

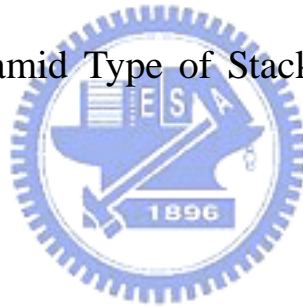
國立交通大學

應用化學研究所

碩士論文

金字塔型之砌積式心軸模頭最佳化設計

Optimal Design of Pyramid Type of Stackable Spiral Mandrel Die



研究生：鄭諭徽

指導教授：吳建興

中華民國九十七年七月

# 金字塔型之砌積式心軸模頭最佳化設計

Optimal Design of Pyramid Type of Stackable Spiral Mandrel Die

研究生：鄭諭徽

Student：Yu-Huei Jeng

指導教授：吳建興

Advisor：Jiann-Shing Wu

國立交通大學

應用化學研究所



Submitted to Department of Applied Chemistry

College of Science

National Chiao Tung University

for the Degree of Master

in

Applied Chemistry

July 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年七月


# 金字塔型之砌積式心軸模頭最佳化設計

學生：鄭諭徽

指導教授：吳建興

國立交通大學應用化學系

## 摘 要



傳統螺旋軸心模頭廣為應用於高分子薄膜製造。良好的模頭設計，可增進流量均勻度和避免縫合線產生。提升產品的多重性質通常會採用多層模的設計。最新砌積式心軸共押模頭技術與傳統式共押模頭相比，砌積式心軸共押模頭有比較少的流體接觸表面積及模頭寬度。本文將採用二維控制體積法的流動模式，同時並配合田口法去分析以便快速找出金字塔型之砌積式心軸模頭之最佳幾何形狀。最後分別討論在等溫情況下搜尋之最佳形狀為基準，改變各個參數對模頭性能之影響及探討流體在螺旋溝中流動的情形。外模壁傾斜角對模頭性能之影響其結果顯示外模壁傾斜角對不同溝道數及不同材料的外模壁傾斜角增加到一定傾斜度之後流量均勻度和和混合度開始呈現遞減趨勢。

# Optimal Design of Pyramid Type of Stackable Spiral Mandrel Die

Student: Yu-Huei Jeng

Advisor : Jiann-Shing Wu

Institute of Applied Chemistry  
National Chiao Tung University

## ABSTRACT

Conventional spiral mandrel dies are widely used in the production of polymeric films. Better die design can promote the flow uniformity and prevent the formation of weld line. The multilayer film is used to comprise different polymers to form a product with multiple properties. The new type of stackable coextrusion has less wetted area of fluid and the width of die compared with the conventional coextrusion die. In this study, a two dimensional control volume method in coordination with the Taguchi method, was utilized to optimize the geometric parameters of the pyramid type of stackable spiral mandrel die. Under the isothermal condition, the influence of each processing variable on the performance of die base on the optimal processing condition and the flow situation in the spiral channel were investigated. With the different number of channels and various processing materials the flow uniformity and mixedness increased to some certain extent then decreased as the inclined angle of the outer die wall kept increasing.

## 誌 謝

本論文承蒙指導教授 吳建興悉心指導與討論順利完成，在此由衷感謝指導教授在二年歲月過程悉心教導與生活上指點。感謝口試委員 清大化工系張榮語教授、東海化工系王曄教授對論文內容之指正，使論文更加完善。在研究生涯裡，深深體會到學海無涯，唯勤是岸的道理。有學長們(世豪、煥昌、東和)對我的提點，在這兩年中對我在課業及生活上的幫助以及與同學一同成長、一同歡笑，與學弟教學相長，這些都是最寶貴的回憶，永遠放在心裡。暮然回首，過去中小學師長對我的教導，體會到師長們的用心，感謝師長們對我的諄諄教誨。最後，由衷感謝父母親、家人以及在我生命脈動的人一起陪我走過的歲月，讓我更懂得用心體會及永誌不忘的珍惜感激。

# 目 錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	vi
圖目錄.....	viii
第一章 緒論.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 文獻回顧.....	3
第二章 理論及研究方法之建立.....	6
2.1 系統假設.....	6
2.2 基礎理論.....	7
2.3 數學模式.....	10
2.3.1 等溫情況.....	10
第三章 結果與討論.....	19
3.1 等溫下田口法之搜尋.....	19
3.2 等溫下之考量.....	21
3.2.1 軸心傾斜角(ALFAR)對模頭性能之影響.....	21

3.2.2 螺旋角(CITA)對模頭性能之影響.....	22
3.2.3 外模壁傾斜角(DELTA)對模頭性能之影響.....	23
3.2.4 起始溝深(DEPTH)對模頭性能之影響.....	24
3.2.5 起始間隙(GIBC)對模頭性能之影響.....	24
3.2.6 起始溝寬(WCHAN)對模頭性能之影響.....	25
3.2.7 溝道溢流情形.....	26
第四章 結論.....	27
參考文獻.....	117



# 表 目 錄

表 1	HDPE、LDPE、LLDPE 材料性質參數表.....	28
表 2	w、h、 $\theta$ 、 $\alpha$ 之上下限值.....	28
表 3	起始因子水準表.....	28
表 4	十六組起始水準值.....	29
表 5	HDPE 之十六個設計點及其流量均勻度之溝道數 4.....	30
表 6	LLDPE 之十六個設計點及其流量均勻度之溝道數 4.....	31
表 7	LDPE 之十六個設計點及其流量均勻度之溝道數 4.....	32
表 8	HDPE 之流量均勻度、混合度及最大壓力降之溝道數 4.....	33
表 9	LLDPE 之流量均勻度、混合度及最大壓力降之溝道數 4.....	34
表 10	LDPE 之流量均勻度、混合度及最大壓力降之溝道數 4.....	35
表 11	HDPE 之十六個設計點及其混合均勻度之溝道數 5.....	36
表 12	LLDPE 之十六個設計點及其混合均勻度之溝道數 5.....	37
表 13	LDPE 之十六個設計點及其混合均勻度之溝道數 5.....	38
表 14	HDPE 之流量均勻度、混合度及最大壓力降之溝道數 5.....	39
表 15	LLDPE 之流量均勻度、混合度及最大壓力降之溝道數 5.....	40
表 16	LDPE 之流量均勻度、混合度及最大壓力降之溝道數 5.....	41
表 17	HDPE 之十六個設計點及其流量均勻度之溝道數 6.....	42
表 18	LLDPE 之十六個設計點及其流量均勻度之溝道數 6.....	43



表 19	LDPE 之十六個設計點及其流量均勻度之溝道數 6.....	44
表 20	HDPE 之流量均勻度、混合度及最大壓力降之溝道數 6.....	45
表 21	LLDPE 之流量均勻度、混合度及最大壓力降之溝道數 6.....	46
表 22	LDPE 之流量均勻度、混合度及最大壓力降之溝道數 6.....	47



# 圖 目 錄

圖 1 (a)螺旋式心軸模頭.....	48
圖 1 (b) 金字塔型砌積式心軸模頭.....	48
圖 2 (a) 螺旋心軸模頭 2-D 圖.....	49
圖 2 (b) 金字塔型砌積式心軸模頭 2-D 圖.....	49
圖 3 鬆弛室和模唇之構造圖.....	50
圖 4 模頭之展開圖.....	50
圖 5 單元之構造圖.....	51
圖 6 子單元一之形狀.....	52
圖 7 子單元二、三之形狀.....	52
圖 8 HDPE(NOSPI=4)十六個設計點壓力降與混合均勻度之圖.....	53
圖 9 LDPE(NOSPI=4)十六個設計點壓力降與混合均勻度之圖.....	53
圖 10 LLDPE(NOSPI=4)十六個設計點壓力降與混合均勻度之圖.....	54
圖 11 HDPE(NOSPI=5)十六個設計點壓力降與混合均勻度之圖.....	54
圖 12 LDPE(NOSPI=5)十六個設計點壓力降與混合均勻度之圖.....	55
圖 13 LLDPE(NOSPI=5)十六個設計點壓力降與混合均勻度之圖.....	55
圖 14 HDPE(NOSPI=6)十六個設計點壓力降與混合均勻度之圖.....	56
圖 15 LDPE(NOSPI=6)十六個設計點壓力降與混合均勻度之圖.....	56
圖 16 LLDPE(NOSPI=6)十六個設計點壓力降與混合均勻度之圖.....	57

圖 17	軸心傾斜角與 HDPE(NOSPI=4)之 UI、MD 與 PD 關係.....	58
圖 18	軸心傾斜角與 HDPE(NOSPI=5)之 UI、MD 與 PD 關係.....	59
圖 19	軸心傾斜角與 HDPE(NOSPI=6)之 UI、MD 與 PD 關係.....	60
圖 20	軸心傾斜角與 LDPE(NOSPI=4)之 UI、MD 與 PD 關係.....	61
圖 21	軸心傾斜角與 LDPE(NOSPI=5)之 UI、MD 與 PD 關係.....	62
圖 22	軸心傾斜角與 LDPE(NOSPI=6)之 UI、MD 與 PD 關係.....	63
圖 23	軸心傾斜角與 LLDPE(NOSPI=4)之 UI、MD 與 PD 關係.....	64
圖 24	軸心傾斜角與 LLDPE(NOSPI=5)之 UI、MD 與 PD 關係.....	65
圖 25	軸心傾斜角與 LLDPE(NOSPI=6)之 UI、MD 與 PD 關係.....	66
圖 26	模外傾斜角與 HDPE(NOSPI=4) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	67
圖 27	模外傾斜角與 HDPE(NOSPI=5) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	68
圖 28	模外傾斜角與 HDPE(NOSPI=6) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	69
圖 29	模外傾斜角與 LDPE(NOSPI=4) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	70
圖 30	模外傾斜角與 LDPE(NOSPI=5) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	71
圖 31	模外傾斜角與 LDPE(NOSPI=6) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	72
圖 32	模外傾斜角與 LLDPE(NOSPI=4) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	73
圖 33	模外傾斜角與 LLDPE(NOSPI=5) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	74
圖 34	模外傾斜角與 LLDPE(NOSPI=6) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	75
圖 35	模外傾斜角與 HDPE(NOSPI=4) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	76

圖 36	模外傾斜角與 HDPE(NOSPI=5) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	77
圖 37	模外傾斜角與 HDPE(NOSPI=6) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	78
圖 38	模外傾斜角與 LDPE(NOSPI=4) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	79
圖 39	模外傾斜角與 LDPE(NOSPI=5) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	80
圖 40	模外傾斜角與 LDPE(NOSPI=6) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	81
圖 41	模外傾斜角與 LLDPE(NOSPI=4) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	82
圖 42	模外傾斜角與 LLDPE(NOSPI=5) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	83
圖 43	模外傾斜角與 LLDPE(NOSPI=6) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	84
圖 44	起始溝深與 HDPE(NOSPI=4) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	85
圖 45	起始溝深與 HDPE(NOSPI=5) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	86
圖 46	起始溝深與 HDPE(NOSPI=6) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	87
圖 47	起始溝深與 LDPE(NOSPI=4) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	88
圖 48	起始溝深與 LDPE(NOSPI=5) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	89
圖 49	起始溝深與 LDPE(NOSPI=6) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	90
圖 50	起始溝深與 LLDPE(NOSPI=4) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	91
圖 51	起始溝深與 LLDPE(NOSPI=5) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	92
圖 52	起始溝深與 LLDPE(NOSPI=6) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	93
圖 53	起始間隙與 HDPE(NOSPI=4) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	94
圖 54	起始間隙與 HDPE(NOSPI=5) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	95

圖 55	起始間隙與 HDPE(NOSPI=6) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	96
圖 56	起始間隙與 LDPE(NOSPI=4) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	97
圖 57	起始間隙與 LDPE(NOSPI=5) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	98
圖 58	起始間隙與 LDPE(NOSPI=6) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	99
圖 59	起始間隙與 LLDPE(NOSPI=4) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	100
圖 60	起始間隙與 LLDPE(NOSPI=5) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	101
圖 61	起始間隙與 LLDPE(NOSPI=6) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	102
圖 62	起始溝寬與 HDPE(NOSPI=4) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	103
圖 63	起始溝寬與 HDPE(NOSPI=5) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	104
圖 64	起始溝寬與 HDPE(NOSPI=6) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	105
圖 65	起始溝寬與 LDPE(NOSPI=4) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	106
圖 66	起始溝寬與 LDPE(NOSPI=5) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	107
圖 67	起始溝寬與 LDPE(NOSPI=6) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	108
圖 68	起始溝寬與 LLDPE(NOSPI=4) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	109
圖 69	起始溝寬與 LLDPE(NOSPI=5) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	110
圖 70	起始溝寬與 LLDPE(NOSPI=6) 之 UI、MD 與 PD 關係.....	111
圖 71	HDPE(NOSPI=4)設計點 15 溝槽內流體體積流率之分佈.....	112
圖 72	HDPE(NOSPI=5)設計點 11 溝槽內流體體積流率之分佈.....	112
圖 73	HDPE(NOSPI=6)設計點 3 溝槽內流體體積流率之分佈.....	113

圖 74	LDPE(NOSPI=4)設計點 15 溝槽內流體體積流率之分佈.....	113
圖 75	LDPE(NOSPI=5)設計點 1 溝槽內流體體積流率之分佈.....	114
圖 76	LDPE(NOSPI=6)設計點 3 溝槽內流體體積流率之分佈.....	114
圖 77	LLDPE(NOSPI=4)設計點 5 溝槽內流體體積流率之分佈.....	115
圖 78	LLDPE(NOSPI=5)設計點 5 溝槽內流體體積流率之分佈.....	115
圖 79	LLDPE(NOSPI=6)設計點 5 溝槽內流體體積流率之分佈.....	116



# 第一章 緒論

## 1.1 前言

目前包裝所用薄膜已有愈來愈薄的趨勢，大概厚度從 1970 年的  $20\mu\text{m}$  到現今的  $20\text{-}13\mu\text{m}$  而且在高分子加工的領域中，吹膜 (blown film) 用於包裝用途的使用量很大。根據由美國 Exxon Chemical 公司及 Dow Chemical 公司，在 1993 年以後新型聚乙烯的原料已經利用茂金屬 (Metallocene) 觸媒製備，我們以 m-PE 來稱之。在傳統上以 Ziegler-Natta 方式製備的 PE 則以 ZN-PE 稱之區別。在吹袋薄膜製程所使用的押出機中，最重要的元件一為螺桿、一為模頭。良好的螺桿及模頭設計，對吹膜的產品品質有絕對性的影響。加工上常會遇到環狀產品的生產製造，像是圓管、吹瓶、吹袋等等，然而在製造過程中，膠料在流動時，容易在會合處產生如縫合一般的明顯界面，稱為縫合線 (welding line)。此縫合線的產生會影響到所生產產品的外觀或美貌，降低了產品價值，同時該處也是很容易受外力而破裂。在於一般多層模頭的設計關鍵點，考慮一些模頭內流道的幾何尺寸，如果能有良好的幾何設計就可以創造出優良的多層模品質，當然除了在整體模厚均勻度必須考量外，在各層之間所謂層間厚度也須要求均勻一致性，如此可以達到預期性的多層效果。在目前國內業界對模頭的設計都是以經驗的方式，當遇到新型的加工材料或許比較特殊結構時，就很容易產生上述因

設計不當所導致的缺陷或不良現象。若能以數學模式所建立的程式來進行所謂的電腦模擬，同時經由配合田口法去最佳化方法進行模頭的電腦輔助設計，則可以避免過去憑著經驗方式所產生設計不良的問題，同時也可以節省在模頭設計的時間、材料及降低操作的人力成本。

傳統式中心入料式螺旋軸心模頭，其構造如圖 1(a)所示，而金字塔型砌積式軸心模頭(Pyramid type of stackable spiral mandrel Die)，其構造如圖 1(b)所示。金字塔型砌積式心軸模頭最外面為傾斜管狀模壁，稱為外模頭，內部則為刻有數個螺旋溝的軸心部分，稱為內模頭，螺旋溝寬度和深度以沿著螺旋溝的方向逐漸變小，內外模頭間的狹縫稱為間隙(gap)，螺旋溝上揚的角度則稱為螺旋角。熔融膠料出押出機之後，由螺旋溝入口進入模頭，一面沿著螺旋溝流動且一面洩流至間隙中，往押出方向流動。金字塔型砌積式心軸模頭與傳統中心入料式螺旋心軸模頭主要差別在於傳統式多層膜模頭較內層的流道接觸面積比較大〔如圖 2(a)、2(b)〕，停滯時間比較長而且多層膜模子尺寸較大。一個良好的模頭設計可以使膠料混合均勻達到消除縫合線、料溫均勻及產品厚度均一的目的。在螺旋溝分布區域之後，還有鬆弛室及模唇，其構造如圖 3 所示。因此鬆弛段由於流道擴大，其主要功能用來鬆弛經過螺旋段所造成熔融膠內部應力不均現象，可以鬆弛(relax)熔融膠料，避免過高的內應力產生模口(出口)膨脹(die swell)現象。在模唇段此區域是用來控制產品



的厚度，模唇則為模頭的最後部分，由於模唇有狹小的間隙，可產生高切變率和流動阻力並有穩定壓力的效果，使出口處的流量穩定。

## 1.2 文獻回顧

因模頭螺旋段模擬的研究上因為流場的幾何形狀比較複雜,所以一般研究都局限於泛牛頓流體(Generalized Newtonian Fluid)的一維和二維等溫模式分析點上，在過去二、三十幾年中，很多關於螺旋式心軸模頭流動模擬的研究被提出，大多部分的流動模式是根據整體參數法(Lumped parameter method)[1]所建立，其是將模頭中的環狀流場展開為平面，並切割成許多控制體積。文獻部分我們從一維分析模式陳述起，基本上一維分析模式可以看成將流場分成螺溝內部的管道流和狹縫之間的平板流動。

### (1)一維模式分析

在 1972 年最早由 B.Proctor[2]利用此一維模式分析泛牛頓流體(Generalized Newtonian Fluid)的等溫流動，Proctor 因此假設壓力沿著螺旋溝的方向採以線性方式遞減。隨後在 1984 年 P.Saillard 和 J.F.Agassant[3]推廣到非等溫的流動分析，後來在 1987 年 D.M.Kalyon[4]等人更進一步的將它應用於黏彈性流體(Zaremba-Fromm-Dewitt model)的模擬流動分析。同時在 1987 年 C.Rauwendaal[5]也提出類似 B.Proctor 之模式分析，並且假設垂直於模頭軸心的同一平面上壓力會相等。以上

提出者都是屬於一維流動的模式分析。

## (2)二維模式分析

在 1948 年、1988 年分別由 J.Vleck 和 J.Vlachopoulos[6,7]等提出二維模式來修正上述模式分析，一開始將螺旋段的流到展開以及把它切成許多控制體積(Control Volume),並且假設每一個控制體積中有兩各流動的方向分量來描述流體流動的行為變化,並在管流中垂直的流動分量來解釋說明管流流動和平板流動之間現象關係，藉由整體參數法(Lumped parameter method)計算每一個控制體積的流量變化量，因此二維模式分析補足一維模式減少所做的假設,進而完成整個流場的分析。在 1986 年 E.J. Fahy 和 P.W.Gilmour[11]以有限元素法(Finite element method)求得壓力降和流率，隨後 1989 年 K.Benkhoucha 和 D.H.Sebastian[12] 以流動分析網格法(Flow analysis network)對螺旋式心軸模頭僅限於泛牛頓流體(Generalized Newtonian Fluid)的等溫流動流場進行二維流動模式分析。於 1990 年許振鵬[14]學長根據 Vleck 等人所建立的有限體積法模式，一次探討改變一個模頭設計參數對流量均勻度的影響，另外高雄應用科技大學黃俊欽[15]老師，引用田口法實驗法則，以建立最佳化的模頭幾何形狀。

### (3) 三維模式分析

因三維模式流場幾何尺寸複雜,在花費時間計算上比較長。於 1991 年 Coyle[13]和 Perdikoulis[8]等人將這些模式應用於商業上有限元素分析軟體 FIDAP,採用 Navier-Stoke equations 進行三維的牛頓流體等溫流動分析,發現三維模式分析與二維模式分析結果上有所差異,例如在流量分佈方面三維模式分析比較接近實驗數據。雖然熔膠並不是牛頓流體,他們都以實驗驗證得[9,10]三維模式分析的流量分布比二維模式分析更接近實驗數據。隨後在 2001 年 M.Zatloukal et al[16]以商業套裝軟體有限元素分析 FIDAP 進行三維流場分析,發現非等溫情況比較接近實驗結果。



## 第二章 理論及研究方法之建立

### 2.1 系統假設

金字塔型砌積式心軸模頭將模頭展開成 X-Y 平面，如圖 4 所示。在 X-Y 平面座標系我們以 X 座標當做為沿著溝槽流動的方向，以 Y 座標為軸向，在內外模頭的間隙及螺旋溝的深度部分我們將視為 Z 方向。由於幾何上有對稱性特性，將兩螺旋溝入口之間的區域可以將它視為一個完整的螺旋溝，並且將螺旋溝入口分隔成為四個區域(相當於螺旋溝的數目)，其中流動情形均完全一樣，因此可以用一個區域來進行分析。然後沿著 X 的方向，將流場分割成數個單元數(element)，再將每個單元部分細分成三個子單元(subelemnt)，將定義成如下，圖 5 為單元構造圖。其子單元一為螺旋溝槽或螺旋入料溝槽部分、子單元二為間隙中鄰近溝槽的部分及子單元三為間隙中子單元二上方的部分。

論文是以下列之假設條件情況進行模擬：

- (1) 假設熔膠在模頭內的流動達到穩定的狀態(steady state)。
- (2) 熔膠特性是不可壓縮的流體(incompressible fluid)。
- (3) 假設熔膠的黏度與剪切率關係符合所謂幂次定律(Power Law)。
- (4) 假設模頭內的流動均為普瓦醉(Poiseuille)流動。
- (5) 將溝道曲面的影響視為忽略。

## 2.2 基礎理論

首先熔膠在模頭內的流動我們可以分成兩平行板間流動及半圓管流動兩種。於兩無限平行板間之流動中兩個相隔  $D_3$  距離間的無限平行板，考慮垂直平板的方向為  $Z$  方向，流體於兩平板中為  $X$ - $Y$  兩方向的二維流動，並且為全展開流動(fully developed flow)，則由運動方程式簡化可得下列(1)、(2)式：

$$-\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \quad (1)$$

$$-\frac{\partial P}{\partial y} = \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \quad (2)$$

因為為全展開流動，所以  $-\frac{\partial P}{\partial x}$ 、 $-\frac{\partial P}{\partial y}$  視為定值。

將(1)、(2)式積分式可得下列(3)、(4)式：

$$\tau_{zx} = -\frac{\Delta P}{\Delta x} z + c_1 \quad (3)$$

$$\tau_{zy} = -\frac{\Delta P}{\Delta y} z + c_2 \quad (4)$$

將(5)、(6)式的邊界條件 (boundary condition) 代入(3)、(4)式：

$$z=0, \tau_{zx} = 0 \quad (5)$$

$$z=0, \tau_{zy} = 0 \quad (6)$$

可得  $c_1=c_2=0$ ，所以 (3)、(4)式化簡變為：

$$\tau_{zx} = -\frac{\Delta P}{\Delta x} z \quad (7)$$

$$\tau_{zy} = -\frac{\Delta P}{\Delta y} z \quad (8)$$

若將  $\Delta$  改定義為大減小，及前減後，則 (7)、(8)式可改寫為

$$\tau_{zx} = \frac{\Delta P}{\Delta x} z \quad (9)$$

$$\tau_{zy} = \frac{\Delta P}{\Delta y} z \quad (10)$$

所以可以推得壁切變應力為

$$(\tau_{zx})_w = \frac{\Delta P}{\Delta x} \frac{D_3}{2} \quad (11)$$

$$(\tau_{zy})_w = \frac{\Delta P}{\Delta y} \frac{D_3}{2} \quad (12)$$

假設流體的黏度(viscosity)與切變率(shear rate)的關係符合冪次定律

(Pow Law model)，即符合下列(13)、(14)式

$$\eta = m \dot{\gamma}^{n-1} \quad (13)$$

$$\text{其中 } \dot{r} = \sqrt{\dot{r}_1^2 + \dot{r}_2^2} \quad (14)$$

$\dot{r}_1$  為 X 方向的切變率

$\dot{r}_2$  為 Y 方向的切變率

$\dot{r}$  為總切變率

將(13)式代入 (9)、(10)式，積分化簡可得 X 與 Y 方向的壁切變率(wall shear rate)  $\dot{r}_{1w}$ 、 $\dot{r}_{2w}$  與平均速率  $\bar{v}_x$ 、 $\bar{v}_y$  的關係

$$\dot{r}_{1w} = \frac{2(2 + \frac{1}{n})}{D_3} \bar{v}_x \quad (15)$$

$$\dot{r}_{2w} = \frac{2(2 + \frac{1}{n})}{D_3} \bar{v}_y \quad (16)$$

$$\dot{r}_w = \sqrt{\dot{r}_{1w}^2 + \dot{r}_{2w}^2} \quad (17)$$

今將流體流經過 X 方向的長度為  $D_1$ ，體積流率為  $Q$ ；而流經過 Y 方向

的長度為  $D_2$ ，體積流率為  $q$ ，則體積流率與平均速率的關係如下：

$$\bar{v}_x = \frac{Q}{D_2 D_3} \quad (18)$$

$$\bar{v}_y = \frac{q}{D_1 D_3} \quad (19)$$

將式(15)、(16)、(17)、(18)、(19)式代入式(11)、(12)式，則可得壓力梯度 (pressure gradient) 與流量的關係式：

$$\frac{\Delta P}{D_1} = \frac{2mr_w^{n-1}}{D_3} \frac{2(2+\frac{1}{n})}{D_2 D_3^2} Q \quad (20)$$

$$\frac{\Delta P}{D_2} = \frac{2mr_w^{n-1}}{D_3} \frac{2(2+\frac{1}{n})}{D_1 D_3^2} q \quad (21)$$

於圓管之流動中考慮一半徑為  $R$  的圓管，軸向為  $Z$  方向，且長度為  $D_1$ ，流體在圓管中為全展開流動 (fully developed flow)，則由運動方程式化簡可得：

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \tau_{rz}) = -\frac{\partial P}{\partial z} \quad (22)$$

因為為全展開流動，所以  $-\frac{\partial P}{\partial z}$  視為定值。將(22)式積分可得(23)式：

$$\tau_{rz} = \frac{\Delta P}{\Delta z} \left( \frac{1}{2} r \right) \quad (23)$$

今將  $\Delta$  在本論文定義為大減小。因此將式(13)代入式(23)，積分化簡

可得壁切變率 (wall shear rate)  $\dot{r}_w$  與平均速率  $\bar{v}_z$  的關係：

$$\dot{r}_w = \frac{3+\frac{1}{n}}{R} \bar{v}_z \quad (24)$$

假設流體流經過  $Z$  方向的體積流率為  $Q$ ，則體積流率與平均速率的關係：

$$\bar{v}_z = \frac{Q}{\pi R^2} \quad (25)$$

將式(24)、(25)式代入式(23)式，則可得壓力梯度與流量的關係式：

$$\frac{\Delta P}{D_1} = \frac{2mr_w^{n-1}}{R} \frac{(3 + \frac{1}{n})}{\pi R^3} Q \quad (26)$$

## 2.3 數學模式

### 2.3.1 等溫情況

#### 1. 螺旋溝分布區域:

本文係將整個模頭沿著溝槽方向細分計算單元，為符合普瓦醉流動，各子單元之幾何尺寸取其平均值。

#### (1) 子單元一

子單元一的形狀如圖 6 所示，(a)圖為溝槽接近入口的部分，其深度大於半徑；(b)圖為溝槽接近出口的部分，其深度小於半徑；圖(c)為正視圖。圖中以流體入口面圓弧中間處的壓力當作子單元一的壓力，以 P 表示，P\* 則表示下一個子單元一的壓力，而 P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub>、P<sub>4</sub> 表示鄰近子單元二或三的壓力。子單元一的控制方程式如下，其中 f(Q, q) 和 g(Q, q) 表示流動阻力：

$$P - P^* - f(Q, q) Q = 0 \quad (27)$$

$$\left( \frac{P + P^*}{2} \right) - \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{P_1 + P_2}{2} \right) + \frac{1}{2} \left( \frac{P_3 + P_4}{2} \right) \right] - g(Q, q) q = 0 \quad (28)$$

$$Q + q - Q^* = 0 \quad (29)$$

其中 Q\* 為進入此子單元的體積流率，q 為洩流至子單元二的體積流率。



(i) 深度大於半徑

如圖 5(A)，X 方向的流量 Q 可分為流經半圓柱區域的流量  $Q_1$ ，以及流經長方體區域的流量  $Q_2$ ，即

$$Q_1 + Q_2 = Q \quad (30)$$

由 (26) 式可知半圓柱區域的壓力梯度為

$$\frac{\Delta P}{D_1} = \frac{2mr_w \cdot^{n-1}}{R} \frac{2(3 + \frac{1}{n})}{\pi R^3} Q_1 \quad (31)$$

由 (20) 式可知長方體區域的壓力梯度為

$$\frac{\Delta P}{D_1} = \frac{2mr_w \cdot^{n-1}}{D_2} \frac{2(2 + \frac{1}{n})}{HD_2^2} Q_2 \quad (32)$$

假設兩區域的壓力降相等，則由 (30)、(31)、(32) 式解聯立可得

$$Q_1 = \frac{1}{1 + (\frac{D_2}{R})^{\frac{1}{n}} (\frac{3n+1}{2n+1}) (\frac{HD_2^2}{\pi R^3})} Q \quad (33)$$

$$Q_2 = \frac{1}{1 + (\frac{R}{D_2})^{\frac{1}{n}} (\frac{2n+1}{3n+1}) (\frac{\pi R^3}{HD_2^2})} Q \quad (34)$$

將 (33) 式代入 (31) 式可得(35)式

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{2m}{R} \left[ \frac{2(3 + \frac{1}{n})Q}{\pi R^3} \right]^n \left[ \frac{1}{1 + (\frac{D_2}{R})^{\frac{1}{n}} (\frac{3n+1}{2n+1}) (\frac{HD_2^2}{\pi R^3})} \right]^n \quad (35)$$

又圓管的壓力梯度為

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{2m\gamma_{lw} \cdot^n}{R} \quad (36)$$

比較 (35)、(36) 兩式可以推知

$$\gamma_{1w} = \frac{2(3+\frac{1}{n})Q}{\pi R^3} \frac{1}{1 + (\frac{D_2}{R})^{\frac{1}{n}} (\frac{3n+1}{2n+1}) (\frac{HD_2^2}{\pi R^3})} \quad (37)$$

因洩流至子單元二的流動，即為 Z 方向的流動，視為兩平板間的流動，則

$$\gamma_{2w} = \frac{2(2+\frac{1}{n})q}{D_1 D_2} \quad (38)$$

將 (35)、(32) 式分別代入 (27)、(28) 式，即可得知  $f(Q, q)$  和  $g(Q, q)$  分別為

$$f = \frac{2mD_1 r_w^{n-1}}{R} \left[ \frac{2(3+\frac{1}{n})}{\pi R^3} \right] \left[ \frac{1}{1 + (\frac{D_2}{R})^{\frac{1}{n}} (\frac{3n+1}{2n+1}) (\frac{\pi R^3}{HD_2^2})} \right] \quad (39)$$

$$g = \frac{2m(H+R)r_w^{n-1}}{D_2} \left[ \frac{2(2+\frac{1}{n})}{D_1 D_2^2} \right] \quad (40)$$

(ii) 深度小於半徑

將此情形視為半圓柱的溝槽，其相當半徑 (equivalent radius) 為

$$R_{eq} = \frac{2P_c}{C} \quad (41)$$

其中  $P_c$  為截面積， $C$  為沾濕週長 (wetted perimeter)。Z 方向的流動視為兩平行板間的流動，只不過寬度由  $D_2$  逐漸變為零，所以將兩平行板間的距離視為  $D_2/2$ 。流動阻力  $f(Q, q)$  和  $g(Q, q)$  如下頁所示：

$$f = \frac{2mD_1 r_w \cdot^{n-1}}{R_{eq}} \frac{2(3 + \frac{1}{n})}{\pi R_{eq}^3} \quad (42)$$

$$q = \frac{4mD_3 r_w \cdot^{n-1}}{D_2} \frac{2(2 + \frac{1}{n})}{D_1 (\frac{D_2}{2})^2} \quad (43)$$

## (2)子單元二

子單元二的形狀如圖 7 所示。由於子單元二 X 方向之流動會受到子單元一 X 方向流動的影響，故視子單元二為原來間隙兩倍的平行板流動，即子單元一、二交界面的應力為零。

子單元二的控制方程式如下：

$$\left(\frac{P_1 + P_3}{2}\right) - \left(\frac{P_2 + P_4}{2}\right) - f(Q, q) Q = 0 \quad (44)$$

$$\left(\frac{P_1 + P_2}{2}\right) - \left(\frac{P_3 + P_4}{2}\right) - g(Q, q) q = 0 \quad (45)$$

$$Q + q = Q^* + q^* + q^{**} \quad (46)$$

其中  $Q^*$ 、 $q^*$  為鄰近子單元的體積流率， $q^{**}$  為子單元一洩流至子單元二之體積流率。流動阻力  $f(Q, q)$  和  $g(Q, q)$  如下：

$$f = \frac{mD_1 r_w \cdot^{n-1}}{D_3} \frac{2(2 + \frac{1}{n})}{D_2 D_3^3} \quad (47)$$

$$g = \frac{2mD_2 r_w \cdot^{n-1}}{D_3} \frac{2(2 + \frac{1}{n})}{D_1 D_3^2} \quad (48)$$

(3)子單元三

子單元三之形狀與子單元二相同，如圖 6 所示，以底面左下角的壓力代表該子單元的壓力，圖中  $P_1$  為此子單元的壓力， $P_2$ 、 $P_3$ 、

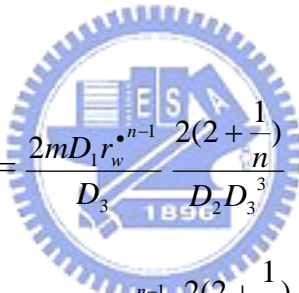
$P_4$  則為鄰近子單元的壓力。子單元三的控制方程式如下：

$$\left(\frac{P_1+P_3}{2}\right)-\left(\frac{P_2+P_4}{2}\right)-f(Q, q) Q=0 \quad (49)$$

$$\left(\frac{P_1+P_2}{2}\right)-\left(\frac{P_3+P_4}{2}\right)-g(Q, q) q=0 \quad (50)$$

$$Q+q=Q^*+q^* \quad (51)$$

其中  $Q^*$  和  $q^*$  表示鄰近子單元的體積流率。流動阻力  $f(Q, q)$  和  $g(Q, q)$  如下：

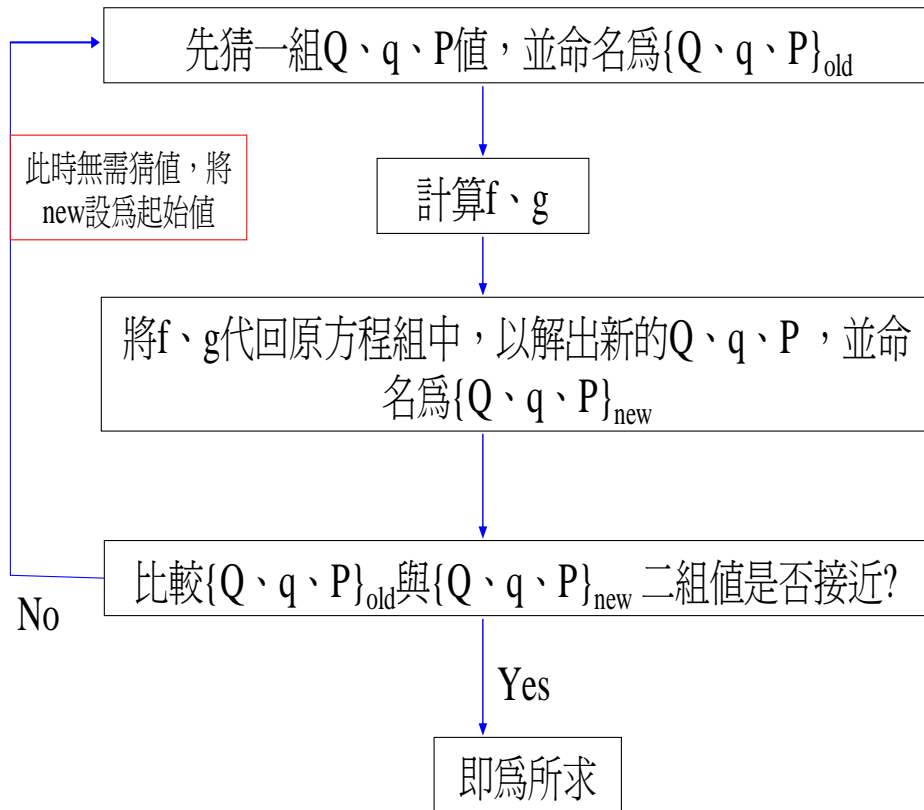


$$f = \frac{2mD_1 r_w^{n-1} \cdot 2\left(2 + \frac{1}{n}\right)}{D_3 \cdot D_2 D_3^3} \quad (52)$$

$$g = \frac{2mD_2 r_w^{n-1} \cdot 2\left(2 + \frac{1}{n}\right)}{D_3 \cdot D_1 D_3^2} \quad (53)$$

### 3. 模擬方法

## 等溫下的疊代方法



螺旋溝分布區域：

將 (27)、(28)、(29)、(44)、(45)、(46)、(49)、(50)、(51) 式寫入每一個單元，可得到一聯立方程組，由於此聯立方程組為非線性，故求解步驟如下：

I. 猜 Q、q 及 P 值。

II. 以步驟 I 中的猜值求  $f$ 、 $g$ 。

III. 以步驟 II 求出的  $f$ 、 $g$  代入原聯立方程組，此時方組為線性。

IV. 解出新的  $Q$ 、 $q$  及  $P$  值。

V. 比較步驟 I 和步驟 IV 的  $Q$ 、 $q$  及  $P$  值，若相當接近，則步驟 IV 的  $Q$ 、 $q$  及  $P$  值即為所求，否則即以步驟 IV 的  $Q$ 、 $q$  及  $P$  值當作新猜值，重覆 I 到 V 的步驟。

當  $n=1$  時，流體即為牛頓流體，則原方程組可簡化為線性，得到的解可作為步驟 I 的起始猜值。



#### 4. 判斷模頭優劣之依據

判斷模頭優劣的依據，包括流量均勻度、混合度及最大壓力降。

##### (1) 流量均勻度(UI)：

流量均勻度愈高，產品厚度愈均勻，將流量均勻度定義如下：

$$UI = 1 - \sqrt{\frac{1}{N_1} \sum_{i=1}^{N_1} \left( \frac{q_i}{q_{avg}} - 1 \right)^2} \quad (57)$$

其中  $q_i$  為兩螺旋溝入口處間的區域中，位於模頭出口處子單元三(或子單元四)Y 方向的體積流率。

$q_{avg}$  為  $q_i$  的平均值。 $N_1$  為兩螺旋溝入口處間的區域中，位於模頭出口處子單元三的個數。當  $q_i = q_{avg}$  時，流量最均勻，此時流量均勻度為 1。

##### (2) 混合度(MD)及最大壓力降(PD)

混合度愈高，表示混料均勻，將混合度(MD)的定義如下：

$$MD = 1 - \frac{1}{Q_e} \sqrt{\frac{1}{N_2} \sum_{i=1}^{N_2} \left( Q(L) - Q_e \left( 1 - \frac{L}{L_t} \right) \right)^2} \quad (58)$$

其中  $Q_e$  為一個螺旋溝入口的總體積流率。

$N_2$  為子單元一的總數。

$L_t$  為螺旋溝總長度。

$L$  為行經螺旋溝的長度。

$Q(L)$  為螺旋溝槽  $L$  長度處沿著螺旋溝方向的體積流率。

由於膠料流入螺旋溝道內，除了不斷往螺旋溝下溝道方向流，另一部份亦會往內模頭（即心軸）及外模頭間隙走。但若沿螺旋溝的方向走太少，而大部分的膠料均往內外模間隙流則會造成膠料縫合線無法消除。至於膠料往螺旋溝走一段長度之後就不在繼續往螺旋溝走，如此會導致膠料在螺旋溝內產生滯留，造成膠料劣化之現象。若混合度愈高，表示混料均勻，可消除縫合線。最大壓力降(PD)愈小，即螺桿的背壓愈小，表示製程所需的能源愈小。因為在模擬過程中是以以螺旋段最終出口處的壓力為零當作邊界條件，所以第一個子單元一的壓力即可視為最大壓力降。當螺旋溝槽內洩流至間隙的體積流率各處相等，即溝槽內沿著螺旋溝方向的體積流率，由入口至出口依線性逐漸遞減為零，則混合度愈好，此時混合度為 1。





## 第三章 結果與討論

### 3.1 等溫下田口法之搜尋

因一次改變一參數而固定其餘參數的傳統實驗方式進行設計，不但費時且無法了解各參數間的影響，又決定模頭幾何形狀的設計參數甚多。所以為了更有效率地尋找出一組最佳參數組合，特引入田口法，以減少數值模擬的次數。本文是固定軸心直徑為 17.7 公分、起始間隙(GIBC=0.1)、模壁傾斜(DELTA=1)，而以田口法搜尋在等溫情況下，使得流量均勻度最佳的起始溝寬  $W$ 、起始溝深  $H$ 、螺旋角  $\theta$  及軸心傾斜角  $\alpha$  的形狀參數組合。本文以 HDPE、LDPE、LLDPE 進行模頭最佳化設計，其性質列於表 1。其餘四個因子起始溝寬、起始溝深、螺旋角及軸心傾斜角之搜尋區域的上下限列於表 2。首先對每個因子選定三個水準(level)，如表 3 所示。而各因子之水準配置，如表 4 所示，以進行田口法之搜尋。若該次搜尋所得之流量均勻度符合要求，則該最佳組合所決定之模頭形狀即為所求，而此組合稱為最佳設計點，否則將該次搜尋的最佳組合當成下次搜尋的中間水準，然後引入一常數  $\lambda$  來重新調整水準 1 及水準 3(即水準 1=水準 2- $\lambda$ \*水準 2，水準 3=水準 3+ $\lambda$ \*水準 3)。當  $w$ 、 $h$ 、 $\theta$ 、 $\alpha$  四個因子的水準重新設定後，重覆直交表來搜尋，直到流量均勻度符合要求。

由於各個因子的起始水準不同，所獲得的最佳設計點也不盡相同，是故利用選擇各個因子不同的任意配對，作為每一個搜尋設計點的起始水準，以這些起始水準來推算較佳的設計點。表 4 列出此十六組起始水準值。以此十六組起始水準搜尋可得十六個設計點以及流量均勻度、混合度與最大壓力降，其結果列於表 5 至表 22。為方便比較，將每一種狀況下的流量均勻度與混合度分別對最大壓力降作圖以及將每一種狀況下的流量均勻度與混合度分別對十六個設計點考量，如圖 8 及圖 16 所示，希望從中找出流量均勻度最大、混合度最高及最大壓力降最小的設計點。



(1) 溝道數 4

HDPE、LDPE、LLDPE 分別以溝道 4 之所對應的設計點

15、15、5 相對於各個 16 設計點相對之下混合度高(MD)以及壓力降(PD)小,雖然流量均勻度(UI)不是最高,但各個 16 設計點流量均勻度高者其 MD 相對較低,所以 HDPE、LDPE、LLDPE 選擇 MD 較高的設計點 15、15、5

(2) 溝道數 5

HDPE 以溝道 5 之設計點 7 及 LDPE 設計點 7 和 5 其相對於各個 16 設計點相對之下 MD 高,但 UI 相對於各個 16 設計點低,考量 UI、MD、PD 適佳性,HDPE、LDPE 分別選擇第 11、1

設計點。溝道 5 之 LLDPE 設計點 5 其 MD 及 UI 在 16 個設計點中相對高,PD 也不是很大,故選此設計點 5 為最佳設計點。

### (3) 溝道數 6

HDPE 以溝道 6 之設計點 1 和 3 的 MD、PD 大約相同，但設計點 3 之 UI 相對較高；其本論文田口法以流量均勻度作為收尋，因此 HDPE 選擇設計點 3 為最佳設計點。溝道 6 之 LDPE 設計點 3 和 7 因以流量均勻度為收尋，選擇均勻度較高的設計點 3 來當最佳設計點。以溝道 6 之 LLDPE 設計點 3 和 5 比較下，其設計點 3 的 PD 相對較高，但設計點 7 的 MD 較高，可是與設計點 5 比較下 UI 和 PD 相對高，故選擇設計點 5 為最佳設計點。



## 3.2 等溫下之考量

以下由 3.2.1 至 3.2.5 均以最佳設計點的形狀參數為基準對溝道 4、5、6 三種不同材料，分別一次針對一個因子(改變軸心傾斜角、螺旋角、起始溝深、起始溝寬以及改變原先初始假設固定間隙和模外傾斜角)探討其對模頭性能之影響。

### 3.2.1 軸心傾斜角(ALFAR)對模頭性能之影響

分別改變不同溝道之 HDPE、LDPE、LLDPE 最佳設計點中的軸心傾斜角，可得到圖 29 至圖 37 為流量均勻度及混合度在最佳設計點

幾何形狀下與軸心傾斜角  $\alpha$  之關係圖。由圖17至25可看出對不同材料和溝道數所選的設計點，當軸心傾斜角當高於於所選的設計點軸心傾斜角時流量均勻度及混合度均有下滑的趨勢，是因為當軸心傾斜角過大時易造成溝槽內的融膠愈容易洩流至間隙，也就是說當軸心傾斜角過大時間隙也變大，因此融膠不易往螺旋溝道方向流動使混合度下降。另外可以由不同材料和不同溝道數可看出，隨著軸心傾斜角的增加，最大壓力降有顯著降低的趨勢，這是因為軸心傾斜角愈大，間隙隨之增加，間隙愈大則流場截面積愈大，融膠往軸向流動之流動阻力愈小，壓力降愈低。雖然所選的最佳設計點之UI或MD並沒有處於最高處，但配合流量均勻度收尋仍然為最佳考量。



### 3.2.2 螺旋角(CITA)對模頭性能之影響

圖26至圖34為流量均勻度及混合度在不同材料和溝道數之最佳設計點幾何形狀下與螺旋角  $\theta$  之關係圖。所選定之設計點仍合理地處在流量均勻度及混合度之位置，由圖中可發現所選定之設計點顯示螺旋角對混合度的影響有下滑的趨勢。隨著螺旋角一開始的增加，融膠由子單元一經過子單元二，因為溝道所繞行的圈數不變，故內模頭高度增加，使模壁與內模頭之間的距離間隙增加，間隙愈大則流場截面積愈大，使融膠較均勻易流動，也就是說有助於融膠往下一子單元流動，使流量均勻度提升。從壓力圖可知螺旋角適當增加，間

隙隨之增加，有助於讓融膠往軸向流動之流動阻力小，所以壓力降會有降低的趨勢。但是當螺旋角過大時易造成溝槽內的融膠愈容易洩流至間隙，因此不易往螺旋溝道方向流動使流量均勻度和混合度下降趨勢。

### 3.2.3 外模壁傾斜角(Delta)對模頭性能之影響

圖 35 至圖 43 為流量均勻度及混合度在不同材料和溝道數之最佳設計點幾何形狀下與外模壁傾斜角之關係圖。由圖中可發現所選定之設計點顯示外模壁傾斜角對不同溝道數及不同材料其外模壁傾斜角增加到一定傾斜度之後流量均勻度和和混合度開始呈現遞減趨勢，因為傾斜角傾斜小於軸心傾斜角時其間隙較大，因此間隙愈大則流場截面積愈大，有助於融膠往下一個子單元流動,有助於流量均勻度提升，因為外模壁傾斜角漸漸增加，其間隙也漸漸變小，洩流至間隙的流量相對較低，所以可以有效提高混合度。但是當傾斜角傾斜大於軸心傾斜角之時其間隙會變小時，那間隙愈小則流場截面積愈小，融膠往軸向流動之流動阻力愈大，壓力降愈變大。因此溝槽內的融膠愈不容易洩流至間隙，使流量均勻度和和混合度有下降趨勢。

### 3.2.4 起始溝深(DEPTH)對模頭性能之影響

圖44至圖52為流量均勻度及混合度在不同材料和溝道數之最佳設計點幾何形狀下與起始溝深之關係圖。所選定之設計點亦合乎同時考量流量均勻度及混合度之要求，對不同材料介於選定在0.5cm至1cm之間的溝深前流量均勻度非常顯著的受到溝深改善，超過此溝深則只有小幅變動。因為起始溝深漸漸增加,使螺旋溝起始溝深增加，使融膠往溝槽內流動不容易洩流至間隙，即起始溝深小時有助於融膠洩流至間隙讓均勻度提升，但是螺旋溝起始溝深深溝夠大時，會使融膠往螺溝流動可以看出流量均勻有些遞減。由圖中壓力降與起始溝深DEPTH之關係圖，因在固定間隙的情況下，起始溝深愈大，表示起始溝深與間隙的比值愈高，洩流至間隙的流量相對較低，所以可以有效提高混合度但是起始溝深過大時，有效降低最大壓力降。

### 3.2.5 起始間隙(GIBC)對模頭性能之影響

圖 53 至圖 61 為流量均勻度及混合度在不同材料和溝道數之最佳設計點幾何形狀下與起始間隙之關係圖。比較不同材料和溝道數可知，起始間隙超過 0.1 流量均勻度顯著的下降趨勢，因為起始間隙在 0.1 之前一開始會阻礙融膠往間隙溢流，有助於融膠往螺旋溝道走，促使流量均勻度和混合度提升。但是起始間隙過大時，會促融膠

往間隙流動，造成流量均勻度和混合度很明顯的下降趨勢。使另外可以看出流量均勻度在這三種材料不同溝道數起始間隙 0.1 附近皆有一較高的區域，而從關係圖中知壓力降與混合度具有相關性，就是隨著間隙增加，最大壓力降及混合度均會顯會顯著的降低，這主要是因為間隙隨之增加，間隙愈大則流場截面積愈大，融膠往軸向流動之流動阻力愈小，壓力降則會降低，而且由於流動阻力小，溝槽內的融膠愈容易洩流至間隙。

### 3.2.6 起始溝寬(WCHAN)對模頭性能之影響

圖 62 至圖 70 為流量均勻度及混合度在不同材料和溝道數之最佳設計點幾何形狀下與起始溝寬 H 之關係圖。從流量均勻度及混合度圖中各有一較高區域，而且我們所選定最佳設計點起始，溝寬皆落於此區域附近。剛開始溝寬漸漸增加時，使溝道截面積增加，有助於融膠不全部往上溢流，因此融膠比較會往螺旋溝道走，所以流量均勻度上升，但是溝寬太大會使前半段流體不易往上流造成流量均勻度下降。從壓力降與起始溝寬 WCHAN 之關係圖看來在起始溝寬小時，會有很大的壓力降，但是隨著起始溝寬增加便呈現下降然後漸趨下降趨勢。這是因為起始溝寬愈大，融膠往溝槽方向流動之流動阻力愈小，所以最大壓力降愈低。

### 3.2.7 溝道溢流情形

圖71至圖79分別為HDPE、LDPE、LLDPE三種材料的溝道數4、5、6以之前所選定的最佳設計點在等溫之下之溝道數溢流情形。其中 $Q$ 為該處體積流率， $Q_{ini}$ 為進入一個螺旋溝的初始體積流率，當混合度為1時，其溝道呈一線性之分配溢流至間隙，也就是說從圖中由左上角至圖右下角畫出的直線極為混合度為1的圖形。由圖71至圖79可以看出在螺旋溝末端沒有融膠堆積於螺旋溝道中，比較沒有縫合線(Welding Line)的產生。





## 第四章 結論

### 1. 金字塔型砌積式心軸模頭(Pyramid type of stackable spiral mandrel Die)

之模擬若以一次改變一個參數的傳統設計方式，不但耗時，本文以二維的流動分析，以及配合直交表的搜尋方法，以不同的起始水準進行搜尋，再以利用選擇各個因子不同的任意配對，配出十六組起始水準，以作更完整的搜尋。可減少實驗次數，以流量均勻度和壓力降為考量條件，可使產品的厚度均勻提升。

### 2. 最新的金字塔型砌積式心軸模頭優點

(1) 砌積式心軸模頭模子用於多層膜上，其模子尺寸較小。

(2) 多層膜模頭在內層的流道接觸面積比較小，所以停滯時間比較短

### 3. 一個好的模頭必須考量流量均勻度、混合度、最大壓力降，使得產品厚

度最均勻、製程最省能源並可消除縫合線或皺痕。此三項標準藉由幾何參數之完整考量，引入外模壁傾斜角可以增加間隙部分之幾何形狀變化，有效將混合度提升。

### 4. 研究結果可以觀察到外模壁傾斜角、起始間隙、起始溝深及模頭寬度共

四個參數對模頭性能之影響較明顯，其結果顯示都對不同溝道數及不同材料增加到某一程度之後，流量均勻度和和混合度開始呈現遞減趨勢。

表 1 HDPE、LDPE、LLDPE 材料性質參數表

Properties	HDPE	LDPE	LLDPE
T0(K)	503	463	493
m(T0)(Pa*sn)	2799.6	8201.2	6983.6
Cp(J/Kg-K)	2500	2300	2300
$\rho$ (Kg/m3)	750	750	750
b(1/K)	0.02	0.008	0.0093
Ks(W/m-K)	0.18	0.24	0.24
n(power index)	0.4122	0.4986	0.5525

表 2 WCHAN、DEPTH、CITA、ALFAR 之上下限值

	minimum	maximum
w(cm)	0.8	2.4
h(cm)	0.8	2.4
$\theta$ (°)	9.0	24.0
$\alpha$ (°)	0.8	3.0

表 3 起始因子水準表

facter	level 1	level 2	level 3
WCHAN (cm)	1.6	1.8	2.0
DEPTH (cm)	1.6	1.8	2.0
CITA(°)	15.0	18.0	21.0
ALFAR(°)	2.0	2.2	2.4

表 4 十六組起始水準值

design no.	WCHAN (cm)			DEPTH (cm)			CITA (°)			ALFAR (°)		
	level 1	level 2	level 3	level 1	level 2	level 3	level 1	level 2	level 3	level 1	level 2	level 3
1	0.8	1.2	1.6	0.8	1.2	1.6	9.0	12.0	15.0	0.8	3.8	6.8
2	0.8	1.2	1.6	0.8	1.2	1.6	9.0	12.0	15.0	6.8	9.8	12.8
3	0.8	1.2	1.6	0.8	1.2	1.6	15	18	21	0.8	3.8	6.8
4	0.8	1.2	1.6	0.8	1.2	1.6	15	18	21	6.8	9.8	12.8
5	0.8	1.2	1.6	1.6	2.0	2.4	9.0	12.0	15.0	0.8	3.8	6.8
6	0.8	1.2	1.6	1.6	2.0	2.4	9.0	12.0	15.0	6.8	9.8	12.8
7	0.8	1.2	1.6	1.6	2.0	2.4	15	18	21	0.8	3.8	6.8
8	0.8	1.2	1.6	1.6	2.0	2.4	15	18	21	6.8	9.8	12.8
9	1.6	2.0	2.4	0.8	1.2	1.6	9.0	12.0	15.0	0.8	3.8	6.8
10	1.6	2.0	2.4	0.8	1.2	1.6	9.0	12.0	15.0	6.8	9.8	12.8
11	1.6	2.0	2.4	0.8	1.2	1.6	15	18	21	0.8	3.8	6.8
12	1.6	2.0	2.4	0.8	1.2	1.6	15	18	21	6.8	9.8	12.8
13	1.6	2.0	2.4	1.6	2.0	2.4	9.0	12.0	15.0	0.8	3.8	6.8
14	1.6	2.0	2.4	1.6	2.0	2.4	9.0	12.0	15.0	6.8	9.8	12.8
15	1.6	2.0	2.4	1.6	2.0	2.4	15	18	21	0.8	3.8	6.8
16	1.6	2.0	2.4	1.6	2.0	2.4	15	18	21	6.8	9.8	12.8

表 5 HDPE 之十六個設計點及其流量均勻度之溝道數 4

HDPE					
design no.	design point				U I
	W(cm)	H(cm)	$\theta$ ( $^{\circ}$ )	$\alpha$ ( $^{\circ}$ )	
1	1.552323	1.599680	11.64359	3.613762	0.9770383
2	0.8800000	1.288408	9.000000	4.015332	0.9817256
3	1.382326	1.598282	15.05776	3.074695	0.9784244
4	0.8998913	0.8652800	10.38801	4.340027	0.9753909
5	1.477190	1.838151	13.16789	3.285699	0.9664887
6	0.8800000	1.760000	9.000000	4.461480	0.9739330
7	1.288767	1.803201	14.49863	2.864930	0.9560896
8	0.8240000	1.748363	9.792545	4.439287	0.9712532
9	2.400000	1.463142	11.61120	2.757037	0.9845182
10	1.154736	0.8800000	9.000000	4.015332	0.9784539
11	2.400000	1.526723	13.01184	2.538278	0.9686710
12	1.683298	0.8983040	11.89528	3.310925	0.9776137
13	1.903523	1.756632	9.732082	3.168382	0.9632974
14	1.693422	1.759810	9.000000	3.490726	0.9623835
15	1.782000	2.200000	14.58000	2.770200	0.9430795
16	1.212606	1.452809	9.775496	3.857711	0.9735234

表 6 LLDPE 之十六個設計點及其流量均勻度之溝道數 4

LLDPE					
design no.	design point				U I
	W(cm)	H(cm)	$\theta$ ( $^{\circ}$ )	$\alpha$ ( $^{\circ}$ )	
1	1.760000	1.760000	10.80000	3.420000	0.9789178
2	0.8640000	1.045440	9.000000	4.560624	0.9800264
3	1.756121	1.477206	14.98027	3.007059	0.9781871
4	0.8800000	0.8800000	9.841500	4.015332	0.9758783
5	1.559451	1.735825	1.559451	0.9763850	0.9763850
6	0.8464000	1.687105	9.000000	5.043865	0.9753448
7	2.400000	1.571602	15.37027	2.455691	0.9383295
8	0.8800000	1.283040	10.93500	4.461480	0.9851859
9	2.370851	1.465655	10.42858	3.041815	0.9685752
10	1.283040	0.8800000	9.000000	4.461480	0.9845340
11	2.138400	1.584000	14.58000	2.770200	0.9732634
12	1.114546	0.8400000	9.951306	4.285696	0.9847336
13	2.400000	1.561518	13.76449	2.493180	0.9750731
14	2.400000	2.400000	9.000000	3.358650	0.9598668
15	2.400000	1.329478	10.02701	3.026032	0.9702986
16	1.221198	1.576960	10.22208	3.588577	0.9781759

表 7 LDPE 之十六個設計點及其流量均勻度之溝道數 4

LDPE					
design no.	design point				U I
	W(cm)	H(cm)	$\theta$ ( $^{\circ}$ )	$\alpha$ ( $^{\circ}$ )	
1	1.840000	1.840000	12.00000	2.745500	0.9815024
2	0.8998913	1.094855	9.000000	4.709231	0.9819192
3	1.413313	1.664000	15.28824	3.098416	0.9755794
4	0.8487200	0.9004071	10.40764	4.439287	0.9774448
5	1.547697	1.763803	11.84886	3.266269	0.9763629
6	0.8800000	1.425600	9.000000	4.957200	0.9789864
7	2.400000	1.467113	12.98008	2.649146	0.9722627
8	1.040000	1.456000	10.50000	3.332000	0.9662228
9	2.400000	0.9174405	14.02033	3.242157	0.9720260
10	1.283040	0.8800000	9.000000	4.461480	0.9819996
11	2.022855	1.501760	13.85851	2.808657	0.9758865
12	1.154736	0.8800000	9.841500	4.015332	0.9802447
13	1.978016	1.919159	10.26534	3.267504	0.9603586
14	1.569170	1.834789	9.000000	3.527471	0.9644489
15	1.646455	1.916454	14.02858	3.075780	0.9613436
16	1.203739	1.487186	9.814440	3.959147	0.9735961

表 8 HDPE 十六個設計點之流量均勻度、混合度及最大

壓力降之溝道數 4

HDPE			
design no.	UI	MD	PD(atm)
1	0.9770383	0.7855490	0.1539E+02
2	0.9817256	0.6167141	0.2005E+02
3	0.9784244	0.7965237	0.1905E+02
4	0.9753909	0.5846095	0.2197E+02
5	0.9664887	0.8210731	0.1643E+02
6	0.9739330	0.6231436	0.1814E+02
7	0.9560896	0.7915661	0.1784E+02
8	0.9712532	0.6353843	0.1858E+02
9	0.9845182	0.7617308	0.1754E+02
10	0.9784539	0.6141328	0.2168E+02
11	0.9686710	0.7773603	0.1614E+02
12	0.9776137	0.6227533	0.2152E+02
13	0.9632974	0.8214489	0.1451E+02
14	0.9623835	0.8143243	0.1515E+02
15	0.9430795	0.8436775	0.1497E+02
16	0.9735234	0.7157214	0.1670E+02

表 9 LLDPE 十六個設計點之流量均勻度、混合度及最大

壓力降之溝道數 4

LLDPE			
design no.	UI	MD	PD(atm)
1	0.9789178	0.8172124	0.7950E+02
2	0.9800264	0.6074260	0.1203E+03
3	0.9781871	0.8072703	0.9140E+02
4	0.9758783	0.5793849	0.1311E+03
5	0.9763850	0.8435645	0.8227E+02
6	0.9753448	0.6280658	0.1018E+03
7	0.9383295	0.7803921	0.7701E+02
8	0.9851859	0.6103123	0.1241E+03
9	0.9685752	0.8195121	0.7976E+02
10	0.9845340	0.5987476	0.1205E+03
11	0.9732634	0.8140660	0.8142E+02
12	0.9847336	0.6001005	0.1273E+03
13	0.9750731	0.8049234	0.8166E+02
14	0.9598668	0.8194491	0.4847E+02
15	0.9702986	0.7999523	0.8318E+02
16	0.9781759	0.7325165	0.8988E+02



表 10 LDPE 十六個設計點之流量均勻度、混合度及最大

壓力降之溝道數 4

LDPE			
design no.	UI	MD	PD(atm)
1	0.9815024	0.7840411	0.8033E+02
2	0.9819192	0.6056039	0.9754E+02
3	0.9755794	0.8090784	0.8500E+02
4	0.9774448	0.5847918	0.1095E+03
5	0.9763629	0.8104044	0.7143E+02
6	0.9789864	0.6050668	0.9383E+02
7	0.9722627	0.7815844	0.7342E+02
8	0.9662228	0.5917190	0.9969E+02
9	0.9720260	0.7204409	0.1216E+03
10	0.9819996	0.5941504	0.1019E+03
11	0.9758865	0.8061962	0.7495E+02
12	0.9802447	0.6073311	0.1117E+03
13	0.9603586	0.8384249	0.6062E+02
14	0.9644489	0.8143127	0.6561E+02
15	0.9613436	0.8454676	0.6875E+02
16	0.9735961	0.7157398	0.7741E+02

表 11 HDPE 之十六個設計點及其混合均勻度之溝道數 5

HDPE					
design no.	design point				U I
	W(cm)	H(cm)	$\theta$ ( $^{\circ}$ )	$\alpha$ ( $^{\circ}$ )	
1	1.658714	1.459169	13.58515	3.253103	0.9764419
2	0.9331200	0.9618047	9.720000	4.925474	0.9815243
3	1.652852	1.441313	15.68326	3.135260	0.9750919
4	0.8240000	0.8487200	11.06136	4.864050	0.9777495
5	1.736086	2.253611	12.03153	3.522983	0.9346481
6	0.9909037	2.080534	9.000000	5.018622	0.9400753
7	1.396063	2.317020	18.28526	3.216593	0.9305458
8	0.8131072	2.009091	11.56584	4.666108	0.9602119
9	2.160585	1.440390	11.97000	3.095124	0.9646341
10	1.428029	1.246374	9.000000	4.306108	0.9576625
11	2.052556	1.440390	15.43275	2.940367	0.9676943
12	1.102688	1.007513	10.09541	4.466746	0.9704263
13	2.289152	2.400000	9.000000	3.631631	0.9661058
14	1.714783	1.603800	9.900000	3.577661	0.9624454
15	1.732730	1.968340	16.16437	3.115911	0.9420927
16	1.184828	1.287888	10.98121	4.141916	0.9736409

表 12 LLDPE 之十六個設計點及其混合均勻度之溝道數 5

LLDPE					
design no.	design point				U I
	W(cm)	H(cm)	$\theta$ ( $^{\circ}$ )	$\alpha$ ( $^{\circ}$ )	
1	1.652247	1.604123	11.01982	3.695913	0.9624702
2	0.8008000	0.8008000	9.000000	6.698711	0.9438068
3	1.584000	1.760000	16.20000	3.078000	0.9659709
4	1.360000	1.360000	9.000000	2.040000	0.9422079
5	1.758976	1.729317	11.42146	3.616797	0.9614209
6	0.8512000	1.792627	10.53360	4.825537	0.9655211
7	2.400000	2.400000	9.000000	3.353726	0.9674175
8	1.382400	1.228800	11.52000	3.342336	0.9767105
9	2.273287	1.275324	11.95633	3.194636	0.9693633
10	1.378360	1.339121	9.000000	4.466746	0.9648999
11	2.188504	1.324217	16.07663	3.056956	0.9753691
12	1.226120	0.9250560	9.841500	4.233052	0.9757473
13	2.400000	2.400000	9.000000	2.476992	0.9675205
14	2.400000	2.397542	9.000000	3.815010	0.9722133
15	2.400000	1.052154	10.90309	3.379466	0.9701781
16	1.094318	1.442521	11.53693	4.144306	0.9727635

表 13 LDPE 之十六個設計點及其混合均勻度之溝道數 5

LDPE					
design no.	design point				U I
	W(cm)	H(cm)	$\theta$ ( $^{\circ}$ )	$\alpha$ ( $^{\circ}$ )	
1	1.574402	1.549312	13.09843	3.592239	0.9692078
2	0.8400000	0.9724050	9.000000	5.261711	0.9794930
3	1.530064	1.456607	15.36765	3.282892	0.9752131
4	0.8080000	0.8323168	13.03119	5.848398	0.8898180
5	1.760000	2.200000	12.00000	3.420000	0.9468579
6	0.8327680	1.484424	9.866763	4.843484	0.9708740
7	1.698499	2.336058	17.85064	3.066155	0.9470965
8	0.8800000	1.936000	10.93500	4.461480	0.9644008
9	2.144109	1.329470	11.96366	3.222155	0.9678579
10	1.685121	1.120762	9.294912	4.099075	0.9679401
11	2.015381	1.325072	15.74517	3.088907	0.9751558
12	1.425600	1.171280	10.93500	4.461480	0.9720116
13	2.336806	2.400000	9.000000	3.759414	0.9727504
14	2.352341	2.242316	9.576299	3.390200	0.9664930
15	2.390039	2.400000	9.000000	3.555187	0.9709041
16	1.114546	1.368370	10.99881	4.285696	0.9738835

表 14 HDPE 十六個設計點之流量均勻度、混合度及最大

壓力降之溝道數 5

HDPE			
design no.	UI	MD	PD(atm)
1	0.9764419	0.7938594	0.1554E+02
2	0.9815243	0.6017672	0.19514E+02
3	0.9750919	0.8081024	0.1632E+02
4	0.9777495	0.5881284	0.2097E+02
5	0.9346481	0.8399248	0.1208E+02
6	0.9400753	0.7306915	0.1371E+02
7	0.9305458	0.8627469	0.1429E+02
8	0.9602119	0.6953040	0.1711E+02
9	0.9646341	0.8176124	0.1516E+02
10	0.9576625	0.7387301	0.1481E+02
11	0.9676943	0.8194860	0.1577E+02
12	0.9704263	0.6507043	0.1745E+02
13	0.9661058	0.8068112	0.9545E+01
14	0.9624454	0.7983025	0.1403E+02
15	0.9420927	0.8426758	0.1348E+02
16	0.9736409	0.7084700	0.1642E+02

表 15 LLDPE 十六個設計點之流量均勻度、混合度及最大

壓力降之溝道數 5

LLDPE			
design no.	UI	MD	PD(atm)
1	0.9624702	0.8378937	0.7293E+02
2	0.9438068	0.5577393	0.9961E+02
3	0.9659709	0.8318886	0.8001E+02
4	0.9422079	0.5568304	0.9844E+02
5	0.9614209	0.8411605	0.6782E+02
6	0.9655211	0.6711147	0.9600E+02
7	0.9674175	0.7949848	0.4514E+02
8	0.9767105	0.7145270	0.9344E+02
9	0.9693633	0.8132411	0.8311E+02
10	0.9648999	0.7695309	0.7980E+02
11	0.9753691	0.8246041	0.8450E+02
12	0.9757473	0.6431740	0.1023E+03
13	0.9675205	0.7946948	0.4515E+02
14	0.9722133	0.8086626	0.4545E+02
15	0.9701781	0.7632782	0.9047E+02
16	0.9727635	0.7327050	0.8972E+02

表 16 LDPE 十六個設計點之流量均勻度、混合度及最大

壓力降之溝道數 5

LDPE			
design no.	UI	MD	PD(atm)
1	0.9692078	0.8234599	0.6714E+02
2	0.9794930	0.6050071	0.9273E+02
3	0.9752131	0.8076729	0.7555E+02
4	0.8898180	0.5631802	0.8772E+02
5	0.9468579	0.8501017	0.5590E+02
6	0.9708740	0.6384795	0.8583E+02
7	0.9470965	0.8508189	0.5518E+02
8	0.9644008	0.6786914	0.8375E+02
9	0.9678579	0.8193238	0.7218E+02
10	0.9679401	0.7497839	0.7419E+02
11	0.9751558	0.8187093	0.7715E+02
12	0.9720116	0.7442320	0.8891E+02
13	0.9727504	0.8060394	0.4109E+02
14	0.9664930	0.8032104	0.4508E+02
15	0.9709041	0.8003030	0.4056E+02
16	0.9738835	0.7156441	0.8012E+02

表 17 HDPE 之十六個設計點及其流量均勻度之溝道數 6

HDPE					
design no.	design point				U I
	W(cm)	H(cm)	$\theta$ ( o )	$\alpha$ ( o )	
1	1.516745	1.477988	12.44278	3.728358	0.9616614
2	0.8400000	1.080292	9.450000	5.538643	0.9782317
3	1.437465	1.505967	15.73674	3.409290	0.9682571
4	0.8144000	1.008814	11.63194	5.178228	0.9762718
5	1.996321	2.400000	9.595890	3.808097	0.9668875
6	0.8513946	1.815523	9.000000	5.972552	0.9668875
7	2.100240	2.294085	16.52550	3.397262	0.9416372
8	0.8214285	1.580026	12.89056	4.680956	0.9597622
9	2.191390	2.005095	12.37975	3.491654	0.9529606
10	2.105840	1.286048	9.000000	5.848398	0.9023007
11	2.340340	1.327752	14.39870	2.915218	0.9608510
12	1.182860	0.8134218	11.49487	4.375130	0.9715602
13	2.184303	2.282697	10.35448	3.772141	0.9689404
14	1.972109	2.352807	9.432814	3.977840	0.9652721
15	2.272322	2.330328	11.99017	3.783935	0.9684485
16	2.122264	2.358071	10.22742	3.910072	0.9670601



表 18 LLDPE 之十六個設計點及其流量均勻度之溝道數 6

LLDPE					
design no.	design point				U I
	W(cm)	H(cm)	$\theta$ ( $^{\circ}$ )	$\alpha$ ( $^{\circ}$ )	
1	2.400000	0.8954009	11.02900	3.361376	0.9686772
2	0.8224000	1.070300	9.511056	5.734645	0.9769390
3	1.546860	1.446816	16.49537	3.391068	0.9720088
4	1.281290	0.9360000	12.09019	3.775784	0.9790866
5	2.098539	2.128882	9.568517	4.134830	0.9673123
6	0.8182536	1.884791	9.000000	6.046734	0.9448783
7	2.168956	1.864875	15.74605	3.219596	0.9559518
8	0.8800000	1.760000	13.36500	4.461480	0.9624200
9	2.317832	1.946766	11.19463	3.766460	0.9626297
10	1.588228	1.026278	9.922501	4.274981	0.9682950
11	2.400000	0.9110088	11.67264	3.563347	0.9683114
12	1.368475	0.9040000	11.35350	3.895704	0.9769030
13	1.995622	2.192999	9.000000	3.991586	0.9621489
14	1.982356	2.038679	9.334080	4.090949	0.9645864
15	2.314450	2.109951	10.95108	3.899565	0.9622036
16	2.400000	2.400000	17.54605	3.259471	0.9472051

表 19 LDPE 之十六個設計點及其流量均勻度之溝道數 6

LDPE					
design no.	design point				U I
	W(cm)	H(cm)	$\theta$ ( $^{\circ}$ )	$\alpha$ ( $^{\circ}$ )	
1	1.684986	1.331729	12.01556	3.705183	0.9647745
2	0.8800000	1.069200	9.000000	4.957200	0.9808939
3	1.523285	1.397992	16.35422	3.517672	0.9722285
4	0.8320000	0.8652800	12.23059	5.322753	0.9753873
5	2.053048	2.054280	9.367218	3.883913	0.9654195
6	0.8034360	1.888756	9.000000	6.237347	0.9423159
7	1.576074	1.864696	18.39180	3.264619	0.9543991
8	0.8209715	1.641943	13.70593	4.696929	0.9613123
9	2.400000	1.199812	14.44993	2.745941	0.9821898
10	1.607663	1.268263	9.000000	4.276314	0.9577354
11	2.400000	1.071427	11.94912	3.289973	0.9620228
12	1.241050	0.8512000	10.93500	4.639939	0.9758022
13	2.153015	2.170096	10.02049	4.000450	0.9682892
14	2.400000	2.301382	10.73650	3.883668	0.9649437
15	1.929363	2.400000	9.773094	4.056353	0.9683898
16	2.136826	2.234495	9.514396	3.915382	0.9651901

表 20 HDPE 十六個設計點之流量均勻度、混合度及最大

壓力降之溝道數 6

HDPE(Qe = 15 cm <sup>3</sup> / sec)			
design no.	UI	MD	PD(atm)
1	0.9616614	0.8254420	0.1427E+02
2	0.9782317	0.6183034	0.1764E+02
3	0.9682571	0.8203739	0.1518E+02
4	0.9762718	0.6287142	0.1840E+02
5	0.9668875	0.8093994	0.9055E+01
6	0.9416372	0.7041689	0.1396E+02
7	0.9482452	0.8173771	0.1011E+02
8	0.9597622	0.6960917	0.1729E+02
9	0.9529606	0.8170330	0.1035E+02
10	0.9023007	0.7445033	0.9266E+01
11	0.9608510	0.8174489	0.1529E+02
12	0.9715602	0.6463571	0.1829E+02
13	0.9689404	0.8055382	0.9171E+01
14	0.9652721	0.8029077	0.9354E+01
15	0.9684485	0.8050103	0.8842E+01
16	0.9670601	0.7995410	0.8988E+01

表 21 LLDPE 十六個設計點之流量均勻度、混合度及最大

壓力降之溝道數 6

LLDPE			
design no.	UI	MD	PD(atm)
1	0.9686772	0.7132336	0.9733E+02
2	0.9769390	0.6280681	0.1039E+03
3	0.9720088	0.8249072	0.7953E+02
4	0.9790866	0.6677280	0.1044E+03
5	0.9673123	0.8162596	0.4879E+02
6	0.9448783	0.6909661	0.8005E+02
7	0.9559518	0.8380380	0.5692E+02
8	0.9624200	0.7029864	0.9712E+02
9	0.9626297	0.8152568	0.5194E+02
10	0.9682950	0.7368047	0.8829E+02
11	0.9683114	0.7328025	0.9249E+02
12	0.9769030	0.6721398	0.1025E+03
13	0.9621489	0.8307229	0.5216E+02
14	0.9645864	0.8142797	0.5240E+02
15	0.9622036	0.8166416	0.5231E+02
16	0.9472051	0.7996197	0.4377E+02

表 22 LDPE 十六個設計點之流量均勻度、混合度及最大

壓力降之溝道數 6

LDPE			
design no.	UI	MD	PD(atm)
1	0.9647745	0.8104107	0.6734E+02
2	0.9808939	0.6097532	0.9379E+02
3	0.9722285	0.8244234	0.7304E+02
4	0.9753873	0.6042351	0.9676E+02
5	0.9654195	0.8170270	0.4717E+02
6	0.9423159	0.6928033	0.6812E+02
7	0.9543991	0.8531498	0.6120E+02
8	0.9613123	0.7114950	0.8710E+02
9	0.9821898	0.7736703	0.8778E+02
10	0.9577354	0.7874254	0.6507E+02
11	0.9620228	0.7520819	0.7442E+02
12	0.9758022	0.6550856	0.9079E+02
13	0.9682892	0.8119929	0.4247E+02
14	0.9649437	0.8014635	0.4236E+02
15	0.9683898	0.8079597	0.3990E+02
16	0.9651901	0.8161092	0.4476E+02

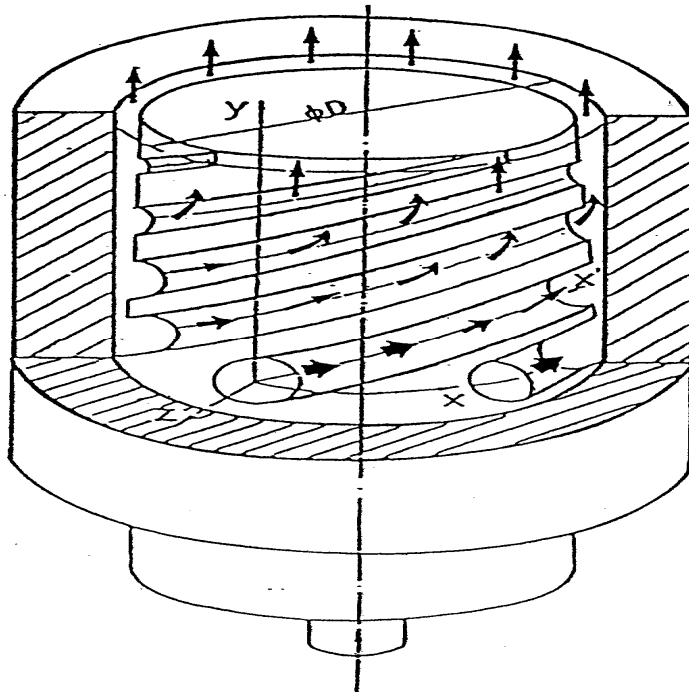


圖 1 (a)螺旋式心軸模頭

資料來源：J. Vlcek, J. Vlachopoulos and J. Perdikoulis, Int. Polym.

Process., 2, p. 174, 1988

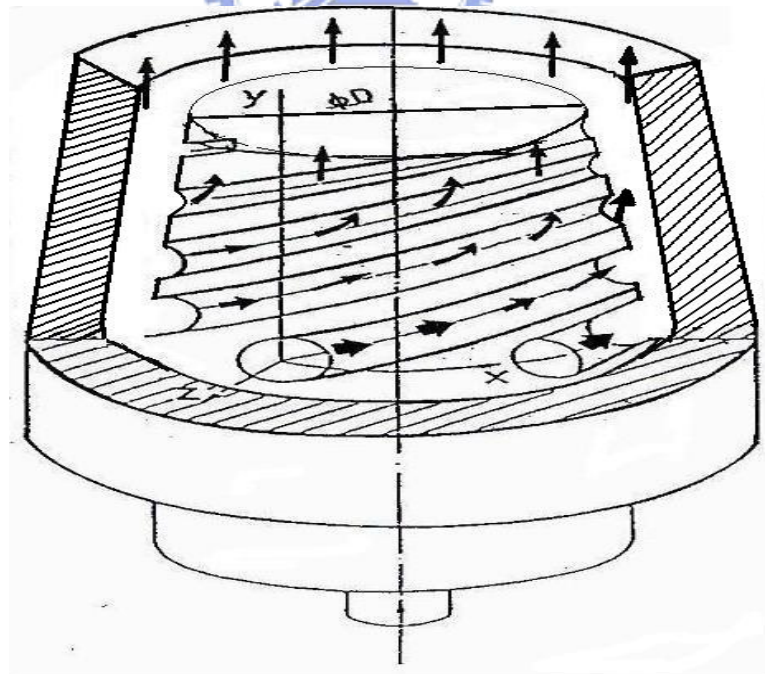


圖 1 (b) 金字塔型砌積式心軸模頭

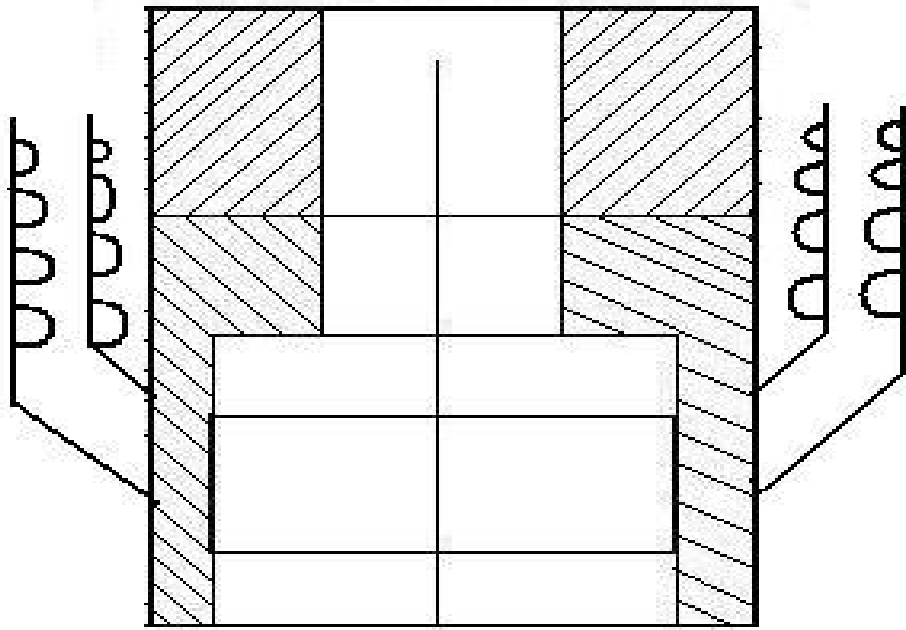


圖 2 (a) 螺旋心軸模頭 2-D 圖

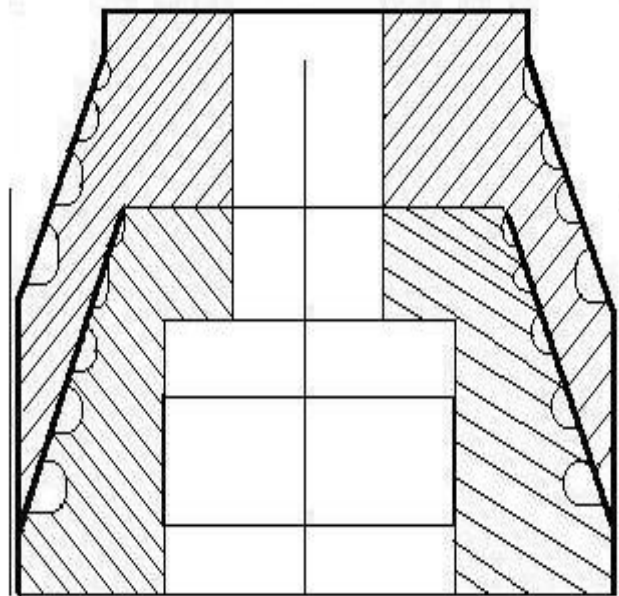


圖 2(b) 金字塔型砌積式心軸模頭 2-D 圖

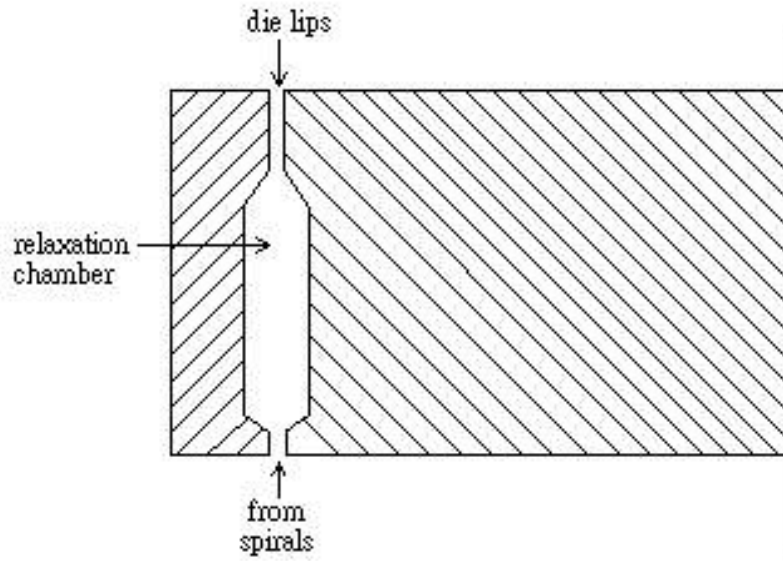


圖 3 鬆弛室和模唇之構造圖

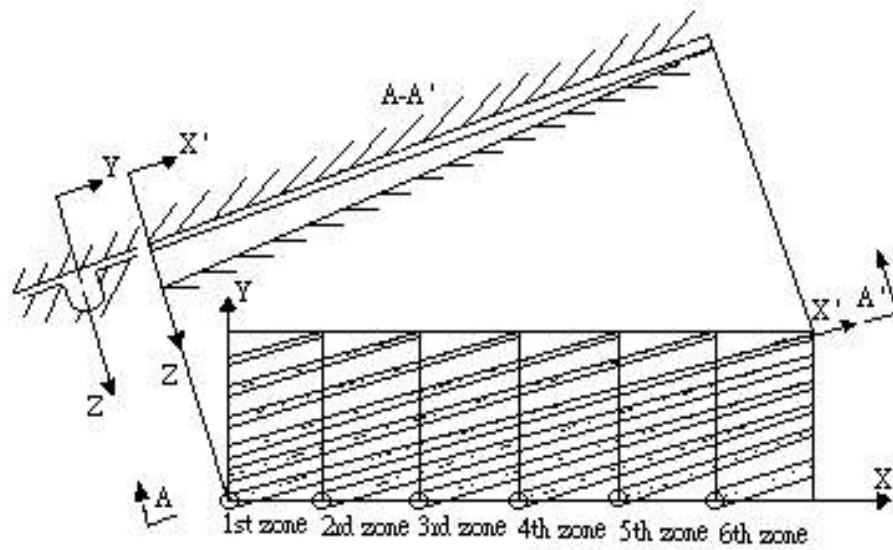


圖 4 模頭之展開圖

資料來源：J. Vlcek, J. Vlachopoulos and J. Perdikoulis, *Int. Polym. Process.*, 2, p. 174, 1988



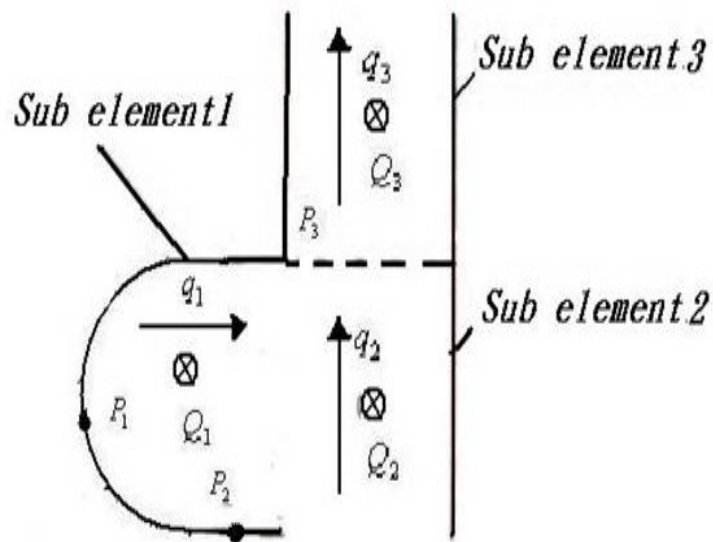
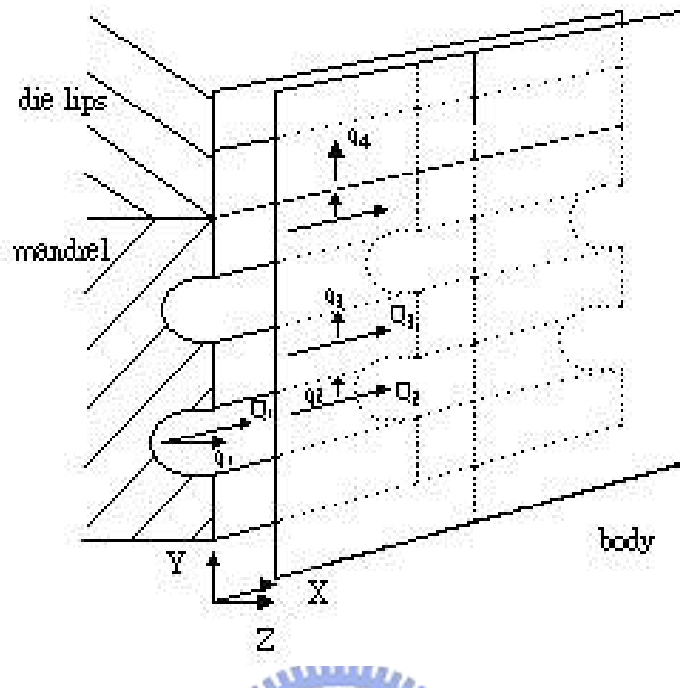


圖 5 單元之構造圖

資料來源：J. Vlcek, J. Vlachopoulos and J. Perdikoulis, Int. Polym.

Process., 2, p. 174, 1988

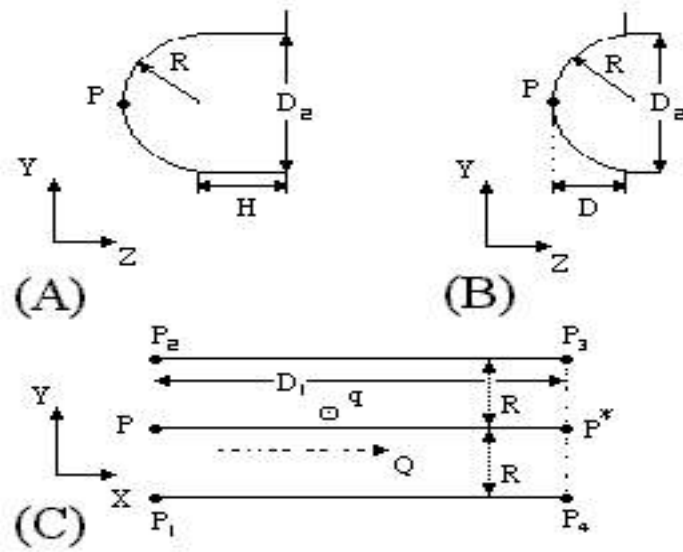


圖 6 子單元一之形狀(A)深度大於半徑時的側視圖

(B)深度小於半徑時的側視圖(C)正視圖

資料來源：J. Vlcek, J. Vlachopoulos and J. Perdikoulis, *Int. Polym. Process.*, 2, p. 174, 1988

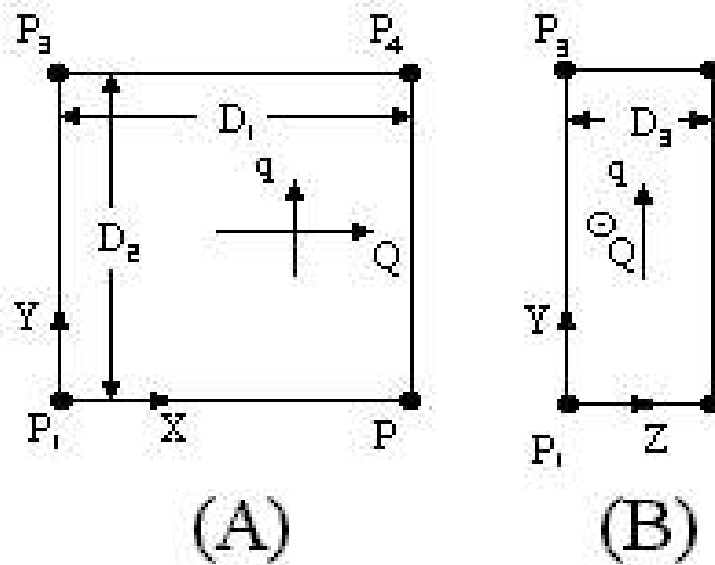


圖 7 子單元二、三之形狀(A)正視圖(B)側視圖

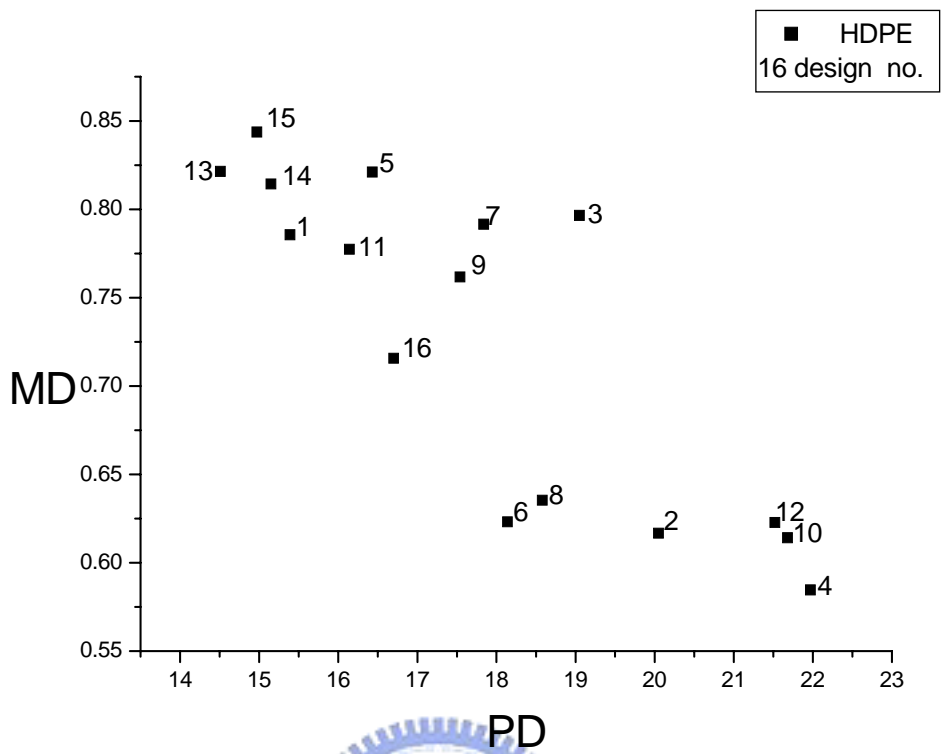


圖 8 HDPE(NOSPI=4)十六個設計點壓力降與混合均勻度之圖

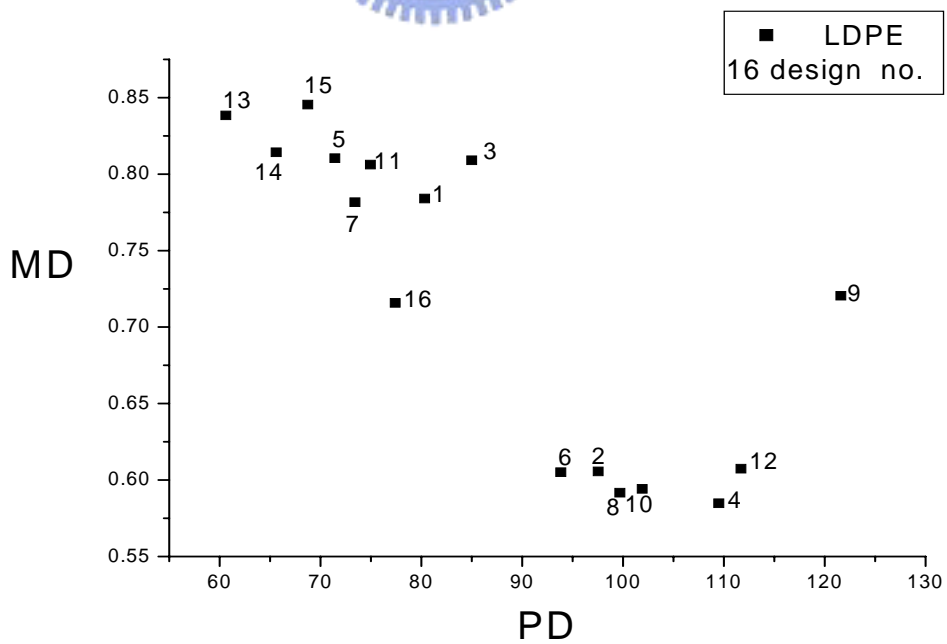


圖 9 LDPE(NOSPI=4)十六個設計點壓力降與混合均勻度之圖

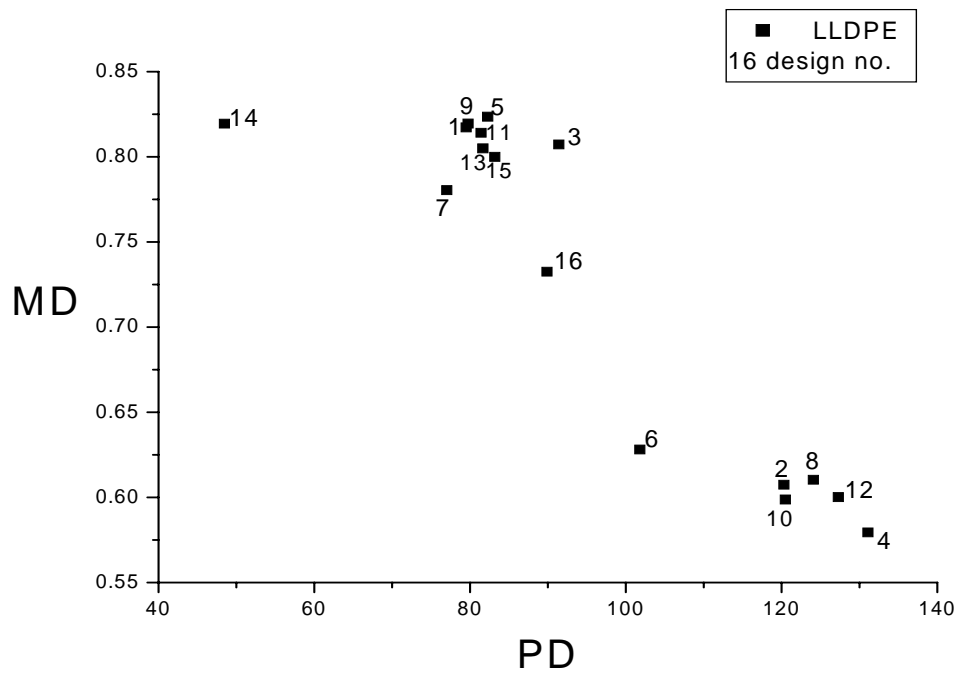


圖 10 LLDPE(NOSPI=4)十六個設計點壓力降與混合均勻度之圖

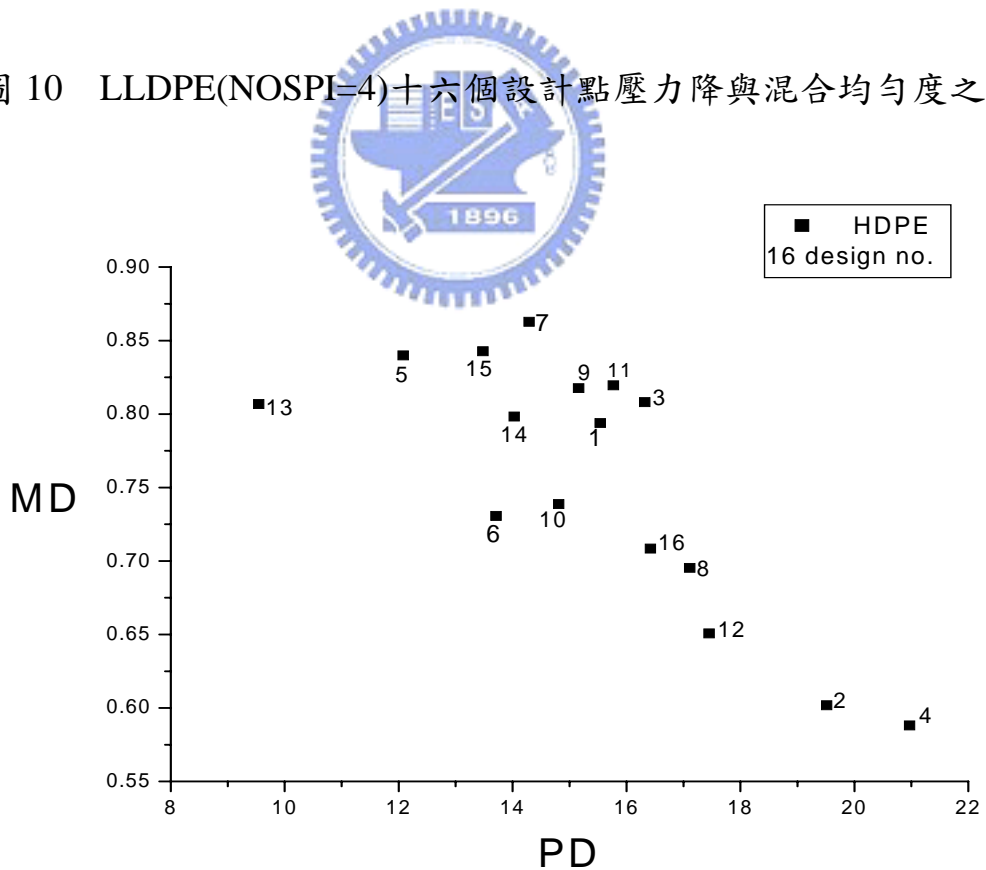


圖 11 HDPE(NOSPI=5)十六個設計點壓力降與混合均勻度之圖

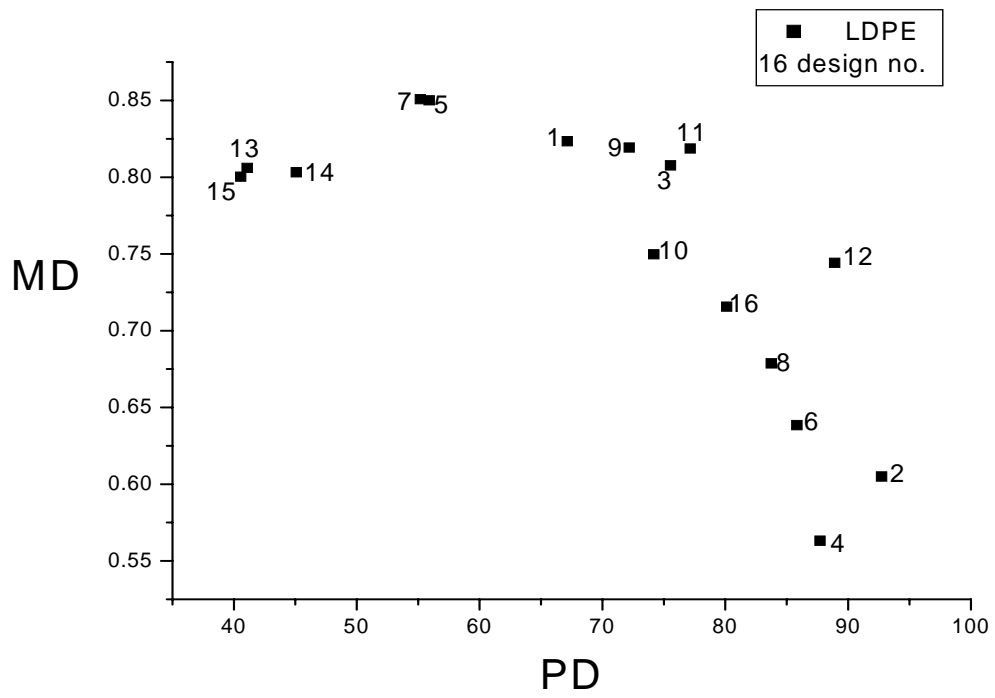


圖 12 LDPE(NOSPI=5)十六個設計點壓力降與混合均勻度之圖

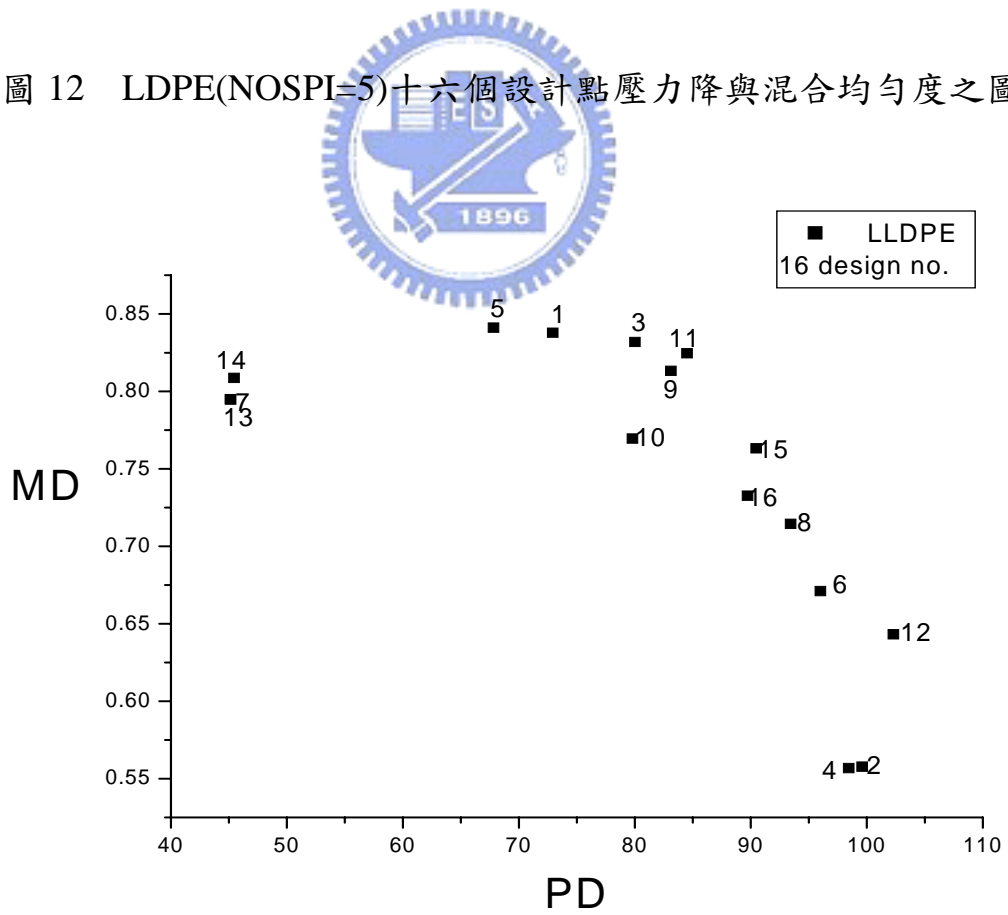


圖 13 LLDPE(NOSPI=5)十六個設計點壓力降與混合均勻度之圖

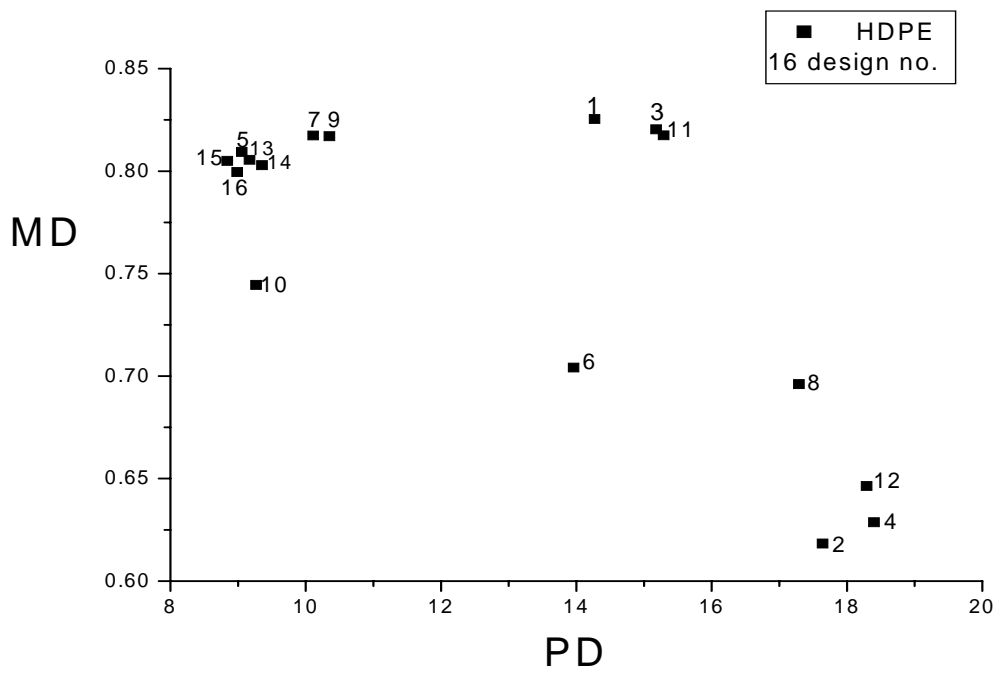


圖 14 HDPE(NOSPI=6)十六個設計點壓力降與混合均勻度之圖

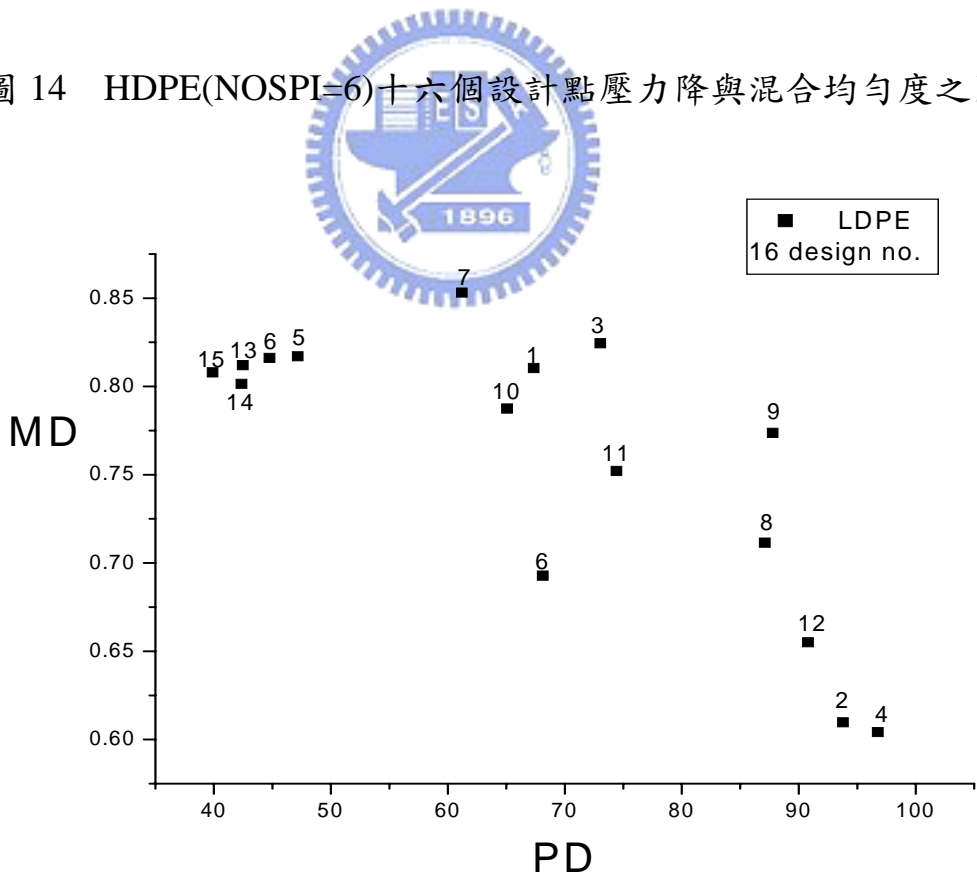


圖 15 LDPE(NOSPI=6)十六個設計點壓力降與混合均勻度之圖

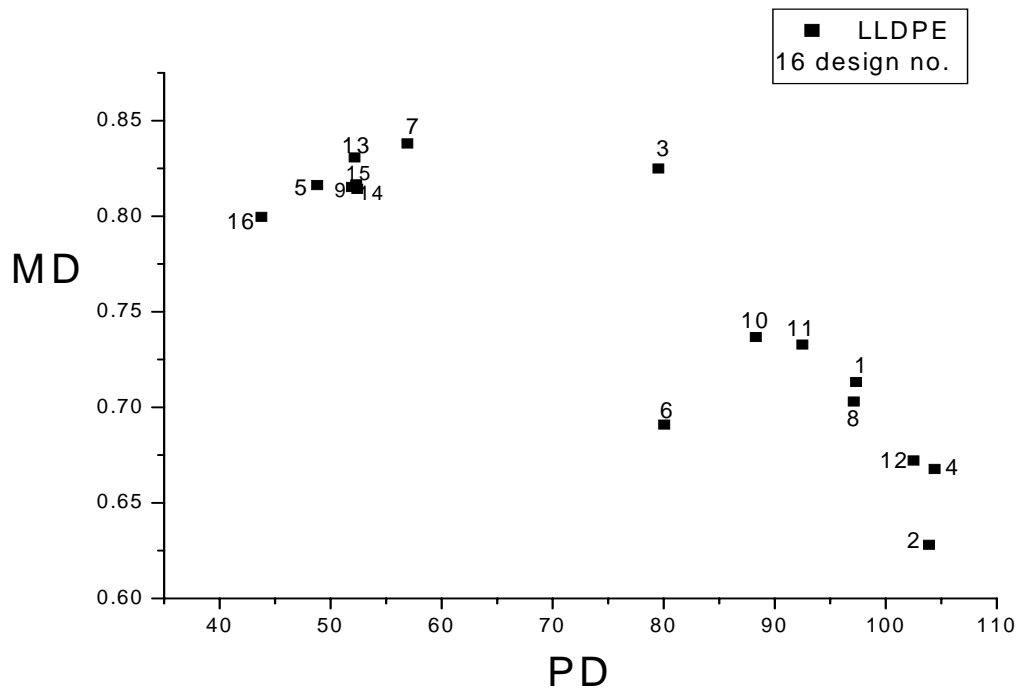


圖 16 LLDPE(NOSPI=6)十六個設計點壓力降與混合均勻度之圖



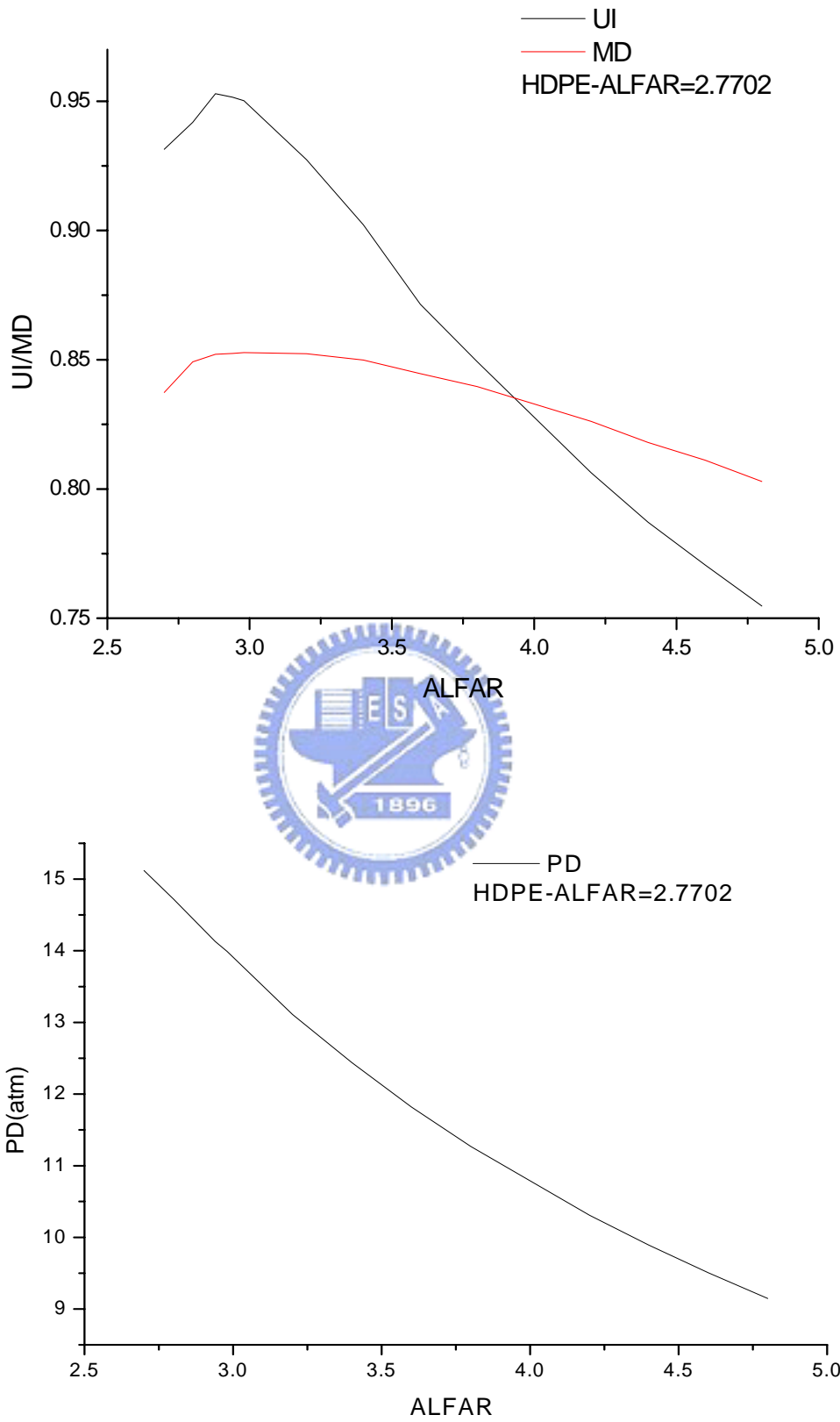


圖 17 軸心傾斜角與 HDPE(NOSPI=4)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖



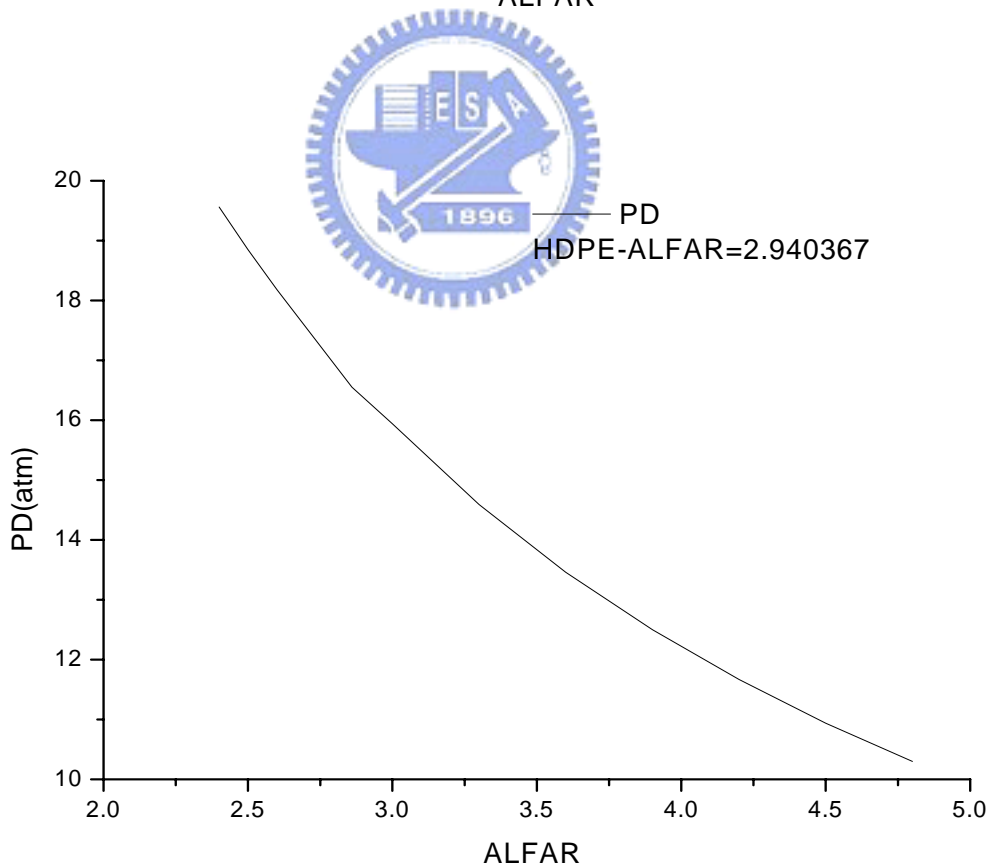
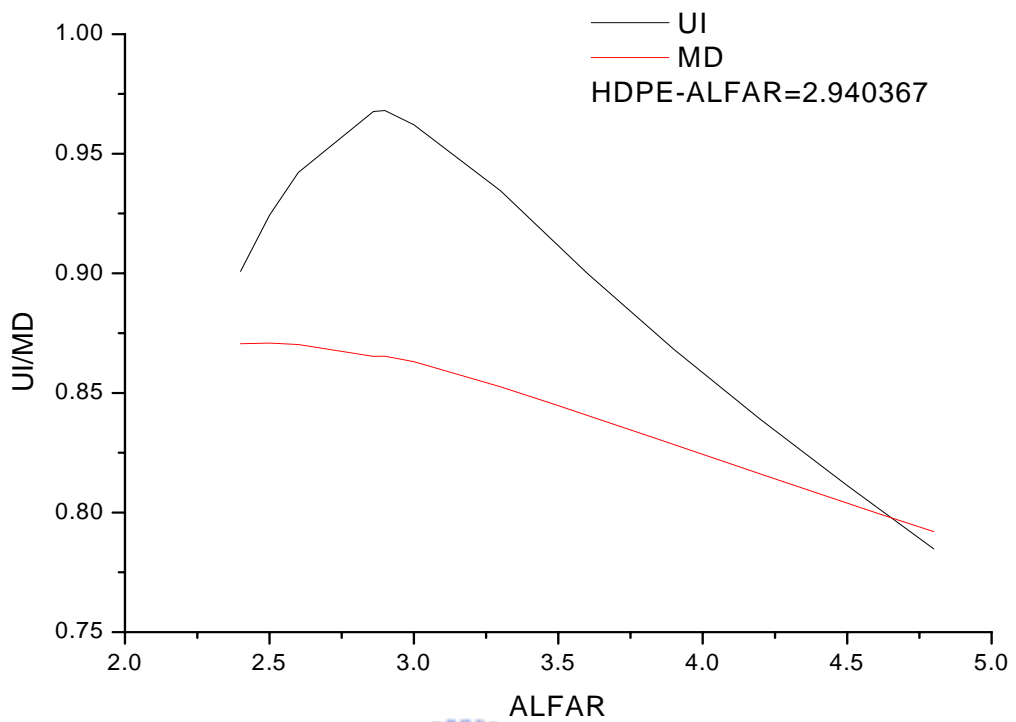


圖 18 軸心傾斜角與 HDPE(NOSPI=5)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

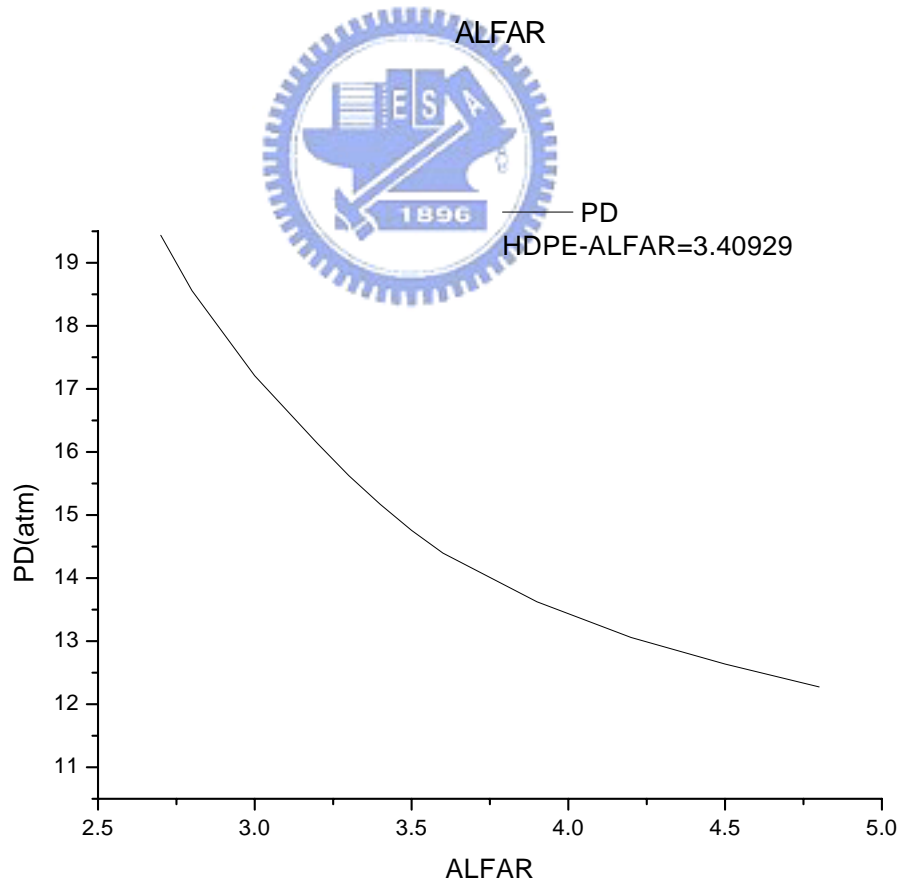
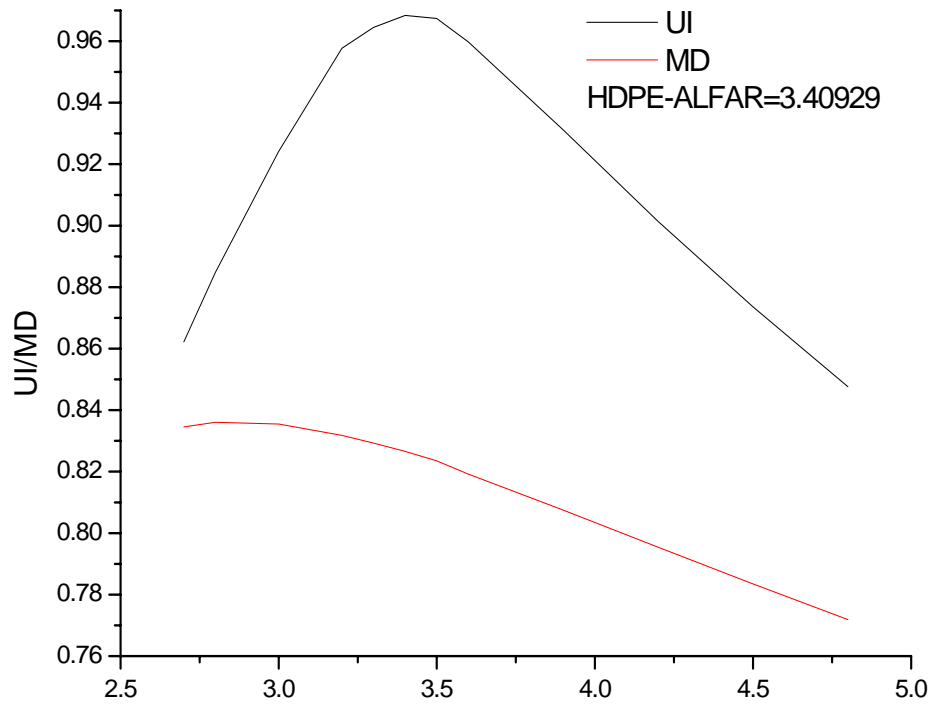


圖 19 軸心傾斜角與 HDPE(NOSPI=6)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

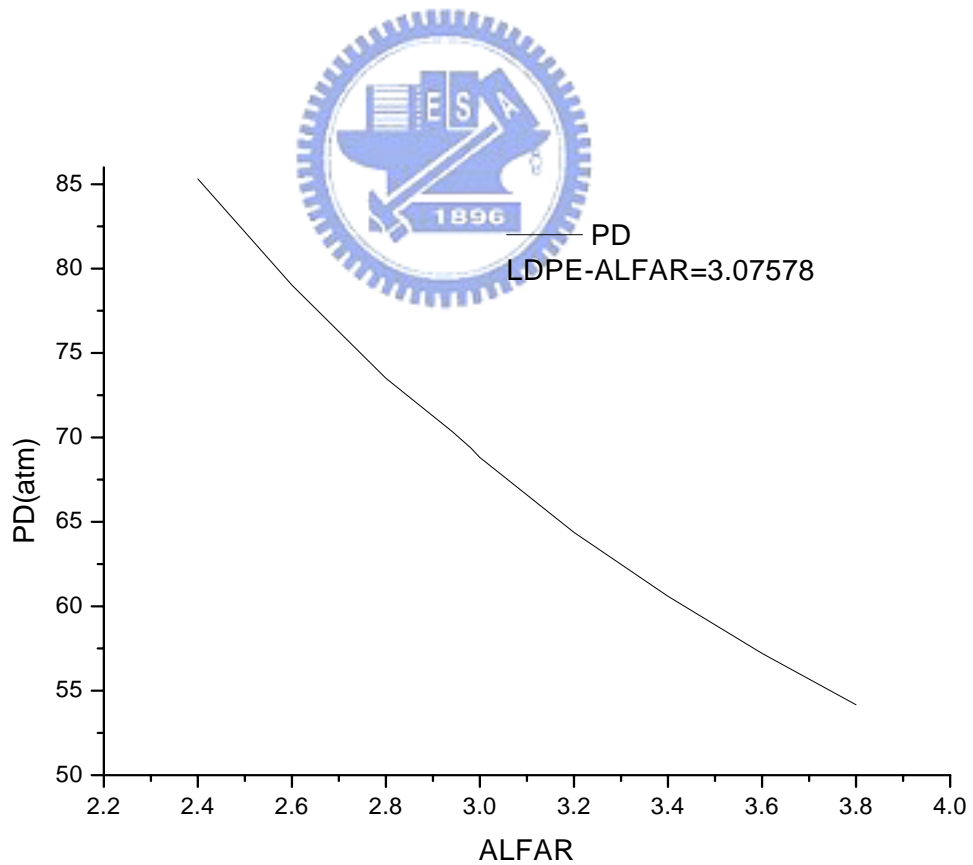
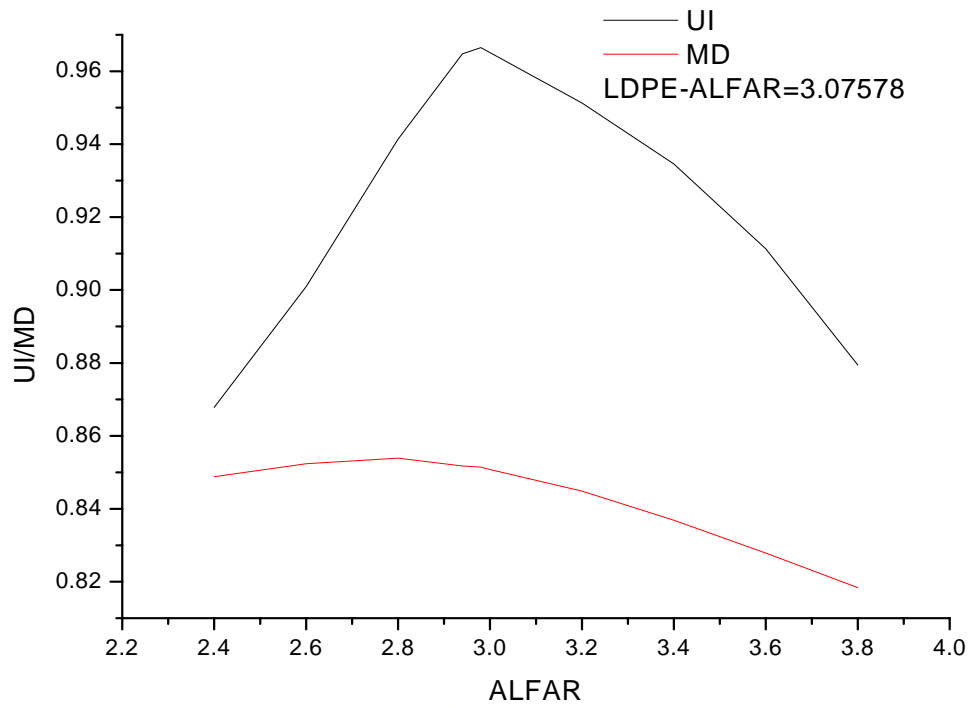


圖 20 軸心傾斜角與 LDPE(NOSPI=4)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

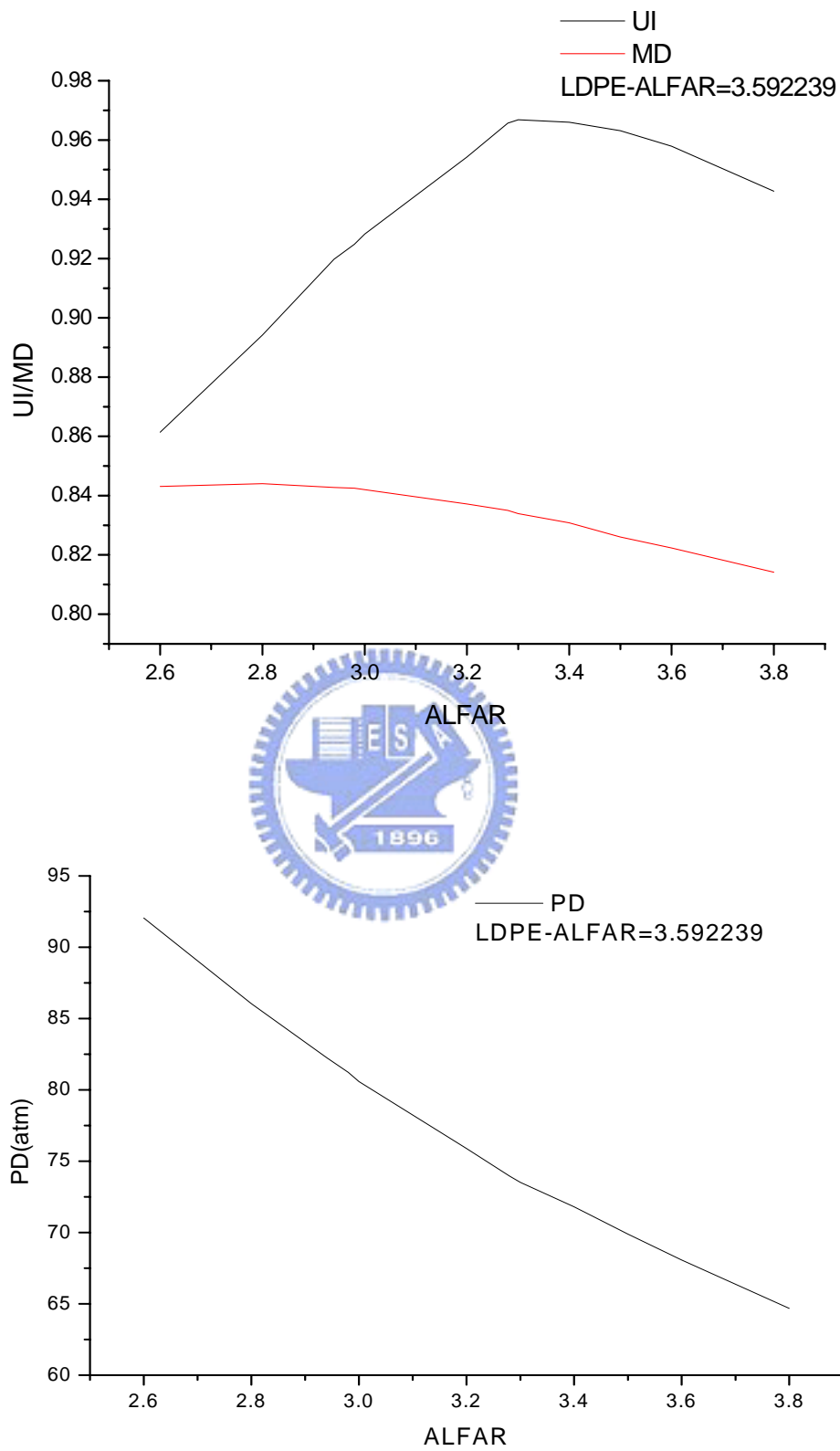


圖 21 軸心傾斜角與 LDPE(NOSPI=5)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

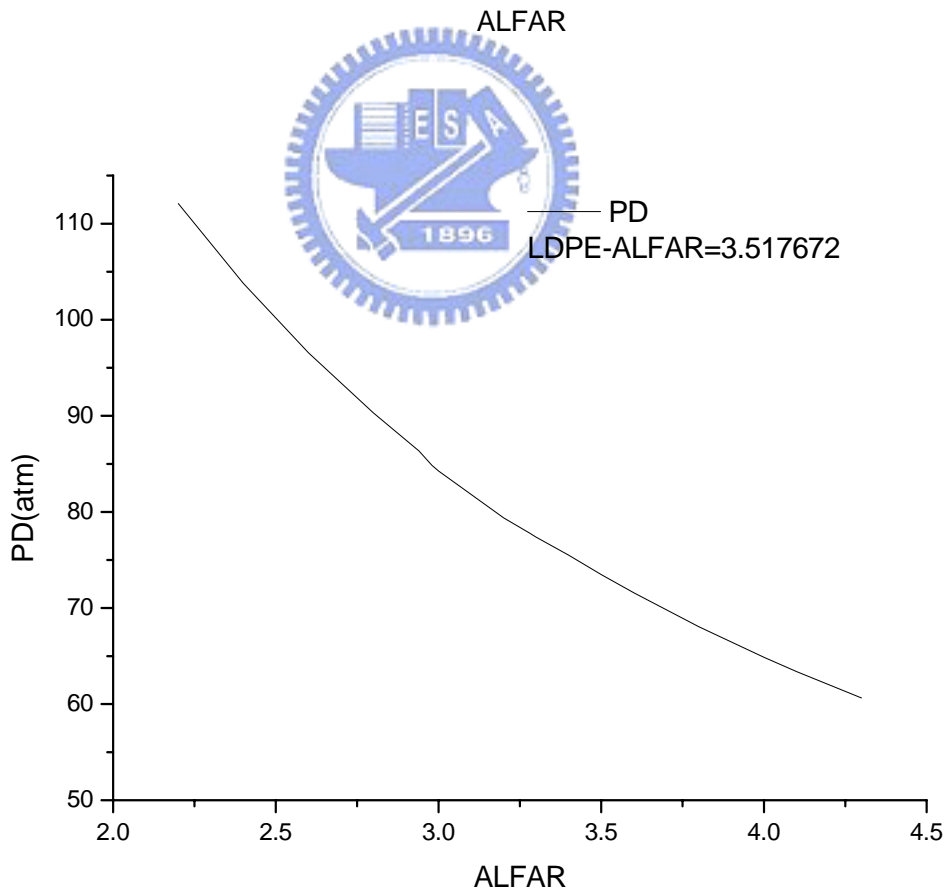
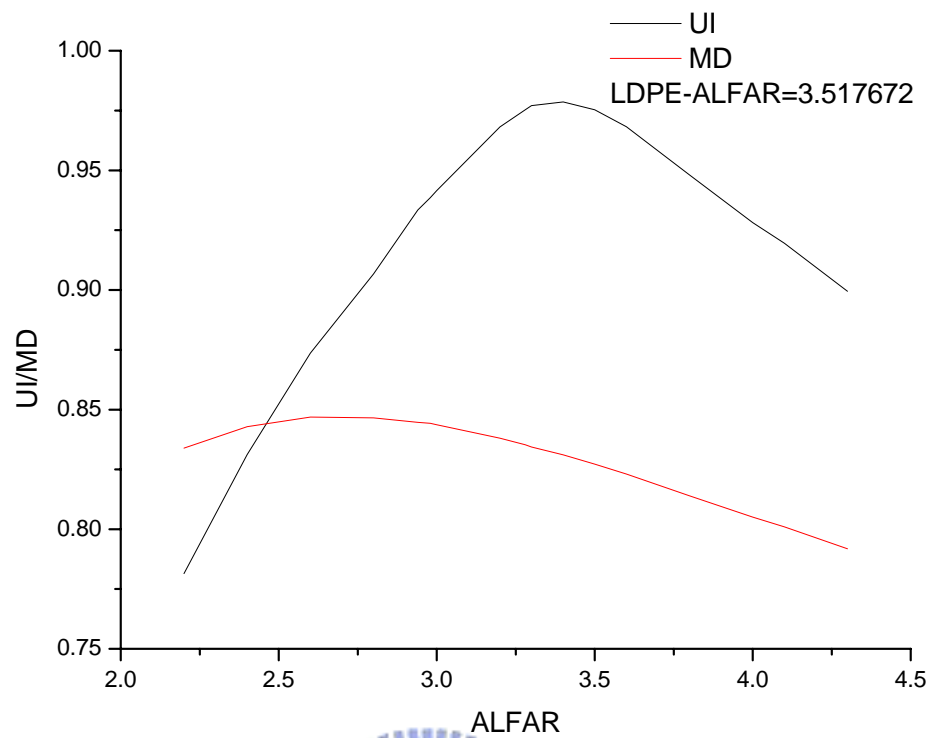


圖 22 軸心傾斜角與 LDPE(NOSPI=6)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

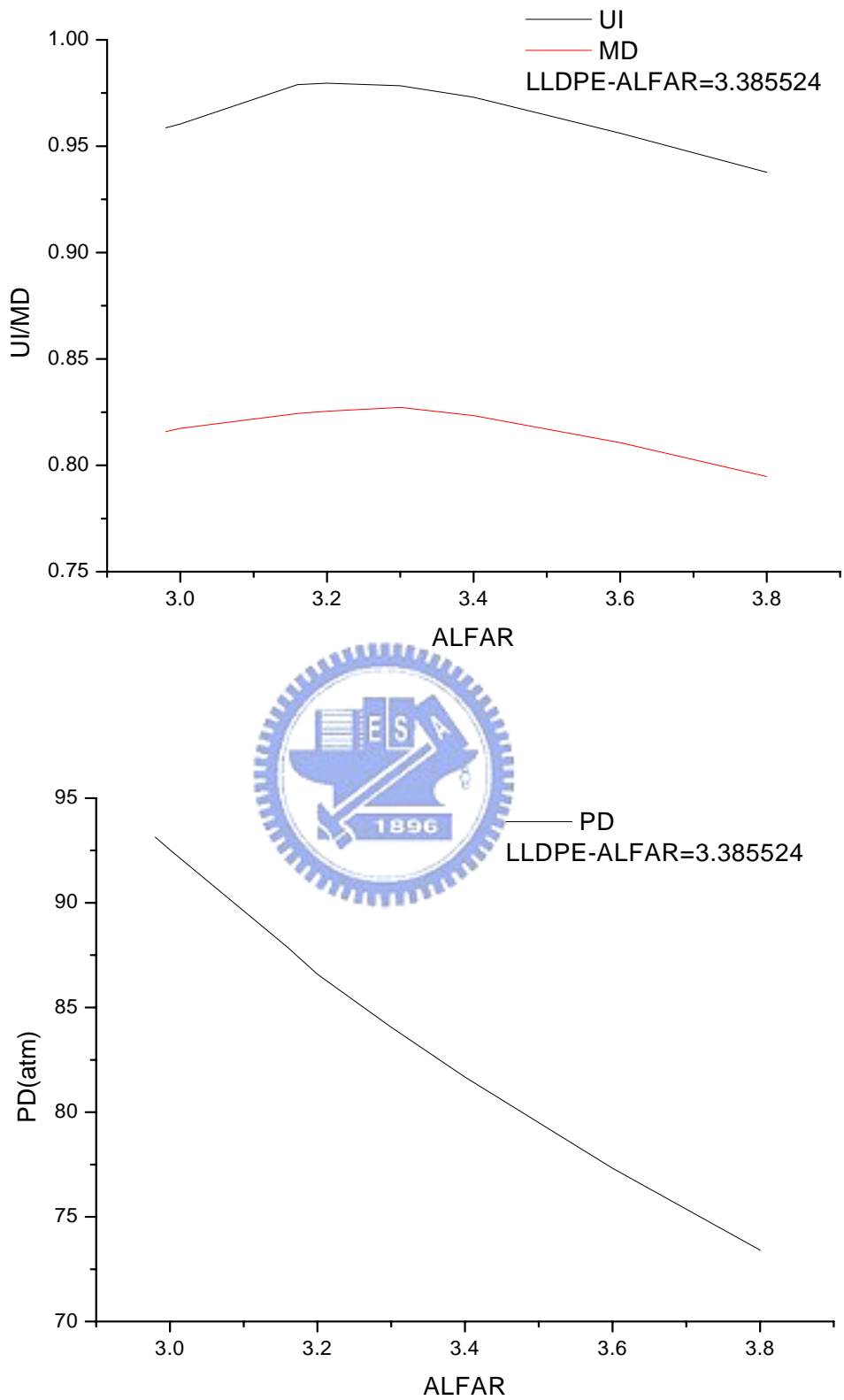


圖 23 軸心傾斜角與 LLDPE(NOSPI=4)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

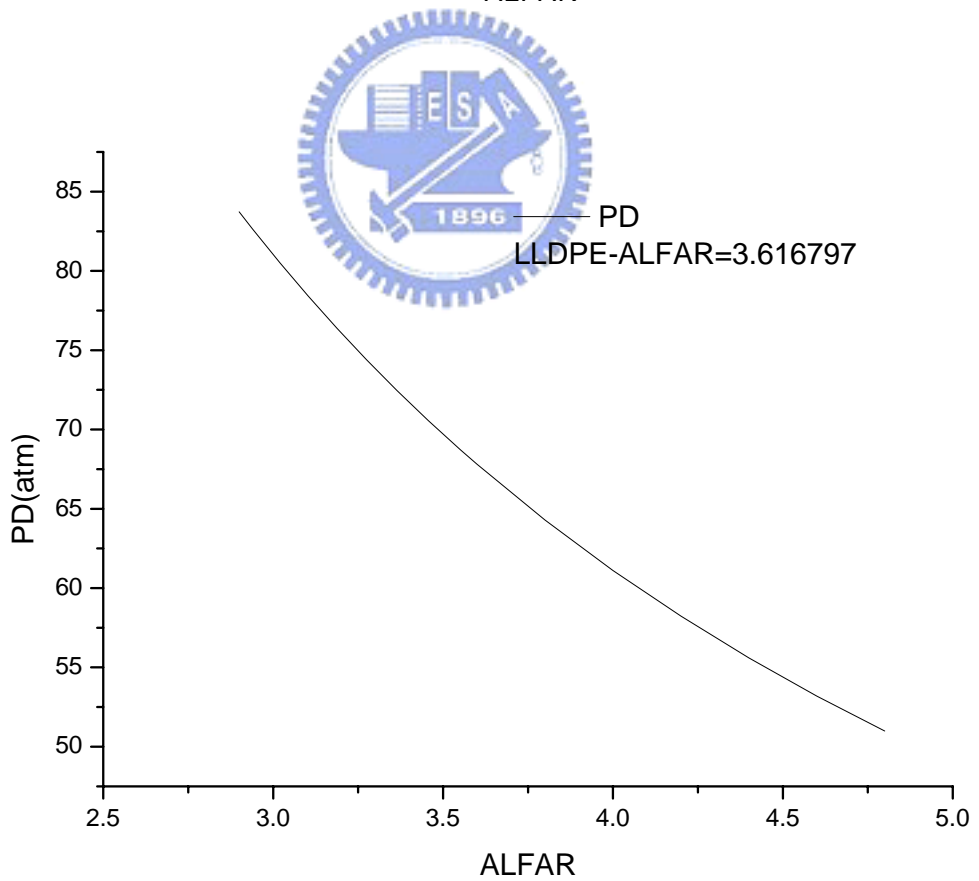
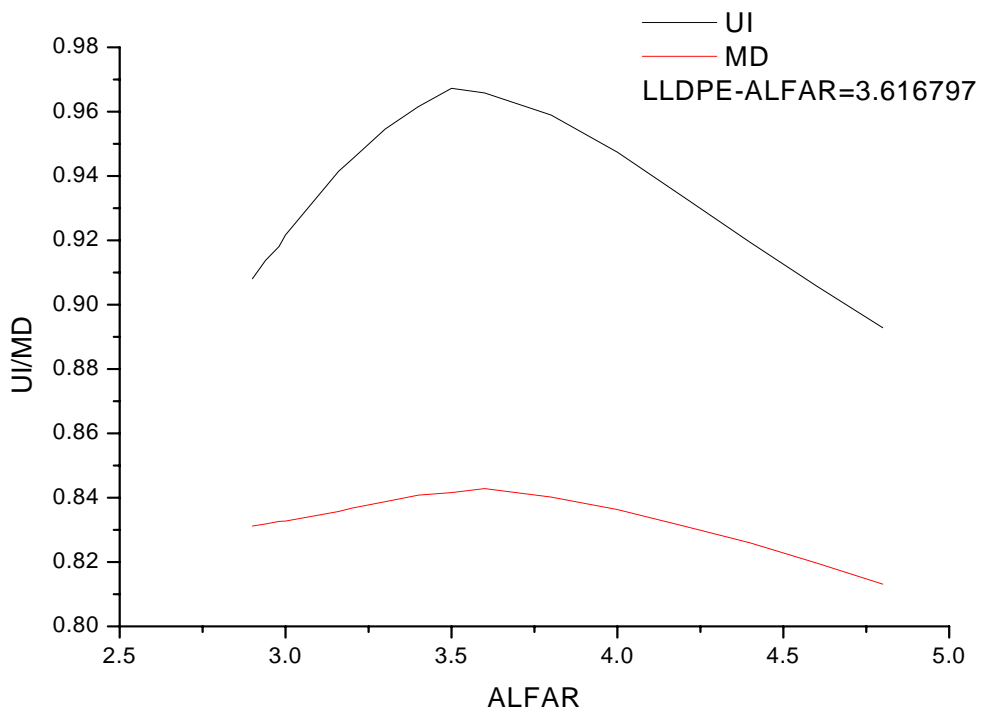


圖 24 軸心傾斜角與 LLDPE(NOSPI=5)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

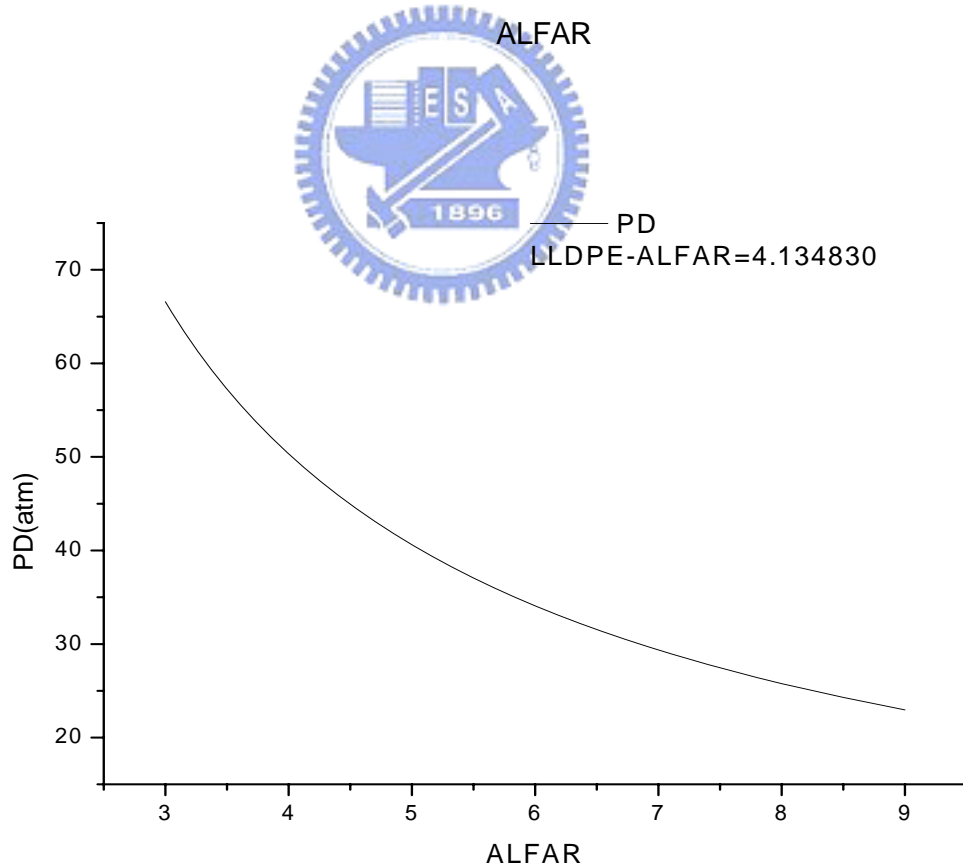
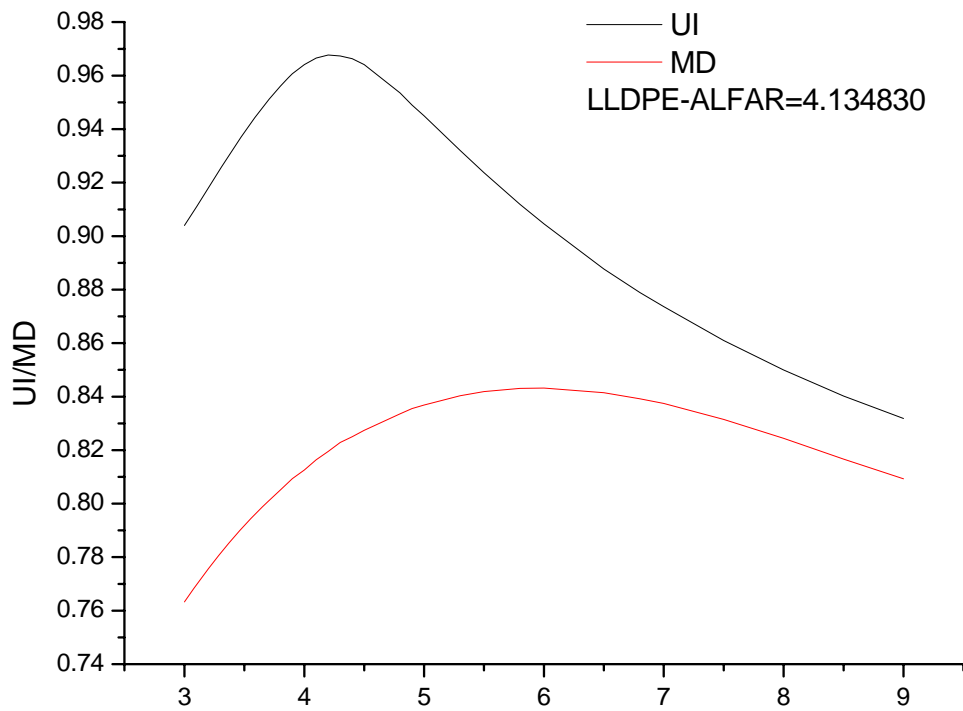


圖 25 軸心傾斜角與 LLDPE(NOSPI=6)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖



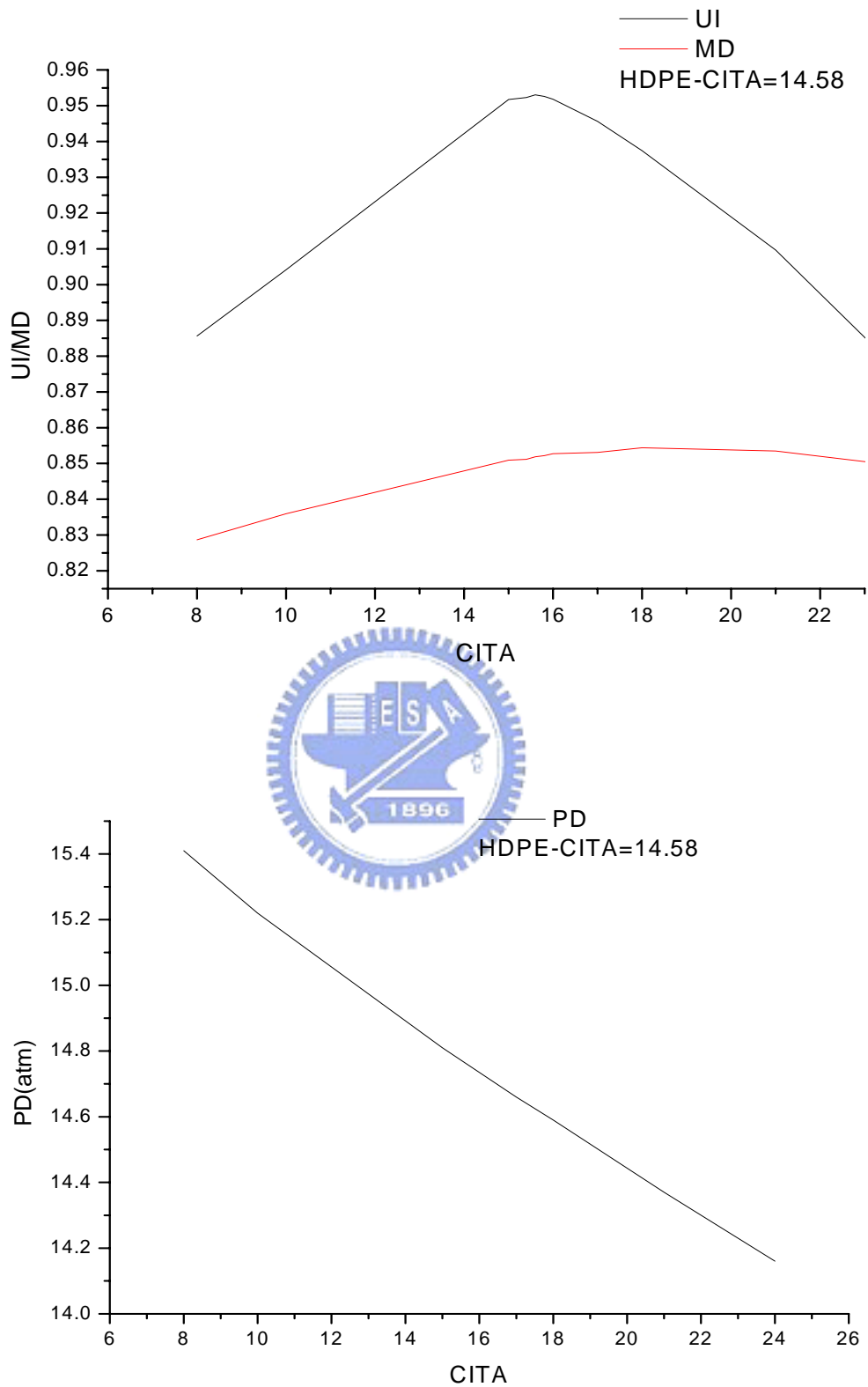


圖 26 螺旋角與 HDPE(NOSPI=4)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

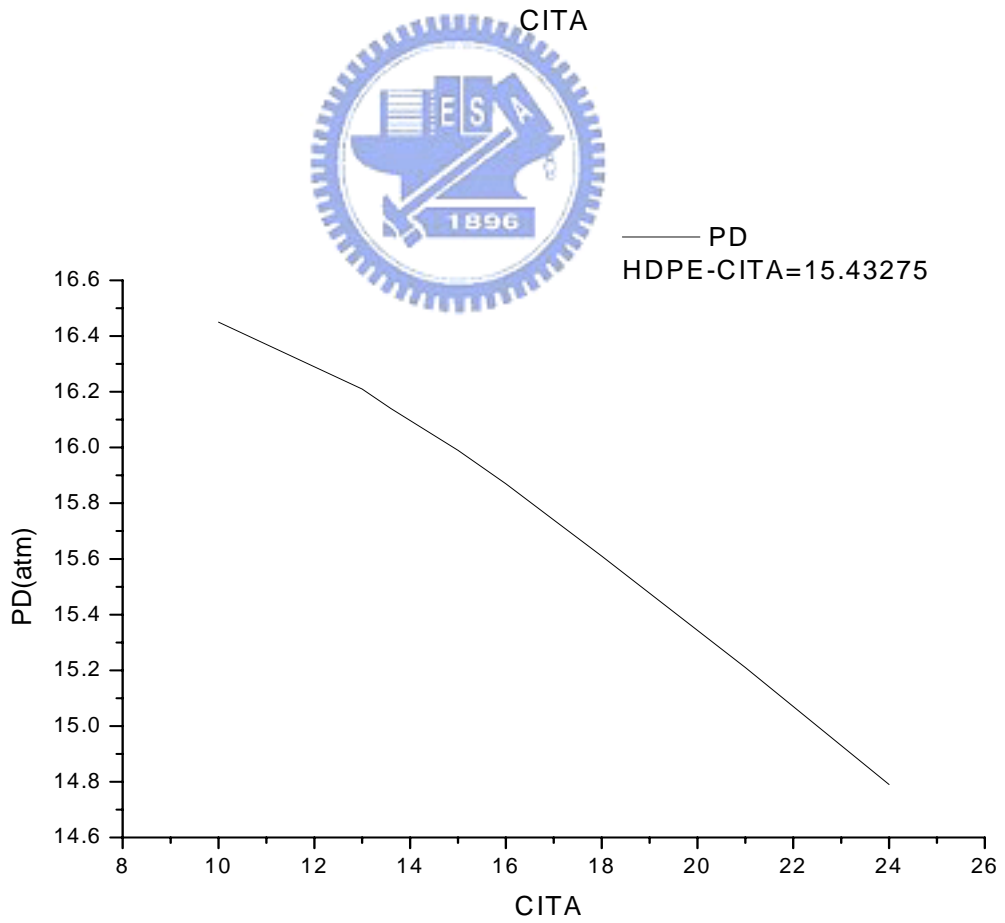
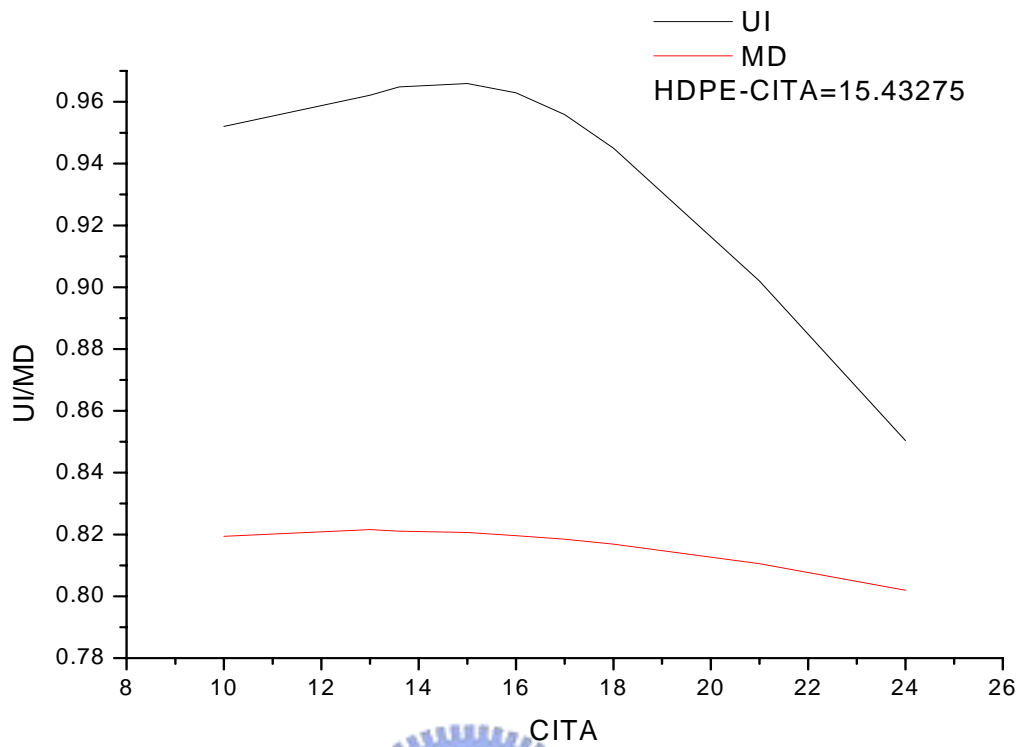


圖 27 螺旋角與 HDPE(NOSPI=5)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

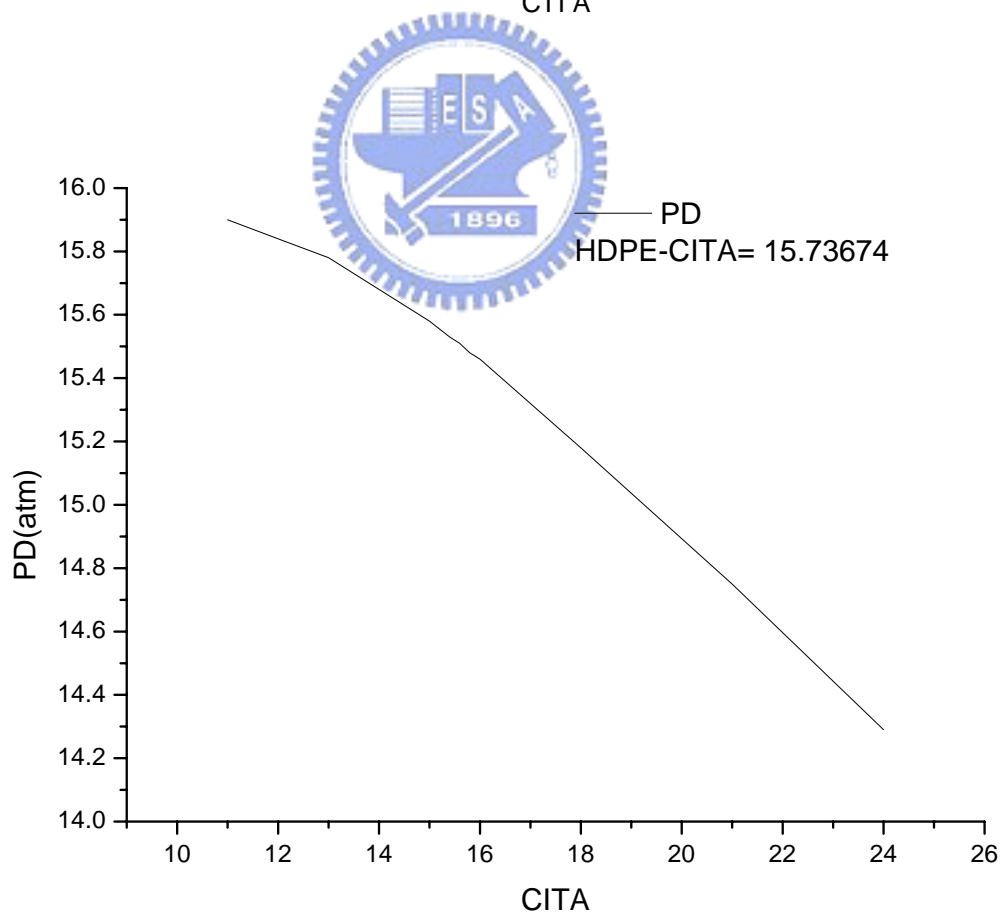
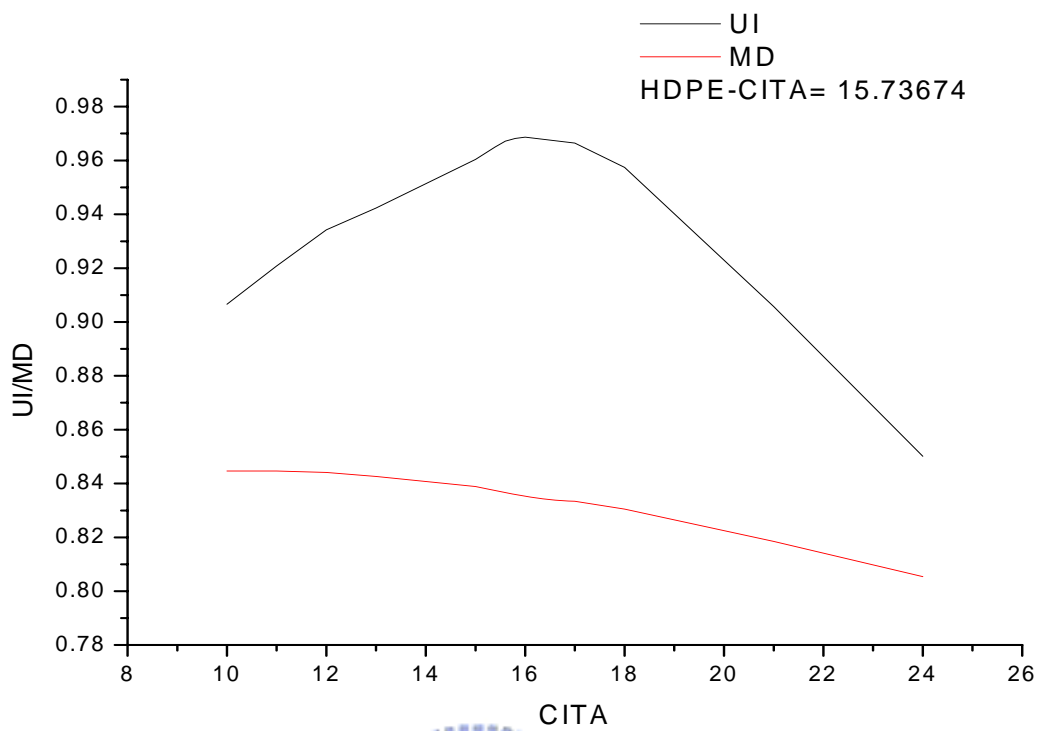


圖 28 螺旋角與 HDPE(NOSPI=6)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

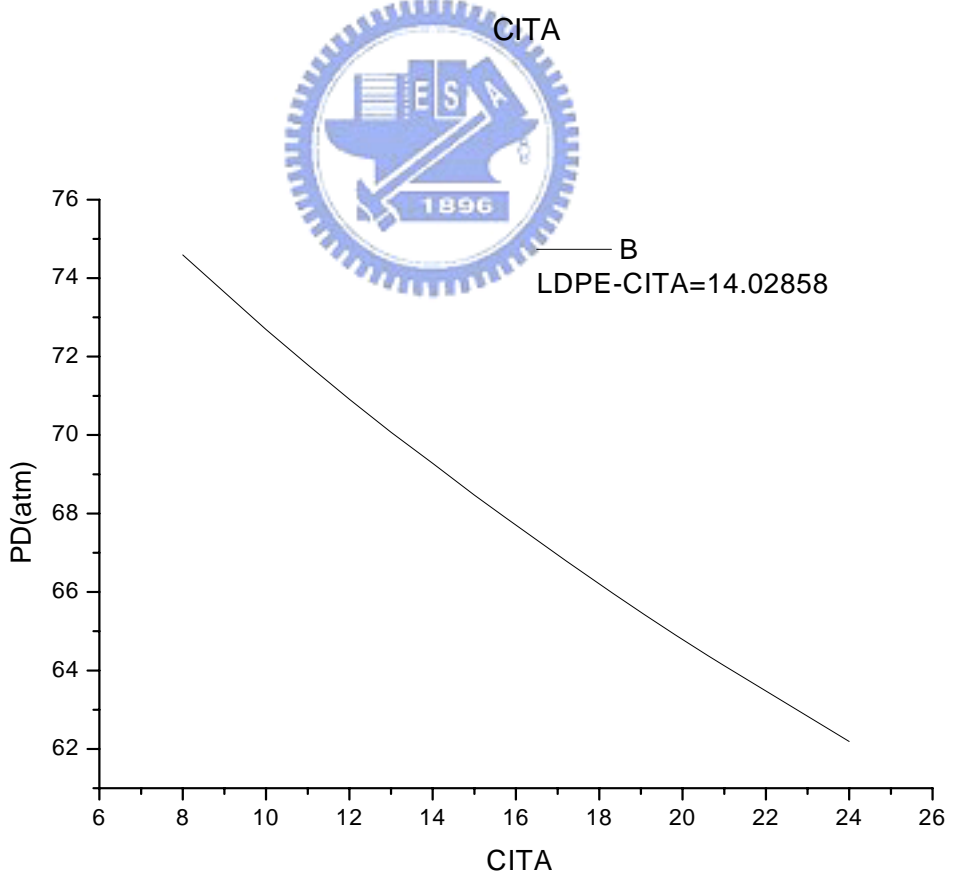
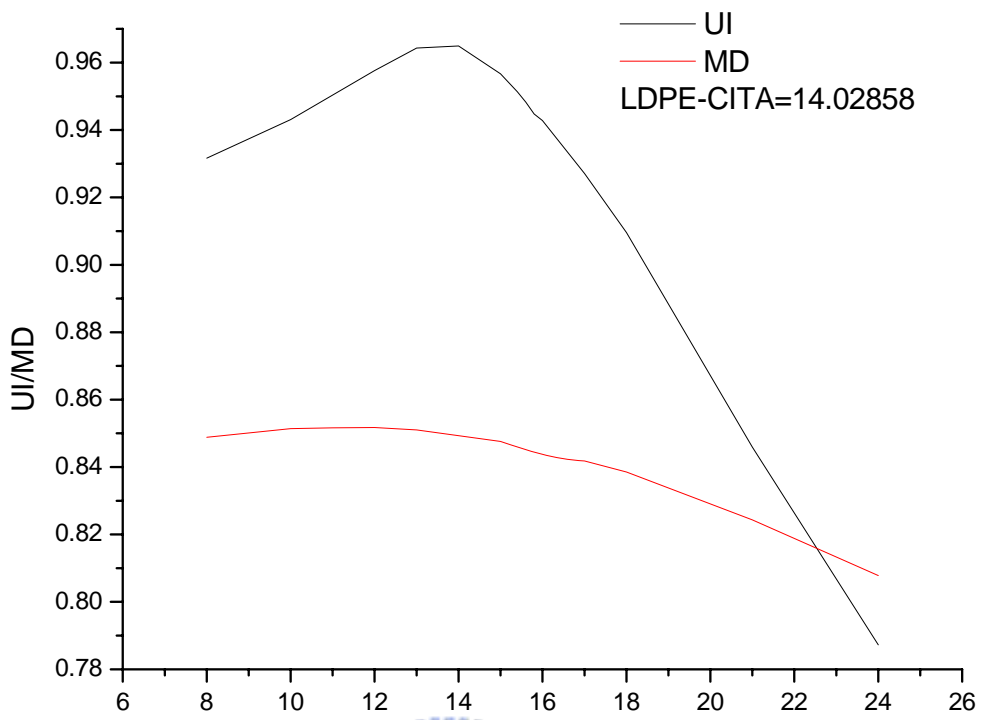


圖 29 螺旋角與 LDPE(NOSPI=4)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

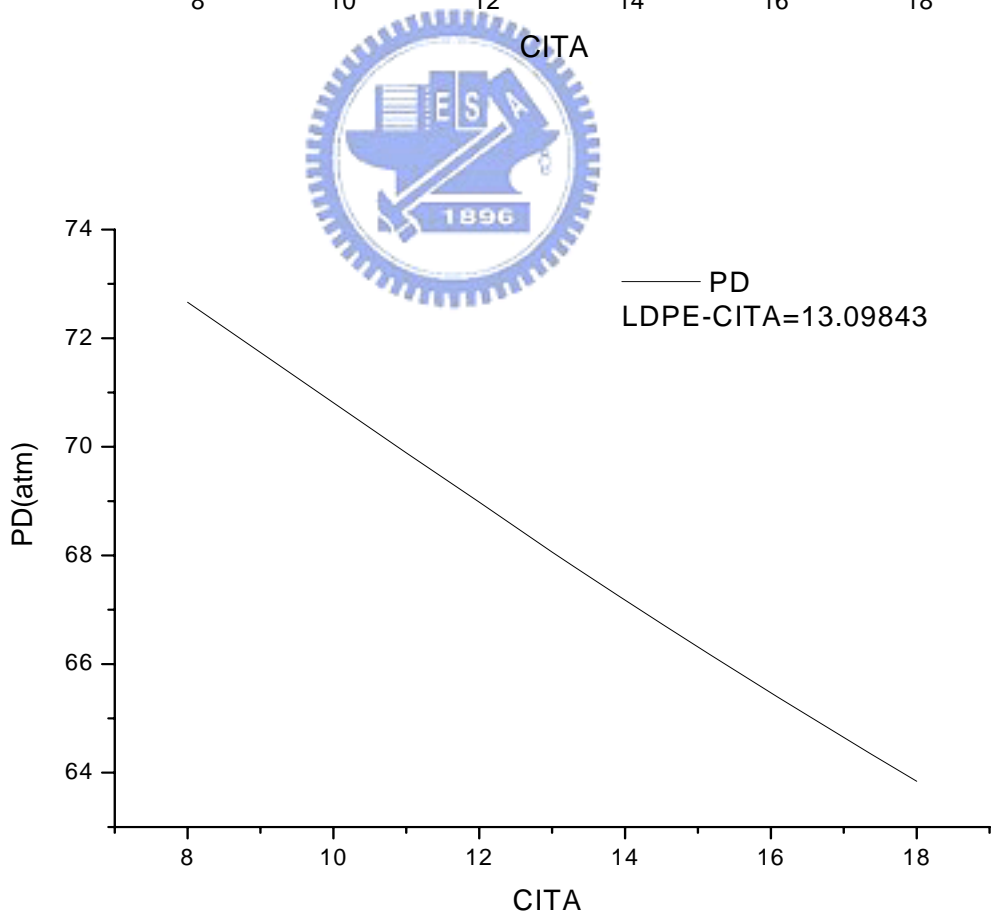
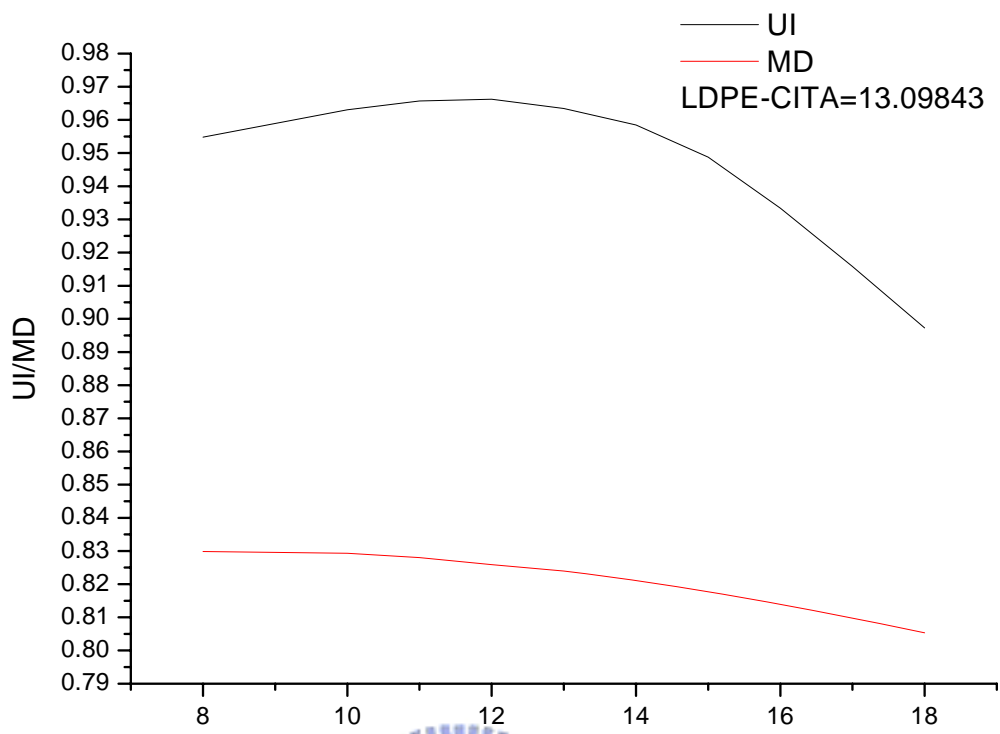


圖 30 螺旋角與 LDPE(NOSPI=5)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

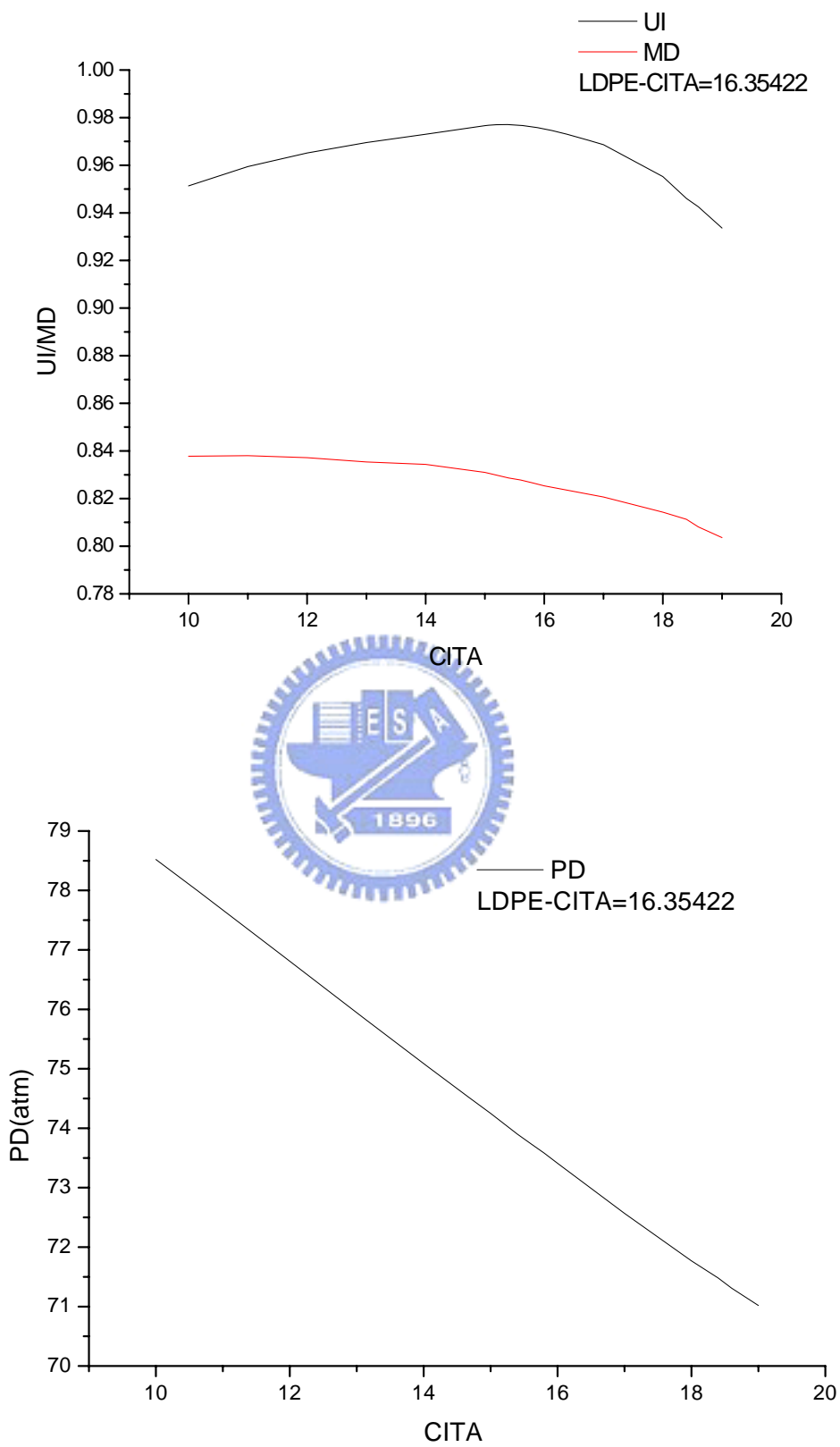


圖 31 螺旋角與 LDPE(NOSPI=6)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

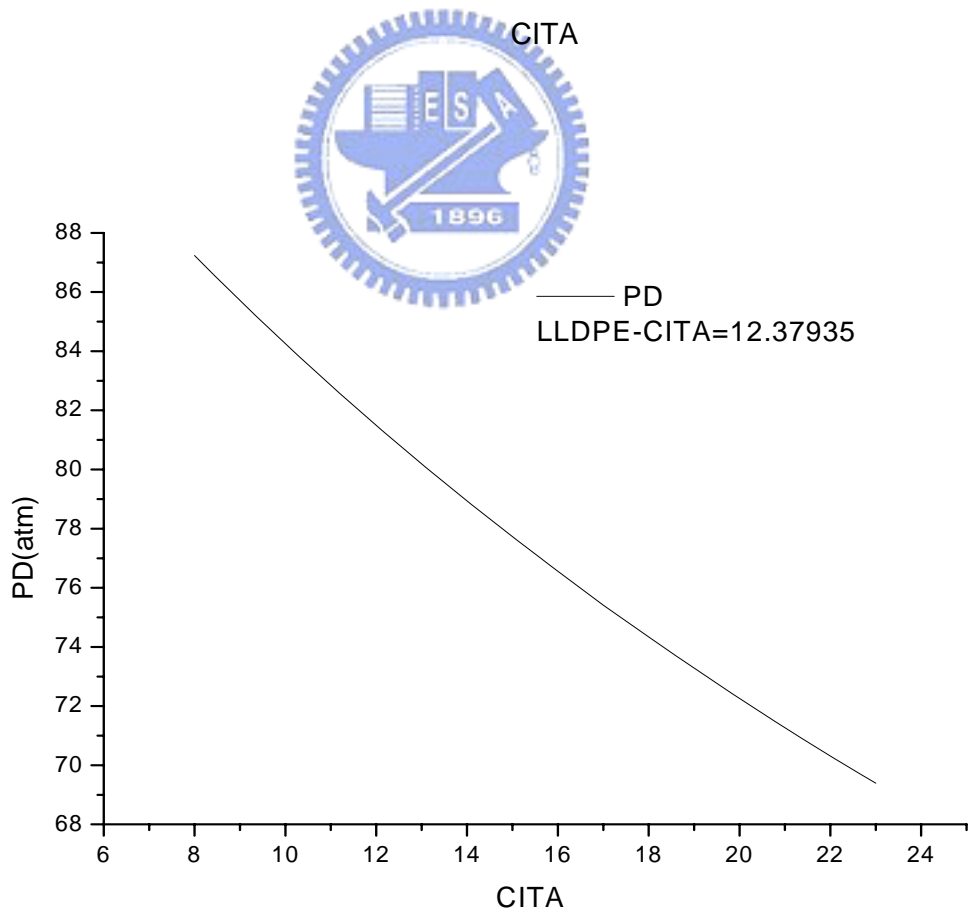
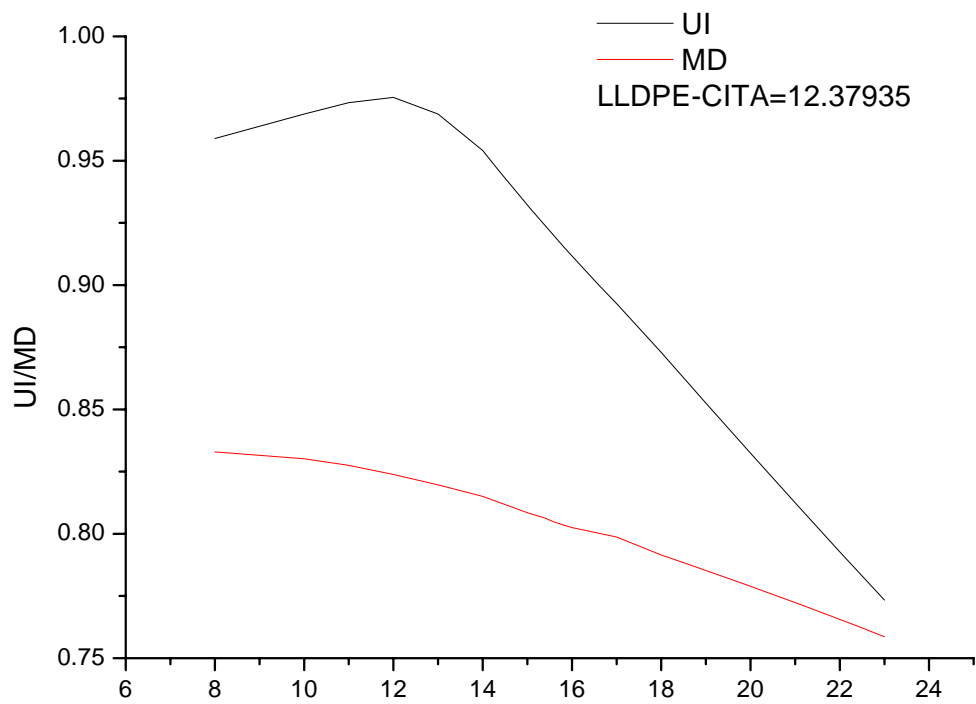


圖 32 螺旋角與 LLDPE(NOSPI=4)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

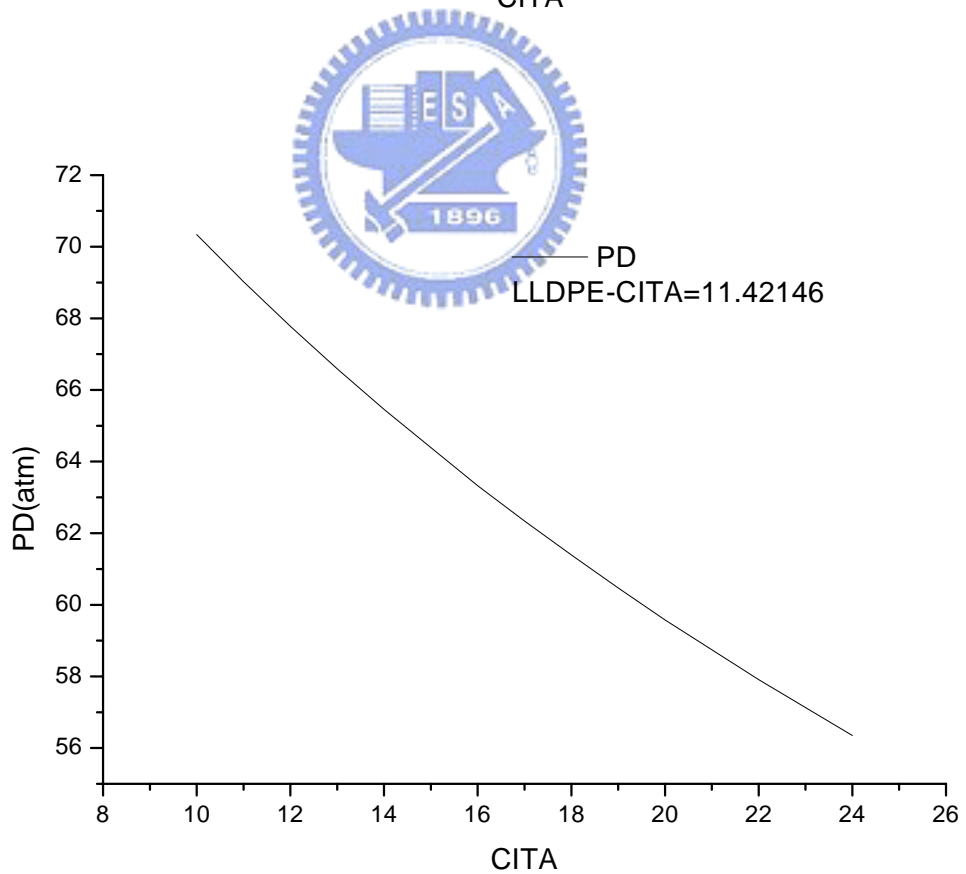
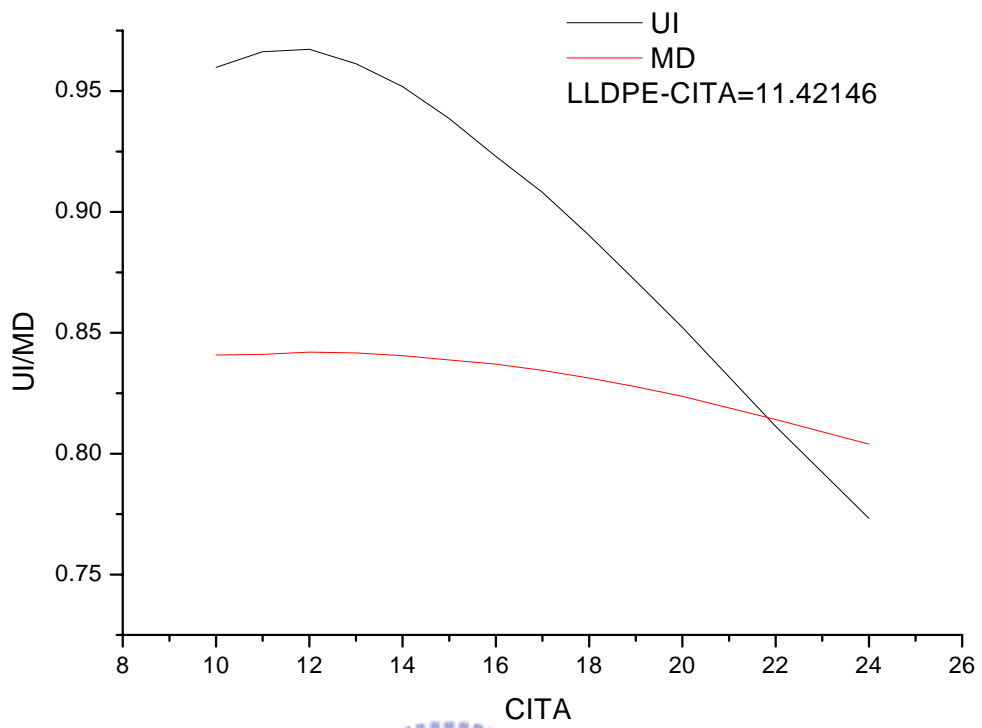


圖 33 螺旋角與 LLDPE(NOSPI=5)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖



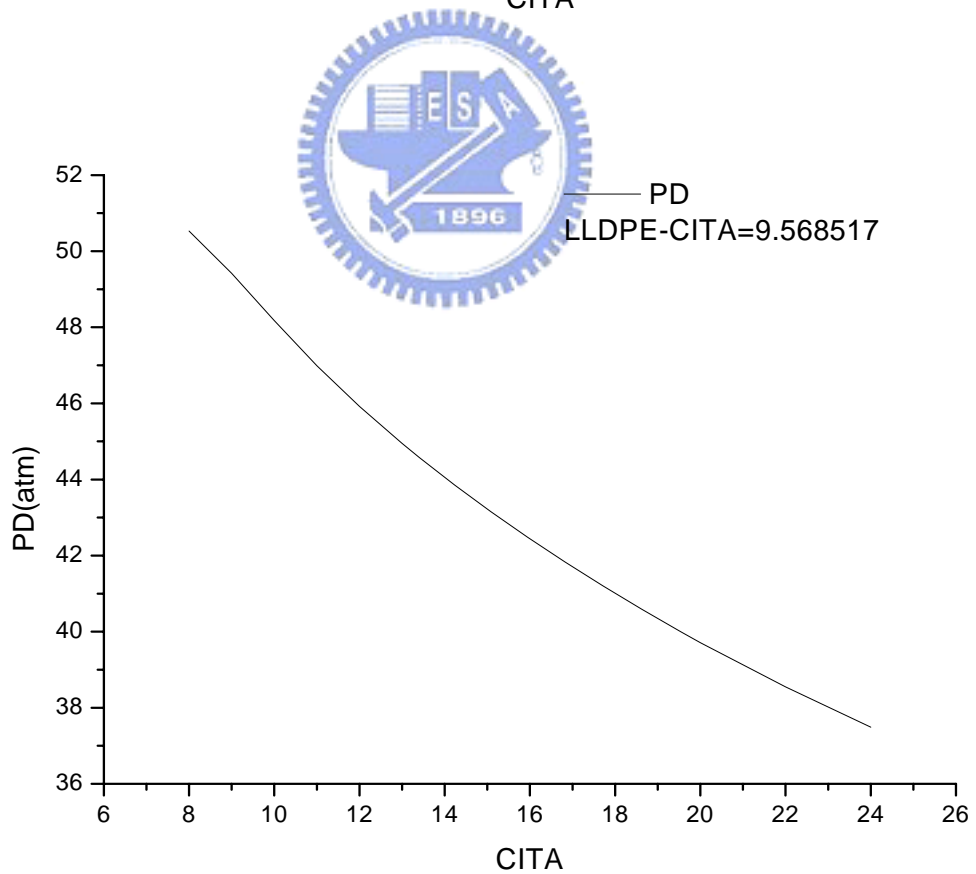
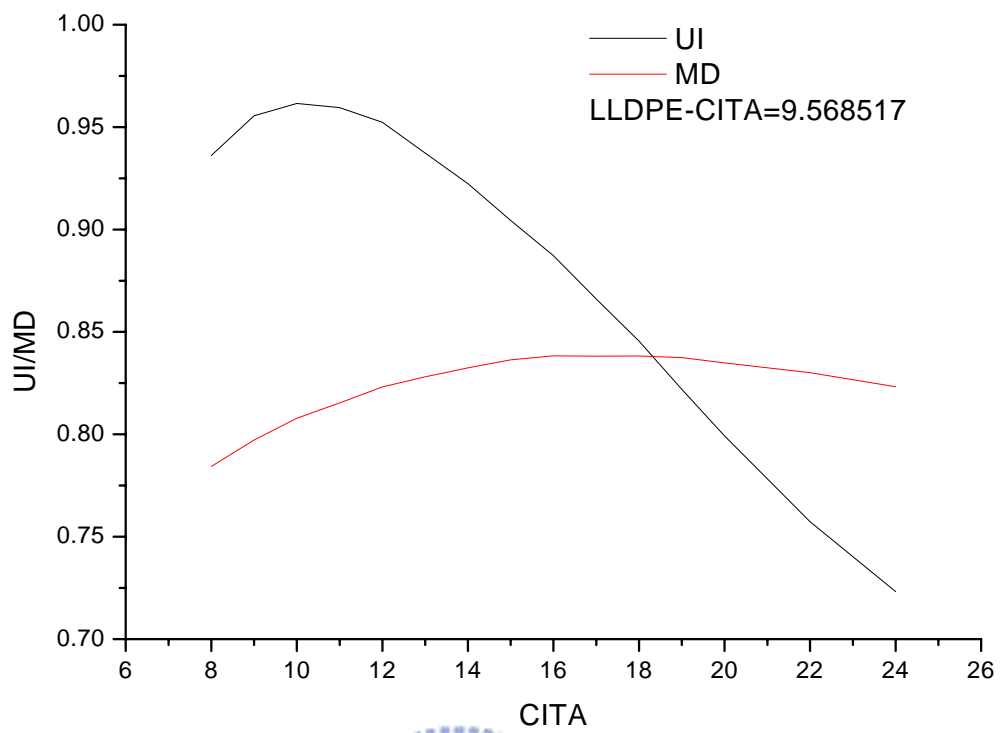


圖 34 螺旋角與 LLDPE(NOSPI=6)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

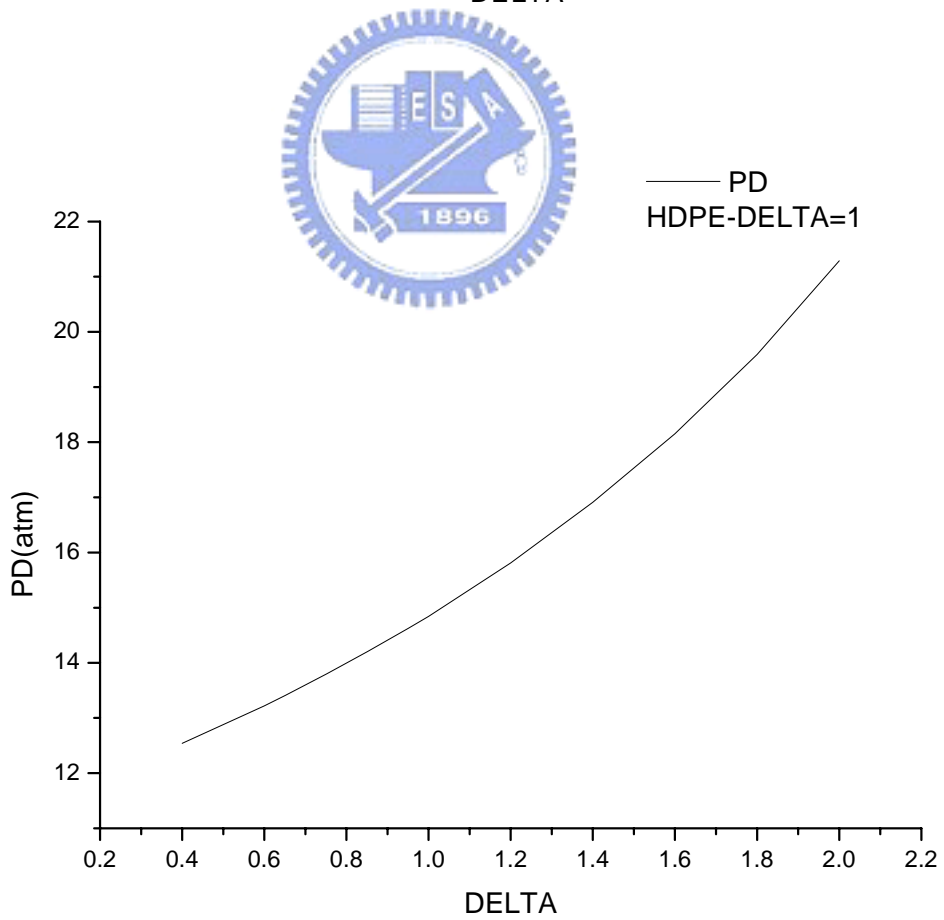
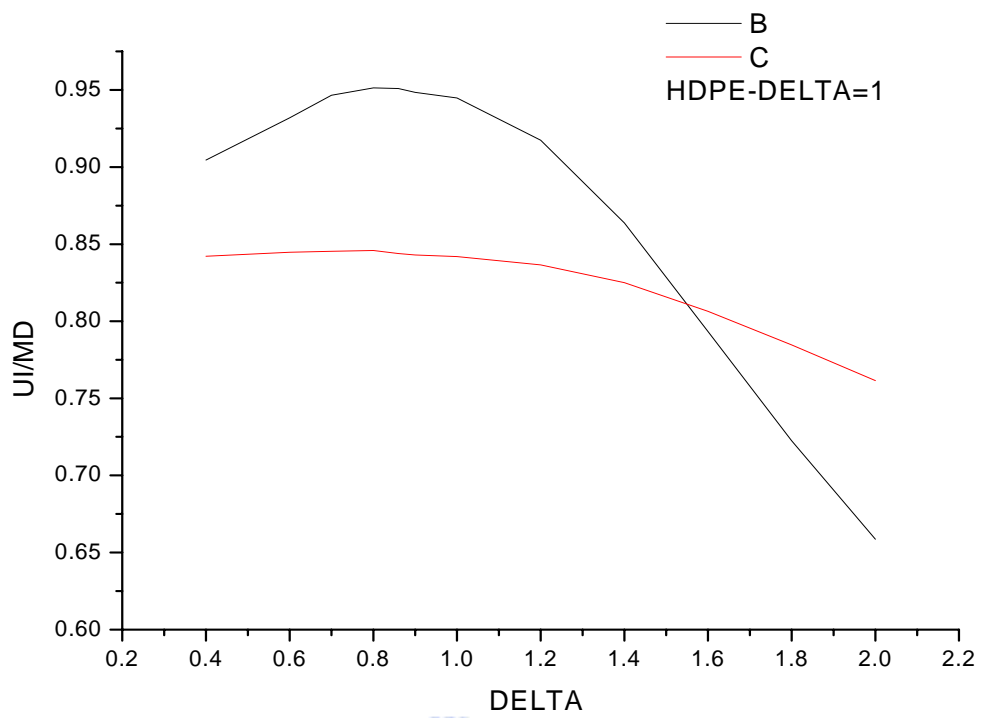


圖 35 模外傾斜角與 HDPE(NOSPI=4)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

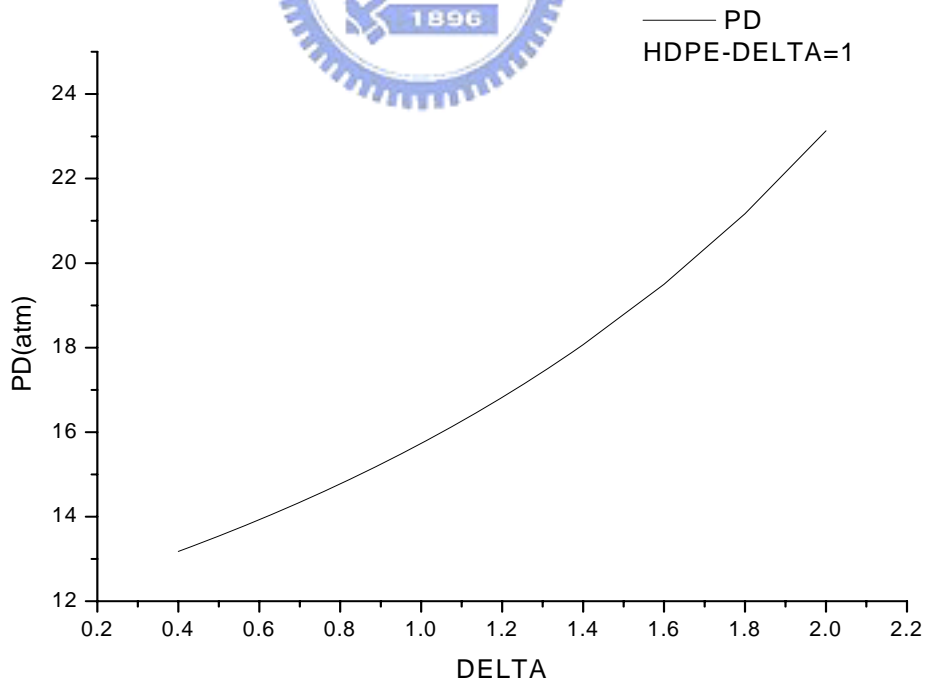
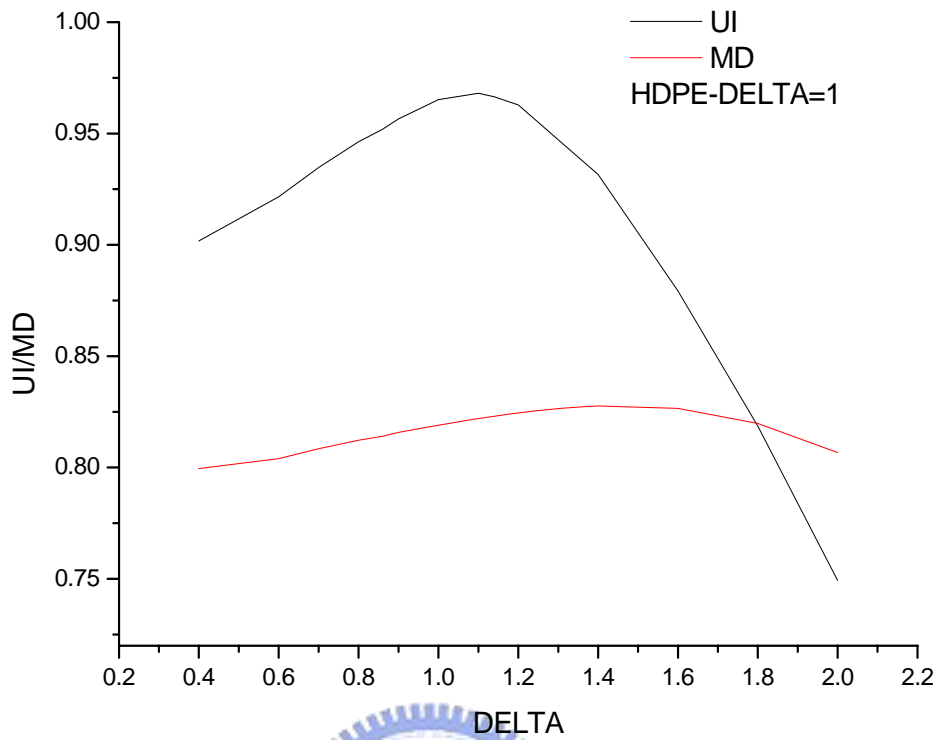


圖 36 模外傾斜角與 HDPE(NOSPI=5)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

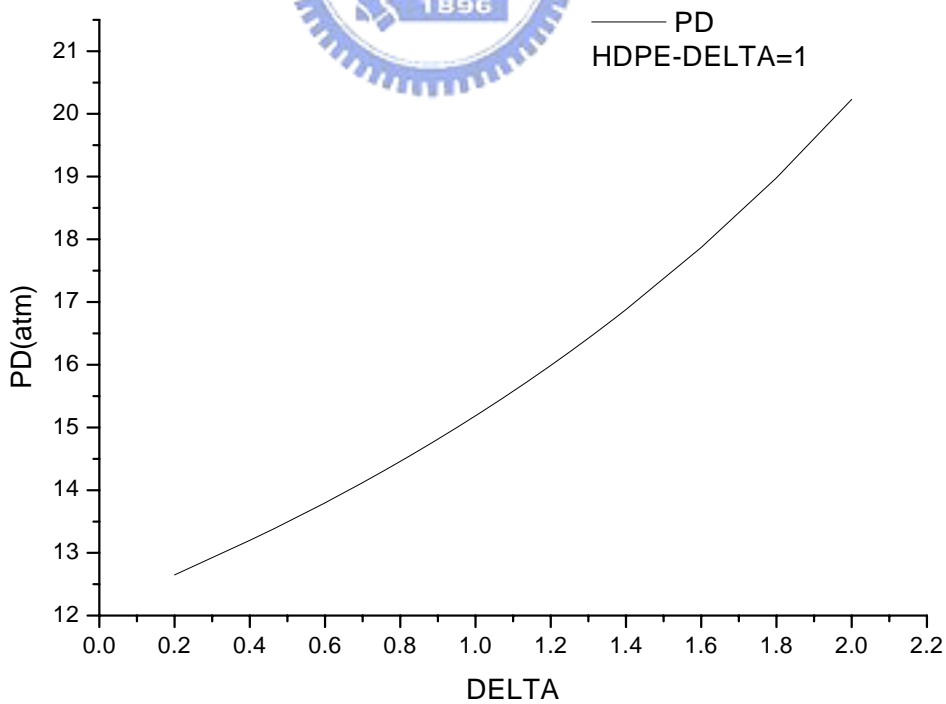
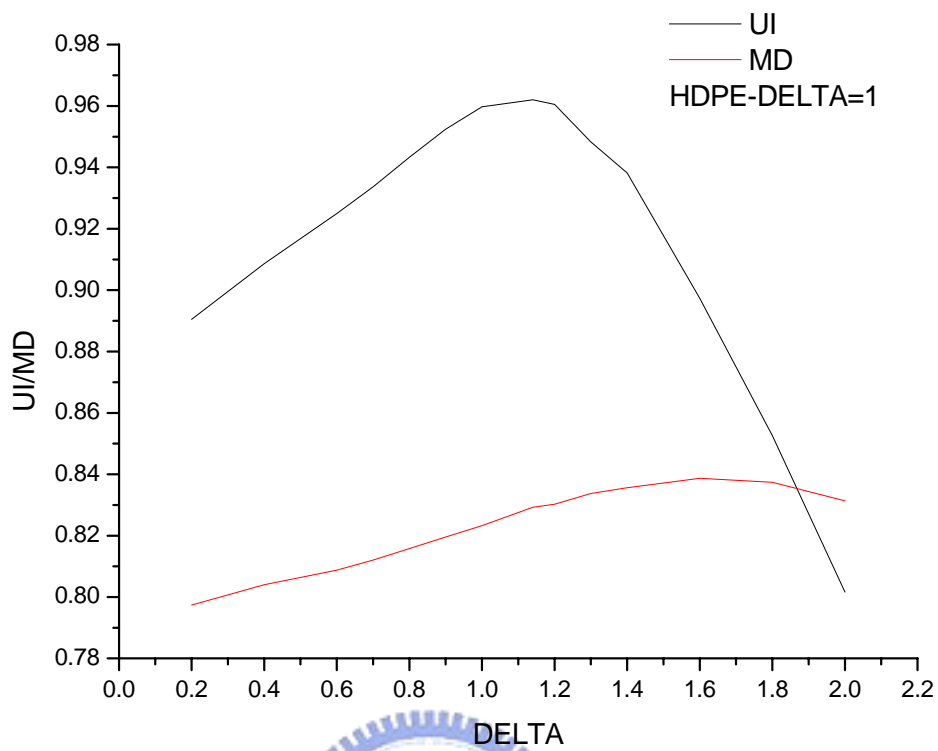


圖 37 模外傾斜角與 HDPE(NOSPI=6)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

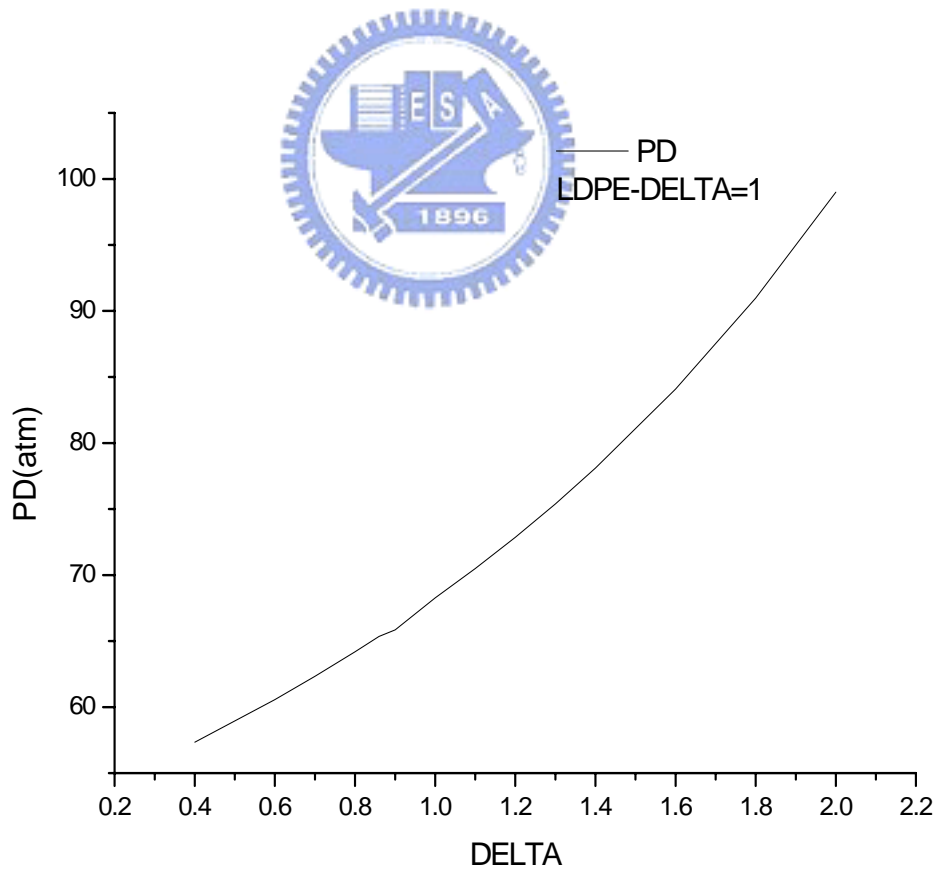
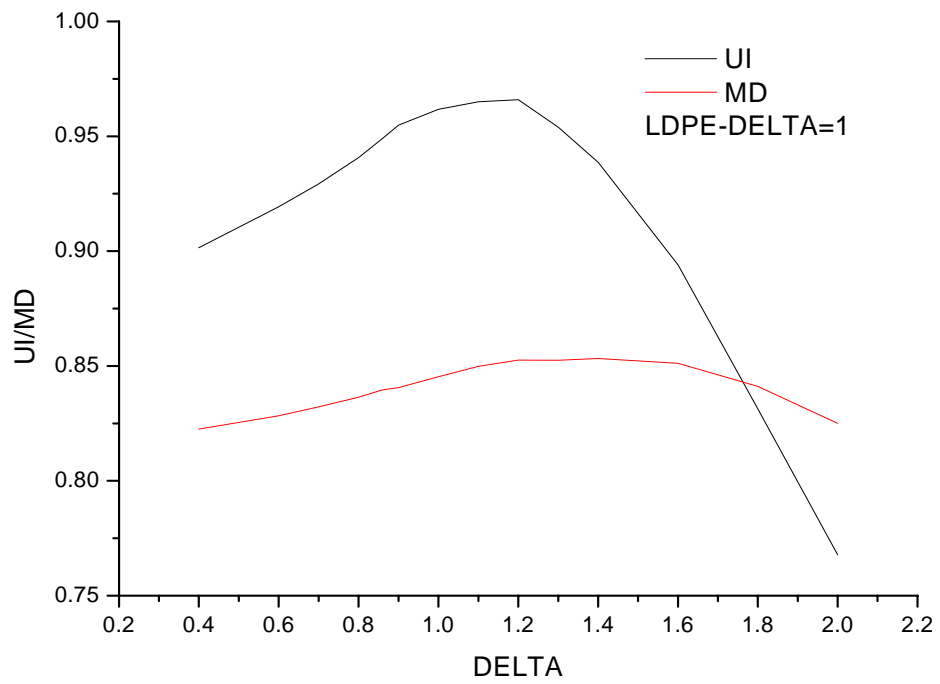


圖 38 模外傾斜角與 LDPE(NOSPI=4)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

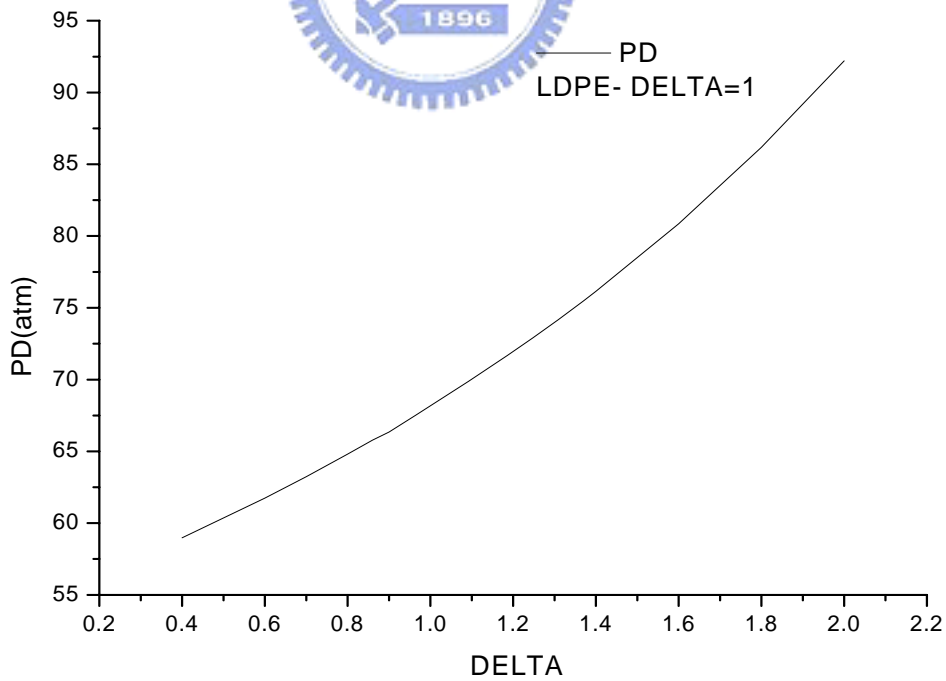
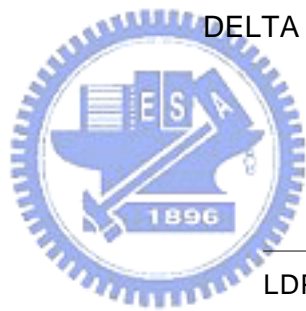
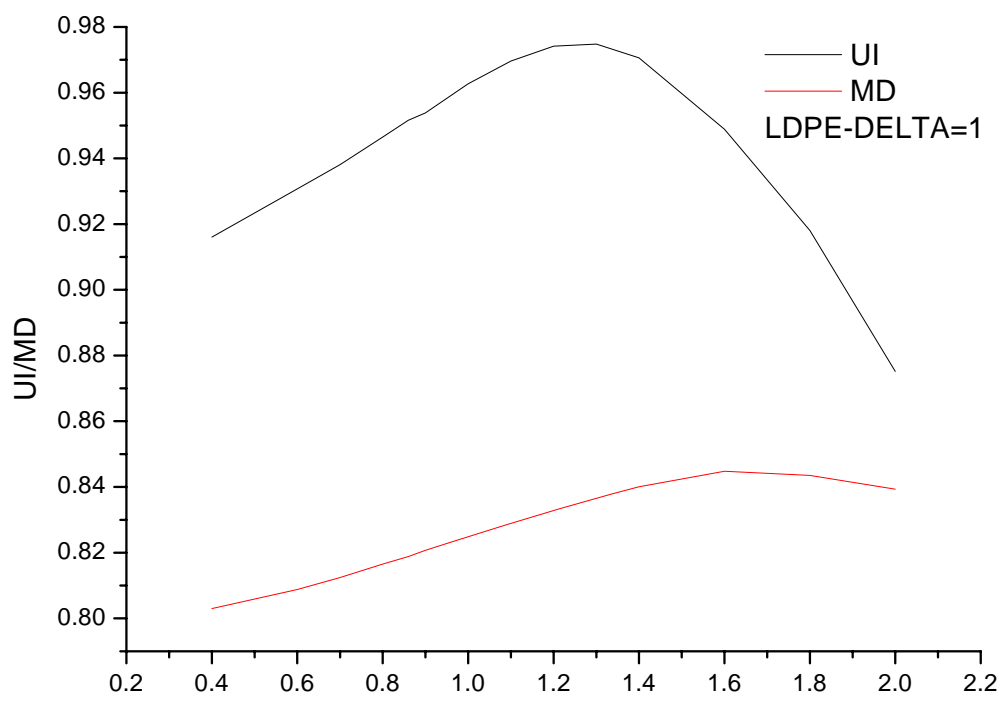


圖 39 模外傾斜角與 LDPE(NOSPI=5)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

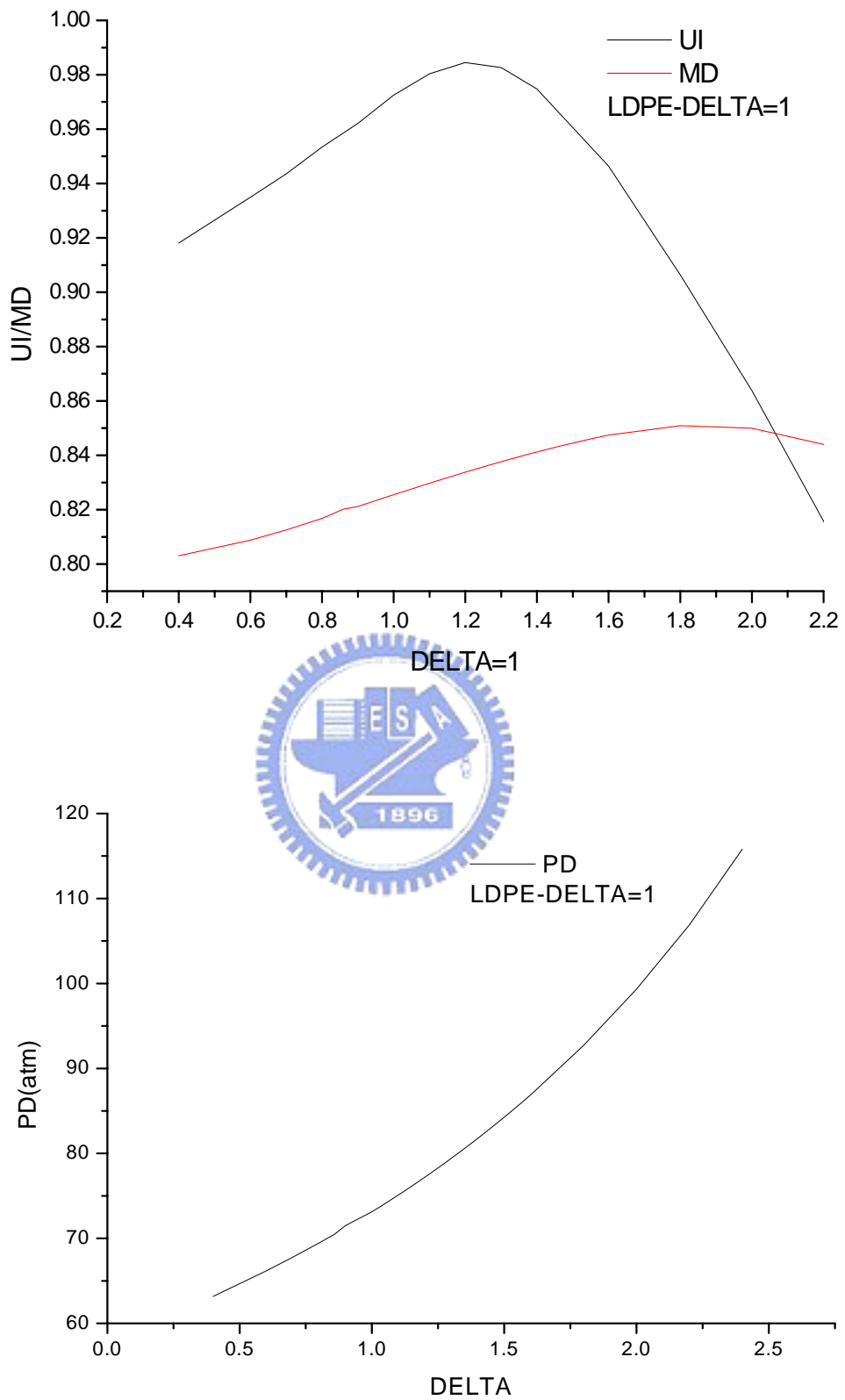


圖 40 模外傾斜角與 LDPE(NOSPI=6)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

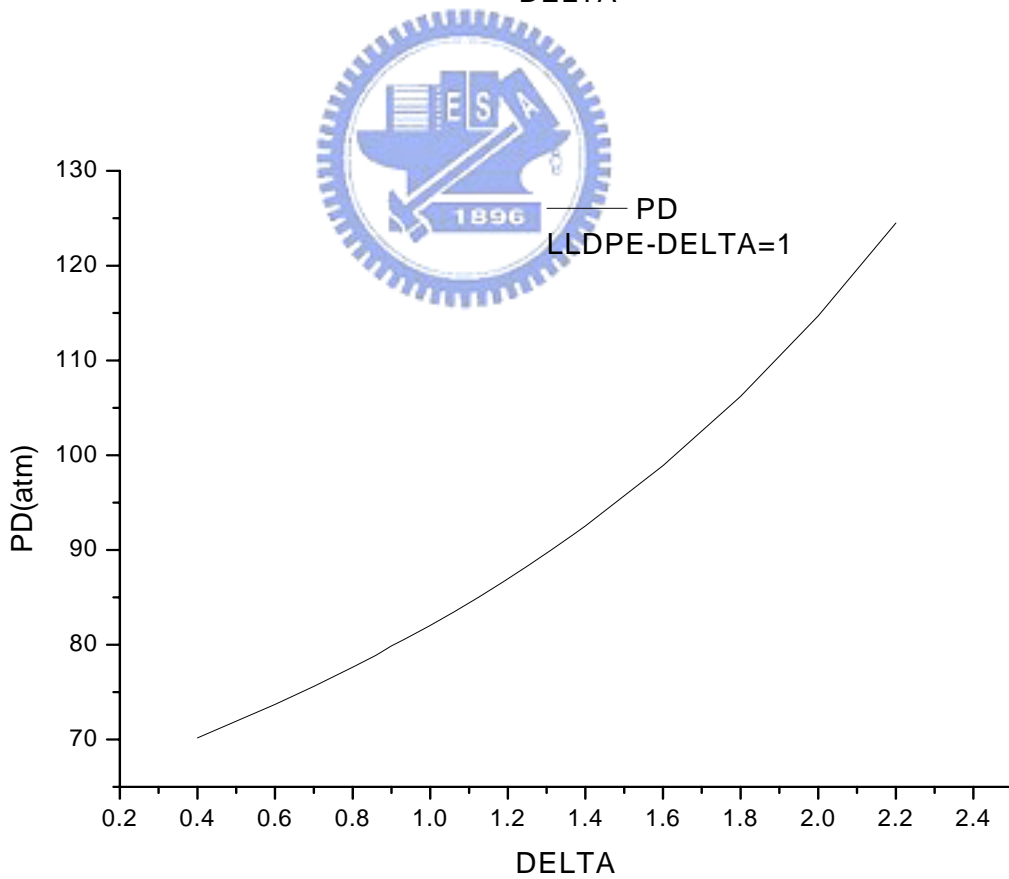
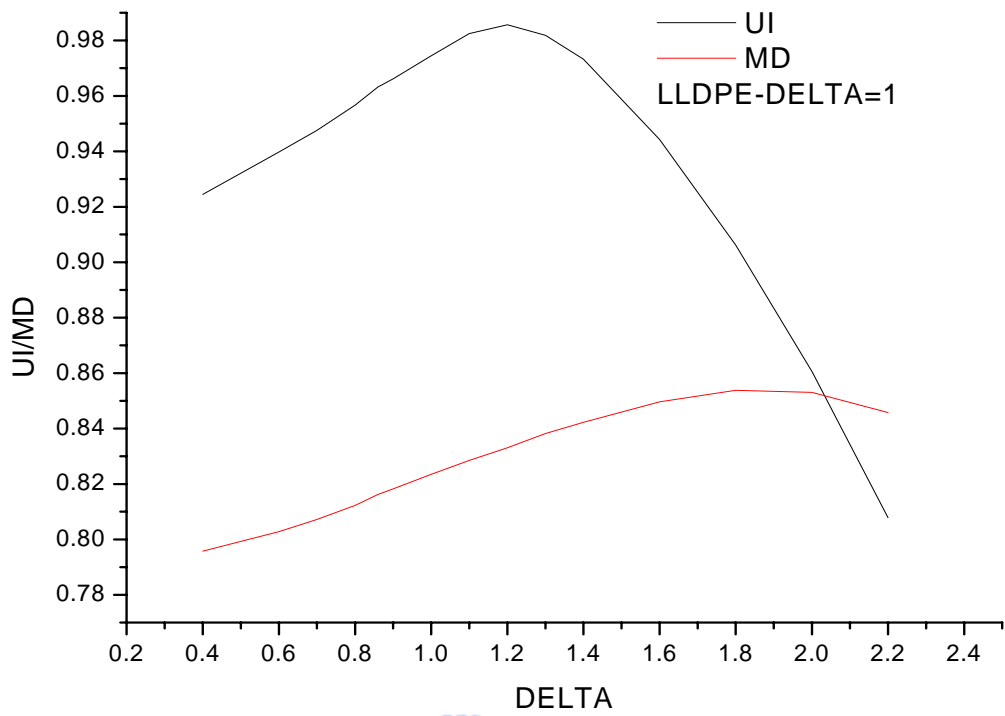


圖 41 模外傾斜角與 LLDPE(NOSPI=4)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖



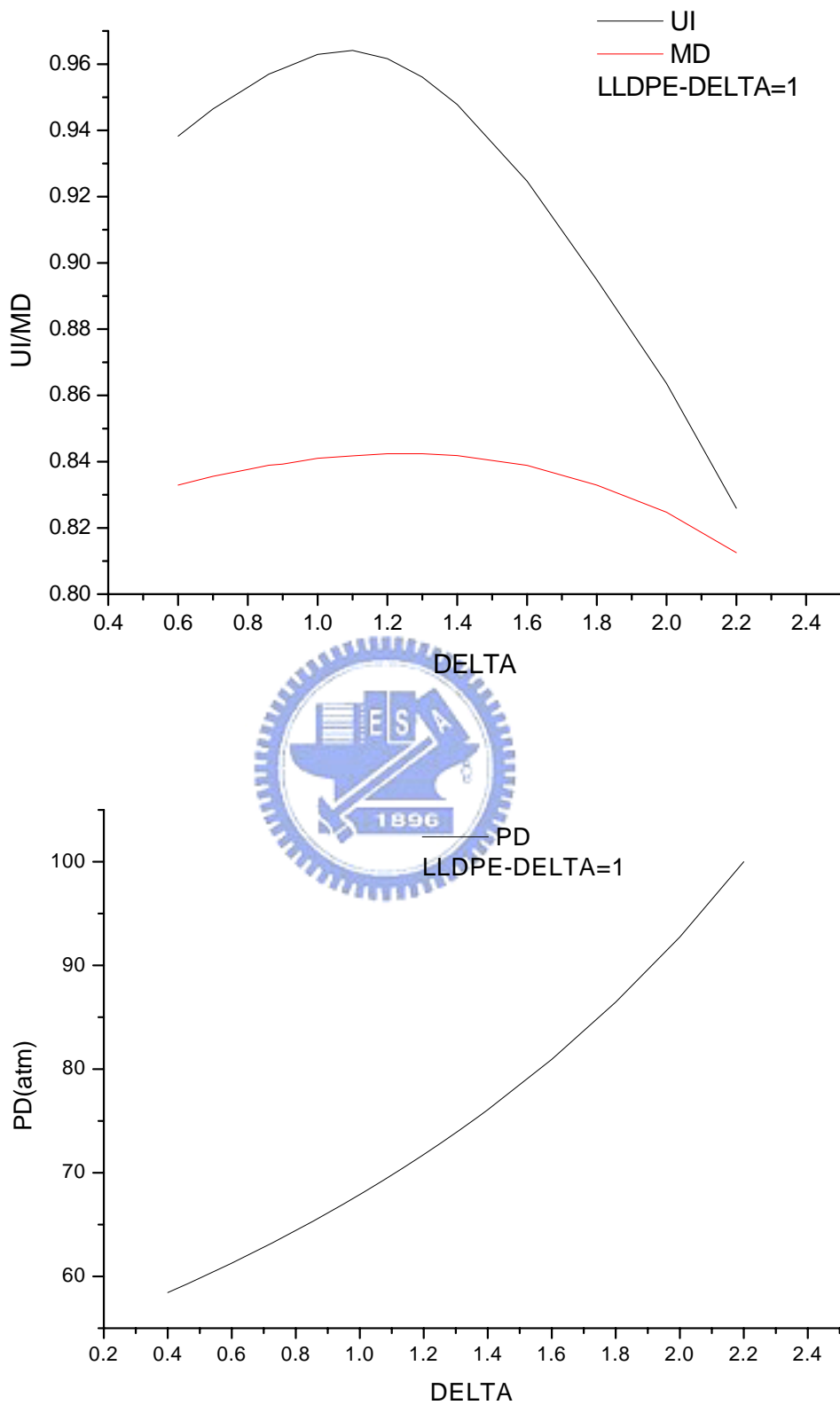


圖 42 模外傾斜角與 LLDPE(NOSPI=5)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

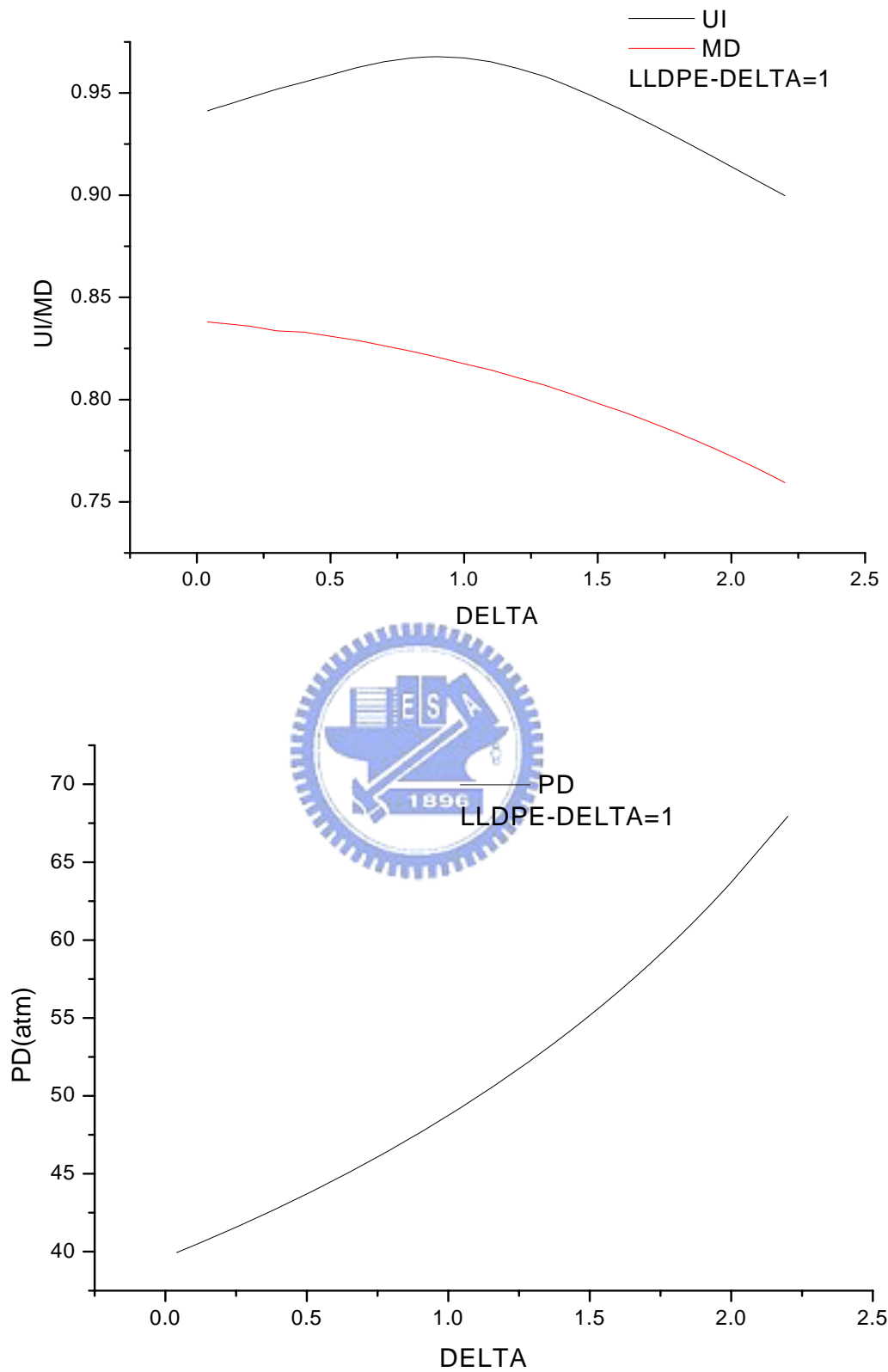


圖 43 模外傾斜角與 LLDPE(NOSPI=6)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

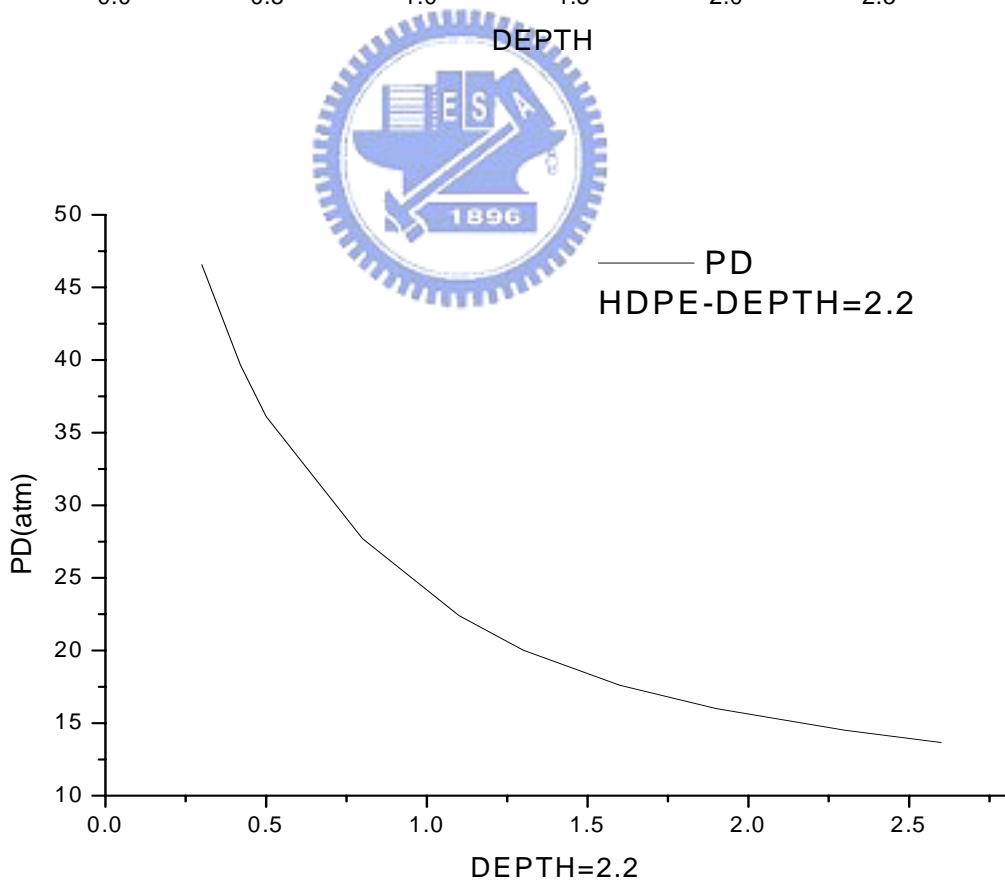
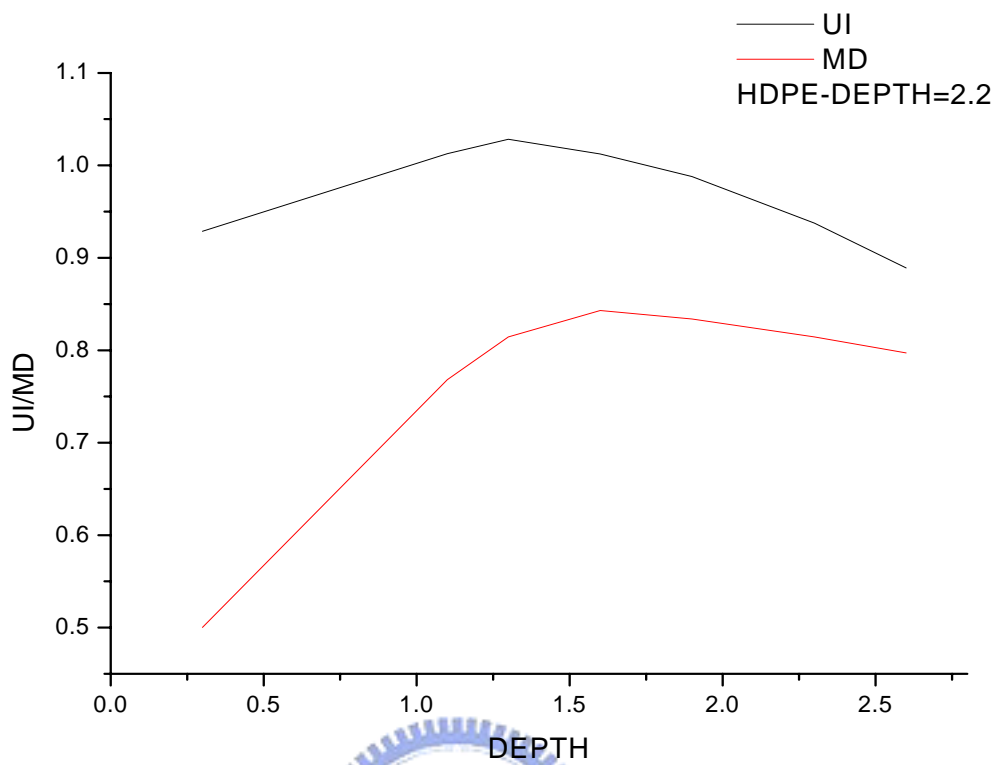


圖 44 起始溝深與 HDPE(NOSPI=4)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

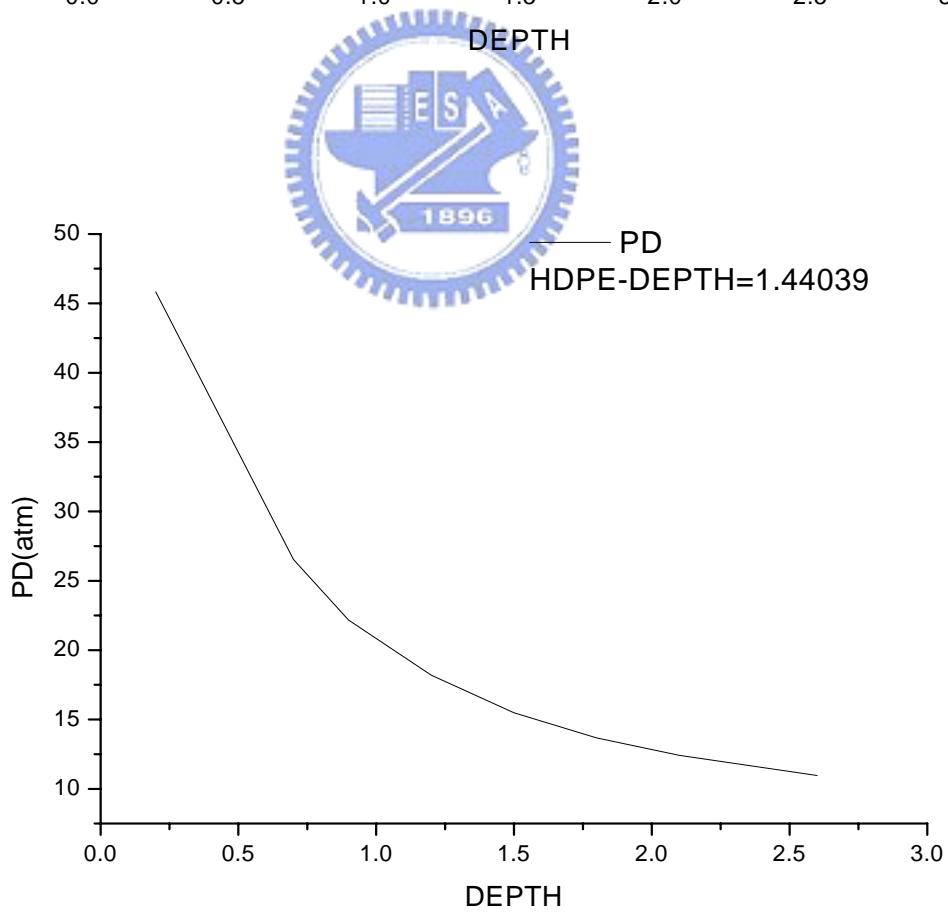
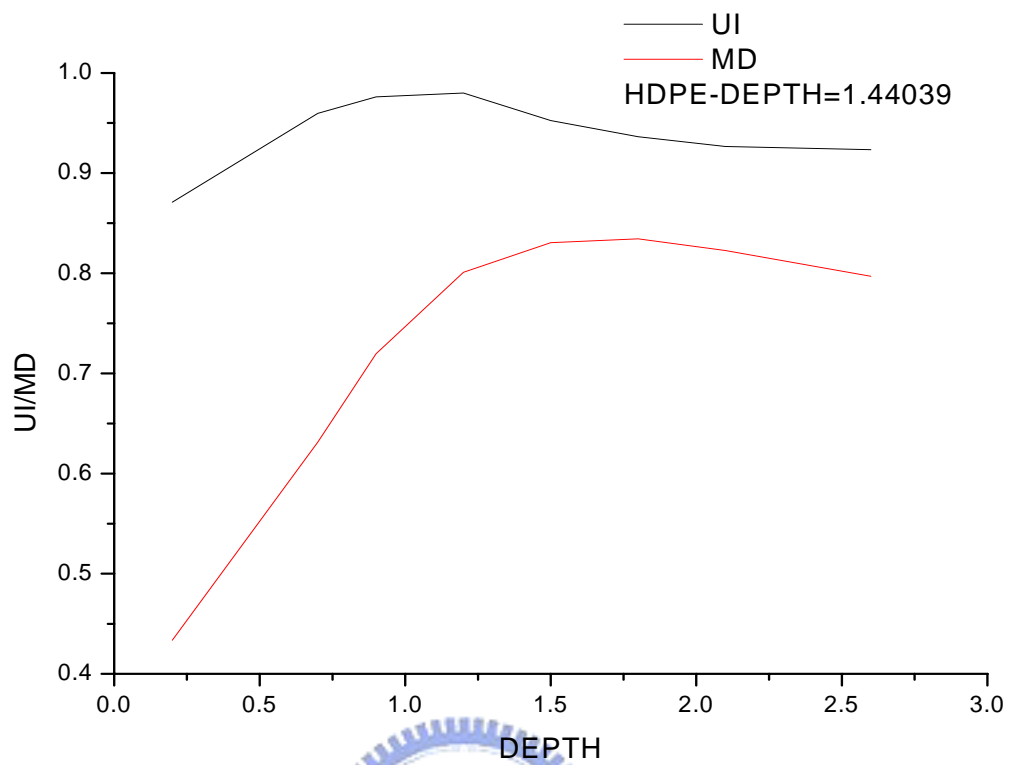


圖 45 起始溝深與 HDPE(NOSPI=5)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

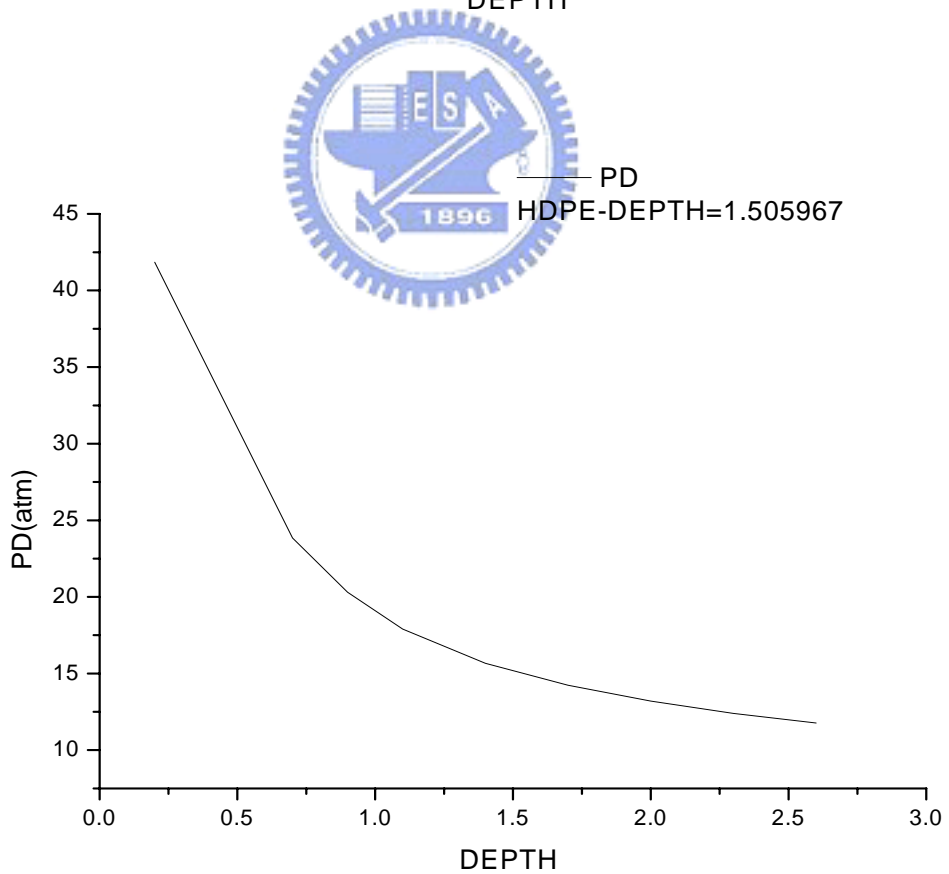
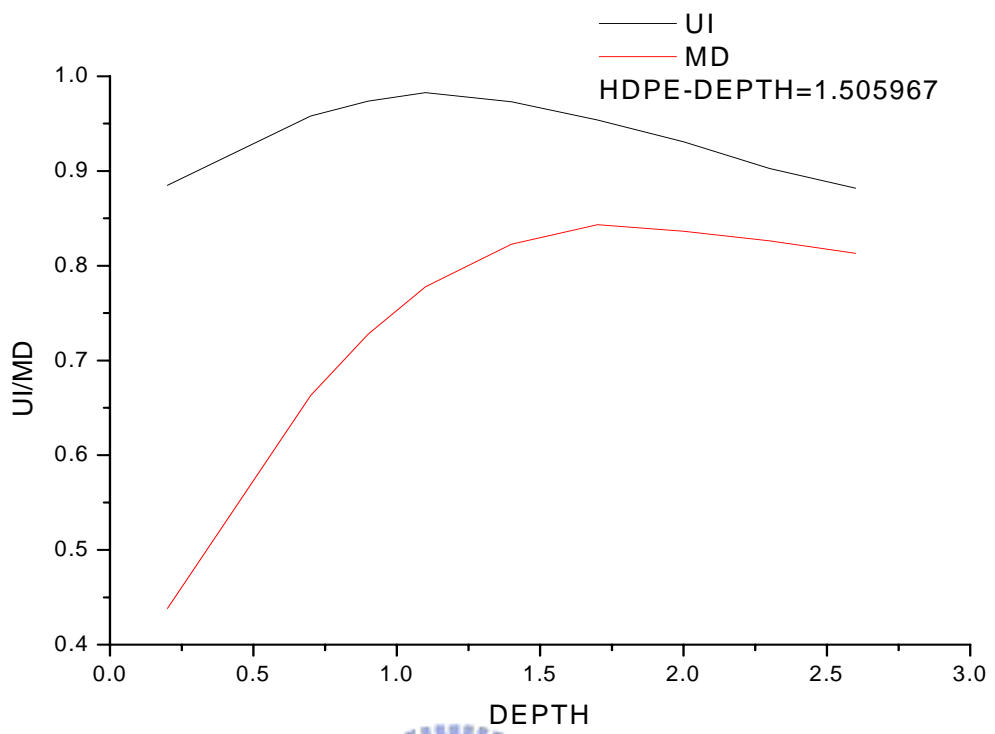


圖 46 起始溝深與 HDPE(NOSPI=6)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

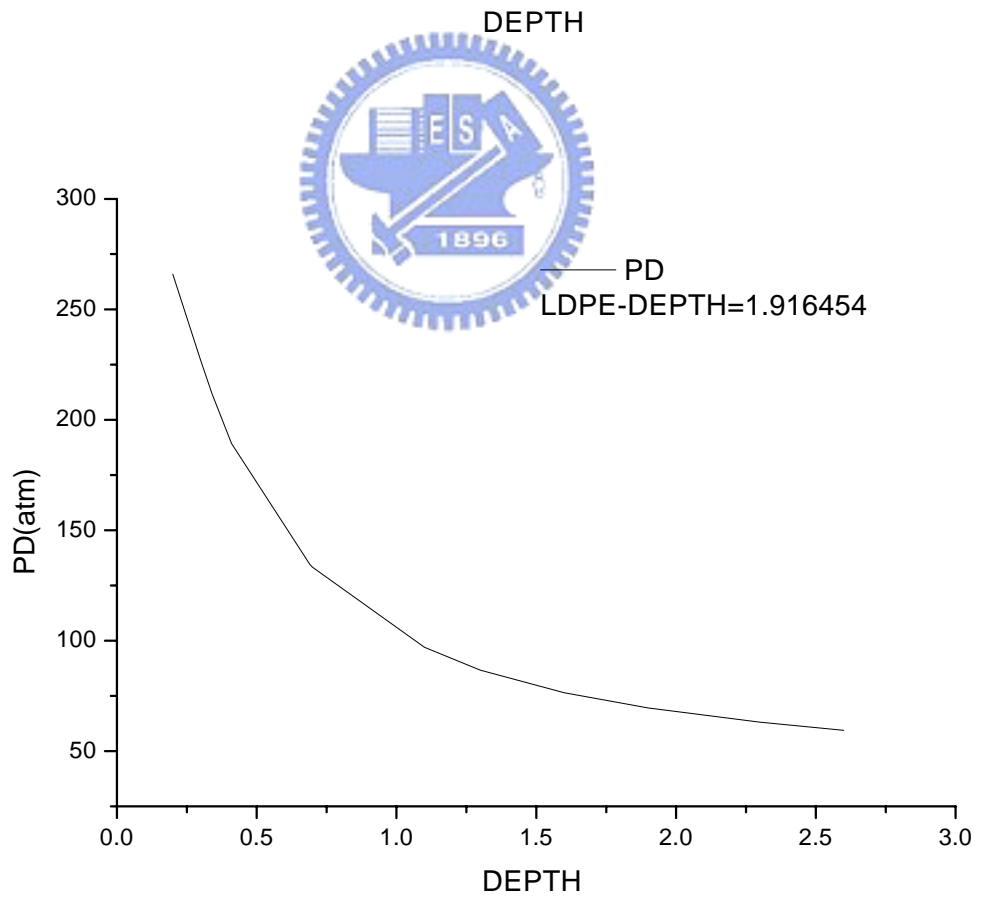
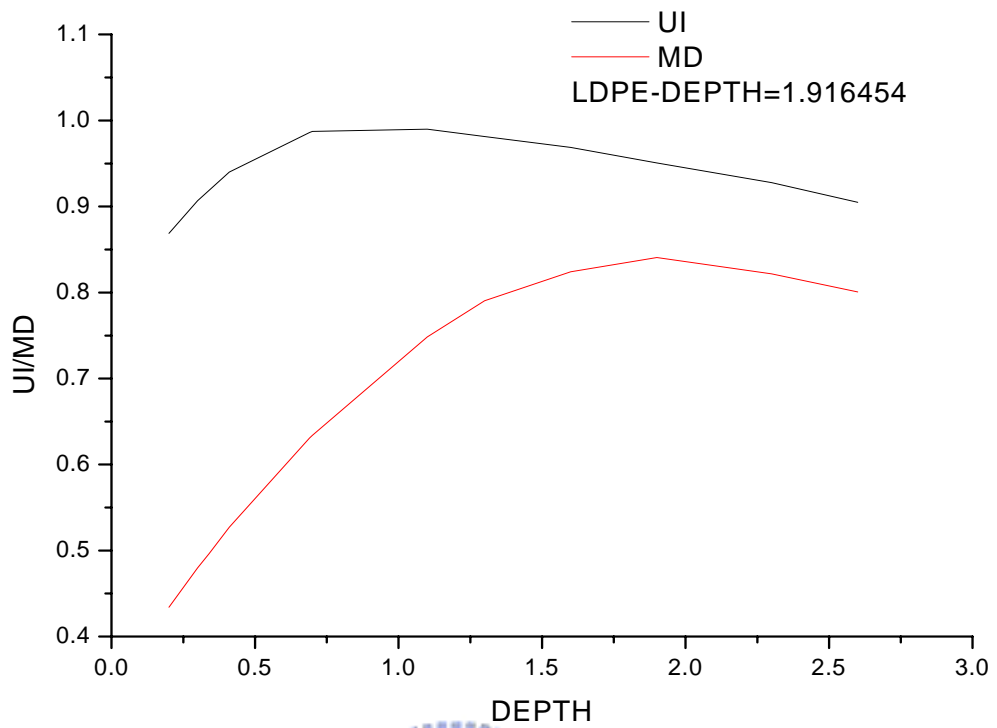


圖 47 起始溝深與 LDPE(NOSPI=4)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

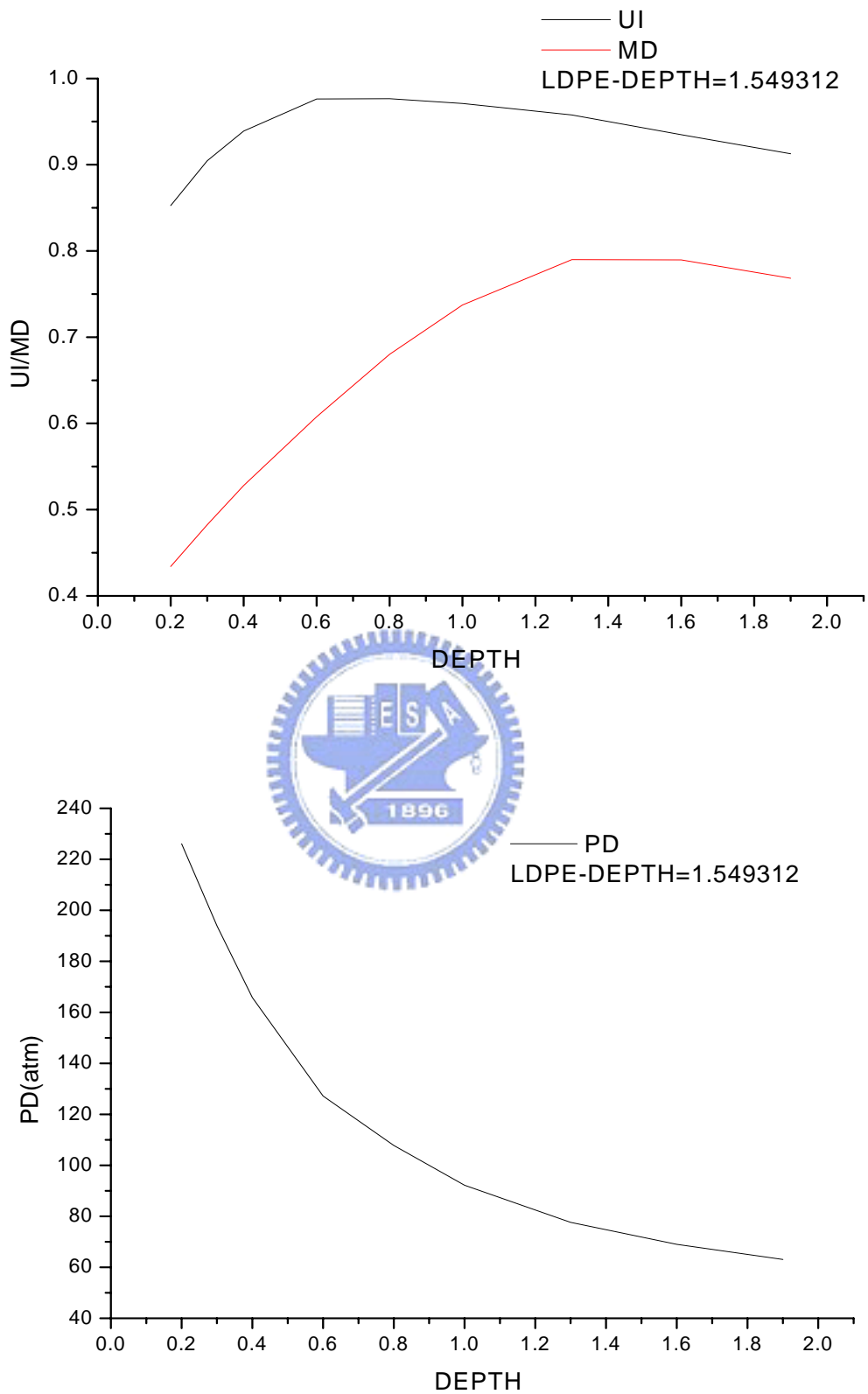


圖 48 起始溝深與 LDPE(NOSPI=5)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

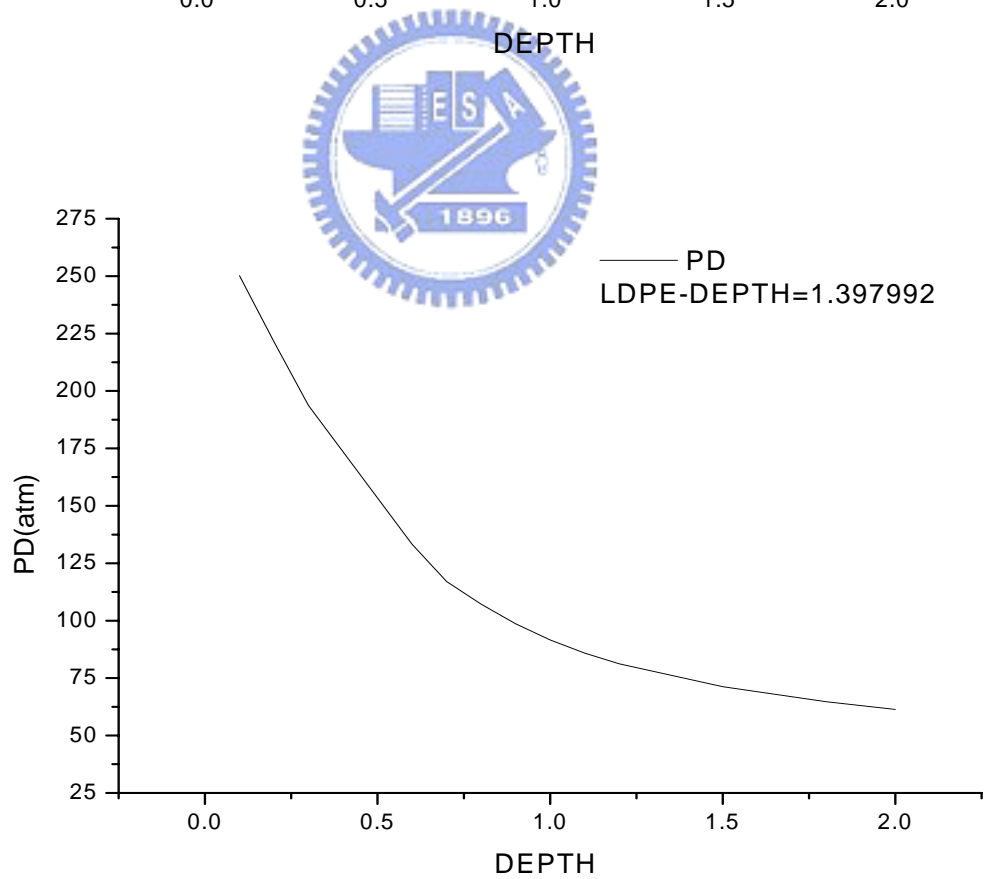
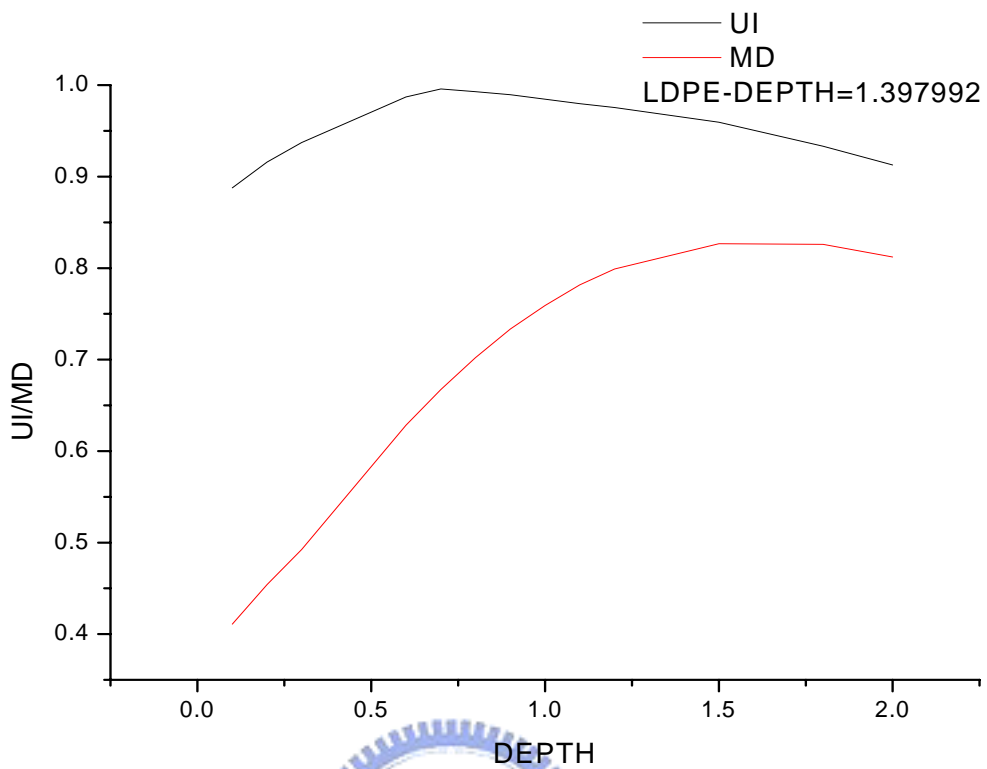


圖 49 起始溝深與 LDPE(NOSPI=6)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖



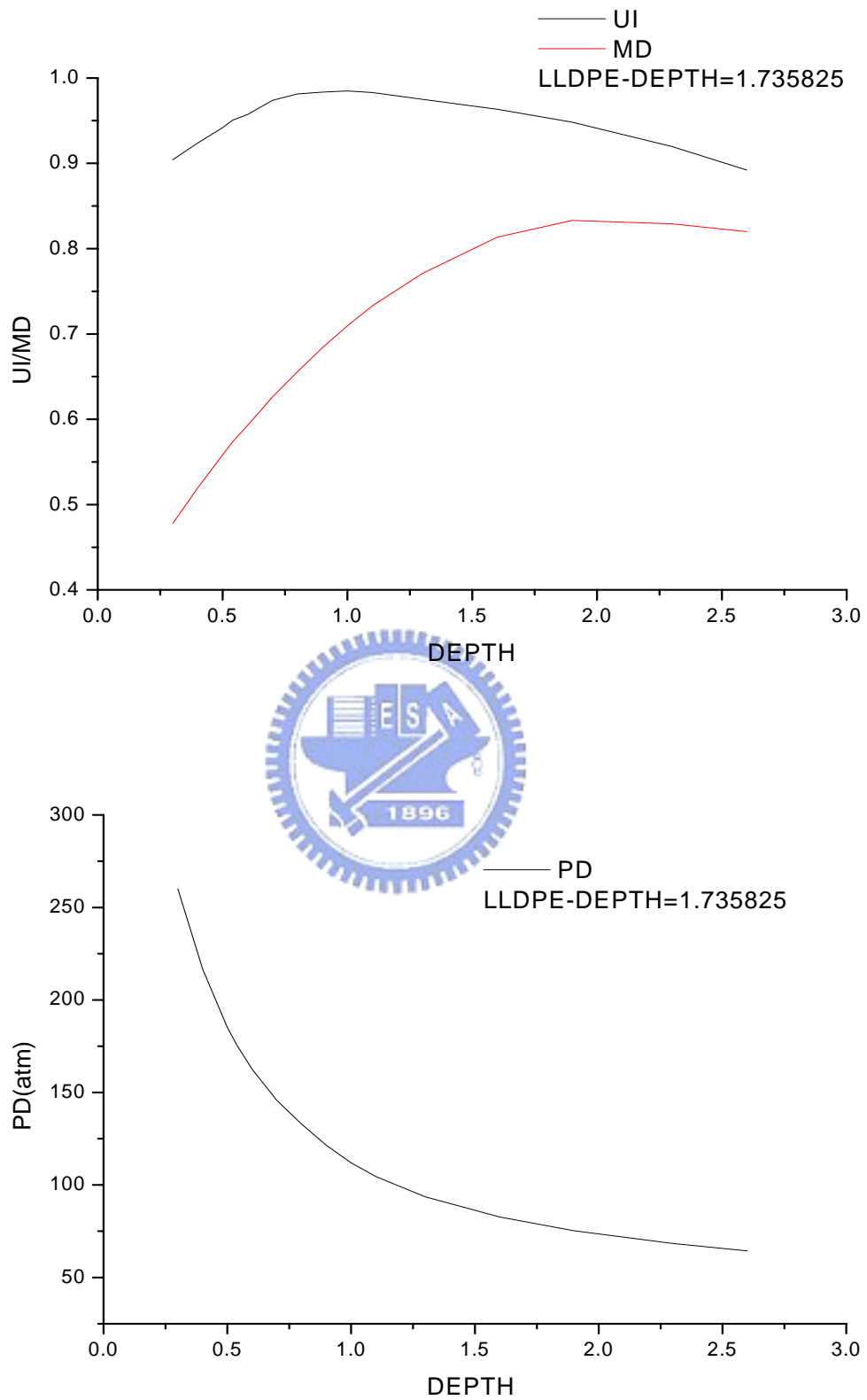


圖 50 起始溝深與 LLDPE(NOSPI=4)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

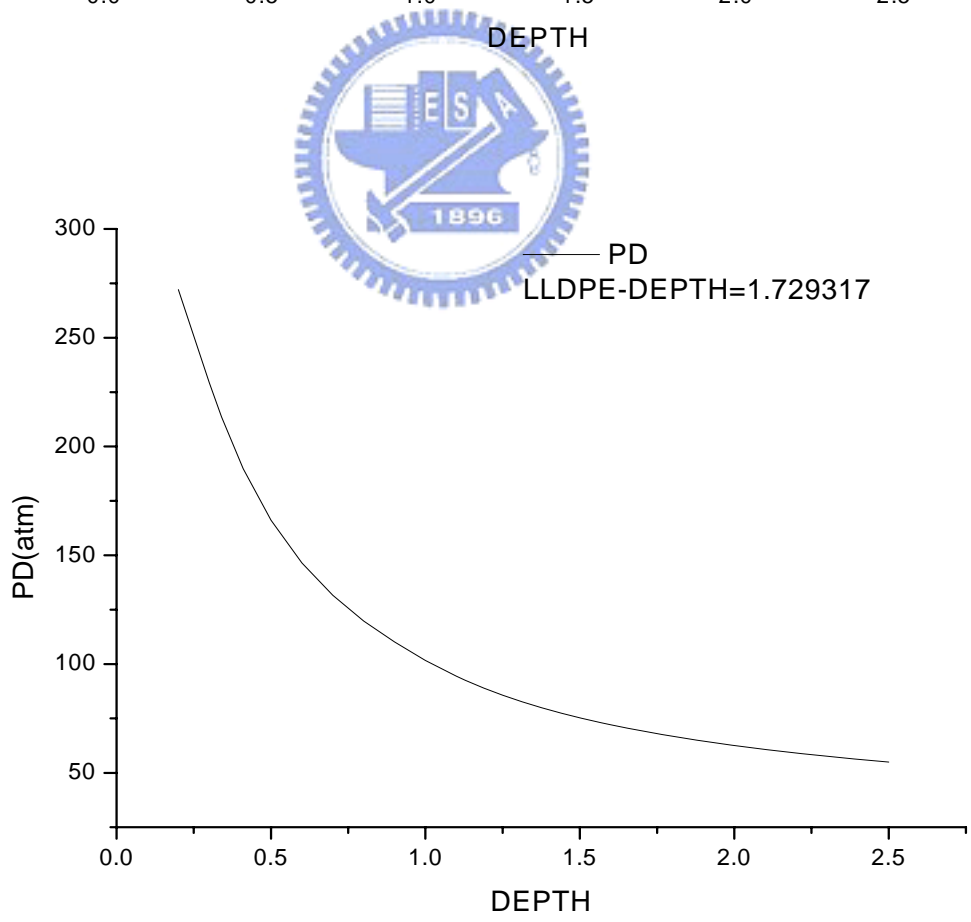
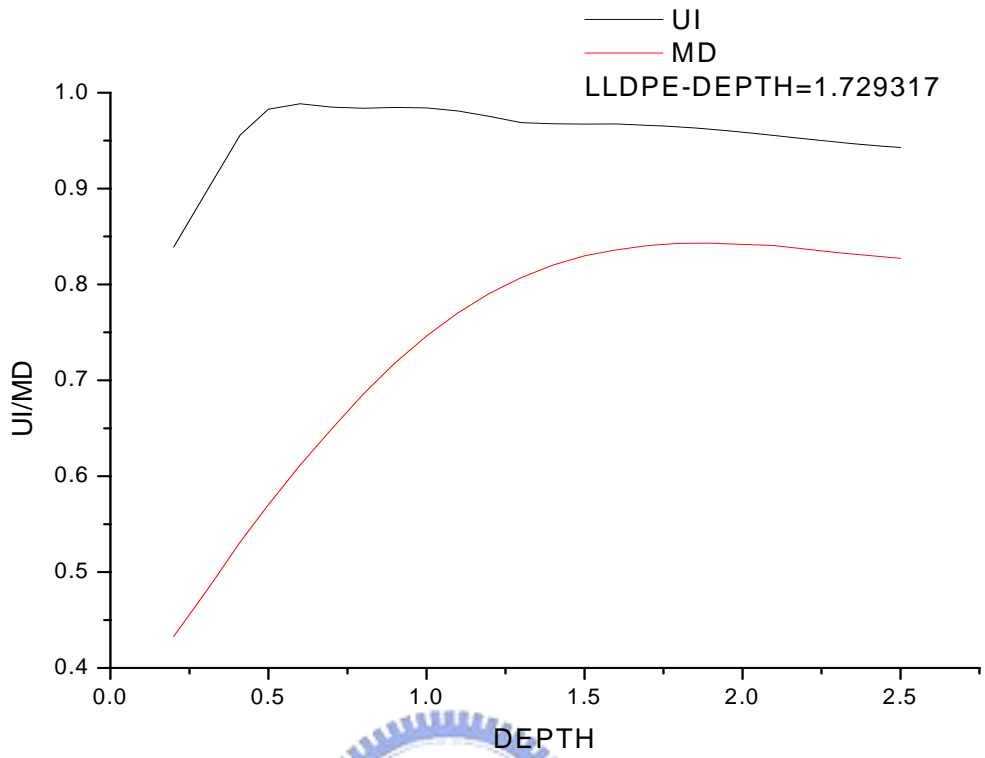


圖 51 起始溝深與 LLDPE(NOSPI=5)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

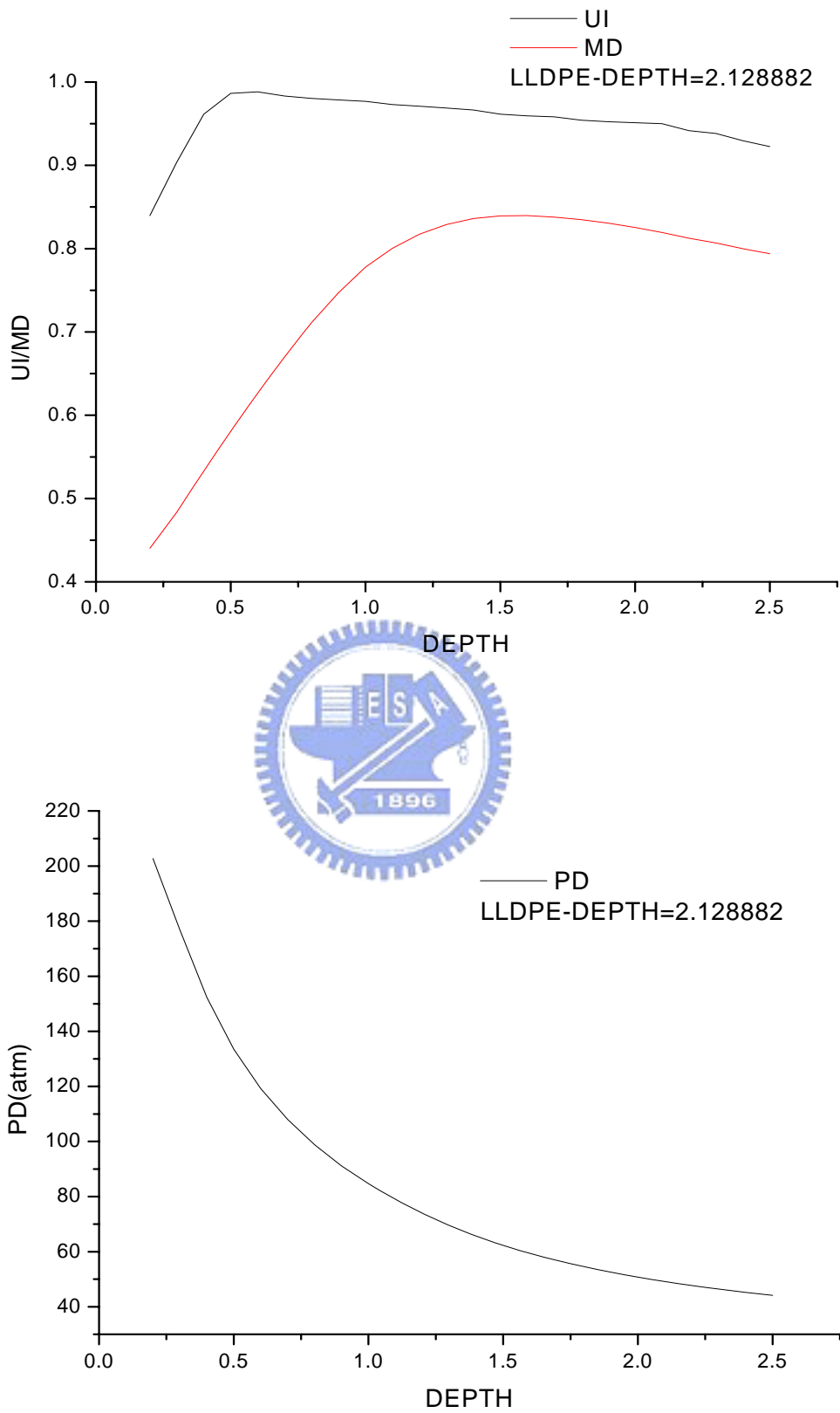


圖 52 起始溝深與 LLDPE(NOSPI=6)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

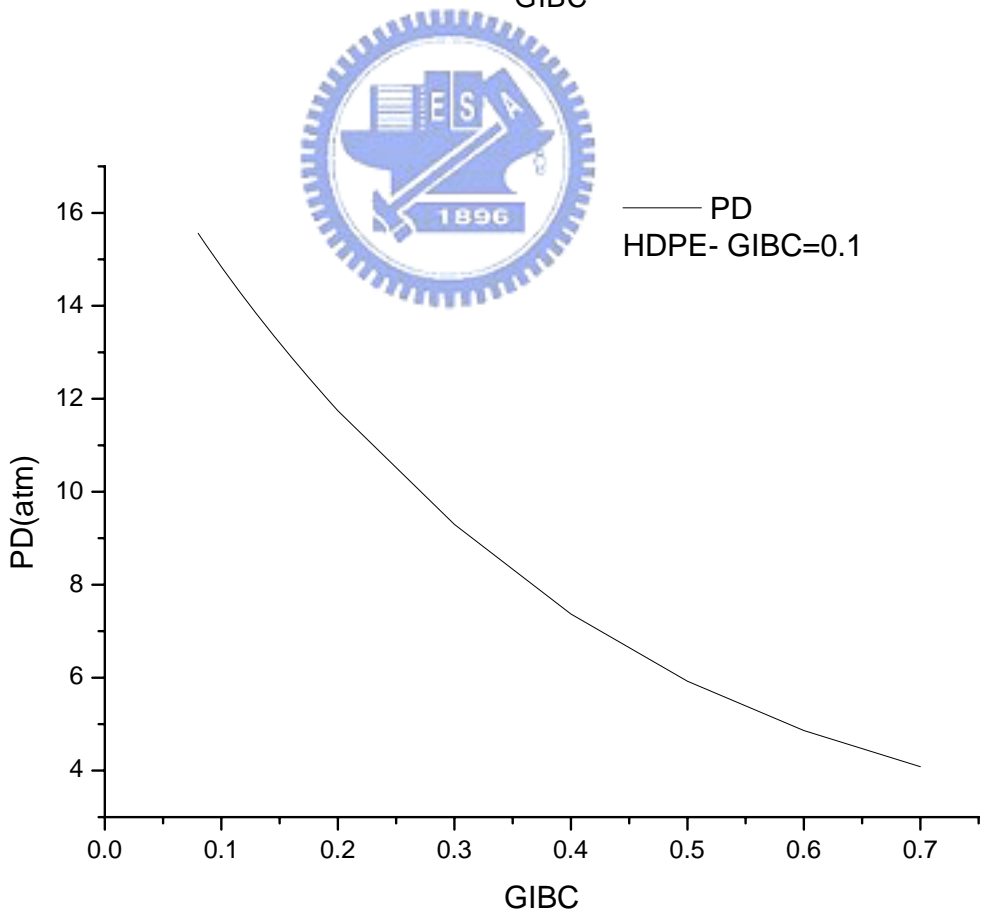
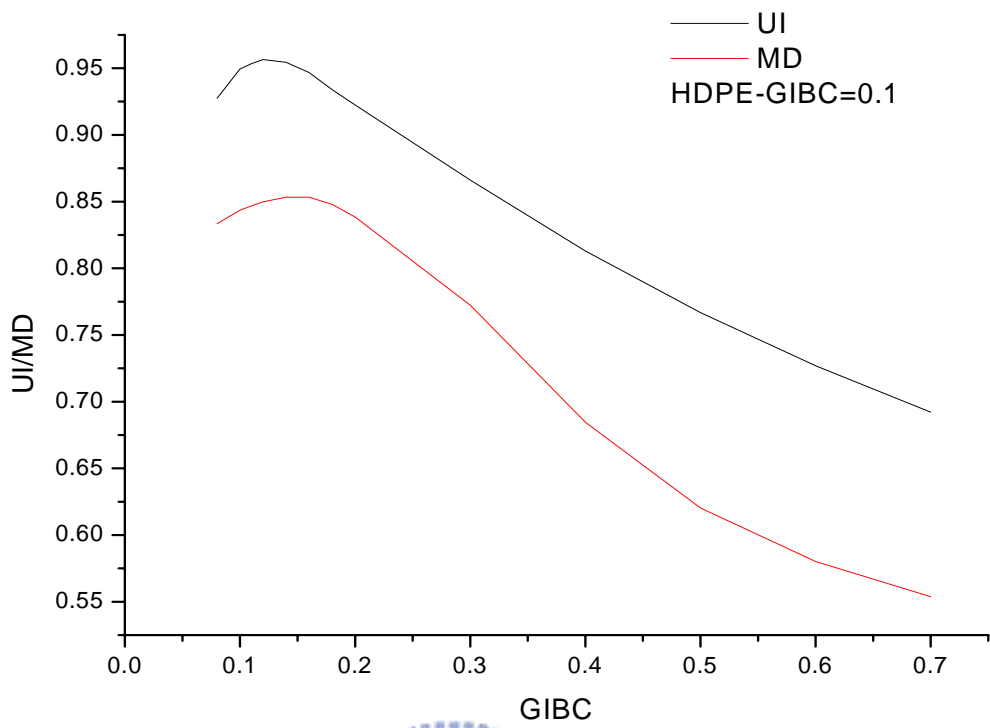


圖 53 起始間隙與 HDPE(NOSPI=4)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

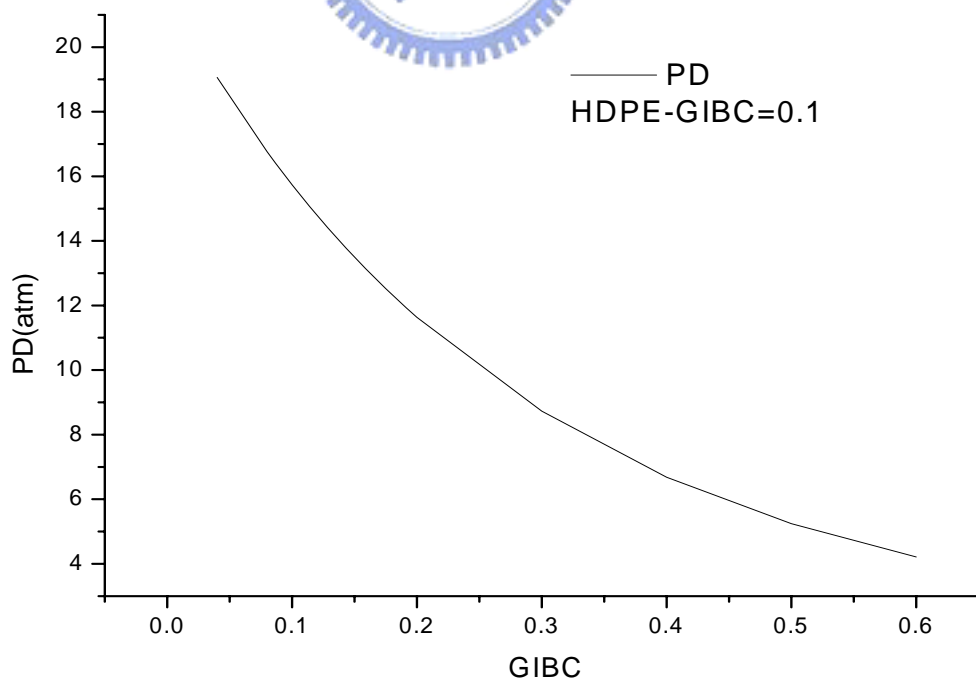
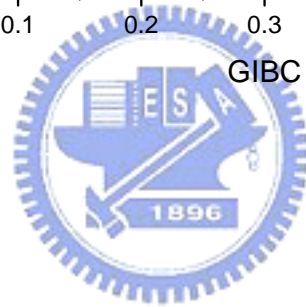
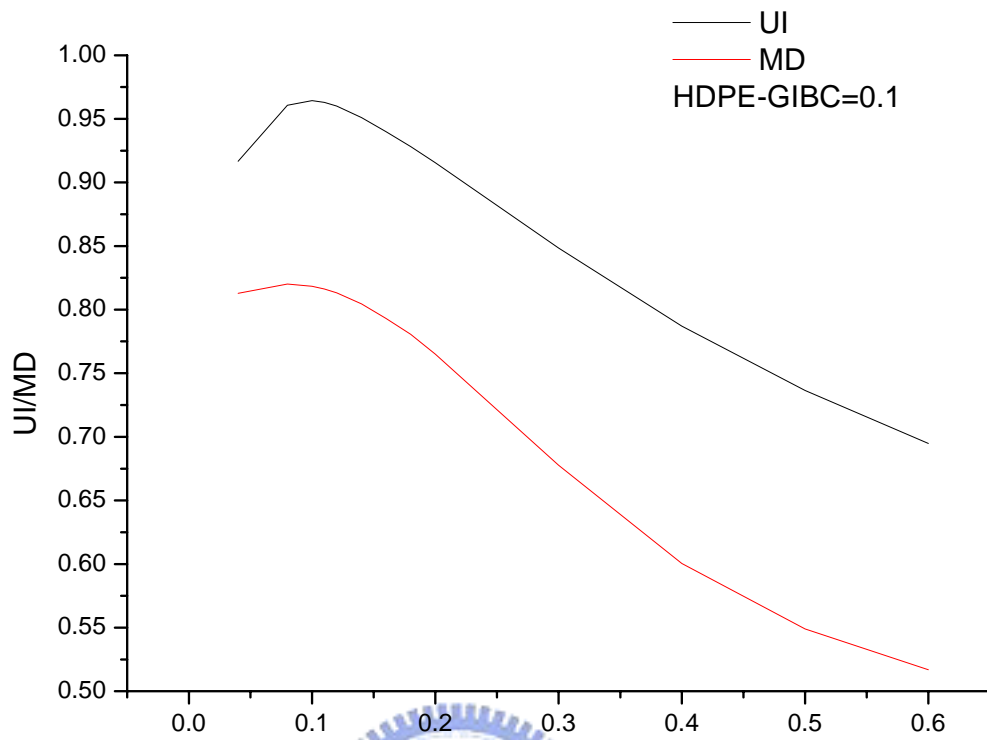


圖 54 起始間隙與 HDPE(NOSPI=5)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

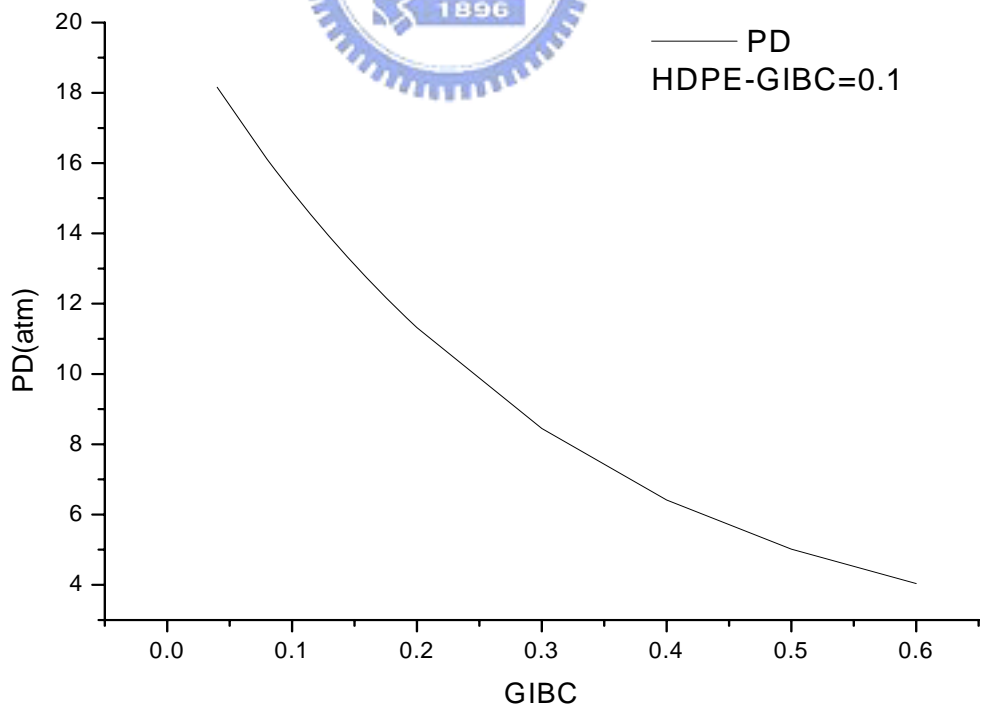
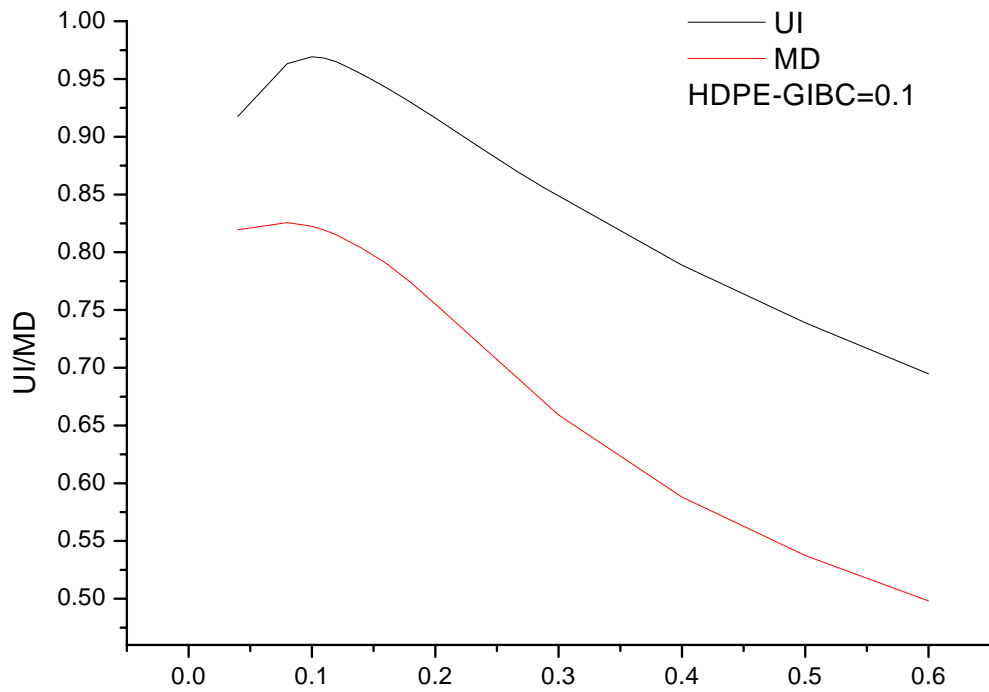


圖 55 起始間隙與 HDPE(NOSPI=6)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

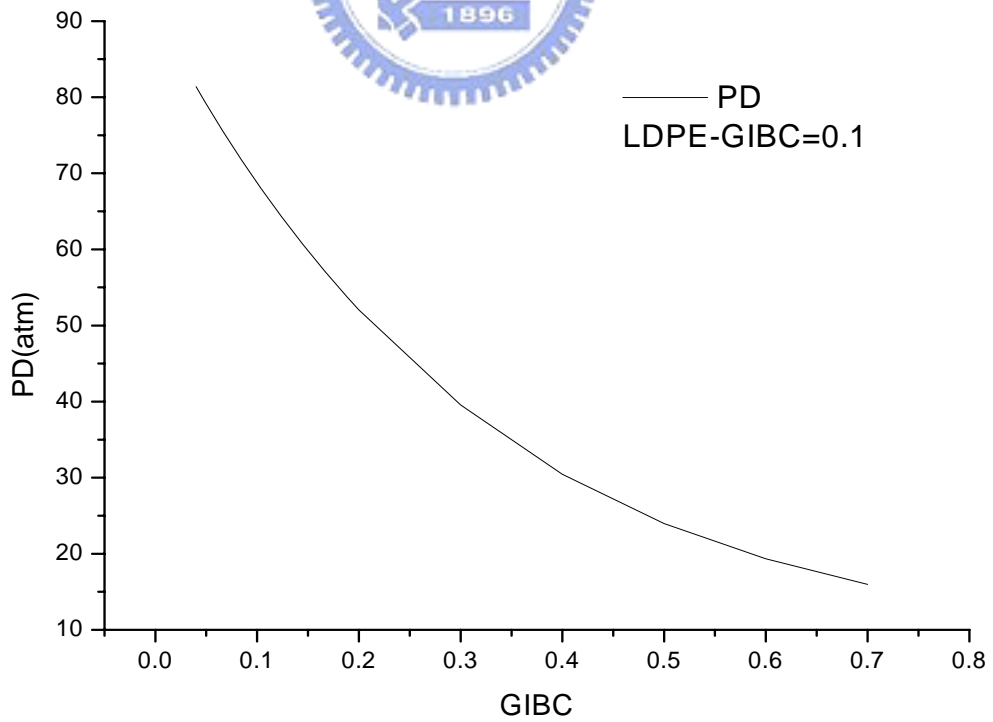
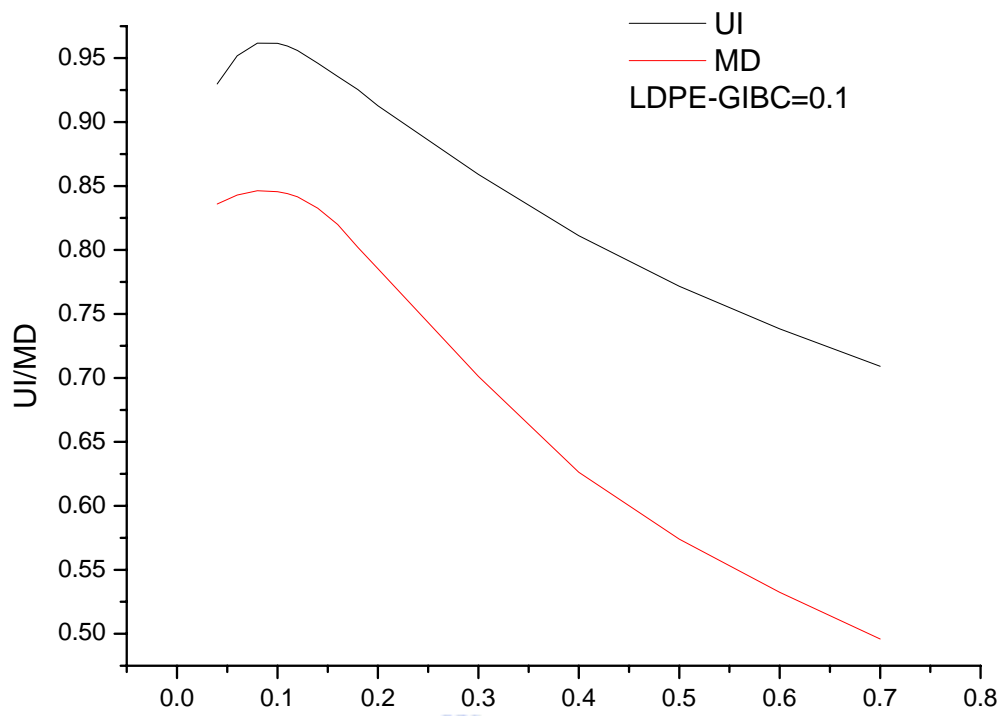


圖 56 起始間隙與 LDPE(NOSPI=4)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

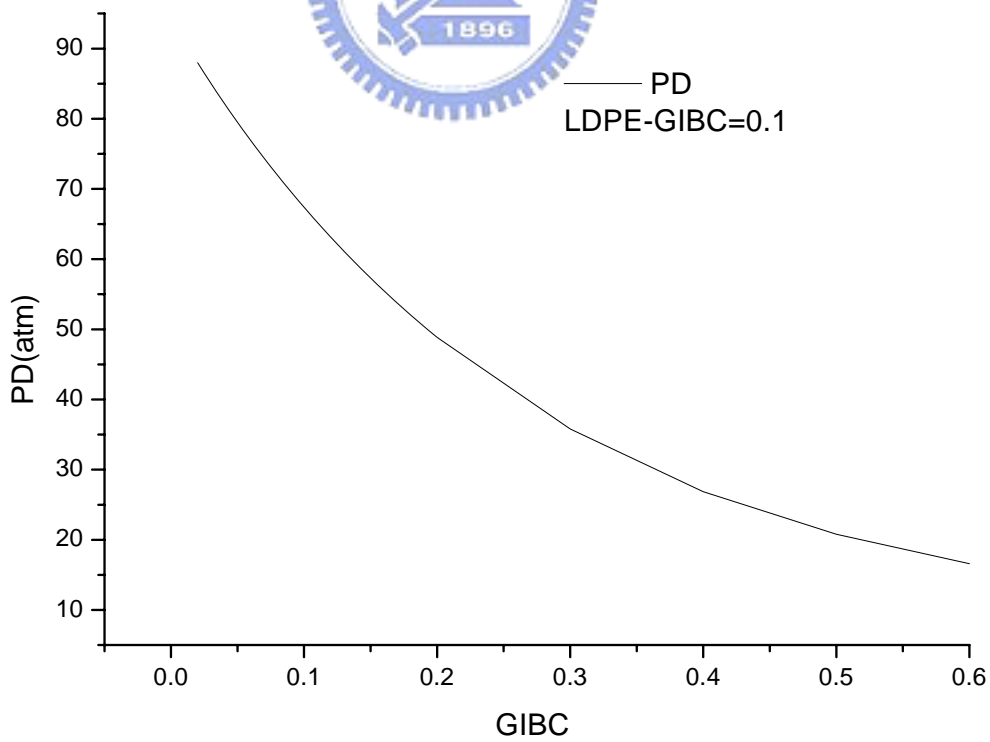
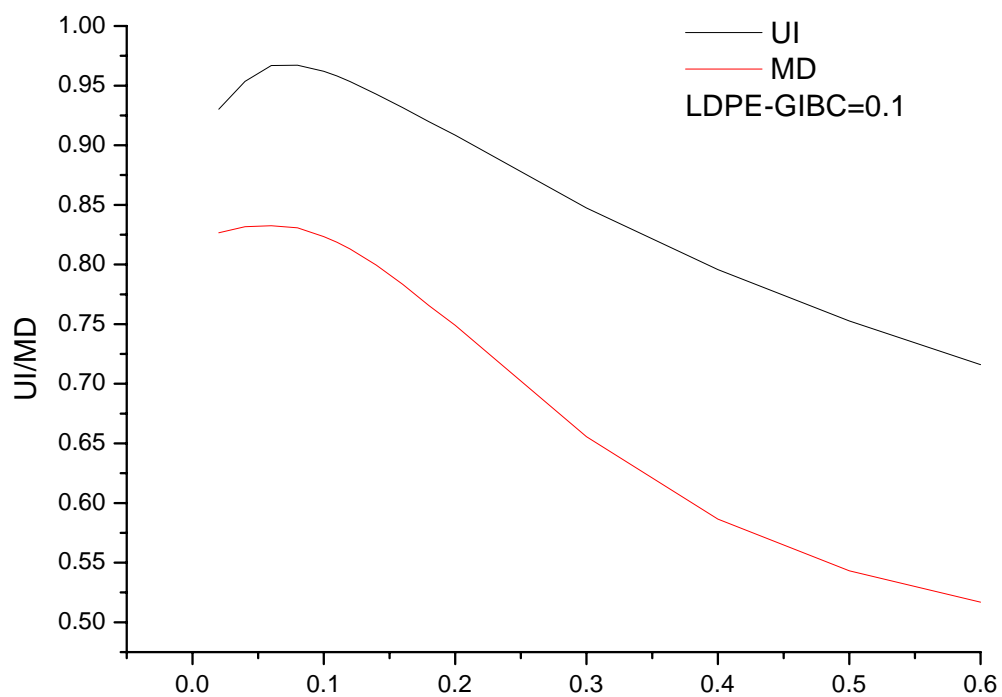


圖 57 起始間隙與 LDPE(NOSPI=5)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖



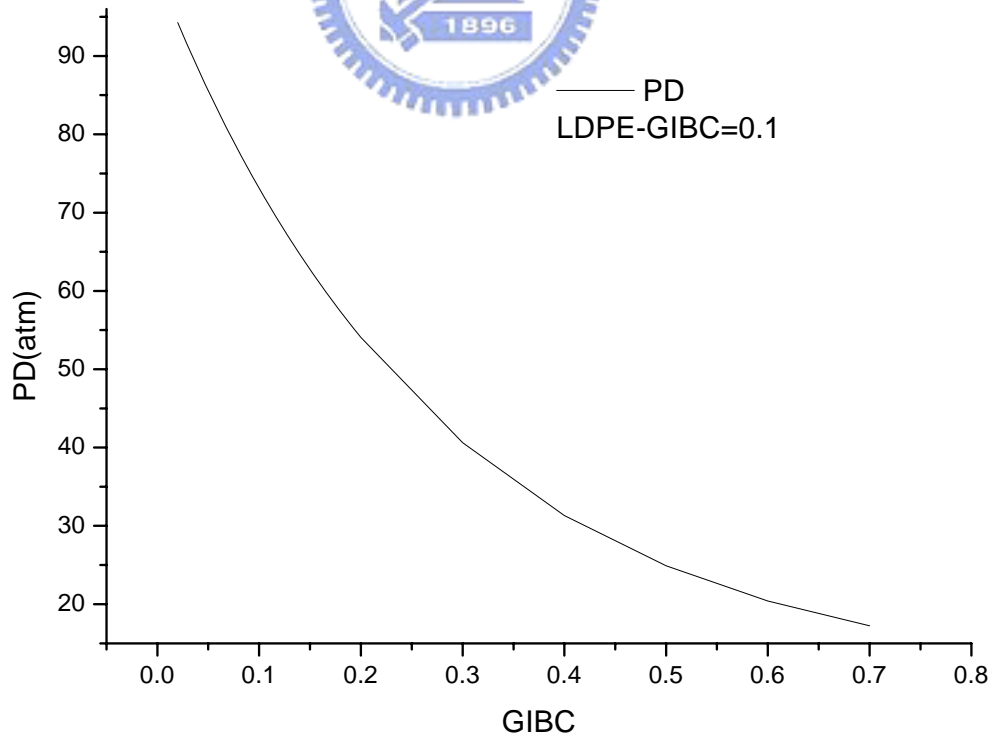
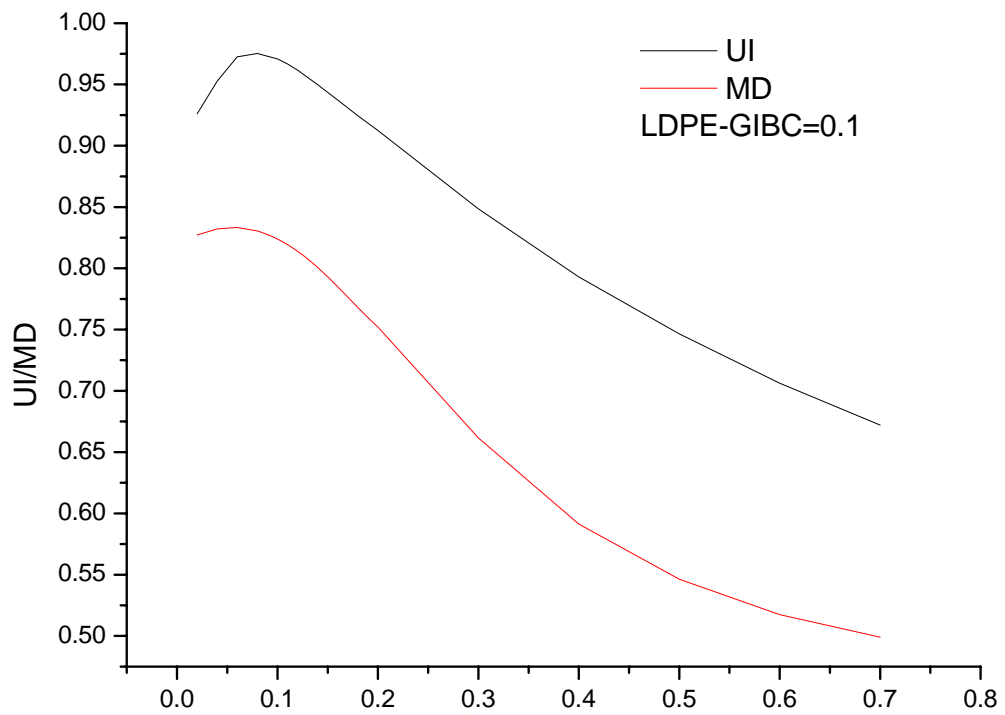


圖 58 起始間隙與 LDPE(NOSPI=6)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

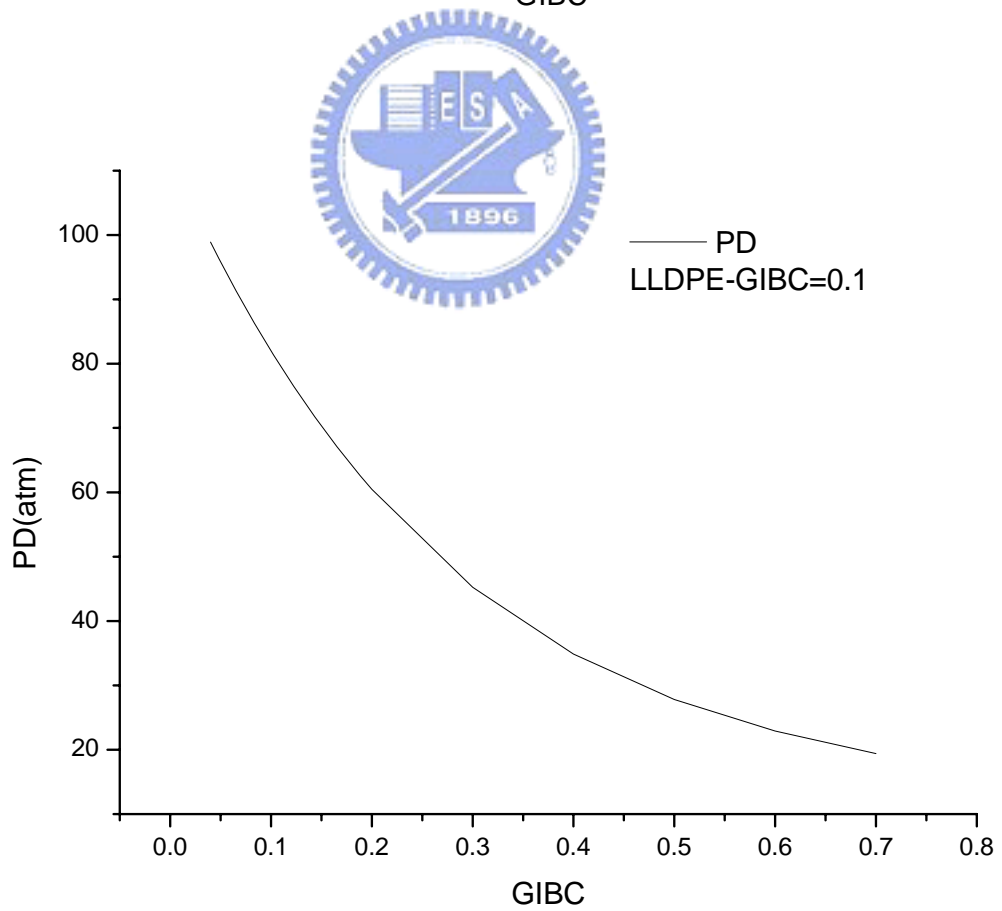
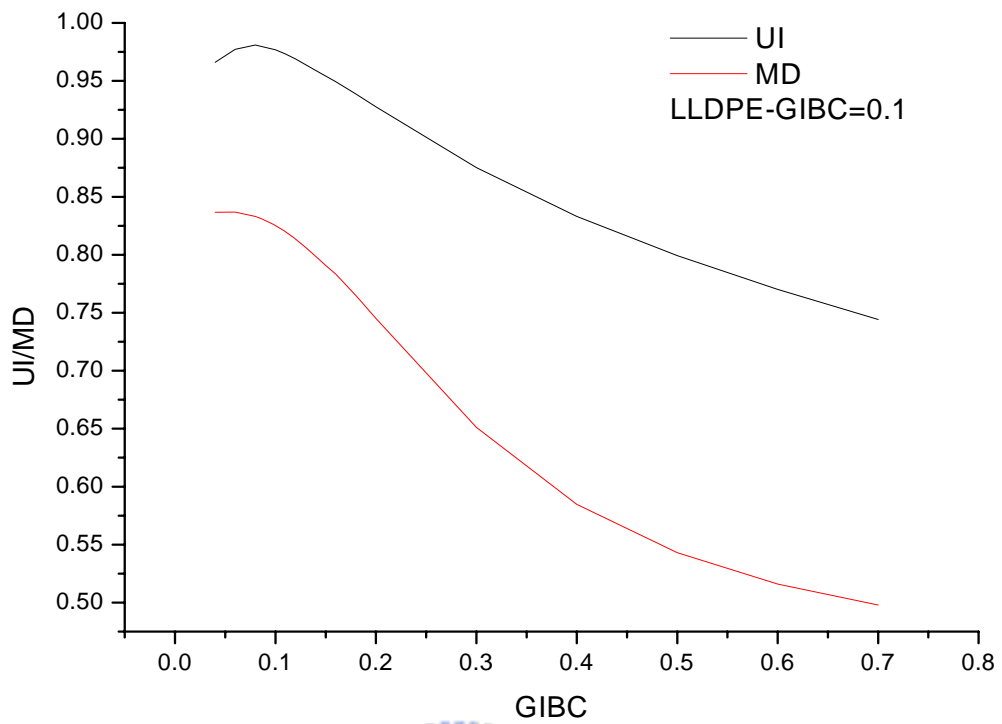


圖 59 起始間隙與 LLDPE(NOSPI=4)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

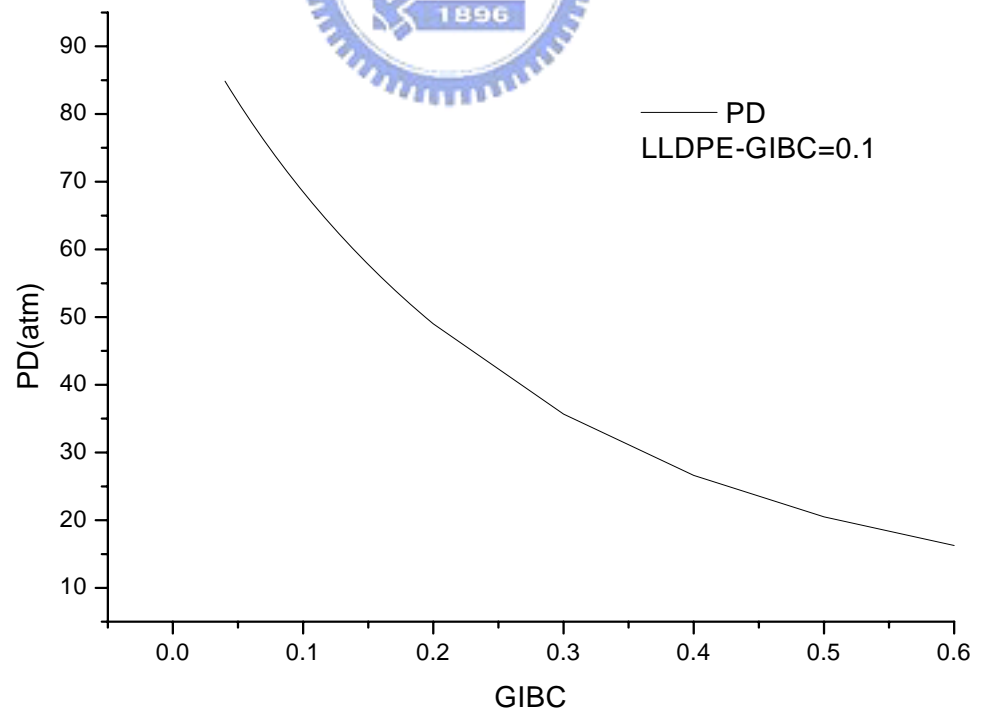
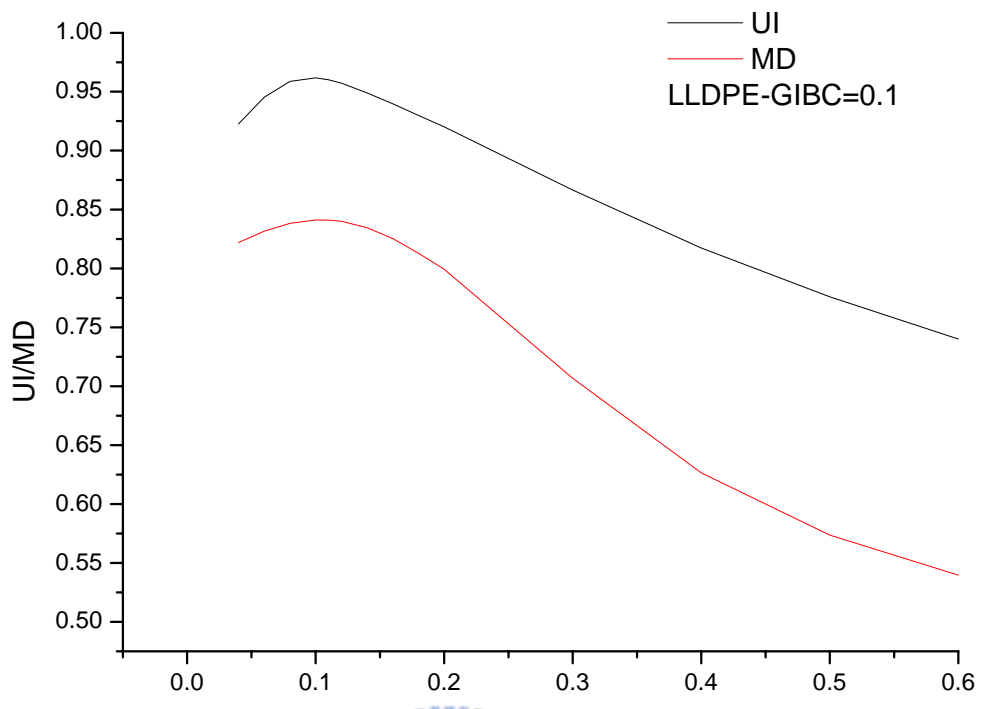


圖 60 起始間隙與 LLDPE(NOSPI=5)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

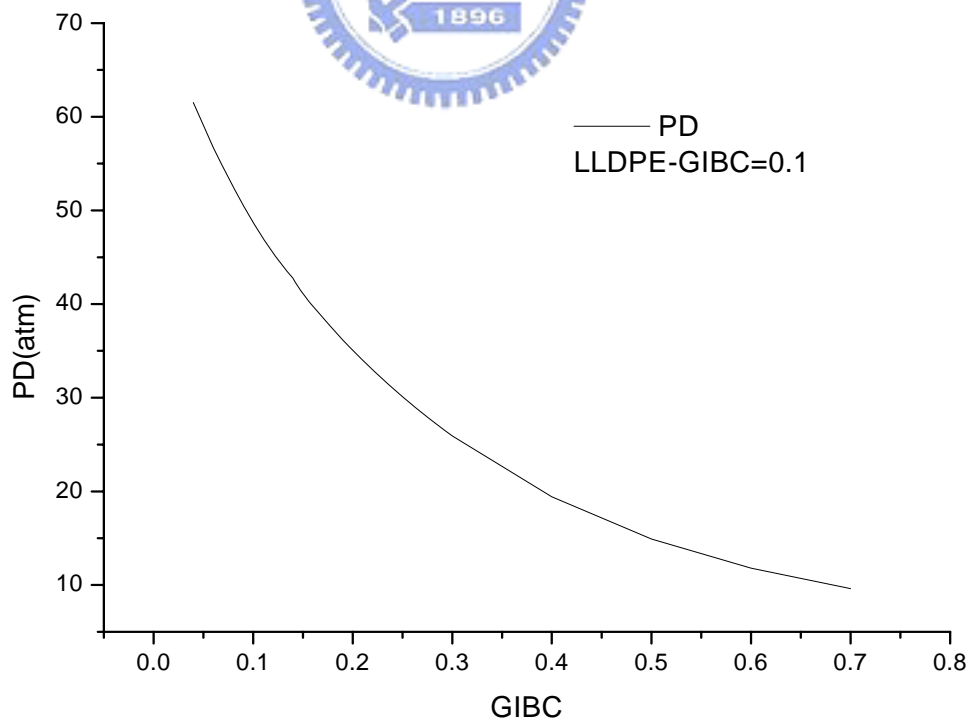
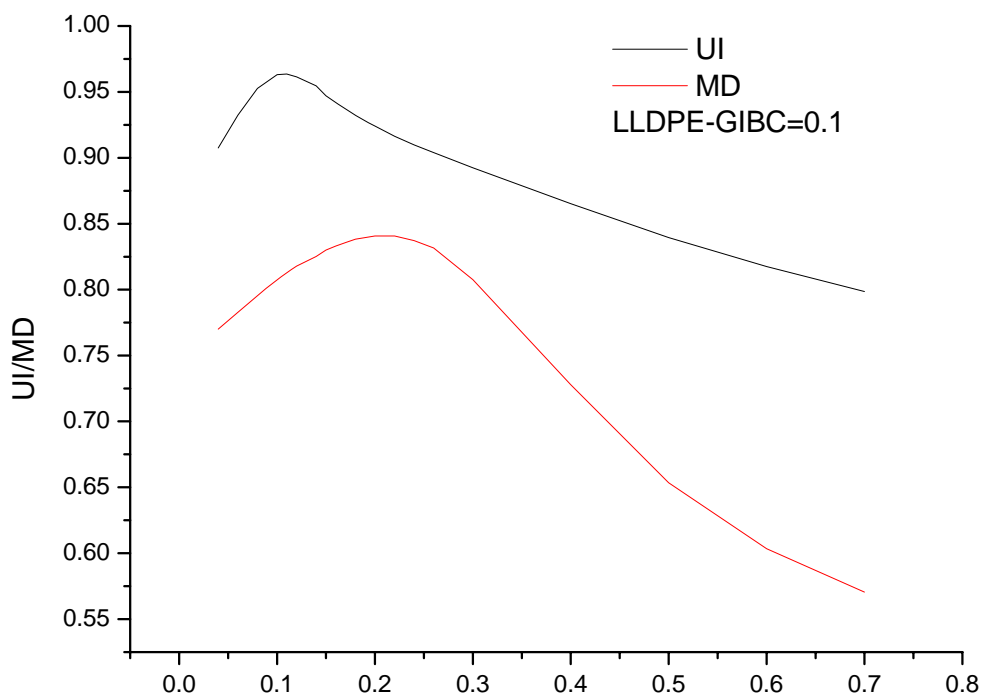


圖 61 起始間隙與 LLDPE(NOSPI=6)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

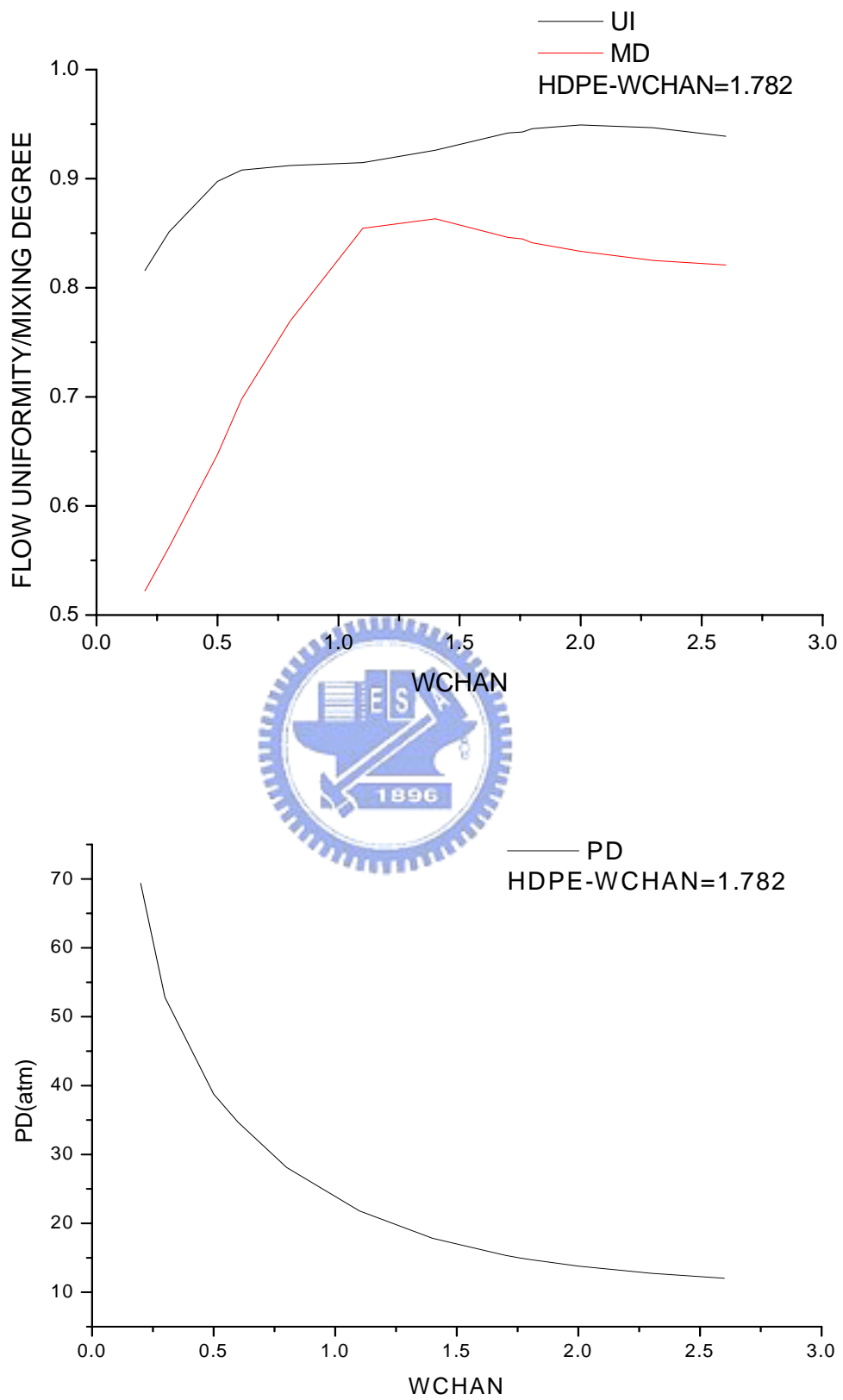


圖 62 起始溝寬與 HDPE(NOSPI=4)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

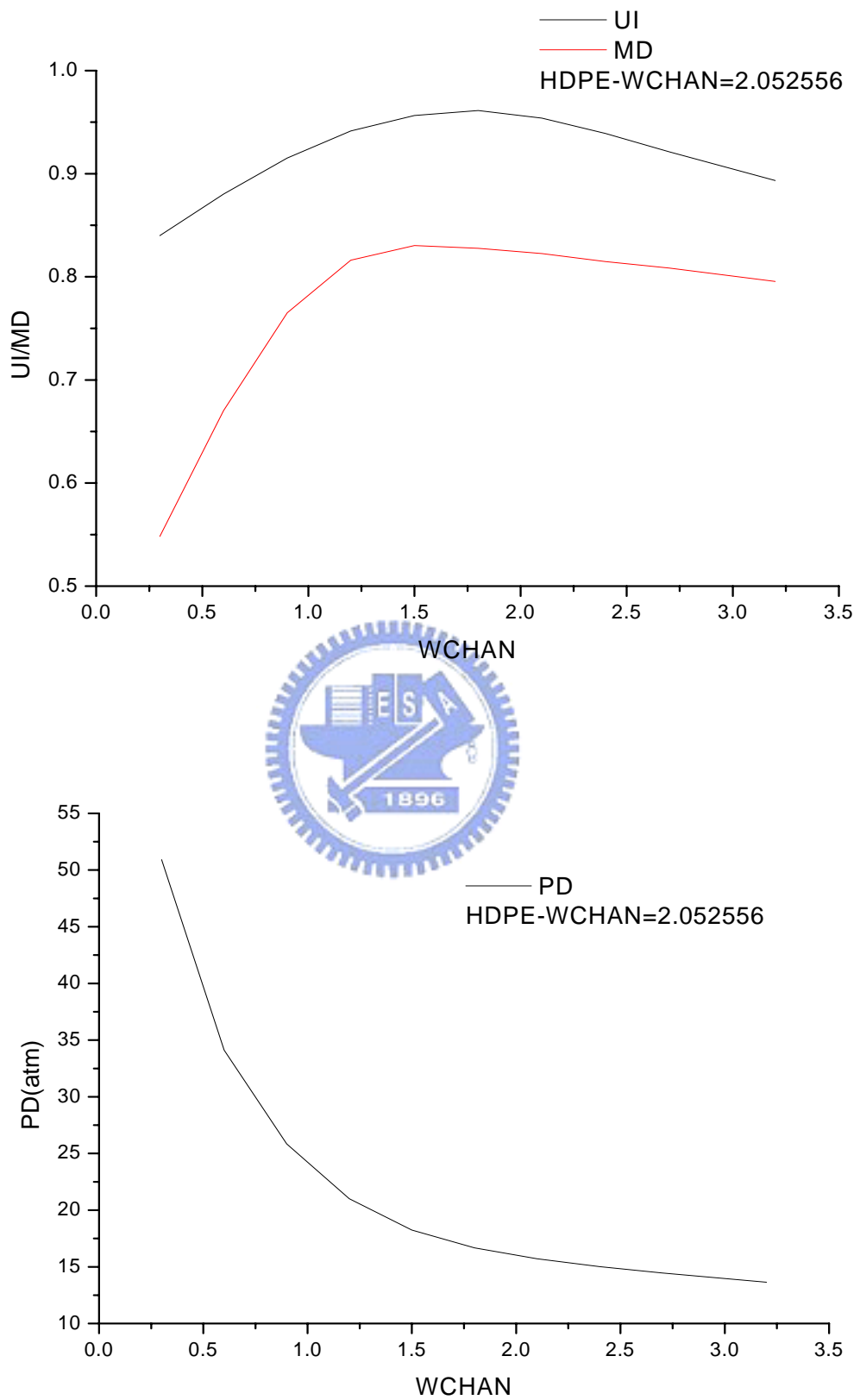


圖 63 起始溝寬與 HDPE(NOSPI=5)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

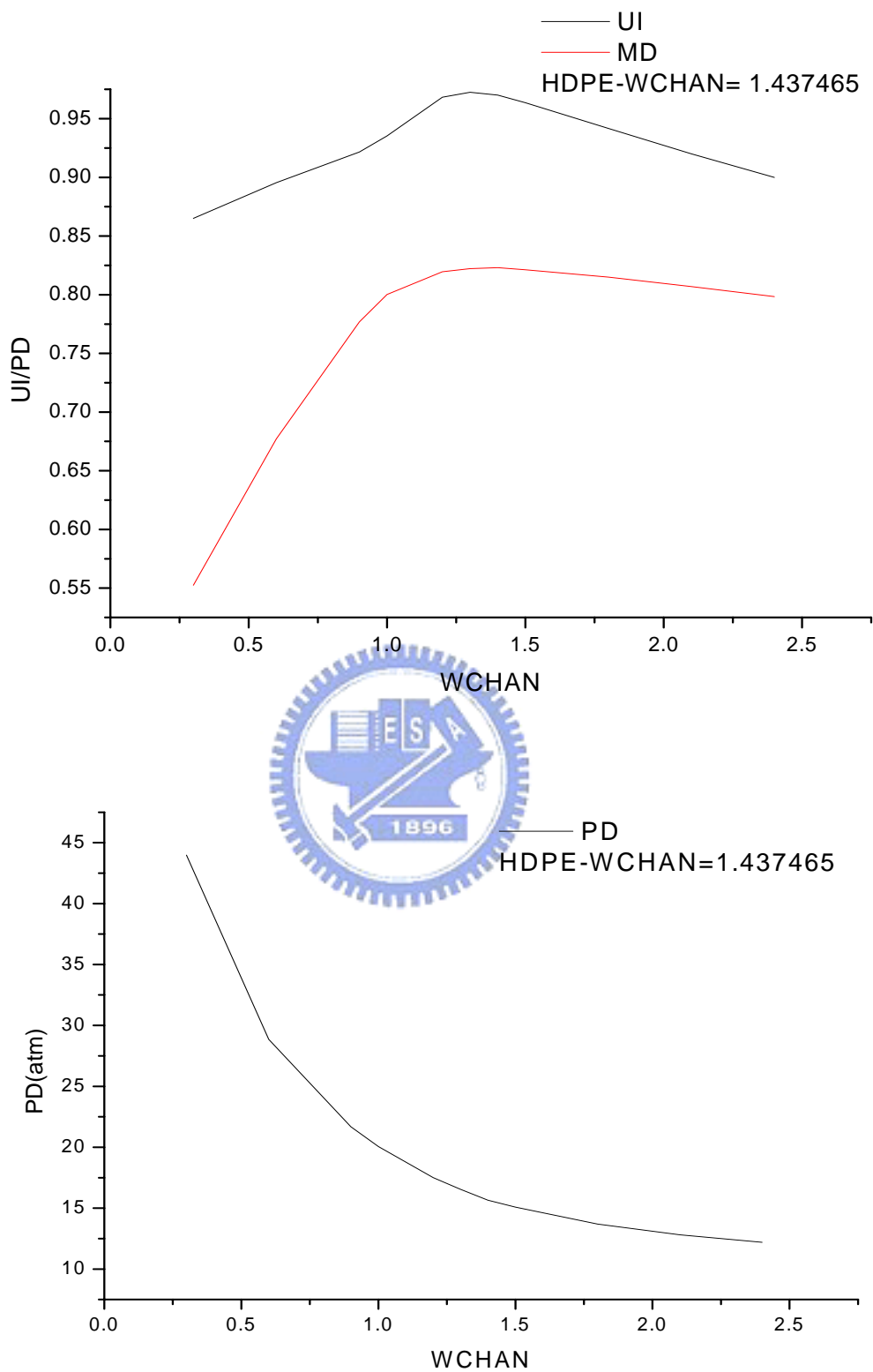


圖 64 起始溝寬與 HDPE(NOSPI=6)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

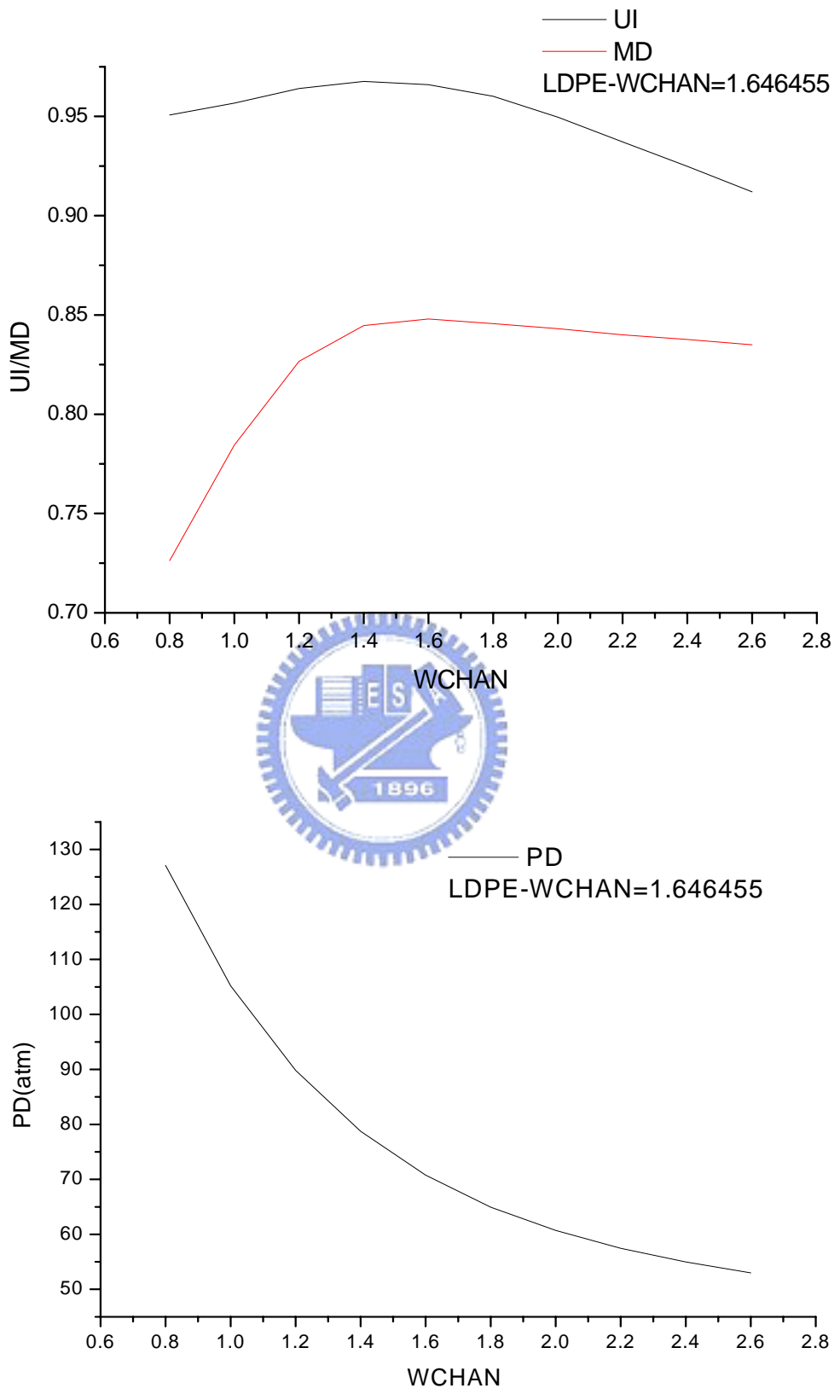


圖 65 起始溝寬與 LDPE(NOSPI=4)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖



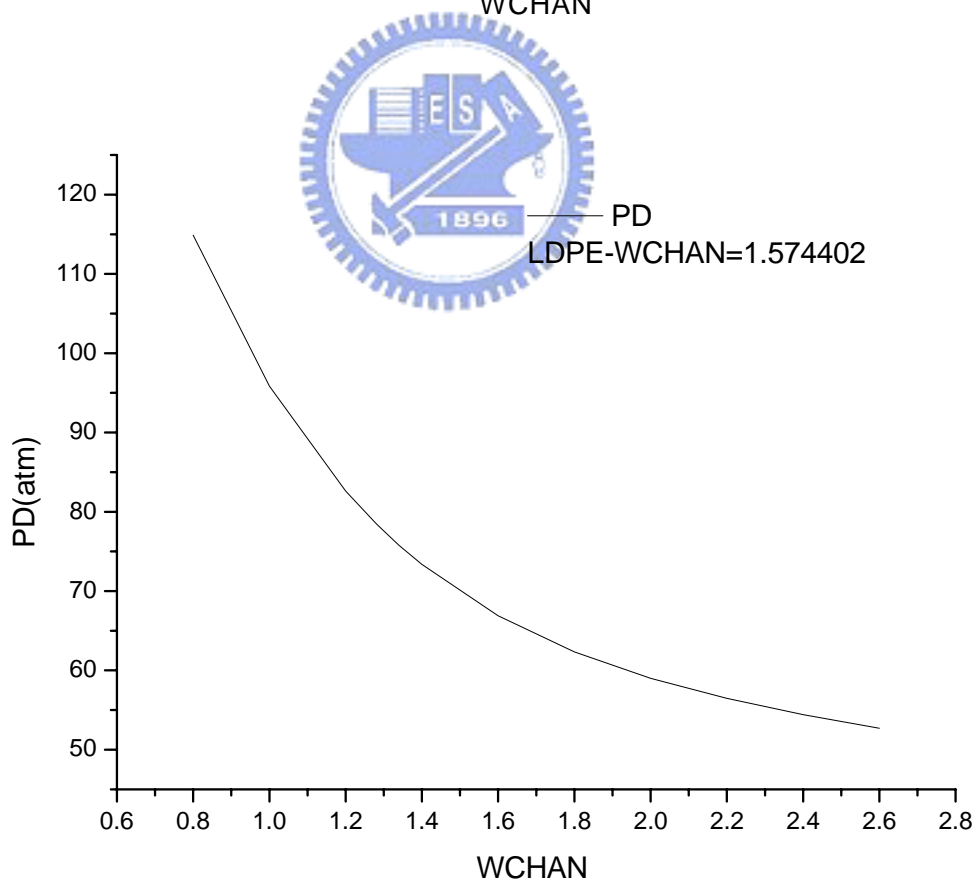
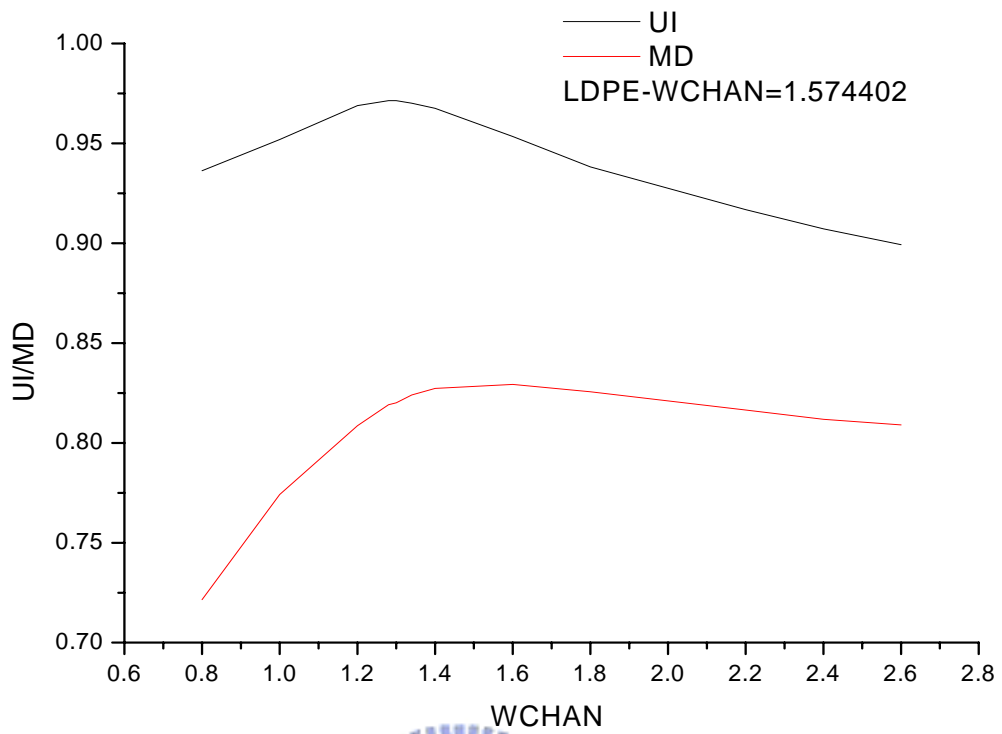


圖 66 起始溝寬與 LDPE(NOSPI=5)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

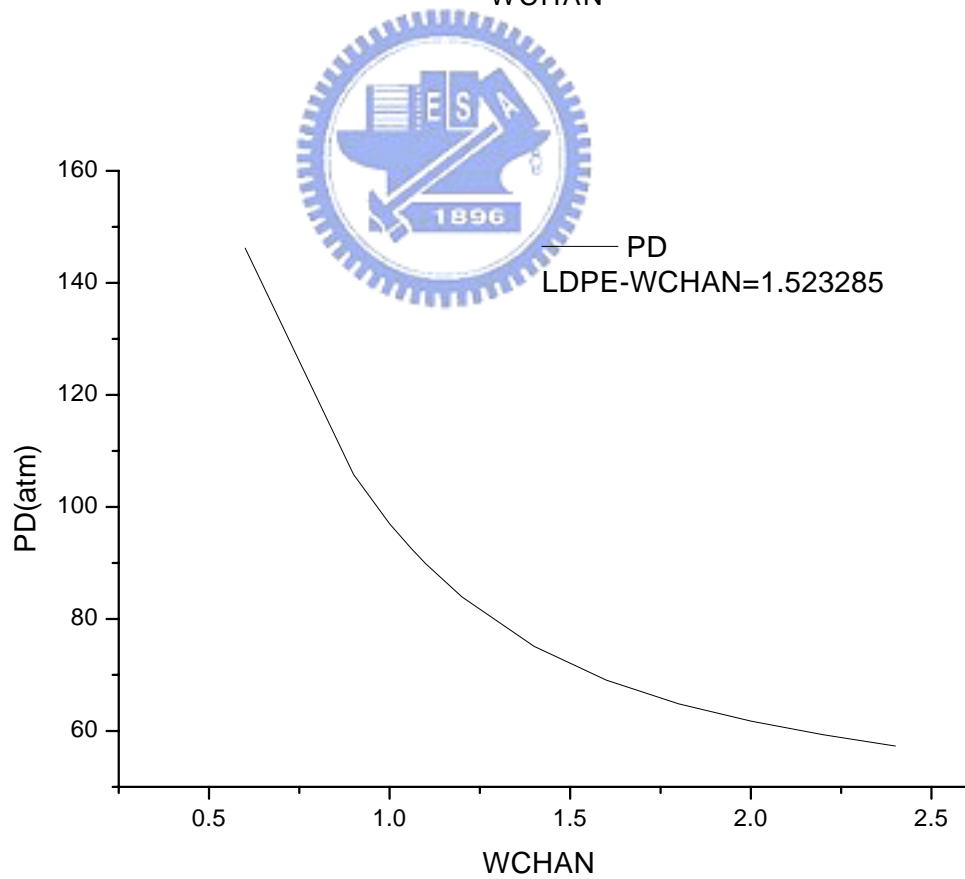
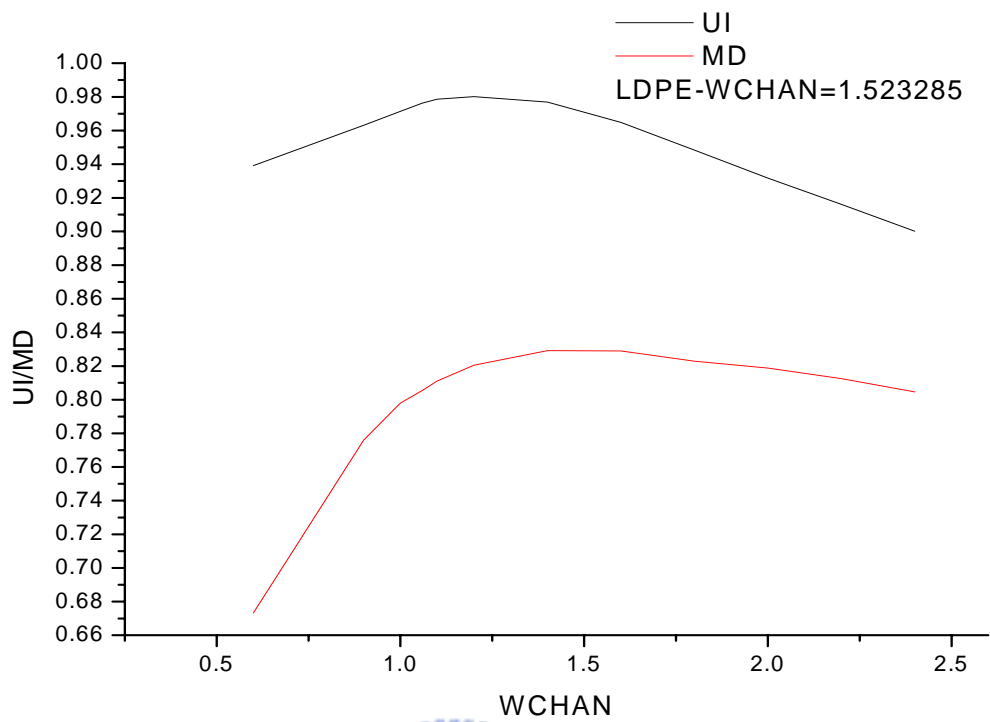


圖 67 起始溝寬與 LDPE(NOSPI=6)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

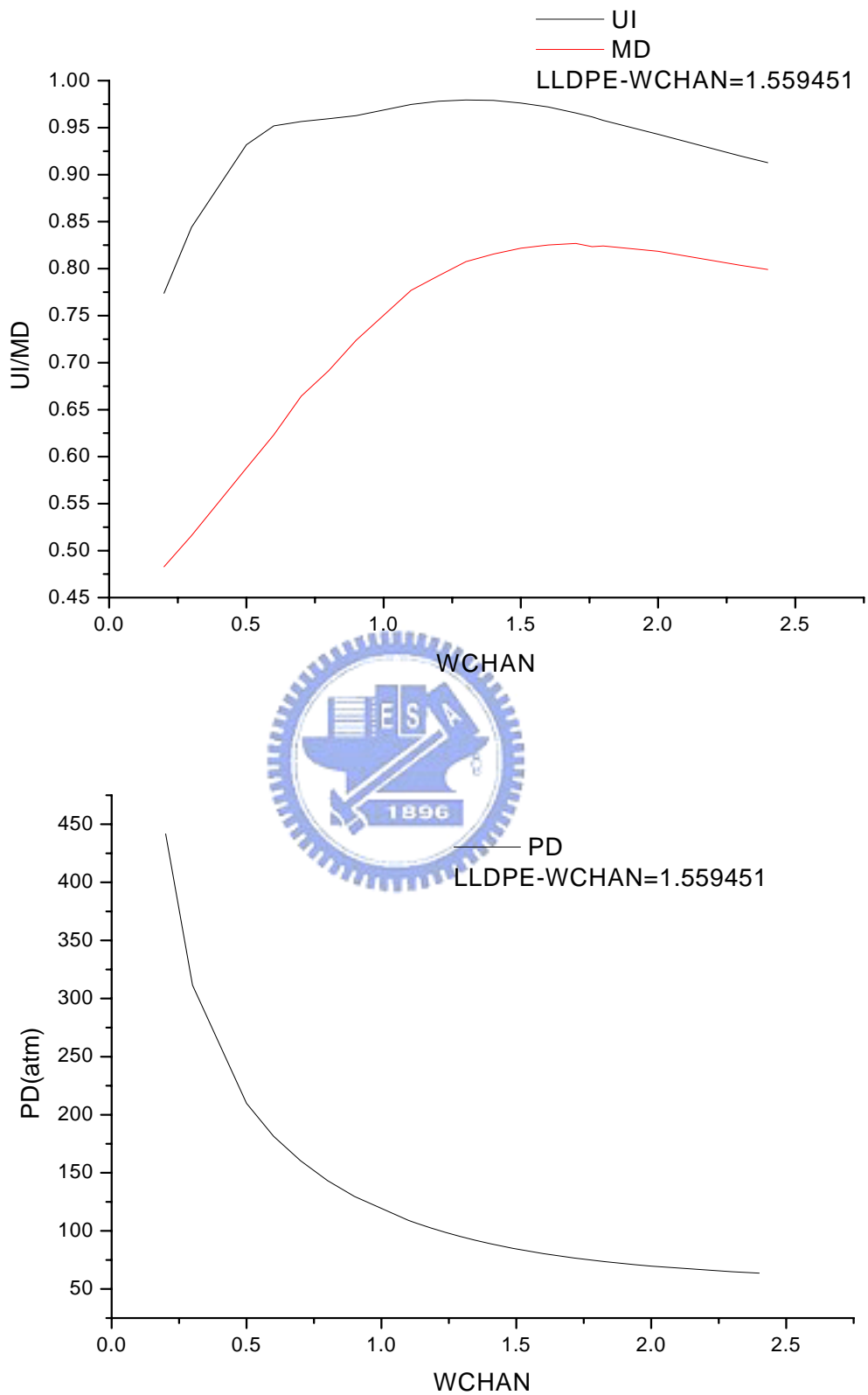


圖 68 起始溝寬與 LLDPE(NOSPI=4)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

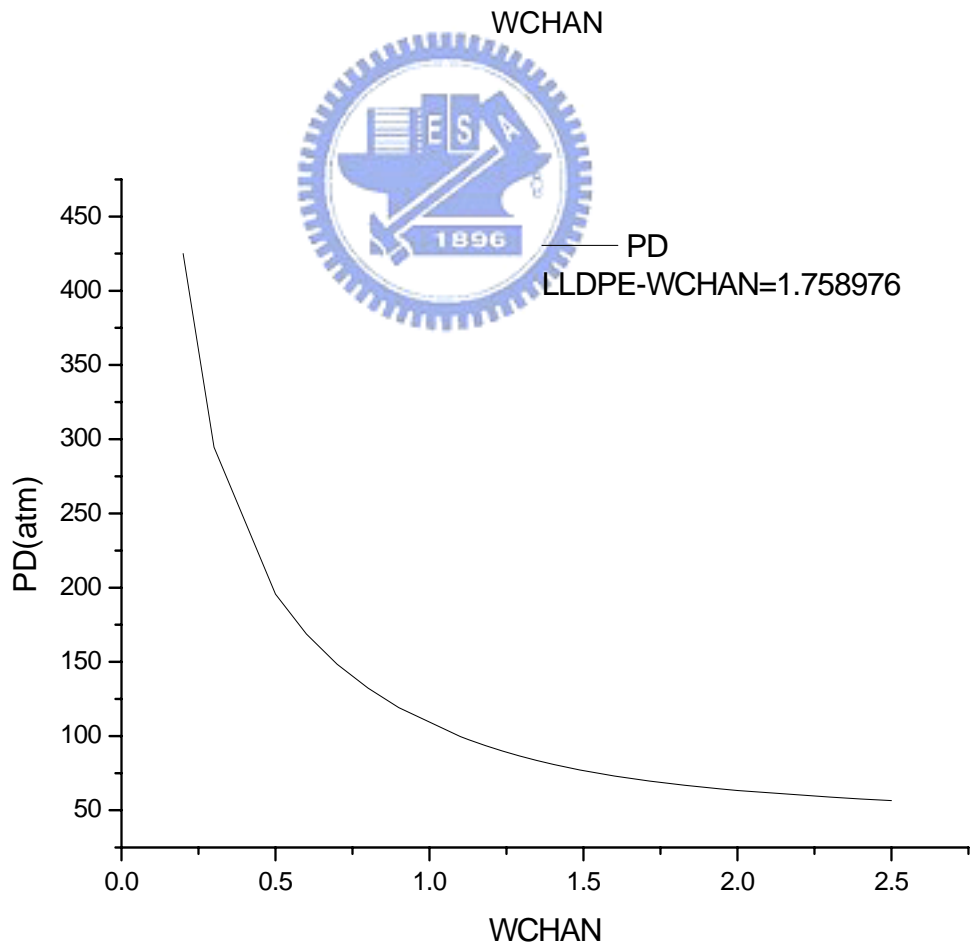
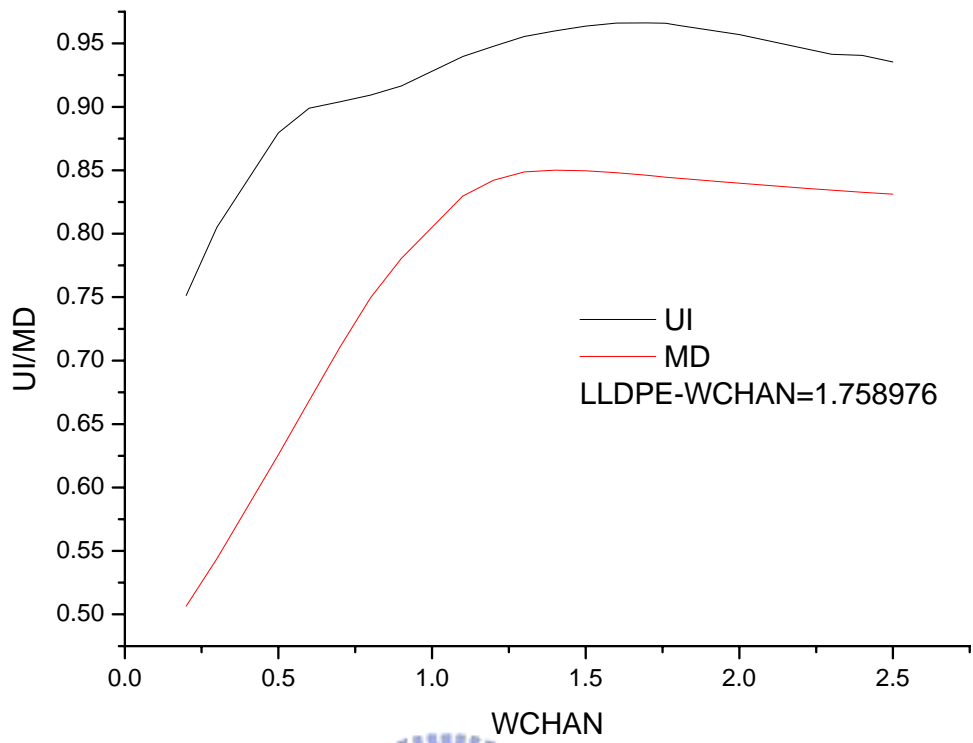


圖 69 起始溝寬與 LLDPE(NOSPI=5)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

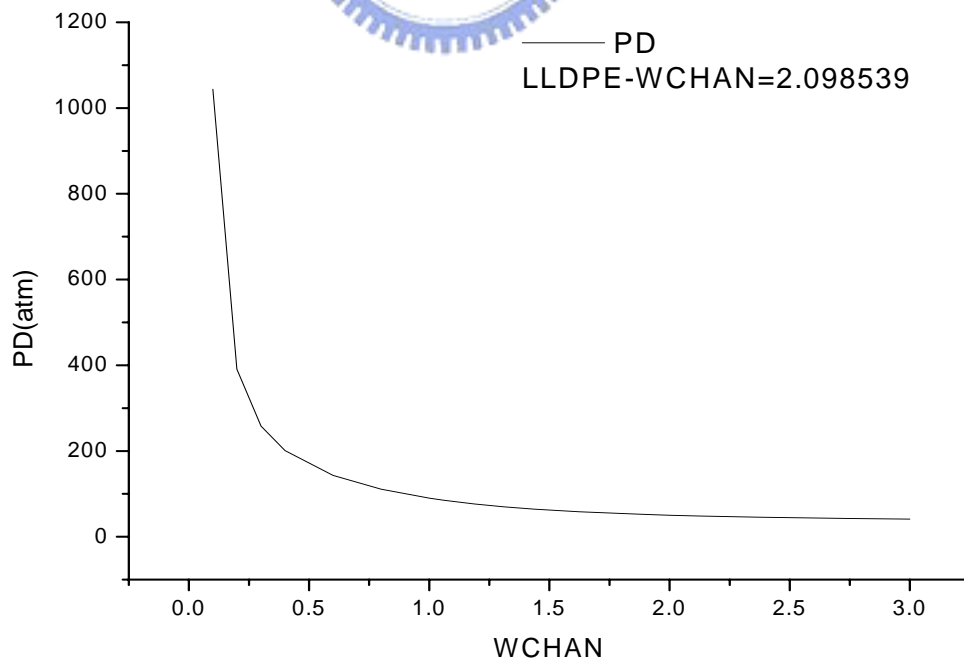
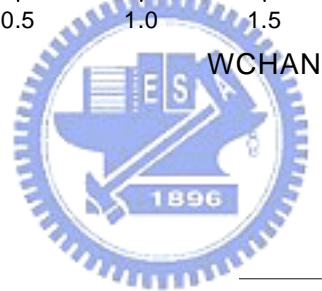
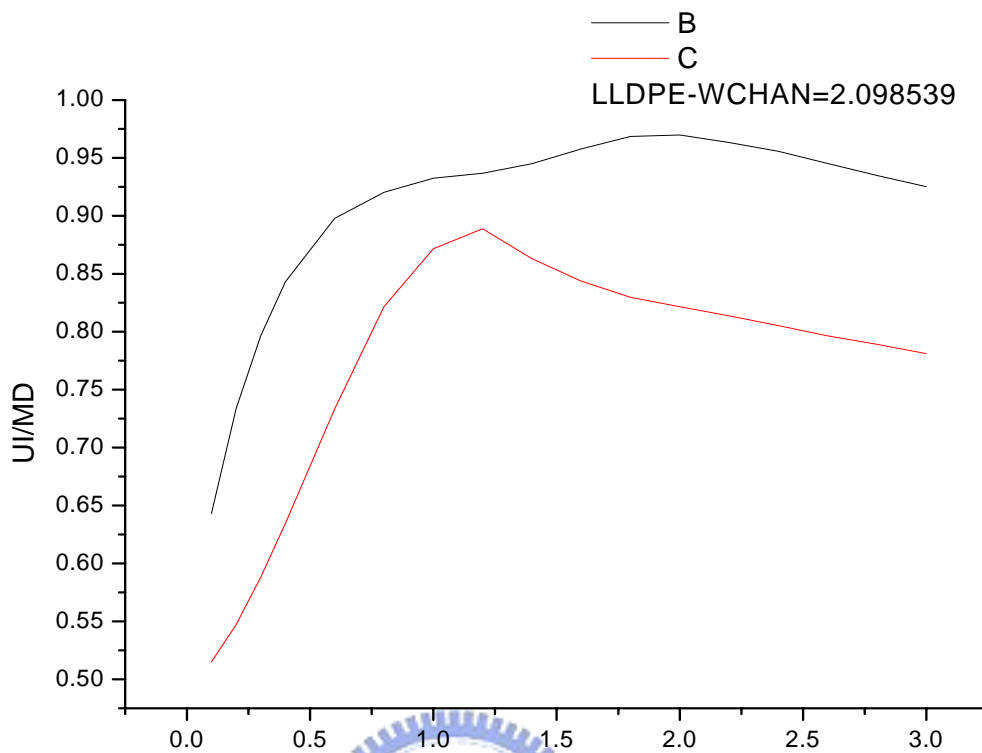


圖 70 起始溝寬與 LLDPE(NOSPI=6)流量均勻度、混合度與壓力降關係圖

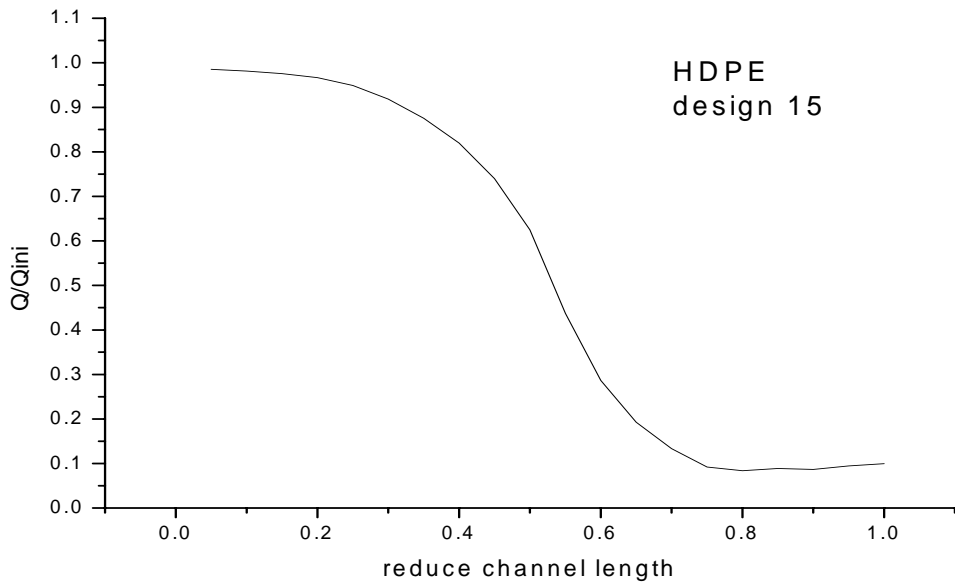


圖 71 HDPE(NOSPI=4)設計點 15 溝槽內流體體積流率之分佈

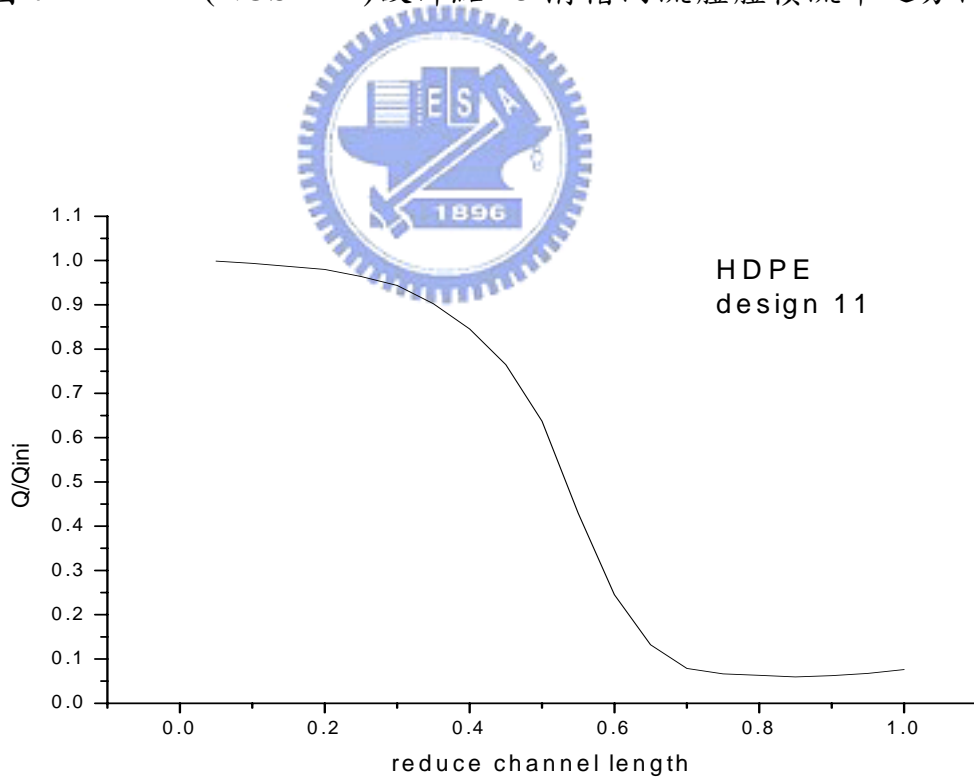


圖 72 HDPE(NOSPI=5)設計點 11 溝槽內流體體積流率之分佈

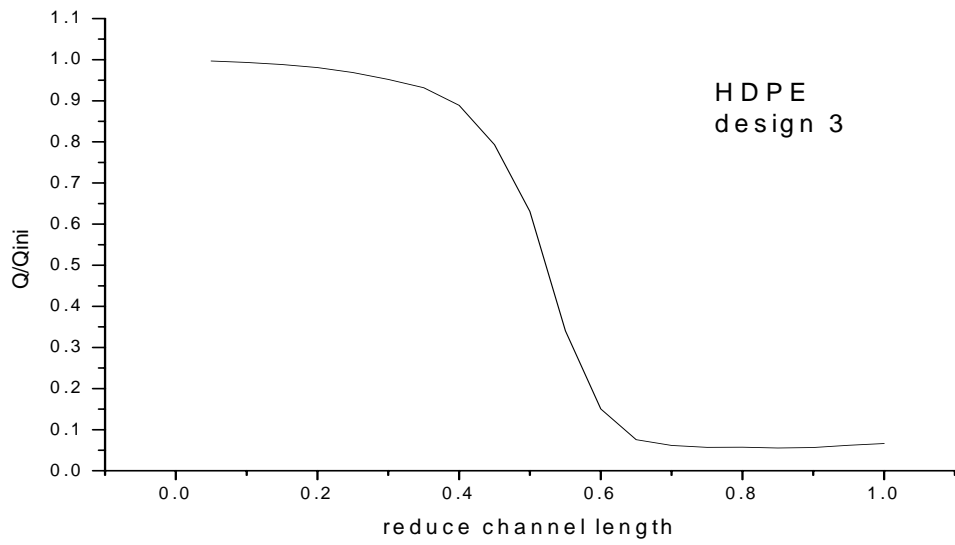


圖 73 HDPE(NOSPI=6)設計點 3 溝槽內流體體積流率之分佈

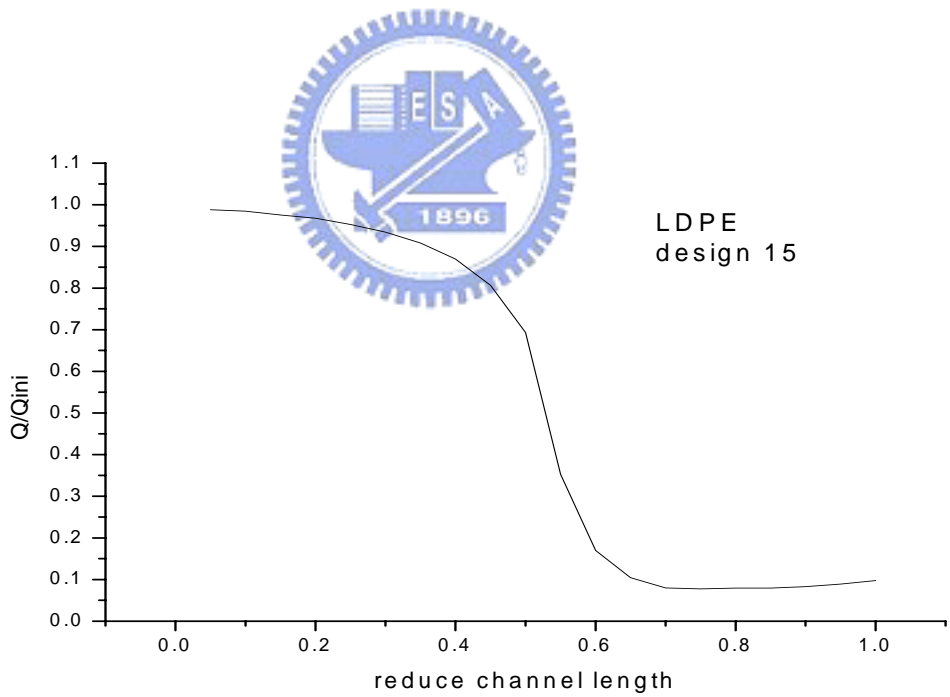


圖 74 LDPE(NOSPI=4)設計點 15 溝槽內流體體積流率之分佈

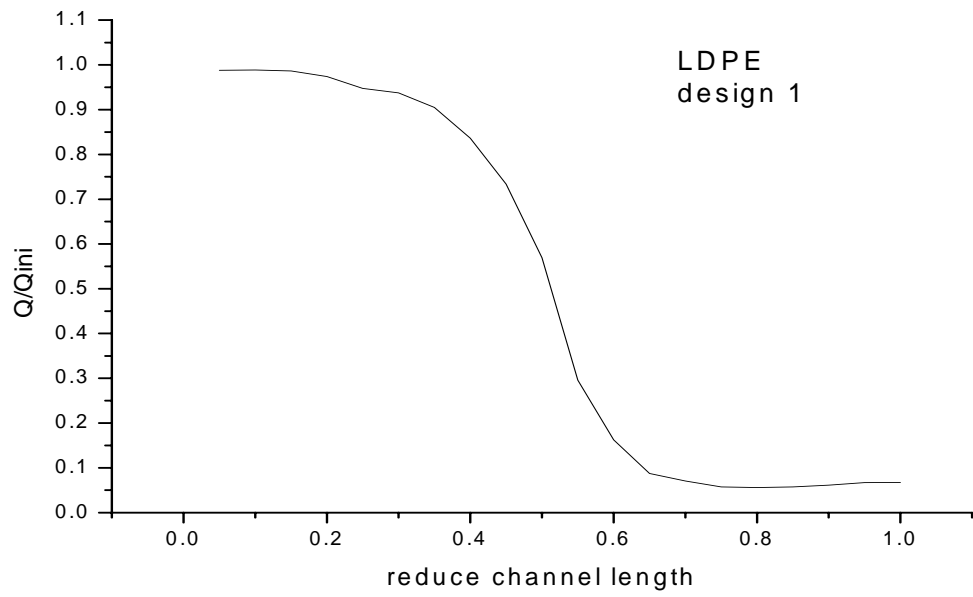


圖 75 LDPE(NOSPI=5)設計點 1 溝槽內流體體積流率之分佈

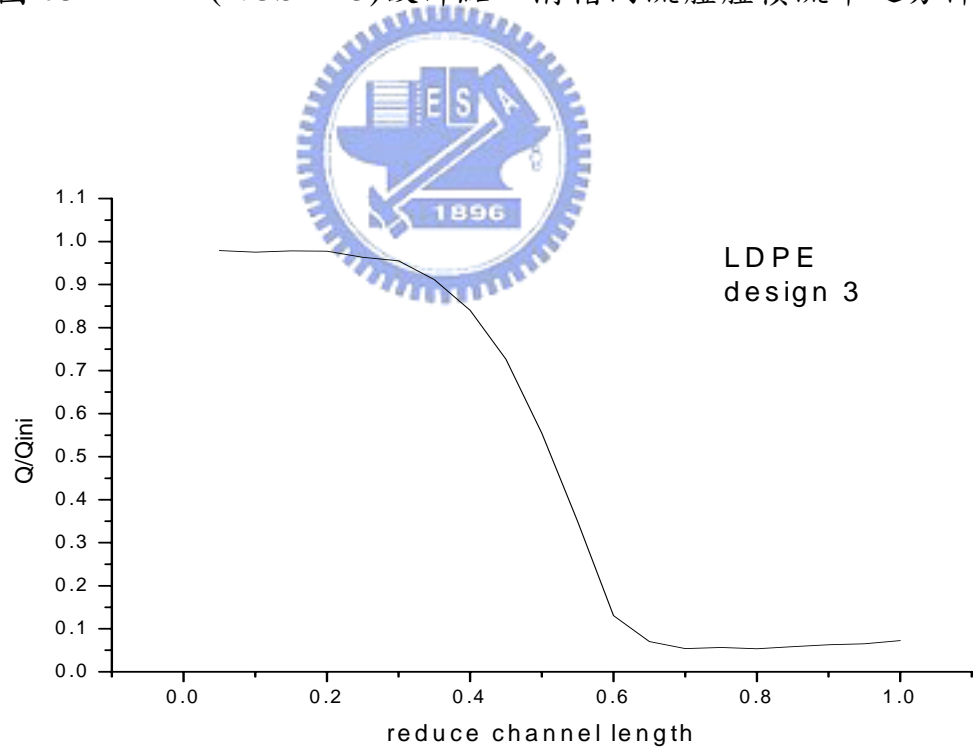


圖 76 LDPE(NOSPI=6)設計點 3 溝槽內流體體積流率之分佈



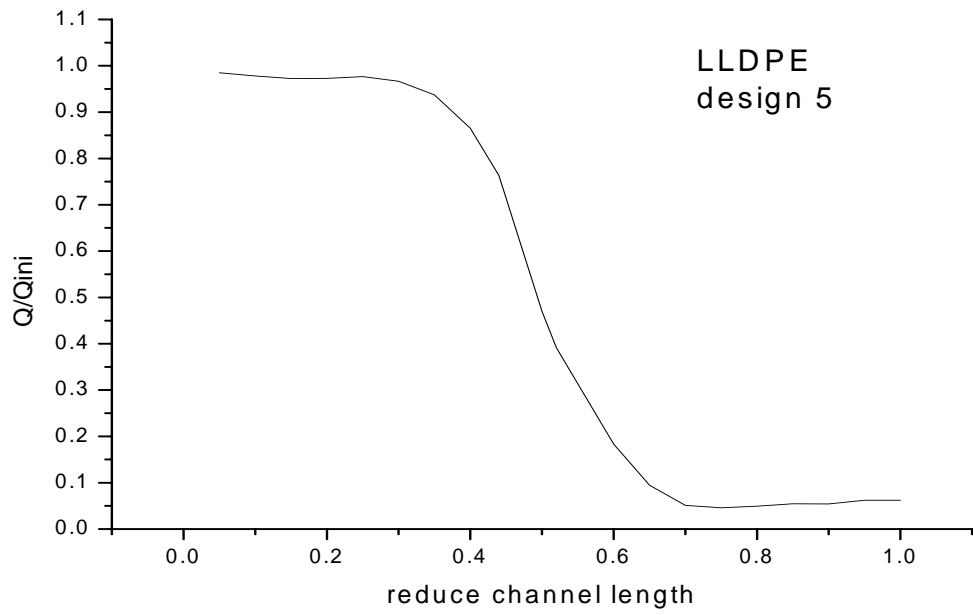


圖 77 LLDPE(NOSPI=4)設計點 5 溝槽內流體體積流率之分佈

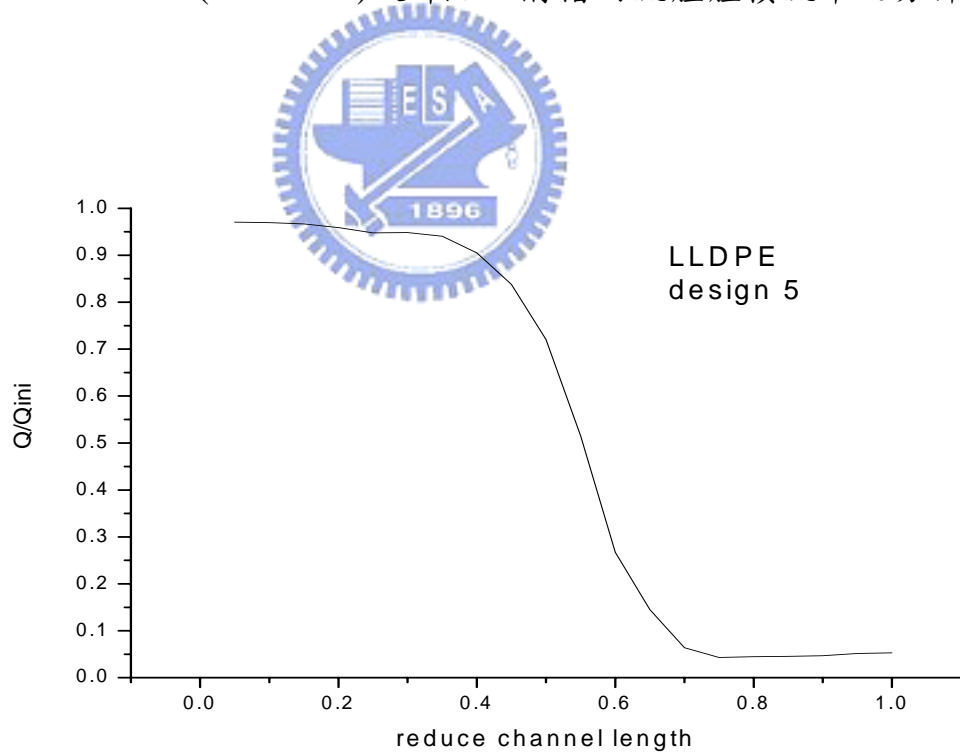


圖 78 LLDPE(NOSPI=5)設計點 5 溝槽內流體體積流率之分佈

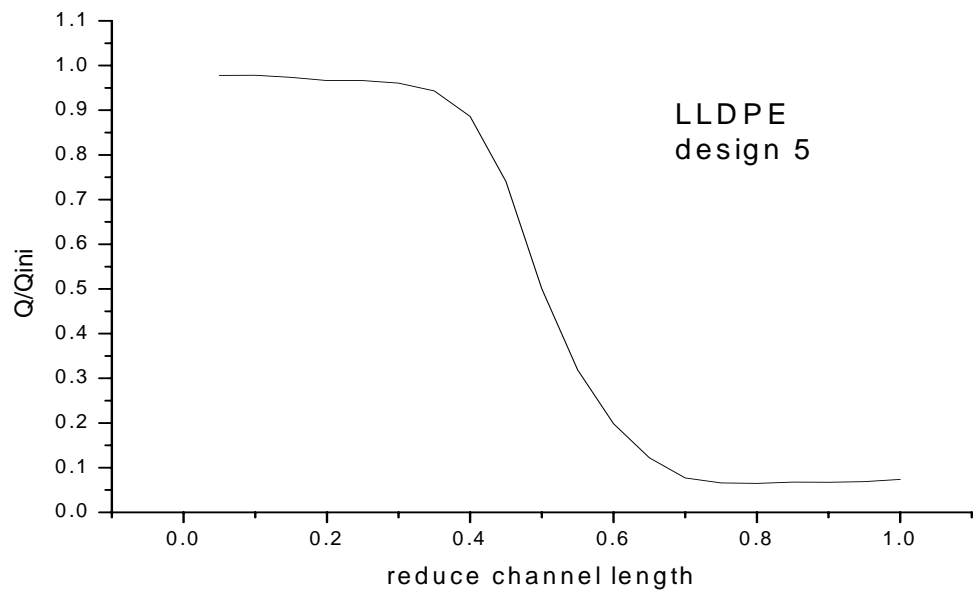


圖 79 LLDPE(NOSPI=6)設計點 5 溝槽內流體體積流率之分佈



## 參考文獻

1. J. Parnaby, G. A. Hassan, A. A. Helmy and A. Ali, *Plast. Rubber Process. Appl.*, 1, p. 303, 1981.
2. B. Proctor, *SPE J.*, 28, p. 34, 1972.
3. P. Saillard and J. F. Agassant, *Polym. Process. APPL.*, 2, p.37, 1984.
4. D. M. Kalyon, J. S. Yu and C. Du, *Polym. Process. Eng.*, 5, p. 179, 1987.
5. C. Rauwendaal, *Polym. Eng. Sci.*, 27, P. 186, 1987.
6. J. Vlcek, V. Kral and K. kouba, *Plast. Rubber Process. Appl.*, 4, p. 309, 1984.
7. J. Vlcek, J. Vlachopoulos and J. Perdikoulias, *Int. Polym. Process.*, 2, p. 174, 1988.
8. J. Perdikoulias, J. Vlcek and J. Vlachopoulos, *Adv. Polym. Technol.*, 7, p. 333, 1987.
9. J. Perdikoulias, J. Vlcek and J. Vlachopoulos, *Adv. Polym. Technol.*, 7, p. 111, 1990.
10. J. Perdikoulias, J. Vlcek and J. Vlachopoulos, *J. Plastic Film & Sheeting*, 5, p. 18, 1989.
11. E. J. Fahy and P. W. Gilmour, *Int. J. Numer. Meth. Eng.*, 23, p. 1, 1986.
12. K. Benkhoucha and D. H. Sebastian, *Proc. ANTEC*, p. 1774, 1989.
13. D. J. Fahy and J. Perdikoulias, *Proceedings of the 1st FIDAP user Conference*, p. 21, 1990.
14. 許振鵬, “吹袋模頭之流動模擬”, 國立交通大學, 碩士論文, 民國 79 年。
15. Chung-Ching Huang, *Polym. Eng. Sci.*, 38, p. 573, 1998.
16. M. Zatloukal et al, 2001, ”Numerical Simulation of Polymer Flow in Flat spiral Dies”, *Polymer Engineering and Science*, Vol.41, P1683-1694

17. 鍾清章, “田口式品質工程導論”, 中華民國品質管制學會, 民國 78 年 3 月.
18. 陶文鈺, “吹膜製程之螺旋心軸模頭之最佳化設計”, 國立交通大學, 碩士論文, 民國 90 年
19. W. Michaeli, “Extrusion Dies”, Hanser Publishers., 1984.
20. 羅大偉, “吹袋模頭之電腦輔助設計”, 國立交通大學, 碩士論文, 民國 86 年。

