

초고전압투과 전자현미경의 효율적인 관리와 공유를 위한 메타데이터 모형 개발에 관한 연구*

A Study on the Development of High Voltage Electron Microscope Metadata Model for Efficient Management and Sharing

곽 승 진(Seung-Jin Kwak)**

김 정 택(Jeong-Taek Kim)***

< 목 차 >

- | | |
|-----------------------------------|----------------------|
| I. 서 론 | 4. 시편제작기법 |
| 1. 연구의 필요성 및 목적 | 5. 데이터 생성과정 및 유형 |
| 2. 연구 내용 | IV. HVEM 메타데이터 모형 설계 |
| 3. 선행 연구 | 1. 프로젝트 범주 |
| II. HVEM 관련 메타데이터 모델 조사 | 2. 실험 범주 |
| 1. CCDB 메타데이터 모델 | 3. 표본 범주 |
| 2. CCLRC 메타데이터 모델 | 4. 시편제작기법 범주 |
| III. HVEM 메타데이터 모형 설계를 위한
기반조사 | 5. 현미경 실험기법 범주 |
| 1. 초고전압투과 전자현미경 | 6. 이미지 데이터 범주 |
| 2. 이용자 | 7. 지적재산권 및 특허 범주 |
| 3. 표본의 범위 | V. 결 론 |

초 록

초고전압투과 전자현미경(HVEM)을 이용한 e-Science 환경을 구축하기 위해서는 HVEM의 원격제어시스템과 HVEM에 의해 생성된 데이터의 효율적인 관리와 공유를 위한 데이터포털이 필요하다. 그리고 이러한 데이터포털에서 생성된 데이터의 구조화, 저장 및 관리, 탐색, 공유를 위해서는 HVEM에 적합하게 특화된 메타데이터가 필요하다. 본 연구에서는 e-Science 환경 하에서 HVEM에 의해 생성된 데이터의 보다 효율적인 관리와 공유를 위하여 HVEM에 적합하게 특화된 메타데이터 모형을 제시하였다.

주제어: 초고전압투과 전자현미경, 메타데이터, 데이터 그리드, 프로젝트, 실험, 표본, 시편제작, 현미경 실험 기법, 이미지 데이터

ABSTRACT

The purpose of this study is to building e-Science environment based on HVEM, remote control system of HVEM and the data portal, which is made by HVEM for efficiently management and sharing of data, are needed. Furthermore, specialized metadata is required as well for the structuralization, storage, management, search and share of the data created from the data portal. In this research paper, we propose the specialized metadata model, only suitable for HVEM, for more efficient management and share of data created by HVEM under the e-Science environment.

Key Words: High Voltage Electron Microscope, Metadata, Data Grid, Project, Experiment, Specimen, Specimen Preparation Methods, Microscopy Methods, Image Data

* 이 논문은 2006년도 한국기초과학지원연구원 연구비 지원으로 수행된 것임.

** 충남대학교 사회과학대학 문헌정보학과 조교수(sjkwak@cnu.ac.kr) (제1저자)

*** 충남대학교 사회과학대학 문헌정보학과 박사과정(kjt@pcu.ac.kr) (공동저자)

• 접수일: 2007년 8월 18일 • 최초심사일: 2007년 8월 3일 • 최종심사일: 2007년 9월 21일

I. 서론

1. 연구의 필요성 및 목적

세계 각국은 자국의 과학기술분야 국가경쟁력 제고 및 연구생산성 향상을 위하여 연구인력, 연구장비 및 소프트웨어, 정보자원 등의 연구자원을 하나로 통합하고 이를 사이버 공간에서 동시에 활용할 수 있는 차세대 연구개발 환경을 구축하고자 국가적 차원에서 e-Science 구축사업을 추진하고 있다. 우리나라 또한 국가그리드구축사업의 성과를 바탕으로 2005년부터 국가 e-Science 구축사업을 추진 중에 있다.

한국기초과학지원연구원은 국가 e-Science 구축사업의 일환으로, 2004년 5월부터 설치·운영하고 있는 초고전압투과 전자현미경(High Voltage Electron Microscope ; 이하 HVEM)을 대상으로 장비 및 데이터 그리드를 구현하여 e-Science 기반 가상연구환경(IT-Based integrated Bio Laboratory)을 구축하고자 2005년부터 '초고전압투과 전자현미경을 이용한 e-Science 환경 구축' 사업을 추진 중에 있다.

HVEM을 이용한 e-Science 환경을 구축하기 위해서는 HVEM의 원격제어시스템과 HVEM에 의해 생성된 데이터의 효율적인 관리와 공유를 위한 데이터포털이 필요하다. 그리고 이러한 데이터포털에서 생성된 데이터의 구조화, 저장 및 관리, 탐색, 공유를 위해서는 HVEM에 적합하게 특화된 메타데이터가 필요하며 그 이유는 다음과 같다. 첫째, 생성된 데이터가 HVEM을 포함한 전자현미경이라는 특정 장비에 의해 생성되기 때문에 이러한 장비와 장비운용에 대한 내용을 기술할 수 있는 메타데이터 요소가 필요하다. 둘째, HVEM을 이용하는 연구자들이 특정 분야의 전문가들로서 MARC이나 Dublin Core같은 범용적인 메타데이터 모델로는 그들의 정보요구를 충족시킬 수 없다. 셋째, 생성되는 데이터의 대부분이 생물의학분야와 재료분야의 사실정보 즉, 이미지라는 점이다. 이러한 이미지를 생성한 연구자 이외의 연구자들이 이미지 정보를 제대로 인지하기 위해서는 표본, 시편제작, 데이터 생성과정에 대한 세부적인 내용을 기술할 수 있는 메타데이터 요소가 필요하다. 넷째, 데이터 자체가 단일 데이터가 아니라 2D, 3D, 동영상과 같은 멀티스케일의 이미지 데이터를 포함하고 있으며, 실험단계에 따라 원 자료(Raw Data), 중간 산출물(Intermediate Data), 최종 결과물(Final Data)이 생성되기 때문에 이러한 데이터를 기술할 수 있는 특화된 메타데이터 요소가 필요하다. 다섯째, 과학기술분야의 연구성과는 상용화될 수 있으므로 지적재산권 및 특허 정보를 기술할 수 있는 메타데이터 요소가 필요하다. 따라서 HVEM의 특성과 HVEM을 이용하여 실험을 수행하는 연구분야에 적합한 특화된 메타데이터 모형 개발이 필요하다.

본 연구의 목적은 e-Science 환경 하에서 HVEM에 의해 생성된 데이터의 보다 효율적인 관리와 공유를 위하여 HVEM에 적합하게 특화된 메타데이터 모형을 제시하는데 있으며, 궁극적으로

는 HVEM에 의해 생성된 그리고 향후 생성될 데이터(연구결과물)를 표준화된 메타데이터로 구축하여 HVEM 이용자와 관련 연구자들에게 제공함으로써 과학기술분야 국가경쟁력을 제고하고 연구생산성을 향상시키는데 있다.

2. 연구 내용

본 연구에서는 e-Science 환경 하에서 HVEM에 의해 생성된 데이터의 보다 효율적인 관리와 공유를 위하여 HVEM에 적합하게 특화된 메타데이터 모형을 제시하는 것으로 메타데이터 요소의 도출과정은 선행 연구과정을 참고하여 진행하였으며 연구내용은 다음과 같다.

첫째, HVEM 메타데이터 모형 설계를 위한 기반조사를 실시하여 관련 메타데이터 요소를 추출하였다. 기반조사는 한국기초과학지원연구원(이하 기초(연))의 HVEM과 일본 오사카대학 UHVEM의 설치목적, 원격제어, 데이터 그리드 등 HVEM에 대한 제반 정보를 조사하였다. 다음으로 2004년부터 2006년까지 기초(연)의 HVEM을 이용한 연구자의 연구 주제분야, 소속기관의 유형 등의 이용자 정보, HVEM 실험의 재료가 되는 표본의 범위와 시편제작기법, 데이터 생성과정, 데이터 유형 등의 정보를 조사·분석하였다. 둘째, HVEM 관련 메타데이터 모델 및 과학기술분야 메타데이터 모델을 조사·분석하여 관련 메타데이터 요소를 추출하였다. 셋째, Registry DB와의 상호 운용성을 고려하여 기초(연)의 Nano-bio Database와 HVEM DataGrid를 참조하여 관련 메타데이터 요소를 추출하였다. 넷째, 이와 같은 메타데이터 요소 선정과 더불어 HVEM 메타데이터 모형의 프레임워크를 설계하였다. 다섯째, 추출된 메타데이터 요소들을 상호 비교·분석하여 중복요소를 제거한 후 요소 간 상관관계 및 요소별 필수여부, 입력방법 등을 정의하여 HVEM 메타데이터 모형을 설계하였다.

3. 선행 연구

안영현 등¹⁾은 차세대 나노 반도체를 포함한 신물질의 원자단위 구조분석, 생체의 3차원적 구조 분석, 소재의 역동적 구조 및 물성 변화 연구, 전자빔 및 이온빔을 이용한 극 미세 소재 개발 등의 초정밀 분석분야에 사용되는 국가적 공동장비인 HVEM의 활용도를 제고하고 국가적 차원의 연구 생산성 향상을 위하여 HVEM의 원격제어시스템을 개발·제시하였다. 이 연구에서는 HVEM의 운영을 위한 필수적인 기능인 스테이지 조정, 시편의 틸팅, 카메라 제어 및 영상 저장 등을 원격제어시스템에 그대로 적용하였으며, 일체의 현미경 제어 신호 및 교신은 글로리아드 망을 통하여 이루어지도록 하였다. 또한 그들은 HVEM 원격제어시스템을 이용하여 국내뿐만 아니라 국제적 공

1) 안영현 등, “초고전압 투과전자현미경의 원격제어 및 데이터 획득 시스템,” 한국전자현미경학회지, 제36권 1호, pp.7-16.

동연구를 수행할 수 있는 가상 실험실을 구축하였다.

안영현, 권희석, 김윤중²⁾은 NT(Nano Technology)와 BT(Bio Technology) 분야에서 HVEM을 이용하여 생성된 이미지 데이터를 체계적으로 관리하기 위한 데이터베이스 시스템을 제안하였다. HVEM을 통해 생성된 이미지 데이터는 실험단계에 따라 원 자료(Raw Data), 중간 산출물(Intermediate Data), 최종 결과물(Final Data)이 생성되고, 2D, 3D, 동영상과 같은 멀티스케일 데이터를 포함하기 때문에 이 연구에서는 이러한 데이터를 체계적으로 관리하기 위한 SRB 시스템과 HVEM 데이터베이스 시스템을 제시하였다. 그들은 향후 SRB 시스템과 데이터베이스 시스템을 연동하고 웹 어플리케이션 하에서 이용자들이 데이터에 쉽게 접근하여 검색 및 저장을 할 수 있도록, 본 연구에 기반한 시스템의 구현이 필요하다고 주장하였다.

곽승진³⁾은 청소년 과학정보 메타데이터 요소 및 데이터베이스 구축 연구에서 메타데이터 요소의 도출과정을 다섯 단계로 진행하였다. 먼저 국내외 관련 메타데이터 요소 세트를 조사하고, 요소를 도출하기 위해 사용할 메타데이터 세트를 선별, 선별된 각각의 메타데이터 세트를 구성하는 요소와 속성들을 나열하여 더블린코어를 기준으로 상호 매핑하여 공통요소를 추출, 도출된 공통요소 가운데 필수적이라 판단되는 요소의 선별 및 불필요한 요소를 배제, 공통 요소 이외의 요소 가운데 필요하다고 판단되는 요소를 선별하고 추가하였다.

이응봉 등⁴⁾은 대형 연구 장비의 e-Science 환경 구축을 위하여 국내·외 연구 인프라 구축사업 현황 및 주요 e-Science 웹 포털 그리고 HVEM을 통해 생성된 데이터를 기술하기 위한 메타데이터 모델을 조사·분석하였다. 이 연구에서는 HVEM의 원격제어를 위한 그리드 포털과 HVEM에 의해 생성된 데이터의 저장, 관리, 이용을 위한 데이터 포털에 대한 개념 및 주요 구축 사례를 소개하였으며, 데이터 포털 구축을 위한 메타데이터 모델로써 CCLRC 메타데이터 모델과 Cell Centered Database 메타데이터 모델을 소개하였다.

II. HVEM 관련 메타데이터 모델 조사

1. CCDB 메타데이터 모델

CCDB(Cell Centered Database) 메타데이터 모델은 NCMIR⁵⁾ Telescience Portal에서 생성

2) 안영현, 권희석, 김윤중, “데이터 그리드를 이용한 초고전압 투과전자현미경 데이터베이스 시스템,” 한국컴퓨터종합학술대회 논문집, 제32권 1호(A), pp.583-585.

3) 곽승진, “청소년 과학정보 메타데이터 요소 및 데이터베이스 구축 연구,” 한국문헌정보학회지, 제38권, 제1호(2004. 3), pp.265-266.

4) 이응봉 등, e-Instruments 구축을 위한 기획조사 사업(대전: 한국기초과학지원연구원, 2005)

되어 CCDB에 저장⁶⁾되는 데이터를 기술하기 위한 메타데이터 모델이다.

세포 이미지 데이터를 위한 최초의 인터넷 기반 데이터베이스 중의 하나인 CCDB는 구조생물학과 신경과학 연구 커뮤니티에 고분해 3D 광학전자현미경 조사를 통해 생성된 데이터를 제공하기 위하여 NCMIR에 의해 2002년에 개발되었으며, 현재는 NCMIR Telescience Portal, BIRN Portal과 연계되어 있다.⁷⁾ CCDB는 조직, 배양세포, 준세포로부터 획득된 세포 단위의 정보를 저장하고 관리할 수 있도록 설계되었으며, CCDB의 각 데이터 레코드는 프로젝트/실험정보를 포함한 실험과 이미지 처리에 관련된 내용, 이미지 파일(Binary Data)과 파라미터 파일, 이미지 파일 정보, 이미지 파일 주석, 이미지 또는 Reconstruction으로부터 추출된 양적인 측정값 등을 포함하고 있다.⁸⁾

CCDB 메타데이터 모델은 <표 1>과 같이 8개의 범주와 45개의 단위 메타데이터 요소로 구성된 기본범주와 25개의 범주와 132개의 단위 메타데이터 요소로 구성된 부가범주로 구성되어 있다.

<표 1> CCDB 메타데이터 모델의 범주

구 분	범주 명
기본범주	Project, Experiment, Subject Group, Subject, Animal, Tissue, Processing, Microscopy Product
보조범주	Fixation, Embedding, Probe, Protein, Antibody, Probe Detection, Stain, Transmitted Image, Fluorescent Image, Confocal Image, Epifluorescent Image, Electron Microscopy Image, Light Microscopy Image, Double Tilt Image, Mosaic Image, Stereopairs Image, Time Series Image, Survey Image, Through Focus Image, Serial Section Image, Single tilt image, Optical Section Image, Image2D, Reconstruction, Segmentation

CCDB 메타데이터 모델은 전자 현미경 실험을 고려하여 설계된 전문화된 모델로서 HVEM 메타데이터 모형 설계에 유용한 메타데이터 모델이지만 적용분야가 생체분야 특히 구조생물학과 신경과학 분야에 한정되는 단점이 있다. 특히, 금속공학, 신소재공학, 재료공학, 물리학과 관련 있는 재료분야와 화학분야의 데이터를 기술하기 위한 메타데이터 요소가 상당히 빈약하다.

또 다른 단점은 다른 전문 메타데이터 모델에 비하여 비 계층적인 구조를 가지고 있다. 메타데이터 요소가 계층화 되어 있지 않다는 것은 메타데이터 요소 간 상관관계 정의가 부족하다는 것을 의미하며, 이는 이용자의 지적 수준에 따라 혼란을 야기할 수도 있다. 그리고 CCDB 메타데이터

5) NCMIR(National Center for Microscopy and Imaging Research)은 조직, 세포, 고분자 복합체의 3D 초미세구조를 분석한 정보, 분석기술, 인프라스트럭처, 장비를 생의학 분야 연구자에게 제공하며, 핵심기술로는 IVEM과 관련 현미경을 위한 생물학적 표본 개발, IVEM, CCD 카메라, Telemicroscopy(VidCon2)의 도구화, 인프라스트럭처 어플리케이션과 데이터베이스 개발 등이 있다.

NCMIR Home page. <<http://ncmir.uscd.edu/>> [cited 2006. 7. 12].

6) CCDB는 Oracle 9i와 BIRN data grid를 통합한 객체-관계형 프레임워크를 이용하여 데이터를 관리하며, 이미지와 분석 파일은 SRB에, 기술 데이터와 측정 데이터는 RDB(Oracle 9i)에 저장된다.

7) CCDB Home page. <<http://ccdb.uscd.edu/CCDB/>> [cited 2006. 7. 5].

8) 이응봉 등, 전계서, pp.105-106.

모델은 연구주체에 대한 정보 또한 빈약하다.

그러나 이러한 단점에도 불구하고 CCDB 메타데이터 모델은 전자현미경에 의해 생성된 데이터 객체정보와 장비정보, 시편제작기법에 대한 정보가 상세하여 전자현미경을 이용하여 실험을 수행하여 생산된 데이터에 적합한 메타데이터 모델이다.

2. CCLRC 메타데이터 모델

영국의 CCLRC(The Council for the Central Laboratory of the Research Councils)⁹⁾는 유럽에서 가장 큰 연구지원조직 중의 하나로 기존의 여러 기관들에 의해 분산·운영되던 연구시설들을 통합 관리하기 위하여 1995년에 설립된 연구회이다. CCLRC의 주요 임무는 개별 대학이나 연구기관들이 소유·운영하기 어려운 대형 또는 최신의 연구시설, 장비를 이들 연구기관에 제공함으로써 기초·전략·응용연구의 효율적인 수행을 지원하는 것이다. CSMDM(CCLRC Scientific Metadata Model)은 영국이 자국의 과학기술 국가 경쟁력 제고 및 연구생산성 향상을 위해 2001년부터 추진한 e-Science Programme의 일환으로, 영국의 CCLRC e-Science Centre¹⁰⁾에 의해 개발되었다. CSMDM은 전 과학분야의 다양한 데이터와 자원을 기술하기 위한 매우 일반화된 모델이자 특정 과학분야에도 그 분야에 맞게 특화할 수 있도록 설계된 메타데이터 모델이다.¹¹⁾

CCLRC e-Science Centre는 물리적으로 분산된 수많은 파일시스템과 데이터베이스에 저장되어 있는 자국의 모든 데이터 자원을 탐색할 수 있는 단일방법을 제공할 목적으로 웹 기반 데이터포털과 더불어 메타데이터 모델을 개발하였으며, 최초에는 CCLRC 3개 분야(ISIS, SR, BADC)의 데이터 홀딩을 위해 개발되었으나, 이후 다양한 과학 분야에 적용할 수 있도록 일반화하였다.¹²⁾

CSMDM의 주요범주는 Topic, Subject, Access Conditions, Related Materials, Regal Notes로 구성되어 있으며, 주요범주에서 보조범주, 보조범주에서 단위 메타데이터 요소까지 계층적으로 전개되어 있다.

CSMDM은 전 과학분야를 수용할 수 있도록 설계된 모델로써 보다 폭넓은 주제분야와 다양한 형태를 지닌 데이터의 광범위한 범위를 충족시킬 수 있으며, CCDB 메타데이터 모델에 비하여 보다 계층적인 구조로 설계되어 가장 높은 단계인 정책, 프로그램, 연구, 조사에서 측정, 실험, 시뮬레이션 그리고 실험단계에서 생성된 데이터에 이르기까지 보다 체계적이고 계층화된 정보를 기술할 수 있다. 또한 CCDB에서는 부족한 연구주체에 대한 정보를 상세히 기술할 수 있다. 그러나 이러한

9) CCLRC Home page. <<http://www.cclrc.ac.uk/>> [cited 2006. 7. 11].

10) CCLRC e-Science Centre는 그리드 기반 하에 첨단 연구시설과 장비 그리고 전 세계적으로 분산되어 있는 대규모 데이터의 공동이용을 실현하기 위해 설치된 연구소이다.

11) 이응봉 등, 전게서, pp.88-89.

12) CCLRC e-Science Centre Home page. <<http://www.e-science.cclrc.ac.kr/>> [cited 2006. 7. 11].

장점에도 불구하고 CSMDM은 특정 과학분야에 적용하기 위해서는 그 분야에 맞게 새롭게 특화해야 한다는 단점이 있다.

Ⅲ. HVEM 메타데이터 모형 설계를 위한 기반조사

HVEM 메타데이터 모형 설계를 위한 기반조사는 <표 2>와 같이 초고전압 전자현미경, 이용자, 표본의 범위, 시편제작기법, 데이터 생성과정 및 유형으로 구분하여 조사·분석하였다.

<표 2> 기반조사 유형

기반조사 유형	분석 내용
초고전압 전자현미경	<ul style="list-style-type: none"> • KBSI HVEM, 오사카대학 UHVEM을 대상으로 실시 - 특성 및 사양, 원격제어, 데이터 그리드
이용자	<ul style="list-style-type: none"> • 2004년부터 2006년 6월까지 KBSI HVEM 이용자를 대상으로 실시 - 이용자 소속기관, 연구주제분야, 1인당 이용횟수
표본의 범위	<ul style="list-style-type: none"> • 초고전압 전자현미경 실험의 재료가 되는 표본의 범위
시편제작기법	<ul style="list-style-type: none"> • 시편제작기법(고정, 포매, 절편, 염색)
데이터 생성과정 및 유형	<ul style="list-style-type: none"> • 데이터의 생성과정 및 데이터의 유형

1. 초고전압투과 전자현미경

기초(원)에 설치된 초고전압투과 전자현미경(JEM-ARM 1300S : 이하 HVEM)은 국가적 첨단 공동 활용장비로서 차세대 나노 반도체를 포함한 신물질의 원자단위 구조분석, 뇌세포를 포함한 생체의 3차원적 구조분석, 소재의 역동적 구조 및 물성변화 연구, 전자빔 및 이온빔을 이용한 극 미세 소재개발 등을 수행하는 NT/BT 분야의 초정밀 분석 장비이다.¹³⁾ HVEM은 2004년 5월에 기초(연)에 설치되었으며, JEOL 일본 본사, 본체에 부착된 에너지 여과장치(HV-GIF)는 미국의 Gatan사, 원격제어장치는 JEOL U.S.A.사에 의해 주도적으로 개발되었으며, 특수 Holder 보관장치(Dry Pumping System)는 Gatan사의 Dry Pumping System의 단점을 보완하여 기초(연)에서 자체 개발·제작하였다.

가. 원격 제어

전자현미경 원격제어는 원격지에서 전자현미경의 전압과 포커스 등을 정밀하게 조절하고, 표본의 위치를 이동시키면서 표본의 상태를 관찰하고 표본의 이미지를 촬영하여 이미지 데이터를 생성하는

13) 한국기초과학지원연구원 홈페이지. <<http://www.kbsi.re.kr>> [인용 2006. 6. 7].

과정으로, 전자현미경을 이용한 생의학 분야의 대표적인 원격제어시스템으로는 UCSD NCMIR의 Telescience Portal과 일본 오사카대학 UHVEM¹⁴⁾의 Telecontrol System이 있다. 일본 오사카대학 UHVEM의 원격제어시스템 Telecontrol System은 Dynamic Image Transfer System, Static Image Generator, Remote Control System, Data Grid Environment, Data Analysis System의 5가지 요소로 구성되어 있으며, 오사카대학 초고압전자현미경연구센터에 의해 독자적으로 개발되지 않고, Cybermedia Center를 중심으로 수행된 Biogrid 프로젝트의 한 영역인 Remote Data Collection System Technology에 의해 수행되었다.

기초(연)의 HVEM을 원격제어하기 위한 원격제어시스템 구조는 <표 3>과 같이 Presentation Tier, Application Server Tier, Data Server Tier와 같은 3계층 구조로 구성되어 있으며, 원격제어의 대상은 표본의 축과 정사각을 조절하는 Goniometer, 전압과 포커스, 배율 등을 조절하는 FasTEM, 표본의 이미지를 실시간 보여주는 CCD 카메라가 있다. HVEM을 원격지에서 제어하기 위한 절차는 로그인, HVEM 가동, 빔 정렬, 시편 이미지 관찰, 시편 이미지 획득이라는 5단계로 이루어진다.¹⁵⁾

<표 3> 기초(연) HVEM 원격제어시스템 구조

Tier	Description
Presentation Tier	• HVEM 원격제어 유저 인터페이스(HVEM Control User Interface)
Application Server Tier	• HVEM 원격제어 서비스(HVEM Control Service) - Globus Toolkit 4 기반 - HVEM Control User Interface와 HVEM Control Service 사이의 통신은 WSRF 기반의 RMI 방식
Data Server Tier	• Web Service로 캡슐화 되어 있는 Goniometer, FasTEM, Camera Control Application으로 구성되어 있음. - 이 프로그램들은 현미경 제작사가 제공하는 API를 사용

나. 데이터 그리드

기초(연)의 데이터 그리드 시스템인 HVEM DataGrid는 HVEM을 이용한 실험에서 얻어진 결과를 저장하고 공유할 수 있도록 구현된 데이터 관리 시스템으로, 물리적인 데이터 관리, 데이터 저장소 관리, 데이터 접근 관리 등을 수행한다. 가상실험실을 구축하는 핵심 시스템중의 하나인 HVEM DataGrid의 아키텍처는 Application Area, Data Grid Services,¹⁶⁾ Physical Storage¹⁷⁾

14) 일본 오사카대학 초고압전자현미경연구센터(Research Center for Ultra-High Voltage Electron Microscopy)에 설치되어 있는 초고전압 전자현미경(Hitachi H-3000 UHVEM ; 이하 UHVEM)은 상용 300만 볼트의 초고압 전자현미경으로 일본 문부성의 재정적 지원을 받아 1995년에 설치되었다.

Osaka University Research Center for Ultra-High Voltage Electron Microscopy Home page.

<<http://www.uhvem.osaka-u.ac.jp/>> [cited 2006. 6. 9].

15) 권희석 등, 초고전압 투과 전자현미경을 이용한 e-Science 환경 구축(대전: 한국기초과학지원연구원, 2006), pp.5-9.

16) 데이터의 생성, 갱신, 삭제와 데이터의 탐색 및 검색 등을 수행한다.

로 구성되어 있다.¹⁸⁾ 대표적인 데이터 그리드 시스템은 미국의 BIRN Portal¹⁹⁾과 일본의 DataGrid System²⁰⁾이 있다. BIRN Portal은 BIRN 사이버인프라스트럭처와 특정 영역의 생의학 애플리케이션에서 생성된 정보자원의 데이터 그리드를 위하여 BIRN-CC에서 개발되었으며, Duke-CIVM, CalTech-BIC, UCSD-CCDB, UCLA-LONI의 데이터를 제공하고 있다. 일본 오사카대학 초고압전자현미경연구센터 UHVEM에 의해 생성된 데이터의 데이터 그리드는 Cybermedia Center를 중심으로 구축된 DataGrid System에 의해 수행되고 있으며, UHVEM에 의해 생성된 데이터만을 저장, 관리하기 위한 별도의 데이터베이스와 메타데이터는 존재하지 않고 데이터들은 CCDB, PDBj, DDBJ 등의 개별 데이터베이스에 저장되어 있다.

기초(연)에서 구현한 Nano-bio Database의 데이터베이스 스키마는 생체실험을 중심으로 설계되어 비생체 실험에는 적용하기 어려우며, 데이터베이스 스키마는 <표 4>와 같이 Project, Experiment, Material, Material Treatment, Microscopy, Images로 구성되어 있다.

<표 4> 기초(연) Nano-bio Database 스키마 엔티티

Entity	Description
Project	프로젝트에 대한 일반적인 정보를 포함하는 가장 상위단계로, 여러 개의 실험 정보와 이용자 정보를 포함하고 있음.
Experiment	실험에 대한 일반적인 정보와 현미경 정보를 포함하고 있음.
Material	각 실험에서 사용된 재료들에 대한 정보를 포함하고 있으며 Cell, Tissue, Protein으로 구성되어 있음.
Material Treatment	실험에 사용되는 재료의 처리기법에 대한 정보를 포함하고 있으며, Fixation, Post-fixation, Embedding, Cutting, Stain으로 구성되어 있음.
Microscopy	현미경 실험기법(촬영기법)에 대한 정보를 포함하고 있으며, Tilting, Serial Section, 3D-immunoEM으로 구성되어 있음.
Image	현미경 실험에 의해 생성된 이미지와 이미지를 가공하여 만든 이미지, 애니메이션 등에 대한 정보를 포함하고 있음.

2. 이용자

HVEM 이용자 조사는 2004년 4월부터 2006년 6월까지 기초(연) HVEM을 이용하여 실험을 실시한 연구자 전체를 대상으로 실시하였으며, 이용자 조사·분석 결과에 기초하여 연구기관, 연구원 등의 인적자원과 관련된 메타데이터 요소들을 추출하였고, 실험 대상인 표본의 범위를 결정하는 주제분야의 범위를 결정하여 이를 기반으로 관련 메타데이터 요소를 추출하였다.

17) 저장되는 데이터의 유형과 크기에 따라 RDB와 SRB에 저장된다. 비교적 사이즈가 작은 데이터는 RDB에, 현미경 촬영을 통해 생성된 이미지, 동영상, 애니메이션, 분석파일 등은 SRB에 저장된다.

18) *Ibid.*, pp.37-40.

19) BIRN Home page. <<http://nbirn.net/>> [cited 2006. 7. 11].

20) Cybermedia Center Home page. <<http://www.cmc.osaka-u.ac.jp>> [cited 2006. 6. 9].

동일 기간 동안 HVEM을 이용하여 실시한 실험 횟수는 169건이며, 1회 이상 사용한 이용자 수는 57명으로 1인당 평균 이용횟수는 2.96건이다.

HVEM 이용자의 소속기관 유형은 조사대상 169건 중 대학이 142건으로 대부분을 차지했으며, 정부출연연구소 18건, 기업체 연구소 2건, 정부기관 6건, 외국 연구소 1건으로 조사되었다.

연구 주제분야는 전체 조사대상자의 연구 주제분야를 기술할 수 없어 전공분야에 기반하여 생물 의학분야,²¹⁾ 재료분야²²⁾로 대분류하고 그 하위에 소속기관의 학과명이나 연구소의 주제 분야별로 소분류 하였다. HVEM 이용자의 연구 주제분야는 생물의학분야 52건, 재료분야 119건으로 조사되었다. <표 5>는 연구 주제분야별 소속기관 이용횟수이다.

〈표 5〉 연구 주제분야별 소속기관 이용횟수

구 분	대학교	정부출연(연)	기업체연구소	정부기관	외국 연구소	계
생물의학분야	48	0	0	2	0	50
재료분야	94	18	2	4	1	119

3. 표본의 범위

HVEM 실험의 재료가 되는 표본의 범위는 이용자를 조사·분석한 결과에 기초하여 생물의학 분야와 재료분야로 구분하였다. 따라서 표본의 범주 역시 생물의학분야와 재료분야로 구분하여 정의하고, 생물의학분야는 실험재료가 생체이므로 “생체범주”, 재료분야는 실험재료가 비생체이므로 “비생체 범주”로 명명하여 정의하였다.

HVEM을 이용하여 수행되는 실험의 범위와 재료가 지속적으로 확대될 것으로 예상되므로 표본범주 또한 실험범위 및 재료의 확대에 맞춰 지속적으로 확장할 필요성이 있으며, 현재 표본의 범위는 <표 6>과 같이 한정하였다.

〈표 6〉 표본의 범위

범주	구분	내 용
생체	연구분야	생물학, 미생물학, 분자생물학, 분자세포생물학, 생리학, 생화학, 신경생물학, 의학, 생의학, 해부학 등의 생물의학분야
	실험대상	표본을 추출한 동물, 식물, 미생물의 생체
비생체	연구분야	자연과학 및 공학 전 분야
	실험대상	표본을 추출한 금속, 세라믹, 고분자 물질, 복합체, 반도체

21) 미생물, 분자생물, 분자세포생물, 생리, 생화학, 신경생물, 의생물, 해부학 등

22) Heating, Cooling, Irradiation, Straining 등

4. 시편제작기법

현미경 실험을 위한 시편제작기법²³⁾은 여러 기법이 있으나 HVEM에서는 보통 울트라마이크로톰(Ultramicrotome)을 사용하므로 본 연구에서는 울트라마이크로톰(Ultramicrotomy)를 중심으로 분석하였다. 울트라마이크로톰은 고정(Fixation), 포매(Embedding), 절편(Cutting), 염색(Stain)의 네 가지 단계로 구성되어 있으며, 시편제작은 고정 → 포매 → 절편 → 염색 순으로 이루어진다.

본래 울트라마이크로톰을 이용한 시편 제작은 생체 시료에서 일반적으로 사용되었으나, 현재는 비생체 재료에도 많이 이용되고 있으며, 비생체 재료는 고정이나 염색 단계 없이 포매와 절편과정만을 거쳐 시편을 제작한다.

고정(Fixation)은 현미경 실험을 위해 시료가 생체에서 절단된 뒤, 가능한 한 변화가 일어나는 것을 방지하기 위하여 조직에 잘 침투하는 고정액(Fixative)을 사용하여 시료를 고정하는 단계로, 고정방법은 관류고정, 고정액 담금고정법, 고정액 주사법이 있다. 고정과정은 보통 글루탈알데히드로 고정하는 전 고정과 OsO₄를 이용하는 후고정(Post-fixation)의 두 단계를 거쳐 이루어진다.

포매(Embedding)는 울트라마이크로톰에 의한 절편 시 세포 구조의 눌림이나 부스러짐을 방지하고 얇은 절편을 얻기 위한 단계로, 포매제(Embedding Agent)는 불수용성 포매제와 수용성 포매제 두 종류가 있다.

절편(Cutting)은 투과 전자현미경 관찰 시 전자 빔이 투과력이 약해 투과하지 못하는 것을 방지하고 해상력을 높이기 위해 시편을 얇게 절단하는 단계로, 유리칼이나 다이아몬드 칼을 장착한 울트라마이크로톰을 사용한다.

염색(Stain)은 초박절편이 너무 얇고(60~80nm) 세포를 이루고 있는 원소의 원자량이 너무 작아 전자빔의 산란을 통해 이미지를 얻기 어렵기 때문에 Pb, Th, U와 같은 원자번호가 큰 중금속 염으로 선택적으로 염색하는 단계로, 염색액에는 여러 가지가 있으나 중금속 염인 우라닐 아세테이트(Uranyl acetate)와 시트르산납(Lead citrate)을 가장 널리 사용된다.

5. 데이터 생성과정 및 유형

데이터 생성과정 및 유형 분석²⁴⁾에서는 현미경(HVEM)으로 촬영한 초기 이미지 데이터 그리고 이러한 이미지 데이터를 가공하여 만든 새로운 이미지 데이터 및 애니메이션 데이터의 생성과정 및 유형을 분석하였다. 데이터 생성과정은 시편제작에서부터 3D 이미지가 생성될 때까지의 과

23) 한국세포형태연구소 홈페이지. <<http://www.bioem.com>> [인용 2006. 6. 29].

24) 권희석 등, 전계서, pp.36-56.

정으로, 이 과정을 보통 3D Tomography 또는 3D Electron Microscopy라고 하며 다음과 같은 절차를 거쳐 데이터를 생성한다.

첫째, 시편을 정상 두께보다 두껍게(200nm~2um) 준비하여 고정 → 포매 → 절편 → 염색 순으로 시편을 제작하고 전자 현미경의 시편 지지대에 장착한다.

둘째, 좌우 최대 75도까지 지정한 틸트각 간격(보통 1~2도)으로 X축과 Y축을 중심으로 기울이며 촬영하여 연속적인 Tilt Image²⁵⁾를 생성한다. 이 과정을 틸팅(Tilting)이라고 하며, 틸팅을 수행한 축의 수에 따라 싱글 틸팅(Single Tilting)과 더블 틸팅(Double Tilting)²⁶⁾으로 구분한다.

셋째, 생성된 틸트 이미지를 소프트웨어를 이용하여 가공하여 Aligned Image를 생성²⁷⁾하고, Aligned Image를 가공하여 가상 연속 절편인 Tomo Image를 생성한 다음, 이를 소프트웨어를 이용하여 시편의 입체 구조인 Reconstruction된 3D Image를 생성한다. 이 과정에서 생성된 Tilt Image, Aligned Image, Tomo Image, 3D Image는 각각의 Animation Image를 생성할 수 있다.

IV. HVEM 메타데이터 모형 설계

HVEM을 이용하여 생성한 데이터를 기술하기 위한 HVEM 메타데이터 모형은 7개의 주요범주, 24개의 보조범주, 149개의 단위 메타데이터 요소로 구성하였으며, 메타데이터 요소는 다음과 같은 세 가지 방법을 사용하여 추출하였다. 첫째, HVEM 메타데이터 모델 설계를 위한 기반조사를 실시하여 관련 메타데이터 요소들을 추출하였다. 둘째, HVEM 관련 메타데이터 모델 및 과학기술분야 메타데이터 모델들을 조사·분석하여 관련 메타데이터 요소들을 추출하였다. 셋째, Registry DB와의 상호 운용성을 고려하여 한국기초과학지원연구소의 Nano-bio Database와 HVEM DataGrid를 참조하여 관련 메타데이터 요소들을 추출하였다. 이와 같이 추출된 개별 메타데이터 요소들을 상호 비교·분석하여 중복요소를 제거한 후 HVEM 메타데이터 모형의 요소들을 선정하였다.

이와 같은 방법에 의해 선정된 개별 메타데이터 요소들을 구조화하기 위하여 필수요소(Core element)와 부가요소(Optional element)로 구분하여 상위범주에서 하위범주, 하위범주에서 단위 메타데이터 요소에 이르기까지 계층적으로 전개하였다. 또한 데이터 입력 시를 고려하여 추출된 개별 메타데이터 요소들의 입력방법²⁸⁾을 정의하였다. HVEM 메타데이터 모형의 주요범주는 <표 7>과 같다.

25) Tilt Image는 현미경으로 촬영한 최초의 2D 이미지이므로 EM Image라고도 하며, 촬영 횟수에 따라 수십에서 수백 개의 이미지를 생성할 수 있다.

26) 정보의 양이 두 배로 많은 더블 틸팅이 정밀한 3차 구조의 구현에 적합하다.

27) Aligned Image는 Tilt Image 1장 당 1개가 만들어진다.

28) Text, Rich Text, Combo, Numeric

〈표 7〉 HVEM 메타데이터 모형 주요범주

주요범주	기 술
프로젝트	프로젝트에 대한 일반적인 정보를 기술하는 메타데이터 범주
실험	실험에 대한 일반적인 정보와 실험에 사용된 현미경 정보를 기술하는 메타데이터 범주
표본	표본을 추출한 대상에 따라 생체와 비생체로 구분하여 표본을 추출한 대상과 실험에 사용된 재료에 대한 세부정보를 기술하는 메타데이터 범주
시편제작기법	현미경 실험에 필요한 시편을 제작하는 기법에 대한 정보를 기술하는 메타데이터 범주
현미경 실험기법	제작된 시편으로부터 이미지를 얻기 위한 촬영기법에 대하여 기술하는 메타데이터 범주
이미지 데이터	실제 현미경으로 촬영한 이미지 데이터 및 이러한 이미지를 가공하여 만든 이미지 데이터, 애니메이션 데이터를 기술하는 메타데이터 범주
지적 재산권 및 특허	프로젝트 및 실험에서 생성된 모든 데이터의 지적재산권과 특허정보를 기술하는 메타데이터 범주

1. 프로젝트 범주

프로젝트(Project) 범주는 e-Science 환경 하에서 HVEM을 이용하여 수행된 프로젝트에 대한 일반적인 정보를 기술하는 범주로 〈표 8〉과 같이 6개의 메타데이터 요소와 3개의 하위범주로 구성하였다.

〈표 8〉 프로젝트 범주

메타데이터 요소		기 술	입력여부	입력방법
Name	프로젝트명	프로젝트의 이름	M	Text
Purpose	프로젝트 목적	프로젝트 목적에 대한 간략한 설명	M	RichText
Study Institution	연구기관	연구에 참여한 기관에 대한 정보	M	-
Funding Agency	연구비 출연기관	프로젝트에 기금을 출현한 기관의 이름	O	Text
Starting Date	프로젝트 시작일	프로젝트 시작일	M	Numeric
Ending Date	프로젝트 종료일	프로젝트 종료일	M	Numeric
Researcher	연구원	프로젝트 연구원에 대한 정보	M	-
Reference	참조	프로젝트 수행에 참고한 문헌 및 관련 자료	O	RichText
Report	보고서	프로젝트 수행 결과를 게재한 내용	O	-

프로젝트 범주의 하위범주는 〈표 9〉와 같이 연구기관, 연구원, 보고서 범주로 구성하였다. 연구기관 범주는 연구기관 이름, 유형 등과 같은 프로젝트를 수행한 기관에 대한 정보를 기술하는 범주이다. 연구원 범주는 프로젝트에 최종 책임을 지고 있는 책임연구원과 한명 이상의 공동연구원에 대한 정보를 기술하는 범주이며, 공동연구원은 프로젝트의 범위와 특성 그리고 프로젝트를 수행하는 구성원의 규모 및 유형에 따라 달라지나 보편적으로 연구원, 장비 오퍼레이터, 데이터 처리자로 구성된다. 연구원 범주 아래에 연구원 개인의 주소, 전화번호, e-mail, 홈페이지 URL을 기술하는

연락처 범주를 하위범주로 가지고 있다. 보고서 범주는 프로젝트 수행결과 생성된 연구결과물을 국내·외 학술지 및 논문집에 게재한 사항에 대한 정보를 기술하는 범주이다.

〈표 9〉 프로젝트 범주의 하위범주

하위범주	메타데이터 요소		기 술	입력 여부	입력 방법
Study Institution [연구기관]	Institution ID	연구기관 ID	연구기관의 유일한 식별자	M	Combo
	Name	연구기관명	연구기관의 이름 [e.g., CCLRC]	M	Text
	Type	유형	연구기관의 유형 [e.g., 대학, 정부출연(연)]	M	Combo
	Address	주소	연구기관의 주소	O	Text
	Phone Number	전화번호	연구기관의 전화, 팩스번호	O	Numeric
Researcher [연구원]	Role in Study	역할	연구에 있어서의 역할 [e.g., 연구책임자]	M	Combo
	Name	이름	연구원 이름	M	Text
	Institution	소속기관	연구원이 속한 기관 및 부서	M	Text
	Research Field	연구분야	연구원의 연구주제 분야	M	Text
	Role in Institution	직위	소속기관에서의 직위 [e.g., 교수, 연구원]	O	Text
	Contact Details	연락처	주소와 기타 연락처	O	-
Report [보고서]	Title	보고서 제목	보고서 제목	M	Text
	Journal Title	저널 명	보고서가 수록된 저널 명	M	Text
	Volume	권호	보고서가 수록된 저널의 권호	M	Text
	Year	연도	출판(수록) 연도	M	Numeric

2. 실험 범주

실험(Experiment) 범주는 프로젝트를 위하여 수행된 실험에 대한 일반적인 정보와 실험에 사용한 현미경 정보를 기술하는 범주로 〈표 10〉과 같이 6개의 메타데이터 요소와 1개의 보조범주로 구성하였다.

〈표 10〉 실험 범주

메타데이터 요소		기 술	입력여부	입력방법
Title	실험 제목	실험 제목	M	Text
Purpose	실험 목적	실험 목적에 대한 간략한 설명	M	RichText
Date	실험일	실험이 시작된 날	M	Numeric
Location	실험 장소	현미경을 제어한 장소	M	Text
Experimenter	실험 수행자	실험수행자의 이름	M	Text
Microscope	현미경	실험에 사용한 현미경에 대한 정보	M	-
Reference	참조	실험수행에 참고한 문헌 및 관련자료	O	RichText

현미경 범주는 실험 범주의 하위범주로써 실험에 사용된 현미경에 대한 일반적인 정보를 기술하며, <표 11>과 같이 12개의 메타데이터 요소로 구성하였다.

<표 11> 현미경 범주

메타데이터 요소		기 술	입력여부	입력방법
Name	현미경 모델명	실험에 사용된 현미경 모델명	M	Text
Type	현미경 유형	실험에 사용된 현미경 유형	O	Text
Voltage	전압	이미지를 획득할 때 사용된 가속전압	M	Text
Resolution	분해능	이미지를 획득할 때의 분해능	M	Text
Spot Size	스팟 사이즈	이미지를 획득할 때의 스팟사이즈	M	Text
Aperture Slit	유효구경	이미지를 획득할 때의 유효구경	M	Text
Energy Filter Type	에너지 필터 유형	에너지 여과장치 유형	O	Text
Energy Filter Slit	에너지 필터 구경	에너지 여과장치 구경	O	Text
Energy Filter Dispersion	에너지 필터 분산	에너지 필터 분산	O	Text
Camera	카메라	카메라 유형 및 모델명	M	Text
Company	제조사	실험에 사용된 현미경의 제조사	O	Text
Software	소프트웨어	현미경 운용에 필요한 소프트웨어	O	Text

3. 표본 범주

표본(Specimen) 범주는 표본을 추출한 대상에 따라 생체 범주와 비생체 범주로 구분되며, 표본을 추출한 대상과 실험에 사용된 재료에 대한 세부정보를 기술하는 범주이다. 입력모듈에서 생체범주 입력 시 비생체 범주는 입력할 필요가 없으며, 비생체 범주 입력 시에도 생체범주는 입력할 필요가 없다. 이 범주는 HVEM을 이용하여 수행되는 실험의 범위가 지속적으로 확대될 것으로 예상되므로 실험범위의 확대에 따라 지속적으로 확장할 필요성이 있다.

가. 생체 범주

생체(Living Organism) 범주는 표본을 추출한 동물, 식물, 미생물의 기원, 해부위치, 실험재료, 항체에 대한 정보를 기술하는 범주로 <표 12>와 같이 4개의 하위범주로 구성하였다.

기원 범주는 표본을 추출한 대상의 이름, 종의 이름과 학명, 나이 등 표본을 추출한 기원에 대한 정보를 기술하는 범주이며, 해부정보 범주는 표본이 추출된 위치 등 해부정보를 기술하는 범주이다. 실험재료 범주는 수많은 생체재료 중에서 현미경 실험에 가장 많이 사용되는 조직, 세포, 단백질 등을 기술하는 범주이며, 항체 범주는 항체 이름, 유형, 출처, 배양시간 등 항체에 대한 정보를 기술하는 범주이다.

〈표 12〉 생체 범주의 하위범주

하위범주	메타데이터 요소		기 술	입력 여부	입력 방법
Origin [기원]	Origin Name	기원 이름	표본을 추출한 대상의 이름 [e.g., 홍길동, 1번 원숭이]	M	Text
	Species Name	종 이름	표본을 추출한 종의 일반적인 이름 [e.g., mouse, rat]	M	Text
	Scientific Name	학명	표본을 추출한 종의 학명 [e.g., mus musculus]	M	Text
	Strain	계통, 품종	표본을 추출한 대상의 원 품종 이름 [e.g., Sprague Dawley]	M	Text
	Age Class	나이 클래스	표본추출 시점의 나이 클래스 [e.g., adult, Juvenile, embryonic]	O	Text
	Age	나이	표본추출 시점의 나이 또는 수령	O	Numeric
	Sex	성별	표본의 성별	O	Combo
	Weight	무게	표본추출 시점의 중량	O	Numeric
	Length	길이	표본의 길이	O	Numeric
Anatomical Details [해부정보]	System	시스템	표본을 추출한 Body system [e.g., central nervous system]	M	Text
	Organ	기관	표본을 추출한 기관 [e.g., eye]	M	Text
	Region	추출지역	표본을 추출한 지역 [e.g., retina]	M	Text
Experiment Materials [실험재료]	Tissue	조직	실험에 사용된 조직에 대한 정보	M	-
	Cell	세포	실험에 사용된 세포에 대한 정보	M	-
	Protein	단백질	실험에 사용된 단백질에 대한 정보	M	-
Antibody [항체]	Name	이름	항체 명	M	Text
	Type	유형	항체 유형 [e.g., IgG, Fab fragment]	M	Text
	Fixative	고정액	고정액	M	Text
	Source	항체원	항체가 획득된 출처	M	Text
	Treatment Time	처리시간	항체가 배양된 시간	M	Numeric
	Concentration	농도	농도	M	Numeric
	Purification Method	정제기법	단백질 검출을 위해 사용된 항체의 정제 기법 [e.g., affinity purified]	O	Text

실험재료 범주는 〈표 13〉과 같이 실험에 사용된 조직에 대한 정보를 기술하는 조직 범주와 실험에 사용된 세포에 대한 정보를 기술하는 세포 범주, 실험에 사용된 단백질에 대한 정보를 기술하는 단백질 범주로 구성하였으며, 세포 범주는 그 아래에 배양 시 온도, 수분 함유정도, 이산화탄소 함유정도, 매체의 상태를 기술하는 배양정보 범주를 하위범주로 가지고 있다.

〈표 13〉 실험재료 범주의 하위범주

하위범주	메타데이터 요소		기 술	입력 여부	입력 방법
조직 [Tissue]	Name	조직 이름	실험을 위하여 사용된 여러 조직 표본 중에서 식별을 위하여 하나의 조직에 부여된 고유이름	M	Text
	Tissue Product Storage	조직 생성물 보관	사용된 조직을 보관하기 위하여 사용된 방법 [e.g., slide box]	O	Text
	Thickness	두께	표본 절단면의 두께	M	Numeric
	Orientation	정위	조직 표본이 추출된 위치 [e.g., coronal]	M	Text
세포 [Cell]	Name	세포 이름	세포 이름	M	Text
	Type	세포 유형	[e.g., purkinje cell, photoreceptor]	M	Text
	Size	크기	세포 크기	M	Text
	Culture Information	배양정보	세포배양에 필요한 상태 정보	O	-
단백질 [Protein]	Name	단백질 명	단백질 이름	M	Text
	Abbreviation	약어	단백질의 보편적인 약어 [e.g., AChE = acetylcholinesterase]	O	Text
	Size	사이즈	단백질 크기	M	Numeric
	Purification	정제, 순화	[e.g., HPLC, Clone purification]	O	Text

나. 비생체 범주

비생체(Inanimate Object) 범주는 표본을 추출한 금속(Metal), 세라믹(Ceramic), 고분자 물질(Polymer), 복합체(Composite), 반도체(Semiconductor) 재료에 대한 정보를 기술하는 표본의 하위범주로 〈표 14〉와 같이 8개의 메타데이터 요소와 1개의 보조범주로 구성하였다.

〈표 14〉 비생체 범주

메타데이터 요소		기 술	입력여부	입력방법
Material Name	재료 이름	표본을 추출한 재료의 이름 [e.g., 구리]	M	Text
Material Class	재료 클래스	재료가 속한 클래스 [e.g., 금속, 세라믹]	M	Combo
Symbol	기호	재료의 기호 [e.g., Al, Cu]	M	Text
Atomic Number	원자 번호	원자번호	M	Text
Atomic Weight	원자 무게	단위: amu	M	Numeric
Atomic Radius	원자 반지름	단위: nm	M	Numeric
Density	밀도	질량을 체적으로 나눈 값, 단위: g/cm	M	Numeric
Crystal Structure	결정 구조	20 °C에서의 결정구조 [e.g., FCC, BCC, HCP 등]	M	Text
Property	성질	재료의 물리적, 기계적, 기술적 특성에 대한 정보	M	-

성질 범주는 표본이 추출된 비생체 재료의 물리적, 기계-기술적, 가공 기술적 성질에 대한 정보를 기술한 비생체 범주의 하위범주로 〈표 15〉와 같이 14개의 메타데이터 요소로 구성하였다.

〈표 15〉 성질 범주

메타데이터 요소		기 술	입력여부	입력방법
Melting point	용융점	재료가 녹는 온도	O	Numeric
Thermal Expansion	열팽창 계수	온도 변화에 대한 열변형도의 관계를 나타내 주는 상수	O	Numeric
Heat Conductivity	열전도도	재료의 열에너지가 전도되는 정도	O	Numeric
Electrical Conductivity	전기 전도도	재료에 전류가 흐르는 능력	O	Numeric
Modulus of Elasticity	탄성률	탄성 영역내에서 응력을 변형량으로 나눈 값	O	Numeric
Yield Stress	항복응력	인장시험에서 소성변형이 시작되는 응력	O	Numeric
Tensile Strength	인장강도	재료가 최대 인장하중을 받을 때의 응력	O	Numeric
Toughness	인성	파괴시 재료가 흡수한 에너지량에 대한 척도	O	Numeric
Ductility Ratio	연성률	파괴될 때까지의 재료의 소성변형 능력에 대한 값으로 연신율과 단면감소률로 나타냄	O	Numeric
Brittleness	취성	소성변형이 되지 않고 충격하중에 여러 조각으로 깨지는 정도를 나타낸 값	O	Numeric
Hardness	경도	표면압입이나 연마로 인한 재료의 변형에 대한 저항의 값	O	Numeric
Specific Heat	비열	상온에서의 비열 값	O	Numeric
Poisson's Ratio	프와송 비	탄성변형에 있어서 종축방향으로 가한 응력으로 인한 횡축 변형률과 종축 변형률 비의 부(-) 값	O	Numeric
Composite Type	복합유형	재료의 합금 또는 복합 유형에 대한 간략한 설명	O	Text

4. 시편제작기법 범주

시편제작기법(Specimen Preparation Methods) 범주는 현미경 실험을 위한 시편제작기법에 관련된 정보를 기술하는 범주로 〈표 16〉과 같이 고정(Fixation), 포매(Embedding), 절편(Cutting), 염색(Stain)의 네 가지 하위범주로 구성하였다.

생체 재료의 시편제작은 고정 → 포매 → 절편 → 염색 순으로 이루어지며, 비생체 재료는 고정이나 염색 단계 없이 포매와 절편과정을 거쳐 시편을 제작한다.

고정 범주는 현미경실험에 사용된 표본의 고정에 대한 정보를 기술하는 범주로 보통 글루탈알데히드로 고정하는 전 고정과 OsO₄를 이용하는 후 고정의 두 단계를 거친다. 포매 범주는 현미경 실험에 사용된 표본의 포매에 대한 정보를 기술하는 범주이며, 절편 범주는 현미경 실험에 사용된 표본의 절단에 대한 정보를 기술하는 범주이다. 염색 범주는 현미경 실험에 사용된 표본의 염색에 대한 정보를 기술하는 범주이다.

〈표 16〉 시편제작기법 범주의 하위범주

하위범주	메타데이터 요소		기 술	입력 여부	입력 방법
Fixation [고정]	Fixation Type	고정 유형	고정유형[e.g., vascular perfusion]	M	Text
	Fixative	고정액	생체 또는 그 일부를 고정하기 위하여 사용되는 시약이나 그 혼합액	M	Text
	Fixation Time	고정 시간	고정 시간	M	Numeric
	Temperature	온도	고정할 때의 고정액의 온도	M	Numeric
	Fixative Volume	고정액 분량	고정액 분량	M	Numeric
Embedding [포매]	Dehydration Agent	탈수제	표본을 탈수하는데 사용되는 매개체 [e.g., ethanol, methanol, acetone]	M	Text
	Dehydration Time	탈수시간	탈수시간	M	Numeric
	Embedding Agent	포매제	표본을 포매하는데 사용되는 매개체 [e.g., Lowicryl, Durcupan, ACM]	M	Text
	Polymerization	중합	중합	M	Text
	Temperature	온도	온도	M	Numeric
Cutting [절편]	Microtome Name	마이크로톰 이름	마이크로톰의 모델명	M	Text
	Microtome Type	마이크로톰 유형	마이크로톰의 유형	M	Text
	Thickness	두께	표본 절단면의 두께	M	Numeric
	Cutting Speed	절단 속도	절단속도[e.g., 0.05 ~ 100mm/sec]	M	Numeric
	Knife Angle	칼날 각도	칼날 각도	M	Numeric
Stain [염색]	Name	염색 이름	조직에 적용된 염색(or 염색 에이전트)의 이름 [e.g., Hoescht]	M	Text
	Description	염색 기술	염색에 대해 기술하기 위한 주석	O	Text

5. 현미경 실험기법 범주

현미경 실험기법(Microscopy Methods) 범주는 제작된 시편으로부터 이미지를 얻기 위한 촬영기법에 대하여 기술하는 범주로 〈표 17〉과 같이 틸팅(Tilting), 연속절편(Serial Section), 3D Immuno EM의 3가지 하위범주로 구성하였다.

틸팅 범주는 틸트 이미지를 획득하기 위한 실험기법인 틸팅에 대한 정보를 기술하는 범주이며, 연속절편 범주는 연속절편 기법에 대한 정보를 기술하는 범주이다. 3D Immuno EM 범주는 특정 목적을 위해 실험대상에 Labeling을 한 후, Labeling한 물질을 3차원적으로 추적하여 이미지를 생성하는 전자현미경 분석법에 대한 정보를 기술하는 범주로, 그 아래에 트랜스펙션 유형, 전체 DNA중에 Construction의 특성정보와 위치정보, DNA Construction의 운반 매개체를 기술하는 트랜스펙션 범주를 하위범주로 가지고 있다.

〈표 17〉 현미경 실험범주의 하위범주

하위범주	메타데이터 요소		기 술	입력 여부	입력 방법
Tilting [틸팅]	Tilt Type	틸트 유형	틸트 유형[e.g., Single tilt, Double tilt]	M	Combo
	Tilt Increment	틸트 각	틸트 이미지를 생성하기 위해 표본이 1회당 회전한 각도	M	Numeric
	X Dimension Radiation	X축 최대 회전각	틸트 이미지를 생성하기 위해 표본이 X축으로 회전한 최대각도	M	Numeric
	Y Dimension Radiation	Y축 최대 회전각	틸트 이미지를 생성하기 위해 표본이 Y축으로 회전한 최대각도	M	Numeric
Serial Section [연속절편]	Number of Sections	절편 수	Section(절단면)의 수	M	Numeric
	Thickness	두께	Section(절단면)의 두께	M	Numeric
3D Immuno EM	Target Material	타겟 물질	타겟 물질	M	Text
	Labeling Type	레이블링 유형	레이블링 유형	M	Text
	Transfection	트랜스펙션	3D Immuno EM 기법에 필요한 트랜스펙션 정보 또는 ID	M	-

6. 이미지 데이터 범주

이미지 데이터(Image Data) 범주는 실제 현미경으로 촬영한 이미지 데이터(Raw Data) 및 이러한 이미지를 가공하여 만든 이미지 데이터(Intermediate Data, Final Data)를 기술하는 범주로 〈표 18〉과 같이 8개의 메타데이터 요소와 1개의 하위범주로 구성하였다.

이 범주의 메타데이터 요소는 현미경을 이용하여 생성한 모든 이미지 데이터를 기술할 수 있도록 공통요소만을 선정하였다. 따라서 시스템 설계 시, 이미지 데이터간의 상관관계를 명확하게 정의하여야 한다. 왜냐하면 EM Image에서 3D Image까지 하나의 시편을 대상으로 이미지를 생성하기 때문이다.

〈표 18〉 이미지 데이터 범주

메타데이터 요소		기 술	입력여부	입력방법
Image Type	이미지 유형	[e.g., EM Image, 3D Image]	M	Combo
Image Filename	이미지 파일명	이미지의 Unique한 이름 또는 ID	M	Text
Image File Format	이미지 파일포맷	이미지 파일포맷	M	Text
Image Size	이미지 사이즈	이미지 크기	M	-
Image Creation Date	생성일자	이미지 생성일자	O	Numeric
SRB	SRB	이미지가 저장되는 SRB ID 또는 URL	M	Text
Software	소프트웨어	이미지를 가공하는데 사용된 소프트웨어	O	Text
Algorithm	알고리즘	이미지를 가공하는데 사용된 알고리즘	O	Text
Animation	애니메이션	개별 이미지들을 가공하여 만든 애니메이션의 이름 또는 ID	M	Text

이미지 사이즈 범주는 이미지 크기에 대한 정보를 기술하는 이미지 데이터의 하위범주로 <표 19>와 같이 4개의 메타데이터 요소로 구성하였다.

<표 19> 이미지 사이즈 범주

메타데이터 요소		기 술	입력여부	입력방법
Surface Area	표면적	단위: μm^2	O	Numeric
Length	길이	X축 x Y축, 단위: μm	O	Numeric
Diameter	지름	단위: μm	O	Numeric
Volume	볼륨	단위: μm^3	O	Numeric

7. 지적재산권 및 특허 범주

지적재산권 및 특허(Intellectual Property Right & Patent) 범주는 프로젝트 및 실험에서 생산된 모든 데이터의 지적재산권 및 특허정보를 기술하는 범주로 <표 20>과 같다. 메타데이터 요소는 8개로 지적재산권자, 특허권 소유자, 특허 제목, 특허유형, 특허 취득 국가, 등록번호, 등록일자, 내용 요소로 구성하였다.

<표 20> 지적재산권 및 특허 범주

메타데이터 요소		기 술	입력여부	입력방법
Intellectual Property Righter	지적재산권자	지적 재산권 소유자 이름	O	Text
Patent Authorship	특허권 소유자	특허권을 소유한 사람	O	Text
Patent Title	특허 제목	특허의 제목	O	Text
Patent Type	특허 유형	특허의 유형 [e.g., 국내, 국제]	O	Combo
Patent National	특허 취득 국가	특허를 취득한 국가	O	Combo
Patent Registration Number	특허 등록번호	특허 최종 등록번호	O	Text
Patent Registration Date	특허 등록일자	특허 등록일자	O	Numeric
Patent Content	특허 내용	특허 내용에 대한 간략한 설명	O	RichText

V. 결 론

HVEM을 대상으로 장비 및 데이터 그리드를 구현하고 이를 통하여 e-Science 기반 가상연구 환경을 구축하고자 HVEM 메타데이터 모형 설계를 위한 기반조사를 실시하고 HVEM 관련 국내·외 메타데이터 모델들을 조사·분석하여 e-Science 환경 하에서 HVEM에 의해 생성된 데이터를 보다 효율적으로 관리하고 공유하기 위한 특화된 “HVEM 메타데이터 모형”을 제시하였다.

이러한 HVEM 메타데이터 모형을 적용하여 데이터베이스를 구축할 때 반드시 고려하여야 할 점이 있다. 첫째는 철저한 접근통제정책이다. 왜냐하면 다른 데이터베이스와는 달리 데이터 입력이 실험시작단계부터 실험이 종료될 때까지 단계별로 수시로 HVEM 사용자에게 의해 직접 이루어지기 때문이며, 만약 실험 도중 비인가자에 의한 잘못된 입력 또는 잘못된 상관관계 정의가 발생하면 전혀 다른 실험결과가 도출될 수도 있기 때문이다. 둘째, 데이터 입력이 데이터베이스 전문가가 아닌 다양한 주제분야의 연구자에 의해 이루어지므로 데이터베이스 품질에 대한 사후 관리가 반드시 필요하다.

HVEM 메타데이터 모형 개발을 통하여 기대할 수 있는 효과는 첫째, HVEM에 의해 생성된 데이터를 체계적인 포맷으로 지속적으로 구축할 수 있으며, 지금까지는 할 수 없었던 재료분야 데이터에 대한 기술이 가능하다. 둘째, HVEM을 이용하는 연구자들에게 최적의 적합정보만을 제공할 수 있다. HVEM 메타데이터 모형은 HVEM을 이용하는 특정 주제분야, 특정 유형의 데이터만을 기술하기 위하여 설계되었기 때문에 MARC이나 Dublin Core와 같은 범용적인 메타데이터 모델로는 충족시킬 수 없는 정보욕구를 충족시킬 수 있다. 셋째, 연구결과에 대한 정보를 인지하지 못하여 타 연구기관이나 연구자가 이미 수행한 연구나 실험을 중복 수행함으로써 이로 인하여 발생할 수 있는 예산과 인력의 낭비를 방지할 수 있다. 연구자 개인적인 측면에서는 수백만의 장비 사용료 절약과 인력낭비를 방지할 수 있으며, 국가적인 측면에서는 우리나라에 한대뿐인 고가의 장비이자 공급보다 수요가 많은 장비를 효율적으로 활용할 수 있다. 넷째, 과학기술 연구 분야가 보다 세분화되는 상황에서, HVEM을 이용하여 연구를 수행하는 연구자들만의 Invisible College 또는 커뮤니티를 형성할 수 있는 토대를 제공할 수 있다.

후속 연구에서는 HVEM 운영자와 사용자를 대상으로 설문과 심층면접을 실시하여 “HVEM 메타데이터 모형”에 대한 적합성 여부와 메타데이터 요소별 상대적 중요도를 측정할 예정이며, 데이터 포털 구축 후 사용성 평가를 실시하여 보다 표준화된 메타데이터 모형을 제시할 계획이다.

〈참고문헌은 각주로 대신함〉