

# 자외선 조사에 의한 인도네시아 주요 조림수종 목재의 재색변화<sup>1</sup>

박 세 휘<sup>2</sup> · 장 재 혁<sup>2</sup> · Yue Qi<sup>2</sup> · Wahyu Hidayat<sup>2</sup> · 황 원 중<sup>3</sup> · Fauzi Febrianto<sup>4</sup> · 김 남 훈<sup>2,†</sup>

## Color Change of Major Wood Species Planted in Indonesia by Ultraviolet Radiation<sup>1</sup>

Se-Hwi Park<sup>2</sup> · Jae-Hyuk Jang<sup>2</sup> · Yue Qi<sup>2</sup> · Wahyu Hidayat<sup>2</sup> ·  
Won-Joong Hwang<sup>3</sup> · Fauzi Febrianto<sup>4</sup> · Nam-Hun Kim<sup>2,†</sup>

### 요 약

본 연구에서는 인도네시아산 주요 조림 4수종 목재의 기후열화에 대한 내구성을 평가하기 위하여 재색변화를 조사하였다. 자외선, 축진내후시험 및 야외노출 등의 세 가지 조건에서 실험하였고 색차계를 이용하여 재색변화( $L^*a^*b^*$ )와 색변화량( $\Delta E^*ab$ )을 측정하였다. 그 결과, 공시수종 목재 모두 자외선 조사에 의해 목재의 색이 뚜렷하게 변화되었다. 자외선 노출조건에서 명도는 거의 변화가 없었고, 4수종 목재 모두 적색화 및 황색화가 진행되었다. 축진내후시험 조건에서 공시목재 모두 백색화가 진행되었고, 녹색화 및 청색화가 진행되었다. 야외폭로 조건에서 *Albizia*재와 *Gmelina*재는 백색도가 감소하였고, *Mangium*재와 *Mindi*재는 백색도가 오히려 상승하였으며, 4수종 모두 녹색화 및 청색화가 진행되었다. 색변화량은 자외선노출 조건에서 *Albizia*재와 *Gmelina*재가 컸고 *Mangium*재와 *Mindi*재는 다소 작았다. 또한, 목재의 색변화는 자외선과 더불어 수분의 존재상태에 크게 의존하는 것으로 생각되었다. 결론적으로, 자외선 조사는 목재의 색상을 뚜렷하게 하여 목재의 가치를 향상시킬 수 있는 하나의 방법으로 생각되었다.

### ABSTRACT

This study was performed to understand wood durability to climate deterioration of planted Indonesian wood species such as *Albizia*, *Gmelina*, *Mangium* and *Mindi*. Wood samples were exposed to indoor and outdoor condition.  $L^*a^*b^*$  and Color changes ( $\Delta E^*ab$ ) were determined by a spectrophotometer. As a result, color of all samples was changed more markedly by ultraviolet radiation. In indoor test with UV, brightness of wood specimens from four species was

<sup>1</sup> Date Received August 26, 2015, Date Accepted October 26, 2015

<sup>2</sup> 강원대학교 산림환경과학대학. College of Forest & Environmental Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Republic of Korea

<sup>3</sup> 국립산림과학원. Korea Forest Research Institute, Seoul 02455, Republic of Korea

<sup>4</sup> 보고르농업대학. Bogor Agricultural University, Bogor 16680, Indonesia

<sup>†</sup> 교신저자(Corresponding author): 김남훈(e-mail: kimnh@kangwon.ac.kr)

not changed and all samples were changed into more reddish and yellowish. In accelerated weathering test, all samples were bleached and changed into more greenish and blueish. In outdoor test, brightness of wood specimens decreased in Albizia and Gmelina and increased in Mangium and Mindi. All wood specimens in outdoor test were changed into more greenish and blueish. Albizia and Gmelina woods showed greater color change than those of Mangium and Mindi. Especially, color change of wood samples might be influenced greatly by moisture. In conclusion, wood color changed into more clearly by UV radiation. Therefore, exposing woods to UV radiation could be one of reasonable methods to improve wood quality on visual characteristic.

**Keywords :** Indonesian wood, color change, indoor test, outdoor test, ultraviolet, weatherometer

## 1. 서 론

목재는 태양광이나 인공적 자외선 같은 전자기적 에너지로부터 영향을 받는 광원 흡수체이다(Hon *et al.*, 1980). 목재 표면에서 중합체와 양자의 상호작용이 발생하며 이는 퇴색 및 열화로 정의된다(Hon, 1983; Hon and Feist, 1986). 열화는 목재의 색을 변화시켜 미관을 떨어뜨리며, 내구성을 감소시켜 목재의 장기간 사용을 어렵게 만든다. 따라서 목재의 재색변화 및 이들의 제어에 대한 연구는 제품의 미적 가치와 더불어 이들의 내구성을 반증할 수 있는 귀중한 정보를 제공할 수 있다. 예를 들어 Ishiguri *et al.* (2003)은 삼나무 심재부에 인위적으로 자외선을 조사하여 재색이 변화하는 정도를 비교한 결과, 목재의 명도는 감소한 반면 적색도와 황색도는 증가하는 것으로 보고하고 있다. Yoon *et al.* (2009)은 백합나무의 상이한 색상차를 감소시키기 위한 재색 제어 공정으로 oven열처리 방법을 적용한 결과 색상차의 감소율이 88.8%까지 높게 증가하였으며 부후에 의한 질량감소 또한 줄어드는 것으로 보고하고 있다.

우리나라는 목재자원과 탄소배출권 확보를 위해 인도네시아, 베트남, 칠레 등 세계 22개국에 약 30만 ha의 조림지를 조성하고 있고, 2050년까지 100만 ha의 해외조림을 계획하고 있다. 특히 인도네시아는 지리적 접근성, 해당국가의 정책적 지원 등에 힘입어 우리나라가 해외에 조림한 면적의 78%를 차지하는 최대 해외조림지가 되었다(Korea Forest Service 2014). 이들 조림지는 현재 5-10년을 경과하고 있어 곧 대량의 목재생산이 기대되고 있지만 조림지에서

생산된 목재의 유효활용을 위한 재질특성에 관한 정보가 많지 않아 이에 관한 연구가 절실히 필요한 실정이다. 기존의 열대목재의 특성에 관련된 연구들은 주로 천연림에서 생산된 목재를 사용했거나 생산지가 불분명한 재료를 이용하여 실험한 내용들이 대부분이다(Rachie, 1979; Quirk, 1983; Jeung *et al.*, 1994; Chong *et al.*, 2000; Ogata *et al.*, 2008). 최근 Kim *et al.* (2012; 2013; 2014)과 Jang *et al.* (2014)은 Albizia, Gmelina, Red jabon 등의 인도네시아산 주요 조림수종의 목재에 대한 해부 및 물리적 특성에 관한 기초자료를 제공하고 있어 고무적으로 생각되고 있다.

본 연구에서는 현재 국내기업이 인도네시아에 조림하여 대량의 목재생산이 기대되고 있는 Albizia, Gmelina, Mangium 및 Mindi 4수종 목재의 재질특성 중 천연내구성의 기초자료를 제공하기 위하여 자외선 노출, 촉진내후시험 및 야외노출 등 기후열화과정 조건에서 목재의 재색변화를 연구, 검토하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료

#### 2.1.1. 공시수종

본 연구는 대한민국 산림조합중앙회가 인도네시아 자바지역에서 조림하고 있는 4개 수종을 공시수종으로 사용하였으며, 이들에 관한 정보를 Table 1과 Fig. 1에 나타냈다.

**Table 1.** General information of specimens

| Scientific name                  | Common name | DBH     | Age | Air-dried density<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Location   |
|----------------------------------|-------------|---------|-----|---|------------|
| <i>Paraserianthes falcataria</i> | Albizia     | 16.5 cm | 6   | 0.27 ± 0.02                               | Purwakarta |
| <i>Gmelina arborea</i>           | Gmelina     | 16.1 cm | 7   | 0.52 ± 0.03                               | Bogor      |
| <i>Acacia mangium</i>            | Mangium     | 17.7 cm | 7   | 0.58 ± 0.02                               | Bogor      |
| <i>Melia azedarach</i>           | Mindi       | 15.4 cm | 6   | 0.49 ± 0.03                               | Purwakarta |



**Fig 1.** Wood samples.

## 2.2. 실험방법

각 수종별 시험편을 10 (R) × 50 (T) × 150 (L) mm<sup>3</sup> 치수로 제작하고, 이를 3개월간 기건상태로 건조시켜 기건밀도를 측정하였다. 기건건조 시킨 목재 시험편의 재색변화는 KS A 0063, 0067 (KS A 2006)에 의거하여 측정하였다. 재색변화실험의 실험조건과 기기는 Table 2와 Fig. 2에 나타냈다. 실험과정은 다음과 같다. 1) 공시목재 시료의 색을 측정 한 후 자외선분광기(UV spectrometer, Fig. 2-A), 축진내후시험기(Weatherometer, ATLAS, Fig. 2-B) 및 야외폭로(Fig. 2-C) 등 세 가지의 환경조건에 각 수종별 5개씩 총 60개의 시료를 노출시켰다. 2) 자

외선분광기와 축진내후시험기 실험은 측정기기 내에 각 20개의 목재시료를 340 nm 파장(자외선 영역)하에 8시간 노출 시킨 후 색을 측정하고, 색상의 안정을 위해 암실에 24시간 이상 보관하는 과정을 1 사이클로 설정하여 총 15회 반복하였다. 이때 자외선분광기에서는 목재 시험편에 자외선만을 조사하였으며, 축진내후시험기에서는 자외선 조사와 수분 분사를 동시에 수행하였다. 3) 야외폭로 실험은 서울 국립산림과학원 옥상에 45° 각도로 설정된 건조대에서 20개의 시험편을 남향으로 노출시켜 15주 동안 실시하였으며, 주 1회 각 목재시료의 색을 측정하였다.

실험에 사용된 시편의 색은 분광측색계(spectro-

**Table 2.** Different conditions for color change test

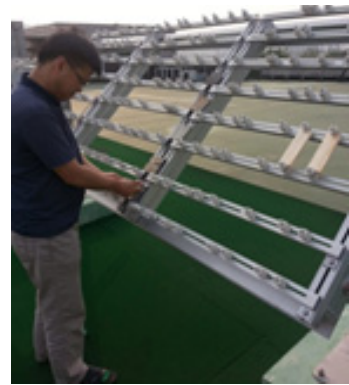
| Contents          | Indoor test              |                          | Outdoor test    |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|
| Equipment         | UV spectrometer          | Weatherometer            | Weathering rack |
| Condition         | UV                       | UV and water             | Outdoor         |
| Wavelength        | 340 nm                   | 340 nm                   | -               |
| Exposure time     | 8 hr per day             | 8 hr per day             | 24 hr per day   |
| Experiment period | 120 hr (8 hr × 15 times) | 120 hr (8 hr × 15 times) | 4 months        |



(A) UV spectrometer

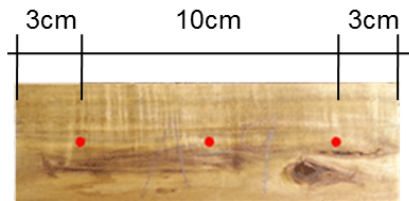


(B) Weatherometer



(C) Weathering rack

**Fig. 2.** Equipments for color change measurement.



**Fig. 3.** Measuring spots on sample.

photometer CM-2600d, Minolta)를 이용하여 측정하였다. Fig. 3과 같이 세 지점 색을 측정하여 평균값을 산출하였다.

분광측색계의 측정값은 국제조명위원회(Commission Internationale de l'Eclairage, CIE)가 1976년에 권장한 인지적 색상에 가까운 색공간 CIE  $L^*a^*b^*$ 로 표시된다.  $L^*$ 값은 명도를 나타내며 0~100까지 표시된다.  $a^*$ ,  $b^*$ 값은 일반적으로 채도를 나타내며 xy좌표계와 같은 평면 좌표계로써 가로축이  $a^*$ 값,

**Table 3.** Sensitive expression of color difference by N.B.S. Unit 6.0 (Han and Cho, 2005)

| $\Delta E^*ab$ | Sensitive expression of color difference |
|----------------|--|
| 0.0 ~ 0.5      | Trace                                    |
| 0.5 ~ 1.5      | Slight                                   |
| 1.5 ~ 3.0      | Noticeable                               |
| 3.0 ~ 6.0      | Appreciable                              |
| 6.0 ~ 12.0     | Much                                     |
| 12.0 ~ d       | Very much                                |

세로축은  $b^*$ 값을 갖는다. +a 방향은 적색(red), -a 방향은 녹색(green), +b 방향은 황색(yellow), -b 방향은 청색(cyan)을 나타낸다. 이후 재색 변화량을 판단하기 위해 아래의 식을 이용하여 색차( $\Delta E^*ab$ )를 산출하였으며, 색차는 N.B.S 단위(National Bureau Standard Unit) 6.0을 기준으로 구분하였다 (Table 3).

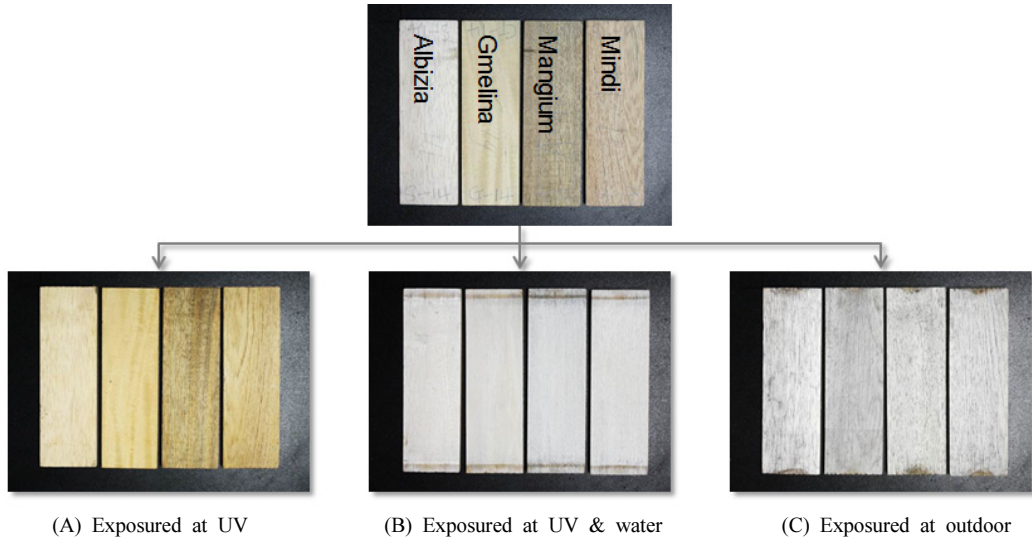


Fig. 4. Color changes of each specimen exposed to different conditions.

$$\Delta E^* ab = \sqrt{(L_o - L_a)^2 + (a_o - a_a)^2 + (b_o - b_a)^2}$$

이때  $L_o$ : 최초  $L^*$  값,  $L_a$ : 변화 후  $L^*$  값,  $a_o$ : 최초  $a^*$  값,  $a_a$ : 변화 후  $a^*$  값,  $b_o$ : 최초  $b^*$  값,  $b_a$ : 변화 후  $b^*$  값이다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 목재의 색( $L^*a^*b^*$ ) 변화

Fig. 4는 자외선분광기, 촉진내후시험기 및 야외폭로의 세 조건에 노출시킨 후 변색된 공시수종의 목재시료의 사진이다. 육안분석 결과 자외선분광기 내에서 자외선에만 노출된 조건에서는 4수종 모두 색상이 짙어지며 무늬가 뚜렷해지는 경향을 볼 수 있었다(Fig. 4-A). 촉진내후시험기 내에서 자외선과 수분에 노출된 시료(Fig. 4-B)와 야외에 폭로된 시료(Fig. 4-C)에서는 4수종 목재 모두 탈색되는 모습을 보여주었다.

Figs. 5, 6, 7은 각 시험조건에서 분광측색기로 측정된  $L^*a^*b^*$  색상의 변화를 나타낸 것이다.  $L^*a^*b^*$  색상은 각각 15개 측정위치로부터 얻어진 측정값을

평균하여 나타냈으며, 색상변화의 이해를 돕기 위해 노출시간 증가와 함께 변화되는 색의 경향을 표시하였다.

Fig. 5에 나타난 것과 같이, 자외선 노출조건에서 명도  $L^*$ 는 Albizia재와 Gmelina재에서 다소 감소하였으며, Mangium재는 거의 변화가 없었고 Mindi재는 다소 증가하는 경향이 있었다. 채도  $a^*$ ,  $b^*$ 는 4수종 목재 모두 다소 증가하여 적색화 및 황색화가 진행된 것을 알 수 있었다. 특히 Albizia재와 Gmelina재는 황색화가 다소 크게 진행되는 것으로 나타났다. Lee *et al.* (2008)은 실내보관 목질재료의 재색변화 결과에서 시간이 경과함에 따라  $L^*$ 값의 감소와  $a^*$ ,  $b^*$  값의 증가를 보고하였으며, 본 연구의 결과와 일치하였다.

Fig. 6은 촉진내후시험기를 이용하여 자외선과 수분 조건에 120시간 노출시킨 목재시료의 재색변화이다. 공시 수종 모두 명도  $L^*$ 가 증가하였으며, 채도  $a^*$ ,  $b^*$ 의 감소로 녹색화 및 청색화가 진행된 것을 알 수 있었다. 특히 Mangium재는 명도가 크게 증가하는 것으로 나타났다. Kang *et al.* (2002)과 Kim (2012)의 연구에서 각각 가문비나무와 소나무를 촉진내후시험기에 노출시켰을 때  $L^*$ 값의 감소와  $a^*$ ,  $b^*$

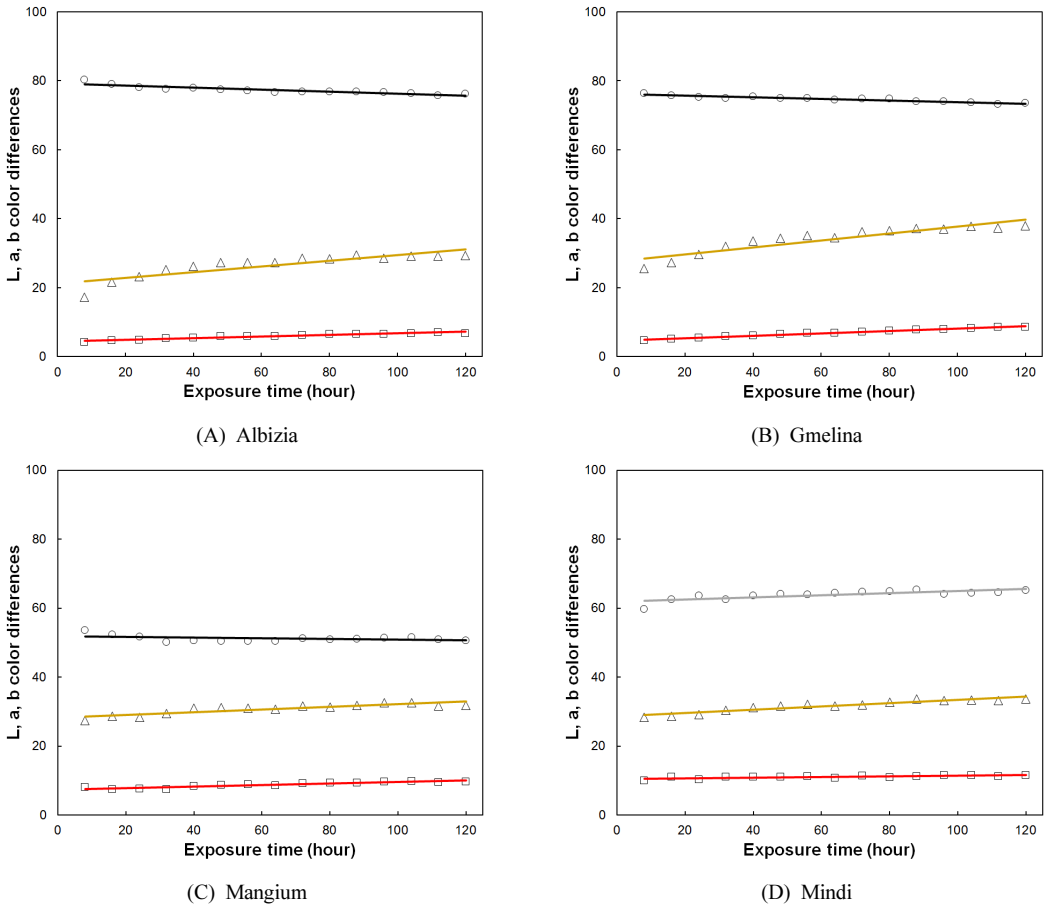


Fig. 5.  $L^*a^*b^*$  changes of each specimen exposed at UV condition for 120 hours ( $\circ$ :  $L^*$ ,  $\square$ :  $a^*$ ,  $\triangle$ :  $b^*$ ).

값의 증가 혹은 변화없음을 보고하여, 본 실험결과와 상이한 흥미로운 결과를 보여주었다. 이러한 차이는 수종, 목재의 구조, 추출성분 및 주성분의 구성 및 양 등의 차이에 기인할 것으로 생각되어 이후 보다 상세한 검토가 필요할 것으로 생각된다.

Fig. 7은 야외폭로 조건에서 4개월간 색상변화를 조사한 결과이다. 명도  $L^*$ 는 Albizia재와 Gmelina재에서 감소하였고, Mangium재와 Mindi재는 오히려 상승하는 결과를 보여주었으며, 4수종 목재 모두 채도  $a^*$ ,  $b^*$ 의 감소로 녹색화 및 청색화가 진행된 것을 알 수 있었다. Hon and Feist (1986)의 연구에서 목재를 야외에 노출시킬 경우 명도가 감소하는 것을

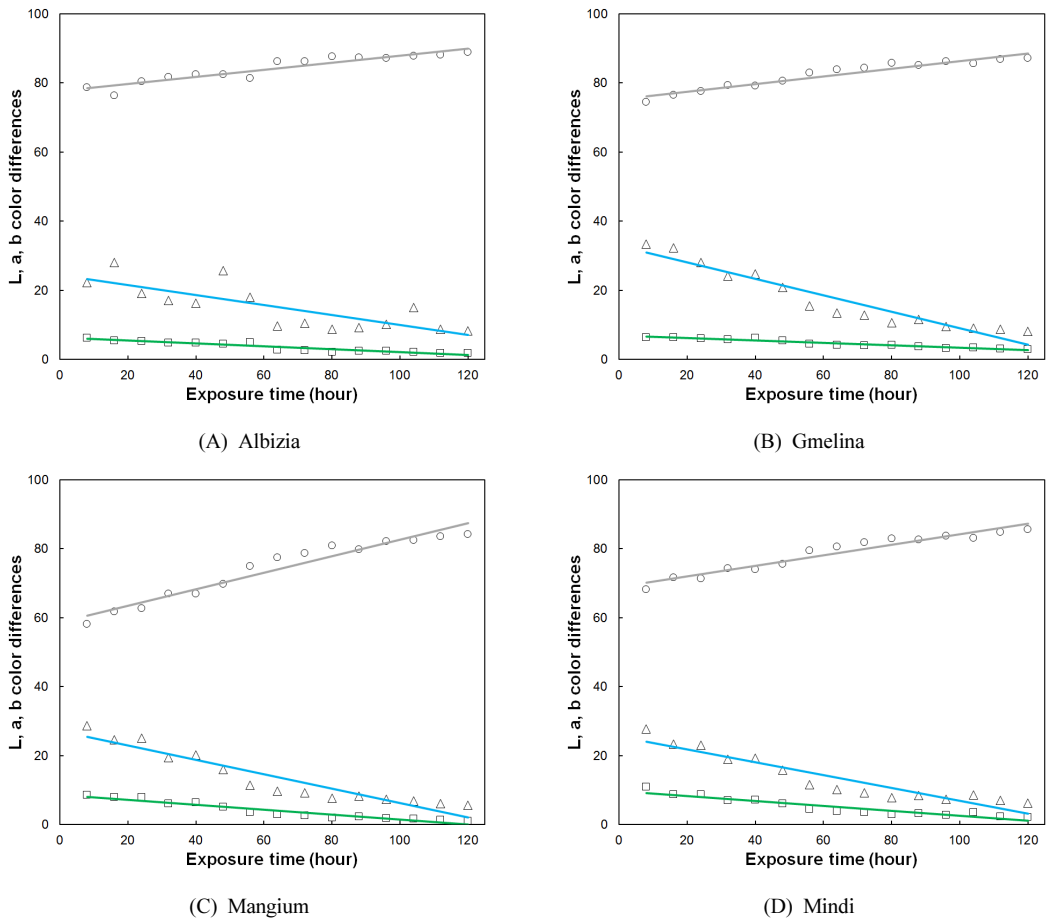
보고하여, 본 연구결과와 일부 일치하였다. 이러한 이유는 수종특성과 측정 지역의 기후 및 기상 차이에서 기인한 것으로 생각된다.

### 3.2. 색변화량( $\Delta E^*ab$ )

색변화를 보다 정밀하게 확인하기 위하여 NBS 기준에 의거한 공시목재의 각 실험조건에서의 색변화량을 Table 4에 나타냈다. 색변화량( $\Delta E^*ab$ )은 색상의 표시방법이며 해당지침으로 의류, 식품, 목재, 공장 등에서 기준으로 사용한다. 자외선노출 조건에서는 Albizia재와 Gmelina재의 색변화량이

**Table 4.** Color changes ( $\Delta E^*ab$ )

| Conditions | Albizia     | Gmelina     | Mangium       | Mindi       |
|------------|-------------|-------------|---------------|-------------|
| UV         | 13.08       | 13.35       | 5.56          | 7.87        |
|            | (Very much) | (Very much) | (Appreciable) | (Much)      |
| UV + water | 17.83       | 28.53       | 35.62         | 29.09       |
|            | (Very much) | (Very much) | (Very much)   | (Very much) |
| Outdoor    | 13.78       | 23.39       | 22.50         | 18.49       |
|            | (Very much) | (Very much) | (Very much)   | (Very much) |



**Fig. 6.**  $L^*a^*b^*$  changes of each specimen exposed at UV and water condition for 120 hours ( $\circ$ :  $L^*$ ,  $\square$ :  $a^*$ ,  $\triangle$ :  $b^*$ ).

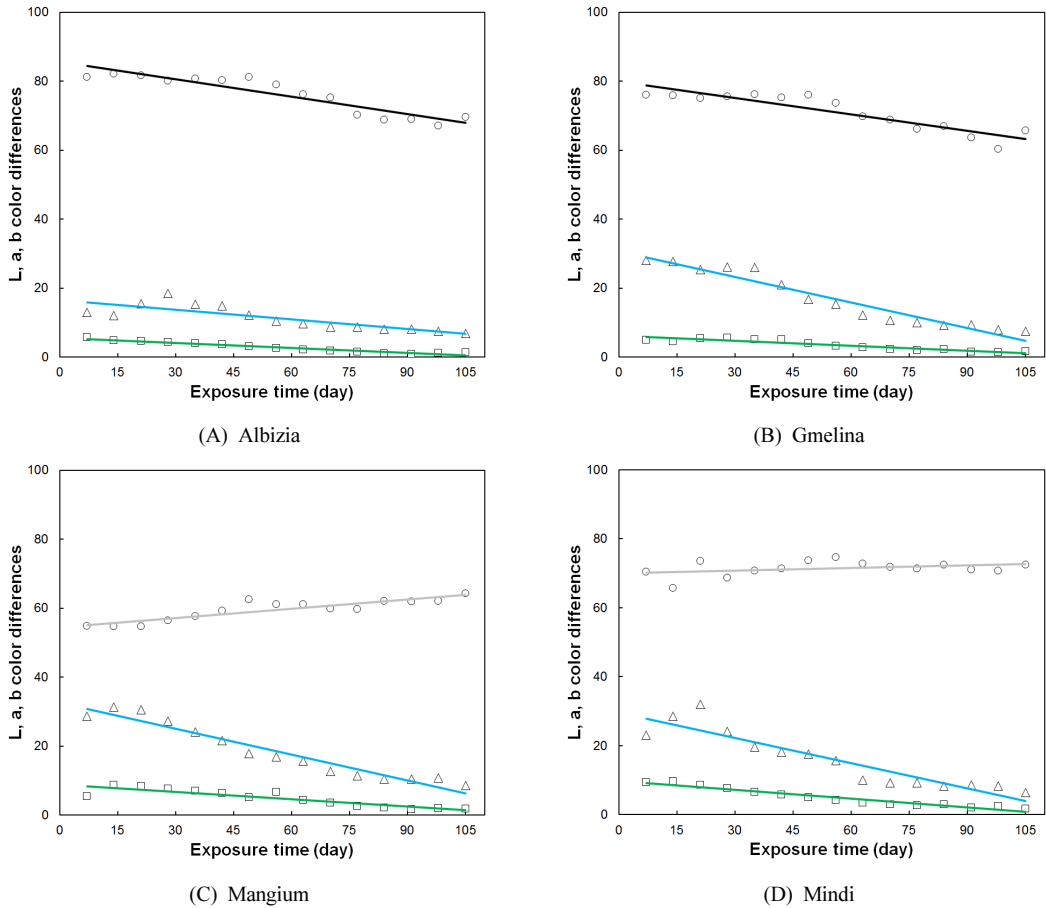


Fig. 7.  $L^*a^*b^*$  changes of each specimen exposed at outdoor condition for 105 days ( $\circ$ :  $L^*$ ,  $\square$ :  $a^*$ ,  $\triangle$ :  $b^*$ ).

켰고 Mangium재와 Mindi재는 변화량이 다소 작은 것으로 나타났다. 이에 반해 Gmelina, Mangium, Mindi 수종은 자외선과 수분이 가해지는 환경조건과 야외폭로 조건에서 색상변화량이 크게 상승하였다. 결과적으로 수종별 차이는 나타났지만 자외선 혹은 외부노출 각각의 조건보다는 자외선과 수분이 함께 가해지는 조건에서 색변화량이 크게 나타났다. Kang *et al.* (2002)과 Kim (2012)의 연구에 의하면 목재의 색은 수분을 동반하였을 때 변화가 커지는 것으로 보고되고 있어, 본 연구결과는 이전의 연구와 일치하는 것으로 생각되었다. 이 결과를 통해 목재에 대한 색상 변화에 있어 수분의 존재여부가 중

요인자로 판단되었다.

#### 4. 결론

인도네시아산 주요 조림 4수종 목재를 자외선, 자외선과 수분, 야외노출 등 세 가지 조건에서 조사한 재색변화 및 색변화량의 결과는 다음과 같다.

1. 공시수종 목재 모두 자외선 조사에 의해 목재의 색이 더욱 뚜렷하게 변화되었다. 즉, 자외선 노출조건에서 목재의 명도는 거의 변화가 없었으며, 채도는 공시수종 목재 모두 다소 증가하여



- 적색화 및 황색화가 진행된 것을 알 수 있었다.
2. 촉진내후시험 조건에서 공시목재 모두 명도가 증가하여 백색화가 진행되었으며, 채도의 감소로 녹색화 및 청색화가 진행된 것을 알 수 있었다. 특히 Mangium재는 명도가 크게 증가하였다.
  3. 야외폭로 조건에서 Albizia재와 Gmelina재는 명도가 감소하였고, Mangium재와 Mindi재는 오히려 상승하는 결과를 보여주었으며, 공시수종 목재 모두 채도의 감소로 녹색화 및 청색화가 진행된 것을 알 수 있었다.
  4. 자외선노출 조건에서 Albizia재와 Gmelina재의 색변화량이 컸고 Mangium재와 Mindi재는 변화량이 다소 작았다. 특히 색변화량은 수분의 존재에 의해 크게 상승하였다.

결론적으로 목재의 색변화는 자외선과 더불어 목재 내의 수분의 양에 크게 의존하며, 자외선 조사는 목재의 색상을 뚜렷하게 하여 목재의 시각적 특성에 변화를 줄 수 있는 하나의 방법으로 생각되었다.

## 사 사

이 논문은 2014년도 강원대학교 학술연구조성비로 연구하였음(관리번호-120141455).

## REFERENCES

- Chong, S.H., Chung, D.J., Park, B.S., Lee, D.S., Cho, S.T., Lee, D.H., Hong, I.P., Chun, S.K. 2000. Studies on the wood properties of lesser-known species grown in Indonesia (IV)-Wood properties of Tamiang, Bangelem and Kamasulan. *Journal of Korean Furniture Science* 11(1): 13-23.
- Han, E.J. and Cho, J.Y. 2005. Color analysis of printed silk with digital textile printing method. *Journal of Korean Design Society* 11(2): 126-134.
- Hon, D.N.-S., Ifju, G., Feist, W.C. 1980. Characteristics of free radicals in wood. *Wood Fiber* 12: 121-130.
- Hon, D.N.-S. 1983. Weathering reactions and protection of wood surfaces. *Journal of Applied Polymer Science* 37(1): 845-864.
- Hon, D.N.-S. and Feist, W.C. 1986. Weathering characteristics of hardwood surfaces. *Wood Science and Technology* 20: 169-183.
- Ishiguri, F., Maruyama, S., Takahashi, K., Abe, Z., Yokota, S., Andoh, M., Yoshizawa, N. 2003. Extractives relating to heartwood color changes in sugi by a by a combination of smoke-heating and UV radiation exposure. *Journal of Wood Science* 49: 135-139.
- Jang, S.R., Jang, J.H., Kim, J.H., Febrianto, F., Kim, N.H. 2014. Anatomical characteristics of major plantation species growing in Indonesia II. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 42(6): 635-645.
- Jeung, S.H., Shim, G., Park, J.Y., Jo, S.T., Kong, Y.T., Yoon, S.N., No, J.K., Jeung, D.J., Seo, J.S., Lee, D.H. 1994. Properties and purpose of Korean major wood. *Korea Forest Research Institute*. Seoul. pp. 270.
- Kang, H.Y., Park, S.J., Kim, Y.S. 2002. Moisture sorption and ultrasonic velocity of artificially weathered Sitka Spruce. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 30(1): 18-24.
- Kim, G.C. 2012. Study on the Color Changing of Pine by Accelerated Weathering Test. *Journal of the Korea Furniture Society* 23(2): 152-162.
- Kim, J.H., Jang, J.H., Kwon, S.M., Febrianto, F., Kim, N.H. 2012. Anatomical properties of major planted and promising species growing in Indonesia. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 40(4): 244-256.
- Kim, J.H., Jang, J.H., Ryu, J.Y., Hwang, W.J., Febrianto, F., Kim, N.H. 2013. Comparison of Anatomical Characteristics of White Jabon and

- Red Jabon Grown in Indonesia. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 41(4): 327-336.
- Kim, J.H., Jang, J.H., Ryu, J.Y., Febrianto, F., Hwang, W.J., Kim, N.H. 2014. Physical and mechanical properties of major plantation and promising tree species grown in Indonesia ( I ). *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 42(4): 467-476.
- Korea Agency for Technology and Standard. 2006. KS A 0063 / Methods for specification of colour differences for opaque materials. Gwacheon, Korea.
- Korea Agency for Technology and Standard. 2006. KS A 0067 / Colour specification-CIE LAB and CIE LUV colour spaces. Gwacheon, Korea.
- Korea Forest Service. 2014. 326th Congress (temporary) Korea Forest Service major business status report. pp. 180.
- Lee, G.H., Cha, M.Y., Han, S.H., Sim, H.S., Bae, Y.Y., Kim, Y.S. 2008. Color changes properties of woody material. 2013 Proceedings of the Korean Society of Wood Science and Technology annual meeting. pp. 337-338.
- Ogata, K., Fujii, T., Abe, H., Baas, P. 2008. Identification of the Timbers of Southeast Asia and the Western Pacific. KAISEISHA PRESS. Shinga. pp. 400.
- Quirk, T. 1983. Data for a computer-assisted wood identification system. I. Commercial legumes of tropical Asia and Australia. *IAWA Bulletin* n.s. (4): 118-130.
- Rachie, K.O. 1979. Tropical legumes: Resources for the future. National Academy Press, Washington, DC.
- Yoon, K.J., Eom, C.D., Park, J.H., Kim, H.Y., Choi, I.G., Lee, J.J., Yeo, H.M. 2008. Color control and durability improvement of Yellow Poplar (*Liriodendron tulipifera*) by heat treatments. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 37(6): 487-496.