

전자기 및 광학 센서를 적용한 무기체계의 강수 운용규격 설정을 위한 한반도 강수량 분포에 관한 연구

A Study on the Distribution of Rainfall over the Korean Peninsula for the Generation of Rainfall Operational Specifications for Weapon Systems using Electromagnetic and Optical Sensors

이 동 주* 김 재 하*
Dong-Ju Lee Jai Ha Kim

Abstract

When a weapon system is developed, climate elements such as temperature, rainfall, and so on have an effect on development costs and a developing period. Therefore, effects of environment and climate must be examined throughly before the design of weapon systems and be applied to their developments. And so, operational and storage requirements for weapon systems are determined and are applied to related tests through analyzing not only environmental factors such as vibration, shock, and so on, but also climate factors. In this paper, the distribution and the frequency of occurrence of rainfall were analyzed and were suggested as a good guide to determine standards of tests for weapon systems when it's raining.

Keywords : Rainfall(강수량), Distribution of Rainfall(강수분포), Frequency of Occurrence of Rainfall(강수발생빈도), Operational Specifications(운용규격), Rainfall Attenuation(강수감쇠)

1. 서론

무기체계 개발 시 환경적 요소는 개발비용과 개발기간에 많은 영향을 미친다. 과거에는 가혹한 환경에서 신뢰성을 유지하면서 운용될 수 있도록 고가의 신뢰성 높은 부품을 적용하였다. 그러나, 최근에는 비용과 효과를 고려하여 산업용 부품을 적용하여 설계를 하거

나, 운용 시 무기체계가 설계 시 고려한 조건에서 운용될 수 있도록 운용조건을 보완하는 방법 등을 적용하는 방향으로 전환되고 있다.

이러한 운용 및 저장 조건과 환경적 요소 및 기후적 요소는 밀접한 관련이 있다. 각 무기체계의 운용 및 저장조건은 OMS-MP(Operational Mode Summray/Mission Profile) 등을 통하여 기준이 설정되며, 진동, 충격, 가속도, 열충격, 고도(저압) 등의 환경적 요소 뿐 아니라 습도, 태양열 복사, 저온 및 고온 분포와 강수환경 등과 같은 기후적인 요소는 무기체계가 저장, 운용되어야 할 지역에 따라 많은 차이가 있다. 따라서, 무기체

† 2009년 11월 21일 접수~2010년 3월 19일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 이메일 : 이동주(dongzz@add.re.kr)

계 개발 시에는 환경적 요소와 기후적 요소를 충분히 검토하여 설계 시에 반영을 하고, 관련 시험의 기준으로 적용하여야 할 것이다. 기후적인 요소 중 습도, 태양열 복사 등의 기준과 시험방법은 KS C 0214, MIL-STD-810G 등에 규정이 되어있으며, 온도분포에 대해서는 많은 연구가 진행되어 한반도에서의 발생빈도를 고려한 저장 및 운용온도가 설정되어 적용되고 있다^[1~4]. 그러나 강수환경에 대해서는 이러한 자료가 부족할 뿐만 아니라 무기체계가 사용될 지역과 운용개념을 고려하여 강수량(Rainfall), 강수율(Rainfall Rate) 등을 설정해야 된다.

많은 무기체계는 강수환경에서 저장 후 정상적으로 동작되어야 할 뿐 아니라 일부 무기체계는 강수환경 상태에서 운용되어야 한다. 특히, IR(Infrared) 탐색기, IIR(Image Infrared) 탐색기, CCD 카메라를 사용하는 휴대용 유도무기, 관측장비 등과 같이 강수환경이 성능에 미치는 영향이 큰 장비는 일정한 강수환경에서 저장 후 정상동작 되어야 할 뿐 아니라 운용되어야 한다. 그러나 기상청자료나 KS규격, MIL-STD-810G 등에서는 강수환경에서 저장성을 확인할 수 있는 기준만이 제시되어있고, 시험특정지역이나 한반도의 강수 분포, 발생빈도 등과 관련한 자료가 없어 개발하려는 무기체계에 대한 강수환경에서 운용시험 시 적용할 수 있는 자료나 기준이 없는 상황이다^[5~7].

이에 본 논문에서는 기상환경 중 강수환경에서 운용되어야 하는 무기체계 개발 시 운용시험기준으로 활용할 수 있도록 한반도의 강수 분포 및 강수 발생빈도 등을 분석하여 정량적으로 제시하고, 무기체계 개발 시 참조하도록 하였다.

2. 한반도 강수량 분포

강수량은 일정 시간 내에 수평한 지표면 또는 지표의 수평투영면에 낙하하여 증발되거나 유출되지 않고 그 자리에 고인 물의 깊이로 나타내며, 눈, 싸락눈, 우박 등 강수가 얼음인 경우에는 이것을 녹인 물의 깊이를 말하며 이슬, 서리, 안개를 포함한다. 비의 경우는 강우량, 눈의 경우는 강설량이라 하며, 통칭하여 강수량이라고 한다^[8].

특히 한반도와 같은 지형에서의 강수량은 계절과 지역 차이가 크기 때문에 체계적인 분석데이터가 요구된다.

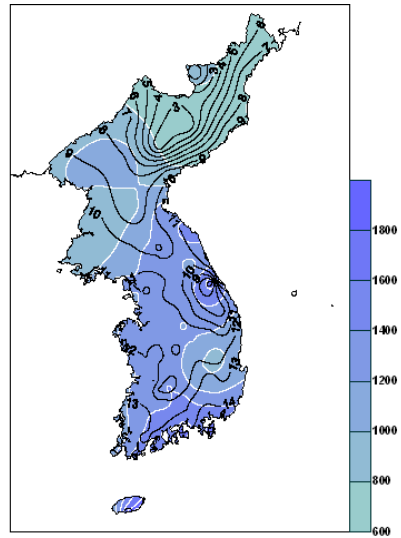


Fig. 1. The distribution of the Korean Peninsula

가. 한반도 지역별 강수량 특징

한반도의 강수특징은 여름철에 비가 많이 오며 연강수량은 500~1500mm이다. 강수량은 Fig. 1과 같이 대체로 남에서 북으로 갈수록 감소하나 풍향, 지형, 위치 등의 영향으로 지역 차이가 크다. 최대 강수 지역은 제주도, 울릉도, 남해안, 섬진강 유역으로 1400mm 이상이며, 최소 강수지역은 낙동강 중류, 대동강 하류, 개마고원 일대다. 이 중 개마고원 일대는 500~700mm이다^[8,9].

북부지방은 산악이 많은 지역으로 북쪽으로 갈수록 강수량이 줄어들며, 특히 평탄한 지형을 이루고 있는 대동강 하류 유역과 수분 공급이 안되는 개마고원 일대는 우리나라에서 비가 적은 지역에 속한다. 반면, 청천강 중상류와 원산 일대는 지형성 강수와 북동기류의 영향, 그리고 겨울철 강수로 인하여 전체적인 강수량이 많은 편이다^[9].

중부 지방의 강수량은 계절과 지역에 따라 차이가 크다. 태평양에서 불어오는 남동 및 남서 계절풍과 지형의 영향으로 인해 연 강수량의 절반이 넘는 비가 여름에 집중적으로 내린다. 6월~10월 사이에는 강풍과 폭우를 동반한 태풍으로 인해 홍수 피해를 입기도 하고, 반대로 장마가 늦게 시작되면 가뭄의 피해를 입기도 하다. 중부지방의 겨울은 북서 계절풍의 영향으로 차갑고 건조한 날씨가 이어진다. 그러나 북서 계절풍이 약해지면, 동해에서 습기를 많이 포함한 북동풍이 불어와 영동 지방에 폭설이 내리기도 한다^[9].

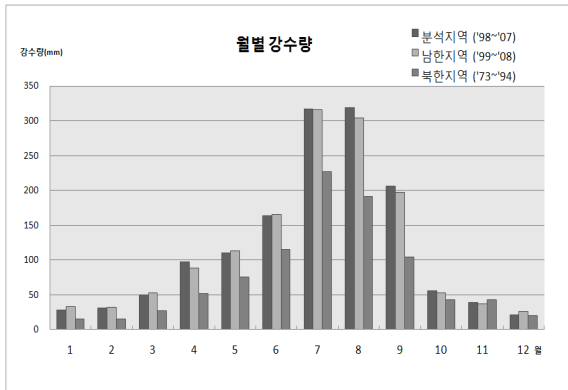


Fig. 2. Comparison of North Korea, South Korea, and 20 areas

남부 지방은 장마 전선의 영향을 가장 먼저 받을 뿐만 아니라 이동성 저기압과 계절풍, 태풍 등의 영향으로 강수량이 매우 풍부하다. 특히, 남해안과 섬진강 유역, 그리고 제주도 일대는 지형과 바람의 영향으로 강수량이 많은 지역에 속한다. 반면, 낙동강 중·상류의 영남 내륙 분지는 강수량이 적은 편이다. 태풍은 여름과 초가을에 걸쳐 불어오며, 많은 비와 바람으로 제주도와 남해안 일대에 큰 피해를 입히고 있다. 남부 지방의 노령산맥과 소백산맥의 북서 사면과 울릉도 등은 북서 계절풍과 지형의 영향으로 겨울에 눈이 많이 내리는 다설 지역에 속한다^[9].

위에서 살펴본 바와 같이 최근 10년간 우리나라와 북한의 강수량을 비교해 보면 Fig. 2와 같다. 전체적으로 우리나라의 강수량에 비해 북한의 강수량이 적은 것을 알 수 있으며 이를 통하여 극한 조건을 기준으로 우리나라의 강수량으로 한반도의 강수량을 대표할 수 있음을 확인하였다^[8,10].

나. 한반도 강수량 분석

강수량 분석을 위하여 Fig. 3과 같이 전국 20개 지역을 선정하여 기상청으로부터 1998년~2007년까지의 강수량 자료를 획득하였다. 강수량 자료는 자동기상관측소(AWS)에서 측정된 자료를 이용하였고 분석의 정확성을 위하여 분당 강수량을 입수하여 분석을 수행하였다.

대표지역은 기상청과 협의하여 선정하였으며 Fig. 2와 같이 전국 종관관측지역의 1999~2008년의 10년간의 연간 강수량과의 비교하여 선정기준의 타당성을 확인하였다^[10]. 실제 기상청 자료의 연평균 강수량은

1417mm이고 샘플로 선정된 지역의 평균 강수량 1438 mm로 약 1.4 %의 근소한 차이가 있음을 확인할 수 있다.

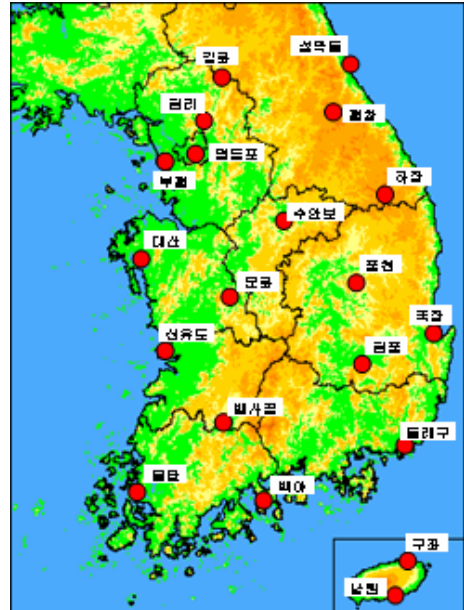


Fig. 3. The selection of 20 areas for the analysis of rainfall

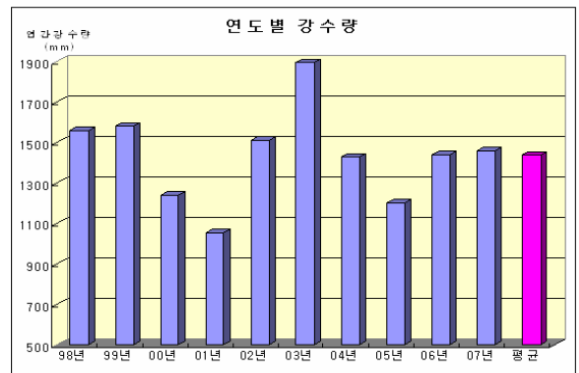


Fig. 4. The yearly rainfall of 20 areas by year

20개 지역의 10년간 연간 강수량 분포는 Fig. 4와 같다. 10년간 강수량 평균값은 1400mm 정도이며, 연간 강수량 분포는 특이한 경향이 없으며 2001년은 약 1050mm, 2003년은 1900mm 정도로 최소 최대 강수량을 나타내며 평균값 대비 -27%에서 32%의 편차를 나타낸다.

Table 1. The yearly rainfall of 20 areas by regional groups

지역	강수량(mm)	지역	강수량(mm)
505(가평)	1425.5	719(군산)	1155.0
510(서울)	1361.0	750(여수)	1436.7
511(인천)	1313.5	759(남원)	1850.0
520(속초)	2143.6	774(무안)	1349.7
526(평창)	1278.0	780(서귀포)	2118.5
552(철원)	1270.1	781(제주)	1688.7
579(삼척)	1290.5	805(포항)	1365.6
606(서산)	1082.6	820(안동)	1090.8
622(충주)	1191.0	828(대구)	1313.5
642(대전)	1438.8	940(부산)	1591.0
평균		1437.7	

지역별 강수량 평균값은 해당 지역의 지형과 풍향 등의 영향으로 상대적으로 Table 1과 같이 지역적 편차가 크게 나타난다. 특히 속초와 강릉 등의 영동 지역은 지형적 영향으로 인한 최다 강수지역으로 나타나며, 제주도와 남해안 그리고 큰 산악이 있는 지역이 많은 강수 분포를 보임을 알 수 있다.

월강수량은 Fig. 5와 같이 7월, 8월, 9월 3개월간에 연강수량의 60%가 내리는 것으로 분석되었다. 연도별 연강수량은 큰 경향성은 보이지 않고, 해당연도의 강수 특성에 따라 높고 낮은 정도를 나타내고 있다. Fig. 6에서와 같이 월강수량 분포에서 지역적 특성에 의해 서귀포 지역은 연중 강수량이 전체적으로 많고, 속초 지역은 9월 강수량이 상대적으로 높게 분포되는 것으로 나타난다.

최근 10년간의 강수량 자료와 과거 30년 관측 자료가 포함된 1961~1990년, 1971~2000년간의 76개 지점의 30년간의 강수량 자료를 Fig. 7과 같이 비교하였다. 과거 30년간의 연평균 강수량은 1300mm로 일정한 값을 보이고, 최근 10년간의 강수량은 1438mm의 분포로 138mm의 강수량이 증가한 것으로 나타났다. 1961~1990년과 1971~2000년의 30년 강수량의 경향은 유사하나 최근 10년의 강수량은 11월~3월까지의 소폭 감소하였고, 7월~9월에서의 강수량이 많이 늘어나고 있으며 9월의 경우 과거 기후자료에는 장마가 시작되는 6월의 강수량이 9월보다 높았지만 최근에는 6월보다 많은 강수량을 보임을 알 수 있다. 이러한 강수량의 증가는 전 세계적인 온난화로 인한 한국의 기후가 고온 다습한 기후로 변화하고 있는 것으로 보여진다. 그리고 차후에도 한반도의 강수량이 더 증가할 가능성이 높다.

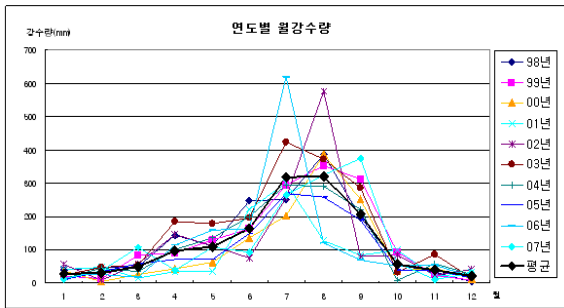


Fig. 5. The monthly rainfall of 20 areas by year

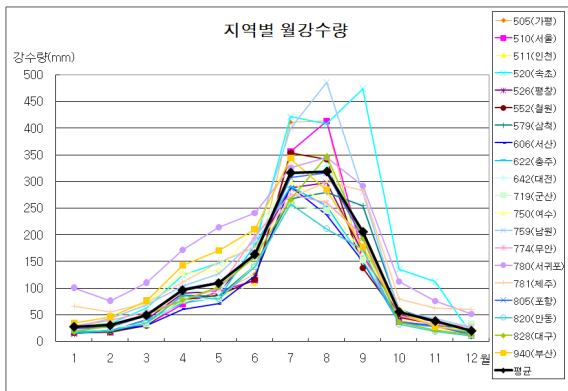


Fig. 6. The monthly rainfall of 20 areas by regional groups

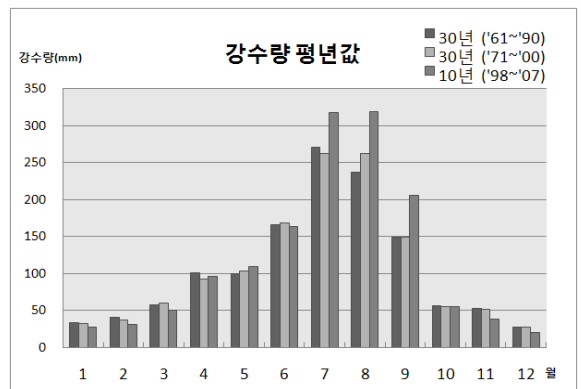


Fig. 7. The comparison of monthly rainfall during the past 30 years with during the last 10 years

3. 한반도 강수 발생빈도 분석

운용조건 및 환경시험 규격 설정을 위해 기후 조건을 검토할 경우, 기준 설정 방법은 장비의 특징 및 운용성을 검토하여 발생빈도 몇 %이내를 설정하거나 기존 발생 최고 극값을 기준으로 설정할 수 있다^[2,3]. 따라서 앞장에서 선정된 20개 지역의 10년간의 분당 강수량 자료를 이용하여 강수량 분석을 수행하였다. 강수 빈도 분석은 분당 강수량 자료를 이용하여 강수 구간을 0.5mm로 세분화하여 강수 발생시간과 강수량 별 발생 시간을 계산하여 빈도 분석에 사용하였다. 분당 강수량의 측정, 기록 단위가 0.5mm 단위이고 1분당 내리는 강수량이 작기 때문에 분석은 분당 강수 여부를 확인하고 이를 시간당 강수량으로 변환하여 강수구간별 연간 발생시간으로 발생빈도를 분석하였다.

가. 연도별/지역별 강수 발생빈도

발생빈도는 시간당 강수량을 기준으로 강수량을 세분화하여 강수가 발생한 시간을 1분 단위로 계산하여 1년간의 발생빈도를 계산하였다. Fig. 8과 9는 강수량의 증가함에 따라 계산된 발생빈도를 해당 강수량 별로 나타낸 그림이다. Fig. 8과 같이 시간당 강수량 0.5 mm 이하는 발생빈도는 2.124%로 강수기준으로 보면 아주 작은 양으로 전체 강수 발생빈도 5.977%의 약 35%를 차지하고 있기 때문에 강수량 적용 시 고려하여야 할 사항으로 판단된다. Fig. 9는 20개 지역의 지역별 발생빈도이다.

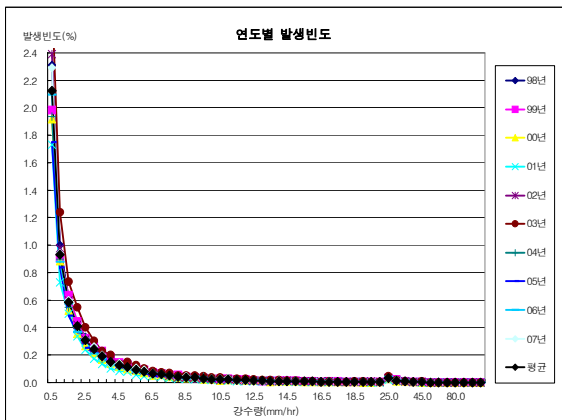


Fig. 8. The frequency of occurrence of rainfall for 20 areas by year

나. 강수 누적 발생빈도

강수 누적 발생빈도는 가에서 구한 시간당 강수량에 대한 발생빈도를 누적하여 구하게 된다. Fig. 10은 20

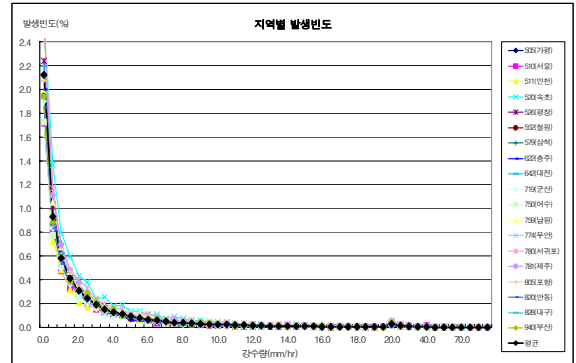


Fig. 9. The frequency of occurrence of rainfall for 20 areas by regional groups

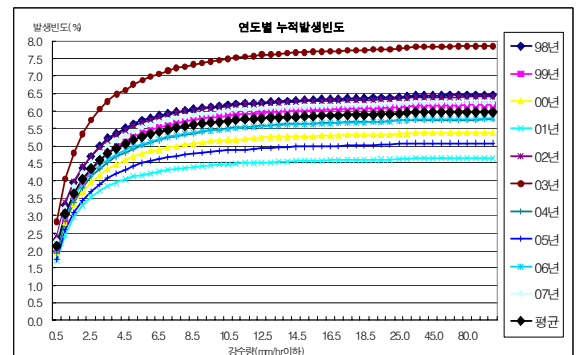


Fig. 10. The accumulated frequency of occurrence of rainfall for 20 areas by year

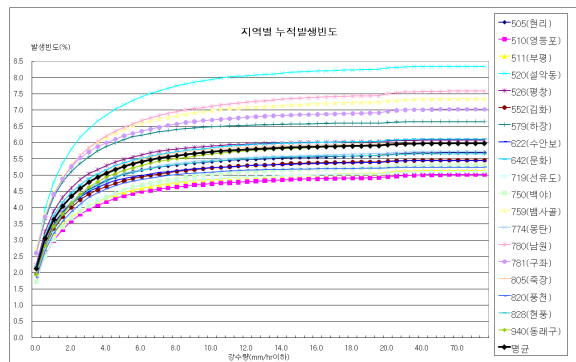


Fig. 11. The accumulated frequency of occurrence of rainfall for 20 areas by regional groups

개 지역의 연도별 누적발생빈도 이다. 그림에서와 같이 강수량의 누적 발생 빈도는 5.977%이고 1년에 523시간(약 22일)정도 발생한다. 0.5mm 강수량을 제외한 강수 빈도는 3.853%이고 1년간 약 340시간(14일) 정도 발생하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 11은 20개 지역의 연도별 누적발생빈도 이다. 발생빈도 자료를 이용하여 누적발생 빈도 기준 강수량 분포에 대한 정리한 값이다. Fig. 12는 최다 강수량을 기준으로 연간 발생 빈도에 대한 강수량의 분포를 나타내고 있다.

예를 들면 1년에 2%(약 175시간) 강수 발생 시간에 대한 강수량은 약 2.24mm/hr 이상의 강수가 해당된다고 할 수 있다. Fig. 13은 낮은 강수량 기준으로 강수량이 증가함에 따라 발생 시간을 합쳐 누적 발생 빈도를 정리한 그림이다. 예를 들면, 시간당 5.0mm 이하의

강수가 발생하는 1년간 빈도는 5.172%로 453시간(약 19일)발생하고, 0.5mm/hr 이하를 제외한 0.5mm/hr~5.0mm/hr의 발생시간은 265시간(약 11일)발생하는 것으로 판단할 수 있다.

4. 무기체계의 강수 운용규격 설정

강수환경에서 운용되는 무기체계는 강수 기간 중 또는 강수 후에 장비의 성능저하 없이 정상 작동 할 수 있어야 한다. 따라서 효율적인 무기체계의 설계를 위해서는 적절한 강수 운용규격의 설정이 필요하며 이를 위하여 해당지역의 강수분포 및 빈도분석이 요구된다. 유도탄의 경우 기본적으로 발사관을 밀폐함으로써 유도탄의 저장 시 강우나 강설로 부터 보호를 하지만, 유도탄 운용 중에는 강수에 노출됨으로써 강수에 의한 탄의 성능저하를 피할 수 없다. 특히, 광학장비를 사용하는 경우 이에 대한 고려가 더욱 필요하다. 유도탄에 사용되는 탐색기는 사용하는 파장의 크기에 따라 CCD 탐색기, IR 탐색기, MMW 탐색기 RF 탐색기 등으로 나뉘지며 언급된 탐색기들의 장점들을 합친 Dual Mode 탐색기 등도 개발되고 있다. 이러한 탐색기들은 수식 (1)과 같이 강수 상황에 따라 운용성능의 저하가 발생하며 유도탄의 운용성의 제한 요인이 된다^[11].

$$A = \alpha L \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

A는 파장의 감쇠량(dB)이며 L은 유효전달길이(km)이고 α 는 감쇠계수이다.

$$\alpha = \alpha R^b \quad (\text{dB/km}) \quad (2)$$

α 는 식 (2)와 같이 계산되며 R은 시간당 강수량이다. 계수 α 와 b 는 사용하는 파장의 주파수와 강수의 속도 및 사이즈 분포에 따라 결정된다. 앞장에서 분석된 강수데이터를 바탕으로 사이즈분포 및 강수 속도를 특정모델로 고정하면 α 와 b 는 주파수의 함수가 되어 Fig. 14와 같이 강수량별 주파수에 따른 감쇠계수로 표현될 수 있다^[12]. Fig. 14에서와 같이 감쇠정도를 비교해 보면 0.2GHz~35GHz 대역의 RF 탐색기에 비하여 고주파수 대역을 사용하는 MMW 탐색기나 IR 탐색기의 강수감쇠가 더욱 크게 발생함을 알 수 있고,

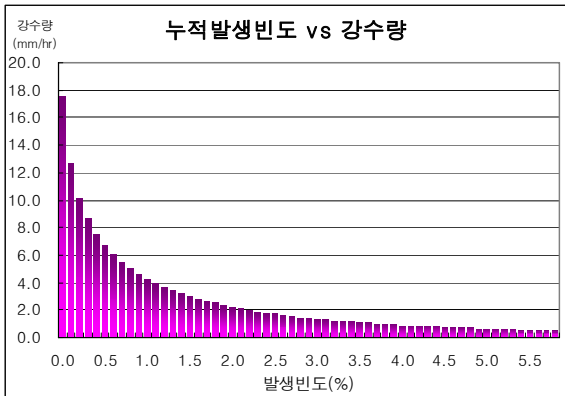


Fig. 12. The rainfall of 20 areas by the accumulated frequency of occurrence of rainfall

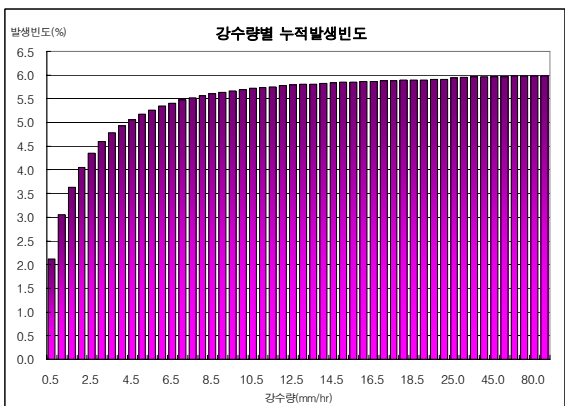


Fig. 13. The accumulated frequency of occurrence of rainfall for 20 areas by rainfall

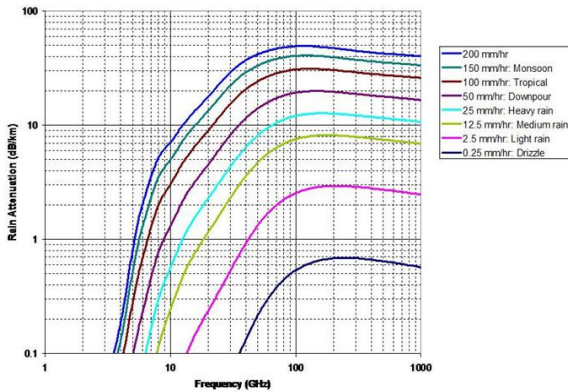


Fig. 14. The rain attenuation as a frequency increased

강수량이 증가함에 따라 감쇠계수 또한 증가하는 것을 확인할 수 있다^{[11],[12]}. 최근에 개발된 휴대용대공유도무기인 신공과 기존에 운용되고 있는 MISTRAL의 경우 IR 탐색기를 사용하며 강수 운용기준 5mm/h 이었다^[5]. 만약 사용자가 5mm/h 이상의 강수 상황에서의 운용을 요구 할 경우 강수에 상대적으로 둔감하며 저주파수 대역을 사용하는 RF 탐색기로 개발하거나 RF와 IR을 같이 사용하는 Dual Mode 탐색기로 개발이 추천된다.

이를 바탕으로 300GHz 이상을 사용하는 IR 계열 또는 CCD 계열의 탐색기를 적용하는 시스템의 경우 5 mm/h 이하로 운용규격 설정이 제안되며, 이는 한반도 강수발생빈도 5.2%와 유사하다. 따라서 유사무기체계의 강수환경에서의 운용기준이나 한반도강수분포를 고려할 경우 추후 개발되는 IR계열의 장비의 경우 강수량 4.256mm/h 이하, 발생빈도 5%로 설정함이 타당한 것으로 여겨지며 추후 센서의 성능 및 가격과 제시된 한반도 강수분석자료를 고려하여 Tailoring이 요구된다.

5. 결론

본문에서 살펴보았듯이 한반도의 강수량 분포 및 지역별 연도별 강수 발생 빈도를 전국 20개 지역 10년간의 분당 강수자료를 이용하여 분석을 하였다. 지역별, 연도별 연간 강수량 분포에서는 연도별 강수량은 평균값 대비 -27%~+31%의 편차, 지역별 강수량은 -25%~49%의 편차를 나타내었다. 최근 10년간의 강수량 분포에서 연도별 연간 강수량은 경향을 보이지 않

Table 2. The accumulated frequency of occurrence of rainfall for 20 areas by rainfall

강수량 (mm/hr)	발생 빈도 (%)	발생 시간 (hr)	강수량 (mm/hr)	발생 빈도 (%)	발생 시간 (hr)	강수량 (mm/hr)	발생 빈도 (%)	발생 시간 (hr)
0.5	2.124	186.0	8.5	5.599	490.5	16.5	5.871	514.3
1.0	3.053	267.5	9.0	5.635	493.7	17.0	5.878	514.9
1.5	3.636	318.5	9.5	5.666	496.3	17.5	5.883	515.4
2.0	4.045	354.3	10.0	5.691	498.5	18.0	5.888	515.8
2.5	4.352	381.2	10.5	5.715	500.6	18.5	5.894	516.3
3.0	4.594	402.5	11.0	5.738	502.7	19.0	5.898	516.7
3.5	4.784	419.1	11.5	5.757	504.3	19.5	5.902	517.0
4.0	4.935	432.3	12.0	5.774	505.8	20.0	5.907	517.4
4.5	5.062	443.4	12.5	5.790	507.2	25.0	5.938	520.1
5.0	5.172	453.1	13.0	5.804	508.4	30.0	5.953	521.5
5.5	5.266	461.3	13.5	5.815	509.4	35.0	5.962	522.3
6.0	5.345	468.2	14.0	5.826	510.4	40.0	5.967	522.7
6.5	5.411	474.0	14.5	5.837	511.4	45.0	5.971	523.1
7.0	5.471	479.2	15.0	5.848	512.3	50.0	5.973	523.2
7.5	5.520	483.5	15.5	5.857	513.1	60.0	5.975	523.4
8.0	5.561	487.2	16.0	5.864	513.7	70.0	5.976	523.5

Table 3. The rainfall of 20 areas by the accumulated frequency of occurrence of rainfall

발생빈도 (%)	강수량 (mm/hr이하)	발생빈도 (%)	강수량 (mm/hr이하)
1.0	0.235	4.0	1.945
2.0	0.471	4.2	2.253
2.2	0.541	4.4	2.600
2.4	0.649	4.6	3.015
2.6	0.756	4.8	3.552
2.8	0.864	5.0	4.256
3.0	0.971	5.2	5.148
3.2	1.126	5.4	6.418
3.4	1.298	5.6	8.507
3.6	1.469	5.8	12.868
3.8	1.701		

있고 지역별 강수량은 지형적, 기후적 영향으로 상대적으로 큰 편차를 보임을 알 수 있었다. 그 결과 시간당 5.0mm 이상의 강수 발생 빈도는 연중 0.915%으로 발생시간으로 계산하면 80.2 시간 발생하였다. 또한 10mm/hr 이상의 강수 발생 빈도는 0.311%로 발생시간은 27.2 시간으로 확인하였다. 그리고 발생빈도를 기준으로 봤을 때 1% 발생빈도는 강수량이 0.235mm/hr 이하로 발생하였고 3% 발생빈도는 0.971mm/hr 이하로 발생하였다. 이상의 결과를 이용하여 무기체계의 강수에 의한 운용 조건 설정을 발생빈도 별로 적용하면 장비의 운용 시간을 추정할 수 있고, 한반도 강수 환경조건에 대하여 최다 강수량이나 발생 빈도를 기준으로 환경시험 규격 및 운용규격 설정에 참고로 할 수 있을 것이다. 강수 상황에 따라 운용성능의 저하가 발생하는 IR 계열 또는 CCD 계열의 탐색기나 관측장비를 사용하는 시스템의 경우, 5mm/h 이하로 운용규격 설정이 제안되며 이는 본문에서 분석된 한반도 강수발생빈도 5.2%와 유사하다. 따라서 유사무기체계의 강수환경에서의 운용기준이나 한반도강수분포를 고려할 경우 추후 개발되는 IR계열의 장비는 강수량 4.256 mm/h 이하, 발생빈도 5%로 설정함이 타당한 것으로 여겨진다.

Reference

- [1] 기술표준원, 환경시험방법(KS C 0214), 산업자원부, Korea, 2007.
- [2] Department of Defense, Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests(MIL-STD-810G), U.S.A, 2008.
- [3] 김인수, 강치우, 광병철, “유도무기체계 온도규격 설정에 관한 연구”, 국방과학연구소, MSDC-416-970571, 1997년 5월.
- [4] Department of Defense, Global Climatic Data for Developing Military Products(MIL-HDBK-310), U.S.A.
- [5] 안모준, 이상국, 최대근, 전용범, 황인성, 황동기, 류동우, “신공사업보고서(신공체계 환경기술시험 결과)”, 국방과학연구소, MADC-216-031214, 2003년 12월.
- [6] 김재하, 이동주, 조기한, “중거리대전차유도무기체계 환경시험절차서(안)”, 국방과학연구소, ADDR-316-081311, 2008년 9월.
- [7] 윤상로, 박용찬, 이국환, “기술시험평가결과보고서(신공 야간조준기)”, 국방과학연구소, TEDC-317-030984, 2003년 10월.
- [8] 기상청홈페이지, 지난 날씨, <http://www.kma.go.kr/sfc>, 2008. 11.
- [9] 기상청홈페이지, 기후 자료, <http://www.kma.go.kr/sfc>, 2008. 11.
- [10] 기상청홈페이지, 연월보 자료, <http://www.kma.go.kr/sfc>, 2008. 11.
- [11] Dong You Choi, “Rain Attenuation Prediction Model by using the 1-hour Rain Rate without 1-minute Rain Rate Conversion”, Int. J. of Component Science and Network Soc., Vol. 6, No. 3A, pp. 130~133, 2006. 3.
- [12] A. Dissanayake, J. Allnutt, F. Haidara, “A Prediction Model that Combine Rain Attenuation and Other Propagation Impairments Along Earth-Satellite Paths”, Online J. of Space Communication, Issue No. 2, pp. 1~36, Fall 2002.