기상변화에 따른 뇌졸중 및 천식 발생 예측모형 개발

김재용[1], 김호[2], 전상일[3], 김정현[4], 박태선[1], 서희경[2], 하종식[2]
1)건강보험심사평가원 조사연구실
2)서울대학교 보건대학원
3)환경과건강(주),4)캐이웨더(주)

1. 서 론

기후변화와 건강의 관련성에 대한 연구들은 대부분 최근 10~15년 사이에 시작된 것들이다. 1990년 기후변화에관한국제간정부협의회(Intergovernmental Panel on Climate Change(이하 IPCC)가 기후변화로 인한 영향들 중의 하나로 건강을 처음 언급한 이후[1)2)], 미국과 영국, 세계보건기구 등이 기상과 관련된 건강문제를 본격적으로 다룬 연구결과들을 제출하기 시작한 것은 2001년 이후다[3)4)5)]. 과거에도 생리학이나 환경-산업의학 분야에서 통제된 실험적 조건이나 폐쇄된 공간 내에서 관찰되는 신체반응을 연구한 결과들이 있었다. 그러나 현실의 일상적인 기상조건 하에서는 다양한 요인들이 복잡한 경로들을 거쳐 건강에 영향을 미치기 때문에 결정적인 정량적 증거에 의거하여 확정적인 결론을 내릴 수 있는 경우는 많지 않다.

현재까지 이루어진 기후변화와 관련된 건강영향 평가결과들은 거의 유사한 개념틀에 따라 문제들을 거론해 왔다[6)7)]. 직접적 건강영향은 일시적으로 관찰된 극단적인 고온이나 저온에 의한 건강결과들을 주로 다루고 있으며 건강자료의 양·질 부족으로 일부지역이나 일부병원, 특정결과(주로 사망)에 국한된 경우가 많다. 다른 한편 대기오염, 꽃가루 발생, 미생물 오염과 전파, 농작물 수확, 해수면 변동 등의 간접요인들에 의한 질병과 영양실조, 사고-손상, 사망 등은 간접적인 건강영향으로 분류되며 정량적 근거보다는 소수의 전문가 그룹이 제한적인 간접근거들을 활용한 시나리오 연구들이 상당수를 차지하고 있다. 간접적 건강영향의 경우, 예를 들면, 기후변화 → 서식환경 변화 → 병원매개체(모기 등)의 증가 → 병원방문의 증가 → 질병발생의 증가 등 여러 단계의 연관성을 증명해야 하고 추정치의 신뢰구간이나 방향성이 다양하기 때문에 기후변화에 따른 건강영향을 정량화하기란 쉽지 않다.

이러한 문제점들 때문에 다수의 기상관련 건강영향 연구들은 임의의 시나리오, 경험적 실측치 부족, 타당도 검정불가, 순화(acclimatization)에 대한 고려부족 등 여러 가지 비판으로부터 자유로울 수 없었다. Menne 등(2002)은 건강영향에 대해 적절한 도구를 이용한 실증연구가 매우 부족하고

1) Intergovernmental Panel on Climate Change(이하 IPCC). IPCC First Assessment Report; 1990

2) IPCC, IPCC Second Assessment Report: Climate Change; 1995

3) Department of Health in UK. Health effects of climate change in the UK; 2001

4) Bernard SM, et al. The potential impact of climate variability and change on air pollution-related health effects in the United States. *Environ. Health. Perspect* 2001; 109(supplement 2): 199-209

5) WHO Regional Office for Europe. First meeting on guidelines to assess the health impacts of climate change; 2002

6) Patz JA, et al. The potential health impacts of climate variability and change for the United States: executive summary of the report of the health sector of the US National Assessment. Environ. Helath. Perspect. 2000; 108: 367-376

7) Haines A, JA Patz. Health effects of climate change. JAMA 2004; 291(1): 99-103

대부분 전문가패널에 의한 주관적 판단에 의존하고 있다고 지적하면서 건강연구의 양과 질 부족이 건강영향평가를 제한하는 중요한 요인이라고 주장하기도 하였다[8].

대부분의 선진국에서도 건강관련자료들은 측정주기가 너무 길거나(대부분 1년 이상), 누적기간이 너무 짧거나, 전국대표성이 부족하여 기후자료와의 연계분석에 어려움을 겪고 있다. 다만 우리나라에는 전국단일 건강보험체계 하에서 모든 의료이용기록이 수집되고 있다. 이 연구는 건강보험심사평가원에서 의료이용 적절성을 평가할 목적으로 구축하고 있는 원자료를 사용하여 국내최초로 총 8년(1996년~2003년)에 걸친 장기간의 일별(日別) 질병 발생정보와 기상요인 측정자료를 연계분석하여 실증적인 예측모형을 개발하고자 하였다. 생물학적 개연성과 관련연구결과, 전문가그룹의 의견 등을 참고하여 뇌졸중과 천식에 의한 입원발생을 건강기상예측모형 개발 작업의 첫 번째 대상으로 삼았다. 특히 이 연구는 개별 기상변수(기온 등)와 건강문제의 관련성을 분석하는 후향적 평가연구가 아니라 예측모형의 개발과 보건기상지수 웹서비스에 초점을 맞추었다. 이에 따라 예를 들어 '기온이 1℃ 하강하였을 때 뇌졸중의 발생률이 몇 배 증가하느냐?'라는 질문에 답하는 것보다 '예측모형에서 도출된 예측치와 실측치가 얼마나 일치하느냐?'에 초점을 맞추었다.

2. 연구 방법

1) 질병발생 데이터베이스의 구축

건강보험 청구원자료를 진료개시일 기준으로 재배치하여 총 8년간의 입원 에피소드(episode: 실제 입원개시~입원종료)자료를 구축하였다. 우리나라의 건강보험 청구자료는 기관별-월별로 나누어져 접수되므로 실제로 연결된 하나의 입원에피소드가 여러 청구건으로 분리되어 있다. 이 연구에서는 이러한 청구자료를 가공하여 개별환자 단위의 최초입원발생일을 산출하였고, 병원방문 6시간 이내 사망자가 외래로 청구됨을 고려하여 이를 추가하였다.

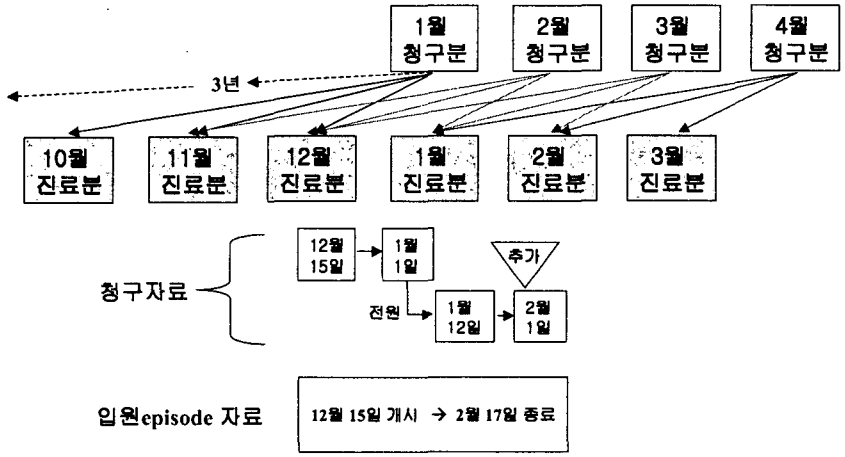

그림 1. 건강보험청구자료를 이용한 입원에피소드 자료구축의 개요

8) Menne B, Kovats S, Bertolloni R, Soskolne C. Health impact assessment for climate change. 2002; Available from http://www.euro.who.int/document/gch/climaposter.pdf

건강정보 측면에서는 현재 수준에서 가장 최상의 해상도에 속하는 일(日) 단위의 정보와 일단위로 맞추어진 기상정보를 연결하여 분석하는 것이므로 개별 일단위 정보의 정확성이 매우 중요한데 입원에피소드 자료구축을 통해 그 일차적인 목표를 달성할 수 있다.

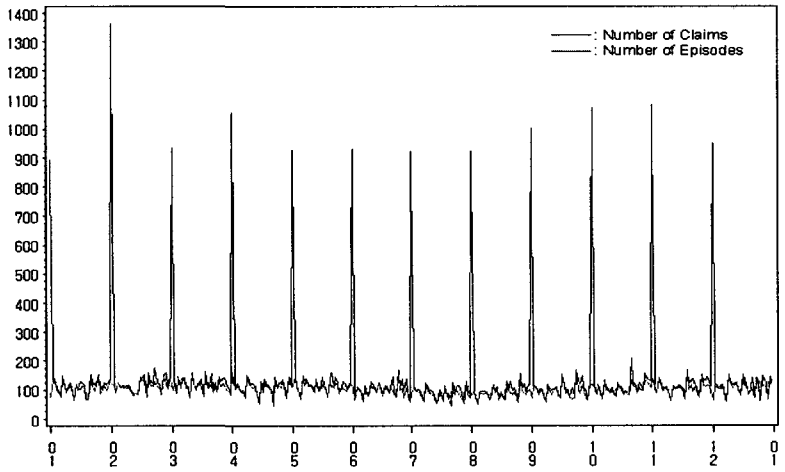

그림 2. 입원에피소드 자료구축의 실제 효과

2) 분석대상 선정

뇌졸중과 천식은 그 주요 대상연령군이 다르고 발생규모 측면에서도 비교적 큰 차이가 난다. 이 연구에서 뇌졸중의 경우에는 고위험군이라 할 수 있는 65세 이상 노인인구에서의 입원에피소드 발생으로 초점을 맞추었고 성별-5세간격 연령군별 표준화를 거쳐 비교성을 확보하고자 하였다. 천식의 경우, 전체 연령군을 대상으로 삼았으며 성별-10세 간격 표준화를 시행하였다. 지역별 표준인구는 2000년말 통계청 주민등록인구를 기준으로 하였다. 각 연도간 주민등록인구의 차이를 일별로 고려하여 매일매일의 발생률을 산출할 때 사용하는 분모(전체인구)를 날짜별로 구하였다. 대상지역은 일별 발생건수의 규모를 고려하여 뇌졸중은 전국을 6개 지역으로, 천식은 9개 지역으로 나누어 각각의 예측모형을 작성하였다.

표 1. 동일인구 전후비교성 확보를 위한 층화변수 및 기준

	뇌졸중	천식
성별 및 연령군	남-여 및 65세 이상(5세 간격)	남-여 및 전인구(5세 간격)
지역	<6개 지역> 1. 서울-경기-인천 2. 충청 3. 강원 4. 대구-경북 5. 부산-경남 6. 전라-제주	<9개 지역> 1. 서울-경기-인천 2. 충주-충북 / 3. 대전-충남 4. 강원 5. 대구-경북 6. 부산-경남 7. 전북-전주 / 8. 광주-전남 / 9. 제주

뇌졸중의 경우에는 노인인구에서의 발생이 높고 관찰기간 중에 꾸준히 노인인구의 비율이 증가하였기 때문에 표준화를 시행함으로써 발생건수 분포의 기울기가 일정하게 감소하는 양상을 보였다.

이와 같이 일정한 방향성을 가진 경우에는 표준화 방법 대신에 시간경과를 반영하는 변수(예: 연도, 관찰일수)를 모형에 포함시키는 것으로도 유사한 표준화 효과를 얻을 수 있을 것이다. 하지만 급성 호흡기계 질병과 같이 소아와 노인 모두에서 자주 발생하는 질병군에서는 발생건수가 인구구조의 점진적 변화에 따라 직선적으로 증가 또는 감소할 것으로 예측하기 어렵다. 이런 경우에는 표준화 방법을 사용하는 것이 적절한 대안이 될 수 있다.

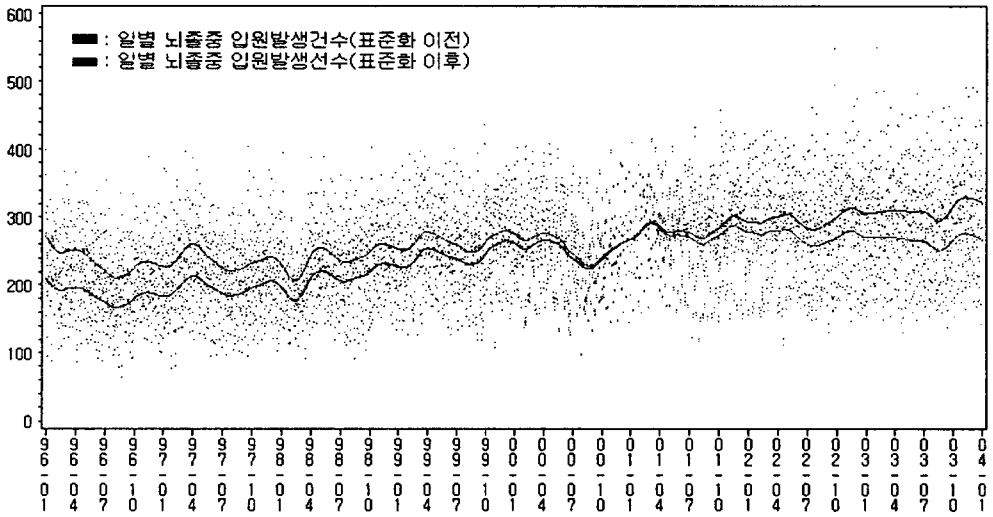

그림 3. 서울경기인천 지역의 65세 이상 뇌졸중 입원에피소드 발생건수의 표준화 전후 비교(청색: 관찰된 일별 발생건수 / 적색: 표준화된 일별 발생건수 / 선은 일별 발생건들의 Loess smoothing line임)

*Loess; locally-weighted running-line

3) 기상측정 자료가공 및 모형구축

기존 연구에서 다중공선성이 높은 기상관측변수들을 설명모형에 모두 넣는 것은 부적절한 것으로 지적하고 있다[9][10]. 이 연구에서는 필수 설명변수로 서울-경기-인천 지역 5개 측정소에서 1일 4회씩 측정된 기온, 기압, 상대습도, 시정, 전운량, 바람의 남북성분과 동서성분에서 추출한 4개 주성분들을 사용하였다. 이들 4개 주성분의 설명력은 78.87%였다.

추가 설명변수로 주기적인 계절변동을 설명하기 위한 변수, 당일 기상측정치 추가변수(최고기온, 최고기압, 최고 및 최저 습도, 최고-최저기온차), 전날과의 차이변수(평균/최고/최저 기온), 최고 기온의 지속일수를 포함시켰다. 이외에 입원의 자연증가를 고려한 날짜변수(1996년 1월 1일부터의 경과일수), 의사파업영향 지시변수(2000년 6월~12월), 공휴일 다음 날 지시변수, 매월 1일 지시변수, 요일 지시변수 등이 추가되었다.

종속 변수는 2001년을 기준으로 연령별, 성별 표준화한 일일 뇌졸중 및 천식 입원발생건수에 제곱근을 취한 형태인 sqrt(일별 환자수)로 하였으며, 이는 정규분포를 따름을 확인하였다.

9) Kalkstein L.S., et al., 1987: An evaluation of three clustering procedures for use in synoptic climatological classification. J. Clim. Appl. Meteo. 26: 717-730

10) WHO Regional Office for Europe, 2002: First meeting on guidelines to assess the health impacts of climate change

최종모형은 뇌졸중은 6개 지역×7개 요일로 총 42개, 천식은 9개 지역×7개 요일로 총 63개로 구성된다. 다중회귀분석에는 주성분 점수와 주성분 점수의 제곱값, 입원 자연증가 날짜변수는 필수로 포함시켰고, 나머지 추가 설명변수들은 단계적 선택법(stepwise selection)에 의해 유의수준 0.15 이하인 것만을 포함시켰다. 연도별로 일정한 기준을 넘어서는 일부 이상치(outlier)들을 제거한 후 최종 주성분 분석 및 회귀분석을 하였다. 이상치의 제거 기준은, 연도별, 일별 환자 수의 제곱근 분포에서 제3사분위수((Q3)+ 1.5*사분위수(IQR:interquartile range))를 넘어서는 관측치를 이상치로 간주하여 제거하였다. 단 연도별로 2개에서 3개 정도의 이상치를 제거하는 수준이다. 참고로, 표준 정규 분포 상에서 위의 이상치의 기준에 의해서 발생 할 이상치의 발생 확률은 약 2%이다. 이상치를 제거하는 이유는, 연도별, 일별 환자 수의 제곱근 분포에서 이상치로 판정되는 것은 기상의 이유보다는 다른 이유로 발생했다고 가정하기 때문이다.

모형개발 단계는 총 3단계로 구분된다. 1단계로 1996년부터 2002년 사이에 발생한 일별 입원발생건수와 설명변수를 이용하여 1차 예측모형을 작성하였다. 2단계로 이 예측모형을 2003년 여름(총 92일)에 적용하여 예측치와 실측치를 비교하는 타당도 검증과정을 거쳤다. 3단계로 2005년에 적용될 최종 예측모형은 1996년부터 2003년 사이의 전체 자료를 이용하였다. 최종결과물은 예측치의 분포를 기준으로 상위 15%, 상위 16~50%, 하위 50%라는 3단계로 구분하여 각각 위험, 주의, 보통이라고 지칭하였다.

3. 결과 및 고찰

1) 모형의 타당도 검증

지역 1(서울, 경기, 인천)의 경우를 예로 들면, 뇌졸중과 천식 모두에서 모형의 설명력은 0.4에서 0.6 사이의 비교적 높은 수준을 유지했다. 일치도 지표인 kappa index를 사용한 경우에는 뇌졸중의 일치도가 매우 낮았고, 천식은 중간 수준의 일치도를 보였다(<표 2> 참조).

표 2. 뇌졸중/천식 지역 1의 1996-2002년 회귀분석별 설명력 및 일치도

뇌졸중			천식		
	설명력(R^2)	일치도 (kappa index)		설명력(R^2)	일치도 (kappa index)
공휴일	0.4212	0.0644	공휴일	0.4590	0.3326
월요일	0.5668	0.0057	월요일	0.5998	0.5595
화요일	0.5555	0.0913	화요일	0.5680	0.4279
수요일	0.4993	0.0086	수요일	0.5609	0.6671
목요일	0.5002	0.1201	목요일	0.5833	0.3857
금요일	0.5508	0.0324	금요일	0.5838	0.2681
토요일	0.4105	0.2410	토요일	0.5663	0.3231

* 일치도 지표인 kappa index는 0.4 ~ 0.6를 보통수준(moderate)으로 해석함.

다음의 <그림 4>와 <그림 5>는 1996~2002년 자료를 사용하여 구축한 일차예측모형에 2003년의 입력자료(=기상자료)를 적용하여 산출된 3단계 예보결과(보통-주의-위험)와 실제로 발생한 입원에피소드 발생건수들의 평균을 도시한 것이다. 전체적으로 비교적 일관된 경향을 보임을 알 수 있었다. 다만, 뇌졸중에서는 주의와 위험 사이의 평균입원에피소드 발생건수 격차가 크지 않거나 일부 역전되는 경우가 있었다. 천식에서는 보통과 주의, 위험 사이의 발생건수 격차가 크다는 것을 확인할 수 있다.

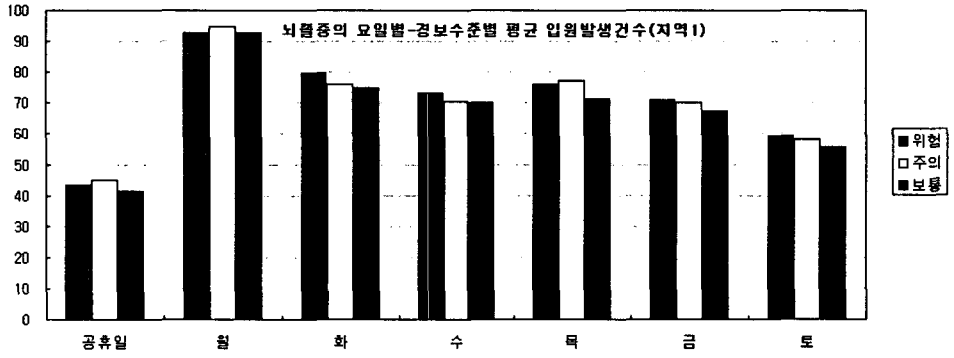

그림 4. 뇌졸중 입원발생 경보단계별 실제 입원발생 평균건수

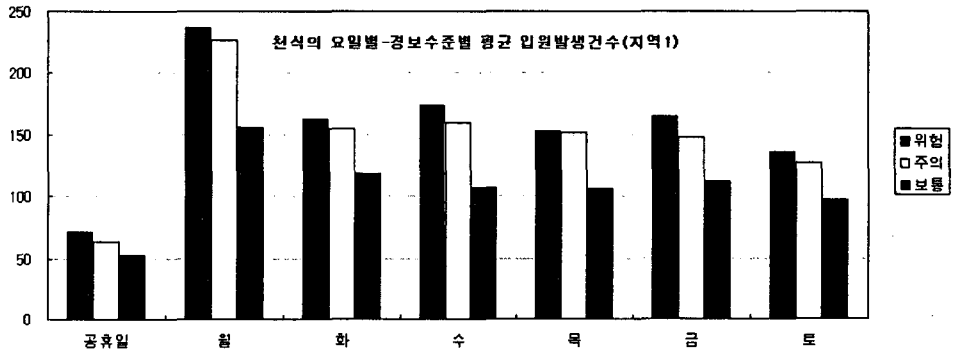

그림 5. 천식 입원발생 경보단계별 실제 입원발생 평균건수

2) 최종모형의 설명력

1996년부터 2003년 사이의 전체 자료를 사용하여 구축한 최종예측모형의 설명력은 다음 <표 3> 뇌졸중 및 <표 4> 천식과 같다. 전체적인 설명력은 대체로 0.6 전후의 높은 수준을 보였으나 지역별-요일별로 차이가 있었다. 예를 들어, 강원도에 해당되는 지역 3은 뇌졸중과 천식 모두에서 설명력이 크게 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 강원도 지역의 인구수 및 환자발생건수 자체가 작아서 나타난 결과로 추정된다. 마찬가지 이유로 공휴일의 경우에는 입원에피소드 발생건수 자체가 작아서 설명력도 일관되게 낮아지는 현상을 보였다.

표 3. 뇌졸중의 최종예측모형의 설명력(1996~2003년 전체 자료 사용)

	지역1	지역2	지역3	지역4	지역5	지역6
공휴일	43.99	20.48	10.14	47.79	29.39	37.07
월요일	63.43	46.71	23.73	64.08	64.20	70.62
화요일	61.43	41.23	14.31	65.37	55.12	63.75
수요일	54.28	41.42	22.43	62.72	52.59	65.62
목요일	54.76	38.83	19.09	60.33	51.25	60.12
금요일	54.78	39.45	11.69	57.01	54.43	70.14
토요일	44.73	30.46	9.71	61.64	42.15	60.69

표 4. 천식의 최종예측모형의 설명력(1996~2003년 전체 자료 사용)

	지역1	지역2	지역3	지역4	지역5	지역6	지역7	지역8	지역9
공휴일	39.18	17.57	21.43	16.75	31.73	24.37	57.11	23.97	13.95
월요일	59.85	43.01	39.26	37.10	58.08	58.95	75.91	71.21	41.22
화요일	54.48	36.38	32.11	32.31	46.47	56.83	69.76	63.71	27.58
수요일	54.00	37.13	31.36	33.51	46.77	50.02	72.01	62.58	32.99
목요일	56.41	32.48	38.93	29.40	50.20	47.06	70.85	60.67	28.78
금요일	53.94	35.13	29.63	29.67	45.72	49.15	74.95	67.67	34.39
토요일	52.44	31.34	39.44	23.39	44.48	52.31	73.50	64.54	38.00

3) 2005년 보건기상지수의 산출과 분포 확인

최종예측모형을 이용하여 2005년에 발생할 3단계 예보의 분포를 확인할 목적으로 가상의 실측 기상자료를 표본으로 추출하여 2005년도 동일 날짜에 적용하였다. 이 분석의 목적은 3단계의 분포가 2005년에도 연구진이 규정한 바와 같이 보통 50%, 주의 35%, 위험 15% 수준에 근접하는지를 확인하고자 한 것이다.

전체 자료에서 질병별, 지역별, 요일별로 5일씩의 자료를 추출하였다. 뇌졸중은 6개지역×7개 요일×5일로 210일의 자료가 되며, 천식은 9개지역×7개 요일×5일로 315일의 자료가 된다. 따라서 총 525일의 자료를 추출하였다. 모든 최종 결과의 엑셀 자료 값을 다시 불러들여 보건기상지수의 계산 및 2005년 분포와 비교하였으며, 96-03년의 자료를 이용하기 때문에 회귀 분석의 2차 변수 및 보정변수는 이미 계산되어져 있었다. Macro를 이용한 SAS DATA STEP 과정을 거쳐서 건강지수를 계산하였으며, 분석에 이용된 자료는 1996-2003년의 자료이다. 기상 관련 값은 1996-2003년의 자료를 이용하고 날짜 값만 2005년을 이용하였다. 표본 525일의 자료에서 도출된 보건기상지수의 3단계별 분율은 아래 <표 5>와 같이 연구진이 예정하였던 것과 1~2% 수준의 근접된 결과를 보였다.

표 5. 가상의 표본기상자료를 이용한 2005년 보건기상지수 예보 3단계의 분포 확인결과

경고 형태	도수	백분율	누적 도수
위험	86	16.38	86
주의	167	31.81	253
보통	272	51.81	525

4. 결론

이 연구는 전국차원의 지역별 뇌졸중 및 천식 입원에피소드 발생건수 정보를 이용하여 보건기상예보 웹서비스까지 실시하는 실용연구의 성격을 지니고 있다. 이 연구는 다음과 같은 몇 가지 측면에서 기존 연구들과 구별되는 새로운 성과를 얻은 것으로 판단된다.

첫째, 장기간(1996년~2003년)에 걸쳐 전국 구시군 단위의 일별(日別) 질병발생 자료(뇌졸중과 천식의 입원에피소드)를 기상변수와 연계하여 분석하였다. 실시간에 가깝게 시간별로 산출되는 기상자료에 비하면 해상도가 낮다고 할 수 있으나 이 연구에서 사용한 건강문제 발생자료는 국내외적으로도 전례가 없었다고 할 수 있다. 사용 자료원의 이러한 특성은 예측치의 신뢰구간을 줄이고 설명력을 높이는데 기여하였을 것으로 추정된다.

둘째, 상당수의 외국 연구들도 자료구득이 손쉬운 사망자료를 이용한 것에 비하여 본 연구는 입원발생을 측정-예측하였다. 사망은 그 자체가 비가역적 사건으로써 조기중재의 시점을 찾는 데에도 입원에 비하여 상대적인 제한점을 가지고 있다. 또한, 청구자료의 월별청구로 인한 제한점을 극복할 목적으로 입원에피소드 자료를 구축하였다. 국내에서 에피소드 단위를 산출-사용한 사례는 비교적 드물다[11)12)]. 입원에피소드 사용여부는 그림 2에 나타난 바와 같이 일별 발생자료 사용연구에서 결과를 좌우하는 결정적 요소다.

셋째, 기상관련 건강문제의 연구에서 가장 큰 문제점으로 지적되는 것이 타당도 검증이다. 이 연구는 비교적 충분한 관찰기간을 확보하고 있어서 1996년~2002년까지의 자료로 일차예측모형을 산출하고 이를 2003년도의 실측 기상변수와 실측 입원에피소드 발생건수에 적용함으로써 정량적인 타당도 검증결과를 제시하였다. 이는 기존 연구들과 비교할 때 가장 큰 차별점이라고 판단된다.

넷째, 이 연구는 기상변수들 사이의 매우 복잡한 상관관계를 고려하여 주성분 분석결과에서 도출된 요소(factor)와 추가적으로 기온변동 관련변수(전날과의 차이 등)를 모형에 사용하였다. 때문에 기온, 오존농도, 분진농도 등 단수의 기상-환경 변수를 사용한 기존 연구들에 비해 보다 충분한 고려가 이루어진 것으로 판단된다. 또한 전체 설명변수를 그대로 사용한 것이 아니라 통계패키지 SAS 8.2에서 제공하는 단계적 선택법(stepwise option)을 적용하였으므로 다중공선성이 높은 변수들 간의 문제는 일정부분 교정되었을 것으로 판단된다.

이 연구는 이상의 성과에도 불구하고 일정한 제한점과 한계를 지니고 있으므로 결과활용 및 향후 개발과정에서도 상당한 주의를 요한다.

첫째, 입원에피소드 발생건수는 입원자체가 실제로 발생하지 않았을 확률은 거의 없다고 판단된다. 하지만 일정한 위양성과 위음성이 존재할 것이다. 위양성의 경우 향후 문제정의의 범위를 보다 정교화하고(예: 일정한 중증도 또는 기준만족 발생건만 포함) 보다 정확한 실측자료 또는 추정근거를 보완함으로써 최소화할 필요성이 제기된다. 위음성의 경우, 주-부상병에는 포함되지 않았지만 실제로 뇌졸중 또는 천식 입원환자일 가능성도 고려할 수 있다. 하지만 일반적인 청구관행을 고려할

11) 이태진, 양봉민, 김철환, 김호 등. 외래진료 이용실태 분석을 통한 비용절감형 외래진료관리모형 개발. 국민건강보험공단. 2001

12) 김재용. 의약분업 시행전후의 의원 외래서비스 소비량 변화: 주요 질병군의 진료에피소드와 지속성 평가. 서서울대학교 대학원 박사학위 논문. 2003

때 역설적으로 주-부상병에도 기재되지 않은 발생건이 실제 환자일 가능성은 오히려 떨어진다고 판단된다.

둘째, 연구결과 예측모형이 비교적 높은 설명력과 일치도를 보였으나 이것을 기상요인에 의한 것만으로 해석할 수 있는가에 대해서는 보다 세심한 검토가 필요하다. 이번 예측모형 개발에는 포함시키지 않았지만 기초분석 과정에서 손상이 매우 높은 계절변이성을 보인 바 있다. 손상발생의 직접적 요인은 손상을 입을 위험에의 노출이며 실외활동량의 증가, 여행 등 인구이동의 증가, 직업성 폭로의 증가 등 다양한 기상 외 요인들을 가정할 수 있다. 따라서 예를 들어 손상발생건수가 기온변동과 매우 밀접한 관련성을 보였다 하더라도 이를 인과적 관련성이라고 해석하기 어려울 수 있다. 기상에 의한 영향의 범위를 어디까지로 규정하느냐(예: 계절간 기온 차이의 효과를 계절요인으로 볼 것인지 기상요인으로 볼 것인지?)도 향후 연구범위를 결정하는 중요한 고려사항이 될 것이다.

셋째, 이 연구는 기존 연구결과, 생물학적 개연성, 전문가 의견 등을 참고하여 뇌졸중과 천식을 선정하였다. 하지만 뇌졸중의 경우에도 개인별 차이(뇌졸중의 과거력, 기존 동반상병, 생활습관 등)가 비교적 큰 영향을 미칠 것으로 예상되며 천식의 경우에는 기상변수 이외에 대기오염, 작업환경 등과의 관련성에 대한 연구결과들도 제출된 바 있다. 예를 들어, 일조량과 정신질환의 경우처럼 관련성이 제기된 상당수의 주제들은 여전히 가설 수준에 머물고 있는 경우가 많다. 따라서 향후 연구에서 대상질병을 확대해 갈수록 인과적 관련성 자체에 대한 충분한 검토문제가 보다 중요하게 부각될 것이다. 특히 인과적 관련성이 인정되지 않는 질병에 대해 예보를 시행한다는 것 자체가 통계적으로는 무난할 수는 있으나 논리적으로 부적절-불가능한 것임을 충분히 이해할 필요가 있다.

넷째, 이 연구에서 3단계 경보체계를 제시하였으나 그 구체적인 행동요령에 대해서는 일반적인 언급을 넘어서지 못하였다. 실제로는 기상과 건강문제 발생의 인과적 관련성을 밝히는 것 이상으로 특정 행동요령이 예방효과를 가지는지 여부 자체도 매우 중요한 논쟁거리에 속한다. 본 연구의 직접적인 범위에 속하지는 않았지만 향후 외국에서 시행한 바 있는 고위험 인구 또는 고위험 지역에 대한 사회적 지원체계(전력, 응급후송 등) 수립방안을 검토할 필요가 있을 것이다. 하지만 특별한 주의를 요하는 것은 고위험군의 성격이나 사회적 지원체계의 필요성이 국가마다 지역마다 크게 다를 수 있다는 점이다.

세계적으로도 유래가 없는 우리나라의 건강보험청구자료는 자료의 제한점과 제도적, 의학적 측면들을 면밀히 고려하여 사용한다면 전국단위의 건강영향평가에 활용될 여지가 높다. 향후 보다 엄밀한 후속 연구와 개발이 필요할 것이다.

감사

이 연구는 "보건기상지수 산출기술 개발(Ⅰ)"의 일환으로 수행되었습니다.