

# 네덜란드의 분쇄 석탄 화력발전소에서의 바이오매스 혼합 연소

BEEKES<sup>1</sup>, M.L., GAST<sup>1</sup>, C.H., KOREVAAR<sup>2</sup>, C.H., WILLEBOER<sup>3</sup>, W., AND PENNINKS<sup>4</sup>,  
F.W.M.  
KEMA<sup>1</sup>, EZH<sup>2</sup>, EPZ<sup>3</sup>, and EPON<sup>4</sup>  
The Netherlands

## 1. 소개

에너지 생산과 폐기물의 감소는 네덜란드 정부, 산업계와 전력회사의 주요 관심이다. 분쇄 석탄 화력발전소에서의 바이오매스 혼합 연소는 환경적으로 안전한 방법에서 에너지 생산과 폐기물 감소를 겸하는 효과적인 비용 전략이다. 네덜란드 전력 생산 분야는 이 분야에서 몇 가지 프로젝트를 집행 중이다. 이것은 몇 가지 요소들의 조합이다:

- 지금 또는 가까운 미래에는 어떤 발열량의 가치를 지니는 폐기물을 처리하는 것은 금지될 것이다.
- 정부와 협회는 CO2 배출 감소를 요구하고 그것의 대가로 세금공제, 특별 관세 등과 같은 재정 구조로 전환한다.
- 현재 석탄 화력 발전소는 다양한 특성을 가진 연료를 받아들이고 이것들을 매우 깨끗한 방법으로 전환할 수 있는 무한한 잠재력을 갖고 있다.

이 보고서에서 혼합 연소에 대한 동기뿐만 아니라 제약 부분도 함께 검토 될 것이다.

네덜란드에서의 모든 프로젝트는 개략적인 설명만 주어지고 세 개의 독특한 프로젝트는 자세히 검토 된다.

## 2. 혼합연소의 동기

네덜란드 전력 생산 회사의 주요 목적은 에너지의 지속적인 공급이다. 정부는 CO2 배출 감소 노력을 하고 있다. 이것은 에너지 절약, 에너지 사용의 효율증가와 지속적인 에너지 자원의 사용의 증가로 성취할 수 있다. 2000 년에 지속적인 에너지 양을 3%까지 올려야 하고 정부는 2020 년에는 10%의 목표를 정하였다.

전기는 에너지의 최종 소비와 수송의 관점에서 적은 환경적인 영향을 가진 전력 생산의 고효율을 결합하는 이러한 계획에서 주요 임무를 수행한다. 지속적인 자연의 에너지원을 위하여 화석연료의 사용을 감소시키는 것이 추가적인 기여일 수 있다. 가장 적은 설비

보완으로 기존 설비를 사용할 수 있고 현재 석탄 화력 발전소의 정상적인 높은 효율을 보존하므로 석탄과의 혼합 연소는 (예를 들어 바이오매스) 가장 비용 효과 가능성이 크다.

화석 연료 화력 발전소의 연료로서 폐기물을 포함한 에너지 사용은 화석 연료 사용 감소의 또 다른 가능성이 있다. 대부분의 경우 이러한 폐기물에서 에너지를 회수하는 것이 가장 효과적인 방법이다. 그런 폐기물과의 혼합 연소의 추가적인 장점은 연료비용 저감뿐만 아니라 친환경적으로 폐기물을 감소시키는 것이다.

### 3. 네덜란드에서의 혼합 연소의 제약

네덜란드 발전소에서의 혼합연소에 대해 수많은 중요한 제약이 언급될 것이다. 혼합연소는 경제적으로 실현가능하고 환경적으로 안전해야 한다. 이것은 어떤 폐기물 제품 또는 바이오매스 형태의 혼합연소에 관한 결정이 고려될 때 연료비, 투자비, 운영비와 유지비 모두는 고려 될 것임을 의미한다. 그러한 경제성 가치평가의 결과는 개별 발전소의 구성(보일러 형태, 연소 시스템, 분쇄기의 형태와 용량, 배기가스 정화 시스템 등등)와 혼합연소 연료의 총 양, 품질과 그것의 범위와 납품의 확실성에 달려있다.

친환경적이라 함은 배출 가스에 관해서는 엄격한 정부의 규정에 맞추어야 하는 것을 의미한다. 표 1 은 네덜란드에서 새로운 발전소와 새로운 폐기물 소각설비의 배출기준이다. 배출한계의 좋은 비교를 위해서 6% O2 뿐만 아니라 11% O2 도 나타냈다. 첫 번째 조건은 발전소의 기준이고 두 번째 조건은 폐기물 소각의 기준이다. 네덜란드의 배출기준은 독일, 일본과 캘리포니아에 비교된다.

표 1: 새로운 발전소와 폐기물 소각의 배출기준

구성	단위	발전소		폐기물 소각	
		(at 6% O2)	(at 11% O2)	(at 6% O2)	(at 11% O2)
총 먼지	mg/m <sup>3</sup>	20	13	7.5	5
SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	400	266	60	40
NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup>	400	266	105	70
HCl	mg/m <sup>3</sup>			15	10
HF	mg/m <sup>3</sup>			1.5	1
CO	mg/m <sup>3</sup>			75	50
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	mg/m <sup>3</sup>			15	10
Hg	mg/m <sup>3</sup>			0.075	0.05
Cd	mg/m <sup>3</sup>			0.075	0.05
Other heavy metals	mg/m <sup>3</sup>			1.5	1

Dioxins/Furans	ng TEQ/ m03			0.15	0.1
----------------	-------------	--	--	------	-----

환경적 제약과 관련된 또 다른 관점은 비산재, 바닥재와 석고와 같은 석탄 연소의 부산물들이 건설 산업에 적용 될만한 충분한 품질이 되어야 한다는 것이다. 네덜란드에서는 석탄 연소 부산물들의 100% 활용을 이루었다. 이것은 매립 또는 해양투기의 가능성이 없는 것이 필연적이다. 따라서 석탄 화력 발전소에서의 혼합연소는 부산물들의 이용이 보장될 때에만 가능성이 있다.

#### 4. 네덜란드에서 프로젝트

네덜란드의 전력 분야의 발전 설비 용량은 15,000 MWe 이다. Buggenum 의 석탄 기화 설비를 포함하여 8 부분으로 나누면 석탄 화력 설비의 용량은 4000 MW>e 이다. 석탄화력 발전소에서 다수의 혼합 연소 계획은 진행 중이거나 설계단계이다. 표 2 에 총 프로젝트가 나열되어 있다.

표 2: 혼합 연소 프로젝트의 현재 상태

발전소	혼합연소 연료	상태
Gelderland 13	폐목재	since 1995
Borssele 12	Phosphor oven gas	since 1996
Borssele 12	하수 슬러지	시험 운전 1998
Amer 8	제지 슬러지	since 1997
Amer 9	폐목재	설계 중
Maasvlakte 1	유기 폐수	since 1995
Maasvlakte 2	Biomass pellets	시험운전 1996 상업 운전 시작 1998
Hemweg 8	하수 슬러지	시험 운전 1996

표 2 에서 상업적 운영에는 4 가지 프로젝트가 있는 것으로 보인다. 다른 프로젝트는 다른 단계의 시범 또는 설계 중에 있다. 모든 프로젝트는 1998 년 4 월 1 일에 하나의 국영 회사로 재편된 네덜란드 전력 생산 기업에 의해 시작되고 수행되었다. 광범위한 측정을 포함한 모든 프로젝트의 시범과 테스트는 KEMA 와 제휴하여 수행되거나 수행될 것이다. 각각의 프로젝트에 대한 부가정보는 다음 파트에 짧게 설명된다. 프로젝트 중 3 가지는 다음 장(5. 사례)에 좀더 자세히 검토 될 것이다.

표 3: Gelderland 13 에서의 폐목재 혼합 연소

발전소 용량	602 MWe
연소 체계	분쇄 석탄, boxer-fired, 6 x 6 低 질소산화물 버너 without over-fire-air
배기가스 정화	DeNOx (SCR: 선택적 촉매 환원) and FGD(배기가스 탈황 장치)
혼합연소 연료	철거 작업에서 얻어진 폐목재

혼합 연소 상태	1995 부터 상업 운전
혼합 연료 양	60.000 톤 매년 3.5%의 석탄 대체
혼합 연료 처리	폐목재는 밀(mill)로 갈고 석탄에서 분리되어 연소

Gelderland 13 에서의 폐목재 혼합 연소는 폐목재 중의 금속 함량이 주요 요인으로 제약들의 하나로 직면했다. 이런 이유로 폐목재 납품에 대한 품질 체계가 준비되었다. Nijmegen 시의 주거지 가까이에 위치한 화력발전소 때문에 공공적인 수용이 매우 중요한 쟁점이다. 기술적인 쟁점은 단지 바닥재에서의 부분적인 불에 탄 목재 부스러기의 불필요한 양의 발생이다. 다음 장에 더 많은 정보가 나와 있다.

표 4: Borssele 12 에서의 phosphor(인광체) oven gas 혼합연소

발전소 용량	420 MWe
연소 체계	분쇄 석탄, tangentially-fired, 5 x 4 低 질소산화물 버너 with over-fire-air
배기가스 정화	FGD(배기가스 탈황 장치)
혼합연소 연료	인광체 생산 공장(Hoechst) 부근에서 얻어지는 Phosphor oven gas
혼합 연소 상태	1996 부터 상업 운전
혼합 연료 양	80.000 톤 매년 3.5%의 석탄 대체
혼합 연료 처리	Phosphor oven gas 는 파이프라인을 통해 인광체 생산 공장에서 발전소까지 운반되며 분리된 가스버너로 연소된다.

Borssele 의 발전소 부근 인광체 생산 공장에서는 부분적으로 이 산업 단지에서 이용되고 나머지는 태워버리는 phosphor(인광체) oven gas(주로 CO 와 H4 로 이루어진)를 생산한다. 이 산업지역에서의 CO2, SO2 와 NOx 의 대기 배출의 감소는 석탄 화력 발전소의 혼합 연소 가능성의 창안으로 얻어진다. 이 경우 그다지 중요하지 않은 제약이 있다. 그 가스는 저장 될 수 없고 인광체 생산 공장에서 쓰일 수 없는 그 순간에 발전소에서 이용되어야만 한다. 이것은 실제로는 인광체 생산 장치의 절반만 운영되는 야간에 혼합연소가 주로 일어난다는 것을 의미한다. 많은 양의 인산염에 의해 영향을 받을 수 있는 콘크리트 생산을 위한 비산재의 특성이 프로젝트의 시작에 중대한 관심이었다. 그러나 인도된 가스 속에 잔류된 인광체의 양이 너무 낮아 역효과에 부딪치지 않았다.

표 5: Borssele 12 에서의 하수슬러지 혼합연소

발전소 용량	420 MW>e
연소 체계	분쇄 석탄, tangentially-fired, 5 x 4 低 질소산화물 버너 with over-fire-air
배기가스 정화	FGD(배기가스 탈황 장치)
혼합연소 연료	건조된 하수슬러지
혼합 연소 상태	1998 에 시범 계획

혼합 연료 양	-
혼합 연료 처리	밀(mill)로 갈기 전에 석탄 원석과 혼합

Borssele 12 에서 건조된 하수 슬러지의 혼합 연소 가능성이 새로 연구되기 시작했다. 1998 년 중반에 시범 단계가 계획되었다.

**표 6: Amer 8 에서의 제지 슬러지 혼합 연소**

발전소 용량	645 MWe
연소 체계	분쇄 석탄, tangentially fired, 5 x 4 burners with after-air ports
배기가스 정화	FGD(배기가스 탈황 장치) and DeNOx (SCR: 선택적 촉매 환원)
혼합연소 연료	부근의 위생적인 종이 생산 공장에서의 제지 슬러지
혼합 연소 상태	1997 년 11 월부터 상업 운전
혼합 연료 양	-
혼합 연료 처리	밀(mill)로 갈기 전에 석탄 원석과 혼합

Amer 8 에서 이용되는 제지 슬러지 형태의 특성은 매우 낮은 수준의 오염물질에 관해서는 훌륭하다. 슬러지는 약 50%의 수분을 함유하고 따라서 발열량이 낮다. 인도된 제지 슬러지의 제어를 위한 좋은 체계가 준비되었다. 많은 양의 수분은 1995/96 겨울에 수행되었던 시범 테스트 동안 몇몇 취급 문제점으로 주어졌다.

**표 7: Amer 9 에서의 폐목재 가스 혼합연소**

발전소 용량	600 MWe and 350 MWth
연소 체계	분쇄 석탄, tangentially fired with 6 x 4 低 질소산화물 버너 and after-air ports
배기가스 정화	FGD(배기가스 탈황 장치)
혼합연소 연료	폐목재의 가스화로부터 얻어지는 가스
혼합 연소 상태	설계단계, 1999 년 말부터 가동 개시 계획
혼합 연료 양	150.000 t/a 석탄 대체: 70.000 t/a
혼합 연료 처리	순환 유동층 가스화기의 가스화와 Amer 9 의 석탄화력 보일러에서의 가스와의 혼합 연소

Amer 9 의 석탄 화력 보일러에서 폐목재의 가스화와 생산된 가스의 혼합연소 계획은 몇 년 전부터 이미 있었다. 설계단계로 시작되었던 계획은 지속 가능한 에너지의 도입을 장려하는 네덜란드 정부에 의해 재정구조가 창안되었다. 보다 자세한 내용은 다음 장에 소개된다.

**표 8: Maasvlakte 1 에서의 액상 유기 폐기물 혼합연소**

발전소 용량	518 MWe
연소 체계	분쇄 석탄, tangentially fired, 5 x 4 低 질소산화물 버너 with after-air ports
배기가스 정화	FGD(배기가스 탈황 장치)
혼합연소 연료	석유화학 단지에서 나오는 액상 유기 폐기물
혼합 연소 상태	1995 부터 상업 운전
혼합 연료 양	1% 석탄 대체
혼합 연료 처리	석탄과는 따로 취급되고 연소된다.

Maasvlakte 1 에서 혼합 연소되는 액상 유기 폐기물은 취급하기 쉽고 발열량이 높다. Mo(몰리브덴)-화합물의 형태로 유일하게 심각한 오염물질을 포함한다. 이것은 건축 재료에서 Mo 의 용출을 위한 엄격한 기준 때문에 바닥재와 비산재 부산물의 특성에 영향을 준다.

**표 9: Maasvlakte 2 에서의 바이오매스 펠릿(biomass pellets) 혼합연소**

발전소 용량	518 MWe
연소 체계	분쇄 석탄, tangentially fired, 5 x 4 低 질소산화물 버너 with after-air ports
배기가스 정화	FGD(배기가스 탈황 장치)
혼합연소 연료	목재, 비료화된 하수슬러지와 제지 슬러지의 혼합으로 구성된 바이오매스 펠릿(biomass pellets)
혼합 연소 상태	설계중, 1998 부터 상업 운전
혼합 연료 양	5% 석탄 대체
혼합 연료 처리	밀(mill)로 갈기 전에 석탄 원석과 혼합

Maasvlakte 2 에서의 바이오매스 펠릿 혼합 연소를 위해 바이오매스 펠릿 생산 공장은 발전소 부근에 건설되었다. 생산된 펠릿의 품질 제어를 위해 발전소에서 주기적인 견본 추출과 분석을 위한 체계가 만들어졌다. 이 계획에 대한 부가 정보는 다음 장에 주어진다.

**표 10: Hemweg 8 에서의 건조 하수슬러지 혼합 연소**

발전소 용량	630 MWe
연소 체계	분쇄 석탄, boxer fired, 6 x 6 低 질소산화물 버너 with 2 rows of after-air ports
배기가스 정화	FGD(배기가스 탈황 장치)
혼합연소 연료	암스테르담 시와 북부 네덜란드 지방에서 얻어진 건조된 도시 하수슬러지

혼합 연소 상태	1996 부터 시험운전
혼합 연료 양	65.000 t/a 3% 석탄 대체
혼합 연료 처리	밀(mill)로 갈기 전에 석탄 원석과 혼합

Hemweg 의 발전소 주위에는 두 곳의 하수슬러지 건조 설비에서 약 10%의 수분함량을 가진 건조 하수 슬러지를 생산하고 있다. 이 폐기물의 적용은 Hemweg 발전소의 8 호기 화력발전에서 시작하기로 계획되었다. 시범 계획은 1996 년에 연소 효율, 대기 가스 배출과 부산물의 특성에 관한 측정으로 실행되었다. 그 결과는 긍정적이었고 따라서 상업적 운영을 위한 설계가 시작되었다. Hemweg 8 호기 보일러 내부의 노(爐)변 부식작용의 발견으로 프로젝트의 현실화를 시작하는 결정은 1998 년 여름까지 연기되었다.

## 5. 사례

### 5.1 Gelderland 발전소에서의 분쇄된 목재 혼합연소

#### 소개

초기 목재 처리와 해체에서 나오는 폐목재는 문제점과 가능성 둘 다 제공한다. 만일 매립되어 처리된다면 그것은 많은 부피를 차지하고 썩으며, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> 및 다른 지구온난화 가스를 생산할 것이다. 석탄 화력 발전소에서 에너지를 이용하므로 화석연료의 소비를 줄이고 그것으로 지구온난화 영향을 줄인다. 다른 효과는 석탄 화력 발전소에서의 SO<sub>2</sub> 와 NO<sub>x</sub> 의 배출과 소각재 부피의 감소이다. 대부분의 폐목재는 환경적인 채무에서 환경적이고 경제적인 자산으로 전환될 수 있다.

석탄 화력 보일러에서의 폐목재 적용은 수집 창고, 공정과 연소가 필요하다. 프로젝트의 시작은 분쇄된 목재 연료 사용이 결정 되었다. 이것은 매우 건조하고 정제된 단편의 재료는 균질하며, 취급하기 쉽고, 마치 석유나 가스처럼 연소될 만큼의 높은 에너지 함유량의 장점을 가진다. 이런 시작으로부터 연간 6000 시간 동안 시간당 10 톤의 용량을 가진 목재 분말 생산 공장과 연소시스템의 기초 설계가 만들어졌다. 프로젝트의 목표들은:

- 연간 연료 투입량의 평균 4.5%인 석탄 45,000 톤의 대체
- 매년 110,000 톤의 CO<sub>2</sub> 배출 감소
- 매년 60,000 톤의 폐목재 이용과 그로 인한 매립 문제의 부분적인 해결

프로젝트가 시작될 수 있다는 전제하에 몇몇의 미리 조절된 조건이 있었다. 발전소의 이용성에 관해서는 아무런 위험이 없어야만 했다. 또한 건설 산업에서 상업적 결과로 비산재의 100% 이용이 위태로워지지 않아야만 했다. 마지막으로 모든 배기가스가 네덜란드 법과 규정에 정한 한계 내에 있어야만 했다.

635 MWe의 석탄 화력 생산 장치는 1981에 시운전하였다. 1985년과 1988년에 각각 총 배기가스 흐름의 50%에 대한 습식 배기가스 탈황장치(석회/석고 연도 탈황) 운영이 도입되었다. 1994년 10월에는 탈질 장치(SCR-선택적 촉매 환원)가 NOx 가스 배출을 80% 감소시키는 운영이 되었다. 더욱이 발전소에 정전기식 비산재 필터가 설치되었다.

공정의 전체적인 특징

폐목재는 네덜란드의 3곳에서 모이고 원목 조각으로 가공된다. 이 가공 중에 철, 식물 또는 플라스틱 같은 큰 물체는 수작업으로 제거된다. 조그마한 철과 비철 조각은 제거되고 작은 플라스틱과 식물조각은 풍력 선별로 분리된다. 돌, 모래 와 유리 조각들은 체에 걸러진다. 나무조각은 컨테이너로 발전소에 운반된다. 나무조각의 특징은 표 11에 나와 있다.

**표 11: 나무조각 특징**

비중	165 - 185 kg/m <sup>3</sup>
조각 크기	0 - 3 cm
수분함량	<20% DW
발열량	> 16 MJ/kg
납 (Pb)	<1500 mg/kg
아연 (Zn)	<1400 mg/kg
염소	<400 mg/kg

컨테이너들은 하역장에 잠시 동안 보관되고 그 다음에 자동화 운반기와 덩핑 시스템에 배치된다. 이 시스템은 대략 공장의 하루 운영을 위한 충분한 재료로 공급되는 27개의 컨테이너의 구성된다. 나무조각은 투입 호퍼에 하역되고 분쇄 구역으로 이송된다. 세정 시스템, 자력과 풍력 선별의 이 구역에서는 오염된 나머지를 제거하기 위한 (추가) 시스템이 설치된다. 그 다음에 분쇄기(15 ton/hour 용량)로 재료의 원래 크기를 최고 4mm 이하의 조각으로 줄인다. 이후에는 이미 충분히 정제된 재료의 흐름에서 걸러지고 분리된다. 이 흐름은 먼지 수집기로 운반된다.

큰 규격 흐름은 체인 전달기를 통해 2개의 중간 저장창고로 운반된다. 각 저장창고는 최대 50m<sup>3</sup>에 이르고 두 개의 이송 스크류 전달기를 가진 두 개의 밀(mill)로 보내진다. 밀에서 재료는 크기가 감소되고 예열로 건조된다. 밀을 통과한 재료는 800 μm 보다 작은 것의 대략 10%를 제거하는 정적 분립기로 들어간다. 분립기로부터 거부된 것은 제품과 큰



크기가 발생하는 사이에서 더욱 분리하는 진동 스크린으로 떨어진다. 큰 크기의 조각들은 다시 밀로 들어가서 더욱 감소된다. 스크린에서 나온 제품은 공기역학 전달 방식 컨베이어로 들어가고 그 다음에 분립기에서 나온 제품과 합쳐진다. 최종 제품은 먼지 수집기에서 모아진다. 표 12에 목재 분말의 성상이 나와 있다.

**표 12: 목재 분말의 성상**

조각 크기 분포	90% < 800 mm 99% < 1000 mm 100% < 1500 mm
수분함량	< 8% DW

각각의 밀 시스템은 독립적으로 작동하고 비중이 200~240 kg/m<sup>3</sup> 사이의 최종 제품을 시간당 약 1.8 톤씩 생산한다. 모두 네 개의 시스템에서 나온 목재분말과 미리 분쇄된 것은 중앙 수집 저장소에 합쳐지고 그 다음에 보일러 부근의 1,000 m<sup>3</sup> 저장고로 600m 이상을 공기역학적 컨베이어로 전달된다. 계량 시스템에 의해 네 개의 분리된 버너 주입 라인으로 분말을 공급하며 각각의 공급능력은 시간당 1.1~3.5 톤이다. 20 MWth 용량의 네 개의 특별한 목재용 버너는 기존의 36 석탄 버너의 가장 낮은 대열의 아래에 보일러의 측면 벽(각 측면에 두 개)에 위치하고 있다. 앞, 뒤 벽에 6 개의 석탄 버너의 3 열이 있다.

석탄 버너는 오일 연소에도 이용할 수 있고 따라서 목재 분말/오일의 혼합연소는 이론적으로 가능하다. Dual Air Zone (DAZ) Scroll Feed 목재용 버너는 두 개의 역회전하는 동심원의 흐름 속에 연소 공기 흐름으로 나눈 동심원의 통풍 지대의 하나에 두 개의 통풍장치가 있다. 그 결과는 간결하고 제어할 수 있는 화염 형태이다. 버너로의 두 번째 공기 공급은 목재용 버너가 가동되지 않을 때 공기 냉각용으로 이용해야만 하거나 오로지 연료로서만 이용된다. 목재 연소를 위한 제어 시스템은 석탄 연소 시스템과는 별개이다. 이것 때문에 설비의 이용성은 불변이다. 그림 1에 요약된 공정이 표현되어 있다.

### 환경

목재 분말 연료에 근거를 둔 평균적인 전력 생산은 연간 45,000 톤의 석탄을 대체하는 20 MW 일 것이다. 이 양의 석탄의 CO<sub>2</sub> 배출량은 약 110,000 톤과 같다(1 kg의 석탄 연소는 2.4 kg의 CO<sub>2</sub>를 방출). 목재가 연소될 때 CO<sub>2</sub>의 순 추가가 없고 지구온난화에 아무런 기여가 없으므로 CO<sub>2</sub>의 양은 감소하는 것처럼 보일 수도 있습니다. 이런 감소를 제외하고 또한 목재의 재 함량이 석탄보다 10 배나 적으므로 매년 4,000 톤의 비산재가 감소된다. 주 정부에 의해 마련된 발전소에 대한 배출 한계가 표 13에 나와 있다.

**표 13: Gelderland 발전소에서의 목재/석탄 연소에 대한 배출 한계**

NOx	<200 mg/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	<400 mg/m <sup>3</sup>

Dust	<20 mg/m <sup>3</sup>
CO	<50 mg/m <sup>3</sup>
Total heavy metals	<1 mg/m <sup>3</sup>
Cd	<0.05 mg/m <sup>3</sup>
Hg	<0.05 mg/m <sup>3</sup>
HCl	<10 mg/m <sup>3</sup>

전체적인 에너지 균형

공정의 전체 에너지 소비는 네덜란드의 폐기물 소각장에서 많은 양의 폐목재가 연소되고 있기 때문에 그런 프로젝트를 정당화하기 위해 뜻 깊은 중요성이 있다. 현대식 폐기물 소각로는 이미 전체 전기적인 효율이 21%인 반면에 Gelderland 발전소는 38.5%의 효율을 나타낸다. 표 14 에서 예비 전체 에너지 균형이 나와 있다.

**표 14: 에너지 투입/산출에 의한 Gelderland 발전소와 폐기물 소각장 간의 비교**

투입:	평균 수분 함량 15%인 시간당 10 톤의 폐목재
효율:	발전소 38.5%
	폐기물 소각장 21%

Gelderland 발전소	kW	kW
산출		19,785
비용:		
3 cm 의 분쇄와 연마	1,025	
100 km 이상의 운송	450	
목재 분말의 생산과 연소	1,764	
전체 에너지 비용	3,239	-3,239
전체적인 산출		16,546
폐기물 소각장		
산출		9,920
산출에서의 차이		6,626
에너지 회수 증가율 %		67%

안전 예방 조치

미세화 공정은 먼지 폭발이 가능할 것 같은 위험한 목재 먼지 조각들을 만들어낸다. 따라서 안전 예방 조치가 취해져야 한다. 위에 열거된 발전소는 아래의 조치를 취할 것이다: 정전기 방전 방지를 위한 모든 장비의 접지; 주요 저장고, 먼지 수집기와 검량 저장고의

폭발방지 패널; 유입 저장고의 폭발 억제 시스템; 그리고 어디서든 일어날 수 있는 어떤 가능한 위험을 함유하고 있는 시스템의 분리화; 몇 번의 불꽃 탐지 시스템이 설치되어 있다. 모든 시스템은 중앙 제어 시스템에 연결되어 있고 만일 어떤 일이 발생한다면 비상 정지 시스템이 가동될 것이다.

## 결론

목재 폐기물은 매우 풍부하고 분쇄되면 CO<sub>2</sub> 발생 저감의 결과와 천연가스와 오일과 비슷한 연소 특성을 가진다.

### 5.2 Maasvlakte 발전소에서의 바이오매스 혼합연소

BioMass Nederland 는 1998 년 초에 바이오매스(나뭇가지 치기), 하수슬러지와 제지 슬러지로 구성된 펠릿의 생산으로 시작했다. 연간 생산량은 약 16 MJ/kg 의 고위 발열량 물질로 150,000 톤으로 추정된다. 연료의 이런 양은 석탄 30,000 톤을 대체할 것이고 따라서 CO<sub>2</sub> 배출에서 상당하는 감소를 이룰 것이다.

펠릿의 생산은 간단하다. 몇몇 폐기물 제품은 혼합기에서 결합되고 이 혼합물은 건조단계 없이 압력 하에서 펠릿으로 생산된다. 펠릿은 약 40%의 수분함량을 가지며 석탄 원석과 혼합될 것이다. 이러한 바이오매스와 석탄의 혼합은 발전소의 기존 석탄 밀(mill)을 이용하여 분쇄될 것이다.

BioMass Nederland 가 전력 회사인 EZH 와 그들의 석탄 화력발전소에서 혼합 연소 연료로서 바이오매스의 서로 다른 형태로 구성된 펠릿의 적용이 가능한지 알아보기 위해 접촉하던 1995 년에 준비는 시작되었다. 많은 예비 테스트가 실행되었고, 여기에서 많은 수의 가능한 구성의 펠릿이 삭감되고 기본적인 구성에 관련된 한계가 마련되었다.

지방 정부의 허가 하에 운전, 효율, 배출가스와 부산물의 특징의 관점에서 바이오매스 혼합연소의 영향을 평가하기 위하여 두 개의 실물 크기의 소각 시운전의 시험의 이행이 이루어졌다. 시운전의 결과는 긍정적이었다. 석탄 밀(mill)의 운전은 정상이었고 시운전 후의 조사에서 손상이나 밀 또는 운반 라인에서 목재 재료의 누적이 없음이 나타났다. 혼합 연소 동안 생산된 부산물(비산재, 바닥재와 석고)의 특성은 광범위하게 테스트 되었다. 그것들은 건축 산업에서의 적용에 대한 정규 품질 명세서에 모두 적합하였다. 게다가 대기나 폐수 처리 설비에 대한 배출의 역효과도 나타나지 않았다.

1996 년 10 월, EZH power company 에서 Maasvlakte 발전소에서의 바이오매스 펠릿의 혼합연소를 위한 허가를 얻기 위해 지방 당국에 공무상의 회신을 제안하였다. 동시에

BioMass Nederland 는 Maasvlakte 발전소 내에 펠릿 생산 공장의 건설 허가를 얻기를 요구하였다. 지방과 중앙 당국의 격렬한 토의 후에 이 발의는 폐기물 처리를 위한 법률의 영향하에 놓여져야만 한다고 결정이 되었고 따라서 환경 영향 평가가 시작되어야만 했다. 이러한 절차는 진행 중이고 결과는 긍정적일 것으로 기대되므로 잠시 동안 잠정적인 허가가 주어졌다. 결론은 모든 절차는 당국으로부터 얻어질 수 있는 허가 기간인 6 주인 정상 절차와 비교해서 더 긴 시간이 필요하다.

### 5.3 Amer 발전소에서의 폐목재 가스화

네덜란드 남부 Amer 발전소에서 최근에 칩보드(합판) 산업에서 재활용 될 수 없는 낮은 품질의 폐목재로 가스화 하려는 프로젝트가 시작되었다. 생산된 가스는 냉각, 먼지제거, 세정되며 Amer 9 호기의 석탄 화력 혼합 발전기의 보일러에서 연속해서 연소될 것이다. 이 기기는 600 MWe 와 350 MWth 의 순 전력 생산 용량을 가진다. SO<sub>2</sub> 와 NO<sub>x</sub> 에 대한 엄격한 배출제한이 있고 보증된 비산재를 만든다.

위의 시작과 제약에 기반을 둔 프로젝트는 다음에 자세히 기술된다:

- 연료: 잘게 썬 폐목재 연간 150,000 톤. 이 양의 80%는 배로 20%는 트럭으로 이동될 것이다.
- 긴 주말을 위한 중간 연료 저장소
- 대기압의 순환 유동상 가스화 장치(Circulating Fluidized Bed Gasifier)
- 스팀 생산을 위한 가스 냉각: 스팀 시스템은 기존의 Amer 9 호기와 통합된다.
- baghouse 집진기; (오염된) 비산재를 위한 적용을 기대한다.
- 주요 암모니아 제거를 위한 scrubber(세정기)
- Amer 9 의 보일러에서 가스의 예열과 연소

공정 흐름의 개요는 그림 2 에 나와 있고 몇몇 주요 자료는 표 15 에 나와 있다. 그 프로젝트는 1999 년 말에 시작되기로 예정되어있다. 프로젝트의 결과는 폐목재에서 전기를 만드는 친환경적이고 효과적인 방법으로써 설명될 수 있다. Amer 9 의 목재 가스화 실행의 환경 영향 평가는 거의 무시할 만 하다.

표 15. Amer 9 에서의 목재 가스화 프로젝트의 주요 자료

폐목재 투입	150,000 t/a
석탄 투입 절약	70,000 t/a
CO <sub>2</sub> 감소	170,000 t/a
전기 효율	35% 이상

## 6. 결론

이런 다수의 이유로 네덜란드에서는 분쇄 석탄 화력 발전소에서 바이오매스의 혼합 연소가 실행되고 있다:

- 혼합 연소는 비교적 저렴하다;
- 혼합 연소는 환경적으로 안전하다;
- 혼합 연소는 CO<sub>2</sub>를 적게 배출하고 따라서 지구온난화 영향에 맞서는데 기여하다;
- 혼합 연소는 바이오매스의 에너지 전환을 위한 효과적인 방법이다;
- 짧은 시간 동안에 현실화를 성취할 수 있다.

게다가 혼합 연소 프로젝트는 바이오매스 재료 흐름의 관리에서 잠재적인 지식 개발을 돕는다. 이것은 또한 자립형 바이오매스 전환(연소, 가스화)이 계획된 곳에서 계획하는데 도움이 된다.

## 참고문헌

1. Kwant, K.W., "Bio-energy, state of affairs" (in Dutch), proc. Dutch Conference on Sustainable Energy, Ede, The Netherlands, 17 - 18 November, 1997.
2. Beekes, M.L., "Test facilities and trials for pre-treatment and waste streams", proc. International NOVEM/IEA Symposium on Co-Combustion of Bio-Fuels, Nijmegen, The Netherlands, 8 November, 1995.
3. Konings, A.J.A., "Selection criteria of industrial biomass and waste streams", proc. International NOVEM/IEA Symposium on Co-Combustion of Bio-Fuels, Nijmegen, The Netherlands, 8 November, 1995.
4. Beekes, M.L., "Trends in waste combustion", proc. Waste to Energy Symposium, Dsseldorf, Germany, 26 - 26 September, 1996.
5. Beekes, M.L., Gast, C.H. and Konings, A.J.A., "Co-combustion of coal and waste wood; Consequences for the by-product quality", proc. WASCON conference: Environmental Implications of Construction Materials and Technology Development", Maastricht, The Netherlands, 1 - 3 June, 1994.
6. Dijkman, B. and Geurts, M.J.G., "Testing co-combustion of sewage sludge in a 630 MW coal-fired block at Hemweg Amsterdam Netherlands", proc. AIM International Conference on Power Stations, Liege, Belgium, 13 - 15 October, 1997.

7. Dijk, F.W.H.M. van, "Co-combustion of gasified waste wood in a coal-fired power plant", proc. International NOVEM/IEA Symposium on Co-Combustion of Bio-Fuels, Nijmegen, The Netherlands, 8 November, 1995.
8. Penninks, F.W.M., "Coal and wood fuel for electricity production: An environmentally sound solution for waste and demolition wood", proc. International NOVEM/IEA Symposium on Co-Combustion of Bio-Fuels, Nijmegen, The Netherlands, 8 November, 1995.
9. Beekes, M.L., "Logistics for waste wood co-combustion in coal-fired power plants" (in German), proc. Logistik bei der Nutzung biogener Festbrennstoffe, Stuttgart, Germany, 30 - 31 May, 1995.

그림. 1 목재 분말 설비의 공정 흐름도

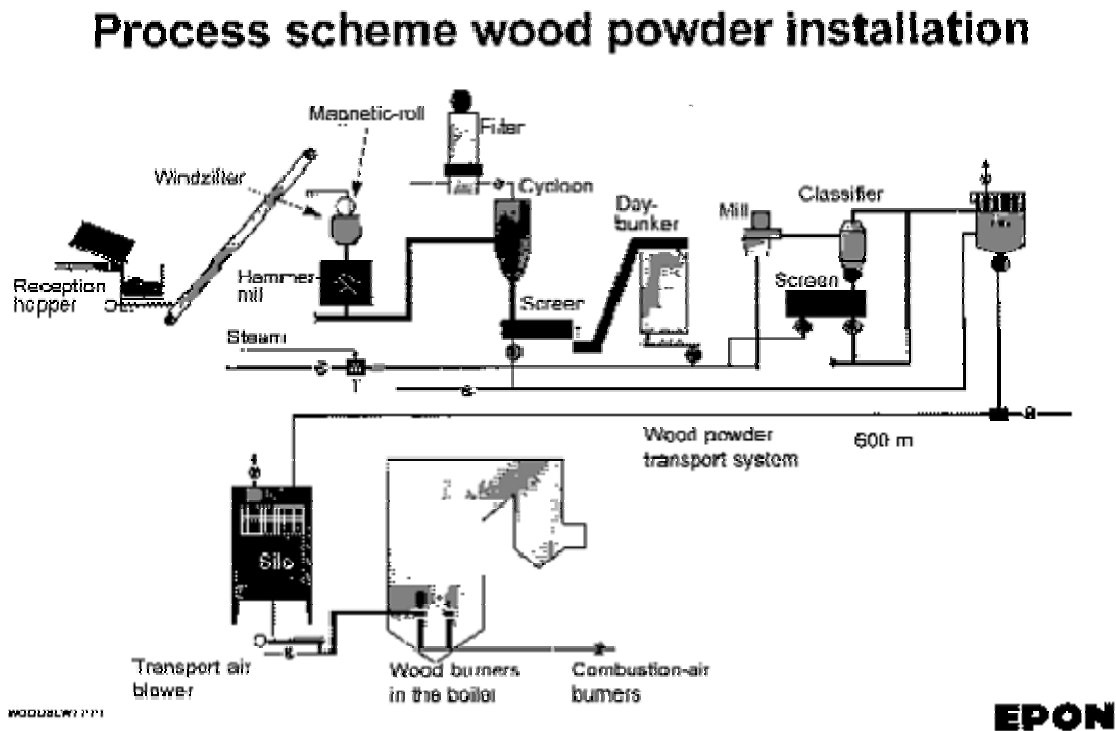
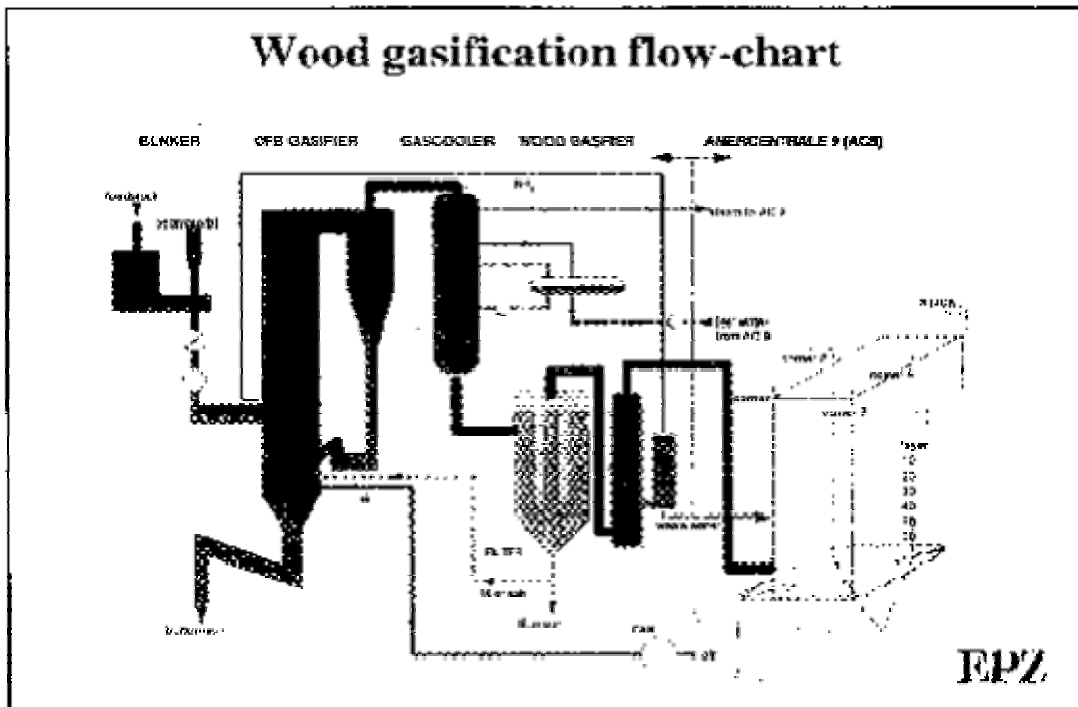


그림. 2 목재 가스와의 공정 흐름도



#### 요약

에너지 생산과 폐기물의 감소는 네덜란드 정부, 산업계와 전력회사의 주요 관점이다. 분쇄 석탄 화력발전소에서의 바이오매스 혼합 연소는 환경적으로 안전한 방법에서 에너지 생산과 폐기물 감소를 겸하는 효과적인 비용 전략이다. 네덜란드 전력 생산 분야는 이 분야에서 몇 가지 프로젝트를 집행 중이다.

이 글에서 혼합 연소에 대한 동기뿐만 아니라 제약 부분도 함께 검토 될 것이다. 네덜란드에서의 모든 프로젝트의 개략적인 설명만 주어지고 세 개의 독특한 프로젝트가 자세히 검토 된다.

이런 다수의 이유로 네덜란드에서는 분쇄 석탄 화력 발전소에서 바이오매스의 혼합 연소가 실행되고 있다:

- 혼합 연소는 비교적 저렴하다;
- 혼합 연소는 환경적으로 안전하다;
- 혼합 연소는 CO<sub>2</sub>를 적게 배출하고 따라서 지구온난화 영향에 맞서는데 기여하다;
- 혼합 연소는 바이오매스의 에너지 전환을 위한 효과적인 방법이다;
- 짧은 시간 동안에 현실화를 성취할 수 있다.