

## 압력분포 측정용 시스템 개발 및 응용

김 용 환<sup>1)</sup> · 박 성 하<sup>2)</sup>

충남대학교 기계설계공학과<sup>1)</sup> · (주)테크스톰<sup>2)</sup>

### Development and Application of System for Pressure Distribution Measurement

Yong H. Kim<sup>1)</sup> · Sungha Park<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Mechanical Design Engineering, Chungnam University, Daejeon 305-764, Korea

<sup>2)</sup>TechStorm Inc., 3/217 289-1, Daewha-dong, Daeduk-gu, Daejeon 306-754, Korea

(Received 18 June 2003 / Accepted 6 October 2003)

**Abstract** : The film sensor is used for measuring pressure distribution at planar area, especially at a small space or gap. The present paper deals with the development of film type sensors and system for pressure distribution measuring. The developed system is consist of (1)film sensor with 40\*40 array, (2)PCI interface card with maximum sampling rate of 100Hz, and (3)software for data processing and real-time display. The contact pressure test of wiper blade and front glass of vehicle was performed with wiper blade by 40cm. Generally spring force of wiper arm is designed at 0.7~1kN . Test results of total force was 9.4N and 7.1N in each driver and passenger toward. The paper suggested possibility for base definition in wiper design. A windshield wiper blade experiment revealed that the system successfully measured the contact force distribution during static state, showing the usefulness of the developed system.

**Key words** : Film sensor(필름센서), Pressure(압력), Windshield(윈드실드), Wiper blade(와이퍼 브레이드), Contact force(접촉 힘)

### 1. 서론

자동차 개방 무역에 접하고 있는 상황에서, 제품의 국제 경쟁력 향상이 중요한 과제로 등장하고 있는 현실에 인간 중심의 기술 개발은 제품의 부가가치 향상을 위해서 필수적이다. 특히 자동차는 인간에게 교통 수단을 제공해 줄뿐만 아니라 레저 생활 및 작업 대상으로서 인간과 매우 밀접한 관계가 있다. 더욱이 자동차의 대중적 보급에 따라 소비자의 민감한 요구 사항들이 대두되고 있다.

일반적으로 자동차 개발 시 국가별 법규와 인간

공학적 측면을 고려하여 개발 및 생산을 하고 있으나, 기업에서는 운전자가 기계에 느끼는 민감한 부분까지를 충분히 고려하지 못하고 있는 것이 현실이다. 이와 관련하여 아직까지 충분히 검토하지 못했던 분야, 예를 들면 자동차 와이퍼의 눌림 정도, 도어(door)에 부착된 웨더스트립(weatherstrip)의 접촉 힘, 그리고 시트 쿠션(seat cushion)의 안락감 평가 등에서 압력 분포를 측정함으로써 새로운 접근 방법으로 품질을 검토 할 수 있다.

본 연구에서 개발된 필름 센서<sup>1,2)</sup>와 압력분포 측정 시스템(Pressure Distribution Measuring System)은 (주)테크스톰사와 충남대학교의 공동 연구로 개발되었다. 현재 전량 외국에서 수입되는 고가의 압력

\*To whom correspondence should be addressed.  
shpark@techstorm.co.kr

분포 측정 시스템은 특정 기관에서만 사용되고 있을 정도로 충분히 보급되어 있지 않고, 압력분포 측정 시스템의 활용과 필요성은 연구 개발 제품의 초기 기초 평가와 더불어 성능 향상성 측면에서 필요성이 증가하고 있는 추세이다.<sup>3-5)</sup>

본 논문은 국내에서 개발한 압력분포 측정 시스템을 이용하여 윈드실드 와이퍼 블레이드의 접촉압 측정하였고 그 유용성을 검증하였다. 윈드실드 와이퍼 블레이드의 접촉압은 비 또는 눈이 내릴 때 운전자의 시계가 방해받는 것을 막기 위하여 앞면 또는 뒷면 유리를 닦아내는 작용을 하고 윈드실드 와이퍼 블레이드(windshield wiper blade)는 유리면 사이의 접촉압이 큰 경우에는 소음, 블레이드의 마모 등이 유발되고, 반면 접촉압이 작은 경우에는 이물질 제거를 제대로 닦을 수 없어 소비자의 불만 사항을 유발할 수 있다. 이에 반해, 와이퍼 블레이드와 윈드실드 사이의 접촉압에 대해서는 구체적으로 법령에 규정되지 않았고 KS 규격에는 닦임 상태만을 규정하여 주로 경험에 근거하여 설계되어 지고 있는 실정이다.

## 2. 압력분포측정 시스템 개발

본 연구는 필름 센서와 이를 이용한 압력분포 측정 시스템을 개발하였으며, 그 구성은 크게 접촉 힘을 측정할 수 있는 센서부(handler 포함), 데이터 획득을 위한 PCI 카드, 그리고 데이터 처리를 위한 소프트웨어로 구성되었다.

### 2.1 센서부

압력 분포 측정을 위한 필름 센서는 30~100  $\mu\text{m}$  정도의 PET 필름(film)위에 전원을 인가할 수 있는 패턴(pattern)과 일정한 저항을 갖는 카본을 인쇄하여 이를 이용하여 센서를 제작한다. Fig. 1은 PET 필름 위에 1cm 간격으로 카본(carbon)을 인쇄한 것이며, 카본 패턴의 크기는 0.6\*0.6cm로 제작되었다. Fig. 2는 센서의 상단부로서 일정 간격으로 실버패턴(silver pattern)을 인쇄한 상태이다. 즉, 센서는 하부의 카본 층과 상부의 실버패턴으로 구성되어진다.

센서 1셀(cell)에 대한 개략도는 Fig. 3과 같은 원

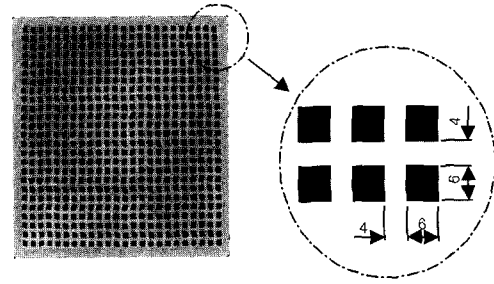


Fig. 1 Carbon pattern on PET film

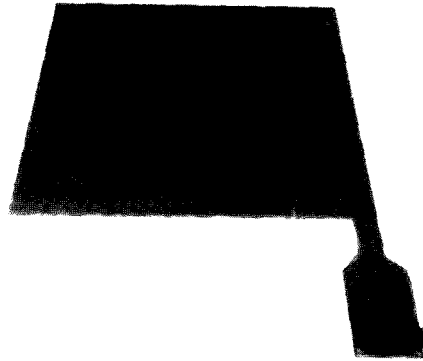


Fig. 2 Silver pattern with 1600 cell

리로 작동된다. 즉, 필름 센서의 기본적 원리는 Fig. 3과 같이 좌측의 “E” 형상 부분에 5 volt의 전원을 인가하고 센서에 힘을 가한 후 우측의 “I” 형상 부분에서 출력 전압을 측정하여 전압 차를 구한다.

Fig. 3에서 센서의 물리적 특성만을 고려하여 설명하면 다음과 같다.

힘이 가해지지 않은 상태에서는 실버패턴의 좌우가 연결되지 않은 상태이므로 출력은 0 volt가 되며, 힘을 가하면 상부 좌측의 실버패턴 부분이 하부의 저항체 필름인 카본과 접촉하여 5Volt의 전압이 하단의 카본을 통하여 우측의 실버패턴으로 전류가

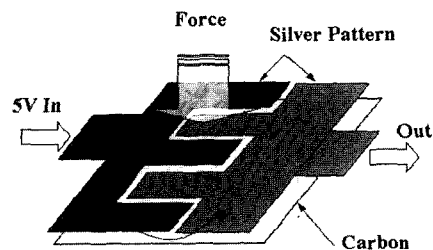


Fig. 3 Schematics on 1 cell of sensors

호르게 되어 누르는 힘의 정도에 따라 다른 전압 차를 알 수 있다.

**2.1.1 Conductive Silver Pattern**

센서의 상단부로서 Fig. 2와 같으며, 한글의 “E” 형상 부분과 “ㄱ” 형상 부분을 스크린(screen) 인쇄하여 제작된다. 인쇄 순서는 “E” 형상 인쇄 → 절연 → “ㄱ” 형상 인쇄 → 절연 순으로 센서 배열은 40\*40으로 총 1600 셀(cell)을 센싱(sensing)할 수 있도록 설계되었다. 절연은 입력 전원부와 출력 전압의 교차점에서 전기적 쇼트(shot)를 방지하기 위한 처리 과정이며 그 두께는 20 μm 정도이다.

**2.1.2 Resistive Film (Carbon)**

센서의 하단부로서 Fig. 1과 같으며, 센서 상단부와 상응하게 1cm 간격으로 배열은 40\*40이다. 카본의 저항은 측정 용도에 따라 다르지만 보통 1cm 간격에서 150~300kΩ이다. 이때 카본 저항의 민감도에 따라 핸들러(handler)의 칩 저항과 조합되어 용도에 따라 압력 범위를 조절할 수 있도록 되어 있다.

**2.1.3 핸들러(Handler)**

Fig. 2의 실버 패턴 끝단과 연결되어 데이터 및 전기 신호를 순차적으로 처리할 수 있도록 설계된 핸들러(handler)는 FPGA(Field Programmable Gate Array)를 설계할 수 있는 “Altera” 칩셋(chipset) 등으로 구성되었다. 즉, “ALTERA EPM7128-SQC100-15”를 사용하여 멀티플렉서(multiplexor) 회로를 설계하였으며, PLD 칩과 압력센서 사이에 “LM324”를 이용하여 완충 증폭기(buffer amplifier) 역할을 할 수 있도록 전압 플로어 회로를 연결해 놓았다.

Fig. 4는 센서의 끝단과 함께 연결되는 핸들러(handler)이며, 주요 기능 및 역할은 다음과 같이 설

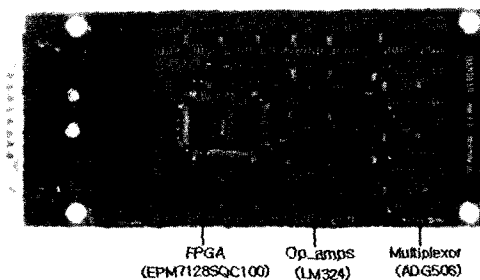


Fig. 4 Photo of developed handler

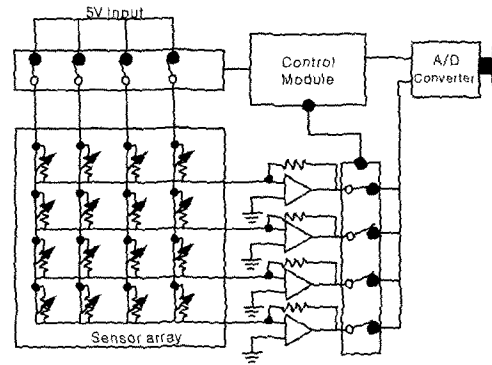


Fig. 5 Schematics of data processing

명할 수 있다.

- 1) 입 · 출력 전기 신호의 순차적 처리 기능
- 2) 전류의 역류 방지 및 전압 보상
- 3) 전기 신호 증폭(op\_amp 기능)
- 4) PCI card와 센서부의 중계기 역할
- 5) 저항으로부터의 센서의 민감도 조절 기능

Fig. 5는 조합된 센서부로부터의 전자 신호 처리에 대한 개략도로서 센서 배열은 용도에 따라 확장 또는 축소 배열할 수 있으며, 제어 모듈(control module)에서 5 volt의 전기 신호를 순차적으로 인가하며 1개 행(column)에 전기 신호를 주었을 때 열(row) 방향에서 순차적으로 전압 차를 읽어 각각의 센서에서 발생하는 전압 신호를 획득할 수 있으며, 이 데이터 신호는 A/D converter를 통해 디지털 값(digital value)을 얻을 수 있다.

**2.2 PCI card**

센서부 끝단의 핸들러에서 처리한 신호를 받아 A/D Converter를 이용하여 PC에 송수신하는 장치로 사용자 환경에 따라 선택하여 활용할 수 있도록 1채널(channel) 방식과 2채널(channel) 방식으로 개발되었다.<sup>6)</sup>

Fig. 6은 개발된 PCI 카드(card)로서 고속 어드레싱(addressing)을 하기 위해 중앙처리 장치인 “PIC16F877”을 사용하였으며, 센서의 저항 변화에 대한 여러 출력 신호를 하나의 포트에 모아 A/D 변환기 “AD1674(PCI AD7892)”를 이용하여 디지털 값으로 전환하고, “PIC16F877”에서 디코더(decoder) 및 멀티플렉서(multiplex)의 어드레싱을 수행하였

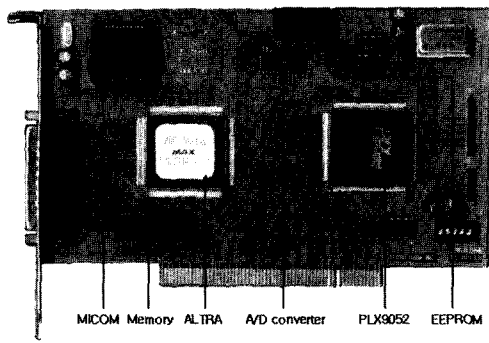


Fig. 6 Photo of developed PCI card

다. 어드레싱은 모두 "PIC16F877"의 포트(port)에서 모두 제어하였으며 중복되는 행과 열이 없도록 제어하여 동시에 선택되어 신호가 섞이는 것을 방지하였다. 데이터를 PC로 받기 위해 PCI 슬롯용 인터페이스 카드로 통하여 입력을 받는다. PC 내의 다른 장치와 충돌을 막기 위해 "PLX9052"칩을 사용하였다. PC와 핸들러(handler)간의 데이터 전송 및 신호 교환을 위하여 어드레스를 설정한 후 안정된 아날로그 값을 얻기 위해 수  $\mu\text{sec}$ 의 지연을 시켰다. A/D 변환기에서 전송되는 12bit의 데이터를 입력으로 받았다. 최대 Frequency는 100Hz (초당 160,000개) 이상 센싱 가능하다.

### 2.3 응용 소프트웨어

데이터 처리를 위한 소프트웨어는 사용자가 PC 상에서 GUI 방식으로 디지털 신호를 간편하게 처리할 수 있도록 Lab Windows™을 활용하여 설계되었다.

소프트웨어의 주요 기능은 다음과 같다.

- Real-time display
- contouring display
- 3D graphic display
- Section view
- Peak/Mean value
- Total force etc.

### 2.4 센서 보정

센서에 대한 오차는 센서 조합에서 각각의 센서에 대한 5% 정도 오차와 아날로그 신호 처리 과정에

서 5% 오차를 갖고 있다. 센서의 오차는 Fig. 1에서의 카본 저항에 의한 오차로, 테스터(tester)를 이용하여 5mm 간격에서 측정한 결과이며, 아날로그 신호 처리에서 발생하는 오차는 칩 특성과 신호선 등에 의한 오차로 볼 수 있다. 또한 센서의 방향성에 대한 오차는 미소한 것으로 실험되었다. 이는 실험시 블레이드의 고무(rubber) 끝단과 유리 면과의 불안정한 접촉 측정으로 인한 측정에 의한 오차를 비교할 때 무시할 수 있다.

일반적으로 필름 형태의 센서 특성 곡선은 선형적이지 않아 근사 곡선 식이 필요하다. 따라서 센서에 대한 보정 방법은 평편한 유리면 위에 센서를 위치시키고 40 cm의 와이퍼 블레이드를 정렬시킨 다음 와이퍼의 중앙 윗면에 분동을 올려 하중을 가한다. 이때 분동의 무게는 500, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000gram을 차례로 올려놓고 측정한다. 프로그램에서 나타나는 디지털 값의 합을 40으로 나눈 값을 센서 1셀에 대한 값으로 가정한다. 이 방법은 전체 하중을 기준으로 와이퍼 블레이드가 유리 면에 가해지는 하중의 분포를 보기 위함이다.

Fig. 7은 힘의 증가에 대한 센서 전형적인 특성이 곡선으로 표현되며, 실험 시 추출된 디지털 값은 근사 곡선인 B-spline을 이용하여 역으로 센서 각각에 가해진 힘을 구한다. 향후 보다 정량화된 센서의 보정을 위해 센서 전체에 일정한 공기압을 순차적으로 가하여 소프트웨어에서 직접 각각의 센서에 대한 보정을 할 수 있는 장치를 개발 중이다.

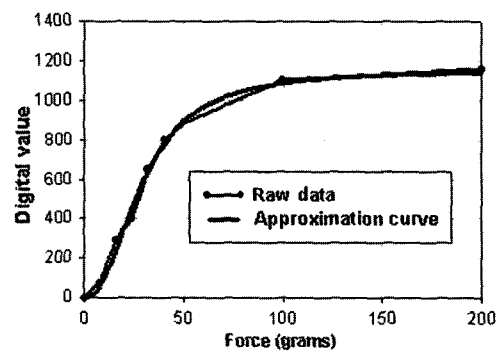


Fig. 7 Typical property curve on sensor

### 3. 접촉압 측정

윈드실드 와이퍼 블레이드 접촉압은 국내 내수용 2000cc급 승용차를 이용하여 측정하였고, 윈드실드 와이퍼는 시중에서 널리 사용되는 제품중 블레이드 길이가 40cm인 것을 택하여 평가하였다. 이는 센서의 길이가 40cm로 설계되었기 때문이다.



Fig. 8 Photo of windshield wiper

차량 시험에 사용된 윈드실드 와이퍼의 형상은 Fig. 8과 같으며 운전석(driver) 및 조수석(passenger) 쪽 모두 와이퍼 블레이드의 길이가 40cm인 동일 크기의 제품을 사용하였다. 또한 와이퍼의 위치는 차량 초기 상태에서만 측정하였다. 시험 조건은 외부 영향을 최소로 하기 위하여 바람이 없고 습도가 적은 실내에서 측정하였다.

Fig. 9는 차량 외부에서 본 측정 점에 대한 센서 위치 번호를 표현한 것이다.

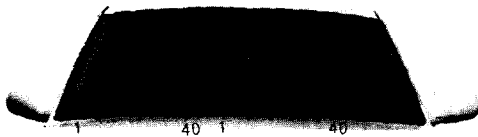


Fig. 9 Number of sensor position on glass

### 4. 접촉압 측정 결과 및 고찰

Fig. 10, 11은 각각 운전석과 조수석 부분에서 측정한 결과이다. 세로축은 센서 일련 번호이고 가로축은 각 센서에서 나타난 압력 값으로 단위는 g/cm이다. Fig. 8에서 와이퍼 블레이드가 유리면에 접촉하는 지지점 6 곳에서 최대 값이 발생함을 알 수 있다. 조수석 쪽보다는 운전석 쪽에서 그 경향을 잘 볼 수 있다. 또한 각각에 대한 최대 값은 Fig. 9의 기준으로 보면 전면 유리면의 중앙임을 알 수 있다.

Fig. 8의 와이퍼 블레이드의 양끝단이 중앙부위보다 높은 이유는 와이퍼 암 스프링(wiper arm spring)으로부터 전달되는 힘을 유리면에 접촉하는 블레이드 힌지 부분의 상호 거리와 유리면 곡률의

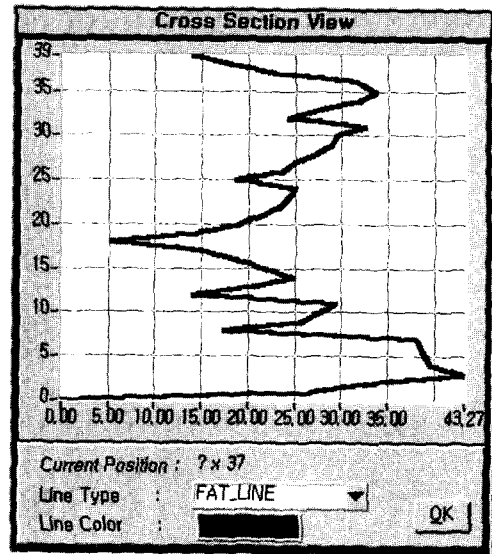


Fig. 10 Contact pressure variations for sensor position on driver side

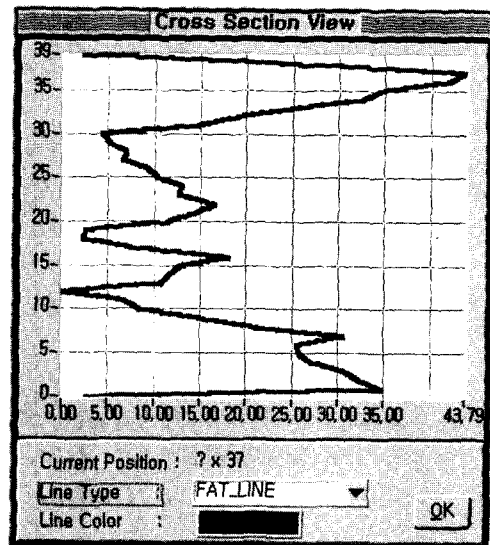


Fig. 11 Contact pressure variations for sensor position on passenger side

영향에 의한 힘의 분산 결과로 추정할 수 있다. 또한 블레이드의 지지점을 제외한 부분에서 매우 낮은 압력 값이 나타나는 현상은 블레이드의 고무 재질과 센서의 구조상에 따른 원인으로 분석되며, 기존에 상용화된 미국의 Tekscan사의 제품으로 제조사에서 측정된 결과의 경향과 유사하다.

와이퍼 암 스프링 힘은 차량의 종류와 특성에 따라 다르지만 일반적으로 0.7~1 Newton 정도의 힘이 가해지도록 설계된다. 본 실험에 사용된 차량의 힘은 알 수 없었으나, 운전석 쪽에서와 조수석 쪽에서 걸리는 힘의 합은 각각 957gram과 720gram 이었다. 이는 센서 오차와 측정 오차가 있음으로 짐작되나, 압력분포의 특성을 판단하기에는 충분하리라 판단된다.

와이퍼 암 스프링 힘은 차량의 종류와 특성에 따라 다르지만 일반적으로 0.7~1 Newton 정도의 힘이 가해지도록 설계된다. 본 실험에 사용된 차량의 암 스프링 힘과 자동차 메이커에서 자체 측정한 자료 공개가 없어 비교할 수는 없었으며, 운전석 쪽에서와 조수석 쪽에서 걸리는 힘의 합은 각각 957gram과 720gram 이었다. 이는 센서 오차와 측정 오차가 있음으로 짐작되나, 압력분포의 특성을 판단하기에는 충분하리라 판단된다. 향후 차종에 따른 와이퍼 블레이드의 접촉압에 대한 연구를 수행할 계획이다.

와이퍼의 불균일한 압력분포는 블레이드의 편마모를 발생시키며 눈, 비 또는 워셔액 등을 고루 닦아 낼 수 없으므로 설계 시 와이퍼 블레이드 지지점을 중심으로 균일하게 접촉압이 발생하도록 설계하는 것이 필요할 것으로 사료된다.<sup>9)</sup>

Fig. 12, 13는 측정 결과를 3차원 형상으로 표현하여 나타낸 것이다.

본 연구를 통하여 기존 경험에 의존하여 설계하던 와이퍼 블레이드에 대한 접촉압 측정 장치 및 정량적인 데이터를 제시할 수 있었으며, 와이퍼 설계 기술의 기준을 설정할 수 있는 가능성을 제시하였

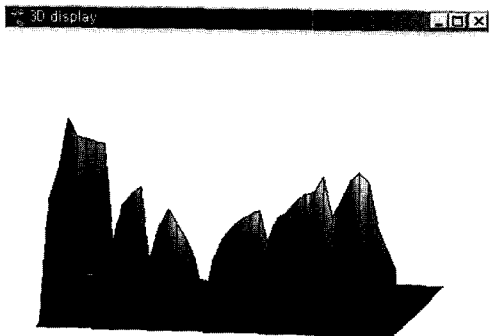


Fig. 12 3D shape for contact pressure on drive side

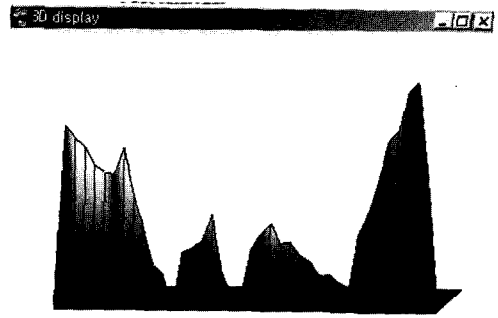


Fig. 13 3D shape for contact pressure on passenger side

다. 또한 와이퍼 부품인 와이퍼 암 스프링(wiper arm spring), 리테이너(retainer) 등의 설계에도 도움을 줄 수 있을 것으로 기대되며, 개발된 압력분포 측정 시스템은 자동차 산업 분야뿐만 아니라 응용 분야로써 인간공학, 스포츠, 의학분야 등 여러 분야에 적용할 수 있고 이에 대한 파급 효과는 매우 크리라 판단된다.

## 5. 결론

본 연구를 통하여 얻은 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) Matrix 40\*40(1600 cell)의 필름 센서를 개발하였다.
- 2) 필름 센서의 신호 처리를 위한 핸들러, 100Hz 이상의 데이터 획득을 위한 PCI 카드와 데이터 처리를 위한 프로그램을 통합한 압력 분포 측정 시스템을 개발하였다.
- 3) 압력 분포 측정 시스템을 이용하여 응용 분야의 한 예로써 와이퍼 블레이드의 접촉압 측정 결과 이상적인 분포도를 얻었으며, 이를 통하여 설계에 응용할 수 있는 가능성을 제시하였다.
- 4) 고품질 제품 생산을 위하여 자동차 부품 설계 시 안전도와 같은 범규 외의 소비자 불만 사항을 고려한 설계 개선 방법을 제시하였다.

## References

- 1) D. R. Kim, S. G. Oh, Sensor Engineering Practice, GiJeon Press, pp.267-276, 2000.
- 2) B. S. Yang, Screen Printing Technique,

- SuSeoWon, pp.21-36, 1992.
- 3) E. M. Henning, P. R. Cavanagh, N. H. Macmillan, "Pressure Distribution Measurements by High Precision Piezoelectric Ceramic Force Transducers," Biomechanics VIII-B, Human Kinetics Press, pp.1081-1088, 1983.
  - 4) P. R. Cavanagh, J. S. Ulbrecht, "Clinical Plantar Pressure Measurement in Diabetes," The Foot, Pennsylvania State University. PA. USA, pp.123-135, 1994.
  - 5) C. J. Kim, N. S. Lee, S. J. Park, C. B. Kim, C. W. Kim, S. C. Lee, Development of Body Pressure Distribution System and Measuring Technique of Vehicle Seat, KRISS, KRISS-92-149-IR, 1992.
  - 6) T. Shanley, D. Anderson, PCI System Architecture 3rd Edition, MIND SHARE INC., pp.297-302, 2001.
  - 7) J. K. An, Y. W. Kwen, I. T. Kim, Vehicle Engineering and Equipment, DongSin Press, pp.501-506, 1996.
  - 8) DaeWoo Vehicle Technical Center, Body Design of Vehicle, DaeWoo Motor Company, 1983.
  - 9) B. S. Hyun, et al., A Study of Correlation with Section Shape of Blade, Glass Curvature, and Arm Pressure for Optimization Contact of Front Glass of Vehicle and Wiper Blade, MOST, 1988.