

바이오매스 조연제를 이용한 CO저감형 착화탄 개발에 대한 연구

김승희 · 이연경 · 이준석* · 전충환**†

부산대학교 기계공학부 대학원, *부산대학교 화력발전에너지 분석기술센터, **부산대학교 기계공학부
(2016년 5월 17일 접수, 2016년 8월 1일 수정, 2016년 9월 19일 채택)

A Study on the Development of the Charcoal with Low Carbon Monoxide Emission using Biomass Combustion Improver

Seunghee Kim, Yeonkyung Lee, Junseok Lee*, Chunghwan Jeon**†

Graduate School of Mechanical Engineering, Pusan Nat'l Univ.

*Pusan Clean Coal Center, Pusan Nat'l Univ.

**School of Mechanical Engineering, Pusan Nat'l Univ.

(Received 17 May 2016, Revised 1 August 2016, Accepted 19 September 2016)

요 약

본 연구에서는 바이오매스 조연제인 리그닌과 글리세린을 이용하여 일산화탄소(CO) 저감형 착화탄을 개발, 연소 시 발생하는 일산화탄소 측정을 통해 조연제가 일산화탄소 발생에 미치는 영향을 관찰하였다. 연료의 완전연소를 위해 저온에서 높은 연소성을 보이는 글리세린을 높은 비표면적 값을 가진 리그닌에 함침시켜 연소 특성이 나타날 수 있도록 하였다. 열중량분석기(TGA) 및 가스분석기(GC/MS)를 이용하여 연소성, 탈휘발성 평가 및 일산화탄소 발생량을 측정하였다. 본 연구 결과에서 조연제 함유량에 따른 일산화탄소 발생량을 통해 전체 중량 대비 20% 조연제를 혼합 시 최적의 일산화탄소 저감률을 확인할 수 있었다. 최종적으로 일반 착화탄의 일산화탄소 농도 대비 20~30% 가량 감소한 값을 도출하였다.

주요어 : 바이오매스, 일산화탄소 농도, 조연제, 차콜

Abstract - In this study, a method for CO reduction using char-coal combustions was developed with lignin and glycerin as combustion improvers. The relationship between CO emission and the combustion improvers was confirmed by measuring the CO concentration. The experiment to determine the combustion characteristics was conducted using glycerin, which shows high combustibility at low temperatures, impregnated with lignin, which has a specific surface area. The combustibility, volatility, and CO concentration were measured using thermo-gravimetric analysis(TGA), and gas chromatography-mass spectrometry(GC-MS). This study presents the optimal CO reduction ratio, which occurred when the combustible material contained a 20% blend of combustion improvers. This resulted in a 20-30% CO reduction rate compared to that achieved with normal char-coal.

Key words : Biomass, CO Concentration, Combustion Improver, Charcoal

1. 서 론

대한민국은 경제협력개발기구(Organization for Econo-

mic Cooperation and Development)에 속하는 국가 중 가장 높은 수준의 자살률을 보이고, 지난 10년간 자살률이 0.0014%에서 0.0032%로 증가하였다(2011년 기준).⁽¹⁾

그 중에서도 번개탄을 이용한 자살은 2007년 기준 87명(0.7%)에서 2011년 기준 1,254명(7.9%)으로 약 13배

† To whom corresponding should be addressed.
Tel : 051-510-3035 E-mail : chjeon@pusan.ac.kr

증가하였다.⁽¹⁾ 주 원인은 연예인이나 유명인의 번개탄을 이용한 사망사건 보도 후 이를 모방하는 ‘베르테르 효과’가 발생한 것으로 보인다.⁽²⁾ ‘베르테르 효과’란 유명인이나 자신이 모델로 삼고 있던 사람 등이 자살할 경우 그 사람과 자신을 동일시하여 자살을 시도하는 현상이다. 실제 2008년 한 유명 연예인이 번개탄을 이용한 자살이 언론의 주목을 받은 이후로 이를 이용한 자살이 급격히 증가하였으며,⁽²⁾ 최근 대한민국 자살률 현황은 Fig. 1과 같다.

번개탄에 의한 주 사망원인은 불완전연소에 의한 일산화탄소 중독이다.⁽³⁾ 실제로 과거 자동차 배기가스에 의한 일산화탄소 중독 자살의 경우, 촉매변환기 도입으로 배기가스의 일산화탄소 농도가 감소하며 치명도가 떨어지자, 이를 이용한 자살률 또한 감소하였다.^(4,5) 따라서 번개탄이 완전연소 할 수 있도록 조연제인 리그닌과 글리세린을 이용하여 재질을 개선한다면, 번개탄을 이용한 자살률을 낮추는데 기여할 수 있다. 번개탄은 착화탄을 속되게 이르는 말로, 추후 번개탄과 착화탄은 통합하여 착화탄이라 칭한다.

글리세린은 $C_3H_5(OH)_3$ 의 분자식을 가진 지방족 3가 알코올의 하나로써 다량의 휘발분을 가지며 저온에서 높은 연소성을 보인다. 하나의 분자당 3개의 하이드록시기 ($-OH$) 구조를 포함하고 있기 때문에 완전연소 조연제로써 적합하다.^(6,7) 또한 리그닌의 경우 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스와 함께 목재 구성 3요소 중 하나로 70% 이상이 휘발분으로 구성되어 있고, 높은 발열량을 가지기 때문에 조연제로 빈번히 이용된다. 상기 조연제는 300~400℃에서 탄화 시 기공이 발생되어 가장 큰 비표면적을 가지므로 글리세린과 혼합 시 효과적일 것으로 판단된다.^(8,9)

본 연구에서는 착화탄의 완전연소를 위해 첨가된 조연제의 종류, 첨가량에 따른 발생가스(CO , CO_2 , O_2)의 농도를 비교 분석하여 착화탄 자살 사건 발생 시 인명생존 및 구조시간을 확보하고자 한다.

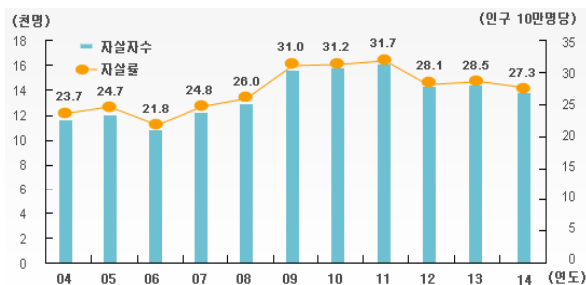


Fig. 1. The suicide rate of South Korea (2004~2014)

2. 실험장치 및 조건

2-1. TGA(Thermo-Gravimetric Analysis)

착화탄에 첨가된 조연제의 연소 특성 및 탈휘발 특성을 분석하기 위해 열 반응에 대한 중량과 열유동의 변화를 측정할 수 있는 DSC-TGA (SDT-Q600, TA instruments)를 이용하였다. TGA는 시간에 따른 연속적인 중량변화 값을 얻을 수 있고, 소량의 시료를 사용하여 분석할 수 있으며 낮은 승온율을 통한 연료 자체의 고유 반응 특성에 대한 관찰이 가능한 장점이 있다. 분석용 가스로는 N_2 , Air를 사용하였고, 착화탄의 고온에서의 연소 특성 확인을 위해 1,000℃까지 10℃/min 승온율로 가열하며 실험을 진행하였다.

2-2. BET(Brunauer Emmett Teller)

조연제로 사용된 리그닌의 기공 면적변화를 관찰하기 위해 BET를 이용, 비표면적을 측정하였다. BET는 N_2 , Ar, CO_2 , Kr 등의 가스 흡착을 통해 시료의 surface area, pore size, pore volume를 측정하는 장치이다. 압력, 온도 등의 변화가 주어졌을 경우 고체 표면에 가스 분자들의 응축현상을 관찰할 수 있다. 응축된 분자들이 고체의 표면으로부터 증발하는 현상을 탈착이라고 하며, 흡착된 가스의 양을 측정함으로써 주어진 고체의 표면적과 기공에 관한 해석이 가능하다. 분석용 가스로는 N_2 를 사용하였고, 300K/1atm 조건에서 실험을 진행하였다.

2-3. PWMR(Pressurized Wire Mesh Reactor)

PWMR은 석탄 착 연소 및 가스화 반응을 실험을 위해 Pusan Clean Coal에서 설계 및 제작되었다. 본 장비는 50atm 이상의 고압 및 평균 1,440K/s의 승온율로 1750K의 고온조건을 모사할 수 있으며, 크게 3가지 부분으로 나눌 수 있다. 백금 mesh 및 직류전원 공급장치를 이용한 가열체와 적외선 온도 측정장치 및 R-type 열전대를 사용한 온도 측정부 그리고 Quartz 창이 위치해 적외선 온도 측정 장치를 통해 가열체 평면의 온도분포를 측정할 수 있도록 고안된 스테인리스 강제 반응기로 이루어진다. 연소 온도 및 시간 제어가 가능한 장비로써 Fig. 2의 연료 챔버 내의 착화탄 및 제작된 BCCP(CO 저감형 착화탄 명칭, Biomass Char-Coal by PNU)의 연소 환경을 제어한다. 완전연소를 위해 1,300℃로, 전소하는 시간인 90초 동안 가열하여 착화탄 및 BCCP의 연소 특성을 살펴보았다. 챔버 내에서 상기조건을 이용하여 착화탄 연소 가스(CO , CO_2 , O_2)를 GC/MS로 측정하였다.

2-4. GC/MS(Gas Chromatography-Mass Spectrometry)

착화탄의 연소 가스(CO, CO₂, O₂)를 분석하기 위해 가스분석기인 GC/MS를 사용하였다. GC/MS는 분석시스템, 자동시료주입기, 운용컴퓨터로 나눌 수 있다. 분석시스템은 기체크로마토그래프(GC)와 질량분석기(MS)가 인터페이스로 연결되어 있으며 자동시료주입기가 부착되어 있다. 분석하고자 하는 가스는 질량 분석법을 통해 정량적인 양을 분석한다. 질량분석법은 화합물로부터 생성된 이온들을 질량 대 전하비(m/z)에 따라 분석하는 방법이다. 각 이온들의 질량 스펙트럼을 통해 착화탄 연소 가스의 종류뿐만 아니라 농도까지 측정이 가능하다. 직경이 0.32mm, 길이는 30m인 HP-PLOT Q5 in.cage Capillary GC column을 사용하였고, injection 후 40℃에서 2분 동안 유지하고 이후에 분당 50℃씩 온도를 상승하게 하여 200℃에 도달 후 5분 동안 유지하며 실험을 진행하였다. 착화탄 연소에서 발생하는 가스를 측정하기 위해 총 3가지 가스(CO, CO₂, O₂)에 대해서 검량을 진행하였다. CO는 3,126, 6,093, 10,070ppm으로 CO₂는 1, 2, 3%로 O₂는 15, 20, 25%로 검량하였다. 위와 같이 검량된 GC/MS를 통해 챔버 내에서 착화탄이 연소되어 나온 연소 가스를 1분까지는 20초 단위로, 그 이후는 1분 단위로 분석하였다.

2-5. 연소실험

Fig. 2는 장터숯(시판 착화탄)과 BCCP(Biomass Char-Coal by PNU)의 연소 가스 측정을 위한 실험의 개략도이다. 착화 조건을 동일하게 유지하기 위해서 PWMR 장비를 챔버 내부에 설치하여 사용하였다. 연소 온도는 1,300℃, 연소 시간은 90초로 동일하게 유지하였다. 챔버의 크기는 실제 화장실 내부 부피 대비 1/1600 크기 12L의 챔버를 선정하여 진행하였다. CO가 가라앉는 특성이 있고, CO가 챔버 내에 가득 찼을 경우를 고려하여 챔버 가스 측정부를 하부(low)와 상부(high)로 나누어 실험을 진행하였다. 시료의 양은 실제 화장실에서 착화탄 1개, 2개를 피웠을 경우로 가정하여 200mg과 400mg로 선정하

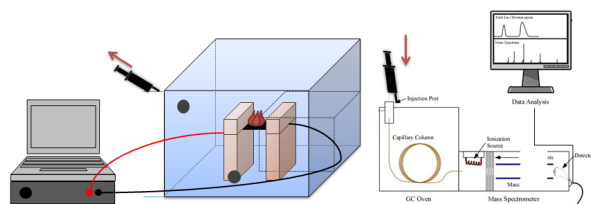


Fig. 2. Schematic diagram of BCCP combustion experimental apparatus

였다. GC/MS를 이용하여 분석한 가스는 총 3가지로 CO, CO₂, O₂이다. 이때 CO는 착화탄 연소시 발생하는 CO양 및 BCCP 제작 후 저장된 CO 분석을 위해 측정하였으며, O₂, CO₂의 경우 CO발생에 따른 산소 소모량 및 CO₂ 발생량 분석을 위해 측정하였다. 측정시간은 20초, 40초, 60초, 1~15분까지 1분 간격으로 총 18번 측정하였으며, 챔버 내부 CO 발생 패턴을 확인하기 위해 각 시간대별로 상·하부에서 동시에 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 조연제 특성 분석

3-1-1. 조연제 탈휘발 특성 및 연소성 평가

조연제로 선정한 리그닌, 글리세린과 비교 분석을 위해 바이오매스 연료로 부각되고 있는 당밀(Molasses)을 추가하여 실험을 진행하였다. Fig. 3은 조연제의 탈휘발 특성을 알아보기 위해 TGA를 이용, 탈휘발 온도와 양을 측정한 결과 그래프이다. TGA 내에서의 연소는 대기 상태에서 10℃/min 승온율로 상온에서 1000℃까지 실험하였다. 착화탄의 경우는 250℃, 리그닌과 당밀은 150~250℃에서 탈휘발 과정이 시작되었다. 글리세린의 경우, 탄화되지 않고 150~250℃ 사이에서 모두 휘발되어 제거되었다. 글리세린을 이용한 CO저감형 착화탄 제조 시에는 글리세린의 휘발에 의한 손실을 막기 위해 150℃ 이하에서 열처리가 진행되어야 한다고 사료된다.

Fig. 4는 온도에 따른 조연제의 연소 반응을 확인하기 위해 TGA를 이용, 질량 변화를 측정한 결과 그래프이다. 실험조건은 위와 동일하며, 시료는 착화탄과 조연제를 8:2의 혼합비로 실험하였다. 착화탄의 경우 휘발분과 고정탄소가 연소되며 250~300℃에서 약 14%, 400~550℃

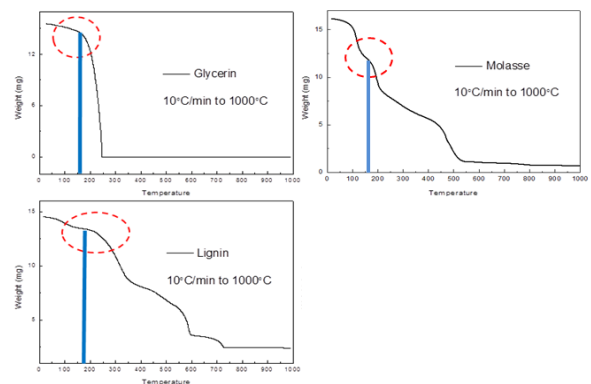


Fig. 3. Devolatilization analysis of combustion improver using TGA

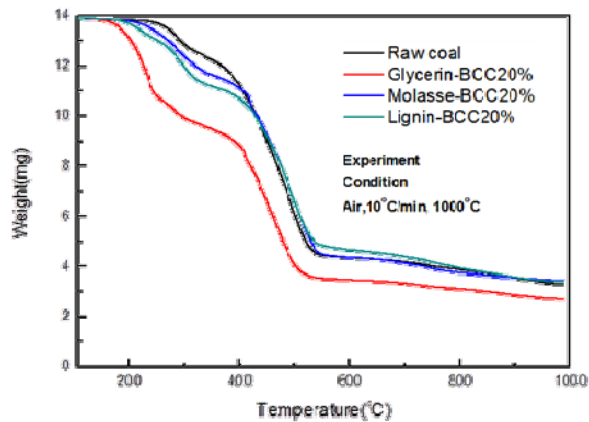


Fig. 4. The weight loss characteristics as changing of the biomass combustion improver using TGA

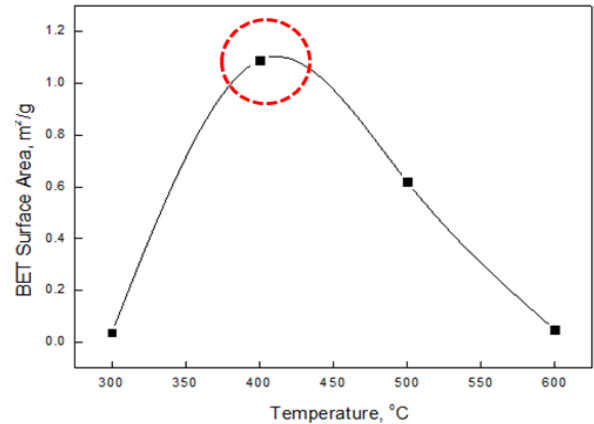


Fig. 5. The surface area of lignin with temperature increasing

Table 1. The surface area of lignin with temperature increasing

Temperature[° C]	Surface area[m ² /g]
300	0.037
400	1.088
500	0.619
600	0.048

에서 약 60%의 질량 감소를 관찰하였다. 조연제 연소성 평가 시 혼합탄 대비 80%의 착화탄으로 구성되어 경향은 유사하나, 각 조연제 특성에 따라 질량 감소의 차이를 보였다. 글리세린의 경우 150~250°C, 리그닌과 당밀은 200~350°C 온도 범위에서 질량 감소가 발생하며, 특히 휘발분이 풍부한 글리세린의 경우 탈휘발 과정이 타연료에 비해 낮은 온도에서 질량 감소가 일어남을 확인하였다.

3-1-2. 리그닌의 기공 변화 특성

리그닌은 고체연료이므로 탄화 온도에 따른 기공 변화를 관측하기 위해 BET와 SEM을 이용, 비표면적과 표면 이미지를 촬영한 결과를 Table 1, Fig. 5-6에 나타냈다. 리그닌 탄화 시 300°C에서 0.037m²/g, 400°C에서 1.088m²/g, 500°C에서 0.619m²/g, 600°C에서 0.048m²/g로 단위질량 당 면적을 측정하였으며, 500°C 온도 범위 초과 시 표면이 감소됨을 확인하였다. 이는 400°C까지는 기존 기공에 존재하던 수분과 휘발분이 배출되어 다공성 구조를 형성하지만 400°C 초과 시 다수의 기공 구조가 서로 붕괴하며 표면적을 감소시키는 것으로 사료된다.^(8,9)

SEM 관찰 결과는 Fig. 6과 같으며, BET 결과에서 확

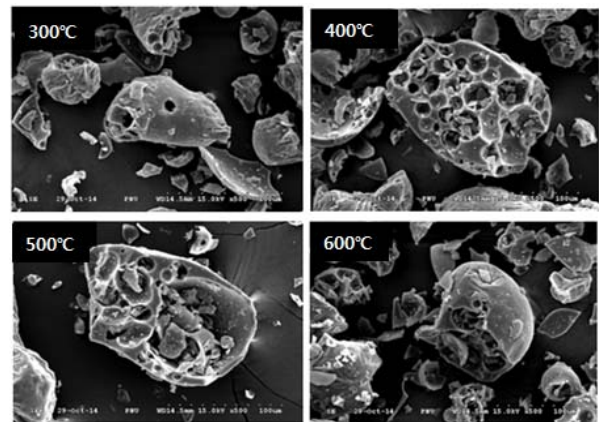


Fig. 6. The comparison of structure surface of lignin with temperature increasing

인했던 것과 같이 온도가 높아지면서 기공이 확장됨과 400°C에서 최대임을 확인할 수 있다. 500°C 이상 시 기공의 크기는 커지나 개수가 줄어들면서 기공면적이 감소함을 확인할 수 있다.

3-2. 연소 실험

3-2-1. 착화탄 및 조연제 비교 연소 실험

CO 배출농도를 비교하기 위한 착화탄과 조연제 후보인 리그닌, 글리세린의 연소 실험 결과 그래프를 Fig. 7에 나타냈다. 연소 조건은 12L 밀폐 챔버에서 각 200mg을 90초 동안 1300°C로 유지하였다. 착화탄 및 조연제 2종이 혼합된 총 3종의 시료 모두 완전연소하며 착화탄은 약 4,500ppm로 수렴하였고 글리세린이 혼합된 시료는 약 4,000ppm, 리그닌이 혼합된 시료는 3,600ppm으로 측정되어 착화탄에 비해 조연제가 혼합됨에 따라 각각 약

11%, 20% CO 농도가 줄어든 것을 확인할 수 있다.

3-2-2. CO저감형 착화탄 제작

본 연구의 CO저감제는 리그닌 분말로 인해 글리세린의 증발을 최소화하여, 장시간 경과 시에도 글리세린이 유지되어 연소촉진 효과를 증대시켜 CO를 저감시키는 이점이 있다. CO저감제 제작 방식은 Fig. 8과 같다.⁽¹⁰⁾

100~200mesh 입径의 리그닌 분말을 승온율 20°C/min 이상으로 360~430°C에서 20분간 열처리하여, 리그닌 분말 총중량에 대해 글리세린의 중량을 20 중량%가 되도록 혼합한다. 이때 글리세린을 50~70°C의 미온수와 혼합하여 리그닌에 함침시킨 후 100~105°C에서 건조시킨다.

Fig. 9는 CO저감형 착화탄인 BCCP(Biomass Char-Coal by PNU)의 제작 공정 모식도이며, 탄화시킨 리그닌에 글리세린을 혼합한 CO저감 조연제를 제조하여 착화탄과 질량비 2대8로 혼합하여 제작하였다.

리그닌 비표면적 및 SEM 결과를 근거로 탄화온도 400°C

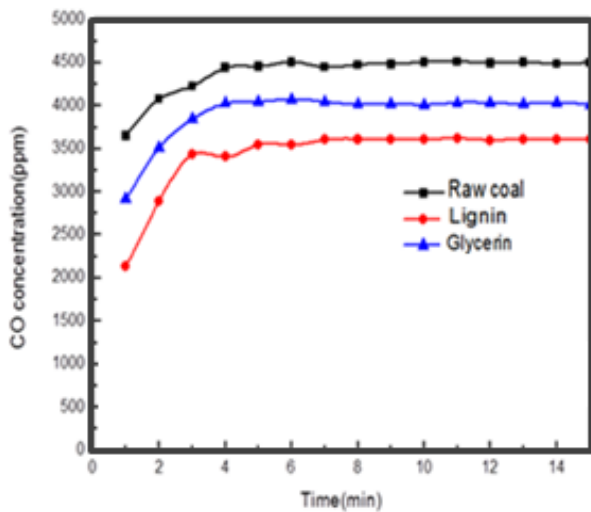


Fig. 7. The characteristics of CO emission as changing of the biomass combustion improver

로 열처리하여 기공을 최대화시켰다. 이는 비표면적을 1.088m²/g으로 높여 글리세린을 최대로 함침시키고, 연소 시 반응성을 상승시켜 글리세린의 증발을 막을 수 있는 효과가 있다. 물을 증발시키면서 글리세린의 열분해를 막는 100~150°C를 선정하였다.

3-2-3. BCCP CO 배출 특성

장터숯 원탄, CO저감제를 10, 15, 20% 혼합한 BCCP (리그닌과 글리세린을 혼합) 총 4가지 조건에 대해서 상·하부(high, low)에서 연소 가스(CO, CO₂, O₂) 포집 실험을 3회 진행하였으며, 연소 가스 누적 발생량을 Fig. 10-15로 나타내었다. CO의 경우 초기 급격한 발생량을 나타내며, 2~3분 사이에서 일정한 값을 보였다. CO₂의 경우 역시 초기 발생량이 증가하였으며 2~3분 사이에서 그 값이 일정해짐을 확인할 수 있었다. O₂의 경우 CO와 CO₂ 발생의 영향으로 초기 0~4분 사이에 급격히 감소함을 확인하였다. 장터숯 200mg(착화탄 1개 연소할 경우)을 연소시켰을 경우 CO 발생량은 그 값이 일정할 때 평균 3,230ppm의 값을 나타냈다. CO저감제 첨가량이 증가할수록 CO 발생량이 감소했으며 10% 혼합 시 12%, 15% 혼합시 18%, 20% 혼합 시 29%로 최대 저감률을 보였다. CO저감제 첨가에 따라 완전연소 촉진으로 인해 CO₂ 발생량은 증가하였으며, O₂ 소모량도 증가했다. 400mg 연소 실험 결과(착화탄 2개 연소할 경우) 200mg의 연소 실험과



Fig. 9. BCCP(Biomass Char-Coal by PNU) manufacture

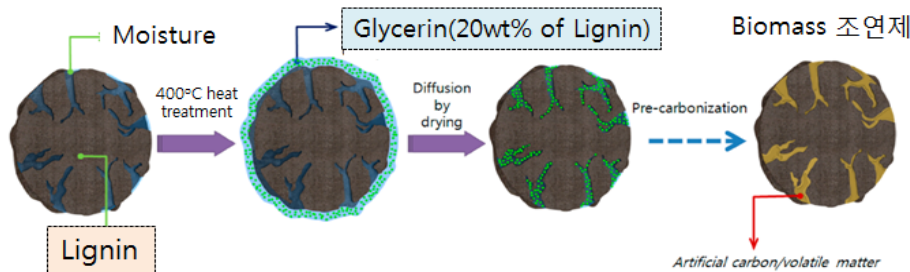


Fig. 8. The manufacture process of CO reduction material

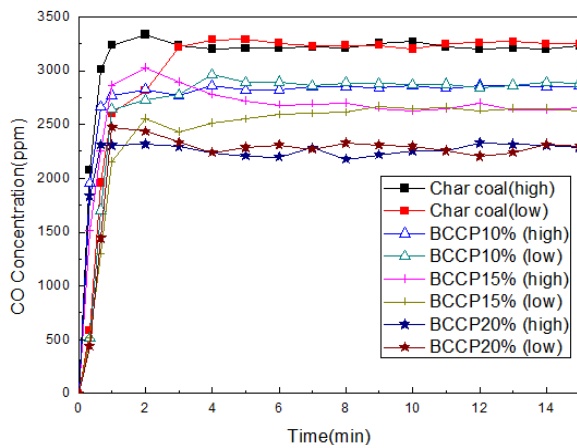


Fig. 10. CO emission characteristics of 200mg sample using GC/MS

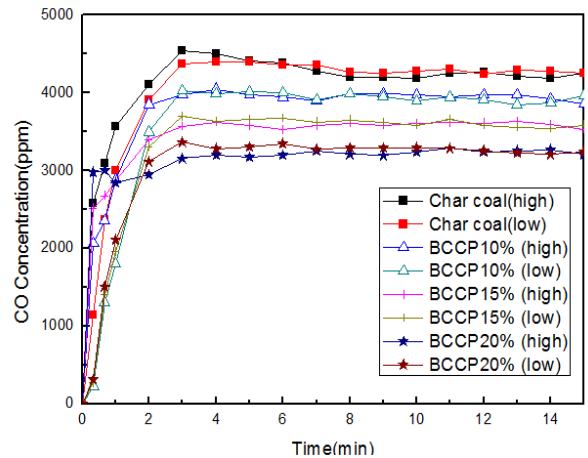


Fig. 13. CO emission characteristics of 400mg sample using GC/MS

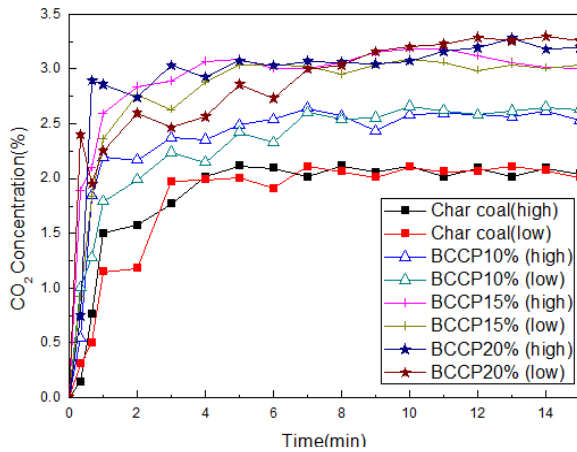


Fig. 11. CO₂ emission characteristics of 200mg sample using GC/MS

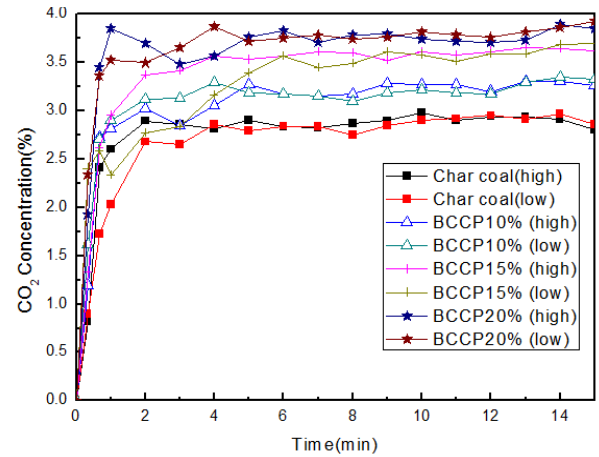


Fig. 14. CO₂ emission characteristics of 400mg sample using GC/MS

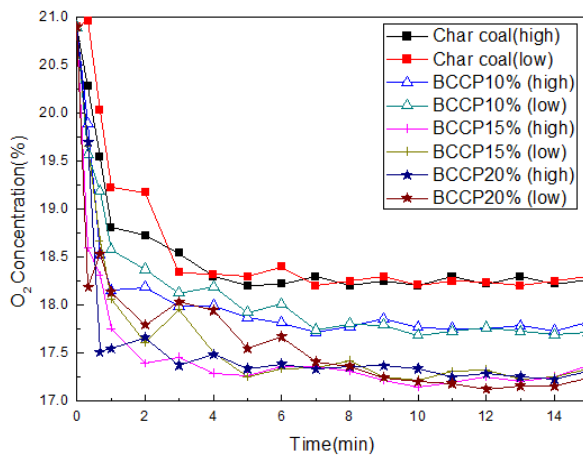


Fig. 12. O₂ emission characteristics of 200mg sample using GC/MS

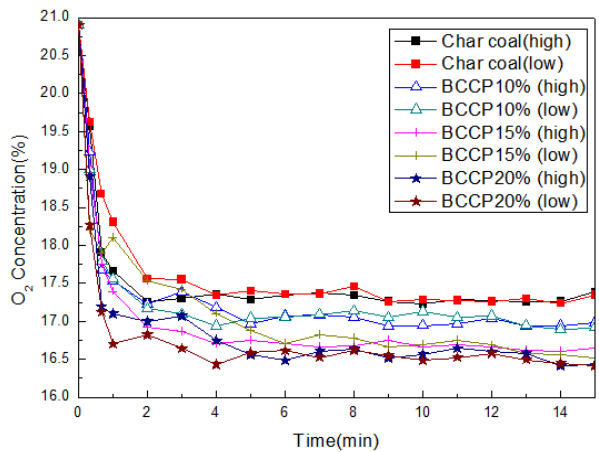


Fig. 15. O₂ emission characteristics of 400mg sample using GC/MS

bccp_200mg

Duncan^a

add	N	유의수준 = 0.05에 대한 부분집합	
		1	2
3	3	2283.67	
2	3		2645.00
1	3		2832.33
유의확률		1.000	.221

동질적 부분집합에 있는 집단에 대한 평균이 표시됩니다.
a. 조화평균 표본크기 3,000을(를) 사용합니다.

Fig. 16. Duncan multiple test of 200mg sample

bccp_400mg

Duncan^a

add	N	유의수준 = 0.05에 대한 부분집합	
		1	2
3	3	3208.00	
2	3	3589.00	3589.00
1	3		3857.33
유의확률		.088	.202

Fig. 17. Duncan multiple test of 400mg sample

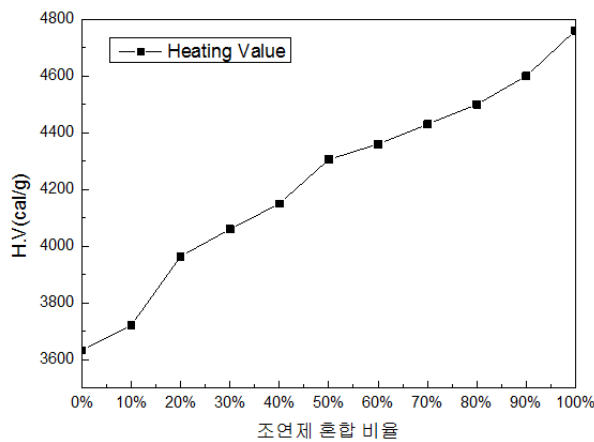


Fig. 18. Heating value with blending combustion improver

유사한 CO, CO₂, O₂ 발생 패턴을 보였다. 장터숯 원탄은 CO가 4,256ppm까지 발생하였으며 CO저감제 첨가율에 따라 10% 혼합 시 9%, 15% 혼합 시 16%, 20% 혼합 시 25%의 저감률을 보였다. CO 저감률은 Table 2로 나타내었다. Fig. 16-17 은 Duncan 사후검정 결과이며, no 1, 2, 3 은 BCCP 함유량 10, 15, 20%에 따른 CO 배출량을 나타낸 것이다. 시료 200mg의 경우, 유의수준 α=0.05에서 BCCP 함유량 10, 15%의 처리평균에 차이가 없고, BCCP 함유량 20% 처리평균과 차이가 있는 것으로 판단된다. 시료 400mg의 경우, 유의수준 α=0.05에서 BCCP 함유량 10, 20%의 처리평균에 차이가 있는 것으로 판단된다.

CO저감형 착화탄의 경우 첨가량을 증가시킬수록 CO저감률이 증가하는 것을 Fig. 10, 13을 통해 확인할 수 있다. 조연제 혼합 비율에 따른 발열량 그래프를 Fig. 18에 나타냈으며, 조연제 혼합 비율이 증가함에 따라 발열량 역시 증가하는 것을 확인할 수 있다. 특히 혼합율이 10%에서 20%로 증가한 경우 발열량 증가율이 가장 큰 것을 알 수 있다. 따라서 CO 저감률과 발열량 증가율 모두 고려하였을 경우 실제 BCCP 제작 시 큰 비용 증가가 예상되어 최적의 첨가량을 20%로 선정하였다. Table 3은 노출된 CO 농도에 따라 인체에 미치는 영향을 나타낸 것으로, 3,200ppm의 경우 30분 이내로 사망에 이르나 CO 농도가 절반으로 줄어든 1,600ppm의 경우 사망시간이 2시간 이내로 생존시간이 늘어나는 것을 확인할 수 있다.^(11,12) 이는 20~30% 정도의 CO 저감이 생존시간을 연장할 수 있을 것이라 사료된다.

3-2-4. CO저감 메커니즘

조연제인 리그닌과 글리세린을 이용하여 CO저감제를 제조 후, 이를 바탕으로 BCCP를 제작하였다.

실험결과를 통해 BCCP 함유량이 증가할수록 O₂ 농도가 감소하며, CO₂ 발생량이 증가함을 확인하였다. 이는 완전연소 반응결과로 보여지며, 그 결과로 CO 발생량이 감소하였다.

Table 2. CO reduction ratio with blending biomass combustion improver

	200mg (착화탄 1개 연소할 경우)	400mg (착화탄 2개 연소할 경우)
BCCP 10%	12%(3,230ppm → 2,832ppm)	9%(4,256ppm → 3,857ppm)
BCCP 15%	18%(3,230ppm → 2,645ppm)	16%(4,256ppm → 3,589ppm)
BCCP 20%	29%(3,230ppm → 2,284ppm)	25%(4,256ppm → 3,208ppm)

Table 3. The effects of carbon monoxide exposure

Concentration	Symptoms
35ppm(0.0035%)	Headache and dizziness within six to eight hours of constant exposure
100ppm(0.01%)	Slight headache in two to three hours
200ppm(0.02%)	Slight headache within two to three hours; loss of judgment
400ppm(0.04%)	Frontal headache within one to two hours
800ppm(0.08%)	Dizziness, nausea, and convulsions within 45 min; insensible within 2 hours
1,600ppm(0.16%)	Headache, increased heart rate, dizziness, and nausea within 20 min; death in less than 2 hours
3,200ppm(0.32%)	Headache, dizziness and nausea in five to ten minutes. Death within 30 minutes
6,400ppm(0.64%)	Headache and dizziness in one to two minutes. Convulsions, respiratory arrest, and death in less than 20 minutes
12,800ppm(1.28%)	Unconsciousness after 2-3 breaths. Death in less than three minutes

Table 4. The expense calculation of charcoal using biomass combustion improver

재료	단가	사용량 & 비용계산 (착화탄 300g 기준)	추가비용	비고
글리세린	1,500원/kg	4% => 12g/개*1.5원/g = 18원/개	28원/개	인터넷 조사
리그닌	200원/kg	16% => 48g/개*0.2원/g = 10원/개		

리그닌에 함침된 글리세린은 연소초기에 가연성 증기를 제공함으로 연소온도를 상승시켜, 결과적으로 완전연소 영역에 도달하는데 기여한다.

터숫의 CO 발생률 대비 최대 29%의 CO 저감률을 보임을 확인할 수 있었다.

후 기

3-3. 상용화를 위한 경제성 분석

착화탄은 서민을 위한 연료로서 가격이 저렴한 것이 장점이다. 따라서, 일산화탄소 발생 저감을 위한 착화탄 개선 방안의 비용은 중요한 인자가 된다. Table 4는 일산화탄소 저감형 착화탄 상용화를 위한 경제성을 분석한 것이다.

여기에 본 연구는 2014년 보건복지부 질환극복기술개발사업과제의 지원으로 연구를 수행하였으며, 이에 감사드립니다.

References

1. Statistics Korea, 2012, National mortality data 2011, Seoul: Statistics Korea
2. Yonhapnews, 2013, <http://www.yonhapnews.co.kr/bulletin/2013/06/04/0200000000AKR20130604154200004.HTML?from=search>
3. Ahn HJ, 2006, Research on waste wood recycle promotion plan, Seoul: National Assembly
4. Mott JA, Wolfe MI, Alverson CJ, Macdonald SC, Bailey CR, Ball LB, et al., 2002, National vehicle emissions policies and practices and declining US carbon monoxide-related mortality, JAMA, Vol. 288,

4. 결론

(1) 리그닌, 글리세린의 바이오매스 조연제 특성 분석 결과, 리그닌은 400℃에서 가장 높은 비표면적을 가지며 글리세린은 저온에서 높은 연소성을 띄는 것을 확인하였다.

(2) 바이오매스 조연제 각각의 특성을 이용, 글리세린을 리그닌에 함침시켜 CO저감제를 개발하였으며 이를 활용하여 CO저감형 착화탄인 BCCP를 제작하였다.

(3) BCCP의 연소 실험 결과 및 실제 제작시 경제성 부분을 고려하여 최적의 첨가량을 20%로 선정하였다. CO저감제가 20% 함유된 BCCP의 연소 실험 결과, 기존 장

- pp. 988-995
5. Vossberg B and Skolnick J, 1999, The role of catalytic converters in automobile carbon monoxide poisoning: a case report, *Chest*, Vol. 115, pp. 580-581
 6. Myles D. Bohon, Brian A. Metzger, William P. Linak, Charly J. King, William L. Roberts, et al., 2011, Glycerol combustion and emissions, *Proceedings of the Combustion Institute*, Vol 33, pp. 2717-2724
 7. Jong-Soo Bae, Dong-Wook Lee, Young-Joo Lee, Se-Joon Park, Jai-Chang Hong, et al., 2013, Production of the glycerol-impregnated hybrid coal and its characterization, *Fuel*, Vol. 188, No. 15, pp. 33-40
 8. Ramesh K. Sharma, Jan B. Wooten, Vicki L. Baliga, Xuehao Lin¹, W. Geoffrey Chan, Mohammad R. Hajaligol, et al., 2004, Characterization of chars from pyrolysis of lignin, *Fuel*, Vol. 83, pp. 1469-1482
 9. Wei-Hsin Chen, Po-Chih Kuo, 2011, Isothermal Torrefaction kinetics of hemicellulose, cellulose, lignin and xylan using thermogravimetric analysis, *energy*, Vol. 36, pp. 6451-6460
 10. Lee Dong-Wook, Jong-Soo Bae, Young-Joo Lee, Park Se-Joon, Hong Jai-Chang, Lee Byoung-Hwa, Jeon Chung-Hwan, et al., 2013, Two-in one fuel combining sugar cane with low rank coal and its CO₂ reduction effects in pulverized-coal power plants, *Environ Sci Technol*, Vol. 47, No. 3, pp. 1704-1710
 11. Goldstein M, 2008, Carbon monoxide poisoning, *Journal of Emergency Nursing*, Vol. 34, No. 6, pp. 538-542
 12. Struttman T, Scheerer A, Prince TS, Goldstein LA, et al., 1998, Unintentional carbon monoxide poisoning from an unlikely source, *The Journal of the American Board of Family Practice*, Vol. 11, No. 6, pp. 481-484