

Java VM 기반 DC-DC 컨버터 진단 플랫폼 개발

전진홍 · 김광수 · 정준영 · 김태진 · 김광화

한국전기연구원 산업전기연구단

E-mail : jhjeon@kier.re.kr, kskim@keri.re.kr, tjkim@keri.re.kr, jujung@keri.re.kr, khkim124@keri.re.kr

Development of Diagnosis Platform for DC-DC Converter Based on Java Virtual Machine

Jin-Hong Jeon, Kwang-Su Kim, Jun-Young Jeong, Tae-Jin Kim and Kwang-Hwa Kim

Korea Electro-technology Research Institute, Industrial Applications Research Laboratory

요 약

본 논문에서는 DC-DC 컨버터의 온라인 진단을 위해 개발된 가상 머신(VM, virtual machine) 기반 모니터링 시스템에 대하여 소개하고자 한다. 개발된 진단 플랫폼은 DC-DC 컨버터의 온라인 진단을 위해 시스템 식별 기법을 이용하여 진단을 위한 파라미터를 추정하고 추정된 결과를 인터넷을 통해 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 제작되었다. 개발된 진단 플랫폼은 기존의 DC-DC 컨버터의 제어기와 직렬 통신으로 연결되어 있으며 웹을 통해 주요 제어 변수의 설정과 모니터링이 가능하도록 제작되었다. 웹 서비스를 위해서 스트롱암(StrongArm) 기반의 플랫폼을 적용하였으며 리눅스(linux) 환경에서 자바 가상 머신(java VM)을 이용하여 웹 서비스를 구현하였다. 본 논문에서 제시된 기술은 향후 산업용 장치들의 웹 기반 진단 및 모니터링 기술에 이용될 예정이다.

Abstract — This paper deals with a platform for diagnosis monitoring of DC-DC converter system based on Java virtual machine. This platform is designed for estimating diagnostic parameters of DC-DC converter system based on system identification method and displaying Web-page on operating status. For Web-service, hardware of platform is based on a Strongarm processor and software base is designed on Linux and java virtual machine.

1. 서 론

지금까지의 감시/진단 플랫폼은 서로 다른 프레임 속도 및 요구 정밀도를 가지는 수많은 감시/진단 시스템에 대한 개별 솔루션으로 개발되어 서로 다른 마이크로 프로세서, 서로 다른 운영체제 그리고 서로 다른 네트워크 환경 하에서 사용되어 왔다. 이 경우, 플랫폼의 개발은 프로젝트 기반의 단품 위주일 수밖에 없으며 따라서, 판매되는 플랫폼의 수가 한정적이어서 개발된 플랫폼은 저가화하기가 어려웠다. 그러므로, 플랫폼의 저가화를 위해서는 이들을 통합할 어떠한 범용 솔루션이 필요하며, 이는 원격 장치(remote device)의 하드웨어를 재구성하여 극히 제한적인 하드웨어와 펌웨어만 남겨두고 대부분을 원격 감시장치(remote host)단으로 이동시키고,

원격장치에는 소프트웨어를 다운로드받을 수 있는 공간을 설치하여 원격장치 자체가 지능화 될 수 있는 길을 열어주므로서 범용화를 실현할 수 있으며 범용화를 통한 대량생산으로 저가화를 이루어낼 수 있다. 이를 위해서는 통합된 네트워크 연결기술이 요구되어지므로 네트워크 환경을 개발하기 위해 우선적으로 적절한 컴퓨터 언어가 선정되어야 한다. 임베디드 콘트롤러 시장에서 C/C++과 더불어 양대 축의 하나를 형성하고 있는 자바(Java) 언어는 그 뛰어난 이식성과 유연성 그리고 공개성 때문에 우리나라나 중국과 같은 소프트웨어 후발주자에게 상당한 혜택과 비전을 제공해 주는 선택이라 할 수 있다. 또한 자바 테크놀로지는 감시/진단 시스템을 네트워크의 일원으로 만들어 주기 위해, 그리고 시스템에 부착되는 각종 센서 및 제어기기를 네트워크의

일원처럼 사용할 수 있도록 하기 위해 필수적으로 개발되어야 할 가상 네트워크 진단/감시 시스템을 보다 유연하고 컴팩트하게 제작할 수 있는 길을 제시해 줄 수 있다^[14].

DC-DC 컨버터는 산업 현장, 일반 가정, 정보/통신 분야 등 직류 전원을 사용하는 기기에 사용되고 있으며, 적용 분야에 따라 노트북 컴퓨터나 임베디드 시스템과 같이 작은 용량에서부터 통신용 중계기 전원장치와 같이 큰 용량까지 다양한 분야에서 사용되고 있다. 따라서, 공통적인 표준에 따라 저가의 DC-DC 진단 플랫폼을 개발하여 DC-DC 컨버터를 포함하고 있는 기기의 신뢰성을 제고할 수 있도록 하고자 한다^[14]. 개발된 진단 플랫폼은 DC-DC 컨버터의 온라인 진단을 위해 시스템 식별 기법을 이용하여 진단을 위한 파라미터를 추정하고 추정된 결과를 인터넷을 통해 실시간으로 모니터링할 수 있도록 제작되었다. 개발된 진단 플랫폼은 기존의 DC-DC 컨버터의 제어기와 직렬 통신으로 연결되어 있으며 웹을 통해 주요 제어 변수의 설정과 모니터링이 가능하도록 제작되었다. 웹 서비스를 위해서 인텔 스트림암 프로세서 기반의 플랫폼을 적용하였으며 리눅스 환경에서 자바 가상 머신을 이용하여 웹 서비스를 구현하였다. 본 논문에서 제시된 기술은 향후 산업용 장치들의 웹 기반 진단 및 모니터링 기술에 이용될 예정이며 또한 스마트 센서 모듈 및 분산 제어 시스템 모듈 개발에 응용될 수 있다.

2. DC-DC 컨버터 시스템의 진단 알고리즘

DC-DC 컨버터의 구성은 전력용 반도체 소자, 평활커패시터, 인덕터 등으로 구성된다. 이들 구성품들은 장기간 사용에 따라 제품의 열화를 가져오고, 열화에 따라 각 부품을 구성하는 직병렬 등가 저항들은 증가한다. 이 증가하는 저항요소를 열화진단지수로 둔다. 그림 1은 전력변환장치 중 벡-컨버터(buck converter)에서 각 구성품의 기생저항 성분회로를 포함한 등가회로이다^[16].

수식 1과 같이 그림 1의 전달함수 및 열화진단지수를 정의할 수 있다.

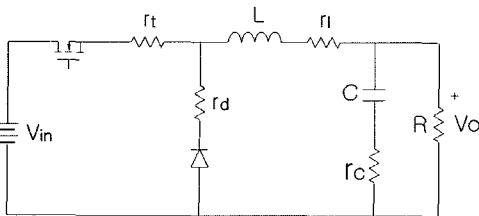
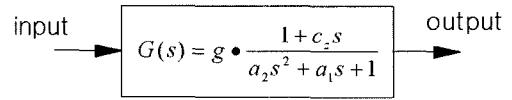


그림 1. 기생 저항을 고려한 벡-컨버터.



Power Stage Transfer Function

그림 2. dc-dc 컨버터 등가 모델 전달 함수.

$$\frac{\delta V_c}{\delta D} = V_{in} \frac{(1+sCr_c)(1+\zeta_2)}{\frac{LCs^2}{1+\zeta_1} + \frac{s}{1+\zeta_1} \left(\frac{L}{R} + CR\zeta_1 \right) + 1} \quad (1)$$

여기서,

$$\zeta_1 = \frac{r_l + r_l D + (r_c + r_d)(1-D)}{R}, \quad \zeta_2 = \zeta_1 - \frac{(Dr_l - Dr_d)}{R}$$

DC 출력 전압 Vo=DVin(인덕터 전류가 연속으로 흐른다고 가정 : CCM), Vin : 입력 전압, D : 시비율, D_l=1-D, L : 인덕터, C: 커패시터, R : 부하저항, r_l : 인덕터 내부 저항, r_c : 커패시터 내부 저항, r_l : 스위치 내부 저항, r_d : 다이오드 내부 저항

위의 수식에서 ζ₁, ζ₂는 DC-DC 컨버터 내부 저항의 조합으로 구성됨을 알 수 있고, 열화에 의한 내부 저항의 변화는 ζ₁, ζ₂에 직접적인 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 따라서, 모든 내부 저항 값을 일일이 체크하여 측정하는 것은 현실적으로 불가능하며, ζ₁, ζ₂ 값을 측정하여 값을 변화로써, 열화를 판단하는 방법을 적용하는 것이 바람직하다. 위에서 수학적 등가 모델과 실험으로 측정된 등가 모델의 전달 함수는 간략하게 정리하면 아래 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

여기에서 g, a₂, a₁, c₂는 수식 (1)에서 각각의 계수를 간단하게 나타낸 것으로써, 입력 전압 V_{in}, 시비율 D, 부하 저항 R, 인덕턴스 L, 커패시턴스 C, 내부 저항의 조합인 ζ₁, ζ₂로 구성되어 있다.

따라서, 그림 3과 같이 수학적인 모델링에 의해 구해진 수식과 실험에 의하여 측정된 실제 값을 항등식이 성립하게 되고, 수식을 전개하여 풀이하면 원하는 열화 대표지수인 ζ₁, ζ₂의 값을 구할 수 있다.

그림 4는 시스템 식별을 위한 데이터를 추출하기 위한

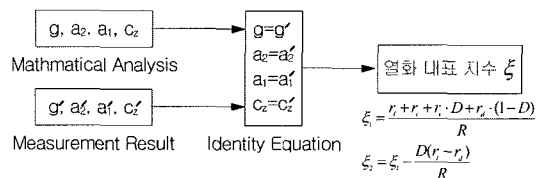


그림 3. 열화 대표 지수를 구하는 방법.

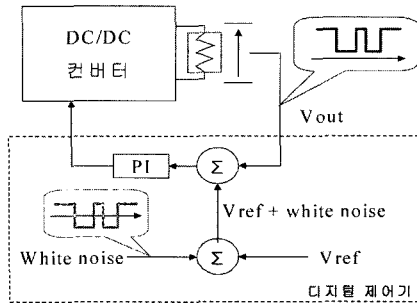


그림 4. 데이터 추출을 위한 실험 구성.

실험 구성도이다. 시스템 식별을 위한 데이터 추출을 위해 디지털 제어기의 입력 기준값에 백색잡음(white noise)을 제어기의 입력으로 추가한다. 이 출력은 전력변환장치의 출력전압 V_{out} 과 비교하여 그 값을 PI 제어기의 입력으로 둔다. PI 제어된 출력결과를 전력변환장치의 게이트 폭을 결정하는 값이 되고 결국 최종 출력전압 V_{out} 에 잡음 성분이 반영되어 그 결과를 관찰할 수 있다. 이 때 입력성분에 추가된 백색잡음과 백색잡음에 의해 응답한 출력응답 성분을 비교하여 이를 추출해 내는 방법이다. 이렇게 얻어진 입력과 출력 데이터를 개발된 시스템 식별 프로그램에 적용시켜 주요 파라미터를 추정하였다^{[2][5][9]}.

3. 진단 플랫폼

DC-DC 컨버터 진단 플랫폼은 크게 하드웨어 시스템

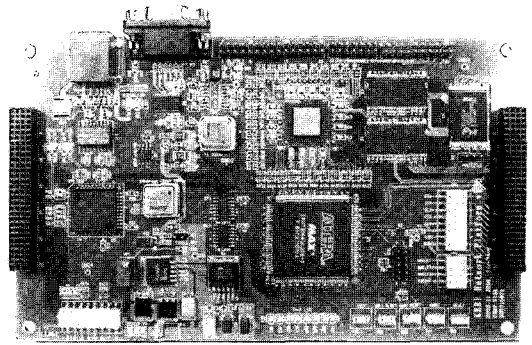


그림 6. 진단 플랫폼.

구성과 소프트웨어 시스템 구성으로 나누어진다. 하드웨어 시스템 구성은 그림 5, 그림 6과 같으며, 소프트웨어 구성은 개략적으로 하드웨어 시스템 구성에 기반하여 그림 8과 그림 9와 같이 구성된다^{[2][4]}.

그림 5와 그림 6에서 보는 바와 같이 진단 플랫폼은 직렬 통신과 이더넷 통신이 가능하도록 구성되어 있다. 직렬 통신은 DC-DC 컨버터와 진단 플랫폼 간의 데이터 통신을 위해 사용된다. 진단 플랫폼은 직렬 통신을 통해 전송한 데이터를 이더넷 영역으로 재전송해 주는 게이트웨이 역할을 하고 있다. 따라서 DC-DC 컨버터에 대한 모니터링은 클라이언트(client)가 진단 플랫폼으로 접속함으로써 가능하며, 진단 플랫폼으로의 접속방법은 웹 브라우저(web browser)를 이용한 이더넷 통신으로 누구든지 접속이 가능하다. 이때 DC-DC 컨버터의 모니터

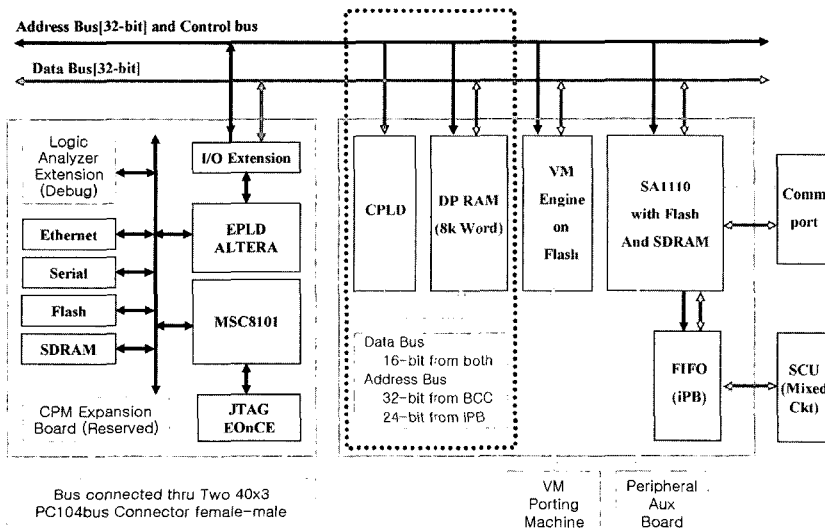


그림 5. 진단 플랫폼 하드웨어 구성.

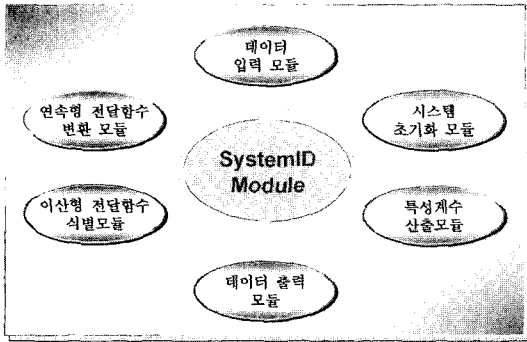


그림 7. DC-DC 컨버터 소프트웨어 시스템 구성.

링을 위해 필요한 애플리케이션 소프트웨어(application software)는 진단 플랫폼에 접속함과 동시에 클라이언트에게 다운로드(download)되어지며 이는 자바 애플릿(java applet)을 이용하여 구현되어있다.

애플리케이션의 모듈 구성은 그림 7과 그림 8이다. 그림 7은 DC-DC 컨버터의 진단 모니터링을 위해 필요한 각종 모듈로서 크게 시스템 초기화 모듈, 데이터 입출력 모듈, 이산형 전달함수 식별모듈, 연속형 전달함수 변환 모듈, 특성계수산출 모듈로 구성된다.

메인 모듈(main module)은 시스템 동작(system operation)을 시작하는 시작점(starting point)로서 DataReader, DataWriter, DataThread 모듈을 쓰레드(thread)로서 시작하고 종료하는 관리모듈이다. 시스템 초기화 모듈에서는 클라이언트와 진단 플랫폼과의 상호작용을 위해 필요한 각종 정보를 위한 초기화 모듈이 있다. 그리고 DC-DC 컨버터와 진단 플랫폼사이의 직렬통신을 위한 환경 정보 초기화 모듈 또한 포함되어 있다. 데이터 입출력 모

듈은 직렬통신을 통한 데이터 입력모듈과 이더넷으로의 데이터를 출력모듈 두 가지로 구분되고 있으며, 이들의 데이터를 관리하기 위한 데이터 관리 모듈 또한 포함되어 있다. 데이터 관리 모듈에서는 직렬 통신과 이더넷 통신(Serial Communication To Ethernet Communication)으로의 프로토콜(protocol) 변환 기능을 수행 시에 데이터의 손실을 방지하기 위한 데이터 임시 저장 역할을 담당한다. 그리고 시리얼로부터 입력되는 원시 데이터(Native Data)를 핸들링(handling)하여 클라이언트 영역에서 사용하기 편한 형태로 데이터를 변환하는 기능도 수행한다.

그림 8은 진단 모니터링의 결과를 사용자에게 보여주는 유저 인터페이스(UI, user interface) 부분으로, 진단 플랫폼 정보 UI, 모델 추정 UI, 모델진단추이 그래프 UI, 시스템 상태정보 UI로 이루어져 있다. 진단 플랫폼 정보 UI는 DC-DC 컨버터와 진단 플랫폼을 동작시키기 위한 시스템 정보 및 환경 정보를 설정하기 위한 부분이다. 모델추정 UI는 진단 플랫폼으로부터 전송되는 데이터를 진단 및 모델추정 모듈(이산형 전달함수 식별모듈, 연속형 전달함수 변환모듈, 특성계수산출모듈)을 수행함으로써, 출력되는 가공되지 않은 로우(raw) 진단모델추정 결과를 나타내어준다. 모델진단 추이 그래프 UI는 모델 추정UI의 로우(raw) 진단모델추정 결과를 사용자에게 보다 알기 쉽게 인지 가능하도록 하는 그래프 타입의 UI이다. 시스템 상태 정보 UI는 DC-DC 컨버터가 전체적으로 동작함에 있어서 발생할 수 있는 이상유무의 상태를 나타내기 위한 UI이다.

그림 9는 DC-DC 컨버터 모니터링 시스템의 전반적인 실행 동작 과정을 하드웨어 시스템 구성을 기반으로 하여 나타내고 있다. 여기에서 직렬통신 환경에서 이더넷 통신 환경으로 데이터를 전송하는 데이터 관리(data

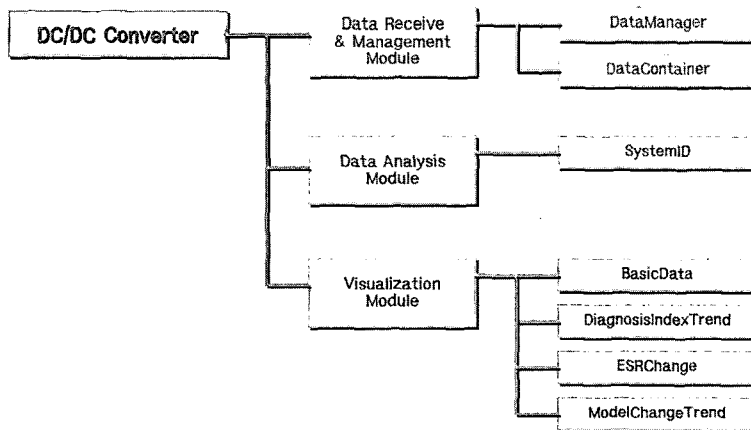


그림 8. 사용자 인터페이스 시스템.

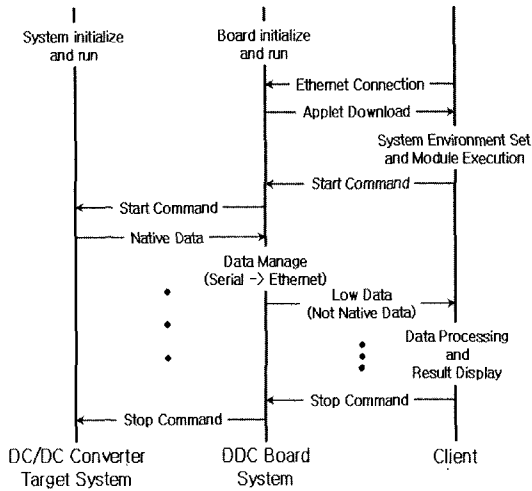


그림 9. DC-DC 컨버터 모니터링 시스템의 실행.

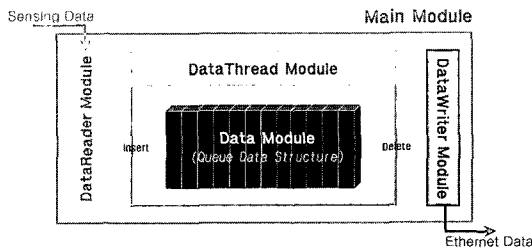


그림 10. 데이터관리를 위한 Structure.

manage)부분은 그림 10과 같은 수행과정을 통해서 이루어진다.

데이터 입력모듈에 해당하는 DataReader 모듈은 DC-DC 컨버터와 DataReader 모듈 사이의 직렬 통신을 담당하고 있으며, 직렬 통신 초기화를 먼저 수행한다. 그리고 수신된 데이터의 정규화를 검증할 뿐만 아니라 검증된 데이터를 데이터 큐(data queue)에 저장하고 DC-DC 컨버터로의 제어를 위한 제어 데이터를 송신한다. 그리고, 실제 데이터를 관리하는 DataThread 모듈은 수신된 데이터를 이더넷 통신으로 라우팅(routing)하는 동안의 데이터를 잠시 관리하는 역할을 한다. 기본적으로 데이터의 추가, 삭제, 데이터 크기 정보 등에 대한 연산을 처리할 수 있으며, 내부적으로는 데이터 모듈을 포함하고 있다. 데이터 모듈은 실제로 데이터가 저장되는 벡터 형태(vector type)의 데이터 저장공간이다. 데이터 출력모듈인 DataWriter 모듈은 이더넷 통신을 주로 담당하는 모듈로서, 큐 데이터 구조에 저장된 데이터를 이더넷 통신으로 전송하고, 전송된 데이터는 큐 데이터 구조에서 삭제하는 연산을 한다.

4. 실험 결과

진단 플랫폼 적용을 위한 실험 시스템의 구성은 그림 11에 나타내었다.

그림 11에 나타낸 바와 같이 진단 플랫폼은 DC-DC 컨버터 시스템과 직렬 통신으로 연결되어 주요 제어 신호와 센싱된 결과 데이터를 진단 플랫폼과 통신하게 된다. 통신된 데이터를 이용하여 진단 플랫폼에서는 진단 알고리즘을 연산하여 그 결과를 이더넷 통신 포트를 이용해 접속된 클라이언트에게 보내주게 되며 보내진 결과가 클라이언트의 화면에 표시되게 된다. 실험에 적용된 진단 알고리즘에 대한 순서도는 그림 12에 제시하였다.

실험의 결과로 보여지는 진단 화면은 각각 그림 13과 그림 14와 같다. 그림 13은 진단 플랫폼의 초기화 완료와 이 때의 클라이언트 화면을 나타낸 것이다. 초기화 완료에는 플랫폼과 DC-DC 컨버터, 플랫폼과 클라이언트의 통신의 초기화가 이루어졌음을 나타내며 DC-DC 컨버터를 동작시킬 수 있는 준비가 완료되었음을 알려준다. 초기화가 완료된 후 동작 명령을 주게 되면 DC-DC 컨버터의 진단이 시작되며 진단된 결과가 화면에 실시간으로 표시되게 된다.

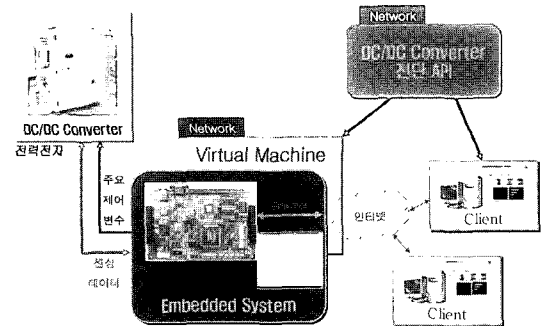


그림 11. 실험 시스템 구성.

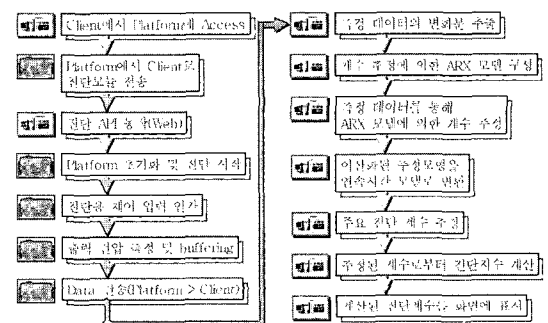


그림 12. 진단 API의 동작 순서.

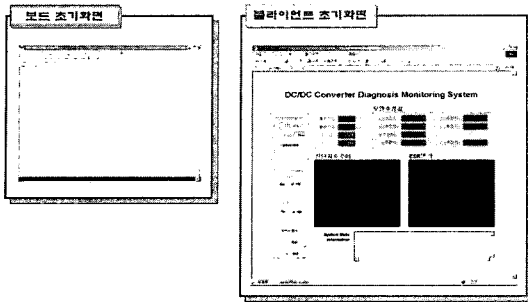


그림 13. 시스템 초기화 테스트 결과.

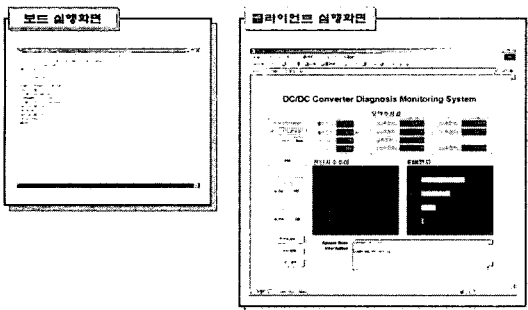


그림 14. 시스템 진단 중 표시 화면.

DC-DC 진단의 결과는 파라미터 추정 알고리즘에 의해 추정된 주요 진단 지수의 추이와 ESR(등가직렬저항, equivalent series resistance)의 변화를 표시하며 현재 컨버터의 동작 상태를 표시하도록 하였다. 진단 지수는 Off-Line에서 계산된 Thresh-hold 값을 같은 화면에 표시하여 현재 상태가 어느 수준을 유지하고 있는지 알기 쉽도록 표현하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 DC-DC 컨버터의 온라인 진단을 위해 개발된 IVM 기반 모니터링 시스템에 대하여 소개하였다. 개발된 진단 플랫폼에 적용된 DC-DC 컨버터 진단

을 위해 적용된 파라미터 추정 알고리즘과 플랫폼의 하드웨어적인 구성과 소프트웨어적인 구성에 대하여 설명하였으며 개발된 진단 플랫폼을 적용한 실험 결과에 대하여 소개하였다. 이러한 결과를 통해, 개발된 진단 플랫폼은 DC-DC 컨버터의 온라인 진단을 위해 시스템 식별 기법을 이용하여 진단을 위한 파라미터를 추정하고 추정된 결과를 인터넷을 통해 실시간으로 모니터링 할 수 있음을 보였다. 본 논문에서 제시된 기술은 향후 산업용 장치들의 웹 기반 진단 및 모니터링 기술에 이용될 예정이며 또한 스마트 센서 모듈 및 분산 제어 시스템 모듈 기술에 응용될 수 있다.

참고문헌

1. 산업자원부: 디지털 첨단 계측기기 개발 사업 1단계 2차년도 보고서 (2002. 9).
2. 한국전기연구원: 전력기기 광역 감시진단 시스템 개발 2차년도 보고서 (2003. 12).
3. 전진홍 외: "시스템 식별 기법을 이용한 DC-DC 컨버터 파라미터 추정", 대한전기학회 추계학술대회, 503 (2003. 11).
4. 전진홍 외: "네트워크 프로세서(MSC8101)을 이용한 광역 감시 진단용 플랫폼 개발", 대한전기학회 추계학술대회, 503 (2003. 11).
5. 전진홍 외: "DC-DC 컨버터 진단을 위한 파라미터 추정", 대한전기학회 추계학술대회, 177 (2003. 10).
6. Engel 저, 광용재 역: 자바 가상 머신 프로그래밍, 인포북 (2000. 1).
7. Margues Cardoso, A.J.: "Converter Fault Diagonosis in Varaible Speed DC Drives, by Park's Vector", ISIE'97, pp. 97-500.
8. Landi, A. and Sani, L.: "Modulating Function Testing the Performance of Switch Mode Converter", IEEE. SDEMPED 01, pp. 195-200.
9. 김태진 외: "기생저항변화를 고려한 DC/DC 컨버터 열화 진단", 전력전자학술대회 논문집, 97 (2003. 7).