การดูดซับและการใช้ประโยชน์จากผลิตผลพลอยได้ในกระบวนการปรับปรุงก๊าซชีวภาพ

สมศักดิ์ สุภสิทธิ์มงคล (Ph.D.)

ห้องปฏิบัติการวัสดุและงานระบบเพื่อใช้ประโยชน์ทางพลังงานไฟฟ้าเคมี

หน่วยวิจัยวัสดุสำหรับพลังงาน

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช)

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

BIOTEC a member of NSTDA
MTEC a member of NSTDA
NANOTEC a member of NSTDA
NECTEC a member of NSTDA
TMC a member of NSTDA

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

National Metal and Materials Technology Center

Applications Driven R&D

Fundamental R&D

- Polymers Research Unit (PRU)
- Ceramics Technology Research Unit (CERRU)
- Materials Reliability Research Unit (MRRU)

Application Oriented R&D

- Materials for Energy Research Unit (MFERU)
- Environment Research Unit (EnvRU)
- Design and Engineering Research Unit (DERU)
- Biomedical Engineering Research Unit (BMERU)

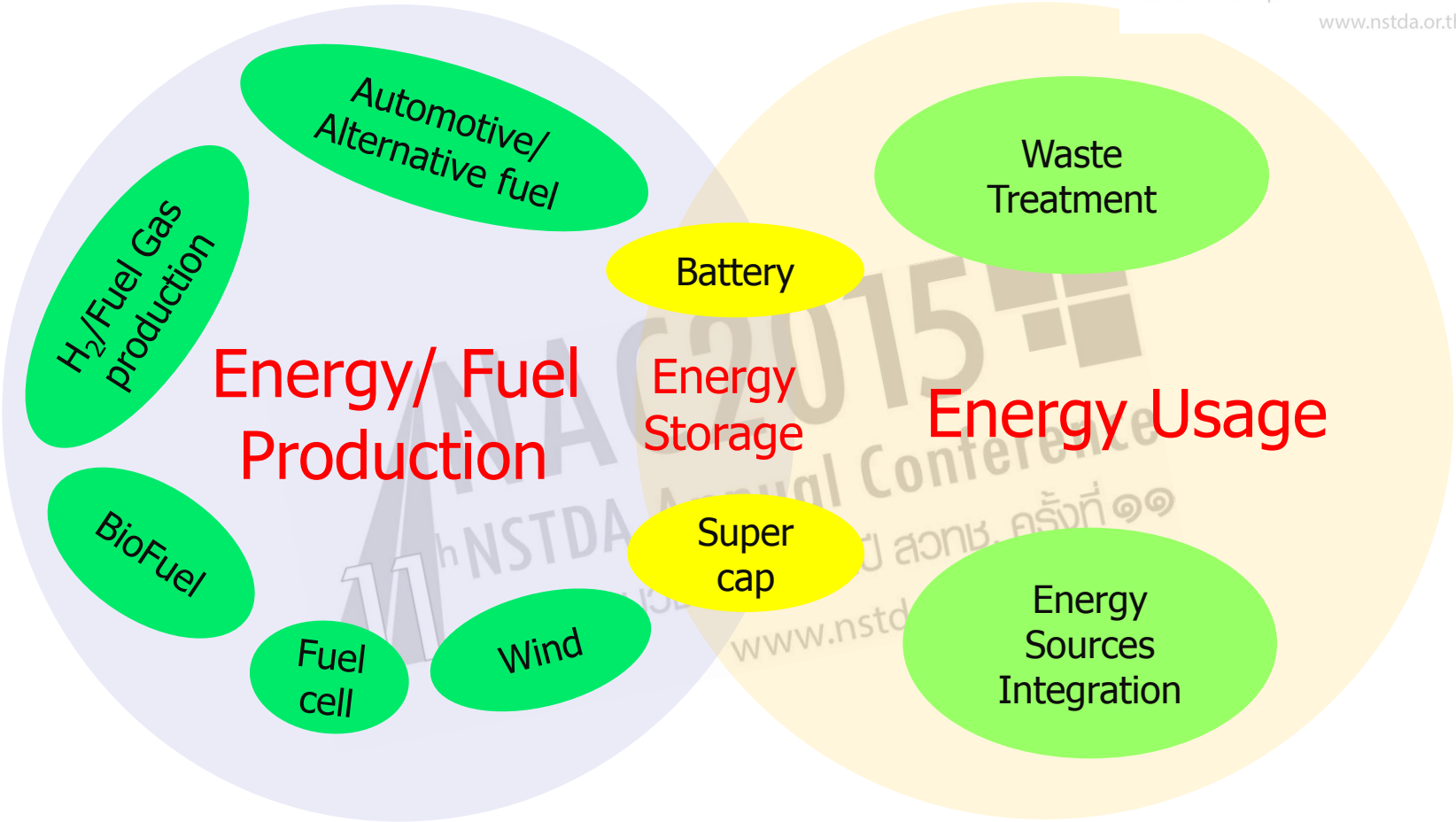
Focus Unit

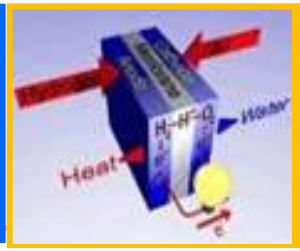
- Technology for Oil Palm Processing (TOPP)
- Natural Rubber (NRFU)

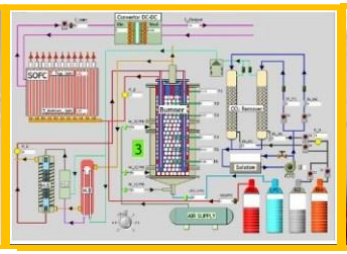
NAC2015
11th NSTDA Annual Conference
การประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ ๑๑
www.nstda.or.th/nac2015

MFERU R&D Focus

NAC2015
11th NSTDA Annual Conference
การประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ ๑๑
www.nstda.or.th/nac2015







© MTEC 2014
www.mtec.or.th

MTEC a member of NSTDA สวทช NSTDA

Capabilities of Research Unit

NAC2015
11th NSTDA Annual Conference
การประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ ๑๑
www.nstda.or.th/nac2015

Renewable Energy Lab (REN)

Biodiesel
- Standardization of fuel quality,
- Engine testing, mechanical simulation
- Product design and engineering
- Energy and environmental-impact modeling
- Heterogeneous Catalysis

Bio-fuel Technology
- Hydro-treating Process (HDS, HDO, HDN)

Biomass Gasification
- MSW & Agricultural Waste

Wind
- Self-starting Vertical Axis Small Wind Turbines

Electrochemical Materials and System Laboratory (EMS)

Battery and Supercapacitor
- Materials and cell development
- Cell and pack testing
- Energy storage integration w/ other sources
- Battery recycle

Catalyst and Adsorbent
- Powder and films fabrication via Flame Assisted Vapor Deposition, Combustion synthesis, Thermal synthesis
- Chemical reactor design

SOFC and PEMFC
- Cell components fabrication and testing
- Performance Evaluation

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

Adsorbent

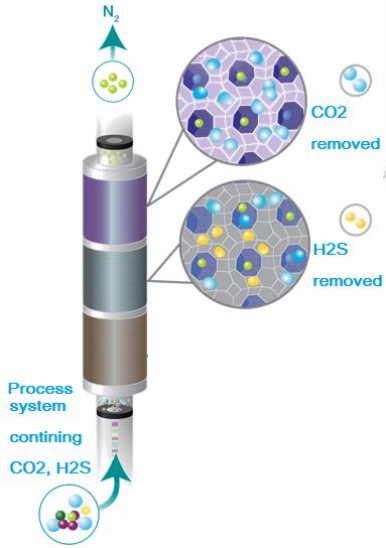
NAC2015
11th NSTDA Annual Conference
การประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ ๑๑
www.nstda.or.th/nac2015

Solid Adsorbent for Acid Gas Cleaning

(H_2S, CO_2)

Fabrication

Msorb-G



- Development of solid adsorbents for H_2S and CO_2 cleaning
- Development of fabrication techniques
- Adsorption and regeneration at mild conditions (less than 90 ^oC and 1 atm)
- Use more than 10 cycles without loss of capacity
- High crushing strength after fabrication

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

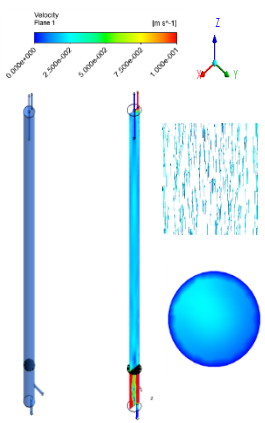
Gas Treatment System

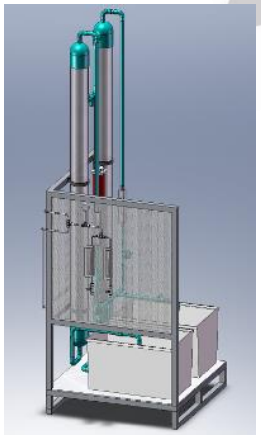
Renewable Energy Lab

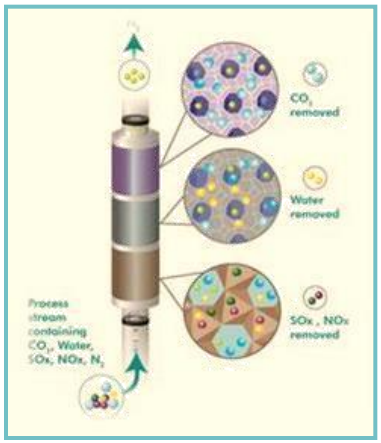
Electrochemical Materials and System Lab

Materials for Energy Research Unit

National Metal and Materials Technology Center (MTEC)







© MTEC 2014
www.mtec.or.th

Outlines

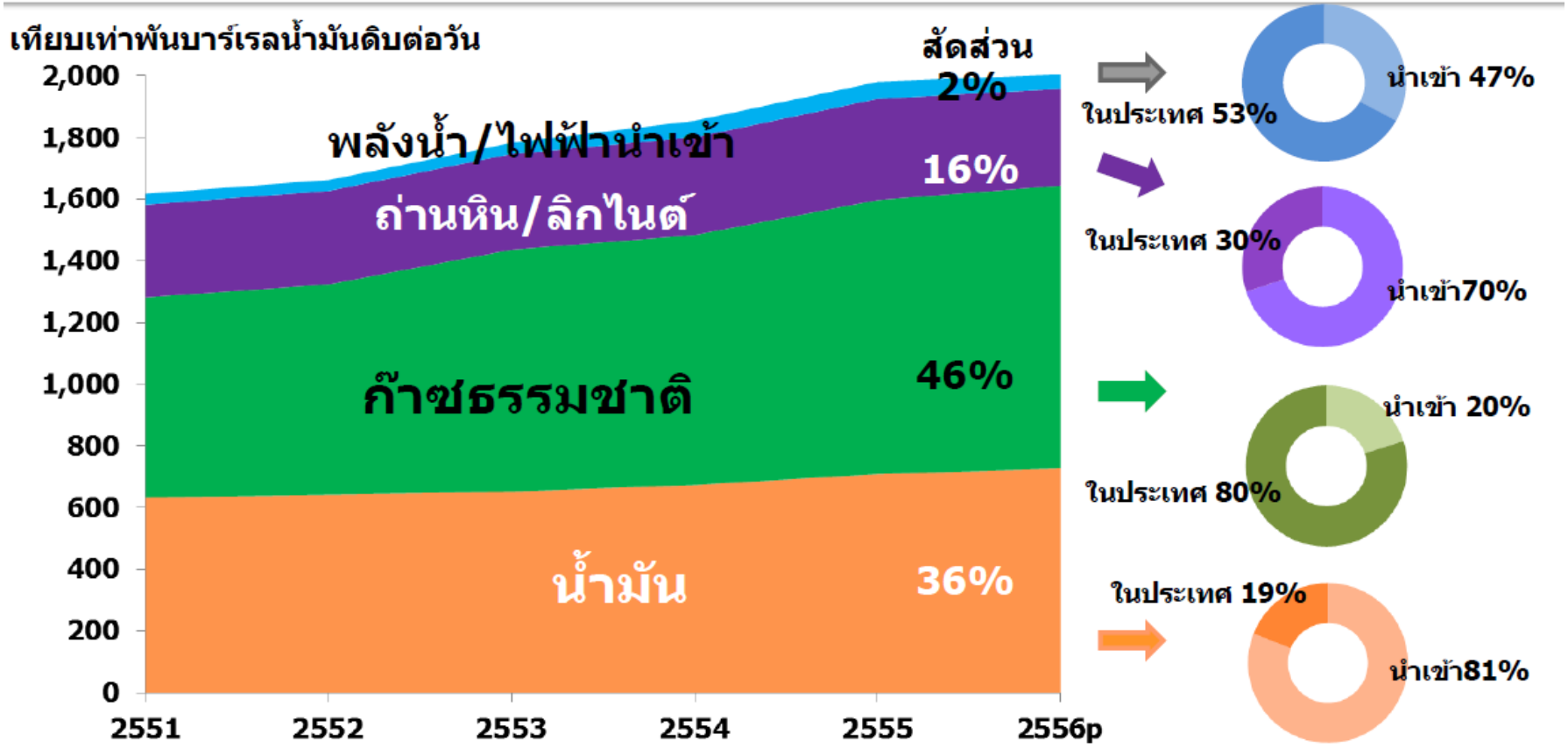
- ***Background***
- ***Biogas cleaning***
- ***Biogas upgrading***
- ***Biogas utilisation & CO_2 utilisation***

NAC2015
11th NSTDA Annual Conference
การประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ ๑๑
www.nstda.or.th/nac2015

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

สถานการณ์พลังงานประเทศไทย

ปี 2556 ไทยมีการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ขั้นต้น 2 ล้านบาร์เรลเทียบเท่าน้ำมันดิบต่อวัน



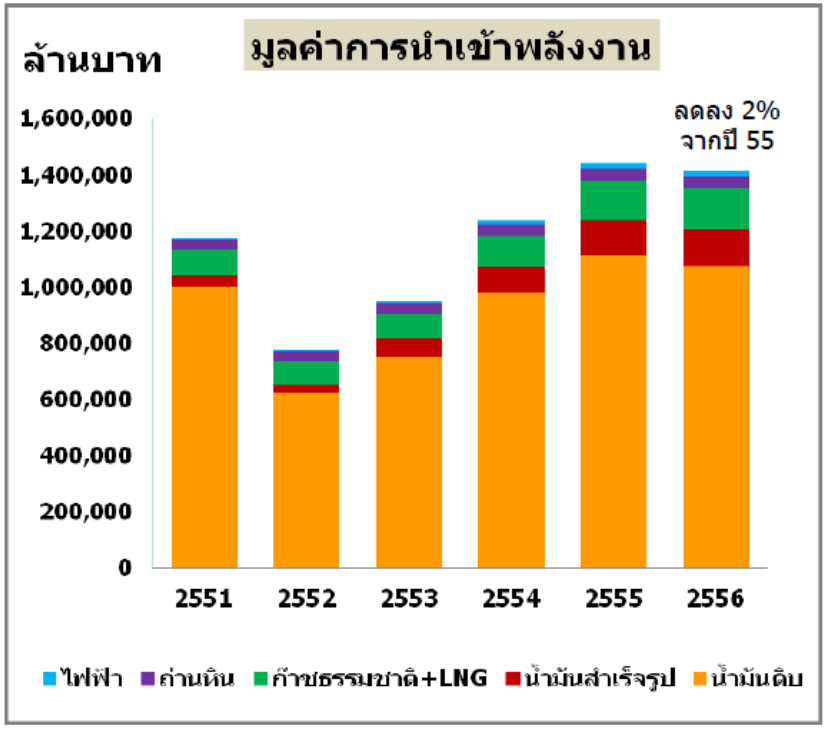
การใช้	น้ำมัน	ก๊าซธรรมชาติ	ถ่านหิน/ลิกไนต์	ไฟฟ้า	รวม
ปริมาณ (พันบาร์เรลน้ำมันดิบต่อวัน)	727.56	917.02	313.42	46.64	2,004.63
อัตราการเปลี่ยนแปลง (%)	2.6	3.2	-4.4	-15.7	1.2

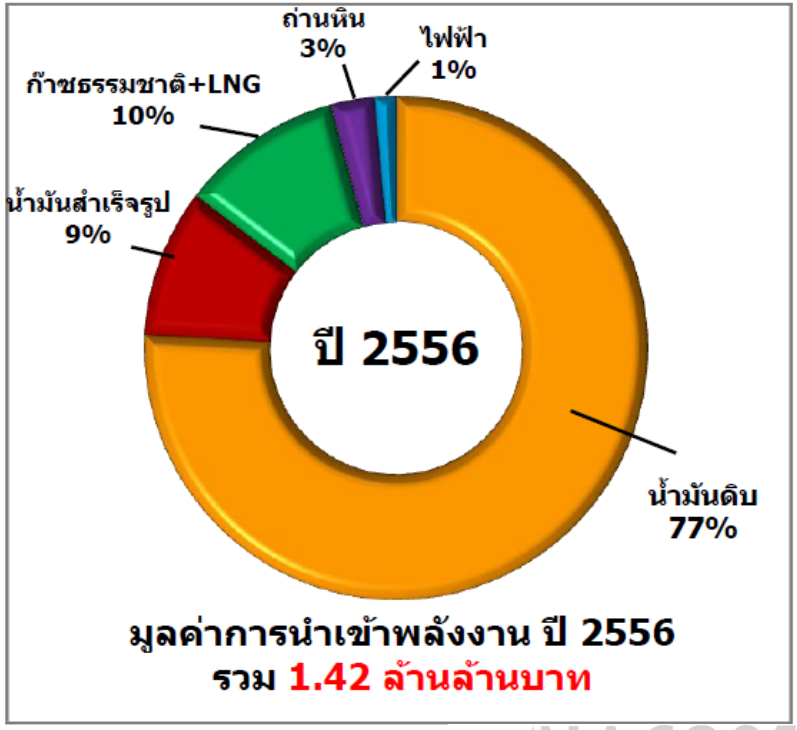
ที่มา : กระทรวงพลังงาน 2557

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

สถานการณ์พลังงานประเทศไทย

มูลค่าการนำเข้าพลังงานปี 2556 เท่ากับ 1.42 ล้านล้านบาท





ที่มา : กระทรวงพลังงาน 2557

NAC2015
11th NSTDA Annual Conference
การประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ ๑๑
www.nstda.or.th/nac2015

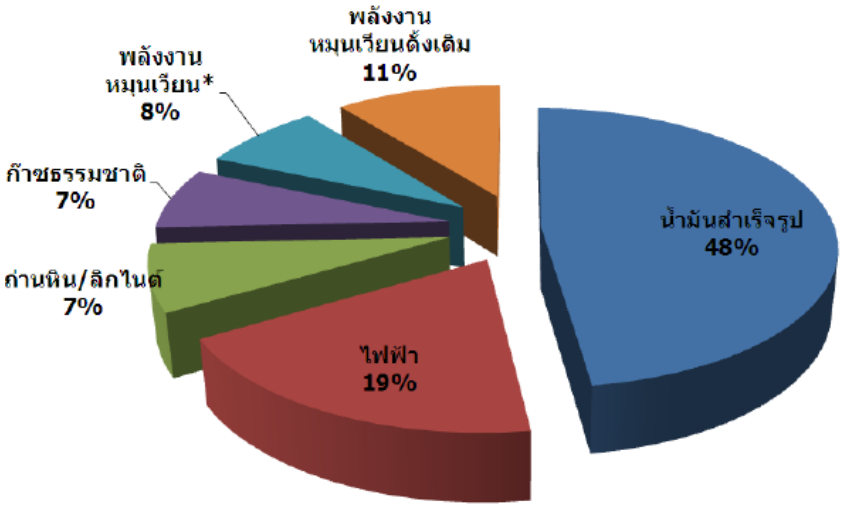
© MTEC 2014
www.mtec.or.th

สถานการณ์พลังงานประเทศไทย

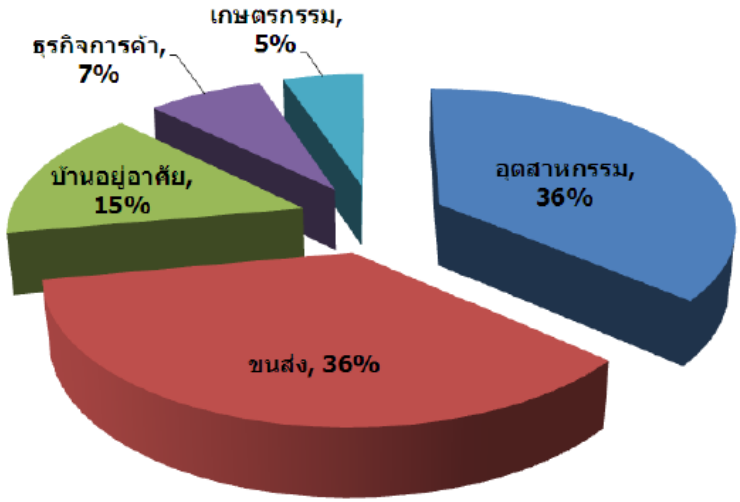
ปี 2556 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย = 75,214 ktoe (75 Mtoe)

World Energy Consumption 12,476 Mtoe

จำแนกตามชนิดพลังงาน



จำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ



Source: DEDE - สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย ณ เดือนธันวาคม 2556p

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 10 ปี (55-64)

การพัฒนาไปสู่สังคมคาร์บอนต่ำ

งบประมาณสนับสนุนด้านการวิจัยและพัฒนา

Alternative Energy Development Plan (AEDP : 2012-2021)

สนับสนุนการลงทุนโดยภาคเอกชนและชุมชน

เป้าหมาย การใช้พลังงานทดแทน 25% ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย ในปี 2564

แสงอาทิตย์	ลม	พลังงานน้ำขนาดเล็ก-จิ๋ว	พลังงานชีวภาพ			เชื้อเพลิงชีวภาพ	พลังงานใหม่
			ชีวมวล	ก๊าซชีวภาพ	ขยะ		
3,000 MW	1,800 MW	324 MW	4,800 MW	3,600 MW	400 MW	• เอธานอล 9 ล้านลิตร/วัน • ไบโอดีเซล 7.2 ล้านลิตร/วัน • เชื้อเพลิงใหม่ทดแทนดีเซล 3 ล้านลิตร/วัน • CBG 1,200 ตัน/วัน	• คลื่น 2 MW • ความร้อนใต้พิภพ 1 MW
100 ktoe (Heat)			8,500 ktoe (Heat)	1,000 ktoe (Heat)	200 ktoe (Heat)		

สถานภาพการใช้พลังงานหมุนเวียน 11.41% (กรกฎาคม 2557)

1 ktoe ~ 7,313.6 บาร์เรลเทียบเท่าน้ำมันดิบ

สถานการณ์พลังงานประเทศไทย

ผลิตพลังงานในรูปของไฟฟ้า

	สถานภาพ กรกฎาคม-2557		เป้าหมายปี 2564	
	รวม 4,343 MW		รวม 13,927 MW	
แสงอาทิตย์	1,236	MW	3,000	MW
พลังงานลม	251	MW	1,800	MW
ไฟฟ้าพลังน้ำ	135	MW	324	MW
ชีวมวล	2,366	MW	4,800	MW
ก๊าซชีวภาพ	290	MW	3,600	MW
พลังงานขยะ	65	MW	400	MW
พลังงานใหม่	0	MW	3	MW

ที่มา : กระทรวงพลังงาน 2557

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

สถานการณ์พลังงานประเทศไทย

NAC2015
11th NSTDA Annual Conference
การประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ ๑๑
www.nstda.or.th/nac2015

ผลิตพลังงานในรูปความร้อน

	สถานภาพ กรกฎาคม-2557	เป้าหมายปี 2564
	รวม 2,383 ktoe	รวม 9,800 ktoe
แสงอาทิตย์	5 ktoe	100 ktoe
ชีวมวล	1,977 ktoe	8,500 ktoe
ก๊าซชีวภาพ	336 ktoe	1,000 ktoe
พลังงานขยะ	65 ktoe	200 ktoe

1Ktoe (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)
ประมาณ 7,314 บาร์เรล

ที่มา : กระทรวงพลังงาน 2557

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

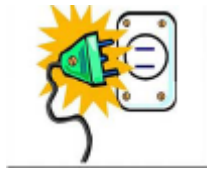
สถานการณ์พลังงานประเทศไทย

NAC2015
11th NSTDA Annual Conference
การประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ ๑๑
www.nstda.or.th/nac2015

ผลิตพลังงานในรูปเชื้อเพลิงชีวภาพ

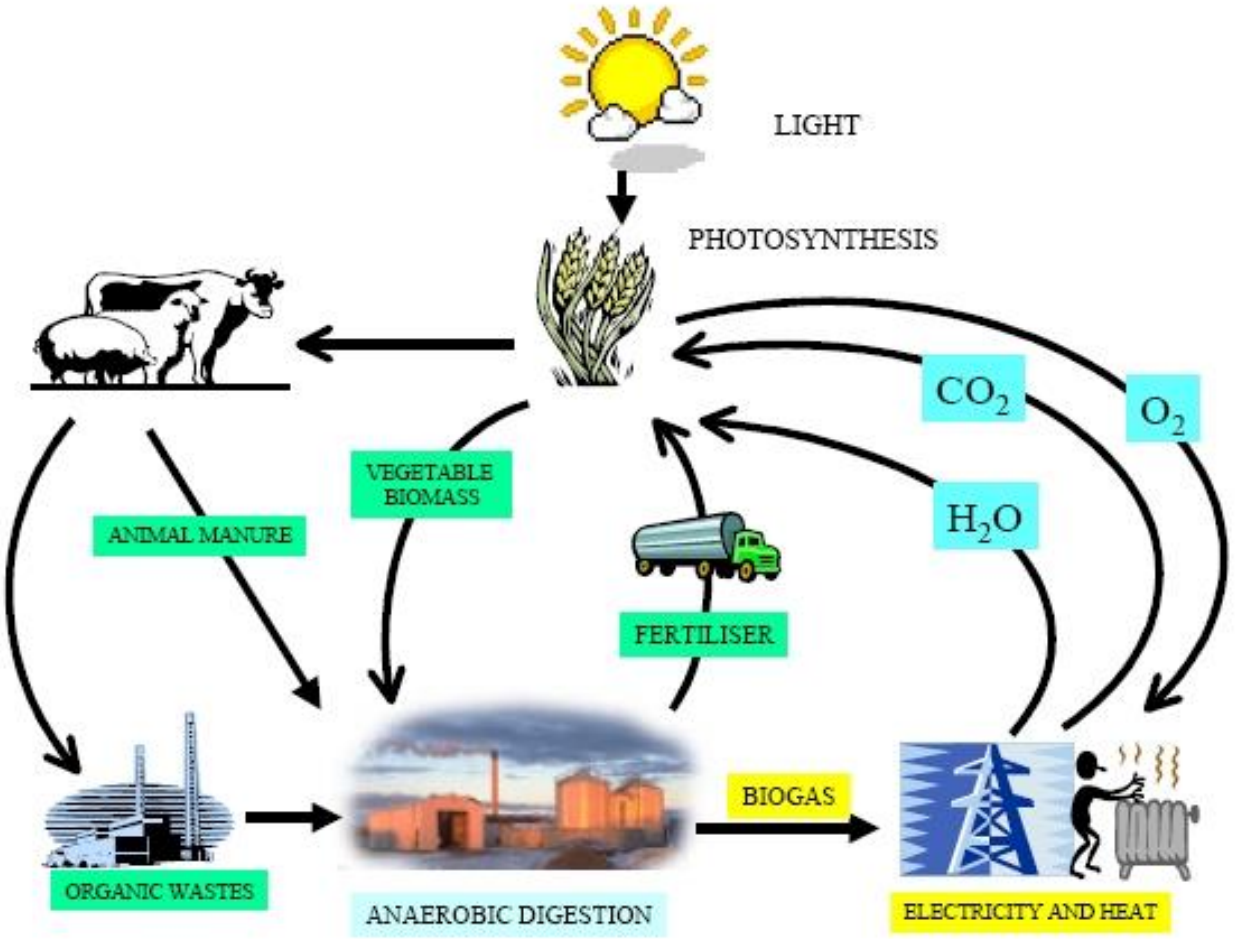
	สถานภาพ กรกฎาคม-2557	เป้าหมายปี 2564
	รวม 5.7 ล้านลิตร/วัน	รวม 19.2 ล้านลิตร/วัน
เอทานอล	3 ล้านลิตร/ วัน	9.0 ล้านลิตร/ วัน
ไบโอดีเซล	2.7 ล้านลิตร/ วัน	7.2 ล้านลิตร/ วัน
เชื้อเพลิงทดแทนดีเซลอื่นๆ	0 ล้านลิตร/ วัน	3.0 ล้านลิตร/วัน
CBG	0 ตัน/วัน	1,200 ตัน/วัน

ที่มา : กระทรวงพลังงาน 2557



© MTEC 2014
www.mtec.or.th

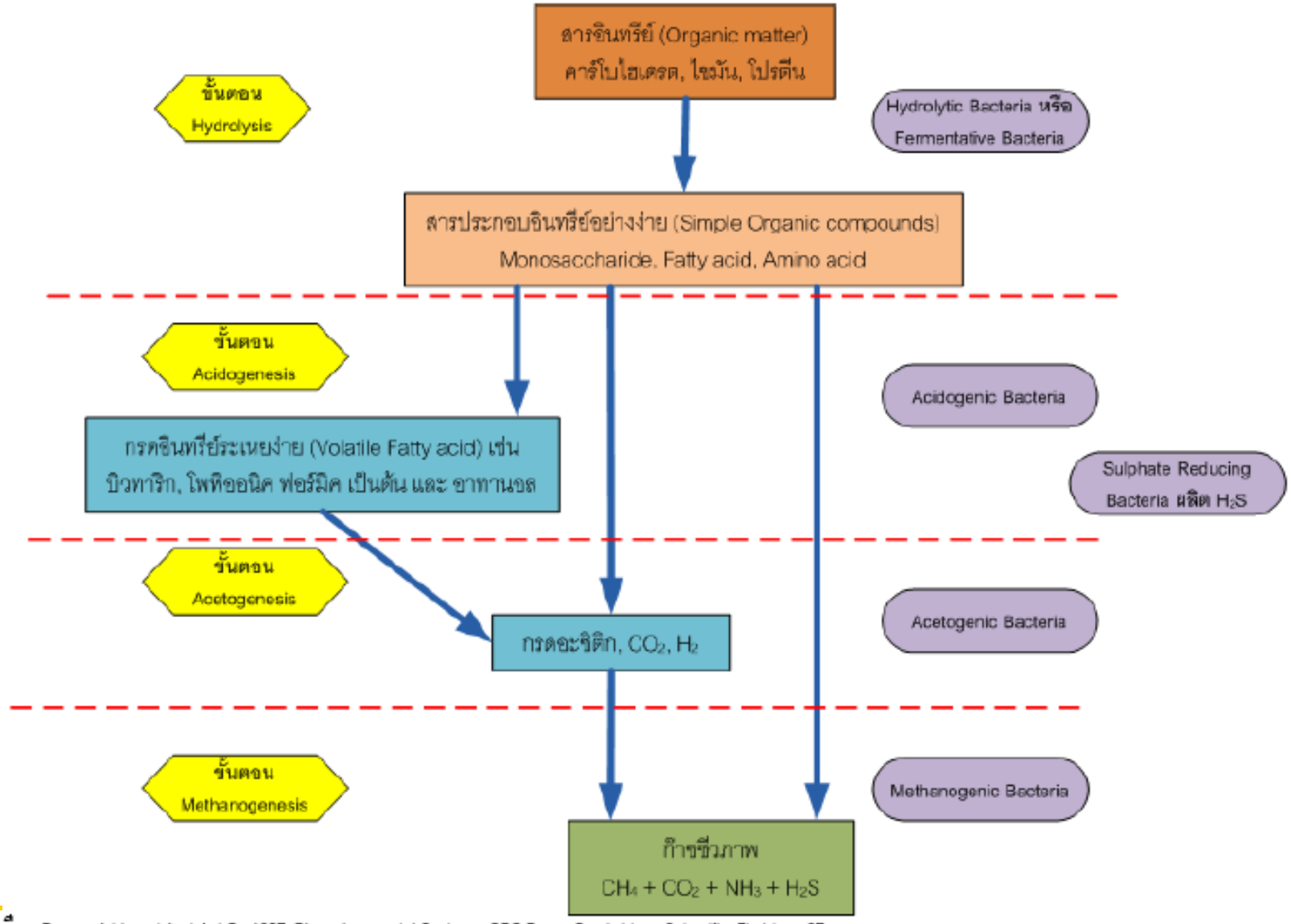
Why Biogas ?



+ Clever way of Exploiting Nature, without Destroying
+ Optimizes Farm Economy
+ Self Reliance & Sustainable Development

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

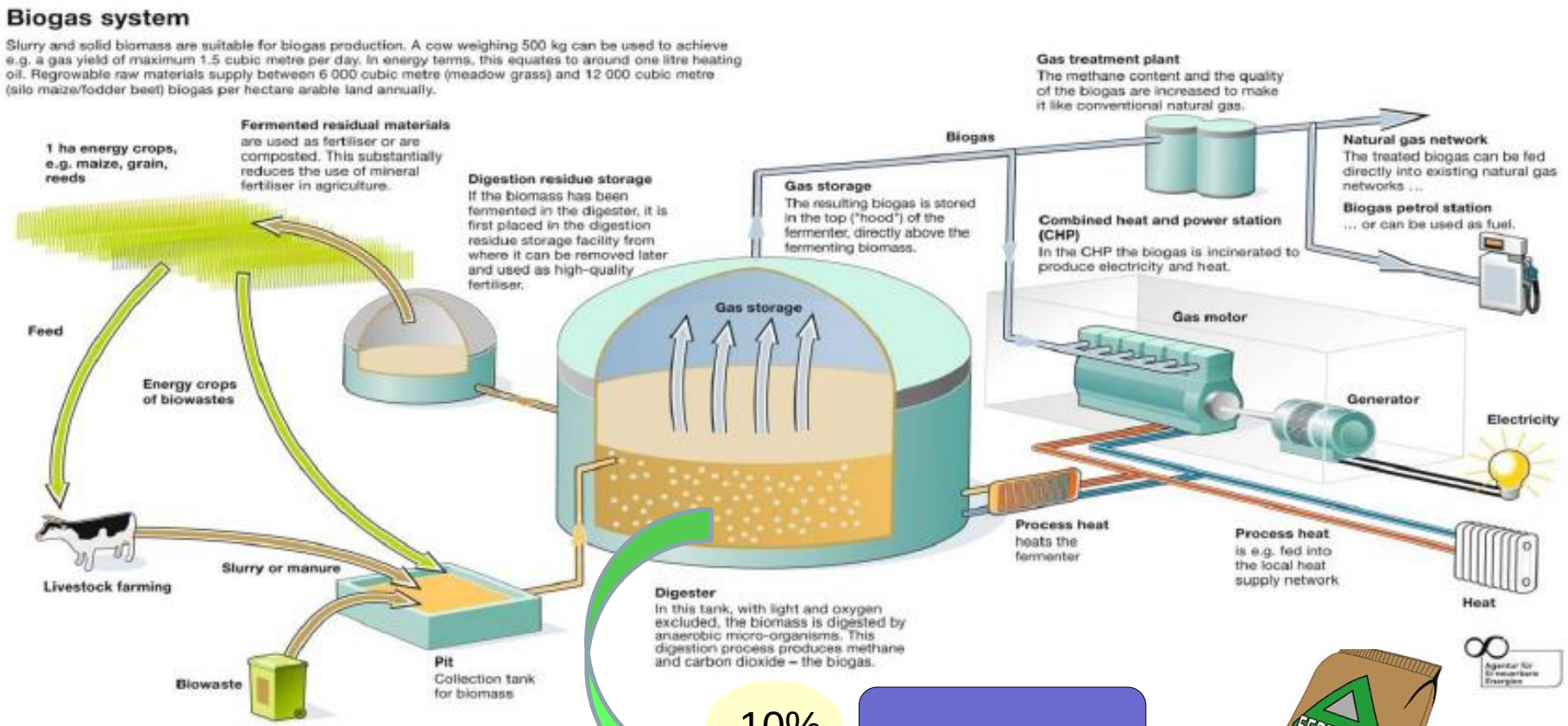
Biogas Production



ที่มา: Breure, A.M. and Andel, J.G., 1987, Bioenvironmental Systems, CRC Press, Cambridge Scientific, Florida, p.97

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

Biogas Production & Utilisation



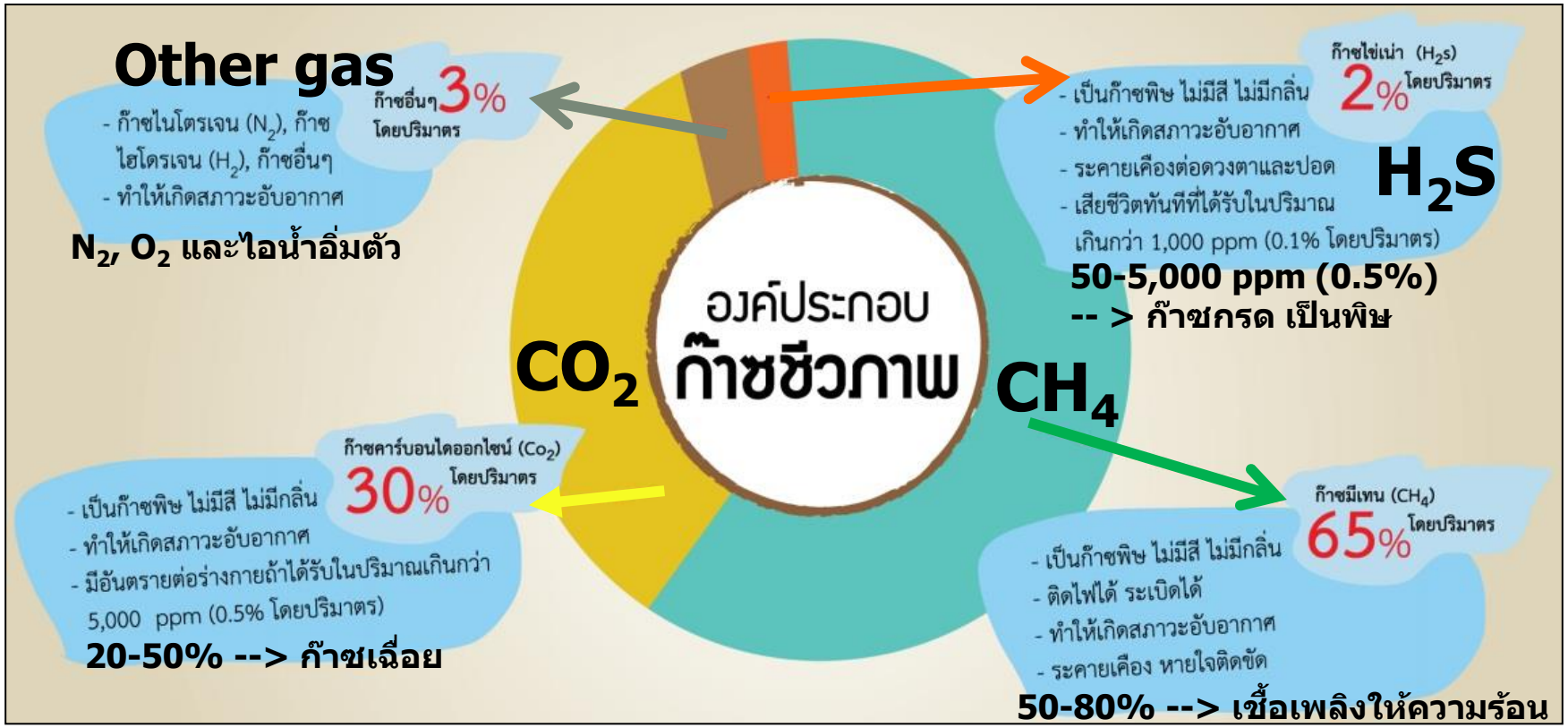
10% Sludge

90% Biogas

NAC2015
11th NSTDA Annual Conference
การประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ ๑๑
www.nstda.or.th/nac2015

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

Biogas Composition



Feasibility Study – Biogas upgrading and grid injection in the Fraser Valley, final Report, June 2008

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

Gas Properties : Biogas vs Methane

	METHANE	BIOGAS
COMPOSITION, by volume	Methane -100%	Methane - 60%, CO_2- 35% , H_2S- 1.67%, NH_3- 1.67% , ไอน้ำ 1.67%
MOLECULAR WEIGHT, lbm/lb-mole	16.04	26.18
SPECIFIC GRAVITY, air = 1	0.554	0.904
DENSITY @ STP, lbm/ft^3	0.0447	0.073
HEAT VALUE, BTU/lbm	23,850.	8,937.
ENERGY CONTENT @ STP, BTU/ft^3	1,066.	652.
GAS CONSTANT, ft-lbf/lbm-°R	96.3	59.0
CRITICAL TEMPERATURE, °R	343.6	-
CRITICAL PRESSURE, lbf/in^2	673.	-
CRITICAL SPECIFIC VOLUME, ft^3/lbm	0.099	-
OCTANE RATING	130.	-
IGNITION TEMPERATURE, °F	1250.	-
AIR-TO-METHANE RATIO FOR COMPLETE COMBUSTION, by volume	10:1	-
EXPLOSION LIMITS IN AIR, by volume	5% - 15%	-

Safety when the operating system leaks
+ Methane -->100% (CH_4)
- Biogas --> 60% (CH_4), 35% (CO_2), etc.

Note: Sp.Gr. of air =1 (@1.013 bar, 15°C)

NAC2015
11th NSTDA Annual Conference
การประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ ๑๑
www.nstda.or.th/nac2015

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

Heating value : Biogas vs Other fuels

เชื้อเพลิง	MJ/kg	MJ/m^3
Methane	50.0	35.9
Purified Biogas (90%)	45.0	32.3
Mean Biogas (60%)	30.0	21.5
Butane	45.7	118.5
Propane	46.4	90.9
Methanol	19.9	15,900
Ethanol	26.9	21,400
Gasoline	45.0	33,300
Diesel	42.1	34,500

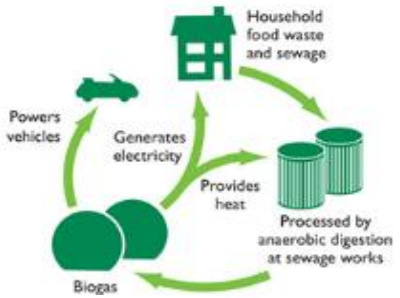
CH_4

NAC2015
11th NSTDA Annual Conference
การประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ ๑๑
www.nstda.or.th/nac2015

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

MTEC a member of NSTDA
NSTDA

Biogas Use for Renewable Energy



ค่าเฉลี่ย การทดแทนพลังงานของก๊าซชีวภาพ 1 ลบ.ม.

LPG	0.46	กก.
น้ำมันเบนซิน	0.67	ลิตร
น้ำมันดีเซล	0.60	ลิตร
น้ำมันเตา	0.55	ลิตร
ฟืนไม้	1.50	กก.
ไฟฟ้า	1.2-1.4	กว./ชม.

* อัตราการทดแทนพลังงานอย่างใดอย่างหนึ่ง

ที่มา : กระทรวงพลังงาน 2557

NAC2015
11th NSTDA Annual Conference
การประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ ๑๑
www.nstda.or.th/nac2015

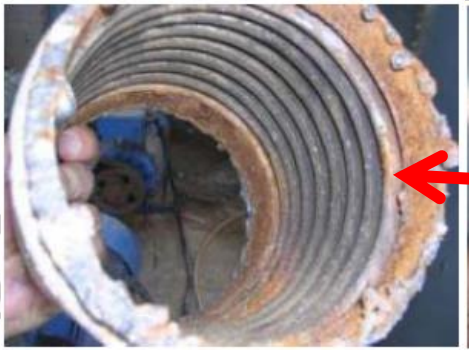
© MTEC 2014
www.mtec.or.th

Biogas Use Without Cleaning

NAC2015
11th NSTDA Annual Conference
การประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ ๑๑
www.nstda.or.th/nac2015

→ ***Electric generator***

→ ***Dehumidifier***



Dehumidifier

Blower

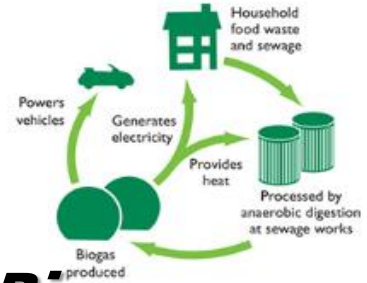
© MTEC 2014
www.mtec.or.th

Biogas Use Without Cleaning

Combustion Engine

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

Biogas specification



- **Biogas composition**

Type	Gas concentration
CH_4	50-80%
CO_2	20-50%
NH_3	0-300 ppm
H_2S	50-5000 ppm
N_2	1-4%
O_2	< 1%
Water vapour (H_2O)	Sat. 2-5% (mass)

NH_3 -- > NO_x
-- > Easily treated by water scrubber and condensor (<1 ppm)

- **H_2S level in Biogas use**

Application	Maximum H_2S concentration
Boiler	1000 ppm
Electric Generator	500 ppm
Vehicle Fuel	23 ppm
Grid Injection	4 ppm
Fuel Cell	1 ppm

Electricity
CH_4 (~ 70-75%), CO_2 (~ 25-30%) and H_2S (~<200 ppm)

NGV standard (กรมธุรกิจพลังงาน ปี 2556)
CH_4 (>65%), CO_2 (< 18%) and H_2S (~<23 ppm)

ที่มา: [1] IEA Bioenergy (1999) [2] Westcoast Energy inc. (1998)

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

รายการ	ข้อกำหนด		อัตราส่วนต่ำ	ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์		วิธีทดสอบ[๑/]
				ธรรมดา	พิเศษ	
๓	จุดน้ำค้างน้ำ ที่ความดัน ๒๐,๐๐๐ กิโลปาสคาล (Water Dew Point at pressure 20,000 kPa),	องศาเซลเซียส ^{o}C	ไม่สูงกว่า	๙.๒	๔.๔	ASTM D ๑๑๔๒
๒	จุดน้ำค้างไฮโดรคาร์บอน ที่ความดัน ๔,๕๐๐ กิโลปาสคาล ซึ่งควบแน่นเป็นของเหลวไม่เกิน ๑% (Hydrocarbon dew point at pressure 4,500 kPa with less than 1% of liquid condensate)	องศาเซลเซียส ^{o}C	ไม่สูงกว่า	๑๕.๕	๑๕.๕	ASTM D ๑๗๔๕ และคำนวณด้วยสมการ equation of state
๓	ดัชนีวอบบี้ (Wobbe Index,	เมกกะจูล/ลูกบาศก์เมตร MJ/m^3)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	๓๗ ๔๒	๔๒ ๕๒	ASTM D ๓๕๘๘
๔	ค่าเมเทน (Methane Number)		ไม่ต่ำกว่า	๖๕	๗๐	ASTM D ๑๗๔๕ และคำนวณด้วยวิธี GRI method (Annex D ISO ๑๕๔๐๓ – ๓)
๕	ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide,	มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร mg/m^3)	ไม่สูงกว่า	๒๓	๒๓	ASTM D ๕๕๐๔
๖	ไฮโดรเจน (Hydrogen,	ร้อยละโดยปริมาตร % vol.)	ไม่สูงกว่า	๐.๓	๐.๓	ASTM D ๑๗๔๕
๗	คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide,	ร้อยละโดยปริมาตร % vol.)	ไม่สูงกว่า	๑๘	๑๐	ASTM D ๑๗๔๕
๘	ออกซิเจน (Oxygen,	ร้อยละโดยปริมาตร % vol.)	ไม่สูงกว่า	๑	๑	ASTM D ๑๗๔๕
๙	กำมะถัน (Sulphur,	มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร mg/m^3)	ไม่สูงกว่า	๕๐	๕๐	ASTM D ๕๕๐๔

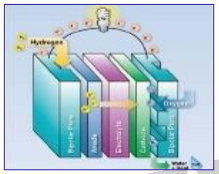
CH_4 (>65%)

H_2S (<23 ppm)

CO_2 (<18%)

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

Biogas Treatment and Utilisation



Biogas

CH_4 ~ 60 – 70 %
CO_2 ~ 28-38 %
H_2S ~ >3,000 ppm

CH_4 ~ 70 – 75 %
CO_2 ~ 25-30 %
H_2S ~ < 200 ppm

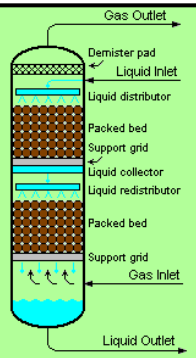
Cleaning

CH_4 ~ >97 %
CO_2 < 2 %
H_2S ~ < 23 ppm

Upgrading

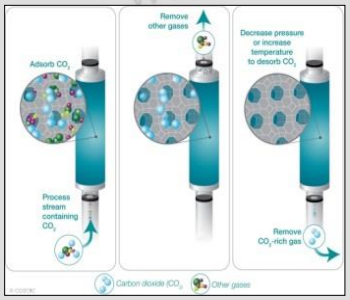
CO_2

CO_2 Utilisation



Water Scrubbing Technology

Chemical Adsorption Technology



Chemical Adsorption Technology

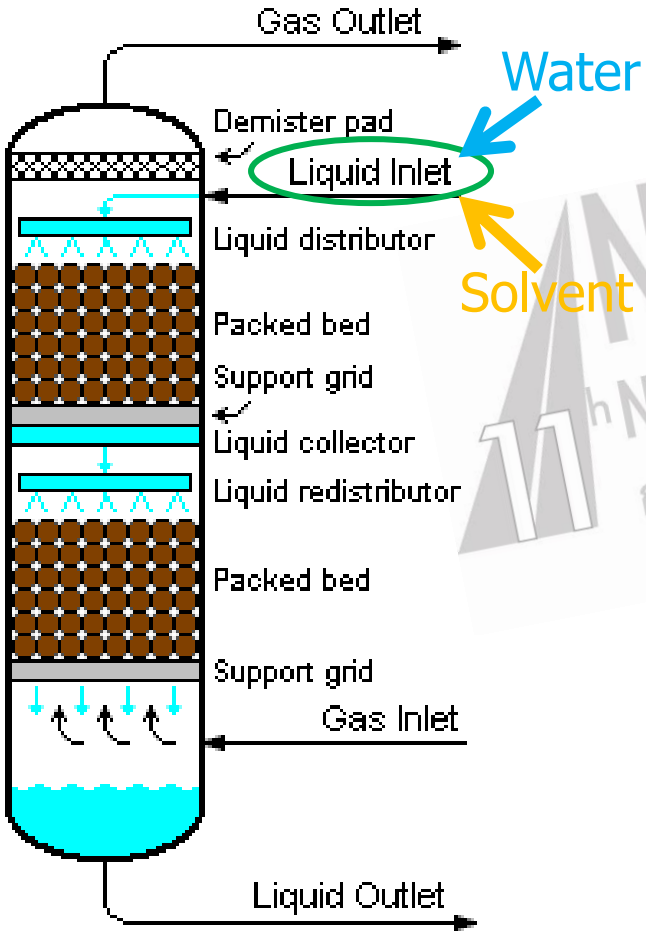
Technical Challenge of Upgrading Biogas

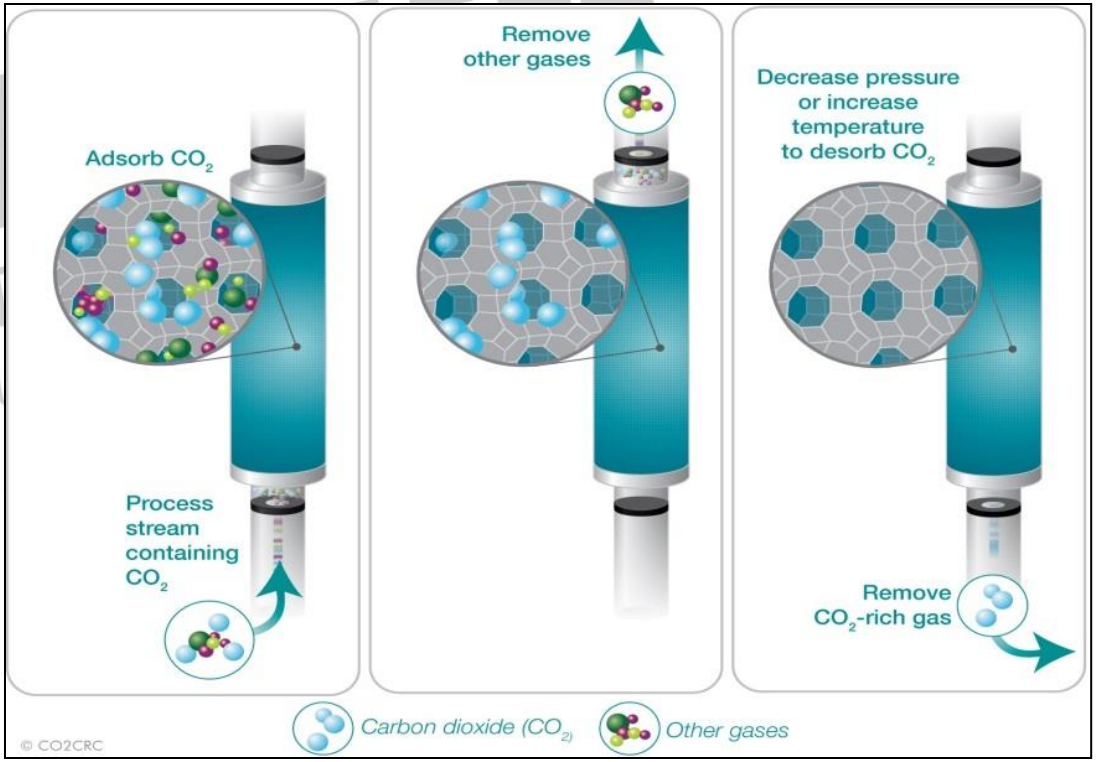
Raw Biogas		Biomethane
40-60% CH4 30-50% CO2 0-10% N2 0-2% O2 0-2000+ ppm H2S ppm VOC's ppm Siloxanes H2O Saturated	Upgrade	>97% CH4 <2% CO2 <4 ppm H2S Free of VOC's, Siloxanes 65 mg/m3 H2O
10-50mbar		3-10 barg (Distribution) 30-50 barg (Transmission) 200-200 barg (CNG)

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

Biogas Treatment

- ***Wet scrubber Technique***
- ***Dry scrubber Technique***





Ref: http://www.co2crc.com.au/aboutccs/cap_adsorption.html

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

Biogas Treatment

Alternatives to remove CO_2 and H_2S from Biogas

	Wet scrubber		PSA
	Water	Amine	
Energy consumption (kWh/m^3 biogas)	0.3	0.67	0.27
CH_4 recovery	98.5%	99%	83-99%
H_2S co-removal	Yes	Contaminant	Possible
Liquid H_2O co-removal	Yes	Contaminant	Contaminant
H_2O vapour co-removal	No	Yes	Yes
N_2 and O_2 co-removal	No	No	Possible

Beil/ISET 2008

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

Advantage vs Disadvantage

NAC2015 11th NSTDA Annual Conference
การประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ ๑๑
www.nstda.or.th/nac2015

Method	Advantages	Disadvantages
Wet scrubbing (water)	• High efficiency (>97% CH_4) • Changing P. or Temp -- > Capacity • Low costs; Elemental S is formed	• Low flexibility toward variation of input gas • Disposal of saturated solution
Wet scrubbing (amine solution)	• High efficiency (>99% CH_4) • Regenerative; More CO_2 dissolved per unit of volume (compared to water)	• Cost; Heat required for regeneration • Corrosion in system
Adsorption on solid reagent (e.g., Iron oxides, ZnO, molecular sieves)	• High efficiency (83-99% CH_4) • Low cost; high selectivity • Operational flexibility • (No) Regenerative	• Sensitive to impurity

Ryckebosch et al, 2011

$$2RNH_2 + H_2S \rightarrow (RNH_3)_2 S$$

$$RNH_2 + H_2S \rightarrow RNH_3HS$$

$$ZnO + H_2S \rightarrow ZnS + H_2O$$

$$Fe_2O_3 + H_2S \rightarrow 2FeS + S + 3H_2O$$

$$Fe_3O_4 + H_2S \rightarrow 3FeS + S + 4H_2O$$

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

Biogas Treatment System

NAC2015
11th NSTDA Annual Conference
การประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ ๑๑
www.nstda.or.th/nac2015

CH_4 ~ 60 – 70 %
CO_2 ~ 28-38 %
H_2S ~ >3,000 ppm

H_2S

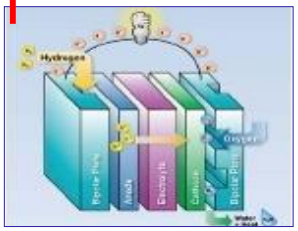
Biogas Cleaning

Water scrubbing

CO_2

Biogas Upgrading

- Water scrubbing
- Selective adsorption



Case study : Water scrubber (5/5)

Bed Height 1.5 m
Gas flow rate 20 l/min
Liquid flow rate 10 l/min

Bed Height 1.5 m
Gas flow rate 240 l/min
Liquid flow rate 80 l/min

อนุสิทธิบัตรการประดิษฐ์ เลขที่ 9139
จดทะเบียนวันที่ 18/09/57

Measured point	Biogas composition (%wt)					H_2S removal efficiency (%)	
	CH_4	CO_2	O_2	BAL	H_2S (ppm)	1st column	2nd column
Before	74.00	21.30	0.00	4.70	2760		
1st column	77.20	14.80	0.40	7.60	687	75.11	
2nd column	75.70	11.00	0.60	12.70	240		91.30

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

Biogas Treatment System

NAC2015
11th NSTDA Annual Conference
การประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ ๑๑
www.nstda.or.th/nac2015

CH_4 ~ 60 – 70 %
CO_2 ~ 28-38 %
H_2S ~ >3,000 ppm

H_2S

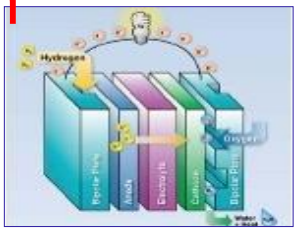
Biogas Cleaning

Water scrubbing

CO_2

Biogas Upgrading

- Water scrubbing
- Selective adsorption

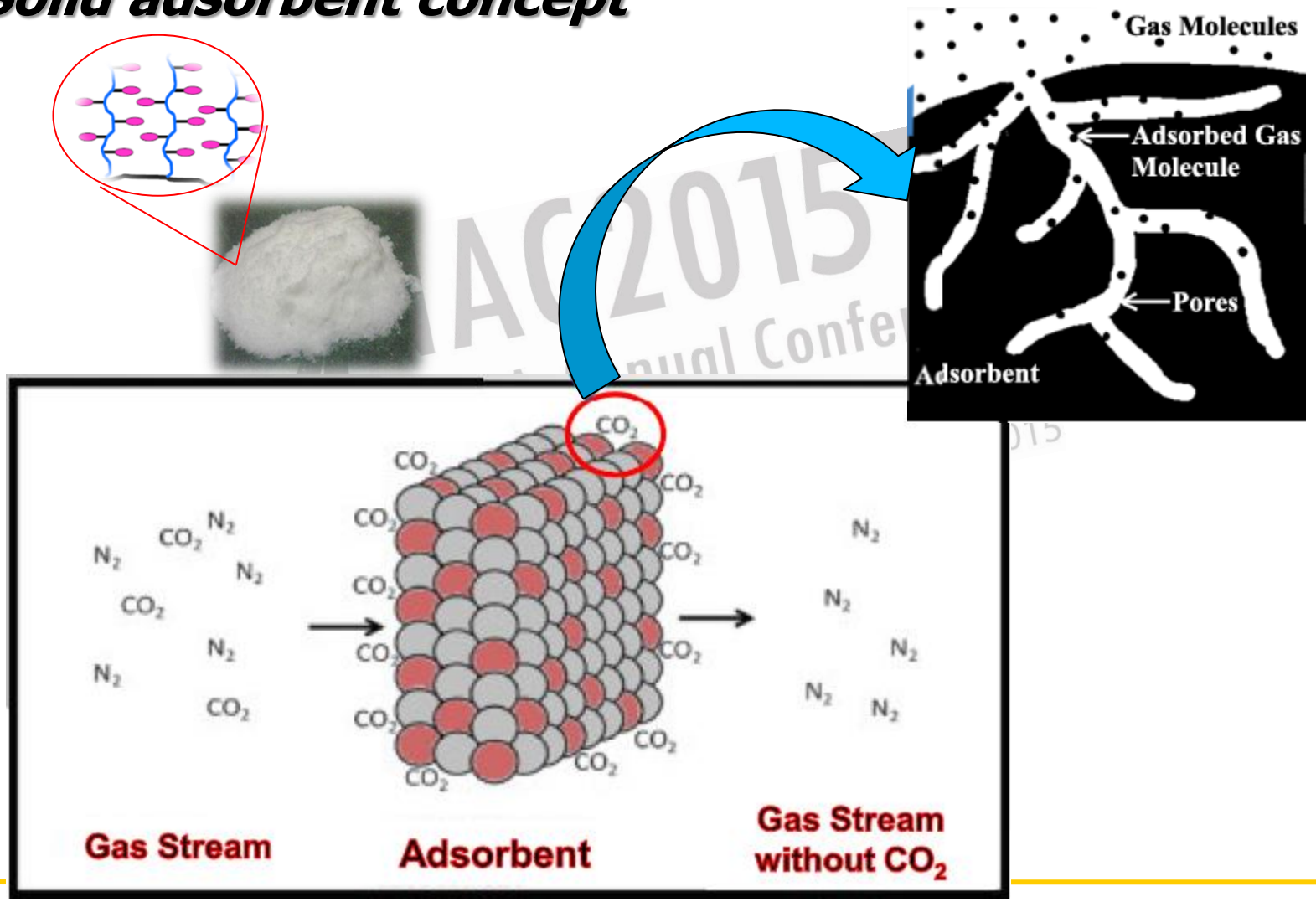


© MTEC 2014
www.mtec.or.th

Selective Adsorption System (1/7)

NAC2015
11th NSTDA Annual Conference
การประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ ๑๑
www.nstda.or.th/nac2015

- **Solid adsorbent concept**

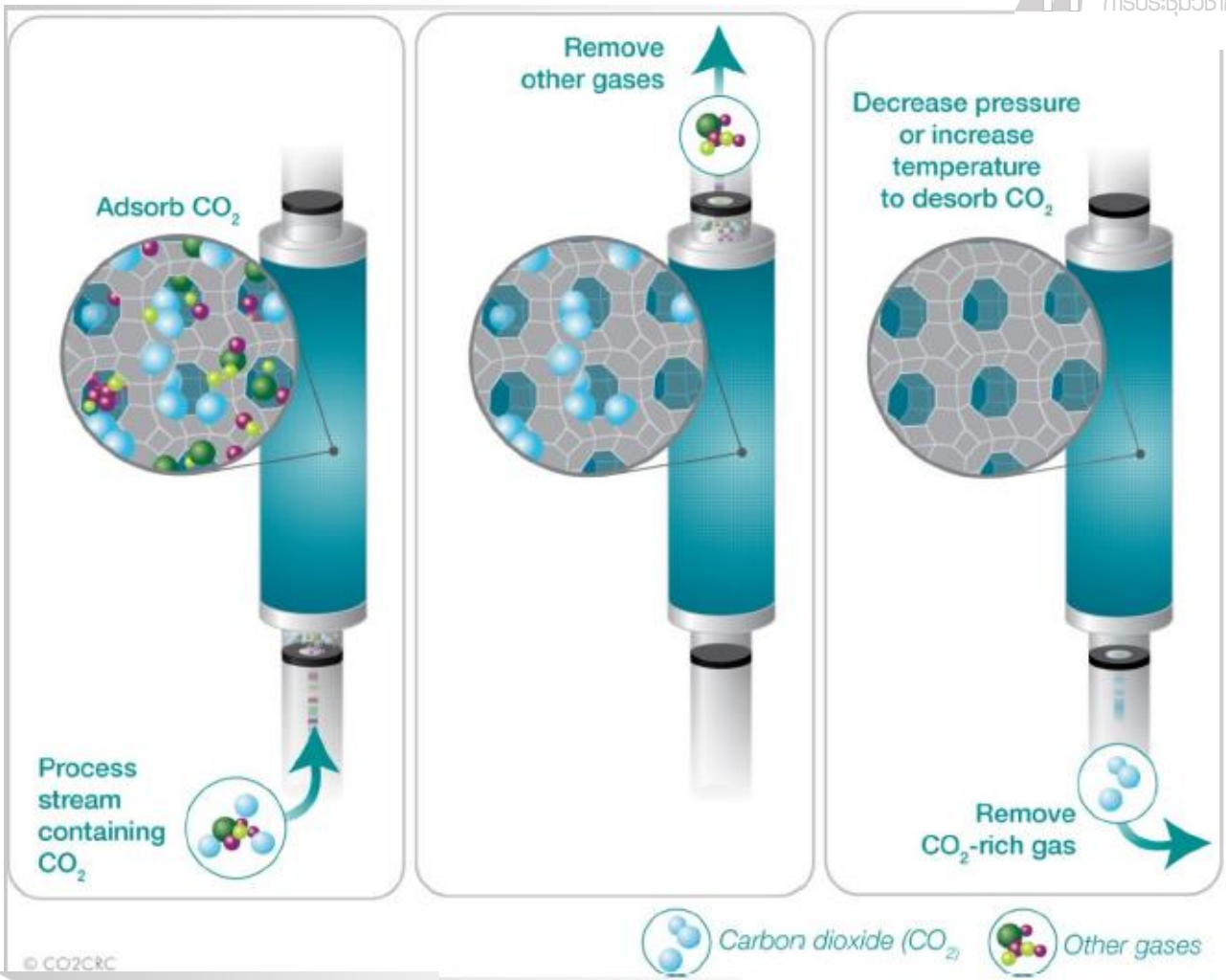


© MTEC 2014
www.mtec.or.th

Selective Adsorption System (2/7)

NAC2015
11th NSTDA Annual Conference
การประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ ๑๑
www.nstda.or.th/nac2015

- ***Adsorption/Desorption concept***

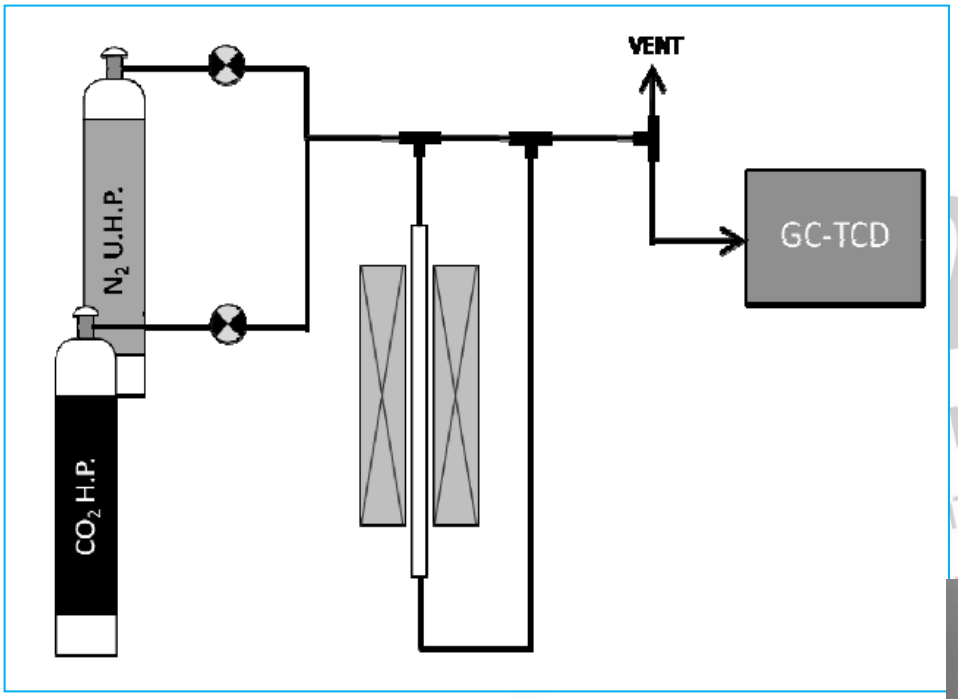


Ref: http://www.co2crc.com.au/aboutccs/cap_adsorption.html

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

Selective Adsorption System (3/7)

- **Gas adsorption/desorption analysis**



Volume of reactor = 77 mL

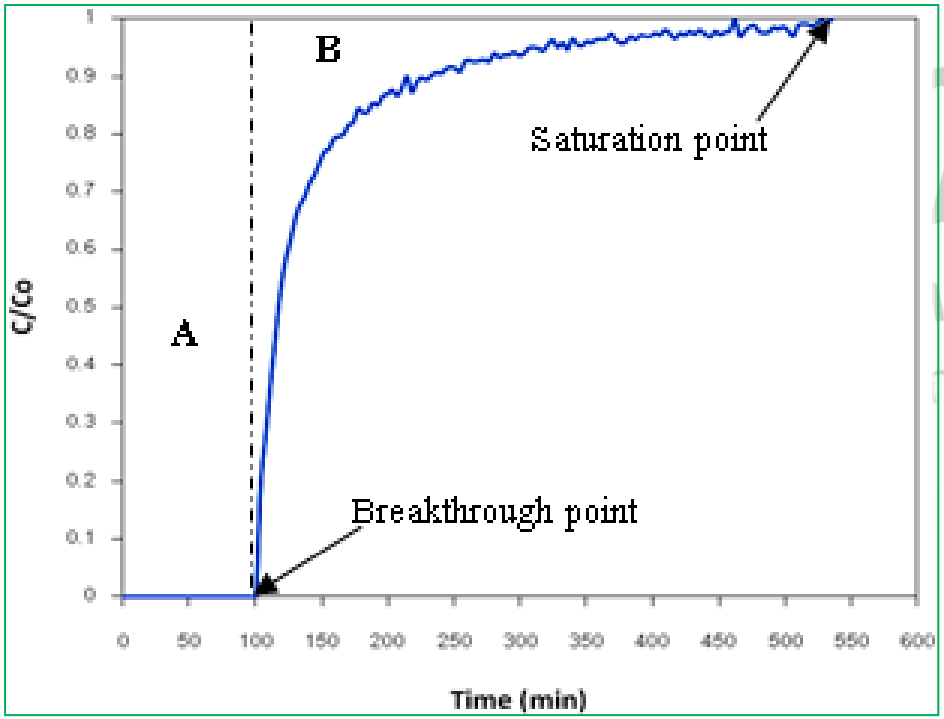
Diameter of reactor = 1.4 cm

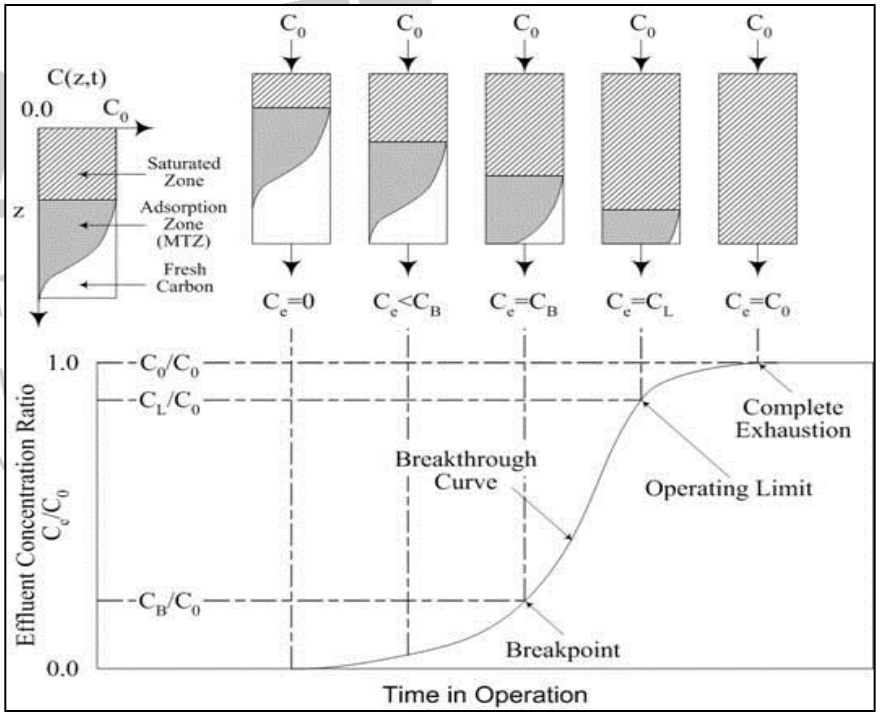
Bed height = 9 cm

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

Selective Adsorption System (4/7)

- **Gas adsorption/desorption analysis**



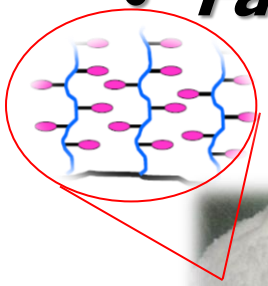


© MTEC 2014

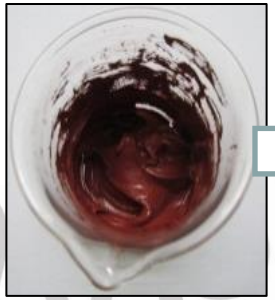
NAC2015
NSTDA Annual Conference
การประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ ๑๑
www.nstda.or.th/nac2015

Selective Adsorption System (5/7)

- **Fabrication**

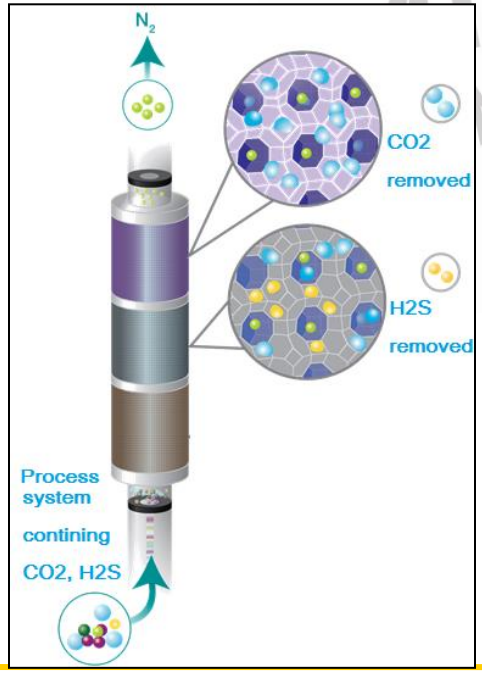


Absorbent



Mixing

Fabrication



Chemical Adsorption

Bulk Crushing Strength Test
(ASTM method 7084-4)

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

Selective Adsorption System (6/7)

ตัวดูดซับแบบผง

ตัวดูดซับที่ขึ้นรูปแล้ว

การทดสอบระดับห้องทดลอง

การทดสอบระดับขยาย

Volume of reactor = 400 mL

Diameter of reactor = 2.8 cm

Bed height = 25 cm

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

Selective Adsorbent Applied in industries (7/7)

Msorb-G1

- High H_2S selectivity over gases (e.g., CO_2, N_2, Ar, CH_4)
- High H_2S removal efficiency (up to 98%) in biogas and mixed HC
- High crushing strength after fabrication
- Operating condition at 30-450°C for H_2S separation

Msorb-G2

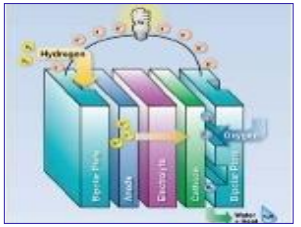
- Solid adsorbents for H_2S and CO_2 cleaning
- High crushing strength after fabrication
- Adsorption and regeneration at mild conditions (less than 90°C and 1 atm)
- Use more than 10 cycles without loss of capacity

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

NAC2015
11th NSTDA Annual Conference
การประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ ๑๑
www.nstda.or.th/nac2015

Biogas Utilisation

Electricity
CH_4 (~ 70-75%), CO_2 (~ 25-30%) and H_2S (~<200 ppm)



Biogas Treatment

Biogas

CH_4 ~ 60 – 70 %
CO_2 ~ 28-38 %
H_2S ~ >3,000 ppm

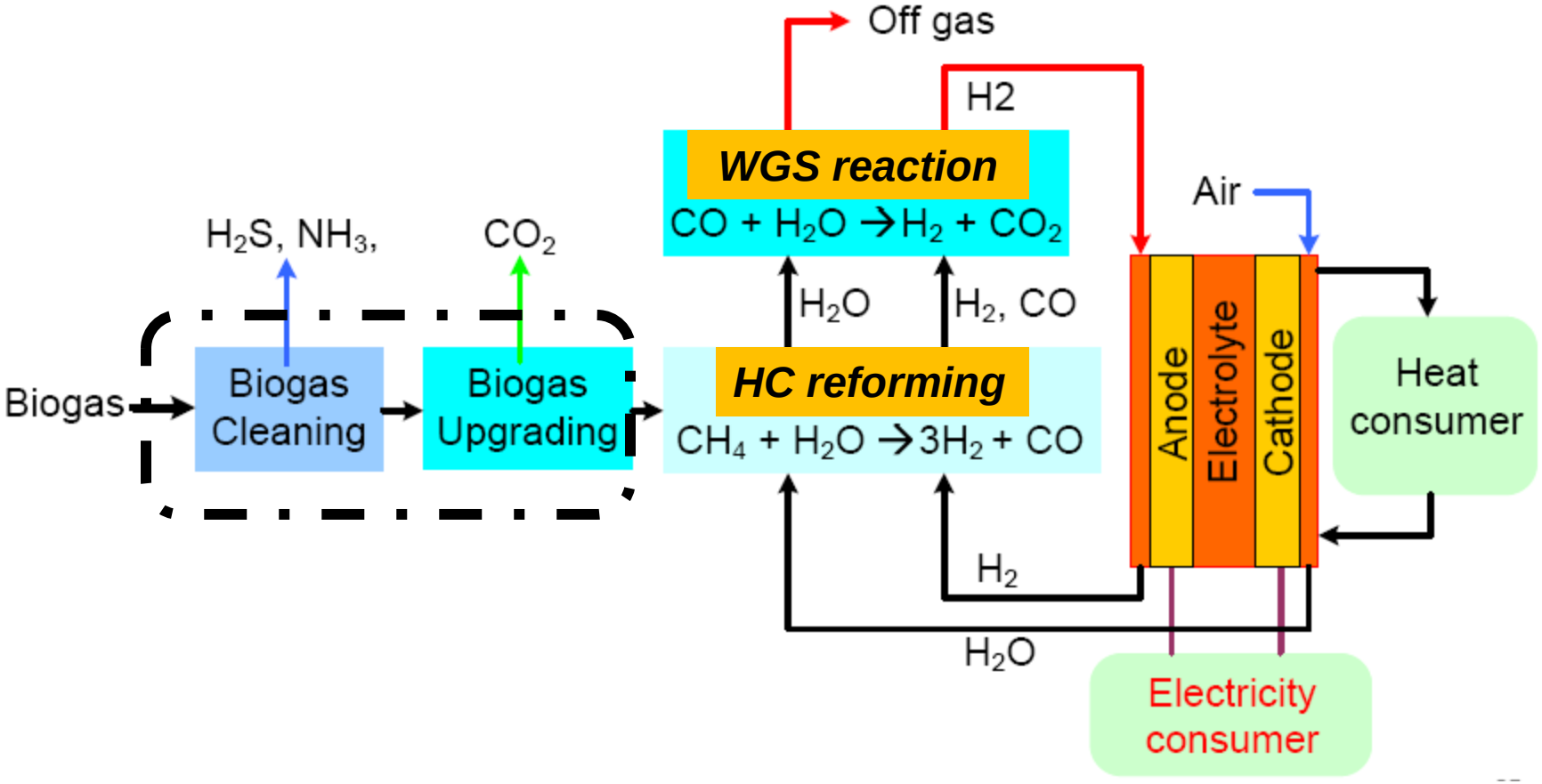
Cleaning → **Upgrading**

NGV standard (กรมธุรกิจพลังงาน ปี 2556)
CH_4 (>65%), CO_2 (< 18%) and H_2S (~<23 ppm)

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

Biogas Utilisation

- ***Feed in Fuel Cell***



School of Environment Engineering SUT

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

NAC2015
11th NSTDA Annual Conference
การประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ ๑๑
www.nstda.or.th/nac2015

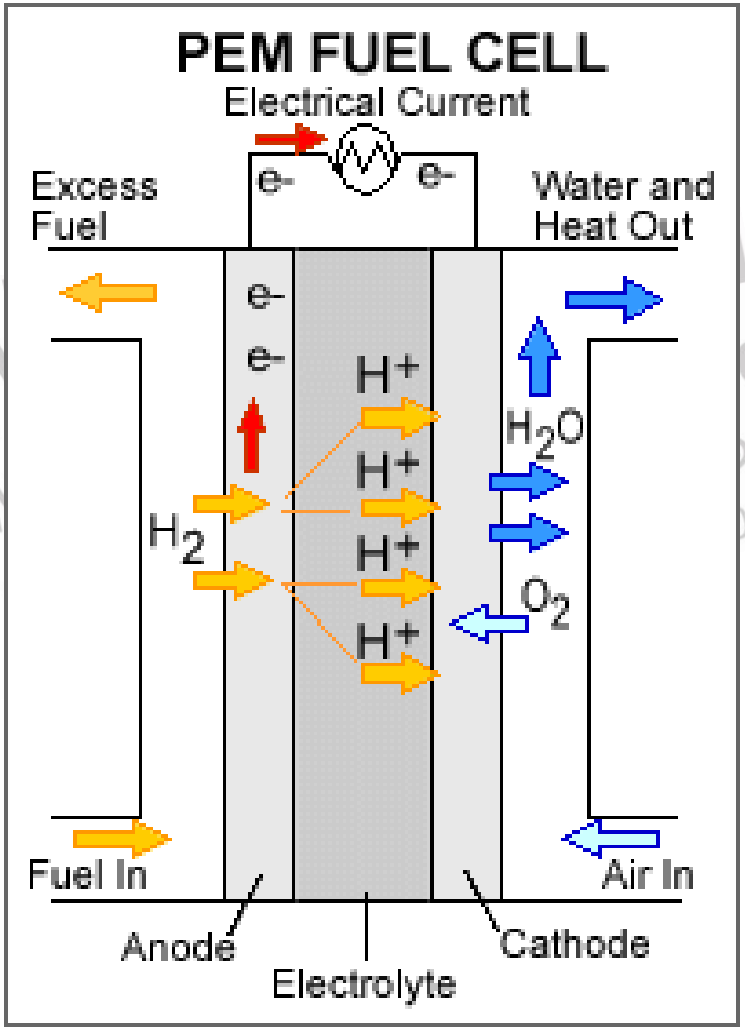
Biogas Utilisation

- ***Feed in Fuel Cell***

$$2H_2 \longrightarrow 4H^+ + 4e^-$$

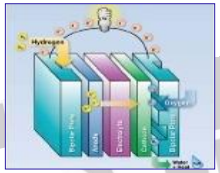
$$O_2 + 4H^+ + 4e^- \longrightarrow 2H_2O$$

$$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O$$



© MTEC 2014
www.mtec.or.th

Biogas Treatment and Utilisation



Biogas

CH_4 ~ 60 – 70 %
CO_2 ~ 28-38 %
H_2S ~ >3,000 ppm

Biogas Treatment

Cleaning → **Upgrading** → CO_2 → **CO_2 Utilisation**

Electricity

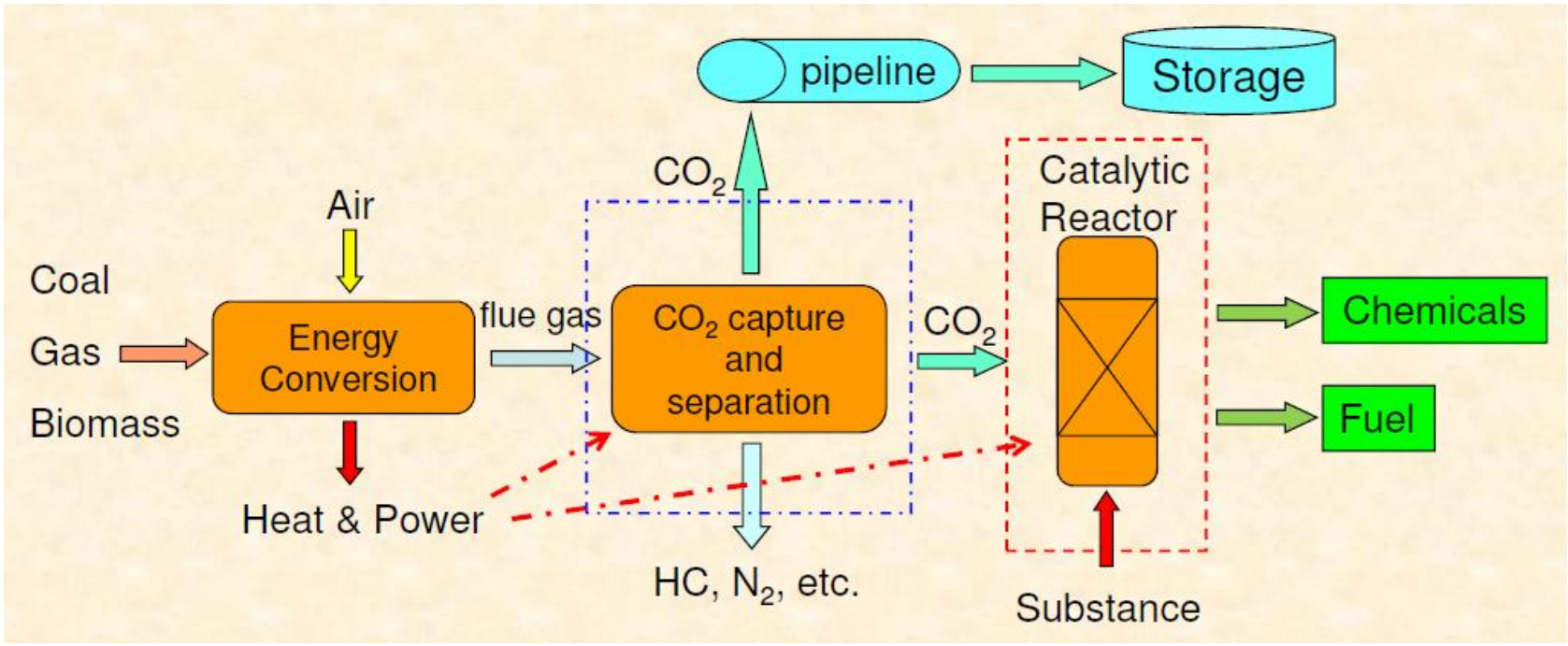
CH_4 ~ 70 – 75 %
CO_2 ~ 25-30 %
H_2S ~ < 200 ppm

NGV standard

CO_2 < 18 %
H_2S ~ < 23 ppm

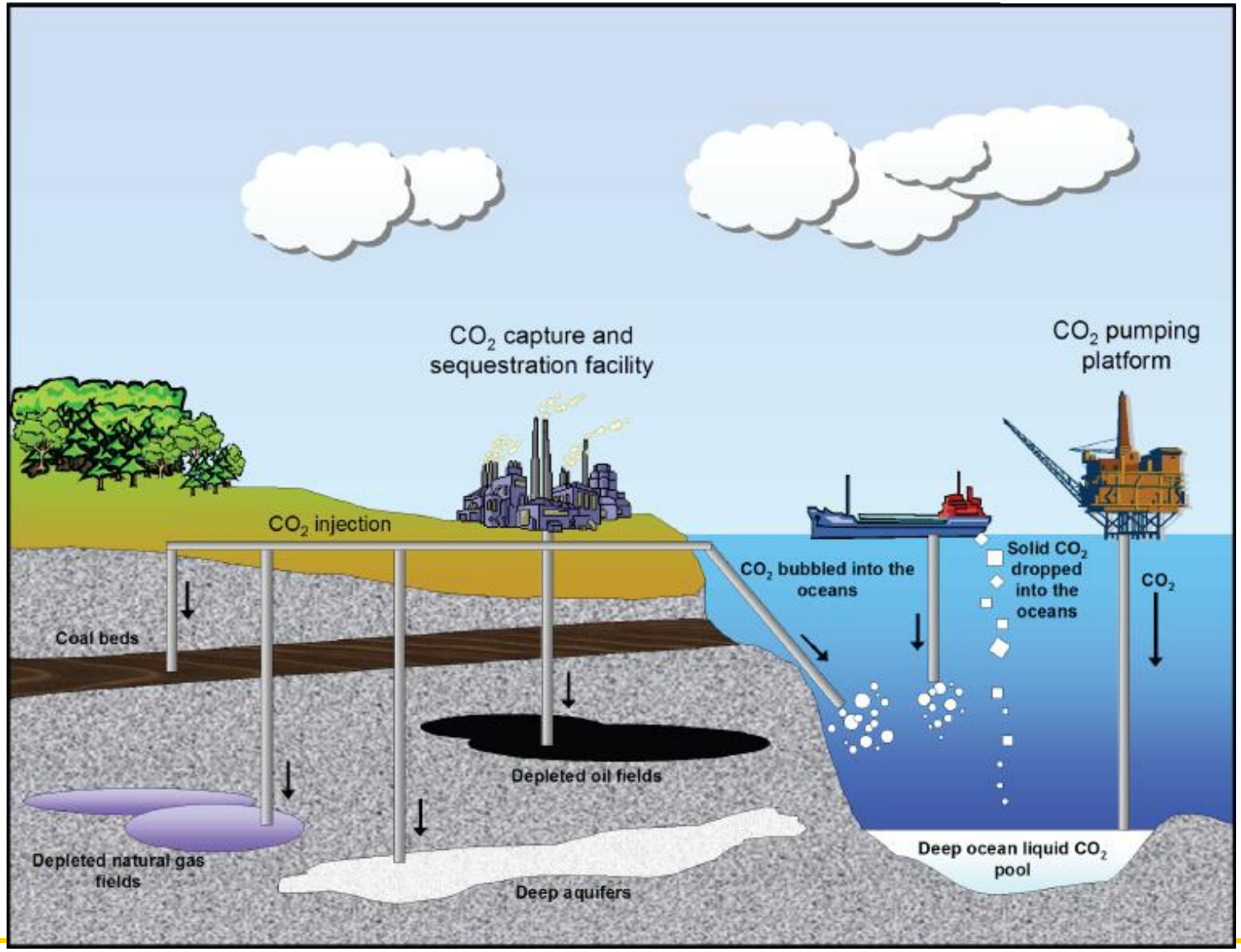
© MTEC 2014
www.mtec.or.th

Carbon Capture and Utilisation



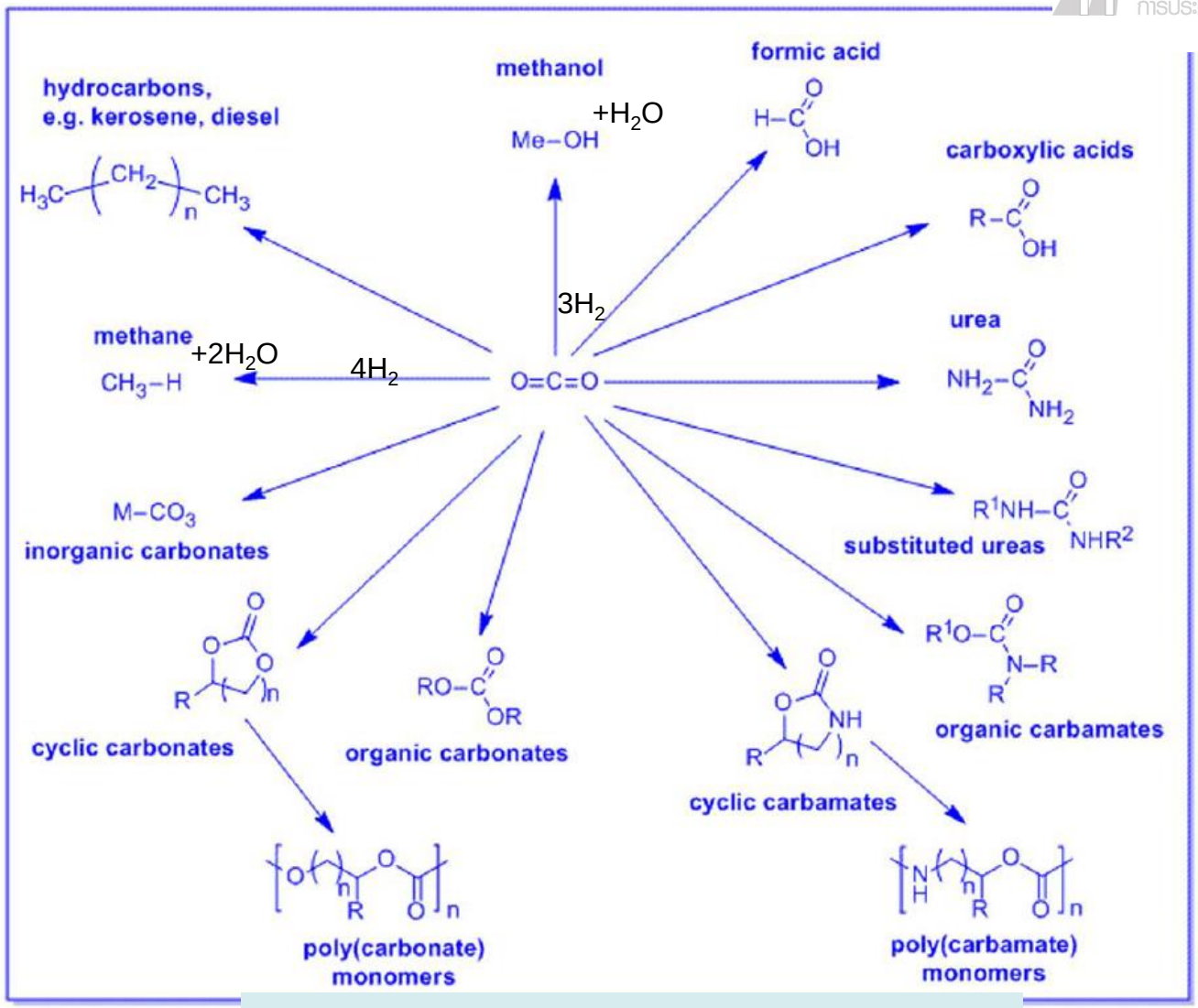
© MTEC 2014
www.mtec.or.th

Carbon Capture and Utilisation



Green Fuel for the Future Workshop IASS Potsdam, Germany, 2011

Carbon Capture and Utilisation



$$nCO_2 + 3nH_2 \longrightarrow [\text{-}CH_2\text{-}]_n + 2nH_2O$$

$$2CO_2 + 2CH_4 \longrightarrow 2CO + C_2H_4 + 2H_2O$$

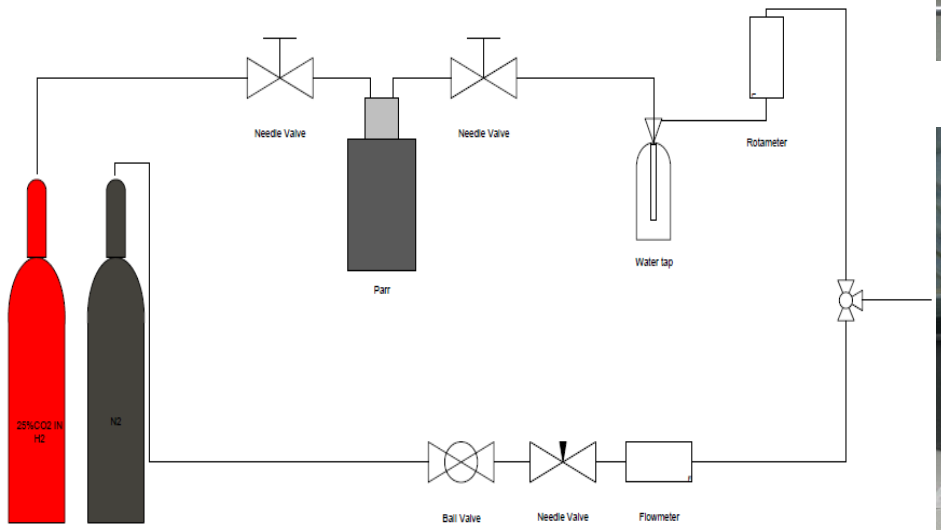
Dalton Trans., 2007, 2975-2992.

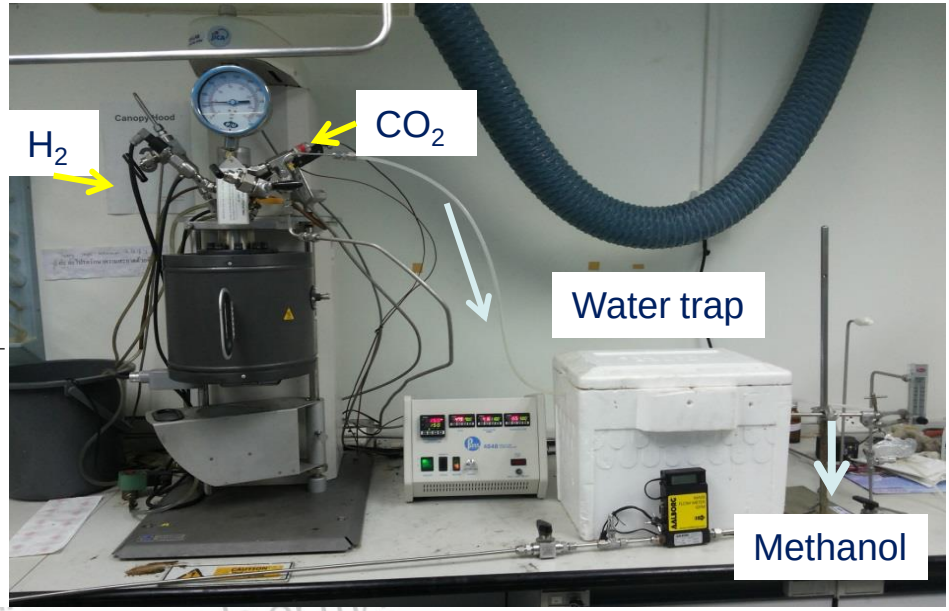
© MTEC 2014
www.mtec.or.th

Carbon Capture and Utilisation

NAC2015
11th NSTDA Annual Conference
การประชุมวิชาการประจำปี สวทช. ครั้งที่ ๑๑
www.nstda.or.th/nac2015

- ***Renewable methanol synthesis***





Conventional reaction

- Condition: commercial Cu-based catalyst at 250 °C 30-100 bar under $H_2/CO/CO_2$

$$CO + 2H_2 \rightleftharpoons CH_3OH$$

$$CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2$$

$$CO_2 + 3H_2 \rightleftharpoons CH_3OH + H_2O$$

New route CO_2 hydrogenation reaction

$$CO_2 + H_2 \rightleftharpoons CO + H_2O$$

$$CO_2 + H_2 \rightleftharpoons HCOOH$$

$$HCOOH + ROH \rightleftharpoons HCOOR + H_2O$$

$$HCOOR + 2H_2 \rightleftharpoons CH_3OH + ROH$$

$$CO_2 + 3H_2 \rightleftharpoons CH_3OH + H_2O$$

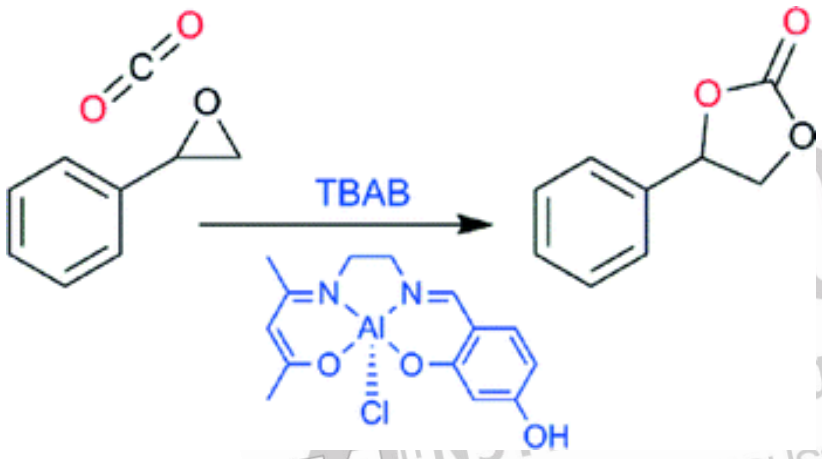
- Methanol can be synthesized at below about 170 °C, 30 ba
- MCat1 showed the better catalytic activity and high stability the methanol synthesis, when compared to a commercial methanol synthesis catalyst.

© MTEC 2014
www.mtec.or.th

MTEC a member of NSTDA สวทช NSTDA

Carbon Capture and Utilisation

- ***Cyclic carbonate synthesis: pre-cursors for poly(carbonates)***



Solvent: DCM
T: 80 – 150 oC
P: 1 bar

Catalyst System	Ea (kJ/mol)
Al1Cat	34
Al1Cat / TBAB	23
TBAB	32
Al-Zn mixed oxide	78

+ 70% Conversion to styrene carbonate by Al1Cat
+ 90% Conversion to Styrene carbonate by A1Cat/TBAB

Supasitmongkol & Styring, *Catal. Sci. Tech.*, 2014

/nac2015

Thank You

© MTEC 2014
www.mtec.or.th