

# 국가 기상기술력 수준 분석

## Capability Assessment on National Meteorological Technology

김혜민\* · 박소연\*\* · 안숙희\*\*\* · 임병환\*\*\*\* · 이경미\*\*\*\*\* · 박철홍\*\*\*\*\*

### I. 서론

기상정보는 일상생활을 비롯하여 모든 산업부문에서 중요하게 여겨지며 특히 봄철의 황사와 가뭄, 여름철의 폭염과 폭우 등은 건강과 직접적으로 연관이 되는 부분이기에 그 중요성이 날로 높아지고 있다. 특히, 국가 기상기술력은 기상재해의 경감, 국민생활의 편익증진 및 경제·사회의 부가가치 증대에 크게 기여하기 때문에 국가경쟁력 향상에도 필수적인 요소라 할 수 있다(김세원 외, 2011). 기상기술력의 향상을 위해서는 현재의 기상기술력 수준을 객관적이고 정량적으로 평가할 수 있어야 하며, 기상선진국들과의 비교를 통해 상대적인 수준을 파악할 수 있어야 한다.

기상기술력 평가 연구는 장진규 외(2000)에 의해 수행된 ‘기상기술력 종합평가방법 개발에 관한 연구’와 2006년 한국과학기술기획평가원에 의해 수행된 ‘기상기술력 수준 종합평가’ 그리고 2010년 국립기상연구소(현 국립기상과학원)에서 수행한 ‘국가 기상기술력 평가를 위한 조사 분석 연구’가 대표적이다. 장진규 외(2000)에서는 평가 항목과 기준 선정 및 각 항목의 가중치 설정을 통해 미국과 일본 대비 우리나라의 기상기술력 수준을 평가하였고, 이 연구는 우리나라 최초로 기상기술력 평가의 정의 및 평가방법을 소개하는데 큰 의미를 가진다는 평가를 받았다(김세원 외, 2011). 한국과학기술기획평가원(2006)은 주관적인 부분을 최대한 배제하고 평가하였으며, 장진규 외(2000)와 마찬가지로 미국과 일본의 기상기술력과 우리나라의 기상기술력 수준을 비교분석하였다. 그러나 두 연구 모두 한정된 기술분야에 대해서만 연구가 이루어 졌다는 평가를 받고 있다(김세원 외, 2011). 국립기상연구소(2010)에서는 전문가 설문과 Gordon(1981)의 점수제 모형을 사용하여 한국, 미국, 일본의 기상기술력을 평가 비교하였으며, 객관적인 평가를 위해 정량적인 결과를 얻기 힘든 평가 항목에 대해서는 전문가 설문을 통해 평가하였다. 전문가 설문은 모든 분야에 대해서 진행을 하였으며, 한국과학기술기획평가원(2006)에서 설정한 평가항목과 가중치부분에서 상황에 맞지 않는 항목과 가중치는 삭제하거나 수정을 하여 분석을 진행하였다.

본 연구는 국립기상연구소(2010)의 분석을 바탕으로 현재 우리나라 기상기술력 수준과 그간의 발전 경향을 파악하고자 수행되었으며, 선행연구(장진규 외, 2000; 한국과학기술기획평가원, 2006; 국립기상연구소, 2010)에서 제시되고 사용된 평가항목, 가중치, 평가기준을 기반으로 하여 연구를 진행하였다. 평가를 위해 산업계,

\* 김혜민, 국립기상과학원 연구기획운영과 연구원, 064-780-6541, hmkim84@korea.kr

\*\* 박소연, 서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지정책학과 박사과정, 02-970-6802, imsyeon78@naver.com

\*\*\* 안숙희, 국립기상과학원 연구기획운영과 연구원, 064-780-6540, ahnsh@korea.kr

\*\*\*\* 임병환, 국립기상과학원 연구기획운영과 기상연구관, 064-780-6503, weatherman@korea.kr

\*\*\*\*\* 이경미, 국립기상과학원 연구기획운영과 기상연구사, 064-780-6542, leekm80@korea.kr

\*\*\*\*\* 박철홍, 국립기상과학원 연구기획운영과 기술서기관, 064-780-6502, pchong@korea.kr

학계, 연구계의 전문가 설문을 진행하였고, 미국, 일본 뿐만아니라 기상선진국인 영국을 평가에 포함하였다. 본 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성된다. 제2절은 기상기술력 평가에 사용된 연구방법론에 대해 설명하고, 제3절은 주요 분석 결과를 제시한다. 마지막으로 제4절은 연구결과를 요약하고 시사점을 도출한다.

## II. 연구방법

기술력의 수준을 평가하기 위해서는 장비·프로그램의 수준을 비롯하여 인력과 정보·지식 등의 수준을 포함하여 분석해야하며, 기상기술력은 기상업무 수행 중 사용되는 모든 기술적 역량을 의미한다(김세원 외, 2011). 그러나 이 기준에 맞추어 평가를 하기 위해서는 모든 민간분야(대학, 연구소, 산업체 등)를 포함하여야 하지만, 정량적이고 객관적인 평가를 하기 위한 자료를 구하는 것이 불가능한 실정이기에 한국, 미국, 일본, 영국의 기상관련 공공기관만을 대상으로 조사·평가하였다. ‘국가 기상기술력 평가를 위한 조사 분석 연구’(국립기상연구소, 2010)에서 사용된 평가지표는 아래의 <표 1>과 같다.

<표 1> 분야별 대표평가지표 및 가중치 설정 결과

복합평가지표	가중치	테마평가지표	가중치	개별평가지표	가중치	
관측분야	0.28	기본관측망	0.35	시·공간 분해능	1.00	
		원격관측망	0.33	기상위성 운영·활용	0.47	
				기상레이더 운영	0.53	
		관측자료 품질	0.32	기본 관측자료	0	
				고등 관측자료	1.00	
자료처리분야	0.20	자료동화	0	자료동화 수준	0	
		예측모델	0.75	수치모델 수준	1.00	
		인프라	0.25	슈퍼컴 수준	1.00	
예보분야	0.34	예보정확도	1.00	단기(일일)	기온	0.42
					강수유무	0
				중기(+2~7일)	기온	0.26
					강수유무	0
				태풍	진로 (48hr)	0.32
					풍속	0
강수량	0					
기후분야	0.18	기후예측	0	기후예측모델 수준	0	
		기후변화	1.00	국가 표준 시나리오 산출 수준	1.00	

본 연구에서는 정량적인 자료를 구할 수 있는 부분은 점수제 모형에 따른 지표평가를 실시하였고, 정량적이고 객관적인 자료를 얻기 힘든 부분을 포함하여 모든 지표에 대해 설문평가를 진행하였다. <표 1>에 제시된 가중치 정보 중 0으로 표시된 자료동화 수준, 단기·중기 강수유무, 태풍의 풍속과 강수량, 기후예측모델 수준은 설문평가만을 진행하였다. 자료처리분야의 자료동화 수준의 경우 평가를 위해 변수의 종류 또는 총 입력 자료수와 같이 연구자에 따라 평가기준이 달리 적용될 가능성이 있고, 자료의 종류로 그 수준을 평가하는데에 무리가 있다고 판단되어 국립기상연구소(2010)에서도 지표평가에서는 평가 제외된바 있다. 따라서 이번 연구에서도 지표평가에서는 자료동화 수준은 제외하고 설문평가에만 포함시켰다. 또한, 예보분야 중 강수유무의 경우 선행연구(국립기상연구소, 2010)와 동일하게 점수제 모형에서는 제외하였으며, 강수유무 부분에

할당되어있던 가중치는 기온부분에 포함시켜서 평가를 진행하였다. 이는 평가지표를 검토하는 과정에서 관련 분야의 전문가 의견을 반영하여 수정한 부분이며, 기존의 연구결과와 비교를 용이하게 하기 위해 기존과 동일한 방법으로 연구를 수행하였다. 기후분야의 기후예측모델 수준의 경우 국립기상연구소(2010)에서는 기후예측모델의 기온 및 강수량 Hit rate 분류표에 의해 평가를 하였으나, 현재 Hit rate 자료가 공개되고있지 않아, 기존 연구와의 비교가 불가능하다고 판단하여 설문평가로만 진행하였다. 선행연구에서 선택한 Gordon의 점수제 모형을 본 연구에서도 동일하게 선택하였으며 평가모형은 아래의 식(1)과 같다.

$$M_i = \frac{28}{100} O_i + \frac{20}{100} P_i + \frac{34}{100} F_i + \frac{18}{100} C_i \quad (\text{식 1})$$

- $M_i$  : 평가대상국가의 종합평가점수
- $O_i$  : 평가대상국가의 관측분야 평가점수
- $P_i$  : 평가대상국가의 자료처리분야 평가점수
- $F_i$  : 평가대상국가의 예보분야 평가점수
- $C_i$  : 평가대상국가의 기후분야 평가점수

관측분야는 테마평가지표와 개별평가지표 총 7부분으로 나누어 평가를 진행하였으며, 지표평가에서는 기본 관측자료 품질을 제외한 6부분을 평가하였다. 자료처리분야는 자료동화, 예측모델, 인프라로 나누어 평가하였으며, 자료동화는 선행연구와 원활한 비교를 위해 지표평가에서는 제외하고 전문가 설문만 진행하였다. 예보분야는 예보정확도를 평가기준으로 하였으며, 예보에 따라 일일은 단기, 2일~7일까지는 중기로 나누어 기온과 강수유무에 대한 정확도를 국가별로 비교하였다. 강수유무는 2010년 연구와 마찬가지로 전문가 설문만을 진행하였다. 태풍예보정확도는 최근 5년간(2010년~2014년) 태풍중심위치의 예보오차의 평균을 태풍진로 예보정확도로서 비교분석 하였다. 태풍의 풍속과 강수량 예보정확도는 2010년 연구와 동일하게 전문가 설문만으로 평가하였다. 기후분야는 기후예측과 기후변화로 나누어 기후예측모델의 수준과 국가 표준 시나리오 산출 수준을 평가하였다. 기후예측모델의 경우, 2010년 연구에서는 기온과 강수량의 기후예측모델 정확도(Hit rate)를 평가기준으로 사용하였으나, 2010년 평가 이후 공개되고 있는 자료가 없어 설문평가만 진행하였다. 또한, 국가 표준 시나리오 산출 수준은 2010년 연구에서 사용된 ‘WCRP(World Climate Research Programme) CMIP(Coupled Model Intercomparison Project) multi-model dataset’의 유효도를 적용하였으나, IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)의 AR5(Assessment Report 5)에서는 모델의 유효성을 평가하는 기준이 달라짐에 따라 본 평가에서도 기준을 재선정하여 평가를 진행하였다. 각각의 개별평가지표와 평가기준은 아래의 <표 2>와 같다.

<표 2> 분야별 평가지표 및 평가기준

분야	개별평가지표		평가기준
관측	시·공간 분해능		공간/시간규모에 따른 기상현상 관측 능력
	기상위성 운영·활용	보유여부	자체 기상위성 보유 여부, 활용 자료의 종류·수준, 활용 기상 위성 수
		활용자료 종류·수준	
		활용기상위성 수	
	기상레이더 운영	관측범위	국토면적 대비 관측 유효면적(%)
		고성능 레이더활용 현황	도플러 레이더 운영율(%)
		국산화율	레이더 국산화율(%)
기본 관측자료 품질 (ASOS, AWS)		전문가 설문평가만 실시	
고등 관측자료		WMO의 요구수준을 넘어서 품질관리 과정에 제공하는 관측자료의 수준(관측자료 종류의 수를 기준으로)에 대한 상대적 비교·분석	
자료 처리	자료동화 수준		전문가 설문만 실시
	수치모델 수준		5일 후의 500hPa 고도의 예측오차(RMSE)의 분류표에 의한 평가
	슈퍼컴 수준		기상서비스 전용 슈퍼컴 성능(연산능력 기준)에 대한 상대적 비교·분석
예보	단기 (일일)	기온	최고기온 MAE와 최저기온 MAE의 기하평균 분류표에 의한 평가
		강수유무	전문가 설문평가만 실시
	중기 (+2~7일)	기온	최고기온 MAE와 최저기온 MAE의 기하평균 분류표에 의한 평가
		강수유무	전문가 설문평가만 실시
	태풍	풍속	전문가 설문평가만 실시
		강수량	전문가 설문평가만 실시
진로(48hr)		태풍중심 위치의 예보(48시간) 오차 평균에 대한 상대적 비교·분석	
기후	기후자료품질 수준		전문가 설문만 실시
	기후예측모델 수준		2010년 평가결과 사용
	기후예측 수준		전문가 설문만 실시
	기후대기감시 수준		전문가 설문만 실시
	지구시스템모델 개발 수준		전문가 설문만 실시
국가 표준 시나리오 산출 수준		IPCC AR5에 참여한 기후예측모델 개발단계에 대한 상대적 비교·분석	

### III. 연구 결과

#### 1. 지표평가결과

우리나라는 대부분의 분야에서 2010년의 결과 보다 높은 점수를 기록하였다. 특히, 관측분야의 고등 관측 자료 품질의 경우 미국과 일본의 수준을 많이 따라잡은 것으로 보였으며, 자료처리 분야의 인프라 부분은 유일하게 만점을 받은 것으로 나타났다. 기후분야의 국가 표준 시나리오 산출 수준은 2010년 평가때와 달리 독자적인 모델개발에 성공한 것을 감안하였을 때, 점수 자체는 다른 국가들과 비교하여 다소 낮은 점수를 기

록하였으나, 눈에 띄는 성과를 보였다고 할 수 있다. 국가기상기술력 지표평가 결과는 아래의 <표 3>과 같다.

<표 3> 국가 기상기술력 수준 지표평가결과

분야	개별평가지표	가중치	한국	미국	일본	영국	
관측	시·공간 분해능	0.350	33.3 (31.5)	33.3 (31.5)	33.3 (31.5)	33.3	
	기상위성 운영·활용	0.155	15.5 (15.5)	15.5 (15.5)	15.5 (15.5)	15.5	
	기상레이더 운영	0.175	9.6 (8.8)	17.2 (17.2)	17.5 (15.5)	17.5	
	고등 관측자료 품질	0.320	24.2 (10.3)	30.0 (32.0)	29.1 (20.7)	32.0	
	<b>합계</b>	<b>1.000</b>	<b>82.6 (66.1)</b>	<b>96.0 (96.2)</b>	<b>95.3 (81.6)</b>	<b>98.2</b>	
자료처리	예측모델	0.750	67.5 (52.5)	67.5 (67.5)	67.5 (67.5)	67.5	
	인프라	0.250	25 (25.0)	22.5 (2.8)	22.5 (2.7)	22.5	
	<b>합계</b>	<b>1.000</b>	<b>92.5 (77.5)</b>	<b>90.0 (70.3)</b>	<b>90.0 (70.2)</b>	<b>90.0</b>	
예보	단기 (일일)	기온	0.420	37.8 (37.8)	37.8 (37.8)	37.8 (37.8)	37.8
	중기 (+2~7일)		0.260	23.4 (23.4)	23.4 (20.8)	23.4 (23.4)	23.4
	태풍	진로	0.320	29.2 (31.1)	32.0 (30.9)	27.8 (32.0)	29.8
	<b>합계</b>	<b>1.000</b>	<b>90.4 (92.5)</b>	<b>93.2 (89.5)</b>	<b>89.0 (93.2)</b>	<b>91.0</b>	
기후	기후예측모델 수준	0.520	39	41.6	39	39.9	
	국가 표준 시나리오 산출 수준	0.480	30.0 (17.3)	42.0 (22.8)	48.0 (25.0)	48.0	
	<b>합계</b>	<b>1.000</b>	<b>69.0 (56.3)</b>	<b>83.6 (64.4)</b>	<b>87.0 (67.6)</b>	<b>87.9</b>	

\* ( )안의 값은 선행연구와의 비교를 위해 2010년 연구결과를 제시한 것임

\* ‘기후예측모델 수준’은 새로운 지표가 필요하며, 종합표 제시를 위해 2010년 값으로 제시 및 계산. 영국은 3국의 평균값을 사용.

## 2. 설문평가결과

설문평가는 전문가 합의를 구하는데 가장 많이 사용되는 방법인 델파이 기법을 활용하여 진행하였으며, 2010년에 시행된 연구의 설문에 참여한 전문가들 중 77명이 본 설문에 다시 참여하였다. 설문은 기존의 연구와 마찬가지로 각 평가지표별로 13점 척도를 이용하여 가장 낮은 점수는 40점(기술력 없음), 가장 높은 점수는 100점(최고기술력 또는 기술력의 차이가 없음)으로 5점 등간격을 이용하여 평가하였다. 1차 설문응답자 전원에게 설문조사의 결과를 제시하고 평가결과가 적절한지를 다시 묻는 2차 설문을 진행하였다. 국가 기상기술력 수준 설문평가 결과는 아래의 <표 4>와 같다.

<표 4> 국가 기상기술력 수준 설문평가 결과

분야	개별평가지표		가중치	한국	미국	일본	영국
관측	시·공간 분해능		0.350	32 (34.4)	34.2 (33.8)	34.7 (35.0)	33.7
	기상위성 운영·활용		0.155	12.9 (13.3)	15.5 (15.5)	14.1 (14.8)	14.7
	기상레이더 운영		0.175	14.7 (15.3)	17.5 (17.5)	16.4 (17.5)	16.5
	기본 관측자료 품질		0.160	14.8 (15.2)	16.0 (16.0)	15.9 (16.0)	15.6
	고등 관측자료 품질		0.160	14.1 (14.3)	16.0 (16.0)	15.1 (15.6)	15.2
	<b>합계</b>		<b>1.000</b>	<b>91.6 (92.4)</b>	<b>99.2 (98.8)</b>	<b>96.2 (98.9)</b>	<b>95.7</b>
자료처리	자료동화		0.320	26.6 (27.9)	32.0 (32.0)	29.2 (31.0)	30.6
	예측모델		0.430	35.3 (37.8)	43.0 (43.0)	39.7 (42.2)	41.4
	인프라		0.250	20.5 (23.4)	25.0 (25.0)	22.3 (24.3)	22.5
	<b>합계</b>		<b>1.000</b>	<b>82.3 (89.1)</b>	<b>100.0 (100.0)</b>	<b>91.2 (97.5)</b>	<b>94.5</b>
예보	단기 (일일)	기온	0.180	17.6 (17.9)	17.5 (18.0)	17.9 (17.9)	18.0
		강수유무	0.240	22.6 (22.9)	23.4 (23.8)	23.3 (24.0)	24.0
	중기 (+2~7일)	기온	0.130	12.9 (12.1)	12.9 (12.9)	13.0 (13.0)	12.9
		강수유무	0.130	12.2 (11.7)	12.6 (12.9)	13.0 (13.0)	12.6
	태풍	진로	0.107	10.3 (9.7)	10.5 (10.6)	10.7 (10.7)	9.9
		강수량	0.107	10.1 (9.6)	10.5 (10.6)	10.3 (10.7)	10.7
		풍속	0.106	9.9 (9.7)	10.2 (10.6)	10.6 (10.6)	10.2
	<b>합계</b>		<b>1.000</b>	<b>95.6 (93.6)</b>	<b>97.7 (99.3)</b>	<b>98.8 (99.9)</b>	<b>98.3</b>
	기후	기후자료 품질수준		0.170	12.5 (14.8)	17.0 (17.0)	16.0 (16.3)
기후예측모델 수준		0.180	13.7 (15.3)	18.0 (18.0)	16.5 (17.2)	17.5	
지구대기감시 수준		0.170	12.8 (14.9)	17.0 (17.0)	15.8 (16.3)	16.1	
지구대기감시 수준		0.160	12.0 (13.9)	16.0 (16.0)	15.2 (15.3)	14.4	
지구시스템모델 개발 수준		0.160	10.7 (13.1)	16.0 (16.0)	14.2 (15.2)	15.3	
국가 표준 시나리오 산출 수준		0.160	12.6 (14.0)	16.0 (16.0)	14.9 (15.3)	15.5	
<b>합계</b>		<b>1.000</b>	<b>74.3 (86.1)</b>	<b>100.0 (100.0)</b>	<b>92.7 (95.6)</b>	<b>93.8</b>	

\* ( )안의 값은 선행연구와의 비교를 위해 2010년 연구결과를 제시한 것 임

## IV. 결론 및 정책적 시사점

본 연구에서는 2010년에 수행된 연구 결과와 비교하여 현재 우리나라의 기상기술력 수준을 평가하고, 기상 선진국가인 미국, 영국, 일본과 기술격차가 어느정도인지를 분석하는 것이 그 목적이었기 때문에, 기존의 연구에서 사용된 지표와 가중치를 그대로 사용하였으며, 평가 방법 또한 동일하게 진행하였다. 그러나 설문평가의 경우 연구자의 자의적 해석이 있을 수 있고, 이를 통한 단순비교는 무리가 있을 것으로 판단되며, 시설과 인력을 제외한 유형적 기술의 정량화가 전체기술을 대표할 수는 없다고 판단된다. 또한, 전세계적으로 지속적인 발전을 보이는 기상기술력을 평가하기 위하여 기술격차가 많이 좁아진 분야에 대해서는 평가기준의 재설정 이 필요할 것으로 보인다. 객관적이고 신뢰도 높은 기상기술력 평가를 위해서 전문가 인력구성 및 지속적인 자료확보 등을 통해 지속적인 평가가 필요하며, 이러한 평가가 수행되었을 때 국가 기상기술력 발전전략을 수립하는데 핵심정보로 활용할 수 있을것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 국립기상과학원 「기상기후 관련 의사결정 서비스 개선 연구」에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 국립기상연구소(2010) 「국가 기상기술력 평가를 위한 조사 분석 연구」, 국립기상연구소.
- 김세원 (2011), “국가 기상기술력 수준 평가”, 「한국기상학회 대기」, 21(3) : 319-336
- 슈퍼컴퓨터 순위, <http://www.top500.org> (2015.09.10.)
- 일본 기상청, “단기 예보정확도”, [http://.data.jma.go.jp/fcd/yobo/data/kensho/score\\_f.html](http://.data.jma.go.jp/fcd/yobo/data/kensho/score_f.html) (2015.10.01.)
- 일본 기상청. “레이더 위치 및 현황”, <http://www.jma.go.jp/kishou/now/radar/kaisetsu.html> (2015.10.01.)
- 일본 기상청, “중기 예보정확도”, [http://www.jma.go.jp/fcd/yoho/data/kensho/score\\_s.html](http://www.jma.go.jp/fcd/yoho/data/kensho/score_s.html) (2015.10.01.)
- 장진규 (2000). 「기상기술력 종합평가기법 개발에 관한 연구」, 장진규 외 2인 공저, 과학기술정책연구원,
- 한국과학기술기획평가원 (2006), 「기상기술력 수준 종합평가 보고서」 과학기술처, 기상청
- 한국 기상청 레이더 센터, “레이더 위치 및 현황”, <http://radar.kma.go.kr> (2015.10.01.)
- Gordon, T.J., Munson, T., (1981), “A Proposed convention for measuring the state of the art of products of process”, *Technological Forecasting and Social Change*, 20, 1-26
- IPCC (2014) Fifth Assessment Report
- Japan Meteorological Agency (2014) Joint WMO Technical Progress Report on the Global Data Processing and Forecasting System and Numerical Weather Prediction Research Activities for 2013
- Korea Meteorological Administration (2014) Joint WMO Technical Progress Report on the Global Data Processing and Forecasting System and Numerical Weather Prediction Research Activities for 2013
- Met Office (2008) Progress Report on the Global Data Processing and Forecasting System and NWP Research Activities
- NOAA (2014) Descriptions of the Major Modeling Systems Operated at NOAA/NWS/NCEP