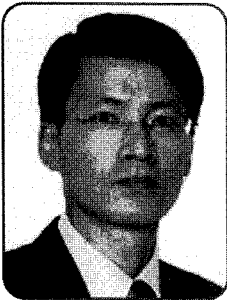


- ⑤ 최종급수온도 1 °C 증가 : 전기출력 0.15 % 감소, 열소비율 0.049 % 향상
- ⑥ 배기손실 1 kcal 변화 : 0.4 % 열소비율 변화
- ⑦ 주증기온도 10 °C 감소 : 고압터빈 엔탈피강하효율 0.21 % 감소
- ⑧ 단락에서 압력/유량관계의 비가 5 % 증가는 Alarm 상태의 원인이 됨
- ⑨ 증기유로의 1 % 차압증가는 열소비율 0.1 % 증가
- ⑩ 1단 하류측에 기인한 1단 압력 1 % 변화 : 증기유량 1.5 % 변화
- ⑪ 2단 상류측에 기인한 1단 압력 1 % 변화 : 증기

- 유량 1 % 변화
- ⑫ 고형미립자 침식에 의한 1단 노즐면적 10 % 증가 : 1단 6.5 %, 나머지 단락 3~4 %의 효율저하 및 증기흐름용량 2 % 증가
- ⑬ 관석 부착에 의한 1단 노즐면적 10 % 감소 : 증기흐름용량 3 % 감소
- ⑭ 압력손실 : MSV, CV 4 %, IV 2 %, Cross Over Pipe 3 % 발생
- ⑮ 단락 하류측 저항에 기인한 단락압력 1 % 증가 : 단락 상류측의 총동단락은 0.6 %, 50 % 반동단락은 0.7 %의 압력 증가

**화력발전소 CWD(Cooling Water Discharge)를 활용한
해양소수력 개발의 기술적인 고찰
(화력발전소 CWD와 조위특성과의 Harmony)**



남양이앤이주식회사
재생에너지 발전시스템
전무/엄복진
Tel:(02)2109-8130~3

본 자료는 국내 화력발전소 방류구에 조위특성을 이용하여 발전시스템을 구축 해양소수력개발을 할 수 있는 최소한의 기술적인 해법을 미활용 에너지의 회수를 통한 전력생산으로 청정에너지 개발(CDM:Clean Development Mechanism)을 통해서 정부의 재생에너지 개발 정책에 부응하고 기후변화협약에 대응하기 위한 건설 목적을 가지고 있기 때문에 그 동안 태안화력, 영흥화력, 삼천포 등 해양소수력 개발 제안서와 삼천포 해양소수력에 실 투입된 설계 및 운전 실적을 토대로 작성한 것 입니다.

요 약

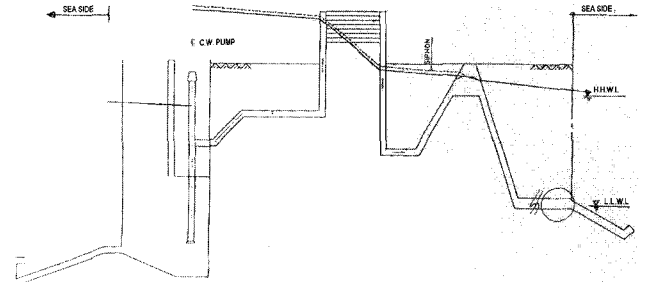
소수력 계획 시 개발지점에 대하여 수많은 자료와 정보 등을 필요로 하게 되는데 특히 해당지역내의 유량분포에 대한 유황자료는 개발의 판단여부를 결정케 하는 중요한 요소이다. 소수력발전소의 설비용량에 직접 관계되는 설계유량의 결정과 재해방지를 위한 유출의 예측을 가능케 하고 발전소운영 시 가동률 및 경제성에도 직접적인 영향을 미치는 중요한 요소이나 여기서 논하는 소수력개발은 하천이나 댐과 같은 유형이 아니라 일정한 유량을 확보하여 배출하기 때문에 문제는 없다.

그러나 계절별 부하에 따른 냉각수량의 변화 및 소수력 발전유량의 변동, 조위(해수면) 변화 등에 따라 달라진다. 그러므로 수위조절을 위한 수문은 이들의 변화에 따라 자동운전이 가능해야 하지만 운전시 발전정격수위를 맞출 수 있도록 수문을 조절한 다음 Turbine Governor에 의해 유량 및 수위를 제어할 수 있도록 설계하여 냉각수 순환수 계통에 영향이 미치지 않게 언제나 적정수위를 유지시킬 수 있는 운전모드로 구축하는 것이 안정이라 볼 수 있다.

소수력발전설비 및 수문의 오작동 및 고장이 발생할 때 수위가 상승하여 냉각계통에 손실수두 증가, 취수펌프의 양정고 증가와 Surge 발생 등으로 발전소의 정상 운전 에 미치는 영향이 없어야 하므로 세밀한 검토가 필요하기 때문에 폐쇄시간과 수압상승 값 등 요인 분석 후 설계하여야 한다.

Figure A와 같이 국내 화력발전단지에서 냉각수로 사용되고 방류되는 해수는 발전소에 따라 ca.70 ~ 150 CMS로 ca.2,000 ~ 5000 kW 이상의 수력에너지를 (H=4m 형성 기준)을 보유하고 있으나, 현재 활용되지 못하고 그대로 해양으로 방류되고 있어 이 수력에너지를 개발 방안을 오래전부터 검토하여 왔다. 발전소 온배수의 원활한 배수를 위한 설계 낙차와 함께 남서해안의 조위변화에 따른 낙차를 이용하는 것으로 소수력 발전 방식과 조력발전 방식의 특징을 동시에 활용할 수 있다.

상당한 여유낙차가 발생하기 때문에 이때를 기준하여 발전소의 해수방류수를 이용한 소수력 개발의 가능성이 발견된다. 또한, 특정 발전소의 경우는 계통구조에 따라 설계 여유낙차를 이용할 수 있는 구조인 경우도 있다.



Circulating Water System/Hydraulic Grade Line(Figure B)

소수력 설비의 설치로 인하여 냉각수 순환수 펌프(CWP)/ 개수로(open canal) 본래의 기능에 영향을 미칠 수 있기 때문에 소수력 발전소는 부수 설비의 만큼 화력 발전소의 CWP에 영향 없도록 Pump operation level을 유지하며 변동폭이 심한 조위변화를 감안하여 최적의 운전조건이 되도록 하며, 이런 특성에 따라 최악의 운전조건을 감내할 수 있는 수차의 기계적 MECHANISM에 역점을 두어 설계에 초점을 두어야 한다.

2. 시설용량 선정

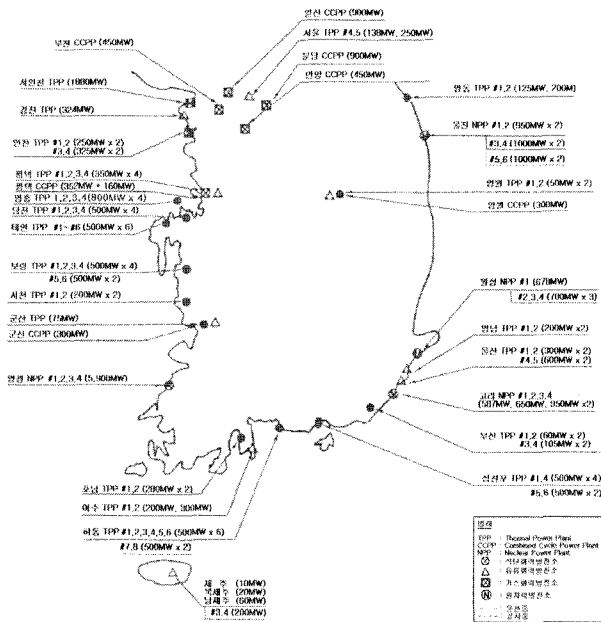
기본설계조건에서는 최대운전유량 및 최대유효낙차를 기준하여 수차생산범위, 제작비 등을 고려하여 전체 시설용량 및 단위호기용량을 산정, 단위가 설치대수를 결정하는 것이 실제적으로 경제성이 높을 것 입니다.

더욱 경제성을 높이기 위해서는 시간대 별로 변화폭이 심한 방수위(TWL, Tide Level)조건에서 운전이 원활하도록 변동낙차(취수지점수위 vs. 조위변화/수위분석)대비 운전모의실험(simulation) 결과에 따라 운전범위에서 최적의 출력을 낼 수 있는 방향으로 검토되어야 한다(제작사의 know-how).

3. 개발방식에 따른 수차영식

소수력 발전소의 수차형식은 발전소건물의 면적, 수압철관, 수조, 방수로 등의 설계와 수차 효율에 영향을 주어 경제성을 지배하는 주요요소임으로 검토초기에 면밀한 검토가 필요하다.

소수력 개발을 결정하기 위해서 우선적으로 유효낙차, 수차 출력 및 발전사용수량 등을 종합적으로 검토하여 현지여건에 부합한 최적의 형식을 결정해야 한다.



국내 화력발전소 개발가능 지역(Figure A)

1. 서론

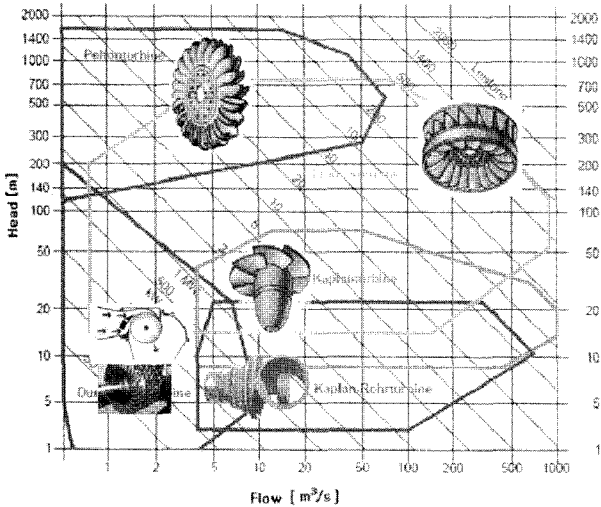
발전소의 Circulating Water System은 [Figure B]과 같이 냉각수를 바다에서 순환수 펌프로 취수하여 복수기를 거쳐 다시 바다에 방류하는 구조로서 개념적으로 소수력발전 에 이용할 만한 여유 낙차는 형성되지 않으나 발전소의 특성에 따라서 Seal Well과 조위변화에 따른 낙차로 운전하는 경우 또는 Discharge Canal을 댐화하여 조위변화에 따라 운전하는 방법이 최선일 수 있다.

따라서 조석에 따른 해수위 변화가 클 때에는 간조시

발전설비에서 가장 중요한 설비는 수차이다. 수차란 물이 가진 위치에너지를 이용하여 기계적 에너지로 전환하는 기계를 말하며 크게 2가지로 분류하고 물의 위치에너지가 고속의 운동에너지로 변환 상태에서 에너지를 취하는 충동수차(Impulse Turbine)와 물의 압력에너

지와 운동에너지를 함께 이용하는 반동수차(Reaction Turbine) 수차로 나눌 수 있다.

적용될 수 있는 여러가지 수차(Figure C)중 소수력 발전에 적합한 수차는 설치될 지점의 유량과 낙차형성 조건에 따라 기종이 결정되어지고 있지만, 우리가 검토하고자하는 적용범위가 저낙차형이므로 수차형식은 오스버그 또는 프로펠러수차(Kaplan, Tubular, Bulb 등)중 운전조건을 고려하여 표준화된 수차 모델, 제작회사 등의 선정도를 비교 검토하여 결정하는 것이 실수를 줄이는 최적의 선정방법이며, 최종결정은 제작사가 계속적인 연구를 하고 있기 때문에 제작사의 수차 특성을 고려하여 결정하는 것이 제일 합리적인 방법이다.



낙차 및 유량에 따른 출력과 각종 수차의 선정범위(Figure C)
(자료출처 : Jürgen Giesecke, Emil Mosonyi – Wasserkraftanlagen, 1998)

4. 적용터빈 비교 검토

방수로 이용 발전 시스템에 관해서 여러 대체 방안을 검토함에 있어서 몇 가지 요구사항이 일반적인 소수력과 다르기 때문에 응용 가능한 카프란, 프란시스, 오스버그 터빈 및 특히 최저 저낙차 평수로에 적용되는 BULB 터빈을 아래와 같이 비교 검토하여 참고할 수 있도록 각 터빈 형식의 장단점을 요약하였다.

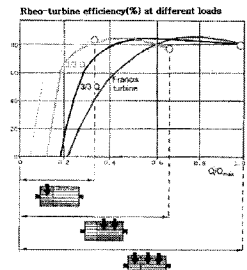
■ 카프란 수차

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> ● 사용 유량과 낙차 변동에 대하여 러너날개각도를 바꿈으로써 고 효율을 유지할 수 있다. ● 유량이 변화하는 경우 프란시스 수차 2대와 똑 같은 성능을 발휘 함. ● 낙차 변화가 큰 경우 저낙차에서 안내날개를 크게 열고 다시 러너날개를 열어 유량감소를 보상해서 출력저하를 경감시킨다. 	<ul style="list-style-type: none"> ● 효율의 저하 때문에 흡출관 및 방수로 물매에 제한을 받는다. ● 한 장의 날개에 받는 출력이 크기 때문에 날개 이면에 생기는 최대부하가 크게 되어 Cavitation이 발생하므로 러너를 방수로 수위에 대하여 상당히 낮은 위치에 설치해야 하기 때문에 경우에 따라서 필요한 만큼의 방수로를 얻는 공사비가 많이 든다. ● 러너보스내의 기구가 복잡하고 강도상 및 Cavitation상에서 고급재료를 사용해야 하므로 가격이 높다. ● 무구속 속도가 높기 때문에 발전기의 강도와 필요한 설계상의 관성계수를 고려해야 하는 제작의 문제점이 있다.

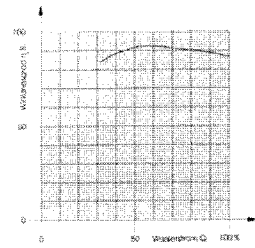
■ 프란시스 터빈

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> ● 사용 가능한 낙차영역이 이 터빈형에 비교적(펠톤 대비) 적합하다. ● 배압 또는 차수수위 보다 높은 위치에 터빈을 설치할 수 있다. ● 변동 낙차-유량 범위를 최적화한 두 설비를 설치할 경우 좋은 효율. ● 복합 플랜트는 최소한 두 설비를 설치할 필요성이 있으나, 펠톤 수차를 이용하는 것보다는 간단하다. ● 복잡하지만 낮은 운용비. 	<ul style="list-style-type: none"> ● 순간적으로 변화하는 수압 즉 밸브의 급 폐쇄 시 관로상(수압관)에 발생하는 수격압이나 잉여유량을 소진할 수 없다. ● 속도비에 따라 정격속도와 과속도사이의 과도현상에서 러너가 수류의 방향과 유량을 야기시킬 수 있다. 각 터빈에 바이패스 시스템을 설치하여 과속회전을 단축시켜야 한다. ● 유수 변동의 필요성 때문에 수개의 설비를 필요로 한다.

■ OSSBERGER 터빈

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> ● 모든 조건(낙차/유량)의 범위를 한대의 설비로 포용할 수 있다. ● 충격터빈플랜트의 유입유출(상류와 하류)부분에서 완전한 수력학적 분리. ● 긴 시간 동안 무구속 속도를 견딜 수 있는 발전설비 설계와 필요한 만큼의 개/폐 속도를 줄일 수 있는 본질적인 해결이 가능하며, 이 터빈에는 By-pass System이 필요 없다. ● 정격속도와 과속도 사이의 과도현상의 유량변화를 터빈 조절로 피할 수 있다. ● 모든 낙차/유량 범위에도 높은 효율유지. ● 단일 설비에 따른 간단한 플랜트 설계 ● 소규모의 발전설비 배치 ● 간편한 운전 및 저가의 운전비용 ● 균등하게 분포되는 효율로 kWh당 발전단가가 가장 낮음 	<ul style="list-style-type: none"> ● 약간의 손실수두를 감수하고 착수위보다 높은 위치에 터빈을 설치할 필요성. ● 정격 효율(rated efficiency)은 다소 차이가 있으나 부하변동에도 균등하게 분포되는 효율로 연간 발전생산량이나 수익성 등 실제적 평가는 높다(에너지 분석표 참조). 

■ Kaplan bulb 터빈

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> ● 안내깃과 윗켓트게이트는 특수 재질로 캐비테이션, 침식, 부식에 강하다. ● 폐쇄하중(Counter Weight) 에 의한 안정적인 윗켓트게이트의 개폐. ● 통상적인 볼 베어링 사용(필요한 경우 유지보수용이) ● 윗켓트게이트와 윗켓트게이트 조절기의 유지보수가 거의 필요 없는 베어링 ● 내용연수(8~12년)가 높은 벨트사용으로 유지보수가 간편하며 전체효율상승 ● 터빈케이싱이 콘크리트로 영구고정되며 진동이 적으며, 유지보수가 간편하다. ● 제조사에서 기계설비 조립 완료/설치의 간편성 ● 자동화로 유지보수가 적은 운전 ● 오일 없이 작동하는 런너/윗켓트게이트 조절 	<ul style="list-style-type: none"> ● 저낙차 용으로 낙차 및 유량의 적용범위가 한정되어 설치된다. 낙차 : 1 ~ 8 m 유량 : 1.5 ~ 30 m³/s ● 물의 흐름통로가 커지므로 다른 수차보다 큰 사용 유량과 저낙차에서 운전해야 경제성이 있다. 즉 상기 낙차와 유량범위에서 벗어난다면 터빈선정에 대한 재 검토 필요. 

5. 발전량 산정

해양소수력의 수력발전방식으로는 Seal Well이든 외부 댐이든 Open Canal부 배수로 수위(Figure D)를 기점으로 조수간만의 차에 따라 최대의 발전낙차를 형성하는 방식으로 출력은 유량, 유효낙차, 수차 및 발전기 효율을 이용하여 계산되며, 그 계산식은 다음과 같다.

1) 일반적인 이론수력

$$P = 9.81 \times Q \times H_e \times \eta_t \times \eta_g \times \rho$$

2) 화력발전소의 방류수를 이용한 이론적인 수력 부존량

$$E = \rho g \int Q h dt (\text{Watt-sec, kWh}) = \rho g Q \int_T^{T'} h dt$$

$$\text{조석주기}(T) \text{에서 } \int_T^{T'} h dt = H_e T$$

이론적으로 수력발전가능량은 순환계통 Weir 상단 수두와 해수면(조위)대비 낙차(h)와 방류량(Q)에 비례한다.

P : 출력(kW)

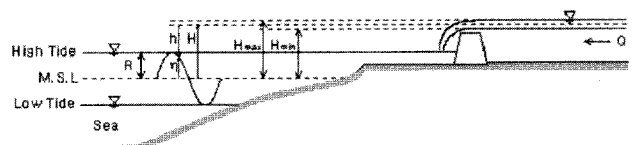
η_t : 터빈 효율

Q : 사용수량(m³/sec)

H_g : 발전기 효율

H_e : 유효낙차(m)

ρ : 밀도(t/m³)



방류수 이용 수력발전량 산정 개념도(Figure D)

6. 발전기

소수력용으로 적용되고 있는 발전기는 동기발전기와

유도발전기가 있다. 소용량 발전기의 경우 자기용량에 비해 계통용량이 적어 계통 및 주파수는 대용량 동기발전기에 의해 좌우된다. 따라서 계통조건에 문제가 되지 않은 경우에는 건설비용 및 경제성을 확보하기 위해서 유도발전기를 채용하는 것이 일반적이다. 유도발전기는 발생한 전압, 주파수가 병렬로 연계된 전력계통과 일치하게 하는 조절기능이 없어 여자장치, 동기투입장치 등이 필요한 동기 발전기보다 구조가 간단하여 설치공사 및 유지보수 측면에서 매우 경제적이나, 전력계통과 병렬 투입시 돌입전류가 발생됨으로 발전기의 운용과 접속되는 전력계통의 조건 등을 충분히 고려하여 형식선정을 해야 한다.

소수력발전소에 주로 채용하는 유도발전기는 연계계통으로부터 무효전력을 취하여 고정자권선을 여자하므로 별도의 여자설비가 필요없으나, 초기여자시 상당한 돌입전류가 유입되므로 연계선로에 연결된 일반부하에 의한 전압강하와 발전기 기동으로 인하여 발생하는 추가 전압강하를 10%이하로 유지하도록 규정하고 있으므로 연결지점에 대한 돌입전류에 대한 전압강하를 계산하여 제출해야 소수력개발심사위원회의 심사 시 통과가 가능하리라고 본다.

7. 토목 및 건축설비

소수력발전소의 설계 시 가장 중요한 것은 경제성을 고려한 설계를 해야 한다는 것이다. 발전소를 건설하면서 건물의 크기나 외형에 너무 치중하다 보면 당연히 경제성이 떨어질 수밖에 없으므로 현장여건을 고려한 경제적인 설계를 해야 한다. 토목공사의 경우 토목공사 설계는 수차형식을 결정하고 수차중심 표고를 결정한다. 수차중심 표고가 결정되면 수차실내의 각 설비의 소요면적을 고려한 공간배치를 하고, 기계설비의 반입, 분해 및 조립에 필요한 최소한의 공간을 고려하여 설계를 한다. 또한 건축설계의 경우 기본개념은 시설의 최적기능 발휘와 유지관리가 용이한 건물을 구성하고, 지역적 특성을 반영한 주변경관과 조화되는 외관을 형성하여야 한다.

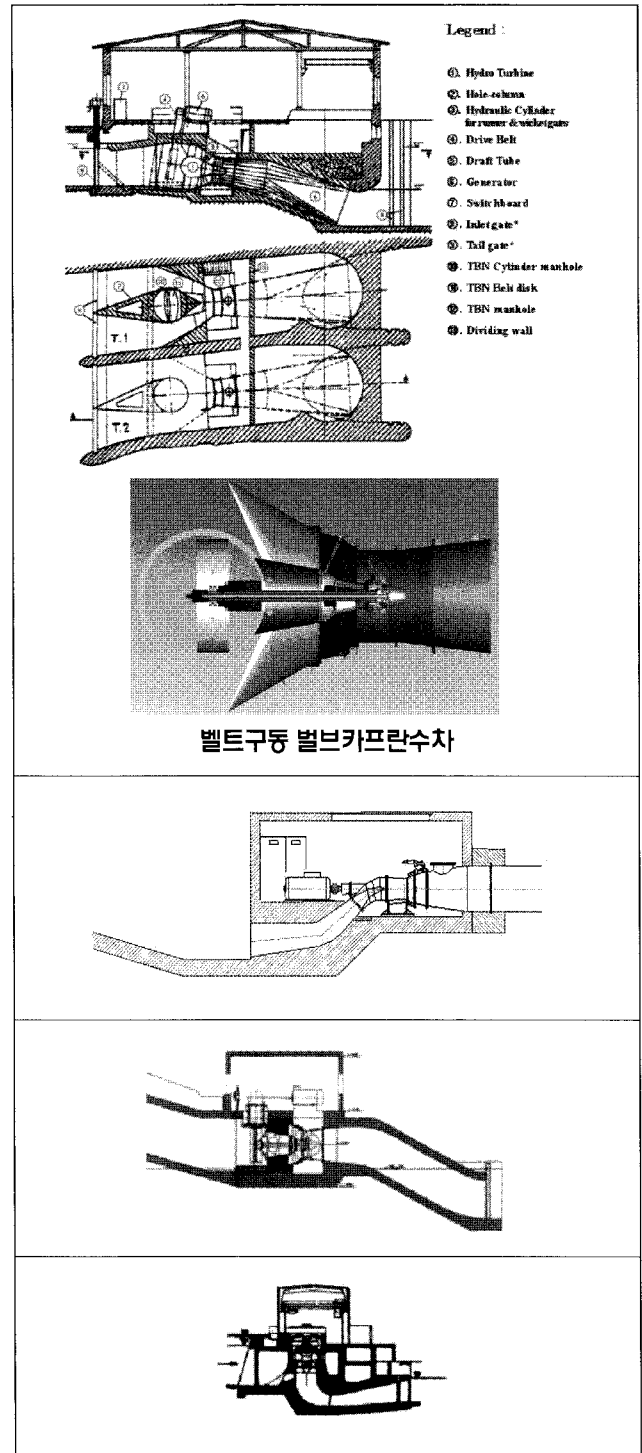
8. 결론 및 개발방향

수차 및 수리구조물의 설계 시 순환수 계통을 신중하게 접근한 후 기술적 검토를 해야 하며, 기술적 검토 시 운전조건인 낙차와 유량의 변화폭이 클 경우 무구속속도가 상당히 높기 때문에 이 범위에서 운전(조위에 따른 운전모드)되면 수차 Mechanism이 기계적 부하를 견딜

수 없는 critical point에 도달하기 때문에 연쇄적인 하자 및 마모현상 등 예상치 못한 사고가 발생할 수 있다.

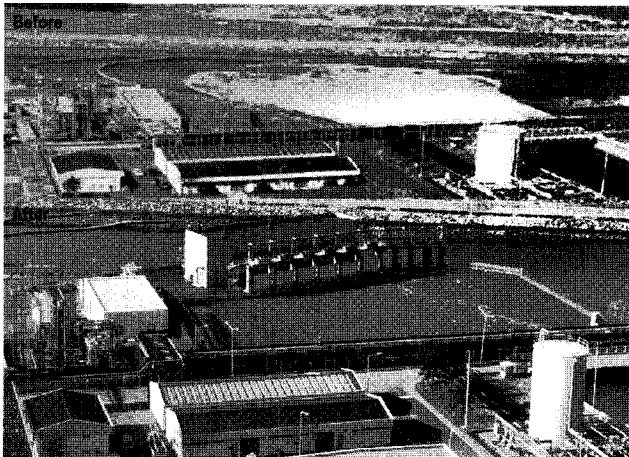
특히 이 경우에는 수차 Mechanism의 내구성과 이 운전조건을 감내할 수 있는 발전기 제작이 어려우므로 제작사의 기술력을 신중하게 검토되어야 한다.

9. 적용가능 발전시스템구성도



Kaplan Turbine configuration

적용 예 (삼천포 해양화력발전소)



참고문헌

1. Jürgen Giesecke, Emil Mosonyi – asserkraftanlagen, 1998
2. Hersel, H. ; Mönchmeier, R.J. : Die ersten Rohrturbinen an der Saale.
3. Sandor O. Palffy: WASSERKRAFTANLAGEN. Klein – und Kleinstkraftwerke.
4. 한국전력공사 전력연구원, 화력발전소의 해양수력발전시스템 타당성 조사
5. 한국수자원공사 “수력개발을 위한 타당성조사기준”, 1986

바이오가스를 이용한 가스엔진 발전기술에 관한 연구

* 본 자료는 일본 열병합발전센터 자료에서 발췌·번역한 것임

1. 머리말

지구온난화개선을 향한 京都議定書의 批准을 받고 금 후 더욱 온난화방지를 향한 대응을 강화해 나갈 필요가 있다. 우리는 종래부터 도시가스 가스엔진 고효율발전과 배열화수시스템 (Co-generation) 의 기술개발에 대응하고 전기와 열을 Onsite에서 공급하고 에너지 손실이 없는 고 환경성의 에너지공급과 에너지시스템의 보급확대에 힘써왔다.

한편 CO₂로 대표되는 온난화가스의 배출량 삭감을 향한 별도의 Approach로서는 Biomass의 이용이 있다. 바이오매스에 포함된 탄소분은 대기중에 포함된 CO₂가 광합성에 의하여 식물 내에 고정되어있는것이므로 바이오매스의 이용에 의하여 CO₂가 발생하여도 실질적인 CO₂의 증가에는 관련이 없다. 바이오매스의 이용방법으로서는 직접연소방식, 메탄발효 및 열분해반응/화학반응에 의한 가스화의 유효이용 등이 있다.

바이오매스로부터의 가스화는 에너지자원의 순환이용, 반송과 보존성의 향상, 그래서 자동차나 발전용 등 에의 용도확대 등 편리성이 크게 향상된것으로부터 바이오매스 이용의 보급확대가 기대된다.

본 보고에서는 바이오매스 에너지의 유효이용기술로 바이오가스 (메탄발효가스) 를 연료로하는 가스엔진 발전기술을 실용화로 향한 시험용 단기용 가스엔진을 이용한 연소 기초시험과 실 바이오가스를 이용하여 실증 시험을 한 내용을 보고한다.

본 보고의 일부는 독립행정법인·신에너지·산업기술종합개발기구 (NEDO) 와의 공동연구, 바이오매스 등 미활용에너지 실증시험사업·동 사업조사, 바이오매스 등 미활용 에너지 실증시험사업 「海産 미활용 바이오매스를 이용한 에너지 커뮤니티에 관한 실증시험사업」에서 다룬 내용이다.

2. 바이오가스를 이용한 가스엔진발전의 위치 부여

바이오게 연료를 발전용 연료로 사용할 경우 주로 4가지의 형태가 있다.

- 가스엔진발전
- 디젤엔진발전
- 가스터빈발전
- 연료전지 (인산형 발전)