

기상조절기술의 군사적 활용방안과 연구 우선순위 도출에 관한 연구

한 승 조*, 신 진**

요 약

본 연구의 목적은 기상조절기술의 군사적 활용방안을 연구하고, 한반도 환경 및 기술수준 등을 고려하여 연구의 우선순위를 과학적인 기법으로 도출하는데 있다. 이를 위해 각 기술들을 군사적으로 이용할 경우 장점과 단점을 살펴보고, 전문가 집단을 구성하여 델파이 기법을 통해 우선순위 평가를 위한 지표를 도출하였으며, 분석적계층분석 기법을 통해 평가지표의 가중치와 각 평가지표 내에서의 기술들의 가중치를 유도하여 최종적인 연구 우선순위를 정하였다. 분석결과 전리층 변조 기술이 무기체계로서의 효과성과 한반도 환경에서의 적합성 측면에서 가장 큰 우선순위가 있는 것으로 나타났다. 현재 북한의 전자전 및 미사일 위협 등을 고려할 때 전리층 변조 기술은 기상전의 일부로써 우선적인 확보가 필요하며, 통일 이후의 잠재적 주변국 위협에 대응하기 위해서는 전리층 변조뿐만 아니라 군사 과학기술 선진국들과의 기술적 격차가 있는 인공강우(설), 낙뢰 유도, 안개 소산 기술도 민간기술의 적극적인 활용(Spin-On)을 통해 기반을 구축해야 할 시기이다.

The study on the military utilization of weather modification techniques and inducing their research priority

Han, Seung Jo*, Shin, Jin**

ABSTRACT

The purposes of this paper are to research the military utilization of weather modification techniques and to induce their research priority when considering the Korean Peninsular environment and technical level. To achieve these goals, the advantages and disadvantages of weather modification technologies have been discussed, and the evaluation index evaluation was derived through the Delphi method, and the weight of the evaluation index and the final research priority were induced through analytic hierarchical process. Analysis shows that the ionospheric modulation technology has the highest priority in terms of effectiveness as a weapon system and compatibility in the Korean Peninsula environment. It is expected that Korean ionosphere modification can disturb C4ISR function of the enemy and guarantee ours reliably when operating PGM, military satellite, surveillance & reconnaissance equipments, etc. Other weather modification technologies except for ionosphere modification should be developed gradually in that potential threat can be expanded to neighboring countries after the Unification of the Korea.

Key words : Analytic Hierarchy Process, Delphi Method, Ionosphere Modification, Research Priority, Weather Modification

접수일(2018년 3월 28일), 수정일(2018년 6월 18일),
게재확정일(2018년 6월 29일)

* 국방과학연구소 국방고등기술원
** 충남대학교 정치외교학과(교신저자)

1. 서 론

군사작전은 작전지역의 기상과 따라 밀접한 관계를 지니고 있다는 것은 군 관계자 뿐만 아니라 영상 및 다양한 서적 등을 통해서 일반인들도 주지하고 있는 바이다.

병법의 고서 중 하나인 손자병법(孫子兵法)은 2,500여 년 전 중국의 춘추시대에 살았던 손무(孫武)가 지은 책으로 아직까지 군 관계자들의 필독서이기도 한다. 손자병법의 첫 부분인 시계편(始計篇)은 최초의 근본적인 전쟁의 계획을 다루고 있는데, 주로 전쟁 시작 전에 갖추어야 할 기본대책을 논하고 있다. 특히, 본 편에서 전쟁 전에 군사를 준비할 때 5가지(五事)를 고려해야 함을 강조하고 있으며, 5가지에는 도(道), 하늘(天), 땅(地), 장수(將), 법(法)을 말하며[1], 하늘(天)이 바로 기상과 연관되어 있을 정도로 기상과 전쟁의 연관성이 강조되었다.

전쟁에서 전투는 쌍방의 전투력이 일정한 시간과 공간 내에서 충돌하는 현상이며, 전투력·시간·공간이 전투를 성립시키는 기본적인 요소, 즉 전투의 3요소라고 한다. 군에서는 기상을 공간요소보다는 시간요소 측면에서 더 강조하고 있다. 시간은 특정 시각 또는 시각의 연속개념 측면에서의 시간과 자연현상 측면에서의 시간으로 대별되며, 자연현상 측면에서의 시간에는 기상·계절·기후 등을 포함한다. 우세한 전투력을 보유하더라도 자연현상과 군사작전의 상관관계를 이해하지 못한다면 전투력을 효율적으로 발휘할 수 없다고 생각되고 있다[2].

또한, 군에서 군사작전의 수립·수행 시 전술적 고려요소(Tactical Considerations)는 지휘관 및 참모들에 의한 의사결정의 중요한 판단기준으로 작용한다. 전술적 고려요소는 METT+TC로 요약되며, 임무(Mission), 적(Enemy), 가용부대(Troops available), 지형 및 기상(Terrain & Weather), 가용시간(Time available), 민간요소(Civil considerations)를 뜻한다[2]. 여기서 지형 및 기상 분야의 기상은 공격작전과 방어작전 모두에서 가용

시간과 민간요소보다는 높은 우선순위를 지니는 의사결정의 판단 기준으로 작용한다[3].

이렇듯 전투의 본질을 이해하고 중요한 국면에서 군 의사결정자들의 중요 판단요소로 적용되는 기상은 군사분야의 핵심요소이며, 고대 전투에서부터 현재와 미래전장에 이르기까지 기상을 아군에 유리한 방향으로 이용하려는 노력은 전쟁의 성패를 좌우하는 필수불가결한 요소이다.

기상전(Weather warfare)은 군사적 목적으로 기상변조(Weather modification) 기술을 사용하는 것을 말한다. 1972년 국제연합 인간환경회의의 “UN 인간환경선언”에서 환경개변기술의 군사적 또는 적대적 사용을 금지한 바 있으며, 환경개변 기술이란 자연의 작용을 의도적으로 조작하여 지구나 우주공간의 구조나 조성, 운동 등에 변경을 가하는 기술이다[4]. 1976년 국제연합 총회에서는 “환경과피무기금지조약”, 즉 환경개변기술의 군사적 사용 및 기타 적대적 사용의 금지를 채택하여 1978년도부터 발효가 되었다. 지진, 해일, 지역 생태학적 균형 파괴, 기후 변경, 해류 변경, 오존층 변경, 전리층 변경 등이 포함되며, 평화적인 목적의 사용은 무방하다고 해석하고 있다.

하지만 핵 및 화학, 생물학무기를 금지하는 국제조약이 존재함에도 전쟁이 나라의 존망을 결정하는 특성상 북한 등 일부 국가에서는 금지 무기들을 비대칭전력으로 개발하거나 보유하고 있다. 마찬가지로 기상변조 기술을 활용한 기후전도 미국, 러시아, 중국, 유럽 등에서 과학연구 목적으로 형식상 기술을 개발하거나 활용한다고는 하지만 실질적으로 기상변조 기술의 군사적 목적이 확실하다는 것이 공공연히 알려져 있는 사실이다.

이에 비해 우리나라는 북한 위협에 대비하기 위한 전력투자가 과거에 주를 이루어왔고 향후 가까운 미래에도 이러한 경향은 변하지 않을 것이다. 북한을 제외한 잠재적 위협 국가는 어느 시점에 어떠한 상황에 따라 우리나라 안보에 지대한 영향을 미칠 수도 있기 때문에 주변 잠재국이 보유하고 있는 군사적 이용기술은 지금이라도 모니터링 되어야 하고 기술적 축척의 노력이 있어야

한다. 우리나라는 보유하고 있지 않지만 주변국들이 보유하고 있는 군사적 기술 중의 하나가 바로 기상전 분야일 수 있다.

따라서 본 연구에서는 기상조절 기술과 일부 국가들의 기술 수준 및 한국군에서도 도입하였을 경우의 장점과 단점을 살펴보고, 과학적인 기법(텔레파이 및 분석적 계층기법)을 통해 연구 및 투자의 우선순위를 도출해보고자 한다.

기상조절 기술은 1900년대 이후부터 과학적인 기술을 이용하여 적용되었거나 충분히 실험 등을 통해 검증된 기술만을 다루었으며, 주변국의 범위도 한반도 안보와 관련하여 직접적인 영향이 있는 미국, 중국, 러시아, 일본의 수준을 주로 고려하였다.

2. 기상조절 기술과 군사적 활용

2017년 10월에 개봉된 지오스톰(Geostorm)이란 제목의 영화는 기상의 인위적인 조절기술을 통한 군사적 이용을 극명하게 보여주고 있으며, 이는 단편적인 군사적 목적이외에도 많은 부작용이 일어날 수 있음을 일부 과학적인 근거를 기반으로 제시하고 있다.

현대의 기상을 활용한 군사적 기술은 크게 인공증우(설), 전리층 번조, 낙뢰 유도, 안개 소산으로 나눌 수 있다. 제시된 기술은 기술적으로 성숙하였고, 일부 국가에서 군사적으로 전쟁에서 사용하였거나 실험실 수준에서 그 가능성을 검증한 기술들이다. 이외에도 지진 발생, 조류 흐름 변화, 태풍의 진로 변경 등도 존재하지만 아직까지 그 효과성이 검증되지 않았기 때문에 제외하였다.

2.1 인공강우(설)

인공강우(설)은 구름층은 형성되어 있으나 응결핵이나 빙정핵이 적어서 구름 방울이 빗물(눈)으로 성장하지 못할 때, 인공의 Cloud Seed(요오드화 은, 요오드화 납 등)를 살포하여 빗물(눈)을 성장시키는 기술이다. 주로 증우(설)량이 적은 지역에 농업이나 식수문제를 해결하기 위해 평화적으

로 사용되지만, 군사적으로도 가장 관심 있게 사용되고 있는 분야이다.

베트남전에서의 기상을 활용한 사례는 일명 뽀빠이(Popeye) 작전으로 알려져 있다. 이는 기상 무기를 최초로 능동적 전력의 수단으로 전쟁에 사용한 전례로 알려져 있으며, 서론에서 설명한 1976년에 UN에서 채택된 “환경과피무기금지조약”의 단초를 제공한다고 평가된다. 뽀빠이 작전은 북베트남의 주요 보급로 상에 단기간 동안 강수량을 늘리는 형태로 무기 및 식량의 전선으로의 보급을 지연시키거나 차단시키는 방식으로 수행되었다.

미국은 주로 C-130, F-4 등 항공기에서 조명탄과 유사한 형태를 지닌 인공 강우용 구름 씨(Cloud Seed)를 살포함으로써 비구름을 인위적으로 생성하여 몬순(Monsoon) 기간을 연장하였다. 1972~1976년 동안 항공기가 2,602회 출격하여 47,409개의 기상 조절탄을 투하한 것으로 보고되고 있다 [5]. 특히, 호치민 루트상에 집중적으로 인공강우를 통해 비포장도로를 진흙탕으로 만들거나 주요 교량이 위치한 강의 범람을 일으키면서 북베트남의 작전지속지원능력에 타격을 주었다. 하지만 군사적으로 확실한 성공이라는 평가는 크지 않으며, 오히려 부작용으로 민간인의 피해가 확산되었고, 1971년에는 북베트남 국토의 10% 이상이 물에 잠기는 현상까지 발생하였다.

중국에서는 베이징 올림픽을 대비하여 베이징의 심각한 대기오염을 줄이기 위해 올림픽 직전에 수차례 인공증우를 시도하여 청명한 하늘을 유지하고자 했음은 이미 언론에서 보도된 바 있다. 한국과학기술정보연구원(KISTI)에서는 2013년에 국내 인공강우(설)은 아직 초기 단계이나 2020년 이후에는 현재보다는 실용화가 발전된다고 예측된 바가 있다[6].

Cloud Seed의 살포는 주로 항공기를 이용하거나 일부 국가에서 Cloud Seed를 포함한 로켓을 공중으로 발사시켜 폭발시킴으로써 운용되고 있다.

군사적 이용 가능 분야는 크게 두 가지로 요약될 수 있다. 첫째, 강우(설)이 요구되는 지역에 인위적으로 단기간에 집중적인 강우(설)로 인해 적

기동을 방해하는 경우이다. 베트남전에서 사용된 바와 같이 적 기동로나 보급로상에 인위적으로 강우(설)을 내리게 함으로써 아군보다는 적군의 움직임을 둔화시키는 방법으로 이용될 수 있다. 특히, 산악 및 비도시화지역의 비포장도로가 작전지역에 많이 있는 지역에서 효과적으로 운용될 수 있으며, 작전지역내에 하천이 있는 경우 사용되면 적의 도하작전 소요를 증대시키는 효과를 발휘할 수 있다. 또한, 전투원들의 움직임을 둔화시키거나 전투의지를 낮추는 심리적인 방향으로도 활용이 가능하다.

둘째, 적 화생방공격 시 제독용으로 이용이 가능하다. 북한은 최근 핵실험 등을 포함한 화생방 무기를 대량으로 보유하고 있다. 군의 정보판단에 의하면 북한에 대한 국제적 제재가 존재함에도 불구하고 북한은 비대칭 전력으로써 화생방 무기를 개전 초기에 이용할 것으로 판단하고 있다. 화생방 무기의 특성상 주로 대기를 통해 확산되기 때문에 피해를 입은 지역에 집중적으로 단기간의 증우를 활용하여 제독이나 확산방지가 가능할 수 있다[7]. 추가적으로 후쿠시마 원전사고 등과 같이 인접국에서의 방사능 물질 등이 한반도지역으로 대기를 통해 전파될 수 있다면, 이를 일부 감쇄시키는 방안으로도 국가적 재난대비 차원에서 사용될 수 있다.

인공강우(설)은 기술적으로 성숙하였고 전쟁에서도 사용된 바가 있으나 다음과 같은 단점이 존재한다. 첫째, 구름이 존재하지 않은 맑은 하늘에서는 효과가 제한된다. Cloud Seed의 효과는 이미 구름이 존재하지만 빗방울이 작아서 지상으로 떨어지지 않는 상태의 구름이 존재하는 상황에서만 발휘될 수 있다. 따라서 한반도의 경우 연간 강우(설)량이 적은 봄과 가을에는 효과를 발휘하기 어렵다. 둘째, 요오드화 은 및 요오드화 납의 대량 살포는 토양의 오염을 유발한다는 연구결과가 있다. 연구결과에 의하면 요오드화 은은 감자 성장을 저해할 수 있다고 하며, 요오드화 납은 인체에 소량으로 장기간 축적될 경우 아직은 알려지지 않았지만 부작용이 충분히 있다고 예고되었다[8]. 마지막으로 군사적으로 운용 시 적 지역 상공

에 Cloud Seed를 살포는 대량으로 이루어져야 한다. 이럴 경우 항공기를 주로 이용하는데, 적 방공망의 손쉬운 목표물이 될 수 있으므로, 이에 대한 대책이 강구되어야 한다.

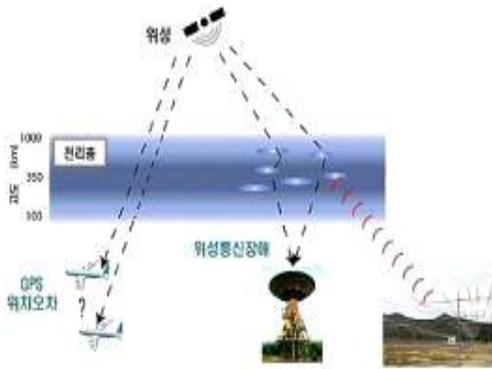
2.2 전리층 변조

전리층(Ionosphere)은 고도 약 65~2,000km 사이에 분포하는 고층 대기가 이온화된 영역을 말하며, 태양으로부터 발생하는 전자기 방사에 의해 자유전자가 만들어짐에 따라 생성된다. 자유전자 밀도에 따라 F, E, D층으로 구분하고 있으며, 주파수에 따라 굴절률이 변화하는 매질로 30MHz 보다 큰 주파수만 통과시키는 특성이 있고, 특히 GPS 신호는 1,200~1,600MHz 주파수를 사용하기 때문에 전리층을 통과할 수 있다[9].

인위적 전리층 변조(Artificial Ionospheric Modification : AIM)는 고출력 고주파 전파를 송신하여 전리층을 가열시켜 그 상태를 변화시키는 기술로써, 전리층 일부를 플라즈마 상태(AIM Mirror)로 만들고 전파를 인위적으로 교란, 산란, 통과시키는데 이용된다. 전리층 변조와 관련하여 가장 대표적으로 이슈가 되고 있는 시설은 알래스카주에 설치되어 있는 HAARP(High-frequency Active Auroral Research Program) 체계이다.

이는 1992년에 설치된 시설로 미 공군, 해군, D ARPA(Defense Advanced Research Projects Agency) 주도로 설치 및 운용되고 있기 때문에 명칭의 오로라 연구보다는 군사적으로 이용 목적이 더 크다고 알려져 있다. 2.8~10MHz의 주파수 밴드영역을 지닌 3.6MW의 출력으로 전리층에 전파를 송출하여 전리층을 변조하는 기술[10]을 미 군사기관뿐만 아니라 스탠포드 대학 등 대학들과의 연대를 통해 많은 기술적 축적이 있어왔다.

군사적 이용은 (그림 1)과 같이 지상에서 통신을 위해 전파를 반사시키는 AIM을 이용하여 위성통신을 방해하거나 약하게 할 수 있으며, 지상에서 전파가 AIM에 반사되어 되돌아오거나 원하



(그림 1) 전리층 변조의 군사적 이용(예)[11]

는 지역으로 반사되는 것에 변경하여 지상통신 등을 방해할 수도 있다. 하지만 이를 군사적으로 이용하기 위해서는 고출력을 발생시키는 방대한 지역에 위치한 송신 안테나 시설이 요구되고, 고출력 전파 발생장치 등이 필요하기 때문에 소요예산 또한 재래식 무기체계와 비교하여도 적지 않다. 군사적 이용 외에도 민간 및 산업에서 이용되는 통신장에 가능성도 부작용으로 감수해야 되는 부분이 존재한다.

2.3 낙뢰 유도

낙뢰(Lightning)이 발생하는 원리는 다음과 같이 설명된다. 구름 속은 얼음과 물이 섞여 있으며, 두 물질의 마찰로 인해 얼음은 +전하, 물은 -전하가 되며 밀도가 높은 물이 구름 아래로 내려오게 된다. 구름 아래 -전하의 물들이 모이게 되면 같은 -전하를 지닌 물들이 서로 밀어내는 힘이 작용하여 일부 물들이 구름 아래로 계속 내려오게 된다. 지표의 +전하들이 모여 있는 곳에서는 -전하의 물들을 끌어당기게 되며, 저전위의 -전하로부터 고전위의 +전하인 지표면으로 전자(Electron)가 순식간에 흐르게 되어 천둥(Thunder)과 함께 번개가 발생한다[8]. 낙뢰 유도는 이러한 원리에 기반을 두고 구름 아래에 모여 있는 -전하들과 지표의 +전하를 금속선으로 인위적으로 이어 주어 지상으로 낙뢰를 유도하는 기술이다. (그림 2)와 같이 낙뢰가 지상에 발생되면 고에너지의 전

력이 순식간에 목표에 충격을 가하기 때문에 전자장비 등이 일시에 무력화되며 이를 군사적으로 이용하는 것이 가능하다.



(그림 2) 실험용 낙뢰 유도 로켓(좌) 및 유도 실험장면(우)[12]

낙뢰를 인위적으로 유도하는 것은 기본적으로 인간의 피해를 사전에 줄이기 위한 것이다. 비록 군사적으로 이용했다는 것은 알려져 있지 않지만 미국을 포함한 일부 국가에서 낙뢰의 군사적 활용을 검토하고 실험을 수행하고 있다.

2010년 이탈리아에서 개최된 제30회 낙뢰 보호 컨퍼런스에서 미국 플로리다 대학의 Rakov, V. A. 교수는 1970년대부터 2000년대까지 인위적인 낙뢰 유도실험을 제시한 바가 있으며[12], 미국/중국/일본이 주로 이러한 실험을 실시하였다. 주목할 점은 모두 군사 강대국이라는 것이며, 모든 나라에서 자연재해 예방용으로 실험을 하였다고는 공표하고 있다는 것이다.

낙뢰의 군사적 이용은 적 전자장비의 무력화를 통해 가능하지만, 다음과 같은 제한사항이 존재한다. 첫째, 인공강우(설)과 같이 기본 전제가 상공에 낙뢰를 발생시킬 수 있는 충분한 구름이 존재하여야 한다. 따라서 구름이 상대적으로 적은 봄과 가을에는 운용이 제한된다. 둘째, 운용적인 측면에서 유도 로켓이 개발되었다 하더라도 지상 장치가 적 지역이나 장비에 설치되어 있어야 한다. 주요 표적 지역에는 병력 및 감시 장비에 의한 경계가 삼엄한 가운데 아군의 인력에 의해 정확한 지역에 위치시켜야 하는 위험을 감수해야 한다.

2.4 안개 소산

안개 소산(Fog Dissipation)은 도로나 공항의 시정 확보를 위해 인위적으로 안개를 제거하거나 약화시키는 기술이다. 안개를 소산시키는 기술은 크게 증발(Evaporation)과 침적(Fall-out)에 의한 방법이다. 증발은 열을 이용하거나 바람을 이용하여 소산시키는 방법이며, 침적은 안개입자를 빗방울이나 눈 입자의 크기로 성장시켜서 낙하시키는 방법이다.

활주로에 설치하는 가열 장치는 광활한 지역에 존재하는 안개를 제거하기 위해서는 많은 연료를 필요로 하고, 초기 설치비용 또한 매우 크다는 단점이 있다. 바람을 이용한 방법은 헬기의 하버링(Hovering)이나 지상에 설치된 항공기 제트엔진을 가동하여 강한 바람으로 안개 속에 건조공기를 유입하여 제거하는 방법이다. 가열장치와 마찬가지로 넓은 지역까지 바람을 보내기 어렵고, 바람 발생장치에 많은 연료가 소모되는 단점 때문에 짧은 기간 동안 작은 지역에만 효과가 있다.

침적은 인공증우(설)와 비슷한 원리를 이용한 방법으로 인공증우(설)의 오랜 전통과 축적된 기술로 인해 효과가 적지 않지만 앞서 설명한 바와 같이 화학물질에 의한 토양오염 등의 문제도 존재한다.

열, 바람, 침적에 의한 방법을 효과성, 소모비용, 환경영향 측면에서 비교해 보면 효과성 면에서는 열 > 바람 > 침적, 소모비용 측면에서 열/바람 > 침적, 그리고 환경영향 측면에서 열 > 바람 > 침적 순이라고 연구결과에 나타나 있다[13]. 러시아에서는 지상고정용 및 차량 이동형으로 안개 소산을 위한 장비를 실험을 했다고 알려져 있으며, 국내에서는 (그림 3)과 같이 충남 공주시 의당면에 2014년 9월에 안개 소산장비를 도로 주변에 5개소를 설치한 바 있으며, 이 장치는 건조공기를 이용하는 증발방식과 응결핵을 이용하는 침적방식 모두를 이용하고 있다[14].

군사적으로 안개를 소산시키는 것은 아군의 감시정찰을 위해 필요하고, 활주로나 항만에서 안정적인 장비 기동을 위해서는 필요하지만 위에서 살



(그림 3) 국내 도로용 안개 소산 장치[14]

펴본 바와 같이 초기 설치비용과 운용유지비용이 적지 않다. 또한, 바람의 영향을 많이 받기 때문에 한번 안개가 소산되었다 하더라도 바람에 의해 주변의 안개가 목표지역으로 유입될 수 있는 불확실성이 존재한다.

인공강우(설)과 같이 레이저를 이용하여 열을 이용한 침단기술도 대학에서 연구가 진행이 되고 있지만, 군사 작전지역의 면적을 고려한다면 레이저 장치의 수량이 적지 않아야 한다는 문제점도 존재한다.

3. 기상조절 기술의 연구/투자 우선순위 분석

앞에서 살펴본 바와 같이 한반도 주변의 군사 강대국에서는 자국의 군사적 목적을 달성하기 위해서 기상조절 기술의 군사적 목적을 위해 많은 연구와 실험을 진행하고 있다. 기상조절 기술은 단점도 존재하지만 민과 군이 함께 연구할 수 있는 분야이며, 자연재해의 예방기술로도 충분히 활용될 수 있는 기술이기 때문에 국내에서도 연구의 관심을 증대할 필요가 있는 시점이다.

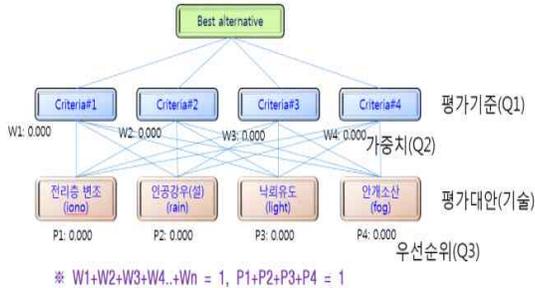
국내의 국방예산 제약, 한반도 자연환경의 영향, 지금까지의 기술축적 정도 등에 따라 기상조절 기술의 연구와 투자 우선순위를 정하여 예산과 인력을 투입하는 것이 군에서는 필요하다.

따라서 본 장에서는 위에 제시된 4가지의 대표

적인 기상조절 기술을 정량적으로 평가하여 연구 우선순위를 도출하고자 한다.

3.1 연구방법

본 연구를 수행하기 위해서 초기(Initial) 연구 모델은 (그림 4)와 같다. 즉, 평가대안으로 볼 수 있는 전리층 변조~안개소산 기술의 연구/투자 우선순위를 정하기 위해 분석적계층방법(AHP : Analytic Hierarchy Process)을 이용하였다. 여기서 평가기준 도출은 델파이 기법(Delphi Method)을 이용하며, 최종 평가기준의 가중치와 평가기준별 평가대안의 가중치는 AHP를 활용한다. 특히, 델파이 기법을 적용하여 항목에 대한 Likert-scale을 적용할 때 전문가(설문 응답자)의 선택에 대한 확신 정도를 반영하기 위해 Fuzzy-Logic Question[15]을 적용하였다.



(그림 4) 초기 연구모델(AHP)

3.2 분석기법 선행연구

델파이 기법은 Feedback이 제공되는 다단계의 설문조사를 통해 전문가들의 합의를 이루는데 유용한 의사결정 수단으로 집단이 전체적인 관점에서 복잡한 문제에 효율적으로 대응하기 위한 기법이다.

일반적으로 델파이 기법의 적용은 2-3단계를 거치며 최초 단계에서는 비구조화된 설문지를 통해 전문가들의 자유로운 의견을 개진하도록 하며, 2차 이상부터는 1차 설문결과를 기초로 구조화된 설문지를 통해 답변 또한 정량화가 가능한 Likert

척도로 답변을 얻고 이를 분석하는 과정을 거친다. 정량화된 측정값들은 수렴도 (Degree of Convergence : DCVG)와 합의도 (Degree of Consensus : DCCS)를 통해 응답결과의 수렴 및 합의 정도를 판단한다[3,16].

$$DCVG = (Q3 - Q1) \div 2$$

$$DCCS = 1 - (Q3 - Q1) \div Mdn$$

* Q1 : 1사분위수, Q3 : 3사분위수, Mdn : 중위수

이외에도 응답결과의 타당도(Validity)를 측정하기 위해 CVR(Content Validity Ratio)을 이용한다[14].

$$CVR = (NE - N/2) \div N/2$$

* N : 전체 전문가 인원수, NE : 타당에 동의한 전문가 인원수

수렴도가 작을수록 의견이 수렴되고 있으며, 합의도가 1에 가까울수록 높은 합의가 나타난다고 판단한다. 단, 각 델파이 기법 적용 시 수렴도 및 합의도의 절대치를 기준으로 판단을 하지 않고, 델파이 기법이 진행될수록 변화해 가는 수준으로 판단되어야 한다. 또한, 응답자가 10명의 경우 0.5 수준의 CVR이 요구된다[3,16].

인간의 결정(선택)은 기계와 같이 디지털적인 판단이 수행되지 않는 특성이 있다. 따라서 인간 선택의 모호성(Ambiguity)을 반영한 정량적 분석이 더 합리적일 수 있다. 이에 부합되는 여러 방법 중 일반적으로 사용되는 Fuzzy-Logic Question[15] 방법은 본인이 선택한 것에 대한 주관적 확신도에 따라 가중치를 0(미확신), 0.5(보통), 1(확신)로 반영하는 기법이다. 예를 들어 △△기준에 대한 Likert 점수가 4점이었고, 4점에 대한 확신이 보통이었다면, Likert 점수는 2점(4×0.5)으로 보정되어 이용된다.

분석적계층과정 (AHP : Analytic Hierarchy Process)은 의사결정을 위해 복잡하고 비구조적인

문제를 대상으로 평가기준(Criteria)이나 하부구조를 계층적으로 구성하고, 이를 기초로 여러 대안(Alternative)을 상위 기준이나 구조에 따라 상대적인 중요도를 1:1 쌍대비교(Pairwise Comparison)를 수행한 다음, 이를 가공하여 최종적인 대안의 중요도를 도출해 내는 과학적인 분석 기법이다 [3,17].

상위 계층의 평가기준을 기준으로 하위 계층의 기준 혹은 세부요소가 N개가 있다면, 쌍대비교행렬 $A = (a_{ij})(i, j = 1, 2, 3...N)$ 과 같이 $N \times N$ 행렬이 구성된다. a_{ij} 는 구성요소 i에 대한 j의 상대적인 중요도를 나타내며 a_{ij} 를 부여하는 기준은 i가 j보다 조금 중요하면 3, 많이 중요하면 5, 절대적으로 중요하면 9를 부여하고, 동일하면 1을 부여한다. 또한 $1/a_{ij}$ 은 i가 j보다 덜 중요할 경우에 부여할 수 있다[3,17]. 구해진 쌍대비교행렬은 각 열 (Column)의 평균으로 해당열의 값을 나누고, 정규화시킨(Normalized) 후 각 행 (Row)의 평균이 각 구성요소의 최종적인 가중치가 된다. 다수의 의사결정자에 의해 산출된 쌍대비교행렬은 각 요소를 가중 혹은 기하 평균한 하나의 행렬을 구성한 후, 가중치를 구해나간다.

델파이 기법과 마찬가지로 응답의 일관성을 측정할 수 있는 지수가 일관성 비율(CR : Consistency Ratio)로 일반적으로 0.1이하일 경우 쌍대 평가에서 일관성이 있다고 판단한다[3,17].

3.3 분석과정 및 결과

본 연구의 특성상 군에서의 경험과 과학기술에 대한 전문지식이 필요하여, 군이나 국방과학기술 분야에서 25년 이상 근무한 경험이 있는 10명을 전문가로 선정하였다. 모두 남성이었으며 평균 나이는 56.8(±6.9), 모두 국방과학연구소에서 근무하고 있는 이공계출신의 선임급 이상의 연구원들이었다.

전문가 그룹이 모인 자리에서 연구진행자가 4개의 기술에 대한 개요, 장/단점을 설명하였고 참고자료를 배포하여 충분히 결정할 수 있는 시간을 1일 이상 부여하였다.

1차 델파이 기법의 적용은 Open된 방식으로 이메일을 통해 평가지표로 가능한 것들을 양식없이 연구진행자에게 보내도록 하였다. 연구진행자는 제시된 평가지표를 종합하여 Group화 하였으며, 최소 3명 이상 유사한 평가지표 5개를 선정하였다. 기술구현 가능성(tech. 현재 및 향후 획득 가능한 기술을 기반으로 체계를 개발할 수 있는 가능성), 무기체계에 효과성(eff. 군에 전력화되었을 경우 무기체계의 일종으로써 군이 원하는 무기체계의 효과를 발휘하는 정도), 한반도 기상환경에서의 적절성(wea, 체계가 운용될 경우 한반도 기상 및 지형의 특성상 제약을 적게 받는 정도), 환경에 대한 영향성(env. 실제 운용 시 지표 및 대기의 오염 등에 영향 정도), 국제적 법률에의 관련성(law. 체계 도입 후 운용 시 국제적 협약 등에 제약이 덜 하는 정도)이 선정되었다. 기타 의견으로는 국제적 비난 여론 등이 거론되었지만 소수의견으로 최종 선정에서 배제되었다.

2차 델파이 기법의 적용은 구조화된 설문지가 작성 및 분석되어 5개의 지표에서 수렴도, 합의도, 타당도가 적절하게 나타났는지 확인하는 절차를 거쳤다. 앞서 설명한 바와 같이 5점 Likert scale을 적용하였으며, 추가적으로 본인 선택의 확신도를 체크하도록 하는 Fuzzy-Logic Question을 포함시켰다.

종합된 설문지는 정량적 분석을 위해 종합되었으며, <표 1>과 같이 분석되었다. 평가지표 최종 선정은 평균이 3점 이상이고 CVR이 0.5 이상인 4개 지표만을 선정(1개는 탈락)하였다. 수렴도/합의도/타당도 등이 2차에서 충분히 설득력 있는 결과가 도출되어 3차 델파이 기법은 적용하지 않았다.

<표 1> 2차 델파이 결과

구 분	수렴도	합의도	Ne	CVR	평균	표준 편차	비고
tech	0.500	0.750	10.000	1.000	4.200	0.919	accepted
eff	0.500	0.800	10.000	1.000	4.600	0.516	accepted
wea	0.375	0.813	9.000	0.800	4.100	0.876	accepted
env	0.500	0.750	9.000	0.800	4.050	1.117	accepted
law	0.188	0.750	6.000	0.200	1.450	1.117	rejected

평가지표에 포함되어야 하는지 혹은 탈락되어야 하지만, 판단하는 절차이기 때문에 Pairwise t-Test 등은 불필요하였다.

델파이 기법을 통해 정리된 평가지표 4개의 상대적 중요도를 평가하기 위해 기존의 10명의 전문가들이 AHP 설문에 재선정되었다. <표 2>와 같이 평가지표의 중요도는 $eff > tech > wea > env$ 순이었다. CR이 0.1로 평가의 일관성이 있다고 판단되었다.

<표 2> 평가지표의 가중치 및 일관성 결과

구 분	Importance	CI	RI	CR
tech	0.222	0.088	0.9	0.098 < 0.1(ok)
eff	0.589			
wea	0.136			
env	0.053			

4개의 평가지표별로 4개의 기술들에 대한 중요도(가중치)를 도출하였다. <표 3>에서와 같이 전리층은 효과성과 한반도 환경에서의 적합성에서 가장 적합하였으며, 안개 소산 기술은 현 기술수준과 차후 가능한 기술수준에서 쉽게 개발이 가능한 것으로 판단되었다. 또한 낙뢰유도는 환경에 영향이 가장 적을 것으로 판단되었다.

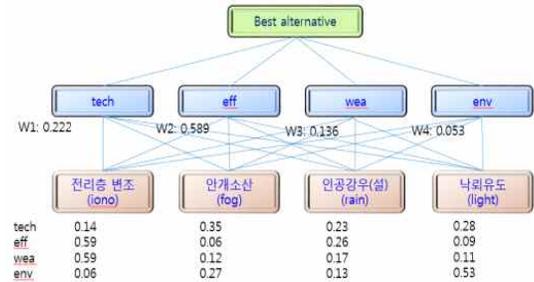
<표 3> 평가지표별 대안들의 중요도 결과

구 분	tech	eff	wea	env
iono	0.14	0.59	0.59	0.06
fog	0.35	0.06	0.12	0.27
rain	0.23	0.26	0.17	0.13
light	0.28	0.09	0.11	0.53
CR	0.01 (< 0.1 ok)	0.09 (< 0.1 ok)	0.02 (< 0.1 ok)	0.07 (< 0.1 ok)

앞에서 도출된 평가지표, 평가지표별 대안(기술)들의 중요도가 결정되었기 때문에 초기에 제안된 모델에서 최종 결정을 위한 정량적 수치들이 모두 (그림 5)와 같이 해결되었다.

따라서 (그림 5)는 최종 모델로 간주될 수 있

다. 최종모델을 근거로 대안들의 최종 중요도를 결정된 것이 <표 4>이다.



(그림 5) 최종(Final) 모델

<표 4> 대안들의 최종 우선순위

구 분	Final Score
iono	0.460
fog	0.146
rain	0.234
light	0.161

4. 고 찰

안개 소산은 광범위한 지역에 적용하기 어렵고 우리 군의 첨단 광학장비들의 채택에 따라 어느 정도 극복 가능한 기술이며, 낙뢰 유도는 적 지역이나 장비에 직접적으로 침투하여 로켓 등을 설치해야 하는 성공확률의 불확실성과 낙뢰가 만들어질 수 있는 상황에서만 운용되어야 한다는 점에서 군사적인 유용성은 회의적일 수 있다.

인공강우(설)는 적 대공위협에 대응해야 하지만 공중살포 외에도 지상연소나 로켓을 이용하는 방법으로 접근이 가능할 수 있다. 하지만 주로 여름과 겨울의 강수량이 많은 시기에만 활용이 가능하다는 점과 북한과 대치하고 있는 전선의 중심이 짧은 상황에서 수일~수주일 동안의 증강(설)을 지속적으로 유도해야 효과가 발휘될 수 있다는 점, 평지지형에서는 대부분의 장비 기동이 가능한 포장도로가 발달된 한반도 지형에서 많은 효과가 나타날지는 의문시 된다.

따라서 주요 4개 기술 중에서 가장 현실적으로 고려되어야 할 분야는 전리층 변조라고 생각하며, 그러한 이유는 다음과 같다.

첫째, 전리층 이용 기술은 감시와 변조의 두 가지 분야가 고루 발달되어 있어야 한다. 현재의 국내 상황은 군과 민에서 변조까지는 어렵지만 감시 수준의 기술을 축적되어 있다. 또한 현재의 충남과 제주에 설치되어 있는 전리층 관련 안테나 설비와 부지를 이용하여 송출출력을 높인다면 충분히 전리층 변조까지 가능할 것으로 판단된다.

둘째, 현재와 미래의 작전환경, 즉 NCOE(Network Centric Operation Environment)와 직접적으로 연관되어 있는 분야가 전리층 분야이다. 현재 뿐만 아니라 미래에는 Sensor와 Shooter의 시간, 공간적 거리가 근실시간으로 줄어들 것이며, 적에 대한 Sensor로부터의 정보를 무선으로 Shooter에서 제공해야 할 것이다. 이러한 상황은 가시선(LOS : Line of Sight) 내 통신은 산악지형이 많은 한반도에서 제약이 많기 때문에 AIM을 이용한 통신이 중요성이 더욱 커질 수 밖에 없다.

셋째, 현재 및 미래의 정밀타격무기체계 들은 위성으로부터의 GPS 정보나 영상 정보를 획득하여 운용되고 전장피해평가(BDA : Battle Damage Assessment)가 이루어진다. 위성통신은 기본적으로 전리층을 통과하여 지상으로 전파가 성공적으로 보내어질 때만 가능하다. 따라서 아군입장에서 정확한 적 및 아군정보를 위성으로부터의 획득을 보장하고, 적군의 이러한 활동을 방해하기 위해서도 필요할 수 있다.

마지막으로 적 전자전 및 지휘통신 능력을 낮추기 위해서도 필요한 기술이다. 북한은 전자전을 무장투장에 적용하는 전법의 하나로 줄곧 간주하고 있으며, 한/미 연합군의 첨단 전자장비들의 이용을 거부하거나 역이용하려고 하고 있다. 특히 2010년 8월부터 2012년 5월까지 3회에 걸친 북한군의 수도권 일대에서 GPS 전파교란을 일으킨 바 있으며, 교란거리가 약 400km 이상인 GPS 교란기를 개발 중인 것으로 밝혀진 바도 있다[18]. 이러한 북한의 전자전 및 지휘통신 능력을 낮추기

위한 노력의 일환으로 전리층 변조기술을 이용하는 것도 좋은 방법일 수 있다.

5. 결 론

지금까지 기상활용 주요 기술들의 특성과 한반도 주변국들의 기술수준 등을 알아보았으며, 특히 군사적 활용분야, 필요한 기술, 한반도 적용 시 제한사항은 <표 5>와 같이 정리할 수 있다.

또한 주요 기술들의 국방 R&D 투자 우선순위를 델파이 기법과 AHP 기법을 활용하여 정량적으로 분석하였다. 분석결과 <표 4>와 같이 전리층 이용, 인공강우(설), 낙뢰 유도, 안개 소산의 우선순위를 도출할 수 있었다.

이러한 연구결과는 추후 방위사업청 및 기술개발을 직접 수행하는 국방과학연구소와 같은 연구기관들이 심층 연구를 할 경우 기초적인 자료로 활용할 수 있을 것이다.

분석결과에서 보듯이 한반도 환경에서 무기체계 효율성 등이 가장 높다고 판단되는 전리층 변조 기술을 확보하기 위한 전략은 다음과 같이 제시될 수 있다.

첫째, 점진적인 시설과 인력확보가 필요하다. 미국의 HAARP도 초기에는 몇 개의 안테나만 설치하여 연구를 착수하였고 이후 몇 단계의 성능완전 및 시설확충으로 현재의 세계 최고의 변조 기술을 확보하였다.

국내에서도 현재의 공군 기상단 송신안테나 수를 늘려서 출력을 높이는 수준으로 점진적인 능력확보가 요구된다. 또한 장비와 관련된 민간업체, 기술뿐만 아니라 운용개념을 정립하고 전략적으로 예산확보 및 정책적 지원을 해줄 수 있는 국방전략이 필요하다. 미국의 HAARP와 같이 민간 과학 기술 연구용으로 포장하고 실제적인 군사적 이용 연구까지는 아니지만, 적어도 국가 및 국민의 생존권이 달린 필수적인 체계라고 인식이 된다면 리더쉽 차원에서의 국내외 여론과 제도를 극복할 수 있는 강력한 추진의지가 필요할 수 있다. 예를 들

<표 5> 기상 활용 주요 기술의 군사적 활용 분야

구 분	군사적 활용 분야	적용 기술	제한 사항
인공강우(설)	<ul style="list-style-type: none"> ● 정상적 군수보급 제한 ● 병력운용 제한 ● 정밀타격무기 성능 저하 예) 美 베트남전 Popeye 작전 	<ul style="list-style-type: none"> ● 요오드화은 (AgI) 등 비씨 (Cloud Seed) 살포 ● 구름 속 이온 발생 	<ul style="list-style-type: none"> ● 구름층이 존재하는 상태에서만 적용 ● 토양 오염
전리층 변조	<ul style="list-style-type: none"> ● 레이더·통신 기능 방해 ● 우주자산 운용장애 유발 ● 목표지역 기온조절 등 예) 美 HAARP 체계 	<ul style="list-style-type: none"> ● 전리층 (Ionosphere) 으로부터 전파반사 특성 이용 ● 고출력 전파 발생 	<ul style="list-style-type: none"> ● 아군 지역에도 영향 ● 고정 시설 이용으로 적의 관측 및 공격 가능
낙뢰 유도	<ul style="list-style-type: none"> ● 원전 등 기반시설 공격 ● 대형 항공기·함정 공격 ● 지휘소 등 통신장비 마비 예) 美 낙뢰 유도 로켓 	<ul style="list-style-type: none"> ● 전자기파 이용 유도 ● 로켓 이용 유도 	<ul style="list-style-type: none"> ● 구름층이 존재하는 상태에서만 적용 ● 장비의 목표지역까지 운반/설치 시 생존성 문제
안개 소산	<ul style="list-style-type: none"> ● 활주로 운용능력 향상 ● 적 은밀이동 탐지 ● 조준사격 효과 증대 예) 러시아 안개 소산 장비 	<ul style="list-style-type: none"> ● 전자파/레이저로 공기층 가열 ● 흡습성 물질 활용, 염화칼슘 (CaCl₂) 등 화학물질 연소 	<ul style="list-style-type: none"> ● 바람의 영향으로 소산된 안개 재유입 가능 ● 적용지역이 협소

어 선제공격도 전쟁법상 금지가 되어 있지만 국가의 존망이 달린 문제를 제도문제 때문에 수행하지 않을 수 없듯이 한국군의 전략문서 및 작전계획에도 최근에 선제공격 가능성도 열어둔 바 있다. 또한, 2016년에 시행된 북한의 5차 핵실험을 계기로 북한 지도부 제거작전, 일명 KMPR(대량 응징보복)이 K-2 작전(Kill-Chain[19] + KAMD)에 추가되어 K-3작전으로 변경된 바 있다.

미국 등 선진분야 과학을 주도하고 있는 나라에서는 기후공학(Climature Engineering)이라는 새로운 학문분야를 육성하고 있으며, 학계에서 입증되거나 개발된 기술을 군사적으로 이용하려는 노력을 부단히 추진하고 있다. 국내에서는 기후공학과 같은 학문을 발전시키는 노력보다는 기존의 대기, 천문, 전자, 물리학 분야에서 기후와 연관된 기술을 적극적으로 군내 기술로 도입이 되어야 한국을 제외한 미국, 중국, 일본, 러시아가 수 십 년 동안 투자해 온 기상조절 분야에 대응할 수 있을 것이다. 여기서 예산이나 연구 인프라 측면에서는 주변 강대국의 수준을 넘을 수는 없지만, 이에 대한 대응-수비적인 전략과 기술은 축척할 수 있을 것이다.

현재의 가장 큰 위협이 북한이고, 재래식 및 일부 첨단 무기체계의 개발과 운용에 초점을 맞춘 전력보강이 이루어지고 있지만 언젠가는 통일이 이루어질 것이고 이에 따라 잠재적인 주변국이 한국의 위협으로 다가올 수 있다. 중국, 일본, 러시아가 기상조절을 군사적으로 운용할 수 있는 경험과 기술이 있다면 이에 대한 대응도 미래를 위해서는 조기에 진행되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 노병천, '도해손자병법', 연경문화사, 2001.
- [2] 육군교육사령부, '야전교범 0-1 전술', 국군인쇄창, 2013.
- [3] 박준형, "효율적 군사작전 의사결정을 위한 전술적 고려요소 우선순위 도출에 관한 연구" 영남대학교 박사학위 논문, 2014.
- [4] 김한택, "우주조약의 국제법적 의미에 관한 연구", 항공우주정책·법학회지, Vol. 38, No. 2, 2013.
- [5] Frisby. E. M., "Weather-modification in southeast asia, 1966-1972", The Journal of Weather-modification, Vol. 14, No. 1, 1982.
- [6] KISTI, '미래기술백서 2013', 한국과학기술정보연구원, 2012.
- [7] 최기남, 이선제, "국가안보측면으로서의 인공지능우기술 고찰", 정보/보안 논문지, Vol. 12, 2012.
- [8] 한승조, 홍종태, 조규공, "레이저를 이용한 기상조절 기술", 국방신기술 동향분석, Vol. 35, 2015.
- [9] 이창문, "반송파 위상 기반 전리층 총전자수 추정", 인하대학교 석사학위 논문, 2011.
- [10] 위키백과, https://en.wikipedia.org/wiki/High-Frequency_Active_Auroral_Research_Program
- [11] 뉴스스, <http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=100&oid=003&aid=0003084698>
- [12] Rakov, V. A., "A review of triggered-lightning experiments", 30th International conference on lightning protection, Italy. pp. 13-17, 2010.
- [13] 염성수, 김영철, 이한아, "기후변화 대책을 위한 기상분석 모델 조사연구", 연세대학교, pp. 39-40, 2015.
- [14] 충남일보, <http://www.chungnamilbo.com/news/articleView.html?idxno=306969>
- [15] 한승조, 김선욱, 조재형, 구교찬, "가상 영상과 조합된 실내 자전거의 인간공학적 평가",

디지털융복합연구, Vol, 15, No. 5, pp. 443-451, 2017.

- [16] 한승조, 박준형, "전술적 고려요소의 세분화 및 우선순위 결정에 관한 연구", 디지털융복합연구, Vol, 14, No. 10, pp. 173-181, 2016.
- [17] 오문향, "델파이 기법과 AHP를 활용한 국가간 관광산업 경쟁력 평가지표 개발", 세종대학교 박사학위 논문, 2012.
- [18] 장공수, 이인성, 유운학, "북한의 전자전 위협과 대응방향 연구", 군사평론, pp. 30-43, 2015.
- [19] 김성우, "북한의 핵 테러와 대응방안", 융합보안 논문지, Vol. 14, No. 6, pp. 21-30, 2014.

【저자소개】



한 승 조 (Han, Seung Jo)
 1998년 2월 육군사관학교 학사
 2002년 2월 KAIST 석사
 2002년 2월 아주대학교 석사
 2011년 9월 미)뉴욕주립대(비팔로) 박사과정 수료
 2013년 9월 단국대학교 박사
 現 국방과학연구소 선임연구원
 email : seungjo1651@add.re.kr



신 진 (Shin, Jin)
 1981년 2월 성균관대학교 학사
 1984년 2월 서울대학교 석사
 1992년 2월 서울대학교 박사
 現 충남대학교 정치외교학과 교수
 email : jinshin@cnu.ac.kr