반기 한국은 그림처럼 격리 해제 시점이 확진에서 상당히 멀리 떨어져 있지만, 이후 격리 해제 조건이 완화되면서 확진 시점과 상당히 가까워졌다.

1-2. 알려진 것보다 훨씬 일찍 시작된 대구 지역 코로나 감염 확산

2020년 2월 대구 지역 코로나 확진자 폭증 이전 상황은 데이터에 흔적으로 남아있다.

격리 해제자수를 분석하면 언제 감염 폭증이 시작되었는지 알 수 있다.

31번 확진자 이전에 이미 많은 감염자들이 있었다.

코로나19 바이러스는 2019년 연말 중국 우한에서 처음 보고됐다.[3] 2020년 1월 23일까지 1000명을 넘지 않았던 중국에서의 누적 확진자수는 1월 31일에 1만명을 넘고 2월 12일에는 5만명을 넘을 정도로 급격히 증가했다. 강력한 도시 봉쇄가 시행되었고, 3월 1일에 이르러 누적 확진자수가 8만명을 넘으면서 신규 확진자수가 확실하게 줄어드는 진정 국면으로 접어들었다.

한국은 중국과 가깝고 서로 왕래도 많은 나라이어서, 코로나 바이러스의 유입은 시간 문제였다, 첫 확진자도 1월 20일에 나왔다. [4] 한국의 방역당국은 코로나 바이러스 유입에 대비해 1월부터 코로나19 진단검사를 준비해 왔다. 2월 4일에는 ‘실시간 유전자 증폭검사(Real Time RT-PCR)’를 이용한 코로나19 진단검사키트 첫 승인이 나왔다.[5] 확진자가 나오면 그와 접촉한 사람들을 추적하는 것도 코로나 바이러스 유입 초기부터 시행해 왔다. 이미 황사와 미세먼지로부터 보호하기 위해 마스크를 쓰는 것에 익숙했던 한국 국민들은 코로나19 감염 확산을 줄이는 데 필수적인 마스크 착용에 저항이 거의 없었고 거리두기에도 적극 협조하면서, 국경 봉쇄나 지역 봉쇄 없이 코로나19 감염 확산을 잘 막고 있었다. 2015년 한국에 닥쳤던 메르스(중동호흡기증후군) 감염확산의 경험도 방역에 적지 않은 도움을 줬다. 2월 중순까지는 하루에 신규 확진자가 1명정도 나오는 수준으로 아주 완만하게 확진자가 증가하는 추세였다.

31번 확진자를 신호로 시작된 확진자 폭증

하지만 발표일 기준으로 2월 18일에 ‘31번 확진자’로 알려진 확진자가 나오면서 상황은 급변했다. 대구의 신천지 교회 소속 교인인 31번 확진자가 확진되기 전에 많은 사람이 모인 예배에 참석한 것이 밝혀지면서 예배에 참석한 사람들을 중심으로 집중적인 접촉자 추적이 시작되었다.[6] ‘31번 확진자’가 확진된 다음날인 2월 19일에는 추가로 20명의 신규 확진자가 나왔고[7], 그 다음 날인 2월 20일에는 53명의 신규 확진자가 나왔다. 대구에서 멀지 않은 경상북도 청도군 소재의 한 병원에서 첫 코로나19 사망자가 나왔다고 공식 발표된 날도 이날이다. [8]

이 후 신규 확진자수의 급등세는 당분간 계속 이어졌다. 2월 21일에는 100명, 22일에는 142명, 23일에는 256명의 신규 확진자가 나왔다. 2월 29일에는 신규 확진자수가 800명이 넘으면서 확진자 증가세의 정점을 찍었다. 중국 우한에 이어 두번째로 대규모 감염 확산이 한국에서 일어난 것이다.

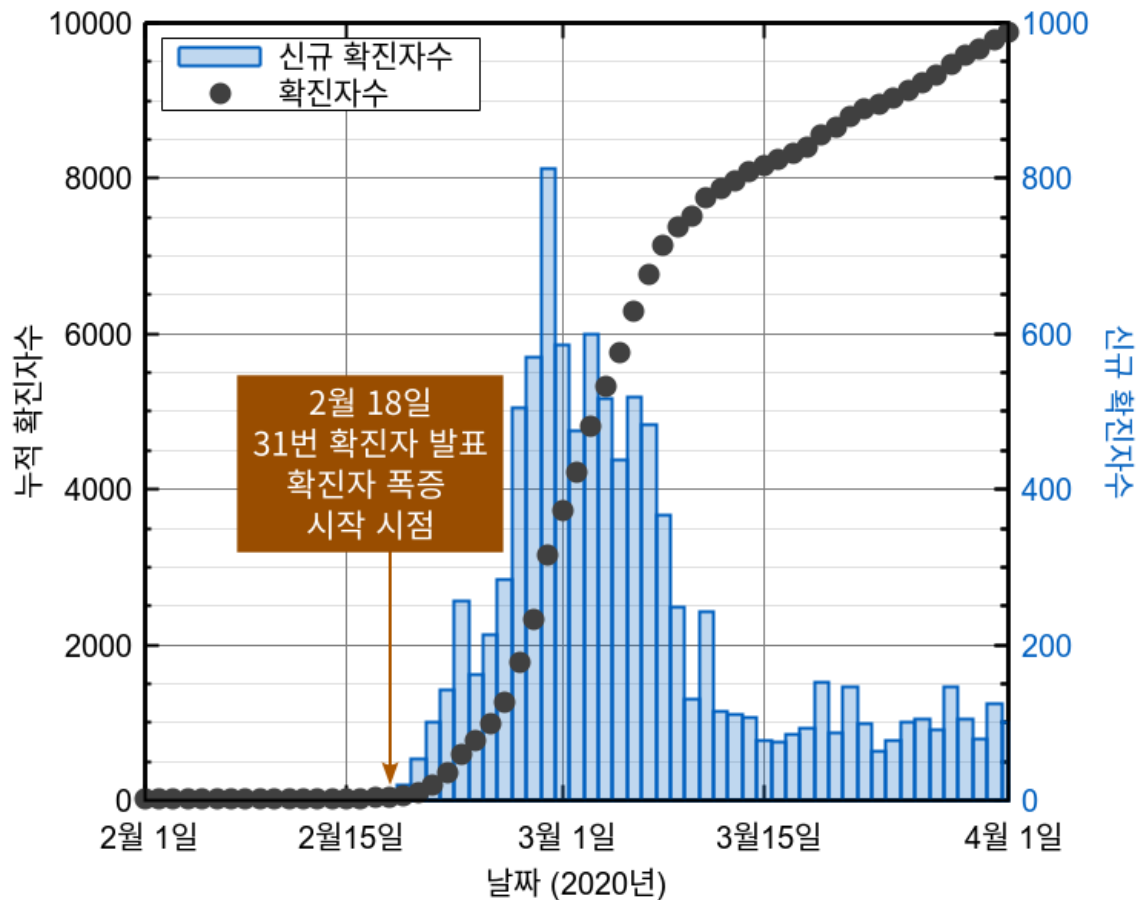


그림 1-4. 2020년 2월 18일 발표된 31번 확진자를 시작으로 확진자가 폭증하기 시작했다. 검은 동그라미는 누적 확진자수이고, 파란 막대 그래프는 하루 신규 확진자수이다.

신규확진자수가 급등하던 이 시기에 포털사이트에 게재된 관련 뉴스에는 ‘31번 확진자’에 대한 댓글이 많았다. 그가 큰 감염 확산의 시작인 ‘슈퍼 감염자’였다고 생각하는 사람들의 댓글들도 있었다. 과연 ‘31번 확진자’가 감염확산의 시작점이었을까? 데이터를 분석해 보면 그렇지 않을 가능성이 더 크다는 것을 알 수 있다. 당시의 상황을 데이터 분석으로 재구성해 보자.

2020년 상반기의 한국에서는 모든 확진자들을 확진되자마자 바로 병원이나 시설에서 격리해 감염확산을 최대한 막았다. 당시 격리를 끝낼 수 있는 기준은 이를 연속 PCR검사에서 음성이 나오는 것이었다. 확진된 사람이 언제까지 다른 사람을 감염시킬 수 있는지에 대한 정보가 부족한 상태이었기 때문에, 몸에 바이러스가 거의 없을 때까지 격리하는 것은

당시로서는 최선의 선택이었다. 격리가 해제되기 위한 기준이 엄격하다보니, 격리 해제 시점은 일관성이 있게 유지된 면도 있었다.

격리 해제 시점과 달리 확진 시점은 일관성이 있다고 보기 어렵다. 2020년 2월 18일 이후 하루 신규 확진자가 폭증했던 시기에는 이미 감염되어 시간이 지난 사람들이 뒤늦게 확진되던 때였다. 31번 확진자와 접촉한 사람들을 추적하는 과정에서 많은 수의 접촉자들이 확인되었고 이들을 모두 검사하는 과정에서 많은 확진자들이 짧은 기간동안 쏟아져 나왔다. 확진이 되지 않았을 뿐 이미 많은 감염자들이 존재하고 있었던 상황이었다. 뒤늦게 접촉자를 추적해 검사를 하는 만큼 확진되는 시점도 그만큼 늦어질 수 밖에 없었다. 특히 증상이 없거나 미미한 경우는 감염된지 모르고 이미 상당기간 시간이 지났을 수 있어 감염 시점과 확진 시점 사이의 시차는 더 벌어질 수도 있다. 늦게 확진되면 확진 시점과 몸에서 바이러스가 사라져 PCR검사서 음성인 시점 사이의 시차도 짧아진다. 그만큼 더 일찍 격리가 해제된다.

감염 확산 규모가 작을 때는 확진자들과 접촉한 사람들을 비교적 빠르게 추적하고 검사를 할 수가 있다. 그만큼 접촉자 추적을 통해 찾은 감염자는 감염된지 얼마 안된 시점에 검사를 받을 확률이 커진다. 이런 경우는 감염 시점과 확진 시점 사이의 시차가 상대적으로 더 짧아진다. 경우에 따라서는 증상이 나타나기 전에 검사를 받을 만큼 빨리 검사를 받을 수도 있다. 한국과 같이 접촉자 추적 시스템이 잘 갖춰진 경우에는 감염과 확진 사이의 시차가 감염 확산의 추세에 따라 달라질 수 있다는 것을 의미한다. 하지만, 접촉자 추적을 하지 않거나 못하는 나라의 경우는 감염과 확진 사이의 시차가 감염 확산의 추세에 별로 영향을 받지 않을 수도 있다.

확진과 격리 해제 사이의 시차를 반영한 데이터 분석

한국에서는 2020년 2월 29일 하루 신규 확진자수가 813명으로 정점을 찍은 후에 서서히 감소했다. 3월 15일 이후부터는 하루 신규 확진자수가 100명 수준으로 낮아지는 비교적 안정적인 시기에 이른다. 대규모 감염 확산으로 감염된 사람들에게 대한 추적이 거의 마무리되면서 확진자와 접촉한 사람들에게 대한 추적, 검사, 확진이 비교적 잘 이루어졌던 시기였다. 이때 확진된 사람들이 언제 격리가 해제되는지를 따져보면, 정상적인 추적-검사 상황에서 확진과 격리 해제 사이의 시차를 추정할 수 있다. 좀 더 구체적으로는, 사망자수를 보정한 누적 격리 해제자수를 얼마만큼 이전으로 이동해야 3월 20일 전후의 누적 확진자수와 비슷해지는가로부터 확진과 격리 해제 사이의 시차를 추정할 수 있다.

그림 1-5를 보자. 검은색 동그라미는 날짜에 따라 누적 확진자수가 얼마인지를 나타낸다. 진한 녹색 마름모는 격리 해제자수가 얼마인지를 나타낸다. 격리 해제자수 데이터가 더 오른쪽으로 치우쳐 있다. 확진된 후 시차를 두고 격리가 해제되는 것을 알 수 있다. 격리 해제자수 값은 더 늦게 확진자수와 비슷해진다. 연한 초록색 마름모는 격리 해제자수를 35일 이전으로 옮긴 다음 17일 후의 사망자수를 더한 수이다.[9] 방역당국은 여러차례 확진과 위중증/사망 사이의 시차를 2-3주로 밝혔기 때문에 2주와 3주의 중간정도의 값인 17일을 확진-사망 시차로 가정하고 17일 후의 사망자수를 더했다.

확진자수 증가가 확실하게 꺾인 3월 15일에서 25일 사이에 검은 동그라미로 나타낸 확진자수와 연한 초록색 마름모로 나타낸 값이 거의 같음을 확인할 수 있다. 연한 초록색

마름모는 격리 해제자수를 35일 이전으로 이동한 후 사망자수를 보정한 데이터이다. 3월 20일 전후로 이 값이 누적 확진자수와 거의 비슷하다는 것은 확진과 격리 해제 사이의 평균 시차가 확산세가 꺾인 시점 이후에는 35일 정도였음을 알 수 있다. 3월 20일 전후에는 비교적 정상적으로 추적과 검사가 진행되어 확진자들이 너무 늦지도 않고 너무 이르지도 않게 검사를 받아 확진되었다고 볼 수 있으므로, 제때 확진된 사람들의 확진-격리해제 시차는 평균 35일이라고 볼 수 있다. 결국 격리 해제자수를 35일 이전으로 이동하고 사망자수를 보정한 연한 초록색 마름모는 정상적으로 추적-검사가 진행되었다고 가정했을 때 확진되었어야 할 사람수, 다시 말해 ‘제때 확진되었어야 할 사람수’가 된다.

예를 들어 31번 확진자가 발표된 2월 18일의 연한 초록색 마름모는 3549명을 가리킨다. 감염자들이 뒤늦게 발견되지 않고 정상적인 추적과 검사를 통해 확진되었다면 2월 18일의 누적 확진자수는 3549명이었어야 했음을 의미한다. 하지만 실제 2월 18일의 누적 확진자수는 31명에 불과해 엄청나게 많은 감염자를 놓치고 있었던 비정상적인 상황이었음을 알 수 있다. 이렇게 늦게 확진된 사람들은 감염과 확진 사이의 시차가 길어지면서 확진과 격리해제 사이의 시차는 더 짧아집니다. 그만큼 더 일찍 몸에서 바이러스가 사라지면서 PCR검사에서도 더 일찍 음성 나오고 더 일찍 격리가 해제됩니다.

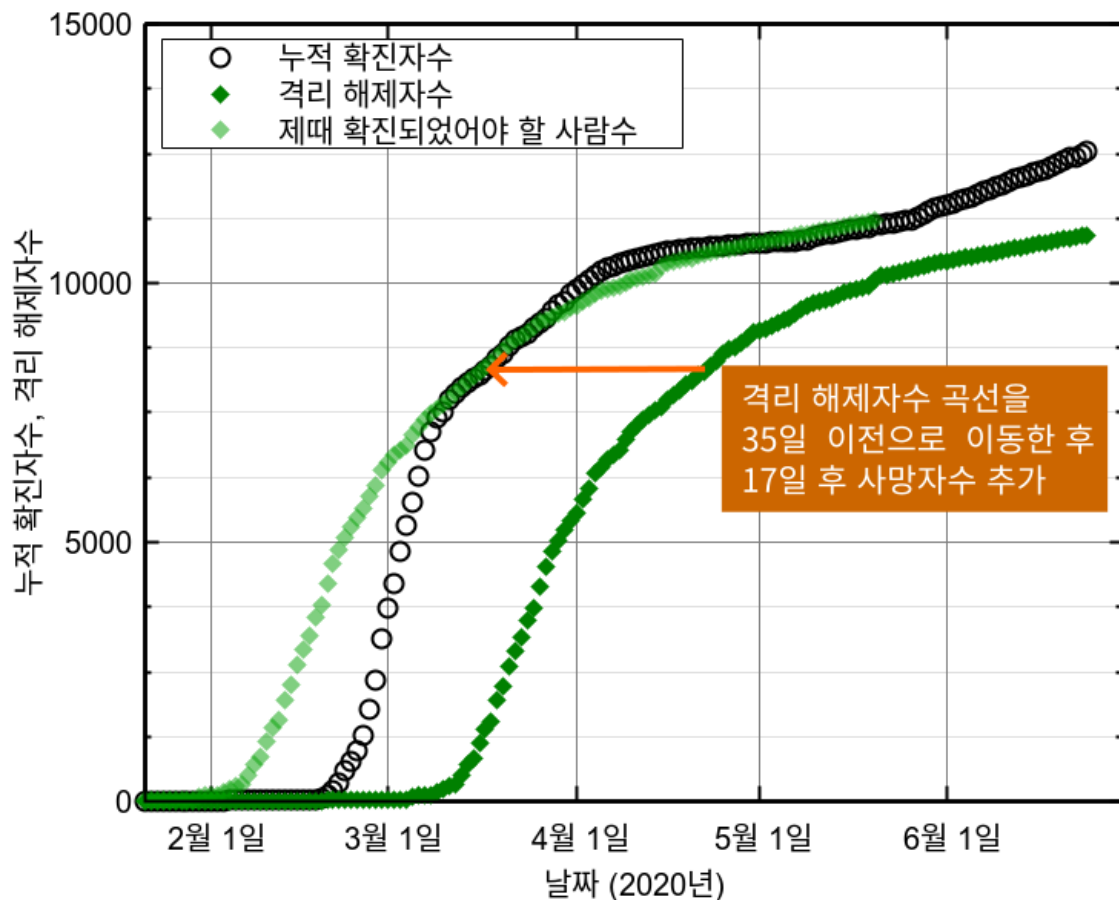


그림 1-5. ‘제때 확진되었어야 할 사람수’는 ‘격리 해제자수’를 35일 이전으로 이동한 다음 17일 후에 사망한 사람수를 더해 보정한 데이터이다. 2020년 3월15일에서 3월25일사이에는 ‘확진자수’와 거의 비슷함을 알 수 있다. (데이터 출처: 질병관리본부 [1][2]) 초록색 막대그래프는 늦지 않게 검사받고 확진될 경우에 하루 신규확진자수가 얼마나 나와야하는지를 알려준다. 늦지 않게 검사를 했다면 2월 15일 쯤에 신규 확진자수가 거의 정점을 찍었어야 했지만, 실제 상황에서는 감염자들이 상당히 늦게 검사받고 확진되면서 2월말에서 3월 초에 정점을 찍었다.

격리 해제자수와 ‘제때 확진되었어야 할 사람수’의 변동 추이는 확진자수 변동 추이에 비해 훨씬 부드럽게 변하는 것을 볼 수 있다. PCR 검사 이틀 연속 음성이 격리 해제 기준이었을 때는 확진 후 격리 해제까지 걸리는 시간은 일정한 값이 아닌 분포를 지닌다. 확진된 사람들의 나이와 건강 조건이 사람마다 다르기 때문에 몸에서 바이러스가 거의 사라지는 데 걸리는 시간도 다르기 때문이다. 이 분포로 인해 격리 해제자수의 변동 추이를 확진자수보다 더 부드럽게 만드는 일종의 다듬질(smoothing) 효과가 나타난다. 이미지 처리에서는 흐림처리(blurring)로 세세한 변동이 줄어드는 것과 비슷하다.

‘확진자수’와 ‘제때 확진되었어야 할 사람수’가 비슷하면 추적과 검사가 정상적으로 제때 잘 이루어졌다고 볼 수 있다. 하지만 어느 한 시점에서 ‘확진자수’가 ‘제때 확진되었어야 할 사람수’보다 눈에 띄게 적으면, 실제 확진된 사람수가 추적-검사를 정상적으로 시행했다고 가정했을 때 나와야 하는 확진자수보다 더 적다는 것을 의미한다. 다시 말해 정상보다 더 늦게 검사를 받아서 확진된 시기가 뒤로 밀린 경우이다. 그림 1-5의 그래프를 보면 이렇게 뒤늦게 확진되는 현상이 2월 초부터 3월 초까지 지속적으로 나타났음을 확인할 수 있다. 이런 내용은 데이터 분석을 해야만 구체적으로 알 수 있는 내용이다. 데이터에는 수치로 과거에 일어났던 일이 겉으로 드러나지 않는 흔적으로 남아있는 경우가 많기 때문에, 데이터 분석을 통해 이 흔적을 찾아내는 것이 중요하다..

제때 확진되었어야 할 사람수로 따져보는 당시 상황

신규 격리 해제자수를 35일 전으로 이동하면, 늦지 않게 검사를 받아 제때 확진될 경우에 신규 확진자수가 얼마나 나왔어야 하는지를 알 수 있다. 그림 1-6에서는 신규 확진자수(파란색 막대 그래프)와 35일 전으로 이동한 신규 격리 해제자수(초록색 막대 그래프)를 비교한다. 봉우리 모양의 신규 확진자수 분포의 중간이 위치하는 시점은 35일 전으로 이동한 신규 격리 해제자수 분포의 중간이 위치하는 시점보다 약 15일후에 위치하는 것을 볼 수 있다. 확진자가 폭증하던 시기에 확진된 사람들은 정상적으로 추적하고 검사해서 확진된 사람들보다 15일 정도 늦게 확진되었다는 것을 의미한다.

이렇게 늦게 확진된 사람들은 감염과 확진 사이의 시차가 길어지면서 확진과 격리해제 사이의 시차는 짧아진다. 그만큼 더 일찍 몸에서 바이러스가 사라지면서 PCR검사에서도 더 일찍 음성이 나오고 더 일찍 격리가 해제된다.

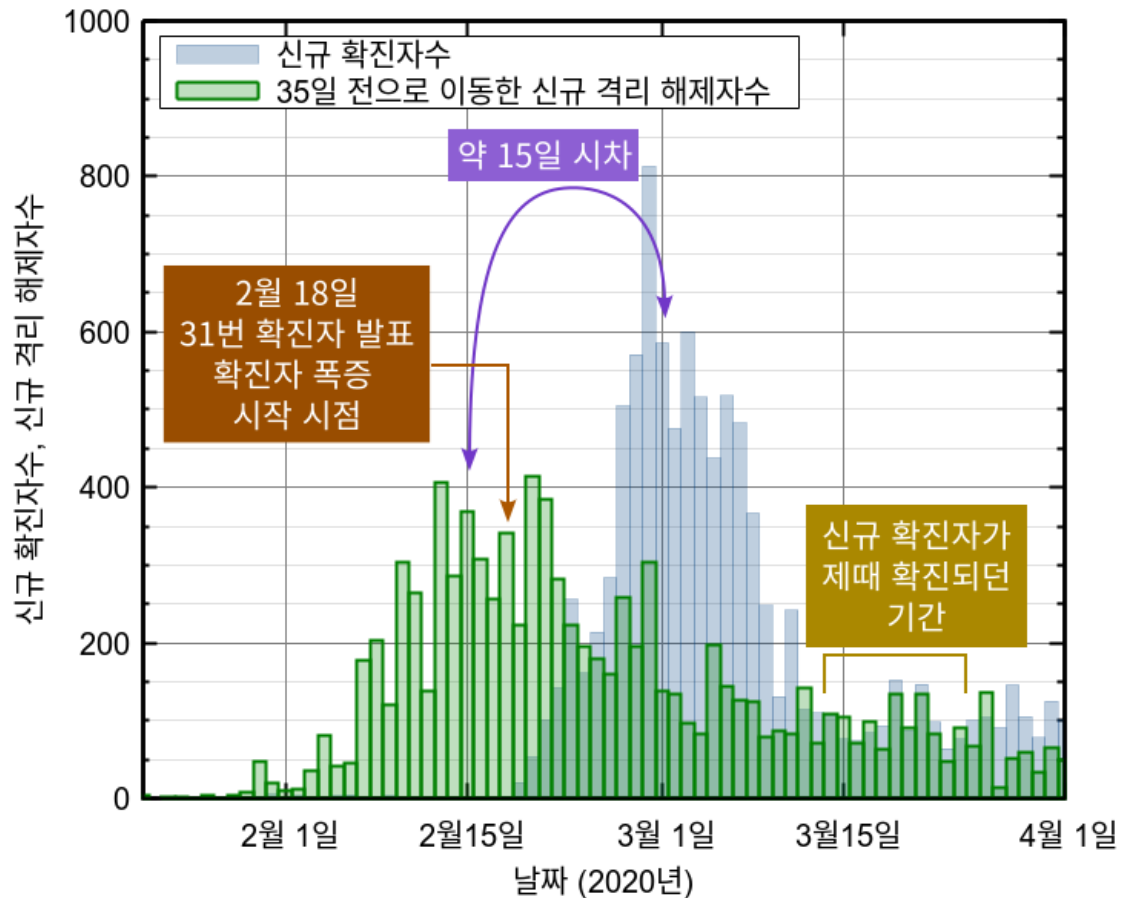


그림 1-6. 신규 확진자(파란색 막대 그래프)와 35일 전으로 이동한 신규 격리 해제자수 (초록색 막대 그래프) 비교. 봉우리 모양 분포의 중간 시점은 약 15일 정도 차이가 난다.

구체적인 데이터 값을 보자. 확진자수가 약 8,000명을 넘어선 때는 3월 14일로 이날 누적 확진자수는 확진자수는 8,086명이었다. 이 날 ‘제때 확진되었어야 할 사람수’는 8,099명으로 큰차이가 없다. 3월 13일의 ‘제때 확진되었어야 할 사람수’가 7,987명이었던 것을 감안하면, 확진자와 제때 확진되었을 사람수가 8,000명을 넘었을 때의 시차는 거의 없는 것으로 봐도 무방하다. 3월 14일 전후로 확진자를 늦지 않게 찾아내는 정상적인 추적-검사 상황으로 진입했음을 알 수 있다. 종교 모임으로 감염되었던 사람들에게 대한 추적과 검사가 마무리되는 수순에 접어들면서 비정상적인 확진자수 증가 추세가 꺾인 시점이다. 그래프에서 확진자수의 기울기가 확실히 줄어든 것이 이를 확인해 준다.

하지만 2월의 ‘확진자수’와 ‘제때 확진되었어야 할 사람수’는 서로 많이 어긋나 있는 것을 확인할 수 있다. 같은 값이 나오는 시점을 비교한 시차를 보면, 확진자수가 적을수록 시차가 많이 벌어지는 것을 확인할 수 있다. 확진자수가 6,000명을 넘어섰을 때와 ‘제때 확진되었어야 할 사람수’가 6,000명을 넘었을 때 사이의 시차는 8일, 4,000명을 넘어섰을 때의 시차는 11일, 2,000명을 넘어섰을 때의 시차는 14일로 점점 더 늘어난다. 1,000명을 넘어섰을 때의 시차는 16일까지 벌어진다. 실제 상황에서는 이 시차만큼 검사와 확진이 늦어지는 비정상적인 상황이었다.

2월 10일에는 ‘제때 확진되었어야 할 사람수’가 1,150명이다. 사람들에게 따라 격리 해제에 걸리는 시간이 달라지기 때문에 생기는 번짐효과를 감안하면 (그림 1-2), 실제 ‘제때 확진되었어야 할 사람수’는 1,150명에 못미칠 수 있다. 이를 감안하더라도, 2월 10일에 ‘제때 확진되었어야 할 사람수’는 적어도 수백명에 이를 것이라는 점은 부인하기 어렵다. 따라서 찾지 못해 확진되지 않은 수백명이 넘는 감염자들이 2월 10일 즈음에 이미 존재했다고 봐야 한다. 잠복기등을 고려해 감염과 확진 사이의 평균 시차를 7일로 잡으면, 2월 3일에 이미 수백명이 감염됐다고 볼 수 있다. 2월 2일이 예배가 있었던 일요일이었으므로, 이 때 수백명을 감염시켰을 가능성이 크다. 그렇다면 2월 2일에는 바이러스를 전파하는 사람들이 수십명 수준이었을 가능성이 있다.

표 1-1 ‘확진자수’와 ‘제때 확진되었어야 할 사람수’ 비슷한 때의 시차. 시차는 사실상 확진이 얼마나 늦어졌는가를 의미한다.

	실제 확진된 시점	제때 확진되었어야 할 시점	시차
1,000명을 넘어섰을 때	2020년 2월 26일	2020년 2월 10일	16일
2,000명을 넘어섰을 때	2020년 2월 28일	2020년 2월 14일	14일
4,000명을 넘어섰을 때	2020년 3월 2일	2020년 2월 20일	11일
6,000명을 넘어섰을 때	2020년 3월 6일	2020년 2월 28일	7일
8,000명을 넘어섰을 때	2020년 3월 14일	2020년 3월 13일	1일

확진자수 폭증의 시발점이었던 ‘31번 확진자’는 2월 18일에 확진되었다. 그 때 ‘제때 확진되었어야 할 사람수’는 이미 3,549명이었으나, 실제 확진자수는 31명에 불과했다. 31번 확진자는 이미 감염된 수천명 중의 한 명일 뿐이었다. 당시 61세였던 이 확진자는 이미 8일전인 2월 10일 즈음에 발열이 시작된 것으로 알려졌다.[10] 발열 시점으로 봐도 그때 ‘확진되었어야 할 사람수’ 1,150명중의 한 명이었고, 데이터에 나타나는 번짐 효과를 감안해 더 보수적으로 잡아도 이미 수백명중의 감염자중 한 명이었던다고 볼 수 있다. ‘31번 확진자’는 적어도 수백명 이상의 감염자중에 가장 먼저 검사를 받고 확진된 사람이기 때문에 감염이 시작된 사람으로 보기 어렵다. 다른 감염자들보다 먼저 검사를 받고 확진됨으로써 거대한 감염 사슬의 줄기들을 찾아낼 수 있게 만든 사람일 가능성이 더 크다.

당시 한국 질병관리본부는 이미 이런 상황에 대비 진단검사키트와 접촉자 추적 시스템을 준비하고 있었고, 감염자의 상당수가 특정 종교 모임에 참석했기 때문에 추적해야 할 사람들을 비교적 잘 특정할 수 있는 상황이었다. 방역당국은 빠른 속도로 접촉자를 추적해 검사하고 확진자들을 격리함으로써, 지역 봉쇄없이 “확진자수”의 폭발적 증가세를 비교적 짧은 기간만에 꺾는 성과를 거뒀다. 국민의 협조도 이런 성과에 중요한 기여를 했다.

3월 25일 이후부터 ‘확진자수’ 곡선이 제때 ‘확진되었어야 할 사람수’ 곡선 위에 위치한다. 확진자수가 ‘제때 확진되었어야 할 사람수’를 넘어서는 상황이다. 4월 8일에는 그 차이가 가장 커지셨다가 다시 줄어들기 시작한다. 이 기간동안에는 실제 확진된 사람들이 정상적인 상황보다 더 일찍 확진되면서 나타난 현상이라고 해석할 수 있다. 선제적으로 감염자를 더 잘 찾아냈다는 것을 의미한다. 그만큼 다른 사람들과 접촉하는 기간이 줄어들면서 감염 확산이 줄어드는 상황이었다고 볼 수 있다. 데이터를 보면 실제로 4월 6일에서 9일 사이 하루 신규확진자수가 50명 정도였지만, 4월 20일에 이르면 10명 수준으로 줄어든다. 이렇게 확진자 증가 추세가 개선된 것은 그림 1-4의 그래프에서도 확진자수 곡선이 4월 초에 다시 한번 꺾이면서 기울기가 낮아지는 것으로 드러난다. 선제적으로 감염자를 찾아내 일찍 격리함으로써 감염확산을 막았다는 해석에 무게를 실는다.

1-3. 감염자를 늦게 찾을수록 커지는 감염 확산 규모

확진자수와 '제때 확진되었어야 할 사람수'를 비교해 계산하는 선제적 확진자수

정상보다 늦게 확진되는 상황이 이어지면 감염 확산 규모가 커지고,

선제적으로 감염자를 찾아내는 상황이 어어지면 감염 확산 규모는 줄어든다.

국민들이 충분히 적극적으로 검사에 임하고 접촉자 추적이 정상적으로 진행되었는 상황이었으면, '제때 확진되었어야 할 사람수'와 비슷한 수준으로 확진자가 나온다. 하지만 2020년 2월부터 3월 초까지 한국의 누적확진자수는 '제때 확진되었어야 할 사람수'보다 상당히 적었다. 대규모 종교 모임에서 감염확산이 있었지만 많은 사람들이 검사를 제때 받지 않은 비정상적인 상황이었다. 이 때문에 많은 사람들이 뒤늦게 검사를 받으면서 확진자수가 '제때 확진되었어야 할 사람수'에 훨씬 못 미쳤다. 감염자를 늦게 찾은 만큼 제때 격리되지 못한 감염자들이 코로나 바이러스를 전파하면서 다른 많은 사람들을 감염시켰다.

3월 말부터는 누적확진자수는 '제때 확진되었어야 할 사람수'보다 많아지기 시작한다. 이 경우는 오히려 감염자를 더 일찍 찾아낸 경우이다. 그 만큼 더 일찍 감염자들을 격리함으로써 감염이 전파되는 것을 더 잘 막았을 것이라고 볼 수 있다. 그래프를 보면 확진자수 곡선의 기울기가 4월 10일 전후로 꺾여 더 완만해진다. 신규 확진자수가 더 줄었기 때문이다. 감염자를 좀 더 일찍 찾아 격리함으로써 감염확산을 더 줄이는 효과가 있었고 해석할 수 있다.

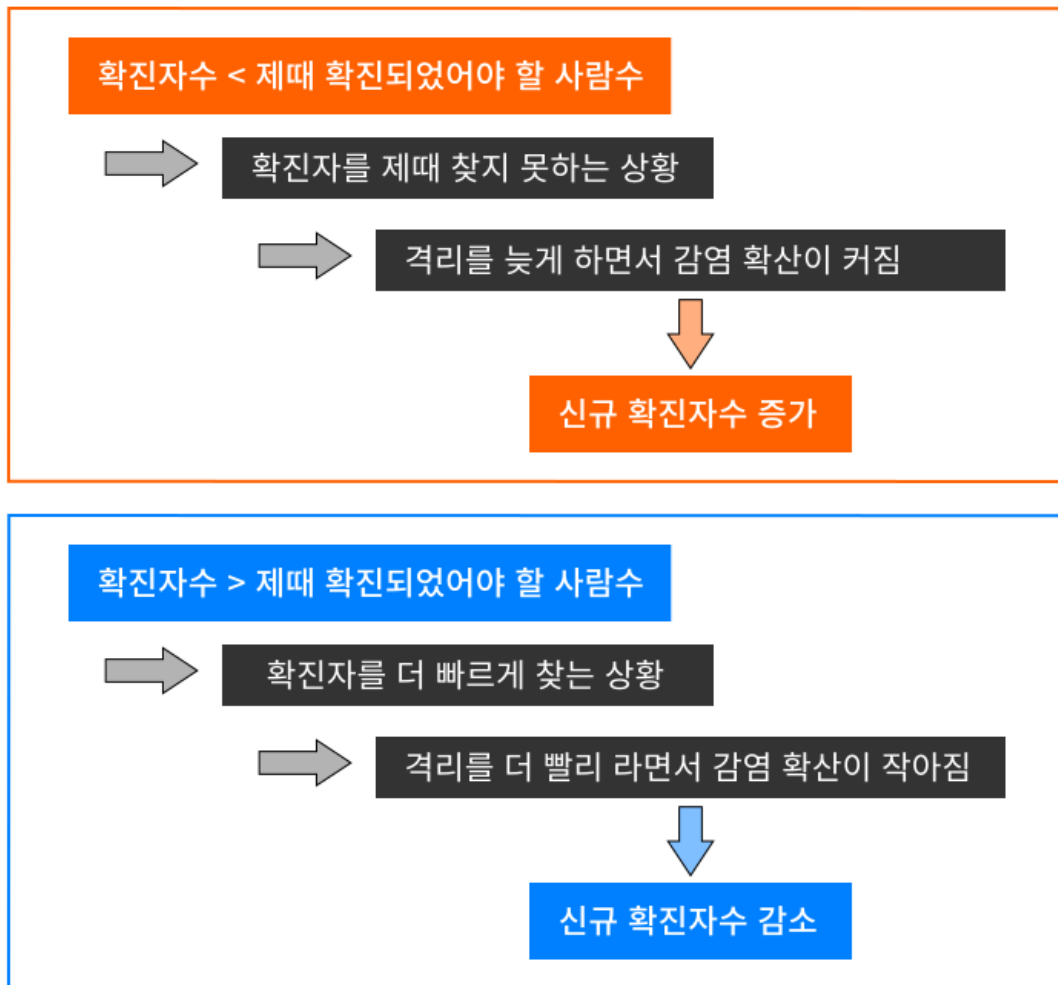


그림 1-7. 확진자수가 ‘제때 확진되었어야 할 사람수’보다 작은 경우와 큰 경우가 감염확산에 끼치는 영향.

얼마나 빨리 확진자를 찾아냈는지 알려주는 선제적 확진자수

그림 1-8에서 보라색 곡선은 ‘확진자수’에서 ‘확진되었어야 할 사람수’를 뺀 값을 그린 곡선이다. 그래프 중간을 가로지르는 가로선은 0을 나타내는 기준선이다. 보라색 곡선이 기준선보다 아래에 위치하면 확진자수가 ‘제때 확진되었어야 할 사람수’보다 적게 나와 감염자를 뒤늦게 찾아내는 상황이다. 반대로 보라색 곡선이 기준선보다 위에 위치하면 확진자수가 ‘제때 확진되었어야 할 사람수’보다 더 많이 나와 감염자들을 선제적으로 빨리 찾아내는 상황이다. 이런 사실을 감안하면, ‘확진자수’에서 ‘확진되었어야 할 사람수’를 뺀 값은 선제적으로 얼마나 많은 확진자를 찾아냈는지를 의미하는 ‘선제적 확진자수’이다.

$$\text{선제적 확진자수} = \text{누적 확진자수} - \text{제때 확진되었어야 할 사람수}$$

‘선제적 확진자수’는 2월 초부터 음수로 떨어지기 시작한다. 확진자가 하루 한 명 정도씩 나오는 2월 초에 이미 감염확산이 커지기 시작했을 수도 있음을 시사한다. 2월 22일에 선제적 확진자수는 -4500 아래로 내려갔다. 이 때 신규 확진자수는 142명으로 점점 더 커지기 시작하던 때였다. 2월 24일에 선제적 확진자수는 최저값인 -4531을 찍었고 이 후 반등하기 시작했다. 뒤쳐져있던 확진자수가 ‘제때 확진되었어야 할 사람수’와의 격차를 줄이기 시작한 것이다. 상대적으로 감염 확산은 둔화되고 신규 확진자수는 급격히 늘면서 생긴 현상이다.

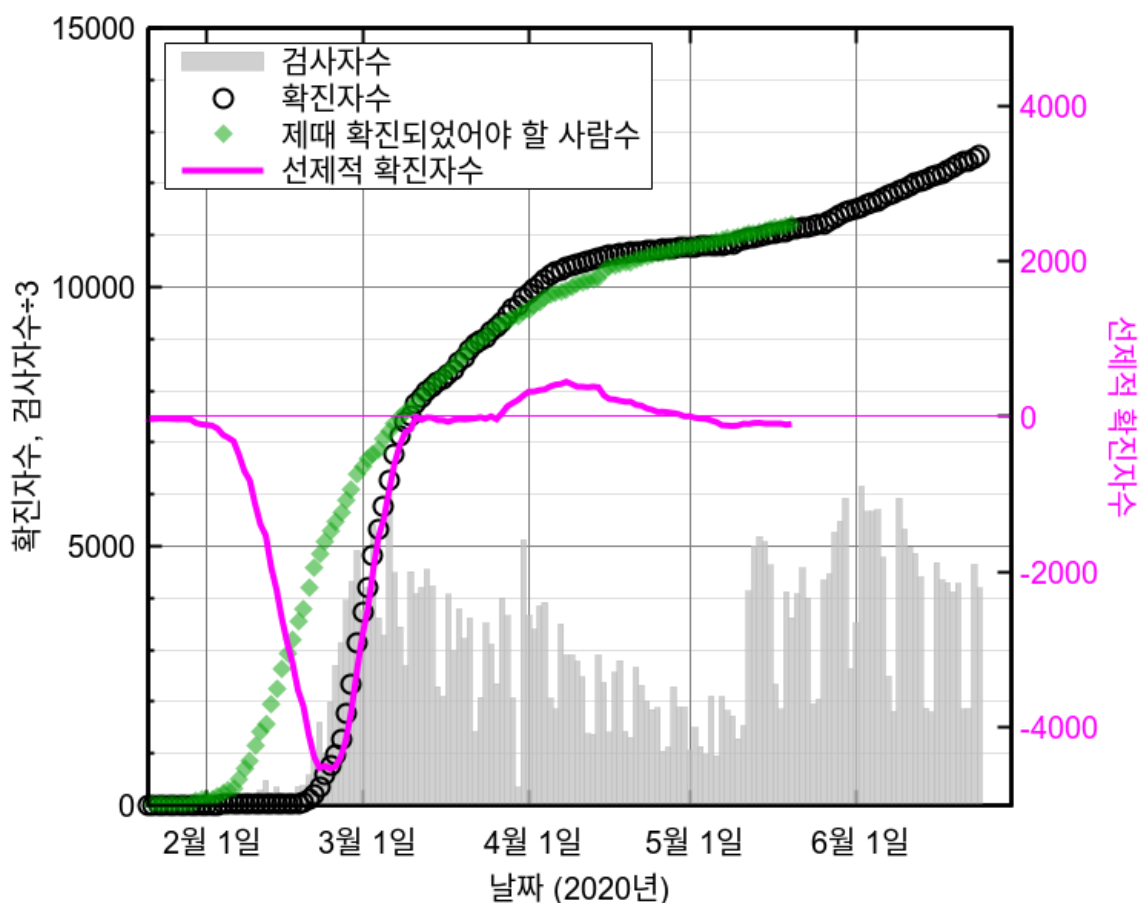


그림 1-8. 선제적 확진자수: ‘확진자수’에서 ‘제때 확진되었어야 할 사람수’를 뺀 값이다. 선제적 확진자수가 음수인 상태가 지속되면 늦게 감염자를 찾는 기간이 길어지는 것을 의미한다. 그만큼 격리가 늦게 시작되면서 다른 사람을 더 많이 감염시켜 감염 확산 규모가 커진다. 선제적 확진자수가 양수인 상태가 지속되면 감염자를 일찍 찾는 기간이 길어지는 것을 의미한다. 그만큼 격리가 빨리 시작되면서 다른 사람을 덜 감염시켜 감염 확산 규모가 줄어든다.

확진자 폭증의 신호였던 31번 확진자를 발표한 2월 18일에는 그가 참가했던 종교 예배와 일부 동선도 언론을 통해 밝혀졌다. 해당 종교의 지역 교인들 사이에서는 이미 이때부터 자발적인 거리두기가 시작되었을 것이다. 코로나 바이러스에 감염되면 바로 증상이 나타나지 않고 평균 5-6일의 잠복기를 거친 후에 증상이 나타난다.[11] 검사를 받기 시작하는 시점은 증상이 나타나기 시작할 때인 것을 감안하면, 제때 확진되는 사람은 감염된 후 대략 7일 정도 후에 확진된다고 볼 수 있다. 그러면 2월 18일의 1주일 후인 2월 25일쯤부터 거리두기의 효과가 나타나기 시작했을 것으로 추정할 수 있다. 2월 25일에는 접촉자 추적의 결과로 신규 확진자수도 증가하면서 선제적 확진자수도 본격적으로 반등하기 시작했다.

선제적 확진자수가 0에 근접하기 시작한 3월 11일 쯤부터 확진자수 곡선의 기울기가 꺾이면서 더 완만해진다. 그동안 뒤늦게 찾았던 감염자들을 이 때 거의 다 찾아냈고, 이후부터는 감염자들이 제때 확진되는 시기로 접어든다. 선제적 확진자수도 3월 25일까지 0에 가까운 상태로 유지된다. 국민들의 적극적인 방역 협조가 있었고 당국의 접촉자 추적과 검사도 정상적으로 시행됨에 따라 확진이 늦지 않게 제때 이루어졌던 시기이다. 이 때 확진된 사람들은 평균 35일 후에 PCR 검사에서 이틀 연속 음성이 나오면서 격리가 해제됐다.

0에 가까웠던 ‘선제적 확진자수’는 3월 27일부터 지속적으로 증가해 4월 8일에 최고값을 찍었다. 제때 확진되었어야 할 사람수보다 확진자수가 더 많은, 다시 말해 확진자가 평상시보다 더 일찍 확진되던 시기였다. 그러다 보니 이 때 확진되었던 사람들은 격리가 해제되기까지 걸린 평균 시간 35일이 넘었다. 더 일찍 확진되는 만큼 격리도 더 일찍 되면서 다른 사람을 감염시킬 확률이 그만큼 줄어든다. 실제로 이 시점을 지나면서 신규확진자수가 줄어들었고 그 결과로 누적 확진자수 곡선의 기울기가 낮아진 것이 그림 1-8의 그래프에 나타난다.

선제적 확진자수 곡선은 4월 10일 이후로 완만하게 아래로 향한다. ‘선제적 확진자수’가 줄어드는 상황이었다. 이 기간에 얼마나 많은 사람을 검사했는가를 나타내는 검사자수도 서서히 줄어든다. 검사자수가 줄어든 것은 검사를 받아야 할 사람들이 줄어든 영향도 있을 수 있지만, 적극적으로 감염자를 찾지 못했기 때문일 수도 있다. 선제적 확진자수가 5월 7일에서 10일 사이에는 -100정도로 낮아진다. 이 시기는 어린이날이 포함된 5월초 연휴기간 직후이다. 평상시보다 검사를 많이 안하다 보니 제때 확진되는 사람이 줄어든 시기라고 볼 수 있다. 연휴가 시작된 5월 2일은 용인 66번 확진자가 이태원 클럽에 간 날이기도 하다. 이태원 클럽발 감염 확산과 검사수가 적어지는 것이 겹치면서 감염 확산 위험성이 커진 시기였다. 5월 초가 지나면서 부터는 신규 확진자수가 늘면서 누적 확진자수 곡선의 기울기도 더 가파라졌다.

2020년 6월 24일까지 한국의 격리 해제 기준은 PCR검사서 이틀 연속 음성이 나오는 것이었다. 6월 25일부터는 10일간 증상이 없어도 격리가 해제될 수 있는 기준이 추가되었다.[12] ‘제때 확진되었어야 할 사람수’를 계산하는데 사용한 확진과 격리해제 사이의 시차 35일을 6월 25일 데이터부터는 더 이상 사용할 수 없게 되었다. 결국 6월 24일의 35일전인 5월 20일까지만 같은 조건에서 ‘제때 확진되었어야 할 사람수’와 ‘선제적 확진자수’를 계산할 수 있다.

코드 1-1. ‘제때 확진되었어야 할 사람수’와 ‘선제적 확진자수’를 계산하는 코드. ‘제때 확진되었어야 할 사람수’는 격리 해제자수를 35일 이전으로 이동한 후 다시 17일 후의

사망자수를 더해 계산한다. 17일은 방역당국이 확진과 사망 사이의 시차로 2-3주의 중간 정도로 잡은 값이다.

```
# 입력과 출력 데이터 파일
InFile = 'covid-kor-2020-06.dat'
OutFile = 'covid-kor-2020-06-converted.dat'

# 확진-사망, 확진-격리해제 시차
Days2Death = 17
Days2Recovery = 35

# 입력 데이터 읽기
lines = open(InFile, 'rt').readlines()
data = list(map(lambda x: x.split(), lines[1:]))

# 문자열을 숫자로 변환
for n in range(len(data)):
    for m in range(1, len(data[n])):
        data[n][m] = int(data[n][m])

# '제때 확진되었어야 할 사람수' 계산
datalen = len(data)
for n in range(datalen-35):
    # 제때 확진되었어야 할 사람수:
    # 35일 후 격리 해제자수 + 17일 후 사망자수
    TimelyConfirmed = data[n+35][4]+data[n+17][3]
    data[n].append(TimelyConfirmed)
    # 선제적 확진자수:
    # 확진자수 - 제때 확진되었어야 할 사람수
    PreemptiveC = data[n][2]-TimelyConfirmed
    data[n].append(PreemptiveC)

# 데이터 파일에 저장
with open(OutFile, 'wt') as f:
    s = lines[0].rstrip()+' 제때확진자수 선제적확진자수\n'
    f.write(s)
    for d in data:
        s = ''
        for x in d:
            s += f'{x} '
        f.write(s[:-1]+'\\n')
```

1-4 감염확산 위험신호를 어떻게 빨리 포착할까?

늦게 확진될수록 격리가 늦어지면서 더 많은 사람을 감염시킨다.

확진자의 증상 발현 시점과 무증상 확진자 비율이 중요.

이를 통해 좀 더 빨리 로 감염 확산 위험 신호를 포착할 수 있다.

시간이 지난 후 과거를 복기하는데 적절한 ‘선제적 확진자수’

‘선제적 확진자수’는 정상적으로 접촉자를 추적하고 검사하는 상황에서 확진되는 경우와 비교해 얼마나 많은 사람이 더 일찍 확진되었는지를 나타내는 숫자로 확진자수에서 ‘제때 확진되었어야 할 사람수’를 빼서 계산한다. 2020년 상반기에는 이를 연속 PCR검사 음성이라는 엄격한 격리 해제 기준이 적용되면서, 격리 해제자수로부터 언제 ‘제때 확진되었어야 할 사람수’와 ‘선제적 확진자수’를 비교적 정확하게 추정할 수 있었다.

하지만 문제는 ‘제때 확진되었어야 할 사람수’와 ‘선제적 확진자수’를 계산하려면 확진과 격리 해제 사이의 시차만큼 기다려야 한다는 것이다. 오늘 나온 격리 해제자수가 나와야 35일전의 상황을 분석할 수 있는 사후 분석 방식이라는 것이다. 2020년 6월 25일 이후처럼 격리 해제 기준이 바뀌면서 격리 기간이 더 짧아지면 더 일찍 분석할 수 있다는 장점이 있지만, 여전히 분석은 확진 시점에서 격리시간인 10일 이상이 지나야 가능해진다. 확진과 격리 해제 사이의 시차가 상대적으로 부정확해지면서 ‘제때 확진되었어야 할 사람수’와 ‘선제적 확진자수’도 부정확해지는것은 또 다른 문제이다.

감염자를 일찍 찾아내고 있는지 아니면 늦게 찾아내고 있는지를 미리 알 수 있는 다른 방법은 없을까? 사망하는 시점과 증상이 나타나는 시점에 주목할 필요가 있다.

확진과 사망 사이에도 시차가 있다. 감염자를 일찍 찾아내면 그만큼 확진에서 사망까지 이르는 시간이 길어지고, 감염자를 늦게 찾아내면 확진에서 사망에 이르는 시간도 짧아진다. 따라서 확진되고 사망할 때까지 걸리는 시간으로부터 감염자를 일찍 찾아내는지 아니면 늦게 찾아내는지에 대한 정보를 얻을 수 있다. 사람들마다 사망하는 시점이 다를 수 있기 때문에 확진과 사망 사이의 시차의 평균을 봐야할 필요가 있다. 또 다른 문제는 사망하는 사람들이 대부분 고령층이라는 사실이다, 일부 연령층에 한정된 정보만 얻을 수 있다는 단점이 있다. 이 분석 방법도 확진과 사망 사이의 평균 시차가 지난 후엔 적용할 수 있는 사후 분석 방법이다.

증상이 나타나는 시점으로부터도 감염자를 일찍 찾아내거나 늦게 찾아내는지를 판단할 수 있다. 증상이 나타난 다음에 확진됐다고 하면, 증상 발현 시점이 확진 시점에 가까울수록 더 일찍 확진되는 것이고, 증상 발현 시점이 확진 시점에서 멀어질 수록 더 늦게 확진되는 것이다. 확진된 다음에 증상이 나타난다면 훨씬 더 일찍 확진되는 것이다.

증상이 나타나는 시점도 사람마다 다르다. 어떤 사람은 감염자와 밀접 접촉한 뒤 5일만에 증상이 나타날 수 있고 어떤 사람은 10일만에 증상이 나타날 수 있다. 평균적으로 잠복기는 5-6일 정도라는 것이 백신 접종이 시작되기 전에 보고된 바 있다. [11] 증상이 나타나는 시점도 평균으로 보면 문제가 좀 더 간단해진다. 마찬가지로 증상발현과 확진 사이의 시차도 평균은 계산해 얼마나 일찍 확진되는지를 평가할 수 있다.

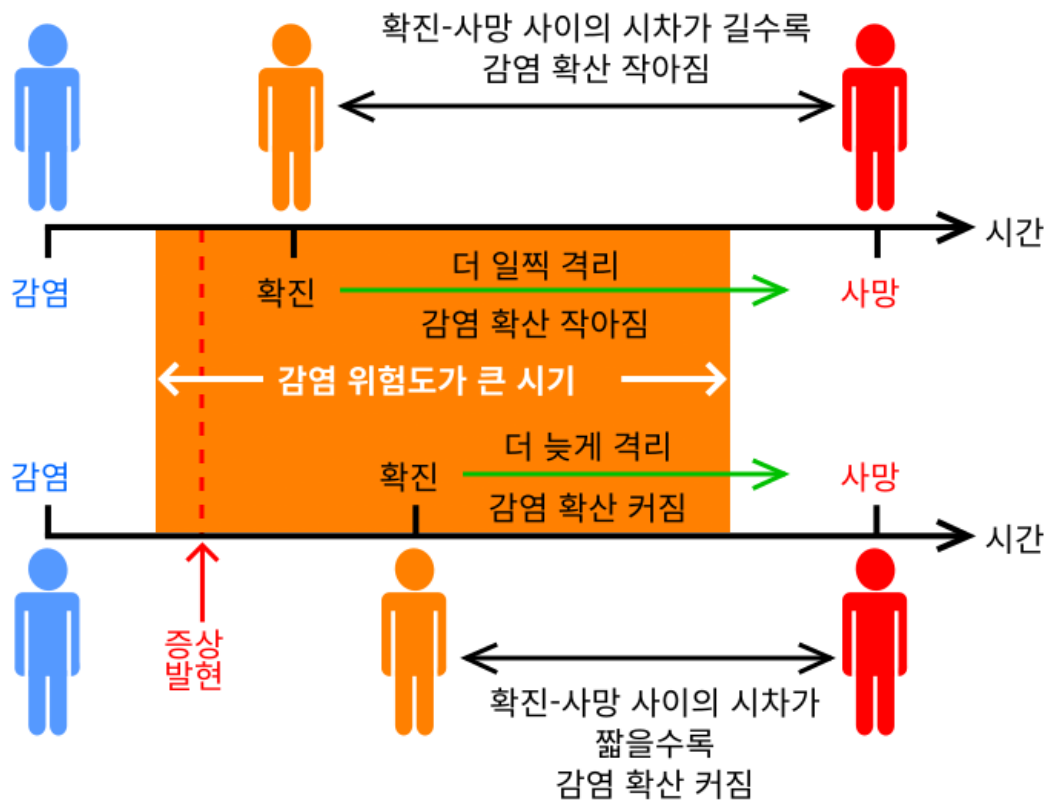


그림 1-9. 언제 확진되는가에 따라 감염 확산 정도가 달라질 수 있음을 보여주는 그림. 확진되는 시점이 증상 발현 시점에 가깝거나 더 빠르면 더 일찍 격리할 수 있고, 그만큼 더 감염 확산을 줄일 수 있다. 확진되는 시점이 증상 발현 시점에서 더 늦어질수록 격리는 늦게 시작되고, 그만큼 더 많은 사람을 감염시킬 수 있어 감염 확산이 커진다.

만약에 어느 기간동안 확진자중에 증상이 있는 사람들을 대상으로 증상이 언제 나타났는지를 조사했더니 증상이 나타나기 시작한 시점의 평균이 검사를 받아 확진판정을 받기 1일 전이라고 하자. 그런데 다른 기간 동안 조사했더니 증상이 나타나기 시작한 시점의 평균이 확진되기 4일 전이라는 결과가 나왔다고 하자. 그러면 확진되기 평균 1일전에 증상이 나타난 이전 조사 결과보다 3일 늦게 확진되는 상황이다. 감염 후 격리를 하지 않는 기간도 3일이 더 늘어난다. 격리가 늦게 되는 만큼 다른 사람들과 접촉할 가능성이 더 커지면서 감염 전파가 더 많이 일어날 가능성이 크다. 이렇게 증상발현과 확진사이의 시차를 조사해 지표로 사용하면 좀 더 일찍 감염확산 위험 신호를 포착할 수 있다는 장점이 있다. 증상 발현은 확진 시점 전후에 일어나기 때문이다.

주.

- [1] 질병관리본부 코로나바이러스감염증-19(COVID-19) <https://ncov.mohw.go.kr/>
- [2] 질병관리본부 보도자료
<https://www.cdc.go.kr/board/board.es?mid=a20501000000&bid=0015>
- [3] "Basics of COVID-19", Centers for Disease Control and Prevention,
<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/your-health/about-covid-19/basics-covid-19.html>
- [4] "국내 첫 '우한 폐렴' 확진...보건당국, 국내확산 차단에 '총력'(종합)", 김잔디, 연합뉴스,
2020년 1월 20일, <https://www.yna.co.kr/view/AKR20200120100751017>

[5] "6시간 검사 완료 진단키트 이렇게 만들었다", 김연희, 시사 IN, 2020년 2월 14일, <https://www.sisain.co.kr/news/articleView.html?idxno=41277>

[6] "31번 확진자 동선 속속...병원·호텔 등 잇따라 폐쇄(종합3보)", 권선미, 연합뉴스, 2020년 2월 18일, <https://www.yna.co.kr/view/AKR20200218171300004?input=1195m>

[7] 이후 날짜는 모두 질병관리본부 (이후에는 질병관리청)의 공식 발표일 기준이다.

[8] "'코로나19' 국내 첫 사망자 발생...확진자 53명 늘어난 104명(종합2보)", 김잔디, 연합뉴스, 2020년 2월 20일 <https://www.yna.co.kr/view/AKR20200220161752017?input=1195m>

[9] 과총 온라인 공동포럼 - COVID-19 팬데믹 중환자진료 실제와 해결방안, 2020년 4월 2일 <https://youtu.be/yqu0Zehi2Js>

"'내달 확진자 20만'...전파 빠르고 백신 안듣는 '센 놈' 왔다", 어환희, 중앙일보, 2022년 7월 11일, <https://www.joongang.co.kr/article/25085935>

"방역당국 "사망자 폭증 고령층 환자 증가가 원인...병상부족 문제 아냐"", 이현경, 동아사이언스, 2020년 12월 29일, <https://www.dongascience.com/news.php?idx=42762>

[10] "[일문일답]감염원·경로 확인 안된 31번 환자", 뉴시스, 2020년 2월 18일, https://newsis.com/view/?id=NISX20200218_0000923214&cID=10201&pID=10200

[11] "Incubation period of COVID-19: A systematic review and meta-analysis", J.A. Quesada, A. López-Pineda, V.F. Gil-Guillén, J.M. Arriero-Marín, F. Gutiérrez & C. Carratala-Munueraa, Revista Clínica Española, 221, 109 (2021), doi: <https://doi.org/10.1016/j.rce.2020.08.005>

[12] "내일부터 코로나19 '무증상 환자' 10일간 증상 없으면 격리해제", 강애란, 연합뉴스, 2020년 6월 24일, <https://www.yna.co.kr/view/AKR20200624096000530>