2001 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

# 전국민 대상의 방사선피폭선량 금전환산계수 산정

## - 가상가치 평가법에 의한 설문조사 결과분석 -

# Determining the value of reductions in radiation risk using the contingent valuation method: Results for the public

최영성, 최광식

한국원자력안전기술원
대전광역시 유성구 구성동 19

**요 약**

저자 등이 기 수행한 원자력 작업 종사자 대상의 방사선피폭선량 금전환산계수 산정을 위한 가상가치평가 방법론을 사용하여 일반국민을 대상으로 자동차사고 및 방사선피폭 위험 저감의 금전적 가치를 조사·분석하였다. 이단계 양분선택형 설문을 설계하여 전국민에 대한 설문조사를 실시, 각각의 위험의 20% 감소에 대한 최대지불용의액을 측정하고 이로부터 통계적 생명가치를 추정하였다. 분석결과 일반국민은 자신들의 평균 생명가치를 자동차사고에 대하여 60.8억원, 방사선피폭에 대해 51.9억원으로 생각하는 것으로 나타났다. 원자력종사자들에 대한 조사결과와 비교, 토의하였으며 향후 연구과제를 제시하였다.

**Abstract**

In the authors' previous study an Internet survey had been conducted for employees in nuclear related industries and institutes in Korea and the monetary value placed on reductions in risks from occupational radiation exposure and car accidents had been estimated. This paper presents the results of the follow-up study using the same methodology for the general public. The double bounded dichotomous choice(DBDC) approach was used and willingness-to-pay(WTP) values for predefined 20% reductions of the car accidents and radiation exposure risks were elicited. WTP for the reductions of the risk were estimated and values of a statistical life were calculated from the mean WTPs. For the general public, the mean value of statistical life was 2.67 billion Won for car accidents and 2.28 billion Won for radiation exposure. Discussions on the use of Contingent Valuation Method(CVM) for determining the monetary value of risk reductions and recommendations for further study were given.

## 1. 서 론

저자 등은 원자력 안전규제의 비용편익분석(Cost Benefit Analysis)에서 안전성의 향상으로 나타나는 방사선피폭선량 저감량의 금전가 환산을 위한 금전환산계수를 우리나라의 경우 실험적으로 산정해보기 위해 국내 원자력산업 종사자를 대상으로 가상가치평가법(Contingent Valuation Method: CVM)을 적용, 인터넷 설문조사를 실시하고 그 결과를 분석한 바 있다[1]. 연구결과 원자력 종사자들은 자신의 평균생명가치를 자동차사고에 대하여 24.1억원, 방사선피폭에 대해 39.3억원으로 생각하는 것으로 나타났고 또한 방사선 피폭선량 금전환산계수는 203만원/man.rem으로 나타나 현재 미국의 원자력규제위원회(USNRC)가 작업종사자를 포함하는 전체 국민들에 대해 사용하고 있는 2000$/man.rem과 비슷한 수준으로 계산되었다.

그러나 규제요건의 신설 또는 변경 시에 소요되는 비용과 비교하게 될 편익은 국민전체의 피폭선량의 저감량이 되므로, 국내 원자력종사자들을 대상으로 한 전번 조사결과는 원자력 종사자들이 받는 방사선 피폭선량의 변화만을 유발하는 규제요건의 신설 시 비용편익의 분석에는 사용될 수 있는 금전환산계수이겠으나 일반 국민들에 대해 그 값을 사용할 수는 없다. 그러므로 국민들을 대상으로 한 체계적인 조사가 별도로 시행되어서 그로부터 얻어진 값과 원자력 종사자들에 대하여 조사한 값과 비교 분석하여 이러한 CVM방법론의 타당성을 검증하고 설문조사방법을 보다 정교화 시키는 것이 필요하다.

원자력 종사자 대상의 인터넷  설문조사는 1인 1PC 작업환경이 거의 구현되어있어 타당성을 결여한다고 볼 수 없으나 일반인의 경우에는 당연히 인터넷설문조사를 할 경우 응답자들이 대표성을 가질 수 없다. 본 논문에서는 원자력 사고 시 방사선 위험에 접하게 되는 일반인을 대상으로 한 설문조사 결과를 가지고 방사선 피폭의 금전환산계수를 산정하였다. 저자 등은 전문 여론조사 기관인 한국갤럽에 의뢰하여 전국민을 대상으로 2000년 9월 가상가치평가법을 적용한 여론조사를 실시하였는데, 지역별 층화후 체계적 추출법으로 전국성인남녀 1582명을 표본으로 선정하여 면접원의 직접방문조사를 실시하였다(표본오차는 + 2.5% 이내 95% 신뢰도 수준). 본 논문에서는 이 설문조사에서 수집된 데이터를 분석한 결과를 제시하고 또한 앞서 언급한 원자력종사자에 대한 조사 결과와 비교해 보고자 한다.

## 2. CVM 설문설계와 지불용의액 분포의 통계 모형

### 1) 설문설계

원자력 종사자의 경우와 마찬가지로 일반인 설문조사에서도 한국의 대표적인 위험 요소인 자동차 사고 위험감소를 위한 최대지불용의액(Maximum Willingness-To-Pay)과 방사선 피폭감소를 위한 최대지불용의액을 묻는 설문을 함께 실시하여 두 위험간의 지불용의액을 비교하도록 하였다. 원자력 종사자의 경우 자동차 사고 사망률을 20% 저감시키는 가상적 안전장비를 제시하고 이에 대한 구매액수를 측정하였으며, 방사선 피폭의 경우 원자력 종사자의 평균 방사선 피폭선량 측정치를 이용하여 이를 20% 저감하는 방사선 방호크림이 존재한다

고 가상하고 이에 대한 지불용의액을 측정하였다. 그런데 일반인의 경우에는 자동차 사고는 원자력 종사자 연구와 동일하게 우리나라 자동차 사고 사망률을 사용하면 되지만, 방사선 피폭의 경우 일반인에 대한 피폭사고가 전무하므로 방사선 위험을 저감시키는 상황을 설정할 수 없다. 따라서 원자력발전소의 확률론적 안전성평가 결과에서 제시하고 있는 운전중 및 사고시 일반인 사망확률을 참고하여 일반인의 사망위험도가 GW-year당 0.006-0.21명으로 계산[1)]하였다. 하지만 이 수치를 일반인에게 직접 제시하는 것은 판단에 도움이 되지 않을 것으로 생각하여 이를 "*자동차 사고 사망률보다 많아야 2,500분의 1*"과 같은 형태로 제시하였다. 또한 자동차 사고 사망률 20% 저감을 위해 한달에 약 1만원을 투자하는 것은 방사선 피폭 사망률 20% 저감을 위해 단지 4원을 투자하는 것에 해당하므로 이를 직접 질문하는 것도 의미가 없었다. 그래서 일반인에게는 자동차 사고 저감을 위한 지불용의액을 질문한 뒤, 자동차 사고 저감 지불용의액의 2,500분의 1에 해당하는 금액을 방사선 피폭 사고에 대한 지불용의액으로 할 것인지 묻고 이를 거부할 경우에만 그 비율을 묻는 방법으로 지불용의액을 측정하였다.

### 2) 2 단계양분선택법에 의한 지불용의액의 추정

지불용의액(WTP)를 측정하는 방법은 원자력 종사자의 연구에서와 동일하게 2단계양분선택법(Double-bounded Dichotomous Choice : DBDC)을 사용하였다. DBDC 설문에서는 응답자 $i$ ($i$ = 1, 2, …, $N$)에게 가상의 안전제품에 대한 가격으로 1차 금액 $B_i$를 제시하고 응답자가 이 대해 '예'라고 응답할 경우 이보다 높은 2차 금액 $B_{iH}$를 제시하며, 만약 '아니오'라고 응답할 경우 이보다 낮은 2차 금액 $B_{iL}$을 제시한다. 이때 응답자 $i$ 는 다음과 같이 분류한다.

1. $i \in$ NN if and only if the response is "no-no" ($WTP_i \le B_{iL}$)
2. $i \in$ NY if and only if the response is "no-yes" ($B_{iL} \le WTP_i \le B_i$)
3. $i \in$ YN if and only if the response is "yes-no" ($B_i \le WTP_i \le B_{iH}$)
4. $i \in$ YY if and only if the response is "yes-yes" ($B_{iH} \le WTP_i$)

그런데 일반인 조사에서는 DBDC와 관련된 질문에 병행하여, "no-no"라고 응답한 사람과 "yes-yes"라고 응답한 사람에게 추가 질문을 하여 자신의 지불용의액을 직접 밝히도록 유도하였다. 그 결과 자동차의 위험 저감에 대해 한푼도 투자하지 않겠다는 사람들이 18.9%, 방사선의 위험 저감에 한푼도 투자하지 않겠다는 사람들이 18.8% 존재하는 것으로 나타났다. 즉 이들은 현재의 위험을 그대로 수용하겠다는 사람들로서 WTP 모형개발시 이들에 대한 고려가 있어야 한다. Bishop and Heberlein (1979, [2])이 제시한 모형이나 Cameron (1988. [3])이 제시한 모형은 zero response를 적절히 다루지 못하는데, 왜냐 하면 이들 모형은 point mass를 가정하지 않기 때문에 그림 1에서 보는 바와 같이 WTP를 과소추정 혹은 과다추정하게 되기 때문이다. 이를 다루기 위해서는 Kriström (1995, [4])가 제시한 Spike Model 혹은 An and Ayala (1995, [5])가 제시한 Mixture Model을 사용하여야 한다. 여기서는 Mixture Model을

---

1) 이는 우리나라 자동차 사고 사망률과 비교하면 약 90,000분의 1에서 2,500분의 1에 해당한다.

Bishop and Heberlein 모형 혹은 Cameron 모형과 결합하여 사용하여 비교분석하였다. 이는 다음과 같이 표현된다.

i) 주어진 제품에 대해 한푼도 지불하지 않을 확률

$$P_{i\in ZR} = \frac{\exp(Z_i B_1)}{1+\exp(Z_i B_1)} \tag{1}$$

여기서 $Z_i = (1, x_{i1}, x_{i2}, \ldots, x_{ip})$는 $i$의 지불하지 않을 확률을 설명하는데 사용되는 개인특성 벡터, $B_1 = (b_{1INT}, b_{11}, b_{12}, \ldots, b_{1p})^T$ 는 설명변수에 대한 모델 파라메터.

ii) 지불하겠다고 생각한 사람이 4가지 응답유형에 속할 확률

$$\begin{cases} P_{i\in NN} = (1-P_{i\in ZR})P\{WTP_i \le B_{iL}\} \\ P_{i\in NY} = (1-P_{i\in ZR})P\{B_{iL} \le WTP_i \le B_i\} \\ P_{i\in YN} = (1-P_{i\in ZR})P\{B_i \le WTP_i \le B_{iH}\} \\ P_{i\in YY} = (1-P_{i\in ZR})P\{WTP_i \ge B_{iH}\} \end{cases} \tag{2}$$

즉 Mixture model은 i)을 통해 응답자가 돈을 지불할 의사가 있는지 결정하고, ii)를 통해 지불하기로 결정한 응답자의 지불금액 크기를 결정하는 기법이다. 여기서 ii)의 $WTP_i$ 는 Bishop and Heberlein 모형을 가정할 경우 다음 (3)식과 같은 효용모형에 대해 (4)식으로 표현되는 확률분포함수이며, Cameron 모형을 가정할 경우 (5)식과 같은 효용모형에 대해 (6)식으로 표현되는 확률분포함수이다.

$$\begin{cases} u_{i0} = \alpha_0 y_i + \delta_i \\ u_{i1} = \alpha_1 y_i + \delta_i + \exp(\dfrac{X_i B_2 - \varepsilon_i}{\beta}) \end{cases} \tag{3}$$

$$WTP_i = \alpha y_i + \frac{1}{\alpha_1}\exp(\frac{X_i B_2 - \varepsilon_i}{\beta}), \quad \alpha = \frac{\alpha_1 - \alpha_0}{\alpha_1} \tag{4}$$

$$\begin{cases} u_{i0} = \alpha_0 y_i + \varepsilon_{i0} \\ u_{i1} = \alpha_1 y_i + (X_i B_2) + \varepsilon_{i1} \end{cases} \tag{5}$$

$$WTP_i = \frac{(\alpha_1 - \alpha_0)}{\alpha_1} y_i + \frac{1}{\alpha_1} X_i B_2 + \frac{1}{\alpha_1}\eta_i, \ \eta_i = (\varepsilon_{i0} - \varepsilon_{i1}) \tag{6}$$

여기서 $u_{i0}$ 는 $i$의 정책 변화전 효용, $u_{i1}$ 는 $i$의 정책 변화후 효용, $y_i$는 $i$의 소득, $X_i = (1, x_{i1}, x_{i2}, \ldots, x_{iq})$는 $i$의 개인특성을 나타내는 벡터, $\delta_i$와 $\varepsilon_i$는 에러항, 그리고 $\alpha_0, \alpha_1, \beta, \gamma, B_2 = (b_{2INT}, b_{21}, b_{22}, \ldots, b_{2q})^T$ 등은 효용함수를 구성하는 파라메터들이다. 여기서 만약 $\varepsilon$ 이 표준극한분포(standard extreme value distribution)를 따른다면, (4)식의 $WTP_i$ 는 와이불분포(Weibull distribution)를 따르게 되고 (4)식의 $WTP_i$는 로지스틱분포(Logistic distribution)를 따르게 된다. 그러면 최대지불용의액이 임의의 제시값 $A$ 보다 작을 확률은 각각 (7)식과 (8)식으로 주어진다.

$$P\{WTP_i \le A\} = 1-\exp[-e^{\beta\log\alpha_1 - X_iB_2}(A-\alpha y_i)^{\beta}],\ 0 \le \alpha \le (A/y_i)_{\max} \quad (7)$$

$$P\{WTP_i \le A\} = \frac{1}{1+\exp[X_iB_2+(\alpha_1-\alpha_0)y_i-\alpha_1 A]} \quad (8)$$

따라서 Bishop and Heberlein 모형에 zero-response 모형을 결합할 경우 응답자 $i$ 의 응답형태에 따른 확률은 다음 (9)식과 같이 주어지고 이에 대한 로그우도함수는 (10)식과 같이 주어진다.

$$\begin{cases} P_{i\in ZR} = e^{Z_iB_1}/(1+e^{Z_iB_1}) \\ P_{i\in NN} = (1-P_{i\in ZR})\left[1-\exp[-e^{\beta\log\alpha_1-X_iB_2}(B_{iL}-\alpha y_i)^{\beta}]\right] \\ P_{i\in NY} = (1-P_{i\in ZR})\left[\exp[-e^{\beta\log\alpha_1-X_iB_2}(B_{iL}-\alpha y_i)^{\beta}]-\exp[-e^{\beta\log\alpha_1-X_iB_2}(B_i-\alpha y_i)^{\beta}]\right] \\ P_{i\in YN} = (1-P_{i\in ZR})\left[\exp[-e^{\beta\log\alpha_1-X_iB_2}(B_i-\alpha y_i)^{\beta}]-\exp[-e^{\beta\log\alpha_1-X_iB_2}(B_{iH}-\alpha y_i)^{\beta}]\right] \\ P_{i\in YY} = (1-P_{i\in ZR})\exp[-e^{\beta\log\alpha_1-X_iB_2}(B_{iH}-\alpha y_i)^{\beta}] \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \log(L) = & \sum_{i\in ZR} -\log\{1+\exp(-Z_iB_1)\} + \sum_{i\notin ZR} -\log\{1+\exp(Z_iB_1)\} \\ & + \sum_{i\in NN}\log\left[1-\exp[-e^{\beta\log\alpha_1-X_iB_2}(B_{iL}-\alpha y_i)^{\beta}]\right] \\ & + \sum_{i\in NY}\log\left[\exp[-e^{\beta\log\alpha_1-X_iB_2}(B_{iL}-\alpha y_i)^{\beta}]-\exp[-e^{\beta\log\alpha_1-X_iB_2}(B_i-\alpha y_i)^{\beta}]\right] \\ & + \sum_{i\in YN}\log\left[\exp[-e^{\beta\log\alpha_1-X_iB_2}(B_i-\alpha y_i)^{\beta}]-\exp[-e^{\beta\log\alpha_1-X_iB_2}(B_{iH}-\alpha y_i)^{\beta}]\right] \\ & + \sum_{i\in YY}\log\left[\exp[-e^{\beta\log\alpha_1-X_iB_2}(B_{iH}-\alpha y_i)^{\beta}]\right] \end{aligned} \quad (10)$$

만약 Cameron 모형에 zero-response 모형을 결합할 경우 응답자 $i$ 의 응답형태에 따른 확률은 다음 (11)식과 같이 주어지고 이에 대한 로그우도함수는 (12)식과 같이 주어진다.

$$\begin{cases} P_{i\in ZR} = e^{Z_iB_1}/(1+e^{Z_iB_1}) \\ P_{i\in NN} = (1-P_{i\in ZR})\dfrac{1}{1+e^{X_iB_2+(\alpha_1-\alpha_0)y_i-\alpha_1B_{iL}}} \\ P_{i\in NY} = (1-P_{i\in ZR})\left[\dfrac{1}{1+e^{X_iB_2+(\alpha_1-\alpha_0)y_i-\alpha_1B_i}}-\dfrac{1}{1+e^{X_iB_2+(\alpha_1-\alpha_0)y_i-\alpha_1B_{iL}}}\right] \\ P_{i\in YN} = (1-P_{i\in ZR})\left[\dfrac{1}{1+e^{X_iB_2+(\alpha_1-\alpha_0)y_i-\alpha_1B_{iH}}}-\dfrac{1}{1+e^{X_iB_2+(\alpha_1-\alpha_0)y_i-\alpha_1B_i}}\right] \\ P_{i\in YY} = (1-P_{i\in ZR})\dfrac{1}{1+e^{-X_iB_2-(\alpha_1-\alpha_0)y_i+\alpha_1B_{iH}}} \end{cases} \quad (11)$$

$$
\begin{aligned}
\log(L) = & \sum_{i \in ZR} -\log\{1+\exp(-Z_i B_1)\} + \sum_{i \notin ZR} -\log\{1+\exp(Z_i B_1)\} \\
& + \sum_{i \in NN} \log\left[\frac{1}{1+e^{X_i B_2 + (\alpha_1-\alpha_0) y_i - \alpha_1 B_{iL}}}\right] \\
& + \sum_{i \in NY} \log\left[\frac{1}{1+e^{X_i B_2 + (\alpha_1-\alpha_0) y_i - \alpha_1 B_i}} - \frac{1}{1+e^{X_i B_2 + (\alpha_1-\alpha_0) y_i - \alpha_1 B_{iL}}}\right] \qquad (12) \\
& + \sum_{i \in YN} \log\left[\frac{1}{1+e^{X_i B_2 + (\alpha_1-\alpha_0) y_i - \alpha_1 B_{iH}}} - \frac{1}{1+e^{X_i B_2 + (\alpha_1-\alpha_0) y_i - \alpha_1 B_i}}\right] \\
& + \sum_{i \in YY} \log\left[\frac{1}{1+e^{-X_i B_2 - (\alpha_1-\alpha_0) y_i + \alpha_1 B_{iH}}}\right]
\end{aligned}
$$

어떤 모형을 가정하든지 (10)식 혹은 (12)식을 최대화하는 $\alpha$, $\beta$, $B$ 등의 파라메터 값을 추정하여 최대우도 추정치(Maximum likelihood estimates: MLE)를 구하고 통계적 추론을 행하게 된다.

### 3) 설문내용

본 연구를 위해서는 일반국민이 생각하는 방사선피폭 금전환산 계수를 산정하는 것과 동시에 한국인의 대표적 일반 리스크로 생각되는 자동차사고의 저감에 대한 가치를 함께 조사하여 이 둘을 비교하도록 설문을 구성하였다.

먼저, 자동차 사고 및 방사선 피폭에 대한 응답자들의 인식에 대해 질문하였다. 즉 두 가지 위험의 통제가능성(controllability: CON), 광범위성(extensiveness: EXT), 심각성(severity: SEV), 친숙성(familiarity: FAM), 두려운 정도(dread: Dread), 위험하다고 생각하는 정도(risk: RISK), 개인의 위험 노출 가능성(personal exposure: PER) 및 일반국민의 노출 가능성(public exposure: PUB)의 8가지 인식변수에 대해 질문하여 최대지불용의액의 설명변수로 사용하도록 하였다.

이어서 응답자에게 가상의 시장에 대해 설명을 하였다. 즉 자동차사고의 경우 이와 관련된 통계적 데이터를 제시하면서 응답자 집단이 여러 가지 위험도에 어느 정도 노출되어 있는지를 구체적으로 년간 사망률로 환산하여 알기 쉽게 보여주고, 또한 다른 일반 질환들에 의한 한국인들의 사망률과 응답자 연령에 해당하는 한국인 평균 잔여수명, 그리고 한국인들이 자신의 소득을 어떤 용도에 얼마나 지출하고 있는지를 작성한 '보기카드'를 갤럽의 면접원이 직접 보여주도록 하였다. 이러한 자료의 제시와 설명은 응답자들이 안전의 가치에 대한 경제적 감각을 가질 수 있도록 도와주기 위해 구성된 것이다. 그림 2는 '보기카드' 중 일부를 보여주고 있다.

세번째로, 자동차 사고 사망 위험을 20% 저감하기 위하여 최대 얼마까지 지불할 용의가 있는가를 묻기 위해 자동차 사망률을 100만명당 사망률의 감소로 환산하여 구체적으로 응답자에게 보여주면서 최대지불용의액을 측정하였다. 최대지불용의액 측정은 2단계 양분선택법으

로 하였다. 즉, 자동차사고의 경우 사고 리스크를 20% 감소시킬 수 있는 자동차안전장구 가격이 표 1에 나와 있는 금액일 때 자신을 위해 이 장구를 구입할 것인지 질문하였다. 이때 자동차사고 사망률은 최근 5년간의 평균 사망률을 제시하였다. 응답자는 표 2에 나와 있는 초기금액 중 하나를 랜덤하게 배정받도록 하였다. 그리고 no-no 응답자와 yes-yes 응답자에게는 지불용의액을 직접 묻는 질문을 추가하였다.

네번째, 자동차 사고 저감 지불용의액의 2,500분의 1에 해당하는 금액을 방사선 피폭 사고에 대한 지불용의액으로 할 것인지 묻고 이를 거부할 경우 그 비율을 묻는 방법으로 방사선 피폭 위험 저감에 대한 지불용의액을 측정하였다.

다섯번째, 응답자 개개인의 특성들에 대한 질문으로서 연령과 원자력계 종사한 햇수를 묻는 질문을 포함시켜 설문분석의 부수적인 자료로 사용하였다.

## 4. 결과 및 고찰

앞에서 살펴본 두 모형 중 어떤 모형이 일반인 조사결과에 적합한지 살펴보기 위해 두 모형을 추정한 후 지불용의액 기대값(expectation)의 추정치를 구하여 응답자의 직접 응답 지불금액과 비교하였다. 직접 응답 지불금액은 no-no 및 yes-yes 응답자의 경우 추가질문에서 얻은 값을 사용하였으며, no-yes 및 yes-no 응답자의 경우 각각 $(B_{iL}+B_i)/2$ 와 $(B_i+B_{iH})/2$ 값을 사용하였다. 그리고 지불용의액 기대값의 추정치는 다음과 같이 구해진다.

Bishop and Heberlein 모형일 경우 지불용의액 기대값의 추정치

$$\overline{EWTP_i} = E(\overline{WTP_i}) = 0 * \hat{P}_{i\in ZR} + (1-\hat{P}_{i\in ZR})E\left(\hat{\alpha}y_i + \frac{1}{\hat{\alpha}_1}\exp(\frac{X_i\hat{B}_2 - \varepsilon_i}{\hat{\beta}})\right)$$
$$= \frac{1}{1+e^{Z_i\hat{B}_1}}\left(\hat{\alpha}y_i + \frac{1}{\hat{\alpha}_1}\exp(\frac{X_i\hat{B}_2}{\hat{\beta}})E\left(\exp(\frac{-\varepsilon_i}{\hat{\beta}})\right)\right)$$
$$= \frac{1}{1+e^{Z_i\hat{B}_1}}\left(\hat{\alpha}y_i + \frac{1}{\hat{\alpha}_1}\exp(\frac{X_i\hat{B}_2}{\hat{\beta}})\frac{1}{\hat{\beta}}\Gamma(\frac{1}{\hat{\beta}})\right)$$

Cameron 모형일 경우 지불용의액 기대값의 추정치

$$\overline{EWTP_i} = E(\overline{WTP_i}) = 0 * \hat{P}_{i\in ZR} + (1-\hat{P}_{i\in ZR})E\left(\frac{(\hat{\alpha}_1-\hat{\alpha}_0)}{\hat{\alpha}_1}y_i + \frac{1}{\hat{\alpha}_1}X_i\hat{B}_2 + \frac{1}{\hat{\alpha}_1}\eta_i\right)$$
$$= \frac{1}{1+e^{Z_i\hat{B}_1}}\left(\frac{(\hat{\alpha}_1-\hat{\alpha}_0)}{\hat{\alpha}_1}y_i + \frac{1}{\hat{\alpha}_1}X_i\hat{B}_2 + \frac{1}{\hat{\alpha}_1}E(\eta)_i\right)$$
$$= \frac{1}{1+e^{Z_i\hat{B}_1}}\left(\frac{(\hat{\alpha}_1-\hat{\alpha}_0)}{\hat{\alpha}_1}y_i + \frac{1}{\hat{\alpha}_1}X_i\hat{B}_2\right)$$

이때 두 모형의 Root Mean Square Error (RMSE)와 Mean Absolute Error (MAE)를 표2에 나타내었다[2]. 표 2를 보면 zero-response mixture model과 결합된 Cameron 모형이 일반인의 경우 더 잘 맞는다는 것을 알 수 있다. 따라서 zero-response 모델을 포함한 Cameron 모형을 일반인에 대한 지불용의액 모형으로 선정하였다. 표 3은 이에 대한 모델 추정치를 나타내고 있다. 축약된 모델(Reduced Variables Model)로 자동차사고와 방사선피폭에 대한 지불용의액을 구성하면 다음과 같다.

<u>자동차사고의 경우</u>

$$WTP_i = \begin{cases} 0 : P = \dfrac{e^{-0.816-0.214EXT_i-0.392EDC_i}}{1+e^{-0.816-0.214EXT_i-0.392EDC_i}} \\ 3.581+0.003y_i+0.310PUB_i-0.015AGE_i+1.52\eta_i : (1-P) \end{cases} \quad \text{(단위: 만원)}$$

<u>방사선피폭의 경우</u>

$$WTP_i = \begin{cases} 0 : P = \dfrac{e^{-0.237EXT_i+0.134FAM_i-0.126Dread_i-0.202RISK_i}}{1+e^{-0.237EXT_i+0.134FAM_i-0.126Dread_i-0.202RISK_i}} \\ 12-0.57CON_i+0.91Dread_i-0.082AGE_i+6.8\eta_i : (1-P) \end{cases} \quad \text{(단위: 원)}$$

설명변수가 지불용의액에 미치는 영향을 살펴보면, 자동차사고의 경우 위험이 광범위하다고 느끼는 경우와 교육수준이 높을 경우 자동차 안전을 위해 투자하려는 경향이 컸으며, 자동차 안전을 위해 투자하겠다고 결심한 사람은 소득수준이 높을수록, 자동차 위험에 노출되어 있다고 생각할수록 더 많은 금액을 지불하려고 하였으며, 나이가 많을수록 지불금액 크기는 줄어듦을 알 수 있다. 방사선피폭의 경우를 살펴보면, 위험이 광범위하다고 생각할수록, 위험이 공포스럽다고 생각할수록, 방사선 위험이 크다고 생각할수록 방사선피폭 안전을 위해 기꺼이 돈을 지불하려고 하였으며, 방사선 위험이 친숙하다고 생각할수록 안전을 위해 투자하지 않으려고 함을 알 수 있다. 또한 방사선 위험을 저감하기 위해 투자하려고 결심한 사람은 위험이 공포스럽다고 생각할수록 많이 지불하려고 하였으며, 반대로 위험이 통제가능하다고 생각할수록, 그리고 나이가 많을수록 적게 지불하려고 하였다.  각각의 위험에 대해 평균 지불용의액은 다음과 같이 구할 수 있다.

<u>평균 지불용의액</u>

$$Mean = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\overline{EWTP_i} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{1}{1+e^{Z_i\hat{B}_1}}\left(\frac{(\hat{\alpha}_1-\hat{\alpha}_0)}{\hat{\alpha}_1}y_i + \frac{1}{\hat{\alpha}_1}X_i\hat{B}_2\right)$$

---

[2] 응답자 직접 응답액을 $SWTP_i$라고 할 때 RMSE와 MAE는 다음과 같다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\overline{EWTP_i}-SWTP_i\right)^2}, \quad MAE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|\overline{EWTP_i}-SWTP_i|$$

이를 계산하면, 자동차 사고의 경우 24,344원이고, 방사선 피폭의 경우 8.3원으로 계산되었다. 이러한 평균 지불용의액으로부터 통계적 생명가치를 구해보면, 자동차사고의 경우 20%의 사망률 감소는 매달 100만명당 4명의 목숨을 구하는 것이므로 자동차사고에 대해 우리나라 국민들은 자신의 생명가치를 $(24{,}344)/(4/10^6)$=60억8천만원으로 평가하고 방사선피폭의 경우 $8.3/((4/10^6)/2500)$=51억9천만원으로 평가하는 것으로 나타났다. 원자력 종사자와 일반인에 대한 자동차 및 방사선 위험에 대한 결과를 표 4에 정리하였다. 이를 보면 일반인은 원자력 종사자보다 자동차 사고에 대해 약 2.5배, 방사선 피폭에 대해 1.3배 높은 생명가치를 부여하고 있는 것으로 나타났다. 이처럼 일반인이 원자력 종사자보다도 자신의 생명에 가치를 더 높이 부여하는 것은 설문조사시 "개인용 안전장구"의 구입을 위해 지불할 금액을 질문하였으나 응답자는 자동차 안전장구는 개인뿐만 아니라 가족 전체의 안전을 향상시키는 것으로 생각하여 가족까지 포함한 안전의 가치에 대해 응답했기 때문이라고 추정해 볼 수 있다. 이를 감안하여 우리나라 평균 가족수(1995년 3.3명)로 나누면 자동차 사고에 대해 18.4억, 방사선 피폭에 대해 15.7억의 생명가치로 계산된다. 이 수치는 원자력 종사자에 대해 조사한 결과보다 약간 낮은 값인데 이는 일반인의 월평균 소득이 186만원으로 원자력 종사자의 월평균 소득 260만원보다 낮기 때문인 것으로 보인다. 또한 원자력종사자의 경우 방사선 위험이 자신과 직접적인 관련이 있어 방사선 위험 저감에 대한 생명가치를 자동차 사고보다 높게 판단하는 반면, 일반인의 경우에는 방사선 보다는 자동차 사고 위험 저감에 대한 생명가치를 더 높게 판단하고 있음을 알 수 있다.

한편 미국에서는 위험도 관련 11개 분야의 생명가치값을 조사한 결과 2.8억원에서 165억원의 범위로 조사되었다[6]. NRC는 미국인의 통계적 생명가치 대표값으로 300만불(2001년 2월 환율 1250원/$을 적용할 경우 37억 5천만원)을 사용하고 있다. 또한 강창순 등(1999,[7])의 연구에서는 한국인의 사회적 생명가치로 최소 7억5천만원, 최대 27억4천만원을 제시하고 있다.

## 5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 일반국민들을 대상으로 우리가 일상생활에서 많이 접하는 일반적인 리스크의 대표적 사례로서 자동차사고의 리스크를 상정하고 이를 방사선피폭의 리스크와 비교하여 보았다. 특히, 안전성 향상을 공공 재화로 간주하여 근래 환경경제학에서 많이 사용하며 또 경제학적 이론 근거를 갖고 있는 CVM 방법론을 적용하여 안전성 향상의 경제학적 가치를 조사 분석하였다는 점에서 의미가 있다. 이러한 방법으로 구한 인간의 생명가치에 방사선 위험계수를 곱하면 방사선 피폭에 대한 금전환산계수를 구할 수 있다. 이러한 금전환산 계수는 앞으로 우리 나라에서 신규규제요건 부과시의 규제영향평가에서 사용되기 위해 필요하며 이를 위해서는 보다 더 많은 관련연구가 수행되어야 할 것이다. 특히 본 연구에서 시행한 설문조사에서는 자동차 안전에 대해 개인용 장구의 금액을 질문한 것이 응답자에게 정확하게 인식되지 않아 가족전체의 안전에 대해 응답했던 것으로 추정되는데 향후의 연구에서는 이를 개선하여 더욱 정교하고, 응답자가 쉽게 이해할 수 있는 설문이 만들어져야 할 것이다.

저자 등의 이전 연구[1]에서 제시한 4가지 연구과제 중 2가지는 본 연구를 통해 수행되었다고 생각하며, 다음의 2가지는 향후 수행되어야 할 과제들이다. 첫째, 가상가치평가법에서 제시하는 지불용의액을 측정함으로써 사회 후생변화를 측정할 수 있다는 경제학적 이론이 대형 원자력사고 위험과 같은 저확률-고위험 특성을 갖는 위험에도 적절히 사용될 수 있는지에 대한 고찰이 좀 더 이루어져야 한다. 둘째, 미국의 해양대기관리국(National Oceanic & Atmosphere Administration : NOAA)에서 가상가치평가법의 타당성 검증을 위해 제시하고 있는 'Scope Test'를 수행하여 보는 것이다[8]. 이것은 본 연구의 경우, 위험감소의 폭을 20%보다 크게 제시할 때는 지불용의액이 실제로 높아져야만 하고 위험감소의 폭을 20%보다 작게 제시할 때는 지불용의액이 낮아져야만 한다는 요건인데 이는 응답자들이 경제에 대한 감각을 갖고 원자력안전의 금전가치를 평가하고 있는지를 확인하기 위하여 수행해 볼 필요가 있다.

## 참고문헌


1. 최광식, 최영성, 이건재, 이병휘 (2001), “가상가치평가법에 의한 방사선피폭선량 금전환산계수 산정에 관한 연구: 원자력종사자 대상 인터넷 설문조사 결과분석”, 한국원자력학회 2001 춘계학술발표회,
2. Bishop, R.C. and Heberlein, T.A. (1979), “Measuring values of extramarket goods: Are indirect measured biased?”, American J. of Agricultural Economics, 61(5), 926-930
3. Cameron, T.A. (1988) “A new paradigm for valuing non-market goods using referendum data. Maximum Likelihood estimation by censored logistic regression”, J. of Environmental Economics and Management, 15, 355-379
4. Kriström, Bengt (1995), “Spike Models in Contingent Valuation: Theory and Illustration”, Invited Paper to the 1st Toulouse Conference on Environmental and Resource Economics, Toulouse, France, March 30-31
5. An, Yuying and Roberto Ayala (1995), “A Mixture Model of Willingness to Pay Distribution”, Department of Economics Working Paper #95-21, Duke University
6. Baum, J.W. (1994) Value of Public Health and Safety Actions and Radiation Dose Avoided: NUREG/CR-6212
7. 강창순 등 (1999), “방사선 피폭 비용-이득 분석 및 수치적 지침 개발을 위한 연구(II)”, 기초전력공학공동연구소, 한국원자력안전기술원 보고서, KINS/HR-244
8. Arrow, K., Solow, R., Leamer, E., Portney, P., Radner, R., Schuman, H. (1993) “Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation”, US Government Federal Register, January 15, Vol. 58 No. 10, pp. 4601-4614

표 1. 자동차 안전장구의 양분선택형 설문에 사용된 제시금액

| **(낮춘 제시금액, 초기제시금액, 높인 제시금액)**<br>**단위: 원** |
|---|
| (500; 1,000; 10,000) |
| (1,000; 5,000; 10,000) |
| (1,000; 10,000; 20,000) |
| (10,000; 20,000; 50,000) |
| (20,000; 40,000; 80,000) |

표 2. Bishop and Heberlein 모형 및 Cameron 모형에 대한 RMSE와 MAE

| | Bishop and Heberlein 모형<br>(zero-response 모델 포함) | Cameron 모형<br>(zero-response 모델 포함) |
|---|---|---|
| 자동차사고 | RMSE=3.236 (만원)<br>MAE=2.627 (만원) | RMSE=2.927 (만원)<br>MAE=2.124 (만원) |
| 방사선 피폭 | RMSE=15.59 (원)<br>MAE=11.92 (원) | RMSE=3.26 (원)<br>MAE=2.01 (원) |

표 3. 최대우도추정법에 의한 Cameron 모형의 파라메터 추정치

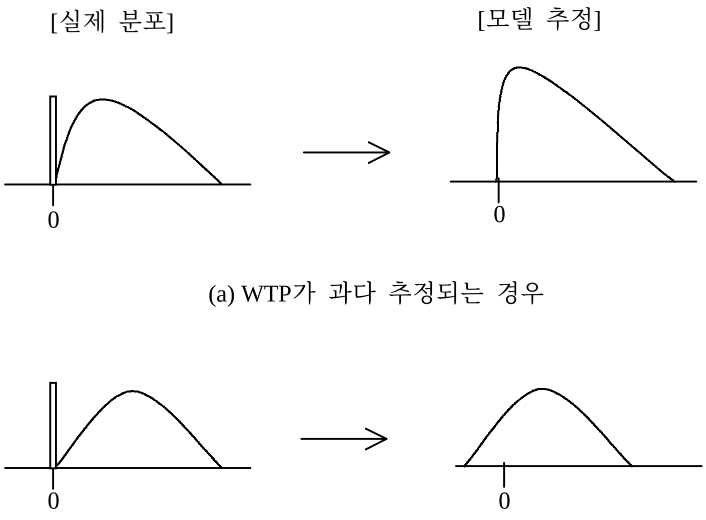
| Parameters | 자동차 사고 | | | | 방사선 피폭 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Full Variables | | Reduced Var. | | Full Variables | | Reduced Var. | |
| | 추정치 | t-value | 추정치 | t-value | 추정치 | t-value | 추정치 | t-value |
| **$B_1$** | | | | | | | | |
| INTERCEPT | -0.875 | -1.283 | -0.816 | -2.944 | 0.457 | 0.633 | - | |
| Controllability | 0 | * | - | | 0.039 | 0.592 | - | |
| Severity | 0 | * | - | | 0 | * | - | |
| Extensiveness | -0.151 | -1.794 | -0.214 | -2.904 | -0.226 | -2.367 | -0.237 | -3.153 |
| Familiarity | 0.012 | 0.141 | - | | 0.145 | 2.452 | 0.134 | 2.368 |
| Dread | -0.126 | -0.419 | - | | -0.101 | -1.093 | -0.126 | -1.510 |
| Risk | 0 | * | - | | -0.258 | -3.454 | -0.202 | -4.036 |
| Personal exposure | 0 | * | - | | 0 | * | - | |
| Public exposure | -0.081 | -0.746 | - | | -0.006 | -0.079 | - | |
| Age | -0.002 | -0.311 | - | | 0.002 | 0.355 | - | |
| Education level | -0.425 | -4.867 | -0.392 | -5.475 | -0.400 | -4.403 | -0.362 | -6.328 |
| **$B_2$** | | | | | | | | |
| INTERCEPT | 2.256 | 3.588 | 2.356 | 7.214 | 1.370 | 2.204 | 1.777 | 5.206 |
| Controllability | -0.042 | -0.736 | - | | -0.080 | -1.401 | -0.084 | -1.503 |
| Severity | 0 | * | - | | 0.068 | 0.640 | - | |
| Extensiveness | 0 | * | - | | 0.010 | 0.113 | - | |
| Familiarity | -0.048 | -0.590 | - | | 0 | * | - | |
| Dread | 0.020 | 0.232 | - | | 0.084 | 0.981 | 0.133 | 1.876 |
| Risk | 0 | * | - | | 0 | * | - | |
| Personal exposure | 0 | * | - | | 0 | * | - | |
| Public exposure | 0.221 | 2.234 | 0.204 | 2.314 | 0.004 | 0.057 | - | |
| Age | -0.012 | -1.964 | -0.01 | -2.057 | -0.007 | -1.374 | -0.012 | -2.445 |
| Education level | 0.007 | 0.084 | - | | 0.091 | 1.135 | - | |
| **$(\alpha_1-\alpha_0)$** | 0.002 | 2.641 | 0.002 | 3.023 | 0.0002 | 0.394 | - | |
| **$\alpha_1$** | 0.658 | 26.62 | 0.659 | 26.7 | 1471.2 | 24.5 | 1468.7 | 24.5 |
| **Log(L)** | -2461.2 | | -2463.8 | | -2417.2 | | -2419.3 | |
| **RMSE** | 2.927(만원) | | 2.927(만원) | | 3.26(원) | | 3.26(원) | |
| **MAE** | 2.124(만원) | | 2.126(만원) | | 2.01(원) | | 2.01(원) | |

<Note> *는 boundary solution을 나타냄.

표 4. 생명가치 비교 (단위: 원)

| | 원자력 종사자 응답금액 | 일반국민 응답금액 |
|---|---|---|
| 자동차 사고 사망 1인 저감 | 24.1억 | 60.8억 (18.4억) |
| 방사선 피폭 사망 1인 저감 | 39.3억 | 51.9억 (15.7억) |

( )의 수치는 평균 가족수로 나누었을 경우의 금액




(a) WTP가 과다 추정되는 경우

(b) WTP가 과소 추정되는 경우

그림 1. Zero-response가 있을 경우 WTP 분포의 추정

# 보 기 13

## Ⅳ. 30~39세 여자

2000년 상반기 통계에 의하면 30~39세 가구주는 월평균 228.9만원의 소득을 올렸으며 이 소득을 평균적으로 다음과 같은 항목에 지출하였습니다. 예를들어 평균적으로 보건 의료 분야에 6만원을 지출하였고 개인 교통 분야에는 14만원을 지출하였습니다.

<표 1> 30~39세 가구주 월평균 소비지출액

| 지 출 내 역 | 지 출 액 |
|---|---|
| 식 료 품 | 41 만원 |
| 외 식 | 17 만원 |
| 주 거 | 5 만원 |
| 광 열 수 도 | 9 만원 |
| 가 구 가 사 | 6 만원 |
| 피 복 신 발 | 8 만원 |
| 보 건 의 료 | 6 만원 |
| 교 육 | 14 만원 |
| 교 양 오 락 | 9 만원 |
| 교 통 통 신 | 24 만원 |
| 개 인 교 통 | 14 만원 |
| 기 타 소 비 지 출 | 27 만원 |
| 잡 비 | 20 만원 |

97년 통계에 의하면 35세의 여성이 40세에 이르지 못하고 사망할 확률은 '0.00502'이며 앞으로 더 살 수 있는 기간을 나타내는 평균 기대수명은 '44.59'년입니다. 다음은 특정사인에 의한 사망 관련자료입니다. 예를들어 35세의 여성은 '뇌혈관질환'으로 사망할 확률이 '16.66%'로 가장 높으며 그 다음은 '심장질환', '당뇨병' 등의 순서입니다. 특히 '교통사고'에 의한 사망확률도 '1.74%'정도 됩니다.

<표 2> 35세 여성 100명은 남은 수명기간동안

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 16.66 명이 | 뇌혈관질환으로 | 사망하여 이 사인을 제거하면 | 2.02 년의 | 수명이 증가합니다. |
| 2.58 명이 | 고혈압성 질환으로 | 〃 | 0.26 년의 | 〃 |
| 7.41 명이 | 심장질환으로 | 〃 | 0.83 년의 | 〃 |
| 3.07 명이 | 위암으로 | 〃 | 0.55 년의 | 〃 |
| 1.57 명이 | 간암으로 | 〃 | 0.32 년의 | 〃 |
| 1.94 명이 | 폐암으로 | 〃 | 0.33 년의 | 〃 |
| 1.74 명이 | 교통사고로 | 〃 | 0.42 년의 | 〃 |
| 0.60 명이 | 자살로 | 〃 | 0.16 년의 | 〃 |
| 1.55 명이 | 간질환으로 | 〃 | 0.31 년의 | 〃 |
| 3.60 명이 | 당뇨병으로 | 〃 | 0.55 년의 | 〃 |
| 0.69 명이 | 결핵으로 | 〃 | 0.10 년의 | 〃 |
| 1.00 명이 | 폐렴으로 | 〃 | 0.08 년의 | 〃 |



그림 2. 설문조사에서 사용한 '보기카드' 중 일부