

형광영상분석기와 단색색상분석 소프트웨어를 이용한 복합레진의 형광성 평가

박다령¹⁾, 김아진²⁾, 배지명¹⁾, 오승한¹⁾

원광대학교 치과대학 치과생체재료학교실 및 생체재료-매식 연구소¹⁾, 서라벌대학교 치위생과²⁾

〈Abstract〉

The fluorescence Evaluation of composite resin by digital imaging device and monochrome color analysis software

Da-Ryeong Park¹⁾, Ah-Jin Kim²⁾, Ji-Myung Bae¹⁾, Seung-Han Oh^{1)}*

Department of Dental Biomaterials and the institute of Biomaterial-Implant, College of Dentistry, Wonkwang University¹⁾

Department of Dental Hygiene, Sorabol College²⁾

In the field of dental color research, there are observing color of natural teeth, analysing color spectrum of human natural teeth, researching discoloration of teeth, and researching shade-guide of teeth. However, there is less research for fluorescence which is optical shade than research for the color which can be seen. In this research, fluorescent standard materials in that 7-Diethylamino-4-methylcoumarin which is used universally to fluorescent high polymer dental restoration materials was blended were made in the concentration from 0.01% to 0.1%. 14 kinds of composite resin and fluorescent standard materials were observed on Bio Imaging systems and Fluor chern E which is Fluorescence image analyzer, and fluorescence of specimens was analysed measuring gray level of specimen by Image J and Photoshop which is Monochrome color analysis software. Analysing Standard curve graph, fluorescent concentration of specimen in the fluorescent standard materials concentration between 0.01~0.1% in composite resin could be calculated. Depending on the combination of fluorescence image analyzer and monochromatic analysis software in all the experimental groups except the Filtek Z250 A3.5, showed a significant difference($P<0.05$). Among them, in all experimental groups of GC GRADIA DIRECT, showed the highest difference significance of the fluorescence concentration due to monochromatic analysis software($P<0.05$).

Key words : Fluorescence, composite resin, Monochrome color analysis software, Fluorescence image analyzer

I . INTRODUCTION

최근 심미성에 대한 치과환자들의 요구도가 증가하면서 치아 수복 시 물리적 기능회복과 더불어 정밀성과 심미에 대한 비중이 커지고 있다(Daniel 등, 2008). 심미적인 치과 치료를

위해서는 치아의 색상과 사용되는 수복재의 색상차이가 시각적으로 최대한 동일시 되어야 한다. 치과용 수복재 중 복합레진에 의한 치아 수복은 형태와 기능만이 아니라 그 심미성 회복에도 매우 중요한 의미를 가진다(Johnston와 Reisbick, 1997).

복합레진의 장점인 심미성에 있어 색과 관련된 특성은 중요한 요소 중 하나이다. 색은 색상, 명도, 채도, 투명도, 형광 및 투과도 및 확산, 표면 거칠기 등이 영향을 미치고 있다(Fondriest, 2003, Brewer 등, 2004, Joiner, 2004). 이상적인 심미 수복 재료는 치아와 유사한 형광성이 있어야 한다.

* Correspondence: Seung-Han Oh

Department of Dental Biomaterials, College of Dentistry, Wonkwang University 344-2 Shinyong dong, Iksan, Jeonbuk, South Korea, 570-749

Tel: +82-63-850-6982, Fax: +82-63-857-6982

E-mail: shoh@wku.ac.kr

Received: Mar 05, 2015; Revised: Jun 4, 2015; Accepted: Jun 04, 2015

* 본 연구는 2011년도 지식경제 기술혁신사업(표준기술력향상사업) "치과의료기기 표준의 개발 및 운영 기반 구축"에 의해 수행되었음.

형광성이 없으면, UV 조명 하에서 수복물의 심미적 특성을 잃어버린다(Lee 등, 2005). 형광성은 일상생활의 조건 하에서는 부족한 인식을 가지고 있지만 임상적으로는 매우 중요한 요소이다. 치과용 수복물은 햇빛이 아닌 다른 광원에서 자연 치아의 색상과 일치해야 한다. 형광은 댄스 클럽이나 어두운 조명을 사용하는 환경에서 사회 활동에 참여하는 사람, 또는 배우들을 위한 블랙 라이트로 심미 수복물의 중요한 요소 중 하나로 작용하고 있다. 이러한 조건 하에서 수복물의 형광은 자연스러운 치아 색상을 나타내는데 매우 중요하다. 시중에 판매되는 일부 복합레진은 자연치와 유사한 형광을 나타낸다(Panzeri 등, 1977). 따라서, 복합레진의 형광성은 치과 도재와 더불어 매우 중요한 요인이 된다(Farah 등, 2003; Zena, 2001).

형광(fluorescence)이란, 일정한 빛으로 물질에 비추었을 때 그 물질에서 빛을 흡수하고 전혀 다른 파장의 빛을 나타내는 현상을 말한다. 자연치를 자외선 아래서 관찰하면 푸른색을 나타내는데 이러한 현상을 형광성이라 하며 이로 인해 치아를 자연광에서 보았을 때 더 밝고 백색으로 나타난다(McLaren, 1997; Zena, 2001). 자연치에서 나타나는 형광성은 365 nm의 빛을 받았을 때 나타나며, 440-450 nm에서 가장 밝은 빛을 나타내며 680 nm까지 서서히 감소한다고 알려져 있다(Monsénégo 등, 1993).

치의학의 색상연구에는 자연치의 색상관찰, 사람의 치아색상 분포 분석, 여러 착색 용액에 의한 변색 실험, 시중에 판매되고 있는 색조가이드에 대한 연구들이 있다. 하지만, 눈으로 확인할 수 있는 색상의 연구에 비해 광학적 색체인 형광성에 대한 연구는 미비하다(Asmussen, 1981; Powers 등, 1978; Crag, 1981).

따라서, 본 실험에서는 고분자 치과용 수복재에 형광을 부여하기 위하여 보편적으로 사용되고 있는 유기형광염료인 7-Diethylamino-4-methylcoumarin (Sigma Chemical Company, St. Louis, MO, USA)를 혼합하여 0.01~0.1% 농도별 형광표준물질을 제작하였다. 형광표준물질을 이용할 경우 발생할 수 있는 치과용 심미 수복재의 형광 결과 변화를 확인하기 위하여 14종의 복합레진을 사용하였다. 형광표준물질과 14종의 복합레진을 형광영상분석기인 Bio Imaging systems (BERTHOLD TECHNOLOGIES, Bad Wildbad, Germany)와

Fluor chem E(Proteinsimple, San Jose, USA)에서 각각 분석기의 최저노출시간으로 관찰하였다. 형광영상분석기로 얻어진 이미지는 단색색상분석 소프트웨어인 Image J와 Photoshop을 이용하여 회색도값을 얻은 후, 평균을 산출하고 형광표준곡선을 이용하여 각 시편의 형광정성을 비교분석하고자 하였다.

II. MATERIALS AND METHODS

1. 연구재료

본 실험에 사용된 14종의 복합레진 정보는 Table 1에 나타내었다. 모든 복합레진은 내경 10 mm × 두께 1.0 mm으로 시편을 제작하고, 광조사기(3M Elipar™ Freelight2 LED Curing Light, Seefeld, Germany)를 사용하여 광중합 시켰다.

2. 연구방법

1) 레진 재료의 형광표준물질 제작

레진기질은 Bis-GMA(53.8wt%), UDMA(17.7wt%), 희석제로 TEGDMA(25.5wt%), Photosensitizer로 Camphorquinone (0.9wt%), 아민 개시제로 DMAEMA(2wt%)를 넣고, 형광염료인 7-Diethylamino-4-methylcoumarin(0.1 wt%)를 섞어 20 g의 형광표준물질을 제작하였다(Table 2).

갈색병에 각 성분을 0.0001 g의 정확도를 가진 저울(CP224S, Sartorius, Goettingen, Germany)로 측정하여 넣고, 빛이 투과되지 않도록 알루미늄 호일로 덮었다. 열이 가해지는 교반기(RCH-3, Tokyo Rikakikai co., LTD., Tokyo, Japan) 위에 놓고 40°C의 물 속에서 over-head stirrer(RW20DZM,n, IKA-WERKE GmbH & Co.KG, Staufen, Germany)로 30분간 혼합하고, 진공펌프를 이용하여 1시간 동안 기포를 제거하였다. 같은 방법으로 형광염료를 넣지 않은 20 g의 대조군 레진을 제작하였다(Figure 1(a)).

국제표준규격 제4049호(ISO 4049:2009)에 따라 유리판 위에 주형으로 사용되는 테프론 필름(내경 10 mm × 두께 1.0 mm)을 놓고, 형광표준물질을 주형에 약간 과잉되게 채웠다. 테프론 필름 상부에 OHP 필름조각을 놓은 후 2 kg 하중을

Table 1. Composite resin used in this study

Brand name	Shade	Code	Manufacturer	LOT No.
Denfil	A1	Denfil	Vericom, KOREA	DF2D36A1
	A3,5			DF9614511
Filtek Z350	A1	Filtek Z350	3M ESPE, USA	20090409
	A2			20080506
	A3,5			20081018
	OA3			20081018
Clearfil AP-X	XL	Clearfil AP	KURARAY, JAPAN	494AA
	A2			1032AC
GC GRADIA DIRECT	CV	GRADIA	GC, JAPAN	0809024
	A2			0809032
	AO3			0809011
VOCO Admira	A2	Admira	VOCO GmbH, Germany	0912222
Merafil CX	A2	Merafil	SUN MEDICAL, JAPAN	RX1
Spectrum	A2	Spectrum	DENTSPLY, Germany	0801003127

Table 2. Components of the fluorescence standard substance

Composition	Manufacturer	LOT No.
Bis-GMA*	SHIN-NAKAMURA CO, JAPAN	0421D
UDMA	Sigma-Aldrich Chemical Company, USA	72896
TEGDMA	Sigma-Aldrich Chemical Company, USA	11094
Camphorquinone	Sigma-Aldrich Chemical Company, USA	86422
DMAEMA	Sigma-Aldrich Chemical Company, USA	28674
7-Diethylamino-4-methylcoumarin	Sigma-Aldrich Chemical Company, USA	91441

* Bisphenol A-Glycidyl Methacrylate

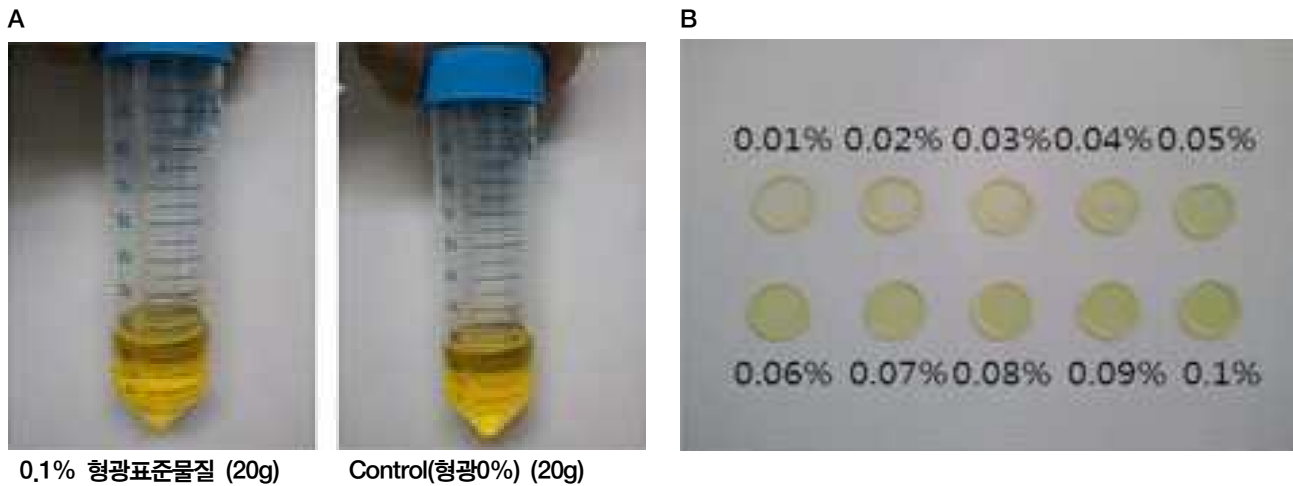


Figure 1. Production process of 0.01~0.1 % fluorescence standard substance composite resin specimen.

주어 과잉된 여분의 재료를 제거하였다. 광중합을 효율적으로 수행하기 위하여 광조사기의 팁 부분의 크기에 맞는 템플릿을 제작하여 시편 위에 위치시킨 후, 20초씩 광 중합시켰다. 팁 부분을 옮겨 전에 광 조사한 시편의 구간에 겹치게 다음 부위를 광 중합하였다. 광 조사 직후, 시편을 $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ 로 유지된 건조기(Fo-600M, JEIO TECH, KOREA, KIMPO)에서 10분 보관 후, 테프론 몰드에서 시편을 분리하고, 과잉된 재료를 제거하기 위해 시편의 주변부를 abrasive paper 1,000 번을 사용하여 시편을 회전시켜 연마하였다. 육안으로 시편의 외부가 부드러우는지 확인하고, 잔사를 제거하였다. 시편의 중앙 부근을 게이지를 사용하여 디스크의 두께를 측정하였다. 내경 (10 ± 0.1) mm 및 두께 (1.0 ± 0.1) mm의 시편을 제작하였다(Figure 1(b)).

2) 형광영상분석기를 이용한 이미지

형광영상분석기는 생물학 분야에서 보편적으로 사용되는 영상분석기로서 녹색, 적색 및 청색의 형광을 모두 촬영할 수 있고, UV-B 영역의 자외선 광원을 기본으로 UV-A와 UV-C 영역의 자외선 광원을 선택적으로 사용할 수 있는 기능도 있다. 본 실험에서는 형광분석이 가능한 광원인 UV-A 영역(315-400 nm)의 자외선 광원을 조사하였다. 영상분석기의 종류에 따른 형광성 비교를 위하여 2가지의 형광영상분석기(Fluorescence Image Analyzer)를 사용하였다. Bio Imaging

systems와 Fluor chem E를 이용하여 이미지를 촬영하였다(Figure 2). 암실에 시편과 함께 제작한 형광표준물질을 형광영상분석기의 중앙 부위에 놓았다. 자동이득조절장치 없이 시편과 형광표준물질에 자외선 광원을 방사하였다. 자외선 광을 이용하여 디지털 이미지 파일을 얻었다. 명확한 이미지를 얻기 위하여 적절한 노출시간을 찾기 위한 절차를 반복한 결과, 최저 노출시간 이후 모두 비슷한 이미지를 보였다. 따라서, Bio Imaging systems의 최저노출시간인 1.5초, Fluor chem E의 최저노출시간인 0.1초에서 10번씩 이미지를 촬영하였다.

3) 단색색상분석 소프트웨어를 통한 형광농도 계산
형광영상분석기로 저장된 이미지를 단색색상분석 소프트웨어인 Adobe photoshop과 Image J를 이용하여 형광표준물질의 회색도값을 구하였다. 평균값을 이용하여 형광표준곡선(standard curve)을 구하고, 각 시편의 상대적인 형광농도 값을 산출하였다(Figure 3).

3. 통계분석

통계분석은 SPSS 프로그램(SPSS 12.0; SPSS GmbH, Munich, Germany)을 사용하여 분석하였다. 각 시편을 형광영상분석기와 단색색상분석 소프트웨어의 조합에 따라 회색도값을 구하고, 형광표준곡선에 의해 결정된 상대농도 값을

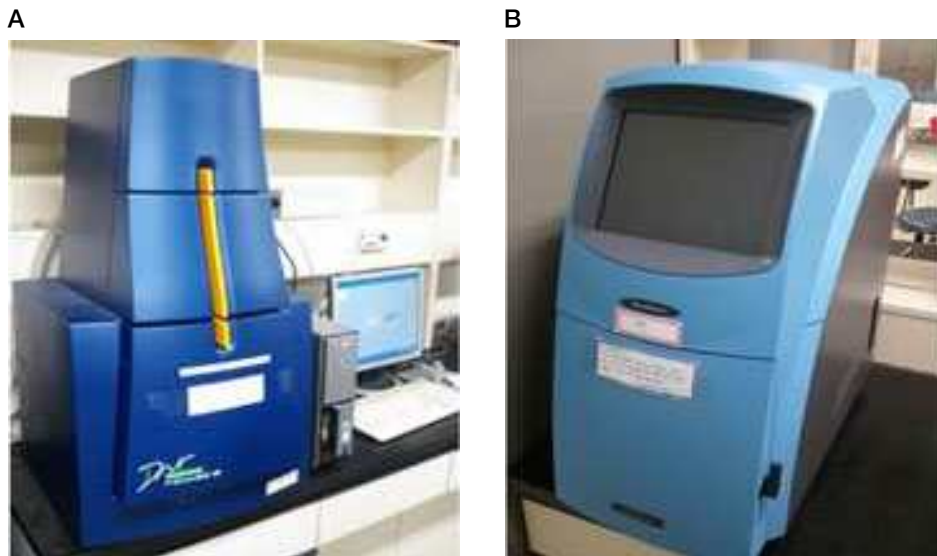


Figure 2. Fluorescence image analyzer (a) Bio Imaging systems, (b) Fluor chem E.

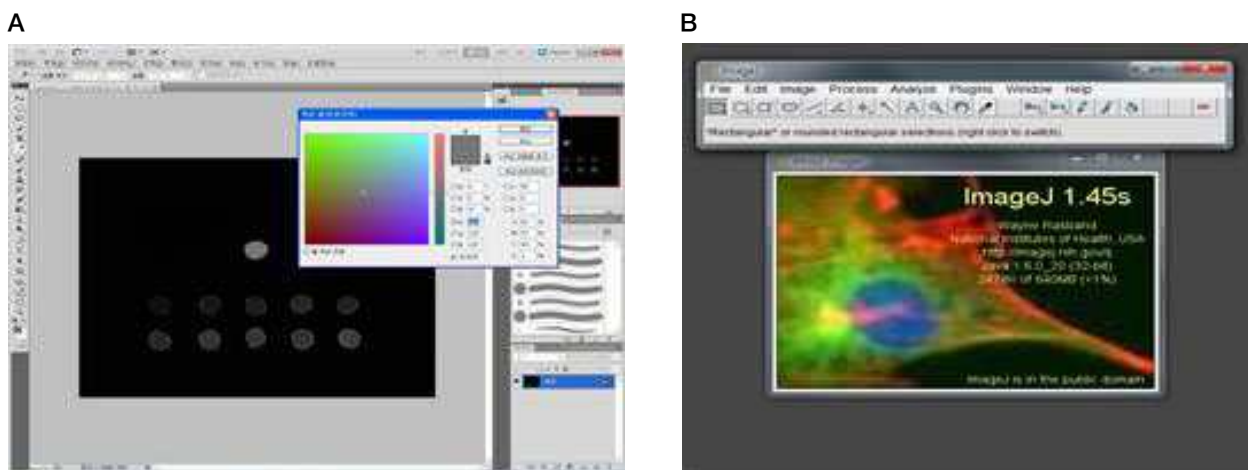


Figure 3. Monochrome color analysis software (a) Adobe Photoshop, (b) ImageJ.

one-way ANOVA로 신뢰수준 95%에서 분석하였고, 사후검정으로 Duncan's multiple range test를 시행하였다.

물질과 함께 촬영한 결과, Denfil A1, A3.5와 Filtek Z250 A1, A2, A3.5, OA3의 레진 시편을 제외한 모든 시편에서 형광성을 나타내었다(Figure 4).

III. RESULTS

1. Bio Imaging systems을 이용한 이미지 분석

제조사 별로 분류한 레진 시편을 0.01~0.1%의 형광표준

2. Fluor chem E을 이용한 이미지 분석

Fluor chem E를 이용한 이미지 분석 또한, Bio Imaging systems와 같이 레진 시편을 같은 제조사끼리 분류하고 0.01~0.1%의 형광표준물질과 함께 촬영한 결과, Bio Imaging

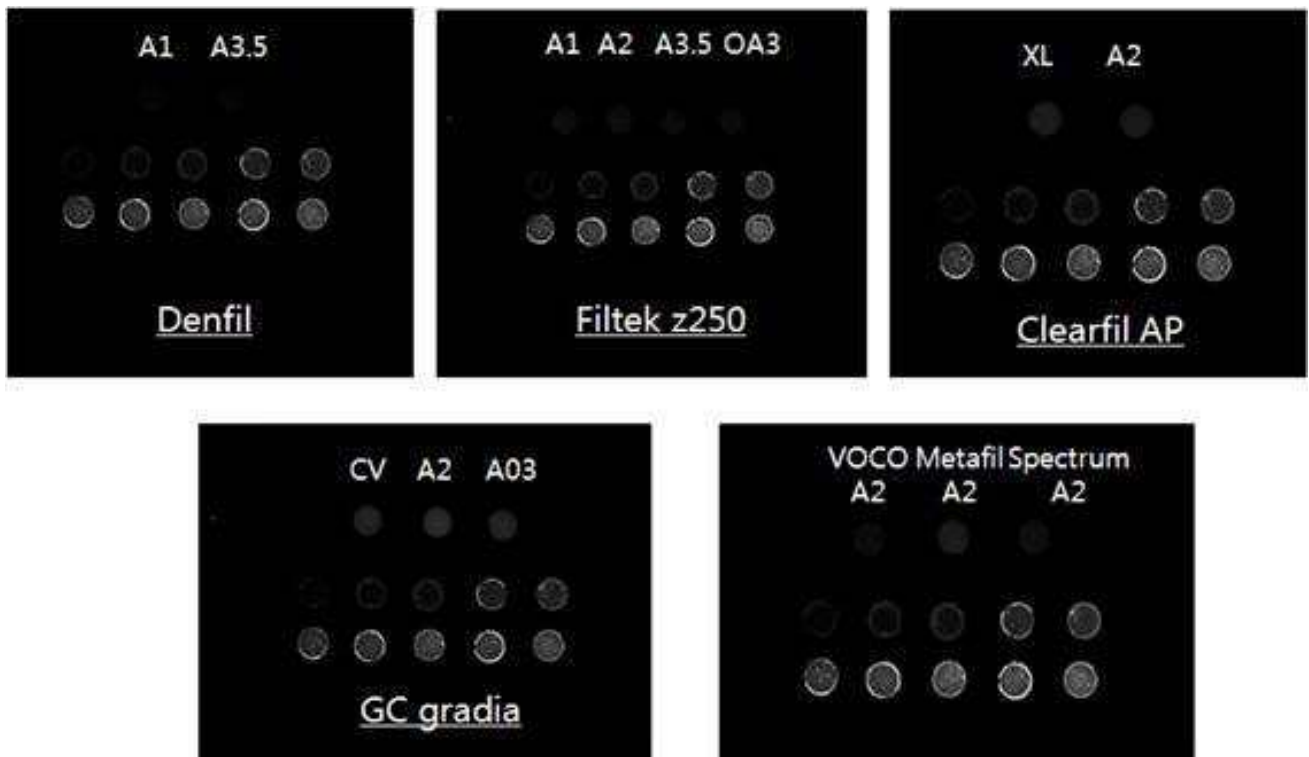


Figure 4. Fluorescence photograph of composite resin that was acquired in Bio Imaging systems.

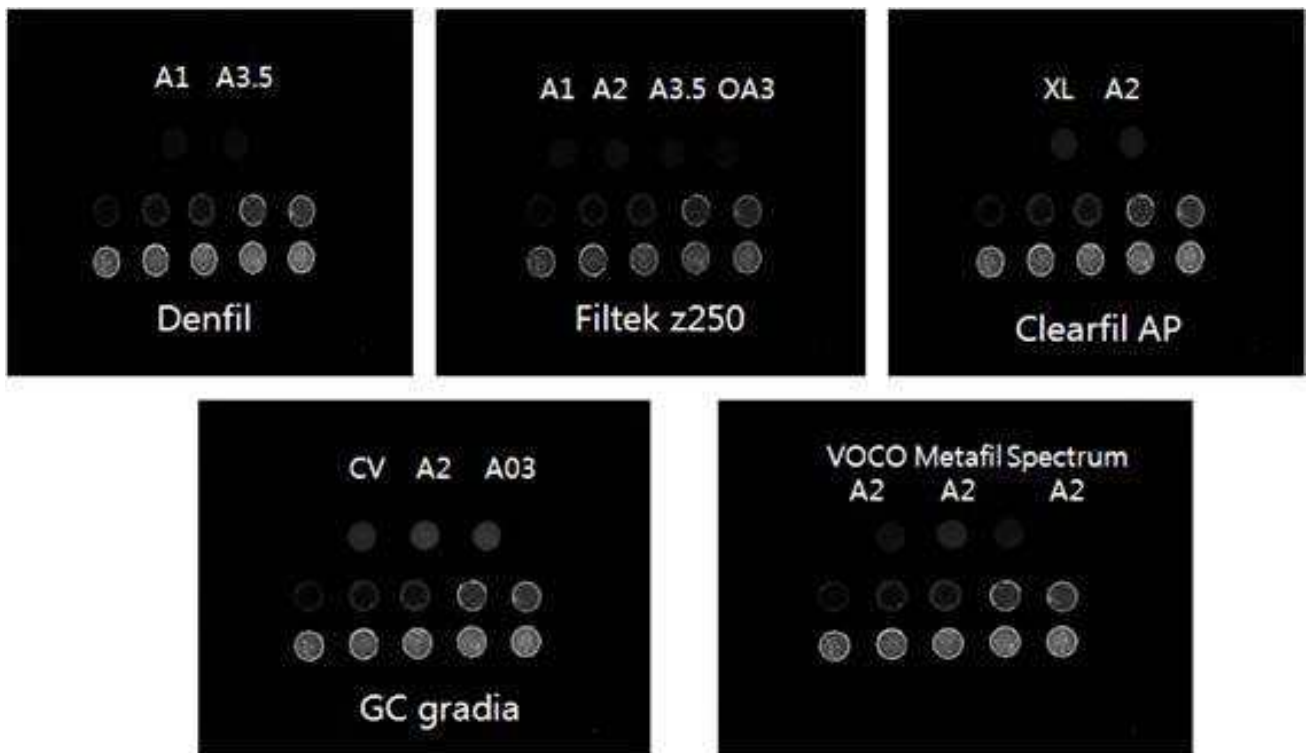


Figure 5. Fluorescence photograph of composite resin that was acquired in Fluor chem E.

systems와 마찬가지로 Denfil A1, A3.5와 Filtek Z250 A1, A2, A3.5, OA3의 레진 시편을 제외한 모든 시편에서 형광성을 보였으나 밝기의 차이가 나타났다(Figure 5).

3. 단색색상분석 소프트웨어를 통한 형광농도값 비교 그래프

두 가지 형광영상분석기(Bio Imaging systems, Fluor chem E)를 통하여 얻어진 이미지를 이용하여 두 가지 단색색상분석 소프트웨어(Photoshop, Image J)로 회색도 값을 구하여 형광표준곡선으로 비교분석한 결과, Filtek Z250 A3.5를 제외한 모든 실험군에서 형광영상분석기와 단색색상분석 소프트웨어의 조합에 따라 유의차를 나타내었다 ($P<0.05$).

그 중, GC GRADIA DIRECT의 모든 실험군에서 단색색상분석 소프트웨어에 따른 형광농도의 차가 가장 높은 유의성을 보였다 ($P<0.05$).

IV. DISCUSSION

심미 수복에 사용된 복합레진이 다양한 빛에서 자연치와 유사한 특성을 나타내기 위해서는 형광성이 자연치와 유사할 필요가 있다. 복합레진은 기본 색상 외에도 자연치와 유사한 특성을 재현하기 위해서 치아의 투명도, 형광성, 유백광 등에 대한 고려도 필요하다. 형광성은 치과 수복물에 활력에 더하고 치아와 수복물 사이의 조건등색 효과를 최소화 할 수 있다(Leinfelder, 2000; del Mar Pérez 등, 2009; Lim과 Lee, 2007). 따라서, 본 연구에서는 치과용 심미 수복재인 복합레진의 형광 결과 변화를 확인하기 위하여 14종의 복합레진을 사용하였다. 형광영상분석기의 종류에 따른 형광성 비교를 위하여 2가지의 형광영상분석기(Bio Imaging systems, Fluor chem E)로 관찰하였다. 형광영상분석기로 얻어진 이미지는 단색색상분석 소프트웨어 종류에 따른 비교를 위해 Image J와 Photoshop을 사용하였다. 단색색상분석 소프트웨어를 이용하여 자연치아의 회색도 값을 얻은 후, 형광표준곡선을 이용하여 각각의 상대적인 형광농도 값을 계산하고자 하였다.

Matsumoto 등(1999)은 자연 치아는 햇빛에 치아가 더 하얗고 밝으나, UV 광원의 작용 하에는 청색의 형광을 방출하고, 사람의 상아질은 365 nm의 빛이 조사될 때 형광 피크가 관찰된다고 보고하였다. 따라서, 본 실험에 사용된 형광영상분석기는 UV-A, UV-B와 UV-C의 자외선 광원이 설치되어 있다. 모든 자외선 광원으로 치과용 수복재의 형광을 촬영할 수 있으나, 형광영상분석기의 자외선 광원은 UV-A(315-400 nm)영역의 자외선 광원을 사용하므로 본 시험에서도 다른 추가사양을 사용하지 않고 기본 사양으로 실험을 수행하였다. 또한, 형광영상분석기에 연결된 형광촬영 소프트웨어의 사양에 대해서는 각 제조사마다 다양한 기본사양과 선택사양을 가지고 있으므로, 자동이득조절장치(Auto gain control)의 배제하여 사용하였다. 자동이득조절장치를 사용할 경우, 제조사가 고정해놓은 촬영조건으로만 형광 촬영이 가능하기 때문에 본 시험에서는 수동 조절을 이용하여, 동일한 조건 내에서 모든 시험을 수행하였다.

Figure 4와 5에서 보는 바와 같이, 본 연구에서는 형광영상분석기에서 얻은 이미지 파일을 단색색상분석 소프트웨어를 이용하여 형광농도를 분석하였다. 회색도 값은 각각의 소프트웨어 안의 측정 툴을 이용하여 산출하였다. 디지털 이미지의 회색도 값은 픽셀로 정의되는 2진수(bits)단위로 계산되었다. 회색도 분석 소프트웨어의 선택 툴을 사용하여, 시편 이미지에서 측정할 직사각형 면적을 결정한다. 같은 면적의 직사각형을 부여하고, 이에 해당하는 면적의 회색도 평균값을 나타내었다. 이 절차는 각각의 형광표준물질과 각 시편마다 10번씩 반복하였다. 회색도는 가장 어두운 회색도가 0으로 결정되고, 반면 가장 밝은 회색도 값은 255로 결정되었다. 형광표준물질의 0.01~0.1% 농도별 회색도 값의 분포는 Bio image system-Photoshop(1~27), Bio image system-Image J(2~60), Fluor chem E-Photoshop(1~40), Fluor chem E-Image J(5~95)으로 나타났다. 이와 같이, Image J를 이용한 단색분석이 Photoshop보다 높은 값을 나타내는 것은 프로그램에서 분석된 색의 명도가 높아 회색도 값이 높게 나오는 것으로 사료된다. 따라서, 형광영상분석기와 단색색상분석 소프트웨어의 조합에 따라 회색도 값의 차를 나타내므로 차후 연구에서는 보정계수를 사용하는 것이 일관성 있는 수치를 얻는데 도움이 될 것으로 판단된다.

또, 형광표준물질의 각각의 농도에서 얻어진 회색도 값을 이용하여 형광표준곡선(standard curve)에 대입하여 시편의 형광유무 및 농도를 결정하였다. 표준곡선은 거의 모든 정량 실험에서 반드시 사용되어 지는 것으로 어떤 물질의 양을 기기 등을 이용하여 측정할 때, 기기에서 얻어진 값이 알고자 하는 물질의 양과 어떻게 대응하는지를 결정할 때 기준이 되는 것이다. 표준곡선을 만들기 위해서는 이미 농도를 알고 있는 시료를 기준으로 각각의 시편을 기기를 사용하여 측정값을 얻고, 시편의 농도와 측정값을 각각 X축과 Y축으로 그래프로 나타내어 이를 연결하면 만들어진다. 이렇게 얻어진 실험값을 통계 분석하여 직선을 그리고 r^2 (분산값)을 확인하면 1에 가까울수록 샘플 데이터에 대한 적합능력을 보여주는 것으로 정밀도를 확인할 수 있다. 이렇게 정량실험 후 얻어진 측정값을 통하여 시편의 실제 농도를 구할 수 있다. 본 실험에서 수행된 형광영상분석기와 단색색상분석 소프트웨어의 조합에 따라 나타난 회색도 값을 형광 표준 곡선에 대입하여

산출된 r^2 값은 Bio image system-Photoshop(0.9667), Bio image system-Image J(0.9274), Fluor chem E-Photoshop (0.9625), Fluor chem E-Image J(0.9281)으로 모두 1에 가까운 값을 나타내어 보다 높은 정밀도를 나타내는 것으로 사료된다.

Figure 6에 따르면, Filtek Z250 A3.5를 제외한 모든 실험군에서 형광영상분석기와 단색색상분석 소프트웨어의 조합에 따른 유의성을 보였고($P<0.05$), GC GRADIA DIRECT의 모든 실험군에서 단색색상분석 소프트웨어에 따른 형광농도가 가장 높은 유의차를 나타내었다($P<0.05$). 이는 Filtek Z250 A3.5 실험군은 0에 가까운 가장 낮은 회색도값을 나타내었기에 형광영상분석기와 단색색상분석 소프트웨어의 모든 조합에서 유의한 차이를 나타내지 않은 것으로 보인다. 반면, GC GRADIA DIRECT의 모든 실험군은 형광표준물질의 최대농도인 0.1%의 회색도 값을 넘는 높은 수치를 나타내므로 형광영상분석기와 단색색상분석 소프트웨어의 조합에

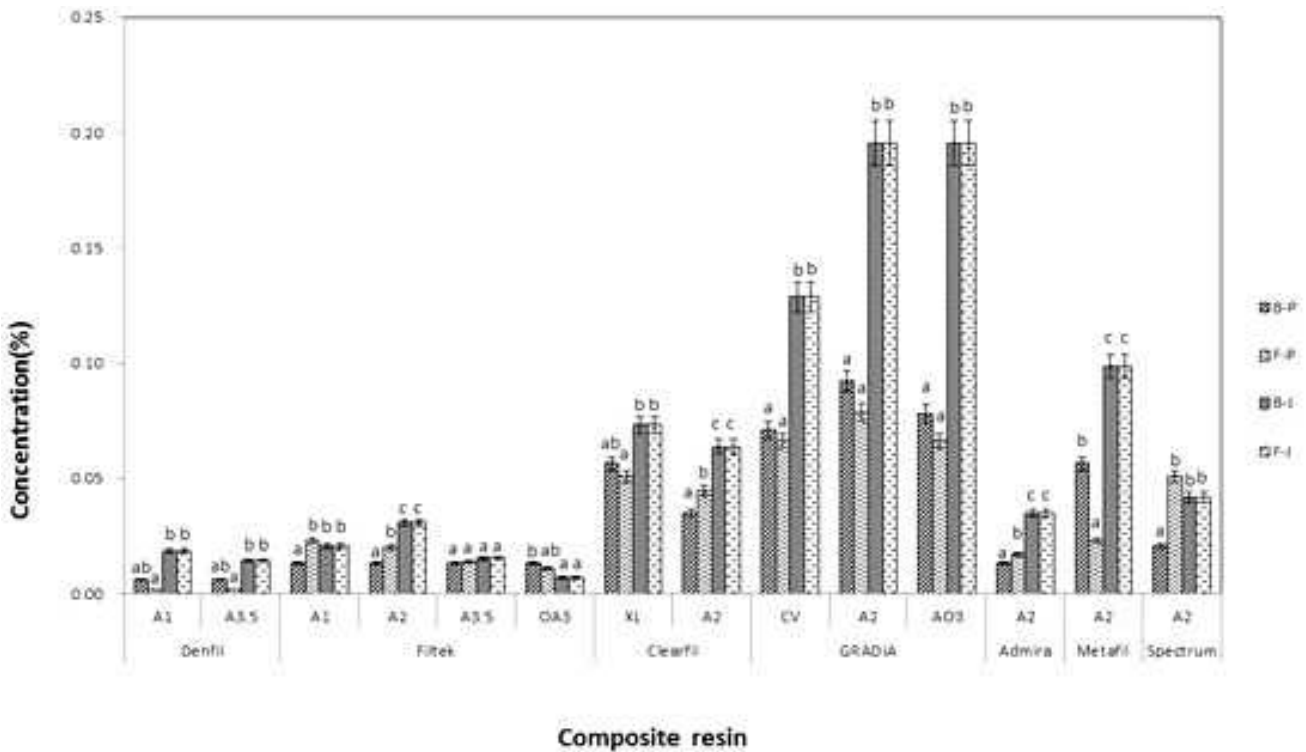


Figure 6. Fluorescence concentrations comparison graph.

* B : Bio image system, F : Fluor chem E, P : Photoshop, J : Image J

따라 가장 높은 차이를 보이는 것으로 사료된다.

정확한 색상 및 치아의 광학적 특성을 재현하는 것은 앞으로 심미 치과학 영역에서 풀어나가야 할 과제로 남아 있다. 그러므로, 경험과 눈의 인식으로 인한 색상의 재현보다 정확한 분석과 측정 결과를 기반으로 한 색상과 광학적인 특성이 나타날 수 있도록 좀 더 많은 심미 수복재에 대한 분석이 필요하리라 사료된다.

V. CONCLUSION

본 연구에서는 고분자 치과용 수복물에 형광을 부여하기 위하여 사용되고 있는 형광염료를 혼합하여 0.01~0.1% 농도별 형광표준물질을 제작하였다. 14종의 복합레진과 형광표준 물질을 형광영상분석기의 각각 최저노출시간으로 관찰하고, 단색색상분석 소프트웨어를 이용하여 회색도 값을 구한 후, 형광표준곡선을 이용하여 각 시편의 형광정성을 비교 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 각 시편에서 측정된 회색도 값을 이용하여 형광표준곡선을 분석한 결과, 복합레진의 0.01%~0.1% 사이의 형광표준물질의 농도를 기준으로 시편의 형광농도를 평가할 수 있었다.
2. Filtek Z250 A3.5를 제외한 모든 실험군에서 형광영상분석기와 단색색상분석 소프트웨어의 조합에 따라 유의차를 나타내었다($P<0.05$). 그 중, GC GRADIA DIRECT의 모든 실험군에서 단색색상분석 소프트웨어에 따른 형광농도의 차가 가장 높게 나타났다($P<0.05$).
3. 형광영상분석기와 단색색상분석 소프트웨어에 따라 형광농도의 차이를 보이므로 농도 수치화의 일관성을 위하여 상대지수(보정계수)를 사용하여야 할 것으로 사료된다.

VI. REFERENCES

1. Asmussen, E (1981). An accelerated test for color stability of restorative resins. *Acta Odont Scand*, 39:329-323.
2. Brewer JD, Wee A, Seghi R (2004). Advances in color matching. *Dent Clin North Am*, 48:341-358.
3. Crag, R. G (1981). Chemistry, composition, and properties of composite resin. *Dent Clin Nor Am*, 25:219-239.
4. Daniel C, Drummond J, Giordano RA (2008). Improving Flexural Strength of Dental Restorative Ceramics Using Laser Interference Direct Structuring. *J AM Ceram Soc*, 91:3455-357.
5. del Mar Pérez M, Saleh A, Pulgar R, Paravina RD (2009). Light polymerization-dependent changes in color and translucency of resin composites. *Am J Dent*, 22:97-101.
6. Farah JW, Powers JM, editors (2003). Layered resin composites. *Dental Advisor*, 20:1-4.
7. Fondriest J (2003). Shade matching in restorative dentistry: the science and strategies. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 23:467-479.
8. International Organization for Standardization (2009). ISO 4049. Dentistry - Polymer-based restorative materials, Geneva: Switzerland, ISO.
9. Johnston WM, Reisbick MH (1997). Color and translucency changes during and after curing of esthetic restorative materials. *Dent Mater*, 13:89-97.
10. Joiner A (2004). Tooth colour: a review of the literature. *J Dent*, 32 Suppl 1:3-12.
11. Lee YK, Lu H, Powers JM (2005). Fluorescence of layered resin composites. *J Esthet Restor Dent*, 17:93-101.
12. Leinfelder KF (2000). Porcelain esthetics for the 21st century. *J AmDent Assoc*, 131:47S-51S.
13. Lim YK, Lee YK (2007). Fluorescent emission of varied shades of resin composites. *Dent Mater*, 23:1262-1268.
14. Matsumoto H, Kitamura S, Araki T (1999). Autofluorescence in human dentine in relation to age, tooth type and temperature measured by nanosecond time-resolved fluorescence microscopy. *Arch Oral Biol*, 44:309-318.

15. McLaren EA (1997). Luminescent veneers. *J Esthet Dent*. 9:3-12.
16. Monsénégo G, Burdairon G, Clerjaud B (1993). Fluorescence of dental porcelain. *J Prosthet Dent*. Jan;69:106-113.
17. Panzeri H, Fernandes LT, Minelli CJ (1977). Spectral fluorescence of direct anterior restorative materials. *Aust Dent J*. 22:458-461.
18. Powers, J. M, Dennison, J. B, Andrew, K (1978). Color stability of restorative resins under accelerated aging. *J Dent Res*. 57:964-970.
19. Zena R (2001). Evolution of dental ceramics. *Compend Contin Educ Dent*. 22(12 Suppl):12-4; quiz 19.