IE Interfaces
Vol. 18, No. 3, pp. 253-267, September 2005.

회귀변수 선택절차를 이용한 인터넷통신 네트워크 품질특성과 고객만족도의 관계 실증분석

박성민[1†] · 박영준[2]

[1]천안대학교 경상학부 / [2]한국전자통신연구원 통신경영연구팀

Empirical Analysis of Relationship between Internet Communication Network Quality Characteristics and Customer Satisfaction using Regression Variable Selection Procedures

Sungmin Park[1] · Youngjoon Park[2]

[1]Department of Business Administration, Cheonan University, Cheonan, 330-704
[2]Telecommunication Management Research Team, ETRI, Daejeon, 305-700

Customer satisfaction becomes one of the important managerial concerns associated with corporate competency in current competitive environment for Internet communication service companies. Hence, it is demanding to improve a company's customer satisfaction through the total quality management perspective. In practice, engineers as well as the management hope to find major quality characteristics with Internet communication network that is closely related to customer satisfaction, consequently aiming to the raise of their company's customer satisfaction. This paper presents an empirical relationship analysis between network quality characteristics and customer satisfaction on Internet communication. Methodologically, the relationship analysis framework is based on the regression variable selection procedures. In this framework, it is implemented that; 1) iterative model building; and 2) consistent criteria application to statistical tests for selecting significant variables. A case study shows that; 1) the customer satisfaction on the network connection seems to be more closely related to the network quality characteristics compared with the customer satisfaction on the network speed; and 2) the download disconnection rate has relatively evident relationship with the customer satisfaction on the network connection.

Keywords: customer satisfaction, quality characteristics, regression variable selection procedures, internet communication network

1. 서 론

1.1 연구배경

최근 인터넷통신 업체 사이의 경쟁이 가속화되는 상황에서, 정기적인 설문조사 등을 통해 정량화되는 고객만족도(customer satisfaction; CS)는, 기업의 핵심경영 성과지표 중 하나로서 관리되고 있다. 기업이 고객의 서비스 수준에 대한 만족도를 측정하는 목적에는 CS 제고를 위한 기업 내 품질개선 활동으로의 연계도 포함된다(Kim *et al.*, 2004).

본 연구는 한국전자통신연구원 연구비 지원을 받아 수행되었음.
†연락저자 : 박성민 교수, 330-704 충청남도 천안시 안서동 115번지 천안대학교 경상학부, Fax : 041-550-9172,
E-mail : smpark99@cheonan.ac.kr
2005년 2월 4일 접수, 1회 수정 후 2005년 5월 1일 게재 확정.

최근까지 관련 연구는, 통신서비스별로 특화된 고객만족도 측정체계 수립 또는 고객만족도 평가 · 측정항목 논의 등에 초점이 맞추어져 있다. 전화통신 관련, CS와 서비스품질(quality of service; QoS) 사이의 연계체계를 정립하고, 이에 기반을 둔 QoS 개선에 따른 CS 변화량 파악이 바람직한 것으로 제안된 바 있다(Lee and Kim, 2000). 또한, 설문조사 오피니언 평가법(opinion test method)을 이용한 전화통신 QoS 대비 CS 평가방법도 고찰된 바 있다(Ahn *et al.*, 1999). 이동전화통신 관련, 경쟁사와의 비교지수화에 기초한 CVA(customer value added) 측정체계가 제안된 바 있다(Youn, 1999). 무선인터넷통신 CS 분석 구조방정식 모형(structural equation model)을 이용하여, CS에 대한 정보전송품질, 고객서비스, 요금정책, 서비스 유용성의 상관관계 연구결과도 보고된 바 있다(So and Sohn, 2001).

한편, 급속한 기술적 진보가 서비스에 적극 구현되어 상용화가 활발히 추진중인 최근 인터넷통신과 관련, 기술적 네트워크 품질특성(network quality characteristic; NQC)과 CS와의 관계분석을 시도하고 전사적 품질경영(total quality management; TQM) 차원에서 그 분석결과를 활용해, CS 향상을 위한 품질개선 활동으로 연계하고자 하는 논의도 보고된 바 있다(Park *et al.*, 2004). 앞으로는, 현장 실무자에게 있어 실제 활용성을 갖는 CS 향상에 도움을 줄 수 있는 구체적인 분석 체계 및 결과를 제시하는 연구의 필요성이 더욱 증대될 것으로 판단된다.

특히, 이러한 맥락에서 최상위 경영성과지표인 CS에 영향을 줄 것으로 추정되어 온, 기존의 다양한 NQC 중에서 각 NQC 항목 고유의 유의성 정도를 확인하고 CS에 대해 상대적으로 유의성이 큰 NQC를 검출하는 실증적 관계분석이 필요할 수 있다. 하지만, 이러한 실증적 관계분석 시 고려해야 할 데이터 수, 양 등의 현실적 상황은, 분석의 난점 중 하나로 지적될 수 있다. 또한, 인터넷통신 서비스가 등급별, 지역별 등으로 다양화, 세분화되어 제공될 경우 이에 따라 고려해야 할 경우의 수가 급격히 증가될 수 있으므로, 이러한 현실적 상황에 맞는 실증적 관계분석 체계, 모형 및 사례분석 등이 정립, 제시될 필요가 있다고 판단된다.

본 연구에서는, 인터넷통신 NQC와 고객만족도와의 실증적 관계분석을 실시하고자 한다. 특히; 1) 모형화 반복; 2) 일관된 통계적 유의성 판정기준 적용 등을 현장 실무자들이 용이하게 구현할 수 있는 분석체계 및 모형을 정립하고, 이에 기초한 사례분석을 제시한다. 한편, 모형화 과정은, 회귀변수 선택절차(regression variable selection procedures) 방법론에 기초한다.

1.2 회귀변수 선택절차

분석대상 회귀변수(regressor variable) 수가 증가할수록; 1) 회귀변수의 통계적 유의성 판정; 2) 반응변수(response variable)와 회귀변수와의 상관관계 해석; 3) 다중공선성(multicollinearity) 확인 등에 더욱 세심한 주의가 요구된다. 또한, 수립 가능한 모형의 수 증가 및 이로 인한 모형화 반복이 심해질 경우, 일관된 절차에 따라 회귀변수의 통계적 유의성 및 모형 적합성(model adequacy)을 판정함으로써, 모형화 과정의 객관성을 확보할 필요가 있다. 한편, 대표적인 실증적 혹은 경험적(empirical) 모형화 방법론인 회귀분석에 속한 다양한 회귀변수 선택절차들을 이용해, 모형화 반복, 회귀변수의 통계적 유의성 및 모형 적합성 판정 등을 시도할 수 있다. 군집(clustering)기법과 단계회귀(stepwise regression)를 통합한 예측방법을 활용해, 제철공정관리 사례분석을 시도한 바 있고(Chong and Jun, 2002), 반도체 제조공정관리를 위한 관리항목 선별 등에 다양한 회귀변수 선택절차를 응용한 연구가 보고된 바 있다(Patterson *et al.*, 2003).

다중공선성 영향을 완화하기 위해서; 1) 최소제곱추정량(least squares estimator)의 선형결합 편의추정량(biased estimator)을 구하는 능선회귀(ridge regression); 2) 회귀변수 간 선형결합으로 차원을 변환한 후, 회귀모형을 수립하는 주성분회귀(principal components regression) 등이 사용될 수 있다. 이와 대비해, 일반적으로 원시 데이터(raw data)를 그대로 사용하는 회귀변수 선택절차로는; 1) all possible regressions; 2) stepwise-type procedures 등이 있다. 특히, stepwise-type procedures에는; 1) stepwise regression; 2) forward selection; 3) backward elimination 방법이 포함된다(Montgomery and Runger, 1999; Montgomery *et al.*, 2001). 한편, stepwise regression은 forward selection과 backward elimination을 결합한 방법으로 볼 수 있다. 즉, forward selection을 통해 새로운 회귀변수가 추가된 후, 이전 회귀모형에 존재했던 나머지 회귀변수의 partial-F 통계치 유의성을 재평가해 유의하지 않은 회귀변수를 다시 제거함으로써, 회귀변수 간 중복(redundancy)을 처리할 수 있다.

2. 분석 데이터

인터넷통신 서비스 업체에서는 업의 특성상 관례적으로, 데이터 측정위치, 수집경로를 기준으로 기업의 외부 데이터와 내부 데이터로 분류하여 데이터 수집, 관리, 분석이 수행된다. 즉; 1) 정기적인 고객 설문조사를 토대로 산출된 고객만족도 지수(customer satisfaction index; CSI) 혹은 다양한 고객관계관리(customer relationship management; CRM) 경로를 통해 접수된 고객불만족 접수 건을 집계한 '고객의 소리(voice of customer; VoC)' 등이 대표적인 외부 데이터이고; 2) 네트워크 장비에서 온라인 자동계측된 NQC 데이터 등이 내부 데이터에 속한다(Kim, 1999; Lee and Kim, 2000). 그 결과, NQC, VoC는 대량 데이터(massive data)인 반면, CSI는 상대적으로 소량 데이터(small data)인 특징이 있다.

CSI, VoC 데이터는 고객만족도를 반영하며; 1) CSI 측도는 보통 고객만족도에 비례하도록 설정되는 반면; 2) VoC 데이터는 고객만족도에 반비례하는 가산 데이터(countable data)로 집계된다. NQC 데이터는 네트워크 성능(network performance; NP)을 반영하며, 이는 고객이 서비스를 요청할 때 주어진 조건 내에서 어려움 없이 서비스를 제공할 수 있는 서비스 가용능력

(serviceability)으로 연계될 수 있다. 서비스 가용능력은 세부적으로 서비스; 1) 접근성(accessibility); 2) 유지성(retainability); 3) 완전성(integrity) 등으로 분류되기도 한다(Cho *et al.*, 2002; Yoon *et al.*, 2003).

초고속 인터넷통신 서비스 사용자를 대상으로 한 설문조사 데이터를 분산분석한 결과를 토대로, 사업자가 중점적으로 관리해야 할 NP 항목이 추천된 바 있다. 사용자, 사업자 모두 접속, 속도와 관련된 NP를 가장 중시하는 것으로 확인되었다(Park *et al.*, 2001). 관련 문헌 고찰 및 인터넷통신 관련 현장 엔지니어, 품질경영 실무자 및 통신경영 전문가 등의 경험, 의견을 종합해 선별된 아래 데이터를 본 연구의 관계분석 대상으로 한정하고 본 논문을 기술하고자 한다. 한편, 데이터 수집 및 처리에 투입되는 인력, 시간, 비용 등도 분석대상 선별 시 고려되었음을 밝힌다.

- 고객만족도는; 1) 접속; 2) 속도 두 항목을 고려한다. 각 항목별 고객만족도는 CSI, VoC 데이터로 정량화될 수 있다고 가정한다. CSI 데이터는 설문조사 시 명시적인 접속, 속도 고객만족도 문항을 제시해 산출한다. VoC 데이터는 업체별로 보유하고 있는 VoC 코드 분류표에서 정의한 접속, 속도 코드로 분류된 고객불만족 접수건만을 집계할 수 있다.
- NQC 항목으로서, 고객만족도와 가장 밀접한 관계가 있을 것으로 추정되고 있는 아래 일곱 개 항목을 분석대상으로 정한다; 1) 패킷 손실률; 2) 접속성공률; 3) 상향단절률; 4) 하향단절률; 5) 상향속도; 6) 하향속도; 및 7) 패킷 전달 지연시간. 본 연구에서는, 1-4번 항목은 접속 관련, 5-7번 항목은 속도 관련 NP 성능에만 연계되는 것으로 가정한다.

3. 분석모형·체계

3.1 분석모형

- *완전모형(full model)*

CSI, VoC와 NQC의 관계분석을 위한 완전모형을 수립할 수 있다. $\boldsymbol{y}$는 CSI 데이터를 갖는 $n\times1$벡터, $\boldsymbol{X}$는 k개 NQC 항목을 갖는 $n\times p$ 행렬, 회귀모형 절편(intercept)을 고려하여 $p=k+1$, $\boldsymbol{\beta}$는 $p\times1$ 회귀계수 벡터, $\boldsymbol{\varepsilon}$는 확률오차(random error)를 갖는 $n\times1$벡터로 정의하자. 식 (1)을, CSI vs. NQC(즉, $\boldsymbol{y}-\boldsymbol{X}$) 관계분석을 위한 완전모형으로 정의한다.

한편, 식 (2)를 VoC vs. NQC(즉, $\boldsymbol{z}-\boldsymbol{X}$) 관계분석을 위한 완전모형으로 정의한다. 식 (2)에서 $\boldsymbol{z}$는 VoC 데이터를 갖는 $n\times1$벡터, $\boldsymbol{\gamma}$는 $p\times1$ 회귀계수 벡터로 정의하자.

$$\boldsymbol{y}=\boldsymbol{X}\boldsymbol{\beta}+\boldsymbol{\varepsilon} \tag{1}$$

$$\boldsymbol{z}=\boldsymbol{X}\boldsymbol{\gamma}+\boldsymbol{\varepsilon} \tag{2}$$

CSI, VoC 데이터는 접속, 속도 두 개 고객만족도 하위항목으로 나뉘어 분석될 수 있다. 그러므로, 식 (1)은 식 (3), (4)로, 식 (2)는 식 (5), (6)과 같이 두 모형으로 분리하여 수립될 수 있다. 식 (3)~(6)의 아래첨자 'c', 's'는 순서대로 각각 접속(connection) 및 속도(speed) 관련 벡터, 행렬 표기를 위해 사용한다.

$$\boldsymbol{y}_c=\boldsymbol{X}_c\boldsymbol{\beta}_c+\boldsymbol{\varepsilon} \tag{3}$$

$$\boldsymbol{y}_s=\boldsymbol{X}_s\boldsymbol{\beta}_s+\boldsymbol{\varepsilon} \tag{4}$$

$$\boldsymbol{z}_c=\boldsymbol{X}_c\boldsymbol{\gamma}_c+\boldsymbol{\varepsilon} \tag{5}$$

$$\boldsymbol{z}_s=\boldsymbol{X}_s\boldsymbol{\gamma}_s+\boldsymbol{\varepsilon} \tag{6}$$

식 (3)~(6)으로 정의된 완전모형 수립을 위해, <Table 1>에 제시된 것처럼 벡터, 행렬을 정의하자. 반응변수 $\boldsymbol{y}_c$, $\boldsymbol{z}_c$는 순서대로 CSI, VoC 접속 고객만족도 데이터를 갖는 벡터이며, 이와 관계분석될 행렬 $\boldsymbol{X}_c$는 네 개 NQC 항목에 대응하는 회귀변수 벡터 $\boldsymbol{x}_{c1}$, $\boldsymbol{x}_{c2}$, $\boldsymbol{x}_{c3}$, $\boldsymbol{x}_{c4}$를 포함한다. 반면, $\boldsymbol{y}_s$, $\boldsymbol{z}_s$는 각각 순서대로 CSI, VoC 속도 고객만족도 데이터를 갖는 벡터이며, 이와 관계분석될 행렬 $\boldsymbol{X}_s$는 세 개 NQC 항목에 대응하는 회귀변수 벡터 $\boldsymbol{x}_{s1}$, $\boldsymbol{x}_{s2}$, $\boldsymbol{x}_{s3}$를 포함한다.

- *축소모형(reduced model)*

식 (3)~(6)으로 정의된 완전모형 중에서, 통계적 유의성이 없거나 혹은 회귀계수 추정에 문제가 있는 회귀변수를 모형에서

Table 1. Vector and matrix definition for full models

Equation	Response variables		Regressor variables			
	Vector	Data	Matrix	p	Vector	Data
(3), (5)	$\boldsymbol{y}_c$, $\boldsymbol{z}_c$	CSI, VoC connection	$\boldsymbol{X}_c$	5	$\boldsymbol{x}_{c1}$	Packet loss rate
					$\boldsymbol{x}_{c2}$	Connection success rate
					$\boldsymbol{x}_{c3}$	Upload disconnection rate
					$\boldsymbol{x}_{c4}$	Download disconnection rate
(4), (6)	$\boldsymbol{y}_s$, $\boldsymbol{z}_s$	CSI, VoC speed	$\boldsymbol{X}_s$	4	$\boldsymbol{x}_{s1}$	Upload speed
					$\boldsymbol{x}_{s2}$	Download speed
					$\boldsymbol{x}_{s3}$	Packet transmission delay time

제거하면, 식 (7)~(10)으로 정의한 축소모형을 수립할 수 있다. 그리고, 이렇게 수립된 축소모형에 기초하여 유의한 NQC 항목을 검출할 수 있다. 식 (7)~(10)은 순서대로 식 (3)~(6)에 대응되며, 위첨자 '1'은 축소모형에 포함된 NQC 항목에 대응하는 벡터, 행렬 표기를 위해 추가 사용한다.

$$y_c = X^1_c \beta^1_c + \varepsilon \tag{7}$$

$$y_s = X^1_s \beta^1_s + \varepsilon \tag{8}$$

$$z_c = X^1_c \gamma^1_c + \varepsilon \tag{9}$$

$$z_s = X^1_s \gamma^1_s + \varepsilon \tag{10}$$

3.2 분석체계

회귀변수 선택절차에 기초해, 관계분석 모형화 그리고 접속, 속도 고객만족도에 유의한 NQC 항목 검출을 위한, 실증적 관계분석체계를 <Figure 1>과 같이 정리한다. 즉, 수집된 분석대상 CSI, VoC, NQC 데이터로서, 완전모형 수립을 위한 데이터 집합(dataset)을 준비한다.

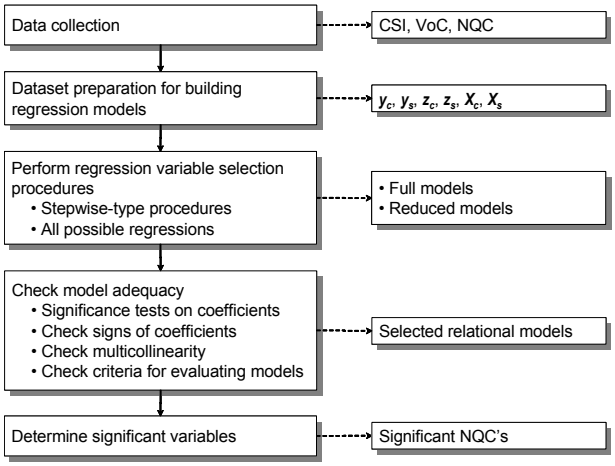

Figure 1. Empirical relationship analysis framework.

식 (7)~(10)으로 정의된 축소모형을, stepwise-type procedures 세 방법; 1) stepwise regression; 2) forward selection; 3) backward elimination을 이용해 각각 수립한다. 다음, 이와 같이 수립된 축소모형에 포함되어 통계적 유의성을 갖는 회귀변수의 추정 회귀계수 부호(sign)가, 상관관계를 바탕으로 기정의한 기대부호와 일치하는지 확인한다. 더불어, 회귀변수 다중공선성을 검토해, 회귀계수 추정산포에 문제가 있는지를 확인한다. 부호 및 다중공선성 문제가 있는 회귀변수는 추가 제거될 수 있다.

위와 같은 일련의 과정을 거쳐 수립된 축소모형을, all possible regressions 방법으로 수립 가능한 나머지 모든 회귀모형과 비교한다. 아래 제시된 네 개 통계량을 중심으로 비교하고, 축소모형의 설명력 및 추정능력의 상대적 정밀도를 추가로 평가한다. 최종적으로 선택된 모형에 포함된 회귀변수에 대응하는 NQC 항목을, 해당 고객만족도에 대해 상대적으로 밀접한 실증적 관계를 갖는 것으로 판단한다.

- 결정계수(coefficient of multiple determination, R^2_p)
- 조정결정계수(adjusted coefficient of multiple determination, $\overline{R}^2_p$)
- 잔차제곱평균(residual mean square, $MS_E(p)$)
- 맬로우즈 C_p(Mallows' C_p)

4. 사례분석

4.1 데이터 수집·처리

사례분석 대상 서비스로서, 초고속 인터넷통신 서비스를 선정한다. 사례분석 대상기간은, 2003년 하반기 7월 1일부터 2004년 상반기 6월 30까지 총 1년, 366일을 선정한다. 총 11개 위치에서 데이터가 수집된다.

• *CSI*

분석대상 4개 분기(quarter) 동안 실시된 설문조사를 통해 CSI 데이터를 수집한다. 설문조사 횟수는 <Table 2>와 같다. 설문조사서에, 접속 및 속도 만족도를 5점 척도로 평가하는 문항을 명시해, CSI 원시 데이터를 수집하고, 원시 데이터를 데이터 변환 후 분석한다. 데이터 변환은 고객만족도 수준 관련 기밀(confidentiality) 보호도, 그 이유에 포함됨을 밝힌다. 각 위치별, 분기별, 변환 데이터의 중위수(median)를 CSI 데이터로 정의한다. 그러므로, y_c, y_s는 각각 44×1 임의 단위의 CSI 변환 데이터

Table 2. Number of surveys regarding CSI data collection

	Collection location codes											
Quarter	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	Total
2003.3/4	138	311	434	238	310	372	257	142	33	204	106	2545
2003.4/4	433	884	1256	422	576	723	758	385	102	498	318	6355
2004.1/4	497	908	1136	676	862	959	602	380	167	496	320	7003
2004.2/4	429	830	1070	610	790	860	550	336	161	487	300	6423

를 갖는 벡터로 정의된다.

• *VoC*

VoC 코드 분류표에 의해 분류, 집계되는 전체 VoC 데이터 중, 접속 및 속도 관련 VoC 코드로 분류된 데이터만을 추출한다. VoC 코드 1, 2차 유형 및 상세 유형별 파레도 차트(pareto chart) 예비분석 결과, 1차 품질유형 코드, 2차 고장유형 코드에 속한; 1) '접속 불가/접속 후 끊김' VoC 상세유형 코드로 집계된 데이터를 VoC 접속 데이터; 2) '속도 느림' VoC 상세유형 코드로 집계된 데이터를 VoC 속도 데이터로 정의한다. VoC 데이터는, 수집 위치별로 366일 간 집계됨으로써, z_c, z_s는 4026×1 크기의 가산 데이터를 갖는 벡터로 정의된다. 한편, 데이터 수집 위치별 가입자 수가 상이함으로써 발생하는 차이를 보정하기 위해, VoC 원시 데이터도, 위치별 가입자 수 데이터를 고려한, VoC 표준화 데이터가 분석 시 사용된다. 그러므로 z_c, z_s, 역시 임의 단위의 VoC 변환 데이터를 갖는다.

• *NQC*

VoC와 마찬가지로 위치별로, 일별 데이터가 수집된다. 하지만, 2004년 4월 25일 결측 데이터(missing data) 발생으로 인해, NQC 각 항목별로 4015×1 크기의 항목 고유단위 데이터를 갖는 벡터로 정의된다. 단, $y-X$ 분석을 위해서는, NQC 각 항목별, 분기별로, 일별 데이터의 중위수를 역시 사용한다.

<Table 3>은 완전모형 기준; 1) 벡터, 행렬 크기; 2) 회귀변수 데이터 단위; 3) 추정 회귀계수 기대부호를 요약한다. y, z에 대응되어 관계분석되는 X 행렬은 동종의 벡터 항목을 갖지만, 분기별 혹은 일별 데이터 사용 여부에 따라 크기에 차이가 있다. 이후, 특별한 언급이 없는 한, CSI 및 VoC 데이터는 변환 데이터를 의미한다. VoC 데이터는 고객불만족 접수건 집계 데이터에 기초하므로, CSI 데이터와는 반대 추정 회귀계수 부호가 기대된다.

4.2 CSI vs. NQC

• *접속 CSI vs. NQC*

<Table 3>처럼 준비된 데이터 집합을 이용하여 접속 CSI vs. NQC, 즉, $y_c - X_c$ 관계분석을 실시한다. Stepwise-type procedures로써, 접속 CSI에 통계적 유의성을 갖는 NQC 항목을 판정한다. 한편, 사례분석을 위한 전산통계 소프트웨어로서 Minitab^{R}이 사용된다.

Stepwise-type procedure별로, 추정 회귀계수의 통계적 유의성 판정을 위한 경계값(cutoff value)으로서, forward selection은 $\alpha_{IN}=0.25$, backward elimination은 $\alpha_{OUT}=0.10$으로 정의한다(Montgomery *et al.*, 2001). Stepwise regression의 두 개 경계값 $\alpha_{IN}=\alpha_{OUT}=0.15$는 Minitab^R(2003)이 제공하는 초기값을 그대로 채택한다.

<Table 4>에 제시된 $y_c - X_c$ 관계분석 결과, stepwise regression, backward elimination은 x_{c4}를, forward selection은 x_{c1}, x_{c4}를 접속 CSI에 통계적 유의성을 갖는 것으로 판정한다. 또한, 추정 회귀계수 부호가 기대부호와 일치되는 것을 확인할 수 있는데, 이 경우 $\hat{\beta}_{c1}$, $\hat{\beta}_{c4}$가 모두 음수(−) 부호로 추정된다.

위 두 회귀변수의 분산확대인자(variance inflation factor; VIF)는 $VIF_1 = VIF_4 = 3.0$으로, VIF 5-10 기준으로 다중공선성은 강

Table 3. Vector and matrix size, data units of regressors and expected signs for estimated regression coefficients

Relationship	Vector and matrix	Vector and matrix size	Regressors	Data unit	Expected signs for estimated regression coefficients
$y_c - X_c$	y_c	44×1	x_{c1}	%	−
			x_{c2}	%	+
	X_c	44×5	x_{c3}	%	−
			x_{c4}	%	−
$y_s - X_s$	y_s	44×1	x_{s1}	kbps	+
			x_{s2}	kbps	+
	X_s	44×4	x_{s3}	msec	−
$z_c - X_c$	z_c	4015×1	x_{c1}	%	+
			x_{c2}	%	−
	X_c	4015×5	x_{c3}	%	+
			x_{c4}	%	+
$z_s - X_s$	z_s	4015×1	x_{s1}	kbps	−
			x_{s2}	kbps	−
	X_s	4015×4	x_{s3}	msec	+

하지 않다고 판정하여, 위 두 회귀변수 간 의존성 및 회귀계수 추정산포에는 문제가 없다고 판단된다. 한편, <Figure 2.a-d>는 <Table 5>에 제시된 all possible regressions 주요 통계량을 그래프로 비교한다. <Figure 2.a-d> 네 개 패널(panel)은, 순서대로 수립 가능한 15개 회귀모형의 R^2_p, $\overline{R}^2_p$, $MS_E(p)$, C_p를 차례대로 비교한다. 한편, <Table 5>는 잔차제곱합(residual sum of squares, $SS_E(p)$)이 추가되어 있다.

<Figure 2.a-d> 네 개의 panel 검토 결과, 상대적으로 우수한 회귀모형은; 1) p=2, x_{c4}; 2) p=3, x_{c1}, x_{c4}; 3) p=4, x_{c1}, x_{c3}, x_{c4}; 4) p=5, x_{c1}, x_{c2}, x_{c3}, x_{c4}를 갖는 것을 확인할 수 있다. 특히, stepwise-type procedures 분석결과와 연계하여, x_{c1}, x_{c4}를 갖는 p=3 회귀모형은; 1) R^2_p, $\overline{R}^2_p$, $MS_E(p)$로 표현되는 회귀모형 설명력; 2) C_p로 표현되는 평균제곱오차(mean square error; MSE) 관점에서의 추정능력의 정밀도도 상대적으로 우수한 것으로 판단된다. <Figure 2.d>에는, 모형편의가 없다는 가정하의 C_p 통계량의 평균기대치인 p값을 나타내는 대각직선이 추가로 표시된다.

• 속도 *CSI vs. NQC*

$y_s - X_s$ 관계분석을 위한 stepwise-type procedures 실행결과가 <Table 6>에 정리된다. 세 개 방법 모두, 유의한 회귀변수로서 x_{s3}를 선택한다. 또한, $\hat{\beta}_{s3}$이 기대처럼 음수(−) 부호를 갖는 것을 확인할 수 있다.

<Table 7>에 제시된, $y_s - X_s$ 관계분석을 위한 all possible re-

Table 4. Summary of stepwise-type procedures for $y_c - X_c$ relationship

Procedures	Cutoff values	Regressors in Model	Statistics	Step1	Step2	Step3	Step4
Stepwise regression	$\alpha_{IN}=0.15$ $\alpha_{OUT}=0.15$	Intercept	$\hat{\beta}_0$	65.158			
		x_{c4}	$\hat{\beta}_{c4}$	-1.644			
			t_0	-5.280			
			p-value	0.000			
			VIF				
Forward selection	$\alpha_{IN}=0.25$	Intercept	$\hat{\beta}_0$	65.158	65.584		
		x_{c4}	$\hat{\beta}_{c4}$	-1.644	-1.062		
			t_0	-5.280	-1.990		
			p-value	0.000	0.053		
			VIF		3.0		
		x_{c1}	$\hat{\beta}_{c1}$		-7.571		
			t_0		-1.340		
			p-value		0.189		
			VIF		3.0		
Backward elimination	$\alpha_{OUT}=0.10$	Intercept	$\hat{\beta}_0$	52.310	65.235	65.584	65.158
		x_{c1}	$\hat{\beta}_{c1}$	-7.946	-8.035	-7.571	
			t_0	-1.290	-1.410	-1.340	
			p-value	0.204	0.166	0.189	
			VIF	3.4	3.0	3.0	
		x_{c2}	$\hat{\beta}_{c2}$	0.129			
			t_0	0.040			
			p-value	0.967			
			VIF	1.4			
		x_{c3}	$\hat{\beta}_{c3}$	1.545	1.538		
			t_0	0.920	0.930		
			p-value	0.362	0.356		
			VIF	17.5	17.3		
		x_{c4}	$\hat{\beta}_{c4}$	-2.213	-2.194	-1.062	-1.644
			t_0	-1.570	-1.660	-1.990	-5.280
			p-value	0.125	0.105	0.053	0.000
			VIF	20.3	18.3	3.0	

gressions 주요 통계량을 <Figure 3.a-d>의 네 개 패널로 요약한다. 수립 가능한 7개 회귀모형을 조사해 보면; 1) p=2, x_{s3}; 2) p=3, x_{s1}, x_{s3}; 3) p=4, x_{s1}, x_{s2}, x_{s3}일 때 상대적으로 우수한 통계량을 갖는다. 특히, p=2, x_{s3} 회귀모형은, 나머지 6개 회귀모

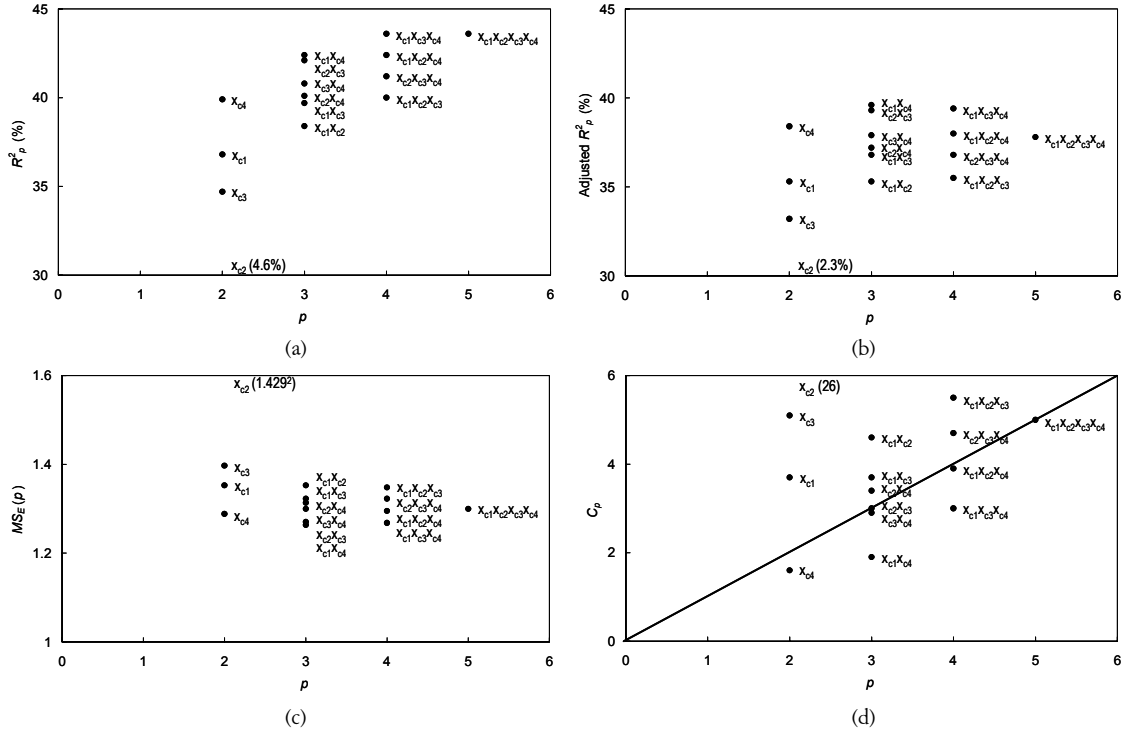

Figure 2. Plots of statistics versus p regarding $y_c - X_c$ relationship; (a) R^2_p; (b) $\overline{R}^2_p$; (c) $MS_E(p)$; and (d) C_p

Table 5. Summary of all possible regressions for $y_c - X_c$ relationship

Number of regressors in model	p	Regressors in Model	$SS_E(p)$	R^2_p	$\overline{R}^2_p$	$MS_E(p)$	C_p
1	2	x_{c1}	56.874	36.8	35.3	1.1632	3.7
1	2	x_{c2}	85.874	4.6	2.3	1.4292	26.0
1	2	x_{c3}	58.736	34.7	33.2	1.1822	5.1
1	2	x_{c4}	54.126	39.9	38.4	1.1352	1.6
2	3	$x_{c1}x_{c2}$	55.481	38.4	35.3	1.1632	4.6
2	3	$x_{c1}x_{c3}$	54.245	39.7	36.8	1.1502	3.7
2	3	$x_{c1}x_{c4}$	51.868	42.4	39.6	1.1242	1.9
2	3	$x_{c2}x_{c3}$	52.073	42.1	39.3	1.1272	3.0
2	3	$x_{c2}x_{c4}$	53.894	40.1	37.2	1.1462	3.4
2	3	$x_{c3}x_{c4}$	53.284	40.8	37.9	1.1402	2.9
3	4	$x_{c1}x_{c2}x_{c3}$	53.960	40.0	35.5	1.1612	5.5
3	4	$x_{c1}x_{c2}x_{c4}$	51.866	42.4	38.0	1.1382	3.9
3	4	$x_{c1}x_{c3}x_{c4}$	50.760	43.6	39.4	1.1262	3.0
3	4	$x_{c2}x_{c3}x_{c4}$	52.928	41.2	36.8	1.1502	4.7
4	5	$x_{c1}x_{c2}x_{c3}x_{c4}$	50.758	43.6	37.8	1.1402	5.0

형 모두와 비교해도 상대적 우수성이 유지됨을 확인할 수 있다.

반면, $y_c - X_c$ 경우와 비교할 때, $y_s - X_s$ 관계분석모형의 R_p^2, $\overline{R}_p^2$ 통계량의 절대크기가 약 1/2 수준으로 감소하고 $MS_E(p)$의 절대크기가 약 2배 증가된 점이 확인되어, 모형의 설명력은 상대적으로 저하된 것으로 판단된다.

4.3 VoC vs. NQC

• *접속 VoC vs. NQC*

$z_c - X_c$ 분석을 위해 실행된 stepwise-type procedures 분석결과가 <Table 8>에 제시된다. 세 방법 모두, x_{c1}, x_{c3}, x_{c4} 세 개

Table 6. Summary of stepwise-type procedures for $y_s - X_s$ relationship

Procedures	Cutoff values	Regressors in Model	Statistics	Step1	Step2	Step3
Stepwise regression	$\alpha_{IN}=0.15$ $\alpha_{OUT}=0.15$	Intercept	$\hat{\beta}_0$	67.063		
		x_{s3}	$\hat{\beta}_{s3}$	-0.148		
			t_0	-2.480		
Forward selection	$\alpha_{IN}=0.25$		p-value	0.017		
			VIF			
Backward elimination	$\alpha_{OUT}=0.10$	Intercept	$\hat{\beta}_0$	63.335	69.653	67.063
		x_{s1}	$\hat{\beta}_{s1}$	-0.003	-0.001	
			t_0	-1.340	-0.850	
			p-value	0.187	0.400	
			VIF	4.4	1.9	
		x_{s2}	$\hat{\beta}_{s2}$	0.002		
			t_0	1.040		
			p-value	0.305		
			VIF	6.4		
		x_{s3}	$\hat{\beta}_{s3}$	-0.139	-0.197	-0.148
			t_0	-1.390	-2.370	-2.480
			p-value	0.172	0.023	0.017
			VIF	2.8	1.9	

Table 7. Summary of all possible regressions for $y_s - X_s$ relationship

Number of regressors in model	p	Regressors in Model	$SS_E(p)$	R_p^2	$\overline{R}_p^2$	$MS_E(p)$	C_p
1	2	x_{s1}	88.921	2.6	0.3	1.4552	6.7
1	2	x_{s2}	83.544	8.5	6.3	1.4102	3.9
1	2	x_{s3}	79.602	12.8	10.7	1.3762	1.8
2	3	$x_{s1}x_{s2}$	79.855	12.5	8.3	1.3952	3.9
2	3	$x_{s1}x_{s3}$	78.219	14.3	10.1	1.3812	3.1
2	3	$x_{s2}x_{s3}$	79.597	12.8	8.5	1.3932	3.8
3	4	$x_{s1}x_{s2}x_{s3}$	76.166	16.6	10.3	1.3792	4.0

의 회귀변수가 접속 VoC에 유의한 것으로 판정한다. 하지만, 추정 회귀계수 부호 검토결과, $\hat{\gamma}_{c3}$, $\hat{\gamma}_{c4}$는 기대처럼 양수(+) 부호로 추정된 반면, 음수(−) 부호를 갖는 $\hat{\gamma}_{c1}$은 회귀계수 추정에 문제가 있다고 판단된다. 회귀변수 x_{c3}, x_{c4}를 갖는 축소모형의 $\mathrm{VIF}_3 = \mathrm{VIF}_4 = 1.2$로서, 다중공선성에 심각한 문제는 없는 것으로 확인된다.

<Table 9> 및 <Figure 4.a-d>에 요약된 all possible regressions 분석결과를 확인하면; 1) p=2, x_{c3}; 2) p=3, x_{c3}, x_{c4}; 3) p=4, x_{c1}, x_{c3}, x_{c4}; 4) p=5, x_{c1}, x_{c2}, x_{c3}, x_{c4}를 갖는 모형이 전반적으로 상대적 우수성이 있다고 판단된다. 한편, R^2_p, $\overline{R}^2_p$ 통계량의 절대크기가 작은 점 등을 고려할 때, 모형의 설명력 제고가 요구될 수 있다.

• 속도 *VoC vs NQC*

$z_s - X_s$ 관계분석을 위한 <Table 10>의 결과처럼, stepwise regression, forward selection은 p=4, x_{s1}, x_{s2}, x_{s3} 완전모형을, 반면 backward elimination은 p=3, x_{s1}, x_{s3} 축소모형을 선택한다. 하지만, $\hat{\gamma}_{s1}$을 제외한 나머지 회귀계수 부호가 기대와는 반대로 추정됨으로써, 관계모형에 고려할 만한 근거 확보에 어려움이 있다.

한편, p=2, x_{s1} 축소모형은 식 (11)과 같이 추정되며, $\hat{\gamma}_{s1}$의 $t_0 = -4.380$, p-value=0.000으로서 유의성이 있다고 판정된다.

$$\begin{aligned} \hat{z}_s &= X_s^1 \hat{\gamma}_s^1 \\ &= \hat{\gamma}_0 + \hat{\gamma}_{s1} x_{s1} \\ &= 0.210 - 0.00002\, x_{s1} \end{aligned} \tag{11}$$

<Table 11> 및 <Figure 5.a-d>에 정리된 all possible regressions 분석결과를 검토하면, $y_s - X_s$ 관계분석의 경우와 동일한 패턴을 갖는 해석이 가능하다. 즉, 전체 7개 회귀모형 중; 1) p=2, x_{s3}; 2) p=3, x_{s1}, x_{s3}; 3) p=4, x_{s1}, x_{s2}, x_{s3}일 때 상대적으로 우수한 통계량이 확인된다. 한편, C_p 통계치가, 모든 모형에서 대각직선 위 혹은 상회하는 값을 보이고 있다.

4.4 분석결과 정리

사례분석 결과, 관계분석 시 유의성을 갖는 것으로 최종 검출된 NQC 항목을 정리하면 <Table 12>와 같다. 특히, x_{c4}(즉, 하향단절률)는 CSI, VoC 접속 고객만족도에 공통으로 유의성을 갖는 NQC 항목으로 추정된다. 한편; 1) $y_c - X_c$ 관계가 나머지 세 개의 관계와 비교할 때, 상대적으로 분석 시 선명성이 있고; 2) stepwise-type procedures를 통해 선택된 축소모형과 all possible regressions를 통해 추천된 축소모형이 전반적으로 일치하는 것을 확인할 수 있다.

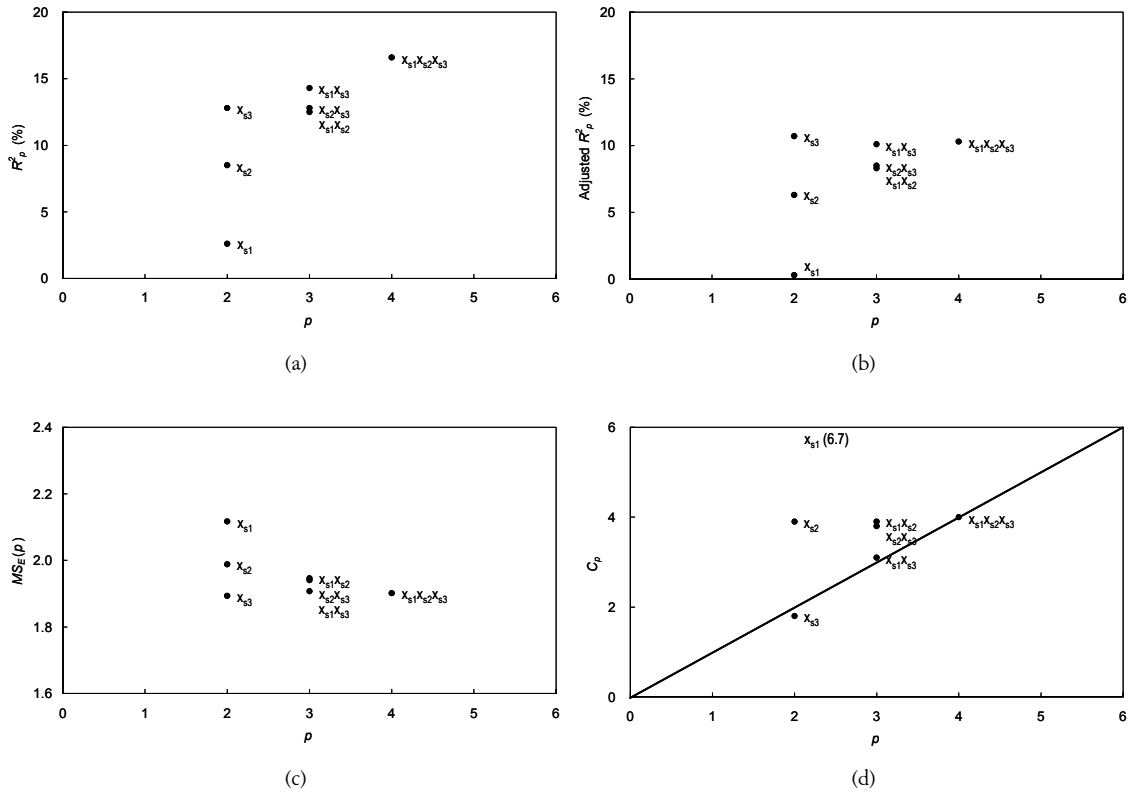

Figure 3. Plots of statistics versus p regarding $y_s - X_s$ relationship; (a) R^2_p; (b) $\overline{R}^2_p$; (c) $MS_E(p)$; and (d) C_p.

Table 8. Summary of stepwise-type procedures for $z_c - X_c$ relationship

Procedures	Cutoff values	Regressors in Model	Statistics	Step1	Step2	Step3
Stepwise regression	$\alpha_{IN}=0.15$ $\alpha_{OUT}=0.15$	Intercept	$\hat{\gamma}_0$	2.505	2.479	2.510
		x_{c3}	$\hat{\gamma}_{c3}$	0.371	0.341	0.352
			t_0	14.180	12.000	12.280
			p-value	0.000	0.000	0.000
			VIF		1.2	1.2
		x_{c4}	$\hat{\gamma}_{c4}$		0.063	0.080
			t_0		2.640	3.250
			p-value		0.008	0.001
			VIF		1.2	1.3
Forward selection	$\alpha_{IN}=0.25$	x_{c1}	$\hat{\gamma}_{c1}$			-0.347
			t_0			-2.820
			p-value			0.005
			VIF			1.1
Backward elimination	$\alpha_{OUT}=0.10$	Intercept	$\hat{\gamma}_0$	2.766	2.510	
		x_{c1}	$\hat{\gamma}_{c1}$	-0.348	-0.347	
			t_0	-2.820	-2.820	
			p-value	0.005	0.005	
			VIF	1.1	1.1	
		x_{c2}	$\hat{\gamma}_{c2}$	-0.003		
			t_0	-0.210		
			p-value	0.832		
			VIF	1.0		
		x_{c3}	$\hat{\gamma}_{c3}$	0.352	0.352	
			t_0	12.280	12.280	
			p-value	0.000	0.000	
			VIF	1.2	1.2	
		x_{c4}	$\hat{\gamma}_{c4}$	0.080	0.080	
			t_0	3.230	3.250	
			p-value	0.001	0.001	
			VIF	1.3	1.3	

Table 9. Summary of all possible regressions for $z_c - X_c$ relationship

Number of regressors in model	p	Regressors in Model	$SS_E(p)$	R_p^2	$\overline{R}_p^2$	$MS_E(p)$	C_p
1	2	x_{c1}	8107.843	0.0	0.0	1.4212	213.7
1	2	x_{c2}	8110.756	0.0	0.0	1.4212	215.3
1	2	x_{c3}	7724.480	4.8	4.7	1.3872	14.0
1	2	x_{c4}	7987.740	1.5	1.5	1.4102	151.2
2	3	$x_{c1}x_{c2}$	8107.235	0.1	0.0	1.4212	3.0
2	3	$x_{c1}x_{c3}$	7716.090	4.9	4.8	1.3862	11.6
2	3	$x_{c1}x_{c4}$	7985.084	1.6	1.5	1.4102	151.8
2	3	$x_{c2}x_{c3}$	7724.310	4.8	4.7	1.3872	15.9
2	3	$x_{c2}x_{c4}$	7987.728	1.5	1.5	1.4112	153.2
2	3	$x_{c3}x_{c4}$	7711.060	4.9	4.9	1.3862	9.0
3	4	$x_{c1}x_{c2}x_{c3}$	7715.800	4.9	4.8	1.3872	13.5
3	4	$x_{c1}x_{c2}x_{c4}$	7985.052	1.6	1.5	1.4112	153.8
3	4	$x_{c1}x_{c3}x_{c4}$	7695.810	5.1	5.1	1.3852	3.0
3	4	$x_{c2}x_{c3}x_{c4}$	7711.030	4.9	4.9	1.3862	11.0
4	5	$x_{c1}x_{c2}x_{c3}x_{c4}$	7695.730	5.1	5.0	1.3852	5.0

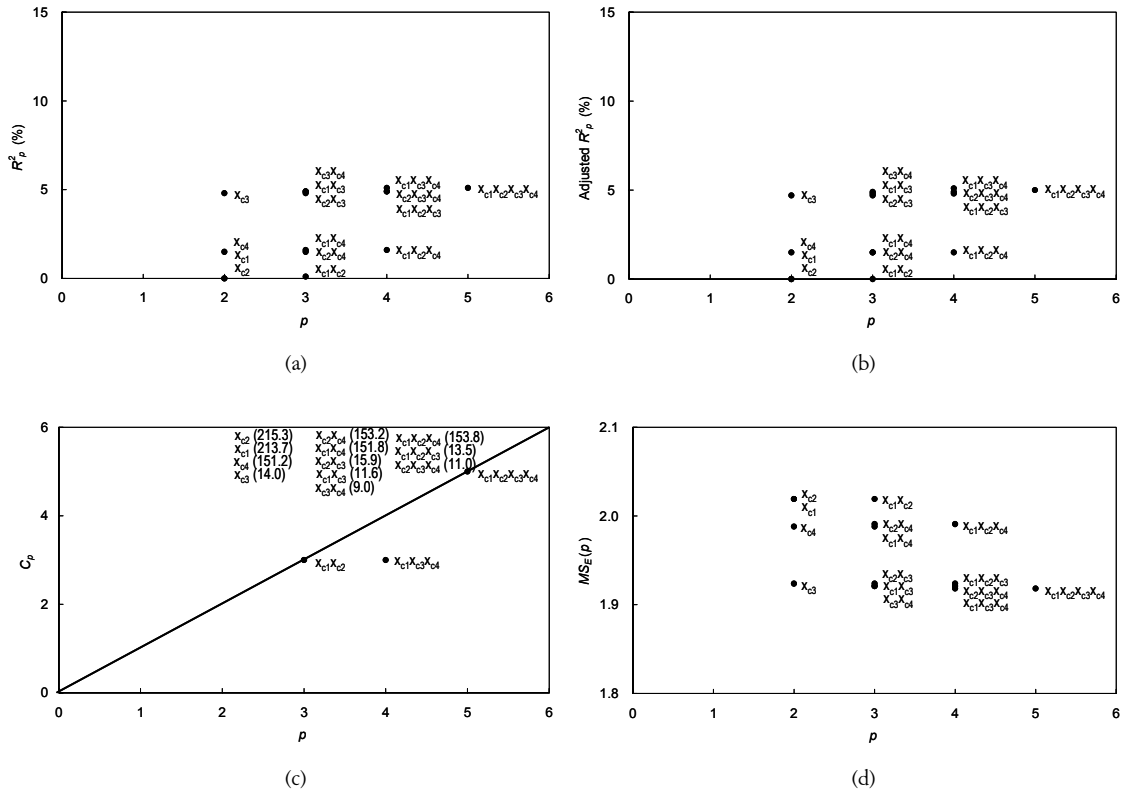

Figure 4. Plots of statistics versus p regarding $z_c - X_c$ relationship; (a) R_p^2; (b) $\overline{R}_p^2$; (c) $MS_E(p)$; and (d) C_p.

Table 10. Summary of stepwise-type procedures for $z_s - X_s$ relationship

Procedures	Cutoff values	Regressors in Model	Statistics	Step1	Step2	Step3
Stepwise regression	$\alpha_{IN}=0.15$ $\alpha_{OUT}=0.15$	Intercept	$\hat{\gamma}_0$	0.306	0.393	0.347
		x_{s3}	$\hat{\gamma}_{s3}$	-0.005	-0.006	-0.005
			t_0	-12.250	-14.910	-11.660
			p-value	0.000	0.000	0.000
			VIF		1.1	1.6
Forward selection	$\alpha_{IN}=0.25$	x_{s1}	$\hat{\gamma}_{s1}$		-0.00004	-0.00005
			t_0		-9.440	-7.230
			p-value		0.000	0.000
			VIF		1.1	2.9
		x_{s2}	$\hat{\gamma}_{s2}$			0.00001
			t_0			1.630
			p-value			0.103
			VIF			3.8
Backward elimination	$\alpha_{OUT}=0.10$	Intercept	$\hat{\gamma}_0$	0.347	0.393	
		x_{s1}	$\hat{\gamma}_{s1}$	-0.00005	-0.00004	
			t_0	-7.230	-9.440	
			p-value	0.000	0.000	
			VIF	2.9	1.1	
		x_{s2}	$\hat{\gamma}_{s2}$	0.00001		
			t_0	1.630		
			p-value	0.103		
			VIF	3.8		
		x_{s3}	$\hat{\gamma}_{s3}$	-0.005	-0.006	
			t_0	-11.660	-14.910	
			p-value	0.000	0.000	
			VIF	1.6	1.1	

Table 11. Summary of all possible regressions for $z_s - X_s$ relationship

Number of regressors in model	p	Regressors in Model	$SS_E(p)$	R_p^2	$\overline{R}_p^2$	$MS_E(p)$	C_p
1	2	x_{s1}	38.758	0.5	0.5	0.0982	225.1
1	2	x_{s2}	38.900	0.1	0.1	0.0982	240.6
1	2	x_{s3}	37.539	3.6	3.6	0.0962	91.9
2	3	$x_{s1}x_{s2}$	37.942	2.6	2.5	0.0972	138.0
2	3	$x_{s1}x_{s3}$	36.723	5.7	5.7	0.0952	4.7
2	3	$x_{s2}x_{s3}$	37.177	4.5	4.5	0.0962	54.3
3	4	$x_{s1}x_{s2}x_{s3}$	36.698	5.8	5.7	0.0952	4.0

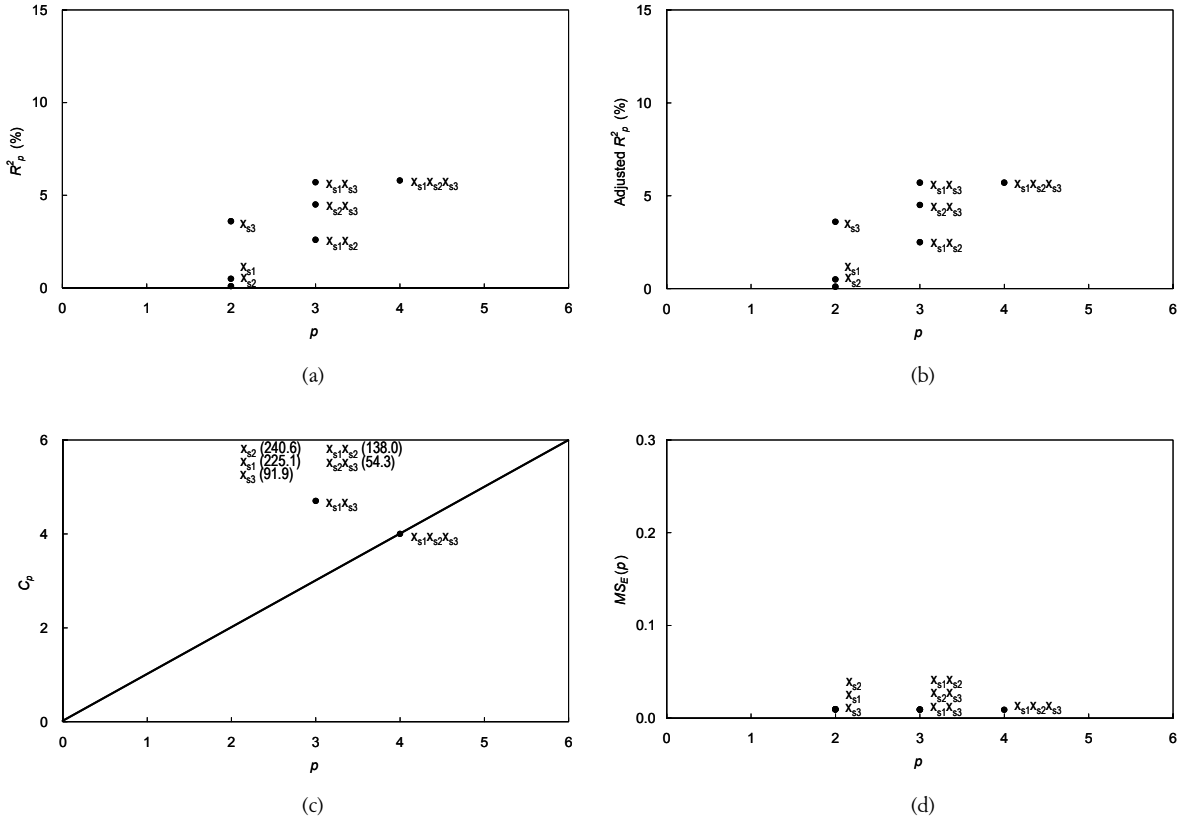

Figure 5. Plots of statistics versus p regarding $z_s - X_s$ relationship; (a) R^2_p; (b) $\overline{R}^2_p$; (c) $MS_E(p)$; and (d) C_p.

Table 12. Significant NQC's for CSI and VoC

	CSI		VoC	
	Connection	Speed	Connection	Speed
NQC	x_{c1}, x_{c4}	x_{s3}	x_{c3}, x_{c4}	x_{s1}

5. 종 합

인터넷통신 네트워크 품질특성과 고객만족도와의 실증적 관계 분석을 위한 모형 및 체계를 제시하고, 사례분석을 통해 주요 네트워크 품질특성의 유의성을 검토하였다. 특히, 현장의 실제 대량 데이터를 수집, 분류하고, 실증적 모형화 방법론인 회귀변수 선택절차에 기초한 체계적 분석과정을 예시했다. 사례분석 결과, 접속 고객만족도에 대한 네트워크 품질특성의 관계가 속도 고객만족도에 대한 관계보다 통계분석 시 상대적 선명성을 갖고 추정되었다고 판단된다.

CSI, VoC 접속 고객만족도에 유의한 NQC 항목으로서 하향단절률이 검출되었다. 그러므로 사례분석의 경우, 접속 고객만족도는 서비스 유지성과 관련된 네트워크 품질특성 변화에 상대적으로 더 민감한 반응을 보일 가능성이 있을 것으로 추정된다. 즉, 인터넷통신 서비스의 하향단절 현상에 대해 적극적인 고객만족도 의견이 피력될 수 있다는 점이 이러한 분석결과 도출의 원인 중 하나로 파악된다. 더불어, 인터넷통신 업체를 위해서는, 서비스 유지성과 관련된 네트워크 품질특성에 더 세심한 관리가 제안될 수 있다.

한편, 수립모형의 설명력이 전반적으로 낮기 때문에, 예측·추정을 위한 모형의 활용은 적절치 않을 수 있으며, 다만 데이터 요약을 통한 유의 NQC 항목 검출에, 본 분석 모형 및 체계의 의의가 더 있다고 판단된다.

반면, 본 연구 사례분석으로써 통계적 유의성이 강하게 확인되지 않은 나머지 NQC 항목의 고객만족도에 대한 관계규명을 위해서는 후속 연구에 의해 보완될 필요가 있다. 향후, 다수 서비스를 대상으로 한 관계분석을 실시해 결과를 종합, 보완해야 할 것이다. 또한, 실험계획을 실시해 잡음(noise)이 상대적으로 작은 데이터를 추가분석함으로써, 향상된 설명력을 갖는 모형화가 시도될 수 있다. 주요 NQC 항목을 대상으로, 품질공학적 관리방안 수립에 대한 논의도 요구된다.

부 록

<Table A.1>-<Table A.4>에 순서대로; 1) $y_c - X_c$; 2) $y_s - X_s$; 3) $z_c - X_c$; 및 4) $z_s - X_s$ 관계분석을 위한 all possible

Table A.1. Least squares estimates of all possible regressions for $y_c - X_c$ relationship

Regressors in Model	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_{c1}$	$\hat{\beta}_{c2}$	$\hat{\beta}_{c3}$	$\hat{\beta}_{c4}$
x_{c1}	65.863	-16.768			
x_{c2}	528.800		-4.650		
x_{c3}	65.532			-1.962	
x_{c4}	65.158				-1.644
$x_{c1}x_{c2}$	339.000	-16.245	-2.734		
$x_{c1}x_{c3}$	65.895	-10.382		-0.956	
$x_{c1}x_{c4}$	65.584	-7.571			-1.062
$x_{c2}x_{c3}$	49.800		0.157	-1.971	
$x_{c2}x_{c4}$	-55.800		1.211		-1.704
$x_{c3}x_{c4}$	64.832			1.336	-2.658
$x_{c1}x_{c2}x_{c3}$	202.900	-11.124	-1.371	-0.806	
$x_{c1}x_{c2}x_{c4}$	79.900	-7.672	-0.143		-1.047
$x_{c1}x_{c3}x_{c4}$	65.235	-8.035		1.538	-2.194
$x_{c2}x_{c3}x_{c4}$	-86.000		1.510	1.441	-2.813
$x_{c1}x_{c2}x_{c3}x_{c4}$	52.310	-7.946	0.129	1.545	-2.213

Table A.2. Least squares estimates of all possible regressions for $y_s - X_s$ relationship

Regressors in Model	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_{s1}$	$\hat{\beta}_{s2}$	$\hat{\beta}_{s3}$
x_{s1}	62.031	0.001		
x_{s2}	58.167		0.001	
x_{s3}	67.063			-0.148
$x_{s1}x_{s2}$	54.903	-0.003	0.003	
$x_{s1}x_{s3}$	69.653	-0.001		-0.197
$x_{s2}x_{s3}$	66.765		0.000	-0.144
$x_{s1}x_{s2}x_{s3}$	63.335	-0.003	0.002	-0.139

Table A.3. Least squares estimates of all possible regressions for $z_c - X_c$ relationship

Regressors in Model	$\hat{\gamma}_0$	$\hat{\gamma}_{c1}$	$\hat{\gamma}_{c2}$	$\hat{\gamma}_{c3}$	$\hat{\gamma}_{c4}$
x_{c1}	2.810	0.160			
x_{c2}	3.591		-0.008		
x_{c3}	2.505			0.371	
x_{c4}	2.692				0.176
$x_{c1}x_{c2}$	3.487	0.157	-0.007		
$x_{c1}x_{c3}$	2.531	-0.249		0.384	
$x_{c1}x_{c4}$	2.707	-0.143			0.185
$x_{c2}x_{c3}$	2.855		-0.004	0.370	
$x_{c2}x_{c4}$	2.805		-0.001		0.176
$x_{c3}x_{c4}$	2.479			0.341	0.063
$x_{c1}x_{c2}x_{c3}$	2.995	-0.251	-0.005	0.384	
$x_{c1}x_{c2}x_{c4}$	2.862	-0.144	-0.002		0.185
$x_{c1}x_{c3}x_{c4}$	2.510	-0.347		0.352	0.080
$x_{c2}x_{c3}x_{c4}$	2.633		-0.002	0.341	0.063
$x_{c1}x_{c2}x_{c3}x_{c4}$	2.766	-0.347	-0.003	0.352	0.080

Table A.4. Least squares estimates of all possible regressions for $z_s - X_s$ relationship

Regressors in Model	$\hat{\gamma}_0$	$\hat{\gamma}_{s1}$	$\hat{\gamma}_{s2}$	$\hat{\gamma}_{s3}$
x_{s1}	0.210	-0.00002		
x_{s2}	0.155		0.000008	
x_{s3}	0.306			-0.005
$x_{s1}x_{s2}$	0.051	-0.00007	0.00006	
$x_{s1}x_{s3}$	0.393	-0.00004		-0.006
$x_{s2}x_{s3}$	0.461		-0.00003	-0.006
$x_{s1}x_{s2}x_{s3}$	0.347	-0.00005	0.00001	-0.005

regressions 회귀모형의 최소제곱추정치(least squares estimates)가 제시된다.

참고문헌

Ahn, H., Cho, J. and Yum, B .(1999), Evaluation Methods for Quality of Service in Telecommunications, *IE Interfaces*, 12(4), 496-505.

Cho, K., Jang, H., Lim, S. and Kim, Y. (2002), Quality of Service and Network Performance for the IMT-2000 Services, *IE Interfaces*, 15(3), 256-262.

Chong, I. and Jun, C. (2002), A Prediction Method Combining Clustering Method and Stepwise Regression, *Proceedings of KORMS/KIIE 2002 Spring Conference*, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon, Korea, May, D5.1 949-952.

Kim, T. (1999), Management of Telecommunication Service Quality and Process, *Proceedings of KORMS 1999 Fall Conference*, Seoul National University of Technology, Seoul, Korea, October, A6.3 57-58.

Kim, Y., Park, S., Park, Y., Seo, Y., You, H. and Lee, D.(2004), *Quality Management*, 3rd edn, Parkyoungsa, Seoul.

Lee, S. and Kim, T. (2000), An Effective Framework for Integrating Quality of Service Parameters Into the Customer Satisfaction Index, *Proceedings of*

KIIE/KORMS 2000 Spring Conference, Kyungnam University, Masan, Korea, April, A4.6 86-89.

Minitab[R] Release 14.1 StatGuide (2003), Minitab Inc..

Montgomery, D. C., Peck, E. A. and Vining, G. G. (2001), *Introduction to Linear Regression Analysis*, 3rd edn, Wiley, New York.

Montgomery, D. C. and Runger, G. C. (1999), *Applied Statistics and Probability for Engineers*, 2nd edn, Wiley, New York.

Park, S., Eum, K. and Lee, Y. (2004), A Study on the Relationship Between Internet Communication Network Quality Characteristics and Customer Satisfaction, *Technical Report*, Electronics and Telecommunication Research Institute.

Park, S., Park, J. and Lee, C. (2001), A Study on the User-Centered Quality Index for the High-Speed Internet Service, *Proceedings of KORMS/KIIE 2001 Spring Conference*, Kwandong University, Kangneung, Korea, April, Q42 962-965.

Patterson, O. D., Dong, X., Khargonekar, P. P. and Nair, V. N. (2003), Methodology for Feedback Variable Selection for Control of Semiconductor Manufacturing Processes-Part 1: Analytical and Simulation Results, *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 16(4), 575-587.

So., H. and Sohn., S .(2001), SEM for the Analysis of Customer Satisfaction for Wireless Internet Service, *IE Interfaces*, 14(2), 182-189.

Yoon, J., Seo, H. and Lim, C. (2003), A Study on Customer Satisfaction Evaluation Framework for Mobile Services, *Proceedings of KORMS/KIIE 2003 Spring Conference*, Handong Global University, Pohang, Korea, May, A8.5 169-173.

Youn, J. (1999), An Empirical Study on the Customer Satisfaction of Mobile Telecommunication Services with CVA(Customer Value Added) Concept, *IE Interfaces*, 12(4), 487-495.

박 성 민
건국대학교 산업공학과 학사
고려대학교 산업공학과 석사
미국 Arizona State University 산업공학과 박사
현재: 천안대학교 경상학부 교수
관심분야: 응용통계, 시뮬레이션, 통신경영

박 영 준
고려대학교 산업공학과 학사
고려대학교 산업공학과 석사
고려대학교 산업공학과 박사
현재: 한국전자통신연구원 통신경영연구팀 선임연구원
관심분야: 통신경영, 최적화, 응용통계