헬기에 의한 지상 물투하 형태 및 범위 실험

배택훈 · 이시영[†] · 손정훈*

강원대학교 방재전문대학원, *산림항공본부

Study on Ground Water Drop Pattern and Coverage Level by Helicopter

Taek-Hoon Bae · Si-Young Lee[†] · Jung-Hun Son*

The Professional Graduate School of Disaster Prevention Technology

*Forest Aviation Office

(Received February 13, 2013; Revised April 5, 2013; Accepted April 5, 2013)

요 약

항공기에 의한 산불공중진화는 지상진화 보다 진화의 효과성이 좋다. 따라서 공중진화는 산불의 대형화를 방지하는데 중요하다. 미국에서는 고정익항공기 및 회전익항공기(헬리콥터)가 합동으로 공중진화를 하나 우리나라는 회전익항공기만을 이용하고 있다. 따라서 헬리콥터에 의한 공중진화의 효과성에 대한 연구가 필요하다. 공중진화의 효과성은 투하되는 물의 분포형태와 범위에 따라서 결정된다. 따라서 본 연구는 산림청에서 운용하는 S-64E, Ka-32T, AS350B2의 3개 기종으로 물투하 실험을 실시하여 유효 분포형태와 범위를 도출하였다. 이 연구 결과로 조종사들이 공중진화의 효과성을 증대시키는데 기여하고자 한다.

ABSTRACT

Aerial fire fighting is more effective on forest fire suppression than ground fire fighting. So, Aerial fire fighting is important to prevent large fire. United States suppression the joint fixed-wing and rotorcraft (Helicopter) but Helicopter only in Korea. At this point, we need to research about ground water drop pattern and coverage level for aerial fire fighting effectiveness by helicopter. In this study, we experimented water-dropping S-64E, Ka-32T, AS-350B2 of three of helicopter to operate the Forest Service and suggested efficient ground water drop pattern and coverage level. Using these study results, recognition of pilots who suppression more efficient aerial fire fighting at the scene of Forest fire.

Keywords : Forest fire, Aerial fire fighting, Fixed wing, Helicopter, Drop pattern

1. 서 론

세계보건기구(WHO)는 21세기에 공공건강 안전에 위협 요소중 하나는 산불이라고 하였고 기후변화는 극심하게 증가할 것이라고 하였다(IPCC 2007)⁽¹⁾. 산불공중진화(Aerial fire fighting)는 산불로부터 인명과 재산을 보호하는데 중요한 역할을 한다. 그 중요성은 산불과 더불어 같이 증가 하고 있다. 산불에서 항공기 사용은 1960년 이래로 특히, 미국, 호주, 그리스, 프랑스 등 몇몇 유럽국가에서 증가하고 있다⁽¹⁾. 산불은 건조한 날씨에 적은불씨에도 쉽게 점화되어 빠르게 확산되기 때문에 초동진화를 하여 확산을 최소화 하여야 한다. 일반적으로 신속하게 출동하여 진화 할 수 있는 자원은 항공기로서 고정익과 회전익(헬리콥터)이 있으며 물, 폼(Foam)과 리타던트(Retardant)

를 탑재하여 산불지역에 투하함으로써 산불을 진화한다. 물은 효과시간이 단시간이므로 산불화선에 직접 투하하고 리타던트는 2일 또는 3일까지 효과가 있으므로 산불화선의 전방 또는 화선의 끝을 따라서 투하한다⁽²⁾. 미국에서는 물탱크를 장착한 고정익항공기를 ‘에어탱크’(Airtanker)라고 하며, 캐나다는 ‘워터범버’(Waterbomber)라고 호칭한다⁽³⁾. 물 등을 탑재 시 지상에서 소방호스를 이용하여 담수하거나 물위에서 비행하면서 담수(Skimmingwater, Scooping)하는 수륙양용 항공기가 있다. 헬리콥터는 기체하부에 탱크를 장착한 헬리콥터를 ‘헬리탱크’(Helitanker)라고 하며 ‘스노클시스템’(Snorkel System)으로 물을 끌어올려 탱크에 저장하여 산불지역에 투하하거나 바켓을 사용하여 담수하여 산불지역에 투하한다. 가장 대중적인 바켓은 ‘밤비 바켓’(Bumbi Bucket)이며 호수, 강, 저수지, 간이식 이동

[†] Corresponding Author, E-Mail: lsy925@kangwon.ac.kr
TEL: +82-33-570-6806, FAX: +82-33-540-3149

ISSN: 1738-7167
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2013.27.2.054>

탱크 등에서 담수한다. 2003년 미국산림청(USFS)과 국토관리국(BLM)은 산불공중진화를 위해 2억5천만달러(US달러)를 1,000대의 고정익 항공기와 헬리콥터 계약을 하는데 지출하였다⁽⁴⁾. 우리나라 산림청은 고정익 항공기는 운용하지 않으며 2012년 경남도에서 캐나다의 CL-215 에어탱크 고정익항공기 1대를 120일간 임차비용 20억원에 계약하였고, 전국 지자체에서 헬리콥터 50대를 계약한 것을 포함하여 341억을 지출하였다⁽⁵⁾. 세계최초의 항공기의 산불운용 사례는 미국에서 1919년 JN-40, GH-4B 고정익항공기(2대)가 캘리포니아에서 멕시코 국경까지 550건의 산불탐지를 위한 순찰비행을 하였으며⁽⁶⁾, 동년 캐나다의 퀘벡시도 HS2L 고정익항공기로 산불탐지 순찰비행을 하였다⁽⁷⁾. 1931년 캘리포니아에서 고정익 에어탱크 운용을 최초로 제안하였고⁽⁸⁾, 1937년 해군의 훈련기 N3N 고정익항공기를 개조하여 산림청과 최초로 에어탱크로 계약하여 세크라멘토에서 운용하였다⁽⁹⁾. 헬리콥터는 1945년 산림청과 육군이 R-5A와 R5B 헬기로 최초 산불운용시험을 하였고, 1946년 알래스카의 페어뱅크 산불과 L.A의 레드락 산불에서 공중정찰 및 탐지를 하였다. 1947년 8월 5일 L.A 브라이언트 산불에서 B-47B헬기 2대가 최초로 산불진화를 하였으며 50년 후 L.A산림부는 1997년 8월 5일을 산불공중진화 기념일로 정하여 헬리콥터의 산불진화임무 개척을 축하 하였다⁽¹⁰⁾. 우리나라는 1981년 3월 19일 양재동 부근에서 발생한 산불을 H-369 헬리콥터가 밤비바켓을 사용하여 진화한 것이 최초이며⁽¹¹⁾, 고정익항공기는 2012년 경남도에서 임차한 캐나다의 CL-215 에어탱크가 동년 4월 6일 삼랑진에서 낙동강 물을 담수하여 밀양산불을 진화한 것이 최초이다.

항공기 운용관리의 3요소는 안전성, 경제성, 장비의 선택이며⁽¹²⁾, 이에 따른 진화항공기 능력의 평가는 담수능력과 투하되는 물의 분포형태에 의해 결정된다. 따라서 항공기 기종의 선정과 물 담수 및 투하하는 물탱크의 개발은 산불진화의 효과성을 결정하는데 중요한 항목이다. 본 논문은 탱크에서 투하하는 물의 분포범위를 산림청 진천산림항공관리소에서 실시한 공중물투하 실험결과를 토대로 분석하였고 그 결과는 현장에서 항공기를 운용하는 조종사가 공중진화의 효과성을 증대시키는데 목적이 있다.

2. 이론적 배경

2.1 공중 물투하 실험의 발전

공중물투하 실험은 1930년대 미국과 캐나다에서 처음으로 시도하였다. 그 후 1940년대 미국은 연료탱크에 물을 넣어서 실험을 하고, 캐나다 온타리오 국토산림부는 물백을 이용하여 실험을 하면서, 시행착오를 경험한 후 1950년대부터는 물 운반시스템의 연구개발과 투하실험 및 평가를 실시한 후 본격적인 에어탱크의 운영이 시작되었다. 특히 1967년과 1980년 사이에 다양한 조건하에서 180회

이상 투하 실험을 실시하여 많은 발전을 하였다⁽¹³⁾. 1990년대 미 산림청도 탱크물의 양을 측정하고 투하방식에 영향을 미치는 바람 등의 환경요인을 평가하며, 탱크의 도어 특성과 개폐 기하학, 물 흐름 및 리타던트 흐름의 특성을 평가하는 등 진화용수(물, 리타던트) 운반에 대한 다수의 다발 및 단발 에어탱크가 광범위한 투하 실험을 하였다. 항공기 투하고도와 속도는 비디오분석, GPS, 레이다 고도계로 측정하여 분석하였다⁽¹⁴⁾. 실험자료의 분석은 1973년 이전에 전산화 기술이 도입되기 이전에는 수작업으로 하였으나 이후에는 컴퓨터 그래픽으로 분석하였다⁽¹⁵⁾. 공중투하의 효과는 정확한 지점 및 산불전방에 물 또는 리타던트의 적절한 투하로 결정된다. 그리고 지상자원에 의한 지속적인 진화가 병행되어야 한다. 투하되는 진화용수의 길이, 폭, 분포도는 항공기의 고도, 속도, 탱크에서 나오는 진화용수의 배출율과 분량, 유체의 흐름, 기상조건 등에 의해 결정된다. 적절한 항공기의 고도, 속도는 조종사 능력에 의존하고 투하되는 진화용수는 물탱크 시스템에 관련이 있으므로 실제 물투하 실험결과에 의한 현장 적용으로 진화의 효과성은 증대된다. 그러나 다양한 현장상황의 변수로 풍향, 풍속, 습도, 연료형태, 지형, 산불형태, 연기 등 환경조건은 통제할 수 없는 요소들이다.

2.2 물탱크의 성능과 지상분포 패턴

공중투하 메카니즘은 ‘아모림’(2008)⁽¹⁶⁾의 연구에서 외부공기흐름(Windflow), 물탱크의 성능(Discharge), 진화용수 투하(Breakup), 진화용수의 분포(Deposition) 등 4개의 모듈로 정리하였다. 각 모듈에서의 영향인자는 다음과 같다. 즉 ① 외부공기흐름의 영향인자는 수관연료밀도(Canopy)의 높이 및 넓이, 외부풍향 및 풍속이며 ② 물탱크 성능의 영향인자는 물탱크 깊이, 길이, 넓이와 흡입관의 직경 및 길이와 물탱크 도어 길이, 넓이, 도어의 열림 각과 시간 그리고 진화용수의 밀도이다. ③ 진화용수 투하의 영향인자는 진화용수 점성도, 비행속도 및 방향, 투하 고도이다. ④ 진화용수 분포인자는 비행속도 및 고도에 의하여 수관연료밀도를 통과한 진화수의 길이와 넓이이며 위의 4개의 모듈은 역동적이고 복잡적이며 연속적이다. 추가로 온도와 습도지형, 조종사의 숙련도 등이 영향을 준다. 이러한 영향인자에 의해 공중투하 된 결과는 지상에서 진화수의 분포형태(Ground Drop Pattern) 또는 분포범위(Coverage Level)로 나타난다.

Figure 1은 에어탱크에서 진화용수가 투하되는 기본적인 모습이며 진화용수는 비행로를 따라 분포된다. 투하의 특성(길이, 폭, 분포도)은 항공기의 고도, 속도, 탱크에서 나오는 진화수의 배출율과 분량, 유체의 흐름 특성과 기상조건 등에 의해 좌우된다.

Figure 2는 에어탱크에서 리타던트가 투하되는 연속적인 과정을 보여주는 사진이다. 최초에 투하되는 진화용수의 양은 적으나 점차로 탱크도어가 다 열리고 나온 진화용

Figure 1. Distribution of fluid along the path (Drop Testing Airtankers, USDA Forest Service TE 92P32-Technical Service, Aerial Delivery December 2000).

Figure 2. Schematic representation (George and Blakely 1973) and sequence of a retardant aerial drop (Blodgett Fire, US August 2000).

Figure 3. Pattern simulation model (PATSIM) used to predict ground distribution pattern from retardant release characteristics⁽¹⁷⁾.

Figure 4. Ground drop pattern from a Snow Commander in an open field⁽¹⁸⁾.

수의 양은 많아지면서 분포범위가 확장된다.

Figure 3은 물탱크에서 진화용수가 투하되는 메카니즘을 그림으로 설명한 것으로 항공기가 전방으로 비행하면서 물탱크가 열림과 동시에 연속적으로 지상에 투하되는 진화용수의 부피를 순서대로 번호를 부여하여 진화수가 지상에 분포되는 투하모델의 이해를 돕고자 제시한 것이다.

Figure 4는 에어탱크 항공기에서 투하 한 진화용수의 지상분포 실험결과를 입체적으로 컴퓨터 그래픽으로 나타낸 것이다. 미 산림청은 1970년대에 에어탱크 위원회(ATB: Airtank Board)를 설립하여 에어탱크의 성능과 안전성을 향상하는 방법을 연구하기 시작하였다. 1977년 헌장을 개정하고 내무부, 항공서비스기관, 주 산림협회를 새 회원으로 하여 IATB(Interagency Airtank Board)로 명칭을 바꾸고 새로운 항공기와 탱크를 평가하고 효과를 증진시키며 에어탱크 운반시스템을 향상하고 에어전시에게 조언과 정보를 제공하였다. 1986년 IATB는 각 에어탱크에서 생산되는 다양한 흐름율을 요구하는 성능표준을 개발 하였고 현재의 많은 에어탱크는 새 항공기의 설계가 추가되는 새로운 개념의 발전된 설계를 함으로써 1990년에 향상된 표준을 확립하였다⁽¹⁹⁾. 우리나라는 산림청 산림항공본부에서 1993년 최초로 B-206 헬리콥터로 비행속도 40 km/h와 80 km/h로 비행하면서 400 l의 물을 투하하여 지상에 투하되는 물의 양을 측정한다. 측정결과 40 km/h로 비행 시 평균 215 ml/m²으로 지면낙하율이 25.1 %이고 80 km/h로 비행 시 평균 167 ml/m²으로 나타났다⁽²⁰⁾. 이 측정은 단순 수작업으로 하였으며 1930년 이후 많은 시행착오를 겪으며 발전한 미국 등의 실험과 같이 입체적인 물분포범위의 패턴을 정확하게 분석하지는 못하였다. 따라서 산불 진화의 효과를 증가하기 위하여 본 연구에서는 컴퓨터 그래픽으로 실험결과를 도출하였다.

3. 실험 방법

3.1 실험장소 선정 및 분석방법

본 실험은 우리나라 산불공중진화의 주력기인 산림청

Figure 5. Photos of experimented mountain.

산림항공본부의 헬리콥터 3개 기종에 대한 물투하 실험을 하여 유효한 분포형태 및 범위를 도출하고자 하였으며 실험방법은 다음과 같다.

가. 실험기간 : 2005. 2~2005. 10

나. 실험장소 :

- 1) 평지 : 충북 진천군 청소년 수련원 강변
- 2) 산악 : 충북 진천군 문백면 오성리

다. 기종 : Ka-32t, S-64E, AS-350B2 3개 기종

라. 측정방법 :

실험장소에 투하되는 물의 양을 측정하기 위해 패트병을 1/2로 절단하여 번호를 부여하여 산악지역은 3 m×3 m 간격의 격자식으로 가로 14개 세로 70개 총 980개를 설치하였다. 이 때의 넓이는 8,873 m²이다. 평지는 2 m×2 m 간격으로 가로 14개 세로 40개 총 560개를 설치하여 넓이는 507 m²이었으며 물투하시 패트병이 넘어지거나 훼손되지 않도록 땅에 매설하였다. 측정요원이 패트병에 담긴 물을 50 ml와 10 ml 측정용 컵에 옮겨 담아 그 양을 측정한 후 준비된 야장에 기록하였다.

마. 컴퓨터 그래픽 자료 입력

컴퓨터 그래픽을 이용한 물투하 자료입력 및 산출은 호주에서 사용한 Aircraft firebombing pattern check program system을 이용하였다.

3.2 실험방법

실제 산불지역의 상황은 풍향, 풍속, 비행고도 및 속도, 산림의 종류에 따라 다양하나 실험을 위해 비행고도 및 속도는 Table 1과 같이 한정하였다.

담수량은 기종별 최대의 담수량을 측정하고 특히 Ka-

Table 1. Experimental Conditions of Specifications Out Put

Item	Contents
Water volume	Ka-32t : 1,500 l, 3,000 l S-64E : 8,000 l AS-350B2 : 800 l
Altitude	Ka-32t : Ground 30 m, Mountain 25 m S-64E, AS-350B2 : Mountain 25 m
Airspeed	60~90 km/h
Terrain/ Airspeed	Ground, Mountain/1.5~2.5 km/h

Figure 6. Experimental of Ka-32t water drop.

Figure 7. Measuring and recording on plastic bottle of water dropped.

32t는 1도어를 개방시 1,500 l가 투하되고 2도어를 개방시 3,000 l가 투하된다. Ka-32t는 평지와 산악지역에서 실험하고, S-64E와 AS-350B2는 산악지역에서만 실험하며, 고도는 평지는 30 m 산악지역은 20 m로 하며, 속도는 모두 동일하게 60~90 km/h로 설정하였다. 풍속은 물투하의 영향이 미약한 1.5~2.5 km/h에서 시행하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 물투하 실험 결과 및 분석

물투하 실험은 14회를 하였으며 Ka-32t는 평지에서 고도 30 m, 산악에서 고도 25 m로 각 4회, S-64E는 산악에서 고도 25 m로 2회, AS-350B2는 고도 25 m로 평지와 산악에서 각각 2회를 하였다. Table 2는 총 14회의 투하실험 결과이다.

Table 2에서 실제 산불현장의 산악에서 운용하는 유효하고 대표적인 3개(5, 10, 13회)의 실험결과를 선정하였고, 진화유효성을 판단하기 위하여 실험결과는 물이 0.5 l 이상 측정된 최대분포도(0.5~1 l/m²로 측정된 최대 폭과 길이), 진화효과가 있는 유효분포도(1~2.5 l/m²로 측정된 최대 폭과 길이), 완전한 진화가 되는 핵심분포도(2.6~4 l/m²로 측정된 최대 폭과 길이)로 기준을 설정하였다. 5회 결과는 Ka-32t가 고도 25 m로 3,000 l의 물을 투하 한 것이

Table 2. 14 Times of Drop Test Results

Type	Item				Coverage (Hor×Len)	Num
	Ter	Speed	Alt	Water vol		
Ka-32t	Flat	60 km/h	30 m	3,000 l	25×110 m	1
		90 km/h		1,500 l	20×95 m	2
		80 km/h		3,000 l	20×115 m	3
	Mountain	100 km/h	25 m	3,000 l	40×110 m	5
		80 km/h			40×105 m	6
		60 km/h			40×75 m	7
		40 km/h		1,500 l	30×70 m	8
	S-64E	100 km/h	25 m	8,000 l	30×135 m	9
					30×210 m	10
AS 350	Flat	70 km/h	25 m	800 l	18×48 m	11
		90 km/h			18×58 m	12
	Mountain	70 km/h			20×42 m	13
		90 km/h			20×50 m	14

고, 10회 결과는 S-64E가 고도 25 m로 8,000 l의 물을 투하한 것이며, 13회 결과는 AS-350B2가 산악지역에서 800 l의 물을 투하한 결과이다.

Table 3은 매설한 패트병의 가로 14개 세로 70개 총 980개중 Ka-32t가 물 투하시 담수된 가로 14개 세로 37개 총 518개의 물만을 측정한 기록 자료이다.

Figure 8에서 Ka-32t 헬기가 좌에서 우로 비행하면서 투하한 지상분포자료를 컴퓨터 등고선 형 그래프로 분포 형태와 범위를 측면도와 평면도로 나타냈으며 측면도의 가로와 세로는 거리(m)이며 높이는 물량으로 1 m²당 l(l/m²)이며 최대물량은 4 l/m²이고 물량은 우측에 색깔로 구분하여 표시하였다. 평면도는 가로는 거리(m) 세로는 폭(m)이다. Ka-32t는 지상분포범위가 최대 40 m×110 m이나 진화효과가 있는 유효분포범위는 후면 24 m×70 m 지역이고 완전한 진화가 되는 분포범위는 18 m×45 m 지역으로 분석할 수 있다. 특징으로 후면부분에 물투하 범위가 크게 분포되어 있다.

Table 4는 S-64E가 물투하시 담겨진 가로 14개 세로 40개 총 518개에 담수된 물만을 측정한 기록자료이다.

Table 3. KA-32T of Drop Test Results (단위: l/m²)

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.1	0.2	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.1	0.1	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	0.1	0.1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.1	0.1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.1	0.1	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0.3	0.2	0.3	0.1	0.5	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0.2	0.3	0.3	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1
10	0	0	0	0	0	0	0.3	0.5	0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1
11	0	0	0	0	0	0	1	0.5	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
12	0	0	0	0	0.1	0.1	0.5	2	0.2	0.3	0.5	0.1	0.1	0.1
13	0	0	0	0	0.1	0.1	1	1	0.3	0.2	1	0.1	0.1	0.1
14	0	0	0	0	0.4	0	1	2	4	0.2	2	0.3	0.1	0
15	0	0	0	0	0.3	0.1	1	2	0.2	0.2	2	0.1	0.1	0
16	0	0	0	0	0.5	0.2	2	2	4	0.2	3	0.1	0.1	0
17	0	0	0	0	0.5	0.1	1	3	0.8	0.2	2	0.1	0	0
18	0	0	0	0	0.5	0.2	1	3	0.5	0.3	2	0.2	0	0
19	0	0	0	0	1	0.1	3	5	0.3	0.5	4	0.1	0	0
20	0	0	0	0	1	0.5	1	3	0.8	0.4	2	0	0	0
21	0	0	0	0	3	0.1	3	3	5	0.5	1	0	0	0
22	0	0	0	0.1	5	9	5	4	3	0.5	2	0	1	0
23	0	0	0	0.1	7	0.5	3	3	0.5	0.4	2	0	0	0
24	0	0	0	0	10	8	3	4	0.5	0.5	3	0	0	0
25	0	0	0	0.1	15	0.1	4	3	5	10	3	0	0	0
26	0	0	0	0	20	0.1	2.5	2	5	6	4	1	0	0
27	0	0	0	0.1	20	0.5	8	4	4	4	3	0	0	0
28	0	0.5	0	0.3	27	15	4	10	8	6	3	0	0.5	0.1
29	0.1	0.5	5	16	26	0.2	0	4	0.5	2	2	0.1	0.5	0.1
30	0.1	0.5	3	17	25	0.3	7	5	3	4	3	0.5	1	0.1
31	0.1	0.4	10	23	25	8	6	4	4	7	3	1	1	0.1
32	0.1	0.2	5	9	19	22	3	3	5	5	1	2	1	0.1
33	0	0.2	4	8	5	15	4	3	10	5	2	0.3	3	0.1
34	0	0	1.5	5	5	20	9	5	8	3	2	0.1	1	0.1
35	0	0	2	0.2	3	14	4	0.5	5	2	1	0	1	0.2
36	0	0	0	0	0.2	0.2	0.1	0.5	2	4	2	0	2	0.2
37	0	0	0	0	0	0	0	10	5	3	1	0	3	0.3

Figure 9에서 S-64E 헬기가 상기와 동일하게 좌에서 우로 비행하면서 투하한 지상분포자료를 컴퓨터 등고선 형 그래프로 분포 형태와 범위를 측면도와 평면도로 나타냈으며 측면도의 최대물량은 13 l/m²로써 Ka-32t에 비해 약 3배나 많다. S-64E는 지상분포범위가 최대 30 m×210 m이고 유효분포범위는 15 m×160 m 지역이며 핵심분포범위는 9 m×150 m 지역으로 분석할 수 있다. 지상분포 길이가 길고 폭이 10 m 좁으나 전체적인 범위에 일정하게 물이 분포되는 특징이 있다.

Figure 8. Ka-32t of ground water drop pattern and coverage level.

Table 5는 AS-350B2가 물투하시 담겨진 가로 9개 세로 20개 총 180개에 담수된 물만을 측정한 기록한 자료이다.

Figure 10에서 AS-350B2 헬기도 좌에서 우로 비행하면서 투하한 지상분포자료를 컴퓨터 등고선 형 그래픽으로 분포형태와 범위를 측면도와 평면도로 나타냈으며 측면도의 최대물량은 1.9 l/m^2 로 물량이 적으며 지상분포범위가 최대 $20 \text{ m} \times 42 \text{ m}$ 이나 유효분포범위는 $12 \text{ m} \times 36 \text{ m}$ 이고 핵심분포도는 $9 \text{ m} \times 24 \text{ m}$ 지역이다.

4.2 실험 한계점 및 개선방안

4.2.1 한계점

물투하의 분포도는 앞의 실험방법에서 논의 한바와 같이 현장의 풍향, 풍속, 습도, 연료형태, 지형, 산불 및 연기형태 등 외부환경요소 때문에 통제 할 수 없지만, 물탱크의 성능이나 진화수 투하방법 등의 기술은 조종사의 훈련 및 숙련된 경험으로 물투하 분포 및 범위의 효과성을 증대시킬 수 있다. 본 실험에서 사용한 각 헬리콥터의 물탱크 기계적 시스템과 구조에 대한 연구를 하지 않았다. 특히 물탱크 도어의 개폐를 조절하여 일부분만 투하 하는 분할투하(Split Drop), 분할투하를 길게 조절하는 연속투하(Trail, Sequence Drop), 일제히 투하 하는 일제투하(Salvo Drop) 또는 동시투하(Simultaneous)하는 방법 중에서 실험여건의 어려움으로 실험은 일제투하(동시투하)만 실시하였다. 또한 연료의 종류별(침엽수림, 활엽수림, 혼합림) 임목밀도에 따른 분포형태와 범위 그리고 수고밀도에 대한 진화용수의 침투율에 대한 연구를 못하였으며, 진화용수의 투하에서 물투하만 하였고, 폼이나 점성이 강한 리타던트로 실험을 하지 못한 것이 한계로 남아있다. 그리고 본 실험은 물투하에 영향을 미치지 않는 풍속($1.5 \sim 2.5 \text{ km/h}$)으로 실험을 하였기에 현장에서의 적용은 경험에 의존하여 오조준 투하를 하여야 하는 한계가 있다.

Table 4. S-64E of Drop Test Results (단위: l/m^2)

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1	3	0.5	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0.5	3	5	0.5	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0.5	1	10	1	0.5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0.5	1	2	20	3	2	1	0	0	0	0
7	0	0	0	2	3	7	40	10	4	2	0	0	0	0
8	0	0	0.5	1	1	10	20	20	3	1	0	0	0	0
9	0	0	1	3	5	20	70	36.5	5	2	0	0	0	0
10	0	0	0	0.5	2	3	20	125	10	3	0.5	0	0	0
11	0	0	0	0	1	5	50	140	20	7	1	0	0	0
12	0	0	0	0.5	2	10	20	73	10	1	0.5	0	0	0
13	0	0	0	1	3	20	30	6	3	2	0.3	0	0	0
14	0	0	0.5	1	5	15	5	70	5	1	0	0	0	0
15	0	0	0	0	1	20	10	23	7	2	1	0.3	0	0
16	0	0	0	0.5	1	5	20	20	5	3	0.5	0	0	0
17	0	0	0	1	2	5	2	30	10	5	1	0.5	0	0
18	0	0	1	2	3	10	7	28	15	5	0.5	0	0	0
19	0	0	0	0	0.2	2	5	70	3	1	0.1	0	0	0
20	0	0	0	0.5	1	10	40	30	7	3	2	0.5	0	0
21	0	0	0.5	1	6	5	22	25	3	2	1	0	0	0
22	0	0	0	0.3	12	10	27	30	7	1	1	0	0	0
23	0	0	0	0.5	1	5	10	120	80	5	0	0	0	0
24	0	0	0	0.1	3	10	26	150	2	1	0.5	0	0	0
25	0	0	0	1	2	25	30	100	10	2	1	0	0	0
26	0	0	0	0.5	2	15	22	160	20	3	1	0	0	0
27	0	0.5	2	1	2	10	23	170	8	1	0	0	0	0
28	0	0	3	4	11	17	21	30	20	2	0.5	0	0	0
29	0	0	2	5	2	15	36	24	3	1	0	0	0	0
30	0	0	1	1	11	17	18	150	10	3	0	0	0	0
31	0	0	2.5	2.5	15	40	30	5	3	2	1	0	0	0
32	0	1	2.5	3	20	15	18	5	5	1	0.5	0	0	0
33	0	0	2	0.1	16	35	32	150	10	2	1	0	0	0
34	0	0	1.5	2	11	120	17	60	40	5	0.5	0	0	0
35	0	0.1	0	2	11	47	24.5	150	50	7	2	0	0	0
36	0	0.5	3	2	5	30	24	170	15	3	0.5	0	0	0
37	0	0	2	0.2	10	30	30	150	20	2	0.5	0	0	0
38	0	0	2.5	6	18	10	15	36	30	5	1	0	0	0
39	0	0	1	3	10	40	30	5	3	0.1	0.1	0	0	0
40	0	0	2	5	13	10	25	5	3	0.2	0	0	0	0

4.2.2 개선방안

각 기종별로 물탱크 시스템의 구조와 도어 개폐시스템에 따른 물투하의 분포형태 및 범위에 대한 실험을 하여 산불의 규모에 적절하게 물탱크 도어를 개폐하여 투하를 함으로서 진화의 효과성을 증대시킬 필요가 있다. 또한 연료의 종류별(침엽수림, 활엽수림, 혼합림) 밀도를 고려한

Figure 9. S-64E of ground water drop pattern and coverage level.

Table 5. AS-350B of Drop Test Results (단위: ℓ/m²)

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0.5	0.3	0	0	0
5	0	0	0	1	1.2	0.5	1	0	0
6	0	0	0.1	3	1	1	0.2	0	0
7	0	0	0.1	0.2	3	2	0.5	0	0
8	0	0.1	0.3	1	2.5	7	1	0	0
9	0	0.2	0.5	2.5	2.5	7	0.5	0.1	0
10	0	0.1	1.2	6	8	7.5	1	0.2	0
11	0	0.5	0.7	5.5	15	7.5	3	0	0
12	0	0	0.2	3	2	5	2	0.5	0
13	0	0.3	0.5	2.5	2.5	10	2.5	0.2	0
14	0	0.2	1.5	0.3	2	7.5	3	0.5	0
15	0	0.5	1	0.1	1	3	2	0	0
16	0	0	1	0.3	3.5	2	1	0	0
17	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0

실험과 폼과 리타던트로 투하실험을 하여 분포형태 및 범위 그리고 침투율을 구명할 필요가 있다. 더불어 현장적용성을 강화하기 위하여 측풍 풍속 5 km/h, 10 km/h, 15 km/h에 따른 투하되는 진화용수의 편류량(거리)에 관한 실험이 필요하다. 그러나 풍속이 강할 때는 실험의 어려움이

Figure 10. AS-350B2 of ground water drop pattern and coverage level.

있으므로 산불현장에서 비디오 촬영을 하여 각 측풍의 풍속별로 진화용수의 편류량을 측정할 필요가 있다.

5. 결 론

본 연구는 산림청 진천산림항공관리소에서 3종류의 헬리콥터 Ka-32t, S-64E, AS-350B2 기종에서 실시한 공중물투하 실험결과 3개의 모델을 제시하여 현장에서 항공기를 운용하는 조종사가 공중진화의 효과성을 증대하기 위하여 수행하였으며 다음은 본 연구를 통하여 얻은 결론이다.

1. Ka-32t는 지상분포범위가 최대 40 m×110 m이나 진화효과가 있는 유효분포범위는 후면 12 m×35 m 지역이고 완전한 진화가 되는 분포범위는 9 m×9 m 지역으로 분석할 수 있다. 특징으로 후면부분에 물투하 범위가 크게 분포되어 있다. 따라서 조종사는 물 투하시 약간 빠르게 물투하를 하는 것이 직접진화에 효과적이다.

2. S-64E는 지상분포범위가 최대 30 m×210 m이나 진화효과가 있는 유효분포범위는 15 m×160 m 지역이고 완전한 진화가 되는 분포범위는 15 m×160 m 지역으로 분석할 수 있다. Ka-32t에 비해 3배의 물량으로 분포길이가 길고 폭이 10 m 좁으나 전체적인 범위에 일정하게 물이 분포되는 특징이 있다. 따라서 화두 및 확산지역 큰 산불지역에 효과적이다.

3. AS-350B2는 지상분포범위가 최대 20 m×42 m이나 진화효과가 있는 유효분포범위 또는 완전한 진화가 되는 분포범위는 6 m×6 m 지역으로 전후면부분의 물투하 범위는 비슷하며 소규모 산불 및 잔불, 비산화지역 등의 산불진화에 적합하다.

4. 산불현장은 통제가 가능한 부분과 기상환경과 같이 통제가 불가능한 부분이 있다. 그럼에도 불구하고 물투하

의 효과는 있으므로 물투하의 형태와 분포범위의 실험적 모델 제시는 산불공중진화를 증대하는데 유익하다. 물투하의 형태와 분포범위는 헬리콥터 기종의 기본적 능력이고 이를 활용하는 것은 조종사의 몫으로써 제시한 모델을 인지하여 공중진화의 효율성을 증대하기를 기대한다. 향후에 물탱크 시스템 및 구조, 연료의 종류 및 임목밀도, 폼 및 리타던트 투하 등에 따른 분포형태와 범위를 실험하고 측풍의 영향에 따른 진화용수의 편류량에 대한 실험으로 공중산불진화 모델을 제시하여야 할 것으로 사료된다. 아울러 1981년 3월 19일이 우리나라 최초로 산불공중진화를 한 날이므로 산림청은 공중진화 승무원들의 사기양양과 자부심을 향상하고 안전한 공중진화 의식을 함양하기 위하여 이 날을 ‘산불공중진화의 날’로 명하여 기관의 기념일로 정하는 방안을 이 논문을 통하여 제안한다.

참고문헌

1. J. H. Amorim, "Numerical Modeling of the Aerial Drop of Firefighting Agent by Fixed-wing Aircraft. Part 1: Model Development", Internal Journal of Wildland Fire, Vol. 20, p. 384 (2011).
2. http://en.wikipedia.org/wiki/Aerial_firefighting, p. 7 (2012).
3. http://en.wikipedia.org/wiki/Aerial_firefighting, p. 1 (2012).
4. http://en.wikipedia.org/wiki/Aerial_firefighting, pp. 2-3 (2012).
5. Forest Service, "Leased Helicopter Fact Sheet" (2012).
6. USDA Forest Service, "Fire Management Notes", Vol. 52, No. 2, p. 3 (1991).
7. T. H. Bae, "Fire Fighting Pilot Book", Forest Service Aviation office, p. 3 (2002).
8. http://en.wikipedia.org/wiki/CDF_Aviation_Management_Program, p. 2 (2012).
9. USDA Forest Service, "Fire Management Notes", Vol. 52, No. 2, p. 20 (1991).
10. USDA Forest Service, "Fire Management Notes", Vol. 58, No. 4, Fall pp. 6-7 (1998).
11. S. Y. Lee, "Wildfires Policy Change and Countermeasures through Wildfires Statistical Analysis Forest Service", p. 51 (2010).
12. USDA Forest Service, "Fire Management Notes", Vol. 58, No. 4, Fall p. 5 (1998).
13. R. G. Newstead and R. J. Lieskovsky, "Air Tanker and Fire Retardant Drop Patterns", Canadian Forestry Service, p. 1 (1985).
14. ANN Suter, "Drop Testing Airtankers", USDA Forest Service Technology & Development Program Missoula Montana, p. 7 (2000).
15. R. G. Newstead and R. J. Lieskovsky, "Air Tanker and Fire Retardant Drop Patterns", Canadian Forestry Service, p. 5 (1985).
16. J. H. Amorim, "Numerical Modeling of the Aerial Drop of Firefighting Agent by Fixed-wing Aircraft. Part 1: Model Development", Internal Journal of Wildland Fire, Vol. 20, p. 387 (2011).
17. Charles W. George and Fred A. Fuchs, "Improving the Performance of Fire Retardant Delivery Systems on Fixed-Wing Aircraft", p. 5 (1992).
18. R. G. Newstead and R. J. Lieskovsky, "Air Tanker and Fire Retardant Drop Patterns", Canadian Forestry Service, p. 18 (1985).
19. Charles W. Gorge, "Improving the Performance of Fire Retardant Delivery System on Fixed Wing Aircraft", pp. 2-8 (1992).
20. D. S. Lee, "Research of Flight Technique for Forest Fire Fighting & Aerial Spray by Helicopter", p. 23 (1993).