論文報告

酸素を用いた石炭地下ガス化に関する基礎的研究

正 会 員 外 尾 善 次 郎*

Basic Study on the Underground Gasification of Coal by using Oxygen

Zenjirō HOKAO

The previous paper described the first experiment in laboratory on the underground gasification of coal by using only air. This paper describes the gasification of coal by using oxygen. The purpose of this experiment was to know the outline of gasification processes which took place by using oxygen. The author concludes as follows;

1. By using oxygen, the calorific value of gas is greater than that by using air only.
2. The gasified zone is also greater. In our experimental apparatus—the amount of oxygen is 3.2 l/min, length of borehole 30 cm and diameter of this hole 1.2mm—we could get the gas, of which calorific value is more than 1000 kcal/Nm³, during about 10 hours.
3. By using oxygen, we can get the desirable gas. But what amount of gas is much desirable in this case? What reduction process occurs in coal seam?

Can we get the reaction speed in gasification process of coal? Many experiments about these themes were carried out in our laboratory, and that will be described in next paper.

1. ま え が き

筆者はまえの論文で、空気のみを使用した場合の小型燃焼炉による石炭の地下ガス化実験について、その予備的実験の概要を報告した。空気のみを使用する場合には、燃焼帯の拡がりもせまく、生成ガスのカロリー値も低い。したがって燃焼帯を一層拡がらせるためには、また生成ガスのカロリー値を増加させるためには、酸素を同時に供給してやる必要がある。酸素を供給した場合には、どのような燃焼状態が続けられ、どのようなガスが発生するものであろうか。まずその概要を知っておく必要があろう。そのような予備実験なくしては、酸素供給量と生成ガス（その成分と量）との関係、燃焼温度と還元率（CO₂ より CO への）との関係、熱損失と還元温度との関係、および反応速度などに関する詳細な実験研究を続けることは不可能であろう。このような見地から以下に報告するような酸素を供給する場合の予備的実験を実施した。まず酸素富化空気を送った場合、および酸素のみを供給した場合について、ガスの発生状況、生成ガス成分の推移、カロリー値の時間的推移状況などを観察し、その概要を把握することにした。酸素を供給した場合には、1000kcal/Nm³ 以上のガスをうることは容易であるが、カロリーの推移曲線は大きく波うつている。

2. 実験装置と実験操作

実験は No. 1 実験と No. 2 実験とに分けておこなつ

た。No. 1 実験は前回報告したものとまったく同一の装置で、No. 2 実験は石炭ブロックの大きさが違ったものを用いておこなつた。

2.1 No. 1 実験

円筒型燃焼炉の一方より空気と同時に酸素を送入した。

白金線ヒータへは 8Amp (40Volt) を供給して、約 20 min 加熱し、そのあとでヒータを取り出し、酸素ガスを 1.2 l/min 酸素ポンペより送入した。真空ポンプより吸引した風量（酸素富化空気量）は 3.6 l/min である。酸素量は 11 時（点火後 8hr）に 2.4 l/min に増加された。全体としての酸素富化空気量は前回のままである。生成ガスの分析は前回同様一定時間ごとにおこなつた。

2.2 No. 1 実験の結果

分析結果は第 1 表のようになっている。

この結果を図表にした第 1 図、第 2 図より時間的推移状況を知ることができる。円筒炉内に挿入されている熱電対による炉内の温度変化は第 3 図に示されている。第 1 図よりガス成分の変化について考察すると（同図で横軸の時間は上段が時計の時刻、下段が実験開始よりの経過時間を示す）、

(a) CO₂ 含有率の変化

点火後 4hr 目の CO₂ の含有率は非常に少ない。ある程度はガス採取の不備、または実験装置の不備による生成ガス中への空気の混入も考えられるが、それよりもやはり空気のみを送入した時にも考察したように、大体点火後 4hr 位で、ヒータ周辺の石炭が一応燃焼しおえ、灰で囲まれたためと考えるのが正しいものと思われる。

* 昭和36年5月11日受理

** 東京大学助教授 鉱山学教室

第1表 No. 1 実験結果 (質量分析)

時間 h:min	CO ₂ %	Ar %	O ₂ %	C ₂ H ₆ %	CH ₄ %	CO %	N ₂ %	H ₂ %	生成 ガス量 l/min	kcal/ Nm ³
4:42	17.91	0.46	7.79	0.54	2.81	19.68	36.48	14.31	6.05	1393
6:00	17.10	0.68	11.02	0.48	1.87	11.96	48.26	8.64	4.58	885
7:15	2.31	0.92	21.18	0.16	0.34	1.30	72.40	1.38	3.05	541
8:00	33.08	0.27	0.24	0.81	4.86	22.67	14.44	23.64	15.29	2010
9:00	31.28	0.58	3.29	0.57	3.59	6.03	44.77	9.90	5.01	925
10:00	32.37	0.39	0.39	0.67	4.23	19.03	27.00	15.93	8.18	1580
11:00	39.42	0.29	0.18	0.61	3.28	23.12	18.35	14.74	8.57	1565
12:00	32.46	0.41	0.93	0.48	1.80	21.84	30.78	11.29	5.11	1258
1:00	32.38	0.27	0.41	0.51	2.35	24.61	24.83	14.65	6.33	1502
2:00	35.06	0.67	3.16	0.27	1.53	4.99	49.73	4.59	3.16	484
3:00	47.37	0.32	1.66	0.76	5.55	10.28	20.68	13.37	7.60	1379

第1図

第2図

第3図 炉内温度変化

そのあとは CO₂ は再び増加している (11時に——点火後 8hr 目——酸素供給量を 2.4 l/min に増加)。

(b) CO の変化

CO 含有率の変化は、大体 CO₂ の変化と同一傾向をたどっているが、11hr 目には、CO₂ は増加しているのにもかかわらず、CO は減少している。炉内の温度変化を

見ると、点火後 9~10hr で、S₁ と S₂ (O₂ 入口より 10cm, 20cm のところの熱電対) の温度は最高を示し、11hr 目には、すでに下降の状態である。したがって、この程度の時間中に燃焼がすすみ、燃焼帯が移動し、そのため還元帯の長さが短くなり、十分な還元がおこなわれなくなったため、CO の発生量が少なくなったものと考えられる。したがってさらに持続して高カロ

リーのガスをうるためには、キャナル (燃焼坑道) の長さをもつと長くしてやる必要がある。12 hr 後のガスは、やや高カロリーを示している。これは CH₄ や H₂ が生じているためであるが、炉内温度変化の図表をみても、それ以後カロリーが増加するとは考えられない。15~16hr 目には S₃ の温度が S₂ より高くなっており、燃焼帯が、ほとんど燃焼炉内のガス出口近くまで来ていることが想像される。

(c) 実験終了後の石炭ブロックの状態

非常によく燃焼帯が広がっており、円筒状のまま石炭ブロックを炉内より取り出すことは不可能であった。写真に示すものは、酸素入口端から 20cm の個所の断面である。空気のみを送った場合、破砕炭を用いた場合、および酸素富化空気を送った場合の 3 つの場合の実験終了後の断面を比較してみると、酸素を混入して送った場合と空気のみの場合との燃焼範囲の広がりの違いが良く分かる。

2.3 No. 2 実験

この実験では酸素ポンプより酸素のみを供給して生成ガスの状況を見ることにした。供給酸素量は 3.2 l/min と一定にした。まず 9 時に点火、9 時 30 分にヒータ付近の温度が 1180°C を示したところでヒータを引きぬき酸素の供給を行なった。10 時より 1 hr ごとにガスを採取し、ガス分析を直ちに実施した。23 時 30 分には CO₂ 56.2%、CO 3.2% になったため、24 時に酸素の供給をたち実験を中止した。

この実験では、燃焼炉の構造をいままでの円筒形から、四角形断面のものに取りかえ、前回までの実験で不備の点を改良した実験装置を試作して利用した。

その外観図は第 6 図の写真に示してある。

(a) 燃焼炉と炭層

炭層模型は、北海道炭鉄汽船株式会社幌内鉱業所美流渡礦五片下層の原炭から次のようにして作成した。原炭中のズリは手選で選別し、10mm 以下に一次破砕し、つぎにハンマーミルで 1mm 以下に粉碎、この粉炭にセメ

中心の白い部分が燃焼あと

第 4 図

(a) 空気のみ送った場合

(b) 破砕炭を用いた場合

(c) 酸素濃化空気を送った場合

単位: cm

第 5 図

燃焼の拡がり

ントを混ぜ(重量比 4:1) 水でねつて(セメントと同量の水) 木型に入れ成型した。この成型炭層の大きさは 265 × 300 × 1000mm である。これを 5mm の鋼板製燃焼炉の中に入れ、炭層模型(石炭ブロック)と燃焼炉の間には石綿パッキングを施した。キヤナルは、このブロックを挿入セットしたあとで、あらかじめ作つてある燃焼炉の両側面の通気孔と一致するように、ハンドオーガを用い、12mmφ の孔をさく孔した。キヤナルの長さは 300 mm である。このようなキヤナルは 4 本設けられた。熱電対は、キヤナルの真上から熱電対用の孔をさく孔し、これに挿入した。燃焼炉の上蓋はボルト締めすることにし、パッキングには、皮パッキンを用いたうえにパテで目ぬりをし、気密性を保つようにした。燃焼炉および炭層模型は第 7 図に示すとおりである。

実験装置の中の冷却装置、タールと水を抜く装置、ガス採取装置等は、前報のものと同一原理にそつて作成して用いた。

(b) 実験結果

第 2 表のような結果が得られた。

生成ガスの成分の時間的推移は、第 9 図、第 10 図より知ることができる。なお、実験終了後の断面は、第 11 図と第 12 図に示されている。

第 2 表

項目 時刻	CO ₂ %	O ₂ %	CO %	H ₂ %	CH ₄ %	N ₂ %	生成ガス 量 l/min	kcal/ N m ³
10:00	52.1	5.4	10.8	4.2	4.5	23.0	36.2	875
12:00	32.4	3.5	20.6	15.5	4.8	23.1	36.0	1545
12:30	38.1	6.7	10.4	3.0	4.9	36.9	22.5	780
13:30	38.6	3.4	16.1	—	—	—	—	—
14:30	44.6	3.1	12.3	10.8	5.5	26.5	31.3	1220
15:30	42.0	2.5	15.0	12.3	4.5	23.7	35.1	1225
16:30	28.0	4.0	9.0	2.9	9.3	46.8	17.7	1270
17:30	39.6	2.9	15.1	14.0	2.0	26.4	31.5	1060
18:30	42.4	1.8	11.6	0.4	5.1	38.7	21.4	850
19:30	36.8	0.8	13.4	15.1	6.3	27.6	30.1	1465
20:30	45.9	2.1	14.5	7.5	4.1	25.9	32.1	1060
21:30	37.4	0.6	20.0	—	—	—	—	—
22:30	49.1	1.3	8.6	9.3	3.3	28.4	29.2	870
23:30	56.0	1.0	3.2	3.0	—	36.8	22.6	185

(c) 結果の検討

生成されたガスははじめは CO₂ の含有率が高く CO のそれは低い値を示しているが、これはまだ反応帯が十分できていないためであろう。

点火後 3hr で CO₂ の含有率は低くなり、CO と H₂

第 6 図 実験装置

第 7 図 (イ) 燃 焼 炉(実線)と炭層模型(点線)

第7図(口) 燃焼炉(この中に炭層模型が挿入された)

の量が増加している。そのため発熱量は 1545 kcal/Nm^3 と最高値を示している。この時は反応帯での還元反応が最も良く進行している状態であると想像される。このあと CO_2 は漸増し CO は反対に漸減する。

これは還元反応が吸熱反応であるため、還元帯の温度が次第に下るためではなかろうか。8hr 後、 CO_2 、 CO 、 H_2 ともに急激に減少するのは、反応帯がそれまでの燃焼で灰に蔽われ、その灰が最初キヤナルが作られたままの状況で付着し(かなりの強度を有していて容易には崩落しないため)石炭面と送気との接触が妨げられているからと想像しうる。このことは、残留 O_2 の量が、わずかに上昇していることでも裏付けられる。しかしこの灰が落ちると、ふたたび反応はその活発性をとりもどし、 CO_2 、 CO 、 H_2 が増加している。そのあと、4hr 程度はほぼ定常状態をつづけている。

実験開始後 12hr を経過すると、 CO_2 量が急増し、 CO 、 H_2 の量が減少している。このときはすでに酸化帯が延長され、還元帯が非常に短くなつて、還元しなくなつてしまっているものと思われる。 H_2 の生成する反応としては、 $\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2 - 29 \text{ kcal}$ のほかに $\text{C} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2 - 18 \text{ kcal}$ が生ずることが、想像されるし、このほか石炭の熱分解による H_2 も考えられるがこれらの反応が如何なる程度に生じているものかは、この実験ではつかむことはできない。 CH_4 の含有率は実験中ほとんど一定状態であるが、これは温度がある点以

第 8 図

第 9 図

第10図 実験終了後の断面

第11図 実験終了後の断面

上になると、定常的に熱分解によつて生ずるためと想像される。

反応帯の温度については、次回に発表する予定の論文の中での実験で詳細に検討する予定であり、この実験では検討しなかつた。

実験終了後の断面を見ると、燃焼帯はキヤナルにそつて延びるよりも、その直角方向に拡がっている。これは炭素と酸素の結合反応は高速であり、一方、発熱反応帯の帯域は狭いのでその狭い帯域で多量の熱が発生する場合、周囲の炭層に集中的に吸収され、したがつて反応が横に拡がるものと思われる。

完全にガス化した炭量を近似法で求めると、約 1.1 kg

の石炭（灰分34%）がガス化されたことになる。これははじめのキャナルの約21倍に相当している。

3. 結 論

以上の2つの実験より、大体次のような結論を見出すことができよう。

(1) 酸素を供給した場合、発生してくる生成ガスの状況は、空気のみを送入した場合と傾向は同じで、カロリー値の時間的推移曲線の波動状況も類似している。しかし、酸素の量を増加するにつれて、最初のカロリー減少の時間が早目にくる傾向にある。酸素送入の場合は燃焼速度が早くなるからそれは当然のことであろう。

(2) 酸素送入の場合は、 1000kcal/Nm^3 以上の高カロリーガスをうることは容易である。

(3) 燃焼帯の拡がりも非常に大きくなり、それだけにガス化効率も良好である。

(4) キャナルの径 $10\text{mm}\phi$ 程度で、供給酸素量が 3l/min 程度の場合、キャナルの長さ 30cm 程度の炭層では、大体、 $10\sim 12\text{hr}$ 程度の間中、 1000kcal/Nm^3 以上のガスが発生する。

この実験で、酸素供給の場合のガス発生状況の概要を把握することができた。これをもとにして、燃焼温度と

還元率との関係、反応帯の移動速度等に関する次の段階の実験を実施した。それについては次回に発表する。

最後にこの実験研究に対し懇切な御指導を頂いた東京大学伊木教授、日頃お教を頂いている資源技術試験所黒岩忠春氏、および石炭試料をお送り頂いた北海道炭礦汽船株式会社に対し深く感謝申上げる。また実験に協力された文部技官杉浦哲雄君、卒論研究として努力された原田建一郎君、和田彬君に対してもその労を謝したい。なおこの研究は文部省試験研究費および一部は河上記念財団研究助成金によって実施したものである。

文 献

- 1) АН СССР Энергетический институт: Применение электрического тока для непосредственного воздействия на Пласт Топлива при Бесшахтной подземной газификации р. 121.
- 2) Институт черной металлургии АН СССР: Совершенствование систем разработки мощных угольных пластов р. 333~349.
- 3) Канд. техн. наук В. С. ЗАГРЕБЕЛЬНАЯ, К. Н. ЗВЯГИНЦЕВ: К вопросу газификации днепровских бурых углей, Под. Газ. Углей 4. 1959. р. 10~13.
- 4) Е. В. Крейнин: Влияние мощности угольного пласта на перемещение очага горения в процессе сбоя скважин

1 人 操 作 カ ッ タ

アメリカMighty miner Company で1人で操作できる新型のカッタ (one-man coal cutting machine) を発売した。この機械の重量は200ポンド以下で、四角形枠の上に作られており、その枠の長さ5フィート、幅4フィートである。パイプ枠の上に、ピニオン (小歯車) 機構で取付けられている高出力電動モータが、カーバイドチップ付きのオーガビットを炭層の中にドライブせしめるようになっている。ビットは $2\frac{3}{4}$ " で、15の孔を直線に連続してさく孔できるようになっている。したがって、この機械で切羽全面にわたつてのアンダーカット (下透し) を行なうことができる。この機械は1人の運転手が、2つのハンドルー

ー1つはオーガ前進用、他の1つはオーガを横方向に移動させるもの——によつて操作する。下透しされた炭層は、その上部炭壁の少量の発破で容易に破碎しうる。

この機械の高さは16インチで、20インチの薄層のところでも使用することができる。この機械の設計者によれば、この新型機械は、非常に小さな炭鉱での利用価値が大きいであろうと言っているが、大きな炭鉱でも、薄層採炭時の下透しに利用すれば好ましいと思われる。(外尾記)