

2014水利產業研討會

超音波污泥減量技術之開發

陳幸德，工業技術研究院，材化所，研究員

陳興，達盛機械工程股份有限公司，顧問

何啟賢，達盛機械工程股份有限公司，特助

林世專，長江龍環保工程股份有限公司，主任

鄒文源，工業技術研究院，材化所，研究員

陳誼彰，工業技術研究院，材化所，副工程師

2014.10.08-09

前言

● 台灣地區污泥廢棄物產生量日益增加

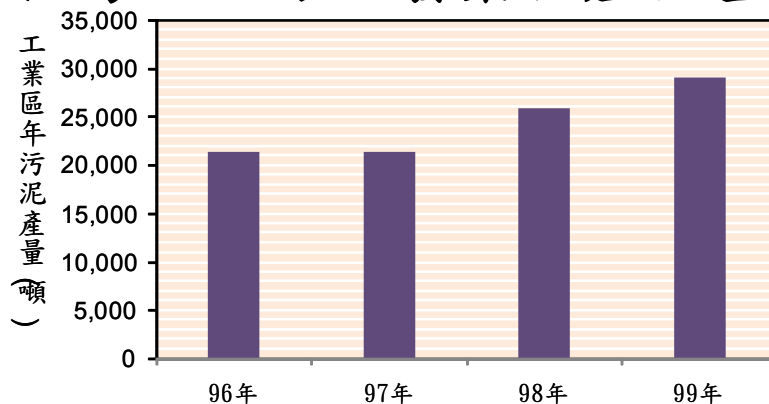


圖1 工業局管理全省23座老舊工業區污水廠污泥產量

- 96~99年間污泥產量增加52%
- 99年度，23座工業區清運約3萬噸的廢棄污泥，但仍有近2萬噸污泥等待清運

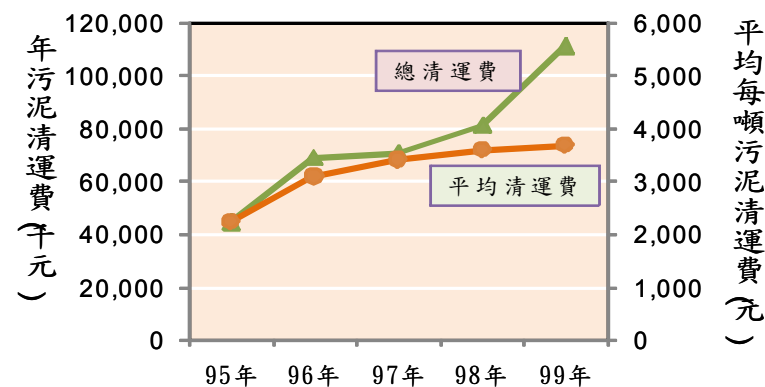


圖2 工業局管理全省23座老舊工業區污水廠污泥清運費用統計

- 每年污泥清運費用(95-99年)增加150%
- 99年度污泥清運費超過1.1億元
- 平均污泥清運費用(95-99年)增加64%

● 污泥廢棄物後續處置問題

- 掩埋：現有掩埋場空間不足，且無新設掩埋場(導致污泥清運費逐年增加，且未來可能無處可去)
- 焚化：污泥含水量太高，所需輔助燃料量太多，且容易產生有害衍生物

廢棄污泥(公噸/年)

食品加工污泥(42,801)

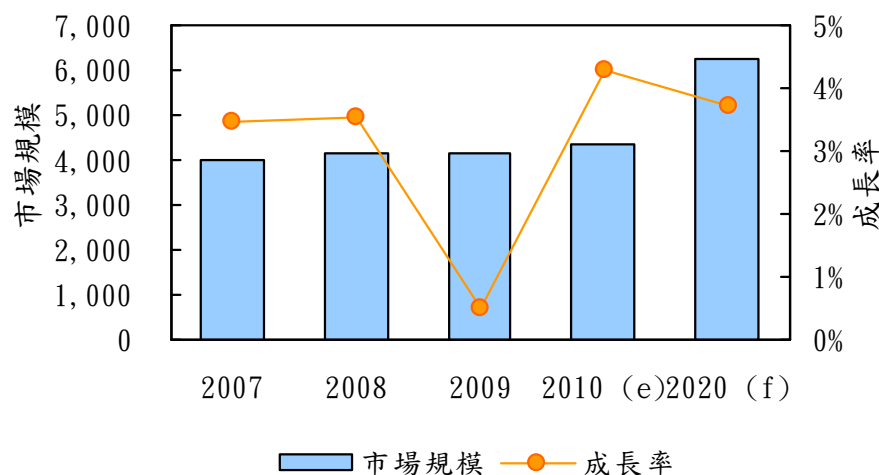
有機性污泥(372,480)

前言

● 全球污泥處理市場規模與趨勢

➤ 全球水處理市場規模

單位：億美元



- 全球水處理市場，2010年有4.3 %的成長率，市場規模達4,336億美元
- 在2020年達到6,252億美元的市場規模
- 由2010年至2020年間，污泥處理設備市場成長率約為9.0 %，其主要原因：污泥處理法規日趨嚴格，污泥棄置成本逐漸提高

	2010	2020	CAGR
化學品	19.5	26.6	3.2%
操作/維運/工程服務	304.6	393.7	2.6%
設備	109.5	205.0	6.5%
取水/柵欄	2.8	5.6	7.0%
曝氣/混合等標準處理	11.0	17.2	4.6%
過濾/吸附	3.7	6.4	5.7%
UF/MF/NF/RO 膜處理	1.4	6.7	17.2%
殺菌	3.0	5.1	5.6%
污泥處理	7.1	16.9	9.0%
水錶	2.1	4.0	6.9%
管件	37.5	65.3	5.7%
泵和閥件	28.9	51.7	6.0%
其他	12.1	26.0	8.0%
合計	433.6	625.2	3.7%

註：單位為十億美元

產業面臨技術瓶頸

● 污泥處理的關鍵問題

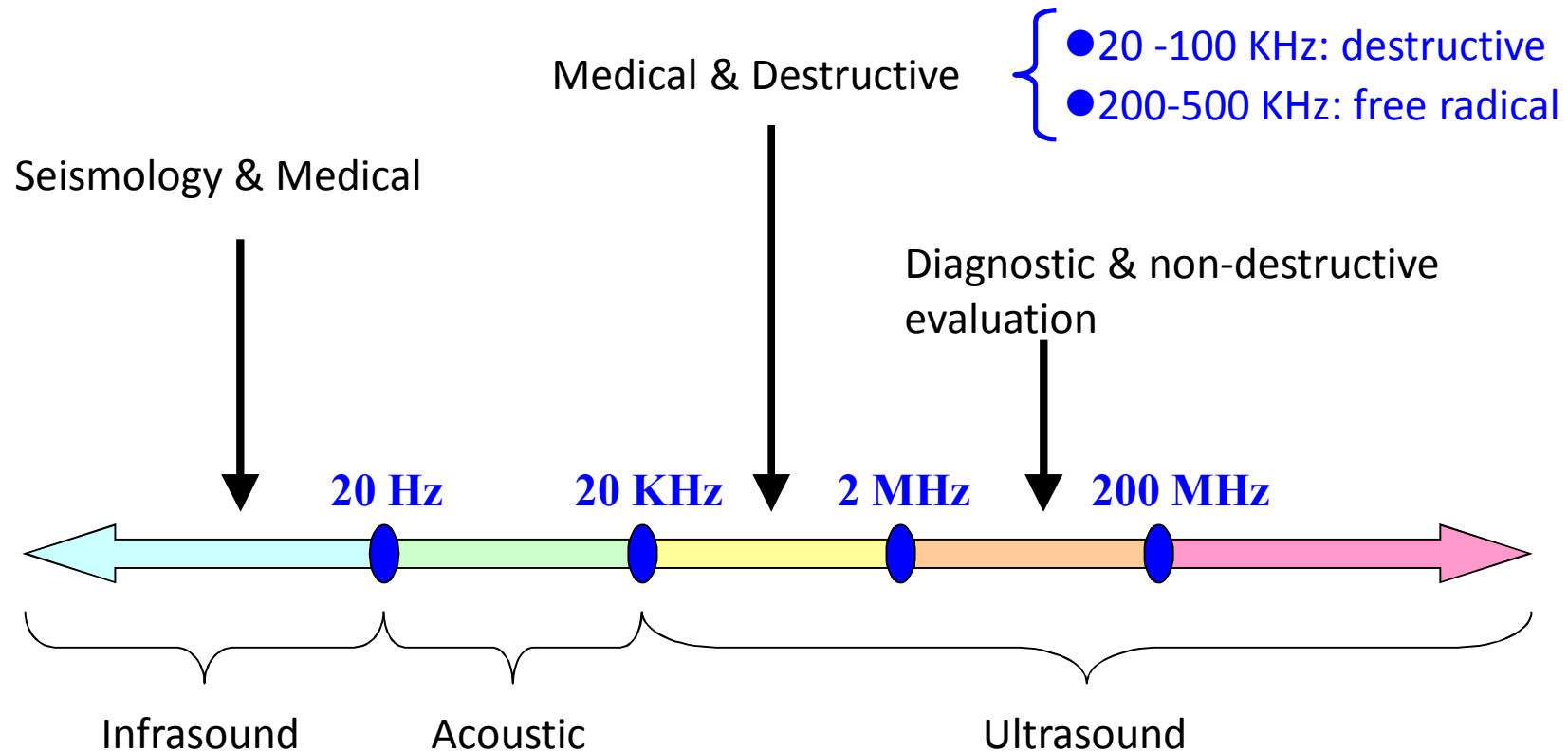
- 現有污泥脫水機僅能將污泥含水率降至80%
- 細胞內水分(> 70%)無法移除

● 污泥減量

➤ 污泥水解技術(污泥減量限制步驟)

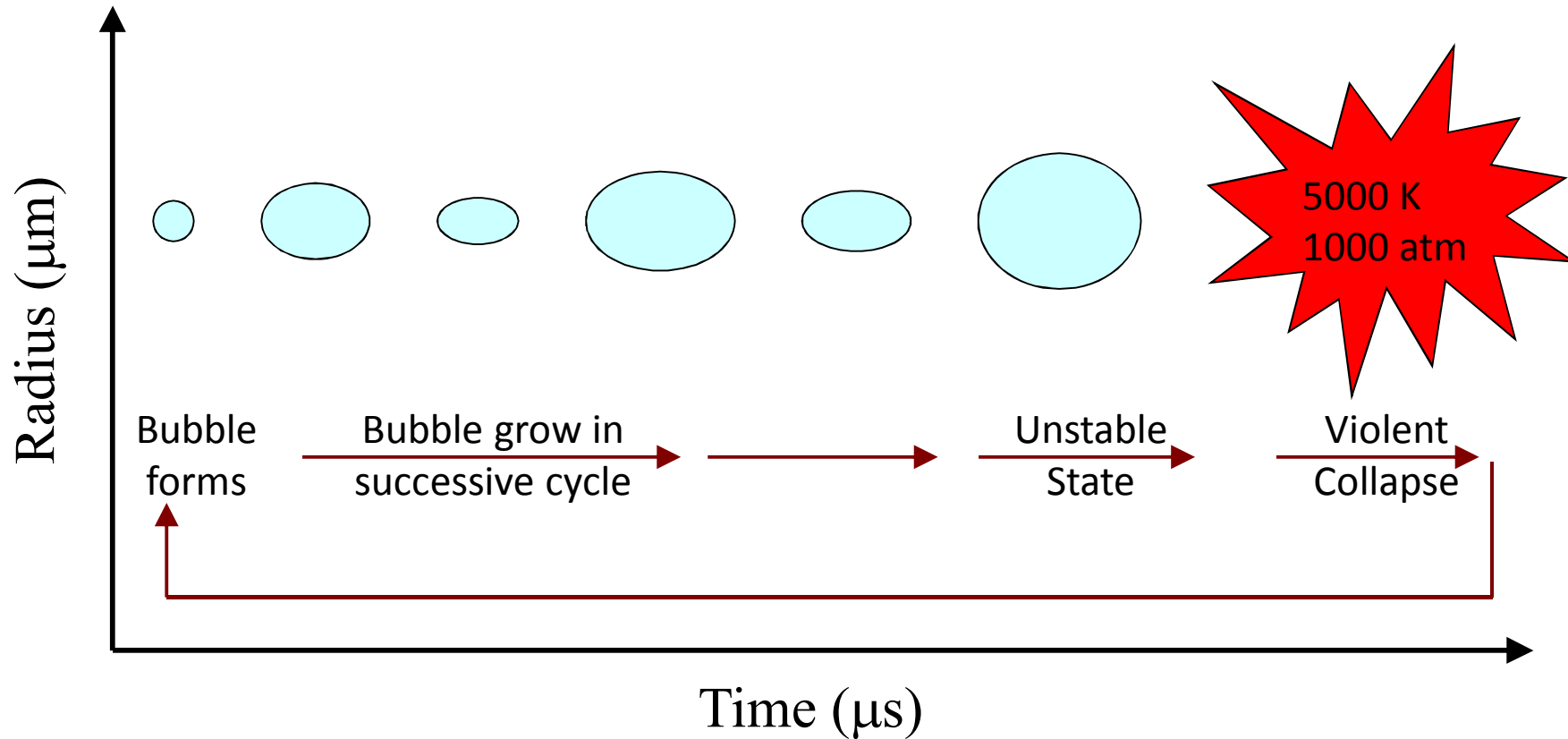
	熱前處理	機械前處理 (高壓均質機)	化學前處理 (加鹼)	超音波 前處理	微生物與酵 素前處理
1.效率	低	高	低	高	低
2.處理時間	中	短	中	短	長
3.技術難易度	簡單	難	簡單	難	簡單
4.能耗	高	高	低	高	低
5.初設費	中	高	低	高	低
6.商業化案例	有	無	有	有	無

超音波(Ultrasound)



Ref: S. Pilli, P. Bhunia, S. Yan, R.J. LeBlanc, R.D. Tyagi and R.Y. Surampalli, Ultrasonic pretreatment of sludge: A review, **Ultrasonics Sonochemistry** (2010), doi:10.1016/j.ultsonch.2010.02.014

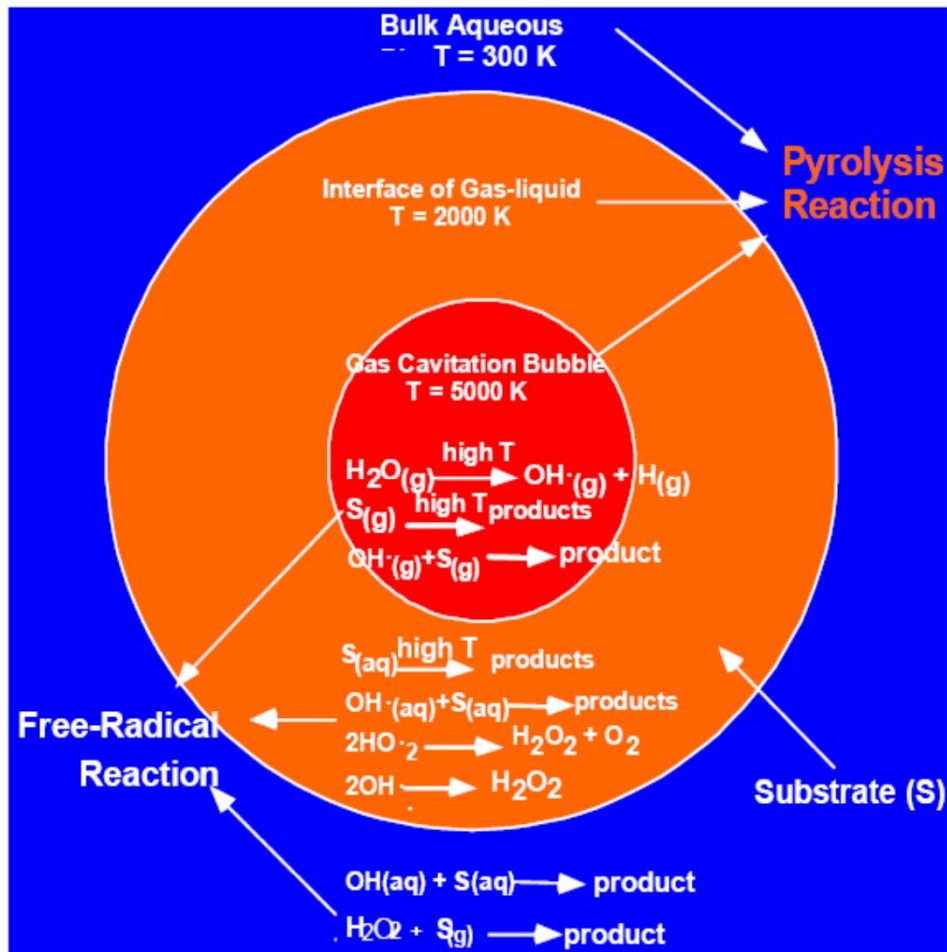
超音波原理(Cavitation)



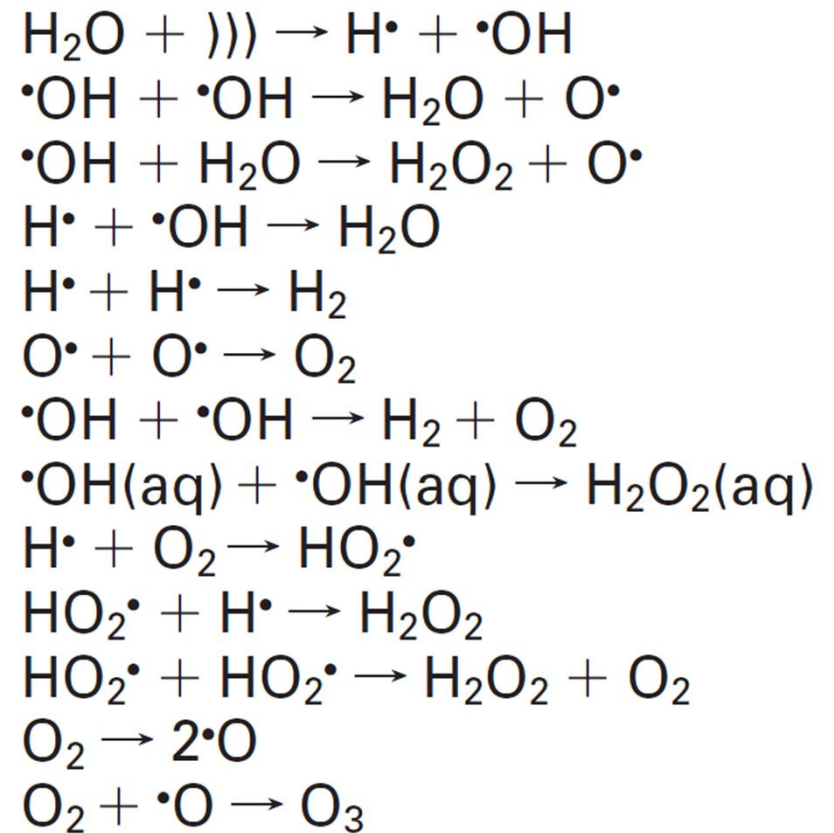
Ref: S. Pilli, P. Bhunia, S. Yan, R.J. LeBlanc, R.D. Tyagi and R.Y. Surampalli, Ultrasonic pretreatment of sludge: A review, **Ultrasonics Sonochemistry** (2010), doi:10.1016/j.ultsonch.2010.02.014

超音波原理(Cavitation)

“Hot spot”-高溫(5000 K)、高壓(1000 atm)以及大於音速的衝擊波



Aqueous phase

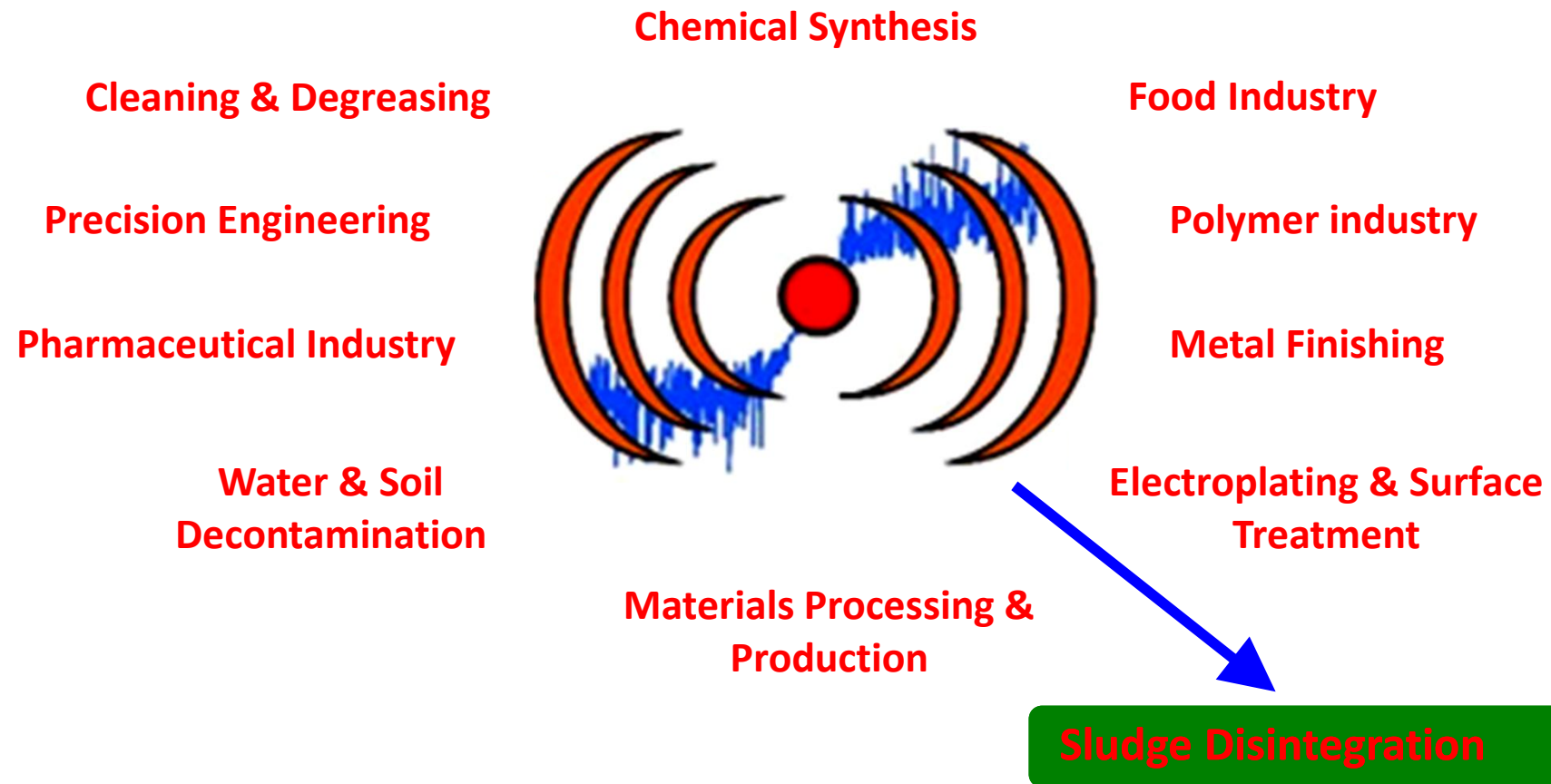


Ref: Pankaj Chowdhury, T. Viraraghavan, Science of The Total Environment, Vol. 407, pp. 2474-2492 (2009).(類似)

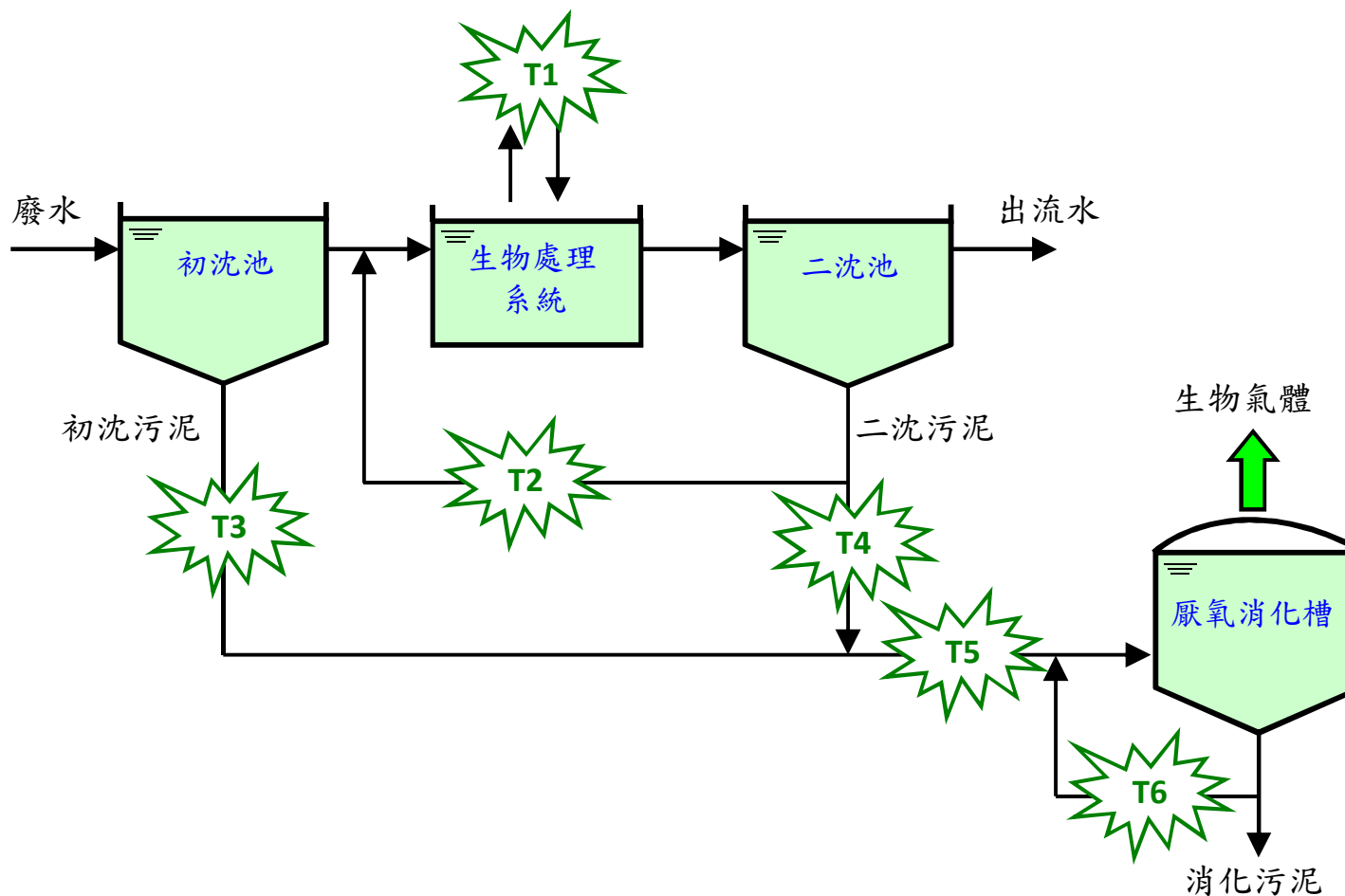
Ref: Y. G. Adewuyi, Environmental science & technology, VOL. 39, pp.3409-3420(2005).

超音波應用

Industrial Sonochemistry Application

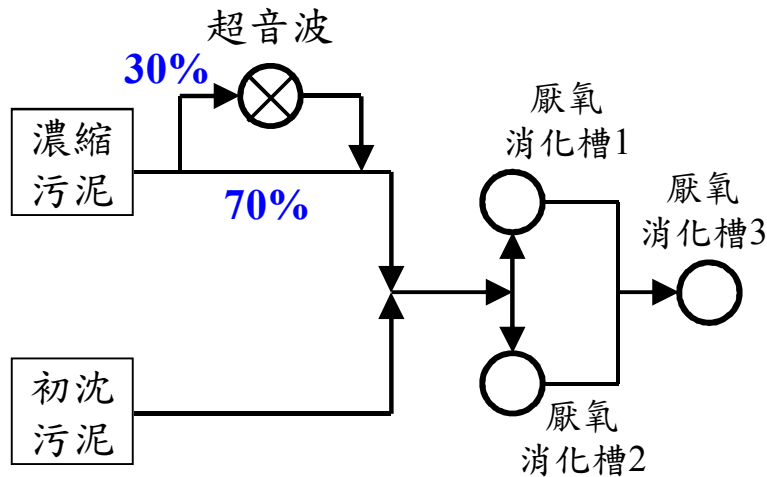


超音波應用



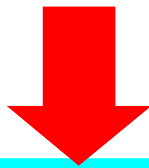
超音波污泥減量在廢水處理程序的應用

超音波實場應用



- 設計容量：230,000 PE
- 實際負荷：289,000 PE
- 生物處理程序：硝化、脫硝、除磷、二沉池
- 污泥處理：初沈污泥+濃縮廢棄污泥
- 污泥濃縮方式：離心式
- 厭氧消化槽：3 Digester mesophilic (2,000 m³, 3,000 m³, 2,000 m³), 18 days HRT

- WAS treated: 30%→90%
- Operation: 8 hours per day
- Payback time: 3 years



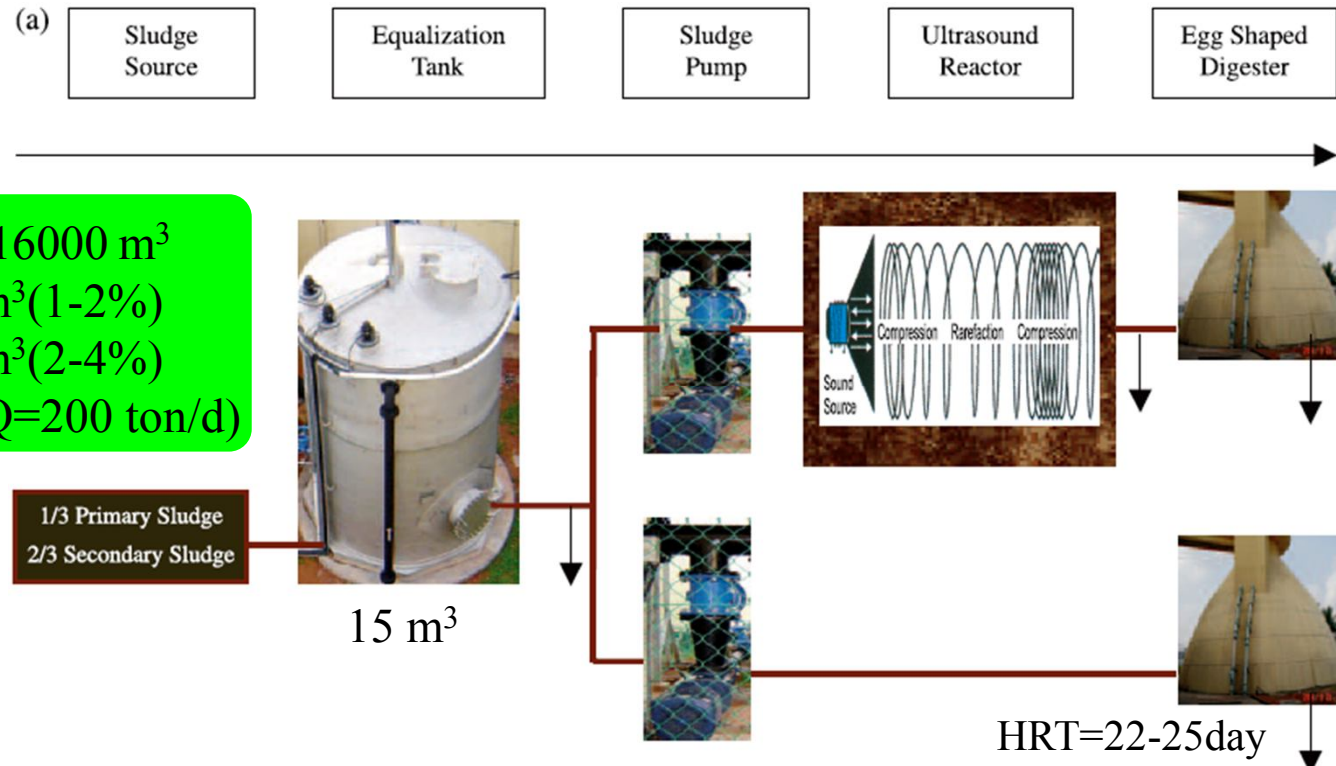
- 污泥(VS)的減量達54-60%
- Biogas可增加30% (~2,270 m³/d)
- 無須再建造第4座厭氧消化槽



Bamberg (Germany)

超音波實場應用

Ulu Pandan Water Reclamation Plant, Singapore



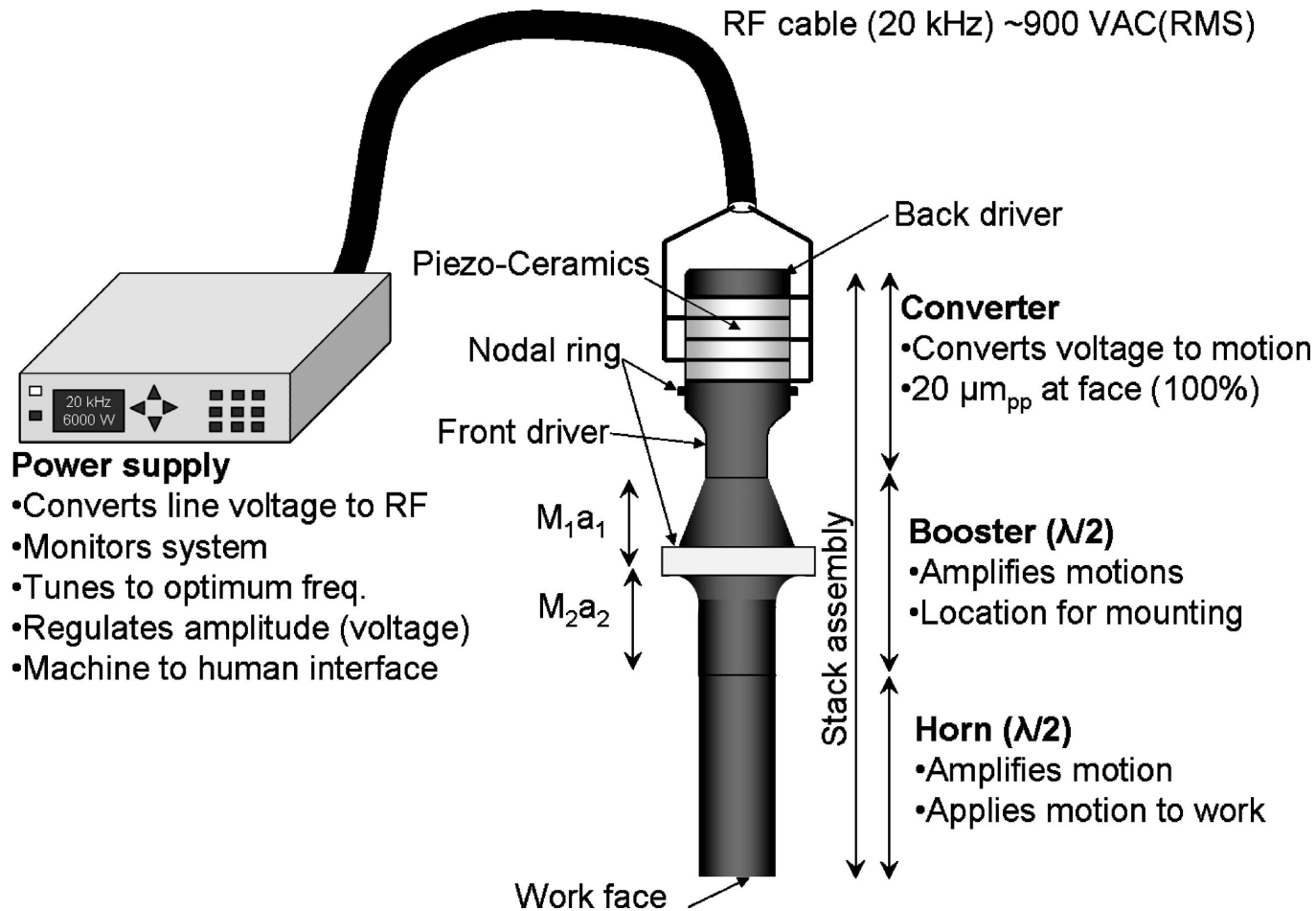
超音波單元：

- V=3.5 L
- f=20 kHz (5 horns)
- Max. Power=6 kW
- Power density=13.7 W/cm²
- HRT=1.5 S
- Q_{sludge}=8.33 m³/h
- Operation time=2004.09~2005.06

- Biogas增加至45%(15%-58%)(600→900 m³/d)
- 污泥減量30%
- Δ沼氣產電/超音波耗電=2.5(後期增加至3.1)

Reference: J. Environ. Eng. Sci. 6: 533-541 (2007)

超音波硬體



典型的超音波硬體系統構造圖

超音波商品化產品問題&解決對策

- 超音波水解法的問題：

- 硬體費用太高
- 耗能相對較高



(低耗能、高效率與可監控)

自行設計開發一套超音波污泥水解反應器

- 藉由超音波硬體與電力驅動系統的新型設計，節省超音波在能量轉換與傳送過程所造成的損耗
- 結合超音波與微小氣體的創新技術，提高超音波污泥水解效果，節省超音波的使用時間
- 利用監控技術，使超音波水解效果達到最佳控制，減少不必要能耗

經濟部科技研究發展專案 業界開發產業技術計畫

低耗能超音波之 廢水生物污泥減量技術開發計畫

☐ 先期研究 ☒ 研究開發

計畫期間：自102年4月1日至103年9月30日止

公司名稱：達盛機械工程股份有限公司(主導公司)
長江龍環保工程股份有限公司



研發團隊-達盛機械工程股份有限公司(主導)

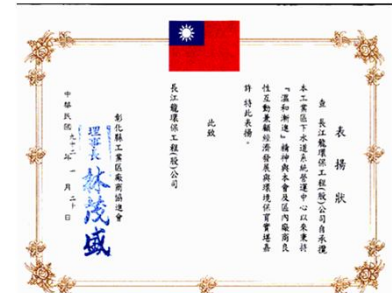


- 創立日期：77年4月
- 員工人數：65人
- 100年實收資本額：150,000千元
- 營業項目：各類廢/污水處理等污染防治環保設備製造、各式高科技、醫療及航太產業使用相關壓力容器、反應器、製程系統、電子與機械設備製造
- 參與工程：國內航太、紡織、玻璃、電子、半導體、能源、生技、環保、石化及化工產業之相關建廠工程
- 積極與工研院合作開發相關技術，例如：流體化床結晶技術、生物薄膜技術以及超音波應用技術，也有相關的產品與設備的製造(流體化床結晶特殊專利設備，生物薄膜反應器，超音波硬體設備)
- 產品銷售：國內以新竹為主；國外與歐、美和日本公司合作(代售)



研發團隊-**長江龍**環保工程股份有限公司

- 創立日期：84年1月
- 員工人數：60人
- 100年實收資本額：50,000千元
- 營業項目：廢水代處理相關業務、廢水處理工程及廢水處理周邊設備之規劃與銷售
- 參與工程：紡織、染整、皮革、食品、金屬加工、塑膠產業之污水廠設計興建工程
- 代經營操作全興及芳苑工業區下水道系統營運中心、嘉義縣污水處理廠、觀音工業區污水處理廠
- 產學合作：與工研院共同開發污泥減量技術；與回收業聯合申請污泥專案再利用，降低污泥操作成本
- 產品銷售：國內與國外(以大陸、越南為主)



研發聯盟執行計畫優勢

- **產品製造優勢**：達盛公司早期為日本水處理設備廠之專業OEM業者，具有相關水處理技術，再與工研院合作，生產製造特殊專利技術之設備，如：FBC、BioMF與超音波等設備。
- **市場通路優勢**：研發聯盟現有產品銷路廣泛，具有相當良好之通路管道，如：達盛公司有美、日、歐合作廠商可代銷售產品，長江龍公司在台灣擁有工業區污泥處理通路，並在東南亞成立分公司
- **研發競爭優勢**：國內並無大型超音波硬體設計與製造能力，任何技術需求皆須仰賴國外支援，達盛公司對超音波硬體的設計與製造已有多年豐富的研究成果與經驗，工研院亦有相關的關鍵技術，同時，工研院與本聯盟(達盛機械與長江龍公司)皆有良好的合作關係
- **成本競爭優勢**：國外進口超音波污泥水解設備(歐洲&美國)成本居高不下，應用本聯盟所開發之超音波污泥水解設備，除可大幅降低產品成本與開發本土化產品外，更可打破目前產品多為國外市場所壟斷之現況

計畫內容

達盛

超音波硬體開發

達盛

超音波污泥減量系統整合

長江龍

超音波污泥減量技術應用

低耗能超音波設備開發

● 超音波機電轉換及機械放大系統設計

- 超音波換能器
- 超音波增幅器
- 超音波喇叭

一維縱向運動波動方程式

$$\rho S \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial x} (SY) \frac{\partial \xi}{\partial x} + SY \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2}$$

horn縱向共振頻率 f_n 理論解析解

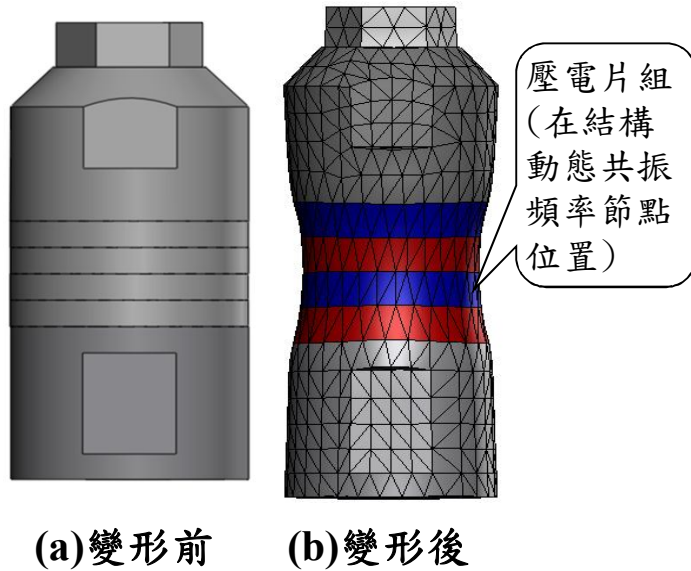
$$f_n = \frac{n}{2} \frac{c}{L}, n=1, 2, 3, \dots$$



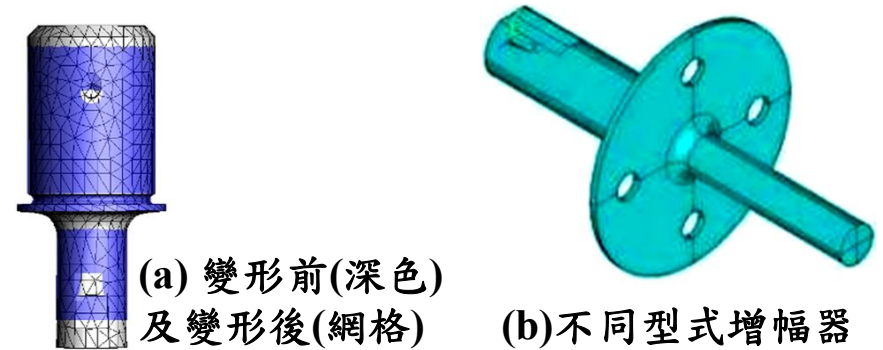
超音波機電轉換及機械放大系統

低耗能超音波設備開發

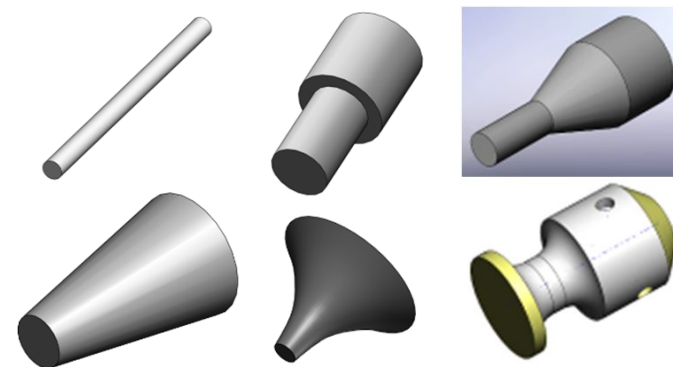
● 超音波機電轉換及機械放大系統設計



超音波換能器



超音波增幅器



超音波喇叭設計

低耗能超音波設備開發

● 低耗能超音波電力驅動系統設計

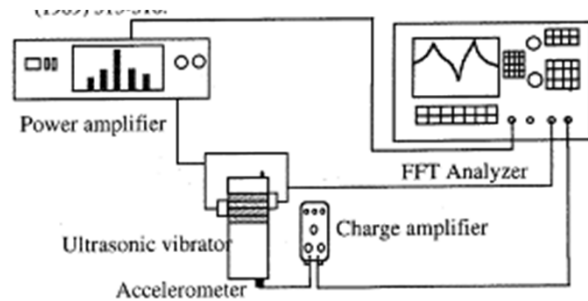
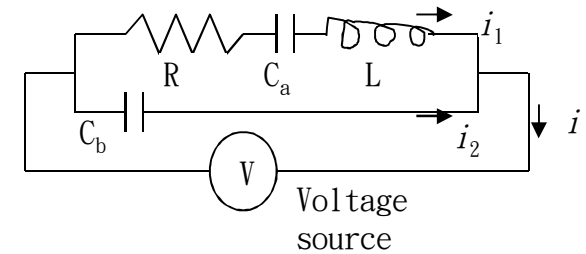
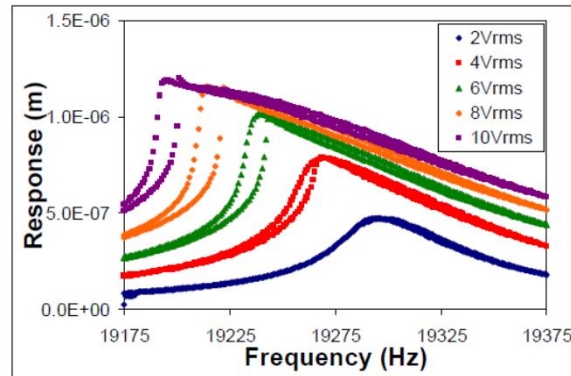


Figure 1 Setup outline of the experiment



超音波機電轉換系統組合
等效電路圖(阻抗匹配)

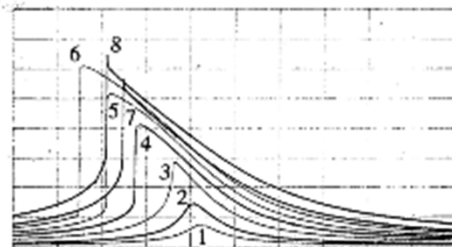


Figure 3 Output velocity spectrum

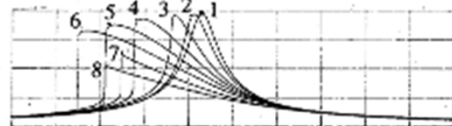
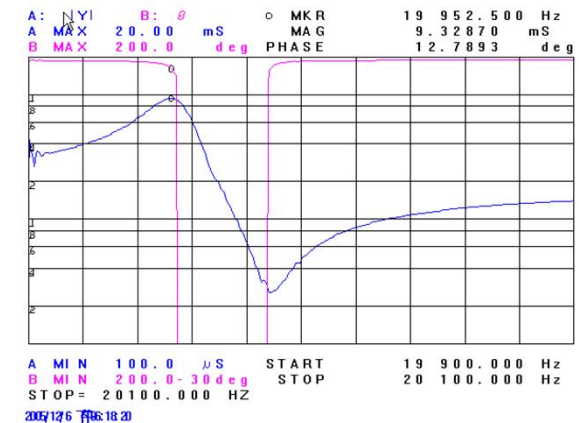


Figure 4 FRF (velocity/voltage) without constant velocity constraint

超音波壓電換能器於高電壓負載下的非線性頻率響應
(非線性及軟彈簧頻譜響應特徵)



超音波機電轉換系統組合後
導納圖(阻抗匹配)

低耗能超音波設備開發

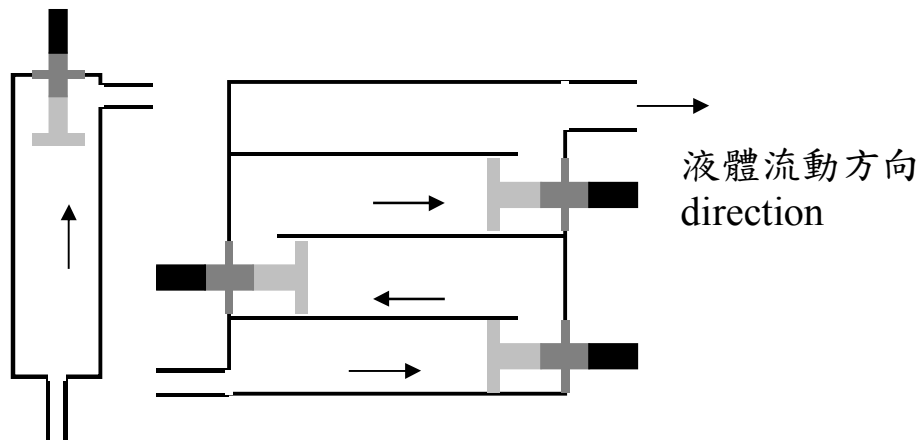
● 低耗能超音波設備原型機試製

原型機設計條件：

- 驅動頻率為20 kHz
- 額定電力驅動系統功率將 $<1,000$ W
- 超音波喇叭工作直徑範圍為5 cm
- 產生輻射噪音位準 <90 dB(A)



● 超音波污泥水解反應器原型機試製



單槽及多槽體超音波污泥水解反應器



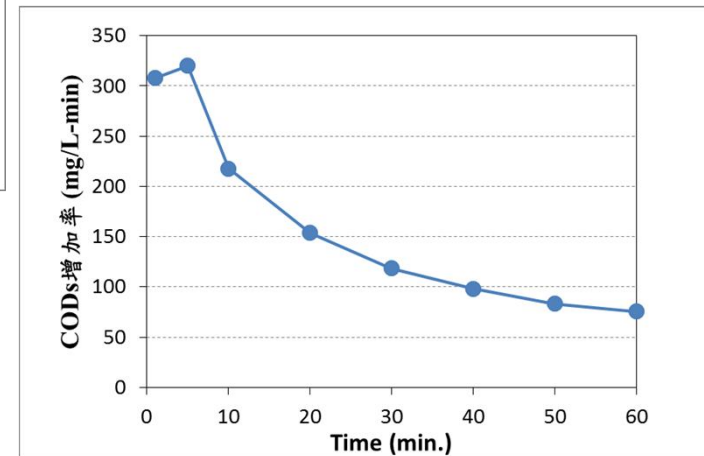
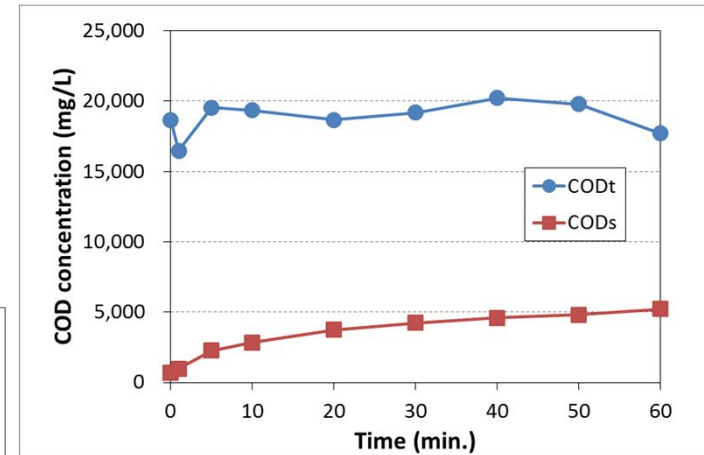
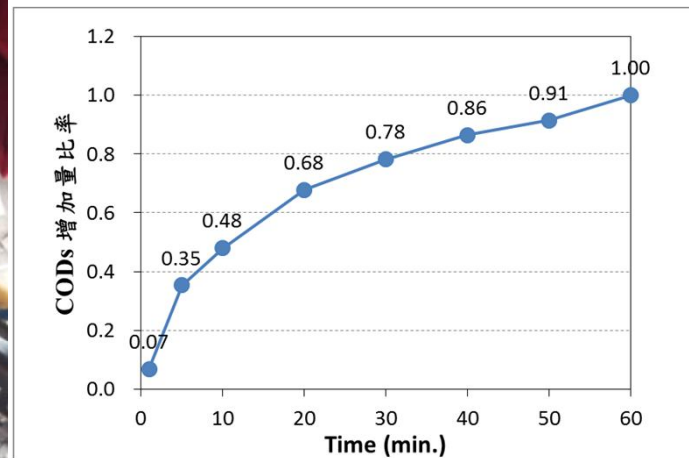
超音波污泥减量系統試驗

污泥來源：XX工業區污水廠濃縮污泥

Horn $\phi=5.0$ cm

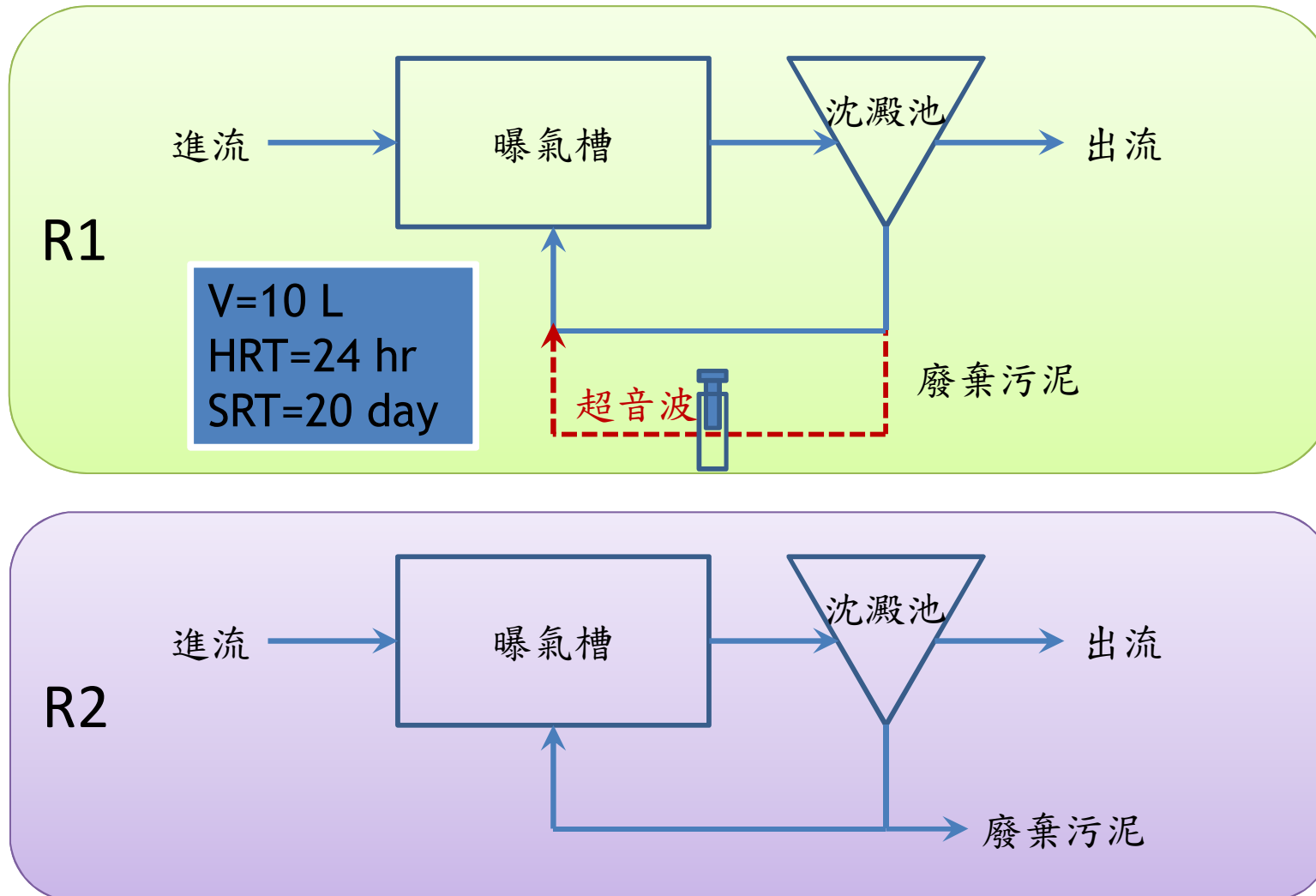
V=300 mL

Index=1 (耗電量：0.264 kWh)



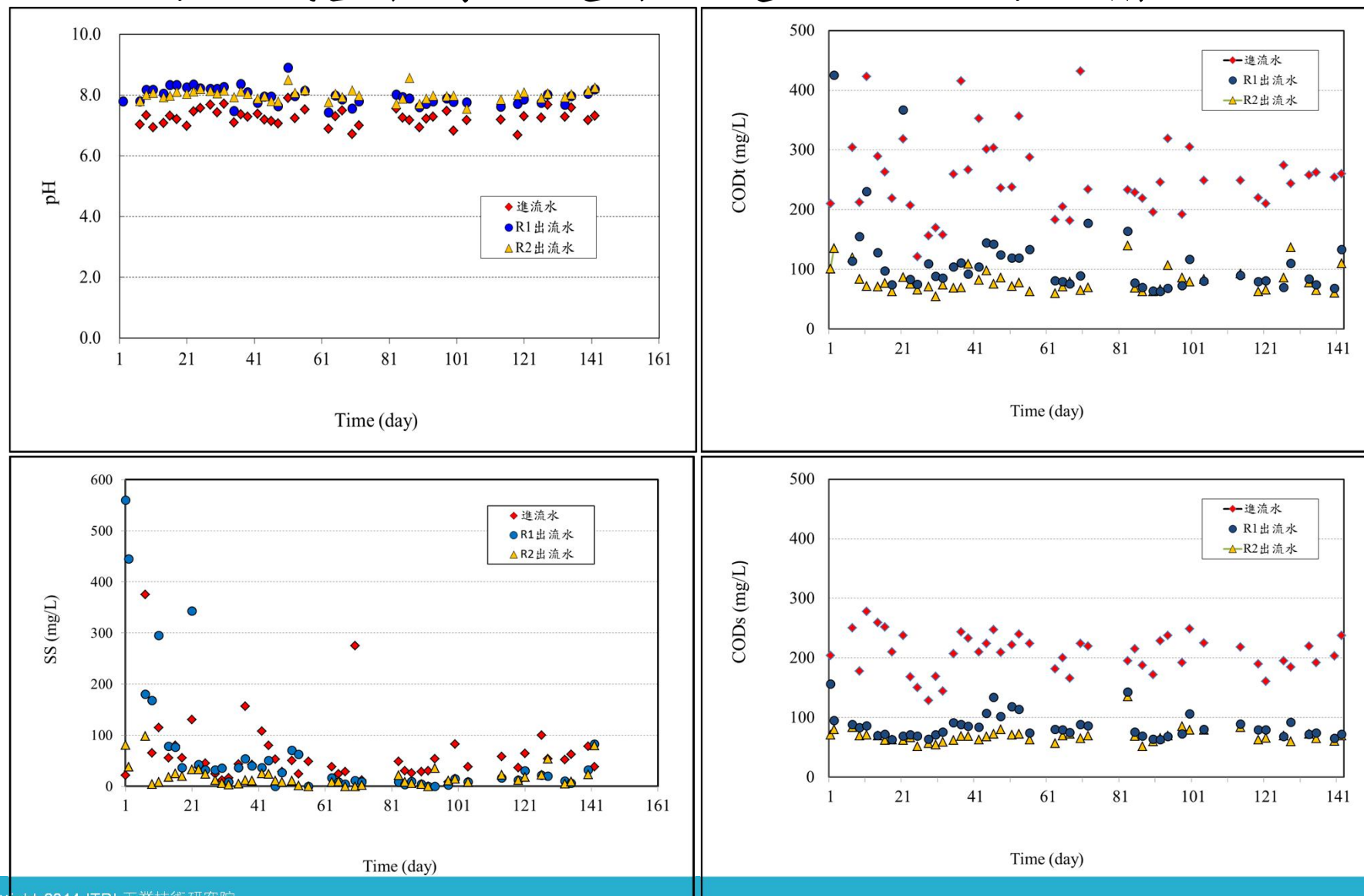
超音波污泥减量系统试验

污泥减量程序：超音波处理+活性污泥槽



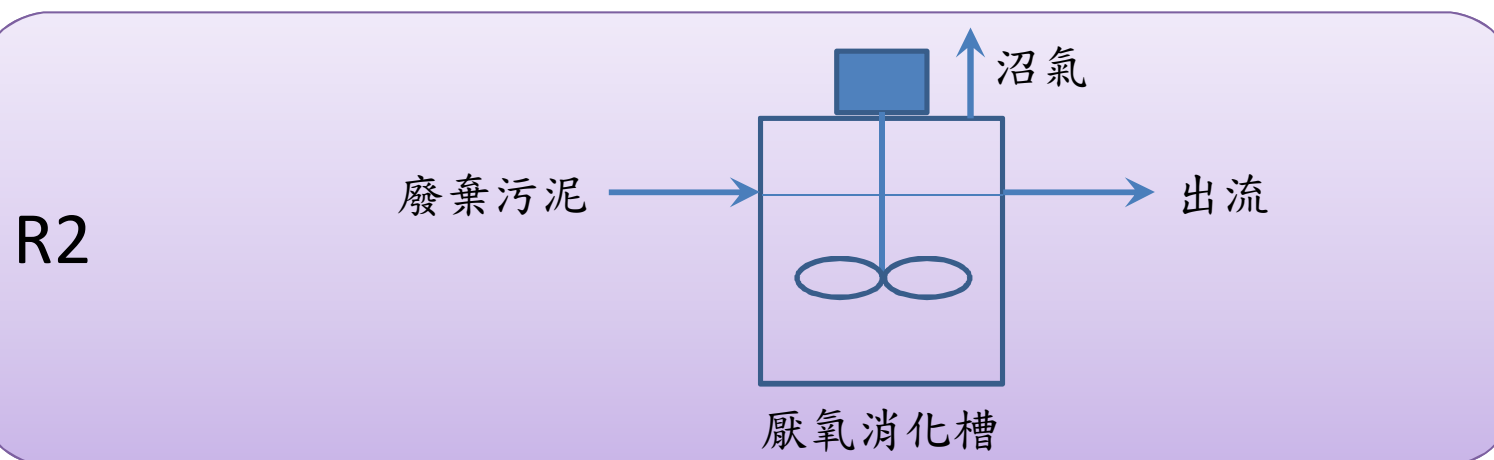
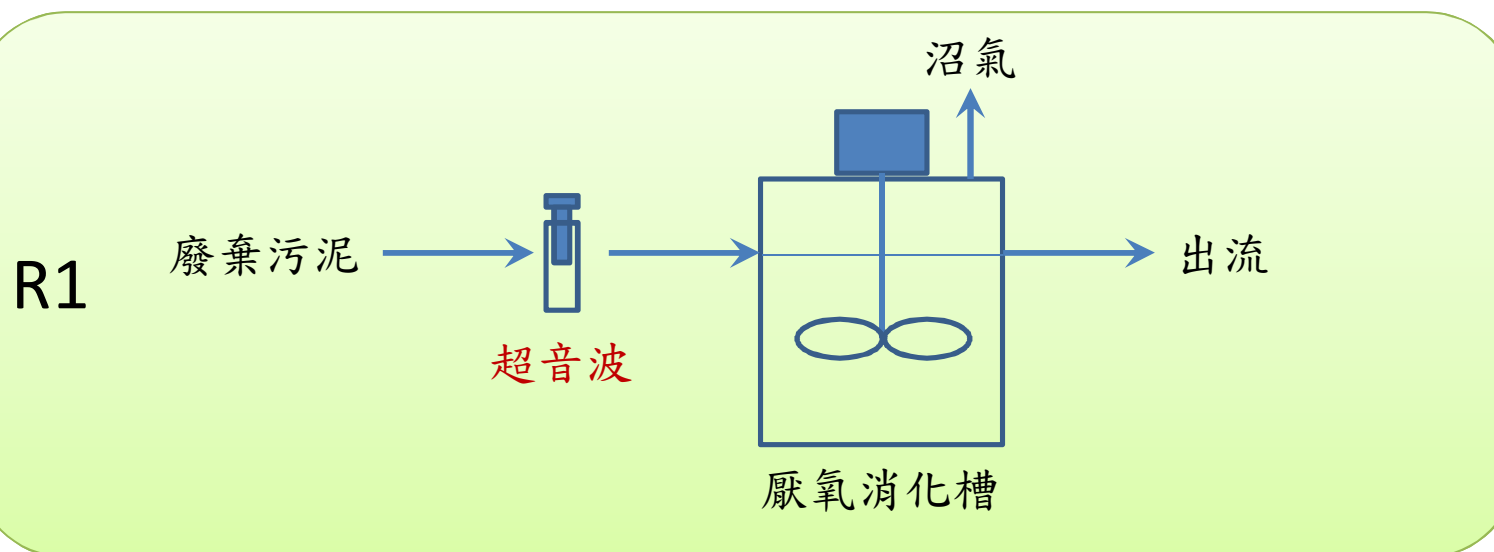
超音波污泥减量系统试验

污泥减量程序：超音波处理+活性污泥槽



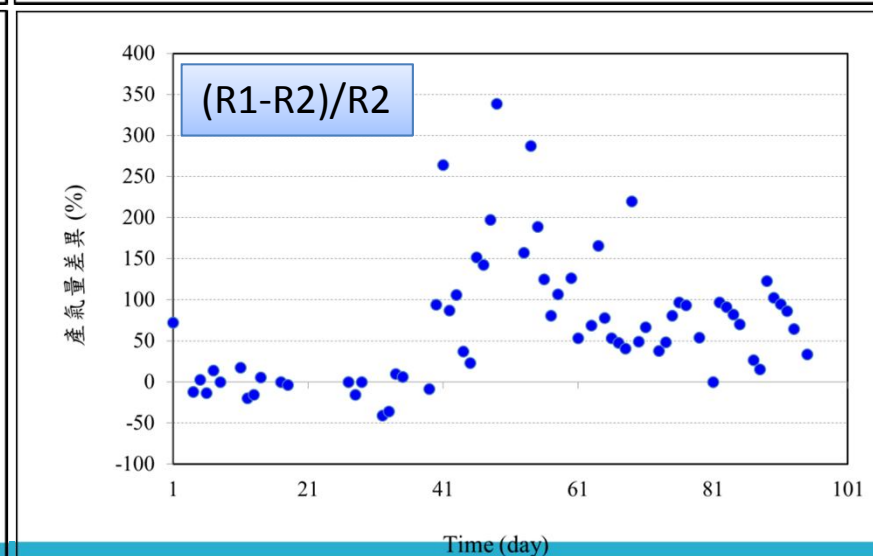
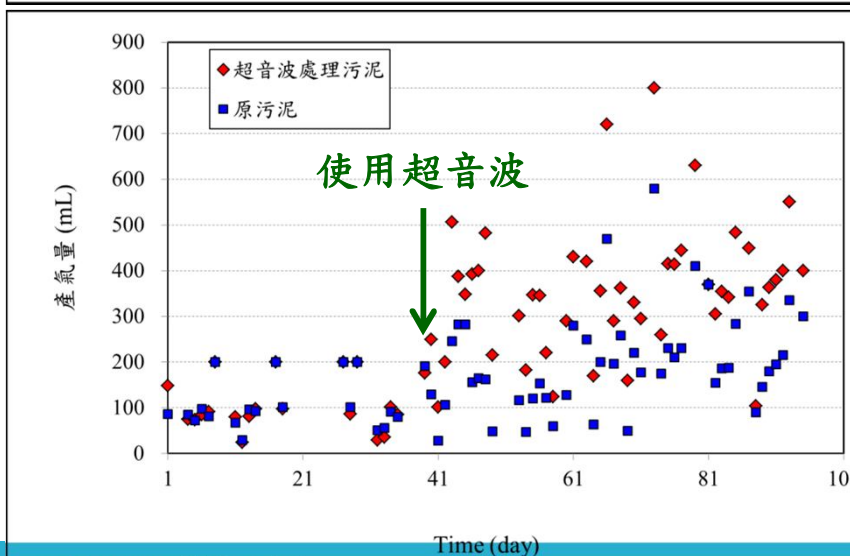
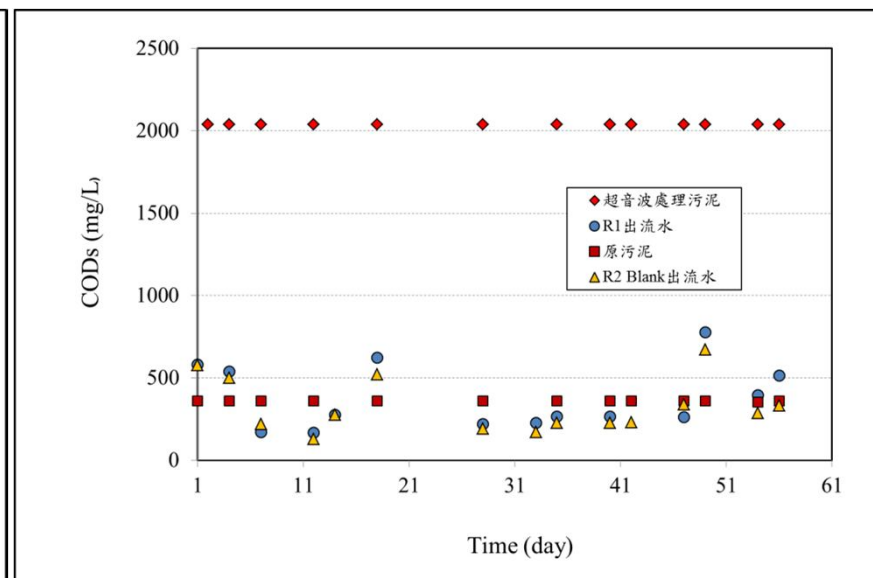
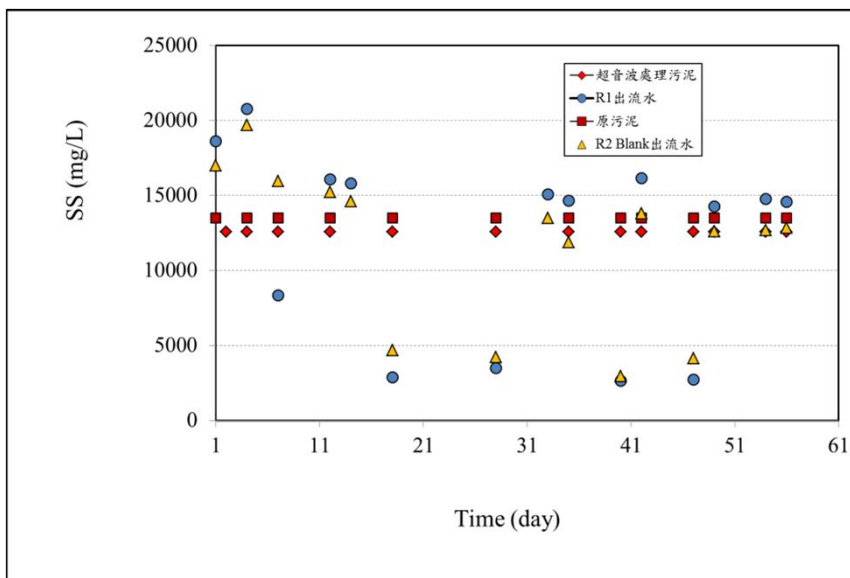
超音波污泥减量系統試驗

污泥减量程序：超音波前處理+厭氧消化槽



超音波污泥减量系統試驗

污泥减量程序：超音波前處理+厭氧消化槽



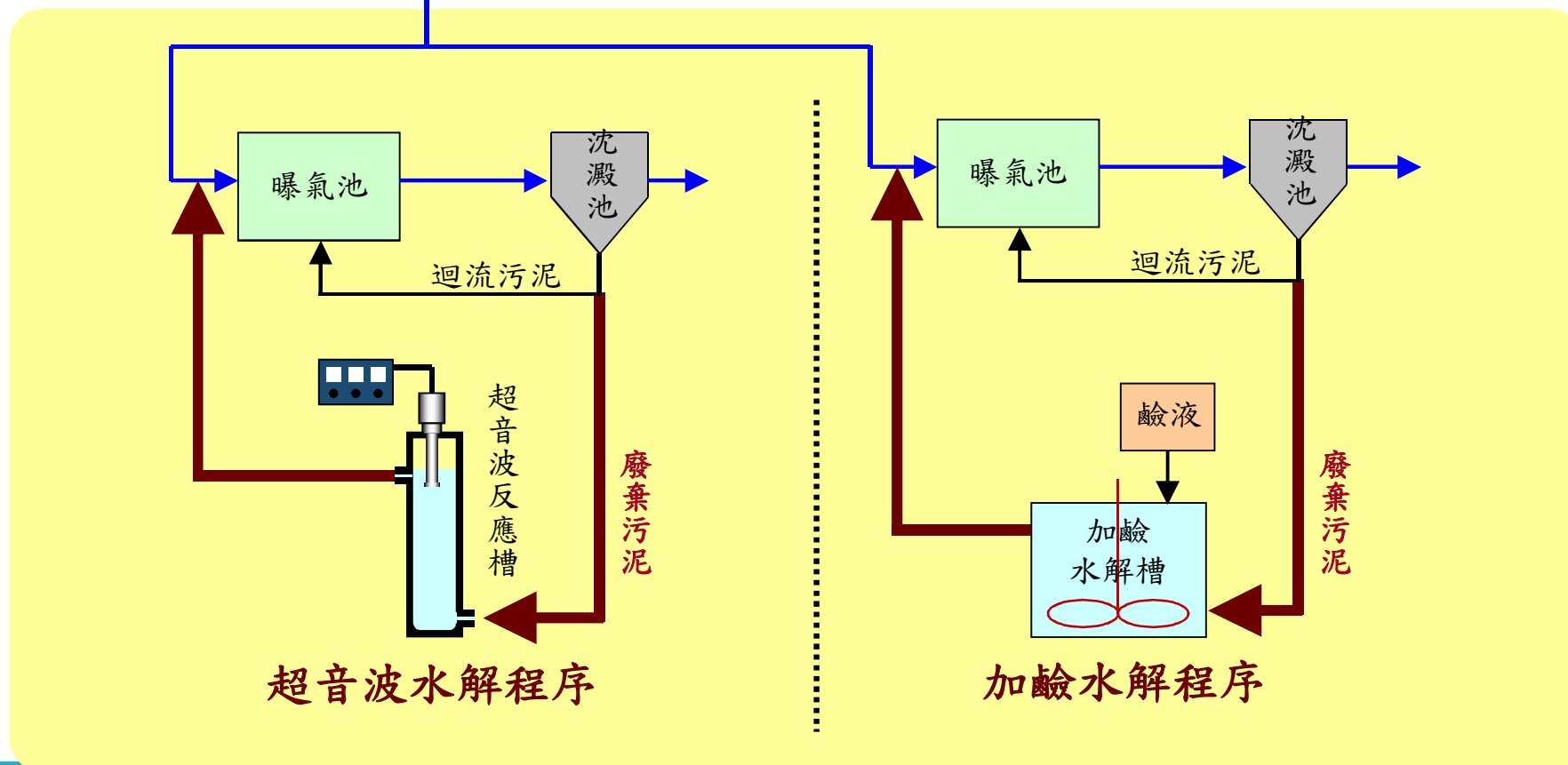
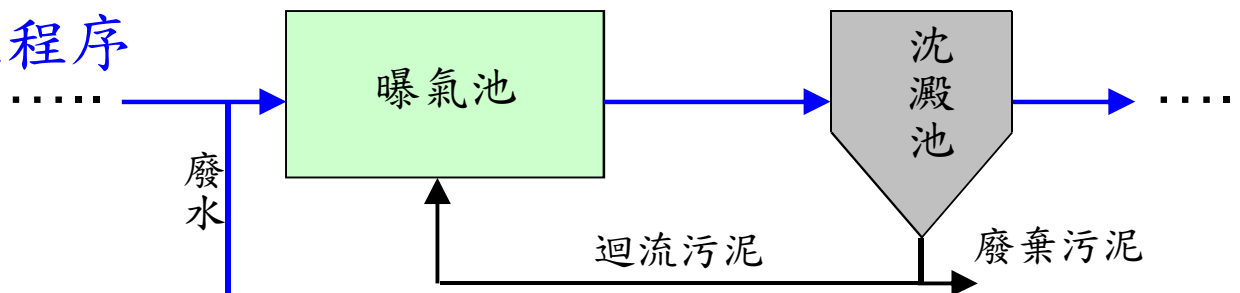


超音波污泥减量系統模場試驗



超音波污泥减量系統模場試驗

現有處理程序



超音波污泥减量系统模场试验

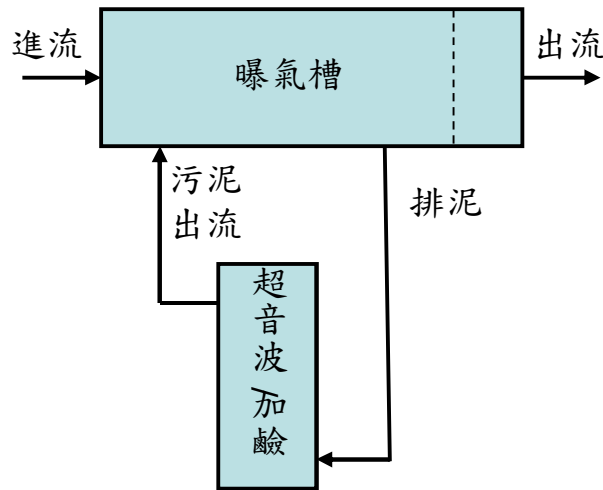
單元	超音波水解程序		加鹼水解程序	
	體積	HRT	體積	HRT
曝氣池	1,000 L	12.6 hr	1,000 L	12.6 hr
沈澱池	380 L	4.8 hr	380 L	4.8 hr
水解槽	2.6 L	10 min	27.8 L	2 hr

- 註：1.廢水流量=1,900 m³/d；水解槽污泥流量=334 L/d
2.加鹼水解之pH調整超過11
3.沈澱池之溢流率為15 m³/m²-day
4.超音波頻率為20 kHz，horn直徑為3-5公分
5.鹼液為45%工業鹼，酸液為50%工業用硫酸

超音波污泥减量系统模场试验

●XX工業區污水廠生物單元污泥量40 ton/day ($Q=17,000 \text{ m}^3/\text{d}$)

●利用試驗結果估算

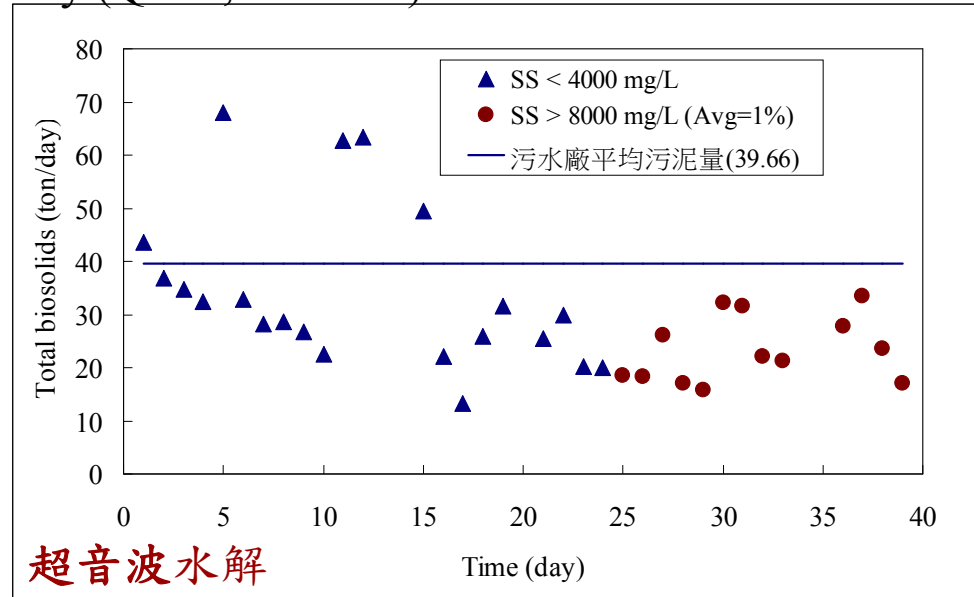


超音波污泥减量：40.7%

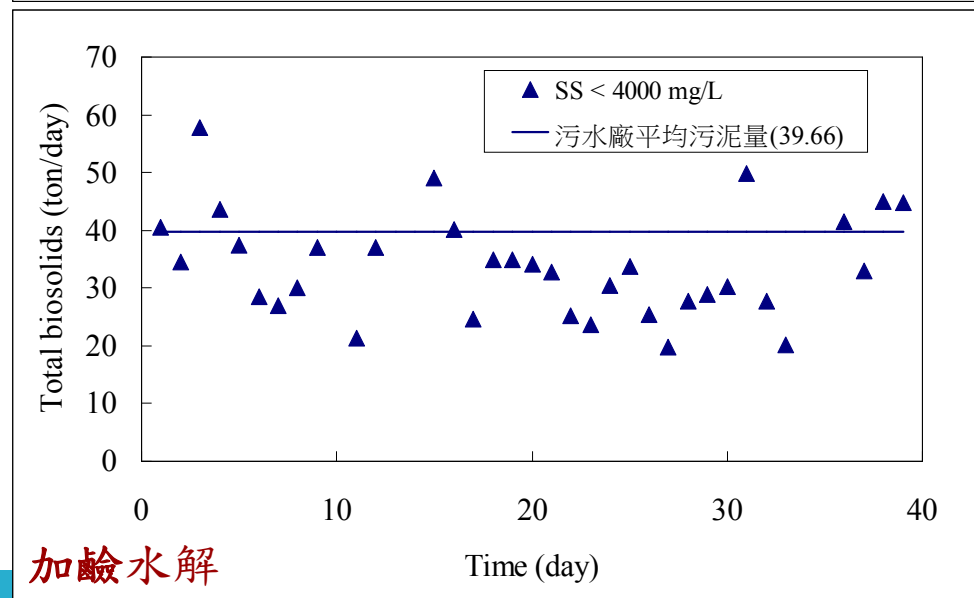
處理成本：840元/噸污泥

加鹼水解污泥减量：18.8%
($\text{pH}>11$, $\text{time}=2 \text{ hr}$)

處理成本：1,960元/噸污泥



加鹼水解



結論

- 開發低耗能超音波污泥減量系統，降低相關硬體初設費用，減少系統損耗電量
- 超音波結合活性污泥，模場試驗可達40%污泥減量效果
- 超音波結合厭氧消化，其沼氣產量可提升50%以上
- 超音波系統是一綠色技術，無需添加任何化學藥劑，適合處理後有回收考量之用途

致謝：

非常感謝經濟部技術處提供業科計畫(102-EC-17-A-10-I1-0006)經費補助，並感謝計畫執行過程中所有專家學者之意見與協助。