



# 전기저항 값을 이용한 산불지상연료 습도 추정에 관한 연구

## A Study on Estimation of Forest Fire Surface Fuel Moisture using Electrical Resistance

염찬호\* · 원명수\*\* · 이시영\*\*\* · 윤석희\*\*\*\* · 박흥석\*\*\*\*\*

Yeom, Chan-Ho\* , Won, Myoung-Soo\*\* , Lee, Si-Young\*\*\* , Yoon, Suk-Hee\*\*\*\* ,  
and Park, Houg-Sek\*\*\*\*\*

### Abstract

In this studies, we tested for investigating the relationship between a fuel moisture and an electrical resistance which was main factor for making forest fuel moisture sensor. This sensor was made for forecasting a forest fire danger rating which was concerned with forest fuel moisture contents. The standard fuel for using sensor was made by pine tree, stick shaped. (The length was 50 cm and The diameter was 1.5 cm). We measured the electrical resistance change according to fuel moisture weight change in the standard fuel. In results, we developed the conversion formula for estimating a fuel moisture in forest(electrical resistance= $2E$  (E : Exponent of 10) +  $13X$  (X : fuel moisture) - 9.705,  $R^2=0.947$ ) This formula would give a help for development of techniques about estimating a forest fire ignition, a propagation and severity and for the construction of base data for advanced forest fire forecasting.

**Key words** : Forest Fires, Fuel Moisture Contents, The Forecasting of Forest Fire, Surface Fuel, Electrical Resistance

### 요 지

본 연구에서는 산불의 발생과 확산 위험성의 지표인 산림연료의 수분함량과 산불위험도의 변화를 예측하기 위한 산림연료습도 측정센서를 제작하여 전기저항 값과의 관계구명을 위한 실험을 실시하였다. 산림연료습도 센서에서 사용된 표준연료의 재질은 기 선정된 소나무(길이 50 cm, 직경 1.5 cm)를 선정하여 산림연료습도 측정센서 함수율의 변화 추이에 따라 전기저항 값의 변화를 측정하였다. 측정결과를 통해 함수율을 전기저항을 통해 추정하는 환산식(전기저항= $2E$ (E: Exponent of 10) +  $13X$ (X: 함수율) - 9.705( $R^2=0.947$ ))을 도출하였다. 이를 통해, 산불의 발생, 확산과 강도를 예측할 수 있는 기술의 개발에 도움을 줄 것으로 예상되며, 산불위험 예보기술의 고도화를 위한 기초자료 제공이 될 것으로 기대된다.

**핵심용어** : 산불, 산림연료습도, 산불예측, 지상연료, 전기저항

### 1. 서 론

산림연료의 수분 함량은 산불의 발생 및 강도 그리고 확산

속도에 영향을 미치게 되는 중요한 인자로서 수분함량이 높은 경우 산불발생확률이 낮아지는 반면, 수분함량이 낮을 경우 산불 발생률이 높게 나타나는 것이 일반적인 특징이다.

\*정회원, 강원대학교 방재전문대학원 박사수료(E-mail: ypchanho@kangwon.ac.kr)

Member, Ph. D. Completion, Professional Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University

\*\*정회원, 국립산림과학원 기후변화생태연구과 임업연구관(E-mail: forestfire@korea.kr)

Member, Senior Researcher, Lab of Mountain Meteorology Research, Forest Ecology and Climate Change Division, National Institute of Forest Science

\*\*\*교신저자, 정회원, 강원대학교 방재전문대학원 교수(Tel: +82-33-570-6806, Fax: +82-33-570-6819, E-mail: lsy925@kangwon.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Ph. D., Professional Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University

\*\*\*\*국립산림과학원 기후변화생태연구과 석사연구원(E-mail: shyoon337@korea.kr)

Post Master, Lab of Mountain Meteorology Research, Forest Ecology and Climate Change Division, National Institute of Forest Science

\*\*\*\*\*정회원, 동국대학교 산림자원학과 박사수료(E-mail: parkhs08@nate.com)

Member, Ph. D. Completion, Dongguk University Graduate school of forestry

이러한 산림연료 내의 수분은 산불의 발생 뿐만이 아니라 확산, 강도에 영향을 미치는 중요한 요소이기도 하다(Kwon, 2009, 2014). 따라서, 미국과 캐나다에서는 산림 내 연료의 수분함량과 산불과의 관계성을 연구하고, 이를 예측하는 기술을 개발하려고 경주하였다(Anderson 1983, 1990).

산불에 대해 오랜 기간 연구 자료가 축적된 미국과 캐나다에서는 산림 내 연료를 다양하게 구분하고 그 수분의 변화와 기상과의 관계성을 분석 및 구명한 후 이를 근거로 기상 조건과 다양한 산림 내 연료의 산불 발화과 확산 위험성에 근거하여 산불 예보 시스템을 개발하였다(Stock et al., 1987; Van Wagner, 1975). 국내의 산불 예보시스템은 정확도가 개선되었으나, 기초가 되는 기상위험지수가 과거의 산불 발생과 기상조건과의 로지스틱 상관 분석으로 산출된 결과에 근거하였으므로 산림연료의 수분 함량 변화 특성을 제대로 반영하지 못하고 있다. 이러한 산림연료의 수분함량을 정확하게 예측하기 위해서는 산림 내 산림연료의 특성과 온도, 습도, 조도, 풍속, 강우량 등 기상조건과의 관계를 구명하는 것이 필요하다.

Lee et al. (2007, 2010)과 Kwon et al. (2011)의 연구결과에 의하면, 산림에 있어서 지표층을 구성하고 있는 산림연료는 낙엽, 낙지, 지피물 등이며, 이들의 수분함량에 따라서 산불 발생 시 확대 또는 소멸 될 것인가 결정되며, 이들 지표층을 구성하고 있는 산림연료 중 미세산림연료(fine forest fuel-직경 0.64 cm 이하)는 초기 산불의 확산을 추정하는데 상당히 중요하다.

특히, 해외 연료습도 측정 장비와의 비교를 통한 국내 수종 제작 가능성의 평가가 요구되며, 국내 최초로 우리나라 실정에 맞는 연료습도센서 제작을 통해 현장 활용 가능성 검토가 필요하다.

이를 위해 기존에 상용화된 휴대용 목재 습도 측정장치를 사용할 수도 있으나, 유전율 방식의 목재 습도 측정기는 판재에만 측정이 가능한 한계가 있으며, 전기저항식 측정장치는 파괴식검사이기 때문에 지속적인 수분변화에 대한 추적이 불가능하므로, 부득이하게 기존의 장치를 이용하지 않고, 새로이 센서를 설계하여 제작할 필요가 있다. 또한, 본 연구에서 개발된 장비의 최종목표인 산림 내 기상망의 설치를 통한 자동화된 측정과 결과 저장을 통한 장기적인 산림연료 습도의 모니터링을 위해, 새로운 센서를 개발해야 할 필요가 있다.

산림연료의 수분함량 변화에 대한 연구는 이를 통해 활용할 수 있는 산불 발생 예보 시스템과 산불 확산 예보 시스템을 구축하는 기본 자료로 제공되어야 하며, 이들에 대한 기본적인 Database를 구축할 필요성이 대두되고 있다.

따라서, 본 연구의 목적은 산불의 발생과 확산 위험성의 지표인 산림연료의 수분함량과 산불위험도의 변화를 예측하기 위한 산림연료습도 측정센서를 제작하여 현장 적용 시험을 함으로써 산불위험 예보기술의 고도화를 위한 기초 자료를 제공코자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 산림연료 내 수분량 측정 방법의 설정

#### 2.1.1 산림연료 측정 대상의 설정

Yeom et al. (2016)의 연구 결과를 참조하여, 소나무 재질의 직경 1.5 cm, 길이 50 cm의 환봉형태를 산림 내 연료로 가정하고 수분량을 측정하였다. 재질의 균일성을 확보하기 위해, 유사한 질량과 나이트를 가진 재료를 선별하여 실험에 이용하였다.

#### 2.1.2 산림연료 측정 방식의 설정

산림연료 중 본 연구의 대상이 되는 목재의 수분량을 측정하는 방법은 여러 가지가 있다. 실제 산림 내에 가지가 생재 상태로 지상에 도달하여 방치되면, 목재 중의 수분은 증발되어 감소된다. 이와 같은 원리는 산림 내에 있는 낙지, 전도목과 같은 사연료(Dead Fuel)에도 똑같이 적용된다. 이러한 사연료 내의 수분의 양은 산불의 초기 발화와 확산에 영향을 미치는 주요한 인자 중에 하나이다. 이러한 사연료 내의 수분의 증발 및 흡수의 원리를 알아보면, 사연료 내부의 작은 부분에서 먼저 감소되는 것은 세포내강이나 세포간극 등의 공극에 액상으로 존재하는 자유수이며, 자유수가 완전히 증발될 때까지 세포벽에 존재하는 결합수는 감소되지 않는다. 결합수의 감소는 자유수가 없어질 때 시작되며, 대기의 상태에 상응하는 평형함수율에 도달하면 수분증발이 끝난다. 이 과정에서 세포공극에 있는 자유수는 완전히 증발되고 결합수의 증발이 시작되려는 시점, 즉 세포공극에 자유수는 존재하지 않고 세포벽은 결합수로 포화되어 있을 때를 섬유포화상태(Fiber Saturated Condition, FSC)라 할 수 있고 이때의 함수율을 섬유포화점(Fiber Saturation Point, FSP)이라고 한다. 이러한 섬유포화점에 도달한 후에도 목재(사연료)는 주위의 수분(공기 중의 수분, 강설, 강우 등)과 반응하여, 흡수와 방출을 반복한다. 그러나, 주위의 수분 변화가 없을 때, 어느 시점에 이르러서는 일정한 수준에 도달하게 된다. 또한, 이렇게 평형상태에 도달한 것은 수분의 흡수량과 방출량이 같아진 것으로 이때의 함수율을 평형함수율(Equilibrium Moisture Content, EMC)이라고 한다.

이러한 목재의 함수율(Moisture Content, MC)은 목재의 함유수분의 무게에 대한 전건무게(목질무게)의 비율로 정의한다. Eq. (1)은 연료습도의 환산식이다.

$$FMC(\%) = \left( \frac{W_w - W_d}{W_d} \right) \times 100 \quad (1)$$

※ FMC는 연료습도(%),  $W_w$ 는 전중,  $W_d$ 은 후중

함수율의 측정은 목재에서 수분을 제거하는 전건법(Oven

Drying Method)에 의한 중량의 변화를 측정하는 전통적인 방식과 목재의 전기적 성질이 함수율에 따라 변화하는 성질에 근거하여 만든 전기식 함수율 측정기를 이용하여 측정할 수 있다. 전기식 함수율 측정기에는 전기저항식 함수율 측정기(Resistance Meter)와 유전율식 함수율 측정기(Dielectric Meter)가 있다. 이상과 같은 세가지 방법이 있으며, 이에 대해 외국에서 개발된 장비들이 있으나, 그 장비에 대한 검증과 국산 목재에 적용하기 위한 수종별 보정이 수반되어야 한다고 관련 연구에서는 지적하고 있다. Table 1은 이러한 세가지의 목재 내 함수율 측정 방법을 정리하였다.

본 연구에서는 산림 내의 특성과 야외의 특성 상 중량 측정에 의한 방식은 어렵다고 판단하였으며, 연구 예산과 역량을 감안하여, 전기저항에 의한 함수율 측정방식으로 산림 내 지상 연료의 수분을 추정하는 방식을 결정하였다.

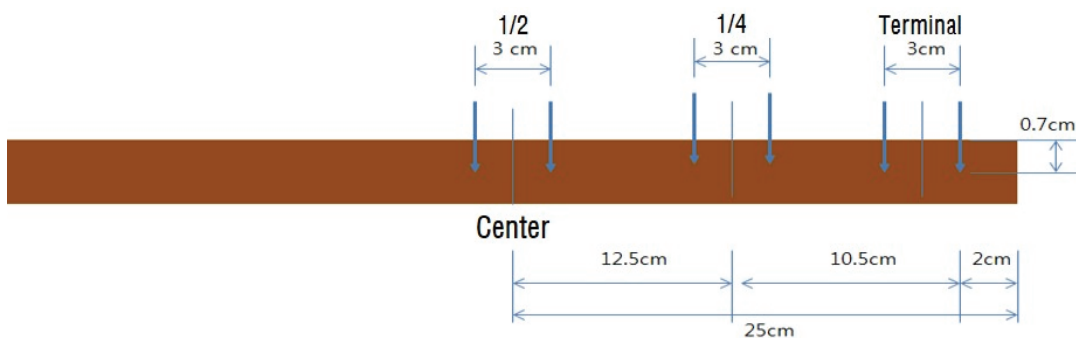
### 2.1.3 산림연료 수분량 측정 재료의 제작

산림연료 수분 측정센서의 측정 원리인 전기저항 측정방식을 적용하기 위해, 전기 저항과 함수율의 관계성의 정립과 전기저항 수치의 함수율의 추정을 위한 규칙을 구명하기 위한 실험을 위한 샘플을 제작하였다. Fig. 1은 이러한 샘플의 설계안이다.

전기 저항 측정을 위한 전극은 한쪽 끝, 중앙, 1/4 지점에 각각 설치하였는데, 끝단은 전극 설치의 공간을 감안하여, 끝에서 2 cm가 떨어진 지점에서부터 설치하였다. 설치 전극은 일반 강철로 제작된 못을 설치하였으며, 공기와 수분 중에 노출되는 환경으로 인해, 녹이 쉽게 슬 수 있을 것을 우려하여, 크롬으로 코팅된 못을 전극으로 사용하였다. 전극 자체의 저항은 무시할 수준으로 적게 나왔으며, 전극 끝부분에서 저항을 측정할 수 있도록 양끝단을 제외하고는 실리콘

**Table 1.** The Method of Measurement for Moisture Contents in Woods

The name of measurement	methods	strengths and weaknesses
The oven-dry method	<ul style="list-style-type: none"> <li>a drying using dry-oven until constant weight during 24-48hour</li> <li>a calculation moisture contents through a measurement of a sample weight after drying</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>The time requirement was at least one day over</li> <li>The automated measurement was made possible but, an incorrect results would be measured because of circumstances(rainfalls, winds and etc.)</li> </ul>
The electric moisture meter	<ul style="list-style-type: none"> <li>This meter was made using the relationship between electrical resistance and moisture contents in wood</li> <li>An effective measurements extent was 6-30% in moisture contents</li> <li>This device was convenient for application in fields</li> <li>need a revision (tree species, temperature, etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>The convenient application</li> <li>less accurate than oven-dry method</li> <li>need to measure a revision value according tree species and temperature</li> <li>a destructive inspection</li> </ul>
capacitance-type moisture meter	<ul style="list-style-type: none"> <li>The device type was a capacitance meter and a power-loss meter</li> <li>This device measured through a contact wood directly using an electrode which was shaped a sheet metal plate</li> <li>non-destructive inspection</li> <li>An effective measurements extent was under 30% in moisture contents</li> <li>This device was convenient for application in fields</li> <li>need a revision (tree species, temperature, etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>The convenient application</li> <li>need to measure a revision value according tree species and temperature</li> <li>a non-destructive inspection</li> </ul>



**Fig. 1.** The Specification of Forest Fuel Moisture Sensor Sample

절연제(NABAKEN 사의 실리콘 절연 코팅제 S-830)를 사용하여 코팅하였다.

## 2.2 산림연료 내 수분량 측정 절차

### 2.2.1 산림연료 수분량 측정 대상의 침적

본 연구의 주 목적이 함수율 변화를 외부환경의 영향을 최소화한 상태에서 자동적으로 측정할 수 있는 방법을 위해, 전기적 저항과 함수율과의 관계성을 구명하는 것이므로, 샘플로 사용되는 환봉이 충분히 수분을 흡수할 수 있도록 침적을 실시하였다. 침적에 사용된 물은 실험의 정밀도를 위해 증류수를 사용하였다. 증류수를 침적을 위한 용기에 넣고, 선정된 샘플을 용기에 넣어 침적하였다.

샘플의 침적은 완전 포화상태로 수분을 흡수하기 위해서는 일주일 이상 침적을 해야하나, 본 연구에서는 전기 저항식 측정 방식의 주 범위가 함수율 30% 이하이며, 산불발생이 우려되는 센서의 측정 범위를 감안하여, 3일 이상의 침적을 할 것을 산림과학원은 자문하였고, 그에 따라 총 96시간을 증류수 속에 샘플을 침적하였다. 샘플 침적 시 목재의 비중으로 인해 수면 위로 떠오르는 것을 방지하기 위해, 중량물을 올려 떠오르는 것을 방지하였다.

### 2.2.2 산림연료 수분량 측정 장비

본 연구에서 선정된 전기저항 측정 장치는 HIOKI 사의 초고압 절연/메가 메터를 사용하였다(모델명: SM-8220). 이 장비는 0.05-1010 MΩ까지 측정이 가능한 장비로서 본 연구의 대상인 소나무 환봉의 전기 측정 범위에 들어오는 장비이며, 측정 전압은 10V, 25V, 50V, 100V, 250V, 500V, 1,000V로 선택 가능한 장비이다. Fig. 2는 선정된 장비의 사진이다.

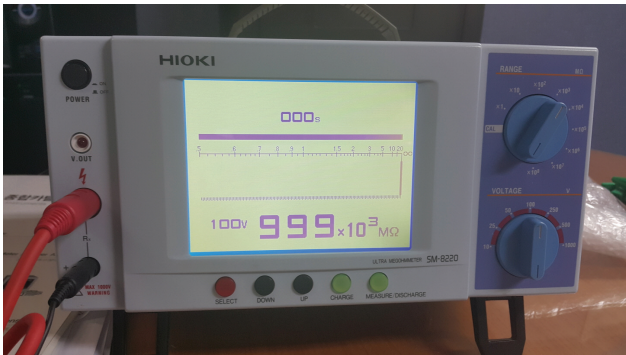


Fig. 2. The Electrical Resistance Meter (HIOKI, SM-8220)

### 2.2.3 산림연료 수분량 측정

전기저항의 측정을 위해, 우선 기준 전압을 10 V 선정하여 실험하였다. 그 이유는 향 후 산림 내 기상망의 AWS (Automatic Weather Station)에 설치 시, AWS가 태양광에 의해 작동되

로, 가용전력이 제한되는 환경을 감안하여, 최소 전압을 선정하여 실험하였다.

측정 시간은 함수율의 변화에 따라 측정해야 하나, 함수율의 일 혹은 시간당 변화에 대해 관련된 논문이 없으며, 실제 함수율의 변화 측정 시 함수율 감소 정도에 따라 측정할 것을 국립산림과학원에서는 자문하였다. 이에 의하면, 1시간에도 함수율의 변화가 있을 수 있으며, 일주일 동안 함수율 변화가 없을 수도 있다고 하였다. 따라서, 본 연구에서는 함수율의 변화 추이에 따라 불규칙적으로 측정을 실시하였다.

측정 시 우선 샘플의 중량을 측정하여, 실제 함수율을 측정하고, 그 후 중량을 측정하였다. 측정 실험은 샘플에 설치된 전극에 측정장치의 전극을 접촉하여 측정하였으며, 매 전극 당, 5초 간격으로 5회 반복 측정하였다.

중량 측정을 위해 에이컴 사의 전자 저울(모델명: JW-1)을 사용하였으며, 측정 범위는 0-2,000 g의 범위이며, 측정 최소단위는 0.1 g이었다.

Fig. 3은 전기저항을 측정하는 장면이다.

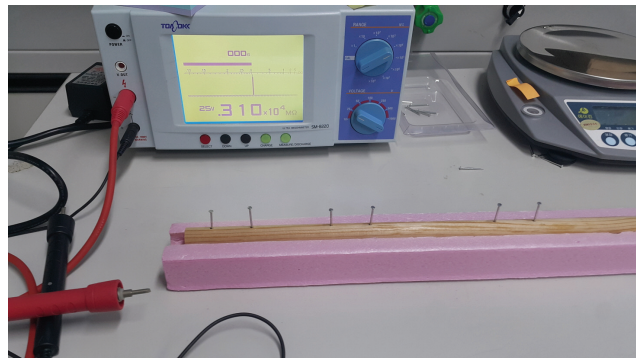


Fig. 3. The Measurement of an Electrical Resistance

## 3. 실험결과 및 검증

### 3.1 산림연료 내 함수율과 전기저항과의 관계

본 연구의 목적인 전기저항에 의한 함수율의 관계성을 구명하기 위해 실시된 전기저항과 함수율과의 분석 결과는 다음과 같이 분석되었다.

전기저항의 측정을 위한 입력 전압은 10 V로 하여 측정하였으며, 극값을 제외하고 분석을 실시하여 다음과 같은 관계식 Eq. (2)를 도출하였다.

$$Y=2E+12X-8.381(R^2=0.9188)$$

$$Y= \text{전기 저항}(M\Omega) \quad (2)$$

$$X= \text{함수율}(\%)$$

$$E= 10 \text{을 이용한 지수 값}$$

그러나, 실험 중 산림연료 수분측정 재료의 말단 부에 설치된 전극에서 편차가 큰 값이 측정되었고, 시료의 특성상 수분의 이동이 가장 빈번히 일어나는 지점으로 조사되었다. 또한, Fig. 1의 각 측정 개소(1/2 지점, 1/4지점, 말단 지점)의 표준편차값을 조사한 결과, 74.4에서 64.8로 감소하는 것으로 분석되었다. 따라서, 말단 지점의 값을 제외하고 상관관계를 다시 분석한 결과, 보다 상관관계가 높은 관계식 ( $R^2=0.947$ )이 도출되어, 최종적으로 다음과 같은 식을 산림연료의 수분량을 추정하기 위한, 전기 저항 환산식 Eq. (3)으로 제안하였다.

$$Y=2E+13X-9.705(R^2=0.947)$$

Y= 전기 저항(MΩ)

X= 함수율(%)

E= 10을 이용한 지수 값

(3)

다음 Fig. 4는 실제 실험 결과를 나타낸 그래프이다.

### 3.2 산림연료 내 함수율과 전기저항과의 관계의 검증

본 연구의 사전 연구사례라고 할 수 있는 미국 농림부 (U.S. Department of Agriculture, USDA)의 William L. James의 연구에 의하면, 전기 저항식 측정에 의한 함수율의 측정 범위는 7-25% 범위이며, 그 측정 범위는 0.7-700,000 MΩ인 것으로 조사되었다. Table 2는 산림연료 내 함수율과 전기저항과의 관계를 참조한 자료이다.

Fig 5는 이와 같은 미국의 유사자료와 본 연구에서 얻어진 함수율과 전기저항과의 환산 자료를 SPSS를 이용하여 비교 분석한 결과, 99% 수준에서 유효한 것으로 분석되었으며 (Pearson의 상관계수=990), 본 연구의 연구 결과가 선행 연구와 유사한 관계를 가지는 것으로 분석되어, 국내 소나무 연료 내의 함수율과 전기저항과의 관계가 유의한 관계를 가지고 있는 것으로 판단된다.

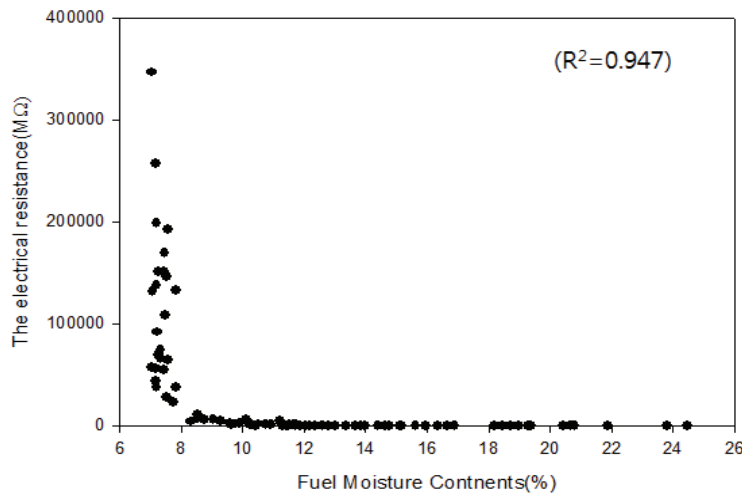


Fig. 4. The Relationship between Electrical Resistance and a Moisture Contents in Wood

Table 2. The Relationship Between Electrical Resistance and a Moisture Contents in Wood (U.S. Department of Agriculture, USDA, William L. James)

Fuel moisture contents in wood (%)	The electrical resistance (MΩ)	Fuel moisture contents in wood (%)	The electrical resistance (MΩ)
7	700,000.00	17	16.00
8	100,000.00	18	10.00
9	17,000.00	19	6.80
10	4,300.00	20	4.40
11	1,300.00	21	2.80
12	470.00	22	1.90
13	210.00	23	1.20
14	100.00	24	0.91
15	52.00	25	0.67
16	28.00	-	-

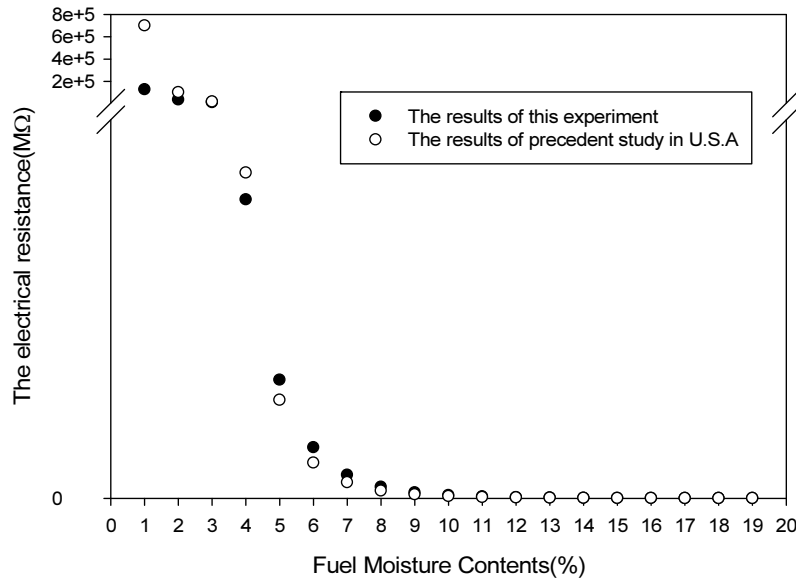


Fig. 5. The Comparison of Results Between this Study and Precedent Study

#### 4. 결 론

본 연구에서 산림 내 지상에 존재하는 낙지를 대처하기 위한 대처자로 제안된, 직경 1.5 cm, 길이 50 cm의 소나무 환봉은 산불의 확산과 산불의 강도를 강화시키는 데 중요한 역할을 한다. 국내외 선행 연구에서 이러한 산림연료 내의 수분이 산불의 발생, 강도와 확산에 중요한 역할을 하고 있으므로, 이에 대한 예측 및 측정을 통해, 현재 활용중인 산불예보시스템의 타당성 확보 측면에서 매우 중요하다고 할 수 있다.

이러한 산불예보시스템의 개선과 타당성 확보 측면에서 본 연구에서 중요한 연구대상으로 삼고 있는 산불 연료 습도는 매우 중요하며, 이에 대한 자동화된 측정 기술의 개발 또한 중요하다고 할 수 있다.

이러한, 산불 연료 내 수분량 측정을 위해, 본 연구에서는 현장실험과 실험실내 산림연료습도봉과 전기저항과의 관계를 매일 모니터링 하였으며, 그 결과로 산림연료습도봉의 전기 저항값을 통해 연료습도를 추정하는 환산식{전기저항 = 2E+13X(X:함수율)-9.705}을 개발하였다. 이것은 유사연구사례와 비교 분석을 한 미국의 휴대용 전기저항식 목재습도 측정장치의 개발을 위한 연구와 유사한 방식으로 연구를 진행하였으나, 선행연구에서 논한 바와 같이 수종에 따른 수분량 환산의 차이가 있어, 국내의 주요 수종인 소나무 목재의 수분상태를 예측할 수 없다는 제약이 있다.

소나무(Pinus Densiflora)의 산림 내에서의 가지 형태의 목재의 수분량의 변화에 대한 모니터링과 자동화한 센서의 개발을 위한 산림연료 내 수분량과 전기 저항의 관계식의 도출은 향후 산림연료 습도 센서 개발을 위해 큰 의미가 있다.

이를 통해, 산불의 확산과 강도를 예측할 수 있는 기술의 개발에 도움을 줄 것으로 예상되며, 실시간 연료습도 기록을 위한 자동화 측정장비로 개발할 수 있는 기술적 기반을 제공하였다고 사료되며, 금후에는 본 연구에서 제안된 산불 연료 수분 환산 알고리즘의 개선과 산불과의 관계성 분석 등 다양한 연구와 검토가 필요할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 국립산림과학원 2017년도 「산악기상 정보 서비스 및 현장실용화 기술개발」 위탁연구 및 2017년도 강원대학교 대학회계 학술연구조성비로 연구하였음(관리번호-620170153).

#### References

- Anderson, H. E. (1990) Moisture Diffusivity and Response Time in Fine Forest Fuels. *Can. J. For. Res.*, Vol. 20, No. 3, pp. 315-325.
- Anderson, H.E. (1983) *Predicting Wind-driven Wild Land Fire Size and Shape*. Research Paper INT-305, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Forest Service, US Dept. of Agriculture.
- Kwon, C.G. (2009) *A Study on the Forecast of Fuel Moisture Contents's Changes in the Pinus Densiflora Forest after Rainfall*. Master's thesis, Kangwon National University.
- Kwon, C.G. (2014) *A Study on Estimations of Forest Surface Fuel Moisture Content Change on Affecting Forest*

- Fires: Focus on the Gangwondo Yeongdong Area.* Ph.D. dissertation, Kangwon National University.
- Kwon, C.G., Lee, S.Y., Lee, H.P., and Cha, J.Y. (2011) Comparison of Surface Fuel Moisture after Rainfall in Pine Tree Forests during Spring/Autumn Season in Young Dong Region: Case Study on Surface Fuel and Soil Layer Moisture. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 11, No. 6, pp. 157-166.
- Lee, S.Y., Chae, H.M., Lee, M.W., Kwon, C.G., and Yeom, C.H. (2007) Prediction of Fuel Moisture Contents after Precipitation in the Pine Tree Stand during Forest Fire Period in the East Sea Region. *Proceedings of 2007 Conference*, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 464-467.
- Lee, S.Y., Chun, G.K., Lee, M.W., and Lee, H.P. (2010) Development of Prediction Model of Fuel Moisture Changes after Precipitation in the Spring for the Pine Forest Located the Yeongdong Region: Focused on the Down Wood Material Diameter. *J. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng.*, Vol. 24, No. 4, pp. 18-26.
- Stock, B.J., Lawson, B.D., Alexander, M.E., and Van Wanger, C.E. (1987) *Canadian Forest Fire Danger Rating System. User' Guide*. The Canadian Forest Service Fire Danger Group.
- Van Wagner, C.E. (1975) *Comparison of the Canadian and American Forest Fire Danger Rating Systems*. Petawawa Forest Experiment Station Chalk River. Ontario Information Report PS-X-59.
- Yeom, C.H., Lee, S.Y., Park, H.S., and Won, M.S. (2016) A Comparative Analysis of Fuel Moisture Contents Variation by *Pinus densiflora* and *Quercus variabilis* Stick for Estimating Moisture Contents in Forest Fire Surface Fuel in the Spring. *Crisisonomy*, Vol. 12, No. 12, pp. 59-67.

---

<b>Received</b>	February 12, 2018
<b>Revised</b>	February 19, 2018
<b>Accepted</b>	March 21, 2018

