

呈層複合土壤系統簡介

Introduction to Multi-Soil-Layering System (MSL System)

何嘉浚 教授

臺北科技大學水環境研究中心 執行長
低碳綠能與生態社區聯合技術發展中心 執行秘書

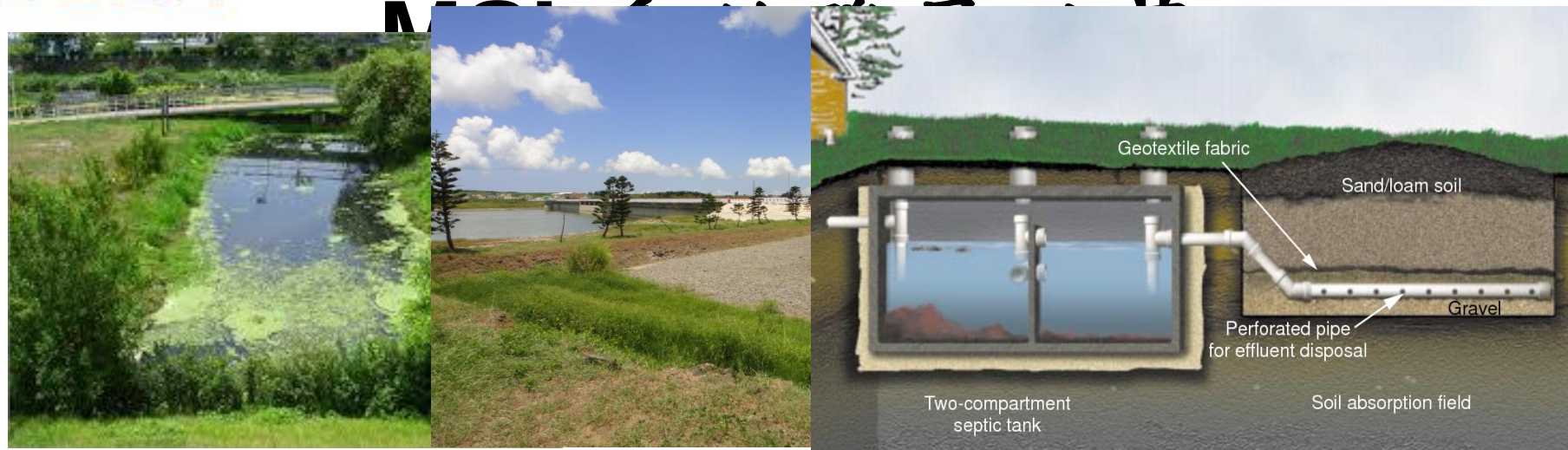
民國100年11月16日



簡報大綱

- ❖ MSL系統發展沿革
- ❖ MSL系統基本架構
- ❖ MSL系統去污機制
- ❖ 現地處理案例介紹
- ❖ 相似去污設施比較
- ❖ MSL系統去污能力
- ❖ MSL系統經濟效益





➤ 自然非集中式污水處理系統 (natural decentralized wastewater treatment systems) :

地表處理系統 (land treatment system)、化糞池 (septic tank)、人工濕地 (constructed wetland)、活性污泥 (activated sludge)，及砂濾池 (sand filters)

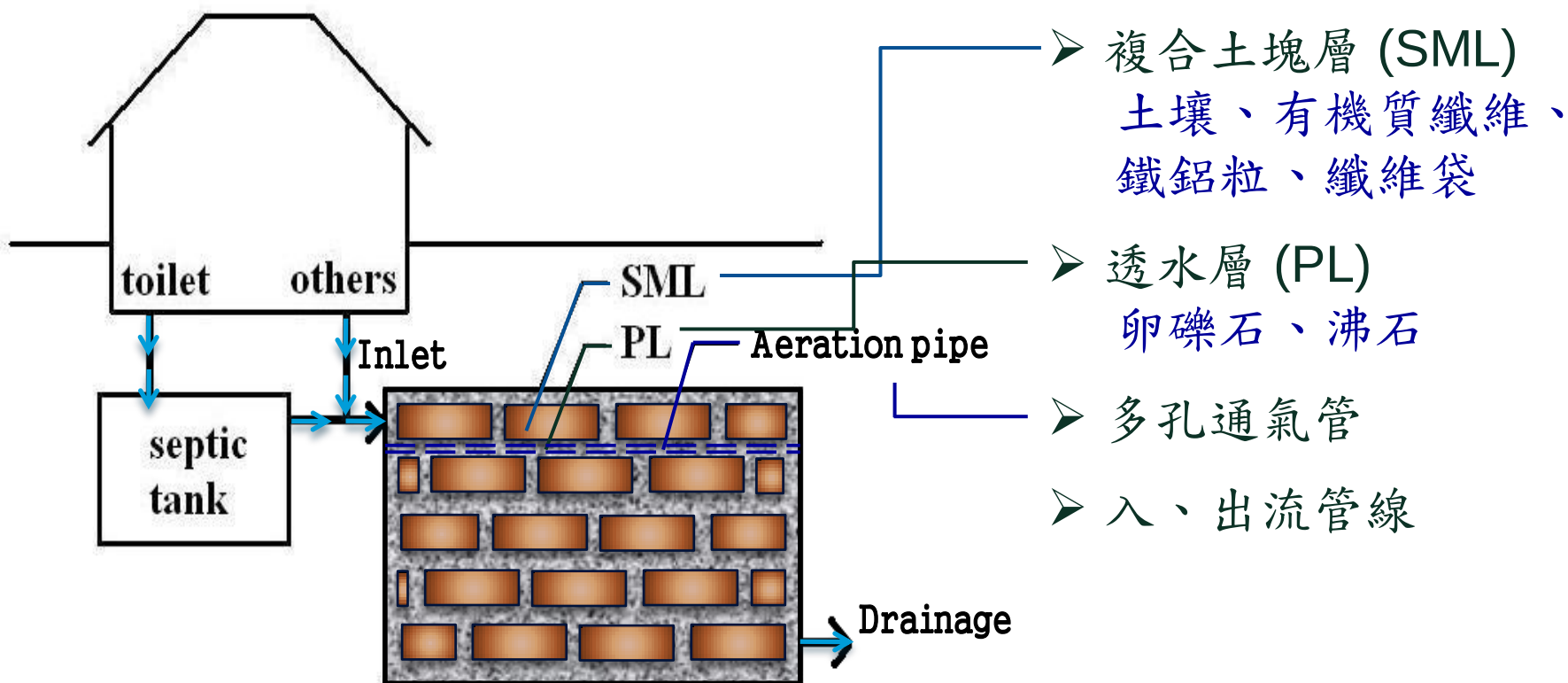
⇒ 水力負荷率較低、運轉後常遇到阻塞、所需面積較大

MSL 系統發展沿革

- ❖ 以土壤過濾去除污染物所面臨的困境
 - 低水力負荷率（hydraulic loading rate, HLR）
 - 運轉後的阻塞問題（clogging）
 - 系統需較大的建造面積(large contracture area)

- ❖ 1993年起，MSL系統的研究陸續發表
 - 現地研究：日本、泰國等
 - 實驗室內研究：研究系統操作和設計方法

MSL 系統基本架構





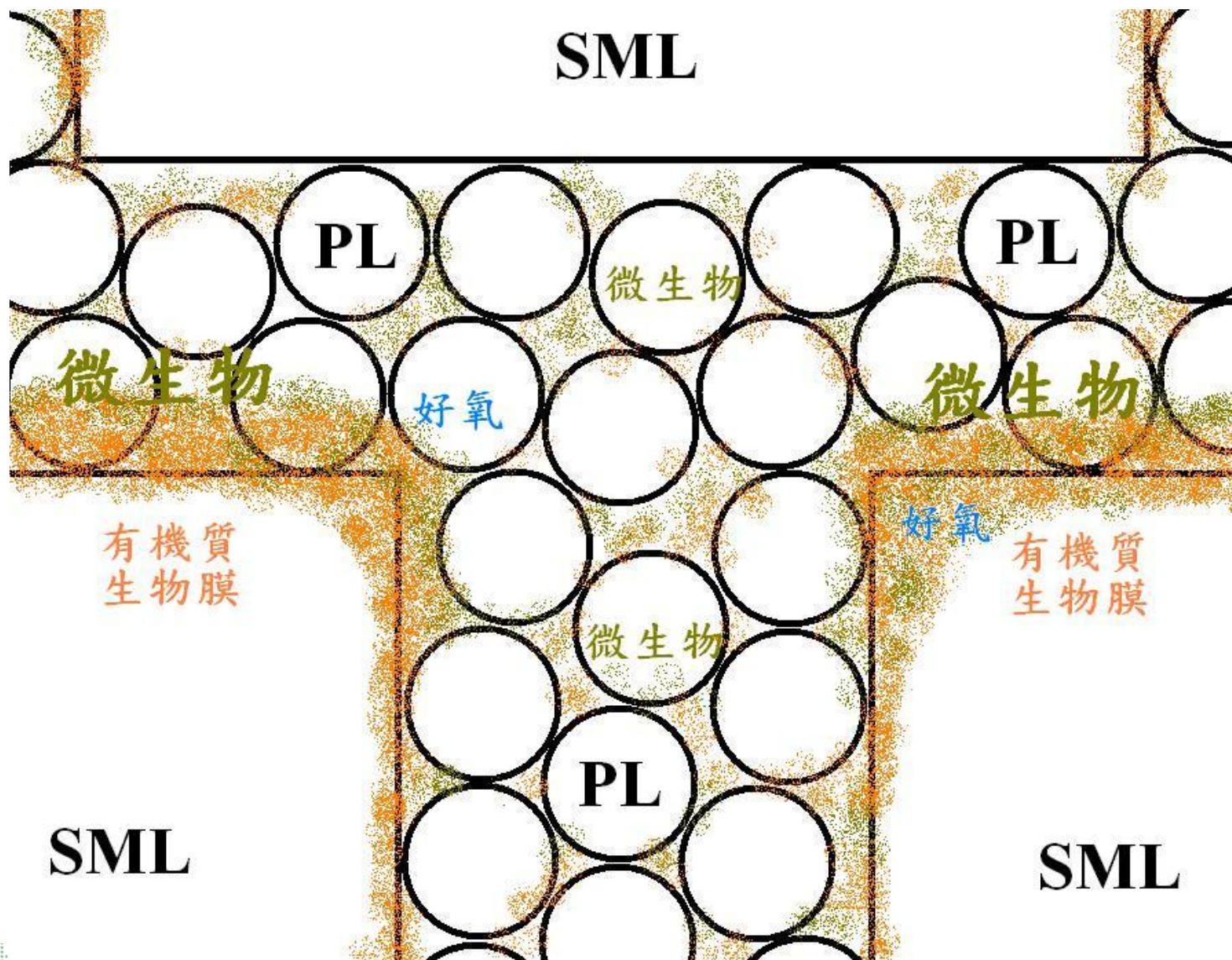
MSL 系統去污機制

❖ 目標污染物

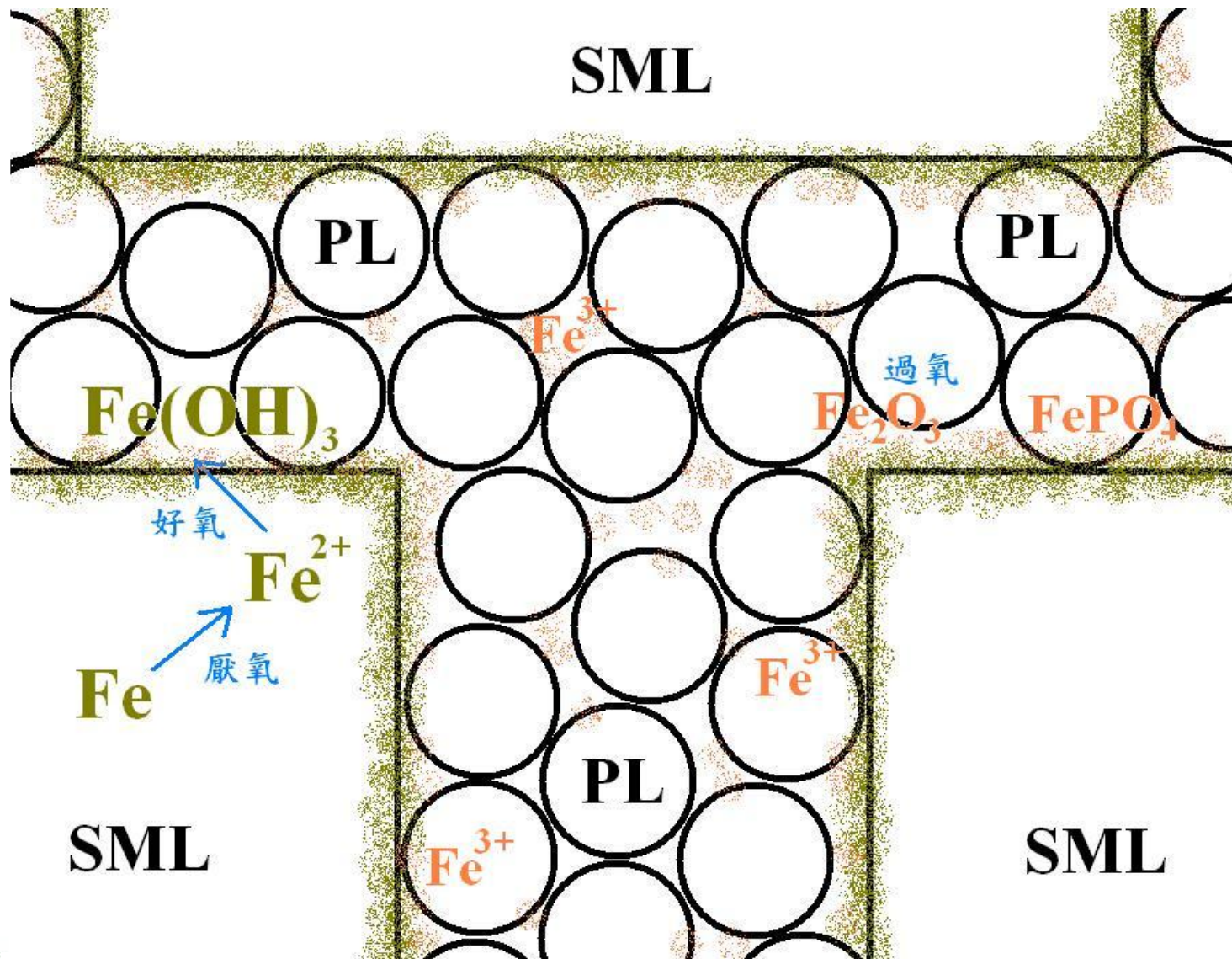
- 有機質（BOD、COD、有機氮）
- 磷酸鹽
- 氨氮、硝酸鹽



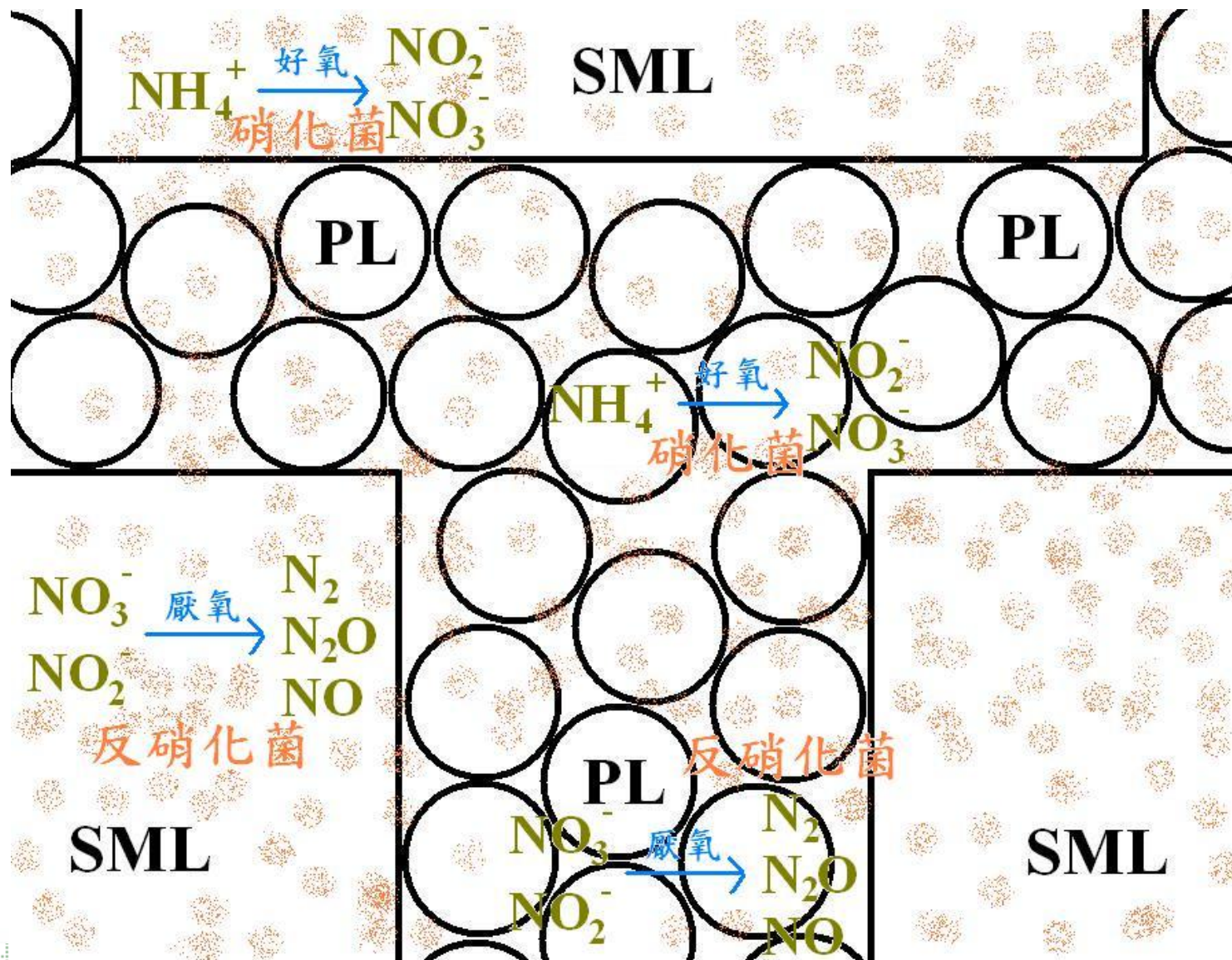
一、有機質去除



二、磷酸鹽去除



三、氨氮、硝酸鹽去除



MSL 系統去污機制

● MSL 系統之去污原理：

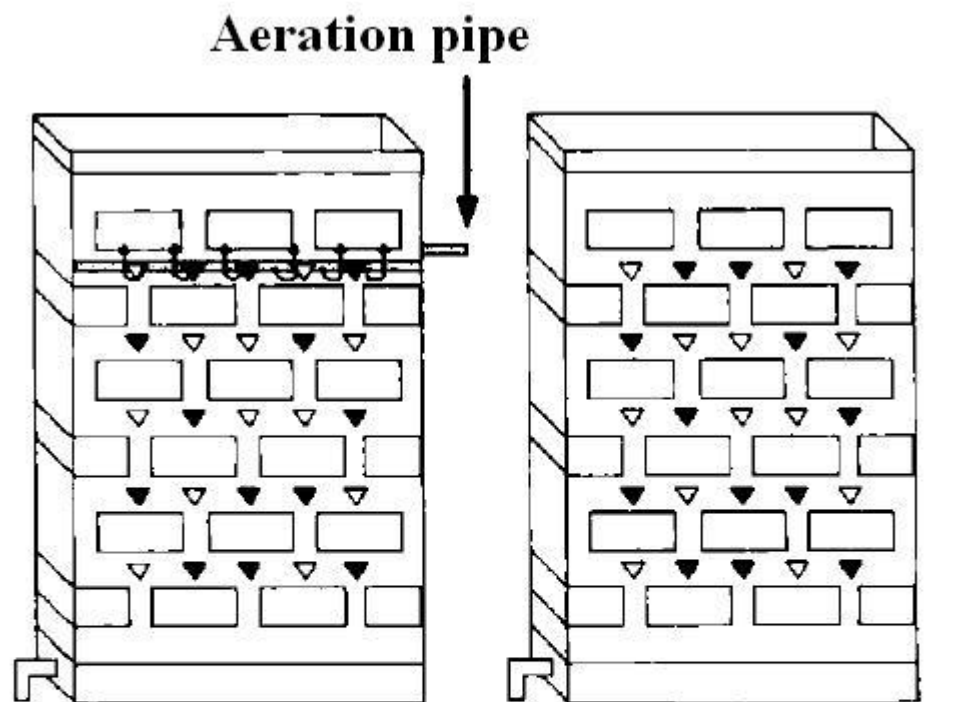
- 透水層顆粒形成之孔隙對於污水中之懸浮顆粒有攔阻的功效。
- 系統底層處於缺氧狀態，能夠進行脫硝作用，減低水中硝酸鹽與氨的濃度。
- 系統表層屬於好氧環境，能促進水中生化需氧量的分解，亦可以使氨轉化為硝酸鹽。
- 鐵鋁顆粒在厭氧環境中析出之 Fe_2^+ 或 Al_2^+ 與氧反應生成多價金屬之鹽類(如 Fe_3^+ 或 Al_3^+)，便容易與污水中的磷酸根作用並且沉澱，達到去除的目的。
- SML 表面逐漸附生微生物，形成生物膜，能促進水中有機質的分解。



不同NTS之適用性

NTS 種類	畜牧污水	農業污水	工業污水	民生污水	河川污水
草溝 Grassed swales	✓	✓			✓
草帶/緩衝帶 Grassed buffer zones	✓	✓			
人工濕地 Constructed Wetlands			✓	✓	
透水性鋪面 Pervious pavements				✓	
濕/乾滯留池 Detention basins (wet, dry)	✓	✓	✓	✓	✓
MSL multi-soil-layering system	✓	✓		✓	✓

實驗室內研究：Sato *et al.* (2005)



MSL system
under aeration

MSL system in the
absence of aeration

▽ Outlet of water collection pipe: front side

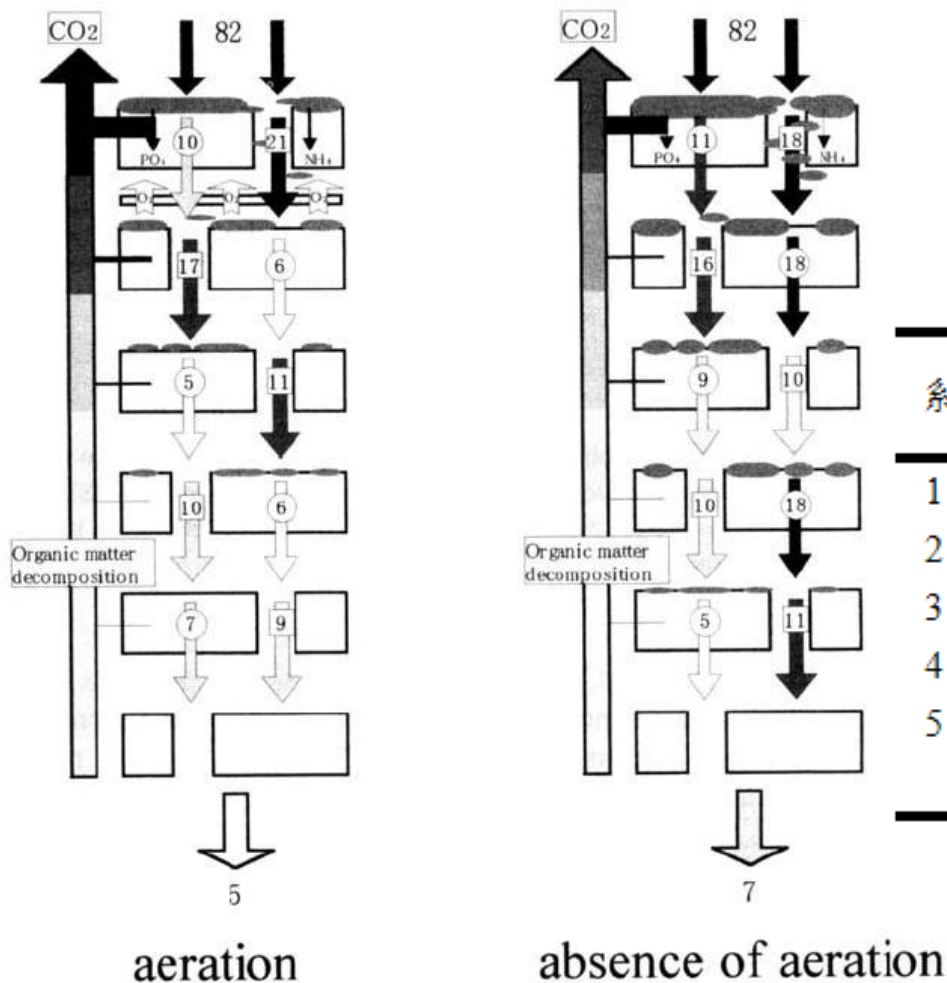
▼ Outlet of water collection pipe: back side

- ❖ 利用持續通氣與未通氣兩種操作觀察通氣與否對污染物的去除影響，及系統的污染去除機制
- ❖ 模型尺寸
D10 × W50 × H73 公分
- ❖ 研究結果
 - 未通氣系統至203天阻塞
 - 通氣系統去除率COD (93.9%)、磷酸鹽 (65%)、氨氮 (99.57%)

有機質去除

資料來源：Sato et al. 2005

170th day



入流量：1000 L/m²/day
入流濃度：70 mg/L (COD)
通氣量：3.3×10⁴ L/m³/day

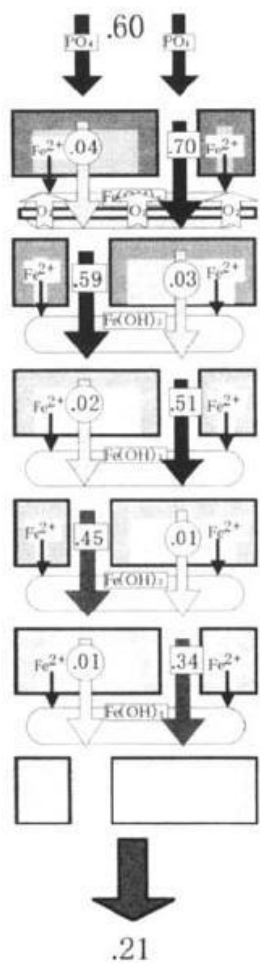
系統內位置	第 170 天累積 COD 去除率 (%)	
	通氣系統	未通氣系統
1 和 2 層間	76.85	81.84
2 和 3 層間	85.79	79.52
3 和 4 層間	90.60	88.25
4 和 5 層間	90.43	84.97
5 和 6 層間	90.28	88.29
處理水	93.90	91.46

— : accumulation of organic matter

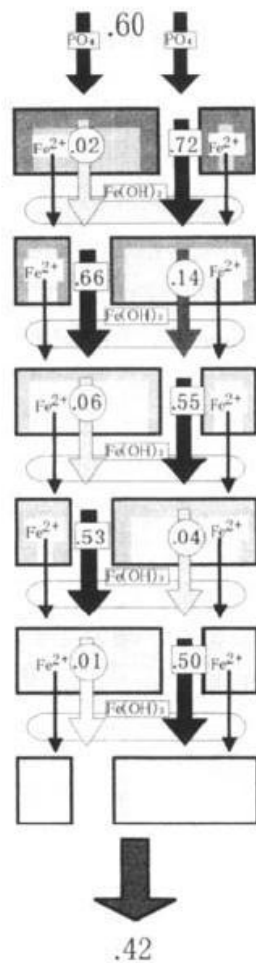
磷酸鹽去除

資料來源：Sato et al. 2005

170th day



aeration



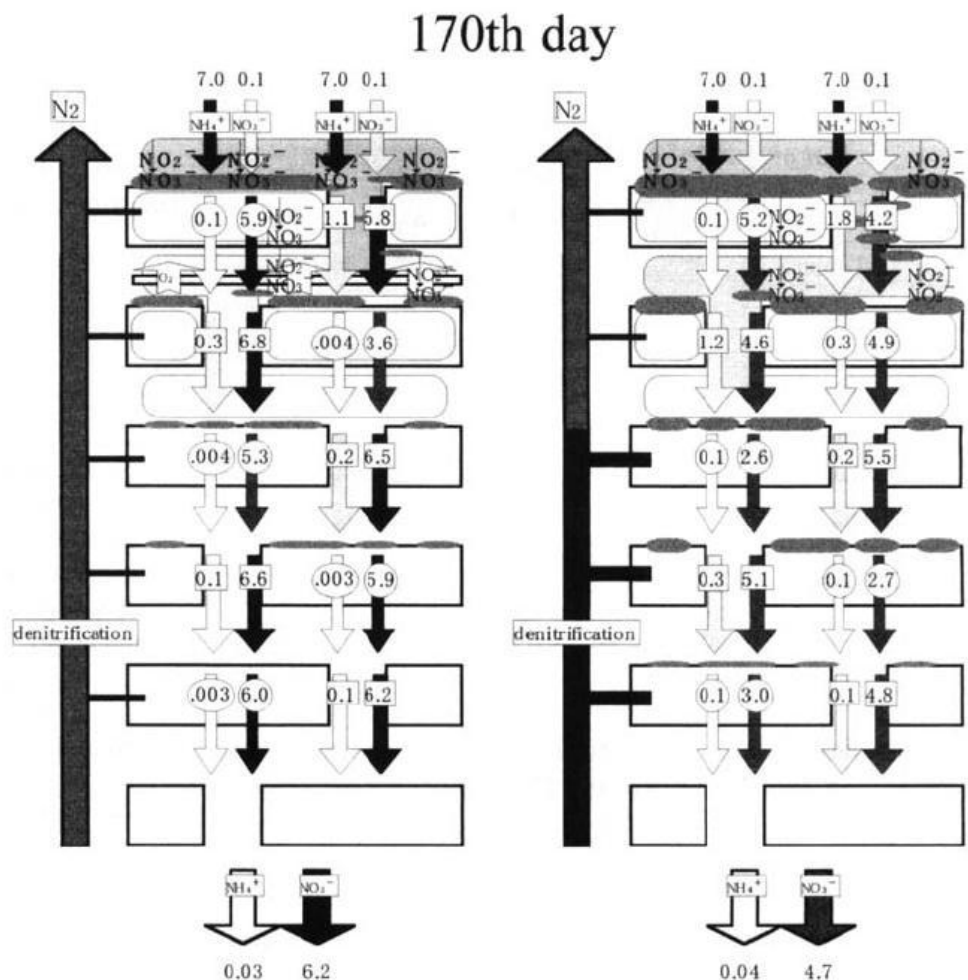
absence of aeration

入流量：1000 L/m²/day
入流濃度：0.9 mg/L (TP)
通氣量：3.3×10⁴ L/m³/day

系統內位置	第 170 天累積 PO ₄ ³⁻ -P 去除率 (%)	
	通氣系統	未通氣系統
1 和 2 層間	3.50	31.85
2 和 3 層間	47.04	24.35
3 和 4 層間	59.81	37.89
4 和 5 層間	64.45	35.41
5 和 6 層間	71.65	35.70
處理水	65.00	30.00

氨氮、硝酸鹽去除

資料來源：Sato et al. 2005



入流量：1000 L/m²/day
入流濃度：12 mg/L (TN)
通氣量：3.3×10⁴ L/m³/day

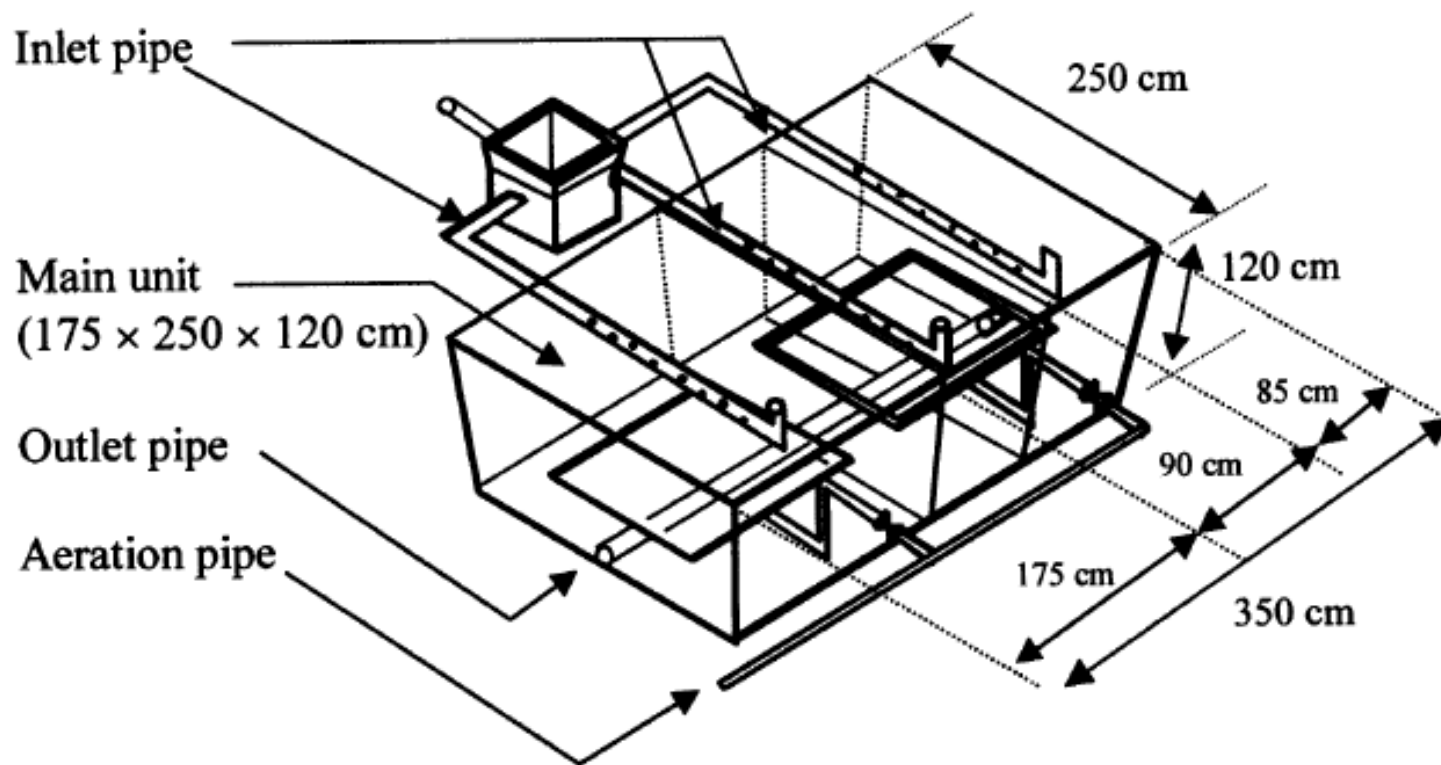
系統內位置	第 170 天累積 NH ₃ -N 去除率 (%)	
	通氣系統	未通氣系統
1 和 2 層間	86.90	85.08
2 和 3 層間	97.77	87.95
3 和 4 層間	98.68	97.66
4 和 5 層間	99.32	96.55
5 和 6 層間	99.28	98.57
處理水	99.57	99.43

■ ■ ■ ■ 現地處理案例介紹 - 日本松江市

Luanmanee *et al.* (2001)

混合土塊 - 土: 枯枝落葉: 小球狀纖維: 顆粒鐵 = 60 : 10 : 15 : 15

混和土塊尺寸: $0.6 \times 0.1 \times 1.75$ m; 沸石層厚 0.05 m



污水來源：家庭污水（共41次水樣）

污水pH值：6.8-7.9

MSL 系統於日本家庭污水處理研究結果

	水力 負荷率 L/m ² /d	入流 mg/L	BOD ₅ 出流 mg/L	去除率 %	入流 mg/L	TN 出流 mg/L	去除率 %	入流 mg/L	TP 出流 mg/L	去除率 %
1990	131	61.27	9.47	84.5	63.11	7.03	88.9	7.95	1.00	87.5
1991	149	64.10	11.60	81.8	61.60	8.29	86.6	7.62	0.40	94.6
1996	174	110.07	8.41	92.4	75.05	20.21	73.1	11.00	1.44	86.9
1999- 2000	91	101.18	5.15	95.2	92.75	59.46	54.0	12.15	1.75	82.9

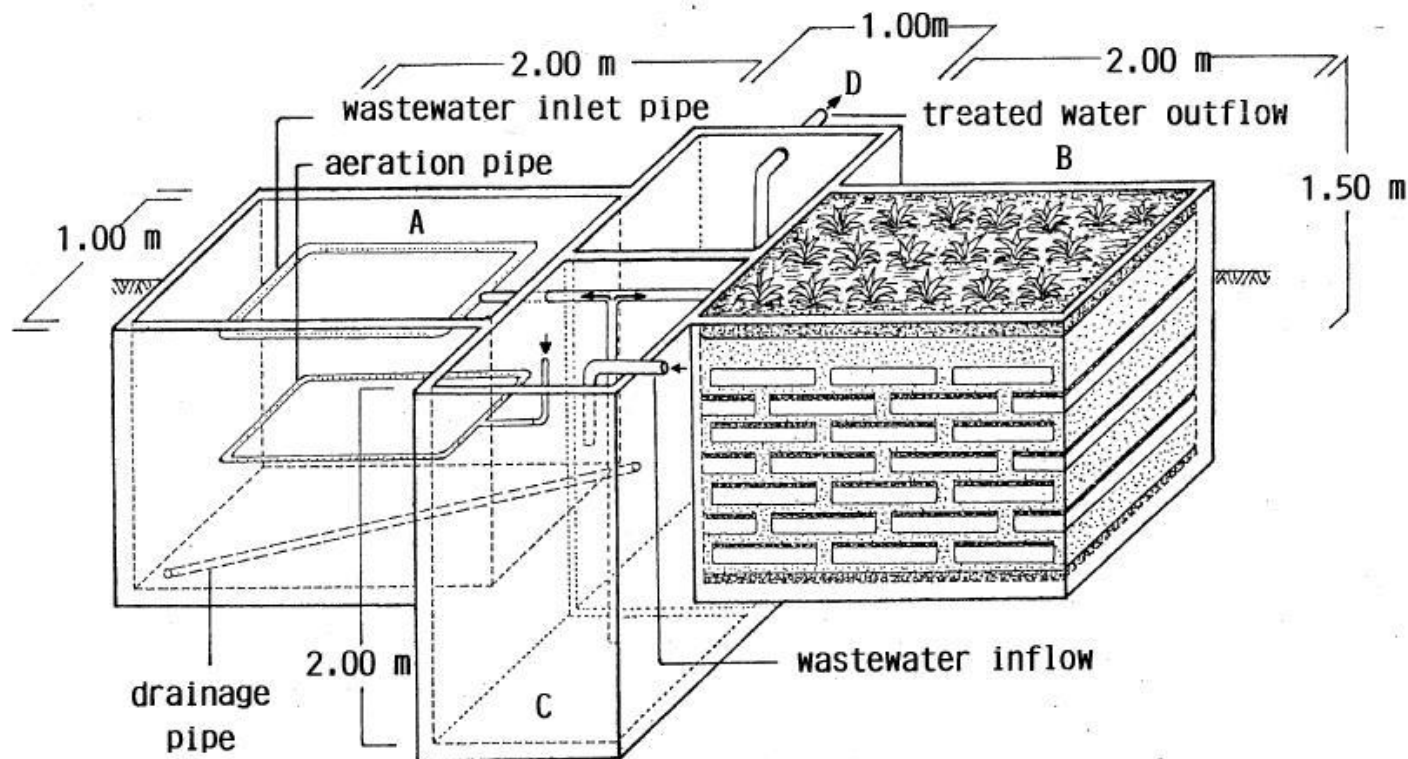
現地處理案例介紹 - 泰國農業大學

Attanandana *et al.* (2000)

混合土塊 (MSL A) - 土 : 木屑 : 鐵屑 = 75 : 10 : 15

混和土塊 (MSL B) - 土 : 玉米穗軸 + 洋麻 : 鐵屑 = 75 : 10 : 15

混和土塊尺寸: $1 \times 0.6 \times 0.08$ m; 上覆 0.02 or 0.03 m 木屑; 沸石層厚 0.05 m



污水來源：餐飲及浴廁污水（每2週採1次水樣）

水力負荷率：230 L/m²/day

原系統：分二隔間，塑膠過濾器+間歇通氣系統

(a) 1996/12/25-1997/6/4 期間，系統平均污染去除率

	SS	BOD	COD	TN	NH ₃ -N	TP	DP
MSL A	68.6	71.8	72.7	61.2	65.4	56.4	64.2
MSL B	64.6	76.7	64.8	54.4	48.4	65.9	70.2
原系統	27.7	<	50.5	22.2	30.2	20.7	3.8

單位：%

(b) 添加木屑系統的平均去污率，以鄧肯氏多變域法（DMRT）分析差異性

	SS	BOD	COD	TN	NH ₃ -N	TP	DP
MSL 未通氣	53.0 ab	48.2 a	57.6 a	68.1 ab	52.6 ab	51.9 a	64.4 c
MSL 通氣	71.2 b	90.3 b	69.9 a	90.8 b	75.8 b	90.1 b	88.5 d
原系統	21.9 a	52.6 a	47.9 a	44.2 a	46.6 ab	30.5 a	11.9 a

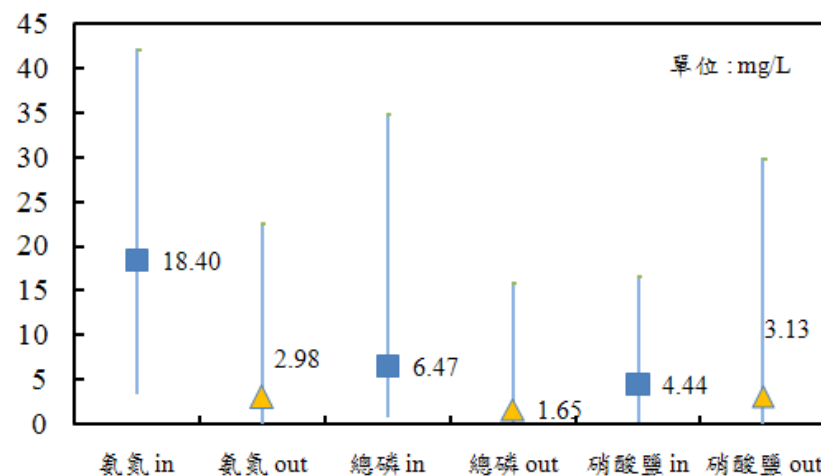
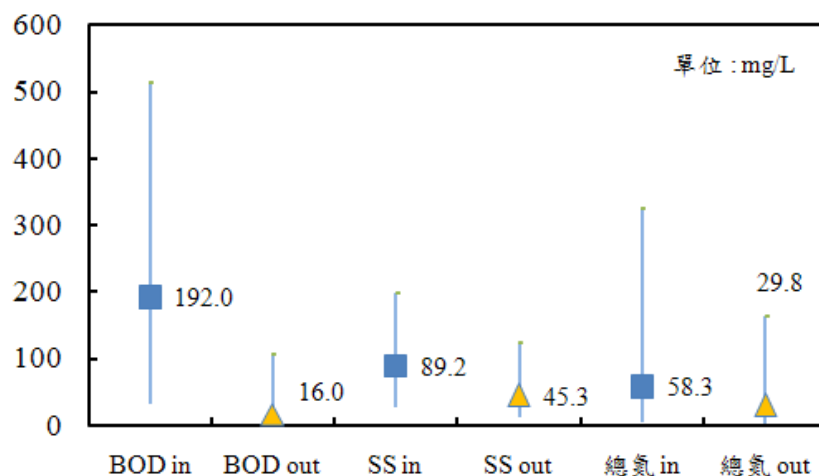
單位：%

MSL系統去污能力－餐飲及浴廁污水

APEC-VC-4 (<http://www.apec-vc.or.jp/e/>)

MSL系統於餐飲及浴廁污水之研究結果（水力負荷率 190-1820 L/m³/day）

	BOD	SS	總氮	氨氮	硝酸鹽	總磷
污水濃度 (mg/L)	192	89.2	58.3	18.40	4.44	6.47
實際負荷 (g/m ³ /day)	76	45.3	21.3	13.00	3.13	2.37
處理水濃度 (mg/L)	16	6.5	29.8	2.98	20.40	1.65
平均去除率 (%)	91	90	48	92	--	75

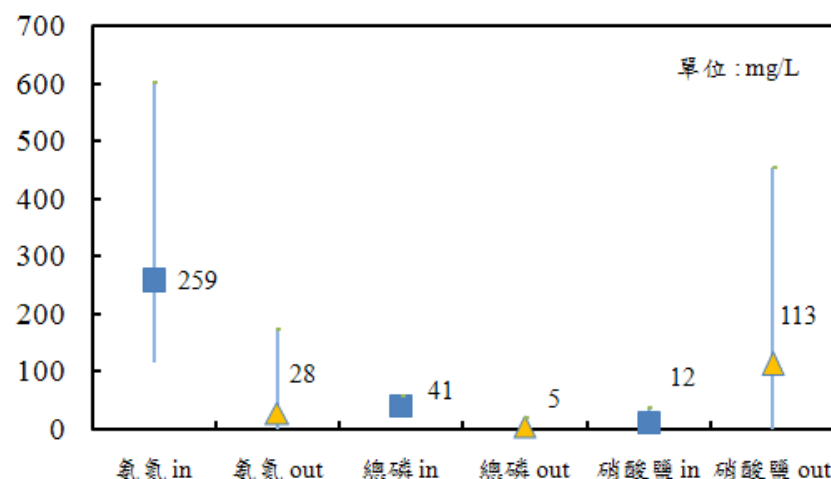
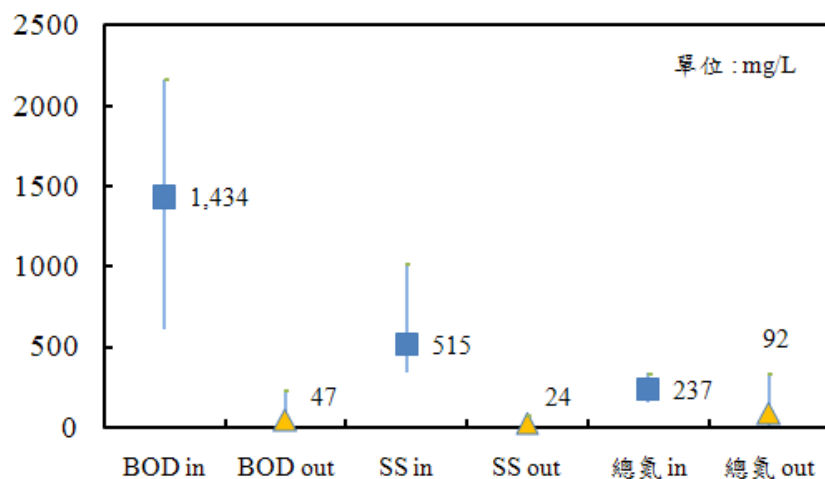


MSL系統去污能力－畜牧污水

APEC-VC-4 (<http://www.apec-vc.or.jp/e/>)

MSL系統於畜牧污水之研究結果（水力負荷率 30 - 290 L/m³/day）

	BOD	SS	總氮	氨氮	硝酸鹽	總磷
污水濃度 (mg/L)	1434	515	237	259	12	40.5
實際負荷 (g/m ³ /day)	329	130	66	61	3	11.2
處理水濃度 (mg/L)	47	24	92	28	113	5.4
平均去除率 (%)	96	94	61	90	--	88



河川淨化工程--日本福岡縣飯塚市Kumazoe 河APEC-VC-4 (<http://www.apec-vc.or.jp/e/>)



- ❖ 2005年啟用
- ❖ 設施總面積：2500 m²
- ❖ 污水處理量：7000 m³/day

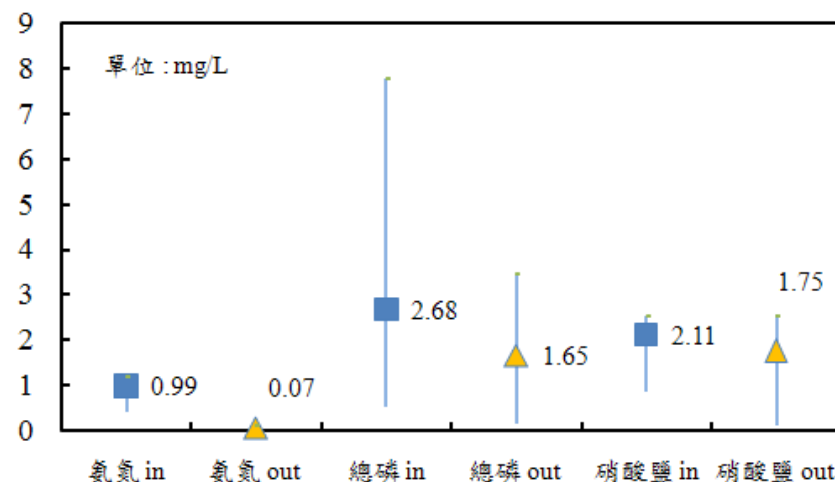
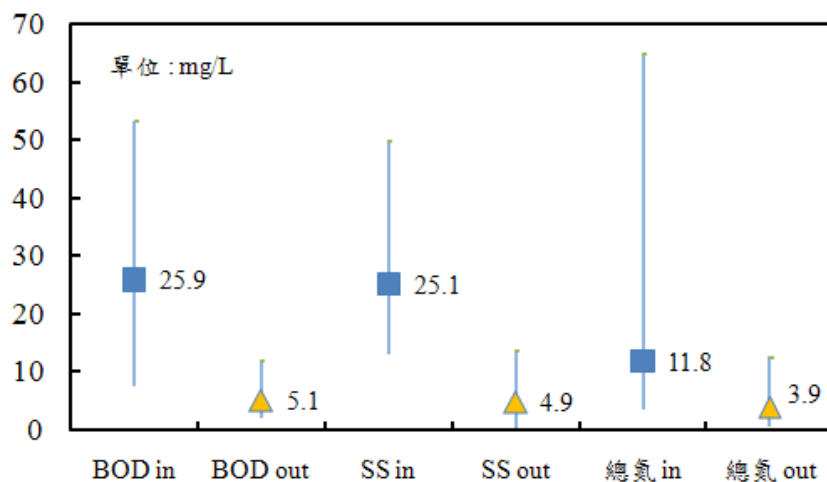


MSL系統去污能力－河川及湖泊污水

APEC-VC-4 (<http://www.apec-vc.or.jp/e/>)

MSL系統於河川及湖泊污水之研究結果（水力負荷率 220 - 4700 L/m³/day）

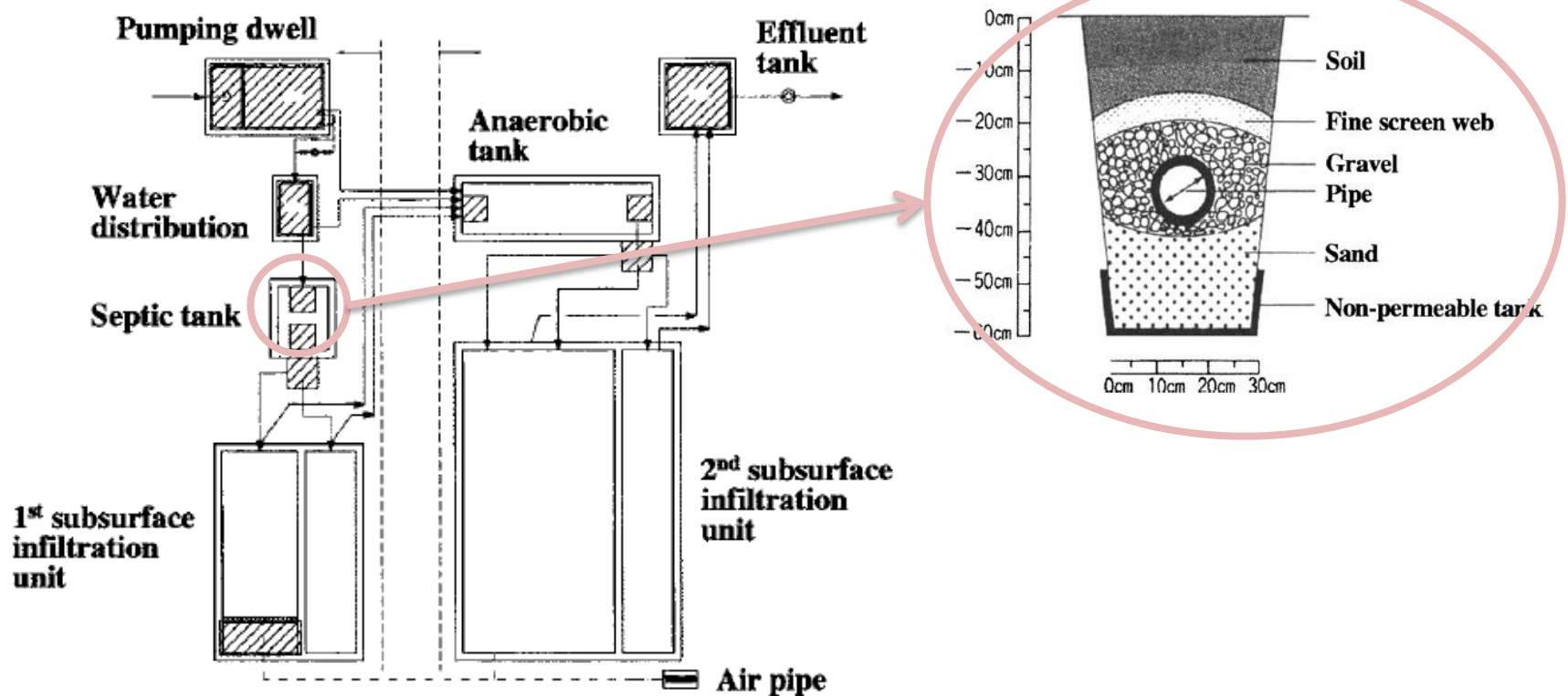
	BOD	SS	總氮	氨氮	硝酸鹽	總磷
污水濃度 (mg/L)	25.9	25.1	11.8	0.99	2.11	2.68
實際負荷 (g/m ³ /day)	65.7	63.5	8.5	1.87	3.98	6.78
處理水濃度 (mg/L)	5.1	4.9	3.9	0.07	1.75	1.65
平均去除率 (%)	77	78	52	93	--	44



相似去污設施比較 -- SAS Vs. MSL

Hu *et al.* (2007) Vs. Attanandana *et al.* (2000)

- ❖ 化糞池與土壤吸附系統 (Septic tank and soil absorption system, SAS)





SAS 與 MSL 系統各項污染物去除率比較

	Area	HLR	Average removal rate (%)					
	m ²	L/m ² /day	BOD ₅	SS	TP	NH ₃ -N	NO ₃ ⁻ -N	TN
SAS	40	50	71.9	54.8	74.9	76.0	<0	
MSL	10	230	90.3	71.2	90.1	75.8		90.8

❖ 相較之下SAS

- 複雜的結構與維護
- 總氮去除率較低
- 興建面積需求較大



與其他NTS去污能力比較

資料來源: Stormwater Detention & BMPs, Lawrence *et al.*, 1996

NTS種類	污染去除率 (%)				
	Solids	P	N	BOD	Metal
草溝 Grassed swales	20-40	20-40	20-40	20-40	0-20
草帶/緩衝帶 Grassed buffer zones	0-20	0-20	0-20	0-20	0-20
人工濕地 Constructed Wetlands	60-80	40-80	20-60	20-60	60-80
濕/乾滯留池 Detention basins (wet, dry)	80-100	40-60	20-40	40-60	60-80
MSL multi-soil-layering system	-	82-99	54-89	73-95	-



❖ MSL系統相對於其他土壤淨化設施的優點

- 透水層可降低系統阻塞風險。
- 多孔管可控制系統內通氣情形，調配污染物的去污反應程序。
- 佔地小且營運費用低，適合都會地區使用。
- 利用混合土塊中的有機質及水中有機質提供反應能量，幾乎不須維護。
- 無有害添加物，處理水可供二度使用，MSL系統材料可回收利用。



MSL 系統經濟效益

❖ 生命週期

- 良好的通氣調整可維持系統長期正常運轉；鐵顆粒的添加量決定生命週期（5-10%最佳）。

❖ 建造成本

- 系統架構單純，設計與建造費用較低；使用在地土壤和有機質添加物，可降低採購及運輸成本；主要經費項目為沸石透水層及鐵顆粒。

❖ 維護成本

- 系統自營，僅需少量通氣及進出水電力供應。

建造成本函數

資料來源：翡翠水庫蓄水範圍及保護帶保育計畫，經濟部水利署臺北水源特定區管理局，2006

NTS種類	建造成本函數	變數	統計來源
草溝 Grassed Swales	$C=(0.25\sim0.5) A$	$A=\text{面積 (ft}^2\text{)}$	WERF, 2003
草帶 Grassed buffer zones	$C=(0.3\sim6.7)A$	$A=\text{面積 (ft}^2\text{)}$	WERF, 2003
人工濕地 Constructed Wetlands	$C=30.6V^{0.71}$	$V=\text{體積 (ft}^3\text{)}$	U.S.EPA, 2003
透水性路面 Porous Pavement	$C=(2\sim3)A$	$A=\text{面積 (ft}^2\text{)}$	U.S.EPA, 2003
乾式滯留池 Dry Detention basins	$C=2.195*10^4V^{0.69}$	$V=\text{體積 (ML)}$	Young et al., 1995
	$C=60,742V^{0.69}$	$V=\text{體積 (Mgal)}$	Young et al., 1995
	$C=12.4V^{0.76}$	$V=\text{體積 (ft}^3\text{)}$	Brown and Schueler, 1997
濕式滯留池 Wet Detention basins	$C=2.247*10^4V^{0.69}$	$V=\text{體積 (ML)}$	Young et al., 1995
	$C=67,368V^{0.75}$	$V=\text{體積 (Mgal)}$	Young et al., 1995
	$C=24.5V^{0.71}$	$V=\text{體積 (ft}^3\text{)}$	Brown and Schueler, 1997
MSL multi-soil-layering system	$C=0.8V$	$V=\text{體積 (m}^3\text{)}$	T. ^{1/} Attanandana et al (2010)



~ 感謝您的聆聽~

敬請指教

台北科技大學水環境研究中心
Water Environment Research Center

