

# 爆炸性環境的國際規範與公共安全管理

◎鄭兆凱博士

## 一前言、爆炸性環境定義

現代化工業生產、加工、運輸、儲存等過程，產生各種具有爆炸性的物質，以氣體、液體、粉塵的形式充斥在環境周遭。這些危險性物質，對於公共安全影響巨大而民眾無所知覺。台灣近年發生高雄氣爆事件、昆山台商中榮鋼鐵的鋁鎂合金粉末爆炸事件，近期的八仙樂園玉米彩粉爆炸燃燒，以及天津石化特區之爆炸事件都顯示台灣民眾對於這些潛在物質的危險性有錯誤的認知，與政策規範的不完全性。

鋼鐵、石化、製程自動化、船舶、食品製造、製藥製造、儲倉自動化、平面顯示器、半導體、紙漿業、再生電池等產業，這些都是具有爆炸性危險的製程，也是防爆認證強制性要求的重點產業。先進國家不斷以立法方式做為安全的強烈要求，並且藉此規範阻絕其他國家的競爭，造成除了關稅以外的最大貿易障礙。想要進入國際市場，從產品設計、產品認證、規範熟悉、產業評估，皆是一個重大的挑戰。本文嘗試以概念引導，讓初進者能快速理解相關規範。

## 二、爆炸性環境定義

造成連鎖性的化學反應(稱為爆炸)，需要有三個要素，引爆源(Ignition Source)、氧氣(Oxygen)與物質(Material)。最被普遍忽視的是引爆源與物質，民眾習於錯誤定義只有“火源”方為引爆源，汽油、柴油等化學品方為危險的物質。此錯誤的認知釀成重大災害。

引爆源的正確定義，應該定義為“具有高能量密度”的源點，從這樣的觀點，不論是火焰、高熱氣體、高溫物體表面、機械加工、電弧、電流、腐蝕、靜電、光源、電磁波、離子束、超音波、放熱反應

過程、光照射、熱輻射、震波、絕熱壓縮過程，都可視為一種危險的引爆源，起始物質的動態化學反應過程(Kinetic Chemical Reaction)終至產生爆炸。

一般民眾所理解物質的危險性，燃油燃氣(汽油、瓦斯) > 化學品(溶劑、化纖品) > 民生用品(例如：蔗糖、玉米粉)的思維，也造成民眾對於物質的危險性有錯誤的認知，認為民生用品是絕對安全的(蔗糖、玉米粉的爆炸威力超過一般人的想像)。從爆炸產生的化學反應過程來說，物質的危險性牽涉的要素，與“引爆源”和氧氣間的相對濃度(氣體、液體)，物質本身的反應面積(粉塵)、以及物質本身的能量躍遷(Energy Transition)而定。當時間與空間條件達到某一點，則會引起連串的化學反應產生爆炸，通常爆炸環境的時間尺度為ns( $10^{-9}$  sec)，一旦形成正向的連鎖反應，則只有等到引爆源、氧氣與物質其中一個條件耗盡，才能產生逆向反應終止爆炸。

## 三、防爆認證的基礎概念

理解爆炸的產生與中止條件，就可以從哲學條理理解防爆認證的思維與規定。防爆認證的概念來源，在於使爆炸的三個產生要素，引爆源、氧氣或物質其中一項消失，那麼就不能引起爆炸行為。第一種基本控制方法為引爆源的控制，通常稱為本質安全(IS, Intrinsic Safety)設計，以電路設計來說，規範了所有電子元件在最惡劣條件下，都不能引起有過高的能量聚集的可能。特別是電源電路，會限制整個等效電容值(Equivalent Capacity)，避免能量蓄積；或者限制最大電壓、最大電流、最大功率、最大表面溫度等。這方面的規範都根源於IEC 60079-11,並依各洲際的認證規定(ATEX, FM, UL, CSA, NEPSI等)而有些許不同的加嚴條件。



第二種基本的控制方法，則是假設爆炸是會產生的，例如在一個隔離的產品內部產生爆炸。防爆認證的控制觀點是在最惡劣的條件下，這些爆炸只能侷限在產品內部，不能有任何火焰途徑(Flame Path)，造成火焰傳遞(Flame Propagation)的可能。在這樣的觀點下，任何結構性的元件，如果有腐蝕、可靠性不足、耐候性因素(例如O Ring)都被視為不存在的物質。從這樣的觀點引申出來的，就是所謂的結構防爆，符合IEC 60079-1、60079-2及IEC 60079-13的陳述規定。Table.1列出了IEC相關的標準其引用定義和CNS的對照，可以發現台灣落後先進國家十多年，並且沒有相關的IECEX 80079及IEC01-IEC05的引用承認。Table.1列出IEC相關的防爆規範一覽表(<http://www.iecex.com/standards.htm>)。

第三種基本的控制方法，則是以惰性物質，將引爆源與物質隔離，避免接觸氧氣環境的可能，這樣缺氧的環境下，自然不會引起爆炸，例如將引爆源用惰性粉末(IEC 60079-5)、惰性油體(高燃點不易引燃脂IEC 60079-6)、電路板塗層(IEC 60079-15)、電子設備注膠硬化(IEC 60079-18)等，都是基於這樣的概念產生。

有了從邏輯的控制觀念，就不難理解其他分節的規範要求配合，IEC 60079-7所謂的增安(Increased Safety)，是指電子設備(例如馬達)，在毀損的情況下(例如緊急軸心偏擺停機)，也不能引起任何火花造成爆炸。IEC 60079-19則規範了相關的產品維護與修復準則。IEC 60079-25則要求連結電子設備的系統需要之規定等。整個IEC 60079各章節，基本上是防爆電子設備產品的設計規範。

Table.1 IEC 相關防爆法規與台灣目前CNS引用標準對照表

Code	Cited from	CNS	Issue Date	IEC Latest Ed.
	60079-0	3376-0	2008.9.30	2013
d	60079-1	3376-1	2008.9.30	2014
p	60079-2	3376-2	2008.9.30	2014
q	60079-5	3376-5	2002.10.30	2007
o	60079-6	3376-6	2008.9.30	2007
e	60079-7	3376-7	2008.9.30	2006
i	60079-11	3376-11	2002.10.30	2011
	60079-12	3376-12	2002.10.30	1996
p	60079-13	3376-13	2002.10.30	2010
n	60079-15	3376-15	2002.10.30	2010
	60079-16	3376-16	2002.12.05	1990
	60079-18	3376-18	2002.12.05	2009
	60079-19	3376-19	2002.12.05	2010
	60079-25	N/A	N/A	2006
	~			~
	60079-35			2013
	80079	N/A	N/A	2013
	IECEX01	N/A	N/A	2013
	IECEX02			2013
	IECEX03			2013
	IECEX04			2007
	IECEX05			2013
Definition				



- 60079-0 Explosive atmospheres - Part 0: Equipment - General requirements
- 60079-1 Explosive atmospheres - Part 1: Equipment protection by flameproof enclosures 'd'
- 60079-2 Explosive atmospheres - Part 2: Equipment protection by pressurized enclosures 'p'
- 60079-5 Explosive atmospheres - Part 5: Equipment protection by powder filling 'q'
- 60079-6 Explosive atmospheres - Part 6: Equipment protection by oil immersion 'o'
- 60079-7 Explosive atmospheres - Part 7: Equipment protection by increased safety 'e'
- 60079-11 Explosive atmospheres - Part 11: Equipment protection by intrinsic safety 'i'
- 60079-13 Explosive atmospheres - Part 13: Equipment protection by pressurized room 'p'
- 60079-15 Explosive atmospheres - Part 15: Equipment protection by type of protection 'n'
- 60079-16 Electrical apparatus for explosive gas atmospheres - Part 16: Artificial ventilation for the protection of analyser (s) houses
- 60079-18 Explosive atmospheres - Part 18: Equipment protection by encapsulation "m"
- 60079-19 Explosive atmospheres - Part 19: Equipment repair, overhaul and reclamation
- 60079-25 Explosive atmospheres - Part 25: Intrinsically safe systems
- 60079-26 Explosive atmospheres - Part 26: Equipment with equipment protection level (EPL) Ga
- 60079-27 Explosive atmospheres - Part 27: Fieldbus intrinsically safe concept (FISCO)
- 60079-28 Explosive atmospheres - Part 28: Protection of equipment and transmission systems using optical radiation
- 60079-29-1 Explosive atmospheres - Part 29-1: Gas detectors - Performance requirements of detectors for flammable gases
- 60079-29-4 Explosive atmospheres - Part 29-4: Gas detectors - Performance requirements of open path detectors for flammable gases
- 60079-30-1 Explosive atmospheres - Part 30-1: Electrical resistance trace heating - General and testing requirements
- 60079-31 Explosive atmospheres - Part 31: Equipment dust ignition protection by enclosure "t"
- 60079-32-1 Explosive atmospheres - art 32-1: Electrostatic hazards, guidance
- 60079-32-2 Explosive atmospheres -Part 32-2: Electrostatics hazards - Tests
- 60079-35-1 Explosive atmospheres - Part 35-1: Caplights for use in mines susceptible to firedamp - General requirements - Construction and testing in relation to the risk of explosion
- 61241-0 Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust - Part 0: General requirements
- 61241-1 Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust - Part 1: Protection by enclosures 'tD'
- 61241-1-1 Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust -Part 1: Electrical apparatus protected by enclosures and surface temperature limitation - Specification for apparatus
- 61241-4 Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust - Part 4: Type of protection 'pD'



- 61241-11 Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust - Part 11: Protection by intrinsic safety 'iD'
- 61241-18 Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust - Part 18: Protection by encapsulation 'mD'
- 61779-1 Electrical apparatus for the detection and measurement of flammable gases - Part 1: General requirements and test methods
- 61779-2 Electrical apparatus for the detection and measurement of flammable gases - Part 2: Performance requirements for group I apparatus indicating a volume fraction up to 5% methane in air
- 61779-3 Electrical apparatus for the detection and measurement of flammable gases - Part 3: Performance requirements for group I apparatus indicating a volume fraction up to 100% methane in air
- 61779-4 Electrical apparatus for the detection and measurement of flammable gases - Part 4: Performance requirements for group II apparatus indicating a volume fraction up to 100% lower explosive limit
- 61779-5 Electrical apparatus for the detection and measurement of flammable gases - Part 5: Performance requirements for group II apparatus indicating a volume fraction up to 100% gas
- 62013-1 Caplights for use in mines susceptible to firedamp - Part 1: General requirements - Construction and testing in relation to the risk of explosion
- 62013-2 Caplights for use in mines susceptible to firedamp - Part 2: Performance and other safety-related matters
- 62086-1 Electrical apparatus for explosive gas atmospheres – Electrical resistance trace heating – Part 1: General and testing requirements
- 80079-34 Explosive atmospheres - Part 34: Application of quality systems for equipment manufacture

光僅有IEC 60079的產品設計規範，並不足以界定所有的應用環境，也因此IEC 61241針對可燃性粉塵環境(Combustible Dust,例如八仙樂園事件的彩色玉米粉)、IEC61779針對可燃性氣體環境(Flammable Gases,例如高雄氣爆的丙烯); IEC 62013對礦坑環境，做了更進一步對物質被點燃特性的要求做防爆認證的區隔。進一步舉例說明，如八仙樂園的塵爆事件，引爆源若屬音箱，應屬於在IEC 61241-11粉塵環境電路本質安全，其規範了限定的電子設備(音箱)的表面溫度、電壓、電流、粉塵厚度、粉塵型態限制、粉塵的堆積形式等，確保爆炸不能產生。特別值得注意的是，2012年發布的IEC 80079-34是針對防爆領域，如何維護與建立品質

系統的規定，使得品質系統的落實符合防爆認證的要求；IEC 80079-34最主要是工廠的品質系統的規定，在ISO 9001:2008版本架構上，增加了防爆認證產品的管理需求。

#### 四、防爆認證的分類觀點

在有了初步的爆炸概念與規範分類，通常最容易困擾眾生的，是如何看懂不同認證體系間的分類邏輯。這牽涉到歐洲人(ATEX)與美洲人(FM、UL、CSA)對事物的不同看法，但結果異曲同工。亞洲部分(NEPSI)，則大致遵循歐洲人的觀點。茲分述如下。



## (a) 設備與區域用途

一般稱為EPL(Equipment Protection Level)設備防護等級，以設備防護等級區分，不同的設備等級，和“設備可以放置的區域”做結合，因此有了下列Table.2的劃分。這裡區分出歐洲人與美洲人的不同觀點，歐洲人是先劃分危險的區域等

級(Zone 0-Zone 2)，再依照區域內區隔物質的型態種類(Ga, Gb, Gc, Da, Db, Dc等)。美洲人的觀點則是，先清楚了物質的種類(Class I是氣體、液體；Class II是粉塵)，再來界定區域的等級(Division & Zone)。在邏輯的概念上可看出人種的差異性

Table.2 EPL 分級的標準

Equipment Protection Level	歐規 ATEX	美規 FM、UL	簡要說明
Ga (氣、液體)	Zone 0	Class I Division 1 Zone 0	一個設備可以放在直接、經常性接觸到爆炸物質的場所，例如加油站的汽油儲桶內
Gb(氣、液體)	Zone 1	Class I Division 1 Zone 1	一個設備可以放在間接、經常性接觸到爆炸物質的場所，例如加油站的加油島區
Gc(氣、液體)	Zone 2	Class I Division 2 Zone 2	一個設備可以放在間接、偶發性接觸到爆炸物質的場所，例如加油站的辦公室
Da (粉塵)	Zone 20	Class II Division 1 Zone 20	一個設備可以放在直接、經常性接觸到爆炸物質的場所，例如化學料粉末工廠的儲槽內
Db (粉塵)	Zone 21	Class II Division 1 Zone 21	一個設備可以放在間接、經常性接觸到爆炸物質的場所，例如化學料粉末工廠的儲槽外部
Dc (粉塵)	Zone 22	Class II Division 2 Zone 22	一個設備可以放在間接、偶發性接觸到爆炸物質的場所，例如化學料粉末工廠的廠區
Ma (地表下礦坑)	Energized*	Class III Division 1	基本上地表下的設備，用在礦坑環境，都是為直接接觸可爆炸物質的環境。所以以設備等級來區分，其中一種，會產生能量的引爆源(例如頭燈)，稱為 Energized 等級。
Mb(地表下礦坑)	De-Energized*	Class III Division 2	基本上地表下的設備，用在礦坑環境，都是為直接接觸可爆炸物質的環境，所以以設備等級來區分，另一種，不會產生能量的引爆源(例如通風管道)，稱為 De-Energized 等級。

## (b)物質爆炸能力適用性

根據不同的製程需求，設備可接觸到的爆炸性物體，就區分出了不同的Group之

適用性。所以，針對不同爆炸威力的物質，就有了不同的等級區隔，如Table.3



Table.3 物質的爆炸能力區隔

物質爆炸能力	歐規 ATEX	美規 FM、UL	說明
氣體、液體	I	Mining	代表性的物質如甲烷(Methane)
氣體、液體	IIA	Class I / Group D	代表性的物質如丙烷(Propane)
氣體、液體	IIB	Class I / Group C	代表性的物質如乙烯(Ethylene)
氣體、液體	IIB+H2	Class I / Group B	代表性的物質如氫氣(Hydrogen)
氣體、液體	IIC	Class I / Group A	代表性的物質如 Acetylene
固體、粉塵	IIIA	Class III	可燃燒飛灰(Combustible Flyings)
固體、粉塵	IIIB	Class II, Group G	非導電粉塵(Non-Conductive Dust)
固體、粉塵	IIIB	Class II, Group F	導電粉塵(Carbonaceous Dust)
固體、粉塵	IIIC	Class II, Group E	導電粉塵(Conductive Dust)

## (c)製程的條件

根據不同的製程需求，通常是溫度為分類等級。這個分類要以越低溫者(例如T6)，其認證困難度越高。意思是，在當下的製程情況，設備本身在最惡劣條件時，所能允許的最高溫度。因此，若為

T6等級(85°C)，一般會要求認證時，扣除5°C的量測不確定度後，在最惡劣的條件下(例如最高製程溫度、最小的散熱結構展型)，整體裝置任何一個部分均不得有熱點超過80°C。溫度等級的分類如Table.4所示。

Table.4 溫度分級表

溫度分級	歐規 ATEX	美規(NEC 505) FM、UL	美規(NEC 500) FM、UL
T1	450 °C	450 °C	450 °C
T2	300 °C	300 °C	300 °C
T2A	N/A	N/A	280 °C
T2B	N/A	N/A	260 °C
T2C	N/A	N/A	230 °C
T2D	N/A	N/A	215 °C
T3	200 °C	200 °C	200 °C
T3A	N/A	N/A	180 °C
T3B	N/A	N/A	165 °C
T3C	N/A	N/A	160 °C
T4	135 °C	135 °C	135 °C
T4A	N/A	N/A	120 °C
T5	100 °C	100 °C	100 °C
T6	85 °C	85 °C	85 °C

## (d)設計保護的概念

設計上的保護概念，散見於IEC 60079各章節，茲以ATEX/IECEX作為說明範例。依照不同的阻絕三個爆炸要素的方法，可以形成在各種不同區域的使用範

圍規定。一般認證申請，越是危險區(0區)，要求規範越嚴格，例如感測器、直接控制開關之類的；1區通常是控制系統、電源供應、制動器等；2區通常是輔助系統如車載、照明。



Table.5 設計保護分類方法

Electrical Equipment for Gases, Vapors and Mists (G)					
Type of Protection	Symbol	Typical IEC EPL	Typical Zones	IEC Standard	Basic Concept of Protection
General Requirements			0,1,2	IEC 60079-0	
Optical Radiation	Op pr	Gb	1,2	IEC 60079-28	Inherently safe protected by shutdown
	Op sh	Ga	0,1,2	IEC 60079-28	
	Op is	Ga	0,1,2	IEC 60079-28	
Increased Safety Type & "n" (non-Sparking)	e	Gb	1,2	IEC 60079-7	No arcs, sparks or hot surfaces, enclosure IP54 or better
	nA	Gc	2	IEC 60079-15	
Flameproof	d	Gb	1,2	IEC 60079-1	Contain the explosion, quench the flame
Type "n" (enclosed break)	nc	Gc	2	IEC 60079-15	
Quartz/Sand Fill	q	Gb	1,2	IEC 60079-5	Quench the flame
Intrinsic Safety	ia	Ga	0,1,2	IEC 60079-11	Limit the energy of sparks and surface temperatures
	ib	Gb	1,2	IEC 60079-11	
	ic	Gc	2	IEC 60079-11	
Pressurized	px	Gb	1,2	IEC 60079-2	Keep the flammable gas out
	py	Gb	1,2	IEC 60079-2	
	Pz	Gc	2	IEC 60079-2	
Type "n" sealing & hermetic sealing	nC	Gc	2	IEC 60079-15	
Type "n" (Restricted breathing)	nR	Gc	2	IEC 60079-15	
Encapsulation	ma	Ga	0,1,2	IEC 60079-18	
	mb	Gb	1,2	IEC 60079-18	
	mc	Gc	2	IEC 60079-18	
Oil Immersion	o	Gb	1,2	IEC 60079-6	



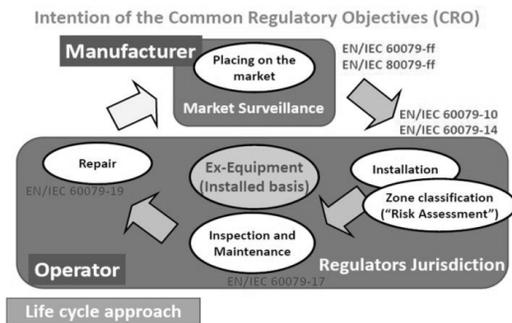
Electrical Equipment for Combustible Dusts (D)					
Type of Protection	Symbol	Typical IEC EPL	Typical Zones	IEC Standard	Basic Concept of Protection
General Requirement			20,21,22	IEC 60079-0	
Enclosure	ta	Da	20	IEC 60079-31	Standard protection for dusts, rugged tight enclosure
	tb	Db	21	IEC 60079-31	
	tc	Dc	22	IEC 60079-31	
Intrinsic Safety	iaD	Da	20	IEC 61241-11	Similar to enclosure but with some relaxations if circuit inside is intrinsically safe
	ibD	Db	21	IEC 61241-11	
	icD	Dc	22	IEC 61241-11	
Encapsulation	ma	Da	20	IEC 60079-18	Protection by encapsulation of incendive parts
	mb	Db	21	IEC 60079-18	
	mc	Dc	22	IEC 60079-18	
Pressurized	pD	Db	21	IEC 61241-4	Protection by pressurization of enclosure
	pD	Dc	22	IEC 61241-4	

Non-Electrical Equipment					
Type of Protection	Symbol	Typical IEC EPL	Typical Zones	IEC Standard	Basic Concept of Protection
General Requirement			0, 1, 2, 20,21,22	EN 13463-1	Low potential energy
Flow restricted enclosure flameproof enclosure	fr		2,22	EN 13463-2	Relies on tight seals, closely matched joints and tough enclosures to restrict the breathing of the enclosure
	d		1,2,21,22	EN 13463-3	
Constructional Safety	c		0, 1, 2, 20,21,22	EN 13463-5	Ignition hazards eliminated by good engineering methods
Control of ignition sources	b		0, 1, 2, 20,21,22	EN 13463-6	Control equipment fitted to detect malfunctions
Pressurization	p		1, 2, 20,21,22	EN 60079-2 EN 61241-4	Enclosure is purged and pressurized to



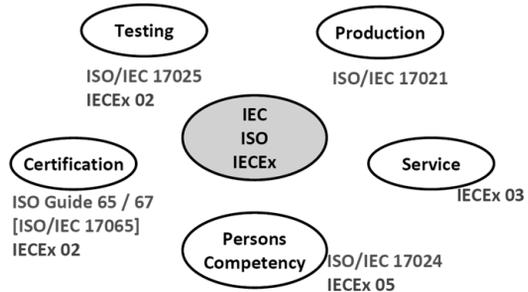
## 五、IECEX防爆認證的衝擊

聯合國國際電工技術委員會IEC下轄IECEE(電子設備)、IECQ(品質)、IECEX(防爆認證)、IECRE(可再生能源)四個委員會，對於全球各國的產品設計、工業製程管理、工業安全規範等，具有舉足輕重的影響力與法律的強制性。台灣因為不具有聯合國會員國身分，目前只有IECQ以觀察員身分參與國際事務。IECEX是對一個國家的重工業與工業安全循環、產品生命週期



IEC防爆技術委員會TC31目前全球已經有約50個會員國承認，是一個跨越洲際的真正國際標準。台灣應思考及早參與IECEX國際事務的推動並派遣專家進入技術委員會，發揮實質的技術影響力，這需要行政院推動外交部、勞動部、經濟部等相關部會的共同參與。聯合國組織，將IECEX的概念，由單純的防爆產品設計(製造商，IEC 60079/IEC 80079各規範)，延伸到現場安裝(IEC 60079-10 / IEC 60079-14)、廠區管理劃分(高雄氣爆事件就是區域不明)、工廠檢查(IEC 60079-17)、設備維修(IEC60079-19)等整個生命周期的管理。此外，和一般防爆認證不同的是，IECEX更延伸到整個生產、驗證、人員訓練的制度與ISO結合，因此更發展了IECEX 01(防爆安全管理基本規章)、IECEX 02(程序規章)、(IECEX 03服務的要求)、IECEX 04有關IECEX Mark(IEC / IECEX標誌)的要求，以及IECEX 05人員能力(IEC 17024增章)的要求。

管理、環境管理、人員訓練，最重要的規範。和傳統的防爆認證體系FM、ATEX等不同的是，IECEX認證的模式，除了要求產品設計上的型式認證外，並要求在工廠的製造品質保證、認證後的人員監督管理、產品實際運用的維修、安裝、現場循環檢查；因此，IECEX可以稱做為是第一個將產品設計結合到工業安全管理的規範，這也是聯合國組織大力推動的緣由。



政府在推動許多工業促進、研究發展，思維始終停留在追求“名詞的熱度”，舉凡工業4.0、Web 4.0、無人工廠等，並沒有洞見到歐美國家提出政策、口號的過程中，都會將法規、標準與管理的思維同時置入。舉例來說，目前推動工業4.0與無人工廠，最重要的兩個因素，(1)wireless的通訊傳輸標準，例如LoRa, wirelessHART等；(2)IECEX規範對無人工廠的impact,在國際間已逐漸形成普世價值，但台灣政策在推動上完全沒有思考這方面的布局。只是將流行的術語重新組合包裝，而無實際的產業系統架構與思考哲學及對標準的重視與深耕；那並無法帶動一個產業的發展與茁壯。

期望台灣有一個不一樣的思維開始，美好的Formosa。