2 화력발전소의 종류와 발전소 설계

글 신홍수 ＼ 플랜트엔지니어링부 이사 ＼ 전화 02-3433-7496 ＼ E-mail hongsoya@ssyenc.com

1. 머리말

이 원고 작성에 앞서 막 발돋움하며 첫 걸음을 내딛고 출발한 에너지사업부가 플랜트사업본부 조직개편에 따라 플랜트엔지니어링부로 흡수되면서 회사 내에서 발전 및 에너지에 관한 시각이 조금은 달라진 느낌을 지울 수가 없으나 저 밑에서 묵묵히 흐르는 깊은 뜻을 갖고 있는 플랜트사업본부의 일원으로서 회사 전 임직원께 화력발전소에 대한 인식을 높일 수 있게 되기를 희망한다.

2. 화력발전소의 개요

화력발전이란 Fossil(火石), 즉 석탄, 석유, 가스등 화석연료(火石燃料)가 갖고 있는 열(熱) Energy를 Boiler 또는 Steam Generator 그리고 Turbine Generator 등의 기계장치를 통하여 전기(電氣) Energy로 변환(變換)하는 것의 총칭이다. 따라서 적합한 장소에 전기를 생산하는 데 필요한 열 설비를 설치하여 위의 여러 연료를 태워 전력을 생산하는 장소를 화력발전소라 일컫는다.

3. 화력발전소의 종류

발전소의 종류는 사용되는 연료에 따라 분류된다. 대표적인 화력발전소는 석탄, 중유, Gas 등의 연료를 Boiler에서 연소시켜 고온 연소가스의 열에너지를 Boiler 내의 물로 가열하여 고온 · 고압의 과열증기를 만들어 증기터빈으로 보내 터빈을 고속회전 시켜 터빈에 연결되어 있는 발전기에 의해 전기에너지로 변환, 전기를 생산하는 기력발전(汽力發電)이다.

즉, 석탄, 중유, Gas 등 火石(Fossil)에서 얻어진 연료를 사용하여 전기를 생산하는 화력발전이, 방사능의 위험과 공포 속에서도 전력수요의 많은 부분을 감당해온 원자력발전을 차제하고, 內燃發電所(Diesel & Gas Engine Power Plant), Gas Turbine 발전소(Simple or Open Cycle 및 Combined Cycle Power Plant)에 비하면 발전소는 대부분 기력발전이며 근래 들어 석탄, 중유발전소(Fossil Power Plant 또는 Thermal Power Plant)와 배열회수증기발생장치인 HRSG를 Gas Turbine Downstream에 설치하여 석탄 · 중유 발전소의 약점인 발전소효율(현재까지 발전소효율 43% 안팎)을 복합화력에서는 일반적으로 54%대 효율을 유지해 오다 최근에 Gas Turbine의 대형화로 Single Shaft Type으로 60%가 넘는 효율을 달성하고 있다. 또한 열병합 발전소에서는 85%대의 효율로 운전되고 있으며 한동안 환경오염이 상대적으로 낮은 LNG 또는 Natural Gas를 사용하여 1990년대 들어서며 중동국가를 필두로 복합화력발전소를 여러 나라에서 건설해오고 있다.

유럽을 비롯한 세계적으로 Renewal Energy, Bio-Mass 및 지열, 조력, 풍력, 태양광, 태양열, 연료전지 등 신재생 에너지를 활용한 발전소가 CO_2 Gas 저감을 위한 각국의 노력, 규제 등과 더불어 확산일로에 있으나, 효율 및 초기 투자 등 경제성 측면에서 뚜렷한 잇점이 없다는 것이 안타깝다.

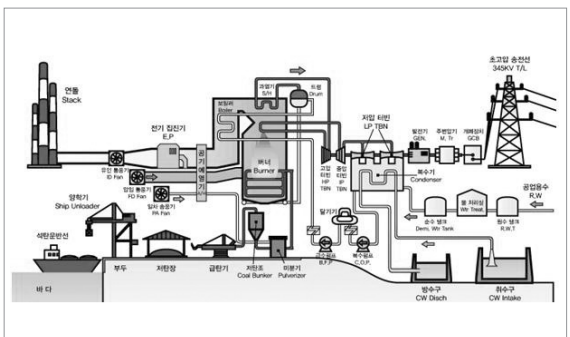
그밖에 석유화학 및 제철소 등에서의 Flue Gas 또는 부생가스를 이용하는 화력발전소도 있다. 또한 기력발전인 경우 증기의 온

도 · 압력에 따라 초임계압력 Super Critical Pressure(Steam Pressure ≥ 225㎏/㎠), 아임계압력 Sub Critical Pressure 등으로 구별하기도 한다. 최근에는 Super Super Critical Pressure 246㎏/㎠, 593℃ 이상인 초초임계압 발전소가 우리나라에서도 건설되고 있다.

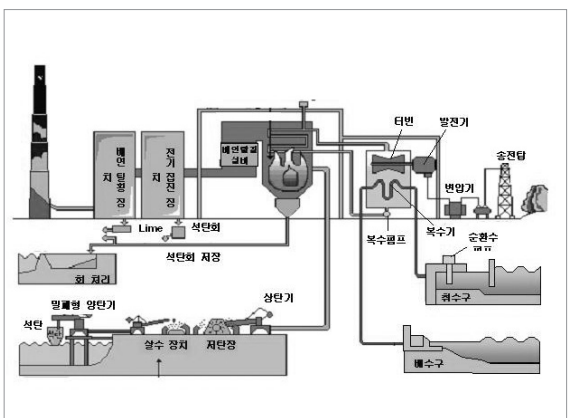
4. 화력발전소 주요 설비

화력발전소의 대표적인 주요설비는 Boiler, Turbine, 발전기 등 주기기와 보조기기(Balance of Plant, BOP) 즉 연료공급 및 처리계통, 응축수 및 급수 계통, 냉각수계통, 재처리계통, 기타 Utilities(Air, Service Water, Water/Waste Water Treatment System)등으로 구성되어 전기 생산에 각각의 역할을 담당하고 있다.

Fossil Power Plant의 주요설비 구성은 [그림 1] 및 [그림 2]와 같이 Boiler, Steam Turbine Generator, Condenser, Feedwater Heaters 등이 Main Cycle을 이루고 있으며 이들을 뒷받침하는 주요한 설비들은 다음과 같다.



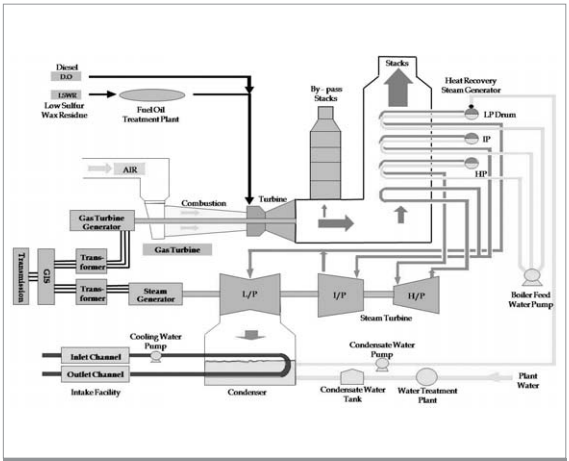
[그림 1] 석탄화력 발전소 계통도



[그림 2] 탈황설비를 갖춘 석탄화력 발전소

Fuel Receiving, Storaging Facilities, Metering System, Fuel Oil Storage Tank, Boiler Proper, Pulverizer, Mill, Fuel Oil Pump, Burners, Induced & Forced Draft Fan, SCR, Electro-Precipitator, Ash Handling, Fuel Gas Desulpherizer, Stack, Steam Turbine, Lube Oil System, Condenser, COP, BFP, Deaerator, Feedwater Heaters, Demineralizing Plant, Cooling Tower, Closed Cooling Water System, Circulation Water System, Generator Exiter, Transformers, Switch Gear and Electrical Facilities, DCS, CEMS, BMS, APS, 기타 Fire Fighting, HVAC, Waste Water Treatment 및 Sewer/Drainage System 등이 있으며 복합화력발전소에는 Boiler 대신에 Fuel Gas System, Gas Turbine Generator & Auxiliaries, HRSG 등이 설치되어 있고 그 외의 계통은 위의 Fossil Power Plant(기력발전)와 크게 다르지 않다.

다만 연료가 LNG or NG인 관계로 EP, SCR등이 생략될 수 도 있고 FGD는 필요치 않게 된다. 따라서 복합화력발전소는 용량에 따라 다르겠지만 같은 용량인 경우 석탄화력발전소보다 건설공사비가 적어도 약 30% 이상은 저렴하다. 또한 熱併合發電所인 경우는 복합화력발전소에서 추가적으로 DH Heaters, DH Pump, Accumulator, Heat Pump, Chiller 그리고 Peak Load Boiler 등이 지역 냉 · 난방용으로 설치되어 진다.



[그림 3] 복합화력 발전소 계통도

5. 화력발전소의 설계

화력발전소 설계의 출발점은 전력수요가 어느 정도냐에 따라 필요한 용량이 설정되고 적합한 장소 및 부지를 선정하기 위한 여러 가지 조사가 우선적으로 이루어져야 한다. 필히 타당성 조사와 경

제성 검토, 환경영향 평가 등이 발전소를 건설해도 좋다는 긍정적인 평가가 있어야 함과 민원문제가 원만하게 해결되어야 함이 전제되어야 본격적인 설계를 착수할 수 있다. 발전소의 건설용량이 설정되고 발전소의 운용에 대한 방침 즉 Base Load를 담당해야 하는지 Peak Load 를 담당해야 하는지 등 운전모드에 따라 주요기자재의 선정기준이 달라질 수 있다.

첨두 부하 즉 Peak Load 또는 부분 부하 담당 발전소는 빈번한 기동 · 정지에 따른 기기의 신뢰성과 기동성을 유지하도록 설계하여야 하며 APS(Automatic Plant Start-up/Shut Down)가 요구되는 추세이다. 또한 Feasibility Report 등에서 언급되어 있겠지만 작금에 유가의 상승과 더불어 Gas 가격도 치솟아 많은 대형발전소의 연료가 석탄으로 환원되고 있는 추세이고 이에 따라 Pulverized Coal Firing Type Boiler(PC Boiler)보다 Circulation Fluidized Bed Combustion Boiler(CFBC Boiler)가 저렴하며 다양한 연료사용(저질탄, Peak, Lignite, Bio-Mass, RDF 또는 도시 쓰레기 등)과 친환경 측면에서 상대적으로 PC Boiler 보다 우수하기에 500MW급 이하의 중소규모 화력발전이나 열병합 발전소 건설의 경제성 확보에 유리한 입장이지만 아직은 같은 용량의 Boiler에서 PC Boiler보다 초기투자비가 높다.

또한 국내기술로서는 단위용량이 200MW급에서는 현대중공업이, 두산중공업은 340MW급의 여수화력 2호기 등을 수주하여 건설 중 이며 세계적인 CFBC Boiler의 선도적 역할을 하는 미국의 Foster Wheeler Energy Corp.는 460MW급 유동층 보일러의 상업운전을 하고 있기 때문에 삼척그린파워발전소에 500MW급 유동층 보일러를 공급하기에 이르고 있다.

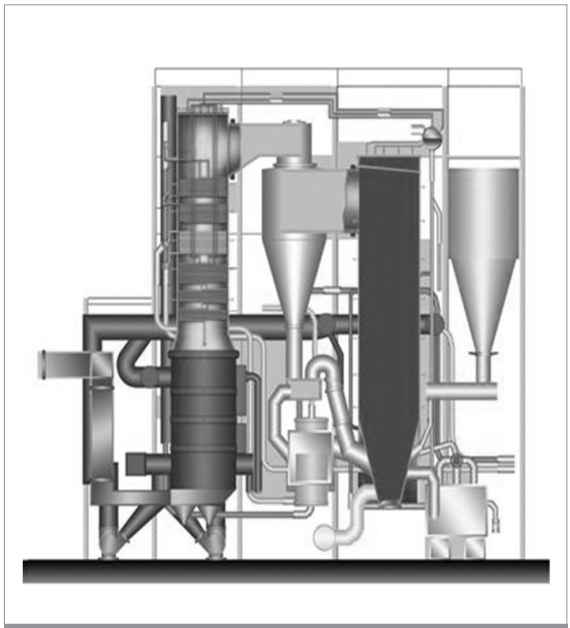
반면에 PC Boiler인 경우 영흥화력 발전소에 800MW급을 두산중공업에서 공급하였고 당진화력 발전소의 1,000MW급은 불행히도 국내업체가 아닌 외국업체가 공급하게 되었다.

아래 그림은 PC Boiler와 CFBC Boiler를 비교한 것으로 위에 언급한 내용을 단편적으로 보여주고 있다.

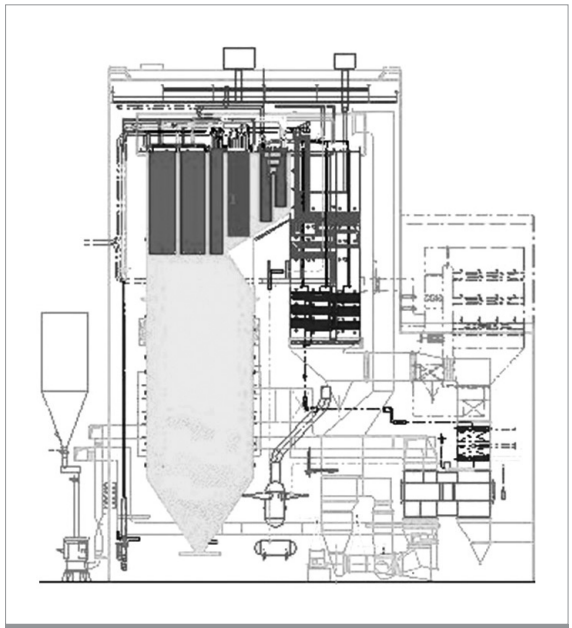
大容量을 必要로 하는 시대적 상황에 부응하기 위한 방편으로 원자력발전이 환경단체의 반대에도 불구하고 건설되어 오다 지난 2011년 3월11일 일본 동북해안 지대에 위치한 후쿠시마 원전 1~4호기가 진도 9.0 이 넘는 대형지진과 30m 파고를 갖은 쓰나미에 의해 파손됨으로써 방사성 물질이 직접적으로 누출된 사고로 앞으로 많은 세월(적어도 30년) 동안 고통은 물론 후세에도 심각한 영향을 끼치게 되다 보니 세계 여러 나라에서 원전 폐쇄운동이 일고 있다.

따라서 大容量발전을 실현 시킬 수 있는 석탄을 이용한 연료개발에 지속적인 연구를 거듭하고 있으며 Coal Gasification 즉 석탄을 원료로 열분해, 부분산화, 수소화 분해 등의 원리를 이용해 연료용 가스 또는 화학공업용 합성가스, 수소 등을 생산하는 기술을 이용해 발전용 연료를 얻어 이를 이용한 전력생산 발전소를 건설하고 있다.

더 나아가 Underground Coal Gasification(UCG)의 기술을 개발하여 세계 여러 나라에서 건설 · 가동 중에 있으며 원리는 지하

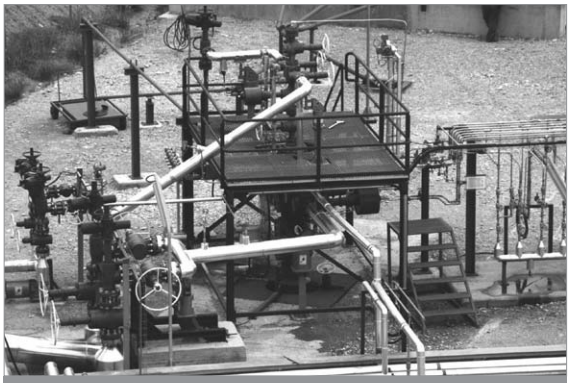


[그림 4] CFB Boiler (200MW급)

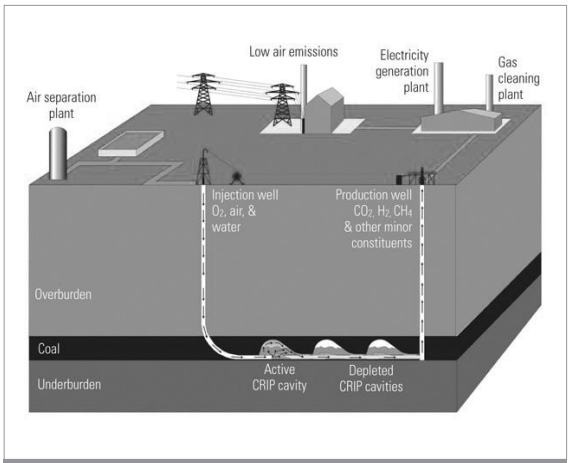


[그림 5] PC Boiler (800MW급)

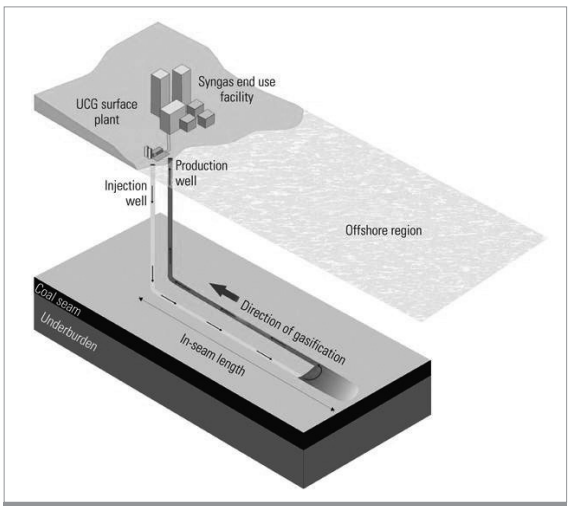
에 매설된 석탄층에 구멍을 뚫어 산소, 공기, 물 등을 분사시켜 넣고 발전소 연료로 사용 가능한 메탄가스(CH_4)를 얻어내고 또한



[그림 6] UCG-Injection Well 설치작업 사진



[그림 7] UCG 개념도 (지하)



[그림 8] UCG 개념도 (해저)

CO_2, H_2등 화학공장에 사용할 수 있는 합성가스등을 뽑아낸다. 다음은 UCG에 대한 사진 및 개념도이다.

한편 지구온난화 방지책의 하나로 CO_2를 줄이기 위해 지구촌의 많은 나라들은 Renewable Energy로 전력생산량을 늘려 나아가는 노력을 적극적으로 추진하고 있다. 비록 경제성 차원에서는 상대적으로 불리하지만 정책적인 면에서 심혈을 기울여 개발 및 투자를 하고 있다.

Bio-Mass(Woodchip), Solar Photovoltaic, Fuel Cell, Wind Power 등이 있으며 최근에 중동 및 기타 사막지역에서 Combining Gas Photovoltaic(CGPV) 형식으로 복합화력에 태양광을 이용한 발전형식도 진행되고 있다.

CGPV도 아래 [그림 9]와 같이 Combined PV에서 생산된 전력과 복합화력에서 생산된 전력이 같은 Grid에 연결 송전되는 방법과, [그림 10]에 표시된 바와 같이 Solar Energy(Parabolic Trough)를 이용하여 열매유를 가열하여 복합화력 발전소의 Economizer(절탄기) 입구에서 분기한 급수를 가열하는 열매급수가열기를 이용하여 생성된 증기를 복합화력발전소 고압증기드럼 입구에 연결하여 증기생산량을 늘려 전체적인 전기발생량을 늘리는 Combining Gas & Solar Power Plant 건설이 진행되고 있다.

또한 기존 석탄화력의 연료운반 장치를 활용한 Bio-Mass(Woodchip)와 Coal을 혼소하는 발전소도 [그림 11] ~ [그림 14]처럼 외국에서는 건설되고 있는 실정이며, 숲과 나무가 풍부한 외국에서는 대형 Woodchip CFB Boiler를 설치하여 발전

[그림 9] 공동 Grid를 이용한 PV & CCPP (El Dorado Energy Plant)

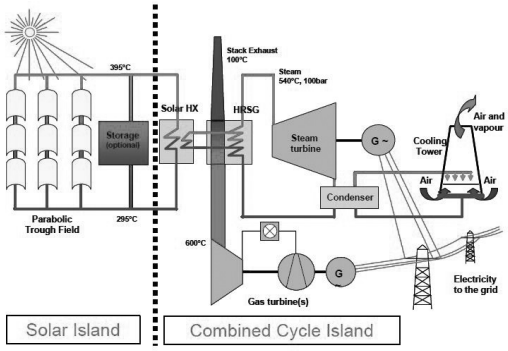
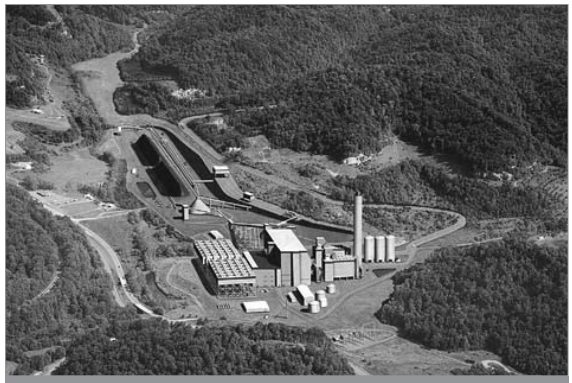


Figure 1 Scope Split and General Concept of an ISCC

[그림 10] Gas & Solar Combining Power Plant 개념도

[그림 11] Coal & Woodchip Combination System

[그림 12] Woodchip Conveying System



[그림 13] Bio-Mass(Woodchip)와 Coal을 조합 사용하는 CFBC Boiler 발전소 전경 (Virginia City Hybrid Energy Center)

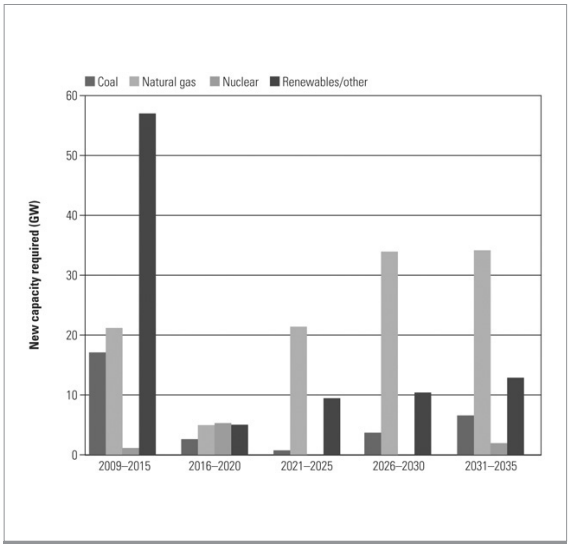
[그림 14] 건설중인 Woodchip Boiler 사진

소의 대형화에 동참하고 있으나, 반면 우리나라에서 Bio-Mass(Woodchip)로 사용되는 연료를 지속적으로 공급하는데 한계가 있는 점이 외국의 경우와는 다른 입장이다.

EIA(Energy Information Administration, USA)의 조사에 의하면 아래 도표에 나타나 있듯이 2015년까지는 신재생에너지를 이용한 전력생산이 폭발적으로 증가될 것이나 그 이후에 천연가스를 이용할 발전이 주종을 이룬다는 전망이다.

문제는 火石燃料의 고갈과 원전방사성 물질 노출에 대한 공포 등과 CO_2 Capture에 대한 부담 등에서 벗어나려 Renewal Energy에 대한 연구개발이 온 지구촌에서 다각적으로 진행되고 있다.

위에서 언급한 바와 같이 화력발전소 설계에서 간과해서는 않되는 것은 각 기기들의 성능 및 품질보증은 물론이거니와 환경친화적인 구도를 갖춘 발전소가 건설되도록 해야 하며 나날이 다양하게 진화하는 연료의 종류, Boiler의 Type, Turbine의 대용량화 등에 따른 설계조건들의 변화에 촉각을 세우고 부단한 노력을 기울여야만 한다.



[그림 15] 연료 및 연도별 발전수요 전망 도표

대부분 발전소의 위치가 냉각수를 용이하게 확보할 수 있는 지역에 위치하고 있고 특이하게 사막이나 고산지대에는 공냉식 복수기를 채택하여 발전소를 운영하고 있지만, 나날이 규제가 심해지는 환경규제조건과 부지확보의 어려움에 직면하면서 각 Turbine 제작사(MHI, GE, Siemens, Alstom 등)는 단위기기 용량의 대형화를 시도하여 Single Shaft 1+1 Configuration의 구도로 Siemens는 570MW 60% Efficiency(SCC5-8000H 1S), MHI는 670MW 효율 60% 이상인 모델(M701J)을 생산하고 있는데다, 최근에 Siemens는 HRSG 전문업체인 네덜란드의 NEM을, MHI는 굴지의 Hitachi를 인수합병하여 발전소 주기기 제작업체들의 대형화 선점을 위한 각축전이 치열한 반면 우리나라 주기기 업체는 어디로 가야 하는지 자못 심각해진다.

6. 맺음말

유행처럼 번지고 있는 EPC Contracting 열병에 우리 쌍용건설도 예외없이 앓고 있지만 긴 세월 동안 주로 시공에 의존해오던 대한민국 대부분의 건설업체가 필요에 따라 Engineering, Procurement, Construction의 계약자로써 원만하게 공사 수행을 하기 위한 수많은 시행착오를 겪고 앞서가는 몇몇 건설업체에서 알 수 있듯이 과연 우리는 설계와 자재 구매 관리에 얼마나 많은 지식과 경험을 갖고 있나 되묻고 싶다.

또한 전체 공사비에서 설계가 차지하는 비중은 아주 작은 편이다. 하지만 설계의 부실이나 실패는 궁극적으로 전체공사를 망칠 수 있음에 지금 이 순간부터 라도 우리 임직원 여러분들은 설계와 자재관리의 중요함을 인식하여 보다 성숙된 EPC 계약자로 거듭 나길 바라며 플랜트엔지니어링부에 많은 격려와 지원을 부탁드리며, 맺음말을 갈음한다.

참고문헌

❶ Power Magazine, 2010 & 2011
❷ Journal of Power and Energy System, 2011
❸ 한국전력공사 발전교육 자료
❹ Fitchnersolar's Report