기술 로드맵의 기초 작성을 위한 컨조인트 분석과 QFD

(Conjoint Analysis and QFD for a Reliable Starting Point of Technology Roadmap)

이철용 * · 이종수 **

< 목 차 >

Ⅰ. 서 론
Ⅱ. 연구의 배경
Ⅲ. 기술로드맵의 모형
Ⅳ. 실증 분석 결과
Ⅴ. 결 론

Summary : The purpose of the current study is to suggest a reliable starting point for roadmapping to overcome two common shortcomings of previous literatures that they do not demonstrate a robust methodology for roadmap and they describe the roadmapping process in the abstract. The proposed methodology for roadmapping considers four important business- and market-related factors: consumer requirements, engineering characteristics, the gap between the roadmapped technology and competing technologies, and future changes in consumer preferences. We capture consumer preferences using conjoint analysis and interconnect the above four factors using QFD (Quality

* 서울대학교 공과대학 기술정책대학원 박사과정 (e-mail: poad98@snu.ac.kr)
** 서울대학교 공과대학 기술정책대학원 조교수 (e-mail: jxlee@snu.ac.kr)

Function Deployment). The model is applied to power line communications (PLC). The results show that there is a significant difference between priorities assigned to the engineering characteristics by expert alone and priorities determined by the roadmapping model.

Key Words: Technology Roadmap, Conjoint Analysis, QFD, PLC

I. 서 론

기술 진보가 빠르게 진행될수록 기술의 수명은 줄어들고 있고 기술 간의 경쟁은 더욱 치열해지고 있다. 이에 따라 기업 혹은 국가 입장에서는 기술에 대한 연구개발(R&D)이 시장에서의 생존과 국제사회에서의 우위를 위한 중요한 전략이 되어가고 있다. 하지만 기술 발전을 위해서는 많은 자본과 자원이 필요하고 이러한 자본과 자원이 한정되어 있다는 것이 기술연구개발의 제약요소가 된다. 따라서 제한된 자본과 자원을 가지고 기술 이용자와 소비자의 요구(needs)에 최대한 부합하도록 기술을 개발하는 것이 매우 중요한 문제가 되어가고 있다. 결국 최적화된 기술 개발을 위해서는 기술 개발에 영향을 끼치는 모든 요소를 고려하고 기술을 구성하고 있는 속성들을 적절히 조합하여 기술 로드맵(technology roadmap)을 작성한 후에 그 결과에 따라 기술 발전이 이루어 져야 할 것이다.

로드맵 연구는 약 30년 전에 모토로라사가 개발한 이후 많은 연구가 진행되어 왔다. 로드맵 작성 단계에서 중점을 두어야 할 사항은 해당 기술 요소들의 우선순위를 결정하는 것이라고 할 수 있다(Groenveld, 1997). 기술 요소들의 우선순위 결정은 로드맵의 초안단계로 볼 수 있는데 이후에 여러 전문 분야로 이루어진 집단이 이를 바탕으로 해당 기술의 로드맵을 설계하게 된다. 즉 기술 로드맵은 제품 기능이 어떤 방향으로 발전해야 하는지, 제품 개선을 위해 어떤 특정 기술이 필요한지, 특정 기술이 제품 기능에 어떻게 영향을 끼칠 것인지를 보여 주는 것인데 이를 위해 기술 요소들의 우선순위 결정은 필연적이라 할 수 있다.

하지만 기존 로드맵 관련 연구는 공통적으로 중요한 문제점을 안고 있는데 (1)로

드맵 작성의 초기 과정에서 필요한 견고한 모형(robust model)의 부재, (2)로드맵 작성을 위한 절차의 추상적인 묘사 등이 그것이다. 따라서 기존 연구를 이용하여 실제 로드맵 작성을 하고자 할 경우 많은 어려움이 존재하기 때문에 로드맵 작성을 하는데 필요한 실질적이고 구체적인 방법론이 무엇보다도 필요한 시점이다. 이에 따라 본 연구에서는 기술 로드맵 작성의 시발점인 기술 요소들의 우선순위를 결정을 위한 실증적인 방법론과 함께 구체적인 절차를 제시하고자 한다.

기술 요소들의 우선순위 결정을 위해서는 시장과 소비자의 요구사항(demand pull) 뿐만 아니라 기술을 개발하고 제공하는 생산자 측면에서의 내부사항(technology push)도 고려해야 할 것이다. 두 가지 측면 중 어느 사항에 강조를 두어야 하는 가의 문제는 로드맵 대상 기술의 특성과 시장 환경, 소비자에 따라 달라질 것이며 분석자의 의도 또한 로드맵 성격에 영향을 끼칠 것이다. 하지만 중요한 것은 기술 로드맵 작성 시에 수요 측면과 공급 측면을 모두 고려해야 한다는 것이다. 따라서 본 연구에서는 비즈니스와 시장에서 중요한 역할을 하는 요인인 소비자의 요구사항(voice of customers), 생산자 측면에서의 기술요소(engineering characteristics)의 중요도, 경쟁기술과의 기술력 격차(technological gap), 동적인 소비자 선호의 변화(future change)를 우선순위 결정 모형에 고려하였다. 이때 소비자 요구사항에 대한 선호 정도는 컨조인트 분석을 이용하여 측정되며 기술 로드맵 작성을 위한 위의 네 가지 고려요소를 결합시키는 시스템으로 품질기능전개(Quality Function Deployment, 이하 QFD) 개념을 도입하여 기술 요소의 우선순위를 결정하게 된다.

본 연구에서 제시하는 방법론은 데이터 전송 기술 대안 중 하나인 전력선 통신(Powerline communication, 이하 PLC) 기술에 적용된다. 기존의 PLC 기술 로드맵은 주로 데이터 전송 속도에 맞추어져 왔다(Heo, 2004). 즉 더욱 빠른 속도를 구현하는 칩을 개발하기 위해서 PLC의 개발이 주로 이루어진 것이다. 하지만 PLC는 속도 문제 이외에도 데이터 전송의 안정성 문제, 비용문제, 다른 기술과의 경쟁 등 고려해야 할 여러 가지 요소들이 있으며 이들을 기술 로드맵 작성 시에 반영해야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 기술을 개발하는 엔지니어 측면, 기술을 직접 사용하는 소비자 측면, 경쟁기술과의 기술적 격차, 기술 요소의 미래의 중요도 변화 등을 고려하여 PLC의 기술로드맵을 위한 기초를 마련할 것이다. 본 연구의 결과는 PLC의 기술 개발을 위한 올바른 지표를 마련할 것이며 궁극적으로는 PLC 관련 기업과 국가의 발전을 위해 중요한 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. II절에서 PLC 기술과 기존 기술로드맵 관련 연구에 대해서 살펴보고, III절과 IV절에서는 본 연구에서 사용된 모형에 대한 구체적인 설명과 PLC 기술 로드맵 작성에 관한 실증 분석 결과를 제시하였다. 마지막 결론에서는 이 연구의 시사점 및 한계에 대해서 살펴본다.

II. 연구의 배경

1. 기존 기술 로드맵 관련 연구

기술 로드맵의 정의는 연구자와 연구기관에 따라 다르지만 여기서는 Kostoff and Shaller (2001)가 내린 정의를 따른다. 즉 Kostoff and Shaller는 기술로드맵 과 관련된 수많은 연구를 조사한 후 그들의 공통점을 파악하여 기술로드맵을 "기술 요소들 간의 시간적 또는 구조적 관계를 시각적으로 표현한 것"으로 정의하였다. 즉 기술로드맵은 기술의 시장요소와 개발요소 등을 파악하여 목표를 정하고, 그것을 실현하기 위해 기술에 대한 예측을 그림 또는 도표로 도식화 하는 작업이라고 할 수 있다.

기술 로드맵은 모토로라사에서 최초로 개발되어 주로 대기업이나 국가 기관 연구소에서 기술 예측 및 연구기획을 위해 사용되기 시작하였다(Willyard and McClees, 1997). 현재 기술 로드맵은 기업뿐만 아니라 정부기관에서도 널리 사용되고 있지만 주로 실무적인 목적으로 기술 로드맵이 사용되어 왔기 때문에 이론적인 측면에서 방법론이 체계적으로 정립되어 있다고 보기는 힘들다(Holmes and Ferrill, 2005). 따라서 기술 로드맵 관련 기존 연구의 대부분은 경영관리 이론적 측면(management theory) 보다는 경영관리 실용적 측면(management practice)에서 발전하였다.

기존의 기술 로드맵 관련 연구를 살펴보면 많은 연구에서 여러 가지 분류 기준에 따라 기술 로드맵 형태를 분류하고 있다는 것을 발견할 수 있다. 대표적인 예가 Kappel(2001)의 연구인데 그는 작성주체(국가, 기업)와 분석대상(과학기술분야, 특정제품)의 두 가지 기준을 가지고 기술로드맵을 네 가지로 유형화 하였다. 이외에도 로드맵을 제품 또는 기술에 따라 구분(Kostoff and Shaller, 2001)하기도 하고 속성들이 시간적으로 봤을 때 정적 또는 동적으로 구분(Albright and Kappel, 2003)하기도 하며, 정

보의 소스가 내부 또는 외부(Albright and Shaller, 1998)에 있는지에 따라 로드맵을 분류하기도 하였다. 이를 근거로 Lee and Park(2005)은 특정한 환경에 맞도록 기술 로드맵을 작성할 수 있는 맞춤형 로드맵(customizing roadmap)을 개발하였다. 하지만 이들 연구 역시 로드맵 작성을 위한 막연한 절차를 제시하였을 뿐 구체적으로 어떻게 작성해야 되는지에 대한 방법이 제시되어 있지 못한 한계점이 있다. 한편 Groenveld(1997)은 로드맵 작성을 위해 QFD(Quality Function Deployment)와 Innovation matrix가 도움이 될 수 있다고 제안을 하고 있으나 이 연구 역시 시장의 유동적인 상황을 고려하지 않았고 로드맵 작성을 위해 구체적인 절차를 제시하지 않고 있다.

따라서 기존 로드맵연구를 정리하면 로드맵 작성을 위한 구체적인 수행방법의 부재라는 공통적인 문제점이 존재하며 시스템의 설계 원리에 대한 명확한 설명이 부족하다는 한계를 발견할 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 기술 로드맵 작성 의 시발점인 기술 요소들의 우선순위 결정을 위한 구체적인 방법론을 제시할 뿐만 아니라 이 방법론을 PLC 기술에 적용하여 기술로드맵 연구 발전에 기여하고자 한다.

2. PLC 기술의 개요

전력선통신은 전력을 공급하는 전력선을 매개체로 음성과 데이터를 수백 KHz에서 수십 MHz이상의 고주파 신호에 실어 통신하는 기술이다. PLC는 크게 저속, 중속, 고속 기술로 분류할 수 있는데, 저속은 홈네트워크의 제어용, 중속은 홈네트워크의 데이터 통신용, 고속은 외부 액세스 망으로 사용된다. 특히 저속 PLC기술은 가장 시장이 발달하여 가전기기 제어뿐만 아니라 자동 원격 검침, 원격 모니터링에 적합한 기술로 주목 받고 있으며, 특히 최근 들어 사이버 아파트와 같은 고가의 아파트에 기본 설비로 장착되고 있어 가파른 성장세를 보이고 있다(Korea Electronics Technology Institute, 2005).

현재 전세계적으로 광대역(broad-band) 접속 서비스 시장과 협대역(narrow-band) 접속 서비스 시장에서는 PLC 뿐만 아니라 무선랜(Wireless LAN), 이더넷(Ethernet), 디지털 가입자회선(xDSL), 케이블(Cable)등의 기술이 서로 경합을 벌이며 경쟁을 하고 있다. 이들 기술은 데이터 전송 속도, 접속 품질의 안정성, 구축비용 등에서 치열한 경쟁을 벌이며 광대역 시장과 협대역 시장에서 확산되어 가고 있다.

따라서 PLC는 다양한 통신 서비스 기술 사이에서 경쟁력을 가지기 위해서 전략적인 기술개발이 무엇보다도 필요한 시점이다. PLC는 <표 1>에 나와 있는 바와 같이 여러 가지 기술 요소(engineering characteristics)로 구성되어 있다. 이들 기술요소 들은 데이터 전송 속도, 안정성, 모뎀의 가격등과 크고 작은 상관관계를 가지고 있기 때문에 각 기술요소들을 전략적으로 개발하여 데이터 전송 기술시장에서 경쟁력을 가진 최적화된 PLC 칩을 디자인 할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 컨조인트와 QFD를 이용하여 PLC를 구성하고 있는 각 기술요소들의 우선순위를 결정함으로서 PLC 기술 개발 전략을 위한 기술로드맵을 작성하고자 한다.

본 연구에서는 기술 로드맵 작성을 위해서 소비자의 요구사항, 기술요소의 중요도, 경쟁 기술과의 격차, 미래의 소비자 선호의 변화를 고려하며, 특히 소비자 요구사항에 대한 선호 정도는 컨조인트 분석을 이용하여 추정하고 위의 자료들을 시스템적으로 결합시키는데 QFD를 이용함으로써 신기술의 기술 요소에 대한 우선순위를 결정한다.

<표 1> PLC의 기술요소

기술 요소	설명
Bandwidth	신호 중 99%의 전력을 포함하고 전전력의 적어도 0.25%에 해당하는 서로 다른 모든 주파수를 포함하는 주파수대의 폭
Impedance matching	주어진 환경에서 최대의 신호전력이 상대측에게 전달하는 기술
Channel coding	전력선에 올려졌거나 올려질 신호를 어떻게 코드화(Encode) 혹은 부호화(Decode) 하는가와 관련된 기술
Modulation	일정한 고주파 전류 또는 펄스 전류에 음성과 영상신호 등으로 얼마간의 변화를 주는 기술
MAC	신호 패킷의 충돌로 인해 낭비되는 시간과 대역폭을 줄여 신호를 안정적이며 빠르게 보내기 위한 기술
Interface	전력선과 전자전기기기 사이에 데이터 전송을 전달하는 기술
Algorithm	신호를 처리하기 위한 소프트웨어
Gates	게이트 회로는 주회로로 보내는 입력신호를 제어하기 위한 것이고, 게이트 전극은 그로부터 인가된 전압에 의해서 전류를 제어하기 위한 것
Microprocessor	연산을 미리 확립된 순서에 의해 체계적으로 실행할 뿐만 아니라 컴퓨터의 각 장치에 제어 신호를 제공하는 제어장치를 1개의 작은 실리콘 칩에 집적시킨 초대규모 집적회로로 이루어진 처리장치

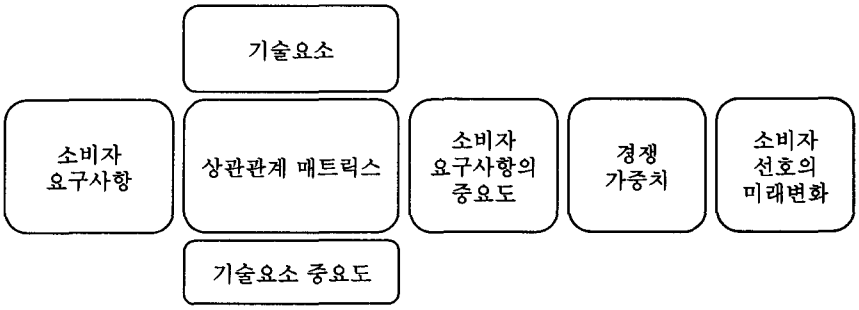
III. 기술로드맵 모형

1. QFD (Quality Function Deployment)

Akao (1990)는 QFD에 대해 소비자를 만족시키도록 제품 품질을 개발하고 제품 생산 단계에서 소비자의 수요를 제품 설계의 목표에 반영하는 방법으로 정의하였다. 따라서 QFD는 기술을 구성하고 있는 여러 기술 요소들의 우선순위(priorities)를 추정함으로써 기술로드맵을 위한 토대를 마련하는데 응용될 수 있다. 일반적으로 제품 설계는 QFD의 핵심적인 도구인 품질의 집(House of Quality, 이하 HOQ) 개념을 통해 진행된다. HOQ는 일반적으로 세단계의 과정을 통해 이루어지는데 첫째, 정성적 시장조사에 의해 소비자의 요구사항(voice of customers, VOC)을 파악하는 과정, 둘째, 기술의 설계특성(Engineering characteristics)을 선정하는 과정, 셋째, 소비자의 요구 사항과 기술의 설계 특성 간에 관련정도를 판정하는 과정이 그것이다(Akao, 1990). 하지만 QFD를 기술 로드매핑 과정에 적용하기 위해서는 소비자의 요구사항 뿐만 아니라 기술 연구자의 판단이나 현재 시장에서 경쟁하고 있는 기술들의 수준 등 추가적인 고려사항이 필요하다. 더욱이 기술로드맵에서는 대상이 되는 기술의 동적인 변화(future change)를 파악할 수 있어야 하므로 기술 요소들의 우선순위의 변화도 포함할 수 있어야 한다. 따라서 본 연구에서는 기술로드맵 작성 과정에서 소비자의 요구사항, 기술 연구자의 판단, 경쟁 기술들의 수준, 미래의 중요도 변화를 기술 로드맵에 반영하는 과정에서 QFD의 적용을 시도하며, 이는 체계적 의사 결정을 위한 도구로 사용될 것이다. <그림 1>은 본 연구에서 기술로드맵을 위해 고안된 HOQ의 형태를 나타낸다.

우선 기술을 올바른 방향으로 개발하기 위해서는 기술의 궁극적 사용자인 소비자의 요구 사항을 명확히 파악할 필요가 있다. 소비자의 요구사항을 측정하는 방법에는 계층적분석과정(Analytic Hierarchy Process, AHP)이나 5점 척도를 이용할 수 있으나 본 연구에서는 전문 설문 기법인 컨조인트 분석을 이용하여 소비자의 요구사항을 파악하고 이에 대한 소비자의 선호를 측정한 후 이를 기술 요소들의

<그림 1> 기술로드맵 작성에 사용된 품질의 집(House of Quality)



우선순위(priorities)를 도출하는데 이용한다. 컨조인트 분석을 이용하여 소비자 선호를 추정하는 방법은 다음 2항에서 구체적으로 다루기로 한다.

한편 각 기술요소의 중요도 및 소비자 요구사항과 각 기술요소의 관계행렬(relationship matrix)과 같이 전문가 판단이 필요한 항목은 5점 척도법(five-point scale)을 이용하여 조사할 수 있다. 특히 전문가의 판단으로부터 추정된 각 기술요소의 중요도는 본 연구에서 최종적으로 도출한 기술 로드맵 결과와 비교 분석할 수 있다. 경쟁 기술과의 기술력 격차를 파악하기 위해서는 현재 기술 시장에서 경쟁하고 있는 기술들을 파악하는 것이 무엇보다도 중요하다. 시장에서 경쟁하고 있는 모든 기술들을 가능한 반영하는 것이 바람직하며 비교를 위한 기준은 위에서 분석한 소비자 요구사항과 같은 항목이어야 한다. 이는 그림 1에서 보는 바와 같이 경쟁기술과의 기술력 격차가 소비자 요구사항의 중요도에 가중치(weight)를 부여하는 역할을 하기 때문이다. 하지만 측정된 기술력 격차는 로드맵 대상의 기술력과 경쟁기술 기술력의 상대값으로 표현되므로 전체적인 단위를 통일시키기 위해서 5점 척도로 전환되어야 한다. 즉 여러 소비자 요구사항들의 기술적 격차 값 중 가장 큰 값을 5로 설정하고 다른 값들은 이에 비례적으로 맞추어 계산된다($5 \times \frac{\text{임의의 값}}{\text{가장 큰 값}}$). 따라서 본 연구에서는 이렇게 계산된 경쟁기술과의 격차를 "경쟁가중치(competitive weights)"로 표현하기로 한다.

마지막으로 미래의 중요도변화를 측정하기 위해서 소비자 요구사항의 변화를 반영하여 각 기술요소의 동적인 중요도를 관찰한다. 이는 소비자 요구사항의 중요도가 시간의 흐름에 따라 변할 수 있다는 가정에 근거한 것이다. 예컨대 통신 서비스 시장에서 소비자 요구사항 중 데이터 전송 속도는 현재 매우 중요할 수 있지만 시간이

흐른 뒤에는 데이터 전송을 위한 속도가 충분히 확보되어 그 중요도가 감소할 수도 있다. 따라서 이러한 변화를 기술로드맵 상에 반영하기 위해서 전문가의 판단에 의한 소비자 요구사항의 중요도 변화가 측정된다. 미래 소비자 선호의 변화는 퍼센트 변화로 측정할 수 있는데 미래의 중요도 증가에 대해서는 0%~100%로 표시가 되고 미래의 중요도 감소에 대해서는 -100%~0%로 표시가 된다.

2. 소비자 선호 분석

본 연구에서는 컨조인트 방법을 도입하여 신기술에 대한 소비자 요구사항의 선호를 측정한다. 컨조인트 방법은 아직 시장에 출시되지 않은 신제품이나 신기술에 대한 선호를 추정하거나 시장을 통해 비용이 직접적으로 드러나지 않는 외부비용 등을 추정하는데 주로 사용되고 있는 과학적인 방법론 중의 하나이다(Lee et al., 2006). 컨조인트 분석을 위해 기술의 속성들을 추출하고 속성들의 수준들을 고려하여 기술의 가상적인 선택대안을 나타내는 컨조인트 카드를 작성한다.

설문을 통해 얻어진 결과들을 이용하여 확률효용이론(random utility model)을 통해 응답자들의 효용함수를 도출한다. 본 연구에서는 순위형(ranking) 질문을 통해 소비자의 진술 선호를 측정하였는데 순위형 질문에 대한 분석을 위하여 일반적으로는 순위로짓모형(rank ordered logit model)이 사용된다(Calfee et al., 2001). 하지만 순위로짓모형의 경우 모든 응답자가 동일한 속성계수를 가지기 때문에 소비자에 따라 기술 속성에 대한 중요도가 다르다는 현실적인 상황을 반영하지 못한다는 한계가 있다. 이에 따라 본 연구에서는 선호를 나타내는 각 속성의 계수에 확률적 요소를 도입하여 소비자 간의 선호의 차이를 나타낼 수 있는 혼합 로짓 모형(mixed logit model)을 이용하여 소비자의 효용함수를 추정하였다.

i번째 응답자가 j번째 대안을 배타적으로 선택했을 때 얻는 효용 U_{ij}는 식 (1)과 같이 속성 수준의 벡터인 x_j에 의해 결정되는(deterministic) 부분과 관측되지 않는 확률적인(stochastic) 부분인 ϵ_{ij}로 설정할 수 있다.

$$\begin{aligned} U_{ij} &= \beta_i X_j + \epsilon_{ij} \\ &= \beta_{i1} STABILITY_j + \beta_{i2} SPEED_j + \beta_{i3} PRICE_j + \beta_{i4} ADD_j + \beta_{i5} WIRE_j + \epsilon_{ij} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 (1)식의 교란항이 독립적이고 동일하게 분포된(independent and identically distributed) I형 극한값(type I extreme value distribution)을 따른다고 가정하고, 계수 β_i는 평균 b, 분산 W인 특정한 분포를 따름을 가정한다. 위의 효용함수 추정과정에서 Train (2003)이 제시한 베이지안 추정방법을 동일하게 적용할 수 있다. 하지만 Train (2003)에서는 선택형(choice) 질문에 대한 효용함수를 도출하지만 본 연구에서는 순위형 질문에 대한 소비자의 효용함수를 도출한다. 순위형 질문은 서수적 효용의 관점에 충실하고 선택형의 경우보다 소비자의 선호구조에 대해 보다 자세한 정보를 추출할 수 있다는 장점이 있다(Louviere and Hensher, 2001).

소비자 i가 J개의 대안에 대하여 $j = 1,2,3,4,\ldots,J$와 같이 순위를 매긴다고 할 경우 고정된 β에 대해서 소비자 i의 순위결과에 대한 조건부 선택 확률(conditional choice probability)은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\mathrm{Prob}_i(U_{i1} > U_{i2} > \ldots > U_{iJ}|\beta) = \prod_{j=1}^{J} \frac{e^{x_{ij}\beta}}{\sum_{k=j}^{J} e^{x_{ik}\beta}} \qquad (2)$$

계수 β의 분포는 연구자마다 다르게 설정되는데 일반적으로는 정규분포(normal distribution)와 로그정규분포(log normal distribution)가 사용된다(Train, 2003). 특히 가격 계수와 같이 모든 사람들이 같은 부호를 가질 경우에는 로그정규분포와 중도절단정규분포(censored normal distribution)가 유용한 것으로 알려져 있는데, 특히 절단된 정규분포는 응답자들이 특정 속성에 대해 무관심한 경우 (zero valuation)도 나타낼 수 있다는 장점이 있다(Train and Sonnier, 2003).

베이지안 방법을 사용하여 계수 β 분포의 모수를 추정하는 과정에서 사후 분포를 직접 계산하는 것이 매우 힘들기 때문에 MH 알고리즘(Metropolis-Hastings Algorithm)을 사용하여 간접적으로 사후 분포를 도출하게 되는데 이에 대한 설명은 매우 복잡하므로 자세한 과정을 위해서는 Train (2003)의 9장을 참조하길 바란다.

본 연구에서는 기술에 대한 소비자 요구 사항의 중요도를 파악하는 것이 필요하므로 추정된 모수를 가지고 각 속성의 상대적 중요도(Relative Importance)를 측정한다. 각 속성의 상대적 중요도는 아래 식과 같이 속성들의 부분가치(part worth)로부터 도출되는데 부분가치는 추정된 계수와 각 속성이 현실에서 가지는 수준으로부

터 계산된다. 즉 각 기술 속성의 부분가치는 추정된 모수와 그 속성이 가지는 값의 범위가 곱해져서 도출된다. (Green and Srinivasan, 1978) 예컨대 데이터 전송 기술의 모뎀 가격은 시장에서 3만원~7만원의 범위를 가지므로 가격 속성의 상대적 중요도는 추정된 가격계수(β_{price})와 가격 속성이 가지는 범위(7만원-3만원=4만원)의 곱으로 도출된다.

$$Relative\ Importance_a = \frac{Part\ Worth_a}{\sum_k Part\ Worth_k} \qquad (3)$$

$$where \qquad Part\ Worth_a = |\beta_a \times range\ of\ Attribute\ a|$$

위 식에 의해 도출된 각 속성의 상대적 중요도는 경쟁 가중치와 마찬가지로 전체적인 단위를 통일시키기 위해서 최종적으로 5점 척도로 전환되어 사용된다.

IV. 실증 분석 결과

1. 소비자 선호 분석 결과

본 연구에서 제시된 기술로드맵 작성 모형은 데이터 전송의 대안기술 중 하나인 PLC에 적용하여 실증분석을 하였다. 하지만 분석의 대상으로 다루고 있는 PLC는 소비자들에게 익숙하지 않은 기술이므로 PLC에 대한 소비자의 요구사항을 직접적으로 측정하는 것이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 데이터 전송 기술을 구성하고 있는 다양한 속성들에 대한 소비자의 선호를 컨조인트 분석을 통해 측정한 후에 PLC 기술 요소에 대한 중요도를 유추하도록 한다.

본 연구에서는 데이터 전송기술에 대한 소비자의 선호를 분석하기 위해 대한민국의 서울에 거주하는 성인 남녀를 대상으로 2004년 5월에 설문을 실시하였다. 설문조사는 1000명을 대상으로 이루어 졌으며 컨조인트 설문에 대한 응답자의 이해와 신뢰도를 높이기 위해 일대일 면접을 통해 설문이 이루어졌다.

데이터 전송 기술에 대한 컨조인트 분석을 위해 소비자에게 있어 중요한 기술 속성으로 판단되는 5가지 기술속성, 즉 모뎀의 가격, 데이터 전송 속도, 데이터 전송의 안정성, 추가 장치여부, 유·무선 여부가 포함되었다. <표 2>는 본 연구에서 고려된 기술속성의 정의 및 수준을 나타낸다.

<표 2> 컨조인트 분석을 위한 속성과 수준

속성	정의	수준
안정성	하루에 통신 끊김 현상이 일어나는 빈도 (회/일)	3, 5, 10
데이터 전송 속도	정보를 주고받는 통신 속도 (Mbps)	1, 10
모뎀가격	모뎀 가격 (만원)	3, 5, 7
추가장치 여부	통신 연결을 위해 모뎀 외에 별도의 연결 장치나 추가적 배선 등이 필요한 지의 여부	더미 (필요 1, 불필요 0)
유·무선	유무선 여부	더미(유선 1, 무선 0)

효용 함수 추정을 위해 혼합로짓모형의 계수 추정의 절차에 따라 베이지안 방법을 이용하였다. 여기서 여러 속성 중 안정성(STABILITY), 데이터 전송 속도(SPEED), 추가장치 유무(ADD)는 모든 소비자가 같은 부호의 계수를 가질 수 있는 속성이다. 즉 모든 소비자는 안정성이 우수하고, 데이터 전송속도가 빠르며 추가장치가 없는 기술을 선호할 것이다. 따라서 이들 속성에 대한 계수는 0 미만에서 절단된 중도절단정규분포(censored normal distribution)를 가정한다. 하지만 가격(PRICE) 속성의 경우 모든 소비자들이 같은 부호의 가격 계수를 가짐을 나타낼 수 있고, 또한 0을 가질 수도 없는 로그정규분포(lognormal distribution)를 가정한다. 마지막으로 유・무선 여부(WIRE)에 대해서는 소비자마다 선호가 상이할 수 있으므로 정규분포를 가정한다. <표 3>에 각 계수 분포의 추정결과와 상대적 중요도를 정리하였다.

추정결과 모든 변수의 평균(b)과 분산(W)의 추정치가 5% 신뢰수준에서 유의하였다. 추정결과로부터 소비자는 하루 동안의 통신 끊김 현상이 적을수록(안정성이 높을수록), 전송속도가 빠를수록, 가격이 낮을수록, 추가장치가 없는 무선에 대해서 소비자의 효용이 증가한다는 사실을 알 수 있다. 여기서 주목해야 할 것은 가격 변수 분포의 분산이 매우 크다는 것이다. 계수들의 분산이 크다는 것은 선호에 대해 소비자 간

이질성이 매우 크다는 것을 의미하므로 소비자는 데이터 전송 기술 선택 시 모뎀 가격에 반응하는 양상이 매우 큰 차이를 보일 것이라는 사실을 의미한다. 더욱이 위의 결과는 본 연구의 혼합로짓모형의 사용을 정당화 시켜주는 결과이기도 하다.

<표 3> 소비자 효용함수의 추정결과와 상대적 중요도a

변수	평균 (b)	분산 (W)	상대적 중요도b
STABILITY	-0.0463 (-5.8754)	0.0407 (3.3815)	0.77
SPEED	0.2227 (4.9689)	0.247 (4.5682)	3.72
PRICE	-0.0449 (-10.6805)	19.3251 (4.2536)	5.00
ADD	-0.0418 (-4.5835)	0.0321 (2.8473)	-
WIRE	-0.0693 (-4.8716)	0.1149 (9.4309)	-

a: 괄호 안은 t값을 나타냄.
b: 5점 척도로 변환된 상대적 중요도임.

위의 속성 중 추가장치유무와 유・무선 여부는 PLC 기술개발과 무관한 고정된 기술속성이다. 즉 PLC의 기술 개발 단계에서 기술 요소의 우선순위 결정에 두 속성을 포함시키는 것이 의미가 없으므로 본 연구에서는 PLC 기술에 대한 소비자 요구사항으로 데이터 전송의 안정성, 속도, 모뎀 가격을 선정하고 이들의 상대적 중요도를 도출하였다[1]. 추정된 계수를 통해 도출된 상대적 중요도를 살펴보면 소비자 요구사항 중 모뎀의 가격에 대한 중요도가 가장 크게 나타났으며 안정성에 대한 중요도는 매우 작게 나타났다.

2. 기술로드맵 작성 결과

PLC의 기술 로드맵 작성을 위해 IV절 1항에서 분석한 소비자 선호뿐만 아니라

1) 본 연구에서는 모수 분포의 평균값으로 각 기술속성의 상대적 중요도를 도출하였다. 하지만 혼합로짓 모형을 이용하면 기술 속성에 대한 개인별 모수 추정과 개인별 기술 속성의 중요도 도출이 가능하다. 따라서 기술 요소의 우선순위 결정에 소비자의 이질성(heterogeneity)을 반영할 수 있다. 하지만 소비자의 이질적인 중요도를 QFD에 반영하고 이를 통합(aggregate)하여 도출한 기술요소의 우선순위 결과는 본 연구(기술 속성 모수 분포의 평균값 이용)의 결과와 동일하다. 보다 유연한 추정을 위해서는 개인별 기술속성 상대적 중요도에 응답자들마다 다른 가중치를 부여하는 방법이 있겠으나 가중치 부여방안에 대한 명확한 근거를 찾을 수 없었기 때문에 본 연구에서는 모든 응답자들에게 같은 가중치를 부여한 일반평균도출 방식을 사용하였다.

전문가 판단에 의한 각 기술요소의 중요도, 미래의 소비자 선호의 중요도 변화, 경쟁 기술과의 기술력 차이를 분석한다.

우선 전문가 설문을 위해 국내 PLC 기술 전문가 6명과 해외 PLC 기술 전문가 2명을 선정하였다. 국내 PLC 전문가는 PLC칩 생산 업체의 기술개발 기획자 2명, PLC 개발 연구소의 연구원 2명, 정부부처 정책 결정자 1명, 대학교수 1명으로 구성되어 있으며 해외 PLC 전문가는 대학교수 1명과 PLC 제품 관련 기업의 최고경영자 1명으로 구성되어 있다.

이들 전문가로부터 PLC 각 기술요소의 중요도, 소비자 요구사항과 각 기술요소의 관계행렬(relationship matrix)을 5점 척도법(five-point scale)을 이용하여 조사했고 미래 소비자 선호의 변화는 퍼센트 변화로 측정하였다. 즉 "기술요소가 매우 중요하다" 또는 "각 기술요소와 소비자 요구사항이 매우 관련이 많다"에 대해서는 5점을 기입하도록 했고 반대의 경우에 대해서는 1점을 기입하도록 한 후 평균값을 이용하였다. <표 4>에 나와 있는 바와 같이 HOQ의 두 번째 행은 각 기술요소에 대한 전문가들의 직접적인 중요도 평가를 나타낸다. 전문간 판단 부분은 기술로드맵 구성에서 기술 추동적(technology push) 측면을 반영한 것이라고 할 수 있다. 추후에 이 결과는 제시된 모형에서 추정된 기술요소 우선순위와 비교 평가 된다 (표 5 참조).

미래 소비자 선호의 변화는 3년 후와 5년 후 각각에 대해서 중요도가 증가할 경우 양의 퍼센트로 표시가 되고 미래의 중요도 감소에 대해서는 음의 퍼센트로 표시가 된다. 이 역시 전문가의 의견에 기반 하여 작성되며 <표 4>의 가장 오른쪽 부분에서 이 결과를 볼 수 있다. 예컨대 PLC의 안정성의 경우 3년 후에 중요도가 18%가 증가하며 5년 후에는 36%로 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 중요도 변화는 시간(Time 1, Time 2, Time 3)에 따른 각 기술 요소의 중요도 산출시 반영된다.

한편 경쟁가중치(competitive weights)를 도출하기 위해서 현재 데이터 전송 기술 시장에서 PLC와 경쟁하고 있는 무선랜, 이더넷, xDSL, 케이블을 선정하였으며 이들 기술과 PLC의 데이터전송의 안정성, 속도, 모뎀의 가격 수준을 비교하여 기술적 격차를 계산하였다. 이들 기술들은 현재 데이터 전송의 안정성, 속도, 모뎀의 가격 면에서 PLC보다 우위를 차지하고 있는 기술로서 PLC의 벤치마킹 대상이 될 수 있다. 예컨대 PLC 모뎀의 가격이 현재 10만원이고 경쟁기술들의 평균 모뎀의 가격이 6만 5천원이면 기술적 격차는 $10/6.5 = 1.54$로 계산된다. 데이터 전송 속도의 경우 (실제

이용 속도 기준) PLC는 5Mbps 수준이며 경쟁기술들의 평균 전송 속도는 13.3Mbps 수준이므로 전송속도의 기술적 격차는 $13.3/5 = 2.66$로 계산된다. 같은 방법으로 안정성에 대한 기술적 격차는 $10/4.75 = 2.11$로 계산된다. 이때 계산된 기술력 격차는 QFD상에서 다른 요인들과의 전체적인 단위를 통일시키기 위하여 5점 척도로 전환되어 최종적으로 사용된다. 5점 척도로 변환시키는 방법은 Ⅲ절 1항에서 설명한 바 있다.

위에서 추정된 기술로드맵 작성에 필요한 자료와 QFD의 핵심 도구인 HOQ 개념을 이용하여 PLC 각 기술요소들의 우선순위를 결정하였다. <표 4>는 PLC 기술 요소의 중요도 산출결과를 나타낸다. 각 기술요소의 점수는 본 연구에서 고려된 4가지 기준이 합산되어 도출되고 이들은 퍼센트 비율로 표현되어 기술 개발의 우선순위를 가리게 된다. Time 1의 Bandwidth의 점수는 "전문가 점수×{$\sum_i$(소비자 요구사항 i의 상대적 중요도×소비자 요구사항 i와 Bandwidth의 상관관계 정도×소비자 요구사항 i의 경쟁 가중치)}"로 계산된다. 예컨대 Bandwidth의 Time 1 점수의 경우는 4.60(전문가점수)×{0.77(안정성에 대한 소비자들의 상대적 중요도)×

<표 4> PLC 기술요소의 중요도 산출 결과

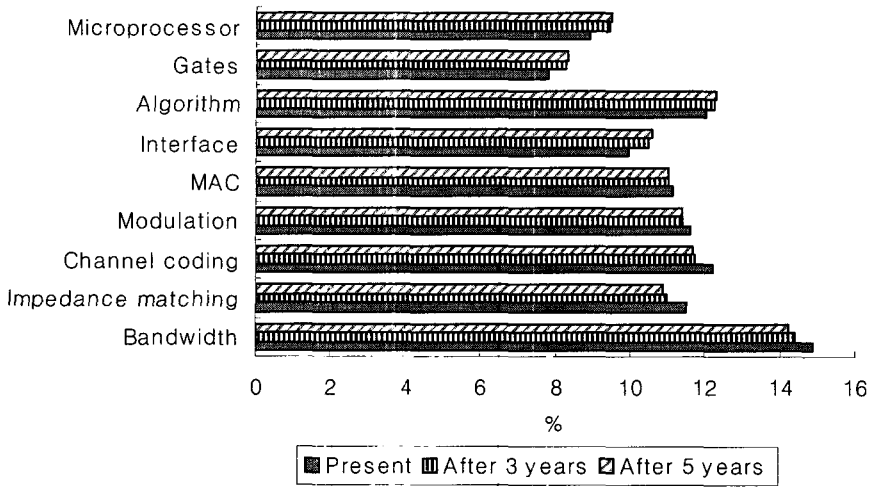
기술요소		Bandwidth	Impedance matching	Channel coding	Modula-tion	MAC	Interface	Algorithm	Gates	Microprocessor	소비자 요구사항 상대적 중요도	경쟁 가중치	중요도 변화 (%)	
전문가 점수		4.60	4.00	4.00	3.80	4.00	3.60	3.80	3.00	3.00			3 years	5 years
1	안정성	3.83	4.17	5.00	4.33	3.83	2.50	3.33	2.50	2.33	0.77	3.96	+18	+36
2	전송속도	4.83	4.17	4.00	4.00	3.50	3.17	4.00	2.83	3.50	3.72	5.00	+33	+18
3	모뎀가격	1.67	1.50	2.00	2.17	2.17	2.83	2.67	2.83	3.00	5.00	2.89	+35	+31
Time 1	Total score	578	448	474	452	432	387	468	304	347				
	%	14.86	11.51	12.19	11.62	11.12	9.95	12.03	7.81	8.91				
Time 2	Total score	2843	2166	2309	2248	2177	2070	2423	1633	1864				
	%	14.41	10.98	11.70	11.39	11.03	10.49	12.28	8.27	9.45				
Time 3	Total score	2598	1982	2128	2073	2013	1926	2241	1523	1732				
	%	14.26	10.88	11.68	11.38	11.05	10.57	12.30	8.36	9.51				

3.83(Bandwidth와 안정성과의 관계정도)×3.96(안정성에 대한 경쟁가중치)+3.72(전송속도에 대한 소비자들의 상대적 중요도)×4.83(Bandwidth와 전송속도와의 관계정도)×5.00(전송속도에 대한 경쟁가중치)+5.00(가격에 대한 소비자들의 상대적 중요도)×1.67(Bandwidth와 모뎀가격과의 관계정도)×2.89(모뎀가격에 대한 경쟁가중치)}≒578로 계산된다. 이 때 Time 2 또는 Time 3를 계산할 경우 각 소비자 요구사항의 상대적 중요도에 중요도 변화율을 적용하여 계산하면 된다. 예컨대 Time 2에서 안정성에 대한 소비자들의 상대적 중요도는 0.77에서 0.77×(1+0.18)=0.9086로 상승하고 이 값이 각 기술요소의 중요도 산출에 적용된다.

<그림 2>는 최종적으로 도출된 PLC 각 기술요소의 중요도와 중요도 변화를 나타낸다. 그림에서 보는바와 같이 현재 시점 기준으로 기술요소들의 우선순위가 Bandwidth, Channel coding, Algorithm, Modulation, Impedance matching, MAC, Interface, Microprocessor, Gates의 순으로 나타났다. 한편 우선순위 결과는 시간의 흐름에 따라 약간의 차이를 보이고 있는데 이는 전문가 설문 결과, 데이터 전송의 안정성에 대한 중요도는 꾸준히 증가하는데 반해 데이터 전송의 속도와 모뎀 가격의 중요도는 어느 시점까지 증가하다가 다시 감소하기 때문이다. PLC의 경우 데이터 전송 시 전류에 의한 노이즈가 발생하여 현재 다른 경쟁 기술에 비해 안정성 측면에서 떨어지기 때문에 이에 대한 중요도는 꾸준히 증가할 전망이다. 반면 데이터 전송 속도와 모뎀 가격은 시간이 지나면서 경쟁기술과의 수준 격차가 좁혀지고 기술적 한계로 인해서 그 중요성은 차츰 감소할 것으로 보인다.

본 연구에서는 기술요소들의 우선순위 결과로부터 추가적인 정보를 도출하기 위해서 본 연구에서 제시한 기술로드맵 모형으로부터 도출한 PLC의 기술요소의 우선순위 결과와 오직 전문가 판단에만 의존한 기술요소들의 우선순위 결과와 비교하였다. 비교분석에 의한 결과는 <표 5>에 요약되어 있다.

<그림 2> 기술로드맵을 위한 기술개발우선순위 결과



<표 5>에서 보는바와 같이 전문가 판단에만 의존한 PLC 기술 요소의 우선순위와 본 연구 결과로부터 도출한 PLC 기술 요소의 우선순위 간에 많은 차이가 존재하는 것을 확인할 수가 있다. 결과를 살펴보면 Bandwidth는 두 결과 모두에서 가장 중요한 기술요소로 도출되었는데 이는 Bandwidth가 현재 한국의 주파수 규제와 관련이 많고 소비자 요구 사항 측면에서 데이터 전송의 안정성과 속도와 관련이 매우 많은 기술요소이기 때문으로 풀이된다. 따라서 PLC의 발전을 위해서는 무엇보다도 유럽의 경우처럼 완전한 주파수 규제 완화가 필요할 것으로 보인다. 한편 전문가 판단과는 다르게 로드맵 결과에서는 Channel coding과 Algorithm의 중요도가 높게 나타났는데 이 결과는 이들 기술요소가 소비자의 요구사항 중 데이터 전송속도와 모뎀의 가격에 많은 영향을 끼치기 때문으로 판단된다. 이와 반대로 Impedance matching, MAC, Interface는 로드맵 결과에서 전문가 판단과 다르게 중요도가 낮은 것으로 도출되었는데 이는 이들 기술요소가 모뎀의 가격과 관련성이 적기 때문으로 판단된다. 마지막으로 Microprocessor와 Gates는 전문가의 판단과 기술 로드맵 결과 모두에서 중요도가 낮은 것으로 일치하는데, 그 이유는 이들 기술요소가 PLC 칩의 추가적인 기능과 관련이 많기 때문이다. 즉 보다 개선된 Microprocessor와 Gates를 PLC 칩에 장착하는 것이 가능하지만 이들이 데이터 전송속도와 안정성에 기여하는 것에 비해 모뎀의 비용 상승효과가 더욱 크므로 이들 기술 요소를 개선시키는 데는 어려움이 따른다.

위의 결과는 기술 로드맵 작성 시 전문가 판단에만 의존할 경우 기술 진화가 잘못된 방향으로 진행할 수 있으며 결국 시장에서 해당 기술의 실패로 이어질 수 있음을 시사하고 있다.

<표 5> 전문가 판단에만 의존한 로드맵과 제시된 모형에 의한 로드맵 결과 비교

우선순위	전문가 판단	우선순위	제시된 모형
1	Bandwidth	1	Bandwidth
2	Impedance matching	2	Channel coding
	MAC	3	Algorithm
4	Interface	4	Modulation
5	Channel coding	5	Impedance matching
	Modulation	6	MAC
7	Algorithm	7	Interface
8	Microprocessor	8	Microprocessor
9	Gates	9	Gates

V. 결 론

본 연구에서는 기존의 로드맵 관련 연구가 가지고 있는 중요한 취약점인 로드맵 작성의 절차에 대한 체계화 문제와 방법론에 대한 구체화의 문제를 해결하기 위해 기술 로드맵 기초 작성을 위한 구체적인 방법을 제시하였다. 즉 기술 요소들의 우선순위 결정을 위하여 소비자의 요구사항, 기술요소의 중요도, 경쟁기술과의 기술적 격차, 미래의 소비자 선호의 변화를 고려하여 로드맵 작성을 위한 자료로 이용하였다. 특히 소비자의 요구사항에 대한 선호도를 분석하기 위해 가상적인 상황에서 소비자의 선호를 파악하는데 유용한 설문기법인 컨조인트 분석을 이용하였고 위의 4가지 요소를 시스템적으로 결합하는데 QFD의 개념을 이용하였다. 본 연구에서 제시된 모형은 PLC와 같은 통신기술 뿐만 아니라 자동차, 반도체 등 특정 산업에 관계없이 다양한 기술에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

제시된 모형을 PLC 기술에 적용하여 분석한 결과 전문가 판단에만 의존한 기술요소의 우선순위와 제시된 모형으로부터 도출된 우선순위 간에 차이가 발생하는 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 차이는 기술 개발을 위한 우선순위 결정 시 기술을 이용하는 소비자 측면, 대안이 되는 경쟁 기술과의 차이의 고려 여부에 기인하는 것이다. 따라서 본 연구는 기업의 전략적인 기술개발계획 혹은 정부의 전략적인 정책 결정 수립 시 기술과 관련된 주변 환경을 충분히 고려한 후에 결정해야 함을 시사한다. 특히 기술로드맵은 조직 간의 공동목표를 확립하고 그 전략을 수립해 나감으로써 조직과 구성원이 방향을 같이 하여 시너지를 낼 수 있는 중요한 도구이므로 기술로드맵 작성에 신중을 기해야 한다.

한편 본 연구는 몇 가지 한계점을 드러내고 있는데 동적인 기술 요소의 우선순위를 판단하는 데 있어 시간에 따른 소비자 선호의 변화만을 반영하였으며 이 또한 전문가의 판단에 의존했다는 점이다. 보다 견고한 동적인 기술 요소의 우선순위 변화를 파악하기 위해서는 소비자 선호의 변화뿐만 아니라 동적인 경쟁 기술과의 격차와 기술요소의 중요도 변화 또한 고려되어야 할 것이다. 또한 동적인 소비자 선호의 변화를 전문가 판단에 의존하는 방법 대신에 일정한 시간 간격을 두고 설문을 여러 번 실시하여 패널 자료를 구축 할 수 있다면 보다 정확한 기술 예측을 할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

Akao, Y. (1990), *Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design*, Portland: Productivity Press.

Albright, R.E. and Kappel, T.A. (2003), "Roadmapping in the Corporation", *Research Technology Management,* Vol. 46, issue 2, pp.31-40.

_____ and Schaller, R. (1998), "Taxonomy of Roadmaps", Proceeding of *Technology Roadmap Workshop,* Office of Naval Research, Washington DC

Calfee, J., Winston, C., and Stempski, R. (2001), "Econometric Issues in Estimating Consumer Preferences from Stated Preference Data: A Case Study of the Value of Automobile Travel Time", *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 84, issue 4, pp.699-707.

Green, P. E. and Srinivasan V. (1978), "Conjoint Analysis in Consumer Research: Issues and Outlook," *Journal of Consumer Research*, Vol. 5, issue 2, pp.103-123.

Groenveld, P. (1997) "Roadmapping Integrates Business and Technology", *Research Technology Management*, Vol. 40, issue 5, pp.48-55.

Heo, Y. S. (2004), "Technology Roadmap of PLC", KETI Report.

Holmes, C. and Ferrill, M. (2005), "The Application of Operation and Technology Roadmapping to Aid Singaporean SMEs Identify and Select Emerging Technologies", *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 72, issue 3, pp.349-357.

Kappel, T. A. (2001), "Perspective on Roadmaps: How Organizations Talks about the Future", *Journal of Product Innovation Management*, Vol. 18, issue 1, pp.39-50.

Korea Electronics Technology Institute (2005), "The Concept and Trend of PLC", *KETI Report.*

Kostoff, R. N. and Shaller, R. R. (2001), "Science and Technology Roadmap", *IEEE Transaction of Engineering Management*, Vol. 48, issue 2, pp. 132-143.

Lee, J. S., Cho, Y. S., Lee, J. D., and Lee, C. Y. (2006), "Forecasting the Evolution of Demand for the Large Sized Television of Next Generation Using Conjoint and Diffusion Models", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.73, issue 4, pp.362-376.

Lee, S. and Park, Y. (2005), "Customization of Technology Roadmaps According to Roadmapping Purposes: Overall Process and Detailed Modules", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 72, issue 5, pp.567-583.

Louviere J. J. and Hensher D. A. (2001), *Stated Choice Methods: Analysis and Application*, Cambridge: Cambridge University Press.

Train, K. (2003), *Discrete Choice Method with Simulation*, Cambridge: Cambridge University Press.

_____ and Sonnier, G. (2003), "Mixed Logit with Bounded Distribution of Partworths", *Working Paper*, University of California, Berkeley and Los Angeles.

Willyard, C. H. and McClees, C. (1987), "Motorola's Technology Roadmap Process", *Research Management*, Vol. 30, issue 5, pp.13-19.

□ 논문 접수: 2007년 1월 2일/ 최종 수정본 접수: 2007년 5월 6일