

# 조건부가치측정법을 이용한 수소버스 연료장치 안전성 평가 및 검사기술에 대한 투자 편익 분석

임서현\* · 장정아\*\*

## Investment Benefit Analysis of Safety Assessment and Inspection Technologies of Hydrogen Bus Fuel System Using Contingent Valuation Methods

Seohyun Lim\*, Jeong Ah Jang\*\*

*Key Words: Contingent Valuation Methods(조건부 가치 측정법), Profitability Analysis(경제성 분석), Safety Assessment of Hydrogen Bus Fuel System(수소버스 연료장치 안전성 평가), Inspection Technologies of Hydrogen Bus Fuel System(수소버스 연료장치 안전성 검사기술), Willing To Pay(지불 의사액)*

### ABSTRACT

Recently, the government has been expanding the supply of hydrogen vehicles according to the roadmap for vitalizing the hydrogen economy, but is developing safety assessment and inspection technology for the relevant vehicles. This study analyzed the prevention of hydrogen bus accidents' economic effect that arises from the application and development of large-capacity CHSS oil pressure repetition-test assessment technology, hydrogen bus internal chamber pressure transmission and emission volume inspection technology, among various technologies capable of assessing the safety of a hydrogen bus fuel system. To this end, the contingent valuation method (CVM), one of the value evaluation methods of non-market goods, was applied to investigate users' willingness to pay for each inspection technology. The survey for users' willingness to pay was conducted by attaching posters to promote surveys on the internet and within buses to the entire public. As a result of the analysis, the average WTP of the hydrogen bus internal chamber pressure transmission volume inspection technology was 25.3 KRW, the average WTP of the hydrogen bus internal chamber pressure emission volume inspection technology was 18.6 KRW, and the average WTP of the large-capacity CHSS oil pressure repetition-test assessment technology was measured at 16.7 KRW. In addition, the costs and benefits of the introduction of the relevant inspection technology were defined through the interviewing of experts at related research institutions and businesses. As a result of conducting an economic analysis (4.5% discount rate) according to the development of each inspection technology, economic feasibility was seen in all assessment and inspection technologies. As much as the technology is indispensable for the safe use of hydrogen buses, it shows that investment in related technology is very necessary in the future. However, because it was decided that the relevant analysis will differ according to the distribution rate of hydrogen buses, further analysis following this future distribution rate of hydrogen buses is needed, and future users should be made clearly aware of the safety and environmental nature of the technology.

\* 한국교통연구원 대중교통산업연구팀, 팀장

\*\* 아주대학교 TOD기반도시교통연구센터, 연구교수

E-mail: azang@ajou.ac.kr

## 1. 서론

최근 정부는 수소경제 활성화 로드맵에 따라 급속도로 보급될 수소버스의 운행 또는 사고 시 수소누출 최소화(2차사고(화재 및 폭발 등))를 예방과 다 동력원 병렬 구동 시스템의 성능검증을 위한 수소버스의 차량 및 부품단위 안전성 평가기술 및 장비를 개발하고 있다. 수소버스는 도입 초기 단계로 국가차원의 평가기술 개발 성공할 경우 국내 자동차 및 부품 제작사가 시행착오를 최소화할 수 있고, 개발된 평가 및 검사기술의 법제도화시 자동차 제작사의 예측 가능한 기술개발을 유도할 수 있다.

본 연구에서는 수소버스 안전성 평가·검사기술 개발 기술 중 수소버스 내압용기 투과량 검사기술(이하 평가 및 검사 기술 1), 수소버스 내압용기 배출량 검사기술(이하 평가 및 검사 기술 2), 대용량 CHSS 유압 반복시험 평가기술(이하 평가 및 검사 기술 3)의 지불의사분석편익과 경제성 분석 결과를 제시한다. 각 기술의 특징은 Table 1과 같다. 경제성 분석 결과는 국내 기준 제·개정 추진에 있어 피규제 대상이 되는 수소버스 개발 업체와 일반 국민에게 미치는 규제영향에 대하여 판단할 수 있는 정량적 지표가 된다.

본 연구의 주요 내용은 수소버스 연료장치와 관련된 안전성 평가 및 검사 기술 3종에 대해 비용 및 편익 항목을 도출하였으며, 경제성 분석을 시행, 버스 안전 검사 제도화

에 따른 비용편익 측면의 타당성 검증결과이다. 경제성 분석을 위하여 분석 기준년도는 2023년, 목표년도는 2032년, 평가기간은 10년으로 정의하였으며, 공간적 범위는 설문조사 대상 범위인 전국을 대상으로 하였다. 정량적 긍정적 효과를 정량화하기 위하여 CVM(Contingent Valuation Methods, 조건부 가치추정법)을 이용하였다. 본 연구에서는 CVM 관련 문헌을 고찰한 후 CVM 적용을 위한 설문 설계 및 조사를 수행하였다. 설문조사 결과를 바탕으로 기초통계분석 및 지불의사금액을 추정하였다. 추정된 지불의사금액을 활용하여 편익을 도출, 경제성 분석을 시행하였다. 마지막으로 연구수행 내용을 바탕으로 결론 및 향후 연구과제를 도출하였다.

## 2. 관련 문헌 고찰

### 2.1. 조건부 가치 추정법(CVM: Contingent Valuation Method)

비시장재화의 가치추정을 위해서는 간접적인 시장자료를 활용하는 헤도닉 가격기법, 가계생산함수 접근법, 여행비용 접근법 등을 활용하거나, 비시장재화를 사고 팔 수 있는 가상의 시장을 만들어 지불의사액(willingness to pay: WTP), 혹은 수취의사액(willingness to accept: WTA)을 직접 측정하는 CVM을 활용할 수 있다.<sup>(1)</sup> 비시장재 가치 평가기법을 활용하여 편익을 추정할 때 수취의사액보다 지불의사액을 측정하는 것이 더 적절한 것으로 평가되고 있다.<sup>(2)</sup>

재화의 가치는 일반적으로 시장의 거래를 통해서 결정되나, 만약 대상재화가 비배제성과 비경합성의 성격을 가지는 공공재와 같은 비시장재화일 경우, 대상재화의 가치를 적합하게 추정할 수 있는 방법을 적용해야 한다.<sup>(1)</sup> 비시장재의 경제적 가치를 측정하는 기법은 크게 RP 기법(Revealed Preference Method, 현시선호법), SP 기법(Stated Preference Method, 진술선호법), 그리고 BT 기법(Benefit Transfer Method, 편익이전기법)으로 구분된다. 대상사업으로 인한 편익이 사용가치<sup>1)</sup>가 주를 이룬다면 RP 기법과 SP 기법 모두 사용할 수 있지만, 비사용가치<sup>2)</sup>가 중요하게 포함된다면 SP 기법만이 사용된다.

- 1) 직접사용가치(상업적 이용이나 재화 자체의 소비와 관련된 가치), 간접사용가치(재화를 통한 감정적, 정신적 만족 등에 관련된 가치)로 구분
- 2) 선택가치(현재 직접 이용하지 않지만 미래에 이용가능성이 있는 가치), 존재가치(현재 직접 이용하지 않지만 있는 그대로의 존재를 유지시키는데 부여하는 가치), 유산가치(현재 직접 이용하지 않지만 미래세대를 위하여 재화를 보존하는 것에 부여하는 가치), 이타적가치(자신은 이용하진 않지만 다른 사람이 이용함으로써 얻는 가치)

Table 1 Definition of each technology

Part	Content
Inspection Technology for Hydrogen Bus Internal Chamber Pressure Transmission Volume	<ul style="list-style-type: none"> <li>Technology that pre-emptively prevents the risk of fire and explosion by checking for hydrogen leaks and checking periodically (every 3 years) the hydrogen tank for hydrogen leaks with cutting-edge equipment</li> </ul>
Inspection Technology for Hydrogen Bus Internal Chamber Pressure Emission Volume	<ul style="list-style-type: none"> <li>Technology that pre-emptively prevents the risk of fire and explosion by checking the amount of combustible hydrogen and checking periodically (every 3 years) for combustible hydrogen at the exhaust port of the hydrogen bus</li> </ul>
Assessment Technology of High Capacity CHSS Oil Pressure Repetition-test	<ul style="list-style-type: none"> <li>Technology that verifies the quality through repetition-tests of hydraulic pressure rupture, fall, low temperature, and high temperature of the tank's degree of reinforcement at the time of producing a hydrogen bus</li> </ul>

2.2. 경제적 가치 도출 연구 사례

고길곤 등(2019)<sup>(3)</sup>은 KDI 공공투자관리센터에서 제시한 예비타당성조사를 위한 CVM 분석지침 개선 연구를 활용하기에는 경기도 공공투자사업의 상이한 특성으로 활용이 어렵다고 판단하여 CVM을 활용하여 경기도 공공투자사업을 평가하였다. 김경현 등(2018)<sup>(4)</sup>은 대중교통 부문 온실가스 저감 및 교통약자 이동편의 증진을 위해서 기존 마을버스를 중형 전기저상버스로 교체할 경우를 가정, 이중양분선택형 질문을 이용하여 지불용의액 및 사회적 편익을 추정하였다. 김남주 등(2019)<sup>(1)</sup>은 지방재정투자사업 타당성 조사에서 적용되고 있는 조건부가치추정법에 대한 조사설계 표준화방안을 제안하였다. 김장욱 등(2012)<sup>(5)</sup>은 CVM을 보행환경개선사업의 가치 추정에 적용하였으며 이를 위해 쾌적하고 편안한 보행환경이 조성된다는 가상시나리오를 구축하여 지불형태, 지불유도방법 등을 고려하여 설문조사를 실시하였다. 상기 연구에서는 이중양분선택형 질문을 사용하였으며, 지불의지역의 제시금액은 분위수 설계방식에 따라 제시, 총 292부를 대상으로 결과를 도출하였다. 김진희(2007)<sup>(6)</sup>는 2007년 시작된 서울시 한강르네상스 프로젝트 중 2010년까지의 단기 사업을 대상으로 사업시행으로 인해 발생하게 될 가치를 측정하기 위해 CVM을 적용하였다. 이를 위해 서울시민들의 지불의사액을 단일경제 양분선택과 개방형질문으로 구성, 20~70세 미만의 서울시민 300명을 대상으로 조사하였다. 송재인 등(2012)<sup>(7)</sup>은 지하철 진·출입구와 주변 지역의 보행환경을 대상으로 조건부가치추정법을 통해 진·출입구 개선방안에 대한 편익을 추정하였다. 이때 지불방법으로 양분선택형 설문과 개방형질문법을 사용하였으며 로짓모형을 통해 지불의사금액을 도출하였다. 유정복 등(2014)<sup>(8)</sup>은 교통사고의 심리적비용을 추정하기 위해 조건부가치추정법을 사용하였으며, 그 중에서도 양분선택형 CVM을 사용하였다. 이병주 등(2007)<sup>(9)</sup>은 관광시의 교통정체에 대한 인지특성을 파악하고 환승 교통시스템 도입에 따른 지불의지역 추정 모형을 구축하였다. 실제 관광지를 방문한 개인승용차 이용자를 대상으로 약 493부를 조사, 환승 교통시스템 도입의 타당성을 확인하였다. 이신해 등(2014)<sup>(2)</sup>은 보행환경개선에 대한 보행자 측면의 편익을 개량하기 위해 조건부가치추정법을 활용하였다. 임정현 등(2007)<sup>(10)</sup>은 효율적인 대중교통 개혁 정책 실행을 위해서는 정책 시행에 따른 편익과 비용 분석을 해야 하며, 이를 위해 CVM 기법을 적용하여 제주지역 대중교통 서비스 개혁의 가치를 측정하였다.

선행 연구와 같이 조건부가치추정법은 교통, 공공분야에서 다양하게 활용된 가치추정모델이다.

조건부가치추정법을 추정하기 위해서는 설문조사 부수 설계, 설문지 설계 등이 매우 중요하며 지불형태, 지불유도방법, 현재의 상황 또는 미래의 가상상황에 대한 분석인지 등을 대상으로 분석 방법(로짓모형, 토빗모형 등)으로 구분된다.

Table 1에서 제시한 3가지의 수소버스 연료장치 안전성 평가 및 검사 기술의 경우 가상적인 시장을 가정해야 한다. 또한 비시장재화의 가치를 직접적으로 추정해야 하며, 수소버스 이용의 안전성 확보라는 간접사용가치가 존재하지만 향후 개발될 기술의 사전적 가치를 추정해야 한다. 이에 기존 연구 선택과 같이 SP 기법 중 CVM 기법이 타당하다고 판단되어 이를 활용하였다.

3. 조사 방법론 설계

3.1. 조사 방법 정의

설문조사방식은 크게 우편조사, 전화조사, 대인면접법, 인터넷 조사 등이 있으나, 본 연구에서는 설문조사대상 범위가 넓고 조사 기간의 제한으로 인터넷을 활용한 방식을 선택하였다.

표본 수의 경우 표본의 대표성을 확보하기 위해 모집단의 크기를 고려해야 하며, 수집되는 자료의 양에 비례하여 시간과 비용이 소요되므로 가장 경제적이며 대표성을 높일 수 있는 효율성의 관점에서 표본 수를 결정해야 한다. 본 연구의 설문조사에서는 모집단의 분산(표준편

Table 2 The number of samples according to confidence level of sampling normal distribution and allowable error

Part	Maximum Allowable Error (%)							
	20	15	10	5	2.5	1.0	0.5	0.01
Confidence Level 90%	16	30	67	270	1,081	6,719	26,347	985,432
Confidence Level 95%	24	42	96	384	1,534	9,512	36,994	989,693
Confidence Level 99%	33	60	135	524	2,166	13,390	51,493	992,684

Note: The Number of Samples if No Prior Information on Population Proportion

$$n = [0.5(1-0.5)] \left( \frac{Z_{\alpha/2}}{\epsilon} \right)^2 \text{ (where } \epsilon \text{ is margin of error)}$$

자료: 이신해(2015), 도로 보행환경개선 지불의사액의 추정, 서울연구원 보고서 2014-BR-17

차) 값을 추정하기 곤란하여 분산(표준편차)과 상관없이 표본 수를 계산할 수 있는 모비율에 대한 사전 정보가 없는 경우의 표본 수 결정식을 적용하였으며, 본 조사에서는 신뢰수준 99%, 허용오차 5% 기준에 의거하여 최종 표본수를 500부로 결정하였다. Table 2는 최대허용오차와 신뢰수준에 따라 설문 부수를 산정하기 위한 표이다.

정부는 수소버스 도입 확대 정책을 펼치고 있으며, 본 연구에서 평가하는 기술로 인해 수혜자는 일반시민(버스 이용자, 수소버스 이용자, 버스 이용자 등)이므로 조사대상 단위는 개인으로 정의, 지불형태는 평가될 대상과 적절한 연계를 가질 때 신뢰성이 높아지게 되므로<sup>3)</sup> 개인이 지불하는 버스 요금을 지불형태로 선택하였다.

CVM에서 주로 사용되는 지불의사 유도방법은 입찰게임, 개방형 질문법, 지불카드, 양분선택형 질문법이 있으며, 양분선택형 질문법은 지불의사를 몇 번 물어보느냐에 따라 단일양분선택형과 이중양분선택형으로 구분된다. 본 연구에서는 지불유도 방법으로는 폐쇄형 질문에 속하는 이중양분선택형 질문(Double-Bounded Approach)을 사용하였다. 이중양분선택형 질문을 사용하기 위해서는 1~2 번째 질문의 제시금액이 필요한데, 이는 전문가 사전조사를 통해 도출하였다. 앞서 검토한 항목들을 대상으로 설문조사를 Fig. 1과 같이 설계하였다(설문조사는 각 기술별로 수행).

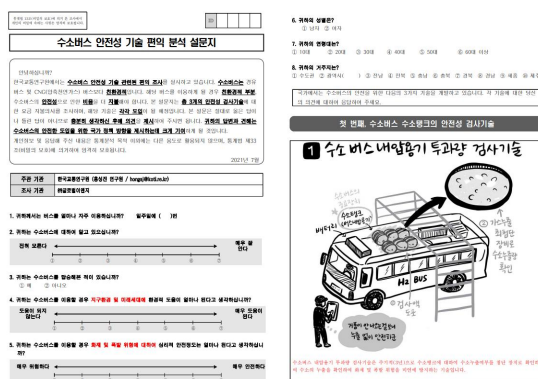


Fig. 1 Hydrogen bus safety assessment and inspection technology benefit analysis questionnaire (example)

3) 김장욱 외 3인(2012), 조건부가치추정법(CVM)을 이용한 보행환경개선사업에 대한 편익 추정, 대한교통학회지 제30권 제4호 pp. 7~19.

### 3.2. 분석 방법 정의

양분선택형 조건부가치추정법은 다양한 방법이 존재하나, 본 연구에서는 이신해 등(2014)<sup>(2)</sup>의 연구에서 적용한 이항로짓모형을 적용하였다. 해당 모형은 제시된 금액(반응변수)에 대해 예(1)/아니오(0)의 응답에 대하여 0과 1로 분석이 가능하다.

이항로짓모형의 기본적인 모형식은 식 (1)과 같으며, 모수 β는 다른 예측변수들이 주어질 때, y=1이 될 로그오즈<sup>4)</sup>에 미치는 γ<sub>i</sub>의 효과로 이 모수의 부호를 통해 각 예측치에 따른 응답을 예측할 수 있다.

$$\log\left(\frac{y}{1-y}\right) = \alpha + \beta_1x_1 + \dots + \beta_ix_i \quad (1)$$

$n = 1, 2, 3, \dots, i$

## 4. 설문조사 및 지불의사액 추정 결과

### 4.1. 설문조사 개요

수소버스 연료장치 검사 및 평가기술의 지불의사금액을 추정하기 위해 전국의 시민들을 대상으로 Fig. 2와 같이 인터넷 및 버스 내 설문조사 홍보 포스터를 부착하여 조사를 시행하였다.

설문기간은 2021.06.28.~2021.07.27.(1달간)로 총 589건의 설문조사가 회신되었으며, 이 중 유효한 500부 전체의 설문지를 채택하였다(지불의사가 없거나, 설문응답에 오류가 있는 경우 제외).

설문조사 분석에 사용된 총 500명의 성별 분포를 살펴



Fig. 2 Example of attached guide to survey within bus

4) log odds, 변환 모델(선형)의 종속변수, 이 값을 통해 확률 산정

보면 남자 47.4%(237명), 여자 52.6%(236명)이며, 연령별로 보면 10대가 1.2%(6명), 20대 16.4%(82명), 30대 35.4%(177명), 40대 34.8%(174명), 50대 8.6%(43명), 60대 이상 3.6%(18명)로 이루어져 성별 및 연령별 분포가 고르게 이루어졌음을 알 수 있다.

일주일 동안 버스 이용 여부를 질문한 결과 1~5회 미만이 63.4%로 가장 많았으며 대부분 버스를 이용하는 사람들로 구성되었다. 수소버스에 대한 인지도의 경우 53.6%가 대부분 알고 있다 하였고, 대부분 수소버스는 탑승해보지 않았다.

평가 및 검사기술 1~3의 개발로 인해 수소버스 이용에 따른 심리적 안전도 증가 여부에 대해서는 대부분 안전성이 증가할 것이라는 응답이 평균 76%로 많았다.

#### 4.2. 지불의사액 추정 결과

본 설문조사 문항들 중 변수로 설정이 가능한 모든 항목들에 대해 지불의사와의 상관관계를 변수 간 상관계수 행렬을 통해 분석하였다.

평가 및 검사 기술 1과 평가 및 검사 기술 2의 경우 상관관계가 높은 변수는 버스이용횟수, 수소버스 이용에 따른 환경적 도움으로 분석되었으며, 뚜렷한 상관관계를 나타내지는 않지만 기본적인 인구통계학적 변수인 성별( $x_1$ )과 연령( $x_2$ )을 모형의 설명변수에 추가하였다. 평가 및 검사 기술 3의 경우 상관관계가 높은 변수는 버스이용횟수( $x_3$ ), 수소버스 이용에 따른 환경적 도움( $x_4$ ), 심리적 안전성( $x_5$ )이 유의하게 분석되었으며, 뚜렷한 상관관계를 나타내지는 않지만 기본적인 인구통계학적 변수인 성별과 연령을 모형의 설명변수에 추가하였다.

각 검사 기술별 변수별 평균과 표준편차는 다음의 Table 3과 같으며, 종속변수는 지불의사로 설정하였는데, 제시 금액에 대한 지불의사가 있을 경우 1, 지불의사가 없을 경우에는 0의 값을 가지게 된다.

모든 설명변수를 명목변수로 사용 시, 순서형 변수의 특성을 지니고 있는 변수들은 제대로 분석이 될 수 없으므로 명목변수와 순서변수의 두 개로 종류를 나누어서 고려하였으며, 다음의 식 (2)와 같이 간단한 모형으로 통계적 모형을 구성하였다.

$$Logit[y] = \log \frac{y}{1-y} = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 \quad (2)$$

여기서  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$ 는 성별, 연령, 버스이용횟수, 수소버스 이용에 따른 환경적 도움, 심리적안전성이다.

설정된 변수에 대해 이항로짓모형을 적용하여 분석한 결과 다음의 Table 4와 같다. 여기서 통계적 유의성은 p-value를 확인하였다.

각 평가 및 검사 기술별 추정된 계수값을 식 (2)에 적용하면 식 (3), 식 (4), 식 (5)와 같다.

평가 및 검사 기술 1의 경우 식 (3)과 같이 통계적 모형이 추정되었으며, 해당 모형에서 유의한 변수는 환경( $x_4$ ) 변수로 p-value는 < 0.01, 가정된 모형이 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

[평가 및 검사기술 1의 모형]

$$Logit[y] = \log \frac{y}{1-y} = -0.364 + 0.260x_4 \quad (3)$$

평가 및 검사 기술 2의 경우 식 (4)와 같이 통계적 모형이 추정되었으며, 해당 모형에서 유의한 변수는 환경( $x_4$ ) 변수로 p-value는 < 0.01, 가정된 모형이 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

[평가 및 검사기술 2의 모형]

$$Logit[y] = \log \frac{y}{1-y} = -0.167x_3 + 0.254x_4 \quad (4)$$

평가 및 검사 기술 3의 경우 식 (5)와 같이 통계적 모형이 추정되었으며, 해당 모형에서 유의한 변수는 이용횟수( $x_3$ ), 환경( $x_4$ ), 안전( $x_5$ ) 변수로 p-value는 < 0.01, 가정된 모형이 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

[평가 및 검사기술 3의 모형]

$$Logit[y] = \log \frac{y}{1-y} = -1.537 - 0.059x_3 + 0.194x_4 + 0.319x_5 \quad (5)$$

모형 추정 결과의 변수별 부호 및 추정계수를 살펴보면 설명변수와 종속변수 간의 관계가 다음과 같이 해석된다.

- 환경적 도움이 높을수록 평가 및 검사 기술 1에 대한 지불의사가 큼
- 버스이용횟수가 많을수록 평가 및 검사 기술 2에 대한 지불의사가 적음
- 환경적 도움이 높을수록 평가 및 검사 기술 2에 대한 지불의사가 큼

Table 3 Variable definitions and basic characteristics of each technology

Part	Variable		Variable Definition	Mean	Standard Deviation
Assessment and Inspection Technology 1	Dependent Variable	Willingness to Pay	• Willingness to pay for the suggested cost (Willingness to Pay = 1, Payment Repudiation = 0)	0.82	0.387
	Explanatory Variable	Sex (X1)	• Demographic variables, presented as male/female (male = 1, female = -1)	0.47	0.5
		Age (X2)	• Demographic variables, presented in six stages	34.45	10.187
		Number of Bus Uses (X3)	• Weekly average of used buses	2.893	3.429
		Environment (X4)	• Environmental benefit of utilizing hydrogen buses following the introduction of the technology, presented in 7 stages (It will not provide any benefit = 1, It will provide many benefits = 7)	5.85	1.105
Assessment and Inspection Technology 2	Dependent Variable	Willingness to Pay	• Willingness to pay for the suggested cost (Willingness to Pay = 1, Payment Repudiation = 0)	0.82	0.382
	Explanatory Variable	Sex (X1)	• Demographic variables, presented as male/female (male = 1, female = -1)	0.48	0.5
		Age (X2)	• Demographic variables, presented in six stages	34.43	10.301
		Number of Bus Uses (X3)	• Weekly average of used buses	2.96	3.429
		Environment (X4)	• Environmental benefit of utilizing hydrogen buses following the introduction of the technology, presented in 7 stages (It will not provide any benefit = 1, It will provide many benefits = 7)	5.86	1.092
Assessment and Inspection Technology 3	Dependent Variable	Willingness to Pay	• Willingness to pay for the suggested cost (Willingness to Pay = 1, Payment Repudiation = 0)	0.74	0.437
	Explanatory Variable	Sex (X1)	• Demographic variables, presented as male/female (male = 1, female = -1)	0.51	0.50
		Age (X2)	• Demographic variables, presented in six stages	34.42	10.046
		Number of Bus Uses (X3)	• Weekly average of used buses	2.983	3.5468
		Environment (X4)	• Environmental benefit of utilizing hydrogen buses following the introduction of the technology, presented in 7 stages (It will not provide any benefit = 1, It will provide many benefits = 7)	5.84	1.145
		Safety (X5)	• The safety improvement of hydrogen buses following the introduction of the technology, presented in 7 stages (There is no increase in psychological safety at all = 1, very increased = 7)	5.43	1.246

- 버스이용횟수가 많을수록 평가 및 검사 기술 3에 대한 지불의사가 적음
- 환경적 도움이 높을수록 평가 및 검사 기술 3에 대한 지불의사가 큼
- 안전성이 높을수록 평가 및 검사 기술 3에 대한 지불의사가 큼

평균지불의사액은 분석 결과로 도출된 각 기술의 모형식(수식 (3)~(5))을 활용하여 추정할 수 있으며, 그 결과 각 기술별 평균 지불의사금액은 다음과 같다.

- 평가 및 검사 기술 1의 평균 지불의사금액 : 25.3원
- 평가 및 검사 기술 2의 평균 지불의사금액 : 18.6원
- 평가 및 검사 기술 3의 평균 지불의사금액 : 16.7원

Table 4 Model estimation results of each assessment and inspection technology

Part	Variable	Estimated value	Standard error (ASE)	Wald Chi-square	Sign	p-value	
Assessment and Inspection Technology 1	Intercept	-0.364	0.632	0.331	(-)	0.565	
	Sex (X1)	0.185	0.221	0.696	(+)	0.404	
	Age (X2)	0.004	0.011	0.106	(+)	0.744	
	Number of Bus Uses (X3)	-0.035	0.030	7.205	(-)	0.242	
	Environment (X4)	0.260	0.974	1.366	(+)	0.007	
	Hosmer-Lemeshow Test <sup>5)</sup>				0.769		
	Overall Model Coefficient Test	Chi-square	10.216				
p-value		0.037					
df		4					
Assessment and Inspection Technology 2	Intercept	0.037	0.716	0.003	(+)	0.958	
	Sex (X1)	0.318	0.256	1.550	(+)	0.213	
	Age (X2)	0.002	0.012	0.015	(+)	0.903	
	Number of Bus Uses (X3)	-0.167	0.086	3.793	(-)	0.051	
	Environment (X4)	0.254	0.124	4.198	(+)	0.040	
	Hosmer-Lemeshow Test				0.161		
	Overall Model Coefficient Test	Chi-square	14.049				
p-value		0.050					
df		7					
Assessment and Inspection Technology 3	Intercept	-1.537	0.651	5.569	(-)	0.017	
	Sex (X1)	-0.125	0.212	0.035	(+)	0.554	
	Age (X2)	0.009	0.011	0.785	(+)	0.376	
	Number of Bus Uses (X3)	-0.059	0.029	4.255	(-)	0.039	
	Environment (X4)	0.194	0.100	3.809	(+)	0.051	
	Safety (X5)	0.319	0.090	12.490	(+)	0.001	
	Hosmer-Lemeshow Test				0.727		
Overall Model Coefficient Test	Chi-square	29.812					
	p-value	0.001					
	Degree of Freedom	8					

5. 경제성 분석 결과

경제성 분석은 비용과 편익을 화폐가치로 환산하여 비교·분석함으로써 경제적인 타당성을 추정하는 것이다. 경제성 분석의 평가지표는 편익/비용비율(B/C Ratio), 순현재가치(NPV), 내부수익률(IRR) 등이 보편적으로 이용되고 있다. 편익/비용 비율이란 총편익과 총비용의 할인된

금액의 비율, 즉 장래에 발생될 비용과 편익을 현재가치로 환산하여 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 것이다. 일반적으로 편익/비용 비율  $\geq 1$ 이면 경제성이 있다고 판단한다. 순현재가치(Net Present Value, NPV)는 사업에 수반된 모든 비용과 편익을 기준년도의 현재가치로 할인하여 총편익에서 총비용을 제한 값이며, 순현재가치  $\geq 0$ 이면 경제성이 있다고 판단한다. 마지막으로 내부수익률(Internal Rate of Return, IRR)은 편익과 비용의 현재가치로 환산된 값이 같아지는 할인율 R을 구하는 방법으

5) If the value of the Hosmer-Lemeshow test is greater than 0.05, the model can be considered appropriate.

로, 사업의 시행으로 인한 순현재가치를 0으로 만드는 할인율이다.

B/C, NPV, IRR의 수식은 다음과 같다.

$$\text{편익} \cdot \text{비용비율}(B/C\text{비}) = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (6)$$

$$\text{순현재가치}(NPV) = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (7)$$

$$\text{내부수익률}(IRR) = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (8)$$

의 조건을 만족하는  $i$

여기서,  $B_t$  = 매년도 편익,  $C_t$  = 매년도 비용,  $r$  = 실질 할인율(5.5%),  $n$  = 분석기간

추정된 평균 지불의사금액을 이용하여 각 기술의 경제성 분석을 수행하기 위해 해당 기술에 따른 편익 및 비용 항목을 정의하였다. 비용 및 편익 항목 도출을 위해 관련 연구기관 및 사업체, 전문가의 인터뷰를 수행하였다. 그 결과 최종적으로 반영된 각 기술의 비용 및 편익 항목은 Table 5와 같다.

각 평가 및 검사 기술의 비용 및 편익 항목은 수소버스 보급대수에 따라 달라질 수 있으므로 이를 추정하였다. 산업통상자원부에서는 2022년까지 수소버스의 보급을 2천대, 2040년을 목표로 4만대를 보급 및 확대하는 것<sup>(11)</sup>이 목표이다. 수소버스의 보급은 점차적으로 확대될 예정이기 때문에 본 연구에서는 2040년까지 4만대의 수소버스 도입 목표의 50%를 달성한다고 가정하였다. 여기서 가정의 경우 현재의 수소버스 도입 추이를 고려하여 연구진협의 과정을 통하여 선정하였다.

본 연구의 편익과 비용 산정 및 경제성 분석 수행의 기준연도는 2023년도로 설정하였으며, 분석기간은 2031년

Table 5 Cost and benefit Items for each assessment and inspection technology

Part	Price	Benefit
Assessment and Inspection Technology 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Assessment environment development cost</li> <li>Additional equipment purchase expenses</li> <li>Inspection fee increase</li> <li>Introduction of inspection sites (22 locations)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consumer benefit (Willingness to Pay)</li> <li>Estimating the effect of market creation through the development of new equipment</li> <li>Estimation of overseas equipment sales through the development of new equipment</li> </ul>
Assessment and Inspection Technology 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Assessment environment development cost</li> <li>Additional equipment purchase expenses</li> <li>Inspection fee increase</li> <li>Introduction of inspection sites (22 locations)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consumer benefit (Willingness to Pay)</li> <li>Budget reduction due to localization development of inspection equipment</li> <li>Estimating the effect of market creation through the development of new equipment</li> <li>Estimation of overseas equipment sales through the development of new equipment</li> </ul>
Assessment and Inspection Technology 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Equipment development (construction) costs</li> <li>Maintenance expenses</li> <li>Shortening the verification time for development stage performance tests.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consumer benefit (Willingness to Pay)</li> <li>Budget reduction due to localization development of inspection equipment</li> </ul>

Table 6 Cost and benefit estimates for each assessment and inspection technology, and economic analysis results (4.5% discount rate)

Part	Price	Benefit	B/C	NPV	IRR
Assessment and Inspection Technology 1	2,090,000,000	12,798,847,001	5.32	8.21 billion	137%
Assessment and Inspection Technology 2	4,598,000,000	19,510,486,644	4.07	12.82 billion	1,937%
Assessment and Inspection Technology 3	2,320,000,000	7,645,232,646	2.71	3.73 billion	33%



까지 10년으로 설정하였다. 또한 본 연구에서 사회적 할인율은 예비타당성조사 조사 수행을 위한 세부지침 일반 부분 중 사회적 할인율의 조정<sup>(12)</sup>에서 제시된 할인율 4.5%를 기준으로 분석한 결과 Table 6과 같다. 모든 평가 및 검사 기술에서 경제적 타당성을 보였다.

## 6. 결론 및 향후 과제

최근 정부는 수소경제 활성화 로드맵에 따라 수소차량의 보급을 확대하고 있으나, 아직까지 도입 초기단계이다. 우리나라는 수소차량 중 하나인 수소버스를 대상으로 수소버스 안전성 평가 및 검사기술을 개발 중에 있다. 본 연구에서는 수소버스 연료장치의 안전성을 평가할 수 있는 여러 기술 중 수소버스 내압용기 투과량 및 배출량 검사기술, 대용량 CHSS 유압 반복시험 평가기술의 개발 및 적용으로 인한 수소버스 사고 예방의 경제적 효과를 분석하였다. 이를 위해 비시장재화의 가치평가방법 중 하나인 조건부가치측정법(CVM) 방식을 적용하여 각 검사기술에 따른 이용자의 지불의사액에 대해 조사하였다. 이용자의 지불의사액을 위한 설문조사는 전 국민을 대상으로 인터넷 및 버스 내 설문조사 홍보 포스터를 부착하여 실시하였다. 또한 비용 및 편익의 경우 관련 연구기관 및 사업체, 전문가의 인터뷰를 통해 정의하였다. 그 결과 비용의 경우 구축비용, 유지보수비용 등으로, 편익의 경우 사용자 편익, 시장창출효과로 구분하였다.

설문조사는 한 달 간 수행하였으며, 589건의 설문조사가 회신되었으나, 이 중 유효한 500부를 대상으로 각 평가 및 검사 기술별 평균 지불의사액을 추정한 결과 평균 지불의사액은 다음과 같이 도출되었다.

- 평가 및 검사 기술 1의 평균 지불의사금액 : 25.3원
- 평가 및 검사 기술 2의 평균 지불의사금액 : 18.6원
- 평가 및 검사 기술 3의 평균 지불의사금액 : 16.7원

각 평가 및 검사 기술의 비용 및 편익 항목은 수소버스 보급대수에 따라 달라질 수 있으므로 산업자원통상자원부에서 목표로 하는 2040년까지 4만대의 보급의 50%를 달성한다고 가정하였다.

각 검사기술 개발에 따른 경제성 분석(할인율 4.5%)을 시행한 결과 모든 평가 및 검사기술에서 경제적 타당성을 보였다. 해당 기술은 수소버스의 안전한 이용을 위해 필수 불가결한 기술인만큼 향후에도 관련 기술에 대한 투자가 매우 필요한 것임을 보여주고 있다.

본 연구를 통해 제시된 사회적 비용 및 편익 분석 등 경제성 분석 결과를 바탕으로 국내 기준 제·개정 추진에 있어 피규제 대상이 되는 수소버스 개발 업체 및 일반 기업과 일반 국민에게 미치는 규제영향에 대한 정량 분석이 가능하며, 이를 통한 객관성 있는 제도화 추진 지원이 가능할 것이라 판단된다.

다만 본 연구는 수소버스의 보급수준을 시나리오로 구분하여 경제성 분석을 시행함에 따라 수소버스의 보급 확대에 따라 경제성평가의 결과는 달라질 수 있다. 또한 각 기술에 따른 비용 항목은 관련 연구기관 및 사업체에서 개략적으로 제시한 것으로 기술 개발시 좀 더 명확해질 수 있으리라 판단한다.

## 후 기

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 22HBST-C158067-03).

## 참고문헌

- (1) 김남주, 박지훈, 전성애, 2019, 지방재정투자사업 타당성조사 조건부가치측정법(CVM) 조사설계 표준화 방안 연구, 한국지방행정연구원 연구보고서 2019-18.
- (2) 이신해, 2015, 도로 보행환경개선 지불의사액의 추정, 서울연구원, 2014-BR-17.
- (3) 고길근, 신가영, 홍민준, 김대중, 2018, 경기도 공공투자사업의 조건부가치측정법(CVM) 적용을 위한 분석프로그램 개발, 경기연구원 공공투자관리연구, 2019-04.
- (4) 김경현, 박상민, 박성호, 윤일수, 2018, 중형 저상전기버스 도입에 따른 지불용의액 추정 연구, 한국 ITS 학회 논문지, Vol. 17, No. 1, pp. 17~30.
- (5) 김장욱, 강순양, 김경태, 강영균, 2012, 조건부가치측정법(CVM)을 이용한 보행환경개선사업에 대한 편익 추정, 대한교통학회지, Vol. 30, No. 4, pp. 7~19.
- (6) 김진희, 2007, 조건부가치측정법을 이용한 한강르네상스프로젝트의 가치평가, 현대대학교 대학원 도시공학과 석사학위논문.
- (7) 송재인, 황기연, 강준모, 2012, 지하철 진·출입구 주변 보행환경 개선에 따른 편익 추정, 교통연구, Vol. 19, No. 1, pp. 1~15.
- (8) 유정복, 2014, CVM을 이용한 교통사고의 심리적 비용 산정, 교통연구, Vol. 21, No. 2, pp. 41~55.

- (9) 이병주, 서임기, 남궁문, 2007, CVM을 이용한 관광지 환승 교통시스템의 편익 추정에 관한 연구, 대한교통학회지, Vol. 25, No. 4, pp. 57~66.
- (10) 임정현, 고태호, 황경수, 양영철, 2007, CVM을 이용한 대중교통서비스 개선에 따른 경제적 가치 분석, 한국사회와 행정연구, Vol. 18, No. 1, pp. 177~195.
- (11) 산업부, 2018, 자동차 부품산업 활력제고방안, 2018. 12.
- (12) KDI, 2021, 예비타당성조사 수행을 위한 세부지침 일반부문 연구, 2021.05.