

私立東海大學化學工程與材料工程研究所碩士論文

碩士論文

指導教授：張有義 博士

不同比例多元醇對軟質親水性聚氨基甲酸酯泡棉
(PU Foam)之物性影響的研究

The effect of polyol concentration on the physical
properties of hydrophilic polyurethane foam (PU
Foam)

研究生 賴紹翔 撰

中華民國一百零二年六月

中文摘要

傳統的聚氨基甲酸酯發泡體 (PU Foam) 其結構多呈現疏水性，對於水的親和力較差，本論文探討當固定胺觸媒 (Catalysts)、整泡劑 (Foam stabilizers) 和發泡劑 (Blowing agents) 等不同參數配方時，進行聚醚多元醇與 2 種不同 NCO% (NCO 15% 和 NCO 20%) 的 MDI 依不同比例的添加量在常溫下進行聚合反應，來置備出軟質且高吸水性的聚氨基甲酸酯發泡體 (PU Foam)，並將樣品進行各種物性的測試，觀察並比較其對於物性與結構上所造成的差異性。

Abstract

The structure of the conventional Polyurethane foam (PU Foam) appears more hydrophilic and the water affinity is poor. This thesis investigates the polymerization reaction at room temperature when the fixed various parameters formula of Catalysts, Foam stabilizers and Blowing agents against the MDI by adding different proportions of polyether polyol with two kinds of NCO% (NCO 15% and NCO 20%).

In order to make a hydrophobic Polyurethane foam (PU Foam) : The effects of the composition between polyether polyol concentration and NCO% on the physical properties of the Polyurethane foam (PU Foam) will be also investigate in the present thesis.

誌謝

首先，感謝指導老師 張有義教授對我的照顧和指導，他不只傳授專業知識給我們，還分享許多寶貴的人生經驗，並且耐心的教導我們不管是在實驗上還是日常生活中的所遭受到的困境，以及感謝徐治平老師、徐武軍老師的審查和建議，使得本論文內容更加完備。另外，感謝恭勤化工的王萬玉總經理，無私的傳授所學與耐心的指導實驗方向；王明宇副總經理讓我有機會學習到難得的實務經驗。

三年的研究所生涯，終於告一段落。在實驗室的三年學習到了很多，不管是實驗上還是待人處事方面，非常感謝實驗室的博班大學長鄭偉佑學長，每當在我實驗遇到瓶頸時，都能先放下手邊的工作來和我進行討論，在待人處事方面，也同樣教導我許多。感謝在實驗室裡的廖耿毅、鄭仲智、賴昱伶、卓采蓉學長姐，楊依縈、郭弘毅兩位同學，林資元、鄭迪霖、陳威達、姜睿緒、陳晉緯學弟群，因為有你們這幾年的幫助和照顧，讓研究室裡的氣氛如此溫馨歡樂。還有謝謝所有曾經教導過我的學長姐、學弟妹、同學和老師們，多虧了你們才能讓我順利的完成這份艱難的研究。

最後我要感謝我的家人，這二十幾年來的對我的扶養和教育，正因為您們的支持與愛護，才能讓我無後顧之憂的完成學業。以及我的幼稚園、國小、國中、高中和大學的同學們和認識的許多朋友，謝謝你們在我遇瓶頸和無聊時，能來陪我聊天逛街、吃美食。還有謝謝我的女友在我研究所生涯，忍受包容我的任性和壞脾氣。在研究室的日子有開心、有難過、有不爽，但不管怎說，這些都會是我最珍貴最珍貴的回憶，我會將它們牢牢記在我的腦海中，此生永遠難忘。

目 錄

中文摘要.....	III
Abstract.....	IV
誌謝.....	V
目 錄.....	VI
圖目錄.....	IX
表目錄.....	XVI
第一章 緒論.....	1
1-1 前言.....	1
1-2 研究目的.....	1
第二章 文獻回顧與原理介紹.....	3
2-1 聚氨基甲酸酯 (Polyurethane, PU).....	3
2-1-1 聚氨基甲酸酯的歷史與發展用途.....	3
2-1-2 聚氨基甲酸酯的反應機構.....	5
2-2 微相分離理論.....	7
2-2-1 軟鏈節效應.....	8
2-3 聚氨基甲酸酯的配方組成.....	9
2-3-1 多元醇 (Polyol).....	9
2-3-2 異氰酸酯 (Isocyanate).....	11
2-3-3 胺觸媒 (Catalysts).....	14
2-3-4 整泡劑 (Foam stabilizers).....	15
2-3-5 發泡劑 (Blowing agents).....	16
第三章 實驗方法.....	18
3-1 實驗流程圖.....	18
3-2 實驗儀器.....	19

3-3	實驗藥品	20
3-4	軟質吸水性 PU Foam 的製備	21
3-5	物性測試	22
3-5-1	試片製備	22
3-5-2	反應機制分析 – Fourier-Transform Infrared Spectrometer (FTIR)	22
3-5-3	表面結構分析 – Field Emission-Scanning Electron Microscope (FE-SEM)	23
3-5-4	機械強度和拉伸長度分析 – Instron	23
3-5-5	硬度分析 – Durometer Hardness	23
3-5-6	含水率與脫水速率分析 – Thermogravimetric Analysis (TGA)	24
3-5-6-1	含水率分析	24
3-5-6-2	脫水速率分析	24
第四章	結果與討論	26
4-1	FT-IR 判斷 OH 基殘餘多寡之機制	27
4-2	親水性 PU Foam 的物性分析	32
4-2-1	PU Foam 表面與內部的泡孔結構	32
4-2-2	PU Foam 機械性質的分析	43
4-2-3	硬度分析	47
4-2-4	PU Foam 含水率與脫水速率的分析	51
4-2-4-1	含水率分析	51
4-2-4-2	脫水速率	55
第五章	結論與建議	59
	參考文獻	62

附錄.....	64
附錄 A.....	64
附錄 B.....	69
簡歷.....	70

圖目錄

圖(2-1)	聚氨基甲酸酯彈性體的模型示意圖.....	7
圖(2-2)	常見聚酯多元醇之化學結構.....	10
圖(2-3)	常見聚醚多元醇之化學結構.....	10
圖(2-4)	常見芳香族異氰酸酯之化學結構.....	12
圖(2-5)	常見脂肪族異氰酸酯之化學結構.....	12
圖(2-6)	常見的 PU 發泡界面活性劑的化學結構	15
圖(2-7)	水、醯胺、三級醇和活性 Methylene 做為發泡劑時的反應式	17
圖(3-1)	吸水性 PU Foam 的實驗流程圖	18
圖(4-1)	利用 FTIR 測量 PU Foam 的官能基在不同波長下的吸收值 (其中， (SR451 : JH330 = 1 : 1) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	29
圖(4-2)	利用 FTIR 測量 PU Foam 的官能基在不同波長下的吸收值 (其中， (SR451 : JH330 = 1 : 2) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	29
圖(4-3)	利用 FTIR 測量 PU Foam 的官能基在不同波長下的吸收值 (其中， (SR451 : JH330 = 2 : 1) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	30
圖(4-4)	利用 FTIR 測量 PU Foam 的官能基在不同波長下的吸收值 (其中， (SR451 : JH330 = 1 : 1) : MDI 20% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	30
圖(4-5)	利用 FTIR 測量 PU Foam 的官能基在不同波長下的吸收值 (其中， (SR451 : JH330 = 1 : 2) : MDI 20% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	31
圖(4-6)	利用 FTIR 測量 PU Foam 的官能基在不同波長下的吸收值 (其中，	

	(SR451 : JH330 = 2 : 1) : MDI 20% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	31
圖(4-7)	利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中 , (SR451 : JH330 = 1 : 1) : MDI 15% = 2 : 1 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%).....	34
圖(4-8)	利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中 , (SR451 : JH330 = 1 : 1) : MDI 15% = 1.25 : 1 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%).....	34
圖(4-9)	利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中 , (SR451 : JH330 = 1 : 1) : MDI 15% = 1 : 1.5 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%).....	35
圖(4-10)	利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中 , (SR451 : JH330 = 1 : 2) : MDI 15% = 2 : 1 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%).....	35
圖(4-11)	利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中 , (SR451 : JH330 = 1 : 2) : MDI 15% = 1.25 : 1 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%).....	36
圖(4-12)	利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中 , (SR451 : JH330 = 1 : 2) : MDI 15% = 1 : 1.5 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%).....	36
圖(4-13)	利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中 , (SR451 : JH330 = 2 : 1) : MDI 15% = 1.75 : 1 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%).....	37
圖(4-14)	利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中 , (SR451 : JH330 = 2 : 1) : MDI 15% = 1 : 1 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B	

	8870 = 0.8wt%).....	37
圖(4-15)	利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 2 : 1) : MDI 15% = 1 : 1.75 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%).....	38
圖(4-16)	利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 1) : MDI 20% = 2 : 1 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%).....	38
圖(4-17)	利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 1) : MDI 20% = 1.25 : 1 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%).....	39
圖(4-18)	利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 1) : MDI 20% = 1 : 1.5 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%).....	39
圖(4-19)	利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 2) : MDI 20% = 2.5 : 1 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%).....	40
圖(4-20)	利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 2) : MDI 20% = 1.75 : 1 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%).....	40
圖(4-21)	利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 2) : MDI 20% = 1 : 1 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%).....	41
圖(4-22)	利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 2 : 1) : MDI 20% = 2 : 1 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%).....	41

圖(4-23)	利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 2 : 1) : MDI 20% = 1.25 : 1 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%).....	42
圖(4-24)	利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 2 : 1) : MDI 20% = 1 : 1.5 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%).....	42
圖(4-25)	利用 Instron 測量軟質吸水性 PU foam 的 Modulus (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 1) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	44
圖(4-26)	利用 Instron 測量軟質吸水性 PU foam 的 Elongation(其中, (SR451 : JH330 = 1 : 1) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	44
圖(4-27)	利用 Instron 測量軟質吸水性 PU foam 的 Modulus (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 2) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	45
圖(4-28)	利用 Instron 測量軟質吸水性 PU foam 的 Elongation(其中, (SR451 : JH330 = 1 : 2) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	45
圖(4-29)	利用 Instron 測量軟質吸水性 PU foam 的 Modulus (其中, (SR451 : JH330 = 2 : 1) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	46
圖(4-30)	利用 Instron 測量軟質吸水性 PU foam 的 Elongation(其中, (SR451 : JH330 = 2 : 1) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	46
圖(4-31)	利用硬度計測量軟質吸水性 PU Foam 的硬度 (其中, (SR451 : JH330	

	= 1:1) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	48
圖(4-32)	利用硬度計測量軟質吸水性 PU Foam 的硬度 (其中 , (SR451 : JH330 = 1:2) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	48
圖(4-33)	利用硬度計測量軟質吸水性 PU Foam 的硬度 (其中 , (SR451 : JH330 = 2:1) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	49
圖(4-34)	利用硬度計測量軟質吸水性 PU Foam 的硬度 (其中 , (SR451 : JH330 = 1:1) : MDI 20% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	49
圖(4-35)	利用硬度計測量軟質吸水性 PU Foam 的硬度 (其中 , (SR451 : JH330 = 1:2) : MDI 20% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	50
圖(4-36)	利用硬度計測量軟質吸水性 PU Foam 的硬度 (其中 , (SR451 : JH330 = 2:1) : MDI 20% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	50
圖(4-37)	利用 TGA 測量軟質吸水性 PU Foam 的含水率 (其中 , (SR451 : JH330 = 1:1) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	52
圖(4-38)	利用 TGA 測量軟質吸水性 PU Foam 的含水率 (其中 , (SR451 : JH330 = 1:2) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	52
圖(4-39)	利用 TGA 測量軟質吸水性 PU Foam 的含水率 (其中 , (SR451 : JH330 = 2:1) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	

.....	53
圖(4-40) 利用 TGA 測量軟質吸水性 PU Foam 的含水率(其中, (SR451 : JH330 = 1 : 1) : MDI 20% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	53
圖(4-41) 利用 TGA 測量軟質吸水性 PU Foam 的含水率(其中, (SR451 : JH330 = 1 : 2) : MDI 20% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	54
圖(4-42) 利用 TGA 測量軟質吸水性 PU Foam 的含水率(其中, (SR451 : JH330 = 2 : 1) : MDI 20% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	54
圖(4-43) 利用 TGA 測量軟質吸水性 PU Foam 的脫水速率 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 1) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	56
圖(4-44) 利用 TGA 測量軟質吸水性 PU Foam 的脫水速率 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 2) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	56
圖(4-45) 利用 TGA 測量軟質吸水性 PU Foam 的脫水速率 (其中, (SR451 : JH330 = 2 : 1) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	57
圖(4-46) 利用 TGA 測量軟質吸水性 PU Foam 的脫水速率 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 1) : MDI 20% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	57
圖(4-47) 利用 TGA 測量軟質吸水性 PU Foam 的脫水速率 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 2) : MDI 20% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)	58

圖(4-48) 利用 TGA 測量軟質吸水性 PU Foam 的脫水速率 (其中 , (SR451 :
JH330 = 2 : 1) : MDI 20% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 =
0.8wt%)58

表目錄

表(2-1) 聚氨基甲酸酯 (Polyurethane) 的分類特性與應用	3
表(2-2) 聚氨基甲酸酯 (Polyurethane) 的發展歷史概況	4
表(2-3) 多異氰酸酯的種類和特性.....	13
表(2-4) 多元異氰酸酯的物理性質.....	13
表(2-5) 常見的物理發泡劑之種類和性質.....	16
表(3-1) 實驗儀器清單	19
表(3-2) 實驗藥品清單	20
表(4-1) PU Foam 官能基的波長範圍	28

第一章 緒論

1-1 前言

聚氨基甲酸酯是近代工業界中發展最迅速的廣泛應用型高分子材料。在反應時，選擇不同數目或著不同結構排列的官能基團化合物，以及使用不同的合成方法，即可製備出許多優良性質、各式各樣型態成品的聚氨基甲酸酯材料，例如：發泡體、彈性體、黏著劑、塗料、彈性纖維和合成皮革等多種。這些不同的型態成品可被廣泛應用在物流運輸、皮革工業、製衣工業、生醫科技等不同領域中，使得聚氨基甲酸酯材料成為一種在日常生活和工業應用上極為重要的材料^{1,2}。

在眾多的聚氨基甲酸酯材料中，以發泡體型態最被廣泛應用，主要是因為聚氨基甲酸酯發泡體可藉由不同的原料種類和加工方式生產出擁有不同物理性質和結構型態的發泡體。目前主要可分為軟質發泡、硬質發泡、半硬質發泡三大類型。軟質發泡體具有優良的彈性、回復力、吸音、透氣、保溫等特性，主要應用在傢俱和交通工具墊材、隔音材料、防震材料和隔熱保溫材料等^{3,4}；而硬質發泡體具有隔音、絕緣、防震、耐熱、耐寒等優良性質，應用在隔熱材料、隔音功能的建材或是船舶的冷凍庫等；而微孔型發泡體介於軟質與硬質發泡體之間，可以應用於鞋墊、鞋底材料或是運動用品上⁵。

1-2 研究目的

現今市面上使用的吸水材以 PVF Foam 居多，主要是因為 PVF Foam 本身結構中的側鏈上含有大量親水性羥基使其具有高吸水的特性，另外在濕潤下也會呈現出柔軟且具有彈性的優點，但在乾燥時卻會形成耐衝擊性和高拉伸強度的硬質多孔性材料。

而聚氨基甲酸酯發泡體是由軟鏈節和硬鏈節所組成，具有相分離的特性，使其在常溫下仍然能呈現柔軟、有彈性的狀態。但由於傳統的聚氨基甲酸酯發泡體

其結構多呈現疏水性，使其整體對於水的親和力差，所以為了要提高發泡體的親水能力，必須在發泡體的結構中引入含有親水基團的多元醇。由於親水鏈節會接枝在聚氨基甲酸酯發泡體的結構上，所以在使用發泡體的過程時親水鏈節是不會隨著水而析出⁶。

本研究的目的是為在固定胺觸媒 (Catalysts)、整泡劑 (Foam stabilizers) 和發泡劑 (Blowing agents) 等不同參數配方，再使用 2 種不同的聚醚多元醇以 3 種不同含量均勻混合，最後將這 3 種聚醚多元醇配方分別與 2 種不同 NCO% 的 MDI (Diphenylmethane-4,4-diisocyanate) 進行聚合反應，並對所得到的聚氨基甲酸酯發泡體進行一系列物性測試與結構觀察，期許能獲得性能更佳以及高吸水的聚氨基甲酸酯發泡體。

第二章 文獻回顧與原理介紹

2-1 聚氨基甲酸酯 (Polyurethane, PU)

2-1-1 聚氨基甲酸酯的歷史與發展用途

聚氨基甲酸酯 (Polyurethane) 又稱 PU，是一種由軟質段和硬質段交替相連而成的高分子。由於其擁有許多優良的性質，如高撕裂強度、高抗張強度、高彈性、防水性、耐油性、耐磨性等優點，可製成的產品類型有發泡體、彈性體、黏著劑、塗料、彈性纖維和合成皮革等多種⁷，分別可以應用在交通運輸、建築業、傢俱、紡織業和醫療諸多領域上。就因為聚氨基甲酸酯的型態、結構和性質非常多樣化，使得它成為近代工業發展中極為廣泛被應用的高分子材料。以下表(2-1)和表(2-2)分別為聚氨基甲酸酯的分類特性與應用和發展歷史概況。

表(2-1) 聚氨基甲酸酯 (Polyurethane) 的分類特性與應用⁸

分類	特性	應用發展
發泡體	高彈性、耐強變、耐油、耐溶劑、 冷熱絕緣、吸音效果佳。	傢俱、隔音、隔熱、床墊、 運動器材、航空建材。
彈性體	高彈性、耐磨、耐油、耐酸鹼、耐衝擊、 耐荷重、耐低溫性。	輪胎、密封材料、皮帶、滾輪、 齒輪、鞋底、鞋墊、
接著劑	耐水、耐油、耐臭氣、耐藥品、耐熱、 耐磨、反彈性優。	皮革、木材、金屬表面、 合成皮、橡膠、纖維素、鞋子。
塗料	密著性、硬度高、耐磨、耐候性、 耐藥品性、耐加水分解。	非鐵金屬、木板、合板、天然 橡膠塗佈、汽車混凝土表面批 覆、PVC、ABS、PC、絕緣材 料、木製地板用密封材。
彈性纖維	耐拉伸、耐熱、耐磨、耐酸鹼、 耐彎曲疲勞。	運動服、針織、基布、 包帶類及其他項目。
合成皮革	耐水解、耐屈曲、彈性、透氣、透濕。	沙發、皮包、衣料、鞋用。

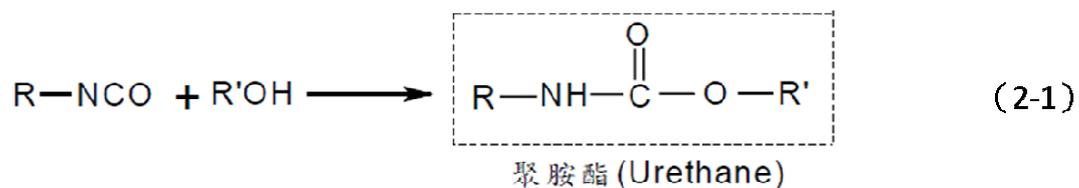
表(2-2) 聚氨基甲酸酯 (Polyurethane) 的發展歷史概況⁷

年份	主要概況
西元 1849 年代	德國化學家 Wurtz 用硫酸烷基酯與氰酸鉀進行分解反應製得烷基異氰酸酯。
西元 1937 年代	德國 I.G.Farben (Bayer 公司的前身) O.Bayer 教授發現了異氰酸酯與活潑氫化物的聚合反應，建立了聚氨基甲酸酯的化學基礎。
西元 1940 年代	德國學者研究出聚氨基甲酸酯黏著劑。
西元 1950 年代	實現了聚氨基甲酸酯繞注膠、熱塑膠、發泡體、纖維、塗料和黏著劑等的工業化生產。
西元 1960 年代	大量的生產價格較低的聚醚多元醇，以及一步法和連續法的生產工藝及設備的開發，使得聚氨基甲酸酯發泡體獲得大量的應用。
西元 1970 年代	聚氨基甲酸酯合成材料的加工技術已邁向自動化、連續化、高速化發展，並開發反應射出成型(RIM)技術。
西元 1970 年代末	德國 Loraze 等人將聚氨基甲酸酯分子鏈中引入親水分子，使之乳化獲得到高性能的水性聚氨基甲酸酯乳液，其應用領域也隨之增廣。
西元 1980 年代	發泡體、塗料、黏著劑、防水材料之產品被廣泛的使用。

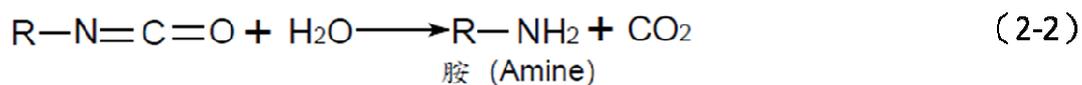
2-1-2 聚氨基甲酸酯的反應機構

在製作 PU 發泡體的發泡過程中所包括的基本反應分為三種：鏈延長反應、氣體—發泡反應和交鏈反應，主要的反應機構如下：

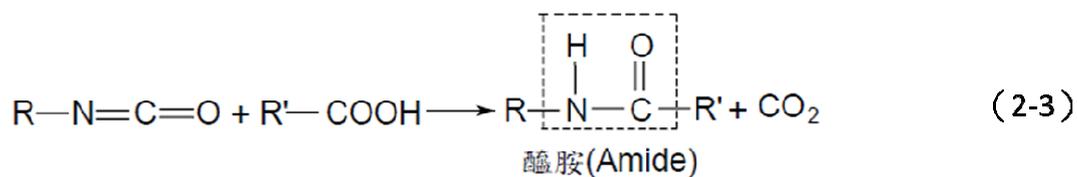
1. 異氰酸酯和多元醇發生反應生成聚氨基甲酸酯。



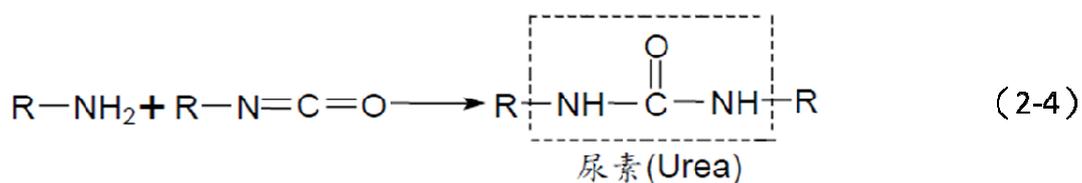
2. 異氰酸酯和水發生反應生成胺和二氧化碳。



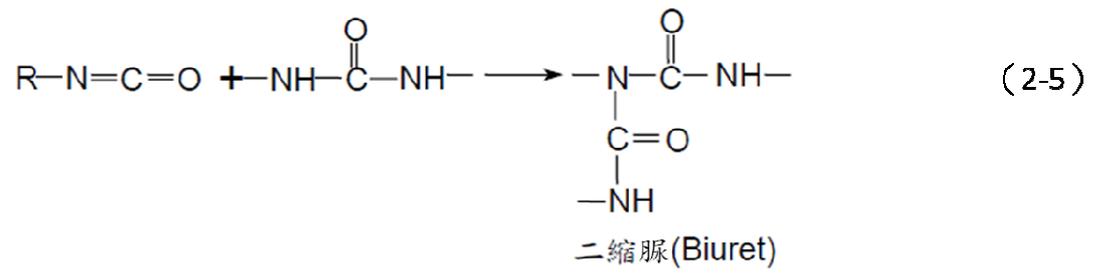
3. 異氰酸酯和有機酸發生反應生成醯胺和二氧化碳。



4. 醯胺再進一步和異氰酸酯發生反應生成尿素基團。



5. 尿素基團中氮原子上的氫和異氰酸酯發生反應生成縮二脲。

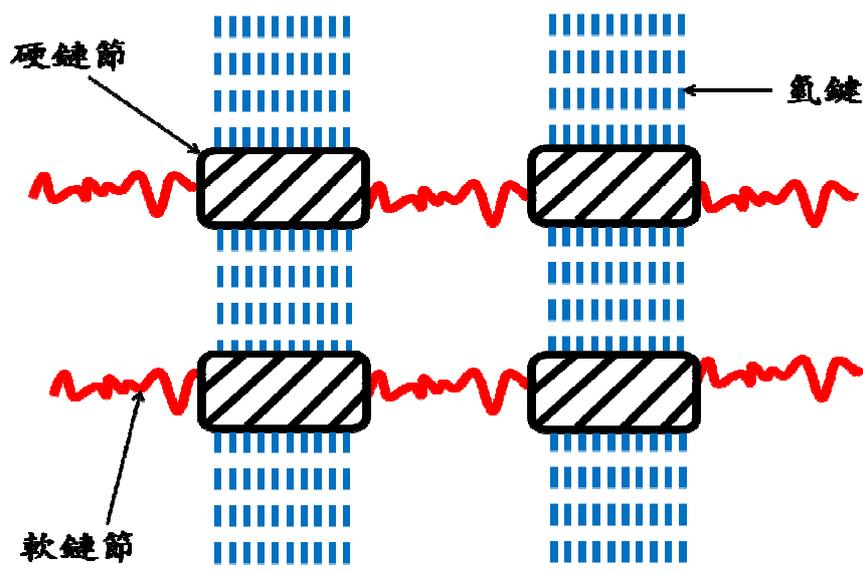


生成聚氨基甲酸酯和尿素基團之反應均為鏈延長反應，異氰酸酯和水反應生成之二氧化碳則是在發泡過程中最為重要的一環，而當異氰酸酯分別和聚氨基甲酸酯及尿素基團進一步反應會使得聚合物形成三次元的網狀結構⁹。

2-2 微相分離理論^{10,11}

最早由 Cooper 和 Tolblsky 提出聚氨基甲酸酯彈性體具有微相分離結構^{12,13}，文中指出聚氨基甲酸酯是由兩種不同的成分所組成，由聚醚（聚酯）多元醇所構成的軟鏈節和氨基甲酸酯或尿素基團所構成的硬鏈節所組成。當軟鏈節和硬鏈節都足夠長時，硬鏈節因為靠氫鍵作用力而結合在一起形成一區域結構，這個區域的形成將造成軟鏈節和硬鏈節區域發生微相分離的現象^{14,15}。

Von Bonart 提出微相分離的程度會隨著硬鏈節的長度增加而增加，當硬鏈節的含量少時，其會因為氫鍵作用力的存在而呈現有秩序的排列，對於軟鏈節而言將扮演物理交聯點的角色；而當硬鏈節含量多時，軟鏈節在其中將扮演如同橡膠的角色來改質硬鏈節，硬鏈節則會如同補強粒子分散於軟鏈節中，而形成軟鏈節和硬鏈節之間的微相分離，所以 PU 聚合物的機械性質主要受到硬鏈節區域的形成和軟鏈節含量多寡的影響¹⁶。造成微相分離的主因是軟、硬鏈節的相容性差，形成兩相的分離或硬鏈節能成為交聯結點的特性，導致聚氨基甲酸酯具有彈性的特性。



圖(2-1) 聚氨基甲酸酯彈性體的模型示意圖^{17,18}

2-2-1 軟鏈節效應

PU 結構中的軟鏈節因為其玻璃轉化溫度遠低於室溫，故又被稱做為橡膠相。因為軟鏈節主要是非結晶相，當軟、硬鏈節發生相分離時，施加一應力至 PU 聚合物上時，其中軟鏈節會產生順向結晶，此效應被稱為應力誘導結晶作用 (Strain-induced Crystallization)^{19,20}。因此，可能是因為軟鏈節受到拉伸而產生的順向結晶補強的原因，使得在較長的軟鏈節上可以得到較高的初始模數、抗張強度或溫度性質。

2-2-2 硬鏈節效應

聚氨基甲酸酯聚合結構中，硬鏈節由低分子量的氨基甲酸酯或尿素基團構成，它主要影響了 PU 聚合物內部的相互作用力 (即參考圖(2-1)中硬鏈節與硬鏈節之中的氫鍵)，而扮演了聯結的角色將彼此結合在一起，形成許多小的硬鏈節區域結構，又因為其玻璃轉化溫度高於室溫，在常溫下呈玻璃狀態，所以被稱做為塑膠相。

硬鏈節會影響到聚合物的硬度、強度、伸長度和熱性質等²¹，當硬鏈節含量增加時，會成為了補強軟鏈節的物質，造成 PU 聚合物整體玻璃轉位點也因此增加，此效應稱為 Anchoring Effect。所以當硬鏈節增加時就必須考慮下列兩種因素所產生之影響²²：

1. 自由體積的減少及分子鏈端的繞曲性降低。
2. 醚基 (或酯基) 被氨基甲酸酯或尿素基團所取代。

而 Lin, Hwang, Wn, Tsag 和 Cooper 等人所提出之模型也證實了 PU 聚合物中的氫鍵會隨著硬鏈節的增加而增加²³。

2-3 聚氨基甲酸酯的配方組成

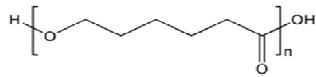
2-3-1 多元醇 (Polyol)

製作 PU 發泡體所使用的多元醇種類非常多，主要分為聚酯多元醇和聚醚多元醇兩大類，一般市面上的硬質發泡體所使用的多元醇大多是分子量較低、官能基多和羥基值高的聚醚或聚酯多元醇，其聚合物的分子中網狀結構多，所得到的產物硬度大、壓縮強度較高、穩定性和耐溫性也較好。而軟質發泡體則使用分子量較高、官能基少和羥基值低的多元醇，生產出的產物也擁有較好的彈性和柔軟性。而半硬質發泡體所使用的多元醇，其官能基和分子量介於硬質和軟質之間，或是採用兩種不同羥基值多元醇的混合物。

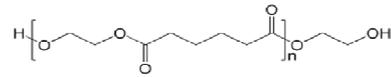
聚酯多元醇是由二元酸和二元醇經由縮合反應聚合而形成的，工業上常使用的多元酸有己二酸和苯二甲酸等；而常用的多元醇有乙二醇、二甘醇和丁二醇等。一般用在生產發泡體的聚酯多元醇其平均分子量介於 400~6000 之間，羥基值大約介於 28~300mg KOH/g，主要以直鏈和輕微分枝的聚酯組成²⁴。其生產出的產品具有高強度和高閉孔率；但缺點是黏度高、操作不便、水解穩定性低和價格昂貴，所以也影響了聚酯多元醇在工業上的發展性。

聚醚多元醇是由環氧化合物和在含有高活性氫的起始劑，在鹼性時催化下反應而成，常使用的環氧化合物有環氧乙烷和環氧丙烷；而常用的活性氫起始劑有二甘醇、乙二醇和丙二醇等²⁵，通常以 1~5wt% 的活性氫起使劑的用量來製造長鏈聚醚，而用量為 20~40wt% 時，則用來製造短鏈聚醚。一般用在生產發泡體的聚醚多元醇其平均分子量介於 200~20000 之間，其化學性質主要是由醚基的鍵結和羥基所決定。聚醚多元醇因玻璃轉化溫度低於室溫所以擁有柔軟的特性，且又具有優異的水解穩定性，就算在酸或鹼的環境下也不易發生水解，只有在高溫或強酸的環境下才有被降解的可能性。聚醚多元醇的極性和親水性會隨著醚基和羥基的增加而增強，而水溶解度會隨分子

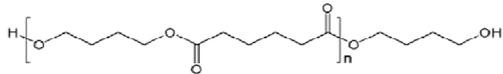
量增加而降低²⁶。圖(2-2)、圖(2-3)分別為常見的聚酯和聚醚多元醇。



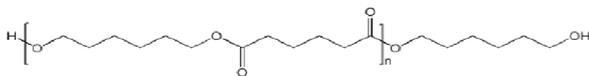
聚己內酯 (polycaprolactone)



聚乙二醇己二酸 (polyethylene adipate)

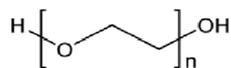


聚丁二醇己二酸 (polytetramethylene adipate)



聚己二醇己二酸 (polyhexamethylene adipate)

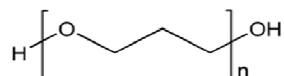
圖(2-2) 常見聚酯多元醇之化學結構



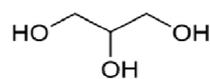
聚乙二醇 (Polyethylene glycol, POE or PEG)



聚丙二醇 (Poly propylene glycol, POP or PPG)



聚(正-二丁醇) (poly(oxytetramethylene) glycol, POTM)



聚丙三醇(甘油) (1,2,3-Propanetriol, PPG)

圖(2-3) 常見聚醚多元醇之化學結構

2-3-2 異氰酸酯 (Isocyanate)

異氰酸酯是一種反應性極高的化合物，幾乎和所有含活性氫的化合物都會發生反應。用來製作發泡體的異氰酸酯其分子中通常都擁有兩個 NCO 或以上之官能基，以分子結構可分類為芳香族、脂肪族和環狀脂肪族三類²⁷⁻²⁹（圖(2-4)和圖(2-5)中為常見的芳香族類和脂肪族類），其中以芳香族最為重要，因為這類的異氰酸酯反應較快且在工業上取得容易，再加上芳香族中的氫較難被氧化，所以其製成的產物具有良好的抗熱性、抗氧化性和耐久性；但其製成的產物卻因為具有苯環結構且因鄰接的氮原子耐候性不佳，若受到紫外光照射會產生化學反應，使產物發生黃變現象而有礙實用。

而脂肪族的異氰酸酯通常用在特定需求的產品上，如黏著劑和塗佈之產品，尤其是注重在產品不變色之應用上，因為其具有耐黃變的特性，適用於戶外環境下，同時擁有極優異的力學特性和耐老化等特性。芳香族異氰酸酯的兩個主要產物為：

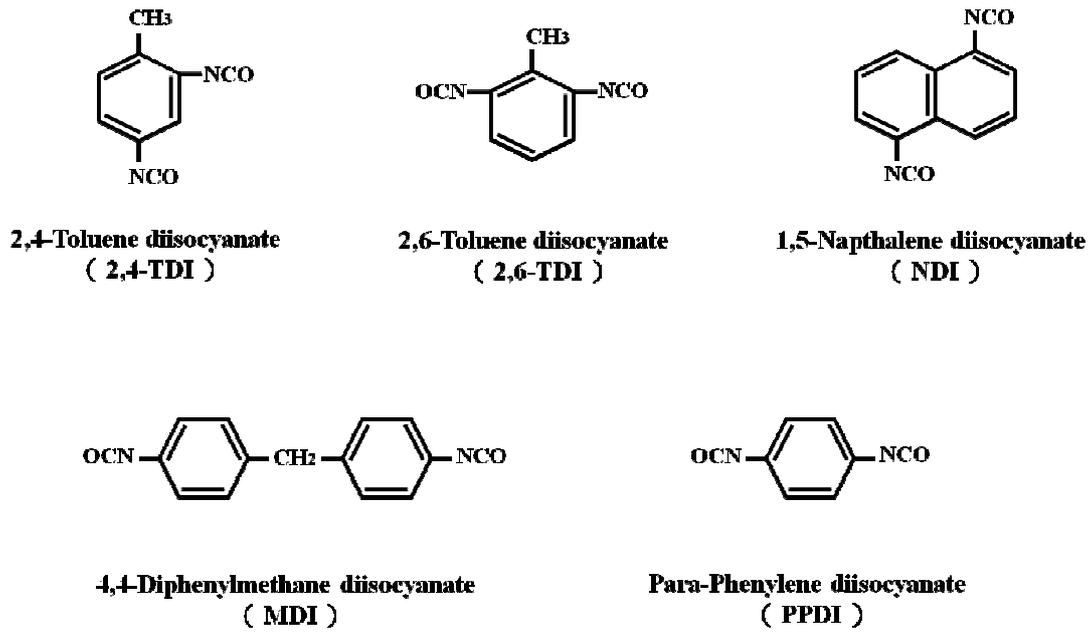
1. 甲苯二異氰酸酯 (Toluene diisocyanate, TDI)

主要為2,4和2,6兩種異構物，以80：20或是65：35的比例混合而成，也有少部分的產物是純2,4—同分異構物。大部份的TDI主要是應用在生產柔韌發泡體上。

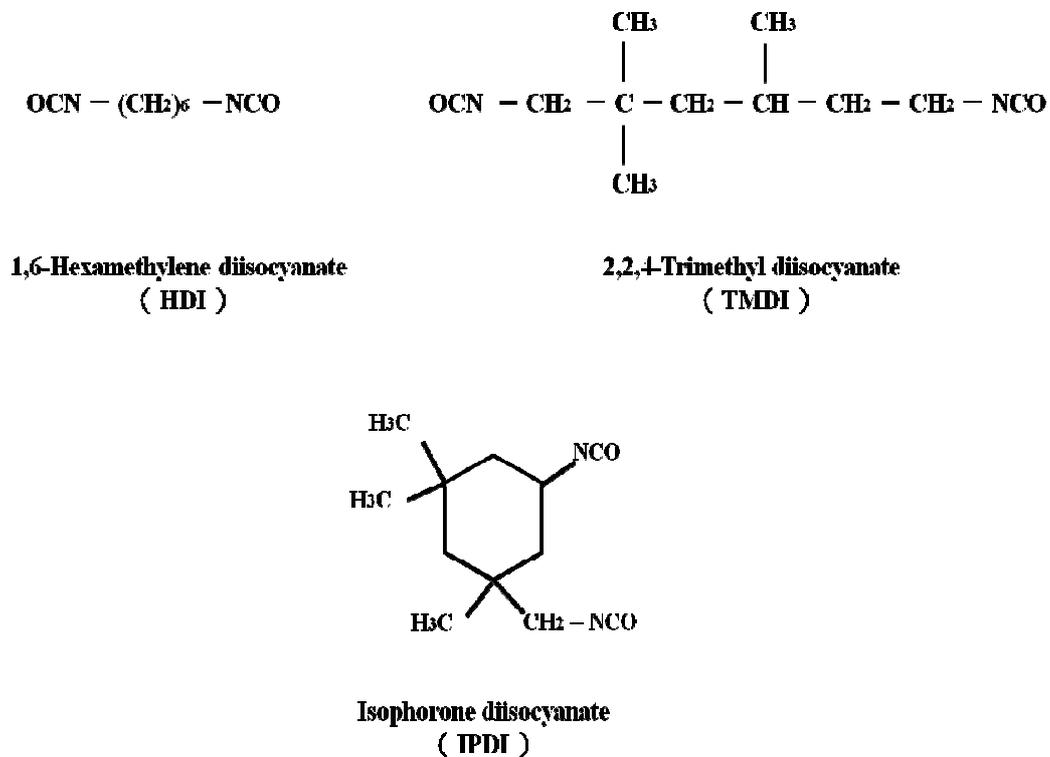
2. 二苯基甲基二異氰酸酯 (Diphenylmethane-4,4-diisocyanate, MDI)

它與TDI相較之下，活性較小、蒸氣壓較低且毒性也較弱。通常以純單體或是聚合物形式來發生反應，其單體結構除了4,4之外，通常還含有2,2和2,4兩種異構物，主要應用在彈性體的生產上，而以聚合物形式銷售的多異氰酸酯 (P-MDI, $f = 2.2 \sim 3.0$) 預成體 (Prepolymer) 則是用於生產堅硬的PU發泡體上。

表(2-3)中列出了工業上常用的多異氰酸酯的種類和特性。表(2-4)中列出了工業上常用的多異氰酸酯的物理性質。



圖(2-4) 常見芳香族異氰酸酯之化學結構



圖(2-5) 常見脂肪族異氰酸酯之化學結構

表(2-3) 多異氰酸酯的種類和特性³⁰

分類	NCO 種類	優點	缺點
脂肪族	HDI (1,6-Hexamethylene diisocyanate)	耐磨性佳、機械性質 優異	人體毒性高
	IPDI (1-Isocyanato-3-isocyanatomethyl-3,5,5-trimethyl-cyclohexane)	耐磨性佳、繞曲性佳	耐熱性和耐候性差
	TMXDI (Tetramethylene Xylene diisocyanate)	人體毒性較低、柔軟 性佳	反應慢、耐熱性差
芳香族	TDI (Toluene diisocyanate)	結晶性佳、柔軟性 佳、反應快	黃變型、人體毒性高
	MDI (4,4-Diphenylmethane-diisocyanate)	結晶性佳、機械性質 優異、反應快	黃變型

表(2-4) 多元異氰酸酯的物理性質³¹

Designation	Formula	Molecular weight	MP (°C)	B.P. (°C/Torr)	Density (g · cm ⁻³)
2,4-Toluene diisocyanate (TDI)	C ₉ H ₆ O ₂ N ₂	174.2	21.8	121/10	1.2178/20°
2,6-Toluene diisocyanate (TDI)	C ₉ H ₆ O ₂ N ₂	174.2	8.5 18.2	120/10	1.2271/20°
Toluene diisocyanate mixture 2,4:2,6=65:35 (TDI 65)	C ₉ H ₆ O ₂ N ₂	174.2	5.0	121/10	1.222/20°
Toluene diisocyanate mixture 2,4:2,6=80:20 (TDI 80)	C ₉ H ₆ O ₂ N ₂	174.2	13.6	121/10	1.221/20°
4,4-Diphenylmethane-diisocyanate (MDI)	C ₁₅ H ₁₀ O ₂ N ₂	250.3	39.5	208/10	1.183/20°
2,4-Diphenylmethane-diisocyanate (MDI)	C ₁₅ H ₁₀ O ₂ N ₂	250.3	34.5	154/1.3	1.192/20°
2,2-Diphenylmethane-diisocyanate (MDI)	C ₁₅ H ₁₀ O ₂ N ₂	250.3	46.5	145/1.3	1.188/20°
1,6-Hexamethylene diisocyanate (HDI)	C ₈ H ₁₂ O ₂ N ₂	168.2	-67	127/10	1.047/20°
1-Isocyanato-3-isocyanatomethyl-3,5,5-trimethyl-cyclohexane (IPDI)	C ₁₂ H ₁₈ O ₂ N ₂	222.3	-60	158/10	1.0615/20°
1,5-Napthalene diisocyanate (NDI)	C ₁₂ H ₆ O ₂ N ₂	210.2	127	183/10	1.450/20°
1,4-phenylene diisocyanate (PDI)	C ₈ H ₄ O ₂ N ₂	160.1	96	110-112/12	1.4407/20°
Triphenylmethane-4,4',4''-triisocyanate	C ₂₂ H ₁₃ O ₃ N ₃	367.4	91	-	-
Tris-(4-isocyanatophenyl)-thiophosphate	C ₂₁ H ₁₂ O ₆ N ₃ SP	465.4	84~86 FP 81.2	-	-

2-3-3 胺觸媒 (Catalysts)

當進行發泡體反應時，反應速率不僅受到了原料的溫度和其結構的影響，加入適當的催化劑也是另一個影響反應的重要因素，它影響了反應混合物的流動性、孔洞的形成、表面區域的形成，另外更直接影響了最後PU產物的所有物理性質。

選擇適當的催化劑能使聚合反應和發泡反應之間維持較好的平衡，使PU聚合物鍵結的形成和氣泡生成速率能互相協調，在發泡的同時，泡壁擁有足夠的強度會將氣體有效的被包覆在發泡體中，直至發泡完成後聚合物凝固，使最後的PU發泡體沒有塌泡或收縮現象產生。

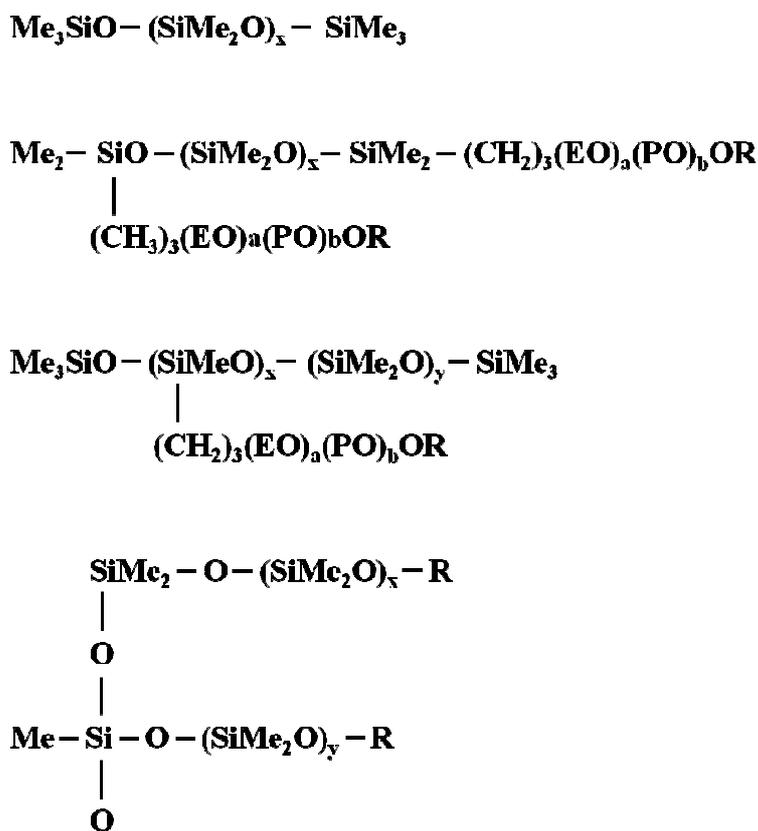
常用的催化劑可分為兩類，分別為有機錫化合物和三級胺類。以下為幾種較常見的催化劑：

1. 有機錫化合物：它對異氰酸酯和羥基化合物有較強的催化效果，主要是加速交鏈熟化反應速率。
 - A. 二丁基錫二月桂酸鹽 (Dibutyltin dilaurate, DBTDL)
 - B. 二丁基錫二-2-乙基己酸鹽 (Dibutyltin di-2-ethylhexoate)
 - C. 辛酸錫 (Stannous octoate, $\text{Sn}(\text{Oct})_2$)
 - D. 辛酸鉀 (Potassium octoate)
 - E. 醋酸鉀 (Potassium acetate, $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{K}$)
2. 三級胺類 (Tertiary Amine)：較常使用在催化 H_2O 和異氰酸酯的反應，促使產生聚脲結構和提升發泡速率。
 - A. 二甲基乙醇胺 (N,N-Dimethylethanolamine, DMEA)
 - B. 二甲基環己胺 (Dimethylcyclohexylamine, DMCHA)
 - C. 四甲基丁烷二胺 (Tetramethylbutanediamine, TMBDA)
 - D. 三乙基胺 (Triethylamine, TEA)
 - E. 三乙烯二胺 (Triethylenediamine, TEDA)

2-3-4 整泡劑 (Foam stabilizers)

整泡劑在發泡過程中扮演了非常重要的角色，而添加整泡劑最主要的目的其實是增強 PU 聚合物初期的黏度和黏彈性，以及降低 CO₂ 氣泡與 PU 聚合物之間的界面張力。而當 PU 聚合物的黏度高時，會使泡孔之間流體的流失排泄現象 (drainage)³² 因此降低，使泡孔達到穩定化。但整泡劑的添加量有一定的範圍，若是過高或是過低都會劇烈的影響到 PU 發泡體的安定性。

一般較為常見的界面活性劑有矽酮油和有機矽氧烷，圖(2-6)為常見的 PU 整泡劑的結構圖。



圖(2-6) 常見的 PU 發泡界面活性劑的化學結構³³

2-3-5 發泡劑 (Blowing agents)

發泡體內部的孔洞是由氣體膨脹時所產生的，依照氣體在 PU 聚合物生成氣泡的機構，發泡劑可分為兩大類，分別為物理發泡劑和化學發泡劑。

1. 物理發泡劑(Physical blowing agents)

物理發泡劑是低沸點且易揮發的液體，這些液體包含了脂肪族碳氫類、芳香族碳氫類、鹵化碳氫類等，如 Freons。常用的物理發泡劑和其性質如表(2-5)所示。

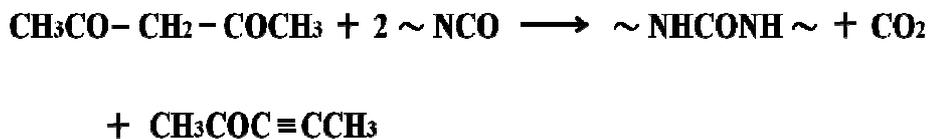
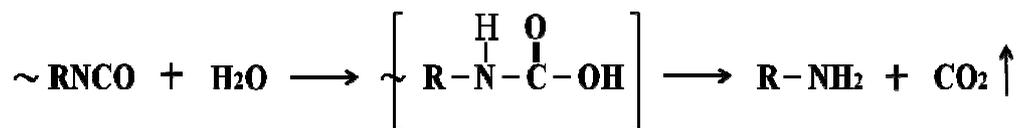
表(2-5) 常見的物理發泡劑之種類和性質³⁴

PBA	Molecular weight	Density at 25°C (kg/cm ³)	Boiling point (°C)
Butane	58.0	0.579	-0.5
Neopentant	72.15	0.613	9.5
Pentane	72.15	0.613	30~38
Benzene	78.11	0.874	80~82
Isohexanes	86.17	0.655	55~62
Hexane	86.17	0.658	65~70
Toluene	92.13	0.862	110~112
Isoheptanes	100.20	0.670	88~92
Heptane	100.20	0.680	96~100
*Trichloroethylene (CCl ₃ F)-Freon 11	137.38	1.476	23.8

Freon (Chlorofluorocarbons, CFCs) 是最廣泛被應用在 PU 發泡體生產上的一種物理發泡劑，其具有不可燃性、低毒性、低擴散係數和低熱傳導係數等優點，所以大量被應用在工業上，現已經被完全禁用，主要是因為它有破壞臭氧層的問題^{35~41}。

2. 化學發泡劑 (Chemical blowing agents)

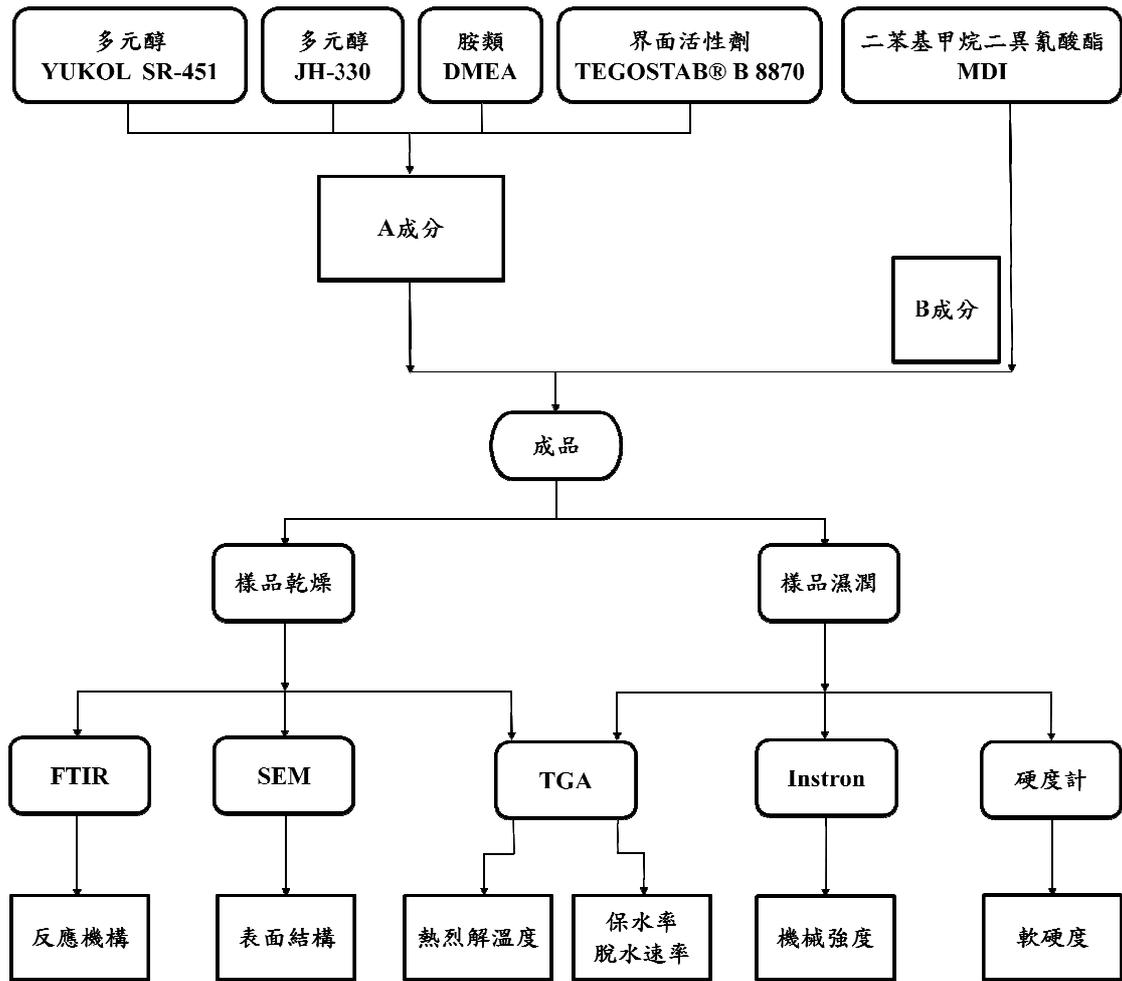
藉由化學反應產生氣體。使用化學發泡劑有兩個優點，其一是容易導入發泡體中使產品加工更容易；其二為價格比物理發泡劑低很多且容易儲存。化學發泡劑的成分主要以水為主，因為水和異氰酸鹽反應時會產生二氧化碳，是製造 PU 發泡體不可缺少的發泡氣體。但以水為發泡劑時卻會有幾種問題需要克服，如氣泡隔絕效果降低、產品尺寸不安定、脆化和由高放熱反應引起的自燃性問題等。圖(2-7) 為幾種化合物包括水、醯胺、三級醇、活性 Methylene 做為發泡劑時的反應式：



圖(2-7) 水、醯胺、三級醇和活性 Methylene 做為發泡劑時的反應式⁴²

第三章 實驗方法

3-1 實驗流程圖



圖(3-1) 吸水性 PU Foam 的實驗流程圖

3-2 實驗儀器

本實驗所使用到的儀器清單如下：

表(3-1) 實驗儀器清單

儀器名稱	生產公司	型號
數位式電動攪拌機	IKA (Germany)	RW 20 digital
超音波洗淨器	DELTA (Taiwan)	D80H
充電式吸管輔助器	DRUMMOND (USA)	Dm4 - 040 - 100NC
熱風循環烘箱	Cheng Sang (Taiwan)	DO - 8
直立式超低溫冷凍櫃	Thermo Scientific Forma (USA)	Forma 705
冷凍乾燥機	PANCHUM	CT - 5000D
油式真空泵浦	ULVAC (Japan)	G - 100D
去離子水製造機	Barnstead (USA)	D11901
材料試驗機	CHUNYEN (Taiwan)	
邵氏硬度計	ANS(Taiwan)	
多功能控溫高速離心機	eppendorf (Japan)	5804R
真空濺鍍鍍金機	JEOL (Japan)	JFC - 1600
場發射掃描式電子顯微鏡	JEOL (Japan)	JSM - 7000F
霍氏轉換紅外線光譜儀	BOMEM (Canada)	DA8.3
拉力試驗機	INSTRON (USA)	4467
熱重分析儀	DuPont (USA)	TA Q50

3-3 實驗藥品

本實驗所使用到的藥品清單如下：

表(3-2) 實驗藥品清單

藥品名稱	生產公司	型號說明
聚醚多元醇 Polyether Polyol	SKC (Korea)	YUKOL SR-451 DP : 1670 ; OHv : 450 黏度 : 5000±1500cps(25°C) 最大含水量 : 0.1%
聚醚多元醇 Polyether Polyol	上海佳化 (China)	JH-330 (純 PO) DP : 3000; OHv:56 黏度 : 500±100cps(25°C) 最大含水量 : 0.05%
二苯基甲烷二異氰酸酯 Methylenediphenyl Diisocyanate (MDI)	BASF (Germany)	NCO : 15% NCO : 20%
N,N-二甲基乙醇胺 N,N-dimethyl ethanolamine (DMEA)	BASF (Germany)	含量≥95% ; 微黃色透明液體、 易揮發、氨味 沸點 : 134.6°C 密度 : 0.89 g/cm ³ (20°C)
界面活性劑	Evonik Degussa (Germany)	TEGOSTAB® B 8870 密度 : 1.03±0.03 g/cm ³ 黏度 : 2500±500 mPas pH value : 7±2 (4% aqu. solution)

3-4 軟質吸水性 PU Foam 的製備

本實驗以固定 100mL 為聚醚多元醇總體積，使用 2 種不同的聚醚多元醇 YUKOL SR-451 和 JH-330 並分別以 1：1、1：2、2：1 的含量均勻混合，再添加以聚醚多元醇總體積 1% 的 DMEA 和 0.8% 的界面活性劑進行預混合，最後通過計算分別與 2 種不同 NCO% (15% 和 20%) 的 MDI 在常溫下進行混合反應，並且控制模具預熱溫度為 60 °C，來製備吸水性 PU Foam。實驗方法如下所示：

1. 開啟熱風循環烘箱，並且將模具預熱，溫度控制在 60 °C。
2. 當步驟 1 完成後，再將數位式電動攪拌機架好。
3. 當步驟 2 完成後，量取所需的聚醚多元醇 YUKOL SR-451、JH-330、DMEA 和界面活性劑的劑量至 1000mL 塑膠杯中即為 A 成分。
4. 使用數位式電動攪拌機攪拌，將轉速設定為 2000rpm，將塑膠杯中的 A 成分預混合 20min。
5. 將 A 成分充分預混合後，放置於 60 °C 的熱風循環烘箱中預熱 10min。
6. 當步驟 5 完成後，量取所需的 MDI 到 170mL 塑膠杯中即為 B 成分。
7. 將 B 成分的塑膠杯放置於 60 °C 的熱風循環烘箱中預熱 10min。
8. 當步驟 7 完成後，將 A 成分取出，再使用數位式電動攪拌機攪拌，將轉速設定慢慢增加至 4000rpm，之後則將預熱的 B 成分迅速地倒入 A 成分的塑膠杯中並開始計時。
9. 混合 15sec 後停止攪拌，然後迅速地將反應物倒入預熱的模具中靜置於常溫下，接著觀察並記錄其完全成型的情形。

3-5 物性測試

3-5-1 試片製備

在本研究中，若吸水性 PU Foam 的樣品是以乾式的方式進行性質測定，皆是以冷凍乾燥的方式進行製備，此乾燥的方式如下：

1. 開啟冷凍乾燥機，預熱時間為 1 hr。
2. 將吸水性 PU Foam 的樣品，裁切為適當的尺寸，使用直立式超低溫冷凍櫃，將樣品置於 -86°C 的環境下迅速冷凍，冷凍時間為 1 hr。
3. 當步驟一和二完成之後，將樣品放入冷凍乾燥機中，利用油式真空泵浦抽真空，真空度維持在 $1.5 \times 10^{-3} - 3.0 \times 10^{-3}$ atm，乾燥時間為 8 hr。
4. 當步驟三完成之後，使用夾鍊袋將乾燥完成的樣品封存，並且避免水分再次的吸附其表面上，即可進行其他物理性質的測試。

3-5-2 反應機制分析 — Fourier-Transform Infrared Spectrometer (FTIR)

1. 利用 3-4 的方法，製備吸水性 PU Foam 之後，將不同配方的 PU Foam 樣品經由冷凍乾燥的方式進行乾燥。
2. 當步驟 1 完成後，使用反射式的霍氏轉換紅外光譜儀進行測試，利用各個官能基在不同波長下所產生的吸收峰特色，可獲得 2 種不同 NCO% 之 MDI 個別添加不同比例之 PU Foam 樣品的 FTIR 圖譜。
3. 當步驟 2 完成之後，利用 FTIR 圖譜比較在添加不同 NCO%、不同 MDI 比例下所製程出的 PU Foam 產生的差異性，來判斷最後 OH 基殘餘多寡的機制。

3-5-3 表面結構分析 — Field Emission-Scanning Electron

Microscope (FE-SEM)

1. 利用 3-4 節的方法，製備為吸水性 PU Foam 之後，將此 PU Foam 的樣品經由冷凍乾燥的方式進行乾燥。
2. 當步驟 1 完成之後，使用真空濺鍍鍍金機，真空度控制在 5.0 Pa 以下，濺鍍電壓為 20 mA，濺鍍時間為 80 sec，即可得到各個 PU Foam 的樣品試片。
3. 當步驟 2 完成之後，使用場發射掃描式電子顯微鏡，將電壓設定為 5 – 15 kV，真空度維持在 9.6×10^{-5} - 9.7×10^{-5} Pa 之間，進行 PU Foam 樣品的照片拍攝，而拍攝倍率為 25、50、100 和 300 倍。

3-5-4 機械強度和拉伸長度分析 – Instron

1. 利用 3-4 節的方法，製備吸水性 PU Foam 的樣品。
2. 當步驟 1 完成之後，將樣品維持含水率在 20 - 25wt% 之間，利用材料試驗機裁切出啞鈴型的標準試片，截面積的寬度維持在 10.5 mm，厚度範圍控制在 2.5~4.5 mm 之間。
3. 當步驟 2 完成之後，使用拉力試驗機，利用 100 N 的荷重元，拉伸速度設定為 20 mm/min，記錄應力與應變的關係，即可得到各個樣品的拉伸試驗結果。

3-5-5 硬度分析 — Durometer Hardness

1. 利用 3-4 節的方法，製備吸水性 PU Foam 的樣品。
2. 當步驟 1 完成之後，將 PU Foam 的樣品裁切為 7~10mm 厚度的塊狀。
3. 當步驟 2 完成之後，將 PU Foam 的樣品維持含水率在 20-25wt% 之間。
4. 當步驟 3 完成之後，利用邵氏硬度計量測硬度，並記錄數值。

3-5-6 含水率與脫水速率分析 — Thermogravimetric Analysis

(TGA)

3-5-6-1 含水率分析

1. 利用 3-4 節的方法，製備吸水性 PU Foam 的樣品。
2. 當步驟 1 完成之後，將 PU Foam 的樣品裁切為 15.0 - 20.0 mg 左右的大小，置於 250 mL 的燒杯中備用。
3. 當步驟 2 完成之後，使用 100 mL 的量筒，量取 100 mL 的去離子水，加入步驟 2 的燒杯中，以超音波洗淨器進行震盪，震盪時間為 30 min。
4. 當步驟 3 完成之後，將此吸飽水分的 PU Foam 樣品，利用 TGA 進行熱重變化的分析。其中，PU Foam 樣品的升溫條件為 10 °C/min，由常溫上升至 600 °C，紀錄 PU Foam 的重量隨著溫度上升的變化情形。
5. 當步驟 4 完成之後，由 TGA 所測量的結果來計算 PU Foam 樣品在水份蒸發前後的重量變化，即可得到 PU Foam 的含水率多寡。

3-5-6-2 脫水速率分析

1. 利用 3-4 節的方法，製備吸水性 PU Foam 的樣品。
2. 當步驟 1 完成之後，將 PU Foam 的樣品裁切為 15.0 - 20.0 mg 左右的大小，置於 250 mL 的燒杯中備用。
3. 當步驟 2 完成之後，使用 100 mL 的量筒，量取 100 mL 的去離子水，加入步驟 2 的燒杯中，以超音波洗淨器進行震盪，震盪時間為 30 min。
4. 當步驟 3 完成之後，將此吸飽水分的 PU Foam 樣品，利用 TGA 進行熱重變化的分析。其中，PU Foam 樣品的升溫條件為 10 °C/min，由常溫上升至 50 °C 之後持溫 50 min，紀錄 PU Foam 的重量隨著時間增加的變化情形。
5. 當步驟 3 完成之後，由 TGA 所測量的結果比較各個 PU Foam 樣品的水

份脫附速度之快慢，來判斷 PU Foam 樣品的脫水速率。

第四章 結果與討論

在本論文中，固定胺觸媒 (Catalysts)、整泡劑 (Foam stabilizers) 和發泡劑 (Blowing agents) 等不同參數配方，使用 2 種不同的聚醚多元醇 YUKOL SR-451 和 JH-330 並分別以 1:1、1:2、2:1 的含量均勻混合，最後將這 3 種聚醚多元醇配方通過計算分別與 2 種不同 NCO% (NCO 15% 和 NCO 20%) 的 MDI 在常溫下進行聚合反應，來製備出軟質且高吸水性的聚氨基甲酸酯發泡體。

本研究探討的相關內容如下:

1. PU Foam 殘餘的親水 OH 基之機制:以反射式的 FT-IR 儀器來測量，聚氨基甲酸酯官能基中的 O-H 鍵，在紅外光照射下，在光譜吸收波長 $3200\sim 3500\text{cm}^{-1}$ 的範圍內其吸收峰的變化，藉此來判斷殘留 OH 基多寡。泡孔型態觀察:使用 SEM 觀察 PU Foam 的表面與內部的泡孔結構。
2. 量測機械性質:使用 Instron 測量 PU Foam 的機械性質，來比較各個吸水性 PU Foam 的 modulus。
3. PU Foam 的硬度測試:使用硬度計來測量不同配方製成的 PU Foam 之硬度比較。
4. PU Foam 的含水率與保水率:使用 TGA 測量 PU Foam 的含水率和保水率，來比較不同配方製成的 PU Foam 之吸水性差異。

4-1 FT-IR 判斷 OH 基殘餘多寡之機制

FT-IR是用來鑑定與分析的工具，無論是分子結構的鑑定或是微相結構的分析，都能定性或半定量的方式作為探討。本研究中，固定胺觸媒（Catalysts）、整泡劑（Foam stabilizers）和發泡劑（Blowing agents）等不同參數配方，使用2種不同的聚醚多元醇YUKOL SR-451和JH-330並分別以1：1、1：2、2：1的含量均勻混合，最後將這3種聚醚多元醇配方通過計算分別與2種不同NCO%（NCO 15%和NCO 20%）的MDI在常溫下進行聚合反應，來製備出軟質且高吸水性的PU Foam。以下將對所製成的PU Foam之分子結構中各官能基的吸收峰位置作說明。

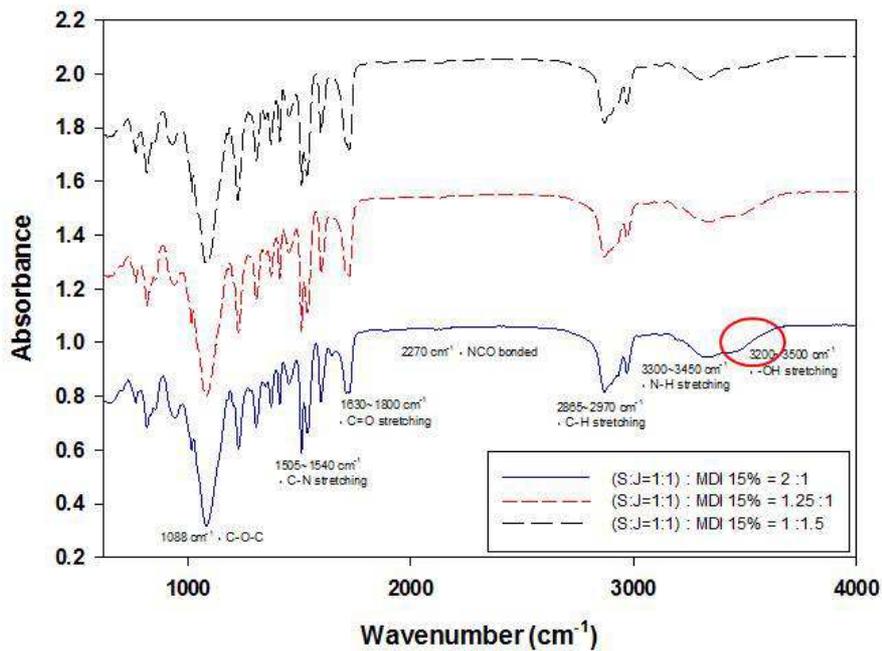
依照圖(4-1)~圖(4-6)所示，為本實驗FT-IR光譜主要相關的特性吸收頻率。從圖4-1可觀察出 -NCO基團在波長 2270 cm^{-1} 附近的主要吸收峰已消失，這是因為鏈延長反應是由 -NCO鍵和 -OH基反應生成羰基化合物（carbonyl group），也就是生成氨基甲酸酯鍵（urethane linking）（位於波長 1740 cm^{-1} 範圍附近），所以當 -NCO之吸收峰完全消失時，即表示反應已達終點。而聚氨基甲酸酯的主要吸收帶代表分別是在波長 3300 cm^{-1} ~ 3450 cm^{-1} 附近之氫氫鍵（N-H）伸縮振動的吸收峰；波長在 1680 cm^{-1} ~ 1740 cm^{-1} 為脲基基團中的羰基（C=O）的吸收峰；而波長在 1630 cm^{-1} ~ 1670 cm^{-1} 為尿素基團中的羰基（C=O）的吸收峰；醚類官能基（-C-O-C-）的吸收值範圍則是位於波長 1088 cm^{-1} 的附近；波長在 1505 cm^{-1} ~ 1540 cm^{-1} 的附近有碳氮鍵（C-N）基團生成；以及在波長 2865 cm^{-1} ~ 2970 cm^{-1} 為碳氫單鍵（C-H）之伸縮振動的吸收峰。

另外，波長在 3200 cm^{-1} ~ 3500 cm^{-1} 此區域範圍我們可觀察到有一寬胖中等程度的複合吸收峰。通常擁有氫鍵作用的官能基存在時才会有如此的吸收峰存在，例如醇類或酸類的氫氧鍵（O-H）在波長 3200 cm^{-1} ~ 3500 cm^{-1} 有一寬胖的強吸收；羧酸類的氫氧鍵（O-H）在波長 3200 cm^{-1} ~ 3500 cm^{-1} 有一極為寬廣的強吸收；而不同的胺類或其他鹽類的氫氫鍵（N-H）會在波長 3200 cm^{-1} ~ 3500 cm^{-1} 有不同的特徵吸收峰。

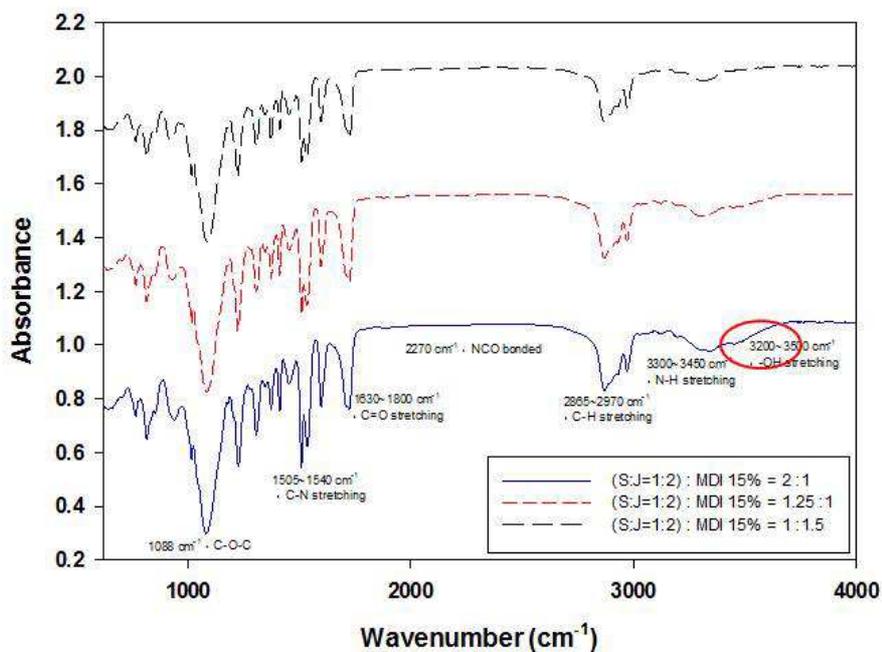
本研究的目的是為了製作出高吸水性的聚氨基甲酸酯發泡體 (PU Foam)，我們可藉由FT-IR的分析結果(圖(4-1)~圖(4-6))來做判斷，將成分A (Polyol) 固定時，改變B成分 (Isocyanates) 的添加量，當B成分添加量越多時，波長在 3200 cm^{-1} ~ 3500 cm^{-1} 範圍的吸收峰面積會明顯較小；而當添加量越少時，吸收峰面積會越來越大的趨勢。我們研判這是因為當 -NCO和 -OH基發生鏈延長反應後，在 2-3節提到的軟鏈節的側鏈上還有許多殘餘之醇類的氫氧鍵 (O-H)，所以在波長 3200 cm^{-1} ~ 3500 cm^{-1} 範圍的吸收峰面積才會因此變大，此點，有助於說明此實驗所製作出的PU Foam本身結構是具有親水性質的。

表(4-1) PU Foam官能基的波長範圍

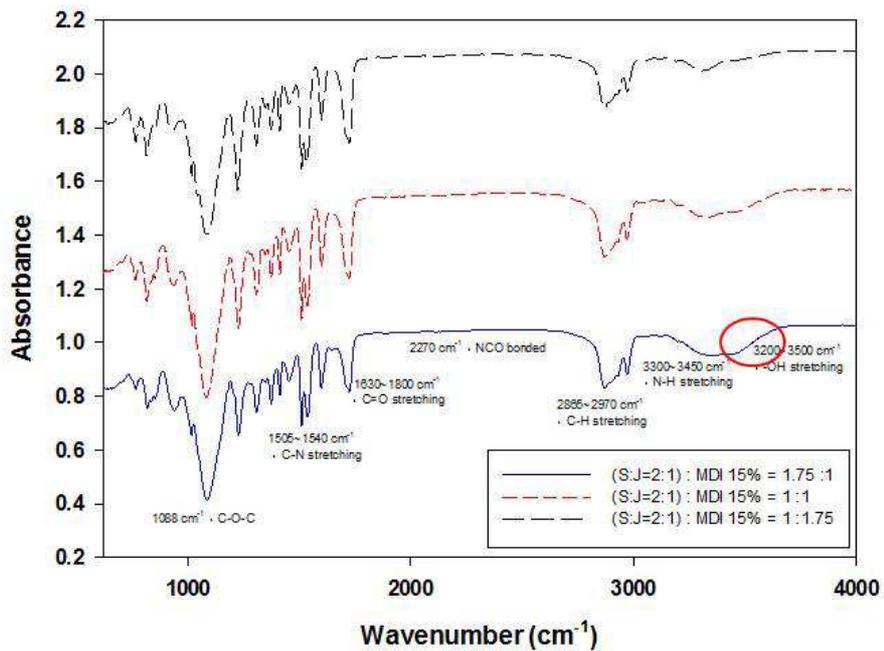
官能基	振動模式	範圍
-OH	stretching vibration	3200 cm^{-1} ~ 3500 cm^{-1}
N-H	stretching vibration:	3300 cm^{-1} ~ 3450 cm^{-1}
C-H	stretching and deformation vibration	2865 cm^{-1} ~ 2970 cm^{-1} and 1420 cm^{-1}
-NCO	stretching vibration	2270 cm^{-1}
C=O	stretching vibration	1630 cm^{-1} ~ 1800 cm^{-1}
C=C	stretching vibration	1600 cm^{-1} ~ 1680 cm^{-1}
C-N	stretching vibration	1505 cm^{-1} ~ 1540 cm^{-1}
Ethers, C-O-C	asym stretching vibration	1060 cm^{-1} ~ 1150 cm^{-1}
	sym stretching vibration	820 cm^{-1} ~ 1140 cm^{-1}



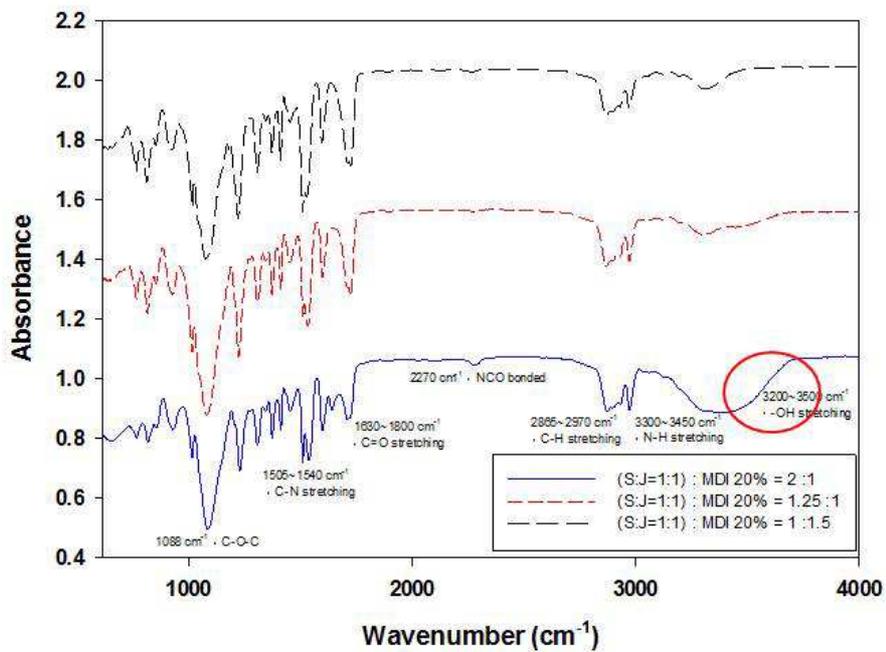
圖(4-1) 利用 FTIR 測量 PU Foam 的官能基在不同波長下的吸收值 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 1) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



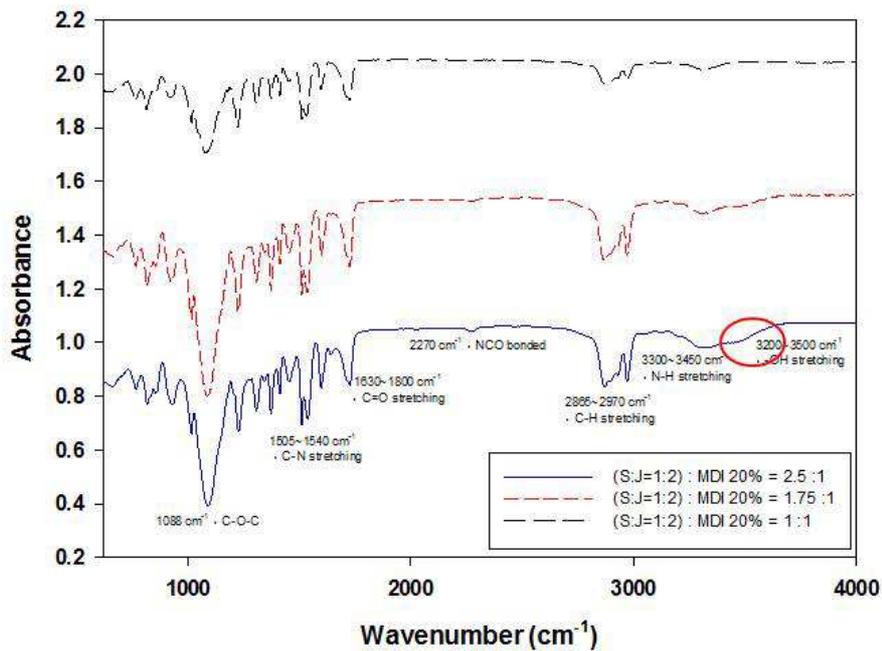
圖(4-2) 利用 FTIR 測量 PU Foam 的官能基在不同波長下的吸收值 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 2) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



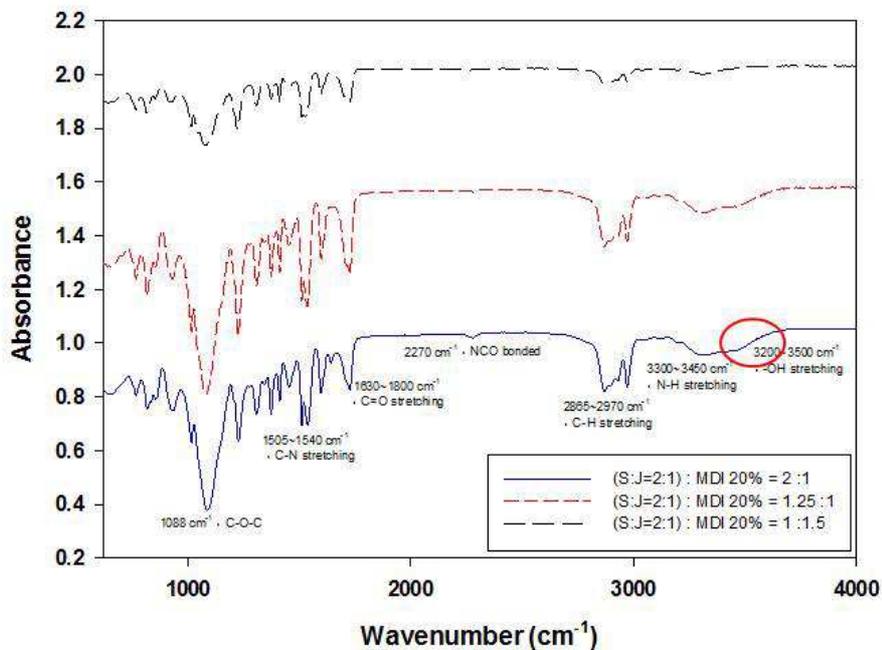
圖(4-3) 利用 FTIR 測量 PU Foam 的官能基在不同波長下的吸收值 (其中, (SR451 : JH330 = 2 : 1) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



圖(4-4) 利用 FTIR 測量 PU Foam 的官能基在不同波長下的吸收值 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 1) : MDI 20% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



圖(4-5) 利用 FTIR 測量 PU Foam 的官能基在不同波長下的吸收值 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 2) : MDI 20% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



圖(4-6) 利用 FTIR 測量 PU Foam 的官能基在不同波長下的吸收值 (其中, (SR451 : JH330 = 2 : 1) : MDI 20% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)

4-2 親水性 PU Foam 的物性分析

4-2-1 PU Foam 表面與內部的泡孔結構

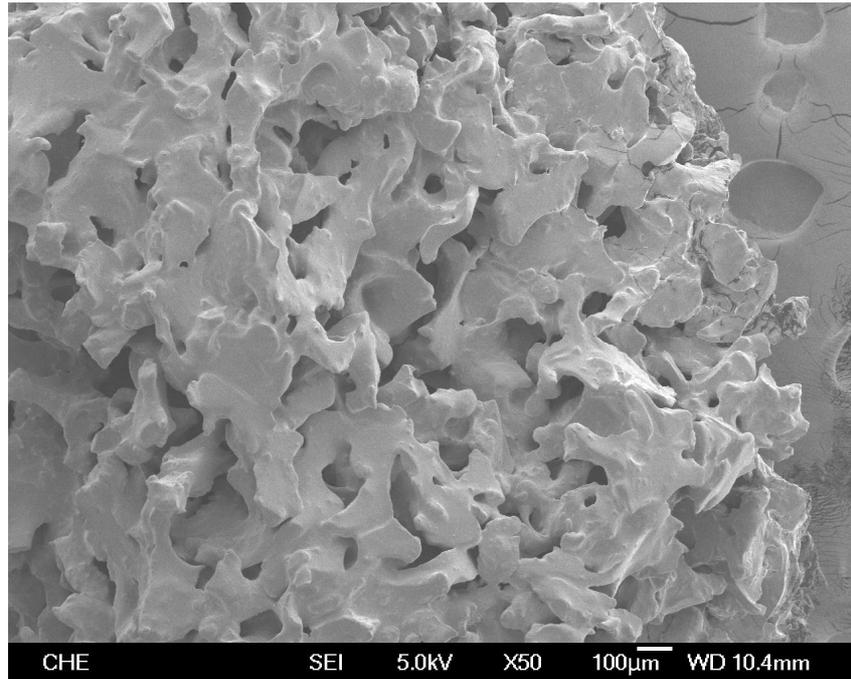
當固定胺觸媒 (Catalysts)、整泡劑 (Foam stabilizers) 和發泡劑 (Blowing agents) 等不同參數配方，使用 2 種不同的聚醚多元醇 YUKOL SR-451 和 JH-330 並分別以 1:1、1:2、2:1 的含量均勻混合，最後將這 3 種聚醚多元醇以一定的配方與 2 種不同 NCO% (NCO 15% 和 NCO 20%) 的 MDI 在常溫下進行聚合反應，來製備出軟質且高吸水性的聚氨基甲酸酯發泡體。對於發泡體而言，泡孔的大小、形狀和軟、硬鏈節的比例均勻性是很重要的關鍵，根據不同的配方比例，會製作出不同的 PU 發泡體。

藉由下列圖(4-7)、圖(4-10)、圖(4-13)、圖(4-16)、圖(4-19)、圖(4-22)的 SEM 圖觀察發現，當聚醚多元醇的添加量越多時，產生的 CO₂ 就越多，且由 2-2 節中知道當軟鏈節含量過多，做為交聯點的硬鏈節過少時，會使得 PU 聚合物的整體黏度偏低，聚合反應後所形成的 PU 聚合物立體結構也會較弱，而無法支撐起發泡反應時所生成的 CO₂，而這些過多的 CO₂ 又會造成孔壁變薄和出現併泡現象⁴³，而導致 PU Foam 出現塌泡或收縮的情形發生。

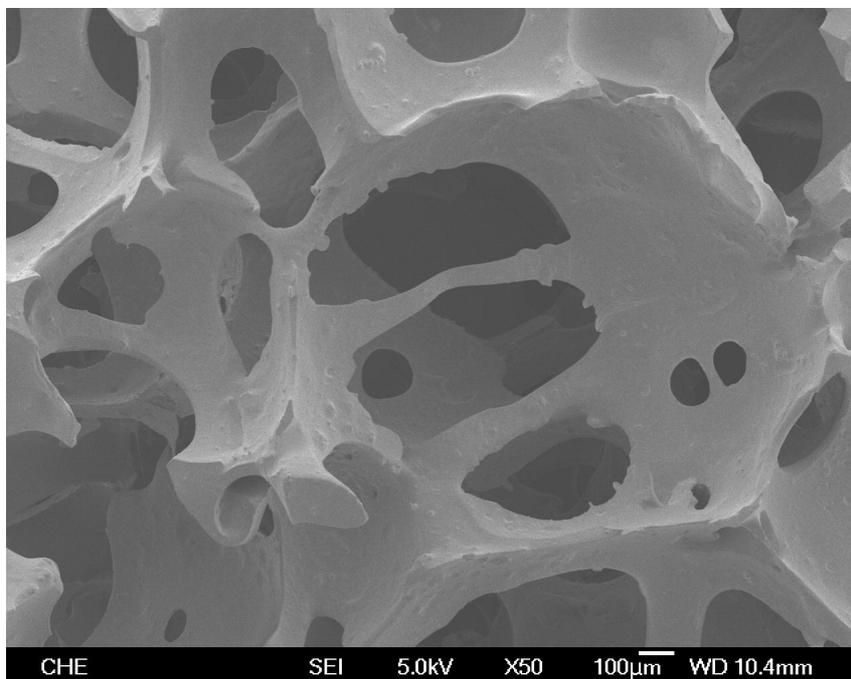
藉由圖(4-9)、圖(4-12)、圖(4-15)、圖(4-18)、圖(4-21)、圖(4-24)等每一系列 MDI 添加量最多的 SEM 圖觀察發現，當使用 MDI 的添加量越多時，會提升 PU 聚合物整體溶液的黏度，與聚醚多元醇發生交聯反應後形成的立體結構隨之變強，且由於 2-3-4 節知道，當 PU 聚合物的黏度高時，泡孔之間流體的流失排泄現象 (drainage) 也會降低，使泡孔達到穩定，而呈現出明顯圓型且閉孔式的泡孔結構⁴⁴。

由圖(4-8)的 SEM 圖所示，會發現此配方比例製作出 PU Foam 的泡孔結構較為良好，不會出現有形體下塌以及閉孔式泡孔的情形，因此可推測

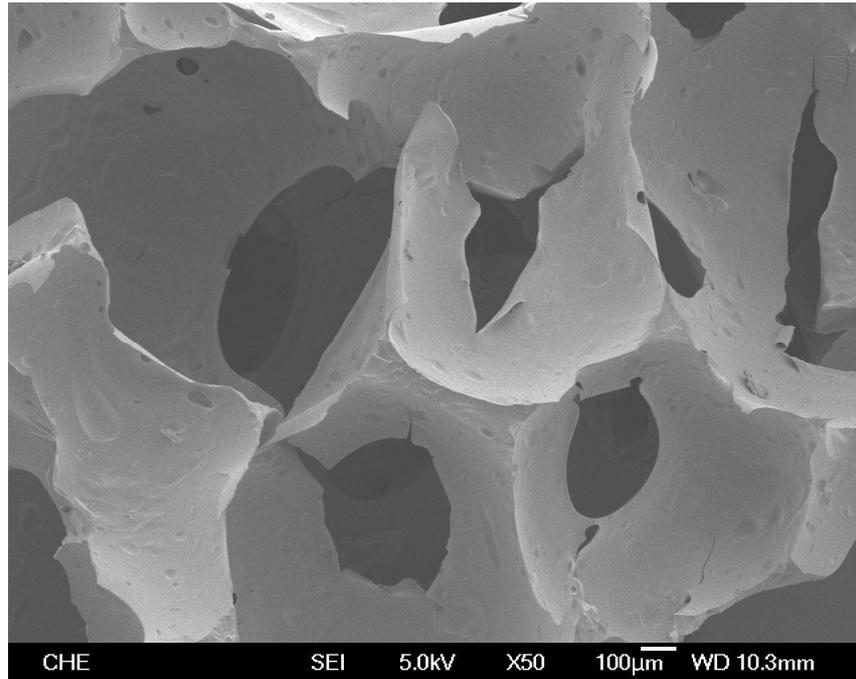
此配方比例在聚合時的鏈延長反應和發泡反應之間達到較良好的平衡，才能使 PU 聚合物的形成和 CO₂ 氣體的產生速率相互協調，造成一孔隙度均勻和泡壁堅強的 PU Foam。



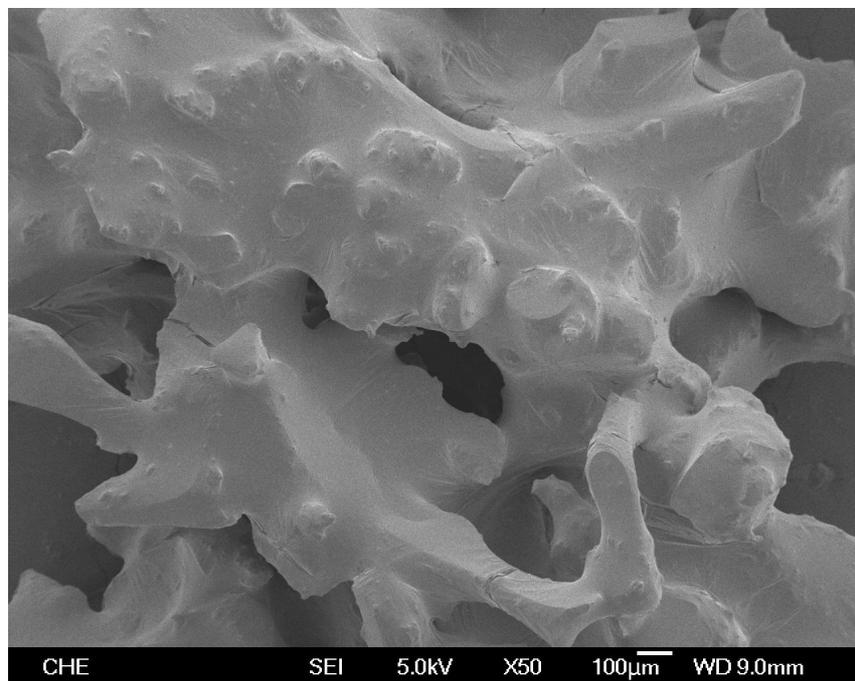
圖(4-7) 利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 1) : MDI 15% = 2 : 1 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



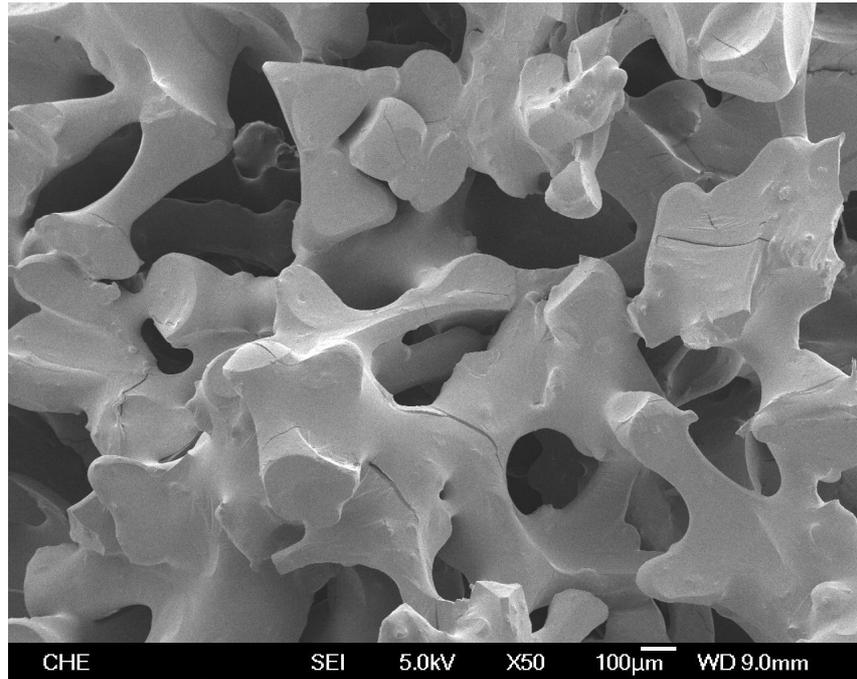
圖(4-8) 利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 1) : MDI 15% = 1.25 : 1 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



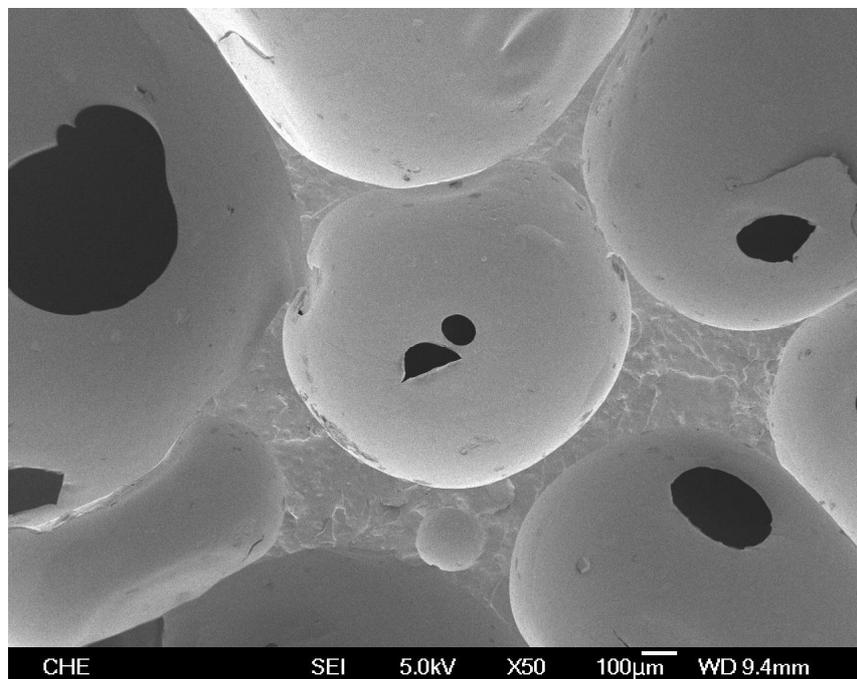
圖(4-9) 利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 1) : MDI 15% = 1 : 1.5 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



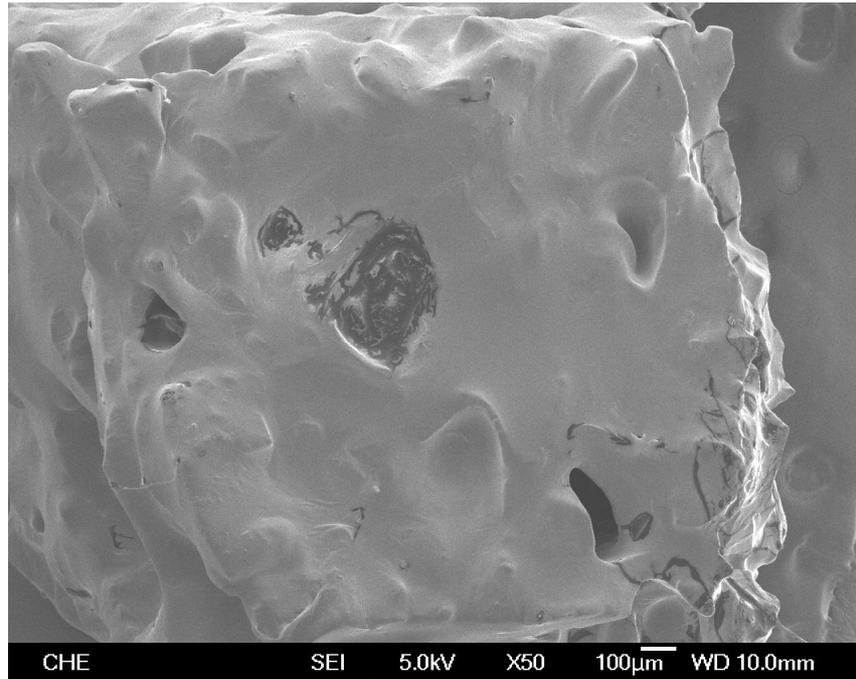
圖(4-10) 利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 2) : MDI 15% = 2 : 1 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



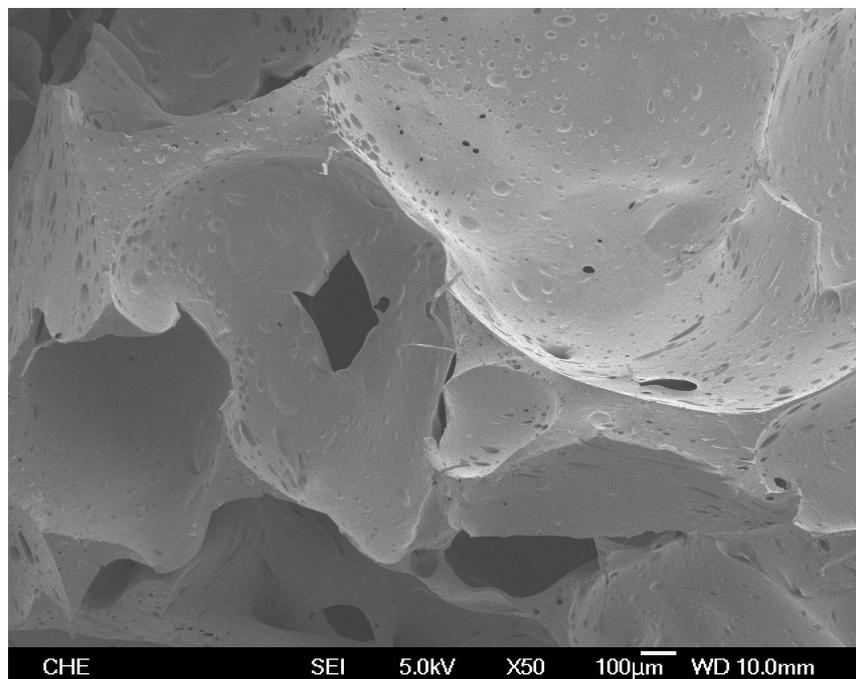
圖(4-11) 利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 2) : MDI 15% = 1.25 : 1 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



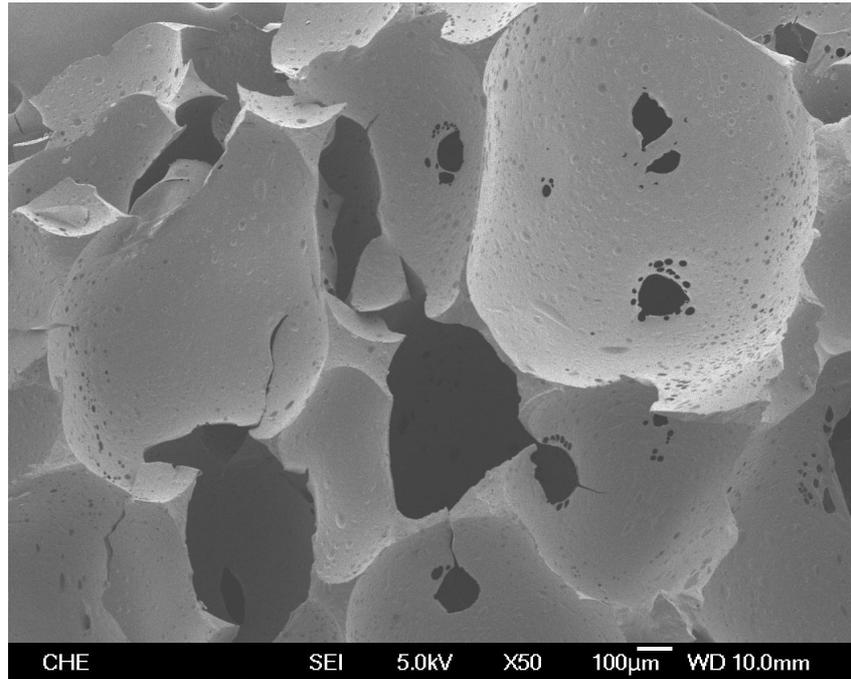
圖(4-12) 利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 2) : MDI 15% = 1 : 1.5 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



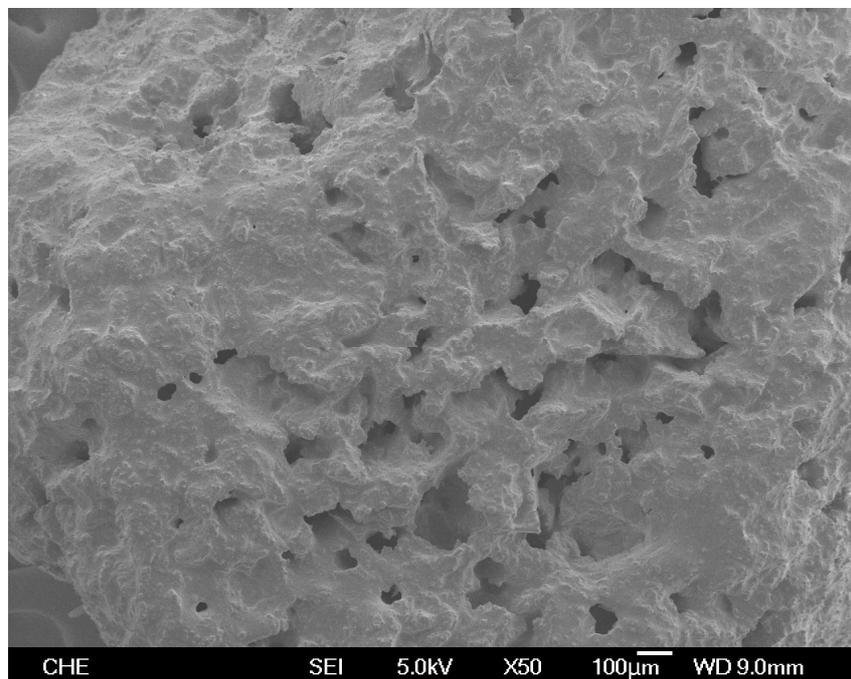
圖(4-13) 利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 2 : 1) : MDI 15% = 1.75 : 1 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



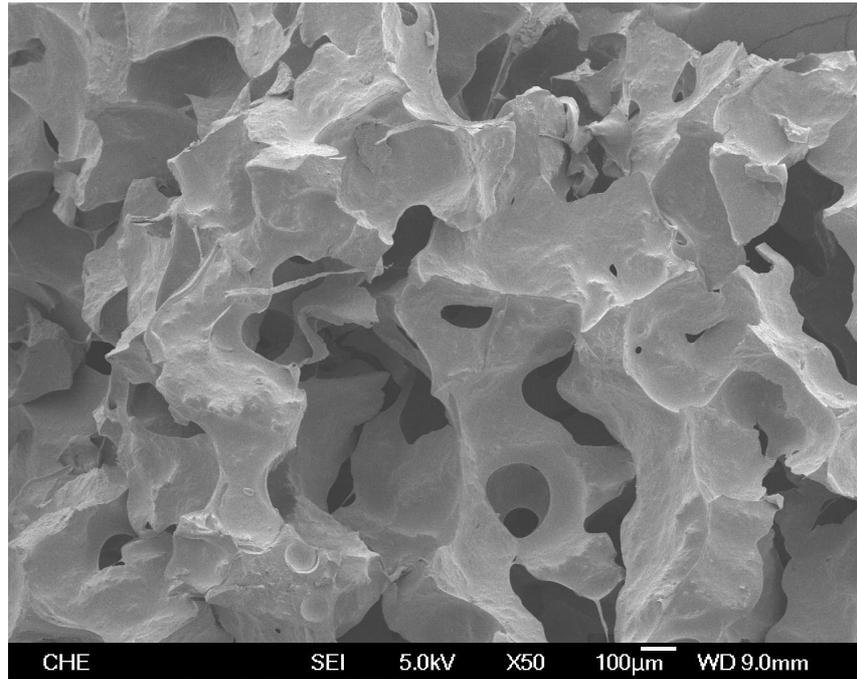
圖(4-14) 利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 2 : 1) : MDI 15% = 1 : 1 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



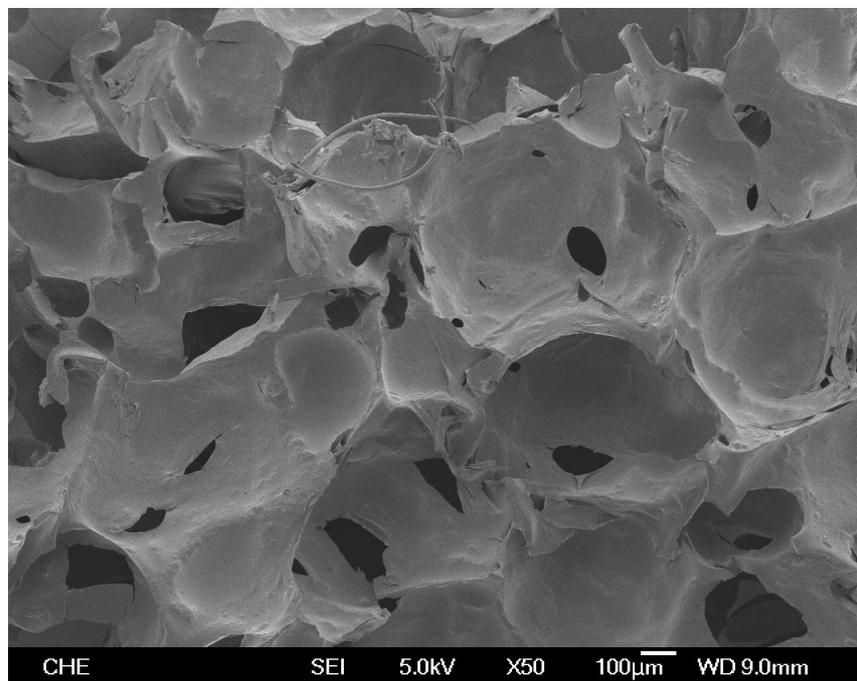
圖(4-15) 利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 2 : 1) : MDI 15% = 1 : 1.75 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



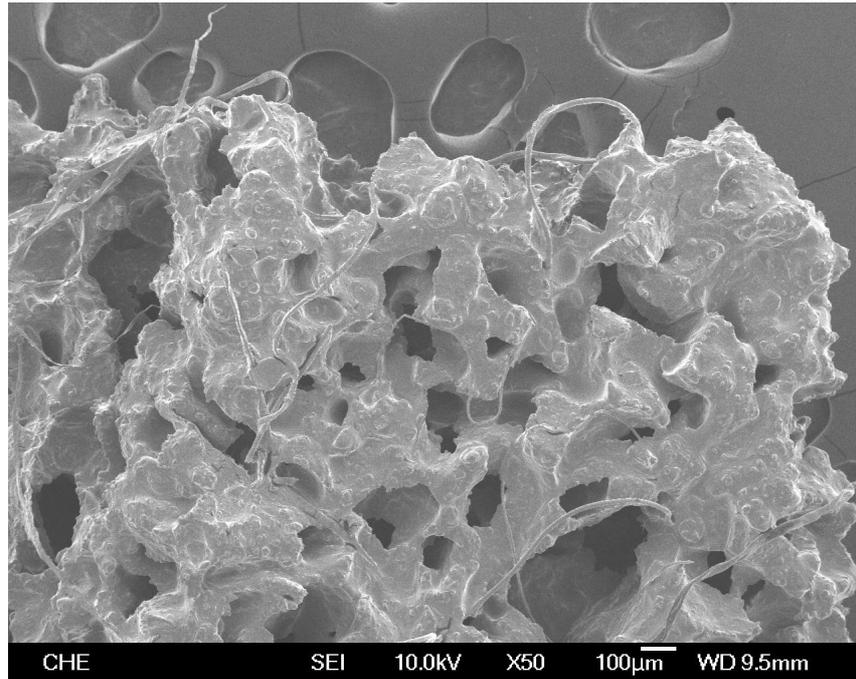
圖(4-16) 利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 1) : MDI 20% = 2 : 1 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



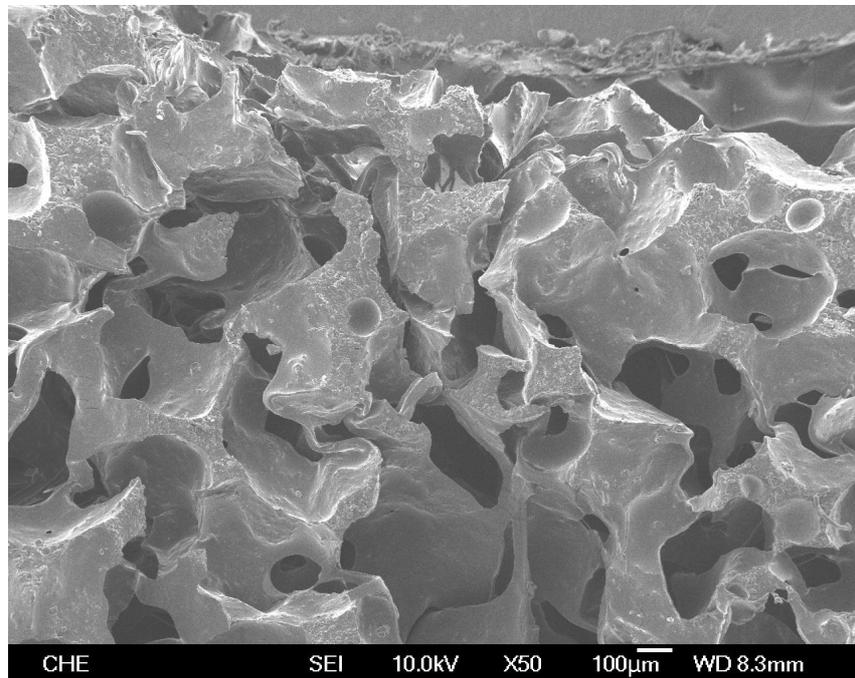
圖(4-17) 利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 1) : MDI 20% = 1.25 : 1 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



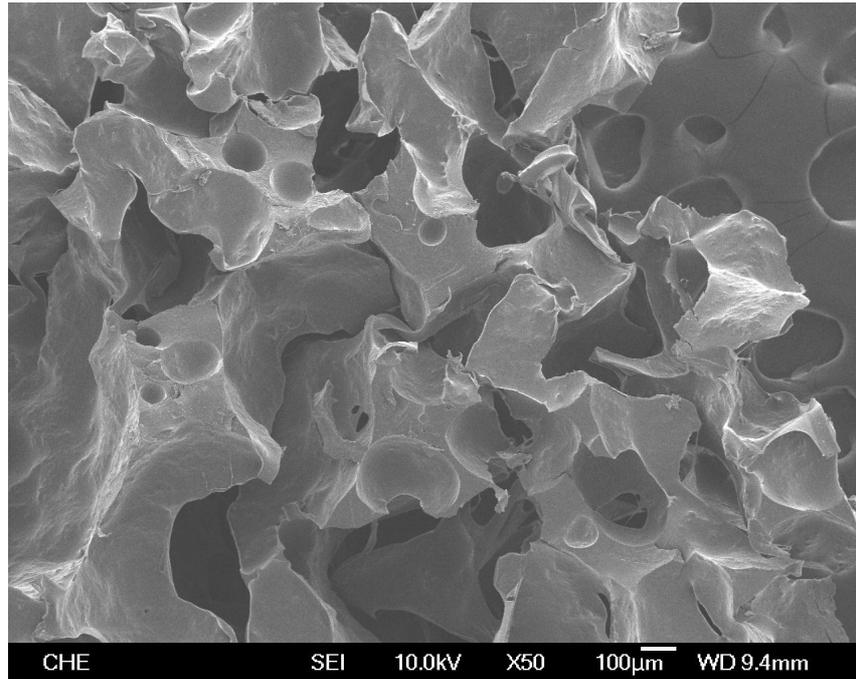
圖(4-18) 利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 1) : MDI 20% = 1 : 1.5 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



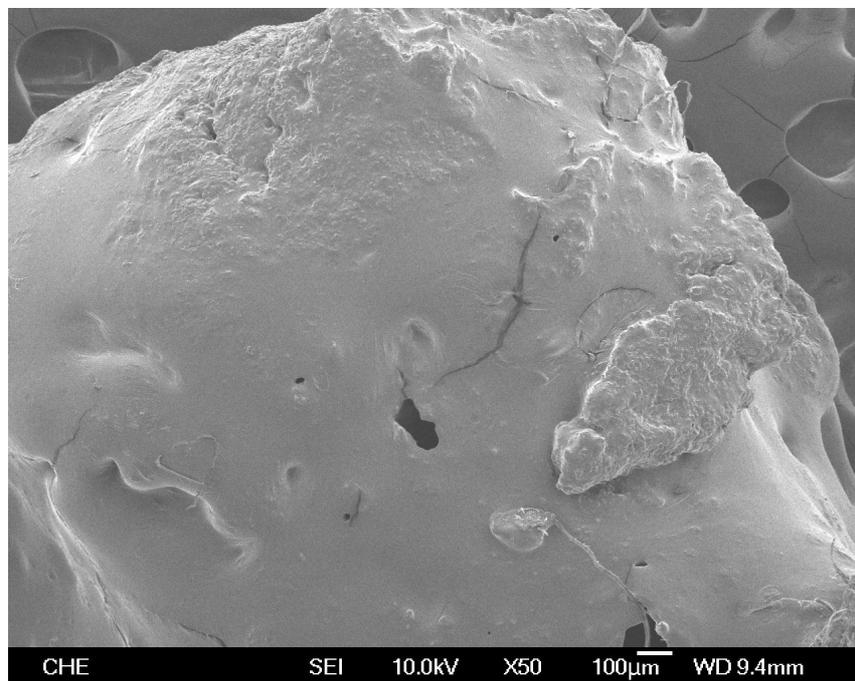
圖(4-19) 利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 2) : MDI 20% = 2.5 : 1 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



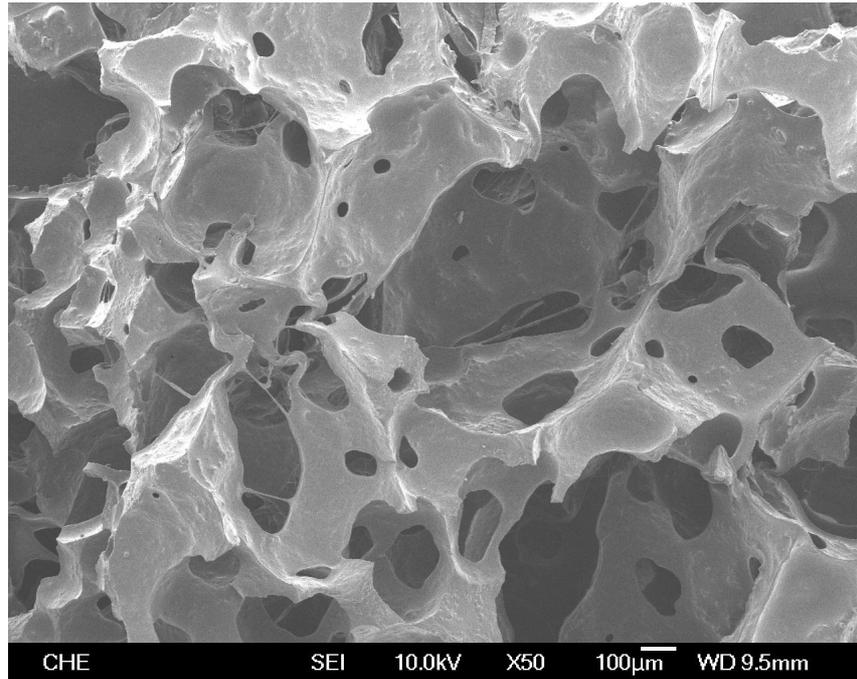
圖(4-20) 利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 2) : MDI 20% = 1.75 : 1 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



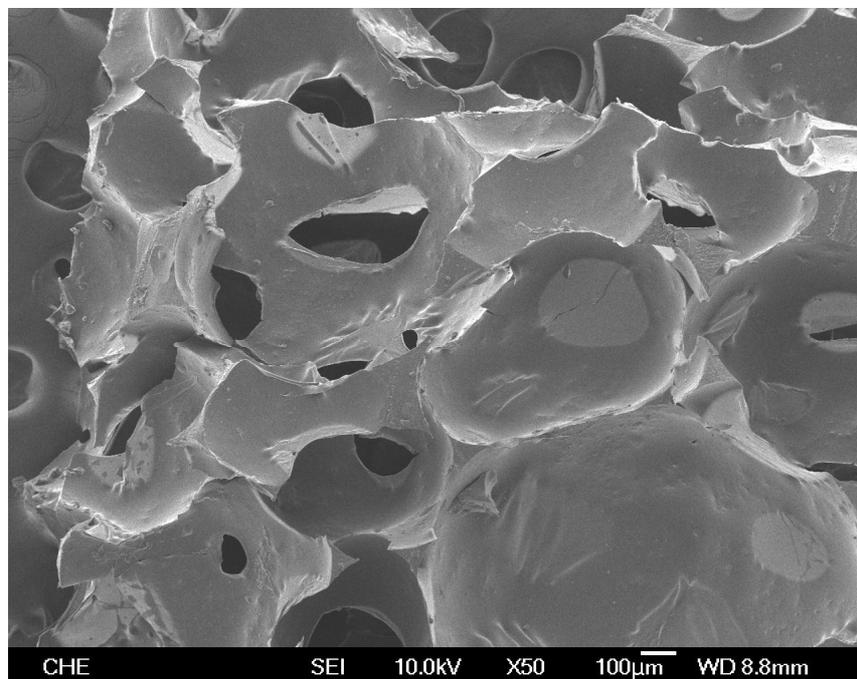
圖(4-21) 利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 2) : MDI 20% = 1 : 1 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



圖(4-22) 利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 2 : 1) : MDI 20% = 2 : 1 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



圖(4-23) 利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 2 : 1) : MDI 20% = 1.25 : 1 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



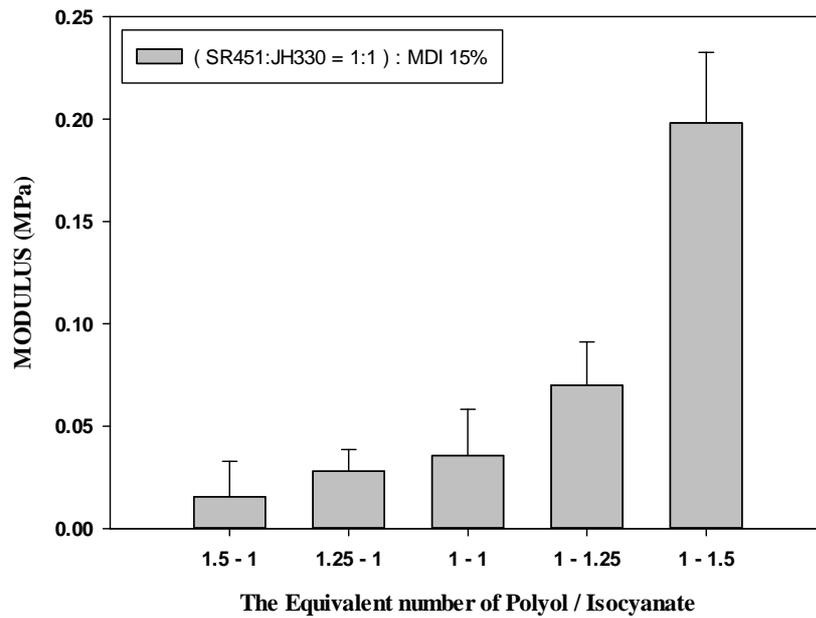
圖(4-24) 利用 SEM 觀察軟質吸水性 PU Foam 的表面結構 (其中, (SR451 : JH330 = 2 : 1) : MDI 20% = 1 : 1.5 ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)

4-2-2 PU Foam 機械性質的分析

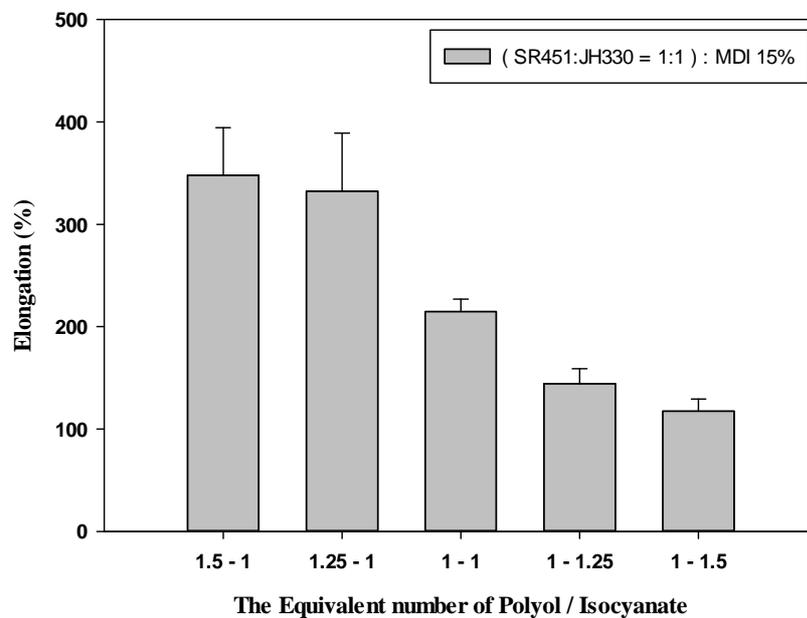
本研究中，固定胺觸媒 (Catalysts)、整泡劑 (Foam stabilizers) 和發泡劑 (Blowing agents) 等不同參數配方，使用 2 種不同的聚醚多元醇 YUKOL SR-451 和 JH-330 並分別以 1:1、1:2、2:1 的含量均勻混合，最後將這 3 種聚醚多元醇以一定的配方比例與 2 種不同 NCO%(NCO 15%和 NCO 20%) 的 MDI 在常溫下進行聚合反應，來製備出軟質且高吸水性的 PU Foam，利用拉力試驗機來測量所製成 PU Foam 的機械強度和伸長率，並加以比較。但因為與 NCO 20% 聚合製成之 PU Foam 因為形體過於堅硬，以至於無法材切成一定厚度的試片，所以以下圖示是以聚醚多元醇和 NCO 15% 的 MDI 進行聚合反應製成的 PU Foam，並取此配方比例之間可裁切之樣品的測試結果圖來進行比較。

下圖所示，圖(4-25)、圖(4-27)、圖(4-29)分別為不同配方比例與 NCO 15% 的 MDI 進行聚合後的 PU Foam 之機械強度圖，我們可發現當使用 MDI 的總添加量越多時，PU Foam 的形體會因為 2-2 節提到的做為交聯點的硬鏈節含量過多，而造成 PU Foam 整體的硬度和強度有所提高。所以當樣品經由拉伸測試時，測試出的 modulus 值會由圖中所示從左至右依序上升，即代表當 MDI 含量越多，其所製出 PU Foam 的 modulus 值會隨之上升。

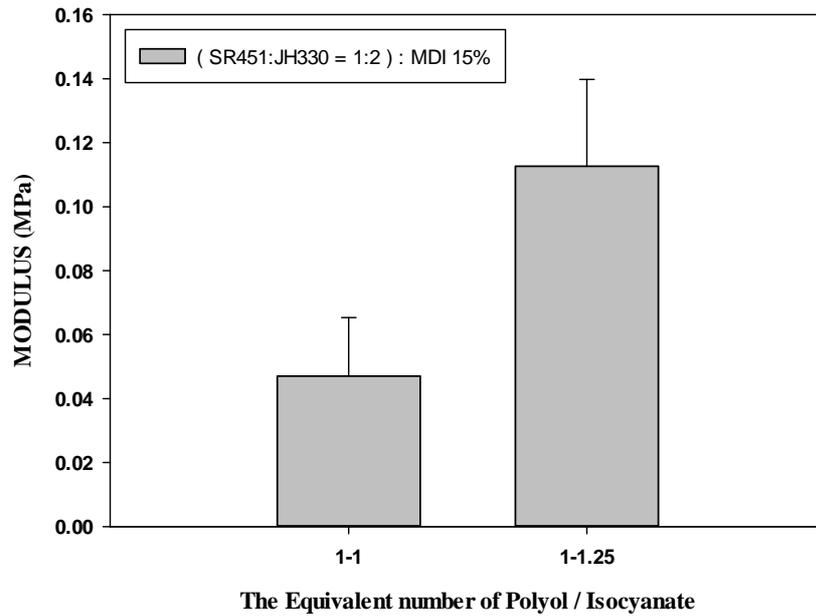
依圖(4-26)、圖(4-28)、圖(4-30) 為經拉力試驗機測量之結果。當軟鏈節的聚醚多元醇的添加量越多時，其伸長率會隨之上升，我們推斷有兩種因素，一是研判在鏈延長反應時的聚合度不足而造成結構鬆散，另一因素是因為 2-2-1 節提到當軟鏈節和硬鏈節間發生相分離時，軟鏈節會有產生順向結晶的情形發生，此效應稱為應變誘導結晶作用 (Strain-induced Crystallization)，故由此推測 PU Foam 的機械性質主要受到硬鏈節區域的形成和軟鏈節含量多寡的影響。



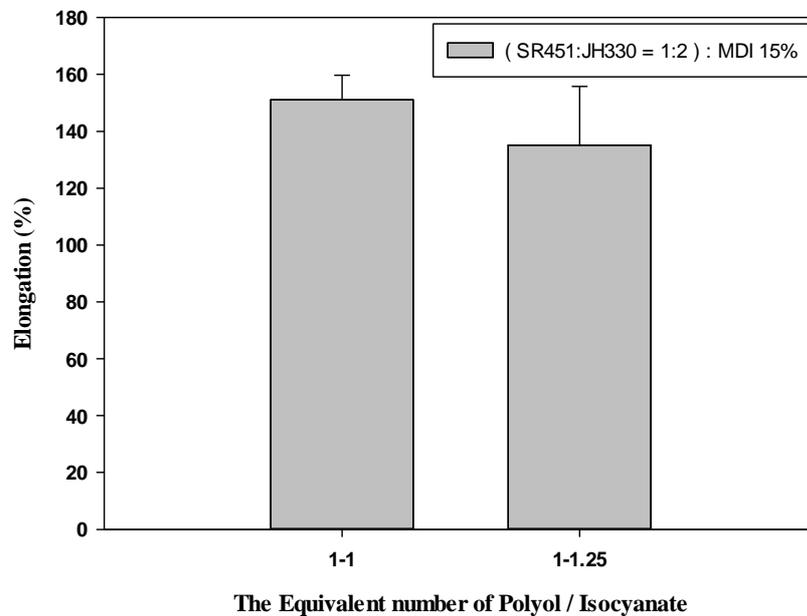
圖(4-25) 測量軟質吸水性 PU foam 的 Modulus (其中 , (SR451 : JH330 = 1 : 1) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



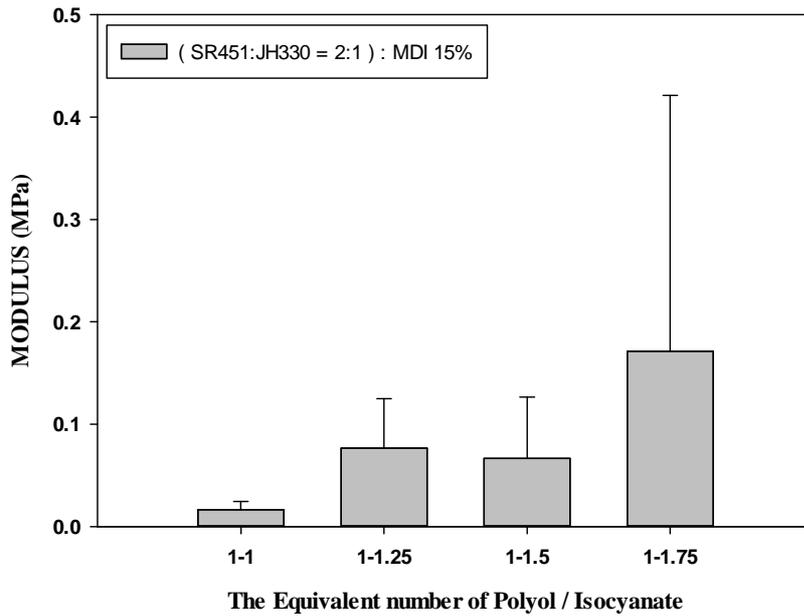
圖(4-26) 測量軟質吸水性 PU foam 的 Elongation (其中 , (SR451 : JH330 = 1 : 1) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



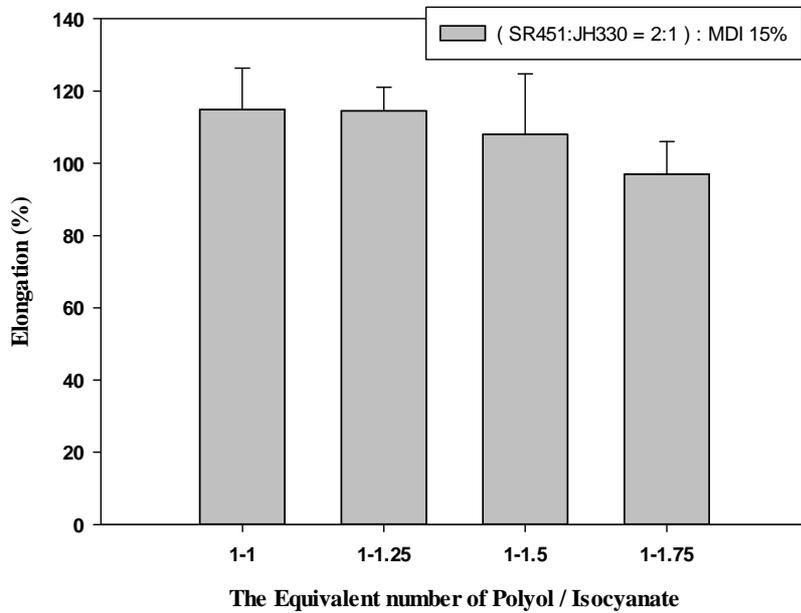
圖(4-27) 測量軟質吸水性 PU foam 的 Modulus (其中 , (SR451 : JH330 = 1 : 2) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



圖(4-28) 測量軟質吸水性 PU foam 的 Elongation (其中 , (SR451 : JH330 = 1 : 2) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



圖(4-29) 測量軟質吸水性 PU foam 的 Modulus (其中 , (SR451 : JH330 = 2 : 1) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



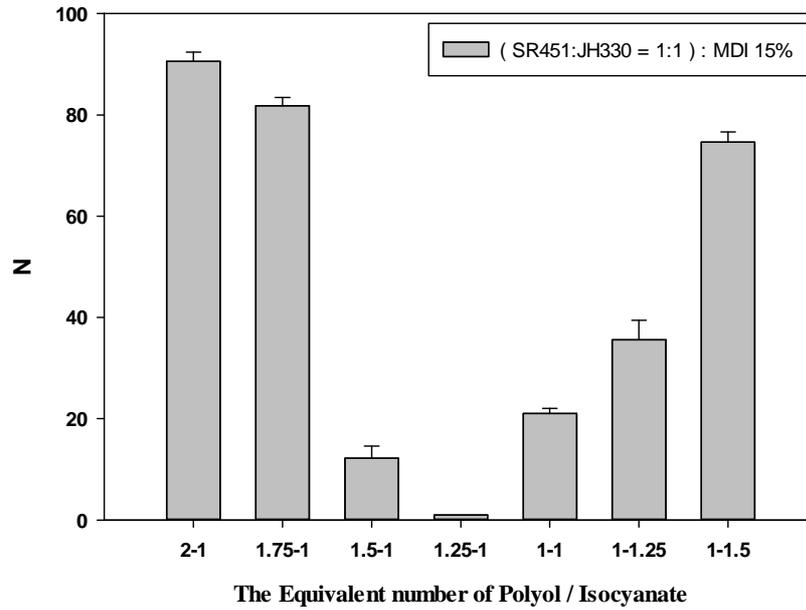
圖(4-30) 測量軟質吸水性 PU foam 的 Elongation (其中 , (SR451 : JH330 = 2 : 1) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)

4-2-3 硬度分析

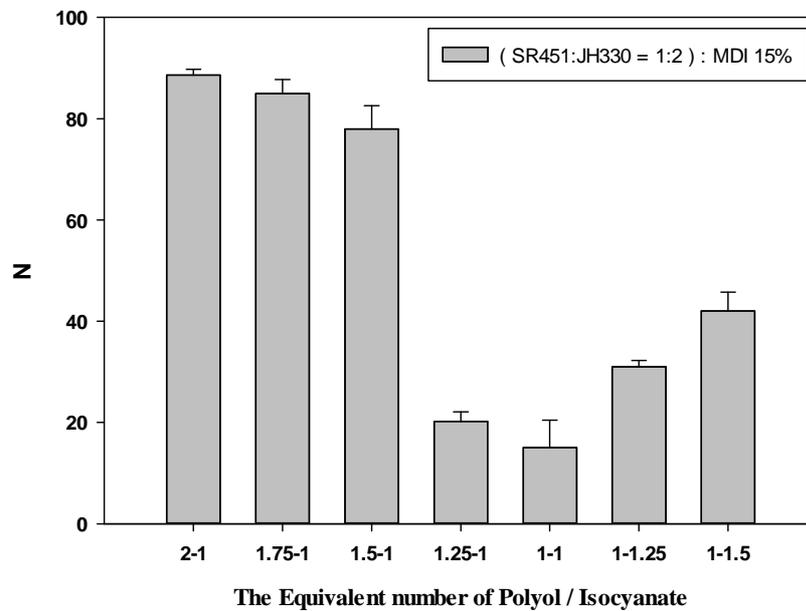
本研究中，固定胺觸媒 (Catalysts)、整泡劑 (Foam stabilizers) 和發泡劑 (Blowing agents) 等不同參數配方，使用 2 種不同的聚醚多元醇 YUKOL SR-451 和 JH-330 並分別以 1:1、1:2、2:1 的含量均勻混合，最後將這 3 種聚醚多元醇以一定的配方比例與 2 種不同 NCO% 的 MDI 在常溫下進行聚合反應，來製備出軟質且高吸水性的 PU Foam。使用硬度計分別測量這些吸水性 PU Foam 的硬度。

依照圖(4-31)~圖(4-36)所示，當進行 PU Foam 的聚合反應時，使用聚醚多元醇的總添加量越多時產生的 CO₂ 也越多，PU Foam 的形體因為 2-2 節提到的軟鏈節含量過多，做為交聯點的硬鏈節過少，使得兩者發生聚合反應後的立體結構變弱，而造成聚合物的整體黏度偏低而不足以支撐發泡反應時所生成過多的 CO₂，導致 PU Foam 有塌泡或收縮現象的發生；相反的，當使用的 MDI 的添加量越多時，造成鏈增長反應所形成的硬鏈節也越多，這些過多的硬鏈節會使 PU Foam 形體的硬度和強度提高。

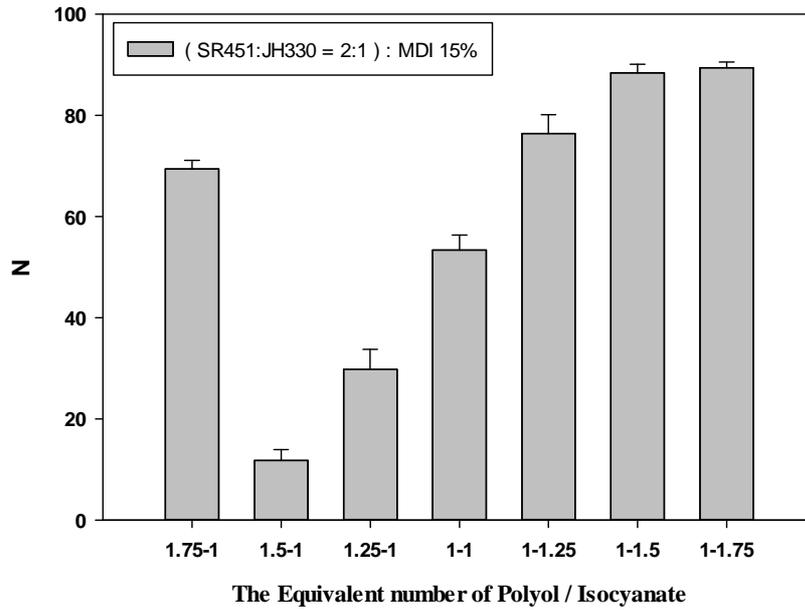
所以，當聚醚多元醇的總添加量過多時，過多的 CO₂ 會造成併泡或塌陷的現象，使得整體 PU Foam 下塌緊縮在一起，而造成整體表象硬度增加；而當 MDI 的總添加量過多時，造成硬鏈節的增加，會使所製作出的 PU Foam 其形體的硬度上升。因此我們可以推測，若要製作軟質的 PU Foam，軟鏈節和硬鏈節的添加量比例的多寡是關鍵所在。



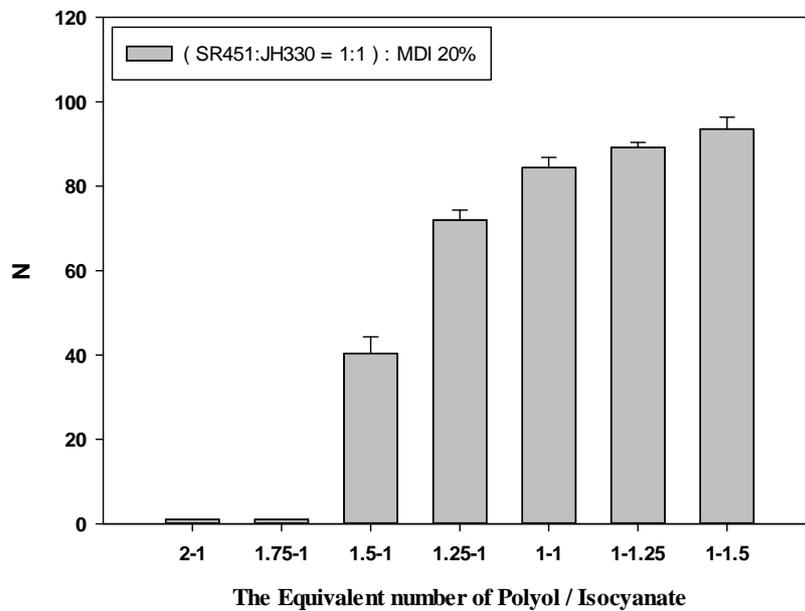
圖(4-31) 利用硬度計測量軟質吸水性 PU Foam 的硬度 (其中, (SR451:JH330 = 1:1): MDI 15%; DMEA = 1wt%; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



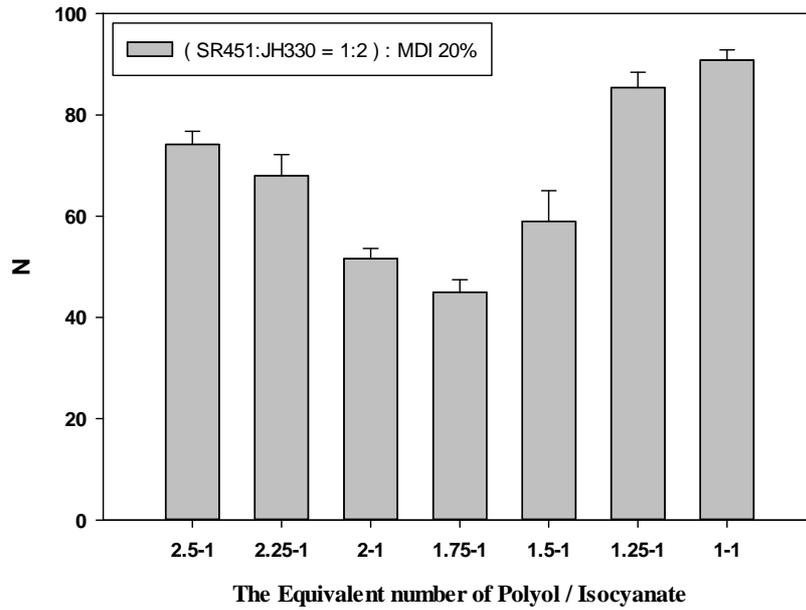
圖(4-32) 利用硬度計測量軟質吸水性 PU Foam 的硬度 (其中, (SR451:JH330 = 1:2): MDI 15%; DMEA = 1wt%; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



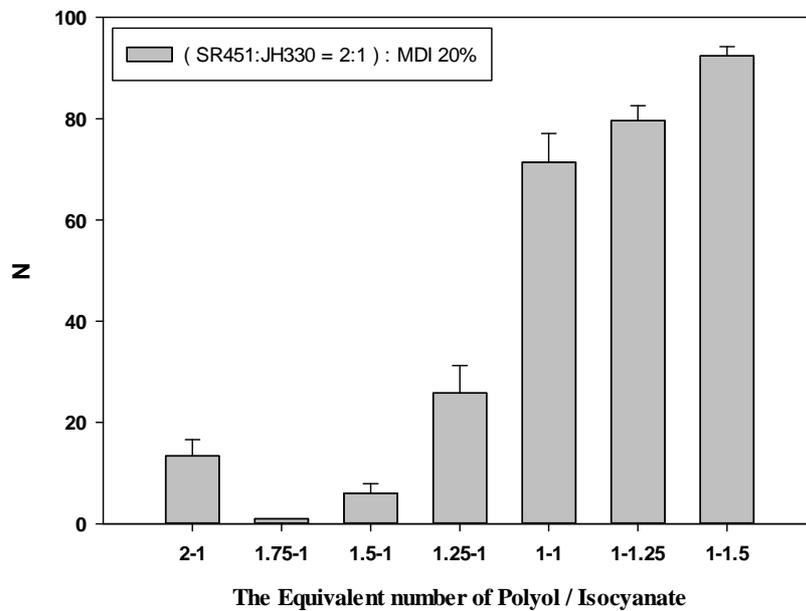
圖(4-33) 利用硬度計測量軟質吸水性 PU Foam 的硬度 (其中, (SR451 : JH330 = 2 : 1) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



圖(4-34) 利用硬度計測量軟質吸水性 PU Foam 的硬度 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 1) : MDI 20% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



圖(4-35) 利用硬度計測量軟質吸水性 PU Foam 的硬度 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 2) : MDI 20% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



圖(4-36) 利用硬度計測量軟質吸水性 PU Foam 的硬度 (其中, (SR451 : JH330 = 2 : 1) : MDI 20% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)

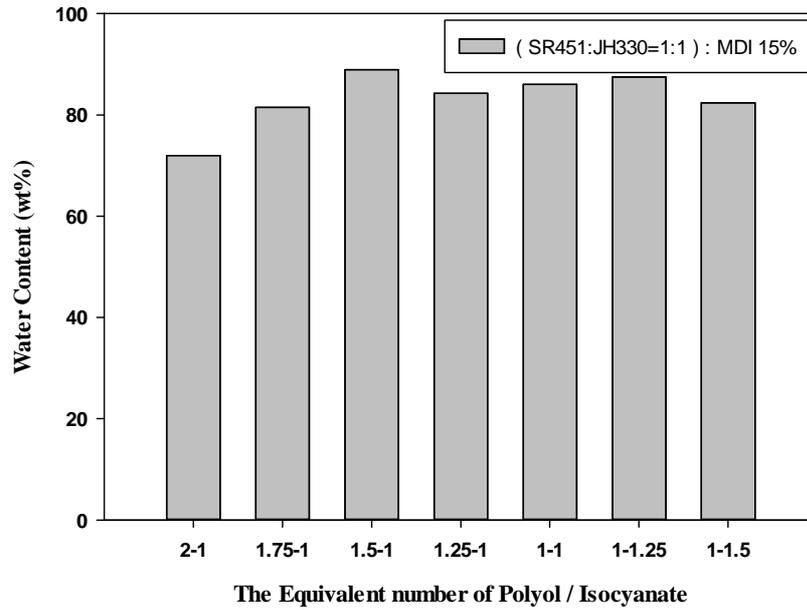
4-2-4 PU Foam 含水率與脫水速率的分析

4-2-4-1 含水率分析

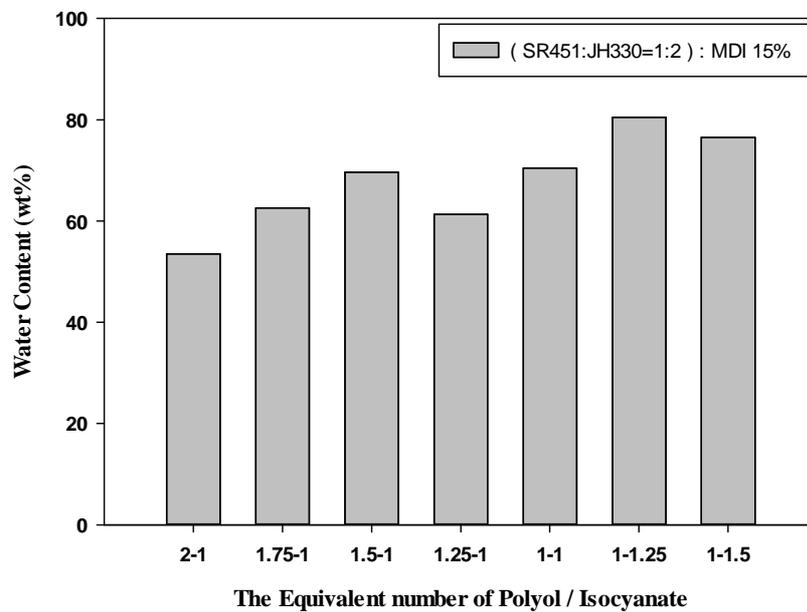
本研究中，固定胺觸媒 (Catalysts)、整泡劑 (Foam stabilizers) 和發泡劑 (Blowing agents) 等不同參數配方，使用 2 種不同的聚醚多元醇 YUKOL SR-451 和 JH-330 並分別以 1:1、1:2、2:1 的含量均勻混合，最後將這 3 種聚醚多元醇以一定的配方比例與 2 種不同 NCO% (NCO 15% 和 NCO 20%) 的 MDI 在常溫下進行聚合反應，來製備出軟質且高吸水性的 PU Foam。

將所製成的 PU Foam 樣品浸泡於去離子水中，經過充分吸飽水分之後，將樣品裁切為 20.0 ~ 25.0mg 左右的大小，使用 TGA 進行含水率分析。依照圖(4-37)~圖(4-42)所示，將 PU Foam 樣品吸飽水分後的總重量減去經由 TGA 分析後得到的脫水樣品，即得其含水率。

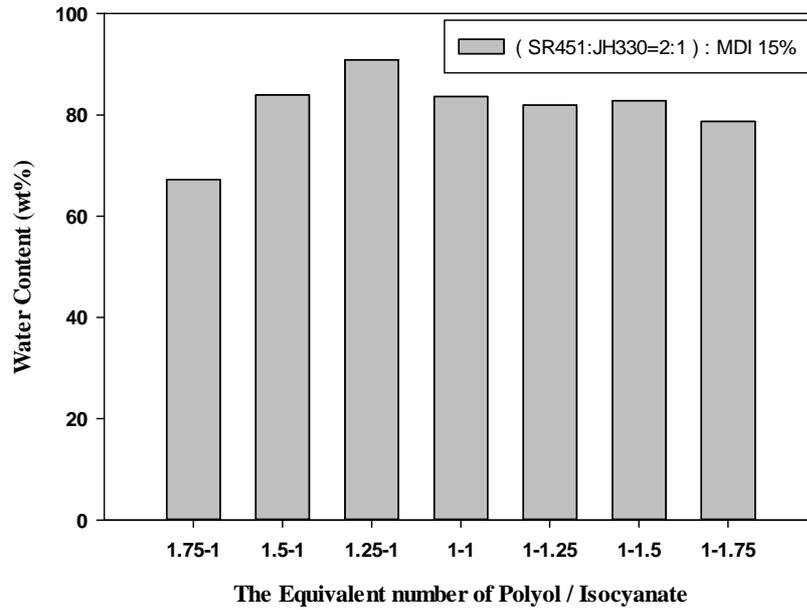
依照下圖(4-37)~圖(4-42)的結果，當聚醚多元醇的添加量多時，產生的 CO₂ 就越多，在與添加量過少的 MDI 進行聚合反應時，會造成 PU 聚合物的整體黏度偏低而不足以支撐發泡反應時生成過多的 CO₂，使 CO₂ 會出現併泡的情形，導致 PU Foam 有塌泡或收縮現象的發生，所以由上述原因推測含水量會因為聚醚多元醇添加量變多而會有降低的趨勢；相對的當使用 MDI 的添加量越多時，會使 PU 聚合物的整體黏度提高，造成發生聚合反應後 PU 聚合物的立體結構變強，整個 PU 形體足以支撐住生成的 CO₂ 而形成泡孔，但可能也會因為黏度過高，使得製出的 PU Foam 開孔性不足 (如圖(4-12)所示較為明顯)，反而導致測試出的吸水量有降低的趨勢。



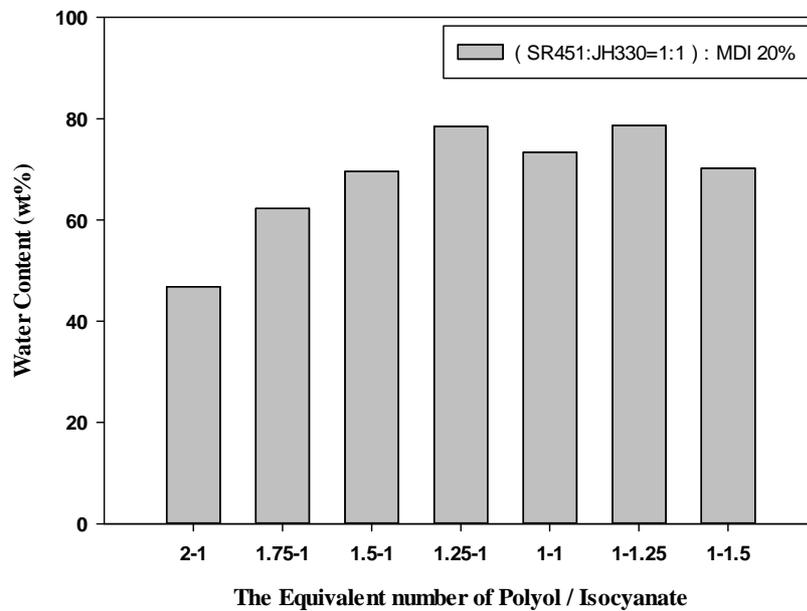
圖(4-37) 利用 TGA 測量軟質吸水性 PU Foam 的含水率(其中,(SR451:JH330 = 1 : 1) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



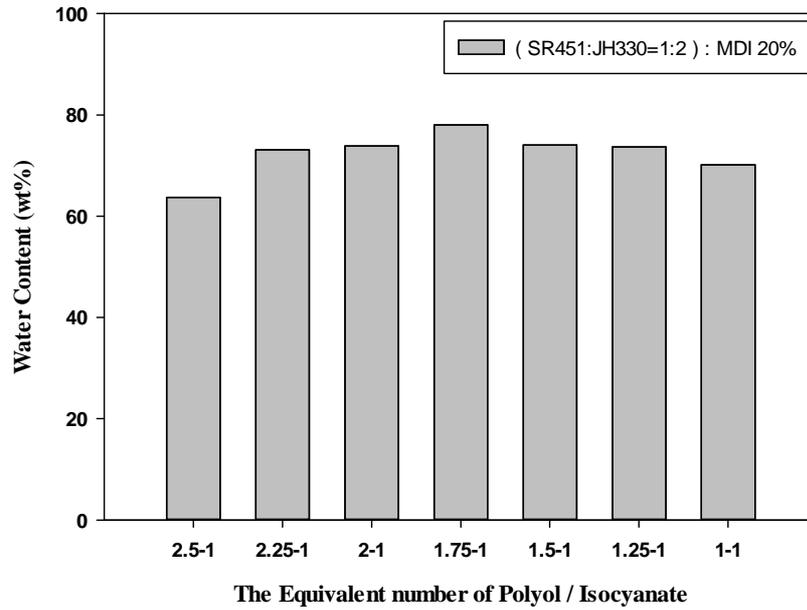
圖(4-38) 利用 TGA 測量軟質吸水性 PU Foam 的含水率(其中,(SR451:JH330 = 1 : 2) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



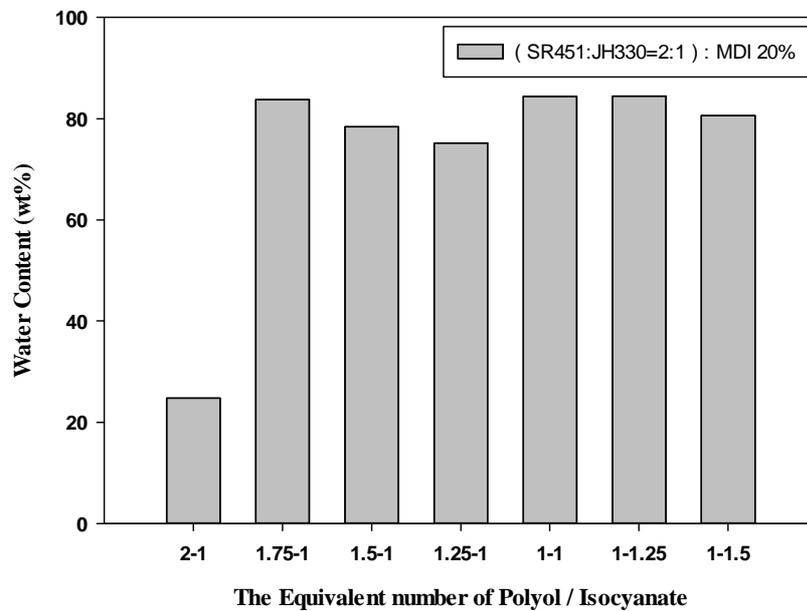
圖(4-39) 利用 TGA 測量軟質吸水性 PU Foam 的含水率(其中,(SR451:JH330 = 2 : 1) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



圖(4-40) 利用 TGA 測量軟質吸水性 PU Foam 的含水率(其中,(SR451:JH330 = 1 : 1) : MDI 20% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



圖(4-41) 利用 TGA 測量軟質吸水性 PU Foam 的含水率(其中,(SR451:JH330 = 1 : 2) : MDI 20% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)

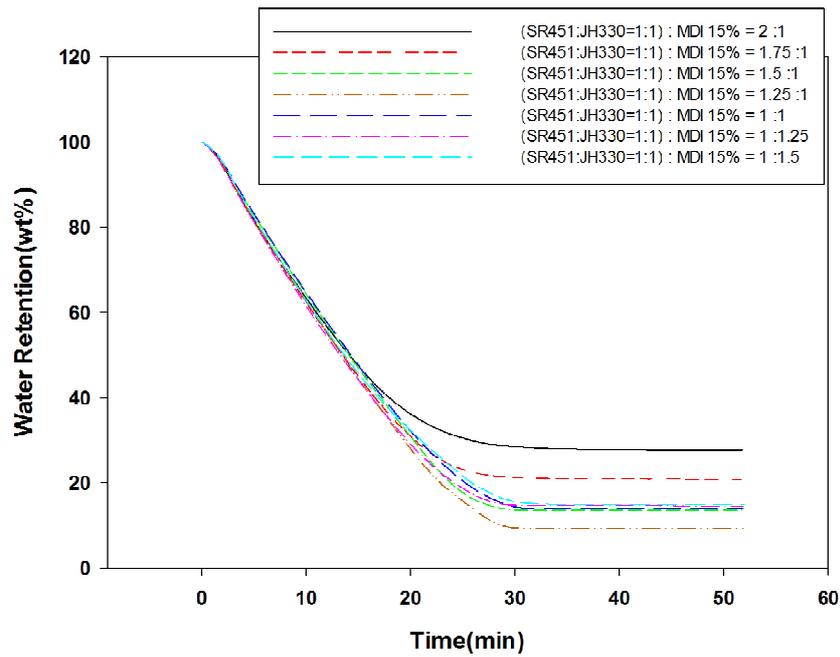


圖(4-42) 利用 TGA 測量軟質吸水性 PU Foam 的含水率(其中,(SR451:JH330 = 2 : 1) : MDI 20% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)

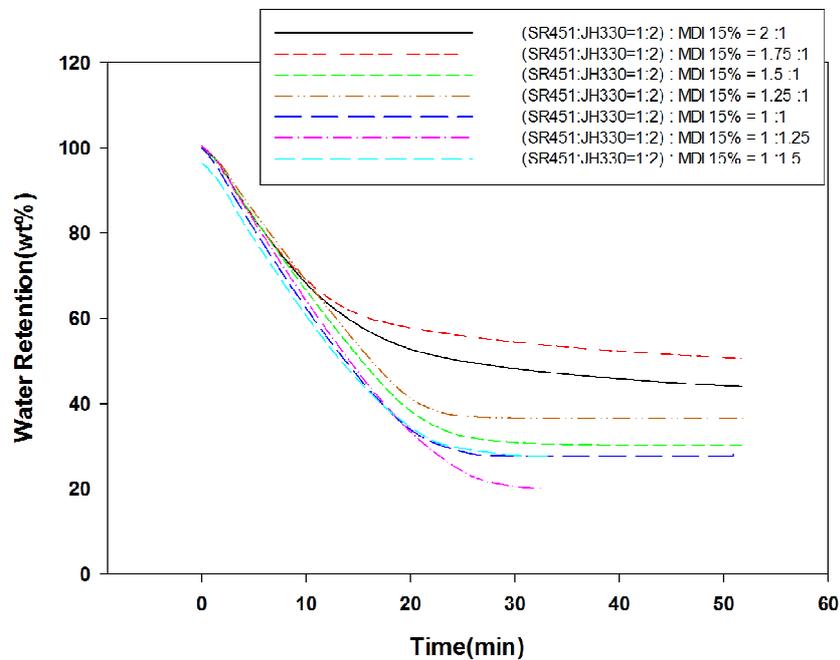
4-2-4-2 脫水速率

本研究中，固定胺觸媒 (Catalysts)、整泡劑 (Foam stabilizers) 和發泡劑 (Blowing agents) 等不同參數配方，使用 2 種不同的聚醚多元醇 YUKOL SR-451 和 JH-330 並分別以 1:1、1:2、2:1 的含量均勻混合，最後將這 3 種聚醚多元醇以一定的配方比例與 2 種不同 NCO% (NCO 15% 和 NCO 20%) 的 MDI 在常溫下進行聚合反應，來製備出軟質且高吸水性的 PU Foam。將所製成的 PU Foam 樣品浸泡於去離子水中，經過充分吸飽水分之後，並固定 TGA 加熱溫度為 500°C，持溫時間固定為 50min 時，來進行脫水速率的分析。

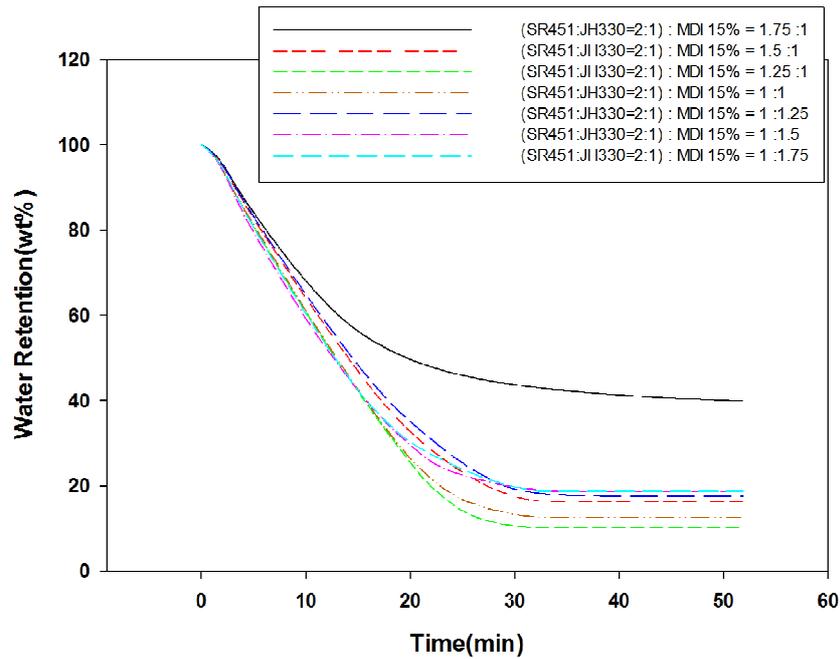
當利用含水率與乾燥時間作圖時，當其斜率愈大時表示水分脫附的速率也愈快。依照下圖(4-43)~圖(4-48)所示，每個圖代表不同的 (SR451:JH330) /MDI 配方，但是當聚醚多元醇的添加量最多時，PU 聚合物的整體黏度過低而無法支撐起發泡反應時生成大量的 CO₂，使 CO₂ 會出現併泡的情形，導致 PU Foam 有塌泡或收縮現象的發生所製成 PU Foam 的形體會因為 2-2 節提到的軟鏈節過多導致塌泡或收縮的現象發生，所以導致 PU Foam 的泡孔萎縮變形，使樣品無法有效吸飽水分，導致最後乾燥後之乾重較重。而在脫水速率方面，我們可以對照 4-2-1 節中的 SEM 圖，判斷因為孔徑分佈不均勻，導致這些脫水速率圖中呈現出不具規則性的排序。



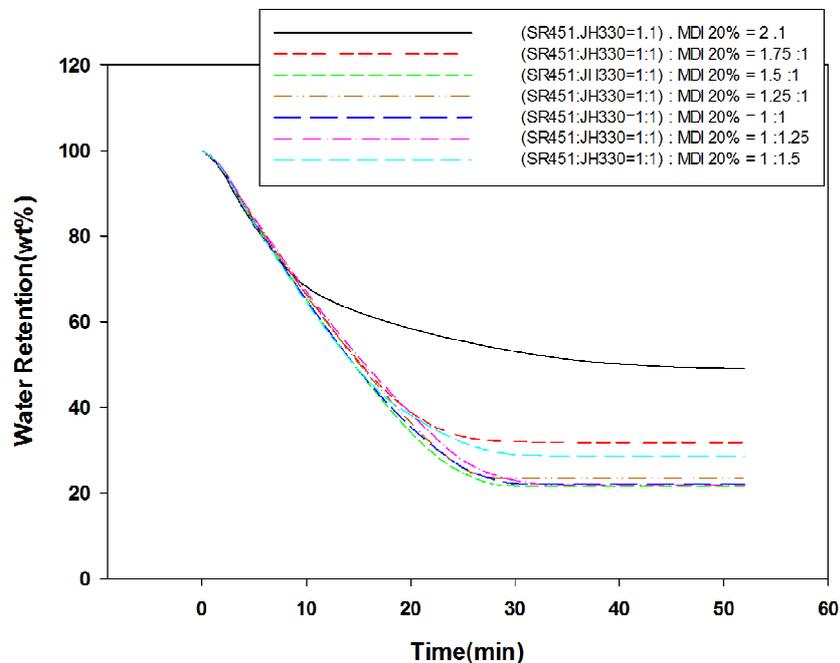
圖(4-43) 利用 TGA 測量軟質吸水性 PU Foam 的脫水速率 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 1) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



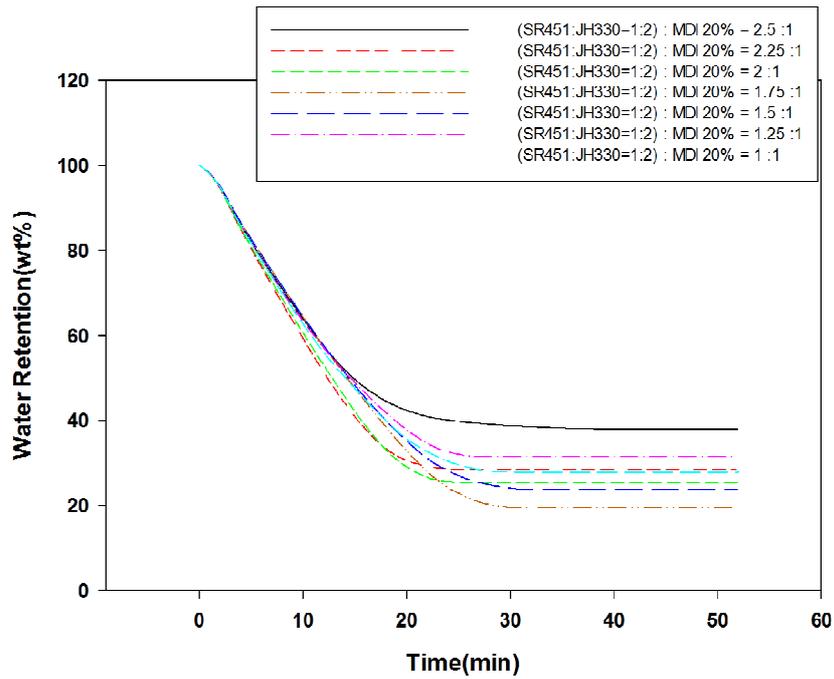
圖(4-44) 利用 TGA 測量軟質吸水性 PU Foam 的脫水速率 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 2) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



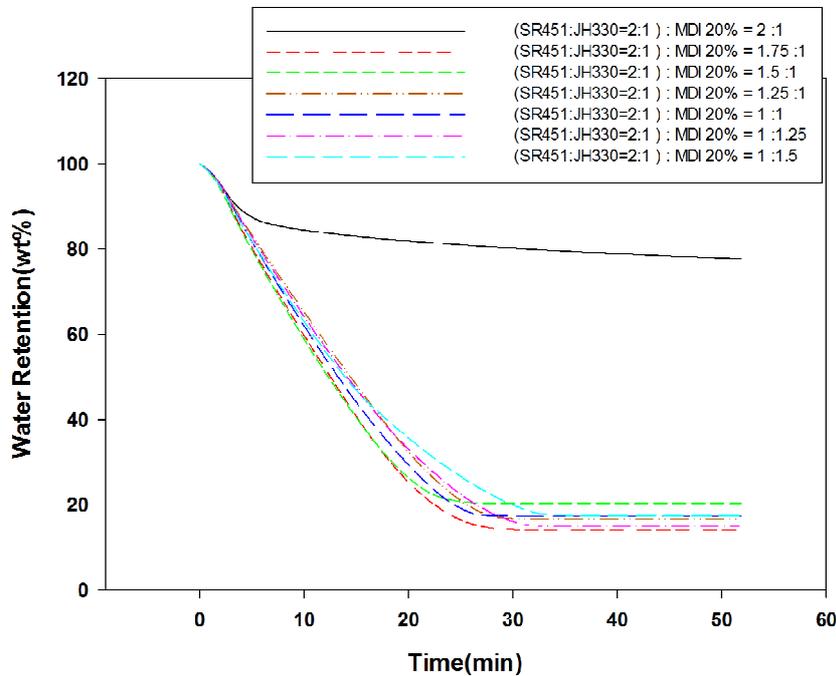
圖(4-45) 利用 TGA 測量軟質吸水性 PU Foam 的脫水速率 (其中, (SR451 : JH330 = 2 : 1) : MDI 15% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



圖(4-46) 利用 TGA 測量軟質吸水性 PU Foam 的脫水速率 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 1) : MDI 20% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



圖(4-47) 利用 TGA 測量軟質吸水性 PU Foam 的脫水速率 (其中, (SR451 : JH330 = 1 : 2) : MDI 20% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)



圖(4-48) 利用 TGA 測量軟質吸水性 PU Foam 的脫水速率 (其中, (SR451 : JH330 = 2 : 1) : MDI 20% ; DMEA = 1wt% ; TEGOSTAB® B 8870 = 0.8wt%)

第五章 結論與建議

根據本研究的結果與分析，探討以 2 種不同的聚醚多元醇 YUKOL SR-451 和 JH-330 並分別以 1:1、1:2、2:1 的含量均勻混合後，並固定胺觸媒(Catalysts)、整泡劑 (Foam stabilizers) 和發泡劑 (Blowing agents) 等不同參數配方，再分別與 2 種不同 NCO% (NCO 15%和 NCO 20%) 的 MDI 在常溫下進行聚合反應，來製備出軟質且高吸水性的聚氨基甲酸酯發泡體(PU Foam)。本論文同時觀察並比較其成品在物性和結構上的不同。由實驗的結果可以發現：

1. 經由 FT-IR 測得官能基吸收值，聚氨基甲酸酯官能基位於波長 $3200\text{ cm}^{-1}\sim 3500\text{ cm}^{-1}$ 的 O-H 鍵確實會隨著成分 A (Polyol) 的添加量增加而吸收峰面積會有越來越大的趨勢，研判這些 O-H 鍵結是發生在鏈延長反應後，軟鏈節的側鏈上所殘餘之醇類的氫氧鍵 (O-H)，由此可證實此本論文實驗的 PU Foam 本身結構是具有親水性質的。
2. 由圖(4-7)、圖(4-10)、圖(4-13)、圖(4-16)、圖(4-19)、圖(4-22) 的 SEM 照片結果可知，聚醚多元醇越多時，產生的 CO_2 就越多，且當軟鏈節過多、硬鏈節過少時，會使 PU 聚合物的黏度偏低，所形成的 PU 立體結構也較弱而無法支撐起生成的 CO_2 ，使 PU Foam 會因這些過多的 CO_2 造成孔壁變薄和併泡現象發生，而出現塌泡或收縮的情形。由圖(4-9)、圖(4-12)、圖(4-15)、圖(4-18)、圖(4-21)、圖(4-24)的 SEM 照片結果可知，當 MDI 添加量越多，會提升 PU 聚合物整體溶液的黏度，使交聯反應後形成的立體結構變強，而當 PU 聚合物黏度變高時，泡孔間流體的流失排泄現象 (drainage) 也會降低，使泡孔達到穩定，而呈現圓型且閉孔式的泡孔結構。圖(4-8)的 SEM 照片為良好 PU 的泡孔結構，沒有發生形體下塌和閉孔式泡孔的情形發生。

3. 由拉伸測試的結果可知，PU Foam 的形體會因為做為交聯點的硬鏈節(MDI)含量過多，造成 PU Foam 整體的硬度和強度相對提高，使測試出的 modulus 值會隨之上升。而測出的 Elogation 會因為軟鏈節(Polyol)增加而隨之上升，推斷有兩種原因，一是因聚合度不足造成結構鬆散，另一因素為軟鏈節 (Polyol) 有產生順向結晶的情形，在應變誘導結晶作用的影響下，促使 Elogation 因此而上升。
4. 由硬度分析的結果可知，當 A 成分 (Polyol) 固定，B 成分 (MDI) 分別使用的 MDI 為 NCO 15% 或 NCO 20% 時，兩者製成的 PU Foam 硬度並未有太大的區別。但是在配方比例改變時，當聚醚多元醇越多時，過多的 CO₂ 會造成併泡或塌陷的現象，使整體 PU Foam 下塌，而使整體表象硬度增加；而當 MDI 越多時，由於硬鏈節增加，使製作出的 PU Foam 的形體硬度上升。
5. 由含水量的測試結果可知，當聚醚多元醇越多時，產生的 CO₂ 就越多，會造成 PU 聚合物的整體黏度偏低而不足以支撐過多的 CO₂，出現併泡的情形，導致 PU Foam 有塌泡或收縮現象的發生，所以含水量會因聚醚多元醇增加而有下降的趨勢；而 MDI 越多時，PU 聚合物的整體黏度提高，使 PU 聚合物的立體結構變強足以支撐住 CO₂ 而形成泡孔，但也可能因黏度過高，使 PU Foam 開孔性不足 (如圖(4-12)較為明顯)，導致吸水量有下降的趨勢。
6. 在脫水速率的測試結果可知，當聚醚多元醇越多，PU Foam 的形體會因為軟鏈節(Polyol)過多發生塌泡或收縮的現象，使 PU Foam 的泡孔萎縮變形，使樣品無法有效吸飽水分，再和 4-2-1 節中的 SEM 圖對照後，研判因孔徑分佈不均，而導致脫水速率圖中呈現不具規則性的排序。

綜合以上本研究所得的結果，使用 (SR451：JH330=2：1) /MDI 15% 配方比例製成的 PU Foam 其成品結構會較柔軟緊實，吸水性不論使用 NCO15% 或 20% 的 MDI 所製成的 PU Foam 沒有太大的差異性，而在拉伸測試上會因為 PU Foam 其結構中硬鏈節 (MDI) 含量越多而機械強度變大，但伸長量會因此降低。

聚氨基甲酸酯發泡體是由軟鏈節和硬鏈節所組成，因具有相分離特性，使其在常溫下仍然能呈現柔軟、有彈性。但傳統的聚氨基甲酸酯發泡體其結構多呈現疏水性，對於水的親和力較差，所以若要提高發泡體的親水能力，日後的研究方向可以朝向使用多種不同分子量且具有多 OH 官能基的聚醚多元醇進行混合，作為與硬鏈節（MDI）混合的軟鏈節反應物，以及調整兩者之間的添加比例，因而可製造出泡孔結構良好且高親水軟質 PU Foam，其可應用於醫療衛生、清潔用品和無土栽培等領域等，而製作出擁有良好物理性質的 PU Foam 甚至可以取代現今應用於半導體製程中移除晶圓表面雜質的 PVF Foam Roller。

參考文獻

1. 朱呂民,劉益軍,聚氨酯泡沫塑料第三版,化學工業出版社, **2004**.
2. Saunders,J. H., Frish,K.C., Polyurethane : Chemistry and Technology, Part I and II, Interscience, New York, **1988**.
3. 吳大誠,杜仲良,高緒珊,奈米纖維,五南圖書出版公司, **2004**, P.2~16.
4. 馬振基,奈米科技材料原理與應用,全華科技圖書公司, **2003**, P.1-3~P.2-56, P.4-85~4-90.
5. Kurt C. Frisch, Daniel Klempner, Geoffrey Prentice,Eds, Recycling of polyurethanes , Technomic Pub. Co., Inc. ,Lancaster, **1999**.
6. 李紹雄,劉益軍,聚氨酯樹脂及其應用,化學工業出版社, **2002**, P.176~178.
7. Bonart,R., Mueller. F. H., Macromol.J., Sci. Phys, **1984**, P.177.
8. 賴耿陽,聚脲脂樹脂 PU 原理與實用,復漢出版社, **2001**
9. 曾文聰,PU 發泡體的結構與性質,碩士論文,國立中央大學, **2001**, P.5~46.
10. Bailey, M E,V. Kirss and R. G. Spaunburgy, Ind. Eng. Chem.,48, **1956**, P.794.
11. John Willey & Sone, Inc., Polm. Letter, 8, **1970**, P.353.
12. Copper, S. L. Tobolsky, A. V. J. Appl. Polym. Sci, **1966**, 10, 1837.
13. S. B. Clough and N. S. Schneider, J.Macromol. Sci. Phys., B2 (4) , **1986**, P.553.
14. C.H.M. Jacques, Polymer Alloys, Blend, Blocks,Crafts, and Interpenetrating Networks, Polymer Scienceand Techology. Plenum Press, New York, **1977**.
15. S. Abouzahr and G.L. Wilkes, Polym. 23, 1982.
16. Van Bogart J. W. C. Lilaonitkul, A. Cooper, S. L. Adv Chem. Ser, 1979, P.176.
17. C. H. M. Jcques, Polymer Alloys Blends, Blocks, Grafts and Interpenetrating Polymer Netorks, Polymer Science and Technology, 10, Plenum Press, New York , **1977**.
18. Cooper.S. L.,Material Science & Engineering, 49, 53, **1987**.
19. R. Bonart, J. Macromol. Sci. Phys., B2 (1) , **1968**, P.115.
20. C. Hepburn, Polyurethane Elastomers, Appl. Sci., Publishers, **1982**, P.66.
21. C. Hepburn, Polyurethane Elastomers, Appl. Sci., Publishers, **1982**, P.55.
22. N. S. Schneider and C. S. Paik Sung, Polym. Eng. Sci., 17, **1977** , P.73.
23. S. B. Lin, k. K. S. Hang, G. S. Wu, S. Y. Tsag and S. L. Cooper, Am. Chem. Sci. Polym. Mater. Sci. Eng., 49, **1983**, P.53.
24. 曾文聰,PU 發泡體的結構與性質,碩士論文,國立中央大學, **2001**, P.5~8.
25. G. Oertel, Polyurethane Handbook, Hanser / Gardner, Inc., **1993**
26. Rand, L., B. Thir, S.L. Reegen, K. C. Frisch, J. Appl. Polym. Sci. 9, **1965**.
27. 張豐志,應用高分子手冊,五南圖書出版股份有限公司, **2003**, P.437~476.

28. 傅明源,孫酣經,聚氨酯彈性體及其應用,化學工業出版社, **2001**, P.35~52.
29. 賴耿陽,聚脲脂樹脂 PU 原理與實用,復漢出版社, **2001**, P.1~62.
30. 我國 PU 樹脂應用市場與技術發展趨勢, **2007**, P.3~4.
31. Gunter Oertel ,Eds., Polyurethane Handbook, Hanser / Gardner Publications, Inc. , New York, **1993**, P.69.
32. Koerner, C., Physics of Foaming. Springer, **2008**.
33. Walter,D., Vilar,D.S., Chemistry and Technology of Polyurethane.
34. Daniel Klempner and Kurt C. Frisch, Eds, Polymeric Foams, Hanser Publishers, New York, **1991**, P.404.
35. Cunningham, A., et al. Cell Polym. **1988**, P.439.
36. Toensmeier, P. A. Mod. Plast. 65(9), **1988**, P.106.
37. Focus on Ozone, Du Pont Canada, Inc., Mississauga, Ont., Can., **1988**.
38. Meeting the Challenge: Polyurethane without CFCs, ICI Polyurethanes, ICI Europe, Ltd., Kortenberg, Belgium, **1989**.
39. Support Factors, Union Carbide, Urethane Intermediates, Knoxville, TN, USA, **1989**.
40. Intern. Workshop on Long-Term Thermal Performance of Cellular Plastics, SPI Canada: Hunstville, Ont., Can., **1989**.
41. Cossi, G. The Chlorofluorocarbons Problem and Polyurethanes, Informative Notes INO 78904E, Montedipe, Milano, Italy, **1989**.
42. 施建州,易燃性硬質 PU 發泡材質研究,碩士論文,國防大學中正理工學院, **2001**, P.16.
43. 張有義,郭蘭生,乳化液及泡沫. 2nd ed.,高立圖書有限公司, **2004**.
44. 盧子興,李懷祥,田常津,聚氨酯泡沫塑料胞體結構特性的確定,高分子材料科學與工程, **1995**, 11(2), P.86~91.

附錄

附錄 A.

1. 聚氨基甲酸酯發泡體的當量值計算公式

$$W_s = \frac{E_s \times W_p \times R}{E_p} \quad (\text{A-1})$$

W_s ：MDI 的用量

E_s ：MDI 的當量值

W_p ：聚醚多元醇的用量

E_p ：聚醚多元醇的當量值

R ：代表聚氨基酯配方中異氰酸酯過量的程度，本論文將 R 值設定為 1。即是異氰酸酯對聚醚的反應基團(NCO/OH)莫耳比。

當量值(E): 每一個化合物分子中單位官能度(f)所相對應的分子量(M_n)。

a. 聚醚多元醇的當量值 (E_p):

$$E_p = \frac{56.1 \times 1000}{OH\%} \quad (\text{A-2})$$

b. 異氰酸酯的當量值 (E_s , 又稱胺當量值):

$$E_s = \frac{42 \times 100}{NCO\%} \quad (\text{A-3})$$

官能度 (f)：指有機化合物結構中反應出特殊性質（即反應活性）的原子團數目。對聚醚或聚酯多元醇來說，官能度為起始劑含活潑氫的原子數。

羥值 (OH%)：1g 多元醇中的羥值所對應需耗用的 KOH 的 mg 數，其單位是 mgKOH/g。

NCO%：異氰酸酯的百分含量。

2. 德國 BASF 的經驗計算公式

下列計算公式為德國 BASF 公司經由附錄 A 提到以當量值計算簡化而得出的經驗公式。假設聚醚多元醇的重量為 100g 時，和下列計算出的 W_s (MDI 的用量) 分別做為實驗中使用的 A 成分與 B 成分的主要配方比例。

$$W_s = \frac{OH\% \times 4200}{561 \times NCO\%} \times R \quad (A-4)$$

EX 1.

當使用兩種不同的聚醚多元醇以 100g 為總添加量，並用 1:1 的比例進行混合時

$$\rightarrow \text{SR451} : \text{JH330} = 1 : 1 = 50(\text{g}) : 50(\text{g})$$

兩種聚醚多元醇混合後的總 OH% :

$$\rightarrow \frac{[(50 \times 450) + (50 \times 56)]}{100} = 253$$

將求出的總 OH% 和使用 NCO 15% 代入(A-4)式將得出使用 MDI 的添加量

$$\rightarrow W_s = \frac{253 \times 4200}{561 \times 15} \times 1 \cong 126(\text{g})$$

所以計算出的實驗配方比例為 :

$$\text{Polyol} : \text{MDI 15\%} = 100(\text{g}) : 126(\text{g}) \cong 1 : 1.26$$

EX 2.

當使用兩種不同的聚醚多元醇以 100g 為總添加量，並用 1:2 的比例進行混合時

$$\rightarrow \text{SR451} : \text{JH330} = 1 : 2 = 33(\text{g}) : 67(\text{g})$$

兩種聚醚多元醇混合後的總 OH% :

$$\rightarrow \frac{[(33 \times 450) + (67 \times 56)]}{100} = 186$$

將求出的總 OH% 和使用 NCO 15% 代入(A-4)式將得出使用 MDI 的添加量

$$\rightarrow W_s = \frac{186 \times 4200}{561 \times 15} \times 1 \cong 93(\text{g})$$

所以計算出的實驗配方比例為 :

$$\text{Polyol} : \text{MDI 15\%} = 100(\text{g}) : 93(\text{g}) \cong 1.08 : 1$$

EX 3.

當使用兩種不同的聚醚多元醇以 100g 為總添加量，並用 2:1 的比例進行混合時

$$\rightarrow \text{SR451} : \text{JH330} = 2 : 1 = 67(\text{g}) : 33(\text{g})$$

兩種聚醚多元醇混合後的總 OH%：

$$\rightarrow \frac{[(67 \times 450) + (33 \times 56)]}{100} = 320$$

將求出的總 OH% 和使用 NCO 15% 代入(A-4)式將得出使用 MDI 的添加量

$$\rightarrow W_s = \frac{320 \times 4200}{561 \times 15} \times 1 \cong 160(\text{g})$$

所以計算出的實驗配方比例為：

$$\text{Polyol} : \text{MDI 15\%} = 100(\text{g}) : 160(\text{g}) \cong 1 : 1.6$$

EX 4.

當使用兩種不同的聚醚多元醇以 100g 為總添加量，並用 1:1 的比例進行混合時

$$\rightarrow \text{SR451} : \text{JH330} = 1 : 1 = 50(\text{g}) : 50(\text{g})$$

兩種聚醚多元醇混合後的總 OH%：

$$\rightarrow \frac{[(50 \times 450) + (50 \times 56)]}{100} = 253$$

將求出的總 OH% 和使用 NCO 20% 代入(A-4)式將得出使用 MDI 的添加量

$$\rightarrow W_s = \frac{253 \times 4200}{561 \times 20} \times 1 \cong 95(\text{g})$$

所以計算出的實驗配方比例為：

$$\text{Polyol} : \text{MDI 20\%} = 100(\text{g}) : 95(\text{g}) \cong 1.05 : 1$$

EX 5.

當使用兩種不同的聚醚多元醇以 100g 為總添加量，並用 1:2 的比例進行混合時

$$\rightarrow \text{SR451} : \text{JH330} = 1 : 2 = 33(\text{g}) : 67(\text{g})$$

兩種聚醚多元醇混合後的總 OH% :

$$\rightarrow \frac{[(33 \times 450) + (67 \times 56)]}{100} = 186$$

將求出的總 OH% 和使用 NCO 20% 代入(A-4)式將得出使用 MDI 的添加量

$$\rightarrow W_s = \frac{186 \times 4200}{561 \times 20} \times 1 \cong 70(\text{g})$$

所以計算出的實驗配方比例為 :

$$\text{Polyol} : \text{MDI 20\%} = 100(\text{g}) : 70(\text{g}) \cong 1.43 : 1$$

EX 6.

當使用兩種不同的聚醚多元醇以 100g 為總添加量，並用 2:1 的比例進行混合時

$$\rightarrow \text{SR451} : \text{JH330} = 2 : 1 = 67(\text{g}) : 33(\text{g})$$

兩種聚醚多元醇混合後的總 OH% :

$$\rightarrow \frac{[(67 \times 450) + (33 \times 56)]}{100} = 320$$

將求出的總 OH% 和使用 NCO 20% 代入(A-4)式將得出使用 MDI 的添加量

$$\rightarrow W_s = \frac{320 \times 4200}{561 \times 20} \times 1 \cong 120(\text{g})$$

所以計算出的實驗配方比例為 :

$$\text{Polyol} : \text{MDI 20\%} = 100(\text{g}) : 120(\text{g}) \cong 1 : 1.2$$

附錄 B

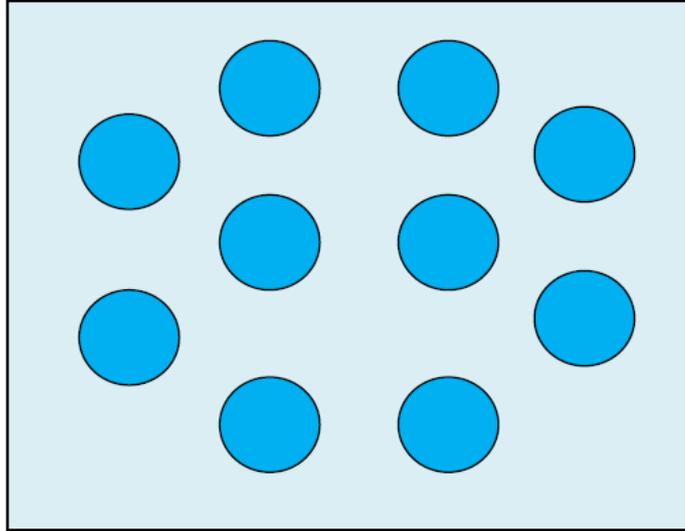


圖 B-1 硬度計數據量測位置圖，深藍色為量測點。