

냉장고의 LED 부착이 양배추의 선도 연장에 미치는 영향

박신영 · 장민선 · 최정희 · 김병삼[†] · 이해란¹ · 함경희¹
한국식품연구원, ¹(주)삼성전자

Effect of a Refrigerator with LED on Functional Composition Changes and Freshness Prolongation of Cabbage

Shin-Young Park, Min-Sun Chang, Jung-Hee Choi, Byeong-Sam Kim[†],
Hye-Ran Lee¹ and Kyung-Hee Ham¹

Korea Food Research Institute, Songnam 463-746, Korea

¹Samsung Electronics Co., Suwon 443-742, Korea

Abstract

A LED (light emitting diode) was attached inside the cold (4°C) compartment of a home refrigerator to investigate a possible effect on freshness prolongation of cabbage over 10 d of storage. The LED increased chlorophyll synthesis, inhibited vitamin C degradation, and increased the content of phenolics, compared to values measured in cabbages stored in an identical refrigerator without the LED. In the refrigerator with the LED, the color of cabbage leaves remained green for a period fourfold longer than that seen in a conventional refrigerator. Vitamin C content was twice that of a conventionally stored cabbage, and phenolic content was 14% higher in the LED-illuminated vegetables.

Key words : cabbage, LED (light emitting diode), home refrigerator

서 론

식물체의 성장 및 형태 형성에 미치는 광 환경에 대한 연구 중에서도 최근 들어 발열량이 매우 적으며 식물체의 성장 및 형태형성에 영향을 미치는 파장역만을 갖고 있으며 수명이 반영구적인 발광다이오드(Light-Emitting Diode, LED)를 이용한 폐쇄계내 특히, 환경제어형 식물 공장에서의 이용성이 높은 광 조사 시스템에 대한 관심이 고조되고 있다(1,2). 광은 광합성뿐만 아니라 광 형태 형성과 광 파괴라는 광 생물 물리학적인 현상을 통해 식물 성장을 조절하는 절대적인 환경 인자이다. 겨울철 하우스 재배 시에 시설 내의 작물 생장은 피복재를 통해 투과되는 광량, 광질, 및 광 조사기간 등에 의해 지배를 받기 때문에(3) 광이 식물체의 생육에 중요한 요인으로 작용한다.

식물의 성장과 발육은 외부 환경과 내생의 발육 프로그램과의 상호 작용에 의해서 조절되는데 광은 광합성에 영향

을 미치고 계절 또는 주간 시간을 감지하여 발육의 형태를 변화시키는 신호로서 중요한 역할을 한다(4). 또한 광이 식물체의 성장 형태 형성 및 색소 형성 등에 대해 에너지원으로서 뿐만 아니라 조절 인자로서 작용하고 있다(5). 이때에 광을 흡수하는 엽록소는 660 nm의 적색 광보다는 450 nm의 청색광을 더 많이 흡수하며 청색광은 형태적으로 식물체의 건전한 성장에 필연적으로 요구되나 적색광은 식물체의 광합성에 관여 하는 것으로 알려져 있다(6). 뿐만 아니라 광이 광화학적 반응을 일으켜서 광 형태 형성을 지배하는 경우에는 반드시 광 수용체에 의해서 조절되는데 광수용체인 파이토크롬은 적색광과 근적색 광에 대해서 식물체의 발육을 증대하는 것으로 알려져 있다(7). 또한 저광도에서 생육중인 식물체에 청색광 또는 적색광의 처리는 식물체의 형태 형성을 극적으로 변화시킬 수 있다고 하였다(8).

특히 발광다이오드를 이용한 식물체의 개화, 화아형성 원예식물의 성장에 관한 보고(9,10)는 계속되고 있으나 현재 식물체내 영양성분에 대한 생리학적 연구는 찾기 어려운

[†]Corresponding author. E-mail : bskim@kfri.re.kr,
Phone : 82-31-780-9142, Fax : 82-31-780-9144

상태이다.

따라서 본 연구는 LED를 가정용 냉장고에 부착하여 채소류 신선도 연장에 미치는 효과를 분석함으로써 냉장고의 채소류 보관 성능을 개선하는데 기초 자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에서는 제주도에서 2-3월중에 수확된 양배추를 (*Brassica oleracea* L.) 시료로 사용하였으며, 당일 새벽에 수확한 것을 운송하여 실험에 사용하였다.

전처리 및 저장

운송 후 선별된 양배추는 이등분 한 후 4°C로 설정된 가정용냉장고(SR-T 686TWN, 삼성전자주식회사)에 저장하였으며, 2개의 그룹으로 나누어 제 1그룹은 LED(630 nm-적색, 서울반도체)가 설치된 채소칸에, 제 2 그룹은 LED가 설치되지 않은 채소칸에(Control) 10일간 저장 후 물리, 화학적 성분 변화를 분석하였다. 이 때 시료는 무포장 상태로 저장하거나, 폴리에틸렌 wrap으로 포장한 후 저장하였으며, 각 실험은 2반복을 실시하였다. 무포장 실험구의 경우 LED 조사의 효과를 위치별로 검증하기 위해 절단면으로부터 2 cm까지는 상층부(Top), 6-8 cm까지의 2 cm는 하층부(Low)로 구별하여 분석에 사용하였다. 포장 실험의 경우 절단면으로부터 2 cm까지의 상층부의 시료를 대상으로 품질 분석을 실시하였다.

저장중 품질 변화 측정

중량 감모율은 10일 동안의 저장 중의 중량 차이를 초기 중량에 대한 백분율로 나타내었다. 양배추의 색도는 표준 백판(L=97.75, a=0.49, b=1.96)으로 보정된 colorimeter (CR-200, Minolta, Japan)를 사용하여 측정 하여 Hunter L, a, b 값으로 나타내었다. 양배추는 절단면의 중심부를 측정하였으며, 각각 5개의 시료를 반복 측정하였다.

엽록소의 추출 및 분석은 William과 Paul의 방법(11)을 사용하였다. 시료 2 g을 80% 아세톤을 첨가하여 homogenizer(LOO4638, IKA, Germany)로 마쇄한 후, 시료의 색소성분이 없어질 때까지 80% 아세톤을 첨가해 흡입 여과하여 색소를 추출 하였다. 25 mL로 정량한 추출액을 여과한 후 직접 UV-VIS spectrophotometer (V-530, Jasco, Japan)를 이용하여 645 nm와 663 nm에서의 흡광도를 측정하여 아래와 같은 계산방법으로 계산 하였다.

$$\begin{aligned} \text{엽록소 a (mg/L)} &= 12.72 \times \text{OD}_{663} - 2.58 \times \text{OD}_{645} \\ \text{엽록소 b (mg/L)} &= 22.88 \times \text{OD}_{645} - 5.50 \times \text{OD}_{663} \\ \text{총 엽록소 (mg/L)} &= 7.22 \times \text{OD}_{663} + 20.3 \times \text{OD}_{645} \end{aligned}$$

페놀성분 함량은 AOAC의 방법(12)을 변형하여 측정하였다. 즉, 생 시료 20 g에 80% 메탄올 100 mL를 가하여 homogenizer로 마쇄한 후, 상온에서 1시간 동안 추출하여 여과지(Whatman No. 2)로 여과하고 200 mL로 정용하였다. 이 용액 9 mL에 0.2 N Folin-Ciocalteu 용액을 1 mL를 첨가하여 상온에서 3분간 반응 시킨 후 1 mL 40% NaCO₃ (w/v)를 넣어 상온에서 1시간 동안 방치 하였다. UV-VIS spectrophotometer를 이용하여 750 nm에서 흡광도를 측정 하였다. 표준물질로서 garlic acid (Sigma, USA)을 사용하였다.

비타민 C 함량은 Hydrazine 비색법(2,6-dichlorophenol indophenol method)으로 측정하였다. 시료 5 g을 취하여 homogenizer로 마쇄한 후, 추출하여 여과지(Whatman No. 2)로 여과한 후 여액을 100 mL로 정용한 후 일정 배수로 희석하여 비색법으로 비타민 C 함량을 측정하였다

결과 및 고찰

중량감모율

양배추를 가정용 냉장고에 보관한 경우 중량 감모율은 저장 10일 후에 조사한 결과 포장하지 않은 경우 약 3.08-3.20%의 감모가 발생하였다. 중량 감모에 대한 LED 부착 효과는 찾아보기 어려웠으며, 랩포장하여 보관한 경우는 1% 이내의 감모가 발생하였는데 이는 무포장구에 비해 약 30% 정도로 낮게 나타났다. Lee(13)는 PE (polyethylene)-ceramic 포장하여 양배추를 0°C 와 5°C에서 저장한 결과 각각 생체 중 감소가 처음에 비하여 14일째 각각 32% 그리고 33% 감소한다고 하였으나 본 LED의 실험 결과 감모율이 상대적으로 적은 것을 알 수 있었다. 이는 가정용 냉장고의 경우 상대적으로 송풍량이 적고 균일한 온도제어와 함께 채소 용기에 보관할 경우 냉기가 직접 채소와 접촉되지 않기 때문에 감모율이 낮게 나타난 것으로 여겨졌다. 보통 5% 이상의 중량 감모가 일어나면 외관적 상품성에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있으나 양배추의 경우 조직이 단단하여 1-3% 범위의 감모는 외관적 품질에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 여겨졌다. 따라서 본 연구에서는 LED 자체가 저장 중 양배추의 감모에 미치는 특별한 영향은 관찰되지 않았으며 오히려 포장이 감모율에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다 (Table 1).

Table 1. Changes in weight loss of cabbage during storage at 4°C

Treatment	Storage period (day)	
	10	
Wrapping	LED	0.84 ± 0.10
	Control	0.89 ± 0.10
No wrapping	LED	3.20 ± 0.55
	Control	3.08 ± 0.18

표면색택

저장 후 양배추의 외관을 관찰해 본 결과 수확 직후에는 절단면이 흰색을 띄고 있었으나 (Fig. 1) 저장 10일 후에는 LED가 부착된 냉장고에 저장된 양배추의 절단면에 녹색이 발현되는 것이 확인되었다(Fig. 2-A). 그러나 절단면으로부터 2 cm 이상의 내부에서는 이러한 현상이 관찰되지 않았는데 이는 LED가 도달하는 영역에서 엽록소가 주로 형성되어 있기 때문으로 유추할 수 있었다(Fig. 2-B). Choi 등(14)은 들깨의 경우 적색 LED 광의 간헐적 처리에 의한 전체적인 성장 촉진의 원인은 개화가 지연되어 생식 생장이 억제되고 영양생장이 촉진되었으며 노화가 지연되어 광합성이 촉진되었기 때문이라고 추측했다. 양배추의 표면 색택은 절단부의 중심부위를 관찰하였는데, L 값은 LED가 부착된 냉장고에 저장된 경우 상대적으로 낮은 경향을 보였으며 일반적으로 L 값이 낮으면 채도가 낮은 것을 의미하는데 본 실험에서는 외관상 큰 차이는 느껴지지 않았다. LED 조사에 의한 L 값의 하락은 포장 유무에 관계없이 동일하게 발생하였다(Fig. 3). 일반 냉장고에 저장된 양배추에 비해 LED가 부착된 냉장고에 저장한 양배추의 Hunter a 값은

약 3배 낮은 결과를 나타내었으며 Hunter b 값 또한 상대적으로 낮은 값을 나타내었다(Fig. 3). 이러한 현상은 LED 조사에 따른 엽록소 생성으로 녹색도가 증가하였기 때문으로 사료되었다.

클로로필 함량

저장 중 엽록소 함량은 초기의 0.42 mg/100 g F.W.에서 0.28 mg/100 g F.W.으로 감소하였으며, LED 조사 시 오히려 0.42 mg/100g F.W.에서 1.19 mg/100 g F.W. 으로 증가하였다. 결과적으로 상층부의 엽록소 함량은 LED가 부착된 냉장고에 저장된 양배추의 엽록소 함량은 절단면으로부터 2 cm 범위의 상층부의 경우 무 처리구에 비하여 약 4배 높은 값을 나타내었고 하층부의 경우는 6배 정도 높게 나타났다. 엽록소의 함량은 적색과 청색 광중단 처리에서는 약 33 mg% 정도로서 통계적인 유의차가 없었으나 원적색 광중단 처리와 야간의 완전 암실 조건에서는 절반 정도로 아주 낮았다(14). Beleggh과 Biddulph(15)는 일반 작물에서 광질이 광합성에 미치는 영향을 조사한 결과 적색광에서 광합성률이 가장 높다고 하였다. 포장구의 경우도 무 처리구에

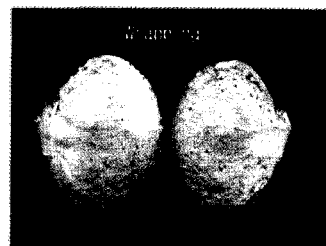
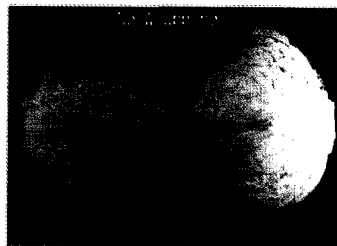


Fig. 1. Inner color of cabbage after half cutting.

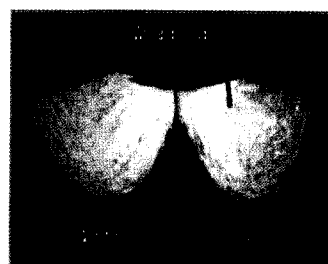
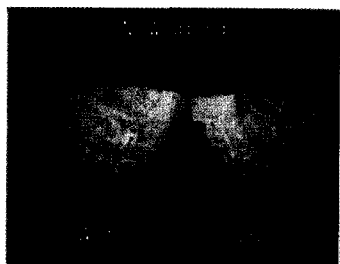
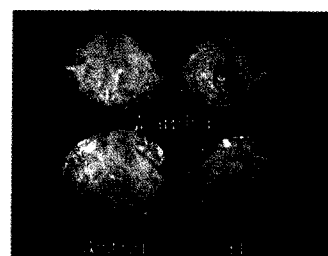
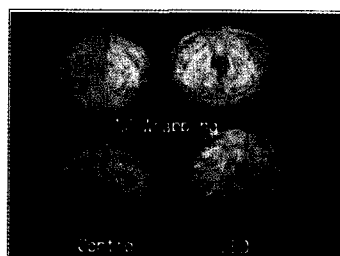


Fig. 2. Cabbage after 10 days storage at 4°C.

2-A(upper picture) : Color changes of cutting plane.
 2-B(lower picture) : Range of developed green color (■ : 2cm).

비하여 클로로필 함량이 LED 처리구가 약 8배 정도 높게 나타났다(Fig. 4). 하층부에 비해 상층부의 엽록소 증가 폭이 크게 나타난 것은 외관에서 관찰된 결과(Fig. 2-A, B)와 일치하였다.

비타민 C 및 페놀함량

LED 조사가 양배추의 비타민 C 함량에 미치는 영향을 조사한 결과 LED 조사를 직접 받는 절단부의 비타민 C 함량이 일반 냉장고의 양배추에 비해 높은 경향을 보였는데

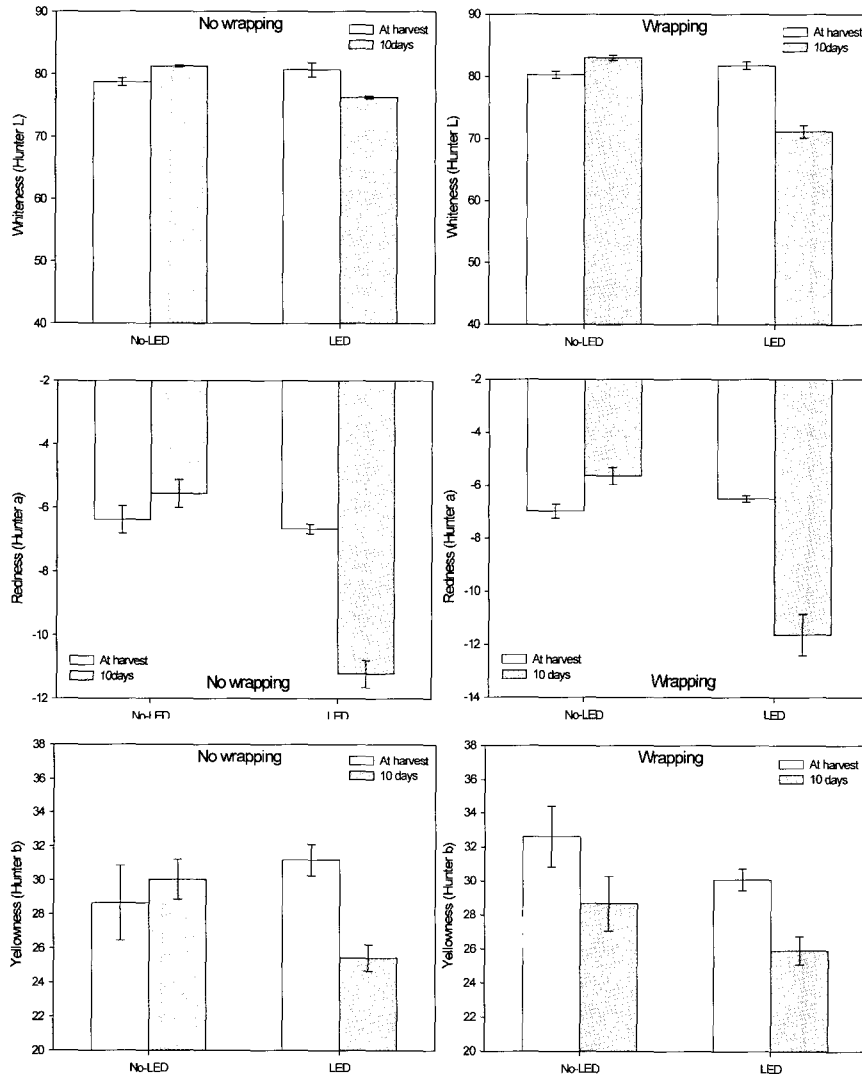


Fig. 3. Changes in Hunter color of cabbage during storage at 4°C.

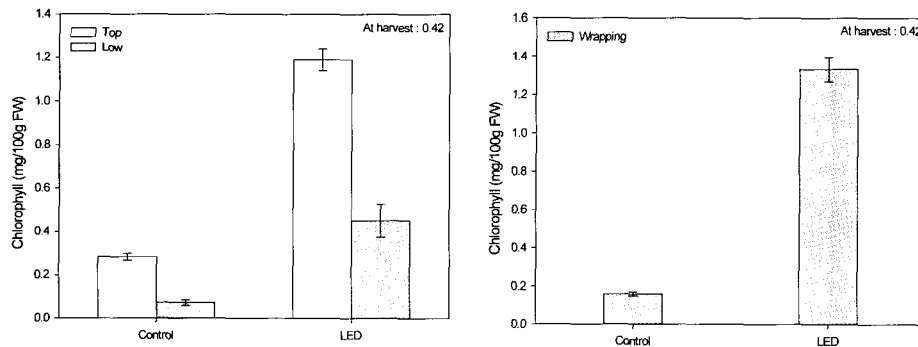


Fig. 4. Changes in chlorophyll of cabbage during storage at 4°C.

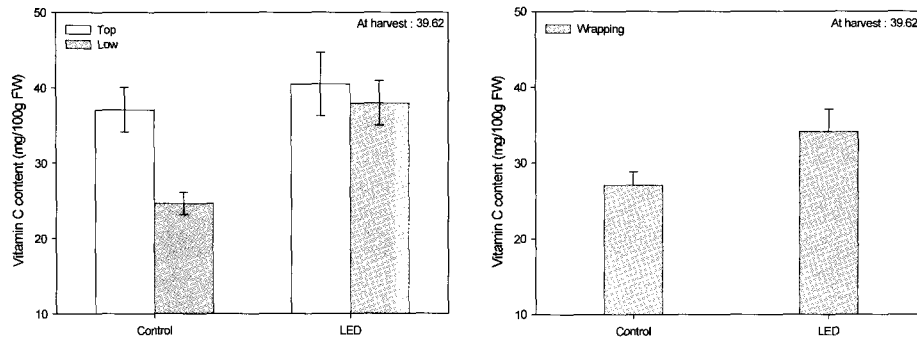


Fig. 5. Changes in vitamin C content of cabbage during storage at 4°C.

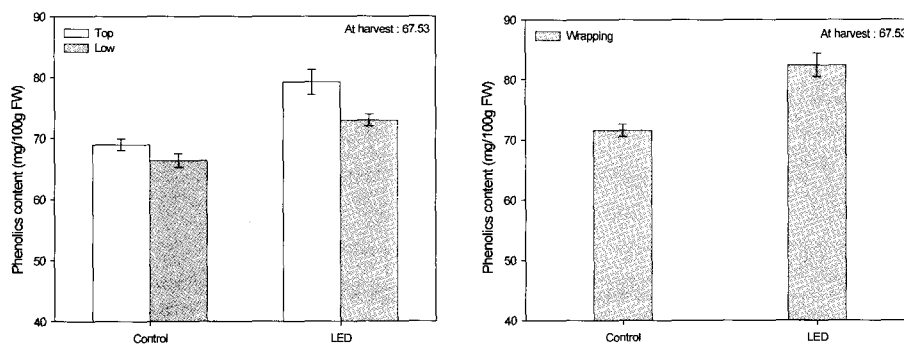


Fig. 6. Changes in phenolics content of cabbage during storage at 4°C.

약 10%에서 크게는 약 2배 함량의 증가량 차이를 나타내었다. 포장하여 저장한 경우에도 무포장한 경우와 마찬가지로 LED 조사에 의해 비타민 C 함량이 증가하는 결과를 보였다(Fig. 4). Park 등(16)은 양배추 저온저장 시 비타민 C는 모든 처리구에서 감소한다고 보고하였으나 본 연구에서 LED 조사에 따라 비타민 C 생합성이 이루어져 수확 직후의 함량과 큰 차이가 없는 것으로 나타났는데 이는 비타민 C 파괴량과 유사한 함량의 비타민 C가 LED 조사에 의해 다시 생성된 것으로 사료되었다. 페놀화합물 역시 비타민 C와 유사한 경향으로 변화하였는데 Fig. 5에서 본 바와 같이 LED 조사 처리구의 경우 저장 초기의 67.53 mg%에서 10일 후에는 75.23-79.82 mg%, 랩포장구는 81.23 mg%로 증가하였다.

요 약

LED (light emitting diode)를 가정용 냉장고에 부착하여 양배추의 선도 유지에 미치는 영향을 조사하였다. 가정용 냉장고에 부착된 LED의 조사가 저장 중 양배추의 품질 변화에 미치는 가장 큰 효과는 엽록소 합성, 비타민 C 및 페놀성분의 함량 증가였다. LED가 부착된 냉장고에 저장된 양배추는 절단면이 흰색에서 녹색으로 변화하였으며,

따라서 절단면의 Hunter a 값이 일반 냉장고에 저장된 양배추에 비해 현저히 낮은 수치를 나타내었다. 일반 냉장고(4°C)에 10일간 저장된 양배추에 비해 LED가 부착된 냉장고에 저장된 양배추의 엽록소 함량이 약 4-6배 정도 높았으며, LED 조사 시 저장 중 비타민 C 함량은 약 2배 정도, 페놀성분의 함량은 14% 정도 증가시켜 양배추의 영양성분을 증가시키는 효과가 있었다.

참고문헌

1. Brown, C.S., Schuerger, A.C. and Sager, J.C. (1995) Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes J. Amer. Soc. Hort. Sci., 120, 808-813.
2. Miyashita, Y., Kitaya, Y., Kozai, T. and Kimura, T. (1995) Effect of red and Far-red light on the growth and morphology of potato plants in vitro: Using light emitting diodes as a light source for micropropagation. Acta. Hort. 393, 710-715.
3. Klein, R.M. (1979) Reversible effects of green and orange red radiation on plant cell elongation. Plant Physiol., 63, 114-116

4. Chory, J.M., Chatterjee, R.K., Cook, T. Elich, C. Fankhauser, J. Li, P. Nagpal, M. Naff, A. Pepper, D. Poole, J. Reed, and V. Vitart. (1996) From seed germination to flowering to flowering, light controls plant development via the pigment phytochrome. Proc. Natl. Acad. Sci., USA, 93, 12066-12071
5. Heo, J.W., Lee, C.W. and Paek, K.Y. (2002) Characteristics of growth and flowering on some bedding plants grown in mixing fluorescent tube and Light-Emitting Diode. Acta. Hort., 580, 77-82.
6. Heo, J.W., Lee, C.W., Chakrabarty D. and Paek, K.Y. (2002) Growth responses of marigold and salvia bedding plant as affected by monochromic or mixture radiation provided by a Light-Emitting Diode (LED). Plant Growth Regulation, 38, 225-230
7. Fujiwara, K. and Kizai, T. (1995) Physical micro-environment and its effects. In : Akitken-Christi, J., Kozai, T. and Smith, M.A.L (eds). Automation and environmental control in plant tissue culture. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, The Netherlands. p.342-350
8. Okamoto, K., Yanagi, T., Takita, S., Tanaka, M., Higuchi, T., Ushida, Y. and Watanabe, H. (1996) Development of plant growth apparatus using blue and red LED as artificial light source. Acta. Hort., 440, 111-116.
9. Butler, S.J., Hendricks, S.B. and Siegelman, H.W. (1964) Action spectra of phytochrome *in vitro*. Photochem. Photobiol., 3, 521-528.
10. Hoeneck, M.E., Bula, R.J. and Tibbitts, T.W. (1992) Importance of blue photon levels for lettuce seedling grown under red light emitting diodes. Hortscience. 27, 27-430.
11. William P. Inskeep and Paul R. Bloom. (1985) Extinction Coefficients of Chlorophyll *a* and *b* in *N,N*-Dimethylformamide and 80% Acetone. Plant Physiol., 77, 483-485.
12. AOAC(1980) Official methods of analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C. USA, p.19
13. Lee, C.B. (1982) A pictorial book of the Korean flora. Hyangmunsa, p.559
14. Choi, Y.W., Ahn, C.K., Kang, J.S., Son, B.G., Choi, I.S., Kim, Y.C., Lee, Y.G., Kim, K.K., Kim, Y.G. and Son, K.W. (2003) Growth, potomorphogenesis, and photosynthesis of perilla grown under red blue light emitting diodes and light intensities. J. Kor. Soc. Hort. Sci., 44, 281-286
15. Beleg, S.E. and Biddulph, O. (1970) The photosynthetic action spectrum of the bean plant. Plant Physiol., 46, 1-5
16. Park, K.W., Lee, M.H., and Lee, K.P. (1993) Effects of trimming, storage temperature and kinds of film packaging on the shelf life of brussels sprouts. J. Kor. Soc. Hort. Sci., 34, 421-429

(접수 2007년 1월 12일, 채택 2007년 3월 16일)