

Ch를 이용한 직선형 5공 압력 프로브의 3차원 유동속도 계측시스템 개발

Development of Three-Dimensional Flow Velocity Component Measurement System with Straight-Type Five-Hole Pressure Probe Using Ch Language

오석형 · 김장권

S. H. Oh and J. K. Kim

(접수일 : 2010년 1월 6일, 수정일 : 2010년 1월 18일, 채택확정 : 2010년 1월 25일)

Key Words : Common Gateway Interface(CGI), Background Services(백그라운드서비스), Internet Information Service(IIS; 인터넷 정보 서비스), Calibration Map(교정지도), Transmission Control Protocol/Internet Protocol(TCP/IP), Peer to Peer(P2P; 개인간 파일공유)

Abstract : This paper shows the development process for measuring three-dimensional flow velocity components in a web-browser. The system is developed in an embeddable C/C++ interpreter Ch and Ch-CGI toolkit. The interface for the web-based measurement system consists of a set of web HTML files and Ch files for CGI. All of data in web browser are passed to Ch-CGI script to generate the output of new HTML file. PC-Server and PC-Client can submit measurement parameters and receive the text/graphical results each other. PC-Client can control the test equipment by using a parameters that received from PC-Server. It also can pass the test results between the web-based measurement system. In summary, the designed measurement system is evaluated, the outputs shown well on the web browser.

1. 서 론

인터넷 분야의 발전과 더불어 엔지니어링분야에서도 인터넷을 활용하는 연구가 활발히 진행되고 있다. Harry등^{1,2,3)}은 기구학적 해석을 수행함에 인터넷(web) 상에서 사용자가 설계 자료를 입력하여 virtual machine처럼 GUI기반으로 해석의 결과를 사용자가 확인할 수 있게 하였고, YU등은⁴⁾ 인터넷 기반의 시스템제어를 위한 해석에 필요한 정보를 동시에 많은 사용자에게 제공하고자 하였다. LEE⁵⁾는 DB(Data Base)엔진이 탑재된 대단위의 컴퓨터 시스템을 활용한 계측 및 제어를 위한 시스템 개발에 대한 연구를 수행하였다.

하지만 계측분야에 인터넷의 적용은 계측장치의 공유에 문제가 발생하기 때문에 단지 계측된 자료를 DB에 전송하고 전송된 자료를 모니터링하는 정

도이며, 투자비용과 노력에 비하여 비효율적이며 양방향 정보전달의 문제점을 갖고 있으며 인터넷기반의 목적을 동시에 많은 사용자를 만족할 수 있는 목적으로 하고 있다.

그러나 실험의 목적에 합당한 근거리통신(Bluetooth, Zigbee)을 이용하여 계측제어를 수행하고 있으며, 원격 접속 또는 동등계층통신(Peer-to-Peer)를 통하여 계측장비의 수선이나 교정에 인터넷을 활용하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 UNIX 기반에서 개발되었고 ISO C standard(C90), C++(C99)를 지원하는 embedded interpreter방식의 Ch를 이용하였다. 다중언어가 지원되는 Ch를 사용하여 C, C++ 그리고 HTML로 프로그램을 수행하였고, 직선형 5공 압력 프로브의 3차원 유동속도 계측에 대한 Kim 등^{6,7)}이 연구를 수행한 결과를 Ch를 이용하여 인터넷기반으로 변환하고 양방향 정보교환은 물론, GUI를 구현하며, 대단위 컴퓨터시스템이 존재하지 않으면서도, 일체형 연산처리장치(one chip micom)에도 탑

오석형(교신저자) : 군산대학교 기계자동차공학부

E-mail : osh@kunsan.ac.kr, Tel : 063-469-4721

김장권 : 군산대학교 동력기계시스템공학전공

제 할 수 있는 실험실기반의 작은 컴퓨터시스템 (tiny- platform)에 적용함의 타당성을 검증하고자 한다.

2. 실험장치 및 개발도구

2.1 실험장치

본 연구에서 원격계측의 대상으로 적용한 실험장치는 5공 피토투브를 이용한 유속측정 장치다. 유속측정에 사용된 프로브센서는 직선형 FHPP (United Sensor Corp., USNH-F-172 0346)이며 Fig. 1과 같다. 유동에 의한 흔들림을 방지하기 위해 보강용관에 부착된 선단부의 관은 직경이 3.06 mm, 길이가 49 mm이다. 그리고 피토투브 선단부에는 5개의 압력측정용 구멍이 형성되어 있는데, 중앙부의 관 직경은 0.508 mm이며, 나머지 4개의 관 직경은 모두 0.4064 mm이다.

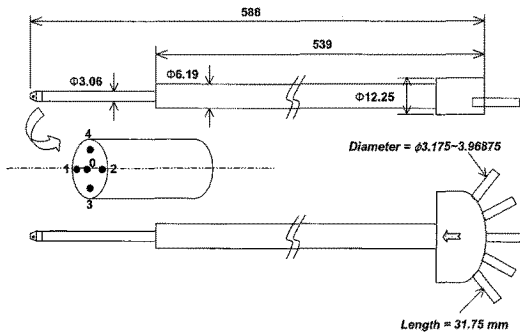


Fig. 1 Straight-type yaw-head probe geometry

낮은 정압도 측정이 가능한, 정밀도 $\pm 0.25\%$ 를 갖는 압력계(Furness, FC510)를 사용하였고 FHPP의 압력을 동시에 연속적으로 측정하기 위해서는 최대 용량이 $\pm 200 \text{ mmAq}$ 로 정밀도가 $\pm 0.5\%$ 인 압력계(Furness, FCO332)를 5개 사용하였다.

KSB6311과 AMCA STANDARD 210-85의 표준에 의한 송풍식 소형 팬테스터와 프로브의 3축방향 이송을 자유롭게 수동으로 조정할 수 있도록 요각과 피치각을 조정할 수 있는 지그(jig)를 사용하여 검정지도 데이터를 획득하였다.

실제 유동 측정에 사용된 실험장치는 Fig. 2와 같이 원심형 송풍기와 확산부, 정류실, 수축부, 시험부로 구성되어 있는 아음속풍동과 3차원 자동이송장치(Dantec 41T50 & 41T75) 그리고 PC로 구성되어 있다. FHPP로부터 압력측정을 위해 A/D변환

카드(NI PCI-6024E)가 사용하였고, 자동이송장치의 제어는 RS-232C를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 직선형 FHPP의 검정 작업에는 년널링기법을 적용하였으며, Treaster & Yocum의 방법을 기준으로 하였고, 유효 유동각을 $\pm 45^\circ$ 로 넓은 Kim 등⁸⁾의 검정방법을 사용하였다.

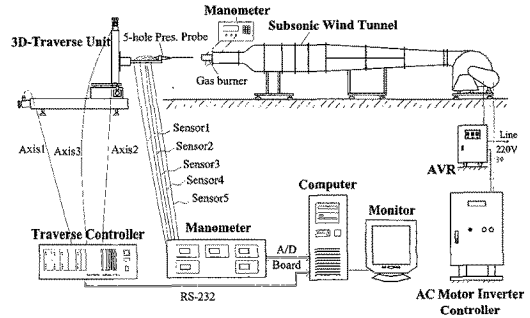


Fig. 2 Data acquisition system using 5-hole pressure probe

2.2 개발도구(Implementation of web-based measurement system)

원격계측시스템 개발의 도구는 Ch를 이용하여 개발한다. Ch는 Fig. 3과 같이 다중언어 사용이 가능하며 인터넷기반의 프로그래밍과 graphical plotting을 위하여 CGI(Common Gateway Interface)와 CPlot toolkit을 사용하였다. 프로그램에 사용된 언어는 다른 platform(one chip microm)에 탑재가 용이한(platform-independent) C와 C++를 이용하였다. 두 대의 PC(실험장치에 부착된 PC-Client와 원격에서 사용되는 PC- Server)를 이용하여 구축하였다.

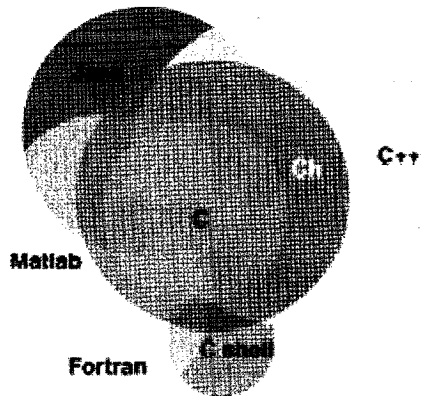


Fig. 3 Ch architecture for programming tasks

각각의 PC에 Ch Ver. 5.5를 설치하였다. 또 PC-Server에 Ch-CGI와 Windows에서 제공하는 프로그램인 IIS(Internet Information Server)를 설치하였고, PC-Client에는 Ch NI-DAQ를 설치하였다.

2.3 압력 및 속도 계산

검정지도를 얻기 위해 사용한 요각계수와 피치각 계수는 각각 다음의 식(1)과 식(2)로 주어진 요각 (α)과 피치각(β)의 함수를 만족한다.

$$C_{p\alpha}(\alpha, \beta) = \frac{p_1 - p_2}{p_0 - \frac{1}{4}(p_1 + p_2 + p_3 + p_4) + p_0} \quad (1)$$

$$= \frac{C_{p1} - C_{p2}}{C_{p0} - \frac{1}{4}(C_{p1} + C_{p2} + C_{p3} + C_{p4}) + C_{p0}}$$

$$C_{p\beta}(\alpha, \beta) = \frac{p_3 - p_4}{p_0 - \frac{1}{4}(p_1 + p_2 + p_3 + p_4) + p_0} \quad (2)$$

$$= \frac{C_{p3} - C_{p4}}{C_{p0} - \frac{1}{4}(C_{p1} + C_{p2} + C_{p3} + C_{p4}) + C_{p0}}$$

여기서 p_i 와 C_{p_i} 는 FHPP에서 동시에 얻어지는 5개의 압력 및 압력계수들이며 압력 및 압력 계수에 대한 표준편차인 RSS는 식(3)과 식(4)와 같다.

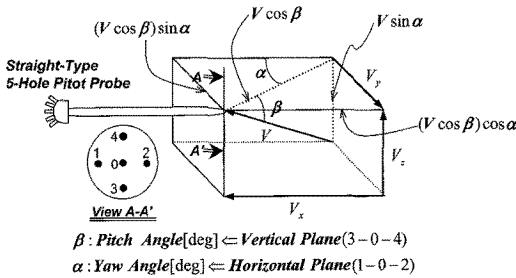


Fig. 4 Velocity decomposition of 5-hole pressure probe

$$p_0 = \sqrt{\sum_{i=0}^4 (p_i - \frac{1}{5} \sum_{i=0}^4 p_i)^2} \quad (3)$$

$$C_{p0} = \frac{p_0}{\frac{1}{2} \rho V^2} = \sqrt{\sum_{i=0}^4 (C_{p_i} - \frac{1}{5} \sum_{i=0}^4 C_{p_i})^2} \quad (4)$$

또 정압과 압력계수의 관계식은 식(5)와 같다.

$$p_i = p_s + C_{p_i}(\alpha, \beta) \cdot \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (5)$$

한편 검정지도를 통해 실제 유동장에서 측정된 5개의 압력 측정값들로부터 속도벡터와 압력 및 3차원 속도성분들은 각각 식(6), 식(7), 식(8)을 사용하여 구할 수 있다. Fig. 4는 FHPP에 대한 속도벡터를 요각과 피치각에 따라 분해한 3차원속도성분들을 나타내고 있다.

따라서 속도벡터를 계산하기 위한 순서는 다음과 같다. 먼저 각 측정점에서 얻어진 5개의 압력측정값들로부터 요각계수와 피치각계수를 계산한 다음 검정지도를 만족하는 요각과 피치각을 구하고 요각과 피치각을 만족하는 5개의 C_{p_i} 를 계산하여 측정치 p_i 와 함께 해당하는 값들을 식 (6)에 대입하여 속도벡터를 계산한다.

$$V = \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \frac{(p_{i,max} - p_{i,min})}{(C_{p_{i,max}} - C_{p_{i,min}})}} \quad (6)$$

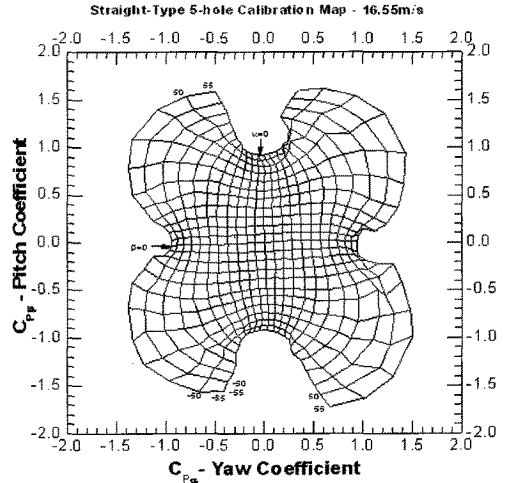


Fig. 5 Calibration map of FHPP

$$p_s = p_{i,max} - C_{p_{i,max}} \cdot \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (7)$$

$$V_x = V \cos \beta \cdot \cos \alpha$$

$$V_y = V \cos \beta \cdot \sin \alpha \quad (8)$$

$$V_z = V \sin \beta$$

Kim 등⁷⁾이 제안한 2진 탐색(search) 알고리즘을 위한 프로그램을 Ch로 작성하여 Fig. 5와 같은 작

성된 FHPP 교정지도로부터 회전유동장에서의 3차원 속도성분 추출하여 속도를 PC-Server측에서 신속하게 계산하였다.

z 좌표값만으로 구성된 파일을 전송하게 하였다.

3. 계측시스템 개발 및 방법

3.1 백그라운드서비스 프로그램

인터넷기반의 문제점인 장치의 공유문제를 해결하기 위하여 Server-PC와 Client-PC에 동적 데이터 교환 (Dynamic Data Exchange; DDE)를 위한 프로그램을 Ch를 사용하여 작성하였다. 백그라운드 서비스는 두 PC간에 자료전송(data passing)뿐만 아니라 파일, 계측시스템을 위한 제어 명령 그리고 계측된 데이터등을 전송하기 위해 PC측의 컴퓨터 이름(host name)과 포트번호(port number)를 기준으로 보안화된 TCP/IP 기반의 winsock를 이용하여 프로그램을 작성하고 상호 기능에 대한 설계된 protocol을 부여하여 상호 PC에 의한 계측시스템의 운용에 필요한 정보를 백그라운드서비스를 이용하여 교환할 수 있게 하였다.

3.2 이송장치 프로그램(RS-232C)

직선형 5공 프로브 센서를 프로그램에 따라 정해진 위치에 이송을 위하여 3차원 자동이송장치의 제어가 필요하다. 이송장치의 제어는 시리얼통신(RS-232C)방식을 이용한다. 따라서 이송에 필요한 프로토콜(protocol)에 합당한 코드를 PC-Client에서 생성하여 이송장치에 전송하게 하였다.

이송장치 제어코드는 PC-Server에서 생성된 절대좌표에 해당하는 측정위치 데이터(x, y, z 좌표값)를 값 또는 파일의 형태로 PC-Client에서 다운받는다. 만일 제어코드를 PC-Server에서 생성하여 PC-Client에 전송하는 경우 많은 량의 DATA를 전송하게 되기 때문에 PC-Server에서 생성된 x, y,

```

calib_plot_org.ch - ChSciTE
파일(F) 편집(E) 검색(S) 보기(V) 도구(T) 옵션(O) 언어(L) 버퍼(B) 도움말(H)
1 calib_plot.ch | 2 traverse_setup.html | 3 traverse_setup_org.html | 4 calib_plot_org.ch
200     sprintf(legend_str, "%s.01X", leg_loc_p[i][5]);
201     else
202     sprintf(legend_str, "%4.01X", leg_loc_p[i][5]);
203     if (leg_loc_p[i][5] >= 0)
204     plot.text(legend_str, PLOT_TEXT_LEFT, leg_loc_p[i]
205     else
206     plot.text(legend_str, PLOT_TEXT_LEFT, leg_loc_p[i]
207     }
208     )
209
210     plot.label(PLOT_AXIS_X, "Cpe - Yaw Coefficient");
211     plot.label(PLOT_AXIS_Y, "Cpb - Pitch Coefficient");
212     plot.title("Straight-Type 5-hole Calibration Map - 16.53m/s");
213     )
214
215 int main()
216 {
217     int num_read;
218
219     Request.getFormNameValue(name, value);
220     Response.setContentType("image/png");
221
222     Response.begin();
223     plot_calibration_data(num_read);
224     plot.outputType(PLOT_OUTPUTTYPE_STREAM, "png color");
225     plot_plotting();
226     Response.end();
227 }
li=217 co=1 INS (CR+LF)
    
```

Fig. 6 Code segments of program web plot using CPlot Class

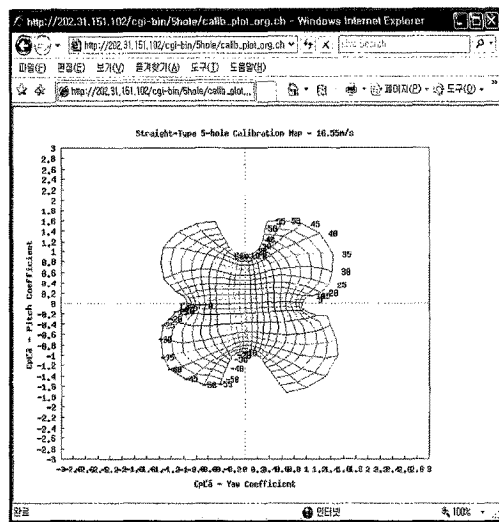


Fig. 7 Web-based graphical output for calibration map

```

traverse_setup_org.html - ChSciTE
파일(F) 편집(E) 검색(S) 보기(V) 도구(T) 옵션(O) 언어(L) 버퍼(B) 도움말(H)
1 calib_plot.ch | 2 traverse_setup.html | 3 traverse_setup_org.html | 4 calib_plot_org.ch
1 -<html>
2 -<head> <title>Traverse Setup</title> </head>
3 -<body bgcolor="#FFFFFF" text="#000000" vlink="#FF0000" onLoad="resizeTo(600, 650);">
4 -<form name="jo" method="post" id="jo" method="POST" action="/cgi-bin/5hole/calib_plot_org.ch">
5
li=11 co=1 INS (CR+LF)
    
```

Fig. 8 Code segments of HTML program for web browser

3.3 NI-DAQ 설정

5개의 마노미터에서 정압을 계측에는 출력된 아날로그 신호를 NI-DAQ를 이용하여 계측하였다. 계측을 위한 프로그램의 작성할 수 있도록 하기 위하여 C/C++에서 사용할 수 있는 Ch NI-DAQ package를 인스톨하였다. 이는 NI에서 제공한 C/C++ 라이브러리(dll)를 Ch에서 사용할 수 있도록 또 다른 라이브러리를 C shell을 사용하여 생성한다.

Toolkit을 인스톨한 후 계측에 필요한 gain, sampling rate, sampling channel등의 정보와 계측된 정보는 PC-Server와 PC-Client를 winsock으로 연결하고 백그라운드 서비스를 이용하여 상호 교환할 수 있도록 프로그램을 작성하였다.

3.4 인터넷(WEB)을 위한 그래픽 프로그램

원격 PC에서 진행되는 계측진행에 따라 그 결과를 교정지도에 인터넷상에서 표시하기 위해 C++을 지원하는 CPlot class 이용하여 Fig. 6과같이 프로그램을 작성하였다. Ch Plot을 이용하여 프로그램을 작성하여 PNG 파일포맷으로 그림을 생성하고 이를 인터넷에서 출력하는 방식을 이용하였다. Fig. 7은 작성된 프로그램을 실행하여 얻은 결과를 web-browser에서 출력한 결과를 보여주고 있다.

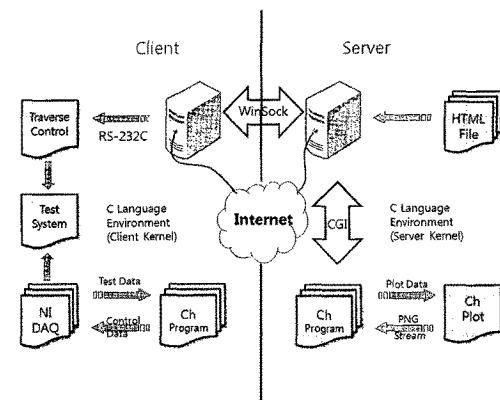


Fig. 9 System architecture of web-based measuring system

3.5 Web-browser 파일 시스템 프로그램

원격계측을 위한 전처리과정(preprocessing)을 위하고, 인터넷기반을 제공하기 위해 HTML의 프로그램이 필요하다. 하지만 인터넷 프로그래밍에서 C/C++를 지원하기에 인터페이스 작업이 쉽지 않다. 따라서 Ch에서 제공하고 있는 Ch-CGI Toolkit

을 이용하면 제작한 C/C++ 프로그램을 약간의 수정만으로도 인터넷상에서 수행이 가능하다. HTML로 작성된 프로그램에 Fig. 8과 같이 링크하는 방법을 적용하여 여러 부기능(sub function)함수를 인터넷상에서 수행하도록 프로그램을 작성하였다.

Fig. 9와 같이 계측시스템을 위한 프로그램의 구성은 각각의 HTML과 이에 해당하는 C/C++로 작성된 프로그램과 CGI를 결합하여 web-browser 상에서 계측을 위한 전처리 과정 수행할 수 있도록 하였다. 처리 과정을 마친 후에는 그 정보를 PC-Server에 파일로 저장하고 PC-Client에 이를 전송한다. 또 PC-Client에서 계측된 계측 자료로부터 Kim 등⁷⁾에 의해 개발된 2진 탐색 알고리즘을 프로그래밍하고 Ch plot, Ch-CGI를 이용하여 web-browser의 메인 화면에서 확인할 수 있도록 하였다.

Fig. 10은 작성된 모든 프로그램의 수행결과를 보여주고 있다. 교정지도 선택(찾아보기), 이송장치 사양(Traverse Setup), 이송장치 위치 프로그램(Grid Setup)등은 계측을 위한 전처리과정이다. 이송장치제어모드(Traverse Control Mode)의 radio icon을 선택하여 web-browser에서 직접 이송장치를 직접 제어하거나(Prompt Control), 시험점 격자 생성에 의해 생성된 격자파일을 전송하여 격자의 순서에 따라 실험을 수행하도록 하였다. PC-Client에서 수행되고 있는 계측의 정보를 PC-Server에 전송하여 전송된 정보를 바탕으로 작성된 프로그램에 의해 web-browser에 표시하기 위한 HTML 파일을 생성하였다.

4. 결론

본 연구에서는 5공 피토투브를 이용한 3차원 유동속도계측에 인터넷기반으로 하여 원격계측을 위한 시스템을 개발하였다. 원격계측을 위한 각각의 프로그램과정을 제시하였고 여러 종류의 프로그램을 이용하여 계측에 필요한 측정인자의 생

성에서부터 전송, 센서의 3축 이송에 필요한 이송장치 제어, A/D를 이용한 마노미터의 압력 계측, 계측을 위한 인자와 계측결과와 전송 등을 제작된 프로그램을 사용하여 수행하였다. 복잡한 DB서버나 복잡하고 다양한 인터넷기반 서버(server) 시스템을 구축하지 않고도 두 PC기반으로 한 인터넷을 이용한 원격계측시스템을 운영하여 제작된 프로그

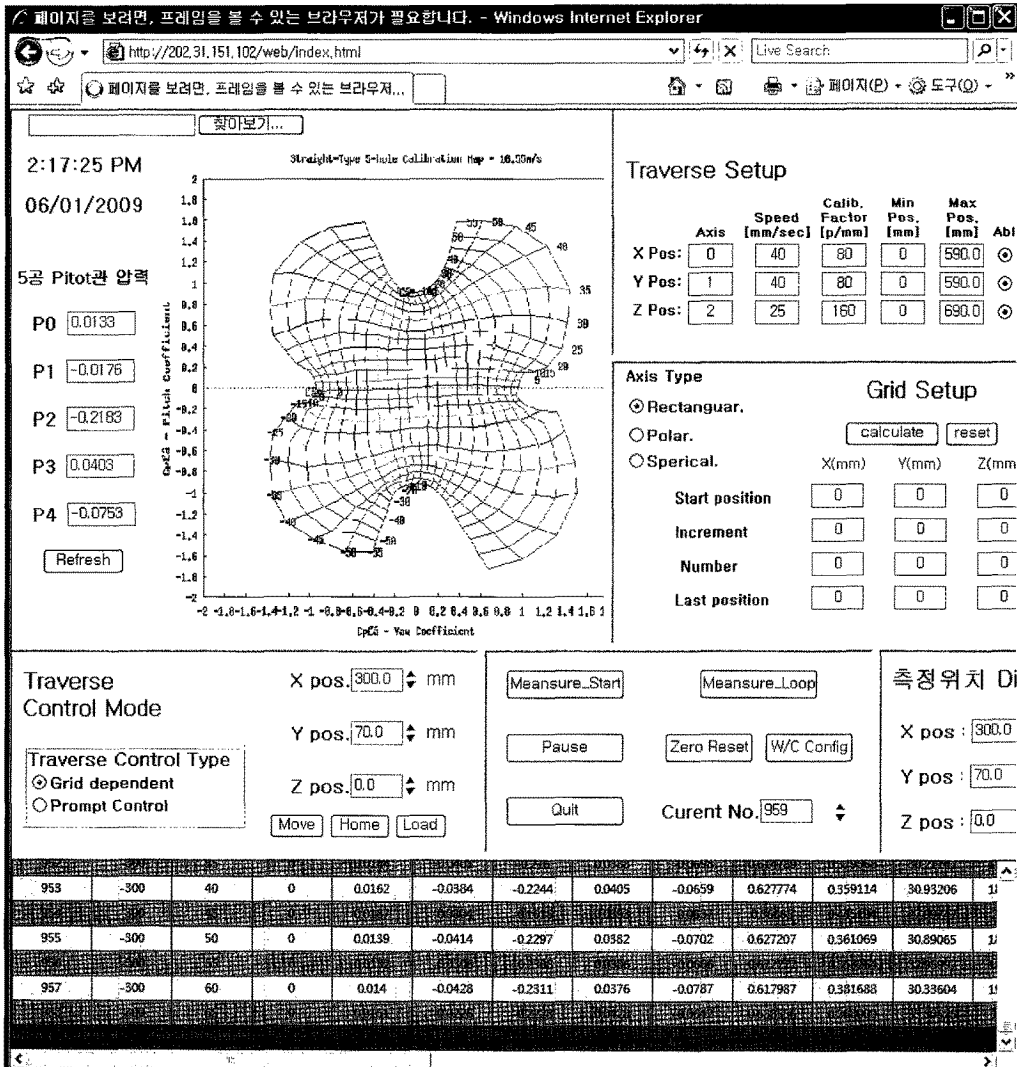


Fig. 10 The main web-browser page for remote measuring system synthesis

램 에 따라 완벽하게 운영되었다.

또한 모든 계측을 위한 프로그램이 C/C++로 제작하였으며 CGI와 그래픽을 기반으로 작성되어 있기 때문에, 현재와 같이 DeskTop PC기반의 측정 시스템이 아닌, TCP/IP가 지원되는 one chip micom이나 임베드시스템에 탑재가 가능함을 확인하였다.

후 기

이 논문은 2005년도 군산대학교 교수장기해외연수경비의 지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

1. Harry H. Cheng and Dung Trang, 2006, "Web-Based Interactive Analysis and Animation of Mechanisms", ASME Trans. Journal of Computing and Information Science in Engineering, Vol. 6, No. 1, pp. 84~90.
2. Kabilshkumar G Cheetancheri and Harry H. Cheng, 2004, "Spreadsheet-Based Interactive Design and Analysis of Mechanisms, Advances in Engineering Software", Vol. 40, No. 4, pp. 274~280.

3. Harry H. Cheng and Dung Trang, 2004, "Web-Based Mechanism Design and Analysis", CD-ROM Proc. of the ASME 28th Mechanisms and Robotics Conference, paper # DETC 2004-57594.
4. Qingcang Yu, Bo Chen and Harry H. Cheng, 2004, "Web-Based Control System Design and Analysis", IEEE Control Systems Magazine, Vol. 24, No. 3, pp. 45~57.
5. KB Lee, RD Schneeman, 1999, "Internet-based distributed measurement and control applications", IEEE Instrumentation & Measurement Magazine.
6. 김장권, 오석형, 2006, "직선형 5공 압력프로브를 이용한 3차원 유동속도 계측시스템 개발", 한국동력기계공학회지, Vol. 10, No. 4, pp. 56~64.
7. 김장권, 오석형, 2008, "직선형 5공 압력프로브의 새로운 교정 알고리즘 적용", 대한기계학회논문집, pp. 863~869.
8. J. K. Kim and S. H. Kang, 1997, "Full Angle Range Pressure Coefficient Maps and New Calibration Coefficients", Transactions of the KSME, Vol. 21, pp. 1437~1448.