

# 第二十二屆旺宏科學獎

## 成果報告書

參賽編號：SA22-232

姓名：謝蕎羽

作品名稱：將大氣中霧氣轉換成可用水之水膠設計研究

參賽類別：化學組

關鍵字：水凝膠、親疏水性、多孔材料

# 目錄

|           |    |
|-----------|----|
| 摘要        | 3  |
| 壹、前言      | 3  |
| 貳、研究設備與器材 | 6  |
| 參、研究過程與方法 | 8  |
| 肆、研究結果    | 12 |
| 伍、討論      | 18 |
| 陸、結論      | 20 |
| 柒、參考文獻資料  | 21 |

## 摘要

聚異丙基丙烯醯胺(NIPAM)是一具有疏水端及親水端的化合物，其分子型態對於溫度的變化有強烈的敏感性，會隨著溫度的升降形成可逆的親疏水性變化。基於該些特性，我們設計及合成了一水凝膠，可具有汲取空氣中霧氣並將之轉換成水的能力，可將其應用於各種缺乏水源的緊急情況。本研究以異丙基丙烯醯胺(NIPAM)、丙烯醯胺(AM)為單體，加入亞甲基雙丙烯醯胺(Bis-AM)作為分子交聯劑(Crosslinker)，以熱起始劑過硫酸鉀(KPS)進行聚合反應製備出水凝膠，並以SEM、TGA對凝膠內部結構與成份進行分析。研究發現，當NIPAM及AM之質量比為3:1時，吸水效果最好，又以Bis-AM較少時效果更為顯著。

## 壹、前言

### 一、研究動機

登山者即使在萬全的準備下，也可能面臨意外的水資源缺乏的危急狀況。我們期望做出一款能在缺乏水源的狀況下，吸收大氣中的水蒸氣，並透過簡易的裝置使其轉換成可用水的設計。一般，在高山區域因為溫差大，晚上往往會有大霧的發生，如何將這些水蒸氣轉換成可用水，是本研究的重心。例如，登山者在登山時，若遇到環境的驟然變化或走到沒有水資源的高峰區域的緊急情況時，能夠以攜帶方便的水膠自行汲取空氣中的水蒸氣，並將水蒸氣收集成可用水，進而能夠讓自己的處境變得更安全，不用擔心無水可用的問題。而且，所設計的水膠裝置為可重複使用。

### 二、研究目的

- (一) 利用NIPAM水膠的親疏水特性，設計一藉由共聚高分子水膠吸取大氣中水蒸氣，並將其轉換成可飲用水的裝置。
- (二) 透過改變配置比例，比較不同比例下水凝膠之親疏水能力差異。
- (三) 以SEM觀察不同比例之水凝膠孔洞大小差異，對於其親疏水能力的影響。
- (四) 使用拉伸試驗機，測試不同組成份水凝膠之機械強度。
- (五) 利用TGA探討不同組成份水膠之熱裂解溫度圖，並探討與組成份的關係。
- (六) 探討水凝膠在飽和蒸汽壓的環境下，其吸取空氣中霧氣之吸水率，及吸取空氣中霧氣後之排水效率。

### 三、文獻回顧

#### (一) 水凝膠

水膠 (Hydrogel) 是一種可以吸收大量的水分的親水性高分子，含水量可達100倍重量以上，例如紙尿布用的吸水性高分子，吸水後即形成水膠，並且水膠吸水後僅體積會膨脹，結構並不會崩解。主要原因是水膠是靠分子鏈間交聯反應，而形成立體網狀結構。水膠交聯方式可分為物理交聯及化學交聯。物理交聯主要是靠凡得瓦力、離子吸引力、高分子鏈纏繞等，化學交聯則利用共價鍵連接。

#### (二) NIPAM的親疏水原理

NIPAM是一種熱敏感性高分子，由液態轉變為膠態的溫度(相轉移溫度)約為攝氏32度，一旦溫度超過攝氏32度便可以使水膠從親水轉變為疏水，此特性變化溫度被稱之為lower critical solution temperature (LCST)。美國麻省理工學院(Massachusetts Institute of Technology; MIT) 田中豐一(Tanaka Toyochi)教授發現，將離子型的水膠在某個條件下進行溫度或溶劑濃度微小的變化時，可使水膠的體積突然膨脹或收縮到原體積的數十倍到數千倍。正因這種「在一定條件下，會隨著微小變化而產生不連續相體積改變」的性質，使其被稱為「智慧型水膠」，也被稱為環境敏感型水膠。環境敏感型水膠在環境稍微改變時，膨潤率也會隨之變化，體積變化同時影響孔隙度、親疏水性與膨潤率，常被應用在藥劑學與生物工程上。

#### (三) 溫敏性水膠

溫度敏感性水膠結構上含親水基及疏水基，當溫度低時，水分子與親水基間產生氫鍵作用，使得高分子鏈吸水後能在水中形成均勻溶液；但當達到某一溫度時，分子間氫鍵作用力變弱，疏水基在水中團聚，使得高分子溶液由液態轉變為膠態。聚(N-異丙基丙烯醯胺) (Poly(N-isopropylacrylamide), PNIPAM) 是一種常使用的熱敏感性高分子，由液態轉變為膠態的溫度(相轉移溫度)約為攝氏32度。

圖1為PNIPAM水膠在溫度高於及低於最低水溶液臨界溫度(LCST)時的結構變化圖。

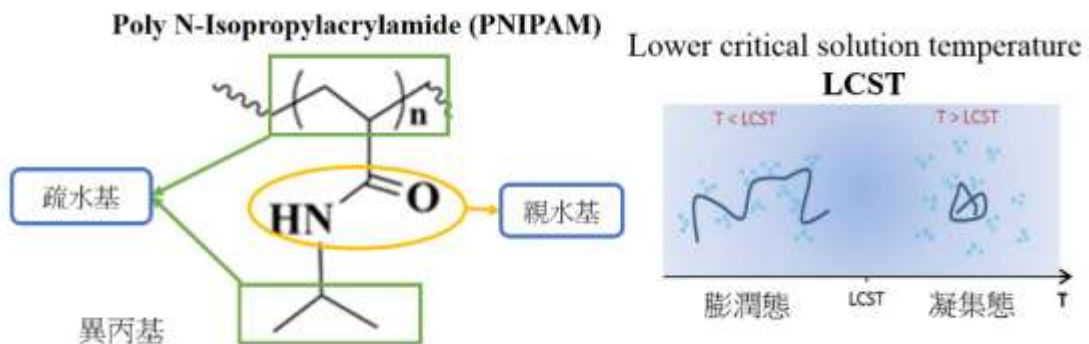


圖1、水膠在溫度高於及低於水溶液臨界溫度 (LCST) 時的結構變化

PNIPAM具有C=O及N-H官能基，能分別與水分子的氫及氧產生氫鍵。在它的結構中也有疏水基（異丙基），當溫度升高時（ $>34^{\circ}\text{C}$ ），產生的熱能會破壞C=O及N-H與水之間的氫鍵，使水膠分子內氫鍵作用增強，疏水基外露因而疏水性增加。因此NIPAM和Am的共聚物在低於低臨界相分離溫度(LCST)時會膨潤於水中，但在高於低臨界相分離溫度時，因為高分子鏈的疏水基產生不被水膨潤的團聚(domain)，造成光散亂而變成不透明的狀態。

相轉移現象是可逆的，也就是當溫度低於低臨界相分離溫度(LCST)時，PNIPAM鏈會再度溶解於水中。當添加小量的交聯劑於NIPAM單體使它聚合成膠時，在溫度低於低臨界相分離溫度(LCST)時，因吸水膨潤會使體積膨脹，但當溫度高於低臨界相分離溫度時，則因去膨潤而使體積縮小。這行為也是可逆的，利用PNIPAM親疏水性變化的特性把它做為輸送藥物的載體，可達到藥物控制釋放的目的。

#### (四) 聚合原理

參考的方法是使聚合物間產生物理或化學交聯，本研究使用Bis-AM作為交聯劑，使聚合物主鏈分子間藉由化學鍵連接，聚合起始反應使用熱起始劑(KPS)。

由於NIPAM具有高吸水特性，水膠可應用在日常生活中，如尿布、生理衛生用品、面膜等；工業上可應用於廢水處理、空氣過濾、包裝材料等方面；農業上可做為園藝用保水材料；生物醫學領域上做為燒燙傷敷料、藥物傳輸載體、隱型眼鏡、移植物等，不同的應用領域可選用不同的高分子原料，以滿足不同的需求。

#### (五) 多孔材料

多孔材料又可以分為微孔材料(孔直徑小於2奈米)、介孔材料(孔直徑在2至50奈米之間)、大孔材料(孔直徑大於50奈米)，是一種由相互貫通或封閉的孔洞構成網路結構的材料，具有相對密度低、比強度高、比表面積高、重量輕、隔音、隔熱、滲透性好等優點，在吸附、過濾、分離、濃縮、催化、隔熱等都有非常廣泛的功能應用。

## 貳、研究設備與器材

### 一、器材：

使用的器材有：烘箱、電磁加熱攪拌機、抗腐蝕冷凍乾燥機、熱重分析儀(TGA)、掃描式電子顯微鏡(SEM)、直流電源供應器、加濕器、壓克力透明箱、雷射雕刻儀、萬能試驗機、電子天平。




|   |   |   |
|---|---|---|
|    |    |    |
| (A)烘箱   | (B)電磁攪拌機  | (C)抗腐蝕冷凍乾燥機   |
|   |   |   |
| (D)熱重分析儀(TGA)   | (E)直流電源供應器  | (F)加濕器  |
|  |  |  |
| (G)萬能試驗機  | (H)SEM  | (I)電子天平   |

圖2、研究器材

## 二、藥品：

所使用的化學藥品及分子結構，如下所示。

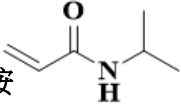

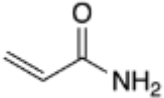

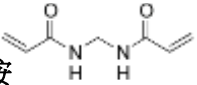

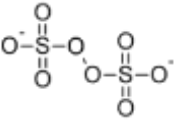

|  |  |
|--|--|
| <p><b>NIPAM</b><br/>N-異丙基丙烯醯胺</p>   <p>學名：N-isopropylacrylamide<br/>化學式：<math>\text{H}_2\text{C}=\text{CHCONHCH}(\text{CH}_3)_2</math><br/>CAS NO.2210-25-5<br/>廠商：ACROS</p> | <p><b>AM</b><br/>丙烯醯胺</p>   <p>學名：Acrylamide<br/>化學式：<math>\text{CH}_2=\text{CHCONH}_2</math><br/>CAS NO.79-06-1<br/>廠商：FERAK</p>  |
| <p><b>Bis-AM</b><br/>甲基雙丙烯醯胺</p>   <p>學名：N,N'-methylene-bis<br/>化學式：<math>(\text{H}_2\text{C}=\text{CHCONH})_2\text{CH}_2</math><br/>CAS NO.110-26-9<br/>廠商：Merck</p>        | <p><b>KPS</b> <math>2\text{K}^+</math><br/>過硫酸鉀</p>   <p>學名：Potassium persulfate<br/>化學式：<math>\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8</math><br/>CAS NO.7727-21-1<br/>廠商：AppliChem Panreac</p> |

圖3、實驗用的化學藥品

## 參、研究過程與方法

### 一、實驗架構

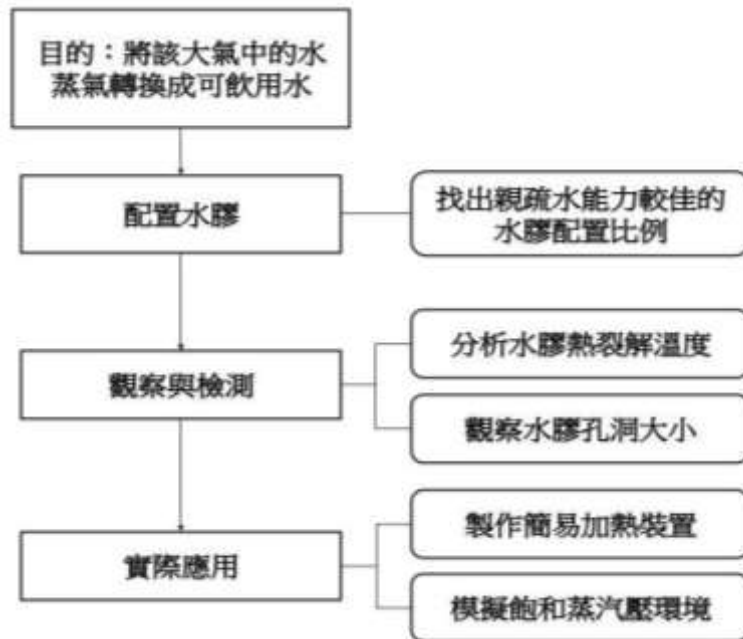


圖4、實驗架構

### 二、以不同比例製備水膠(實驗一)

(一) 於藥品選擇時，採用NIPAM與AM兩種材料作為共聚物之單體，而後為探討NIPAM在特定溫度區間親疏水變化是否會影響吸排水量，故將兩種材料設計不同比例進行實驗。而交聯劑的多寡也為水膠之孔洞大小、機械強度與吸排水差異之一大重點。

#### (二) 實驗步驟：

1. 如表1所示，秤取不同比例的NIPAM、AM、Bis-AM、KPS，並補水至4000mg。
2. 如圖5所示，將攪拌均勻的水溶液注入長方形鐵氟龍模具內，並置於密封玻璃容器中。
3. 玻璃容器通入氮氣30分鐘以排除氧氣，並將容器放入烘箱(70°C)加熱3小時以進行聚合反應。
4. 聚合完成後取出水膠，反覆將水膠浸泡於去離子水中並放入進冰箱，每隔15分鐘將其取出清洗，共重複8次。

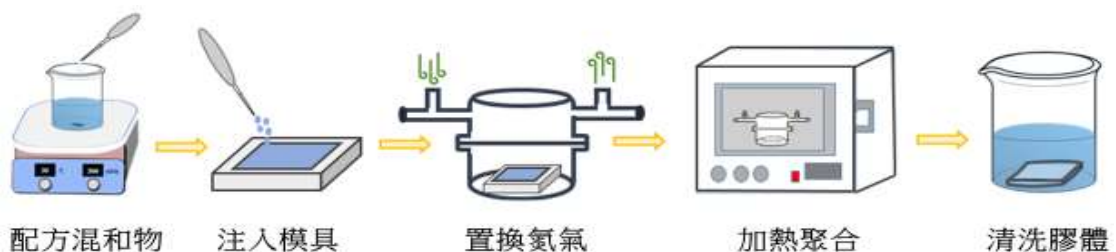




圖5、製備水膠的流程

圖5所示為水膠製備的流程，先將所設計的水膠配方混合均勻，注入模具，再以氮氣置換空氣，置入烘箱加熱聚合。聚合完成後，取出水膠並以去離子水將水膠中未反應物洗除乾淨。詳細實驗過程如下所述：

表1 水膠配置比例(括號為重量百分比)

| 項目\藥品名稱  | NIPAM       | AM          | Bis-AM     | KPS      |
|----------|-------------|-------------|------------|----------|
| N3A1-B20 | 300mg(7.5%) | 100mg(2.5%) | 20mg(0.5%) | 40mg(1%) |
| N3A1-B40 | 300mg(7.5%) | 100mg(2.5%) | 40mg(1%)   | 40mg(1%) |
| N1A3-B20 | 100mg(2.5%) | 300mg(7.5%) | 20mg(0.5%) | 40mg(1%) |
| N1A3-B40 | 100mg(2.5%) | 300mg(7.5%) | 40mg(1%)   | 40mg(1%) |
| N1A1-B20 | 200mg(5%)   | 200mg(5%)   | 20mg(0.5%) | 40mg(1%) |
| N1A1-B40 | 200mg(5%)   | 200mg(5%)   | 40mg(1%)   | 40mg(1%) |

水膠樣品名稱(NxAy-Bz)：x/y/z為組成份含量比縮寫。

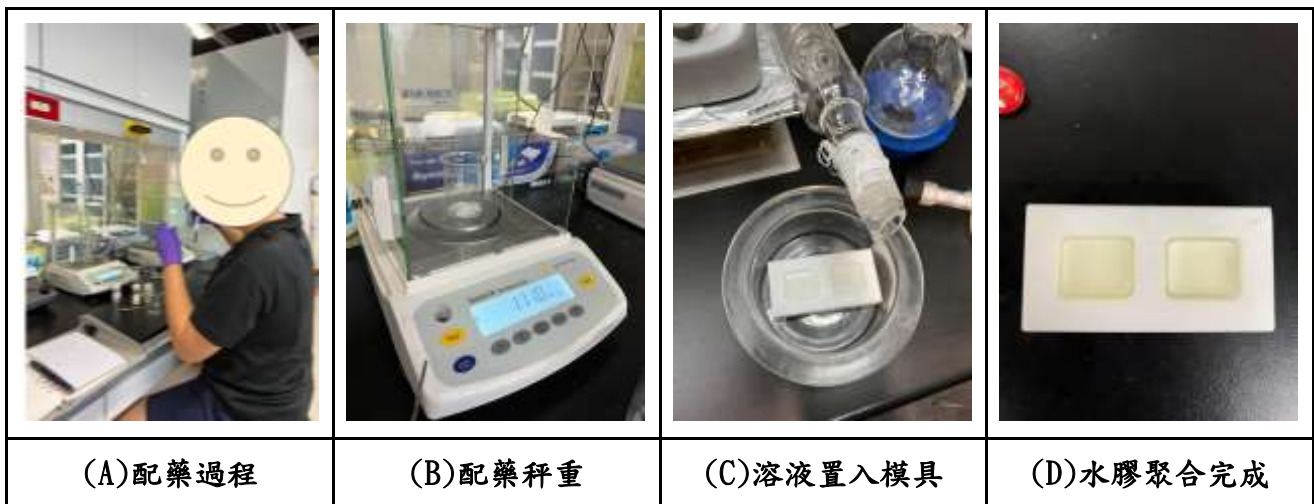


圖6 實驗操作過程(A, B)配藥秤重過程(C)通氮氣前的密封玻璃容器(D)水膠聚合完成

### 三、水膠親疏水能力的初步測試(實驗二)

(一) 為找出吸水率較佳之水凝膠配置比例，反覆測試六種配置比例之水膠吸/排水能力，並取其平均值以利比較。

(二) 實驗步驟：

1. 將水膠從冰箱取出，擦除表面水分並置入電子天平量測含水重量。
2. 放置在培養皿中並放置在加熱台上。
3. 以90°C加熱15分鐘後，擦除所排出之水分並置入電子天平量測重量。
4. 再次將加熱後的水膠浸泡於去離子水中並置於冰箱中15分鐘，重複步驟1，用電子天平量測重量。
5. 反覆吸水與加熱排水，觀察重量變化，以測試水膠的親疏水穩定性。

#### 四、用萬能試驗機探討水膠的機械強度(實驗三)

(一) 為探討不同配置比例水膠的機械強度，本實驗使用萬能試驗機進行測試，由於水膠在機械強度之測試通常無法測試拉伸能力，故測試水膠壓縮之彈性，探討NIPAM、AM和Bis-AM對水膠機械強度之影響。

(二) 本研究透過測試該水膠在壓縮加載下的形變來獲得其應力-應變曲線。

應力= 力量(F) / 截面積(A)

應變= 變形量(L-L<sub>0</sub>) / 長度(L<sub>0</sub>)

降伏強度係指應力應變曲線攀升到最高點的最大應力，過降伏強度後材料就會變形導致應力降低。得知水膠之降伏強度即得知該水膠之承受應力大小極限，以取得此材料之機械性質。

(三) 實驗步驟：

1. 將水膠從冰箱取出，使用切割工具修整試驗機所規定尺寸。
2. 將6組不同比例之水膠皆裁切成固定的長寬高(2x1.5x0.8cm<sup>3</sup>)。
3. 依次進行壓縮測試。
4. 慢慢壓縮至出現破裂便停止測試。
5. 觀察壓縮測試之曲線圖，探討不同比例水膠之機械強度差異。

#### 五、自製水膠排排水測試裝置(實驗四)

(一) 為使轉換裝置能以簡便形式呈現，本研究以日常管道取得之原料，設計一加熱裝置，模擬裝置正常運作，且不考慮熱量散失之情況下，水膠的加熱情形。此加熱裝置之溫度約莫在60°C~80°C區間內。

(二) 裝置設計及實驗步驟：

1. 取一木板，中間使用雷射雕刻機切割出一塊方形空洞(6x6cm<sup>2</sup>)作為平台。
2. 取鎳鉻電熱絲，將其來回彎曲凹折。
3. 將凹折完的電熱絲再從中間往下凹成V字形，增加與水膠接觸面積。
4. 將木板四處角落架高，以方便水滴滴落與拍攝。
5. 將電熱絲兩端接上直流電，並使其懸空於木板空洞。
6. 在空洞下方放置一培養皿，以接住水膠所排排出的水。

7. 接通直流電，以紅外線溫度感測器測試電熱絲是否溫度升高。
8. 將水膠放置於電熱絲上持續加熱。
9. 觀察加熱前後水膠的外觀改變。
10. 以電子天平秤量加熱前後水膠的重量，及換算所排出水之重量。

## 六、模擬山上飽和蒸汽壓環境下的吸水狀態(實驗五)

(一) 為達到研究目的，本實驗模擬在山上環境下水膠的吸水能力測試，藉由加濕器增加霧氣去模擬飽和水蒸汽壓，並將乾燥之水膠置於密閉環境進行特定時間的吸水測試，並測量特定時間過後水膠之重量變化以計算水膠之吸水率。

(二) 初步模擬飽和蒸汽壓環境之吸排水實驗步驟：

1. 秤量冷凍乾燥後水膠重量。
2. 將乾燥水膠置於放有水霧加濕器的透明壓克力箱中並封住，確保其保持在飽和蒸汽壓的狀態。
3. 秤量其吸水時間分別為15分鐘、30分鐘、1小時、2小時、24小時後的重量。
4. 將水膠放置於自製加熱台上持續加熱20分鐘，並秤量加熱後重量。
5. 觀察水膠含水量前後差異。

(三) 初步模擬飽和蒸汽壓環境之吸排水實驗步驟：

1. 秤量冷凍乾燥後水膠重量。
2. 將乾燥水膠置於放有水霧加濕器的透明壓克力箱中並封住，確保其保持在飽和蒸汽壓的狀態。
3. 秤量其吸水時間40分鐘後的重量。
4. 將水膠放置於自製加熱台上持續加熱20分鐘，並秤量加熱後重量。
5. 重複步驟3、4將水膠進行反覆測試。
6. 觀察水膠含水量前後差異及穩定性。

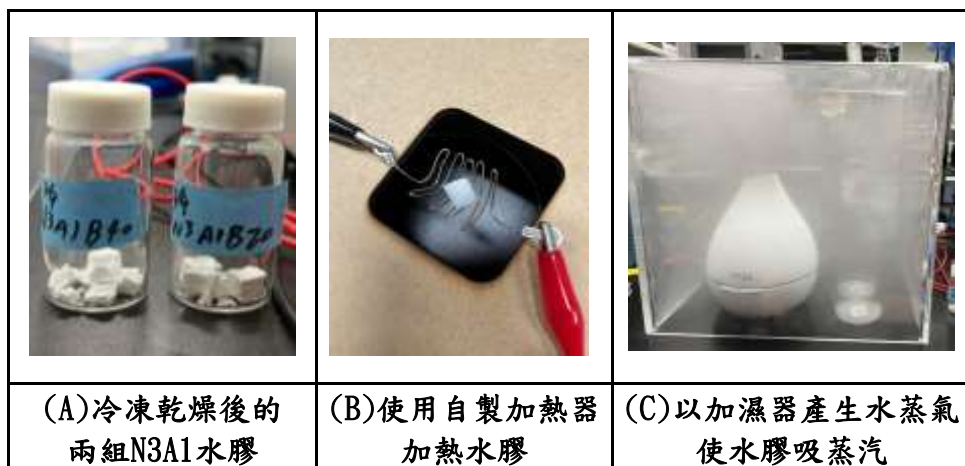


圖7、實驗裝置與過程示意圖(A)冷凍乾燥後的兩組N3A1水膠(B)自製加熱器加熱水膠(C)以加濕器產生水蒸氣使水膠吸蒸汽

## 肆、研究結果

### 一、水膠成品

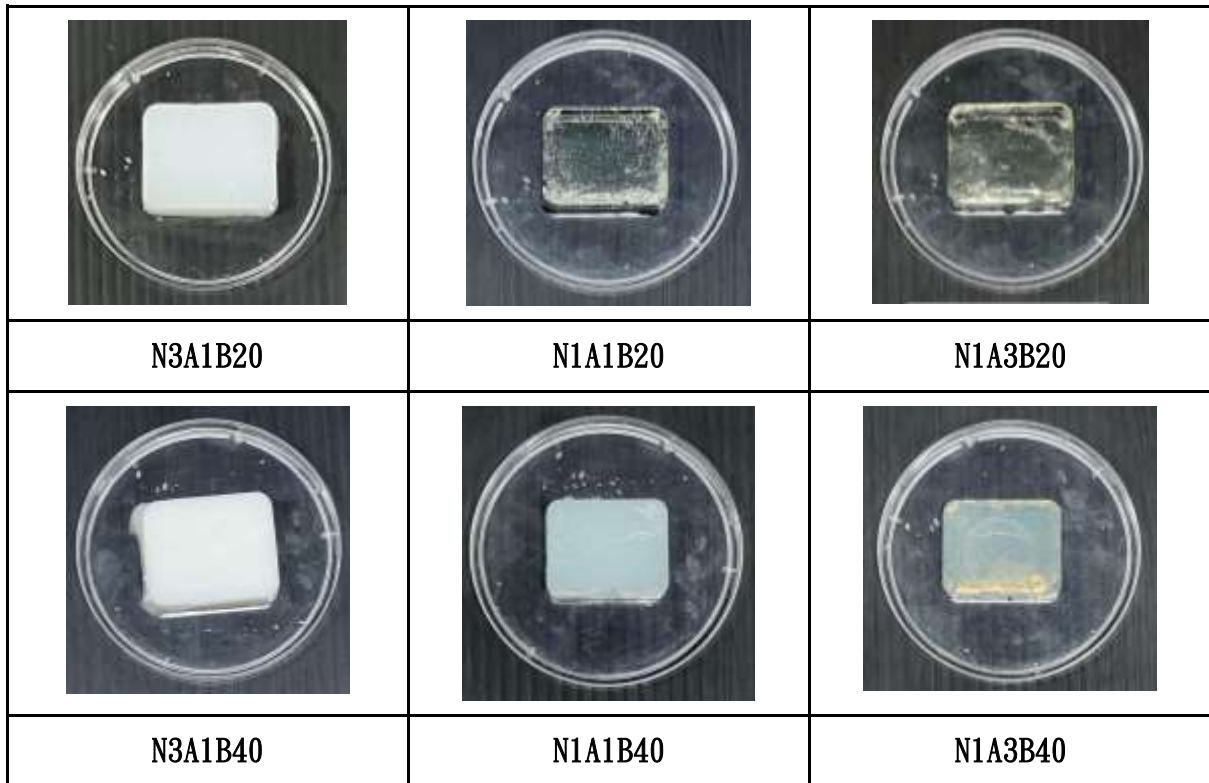
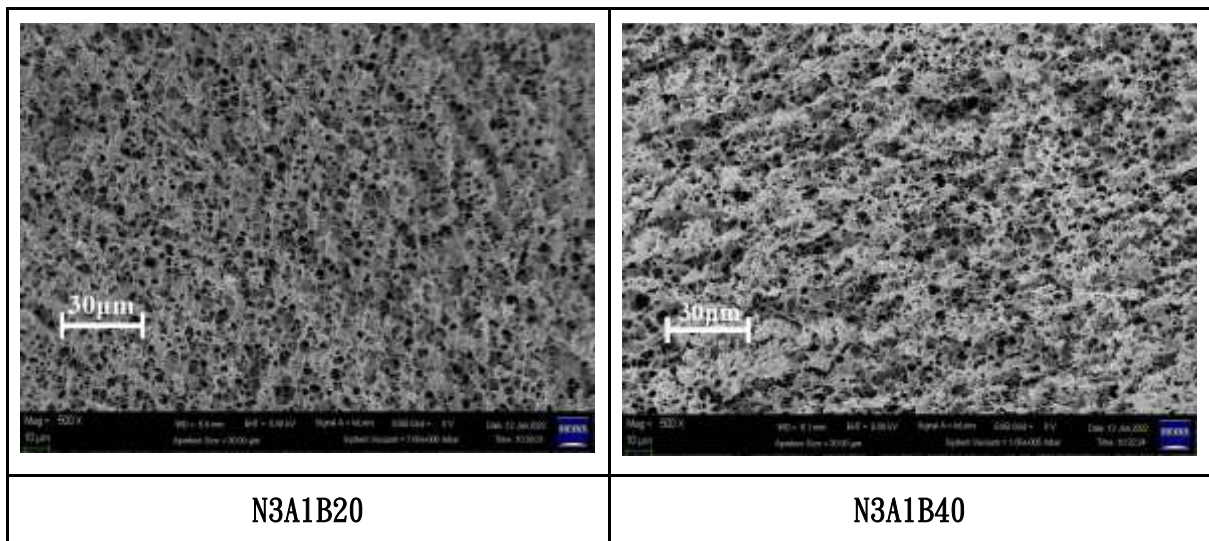


圖8、六組不同比例之水膠成品圖

### 二、SEM圖



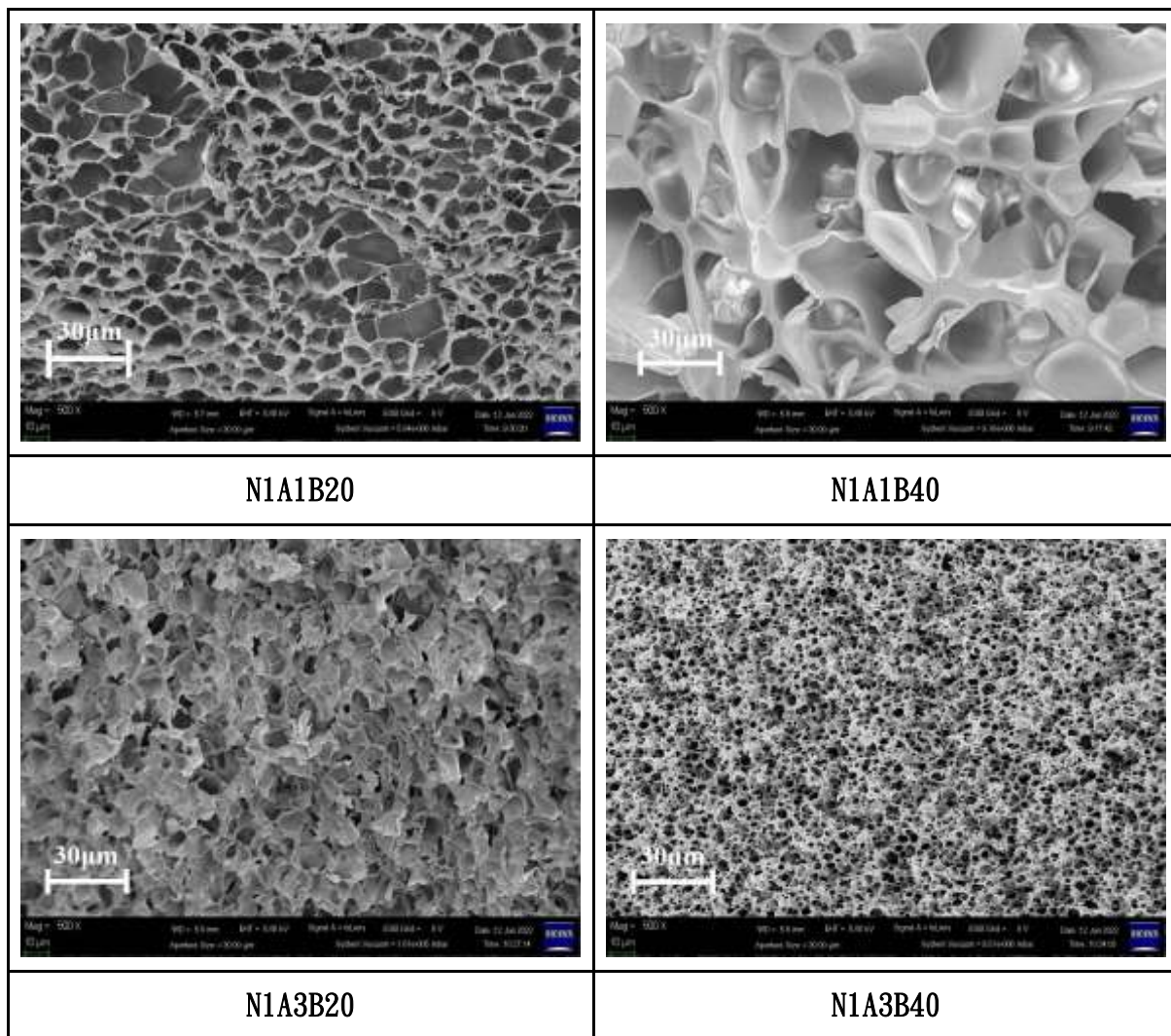


圖9、水膠成品SEM掃描圖(放大500倍，比例尺30 μm)

### 三、水膠的初步吸水/排水測試

水膠吸水15分鐘的吸水率：

\*吸水率=(吸水後-加熱後)/加熱後x100%；排水率=(加熱前-加熱後)/加熱後x100%。

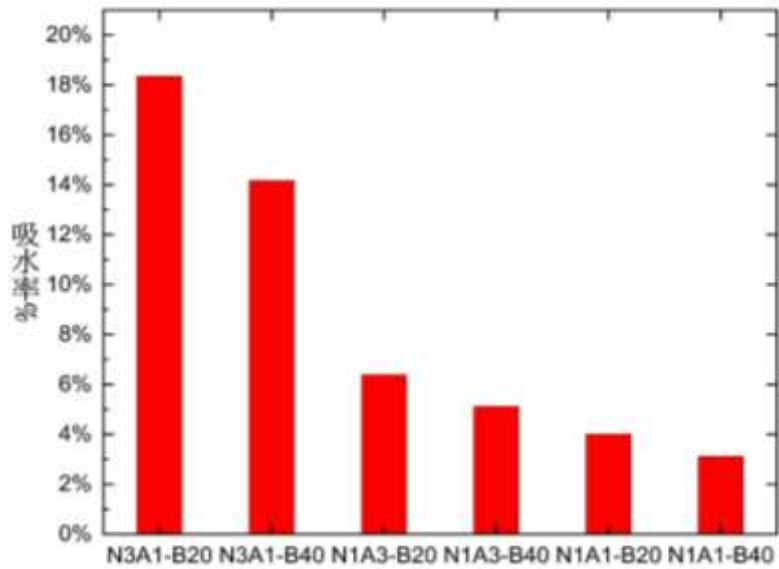


圖10、水膠於吸水15分鐘後的吸水率。

圖10所示為，水膠在吸水15分鐘後，所測得的結果。其中，N3A1B20及N3A1B40水膠所表現的結果較優。

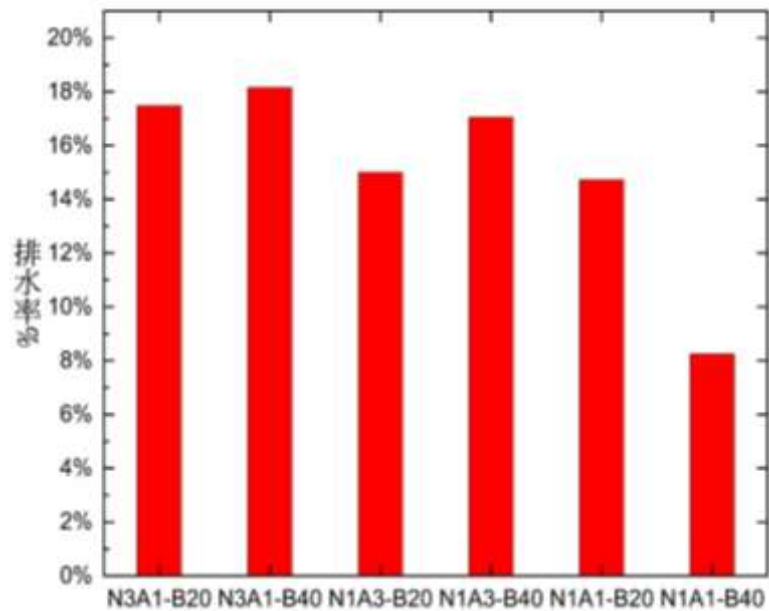


圖11、15分鐘吸水後，水膠的排水率。

圖11所示為，吸水15分鐘後的水膠，在90°C下加熱15分鐘，所測得的結果。如圖所示，N3A1B20及N3A1B40水膠所表現的結果較優。

#### 四、水膠蒸氣轉換裝置的長期吸水趨勢

圖10、圖11所示結果為15分鐘的水膠吸水/排水趨勢，為了探討本研究所製備的水膠長期吸水特性，如圖12所示，本研究也探討了所製備N3A1B20及N3A1B40水膠，30分鐘、1小時、2小時及24小時的長期水蒸氣之之吸水趨勢。

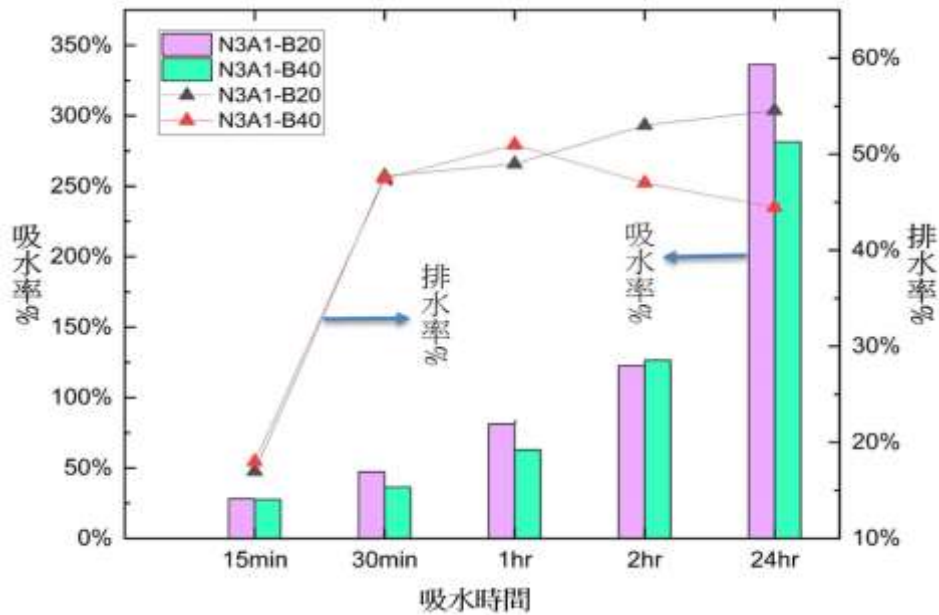


圖12、N3A1B20及N3A1B40水膠的長期吸/排水趨勢圖。

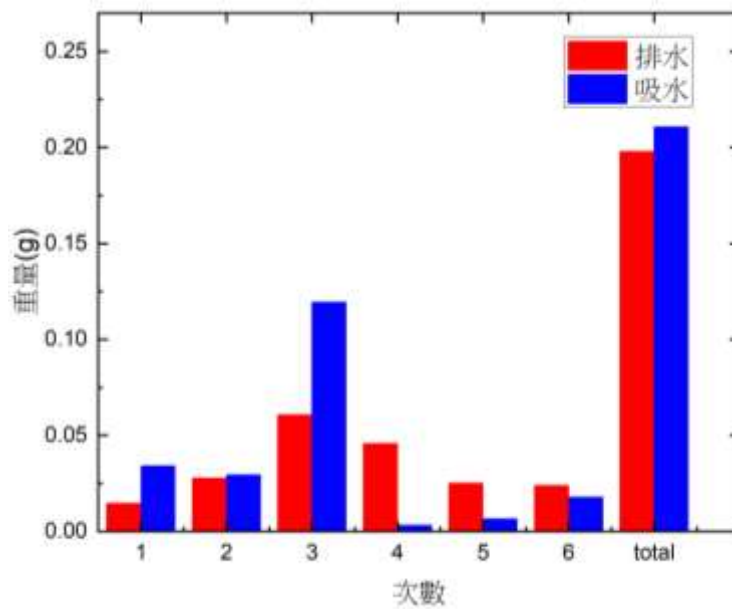


圖13、N3A1B20水膠的長期反覆吸/排水趨勢圖。

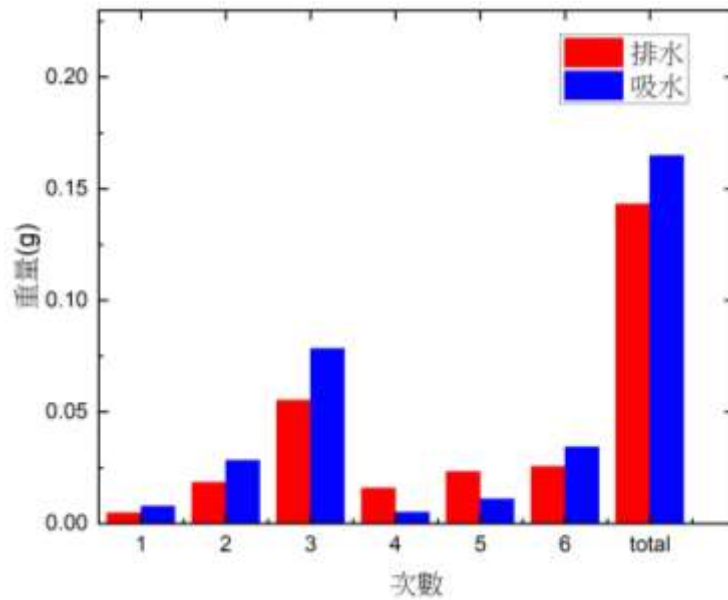


圖14、N3A1B40水膠的長期反覆吸/排水趨勢圖。

圖13、14所示為將冷凍乾燥後之水膠放入飽和蒸汽壓環境下，將吸水40分鐘接著排水20分鐘之動作，反覆六次後之吸/排水趨勢圖。

### 五、用萬能試驗機探討水膠的斷裂點大小

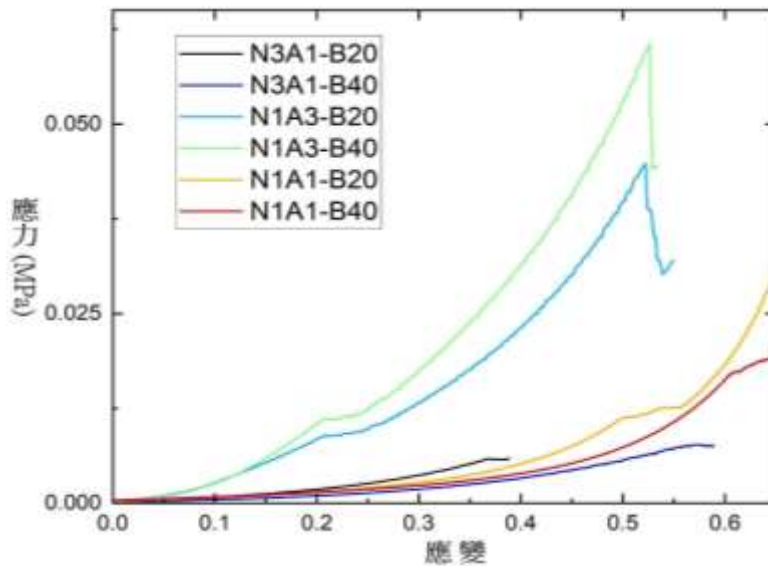


圖15、水膠飽和狀態下的壓縮應力分析圖。



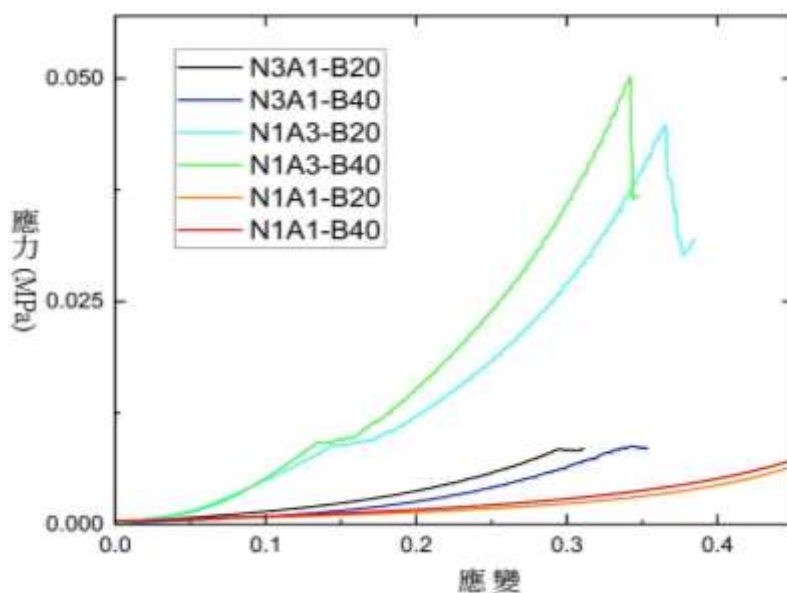


圖16、水膠加熱15分鐘後的壓縮應力分析圖。

圖15、16顯示水膠之機械強度以N1A3兩組較高，其中又以N1A3B40之降伏應力最高，可推測A  
M單體與Bis-AM交聯劑的比例提高會增加水膠之機械強度。

#### 六、用TGA探討水膠熱裂解溫度大小

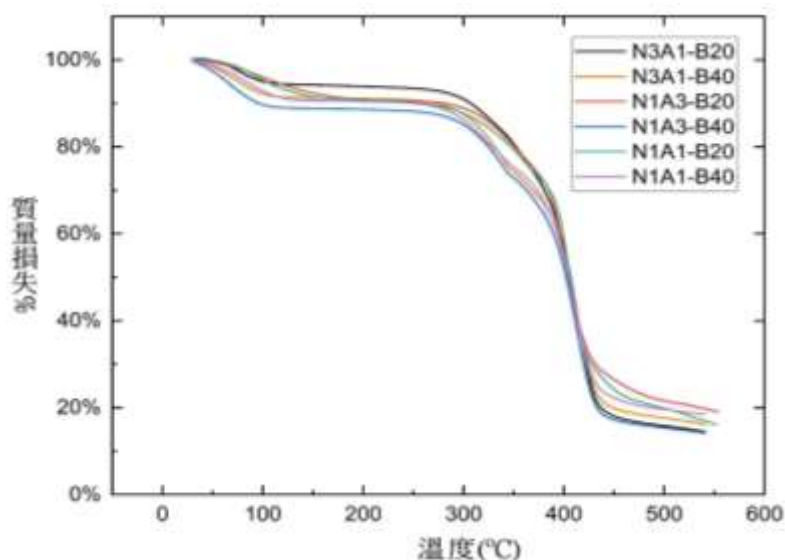


圖17、水膠的熱重分析結果。

圖17所示為水膠的熱重分析結果。隨著溫度的上升，於100°C左右質量減輕為水膠中之水分完全排出，隨後並產生熱裂解現象，使得水膠重量逐漸減小。

## 伍、討論

### 一、水膠透明性及孔洞結構與分子結構關係

圖8所示為，所製備水膠樣品的外觀圖，如相片所示，N1A1B20及N1A3B20的透明性較高，而樣品N3A1B20及N3A1B40水膠的透明度最差。此現象可以由分子結構來說明；如圖1所示，AM分子具有末端極性基C=O以及可以提供氫鍵的NH<sub>2</sub>，而NIPAM具有一個疏水性異丙基末端，易形成疏水性團聚；而Bis-AM具有交聯作用的雙不飽和鍵，會因交聯反應而使水膠不易被水膨潤。因此，如表1所示，當AM分子含量較大以及Bis-AM交聯劑含量較少時，可以提升水膠的水膨潤分散性，因而顯現出較高的透明度。相反的，對N3A1B20及N3A1B40水膠來說，因為NIPAM的含量大，由於異丙基的疏水性團聚，而使得水膠的膨潤分散性變差而導致透明度大幅降低。尤其，當疏水性基團聚成微粒時，會產生光散亂現象，因而呈現乳白色外觀。

圖9所示為，所製備水膠的SEM電子顯微鏡圖。對N3A1B20及N3A1B40水膠來說，如上所述，因為末端疏水性異丙基間的作用力，形成微相分離結構，使得透明度降低，SEM呈現均勻孔洞微結構。當AM含量提升時，水溶性變高，聚合時分子的移動性變佳，因而形成有較大孔洞的微結構。當提升交聯劑時(N1A3B40)，又會降低水分散性，限制分子聚合時的移動性，而導致綿密微結構的生成。

### 二、水膠吸水性及排水性與分子結構關係

圖10所示為所製備水膠在飽和蒸汽中15分鐘內的吸水趨勢。由結果可知，N3A1B20及N3A1B40水膠的吸水率呈現最高值。此結果表示，當水膠具有疏水性末端時，例如NIPAM的異丙基，反而容易使所製備的水膠具有較優的吸水空間。如圖9所示，N3A1B20及N3A1B40水膠具有均勻分散的孔洞。該些孔洞提供了水分子的吸附，導致吸水率的大幅提升。如SEM圖所示，較綿密的微細空間，提供了水膠較大的表面積以及較多極性官能基與水分子的作用力。

圖11所示為，15分鐘吸水後水膠的排水率趨勢。由於NIPAM分子具有特殊的水溶液臨界溫度(LCST)特性。如圖1所示，在室溫下NIPAM分子會均勻分散於水中，此時極性基與水分子作用，分子呈現親水性膨潤態。但是，當環境溫度提升至臨界溫度(LCST)以上時，NIPAM分子的極性基將發生分子內強烈相吸作用，使得NIPAM共聚分子的疏水基外露，而導致NIPAM分子呈現疏水性凝集現象；此時NIPAM呈現強疏水性。因此，當水膠的NIPAM含量提升時，水膠的排水現象會較為明顯。如圖11所示，水膠的排水現象以N3A1B20及N3A1B40水膠的排水趨勢最為明顯，可達35%至38%。

### 三、水膠吸水率與時間的關係

圖12所示為，N3A1B20及N3A1B40水膠的長期吸/排水趨勢圖。隨著時間的經過，水膠對周遭水蒸氣的吸水趨勢。當水膠至於飽和蒸氣室，吸水率會隨著時間的增長而增加，本實驗只做到24小時。理論上，持續增加吸飽和霧氣時間，吸水率會慢慢增加，最後應該會達到飽和值就不再上升。依據圖12結果，所製備水膠的最大吸水率可達270%至330%。若以圖12的估算，水膠的最佳吸水/排水理論值可達120%。亦即，100克的水膠可以吸取飽和水蒸汽並排出120克的水。

#### 四、水膠配置比例與機械性質關係

根據圖15與圖16的機械強度測試，水膠在飽和狀態下N1A3的兩個比例降伏強度較高，其中又以交聯成分較多的N1A3B40降伏強度最佳，在水膠飽和狀態(圖15)與加熱15分鐘(圖16)的壓縮測試比較中可以看出水膠在飽和狀態下降伏強度較高。在進行壓縮測試時N1A1的水膠在壓縮途中由於拉伸測試機強度限制而無法測試到有效值。

#### 五、水膠的熱重分析結果

如圖17所示，當溫度100至110度左右，會有第一階段的重量損失，此乃因水膠內所吸附水的水蒸發所導致。雖然水的沸點為100°C，但是，當水分子被強吸附在水膠中，水分子逃離水膠的溫度就會被提升至100°C以上。此強吸附造成沸點升高的現象，與日常生活中所知的結晶水相類似。加熱到300°C左右，是AM分子的裂解，造成第二階段的重量損失，接著在400°C左右會有NIPAM分子的裂解，導致第三階段的重量損失。

## 陸、結論

一、本研究成功以Bis-AM為交聯劑合成了NIPAM與AM的共聚高分子水膠，其具有優越的吸收環境水蒸氣，並將之變成液態水的能力。

二、研究結果顯示，水膠中，NIPAM與AM在不同比例下會影響到水膠的孔洞結構、機械強度及吸/排水能力。

三、研究結果發現，所製備的N3A1B20及N3A1B40水膠，表現出最優越的吸/排水能力，顯示水膠在NIPAM比例較高的情況下，藉由親疏水特性的調適，使水膠吸/排水的功能較強。

四、基於水膠的長期飽合水蒸氣吸水/排水研究結果，所製備的NIPAM/AM共聚高分子水膠，每100克水膠經長期吸收飽和水蒸氣後，可排出120克的液態水，具有非常優越的特性，可實用於危急意外狀態下的緊急可使用水的製備。

五、未來展望：

本研究目的旨在製作出可吸取大氣中水蒸氣並轉換成可用水之裝置，理論上，所能吸取的霧氣量越大、能排放的水量越大，是為最理想的目標。如何能達到該理想目標，我們有以下的未來展望。

(一) 為了提升吸水速度及吸水量，未來將製備小顆粒水膠；降低顆粒大小，可大幅提升水膠表面積，加速吸/排水速率及水總量。

(二) 適度調節NIPAM及AM莫爾比，將水膠的LCST溫度降低，使能以更低加熱溫度，獲取所需要的排水功能。

(三) 一般山上晚間溫度低，或許可以適度調整水膠的LCST溫度，未來僅使用太陽光能量，即足以獲取所需的飲用水。

(四) 調整水膠的LCST溫度，並加入感光性吸熱劑，未來可以將裝置設計成使用光照進行排水的目的；如此即可以利用太陽光或以燈泡，進行排水設計。

## 柒、參考文獻資料

一、Jui-Hsiang Liu, Yi-Hua Hung, Kai-Ti Chang, Chun-Yu Kao, Yu-Ting Lin, and Chun-Yen Liu\*, Self-Healable Porous Polyampholyte Hydrogels with Higher Water Content as Cell Culture Scaffolds for Tissue Engineering Applications, *ACS Appl. Bio Mater.* 2020, 3, 5446-5453.

二、科技大觀園--神奇的水凝膠<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/c000003/detail?ID=f890f579-679f-4b6c-a89b-9de18a45e799>

三、超輕多孔金屬材料之特性與應用  
<https://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=24095>

四、百科知識-多孔材料  
<https://www.jendow.com.tw/wiki/%E5%A4%9A%E5%AD%94%E6%9D%90%E6%96%99>

五、材料世界網-工業材料雜誌元月號推出「多孔材料應用」與「高值材化生產力4.0」兩大技術專題  
<https://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=24824>

六、智慧型水膠在生醫工程的 應用與發展  
<https://www.materialsnet.com.tw/DocDnld.aspx?id=25452>