# 2019 서울 바이오에탄올 컨퍼런스
# 2019년 4월29-30일

THE UNIVERSITY OF ILLINOIS AT CHICAGO

UIC

Steffen Mueller 박사
수석 경제학자
일리노이대학 에너지자원센터 (UIC, Energy Resources Center)

THE UNIVERSITY OF ILLINOIS AT CHICAGO

# 도움 주신 분들

자료작성

- Steffen Mueller, Principal Economist, University of Illinois at Chicago, Energy Resources Center.
- Stefan Unnasch, Managing Director, Life Cycle Associates, LLC.
- Bill Keesom, Retired UOP Refinery and Fuels Consultant, Evanston, Illinois
- Samartha Mohan, Engineer, Automotive Technology, Bangalor, India
- Love Goyal, Analyst, Life Cycle Associates
- Professor Rachael Jones; University of Illinois at Chicago School of Public Health

기술적 조언 및 검토:

- Dr. Zigang Dong, Executive Director, and Dr. K S Reddy, The Hormel Institute, University of Minnesota.

THE HORMEL INSTITUTE
UNIVERSITY OF MINNESOTA MAYO CLINIC

- Brian West, John Storey, Shean Huff, John Thomas; Fuels, Engines, and Emissions Research Center, Oak Ridge National Laboratory
- Professor Jane Lin; University of Illinois at Chicago. Department of Civil Engineering.
- Kristi Moore; Fueltech Service.
- Jordan Rockensuess, Intertek Laboratories. Intertek is a leading global testing, inspection, and certification laboratory.

THE UNIVERSITY OF ILLINOIS AT CHICAGO

# 전 주기 배출가스 모델링 및 자동차 배출가스 모델링

## 자동차 배출가스 평가:

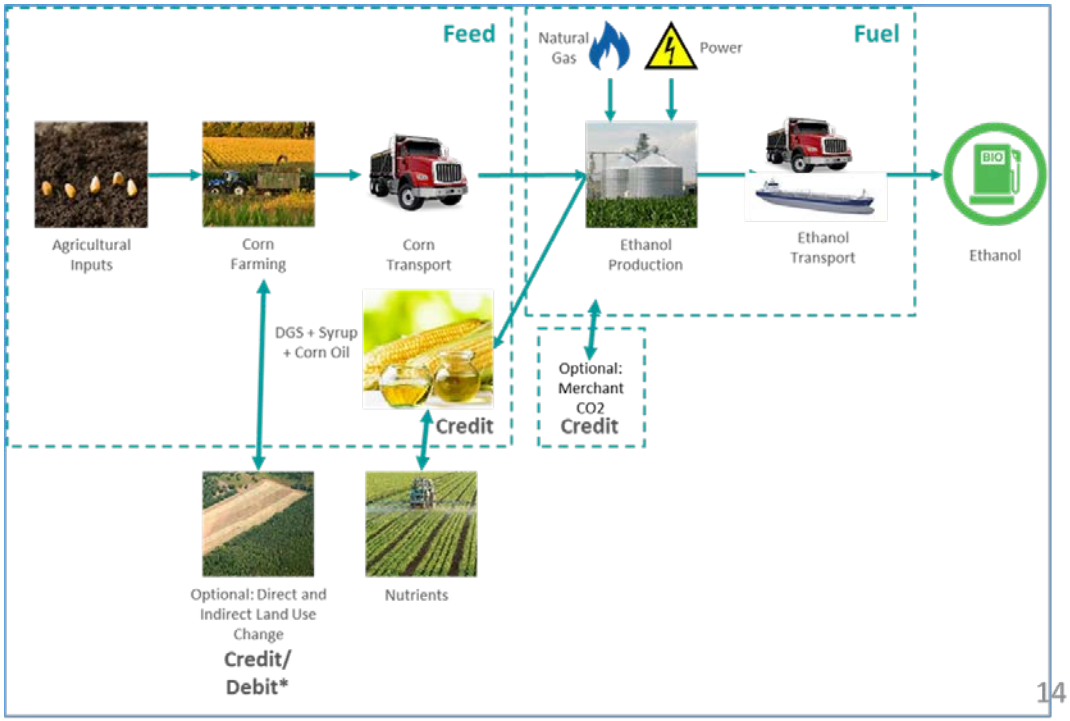
주요 오염물질 및 유해대기물질인 **자동차 배출가스가 대기에 미치는 영향** 평가:

- 미세먼지 (PM),
- 일산화탄소,
- 아산화질소,
- 휘발성유기물
- 유해대기물질 (벤젠; 1,3 부타디엔, 알데하이드)

## 전주기 배출가스 평가:

에너지 생성단계(요람)에서부터 소비단계(무덤)까지 **전주기에 걸친 배출 가스의 영향 평가 (Well to Wheel WTW)**

- 모든 배출가스에 적용 가능하나, 특히 온실가스(GHGs)와 같이 글로벌 파급효과가 있는 배출 가스 분석에 유용



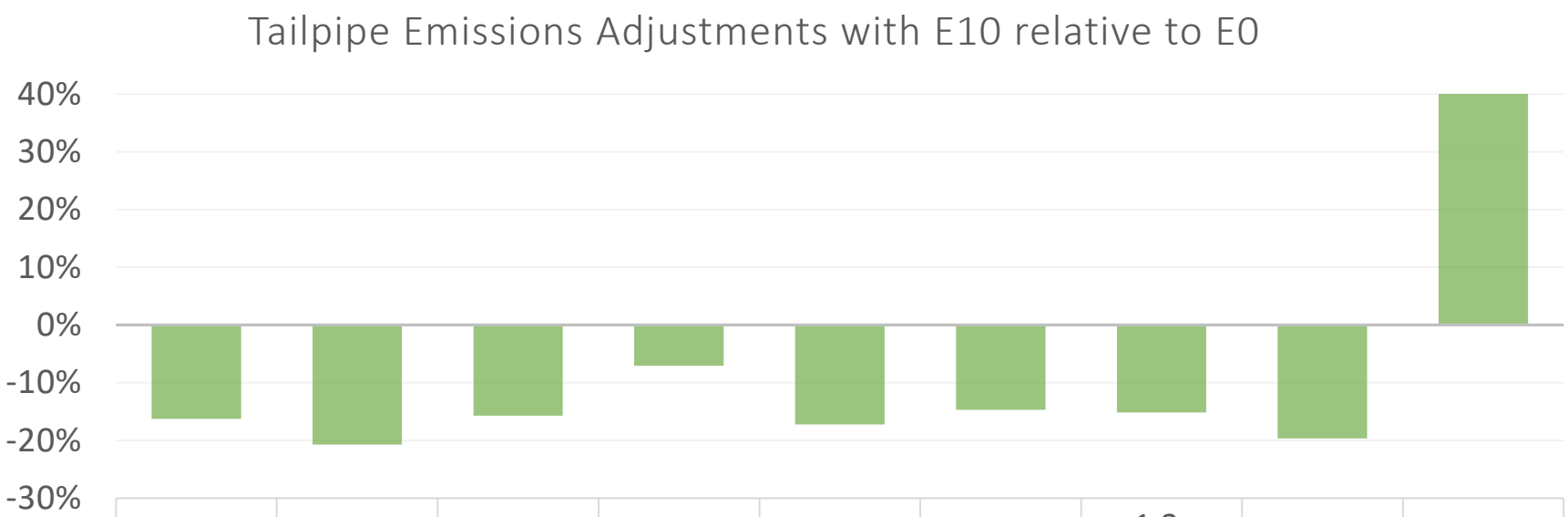
THE UNIVERSITY OF ILLINOIS AT CHICAGO

# 에탄올 10% 혼합 가솔린 (E10) 차량의 배출물질에 관한 글로벌 문헌 정리

| Study Name | Vehicles | Test cycle | Location | E 10 (% change wrt E0) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | THC | NMHC | CO | NOX | PM | Benzene | 1,3-butadiene | Formaldehyde | Acetaldehyde |
| Karavalakis et al., 2012 | 1984-2007 Gasoline vehicles (Total 6), One additional 2007 Flex Fuel Vehicle | FTP-75 | California | -12.80% | | | 13.60% | | -29% | -30% | -44% | 16% |
| Bertoa et al., 2015 | One Euro 5a flex-fuel light duty vehicle (FFV) equipped with a three way catalyst (TWC) and a turbo charged air intake system | WLTC | Italy | -65% | -68% | 13% | -24% | | -56% | | -50% | 133% |
| SAE, 1992 | Ford Valencia SI engine | | United States | -4.90% | -5.90% | -13.40% | 5.10% | | -11.50% | -5.80% | 19.30% | 159.00% |
| NREL, 2009 | 1999-2007 Gasoline vehicles (Total 16) | LA 92 | United States | | -12% | -15% | -5.50% | | | | -85% | 9% |
| Storey et al., 2010 | 2007 Pontiac Solstice | FTP-75, US06 | United States | | -20% | 3% | -42% | -6% | | | -29% | 95% |
| ORNL 2012 | 19 Tier 2 and 8 Tier 1/NLEV | FTP-75 | United States | | -7.02% | -2.36% | 34.26% | | | | -96% | 17% |
| Ozsezen et al. 2011 | Test Vehicle - 1.4i SI engine, Water-cooled, four stroke, multi point injection | wide-open throttle conditions and at the vehicle speeds of 40, 60, 80 and 100 kmph | Turkey | -14% | | -2.60% | -1.30% | | | | | |
| Schifter et al., 2011 | 4 vehicles older than 1992, 17 vehicles between 1993 - 1997 and 9 vehicles 2000-2004 | FTP-75 | Mexico | -5% | | -13.70% | -2.70% | | -10% | 7% | 0% | 19% |
| Zhu et al., 2017 | Two China IV vehicles and one Tier 2 vehicle | WLTC | China | -6% | | -22.70% | | | | | | |
| Martins et al., 2014 | compact sedan equipped with a 1.4-L, 8-valve, four-cylinder flexible fuel engine | FTP-75 | Brazil | | | | | | | | | |
| Graham et al., 2008 | Two 2002 LEV 1 LDT and One 2004 ULEV 1 | FTP-75, US06 | Canada | 9% | | -10% | 3% | | 15% | 16% | 5% | 108% |
| Bielaczyc et al., 2013 | One Euro V vehicle | NEDC | Poland | 23% | | 13.30% | 7.80% | -19.70% | -20.80% | | 75% | 5.90% |
| Knapp et al. 2011 | 1977 - 1994 Gasoline vehicles (Total 11 No.s) | UDDS | Alaska | -6.50% | | -8.30% | -0.70% | | -20.10% | -14% | -40.00% | 463% |
| Canakci et al., 2013 | 1.4i SI engine Honda Civic Water-cooled, four-stroke, multi-point injection | running the vehicle at two different vehicle speeds (80 km/h and 100 km/h), and four different wheel powers (5, 10, 15, and 20 kW). The | Turkey | -41% | | -24.20% | -18.50% | | | | | |
| Yao et al., 2011 | 2000 and 2005 passenger cars | FTP-75 | Taiwan | -13% | -11.50% | -10% | -4.40% | | -18% | | 11.20% | 20.60% |
| Czerwinski et l., 2016 | new (Euro 5) flex fuel vehicle Volvo V60 (GDI) | WLTC | Switzerland | -1% | | -16% | -25% | | | | -17.20% | |
| Martini et al., 2009 | Euro IV Ford Focus flexible fuel car | NEDC | Italy | -49% | | -77% | 1% | -26% | 17.90% | -63.60% | -5% | 149% |
| Truyen et al., 2012 | 2001 Fuel Injected Car | ECE15+EUDC | Vietnam | -4% | | -8% | 10.70% | | | | | |
| Munoz et al., 2019 | Euro-5 flex-fuel GDI vehicle (Volvo V60) with a 1.6 L engine | WLTC | Switzerland | -53% | | -75% | -71.23% | | | | | |
| **AVERAGE** | | | | **-16%** | **-21%** | **-16%** | **-7%** | **-17%** | **-15%** | **-15%** | **-20%** | **100%** |

THE UNIVERSITY OF ILLINOIS AT CHICAGO

# E10 적용시 자동차 배출물질 연구관련 문헌 검토




| | THC | NMHC | CO | NOX | PM | Benzene | 1,3-butadiene | Formaldehyde | Acetaldehyde |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Series1 | -16% | -21% | -16% | -7% | -17% | -15% | -15% | -20% | 100% |

# 에탄올과 미세먼지 배출 저감

THE UNIVERSITY OF ILLINOIS AT CHICAGO

# 에탄올과 미세먼지 배출

1) Honda PM 모델은 PM형성과 가솔린 탄화수소 화합물 내 이중결합간의 상관관계를 예측
   - 이중결합이 없는 에탄올은 미세먼지 배출과 무관

2) 다환 방향족 탄화수소(PAH)를 비롯한 많은 발암성 유해대기물질의 경우 자동차 배기가스에서 입자상(particulate phase)으로 배출됨
   - 일반적으로 벤젠 고리가 둘 또는 셋인 PAH는 증기상(vapor phase)으로 배출되는 반면, 고리가 다섯개 이상인 PAH는 입자상(particulate phase)으로 주로 배출되는 것으로 관찰됨 (Manaraj 외, 2012)
   - 자동차 배출가스 중 가장 발암성이 높은 PAH 중 하나인 벤조피렌(Benzo[a]pyrene)은 벤젠 고리가 다섯개이며 대부분 입자상으로 존재함
   - 입자상의 PAH는 건강 유해도가 더 높은 것으로 보고된 PM2.5와 부유입자(airborne particulates)의 초미세분획(ultra-fine fraction)과 대부분 결합

3) 가솔린 직분사 (GDI) 엔진
   - GDI 엔진은 신규 판매차량에서 가장 지배적으로 사용되는 현대식 엔진임
   - 스위스 EMPA 연구보고서(2016)는 GDI엔진에 'E10 사용으로 특정 PAH의 배출량이 약 67~96% 저감되었다'고 발표

THE UNIVERSITY OF ILLINOIS AT CHICAGO

# 에탄올과 미세먼지 배출: 미세먼지 지수 (PM) 모델

- 가솔린 연료의 PM 배출량 예측을 위한 PMI 기반 모델은 Aikawa와 그의 동료들에 의해 최초로 제안됨 (Honda PMI 모델)
- 이 모델은 중량분획(weight fraction), 증기압, 가솔린의 이중결합등가(DBE)와 PM 배출가스 생성간에 관찰된 직접적인 상관관계에 근거함
- DBE 값은 올레핀, 방향족 및 시클로알칸 등과 같은 연료분자 내 존재하는 이중 결합 및 고리의 수를 나타냄
- DBE 값이 높은 연료 구성 성분은 2.3리터 터보엔진이 장착된 자동차에서 더 쉽게 미세먼지를 배출시키는 것으로 관찰됨. 아이소옥테인과 같은 파라핀 및 에탄올에 대한 DBE 값은 0인 반면 방향족의 DBE 범위는 4 에서 7 사이
- 따라서 DBE 값이 높고 증기압이 낮은 편인 방향족 탄화수소는 과도하게(disproportionately) PM 생성에 기여하는 반면, 연료 내 파라핀 또는 에탄올 함유 비율이 높을수록 PM 배출이 저감되는 경향이 있음

THE UNIVERSITY OF ILLINOIS AT CHICAGO

# 자동차에서 배출되는 독성 화합물질

- 다환 방향족 탄화수소 (PAHs)

| Pollutant |
| --- |
| Acenaphthene |
| Acenaphthylene |
| Anthracene |
| Benz(*a*)anthracene |
| Benzo(*a*)pyrene |
| Benzo(*b*)fluoranthene |
| Benzo(*g,h,i*)perylene |
| Benzo(*k*)fluoranthene |
| Chrysene |
| Dibenzo(*a,h*)anthracene |
| Fluoranthene |
| Fluorene |
| Indeno(1,2,3,*c,d*)pyrene |
| Naphthalene |
| Phenanthrene |
| Pyrene |

EPA-420-R-16-016
November 2016

THE UNIVERSITY OF ILLINOIS AT CHICAGO

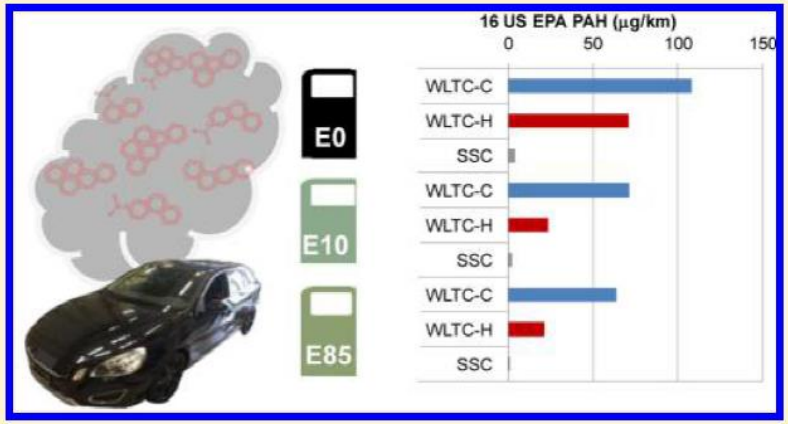
# 에탄올과 가솔린 직분사 엔진

**바이오에탄올 혼합 연료를 가솔린 직분사 엔진이 장착된 이중연료 (Flex-Fuel) 자동차에 사용 시 나노입자, 다환방향족 탄화수소(PAH)와 알킬기(Alkyl-) 및 니트로기(Nitro-) PAH 배출이 저감되고 배기가스의 유전독성 가능성(genotoxic potential)이 낮아짐**

"E10 사용으로 특정 PAH의 배출량이 67-96% 저감됨"

2016년 10월

ABSTRACT: Bioethanol as an alternative fuel is widely used as a substitute for gasoline and also in gasoline direct injection (GDI) vehicles, which are quickly replacing traditional port-fuel injection (PFI) vehicles. Better fuel efficiency and increased engine power are reported advantages of GDI vehicles. However, increased emissions of soot-like nano-particles are also associated with GDI technology with yet unknown health impacts. In this study, we compare emissions of a flex-fuel Euro-5 GDI vehicle operated with gasoline (E0) and two ethanol/gasoline blends (E10 and E85) under transient and steady driving conditions and report effects on particle, polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH), and alkyl- and nitro-PAH emissions and assess their genotoxic potential.




Particle number emissions when operating the vehicle in the hWLTC (hot started worldwide harmonized light-duty vehicle test cycle) with E10 and E85 were lowered by 97 and 96% compared with that of E0. CO emissions dropped by 81 and 87%, while $CO_2$ emissions were reduced by 13 and 17%. Emissions of selected PAHs were lowered by 67–96% with E10 and by 82–96% with E85, and the genotoxic potentials dropped by 72 and 83%, respectively. Ethanol blending appears to reduce genotoxic emissions on this specific flex-fuel GDI vehicle; however, other GDI vehicle types should be analyzed.

THE UNIVERSITY OF ILLINOIS AT CHICAGO

# UIC/미국곡물협회 5개 도시 연구

# 자동차 배출물질 모델링 (Tailpipe Emissions Modeling)

THE UNIVERSITY OF ILLINOIS AT CHICAGO

# 다단계 모델링 프로세스

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| Refining Impact from Ethanol | Emissions Mass Reduction from Ethanol | Emissions Concentration Reduction | Health Risk Reduction from Ethanol | Health Cost Reduction from Ethanol |
| Assess Refining Adjustments and Refining Profitability for Gasoline-Ethanol Blends (Aromatics Reductions; Refining Blending Model; Complex Model) | Determine Emissions Reductions from Ethanol –Gasoline Blends by Pollutant (Vehicle Tests, iBEAM, MOVES, Complex Model) | Convert emissions into atmospheric concentrations (e.g Box Model) | Apply Cancer Risk and Other Risk Factors to Determine Probability of Extra Cases with Negative Health Impact (e.g. Inhalation Unit Risk Factors, Epidemiological Studies) | Convert extra cases into extra health care costs, mortality, years-of-life-lost, and other metrics |

THE UNIVERSITY OF ILLINOIS AT CHICAGO

# 연료 샘플링

- Intertek Laboratory가 세가지 연료를 서울지역에서 샘플링 함
- 결과 분석시 사용된 연료샘플은 한국의 표준연료사양에 부합함

| TEST ITEM | UNIT | TEST RESULT | METHOD |
|---|---|---|---|
| Regular Gasoline KR201-0012952-2 Mapo-gu, Seoul | | | |
| Sulfur | mg/kg | 4.6 | ASTM D 5453-16$^{\varepsilon 1}$ |
| DVPE at 37.8℃ | psi | 10.25 | ASTM D 5191-18 |
| Full carbon chain break down | - | See attached report | ASTM D 6730-01 |
| MTBE | mass % | 11.6 | ASTM D 4815-15b |
| Regular Gasoline KR201-0012952-3 Yeungdeungpo-gu, Seoul | | | |
| Sulfur | mg/kg | 4.2 | ASTM D 5453-16$^{\varepsilon 1}$ |
| DVPE at 37.8℃ | psi | 9.17 | ASTM D 5191-18 |
| Full carbon chain break down | - | See attached report | ASTM D 6730-01 |
| MTBE | mass % | 12.0 | ASTM D 4815-15b |
| Regular Gasoline KR201-0012952-4 Guro-gu, Seoul | | | |
| Sulfur | mg/kg | 3.9 | ASTM D 5453-16$^{\varepsilon 1}$ |
| DVPE at 37.8℃ | psi | 9.56 | ASTM D 5191-18 |
| Full carbon chain break down | - | See attached report | ASTM D 6730-01 |
| MTBE | mass % | 5.5 | ASTM D 4815-15b |

THE UNIVERSITY OF ILLINOIS AT CHICAGO

# 10% MTBE로 수정한 모델링

| | | Seoul | Seoul | Seoul |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| | | MTBE | Ethanol-10 | Ethanol-20 |
| **CHANGE FROM BASE** | | BASE-Seoul | | |
| Gasoline Volume - Relative | BPD | 100.0 | 99.3 | 116.1 |
| Hydrogen from Catalytic Reformer - Relative | MM SCF/day | 53.1 | 47.4 | 28.5 |
| Gasoline Volume Change from Base | | 0.0% | -0.7% | 16.1% |
| Hydrogen Volume Change from Base | | 0.0% | -10.8% | -46.3% |
| Catalytic Reforming Unit Octane (Severity) | RON | 101.0 | 101.0 | 101.0 |
| | | | | |
| **OXYGENATE MIX** | | | | |
| MTBE | vol% | 10.00% | 0.0% | 0.0% |
| ETBE | vol% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| ETHANOL | vol% | 0.0% | 10.0% | 20.0% |
| TAME | vol% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | | | | |
| **GASOLINE PROPERTIES** | | | | |
| RON | | 94.0 | 94.0 | 94.9 |
| MON | | 85.1 | 84.4 | 82.4 |
| (R+M)/2 | | 89.6 | 89.2 | 88.7 |
| Specific Gravity | | 0.7864 | 0.7867 | 0.7654 |
| Oxygen | wt% | 1.7 | 3.5 | 7.2 |
| Sulfur | ppm | 5.7 | 5.8 | 5.2 |
| RVP | psi | 9.7 | 9.7 | 9.7 |
| E200 | vol% | 40.0 | 44.9 | 53.5 |
| E300 | vol% | 79.2 | 78.3 | 83.9 |
| Aromatics | vol% | 10.4 | 10.6 | 9.5 |
| Olefins | vol% | 13.0 | 13.2 | 11.8 |
| Benzene | vol% | 0.46 | 0.47 | 0.42 |

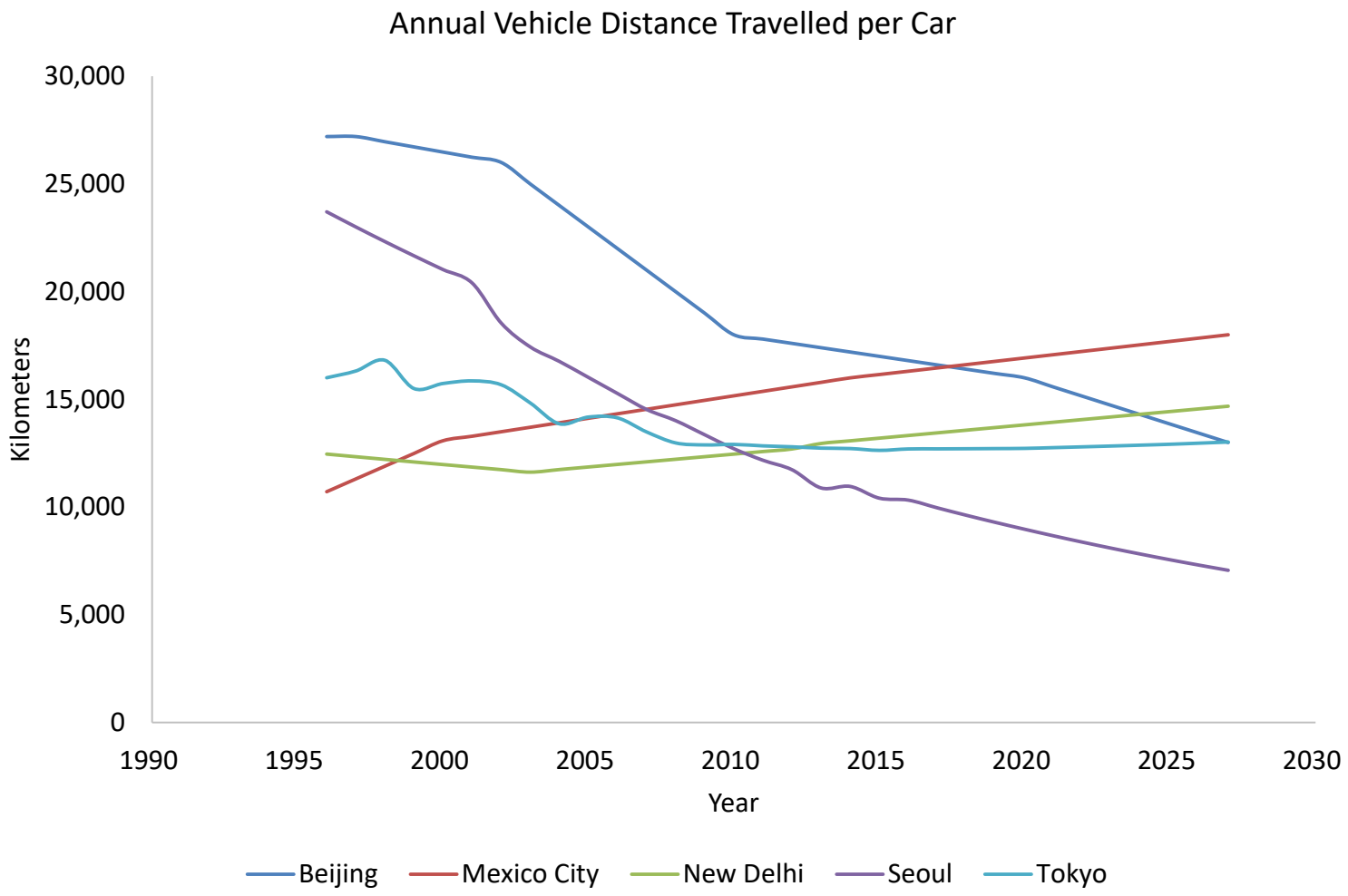
THE UNIVERSITY OF ILLINOIS AT CHICAGO

# 연간 총 차량 주행 거리

1. 각 도시의 연간 승용차 대수 추정 (자동차 포화 수준은 문헌 자료로 보완)
2. 전기 자동차 비율 산정
3. 연간 가솔린 차량 한 대당 운행 거리 추정
4. 위 1,2,3을 곱하여 도심 운행 승용차의 총 주행거리 산출(연간 차량 주행거리 [km/년])
5. 더불어, 폐차 시기를 추정하여 매년 운행되는 신규 차량대수 산정

THE UNIVERSITY OF ILLINOIS AT CHICAGO

# 대당 연간 총 주행거리



# 유해 대기 오염물질 (캘리포니아주 대기환경위원회 California Air Resources Board)

- "유해 대기 오염물질 (Toxic Air Contaminant)" 은 벤젠, 1,3-부타디엔, 포말알데히드 또는 아세트알데히드를 의미

- "실험을 할 때마다 각각의 유해대기오염물질별 배출 비율에 아래 표에 나타난 잠재독성등가계수 (relative potency)를 곱해줘야 하며, 네 가지 오염물질에 대한 합계를 산출함"

| | *Relative Potency* |
|---|---|
| 1,3-butadiene | 1.0 |
| benzene | 0.17 |
| formaldehyde | 0.035 |
| acetaldehyde | 0.016 |

ATTACHMENT A-13; State of California; California Environmental Protection Agency; AIR RESOURCES BOARD; Stationary Source Division CALIFORNIA TEST PROCEDURES FOR EVALUATING SUBSTITUTE FUELS AND NEW CLEAN FUELS IN 2015 AND SUBSEQUENT YEARS; Adopted: March 22, 2012

THE UNIVERSITY OF ILLINOIS AT CHICAGO

# 국내 MTBE 10 대비 E10 배출가스

미국 환경보호국의 복합모델(EPA Complex Model)에는 상대적으로 연식이 높은 차량만 반영되어 있는 관계로 자동차배출가스 관련 연구결과를 추가적으로 반영하여 결과물을 도출함

| iBEAM | Seoul | |
|---|---|---|
| GDI Rate | 50% | |
| EV Rate | 7% | |
| | E0 대비 (%) | E0 대비 (총 톤) |
| CO | -3.1% | -15,004 |
| THC | -4.9% | -3,369 |
| PM | -0.6% | -1 |
| NOx | 0 | 0 |
| Polycyclics | -2.6% | |
| Weighted Toxins | -7.2% | |

# 배출물질 및 건강에 미치는 영향:
# 에탄올 첨가 연료 독소물질의 발암성에 미치는 영향

- 벤젠 (Benzene)
  - 상당히 규명된 발암성 원인물질로국제암연구기관 (IARC: International Agency for Research on Cancer)은 벤젠을 인체 발암성 물질 (그룹 1)로 분류함. **급성 골수성 백혈병** (급성 비림프구성 백혈병)을 유발하며 더불어 급성 및 만성 림프구성 백혈병, 비호지킨 림프종 및 다발성 골수종도 유발시킬 수 있다는 제한적 증거 존재
    출처: 세계보건기구
- 1,3-부타디엔 (1,3-butadiene)
  - "다수의 연구를 통해 1,3-부타디엔으로에 대한 직무상 노출과 백혈병 발병 증가 간의 연관성이 꾸준히 밝혀지고 있음.."
    출처: https://www.cancer.gov/about-cancer/causes-prevention/risk/substances/butadiene
  - 미 보건복지부 (DHHS), IARC와 EPA는 1,3-부타디엔을 인체 발암물질로 규명함. 연구 결과 1,3-부타디엔에 노출된 근로자들은 위암, 혈액암, 림프암 등 발병 위험이 높다고 밝혀짐
    출처: CDC ATSDR Database
- 포말알데히드 (Formaldehyde)
  - **인간에 대한 제한적 증거** 및 동물에 대한 충분한 증거에 기초하여 **인체 발암성 추정 물질.** IARC: 인체 발암성 물질 (carcinogenic to humans); 미국 국립독성프로그램 (NTP: National Toxicology Program): 사람에 대한 발암성이 있을 수 있는 물질 (reasonably anticipated to be a human carcinogen)
    출처: CDC ATSDR Database
- 아세트알데히드(Acetaldehyde)
  - 동물의 비강 종양 및 선암 발병 증거 증가에 기초
    출처: 미국 환경보호국 (EPA)
    비고: 선암은 식도암, 췌장, 전립선에서 가장 많이 발견됨
- 벤졸필렌 (Benzo[a]pyrene (BaP)); 다환방향족탄화수소 (polycyclic aromatic hydrocarbon(PAH))
  - 특정 PAH의 발암성은 동물 실험으로 잘 입증되어 있음. 실험 결과, 동물 내 피부, 폐, 방광, 간 및 위암 발생 증가 뿐만 아니라 주사 부위 육종이 보고되었음. 동물 실험 결과, 특정 PAH가 조혈 및 면역 체계에도 영향을 미칠 수 있음이 발견됨 (ATSDR)
  - 종양 위치: **폐**, 위장, 호흡기
  - 종양 종류: **후두, 인두, 기도, 식도, 및 전위 내 편평상피 종양** (Thyssen et al., 1981).
    출처: https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/chemicalLanding.cfm?substance_nmbr=136

# 배출가스 질량 감소는 발암 위험성 감소

- 대기모델 (Atmospheric Model)을 활용하여 배출가스 질량 감소를 농도 감소로 전환

- 호흡 단위 위해 요소 (Inhalation Unit Risk Factors) 적용: 과도한 생애 발암 위험은 1 microgram/m3 농도의 물질에 지속적으로 노출된 결과로 측정됨

| Pollutant | IUR Factor (risk per ug/m$^3$) | Relative Potency |
|---|---|---|
| **Acetaldehyde** | $2.7 \times 10^{-6}$ | 0.002 |
| **Benzene** | $2.9 \times 10^{-5}$ | 0.026 |
| **Benzo[a]pyrene** | $1.1 \times 10^{-3}$ | 1.00 |
| **1,3-Butadiene** | $1.7 \times 10^{-4}$ | 0.155 |
| **Formaldehyde** | $6.0 \times 10^{-6}$ | 0.005 |

출처: California Environmental Protection Agency

THE UNIVERSITY OF ILLINOIS AT CHICAGO

# MTBE 대비 건강에 미치는 영향

| MTBE 대비 오염물질 별 암 발생 사례 증감 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Acetaldehyde | Benzene | Benzo[a]pyrene | 1,3-Butadiene | Formaldehyde | 총 |
| 2.8 | -33.9 | -14.5 | -45.8 | -2.1 | -93.5 |

| MTBE 대비 수명손실 가능년수 (YLL, Years of Life Lost) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Acetaldehyde | Benzene | Benzo[a]pyrene | 1,3-Butadiene | Formaldehyde | 총 |
| 41 | -488 | -230 | -779 | -31 | -1,487 |

| 치료 비용 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Acetaldehyde | Benzene | Benzo[a]pyrene | 1,3-Butadiene | Formaldehyde | 총 |
| $195,156 | -$2,375,488 | -$1,012,519 | -$3,202,677 | -$150,282 | -$6,545,810 |

생존 년수의 가치 = 생존 또는 수명 손실 년수 x 개인 생존/수명 손실 년수의 가치

생존 년수의 가치:
1,487 x 연간 $150,000 = $223,000,000

THE UNIVERSITY OF ILLINOIS AT CHICAGO

# UIC/미국곡물협회 5대 도시 연구

# GHG 모델링

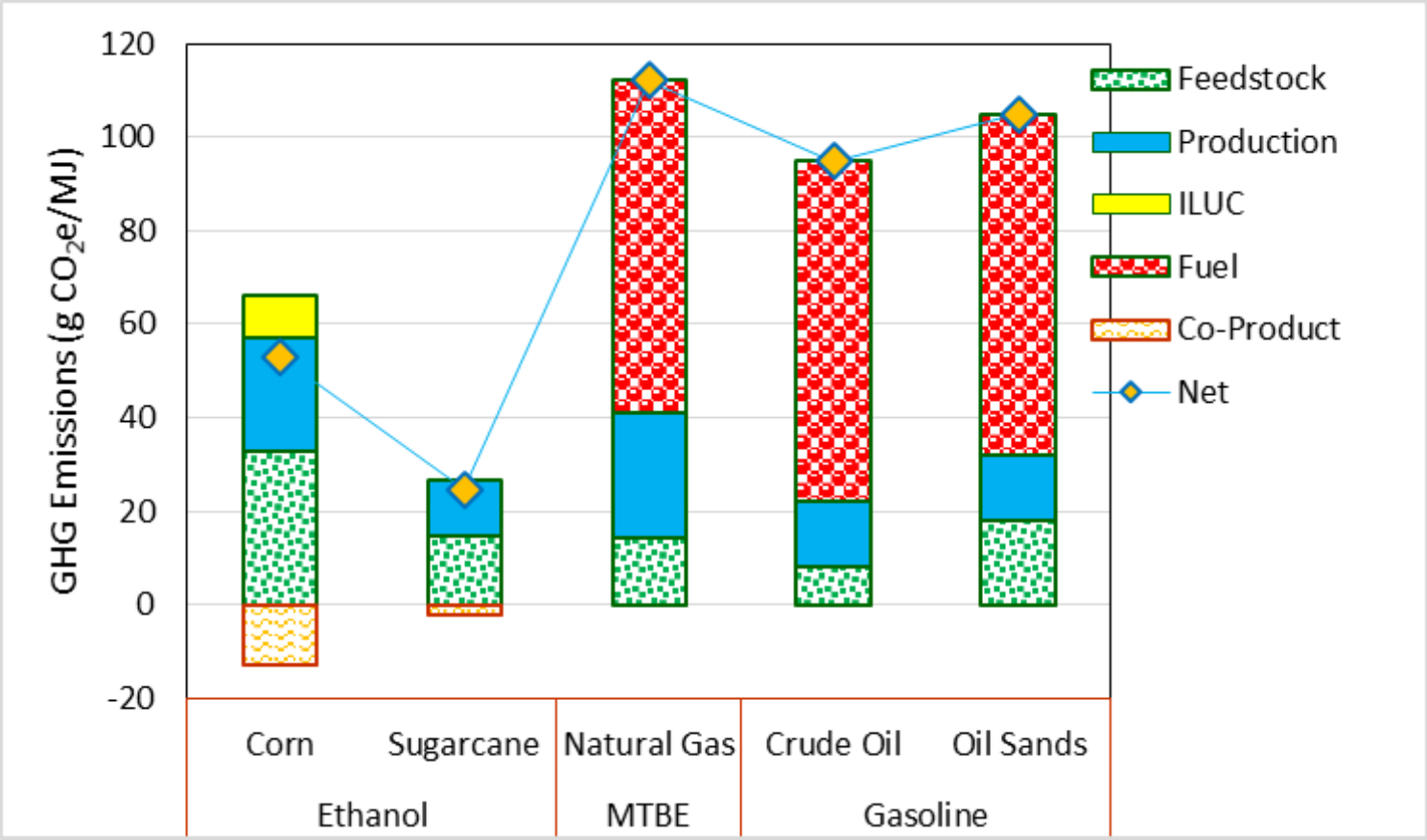
THE UNIVERSITY OF ILLINOIS AT CHICAGO

# GHG 모델 활용

- UIC ibeam 모델은 생산 단계에서부터 최종 소비단계까지 전 주기에 걸쳐 옥수수 에탄올에 대한 에너지 투입 및 배출 가스를 보여줌. 옥수수에서 나오는 탄소는 생물기원 탄소중립(biogenic carbon neutral)으로 처리되며, ANL의 GREET 모델과 Biograce 모델의 접근방식을 취함.
  - **Argonne National Laboratory(ANL)이 개발한 GREET Model은** 미국내 전 주기 배출가스 분석에 적합한 기준이며, 옥수수 에탄올 생산에 관한 최신 정보를 포함하고 있음. GREET 모델의 캘리포니아 버전은 저탄소 연료 기준 책정에 활용되고 있으며, 이전 버전은 미국 EPA에 의해 재생연료기준 모델링에 활용되었음.
  - **Biograce 모델**은 재생에너지지침(RED)하의 유럽 연료 발전방향을 평가 하는 유럽식 전 주기 배출가스 모델임.

# 순 에탄올 vs. 순 MTBE의 GHG 배출량 비교

- 옥수수 에탄올 자체에 의한 GHG 배출은 MTBE 대비 대략 절반 수준



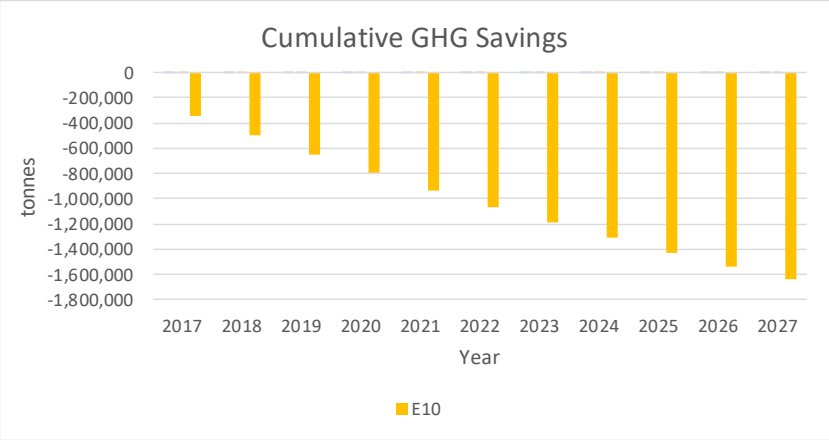
# MTBE 10 대비 E10의 GHG 저감 효과 (GHG savings)

**iBEAM Output**

| GHG | Seoul E10 | Model GREET Allocation |
|---|---|---|

gCO2/MJ

| Current Gasoline Blend | Ethanol | % change (Ethanol to Gasoline) | E10 | % change (E10 to Gasoline Blend) |
|---|---|---|---|---|
| 96.43 | 48.10 | -50.1% | 92.08 | -4.5% |




| Year | GHG (M tonnes) Gasoline Blend | GHG (M tonnes) E10 | GHG Savings (tonnes) E10 | GHG Savings Cumulative (t) E10 |
|---|---|---|---|---|
| 2016 | 3.8 | 3.6 | -172,563 | |
| 2017 | 3.7 | 3.5 | -165,909 | -338,471 |
| 2018 | 3.5 | 3.4 | -159,122 | -497,594 |
| 2019 | 3.4 | 3.2 | -152,262 | -649,856 |
| 2020 | 3.2 | 3.1 | -145,340 | -795,195 |
| 2021 | 3.1 | 2.9 | -138,654 | -933,849 |
| 2022 | 2.9 | 2.8 | -132,223 | -1,066,072 |
| 2023 | 2.8 | 2.7 | -126,062 | -1,192,134 |
| 2024 | 2.7 | 2.5 | -120,150 | -1,312,284 |
| 2025 | 2.5 | 2.4 | -114,469 | -1,426,753 |
| 2026 | 2.4 | 2.3 | -109,029 | -1,535,782 |
| 2027 | 2.3 | 2.2 | -103,814 | -1,639,596 |
| Total: Savings | 36 | 35 | -1,639,596 | -1,639,596 |

# 일본의 GHG 모델링

- 에탄올 직배합 대신 함산소화합물(oxygenate)로 ETBE 사용
- 과거에는 ETBE 제조에 사탕수수 에탄올만 사용되었음
- 옥수수 에탄올의 효율성에 대한 신규 데이터로 일본 과학자들은 완전히 독자적으로 미국산 옥수수 에탄올의 GHG 저감 효과를 분석함
- 결과: 원료(feedstock)로서 미국산 옥수수 에탄올의 수입 허용
  - 일본, ETBE 생산에 사용되는 전체 에탄올 원료(feedstock) 중 미국산 에탄올 비중을 44% 까지 허용 (이는 총 에탄올 수요량인 217백만 갤런 중 96백만 갤런에 해당)
  - EU가 승인한 ISCC PLUS 인증제도 활용으로 지속가능성 평가

THE UNIVERSITY OF ILLINOIS AT CHICAGO

# 요약 정리

- 한국의 경우, 옥수수 에탄올을 휘발류에 혼합하면
  - 전 주기에 걸쳐 온실가스 배출을 감소시킴
    - 한국의 경우, 온실가스 배출강도가 높은 MTBE가 에탄올에 의해 대체되고 있기 때문에 온실가스 저감 효과가 높아짐
    - 보존 관리 등 **농업의 지속적 발전**과 **바이오 정제기술 (biorefining)의 진보로** 가솔린 대비 옥수수 에탄올의 온실가스 배출은 지속적으로 감축
  - 휘발성 유기화합물질 (VOCs), 미세먼지, 일산화탄소 및 대기유해물질 (weighted air toxins) 등 **자동차의 주요 오염물질 배출을 감소시킴**
  - 암 발생 건수 및 치료비용 감소시킴
  - **지금의 기존 차량 (vehicle fleet)에 대해 즉시** 자동차 배출가스 및 GHG 배출을 저감시킴. 전기자동차로 배출가스 저감을 실현하기 위해서는 기존 차량들을 전기차로 교체해야 때문에 오랜 시간이 소요.
- 바이오에탄올 원료 생산의 **지속가능성은** 입증 가능함

# 부록

1) E10 자동차 배출가스 연구에 관한 문헌 인용
2) 연구에서 적용한 배출 계수 가정 및 연료/차량 추정치
3) ISCC의 지속가능성 인증

THE UNIVERSITY OF ILLINOIS AT CHICAGO

# E10 자동차 배출가스에 관한 문헌

## 참고문헌


Bielaczyc P, Woodburn J, Klimkiewicz D, Pajdowski P, Szczotka A. 2013. An examination of the effect of ethanol-gasoline blends' physicochemical properties on emissions from a light-duty spark ignition engine. *Fuel Process Technology*; 107:50–63

Canakci M, Ozsezen AN, Alptekin E, Eyidogan M. 2013. Impact of alcohol–gasoline fuel blends on the exhaust emission of an SI engine. *Renewable Energy* 52:111–7.

Czerwinski, J., Comte, P., Stepien, Z., Oleksiak, S., 2016. Effects of ethanol blend fuels E10 and E85 on the non-Legislated emissions of a flex fuel passenger car. SAE Int.

Graham LA, Belisle SL, Baas CL. 2008. Emissions from light duty gasoline vehicles operating on low blend ethanol gasoline and E85. *Atmospheric Environment* 42:4498–516

Hilton, B. and Duddy, B. "The effect of E20 ethanol fuel on vehicle emissions," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, vol. 223, no. 12, pp. 1577-1586, 1 December 2009.

Jin, D., Choi, K., Myung, C.L., Lim, Y., Lee, Y., Park, S., 2017. The impact of various ethanol-gasoline blends on particulates and unregulated gaseous emissions characteristics from a spark ignition direct injection (SIDI) passenger vehicle. *Fuel*. http:// dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2017.08.063.

Karavalakis, G., Durbin, T. D., Shrivastava, M. and Z. Zheng. 2012. "Impacts of ethanol fuel level on emissions of regulated and unregulated pollutants from a fleet of gasoline light-duty vehicles," *Fuel*, vol. 93, pp. 549-558.

Knapp KT, Stump FD, Tejada SB. 1998. The effect of ethanol fuel on the emissions of vehicles over a wide range of temperatures. *Journal of Air Waste Management Association* 48(7):646–53.

Martini, G., Astorga, C., Adam, T., Farfaletti, A., Manfredi, U., Montero, L., Krasenbrink, A., Larsen, B. and De Santi, G. Effect of Fuel Ethanol Content on Exhaust Emissions of a Flexible Fuel Vehicle, JRC Report 2009, available online: http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/111111111/8423/1/eur%20report%20flexi%20fuel_24011%20en%202009.pdf [Accessed 25 Mar. 2018].

Muñoz, M., Heeb, N.V., Haag, R., Honegger, P., Zeyer, K., Mohn, J., Comte, P. and Czerwinski, J., 2016. Bioethanol blending reduces nanoparticle, PAH, and alkyl- and nitro-PAH emissions and the genotoxic potential of exhaust from a gasoline direct injection flex-fuel vehicle. Environmental science & technology, 50(21), pp.11853-11861.

THE UNIVERSITY OF ILLINOIS AT CHICAGO

# E10 자동차 배출가스에 관한 문헌


NREL. Knoll, K., West, B., Clark, W., Graves, R., Orban, J., Przesmitzki, S. and Theiss, T., 2009. Effects of intermediate ethanol blends on legacy vehicles and small non-road engines, report 1-Updated (No. ORNL/TM-2008-117; NREL/TP-540-43543). National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).

O. R. N. Laboratory, "Summary of High-Octane, Mid-Level Ethanol Blends Study," http://info.ornl.gov/sites/publications/files/pub61169.pdf, ORNL/TM-2016/42.

Ozsezen AN, Canakci M. 2011. Performance and combustion characteristics of alcohol–gasoline blends at wide-open throttle. *Energy* 36(5):2447–52.

SAE. 1992. R. Stein, J. Anderson and T. Wallington, "An Overview of the Effects of Ethanol-Gasoline Blends on SI Engine Performance, Fuel Efficiency, and Emissions," SAE International Journal of Engines, vol. 6, no. 1, pp. 470-487.

Schifter, I., Díaz, L., Rodríguez, R. and Salazar, L. 2010. Assessment of Mexico's program to use ethanol as transportation fuel: impact of 6% ethanol-blended fuel on emissions of light-duty gasoline vehicles. *Environmental Monitoring and Assessment*. Doi 10.1007/s10661-010-1391-x

Storey, J. M., Barone, T., Norman, K., and Lewis, S. 2010. Ethanol Blend Effects on Direct Injection Spark-Ignition Gasoline Vehicle Particulate Matter Emissions. *SAE Technical Paper* No. 2010-01-2129. SAE, Warrendale, PA.

Suarez-Bertoa, R., A. A. Zardini, H. Keuken and C. Astorga. 2015. "Impact of ethanol containing gasoline blends on emissions from a flex-fuel vehicle tested over the Worldwide Harmonized Light duty Test Cycle (WLTC)," *Fuel*, vol. 143, pp. 173-182.

Truyen P., Tuyen P., Tuan P., Tuan, A. 2012. Influence of E10, E15 and E20 fuels on performance and emissions of in-use gasoline passenger cars. Available online: http://www.seed-net.org/wp-content/uploads/2015/12/INFLUENCE-OF-E10-E15-AND-E20-FUELS-ON-PERFORMANCE-AND-EMISSIONS-OF-IN-USE-GASOLINE-PASSENGER-CARS.pdf [Accessed 25 Mar. 2018].

Yao Y.C., Tsai J.H. and Chou H.H. 2011.Air pollutant emission abatement using application of various ethanol-gasoline blends in high-mileage vehicles. *Aerosol and Air Quality Research* 11(5):547–59.

Zhu, R., Hu, J., Bao, X., He, L., Lai, Y., Zu, L., Li, Y., Su, S., 2016. Investigation of tailpipe and evaporative emissions from China IV and Tier 2 passenger vehicles with different gasolines. *Transportation Research Part D*. http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2016.10.027, (in press).

THE UNIVERSITY OF ILLINOIS AT CHICAGO

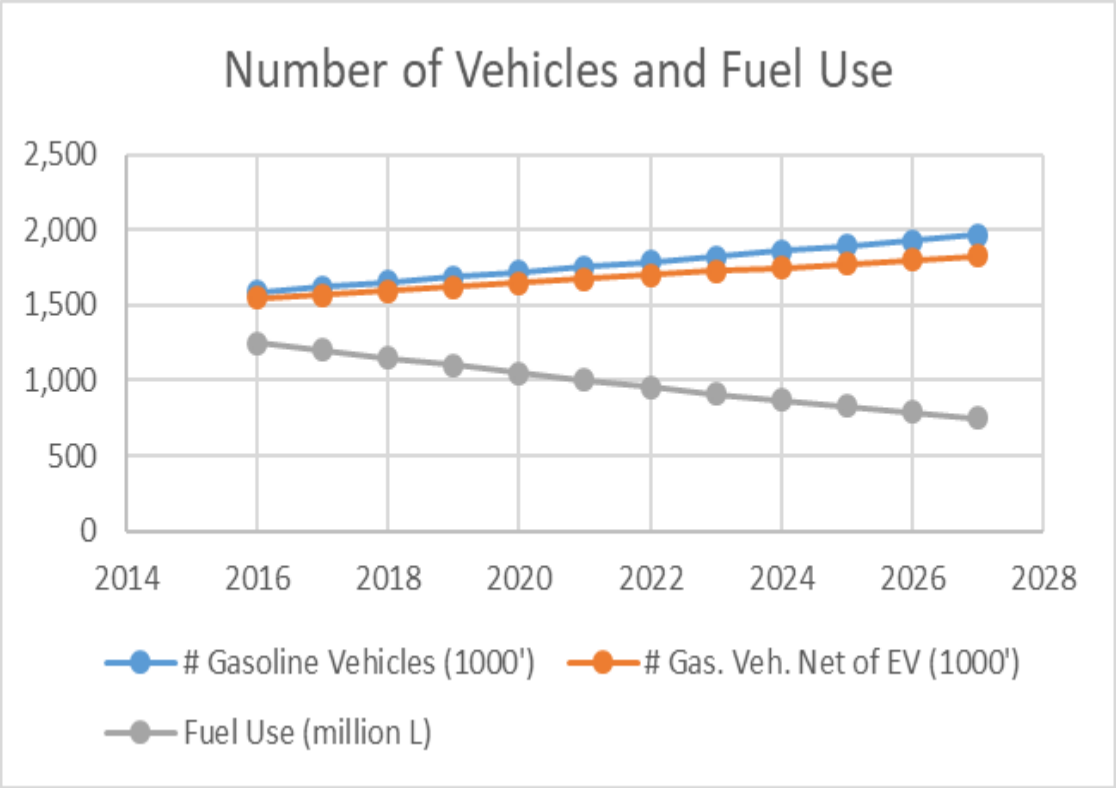
- 서울: 연구기간 중 적용된 자동차 배출물질 배출계수 가정

| | Seoul | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Exhaust Emission Factors (g/km) | | | | |
| Year | CO | THC | NOx | PM | HC Evap |
| 1996 | 2.11 | 0.4 | 0.25 | 0.001563 | 2.00 |
| 1997 | 2.11 | 0.4 | 0.25 | 0.001563 | 2.00 |
| 1998 | 2.11 | 0.4 | 0.25 | 0.001563 | 2.00 |
| 1999 | 2.11 | 0.32 | 0.25 | 0.001563 | 2.00 |
| 2000 | 2.11 | 0.32 | 0.25 | 0.001563 | 2.00 |
| 2001 | 2.11 | 0.32 | 0.25 | 0.001563 | 2.00 |
| 2002 | 2.11 | 0.16 | 0.25 | 0.001563 | 2.00 |
| 2003 | 2.11 | 0.16 | 0.25 | 0.001563 | 2.00 |
| 2004 | 2.11 | 0.16 | 0.25 | 0.001563 | 2.00 |
| 2005 | 2.11 | 0.16 | 0.25 | 0.001563 | 2.00 |
| 2006 | 2.11 | 0.16 | 0.25 | 0.001563 | 2.00 |
| 2007 | 2.11 | 0.16 | 0.25 | 0.001563 | 2.00 |
| 2008 | 2.11 | 0.16 | 0.25 | 0.001563 | 2.00 |
| 2009 | 2.11 | 0.047 | 0.031 | 0.001563 | 2.00 |
| 2010 | 2.11 | 0.047 | 0.031 | 0.001563 | 2.00 |
| 2011 | 2.11 | 0.047 | 0.031 | 0.001563 | 2.00 |
| 2012 | 2.11 | 0.047 | 0.031 | 0.001563 | 2.00 |
| 2013 | 1 | 0.047 | 0.031 | 0.001563 | 1.20 |
| 2014 | 1 | 0.047 | 0.031 | 0.001563 | 1.20 |
| 2015 | 1 | 0.047 | 0.031 | 0.001563 | 1.20 |
| 2016 | 1 | 0.047 | 0.02 | 0.001563 | 1.20 |
| 2017 | 1 | 0.047 | 0.02 | 0.00125 | 1.20 |
| 2018 | 1 | 0.027 | 0.02 | 0.00125 | 0.95 |
| 2019 | 1 | 0.027 | 0.02 | 0.00125 | 0.95 |
| 2020 | 1 | 0.027 | 0.02 | 0.00125 | 0.47 |
| 2021 | 1 | 0.025 | 0.01 | 0.000938 | 0.47 |
| 2022 | 1 | 0.01 | 0.01 | 0.000938 | 0.35 |
| 2023 | 1 | 0.01 | 0.01 | 0.000938 | 0.35 |
| 2024 | 1 | 0.01 | 0.01 | 0.000938 | 0.35 |
| 2025 | 1 | 0.01 | 0.01 | 0.000938 | 0.35 |
| 2026 | 1 | 0.01 | 0.01 | 0.000938 | 0.35 |
| 2027 | 1 | 0.01 | 0.01 | 0.000938 | 0.35 |

THE UNIVERSITY OF ILLINOIS AT CHICAGO

서울:
가솔린 차량 대수,
연료 사용량,
연비(FE), 자동차
운행 거리(VTD)
추정치

| Year | # Gasoline Vehicles (1000') | # Gas. Veh. Net of EV (1000') | Fuel Use (million L) | FE (L/100 km) | VDT (million km/year) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2016 | 1,590 | 1,546 | 1,248 | 7.82 | 15,967 |
| 2017 | 1,622 | 1,572 | 1,200 | 7.66 | 15,664 |
| 2018 | 1,655 | 1,597 | 1,151 | 7.49 | 15,367 |
| 2019 | 1,689 | 1,623 | 1,102 | 7.31 | 15,076 |
| 2020 | 1,722 | 1,648 | 1,051 | 7.11 | 14,790 |
| 2021 | 1,756 | 1,674 | 1,003 | 6.91 | 14,509 |
| 2022 | 1,791 | 1,700 | 957 | 6.72 | 14,233 |
| 2023 | 1,826 | 1,726 | 912 | 6.53 | 13,962 |
| 2024 | 1,861 | 1,752 | 869 | 6.35 | 13,696 |
| 2025 | 1,896 | 1,778 | 828 | 6.16 | 13,435 |
| 2026 | 1,931 | 1,803 | 789 | 5.99 | 13,178 |
| 2027 | 1,967 | 1,829 | 751 | 5.81 | 12,927 |



# 일본의 ISCC의 접근방식

Dr Norbert Schmitz, Managing Director, ISCC System GmbH

7th ISCC Regional Stakeholder Committee North America, Las Vegas, 27 November 2018

ISCC
International Sustainability & Carbon Certification

# 일본의 2018-2022년 바이오 연료 관련 정책방향 (I)

- 일본 정부는 바이오 연료의 **지속가능성 요건 준수 확인을** 위해 ISCC PLUS 제도를 승인함
- 일본 통상산업성 (METI)은 2018년에서 2022년까지의 **바이오 연료에 관한 새로운 정책방향을 제시하기 위한 취지로** ISCC PLUS 제도 승인을 공표함
- 본 정책 방향의 가장 중요한 변화 요인은:
  - 에탄올의 온실가스 배출 저감 목표를 50%에서 55%로 상향 조정
  - **미국산 옥수수 기반의 에탄올** 일본 수입 허가 (이전에는 브라질산 사탕수수 기반의 ETBE 와 에탄올만 수입 허가됨)
  - 일본의 전반적인 **연료조달 비용 인하** 및 **에너지 안보 강화가** 목표

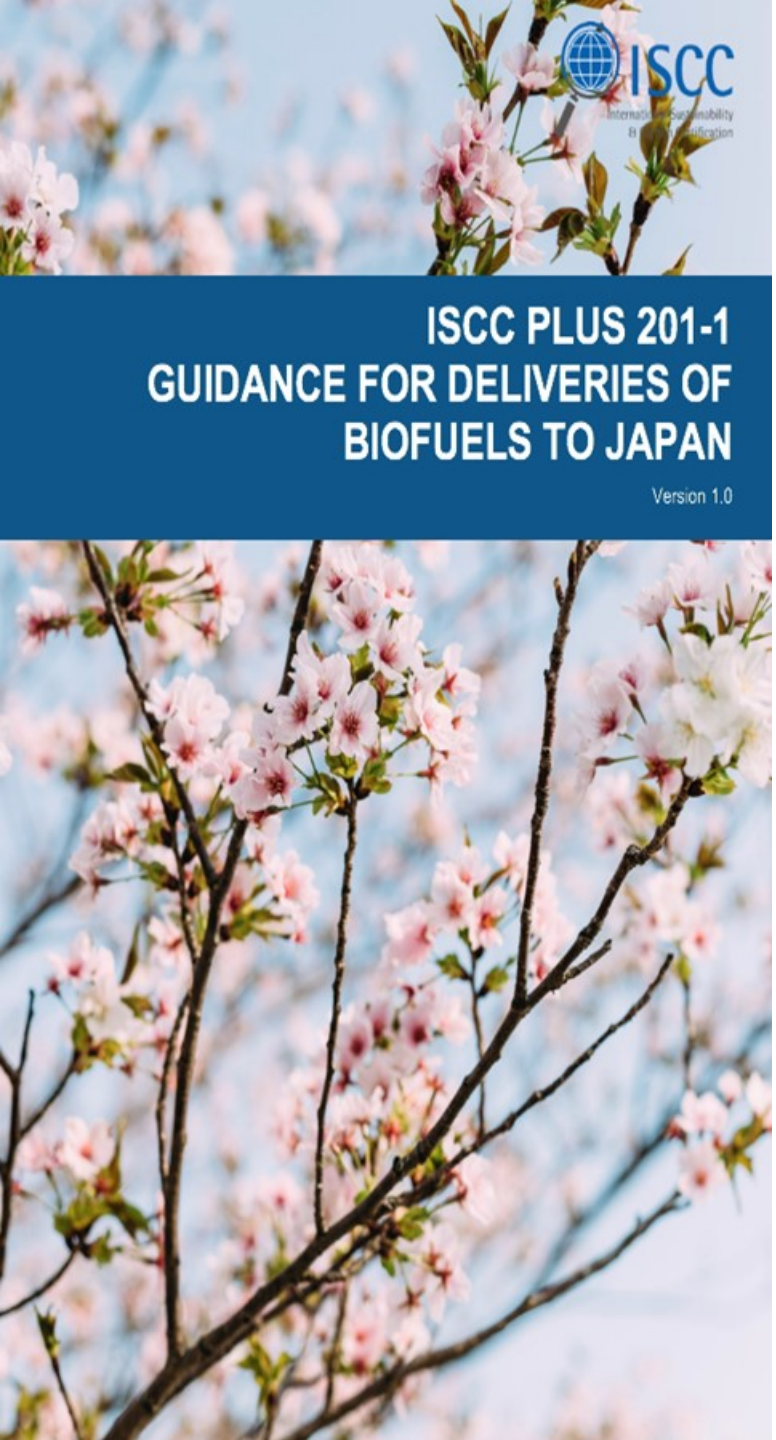
© ISCC System GmbH: For personal use only. Reproduction and distribution is prohibited.

# 일본向 에탄올 공급에 관한 구체적 규정 제시 – 지속가능성 준수 요건

## 지속가능성 기준

- 토지 용도 변화 제외
- 공급사슬에 걸쳐 물질수지(mass balance)방식과 추적 가능성(traceability) 원칙 적용
  - 준수여부 확인을 위해 ISCC와 같은 인증 제도 적용 가능
- 식량 경쟁 및 생물 다양성에 미치는 효과
  - 준수여부 확인을 위해, 인증 외 계약상의 합의 등 다른 방식도 적용 가능

© ISCC System GmbH: For personal use only. Reproduction and distribution is prohibited.



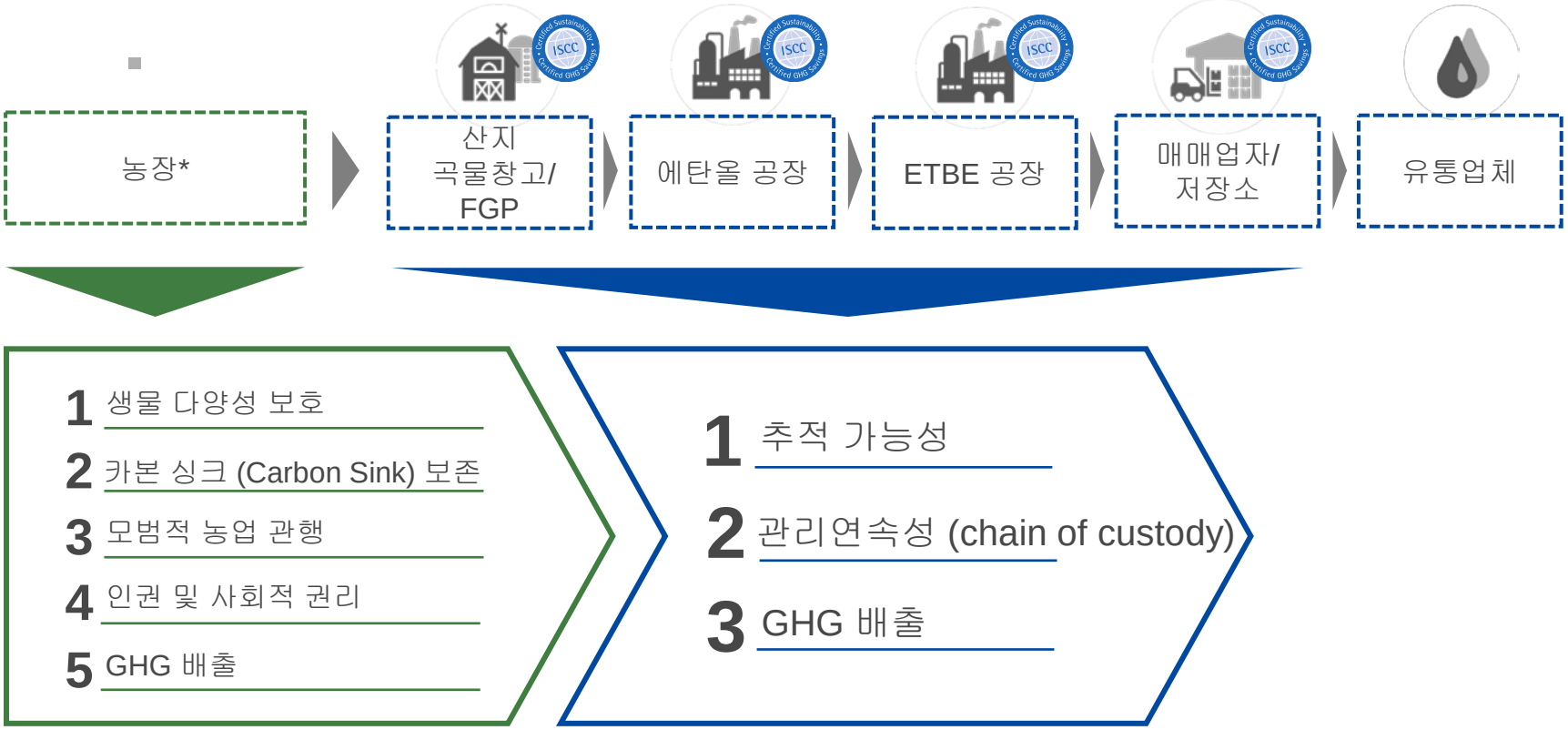

# 일본에 대한 ISCC의 접근방식

- ISCC는 일본향 바이오 연료 공급에 관한 지침 문서 제작
- 지침 문서의 핵심 요소는:
  - ISCC PLUS 제도 하에서 공급사슬 전체에 대한 인증
  - 일본 정부가 제시한 GHG 기본(default)값 적용
  - 지속가능성 선언 (sustainability declarations) 관련 구체적 조항

- **ISCC EU 인증 운영자들에게 주어지는 옵션**:
  - ISCC EU 인증을 받은 공급사슬 운영자의 경우 추가적으로 ISCC PLUS 인증 취득이 용이함
  - 인증기관은 각각의 해당 범위(respective scopes)에 대하여 기존의 ISCC EU 감사 문서를 토대로 ISCC PLUS 인증서 발급이 가능

© ISCC System GmbH: For personal use only. Reproduction and distribution is prohibited.

# ISCC PLUS 제도하에서 공급사슬 전체에 대한 인증 요구
## 예시: 옥수수 에탄올 공급사슬 – LUC (토지용도변경) 요인 제외




* 산지 엘리베이터 인증 하에 적용됨

© ISCC System GmbH: For personal use only. Reproduction and distribution is prohibited.

# 미국 ISCC 인증 현황: 에탄올 공장에 대해 76개의 ISCC 인증서가 발급됨

Selection

Green Plains PARTNERS LP

ARKA

Cargill

MARQUIS ENERGY

Big River Resources

Illinois Corn Processing

cie

Plymouth Energy LLC

LITTLE SIOUX CORN PROCESSORS

LDC. Louis Dreyfus Company

Siouxland Energy Cooperative

Absolute Energy, L.L.C. Creating fuel for our future.

POET HUMAN + NATURE

QUAD COUNTY CORN PROCESSORS

PLATINUM ethanol

GLACIAL LAKES CORN PROCESSORS "Let's Add Value!"

Conestoga energy partners, LLC

Granite Falls Energy, LLC

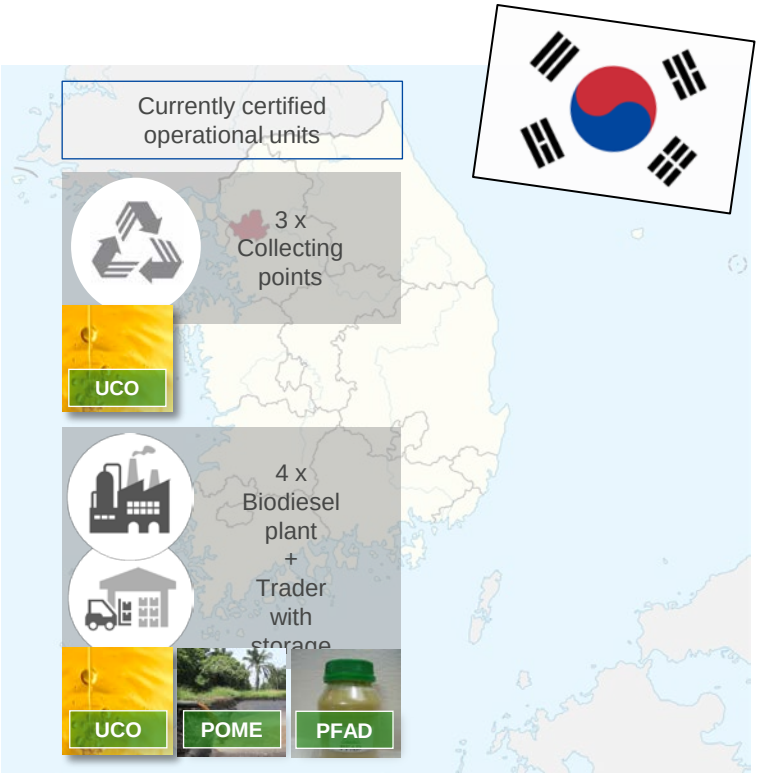
Patriot Renewable Fuels, LLC



© ISCC System GmbH: For personal use only. Reproduction and distribution is prohibited.

# ISCC 인증은 아시아에서 널리 활용하고 있으며, 한국에서는 2011년부터 도입

- **유럽위원회의 승인을 받은 2011년도부터 이미 한국에서는 첫 인증서들이 발급됨**
- 그 이래로 총 65개의 인증서가 한국에서 발급되었으며, 현재 7개의 인증서가 여전히 유효함
- 한국에서 사용된 주 원료는 **폐식용유 (UCO)** 임
- 아시아 내 모든 인증의 약 50% 는 폐기물 및 잔재물 관련임
- **총 3,900 여 개의 인증서가 아시아에서 발급되었으며, 이중 730여 개의 인증서가 여전히 유효함**
- **전세계적으로 총 2만여 개의 인증서**가 발급되었으며, 이중 **3,450여 개의 인증서가 여전히** 유효함




© ISCC System GmbH: For personal use only. Reproduction and distribution is prohibited.