

유효 경보를 위한 새로운 낙뢰 경보시스템의 개발 방법에 대한 제안

(A Proposal on the Development Method of a New Lightning Warning System for Effective Alerts)

심해섭* · 이복희**

(Hae-Sup Shim · Bok-Hee Lee)

Abstract

We examine the standalone lightning warning system (LWS) and its warning performances for three years. This system acquires and analyzes the data of cloud-to-ground strike (CG), intra-cloud discharge (IC) and electrostatic field (EF) to produce prior warnings with respect to the impending arrival of CG in the area of concern (AOC). The warnings in this system are carried out based on the fixed two areas method. To evaluate warning performances, we analyzed the statistics of warnings with probability of detection (POD) and false alarm ratio (FAR). Based on the previous study, we revised the trigger and clear conditions of lightning warning for improving the performances of the system. As a result of this revision, POD increased from 0.18 to 0.44 and FAR decreased from 0.96 to 0.78 during the summer of 2014. However, the LWS was not possible to trigger effective alerts (EA) because there was no effective lead time (LT) for the fixed two areas method. Problems related to the low detection efficiency of IC and the use of EF data for warnings still decreased POD and increased FAR. Hence, we proposed the development method of a new LWS (NLWS) that would be composed of integrated weather data, the flexible two areas and the user software in order to trigger EA and improve warning performances.

Key Words : New Lightning Warning System, Effective Alerts, Effective Lead Time, Flexible two areas, Probability of Detection, False Alarm Ratio

1. 서 론

지자기 폭풍(geomagnetic storm)으로 발생하는 지

자기 유도전류(geomagnetic induced current)와 40km 이상의 고도에서 핵폭발이 발생한 때 수반되는 전자기 펄스(high-altitude electromagnetic pulse)를 제외하면 지상에서 가장 위협적인 전기 재해는 낙뢰(cloud-to-ground strike: CG)이다. CG는 재난 및 안전 관리 기본법 등에 준한 자연 재난·재해로 과도 과전압·전류의 발생과 그로 인한 전기·전자기기 소손, 뇌임펄스 잡음(lightning impulse noise)에 의한 전파

* Main author : National Meteorological Satellite Center
** Corresponding author : School of Electrical Engineering, Inha University, Professor
Tel : 070-7850-5714, Fax : 043-717-0210
E-mail : hookmeter@korea.kr
Received : 2015. 9. 8.
Accepted : 2015. 10. 27.

장애(radio frequency interference)뿐만 아니라 화재와 정전 파급 등으로 인한 인명과 재산 손실의 주요한 원인이 되고 있다[1-4].

CG 피해 예방을 위한 가장 능동적인 대책으로 국외에서는 낙뢰 예측 알고리즘(lightning prediction algorithm: LPA)과 낙뢰 경보시스템(lightning warning system: LWS)이 피뢰시스템(lightning protection system: LPS)의 일환으로 공항, 광산, 군사 시설, 우주선 발사대, 골프장, 레이더 센터 및 방송 중계소 등 국가 기반시설과 민간에서 폭넓게 운용되고 있다. 그러나 국내의 경우 경보 성능이 검증된 LPA, LWS의 운영 실적은 매우 적은 실정이다.

본 논문에서는 CG, 운내 방전(intra-cloud discharge: IC) 및 대기 전장(electrostatic field: EF) 관측을 기반으로 하며 고정 2 영역(fixed two areas)의 경보 방법을 사용하는 독립형 LWS를 3년간 운영하고 경보성공률(probability of detection: POD), 오보율(false alarm ratio: FAR), 임계성공지수(critical success index: CSI) 등의 경보 통계로 경보 성능을 평가하였다. 그 결과로 독립형 LWS의 근본적인 문제점을 확인할 수 있었으며 개선책으로서 유효 선행시간(lead time: LT) 확보로 유효 경보(effective alerts: EA)의 자동 발령과 해제 그리고 피뢰 대책의 자동 시행이 가능한 '새로운 낙뢰 경보 시스템(new lightning warning system: NLWS)'의 개발 방법을 제안하였다.

2. 국내 낙뢰 피해 현황

자연 재해 대책법과 재난 및 안전 관리 기본법은 CG를 태풍, 홍수 등과 함께 자연 재난으로 규정하고 그 피해를 자연 재해로 정의하며 국가가 CG 예·경보를 포함하는 예방 대책의 수립과 시행뿐만 아니라 재난 상황 등을 기록한 재해 연보 또는 재난 연감의 작성 주체임을 명시하고 있다[5-6]. 그러나 CG 예방 대책의 수립과 시행을 위한 국가의 '재난 및 안전 관리 기술 개발' 투자 실적은 물론 CG 피해에 대한 국가의 공식 집계도 전무한 실정이다[7-8].

CG에 인한 피해 현황의 파악을 위해 2010년부터 2014년까지의 자연 재해와 CG 피해 현황을 표 1로 비

교하였다[8]. CG로 인한 인명 피해(사망, 부상)와 재산 피해는 자연 재해 대비 각각 15.7%, 3.1%로 집계되어 CG 피해의 심각성과 피해 예방을 위한 능동적인 대책이 필요함을 알 수 있었다. 그러나 CG로 인한 재산 피해의 경우 총 341건 중 94건(27.6%)의 피해액만이 집계되어 자연 재해로 인한 피해 현황과 정확한 비교가 곤란하다. 인명 피해의 발생 경향을 파악하는 것은 예방 대책의 수립 등에 유용할 수 있으므로 우선하여 장기 누적 피해 현황을 표 2와 같이 조사하였다. 89년간 총 435인의 인명 피해가 발생하여 연평균 약 4.9인의 인명 피해가 발생한 것으로 나타났다[9-10].

CG 피해에 대한 국가의 공식적인 집계 부재는 피해 원인 분석·조사 및 복구 사업에 대한 활용은 물론 피뢰 정책 수립, 관련된 기술 개발과 연구 등을 위한 기초 자료의 부재를 의미한다. 그러므로 국가는 CG로부터 국민의 생명과 재산을 보호하기 위한 최우선 과제로 CG 재해 상황의 조사를 선행해야 한다.

Table 1. Status comparison between of natural disaster and lightning damage

구분	연평균 인명피해(인)	연평균 재산피해(백만원)
가) 자연재해(낙뢰제외)	51	549,730
나) 낙뢰재해	8	17,261
비율(나×100/가, %)	15.7	3.1

Table 2. Present status of lightning deaths and injuries

조사 연도(기간)	인명 피해(연평균)	자료 출처
1926~2004년(79년)	377(4.8)	참고도서[9]
2005~2009년(5년)	36(7.2)	참고도서[10]
2010~2014년(5년)	40(8.0)	언론 매체(인터넷 포털)

3. 독립형 낙뢰 경보시스템(LWS)

CG 피해 예방, CG 예보 강화와 관련하여 선행된 정부의 정책 연구는 CG로 인한 재난으로부터 국민의 생명·신체 및 재산과 주요 기간시설을 보호하기 위한 독립형 LWS의 필요성과 당위를 강조하였다[10-11]. 그러나 고정 2 영역법 기반의 독립형 LWS는 사용자별

EA 발령이 곤란하여 새로운 LWS의 개발이 필요함을 본 연구를 통하여 알 수 있었다.

3.1 사양과 경보 방법

관심 영역(area of concern: AOC)내에 최초의 CG가 발생하기 전에 경보 영역(warning area: WA)에서 사전 경보를 발령하는 것은 인명과 재산의 보호를 위한 매우 중요하고 효과적인 LPS의 일환이 될 수 있다[12-14]. 그러므로 LWS의 운영 목적은 사전 경보의 자동 발령·해제 그리고 피뢰 대책의 자동 실행으로 CG에 의한 피해를 예방 또는 최소화하는 것이다.

운영 중인 LWS의 구성별 사양과 경보 방법은 표 3, 그림 1과 같다[15-17]. CG와 IC는 자계방향탐지(magnetic direction finding: MDF)방식으로 관측되며 탐지율은 MDF와 도달시간(time of arrival: TOA) 방식을 혼합한 미국 뇌관측 네트워크(national lightning detection network: NLDN)와 비교 시험으로 검증되었다[15]. 경보 방법으로 고정 2 영역법을 사용하며 2 영역은 AOC와 WA으로 구분되고 AOC 내 첫 CG가 발생하기 전 WA에서 경보가 발령되면 사전 경보 성공(successful prior warning: SUC), 사전 경보 없이 AOC에 CG가 발생하면 경보 실패(failure to warn: FTW), WA에 사전 경보가 발령되었으나 AOC에 CG가 발생하지 않을 경우 오보(false alarm: FA)로 판정된다. 고정 2 영역법에서는 AOC와 WA의 반경이 각각 9km, 19km로 고정되어 뇌운의 이동 속도 등에 비례한 LT의 확보만이 가능하다.

Table 3. Compositions and specifications of the LWS used in this work

구 성	특 징
CG, IC 센서	○ 구성: 전·자계안테나, 광학센서 ○ 방식: MDF(CG, IC 구별 관측) ○ CG 탐지율 - 90%(반경 20km 이내, 방전횟수 1회 기준) ※ 횟수 2회: 99%, 횟수 3회: 99.9% - 방향 탐지: 3단계(0-9, 9-19, 19-56km) 8분할 탐지 ○ IC 탐지율

구 성	특 징
	- 25%(반경 16km 이내)※ 2-5%(16-48km 이내) - 방향 탐지: 무지향성
EF 센서	○ 용도: 뇌운 발생(주상), 소멸 탐지 ○ 탐지 범위: 반경 20km ○ 정확도/측정범위: ±10%/±10kV/m
Relay 모듈	○ 피뢰대책 자동 실행: 시청각 경보, 전원차단 및 투입, 발전기 연동 등

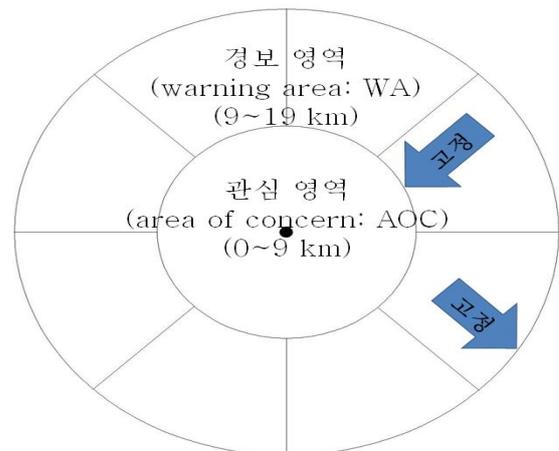


Fig. 1. Warning method based on fixed two areas used in this work

3.2 경보 발령 및 해제 조건

2013년 선행 연구에 기초하여 수정하고 2014년 하계동안 국가기상위성센터(충북 진천군 광혜면 소재)에서 운영된 경보 발령 및 해제 조건은 표 4와 같다[18].

POD의 증가를 위하여 사전 경보 단계인 ‘Warning’, ‘High Alert 2’의 플래쉬 종류를 당초 CG에서 IC로 변경하고 경보 발령 및 해제 조건에서 EF의 문턱값을 하향으로 조정하였다. 그러나 무지향성 IC 탐지는 WA의 세부 영역 선정을 불가능하게 하여 FA 증가의 원인이 될 수 있으므로 FA의 감소를 위하여 ‘Warning’ 발령을 위한 IC 플래쉬와 EF 문턱값의 논리 조합을 당초 ‘and’에서 ‘or’로 수정하고 EF 단독 경보를 사전 경보에서 제외하였다. 또한 FTW의 감소를 위하여 ‘High Alert 1’의 경보 해제 시간을 당초 10분에서 30분으로 변경하였다.

Table 4. Trigger and clear conditions of lightning warnings in 2014

경보 단계	발령 조건				해제 조건		
	플래쉬 횟수 (1분)	EF 문턱값 (kV/m)	플래쉬 종류	논리 조합	무 플래쉬 지속 시간 (Min)	문턱값 이하 지속 시간 (Min)	논리 조합
Warning	2	+0.5, -1	IC	or	10	5	and
High Alert 2	5	+0.5, -1	IC	and	10		
High Alert 1	1	+0.8, -1.5	CG	or	30		

3.3 경보 성능 평가

LWS의 운영 결과는 표 5와 같다. AOC내에 최초 CG 경보(CG in the area of concern: CGAOC), SUC, FA의 횟수로 나타내었으며 경보의 과대 또는 과소 경향의 평가를 위해 편이(bias or frequency bias)를 산정하였다. 편이가 1보다 클 경우 과대 경보 경향이므로 향후 경보 발령을 위한 플래쉬 횟수의 증가 등을 통한 FA의 감소가 요구됨을 알 수 있다.

Table 5. Operation results and Biases

운영 기간 (하계: 6~8월)	CGAOC	SUC	FA	Bias
2014년 하계	9	4	14	2.00
2013년 하계	16	4	78	5.13
2012년 하계	16	3	75	4.88

경보 성능의 평가를 위하여 기상 예보 분류표를 표 6과 같이 경보 분류표로 수정하여 사용하였으며 경보 통계는 그림 2와 같이 POD, FAR 그리고 두 가지 평가 요소의 함수이며 1에 가까울수록 완벽한 경보를 의미하는 CSI를 사용하였다. 2014년 최종 경보 성능에서 POD의 증가 원인은 경보 발령을 위한 플래쉬의 종류 변경이며 EF 단독 경보를 사전 경보에서 제외된 것이 FAR의 최대 감소 원인이 되었다. POD의 증가와 FAR의 감소로 CSI는 당초 0.03에서 0.17로 증가하였으므로 선행된 연구 결과에 기초한 경보 및 해제 조건(표 4)의 수정은 합리적인 것으로 밝혀졌다.

또한 2014년의 경보 성능을 비교 평가하기 위하여 표 7과 같이 국외 LWS의 POD와 FAR를 조사하고 CSI를 산정하였다. 경보 통계로 운영 결과를 제시한 국내 LWS의 부재로 국외 자료를 사용하였으며 조사한 국외 LWS의 경우 국가 낙뢰 관측망 기반의 LWS로 독립형 LWS에 비하여 IC, CG 탐지율이 높고 EF 자료를 사용하지 않아 필연적으로 POD, CSI가 높고 FAR가 낮은 것을 알 수 있다. CSI를 기준하면 2014년의 경보 성능은 최고 기술 수준의 50%에 해당하므로 지속적인 개선이 필요하다[18-20].

Table 6. Contingency table for warnings, detections and basic definitions

구분		AOC내 CG 발생	
		Yes	No
경보	Yes	SUC	FA
	No	FTW	

$$POD = \frac{SUC}{CGAOC} \quad FAR = \frac{FA}{FA+SUC} \quad Bias = \frac{SUC+FA}{CGAOC}$$

$$CSI = \frac{SUC}{CGAOC+FA} = \frac{1}{\frac{1}{1-FAR} + \left(\frac{1}{POD}\right) - 1}$$

※ CGAOC = SUC + FTW, FTW = 1 - POD

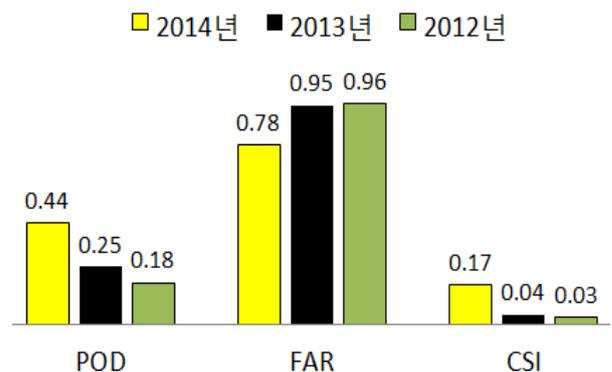


Fig. 2. Warning performances

Table 7. Comparison between the warning performances of LWSs operated in foreign countries

설치/제조사	연도	POD	FAR	CSI	관측	비고
미국 /V*****	'06	0.52	0.56	0.31	CG+IC	○ 관측: 국가 관측 시스템
		0.50	0.58	0.30	CG	

설치/제조사	연도	POD	FAR	CSI	관측	비고
미국 /N*****	'08	0.67	0.68	0.28	CG	○경보방법: 고정 2 영역
		0.38	0.71	0.20	CG+EF	
	'14	0.76	0.69	0.28	CG	
		0.83	0.71	0.27	CG+IC	
콜롬비아 /N*****	'09	0.70	0.60	0.34	CG	
국가기상 위성센터 /N*****	'13	0.25	0.95	0.04	CG+EF	○관측: 독립 시스템 ○경보방법: 고정 2 영역
	'14	0.44	0.78	0.17	IC+EF	

각 6분, 5분, 31분 및 599분의 LT를 갖는 표 5의 SUC(2014년)는 사전 경보 성공이며 사용자별 유효 LT의 확보로 가능한 EA의 성공을 의미하지 않는다. 경보 방법으로 고정 2 영역을 사용하므로 뇌운의 이동 속도, 경보 발령과 해제를 위한 플래쉬의 종류 등에 따라 필연적으로 LT가 가변되어 사용자별 필요 LT의 충족으로 가능한 유효 LT의 확보는 근본적으로 불가능하다. 따라서 EA 발령을 위하여 사용자별 유효 LT의 확보가 가능한 새로운 LWS의 개발이 필요함을 알 수 있다.

4. 독립형 LWS의 근본적 문제점

4.1 고정 2 영역의 경보 방법

LT는 사전 경보와 AOC내에 첫 번째 CG 발생 사이의 시간 간격으로 뇌운의 이동 속도, WA와 AOC의 면적 비율, 지형, 고도 그리고 CG 탐지율과 위치 정확도 등을 변수로 한다[16,18,21].

AOC 내에 첫 번째 CG가 발생하기 전에 인명 대피, 조업 중단, 전원 절체 및 차단, 발전기 연동, 방송 전환, 활주로 폐쇄, 무기 이동 등과 같은 고부담의 피뢰 대책의 시행을 위한 LT는 사용자별 필요에 충족되어야 유효 LT로 판정될 수 있다. 예를 들어 경보가 발령되면 설비 보호를 위하여 자동 전원 절체와 차단, 발전기 기동이 필요한 사용자의 경우 필요 LT는 단 몇 분이면 충분하고 전체 경보 시간 즉 경보 발령

에서 해제까지의 시간이 단축될수록 유리하다. 그러나 인명 대피가 목적인 사용자는 LT가 단 몇 분일 경우 완전한 대피가 곤란할 수 있다. 그러므로 EA 발령은 그림 3의 EA 판단 트리와 같이 사용자별 유효 LT의 확보로 가능하다.

본 연구에서 운영된 LWS는 물론 시판되는 국내·외의 모든 LWS는 고정 AOC와 WA 또는 고정 WA와 가변 AOC를 사용하는 고정 2 영역의 경보 방법을 사용하므로 뇌운의 이동 속도 등에 비례하여 LT가 증감된다. 결국 사용자별 유효 LT 확보가 곤란하고 사용자별 EA의 발령이 곤란하다.

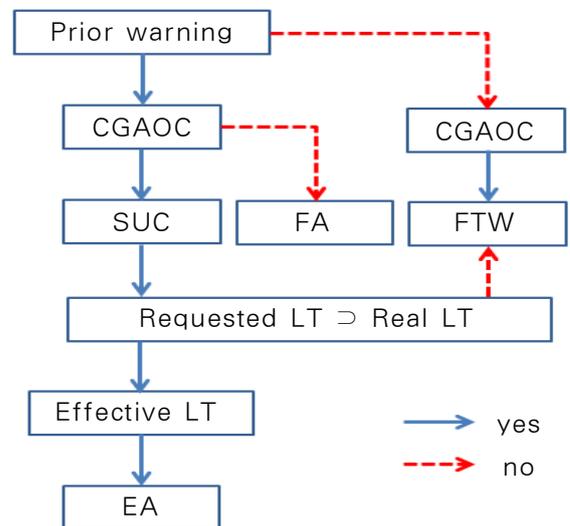


Fig. 3. Decisive tree of the effective alerts (EA)

4.2 IC의 낮은 탐지율과 무지향성 방향 탐지

대부분의 IC는 CG에 선행되며 POD 향상을 위해 IC를 경보 발령 요소로 사용하는 것은 유용하다 [23-24]. 그러나 LWS의 독립 관측 센서의 경우 표 3과 같이 IC 탐지율이 25%이고 방향 탐지가 무지향성이다. 그러므로 WA의 세부 영역 선정이 불가하여 POD 감소와 FAR 증가의 원인이 되고 있다. 그러므로 IC의 탐지율이 높고 방향 탐지가 가능하여 필연적인 POD 증가와 FAR의 감소가 가능한 전국 규모의 IC 관측 네트워크 기반의 경보 시스템이 요구됨을 알 수 있다.

4.3 EF 관측 자료의 조합

뇌운의 근접과 소멸에 따른 EF의 극성과 세기의 변화는 대기 중의 뇌운 발생 탐지와 CG의 사전 경보를 위한 관측 자료로써 유용할 것으로 판단되었다[17,19]. 그러나 선행 연구 결과들과 같이 EF 세기의 문턱값을 기준한 CG 사전 경보에서 FA의 주요 원인은 명백히 EF 관측 자료이다[18, 22,23,25]. 무엇보다 본 연구에서 운영된 LWS의 제조사는 AOC를 향하는 CG에 대한 사전 경보에서 EF 관측 자료의 유용성을 단 11%로 명시하고 있다[22]. 그러므로 LWS는 물론 새로운 LWS의 개발에서 EF 관측 자료의 사용을 위해서는 EF 센서의 관측 성능 향상, 오관측 보정, EF 세기의 변화가 아닌 극성의 변화에 준한 새로운 경보 방법의 개발 등이 필요하다.

4.4 POD와 FAR의 상충 관계

경보 발령을 위한 WA의 세부 영역을 모두 선택하고 플래쉬 횟수를 최소로 하면 POD가 증가하나 필연적으로 FAR도 증가한다. 반대로 WA내 세부 영역을 최소로 선택하고 플래쉬 횟수를 증가시키면 FAR, POD 모두 감소된다. 즉 LWS의 고정 2 영역법에서 POD와 FAR는 상충 관계(trade off relation)이므로 LWS의 사용자는 POD의 증가 또는 FAR의 감소 중 어느 한 가지 목표만을 LWS에 적용할 수 있다. 예를 들면 FA로 인한 인적, 경제적 손실이 FTW로 인한 손실보다 더 큰 사용자의 경우 FAR 감소를 목적으로 경보 발령과 해제 조건을 설정할 수 밖에 없으므로 필연적으로 POD가 감소한다. 그러므로 동시에 POD의 증가와 FAR의 감소가 가능한 새로운 LWS의 개발이 요구된다.

5. 새로운 낙뢰 경보시스템(NLWS)의 제안

5.1 NLWS의 필요성과 제안 목적

2011년부터 국가(기상청)는 현재 실황에서 6시간 이내의 기상 상황을 1시간의 간격으로 제공하는 초단기

예보로써 CG 예보를 생산하고 있으며 휴대폰 문자와 앱으로 CG 정보를 제공하고 있다. 그러나 피뢰 대책의 시행을 위한 엄정한 기준으로 사용할 수 없다. CG 초단기 예보는 예보 검증 결과의 부재로 신뢰성이 확보되어 있지 않으며 1시간의 고정된 LT를 사용하므로 사용자별 유효 LT의 확보와 EA 발령이 곤란할 수 있다. 또한 CG 문자와 앱 서비스의 경우는 실황 정보의 제공이므로 능동적 피뢰 대책의 일환으로 적용할 수 없다.

2015년 4월을 기준으로 총 12개의 국내 민간 업체가 EF 단독 관측 센서 기반의 CG 경보기나 CG 관측 센서와 조합된 독립형 LWS를 자체 개발 또는 수입하여 군사 시설, 골프장 등에 공급하고 있다[26]. 그러나 경보 통계의 부재로 경보 성능의 확인이 불가하며 EF 관측 자료 기반이므로 매우 낮은 POD와 높은 FAR를 추정할 수 있다. 그러므로 민간의 CG 경보기와 독립형 LWS 역시 LPS의 일환으로 적용이 곤란하다.

상술한 바와 같이 본 연구에서 운영된 독립 LWS, 기상청의 CG 초단기 예보 그리고 민간 업체의 CG 경보기와 독립형 LWS는 엄정한 피뢰 대책의 일환으로 적용할 수 없다. 그러므로 새로운 LWS(new LWS: NLWS)의 개발이 필요함을 알 수 있으며 본 제안은 상술한 독립형 LWS의 문제점을 해결하기 위한 것으로 그 목적은 다음과 같다.

- 1) 사용자별 요구 LT와 기상청의 뇌우 세포 이동 속도 자료로 WA의 넓이를 가변하여 사용자별 유효 LT를 확보하는 것으로 사용자별 EA를 발령할 수 있도록 하는 것이다.
- 2) 기상청의 뇌우 세포 이동 방향과 낙뢰 군집화 자료를 이용하여 WA의 세부 영역을 정밀하게 선정하여 FAR를 감소시키고 경보 해제 시간을 단축시키는 것이다.
- 3) 기상청의 IC, CG 관측 자료를 이용하여 POD를 증가시키고 FAR를 감소시켜 경보 성능을 증가시키는 것이다.

5.2 개발 방법

기상청은 2014년 선진 예보시스템 구축 사업을 통하여

뇌우 감시·추적 전용 홈페이지를 구축하고 현업화하고 있다. 뇌우 세포의 과거 및 예측 경로, 속도, 방향에 관한 자료의 확보는 가변 2 영역법의 적용을 가능하게 한다. 뇌우 세포의 이동 방향과 속도에 따른 WA의 가변과 WA 세부 영역의 선택은 사용자별 유효 LT의 확보는 물론 FAR를 감소시킬 수 있다. 또한 기상청은 2014년 신 낙뢰 관측 시스템을 도입하여 기존 시스템에 비하여 높은 IC, CG 탐지율을 확보하였으며 낙뢰 군집화 및 1시간 동안의 CG 예측 경로의 제공이 가능하게 되었다. IC, CG의 탐지율 향상은 필연적인 POD의 증가와 FAR의 저감 효과를 갖는다. 또한 CG 예측 경로가 신뢰성을 확보한 때 FAR의 감소를 더 할 수 있다.

본 제안의 실시 예에서는 그림 4과 같이 입·출력부, 처리부, 결합부, 판단부를 포함하는 낙뢰 경보 소프트웨어를 제공 할 수 있도록 한다.

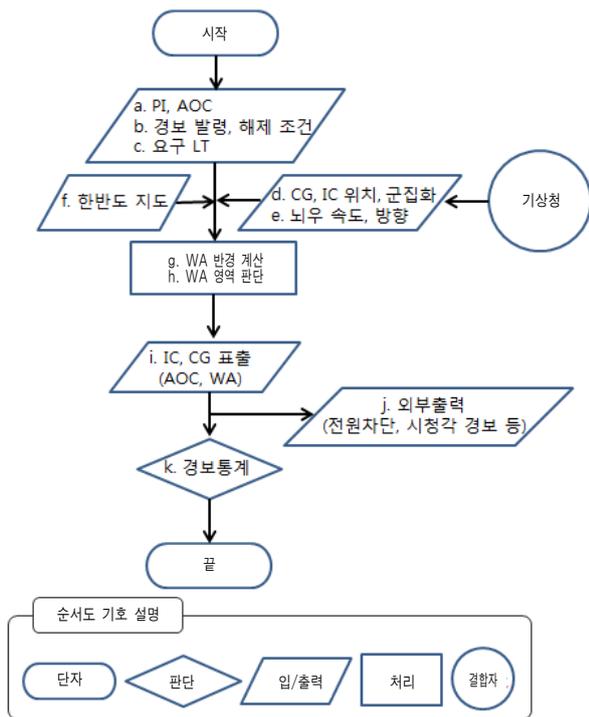


Fig. 4. Flowchart of the NLWS

1) (입력부) 사용자는 보호 대상 설비 또는 사이트의 중심 위치와 요구 LT 그리고 CG로 인한 위험성 판단의 주요 고려 사항인 주위 환경(시골, 도시)과

배전선로의 종류(지중, 가공), 지형(산, 평원 등), 대지 저항률, 접지 임피던스, 피뢰 설비의 유무 등을 고려하여 AOC의 모양(타원, 사각형 등)과 넓이(반경, 면적 등)를 수동 입력한다.

2) (입력부) 한반도 지도 상에 AOC가 자동 생성되고 기상청의 IC, CG 관측 및 군집화 자료와 뇌우 세포의 속도와 방향 자료가 자동 입력된다.

3) (처리부) 그림 5와 같이 WA와 WA의 세부 영역이 선택된다. 예를 들어 사용자의 요구 LT가 30분이고 뇌우 세포가 20 km/h의 속도로 북서 방향에서 접근한다면 WA는 AOC의 경계에서 10 km 외측에 생성되고 WA의 세부 영역은 IC, CG 관측 자료와 CG 군집화 자료를 사용하여 북서 방향이 세부 영역으로 선택된다. CG 군집화와 뇌우 셀의 방향 자료가 없다면 WA의 세부 영역 전체를 선택할 수 밖에 없으므로 CG가 WA만을 경유하고 AOC를 바이패스하는 경우 FA가 발생되어 FAR 증가의 원인이 된다.

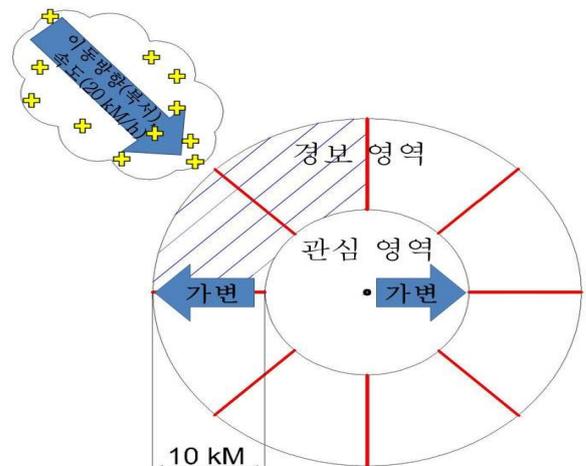


Fig. 5. Example for proposed warning method based on the flexible two areas

4) (출력부) 그림 6과 같이 IC, CG 현황이 WA에 표출되고 CG 경보가 발령되며 CG가 WA의 세부 영역과 AOC를 경유할 때까지 경보 발령이 지속된다.

5) (출력부) 경보가 발령되면 시청각 경보, 문자 통보가 외부 출력되고 전원 차단 또는 절체, 발전기 기동도 간단한 릴레이 모듈(relay module)의 추가로 자동 실행된다.

6) (판단부) 발령된 경보는 그림 4의 유효 경보의 판단 트리에 따라 CGAOC, SUC, FA, FTW, 유효 LT 및 EA의 경보 파라미터로 자동 판단되며 POD와 FAR 등의 경보 통계가 산정되어 사용자별 경보 성능이 판정되고 프로그램이 종료된다.



Fig. 6. Concept map of integrated weather data and flexible two areas

5.3 기대 효과

CG에 의한 인명 피해의 절반 이상은 사전 경보의 부재를 원인으로 한다[12]. 그러므로 신뢰성이 확보된 NLWS를 개발할 때 인명 피해를 50% 이상 감소시킬 수 있다. 또한 CG로부터 주요 설비와 재산 보호를 위한 가장 능동적인 피뢰 대책은 사전 경보이다. 따라서 본 제안은 낙뢰로 인한 인명과 재산의 손실 저감에 도움이 될 것으로 예상된다. 무엇보다 사용자별 유효 LT의 확보로 EA의 발령이 가능할 것이므로 국가 중요 시설은 물론 민간에서도 많은 활용이 예상된다. 또한 기대할 수 있는 부가 효과로 CG뿐만 아니라 호우, 강풍, 대설 등과 같은 풍수해에 대한 사전 경보가 가능하다. 미국 기상 솔루션 업체인 WDT(weather decision technology)사의 LPA과 독일 기상 솔루션 업체인 Nowcast사의 LWS에서는 이미 CG 경보에 추가하여 풍수해 경보를 제공하고 있다[27-28]. 그러므로 NLWS의 개발로 사용자별 요구 LT에 충족하는 CG와 풍수해에 대한 자동 사전 경보의 발령과 해제가 가능할 것으로 예상된다.

6. 결 론

AOC에 최초의 CG가 발생하기 전에 자동 사전

경보를 발령하는 것은 인명과 재산의 보호를 위한 가장 능동적인 LPS의 일환이 될 수 있다. 특히 CG에 의한 인명 피해의 절반 이상은 사전 경보의 부재가 원인 이므로 신뢰성이 확보된 LWS를 운영하면 인명 피해를 50% 이상 감소시킬 수 있다. 그러나 국내의 경우 경보 통계로 성능이 검증된 LWS는 거의 전무한 실정이다.

본 연구에서는 LPS의 일환으로 독립형 LWS를 도입하고 3년간 운영하여 경보 통계로 경보 성능을 평가하였다. 선행 연구에 따른 경보 발령과 해제 조건의 수정으로 POD는 0.18에서 0.44, FAR는 0.96에서 0.78, CSI는 0.03에서 0.17로 개선되어 경보 성능은 향상되었다. 그러나 고정 2 영역법의 사용, 25%의 IC 탐지율과 무지향성 방향 관측, EF 자료 조합, POD와 FAR의 상충 관계는 경보 성능 저하의 근본적인 원인이 되고 있으며 무엇보다 독립형 LWS는 단지 사전 경보용으로서 사용자별 유효 LT 확보로 가능한 EA 발령은 곤란하다. 그러므로 기상 자료의 융합, 가변 2 영역법과 사용자 소프트웨어의 적용으로 가능한 NLWS의 개발을 제안하였다. 제안된 NLWS는 필연적인 POD의 증가와 FAR의 감소 그리고 사용자별 유효 LT의 확보로 EA의 자동 발령과 해제 그리고 피뢰 대책의 자동 시행이 가능하여 CG로 인한 피해를 저감시킬 수 있어 국가 중요시설은 물론 민간에서도 많은 활용이 예상된다.

CG는 관련법으로 명시된 자연 재해·재난으로 국가가 CG 예·경보를 포함한 피해 대책의 수립 및 시행의 주체이다. 그러나 CG 예방 대책의 수립과 시행을 위한 국가의 재난 및 안전 관리 기술 개발 투자 실적은 물론 CG 피해에 대한 국가의 공식 집계도 전무한 실정이다 그러므로 국가는 CG 피해 현황, 독립 LWS 및 CG 예보의 문제점 등을 직시하고 고성능의 NLWS를 개발하여 국민의 안전 확보와 재산 보호를 위한 법정 의무를 이행해야 한다.

이 논문은 한국조명·전기설비학회 2015년 춘계학술대회에서 발표하고 우수추천논문으로 선정된 논문임.

이 연구는 국가기상위성센터 '지상국 기반설비 운영' 사업의 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] M. A. Uman., "The Art and Science of Lightning protection". Cambridge University Press, New York, pp.134-138. 2008.
- [2] R. A. Rakov and M. A. Uman., "Lightning-Physics and Effects", Cambridge University Press, New York, pp.588-654. 2003.
- [3] C. J. Andrews, M. A. Cooper, M. Darveniza, and D. Mackerras, "Lightning Injuries: Electrical, Medical, and Legal Aspects", CRC, Inc., pp.12-19. 2000.
- [4] D. S. Kim, B. H. Lee and D. K. Jeon, "Statistics of Casualties and Damage Caused by Lightning Strikes in Korea from 2000 to 2007", J. KIIEE, Vol.23, No.7, pp.14-19, 2009.
- [5] Ministry of Public Safety and Security, "Countermeasures against Natural Disasters Act", Act No.12844, 2014.
- [6] Ministry of Public Safety and Security, "Framework Act on the Management of Disaster and Safety", Act No.12943, 2014.
- [7] Ministry of Public Safety and Security, "Task Status II of the Master Plan on the Management of Disasters and Safety", 2014.
- [8] Ministry of Public Safety and Security, "2014 Annals of Disasters", 2015.
- [9] Man-Shik Park, "Statistics of Lightning Damages and Lightning Protection Standards in Korea", M.S. Thesis, Irha University, 2005.
- [10] The Electrical Engineering & Science Reserch Institute, "Study for Establishing Criterions and Preparing Measures to Help Mitigate Lightning Damage", A Political Study, NEMA, 2009.
- [11] Korea University of Technology and Education, "A Political Study for Future Optimal Lightning Detection Network in Korea", A Political Study, KMA, 2010.
- [12] M. M. Lengyel, "Lightning Casualties and Their Proximity to Surrounding Cloud-to-ground Lightning". M.S. Thesis. University of Oklahoma, 2004.
- [13] R. L. Holle, R. E. López, B. C. Navarro, "Deaths, Injuries, and Damages from Lightning in the United States in the 1890s in Comparison with the 1990s". 2005 American Meteorological Society, pp.1563-1573. Oct., 2005.
- [14] R. L. Holle, "Annual Rates of Lightning Fatalities by Country". 20th International Lightning Detection Conference (ILDC). Proceedings. Tucson, 2008.
- [15] User's Guide, "Thunderstorm Sensor Model 928". Vaisala, 2003.
- [16] User's Guide, "ALARM v1.1". Vaisala, 2003.
- [17] User's Guide, "EFM550". Vaisala, 2003.
- [18] Hae-Sup Shim, Bok-Hee Lee, "Construction and Operation Characteristics of the Automated Lightning Warning System Based on Detections of Cloud-to-ground Discharge and Atmospheric Electric Field", J. KIIEE, Vol.28, No.11, pp.58-64, 2013.
- [19] J. Montanya, D. Aranguren, N. Pineda, G. Sola, D. Romero, V. March, "Total Lightning, Electrostatic Field and Mmeteorological Radar Applied to Lightning Hazard Warning". 20th International Lightning Detection Conference (ILDC). Proceedings. Tucson, CD-ROM, 2008.
- [20] M. J. Murphy and R. L. Holle, "Warnings of Cloud-to-ground Lightning Hazard Based on Combinations of Lightning Detection and Radar Information". 19th International Lightning Detection Conference (ILDC). Proceedings. Tucson, CD-ROM, 2006.
- [21] J. Inampué, D. Aranguren, H.Torres, J. Montanya, I. Santoyo, E. Olarte, C. Younes., "Analysis of Lightning Forcasts in Colombia Based on the Lightning Detection Network Data". 10th International Symposium on Lightning Protection. Curitiba, Brazil, 2009.
- [22] M. J. Murphy and R. L. Holle, N. W. S. Demetriades, "Cloud-to-ground Lightning Warnings Using Electric Field Mill and Lightning Observations". 20th International Lightning Detection Conference (ILDC). Proceedings. Tucson, 2008.
- [23] R. L. Holle, Nicholas W.S. Demetriadws, and Amitabh Nag, "Lightning Warnings with NLDN Cloud and Cloud-to-ground Lightning Data". 2014 International Conference on Lightning Protection (ICLP), Shanghai, China, pp.315-323, 2014.
- [24] D. R. MacGorman, I. R. Apostolakopoulos, N. R. Lund, N. W. S. Demetriades, M. J. Murphy, and P. R. Krehbiel, "The Timing of Cloud-to-ground Lightning Relative to Total Lightning Activity", Mon. Wea. Rev., vol. 139, pp. 3871-3886, 2011.
- [25] ACRP Report 8. "Lightning-Warning Systems for Use by Airports". Airport Cooperative Research Program, Federal Aviation Administration, USA, 2008.
- [26] Hae-Sup Shim, "The Development of National Lightning Warning System", 2015 proposal competition, KMA, p. 17, 2015.
- [27] [http://www.wdtinc.com\(WDT Homepage\)](http://www.wdtinc.com(WDT Homepage))
- [28] [http://www.nowcast.de\(Nowcast Homepage\)](http://www.nowcast.de(Nowcast Homepage))

◇ 저자소개 ◇



심해섭 (沈海燮)

1974년 1월 7일생. 2009년 서울산업대학교 대학원 졸업(석사). 2004~2006년 극지연구소 남극세종과학기지 18차 월동대원. 2007년~현재 국가기상위성센터 주무관.



이복희 (李福熙)

1980년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업
1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사).
1988~1989년 동경대학 생산기술연구소
객원연구원. 1999년 Cincinnati대학 방문
교수. 2010~2011년 당학회 회장. 현재
인하대 IT공대 전기공학부 교수. 본 학회
명예회장.