

第 1 9 章 燃 燒 試 驗

第19章 燃焼試験

19-1 燃焼試験の目的

下記目的にて燃焼試験を実施した。

1. タイ国産原料を用いて試製したリグナイトブリケットをコンロで燃焼し、暫定品質設計で定めた要望品質に基づき品質を評価する。その結果を試製条件に反映させる。特に燃焼に係わる暫定品質設計の重要項目を下記に示す。

- (1) リグナイトブリケットが一般庶民に受け入れられるため、タイ国で広く用いられている炊事用陶製ストーブで使用できること
- (2) タイ国製炊事用陶製ストーブにて着火が容易であること
- (3) タイ国製炊事用陶製ストーブにて発煙量が少ないこと。但し、着火直後の火力の弱い約5分ぐらいの期間は、タイ国の一般家屋の炊事場が密閉構造でないため、若干の発煙は許容する

リグナイトブリケットが上記3項目を満足することは、プロジェクトのフィージビリティに係わる重要事項である。

2. リグナイトブリケットの燃焼に適したコンロを開発する。

3. 上記の結果に鑑み、リグナイトブリケットをより良く燃すため、タイ国の炊事用陶製ストーブに改善の余地があれば、それを探求し提言する。

19-2 燃焼試験の成果

燃焼試験は上記目的を達成し、下記の成果を挙げた。

1. タイ国産のリグナイトが80%、バイオマスが20%、脱硫剤が外割で0~30の標準組成にて、暫定品質設計をほぼ満足するリグナイトブリケットが製造可能なことを実験的に立証した。

2. リグナイトブリケットの燃焼に適したコンロを開発した。

3. 上記の結果に鑑み、タイ国製炊事用陶製ストーブ改善点を明らかにし、提言することができた。

19-3 タイ国陶製コンロによる木炭燃焼試験

本試験は、タイ国陶製コンロの性能を測定し、コンロ開発の参考とするために行った。この燃焼試験では、熱効率と、排ガス中の一酸化炭素濃度を測定した。試験に用いたコンロは、タイ国国内で一般に使用されているもので、写真19-1に示すように大きさの異なるコンロを3台使用した。また比較のため、日本製コンロも使用した。試験には日本産およびタイ国産木炭の3種類を使用した。木炭の分析値を表19-1に示す。

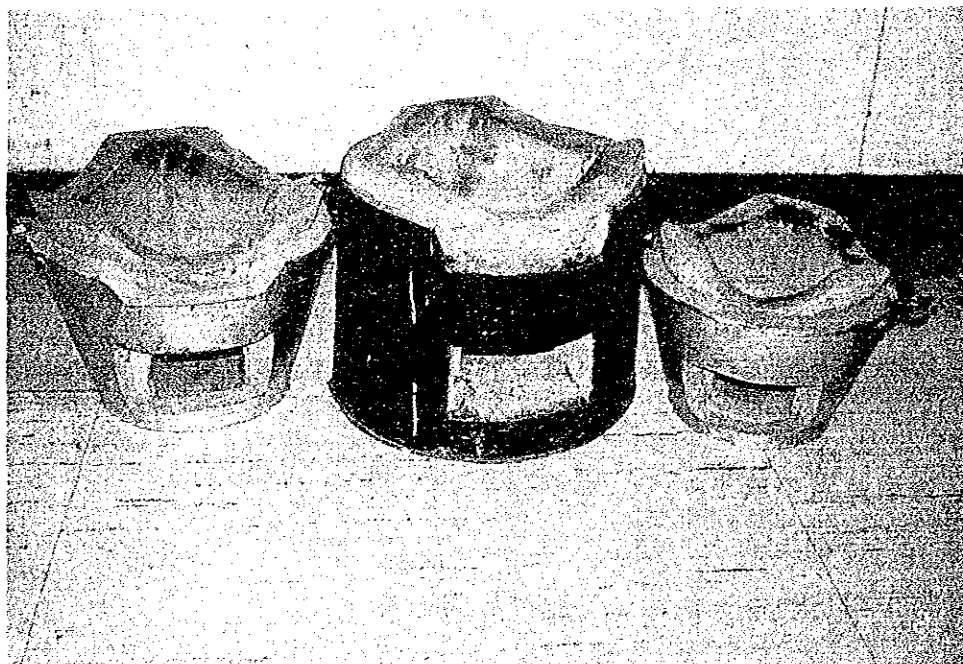


Photo 19-1 Thai Cooking Stoves

Table 19-1 Analysis of Charcoal

	Thai charcoal	Japanese charcoal
Moisture, wt%	3.6	4.2
Ash, wt%	4.3	2.5
Volatile matter, wt%	11.0	17.3
Fixed carbon, wt%	81.1	76.0
Gross heating value, kcal/kg	7,340	7,340

試験方法は火室部に着火材（小割薪90g、紙10g）を入れ、その上に予め定めた量の木炭をのせて点火した。点火10分後、着火材の燃焼がほぼ終り、火移りを確認してから試験用鍋を乗せた。試験に使用した鍋は、JIS-2010Sに規定された直径240mm、深さ109mm、肉厚0.65mmのアルミニウム合金製鍋（蓋付き）である。水量は3.0～3.5kgとした。

コンロに鍋を乗せた時点、すなわち点火10分後を測定の開始点とし、水の沸騰が終了した時を試験の終了点とした。従ってこの試験において、点火してから燃焼が安定するまでの10分間に発生する熱は水に吸収されず、熱効率の計算に含まれない。また、鍋側面上端位置で、検知管によって一酸化炭素の濃度を測定した。熱効率（%）の算定は次式で行った。

$$\text{熱効率} = (A_0 \times (100 - T_0) + 539 \times V) / (F \times H) \times 100$$

但し、

- A₀ : 初期水量, kg
- T₀ : 初期水温, °C
- V : 蒸発量, kg
- F : 燃料使用量, kg
- H : 低発熱量, kcal/kg

試験結果を表19-2に示す。タイ国産木炭では熱効率が平均約30%、日本産木炭では35～41%となった。なお、日本製七輪にて日本産木炭を燃焼して試験をした結果、熱効率は40～46%とより高い値を示した。また、熱効率は、木炭の使用量によって異なる値を示した。この原因はコンロを熱するために要した熱量は木炭の使用量に関係なくほぼ同じであるから、木炭使用量の多い方が熱効率が高くな

ったものと考えられる。また、タイ国産木炭も日本産木炭も発熱量は同じであるが、熱効率は日本産木炭のほうが高い値を示した。これは木炭の性状の違いによるもので、タイ国産木炭は燃焼速度が早く、燃焼初期に熱損失が大きかったためと考えられる。

Table 19-2 Thermal Efficiency with Charcoal

Stove	Charcoal, grams	Thermal Efficiency, %
Japanese stove	200	40.6
	296	46.6
Thai stove, small	202 ⁽¹⁾	32.5
Thai stove, medium	298	34.9
	302 ⁽¹⁾	29.3
Thai stove, large	401 ⁽¹⁾	30.3
	401	40.6

Note (1) Thai charcoal is used.

排気ガス中の一酸化炭素は 300~1,200ppmとかなり高濃度であり、健康に悪影響を与える可能性のある濃度である。このコンロは一般に自然換気の良い場所で用いるが、気密な部屋で使用する場合は換気を頻繁に行う必要がある。

19-4 試験用コンロによるリグナイトブリケットの燃焼試験

炊事用燃料としての適性を確認するため、リグナイトブリケットの燃焼特性を測定した。

19-4-1 試験用コンロ

試験に用いたコンロの構造を図19-1に示す。直径が200mm、高さ420mmの鉄板製で火格子の下部は灰室である。灰室部には一次空気口が設けてあり、燃焼筒は内径180mmで外側に断熱材が巻かれている。また、燃焼筒下部には直径9mmの2次空気孔が2段、直径6mmの2次空気孔が1段、合計102個設けてある。さらに、発煙を少なくするため燃焼筒中央部に直径45mm、高さ55mmの筒を1本設置した。

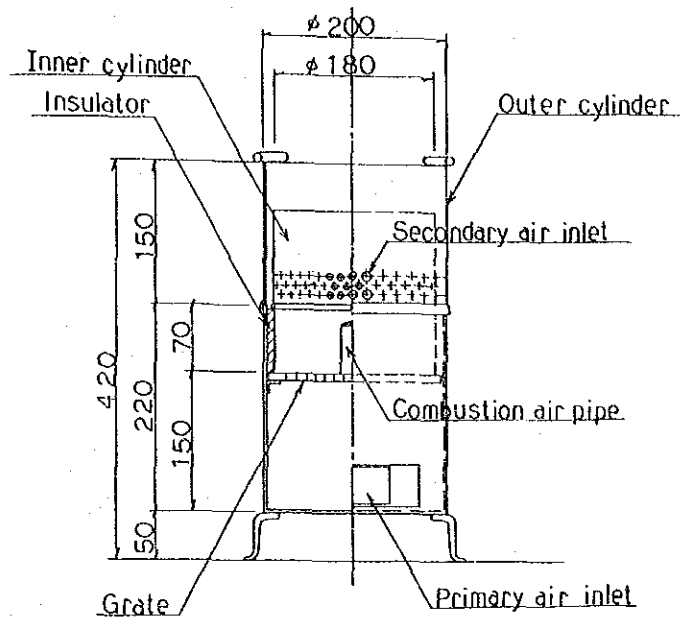


Figure 19-1 Test Stove

19-4-2 試験装置および試験方法

試験装置の概略図を図11-2に示す。図に示すように、試験装置は燃焼量、排気ガス分析、ばい煙濃度測定、排ガス用温度測定および火炎高さの測定が可能である。測定は下記方法によった。

(1) 炎の高さ

コンロの側壁にスケールを立て、コンロの上端部からの高さを目視によって求めた。

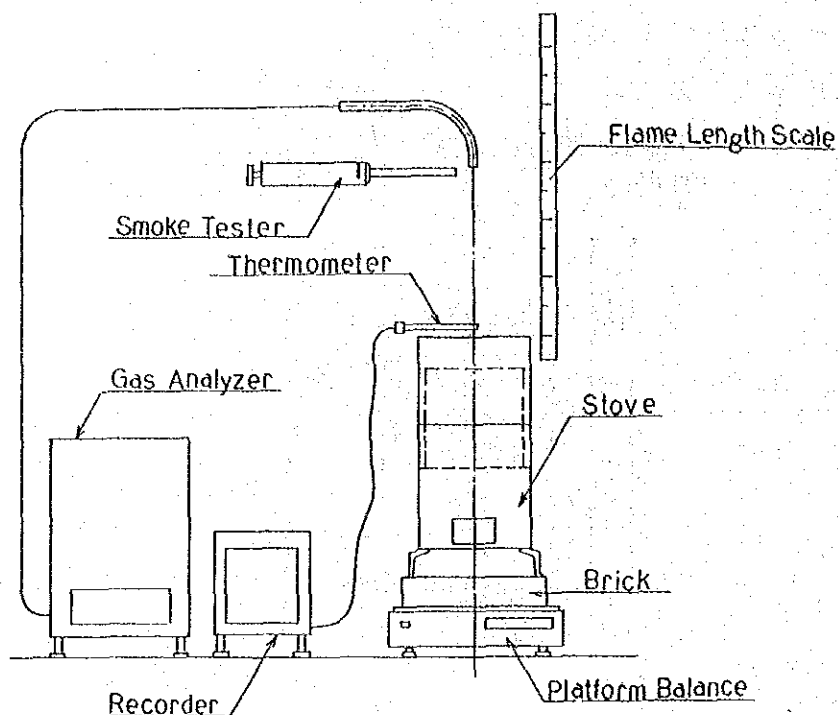


Figure 19-2 Arrangement of Instrument for Burning Test

(2) ばい煙濃度

Bacharach true spot smoke testerで測定した。この測定方法は石油類燃焼時の排ガスを10回吸引して濃度を測定する方法であるが、本試験では吸引を1回とし、比色式で10段階で評価した。コンロの上端より30cmの位置でサンプルを採取した。評価基準を表19-3に示す。

Table 19-3 Smoke Generation versus Smoke Number

Smoke Number	Smoke Generation
0	Not generated
1	Generated but not discernible
2 to 3	Discernible
4 to 5	Disagreeable
6 to 9	Not tolerable

(3) 排ガス分析

ガス分析計で、硫黄酸化物、一酸化炭素、二酸化炭素を連続測定し、検知管も併用した。コンロの上端より30cmの位置でサンプルを採取した。

燃焼試験にあたっては、リグナイトブリケットを1,500g、着火材を100g（小割薪90g、紙10g）用いた。装炭方法は、火室部に1,300gの燃料を入れ、その上部に着火材を置き、さらにその上に燃料を200g置いた。一次空気口は全開とし、着火材に点火した。試験に用いた燃料の原料配合比を表19-4に示す。

Table 19-4 Lignite Briquette Used for Burning Test

Sample No.		Composition	Breaking strength, kg
5	HC:B	80:20	91
10-1	LC:B:Ca	82.5:17.5:10	128
15	LC:B:RH	80:10:10	109
21	HC:B:RH:Ca	80:10:10:5	133
24	HC:RS:RH:Ca	80:10:10:10	108
27	HC:B:RH:Ca	80:12.5:7.5:5	117
29	LC:B:Ca	82.5:17.5:10	154
42	HC:B:RH:Ca	80:10:10:10	151
46	HC:B:Ca	80:20:5	170
56	LC:B:RH:Ca	80:10:10:30	106
57	LC:B:RH:Ca	80:10:10:20	138
58	LC:B:RH:Ca	80:10:10:15	121
59	LC:B:RH:Ca	80:10:10:15	127
61	LC:B:RH:Ca	80:10:10:10	119

Note

HC, LC, B, RS, RH and Ca stand for high-quality lignite, low-quality lignite, bagasse, rice straw, rice husks and desulfurizing agent.

19-4-3 燃焼試験結果

試験結果を表19-5に示し、これら試験の経時変化を図19-3~19-8に示す。

(1) 炎の高さ

炎はリグナイトブリケット中の揮発分の燃焼時に発生し、放出された揮発分と二

次空気の混合いかんによって炎の高さが異なる。着火時には薪の燃焼によって火炎の高さは40～50cmとなるが、リグナイトブリケットの燃焼に移行すると火炎の高さは5～30cm以下になる。火炎の高さは高品位リグナイトを用いたリグナイトブリケットよりも低品位リグナイトを用いたリグナイトブリケットの方が低かった。また、脱硫剤の添加量が増すと火炎の高さが低くなる傾向が見られた。総じて、火炎の発生時間は20～30分間であった。

Table 19-5 Evaluation of Burning Test

Sample	Evaluation			
	Flame	Smoke	SOx	Overall
5	C	B	D	C
21	D	B	A	B
24	B	A	A	A
27	D	C	C	D
42	D	D	A	D
46	D	B	B	C
61	B	B	A	A
10-1	D	C	D	D
15	D	D	D	D
29	B	D	D	D
56	A	A	A	A
57	A	A	A	A
58	B	A	A	A
59	B	B	B	B

Note: A:Excellent, B:Good, C:Fair, D:Bad

(2) 煙の発生

煙の濃度は、各試料とも着火材の燃焼時に一時的に高くなるが、着火材が燃え尽きると低くなる。着火材の燃焼が終わった後に発生するリグナイトブリケットからの煙の濃度は、スモークナンバーで1～3の値を示し、発生時間は5～15分間である。

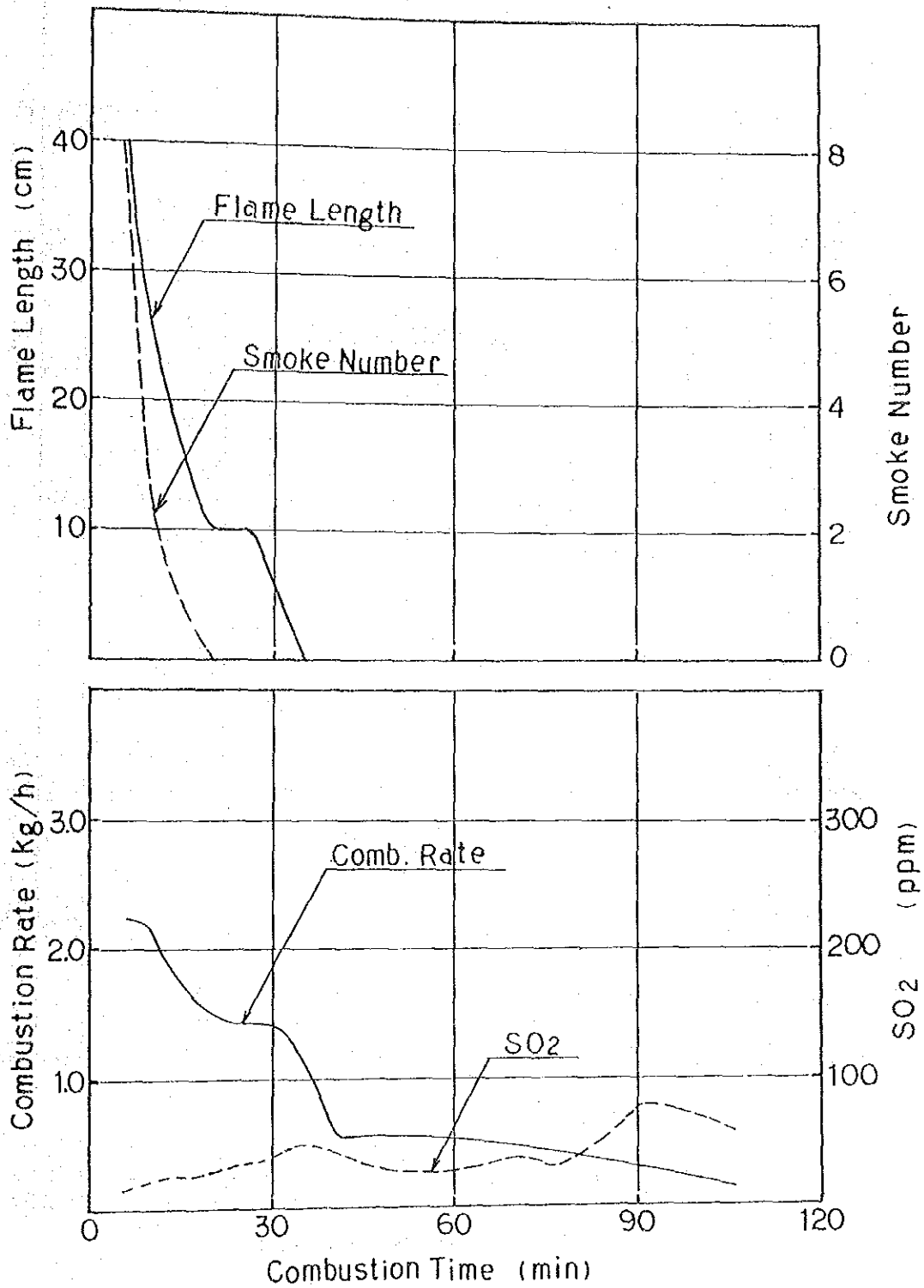


Figure 19-3 Flame Length, Smoke Number, SO₂, Combustion Rate
 High-quality Coal:Bagasse = 80:20

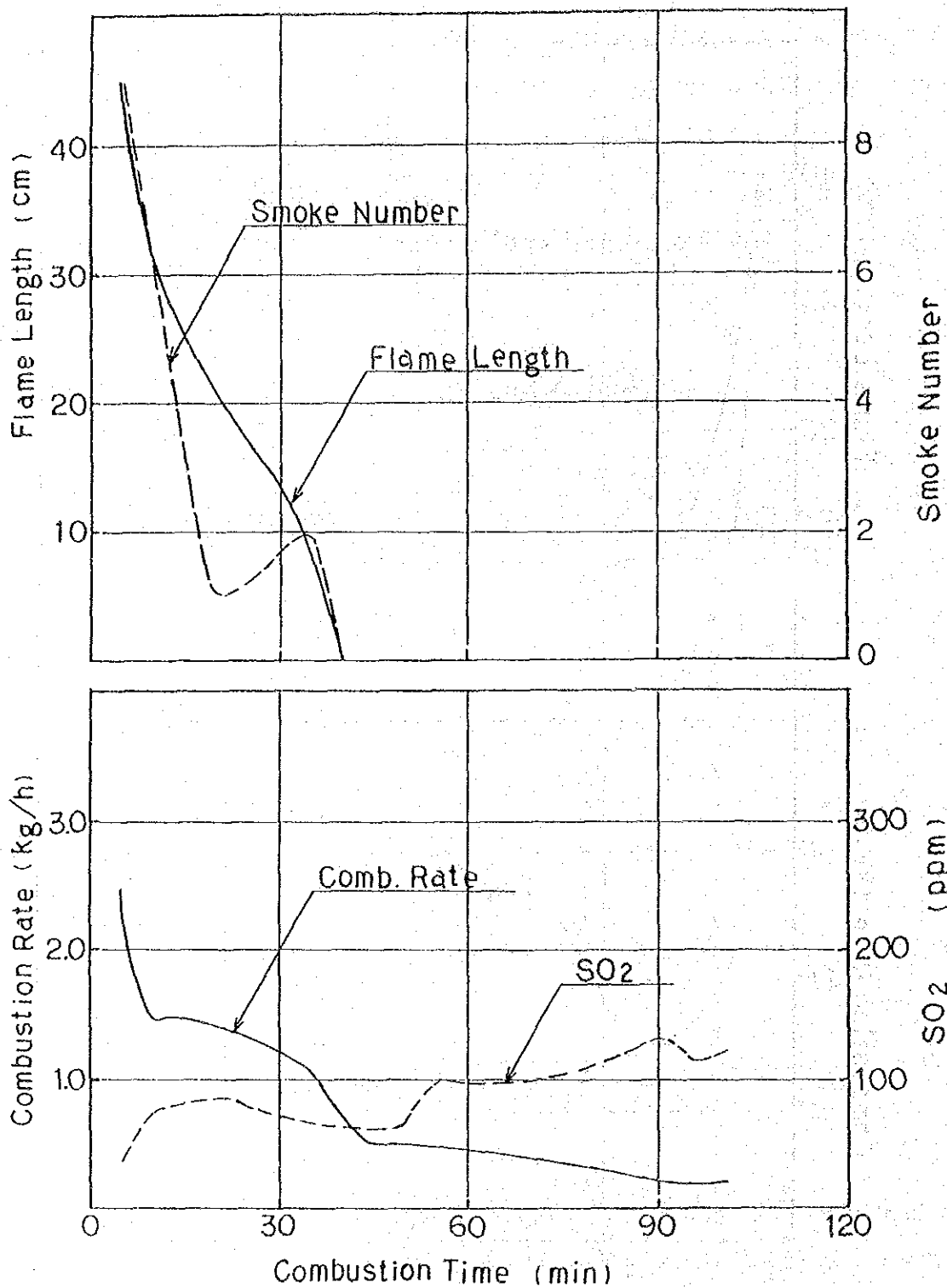


Figure 19-4 Flame Length, Smoke Number, SO₂, Combustion Rate

Low-quality Coal:Bagasse = 82.5:17.5

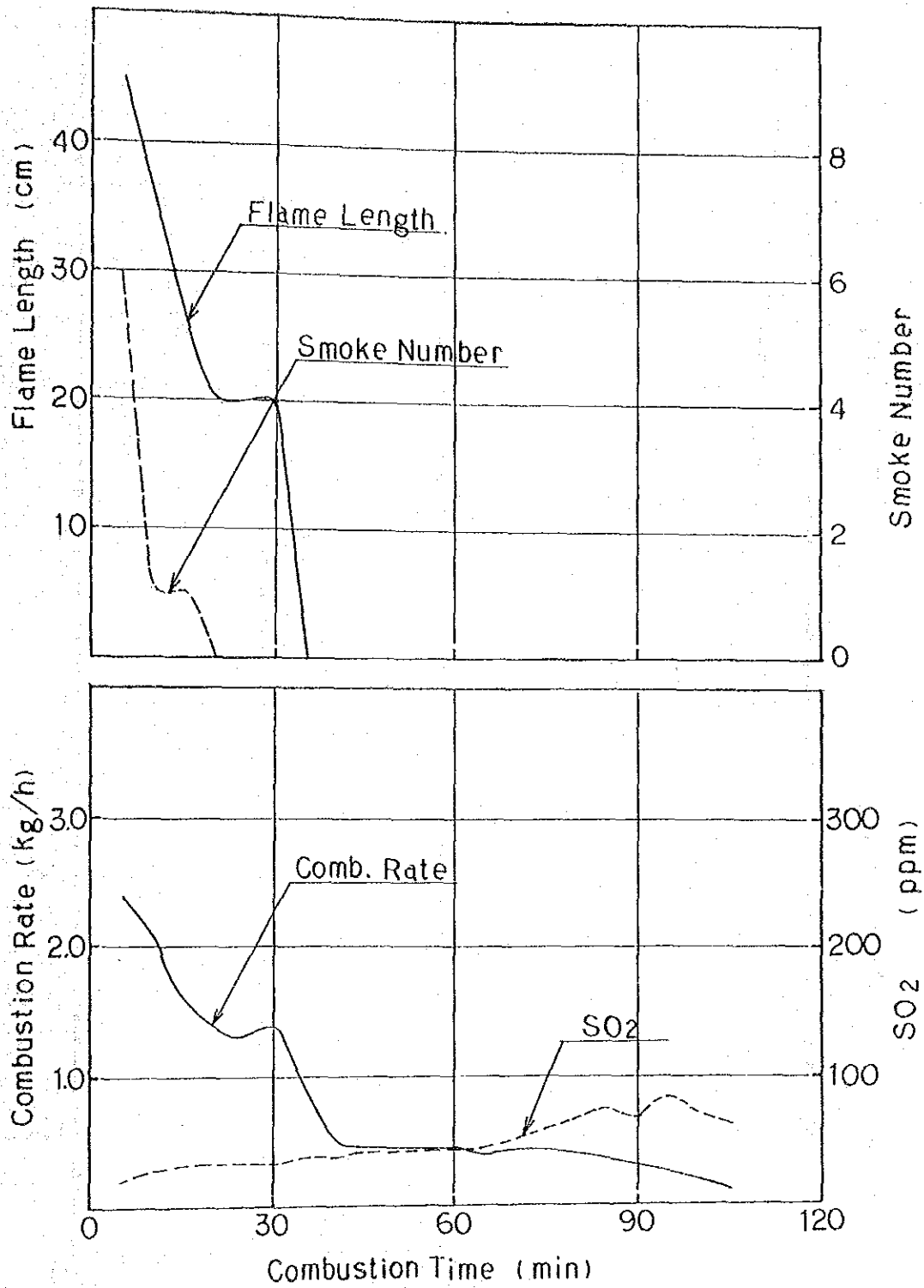


Figure 19-5 Flame Length, Smoke Number, SO₂, Combustion Rate
 High-quality Coal:Bagasse:Rice husks = 80:10:10

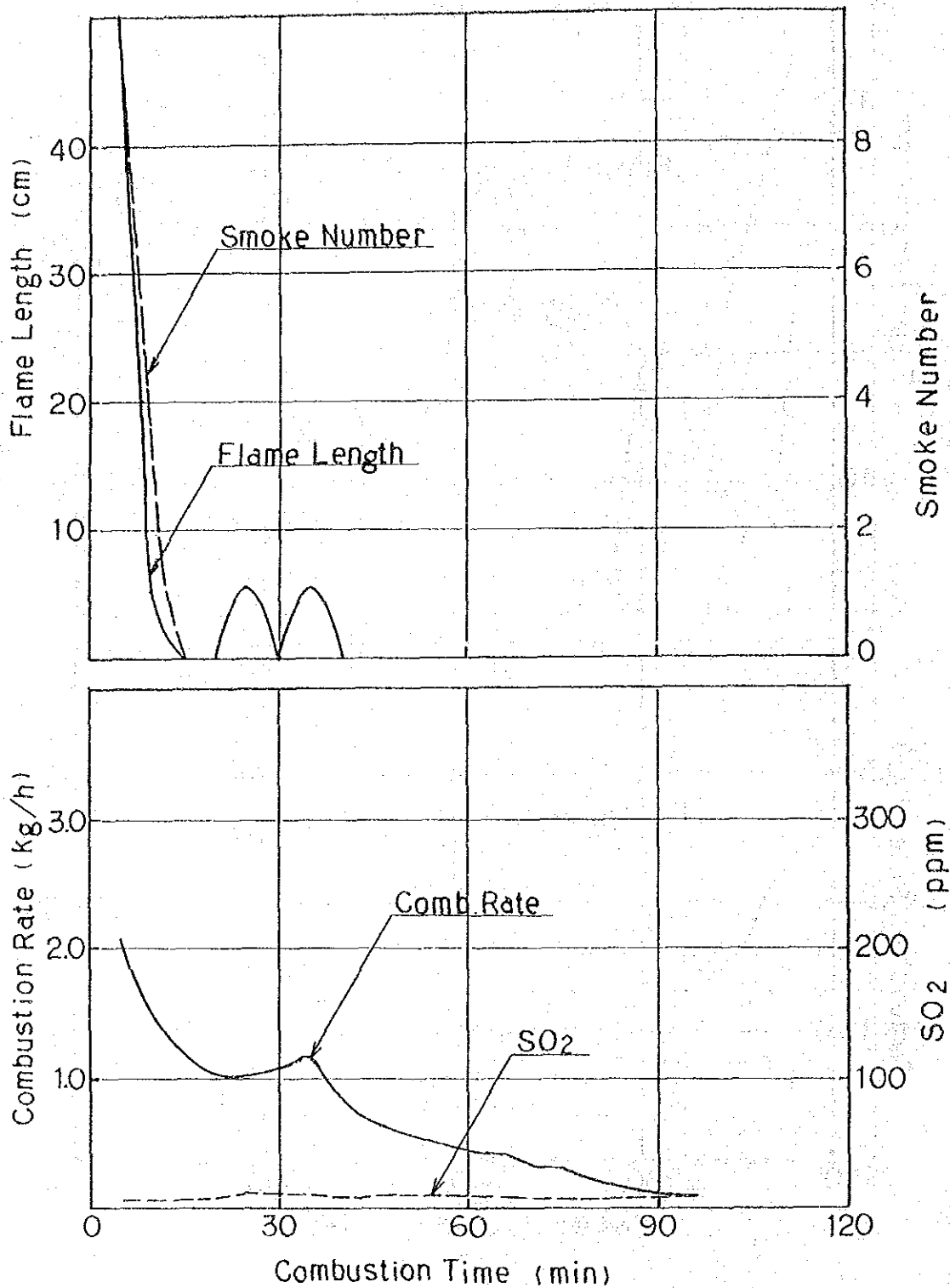


Figure 19-6 Flame Length, Smoke Number, SO₂, Combustion Rate
 High-quality Coal:Rice straw:Rice husks:Slaked lime = 80:10:10:10

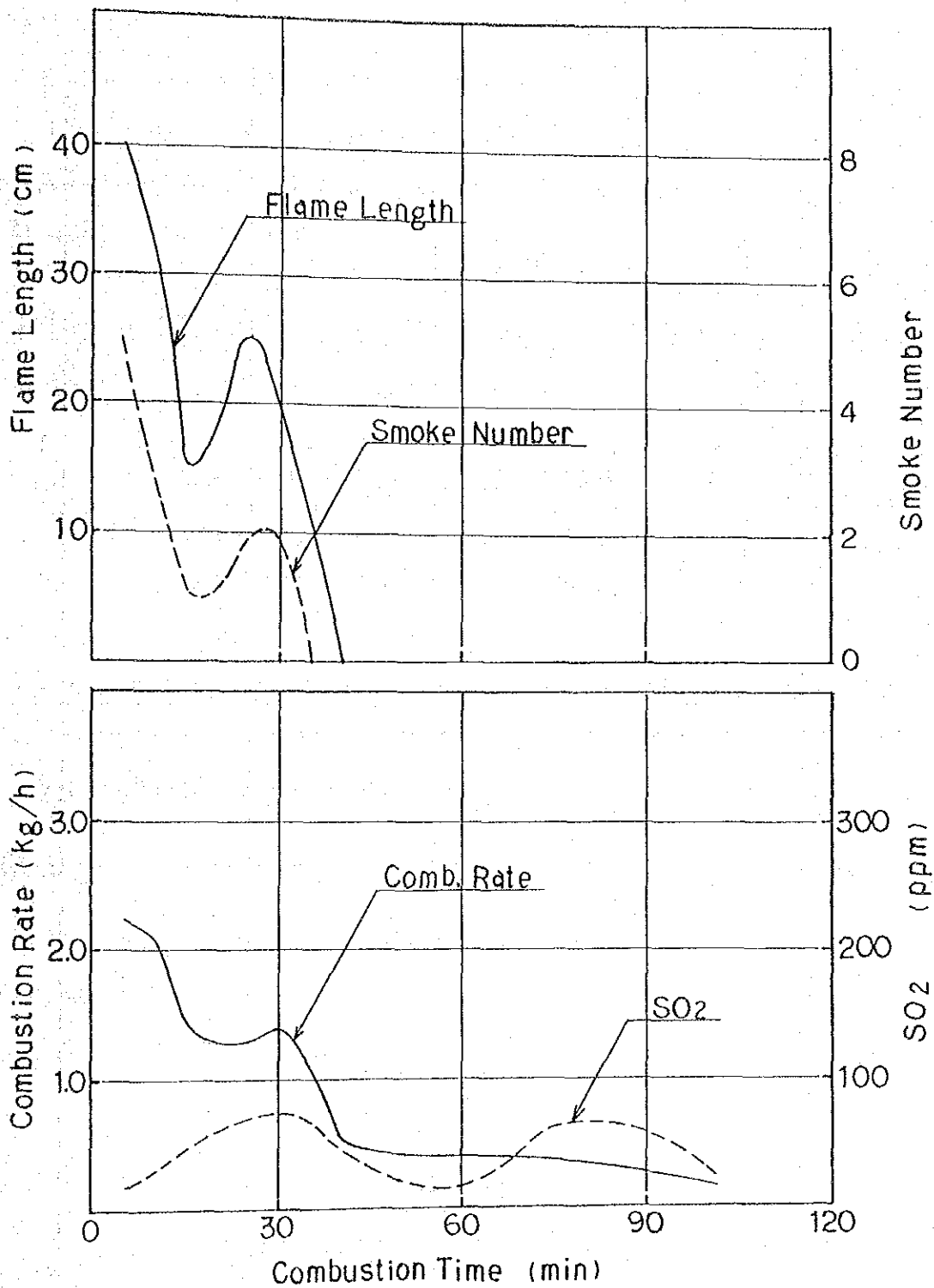


Figure 19-7 Flame Length, Smoke Number, SO₂, Combustion Rate
 Low-quality Coal:Bagasse:Rice husks = 80:10:10

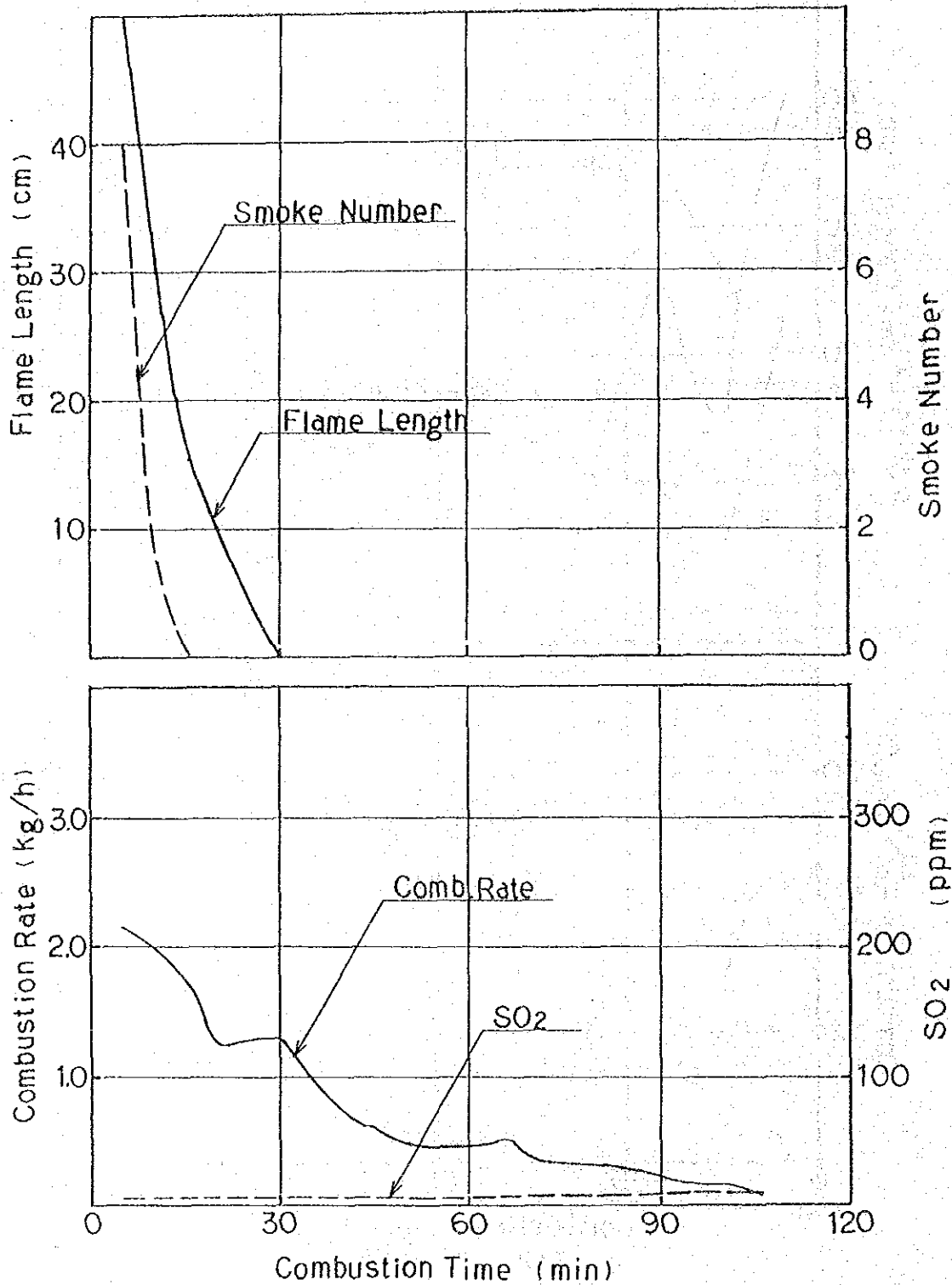


Figure 19-8 Flame Length, Smoke Number, SO₂, Combustion Rate
 Low-quality Coal:Bagasse:Rice husks:Slaked lime = 80:10:10:20

(3) 燃焼ガスの分析

以下に燃焼ガス中の亜硫酸ガスと一酸化炭素について記述する。高品位炭を原料とした場合、亜硫酸ガス濃度の最高値が80ppm、平均値が40ppmであったが、脱硫剤を5～10%添加したものでは、15ppm以下となった。低品位炭を原料とした場合、最高値が130ppm、平均値が80ppmであったが、脱硫剤を10～20%添加したものは30ppm以下となった。このように脱硫剤の添加により亜硫酸ガスの発生を抑制することができた。おき燃焼時の一酸化炭素濃度は約50～200ppmで、木炭燃焼時の300～1,200ppmよりかなり低かった。

試験用コンロによる燃焼試験の結果、燃焼筒上部の空気孔を密閉し、燃焼筒下部より二次空気を多めに送入することにより、燃焼時に発生する揮発分と空気との混合が良くなり、発煙および炎の発生時間を短縮できた。

以上の結果、タイ国国産原料のサンプル（但し稲わらと籾がらは日本産）より試製したリグナイトブリケットの燃焼性は所定の目標に達しており、炊事用燃料として十分に使用可能であると判断される。

19-5 タイ国陶製コンロによるリグナイトブリケットの燃焼試験

本試験はタイ国陶製コンロによるリグナイトブリケットの燃焼性を評価するために行った。

19-5-1 試験方法

試験方法は試験用コンロを用いた場合と同じである。

19-5-2 試験結果

タイ国製コンロでリグナイトブリケットを燃焼した結果、暫定品質基準で定められた5分以内に十分な火力に達せず、5～10分必要であった。また、着火直後には着火材と揮発分の不完全燃焼のため、煙が発生したが炊事場が非密閉構造のタイ国では許容限度内にあると考えられる。揮発分が有炎燃焼状態になると、煙の量も減り、おき燃焼時には、木炭と同様の燃焼状態となった。

以上の結果より、多少問題はあるものの、リグナイトブリケットはタイ国陶製コンロにて使用可能であると判断される。しかし、リグナイトブリケットをよりよく燃焼させるため、以下の対策が望まれる。

1. 一次および二次空気の流入を良くすると共に、その量の調節を可能とする。
2. 火格子の開口率を大きくする。
3. 着火を容易にし煙の発生量を軽減するため、別に燃焼筒を作り、火力が強くなるまでコンロの上へのせ、着火を早め、煙が発生する時間を短縮する。

タイ国の陶製コンロで揮発分を多量に含有するリグナイトブリケットを燃焼させるには、付属品として図19-9および19-10に示す様な揮発分燃焼筒をのせることが有効である。この燃焼筒は直径215mmおよび180mmの素焼陶器製で、下部の二次空気孔から流入した空気により揮発分が効率よく燃焼する。この燃焼筒をタイ国製コンロに乗せて試験を行ったところ、煙の発生を抑制することができた。

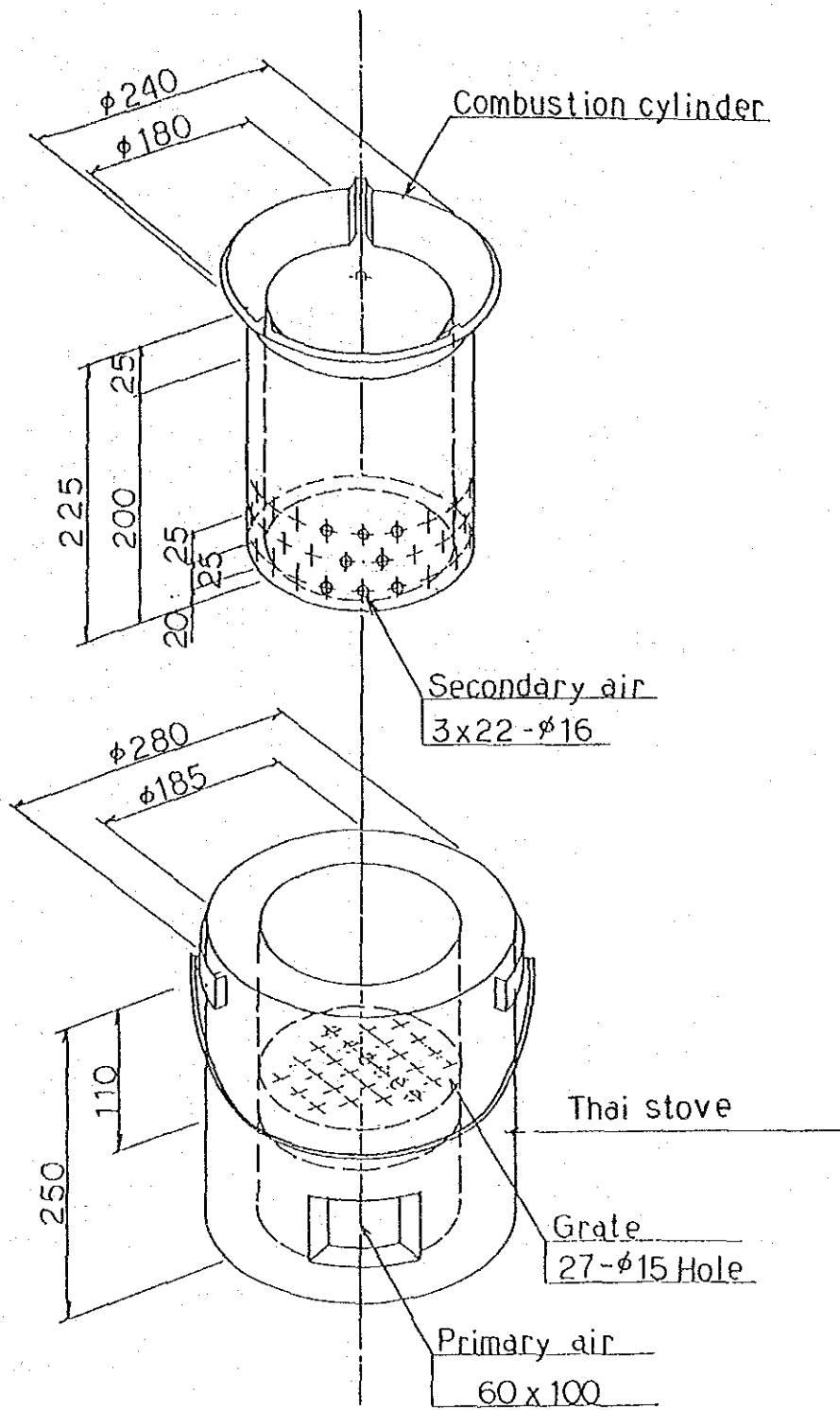


Figure 19-9 Type A Combustion Cylinder

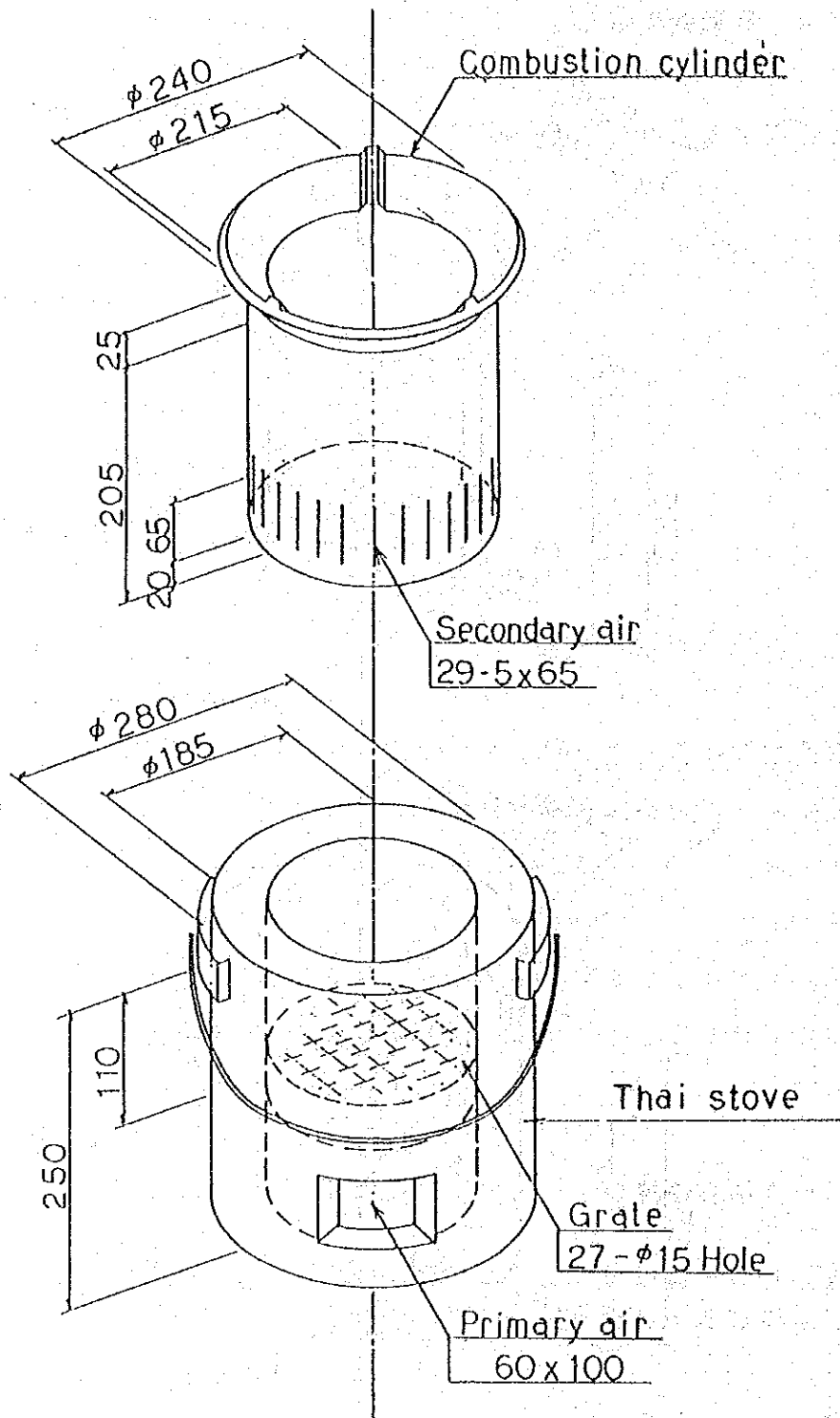


Figure 19-10 Type B Combustion Cylinder

19-6 リグナイトブリケット用コンロの試作

ストーブ開発の基本思想は次の通りである。

1. 試作を容易にするため、材料には鋼板を用いる。しかしタイ国のストーブ工場が陶製で模倣できるよう、複雑な構造はさける。
2. 標準的な炊事時間を1～1時間30分と想定し、燃焼室は燃料を1～1.5kg装炭できる容量とする。
3. 燃焼器構造は、煙の原因となる燃焼室の温度低下を防ぎ、さらに熱効率を上げるため断熱性の高いものとする。
4. おき燃焼時には燃焼室の上部を分離して熱を有効に利用できるようにする。

以上の条件を達成するために試作したコンロを図19-11から図19-16に示す。各部の機能は以下の通りである。

19-6-1 各部の特徴

(1) ケーシング

ケーシングと燃焼室の間に断熱層を作り、外部への放熱を少なくする。二次空気はAタイプコンロではケーシング外周より入り、スリットを通して燃焼室へ入る。Bタイプ、Cタイプ、Dタイプコンロでは、二次空気はケーシング最下部より入り、その際燃焼室からの放熱により予熱されてスリットより入る。Eタイプコンロでは、二次空気は外周の丸穴より入る。このため、燃料より放出された揮発分は冷却されず、煙の少ない燃焼が期待できる。

(2) 二次空気口

A、B、C、Dタイプでは二次空気口をスリット状とし、燃焼室上部で空気が容易に拡散され、煙の量が削減されることを図った。Eタイプコンロは丸穴である。

(3) 火格子

火格子の開口率は60～70%とし空気が十分入るようにした。

(4) 一次空気口

火力の調節のために一次空気量の調節を可能とした。

19-6-2 試作コンロの特徴

A、B、C、D、E各5種の試作コンロの構造を図19-12～図19-16に示す。Aタイプより試作し、改良を重ねて最終的にEタイプに至った。A・B両タイプは一体型でC、D、Eタイプは上下分離型である。上下分離型は揮発分燃焼時とおき燃焼時の両方で効率を高めることを目的としたものである。A～D型でスロット型とした空気孔をEタイプでは陶器による制作を容易にすべく、丸孔とした。

19-6-3 試作燃焼器での試験方法および試験結果

試料番号24、56、57、58、59、60、61および62の燃料を1kgないし1.5kg使用し19-3節に述べた熱効率測定法にて燃焼試験を実施した。排気ガス中の一酸化炭素、亜硫酸ガスは検知管にて測定した。脱硫率は、灰中の硫黄量と燃料中の硫黄量から計算して求めた。

(1) ばい煙濃度

Aタイプコンロでは、揮発分燃焼中にスモークナンバーが8とかなり発煙した。これは一次空気口が3か所あり、そのため火力が急に強くなり、揮発分が急激に燃焼したためと考えられる。他のコンロでは鍋をのせた後10～15分間はスモークナンバーで1～3程度、その後はほとんど0に近くなった。また、鍋と鍋受けの隙間が1cm以下になるとスモークナンバー8と煙の発生が多くなる。

(2) 一酸化炭素濃度

揮発分燃焼時にはいずれも50ppm以下であったが、おき燃焼に移行すると濃度が増加し最高300ppmとなった。

(3) 脱硫率

脱硫率を表19-6に示す。一例を除いて、いずれのコンロでも70%以上の脱硫率を示した。また、この試験では亜硫酸ガスの刺激臭はほとんど感じられなかった。

脱硫率が、47.1%と低かった例では、燃焼温度が高すぎて亜硫酸ガスの捕捉が不十分だったと考えられる。実際に調理用に使用するにあたっては、目やのどを刺激することなく、実用上問題はないものと考えられる。

Table 19-6 Rate of Desulfurization

Stove	Sample No.	Rate of Desulfurization, %
A	56	74.8
A	57	74.8
A	58	73.5
B	58	73.5
B	56	74.8
B	61	86.2
B	62	47.11
C	59	71.5
C	60	82.0
C	60	86.0

(4) 熱効率

熱効率測定試験結果を表19-7に示す。C、DおよびEタイプが高い値を示したが、陶製で類似品を作ることの容易さからEタイプが最適であると判断される。

Table 19-7 Thermal Efficiency

No.	Stove	Sample No.	Sample, kg	Net heating value kcal/kg	Efficiency %
1	A	56	1.35	3,880	28.2
2	A	57	1.5	3,950	28.3
3	A	58	1.5	3,840	33.1
4	B	58	1.5	3,840	27.2
5	B	56	1.5	3,880	23.4
6	B	61	1.0	4,540	24.2
7	B	62	1.483	4,020	21.8
8	C	60	1.0	3,430	30.4
9	C	60	1.0	3,430	33.5
10	C	59	1.0	3,880	35.8
11	D	61	1.5	4,540	31.0
12	D	61	1.5	4,540	34.2
13	D	59	1.5	3,880	31.8
14	D	41	1.5		33.3
15	E	57	1.265	3,950	29.0
16	E	41	1.0		34.1

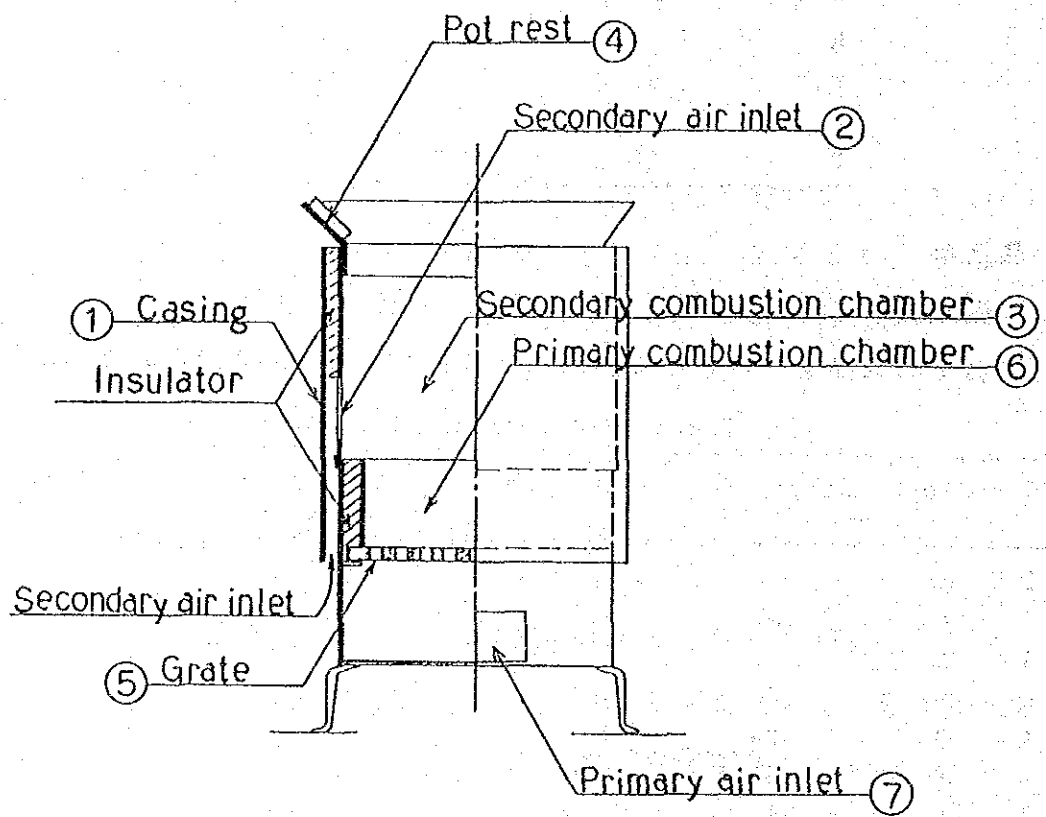


Figure 19-11 Trial Stove

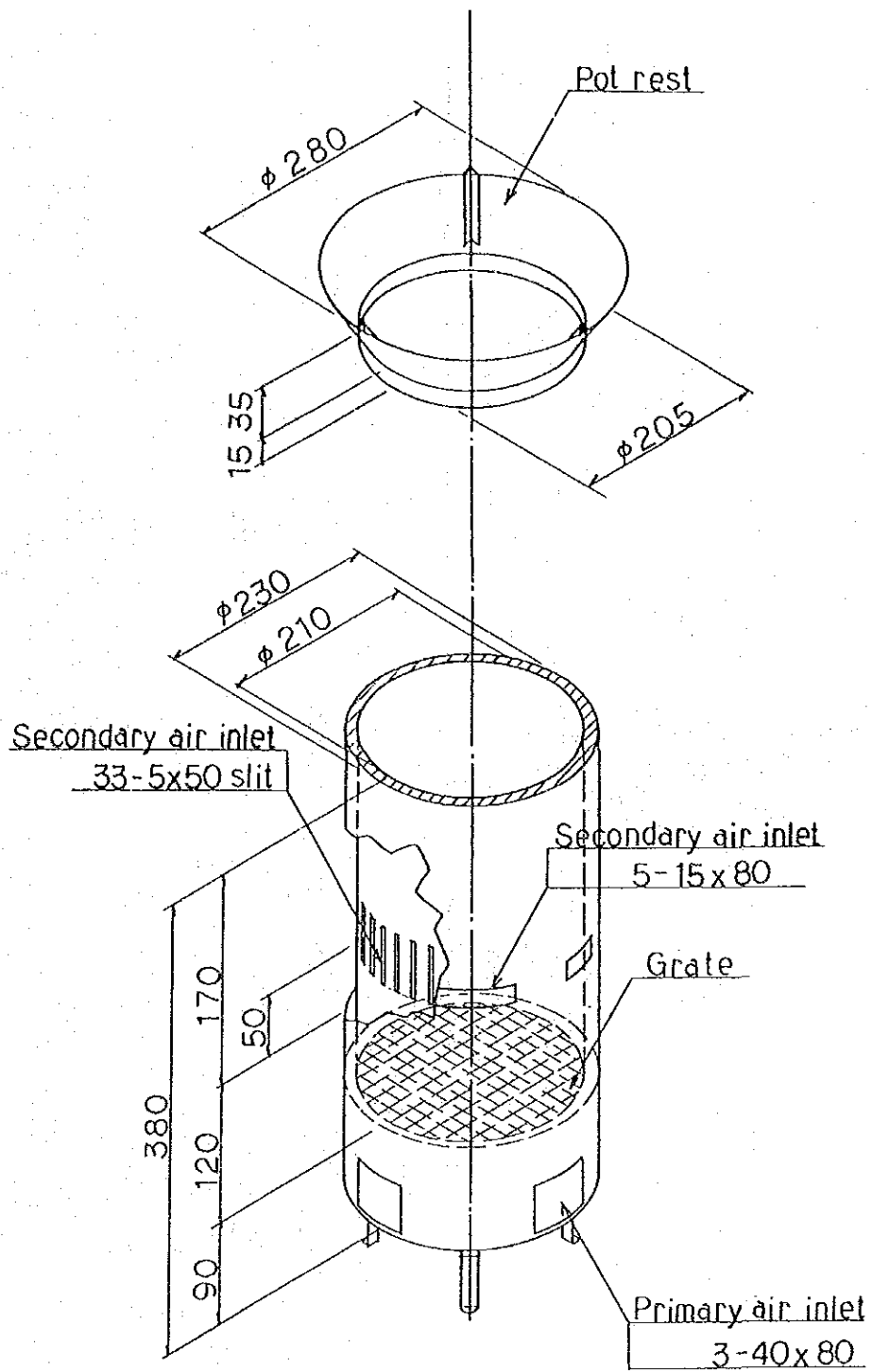


Figure 19-12 Type A Stove

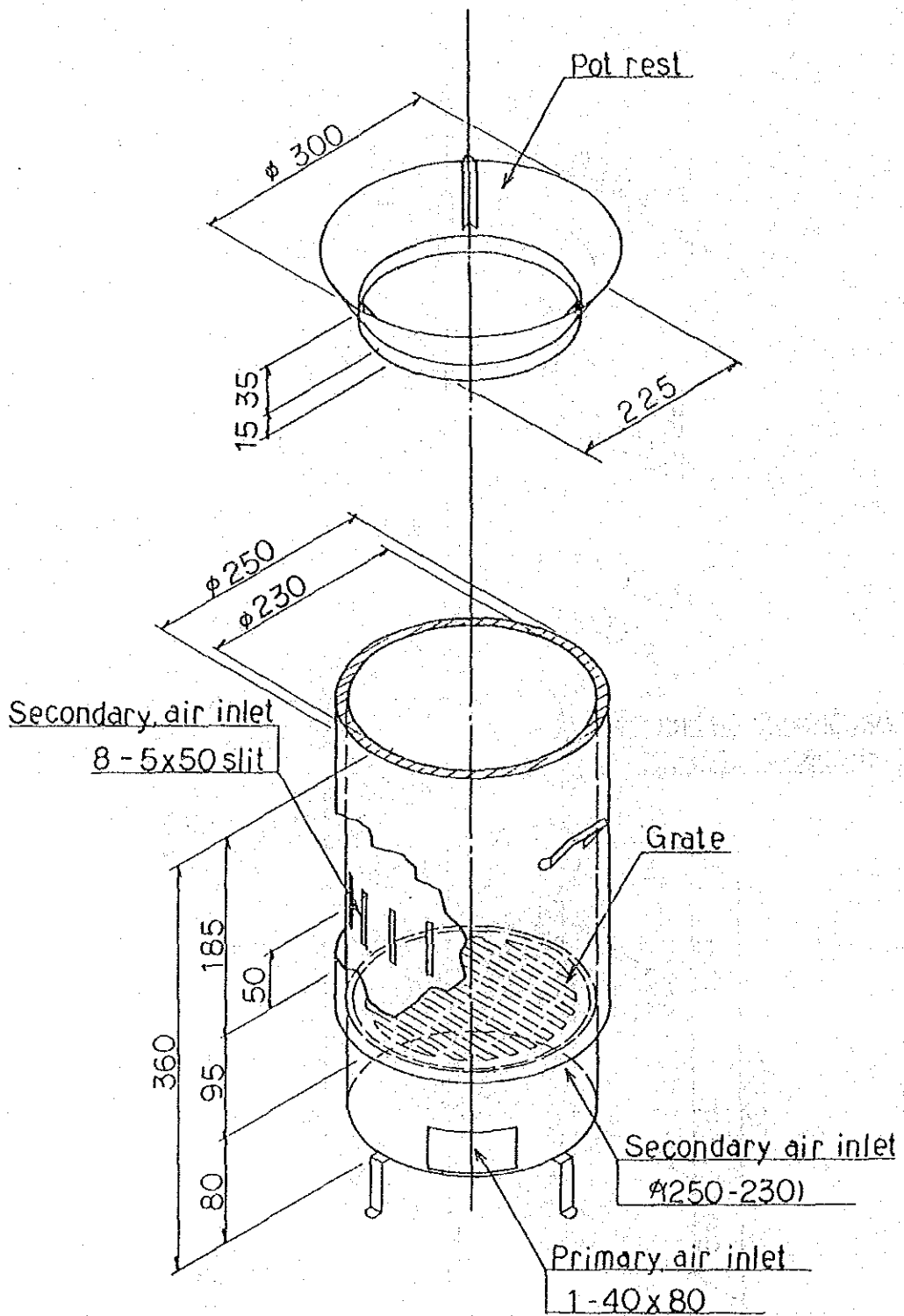


Figure 19-13 Type B Stove

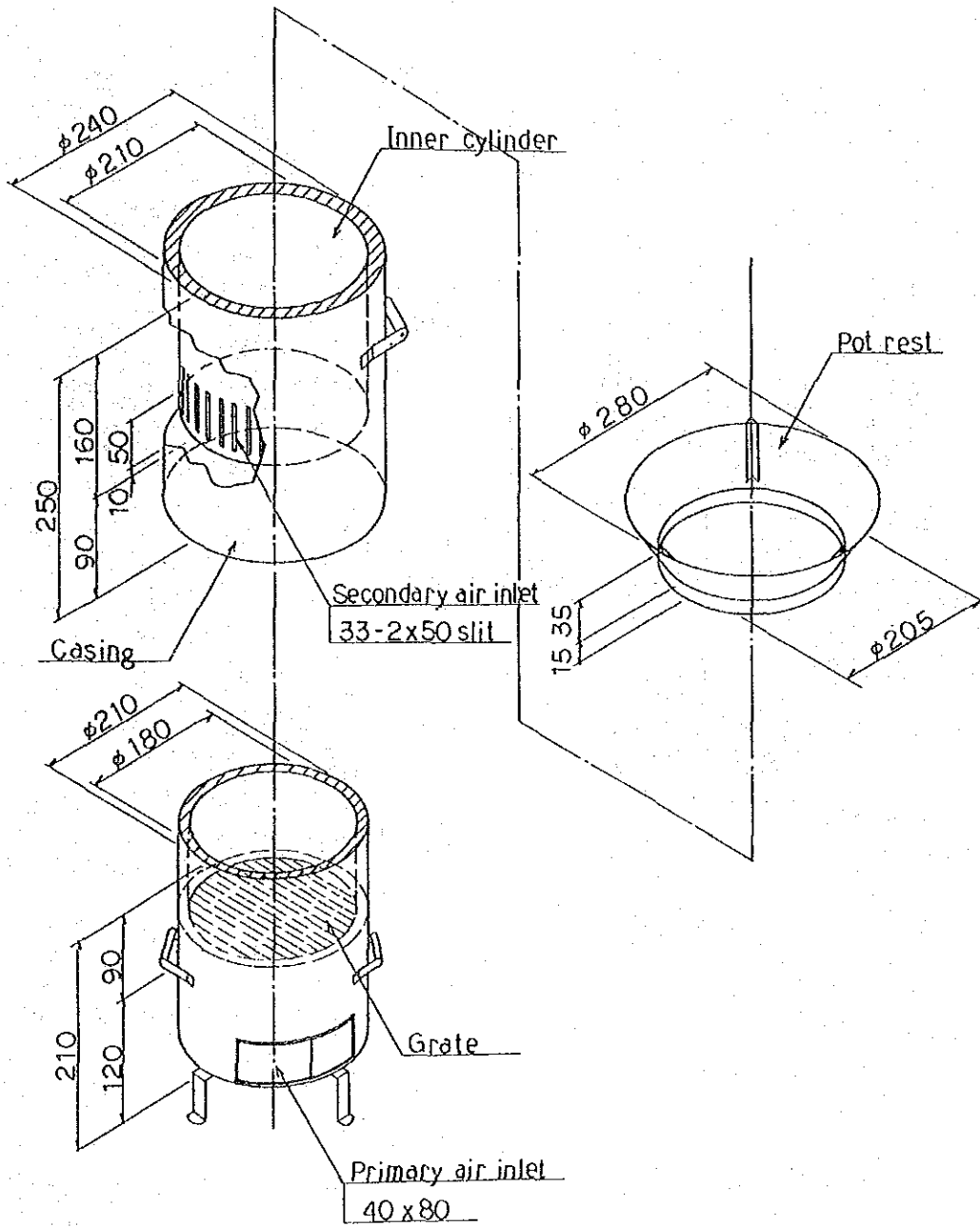


Figure 19-14 Type C Stove

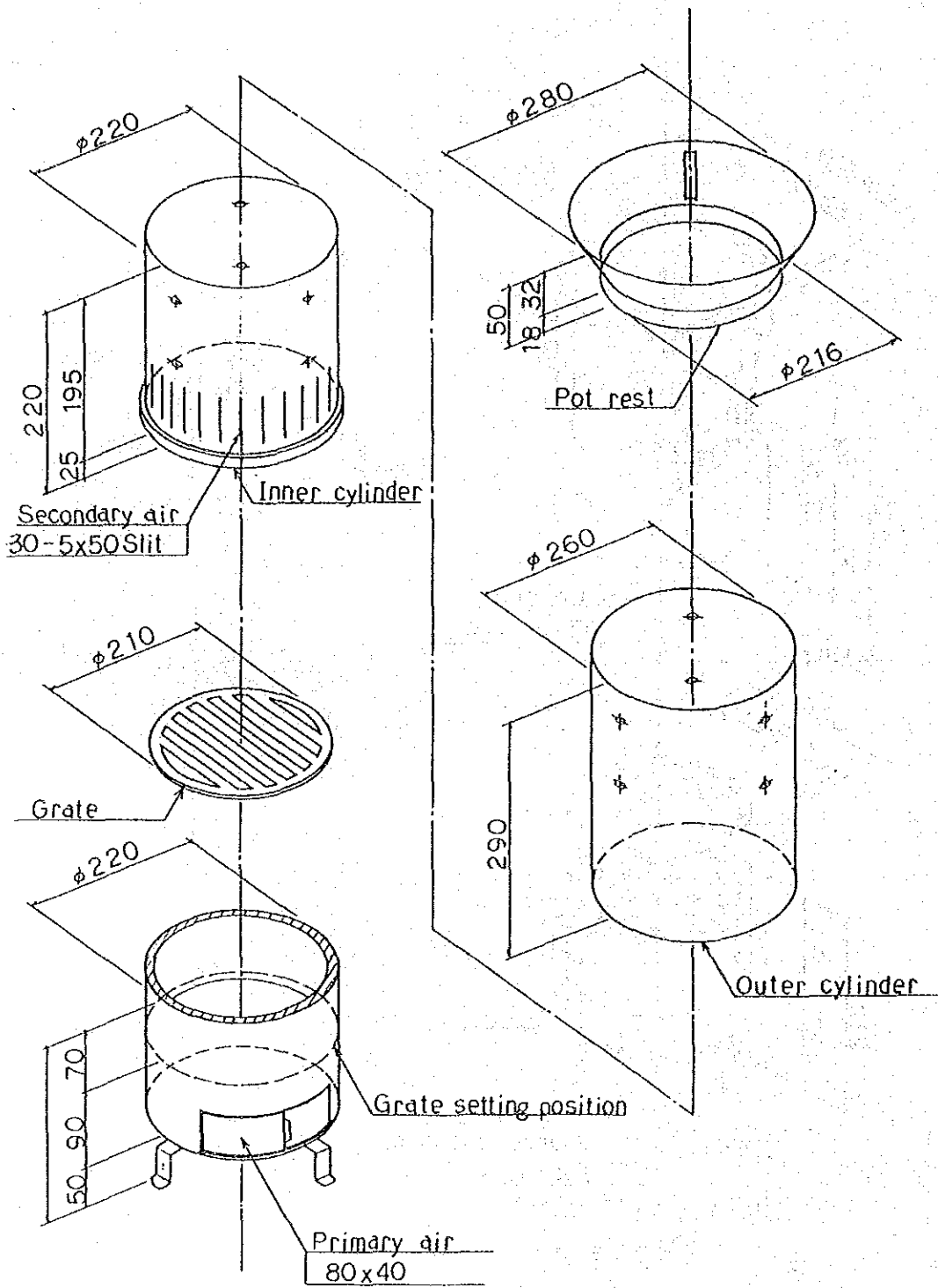


Figure 19-15 Type D Stove

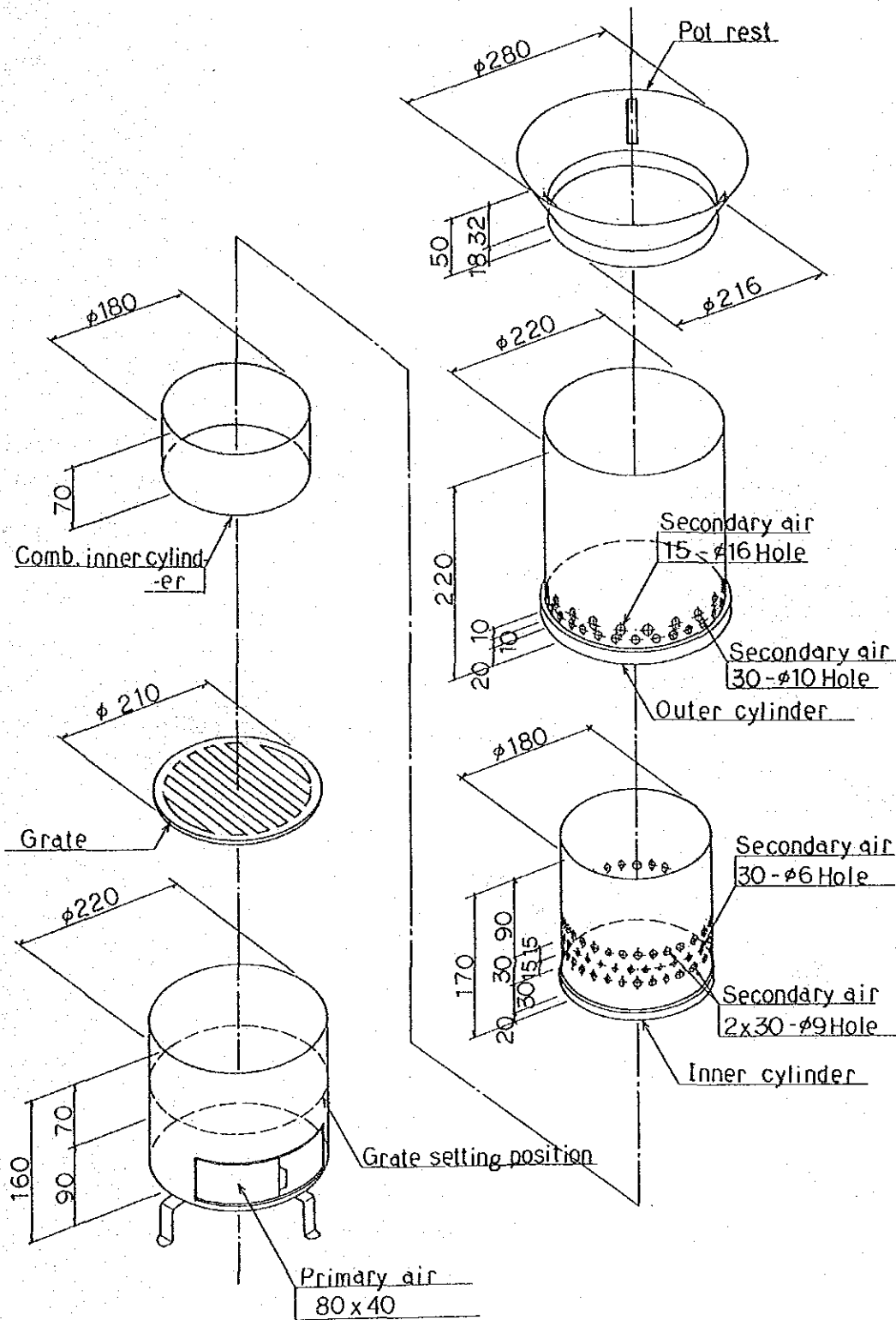


Figure 19-16 Type E Stove

第 2 0 章 ベンチスケールプラント

第20章 ベンチスケールプラント

20-1 ベンチスケールプラントの目的

ベンチスケールプラントは、下記の目的を達成するためにバンコク北部のランシットにある NEA のエネルギー研究燃料試験センターに設置された。

1. タイ国産の原料のみを用いて高品質のリグナイトブリケットが製造できることを実証する。
2. NEA のスタッフがベンチスケールプラントの運転に習熟し、NEA の研究開発に活用できるようにする。
3. モニタリング調査に必要な量のリグナイトブリケットを製造する。

20-2 ベンチスケールプラントの設置

20-2-1 機器の検査

ベンチスケールプラントの機器の開梱に際し、NEAのスタッフと調査団は共同で下記の事項を確認した。

- パッキングリストを参照し、未配達の機器がないこと。
- 配達された機器に損傷がないこと。

寄贈された機器のリストを表20-1に示す。

20-2-2 プラント用地の状況

機器の到着に先立ち、NEA は調査団の要望通りベンチスケールプラントの設置および運転に必要な全ての準備作業を完了した。その準備作業は、既設の建造物の改造、電気配線や用水および排水配管の設置を含む。

Table 20-1 Machine List

Item	Machine Name	Specifications
Coal Crusher	Roll Jaw Crusher	Coal: 200 to 300 kg/h Particles: 100 to 5 mm
Coal Pulverizer	Hammer Crusher	Coal: 100 to 150 kg/h Particles: 5 to 2 mm
Biomass Pulverizer	Pin Mill Machine	Biomass: 50 kg Particles: 10 to 2 mm
Vibrating Screen	Vibrating Screen	3 Decks, Closed Screen Area: 0.31 m ² /deck
Mixer	Mixer	Coal, Biomass: 100 to 150kg/h Ribbon spiral, barrel type, batch mixer with heater
Briquetting Machine	Briquetting Machine	Briquettes: 150 to 200 kg/h Single-shaft drive, double-roll type with cantilever
Vibrating Shifter	Vibrating Shifter	Screen mesh: 14 mm Total screen area: 0.524 m ²
Belt Conveyor	Belt Conveyor	Belt width: 350 mm Length: 5 m
Platform Scale	Platform Scale	Max. capacity: 100 kg Reading: 10 gr.
Tablet Tester	Tablet Tester	Max. Pressure: 4 tons/cm ² Tablet size: 25 mm dia.
Unconformity Compression Tester	Compression Tester	Max. Capacity: 200 Kgf
Vernier Caliper	Vernier Caliper	L 200 mm x 0.05 mm
Dust Collector	Dust Collector	Static pressure: 110 mmAq Capacity: 28 m ³ /min.
Air Compressor	Air Compressor	Max. pressure: 7 Kg/cm ² g Air tank: 38 liters Filling up time: 5 min.
Oil Burner Combustion Test Kit	Combustion Test Kit	1. MFZ draft, 2. Thermometer, 3. Smoke tester, 4. CO ₂ Detector
Gas Detector	Gas Detector	Detector tube: CO, CO ₂ , NO ₂ , SO ₂

Note: One each item was provided.

20-2-3 機器の設置

全ての機器はNEAのスタッフにより規定位置に設置され、電気配線も接続された。調査団員とJICAより派遣された技術者も機器の設置に協力した。

20-3 運転開始の準備

20-3-1 原料および潤滑油の調達

リグナイトブリケットの製造には下記の原料を使用する。

- リグナイト
- バイオマス
- 脱硫剤（消石灰または炭酸カルシウム）

NEAは当分の間運転を継続できる量の下記原料をプラント用地に用意した。

- バンパカ炭鉱産の高品位および低品位リグナイト
- 稲わら、籾殻、バガス
- 消石灰

プラントの運転条件を原料性状に応じて設定するために、使用に先だち上記原料の試験を実施した。

また、機器の要求仕様に合った潤滑油を用意し、各機器に充填した。

20-3-2 機器の調整および無負荷運転

設置後、各機器の状態を検査し、運転開始のために調整した。さらに、問題なく動くことを確認するために各機器の無負荷運転を実施した。

20-4 リグナイトブリケットの試製

20-4-1 製造スケジュール

運転開始後2か月間は、ベンチスケールプラントを専らモニタリング調査用のリグナイトブリケットの製造に充てた。モニタリング調査用には、要求品質に合致し、均一なリグナイトブリケットを短時間にしかもかなり大量に製造することが必要であった。そのため、日本で実施した一連の試製により確立した運転条件を採用した。この間に約4トンのリグナイトブリケットを製造しモニタリング調査に使用した。

その後、運転条件とリグナイトブリケットの品質の関係の調査のため、各種試製試験とリグナイトブリケットの燃焼試験を実施した。原料の種類、原料の調合率および水分含量等の主要な運転条件の製品品質への影響を調査した。

20-4-2 製造方法

リグナイトブリケットの試製に用いたベンチスケールプラントのフローシートを図20-1に示す。

リグナイトブリケットはリグナイトとバイオマスを粉砕し、それに脱硫剤を加えた混合物を圧縮して製造する。リグナイトとバイオマスの最適混合率は両者の性状により調整する必要がある。脱硫剤の添加量は原料リグナイトの硫黄含有量と使用する脱硫剤の種類により決定する。

主原料のリグナイトを乾燥し水分含量を調節した後、一次および二次リグナイト粉砕機により規定の粒径に粉砕する。原料リグナイトの粒径が25mm以下の場合是一次粉砕機を使用する必要はない。

バイオマスも同様に一次および二次バイオマス粉砕機により規定の寸法に粉砕する。

規定重量の粉碎リグナイトと粉碎バイオマスおよび脱硫剤を、混合機にて均一に混合する。この時必要であれば、水分含量調節のため加熱脱湿する。

均一に混合し水分含量を調節した混合物をブリケットマシンに投入し、約 $170\text{Kg/cm}^2\text{G}$ の圧力にて圧縮しリグナイトブリケットを製造する。製造したブリケットを震動シフターにてスクリーニングしバリを除去し形を整える。震動シフターにて除去したバリを混合機にリサイクルする。

図20-1に示すように、リグナイトブリケットの製造に際しては原料の性状を調査し、主要な操作の状況を確認するために各種の試験を実施する。

ベンチスケールプラントにおいては各操作はバッチ方式で運転される。

20-4-3 モニタリング調査用サンプルの製造条件

モニタリング調査用のリグナイトブリケットのサンプルは、基本的には以下の運転条件の下に製造された。

- 原料調合比 (重量比)

リグナイト : 稲藁 : 消石灰 = 80 : 20 : 20

- 水分含量 (wt%)

リグナイト : 10以下

稲わら : 7以下

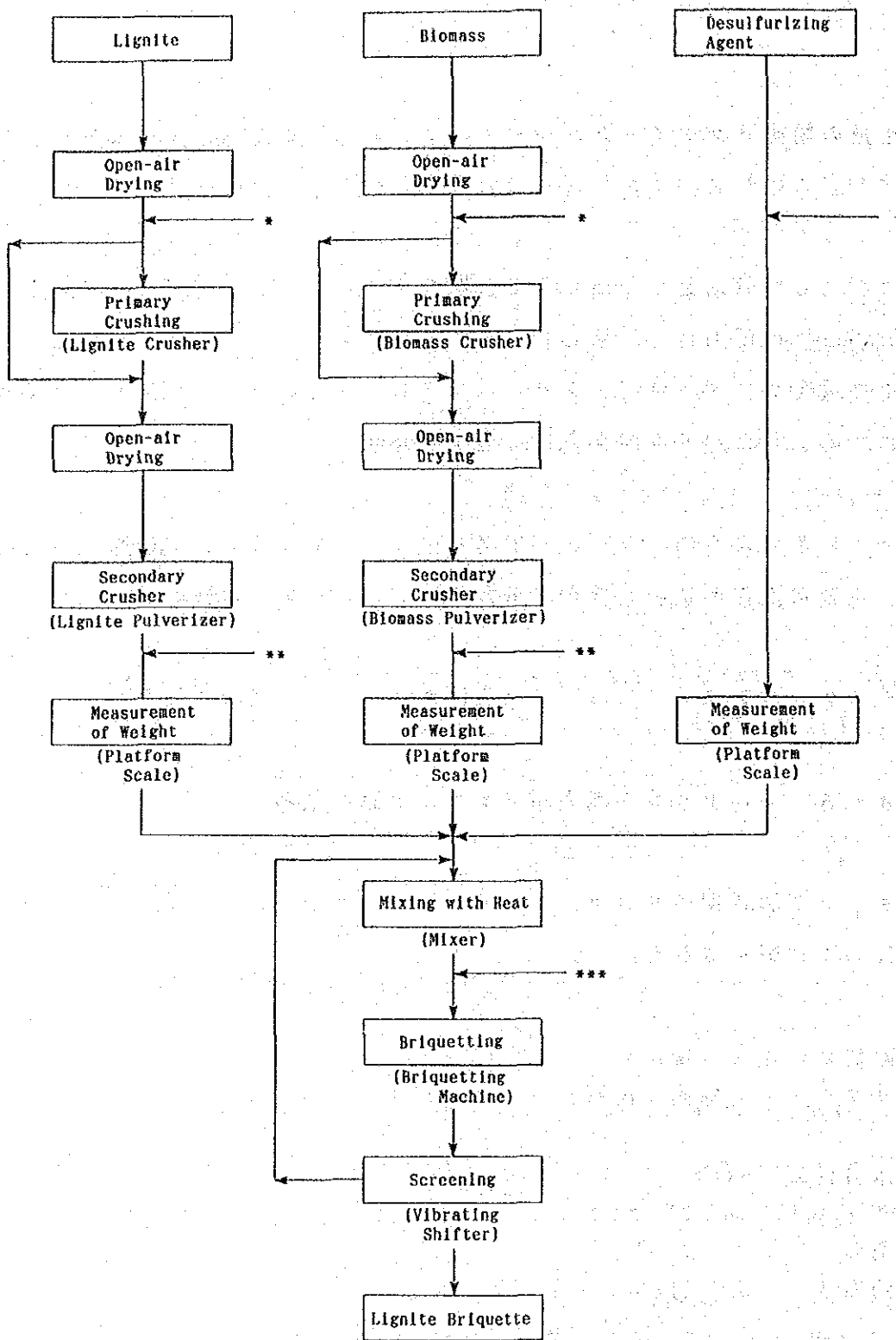
消石灰 : 1以下

- 粒子径 (mm)

リグナイト : 2以下

稲わら : 3以下

消石灰 : 0.5以下



(Note) * : Test of composition, particle size distribution and moisture content

** : Test of moisture content and particle size distribution

*** : Test of moisture content and tablet test

Figure 20-1 Block Flow Diagram of Lignite Briquette Test Production

20-4-4 製品品質

表20-2に原料と製品リグナイトブリケットの分析結果を示す。

モニタリング調査の結果、数項目の欠点が指摘されたが調査に用いたリグナイトブリケットの品質は、ある条件の下では潜在的なユーザーに受け入れられる可能性が高い事が明らかになった。

Table 20-2 Results of Proximate Analysis of Raw Materials and Product

	Moisture wt%	Ash wt%	Volatile Matter wt%	Fixed Carbon wt%	Heating Value [*] (Gross) kcal/kg	Total Sulfur [*] wt%
Raw Materials						
Low-quality Lignite	13.2	29.3	30.8	26.8	3,951	1.55
High-quality Lignite	16.1	5.3	37.8	40.8	6,337	0.53
Rice Straw	6.2	14.1	62.6	17.1	3,940	0.18
Rice Husk	7.7	15.2	59.0	18.1	4,119	0.12
Bagasse	7.8	15.1	66.4	10.8	4,363	0.12
Product						
Lignite Briquette	9.0	21.9	39.1	30.1	4,305	0.20

Note:

*: figures at moisture-free conditions

20-5 技術移転

20-5-1 運転支援

高品質のリグナイトブリケットを安全にしかも効率よく製造するとともにプラントを良好な状態に維持するために、NEAの運転員がベンチスケールプラントの運転に慣れるまで調査団員が運転を支援した。

20-5-2 作業基準

ベンチスケールプラントの運転および保守に関する技術を確実に NEAに移転するために、調査団は運転および保守に関する基本原理を説明した英文の作業基準を作成し NEAに提出した。さらに実際にベンチスケールプラントを前にし、作業基準に述べられた各操作手順を NEAと調査団の双方が確認した。さらにこれを有効に利用するために、作業基準を NEAがタイ語に翻訳した。

20-6 修理

運転を開始して2週間後、ブリケッティングマシンに異常な接触が発見されたが機械メーカーが直ちに派遣した技術者が修理した。よって、モニタリング調査に重大な支障を及ぼすことは避けられた。

20-7 将来計画

NEAより得た情報によれば、NEAはベンチスケールプラントの利用に関し下記の計画を持っている。

20-7-1 ベンチスケールプラントの移設

運転環境を改善するために、ベンチスケールプラントは1991年に現在の場所の近くに新設される建物に移設される予定である。

20-7-2 リグナイトブリケットの試製

NEAは下記研究のためリグナイトブリケットの試製を継続する予定である。

- 原料の多様化
- リグナイトブリケットの品質改善
- 製造コストの削減

20-8 評価および提言

1990年7月から10月にかけての現地調査に基づき、ベンチスケールプラントの意義に関し以下の様に評価できる。

- モニタリング調査の結果に示される様に、タイ国産の原料のみを用いてユーザーに受け入れられる品質のリグナイトブリケットが製造できることが確認された。
- モニタリング調査に必要な量のリグナイトブリケットのサンプルを製造することができた。
- 1990年7月から10月にかけての4か月間の経験を通して、NEAの運転スタッフはベンチスケールプラントの運転および保守に習熟し、外部の助力なしに運転の継続が可能である。よって、本プラントはNEA独自の研究・開発に十分に活用されるものと期待される。

なお、NEA独自の研究・開発のためにベンチスケールプラントを活用する際には以下の点に留意することが必要である。

- 作業基準に示された項目を遵守し、事故防止に努めること。
- プラントの運転を継続するには、原料の確保のみならず潤滑油やスペアパーツの補給が必要となる。そのための予算を確保すること。

第 2 1 章 ブリケットに関する過去の研究

第21章 ブリケットに関する過去の研究

21-1 タイ国における石炭利用の問題点

第4章で述べたように、タイ国の石炭資源は国産エネルギー中最大の埋蔵量を持つが、その95%以上は低品位のリグナイトであり、用途は現在山元発電用燃料にほぼ限られている。一方、タイ国政府の基本エネルギー政策はエネルギー自給率の向上であり、石炭資源の開発・有効利用は年々重要度を増している。特に近年、エネルギー自給率の向上のみならず森林資源の保護のためにも薪・木炭等の木質系燃料の代替としてリグナイトを小規模工業用および家庭用燃料として利用することが求められている。

21-2 タイ国における石炭利用の歴史

タイ国においては、1970年代の石油危機のはるか以前からリグナイトの利用が図られており、1957年には10万トンのリグナイトが発電用燃料として利用されていた。1970年代に勃発した石油危機によりタイ国においては石炭開発計画を促進する事が余儀なくされ、第5次5か年計画（1982年～1986年）においては、輸入石油に対する依存度を75%から43%に削減する事が目標として掲げられた。その結果、1985年までにはタイは東南アジアにおける最大の国産石炭利用国となった。

石炭資源のほとんどを占めるタイ国産の低品位リグナイトは、灰分および水分の含有量が多く発熱量が低いため長距離輸送に適さず、ほとんど全量が山元発電用燃料として使用されている。また、少量産出する品質の高い亜瀝青炭はセメントプラント用燃料、高品位リグナイトはタバコ乾燥用燃料として利用されている。これまでのところ、いずれの石炭も家庭用燃料としては利用されていない。

しかしながら、エネルギー自給率の向上および森林資源の保護を目指すタイ国政府は、1987年～1992年の第6次5か年計画において初めて、小規模工業および地方における家庭用燃料としてタイ国産リグナイトの利用を促進することを政策に掲げた。また、そのために必要となる研究開発を促進することを約束している。

21-3 タイ国産炭を利用したブリケット製造の研究

21-3-1 研究内容

低品位炭および用途の少ない粉炭を小規模工業用および家庭用燃料として有効に利用するためには石炭のブリケット化が有効とされている。そのためタイ国においては20年以上にわたりタイ国産炭のブリケット化に関する各種の研究が大学・研究所・企業において実施されてきた。その研究内容を大別すると以下のようなになる。

(1) 製鉄用ブリケット製造に関する研究

タイ国産炭を原料とする製鉄用ブリケットおよびコークス製造に関する研究がドイツの会社の協力を得て実施された。バインダーにはコールタールピッチが使用された。

(2) 炭化した石炭をブリケット化する研究

無煙燃料の製造を目的として各種石炭を炭化(カーボニゼーション)し、バインダーを用いてブリケット化する研究がタイ政府機関および大学において実施された。バインダーとしてはタール、アスファルト、澱粉、黒液(パルプ製造の廃液)等が使用された。石炭を炭化すると良質の燃料が製造できるが、設備費および運転費が高く、製造コストが高くなることが指摘されている。特に、石炭の炭化の際に大量のガスが発生するのでガスの回収・利用プラントを併設した大規模プラントでない限り経済性がないとされている。

(3) 炭化しない石炭をブリケット化する研究

用途の少ない低品位炭または粉炭を各種バインダーを用いてブリケット化し、工業用および家庭用燃料として利用する研究が大学にて実施された。バインダーとしては粘土が使用された。燃焼特性は薪と同等と評価されている。家庭用燃料として使用する際の問題点としては、燃焼時の大量の煙の発生が挙げられている。

(4) バイオマスをブリケット化する研究

地方における木質系燃料の代替物としてバイオマスをブリケット化し固体燃料として利用する事が研究された。バインダーとしては粘土、モラセス、タール、アルコール製造プロセスからの廃棄物等が利用可能である。その際、リグナイトを混入する事も可能である。この方法の利点としては設備費および運転費が安いことが挙げられるが、製造された燃料の品質は低く普及するに至っていない。

21-3-2 今後の研究テーマ

タイ国においてエネルギー自給率の向上および森林資源の保護を目的として石炭の消費を拡大するためには、現在家庭用燃料および小規模工業用燃料として大量に消費されている木質系燃料の代替として埋蔵量の多いリグナイトを大量に使用する事が求められる。しかしながら実際は以下の理由により、上記の用途にはリグナイトはほとんど使用されていない。

- 輸送費用および消費時の利便性を考えれば、ブリケット化するしかないにもかかわらず低品位リグナイトは選炭し、発熱量を高める必要がある。しかしながら洗炭プラントは設置されていない。

- 数多くの研究が実施されたが、未炭化のリグナイトをブリケット化するための適当なバインダーは未だ見い出されていない。

- リグナイトを原料として無煙燃料を製造するためには、リグナイトを炭化する事が必要であるが、そのためには副生するガスの回収・利用設備の併設が

必要となり、大規模プラントとなる。

よって、タイ国における今後の研究テーマとしては次のものが挙げられる。

- 1) ブリケット製造に関する研究を更に推進して、技術上の問題点を解決する事が必要である。その中には適当なバインダーの選定が含まれる。
- 2) 発熱量の高い均一な品質の石炭を供給するためには、選炭プラントの設置が有効と思われるが、その実現のためにはタイ国産炭の可選性のテストを含む選炭プラントの技術・経済評価を実施する事が必要となる。

21-3-3 採用プロセスの特徴

本調査において採用されたリグナイトブリケット製造プロセスは、これまでタイ国で実施された研究で用いられた方法に比べ、次のような特徴を有している。

- 1) 副原料として用いられるバイオマスは、リグナイトブリケットの燃焼性を向上させる助燃材としての働きとバインダーとしての働きを有するため、特別なバインダーは必要としない。
- 2) 混入される消石灰等の脱硫剤の働きにより、リグナイトに含まれる硫黄分の燃焼による悪臭の発生と大気汚染は軽減される。
- 3) 粉砕された原料を圧縮するだけでブリケットが製造できるので、設備費および運転費が安い。したがってリグナイトブリケットが安価に製造できる。
- 4) 製造方法が単純なだけに運転条件の選定が難しく、予定する原料を用いてリグナイトブリケットを試製し、製品品質の確認と最適運転条件を把握する事が必要になる。なお主要な製品品質である発熱量は、主原料であるリグナイトの発熱量に左右される。

- 5) 本計画調査では、製品ブリケットの使用時の便宜性と調理人の健康を配慮し、減煙プロセスを加えた。

第 2 2 章 結論と提言

第 2 2 章 結論と提言

本計画調査を完了するに当たり、結論と提言を述べる。

22-1 結論

パイロットプラントそのものは財務的にフィージブルでないが、以下に述べる理由により具体化を図る価値がある。

- (1) タイ国ではリグナイトブリケットプロジェクトを実現すべきと判断される。その理由として、今後、一層進行すると予想される森林破壊を防止するための政策、エネルギー供給源の多様化政策、リグナイトの有効活用政策、リグナイトブリケットの使用に転換可能な生活様式と調理習慣、リグナイトとバイオマスおよび石灰石などの原料の入手可能性、および需要に見合う木質燃料の供給が森林破壊の防止を考慮にいれると難しいことが挙げられる。
- (2) 薪炭はタイ国の人々にとって調理用エネルギーの80%を占める重要な燃料である。しかし、これはまた森林破壊の主な原因ともなっている。本調査における、シミュレーション分析の結果、予測される薪炭の需要を森林の伐採で賄うとすれば森林は今後20年くらいで消滅することが判明した。従って、森林保護のためには、樹木の伐採の禁止をより厳格に守る必要がある。また、この結果、調理用燃料の供給不足を招くことが予想される。木質燃料の供給と森林保護の両面を考慮して、樹木の伐採を毎年6%づつ抑制すると、森林の消滅は防止することができる。この場合には、木炭の供給は需要に対し1995年には40万石油相当トン、2010年には130万石油相当トンの不足を生じ、この不足分は適切な代替品によって賄う必要があり、リグナイトブリケットは有力な代替品として挙げられる。

- (3) リグナイトブリケットは調理用木炭の有力な代替製品であると判断される。一方、調理用のみならず工業用に用いられている薪に代わってリグナイトブリケットを使用することは、薪に比較しリグナイトブリケットの価格には競争力がなく、困難であると判断される。

更に、工業部門ではリグナイトブリケットを燃料として使用するには多くの場合、炉の改良が必要となる。しかし、炉の改良を実施した場合、リグナイトブリケットのみならずリグナイトの燃焼が可能になり、消費者は安価であるリグナイトを選択すると判断される。リグナイトに比較しリグナイトブリケットの優れた点の一つは、リグナイト自体に含まれている硫黄が、燃焼時に大気中に放出される硫黄酸化物の量を減らせることである。しかし、多くの工業炉では燃焼温度が高く脱硫効果はなく、工業用にリグナイトブリケットをリグナイトに替えて使用する利点は生じない。

- (4) リグナイトブリケットの品質は調理用木炭の代替として設計されており、この設計品質に合致するリグナイトブリケットをタイ国内に十分に賦存するリグナイトと稲わらおよび消石灰を用いて試製実験した。試製実験は先ずタブレットの規模で行い、次にベンチスケールプラントで行った。最終的には商業プラントで実施された。また目標とする品質のリグナイトブリケットを製造することが技術的に可能であることと、原料の最適混合比を実験により確認した。
- (5) ベンチスケールプラントをランシットにある燃料試験センターに設置した。このプラントでリグナイトブリケットを試作し、バンコクおよび主な地方都市の潜在需要者である木炭の消費者にモニタリング用サンプルとして提供した。この結果、60%の人が木炭の入手が困難になり、リグナイトブリケットの価格が木炭の60%である場合、リグナイトブリケットを使用することが判明した。

- (6) 木炭の不足分の60%を、リグナイトブリケットによって賄うこととする前提によるリグナイトブリケットの需要予測結果を以下にまとめる。
- ・1995年： 229 KTOB
 - ・2000年： 518
 - ・2005年： 711
 - ・2010年： 831
- (7) パイロットプラントおよびその投資を回収する商業プラントの規模等の詳細は10章にまとめた。
- (8) パイロットプラントの投資と運転による損失は1もしくは2基の商業プラントで回収可能となる。
- (9) リグナイトブリケットはタイ国の人々にまだ知られていない新商品であり、パイロットプラントにより市場を開発せずに商業化を図ることは危険が大きい。
- (10) 商業化を円滑に進めるためには、パイロットプラント段階で蓄積した市場と技術に関する知識は非常に有用である。
- (11) 大規模にリグナイトブリケットプロジェクトを実施すれば、金額で表示することは難しいが、多くの社会経済便益が期待できる。パイロットプラント建設計画は大規模商業化への一里塚である。以下に大規模で商業化した場合の社会経済便益をまとめる。

1) 環境保護面での貢献

リグナイトブリケットプロジェクトは減少しつつある森林の保護に役立つものである。タイ国の森林は木質燃料の代替物を提供しない限り、消滅を避けられないが、リグナイトブリケットは非常に有望な代替燃料の一つである。森林破壊が直接または間接原因で、洪水、干ばつ、塩害、山崩れ、

異常気象等の災害が発生しており、農業の基盤そのものを脅かしている。さらに地球的規模では、森林破壊が地球温暖化の主原因の一つであることは疑いのないことである。またリグナイトブリケットは植林の費用の節約にも貢献する。

2) 脱硫

原料のリグナイトに含まれる硫黄分の大部分は、リグナイトブリケットが燃焼する際捕捉され灰となる。この硫黄分はリグナイトを他の方法で燃焼する場合、大気中に放出され、喘息等の健康被害や、酸性雨や湖沼の生態系の破壊等の災害を引き起す。湖沼の生態系は世界中の人々の生活に密接な関わりを持っている。リグナイトブリケットの脱硫コストは、他の脱硫コストと比較すると非常に安価である。

3) 外貨の節約

リグナイトブリケット以外の代替燃料としては LPGが挙げられる。リグナイトブリケットが供給されない場合には、LPGの輸入量が増加し、外貨の支払いが増す。外貨は本来、国民の生活レベルの向上と経済発展のために必要な資本財の輸入に振り向けるべきものである。

4) 雇用機会の創成

リグナイトブリケット製造プラントを雇用機会の乏しい地方に建設することにより、雇用機会を創成できる。更にリグナイトブリケットは、取り扱い量が減少せざるを得ない木炭業者にとって新規取り扱い商品となる。

5) 技術移転と工業振興

新産業であるリグナイトブリケットの振興により、タイ国は製造技術に加え、プラント機器の設計、製造に関する技術移転を受けられる。

22-2 提言

本計画調査の結果に基づき、以下の提言を行う。

- (1) 計画中のパイロットプラントはリグナイトブリケットの商業化のために重要な経過措置である。商業化に伴って前述の便益が期待されることからパイロットプラント計画は実施すべきである。
- (2) パイロットプラント計画の実施に当っては、本計画調査によって提言された諸手順に従い計画を実施し、順調な遂行を期すべきである。
- (3) パイロットプラントの建設と並行して、タイ国の減少しつつある森林保護の観点からも、第17章に述べたリグナイトブリケットの普及に関する提言を実施し、市場の開発を図るべきである。

JICA