

생물다양성 자료의 데이터베이스화와 온라인 관리시스템 및 분석도구 구축에 관한 연구

백 기 열 · 정 종 철 · 박 선 주 · 이 종 욱
영남대학교 생물학과
(2005년 5월 11일 접수; 2005년 11월 23일 채택)

A Study on the Construction of Database, Online Management System, and Analysis Instrument for Biological Diversity Data

Kee-Yul Bec, Jong-Chul Jung, Seon-Joo Park and Jong-Wook Lee

Department of biology, Yeungnam University, Gyeongsan 712-749, Korea

(Manuscript received 11 May, 2005; accepted 23 November, 2005)

The management of data on biological diversity is presently complex and confusing. This study was initiated to construct a database so that such data could be stored in a data management, and analysis instrument to correct the problems inherent in the current incoherent storage methods. MySQL was used in DBMS(DataBase Management System), and the program was basically produced using Java technology. Also, the program was developed so people could adapt to the requirements that are changing every minute. We hope this was accomplished by modifying easily and quickly the advanced programming technology and patterns. To this end, an effective and flexible database schema was devised to store and analyze diversity databases. Even users with no knowledge of databases should be able to access this management instrument and easily manage the database through the World Wide Web. On a basis of databases stored in this manner, it could become routinely used for various databases using this analysis instrument supplied on the World Wide Web. Supplying the derived results by using a simple table and making results visible using simple charts, researchers could easily adapt these methods to various data analyses. As the diversity data was stored in a database, not in a general file, this study makes the precise, error-free and high-quality storage in a consistent manner. The methods proposed here should also minimize the errors that might appear in each data search, data movement, or data conversion by supplying management instrumentation on the Web. Also, this study was to deduce the various results to the level we required and execute the comparative analysis without the lengthy time necessary to supply the analytical instrument with similar results as provided by various other methods of analysis. The results of this research may be summerized as follows: 1)This study suggests methods of storage by giving consistency to diversity data. 2)This study prepared a suggested foundation for comparative analysis of various data. 3)It may suggest further research,which could lead to more and better standardization of diversity data and to better methods for predicting changes in species diversity.

Key Words : Biological Diversity, Database, Online Management System, Biota

1. 서 론

최근 환경에 대한 관심이 커짐에 따라 환경영향

평가 등 많은 다양성 조사들이 이루어지고 있으며 이에 비례하여 관리해야 될 결과 데이터들도 빠르게 증가하고 있다. 이러한 시기에 데이터를 효율적으로 저장할 수 있는 데이터베이스 스키마를 구축하고 데이터 관리 도구를 통하여 자료를 저장하고 분석도구를 통하여 결과를 도출할 수 있는 쉽고 효

Corresponding Author : Kee-Yul Bec, Department of biology,
Yeungnam University, Gyeongsan 712-749, Korea
Phone: +82-53-810-2376
E-mail: jwlee1@yumail.ac.kr

올적인 프로그램의 필요성이 절실하다고 할 수 있다. 생물다양성을 연구하거나 생물상을 연구하는 사람들은 목록을 만들고 종 수를 세며, 단순한 산술적 계산을 하는 등의 일에 지나치게 많은 시간이 낭비되고 있다는 생각을 한 번쯤은 했으리라 생각한다. 현재 생물 다양성 데이터의 관리는 일관된 방법 없이 관리자 각각의 방식대로 일반 파일이나 엑셀 파일 등에 저장되어 관리되고 있어 많은 데이터들이 효율적으로 사용되지 못하고 단지 한 번의 결과를 위한 일회성 데이터로 남게 된다. 또한 일관된 형식 없이 일반 파일에 저장된 데이터를 분석하기 위해서는 copy and paste를 이용한 데이터 이동과 drag를 이용한 범위 설정으로의 결과 분석 등 사람의 눈과 손에 의존한 작업이 불가피하다. 이런 수작업에 의지한 데이터 관리 및 분석은 실수로 인한 오류의 여지를 남기며 많은 시간적 부담감으로 인해 연구자들을 지치게 만들고 다양한 방법에서의 분석을 힘들게 한다¹⁾. 따라서 생물 다양성 데이터를 일관된 방식으로 저장할 수 있는 데이터베이스를 구축하고 웹 등 온라인을 통한 접근 방식과 분석 도구를 제공함으로써 위의 문제점을 해결하고자 본 연구를 시작하게 되었다. 'Sinauer Associates사의 Biodiversity Database Manager'와 같은 분석을 위한 프로그램이 개발되고 있으나, 본 연구는 국내 실정에 맞는 다양성 데이터와 조사 시 필요한 여러 가지 변수 데이터를 저장할 수 있는 체계적인 데이터베이스 스키마를 구축하고 웹을 통해 접근하여 관리할 수 있는 관리 도구를 제공하고자 하였다. 이에 데이터베이스의 전문 지식을 가지고 있지 않아도 쉽게 데이터베이스에 접근하여 입력, 수정할 수 있도록 하였으며, 시시각각 변화하는 다양한 변수를 관리 도구를 통하여 제어하고 이에 반응하여 자동으로 데이터의 수정 및 이동이 시스템에 의하여 수행되게 함으로써 수작업에 의한 오류를 최대한 줄일 수 있도록 하였다. 또한 데이터 입력 시 일반적인 입력뿐 아니라 검색 시스템을 통한 입력 방식을 제공함으로써 풍부한 양의 데이터를 오류없이 손쉽게 입력이 가능할 수 있도록 하였다. 이런 관리 도구를 통하여 일관성있게 입력되어진 데이터는 분석 도구를 통하여 손쉽게 의미있는 다양한 결과를 도출할 수 있고, 다

른 데이터들과의 비교 분석이 가능하게 됨으로써 일회성 데이터가 아닌 재사용 가능한, 의미있는 데이터로 활용될 수 있을 것이다

2. 재료 및 방법

2.1. Hardware 및 software 구성

Hardware는 저장되는 데이터의 크기보다는 데이터를 가지고 계산하는 연산의 비중이 높으므로 CPU 사양과 메모리 사양을 높였다. Software는 오픈 소스이거나 무료로 사용 가능한 라이선스를 가지고 있으면서도 상용제품군과 비등한 성능을 가진 제품군들을 사용하였다. 특히 java기술은 현재 크로스플랫폼 환경이 가장 잘 갖추어졌다고 보아지는 언어이므로 필요할지 모르는 다른 환경으로의 이식을 고려해 선택하였다.

2.2. 프로그램 개발 방법

데이터를 관리하고 분석하는 프로그램을 만드는 데 있어서 기본적으로 J2SE(Java 2 Platform, Standard Edition) 기술과 J2EE(Java 2 Platform, Enterprise Edition) 기술이 사용되었으며 프레임워크로는 struts를 도입하여 제작되었다. 웹 서비스를 구현하는데 있어 MVC(Model-View-Controller)패턴을 웹에 적용시킨 Model 2를 적용하였으며⁶⁾, View계층과 Controller계층을 위해 JSP1.2, servlet2.3, Java Bean기술을 사용하였다. 또한 모델 계층을 더욱 세분화하기 위하여 DAO(Data Access Object) 패턴과 BO (Business Object) 패턴을 적용시켜 데이터에 접근하는 부분과 비즈니스 로직을 가능한 한 분리하여 구현하였다. DB연결을 위하여 JDBC(Java Database Connectivity)기술이 사용되었으며 원활한 DB Connection 관리를 위해 Connection Pool이 사용되었다.

3. 결과 및 고찰

결과는 크게 데이터베이스 스키마 구축과 이를 바탕으로한 데이터 관리도구 및 분석도구 구축의 세 가지로 구분되어질 수 있으며 데이터 관리 도구와 결과 분석도구는 현재 <http://www.ebrik.com>을 통해 접근하여 간단한 사용자 인증을 거쳐 사용할 수 있다.

Table 1. Contents of hardware and software

Hardware	Software
• CPU: Xeon 2.6MHz dual	• OS: Redhat Linux 9.0
• Main Memory: 2GB	• Web server: Jakarta Tomcat 4.1.29
• Hard Disk: 36GB	• DBMS: MySQL 4.0.16
	• J2SE version: 1_4_2_04
	• JDBC: mysql-connector-3.0.8
	• Framework : struts 1.1

3.1. 데이터베이스 스키마 (Database Schema)

생물 다양성 데이터를 저장하기 위해 5개의 database table (Project, SurveyContent, Data, Other Data, Classification)이 제작되었으며 이들은 다음과 같이 작용한다.

프로젝트 생성
1. 프로젝트 생성 화면에서 제목, 요약 기간 입력 후 프로젝트 생성 2. 프로젝트 리스트에서 생성된 프로젝트 확인
조사항목 생성
1. 프로젝트 상세보기에서 조사항목 추가 링크 접근 2. 조사항목 추가 화면에서 이름, 지점 수, 방법 입력 후 조사항목 생성 3. 프로젝트 상세보기 화면에서 확인
각각의 조사항목에 데이터입력
1. 프로젝트 상세보기 화면에서 해당 조사항목 다음조사 진행 2. 해당 조사항목 데이터 관리창으로 접근 3. 종 추가를 통해 조사된 종 및 데이터 추가 및 수 환경 데이터 입력
각 조사항목별 결과 도출
1. 데이터 관리창 메뉴의 결과 분석 링크를 통해 결과 선택화면 접근 2. 도출될 결과와 기타 옵션 선택 3. 결과 확인

3.1.1. 프로젝트 테이블 (Project table)

다양성 조사 프로젝트 전체의 기본적인 정보를 저장하는 table로 프로젝트 제목, 요약, 프로젝트 시작일과 종료일이 저장된다. 정보를 저장하는 목적보다는 하위 정보들을 묶어주는 카테고리 역할의 성격이 강한 테이블이다. ProjectNo(primary key), title, summary, owner, projectStart, projectEnd, dateTime의 7개 필드로 구성된다.

3.1.2. 조사항목 테이블 (Survey Content table)

프로젝트의 하위 조사항목의 정보들을 저장하는 table로 조사항목명, 조사차수, 조사지점수, 조사방법의 정보가 저장된다. Project table의 primary key인 prjectNo를 외래키로 참조하고 있다. 조사항목에 대한 정보를 저장하는 역할도 하지만 다양성 데이터를 입력하기 위한 테이블의 구조를 결정하는데

더욱 큰 비중을 두고 제작되었다.

한 프로젝트 밑에 여러 개의 조사항목들이 존재할 수 있으며 각 조사항목들은 서로 독립적으로 관리가 이루어질 수 있다. SurveyContentNo, projectNo, content, collectingCount, siteCount, method의 6개의 필드로 구성된다.

3.1.3. 자료 저장 테이블 (Data table)

조사된 분류군 정보와 각 조사지점, 차수, 방법별 출현 개체정보가 입력되는 테이블이다.

고정된 테이블 명이 없으며 다음과 같은 형식에 의해 조사항목에 따라 다르게 명명되어진다.

[surveyContentNo_data]
* surveyContentNo: 조사항목의 고유번호 예)조사항목 고유번호 3의 데이터 저장 테이블명: 3_data

테이블 구조 역시 고정된 것이 아니라 surveyContent 테이블에 저장된 조사항목 정보 중 조사차수, 조사지점, 조사방법을 바탕으로 유동적인 테이블 구조가 결정된다. 기본적으로 동정된 개체의 분류군 정보를 저장할 수 있는 필드들과 기타 정보를 입력할 수 있는 고정적인 필드들이 있고 그 개체의 각 차수, 지점, 방법 별 출현 개체 정보를 저장할 수 있는 필드들이 추가되는 방법으로 테이블 구조가 결정된다.

출현 개체 정보 저장 필드명은 다음과 같은 형식으로 명명되어진다.

[c_(조사차수-1)_s_(조사지점-1)_[정량일 경우 0, 정성일 경우 1]]
예)1번째 조사차수에 3번째 조사지점의 정량 데이터가 저장되는 필드명: c_0_s_2_0

즉, 필드 수는 다음과 같이 계산된다.

$[\text{필드수} = \text{분류군 정보를 저장할 수 있는 필드 수} + \text{기타 정보를 저장할 수 있는 필드 수} + (\text{조사차수} * \text{조사지점} * \text{methodCount})]$
* MethodCount : 정량이나 정성만 존재할 경우 1, 정량과 정성 모두가 존재할 경우 2

출현 개체 정보 저장을 위한 필드 외 분류군 정보와 분류군 기타정보 저장을 위한 50개의 필드는 Table 2와 같다.

Table 2. Field of taxonomic and various informations

No.	Field Name	No.	Field Name	No.	Field Name
Taxonomic Info.		18	subGenusName	35	off: Original Freshwater Fish
1	no	19	subGenusKoreanName	36	mp: Medical Plant
2	kingdomName	20	speciesName	37	ap: Aquatic Plant
3	kingdomKoreanName	21	subSpeciesName	Environmental Info.	
4	phylumName	22	varietasName	38	fs: Foreign Species
5	phylumKoreanName	23	varietasKoreanName	39	ed: Endangered Species
6	className	24	author	40	pt: Protect Species
7	classKoreanName	25	lastUpdateDate	41	es: Endemic Species
8	orderName	Various Info.		42	nm: Natural Moument
9	orderKoreanName	26	wv: Winter Visitor	43	nmm: Natural Moutment No.
10	subOrderName	27	sv: Summer Visitor	44	iss: Injurious Species
11	subOrderKoreanName	28	rt: Resident	45	gi: GIS Index
12	familyName	29	pm: Passage Migrant	46	gin: GIS Index No.
13	familyKoreanName	30	vt: Vagrant	47	ct: World Endangered Species
14	subFamilyName	31	aa: Anadromous	48	wp: World Protect Species
15	subFamilyKoreanName	32	ll: Land Lock	49	qi: Environmental Quality
16	genusName	33	ca: Catadromous	50	pi: Plant Index
17	genusKoreanName	34	rm: Rim		

3.1.4. 기타 자료 저장 테이블 (Other Data table)

다양성 조사 시 따르는 수질정보, 주변 환경정보 등 부수적인 데이터들을 저장하기 위한 테이블이다. 고정된 테이블 명이 없으며 다음과 같은 형식에 의해 조사항목과 저장되는 데이터에 따라 다르게 명명되어진다.

[surveyContentNo_dataCate_data]
* surveyContentNo: 조사항목의 고유번호
* dataCate: 저장되는 데이터 종류
예) 조사항목 고유번호 3의 DO 데이터 저장 테이블명: 3_DO_data

Data table과 마찬가지로 고정된 테이블 구조를 가지는 것이 아니라 surveyContent table에 저장된 조사항목 정보 중 조사차수, 조사지점, 조사방법을 바탕으로 유동적인 테이블 구조가 결정된다. 필드명의 명명법과 필드수의 결정은 data table과 같은 방법으로 이루어진다. 현재 수온, pH, 탁도, DO, 유속의 데이터 저장 및 관리가 가능하다.

3.1.5. 분류군 정보 테이블 (Classification table)

분류군의 정보가 저장되어 있는 테이블로서 data table의 분류군 저장 부분에 비해 더욱 상세한 분류

체계의 정보가 저장되어진다. 다양성 데이터 입력 시 이 테이블에 대한 검색 시스템을 이용하여 분류 체계 정보와 기타 정보를 오류없이 입력할 수 있다. 웹을 통한 독립적인 검색 시스템도 제공하고 있으며, 현재 19203종의 데이터가 입력되어 활용되고 있다. 관리자급의 사용자만이 이 테이블에 대해서 생성, 수정 및 삭제가 가능하며 일반 사용자는 검색과 참조만이 가능하다.

3.2. 데이터 관리 도구

데이터 관리 도구는 관리되는 콘텐츠에 따라 크게 프로젝트관리 인터페이스, 조사항목 관리 인터페이스, 조사데이터 관리 인터페이스로 구분될 수 있으며 데이터 보안 등의 문제점을 고려하여 간단한 사용자 인증을 거친 후 웹을 통해 접근할 수 있도록 하였다.

3.2.1. 프로젝트 관리 인터페이스

프로젝트 관리 인터페이스는 프로젝트 정보를 생성하고 수정하며, 이것들을 확인하기 위한 리스트화면과 상세보기 화면으로 구성된다 (Fig. 1).

3.2.2. 조사항목 관리 인터페이스

조사항목 관리 인터페이스는 프로젝트 하위에 독립적으로 관리되어지는 조사항목을 생성하고 수정

생물다양성 자료의 데이터베이스화와 온라인 관리시스템 및 분석도구 구축에 관한 연구

하며 이것들을 확인하기 위한 리스트와 상세보기 화면으로 구성된다. 특히 조사항목 수정 시 입력된 데이터들도 자동으로 이동 및 수정될 수 있도록 하여 이미 입력된 데이터에 대한 오류를 최대한 줄일 수 있도록 하였다 (Fig. 2).

3.2.3. 데이터 관리 인터페이스

조사 데이터 관리 인터페이스는 분류군 데이터, 개체 정보 데이터, 기타 조사 주변 환경 데이터 등 조사된 데이터를 입력 및 수정하고 이것을 확인하기 위한 각 데이터별 리스트로 구성된다. 검색을 통한 데이터 입력의 제공으로 높은 질의 데이터를 오

류없이 손쉽게 입력할 수 있도록 하였으며, 검색 및 정렬 그리고 시각화 정보가 적용된 리스트를 이용하여 다양한 방식으로 입력된 정보를 비교 분석할 수 있도록 하였다 (Fig. 3 and 4).

3.3. 결과 분석 도구

데이터 관리 도구를 통해 입력된 데이터를 바탕으로 Table 3과 같은 8개의 분류군별 빈도분석 방법과 4개의 다양성지수 분석방법을 적용하여 도출된 결과들을 시각화하고 차트화하여 웹을 통해 제공하는 결과 분석 도구를 제작하였다. 실제적으로는 사용자마다 필요로 하는 서로 다른 다양한 방법으로

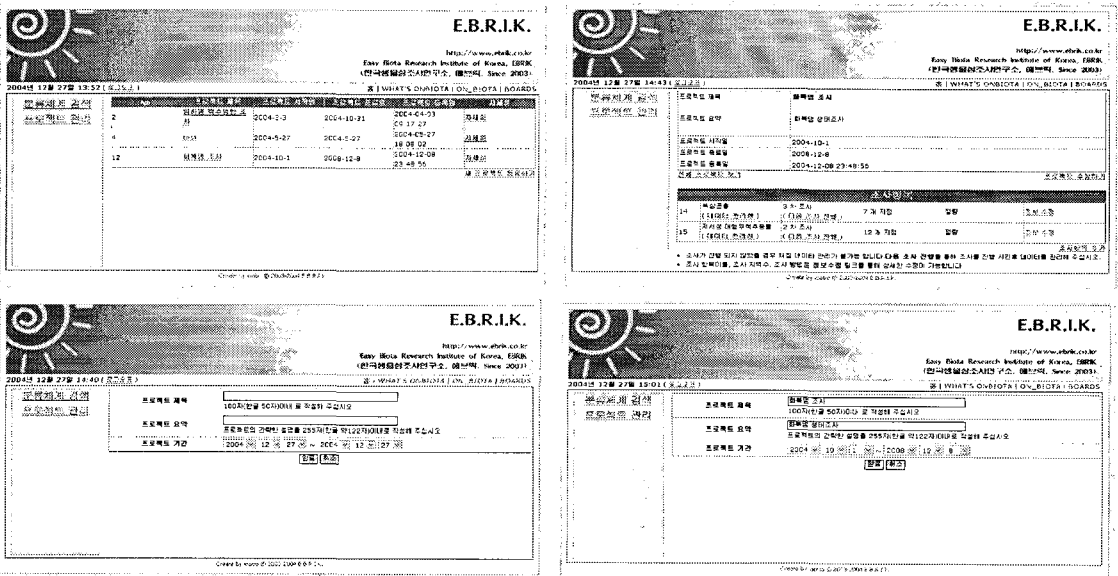


Fig. 1. Interface for project management.

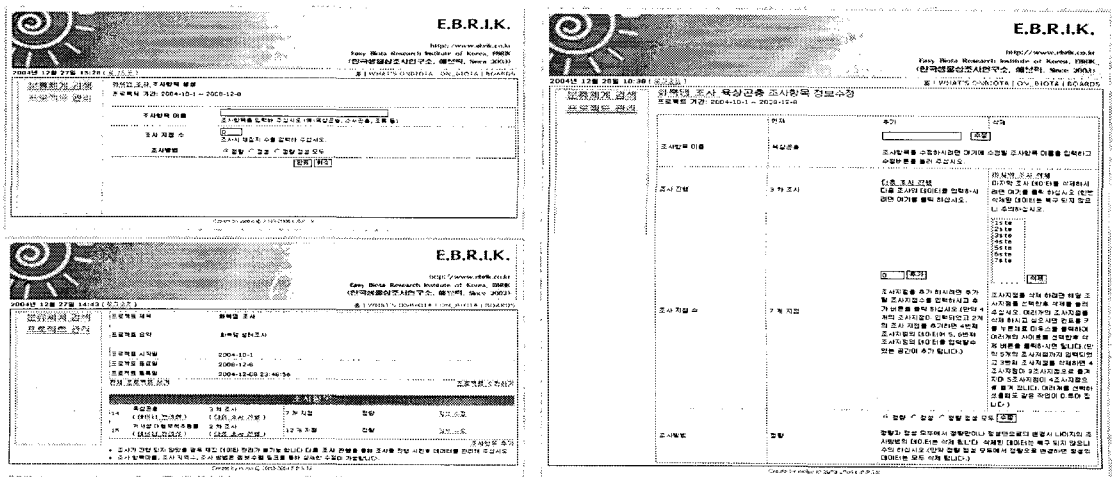


Fig. 2. Interface for survey contents.

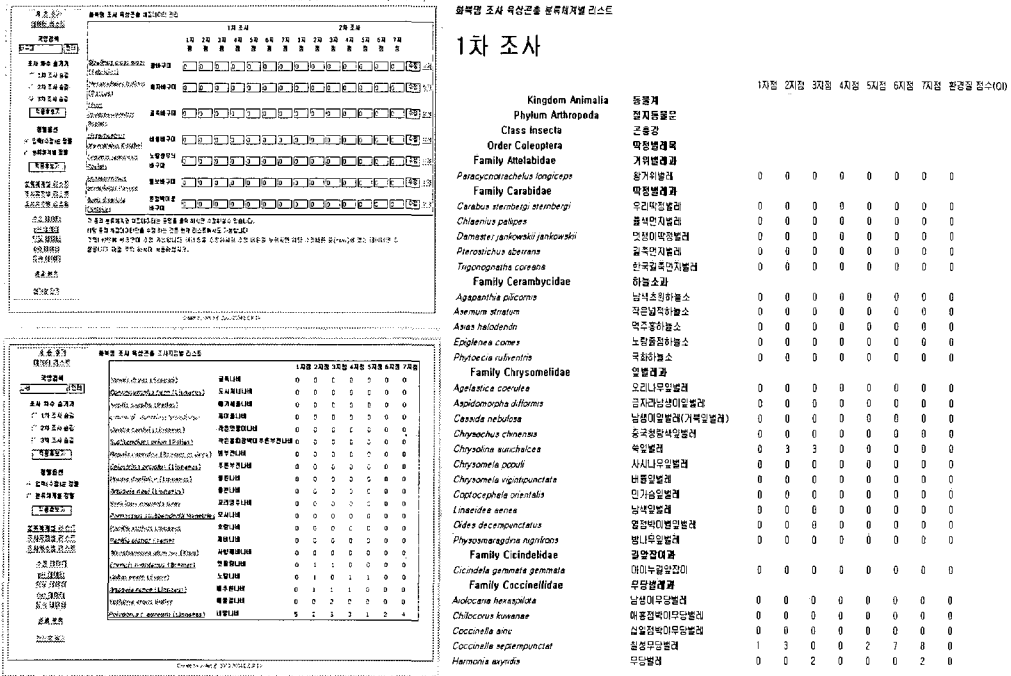


Fig. 3. Interface for management of collection (data list).

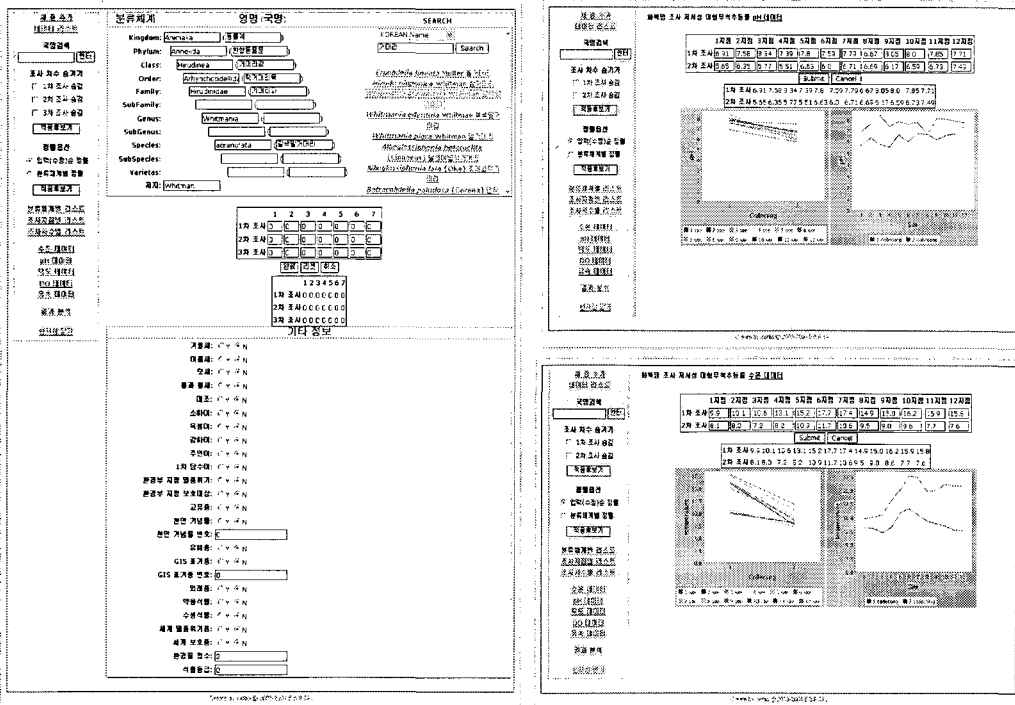


Fig. 4. Interface for searching and insertion of collection.

분석이 이루어지지만, 본 연구에서는 영남대학교 동물계통학 연구실에서 사용하는 항목을 표본으로

선정하여 이를 토대로 결과 분석 도구가 만들어졌다⁷⁾.

Table 3. Contents of analysis tool

	contents
Community analysis	<ul style="list-style-type: none"> • Summary of taxa collected at each site • Summary of taxa collected at each survey • Species richness of taxa <ul style="list-style-type: none"> - according to each site - according to each survey • Individual richness of taxa <ul style="list-style-type: none"> - according to each site - according to each survey
Diversity analysis	<ul style="list-style-type: none"> • Dominance index(DI)³⁾ $DI = (n1 + n2) / N$ <ul style="list-style-type: none"> * DI : Dominance index * N : Total number of individuals in the community * n1, n2 : Number of individual of 1st and 2nd dominance species • Diversity index(H')⁵⁾ $H' = - \sum_{i=1}^S (P_i)(\log_2 P_i)$ <ul style="list-style-type: none"> * H' : Diversity index * S : Total number of species in the community * P_i : Propotion of individual of species I in the community (P_i = n_i / N) • Evenness index⁴⁾ $EI = H' / \ln(S)$ <ul style="list-style-type: none"> * EI : Evenness index * H' : Diversity index * S : Total number of species in the community • Richness index²⁾ $RI = (S-1) / \ln(N)$ <ul style="list-style-type: none"> * RI : Richness index * S : Total number of species in the community * N : Total number of individuals in the community

추후 좀 더 연구가 진행된다면 사용자가 원하는 방식의 분석 방법을 적용하여 결과를 도출하는 맞춤형의 유동적인 결과 분석 시스템을 구축할 수 있을 것이다. 각 분석 방법에서 조사 방법이 정량 또는 정성적인 방법만을 사용하여 조사되었을 경우에는 이들의 각 방법에 대해서만 결과를 도출하고, 정량적인 방법과 정성적인 방법 모두 사용하여 조사되었을 경우에는 이들 방법에 대한 결과 뿐 아니라 정량 정성 합계에 대한 결과도 도출된다. 기본적으로 표로 도출된 결과를 보여주고 선형 또는 원형 도표를 통하여 도출된 결과들을 시각화한다 (Fig. 5 and 6).

3.4. 고찰

생물 다양성 데이터의 저장 및 관리를 위하여 3개의 고정된 DB테이블과 2개의 가변적인 DB테이블을 제작하여 파일이 아닌 일정한 형식으로 구성된 데이터베이스에 다양성 자료를 저장함에 따라 데이터를 보다 정확하고 효율적으로 저장할 수 있게 되었다. 이렇게 저장된 데이터들은 쉽게 결과 분석 되어질 수 있고 재사용 가능하며 다양한 비교분석 가능, 검색의 용이, 다양한 정렬방식 적용 등 데이터베이스의 모든 장점을 가지게 되었다.

인터넷을 통해 접근하여 데이터베이스에 저장된 데이터를 관리 할 수 있는 웹용 관리 도구를 제공하

여 DBMS에 관한 지식이 없는 사용자도 간단한 브라우저 사용법만 숙지하고 있다면 충분히 데이터 관리가 가능하며, 관리 도구에서 제공되는 검색과 선택을 통한 데이터 입력으로 질 높은 데이터를 오류없이 간편하게 입력할 수 있다. 뿐만 아니라 다양

한 환경변수 관리기능과, 변수에 따른 데이터 이동, 변환 등의 자동화를 통해 데이터 관리 시 일어날 수 있는 오류를 최대한 줄일 수 있도록 하였다.

관리 도구를 통해 입력된 데이터베이스를 바탕으로 다양한 분석 방법을 적용하여 도출된 결과를 웹

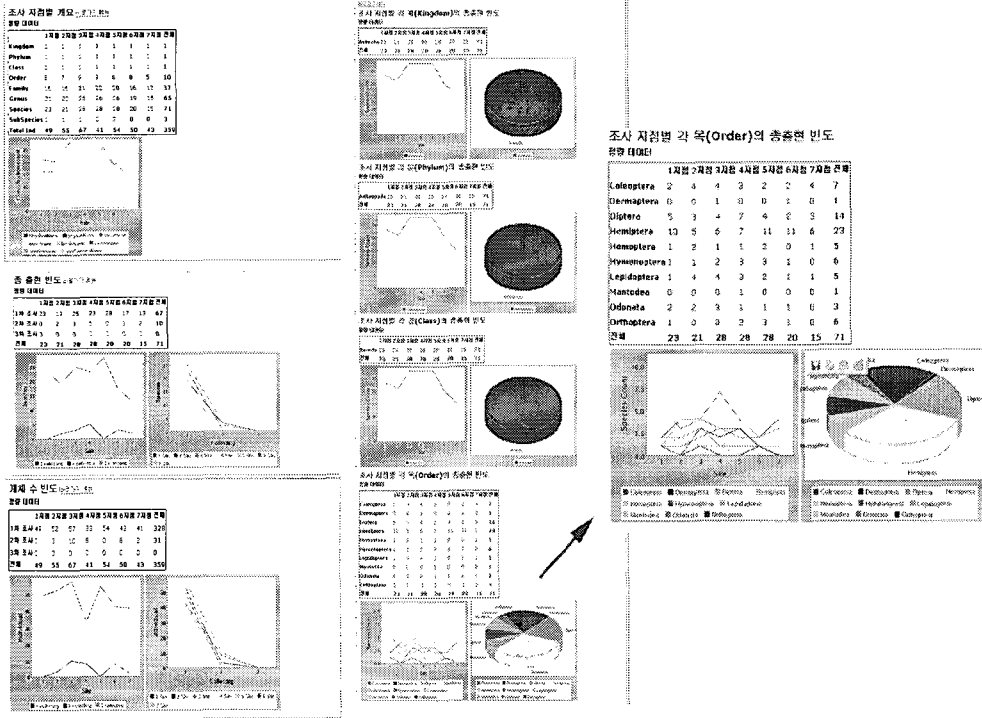


Fig. 5. Browser for community structure.

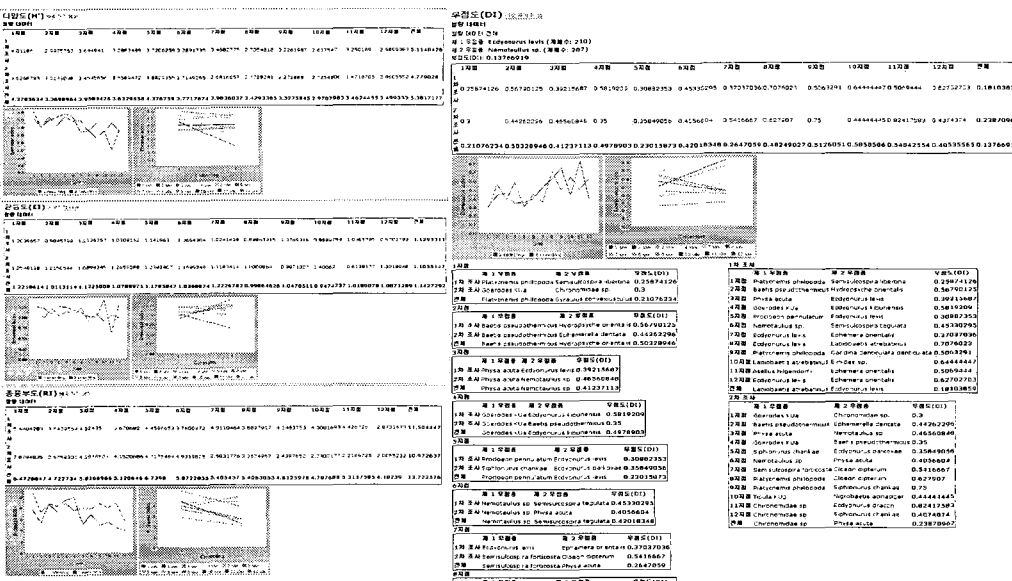


Fig. 6. Browser for biological indices.

을 통해 제공하는 결과 분석도구를 통해 시간적 부담없이 원하는 만큼 다양한 분석 방법을 적용한 결과를 정확하게 도출할 수 있다.

이러한 결과들로 데이터를 일정한 형식으로 구축된 데이터베이스에 저장하고 관리하게 됨으로써 다양성 데이터에 일관성을 줄 수 있는 방법을 제시하였고 이러한 일관성은 시간적 공간적으로 서로 다른 데이터들을 다양한 방식으로 비교 분석할 수 있게 함으로써 장기적 기간에 대한 다양성 데이터 분석의 기틀을 마련하였다고 할 수 있다.

4. 결 론

생물 다양성 데이터를 저장하기 위해 구현된 DB 테이블에 관리 도구를 통하여 데이터를 관리하고 결과 분석 도구를 통해 저장된 데이터를 분석 할 수 있게 하여 보다 손쉽고 정확한 데이터 관리와 결과 분석을 가능하게 하였으며 이런 것들을 통해 데이터에 일관성을 줄 수 있는 방법을 제시하였다. 이외에 데이터베이스 스키마를 보강하고 정규화 과정을 거쳐 좀 더 다양한 데이터를 효율적으로 저장할 수 있도록 하며, 모바일이나 무선인터넷 등 좀 더 시간적, 공간적 제약이 적은 다양한 접근 방법을 제공하는 등의 연구를 통해 많은 사용자를 이끌어낸다면 장기적이고 넓은 지역에 대한 일관적 있는 데이터를 저장 할 수 있을 것이다.

이런 다수 사용자의 일관성 있는 데이터 저장은 다양성 데이터의 표준화로 발전해 나갈 수 있을 것이며, 축적된 데이터 역시 다양한 방법으로 비교 분

석되어 장기적 기간에 대한 다양성 자료로써 활용될 수 있을 것이다. 이런 표준화와 장기적이고 넓은 지역에 대한 데이터 분석은 향후 중 다양성 변화를 예측 할 수 있는 소중한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) Cannatella, D. C., 1997, The Biodiversity Database Manager, *Systematic Biology*, 46(3), 574-575.
- 2) Margalef, R., 1958, Information theory in ecology, *General Systematics*, 3, 36-71.
- 3) McNaughton, S. J., 1967, Relationship among functional properties of California grassland, *Nature*, 216, 168-169.
- 4) Pielou, E. C., 1975, *Ecological Diversity*, Wiley-Interscience Publication, 165pp.
- 5) Shannon, C. E. and W. Wiener, 1949, *The Mathematical Theory of Communication*, University of Illinois Press, Urbana, 144pp.
- 6) Brydon, S., 2002, Architecture of the Sample Application, In: *Designing Enterprise Applications with the J2EE Platform 2nd ed.*, Sun Microsystems, Inc.
- 7) 이종욱, 류성만, 차진열, 1996, 회천의 저서성 대형 무척추동물에 의한 생물학적 수질평가에 관한 연구, *영남대학교 기초과학연구*, 16, 277-298.