

## 열가압성형도재 코어의 가시광선 투과율에 관한 연구

정 인 호, 이 상 덕\*, 남 상 용\*\*

김천대학교 치기공학과, 안경광학과\*, 대구보건대학교 치기공과\*\*

### A study on the visible wave of transmittance pressable ceramic core

In-Ho Jung, Sang-deok Lee\*, Sang-Yong Nam\*\*

Dept. of Dental Laboratory Technology, Gimcheon University

Dept. of Optometry, Gimcheon University\*

Dept. of Dental Laboratory Technology, Daegu Heath College\*\*

#### [Abstract]

**Purpose:** The purpose of this study was to investigate the transmittance differences of pressable ceramic core due to thickness within the visible light spectrum.

**Methods:** 36 specimens were divided into 2 groups (0.6mm, 0.8mm) which have each 3 specimens. The size of specimens was 10mm high and 10mm wide. The transmittance of specimens are measured by spectrophotometer Model Cary 500 that can measure infrared-ray, visible wave and ultraviolet-ray.

**Results:** The results shows that there was no significant difference between specimen's thickness(0.6mm, 0.8mm) and transmittance.

**Conclusion:** The individual's color perception is personal and there are numerous factors that influence on it. In general, human eye can perceive the color of thing only within visible light spectrum but in this experiment through spectrophotometer there was no big difference between specimen's thickness(0.6mm, 0.8mm) and transmittance.

To sum up, The most important factors were a layed porcelain structure and its thickness rather than core thickness in the porcelain crown. Also, When making all ceramic core with dead pulp(nervous treatment tooth) when used as a restorative esthetic think is more efficient to improve.

○Key words : pressable ceramic, transmittance, visible wave, zirconia

교신저자	성명	정 인 호	전화	011-540-4611	E-mail	jih4611@hanmail.net	
	주소	경북 김천시 삼락동 754번지 김천대학교 치기공학과					
접수일	2012. 1. 3		수정일	2012. 3. 13		확정일	2012. 3. 24

## I. 서론

금속과 불투명 도재로 인하여 빛의 굴절과 투과, 산란 및 투명도가 달라지므로 심미적인 면에서 많은 문제점이 제기되어 왔다. 이와 같은 문제점을 해결하는 방안으로 다양한 형태의 전부도재관 제작 시스템이 도입되어 사용되고 있다. 하지만 금속 도재관의 투명도, 빛의 투과, 산란 및 굴절 등이 자연치와 다르므로 최근에는 심미성과 강도가 개선된 코어용 도재를 이용한 전부도재관 시스템에 대한 관심이 증가되고 있다(Ferrari, 1991; Luca & Dalloca, 1995). 전부도재관(All ceramic crown)은 1903년 Land(O'Brien, 1985)에 의해 백금박 술식이 개발된 이후 임상에서 널리 사용되어 왔는데, 이것은 고용점 장석질 도재로, 높은 투광도와 특별한 기공과정으로 인해 자연스러운 심미성을 가질 수 있었다(Mclean et al, 1976; Donovan et al, 1984).

전부도재관(All ceramic crown)의 최대 장점은 자연치에 가까운 색조와 빛의 투과성을 재현할 수 있다는 것과 생체친화성이 뛰어나다는 것이다. 그 외에, 치수에 주는 온도자극이 적고, 구강 내에서 화학적으로 안정된 성질을 가진 불용성이며, 변색과 마모가 적고, 방사선 투과성이 있어 지대치의 상태를 어느정도 관찰할 수 있다는 것이다.

새로운 전부도재관 재료를 이용한 심미보철물은 우수한 생체친화성과 물성의 향상, 접착성 레진 시멘트 및 CAD/CAM system의 개발로 주목받고 있다. 지르코니아는 높은 파절 강도와 생체 친화성, 심미성으로 인하여 그 사용이 더욱 늘어날 것으로 생각되며 최근에는 부하를 많이 받는 구치부까지 심미적 요구가 증가함에 따라 지르코니아를 이용한 코어의 사용이 증가하고 있다(노재경, 2007).

1990년 Zürich 치과대학에서 개발하여 Ivoclar사에 의해 상품화된 IPS Empress는 다양한 색조의 결정화된 잉곳(ingot)를 녹여 열가압 과정을 통해 성형하는 방법으로 제작이 간편하고 변형이 적은 왁스 소환법을 기초로 하고 있다. 이 방법의 장점으로 자연치와 유사한 투명도와 마모도를 얻을 수 있으며, 우수한 형태 재현성과 변연 적합도를 보이며, 각 환자의 상아질 색상에 맞는 레진 다이(die)가 다양한 색상으로 이루어졌기 때문에 색조재현성이 우수하고 복합 레진시멘트를 접착제로 사용할 경우 강

도 또한 우수하다(Beham, 1990; Dong et al, 1992; Yu et al, 1994; Paek & Yang, 1995; Brodbeck et al, 1995). IPS Empress는 도재의 소성과정에서 발생하는 수축을 최소화하기 위한 방법으로 미리 결정화시킨 글라스 도재를 열과 압력을 가하여 성형하는 열가압법(heat-press technique)을 사용한다.

한편 임상에서 치아의 색조를 선택할 때는 대부분 술자의 시각에 의해 각 도재 분말 제조회사의 shade guide를 이용하여 주관적으로 결정되는 것이 일반적이었다(Korson, 1984). 그러나 자연치의 색조는 다양하며 같은 치아라 할지라도 부위별로 다른 색조를 가지기 때문에 단순히 shade guide 상의 색조 비교만으로는 정확한 치아 색조의 특성을 나타내는 것은 불가능하다. 게다가 색조를 판별하는 능력은 사람에 따라 차이를 보이며 광원의 조건이나 주변 색상에 의해 색조 선택의 결과가 다양해질 수 있다(Sproull, 1973 a, b, c; Preston, 1985; Shotwell & Johnston, 1986).

수복물에서의 색조차이는 심미적 관점에서 매우 중요하며, 이에 영향을 미치는 요소로는 술자의 색조 선택 능력, 사용되는 shade guide 종류, 도재의 종류와 제조사, 도재의 두께 등이 있다(김재홍 등, 2011). 또한 다양한 전부도재관의 제작 시스템마다 다양한 종류의 코어를 사용함에 따라 코어 자체의 색조와 투명도가 수복물의 심미성에 영향을 미치는 요인이며, 재료를 선택함에 있어 중요한 고려 사항이다(Kelly et al, 1996). 따라서 지르코니아 코어를 각 4개 제조사별로 두께를 두어 그 평균값과 Ivoclar사의 IPS Empress® 2 system과 IPS e. max® system도 같은 두께를 두어서 도재의 심미에 대해 어떠한 영향을 끼치는지를 알아보기 위해 분광광도계를 이용하여 가시광선 영역에서의 투과율을 측정하여 그 차이를 알아보고자 하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 지르코니아 및 IPS Empress® 2와 IPS e. max® 시편 제작

시편 제작은 4개의 제조사의 Kavo Everest, Cerasys,

Zmatch 및 Zirtooth 지르코니아 블럭을 10mm×10mm×0.6mm 및 10mm×10mm×0.8mm로 3개씩 하여 24개의 시편을 준비하였고, 이 시편들은 소결과정의 수축 과정을 감안하여 제작하였으며, 완전소결과정은 CAD/CAM system(HIMERLE+MEULE PROGRAMIX S, Germany)의 전용 도재로에서 제조사의 지시대로 시행하였다.

Ivoclar사의 IPS Empress® 2 및 IPS e. max® 시편 제작은 Plastic card로 두께10mm×10mm×0.6mm 및 10mm×10mm×0.8mm로 3개씩 제작하여 IPS-Empress® system (EP-500, Ivoclar Leichtenstein)전용의 원추대에 부착 매몰 후 압력을 가하여 12개의 시편을 제작하여 모두 36개의 시편을 준비하였다(Fig. 1, Table 1).

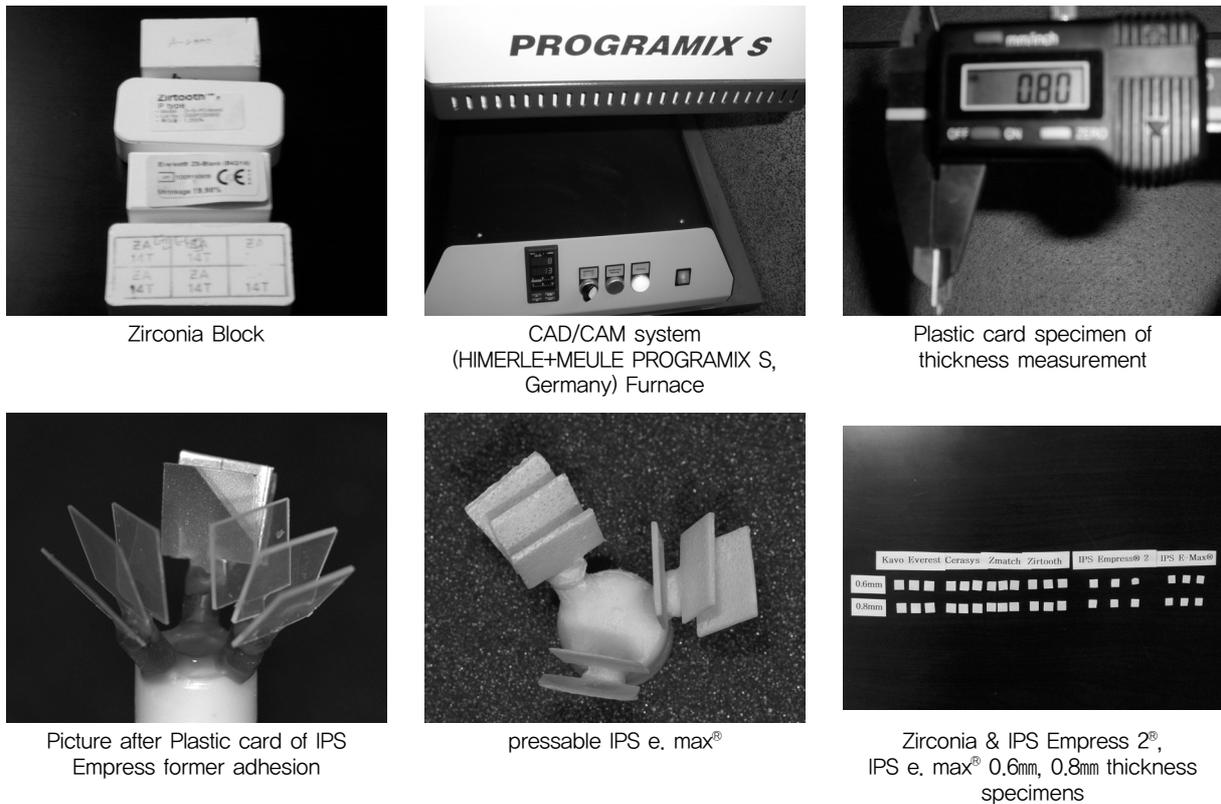


Fig. 1. Zirconia & IPS Empress 2®, IPS e. max® specimens

Table 1. Zirconia & Ivoclar product company, spectrophotometer company

		specimens(thickness 0.6mm, 0.8mm) transmittance Analysis				Spectrophotometer Model	
		Zirconia		Ivoclar			
product Company	Kavo Everest	Cerasys	Zmatch	Zirtooth	IPS Empress® 2	IPS e. max®	Cary 500 (Varian Inc, Australia)

2. 시편의 투과율 계측 및 통계분석

두께 변화를 주어 제작된 무색의 전부도재관 시편 총 36개를 자외선 가시광선 근적외선 분광광도계(UV/VIS/NIR)인 Spectrophotometer Model Cary 500

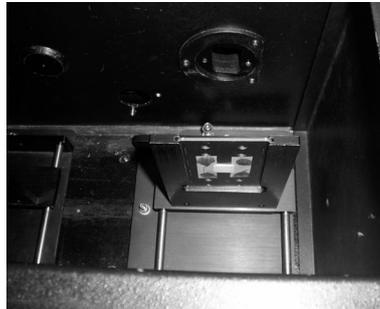
(Varian Inc, Australia)을 이용하여 가시광선 영역에서의 투과율을 계측하였다. 계측 전 먼저 공기에 조사하여 시편이 없는 공기중에서의 투과율이 100% 되게 Base line을 설정하였다(Fig. 2).

각 시편의 평균 투과율 검정을 위하여 SPSS 18.0 프로그램을 이용하였으며, 실험군의 측정값은 One-way ANOVA test, multiple range test(Scheffe's test), T-

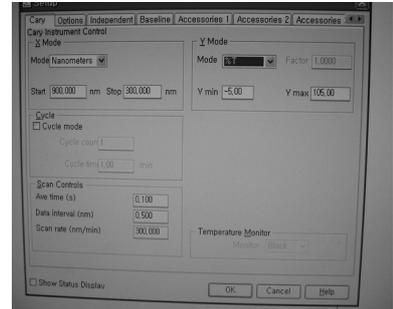
test, Pearson 상관분석을 통하여 각 인자들의 유의성 ( $p < 0.05$ )을 분석하였다.



Spectrophotometer Model Cary 500



specimens and detector



Transmittance Analysis

Fig. 2. Visible wave analysis of specimens transmittance

### III. 결 과

0.4mm와 0.6mm 두께로 제작된 Zirconia, IPS Empress<sup>®</sup> 2, IPS e-max<sup>®</sup> 세 종류의 시편에 대한 가시광선(380nm

~770nm) 영역에서의 평균 투과율을 <Table 3>에 나타내었다. 지르코니아는 Kavo Everest, Cerasys, Zmatch 및 Zirtooth 등 4개 제조사별 투과율의 평균값으로 하였다.

Table 3. Mean transmittance of Zirconia & IPS Empress<sup>®</sup> 2, IPS e-max<sup>®</sup>.

Thickness	Specimens	Mean (%)	Std. Deviation	F-Value / P	Scheffe
0.6mm	Zirconia(A)	0.33	.035	53.41/0.00	A*B
	IPS Empress <sup>®</sup> 2(B)	0.24	.038		A*C
	IPS e-max <sup>®</sup> (C)	0.38	.089		B*C
0.8mm	Zirconia(A)	0.29	.039	46.40/0.00	A*B
	IPS Empress <sup>®</sup> 2(B)	0.18	.039		B*C
	IPS e-max <sup>®</sup> (C)	0.29	.087		

\*: The mean difference is significant at the P<0.05 level.

0.6mm 두께에서 지르코니아, IPS Empress<sup>®</sup> 2, IPS e-max<sup>®</sup> 시편에 대한 평균 투과율은 각각 0.33%, 0.24%, 0.38%로 IPS e-max<sup>®</sup> 시편이 가장 높았고 IPS Empress<sup>®</sup> 시편이 가장 낮게 측정되었다. IPS e-max<sup>®</sup>와 지르코니아는 투과율의 차이가 0.05%로 미미하였으나, IPS e-max<sup>®</sup>와 투과율이 가장 낮은 IPS Empress<sup>®</sup>는 0.14%의 투과율 차이를 보여 상대적으로 차이가 컸다. 분산분석 결과( $F=53.41$ ,  $p=0.00$ ) 세 시편의 평균 투과율의 차이는 통계적으로 유의( $p < 0.01$ )하였으며, 사후검증에서도 세 시편 모두 각각 서로 유의한 차이( $p < 0.05$ )가

있음을 알 수 있었다.

0.8mm 두께에서는 지르코니아 시편과 IPS e-max<sup>®</sup> 시편의 평균 투과율이 0.29%로 서로 같았으며, 평균 투과율이 0.18%로 가장 낮게 나타난 IPS Empress<sup>®</sup>와는 0.11%의 투과율 차이를 보였다. 0.6mm 두께에서와 마찬가지로 IPS Empress<sup>®</sup>의 평균 투과율이 다른 두 시편의 투과율과는 상대적으로 큰 차이가 있음을 알 수 있었다. 세 시편의 평균 투과율에 대한 분산분석 결과( $F=46.40$ ,  $p=0.00$ ) 통계적으로 유의( $p < 0.01$ )한 차이가 있었다. 사후검증에서는 IPS Empress<sup>®</sup> 2와 지르코니아, IPS

Empress<sup>®</sup> 2와 IPS e-max<sup>®</sup>는 각각 서로 유의한 차이 ( $p < 0.05$ )가 있음을 알 수 있었으나 IPS e-max<sup>®</sup>와 지르코니아는 서로 유의한 차이가 없었다.

세 시편이 각각 두께에 따른 평균 투과율의 차이가 있는지 분석한 결과(Table 4), 세 시편 모두 두께가 0.6mm에서

0.8mm로 증가함에 따라 평균 투과율이 감소하였다. 0.8mm 두께 시편에서의 투과율은 0.6mm인 경우에 비해 지르코니아 시편은 0.04%, IPS Empress<sup>®</sup> 2 시편은 0.06%, IPS e-max<sup>®</sup> 시편은 0.09% 만큼 감소되었으며 평균 투과율의 차이는 세 시편 모두 통계적으로 유의( $p < 0.01$ ) 하였다.

Table 4. Mean transmittance of specimens according to thickness

Specimens	Thickness(mm)	Mean(%)	Std. Deviation	T-Value	P-Value
Zirconia	0.6	0.33	0.03	4.35	.000
	0.8	0.29	0.04		
IPS Empress <sup>®</sup> 2	0.6	0.24	0.04	7.34	.000
	0.8	0.18	0.04		
IPS e-max <sup>®</sup>	0.6	0.38	0.09	4.56	.000
	0.8	0.29	0.09		

(Fig. 4)와 (Fig. 5)는 각각 0.4mm와 0.6mm로 두께로 제작된 세 종류의 시편에 대한 광투과율 스펙트럼을 보여주고 있다. 0.4mm와 0.6mm 두께에서 파장이 길어짐에 따라 세 시편 모두 투과율이 증가하였으며, 특히 IPS e-max<sup>®</sup> 시편이 다른 두 시편에 비해 상대적으로 파장에 따른 투과율 변화의 기울기가 컸다. 가시광선 영역 전체에서의 평균 투과율은 IPS e-max<sup>®</sup> 시편이 가장 높음을 알 수 있었는데, 두께 0.6mm 시편에서는 475nm, 0.8mm 시편에서는

560nm 이하의 단파장 영역에서는 오히려 지르코니아 시편이 IPS e-max<sup>®</sup> 시편보다 투과율이 높게 나타났다.

0.6mm 두께에서 파장과 투과율간의 Pearson 상관분석에서는 A시편( $r=0.866$ ,  $p < 0.01$ ), B시편( $r=0.978$ ,  $p < 0.01$ ), C시편( $r=0.969$ ,  $p < 0.01$ ) 모두 통계적으로 유의한 관련성이 있었다. 0.8mm에서도 A시편( $r=0.852$ ,  $p < 0.01$ ), B시편( $r=0.943$ ,  $p < 0.01$ ), C시편( $r=0.958$ ,  $p < 0.01$ ) 모두 유의한 관련성이 있음을 알 수 있었다.

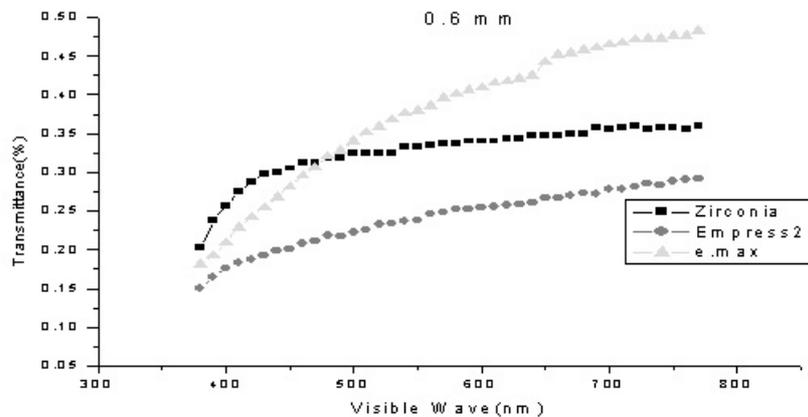


Fig. 4. Transmittance spectra of Zirconia & IPS Empress<sup>®</sup> 2, IPS e. max<sup>®</sup> at 0.6mm thickness

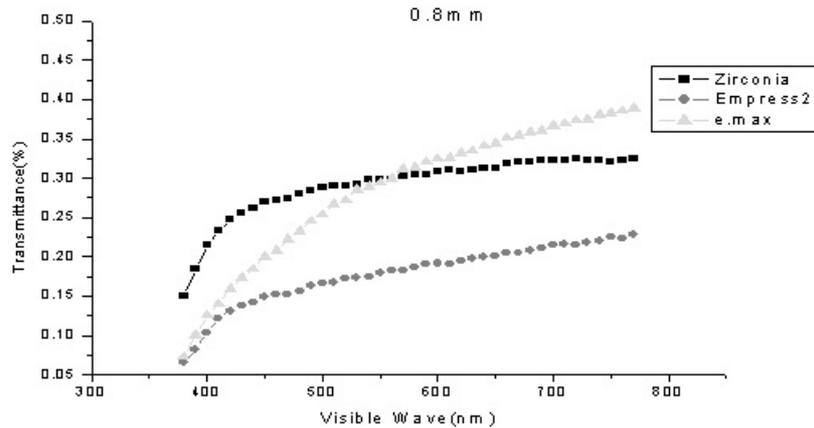


Fig. 5. Transmittance spectra of Zirconia & IPS Empress<sup>®</sup> 2, IPS e. max<sup>®</sup> at 0.8mm thickness

#### IV. 고찰

인간의 눈을 통해 인지되고 판단되는 물체의 색은 절대적일 수 없다. 이는 색상을 판단하는 관찰자의 색에 대한 기준, 안구의 특성 및 색 지각에 대한 훈련 등 다양한 요인들이 색을 결정하는 과정에 관여하기 때문이다. 하지만 이러한 관찰자의 문제뿐만 아니라 물체의 구조, 구성 성분, 물체의 표면 상태 및 광원 등 다양한 외부 조건에 따라 실제 관찰자가 감지하는 색은 다르게 나타날 수 있다. 이러한 색을 판단하는 여러 가지 문제점들에도 불구하고 현재 치과 영역에서 사용하는 색상 결정 방법은 대부분 특정 재료에 맞추어 제공되는 shade guide를 치아와 직접 육안으로 비교 판단하는 비색법을 사용하고 있다. 이런 문제점들을 해결하기 위해 많은 연구자들이 기기를 사용하여 측색하는 방법들을 제안하고 있으며, 실제 객관적 측색이 가능한 colorimeter 등 몇몇 기기들이 소개되고 있다(Sproulla, b, c, 1973; Lemire & Burk, 1975; Grajower et al, 1976; Macentee & Lakowski, 1981; Goodkind & Schwabacher, 1987; 박해균과 정재현, 1988; 황인남과 오원만, 1997).

Heffernan 등은 코어와 도재가 수복물의 전반적인 투명도에 미치는 영향에 대하여 연구하였는데, 임상적으로 가능한 0.5mm 두께의 코어 두께를 가질 때, 코어의 종류에 따라 다양한 투명도를 가진다고 하였다(Heffernan et al, 2002a, b). 따라서 지르코니아 코어를 사용한 도재 수복

물은 In-Ceram이나 Empress보다 심미성 면에서는 잇점이 없는 것으로 간주되고 있지만, 지르코니아 코어는 얇은 두께로도 충분한 굴곡 강도를 가질 수 있다면 투명도재의 두께를 증가시켜 더 심미적인 최종 수복물을 얻을 수 있을 것이다. 심미적인 도재 수복물을 제작하기 위해서는 색조의 객관적 평가를 위한 연구가 필요하며, 도재의 색조뿐 아니라 다양한 투명도에 대한 평가 또한 이루어져야 한다고 하였다(배아란 등, 2005).

색조의 결정은 일반적으로 가시광선 범위(380~770nm) 내에서 이루어지는데, 지르코니아와 IPS Empress<sup>®</sup> 2, IPS e. max<sup>®</sup> 시편의 투과율은 0.6mm, 0.8mm 두께에서 투과율의 차이는 거의 없으며, 시편의 두께가 두꺼워질수록 투과율에는 차이가 극히 없음을 의미하였다. 이러한 결과는 박명자와 김주원(2002)의 연구 결과와 일치한다. 이는 지르코니아와 IPS Empress<sup>®</sup> 2, IPS e. max<sup>®</sup>의 심미적인 영향성은 코어의 두께의 영향보다 도재 축성시 상부도재의 적절한 선택이 전체적인 심미성에 높은 영향을 끼친다고 해석된다(정인호 등, 2011). 지르코니아를 이용한 전부도재관의 심미성에 영향을 미치는 요인은 하부구조의 색조와 투명도(Heffernan et al, 2002a, b), 상부도재의 두께(Antonson & Anusavice, 2001; Lee et al, 2007), 소성횟수(Ozturk et al, 2008; Celik et al, 2008; Uludag et al, 2007) 등이 있다. 그리고 전부도재관의 색조에 영향을 미치는 요인으로 코어 자체의 색조와 투명도가 있으나, 감안해야 할 사항은 코어와 상부도재의 두께,

상부도재의 종류 등으로 설명할 수 있으며, 지르코니아 코어와 버니어의 제작방법에 따라 색조 재현성에 차이가 있으므로 이를 감안하여 심미보철제작이 되어야 할 것으로 생각된다. 이러한 결과는 허성운 등(2011)의 연구결과와 크게 다르지 않음을 알 수 있었다. 일반적으로 지르코니아의 낮은 투광도가 투명한 전치의 수복에는 비적응증이 되나 오히려 변색을 차단할 수 있는 장점으로 작용하기도 한다.

본 연구에서 IPS e. max<sup>®</sup> > Zirconia specimens average > IPS Empress<sup>®</sup> 2로 IPS e. max<sup>®</sup>가 차이는 미미하지만 가장 높고 IPS Empress<sup>®</sup> 2는 가장 낮게 나타났다. 추후 전부도재관의 심미적인 보철물의 객관적인 색조 평가를 위해 각 제조사의 코어에 일정한 상부 도재를 소성시켜 색조 전체의 투명도 및 반사율에 대한 평가를 통하여, 전부도재관(All ceramic crown)의 심미성을 좌우하는 요인에 대한 연구가 지속되어야 할 것으로 생각된다.

## V. 결 론

본 연구에서는 두께가 0.6mm, 0.8mm로 제작된 지르코니아 시편(4개의 제조사), IPS Empress<sup>®</sup> 2, IPS e. max<sup>®</sup> 시편에 대해 분광광도계(UV/VIS/NIR)를 이용하여 가시광선 범위내에서 투과율을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 0.6mm 두께로 제작된 시편에서의 평균 투과율은 e.max(0.38%) > Zirconia(0.33%) > Empress 2(0.24%)이었으며, 0.8mm 두께에서는 e.max(0.29%) = Zirconia(0.29%) > Empress 2(0.18%)로 나타났다.

2. 시편의 두께가 0.6mm에서 0.8mm로 증가함에 따라 Zirconia 시편은 0.04%, IPS Empress<sup>®</sup> 2 시편은 0.06%, IPS e-max<sup>®</sup> 시편은 0.09% 만큼 투과율이 감소되었다.

3. 세 시편 모두 파장이 길어짐에 따라 투과율이 증가하는 스펙트럼을 보였으며, 특히 IPS e-max<sup>®</sup> 시편이 다른 두 시편에 비해 상대적으로 파장에 따른 투과율 변화의

기울기가 컸다.

이상의 결과에서 세 시편 중에서 e-max와 지르코니아 시편의 투과율은 비슷하며 Empress 2 시편은 투과율이 다소 낮음을 알 수 있다. 하지만 본 연구에 사용된 시편 중에서 투과율의 최대값은 0.38%로 낮은 수치를 보였다. 따라서 0.6mm 이상의 두께로 제작된 지르코니아, IPS Empress<sup>®</sup> 2, IPS e-max<sup>®</sup> 코어는 심미보철의 색조재현에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 생각할 수 있으며, 지르코니아와 열가압성형도재의 코어의 제작방법에 따라 도재 분말에 의해 좌우될 수 있다고 생각된다. 그리고 투명도와 반사율에 대한 평가, 색조의 지속적인 반복 평가를 통하여 심미보철제작에 대한 객관적인 평가가 지속되어야 할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- 김재홍, 김혜영, 김웅철, 김지환. Shade Eye<sup>®</sup> NCC system을 이용한 Vita CAD/CAM Ceramic Block의 크기에 따른 색조 일치성 비교연구. 대한치과기공학회지, 33(3), 203-210, 2011.
- 노재경. CAD/CAM All Ceramic 수복. 한국 콘텐츠스 출판, 5-14, 2007.
- 박명자, 김주원. In-ceram Alumina core와 IPS Empress 2 core의 분광반사율 연구. 대한치과기공학회지, 23(2), 189-202, 2002.
- 박해균, 정재현. 한국인 자연치의 색에 관한 연구. 대한치과보철학회지, 26, 185-195, 1988.
- 배아란, 백진, 우이형, 김형섭, 최대균. 지르코니아 코어가 전부도재관의 색조에 미치는 영향에 대한 분광측색분석. 대한치과보철학회지, 43(4), 2005.
- 정인호, 박명자, 김주원. 지르코니아 코어의 두께에 따른 분광광도계 투과율에 관한 연구. 대한치과기공학회지, 33(2), 129-136, 2011.
- 황인남, 오원만. 발거된 자연치와 shade guide의 색체계 측기를 이용한 색상 비교. 대한치과보존학회지 22, 769-781, 1997.

- 허성운, 김재홍, 손호정. Spectrophotometer를 이용한 지르코니아 코어의 두께 및 도재축성법에 따른 색조의 변화에 대한 연구. 대한치과기공학회지, 33(4), 13-321, 2011.
- Antonson SA, Anusavice KJ. Contrast ratio of veneering and core ceramics as a function of thickness. *Int J Prosthodont*, 14(4), 316-320, 2001.
- Beham G. IPS Empress. A new ceramic technology. Ivoclar-Vivadent Report, 13, 6-1, 1990.
- Brodbeck U, Studer S, Lehner C. Six year clinical experience with an all ceramic restoration system. *Dental Labor III*, 1995.
- Celik G, Uludag B, Usumez A, Sahin V, Oztug O, Goktug G. The effect of repeated firings on the color of an all-ceramic system with two different veneering porcelain shades. *J Prosthet Dent*, 99(3), 203-208, 2008.
- Dong JK, Luthy H, Wohelwend A, Scharer P. Heat Pressed Ceramics. Technology and strength. *Int J Prosthodont*, 16, 5-9, 1992.
- Donovan, T, E, Adishian, S, Price, J. The platinum bonded crown.: A simplified to Technique, *J Prosthet Dent*, 57, 273, 1989.
- Ferrai M. Cement Thickness and Microleakage under Dicor Crowns. *Int J Prosthet*, (4), 126-131, 1991.
- Goodkind RJ, Schwabacher WB. Use of a fiber-optic colorimeter for in vivo color measurements of 2830 anterior teeth. *J Prosthet Dent* 58, 535-542, 1987.
- Grajower R, Revah A, Sorin S. Reflectance spectra of natural and acrylic teeth. *J Prosthet Dent* 36, 570-579, 1976.
- Heffernan MJ, Aquilino SA, Diaz-Arnold AM, Haselton DR, Stanford CM, Vargas MA. Relative translucency of six all-ceramic systems. Part I : core and veneer materials. *J Prosthet Dent*, 88(1), 4-9, 2002.
- Heffernan MJ, Aquilino SA, Diaz-Arnold AM, Haselton DR, Stanford CM, Vargas MA. Relative translucency of six all-ceramic systems. Part II : core and veneer materials. *J Prosthet Dent*, 88(1), 10-15, 2002.
- Kelly JR, Nishimura I, Campbell SD. Ceramics in dentistry: historical roots and current perspectives. *J Prosthet Dent*, 75, 18-32, 1996.
- Korson DL. The Simulation of Natural Tooth Colors in the Ceramo metal System with Highly Chromatized Dentin Powders. *Quint Dent Tech*, 9, 453-456, 1984.
- Lee YK, Cha HS, Ahn JS. Layered color of all-ceramic core and veneer ceramics. *J Prosthet Dent*, 97(5), 279-286, 2007.
- Lemire PA, Burk B. Color in dentistry. Hartford, CT J.M Ney Co, 1975.
- Luca L, Dalloca UD. A New Esthetic Material for Anterior Crowns: IPS Empress. QDT, 171-175, 1995.
- Macentee M, Lakowski R. Instrumental color measurement of vital and extracted teeth. *J Oral Rehab*, 8, 203-208, 1981.
- McLean J. The bonded alumina crown, 1. The bonding of platinum to aluminous, dental porcelain using tin oxide coatings. *Aust Dent J*, 21, 119, 1976.
- O'Brien, WJ. Recent developments in materials and process for ceramic. *J Am Dent Assot*, 110, 548, 1985.
- Ozturk O, Uudag B, Usumez A, Sahin V, Celik G. The effect of ceramic thickness and number of firings on the color of two all-ceramic systems. *J Prosthet Dent*, 100(2), 99-106, 2008.
- Paek SJ, Yang JH. A study on the fracture strength

- of all ceramic crowns. *J Korean Acad Prosthodont*, 33, 611, 633, 1995.
- Preston JD. Current Status of Shade Selection and Color Matching. *Quintessence Int*, 16, 47-58, 1985.
- Shotwell JL, Johnston WM. Color Comparisons of Denture Teeth and Shade Guides. *J Prosthet Dent*, 56, 31-40, 1986.
- Sproull RC. Color Matching in Dentistry, Part I: The Three Dimensional Name of Color. *J Prosthet Dent*, 29, 416-424, 1973.
- Sproull RC. Color Matching in Dentistry, Part III: The Three Dimensional Name of Color. *J Prosthet Dent*, 29, 416-424, 1973.
- Sproull RC. Color Matching in Dentistry, Part II: Practical applications of the organization of color. *J Prosthet Dent*, 29, 556-566, 1973.
- Uiudag B, Usumez A, Sahin V, Eser K, Ercoban E. The effect of ceramic thickness and number of firings on the color of ceramic systems: an in vitro study. *J Prosthet Dent*, 97(1), 25-31, 2007.
- Yu HW, Song CY, Bae TS, Song KY, Park CW. A comparative study on the flex are strength of the ceramics for all ceramic crowns. *J Korean Acad Prosthodont*, 32, 195-211, 1994.