

인간-컴퓨터작업에서 안전감시체계의 시스템평가 수행도지수에 관한 연구

-A Study on the Performance Index of System Evaluation for Safety Monitoring Configuration based on Human-Computer Interaction-

오영진*
이근희**

Abstract

As the development of modern technology, human works shift whoes roll from physical conditions to the system monitoring tasks. In this paper, safety-presentation configuration is discussed instead of well-known fault-warning configuration. Safety-presentation configuration is verified as superior to the fault-warning configuration in hazard prevention.

The estimation of system states involves the decision making environments which lack of required informations and most of all the informations are not precise too. And the limitation of human information processing show doubtful results. So the estimation of system states is regarded as fuzzy number, and its operation produces the parameter that explain the discriminability(d), decision criterion (β) of system operator's behaviors. These two values served as performance indices. Especially the β is a good milestone of the operator's attitude degree of caution.

1. 서 론

현대 과학기술의 발달은 인간으로 하여금 유체적인 작업에서 정신적인 작업으로 그 축의 변화를 일으키고 있다. 그러므로 인간은 고도의 성신작용을 요구하는 작업환경에 더욱 강하게 의존관계를 형성하게 되어간다. 이러한 현상중에서 가장 두드러지게 나타나는 분야는 컴퓨터관련 작업으로서 최근 들어 이러한 분야인 human-computer interaction에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

컴퓨터관련 작업의 수행도 측정에 관한 연구는 작업의 종류에 따라 크게 text editing, information search, performance를 구하는 방향으로 전개된다. Gould & Alford(1984)는 text editing 작업에 있어서 개인간의 수행도에 variance가 존재함을 발견했다. 그후 Gomez, Egan & Bower(1986)는 이러한 개인간의 차이를 정량화시켜 최대, 최소의 variance를 구해내었으며 그 결과, 모집단의 75%가 약 두배의 수행도 차이가 있음을 알아내었다.

컴퓨터관련 작업의 수행도에 관한 연구는 측정기법의 개발에 중점을 두고 진행되는 경향이 강하다. 본 연구에서는 information search의 수행도 측정 모델을 제시하고 이를 바탕으로 작업설계를 실시하여 과실유발적 특성을 최소화시킨 수행도지수의 설계에 주안점을 둔다.

2. 안전표시체계

시스템의 안전상태를 감시하는 체계는 보통 시스템이 비안전상태 즉 위험한 상태를 표시하는 모니터링 시스템이 주종을 이루고 있다. 많은 연구에서 안전감시기능을 표현할 때 비안전 검출센서(fault detection sensor)를 이용함을 보이고 있다. 이러한 모델은 시스템이 비정상상태일 때 이를 감지하여 재해를 방지하는데 역점을

*한양대학교 생산개발대학원 강사

**한양대학교 산업공학과 교수

접수 : 1991. 11. 5.

두고 있다. 즉 시스템의 안전감시자는 경고(alarm)가 없는 한 시스템이 안전하다고 판단한다.

그러나 이러한 위험경고 시스템(fault-warning configuration)은 가령 비행기의 엔진에 불이 나서 센서가 파괴되고 그러므로 조종석에서는 아무런 경보도 나타나지 않는 극한적인 상황이 발생해도 시스템의 안전감시자는 아무런 조치를 취하지 않는 설계상의 결함이 있다. 만일 조종석의 제시판에 엔진의 상태를 모니터링하는 디스플레이가 엔진이 안전가동상태일 때 녹색의 신호를 표시해 주고 비정상상태일 때는 빨간색의 신호를 표시한다면 조종사는 엔진의 가동상태를 계속해서 감시할 수 있는 정보를 갖게 될 것이다. 본 연구에서는 이처럼 시스템이 안전한 상태뿐 아니라 비정상상태일 때의 정보도 표시해 주는 안전표시체계에서 인간-컴퓨터시스템의 운영과정을 규명하고 특히 선택, 판단을 할 때 정보가 충분치 못한 경우의 수행도 측정에 관해 역점을 두어 고찰하고자 한다.

안전표시체계(safety-presentation configuration)는 기존의 연구에서 제시되어 그 체계의 우월성이 입증되었다. Henley & Kumamoto는 방사능 감시체계를 구성함에 있어서 안전표시체계를 이용하여 방사능의 양에 따라 컴퓨터의 디스플레이에 색상이 변하도록 설계하였다. 즉 빨간색은 고수준의 위험경고 핫계를 표시하며 노란색은 시스템이 위험한 상태로 진입하고 있음을 나타내고 파란색은 시스템이 의문의 상태임을, 녹색은 시스템이 안전한 가동상태임을 표시하도록 하였다. 이 감시시스템의 특징은 시스템의 정상적인 가동 상태를 operator에게 외형적으로 알려준다는 점이다.

안전표시체계의 구성을 위해서는 시스템의 안정상태뿐만 아니라 이상상태에 대해서도 이를 감지하여 디스플레이 상에 메세지를 표시해주는 센서가 필수적으로 필요하다. 본 체계에서 시스템은 2가지 상태를, 센서는 다음의 4가지 상태를 갖는다고 본다.

- 1) 시스템 : ① S(safe) : 시스템은 정상가동상태
 ② U(unsafe) : 시스템이 불안전상태이며 시스템을 정지시키는 등의 적절한 조치를 취해야만 재해를 예방할 수 있다.
- 2) 센서 : ① NM(normal) : 센서는 시스템의 상태를 정상적으로 표시해 줌. 시스템의 상태변화를 나타낼 때 시간적인 지연은 없다고 가정한다.
 ② PF(positively failed) : 센서가 시스템이 상태 U임을 나타냄. 그러나 실제로 시스템의 상태는 S임.
 ③ NF(negatively failed) : 센서가 시스템이 상태 S임을 나타냄. 그러나 실제로 시스템의 상태는 U임.
 ④ D(damaged) : 시스템의 상태가 S에서 U로 전환될 때 센서가 파괴된 상태. 이 상태에서는 센서가 시스템의 상황을 전달하는 어떠한 메세지도 디스플레이에 표시하지 못한다. 이는 시스템에 센서가 없는 상황과 동일하다.

시스템의 상태를 나타내는 센서의 정보는 디스플레이에 표시되는데 디스플레이의 상태는 작동상태인 W(working)와 비작동상태인 F(failed)의 두 가지로 구분된다.

위험경고 체계에서 디스플레이에 나타나는 시스템의 상태표시는 다음의 규칙에 따른다.

- 1) 시스템이 상태 S일 때는 아무런 메세지를 나타내지 않는다.
- 2) 시스템이 상태 U일 때는 센서가 이를 감지하여 디스플레이에 경고메세지를 나타낸다.

안전표시 체계에서는 다음의 규칙에 따른다.

- 1) 시스템이 상태 S일 때는 디스플레이에 안전메세지를 계속적으로 표시한다.
- 2) 센서가 시스템이 상태 U임을 감지하게 되면 디스플레이 상의 안전 메세지는 경고메세지로 전환된다.
- 3) 디스플레이의 상태가 F일 때와 센서가 상태 D가 되면 디스플레이 상의 모든 메세지는 소멸된다.

이상의 규칙에 의해 시스템과 안전감시체계의 상태변화는 세개의 변수(센서의 상태, 디스플레이의 상태, 시스템의 상태)에 의해 표현된다. 그림 1과 그림 2는 각각 위험경고체계와 안전표시체계에서 시스템의 상태변화를 나타내고 있다.

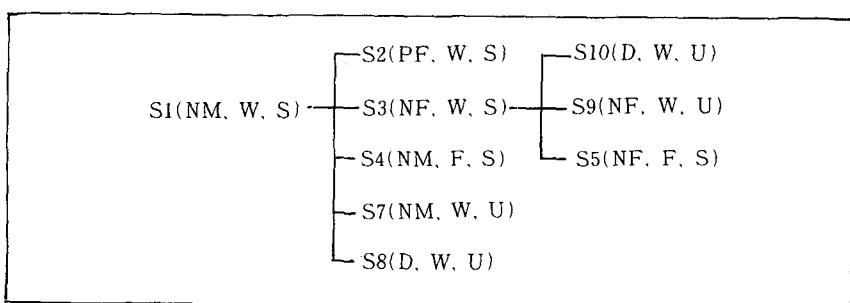
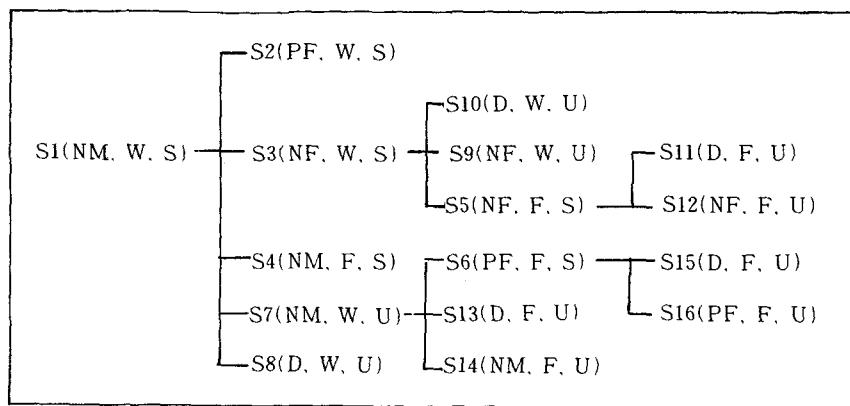


그림 2에서 시스템 상태 S4, S5, S8, S10은 디스플레이로부터 모든 메세지가 소멸되는 상황을 나타내고 있다. 이러한 상황은 다음의 두가지 경우로 나누어 볼 수 있다.

CASE 1) 디스플레이 고장으로 메세지 소멸(S4, S5 : 시스템 상태는 S).

CASE 2) 시스템이 상태 U로 되면서 센서상태가 D가 됨(S8, S10 : 디스플레이 상태는 W).

시스템 상태 S4, S5, S8, S10에서 안전감시자는 시스템의 상태를 나타내는 보조정보가 없다면 자신이 직면한 상황이 어떤 case로부터 유발되었는지 알 수가 없게 되며 불확실한 상황에서 조치를 취해야 힘을 요구받게 된다. 이때에는 안전감시 시스템으로 부터 더 이상 정보를 얻지 못하므로 다음과 같은 정책을 사용해야 한다.

정책 1 : 디스플레이의 메세지가 사라짐과 동시에 시스템의 가동을 중지시킴.

정책 2 : 메세지가 소멸될 때 주변의 다른 정보를 이용하여 시스템의 상태를 평가한다. 시스템 상태가 U이면 가동중지시키고 시스템 상태가 S이면 시스템을 계속 가동시키면서 부속조치를 취한다.

안전표시체계에서는 디스플레이의 메세지가 소멸될 때 정책 2를 채택할 경우 시스템의 안전여부는 전적으로 안전감시자의 판단에 의존해야만 한다. 즉 메세지소멸시 감시자는 시스템을 중지시킬지의 여부를 즉시 판단해야 하며 이러한 판단은 정상가동의 시스템을 충돌시키는 것(inappropriate mission abort : MODE1)과 위험시스템을 중지시켜 재해를 방지하는 것(hazard prevention : MODE2), 그리고 위험시스템을 방지하여 재해를 유발시키는 것(catastrophic accident : MODE3) 등의 3가지 형태를 지닌다.

정책 2를 이용하는 경우 메세지소멸이 있은 때($t=u$)로부터 임무수행 종료시간($t=T$)까지의 상황을 도식화해 보면 그림 3과 같다.

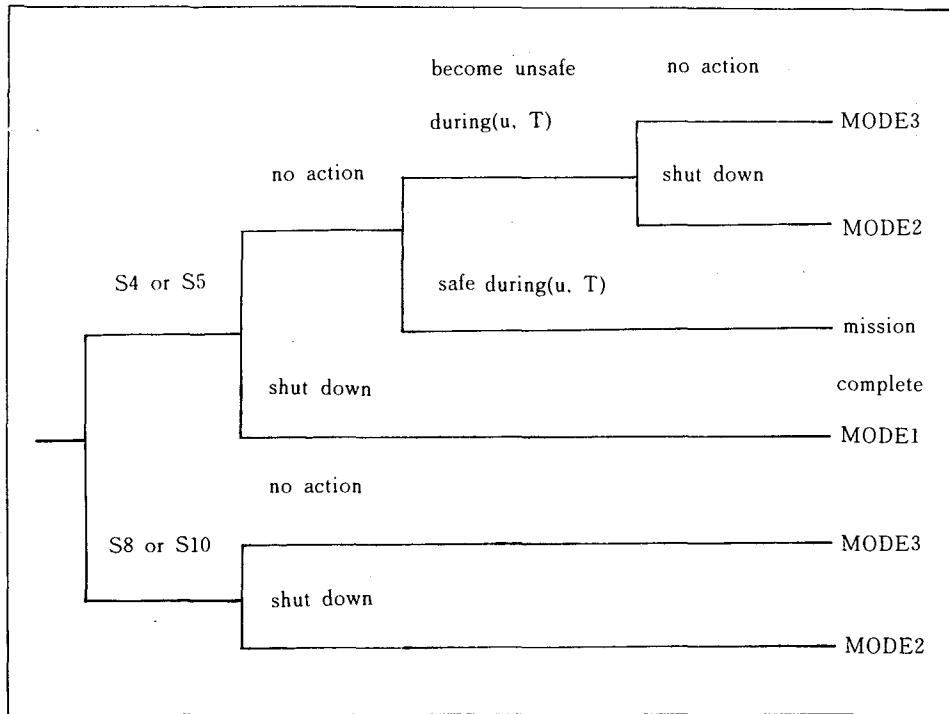


FIG. 3. Sequence of Event under Policy 2.

이러한 안전표시체계에서 안전감시자의 성공적인 임무수행(MODE3)은 매우 중요하며 이들의 판단과정을 규명한다면 시스템의 안전한 운영 뿐만아니라 이들의 훈련과정에 응용하여 요원배치 및 행동예측에 도움이 될 것이다. 그러므로 이들의 작업수행도를 측정하는 일이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 이와 같은 불확실한 상황 하에서 수행하는 정신작업에 대한 수행도지수(index)를 구하여 요원평가에 이용하도록 도모하고 의사결정과정의 분석자료를 제공함을 보인다.

3. 불확실성하에서의 판단

불확실한 사항이 내포된 정보환경(risk의 존재)에서 인간의 의사결정과정을 도식화하면 다음과 같다.

그림 4에서 doubt의 경우에 판단이 요구되는데 ①은 정책 2를 표시하며 ②는 정책 1을 표시한다. 즉 안전감시자는 시스템을 평가하여 결정을 내린다. 그런데 정보가 부족하거나 불확실한 경우에 있어서 의사결정을 할 때에 의사결정자의 태도는 시스템의 상태를 평가함에 있어서 평가치에 모호함을 내포하게 된다. 이러한 내용은 Hershey의 실험에서 의사결정자의 비일관성을 규명함으로써 더욱 명백해졌다. 즉 아래와 같이 certainty equivalent와 probability equivalent를 구하는 과정에서 CE와 PE의 값이 차이가 남을 알 수 있다.

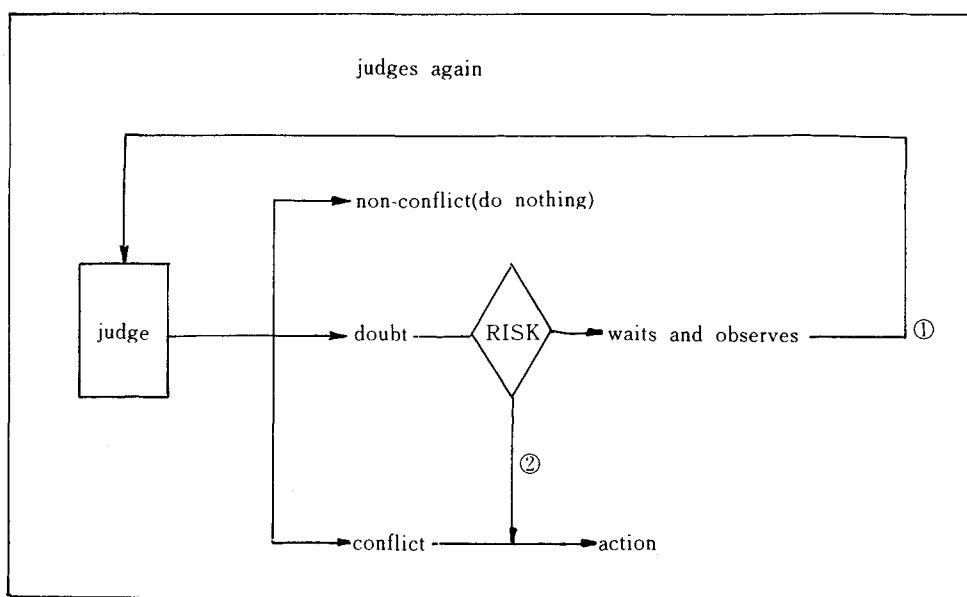


FIG. 4. Perceptive Judgement on Uncertainty

1) CE-PE 분석

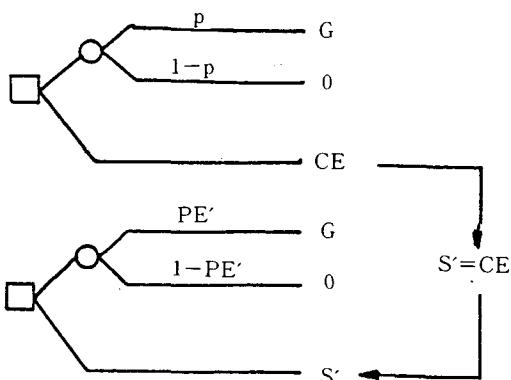


FIG. 5. Analysis of CE-PE

Stage 1 : 확률 p 를 주고서 Reference gamble을 이용하여 CE를 구함.

$$CE = U_1 \ln U_1 + U_2 \ln U_2 + \dots + U_n \ln U_n \quad (2)$$

Stage 2 : Stage 1에서 얻은 CE를 주고 PE'를 구함.

$$U(S') = PE'U(G) + (1-PE)U(O) \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

일관성 있는(consistent) 의사결정자의 경우에는

$P_E = p^o$] 으로

$PE' = [U(S') = U(CE) = p \quad (U(G) = 1, \quad U(0) = 0)]$ 때)

이지만, 위의 관계가 성립하지 않게 되면 비일관적임을 나타내는 것이다.

2) PE-CE 분석

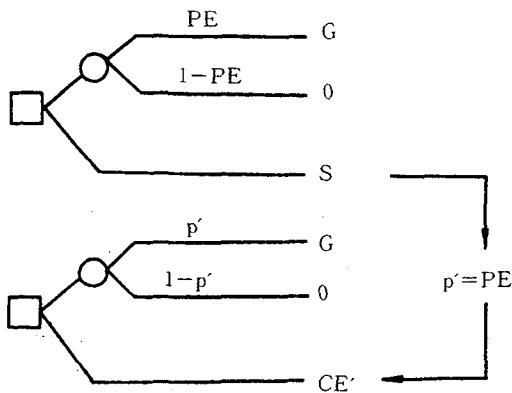


FIG. 6. Analysis of PE-CE

Stage 1 : 확정값(sure amounts) S를 주고 PE를 구함.

Stage 2 : Stage 1에서 구한 PE를 주고 CE'를 구함.

$$U(CE') = p'U(G) + (1-p')U(0) \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

여기에서도 $S=CE$ ’이므로 $U(G)=1$, $U(0)=0$ 일 때에 $S=CE$ ’가 아니면 비일관적임을 나타내는 것이다.

이상에서 살펴 본 바와 같이 안전감사작업에 있어서 시스템의 상태 평가는 불확실한(imprecise) 값을 나타내게 되므로 수치의 모호성을 표현하기 위해 퍼지 집합론을 이용하여 수행도지수를 구하도록 한다.

수많은 시스템의 상황을 평가할 때 conflict(c), non-conflict(n)로 반응하는 경우를 가정하여 보자. 이때 반응에 대한 확신의 정도는 flat fuzzy number를 따른다고 볼 때 각각의 반응에 대한 확신도를 퍼지 집합의 멤버십 함수로 표현하면 다음과 같다.

where, 1) $F(x)$ 는 reference 함수; $F(-x)=F(x)$, $F(0)=1$, 대칭선 우측 비증가함수.
2) $A=c$ or n

시스템평가에 대한 반응은 모호함이 내포되어 있으므로 두 퍼지집합 $A=c$, $A=n$ 은 겹치는 부분이 생긴다($a=b$). 여기서 파라메타로서 d , β 를 그림 7에서와 같이 두자. d 는 불확실하나마 인간이 감지한 정보이며 β 는 의사결정기준(decision criterion)을 의미한다. d 값이 클수록 정보는 명확히 구분되며, β 값은 x 와 비교하여 다음의 두 경우로 나눈다.

$x > \beta$: conflict \rightarrow Policy 1

$x \leq \beta$: non-conflict \Rightarrow do nothing

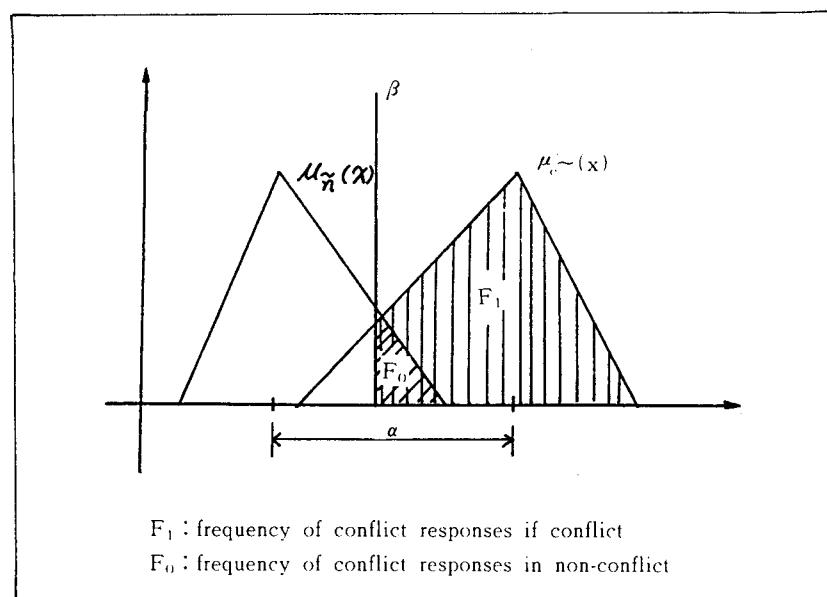


FIG. 7. Diagram of Conflict Detection

β 값은 $p(c)$ 와 $p(n)$ 의 확률에 관계되어 있으며 판단의 기준이 되기 때문에 의사결정시 신중한 정도를 나타내는 지수로서 사용될 수 있다. 이때 β 값을 penalty cost와 관련지으면 [Rouanet and Ackerman] 이 관계가 더욱 명확해지나 재해의 규모가 큰 경우에서는 인간은 보통 위험 회피(risk averse)의 성향이 강해지므로 [Slovic et al.] 정확한 측정이 곤란하다는 제한점이 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 안전감시시스템에서 위험경고체계대신에 안전표시체계를 가정하여 인간의 의사결정과정상에서 존재하는 모호함을 규명하기 위해 퍼지집합론을 이용하여 수행도지수를 제시하였다.

인간의 정보처리과정은 아직 명확히 규명되지 못한 단계이나 그 수행도를 분석함으로써 기본자료로 활용함을 보였고 인간-기계시스템 특히 인간-컴퓨터 시스템의 설계에 있어서 conflict detection이 컴퓨터에 의해 진단될 수 있다면 안전감시자와 병행하여 작업을 하므로써 인간의 판단 실수(F_0)의 출현빈도를 크게 감소시킬 것으로 예상된다. 그러므로 본 연구에서 실시하지 못했던 안전감시시스템에 대한 모의실험과 conflict detection을 위한 전문가 시스템의 추론논리를 개발하는 것이 앞으로의 연구과제로 지적된다고 본다. 특히 conflict 한 상황에서 판단을 하는 기준의 연구를 보면 주어지는 정보의 가지수와 판단결과에 대한 평가를 알려주는 경우에 수행도가 차이가 남을 보이고 있다.

수행도 지수에 의해 훈련과정을 설계할 때 d 와 β 가 유용한 비교기준이 될 수 있으며 여러 작업에 대해 일관적인 형태를 제공하는지의 여부는 각각의 상황별로 측정해 유의성을 검정해야 한다고 본다.

참 고 문 헌

1. Dubois, D., and Prade, H., *Fuzzy Sets and Systems*, Academic Press, New York, 1980.
2. Hershey, J. C., and P. J. H. Schoemaker, "Probability versus Certainty Equivalent Methods in Utility Measurement : Are they equivalent ?" *Management Science*, 28(10), 1985.