

# 터보엔진의 저소음 흡기 RCV 시스템 개발

## A Development of an Intake RCV System for the Low Noise Turbo Engine

이 종 규† · 김 재 현\* · 강 상 규\* · 강 구 태\*

Jong Kyu Lee, Jae Heon Kim, Sang Kyu Kang and Koo Tae Kang

(2010년 5월 18일 접수 ; 2010년 7월 27일 심사완료)

**Key Words** : Tip-out Noise(감속 기류음), Recirculation Valve(재순환 밸브), By-pass Flow Rate(통과 유량)

### ABSTRACT

In this paper, an intake RCV system for low noise turbo engine was developed through optimization process of a geometric path of compressor housing and an open rate of recirculation valve. At first, the critical customer requirement from voice of customer was defined and quality function deployment of an intake RCV system was executed. And then, the renovative concept design using pugh matrix method was selected as final concept for satisfaction of requirement. Simultaneously, system analysis was carried by function diagram and fishbone diagram. Next, control factors and levels for the optimal design were performed. And, the optimal design of an intake RCV system was studied using design of experiment. Conclusively, we achieved not only cancellation tip-out noise at the driving condition but also improvement of NVH commodity through optimization process of an intake RCV system, which is optimal configuration of compressor housing and recirculation valve.

### 1. 서 론

현재 차량의 급가속시, 가속 성능의 증대를 위해서는 부스트 압력의 빠른 증대가 필요하다<sup>(1)</sup>. 이때 일반적으로 부스트 압력의 오버슈트(overshoot)가 발생하며 터보차저는 컴프레서 맵상에서 서지라인에 근접하거나 서지라인을 벗어나 불안정(unstable) 영역에서 작동된다<sup>(2,3)</sup>. 이때 발생하는 문제 현상으로는 소음 측면에서 “크욱”하는 서지 소음이 발생

되는데, 이는 터보차저의 컴프레서를 통해 압축(과급)된 공기가 엔진으로 충분히 공급되지 못하고, 컴프레서 출구관으로부터 역류되는 현상이 반복적으로 일어나기 때문에 발생하는 현상으로 성능 측면에서 심한 경우 차량의 출렁임을 유발시킨다<sup>(4)</sup>.

이런 서지 소음의 방지를 위해 기존에는 컴프레서의 운전 영역(서지라인)을 변경하는 소프트웨어적인 방법과 흡기 RCV(recirculation valve)라고 하는 통과(by-pass) 유로를 설치하여 엔진쪽의 역류성 소음을 줄이는 하드웨어적인 방법을 사용하여 개선하였다<sup>(5)</sup>.

그러나 하드웨어적인 방법인 통과 유로 구조물에 의해 서지 소음은 어느 정도 줄일 수는 있지만 이로 인해 부가적으로 감속 기류음(tip-out noise)이 발생하게 되는데, 현재 이런 소음은 차량의 실내음 질 및 안락성 측면에서 부정적 요인으로 되고 있어

† 교신저자; 정회원, 현대자동차 연구개발본부  
E-mail : jongkyu@hyundai.com  
Tel : (031)368-8392, Fax : (031)368-6095

\* 정회원, 현대자동차 연구개발본부

# 이 논문의 일부는 2010년 춘계 소음진동 학술대회에서 발표되었음.

이에 대한 대책이 시급한 상황이다<sup>(6-8)</sup>.

그래서 이 논문에서는 감속 기류음을 저감하기 위해 컴프레서 하우징의 기하학적 유로 및 흡기 RCV의 열림량(통과 유량)에 대한 최적화를 수행함으로써 양산 후 고객 불만 저감 및 고품질의 NVH 상품성 향상을 이루고자 한다.

## 2. 요구사항 정의 및 개념개발

### 2.1 요구사항 정의 및 품질기능전개

기술된 터보엔진이 장착된 차량에 대해 주행중 발생하는 흡기소음에 대한 고객의 요구사항을 고객의 소리(voice of customer)를 통해 수집한 결과를 보면 한마디로 고객은 잘 나가면서도 듣기좋은 소리를 원하는 것을 알 수 있다. 그런데 듣기좋은 소리를 내기

위해서는 차량 실내의 음질을 저해하는 소음인 감속 기류음에 대한 개선이 선행되어야 하는데<sup>(9)</sup>, 이를 위한 효과적인 도구로 사용되는 것이 품질기능전개(quality function deployment, 일명 QFD)라 할 수 있다. 이는 고객의 요구사항을 공학적인 사양으로 전환시키는 구체화된 방법론이다<sup>(10)</sup>. 이 논문에서는 품질기능전개를 수행하여 고객의 요구사항을 회사의 적절한 요구사항으로 전환하였으며, 이를 통해 회사의 평가기준 및 목표값 그리고 중요도에 따른 우선순위를 정하였다.

고객의 요구사항은 총 4차에 걸쳐 분류한 후 최종적인 고객 요구사항을 맞추기 위한 핵심적인 고객 요구사항(critical customer requirement)을 정의하였다. 고객의 요구사항의 수집은 내부적으로 국내 개발엔지니어들의 자체평가, 국내의 주행평가 결과 등을 반영하였고, 외부적으로는 차량동호회를 포함한 일반 소비자들의 요구사항을 적극 반영하였다. Fig. 1은 이러한 핵심적인 고객 요구사항을 만족시키기 위해 흡기 RCV 시스템에 대해 품질기능전개를 수행한 것이다.

Fig. 2는 흡기 RCV 시스템의 소음 흐름도를 나타낸 것이다. 소음 흐름도를 보면 감속 기류음이 RCV 시스템의 입출력단에서 집중적으로 발생하고 있음을 알 수 있다.

우선 RCV 입력단에서는 터보차저의 컴프레서에 의해 압축된 공기가 감속 순간 밸브의 열림량이 작아 좁은 면적을 통해 충분히 빠져나가지 못한 채 180° 선회함으로써 역류소음이 발생되고 있음을 알 수 있다. 또한 RCV 출구단에서는 RCV에서 토출되는 공기가 컴프레서 입구로 유입시 비대칭적인 하우징 내부 유로구조로 인해 원주방향으로 불균일한 속도분포의 발생 가능성이 높을 뿐만아니라 유로상의 날카로운 모서리로 인해 유동 박리와 난류발생의 가능성도 매우 크게 나타나고 있는 실정이다.

그러므로 주행중 실내에서 문제가 되는 감속 기류음을 제거하기 위해서는 RCV의 열림량에 대한 구조 최적화는 물론 컴프레서 하우징의 기하학적인 유로 개선이 필수적으로 뒤따라야 할 것이다.

### 2.2 개념개발

Fig. 3은 흡기 RCV 시스템의 부품구성도를 나타낸 것이다. 흡기 RCV 시스템은 크게 엔진의 정압

Evaluation Standard (How)		Importance				Target
		Interior Noise (FFT Analysis)	Interior Sound Quality (W/ Meter Analysis)	RCV 10cm Radiation Noise (1/3 Octave Analysis)	Snorbel 10cm Orifice Noise (1/3 Octave Analysis)	
Company Standard (What)	1 Interior Noise	5	◎	○	○	a dBA(OA) ↓
	2 Sound Quality	4	○	◎	△	Subjective b-f ↑
	3 Intake Radiation Noise	3	○	○	◎	c dBA(OA) ↓
	4 Intake Orifice Noise	4	○	○	△	d dBA(OA) ↓
Systematic Difficulty			5	5	4	4
Target			A dBA1 (@2500 rpm)	w/6 Rad Zone (@2500rpm, 5 dB ↓)	C dBA1 (@2500 rpm)	D dBA1 (@2500 rpm)
Absolute Importance			78	72	50	64

Fig. 1 Quality function deployment of an intake system(QFD-I)

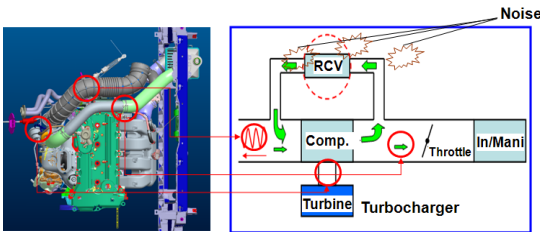


Fig. 2 Noise flow of an intake RCV system

과 부압을 포트를 통해 전달함으로써 RCV를 구동하는 밸브 제어부와 하우징, 스프링, 다이어프램 등에 의해 과급공기압을 제어하는 열림량 제어부로 나눌 수 있다. 이 논문에서는 이 열림량 제어부에 대한 다양한 시스템 분석을 통해 난류성 기류음을 최소화하는 새로운 개념을 도출하고자 하였다.

이 논문에서는 앞서 정의된 요구사항을 만족시켜 줄 혁신적인 개념선정을 위해 퍼지 매트릭스 기법을 사용하여 각각의 흡기 RCV 시스템에 대한 비교평가를 2차에 걸쳐 종합적으로 진행하였다. 위의 Table 1은 퍼지 매트릭스 기법을 사용하여 개념선정을 위한 종합평가를 나타낸 것이다. 평가는 우세한 경우는 +로 표시하였고, 열세인 경우는 -로 표시하였으며, 동등인 경우는 S로 표시한 후 이를 최종적으로 합산하였다.

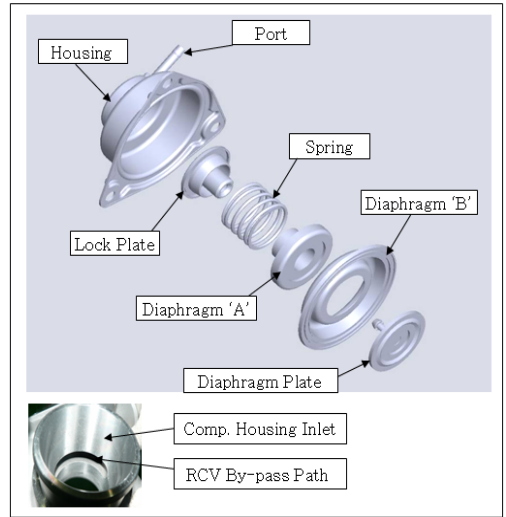


Fig. 3 A composition of the component

Table 1 Concept selection using pugh matrix  
(a) 1st evaluation

Concepts		Concept1	Concept2	Concept3	Concept4
		WGT system (w/ RCV)	WGT system (w/o RCV)	VGT system (w/ RCV)	VGT system (w/o RCV)
1	Interior noise	Standard	-	S	-
2	Interior sound quality		-	S	-
3	RCV 10 cm radiation noise		-	+	-
4	Snorkel 10 cm orifice noise		-	S	-
5	Package ease		+	-	+
6	Durability		-	+	-
7	Performance		S	-	-
8	Weight		+	S	+
9	Cost		+	-	+
Comparison result		+	3	2	3
		-	5	3	6
		Difference	-2	-1	-3

(b) 2nd evaluation

Concepts		Concept5	Concept6	Concept7	Concept8
		Internal RCV Sys. (negative pressure)	External RCV Sys. (negative pressure)	Internal RCV Sys. (electric)	External RCV Sys. (electric)
1	Interior noise	Standard	+	+	+
2	Interior sound quality		+	+	+
3	RCV 10 cm radiation noise		S	S	S
4	Snorkel 10 cm orifice noise		+	S	+
5	Package ease		-	S	-
6	Durability		-	-	-
7	Performance		-	S	-
8	Weight		-	-	-
9	Cost		-	-	-
Comparison result		+	3	2	3
		-	5	3	5
		Difference	-2	-1	-2

평가결과 소음저감 성능 대비 중량, 원가 및 패키지를 고려하여 흡기 RCV 시스템에 대한 기준개념(부압식 & 내장형 RCV)을 선정하였다. 세부적으로 1차 평가에서는 감속시 통과(by-pass) 기능을 통해 서지 소음의 제어가 가능한 RCV 장착 WGT(waste gate turbocharger) 시스템을 선정하였고, 2차 평가에서는 1차에서 선정된 시스템에 부압식과 내장형 RCV를 추가하여 기준개념으로 잡고 다른 개념들과 평가를 진행하였다. 2차 평가결과를 보면 기준개념(개념5)이 다른 개념들에 비해 소음 측면에서는 불리한 경향을 보이지만, 차량 적용을 위해 가장 중요하게 고려되어야 할 패키지 측면에서는 개념6과 개념8의 경우보다 차량 적용이 유리한 상황이다. 그리고 이와 반대로 개념7의 경우는 차량 적용은 문제가 없지만, 소음 저감 효과대비 중량과 제조원가의 급격한 상승으로 양산 적용이 어려운 상황이라 양산적용을 위한 최종개념으로 개념5를 선정하였다.

이 논문에서는 이렇게 선정된 최종개념을 가지고 주행중 문제가 되는 감속 기류음에 대한 시스템적 문제접근을 위해 우선 감속 기류음을 제어할 대상으로 놓고 이 기류음을 발생시킬 수 있는 서브시스템에 대한 시스템 분석 등을 수행하였다. 시스템 분석은 크게 기능계통도(function diagram)와 특성요인도(fishbone diagram)로 나누어 각각의 형상을 자세히 분석하였다<sup>(11)</sup>.

Fig. 4는 흡기 RCV 시스템의 기능에 따른 고유 특성을 나타내는 특성요인도를 그린 것인데, 이는 감속 기류음을 고장모드로 보고 이 모드에 미치는 각각의 원인들을 뼈대 형태로 자세히 분석한 것이다.

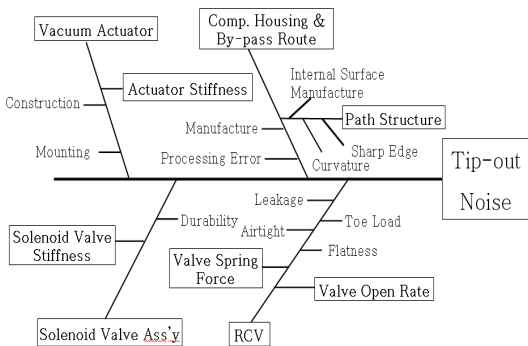


Fig. 4 Fishbone diagram

### 3. 최적화 개발

#### 3.1 이상기능의 정의 및 프로세스 선도

일반적으로 이상기능이란 제품의 산포를 줄이고 평균을 낮추는 보다 강건한 시스템을 의미한다. Fig. 5는

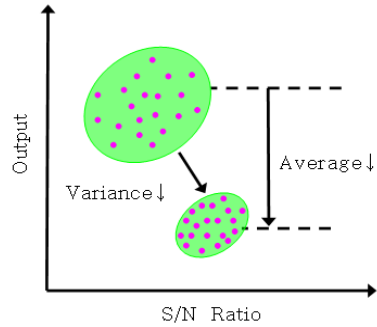


Fig. 5 Definition of the ideal function

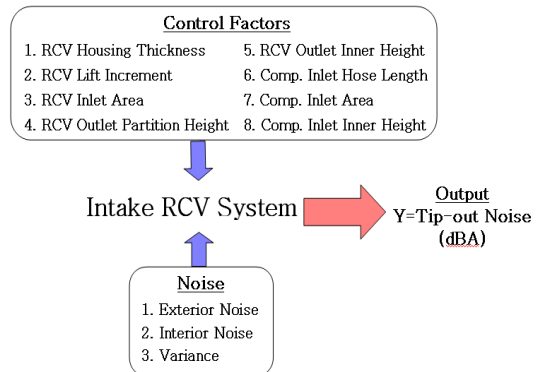


Fig. 6 Process diagram

Item	Structure
Compressor housing	
RCV	

Fig. 7 The structure of the control factors

저소음 흡기 RCV 시스템의 이상기능을 나타낸 것인데, 여기서 말하는 이상적인 기능이란 주행중 가속페달 감속시 통과 유량을 최대한 유지한 채로 흡기계로 역류되는 소음(일명 감속 기류음)을 최소화하는 흡기 RCV 시스템을 의미한다.

또한 이상기능의 정의에서 원하는 출력을 감속 기류음이 거의 없는 상태로 정의하고 있으므로, 이 RCV 시스템의 최적설계에서는 감속 기류음을 최소화하는 방향으로 전개하였다. 이로부터 입력과 출력 반응을 도식한 전체적인 RCV 시스템의 프로세스 선도를 그리면 Fig. 6과 같이 나타낼 수 있다.

이 논문에서는 최적화 설계를 위한 제어인자로 컴프레서 하우징의 기하학적 유도에 대한 인자들과 RCV 열림량과 관련된 인자들을 설정하였다. 또한 제어인자와 함께 시스템 입력으로 들어가는 노이즈 인자로는 감속시 기류음의 차이가 발생하는 인자들에 대한 타당성 조사를 통하여 외부 노이즈(환경), 내부 노이즈(노화), 제품산포에 대한 인자들을 선정하였다. Fig. 7은 이러한 최적화 설계 제어인자의 구분과 내부 구조를 나타낸 것이다.

3.2 제어인자 수준 및 노이즈 인자 선정

이 논문에서는 제어인자들의 수준을 선정함에 있어 차량 레이아웃을 고려한 장착성, 설계 용이성 및 원가 측면 등을 고려하여 최종적으로 3수준 및

2수준의 인자들을 선정하였다. 또한 앞서 언급한 것처럼 인자들에 대한 타당성 조사를 통해 3가지 노이즈 인자들을 구체적으로 선정하였다.

Table 2 Control factors and levels

	Control factors	Level 1	Level 2	Level 3
A	RCV housing thickness	a cm	(a+0.5) cm	
B	RCV lift increment	b cm	(b+0.8) cm	(b+1) cm
C	Comp. inlet hose length	c cm	(c+4) cm	(c+2) cm
D	RCV inlet area	d m <sup>2</sup>	(d-0.4) m <sup>2</sup>	(d+0.4) m <sup>2</sup>
E	RCV outlet partition height	e cm	(e-0.4) cm	(e-0.8) cm
F	RCV outlet inner area	f cm	(f-0.2) cm	(f-0.4) cm
G	Comp. inlet area	g m <sup>2</sup>	0.75g m <sup>2</sup>	0.5g m <sup>2</sup>
H	Comp. inlet inner height	h cm	(h-0.3) cm	(h-0.6) cm

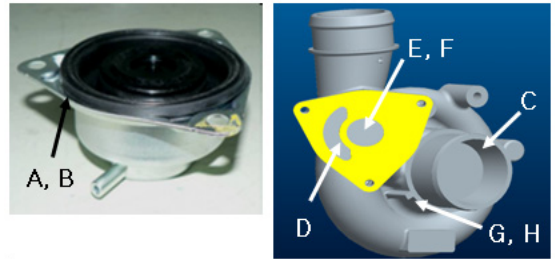


Fig. 8 Schematic diagram of the control factors

Design Variable		Low Noise Intake RCV System											Target	
		Importance	Compressor Housing					RCV						
			Comp. Housing Thickness	Comp. Inlet Area(G)	Comp. Inlet Inner Height(H)	RCV Inlet Area(D)	RCV Inlet Inner Height(F)	RCV Outlet Partition Height(E)	Comp. Inlet Hose Length(C)	RCV Housing Thickness(A)	RCV Lift Increment(B)	RCV Spring Rate		RCV Port Diameter
Critical Company Standard (CCM)	Interior Noise (FFT Analysis)	5	○	◎	◎	◎	◎	◎	○	△	◎	○	△	A dBA <sub>1</sub> (@2500rpm)
	Interior Sound Quality (Wavelet Analysis)	4	○	◎	○	○	○	○	△	△	○	○	△	w/o Red Zone (@2500rpm, B dB ↓)
	RCV 10cm Radiation Noise (1/3 Octave Analysis)	3	◎	○	○	○	○	○	○	○	◎	○	○	C dBA <sub>1</sub> (@2500rpm)
	Snorkel 10cm Orifice Noise (1/3 Octave Analysis)	4	△	◎	◎	◎	○	◎	◎	△	◎	△	◎	D dBA <sub>1</sub> (@2500rpm)
Initial Value			i t	e m <sup>2</sup>	h cm	d m <sup>2</sup>	f cm	e cm	c cm	a cm	b cm	j kpa/mm	k cm	

Fig. 9 Quality function deployment of an intake RCV system(QFD-II)

우선 외부 노이즈로 컴프레서 입출구 압력비를 선정하였는데, 이는 차량의 주행조건에 따라 부스트 압력 변화가 발생되어 소음의 특성이 변하는 것을 표현해주기 위한 것이다.

그리고 내부 노이즈로는 주행시간에 따른 에어클리너 필터 오염도를 선정하였는데, 내구 및 노화에 따른 에어클리너 필터 오염은 입출구 압력비를 증가시켜 결과적으로 기류에 영향을 주기 때문이다. 이때 에어클리너 필터 오염도는 최대 교환주기를 고려하여 정하였다. 마지막으로 RCV 작동력 편차로 인해 밸브 열림량이 부족하면 엔진쪽의 역류성 소음이 잔존하게 되므로 제품산포는 RCV 스프링력 제조편차에 대한 인자들로 선정하였다. 여기서 제조편차는 설계 스펙 상하한치로 정하였다.

Table 2는 주행중 감속 기류에 영향을 주는 총 8개의 제어인자(설계인자)들의 종류와 각각의 수준을 나타낸 것이며, Fig. 8은 최적화하고자 하는 제어인자들의 개략적인 도식을 나타낸 그림이다. 마지막으로 Fig. 9는 흡기시스템의 품질기능전개-II를 나타낸 것으로 이는 앞서 진행된 흡기시스템의 품질기능전개-I에서 정한 평가기준을 개념설계에서 다듬으면서 주요 회사기준으로 변환하여 나타낸 것이다. 품질기능전개-II는 상세설계 수준에서의 작업을 포함한다. 즉 이것은 상위 수준의 회사기준들을 만족시키기 위하여 엔지니어들이 최적화하는 상세설계 변수들과 연계시킬 수 있다. 품질기능전개-II를 통해 얻어진 주요 회사기준들을 보면 운전석 소음 수준, 운전석 음질 수준, RCV 10 cm 근접음 수준, 스노클(snokel) 10 cm 소음 수준 등으로 대변할 수 있다.

**3.3 직교표 시험 및 최적사양 선정**

사양 최적화를 위한 직교표는 제어인자들간의 교호작용을 최대한 배제한  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 의 직교표를 사

용하였으며, 아울러 감속 기류음을 최소화하는 망소 특성을 사용하였다<sup>(12)</sup>.

직교표 시험에 앞서 L18중 기준사양(Run1)과 감속 기류음이 가장 낮을 것으로 예상되는 사양(Run7)에 대해 타당성 평가를 수행한 결과 제어인자들에 따라 평균값의 차이가 현저하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 노이즈 인자들의 변화에 대한 평균값의 차이도 이와 유사하게 발생하고 있는 것으로 보아 타당성이 있다고 하겠다. 위의 Fig. 10은 제어인자들에

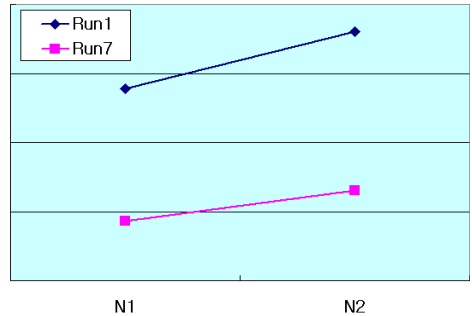


Fig. 10 Feasibility study of the control factors

Table 3 Optimal selection of the control factors

Control factors	Level 1	Level 2	Level 3
A RCV housing thickness	a cm	(a+0.5) cm	
B RCV lift increment	b cm	(b+0.8) cm	(b+1) cm
C Comp. inlet hose length	c cm	(c+4) cm	(c+2) cm
D RCV inlet area	d m <sup>2</sup>	(d-0.4) m <sup>2</sup>	(d+0.4) m <sup>2</sup>
E RCV outlet partition height	e cm	(e-0.4) cm	(e-0.8) cm
F RCV outlet inner area	f cm	(f-0.2) cm	(f-0.4) cm
G Comp. inlet area	g m <sup>2</sup>	0.75g m <sup>2</sup>	0.5g m <sup>2</sup>
H Comp. inlet inner height	h cm	(h-0.3) cm	(h-0.6) cm

Table 4 Test result at the current and optimal condition

	A	B	C	D	E	F	G	H	Tip-out noise		Test result	
									N1	N2	Mean	S/N
Current	a cm	b cm	c cm	d m <sup>2</sup>	e cm	f cm	g m <sup>2</sup>	h cm	n1	n2	m	s
Optimal	a cm	(b+1) cm	(c+4) cm	d m <sup>2</sup>	(e-0.8) cm	(f-0.4) cm	0.5 gm <sup>2</sup>	(h-0.6) cm	n1-7.1	n2-8.6	m-7.9	s+7.93
Gain										7.9	7.93	
Optimal condition	A <sup>1</sup>	B <sup>3</sup>	C <sup>2</sup>	D <sup>1</sup>	E <sup>3</sup>	F <sup>3</sup>	G <sup>3</sup>	H <sup>3</sup>				



대한 타당성 평가를 표시한 그림이다.

Table 3은 L18 직교표를 사용하여 흡기 RCV 시스템에 대한 사양 최적화시험을 수행한 결과이다. 그리고 Table 4는 최적화시험을 통해 얻은 최적 수준조합의 평균값과 S/N비를 기존사양과 비교한 것이다. 결과를 보면 최적사양의 감속 기류음(스노클 10 cm 소음)이 기존사양에 비해 평균값과 S/N비 모두 약 8 dB 정도 향상되었음을 알 수 있다.

여기서 Table 3의 최적사양을 Table 2의 기존사양과 비교할 경우 효과적인 감속 기류음 저감에 대해 크게 2가지 측면에서 분석할 수 있다. 우선 컴프레서 하우징내의 날카로운 모서리 축소 및 원주방향으로 균일한 속도분포를 발생시킬 수 있는 유로 구조 변경을 통해 유동 박리 가능성 뿐만아니라 난류 발생을 줄임으로써 감속 기류음을 줄일 수 있었다. 또한 흡기 RCV의 열림량(통과 유량)에 대한 구조 최적화를 통해서도 컴프레서의 압축공기가 단기간에 빠져나갈 수 있게 함으로써 감속 기류음의 원인이 되는 엔진쪽 역류소음을 효과적으로 줄일 수 있었다.

### 3.4 최적사양에 대한 추정값 비교 및 확인시험

Table 5를 보면 최적사양에 대한 추정값과 대상에서 직교표 시험을 통해 얻은 실험값을 비교한 결과 두 값의 평균값이 약 0.2 dB의 근소한 차이로 일치하고 있음을 알 수 있다. 이는 최적사양에 대한 추정값이 실제 실험값을 잘 대변하므로 높은 신뢰도를 나타내고 있음을 의미한다<sup>(13)</sup>.

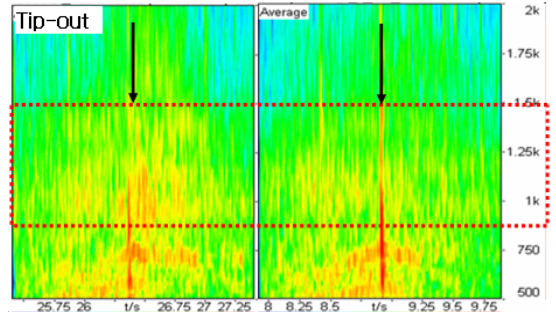
또한 앞서 도출된 최적사양에 대해 대상에서 시험한 결과 최적사양 적용시 기존사양에 비해 감속 기류음(스노클 10 cm 소음)이 약 8 dB 정도 저감될 뿐만 아니라 설계 강건성을 나타내는 S/N비도 약 8 dB 정도 향상되었다. 여기서 8 dB의 S/N비 향상은 산포 범위가 약 60% 감소되는 것과 동일한 효과를 내고 있음을 알 수 있다.

### 3.5 최적사양에 대한 검증

이 논문에서는 대상에서 얻은 최적사양에 대해 차량에서도 감속 기류음이 획기적으로 저감되는지에 대해 검증시험을 수행하였다. 차량시험은 감속 기류음이 가장 잘 들리는 조건으로 3단 20 kph로 주행하면서 엔진 2500 rpm 근처에서 스피어를 약 70%로

**Table 5** Comparison of prediction and validity value at the optimal condition

	Prediction value		Validity value	
	Mean	S/N	Mean	S/N
Current	me	se	mr	sr
Optimal	me-7.7	se+7.73	mr-7.9	sr+7.93
Gain(dB)	7.7	7.73	7.9	7.93



(a) Current condition (b) Optimal condition  
**Fig. 11** Comparison of tip-out noise at the current and optimal condition

가속한 후 가속 페달을 감속 했을 때의 운전석 소음을 측정하였다.

Fig. 11은 기존사양과 최적사양에 대한 차량시험을 수행한 결과를 나타낸 것이다. 그림을 보면 기존 사양에서는 감속 순간 흡기계로 역류되는 소음이 잔존하는 관계로 감속 기류음(운전석 소음)이 심하게 발생되고 있는 반면, 최적사양을 적용하였을 경우는 이 역류소음의 최소화로 감속 기류음(800~1350 Hz 주파수 대역)이 거의 들리지 않음을 알 수 있었다.

## 4. 결 론

이 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

(1) 컴프레서 하우징의 기하학적 유로 및 흡기 RCV의 열림량에 대한 구조 최적화를 통해 대상 및 차량 주행중 감속 기류음을 최대 8 dB 저감함으로써 감성 품질 및 NVH 상품성을 한 단계 향상시키는 효과를 달성하였다.

(2) 흡기 RCV 시스템에 대한 효과적인 최적화를

통해 향후 진행될 흡기시스템의 설계 강건성을 확보하였다.

(3) 감속 기류음의 획기적인 저감으로 기존에 사용되던 레조네이터 삭제는 물론 추가적인 흡차음의 불필요로 뛰어난 원가절감 효과를 달성할 수 있게 되었다.

### 참 고 문 헌

(1) David, J. and Nicholas, C. B., 1994, "Introduction to Turbomachinery," Concepts ETI Inc. and Oxford University Press.

(2) Kameier, F. and Neise, W., 1997, "Rotating Blade Flow Instability as a Source of Noise in Axial Turbomachines," Journal of Sound and Vibration, Vol. 203, pp. 833~853.

(3) Lewis, R. I., 1963, "A Theoretical Investigation of the Rotational Flow of Incompressible Fluids through Axial Turbo-machines with Tapered Annulus Walls," Journal of Mechanical Sciences 6, pp. 51~75.

(4) Johan, S., "Turbocharger Compressors-The Phenomenon of Surging," Turbo Magazine Issue.

(5) Daniel, L., 2000, "Design Innovation offered in Compressor Surge-relief Valves," Pipe Line and Gas Industry, pp. 35~39.

(6) Soh, K. Y., Yoo, D. K. and Kang, K. T., 2005, "Introduction of Noise Reduction Examples in Turbocharger System of Diesel Engines," FISITA, 30th Congress.

(7) Sahay, S. and Thouvenin, D., 1993, "Turbocharger Noise, Generating Mechanisms and Control," International Noise and Vibration Conference, Noise-93, Vol. 5, pp. 269~277.

(8) Eric, P. T., 2001, "A New Type of Silencers for Turbocharger Noise Control," SAE 2001-01-1436.

(9) Dominic, E. and Andrew, W., 2005, "Minimizing Turbocharger Whoosh Noise for Diesel Powertrains," SAE 2005-01-2485.

(10) Korean Standards Association, 1981, "Quality Function Deployment".

(11) Wu, Y. and Moore, W. H., 1985, "Quality Engineering : Products and Process Optimization," American Supplier Institute, Inc., Michigan.

(12) Phillip, J. R., 1988, "Taguchi Techniques for Quality Engineering," McGraw-Hill Book Company.

(13) Lee, J., Park, Y. W. and Chai, J. B., 2005, "Study on the Robust Design of an Intake System Using a Frequency weighting Function," Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 15, No. 6, pp. 680~686.