

PSP 압력측정 Calibration 시스템 구축 및 적용

전영진* · 서형석* · 변영환** · 이재우*

Application and Construction of PSP Calibration System

Youngjin Jeon* · Hyungseok Seo* · Yunghwan Byun** · Jaewoo Lee*

ABSTRACT

Pressure Sensitive Paint(PSP) means a reacting paint in pressure. The calibration of PSP and the wind tunnel test of PSP painted model are required to measure pressure using by PSP. Therefore, the post processing from these results shows the information and image of the pressure distribution. PSP can show the information of total pressure from the wind tunnel test and the calibration. In this study, equipments of PSP are composed, and calibration is accomplished using by PSP. Results of design and manufacturing calibration chamber till ability of advance calibration system study.

초 록

Pressure Sensitive Paint(PSP)는 압력에 반응하는 도료를 뜻한다. PSP를 이용하여 압력을 측정하기 위해서는 paint calibration과 PSP를 도포한 모델의 풍동실험이 필요하다. PSP는 이 두 가지의 결과를 이용한 이미지의 후처리과정을 통하여 압력정보를 포함한 이미지를 얻을 수 있는 신기술이다. 본 연구에서는 PSP에 필요한 장치 및 설비들을 구성하고 PSP를 이용하여 calibration 실험을 실시하였다. 본 연구를 통해 얻어진 calibration chamber의 설계 및 제작 방법으로 진보된 calibration 시스템을 연구할 수 있는 능력을 배양하였다.

Key Words: PSP (Pressure Sensitive Paint, 감압도료), Calibration Chamber (캘리브레이션 챔버), Wind Tunnel(풍동)

1. 서 론

공력실험에 있어서 일반적인 압력 측정방법으로 압력공을 이용한 압력측정방법이 있다. 이는

실험 모델의 표면에 압력공을 내어 압력센서와 연결되도록 하고 실험시 그 압력값을 획득할 수 있도록 하는 방법이다. 그러나 국소적인 압력측정에 그치게 되어 실험적 제한이 있고 압력공으로 인한 유동간섭으로 인해 다른 압력공에서의 정확한 압력값을 얻는데 방해가 된다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 최근에는 전역적 측정방법인 PSP (Pressure

* 건국대학교 항공우주정보시스템공학과

** 건국대학교 항공우주정보시스템공학과
연락처, E-mail: yhbyun@konkuk.ac.kr

Sensitive Paint) 압력 측정 방법이 각광을 받고 있다. 이 PSP에 의한 압력 측정 방법은 일정 공간 상에서 연속적인 데이터를 제공하고 전체적인 압력 값의 획득과 더불어 모델에 압력공 등을 만들거나 여타의 특별한 압력 측정 장비의 부착 없이 표면 압력을 측정할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

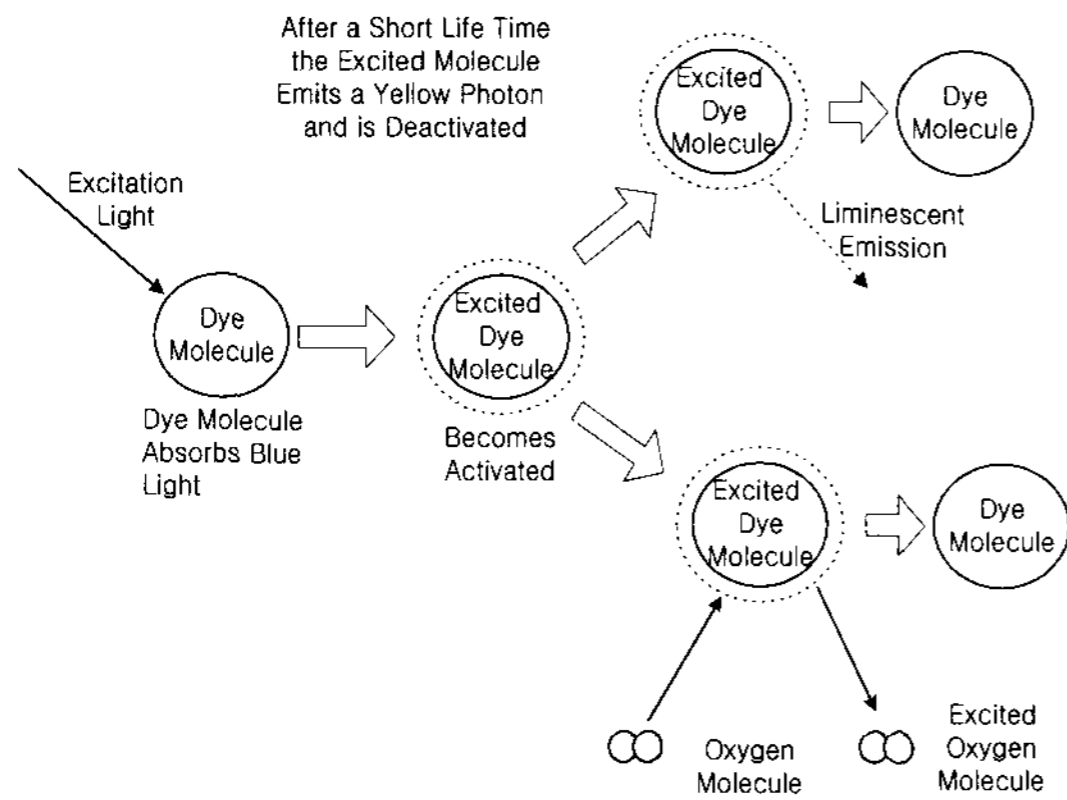


Fig. 1 Oxygen Quenched Photoluminescence

PSP 기법은 Photoluminescence (빛의 흡수에 의한 발광)에 기초를 두고 있다. PSP의 특정한 분자는 자외선이나 청색 빛의 광자를 흡수하게 되면 에너지 준위가 바뀌어 활성화가 되는 특성을 가지고 있다. 이때 이 분자에게 아무런 현상을 가하지 않는다면 이 분자는 빨간색 광자나 노란색 빛을 방출하게 되고 저에너지 상태로 돌아 가게 된다. 그러나 이때 산소 분자가 광자를 방출하기 전의 들뜬 상태인 분자와 충돌을 하게 되면 산소 분자는 들뜬 상태인 분자의 에너지를 흡수하게 된다. 다시 말해 활성 화합물의 입장에서 보면 광자를 방출하지 않고 산소와의 충돌만으로 비활성화가 되는 것이다. 이를 Oxygen Quenching Effect라 한다.

이러한 Oxygen Quenched Photoluminescence 현상을 압력 값으로 나타내진 Data를 인식하기 위해서 다음의 Stern-Volmer 식을 통해 페인트의 발광과 압력 분포에 대한 관계를 알 수 있다.

$$I_r/I = A + B \frac{P}{P_r}$$

여기서 I_r , P_r 은 유동이 없을 때(wind-off)의 빛의 강도와 압력을 나타낸다.

Figure 2는 PSP의 개요를 보여주고 있다.

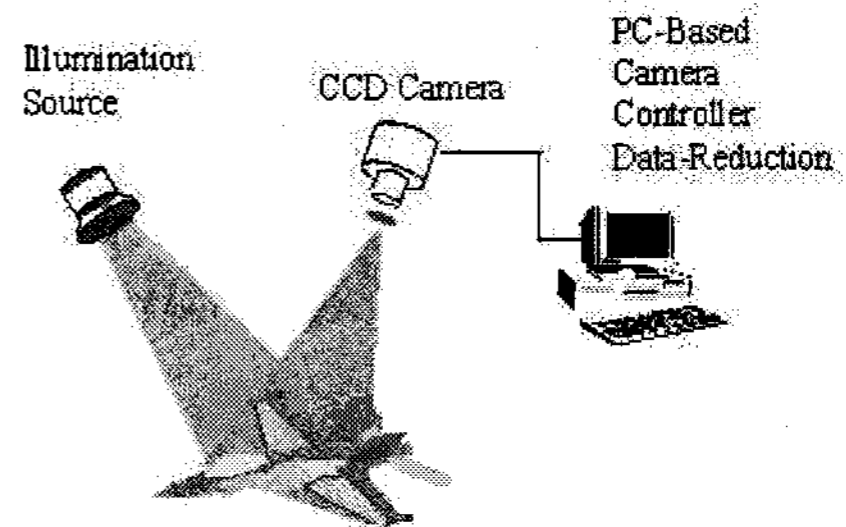


Fig. 2 Schematic of PSP System

PSP 실험에서 중요한 요소로 Calibration을 들 수 있다. 모델에 대한 PSP 두께와 농도는 일정하지 않으며 도포 후 일정 시간이 경과한 경우 측정에 Error 요인으로 작용한다. 이러한 PSP Calibration 방법에는 In-Situ Calibration과 Priori Calibration이 있다. In-Situ는 풍동이 작동되는 중에 Pressure Tap 측정 압력치와 주위의 발광 강도를 대응시키는 방법으로써 풍동내 모델 표면에 Pressure Tap의 사용에 의존하게 된다. 본 연구에서 사용된 Priori법은 시편에 대한 Calibration을 수행하여 실험 모델에 대하여 In-Situ 보다 정확한 값을 Calibration 할 수 있다. 본 연구에서는 Priori법을 적용하여 Calibration kit을 제작 하였고 다음과 같은 방법으로 Calibration을 수행하였다. 먼저 PSP 실험 모델과 동일한 Paint로 일정한 크기의 시편에 도포한다. 이를 외부에서 압력과 온도를 컨트롤 할 수 있고, 광원을 시편에 직접적으로 조사 시킬 수 있는 Calibration Chamber 내에 위치시킨다. Chamber내의 압력과 온도를 일정하게 고정시키고, CCD 카메라로 발광 정도를 촬영하면 이를 연계시켜서 일정한 온도와 압력을 가지고 있는 공간에서의 발광 정도를 교정하게 된다.

본 연구에서는 PSP Calibration 장비를 개발 활용하기 위하여 먼저, PSP법에 대한 기본적 지식 습득과 적용 방법에 대한 연구, 자료 조사 등을 거

쳐 설계와 제작에 임하였다. 또한 제작된 장비를 실험해 봄으로써 PSP를 Calibration 하기 위한 제어조건과 제어방법을 연구하였으며, 획득한 데이터를 실험조건과 비교해 봄으로써 Calibration 장비의 성능검증을 하였다.

2. 본 론

2.1 Calibration Chamber의 구성

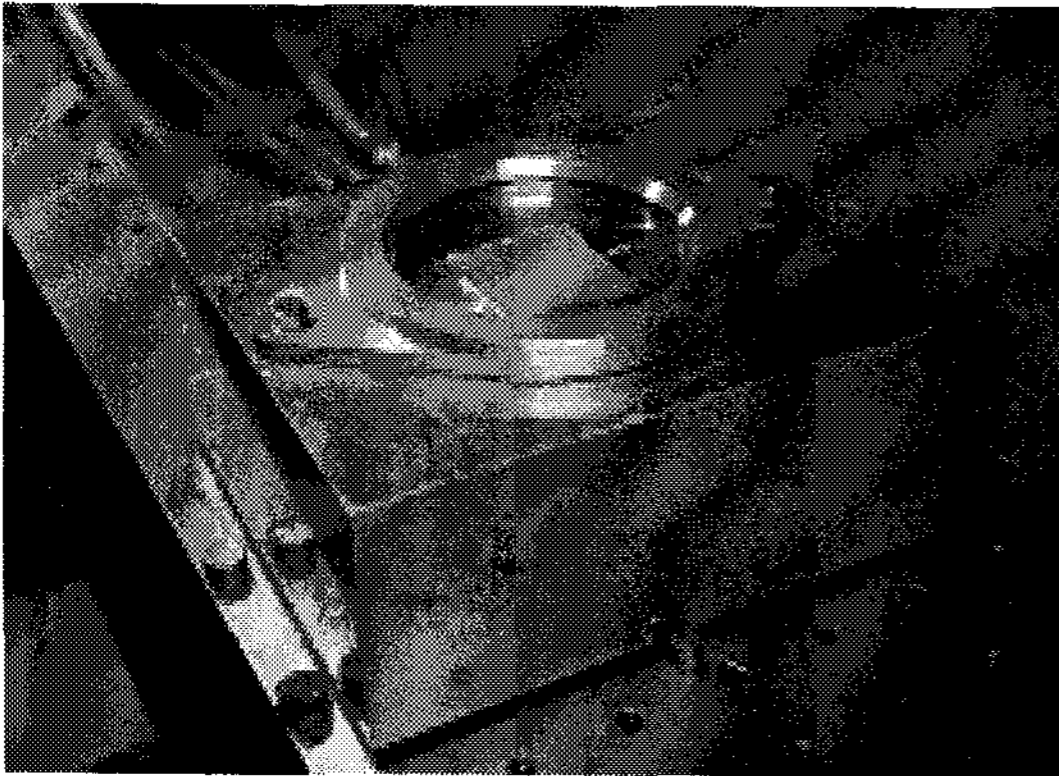


Fig. 3 Calibration Chamber

Figure 3은 Calibration Chamber의 외형이다. Calibration 본체는 알루미늄으로 제작하였다. 내부는 표본접시, 온도센서, 열전소자, 수냉식 쿨러, 압력호스로 구성되어 있다.

Calibration Chamber의 표본접시는 황동으로 제작해 열전도율을 높이고, 내부에는 온도센서를 설치하여 보정표본(Calibration Cell)의 온도를 직접 측정할 수 있도록 하였다.

또한 압력튜브를 통하여 밀폐된 표본접시 내부의 압력을 조절할 수 있도록 하였다. 표본접시 밑면에는 열전소자를 이용하여 표본접시를 직접 가열/냉각 한다.

2.2 Calibration Chamber의 성능

최종적으로 만들어진 Calibration Chamber의 성능은 Table 1과 같다. 온도조절의 오차가 큰 것은 온도제어기의 온도 감지 동작이 초당 1회를 실시하기 때문이다.

Table 1. Performance of Calibration Chamber

Pressure Range (bar)	0.1~3.0
Pressure Measurement Errors (bar)	0.001
Pressure Control Errors (bar)	±0.02
Reaching Time of Minimum Pressure (sec)	10
Temperature Range (°C)	-8~40
Temperature Measurement Errors (°C)	0.1
Temperature Control Errors (°C)	±1
Reaching Time of Minimum Temperature (sec)	1200
Maximum Size (mm)	3×3
Calibration Chamber Size (mm)	(L)1400×(W)1200×(H)61

Figure 4는 Calibration을 실시하는 실험장면을 보여주고 있다.

PSP를 이용한 압력측정은 PSP, PSP의 흡수파장에 맞는 광원 혹은 필터장치, PSP에서 방출하는 빛을 이미지화할 수 있는 영상획득 장치 및 PSP의 방출 파장과 동일한 범위를 가지는 필터등이 필요하다. 그 밖에도 PSP를 실험모델에 도포하기위한 장비 역시 필요하다.

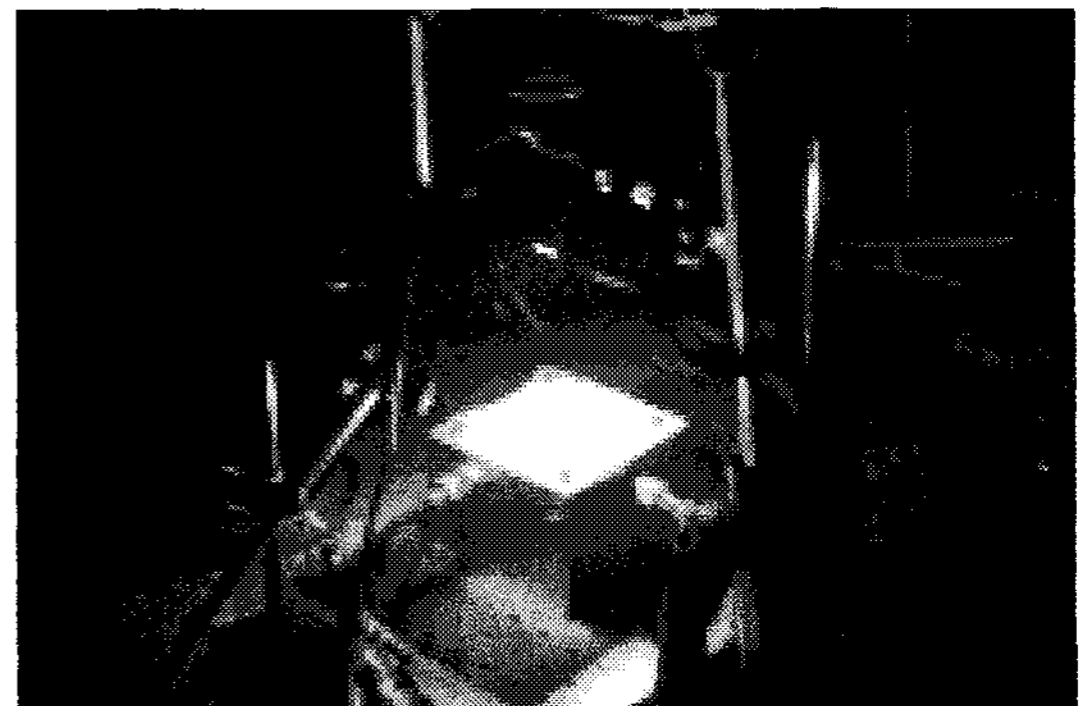


Fig. 4 Calibration Experiment

2.3 Calibration 실험 결과

PSP에 의한 압력의 측정과정은 광원에서 출발

한 빛으로 시작된다. PSP가 도포된 시편의 표면에 부딪힌 빛은 압력변화에 따른 PSP의 반응으로 발생된 발광으로 인해 일정한 파장대의 빛을 발생시키고 그 발생된 빛은 필터를 통해 카메라로 들어가게 된다. 카메라로 들어간 빛은 Image Processing Program을 통해 눈으로 확인하게 되는데 본 연구에서는 앞에서 언급된 OMS를 사용하여 Image를 확인하였다. Figure 5는 각 설정 온도와 압력변화에 따른 Image와 calibration후의 결과이다.

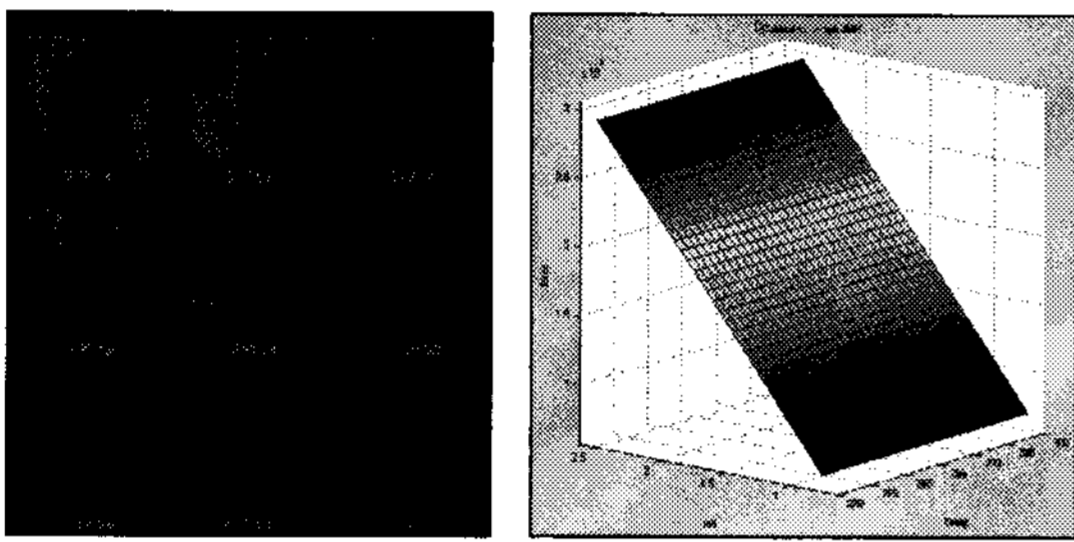


Fig. 5 Calibration Images(Left) and Result(Right)

압력변화에 따라 시편의 PSP Image는 각기 다른 발광정도를 띄고 있는데 이때 Calibration 시 얻은 Data로 실제 모델의 PSP 압력측정 실험 시 얻은 사진을 분석하여 실제 모델표면의 압력에 대한 Data를 획득할 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 이러한 PSP의 자료조사와 Calibration 실험 등의 과정을 통해 기초지식을 획득하였고 나아가 공력 실험분야에 있어서 새로운 방법의 압력 측정 기술을 습득하였다. 따라서 본 연구를 통해 얻어진 Calibration 장비의 설계 및 제작 방법으로 진보된 Calibration 장비를 연구할 수 있는 능력을 배양하였다. 이것을 바탕으로 공력 실험에서는 풍동 내 모델에 가해

지는 압력측정 실험 등을 통해 PSP를 적용하고 얻어진 Data를 Calibration Data와 비교 분석하여 보다 정확한 실험에 임할 수 있을 것이다. 향후 연구방향으로 PSP도포 두께에 따른 응답 특성의 연구와 그에 따른 민감도 향상기법연구가 필요하다. 소프트웨어적인 방법으로는 해석 소프트웨어에서 제공 되는 Filter에 의한 Noise 제거와 Correction에 의한 Data 보정 등을 통해 보다 정밀한 결과를 얻어 내는 것이다. 또한 압력과 온도의 설정가능 범위를 넓혀 어떠한 환경의 조건이라도 실제의 압력과 온도에 맞게 설정할 수 있도록 기술적인 측면의 연구가 수행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Vladimir S. Fonov, Development and Analysis of Data Processing Methods Applied to Luminescent Coating Systems in Aerodynamics, ISSI PSP references (2003).
2. Gouterman M, Oxygen quenching of Luminescence of Pressure Sensitive Paint for Wind Tunnel Research, Journal of Chemical education 73(6) (1997).
3. ISSI ProImage Version 3.0 User's GUIDE.
4. R.C Crites, Measurement Techniques-Pressure Sensitive Paint Technique, von Karman Institute for Fluid Dynamics Lecture Series 1993-05.
5. Steven G. Chapra, Raymond P. Canale, Numerical Methods for Engineers-Third Edition, McGRAW-Hill.
6. Tianshu Liu, M. Guille* and J. P. Sullivan, "Accuracy of Pressure Sensitive Paint", AIAA Journal, Vol. 39, No.1, January 2001. pp12-13.