

การออกแบบที่เหมาะสมสำหรับไซโคลนแบบขนานที่มีก๊าซเข้าในแนวเส้นสัมผัส



วิโรจน์ ไชมพัตรารักษ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

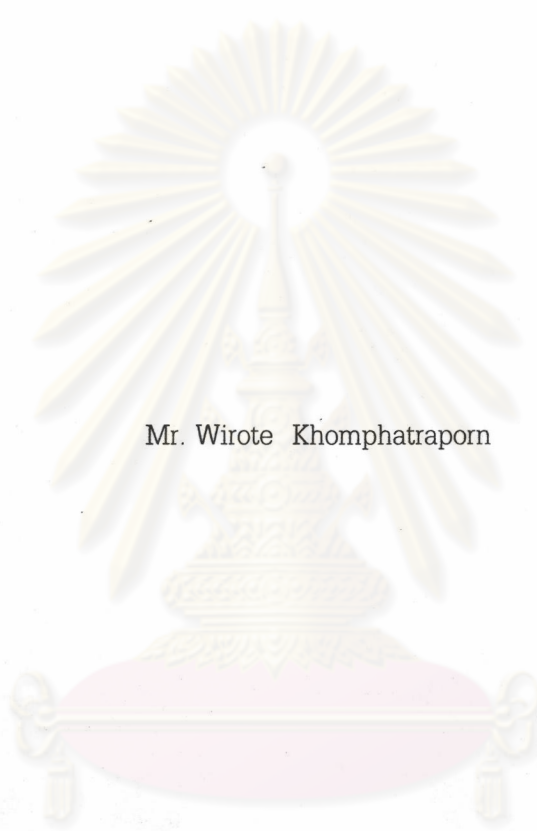
พ.ศ. 2539

ISBN 974-634-227-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OPTIMIZATION DESIGN FOR PARALLEL CYCLONES
HAVING A TANGENTIAL GAS INLET

Mr. Wirote Khomphatraporn



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1996

ISBN 974-634-227-4

Thesis Title : OPTIMIZATION DESIGN FOR PARALLEL CYCLONES
HAVING A TANGENTIAL GAS INLET
By : Wirote Khomphatraporn
Department : Chemical Engineering
Thesis Advisor : Jirdsak Tscheikuna, Ph.D.
Thesis Coadvisor : Chitphon Kanjanavorakul, B.Sc.



Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of
the Requirements for the Master's Degree.

Santi Thoongsuwan

..... Dean of Graduate School

(Associate Professor Santi Thoongsuwan, Ph.D.)

Thesis Committee

Piyasarn Prasertdham

..... Chairman

(Professor Piyasarn Prasertdham, Dr.Ing.)

Jirdsak Tscheikuna

..... Thesis Advisor

(Jirdsak Tscheikuna, Ph.D.)

Chitphon Kanjanavorakul

..... Thesis Coadvisor

(Chitphon Kanjanavorakul, B.Sc.)

Vichitra Chongvisal

..... Member

(Associate Professor Vichitra Chongvisal, Ph.D.)

C517362 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: OPTIMIZATION, TANGENTIAL GAS INLET CYCLONE

WIROTE KHOMPHATRAPORN : OPTIMIZATION DESIGN FOR PARALLEL CYCLONES HAVING A TANGENTIAL GAS INLET THESIS ADVISOR : JIRDSAK TSCHKEIKUNA, Ph.D., THESIS CO ADVISOR : CHITPHON KANJANAVORAKUL, B.Sc., 165 pp. ISBN 974-634-227-4.



David Leith and William Licht's design equation and optimization constraints were applied to cyclone having a tangential gas inlet used for collection of particles in stack gas from fuel oil combustion of boiler at TAH KONG CHEMICAL INDUSTRIAL (THAILAND) Co., Ltd.

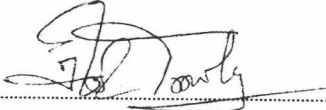
Cyclone performance, calculation of cyclone initial design and operating cost can be simulated by the program. Measured pressure drop is usually higher than predicted pressure drop due to variation in cyclone during actual operating condition. Optimization and evaluation of the costs indicated that predicted costs are usually lower than actual costs due to the exclusion of installation and transportation costs.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....CHEMICAL ENGINEERING.....

สาขาวิชา.....CHEMICAL ENGINEERING.....

ปีการศึกษา.....2538.....

ลายมือชื่อนิสิต..........

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..........

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..........

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงฉบับเดียว



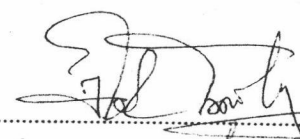

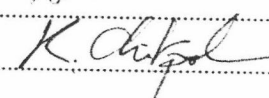
วารจัน โขมพัตราภรณ์ : การศึกษาการออกแบบที่เหมาะสมสำหรับไซโคลนแบบขนานที่มีก๊าซเข้าในแนวเส้นสัมผัส
(Optimization design for parallel cyclones having a tangential gas inlet) อ. ที่ปรึกษา : ดร.เจ็ดศักดิ์
ไชยคุณา, อ. ที่ปรึกษาร่วม ชิตพล กาญจนวรกุล, 165 หน้า, ISBN 974-634-227-4

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองสำหรับการออกแบบที่เหมาะสมไซโคลนแบบขนานที่มีก๊าซเข้าในแนวเส้นสัมผัส โดยใช้สมการการออกแบบของ เดวิด ลีต และ วิลเลียม ริช โดยมีข้อกำหนดประสิทธิภาพที่ต้องการรวมทั้งค่าใช้จ่ายราคาในประเทศไทย สำหรับตัวไซโคลน และค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการ โดยเลือกทำการวิเคราะห์ ไซโคลนที่ใช้ดักฝุ่นจากการสันดาปเชื้อเพลิงปิโตรเลียมของหม้อไอน้ำ บริษัท ต้ากเคมคอลลินด์สเทรียล (ไทยแลนด์) จำกัด

แบบจำลองสามารถคำนวณค่าประสิทธิภาพของไซโคลน การออกแบบเบื้องต้น และค่าใช้จ่ายสำหรับปฏิบัติการสำหรับไซโคลน ค่าความดันลดที่วัดได้จากการทดลองมีค่ามากกว่าค่าความดันลดที่คำนวณได้ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะปฏิบัติการของไซโคลนระหว่างการทดลอง ค่าใช้จ่ายที่คำนวณได้จะมีค่าต่ำกว่าค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงเนื่องจากยังไม่ได้รวมค่าใช้จ่ายเนื่องจากการขนส่ง และค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2538

ลายมือชื่อนิสิต 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม 

ACKNOWLEDGEMENT



The author would like to express his sincere thanks to Dr. Jirdsak Tscheikuna, thesis advisor, and Mr. Chitphon Kanjanavorakul, thesis coadvisor, for their excellent guidance and extreme assistance toward to completion of the thesis. Thanks are due to the thesis committee, Professor Piyasarn Prasertdham, Associate Professor Vichitra Chongvisal for their constructive comments.

TAH KONG CHEMICAL INDUSTRIAL (THAILAND) Co., Ltd. has provided a lot of useful data for thesis evaluation. Thanks for co-programmer Mr. Pearling Sea-lee, Miss Kanchana Songserm and all people in the company who have contributed to the accomplishment of this work.

Most of all, the author would like to express the highest gratitude to his parents, brother, and sister for their inspiration and encouragement.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CONTENTS



	Page
ABSTRACT (in English)	iv
ABSTRACT (in Thai)	v
ACKNOWLEDGEMENT	vi
LIST OF TABLES	x
LIST OF FIGURES	xii
NOMENCLATURE	xiii
CHAPTER	Page
I INTRODUCTION	1
1.1 Background	1
1.2 Objectives	5
1.3 Scope of work	5
1.4 Benefits expected	5
II THEORY AND SURVEY OF THE LITERATURE	6
2.1 Particle motion in cyclone	6
2.2 Gas flow in cyclone	9
2.3 Particle distribution and collection	12
2.4 Characteristics of new Equation	15
2.5 Testing the new Equation	17
2.6 Comparison with other Equations	24
2.7 Optimizing cyclone design	26
2.7.1 System and model	31
2.7.2 Steps in simulation method	33
2.8 Survey of the literature	36

CONTENT (Continue)

CHAPTER	Page
III DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL AND CALCULATION	
EXAMPLE	43
3.1 Cyclone efficiency calculation	43
3.1.1 Basic design data	43
3.1.2 Efficiency Calculation	45
3.2 Optimization calculation	47
3.2.1 Cost and thickness data	49
3.3 Calculation steps	52
3.3.1 Find the maximum inlet velocity	52
3.3.2 Find assume cyclone diameter	52
3.3.3 Find min/max amount of cyclones	53
3.3.4 Checked feasible solution respect to all 6 constrains	53
3.3.5 Calculation 6 th constrain and grade objective eq ⁿ value and grade efficiency curve	55
3.4 Calculation example	57
3.4.1 Find the maximum inlet velocity	59
3.4.2 Find assume cyclone diameter	59
3.4.3 Find min/max amount of cyclone	60
3.4.4 Checked feasible solution respect to all 6 constrains	60
3.4.5 Calculation 6 th constrain and grade objective eq ⁿ value and grade efficiency curve	65
3.5 Program flowchart	68
IV PROGRAM DESCRIPTION	77
4.1 Program description	77
4.1.1 Input data	77
4.1.1.1 Cyclone types	77
4.1.1.2 Operating condition data	78

CONTENT (Continue)

CHAPTER	Page
4.1.1.3 Cost and Thickness data	80
4.1.1.4 Calculation Overall Efficiency data	81
4.1.2 Calculation	83
4.1.3 Result display	84
V SIMULATION RESULTS AND ANALYSIS	86
5.1 Simulations of an Existing Cyclone	86
5.2 Cyclone optimization analysis	95
5.2.1 The experiment cyclone optimization analysis	95
VI CONCLUSIONS	101
REFERENCES	102
APPENDIX	104
A. LIST OF COMPUTER PROGRAM	104
VITA	165

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF TABLES

		Page
Table 2.1	Summary of data complied form experimental cyclones	18
Table 2.2	Comparison between n (Plot) and n [Equation 2.1]	23
Table 2.3	Comparison between C (Plot) and C [Equation 2.19]	23
Table 2.4	Cyclone design configurations (Tangential Entry)	37
Table 2.5	Cyclone type and OP value	37
Table 2.6	Sample results of cyclone optimization program for example No.1 and No.2	42
Table 3.1	The experimental cyclone dimension	44
Table 3.2	Details of fuel oil and exhaust gas from fuel (Buncker C) combustion	44
Table 3.3	Experiment cyclone and simulation cyclone result measurement No.1	45
Table 3.4	Test condition measurement No.1 and cyclone configuration for both Shepherd and Lapple type standard cyclone and the experiment cyclone	57
Table 3.5	Particle analysis report operating condition measurement No.1	58
Table 3.6	Feasible solution at $N = 1$	64
Table 3.7	Feasible solution at $N = 2$	65
Table 3.8	Overall Grade Efficiency of the optimized solution	66
Table 5.1	Details of the experiment cyclone	87
Table 5.2	Details of fuel oil and exhaust gas from fuel combustion	88
Table 5.3	Cyclone operating conditions and measured exhaust gas quality	89
Table 5.4	Comparison of simulation results and measured results of cyclone operated on condition based on measurement No. 1	91
Table 5.5	Comparison of simulation results and measured results of cyclone operated on condition based on measurement No. 1	92

LIST OF TABLES (Continue)

		Page
Table 5.6	Comparison of simulation results and measured results of cyclone operated on condition based on measurement No. 3	93
Table 5.7	Summary of the deviation of the measured values and the simulated values in each measurement	94
Table 5.8	Optimization of the actual cyclone and other standard cyclones for measurement No. 1	96
Table 5.9	Optimization of the actual cyclone and other standard cyclones for measurement No. 2	97
Table 5.10	Optimization of the actual cyclone and other standard cyclones for measurement No. 3	98


 ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF FIGURES

		Page
Figure 1.1	Axial Flow inlet	3
Figure 1.2	Tangential Flow inlet	3
Figure 2.1	Cross section of a cyclone	13
Figure 2.2	Apparent viscosity of air as a function of dust loading	17
Figure 2.3	Comparison of new theoretical efficiency	20
Figure 2.4	Comparison of new theoretical efficiency of Peterson	20
Figure 2.5	Comparison of new theoretical with experiment data von Ebbenhorst Tangbergen	21
Figure 2.6	Comparison of new theoretical with experiment data von Ebbenhorst Tangbergen	21
Figure 2.7	Rectified plot of Stairmand data and Peterson & Whitby	22
Figure 2.8	Rectified plot of Tengbergen data 11 in. cyclone	22
Figure 2.9	Rectified plot of Tengbergen data 18 1/2 in. cyclone	25
Figure 2.10	Comparison of experimental Stairmand data with theoretical predictions by other methods	25
Figure 2.11	Comparison of experimental Peterson & Whitby data with theoretical predictions by other methods	26
Figure 2.12	Reflection to a new point in the Simplex method	28
Figure 2.13	Steps in a simulation study	32
Figure 4.1	On screen show for input Cyclone data	78
Figure 4.2	On screen show for input Operating condition data	79
Figure 4.3	On screen show for input Cost data	80
Figure 4.4	On screen show for input Thickness data	81
Figure 4.5	On screen show for select to calculate Overall Efficiency data .	82
Figure 4.6	On screen show for input Overall Efficiency data	83
Figure 4.7	On screen show for Calculate all selected application	84
Figure 4.8	On screen show for Exit program	85

NOMENCLATURES

LATIN CAPITAL AND LOWERCASE LETTERS

AC	=	Amount cyclone
A_{cy}	=	Cyclone area, m^2/N
B	=	Outlet duct diameter for duct, m
C	=	Cyclone design number
C_{fixed}	=	Total fixed cost, baht
C_{oper}	=	Total operating cost, baht
C_t	=	Total cost, baht
D	=	Cyclone body diameter, m
DL	=	Dust loading, kg/m^3
D_e	=	Gas outlet diameter, m
D_f	=	diameter of cyclone body, ft
D_f''	=	Diameter of cyclone body, inch
Fac	=	Cyclone fabrication cost, baht/Kg
F_{cy}	=	Cyclone fabrication cost, baht/N
FD	=	Fluid Density, kg/m^3
H	=	Overall cyclone height, m
H_{py}	=	Operating hours per year, hr
K	=	Cyclone configuration parameter
K_a	=	a / D
K_b	=	b / D
K_c	=	Cyclone volume constant, see Equation 2.12
M_{cy}	=	Cyclone material cost, baht/Kg
N	=	Number of cyclone
N_H	=	Inlet velocity heads, $\frac{16K_a K_b}{K_{D_e}^2}$
N_o	=	Optimum number of cyclone

Q	=	Gas throughput-volume of gas/time flowing through cyclone, m^3/s
R	=	Radial distance from vortex center, m
R_1	=	Radial position of particle at beginning of time period t, m
R_2	=	Distance from vortex center to vortex wall, $D/2$, m
Rpa	=	Rolled parameter
Roc	=	Steel rolled cost, $baht/m^2$
S	=	Outlet length, m
T	=	Tengbergen group, $d_p \left(\frac{\rho_p u_{T_2}}{D\mu} \right)^{1/2}$
T_1, T_2	=	Absolute temperatures, Kelvin
T_{fc}	=	Total fixed cost, baht
T_h	=	Total operating hours, hr
T_{oc}	=	Total operating cost, baht
T_{co}	=	Total cost, baht
V_{nl}	=	Volume of cyclone at natural length, see Equation 2.10
V_S	=	Annular shaped volume above exit duct to mid-level of entrance duct
V_H	=	Volume of cyclone below exit duct
Wt	=	Steel weight at specified thickness, Kg/m^2
W_{cy}	=	Cyclone weight, Kg/N
Yrs	=	Operating year
a	=	Inlet height, m
b	=	Inlet width, m
c	=	Concentration of particles, number per volume
c_e	=	Electrical cost, $baht/kw.hr$
c_t	=	Total cost, baht
c_{fixed}	=	Fixed cost, baht
c_{oper}	=	Operating cost, baht
d	=	Diameter of cyclone at point where vortex turns, see Equation 2.10
d_{cp50}	=	Cut particle diameter efficiency 50%, m
d_{cpr}	=	Required collecting particle diameter, m

d_p	=	Particle diameter, m
$d_{p_{avr}}$	=	Average cut particle diameter at specified range, m
d_{p_o}	=	Particle diameter at optimum operating condition, m
e	=	Defined in Equation(2.30), $\$/m^j$
f	=	Investment factor
g_i	=	Mass fraction of particle at specified diameter range, g
j	=	Defined in Equation(2.30)
h	=	Height of upper cylindrical body of cyclone, m
hr	=	Operating hours, hr
l	=	Natural length, distance below gas outlet where vortex turns
m_i	=	Mass of particle at specified diameter range, g
n	=	Vortex exponent
n	=	Number of particles
n^*	=	Number of gas turn
$Surf$	=	Surface parameter
t	=	Time for particle within vortex to go from R_1 to R , sec
$t_{min\ avr}$	=	Average minimum residence time of gas in cyclone, sec
t_{max}	=	Maximum additional residence time of gas below exit duct level, sec
t_{res}	=	Average total residence time, sec
u_{rg}	=	Velocity of gas stream radically inward, see Equation 2.14
u_T	=	Tangential velocity of particle, m/sec
u_{T_2}	=	Tangential velocity of particle at cyclone wall, m/sec
v_i	=	Inlet velocity, m/sec
v_s	=	Saltation velocity, m/sec
v_{en}	=	Cyclone entrance velocity, m/sec

GREEK LETTERS

η	=	Cyclone separation efficiency, by number of particles
θ	=	Sector angle
ρ	=	Density of air, Kg/m ³
ρ_g	=	Density of gas-particle stream, g/cm ³
ρ_p	=	Density of particle, Kg/m ³
μ	=	Viscosity of gas
ψ	=	Cyclone inertial impaction parameter
ΔP	=	Pressure drop, N/m ²



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย