

동북아 과학기술 허브로 육성을 위한 과학기술 정보인프라 구축 방안 : 유럽연합(EU)의 과학기술 협력 및 정보인프라 정책의 벤치마킹

이성호, 이형진, 윤종민, 이윤석 *

< 목 차 >

- I. 서론: 동북아 과학기술 허브 건설안 논의 및 유럽 연구개발권의 시사점 제기
- II. 네트워크 분석을 통한 과학기술의 세계화 및 역내 과학기술 네트워크 발전 분석
- III. 유럽 연구개발권(European Research Area)의 과학기술 정보인프라
- IV. 정책적 시사점: 동북아 과학기술 허브 건설을 위한 정보인프라 구축 전략

<국문요약>

참여정부의 출범과 함께 과학기술계에서는 동북아 과학기술 허브 구축방안 논의가 활발히 진행되고 있으나, 현재까지 이러한 논의는 법제도의 정비 및 과학기술특구 건설 등의 이슈에 한정되고 있는 실정이며, 더욱이 이를 뒷받침할 실증적 연구는 미미하다. 허브란 개념이 네트워크에서의 중심성(centrality)을 의미하며, 현재 및 미래의 과학기술협력 네트워크 발전에 정보통신기술이 중요한 역할을 수행함을 고려할 때, 우리나라의 초고속통신망 인프라를 십분 활용한 차세대 과학기술 정보인프라의 구축을 통한 동북아 사이버 연구네트워크상의 허브화(궁극적으로는 e-Science의 허브화를 지향)는 지역 클러스터 건설을 통한 물리적 허브화 못지않게 중요하다 하겠다.

본 연구는 먼저 네트워크 분석기법을 동아시아의 과학기술협력 네트워크에 적용하여 주요 네트워크 지수를 실증적으로 진단하고, 특히 이를 유럽연합의 과학기술협력 네트워크의 패턴과 비교분석하였다. 유럽연합은 1984년부터 과학기술 협력 프로그램인 Framework Program을 시작하여 일찍부터 역내 과학기술협력 프로그램을 운영해 온 경험을 가지고 있고, 2000년부터는 자발적 협력과 네트워킹을 통해 유럽의 연구개발 활동을 통합·조정하기 위해 새롭게 제안된 유럽 연구개발권 (European Research Area) 형성이 구체화되고 있어, 동북아 과학기술협력 네트워크를 건설하는데 좋은 벤치마킹 대상이라 할 수 있다. 이 보고서에서는 유럽 연구개발권이라는 우산 아래서 유럽의 과학기술 활동이 조정 및 통합되는 과정을 살펴보고, 이를 위한 과학기술 정보인프라의 주요 기능을 콘텐츠 (연구정보서비스와 메타데이터 표준), 시스템 (슈퍼컴퓨팅, 광대역 네트워크, GRID), e-Science 응용연구 별로 살펴보았다.

끝으로 유럽의 경험을 교훈삼아 동북아 e-Science 네트워크의 건설을 위한 정책적 시사점과 동북아 연구개발정보 Portal 및 APEC APGrid 연구망 등의 구체적인 정보인프라 구축방안을 도출하였다.

Keywords : 동북아 과학기술 허브, 과학기술 정보인프라, 네트워크 분석, 유럽 연구개발권, 연구정보시스템(CRIS), CORDIS, CERIF, GRID, e-Science

* : 과학기술정보연구원

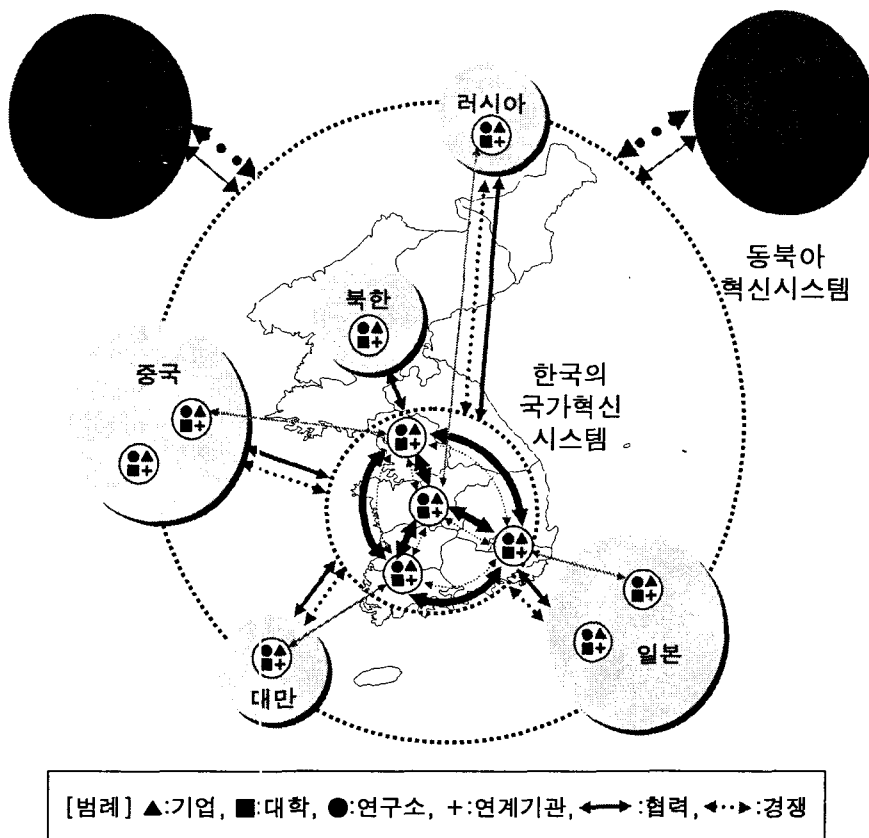
I. 서론

동북아 과학기술 허브 건설안 논의 및 유럽 연구개발권의 시사점 제기

참여정부의 국정운영의 두가지 축은 동북아 허브와 지방분권으로, 동북아 경제권 내의 협력체제 강화와 국제간 자원의 통합적 시너지 창출을 위해서는 우리나라의 국가혁신시스템을 동북아 경제권의 R&D Hub로 육성할 시책이 필요하다. 이는 동북아 한중일 3개국(Big 3)과 대만, 러시아, 북한(Plus 3)을 연결하는 범동북아 R&D Hub 구축 구상으로, 향후 EU, NAFTA의 경제 블록과 연계된 연구개발 체제 구축을 지향한다.

국과위 보고자료 (과학기술정책연구원 2003)¹⁾는 동북아 과학기술 Hub는 내적인 국가 과학기술 혁신시스템의 강화로부터 시작되며, 이는 개별연구단위의 혁신능력의 배양, 그리고 지역간 혁신클러스터의 연계 및 육성, 그리고 기술혁신 인프라 강화가 그 중심 과제이며, 동북아 과학기술 Hub 구축을 위해 동북아 R&D Hub 제도정비, 동북아 과학기술 인력 교류기반 구축, 동북아 과학기술 협의체 구성, 남북한 과학기술 협력체제 구축 등이 필요하다고 주장한다. 이와 같이 현재까지의 논의는 법제도의 정비 및 과학기술특구 건설 등의 이슈에 한정되고 있는 실정이다.

허브란 개념이 네트워크에서의 중심성(centrality/coreness)을 의미하며, 현재 및 미래의 과학기술협력 네트워크 발전에 정보통신기술이 중요한 역할을 수행함을 고려할 때, 우리나라의 발달된 정보기술산업을 심분 활용한 차세대 과학기술 정보인프라의 구축을 통해 동북아 사이버 연구네트워크상의 허브(궁극적으로는 e-Science의 허브화를 지향)를 육성할 수 있을 것이고, 이는 지역클러스터 건설을 통한 물리적 허브화 못지않게 중요하다 하겠다. 이를 위해서는 효과적인 과학기술 정보인프라 구축이 선행되어야 할 과제이다.



<그림 I-54> 다차원적 공간혁신시스템 모델 (출처: STEPI 2003)

유럽연합은 1984년부터 과학기술 협력 프로그램인 Framework Program을 시작하여 일찍부터 역내 과학기술협력 프로그램을 운영해 온 경험을 가지고 있고, 2000년부터는 자발적 협력과 네트워킹을 통해 유럽의 연구개발 활동을 통합·조정하기 위해 새롭게 제안된 유럽 연구개발권(European Research Area) 형성이 구체화되고 있어, 동북아 과학기술협력 네트워크를 건설하는데 좋은 벤치마킹 대상이라 할 수 있다. EU 프레임워크 프로그램의 하부 프로그램인 정보사회기술(IST) 프로그램과 유럽전역을 연결하는 광대역 정보 인프라를 구축하는 eEurope 2005 프로그램과 같은 EU의 과학기술 정보인프라 정책은 유럽 연구개발권의 실현에 중요한 역할을 담당하고 있다. 이 보고서에서는 유럽 연구개발권이라는 우산 아래서 유럽의 과학기술 활동이 조정 및 통합되는 과정을 살펴보고, 이를 위한 과학기술 정보인프라의 주요 기능을 콘텐츠(연구정보서비스와 메타데이터 표준), 시스템(슈퍼컴퓨팅, 광대역 네트워크, GRID), e-Science 응용연구 별로 살펴보았다. 특히 국가간의 통합과 기능들간의 시너지 창출과정에 초점을 맞추어서, 어떻게 유럽연합이 과학기술 정보인프라의 지리적, 기능적 통합을 이루어 가고 있는지를 중점적으로 살펴보고, 결론에서는 정책적 시사점을 제시해 보겠다.

II. 네트워크분석을 통한 과학기술의 세계화 및 역내 과학기술

네트워크 발전 분석

2.1. 지역 과학기술 네트워크 분석: 동아시아와 유럽연합

동아시아 국가들과 유럽의 국가들의 국제협력 네트워크를 진단하기 위하여, NSF(2002)가 ISI의 1999년 데이터를 가지고 분석한 정보를 가지고 각국의 전체 SCI논문수, 국제협력(외국연구자와 공저) 논문수, 그리고 국제협력논문 중 역내국제협력논문수와 미국과의 협력논문수를 계산하여 표 II-1과 2에 나타냈었다 (2개국 이상의 공저를 모두 개별 카운트하였으므로, 개별국가의 총합은 국제협력논문수보다 크게 됨).²⁾ 표에서 보는바와 같이 동아시아 12개국의 역내(Intra-Asia) 공동연구의 수는 미국과의 공동연구의 수보다 작은 반면 비교대상인 유럽의 경우 비록 개별국가 차원에서는 미국의 공동연구 수를 능가하지 못하지만, 12개국간의 역내공동연구의 총합은 미국과의 협력수의 3배 가까이 됨을 볼 수 있어, 역내(Intra-Europe) 과학기술 협력이 미국과의 협력보다 압도적으로 우월함을 알 수 있다.

표 II-3과 4는 NSF의 자료를 가지고 본인이 역추정하여 구한 개별국가들간의 공동연구 수를 바탕으로 UCINET6³⁾을 사용하여 네트워크 분석기법을 적용한 결과이고, 그림 II-1과 2는 네트워크 링크를 가시화하였다.

네트워크 분석은 그래프 기법을 이용하여 시스템의 구성요소간의 상호작용의 구조를 분석하는 계량적 기법으로, 네트워크 이론에서 ‘중심’ 및 ‘허브’에 대한 관심은 뿌리가 깊어 1940년대에 Bavelas와 Leavitt은 행태실험을 통해 확연하게 ‘중심’을 가진 집단은 문제해결책을 찾는 데 시간 소모가 적고 그 실행도 즉각적임을 발견하여, 네트워크의 허브에 대한 관심을 촉발시킨 계기가 되었다 (손동원 2002)⁴⁾. 이와 관련해 가장 일반적인 지표인 중심성(Centrality)은 한 구성요소가 전체네트워크의 중심에 위치하는 정도를 표현하는 지표로, 연결정도(degree)중심성, 근접(closeness)중심성, 매개(betweenness)중심성이라는 세가지 유형이 있는데, 본 연구에서는 개별 링크가 binary variable이 아닌 continous variable인 관계로 연결정도 중심성만을 분석하였다. 이와 더불어 Borgatti와 Everett의 core/periphery structure에 기반한 coreness 지표를 사용해 중심성을 분석하였는데, 이 두 지표는 대체로 비슷한 경향을 나타내었다⁵⁾

표 II-3과 4는 12개 국가를 중심성의 순서대로 재분류하였다. 동아시아에서는 미국의 압도적 영향력에 뒤이어 일본, 중국, 한국이 다음으로 중심성이 높아 역내에서는 동북아가 상대적으로 과학기술 중심의 역할을 함을 알 수 있으나, 동북아 3개국 중에는 한국이 중일에 비해 중심성이 낮게 나타났다. 동아시아 국가들의 네트워크와 유럽국가들의 네트워크 중심성을 비교하면 아시아에서는 미국의 영향력이 월등히 높고 그 다음 일본이 아시아에서는 독보적이며 한중이 일정수준의 중심성을 보이고 나머지 국가들은 주변부의 성격을 띄는데 반해, 유럽에서는 미국의 영향력이 상대적으로 약하고, 독일, 영국, 프랑스, 이탈리아 등과 기타 국가들이 비교적 고르게 중심성을 보임을 알 수 있다. 20개 이상의 공동연구 링크만을 기준으로 표시한 그림 II-1과 2는 아시아와 유럽의 역내네트워크의 밀도 차이를 선명히 나타내준다.

유럽의 역내 과학기술협력 노력이 상생에 바탕을 둔 지역간 협력을 강조하는 반면, 우리나라의 동북아 과학기술 중심 구호는 역내국가와의 국제협력보다는 미국을 중심으로 한 서구의 해외 R&D 센터를 국내로 유치하겠다는 국제경쟁력에 초점이 맞추어진 듯 보이는 것도 이와 무관치 않다 하겠다. 단기적 관점에서 제로섬 게임인 구미의 동북아 R&D 센터를 한국으로 유치하려는 경쟁노력에서, 보다 장기적 안목으로 동북아 국가간의 윈-윈 게임으로의 상호협력을 선도적으로 발전시키려는 협력노력으로의 전환이 필요하다 하겠다.

	China	Hong Kong	India	Indonesia	Japan	Malaysia	Philippines	Singapore	South Korea	Taiwan	Thailand	Vietnam	Total
Intra-Asia	1,545	545	451	97	1,698	212	100	258	609	353	195	58	6,123
USA	1,189	305	706	64	3,923	34	62	226	1,153	701	137	17	8,519
Int'l articles	3,962	1,053	1,894	232	9,275	344	199	678	2,016	1,168	435	141	21,397
Total articles	13,815	2,393	10,272	276	52,711	618	282	2,022	7,772	6,276	718	176	97,331

<표 II-1> 1999년 동아시아의 국제협력연구 (NSF 2002의 원자료를 가지고 재구성)

	Belgium	Denmark	Finland	France	Germany	Italy	Netherlands	Norway	Spain	Sweden	Switzerland	U.K.	Total
Intra-EU	3,767	2,879	2,187	10,059	11,245	7,369	5,178	1,779	4,508	4,095	5,290	10,724	69,081
USA	877	785	622	3,448	5,465	2,728	1,674	458	1,387	1,324	1,718	4,924	25,410
Int'l articles	3,733	2,813	2,214	13,905	18,340	8,551	5,654	1,589	5,569	4,887	5,385	16,806	89,446
Total articles	7,112	5,796	5,266	35,109	47,714	21,715	13,712	3,542	15,372	11,093	10,284	49,221	225,935

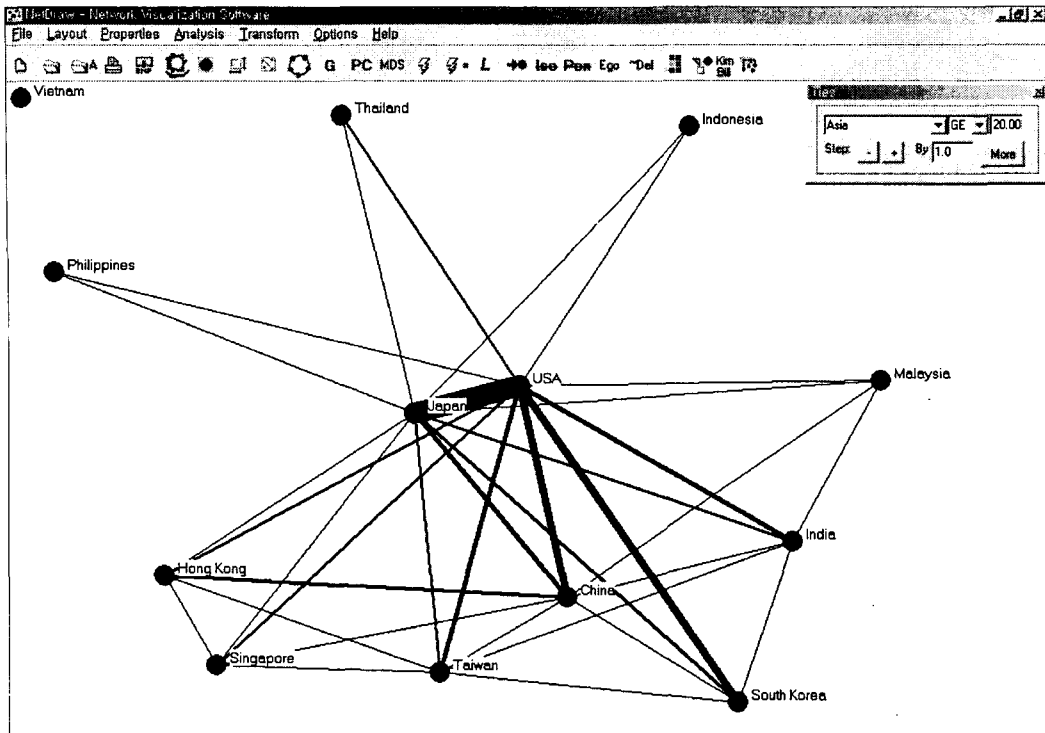
<표 II-2> 1999년 유럽의 국제협력연구 (NSF 2002의 원자료를 가지고 재구성)

	USA	Japan	China	South Korea	India	Taiwan	Hong Kong	Singapore	Thailand	Malaysia	Indonesia	Philippines	Vietnam
USA	0	3,923	1,189	1,153	706	701	306	226	137	34	64	62	17
Japan	3,923	0	650	417	195	130	32	28	93	37	60	37	19
China	1,189	650	0	91	67	99	428	119	16	59	4	12	4
South Korea	1,153	417	91	0	32	26	11	12	6	5	2	2	2
India	706	195	67	32	0	34	9	13	8	66	8	13	4
Taiwan	701	130	99	26	34	0	25	27	4	3	1	3	1
Hong Kong	306	32	428	11	9	25	0	29	5	6	1	5	0
Singapore	226	28	119	12	13	27	29	0	8	15	3	1	3
Thailand	137	93	16	6	8	4	5	8	0	15	10	18	13
Malaysia	34	37	59	5	66	3	6	15	15	0	2	0	4
Indonesia	64	60	4	2	8	1	1	3	10	2	0	5	6
Philippines	62	37	12	2	13	3	5	1	18	0	5	0	3
Vietnam	17	19	4	2	4	1	0	3	13	4	6	3	0
Total	8,519	5,620	2,738	1,760	1,156	1,054	859	485	332	248	166	162	75
Coreness	0.783	0.517	0.252	0.162	0.106	0.097	0.079	0.044	0.031	0.023	0.015	0.015	0.007
Centrality	0.368	0.243	0.118	0.076	0.050	0.045	0.037	0.021	0.014	0.011	0.007	0.007	0.003

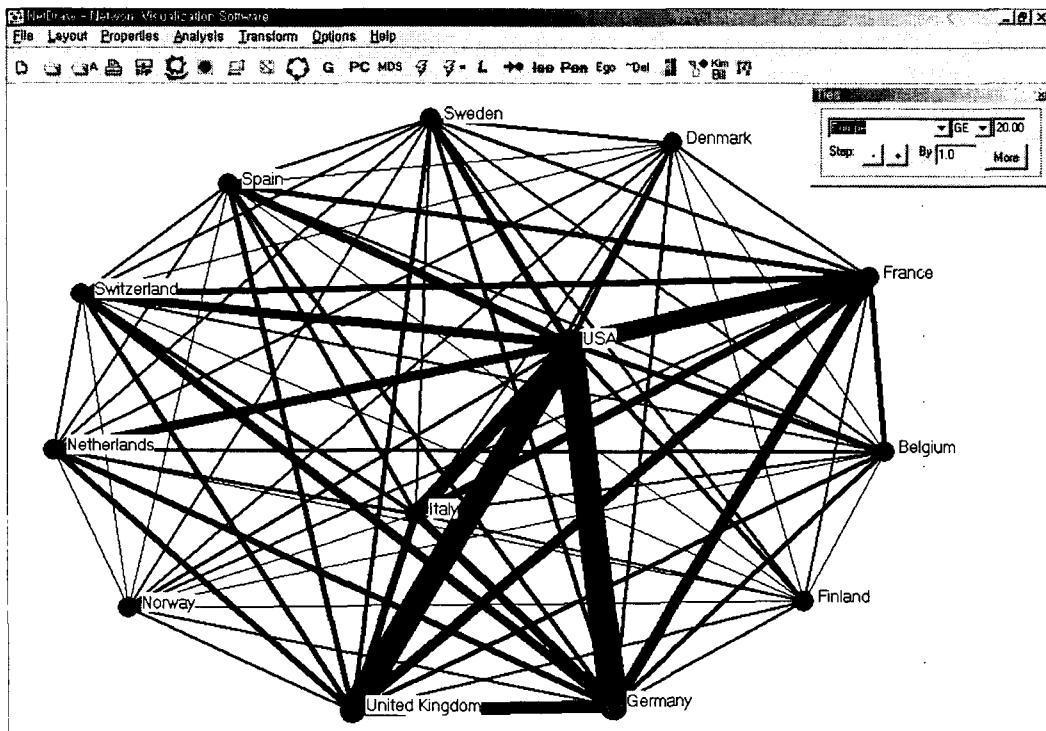
<표 II-3> 1999년 동아시아의 국제협력연구 네트워크 분석 (원자료: NSF 2002)

	USA	Germany	U.K.	France	Italy	Switzerland	Netherlands	Spain	Sweden	Belgium	Denmark	Finland	Norway
Coreness	0.623	0.410	0.384	0.331	0.248	0.172	0.168	0.145	0.133	0.114	0.090	0.069	0.055
Centrality	0.212	0.139	0.131	0.113	0.084	0.058	0.057	0.049	0.045	0.039	0.031	0.023	0.019

<표 II-4> 1999년 유럽의 국제협력연구 네트워크 분석 (원자료: NSF 2002)



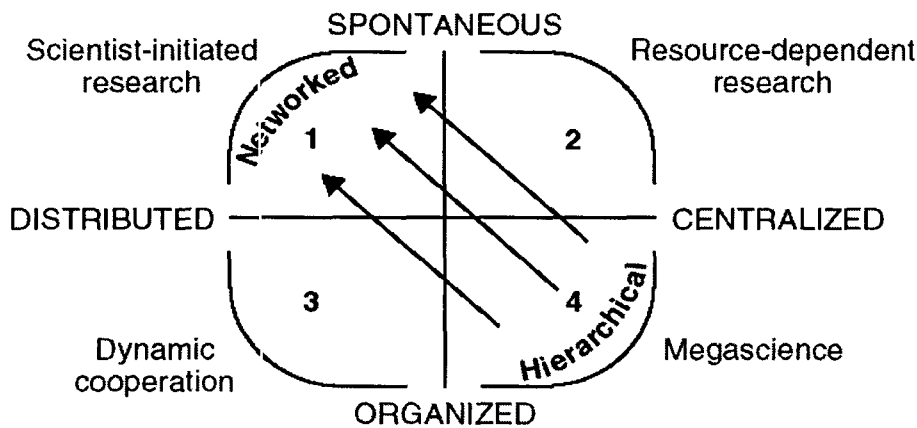
<그림 II-1> 동아시아의 국제협력연구 네트워크 분석



<그림 II-2> 유럽의 국제협력연구 네트워크 분석

2.2. 과학기술 허브 육성을 전략적 방안과 정보인프라의 역할

미국 RAND 연구팀(Wagner, 이성호 외 2003)이 한국과학재단의 용역을 받아 작성한 보고서는 국제공동연구를 활성화함에 있어서 획일적인 정책을 수행하기 보다는 국제공동연구의 성격에 따라 그림 II-3과 같이 분산 대 집중, 자발적 대 조직화의 두 축으로 국제공동연구를 분류해 과학자 주도의 연구, 역동적 협력연구, 자원의존적 연구, 거대연구로 나누고, 각각에 대한 적절한 육성방안을 제시하였다⁶⁾. 이 보고서는 특히 정보기술의 발전과 함께 국제공동연구의 경향이 Hierarchical한 방향으로부터 Networked한 방향으로 진화하고 있음을 강조하고, 정보인프라에 대한 투자의 중요성을 강조한다.



<그림 II-3> 국제공동연구의 조직 구조 (출처: Wagner 외 2002)

본 연구에서는 정보인프라가 구체적으로 어떻게 국제공동연구를 활성화시키는지 유럽연합의 사례를 바탕으로 살펴보고자 한다. 예를 들면 통합된 연구정보시스템의 구축을 통해 유럽내의 다른 연구자들이 현재 어떤 연구를 진행하는지를 실시간으로 알 수 있게 되어 손쉽게 자발적으로 연구파트너를 찾을 수 있어, 개별 과학자 주도의 spontaneous-distributed research를 활성화할 수 있게 된다. 고성능 연구망을 통해 각종 연구장비 및 컴퓨팅 자원을 공유하는 그리드라는 차세대 정보기술을 통해 연구자들이 더 이상 대용량 연구장비나 연구대상 자원이 존재하는 곳으로 모일 필요가 없이 각자의 랩에서 분산적으로 협동연구를 수행할 수 있게 해 준다. Megascience의 대표적 예였던 유럽의 CERN의 주도 아래 진행되고 있는 유럽 데이터 그리드 프로젝트는 수 천명의 연구자가 각자의 랩에서 원격으로 CERN 및 유럽의 대형실험장비를 활용해 공동연구를 수행할 수 있는 사이버 연구환경을 구축하기 위해 연구와 테스트베드 사업을 진행 중이다. Organized-distributed research의 대표적 예인 휴먼지놈프로젝트의 성공에 따라 대용량의 인간 유전자 정보의 분석이 가능하게 되었고, 미국, 유럽, 일본은 이 데이터를 실시간으로 서로 공유함으로써 바이오인포메틱스란 신기술을 활용해 생명공학의 발전에 박차를 가하고 있다.

다음 장에서는 지역내 공동연구 활성화를 위한 정보인프라의 역할을 유럽연합의 사례를 통해 보다 자세히 살펴보고자 하겠으며, 마지막 장에서는 동북아 과학기술 협력 체제를 한국이 선도적으로 주도하기 위한 방안을 제시하도록 하겠다.

III. 유럽 연구개발권(European Research Area)의 과학기술정보인프라

3.1. 유럽 연구개발권과 프레임워크 프로그램

유럽연합의 연구기술개발(RTD: research and technological development) 프로그램은 EU가 직접 시행하는 공동 연구기술개발 프로그램인 프레임워크 프로그램(Framework Programme), EU가 지원하는 국가간 공동연구기술개발프로그램으로 유레카 프로그램 (EUREKA: European Research and Cooperation Agency), 유럽과학기술연구협력 (COST: European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research), 유럽과학재단 (ESF: European Science Foundation), 그리고 기타 EU와 간접적으로 관련된 프로그램으로 유럽우주기구 (ESA: European Space Agency), 유럽합동원자핵연구기관 (CERN: Conseil European pour la Recherche Nucleaire), 유럽분자생물학연구소 (EMBL: European Molecular Biology Laboratory), 에어버스 (Airbus) 등을 포함한다.⁷⁾

회원국의 연구개발 정책과 유럽 연합의 연구개발 정책이 상호 중복되거나 일체성이 없다는 문제가 1999년 EU의 연구개발 담당 각료회의에서 토의되었고, 유럽 의회도 EU의 연구개발에 대한 문제를 지난 몇 년간 주요 의제로 다루면서, 2000년 초 새로 부임한 연구 집행관 Philippe Bisquin이 유럽의 연구정책을 조정·통합하기 위한 유럽 연구개발권(European Research Area)의 형성을 지향하는 “Toward a European Research” 사업을 제안했는데, 이 제안은 2000년 3월 리스본에서 열린 EU 정상회의와 2000년 5월 유럽 의회에서 전폭적인 지지를 얻어, 이에 따라 EU의 프레임워크 프로그램은 중복된 다수의 소형 사업들에서 소수의 대형 사업들로 출연패턴을 조정하였다. 자발적 협력과 네트워킹을 통해 유럽전체를 포괄하려는 유럽 연구개발권의 목적은 다음과 같다 (EU 2002).

○ 연구개발 활동 : 유럽 연구개발 활동의 성과를 제고하기 위하여 국가 연구개발사업을 상호 연계하고 유럽내 연구개발 기관간의 협조체제를 구축한다. 분야별 우수 연구센터를 서로 연결하여 Networks of Excellence를 구축하고, 이를 바탕으로 상호교류를 위한 Virtual center를 설치하고 대형의 목표지향적 연구를 추진한다.

○ 기술혁신-신기술 창업과 중소기업육성: 중소기업의 연구개발 지원을 강화하고 기술의 확산, 이전, 활용을 지원하여 유럽의 기술혁신능력과 신기술 창업 및 연구개발 결과의 상업화 지원을 강화한다.

○ 연구인프라 확충 : 대형 연구장비의 건설과 이를 초고속연구망을 통해 공동활용하는 유럽차원의 정책을 수립·추진한다.

○ 인력 개발 : 유럽을 지식기반 사회로 전환시키기 위한 인력 자원의 확충과 함께 인력의 국가간 교류를 더욱 활성화한다. 여성의 역할을 강화하고 역외 과학기술자의 유입을 장려한다.

○ 연구개발 및 기술혁신의 촉진을 위한 정책 수단 및 자원의 활용 극대화 : 연구개발 간접 지원제도, 특허제도, 벤처캐피탈 등에 대한 EU 차원의 정책을 수립한다.

○ 연구개발 정책의 추진을 위한 유럽 공동의 정책자료 조사·분석 체제를 구축한다.

EU의 프레임워크 프로그램은 1984년에 1차 프로그램이 착수된 이래, 1987년에 Single

European Act 재정으로 과학기술연구가 EU의 책임영역으로 편입되며 중요한 정책분야로 등장하였다. 1993년에 Treaty on European Union (유럽연합조약, 일명 마스트리히트 조약)에서 경제통화연합, 과학기술연구에 있어 유럽연합의 기능과 역할이 강화되었다. 근래의 연구개발 자원배분 정책의 추세는 선택과 집중으로 표현할 수 있으며, 프레임워크 프로그램의 우선 분야 도출을 위해 적용되는 구체적인 기준은 다음과 같다.

- 연구비용 및 연구의 규모가 개별 국가의 부담 능력을 초과하여 지역국가들의 연구개발 자원을 공동 활용할 필요가 있을 경우
- 연구개발사업의 성격상 규모의 경제가 존재하는 경우
- 학제간 연구, 비교 연구 등 연구의 내용이 국가간 협력을 필요로 하는 경우
- EU의 정책 및 입법과 관련된 분야, 특히, 기업분야, 정보사회, 농업,
- 환경, 에너지, 운수, 보건, 소비자 보호, 고용, 사회, 교육, 무역, 개발 등
- 연구내용의 초국가성(Transnational)으로 지역 단위의 공동연구가 불가피한 경우

이런 전략을 구체적으로 실현하기 위해 6차 프레임워크 프로그램이 2002년 11월부터 브뤼셀 컨퍼런스에서 출범하였으며, 위의 선정기준을 바탕으로, 전체예산 163억 유로 중에서 113억 유로가 다음의 7가지 전략적 연구개발 주제 (①보건을 위한 유전학 및 생명공학기술 (BT), ②정보 사회 기술 (Information Society Technology - IT), ③나노기술 및 나노과학 (NT), ④항공 및 우주과학 (ST), ⑤식품 안전, ⑥지속가능한 개발, 기후변화 및 생태계 (ET), ⑦지식기반사회에서의 시민 및 통치)에 투자될 예정이다. 이는 우리나라의 6T사업의 전략적 육성과 유사한데, 우리도 독자적으로 6T사업을 추진하기 보다는 동북아 역내 국가들과 협력적으로 사업을 추진하는 것을 고려할 필요가 있다고 하겠다.

프레임워크 프로그램은 주제별 연구프로그램을 통한 연구개발과제의 통합노력과 동시에, 유럽 연구개발권을 조직화하는 프로그램 ("Structuring European Research Area")⁸⁾을 실행한다. 이 중 연구 인프라 프로그램은 32개국의 3000개 이상의 대학과 연구소를 상호연결하는 초고속 광대역 브로드밴드 구축을 추진하는 e-Europe 프로그램⁹⁾과 더불어 유럽에 최고 수준의 연구 인프라를 구축하고 이의 최적 활용의 장려를 목표로 하며, 구체적인 세부목표는 다음과 같다.

- a. 연구 인프라에의 초국경적 접근
- b. 대륙규모의 인프라 건설 및 인프라 컨소시엄을 통해, 유럽연합 전역에 서비스 제공을 가능케 하고 협력 네트워크 구축 및 공동연구사업의 집행을 지원하는 통합 활동의 실행
- c. GEANT (Gigabit European Academic Network)사업과 전자출판 서비스의 토대 위에 유럽의 초고속 고성능 통신 인프라를 구축하며, 가능하다면 GRID 타입의 아키텍처에 기반
- d. 유럽투자은행 및 구조기금 (Structural Funds)의 지원 가능성을 모색하며, 잠재이용자들의 요구를 반영한 새로운 유럽연합의 인프라의 창출에 대한 타당성 조사 및 준비 작업의 수행
- e. 중대한 촉매효과를 갖는다고 인정된 새로운 인프라 사업 발전에만 집중적으로 지원함으로써 유럽 인프라의 활용을 최적화

3.2. 연구정보시스템 정책 및 표준 동향

연구정보시스템 (CRIS: Current Research Information Systems)의 주된 목적은 진행중인 프로젝트들에 대한 과학자들간의 커뮤니케이션을 향상시키는 것과, 국가 연구개발 프로그램의 관

리자들에게 효과적인 정보기반을 제공하는 것이다. 산업정책이 혁신의 촉진을 이루기 위해서는 전통적인 연구개발뿐 아니라, 파트너, 결과물, 전문성 및 장비 등에 대한 다양한 정보가 필요하다. 이에 따라 전통적으로 연구 프로젝트의 등록을 주로 담당했던 CRIS는 폭넓은 범위의 정보원을 포괄하는 우산역할의 수행을 요구받고 있다.

현재 유럽차원에서 운영되는 연구정보시스템은 유럽 개별국가 연구정보시스템의 포털 및 통합 검색시스템인 DRIS와 ERGO, 그리고 유럽연합의 CORDIS가 있고 그 구체적 내용은 아래와 같다.

1) Directory of Research Information Systems (DRIS)¹⁰: 전세계의 110여개의 데이터베이스를 포함하는 연구정보시스템의 포털로서, 포함된 데이터베이스들은 연구기관, 과학자, 현행연구 프로젝트들에 관한 정보를 제공한다. DRIS는 NIWI (Netherlands Institute for Scientific Information Services)에 의해 제작되었으며, 특히 유럽의 연구정보시스템에 초점이 맞추어져 있다.

2) European Research Gateways On-line (ERGO)¹¹: 유럽연합 및 관련 국가들의 연구개발 프로젝트들에 대한 인식을 촉진키 위해 유럽집행위원회가 euroCRIS¹²를 통해 개별 국가의 연구개발정보 제공자들과 협력하는 선도프로그램으로, 영어기반인 파일럿 카탈로그는 21개의 서비스 제공자로부터 수집된 94,790개의 프로젝트 레코드를 관리하며, 주요 데이터항목은 연구개발 프로젝트명, 프로젝트 초록, 키워드 등의 모든 기본정보를 포함하고, 보다 상세한 자료를 원할 시는 개별 국가데이터베이스 정보제공자를 접촉할 수 있다.

3) Community Research & Development Information Service (CORDIS)

CORDIS (<http://www.cordis.lu/en/home.html>)는 유럽연합 R&D 프로그램의 중요한 정보출처로서, 영어, 불어, 독어, 스페인어, 이탈리아어를 지원하며, 크게 연구프로그램 정보, 혁신정책 정보, 데이터베이스관련 서비스, 국가 및 지역 게이트웨이, 정보지원 서비스를 포함하는 정보서비스를 제공함으로써 EU 출연연구 프로젝트에 참여하거나, 파트너를 찾거나, 혁신아이디어를 전파하는 일 등을 돕는다.

연구프로그램 정보서비스는 European Research Area의 2002년 이후의 연구개발 계획과 관계된 기본정보 (www.cordis.lu/rtd2002)와 6차 프레임워크 프로그램의 모든 활동 및 유럽출연 프로젝트에의 참여절차를 상세히 기술한 '6차 프레임워크 프로그램 서비스' (www.cordis.lu/fp6)를 제공하며, 과거 4차와 5차 프레임워크 프로그램에 대한 정보 역시 제공한다. 그 밖에 유럽연합의 나노기술(www.cordis.lu/nanotechnology)과 eContent에 대한 정보(www.cordis.lu/econtent)를 제공한다. 혁신정책 정보 서비스를 통해서도 유럽연구기관의 디렉토리 및 혁신정책, 정책연구, 혁신지표, 혁신 금융시스템, 그리고 유럽전역의 혁신 릴레이 센터와 800여개의 인큐베이터의 게이트웨이를 제공한다.

데이터베이스관련 서비스는 5개국어로 유럽에 관련된 연구 및 혁신 활동 등에 대한 전반적인 정보를 5개 국어로 제공하는 뉴스서비스 (www.cordis.lu/news), 협동연구를 위한 잠재적인 파트너 검색을 온라인상에서 도와주는 파트너 서비스 (www.cordis.lu/partners-service), 최신 연구결과 및 기술을 검색하거나 등록할 수 있는 가상 기술거래시장 (www.cordis.lu/marketplace), 유럽의 연구개발 지원 서비스 기관에 대한 상세한 연락처 정보 (www.cordis.lu/contacts), 연구개발 보고서, 컨퍼런스 페이퍼, 프로젝트 보고서, 과학논문과 유럽집행위원회의 혁신관련 정기간행물을 다운로드 받을 수 있는 도서관 서비스 (www.cordis.lu/library) 및 9종의 CORDIS 데이터베이스

스를 종합검색하는 서비스가 있다. 특히, 6차 프레임워크 프로그램의 기금은 다수의 파트너간의 연구제안에 우선권이 주어지므로, CORDIS 파트너 서비스는 컨소시엄 구축의 이상적인 시작점이 될 수 있으며, 잠재적인 연구 파트너의 흥미를 유발하기 위해 연구자의 아이디어나 전문성을 제시할 수도 있고, 또는 관심분야의 협력 파트너를 직접 검색할 수 있다. 그 밖에 CORDIS는 15개 국가의 국가정보서비스 및 시범 지역의 정보를 종합적으로 제공하는 국가 및 지역 게이트웨이 서비스와 개인 맞춤정보 (www.cordis.lu/mycordis) 등을 포함한 정보지원 서비스를 제공한다.

유럽전역에 걸쳐 다양한 출처의 자료에 대한 접근성 및 상호운용성을 향상시켜 정보확산을 촉진키 위해서는 공통된 질의 인터페이스가 필요하며, 이러한 공통 인터페이스는 단지 교환되어지는 콘텐츠만이 아니라, 콘텐츠의 형태인 메타데이터도 다루어야 하며, 적어도 개요차원에서는 공통된 방식으로 표현되어야 한다. 이러한 필요에 따라 CERIF (Common European Research Information Format)가 1991년에 처음 공표되었고, 인터넷 및 WWW과 같은 신기술이 출현함에 따라 개정작업에 들어가 CERIF 2000이 탄생하였는데, 이는 가이드라인, 데이터베이스 스키마, 메타데이터와 연구정보시스템 개발을 위한 일련의 틀과 솔루션 등의 집합체로서, 연구프로젝트 정보뿐만 아니라, 조직, 개인, 결과물 (제품, 특허, 논문 등), 전문성, 장비 및 설비 등으로 정보의 범위를 확장하였다. 한편 새롭게 공표된 CERIF 2002 모델¹³⁾은 1) Semantic Web, 분산 데이터베이스, XML, Web Services에 기반한 분산 정보 검색 및 재생, 2) 서술논리와 추론에 기반한 고급 의미론적 정보 검색, 3) ERP, Warehousing, 프로젝트 관리, 기업포탈 등의 비즈니스 프로세스, 4) 설치, 구현, 개발, 유지의 용이성을 추구한다.

3.3. 연구 인프라: 초고속 연구망 GEANT와 그리드

유럽의 과학자들은 GEANT 프로젝트에 의해 이미 세계에서 가장 빠르고 광범위한 연구망(10 Gbit/s)을 이용하게 됨으로써 유럽 연구개발권의 기반을 구축했고, 이에 따라 세계 다른 지역들이 유럽연구망과 연결되기를 희망하게 됨으로써 유럽을 글로벌 플레이어로 격상시키고 있다. 앞서 언급한 “Structuring ERA” 프로그램은 연구인프라 네트워크를 장차 100 Gbit/s 이상으로 업그레이드하여, 유럽전역이 지식을 공유하고 복잡한 문제를 협력해서 해결할 수 있게 하는 유럽연구공동체를 실현하기 위한 주춧돌이 되게 하기 위한 목표를 가지고 있다.

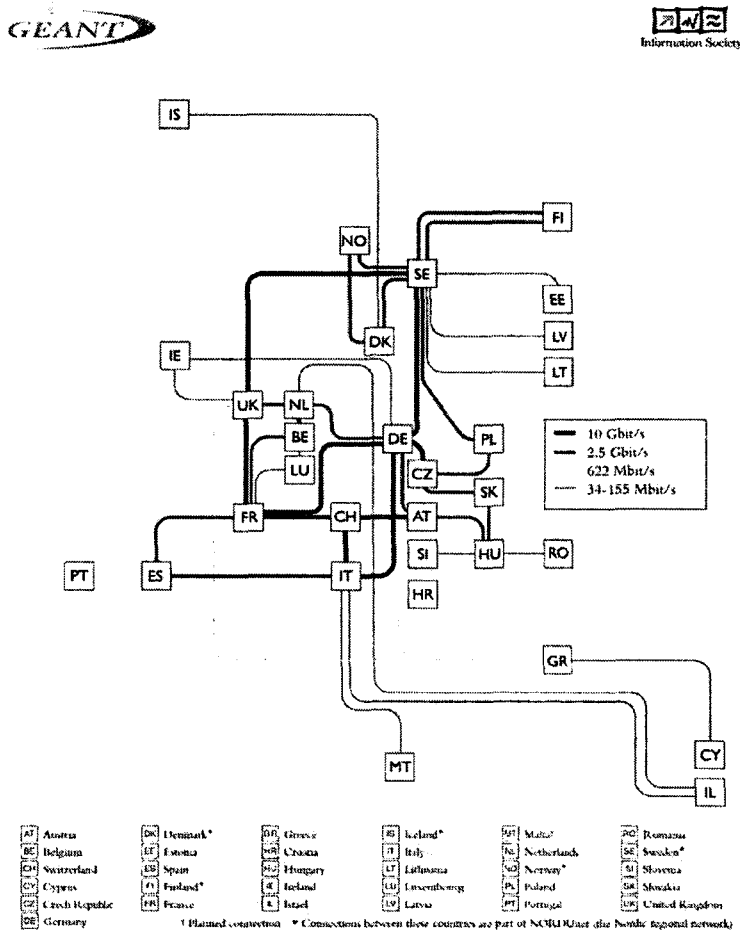
DANTE (Delivery of Advanced Network Technology to Europe Ltd.)는 1993년에 유럽 각국의 연구망을 연동하는 범 유럽 연구전산망을 구축하고 관리하기 위하여 창설한 비영리기관으로서 영국의 캠브리지대 내에 설치된 기관이다. 재원은 유럽 각국의 국가 연구망(NRN: National Research Network)들이 단테의 주주기관으로 참여하면서 예산 일부를 지원하고, 동시에 EC 정부에서 추진하는 범유럽 연구망 구축 관련 프로그램을 수행을 하여 예산지원을 받는다. 단테는 2000년 6월부터 IST2000프로그램의 일환으로 30개 국가 NRN (National Research Network)이 컨소시엄으로 추진하는 GEANT 사업 추진에 참여하는데, GEANT는 연간 4천만 유로화(약 600 억원)를 EC정부가 투자하기로 계약한 사업으로 주된 내용은 NRN간 연동을 위하여 기가비트 네트워크를 구축하는 것이다. 그 외에도 GEANT 사업은 다른 대륙과의 초고속망 구축과 이를 위한 첨단 통신기술을 제공하는 임무도 포함하고 있다. 참고로 TEIN은 한국(아시아)과 유럽을 연결하는 연구망 및 테스트베드로서 양 대륙간 공동 연구의 활성화에 큰 공헌을 할 것으로 예상된다.¹⁴⁾

EU의 정보사회기술(IST) 프로그램에서는 고성능 연구망 환경을 기반으로 대부분의 정보관련

기술개발들이 수행되도록 계획을 수립하고 있으며, 이들 기술개발 결과를 연구망의 응용연구 테스트베드에서 활용 및 성장시키는 과정을 통해 관련 기술을 널리 확산시키고 홍보하는 전략을 추진하고 있다. 과학기술정보연구원의 연구보고서(2001)는 우리나라도 국제 R&D 네트워크 또는 테스트베드 구축사업 시에 정보통신 기술개발 또는 응용 연구와 긴밀히 연계할 수 있는 연구개발 계획 및 망구축 계획이 수립되어야 할 것이라고 제안한다.

유럽의 응용연구 선정은 EU에서 추진하고 있는 IST 프로그램에 의해서 큰 연구 방향이 결정되는데, 프레임워크 프로그램에서 포방되었던 국제 공동 연구의 목적은 상호 호환성 및 표준화를 위한 전 세계적 공감대 달성; 망 연동 국가와의 과학기술 공동 연구 강화; EU의 IST 참가자와 외부세계의 산업계간의 비즈니스 측면의 협력 강화; 전 세계에 산재되어있는 최고의 기술과 전문가 접속 등을 포함한다.

<그림III-1>GEANT위상도(출처:www.dante.net/geant/Schematic1.jpg)



Multi-Gigabit pan-European Research Network
Backbone Topology July 2002



GRID는 엄청난 자원과 인력이 필요한 고난도의 과제를 효율적으로 수행하기 위해 곳곳에 산재한 고성능 컴퓨터, 대용량 데이터베이스, 전문 인력 등 각종 IT 자원을 고속의 네트워크로 묶어 공유, 활용토록 하는 협업 시스템으로, EU의 연구기술개발 노력이 연구기관간에 결집력과 상호

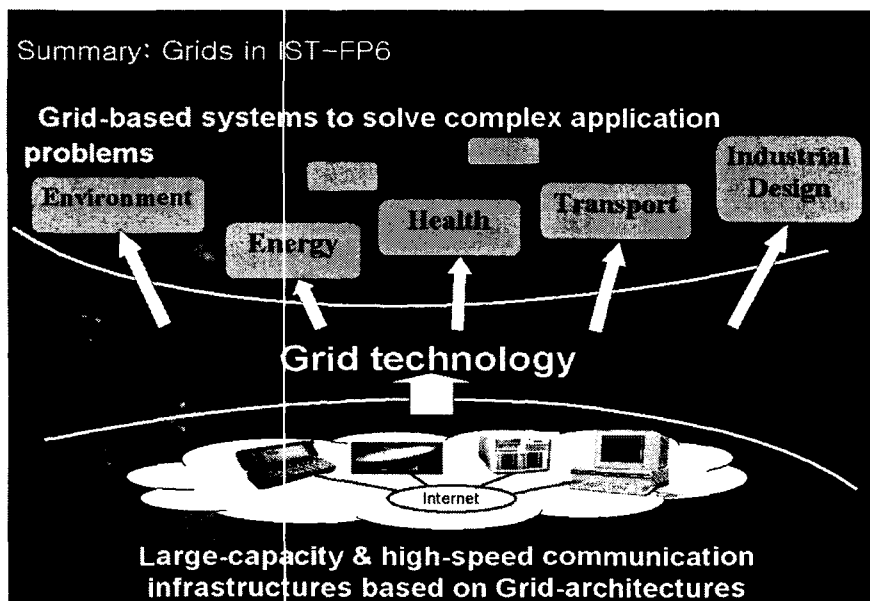
운영성을 강화하고, 지식의 상호진작 및 규모의 경제를 실현하여, 연구의 가치를 향상시키고 효과를 배가하고자 함에 따라, 그리드는 IST 프로그램의 주요한 인프라가 되고 있다. 2002년 10월 현재, DATAGRID, CROSSGRID, DATATAG, EUROGRID, GRIP, DAMIEN, GRIDLAB, GRIA, ESGO, GRIDSTART 등의 19개 그리드 프로젝트가 IST로부터 총 5,000만 유로의 출연을 받고 있다.

GRID 기술의 연구와 초고속 연구망의 업그레이드는 상호보완적으로 차세대 인터넷으로의 진화를 이끌어간다.¹⁵⁾ 6차 프레임워크 프로그램은 그리드를 세계적 규모의 협업을 지원하고, 무한한 정보에의 접근을 가능케 하며, 새로운 지식을 창출하고 공유하는 주요한 수단으로 활용하고자 하며, 이에 따라 그 우선순위가 기술의 산업적 활용, Semantic Grid, Mobile Grids, Ambient Intelligent Spaces와 같은 차세대네트워크에 관한 연구, 산학협동으로 미들웨어 연구, 새로운 사용자 및 응용집단의 참여, 국가 그리드 프로젝트들과의 연대, 표준화 활동 등과 같은 유럽의 국제적 활동 강화에 주어진다.¹⁶⁾

3.4. e-Science 공동연구

유럽의 그리드 프로젝트는 응용연구와 매우 밀접하게 연관되어 진행되고 있는 것이 특징으로, 그리드 기반기술과 응용연구가 상호 의존적인 협력 관계의 발전을 지향하고 있음을 볼 수 있다. 그림 5-1에서 보는 바와 같이 유럽의 그리드 프로젝트가 궁극적으로 지향하는 바는 그리드 아키텍처에 기반한 초고속 광대역 인프라스트럭처를 활용해 산업, 환경, 에너지, 교통, 생명의료 등의 다양한 과학기술 분야의 복잡한 문제를 해결해 나가는 환경 (Problems-Solving Environment: PSE)을 구축하는 것이다.

<그림 III-2> GRID 기반의 연구환경 (출처:1st Health Grid Workshop 2002)



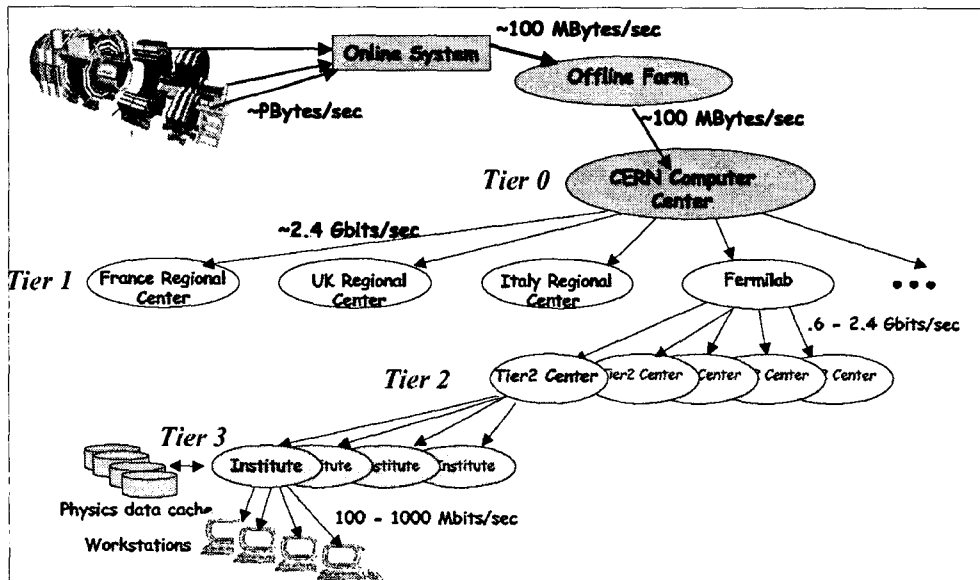
이러한 그리드 기반 연구환경의 궁극적인 지향점은 e-Science 및 e-R&D라는 비전으로 제시되

는데, e-Science는 컴퓨터와 통신 기술이 과학자들이 통찰 및 실험과 그 결과를 효과적으로 생성하고, 분석하고, 공유하고, 논의하는 것을 지원하고 강화함으로써 연구활동의 생산성을 향상시키고자 함이다.

차세대 과학은 다양한 연구기관에서 개별적으로 보관하고 있는 자료나 새롭게 생성될 거대한 자료를 분석하기 위해 자원의 공유 및 협업연구 등이 절대적으로 필요하게 될 것이라고 예상되지만, 이러한 막대한 데이터의 공유를 통한 연구의 수행은 기존의 방법으로는 불가능하며 그리드를 통해서 가능해질 것으로 기대하고 있다. 대표적인 예로서 유럽연합의 데이터 그리드 프로젝트는 EU가 재정적 지원을 하는, 과학적 실험에 의해 발생하는 대용량 자료의 분석을 위해 필요한 연산 자원과 데이터 저장 자원을 확보하기 위한 프로젝트이다.

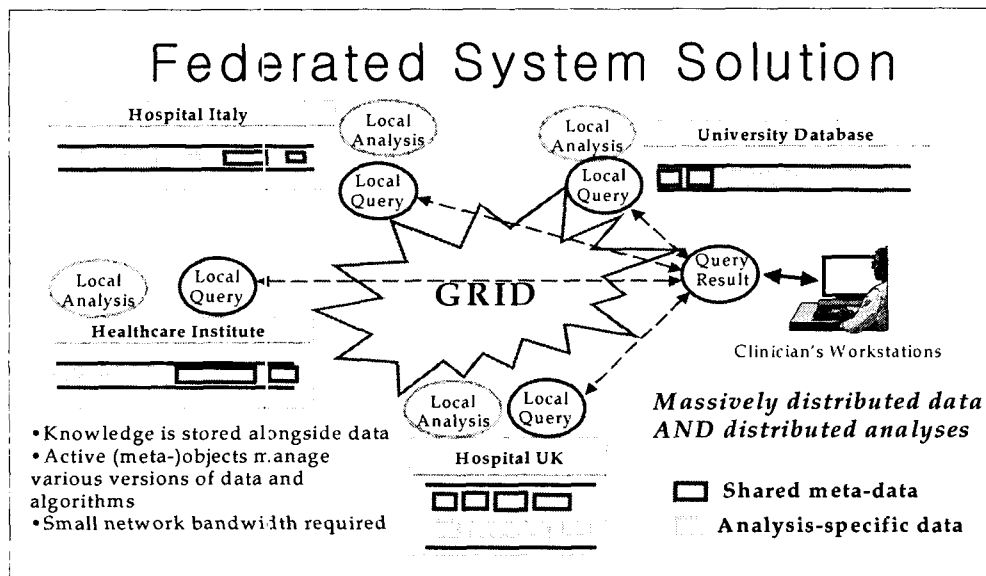
데이터 그리드 프로젝트의 주요 목적은 지리적으로 멀리 떨어져 있는 연구자들이 협력하여 그리드 인프라를 시험하고 관련 기술을 개발함으로써, 전 세계적으로 분포되어 있는 장비와 자료를 공유하는 협업연구가 가능하도록, 동시에 수천명의 연구자가 수만대의 컴퓨터에 접속하여 테라급의 막대한 데이터를 해석할 수 있는 확장성 있는 소프트웨어와 테스트베드를 구축한다. 데이터 그리드 프로젝트는 EU 정부에서 9백8십만 유로화를 지원받아 2001년도에서 2003년까지 3년간 계획으로 진행되고 있으며, 스위스에 위치한 CERN과 유럽 연합 소속의 원자력 연구 조직체를 포함한 6개의 주요 연구기관과 15개의 보조 참여기관이 연합하여 총 21개의 연구소의 200여명의 연구자들이 주도적으로 참여하고 있다.

<그림 III-3> 고에너지 물리학 데이터 그리드의 Tier 구축도



e-Science의 또다른 사례는 현재 활발히 발전하고 있는 유럽의 바이오인포메틱스 연구 및 생명 의료 그리드 (BioGRID 및 Health GRID) 프로젝트이다.

<그림 III-4> 유럽의 보건의료 Grid 개념도 (출처:1st Health Grid Workshop 2002)



유전자에서 나오는 정보를 처리/가공하여 유용한 정보를 얻어내는 연구 분야를 "생물정보학 (Bioinformatics)" 이라 부르며, 지놈 시퀀스 데이터는 기하급수적으로 증가하고 있는데, 단백질 합성 시뮬레이션, 대규모의 시퀀스 패턴 매칭, 유전자-표현 마이크로배열 탐색과 조합화학은 고성능 연산과 대규모 자료 용량을 동시에 필요로 하며, 데이터의 증가가 컴퓨팅 파워의 증가를 앞지름에 따라 bio-GRID는 바이오인포메틱스 연구의 필수 인프라가 될 것이며, 이미 그 개발을 위한 투자가 이루어지고 있다.¹⁷⁾ EuroGrid의 일부인 BioGrid는 화학자와 생물학자가 고성능의 컴퓨팅을 활용한 연구를 가능하게 하기 위한 분자생물학 모델링 자원들의 접근 포털을 개발하고 있다.¹⁸⁾

한편 기하급수적으로 증가하는 데이터의 양적 증가보다 더 큰 도전은 proteome, 유전자 표현, 시퀀스, 구조, 상호 작용, 경로 등의 정보의 다양성과 모델의 복잡성이다. 자료는 본문, 숫자, 이미지와 영상으로서 발생하며, 심지어 가장 단순한 문제에 답하는 것조차 다양한 이질적인 저장소에서 보관된 자료를 지능적으로 연결하는 것을 필요로 한다. 바이오인포메틱스 시스템들은 원래 지역적인 문제를 해결하기 위해 독립적으로 구성된 연구그룹들에 의해 개발되었고, 구축된 프로토콜에 이미 투입된 상당한 투자와 시스템을 재구성하는데 소요되는 막대한 비용은 유연성, 개방성, 상호호환성을 추구하는데 장애물로 작용하였다. 이질적인 생물정보의 자동화된 처리를 위해서는 그리드 기술과 콘텐츠를 관리하기 위한 'ontologies'를 통합하는 Semantic Grid 기술과 그 테스트베드가 영국을 중심으로 활발히 연구 중이다.¹⁹⁾

모든 실험실에서 방대한 양의 서열 정보를 수집하여 분석 시스템을 구축해 놓을 수는 없는 실정이므로 주요 데이터베이스 서버에 원격 접속하여 작업하며, 이 경우 대부분의 실행환경이 인터넷 기반인데, 동시에 여러 사람이 조화롭게 여러 가지의 입력 정보를 분석하기 위해서는 충분한 양의 네트워크 전송 속도와 대역폭을 확보하는 것은 매우 중요하다. 그리드 기술에 의해 구현되는 소프트웨어를 이용해 자원을 등록하는 생물학자는 UNIX나 윈도우 등의 운영체계의 이질성에 관계없이 일관되게 파일에 접근할 수 있는 이익을 얻는다. 그리드에 기반한 데이터 전송 라이브

러리는 거대 파일로의 더 빠른 접근을 허용해, 미러 사이트 서버에 투자해야 할 필요를 줄인다. 한편 생물 유전자정보 데이터베이스는 당분간 빠른 속도로 증가할 것이기에 지금보다도 더 많은 데이터 처리를 고려하여 보다 확장된 대역폭을 갖는 전용망의 설치가 요구된다.

현재 공식화되어 운영되고 있는 생물정보 데이터베이스는 수백여 개에 이르고 있지만 일반적으로 NCBI/EMBL/DDBJ의 주요 데이터베이스와 PDB, Ensembl 등 일부 데이터베이스 서버들로 이용이 집중되는 지역적인 한계가 있다. 미국 NCBI Genbank, 유럽 EMBL, 일본 DDBJ의 경우 전용망을 통해 상호 실시간 데이터 공유가 이루어지고 있기 때문에 연구자들은 데이터 검색과 제출을 위해 어느 서버에 접속하던지 같은 결과를 얻을 수 있도록 하고 있다. 이러한 이유에서 미국을 비롯한 유럽, 일본 등지에서 유전체 관련 정보 보유량이 가장 앞서고 있을 뿐만 아니라 데이터 처리 및 분석에 관한 기술과 시장이 빠르게 급성장하고 있다.

적극적인 상호 정보공유를 위해서는 세계 주요 연구 기관과의 연구 협력과 실무차원의 협력을 바탕으로 유전체 분석을 위한 시스템 구축에 대한 노하우 습득 및 관련된 공동의 솔루션 개발이 중요하다.

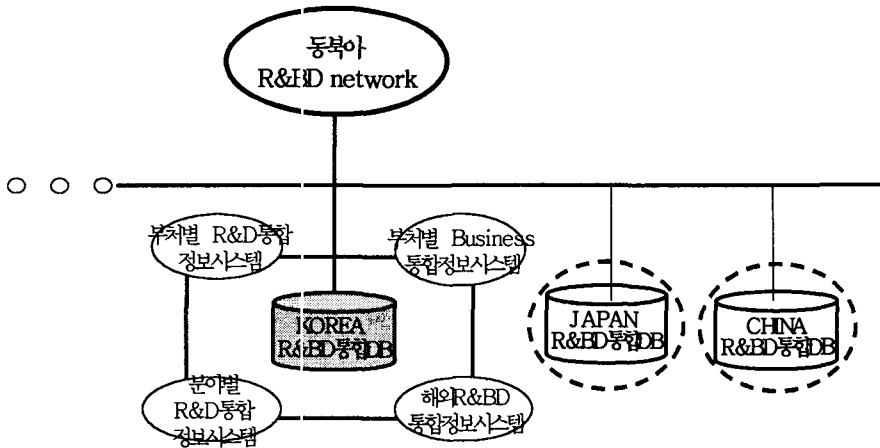
IV. 정책적 시사점: 동북아 과학기술 허브 건설을 위한 정보인프라 구축 전략

4.1. 동북아 R&BD 정보 및 연구정보시스템 네트워크 구축

유럽연합의 DRIS, ERGO, CORDIS를 모델로 동북아 통합 연구정보시스템을 구축을 통해 동북아 지역의 국가연구개발 정보교류를 활성화하고, 궁극적으로 역내 연구협력 및 기술이전을 촉진해야 할 것이다. 통합 연구정보시스템은 기존의 개별국가 연구정보시스템을 연계 및 통합 하므로써, 동북아 지역의 「국가연구개발사업」 과제정보 및 기초자료의 상호교류체계를 구축하고, 더 나아가 동북아 과학기술 R&D 통계지표 개발, 국제협력 기초정보 제공 등의 인프라로 활용할 수 있을 것이다.

과학기술연구와 비즈니스를 연계하는 개념인 R&BD(Research & Business Development)의 관점에서 지식정보의 범위는 연구개발정보, 기술/특허정보, 기술이전/사업화정보, 시장정보, 업체정보 등 연구개발 및 상품화와 관련된 정보를 포괄한다. 한국의 KISTI, 일본의 JST, 중국의 ICSTI, 대만의 STIC, 러시아 VINITI, 북한의 과학기술통보사 등 각 국가의 대표적 과학기술·산업정보기관이 중심이 되어 해당 국내정보를 수집, 가공 및 DB화하여 연계 및 링크 서비스를 제공하는 “동북아 6개 국가 R&BD 정보네트워크” 구축을 추진할 필요가 있다.

<그림 IV-1> 동북아 R&BD 네트워크 구상도

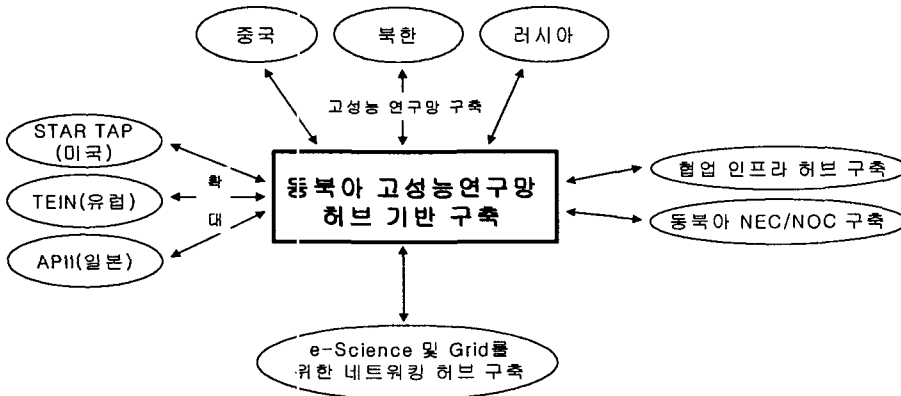


4.2. 동북아 첨단 과학기술 IT 인프라 및 동북아 e-R&D 센터 구축

기존의 국가 연구망(KREONet) 및 국제망(APEC Net) 등을 확대하고, “스위칭 센터” 등을 설치함으로써 동북아 고성능 과학기술 연구망 구축 및 운영을 주도하는 방안을 검토할 수 있겠다. 이러한 연구망을 활용하여 한국(KISTI), 중국(CNIC), 일본(TACC)의 국가 슈퍼컴퓨팅 센터를 중심으로 동북아허브 그리드 중심으로 APEC APGrid (Asia Pacific Grid)의 구축을 선도해갈 수 있을 것이다. 즉 현재 추진 중인 「국가그리드」 프로젝트를 확대하여, 동북아 지역으로 확산 및 선도하고, 이를 바탕으로 동북아 지역의 첨단기술 연구개발 분야의 연구자간 협업/공동연구 환경기반을 제공하여 동북아 사이버 연구네트워크 및 궁극적으로 e-Science 허브의 기반을 마련해야 할 것이다.

동북아 지역의 첨단공동연구를 선도하기 위한 “e-R&D 프로젝트”를 발굴 및 추진하도록 한다. 즉, 동북아 국가의 고성능컴퓨터, 대용량 저장장치, 고가의 실험장비 등을 상호 연동 및 공유하는 첨단 분야의 대규모 국제공동연구개발 사업을 공동으로 제안 및 추진하는 것이다. 이를 위해 한국에 동북아 첨단 사이버 연구프로젝트를 선도하는 「동북아 e-R&D 센터」의 구축을 고려할 수 있겠다.

<그림 IV-2> 동북아 고성능연구망 기반 e-Science 허브 구상



<참고문헌>

- 1) 과학기술정책연구원. 2003. 동북아중심국가로서의 부상과 지방 균형발전을 위한 과학기술정책. 국과위 보고자료(안) 2003. 3. 24.
- 2) National Science Board. 2002. *Science and Engineering Indicators - 2002*. Arlington, VA: National Science Foundation, 2002 (NSB-02-1).
- 3) Borgatti, S.P., Everett, M.G. and Freeman, L.C. 2002. Ucinet for Windows: Software for Social Network Analysis. Harvard: Analytic Technologies.
- 4) 손동원. 2002. 사회 네트워크 분석. 경문사.
- 5) Borgatti, Stephen, and Martin G. Everett. 1999. Models of core/periphery structures. *Social Networks* 21. 375-395.
- 6) Wagner, Caroline, Anny Wong, SungHo Lee, Irene Brahmakulam. 2003. Phase Transition in Korea-U.S. Science and Technology Relations. RAND MR-1644. <http://www.rand.org/publications/MR/MR1644/>
- 7) 김성수. 2000. EU R&D프로그램 평가의 제도화와 실행사례. STEPI 과학기술정책포럼.
- 8) EU. 2002. "Decision No 2002/ / EC of the European Parliament and of the Council" Luxembourg, 27 June 2002. PE-CONS 3635/02
- 9) European Commission. 2002. eEurope Benchmarking Report. Brussels, 5.2.2002 COM(2002) 62 final.
- 10) DRIS Homepage. http://www.niwi.knaw.nl/cgi-bin/nph-dris_search.pl?language=en
- 11) ERGO Homepage. <http://www.cordis.lu/ergo/home.html>
- 12) euroCRIS 홈페이지. <http://www.eurocris.org/homemission.htm>
- 13) CERIF Task Group. "CERIF TG Report: Plans for 2002-2003". CRIS 2002 Conference.
- 14) 이정희 외. 2002. 유럽연합의 과학기술정보 인프라 정책 및 동향. 한국과학기술정보연구원.
- 15) FP6 Internal Reflection Group. 2002. "Complex Problem Solving including GRID and Research Networking Infrastructures". Draft report version 2.0-May 6th. 2002.
- 16) Baxevanidis, Kyriakos. 2002. "EU Research on Grids - A status update and the transition to the 6th Research Framework Programme". HealthGrid Meeting Sept. 20 2002, Brussels.
- 17) Harvey, Mark and Andrew McMeekin. 2002. UK Bioinformatics: Current Landscapes and Future Horizons. DTI Biotechnology Directorate.
- 18) Euro Grid Homepage. <http://www.eurogrid.org>
- 19) De Roure, David, Nicholas Jennings, and Nigel Shadbolt. 2001. Research Agenda for the Semantic Grid: A Future e-Science Infrastructure. Report commissioned for EPSRC/DTI Core e-Science Programme.