

전자처리 스페클 패턴 간섭법(ESPI)을 이용한 3-유닛 고정성 국소의치의 변형특성 분석

강 후 원, 이 철 민, 양 승 필*, 김 희 진**

동아인재대학교 치기공과, 동아인재대학교 안경광학과*, 부산카톨릭대학교 치기공학과 박사과정**

Deformation Characteristics Analysis of 3-Unit Fixed Partial Dentures by Using Electronic Speckle Pattern Interferometry

Hoo-Won Kang, Chul-Min Lee, Seung-Pil Yang*, Hee-Jin Kim**

Dept. of Dental Lab. Technology, Dong-A In-Jae College, Jeonnam 526-705, South Korea

Dept. of Optometry Dong-A In-Jae College, Jeonnam 526-705, South Korea*

Dep. of Dental Lab. Science, Graduate School, Catholic University of Pusan**

[Abstract]

Purpose: The deformation characteristics induced by non-destructive stresses using piezoelectric transducer(PZT) were analyzed for 3-unit fixed partial dentures manufactured PFM, Everest(CAD/CAM) and Zirkozahn(copy milling, MAD/MAM) by electron speckle pattern interferometry(ESPI).

Methods: The ESPI analysis after loading the restoration with PZT by applying electric voltage of 900mV at the points of 10 mm above the base of the prostheses.

Results: PFM and All-Ceramic Everest prostheses showed about 0.1 μm while that of All-Ceramic Zirkozahn prostheses showed 0.085 μm , demonstrating that Zirkozahn displaced less. For PFM and All-Ceramic Zirkozahn prostheses, the displacements were large at just below the loading point, while generalize displacement was shown over the loading point and weak connector areas for All-Ceramic Everest prostheses.

Conclusion: We could find that the deformation characteristics induced by non-destructive stresses using PZT analyzed by ESPI were similar to the fracture strengths evaluated using universal testing machine.

○ **Key words :** deformation characteristics, 3-unit fixed partial dentures, piezoelectric transducer (PZT), electron speckle pattern interferometry (ESPI)

교신저자	성명	강 후 원	전화	010-5672-7324	E-mail	kanghw0106@hanmail.net	
	주소	전남 영암군 학산면 영산로 76-57					
접수일	2013. 1. 15		수정일	2013. 2. 19		확정일	2013. 3. 12

I. 서 론

치과보철물로 이용되는 전부도재관에 대하여 코어 변연 적합도(Futoshi & Thomas 등, 2005; Rosentritt & Behr 등, 2006), 코어재료 굴곡강도(Wagner & Chu, 1996; Erdelt & Beuer 등, 2004), 코어 파절강도(Thompson & Anusavice 등, 1994; Kelly & Teskl 등, 1995; Tinschert & Natt 등, 2001; Oh & Anusavice, 2002; Aggstaller & Beuer 등, 2006), 코어 응력분포에 대한 유한요소해석(Chang & Hart 등, 2003; Jahn & Bode 등, 2006) 등에 관한 연구가 주로 진행되어 왔다. 대부분 전부도재관의 코어에 대해서만 평가하였지 코어에 도재를 축성한 보철물 형태의 시편을 제작하여 실험한 연구는 거의 없다. 이러한 이유는 코어 제작 후의 도재 축성 및 소결과정이 수작업이므로 표준화된 시편을 제작하기가 어렵기 때문이다. 최종보철물의 상태를 반영하지 못한 실험시편에 대해 측정된 데이터는 실제 임상에서 발생할 수 있는 상황을 예측하는데 의미가 적을 수밖에 없다(강후원 & 김희진 등, 2012).

어떠한 재료나 물체에 외력이 작용하였을 때 발생하는 변형특성을 분석하는 방법에는 스트레인 게이지법, 홀로 그래피법, 광탄성응력분석법 및 유한요소분석법 등이 있다. 유한요소분석법은 구강 내와 같이 다양한 종류의 물질이 한 개체를 이루는 복합구조를 정확하게 재현하고 그 모델과 디자인을 쉽게 바꿀 수 있으며 정량적인 분석도 가능하다는 장점이 있기 때문에 수복물의 응력을 분석하는데 주로 사용되고 있다. 그러나 유한요소분석법은 연구자의 입력 값에 의한 결과만을 얻을 수 있고, 실제 현상을 정확히 반영하지 못하며 숙달된 경험자에 의해서만 해석이 가능하다. 비파괴 실험방법 중의 하나인 전자처리 스펙클 패턴 간섭법(electronic speckle pattern interferometry; ESPI)은 접촉성과 간섭성이 우수한 레이저 광원을 바탕으로 구성된 광학 간섭계를 이용하는 것으로서 레이저광을 측정할 시편에 조사하여 하중을 가한 후 물체광과 참조광을 합성시킴으로써 물체의 변위량에 따라 발생하는 간섭패턴의 줄무늬를 해석하는 방법이다(Creath, 1985; Jones & Wykes, 1989).

ESPI 기술은 1970년대 초반에 Butters, Leendertz 및 Macovski 등에 의해 개발된 후 외부하중을 받고 있는 구조부 재료표면에 발생하는 변형과 변형률 측정, 복합재료에 발생하는 결함조사 등 정적변형과 진동변형에 관련된 다양한 분야에 적용되고 있다(Peter & Klaus 등 1996).

ESPI 시스템을 이용하여 치과분야에 대한 연구는 하악 제 1대구치의 교합면의 중심부에서 지름이 5mm, 깊이가 4mm 가 되도록 와동을 형성한 Class I 을 광중합레진인 Filtek Z350을 이용하여 충전하였을 때 축방향으로 수축되는 양을 형성된 와동 처리조건에 따라 3 그룹으로 나누어서 체적변화를 측정(XIE & ZHAO, 2008), 뼈와 치아의 조직과 기계적 성질의 복합적인 관계를 약간의 수분을 흡수시켜 변형된 뼈와 치아에 정확하게 하중을 부가함으로써 미세한 변위를 측정하여 해석한 정도로 미비한 실정이다(Paul & Ron, 2006). 이러한 연구결과를 볼 때 다른 분석장비를 이용하여 측정할 수 없는 치과보철물의 외부응력에 대한 미세한 변형을 분석할 수 있는 시스템으로 적합하다.

따라서 본 연구에서는 CAD/CAM 및 카피밀링 시스템을 이용하여 제작한 구치부 3-유닛 고정성 국소의치의 파절강도에 대한 발표된 연구결과와 비교하여 실제 보철물의 외력에 대한 변형특성을 분석하고자 비파괴 방법인 ESPI 시스템을 이용하여 금속도재, 전부도재 Everest와 Zirkozahn 3-유닛 고정성 국소의치 시편 각각 1개씩을 가공치의 교합면 중심과 부분에 압축하중을 Bar type의 PZT(piezoelectric transducer)에 900mV의 전압을 인가하여 변위량에 따라 발생하는 간섭패턴의 줄무늬를 해석하여 변형특성 이미지와 시편 아래 부분에서 위로 10mm 위치에서의 변위량에 대한 line profile을 얻어 변형특성을 평가하였다.

II. 연구 방법

본 연구에서는 CAD/CAM 및 카피밀링 시스템을 이용하여 제작한 구치부 3-유닛 고정성 국소의치의 파절강도 연구와 동일하게 시험편을 제작하여 파괴실험한 연구와 비파괴실험한 연구를 비교평가하였다(강후원 & 김희진 등, 2012).

1. 시대치 금형 및 구치부 3-유닛 고정성 국소의치 제작

구치부 3-유닛 고정성 국소의치 제작을 위한 모형으로 금형은 고정성 국소의치형 다이(Bridge type die G-003, Seiki Co., Japan)의 치수를 기준으로 설계하여 황동을 정밀 가공하여 시대치 금형(metal die)을 제작하였다.

구치부 3-유닛 고정성 국소의치 제작을 위해 먼저 왁스 패턴 제작, 매몰, 그리고 소환 후 진공고주파 원심주조기를 이용하여 금속 코어를 얻었다. 코어로 사용된 금속은 Ni-Cr계 합금인 Rexillum III®(Generic Pentron, USA)를 사용하였고, 금속도재관 전용 도재인 Cera Max III®(Alphadent Co., Korea)를 이용하여 축성 및 소성하여 시험편 1개를 제작하였다.

CAD/CAM 시스템인 Everest(KaVo Dental Co., Germany) 시스템을 이용한 구치부 3-유닛 고정성 국소의치 제작은 먼저 석고모형을 스캐닝한 후 가소성 지르코니아(yttrium-stabilized zirconium oxide) 블록 ZS-Blanks(KaVo Dental Co., Germany)를 절삭 가공하여 코어를 제작한 다음, 15시간 동안 1,500°C에서 소성하여 완전 소결시켰다. 소결 후 코어의 두께는 0.4mm이고 가공치의 연결부 폭은 수직폭 4mm, 수평폭 3mm가 되게 제작하였다. 그 후 지르코니아 코어 전용 도재인 Cerabien®(Noritake, Japan)을 이용하여 제조회사의 지시 방법대로 도재를 축성 및 소결하여 Everest 시험편 1개를 최종 두께가 1.5mm가 되도록 제작하였다.

카피밀링 시스템인 Zirkonzahn(Enrico Steger Bruneck, Italy) 시스템을 이용하여 코어를 제작하기 위해 먼저 모형 상에서 광중합형 콤포짓트 레진(Elite LC Tray, pink color)으로 제작하였다. 이 레진 코어의 기본 두께는 0.5mm이고, 가공치 연결부의 폭은 수직폭 4mm, 수평폭 3mm가 되게 하였다. 이 코어를 제작할 때에는 light gun을 이용하여 간헐적으로 중합하고 작업 후 다이에서 코어를 분리 후 광중합 오븐에 넣어 마무리 중합하여 레진 코어를 제작하였다. 레진코어와 파절강도가 1,150MPa 정도 되는 가소성된 지르코니아 블록(Zirkonzahn CE0476, Italy)을 Zirkonzahn 시스템에 장착한 후 카피밀링법으로 체적이 20% 더 큰 코어를 제작하였다. 이어서 가공된 지르코니아 코어를 A3 color liquid에 5초 동안 디핑하고 45분 동안 건조시킨 후 1,500°C에서 13시간 소결하여 두

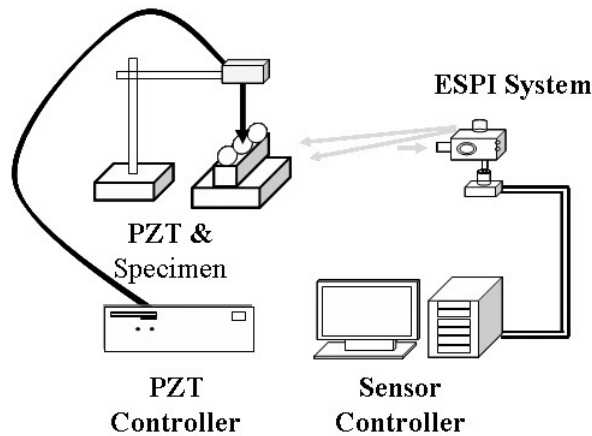
께가 0.5mm인 코어를 최종적으로 얻었다. 제작된 코어는 도재와의 결합력을 증진시키기 위하여 표면을 샌드블라스트 처리한 후 지르코니아 전용 도재인 Creation®(Klema, Australia)를 사용하여 축성 및 소결하여 최종두께가 1.5mm인 Zirkonzahn 시험편 1개를 제작하였다.

2. 전자처리 스펙클 패턴 간섭법을 이용한 변형특성 측정

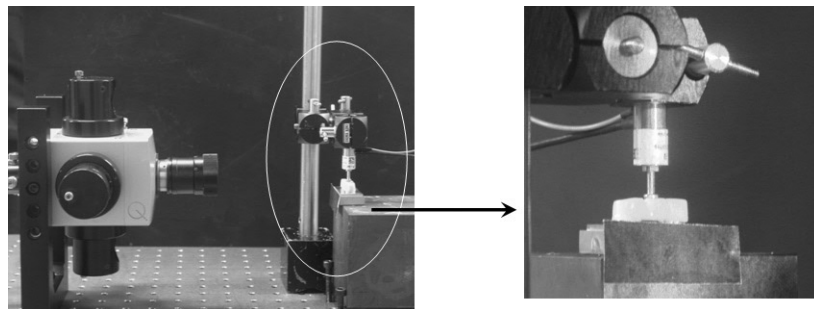
전자 스펙클 패턴 간섭법(electronic speckle pattern interferometry: ESPD)이란 집속성과 간섭성이 우수한 레이저 광원을 바탕으로 광학 간섭계를 구성하여 물체광과 참조광을 합성시킴으로써 물체의 변위량에 따라 발생하는 간섭패턴의 줄무늬를 해석하는 방법이다. 여기에서 스펙클은 광학적으로 거칠기를 갖는 물체 표면에 간섭성이 우수한 레이저 광원이 조사되면 물체에서 난반사가 일어나고 이 난반사된 빔들이 서로 겹치면서 간섭현상이 발생하는데 이러한 스펙클은 빛의 휘도분포로 물체변위에 대한 중요한 위상정보를 갖게 되며 그 위상값은 CCD(charge coupled device) 카메라와 화상처리 장치를 통해 변위의 정보로 바뀌게 된다.

본 연구에 사용된 ESPD 시스템은 종전의 광학정반에서 여러 가지 광학부품을 사용하여 구성한 면내 및 면외 변위 측정 간섭계를 축소하여 진동 및 기타 여러 외관요소를 최소화하여 제작된 것으로서 광학정반에서 간섭계를 꾸려 실험한 것보다 주변 환경적인 영향을 적게 받는 장치이다.

최초 레이저 소스로부터 광파이버를 통하여 레이저 빔이 센서 헤드로 입사되면 4개의 암으로 고르게 나누어져 대상체에 확산된 레이저 빔이 조사된다. 면외 측정을 위해서는 이 4개의 암 중에서 하나 즉, 물체광과 센서 내부에서 CCD(charge coupled device)로 바로 들어가는 참조광이 만나 간섭을 일으켜 면외 변위를 측정하게 된다. PZT(piezo-electric transducer) 제어장치는 참조광을 위상 이동시키기 위한 장치이며, PZT에 전압차를 줌으로써 위상이 바뀌게 된다. 그리고 컴퓨터에는 프레임그래버가 설치되어 있어 화상을 저장하고 전용 프로그램에 의해 화상정보를 연산 및 처리하여 모니터 상에 그 결과를 나타내는 장치이다.



(a)



(b)

Fig. 1. (a) Schematic illustration of electronic speckle pattern interferometer(ESPI), and (b) aligning of the devices

III. 결 과

치과분야에서 접속성과 간섭성이 우수한 레이저 광원을 바탕으로 광학 간섭계를 구성하여 물체광과 참조광을 합성시킴으로써 물체의 변위량에 따라 발생하는 간섭패턴의 줄무늬를 해석하는 방법인 전자 스페클 패턴 간섭(ESPI) 시스템을 이용하여 치과보철물을 대상으로 외력에 대한 변형특성을 분석한 보고는 없다.

먼저 금속도재, 전부도재 Everest와 Zirkozahn 3-유닛 고정성 국소의치를 각각 1개씩 파절강도시험 시편과 동일한 조건으로 접착하였다. <Fig. 1> (a)와 같은 3차원 ESPI 시험장치(3D ESPI System; Q-300, Ettemeyer Co., Germany)에 <Fig. 1> (b)와 같이 실험 시편을 장착하고 아래 부분에 스케일을 붙여 측정할 이미지 및 영역을 지정한 후 가공치의 교합면 중심과 부분에 압축하중을 가하였다. Bar type의 PZT(piezoelectric transducer)에

900mV의 전압을 인가하여 압축하중을 시편에 가하여 변위량에 따라 발생하는 간섭패턴의 줄무늬를 해석하여 변형특성 이미지와 시편 아래 부분에서 위로 10mm 위치에서의 변위량에 대한 line profile을 얻어 변형특성을 비교하였다.

<Fig. 2>는 금속도재, 전부도재 Everest와 Zirkozahn을 ESPI 시스템을 이용하여 변형특성을 측정된 결과를 2D 이미지와 line profile로 나타냈다.

<Fig. 2> (a)에 나타난 금속도재 3-유닛 고정성 국소의치의 변형특성은 <Fig. 2> (b)와 (c)에 나타난 전부도재 3-유닛 고정성 국소의치와는 다른 변형특성을 보였다. 금속도재 3-유닛 고정성 국소의치는 교합면 중심과 부분 수직하부로 응력이 집중되고 연결부 및 지대치 쪽으로 서서히 변형이 감소되는 특성을 보였지만, 전부도재 3-유닛 고정성 국소의치는 연결부에서의 변형이 금속도재 3-유닛 고정성 국소의치에 비해 크게 나타나면서 지대치 쪽으

로 변형이 감소되는 경향을 보였다. 또한 연구에 사용된 시편이 동일한 물성을 갖는 재료가 아니기 때문에 변형량을 나타내는 수치는 차이가 있게 나타났다. 금속도재 3-유닛 고정성 국소의치는 전부도재 3-유닛 고정성 국소의치에 비교하여 변형특성이 다르게 나타났는데 이는 코어로 사용되는 재료의 기계적 물성 차이 및 바디도재와의 결합기전 차이 때문인 것으로 판단된다. 전부도재 Everest는 Zirkozahn 3-유닛 고정성 국소의치보다 연결부에서의 변형이 전반적으로 약간 더 크게 나타났다.

시험편 기저부에서 10mm 상방의 선상에서 변형특성을 line profile하여 측정된 결과, 가해진 외력의 수직하부 방향으로 금속도재 및 전부도재 Everest 시편은 약 $0.1\mu\text{m}$ 정도, Zirkozahn 시편은 $0.085\mu\text{m}$ 정도의 처짐 현상이 발생하는 양상을 보였다. 또한 <Fig. 3>과 같이 이전 연구 결과인 굴곡과절강도 시험에 의한 파절양상을 변위량 분포에 따른 ESPI 간섭패턴 이미지와 비교해보면 어느 정도 상관된 양상을 보였다.

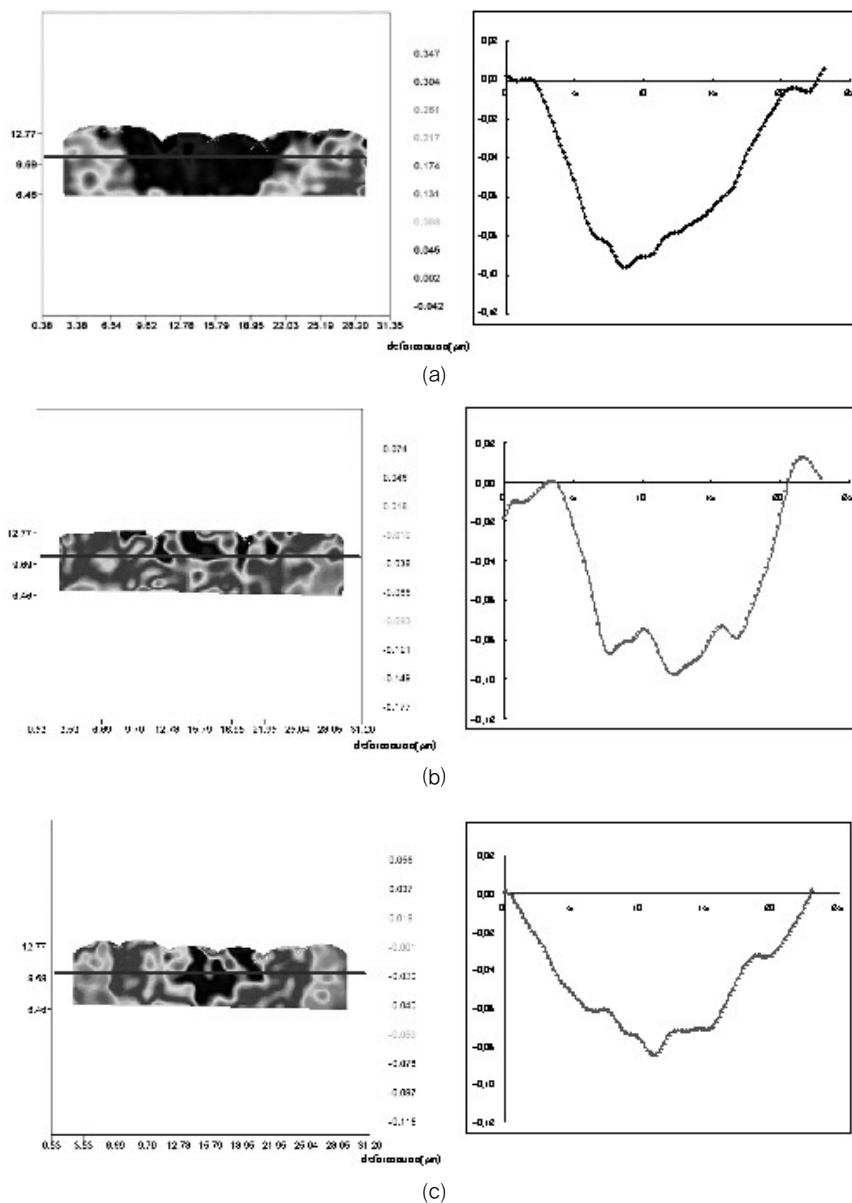


Fig. 2. The 2D distribution image and line profile of strain for the deformation of (a) PFM, (b) all-ceramic: Everest and (c) all-ceramic: Zirkozahn. The red line indicates the line where the values for the deformation diagram shown on right side have been taken

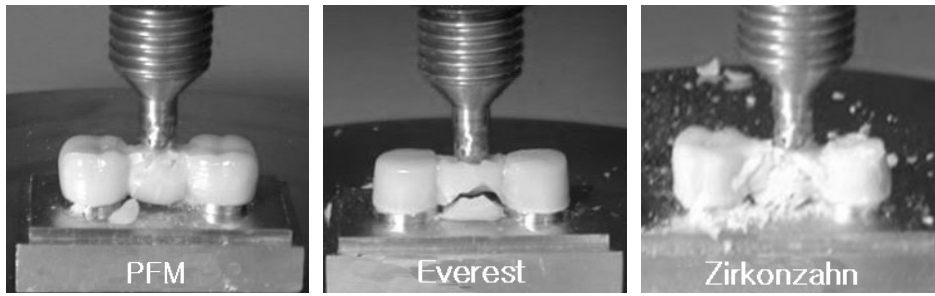


Fig. 3. Fractured morphology after flexural strength test; (a) PFM, (b) all-ceramic: Everest and (c) all-ceramic: Zirkozahn

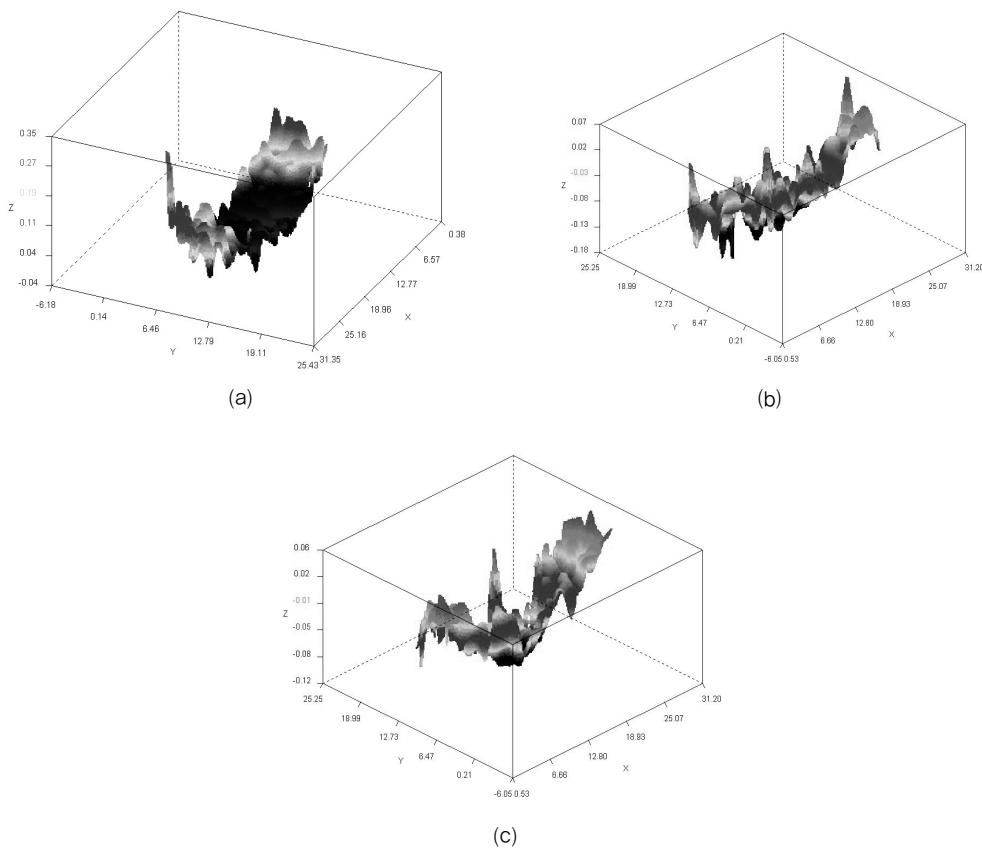


Fig. 4. The 3D distribution image of (a) PFM, (b) all-ceramic: Everest and (c) all-ceramic: Zirkozahn

IV. 고 찰

비파괴시험인 ESPI 시스템을 이용하여 치과보철물에 대한 변형특성을 분석하는 연구는 치과분야에서 앞으로 광범위하게 이용될것으로 판단된다. 이러한 이유는 실험을 하기 위하여 별도의 시험편을 제작할 필요없이 임상에 적용되는 보철물을 직접 연구에 적용할 수 있기 때문이다.

〈Fig. 2〉 (a)의 금속도재 3-유닛 고정성 국소의치의 변

형특성의 분석결과 좌측 연결부가 우측에 비하여 상대적으로 약하게 나타났다. 이러한 이유는 금속하부구조물의 형태 및 도재 축성 및 소결과정이 수작업이어서 우측에 비하여 상대적으로 좌측이 얇게 만들어졌다고 판단된다. 〈Fig. 2〉 (b)의 전부도재 Everest 3-유닛 고정성 국소의치의 변형특성은 처짐현상이 다른 두 시편에 비해서 상대적으로 가장 크고, 처짐의 경사가 급격하였지만 중앙부의 처짐은 일정한 분석 결과가 나타났다. 보철물의 좌우측

연결부가 다른 부분에 비해 상대적으로 얇게 제작되어 중앙의 좌우부분의 변형의 경사가 급격한 것으로 판단된다. 또한 <Fig. 2> (c)의 전부도재 Zirkonzahn 3-유닛 고정성 국소의치는 치짐 현상이 상대적으로 가장 작으며, 치짐이 좌우 대칭으로 나타났다. 보철물의 좌우대칭이 비교적 정확히 제작되어 대상물이 큰 하중을 견딜 수 있도록 제작된 것으로 판단된다.

ESPI 시험 결과 대부분 시험편이 대칭적인 변형특성이 나타나지 않는 이유는 제작된 시험편 자체가 좌우 대칭이 아니며, 외력이 가해지는 교합면 중심과 부분이 편평한 형태가 아니기 때문에 PZT로 외력이 인가되었을 때 정방향으로 응력이 가해졌다고 판단할 수 없기 때문이다. 또한 아무리 기계화된 보철물 제작방법으로 전부도재관을 제작하는 시스템일지라도 코어위에 축성된 도재의 두께, 그리고 코어 및 바디도재 부분의 형태를 보철물 제작과정에서 항상 일관되게 시편을 제작할 수 없어서 연결부의 변형특성 및 파절양상이 항상 본 실험과 같이 나타나지는 않을 것으로 사료되며, 이에 대한 더 폭넓고 많은 보철물에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

V. 결 론

비파괴실험방법인 ESPI 시스템을 이용하여 동일 PZT 소자에 900mV의 전압을 인가하여 금속도재, 전부도재 Everest 및 Zirkonzahn 3-유닛 고정성 국소의치의 교합면 중심과(central fossa) 부분에 외력을 가한 결과, 기저면 상방 10mm 부위의 변위는 정하중 하방으로 금속도재와 Everest는 0.1 μ m 정도로, Zirkonzahn은 0.085 μ m 정도로 치짐현상이 상대적으로 작은 변형특성을 보였다. 또한 금속도재와 Zirkonzahn에서는 하중점 직하방의 변위가 크게 나타난 반면, Everest는 하중점 직하방에서 연결부위까지에 걸쳐 전반적인 변위가 나타났다. 이러한 결과는 파절강도 연구와 유사하였다.

REFERENCES

- Aggstaller H, Beuer F, Funk M, Erdelt KJ, Gernet W. Effect of the preparation design on the fracture resistance of zirconia crown copings. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, 61(7), 347-352, 2006.
- Chang JC, Hart DA, Estey AW, Chan JT. Tensile bond strengths of five luting agents to two CAD-CAM restorative materials and enamel. *J Prosthet Dent*, 90(1), 18-23, 2003.
- Creath K. Phase-shifting speckle interferometry. *Appl Opt*, 24(8), 3053-3058, 1985.
- Erdelt K, Beuer F, Weiger JS, Berger ME, Gernet W. Flexural strength of milled hite-body zirconia. *Quintessenz Zahntech*, 30(9), 942-954, 2004.
- Futoshi K, Thomas G, Siegbert W, Joerg RS. Influence of framework configuration on the marginal adaptation of zirconium dioxide ceramic anterior four-unit frameworks. *Acta Odontol Scand*, 63(6), 361-366, 2005.
- Hoo-Won Kang, Hee-Jin Kim, Jang-Ju Kim, Myung-Won Ko. Fracture strength of all-ceramic 3-unit fixed partial dentures manufactured by CAD/CAM and copy-milling system *J Dent Tech*, Vol.34, No.1, 2012.
- Ichim I, Li Q, Li W, Swain MV, Kieser J. Modelling of fracture behaviour in biomaterials. *Biomater*, 28(7), 1317-1326, 2007.
- Jahn F, Bode D, Goebel R, Gnauck M, Kuepper H. In vitro-investigation of CAD/CAM all-ceramic resin-bonded fixed partial dentures. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, 61(8), 417-421, 2006.
- Jones R, Wykes C. *Holographic and speckle interferometry* 2nd ed., Cambridge university press, London, 165-196, 1989.

- Kelly JR, Teskl JA, Sorensen JA. Failure of All-ceramic Fixed Partial Dentures in vitro and in vivo: Analysis and Modeling. *J Dent Res*, 74 (6), 1253-1258, 1995.
- Oh WS, Anusavice KJ. Effect of connector design on the fracture resistance of all-ceramic fixed partial dentures. *J Prosthet Dent*, 87(5), 536-542, 2002.
- Paul Zaslansky, Ron Shahar. Tooth and Bone Deformation: Structure and Material-Properties by ESPI. *Proc. of SPIE*, Vol. 6341, 634109, 2006.
- Peter M, Klaus D. H, Rajpal S. S. Selected paper on electronic speckle pattern interferometry principles and practice. *SPIE Optical Engineering press*, 1996.
- Rosentritt M, Behr M, Kolbeck C, Handel G. Marginal adaptation and fracture resistance of all-ceramic FPDs. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, 61(7), 353-357, 2006.
- Thompson Y, Anusavice KJ, Naman A, Morris HF. Fracture surface characterization of clinically failed all-ceramic crowns. *J Dent Res*, 73, 1824-1832, 1994.
- Tinschert J, Natt G, Mautsch W, Augthun M, Spiekermann H(2001). Fracture Resistance of Lithium Disilicate-, Alumina-, and Zirconia-Based Three-Unit Fixed Partial Dentures: A Laboratory Study. *Int J Prosthodont*, 14(3), 231-238, 2001.
- Wagnr WC, Chu TM. Biaxial flexural strength and indentation fracture toughness of three new dental core ceramics. *J Prosthet Dent*, 76(2), 140-144, 1996.
- XIE Zhongyan, ZHAO Shouliang. Application of ESPI for measuring polymerization shrinkage of light cured dental composites. *J Pract Stomatol*, Jul, 24(4), 2008.