

# 인공과학실험실의 확장(ASL-EE II) : 직·교류회로 실험

오석일, °변영태  
홍익대학교 전자계산학과

## The Extension of Artificial Science Laboratory (ASL-EE II) : DC & AC Circuit Experiments

Seok-II Oh, °Young-Tae Byun  
Dept. of Computer Science, Hong-Ik University

### 요 약

화학관련 지식계층구조를 기반으로 기 구축된 인공과학실험실의 시스템 구조를 바탕으로 한, 전기실험 관련 인공과학실험실은 초·중·고 수준의 교과과정에 한정해서 기초 직류(直流)회로실험, 자기력(磁氣力)에 관련한 자기장(磁氣場)의 실험, 화학지식을 이용한 화학전지실험을 모의할 수 있는 시스템으로 개선 발전되어왔다. 본 논문에서는 기존의 추론 모델을 개선/변경하여, 회로에 대한 해석 주체를 구성하고 있는 각 소자(素子)들 중심으로 좀더 현실 세계에 부합되는 시스템으로 확장함으로써 관련 지식 추가와 함께 직류 실험에 추가적으로 교류(交流)회로실험이 가능하도록 그 실험 범위를 확대한다.

## 1. 서 론

인공과학실험실(Artificial Science Laboratory for Electrical Experiments : 이하 ASL-EE)은, 물질에 관한 지식을 클래스의 계층구조와 화학관련 추론모델을 이용하여 초·중·고 수준의 기초 화학실험을 모의할 수 있도록 지식 기반(knowledge base)을 통해 구축된 인공과학실험실-V(Artificial Chemistry Laboratory V : 이하 ACL-V)[1][2][3]의 시스템 구조를 바탕으로 전기관련 지식 구조를 형성하여 기초 전기실험을 할 수 있도록 구축된 사용 가능한 시스템이다[4].

ACL-V를 모태로 한 ASL-EE는 공간관계모델을 기본으로 하여 추론엔진이 해석을 하는 형태의 시스템 구성과 구조로 형성되며[4], 현재 자기관련실험인 코일의 자기력과 화학관련실험인 화학전지실험이 전기 관련실험에 추가, 확장되었다[5]. 이렇게 구성된 ASL-EE의 특징으로는 HP Interactive Experiment[8], Etcai[9], Meterch[10], CircuitTutor[11], 물리마을[12], MicroSim PSpice[13], 재우전자 SIMPLORER[14]와 같은 기존의 회로 해석 시스템보다는 사용자 접속기(user interface)를 통해서 사용자가 회로 소자를 자유롭게 동작으로 구성하고, 또한 추론모델을 통해 회로해석 및 모의할 수 있는 시스템으로 발전되어 왔으나, 지금까지는 기초 직류회로(direct current circuit)에 국한해서 전기관련실험이 진행되었으며, 회로해석의 방법에 있어서는 키르히호프의 전압법칙(Kirchhoff's Voltage Law : 이하 KVL)을 적용하여 추론하도록 구성되었다.

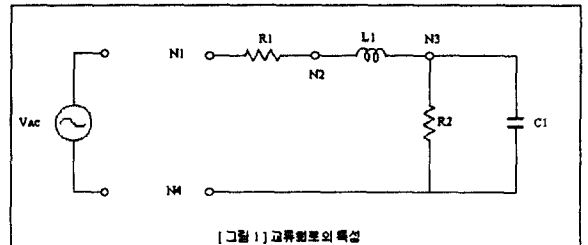
본 논문은 기존의 KVL을 사용하는 추론 모델을 변경해서 키르히호프의 전류법칙(Kirchhoff's Current Law : 이하 KCL)으로 전환을 하여 회로를 구성하고 있는 각각의 소자를 중심으로 한 추론으로, 기존의 직류회로실험에 추가적으로 교류에 관한 지식구조를 추가해서 교류전원과 교류회로소자에 의한 교류회로(alternate current circuit)해석을 통한 회로해석의 확장으로 전

기실험관련 인공과학실험실(Artificial Science Laboratory for Electrical Experiments II : 이하 ASL-EE II)을 형성한다.

2장에서는 이러한 변경된 추론의 개발적인 내용과 교류회로해석에 대한 특징에 대해서 기술하고, 3장에서는 추가된 지식과 추론의 변경에 대한 자세한 내용을 설명하고, 4장에서는 실험예제를 통해 확장된 시스템의 동작상태를 확인하고, 끝으로 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 회로 해석

직류회로는 전전지와 같이 항상 일정한 방향으로 전원의 전압과 전류가 흐르는 회로를 말하고, 교류회로는 전원의 전압과 전류가 주기적(통상 60Hz)으로 변화하여 공급되는 회로를 말하는데, 전원의 교류현상에 의해서 회로 소자의 상태 및 해석 내용이 달라지게 되는 특징이 있다.



[그림 1]에서는 저항(resistor : R), 코일(inductor : L), 콘덴서(condenser : C)의 R-L-C 직·병렬 회로를 보이는데, 노드(node) N1과 N4 사이에 직류전원을 가하게 되면 콘덴서 C1의 저항이 무한대( $\infty$ )가 되어 회로에 영향을 주지 못하지만, 교류전원( $V_{AC}$ )을 가하게 되면 콘덴서 C1의 교류저항

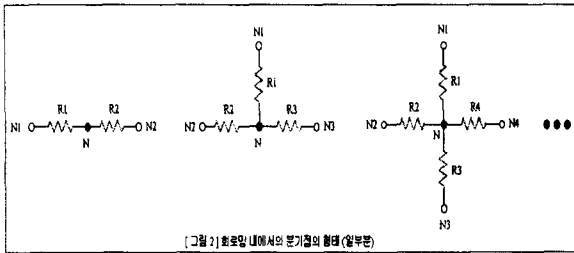
(impedance : 통상  $Z$ 로 표기)은  $-1/\omega C$  이 되어 회로에 영향을 주게 되며, 코일 또한  $\omega L$  이라는 교류저항을 갖게 되어 직류와는 다른 해석을 하게 된다. (단, 여기서  $\omega = 2\pi f$  이고 교류전원의 주기( $f$ )와 관련된 내용이며,  $L$ ,  $C$ 는 각각 저항기의 저항값  $R$ 과 대응되는 코일, 콘덴서의 고유값들이다.)

2.1 기존의 회로 해석 : KVL 적용.

기존의 ASL-EE의 회로 해석 방법은 "회로망(回路網)내의 임의의 폐회로(閉回路)에서 한 방향으로 일주하면서 취한 전압상승(電壓上昇)의 대수합은 각 순간에 있어서 0이다[6]"라는 KVL을 적용하여 추론을 하고 있는데, 이러한 추론 모델은 먼저 회로망에서 정확한 폐회로를 검출해야 하는 부담을 안고 있으며, 해석 주제인 추론 모델이 구성된 회로소자의 정보(저항값)를 이용해서 방정식을 풀 후에 모든 회로소자의 값을 설정하는 형태로 구성되어 있다. 이런 접근은 추론을 거시적(巨視的)으로 해결하려는 결과이며, 각 회로의 소자들 특성을 살리지 못하는 아쉬움을 남겼다.

2.2 회로 해석의 변경 : KCL 적용.

ASL-EE II에서는 "회로망 내 도선(導線)의 임의의 분기점(分岐點)에 유입(流入) 또는 유출(流出)되는 전류(電流)의 대수합은 각 순간에 있어서 0이다. 즉, 분기점에 있어서 유입되는 총 전류는 유출되는 총 전류와 같다[6]"라는 KCL을 적용하게 되는데, 이는 회로가 구성되어 지면, 폐회로에 검출에 상관없이 임의의 망으로 된 구조로 형성되어 질 것이며 각 분기점에서의 전류의 유입과 유출에 관한 정보로 자신의 전위를 결정하게 된다.



[그림 2]는 이러한 분기점들이 가질 수 있는 상태들의 일부를 나타내고 있는데, 여기서 중요한 점은 회로 전류의 유입, 유출의 방향에 관계없이 분기점의 전위(電位)를 구할 수 있는 일반화된 공식이 유도된다. 다음은 위의 회로에서의 전위를 구하는 방정식이다. (노드표시는 노드전압을 의미).

첫 번째 :  $(R1 + R2) N - R1 N2 - R2 N1 = 0$   
 두 번째 :  $(R12 + R23 + R31) N - R12 N3 - R23 N1 - R31 N2 = 0$  ( $R_{ij}$ 는  $R_i * R_j$ )  
 세 번째 :  $(R123 + R234 + R341 + R412) N - R123 N4 - R234 N1 - R341 N2 - R412 N3 = 0$   
 ... ( $R_{ijk}$ 는  $R_i * R_j * R_k$ )

이렇게 분기점에서 주변의 도구정보와 관련 분기점들만으로 자신의 전위를 결정할 수 있는 일반화된 방정식을 만들 수 있게 되는데, 만들어지는 방정식은 정방행렬의 형태로 등록되며, 크래머(cramer)방정식 해법으로 방정식을 풀게 된다. 그래서 분기점의 전위가 결정이 되면 각 도구들(회로의 소자들)은 자신의 전류를 주변 분기점의 전위로부터 결정하도록 구성을 하여 기존 ASL-EE에서 표현하지 못한 각 회로 소자들의 특징들을 표현할 수 있도록 한다.

이러한 KCL을 이용한 해석 구조로 ACL-V처럼 각 소자들도 화학 물질 처럼 진행체(process)를 갖고 자신의 특성용 회로에 반영할 수 있는 장점들

갖게된다. 이를 바탕으로 교류회로해석에 도움을 줄 수 있는 기회를 제공하게 된다.

2.3 소자들의 직류, 교류 특성

현재 ASL-EE II에 구성되어 있는 회로 소자들 중에 교류회로에 영향을 줄 수 있는 소자로 기존의 저항, 코일과 새로 추가된 콘덴서가 있다. 다음 표는 이러한 도구들이 직류 / 교류 회로에서의 저항값이다.

	저항	코일	콘덴서
DC	R	R	$\infty$
AC	R	$(\omega L)_j$	$(-1/\omega C)_j$

(단, j는 허수)

현재 교류전원(AC)은 110[v], 60Hz로 고정되어 있으며, 초기 위상(位相)은 0°이며, 코일과 콘덴서는 전원에 대한 전류 위상을 각각 +90° 와 -90° 만큼 변경하는 특징들을 갖고 있다. 이는 저항소자와 결합되어 위상  $\theta$ 를 결정하게 된다.

3. 추가된 지식 및 변경된 추론.

3.1 분기점의 처리

KCL 회로해석 법칙으로 회로를 해석할 때, 중요한 것은 분기점의 역할이며, 이러한 분기점에서, 관련된 주변 분기점의 전위와 소자의 저항값으로 방정식을 생성하는 내용의 일을 할 수 있는 진행체를 포함하는 새로운 도구를 ASL-EE II에 추가 적용한다. 이러한 도구를 노드(node)라고 하는데, 기존의 전선과 같은 속성을 지니면서, 실험실에서는 보이지 않는 도구이며, 전선들과 도구들간의 공간관계로 이루어진 기존의 공간관계를 도구들과 노드들과의 관계로 변경한다. 또한, 전선의 기능을 축소하여, 전선은 단순히 도구들 연결 관계를 사용자에게 보여주는 역할을 하게 하여, 사용자에게 보다 유연한 접속기 역할을 하게 된다.

3.2 변경된 추론

노드 도구의 새로운 추가로 도구간의 공간관계형성이 변경되었으며, 이러한 노드를 포함하는 공간관계는 기존의 전선과의 공간관계에서 발생할 수 있었던 폐회로의 검출, 구성도구 리스트의 유지 등 많은 문제점들에 대해 그 해결책이 되어주었다. 우선 전기적 연결이 전위라는 전기적 개념을 내포하는 노드를 통해서 명확하게 제시 및 유지되었으며, 이를 통해서 회로해석에 편리성과 단순함의 결과를 가져왔다. 기존의 ASL-EE의 폐회로를 검출하는 모듈(module)의 기능을 축소하여 단순히 회로에 영향을 미치지 못하는 도구들을 검출해 회로해석에서 제외되도록 하며, 또한 일반도구처럼 구성된 전원도구에 전원으로서 자신과 관계된 노드에 전압을 인가하고, 같이 속해있는 회로 구성원들에게 영향을 줄 수 있는 능동적인 진행체를 갖도록 했다. 이처럼 기존의 ASL-EE에서 회로해석의 전반적인 부분을 담당하던 모듈을 KCL을 적용으로 인해, 전원과 노드의 진행체로 분할 담당하게 되었으며 추론을 하위 수준에서 해결하는 결과를 가져와 현실세계에 부합하는 추론으로 발전하게 되었다. 이렇게 노드를 통한 회로해석은 기존의 MicroSim PSpice[13], 재우전자 SIMPLORER[14]에서도 적용되고 있는 기술의 일부본이다.

3.3 교류회로의 처리

위에서 언급한 교류도구들(코일, 콘덴서)을 포함하는 교류회로해석에 있어서, 위상의 변화를 표현하는 것이 가장 중요한 과제인데, 이것은 페이서(phasor)를 이용한 표현과 복소수(複素數)를 이용한 표현이 있는데, 계산상

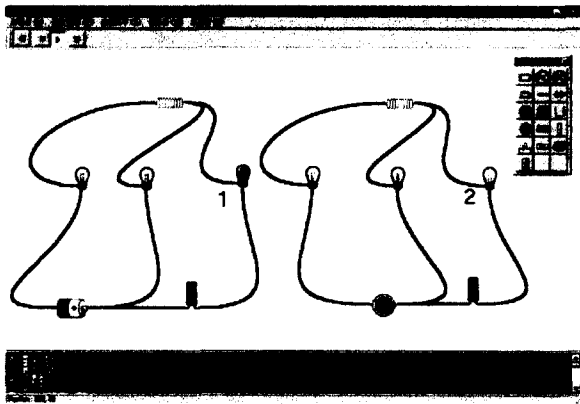
의 편의를 위해서 복소수형식으로 표현을 했으며, 교류저항인 복소임피던스 (complex impedance)는 다음과 같다.

저항 :  $Z_R = R + 0j$ , 코일 :  $Z_L = 0 + \omega Lj$ , 콘덴서 :  $Z_C = 0 + (-1/\omega C)j$

여기서  $Z_R, Z_L, Z_C$ 는 직류저항 R과 대응되는 교류저항들을 나타내므로 기존의 노드에서 전위를 구하는 공식에 그대로 적용을 할 수 있다. 이렇게 기존의 방정식을 생성하고 푸는 모듈들에 복소수를 처리할 수 있도록 확장을 해서 교류도구가 교류회로 상에서 해석될 수 있도록 한다. 그 결과로 전압, 전류의 크기는 계산된 복소수의 절댓값이며, 위상 각(角)은 그 복소수의 편각이다. 현재 과정은 표현이 안되고 있으며, 노드에서의 복소수 값으로 확인할 수 있다.

4. 실험 예제

확장, 구성된 ASL-EE II는 Windows 95/98 환경에서 개발했으며, 사용 개발 도구로는 Borland C++Builder 3.0을 사용했다. ASL-EE의 모든 사용자 접속기를 그대로 유지했으며, 보여지는 새로운 도구로는 교류전원도구, 건전지와 대등한 직류전원도구, 그리고, 콘덴서 도구 등이 새롭게 추가 적용되어 표현이 된다. 내부적인 도구로는 노드와 컨덕터(conductor)가 추가 적용되며, 컨덕터는 노드들의 공간관계에서 발생할 수 있는 문제점들을 중재해주는 도구로 저항은 0이다. 또한 기존의 복잡한 진행체를 갖고 있던 전류계와 전압계는 노드 개념의 추가로 일반 도구처럼 처리할 수 있게 되었으며 진행체 또한 단순하게 되었다. 컴퓨터 내부에서 무한대라는 개념이 부재하기 때문에 이것은 최댓값으로 설정하는 방향으로 진행한다. 이렇게, 구성된 시스템을 [그림3]을 통해서 살펴보자.



[그림 3] 회, 교류 회로실험의 예제

[그림 3]은 [그림 1]의 회로에 전구1, 2를 추가해서 직류와 교류전원이 인 가되었을 때를 모의 실험한 것인데, 콘덴서에 의해서 직류전원과 교류전원의 상황이 구별되어 나타나게 된다. [그림3]에서 1번 저항은 직류회로에서 콘덴서가 저항이 무한대가 되므로 전구에 불이 나갔으며, 반대로 2번 저항은 교류전원에 의해서 콘덴서가 교류저항을 갖게되어 교류전류가 흐르게 된다.

Node들의 현재 상태
#7 : Circuit# = 0, Node ID = -1, VP = 0.0j
#9 : Circuit# = 0, Node ID = 0, VP = 0.714295714295748, 0j
#11 : Circuit# = 0, Node ID = 1, VP = 0.795714295714329, 0j
#13 : Circuit# = 0, Node ID = -1, VP = 1.5, 0j
#17 : Circuit# = 0, Node ID = 2, VP = 0.795714295714394, 0j
#25 : Circuit# = 1, Node ID = -1, VP = 0.0j
#27 : Circuit# = 1, Node ID = 0, VP = 0.001160953575261, 0.29177944818025j
#29 : Circuit# = 1, Node ID = 1, VP = 109.999421458144, -0.1458897318146j
#32 : Circuit# = 1, Node ID = -1, VP = 110.0j
#34 : Circuit# = 1, Node ID = 2, VP = 110.000003869845, -1.54489503388446E-8j

내부적인 상태는 [그림 4]를 통해서 이해될 수 있다. [그림 4]에서 VP는 각 노드에서의 계산된 복소수 값이며, 허수부분이 있는 것은 위상을 변화시킨다는 의미로 해석될 수 있다.

5. 결론 및 향후 과제

ASL-EE II에서는 기존의 ASL-EE에서 KVL법칙의 적용으로 생기는 여러 가지 제약사항들을 극복하고, 또한 회로를 구성하고 있는 각 도구들을 주제로 회로에 자신들의 특성을 적용하도록 KCL을 이용하는데, 이것은 노드와 공간관계를 적용하고, 각 도구들의 특성을 이용하여 회로를 해석하므로 보다 현실세계와 가까운 추론을 하도록 하여 기존의 직류회로 해석에서 교류회로 해석으로 그 실험범위를 확장한 것이 특징이다.

기존에 상용화되어있는 회로해석도구로 유명한 MicroSim사의 PSpice [13]는 CAD(computer aided design)를 기반으로 회로를 구성하게되어 화려한 사용자 접속기를 보여주며, 복잡한 회로를 해석해내는 반면, 회로해석을 시작하기 위해서 사용자로부터 몇 가지의 정보를 입력받아야 하는데, 이는 전문가적인 지식을 요하고 또한 사소한 부분까지도 받듯이 입력해야하는 번거로움이 있다. 이러한 시스템에 비해 본 시스템은 비록 단순한 회로를 해석하지만, 도구들의 특성을 회로에 반영할 수 있는 장점이 있으므로, 트랜지스터, 발광다이오드(Light Emitting Diode : 이하 LED)와 같은 반도체 도구를 추가하고 교류에 시간개념이 들어가게 되면 LED가 교대로 점등되는 분주회로를 표현함에 있어서 단순히 각 소자에서의 입·출력을 계산해 내는데 그치지 않고 실제적으로 시스템 상에서 현실세계처럼 동작하는 것을 보일 수 있는 시스템으로 확장할 수 있겠다.

참고 문헌

- [1] 변영태, 이상훈, 박규동, "인공화학실험실-III에서의 객체 지향 지식 기반 및 추론엔진의 구축", 정보 과학회 논문지, Vol, 3, No. 4, 1997
- [2] 박규동, "인공 화학 실험실-III에서의 사용자 접속기의 추론엔진의 개발", 홍익대학교 전자계산학과 석사학위 논문, 1998
- [3] 조성태, "ACL-V의 구축 : 일반화학법칙 및 탄화수소 화합물의 표현과 처리를 위한 인공화학실험실의 확장", 홍익대학교 전자계산학과 석사학위논문, 1998
- [4] 차상철, 변영태, "전기실험 관련 인공과학실험실에서의 도구지식의 표현 및 추론", 한국정보과학회 가을 학술발표논문집, Vol. 25, No. 2, 1998
- [5] 오석일, 변영태, "인공과학실험실의 확장 : 전기실험 + 화학실험", 한국정보과학회 봄 학술발표논문집, Vol. 26, No. 1, 1999
- [6] 김봉열, 박상희, 정현상, 채영식, 이재인, 박광현, "기초전기공학", 경지사, 1993
- [8]Hewlett-Packard Company, HP Test & Measurement Educator's Corner, <http://www.tmo.hp.com/tmo/iia/edcorner/English/indexhtml>
- [9]Training Resources for Electronics, Etc, <http://wtcaipair.com/>
- [10] ETCAI Products, Mererch, <http://info.elf.stuba/packages/pub/p-c/educult>
- [11] CircuitTutor, <http://www.ee.u.s.a.edu/ee/ieec-cd/ieezips/002/ct-win.htm>
- [12] Jason Tech, 물리마을, <http://www.jasontech.com/html/sae/pps-menu.htm>
- [13] MicroSim, PSpice v8.0, <http://www.microsim.com>
- [14] 재우전자, SIMPLORER, <http://www.jaewoo.com>