

Electricity Generation Using Biomass by Dedicated & Co-firing System in Korea

2013. 11. 13.

Yongseung Yun, Ph.D.
Director, Institute for Advanced Engineering
President, Korea Association of Waste-to-Energy Technology

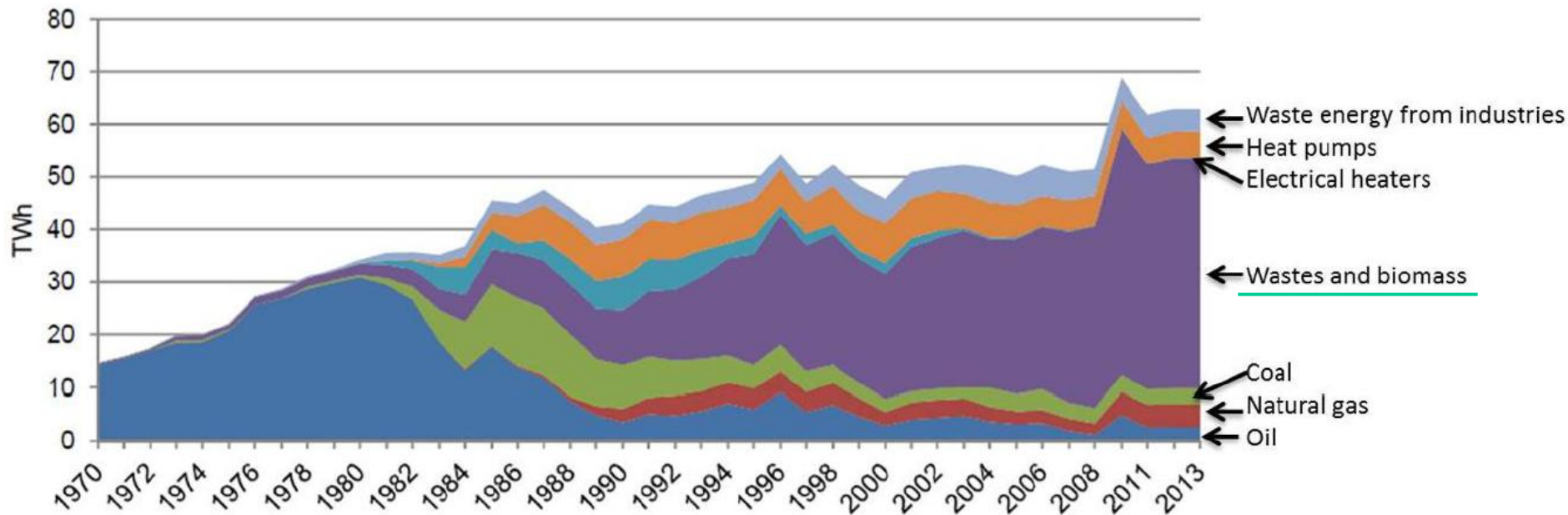
ysyun@iae.re.kr

<http://pec.iae.re.kr>

Contents

- 1) Future Trend in Biomass Co-generation**
- 2) Status in New & Renewable Energy in Korea (FIT, RPS)**
- 3) Biomass Fuels, Supply & Demand**
- 4) Biomass Utilization Methods**
- 5) Dedicated / Co-firing Biomass Electricity Generation**
- 6) Key Technical Points & Issues**

Example of Future Trend in Biomass Co-generation – Sweden case –



- ◆ EU is leading in biomass utilization to replace fossil fuels through incentives.
- ◆ Every country should make best use of domestic energy sources, especially for wastes & biomass.

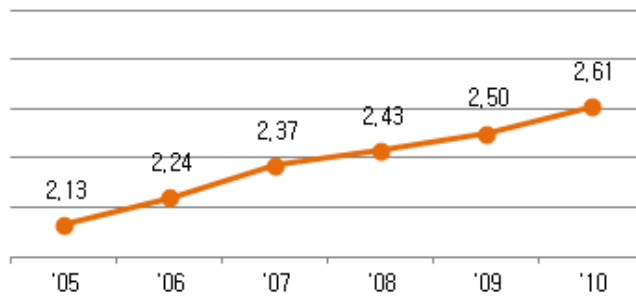
Supply Status in New & Renewable Energy in Korea

2030년까지 신·재생에너지를 전체 1차에너지 공급의 11%로 확대

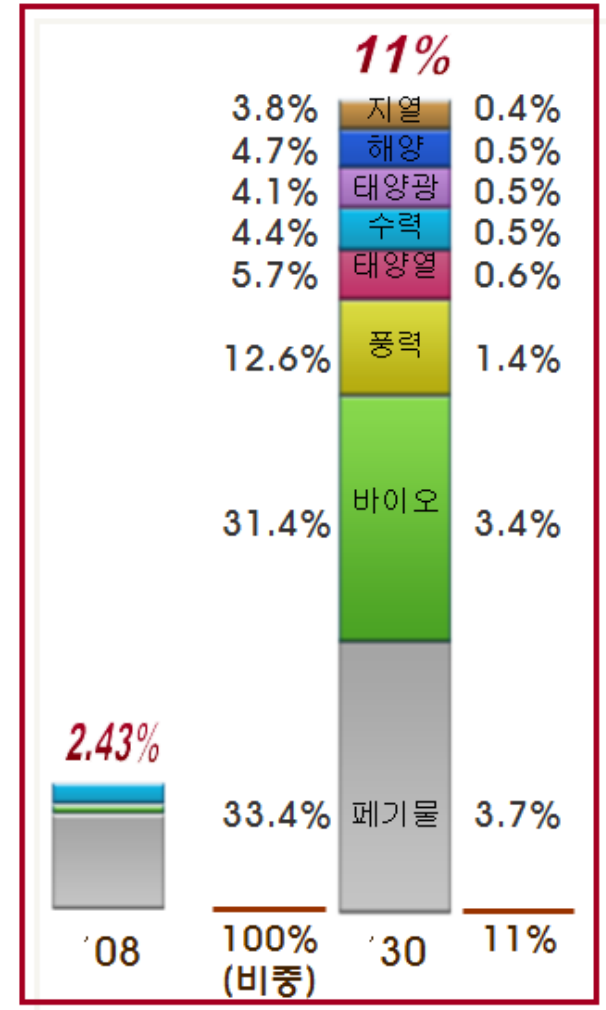
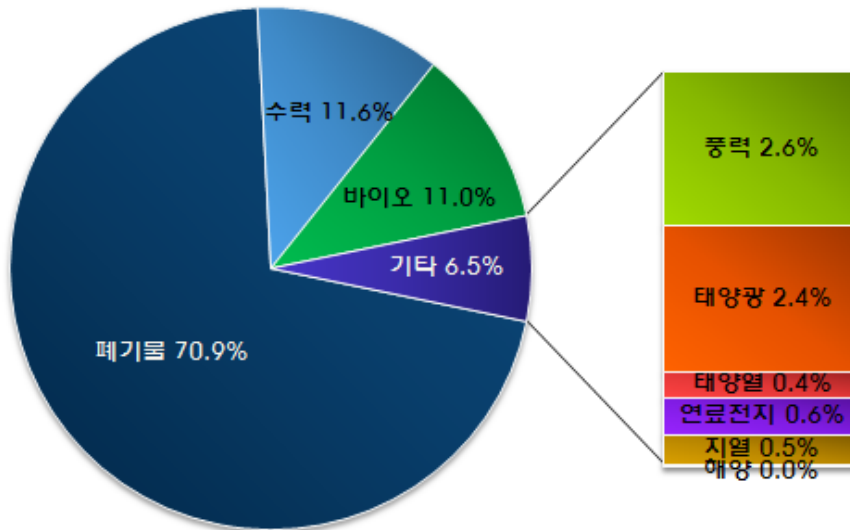
2010년 신·재생에너지 공급비중 2.61%

Postponed
to 2035

* 신·재생에너지 연평균증가율 7.0%('05~'10)



신·재생에너지 원별 공급비중('10)



FIT Incentives for New & Renewable Energy in Korea

- 총발전용량 1,040MW, 총발전량 11,214GWh, 총 지원금액 1조 2874억원
- 바이오 및 폐기물 비율 : 총발전용량 대비 8.2%, 총발전량 대비 23.7%, 총지원금액 대비 1.3%

(2012. 6월말 누적실적 기준)

구분	수력	풍력	태양광	연료전지	매립지 가스	바이오 가스	바이오 매스	폐기물	합계
발전용량 (kW)	87,396	320,205	496,624	50,500	74,868	2,711	5,500	2,247	1,040,096
발전소수 (개)	63	15	1,991	20	14	3	1	1	2,108
발전량 (MWh)	2,155,243 (19.2%)	3,501,169 (31.2%)	2,203,174 (19.6%)	697,435 (6.2%)	2,563,715 (22.9%)	35,008 (0.3%)	46,016 (0.4%)	12,278 (0.1%)	11,214,056 (100%)
차액원금 (백만원)	27,532 (2.1%)	26,152 (2.0%)	1,117,518 (86.8%)	99,239 (7.7%)	16,377 (1.3%)	343 (0.0%)	218 (0.0%)	61 (0.0%)	1,287,439 (100%)

FIT Incentives Record for Biomass/Wastes Energy in Korea

Category	Source	Plant Name	Capacity (kW)	Location	Incentive start year	Base Price (SMP+a)	Incentive Period
Bio-energy	Biogas	부산바이오가스	2,116	부산 강서	2007	SMP+10	15 year
	Biogas	대평 바이오가스 발전소	54	전남 순천	2008	SMP+15	15 year
	Biogas	창녕 바이오가스 발전소	541	경남 창녕	2008	SMP+10	15 year
	Biomass	이건산업열병합발전소	5500	인천 남구	2009	SMP+5	15 year
	LFG	부산LFG	6,000	부산 강서	2001	SMP+10	15 year
	LFG	포항LFG	2,000	경북 포항	2002	SMP+10	15 year
	LFG	군산LFG	1,000	전북 군산	2002	SMP+10	15 year
	LFG	제주LFG	2,000	제주 제주	2003	SMP+10	15 year
	LFG	대전LFG	3,460	대전 유성	2003	SMP+10	15 year
	LFG	광주LFG	3,158	광주 북구	2003	SMP+10	15 year
	LFG	청주LFG	1,000	충북 청원	2004	SMP+10	15 year
	LFG	여수LFG	925	전남 여수	2005	SMP+10	15 year
	LFG	순천LFG	1,850	전남 순천	2005	SMP+10	15 year
	LFG	에코LFG	50,000	인천 서구	2007	SMP+5	15 year
	LFG	목포LFG 발전소	1,065	전남 목포	2009	SMP+10	15 year
	LFG	마산LFG발전소	900	경남 마산	2010	SMP+10	15 year
	LFG	광주양과LFG 발전소	1,060	광주 남구	2010	SMP+10	15 year
	LFG	구미LFG발전소	450	경북 구미	2010	SMP+10	15 year
Wastes	Wastes	진주산업(주) 스팀발전소	2247	충북 청원	2009	SMP+5	15 year

◆ FIT(Feed-in Tariff) → RPS(Renewable Portfolio Standard) system from 2012.

Effect of RPS Obligation to Biomass Power Generation

- ❑ **Electricity generation capacity jumps till '22 → Gradual increase in RPS obligation amount.**

- RPS supply obligation amount increases about 15 times for the next 10 years.

Item / Year	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22
Base Electricity Amount (GWh)	54,336	58,209	53,303	53,410	52,942	58,728	70,382	72,706	74,651	72,783	72,783
RPS Supply Obligation (%)	1.4	1.96	3	3.9	4.7	6.6	8.2	9.6	11.3	13.4	15.3
Obligation Amount(GWh)	760	1,140	1,599	2,083	2,488	3,876	5,771	6,980	8,435	9,753	11,135

- ❑ **Various risk in company to comply RPS obligation**

- Penalty when not-fulfilling the RPS obligation and REC(Renewable Energy Certificate) purchasing
- Limited space, fund, NIMBY, permits for installation
- Difficulty in securing stable biomass fuel supply (Cost, Quantity, Supply period)
- Securing economical margin (Plant capacity, Construction cost, Operating cost)

- ❑ **Every power generation companies prefer biomass co-firing which is an accomplishable method in a short time.**

- Wood pellet, Wood chip, Organic solid fuel, RDF, Process waste gas, Bio-coal, etc.

RPS Certificates Issued to Bio- and Wastes Energy Plants

Source	Details	Plant Name	Location	Capacity (kW)	Weight Factor	Company
Bio-energy	Woody Biomass Dedicated Combustion	대구우드칩 신재생에너지시설	대구 달서	3,000	1.5	한국지역난방공사
Bio-energy	Organic Wastes	태안발전본부 제3호기	충남 태안	500,000	1.0	한국서부발전(주)
Bio-energy	Organic Wastes	태안발전본부 제4호기	충남 태안	500,000	1.0	한국서부발전(주)
Bio-energy	Biogas	수도권매립지 바이오가스 발전소	인천 서구	1,200	1.0	(주)지엔씨에너지
Bio-energy	Woody Biomass Co-firing	동해화력발전처 1호기	강원 동해	208,000	1.0	한국동서발전(주)
Bio-energy	Woody Biomass Co-firing	동해화력발전처 2호기	강원 동해	208,000	1.0	한국동서발전(주)
Wastes	Incineration	강남 소각증기활용 열병합 발전시설	서울 강남	13,300	0.5	한국지역난방공사
Wastes	Incineration	(주)상공에너지	전북 익산	9,800	0.5	(주)상공에너지

Biomass Fuels for Electricity Generation

□ Woody Biomass

- Wood pellet
- Wood chip
- PKS (Palm Kernel Shell)
- Bio-coal
- Partial Carbonized Pellet



(Bituminous coal)



(Wood Pellet)



(PKS)

□ Non-Wood Biomass

- Organic Solid Fuel (Dried Wastewater Sludge)
- RDF (Refuse Derived Fuel from Combustible MSW)

Typical Analysis Data of Biomass Feed & Coal Used in Korea

구 분	단위	석문 Biomass		동해 30MW Biomass		Corn Stalk Pellet		Bituminous Coal	
		Design	Range	Design	Range	Design	Range	Design	Range
총 수 분 (소비식)	wt %	17.07	Max.25	16.29	Max.24.8	1.9	Max.10	16.47	Max.20
원소분석 (건식)									
탄소(Carbon)	wt %	39.84	-	39.81	-			70.32	-
수소(Hydrogen)	wt %	5.54	-	5.51	-	5.2		4.85	-
산소(Oxygen)	wt %	39.96	-	39.32	-			14.22	-
질소(Nitrogen)	wt %	2.09	Max.3.0	2.06	Max.3.0	0.82		1.11	Max.1.82
황 (Sulfur)	wt %	0.60	Max.1.2	0.77	Max.1.2	0.17		0.48	-
염소(Chloride)	wt %	0.11	Max.0.5	0.09	Max.0.3	0.19		0.03	Max.0.05
회분(Ash)	kcal/kg	11.86	Max.15	12.44	-	9.9		9.02	-
고위발열량 (소비식)	kcal/kg	3,402	-	4,285	-	4,430	Min.4,100	5,626	Min.5,250
저위발열량 (소비식)	kcal/kg	3,000	-	3,952	Min.2,400	4,140	Min.3,900	5,265	Min.4,890
회(Ash) 분석									
SiO ₂	wt %	47.40	-	47.40	-	43.92		70.32	-
Na ₂ O	wt %	4.25	Max.5.0	4.25	Max.5.0	3.31		4.85	-
K ₂ O	wt %	2.91	Max.6.0	2.91	Max.6.0	12.14			-
크기 (길이)	mm	100	Max.120	80	Max.100	26	Max.32		

Biomass Fuel Characteristics

□ Woody Biomass (Wood Pellet, PKS)

- 유연탄에 비해 발열량이 15% 이상 낮아 불리
- 휘발분 함량이 높고 취급시 분진이 발생하므로 화재, 폭발에 유의
- 회분, 유황분 함량이 낮아 환경적으로 유리
- 분쇄성이 유연탄과 상이하여 별도 미분장치 필요(미분탄 보일러 경우)

Item	Bituminous Coal (저열량탄)	Wood Pellet (Sample)	PKS (Sample)
발열량(kcal/kg)	Min. 4,600	Min. 4,040	4,000~4,400
총 수분(%)	Max. 28	Max. 10	5~18
고정탄소(wt.%)	Max. 60	14~20	17~22
휘발분(wt.%)	Min. 20	77~83	62~76
회분(wt.%)	Max. 20	Max. 3	2.8~3.4
유황분(wt.%)	Max. 1.0	Max. 0.05	0.01~0.04
염소(wt.%)	-	Max. 0.05	0.01~0.05
벌크밀도(kg/m ³)	700~900	600~750	690
회용점(°C)	Min. 1,150	Min. 1,200	820~1,150
분쇄성지수(HGI)	Min. 40	31~35	15~18

Biomass Fuel Characteristics

□ Organic Solid Fuel (유기성 고형연료)

- 발열량이 유연탄에 비해 35% 정도 낮고 회분 함량이 높아 불리
- 휘발분 함량이 높고 취급시 분진이 많이 발생하므로 화재, 폭발에 유의
- 발열량, 입도 등 연료품질의 변동이 심해 운영에 유의
- 분쇄성이 유연탄에 비해 좋지 않아 분쇄 소비동력 증가(미분탄 보일러 경우)

Item	Bituminous Coal (저열량탄)	Organic Solid Fuel (Sample)
발열량(kcal/kg)	Min. 4,600	Min. 3,000
총 수분(%)	Max. 28	Max. 10
고정탄소(wt.%)	Max. 60	10~15
휘발분(wt.%)	Min. 20	50~60
회분(wt.%)	Max. 20	Max. 35
유황분(wt.%)	Max. 1.0	Max. 2.0
연료입도(mm)	-	Max. 40
분쇄성지수(HGI)	Min. 40	31~35

Status of Supply & Demand

□ Woody Biomass (목질계 바이오매스)

○ Domestic Demand

- '12년에 47만톤 소비(주로 민간발전사)
- '17년까지 국내 소비량은 300만톤/년 까지 증가할 것으로 추정
- 수요처 : 서부발전을 비롯한 5개 발전회사, 민간발전사

○ Domestic Supply

- '12년에 17만톤 생산, 국내 수요 부족분은 해외 수입에 의존
- 향후 국내 수요가 증가하면 해외 수입량도 급증할 것으로 예상

□ Non-Wood Biomass (비목질계 바이오매스 (유기성 고형연료))

○ Domestic Supply/Demand

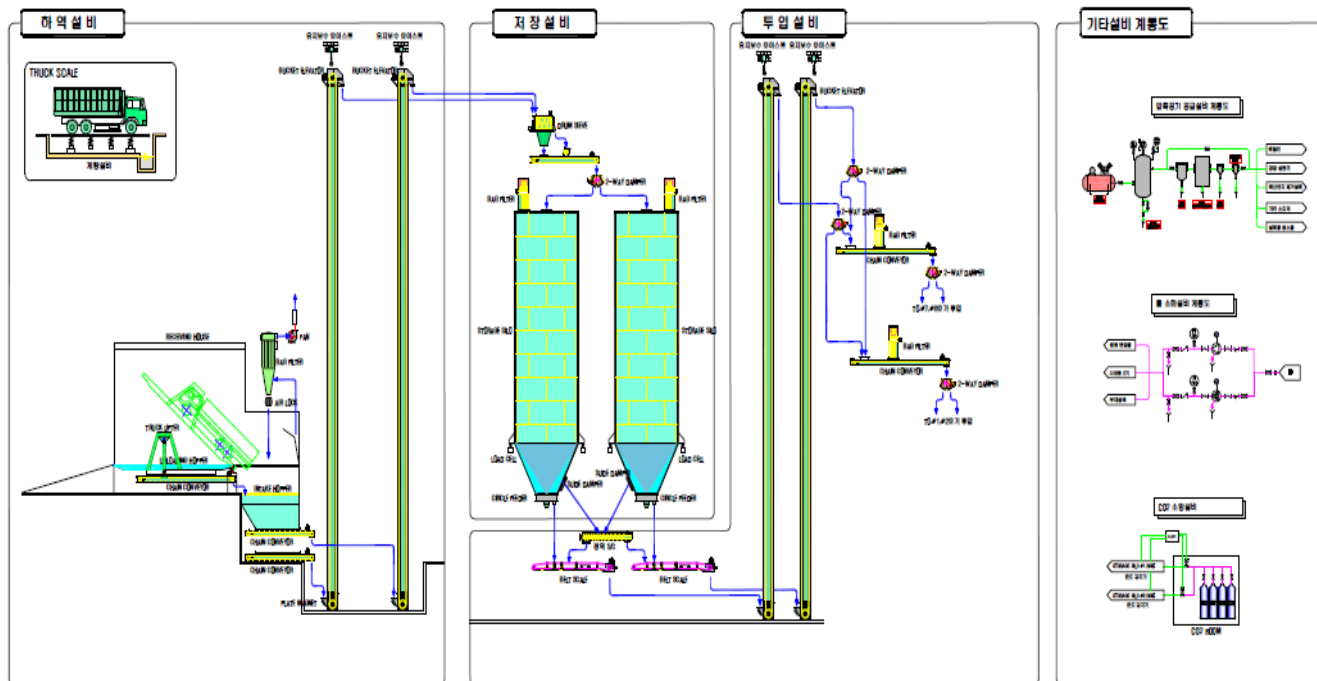
- 전국 지방자치단체에서 발생하는 하수슬러지를 건조하여 연료화
- 공급처 : 수도권 매립지, 서울, 수원, 서산, 대전, 부산, 대구, 광주, 충남, 경남 등
- 소비처 : 서부발전, 남동발전, 중부발전, 동서발전
- 구매가격 : 평균 23,000원/톤 ← 하수슬러지 실제 건조/제조 비용: 15만원 이상
(목질계에 비해 가격 경쟁력 우수, 연료품질과 공급지 여건에 따라 차이)

Biomass Utilization Methods – Co-firing

□ Wood Pellet Co-firing in Coal Combustion Boiler (석탄보일러 우드펠릿 혼소)

○ 기존 미분기 이용 혼합분쇄방식

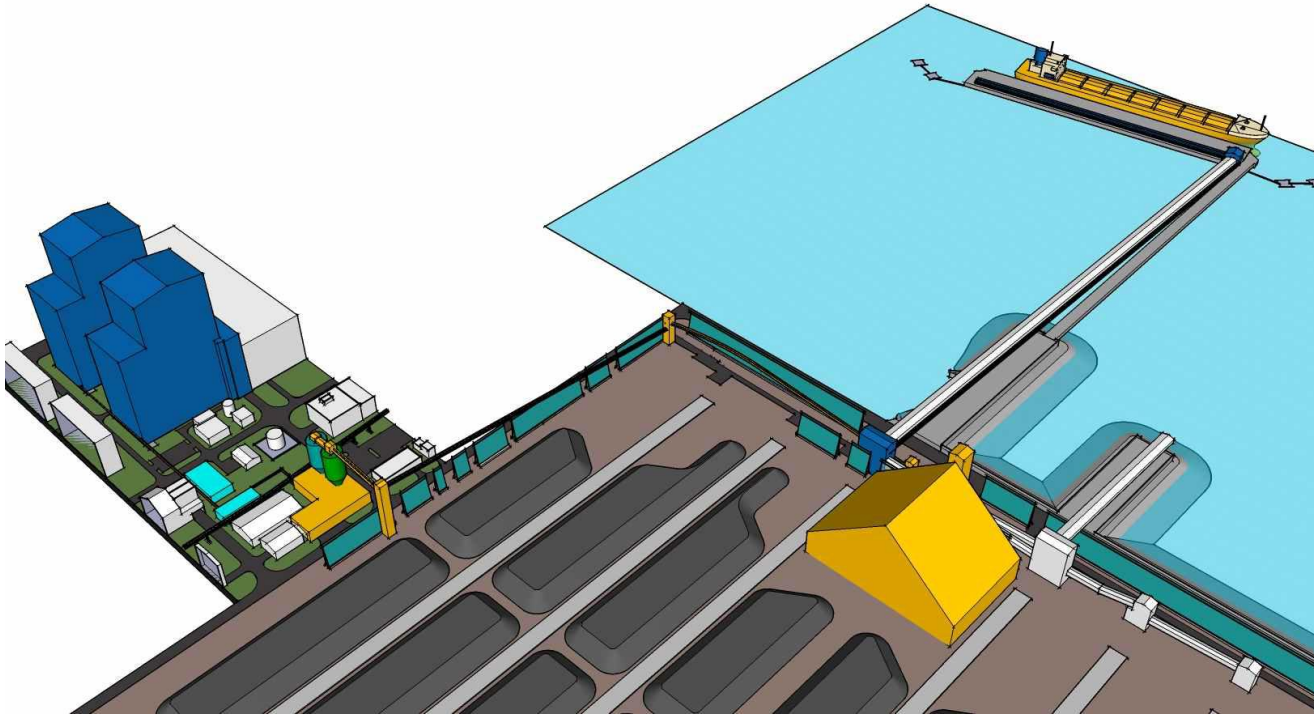
- 석탄공급 중인 컨베이어에 우드펠릿 연속 살포하여 기존 미분기, 버너를 거쳐 혼소
- 우드펠릿 혼소율 **3% 이내로 제한**
- 설비투자비는 비교적 적지만 혼소율 증가에 제약
- (서부발전 경우) 대상사업소 : 태안#1,2,7,8, 예상소비량 : 21만톤/년



Biomass Utilization Methods – Co-firing

○ 신설 전용 미분기 이용 개별분쇄방식

- 별도 바이오매스 전용설비를 통해 저장, 이송 및 분쇄한 후 보일러 내부에서 혼소
- 표준 500 MW 석탄발전소 경우, 우드펠릿 혼소율 20% 이상 가능
- 대규모 설비투자 필요 (하역, 저장, 이송, 분쇄설비 신설)

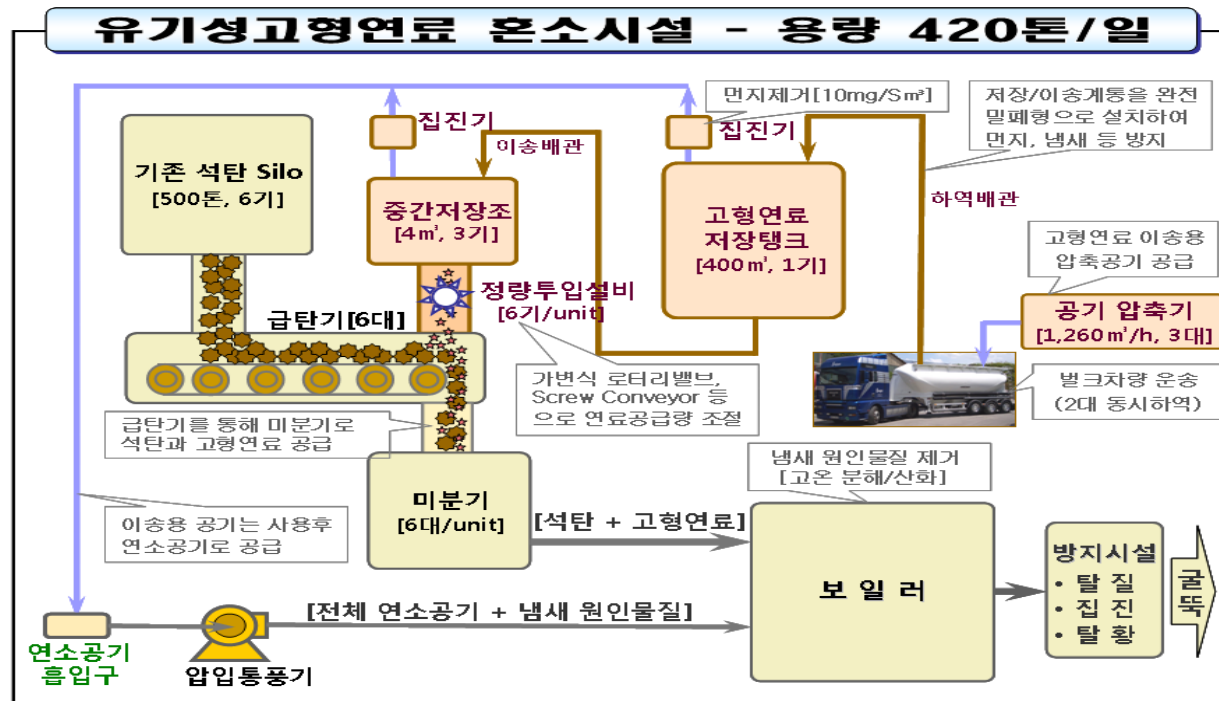


Biomass Utilization Methods – Co-firing

□ 석탄보일러 유기성 고행연료 혼소

○ 기존 미분기 이용 혼합분쇄방식

- 석탄공급 중인 미분기에 유기성 고행연료 연속 살포하여 분쇄 후 버너를 거쳐 혼소
- 유기성 고행연료 **혼소율은 5% 이내로 제한**
- 설비투자비는 비교적 적게 소요되지만 혼소율 증가에 제약
- (서부발전 경우) 대상사업소 : 태안#3,4 예상소비량 : 10만톤/년



Donghae Woody Biomass 30 MW-class Dedicated Power Plant



Biomass Utilization Methods—Dedicated—firing

□ 동해 목질계 바이오매스 30 MW급 발전소

○ 사업개요 : 국내 최대 목질계 바이오매스 발전소

○ 설비용량 : 30 MW × 1기

○ 공사기간 : 2011. 12 ~ 2013. 7 (착공~준공, 20개월)

○ 공사비 : 1,415억원

○ 설비형식

- 보일러 113.4 t/h, **96 kg/cm², 510°C** (CFBC, BHI(범우중공업)/오스트리아 Andritz사)
- 터빈 31.6 MW (Single Flow, 체코 Siemens사 SST-400)
- 환경설비 노내탈황, SNCR, Dry Reactor, Bag Filter, 활성탄 주입설비 등

○ 사용연료 : 목질계 Bio-SRF (임지잔재물, WCF 등)

○ 연료사용량 : 약 182,000톤/년 (3,000 kcal/kg, LHV)

○ 사업위치 : 동해시 북평산단 동해화력발전소내

○ 특이사항 : 정부 플랜트 산업융합기술 엔지니어링 핵심기술개발 15대 전략과제 병행추진

* 동서발전 핵심설계 자체수행 (Kepco E&C 기술지원용역, 31% 설계지원)

- WCF : Wood Chip Fuel

Cogeneration Example Using Biomass in Korea

☐ 석문 집단에너지 사업 38.9 MW급(Bio-SRF) 발전설비

- 목적 : 석문 국가산업단지내 열 및 전력 공급
- 설비용량 : 전기공급(38.9MW) 및 열공급(최대 52.2Gcal/h)
- 공사기간 : 2014. 4 ~ 2015. 12 (착공 ~ 준공, 21개월)

- 설비형식
 - 보일러 150t/h, 96 kg/cm², 510°C (CFBC, 입찰중)
 - 터빈 41.1MW (Single Flow, 입찰중)
 - 환경설비 노내탈황, SNCR+SCR, Dry Reactor, Bag Filter, 활성탄 주입설비 등

- 사용연료: Bio-SRF (WCF, 임지잔재물, Torrefaction Corn Stalk Pellet 등)
- 연료사용량 : 약 289,000톤/년 (3,000 kcal/kg, LHV)
- 사업위치 : 당진시 석문면 국가산업단지내
- 특이사항 : (주)석문에너지(경동/동서/코오롱) 사업시행
- * 동서발전 사업주 기술지원용역(OE) 핵심설계(FEED) 단독수행

Co-firing Example Using Biomass in Korea

□ 동해화력 1,2호기(200 MW × 2기) 바이오매스 혼소설비

- 사업개요 : 국내 최초 대용량 CFBC 보일러에 바이오매스 혼소설비 구축
- 설비용량 : 20 MW급×2기 (호기당 43.2 Gcal/h, 혼소율 : 열량기준 10%)
- 공사기간 : 2013. 3 ~ 2013. 11 (착공 ~ 준공, 8개월)
- * 공사비 : 79억원 (설치조건부 계약자 : BDH社)

- 주요설비 : 바이오매스 Storage Silo 및 밀폐형 컨베이어(ABC) 1식
- 사용연료 : 목질계 바이오매스 (임지잔재물, 1등급 WCF 등)

- 연료사용량 : 약 238,000톤/년 (3,000 kcal/kg, LHV)
- 사업위치 : 동해시 북평산단 동해화력발전소
- 특이사항 : Direct Co-firing 혼소설비 엔지니어링 자체수행

- WCF : Wood Chip Fuel

Co-firing Example Using Biomass in Korea

□ 당진화력 1,2호기(500MW × 2기) 우드펠릿 혼소설비

- 목적 : 신재생에너지 확보 위한 표준석탄화력 발전소 우드펠릿 혼소 설비 구축
- 설비용량 : 열량기준 3% 혼소 (Max. 5%)
- 공사기간 : 2014. 1 ~ 2014. 6 (설치 ~ 준공, 6개월)
- 주요설비 : 바이오매스 Storage Silo 및 이송설비 1식
- 사용연료 : 수입 우드펠릿
- 연료사용량 : 약 140,000톤/년 (4,000 kcal/kg, LHV)
- 사업위치 : 동해시 당진화력발전소
- 특이사항 : Co-milling 혼소설비

Environmental Performance (Donghae Biomass 30 MW Plant)

항 목	배출 허용기준	설계기준	환경영향평가 협의기준	저감설비 계통구성	비 고 (운전치 '13.10.16)
NOx (ppm)	70	63	56	SNCR	35 ppm
SOx (ppm)	30	24	21	노내탈황+건식탈황	SOx : 1.5ppm HCl : 40ppm
먼지 (mg/Sm ³)	20	10	10	Bag Filter	6 mg/Sm ³
다이옥신	0.1	0.1	0.1	활성탄 주입설비	-

※ Bag Filter 설비가 미세먼지 제거 유리

※ 노내탈황은 90% 저감의 석회석 주입설비 설계적용

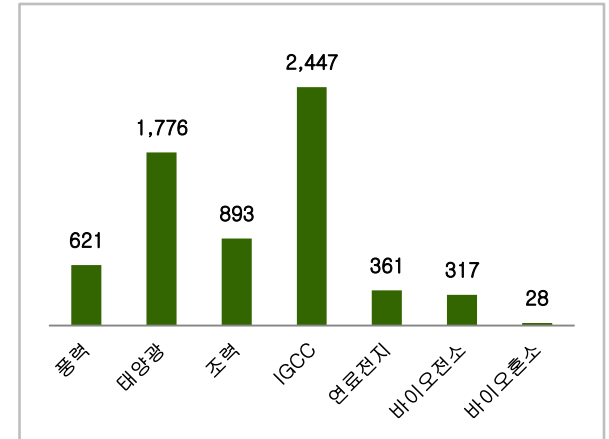
※ 수은 등 기타 Trace metal은 유동층 특성상 미세분진과 배출

Situation of Electricity Generation Using Biomass in Korea

※ 신재생에너지원별 발전원가(천원/MWh)

- 건설투자비, 이용률, 발전량, 공급량 등을 감안할 때 기존설비를 이용하는 바이오매스 혼소가 가장 저렴

구 분	풍 력	태양광	조력	IGCC	연료 전지	바이오매스	
						전소	혼소
발전원가	621	1,776	893	2,447	361	317	28



※ 기존설비 연료대체(석탄,중유→바이오연료)를 위한 전제조건

- 신재생에너지 인정 및 관련법규 개정
- 바이오연료를 장기간 저렴하고 안정적으로 구매 가능
- 기존설비의 출력 저하 없이 발전 가능(연료품질 균등, 일정수준 발열량)
- 바이오연료의 취급 용이(운송, 저장, 이송, 혼합, 연소)
- 연료대체로 인한 보일러 장애, 고장 및 환경성 저하 회피
- 기존설비의 이용률이 양호
- 설비개조 범위 및 투자비용 적정
- RPS 이행비용 보전

Key Policy/Technical Points for Electricity Generation Using Biomass

- ❑ RPS Category/Weighting factor
- ❑ RHO Policy for Heat
- ❑ Proper Generating Steam Temperature/Pressure
- ❑ Fouling, Reaction zone shift by Co-firing

RPS (Renewable Portfolio Standard): 신재생에너지 공급의무화제도
RHO (Renewable Heating Obligation): 신재생 열에너지공급 의무화제도

Definition of New & Renewable Energy in Korea

		Energy Source	IEA	EU	USA	JAPAN	CHINA	KOREA	AUSTRALIA	FRANCE	S. AFRICA	UK
Renewable Energy	Hydro	Large Hydro	○	×	○	×	○	○	○	○	○	○
		Small Hydro	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Pumped Storage Power Generation	×	×	×			×				
	Geothermal	Power Generation	○	○	○	×	○	○	○	○		
		Heat Pump	×	×	×	○						
	Solar Energy	Photovoltaic	○	○	○	◎	◎	◎	○	○	○	○
		Solar Heating	○	○	○	○	○	○		○		
		Solar Heat Electricity Generation	○	○	○		○	○	○		○	
		Passive Solar	×	○	×	○	○	×				
	Sea Power		○	○	○	×	○	○	○		○	○
	Wind Power		○	◎	○	○	◎	◎	○		○	○
	Biomass	Solid Biomass	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Biomass Gas	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Liquid Biomass	○	○	○		○	○		○		
		Black Liquor				○		×	○			
	Wastes	Renewable Municipal Wastes	○	○	○	○		○	○	○	○	○
Non-renewable Municipal Wastes		×	×	×	○		○				○	
Industrial Wastes		×	×		○		○				○	
Non-specific Combustible Renewables		×	×		○		○				○	
Waste Heat from Wastes		×	×		○		○				○	
Food Wastes					○		×	○				
Temperature Difference Energy		○	○	×	○			×				
New Energy	Fuel Cell							◎				
	Gasification/Liquefaction of Coal							○				
	Hydrogen				○			○				

RPS Weighting factor Status of Biomass Energy in Korea

Only applicable for electricity, not for steam.

Weighting Factor	Energy Source
0.25	IGCC, Process Waste Gas
0.5	Wastes Land Filled Gas
1.0	RDF dedicated electricity generation Wastes Gasification Electricity Generation Bio-energy Hydro Tidal (with Tide Embankment) Wind Power (Land-based)
1.5	Woody Biomass Dedicated Electricity Generation Wind Power (Sea-based, < 5 km from land)
2.0	Fuel Cell Wind Power (Sea-based, > 5 km from land) Tidal (w/o Tide Embankment)

RHO Draft Senario

적용 에너지원 : 태양열, 지열, 바이오매스, 연료전지, 폐기물 정도가 RHO제도에 적합

에너지원	열생산 여부	건물적용 가능성 (현재 기준)	기술수준 현황	환경성	해외 의무부과 사례	최종적합도
태양열	열/전력	높음	성숙/대량생산	적합	다수 적용	●
지열	열/전력	높음	성숙/대량생산	전기사용(히트펌프)	독일 적용 중	●
바이오매스	열/전력	고체(또는 기체) 가능	초기/생산확대	온실가스 감축효과	독일 적용 중	◐
연료전지	열/전력	높음	초기	LNG 사용(개질)	-	◐
폐기물	열/전력	낮음	초기	온실가스 감축효과	-	◐
석탄가스·액화	열/전력	낮음	R&D/실증	온실가스 감축효과	-	◑
해양에너지	열/전력	낮음	R&D	-	-	○
수소	열/전력	낮음	R&D	-	-	○
태양광	전력	-	-	-	-	○
풍력	전력	-	-	-	-	○
수력	전력	-	-	-	-	○

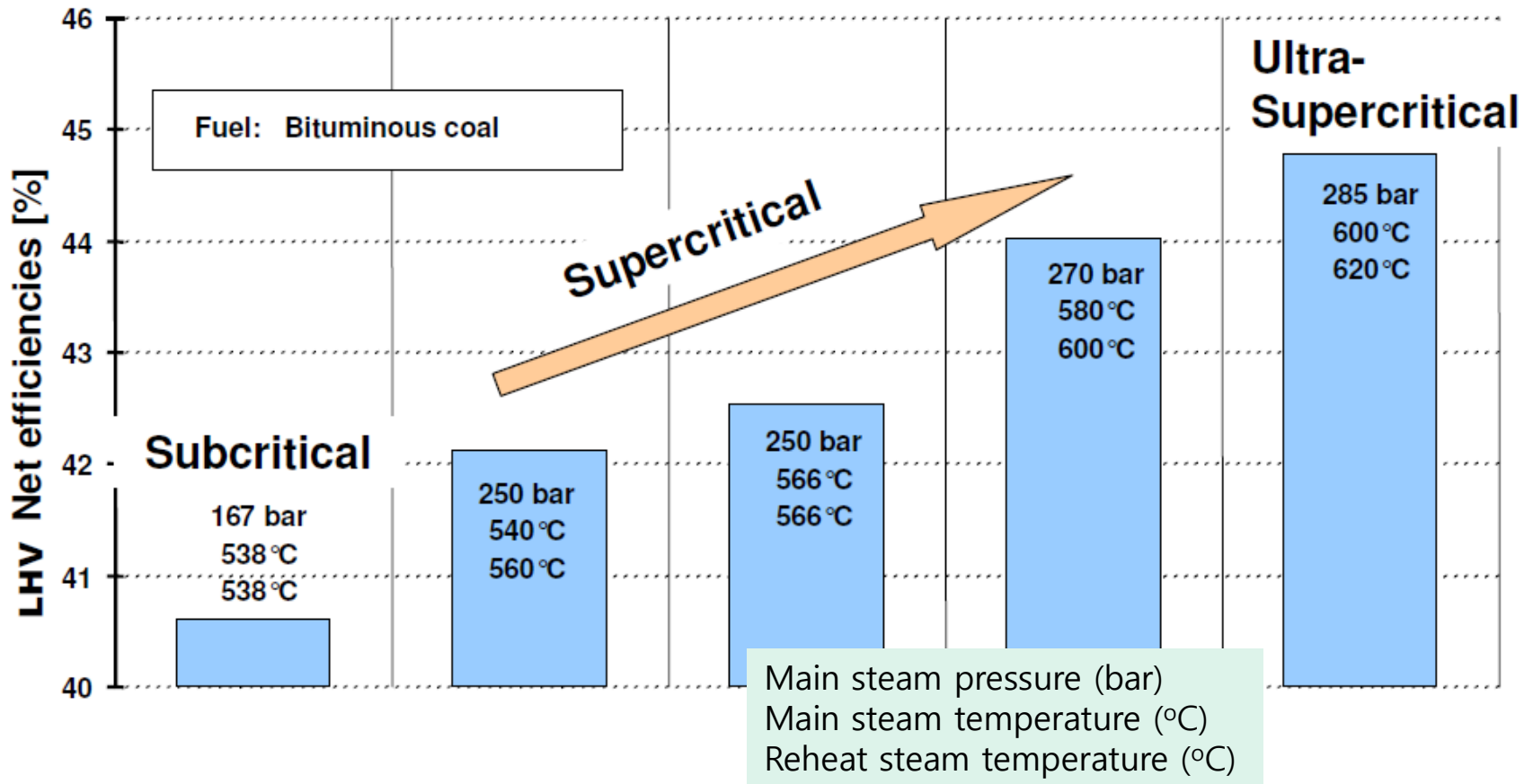


열에너지산정방안

- 예상 열 에너지사용량 : 건축연면적 × 단위 에너지사용량 × 용도별 보정계수 × 지역계수
- 신재생 열에너지 설비에 의한 생산량 : 원별 설치규모 × 단위 에너지 생산량 × 가중치

* 원별 성장잠재력, 균형성을 고려하여 가중치 설정 : 가중치 검토방안 연구 중 (13.6~14.5)

Coal Power Generation Case : Generating Steam Temperature/Pressure Trend



Future Technical Direction in Dedicated Biomass Electricity Generation

- ❑ Future technical direction for the production of high grade steam can be seen in the current trend of coal fired power plants.
- ❑ Currently best available technology in WTE (similar plant size with biomass) generates steam at 100 bar, 500°C, where overall efficiency can reach 30%.
- ❑ Coal industry has employed steam turbine systems of over 36% efficiency, with ultra supercritical technology, over 40%.
- ❑ Considering that the size of biomass power plants is much smaller than that of coal fired plants and a large capital cost would be involved, Biomass power plants of 100 bar, 500°C appear to be the best technical level that is practically attainable for the time being.
- ❑ In order to accelerate investment for the biomass power plants of high efficiency, reasonable pricing policy for the steam and the proper allotment for construction cost are most important factors that should be resolved.

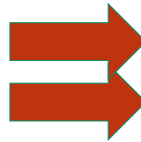
Technical Issues in Biomass Co-firing

Blending of Coal with Other Fuels



Proximate/Ultimate Analysis Data of Coal, Other Fuels

	US Illinois bit.* (daf)	US Wyoming subbit.* (daf)	US North Dakota lignite* (daf)	Natural gas¶ (ar, 96 vol% CH ₄)	Wood† (ar)	Straw† (db)	Olive waste‡ (ar)	RDF† (db)	TDF† (db)	Petroleum coke§ (db)
Proximate analysis, wt%										
Moisture (ar)	7.97	28.09	32.24	0	7.2	10.6	10	0.4	0.4	7.16
Ash	14.3	6.31	6.59	0	2.9	6.1	8.1	11.6	5.8	0.47
Volatile matter	36.9	32.2	30.5		<u>74.6</u>	<u>74.4</u>	<u>58.9</u>	48.9	68.5	13.97
Ultimate analysis, wt%										
Carbon	77.7	75.1	72.9	72.4	44.5	47.4	47.6	28.3	79.9	86.7
Hydrogen	5.0	5.35	4.83	24.1	5.7	4.5	6.1	4.2	7.5	4.1
Nitrogen	1.37	1.12	1.15	3.5	0.4	0.4-08	1.1	0.6	0.4	1.49
Sulphur	2.38	0.47	0.70	0	0.1	0.1	0.2	0.3	1.5	5.5
Chlorine	0.06	0.03	0.04		<u>0.54</u>	<u>0.4-0.7</u>	<u>0.2</u>		0.48	0.04
Oxygen	13.5	18.0	20.3	0	<u>39</u>	<u>40.4</u>	<u>29.6</u>	24.3	4.5	1.69
Higher heating value, MJ/kg										
	32.9	29.9	28.3	53.74	15.62	17.09	18	11.17	36.77	35.5
Higher heating value, MJ/kg ar										
	25.6	19.6	17.3							



Effects of Biomass Ash in Boiler

- Most biomass materials have relatively low ash contents (<5%), compared to most power station coals.
- The biomass ashes are very different chemically from coal ashes, i.e. they are not an alumino-silicate system, but a mixture of simple inorganic compounds, of Si, K, Ca, P and S.
- Three basic biomass ash types have been described:
 - High Si, high K, low Ca ashes, with low ash fusion temperatures, e.g. many agricultural residues,
 - Low Si, low K, high Ca ashes, with high fusion temperatures, including most wood materials, and
 - High Ca, high P ashes with low fusion temperatures such as most manures.
- There are concerns about increased rates of high temperature corrosion of boiler components, with high chlorine biomass materials.
- Biomass co-firing tends to increase the level of submicron aerosols and fume in the flue gases and may impact ESP collection efficiency.
- There may be utilisation/disposal issues with mixed coal/biomass ashes.

Problem Areas of Co-firing Coal/Other Fuels

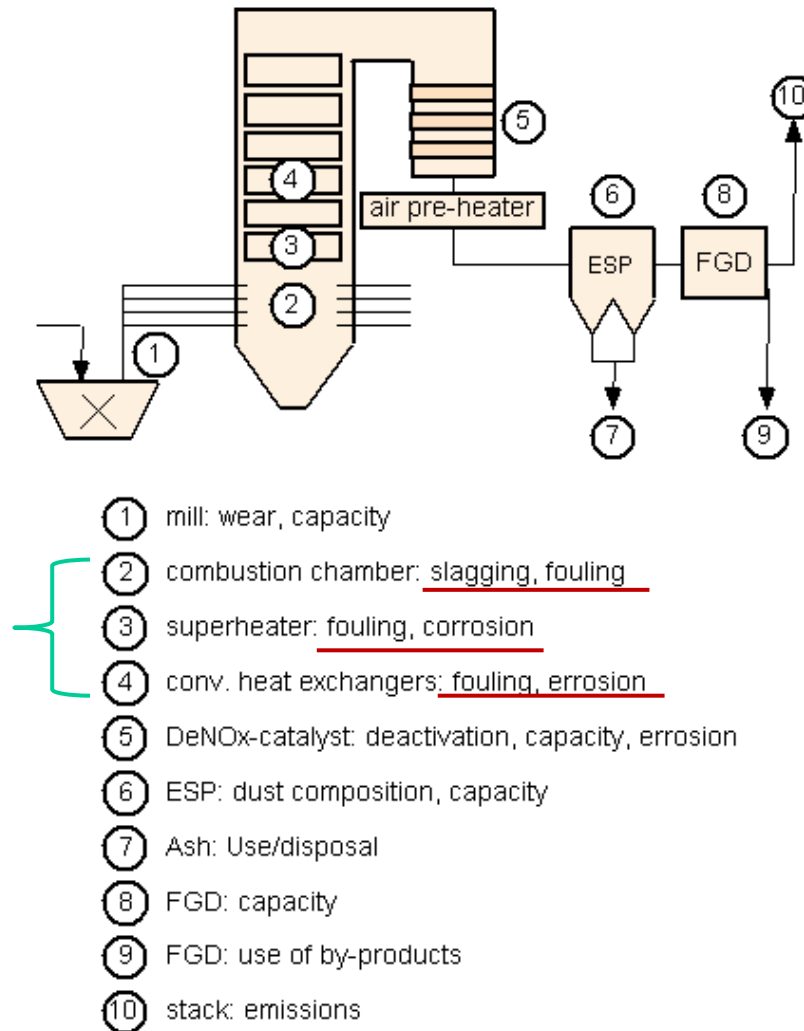


Figure 10 Areas of concern in cocombustion (Hein and Scheurer, 2000)

Co-firing of Coal / Straw

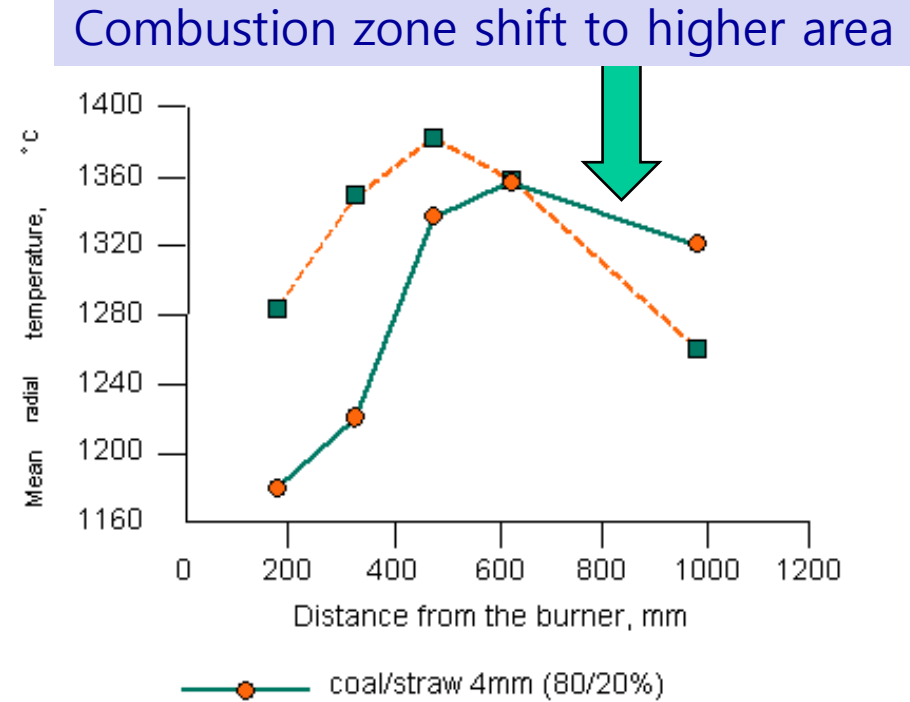
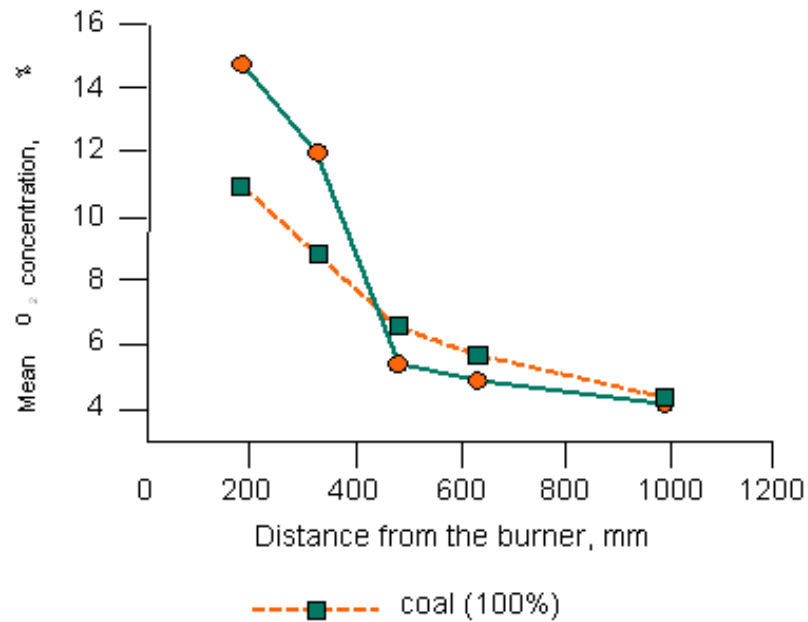
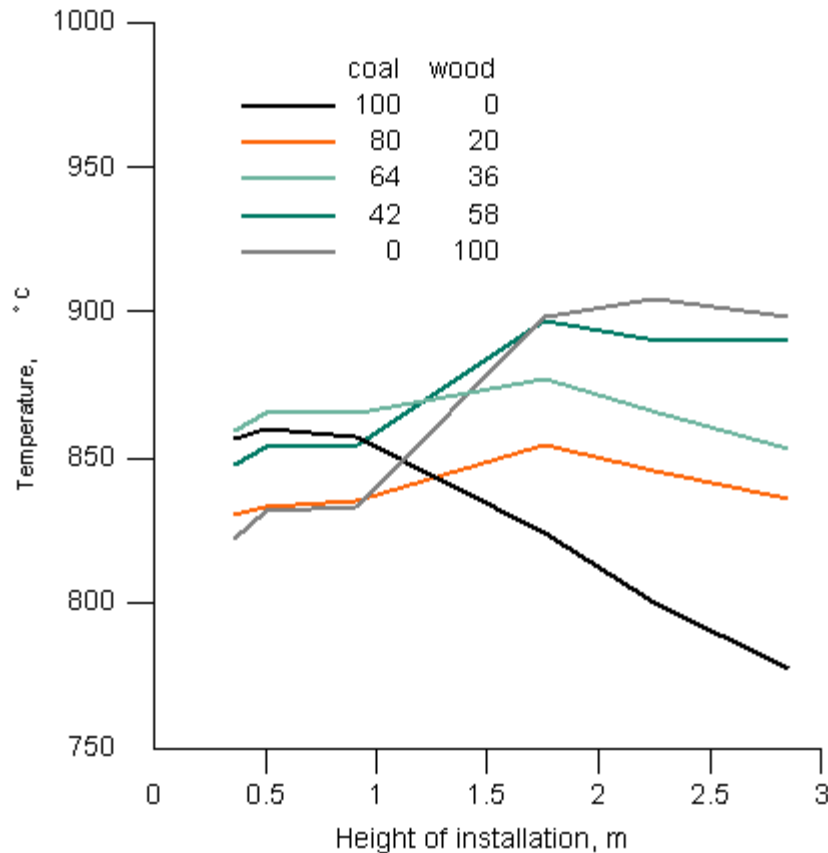


Figure 11 Mean O₂ concentration and mean radial temperature (Kicherer and others, 1995a)

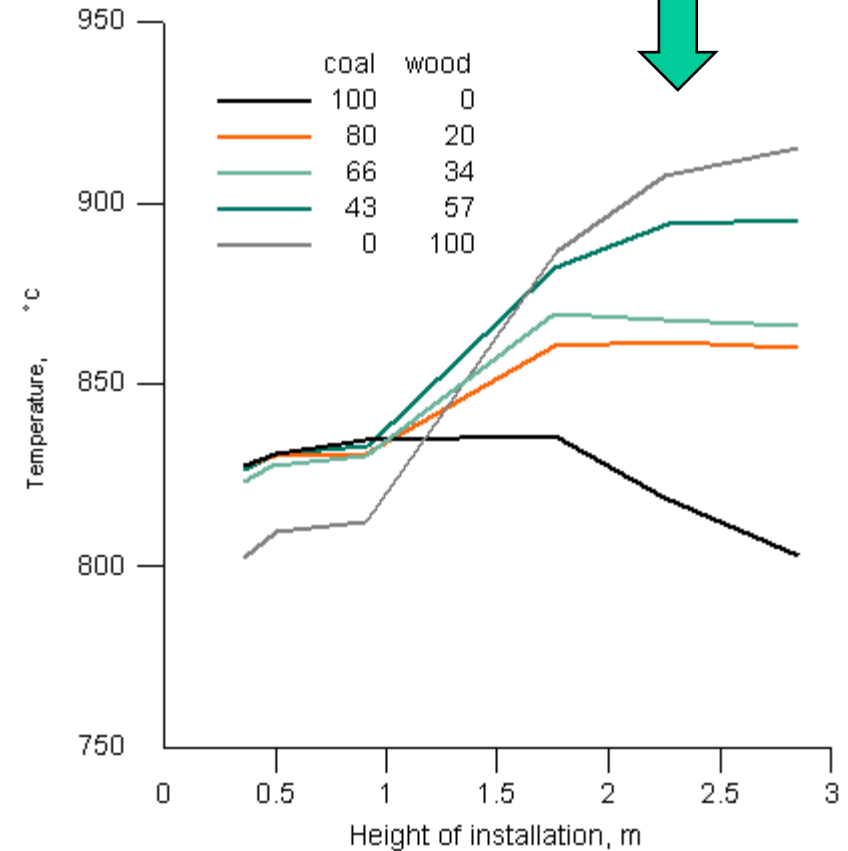
Co-firing of Coal / Wood Chip

Combustion zone shift to higher area

a) anthracite/wood



b) bituminous coal/wood



Demonstration Results of Co-firing Coal/Wood Chip

Table 09 Comparison of combustion results for Kingston boiler (Gold and Tillman, 1996)

	100% coal	15 th% wood/85 th% coal
Economic parameters		
Boiler thermal efficiency, %	89.2	88.01
Incremental efficiency loss, %		1.16
Coal consumed, t/h	45.37	39.34
Incremental coal saved, t/h		6.03
Coal consumed, GJ/h	1418	1349
Incremental coal saved, GJ/h		69
Wood consumed, t/h		15.1
Wood as mass of fuel, wt%		27.4
Airborne emissions (from heat balance)		
Flue gas molecular weight	29.65	29.57
Flue gas to air pollution control system, kg/m	21.43	21.87
Sulphur dioxide, ppmv, uncorrected	1140.7	984.4
Nitrogen oxides, ppmv, uncorrected	549.7	482



Thank you.

Author thanks Joon Woo Lee, Eastwest Power Co., and Won Young Park, Western Power Co. for their presentation materials at the 2013 KAWET Technical Workshop.