

순열검정을 이용한 품질의 집의 일관성 검정

김 경 미[†]

건국대학교 산업공학과

Consistency Test in the House of Quality using Permutation Test

Kyungmee O. Kim

Department of Industrial Engineering, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

The house of quality (HOQ) involves subjective and ambiguous information typically through a likert scale. It is important to validate consistency of such input in the HOQ before rating the final importance of technical requirements. Previously, a methodology was developed to test the consistency of relationship strengths in the HOQ between roof matrix and relationship matrix. We described disadvantages of the previous method and propose a new approach based on the permutation test. Advantages of the proposed method are illustrated with an example.

Keywords: House of Quality, Quality Function Deployment, Permutation Test, Likert Scale

1. 서론

품질기능전개(quality function deployment)는 개념정립 단계로부터 생산 및 판매에 이르는 모든 단계를 거치면서 고객의 요구가 최종 제품과 서비스에 충실히 반영되도록 하고자 체계적으로 연결시키는 과정을 말한다. 품질기능전개는 일반적으로 4단계로 전개되면서 한 단계에서 생성된 자료를 다음 단계에서 수행하고자 하는 의사결정과 연결시킨다<그림 1>에서 보는 바와 같이, 1단계에서는 고객요구속성을 제품의 중요한 기술요구로, 2단계에서는 기술요구특성을 부품특성으로, 3단계에서는 부품특성을 공정단계로 그리고 4단계에서는 공정단계를 운영단계로 전개한다(Temponi *et al.*, 1999). 따라서 품질기능전개를 수행하기 위해서는 제품개발의 초기 단계부터 여러 부서가 서로 밀접하게 협력하는 다 기능 팀(multi-functional team)의 반복 과정이 필요하다.

<그림 1>의 첫 단계인 계획행렬(planning matrix)은 흔히 품질의 집(house of quality)이라고 알려져 있는데 고객요구를 파악하고 이를 실현하기 위한 중요한 기술요구를 도출하고자 하는 과정이다. 이는 품질기능전개에서 특히 전략적으로 중요한 단계이다. 그런데 품질의 집에 입력되는 정보는 인간의 인지도와 언어적 평가에 의해 주관적이고 모호하게 측정되면서도

이러한 모호한 측정치는 최종 의사결정에 결정적인 영향을 미치게 된다. 본 논문에서는 품질의 집을 구성하는 단계를 설명하고 그러한 과정에서 주관적이고 모호한 입력 정보들 사이의 일관성이 검토되어야 할 필요가 있는 부분에 대해 지적한다. 또한 입력 정보의 일관성을 검정하기 위한 통계적인 절차를 소개 및 적용해 보고자 한다.

본 논문의 제 2절에서는 품질의 집을 구성하는 단계를 자세히 설명하고 이때 입력 정보들 사이의 일관성이 요구되는 항목을 설명한다. 또한 품질의 집에서 일관성을 검정하기 위한 기존 절차의 문제점을 제시한다. 제 3절에서는 품질의 집의 일관성 검사를 위해 사용할 순위상관계수와 순열검정에 대해 설명하고 제 4절에서는 순열검정을 이용한 일관성 검사 방법을 설명한다. 제 5절에서는 이를 적용하여 기존 연구의 결과와 비교 분석하고 마지막으로 제 6절에서는 결론을 내린다.

2. 품질의 집에서 발생하는 일관성의 문제

2.1 품질의 집의 구성요소

품질의 집은 크게 다음과 같은 7단계로 구성된다. 실제로 품

본 연구는 한국과학재단의 연구비지원특정기초연구, 과제번호 R01-2006-000-10744-0)으로 수행되었으며 연구비를 지원해주신 한국과학재단에 감사드립니다.

[†] 연락저자 : 김경미, 143-701 서울시 광진구 화양동 1번지 건국대학교 산업공학과, Fax : 02-450-3525, E-mail : kyungmee@konkuk.ac.kr
2007년 05월 접수; 2007년 11월 수정본 접수; 2007년 11월 게재 확정.

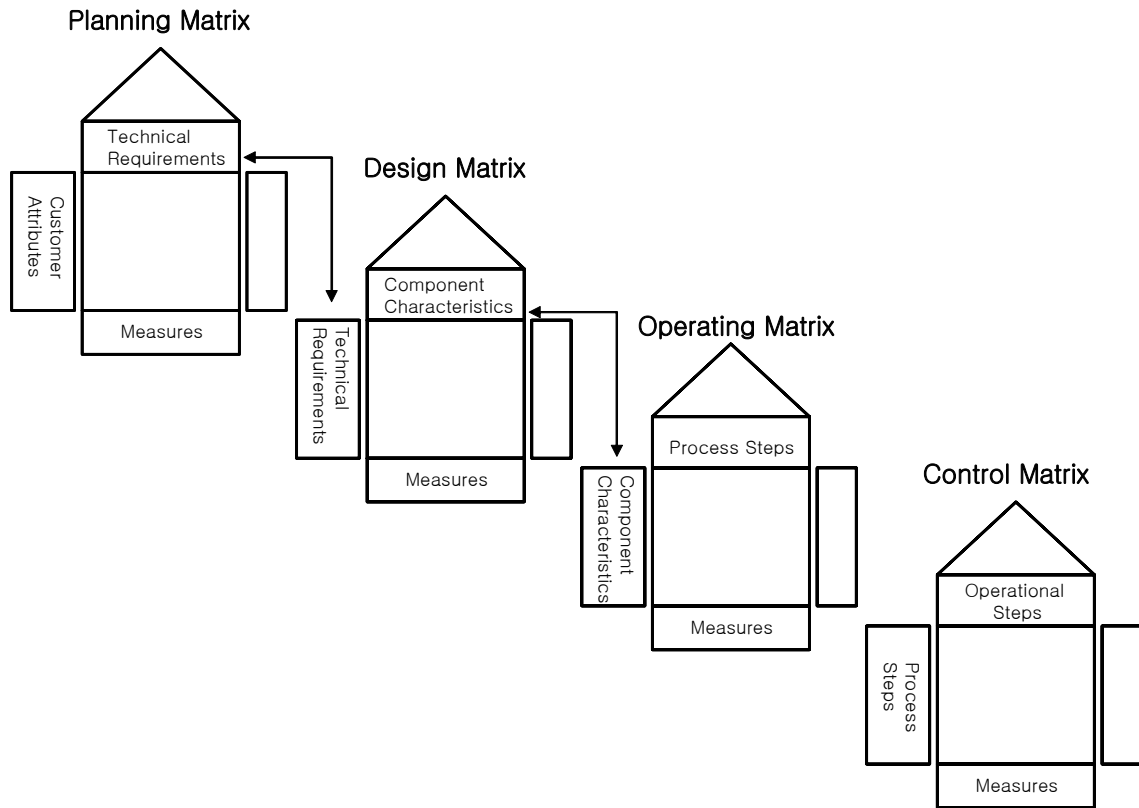


Figure 1. Quality Function Deployment Process(Temponi et al., 1999)

질의 집을 사용할 때 이들 구성요소들을 모두 포함하기는 어렵거나 또는 불필요할 수 있으며 적절한 구성요소들을 포함하여 다양한 품질의 집을 구성하고 있다(Chan and Wu, 2005).

1단계에서는 고객을 파악하고 고객의 요구를 수집하여 중요한 고객요구속성을 결정하는 단계이다 고객요구를 수집하기 위해서는 설문조사, 집단면접, 문헌 조사 등을 이용하고 그 결과에 따라 친화도(affinity diagram)나 계통도(tree diagram) 등을 사용하여 중요한 고객요구속성을 추출 및 정리한다. 이렇게 얻어진 고객요구속성을<그림 2>의 (a)에 위치시킨다.

2단계에서는 각 고객요구속성사이의 상호관계를 추출하여<그림 2>의 (b)에 위치한 상관행렬(correlation matrix)에 표현한다 (Khoo and Ho, 1996). 일반적으로 관련 없음, 약한 관련, 보통 관련 그리고 강한 관련을 표현하기 위해 0-1-3-9점, 0-1-3-5점, 0-1-5-9점, 0-1-2-4점 등의 리커트 척도(likert-type scale)를 이용한다. 그러나 어떤 리커트 척도를 사용하여야 하는지에 대해서는 뚜렷한 제시가 없고 의사결정자의 주관적인 평가에 기초하는 실정이다.

3단계에서는 각 고객요구속성의 상대적 중요도를 결정하는 단계이다. 직접평가(direct rating), 스윙방법(swing), 이원 비교(pairwise comparison) 또는 리커트 척도등을 사용하여 고객요구속성의 중요도를 평가한 결과를<그림 2>의 (c)에 위치시킨다. 또한 고객들의 경쟁사와 자사에 대한 인지도를 비교분석하여 각 고객요구속성의 목표 값과 세일즈 포인트(sales point)

를 결정한다. 고객요구속성의 목표 값과 세일즈 포인트 점수 등을 고려하여 고객요구속성의 중요도를 수정하여 상대적 중요도를 결정하고 이를<그림 2>의 (d)에 위치시킨다.

4단계에서는 목표나무(objective tree)나 기능분석(function analysis)을 이용하여 고객요구속성을 실현할 수 있는 기술특성을 도출하고 이를<그림 2>의 (e)에 위치시킨다. 이때 기술특성은 측정가능하고 실행 가능하여야 한다.

5단계에서는 기술특성사이의 상호관계를 추출하여<그림 2>의 (g)에 해당하는 지붕행렬(roof matrix)에 위치시킨다. (b)에서와 마찬가지로 관계없음, 약한 관계, 보통관계 그리고 강한관계를 표현하기 위해 리커트 척도를 이용한다.

6단계에서는 팀의 합의 도출에 근거하여 각 기술특성이 각 고객요구속성에 미치는 영향을 측정하여<그림 2>의 (f)에 있는 관계행렬(relationship matrix)에 위치시킨다. 이를 위해서는 리커트 척도가 가장 널리 사용되며 이원 비교(pairwise comparison) 또는 스윙방법을 사용하기도 한다.

7단계에서는 고객요구속성의 상대적 중요도와 관계행렬의 값을 이용하여 각 기술특성의 중요도 또는 우선순위를 산정하고 기술특성에 대한 난이도를 평가하여 목표값을 설정하는 단계이다. 이때 2단계에서 설정한 고객요구속성의 중요도 점수 4단계에서 설정한 기술특성사이의 상호관계 그리고5단계에서 설정한 기술특성과 고객요구속성사이의 관련성을 취합 고 려하여 각 기술특성의 중요도 점수를 도출하게 된다.

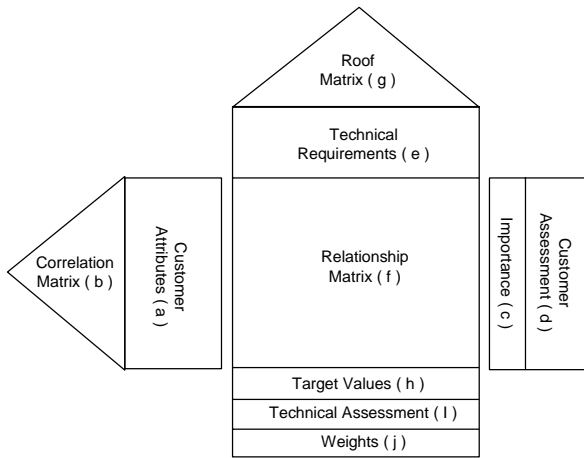


Figure 2. House of Quality Matrix

2.2 일관성의 문제

2.1절의 품질의 집을 구성하는 절차를 보면 상관행렬의 입력과 관계행렬의 입력은 기술특성의 최종 우선순위를 산정하는데 결정적인 영향을 미치게 된다. 품질의 집에서 발생하는 일관성의 문제란 의사결정자가 기술특성사이의 지붕행렬(g)와 기술특성과 고객요구속성사이의 관계행렬(f) 사이의 일관성을 확보하지 못하는 문제를 말한다(Shin et al., 2002; Kim et al., 2005). 예를 들어서 지붕행렬에서 강한 관련이 있다고 보여진 두 개의 기술특성 TR1과 TR2간에서는 관계행렬에서도 관련이 있는 패턴을 보여야 한다는 것이다. 그런데 <그림 3> (a)와 같이 기술특성 TR1의 고객요구속성 CA들과의 관계행렬은 (관련 없음, 강한 관련) 이고 기술특성 TR2의 고객요구속성 CA들과의 관계행렬은 (강한 관련, 관련 없음)으로 나타나면 이는 의사결정자가 일관성이 결여되었을 가능성을 제시하며 따라서 7단계로 넘어가기 전에 이러한 측정치에 대한 타당성을 평가하여야 한다는 것이다.

이러한 일관성을 확보하는 문제는 고객요구속성사이의 상관행렬 (b)와 관계행렬 (f) 사이에도 동일하게 적용될 수 있다. 즉, 3단계의 고객요구속성의 중요도를 결정하기 전에 일관성에 대한 검토가 이루어져야 한다. 예를 들어서 <그림 3>의 (b)에서와 같이 두 개의 고객요구속성이 강한 관련이 있다면 관계행렬에서도 관련이 있는 패턴을 보여야 할 것이다.

그럼에도 불구하고 품질의 집에서 발생하는 일관성의 문제는 품질의 집을 분석하는 과정에서 고려되지 못하고 있다 최근 Shin et al. (2002)은 품질의 집에서 이러한 일관성 문제를 처음으로 지적하였고 이를 검증하는 통계적 방법을 제안하였다 먼저 Shin et al. (2002)의 방법을 간단히 설명하고 이 방법의 한계점을 지적하여 본 연구의 목적을 분명히 하고자 한다

첫째, 고객요구속성 CA i 와 기술특성 TR j 의 관계 행렬값 R_{ij} 는 리커트 척도로 나타내고 이를 표준화(normalize)한다. Shin et al. (2002)은 0-1-3-9 점의 리커트 척도를 0-0.11-0.33-1.00으로 표준화하였다. 고객요구속성 CA i 와 기술특성 TR j

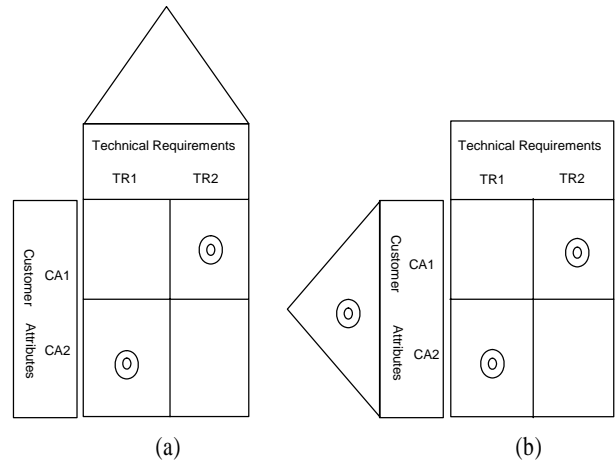


Figure 3. An Example of Inconsistent HOQ

의 관계 행렬값 R_{ij} 를 표준화 하여 얻은 점수를 f_{ij} 라고 하자. 둘째, 지붕행렬에서 서로 관련이 있다고 설정된 기술특성의 짝에 대해서는 각각 유사계수(similarity coefficient)를 계산한다. 기술특성 TR j_1 과 기술특성 TR j_2 의 유사계수 $S_{j_1j_2}$ 는

$$S_{j_1j_2} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m |f_{ij_1} - f_{ij_2}|}{d} \quad (1)$$

로 계산하는데 여기서 $i = 1, 2, \dots, m$ 은 고객요구속성을 나타내고 d 는 고객요구속성 i 와 기술특성 TR k 의 관계행렬에서 두 개의 값 중 적어도 하나는 0이 아닌 셀의 수를 나타낸다. d 로 나눈 이유는 $\sum_{i=1}^m |f_{ij_1} - f_{ij_2}|$ 가 최소 0에서 최대 d 의 값을 가지므로 0에서 1사이의 값으로 변형시키기 위해서이다 한편 기술특성 TR j_1 과 기술특성 TR j_2 의 관계행렬의 값이 비슷할

수록 $\frac{\sum_{i=1}^m |f_{ij_1} - f_{ij_2}|}{d}$ 이 작아지는데 지붕행렬의 값은 관련이 있을수록 높은 점수를 가지도록 되어 있으므로 같은 방향으로의 척도를 얻기 위해 1에서 빼 주었다. 따라서, 일관성이 있을수록 유사계수는 1에 가깝고 일관성이 결여 될수록 0에 가까워진다.

셋째, 일관성 지수를 계산한다. 일관성 지수는 두 기술특성 TR j_1 과 TR j_2 사이의 0-1-3-9점의 리커트 척도로 얻은 지붕행렬의 점수와 유사계수 $S_{j_1j_2}$ 사이의 피어슨 상관계수 r 로 정의된다. 따라서 일관성이 있을수록 상관계수가 1에 가까워진다.

넷째, 피어슨 상관계수가 양의 값을 가진다는 대립가설에 대해 통계적 t-검정을 수행하여 일관성에 대한 의사결정을 내린다. 만약 주어진 유의수준 하에서 귀무가설이 기각된다면 두 항목사이에 양의 관련이 있고 따라서 일관성이 있다고 결론을 내린다.

그런데 Shin et al. (2002)이 제안한 방법은 몇 가지 측면에서

제한점이 있다. 첫째, 피어슨 상관계수 r 를 계산하고 유의성을 검정하기 위해 t -검정을 사용하였는데 이는 자료가 정규분포에 가깝다는 가정하에 사용할 수 있는 방법이다 그런데 리커트 변수는 순위형으로 정규분포하지 않음이 널리 알려져 있다. 따라서 Shin *et al.* (2002)에서처럼 지붕행렬에서 얻은 리커트 척도 중 1-3-9점 3개의 범주에 대해 연속형 자료를 간주하여 t 검정을 하는 것은 타당하지 않은 것으로 보여진다. 둘째, 일관성 지수는 두 기술특성 TR_{j_1} 과 TR_{j_2} 사이의 0-1-3-9점의 리커트 척도로 얻은 지붕행렬의 점수와 유사계수 사이의 상관계수로 계산되었다. 이때 지붕행렬의 점수와 유사계수의 각 쌍이 된 관찰치는 서로 독립된 개체가 아니다. 즉, $S_{j_1j_2}$ 와 $S_{j_1j_2}^*$ 는 서로 독립이라고 가정할 수 없다 왜냐하면 기술특성 TR_{j_1} 의 관계 행렬값 R_{i,j_1} 이 $S_{j_1j_2}$ 와 $S_{j_1j_2}^*$ 의 계산에 모두 사용되었기 때문이다. 이는 세 점 A, B, C에서 점 A와 B의 거리와 점 A와 C의 거리는 서로 독립이 아닌 것과 같다 피어슨 상관계수 r 를 계산하여 유의성을 검정하기 위해서는 자료가 독립이어야 한다. 셋째, 리커트 척도에 따라 일관성 지수 값이나 상관계수의 값이 달라지고 일관성의 검정결과가 달라진다 일반적으로 상관행렬이나 관계행렬의 리커트 척도의 값을 어떻게 할당하는가의 문제는 특정한 규칙이 없어 같은 개념이더라도 의사결정자에 따라 서로 다른 척도가 사용될 수 있다. 따라서 의사결정자가 사용하는 척도에 상관없이 일관성의 검정결과가 같은 검정방법이 선호되어야 한다

리커트 척도와 같이 정규분포 가정이 충족되지 않는 경우 무 분포 방법(distribution-free method)을 사용하여 비모수적인 독립성 검정을 수행하여야 한다 즉, 첫 번째와 세 번째 단점은 무 분포 방법인 스피어맨(Spearman)의 순위상관계수 ρ 나 켄달(Kendall)의 순위상관계수 τ 를 계산하고 검정함으로써 해결할 수 있다 (Conover, 1998). 그런데 두 번째 문제는 정규성의 가정 뿐만 아니라 무 분포 방법의 가정까지도 위배된다 본 논문에서는 이를 위하여 순열검정(permutation test)을 사용하고자 한다 (Good, 1999). 즉, 리커트 척도에 할당된 값에 따라 상관의 정도가 영향을 받지 않으면서 독립성이나 정규분포의 가정이 필요하지 않는 순위검정 방법을 사용하여 품질의 집에서 일관성을 검토하고자 한다.

3. 순위상관계수와 순열검정에 대한 고찰

제 2절에서 설명하였듯이 첫 번째와 세 번째 문제점을 해결하기 위해서는 피어슨 상관계수 r 대신 순위상관계수를 계산하고 두 번째 문제점을 해결하기 위해 이를 순열검정을 통해 검정하고자 한다. 따라서 이 절에서는 순위상관계수와 순열검정에 대한 소개를 한다.

쌍이 되는 관찰치 (D_i, C_i) , $i = 1, 2, \dots, n$ 가 주어질 때 원 자료 D_1, D_2, \dots, D_n 을 크기순으로 나열할 때 D_i 의 순위를 $R(D_i)$ 라고 하고 C_1, C_2, \dots, C_n 을 크기순으로 나열할 때 C_i 의

순위를 $R(C_i)$ 라고 하자. 스피어맨의 순위상관계수 ρ 는 다음과 같다(Conover, 1998, p. 314).

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n R(D_i) R(C_i) - n \left(\frac{n+1}{2} \right)^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^n R(D_i)^2 - n \left(\frac{n+1}{2} \right)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n R(C_i)^2 - n \left(\frac{n+1}{2} \right)^2}} \quad (2)$$

이제 각 관찰치가 독립이라면 두 변수 D 와 C 가 독립이라는 귀무가설하에서 ρ 의 분포(null distribution)는 근사적으로 정규분포를 따르는 것으로 알려져 있다.

한편 쌍이 되는 관찰치 (D_i, C_i) , $i = 1, 2, \dots, n$ 가 주어질 때 켄달의 순위상관계수 τ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\tau = \frac{N_c - N_d}{\binom{n}{2}} \quad (3)$$

이때 N_c 는 한 쌍의 관찰치 (D_i, C_i) 와 (D_j, C_j) 에서 어느 한 개의 관찰치가 다른 한 개의 관찰치보다 D 와 C 에 대해 모두 큰 값을 가지는 즉 같은 방향의 쌍(concordant pair)의 수를 나타내고 N_d 는 D 의 증감의 방향과 C 의 증감의 방향이 반대인 반대 방향의 쌍(concordant pair)의 수를 나타낸다. 이제 각 관찰치가 독립이라면 두 변수 D 와 C 가 독립이라는 귀무가설하에서 τ 의 분포(null distribution)는 근사적으로 정규분포를 따르는 것으로 알려져 있다.

그런데 품질의 집에서 일관성을 검정하기 위해서는 각 관찰치가 독립이 아니다. 따라서 순열검정을 이용하고자 한다 순열검정은 먼저 원 자료를 가지고 검정통계량의 실현값 T_{obs} 을 계산한다. 그 후 원 자료를 순열변환하여 새로운 자료를 생성하고 이 자료를 가지고 검정통계량의 값을 계산한다 원 자료를 계속 순열 변환시켜 모든 가능한 순열변환에 대해 통계량의 값을 반복하여 계산함으로써 통계량의 분포를 경험적으로 얻어낸다. 검정을 위한 유의확률(p-value)는 반복 계산된 통계량의 값들 중에서 T_{obs} 보다 큰 값(대립가설이 크다는 경우)들의 상대빈도를 이용하여 계산된다(Good, 1999).

4. 순열검정을 이용한 일관성 검사 방법

품질의 집에서 일관성을 검정하기 위한 귀무가설 H_0 과 대립가설 H_1 은 다음과 같다.

H_0 : 지붕행렬에서 지정된 기술특성사이의 관계<그림 2>의 (g)의 값과 관계행렬<그림 2>의 (f)에서 얻어진 기술특성값은 서로 독립이다(즉, 일관성이 결여된다).

H_1 : 지붕행렬에서 지정된 기술특성사이의 관계와 관계행렬에서 얻어진 기술특성사이의 관계는 양의 관련이 있다

고객요구속성의 상관행렬<그림 2>의 (b)와 고객요구속성과 기술특성사이의 관계행렬<그림 2>의 (f)의 일관성을 검토하기 위해서도 비슷한 가설을 설정할 수 있다. 이제 일관성을 검증하기 위해 제안하는 절차는 다음과 같다.

1단계 : 지붕행렬에서 관련 없음이 아닌 모든 기술특성의 쌍 TR j_1 과 TR j_2 에 대해 그 관계를 리커트 척도의 순위형 자료로 정하여 이를 C_{j_1, j_2} 라고 한다. 예를 들어서 지붕행렬에서 TR 1과 TR 2가 강한 관계가 있으며 0-1-3-9의 리커트 척도를 사용하는 경우 $C_{1,2} = 9$ 가 된다.

2단계 : 지붕행렬에서 관련 없음이 아닌 모든 기술특성의 쌍 TR j_1 과 TR j_2 에 대해 TR j_1 의 m 개 고객요구속성들과의 관계행렬과 TR j_2 의 m 개 고객요구속성들과의 관계행렬 사이의 기하학적인 거리를 측정한다. 수리적으로, 거리의 척도(measure of distance)는

$$D_{j_1, j_2} = \left(\sum_{i=1}^m |R_{i, j_1} - R_{i, j_2}|^p \right)^{1/p}$$

로 주어진다. 본 연구의 목적에는 간단히 $p = 1$ 을 사용할 수 있다. 이 때 $R_{i, j}$ 는 리커트 척도(Likert-type scale)의 순위형 자료, 이원 비교(pairwise comparison)나 스윙방법의 비율형 자료 모두에 사용할 수 있다. Shin *et al.* (2002)는 식 (1)에서 기술한 유사 계수 S_{j_1, j_2} 를 이용하여 거리를 측정하였으며 D_{j_1, j_2} 와 S_{j_1, j_2} 의 차이를 설명하기 위해 리커트 0-1-3-9점 척도를 이용하여 <그림 4>를 얻었다고 가정해 보자. 먼저, Shin *et al.* (2002)의 경우 (a)와 (b)의 TR 1의 관계 행렬과 TR 2의 관계 행렬이 유사

Customer Attributes	Technical Requirements	
	TR 1	TR 2
	CA 1	△
	CA 2	○

(a) CASE I

Customer Attributes	Technical Requirements	
	TR 1	TR 2
	CA 1	
	CA 2	○

(b) CASE II

Figure 4. Example of Relationship Matrix

한 정도인 S_{12} 값은 각각 0.88와 0.77이다. 그런데 D_{12} 값은 (a)와 (b)의 경우 모두 6이다. 두 척도의 차이가 나는 이유는 Shin *et al.* (2002)의 경우 관계 행렬의 값이 모두 0점인 경우는 거리가 0이므로 유사계수 계산에서 고려하지 않았기 때문이다. 즉, S_{j_1, j_2} 의 분모는 고객요구속성 중 두 기술속성의 관계행렬값이 모두 0이 아닌 셀의 수를 사용하기 때문에 (a)의 경우는 $d = 3$ 을 사용하고 (b)의 경우는 $d = 2$ 를 사용하였다. 따라서 D_{j_1, j_2} 와 S_{j_1, j_2} 중 어느 것을 사용하느냐의 문제는 TR j_1 의 관계 행렬 값과 TR j_2 의 관계 행렬값이 모두 관련 없음으로 0점인 경우를 유사성을 계산하는데 고려하느냐 또는 고려하지 않느냐의 문제로 생각할 수 있다.

3단계 : 표본 (D_{j_1, j_2} , C_{j_1, j_2})를 구성한다. 각 기술특성의 쌍을 i 라고 두면 이들 표본을 (D_i , C_i)로 쓸 수 있다. 지붕행렬에서 관련 없음이 아닌 모든 기술특성의 쌍이 총 n 개이라면 $i = 1, 2, \dots, n$ 이 된다.

4단계 : 검정통계량을 구성한다. 검정통계량으로 식 (2)에 주어진 스피어만의 순위상관계수 ρ 의 변형인

$$R = \sum_{i=1}^n R(D_i) R(C_i) \tag{4}$$

을 사용하는데 이때 C_i 에 대해 오름차순으로 순위를 낸다면 D_i 에 대해 내림차순으로 순위를 대응시켜야 한다. 식 (2)와 식 (4)를 비교해 보면 스피어만의 순위상관계수 ρ 는 R 을 표준화한 것임을 알 수 있다. 스피어만의 순위상관계수 ρ 는 독립성을 가정하고 근사 정규분포를 사용하지만 여기서는 순열검정을 고려할 것이므로 간단한 R 을 검정통계량으로 설정하였다. 마찬가지로 식 (3)에 주어진 켄달의 순위상관계수 τ 의 변형인

$$K = \sum_{i,j} s((D_i - D_j)(C_i - C_j)) \tag{5}$$

을 사용할 수 있다. 이때 합은 총 $\binom{n}{2}$ 개의 쌍에 대해 수행되며 $s(x)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$s(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x < 0 \\ 0 & \text{if } x = 0 \\ -1 & \text{if } x > 0 \end{cases}$$

R 이나 K 가 크면 귀무가설을 기각하고 대립가설을 받아들일 수 있는 증거가 된다.

5단계 : 검정을 위한 유의확률(p-value)을 계산한다. 주어진 원 자료에서 R 을 계산하여 R_{obs} 라고 둔다. ($R(D_i)$, $R(C_i)$)의 쌍으로 이루어진 n 개의 표본에 대해 $R(D_i)$ 는 고정시킨 상태에서 $R(C_i)$ 를 순열로 재배치시키는 방

법은 총 $n!$ 개가 있고 각각에 대해 R 을 계산하면 $n!$ 개의 R 값을 가지게 된다. 이제 검정을 위한 유의확률은 $n!$ 개의 R 값 중에서 R_{obs} 보다 큰것의 상대빈도가 된다. 즉, 유의확률은 $Pr(R > R_{obs})$ 이다.

6단계 : 일관성을 결정한다. 유의확률이 미리 정한 유의수준 0.05보다 큰 값을 취하여 귀무가설을 기각하지 못하였다면 일관성이 결여되었다고 판단한다.

7단계 : 일관성이 결여된 경우 일관성 문제를 일으키게 된 기술특성의 쌍을 찾는다. $R(D_i)$ 와 $R(C_i)$ 의 차이가 가장 많이 나는 기술특성치의 쌍 i 부터 리커트 측정값을 재검토한다.

5. 적용사례

<그림 5>는 Shin *et al.* (2002)에서 사용한 품질의 집 예제이다. 이 자료를 이용하여 일관성을 검사하는 검정의 결과를 비교하고자 한다.

<그림 5>의 품질의 집에서 0-1-3-9의 리커트 척도를 사용하여 1단계와 2단계에서 (D_i, C_i) 과 $(R(D_i), R(C_i))$ 값을 계산하면 <표 1>과 같다.

주어진 자료에 대한 식 (4)와 식 (5)의 실현값은 각각 $R_{obs} = 240.25$ 이고 $K_{obs} = 7$ 이다. 또한 순열검정을 통해 얻게 된 식 (4)와 식 (5)의 분포는 <그림 6>과 같으며 여기서 수직선은 각각 R_{obs} 와 K_{obs} 를 나타낸다. 따라서 지붕행렬에서 지정된 기술 특성사이의 관계(<그림 2>의 (g))와 관계행렬에서 얻어진 기

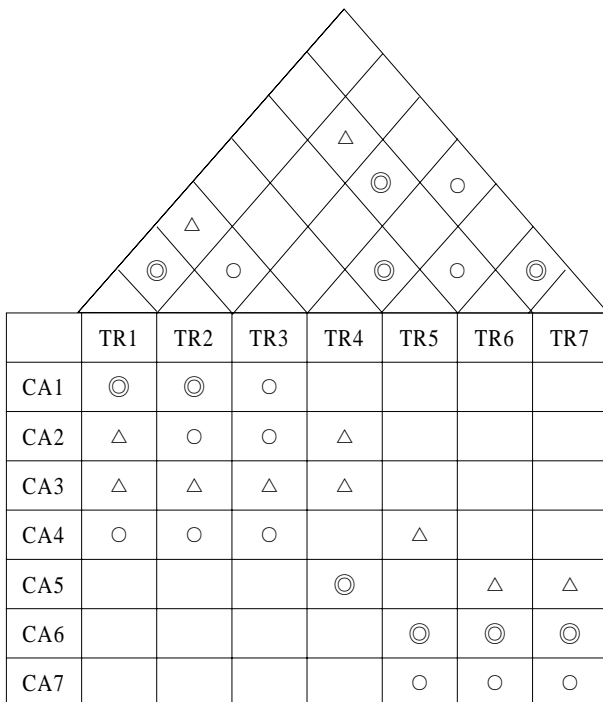


Figure 5. Example of inconsistent HOQ chart(Shin *et al.*, 2002)

Table 1. Distance for relationship matrix and likert scales of roof matrix

$D_1 = D_{1,2} = 2$	$C_1 = C_{1,2} = 9$	$R(D_1) = 2.5$	$R(C_1) = 2.5$
$D_2 = D_{1,3} = 8$	$C_2 = C_{1,3} = 1$	$R(D_2) = 5$	$R(C_2) = 8.5$
$D_3 = D_{2,3} = 6$	$C_3 = C_{2,3} = 3$	$R(D_3) = 4$	$R(C_3) = 6$
$D_4 = D_{2,6} = 29$	$C_4 = C_{2,6} = 1$	$R(D_4) = 9$	$R(C_4) = 8.5$
$D_5 = D_{3,6} = 23$	$C_5 = C_{3,6} = 9$	$R(D_5) = 7.5$	$R(C_5) = 2.5$
$D_6 = D_{4,5} = 23$	$C_6 = C_{4,5} = 9$	$R(D_6) = 7.5$	$R(C_6) = 2.5$
$D_7 = D_{4,7} = 21$	$C_7 = C_{4,7} = 3$	$R(D_7) = 6$	$R(C_7) = 6$
$D_8 = D_{5,6} = 2$	$C_8 = C_{5,6} = 3$	$R(D_8) = 2.5$	$R(C_8) = 6$
$D_9 = D_{6,7} = 0$	$C_9 = C_{6,7} = 9$	$R(D_9) = 1$	$R(C_9) = 2.5$

술특성사이의 관계(<그림 2>의 (f))는 양의 관련이 있다는 대립가설을 검정하기 위한 유의확률은 각각 <그림 6>에서 수직선의 오른쪽 면적을 나타낸다. 주어진 자료의 정확 순열 검정 (exact permutation test)을 위해서는 9!번의 검정통계량의 계산을 필요로 하며 만약 문제의 크기가 커지면 순열검정에 소요

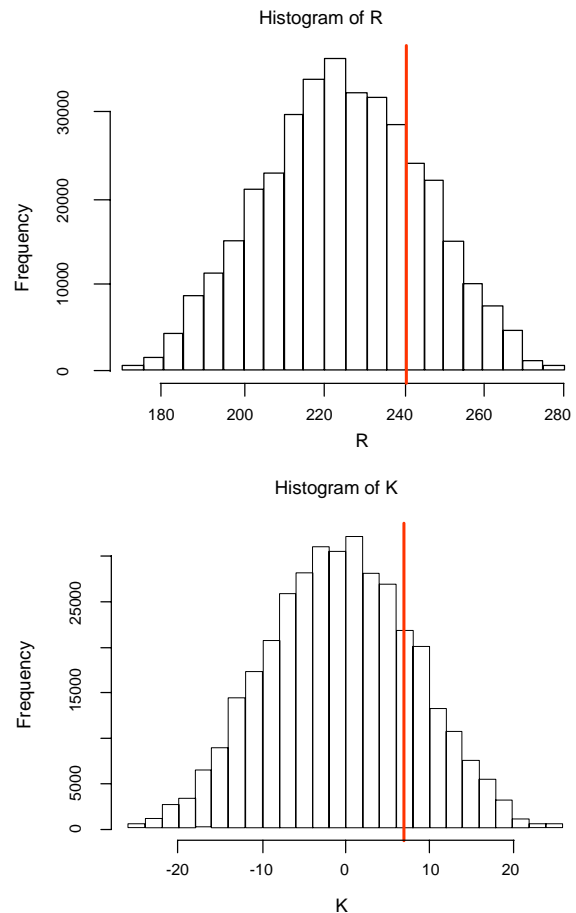


Figure 6. Null distribution of R and K for permutation test

되는 시간이 크게 증가한다. 실제 적용시에는 임의 순열검정 (random permutation test)를 사용하는데 모든 가능한 순열의 약 10% 정도만 수행하여도 검정력이 아주 뛰어난 것으로 알려져 있다.

<표 2>는 Shin *et al.* (2002)에서 사용한 t-검정의 유의확률과 여기서 제안된 R과 K 통계량에 기초한 유의확률을 보여준다. t-검정이 일관성을 낮게 추정하고 있음을 보여주고 있다 또한 Shin *et al.* (2002)의 방법은 리커트 척도에 할당된 값에 따라 일관성의 검정의 결과가 영향을 받게 되지만 여기서 제안한 R과 K에 기초한 검정 방법은 리커트 척도의 영향을 받지 않으며 또한 관계행렬에서도 리커트 척도의 값이나 이원비교 (pairwise comparison) 또는 스윙방법의 비율형 자료 어느 것을 사용하는지 관계없이 그 상대적 순위가 변하지 않는 한 같은 유의확률을 가지게 된다는 장점이 있다.

Table 2. P-values for different testing methods and likert scales

Test	P-value for a given scale of roof matrix	
	0-1-3-9	0-1-3-5
t-test	0.269	0.234
R	0.229	0.229
K	0.207	0.207

R과 K에 기초한 검정 모두에서 품질의 집의 지붕행렬과 관계행렬사이에 일관성이 결여된다는 결론을 얻게 된다. 따라서 일관성 문제를 일으키게 된 기술특성의 쌍을 찾기 위해 $R(D_i)$ 와 $R(C_i)$ 의 차이가 많이 나는 기술특성치의 쌍을 찾는다. $i = 1, \dots, 9$ 에 대한 $R(D_i) - R(C_i)$ 의 값은 각각 0, 3.5, 2, 0.5, 5, 5, 0, 3.5, 1.5이므로 $i = 5, 6$ 이 일관성의 문제에 가장 크게 기여함을 알 수 있다. 따라서 TR 3과 TR 6 그리고 TR 4와 TR 5의 관계행렬 입력값을 검토하여야 한다. 이들 입력값을 검토 및 조정된 후에 다시 일관성 검사를 수행하고도 일관성의 문제가 발생한다면 $i = 2, 8$ 즉, TR 1과 TR 3 그리고 TR 5와 TR 6의 관계행렬 입력값을 검토해 보아야 한다. 일관성 문제에 가장 크게 기여하는 기술특성치의 쌍을 찾고 난 이후 이들 값들을 검토하여 실제로 대응하는 방안은 주어진 사례에 따라 의사결정자의 주관적인 판단이나 브레인스토밍을 통하여 이루어져야 할 것이다.

5. 결론

품질의 집에서 기술특성사이의 지붕행렬과 기술특성과 고객 요구속성사이의 관계행렬 사이의 일관성을 확보하는 문제와 고객요구속성사이의 상관행렬과 기술특성과 고객요구속성사이의 관계행렬사이의 일관성을 확보하는 문제는 최종 기술특성의 중요도 산정에 결정적인 영향을 미치게 된다 Shin *et al.* (2002)이 제안한 피어슨 상관관계수에 기초한 t-검정 방법은 리커트 척도가 정규분포하지 않고 리커트 척도에 따라 검정의 결과가 달라지며 관찰치가 독립이 아니라는 점에서 제한점이 있다. 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 순위상관과 순열검정을 이용하여 품질의 집의 일관성을 검정하는 방안을 제안하였다. 일반적으로 상관행렬이나 관계행렬의 리커트 척도의 값을 어떻게 할당하는가의 문제는 특정한 규칙이 없어 같은 개념이더라도 의사결정자에 따라 서로 다른 척도가 사용될 수 있다. 우리가 제안한 순위상관을 이용한 순열검정 방법은 의사결정자가 사용하는 척도에 상관없이 동일한 일관성의 검정결과를 얻게 되면서 어떤 가정도 필요하지 않다는 장점을 가진다.

참고문헌

- Temponi, C. Yen, J. and Tiao, W. A. (1999), House of quality : a fuzzy logic-based requirements analysis, *European Journal of Operational Research*, **117**, 340-354.
- Chan, L. K. and Wu, M. L. (2005), A systematic approach to quality function deployment with a full illustrative example, *Omega*, **33**, 119-139.
- Khoo, L. P. and Ho, N. C. (1996), Framework of a fuzzy quality function deployment systes, *International Journal of Production Research*, **34**(2), 299-311.
- Shin, J. S., Kim, K. J. and Chandra, M. J. (2002), Consistency check of a house of quality chart, *International Journal of Quality & Reliability Management*, **19**(4), 471-484.
- Kim, Y. P., Yoon, C. H. and Yun, D. K. (2005), Determining customer-oriented technical importance ratings : an evaluation study, *International Journal of Quality & Reliability Management*, **22**(4), 393-409
- Conover, W. J. (1998), *Practical Nonparametric Statistics*, Third Edition, Wiley.
- Good, P. I. (1999), *Resampling Methods: A Practical Guide to Data Analysis*, Birkhauser.