

JA-14-0027

천연가스 발열량 측정용 음속 센서 기술

2014. 12.

한국생산기술연구원

연구보고서

과제 구분		산업계연계형사업 - 플랫폼형 R&D 기술지원					
과제명	한글	천연가스 발열량 측정용 음속 센서 기술					
	영문	Determination of the Wobbe Index of Natural Gas by Correlative Methods					
소 속		호남지역본부 동력부품소재연구실용화그룹		연구책임자		최인철	
계정 번호		PJA14270		과제 번호		JA140027	
연구 기간		2014. 01. 01. ~ 2014. 12. 31.		위탁 기관		-	
보고서 공개여부							
공 개	○	비 공 개	원내 기간	년 월 일까지	원외 기간	년 월 일까지	
<p>※ 1. 공개, 비공개 여부는 ○,×로 표시요망</p> <p>※ 2. 비공개시 사유서 첨부(참여기업의 확인서 등)</p> <p>첨 부 : 1. 보고서 1부</p> <p style="text-align: center;">제 출 일 : 2014년 12월 일</p> <p style="text-align: center;">부 서 명 : 호남지역본부 동력부품소재연구실용화그룹</p> <p style="text-align: center;">연구책임자 : 최 인 철 (인.서명)</p>							
접 수 부 서 확 인							
접수번호		접수일	2014. 12. .		접수자	(인)	

제 출 문

한국생산기술연구원장 귀하

본 보고서를 “천연가스 발열량 측정용 음속 센서 기술”(연구기간 : 2014. 01. 01. ~ 2014. 12. 31.) 과제의 보고서로 제출합니다.

2014. 12. .

연구책임자 : 최 인 철

참여연구원 : 이 성 호

김 용 호

김 광 중

이 주 행

김 호 석

김 지 선

기관주요사업 요약서(초록)

1. 과제현황

과제구분	산업계연계형사업 - 플랫폼형 R&D 기술지원		
연구과제명	한글	천연가스 발열량 측정용 음속 센서 기술(1/1)	
	영문	Determination of the Wobbe Index of Natural Gas by Correlative Methods(1/1)	
①경제사회목적	에너지의 생산, 배분 및 합리적 이용-05	②연구개발단계	응용연구-02
③연구수행주체	출연연구소-02	④지역	광주광역시-05
⑤과학기술표준분류	에너지 효율기술-150300	⑥IT관련기술분류	기타 에너지기술-050218
⑦국가기술지도(NRM)	기타-060000	⑧기술수명주기	도입기-01
⑨세부과제성격	연구개발-10	⑩국가중점과학기술코드	생산시스템 생산성 향상기술-010506
⑪보안등급	보안과제(), 일반과제(O)		
소 속	호남지역본부 동력부품소재연구실용화그룹	연구책임자	최 인 철
연 구 비	90,000 (천원)	위탁 기관	-
연구 기간	2014. 01. 01. ~ 2014. 12. 31.		

2. 개발결과 요약

키 워 드	천연가스, 웨버지수, 발열량, 음속, 상관관계식
핵심기술	천연가스 발열량 측정용 음속 센서 기술
개발의 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 천연가스 고유물성인 음속을 계측하여 발열량으로 변환하는 측정장치 개발 ○ 상관관계법을 적용한 음속-발열량 변환 알고리즘 개발 ○ 표준샘플시료를 통한 발열량 측정 및 불확도 시험평가
개발내용 및 결과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 천연가스 발열량 고정밀 측정용 음속 계측기 설계 ○ 열량변동에 따른 초음파센서를 이용한 음속 계측 개념 도출 ○ Bench-scale 음속계측기 설계 및 제작 ○ 천연가스 발열량 고정밀 측정용 음속 계측기 실험장치 제작 ○ 개발된 발열량-음속 계측기의 교정 및 성능시험

3. 기술 및 경제적 성과

<p>기술적 성과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국제학회발표 1건, 특허 1건 출원 <ul style="list-style-type: none"> - 미국 연소학회 발표 (2014년 7월 17-19일) - “천연가스 발열량 측정장치“ 특허 출원 (10-2014-0145595) ○ 천연가스 발열량 측정 원천기술 실용화 제작된 음속-발열량 측정장치 성능시험을 활용하여 향후 기술실용화 및 후속 연구과제 도출의 기초자료로 활용 ○ 플랫폼기술을 통한 중소기업 기술지원 발열량 측정용 음속계측기술은 반응기 설계, 음파 특성, 초음파 형성 및 안정화, 신호처리 등 다양하고 폭넓은 기술의 이해와 습득을 필요로 하므로 관련분야 중소기업이 단독으로 개발하기 어려운 원천기술을 확보함으로써 상호보완적인 학연 연구에 의한 시너지 효과를 창출할 수 있음 ○ 전통가스 대체연료 효율향상 기술 확보 기존의 온라인 가스 크로마토그래프는 조성가스의 정량농도를 분석하여 발열량을 분석하는 사용되는데 사용이 복잡하고 유지보수비용이 높은 문제 점을 가지므로 본 과제를 통하여 가스물성과 발열량간 상관관계를 이용하여 향후 도입될 바이오가스 등 불활성가스가 많이 포함된 가스의 발열량을 측정할 수 있는 기술 확보가 가능
<p>경제적 성과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 천연가스 열량변위제 대응 음속-발열량 계측기 개발의 핵심 기술에 대한 기술이전 ○ 부품단위의 국내기술력을 바탕으로 음속계측기술과 접목된 다양한 상용화 분야를 개발하고 이를 통한 고부가가치 제품군 개발이 가능 ○ 최근 관심이 높아지고 있는 셰일가스, 바이오 연료 등 신재생에너지는 기존 천연가스에 비해 이산화탄소 등 불활성가스 함량이 높아 기존의 발열량 계측기로는 측정오차가 많이 발생하므로 기술적 선대응이 가능

4. 파급효과 및 기대효과

<p>파급효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 천연가스 발열량 측정기술 중 하나인 음속-발열량 간접계측기술 개발로 공연비 제어가 반드시 필요한 산업용 에너지 다소비기에 널리 사용될 수 있으며 이로 인하여 미래 저공해 고효율 에너지 산업을 선도할 수 있는 기반마련 ○ 호남지역의 대표적인 산업인 태양광, 풍력 등 신재생에너지 산업과 그린카 산업과 연계하여 관련 소재부품산업 육성에 이바지함
<p>기대효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 열·유체 계측기술 선도기업과 공동기술개발을 진행하여 직접적인 매출 증대에 기여함 ○ 본 사업을 통하여 저비용 고정밀 음속계측기술의 활용을 극대화할 수 있는 미래지향적 신개념의 발열량 계측기술의 개발 및 국산화에 기여

5. 공개가능 여부

<p>공개 가능 여부</p>	<p>가능 (O), 불가 ()</p>
-----------------	-------------------------

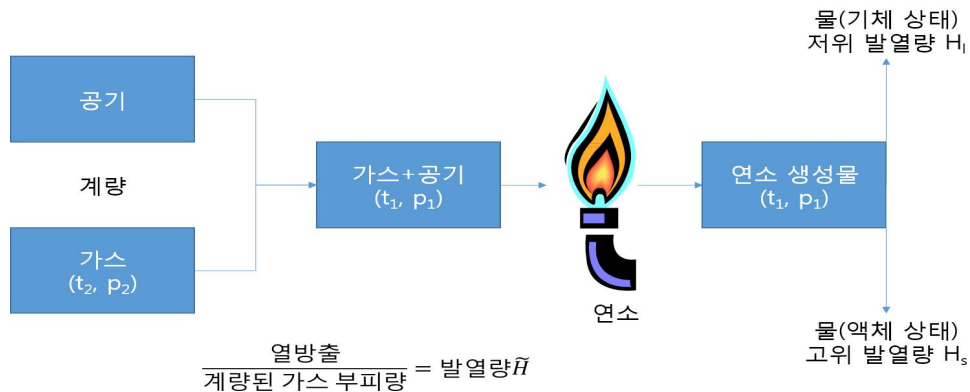
목 차

제 1 장 서론	6
제 1 절 개발기술의 중요성 및 필요성	6
제 2 절 국내 · 외 관련 기술의 현황	9
제 3 절 기술개발 시 예상되는 기술적 ·경제적 파급 효과	12
제 2 장 기술개발 내용 및 방법	13
제 1 절 당해년도 목표 및 평가 방법	13
제 2 절 당해연도 개발 내용 및 개발 범위	13
제 3 장 결과 및 향후 계획	15
제 1 절 연구개발 추진 체계	15
1. 연구개발 추진 전략	15
2. 연구개발 추진 체계	15
3. 연구수행 편성도	16
제 2 절 당해년도 연구개발 결과	16
1. 당해년도 연구개발 추진 일정 및 달성도	16
2. 당해연도 연구개발 추진 실적	17
제 3 절 기대효과 및 사업화 계획	26

제 1 장 서론

제 1 절 개발기술의 중요성 및 필요성

- 발열량이란 가스가 공기 중에서 완전 연소하여 방출하는 열량을 말하며 수증기의 잠열을 포함한 고위 발열량과 그렇지 않은 저위 발열량으로 구분함 (KS ISO 6976).



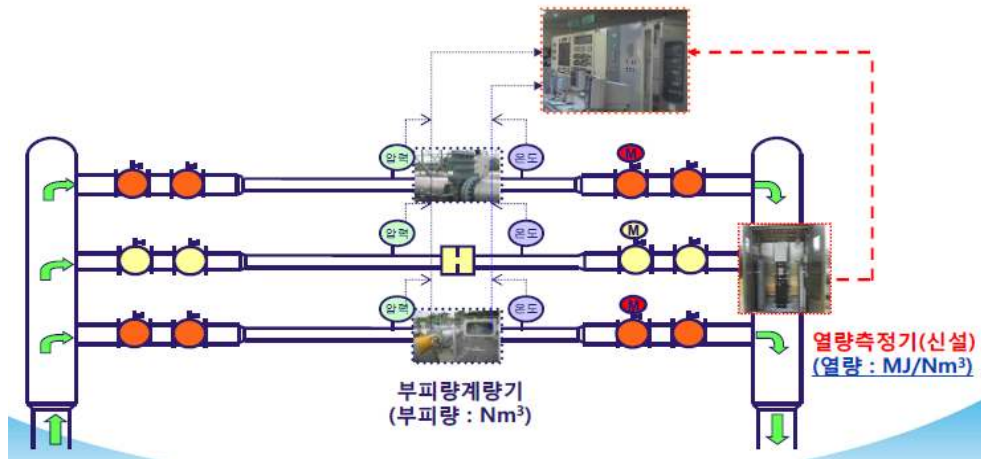
〈부피 기준에서 발열량-계량 및 연소 기준 조건〉

- 2000년대 중반 이후 전 세계 천연가스 발열량은 해마다 감소하는 경향을 보임.
 - 저발열량 추세 대응 및 소비자 편익을 고려하여 천연가스 표준열량을 기존 10,500 kcal/Nm³에서 10,400 kcal/Nm³으로 하향 조정 ('07년 12월, 한국가스공사)
 - * 열량관리에 대한 소비자 비용부담을 줄이기 위해 도시가스 요금기준을 기존 부피단위(m³)에서 열량단위(MJ)로 개편하여 시행('12년 7월, 열량변위제 도입)

〈국내 LNG 수입 발열량 실적〉

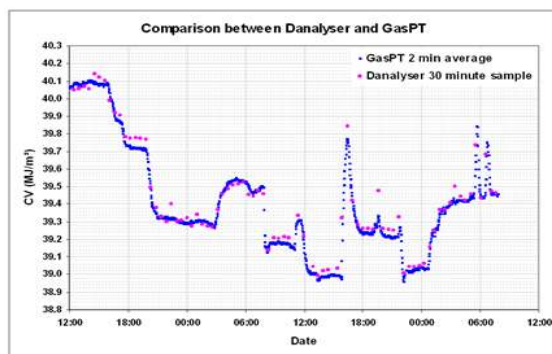
년도	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11
평균발열량 (kcal/Nm ³)	10,610	10,598	10,575	10,551	10,553	10,517	10,437	10,400	10,399	10,345	10,330

- 천연가스를 사용하는 수요처에서는 변경된 열량변위제도에 따른 기술적 대응이 필요하게 되었고 사전 고지되는 발열량에 맞추어 연소기기의 공연비를 매년 제어해야하는 번거로움이 발생함.
 - 천연가스를 연료로 사용하는 연소시스템(내연기관, 공업로 등)의 가스 인입 전단에 실시간 발열량을 측정하여 제어에 필요한 데이터를 제공함으로써 최적연소 가능함.



<천연가스 도매공급지점의 신설된 평균열량측정방식 개요 (한국가스공사)>

- 따라서, 천연가스의 발열량은 천연가스 공급에 중요한 물성인자로 정확한 계측이 요구됨.
- 현재 발전용 공급관리소에는 On-line GC(Gas Chromatograph)가 설치되어 국제규격(ISO 6974, ISO 6976)에 따라 천연가스에 포함된 각 가스의 mol%를 측정하여 발열량을 계산하여 결과를 공지함.
- 그러나, 가스분석기(GC)는 사용이 복잡하며 장비의 고유지비용 및 낮은 휴대성 그리고 느린 반응속도 때문에 저비용의 대체기술을 현재 모색 중임.
- 다양한 조성의 천연가스를 미리 도입한 유럽을 중심으로 GasPT와 같이 가스의 물리적 물성간의 상관식*을 이용한 열량측정기를 개발하여 시장에 출시함.
- * 상관식(Correlative methods): 음속, 열전도도, 적외선 흡광도 등 가스의 물리적 성질과 발열량의 상관관계를 이용함.



<영국 GL Noble Denton사의 발열량측정기 모델 GasPT와 발열량 측정결과>

- 국내에서는 한국가스공사의 지원으로 1차 협력업체에서 유량측정을 통한 발열량 측정기를 개발 중이나 열량변동에 따른 연소제어기술이 미흡함.
 - '13년 생기원 호남지역본부에서 주관한 애로기술상담회에 해당 중소기업이 참석하여 음속과 발열량의 상관관계를 이용한 측정기술에 대해 상담 후 본 과제를 기획함.

- Correlative method를 활용한 발열량 측정 플랫폼 기술개발 시 향후 다양한 열량을 가진 천연가스 및 대체 천연가스(바이오가스, 셰일가스 등)의 보급 활성화에도 상당부분 기여할 것으로 기대됨.

제 2 절 국내 · 외 관련 기술의 현황

1. 국내

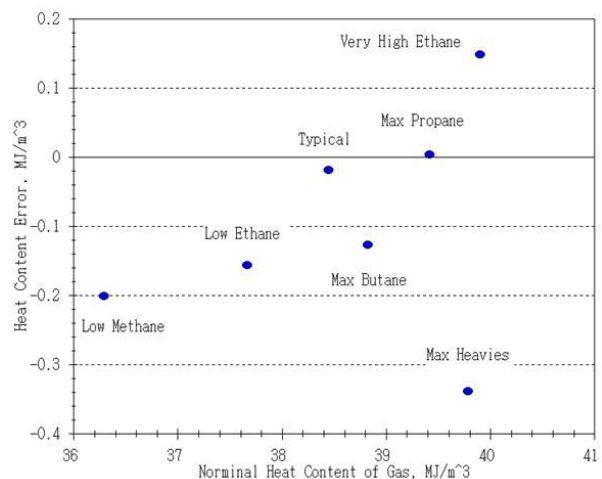
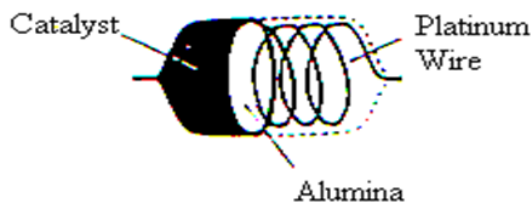
○ 최근 한국가스공사 연구개발원에서 소닉 노즐을 이용한 발열량 및 웨버지수 측정방법에 대한 검토를 진행함. (화학공학회지 47권 5호, 2009)

○ 발열량 변위제가 2012년도에 도입됨에 따라 저비용 고정밀 발열량 계측장치의 개발 필요성이 급증하여 중소기업 중심으로 해외 기술의 벤치마킹을 통하여 국산화를 위한 기술개발 중임.

2. 국외

○ 기존의 가스 발열량 측정장비(calorimeter, Gas Chromatograph)는 복잡한 사용, 많은 유지비용, 낮은 휴대성 등 문제가 있어서 기존 측정 장비의 단점을 극복하기 위한 연구개발이 이루어짐.

○ 초기에는 연소방식을 적용한 300mW이하 저전력 촉매 가스센서가 개발되었음. 주로 백금선을 이용하고 지지체로 알루미나를 사용하였으며 촉매물질은 백금(Platinum)을 사용하여 가스 발열량을 측정함.



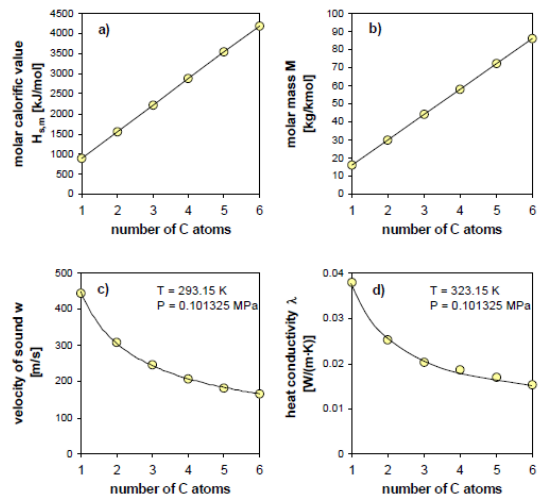
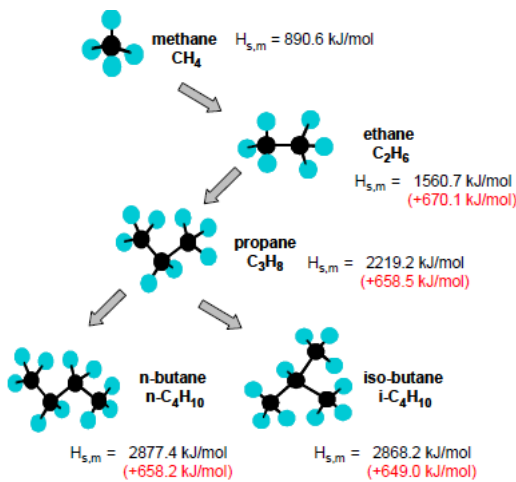
<촉매가스센서의 개략도(좌) 및 천연가스 발열량 측정오차 비교(우)>

○ 촉매 가스센서는 저비용 저전력을 사용하여 효율적이나 측정하고자 하는 천연가스를 연소시킨다는 점에서 개선하기 위한 연구개발이 추가로 진행됨.

○ 가스로부터 측정 가능한 물리적 성질을 이용한 Correlative(또는 Combustionless) 측정기술이 주목을 받기 시작함. 가스 주요 물성은 음속, 열전도도, 밀도, 흡광도 등이 있는데 이와 같은 가스의 물성과 발열량의 상관관계를 연구함.

○ 이 중 저비용으로 시스템을 구축할 수 있는 음파속도 측정기술이 가장 주목을 받고 있고, 이는 초음파 탐촉자를 이용하여 시험가스가 지나가는 체적의 음파속도를 측정하여 이를 발열량으로 변환하는 것이 핵심기술임.

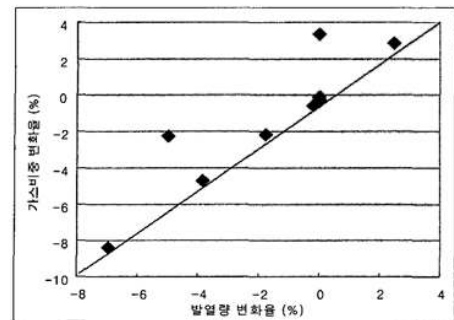
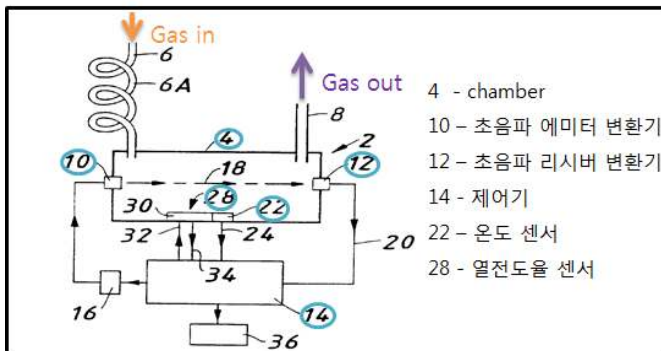
○ 이 중 저비용으로 시스템을 구축할 수 있는 음파속도 측정기술이 가장 주목을 받고 있고, 이는 초음파 탐촉자를 이용하여 시험가스가 지나가는 체적의 음파속도를 측정하여 이를 발열량으로 변환하는 것이 핵심기술임. 단, 음속은 온도의 제곱에 비례하기 때문에 온도가 최대한 제어된 상태에서 측정이 이루어져야 함.



<천연가스 분자변화와 발열량 관계(좌) 및 탄소원자 수와 천연가스 물성간 관계(우)>

○ 예를 들어 탄소원자가 하나인 메탄의 경우 상대적으로 낮은 분자량을 갖고 있기 때문에 높은 음속을 가지고 있는 반면에 에탄, 프로판 등 탄소원자가 더 많이 포함된 천연가스인 경우 분자량이 높기 때문에 낮은 음속을 보임.

○ 특히, 정밀한 발열량을 측정하기 위해서 음속 외 다른 물성치(예를 들어, 열도)를 추가로 측정하여 측정 정확도를 높일 수 있음. (국제특허 WO 99/36767)



발열량 변화율과 가스비중 변화율 사이의 관계

<음속, 발열량을 이용한 발열량 측정기술 특허(좌) 발열량-가스비중 관계(우)>

No.	method (developed by)	input properties	output properties	uncertainty ΔH_s in %	status/availability	references
(1)	e-method (Ruhrgas AG/ Gasunie)	ϵ, w, X_{CO_2}	$H_s, W_s, \rho_n, X_{CO_2}$	0.2	lab prototype	[3]
(2)	IR spectrometer (FlowComp)	$A(CH), A(CO_2)$	$H_s, W_s, \rho_n, X_{CO_2}$	0.2	lab prototype	[4]
(3)	2VOS-meter (Gasunie/ Instromet)	$w(p_L), w(p_H), X_{CO_2}$	$H_s, W_s, \rho_n, X_{CO_2}$	0.3	field prototype	[5]
(4)	EMC 500 (RMG)	$c_p, \lambda, \eta, X_{CO_2}$	$H_s, W_s, \rho_n, X_{CO_2}$	0.2 to 0.5	available	[6]
(5)	GasPT (Advantica)	$w, \lambda(T_1), \lambda(T_2)$	H_s, W_s, ρ_n, MN	0.5	available	[7, 8]
(6)	gas-lab Q1 (Ruhrgas AG, FlowComp)	$\lambda, A(CH), A(CO_2)$	$H_s, W_s, \rho_n, X_{CO_2}, MN$	0.4	available	[9, 10]

Table 1: Overview of methods.

Explanation:

- H_s : superior calorific value
- $A(CH)$: infrared absorption of hydrocarbons
- $A(CO_2)$: infrared absorption of carbon dioxide
- c_p : isobaric heat capacity
- MN: methane number
- p_L, p_H : low pressure, high pressure
- T_1, T_2 : temperature 1, temperature 2
- w : velocity of sound
- W_s : Wobbe index
- X_{CO_2} : CO_2 mole fraction
- ϵ : dielectric permittivity
- η : dynamic viscosity
- λ : heat conductivity
- ρ_n : density at normal conditions

<Correlative Method를 이용한 국외기술 동향(Schley 외, 2003)>

제 3 절 기술개발 시 예상되는 기술적·경제적 파급 효과

1. 기술적 효과

- 발열량 측정용 음속계측관련 원천기술의 확보
발열량 측정용 음속계측기술은 반응기 설계, 음파 특성, 초음파 형성 및 안정화, 신호처리 등 다양하고 폭넓은 기술의 이해와 습득을 필요로 하므로 관련분야 중소기업이 단독으로 개발하기 어려운 원천기술을 확보함으로써 상호보완적인 학연 연구에 의한 시너지 효과를 창출할 수 있음.
- 본 사업을 통해 개발된 기술 및 노하우를 관련 학회발표 등을 통해 공유 및 대외홍보를 통하여 기술실용화 및 부품상용화에 기여함.

2. 경제적 효과

- 플랫폼형 R&D기술지원사업의 결과로 얻어지는 천연가스 열량 변위제 대응 음속-발열량 계측기 개발의 핵심기술 등에 대한 특허 등 지적 재산권 등록을 통하여 잠재적인 기술이전 효과확산.
- 부품단위의 국내기술력을 바탕으로 음속계측기술과 접목된 다양한 상용화 분야를 개발하고 이를 통한 고부가가치 제품군 개발이 가능함.
- 신재생에너지 도입에 능동적 대응
최근 관심이 높아지고 있는 셰일가스, 바이오 연료 등 신재생에너지는 기존 천연가스에 비해 이산화탄소 등 불활성가스 함량이 높아 기존의 발열량 계측기로는 측정오차가 많이 발생하므로 기술적 선대응이 가능함.

제 2 장 기술개발 내용 및 방법

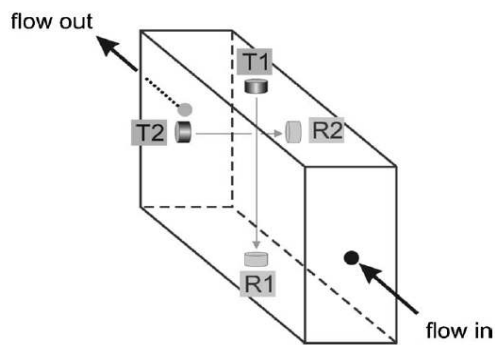
제 1 절 당해년도 목표 및 평가 방법

최종목표		천연가스 발열량 측정용 음속 계측 기술 개발			
성능 지표		현재 기술수준 비교		기술개발 목표	객관적 측정방법
		국 내	국 외		
지표명	단위	국내 수준	최고선진기술 수준(국가명, 기업/기관명)	기술개발 목표치	시험방식
응답속도	sec	-	2 (영국, Vergence)	<2	t _{10,90}
발열량 계통오차	%	-	±0.2 (영국, Vergence)	±1	표준가스
측정 가스유량	NL/h	-	<90 (영국, Vergence)	<90	MFC

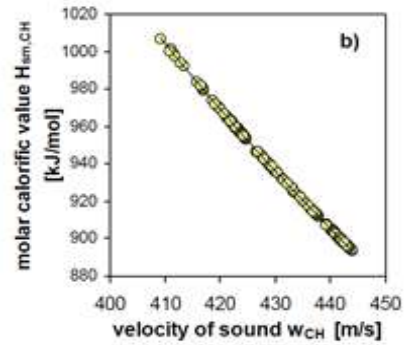
제 2 절 당해년도 개발 내용 및 개발범위

1. 천연가스 발열량 고정밀 측정용 음속 계측기 설계

- 가스의 열량변동에 따른 초음파센서를 이용한 음속 계측 개념 도출
- Bench-scale 음속계측기 설계 및 제작



(a)



(b)

<(a) 음속-발열량 계측기 개요(T1/2: Transducer, R1/2: Receiver) (Lueptow, 2006),

(b) 음속과 발열량과의 상관관계 (Schley, 2003)>

2. 천연가스 발열량 고정밀 측정용 음속 계측기 실험장치 제작

- 표준샘플시료(순수 천연가스, 불활성가스 포함된 천연가스) 라인 구축
- 유량 및 압력 제어 시스템 설치

3. 개발된 발열량-음속 계측기의 교정 및 성능시험
- 표준천연가스 공급을 통한 계측기 교정시험
 - 초음파 T/R간 거리에 따른 출력변화 측정
 - 압력변화에 따른 발열량-음속 변화측정
 - 가스유량변화에 따른 발열량-음속 변화측정
 - 가스온도변화에 따른 발열량-음속 변화측정

제 3 장 결과 및 향후 계획

제 1 절 연구개발 추진 체계

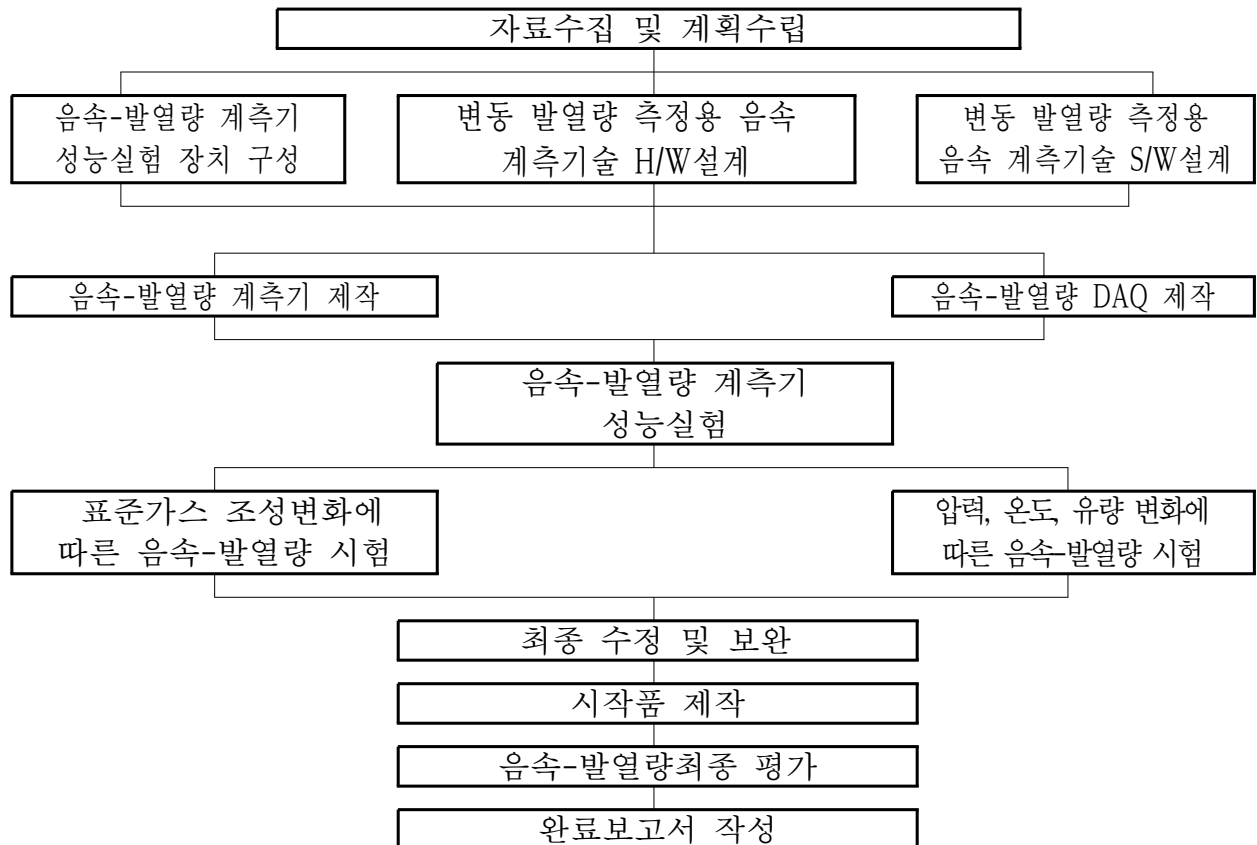
1. 연구개발 추진 전략

○ 본 과제는 크게 1) 천연가스 열량변동 대응 음속 계측기술 H/W개발 2) 천연가스 열량변동 대응 음속 계측기술 S/W개발의 2개의 세부과제로 구성

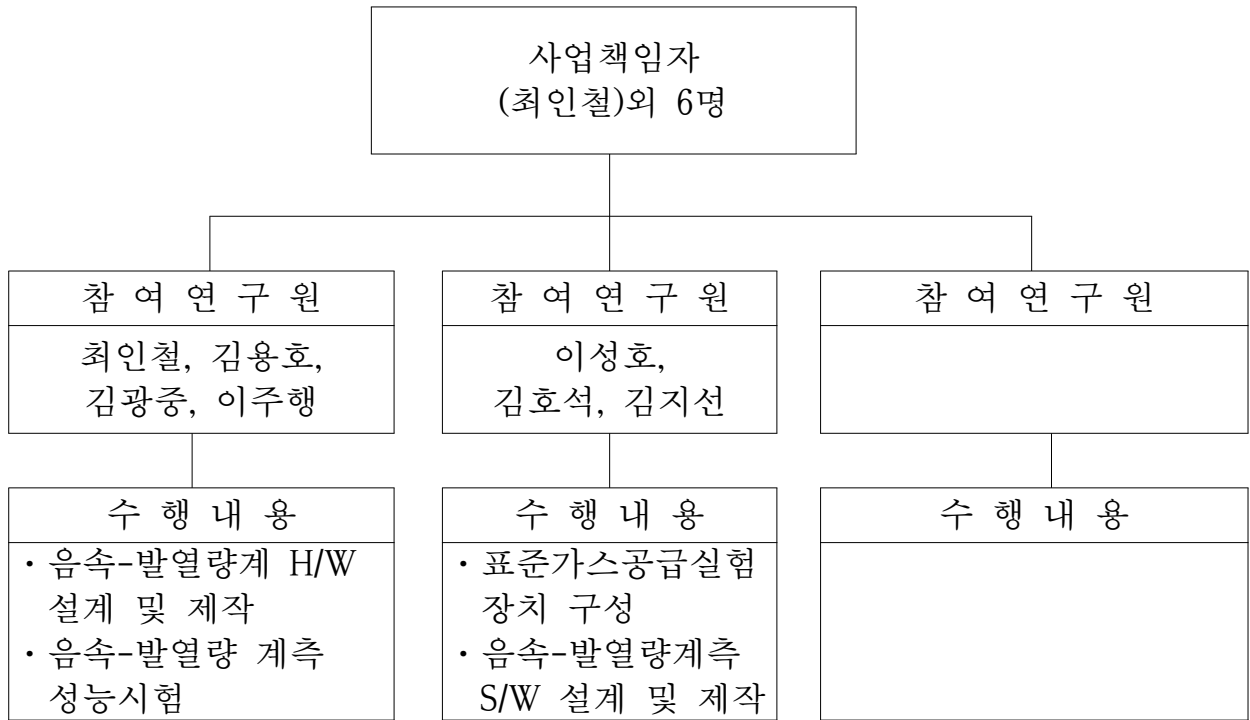
○ 과제수행에 필요한 시험평가 장비는 전년도 기관고유사업 등을 통해 기 구축된 장비를 최대한 활용하는 것을 원칙으로 하며, 미 보유장비는 기자재 구매, 시작품 제작 및 공동장비활용 의뢰 등의 방법을 사용하여 과제의 목표 달성도를 극대화

○ 또한 사업과정 중 얻어진 결과들을 활용하고, 동력부품소재연구실용화그룹 및 국내외 전문가들의 전문지식과 현장경험을 활용하여 기 확보된 인적 네트워크를 적극 활용

2. 연구개발 추진 체계



3. 연구수행 편성도



제 2 절 당해연도 연구개발 결과

1. 당해연도 연구개발 추진 일정 및 달성도

일련 번호	연구개발 목표 및 내용	추진일정												달성도	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	실험계획 및 자료조사	.....	.....												100%
2	가스공급 유로 및 구성			.....	.....	.....									100%
3	음속-발열량 계측기 및 S/W 설계					.....	.....								100%
4	음속-발열량 계측기 제작						.....	.....							100%
5	교정 및 성능실험장치 구성							.....	.....						100%
6	보완 수정설계 및 성능시험								.....	.....					100%
7	성능 최적화									.....	.....				100%
8	보고서 작성											.....	.....		100%

2. 당해연도 연구개발 추진 실적

가. 천연가스 발열량 고정밀 측정용 음속 계측기 설계 및 제작

- 초음파 발진부와 수신부를 음속 계측을 이용하여 천연가스의 발열량을 측정하는 장치를 설계



<초음파 컨트롤러 및 탐촉자>

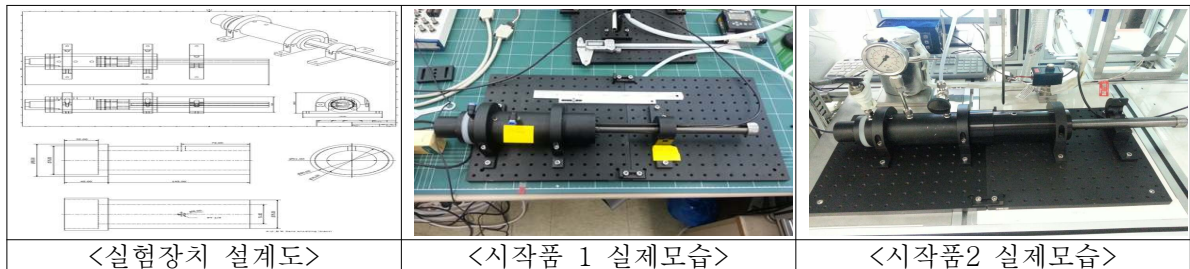
1) 초음파 검사 컨트롤러

- 초음파 전달시간 측정범위 : 0.1us ~ 6,500 us
- 디스플레이 : 320 X 240 TFT color LCD
- 펄스 전압 : 1200V or 600V
- 측정 주기 : 5Hz, 10Hz, 20Hz
- 표시 주기 : 2Hz
- 커넥터 : BNC/ BNC

- 크기 : 105(H) X 172(W) X 68mm(D)
- 무게 : 1.250g (배터리 포함)

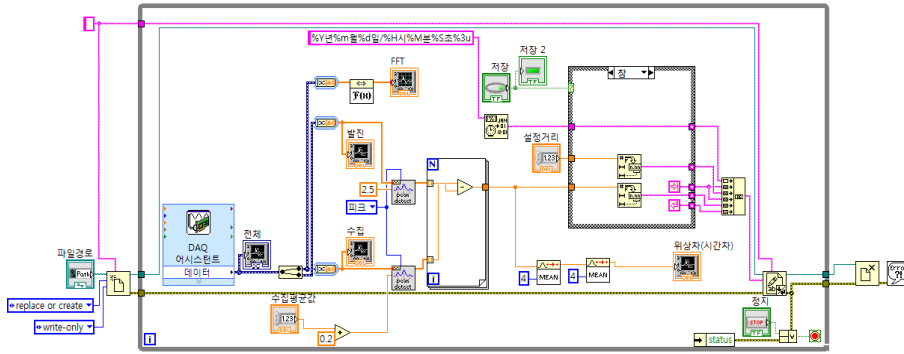
2) 초음파 탐촉자(Ultrasonic Transducer)

- 주기 : 300kHz
- 커넥터 : BNC

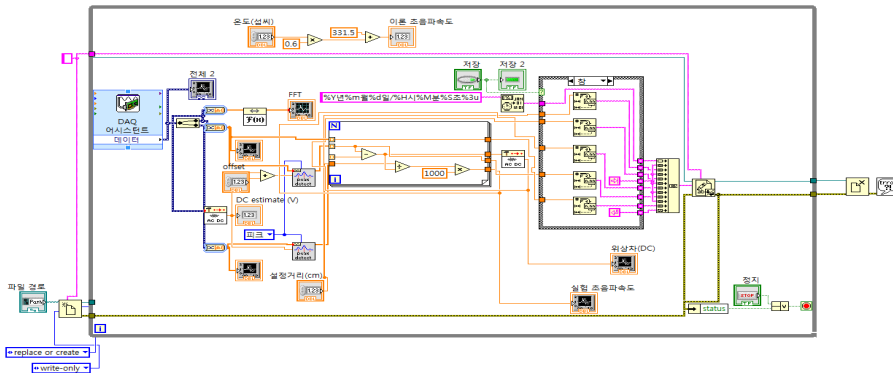


- 원형 탐촉자의 발진부와 수신부 일치를 위해 원통형 가스챔버 제작
- 가스챔버 재질은 알루미늄으로, 내부는 초음파 반사 최소화를 위해 아노다이징 가공
- 가스챔버와 탐촉자를 고정하는 부위에는 챔버 내부의 밀폐성과 초음파의 진동을 제거 및 고온에서 버틸 수 있는 내열성 실리콘을 사용
- 내부의 압력과 온도에 따라 초음파의 속도가 달라지기 때문에 압력계이지를 설치하고 온도를 측정하기 위하여 열전대를 설치할 공간을 확보

나. 초음파를 이용한 천연가스 발열량 측정 Labview코드 작성



<코드 수정 전>



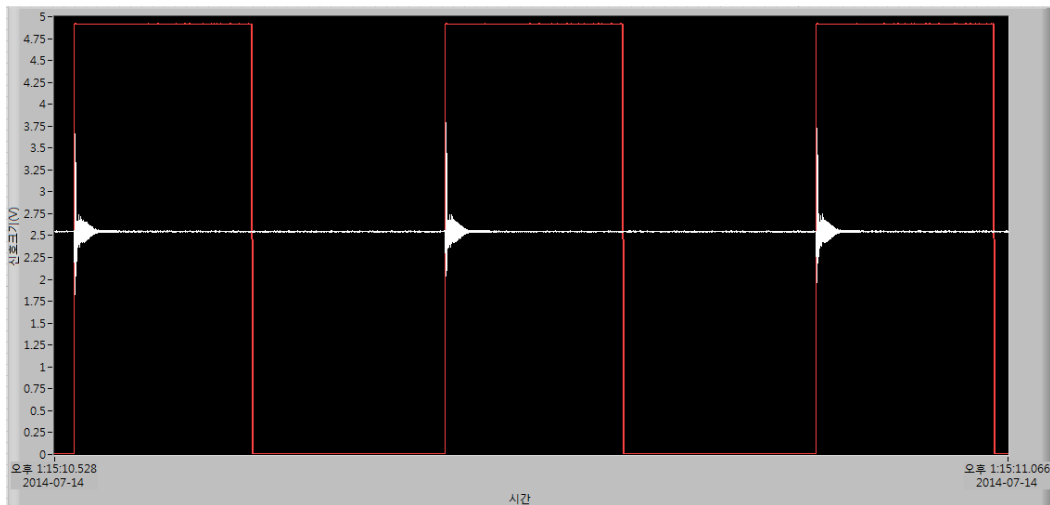
<코드 수정 후>

- DAQ 어시스턴트를 이용하여, 초음파 발진신호와 수신신호를 인식 후 신호 분리 VI를 이용하여 발진신호와 수신신호를 분리
- 분리된 각 신호는 임계점 검출 VI를 통하여 설정된 수치 이상에서 임계점 포인트를 검출 후, 그 포인트의 위상값(시간)을 출력
- 발진신호의 임계점 위상값은 t_1 , 수집신호의 임계점 위상값 t_2 이고, $\Delta t = t_2 - t_1$ 으로 계산하며 이때 Δt 는 탐촉자의 거리가 늘어날수록 증가



< 발진신호와 수신신호 개요>

다. 초음파를 이용한 천연가스 발열량 측정 신호 해석



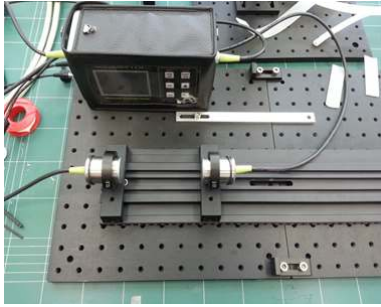
<수집된 발진 & 수신 신호>

- 위 그림은 신호분리VI를 사용하기 전 신호이며, 붉은색은 발진신호 이고, 흰색은 수신신호임
- 발진신호는 5V의 양(+)의 값을 가지며 이 신호로 진동자를 진동시켜 탐촉자 수신부에 음파를 전달함
- 초음파는 발진신호가 0V에서 5V로 Offset 될 때 발생되며 수신부에 진동이 전달되어 계측함
- 초음파의 속도는 발진부의 시간(t_1)을 수신부의 첫 번 Peak시간(t_2)에서 뺀 시간의 차(Δt)로 탐촉자간의 거리(L)을 나눈 값임.

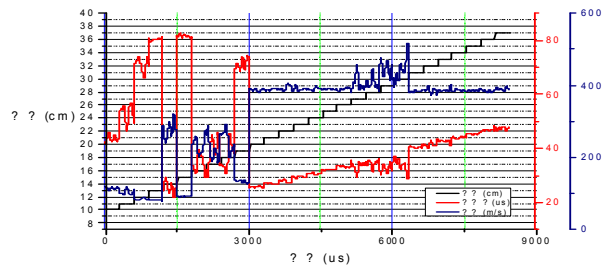
$$\text{초음파속도}(v) = \frac{L}{t_2 - t_1} = \frac{L}{\Delta t} \quad (1)$$

- 초음파속도 (v)는 탐촉자 사이의 물질에 따라서 변화함.
- 예를 들어 공기의 이론 초음파속도는 20°C 일 때 340m/s. 이러한 특성을 이용하여 계측 가스성분을 확인하고 발열량을 계산

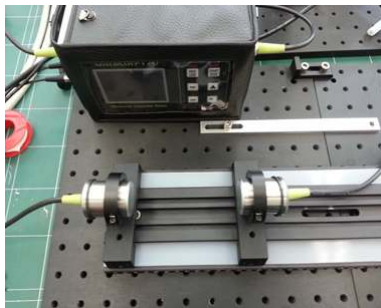
라. 개방형 초음파 측정장치(실리콘 유무)의 차이 실험



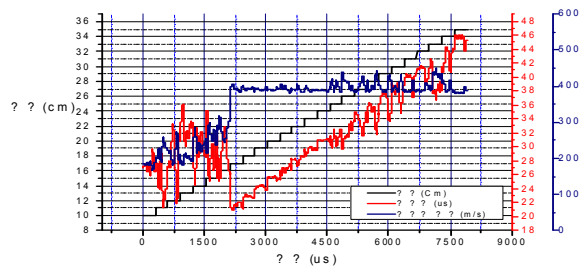
<실리콘(미설치) 측정장치>



<시간변화 및 음속 측정결과>

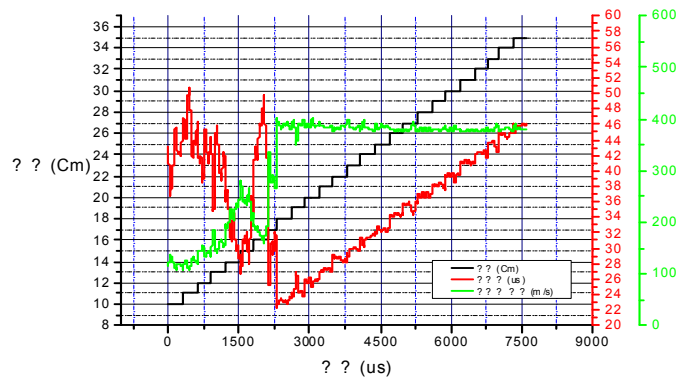


<실리콘(설치) 측정장치>



<시간변화 및 음속 측정결과>

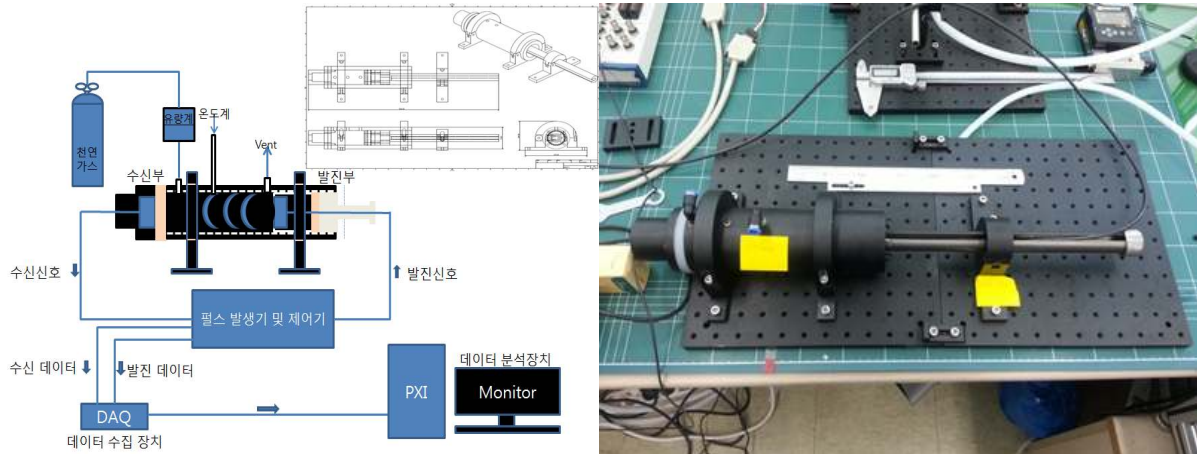
- 근거리에서의 진동으로 인한 간섭현상으로 측정 정확도가 떨어짐
- 발진부와 수신부간 거리가 늘어남에 따라 노이즈는 감소함
- 측정된 데이터의 간섭현상 원인이 발진부의 진동으로 확인



<실리콘 설치를 통한 발진부 진동 저감 후 시간변화 및 음속 측정결과>

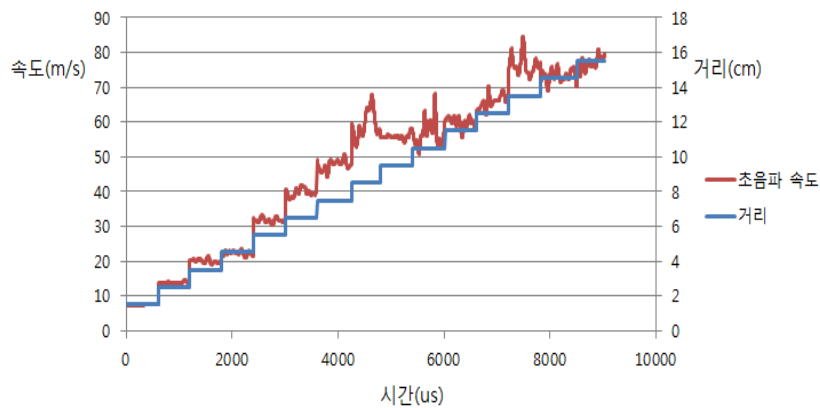
- 발진부와 수신부가 거리가 늘어남에 따라 일정하게 Δt 증가
- Δt 의 증가 및 발진부/수신부 거리 변화에도 초음파속도는 일정하게 측정

마. 가스챔버를 이용한 초음파 속도 측정실험



<가스챔버(폐쇄형)를 이용한 초음파 측정장치 설계도(좌), 실제모습(우)>

- 개방형 챔버의 문제였던 발진부의 진동을 제거 및 일정한 공간내의 공기의 초음파 속도를 측정하기 위한 가스Chamber를 제작 완료

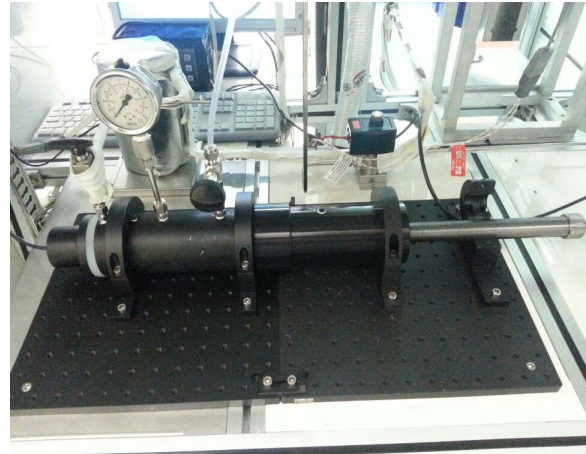
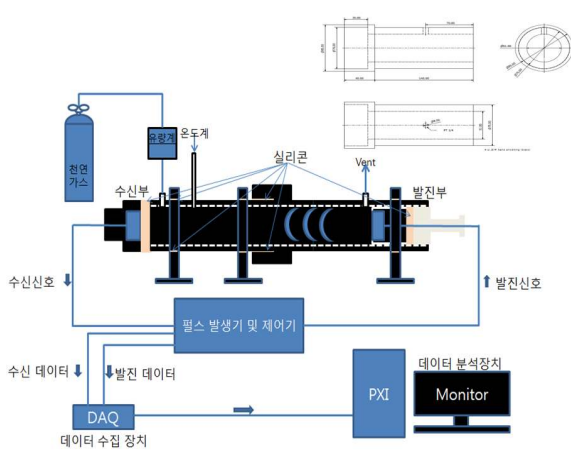


<폐쇄형 가스챔버의 초음파 속도 측정 데이터>

- 위 실험결과에서 탐촉자간 거리가 짧은 경우 노이즈는 감소하는 것으로 보여지나 공기 중 초음파 속도인 340m/s에 못 미치는 속도가 측정됨
- 진동자의 여러 점원들로부터 발생하는 각각의 초음파들은 간섭현상 가짐
- 이러한 간섭현상으로 인해 어떤 부분은 증폭되고 어떤 부분은 아주 소실되는 매우 복잡한 형태의 음역이 나타남

$$\text{근거리음장}(X_0) = \frac{D^2}{4\lambda} = \frac{D^2 f}{4v} \quad (2)$$

- 초음파의 근거리음장 즉, 탐촉자의 Hz에 따라 측정 가능한 거리가 존재하므로 식(2)를 이용하여, 현재 사용 중인 탐촉자(D=30.60mm, $f=300\text{KHz}$)의 근거리음장은 20.65cm임



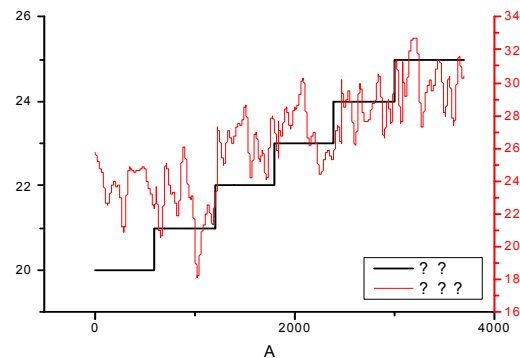
<탐촉자 간 길이가 연장된 가스챔버 설계도(좌), 실제모습(우)>

- 근거리음장 20.65cm 이상의 가스챔버 설계가 필요하여 총 39cm 연장 가능한 가스 챔버 제작
- 가스 챔버 길이의 연장으로 인해, 초음파의 속도가 일정하게 측정되지 않는 문제에 대한 해결이 필요

바. 가스챔버 연장으로 인한 문제점



<2차 가스챔버 실제모습>



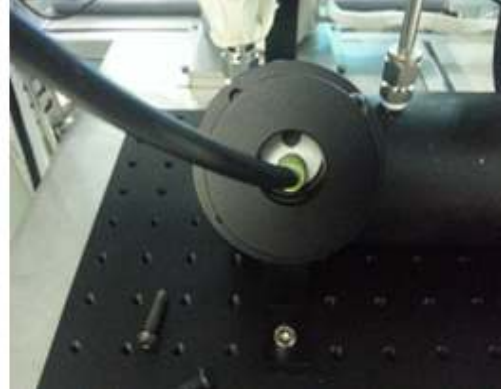
<가스챔버 실험 그래프>

- 신호의 노이즈에 대한원인 분석
- 노이즈 발생원인 : 진동, 거리, 정렬
- 진동 과 거리는 선행 실험 및 개방실험을 통해 노이즈를 감소

사. 초음파 탐촉자 각도차이에 따른 초음파 노이즈 감소 실험



<탐촉자 발신부>

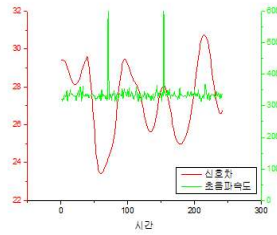


<탐촉자 수신부>

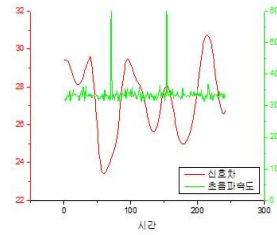
- 스티커의 위치가 0도 방향(위 방향)을 향하게 하여 기준 정렬
- 0도 90도 180도 270도 각도의 변화에 따라 초음파 변화에 대한 실험

-

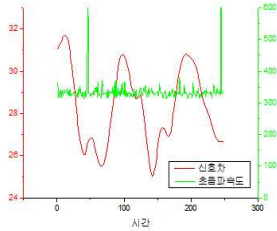
각도 : 0도 거리 : 23cm



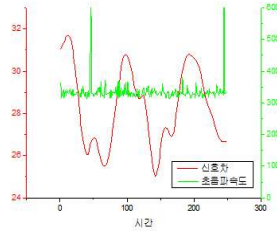
각도 : 0도 거리 : 23cm



각도 : 90도 거리 : 23cm



각도 : 90도 거리 : 23cm



- 각도 별 실험그래프를 비교
- 각도의 차이에 따라 노이즈의 감소 실패

아. 가스챔버 실험에 대한 노이즈 원인 발견.



<초음파 탐촉자의 스크래치 모습>

- 탐촉자 수신부의 스크래치로 인한 노이즈 신호 예상
- 새로운 탐촉자 구매 결정

자. 새로운 탐촉자 개방 실험 및 3차 가스챔버 제작

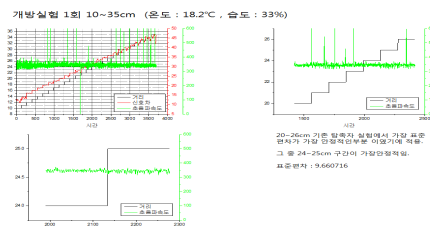


초음파 탐촉자(Ultrasonic Transducer)

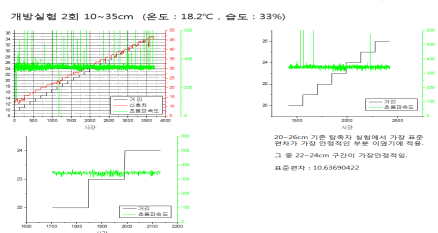
- 주기 : 300kHz
- 커넥터 : BNC



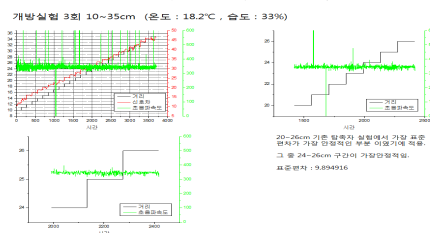
<개방형 실험장치>



실험결과 그래프 (1)

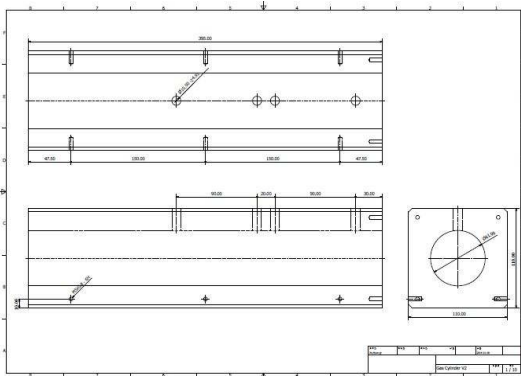


실험결과 그래프 (2)

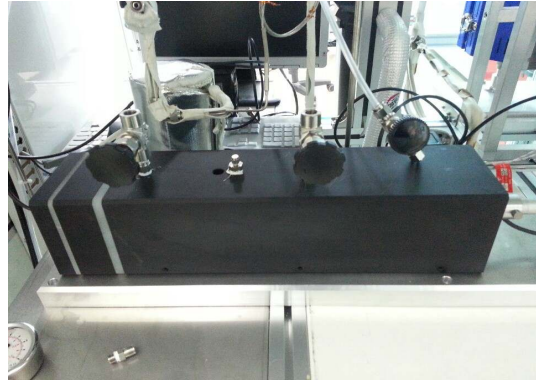


실험결과 그래프 (3)

- 3회 실험을 통해 신호가 가장 안정한 부분(23~25cm) 발견



<3차 가스챔버 도면>



<3차 가스챔버 실제모습>

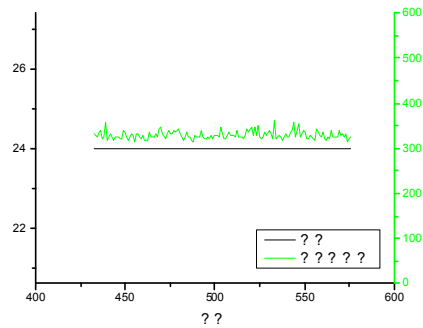
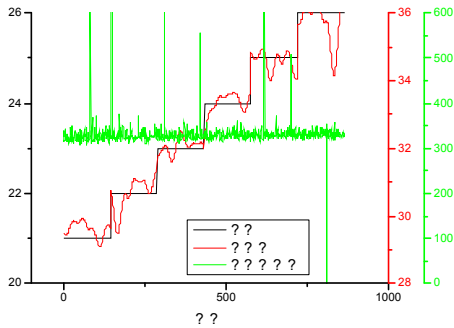


<유압실린더>



<실린더 컨트롤러>

- 3차 가스챔버의 정밀한 거리를 조절 및 손쉬운 조작을 하기 위하여 유압 실린더를 사용
- 초음파의 반사를 줄이기 위하여 내부 아노다이징 처리와 내부 공간을 확장
- 초음파 실험거리를 근거리음장을 생각하여 21~35cm 거리로 결정



<3차 가스챔버내의 초음파 실험결과 그래프>

- 그래프 결과 가장 안정적인 구간 24cm 결정

제 3 절 기대효과 및 사업화 계획

1. 기대효과

가. 직접적 효과

- 가스물성을 이용한 혼합가스의 발열량 분석기술 확보
기존의 온라인 가스 크로마토그래프는 조성가스의 정량농도를 분석하여 발열량을 분석하는 사용되는데 사용이 복잡하고 유지 보수비용이 높은 문제점을 가지므로 본 과제를 통하여 가스물성과 발열량간 상관관계를 이용하여 향후 도입될 바이오가스 등 불활성가스가 많이 포함된 가스의 발열량을 측정할 수 있는 기술 확보가 가능
- 국내 열·유체 계측기술 선도기업과 공동기술개발을 진행하여 직접적인 매출 증대에 기여함
- 본 사업을 통하여 저비용 고정밀 음속계측기술의 활용을 극대화할 수 있는 미래지향적 신개념의 발열량 계측기술의 개발 및 국산화에 기여

나. 간접적 효과

- 한국생산기술연구원 호남지역본부의 소재부품기술개발사업, 에너지기술개발사업 등의 국가 중대형과제 기획에 적극적으로 활용
- 한국연소학회, 한국공업화학회 등 관련학회에 본 과제 연구결과를 지속적으로 홍보하여 산업계 및 학계의 관심과 참여를 적극적으로 유도

2. 사업화 계획

- 당해연도 사업을 통해 천연가스 발열량 측정에 필요한 음속 센서 기술을 개발하여 열량 변위제 도입에 따라 천연가스를 사용하는 산업계의 변동하는 발열량의 정확한 계측에 기여
- 천연가스 열량변위제 대응 음속-발열량 계측기 개발의 핵심기술 등에

대한 특허 등 지적 재산권 등록을 통하여 기술이전을 진행하고자함

- 본 사업을 통하여 바이오연료의 활용을 극대화할 수 있는 미래지향적 신개념의 연료개질기술의 개발 및 국산화에 기여

주 의

1. 이 보고서는 한국생산기술연구원의 기관주요사업 보고서이다.
2. 이 기관주요사업 내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 한국생산기술연구원의 기관주요사업 결과임을 밝혀야 한다.