추계적 우세법칙과 분포의 비상등성†

이 대 주*

Stochastic Dominance and Distributional Inequality†

Dae Joo Lee*

Abstract

In this research, we proposed "coefficient of inequality" as a measure of distributional inequality for an alternative, which is defined as the area between the diagonal line from 0 to 1 and the Lorenz curve of the given alternative. Next, we showed theoretical relationship between stochastic dominance and the coefficient of inequality as a means to determine the preferred alternative when decision is made with incomplete information about decision maker's utility function. Then, two experiments were performed to test subject's attitude toward risk. The results of the experiments support the idea that when a decision maker is risk averse or risk prone, he/she can use the coefficient of inequality as a decision rule to choose the preferred alternative instead of using stochastic dominance. Thus, according to decision maker's attitude toward risk, the decision rule proposed here can be used as a valuable aid in decision making under uncertainty with incomplete information.

1. 서 론

불확실성하의 의사결정에서 실행가능한 대안들 가운데 의사결정자의 위험에 대한 태도를 고려하여 최적대안의 선택을 다루는 방법론은 크게 두 가지로 볼 수 있다. 첫째는 의사결정자의 위험에 대한 태도를 반영하는 효용함수를 만들고 이로부터 기대효용의 원칙(expected utility principle)에 의거하여 의사결정자의 대안 선택을 분석하는 것이며[1-4], 둘째는 대안들의 분포의 특성을 의사결정자의 위험에 대한 태도에 따라 계량화하여 이를 대안 선택의 근거로 하여 분석하는 것이다[5-6].

기대효용의 원칙을 적용하기 위해서는 먼저 의

† 이 논문은 1990년도 문교부 학술연구조성비에 의한 자유공모과제로 선정되어 연구되었음.

* 계명대학교 산업공학과

사결정자의 위험에 대한 태도를 반영하는 효용함수(utility function)를 찾아야 하며 다음으로 대안선택에 따른 결과의 불확실성을 반영하는 확률분포를 알고 있어야 한다. 이상의 두 가지를 모두 알고 있는 경우 각 대안의 기대효용을 계산할 수 있으며 기대효용의 값이 최대인 대안을 최적대안으로 선택한다.

대부분의 현실적인 의사결정문제에서 의사결정자가 효용함수를 찾는 과정에 대한 이해가 부족하여 효용함수를 찾는데 어려움을 겪거나 또는 의사결정자가 자신의 위험에 대한 태도를 명확히 표현하는 것 자체에 대한 난점 등의 이유로 인하여 효용함수에 대한 정확한 정보를 얻지 못하는 경우가 많다. 이와 같이 의사결정자의 효용함수에 대한 완전한 정보가 없는 의사결정문제에서 효과적인 대안 선택을 위하여 추계적 우세법칙(stochastic dominance)을 사용할 수 있다[7-13].

분포의 특성으로는 통상적으로 평균과 分散을 주로 이용하여 왔으며 3차모멘트 또는 4차모멘트 등을 이용하기도 하였다. 그러나 분포의 특성을 이용한 분석은, 의사결정자의 효용함수와 대안선택의 결과에 대한 확률분포를 명확히 알고 있다는 전제하에서는, 기대효용의 원칙에 비하여 별로 각광을 받지 못하였다. 그러나 의사결정자가 문제의 상황에 대한 인식이 충분하지 못하거나 또는 의사결정자가 효용함수에 대한 이해가 부족하여 효용함수 자체를 유도하는 작업이 그리 쉬운 일이 아니라는 점이 강조됨에 따라, 기대효용의 원칙 자체만으로는 불확실성하에서의 의사결정문제에서 최적대안의 선택을 위한 분석의 한계를 인식하게 되면서 최근 그 가치를 인정받는 추세에 있다.

특히 효용함수에 대한 정보가 불완전한 상황에서의 의사결정문제에서 추계적 우세법칙을 적용하기 위해서는 결정변수의 확률분포에 대한 완전한 정보가 주어져야 한다. 대부분의 의사결정문제에서 확률적인 상황제시가 이론적으로 사용되는 분포함수의 형태를 지니는 경우는 별로 없으므로 통상적으로는 주어진 정보를 토대로 이론적인 확률분포의 형태를 만들고 이를 이용하였다. 또한 경우에 따라서는 주관적 확률(subjective probability)에 근거한 확률분포를 다루어야 하는데 이를 이론적인 확률분포로 변환하였을 경우 이론적인 분포함수는 대부분의 의사결정자에게 매우 생소할 뿐만 아니라 의사결정분석자가 이를 의사결정자에게 설명하기에도 어려움이 많다.

이러한 난점을 해소하기 위하여 불완전 정보하의 의사결정문제에서 의사결정자 및 분석자가 파악한 결과의 확률분포를 근거로 하여 이론적인 분포를 만들고 추계적 우세법칙을 이용하여 최적의 대안을 선정할 수도 있으나 원래의 확률분포를 변환하지 않은 상태에서 추계적 우세법칙과 분포의 비상등성의 관계를 이용하여 새로운 척도를 만들고 이를 근거로 하여 최적의 대안을 선택할 수 있다면 의사결정자가 충분히 이해하고 신뢰할 수 있는 대안선택이 이루어질 것이다.

본 연구에서는 먼저 불확실성하의 의사결정에서 분포의 특성 가운데 하나인 분포의 비상등성(distributional inequality)과 불완전 정보하의 대안선택을 위한 추계적 우세법칙의 관계를 보이고자 한다. 다음으로 의사결정자의 효용함수의 개략적인 형태를 파악할 수 있는 문항들과 대안선택의 선호를 파악하기 위한 양의 로터리들로 이루어진 대안쌍들에 관한 문항들을 개발하고 이 문항들을 설문조사방법에 의하여 피실험자들에게 제시하고 수집된 자료를 분석하기로 한다. 분석단계에서는 각 의사결정자의 위험에 대한 태도에 따라 추계적 우세법칙에 따른 대안선택의 결과와 분포의 비상등성을 이용한 대안선택의 결과를 비교하여 두 가지 방법의 결과가 일관성을 유지하는 지의 여부를 검증한다. 이와 같은 실증적

인 검증과정을 통하여 의사결정자가 최적대안을 선택하는 과정에서 분포의 비상등성이 유용한 척도로서 사용될 수 있음을 보이고자 한다.

2. 추계적 우세법칙과 분포의 비상등성

의사결정자의 위험에 대한 태도는 위험을 기피(risk averse)하거나 위험을 선호(risk prone)하거나 또는 위험에 중립(risk neutral) 등으로 분류된다. 의사결정자의 위험에 대한 태도를 결정하는 방법에 대하여 두 가지 측면에서 고찰하기로 한다. 먼저 그의 효용함수에 의하여 위험에 대한 태도를 판정하고 다음으로 로렌츠곡선으로부터 유도된 "불균일계수"에 의하여 위험에 대한 태도를 판정하기로 한다. 첫번째로, 단일속성(single attribute) 효용함수를 u(x)라고 할 때 위험을 기피하는 의사결정자의 효용함수는 위로 볼록인 형태를, 위험을 선호하는 의사결정자의 효용함수는 아래로 볼록인 형태를 취한다. 위험의 척도(measure of risk aversion)는 통상적으로

$$r(x) = -u''(x)/u'(x)$$

로 정의된다.[14]

분포의 비상등성을 나타내는 한 가지 방법으로 厚生經濟學(welfare economics)에서 사용하는 로렌츠곡선(Lorenz curve)이 있다. 로렌츠곡선은 국제간의 소득의 불평등 또는 한 국가내에서 소득계층간의 불평등의 정도를 표현하는데 사용된다. 횡축은 낮은 소득액을 소유하고 있는 소득자로부터 높은 소득자로의 누적백분율(cumulative percentage)을 표시하며 종축은 이에 대한 소득액의 누적백분율을 나타낸다.[15] 로렌츠곡선은 소득분포의 형태에 관계없이 각 소득분포의 특성을 그림으로 표현하고 있다는 점에서 매우 유용하다. 분포곡선은 대각선으로부터 아래쪽으로 나타나게 되며 이는 소득분포가 균일하지 않음을 의미한다. 따라서 소득분포가 균일할 수록 로렌츠곡선이 대각선에 가깝게 나타나며 소득분포가 균일하지 않을 수록 대각선에서 멀리 떨어지게 된다.

후생경제학에서의 소득분포와 불확실성하의 의사결정에서 결과치의 불확실성을 나타내는 확률분포와는 근본적으로 다른 것이지만 두 가지 모두 대안들의 분포에 따른 대안선택이라는 면에서는 동일하게 취급할 수 있다. 따라서 불확실성하의 의사결정에서 분포의 비상등성을 나타내는 방법으로 로렌츠곡선을 이용할 수 있다.

로렌츠곡선과 위험에 대한 태도의 관계를 살펴보기 위하여, 예를 들어, 그림 1 과 같은 로터리(lottery) ⟨L2⟩가 주어졌다고 하자. 주어진 로터리는 모두 100장의 복권을 포함하고 있다. 그림 1에서 "#" 는 복권 1장을 의미하며 금액은 복권을 뽑았을 때의 당첨액수를 나타낸다. 이 로

₩ 0	#
₩ 1,300	#
₩ 2,700	###
₩ 4,000	#####
₩ 5,300	#######
₩ 6,700	#########
₩ 8,000	###########
₩ 9,300	#############
₩10,700	#############
₩12,000	###########
₩13,300	#########
₩14,700	#######
₩16,000	#####
₩17,300	###
₩18,700	#
₩20,000	#

그림 1. 복권 100장으로 이루어진 로터리 ⟨L2⟩의 예

터리에 대하여 횡축을 누적상대도수로 하고 종축을 누적당첨액수의 상대도수로 하여 이를 로렌츠곡선으로 나타내면 그림 2를 얻는다.

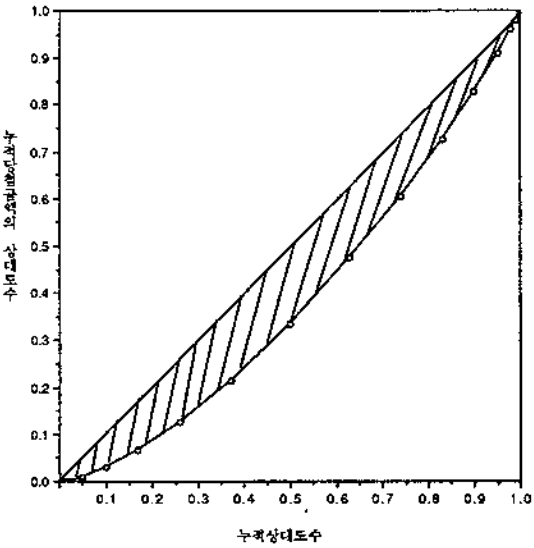

그림 2. 로터리 (L2)에 대한 로렌츠곡선

여러 개의 대안들이 로터리의 형태로 주어져 있을 때 가장 바람직한 대안은 의사결정자의 위험에 대한 태도에 따라 달라질 것이다. 따라서 의사결정자의 위험에 대한 태도에 따라 각 로터리에 대한 위험의 정도를 계량화할 필요가 있다. 이제 각 로터리를 나타내는 로렌츠곡선을 만들고 로렌츠곡선의 특성을 단일의 척도로 표현하기 위하여 본 연구에서는 "불균일계수"(coefficient of inequality)를 사용한다. 불균일계수는 대각선과 로렌츠곡선 사이의 면적으로서 정의되며 그림 2의 경우 빗금 친 부분의 면적이 불균일계수이다. 이를 이용하여 각 로터리의 위험의 정도를 나타낼 때 각 분포에 대한 의사결정자의 선호도를 계량화 할 수 있을 것이다. 따라서 의사결정자의 위험에 대한 태도에 따른 대안선택의 척도로서 불균일계수를 사용하기로 한다.

추계적 우세법칙은 의사결정자의 효용함수에 대한 정확한 정보를 가지고 있지 않은 경우 선호대안을 선택하는 방법이다. 정확히 말하면 의사결정자의 효용함수에 대한 완전한 정보가 없되 함수의 개략적인 형태에 관한 간단한 정보만을 가지고 있으며 대안의 선택의 결과를 나타내는 결정변수의 확률분포에 대한 정보를 가지고 있을 때 이들로부터 기대효용의 원칙에 의거하여 각 대안을 비교하여 열세인 대안(dominated alternatives)을 제거하고 우세인 대안들(nondominated alternatives)만을 고려하여 이 가운데 가장 선호되는 대안을 선택하는 방법이다. 따라서 위험을 기피하는 의사결정자의 경우 효용함수가 아래로 볼록이므로 각 대안의 확률분포에 따라 대안의 선호도를 결정할 수 있다.

의사결정자의 효용함수가 $u(x)$이고 임의의 두 대안 X와 Y의 누적분포함수를 각각 $F(x), G(x)$라 하자.

$\forall x, u'(x) \geq 0$일 때 모든 x에 대하여

$$G(x) \geq F(x) \tag{1}$$

이면 대안 X는 Y에 비하여 선호되며 이를 제1차 추계적 우세법칙이라 한다. 즉, 의사결정자의 효용함수가 단조증가함수인 경우에 대안 X의 누적분포함수가 대안 Y의 누적분포함수보다 항상 작다면 제1차 추계적 우세법칙에 따라 대안 X는 Y에 비하여 선호된다. 또한

$\forall x, u''(x) \leq 0$일 때 모든 x에 대하여

$$G^1(x) \geq F^1(x) \tag{2}$$

$$\text{여기서 } G^1(x) = \int_{-\infty}^{x} G(t)\,dt \tag{3}$$

이거나 또는

$\forall x, u''(x) \geq 0$일 때 모든 x에 대하여

$$G^1(x) \leq F^1(x) \tag{4}$$

이면 대안 X는 대안 Y에 비하여 선호되며 이를 제2차 추계적 우세법칙이라 한다. 즉, 의사결정

자의 효용함수가 위로 볼록인 경우 대안 X의 누적분포함수가 대안 Y의 누적분포함수보다 항상 작거나 또는 효용함수가 아래로 볼록인 경우 대안 X의 누적분포함수가 대안 Y의 누적분포함수보다 항상 크다면 제2차 추계적 우세법칙에 따라 대안 X는 대안 Y에 비하여 선호된다. 그러므로 의사결정자의 효용함수에 대한 특성을 알고 각 대안의 결과에 따른 확률분포들을 알고 있으며 이들이 (1)식, (2)식, 또는 (4)식의 관계를 가진다면 이로부터 대안들의 선호관계를 결정할 수 있다.

이제 추계적 우세법칙과 불균일계수와의 관계를 살펴보기로 한다. 본 연구에서는 의사결정자의 위험에 대한 태도에 따른 대안선택을 명확히 하기 위하여 임의의 두 대안의 분포가 평균은 같으나 분산이 다른 경우에 대해서 분석하고자 한다. 왜냐 하면 두 대안의 평균과 분산이 모두 다를 경우 의사결정자의 선호도가 평균과 분산 모두에 의하여 영향을 받기 때문이다.

두 대안의 평균이 같고 분산이 다른 경우 각 대안의 누적분포함수는 반드시 서로 교차한다. 예를 들어, 임의의 두 대안 X와 Y의 확률분포가 평균이 0 이고 표준편차가 각각 σ_1, $\sigma_2(\sigma_1 \leq \sigma_2)$인 정규분포를 따르며 누적분포함수가 각각 F와 G라고 하자. F와 G의 그래프를 비교하여 보면 $-\infty \leq x \leq 0$일 때 $F(x) \leq G(x)$이나 $0 \leq x \leq +\infty$일 때는 $F(x) \geq G(x)$이다. 따라서 모든 x에 대하여 F 또는 G가 항상 크지 않으므로 ((1)식을 참조) 제1차 추계적 우세법칙으로는 두 대안 X와 Y의 선호관계를 정할 수 없다. 그러나 F와 G의 적분치((3)식을 참조)인 F^1과 G^1의 그래프를 비교하여 보면 모든 x에 대하여 $F^1(x) \leq G^1(x)$이 성립한다((2)식을 참조). 따라서 의사결정자가 위험을 기피하는 사람이라면 제2차 추계적 우세법칙에 의하여 대안 X는 Y에 비하여 선호된다. 이와 같은 관계는 정규분포 뿐만 아니라 감마분포에서도 성립하며 이산분포에서도 성립한다. 본 연구에서 사용되는 로터리들은 모두 평균은 같으나 분산이 다른 이산분포를 따르고 이들간에는 제2차 추계적 우세법칙이 성립한다.

위에서 언급한 대안 X와 Y의 확률분포에서 평균은 같으나 표준편차가 다른 경우($\sigma_1 \leq \sigma_2$) 각 대안의 로렌츠곡선을 그려 보면 표준편차가 작은 대안 X의 곡선이 대안 Y의 곡선보다 더 대각선에 가깝게 나타나며 따라서 대안 X의 불균일계수가 대안 Y의 불균일계수보다 더 작다. 따라서 위험을 기피하는(risk averse) 사람의 경우에는 불균일계수가 상대적으로 작은 대안을 더 나은 대안으로 결정할 것이며 위험을 선호하는(risk prone) 사람은 불균일계수가 상대적으로 더 큰 대안을 선호하게 될 것이다.

그러므로 위험에 대한 태도와 분포의 비상등성으로부터 얻어진 정보와 추계적 우세법칙을 적용하여 얻어진 결과를 비교하였을 때 동등한 결과를 얻게 된다면 불확실성하의 의사결정에서 추계적 우세법칙을 직접적으로 적용하지 않더라도 각 대안의 불균일계수를 측정하여 의사결정자의 위험에 대한 태도에 따라 가장 선호되는 대안을 결정할 수 있을 것이다. 이렇게 함으로써 여러 개의 대안이 주어진 경우 가장 선호되는 대안선택을 위하여 효과적인 선택기준을 설정할 수 있다.

다음 절에서는 양의 로터리를 이용한 대안선택의 결과로부터 의사결정자의 위험에 대한 태도를 분류하는 두 가지 실험을 통하여 추계적 우세법칙과 분포의 비상등성의 척도인 불균일계수의 관계의 유용성을 실증적으로 검증하고자 한다.

3. 실 험

불확실성하의 의사결정에서 의사결정자의 효용함수에 대한 완전한 정보가 없을 때 사용가능한 추계적 우세법칙을 이용한 대안의 선택과 분

포의 비상등성의 척도인 불균일계수를 이용한 대안선택의 결과를 비교하기 위하여 두 가지의 실험을 수행하였다. 〈실험 I〉은 각 피실험자가 서로 다른 대안들 가운데 어느 대안을 선호하는지를 알아보기 위한 실험이다. 본 연구에서는 모두 11개의 대안들을 사용하였으며 이 가운데는 확정적인 대안이 포함되어 있다. 확정적인 대안을 제외하고는 모두 로터리의 형태를 취하였다. 각 피실험자에게 11개의 로터리들의 모든 가능한 조합을 제시하고 두 개의 로터리 가운데 어느 것을 선호하는지를 응답하도록 하였다. 이 로터리들은 Lopez[16]가 고안한 로터리들 가운데 일부를 본 연구의 목적에 맞게 변형시킨 것이다.

〈실험 II〉는 피실험자의 위험에 대한 태도에 따른 효용함수의 형태를 파악할 수 있도록 고안된 설문에 응답하는 것이었다. 설문은 모두 5개의 문항으로 구성되어 있으며 각 문항은 확실등가방법(Certainty Equivalent method)을 사용하여 피실험자가 주어진 로터리와 같다고 생각하는 확실등가(certainty equivalent : CE)를 査定하도록 하였고 이들을 이용하여 의사결정자의 효용함수의 형태를 파악하고자 하였다. 여기서 중요한 점은 의사결정자의 효용함수의 정확한 수식을 유도하는 것이 아니라 효용함수의 함수적인 특성만을 파악하는 것이므로 많은 문항을 제시하지 않음으로써 되도록이면 피실험자가 일관성 없는 응답을 하지 않도록 하였다.

3.1 실험 I

3.1.1 실험방법

〈실험 I〉에 사용된 로터리들은 모두 11개이며 각 로터리는 모두 100장의 복권으로 이루어져 있다. 이 가운데는 확정적인 로터리(sure thing lottery)가 포함되어 있으며 이 로터리는 당첨금액이 ₩10,000인 복권이 100장인 특수한 경우이다. 나머지 로터리들은 당첨금액이 최소 ₩0부터 최대 ₩43,900인 복권을 포함하고 있는 양의 로터리(positive lotteries)들이며 이들은 기대치가 ₩10,000으로 동일하나 분산은 다른 이산분포를 따른다.

그림 3에서 예시한 바와 같이 모든 로터리들을 짝을 지어 피실험자들에게 제시하였다. 따라서 각 피실험자에게 11개의 로터리들간의 모든 가능한 조합인 55개의 로터리쌍이 제시되었고 피실험자가 각 로터리쌍 가운데 어느 것을 더 선호하는지를 응답하도록 하였다. 이 때 임의의 한 로터리쌍 내에서 두 개의 로터리들이 제시된 순서에 영향을 받지 않도록 하기 위하여 무작위로 순서를 배열하였다. 또한 55개의 로터리쌍들의 순서도 같은 이유로 무작위로 배열하였다. 확정적인 로터리를 제외한 로터리들의 도수분포표, 로렌츠곡선이 그림 4에 주어져 있다.

실험대상은 계명대학교 산업공학과에 재학하고 있는 학생들을 대상으로 하였으며 총응답자수는 36명이었다. 1회에 4 내지 5명의 학생들에게 설문지를 배부한 후 실험을 실시하기 전에 20분간에 걸쳐 본 연구의 취지에 대하여 설명하였다. 특히 각 로터리쌍에서 하나를 선택함에 있어서 맞거나 틀린 답이 없다는 점을 피실험자들에게 강조하여 설명하였다. 여기서 주된 관심은 단지 피실험자가 개인적으로 어떤 로터리를 더 선호하는가이며 이는 사람에 따라 다르게 나타날 수 있다는 점을 특별히 강조하였다. 즉, 주어진 모든 로터리들은 그 기대치가 동일하며 단지 분산만이 다르다는 점을 주지하였다. 모든 피실험자들이 확률 및 통계에 관한 과목을 2 내지 3과목을 이수하였으므로 이와 같은 점에 대한 인지도에는 전혀 문제가 없다고 하겠다.

이상의 몇 가지 주의사항을 충분히 설명한 후 각자가 충분한 시간을 가지고 설문에 응답하도록 하였다. 피실험자들간에 서로 의견교환이 불가능하도록 같은 55개의 로터리쌍의 순서를 무작위

```
₩      0   #
₩  1,300   #
₩  2,700   ###
₩  4,000   #####
₩  5,300   #######
₩  6,700   #########
₩  8,000   ###########
₩  9,300   #############
₩ 10,700   #############
₩ 12,000   ###########
₩ 13,300   #########
₩ 14,700   #######
₩ 16,000   #####
₩ 17,300   ###
₩ 18,700   #
₩ 20,000   #

₩      0   #
₩  1,300   ##
₩  2,800   ###
₩  4,200   ####
₩  5,800   #####
₩  7,100   #######
₩  8,600   ##########
₩ 10,100   ###############
₩ 11,500   ######################
₩ 13,000   ################################
```

그림 3. 로터리쌍 (L2, L10)의 예

로 배열하여 상호간에 같은 설문임을 알지 못하도록 하였다. 1회의 실험에서 피실험자가 설문에 응답하는데 대략 30분 정도의 시간이 소요되었다.

3.1.2 실험결과 및 분석

피실험자들에게 제시된 55개의 로터리쌍들 가운데 확정적인 로터리(⟨ST⟩)가 포함된 10개의 로터리쌍들에 대하여 이론적인 선호관계를 살펴보자. ⟨ST⟩는 모든 복권의 당첨금액이 ₩10,000이므로 기대치가 다른 로터리와 마찬가지로 ₩10,000이나 분산은 0인 특수한 경우이다.

⟨ST⟩의 누적분포함수의 적분치는

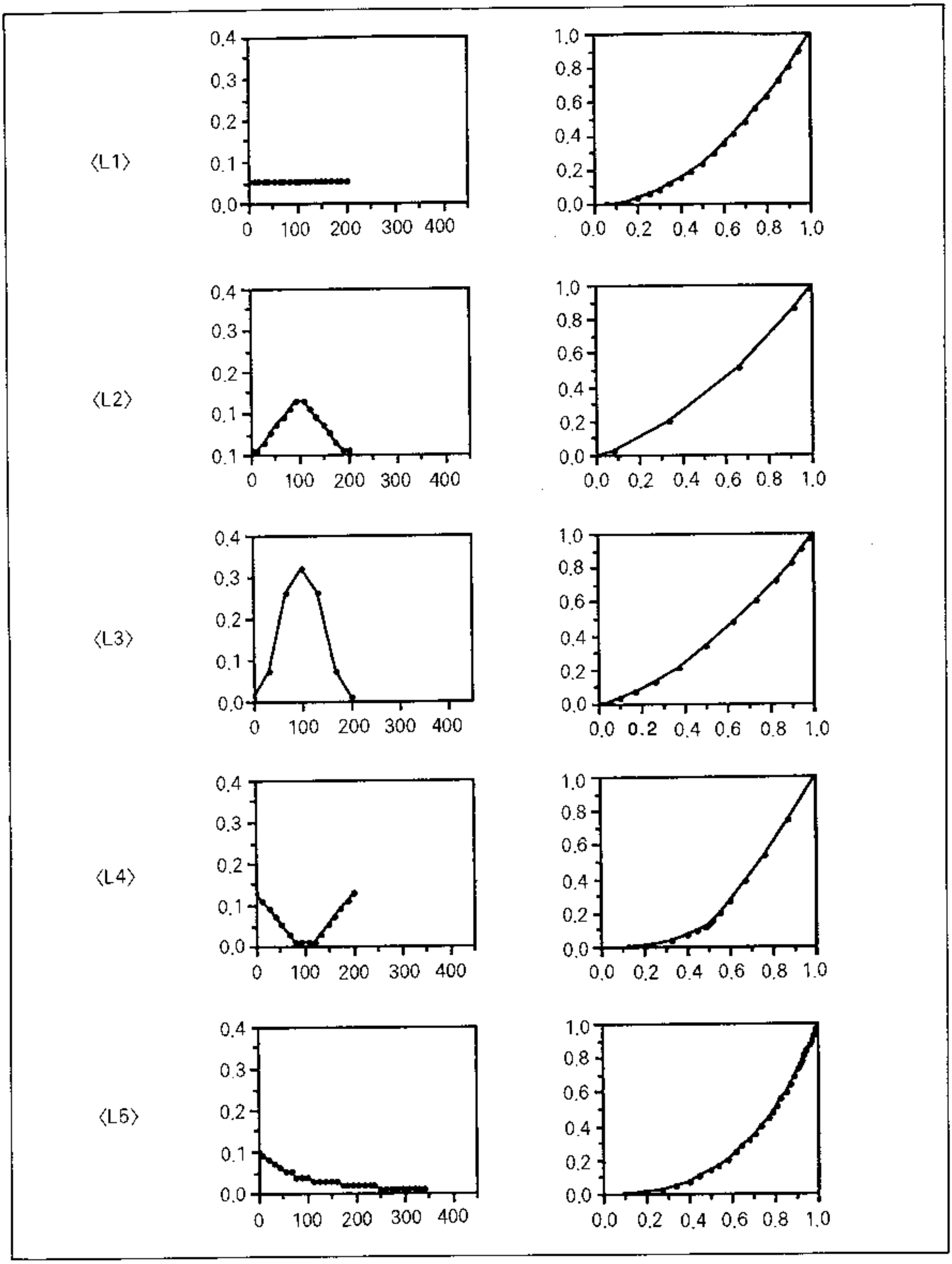

그림 4. 로터리들(L1~L10)의 도수분포표 및 로렌츠곡선 (계속)

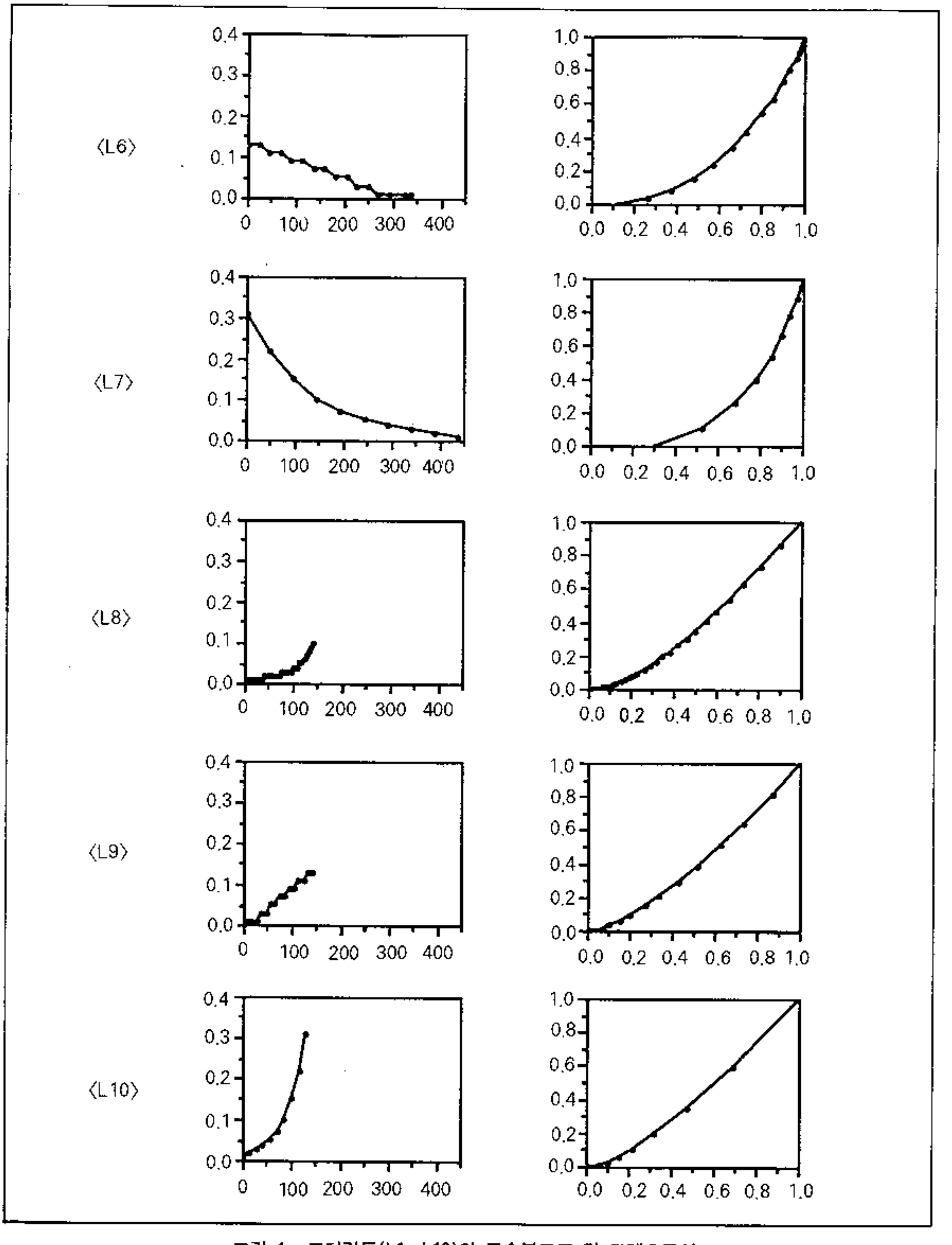

그림 4. 로터리들(L1~L10)의 도수분포표 및 로렌츠곡선
*** 왼쪽그림의 횡축단위는 100 단위임**

$$F'(x) = \begin{cases} 0 & 0 \le x \le 10000 \\ x-10000 & x \ge 10000 \end{cases}$$

이고 다른 모든 로터리의 누적분포함수의 적분치와 비교하면 모든 x에 대하여 항상 작은 값을 가진다.

의사결정자가 위험을 기피하는 사람이라면 의사결정자의 효용함수 u(x)가 증가함수라는 전제하에 위로 볼록, 즉 $u''(x) \le 0$이므로 (2)식이 성립한다. 따라서 〈ST〉는 제2차 추계적 우세법칙에 의하여 다른 모든 로터리들(L1~L10)에 비하여 선호될 것이다. 그러므로 이론적으로 말하면 위험을 기피하는 의사결정자는 〈ST〉를 10회에 걸쳐 선택하여야 한다.

반대로, 의사결정자가 위험을 선호하는 사람이라면 효용함수가 증가함수라는 전제하에 효용함수가 아래로 볼록인 형태, 즉 $u''(x) \ge 0$이 되어 (4)식을 만족하므로 〈ST〉는 다른 모든 로터리에 비하여 선호되지 않을 것이다. 또한 〈L7〉의 누적분포함수의 적분치가 가장 크게 나타나므로 〈L7〉이 다른 모든 로터리에 비하여 선호된다. 따라서 이론적으로는 〈ST〉가 포함된 10개의 문항에서 〈ST〉는 전혀 선택되지 말아야 하며 〈L7〉은 10회 선택되어야 한다.

〈ST〉를 제외한 다른 로터리들은 당첨금액이 ₩10,000 이상인 복권을 적게는 32장 많게는 68장을 포함하고 있다. 특히 〈L7〉의 경우에는 ₩10,000 이상인 복권이 가장 적은 32장을 포함하고 있으나 최대당첨금액이 ₩43,900으로 가장 크다.

나머지 로터리들에 대하여도 〈ST〉 또는 〈L7〉의 경우와 같이 누적분포함수의 적분치들간의 대소관계를 비교하여 상호간의 선호관계를 위험기피자의 입장에서 정리하면 〈ST〉를 포함한 11개의 로터리들간의 선호도는

$$ST \succ L10 \succ L9 \succ L3 \succ L8 \succ L2 \succ L1 \succ L4 \succ L6 \succ L5 \succ L7 \quad (5)$$

과 같이 나타난다. 따라서 (5)식을 이용하여 55개의 로터리쌍 각각에 대하여 이론적인 선호관계를 정할 수 있다. 또한 제2차 추계적 우세법칙(즉, (4)식)에 따라 로터리들간의 선호도를 위험선호자의 입장에서 정리하면 (5)식의 역순이 된다.

다음으로 11개의 로터리 각각에 대하여 로렌츠곡선을 만들고 이로부터 불균일계수를 계산한 결과가 표 1에 주어져 있다. 〈ST〉의 로렌츠곡선은 바로 대각선의 형태로 표현되므로 〈ST〉의 불균일계수는 '0' 이며 따라서 〈ST〉의 불균일계수가 다른 모든 로터리의 불균일계수보다 작음을 표 1로부터 알 수 있다. 불균일계수가 더 작은 로터리가 위험의 정도가 작은 로터리이므로, 선호관계를 위험기피자의 입장에서 정리하면 〈ST〉가 다른 모든 로터리에 대하여 선호될 것이다.

표 1. 각 로터리의 불균일계수

로터리번호	불균일계수
〈ST〉	0.0000
〈L1〉	0.1746
〈L2〉	0.1145
〈L3〉	0.1023
〈L4〉	0.2173
〈L5〉	0.2508
〈L6〉	0.2256
〈L7〉	0.2839
〈L8〉	0.1036
〈L9〉	0.0942
〈L10〉	0.0849

그러므로 불균일계수에 의하여도 〈ST〉가 가장 좋은 대안이며 따라서 위험을 기피하는 의사결정자는 〈ST〉를 10회에 걸쳐 선택하여야 한다. 또한 11개의 로터리들을 불균일계수가 작은 순서대로 나열하면 (5)식과 동일하게 나타난다. 또한 11개의 로터리들을 불균일계수가 큰 순서대로 나열하면 (5)식의 역순으로 나타날 것이다.

이 실험으로부터 얻어진 결과는 피실험자 개개인이 55개의 로터리쌍에서 각각 어느 로터리를 선호하는가를 보여주는 것이다. 피실험자들의 응답결과를 살펴보면 일관성 없는 응답들을 가끔 발견할 수 있다. 예를 들어, 피실험자 #30의 경우 (L1,L5)에서는 L1을 선호하였으며, (L5,L9)에서는 L5를, 그리고 (L9,L1)에서는 L9를 선호하였다. 이 경우 L5 보다는 L1을 선호하며 L9 보다는 L5를, 그리고 L1 보다는 L9를 선호하는 것이며, 즉 L1 ≻ L5 ≻ L9 ≻ L1 이 되며, 이는 Raiffa[17]의 말을 빌리면 의사결정자가 "money pump"인 경우에 해당된다. 본 실험에서는 실험자와 피실험자가 마주 앉아 응답결과를 검토하고 일관성 없는 응답에 대한 재응답의 기회를 부여하는 과정이 생략되었으므로 피실험자들이 모든 가능한 조합에서 완전하게 일관성을 유지한다는 것이 결코 쉬운 일이 아니다.

36명의 피실험자들이 모든 로터리에 대하여 각 로터리의 선택빈도 및 (5)식에 제시된 이론적인 선호관계와 일치하는 빈도가 표 2에 주어져 있다. 이로부터 피실험자들을 위험기피자 및 위험선호자로 분류하기로 한다. 먼저 위험기피자의 분류기준은 두 가지로 설정할 수 있다. 첫째 분류기준은 〈ST〉의 선택빈도로서 최대빈도는 10회이다. 둘째 기준은 이론적인 선호관계와의 일치빈도이고 최대빈도는 55회이다. 다음으로 위험선호자의 분류기준은 〈L7〉의 선택빈도로서 최대빈도는 10회이며 둘째 기준은 이론적인 선호관계((5)식)와의 불일치빈도이고 최소빈도는 0회이다.

따라서 본 실험에서는 첫째 기준으로 〈ST〉를 7회 이상 선택한 사람을 위험을 기피하는 사람으로, 〈L7〉을 7회 이상 선택한 사람을 위험을 선호하는 사람으로 분류하고자 한다. 또한 둘째 기준으로 최대로 일치가능한 응답빈도 55회 가운데 일치빈도가 41회 이상인 사람을 위험기피자로, 15회 이하인 사람을 위험선호자로 분류한다.

이제 피실험자가 55개의 문항에 대하여 응답한 결과를 검토하여 보자. 표 2에서 확정적인 로터리를 10회 선택한 사람은 1명이며 한번도 선택하지 않은 사람도 1명이다. 실제로 36명의 피실험자들 가운데 첫째 기준에 의하여 위험기피자로 분류된 피실험자는 9명(#3,#5,#8,#10,#13,#15,#18,#30,#33)이었으며 위험선호자는 8명(#1,#3,#7,#17,#21,#26,#32,#35)이었다. 둘째 기준에 의하여 위험기피자로 분류된 사람은 9명(#5,#8,#10,#15,#18,#30,#31,#33,#36)이었으며 위험선호자로 분류된 사람은 5명(#7,#17,#21,#32,#35)이었다.

이상에서 분석한 바와 같이 〈ST〉 또는 〈L7〉의 선택빈도에 따른 분류와 선호관계의 일치/불일치빈도에 의한 피실험자 분류일치도를 살펴 보면 다음과 같다. 피실험자 7명(#5,#8,#10,#15,#18,#30,#33)은 위험기피자로 볼 수 있으며 5명(#7,#17,#21,#32,#35)은 위험선호자로 볼 수 있다. 이 분석결과는 〈실험 II〉에서 피실험자의 효용함수에 대한 분석결과와 함께 3.3절에서 종합하여 분석하기로 한다.

3.2 실험 II

3.2.1 실험방법

〈실험 II〉의 주목적은 각 피실험자의 효용함수의 형태를 파악하기 위한 것으로서 모두 5개의 문항이 제시되었다. 〈실험 I〉에서 사용된 로

표 2. 각 로터리의 선택빈도 및 (5) 식과의 일치빈도

피실험자 번 호	L1 선택	L2 선택	L3 선택	L4 선택	L5 선택	L6 선택	L7 선택	L8 선택	L9 선택	L10 선택	ST 선택	(5)식과의 일치빈도
01	8	5	6	7	4	6	7	3	3	1	5	20
02	3	6	5	6	10	5	5	0	5	5	5	24
03	3	4	7	6	6	4	9	2	4	3	7	21
04	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	29
05	6	4	7	3	3	2	0	6	9	8	7	47
06	6	9	7	3	1	2	6	2	7	7	5	37
07	6	4	5	7	8	9	10	1	2	3	0	6
08	5	5	8	4	1	1	4	5	6	8	8	45
09	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	29
10	7	4	7	3	2	3	1	7	7	6	8	43
11	6	8	10	7	2	2	5	4	5	2	4	27
12	7	8	8	5	2	3	6	4	3	5	4	29
13	4	2	7	3	6	7	6	2	4	6	8	30
14	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	29
15	7	5	9	3	1	3	0	4	6	8	9	47
16	6	7	5	4	3	6	4	3	7	5	5	31
17	7	4	6	4	8	8	8	1	2	4	3	12
18	5	4	7	3	4	4	1	5	5	8	9	44
19	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	29
20	6	2	3	9	6	4	5	7	5	5	3	21
21	4	8	6	4	6	6	7	5	3	3	3	15
22	6	4	8	6	3	4	2	7	5	6	4	30
23	5	4	8	4	2	6	5	3	8	6	4	33
24	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	29
25	8	5	6	5	1	2	3	7	7	6	5	34
26	6	6	7	2	7	5	8	4	2	3	5	19
27	10	5	7	4	5	3	3	5	6	1	6	29
28	7	8	8	3	5	1	3	3	5	6	6	38
29	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	29
30	3	8	8	3	2	2	1	5	6	7	10	48
31	5	5	7	3	1	3	0	8	7	10	6	47
32	5	6	6	5	8	8	10	0	1	3	3	14
33	6	4	7	5	1	3	1	5	8	8	7	41
34	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	29
35	4	7	5	3	8	10	9	3	0	4	2	12
36	6	7	10	3	1	4	1	6	6	7	4	43

터리들이 모두 양의 로터리들로서 당첨금액의 최소치가 ₩0, 최대치가 ₩43,900이므로, 최소치가 ₩0, 최대치가 ₩50,000 인 표준 로터리를 기준으로 하여 문항들을 구성하였다. 피실험자는 각 문항에서 주어진 50-50 로터리(even chance lottery)와 마찬가지로(indifferent) 생각하는 확실등가(certainty equivalent)를 査定하도록 하였고 이 값들을 이용하여 의사결정자의 효용함수의 형태를 파악하고자 하였다.

〈실험 I〉과 같이 실험대상은 계명대학교 산업공학과에 재학하고 있는 36명의 학생들을 대상으로 하였으며 1회에 4 내지 5명의 학생들에게 설문지를 배부하고 본 연구의 취지에 대하여 설명하였다. 피실험자들에게 효용함수의 의미에 대하여 구체적으로 설명한 후 각 문항에서 확실등가를 사정함에 있어서 맞거나 틀린 답이 없다는 점을 주지시켰으며 피실험자의 개인적인 선호도에만 관심이 있고 이는 사람에 따라 다르게 나타날 수 있다는 점을 특별히 강조하였다. 1회의 실험에서 피실험자가 설문에 응답하는데 대략 15분 내지 20분 정도의 시간이 소요되었다. 실제로 〈실험 I〉과 〈실험 II〉는 같은 피실험자에 대하여 연속적으로 실시되었다.

3.2.2 실험결과 및 분석

피실험자들이 응답한 자료를 좌표 상에 그려서 개략적인 효용함수의 형태를 살펴본 다음(그림 5참조) 이를 회귀모형에 의하여 회귀식을 유도하였다. 여기서 회귀식 자체를 사용하고자 하는 것은 아니며 효용함수의 그래프의 형태를 관별하기 위한 것이다. 의사결정자의 효용함수의 형태

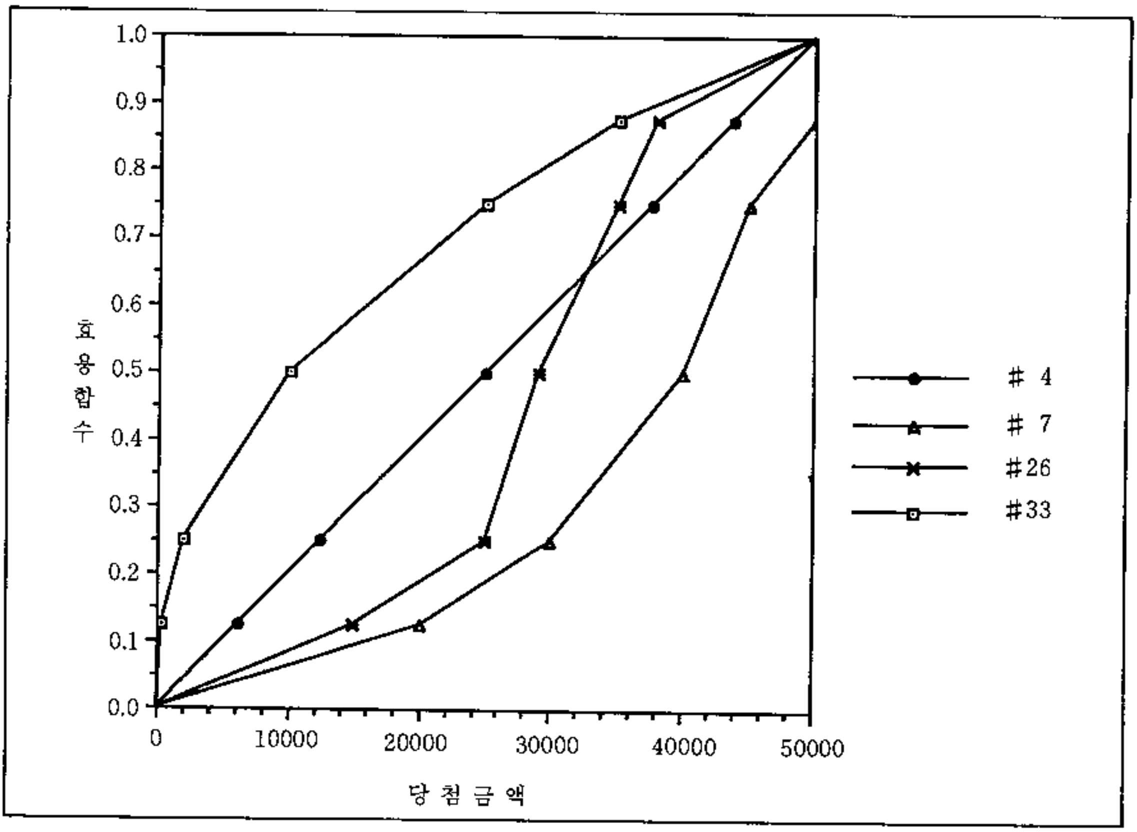

그림 5. 피실험자 #4, #7, #26, #33의 효용함수

는 그의 위험에 대한 태도에 따라 결정된다. 즉, 위험을 기피하는 의사결정자의 효용함수는 위로 볼록인 형태를, 위험을 선호하는 의사결정자의 효용함수는 아래로 볼록인 형태를 취한다. 또한 위험에 중립인 의사결정자의 효용함수는 직선으로 표현된다.

각 피실험자의 효용함수의 형태는 표 3에서 보는 바와 같이 다양하게 나타났다. 효용함수의 형태는 크게 다섯 가지로 나눌 수 있었다. 즉, 위로 볼록인 경우, 아래로 볼록인 경우, 직선의 형태인 경우, 위로 볼록과 아래로 볼록인 형태가 동시에 나타나는 경우(이 경우에는 변곡점이 존재한다), 그리고 증감하는 경우이다. 일반적으로 효용함수는 보상의 결과(보통은 금액의 형태)가 증가함에 따라 증가한다. 즉, 효용함수는 單調增加函數(또는 單調非減少函數)로 나타난다. 36명의 피실험자 가운데 2명의 경우는 효용함수가 증감의 형태로 나타났으며 응답 결과를 살펴볼 때 확실등가가 일관성을 갖지 못하였으므로 분석에서 배제하였다.

34명의 피실험자들을 효용함수의 형태에 따라 분류하여 보면 위로 볼록인 피실험자는 8명(#5,#8,#16,#17,#30,#33,#34,#36)이며, 직선인 경우는 9명, 아래로 볼록인 경우는 10명(#1,#6,#7,#19,#20,#21,#22,#25,#27,#32)으로 나타났다. 나머지 7명은 변곡점이 존재하는 경우이다. 따라서 〈실험 Ⅱ〉의 결과로부터 피실험자들을 위험에 대한 태도에 따라 분류하면 위험기피자는 8명이며 위험선호자는 10명, 위험에 중립인 의사결정자는 9명으로 나타났다.

표 3에서 피실험자들의 분류가 효용함수의 형태별로 거의 비슷하게 분포되어 있음을 볼 수 있다. 일반적으로 의사결정자의 효용함수에 대한 조사결과를 제시하는 다른 자료가 없으므로 이 실험의 결과의 신뢰성을 검증하기 어렵다. 추후에 동양인 또는 한국인의 일반적인 효용함수의 형태별 구성비에 관한 연구가 이루어질 필요가 있다. 표 3에서 특기할 만한 사실은 효용함수의 형태가 직선으로 나타난 피실험자들의 대부분이 각 문항에서 제시된 50-50 로터리의 기대치를 계산하여 이를 확실등가로 나타내었다. 이와 같은 결과는 효용함수를 유도하는 방법으로서 확률등가방법(Probability Equivalent method)을 사용하는 경우 표준로터리의 확률등가를 사정하는 과정에서 기대치를 계산하기 어려우므로 다른 결과를 도출할 가능성이 크다. 또한 피실험자들이 기대효용의 원칙(expected utility principle) 보다는 기대치(expected value)에 근거하여 응답한 결과일 가능성도 높다. 이제 다음 절에서는 〈실험 Ⅰ〉 및 〈실험 Ⅱ〉의 결과를 종합하여 분석하기로 한다.

3.3 종합분석

〈실험 Ⅰ〉에서는 피실험자가 주어진 55개의 로터리쌍들에서 어느 로터리를 선호하는가를 조사하여 이를 이론적인 선호관계와의 일치빈도에 의하여 피실험자의 위험에 대한 태도를 결정하였으며 〈실험 Ⅱ〉에서는 피실험자의 효용함수에 대한 자료를 이용하여 피실험자의 위험에 대한 태도를 결정하였다. 이제 〈실험 Ⅰ〉과 〈실험 Ⅱ〉의 결과를 정리하면 피실험자들의 위험에 대한 태도는 표 4와 같다.

표 4에서 보는 바와 같이 위험을 기피하거나 선호하는 대부분의 의사결정자들은 〈실험 Ⅰ〉 및 〈실험 Ⅱ〉에서 같은 결과를 보였다. 〈실험 Ⅰ〉에서 위험을 기피하는 사람으로 분류된 7명의 피실험자 가운데 4명(#5,#8,#30,#33)은 〈실험 Ⅱ〉에서도 위험을 기피하는 사람으로 분류되었다. 다만, 피실험자 #10,#15,#18은 〈실험 Ⅱ〉에서는 효용함수의 형태가 거의 직선의 형태를 보였다. 〈실험 Ⅰ〉에서 위험을 선호하는 사람으로 분류된 피실험자 5명 가운데 3명은 〈실험 Ⅱ〉에

표 3. 각 피실험자의 〈ST〉 및 〈L7〉의 선택빈도, (5)식과의 일치빈도 및 효용함수의 형태

피실험자 번 호	〈ST〉의 선택빈도*	〈L7〉의 선택빈도&	(5)식과의 일치빈도#	효용함수의 형 태@
01	5	7	20	아래로 볼록
02	5	5	24	증 감
03	7	9	21	직선의 형태
04	5	5	29	직선의 형태
05	7	0	47	위로 볼록
06	5	6	37	아래로 볼록
07	0	10	6	아래로 볼록
08	8	4	45	위로 볼록
09	5	5	29	직선의 형태
10	8	1	43	직선의 형태
11	4	5	27	변곡점 존재
12	4	6	29	변곡점 존재
13	8	6	30	변곡점 존재
14	5	5	29	변곡점 존재
15	9	0	47	직선의 형태
16	5	4	31	위로 볼록
17	3	8	12	위로 볼록
18	9	1	44	직선의 형태
19	5	5	29	아래로 볼록
20	3	5	21	아래로 볼록
21	3	7	15	아래로 볼록
22	4	2	30	아래로 볼록
23	4	5	33	직선의 형태
24	5	5	29	직선의 형태
25	5	3	34	아래로 볼록
26	5	8	19	변곡점 존재
27	6	3	29	아래로 볼록
28	6	3	38	직선의 형태
29	5	5	29	증감
30	10	1	48	위로 볼록
31	6	0	47	변곡점 존재
32	3	10	14	아래로 볼록
33	7	1	41	위로 볼록
34	5	5	29	위로 볼록
35	2	9	12	변곡점 존재
36	4	1	43	위로 볼록

*최대빈도=10

& 최대빈도=10

최대빈도=55

@ 위로 볼록
아래로 볼록
직선의 형태
변곡점 존재
증감

표 4. 피실험자의 위험에 대한 태도

피실험자 번 호	ST 또는 L7에 의한 분류	(5)식에 의한 분 류	효용함수에 의한 분류
01	PR		PR
02			
03	AV/PR		NE
04			
05	AV	AV	AV
06			PR
07	PR	PR	PR
08	AV	AV	AV
09			
10	AV	AV	NE
11			
12			
13	AV		
14			
15	AV	AV	NE
16			AV
17	PR	PR	AV
18	AV	AV	NE
19			PR
20			PR
21	PR	PR	PR
22			PR
23			
24			
25			PR
26	PR		
27			PR
28			
29			
30	AV	AV	AV
31		AV	NE
32	PR	PR	PR
33	AV	AV	AV
34			AV
35	PR	PR	AV
36		AV	AV

AV＝위험을 기피 (risk averse)

PR＝위험을 선호 (risk prone)

NE＝위험에 중립 (risk neutral)

서도 위험을 선호하는 사람으로 분류되었다. 다만, 피실험자 #17, #35의 경우에는 〈실험 Ⅱ〉에서는 효용함수의 형태가 위로 볼록이거나 또는 변곡점이 존재하였다.

표 4에서 특기할 만한 사실은 피실험자 #17의 경우이다. 이 피실험자는 〈실험 Ⅰ〉의 결과에서는 위험을 선호하는 것으로 나타났으나 〈실험 Ⅱ〉의 결과에서는 위험을 기피하는 것으로 나타났다. 분석과정을 마친 후에 그를 개별적으로 면담한 결과 그에게는 확실등가방법에 의한 효용함수의 유도과정이 매우 부적절한 것으로 밝혀졌다. 그는 확실등가의 방법을 제대로 이해하지 못하였으며 확률등가방법(Probability Equivalent method : PE)을 설명하니 이 방법은 쉽게 이해하였다. 따라서 향후의 연구과제의 하나는 의사결정자의 효용함수를 유도하기 위하여 CE 또는 PE의 방법 가운데 하나를 선택함에 있어서 어떤 성향의 의사결정자에게 어느 방법이 더 적합한가를 모색하는 것이다.

Tversky and Kahneman[18]의 연구에 따르면 제시된 로터리의 금액의 음양 여부에 따라 의사결정자들의 효용함수의 형태가 달라질 수 있으며 일반적으로 음의 로터리인 경우에는 아래로 볼록인 형태이고 양의 로터리인 경우에는 위로 볼록인 형태를 취한다. 본 연구에서는 당첨금액이 모두 W 0 이상인 양의 로터리들만을 사용하였으나 앞서 언급한 바와 같이 피실험자들의 효용함수의 형태는 어느 특정한 형태에 편중되지는 않았다. 그러나 음의 로터리를 이용한 분석이 이루어지지 않았으므로 Tversky and Kahneman의 연구 결과와의 일치 또는 불일치 여부는 결론을 내릴 수 없다. 따라서 향후의 연구과제로서 음의 로터리를 포함한 대안들을 이용한 분석을 수행할 필요가 있다.

4. 결 론

불확실성하의 의사결정에서 최적대안의 선택은 의사결정자의 기본적인 선호도를 근거로 하여 그의 위험에 대한 태도에 따라 결정된다. 본 연구에서는 먼저 주어진 대안들의 분포의 비상등성을 나타내는 척도로서 로렌츠곡선을 이용한 "불균일계수(coefficient of inequality)"를 제시하였다. 다음으로, 의사결정자의 위험에 대한 태도를 나타내는 효용함수에 관한 정보가 불완전할 때 추계적 우세법칙과 분포의 비상등성을 나타내는 불균일계수와의 관계를 이론적으로 고찰하였다. 마지막으로, 두 가지 실험을 통하여 피실험자들의 위험에 대한 태도를 분류하였다. 실험의 결과를 종합하여 분석한 결과 의사결정자가 위험기피자 또는 위험선호자일 때 추계적 우세법칙을 사용하지 않고 각 대안의 불균일계수를 근거로 하여 최적의 대안을 선택할 수 있음을 검증하였다.

따라서 대안선택의 불확실한 결과를 나타내는 확률분포가 이론적인 분포함수의 형태로 표현하기 어려운 경우 각 대안의 로렌츠곡선을 그림으로 나타내고 이로부터 불균일계수를 계산한다. 대안들의 불균일계수의 대소관계로부터 위험을 기피하는 의사결정자의 경우 불균일계수가 작은 대안을 선호하며 위험을 선호하는 의사결정자의 경우에는 불균일계수가 큰 대안을 선호한다. 그러므로, 불완전 정보하의 의사결정에서 의사결정자가 그의 위험에 대한 태도에 따라 최적대안을 결정할 수 있는 하나의 판단기준을 제시함으로써 의사결정자가 자신의 의사결정을 보다 더 신뢰할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. Schoemaker, P.H.J., "The expected utility model : Its variants, purposes, evidence and limitations," *Journal of Economic Literature,* Vol. 20, pp. 529-563, 1982.
2. Edwards, W., "The theory of decision making," *Psychological Bulletin,* Vol 51, pp. 380-417, 1954.
3. Edwards. W., "Risk, ambiguity, and the Savage axioms," *Quarterly Journal of Economics,* Vol. 75, pp. 643−669, 1961.
4. Slovic, P. and Lichtenstein, S., "Relative importance of proba bilities and payoffs in risk taking," *Journal of Exeprimental Psychology Monograph,* Vol. 78(3, Pt. 2), 1968.
5. Luce, R. D., "Several possible measures of risk," *Theory and Decision,* Vol. 12, pp. 217-228, 1980.
6. Coomes, C. H. and Lehner, P. E., "Evaluation of two alternative models of a theory of risk : I. Are moments of distributions useful in assessing risk?" *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance,* Vol. 7, pp. 1110−1123, 1981.
7. Lee, D. J., "Relative risk aversion and stochastic dominance," *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers,* Vol. 15, No. 2, pp.33−44, 1989.
8. Lee, D. J., "Stochastic dominance rules in multiattribute decision making under uncertainty," in Ahn, B.−H.(ed.) *Asian−Pacific Operations Research : APORS'88,* Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp. 171−184, 1990.
9. Borch, K., "Utility and stochastic dominance," in Allais, M. and Hagen, O.(eds.), *Expected Utility and the Allais Paradox,* D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, pp. 193-201, 1979.
10. Hadar J. and Russell, W. R., "Rules for ordering uncertain prospects," *American Economic Review,* Vol. 49, pp. 25−34, 1969.
11. Fishburn, P. C. and Vickson, R. G., "Theoretical foundations of stochastic dominance," in Whitmore, G. A. and Findlay, M. C.(eds.), *Stochastic Dominance : An Approach to Decision Making Under Risk.* Heath, Lexington, MA., pp. 37−113,1978.
12. Krzysztofowicz, R., "Strength of preference and risk attitude in utility measurement," *Organizational Behavior and Human Performance,* Vol. 31, pp. 88−113, 1983.
13. Whitmore, G. A., "Third-degree stochastic dominance," *American Economics Review,* Vol. 60, pp. 457-459, 1970.
14. Keeney, R. L. and Raiffa, H., *Decisions with Multiple Objectives : Preferences and Value Tradeoffs.* John Wiley and Sons, Inc., New York, 1976.
15. Atkinson, A. B., *The Economics of Inequality,* Clarendon Press, Oxford, 1975.
16. Lopez, L. L., "Risk and distributional inequality," *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance,* Vol. 10, No. 4, pp. 465−485, 1984.

17. Raiffa, H., *Decision Analysis : An Introductory Lectures on Choices under Uncertainty.* Randon House, New York, 1968.

18. Tversky, A. and D. Kahneman, "The framing of decisions and the psychology of choice," *Science,* Vol.211, pp. 453-458, 1981.

저 자 소 개

이대주(李大柱)

1954년 2월 23일생. 1977년 서울대 공대 산업공학과 졸업. 1979년 한국과학원 산업공학과 졸업(석사). 1987년 미국 The Ohio State University 산업공학과 졸업(공학박사) 현재 계명대학교 공과대학 산업공학과 부교수.