

과학기술인력 수급전망 방법론 연구: New Approach를 중심으로

박재민*, 김선우**, 전주용**

1. 서론

지식기반경제로의 전환은 과학, 기술 및 혁신정책에 있어서 인적 자원의 중요성을 크게 부각시켰고, 기술혁신과 지속적 경제성장에 있어서 인적 자원의 중요성은 점점 더 커지고 있다. 지식과 기술의 생산자이며 사용자로서 과학기술인력은 기술기반형 경제성장의 중심에 서있으며 특히, 공공 교육 시스템을 통해 배출되는 고학력 과학기술인력은 정부가 사적 부문에 제공하는 가장 중요한 공공서비스로 판단되고 있다. 따라서 우수한 과학기술을 양성하고 활용하기 위한 인력정책의 수립에 앞서 양적 및 질적 측면에서 미래의 과학기술 노동시장을 전망하고 정보를 공공화하기 위한 수급전망연구는 지금처럼 지식기반적 기술혁신이 가속화되고 있는 현실에서 그 중요성을 더한다 하겠다.

한편, 우리나라의 과학기술인력 수급전망에 있어서는 1980년대 초반부터 최근까지 연구 당시의 이용가능한 자료의 제약과 방법론에 따라 과학기술인력을 다양하게 정의하였으며 이에 기초하여 수급전망을 해왔다. 과거보다는 현재에 수급전망에 필요한 데이터의 가용성이 높아졌지만 여전히 자료의 제약을 받고 있는 것이 현실이다. 예를 들어 가용한 자료들의 분류기준이 통일되어 있지 않다. 산업별 취업자 현황과 전망분석에 기초자료가 될 「경제활동인구조사」는 직종 중분류까지 이용가능한 반면 산업-직종계수행렬에 활용될 「임금구조기본통계조사」는 직종소분류까지 되어있다. 또한 산업·직종별 수요전망으로부터 학력·전공별 수요를 구하기 위해 사용될 「인구총조사」 상의 학력-직종-전공 행렬, 유효공급 예측을 위한 전공종사율 및 비경제활동인구의 비중 등은 과거의 수급차 분석에서는 이용할 수 없었다.

본 연구에서는 과학기술인력 수급전망의 방법론적인 측면에서, 데이터의 가용성이 높아짐에 따라 과거의 연구보다 좀더 체계적인 개선된 방법론을 제시하고자 한다. 먼저 제2절에서는 과학기술인력 수급전망의 방법론적인 측면에서 본 연구와 관련성이 비교적 높다고 판단되는 선행연구들을 살펴보고 제3절에서는 본 연구에서의 과학기술인력을 정의하고 수급전망의 방법들을 제시한다. 그리고 마지막 절에서는 기존 연구와 비교해 본 연구에서의 향상된 점, 한계점 및 향후 개선점 등을 논한다.

* 과학기술정책연구원 기초과학인력팀 부연구위원

** 과학기술정책연구원 기초과학인력팀 연구원

2. 선행연구

과학기술인력 수급전망은 이상수 외(1983)로부터 최근의 고상원 외(1999)까지 과학기술인력에 대한 다양한 정의에 기초하여 수급전망이 이루어져 왔다. 본 절에서는 이들 여러 선행연구 중에서 본 연구와 관련성이 높은 것으로 생각되는 최석식 외(1989)와 고상원 외(1995)를 정의방법 및 수급전망의 방법론적인 측면에서 고찰하고자 한다.

우선 최석식 외는 수요전망만을 포함하고 있다. 이 연구에서는 과학기술분야의 교육 및 훈련을 받고 실제로 과학기술활동에 종사하는 자를 대상으로 하고 있으며 대학등에서 과학기술분야를 전공하였더라도 한국표준직업분류(1974)상의 과학기술자로 분류되지 아니하는 직종은 제외하고 있다. 이 연구는 먼저 산업 및 기술 변화, 총인구 등을 전망하고 이를 토대로 취업인구의 수요를 전망한다. 그리고 이를 바탕으로 과학기술인력의 수요를 전망하고 있다.¹⁾ 전체 과학기술인력의 수요는 기업 및 연구기관종사 과학기술인력과 교육기관종사 과학기술인력으로 나누어 전망하고 있다. 기업 및 연구기관종사 과학기술인력의 수요전망은 경제활동인구 만명당 과학기술인력 규모, 취업인구 중 과학기술인력의 점유율, 전문·기술직 중 과학기술인력의 점유율 등을 고려하여 수행하였으며 또한 설문조사, 인터뷰 등을 이용하여 고등교육기관을 졸업한 기업 및 연구기관종사 과학기술인력을 전공·학위별로 전망하고 있다. 그리고 고등교육기관 과학기술교원의 수요전망은 고등교육기관의 총학생수, 교원당 학생수 등에 대한 가정을 토대로 수행하였고 교원명부 분석 등을 통해 전공·학위별로 구분하고 있다. 따라서 고등교육기관 졸업 전체 과학기술인력의 수요는 고등교육기관 졸업 기업 및 연구기관종사 과학기술인력의 수요와 교육기관종사 과학기술인력의 수요의 합으로 전망하고 있다.

다음으로 고상원 외는 수요전망과 공급전망 모두를 포함하고 있다. 이 연구에서는 과학기술인력에 대한 수요를 '고용되어 있는 (또는 고용하고자 하는) 과학기술관련 학문분야 전공자'로 파악하고 있으며 학위별·전공분야별로 추정하고 있다.²⁾ 전공분야는 과학기술활동조사보고의 분류를 따라 이학 5개, 공학 11개, 의약간호학 3개 그리고 농림수산학 3개로 총 22개 분야로 분류하고 있다. 과학기술 관련 학문분야 전공자는: 기업, 공공연구소, 대학 중에 한 곳으로 취업하게 되는데 대학 및 공공연구소의 수요에 대해서는 과학기술인력의 보유현황과 적절한 목표치를 제시하고 기업의 과학기술인력의 수요에 대해서는 산업구조의 변화, 기술의 변화 또 이에 따른 산업내 직종구성의 변화를 고려하여 도출하고 있다. 그리고 기업의 과학기술인력에 대한 수요전망의 경우 '산업-전공·학위 행렬'을 사용하게 되는데 이의 추정에는 미국 노동통계국(BLS)의 '산업-직종 행렬'과 설문조사를 활용하고 있다.

좀더 구체적으로 살펴보면, 시험연구기관 및 대학의 과학기술인력은 대부분 연구인력인 것으로 간주하고 미래의 우리나라 연구개발투자 목표치에 따른 연구원의 수요를 추정하고 있다. 다시 말해

- 1) 이 연구의 전반적인 내용은 과학기술인력의 양적 및 질적 수요전망과 중요기술분야별로 생명공학분야와 항공·우주기술분야의 수요전망으로 구성되어 있다. 그러나 본 연구의 관심사는 수급전망의 방법론에 있으므로 양적 수요전망만을 살펴본다.
- 2) 과학기술인력은 보통 '직종'과 '자격'에 따라 정의하고 분류하는데 고상원 외는 '자격' 기준만을 적용하여 과학기술인력을 정의한 것으로 볼 수 있다. 따라서 이 정의는 과학기술 관련 학문분야를 전공했지만 과학기술 활동으로 분류될 수 없는 직종(소위 비과학기술 직종)에 종사하는 자를 포함하게 된다.

서 전공별 연구개발투자 목표치에 분야별 1인당 사용 연구개발비의 역수를 곱하여 전공별 과학기술 인력 수요를 구하고 있다. 기업부문의 과학기술인력은 한국개발연구원에서 예측한 산업별 취업자수에 설문조사로 부터 추정된 산업-전공분야별·학위별 행렬을 곱하여 전공별·학위별로 전망하고 있다. 이와 같이 구한 시험연구기관 및 대학의 과학기술인력 수요와 산업체의 과학기술인력 수요를 합하여 총수요를 구하고 있다. 한편, 특정한 분야의 자격을 가진 과학기술인력의 공급은 국내 정규대학, KAIST 그리고 해외의 대학으로 구분하고 있다. 국내 정규대학의 과학기술인력 공급은 졸업율, 상급학교 진학률 그리고 상급학교에서의 탈락율을 반영하여 추정하고 있으며 여기에 KAIST와 해외 대학의 공급을 고려해 넣고 있다. 위에서 구한 과학기술인력에 대한 수요전망치는 당해 연도의 과학기술인력의 총량으로서 저량의 개념에 해당하나 공급능력의 전망치는 매년도의 추가적인 공급량으로서 유량의 개념에 해당한다. 따라서 과학기술인력의 수급전망을 위해서 저량의 수요전망치에 탈락율 등을 적용하여 유량의 개념으로 전환하고 있으며 이를 선행연구의 용어 정의에 따라 과학기술인력의 필요공급량이라고 부르고 있다.

3. 수급전망 방법론

1) 과학기술인력의 정의

과학기술인력이라는 용어는 연구의 목적 및 종류에 따라 다양한 의미로 사용되고 있다. 보통 과학기술인력의 범위는 직종과 자격에 의해 결정되며 직종은 수요·활용부문과 관련이 깊고, 자격은 양성·공급부문과 관련이 깊다. 그리고 과학기술인력과 관련된 국제적인 정의들은 크게 세가지가 있다. 즉 UNESCO의 과학기술인력(S&T Personnel)과 OECD Frascati Manual상의 연구개발인력(R&D Personnel)은 직종에 의한 분류이며 OECD Canberra Manual상의 과학기술인적자원(HRST)은 직종과 자격에 의한 분류라고 볼 수 있다.

<표 1> 과학기술인력 관련 학과(전공) 목록

| 대분류 | 중분류 |
|-------|---|
| 이학 | 수학·전산과학, 물리학, 화학, 지구과학·천문·기상학, 생물학, 이학기타 |
| 공학 | 기계·선박·항공, 금속재료, 전기·전자·통신, 화학공학, 식품·유전공학, 섬유, 원자력, 자원, 토목·건축, 공학기타 |
| 의약학 | 의학, 약학 |
| 농림수산학 | 농림학, 해양수산학 |

본 연구에서는 본 연구가 당면한 통계자료의 제약과 우리나라의 교육 및 인력양성체계에 가장 부

합하는 과학기술인력을 직종과 자격 기준을 고려하여 다음과 같이 정의한다.3)

- a) 과학기술 분야에서 전문대학 졸업 이상의 학력을 가졌으며
- b) a)의 자격 요건을 갖춘 자가 취업하는 직종에 종사하고 있는 자

<표 2> 과학기술인력 관련 직업(직종) 목록4)

| 1992년 표준직업분류 | 2000년 1월 개정된 표준직업분류 |
|---------------------------------------|-----------------------------|
| 12273 정보처리 및 컴퓨터운영업 생산부서관리자 | 02373 정보처리 및 컴퓨터운영업 운영부서관리자 |
| 12274 연구개발업 생산부서관리자 | 02374 연구개발업 운영부서 관리자 |
| 1236 전산업무부서 관리자 | 0246 전산업무부서 관리자 |
| 1237 연구 및 개발부서 관리자 | 0247 연구 및 개발부서 관리자 |
| 13173 정보처리 및 컴퓨터운영업 종합관리자 | 03073 정보처리 및 컴퓨터운영업 일반관리자 |
| 13174 연구개발업 종합관리자 | 03074 연구개발업 일반관리자 |
| 21 물리, 수학 및 공학전문가 | 111 자연과학 전문가 |
| 22 생명과학 및 보건전문가 | 112 생명과학 전문가 |
| | 12 컴퓨터관련 전문가 |
| | 13 공학 전문가 |
| | 14 보건의료 전문가 |
| 23111 자연과학 교수(대학) | 15102 이학계열 교수 |
| 23115 의학 및 생명과학 교수(대학) | 15103 공학계열 교수 |
| 23117 공학 교수(대학) | 15104 의약계열 교수 |
| 23119 달리분류되지않은 대학교수 - 일부포함 | 15109 기타 대학교수 중 일부 제외 |
| 23121 자연과학 교수(전문대학) | 15203 수학 교사 |
| 23123 공학 교수(전문대학) | 15205 과학 교사 |
| 23127 농학 교수(전문대학) | 15207 실업 및 전산 교사 중 일부 제외 |
| 23128 컴퓨터과학 교수(전문대학) | 15693 컴퓨터학원 강사 |
| 23129 달리분류되지않은 전문대학 교수 - 일부포함 | 17131 특허 전문가 |
| 23211 과학 교사(중고등학교) | 21 과학관련 기술 종사자 |
| 23213 수학 교사(중고등학교) | 22 컴퓨터관련 준전문가 |
| 23216 상업, 공업 및 기타 산업 교사 - 일부포함(중고등학교) | 23 공학관련 기술종사자 |
| | 24 보건의료 준전문가 |
| 24196 특허대리인 | 25212 기술학원 강사 |
| 24293 검사관 | 26231 산업용 기계장비 기술판매원 |
| 24322 정보학자 | 26232 전자장비 기술판매원 |
| | 26233 의료장비 및 용품 기술판매원 |
| | 26234 농업용 기계장비 기술판매원 |
| | 29211 특허사무 준전문가 |
| 31 자연과학 및 공학기술공 | |
| 32 생명과학 및 보건 준전문가 | |
| 34151 공업용 기계장비 기술판매 대리인 | |
| 34152 전자장비 기술판매 대리인 | |
| 34153 의료장비 기술판매 대리인 | |
| 34154 농업용 기계장비 기술판매 대리인 | |
| 34155 기타 기술판매 대리인 | |
| 34158 상업 및 공업용 장비판매 대리인 | |
| 3434 통계, 수학 및 관련 준전문가 | |

3) 본 연구에서 정의하는 과학기술인력은 수요중심적 정의라고 할 수 있다. 한편, 앞절의 선행연구에서 살펴본 최석식 외(1989)의 정의는 본 연구와 마찬가지로 수요중심적이고 고상원 외(1995)의 정의는 공급중심적 이라고 할 수 있다.

4) 고상원 외 (2001) 참조

위의 학력 및 직종 기준에 따라 과학기술인력을 정의하기 위해서는 "과학기술 분야"와 "과학기술 분야에서 전문대학 졸업 이상의 학력을 가진 자가 취업하는 직종", 다시 말해 과학기술 관련 직종을 또 한번 정의해야 할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서의 과학기술 분야는 과학기술 관련 학과 및 전공 분야에 대한 「과학기술연구활동조사보고」의 정의에 따라 이학과 공학을 각각 6개와 10개 분야로, 의약계와 농림수산학은 「교육통계연보」에 의거하여 각각 2개 분야로 분류하였다. 그리고 과학기술 관련 직종은 한국표준직업분류 체계 내에서 과학기술인력으로 파악될 수 있는 직종을 세세 분류(직종 5자리) 수준에서 정의하였다.

2) 수요전망의 방법

본 연구에서는 과학기술인력의 노동수요를 전망함에 있어 크게 두 단계로 구분한다. 첫째 단계는 통상적인 인력수요전망의 방법으로 장기시계열이 가능한 자료를 이용하여 일반적인 산업별·직종별 노동수요를 전망한다.⁵⁾ 둘째 단계는 첫째 단계에서 도출된 전반적인 노동수요의 전망을 하나의 제약식으로 한 상태에서 본 연구의 정의에 부합하는 과학기술인력을 직종별·전공별로 전망한다.

① 전반적 노동수요의 전망 단계

첫째 단계에 해당하는 전반적인 중장기 노동수요의 전망은 산업별 취업자 전망, 산업·직종별 취업구조의 전망, 직종별 취업자 전망, 그리고 산업·직종별 전망의 세분화의 네 과정으로 구성된다.

첫째 과정의 산업별 취업자 수의 전망은 산업별 중장기 성장전망을 토대로 필요한 취업자의 수를 계산함으로써 얻어지는 것으로 다음과 같은 이론적 근거와 과정을 거치게 된다. 우선 국내총생산은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$(1) Y_t = F(L_t; K_t, A_t, \dots)$$

여기서 Y_t 는 시점 t 에서의 국내총생산, F 는 생산요소를 이용하여 재화 및 서비스를 만드는 기술을 의미하는 생산함수, L_t 는 (필요로 하는) 취업 또는 고용, K_t 는 자본의 저장(capital stock), A_t 는 기술수준과 생산의 효율성을 반영하는 총요소생산성, 그리고 그 외 고려되지 않은 요인들이 포함된다.

원론적으로 L_t 는 단순히 취업자의 수(head-count) 뿐 아니라 한 걸음 더 나아가 근로시간 h_t , 취업된 인적자원의 수준 H_t 까지도 고려하는 유효노동력의 개념으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

5) 본 연구에서는 먼저, 31개 산업분류, 직종중분류 만이 장기시계열이 이용가능한 분석임을 밝혀 둔다. 산업소분류와 직종소분류(또는 세분류)의 경우는 한정적으로만 이용가능하다. 즉, 1990년, 1995년, 2000년 인구및주택총조사(2%표본)자료를 이용할 경우 산업소분류와 직종소분류의 노동수요 전망이 가능해진다. 또한 직종세분류의 경우는 2000년 인구및주택총조사(2%표본)자료에서만 가능하다.

$$(2) L_t = N_t h_t H_t$$

여기서 $L_t = N_t$ 라 가정하고 양자의 차이는 생산함수에서 명시적으로 표현하지 않은 다른 요소에 포함시키거나 총요소생산성 A_t 에 내장된 것으로 간주하여 분석한다.⁶⁾

일정 시점에 자본저량과 요소생산성이 일정할 때, 주어진 생산함수가 필요한 가정을 따를 경우 최적의 고용량은 최적화의 해로 나타난다. 그리고 생산함수가 1차동차(homogeneous of degree one)일 경우 자본집약도는 취업계수($\alpha=L/Y$)와 1대1 대응관계를 갖게 된다. 즉 취업계수는 일정량의 생산에 필요한 최적의 고용으로 정의되며 당시의 기술수준을 총체적으로 반영하는 중요한 변수라 할 수 있다. 따라서 산업별 취업자의 전망은 산업별 취업계수의 전망과 산업별 성장전망을 필요로 한다.

산업별 성장 전망은 산업연관표를 이용한 다부문모형에 의존하는 것이 상례이다.⁷⁾ 그러나, 다부문 모형에 따른 공식적인 산업별 성장 전망치가 존재하지 않는 상황이므로 국내총생산(GDP)의 과거 추세치를 이용한 전망치를 얻을 수밖에 없었다.

전망의 대상이 되는 각 시점에서의 i 산업의 산업부문별 전망치는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(3) Y_{it}^* = g(Y_{i(t-s)}; s=1, \dots, S)$$

여기서 추정되어진 전망치는 모든 시점 t 에 대하여 $Y_i^* = \sum_i Y_{it}^*$ 의 제약을 만족시켜야 한다. 그리고 전망의 대상이 되는 각 시점에서의 산업별 취업계수의 전망치 역시 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(4) \alpha_{it}^* = g(\alpha_{i(t-s)}; s=1, \dots, S)$$

이제 산업별 성장전망과 취업계수 전망치로부터 산업별 취업자는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(5) L_{it}^* = \alpha_{it}^* Y_{it}^*$$

여기서 추정되어진 전망치는 모든 시점에서 $L_i^* = \sum_i L_{it}^*$ 의 제약을 만족하여야 한다. 그리고

6) 이는 근로시간이나 인적자원의 수준이 분석기간 중에 일정하다고 가정하는 것과 동일하나 실제 현실은 그렇지 못한 것도 사실이다. 본 연구에서는 이와 같은 관례를 따르기로 하고 다만 추후의 논의에서는 이러한 점을 반영하는 것이 고려되어야 할 것이다. 한편 이후에서는 논의에 혼돈을 가져오지 않는 경우 시점을 의미하는 하첨자 t 는 생략하기로 한다.

7) 다부문모형은 한국개발원이 보유한 모형이다. 그러나 현재까지 본 연구에서 필요로 하는 산업의 분류에 따른 분석과 전망이 실시되지 않고 있다.

본 연구에서는 이와 같이 구한 산업별 취업지수에 학력별 비중을 곱하여 학력·산업별 취업자수를 구하였다. 이것은 앞절에서 언급한 바와 같이 본 연구의 과학기술인력은 자격기준에 따라 전문대학 이상의 학력자들로 제한하기 때문이다.

둘째 과정의 산업·직종별 취업구조의 전망은 다음과 같은 행렬을 추정한 후 이의 전망치를 구하는 과정이다.

$$(6) B = [\beta_{ij}]$$

여기서 B는 산업-직종취업행렬(industry-occupation employment matrix)이라고 부르며, β_{ij} 는 취업행렬의 각 요소의 값으로 i번째 산업의 j번째 직종의 취업자가 전체 취업자 중에서 차지하는 비중을 나타낸다.⁸⁾

그러나 위의 계수를 각 산업의 직종별 취업구조 $\beta'_{ij} = L_{ij}/L_i$ 로 해석하면, 모든 산업 i에 대해 $\sum_j \beta'_{ij} = 1$ 와 $L_i = \sum_j \beta'_{ij} L_i$ 의 조건을 만족시켜야 한다. 다시 말해서 각 산업의 직종별 취업구조를 추정하고 이의 전망치를 산업별 취업자 전망치에 곱하여 산업·직종별 취업자 수의 전망치 L^*_{ij} 를 얻게 된다는 의미이다.⁹⁾ 따라서 첫째 과정에서 학력별로 분리한 산업별 취업자 전망치에 본 과정에서 추정된 각 산업의 직종별 취업구조를 곱하여 학력별 산업·직종별 취업자수를 구하게 된다.

셋째 과정은 둘째 과정에서 얻어진 학력별 산업·직종별 취업자 수의 전망치로부터 학력 및 직종별 취업자의 전망치를 계산하는 과정으로서 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$(7) L_j^* = \sum_i L_{ij}^*$$

마지막 넷째 과정은 본 연구의 목적 상 31개 산업분류, 직종 중분류로 전망한 학력별 산업·직종별 취업전망을 세분화하는 과정이다. 이 과정에서는 장기시계열에 의존한 분석은 불가능해진다. 또한 앞절에서 언급한 바와 같이 본 연구에서 정의하는 과학기술 관련 직종은 한국표준직업분류 체계상의 세세분류(직종 5자리)까지 적용하고 있는데 반해, 현존하는 이용가능한 자료는 2000년에 실시한 인구및주택총조사(2%표본) 자료가 직종 세분류(직종 4자리)까지 가능한 유일한 자료이다. 따라서 이러한 자료의 제약으로 인하여 본 연구에서는 2000년 인구및주택총조사 자료를 이용하고 과학기술 관련 직종은 세분류까지만 적용하여 세분화 한다.

8) 따라서, $\sum_i \sum_j \beta_{ij} = 1$ 이 된다.

9) 이는 행렬 자체를 추정하기보다는 벡터를 추정하는 것으로 각 산업별로 하나의 제약식을 만족시키는 추정식을 구하는 것이다.

② 과학기술인력에 대한 노동수요의 전망 단계

둘째 단계에서는 전반적인 노동수요로부터 본 연구의 관심사인 과학기술인력에 대한 수요의 전망으로 이행하는 단계이다. 이 단계에서는 과학기술 직종별 취업자 전망, 직종·전공별 취업구조의 전망, 과학기술 전공별 취업자 전망 그리고 과학기술직종·전공별 전망의 세분화의 네 과정으로 구성되는데 특히, 직종·전공별 취업구조의 전망과정은 전 단계의 산업·직종별 취업구조의 전망과 일견 유사한 측면이 있다.

첫째 과정의 과학기술 직종별 취업자 전망은 첫째 단계에서 추정된 학력 및 직종별 취업자 전망치로부터 본 연구에서 정의하고 분류한 과학기술 관련 직종만을 추출하는 단순한 과정이다. 즉 전 단계에서 직종 중분류까지 추정하고 직종 세분류까지 세분화한 학력 및 직종별 취업자 전망치로부터 비과학기술 관련 직종을 제외한 나머지 과학기술 직종의 취업자수(LS_i)를 구하게 된다.

둘째 과정의 과학기술직종·전공별 취업구조의 전망은 첫째 단계의 산업·직종별 취업구조의 전망과 유사하게 다음과 같은 행렬을 추정된 후 이의 전망치를 구하는 과정이다.

$$(8) \Gamma = [\gamma_{ij}]$$

여기서 Γ 는 직종-전공취업행렬(occupation-major employment matrix)이라고 부르며, γ_{ij} 는 i 번째 과학기술 직종의 j 번째 전공의 취업자가 차지하는 비중을 나타낸다. 마찬가지로 위의 계수를 각 과학기술 직종의 전공별 취업구조 $\gamma'_{ij} = LS_{ij}/LS_i$ 로 해석하면, 모든 과학기술 직종 i 에 대해 $\sum_j \gamma'_{ij} = 1$ 와 $LS_i = \sum_j \gamma'_{ij} LS_{ij}$ 의 조건을 만족시켜야 한다. 즉 각 과학기술 직종의 전공별 취업구조를 추정하고 이의 전망치를 과학기술 직종별 취업자 전망치에 곱하여 직종·전공별 취업자수의 전망치 LS^*_{ij} 를 얻게 된다.

한편 산업 내에서 기술집약화 및 지식집약화가 일어나는 과정에서 특정 전공 및 학위소지자에 대한 수요가 변하며 이는 산업-직종-전공분야별·학위별 행렬을 변화시키게 된다. 따라서 산업내 직종구조의 변화 및 직종내 전공구조의 변화를 반영하기 위해 본 연구에서는 기술변화와 생산양식의 변화를 고려하되 직종내 전공구조의 변화는 통계청의 산업-직종-전공분야별·학위별 취업자 구조를 따르는 것으로 가정한다. 즉 본 연구에서는 직종내의 전공구조의 현상태가 유지된다는 조금은 비현실적인 가정에 예측을 시도한다.

셋째 과정의 전공별 취업자 전망은 둘째 과정에서 얻어진 학력별 직종·전공별 취업자 수의 전망치로부터 전공별 취업자수를 구하고 본 연구에서 정의하고 분류한 과학기술 관련 전공만을 추출하는 단순한 과정으로서 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$(9) LS^*_j = \sum_i LS^*_{ij}$$

즉 전공 전분야에 걸쳐 추정된 취업자 전망으로부터 인문·사회계열 등 비과학기술 전공분야를 제외한 나머지 과학기술 관련 전공분야의 취업자수(M_i)를 구하게 된다.

마지막 넷째 과정은 전공 대분류로 전망한 학력별 과학기술직종·전공별 취업전망을 전공 중분류로 세분화하는 과정이다. 즉 셋째 과정에서 이학, 공학, 의약학 그리고 농림수산학 등으로 추정한 전망치를 이공계는 6개 분야로 세분화 하고 공학계는 10개, 의약학계와 농림수산학계는 각각 2개씩으로 세분화하며, 이 과정에서도 첫 단계와 마찬가지로 2000년에 실시한 인구및주택총조사 자료를 사용한다.

한편 이들 매년도 과학기술인력의 수요전망치는 일종의 저장(stock)개념인 반면 후술하는 공급전망치는 유량(flow)개념이다. 따라서 수급차 분석을 행하기 위해서는 저장의 매년도 수요전망치를 유량으로 바꾸어야 한다. 본 연구에서는 대체수요와 순증가수요를 추정하고 이들의 합을 구하여 유량의 매년도 수요전망치를 구한다.

아래의 <그림 1>은 본 연구에서 정의하고 추정한 과학기술인력의 범위에 대한 이해를 돕기 위하여 제공하였으며 또한 후술하는 공급의 범위와 비교해 볼 수 있다.

<그림 1> 과학기술인력 수요전망치의 범위

| | | 전 공 | | | | | |
|---|----|--------------|-------|--------------|------------------|-------|--------------|
| | | 과학기술 | | | 비과학기술 | | |
| 직 | 과학 | d_{11} | · · · | d_{1j} | $d_{1(j+1)}$ | · · · | d_{1m} |
| | 기술 | · | · · · | · | · | · · · | · |
| 종 | 과학 | d_{i1} | · · · | d_{ij} | $d_{i(j+1)}$ | · · · | d_{im} |
| | 비 | $d_{(i+1)1}$ | · · · | $d_{(i+1)j}$ | $d_{(i+1)(j+1)}$ | · · · | $d_{(i+1)m}$ |
| | 과학 | · | · · · | · | · | · · · | · |
| | 기술 | d_{n1} | · · · | d_{nj} | $d_{n(j+1)}$ | · · · | d_{nm} |

3) 공급전망의 방법

과학기술분야에서 공급되는 인력규모를 예측하는 것은 교육부문의 인력양성 정책이나 노동부문의 인력수급 정책의 수립을 위해서 필수적인 내용이다. 본 절에서는 과학기술인력의 공급전망 모형으로 지수평활모형(exponential smoothing model)을 소개하고자 한다.

일반적으로 시계열 자료의 예측에는 시계열 회귀분석모형(time series regression model), ARIMA모형(autoregressive integrated moving Average)모형, 지수평활모형 등 다양한 모형을 사용할 수 있다. 그러나 시계열 회귀분석에 의한 예측의 경우 최적의 모형이 수립될 때 최소의

오차를 갖는 우수한 예측치를 산출할 수 있으나 종속시계열에 대하여 높은 설명력을 갖는 독립시계열을 발굴하고 종속시계열에 대한 독립시계열의 함수형태를 찾아내는 데 많은 시간과 노력이 소요된다. 또한 ARIMA 모형에 의한 예측의 경우 모형의 설정을 위하여 최소한 35개 정도의 자료가 필요하기 때문에 본 연구의 공급 예측에서는 유용하지 않은 것으로 판단된다. 즉 본 연구의 공급전망에 사용되는 자료는 한국교육개발원에서 제공하는 1990년 이후의 자료로서 1990년, 1992년, 1994년, 1996년의 4개 연도의 격년 자료와 1998년부터 2001년까지의 최근 4년간 자료 등 총 8개 연도 자료가 이용가능한 상황이다. 따라서 이러한 여러 제약들을 종합적으로 판단하여 채택한 지수평활모형은 비록 이론전개에 있어 통계적으로나 수학적인 논리구조가 빈약한 면도 있으나 모형의 적용이 매우 간편할 뿐만 아니라 계산의 간단함에 비해 대단히 정확한 예측값을 구할 수 있고 현재 사용되고 있는 여러 예측기법들 중에서 가장 경험적인 예측기법이라는 점에서 분석자들이 자주 사용하고 있다.

본 연구에서 사용한 지수평활모형은 이중지수평활모형(double exponential smoothing model)으로서 단순지수평활모형(simple exponential smoothing model)에 기초를 두고 있다. 단순지수평활모형은 시계열이 추세를 갖지 않고 일정한 수준만 유지하는 경우에 상수모형 $Z_t = b_0 + e_t$ 을 가정해서 적합시키는 예측모형이다. 우선 단순지수평활모형은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(10) F_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha)F_t$$

여기서 F_{t+1} 은 t+1 시점의 예측치, Y_t 는 t 시점의 실제 관측치를 나타내고 α 는 0과 1 사이의 값을 갖는 가중치로 평활화상수(smoothing constant)라고 하며 α 가 클수록 최근의 관측치에 더 큰 가중치를 부여한다. 결국 다음기의 예측치는 금기의 관측치와 금기의 예측치를 가중 평균한 값이라고 할 수 있고 금기의 예측치 역시 전기의 관측치와 전기의 예측치를 가중 평균한 값이다. 결국 과거의 예측치를 관측치로 대체를 하고 $F_1 = Y_1$ 라 하면 위식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(11) F_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha)\alpha Y_{t-1} + (1 - \alpha)^2 \alpha Y_{t-2} + (1 - \alpha)^3 \alpha Y_{t-3} + \dots + (1 - \alpha)^{t-1} Y_1$$

즉 다음기의 예측치는 현재와 과거의 모든 관측치들의 가중평균한 값이라고 할 수 있다. 따라서 예측치는 α 값에 전적으로 의존하게 되며 $\alpha=0.1, 0.3, 0.5, 0.9$ 를 이용하여 평균자승오차(MSE)가 최소인 예측치를 선택하게 된다.

이제 본 연구의 과학기술인력 공급추정에 사용된 이중지수평활모형을 살펴보면, 이 모형은 유의적인 추세유형을 갖는 비정상계열에 적합한 방법으로서 시계열이 직선형태의 추세를 갖는 경우에 선형모형 $Z_t = b_0 + b_1t + e_t$ 을 가정해서 적합시키는 모형이다. 이중지수평활모형은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(12) F_{t+k} = L_t + kT_t$$

즉 t+k 시점의 예측치 F_{t+k} 는 t시점의 수준 추정치 L_t 와 추세 추정치 T_t 의 합으로 볼 수 있다. 먼저 수준 추정치는 다음과 같이 구한다.

$$(13) \quad L_t = S'_t + (S'_t - S''_t)$$

$$S'_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha) S'_{t-1}$$

$$S''_t = \alpha S'_t + (1 - \alpha) S''_{t-1}$$

여기서 S'_t 는 관측된 시계열(즉 Y_t)의 평활치이고 S''_t 는 평활화된 시계열(즉 S'_t)을 다시 평활화한 값이다. 이 경우 Y_t 가 추세 형태를 보이면 1차 평활치 S'_t 는 Y_t 와 차이가 생기고 다시 2차 평활치 S''_t 는 S'_t 와 차이가 생긴다. 이와같이 구한 1차 및 2차 평활화된 자료를 근거로 관측된 시계열의 수준 추정치를 계산하게 된다.

다음으로 추세 추정치는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(14) \quad T_t = \left(\frac{\alpha}{1 - \alpha} \right) (S'_t - S''_t)$$

즉 시계열이 추세형태를 보이는 경우 좀더 나은 예측치를 구하기 위해 추세 영향치 만큼 변동하도록 수준을 수정하게 된다.

<그림 2> 과학기술인력 공급전망치의 범위

| | | 경제활동 참여여부 | | |
|------|-------|-------------------------------|--|-----------------------------------|
| | | 경제활동 | | 비경제활동 |
| 취업직종 | 과학기술 | S_{11} ··· S_{1j} | | $S_{1(j+1)}$ ··· S_{1m} |
| | | · ··· · | | · ··· · |
| | | S_{i1} ··· S_{ij} | | $S_{i(j+1)}$ ··· S_{im} |
| 종종 | 비과학기술 | $S_{(i+1)1}$ ··· $S_{(i+1)j}$ | | $S_{(i+1)(j+1)}$ ··· $S_{(i+1)m}$ |
| | | · ··· · | | · ··· · |
| | | S_{n1} ··· S_{nj} | | $S_{n(j+1)}$ ··· S_{nm} |

따라서 앞에서 기술한 한국교육개발원의 자료에 위에서 기술한 이중지수평활모형을 적용하여 국내 일반대학의 학력 및 전공별 공급을 예측한다. 한편 지수평활모형은 졸업자의 추세를 설명하는

수학적 모형이다. 따라서 급격한 인구의 변화가 졸업자수에 미칠 수 있는 영향을 반영하기 위해서 필요한 경우 지수평활모형의 예측값을 활용한다. 그리고 이들 예측치에 석사의 경우는 KAIST, KJIST, ICU로부터 양성되는 인력을 포함하고, 박사의 경우는 이들 특수목적대학원들과 더불어 외국으로부터의 박사 공급을 포함하여 총공급을 구한다.

한편 과학기술 분야 졸업생 전체는 본 연구에서 정의하는 직종과 자격에 적합한 공급이라고는 볼 수 없다. 즉 과학기술계 졸업자들 중 일부는 경제활동에 종사하지 않는 경우가 있을 수 있고 또한 과학기술직종과 무관한 비과학기술직종에 종사하는 경우도 있을 수 있다. 따라서 본 연구에서 정의하는 과학기술인력에 적합한 유효공급은 앞에서 구한 총공급에 경제활동참가율과 직종·전공 종사율을 반영하여 구하게 된다.

<그림 2>는 전술한 바와 같이 본 연구에서 추정한 과학기술인력의 범위에 대한 이해를 돕기 위하여 제공하였다.

4. 결론

본 연구에서는 HRST를 정의하는 OECD의 방식에 따라 직종과 자격 기준을 적용하여 현재 가용한 자료와 우리나라의 교육 및 인력양성체계에 부합하는 과학기술인력을 정의하고 있다. 수요중심적인 본 연구의 정의는 국제적인 정의방식에 따라 직종과 자격 기준 모두를 적용하였다는 측면도 있지만 기존연구의 정의보다도 좀더 체계적이라고 볼 수 있다. 가령 기존연구의 정의는 과학기술인력의 수요와 공급의 범위가 일치하지 않는 결점이 존재하고 따라서 수급차 분석시 초과수요나 초과공급 등 한쪽으로 편향된 예측결과를 가져올 수 있다. 본 연구에서 이러한 측면을 상당히 보완을 하였으나 여전히 가용한 자료의 한계로 인한 예측의 한계성 또한 존재한다. 예를 들면 과학기술인력 관련 직종을 표준직업분류상의 세세분류(직종5자리)까지 분류를 하고 있지만 현재 이용가능한 통계청의 자료는 세분류(직종4자리)까지 밖에 존재하지 않아 해당 하위분류 항목에 대해서는 일정한 가정이 필요하였다.

한편 본 연구의 과학기술인력 수요예측 모형은 기존의 연구보다 상당히 일관성있는 예측기법이라고 평가할 수 있다. 가령 기존의 연구에서는 과학기술인력의 수요지를 수요처별 즉, 산업계 및 학계로 구분하고 각기 다른 예측기법을 적용하여 전망을 하였는데 이는 일관된 예측기법을 사용하지 않아 수급전망의 일관성이 떨어질 수 있고 또한 예측치를 이중계산할 수 있는 여지가 존재한다. 이에 본 연구에서는 산업별 생산 및 취업계수 전망을 토대로 전반적인 노동수요를 산업 및 직종별로 구하고 이를 바탕으로 전반적인 과학기술인력을 직종 및 전공별로 예측하고 있다.¹⁰⁾ 또한 본 연구의 수요전망에서는 기존의 연구에서는 존재하지 않았던 직종별 수요예측을 포함하고 있다.¹¹⁾ 한편 본

10) 본 연구의 수요전망은 미국 노동통계국(BLS)의 인력예측모형에서 아이디어를 구하고 있다. 주요 선진국들은 각국의 경제상황에 부합하는 다양한 질적·양적 인력예측모형을 개발하여 사용하고 있는데 BLS는 일종의 양적 모형으로서 노동공급 측면보다는 노동수요 측면 위주로 고용수준을 예측하고 있다. 좀더 자세한 내용은 각국의 인력예측모형을 비교 정리한 이상일(2002)을 참조.

11) 고상원 외의 연구는 설문조사로부터 추정된 산업·전공분야별 행렬에 산업별 취업자수를 곱하여 산업계

연구에서는 수요예측의 각 단계에서 이용가능한 자료의 한계로 인하여 일정한 가정을 할 수밖에 없었다. 가령 본 연구의 최종목표인 과학기술인력을 학력별로 예측하기 위해서는 전반적인 노동수요 전망의 첫 번째 과정부터 학력별로 구분하여 전망이 이루어져야 하는데 가용한 자료의 한계로 인하여 일단 학력 전반에 걸친 전망치를 구하고 여기에 인구및주택총조사(2000)사의 학력별 비중을 사용하여 학력별 전망치를 구하고 있다. 또한 직종-전공취업자 행렬의 경우 향후 예측기간에 대한 각 직종내 취업자전공의 구조를 예측하여야 하지만 이경우도 이용가능한 자료의 한계로 인하여¹²⁾ 향후 예측기간 동안 현상태가 그대로 유지된다는 조금은 비현실적인 가정하에 예측을 하고 있다. 따라서 향후 이러한 수요전망에 사용되는 자료들이 이용가능해지고 축적이 될 수록 현재 보다는 더 나은 예측의 결과를 낳을 것으로 기대된다.

또한 본 연구의 과학기술인력 공급예측은 기존의 연구보다 과학기술인력에 대한 정의에 더 잘 부합한다고 말할 수 있다. 가령 공급중심적인 기존 연구의 경우 졸업율, 진학률, 탈락율 등을 고려하여 공급을 추정하고 있는데 이는 과학기술분야를 전공한 졸업자들이 비경제활동 상태에 있거나 비과학기술직종에 종사할 수 있는 인력까지도 포함하게 되어 초과공급을 예측할 여지가 존재한다. 따라서 이러한 측면을 개선하고자 본 연구에서는 설문조사를 통하여 구한 경제활동참가율 및 직종·전공 종사율을 사용하여 본 연구의 정의에 좀더 잘 부합하도록 예측을 하고 있다. 한편 본 연구의 공급예측 역시 개선의 여지가 여전히 남아 있다. 예를 들어 시간의 제약이나 자료의 부족으로 인하여 사용할 수 없었던 시계열회귀분석 모형이나 ARIMA 모형을 시도하여 더 나은 결과를 얻을 수도 있다. 또한 설문조사를 통하여 추정한 경제활동참가율이나 직종·전공 종사율의 경우 본 연구의 예측에 사용시 자료의 신뢰성에 문제가 있을 수도 있어 이 또한 공신력있는 자료의 확보를 통하여 더 좋은 예측치를 기대해 볼 수 있다.

<참고문헌>

- 고상원 외 (1995), 「과학기술인력 장기수급전망 및 대응방향」, 정책연구 95-14, 과학기술정책관리연구소
- 고상원 외 (1999), 「구조조정기의 과학기술인력 수급전망 및 대응방향」, 과학기술정책연구원
- 고상원 외 (2001), 「과학기술인력 통계지표의 보완 및 개선방안」, 한국과학재단
- 과학기술부 · 한국과학기술기획평가원(2001), 「과학기술연구활동조사보고」
- 교육인적자원부 · 한국교육개발원 (각년도), 「교육통계연보」

의 수요를 전공별로만 예측하고 있다. 다시 말해서 본 연구는 '산업별전망→직종별전망→전공별전망'이라는 메카니즘(mechanism)을 통하여 직종별 및 전공별 수요전망을 실시하고 있는데 반해 고상원 외의 연구는 '산업별전망→전공별전망'을 통하여 직종별 전망은 이루어지지 않고 있다. 한편 고상원 외의 연구가 '산업-전공 행렬'을 사용하여 예측의 일관성을 꾀하였던 측면에서 보면 본 연구와 마찬가지로 BLS의 모형에서 아이디어를 구하고 있는 듯 하다.

12) 직종-전공계수행렬의 추정에 사용될 수 있는 자료는 통계청의 인구및주택총조사(2000)가 유일하다.

- 이상수 외 (1983), 「이공계 고급과학기술인력(석사·박사)의 수요전망에 관한 연구」, 한국과학기술원
- 이상일 (2002), 「인력예측모형의 국제비교」, 한국노동연구원
- 최석식 외 (1989), 「21세기를 향한 과학기술인력의 장기수요전망」, 한국과학기술원·과학기술정책연구평가센터
- 통계청 (각년도), 「경제활동인구조사」
- 통계청 (2002), 「2000년도 인구총조사」
- 통계청 (2000), 「한국표준직업분류」
- OECD (1995), *The Measurement of Scientific and Technological Activities, Manual On the Measurement of Human Resources Devoted to S&T - Canberra Manual*, OECD, Paris
- OECD (1994), *Frascati Manual 1993 - Proposed Standard Practice for Surveys of Research and Experimental Development*, OECD, Paris
- UNESCO, *Manual for Statistics on Scientific and Technological Activities*, 1984.