

극지환경을 고려한 남극 세종과학기지 계측시스템 적용성에 관한 연구

A Study of Applicability of Monitoring System through Polar Environment around the King Sejong Station, Antarctica

박근보¹, 김영석^{2*}

Keunbo Park¹, YoungSeok Kim^{2*}

¹Non-Member, Researcher, Geotechnical Engineering Research Division, Korea Institute of Construction Technology, 283, Goyangdae-Ro, Ilsanseo-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-712, Republic of Korea

²Member, Research Fellow, Geotechnical Engineering Research Division, Korea Institute of Construction Technology, 283, Goyangdae-Ro, Ilsanseo-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-712, Republic of Korea

ABSTRACT

Environmental monitoring analysis were analyzed for the period from 1988 to 2007 near King Sejong Station. Extreme environment structure behaviors(Marine Biology Lab.) were evaluated using monitoring sensors developed commercial sensors. Also when installing the sensors ambient environment of the King Sejong Station, to analyze the measured data and the comparative behavior of the structure were analyzed. As a environmental monitoring analysis result at King Sejong Station temperature, sensors were installed to withstand about -25.6°C or less and 49.5m/s. They were needed that the height of 225.0cm or more to be installed during the installation. For several monitoring sensors used in Antarctic, temperature, snow and strong winds were very sensitive to the atmospheric environment. Quite often a camouflage(animals and humans) would make it necessary to provide housing for monitoring sensors. Therefore, protection system developed for these sensors were to protect the sensors and data logger. Protection system the newly developed, is economical, easy to install even in harsh environments. Based on the measurement result of the one year, consider electrode applicability of the protection system, it was confirmed that the behavior of the structure is also predictable.

요 지

극지환경에서의 구조물 거동을 파악하기 위하여 남극 세종과학기지 부근의 기상환경을 분석(1988년-2007년 및 2010년)하고, 이에 적합한 상용화된 계측기를 선정하여 남극기지(생물해양연구동)에 설치하여 검토하였다. 남극 세종과학기지 기상환경 분석결과, -25.6°C 이하의 온도 및 49.5m/s 정도의 바람에도 견딜 수 있는 계측기를 설치해야 하며 설치위치도 지표면에서 225.0cm 이상이어야 한다. 또한, 남극에서 사용할 계측기 센서의 경우 온도, 폭설 및 강풍에 민감하고, 기상환경 이외에 남극의 동물이 침범할 수 있으므로 계측기 및 계측기용 데이터로거를 보호할 수 있는 시스템을 개발하여 적용하였다. 새롭게 개발된 보호시스템은 극지환경에서도 설치가 용이하고 경제적이다. 1년간의 계측결과를 바탕으로 보호시스템의 극지 적용가능성을 검토하였으며, 구조물 거동도 예측이 가능함을 확인하였다.

Keywords : Polar environment, Antarctica, Environmental monitoring, Structure behavior, Monitoring sensor

1. 서 론

현재 선진국에서는 에너지·자원 고갈로 극한지와 같은

미개척 지역에서의 에너지·개발에 대한 관심이 증가하고 있다. 또한 세계 각국에서는 무한한 자원의 보고인 극지를 선점하고자 경쟁적으로 기지 건설을 추진하고 있다. 우리나라에서도 남극 제2기지(장보고과학기지) 건설사업 및 시베리아 유전개발 등 대규모 극지환경용 구조물이 계획 또는 추진 중에 있다(Kim et al., 2012). 극지환경(-32°C 이

Received 8 May. 2013, Revised 3 Jun. 2013, Accepted 5 Jun. 2013

*Corresponding author

Tel: +82-31-910-0371; Fax: +82-31-910-0211

E-mail address: kimys@kict.re.kr (Y. S. Kim)

하 또는 남·북극, Korea Institute of Construction Technology, 2011a)에서의 구조물은 기상 및 환경조건의 변화, 설계 및 시공의 엄밀성 결여, 유지관리의 소홀 등으로 인하여 결함(defect), 손상(damage), 열화(deterioration) 등이 발생하기 쉽다. 결과적으로 구조물의 성능이 저하되면서 안전문제 발생, 구조물 폐쇄, 붕괴 등의 중대 사고에 이르기도 하며 보수·보강·재건설로 인해 경제적, 시간적 비용에 대한 부담이 발생하게 된다. 그러므로 극한환경에서의 구조물을 안전하고 경제적으로 관리하는 것은 매우 중요하다. 일반적인 구조물의 유지관리 목적은 내구수명 확보, 안전성과 사용성의 장기간 확보, 교통장애의 최소화, 쾌적한 주행성 제공, 현재와 미래의 유지관리 경제성 확보, 손상, 결함, 열화의 조기발견으로 인한 붕괴방지 및 보수비용의 절감 등에 있다고 할 수 있다. 이를 위해서는 구조물의 현재 상태를 정확히 파악할 수 있는 계측관리 시스템을 개발하고 발전시켜야 한다. 특히 남극 세종과학기지의 경우는 취약한 기후, 작업능률 및 생산성 저하로 인해 타 구조물 대비 보다 신뢰성 있는 시공관리가 필요하기 때문에 계측관리가 매우 중요하다고 할 수 있다(Korea Institute of Construction Technology 2011b; Korea Institute of Construction Technology 2012).

국내·외 구조물 모니터링(계측관리)의 경우, 유지관리를 목적으로 대형 구조물을 대상으로 한 연구가 다양하게 진행되고 있지만(Korea Polar Research Institute, 1988; Kim et al., 2000; Jerome, 2004), 극한환경 모니터링의 경우, 공학적 또는 환경적 모니터링 연구에 국한되어 있다(Chung et al., 2004; Shin 2007). 특히 계측기와 관련된 국내 건설센서의 경우 데이터 획득을 비롯한 시스템 기술의 개발이 활발히 진행되고 있는 상황이나 핵심모듈과 센서자체는 대부분 수입에 의존하고 있다. 극한지 구조물의 모니터링 및 안전진단 시스템용 센서와 같이 특정 영역에 대한 연구는 전무한 실정이다. 또한 외국의 경우 극저온 지역에서 -40℃까지 측정 가능한 계측센서가 상용 중에 있으나, 자국 내의 지역별 맞춤형 계측 시스템으로 해외에서 발표하는 것을 매우 꺼려하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 극한환경에서의 구조물 거동을 파악하기 위하여 남극 세종과학기지 부근의 기상환경을 분석하고, 이에 적합한 상용화된 계측기를 선정하여 남극기지(생물해양연구동)에 설치하였다. 남극에서 사용할 계측기 센서의 경우 온도, 폭설 및 강풍에 민감하고, 기상환경 이외에 남극의 동물이 침범할 수 있으므로 계측기 및 계측기용

데이터로거를 보호할 수 있는 시스템을 개발하여 적용하였다. 1년간의 실측데이터를 바탕으로 보호시스템의 극지 적용가능성 및 구조물 거동을 검토하였다.

2. 남극 세종과학기지의 환경 분석

2.1 세종과학기지의 지리

남쉐틀랜드 군도에서 가장 큰 섬인 킹조지섬(남위 60°51' ~ 62°15', 서경 57°30' ~ 59°01')에는 우리나라를 포함한 8개국의 9개 월동기지가 있으며, 남극 세종과학기지(남위 62°13', 서경 58°47')는 섬의 서남쪽에 위치한 바톤반도의 해안가에 있다. 세종과학기지가 있는 바톤반도의 약 반은 아직도 만년빙 또는 만년설에 의해 덮여있다. 이 지역은 빙하에 의한 빙식작용 및 그에 따른 특징적인 지형과 한대 지방에서만 볼 수 있는 물리적 풍화작용이 우세한 기후 환경에서 만들어진 특징적인 지형, 즉 빙퇴석층(moraine), U자형 계곡, 서어크(cirque), 빙하호(glacial lake), 다각형구조(polygon structure), 인젤버어그(inselberg), 그리고 빙하가 지나간 자국인 조선(striation) 등이 잘 발달되어 있다(Korea Polar Research Institute, 1988).

2.2 세종과학기지의 기후

세종과학기지의 기상관측소(남위 62°13', 서경 58°47')는 1988년 세종과학기지 준공과 더불어 관측을 시작하여 현재까지 지속되고 있다. 세종과학기지가 위치한 킹조지섬은 기상학적인 면에서 고위도 저압대에 속하는 지역으로서 중위도 편서풍과 극동풍이 만나 극전선이 형성되는 곳이다. 남극대륙 연안을 따라 둥글게 반 영구적으로 형성되고 있는 저기압계 - 주로 웨델해, 벨링스하우젠해, 로스해, 그리고 프리즈만 등에 중심을 둔 4개의 저기압 - 중에서 웨델해와 벨링스하우젠해의 두 저기압과 극고기압 또는 확장된 이동성 아열대 고기압 등으로 이루어지는 기압패턴의 영향을 받는 위치에 놓여있다(Korea Polar Research Institute, 1993). 따라서 전반적으로 기압은 낮고 변화가 심하며 강한 상승기류가 발달하여 흐린 날이 많다. 또한 주변 해양의 영향으로 습도가 높고 안개가 자주 발생한다. 특히 남동계열의 강한 바람과 함께 많은 양의 눈이 날리며, 이로 인해 시정이 극히 나빠지는 현상인 블리저드가 겨울철에 많이 발생한다. 세종과학기지의 기상관측은 자동기상관측장비인 AMOS(Automatic Meteorological Observa-

tion System)를 이용하여 실시간 대기의 기상상태를 관측하며 관측요소로는 기온, 기압, 풍향 풍속, 상대습도, 전천 일사량, 일조량, TOTAL UV, 노점온도, 지표온도, 강수량 등이 있으며, AMOSⅡ에는 기본관측 외에 SST(Sea Surface Temperature), 전기전도도, 염분, 일사량, 순 복사 등을 관측한다. 또한 자동기상관측장비로는 관측할 수 없는 기상 요소는 구름(운형, 운량, 운고), 시정, 해상상태, 지면상태, 적설, 기상현상 등이 있으며, 이는 목측을 통하여 자료를 수집하고 있다.

2.3 세종과학기지의 기온

Table 1은 1988년부터 2007년까지 관측된 세종과학

기지의 연평균기온을 나타내고 있으며, 그 분포는 -3.0~ -0.5℃이다(Korea Polar Research Institute, 2008). 가장 낮은 기온은 -25.6℃로 1994년 7월 24일에 관측되었으며, 가장 높은 기온은 13.2℃로 2004년 1월 24일에 관측되었다. 겨울철(6월~9월) 평균 기온은 -4.0~2.7℃이며, 현장조사를 위한 야외활동과 건설 활동이 이루어지는 여름철(12월~2월)의 평균기온은 1.0~2.2℃로 비교적 온화하다. 이 시기에는 바톤반도를 덮고 있던 눈이 대부분 녹아 내려 다량의 용설수가 기지 주변으로 흘러내린다. 특히 계측기가 설치된 2010년 12월의 경우, Fig. 1에 나타난 바와 같이 -4.8~5.1℃ 정도의 온도분포가 나타났다(Korea Polar Research Institute, 2011). 1988년부터 2007년 기간 및 2010년의 세종과학기지 기온 현황 분석 결과, 계측기 설치 시 -25.6℃

Table 1. Monthly weather data from 1988 to 2007 year at Sejong Station

year	classification	temperature(℃)	year	classification	temperature(℃)
1988	yearly mean	-2.6	1998	yearly mean	-1.1
	yearly max.	10.4		yearly max.	10.2
	yearly min.	-19.9		yearly min.	-23.1
1989	yearly mean	-0.5	1999	yearly mean	-0.7
	yearly max.	10.1		yearly max.	12
	yearly min.	-15.4		yearly min.	-17.2
1990	yearly mean	-1.9	2000	yearly mean	-1.3
	yearly max.	8.6		yearly max.	8.6
	yearly min.	-21.6		yearly min.	-18.3
1991	yearly mean	-3	2001	yearly mean	-1.2
	yearly max.	8.9		yearly max.	9.2
	yearly min.	-24.4		yearly min.	-18.3
1992	yearly mean	-2.4	2002	yearly mean	-2.3
	yearly max.	11.2		yearly max.	11.5
	yearly min.	-23.6		yearly min.	-24.6
1993	yearly mean	-0.9	2003	yearly mean	-1.7
	yearly max.	8.7		yearly max.	9.6
	yearly min.	-16.6		yearly min.	-17.3
1994	yearly mean	-1.8	2004	yearly mean	-1.2
	yearly max.	9.4		yearly max.	13.2
	yearly min.	-25.6		yearly min.	-19.3
1995	yearly mean	-2.7	2005	yearly mean	-1.8
	yearly max.	9.7		yearly max.	9.8
	yearly min.	-25.1		yearly min.	-23.1
1996	yearly mean	-0.7	2006	yearly mean	-1.1
	yearly max.	8.9		yearly max.	10.5
	yearly min.	-15.3		yearly min.	-21.7
1997	yearly mean	-1.7	2007	yearly mean	-2.9
	yearly max.	11		yearly max.	9.7
	yearly min.	-21.3		yearly min.	-24.2

이하에서도 운용 가능한 계측기를 설치해야 할 것으로 판단되었다.

2.4 세종과학기지의 풍속 및 풍향

세종과학기지에서 관측된 풍속은 Table 2와 같이 연

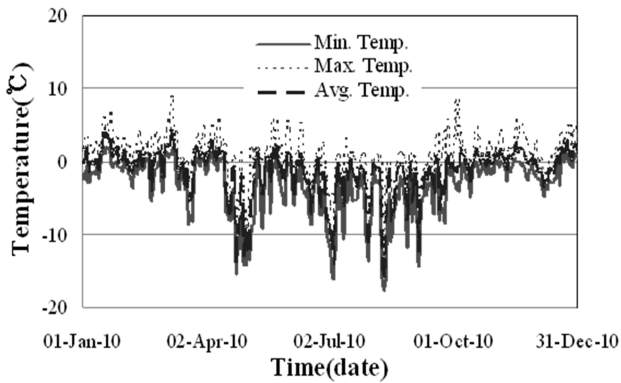


Fig. 1. Monthly weather data for 2010 year at Sejong Station

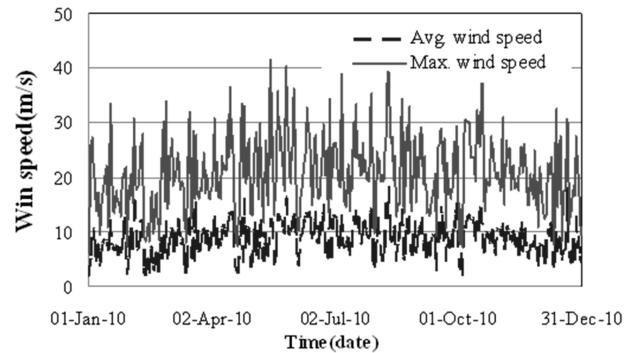


Fig. 2. Distribution of daily mean wind speed for 2010 year at Sejong Station

Table 2. Distribution of daily mean wind speed and wind direction from 1988 to 2007 year at Sejong Station

year	classification	wind speed(m/s) and wind direction	year	classification	wind speed(m/s) and wind direction
1988	yearly mean	7,6	1998	yearly mean	7,9
	direction	NNE		direction	NNE
	yearly max.	43,3		yearly max.	39,8
1989	yearly mean	8,3	1999	yearly mean	8,5
	direction	N		direction	E
	yearly max.	38,9		yearly max.	38,6
1990	yearly mean	7,8	2000	yearly mean	7,7
	direction	NNE		direction	NNE
	yearly max.	46,6		yearly max.	46,5
1991	yearly mean	8	2001	yearly mean	8,8
	direction	NNE		direction	N
	yearly max.	46,6		yearly max.	41,4
1992	yearly mean	7,7	2002	yearly mean	7,7
	direction	-		direction	N
	yearly max.	37,9		yearly max.	41,2
1993	yearly mean	7,9	2003	yearly mean	8,1
	direction	N		direction	N
	yearly max.	36,7		yearly max.	49,5
1994	yearly mean	7,7	2004	yearly mean	8,3
	direction	NNE		direction	NNE
	yearly max.	39,2		yearly max.	40,2
1995	yearly mean	7,9	2005	yearly mean	7,1
	direction	E		direction	E
	yearly max.	44,5		yearly max.	37,6
1996	yearly mean	8,5	2006	yearly mean	8
	direction	-		direction	N
	yearly max.	40,3		yearly max.	41,9
1997	yearly mean	7,4	2007	yearly mean	7,2
	direction	E		direction	NW
	yearly max.	35,1		yearly max.	40,1

평균 7.4~8.8m/s(1988년~2007년) 정도이다(Korea Polar Research Institute, 2008). 최대 풍속은 49.5m/s로 2003년 8월 16일에 관측되었다. 2010년의 경우 매월 측정된 최대 풍속은 24.6~40.2m/s로 강한 바람이 자주 불었으며, 2010년 겨울철에는 주로 동풍과 서풍이 불었고 여름철에는 북서풍과 동풍이 불었다. 특히 계측기가 설치된 2010년 12월의 경우, Fig. 2에 나타낸 바와 같이 월평균풍속은 7.6m/s, 순간최대풍속은 32.5m/s를 기록했다. 1988년부터 2007년 기간 및 2010년의 세종과학기지 풍속 현황 분석 결과, 계측기 설치 시 49.5m/s정도의 바람에도 견딜 수 있도록 계측기를 설치해야 한다.

2.5 세종과학기지의 강수량

세종과학기지에서 관측된 연중 강수량은 Table 3과 같이 150.3~779.8mm(1988년~2007년) 이다(Korea Polar Research Institute, 2008). 2003년 2월 25일에 61.7mm로 최대 강수량을 기록하였다. 상대습도는 해양의 영향을 받아 89% 정도로 매우 높았다. 남극의 경우 블리자드로 인해 쌓인 눈이나 내리는 눈이 한 곳에 집중되는 현상이 발생하는데 블리자드로 인한 적설 심도가 2002년 9월 225.0cm

로 가장 크게 발생하였다(Korea Polar Research Institute, 2008). Fig. 3은 계측기가 설치된 2010년의 강수량을 나타내고 있다. 계측기가 설치된 12월의 경우, 일 최대 강수량은 4.5mm로 나타났다. 특히 2010년에는 강한 바람과 눈보라가 동반되는 블리자드는 Table 4와 같이 매월 평균 1회 이상 발생하였으며, 최심적설은 118.9cm로 나타났다. 따라서 225.0cm 적설에 대비하여 계측기 설치 시 최소 225.0cm 이상의 높이에 계측기를 설치해야 할 것으로 판단된다.

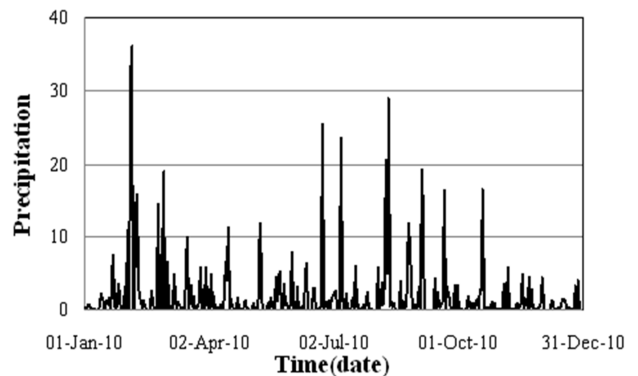


Fig. 3. Distribution of the rainfall for 2010 year at Sejong Station

Table 3. Distribution of the rainfall from 1988 to 2007 year at Sejong Station

year	classification	rainfall(mm)	year	classification	rainfall(mm)
1988	yearly sum.	150.3	1998	yearly sum.	468.1
	daily max.	28.5		daily max.	31.1
1989	yearly sum.	334.9	1999	yearly sum.	503.5
	daily max.	61.7		daily max.	25.6
1990	yearly sum.	362.7	2000	yearly sum.	497.2
	daily max.	25		daily max.	27.9
1991	yearly sum.	537.1	2001	yearly sum.	639.1
	daily max.	30.7		daily max.	22
1992	yearly sum.	229.4	2002	yearly sum.	544.3
	daily max.	25.8		daily max.	20.8
1993	yearly sum.	571.5	2003	yearly sum.	588.8
	daily max.	23.8		daily max.	59
1994	yearly sum.	329.5	2004	yearly sum.	574.6
	daily max.	18.4		daily max.	38.7
1995	yearly sum.	779.8	2005	yearly sum.	597.2
	daily max.	55.2		daily max.	34.1
1996	yearly sum.	670.5	2006	yearly sum.	416.4
	daily max.	38.2		daily max.	47.6
1997	yearly sum.	397.3	2007	yearly sum.	378.4
	daily max.	22.4		daily max.	35.3

Table 4. Distribution of the blizzard for 2010 year at Sejong Station

classification	daily occurrence	duration	daily maximum wind speed and snowfall		
			highest wind speed(㎞/ㄱ)	snowfall(cm)	
2010 yr.	jan.	2	09:00	N 33,2	7,0
	feb.	5	55:50	ESE 33,9	54,7
	mar.	4	67:50	ESE 31,4	17,0
	apr.	8	96:50	E 36,6	10,6
	may.	1	10:50	N 41,4	4,6
	jun.	5	54:00	N 36,3	25,9
	jul.	9	97:40	NNE 38,9	52,1
	aug.	7	87:10	ENE 39,4	98,3
	sep.	5	68:10	NE 29,3	118,9
	oct.	4	30:40	ENE 37,2	95,7
	nov.	0	-	NE 31,1	17,4
	dec.	2	03:00	SE 32,5	5,8

Table 5. Specifications for measuring instrument

classification	type of sensor	range	accuracy	operating temperature	measurement
vibrating wire strain gauge	vibrating-wire strain gauge	3,000 μ strain	0,1% FSR	-20 ~ 80 $^{\circ}$ C	deformation
strain gauge	weldable capsulated gauge	5000 μ strain	-	-196~800 $^{\circ}$ C	deformation
tiltmeter	MEMS type	$\pm 15^{\circ}$	$\pm 0,025\%$ F,S	-40 ~85 $^{\circ}$ C	tilt
crackmeter	electric type	10mm	$\pm 0,046\%$ F,S	-	deformation
thermometer	K type	-50~50 $^{\circ}$ C	-	-50~50 $^{\circ}$ C	temperature

3. 남극 세종과학기지에 설치된 계측기 및 보호 시스템

계측을 통하여 남극 세종과학기지(생물해양연구동)의 안전성을 검토하기 위해서는 전체적인 구조물의 거동을 파악할 수 있어야 한다. 그러기 위해서는 구조물에 설치되는 센서가 많으면 많을수록 좋으나, 필요 이상으로 많을 경우 비용이 지나치게 증가되어 비경제적이 되며, 분석해야 할 자료가 많아져 시스템의 효율이 떨어질 뿐 아니라 하드웨어의 크기도 커진다. 그러므로 구조물의 변위가 가장 많이 발생할 것으로 판단되는 부분에 최소한의 센서를 설치하여 해당 구조물 전체의 거동을 파악하여야 한다. 세종과학기지 구조물의 계측관리는 일시적이 아닌 수년간 계측되는 시스템이므로 센서 선정시 2장에 나타난 환경요인을 고려하여 계측기의 내구성과 안정성에 중점을 두고 계측기를 선정하였다. 또한, 전체 센서가 하나의 계측관리 시스템에 연결되어야 하므로 계측관리 시스템 구축 시 문제가 없는 센서들을 선정하였다. 또한 기존 세종과학기지에서 검증된 상용 데이터로거 시스템에 적합한 센서들을 선정하여 통합 모니터링 시스템(full monitoring system)

을 구축하였다. 본 연구에서 사용된 계측기의 측정범위, 정확도 및 작동온도는 Table 5와 같다. 스트레인게이지 및 경사계는 풍하중에 의한 구조물의 변화, 균열계는 해풍에 의한 구조물의 균열, 온도계는 계측기의 온도와 외부온도를 관측하기 위하여 설치하였다. 각 계측기의 측정용도 및 관계식은 다음과 같다.

3.1 스트레인게이지

세종과학기지 생물해양연구동 외부의 주기동 단면에 Fig. 4와 같이 스트레인게이지를 설치하고 풍하중변화에 의한 강재의 변형률을 측정한다. 또한 설치된 스트레인게이지 측정결과는 피로해석시 활용하고자 한다. 스트레인게이지의 작동원리는 강관 내에 고유진동수를 가진 인장철선과 전자기코일이 장치되어 있어서 대상 부재가 신축할 시에 스트레인게이지도 신축하게 되는데, 이때 전자기코일을 이용하여 인장철선의 진동수 또는 진동주기의 변화를 측정한다. 여기서 측정된 진동수의 변화로부터 변형률을 계산하는데 이를 위해서는 보정곡선이 필요하며 보정곡선은 식 (1)을 이용한다. 진동현식 변환기의 주요장점

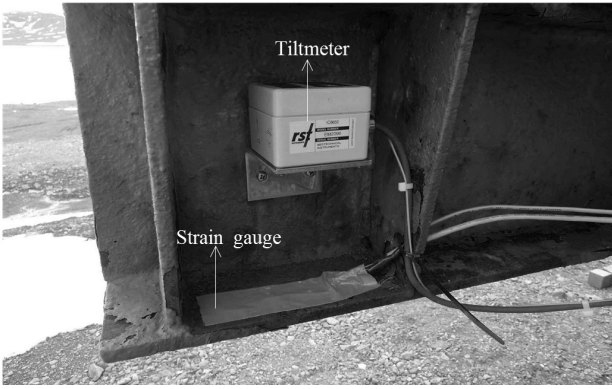


Fig. 4. Tiltmeter and strain gauge installed in marine biology laboratory

중 하나는 전압대신 진동수를 출력신호로 사용한다는 것으로 진동수는 케이블의 저항변화 또는 지반과의 접촉저항, 누전 등의 영향을 받지 않는다. 그러나 상대적으로 값이 비싸고 출력이 비선형이며 동적변형을 측정하는 데는 부적당하다(RST Instruments Ltd., 2010a).

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{t}{m}} \quad (1)$$

여기서, f : 진동 주파수(Hz)

L : 와이어길이(in)

t : 인장력(lb)

m : 단위길이당 와이어 중량(lb, sec.²/in.²)

3.2 경사계

하중을 받아 처진 구조물에서 처짐 곡선상의 어떤 특정한 점의 선변위를 처짐이라고 하며, 그 점의 접선과 부재축의 원위치와 이루는 각변위를 기울기 또는 처짐각(slope)이라고 한다. 처짐에는 하중을 받자마자 발생하는 탄성 처짐과 시간의 경과와 더불어 진행되는 장기 처짐이 있는데, 이들 처짐이 어떤 허용 값을 넘어서면 구조물의 미관을 해치고 그 구조물에 부착된 다른 부분이 손상을 받게 되는 수가 있다. 이러한 각변위는 다음과 같이 계산된다.

$$a = g \sin(\alpha) \quad (2)$$

여기서, g : 중력가속도(in/sec.²)

α : 변형된 각(degree)



Fig. 5. Crackmeter installed in marine biology laboratory

따라서, 변형된 경사는 다음과 같다.

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{a}{g}\right) \quad (3)$$

경사의 측정은 하중과 변위관계(the load-deformation characteristics)를 결정하는데 필요하고 탄성거동(elastic behavior)과 곡률(curvature)의 변화에 대한 제한을 정하는데 도움이 된다. 구조물의 기하학적 형태 변화를 측정하고 구조물의 위치 변화를 측정하며, 지반의 경우 침하 등을 측정한다(RST Instruments LTD., 2010b). 세종과학기지 생물해양연구동 구조물 하단 벽면에 2축경사계를 설치하여 풍하중 및 세종과학기지 생물해양연구동 구조물 말뚝의 내구성 저하로 인한 경사변화를 측정한다. 남극 세종과학기지 생물해양연구동 구조물에 설치된 경사계는 Fig. 4에 나타내었다.

3.3 균열계

균열계는 전기식 센서를 내장하고 있으며 별도의 전압 인가 없이 저항을 측정할 수 있다. 따라서 길이변화에 따라 전기식센서가 비례적으로 증가하므로 이를 상수에 대입하여 길이로 환산하여 측정한다. 본 연구에서 균열계는 일반적으로 말뚝의 재료로 쓰이는 콘크리트에 설치하여 동결융해로 인한 재료의 변형량을 측정하였다. 남극 세종과학기지에 설치된 균열계는 Fig. 5와 같이 샘플용 콘크리트를 이용하여 균열을 측정하였다. 균열계의 경우 바람으로 인하여 공시체가 이동되는 것을 막기 위하여 구조물 아래 고정시켜 놓았으며 균열이 측정되는 이외에는 방청재로 처리하여 균열이 측정되는 곳에서만 해풍과 염해의 영향을 판단할 수 있도록 하였다.

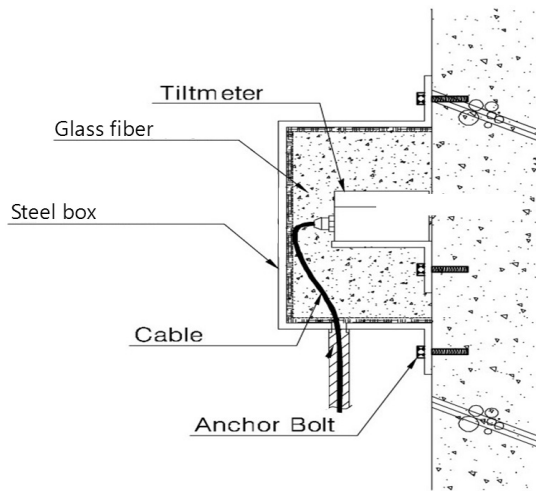


Fig. 6. Monitoring sensor system

3.4 계측기 및 데이터로거 보호시스템

극한환경에서 구조물 계측을 수행하기 위해서는 극저온에 강한 특수 계측 게이지를 사용하거나 기존에 개발된 계측 게이지를 보온용의 보호 덮개를 이용하여 보온한 후 극한환경에서 사용하게 하는 2가지 방법이 있다. 기존의 게이지를 활용하여 극한환경의 계측에 활용하는 것이 경제성 및 신뢰성을 고려하였을 때 유리하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 보온용의 보호 덮개를 개발한 후, 기존의 계측 게이지를 극한지에서 사용할 수 있는 가능성을 계측된 자료를 바탕으로 검증하였다.

본 연구에서 개발한 보호시스템의 구성은 Fig. 6과 같다. Fig. 4에 나타난 경사계는 온도 및 강풍에 의해 영향을 받을 수 있기 때문에 보호시스템이 반드시 필요하다. 보호시스템의 외부는 남극 동물 등의 외력에 견딜 수 있는 철제박스로 구성되어 있고, 내부는 열전도율이 0.044W/mK 인 유리섬유로 구성하였다. 유리섬유를 사용한 이유는 가공성과 시공성이 용이하고 보호시스템을 철거했을 경우 계측기를 다시 사용할 수 있는 장점이 있기 때문이다. 또한 본 연구에서 사용된 계측기는 일시적이 아닌 수년간 계측되는 시스템으로 보호시스템 구성 시 내구성과 안정성이 중점을 두었다. 스트레인게이지의 경우 Fig. 6의 Glass fiber와 철재가 닿는 부분에 설치하였다. 설치된 보호시스템은 Fig. 7과 같다.

남극 세종과학기지에서는 전원공급이 원활하지 못하기 때문에 전원 공급 장치는 충·방전이 가능한 무보수 밀폐형 배터리 및 리튬배터리로 구성하여 안정된 전원을 공급



Fig. 7. Monitoring sensor system installed in marine biology laboratory



Fig. 8. Datalogger and battery system

하도록 하였다. 또한 충전 회로를 부착하여 외부 전원에 의해 재충전이 가능하도록 하며 365일 가동할 수 있게 하였다. 배터리는 외부온도가 저온과 고온($-40^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$)에서도 이상 없이 작동되게 하였으며 배터리 내부는 내진(진동) 및 내충격 보호 기능을 갖는 구조로 Fig. 8과 같이 설계·제작 하였다. 또한 배터리는 유지보수 및 장작의 편리를 위하여 단자는 STUD TYPE, 운반용 핸들이 부착하였다. 또한 계측 데이터를 수집하는 데이터로거는 Fig. 8과 같이 배터리와 함께 설치하여, 향후 데이터 수집 시 편리하게 사용할 수 있도록 하였다.

3.5 온도계

남극 세종과학기지 생물해양연구동에 설치된 계측기를 보호하기 위하여 보호시스템을 개발하였고, 보호시스템 내부 면에 온도계를 설치하여 보호시스템으로 보호된 계측기 주변의 온도를 측정한다. 또한 계측결과 분석 시, 온도차에 의한 계측 결과분석을 평가하는데 이용하였다.

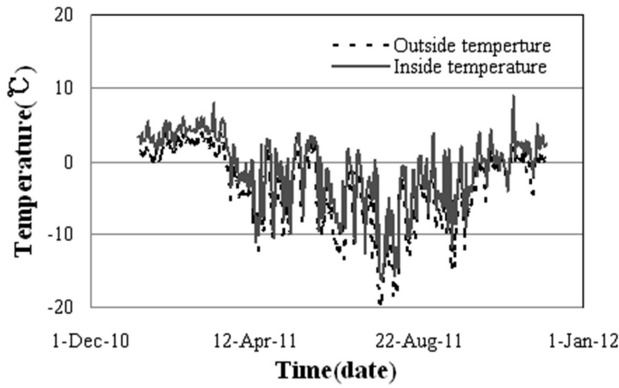


Fig. 9. Measured results for temperatures

4. 계측결과

거리상으로 먼 남극에 위치한 세종과학기지의 계측결과 분석은 다음 연도에 데이터를 획득할 수밖에 없다. 즉, 세종과학기지 생물해양연구동의 거동을 파악하는 데는 상당한 시일이 소요될 것으로 보인다. 그렇지만, 수년 동안 세종과학기지 생물해양연구동의 거동이나 이에 영향을 미치는 환경의 변화를 식(1)에서 (3)을 이용하여 지속적으로 관찰한 데이터를 이용하면 부분적인 손상이나 내구성의 저하에 따른 세종과학기지 생물해양연구동의 이상변형을 감지할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 계측기 설치 후 약 1년간의 계측결과를 이용하여 세종과학기지 생물해양연구동의 거동을 파악하였다. 특히 1년간의 계측결과와 당시 남극 기상환경의 영향과도 비교·분석하였다.

계측기 보호시스템의 성능에 대해 평가하기 위하여 계측기 보호시스템 내부의 온도와 보호시스템 외부의 온도를 측정하여 Fig. 9에 나타내었다. 2011년 최대 외부온도는 4.8°C이며 최소 외부온도는 -19.5°C이다. 보호시스템의 최대 내부온도는 8.9°C이며 최소 내부온도는 -16.1°C이다. 또한 외부온도가 -19.5°C일 때의 보호시스템 내부온도는 -15.7°C로 나타났다. 따라서 외부온도에 비해 보호시스템의 내부온도가 평균 4.0°C 정도 낮아 충분한 보온이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 즉, 계측기 보호시스템을 사용하면 국내에서 사용 중인 계측 상용온도와 일치된 온도에서 측정이 가능하다.

계측기 보호시스템 내부에서 설치된 경사계의 데이터가 제대로 측정되는지 여부를 평가하기 위하여 외부의 풍속 측정결과와 경사계에서 측정된 각변화를 Fig. 10에 나타내었다. 또한 Fig. 10은 경사계의 X축과 Y축에서 측정된 데이터를 모두 도시하였다. 풍속의 변화에 따라 X방향과

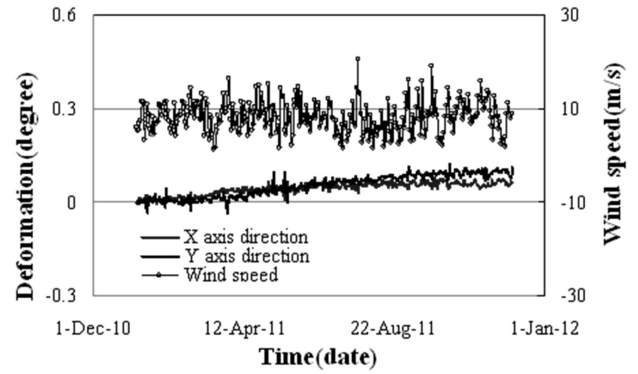


Fig. 10. Measured results for daily mean wind and tilt

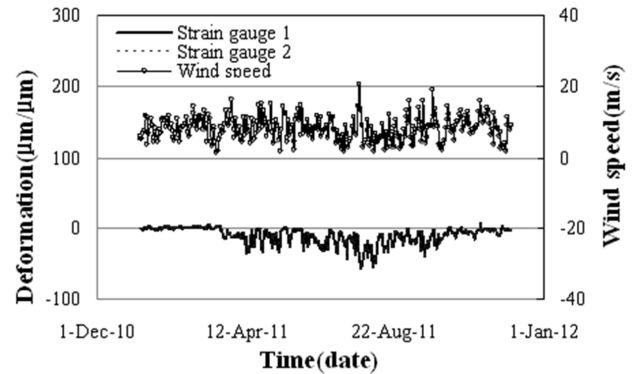


Fig. 11. Measured results for daily mean wind and displacement

Y방향의 각변화는 유사한 것으로 나타났으며, 2011년 4월 남극의 기온이 영하(Fig. 9 참조)로 접어들면서 경사계의 각변화가 조금씩 발생되는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 각변화는 구조물 자체에는 영향을 주지 않는 범위의 변화이다.

풍속 측정결과에 대한 스트레인게이지의 변화는 Fig. 11에 나타내었다. 2개의 스트레인게이지는 같은 변화양상을 나타내었는데 경사계와 마찬가지로 2011년 4월 남극의 기온이 영하로 접어들면서 스트레인게이지의 변화가 발생하였다. 이후 남극의 기온이 영상으로 올라갔을 경우 다시 스트레인게이지는 처음 설치 시의 변위로 회복되었다. Fig. 11에 나타낸 스트레인게이지는 Fig. 9에 나타낸 온도에 의한 보정값을 사용하였다.

해풍 및 염해에 의한 콘크리트 재료자체의 균열을 측정하기 위한 균열계 시험 결과를 Fig. 12에 나타내었는데, 균열계 변화 측정 결과 균열계 1(Crack gauge 1)의 경우 가장 큰 변화가 발생하였으며 변화 양상은 계단식이었다. 균열계 2 및 3(Crack gauge 2 및 3)의 경우는 초기에 비슷하게 증가하다가 남극의 기온이 영하로 하강되는 근처에서부터는 일정한 변화 양상을 나타내었다.

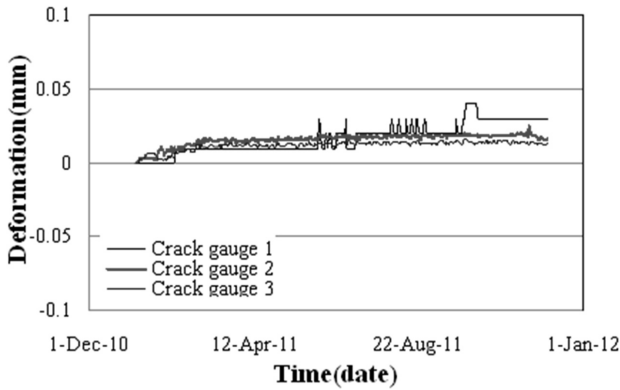


Fig. 12. Measured results for crack

계측 데이터 측정결과 온도가 영하로 떨어지는 경우 미소하게 계측기의 변화가 발생하였고, 다시 영상으로 올라가는 경우 역시 계측기의 변화가 미소하게 발생하는 것을 알 수 있었다. 풍하중으로 인한 변화도 관찰되었으나, 온도를 제외하고 세종과학기지에서 1년 동안의 환경 변화가 생물해양연구동의 변화에 영향을 미치지 않는 것으로 관찰되었다. 그러나 앞으로 수년 동안 지속적으로 관찰될 데이터를 이용하면 부분적인 손상이나 내구성의 저하에 따른 구조물의 이상변형을 감지할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 남극 세종과학기지의 기상환경을 분석하고, 이에 적합한 계측기를 남극 세종과학기지 생물해양연구동에 설치하여 극한환경에서의 구조물 거동을 파악하였다. 본 연구에서 도출된 주요 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 남극 세종과학기지 기상환경 분석결과 온도가 -25.6°C 이하 및 49.5m/s 정도의 바람에도 견딜 수 있는 계측기를 설치해야 하며, 계측기는 지표면으로부터 최소 225.0cm 이상의 높이에 설치해야 한다.
- (2) 경제적인 극한환경 계측 및 온도에 대한 영향을 줄이기 위하여 열전도율이 0.044W/mK 인 유리섬유를 활용하여 계측기 보호시스템을 새롭게 개발하였으며, 세종과학기지 생물해양연구동에 설치된 경사계에 적용하였다.
- (3) 계측기 보호시스템 내부의 온도와 보호시스템 외부의 온도를 측정한 결과, 보호시스템의 내부온도 및 외부온도 차이는 약 4°C 정도의 보온이 이루어지고 있음을

확인하였다. 국내에서 상용중인 온도 범위 내에서 계측기가 작동되고 있으므로 보호시스템을 이용하는 것으로도 극지 구조물 계측이 가능하다.

- (4) 보호시스템에서 계측한 결과와 기상환경 비교결과, 경사계의 경우 외부의 풍속과 일치하는 양상이 나타났으며 스트레인게이지 및 균열계는 미소 변화가 발생하였다. 향후 지속적으로 축적될 데이터를 이용하면 구조물의 국부적인 손상이나 내구성의 저하에 따른 구조물의 이상변형을 감지할 수 있을 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This research was supported by a grant from a Strategic Research Project(Development of Site Investigation and Monitoring System for Extreme Cold Region), funded by the Korea Institute of Construction Technology.

References

1. Chung, Kyung Ho, Kang, Sung-Ho, Kim, Tae Kyung, and Kim, Eun Soo (2004), "Distributions of marine environmental parameters in the nearshore waters of adjacent to King Sejong Station", Antarctica, KOSMEE Spring annual meeting, pp.17-27 (in Korean).
2. Jerome Peter Lynch (2004), "Overview of wireless sensors for real-time health monitoring of civil structures", *Proceedings of the 4th International Workshop on Structural Control and Monitoring*.
3. Kim, Jae-Min, Lee, Hyeong-Jin, and Yun, Chung-Bang (2000), "Structural Reanalysis Using Ambient Vibration Measurements", *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 20, No. 6-A, pp.913-925 (in Korean).
4. Kim, Kiju, Kim, Youngseok, and Hong, Seung Seo (2012), "Physical and mechanical characteristics of the antarctic rocks exposed to the extreme environment", *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 32, No. 6C, pp.275-284 (in Korean).
5. Korea Institute of Construction Technology (2011a), Development of site investigation and monitoring system for extreme cold region (in Korean).
6. Korea Institute of Construction Technology (2011b), Development of structural stability assessment and operation system for sustainable Antarctic research station construction (2) (in Korean).
7. Korea Institute of Construction Technology (2012), Development of structural stability assessment and operation system for sustainable Antarctic research station construction (3) (in Korean).

8. Korea Polar Research Institute (1988), *A Study on natural environment in the area around the Korean Antarctic Station, Barton Peninsula, King George Island* (in Korean).
9. Korea Polar Research Institute (1993), *The research on natural environments and resources of Antarctica* (in Korean).
10. Korea Polar Research Institute. (2008), Overwintering report of the 20th Korea Antarctic Research Program at the King Sejong Station (in Korean).
11. Korea Polar Research Institute. (2011), Environmental monitoring on human impacts at the King Sejong Station (in Korean).
12. RST Instruments Ltd. (2010a), MEMS Tiltmeter Instruction Manual.
13. RST Instruments Ltd. (2010b), Vibrating Wire Strain Gauge Instruction Manual.
14. Shin, Jae Won (2007), *Comparing frozen soil properties of Korean, Antarctic and Siberia Soils*, Master Thesis, Kookmin University (in Korean).