



Bass 확산모델을 이용한 수소전기차 내압용기 검사수요 예측

김지유 · †김의수*

한국교통대학교 안전공학과 석사과정, *한국교통대학교 안전공학과 교수
(2021년 6월 4일 접수, 2021년 6월 21일 수정, 2021년 6월 22일 채택)

Forecasting of Inspection Demand for Pressure Vessels in Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicle using Bass Diffusion Model

Ji-Yu Kim · †Eui-Soo Kim

Dept. of Safety Engineering, Korea National University of Transportation
(Received June 4, 2021; Revised June 21, 2021; Accepted June 22, 2021)

요약

지구온난화 문제가 대두되어 세계 각국에서 수소전기차와 같은 친환경 자동차 보급이 증가하는 추세이다. 한국은 수소전기차 초기 시장 형성을 위해 차량 구매 시 보조금 지원, 세금감면 등 전폭적으로 지원하고 있다. 수소전기차 안전성에 있어 중요 핵심은 수소를 저장하는 내압용기로 정기적으로 검사해야 하나 기존 내압용기 검사소만으로는 수소전기차 내압용기 검사수요를 감당하기에는 역부족인 상황으로 수소전기차의 안전관리를 위한 내압용기 검사소 구축이 가장 중요하다. 이에 본 연구에서는 전기차 판매 데이터를 이용하여 Bass 확산모델의 혁신 및 모방계수를 추정하고, 이를 Bass 확산모델에 적용하여 수소전기차의 지역별 보급 대수 및 수소 내압용기 검사수요를 예측하였다. 그 결과 2040년 국내 수소전기차 검사수요는 690,759대로 이를 대비하기 위해서는 191개소의 신규 수소전기차 내압용기 검사소와 검사인력 1,124명이 필요한 것으로 확인되었다.

Abstract - The global warming problem has arose, the supply eco-friendly vehicles such as HFCEVs is increasing around world and Korea is fully supporting subsidies, tax cut to form an initial market for HFCEVs. The key to the safety of HFCEVs is pressure vessels stored hydrogen, and although these pressure vessels must be inspection regularly, the existing inspection stations are insufficient to meet the demand for inspection. Therefore, it is important to establishment of pressure vessels inspection station for safety management of HFCEVs. In this study, it estimates innovation coefficient, imitation coefficient in Bass model by using electric vehicle sales data, and foretasted the supply of HFCEVs by region & the demand for inspection by region using the Bass diffusion model. As a result, the inspection demand for pressure vessels in HFCEVs in 2040 was 690,759 units, and it was confirmed 191 new inspection stations and 1,124 inspectors were needed to prepare for this.

Key words : bass diffusion model, hydrogen fuel cell electric vehicle, pressure vessel inspection, demand forecasting

I. 서론

지구온난화 문제가 대두되어 세계 각국에서는 기

존 내연기관과 달리 탄소를 배출하지 않는 수소전기차와 같은 친환경 자동차 보급이 증가하는 추세이다. 한국은 2019년 ‘수소경제 활성화 로드맵’과 2020년 ‘한국형 그린뉴딜’에서 수소전기차(Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicle, HFCEV) 2040년까지 290만 대 보급목표를 발표하였다. 수소전기차 초기시장 형성을

†Corresponding author:es92kim@ut.ac.kr
Copyright © 2021 by The Korean Institute of Gas

위해 구매 시 세금감면, 보조금 지원 등 전폭적인 지원을 하고 있으나 2019년 수소 관련 시설 폭발사고 이후 국민의 수소 관련 시설에 대한 불안감이 증가하여 수소전기차 및 관련 인프라 보급이 지연되고 있다. 지속적인 보급을 위해서는 수소전기차의 안전성 확보가 필수적이라 할 수 있으나 현재 안전관리 대책 측면에서는 미비한 실정이다.[1] 수소전기차 안전에 있어 가장 중요한 핵심은 수소를 저장하고 있는 수소 내압용기로 기존 자동차용 내압용기는 대부분 CNG 내압용기가 대부분으로 자동차 내압용기 검사소는 CNG 차량 검사수요에 맞추어져 있다.[2-4] 수소 내압용기 검사를 위해 기존 검사소를 CNG·수소 복합검사소로 전환하였으나 향후 증가할 수소전기차 검사수요를 감당하기에는 역부족인 상황이다. 따라서 증가하는 수소전기차 내압용기 안전관리를 위해 지역별 검사 수요 예측을 통해 수소전기차 검사 인프라 구축하는 것이 중요하다고 할 수 있다. 수소전기차 검사 인프라 구축에 영향을 미치는 주요 요인은 수소전기차 보급 대수로 기존 보급된 대수와 연차별 보급계획을 통해 검사수요를 예측할 수 있다. 그동안 수소 관련 인프라는 소비자 수요전망이 아닌 정부의 보급목표를 기준으로 계획수립 및 구축되고 실정이다. 국내 수소전기차 보급예측은 수소 검사 인프라 구축뿐만 아니라 수소충전소 등 수소 관련 산업의 향후 전략 및 계획 수립하는 데 있어 중요한 역할을 할 것으로 판단되므로 이에 대한 보급 및 검사수요 예측은 향후 수소 인프라 구축 계획수립 및 수소전기차 안전관리 측면에 있어 중요하다.

이러한 수소전기차 보급대수 예측을 위해 자동차 확산예측 관련 선행연구를 살펴보면, Jeon Sang Yeob (2010)은 미국 자동차 시장의 휘발유 가격 상승 영향 등의 구매영향 분석과 Bass 확산모델을 이용하여 미국의 HEV, PHEV, BEV의 전기차 연간 판매량을 추정하였다. 종류별로 2030년까지 500만, 100만, 210만 대가 판매될 것으로 추정하였다.[5] Ah-Rom Chae et al.(2011)은 전기자동차 수요예측을 위해 전기자동차와 유사한 하이브리드 자동차의 과거 판매 데이터를 이용하여 Bass 모형과 SP(Stated Preference)조사를 통하여 잠재적인 총 수요를 추정함으로써 연도별 전기자동차 수요를 예측하였으며, 향후 전기자동차 발전을 고려한 다세대 확산과정을 모형에 반영하였다.[6] Hyun Seok Chae et al.(2016)은 국내 전기자동차 수요 예측을 위해 국내 운전면허 소지자 수의 과거 데이터를 이용하여 미래 운전자 수의 변화를 예측하여 연도별 상이한 포화시장 규모와 일본 하이브리드 자동차 판매 데이터를 통한 유사추론방식으로 도출된 p와 q 값을 Bass 확산 모델에 적용하여 전기자동차 미래 수

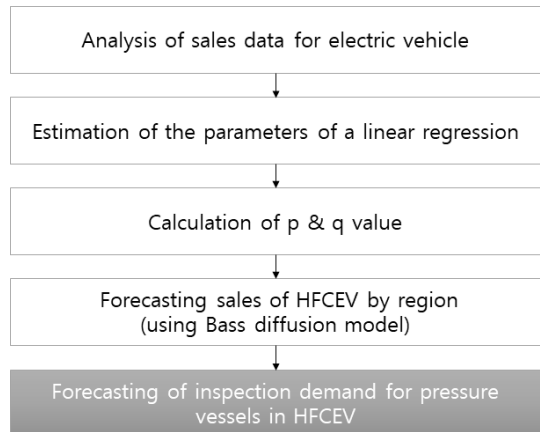


Fig. 1. Flow chart of the study.

요를 예측하였다.[7] Jung Youn Mo et al.(2017)은 국내 전기자동차 수요를 전망하기 위해 Bass 확산모형을 기반으로 네덜란드, 노르웨이 등 6개국 전기자동차 수요 데이터를 분석 기초 대상으로 선택하여 자동차 수요를 유사 추론하였고, 전문가 설문조사를 통해 수요에 영향을 주는 요인의 정도를 점수화하여 모방계수와 혁신계수를 보정함으로써 보다 정교한 연도별 수요를 예측하였다.[8] 이처럼 시장보급 초기 단계에서의 확산과정을 추정하기 위해 혁신 및 모방지수와 Bass 확산모델을 이용하여 보급판매량을 추정할 수 있으며, 과거 자료가 충분치 않은 시계열의 경우에도 적용할 수 있는 특징으로 인해 차량 확산모델에 많이 사용되고 있는 것을 확인하였다.

이에 본 연구에서는 수소전기차가 2019년도부터 본격적으로 도입되어 시계열 분석상의 한계가 존재함에 따라 Bass 확산모델을 활용하여 국내 수소전기차의 보급 대수를 예측하고자 한다. 보급 예상 대수 추정은 친환경 자동차 중 전기자동차의 보급 데이터를 기반으로 확산 모델에 영향을 미치는 혁신계수와 모방계수를 추정하고 이를 Bass 확산모델에 적용함으로써 연도별 수소전기차 보급 대수를 예측하고 예측 결과에 따른 지역별 수소 내압용기 예상 검사수요를 도출하였다.

II. 이론적 배경

2.1. 국내 수소전기차 보급현황

수소전기차는 2018년 양산형 수소전기차 출시 이후 초기 공공기관 관용차로 많이 보급되었고 2019년부터 본격적으로 민간영역으로 보급이 확대되기 시작하였다. 정부와 지자체는 수소전기차 보급 활성화를

Table 1. Annual sales of HFCEV(2014-2020)

	Year						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Region	(unit : 1 Vehicle)						
Seoul	0	2	3	12	55	511	1,065
Busan	0	0	2	1	8	542	358
Daegu	0	2	1	1	2	4	55
Incheon	0	0	1	0	3	217	276
Gwangju	5	8	11	3	154	269	239
Daejeon	0	1	1	0	3	201	301
Sejong	0	0	0	0	3	12	26
Ulsan	0	8	6	15	300	941	551
Gyeonggi	0	1	12	3	26	612	947
Gangwon	0	0	0	0	1	135	710
Chung-buk	0	1	0	0	3	97	232
Chung-nam	0	18	6	4	36	222	189
Jeon-buk	0	0	0	1	3	11	395
Jeon-nam	0	1	0	0	4	14	120
Gyeong-buk	1	0	0	0	3	12	4
Gyeong-nam	0	0	5	43	119	385	360
Jeju	0	0	0	0	1	1	0
Total	6	42	48	83	724	4,186	5,828

위해 구매 시 보조금 지원 및 세제 감면 등의 소비자 구매 지원 정책과 함께 관련 인프라 확충 및 사용자의 편의 지원정책을 수립하는 등 수소전기차 보급 확산을 정책적으로 주도하고 있다. 지원정책에 대하여 간단히 살펴보면, 차량 구매 시 3,250 ~ 4,250만 원의 보조금 지원하고 있으며 연료비를 2030년까지 현재 km 당 8,000원인 수소 충전비를 수소 유통비 절감을 통해 현재의 50%인 4,000원 수준으로 인하계획을 발표하였다. 또한, 충전소를 2025년까지 450개소를 설치하겠다는 계획을 발표하였다. 국토교통부의 자동차등록현황보고를 정리한 Table 1과 같이 적극적인 정부 지원정책을 통해 2019년 4,186대, 2020년 5,828대가 보급되었으며 매년 보급 대수가 증가하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 특히 울산, 강원, 서울 등 구매 보조금 지원금액이 많고, 수소전기차 보급 의지가 강한 지자체에서 보급 비중이 높은 것으로 나타났다.

2.2. Bass 확산모델

Bass 확산모델은 Frank M. Bass에 의해 제시된 모델로 확산모델은 수요자들 간 상품이나 기술이 퍼지는 속도를 이룬 모델화한 것으로 채택자의 수가 연속적으로 증가할 것으로 가정하여 확산과정이 계속 진행되어 가는 형태를 수학적 모델로 추정된 후 이에 근거하여 예측하는 방법으로 현재 여러 분야의 예측에 널리 사용되고 있다. Bass 확산모델은 시장에 출시되지 않는 신제품 · 신기술을 채택할 채택자를 대중매체와 같은 외부영향에 영향을 받는 혁신자 집단과 구전에 영향받는 모방자집단으로 이루어진다고 가정하였으며 두 집단에 의해 채택이 이루어진다고 가정하였다. 채택자가 신제품을 선택할 확률은 초기시장 형성에 영향을 주는 혁신계수 p와 기존 채택자의 구전에 의해 영향을 주는 모방계수 q에 의해 결정된다고 가정하였다. 또한, 잠재시장 규모를 m이라고 할 때 혁신계수 p와 모방계수 q, 잠재규모 m을 이용하여 t기까지의 누적 판매량을 아래와 같은 수식으로 표현할 수 있다. [9-10]

$$n(t) = \frac{N(t)}{dt} = [m - N(t)] \left[p + q \frac{N(t)}{m} \right] \quad (1)$$

- $n(t)$: t기의 수용자
- $N(t)$: t기 이전까지의 누적 수용자수
- p : 혁신계수
- q : 모방계수
- m : 잠재적 최종 수용자 수

p, q, m 3가지 모수를 도출하기 위해 수요 데이터에 대한 회귀분석과 일반최소자승법(Ordinary Least Square)을 통해 아래 식 (2)의 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 의 모수를 도출할 수 있으며, 이를 식(3)에 대입하여 Bass 확산모델의 p, q, m 모수를 도출할 수 있다.

$$X(i) = pm + (p - q)N(t_{i-1}) - (q/m)N^2(t_{i-1}) + \varepsilon(i) \\ = \alpha_1 + \alpha_2 N(t_{i-1}) + \alpha_3 N^2(t_{i-1}) + \varepsilon(i) \quad (2)$$

- $X(i)$: t기의 신규 수용자 수
- $N(t_{i-1})$: t기 이전의 누적 수용자 수
- p : 혁신계수
- q : 모방계수
- m : 잠재적 최종 수용자 수

$$p = \frac{\alpha_1}{m} \quad (3) \\ q = -m\alpha_3 \\ m = \frac{-\alpha_2 - \sqrt{\alpha_2^2 - 4\alpha_1\alpha_3}}{2\alpha_3}$$

III. 국내 수소전기차 보급대수 예측

3.1. Bass 확산모형 적용 모수도출

수소전기차는 2018년에 양산형 모델이 출시되어 수소전기차 판매 데이터가 불충분하므로 수소전기차와 같은 친환경 자동차인 전기차 보급 데이터를 이용하여 유사 추론하고자 한다. 국내 전기차는 2010년에 보급되어 정부 보급계획에 따른 구매 보조금 및 세제 지원 등을 통해 점진적으로 보급이 증가하여 2020년에 약 13만 대가 운행되고 있다.

Table 2.의 전기차 판매 데이터를 SPSS(Statistical Package for Social Science)의 회귀분석 모듈을 활용하여 파라미터 모수 값을 도출하였으며 도출된 값을 Bass 모델에 적용하여 혁신계수(p)와 모방계수(q) 값을 추정하였다. 추정 모수 값은 Fig. 2와 같으며 결정계수 R²의 값이 0.974로 높은 수치를 나타내어 통계적으로 유의한 결과를 나타낸 것으로 보아 신뢰성이 높

Table 2. Annual sales of electric vehicle (2010-2020)

Year	Sales	Cumulative sales
2010	66	66
2011	278	344
2012	516	860
2013	604	1,464
2014	1,311	2,775
2015	2,937	5,712
2016	5,143	10,855
2017	14,253	25,108
2018	30,648	55,756
2019	34,162	89,918
2020	45,044	134,962

Model Summary					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	
		.987	.974	.949	3619.942
Coefficients					
Dependent Variable : Electric Vehicle Sales	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
α_1	30.299	4250.853		.007	.995
α_2	.603	.152	1.896	3.978	.058
α_3	-2.053E-6	.000	.963	-2.021	.181

Fig. 2. Regression parameter estimates using SPSS.

다고 판단할 수 있다. 도출된 모수 추정값을 Bass 모델에 적용하여 도출한 혁신계수 p와 모방계수 q 값은 다음과 같다.

Table 3. Forecasting annual sales of HFCEV

Year	Sales	Cumulative sales
2021	6,862	17,786
2022	10,959	28,745
2023	17,461	46,206
2024	27,718	73,924
2025	43,739	117,663
2026	68,371	186,034
2027	105,281	291,315
2028	158,314	449,629
2029	229,382	679,011
2030	313,859	992,870
2031	393,989	1,386,859
2032	436,577	1,823,436
2033	408,359	2,231,795
2034	310,209	2,542,004
2035	189,293	2,731,297
2036	95,844	2,827,141
2037	42,846	2,869,987
2038	17,917	2,887,904
2039	7,266	2,895,170
2040	2,909	2,898,079

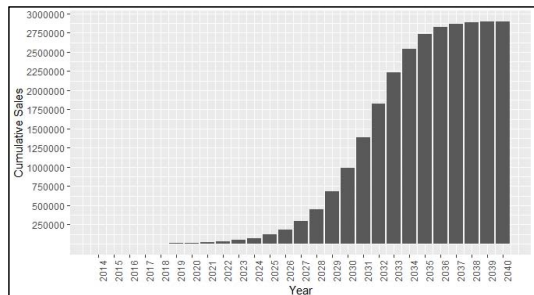


Fig. 3. Forecasting sales of HFCEV using diffusion model.

Table 4. Cumulative sales ratio of HFCEV by region

$$p = 0.000103$$

$$q = 0.603103$$

Region	Cumulative sales	Ratio(%)
Seoul	1648	15.10
Busan	911	8.34
Daegu	65	0.60
Incheon	497	4.55
Gwangju	689	6.31
Daejeon	507	4.64
Sejong	41	0.38
Ulsan	1821	16.68
Gyeonggi	1601	14.67
Gangwon	846	7.75
Chung-buk	333	3.05
Chung-nam	475	4.35
Jeon-buk	410	3.76
Jeon-nam	139	1.27
Gyeong-buk	20	0.18
Gyeong-nam	912	8.35
Jeju	2	0.02
Total	10917	100

3.2. 수소전기차 보급대수 예측

정부 보급목표 대수인 2040년 290만 대를 잠재적인 최종 수용자 규모로 설정하고 이를 도출한 혁신계수 p 와 모방계수 q 값과 함께 Bass 확산모델에 적용한 결과 수소전기차는 Fig. 3와 같이 2040년에 약 290만 대로 포화가 되는 것으로 추정되며 2040년까지 연도별 예상 보급 대수를 살펴보면 Table 3과 같다.

지역별 수소전기차 예상 보급 대수를 산출하기 위해서는 각 지자체에서 발표한 구체적인 차량 보급 및 인프라 구축 계획과 같은 지역별 수소 관련 마스터플랜이 필요하나 일부 지역에서만 발표되어 전체에 대한 계획 파악이 어려운 실정이므로 2020년까지 보급된 지역별 누적 보급 비율이 높은 지역이 앞으로도 보급 의지가 높을 것으로 가정하여 지역별 보급 예상 대수를 산출하였다. 지역별 누적 보급 비율은 Table 4와 같으며, 누적 보급 비율에 따른 지역별 보급대수 예측은 Table 5, 6에서 나타낸 바와 같다.

Table 5. Forecasting sales of HFCEV by region 1

Year	Region (unit : 1 Vehicle)								
	Seoul	Busan	Daegu	Incheon	Gwangju	Daejeon	Sejong	Ulsan	Gyeonggi
2021	1,053	575	39	310	460	320	28	1,164	966
2022	1,681	918	62	495	735	511	45	1,858	1,542
2023	2,678	1,463	98	789	1,171	814	71	2,961	2,457
2024	4,251	2,322	155	1,251	1,858	1,292	112	4,700	3,900
2025	6,707	3,664	245	1,974	2,931	2,039	177	7,416	6,155
2026	10,484	5,727	382	3,086	4,582	3,186	276	11,592	9,620
2027	16,143	8,819	588	4,752	7,055	4,906	425	17,849	14,813
2028	24,275	13,261	885	7,145	10,609	7,377	638	26,840	22,275
2029	35,172	19,214	1,281	10,353	15,371	10,688	924	38,889	32,274
2030	48,125	26,289	1,753	14,165	21,032	14,625	1,265	53,211	44,160
2031	60,412	33,001	2,201	17,781	26,401	18,358	1,587	66,795	55,435
2032	66,942	36,568	2,438	19,703	29,255	20,343	1,759	74,016	61,427
2033	62,615	34,205	2,281	18,430	27,364	19,028	1,645	69,232	57,456
2034	47,566	25,984	1,733	14,000	20,787	14,455	1,250	52,592	43,647
2035	29,025	15,856	1,058	8,543	12,685	8,821	763	32,092	26,634
2036	14,696	8,028	536	4,326	6,423	4,466	387	16,249	13,486
2037	6,570	3,589	240	1,934	2,872	1,997	173	7,264	6,029
2038	2,748	1,501	101	809	1,201	835	73	3,038	2,521
2039	1,115	609	41	328	487	339	30	1,232	1,023
2040	447	244	17	132	195	136	12	494	410

Table 6. Forecasting sales of HFCEV by region 2

Year	Region (unit : 1 Vehicle)							
	Gangwon	Chung-buk	Chung-nam	Jeon-buk	Jeon-nam	Gyeong-buk	Gyeong-nam	Jeju
2021	966	541	209	296	254	77	7	570
2022	1,542	863	334	472	406	123	12	909
2023	2,457	1,375	531	752	646	196	18	1,449
2024	3,900	2,183	843	1,193	1,026	310	28	2,299
2025	6,155	3,444	1,330	1,882	1,618	489	45	3,628
2026	9,620	5,383	2,078	2,942	2,529	764	69	5,671
2027	14,813	8,289	3,200	4,530	3,894	1,176	107	8,732
2028	22,275	12,464	4,812	6,812	5,855	1,769	160	13,131
2029	32,274	18,059	6,972	9,870	8,484	2,562	231	19,025
2030	44,160	24,709	9,539	13,504	11,608	3,506	317	26,031
2031	55,435	31,018	11,975	16,952	14,571	4,401	397	32,677
2032	61,427	34,370	13,269	18,784	16,146	4,876	440	36,209
2033	57,456	32,149	12,411	17,570	15,103	4,561	412	33,868
2034	43,647	24,422	9,428	13,347	11,473	3,465	313	25,728
2035	26,634	14,903	5,753	8,145	7,001	2,115	191	15,700
2036	13,486	7,546	2,913	4,124	3,545	1,071	97	7,949
2037	6,029	3,374	1,303	1,844	1,585	479	44	3,554
2038	2,521	1,411	545	771	663	201	19	1,486
2039	1,023	573	221	313	269	82	8	603
2040	410	230	89	126	108	33	3	242

Bass 확산모델에 따른 예측 결과를 살펴보면, 초기 수소전기차 보급률이 높았던 울산, 서울, 경기 지역에서 2040년까지 각 48만 대, 44만 대, 40만 대가 보급되어 2040년 정부 보급목표인 290만 대의 약 50% 차량이 3개 지역에서 운행될 것으로 추정된다. 수소전기차 보급대수는 2032년까지 매년 점진적으로 증가하는 추세를 나타내었으나 2033년을 기점으로 점차 보급대수가 전년도 대비 감소하는 것으로 보아 2032년이 수소전기차에 대한 구매자들이 수요 최대치에 도달한 Bass 확산모델의 변곡점에 해당하는 연도로 이후부터는 일반 내연기관 차량과 유사한 수요일 나타낸 것으로 판단된다. 보급대수 예측데이터를 기반으로 지역별 검사수요 예측에 활용하였다.

IV. 수소 내압용기 검사수요 분석

4.1. 자동차용 내압용기 검사 개요

수소전기차가 점차 보급됨에 따라 내연기관 자동차의 정기검사와 같이 수소전기차에 장착된 내압용기에 대한 정기검사 및 수시검사를 내압용기 검사소에서 받도록 ‘자동차관리법 시행규칙 제 57조’에서 명시하고 있다. 자동차용 내압용기 검사 주기는 고압가스 자동차의 용도 분류에 따라 사업용과 비사업용으로 나뉘며 사업용의 경우 3년, 비사업용의 경우 4년 주기로 내압용기 재검사를 받아야 하며 내압용기 사용 후 15년이 도래할 시 용기를 교체하여야 한다.

수소전기차 내압용기 검사는 자동차관리법 시행규칙의 내압용기재검사기준 및 방법에서 명시된 내압용기, 연료장치, 밸브장치 및 센서 등에 대하여 Fig. 4



Fig. 4. Pressure vessels inspection of HFCEV.

와 같이 상세 정밀검사를 2인 1조로 실시하여 용기 결함, 연료 장치 가스누출, 센서 및 밸브 작동 상태 등을 확인함으로써 운행 중에 발생할 수 있는 차량의 위험을 예방하고 있다.

기존 보급된 수소전기차의 정기검사 예정 대수는 2022년 731대, 2023년 4,232대로 점차 수요가 증가할 것으로 예상된다. 또한, 전국 내압용기 본 검사소에 대한 현장 조사 결과, 2020년 수소전기차 내압용기 검사를 수행할 수 있는 검사소는 강동, 상암, 노원, 성산, 서수원, 계양, 신탄진, 수성, 해운대, 광주 10개의 CNG · 수소 내압용기 복합검사소에서 수행할 수 있으나 수소전기차 내압용기 검사소는 현재 부재한 상황이다. 기존 내압용기 검사소의 시설 여유 능력은 대형차량 7,096대로 이를 수소전기차(승용)로 전환하면 수소전기차 승용은 대형차량 대비 검사 소요 시간이 절반임에 따라 약 14,000대의 검사물량을 소화할 수 있으나 점차 증가하는 수소전기차에 대한 검사수요를 감당하기에는 어려우므로 지역별 검사수요에 따른 수소전기차 신규 내압용기 검사소 및 인프라 구축이 시급한 실정이다.

Table 7. Forecasting annual demand of pressure vessels inspection for HFCEV

Year	Cumulative Sales of HFCEV	Pressure vessels inspection
2021	6,862	83
2022	10,959	731
2023	17,461	4,232
2024	27,718	5,878
2025	43,739	6,953
2026	68,371	11,693
2027	105,281	21,661
2028	158,314	33,604
2029	229,382	50,702
2030	313,859	80,071
2031	393,989	126,949
2032	436,577	191,879
2033	408,359	280,009
2034	310,209	393,214
2035	189,293	516,758
2036	95,844	622,634
2037	42,846	681,507
2038	17,917	692,465
2039	7,266	688,590
2040	2,909	690,759

4.2. 지역별 내압용기 검사수요 예측

점차 증가할 수소전기차 내압용기 검사수요에 대응하기 위한 수소 내압용기 검사소 및 인프라 구축을 위해서는 지역별 검사수요 예측이 가장 핵심이라고 할 수 있다. 검사수요를 예측하기 위해 수소전기차 내압용기 검사 관련 요인 중 일부를 아래와 같이 가정하였다.

- 1) 수소전기차는 보급 이후 내압용기 수명인 15년이 도래할 때까지 운행한다.
- 2) 수소전기차는 대부분 승용차로 보급될 것으로 전망되므로 내압용기 검사는 4년마다 수행하는 것으로 가정한다.

Bass 확산모형을 이용한 수소전기차 내압용기 검사수요 예측

3) 지역별 수소전기차 보급대수는 Bass 확산모형과 지역별 누적 보급 비율(2010- 2020)에 따른 지역별 보급 대수를 기반으로 추정한다.

가정에 의해 수소전기차는 내압용기 수명인 15년 까지 초기 장착검사를 제외하고 총 3번의 내압용기 재검사를 수행하게 되며 이를 Bass 확산모형으로 도출된 연도 및 지역별 보급 추정치(Table 3, 5, 6)와 함께 고려하여 산출한 결과 연도 및 지역별 내압용기 검사수요는 Table 7, 8, 9와 같다.

Bass 확산모형에 의해 추정된 차량에 대한 지역별 검사수요 예측 결과를 보면 2027년에 수소전기차 검사수요가 기존 내압용기 검사소의 수소전기차 검사 수용능력을 초과하고 매년 검사수요가 10,000대 이상 증가하는 것을 확인할 수 있으며 2031년을 기점으로 검사수요가 폭발적으로 증가함에 따라 2031년 전까

지역 12.5만 대를 검사할 수 있는 신규 수소전기차 내압용기 검사소 구축이 필요한 것으로 추정되었다. 이렇듯 증가하는 수소전기차 내압용기 검사 수행을 위해 신규 검사소 구축 이전에 기존 내압용기 검사소 복합화 및 출장 검사소 상시 운용이 먼저 이루어져야 하므로 이를 위해 필요한 추가 검사인력은 현장조사 결과 총 32개 검사소 중 24개 검사소에 총 45명이 필요한 것으로 확인되었다. 내압용기 검사소 내 승용 검사라인 1개는 1년 240일 운영, 1일 4대 검사처리 시 1년 960대를 검사할 수 있어 이를 지역별 검사수요 추정치에 반영하면 2031년 전까지 전국적으로 필요한 승용 검사라인은 총 91개가 필요하며, 1개 검사라인에 2인의 검사인력으로 검사가 수행됨에 따라 기존 검사소 총 원인력과 신규 수소전기차 내압용기 검사소 운영을 위해 신규 검사인력을 포함해 총 227명의 검사인력 총원이 필요한 것으로 예측되었다. 또한, 2040년까지

Table 8. Forecasting demand for inspection of HFCEV by region 1

Year	Region							
	Seoul	Busan	Daegu	Incheon	Gwangju	Daejeon	Sejong	Ulsan
2023	522	549	3	221	294	205	15	963
2024	1,081	362	57	271	251	304	28	556
2025	1,053	577	40	310	477	320	28	1,179
2026	1,752	920	62	496	900	511	46	2,176
2027	3,198	2,012	99	1,010	1,457	1,018	86	3,916
2028	5,332	2,684	212	1,522	2,109	1,596	140	5,256
2029	7,760	4,241	285	2,284	3,408	2,359	205	8,595
2030	12,236	6,647	444	3,582	5,482	3,697	322	13,768
2031	19,341	10,831	687	5,762	8,512	5,924	511	21,765
2032	29,595	15,945	1,096	8,666	12,707	8,972	776	32,091
2033	42,932	23,453	1,565	12,637	18,762	13,047	1,129	47,469
2034	60,290	32,934	2,197	17,746	26,349	18,322	1,586	66,661
2035	79,233	43,283	2,887	23,322	34,627	24,078	2,083	87,605
2036	95,468	52,151	3,478	28,099	41,722	29,012	2,509	105,556
2037	104,494	57,083	3,807	30,757	45,666	31,755	2,746	115,537
2038	106,175	58,000	3,868	31,251	46,401	32,266	2,791	117,395
2039	105,580	57,676	3,847	31,076	46,141	32,085	2,775	116,736
2040	105,913	57,857	3,859	31,174	46,287	32,186	2,784	117,105

Table 9. Forecasting demand for inspection of HFCEV by region 2

Year	Region							
	Gyeonggi	Gangwon	Chung-buk	Chung-nam	Jeon-buk	Jeon-nam	Gyeong-buk	Gyeong-nam
2,023	581	141	102	241	7	2	8	377
2,024	951	719	230	191	396	119	2	360
2,025	967	541	209	300	255	77	7	612
2,026	1,546	863	334	506	406	124	13	1,036
2,027	3,037	1,516	632	975	653	197	26	1,826
2,028	4,851	2,902	1,073	1,384	1,422	429	30	2,659
2,029	7,122	3,985	1,539	2,182	1,873	566	52	4,240
2,030	11,166	6,246	2,412	3,448	2,935	888	82	6,707
2,031	17,850	9,805	3,832	5,505	4,547	1,373	133	10,558
2,032	27,119	15,366	5,885	8,193	7,277	2,198	190	15,785
2,033	39,395	22,044	8,511	12,048	10,356	3,128	283	23,223
2,034	55,322	30,955	11,951	16,918	14,543	4,393	398	32,611
2,035	72,705	40,682	15,706	22,234	19,111	5,773	522	42,858
2,036	87,602	49,017	18,924	26,789	23,027	6,955	628	51,639
2,037	95,885	53,652	20,713	29,322	25,205	7,612	688	56,521
2,038	97,427	54,514	21,045	29,793	25,610	7,735	699	57,430
2,039	96,882	54,210	20,928	29,627	25,466	7,692	695	57,109
2,040	97,188	54,380	20,994	29,720	25,546	7,716	697	57,289

562개의 누적 검사라인이 필요하며, 이에 따른 필요 검사인력은 기존 검사소 총원인력을 제외한 총 1,124 명이 필요할 것으로 판단된다.

4.3. 수소전기차 내압용기 검사소 기본설계안

내압용기 검사소 현장 조사를 통해 도출된 평균적인 검사소 크기는 길이 15~20m, 폭 6~8m로 검사설비와 구조물의 간섭, 검사라인별 간격 등을 고려했을 때 현재 검사소 면적은 협소한 상태이므로 수소전기차 크기, 회전반경, 작업공간, 필요부대 시설 종류 등을 고려한 면적을 산출하여 전용 내압용기 검사소 기본모듈을 제안하고자 한다. 자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙과 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙에서 명시된 차량의 회전반경과 차량의 크기를 기반으로 1개 검사소의 기본형태를 2개의 승용

검사라인이 존재하는 승용 차량 검사 모듈과 대형 및 승용겸용 검사라인이 1개인 겸용검사 모듈을 검사소 기본모듈로 구성하였다. 검사소의 차량 진입 형태는 크게 회전형과 후진형으로 나눌 수 있어 제안하는 설계안에 이를 반영하여 후진형, 회전형과 혼합형으로 분류하여 기본설계안을 Fig. 5와 같이 제시하였다.

후진형은 차량이 회전할 수 없는 좁은 대지면적에 검사소를 구축할 경우 필요한 부대시설과 검사 모듈의 최소면적을 고려한 설계안이며 회전형은 검사를 위한 차량 이동 동선 분리가 가능하여 검사소의 혼잡도를 줄일 수 있으나 차량 회전으로 인해 회전형보다 넓은 대지면적이 필요한 검사소 설계안이다. 마지막으로 혼합형은 대지의 면적이 대형차량은 회전이 불가하고 승용 차량의 회전이 가능한 대지면적에 적용할 수 있는 특징을 지니고 있다.

Bass 확산모델을 이용한 수소전기차 내압용기 검사수요 예측

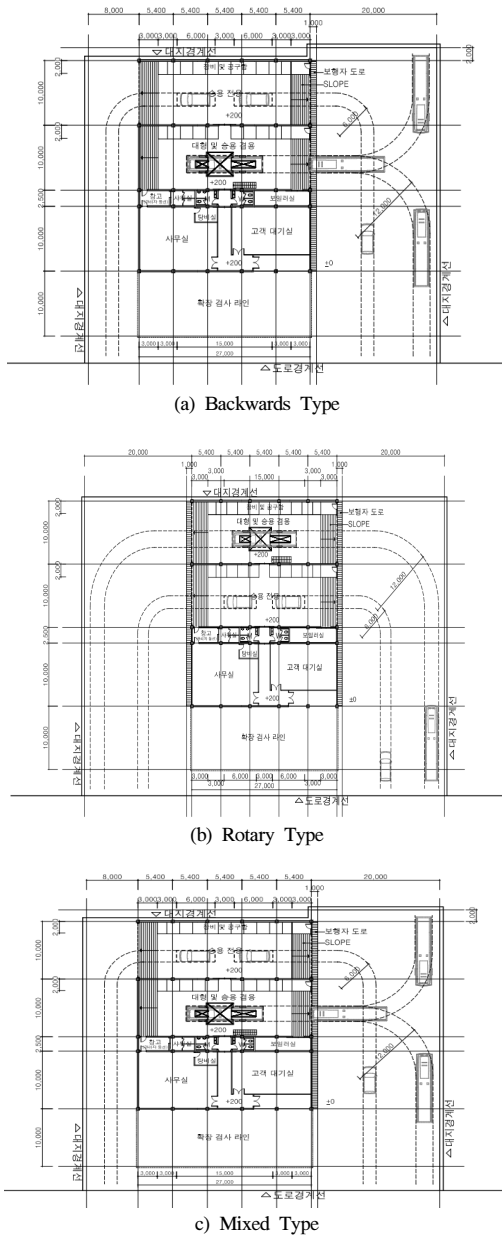


Fig. 5. Design of pressure vessels inspection station for HFCEV.

필요 대지면적과 차량 진입 형태 외에 검사 모듈의 구성은 승용 검사 모듈(검사라인 2개) 1개, 대형경용 검사 모듈(검사라인 1개) 1개로 구성되어 검사소 형태와 상관없이 동일하여 1개 검사소에서 연간 수소전기

차(승용) 3,840대의 검사를 처리할 수 있다. 이러한 기본설계안을 기반으로 검사수요가 급격히 증가하는 2031년까지 지역별 필요 검사소 수를 계산한 결과 서울 5개소, 부산 3개소, 울산 6개소, 경기 5개소 등 전국에 36개소의 신규 검사소가 필요할 것으로 확인되었다. 2040년까지는 191개소의 신규 수소전기차 내압용기 검사소 구축이 필요하고, 필요한 최소 검사라인은 562개이므로 검사인력은 최소 1,124명으로 운용되어야 원활한 검사 수행이 가능할 것으로 판단된다.

V. 결론

본 연구에서는 수소전기차 내압용기 검사수요를 추정하기 위해 먼저 Bass 확산모델을 활용하여 국내 수소전기차 지역별 보급 예상 대수와 검사수요를 예측하였고 기존 내압용기 검사소에 대한 현장 조사를 통해 여유 검사능력 대수와 현행 검사소의 개선사항 등을 고려하여 내압용기 검사소 기본설계안을 제안하였으며 이를 통해 지역별 필요 검사소 수를 산출하였다. 본 연구를 통하여 아래와 같은 결과 및 시사점을 도출할 수 있었다.

첫째, 국내 수소전기차는 매년 꾸준히 증가하여 2032년 436,577대가 보급되어 최고점(변곡점)을 찍고 2033년부터 점차 전년도 대비 보급 대수가 감소할 것으로 예측된다. 둘째, 초기 보급 비율이 높았던 지역에서 많은 검사수요가 발생하는 것을 확인할 수 있었으며 초기 발생 검사수요는 기존 내압용기 검사소에서 일부 감당할 수 있었으나 2031년 전까지 24개의 기존 검사소 복합화와 신규검사라인 91개 구축과 이에 따른 신규검사인력 227명 충원이 되어야 검사수요를 감당할 수 있을 것으로 판단하였다. 셋째, 내압용기 검사소 운영에 필요한 최소 규모의 기본설계안(후진형, 회전형, 혼합형)을 제시하였으며, 이를 기반으로 2040년까지 필요한 수소전기차 내압용기 검사소는 총 191개소가 필요할 것으로 예측되었다. Bass 확산모델을 통해 도출된 지역별 검사수요는 점차 폭발적으로 증가하는 것으로 보아 향후 수소전기차에 안전성을 담보하기 위해 수소전기차 내압용기 검사소 구축계획이 이른 시일 내에 수립되어야 할 것으로 판단되며, 구축 계획 수립 시 본 연구에서 도출한 지역별 보급 대수 및 검사수요 예측데이터, 검사소 기본설계안 등을 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

REFERENCES

[1] Kang, S. K., "A study of jet dispersion and jet-fire characteristics for safety distance of the hydrogen

- refueling station”, *Journal of the Korean Institute of Gas*, 23(6), 74-80, (2020)
- [2] Kim, E. S., “A Forensic Engineering Study on Bursting Accident of Composite Pressure Vessel in CNG Bus”, *Journal of the Korean Society of Safety*, 23(5), 15-21, (2008)
- [3] Kim, T. O., Kim, Y. S., and Park, K. S., “Suggestion for Safety Improvement of Compressed Natural Gas Vehicle”, *Journal of the Korean Institute of Gas*, 16(4), 1-7, (2012)
- [4] Kim, E. S., “Analysis on Actual Condition of Usage and Safety Management for CNG Pressure Vessel in Bus”, *Journal of the Korean Society of Safety*, 34(4), 6-14, (2019)
- [5] Jeon, S., Y., “Hybrid & Electric Vehicle Technology and its Market Feasibility”, Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology, (2010)
- [6] Chae, A., R., Kim, W., K., and Kim, S., H., Kim, B., J., “A Demand forecasting for Electric vehicles using Choice Based Multigeneration Diffusion Model”, *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, 10(5), 113-123, (2011)
- [7] Chae, H., S., Chung, J., W., and Kim, J., D., “Demand Forecast for Electric Vehicles in Korea Using a Bass Diffusion Model”, *Journal of Environmental Policy and Administration* 24(1), 109-132, (2016)
- [8] Mo, J., Y., Kim, S., H., “Domestic Electric Vehicle demand forecast based on Bass application model”, *The Journal of Business and Economics*, 33(3), 161-183, (2017)
- [9] Bass, F., M., “A New Product Growth Model for Consumer Durables”, *Management Science*, 15(5), 215-227, (1969)
- [10] Bass, F., M., “Forecasting Sales of New Contingent Products: An Application to the Compact Disc Market”, *Journal of Product Innovation Management*, 4(4), 243-255, (1987)