

토목환경공학분야의 응용을 위한 실용적인 현장자료수집기의 개발 Development of a Practical Field Data Acquisition Device for Civil and Environmental Engineering Applications

여운광* · 윤병만* · 이종국* · 허정호*

Woon Kwang Yeo*, Byung Man Yoon*, Jongkook Lee* and Jeong Ho Hur*

요 旨 : 토목환경공학분야의 응용을 위하여 실용적이고 사용이 간편한 자료수집기를 개발하였다. 이 기기는 PC의 병렬포트를 이용하여 자료를 획득·전송하고 비전문가라 하더라도 실내 및 현장실험에 손쉽게 응용할 수 있도록 설계되었다. 통상의 자료수집기는 저장용량이 작아 불편한 점을 감안하여 컴퓨터의 저장장치를 그대로 이용하여 문제를 해결하였다. 또한 PC의 고급 프로그래밍 언어를 직접 이용하여 복잡한 자료수집계획을 손쉽게 수행할 수 있도록 하였다. 방화대교 건설현장에서 각종 센서와 GPS를 이용하여 행한 실제 현장시험을 통하여 개발된 기기의 실용성을 입증하였다.

핵심용어 : 자료수집기, PC 병렬포트, 현장실측

Abstract □ A practical, easy-to-use data acquisition device has been developed for use in civil and environmental engineering applications. It uses the PC parallel port for the acquisition and data transfer and is simple enough to be setup and run in laboratory and field experiment conditions. The usual limitations of data storage capacity of several data loggers was solved by using PC resources. Also versatile programming capability using high level languages of the PC programming environment such as C and Visual Basic enables the data acquisition device to be configured as a general and practical data acquisition system. An example of effective uses of the device is provided for the water environment measurement at the Bangwha bridge construction site. The *in situ* test proved the device to be practical in civil and environmental engineering applications.

Keywords : data acquisition device, PC parallel port, *in situ* measurement

1. 서 론

복잡한 자연현상을 단순히 이론적인 연구나 실내실험에 의하여 그 모습을 파악하는데는 여러 가지 어려움이 있다. 해안과 하천의 흐름도 예외는 아니어서 그 변화하는 모습을 제대로 파악하기 위해서는 다각적인 노력이 필요하다. 특히 실제 흐름의 현상파악을 위해서는 현장에 위치하여 흐름을 직접 관측하는 것이 최선의 방법이다. 그러나, 관측을 수행하기 위해서는 다양한 현장관측장비가 필수적이거나 이들 대부분의 장비를 수입에 의존하고 있는 것이 국내의 현실이다. 따라

서 이러한 어려움을 타개하기 위한 한가지 방법으로서 저렴한 관측장비의 개발과 국산화는 그 중요성을 더해 가고 있다.

더불어 수치실험과 실내모형실험이 단시간에 걸쳐 흐름의 전반적인 모습을 검증하는데 효과적으로 이용되고는 있지만 이상적인 가정과 상사법칙의 제약에 따른 한계를 극복하기에는 많은 어려움이 있다. 따라서 실제 현장실험을 통하여 수치적, 물리적모형의 결과에 대하여 상호검증과 보완의 역할을 담당하는 현장실험(*in situ* experiment)의 중요성은 날로 증대하고 있다 (Bedford and Lee, 1994). 이와 같이 현장실험의 중요

*명지대학교 토목·환경공학과 (Department of Civil and Environmental Engineering, Myong Ji University, Yong In 449-728, Korea)

성은 증가하고 있지만 국내의 현실에 비추어 볼 때 여러 가지 어려움이 뒤따른다. 첫째로 현장실험에 투입되는 여러 가지 기기의 가격이 너무 높다. 예를 들어 간단한 수심측정기(Digitrace™, ODOM, Inc.)만 하더라도 실제 수입가격은 미화 2만불이상을 호가한다. 두 번째로 기기를 효과적으로 운용할 수 있는 계측에 대한 교육이 열악한 실정이다. 셋째로 구입한 여러 가지 기기가 호환성이 결여되어 있어 기기들간의 상호통신 연동이용은 거의 불가능한 실정이다. 이같은 상황에서 해결책의 일환으로 현장실험기기, 실험방법 및 조건의 개발과 개선은 토목환경공학자들에게 당면한 현장실험의 어려움을 덜어줄 수 있을 것이다.

본 논문은 상기한 어려움을 해결하고자 지난 2년간 계속 연구되어온 현장자료수집기의 개발에 관한 두 번째 시도이다(여 등, 1996a). 현장자료획득에 있어 개인용 컴퓨터(PC)의 기능을 최대한으로 활용한 간단하고 실용적인 자료수집기를 구성함으로써 계측에 관한 전문가가 아니라도 실제로 자료수집 프로젝트를 완전하게 수행할 수 있도록 하는 것이 본 논문의 목적이다. 이를 위하여 우선 자료수집에 관한 일반적인 사항을 검토한 후 개발된 PPDL12(Parallel Port Data Logger, 12 bit version)를 이용하여 현장자료수집시스템을 구성했고 실제로 신공항 고속도로 건설교량의 하나인 방화대교 주변의 유황을 조사·분석한 PPDL12의 응용예를 제시하였다.

2. 센서와 A/D(Analog-Digital) 변환과정

원하는 물리량을 전기적인 신호로 변환하는 기능을 담당하는 것이 센서이다(Fraden, 1993). 일반적으로 센서를 통하여 변환된 신호는 전기적으로는 저항, 전류, 전압의 형태를 갖는다. 때로는 센서를 통한 신호는 매우 미약하거나 잡음이 섞여 있기 때문에 최종 디지털 신호로 변환하기 앞서 전자회로를 통하여 증폭과 여과 과정을 거치게 한다. 이러한 과정을 신호처리(signal conditioning)과정이라고 한다(Tomkins and Webster, 1992).

일단 전기신호로 바뀐 물리량의 변화는 A/D 변환과정을 거쳐야만 처리와 저장이 가능하다. 이러한 변환과정을 담당하는 반도체를 A/D 변환기(analog-digital converter)라 부르며 변환기 선정조건은 다음과 같다. 첫째, 기기의 분해능으로서 이는 감지할 수 있는 물리량의 최소변화량이다(Fraden, 1993). 일반적으로 분해

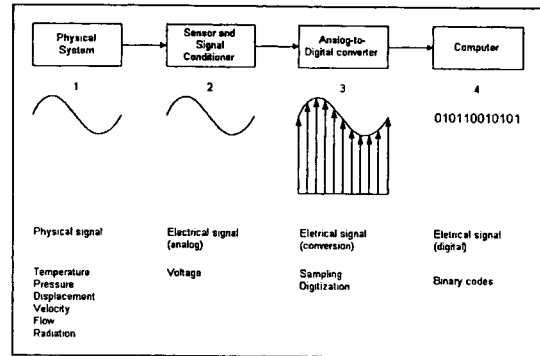


Fig. 1. Block diagram of data acquisition process (redrawn from Tompkins and Webster, 1988).

능의 척도는 bit의 수로 나타내며 토목환경공학 분야에서는 센서의 최소 입력신호의 변화를 실험자가 원하는 정도내에서 가장 합리적으로 감지할 수 있는 8 bits, 12 bits의 분해능을 갖춘 A/D 변환기가 널리 사용되고 있다(여 등, 1996a). 둘째, 최대변환속도(maximum sampling rate)이다. 일반적인 수공학분야의 응용에 있어서 원하는 물리량의 측정은 초당 수십회에 걸쳐서 이루어지고 있다. 그 이유로는 물리량 자체가 급격히 변화하기 보다는 점진적으로 변화하기 때문에 초당 수십회에 걸친 측정만으로도 원하는 결과를 얻을 수 있고, 초고속의 측정보다는 실시간에 따른 자료의 획득이 강조되고 있다. 따라서 최대변환속도가 수십 Hz를 능가하는 A/D 변환기라면 효과적으로 쓰일 수 있다. 셋째, 변환기를 이용하여 자료수집기를 구성할 때 그 동작과 접속방법이 간단하여야 한다. Fig. 1은 이러한 A/D 변환기가 추가 되는 자료수집과정의 기본적인 흐름을 보여주고 있다.

3. PPDL12의 제작

개인용 컴퓨터(PC)의 병렬포트는 최근들어 그 중요성이 증대하고 있다. 대표적인 PC 주변장치로는 Zip 드라이브를 들 수 있으며 이러한 병렬포트의 장점은 컴퓨터가 지니고 있는 여러 가지 자원을 그대로 외부에 전달할 수 있다는 것이다. 또한 컴퓨터의 마이크로프로세서가 자료수집기의 콘트롤러 역할을 대신할 수도 있고 최첨단의 프로그래밍 환경이 그대로 이용가능하다는 것이다(Axelson, 1996). 따라서 본 논문에서는 PC 병렬포트를 이용하여 자료수집기를 제작하였다.

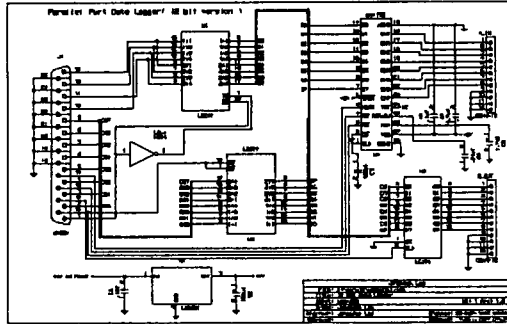


Fig. 2. Proposed circuit of 12 bit parallel port data logger (PPDL12).

앞서 언급한 조건을 만족하는 최적의 A/D 변환기의 선정은 성공적인 기기의 제작을 위한 가장 중요한 사항이다. 최근에 Maxim, Inc.에서 개발한 MAX197, MAX199 chip은 앞서 언급한 여러 가지 조건을 만족함과 동시에 입력범위, 극성선택, 내장클럭 등 그 기능을 소프트웨어로 조절가능한 뛰어난 변환기이다(Maxim Inc., 1996). 전압조정기로는 PPDL8의 설계에 쓰였던 LM2931이 이용되었다. 그 장점으로 소비전력이 적고 출력전압이 일정하여 단지 몇 개의 반도체만을 갖는 자료수집기의 동력원을 공급하기에는 적절하기 때문이다. 설계된 회로도도 Fig. 2에 주어졌다. 자료 획득, 자료처리, 컴퓨터통신을 담당하는 프로그램은 Microsoft사의 Visual Basic을 이용하여 구성하였으나 여 등(1996a)에서 언급했듯이 C, Basic, Pascal 등 어떠한 고급언어도 문제없이 사용할 수 있다.

4. PPDL12을 이용한 자료수집시스템의 예

설계와 제작을 마친 PPDL12의 성능을 시험하기 위하여 간단한 현장자료시스템을 구성하였다. 온도, 탁도, 수심센서를 부착하여 PPDL12를 이용한 시스템을 신평고속도로 건설구간인 방화대교 건설지점에서 현장측정을 행하였으며 별도로 유속은 독립된 2차원 자기유속계를 이용하여 측정하였다. 이 실험에서 특기할 사항은 측정지점의 위치를 정하기 위하여 GPS(Global Positioning System)를 PPDL12와 연동운영하였다는 것이다. GPS와 PPDL12의 연동운영의 성과는 이미 저자에 의해서 경기도 용인지역의 온도분포를 측정하는 적용예로 그 효용성을 입증한 바 있다(여 등, 1996b). PPDL12에 연결되는 센서와 GPS의 간단한 설

명은 다음과 같다.

4.1 온도센서

온도센서로는 예폭시수지를 이용해 방수처리된 AD22100 반도체 온도센서를 이용하였다. 이 센서는 크기와 소비전력이 작고 자체내에 신호처리과정이 내장되어 있어 쉽게 PPDL12와 접속이 가능하였으며 이미 여러 번 저자에 의해서 운용되어진 예가 있다(Analog Devices, 1996; 여 등, 1996a).

4.2 탁도센서

부유물의 농도를 측정하기 위하여 주로 이용되는 탁도센서로는 최근에 개발된 Sea Point, Inc의 탁도계(OBS type)가 이용되었다. 최적의 회로설계기술을 이용하여 소비전력을 극소화하였으며 넓은 범위에 걸쳐서 선형성을 유지하여 하천과 해안등지에서 부유물의 농도를 측정하는데 적격이다. 7개의 선을 가진 cable을 이용하여 전원, 출력신호, 이득(gain)을 조절할 수 있다(Sea Point, Inc., 1996). 출력신호는 0-5 volt전압의 신호로서 출력을 PPDL12의 입력단에 그대로 연결할 수 있기 때문에 사용이 간편하다.

4.3 수심측정기

수심측정기로는 acoustic파의 이동시간을 측정하여 거리로 환산하는 Polaroid사의 센서가 이용되었다(Polaroid Corporation, 1995). 방화대교와 같이 수심이 아주 낮은 지역에 주파수가 50 kHz 인 센서를 사용하는 것은 적합치 않으나 PPDL12의 응용가능성을 시험하는데에는 어려움이 없었다. 조만간 매우 정교한 수심측정센서가 도입될 예정이므로 다시 한번 수심측정에 대한 비교검토가 있을 예정이다. 이 센서의 출력신호도 0-5 volt의 표준전압신호이다.

4.4 GPS (Global Positioning System)

PPDL12와 연동되어 쓰인 GPS는 Garmin International에서 제작한 GPS45로서 C/A-code를 이용하는 8채널 휴대용-GPS로서 RMS (Root Mean Square)오차가 15 m이고 소비전력이 적으며 외부와의 접속이 쉽다(Garmin International, 1994). 본 방화대교 현장실험에서는 측정지점의 위치를 매 2초마다 한 번씩 RS-232 직렬통신을 이용하여 현재측정위치가 자동으로 입력되게끔 PPDL12와 연동운영하였다. 바로 이점이

PPDL12의 장점중의 하나로서 다른 독립된 장비들과 쉽게 접속되어 사용될 수 있다는 것이다.

5. 현장실험의 결과와 해석

완성된 현장자료수집시스템을 이용하여 1997년 10월 22일 오후 2시부터 4시 반까지 방화대교 건설현장에서 실험을 수행하였다. 방화대교 지점은 평수위 3.64 m, 저

수위 2.70 m, 고수위 12.00 m로서 한강하류 직선수로부에 위치(Fig. 3참조) 하고 있다(서울특별시, 1992). 건설 중인 교각의 방향은 북동쪽에서 시작하여 남서쪽으로 이어진다. Fig. 4는 방화대교 현장에서 현장자료시스템(PPDL12로 구성된)을 이용하여 실험하는 모습을 보여 주고 있으며 Fig. 5은 2번에 걸친 횡단수심측정의 결과를 도시한 것으로 건설 중인 교각의 2차원 단면수심도



Fig. 3. Bird's-eye view of Bangwha bridge construction site.



Fig. 4. Field experiment scene using the PPDL12.

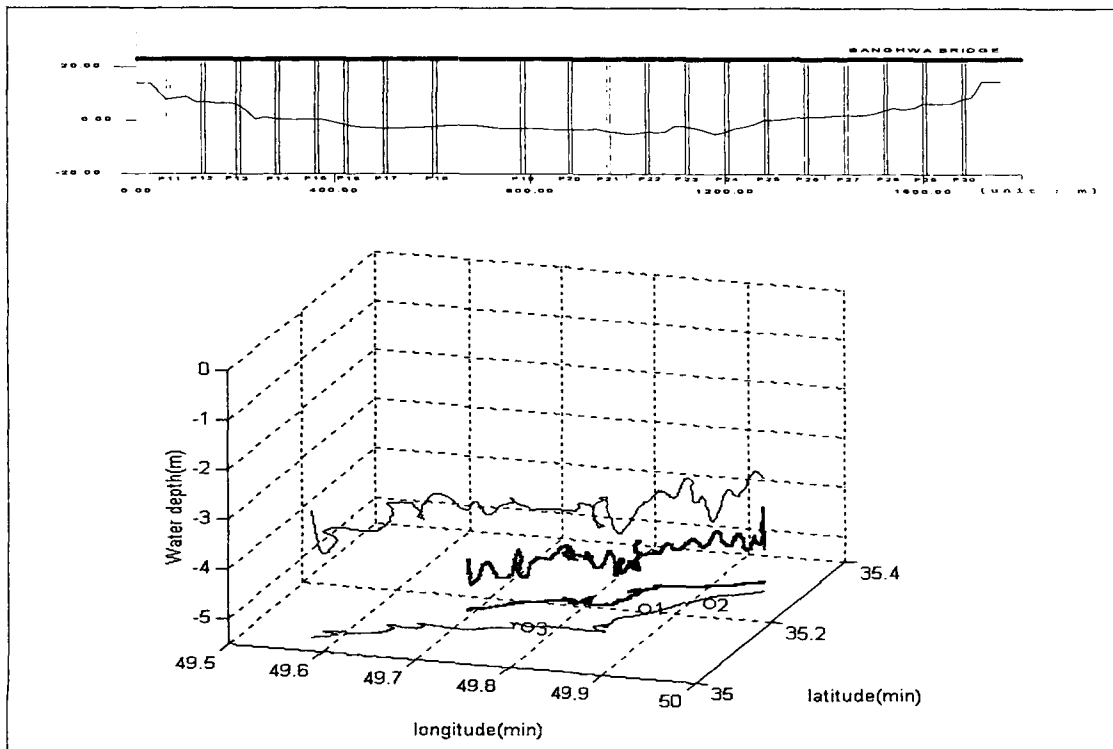


Fig. 5. Location of piers and water depth measurement using the PPDL12 and GPS at 37N,126E (Bangwha bridge construction site).

와 비교하여 수심과 측정경로를 보여주고 있다.

Fig. 5에서 굵은선은 남단에서 북단으로 횡단할때의 자료를 나타내고 가는선은 북단에서 남단으로 횡단측정할때의 자료를 나타내고 있다. 또한 1, 2, 3으로 표시된 측정점은 연직방향의 탁도와 수온분포를 측정할 곳을 가리킨다. Fig. 5에서 측정점 1, 2, 3으로 표시된 지점의 실제 교각의 위치는 측정점 1은 Pier22, 측정점 2는 Pier24, 측정점 3은 Pier19근처이다. 두 횡단면의 수심의 변화를 비교해 보면 상류수심의 변화는 주어진 교각의 종횡단면도와 잘 일치하나, 하류의 횡단면의 수심변화는 차이가 있음을 볼 수 있다. 이 영향은 교각 하류부 북쪽 우측단에 위치한 하천에 의한 세굴의 영향으로 볼 수 있으며 다른 한편으로는 유속이 거의 0에 가깝기 때문에 상류측에 주로 퇴적이 발생한 것으로 판단된다. 그러나 개략적인 측정에 의하여 자세한 세굴과 퇴적의 영향을 밝히기에는 어려움이 있다.

이번 현장실험에서 얻은 특이한 결과중의 하나는 유속이 미미한(≈ 0) 한강하류부의 연직방향의 탁도와 수온의 분포이다. 비록 한강은 호수로 분류되지는 않지만 유속이 적고 수표면이 넓은 특징을 가지고 있어서 정체된 호수에서 잘 나타나는 표수층과 심수층의 성층화(stratification)현상이 확실하게 존재하였다(Fischer *et al.*, 1979). Fig. 6는 이러한 지점 2에서 측정된 성층화 현상을 도시한 것이다. 지점 2는 북단 상류부에 위치하고 있다(Fig. 5참조). 출자로 측정된 깊이가 4.2 m이었으며 표면에서의 탁도의 분포는 대체적으로 23 FTU(Formazin Turbidity Unit)내외로 일정하였다. 3회에 걸쳐서 연직으로 올리고 내리면서 분포를 측정할 결과 Fig. 6에서와 같이 수온과 탁도의 변화가 일치하

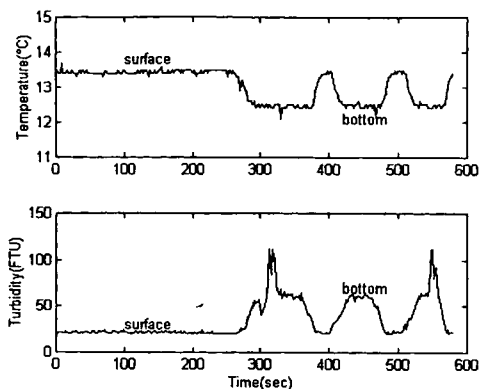


Fig. 6. Vertical distribution of temperature and turbidity at the point 2.

는 성층화의 모습이 잘 나타났다. 탁도가 급격히 증가한 부분은 바닥에 탁도센서가 닿아서 발생한 현상으로 실제변화의 모습이다. 위 그림으로 알 수 있듯이 한강 하류부의 수온과 농도분포는 유속이 미미할 때는 호수의 현상으로 이해할 수 있고 따라서 수질모형화 등의 연구시에는 이러한 성층화의 현상을 고려해야 할 것으로 생각된다. 강이라 하여 연직방향으로 완전혼합이 이루어 졌다고 가정한 수질모형은 현실과는 거리가 있을 것으로 생각된다.

6. 결 론

본 연구에서는 국내 토목환경공학분야의 현장실험시 문제점으로 지적되었던 경제적이고 실용적인 현장자료수집기의 설계기술향상을 목적으로 PPDL12를 개발하였다. 토목환경분야의 특성을 고려한 PPDL12는 12 bit 분해능을 갖는 자료수집기로서 PC의 병렬포트를 이용하며 여러 고급언어를 직접 사용할 수 있고 크기나 경제성의 측면에서도 경쟁력이 있도록 설계되었다. 온도, 탁도 그리고 수심측정센서가 부착된 PPDL12 현장자료수집시스템을 구성하여 GPS와 연동운영한 방화대교 건설현장에서의 유황조사의 실예는 PPDL12의 성능과 응용가능성을 제시하였다. PPDL12를 이용해서 얻어진 자료의 해석을 통하여 방화대교 교각주변의 세굴과 퇴적현상을 가능케 볼 수 있었으며 측정된 연직 탁도와 수온의 분포를 통하여 측정지점의 호수화현상이 뚜렷한 것을 확인하였다.

향후 PPDL12와 무선모뎀이 달린 노트북 컴퓨터를 이용하여 원격지에서 자료의 송수신을 가능하게 할 수 있는 기기를 개발할 예정이며 이러한 연구가 성공리에 수행되면 현장측정뿐만 아니라 간단하게 원격지에서 실시간으로 자료의 측정과 획득이 기대된다.

감사의 글

이 논문은 1995년도 한국학술진흥재단의 공모과제연구비에 의하여 연구되었으며 연구비 지원에 감사드린다. 또한 방화대교 현장실험시 선박과 편의를 제공해 준 롯데건설 방화대교현장 이덕우 소장님께 감사드린다.

참고문헌

1. 서울특별시, 1992. 서울시 관내 하천제방안전도검토

- 및 치수종합대책수립 기본계획서.
2. 여운광, 윤병만, 이종국, 1996a. 간단한 현장 데이터 수집장치의 개발에 관한 연구, 한국수자원학회지, **29**(2): 249-260.
 3. 여운광, 윤병만, 이종국, 이은섭, 1996b. GPS를 이용한 현장측정시스템의 개발, 1996년도 학술발표회 논문집(II), 대한토목학회, pp. 577-580.
 4. Analog Devices, 1996. Voltage output temperature sensor with signal conditioning, Norwood, MA.
 5. Axelson, J., 1996. Parallel port complete, Lakeview Research, Madison.
 6. Bedford, K.W. and Lee, J., 1994. Near-bottom sediment response to combined wave-current conditions, Mobile Bay, Gulf of Mexico, *J. Geophys. Res.*, **99**, pp. 16161-16177.
 7. Fischer, H., List, E., Koh, R., Imberger, J. and Brooks, N., 1979. *Mixing in inland and coastal waters*, Academic Press, New York.
 8. Fraden, J., 1993. *AIP handbook of modern sensors*, AIP Press, New York.
 9. Garmin International, 1994. GPS45 personal navigator manual, Lenexa, KS.
 10. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. and Collins, J., 1993. *GPS, Theory and practice*, 3rd edition, Springer-Verlag, New York.
 11. Maxim, Inc., 1996. MAX197 data sheet.
 12. Polaroid Corporation, 1995. Ultrasonic ranging developer's kit, Cambridge, MA.
 13. Sea Point, Inc., 1996. Seapoint turbidity meter: user manual, King Stone, NH.
 14. Tompkins, W. and Webster, J., 1992. *Interfacing sensors to the IBM PC*, 박귀태·임영철 역, 대영사.