

LED 파장에 따른 강도다리 *Platichthys Stellatus* 성장특성

장준철¹ · 허인성² · 이세일³ · 유영문[†]

(Received December 29, 2014 ; Revised May 4, 2015 ; Accepted May 12, 2015)

A Study of the Growth Characteristics of Starry Flounder *Platichthys Stellatus* in Accordance with the LED Wavelength

Jun-Chul Jang¹ · In-Sung Her² · Se-Il Lee³ · Young-moon Yu[†]

요약: 우리나라 주요 양식어종은 넙치, 조피볼락, 참돔이 전체 양식어종의 80% 이상을 차지하고 있다. 본 연구에서는 양식 어종의 다양화와 그에 따른 새로운 양식기법 도입을 위하여 LED파장을 이용하여 강도다리의 성장률을 계측하여 성장에 최적한 LED 파장을 규명하였다. 본 연구에 사용된 LED 파장의 조건은 Red 645nm, Green 525nm, Blue 465nm, 3차 혼합색인 White LED를 사용하였고, 전압의 차이에 따라 각 파장별 Package 배열에 차이를 두었다. 또한 연구에 사용된 조명은 적분구 측정을 통해 동일한 양의 방사속을 조사하도록 조절하여 진행하였으며 실험에 사용된 자어의 평균 체중은 17.1±3.3g, 체장은 101.5 ± 12.6mm이었다. 자어는 사각형(60 x 45 x 45cm) 순환 여과식 수조에 각각 10미씩 수용하여 12주간 사육하였고 매 1주에 체중 및 체장을 계측하여 성장률을 조사하였다. 연구 결과 Green 실험구에서 가장 높은 체중 증가율이 54.03%로 가장 높았으며 다음으로 White 실험구에서 38.47%, Red 실험구에서 36.98% Blue 실험구에서 34.72%로 나타났으며, 체장의 증가도 또한 Green 실험구에서 14.36% 가장 높았으며, White, Red, Blue 순서로 체장의 증가율이 나타났다. 본 연구결과로 강도다리는 사육환경에서 조명에 대한 영향을 크게 받는 것을 알 수 있으며, 나아가서 양식현장에서의 적용 가능한 양식용 특수조명 개발과 공학을 기반으로 한 새로운 수산-LED 융합기술의 발전방향을 선도하는 중요한 기초연구가 될 것으로 판단된다.

주제어: LED 융합기술, 조명설계, 양식산업, 강도다리, 성장률

Abstract: Currently the fish aquaculture industry of Korea is focused on the mass culture of flatfish (*Paralichthys olivaceus*) and rockfish (*Sebastes schlegeli*) with completely controlled culture techniques. Recently, there has been considerable interest in new species development, such as the starry flounder (*Platichthys stellatus*). The value of starry flounder (*Platichthys stellatus*) as a raw fish increases with time because it is tasty, light, and bouncy. In this paper, the growth characteristics dependent on the LED wavelengths and the optimal growth conditions of the starry flounder were studied. In these experiments 4 different kinds of LED lighting, configurations were designed and prepared using red, green, blue and white, respectively. The fish aquaculture experiments were conducted over 10 weeks in four fish tanks, each installed with a different color of LED lighting. 10 starry flounders of 13 ~ 17g were placed into each tank. The effects of each color of light on the growth rate of the starry flounders were then examined. As a result, the starry flounders under the green LED lighting showed the highest growth rate, followed by the white, red, and blue LED lighting. Based on these results, a green light provides a suitable breeding environment for the starry flounder.

Keywords: LED-Convergence technology, Lighting design, Aquaculture, Starry flounder, Growth rate

1. 서론

세계 인구의 증가에 따라 수산물 소비량은 지속적인 증가 추세에 있으며, 그와 더불어 그 수요를 충족시키기 위해

인공종묘생산의 중요성도 대두되고 있다. 최근에는 기후변화와 식량자원의 부족으로 인한 수산단백질 자원의 가격이 급등하고 있으며 그 대책의 일환으로 수산 양식종의 공급증

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0829-7684>): LED-Marine Convergence Technology R&BD Center, Pukyung National University, 365, Sinseon-ro, Nam-gu, Busan 608-739, Korea, E-mail: ymyu@pknu.ac.kr, Tel: 051-629-7770

1 Specialized Graduate School Science & Convergence Engineering, Pukyung National University, E-mail: zenithoov@pknu.ac.kr, Tel: 051-405-7774

2 LED-Marine Convergence Technology R&BD Center, Pukyung National University, E-mail: herinsung@pknu.ac.kr, Tel: 051-405-7777

3 LED-Marine Convergence Technology R&BD Center, Pukyung National University, E-mail: player231@pknu.ac.kr, Tel: 051-405-7779

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

대와 종 보존을 위하여 국가 차원의 인공 종묘생산에 관련한 연구개발을 진행 되고 있다. 우리나라 역시 경제 규모가 커지고 소득수준이 높아짐에 따라 수산물의 소비가 크게 증가하였고, 다양한 수산물에 대한 소비자의 욕구도 커지고 있다. 이에 따라서 국가 연구과제 차원에서 새로운 양식종의 개발과 국외 현지 생산을 통한 안전한 수산물 도입으로 국민 건강과 소비충족에 많은 투자가 진행되고 있다.

또한 세계적인 미래학자들이 2030년에는 수산양식 혁명(Blue Revolution)이 일어날 것이라고 예측하고 있어 양식산업이 1차 산업분야에 국한되지 않고 교육, 관광레저, 식품가공 기술 등의 융합 연구와 사업의 확대에 의한 6차 산업으로의 변화를 추구하고 있으며 이런 미래 지향적 변화에 따라서 1차산업이 차지하는 중요도가 점점 높아지고 있다[1].

국내의 어류 양식산업은 넙치(*Paralichthys olivaceus*), 조피볼락(*Sebastes schlegelii*) 등에 편중되어 있으며, 새로운 고부가가치 어종에 대한 양식기술 개발에 많은 연구가 진행 중이다. 최근 국내에서는 양식대상 토착어종으로 능성어(*Epinephelus septemfasciatus*), 농어(*Lateolabrax japonicus*), 송어(*Mugil cephalus*), 감성돔(*Acanthopagrus schlegelii*) 및 강도다리(*Platichthys stellatus*) 등이 부각되고 있다. 이 중 능성어류는 성숙 및 채란이 어려워 양식방법 개발이 매우 어려운 실정이다. 하지만 농어, 송어, 감성돔은 광염성 어류이면서, 양식방법이 비교적 간단하여 대량 종묘까지 생산이 가능해졌으며, 최근에는 강도다리의 대량 종묘생산 역시 가능해졌다[2][3].

강도다리는 가자미목 가자미과에 속하는 종으로써 한국을 비롯한 일본, 오토츠크해, 베링해 등 북태평양의 전 해역에 광범위하게 분포하는 광염성 어종이다[4]. 또한 강도다리는 육질이 담백하고 탄력이 있어 한국뿐만 아니라 중국에서도 넙치에 비해 고급 횡감으로 평가 받고 있으며, 그 수요 또한 꾸준히 증가하고 있다[5].

LED(Light Emitting Diodes)는 친환경적인 조명기구로써, 에너지 효율이 높고, 수명이 긴 장점을 가지고 있다. 이러한 장점으로 인해 실내·외 등 다양한 분야에서 기존 조명을 대체해 가고 있다. 또한 LED는 특정 파장영역만 조사할 수 있어, 기존의 다른 인공 광원과는 차별되는 특성을 가지고 있다[6][7].

현재, LED를 식물 및 미세조류와 같은 광합성을 하는 생물에 적용하는 연구는 주목을 받기 시작하고 있으며, 현재까지는 실험실 규모의 실험과 대표적인 특정 종 위주의 연구 결과만 보도되고 있는 실정이다[8]. 또한 산업적인 배양에 적용하기까지에는 더 많은 연구가 필요하다고 판단된다[9].

최근 LED의 특성을 어류에 이용한 응용연구가 진행되는 추세이다. 현재까지는 관상어 위주의 연구가 수행되고 있으나, 상업적인 양식어종에 대한 연구는 부족한 실정이다. 지속적인 연구를 통해 어류 성장에 적합한 파장영역을 찾고, 이를 실내 양식장에 적용하게 된다면 빠른 성장속도로 고부가가치 어류를 생산 할 수 있을 것으로 판단되며, 어민

의 소득증대에 기여 할 수 있을 것이라 판단된다.

본 연구에서는 최근 고급 횡감으로 평가 받는 강도다리를 대상으로 LED파장에 따른 성장속도의 차이를 연구하여, 강도다리의 성장특성 및 최적 성장조건을 파악하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 LED 조명 선정 및 설계

본 실험을 위해 제작한 조명은 총 4가지로써, 각각 단일 파장영역을 조사하는 Red, Green, Blue와 3개 파장의 혼합 색인 White를 선정하여 실험하였다.

조명기구 제작에 사용된 LED Package의 특성값을 다음 Table 1 과 2에 나타내었다. Red, Green, Blue LED Package는 LRU1057, LGH1056, LBH1056(Luxpia, KOREA)를 사용하였으며, White LED Package는 LMTP553RGB-X(Lumimicro, KOREA) 를 사용하였다.

각각의 파장은 Red 은 645 nm, Green는 525 nm, Blue는 465 nm이다. LED Package의 정격전류는 60 mA이며, VF 특성은 Green, Blue, White LED Package는 약 3.0 V이며, Red LED Package는 약 2.0 V이다. 전압차이에 따라, 조명기구 제작시에 Green, Blue, White와 Red의 Package배열에 차이를 두어 제작하였다.

Table 1: Specifications of the Red, Green, Blue LED Package

Sample	VF [V]		λD [nm]		IV [mcd]	
	min	max	min	max	min	max
Red (645nm)	2.0	2.1	645	650	1000	1200
Green (525nm)	3.1	3.2	525	530	4000	4500
Blue (465nm)	3.2	3.3	465	470	800	1000

Table 2: Specifications of the White LED Package

Sample	VF [V]		λD [nm]		IV [mcd]	
	min	max	min	max	min	typ
Red	1.9	2.4	620	630	400	600
Green	2.8	3.6	525	535	900	1,100
Blue	2.8	3.6	455	465	150	180

Figure 1(A)는 Green, Blue, White 파장 모듈의 회로도이며, Figure 1(B)는 Red 파장 모듈의 회로도이다. LED-VF에 따라 직렬병렬의 조합이 달라지며, 정격 구동전류600mA에 맞추어 설계하였다. Green, Blue, White 파장의 모듈은 10직렬 12병렬로 설계하였고, Red 파장의 LED 모듈은 Vf가 2V로 상대적으로 낮아 14직렬 10병렬로 설계를 하였다. 효과

적인 열 방출을 위해 Metal PCB를 사용하였다.

Figure 2는 시스템 구성도를 나타내며, LED는 sw1과 sw2를 조작함으로써 원하는 밝기로 제어할 수 있다. 해당 밝기의 세기는 Text LCD를 통하여 0~126단계로 표시된다. 입력측에서는 pwm 디밍 신호를 발생시키고, 마이크로 컨트롤러에서 이 값을 읽어 LED 부하에서 일정한 전류가 흐를 수 있게 동작한다. Figure 3은 LED 조명 시스템의 회로도이며, Figure 4은 PCB 패턴도를 나타냈다.

Figure 5은 제작한 LED 조명 등기구의 외형도이다. 세로 길이는 420 mm이며 가로 길이는 320 mm, 높이는 50 mm이다. 10 mm 두께의 강화유리를 사용하여 덮개를 제작하였으며, 수분에 의한 기기 내부의 손상을 방지하기 위해 실리콘으로 방수 처리하였다.

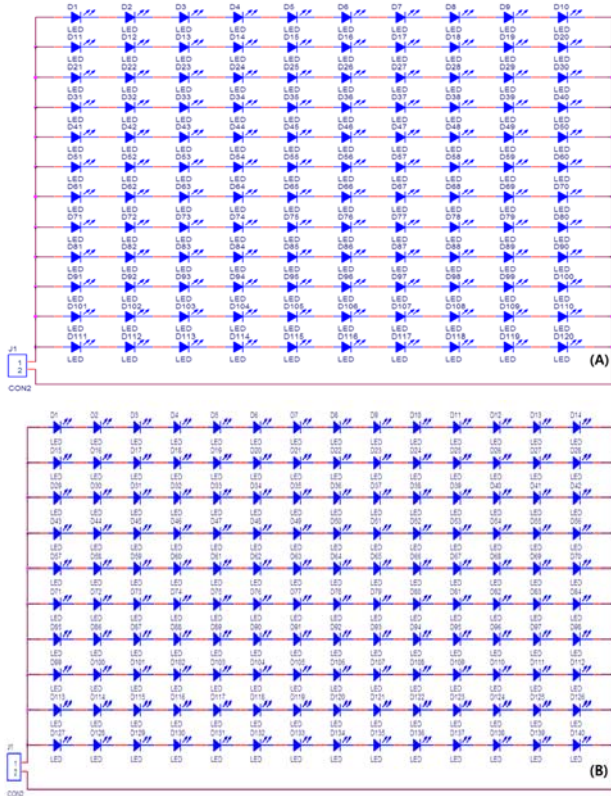


Figure 1: LED Circuit diagrams

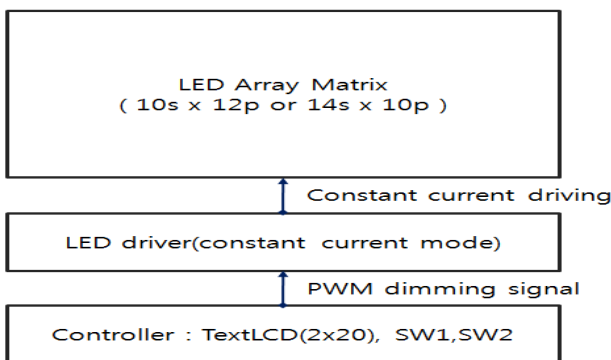


Figure 2: A system diagram

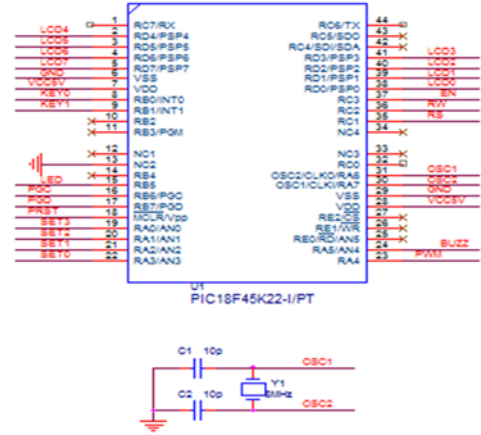


Figure 3: System Circuit diagrams

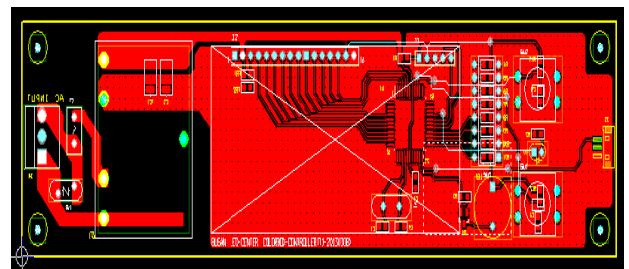


Figure 4: The PCB Pattern diagram

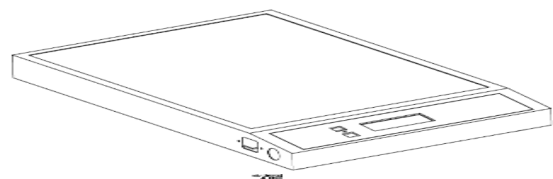


Figure 5: Configurations of the LED luminaire

2.2 LED 조명 측정

실험에 사용된 조명이 동일한 광량이 조사되도록 조절하여 실험을 진행하였다. 어류의 시감도는 사람의 시감도와 다르기 때문에 광원이 단위시간당 발생하는 방사에너지의 양을 뜻하는 방사속(Radiant flux)을 기준으로 하여 실험하였다.

동일한 에너지의 방사속을 조사하기 위해 적분구(광전자정밀, KOREA)를 통해 제작한 조명을 dimming하여 광량을 최고 및 최저로 조정하여 각 단계별 방사속을 측정하였다. 측정 후 최저 방사속을 가진 Green 조명의 1,561 mW를 기준으로 하여, 3가지 조명을 Dimming하여 동일한 방사속으로 설정한 후 실험을 진행하였다. Figure 6에 적분구를 사용하여 조명의 파장분포 및 색좌표를 측정한 결과를 나타내었으며, Table 3은 최저 방사속을 갖는 광학적 특성의 제어 측정결과이다.

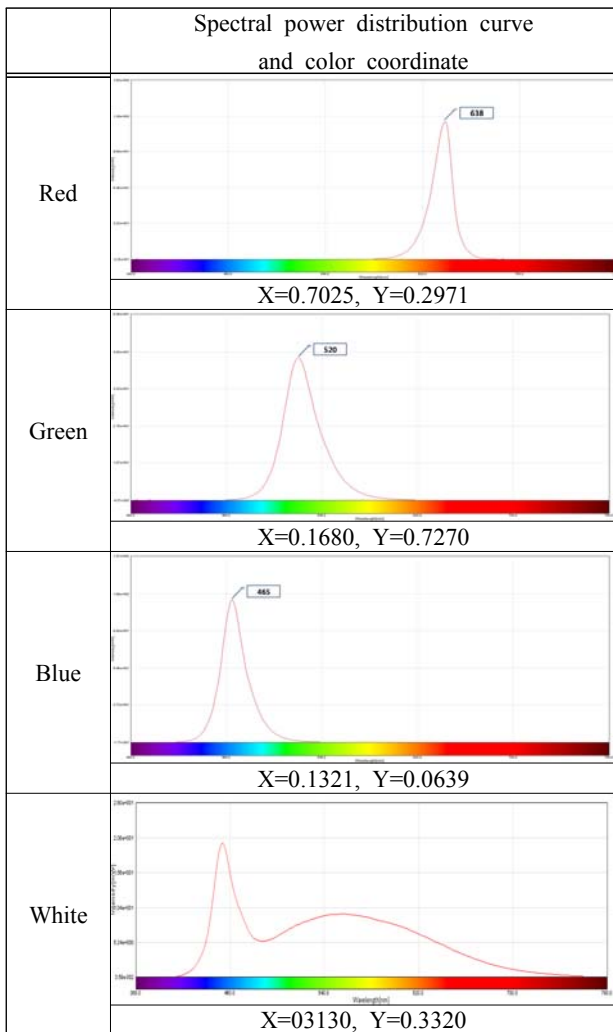


Figure 6: Spectral power distribution curve and color coordinate

Table 3: Specification of the LED luminaire for the experiment

	Radiant flux (mW)	Efficacy (lm/W)	Current (A)	Power (W)
Red	1,563	29.2	0.061	12.0
Green	1,561	36.3	0.104	21.9
Blue	1,568	14.1	0.056	10.8
White	1,559	75.1	0.049	8.75

2.3 어류성장 실험 환경 구축

연구에 사용된 수조는 순환여과 방식이며, 에어펌프를 이용하여 수중에 공기를 주입하였다. 수조의 크기는 0.6 x 0.45 x 0.45 m이며, 사육수는 일반해수(염분농도 33‰) 약 70 L를 사용하였다. 사육수의 오염을 방지하기 위해 매 2주 간격으로 사육수를 전량 교환하였으며, 자연 증발에 따른 사육수의 염분농도 유지를 위해서 해수를 수시로 보충하여 사육수의 양을 일정하게 유지시켰다.

LED 조명은 Figure 7과 같이 수면으로부터 상단 20 cm 위치에 설치 후 실험을 진행하였으며, 외부의 빛을 차단하기 위해 암막커튼을 사용하여 4면을 모두 봉제하였다. 평균적인 광주기를 감안하여 낮 시간대 12시간을 조명을 점등시키고, 저녁 시간대 12시간은 타이머를 사용하여 조명을 소등시킨 후, 어류성장 실험을 진행하였다.

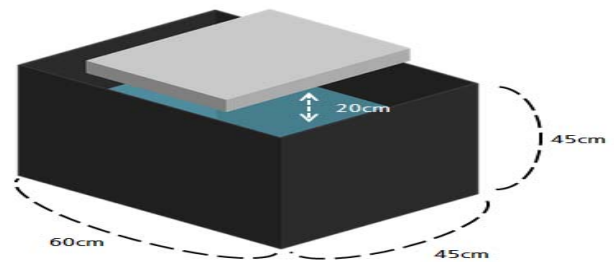


Figure 7: Experiment method

2.4 어류성장 실험 방법

연구에 사용된 강도다리는 약 무게 17.1 ± 3.3 g, 길이 101.5 ± 12.6 mm, 폭 62.2 ± 8.7 mm의 강도다리 10미를 사용하였다.

실험어를 수조에 넣기 전에, 개체를 측정하여 최초 무게 및 길이를 측정 후, 각각 4가지의 LED 조명이 설치된 수조에 넣고 10주 동안 사료(일반넙치배합 사료)를 어체중의 1/10의 양을 매일 2회 (오전 9시, 오후 6시) 급이 하면서 성장 및 사육관리를 진행하였다. 성장을 확인시 스트레스의 최소화를 위해서 계속 전일에는 사료를 공급 하지 않았다.

연구기간 동안 1주일 간격으로 수조 안의 실험어를 약 30초간 공기 중에 노출하여 성장 데이터를 측정하였다. 무게 측정시에는 전자저울(shimadzu, JAPAN)을 사용하였으며, 길이 측정에는 버니어 캘리퍼스(Monos, KOREA)를 사용하였다.

3. 결과 및 분석

Red, Green, Blue 및 White LED 파장에 따른 강도다리의 성장 특성 결과를 Figure 8과 Table 4에 나타내었다. 실험의 오차를 줄이기 위해 10미의 실험어 중 가장 무거운 1미와 가벼운 1미를 제외하고 8미의 무게와 길이 변화량을 기준으로 평균하여 변화량을 도출하였다.

12주간의 실험 결과, 실험어의 무게 증가율에서는 Green 조명에서의 무게 증가율이 54.03%로 가장 높게 나타났다. 다음으로는 White (38.47%), Red (36.98%), Blue (34.73%) 순서로 나타났다. 길이 증가에서도 역시, Green 조명에서의 증가율이 14.36%로 가장 높게 나타났으며, White (12.56%), Red (12.16%), Blue (11.69%) 순서로 측정되었다.

4가지 파장의 조명에서 강도다리 치어의 성장실험을 실시한 결과, Green 조명에서의 강도다리의 무게 증가율, 길이 증가율이 가장 뛰어나며, 그 다음으로 White > Red > Blue 순서로 성장속도가 작아지는 것을 확인하였다.

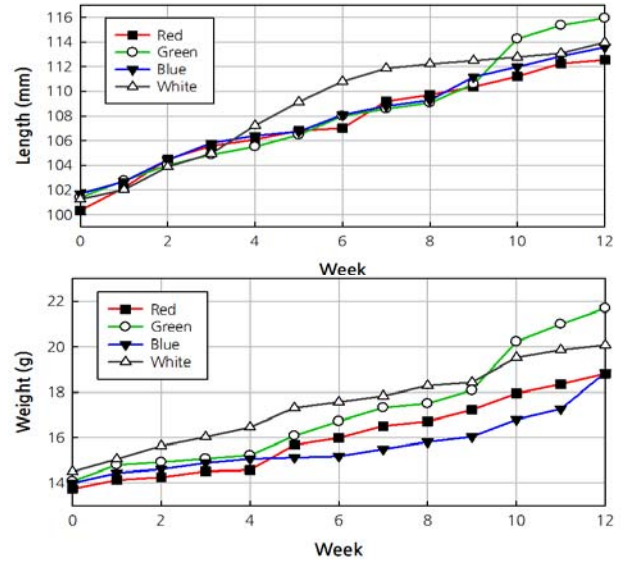


Figure 8: Variation of the averaged increment for weight and length of starry flounder *Platichthys stellatus*

Table 4: Variation of the averaged increment for weight and length of starry flounder *Platichthys stellatus*

	Red		Green		Blue		White	
	W*	L**	W*	L**	W*	L**	W*	L**
Initial	13.731	100.338	14.078	101.375	13.994	101.683	14.496	101.236
1 week	14.130	102.164	14.794	102.748	14.441	102.688	15.046	102.010
2 week	14.258	104.486	14.916	103.993	14.609	104.420	15.634	103.874
3 week	14.513	105.564	15.069	104.859	14.879	105.806	16.023	104.953
4 week	14.571	106.093	15.221	105.501	15.060	106.399	16.450	107.224
5 week	15.679	106.801	16.071	106.459	15.116	106.723	17.303	109.138
6 week	15.984	107.001	16.716	107.991	15.174	108.090	17.561	110.798
7 week	16.511	109.186	17.314	108.566	15.490	108.798	17.824	111.855
8 week	16.711	109.709	17.496	109.055	15.806	109.278	18.284	112.206
9 week	17.22	110.349	18.080	111.583	16.033	111.167	18.428	112.483
10 week	17.941	111.199	20.210	114.250	16.793	111.970	19.519	112.775
11week	18.345	112.252	20.988	115.350	17.256	112.840	19.852	113.078
12week	18.810	112.541	21.684	115.935	18.853	113.571	20.073	113.954
Growth rate (calc.)	36.98	12.16	54.03	14.36	34.73	11.69	38.47	12.56

※ * Weight (g), ** Length (mm)

4. 결론

LED 파장이 강도다리의 어류성장 특성에 미치는 영향을 실험하였다. 실험에 사용할 파장으로 Red (645nm), Green (525nm), Blue (465nm)와 White LED를 선정하였다. 실험에 동일한 양의 광량을 조사하기 위해 Dimming이 가능한 조명 장치를 제작하였다. LED Package의 정격전류 특성을 고려하여 Package 배열은 이격거리 등에 차이를 두어 설계하였다. 조명 제작 후, 적분구를 사용하여 광학측정을 실시하였다. 가장 낮은 방사속을 가진 Green 조명의 방사속을 기준으로 동일한 양의 방사속을 발생시키도록 광량을 조절 한 후 실험을 진행하였다. 매 주 1회씩 실험어의 무게 및 길이를 측정하였으며, 12주간 어류성장 실험을 실시 한 후, 데이터를 분석하였다.

실험결과 Green 조명에서 무게 및 길이 증가율이 가장 크며, 그 다음으로 White > Red > Blue 순서로 성장속도가 작아짐을 확인하였다. 따라서 LED 조명을 이용한 강도다리 양식에서 Green 조명을 사용할 때 생산성이 가장 크게 향상될 것이라고 판단된다. 이러한 결과를 바탕으로 강도다리는 사육환경에서 빛의 파장에 영향을 받는 것을 알 수 있었으며, 향후 양식 수조 조명에서 LED의 응용 방향을 암시하는 것으로 생각된다.

강도다리에 대한 추가적인 연구뿐만 아니라 지속적으로 다양한 종류의 고부가가치 상업어종에 대한 실험 및 데이터 구축이 필요할 것으로 판단되며, 치어 단계에서의 성장비교 및 어류의 체색변화, 빛 환경조절을 통한 상업어종의 성장촉진 및 호르몬 분석 등에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부 산업기술혁신사업(과제번호: 10040366, 고효율 SMPS를 기반으로 IT와 재생에너지 융복합형 유비쿼터스 인텔리전트 LED 조명 시스템 개발)의 지원에 의하여 수행되었습니다.

References

- [1] K. R. Ko and Y. S. Park, "Research on the difference in growth of flatfish in accordance with color lighting," Journal of Korean Society of Color Studies, vol. 26, no. 3, 2012 (in Korean).
- [2] Y. S. Kim, Osmoregulatory Ability of Starry Flounder *Platichthys stellatus* upon Acclimation to Low Salinity, Ph. D. Dissertation, Department of Fisheries Biology, Pukyung National University, Busan, 2012 (in Korean).
- [3] M. H. Jeong, S. G. Byun, H. K. Lim, B. H. Min, Y. S. Kim, and Y. J. Chang, "Effect of water temperature on oxygen consumption in starry flounder *platichthys stellatus* reared in seawater and freshwater," Korean Journal of Environmental Biology, vol. 27, no. 3, pp

285-291, 2009 (in Korean).

- [4] S. G. Byun, B. I. Lee, J. H. Lee, H. D. Ku, S. U. Park, S. M. Yun, S. Y. Hwang, Y. C. Kim, and H. G. Han, "Egg development and morphological change of Larvae and Juveniles of the starry flounder, *platichthys stellatus*," Korean Journal of Ichthyology, vol. 19, no. 4, pp.350-359, 2007 (in Korean).
- [5] S. Y. Kim, Embryonic and Larva Development of Starry Flounder, *Platichthys Stellatus*, M.S Thesis, Chonnam National university, Yeosu, 2013 (in Korean)
- [6] M. W. Shin and J. P. Kim, LED Introduction Packaging Technology, Bookshill, pp. 283, 2009 (in Korean).
- [7] S. M. Lee, S. I. Lee, J. K. Yang, J. C. Lee, and D. H. Park, "Analysis of thermal property in 75W LED module for street lighting, Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 59, no. 3, pp 609-613, 2010 (in Korean).
- [8] M. G. Hong, Growth Characteristics of Microalgae Using LED Light in Photobioreactor, M.S. Thesis, Department of Ecological Engineering, Pukyung National University, Busan, 2013 (in Korean).
- [9] D. G. Kim and Y. E. Choi, "Microalgae cultivation using LED light," Korean Chemical Engineering Research, vol. 52, no. 1, pp. 8-16, 2014 (in Korean).