

도재전장 구조관에 사용되는 도재의 색차에 관한 실험적 연구

서울대학교 치과대학 보철학교실

백성기 · 장완식 · 양재호 · 이선형

— Abstract —

AN EXPERIMENTAL STUDY ON COLOR DIFFERENCE BETWEEN PROCELAIN SYSTEMS FOR PORCELAIN-FUSED-TO-METAL CROWN

Sung-Ki Paik, D.D.S., M.S.D., Wan-Shik Chang, D.D.S., Ph.D.,
Jae-Ho Yang, D.D.S., M.S.D., Ph.D., Sun-Hyung Lee, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Seoul National University

The purposes of this study were to evaluate the color differences those can exist between different brands of porcelain with identical shade designation, and to find their causes.

For these purposes the following experiments were executed:

The color of each opaque and layered porcelain specimen was determined by spectral reflectance measurements with a spectrophotometer.

The compositions of each opaque porcelain powder were analyzed by qualitative, and quantitative analysis.

Microscopic structures of each opaque porcelain were observed by scanning electron microscope.

The results were as follows:

1. Identical shade of different brands of porcelain produced significantly different colors.
2. Color differences among the three brands were found under different light sources.
3. Color differences among the three brands were mostly a result of differences in kinds and amounts of opacifying agents and fluxes and microstructure of porcelain systems.
4. When porcelain systems have similar compositions and firing cycles, they produced similar colors.

1. 서 론

인류의 고대문명에서 도재류가 최초로 발견된 것은 기원전 23,000 년 경이고, 토기가 널리 사용된 것은 기원전 6,000 ~ 7,000 년경으로 추정하고 있다. 이와같이

도재는 고대로부터 인류의 생활과 밀접한 재료로서, 문명의 발달과 더불어 그성질이나 사용범위등이 더욱 다양하여 졌고, 오늘날에는 우주항공산업, 전자통신기 그리고 컴퓨터산업등에 까지 응용되는 첨단재료로 각광을 받고 있다.

이러한 도재가 처음으로 치과계에 도입된 시기는 18

세기초 Fauchard가 도재를 보철물 제작에 응용하기를 제안한 이후부터 치과보철치료에 널리 이용되며 발달되어왔다. 23,33,56)

치과용 도재는 일반도재와 달리 구강의 제기능에 적합한 강도와 자연치아와 유사한 심미성을 함께 갖어야 한다. 33-36)

근자에 이르러 치의학의 보철치료영역에 있어서도 심미적요소에 대한 기대는 더욱 높아져 가고있으며, 심미적인 보철물이 되기 위해서는 자연치아의 형태적, 광학적, 생물학적 특징을 구현하여야 한다. 47) 그러나 치과용도재로 자연치아의 색을 포함한 광학적현상을 복제하기 위하여서는 아직도 풀어야 할 많은 과제를 안고있다. 11,47)

Preston⁴⁷⁾은 법랑질, 상아질, 치수나 구강연조직등이 치아의 색채에 미치는 영향과 이들의 상호작용에 대한 규명이 있어야 하며, 자연치아의 색채를 정확히 측정할 수 있는 기구가 개발되어야 하며, 이상적으로 색을 재현 또는 제작할 수 있는 재료가 개발되어야 하고, 끝으로 치아와 도재에 관한 색채적 또는 광학적 현상에 대한 문제의 정확한 파악과 해결이 시급하다고 보고한 바있으며, 실로 이러한 과제들을 해결하기 위한 많은 연구가 행하여져 왔다.

Clark¹¹⁻¹⁴⁾는 발견된 치아의 색분포를 시각적으로 측정하여 분류한 바있으며, Sproll⁵¹⁻⁵³⁾과 Lemire와 Burk²⁹⁾ 및 Hayashi²⁰⁾에 의해서도 치아의 색분포가 보고된 바있으며, 최근에는 Clarke¹⁵⁾와 細矢,⁵⁸⁾ 和多⁵⁹⁾ 등에 의해 치아의 색채에 대한 분광측광학적 연구가 보고된 바있으며, Broadbelt⁴⁰⁾에 의해서 법랑질의 투명도가 연구되는 등 심미성의 목표가 되는 자연치아의 색채와 광학적특성에 대한 연구가 진행되어 왔다. 또한 자연치아의 색채를 결정하고, 이색채의 표현 목적으로 사용되는 shade guide에 대하여서는 Sproll⁵¹⁾, Gettleman¹⁸⁾, Jorgenson²⁵⁾, Lombardi³⁰⁾, Sozio⁵¹⁾, Culpepper¹⁷⁾, Preston^{46,47)} 등의 연구보고가 있었다. 측정된 자연치아의 색채는 드래제에 의하여 재현되는바, 이도재에 대하여는 Mclean³³⁻³⁵⁾, O'Brien⁴²⁻⁴⁵⁾, Johnston²³⁾, Woolesy⁵⁷⁾ 등에 의하여 광학적특성이, Binns⁹⁾, Lund³⁾, Nally⁴⁰⁾ 등에 의해서 구성성분이, Seghi⁴⁸⁾ 등에 의해서 색차가, Barghi¹⁻⁵⁾, Jorgenson⁴⁰⁾ 등에 의해서 반복소성에 따른 영향에 관한 분광측광학적 연구등이 보고된 바 있다.

한편 국내에서도 심미적 보철물의 제작에 관여되는 광학적현상에 대한 연구가 있었던바, 권⁶¹⁾은 광원과 배경색이 치아색 선택능력에 미치는 영향에 대해, 이⁶²⁾

와 최⁶³⁾는 도재전장급관의 심미성에 관한 고찰이, 이⁶⁴⁾ 등에 의해서 색채계(colorimeter)를 이용한 도재소부전장급관용 합금과 도재의 후경이 도재색조에 미치는 영향이, 전⁶⁵⁾ 등에 의해서 색채계를 이용한 opaque, 치은도재의 후경에 따른 도재 색조의 변화등이 연구보고된 바 있다.

Preston⁴⁷⁾은 도재로 자연치아의 색을 재현하고 구성하기 위하여서는 현재 임상에서 사용되는 도재의 색채에 관한 정확한 이해가 요구된다고 보고한 바있다. 최근 Seghi⁴⁸⁾ 등은 미국에서 사용되는 수종의 도재의 색채에 대한 정량적 측정결과를 보고한 바 있다. 그러나 국내에서는 아직까지 현재 사용되고 있는 도재의 색채에 대하여 분광측광학적연구나, 정량적 연구가 체계적으로 연구보고된 바 없다. 이에 저자는 국내에서 사용되는 3종의 도재전장주조관용 도재를 선택하여 색채에 대한 평가를 위하여 분광측광기로 분광반사율을 측정하여 동일한 shade를 표방하는 도재들의 색채를 측정하고, 도재간에 나타나는 색차를 비교하였다. 또한 도재간에 나타나는 색채현상과 색차의 원인을 규명하기 위하여 도재분말의 화학적 정성 및 정량분석을 시행하고, 주사전자현미경을 이용하여 그구조적 차이점을 비교 연구한 바 흥미있는 지견을 얻었기에 이에 보고하는 바이다.

II. 실험재료 및 방법

A. 시료 및 시편제작

본실험에 사용된 도재는 Vita VMK68 (Vita Zahnfabrik, Germany), Ceramco II (Ceramco Inc. U.S.A.), Excelco (Excelco International Inc. U.S.A.) 3종 이었다. 이들 도재중에서 Vita Lumin Shade도 가

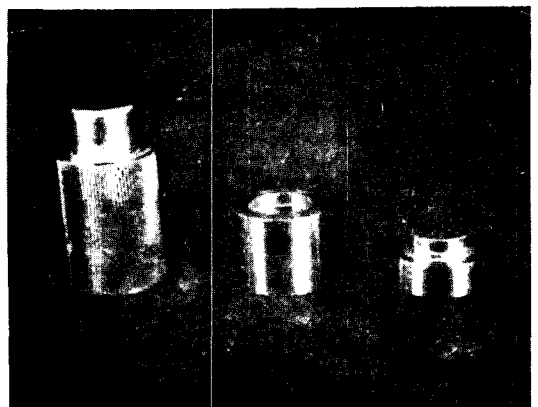


Fig. 1. Stainless steel mold.

한양대학교

Table 1. Recommended firing schedule

	Vita VMK68	Ceramco II	Excelco
Predry	—	5Min.	5Min.
Initial firing temperature	O: 800°C D: 750°C	650°C	650°C
Temperature increasing rate	30°C/Min.	50°C~55°C/Min.	55°C/Min.
Vacuum release	O: 980°C D: 960°C	925°C	925°C
Final firing temperature	O: 980°C D: 960°C	O: 990°C~1000°C D: 970°C~980°C	O: 1000°C D: 980°C
Hold	1Min.	1Min.	1Min.
Slow cool	5Min.	5Min.	5Min.

O: Opaque, D: Dentin

장 밝은 A₁ shade와, 중간정도로 밝은 B₂ shade와, 비교적 어두운 B₄ shade의 opaque와 dentine porcelain을 시료로 사용하였다.

분광반사율측정^{7,26,33,48,66)}을 위한 시편을 분광측광기의 beam size에 맞는 표준화된 시편으로 제작하기 위하여 Barghi¹⁻⁵⁾와 Seghi⁴⁸⁾ 등이 고안한 금속주형을 변형시켜 직경 20mm, 두께 3.5mm인 원형의 시편이 제작되게 Fig. 1과 같은 금속주형을 제작하였다. 시편을 제작하기 위하여 opaque 도재 분말 1.8g, dentine 도재 분말 1.5g을 계량하여 금속주형에 넣고 덮개를 덮은 다음 건조상태의 분말을 손으로 압박하고, 약 0.2cc의 증류수를 가해 그 형태를 유지하게 한 다음, plunger를 사용하여 시편을 sagger tray에 올려 놓았다.

각 시편은 High Bake II Porcelain Furnace (Jae Myong Industrial Co. Seoul Korea)를 사용하여 Table 1과 같이 제조자의 지시에 따라 소성하였으며, 전시편은 최종 소성온도에서 1분간 계류시켰다.⁴⁸⁾ 동일한 조건하에서 시편을 제작하기 위하여 동일제조자의 것을 1회에 2개씩 소성하였다. 소성된 시편의 절단에는 low speed diamond wheel saw (Buehler Inc. U.S.A.)를 사용하였다. opaque porcelain은 불투명성을 충분히 부여하기 위하여 2mm 두께로^{33,48,56)}, dentine porcelain은 임상에서 이상적인 두께인 1mm로 절단한 후 각각의 한면을 No. 600grit까지 사포로 연마하고, 초음파세척기에서 10분씩 세척한 후 계측하였다. opaque 시편과 dentine시편은 각 shade별로 2개씩 총 36개의 시편을 제작하여, opaque 시편은 각시편별로 1회씩 총 18회, opaque에 dentine을 피개한 시편은 각시편별로 2회씩 총 36회 계측하였다.

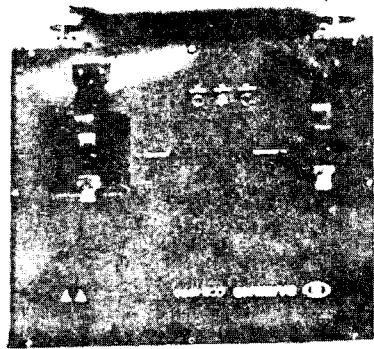


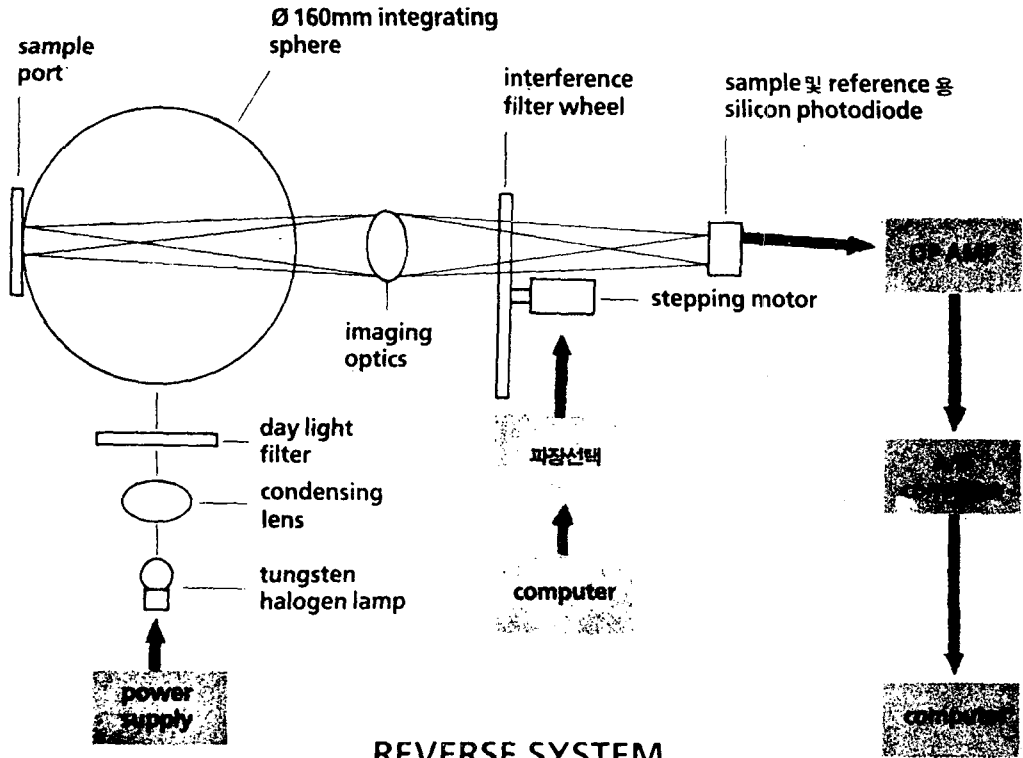
Fig. 2. Spectrophotometer (Samyang CCM-1000).

B. 분광반사율측정

opaque와 opaque에 dentine porcelain을 피개한 층층(layered) 시편의 색은 분광반사율(Spectral reflectance)^{7,26,32,48)}을 측정하여 결정하였다.

opaque에 dentine porcelain을 올린 형태를 부여하기 위하여, 굴절률 1.5인 액을 사용하여, opaque와 dentine porcelain이 광학적접촉을 이루게 하였다. 모든 측정은 Fig. 2에 나타난 integrating sphere^{7,32)}가 부착된 분광측광기(CCM-1000, Samyang Optical Ind. Korea)로 계측되었다. 상대적 반사치는 가시영역인 400nm에서 700nm까지 20nm간격으로 측정하였다.

광원은 CIE표준광원인(Table 2) 표준광원 A,C,D₆₅에서 측정하였으며, 광원에 따른 각각의 불체색은 CIBLAB 표색계로 표시하였으^{7,70-72)}, 각차는 CIELAB Color Difference Value (ΔE)로 비교하였다.^{32,66)} 이 결과는 제조자와, shade, 피개 여부(layering)에 따른 three-way analysis of variance를 시행하였으며, 각요



REVERSE SYSTEM

370103f003 Fig. 3. System diagram of spectrophotometer.

370103f002 Table 2. The CIE standard sources.

1. CIE source A: Incandescent light.
(2854°K blackbody)
2. CIE source C: Simulated overcastsky daylight,
having a correlated color temperature of 6774K.
3. CIE source D65: Simulated average natural daylight,
having a correlated color temperature of 6504K.

소는 각광원에 따른 색차에 대하여 다시 Student-Newman-Kuel's multiple range test를 시행하였다.

C. 화학성분분석

1. 정성분석

정성분석은 시료 shade A₁ opaque에 대하여 행한다. 각각의 시료 약 0.05g을 방출분광분석기 (Fig. 4)를 사용하여 Table 3의 조건에서 분석하였다^{10, 70)}.

2. 정량분석

a. 정량분석은 시료 shade A₁ opaque에 대하여 행한다, 각각의 시료 0.5g을 0.1mg까지 정확히 계량한 후 백금도가니에 넣고, 3스푼의 알카리 flux (Na₂CO₃ +

K₂CO₃, 1 : 1)와 2스푼의 Borax flux (H₃BO₃+Na₂CO₃, 1 : 1)를 시료와 잘 섞은후 1000°C에서 8시간동안 용융시켰다. 이때 반응이 잘 일어나게 하기 위하여 백금도가니를 잘 흔들어 주었다. 완전히 용융된 시료를 냉각시킨 다음 비이커에 옮겨, 20ml의 1 : 1 v/v%염산용액을 가한후 가열하여 완전히 녹이고 이를 식힌다음 증류수를 넣어 전체 250ml의 용액을 만들었다. 유도결합

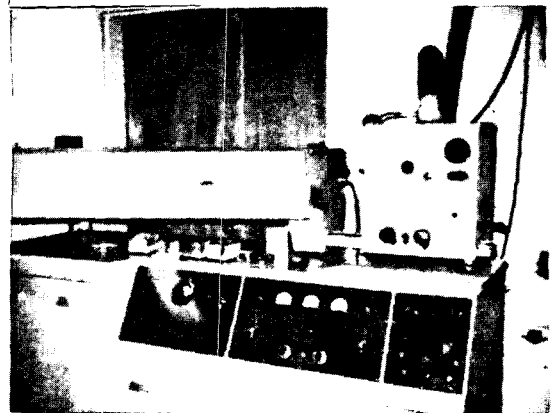


Fig. 4. Emission spectrograph (Jarrel-Ash, Model 42-650).

Table 3. Condition of emission spectrographic analysis.

D.C.	Arc.	9.5Amp.
Pretime		2Sec.
Exposure time		45Sec.
Film Developing		
Develop		3Min. at 20°C
Stopper		10Sec.
Fixer		10Min.

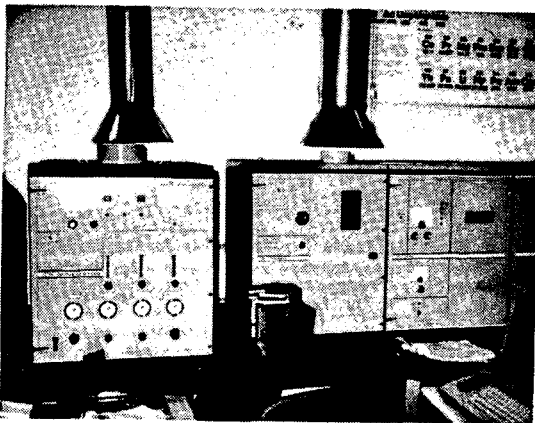


Fig. 5. Inductively coupled argon plasma spectrometer. (Labtest, Plasmascan 710)

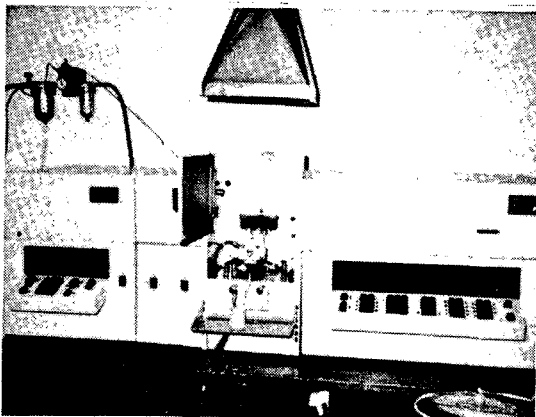


Fig. 6. Atomic absorption spectrophotometer. (Perkin-Elmer, Model 5000)

플라즈마분광분석기(Fig. 5)를 이용하여 이 용액으로부터 Sn, Zr, Ti, Hf를 정량분석하고, 원자흡광분석기(Fig. 6)를 이용하여 Mn, Al, Ca, Mg, Ba, Sb를 정량분석하였다.^{9,73)}

b. 0.5g의 시료를 0.1mg까지 정확히 계량한 후 Teflon비커에 넣고 5ml의 질산과 10ml의 불산(HF)을 가하여 가열한 후 용융건조시켰다. 이 조작을 4회 반복한 후 약 20ml의 과염소산(HClO₄)을 가하여 증발건조시켜 불산을 완전히 제거하였다. 이를 다시 20ml의 증류수와 20ml의 왕수(염산:질산=3:1)로 녹인 후 거름종이(Toyo 5c)로 침전물(SnO₂ 등)을 거르고 100ml 용량의 플라스크에 채웠다. 이 용액을 유도결합플라즈마분광분석기(Fig. 5)를 이용하여 V, B를 분석하고, 원자흡광분석기(Fig. 6)를 이용하여 Na, K, Li, Fe, Zn, Ni, Cu, Cr, Pb, Co를 정량분석하였다.^{10,73)}

D. 주사전자현미경적판찰

소성된 shade A₁ opaque procelain시편을 stub에 고정시키고, 진공증발건조기(Ion sputter, JFC-110)를 사용하여 300Å 로 분말금을 도포한 후 주사전자현미경(Jeol, JSM-35)으로 가속전압 25Kv, 작업거리 20~25 mm, 배율1000배로 촬영하여 관찰하였다.

Table 4. Analysis of variance for L*a*b* color coordinates.

Dependent variable	Source	DF	MS	F	P
L*	L (Layer)	1	16.780	56.88	0.0001
	B (Brand)	2	6.563	22.25	0.0001
	S (Shade)	2	124.044	420.50	0.0001
	L B	2	28.272	95.84	0.0001
	L S	2	15.901	53.90	0.0001
	B S	4	25.680	87.05	0.0001
	L B S	4	9.194	31.17	0.0001
	ERROR	35	0.295	—	—
a*	L	1	11.178	905.00	0.0001
	B	2	2.534	205.16	0.0001
	S	2	20.694	1675.40	0.0001
	L B	2	3.665	296.35	0.0001
	L S	2	2.209	178.88	0.0001
	B S	4	4.883	395.33	0.0001
	L B S	4	1.712	138.62	0.0001
	ERROR	35	0.012	—	—
b*	L	1	0.082	0.54	0.4688
	B	2	6.392	41.90	0.0001
	S	2	179.460	1176.35	0.0001
	L B	2	31.582	207.02	0.0001
	L S	2	0.630	4.11	0.0249
	B S	4	16.320	106.96	0.0001
	L B S	4	8.887	58.26	0.0001
	ERROR	35	0.153	—	—

Table 5. Results of Student-Newman-Kuel's multiple comparisons test.

SHADE BRAND		V	A1 C	E	V	B2 C	E	V	B4 C	E
L*	Opapue	78.840	80.674	85.114	78.267	74.332	74.212	79.779	71.588	76.375
	2 Layer	76.286	79.590	80.618	77.080	76.778	76.148	72.846	75.450	73.661
a*	Opaque	1.852	2.032	4.274	3.616	2.377	4.843	5.117	5.596	3.341
	2 Layer	2.185	1.622	2.085	2.533	1.321	1.516	6.061	3.064	3.361
b*	Opaque	12.948	15.483	16.870	18.034	17.210	12.553	19.513	25.692	18.729
	2 Layer	15.553	13.785	15.998	16.834	14.084	15.289	23.519	20.483	20.377

* N.S.: NO SIGNIFICANT DIFFERENCE, V: Vita VMK68, C: Ceramco II, E: Excelco

III. 실험성적

A. 분광반사율측정

측정된 각시편의 물체색^{69,70)}을 나타내는 명도지수 L*, 크로마티네수지수(Chromaticness index) a*, b*⁷¹⁾에 대하여, 제조자와, shade, 피개여부(layering)의 3요소가 어떠한 영향을 미치는 가를 알기위하여 three-way analysis of variance test를 시행한 결과는 Table 4와 같다.

제조자, shade, 피개여부의 3요소가 모두 p<0.0001 수준에서 L*a*b*에 모두 유의성 있는 결과를 나타내고 있다. 다만 b*에 대한 피개 여부는 p>0.05수준에서 유의성을 나타내지 않고 있다.

시편의 물체색을 나타내는 각지수의 산술적 평균값에 대한 Student-Newman-Kuel's mutiple comparisons test를 시행한 결과는 Table 5와 같다. shade B₂는 L*

에서는 상품간에 거의 차이점이 보이지 않고 있었다. 또한 opaque porcelain에서 보다는 opaque에 dentine을 피개한(layering)군에서 차이가 인정되지 않는 것이 많았다.

Hunter의 색차식^{7,32,66,71)}, ΔE (L*, a*, b*) = [(ΔL*)² + (Δa*)² + (Δb*)²]^{1/2}에 의하여 계산한 각제조자간의 3.70/0.3-6.0-6

Table 6. Color differences (ΔE) between porcelain brands.

SHADE \ BRAND		BRAND			ΔE
		Vvs C	Vvs E	Cvs E	
Opaque	A1	3.133	7.785	5.164	OPAQUE ΔE=6.176
	B2	4.207	6.927	5.270	
	B4	10.492	3.862	8.746	
Layered	A1	3.789	4.356	2.483	LAYER ΔE=3.092
	B2	3.020	2.071	1.373	
	B4	4.694	4.220	1.819	

Table 7. Student-Newman-Kuel's test for variable: L* a* b*

1. L*				2. a*				3. b*			
ALPHA =0.05		DF=35	MSE=0.294995	ALPHA =0.05		DF=35	MSE=0.123515	ALPHA =0.05		DF=35	MSE=0.152523
GROUP	MEAN	N	B	GROUP	MEAN	N	B	GROUP	MEAN	N	B
A	77.393	18	E	A	3.5517	18	V	A	17.923	18	V
A				B	2.9311	18	E	B	16.831	18	E
A	77.073	17	C	C	2.4131	17	C	B	16.747	17	C
B	76.546	18	V								

E = C ≠ V

V ≠ E ≠ C

V ≠ E = C

Table 8. Student-Newman-Kuel's test for variance: Source A, Source C, Source D65.

(1) OPAQUE			
ALPHA=0.05	DF=24	MSE=6.81133	
GROUPING	MEAN	N	I
A	6.3470	9	1
A	6.1577	9	2
A	6.1496	9	3
(2) LAYER			
ALPHA=0.05	DF=24	MSE=1.53547	
GROUPING	MEAN	N	I
A	3.3927	9	1
A	3.0916	9	2
A	3.0618	9	3

* 1: Source A, 2: Source C, 3: Source D65

색차는 Table 6과 같다.

opaque porcelain에서는 B₄ shade에 있어서 Vita VMK 68과 Ceramco II 간의 색차가 10.492로 가장 큰 차이를 나타냈고, A₁ shade에 있어서는 Vita VMK 68과 Ceramco II 간의 색차가 3.133으로 가장 작은 차이를 나타냈다. opaque에 dentine을 피개한 시편에서는 B₄ shade에 있어 Vita VMK 68과 Ceramco II 간의 색차가 4.694로 가장 큰 차이를 나타냈고, B₂ shade에 있어서는 Ceramco II와 Excelco 간의 색차가 1.373으로 가장 작은 차이를 나타냈다. 전체적으로 보면 opaque 시편에서 측정된 색차의 평균이 6.176인 반면, opaque에 dentine porcelain을 피개한 시편에서 측정된 색차의 평균이 3.692로, opaque 시편에 비해 색차가 1/2로 줄어들었음을 관찰할 수 있었다. 또한 opaque에서 특히 제조자간에 상당한 색차를 나타내고 있었으며,

dentine porcelain에서도 제조자간에 육안으로 관찰할 수 있는 정도의 색차를 나타내었다.

각시편의 물체색을 나타내는 지수 L*a*b*에 있어 각 제조자간의 판재를 알기 위하여 multiple comparison test를 행한 결과는 Table 7과 같다. 명도지수 L*에 있어서는 95%유의수준에서 Vita VMK68은 Ceramco II와 Excelco와 유의성 있는 차이를 보여준 반면, Ceramco II와 Excelco는 상호간에 유의성 있는 차이가 없었다. 크로마틱네스지수 a*에 있어서는 95%유의수준에서 각각의 도재가 모두 유의성 있는 차이를 나타내었다. 그러나 평균값에 있어 Excelco와 Ceramco II는 유사성을 보여 주었다. 또한 크로마틱네스지수 b*에 있어서는 95%유의수준에서 Vita VMK68은 Ceramco II 및 Excelco와 유의성 있는 차이를 나타낸 반면, Ceramco II와 Excelco는 상호간에 유의성 있는 차이를 나타내지 않았다. 광원에 따른 색차평균간의 유의성을 결정하고자 multiple comparison test를 시행한 결과, opaque와 피개된 시편 모두에 있어 세광원에 따른 색차 평균간의 차이가 인정되지 않았다(Table 8).

B. 화학성분분석

1. 정성분석

시료 shade A₁ opaque도재분말을 방출분광분석기(Fig. 4)로 정성분석한 결과는 Table 9와 같다. 시료는 모두 20~24가지 원소로 구성되어 있음을 관찰할 수 있었다. 또한 시료간에 조성의 차이가 있음을 볼 수 있었는데, Ceramco II와 Excelco는 비교적 유사함을 관찰할 수 있었다.

2. 정량분석

시료 A₁ opaque 도재분말을 유도결함플라즈마분광분석기(Fig. 5)와 원자 흡광분석기(Fig. 6)로 Table 10과 Table 11에 나타난 각원소 고유의 파장을 사용하여 정량분석한 결과는 Table 12, Table 13과 같다.

Ceramco II는 Excelco와 정량적으로 유사한 성적을

Table 9. Qualitative analysis of A₁ opaque. (wt % order, 10⁻³: -3)

Brand \ Element	Si	Sn	Li	Na	Ca	Al	K	Fe	Bi	Ni	Mg	Pb
C	0-1	0-1	0	0	-1	0	0	-2	-4	-3	-2	-3
E	0-1	0-1	0	0	-1	0	0	-2	-4	-3	-2	-2
V	0-1	0	-	0	0	0-1	0	-1	-	-3	-2	-2
Brand \ Element	Mn	Sb	B	V	Cu	Zn	Ti	Zr	Co	Cr	Sr	Ba
C	-3	-2	-2	-1	-3	-3	-2	-1	-2	-1	-3	-3
E	-2	-2	-2	-1	-2	-	-2	-1	-	-2	-3	-3
V	-1	-	-1	-1	-2	-	-2-0	-2	-	-2	-2	-1

Table 10. Wavelength of elements for atomic absorption spectrophotometer.

Element	Li	Na	Ca	Al	K	Fe	Bi	Ni	Mg
Wavelength(nm)	670.8	589	422.7	309.3	766.5	248.3	223.1	232	285.2
Element	Pb	Mn	Sb	Cu	Zn	Co	Cr	Sr	Ba
Wavelength(nm)	283.3	279.5	217.6	324.8	213.9	240.7	357.9	460.7	553.6

Table 11. Wavelength of elements for inductively coupled argon plasma spectrometer.

Element	Zr	Sn	B	Ti	V	Hf
Wavelength(Å)	3438	1899	2479	3349	2924	2738

Table 12. Quantitative analysis of A₁ opaque: (wt % order)

Brand \ Element	Sn	B	Zr	V	Ti	Cr
C	7.50(9.51)	0.12(0.15)	2.88(3.65)	<0.01 (0.02)	0.027(0.033)	0.083 (0.12)
E	8.71(11.06)	<0.01(<0.02)	2.25(2.81)	0.16 (0.021)	0.045(0.058)	<0.05(<0.08)
V	1.36(1.74)	0.12(0.15)	0.93(1.19)	0.028(0.035)	3.46 (4.39)	<0.05(<0.08)
Brand \ Element	Cu	Ni	Zn	Mn	Fe	Al
C	<0.05	<0.05	0.44 (0.55)	<0.005	0.053(0.076)	6.27(11.9)
E	<0.05	<0.05	0.011(0.014)	0.0128(0.020)	0.025(0.036)	6.95(13.1)
V	<0.05	<0.05	0.011(0.014)	0.025 (0.040)	0.15(0.21)	8.92(16.9)
Brand \ Element	Ca	Mg	Ba	Na	K	Li
C	0.55(0.77)	0.37(0.61)	0.167(0.186)	2.81(3.79)	7.36(8.87)	0.79(1.70)
E	0.35(0.49)	0.22(0.36)	0.080(0.089)	2.24(3.02)	7.36(8.87)	0.79(1.70)
V	0.93(1.30)	0.051(0.085)	2.01 (2.25)	4.78(6.44)	8.19(9.87)	<0.05
Brand \ Element	Sb	Pb	Co	Hf		
C	<0.05	<0.05	<0.05	0.068(0.080)		
E	<0.05	<0.05	<0.05	0.055(0.065)		
V	<0.05	<0.05	<0.05	0.023(0.027)		

* (): OXIDE

Table 13. Quantitative analysis of color-elements.

(wt % order)

Element	Brand \ A ₁ Opaque			Color	Element	Brand \ A ₁ Opaque			Color
	Vita VMK 68	Ceramco II	Excelco			Vita VMK 68	Ceramco II	Excelco	
SnO ₂	1.74	9.51	11.06	Yellow	BaO	2.25	0.186	0.089	White
ZrO ₂	1.19	3.65	2.81	Yellow	Na ₂ O	6.44	3.79	3.02	White
MgO	0.085	0.61	0.36	Yellow	K ₂ O	9.87	8.87	8.87	—
TiO ₂	4.39	0.033	0.058	White	Li ₂ O	<0.05	1.70	1.70	—
ZnO	0.014	0.55	0.014	White	Cr ₂ O ₃	<0.08	0.12	<0.08	Pale blue
Al ₂ O ₃	16.9	11.9	13.1	White	Fe ₂ O ₃	0.21	0.076	0.036	Red
CaO	1.30	0.77	0.49	White	B ₂ O ₃	0.15	0.15	<0.02	—

나타내었으나, Vita VMK 68과는 많은 차이를 나타내었다. Vita VMK 68은 Sn이 Ceramco II나 Excelco에 비해 1/6정도, Zr도 1/5정도 함유하고 있었으며, Li은 함유하지 않고 있었다. 반면 Ceramco II와 Excelco에 비해, Vita VMK 68은 Ti가 100배이상, Al도 3%이상, Ca도 2배이상, Ba는 20배, Na도 3%이상 더 함유하고 있음을 관찰할 수 있었다. 또한 Table 13에 나타난 바와같이 Vita VMK 68은 Ceramco II나 Excelco에 비해 상대적으로 백색을 나타내는 성분을 많이 함



Fig. 7. SEM of Vita VMK 68 A₁ opaque. (Magnification × 1000)



Fig. 8. SEM of Ceramco II A₁ opaque. (Magnification × 1000)



Fig. 9. SEM of Excelco A₁ opaque. (Magnification × 1000)

유하고 있음을 관찰할 수 있었다.

C. 주사전자현미경적관찰

각 opaque porcelain에 대한 주사전자현미경적소견은 Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9와 같다. 각도재는 미세구조에 있어 다소의 차이점을 보여주고 있었다. Vita VMK 68과 Ceramco II는 초자양기질로 간질성의 간격이 치밀하게 차있는 무정형의 소견을 나타내었고, Excelco는 초자양기질이 덜치밀하고 용해되지 않은 석영이나 금속산화물등의 입자가 많이 나타나는 소견을 나타내었다.

IV. 총괄 및 고안

근간 산업영역에서 뿐만 아니라 사회의 여러분야에서, 문화의 발전에 따라 사람들의 색채감각 수준이 높아짐으로 색채조절이 중요한 과제의 하나가 되었다. 색채조절을 위해서는 정확한 색의 측정이 필수적이다^{7,32,66)}. 색의 측정에는 시각적색측정법과 기계적색측정법이 있는데, 일반적으로 정밀하고 표준화된 기계적색측정법을 채택하고 있다.^{7,32,66)} 기계적색측정법에 사용되는 대표적인 기기는 색채계(colorimeter)와 분광측광측광기(spectrophotometer)가 있다. 색채계는 삼자극치(tristimulus values), 즉 RGB(red, green, blue) Value를 사용하여 색을 측정하는 기기로서 수종 식별간의

근소한 색차를 측정하는데 사용되는 기기이다.⁷⁾ 그러나, 색채계는 투명도를 포함한 제광학적 현상을 수용하지 못하여 조건동색현상(metamerism)을 극복하지 못하는 단점이 있다.⁷⁾ O'Brien⁴⁵⁾ 등은 색채계를 임상적으로 응용키 위해 고안된 Chromoscan 같은 기기는 사람이 관찰하는 것 보다, 정확도가 낮다고 보고한 바 있다. 반면 분광측광기(spectrophotometer)는 전가시 영역에 걸쳐 각각의 파장에 따른 분광반사율을 측정하여 시편의 색좌표(color coordinate)의 절대치를 얻을 수 있는 정확한 기기이다.^{7,32)} 그간 치의학 영역에서도 이들 기기를 사용하여 치아와 도재, 복합레진등 수복체의 색채적 또는 기타 광학적 현상에 대한 많은 연구가 있었다.^{3,9,15,18,25,31,38,41-45,48,57)} 본실험에서도 도재들의 색채를 측정하고, 색차를 측정하기 위하여 분광측광기를 사용하였다.

또한 표색에 있어서는, CIELAB 표색계^{7,32,66)}의 사용이 보편화 되었다. 이 표색계는 Uniform three dimensional color space^{15,32,48)}를 갖고있어 그색차의 인식이 용이한 특징이 있다. 현재 미국국가표준국에서 제정된 N.B.S. 단위(National Bureau Standard Unit)도 이 Hunter의 CIELAB표색계에 의한 색차에 근거를 두고 있다.⁶⁶⁾ Clarke¹⁵⁾, Binns⁸⁾, Seki⁴⁸⁾ 등도 CIELAB표색계가 치의학 분야에서 사용하기에도 충분한 uniform color space를 가지고 있다고 보고한 바있다. 따라서 본실험에서는 표색에 있어 CIELAB 표색계를 사용하였다.

또한 본 실험에서는 시료로 opaque와 dentine porcelain만을 사용하였는데, 이는 도재전장주조관의 색차에 대하여 법랑층(enamel layer)의 변화는 거의 영향력을 미치지 않는다는 Binns⁸⁾의 보고에 따른 것이다. 또한 opaque 시편을 2mm로 한것은 1mm의 opaque porcelain은 입사광선의 0.2~0.5%를 투과시킨다는 Southan³³⁾의 보고에 따라, 색측정에 있어 투명도는 방해가 되므로, 충분한 불투명성을 부여하기 위한 것이었다.

Table 4와 Table 5에 나타난 실험결과를 보면 동일한 shade를 표방하는 도재일지라도 제조자와, shade와, 피개여부(layering)에 따라 매우 상이한 색채를 나타낼 뿐아니라, 그들 상호간에 색차의 정도도 다양하게 나타났다. 특히 동일한 shade의 opaque시편에 있어서는 시작적으로도 확연히 구분될 정도의 색차를 나타내고 있었다. 또한 dentine-porcelain을 피개시에는 일반적으로 시편의 명도가 감소되며, Table 6에 나타난 바와같이 도재간의 색차가 1/2로 감소되는 결과를 나타내었다. 이러한 결과는 Preston⁴⁷⁾이 지적하고, Seki⁴⁸⁾등이

실험한 것과 유사한 결과를 보여주고 있다. 이러한 현상은 O'Brien^{42,44,45)} 등이 Mie scattering theory⁸⁷⁾나 Kubelka-Munk reflectance theory²⁸⁾를 바탕으로, 치과용도재의 중층효과(double layer effect)를 연구하여 밝혔듯이, 피개하는 투명한 dentine porcelain이 내부의 opaque porcelain에 대하여 light scattering filter의 역할을 하였을 뿐아니라, dentine porcelain내의 금속산화물의 증가된 흡수현상에 기인한 것으로 설명하였다.

심미적인 보철물을 제작하기 위하여 극복해야 할 중요한 광학적현상중의 하나는 조건동색현상(metamerism)이다.³³⁾ 본 실험에서는 이현상을 관찰하기 위해 Table 2에 나타난 CIE표준광원인,⁷²⁾ 표준광원 A, C, D₆₅하에서 각각의 색채를 측정하고, 상호간의 색차를 비교하여 보았다. 그러나, Table 8에서와 같이 광원간에 통계적으로 유의성있는 차이를 볼 수 없었다. 즉 3종의 표준광원하에서도 도재간에는 여전히 비슷한 정도의 색차가 존재함을 관찰할 수 있었다. 그러나, 현대인들은 많은 시간을 형광등 조명하에서 생활하게 됨으로, 이와 유사한 보조 광원인 D₅₀, D₅₅, D₇₅, B와⁷²⁾ 같은 광원하에서 실험해 보지 않은 아쉬움이 있다.

본 실험에서 관찰할 수 있었던 바와같이 치과용 도재간에 발생하는 색조절(color control)의 결여는 치과의사나, 기공사들로 하여금 도재전장주조관의 색을 자연치아색과 조화시키려 할때, 심각한 장애요소가 되고 있음을 알 수 있었다.^{33,47)}

일찌기 Billmeyer와 Saltzman⁷⁾은 색채과학을 분석화학의 일부로 간주되어야 한다고 주장하며, 색소를 사용하는 산업영역에서 적면하게되는 여러문제점들을 해결하기 위하여서는 색이론과 실기를 겸비한 분석화학학자들의 참여가 바람직하다고 주장하였다. 마찬가지로 본실험에서 관찰되는 도재간의 색차의 원인을 규명하기 위하여서는 이들 도재에 대한 분석화학적실험이 필요하였다. Table 5와 Table 6에 나타난 바와 같이 치과용도재간에 색차가 발생하는 것은 opaque porcelain에서 나타나는 현격한 색차에 그원인이 있었다. 따라서 이들 opaque porcelain에서 발생하는 색차의 원인을 규명하기 위하여 대표적으로 A₁ opaque porcelain을 선택하여 화학적 조성 정량분석^{18,73)}을 시행하였다.

정성분석은 기체상태의 증성원자가 들뜰때 방출되는 특정 스펙트럼선과 그세기를 측정하여 원소를 정성정량분석하는 분석법인 방출분광분석법(Fig. 4)을 사용하였으며,^{18,73)} 정량분석은 기체상태의 증성원자가 특정파장의 복사선에너지(일반적으로 자외선과 가시영역)를 흡수하는 정도(흡광도)를 측정하여 그원소를 정량

분석하는 원자흡광분광법(Fig. 6)과, radio-frequency를 써서 argon을 plasma로 만들어 시료용액이 plasma속으로 주입되면 시료용액내의 원소가 타면서 emission line을 내게 되는데 이를 monochrometer로 분리하여 분리정량하는 유도결합플라즈마법(Fig. 5)을 사용하여 정량하였다.^{19,73)}

Table 9와 Table 12에 나타난 분석결과를 보면, opaque porcelain은 약 20여종의 원소로 구성되어 있음을 관찰할 수 있었으며, 이 조성은 제조자간에 정량적으로 많은 차이를 가지고 있음을 관찰할 수 있었다. 1970년 Nally등⁴⁰⁾은 Vita VMK 68 Opaque 131과 Ceramco opaque 60의 조성에 대하여 발표한 바 있다. 본실험의 결과는 그가 발표한 내용과 다소의 차이점을 가지고 있었다. 그는 Vita VMK 68 opaque 131에는 CaO와 BaO의 성분이 결여되었다고 하였으나, 본실험결과를 보면 Vita VMK 68 opaque 510에서는 CaO가 1.30wt%, BaO가 2.25wt% 정도 함유되어 있음이 관찰되었다. 또한 Ceramco Opaque 60에는 K₂O, BaO가 결여되었다하나, 본 실험결과에 의하면 Ceramco II opaque A₁에서는 K₂O가 8.87wt%, BaO가 0.186wt% 정도 관찰되었다. 또한 Nally등의 분석결과와 비교하여 볼때, Vita VMK 68 Opaque 131에서는 opacifying agent로 TiO₂가 2.59wt%, ZrO₂가 5.16wt%, SnO₂가 4.9wt%로 3종의 Opacifying agent가 고르게 포함된 것으로 보고되어 있으나, 본실험 결과에 의하면, Vita VMK 68 Opaque 510에서는 TiO₂가 4.39wt%, ZrO₂가 1.19wt%, SnO₂가 1.74wt%로, 주된 opacifying agent로 TiO₂를 사용한 것이 뚜렷하게 나타났다. 또한 Ceramco Opaque 60에서는 SnO₂가 15.0wt%, ZrO₂가 0.16wt%로 나타나나, 본실험 결과를 보면 SnO₂가 9.51wt%, ZrO₂가 3.65wt%로, 두 opacifying agents가 고루 사용된 양상을 보여주고 있었다. 또한 Ceramco Opaque 60에서는 LiO₂가 함유되지 않았다고 보고하였으나, 본실험 결과에 의하면 Ceramco II opaque A₁에는 additional fluxing agent인 LiO₂가 1.70wt%정도 함유되었음이 나타났다. 일반적으로 Nally⁴⁰⁾ 등이 보고 하고 있는 opaque porcelain의 성분은 비록 shade가 다를지라도 동일한 제조자의 것은 그 조성이나, 조성비가 유사하여야 할 것이나, 본 실험의 결과와 비교하면 많은 차이점을 보이고 있어, 현재 시판되고 있는 도체를 20여년전의 분석결과로 이해하려할 때 많은 차이점이 발생하게 될 것으로 사료된다.

본실험에 나타난 조성에서 제조자간의 차이점을 살펴보면, 근본적으로 Ceramco II porcelain과 Excelco

porcelain은 그 조성에 있어 별차이가 없으나, Vita VMK 68 porcelain과는 많은 차이를 보여주고 있었다.

우선 opacifying agents를 살펴보면, Vita VMK 68은 TiO₂가 4.39wt% 함유되어 정량적으로 Ceramco II나 Excelco에 비해 100배정도가 많이 있으며, SnO₂는 1.74wt%로 11.06wt%인 Excelco나 9.51wt%인 Ceramco II에 비하여 1/6정도에 지나지 않았고, ZrO₂도 Excelco나 Ceramco II에 비하여 2/5정도 밖에 포함되지 않았다. 또한 alkali flux의 양을 보면, Vita VMK 68의 경우 약 16wt% 이었으며, Excelco나 Ceramco II의 경우 약 14wt%로 Vita VMK 68이 약 2%정도 높을 뿐 아니라, Ceramco II나 Excelco의 경우 additional fluxing agent로 Li₂O를 사용하는데 비하여, Vita VMK 68의 경우는 Li₂O를 사용하지 않고 Na₂O나 K₂O만을 사용하였다. 또한 기타의 flux로 B₂O₃나 CaO도 Vita VMK 68이 Excelco나 Ceramco II에 비하여 많은 양을 가지고 있어 Lynn³⁹⁾이 지적한 바와 같이 Vita VMK 68 porcelain은 highly fluxed porcelain이라는 사실을 잘 나타내 주고 있다. 또한 많은 fluxing agent를 포함하고 있어 Table 1과 같이 높은 initial firing temperature와 낮은 final firing temperature를 요하는 것으로 사료된다. 또한 intermediate oxide의 일종인 Al₂O₃도 Ceramco II나 Excelco에 비하여 3% 이상 많이 함유하고 있으며, modifying oxide에 있어서도 Ceramco II나 Excelco는 MgO를 사용한 반면, Vita VMK 68은 BaO를 사용한 차이점을 볼 수 있었다. 이상의 각 성분의 색채적 의미는 Table 13과 같다. 素木⁶⁰⁾은 도체가 상아색을 나타내기 위하여는 830°C 정도의 소성조건에서 B₂O₃, PbO, ZnO, K₂O, Na₂O, CaO를 일반적으로 함유하고 있고, 약간의 Al₂O₃를 함유하여야 한다고 보고한 바있다. Table 9와 Table 13에 나타난 분석결과를 보면 3종의 도체가 모두 상아색을 내기 위한 기본적 조성을 갖추고 있음을 관찰할 수 있었다. 또한 Table 5에서 보면, Vita VMK 68 A₁ Opaque의 크로마틱네스지수 a*는 1.852, b*는 12.948로, a*치 2.032, b*치 15.483인 Ceramco II와, a*치 4.274, b*치 16.870인 Excelco와는 Table 6에서 나타난 바와 같이 커다란 색차를 나타 내고 있었다. 즉 Vita VMK 68은 비교적 백색의 방향으로 색차표가 나타나나, Excelco와 Ceramco II는 비교적 적색, 황색 방향으로 나타났다. 이는 Table 13에 나타난 바와 같이 Vita VMK 68은 백색을 띄는 opacifying agent인 TiO₂를 주된 opacifying agent로 사용한 반면, Ceramco II나 Excelco는, 황색을 띄는 SnO₂와 ZrO₂를 주된

opacifying agent로 사용하는데 그원인이 있을 것이며, 또한 intermediate oxide인 백색의 Al_2O_3 나 fluxing agent인 백색의 CaO, BaO, Na_2O 를 Vita VMK 68 porcelain이 훨씬 많이 함유하고 있는 것도 그 중요한 요인이 될 것으로 사료된다.

Kingery²⁷⁾는 만족스런 opacifying agent는 고반사율 (high reflectance)과 높은 불투명성 (high opacity)과 순 백색 (good white)을 가지고 있어야 하며, 이러한 특성은 초자양 기질내에 second phase가 침적하여 light scattering effect를 나타냄으로 발생한다고 보고한 바 있다. 또한 이러한 precipitate가 가장 효과적인 작용을 발휘하려면, 그 입자의크기가 작아야 하며, 침적되어 있는 초자양기질과의 굴절률 차가 클수록 유리하다고 한다. 그는 이와같은 요건을 가장 이상적으로 가진 opacifying agent는 TiO_2 라 하였다. 일반적으로 silicate glass media ($n_{glass}=1.5$)에 적합한 opacifying agent는 SnO_2 , ZrO_2 , TiO_2 (anatase), TiO_2 (rutile)인데, SnO_2 의 굴절률(N_D)는 2.0, ZrO_2 는 2.2, TiO_2 (anatase)는 2.52, TiO_2 (rutile)은 2.76이다. Ceramco I와 Excelco는 주된 opacifying agent로 굴절률이 비교적 TiO_2 보다 낮은 SnO_2 와 ZrO_2 를 사용하고 있었으며, Vita VMK 68은 X-선회절분석기(Rigaku XRD, Model D-Max-III A)로 사용된 TiO_2 의 구조결정 및 확인을 하였던 바 굴절률이 가장 높은 ($N_D=2.76$) rutile type의 TiO_2 를 주된 opacifying agent로 사용하고 있었다.

또한 Excelco와 Ceramco I는 Table 1과 같이 소성 계획이 동일할 뿐 아니라, Table 9, Table 12의 분석 결과와 같이 비교적 그 경성, 경량적 조성도 유사하였다. 또한 Table 5와 Table 6의 색측정 결과를 통계적으로 점정한 Table 7의 결과에 의하면, L^* 지수와 b^* 지수는 두 도재간에 유의성 있는 차이가 없었고, 또한 a^* 지수에 있어서도 통계적차의 유의성은 있었으나 Excelco는 2.9311, Ceramco I는 2.4131로 비교적 근사한 수치를 보이고 있었다. 이러한 사실로 미루어 볼 때 Excelco와 Ceramco I가 비슷한 색채를 나타내는 것은 그조성이 유사하고, 소성계획이 동일하기 때문인 것으로 사료된다.

또한 주사전자현미경적 소견(Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9)을 보면 Vita VMK 68과 Ceramco I는 초자양기질이 치밀하게 차있는 소견을 보이는데, 입사광선은 diffuse reflection보다는 specular reflection이 많이 발생하게 되어 결과적으로 색채가 Excelco보다 더 whitish하게 나타난 것으로 사료된다. 따라서 도재의 색채는 그 구성

성분과 미세구조와 밀접한 관계를 가진다고 사료된다.

V. 결 론

저자는 도재전장주조관의 색채에 대한 평가를 위하여 국내에서 사용되고 있는 3종의 도재전장주조관용 도재를 선택하고 분광측광기를 이용하여 동일한 도재에 대한 분광반사율을 측정함으로써 이들간의 색차를 비교하였다. 또한 도재간에 나타나는 색채현상과 색차원인을 규명하기 위하여 도재분말에 대한 화학적 경성 및 정량분석을 행하고, 그 구조적 차이점을 비교하기 위하여 주사전자현미경적 관찰을 한바 다음의 결론을 얻었다.

1. 동일한 shade를 갖는 도재일지라도, 제조자에 따라 유의성 있는 색차를 나타내었다.
2. 도재간의 색차는 광원을 달리하여도 존재하였다.
3. 도재간의 색차는 도재분말의 구성성분중 opacifying agents와 flux의 종류 및 함량과 미세구조의 차에 기인하였다.
4. 제조자가 다를지라도 구성성분 및 소성과정의 유사한 도재는 그 색채도 유사하였다.

REFERENCES

1. Barghi N: Color and glaze: Effects of repeated firing, J. Prosthet Dent 47:393, 1982.
2. Barghi N, Richardson J.T.: A study of various factors influencing the shade of bonded porcelain. J. Prosthet Dent 39 282, 1978.
3. Barghi N, Goldberg J.: Porcelain shade stability after repeated firings. J. Prosthet Dent 37:173, 1977.
4. Barghi N, Lorenzana R.E.: Optimum thickness of opaque and body porcelain. J. Prosthet Dent 48:429, 1982.
5. Barghi N, et al: Effects of batch variation on shade of dental porcelain. J. Prosthet Dent 54:625, 1985.
6. Bell A.M. et al: Ceramometal Crowns and Bridges, Focus on Failures, Dental Clinics of North America 29:763, 1985.
7. Billmeyer F.W. and M. Saltzman: Principles of Color technology, John Wiley and Sons Inc. 1966.

8. Binns D: **The chemical and physical properties of dental porcelain.** In McLean J.W., editor: *Dental Ceramics Proceedings of the First International Symposium on Ceramics.* Chicago, 1983, Quintessence Publishing Co, Inc, 41.
9. Broadbelt R: O'Brien W.J.: and Fan, P.L.: *Translucency of Dental Porcelain,* J. Dent Res 39:75, 1980.
10. Brodbelt R.H.W., et al: *Translucency of Human Dental Enamel,* J. Dent Res 60:1749-1753, 1981.
11. Clark E.B.: *An analysis of toothcolor.* J. Am Dent Assoc. 18:2093, 1931.
12. Clark E.B.: *Tooth color selection.* J. Am Dent Assoc. 20:1065, 1933.
13. Clark E.B.: *Selection of tooth color for the edentulous patient.* J. Am Dent Assoc. 35:787, 1947.
14. Clark E.B.: *The Clark tooth color system.* Dent. Mag. Oral Topics, I & II. 50:39-152:111, 50-249-158, 1981.
15. Clarke F.J.J.: *Measurement of colour in human teeth.* In: J.W. McLean(ed) *Dental Ceramics: Proceedings of the First International Symposium on Ceramics.* Chicago: Quintessence Publ. Co., 1983, p. 441-488.
16. Craig R.G.: *Restorative Dental Materials,* 7th ed, Mosby, 1985.
17. Culpepper W.D.: *A comparative study of shade-matching procedures.* J. Prosthet Dent 24:166, 1970.
18. Gettleman L. Herzberg T.W., Webber R.L., Moffa J.P.: *The effect of metal surface treatment on masking power of opaque porcelain.* In Yamada H.N., editor; *Dental Porcelain: The State of the Art.* Los Angeles, 1977, University of Southern California, p. 358.
19. *Handbook of Chemistry and Physics,* 59th edition 1978-1979, CRC Press, Inc., West Palm Beach, Florida, U.S.A.
20. Hayashi T, *Medical color standard. V. Tooth crown,* Tokyo, 1967, Japan color research institute.
21. Herbold E.T., et al. *Evaluation of a custom porcelain-fused-to-metal shade guide.* Quint Int 17: 181-184, 1986.
22. ISO 6872-1984(E) "Dental Ceramic"
23. Johnston, W.M., et al: *Color Analysis of Dental Modifying Porcelains,* J. Dent Res 61:484-488, 1982.
24. Jones D.W.: *Development of Dental Ceramics An Historical Perspective,* Dental Clinics of North America 29:621, 1985.
25. Jorgenson M.W., Goodkind R.J.: *Spectrophotometric study of five porcelain shades relative to dimensions of color, porcelain thickness, and repeated firings.* J. Prosthet Dent 42:98, 1979.
26. Judd D.B., Wyszecki G.: *Color in Business, Science and Industry,* ed 3. New York, 1975, John Wiley & Sons, Inc. p.553.
27. Kingery W.D., et al: *Introduction to Ceramics* 2nd. ed. John Wiley & Sons, New York, 1976.
28. Kubelka P (1948): *New Contributions to the Optics of Intensely Light-Scattering Materials. Part I,* J. Opt., Soc. 38:448-457.
29. Lemire P.A., Burk B.: *Color in Dentistry.* Bloomfield, Conn. 1975, J.M. Ney Co.
30. Lombardi R.E.: *The principles of visual perception and their application to complete denture esthetics.* J. Prosthet Dent 29:358, 1973.
31. Lund T.W., William B and Schwabacker B., et al: *Spectrophotometric study of the relationship between body porcelain color and applied metallic oxied pigments.* J. Prosthet Dent 53:790, 1985.
32. MacAdam D.L.: *Color Measurement,* Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1981.
33. McLean J.W.: *Dental Ceramics Proceedings of the first International symposium on ceramics,* 1st. ed. Chicago: Quintessence publishing Co., Inc. 1983. p. 467.
34. McLean J.W.: *The Science and Art of Dental Ceramics.* Chicago, Quintessence Publishing Co, Vol. I, 1979.
35. McLean J.W.: *The Science and Art of Dental Ceramics.* Chicago, Quintessence Publishing Co, Vol. II. 1980.
36. McPhee E.R.: *Extrinsic coloration of Ceramometal Restorations,* Dental Clinics of North America 29: 645, 1985.
37. Mie G (1908): *Beitrag zur Optic truber Median,*

- speziell kolloider Metallosungen, Ann Physik 25: 377-445.
38. Miyagawa Y, Power T.M. and O'Brien W.T.: Optical Properties of direct restorative materials, J. Dent. Res 60:890, 1981.
 39. Muia P.J.: The four dimensional tooth color system. Chicago: Quintessence Publ. Co., 1982.
 40. Nally JN and Meyer J.M.: Recherche Experimentale sur la Nature de la Liaison Ceramo-Metallique, Schweiz Monatsschr Zahnheilkd 80:250-277, 1970.
 41. Obregon A and Goodkind R.L.: Effects of opaque and porcelain surface texture in the color of ceramometal restoration, J. Prosthet Dent 46:330, 1981.
 42. O'Brien W.J.: Johnson W.M.: and Fanian, F.: Filtering Effects of Body Porcelain on Opaque Color Modifiers, IADR Progr & Abst 60: No. 330, 1982.
 43. O'Brien W.J., Johnston W.M. and Fanian. F.: Filtering effects of body porcelain on opaque color modifiers. Delivered at Sixth General Session, I.A.D.R., 1982.
 44. O'Brien W.J., Johnson W.M., Fanian F: Double-layer color effects in porcelain systems. J. Dent Res 64:940, 1985.
 45. O'Brien W.J.: Double layer effect and other optical phenomena related to Esthetics, dental clinics of North America 29:667, 1985.
 46. Preston J.D., Bergen S.F.: Color Science and Dental Art. St. Louis, 1980, The C.V. Mosby Co.
 47. Preston J.D.: Current status of shade selection and color matching. Quint Int 16:47-58, 1985.
 48. Seghi, R.R., Johnson W.M. and O'Brien W.J.: Spectrometric analysis of color differences between porcelain systems, J. Prosthet Dent 56:35, 1986.
 49. Seluk L.W., et al: Esthetics and communication with a custom shade guide, Dental Clinics of North America 29:741, 1985.
 50. Shortwell J.L.: Color comparison of denture teeth and shade guides, J. Prosthet Dent, 56:31, 1986.
 51. Sproull R.C.: Color matching in dentistry: Part I, J. Prosthet Dent 29:416, 1973.
 52. Sproull R.C.: Color matching in dentistry: Part II, J. Prosthet Dent 29:556, 1973.
 53. Sproull R.C.: Color matching in dentistry: Part III, J. Prosthet Dent 31:146, 1974.
 54. Sozio R.B., et al: Shade determination, communication, and realization: a novel approach. Quint Int. 17:739-744, 1986.
 55. The Merck Index, 9th edition, Merck & Co. Inc. Rahway, N.J. U.S.A.
 56. Yamada H.N.: Dental Porcelain: The State of the Art-1977, University of Southern California. School of Dentistry.
 57. Woolsey G.D.: Johnson W.M.: and O'Brien W.J. Masking Powder of Dental porcelains, J. Dent Res 63:936-939, 1984.
 58. 細矢由美子, 後藤讓治: 乳歯歯冠色に関する研究, 小児歯科学雑誌, 23:69, 1985.
 59. 和多壽樹: 歯に関する色彩の研究, J. JPN Pros. Soc. 30:362, 1986.
 60. 素木洋一: 窯業工學 HANDBOOK, 技報堂, 1966
 61. 권오임: 광원, 배경색, 소요 시간이 치아색 선택 능력에 미치는 영향, 대한치과보철학회지: 16: 38, 1978.
 62. 이선형: 도재전장금관의 심미성에 대하여, 대한치과 의사협회지, 20:127, 1982.
 63. 최부병: 도재전장금관의 심미성, 대한치과의사협회지, 19:10, 1981.
 64. 이근우, 이호용: 도재소부전장금관용 합금에 따른 도재색조의 실험적 비교 연구, 연세치대 논문집 2 권: 304, 1983.
 65. 전병준, 이재봉: Opaque와 치은도재의 후경에 따른 도재 색조변화에 관한 연구, 부산치대 논문집 제3권 제2호: 17, 1986.
 66. 김공주: 색채과학, 대림서림
 67. 한국공업규격: 색이름, KSA 0011.
 68. 한국공업규격: 색의 XYZ 계에 의한 표시방법, KSA 0061.
 69. 한국공업규격: 표면색의 비교방법한, KSA 0065.
 70. 국공업규격: 2도 시야 XYZ계에 의한 물체색의 측정방법, KSA 0066.
 71. 한국공업규격: L* a* b* 표색계 및 L* u* v* 표색계 의한 물체색의 표시 방법, KSA 0067.
 72. 한국공업규격: 측색용 표준광 및 표준광원, KSA 0074.
 73. 대한화학회: 공업화학분석