

## 결론

### ▶ 분석기간 1년 동안

- 총 누적운전시간 : 8,748시간(가동율 99.8%)
- 총 누적발전량은 1,850 MW(발전율 88.1%)
- 총 폐열회수량은 2,517 Gcal
- 연평균 총괄효율은 67.51%  
발전효율은 26.15%, 폐열효율은 41.37%
- 세대당 연평균 월요금은 74,727 원  
한전전기 사용 보다 45,003 원이 절감(절감율 37.59%)

### ▶ 온열부하 담당비율 :

보일러 생산열량 6,508Mcal/년, 발전폐열 2,517Mcal/년  
발전폐열 담당비율은 27.89%

### ▶ 요금의 절감율은

고정요인 : 평균평형(전기 사용량), 전기/가스요금의 변동  
변동요인 : 발전효율(흡기온도)  
폐열 회수량에 영향(회수방법, 흡입구 수온)

## 고전압 대전류 송전에 적합한 절연관 부스바 소개



(주)중경이피아이  
기술지원팀 / 과장  
박병준  
Tel. : 031-393-6547

### ABSTRACT

고전압, 대전류의 송전을 위한 기존의 케이블 포설법

과 부스덕트 시공법상 발생하기 쉬운 여러 문제점에 대한 보완 개선되어 새롭게 개발된 HiViPS (High Voltage/Current Insulation Pipe Bus-bar System)라는 복합 차폐 절연관 부스바(Complex Insulation Pipe Tubular Bus-bar)를 소개한다.

### 1. 서론

복합 차폐 절연관 부스바(Complex Insulation Pipe Tubular Bus-bar)의 가장 큰 특징은 다음과 같다.

첫째 대전류를 전송하는 것이다. 특성상 전류의 크기가 도체의 단면적에 비례하는 성질을 이용하여, 기존의 일반 전선과 부스바와 달리 관형으로 제조해 전류를 전

송할 수 있게 하였다.

둘째는 절연에 있다. PTFE라는 테프론 계열의 수지를 이용해 절연효과를 극대화하여, 손으로 만지거나 금속 물질을 접촉하여도 단락이 되지 않도록 하여 감전 등, 사고의 위험성을 줄여 안정성을 확보할 수 있다.

세번째 특징은 표피효과를 이용하여 개발되었다. 표피효과는 교류전류가 흐를 때 도체의 가장자리로 전자가 밀집 분포하여 전선의 가운데 부분은 거의 전류가 흐르지 않는 특징이 있다.

그러한 성질을 이용하여 도체의 속 부분을 비움으로써, 파이프 형태의 선로를 개발하였고 전자의 분포를 관형의 단면적에 고르게 분포시킴으로써, 기존의 사각형의 단면모양에서 발생하는 전압강하 등 여러 가지 문제점을 해결하였다.

넷째는 전자파의 차폐이다. 알루미늄박막으로 도체를 여러번 감아서 차폐를 함으로서 주위의 전기 장치 등에 영향을 주지 않도록 설계하였다.

다섯째는 열수축튜브를 사용하였다. 제조, 시공시 간단하게 열을 이용하여 피복함으로써 고온, 화학물질, 화재 등으로부터 안전하게 선로를 보호할 수 있다.

이상에서 우리는 복합 차폐 절연관 부스바의 특징을 짚어보았다.

절연관 부스바는 대용량 시공에 사용하는 기존 케이블 다중포설, Bus-Duct에 비해 많은 장점을 갖고 있기 때문에

에 최근에 여러분에게 적용되거나 검토가 진행중에 있다. 본문에서는 이런 특징과 관련하여 하나씩 하나씩 다뤄보기로 한다.

## 2. 본론

### 2-1. 대전류의 전송

가. 한 가닥으로 전송할 수 있는 용량이 부스덕트나 케이블과 비교해 월등하게 높다.

- Copper의 경우 9000A, Aluminum의 경우 4000A를 전송할 수 있으며 이는 부스덕트의 2000A, 케이블의 1000A보다 월등하다.

### 2-2. 절연 방법

가. 절연재료 : PTFE를 사용하며 이 재질은 Teflon 계열이며, 넓은 온도특성(-250℃~380℃)을 가지며 화학적으로 안전성이 높은 절연체이다.

\* 테프론(Teflon)은 폴리테트라플루오르에틸렌 (polytetrafluoroethylene ; PTFE)의 상표명으로, 미국의 듀폰사에서 개발한 불소수지임. 열에 강하고, 마찰 계수가 낮으며, 화학부식에도 강한 특징을 갖고 있음

### 나. PTFE 특성

우수한 전기적 절연성능을 갖고 있기 때문에 고압용

PTFE 특성

구분	항목	시험방법	테프론(PTFE)	비고
		ASTM		
기계적성질	끊김 항복강도	D838	14-34 kg/cm <sup>2</sup>	
	끊김 파단강도	D838	140~350kg/cm <sup>2</sup>	
	끊김 파단성장	D838	200~400	
	굽힘강도	D790	- kg/cm <sup>2</sup>	
	휨 탄성율	D790	4,000~5,000kg/cm <sup>2</sup>	
	압축강도	D695	50~60kg/cm <sup>2</sup>	
	선단강도	D732	10.9kg/cm <sup>2</sup>	
	표면강도	D785	R10~20룩엘	
	충격강도	D258	10.9kg.cm/cm	
물리적성질	내마모성	D1044	- mg/1000회	
	비중	-	2.1~2.2	
	용점	-	327℃	
	선팽창 계수	D696	5.5 × 10 <sup>-5</sup> /℃	
	열전도율	-	0.216 kcal/M.Hr.℃	
	흡수율(수증24hr)	D570	< 0%	
	비열	-	- kcal/kg.℃	
	하중 굴곡 온도 8.5kgf/cm <sup>2</sup>	*3 D648	56℃	
	연속 사용 온도	*4	260℃	
전기적성질	연소성	D635	V0	
	체적 고유 저항	D257	1×10 <sup>18</sup> Ω-cm	
	유전율(103Hz)	D150	2.1	
	유전탄젠트(103Hz)	D150	>0.0002	
	절연 파괴 강도	D149	20kV/mm	

케이블에 많이 사용하며 고온(350℃)에서 녹지 않으며 초저온(-260℃)에서도 부서지지 않은 탁월한 온도 특성과 신문지 한장 정도의 두께로 1,000V의 고압에도 견디는 우수한 절연성을 가지고 있으며, HiViPS 제품은 얇은 PTFE를 전압크기에 따라 절연값을 계산하여 Multi-Taping의 방법으로 특수 제작하기 때문에 우수한 절연 성능 및 온도 특성에 맞도록 주문 생산으로 제조한다.

### 2-3. 표피효과의 이용

#### 가. 표피효과란?

도체에 교류가 흐를 경우 도체내의 전류밀도 분포는 동일하지 않다. 이것은 도체 중심부의 전류와 쇄교하는 자속수가 많기 때문에 부분적으로 인덕턴스가 커지기 때문이다. 이런 현상을 표피효과(Skin Effect)라고 한다.

주파수나 도체의 단면적 및 도전율이 커질수록 표피효과 역시 커진다. 단면적이 큰 도체 또는 판상의 도체에 교류가 흐를 때 이 도체내의 전류분포가 균등하다고 가정해보면, 이 도체를 단면적이 같은 무수한 세선으로 분할해 생각하면 각 세선은 전류 및 저항이 같고 저항에 의한 전압강하는 같지만 각 세선과 자속과의 쇄교수는 중앙부로 갈수록 커져 리액턴스에 의한 전압강하는 중앙부로 갈수록 커진다. 그러나 실제로는 전체가 결합하여 하나의 도체를 이루고 있기 때문에 각 세선의 임피던스 강하는 일치하게 된다.

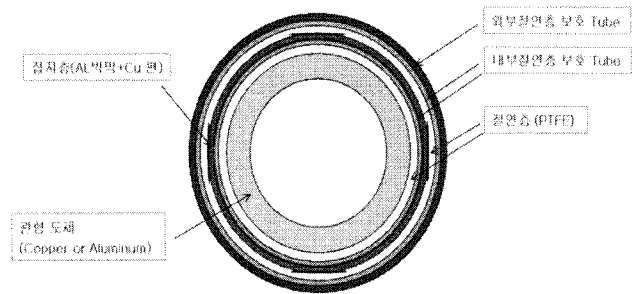
따라서 전류는 도체표면 가까이에 모여서 내측 세선의 임피던스 강하를 감소시키고 동시에 외측 세선의 전압강하를 증가시켜 도체 각 부의 전압강하가 내외측 모두 균등해지도록 분포한다. 이상과 같은 이유로 일반적으로 도체에 교류가 흐를 경우에는 전류밀도가 중앙부에서 보다 그 표면에 가까워질수록 커지는 경향을 보인다. 이 효과를 표피효과라고 한다. 절연관 부스바는 이 원리를 이용하여 도체의 내부가 파이프 형태로 비어있다.

#### 나. 절연관 부스바의 내부 구조

절연관 부스바의 도체는 Copper 혹은 Aluminum 관형으로 되어 있으며 주 절연 재료는 PTFE 계열로 Clean Room에서 직접 도체에 감아 생산을 하며, 전계 분포를 억제하여 완전한 전기차폐를 구성하기 위해 복합 절연층에 정전기발생 방지용 소재를 첨가하였고 접지층을 만들어 절연관에 대한 외부접지를 할 수 있도록 하였으며, 절

연층 표면에는 밀봉식 열수축 Tube를 고착시켜 복사, 응결, 이슬, 서리, 외부 빗물 유입이 되지 않도록 하였다.

#### 다. 절연관 부스바 구조단면도



#### 라. 절연관 부스바 세부 구조 설명

##### (1) 외부 보호 Tube와 접지층

외부 충격으로부터 절연층 및 도체를 보호하기 위해 열수축 Tube로 외부를 감싸지며, 내부에 접지층 및 정전기 차폐제로 Coating이 된 열수축 Tube를 내,외에 다시 마감한다. 또, 알루미늄 박막에 Copper편을 붙인 형태의 Rapping된 접지층은 중간 연결시 Cover In/Out에 Clamping으로 처리하며 외부 접지에 Bonding 되도록 쉴드접지연결이 이어지도록 한다.

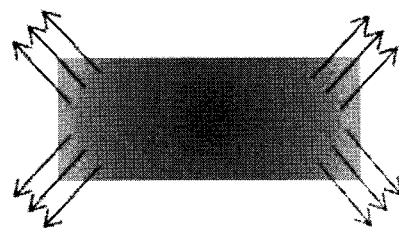
##### (2) 절연층과 차폐층

절연층과 차폐층은 사용전압의 크기에 따라 Layer를 구분하고, 절연층은 PTFE를 Taping으로 층을 구성하며 차폐층은 절연층과 절연층 사이에 외부 전계 발생 방지 목적으로 알루미늄 박막으로 처리한다. (예: 22.9kv의 경우 약 13 Layer로 구성됨)

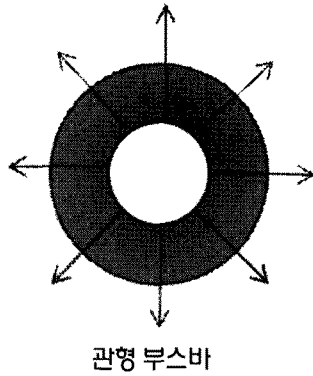
##### (3) 도체

전류크기에 따라 도체 재질(Copper-3,000A 이상의 경우 주로 사용, Aluminum-4000A 이하의 경우 주로 사용)과 두께 및 직경을 결정하여 제작한다.

(4) 관형이기 때문에 사각형도체에 비해 도체표면전류가 균일하게 분포되어 전력소모량이 훨씬 적다.



사각형 부스바



#### 2-4. 표피효과와 장거리 전송에 따른 전압강하

예를 들어 6.6kV, 4000A를 장거리 전송시 통상 400sq 케이블 7~10가닥을 TRAY설치 시공시 이론적으로는 308V (4.67%)의 전압강하가 이루어진다고 계산되나 절연관 부스바의 경우 최근 중국 호북성 전력 시험연구소에서 직접 테스트결과 0.17V / Meter의 전압강하가 이루어진다는 시험결과를 얻었다.

따라서 동일 용량 전송시 170V의 전압강하가 생기고 이는 동일 용량의 다중 Cable 포설법과 비교시 약 40% 이상의 절감효과가 있으며, TRAY시공과 케이블 다중포설에 따른 상 불평형, 부분 발열등 여러 문제점을 보완할 수 있고 전압강하율의 절감효과는 열병합 발전시 손실로 발생하는 에너지를 줄이고 CO<sub>2</sub> 발생 감소 및 에너지 사용 효율을 높일 수 있는 경제적 효과까지 충분히 발휘할 수 있다.

#### 2-5. 열수축튜브(외부 보호층)의 특성 Data Sheet

열수축튜브(외부 보호층)의 특성 Data Sheet

구분		테스트조건	성능지표	테스트방법	비고
물리성능	흡수율, %		≤0.1	GB/T1034-1998	
	직경방향수축, %	130±2 °C/1~3min	≥50		
	축방향수축, %	130±2 °C/1~3min	≤10		
	경도 A		80±5	GB2411-1980	
	인장강도, MPa		≥12.0	GB/T1040-1992	
	단열신장율, %		≥400	GB/T1040-1992	
	저온유연성	-10±2 °C/1hr	갈라진 흔적없음	UL224-1992	
	열충격성능	136±1 °C/1hr	갈라진 흔적없음	UL224-1992	
	인장강도유지율	158±1 °C/168hr	≥70%	GB/T7141-1992	
단열신장유지율	158±1 °C/168hr	≥70%	GB/T1040-1992		
화학성능	연소성 (OI)		≥28.0	GB/T2406-1993	
	발화위험테스트*	960±15 °C	합격	GB5169	

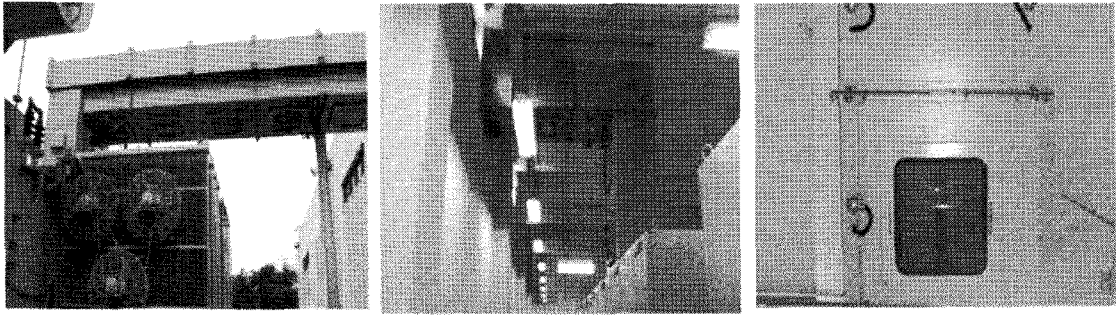
#### 2-6. 기존시공법의 문제점

장거리 송전시 기존 Cable 포설 시공법은 대 전류를 송전하기 위해 다중 포설법을 사용하는데, 이때 발생하는 전압강하, 상 불평형, 부분 발열 등 문제와 표피효과에 따른 여유를 항상 고려하여 설계를 한다.

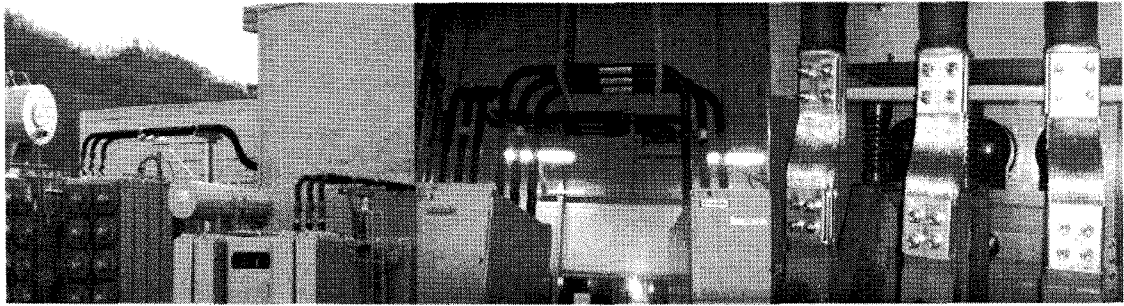
또한, 최근 수전전실에 많이 적용되어진 Bus-Duct 시공법(그림참조 1) 역시 상간 와전류(맴돌이전류)에 의한 발열, 표피효과에 의한 국부 발열, 결로 현상에 의한 단락사고, 장시간 외부 노출 시 부식에 의한 내구성 감소 등의 문제점 발생되며, 유지관리를 위한 Safety 용 Casing 설치(외부 노출 시 방수 및 방진에 특히 유의) 및 상황에 따라 내부 Bus-Bar 상태 감시를 위한 감시창 & Cooling Fan 설치와 온도 변화를 감시하기 위한 RTD 혹은 TC 설치등의 부가적인 요소들이 발생하는 점들의 문제점이 있다.

이에 비해 복합 차폐 절연관 부스바는 그림참조 2와 같이 도체외부가 완전 절연되어 있어 별도의 Casing이 필요 없고, 육안으로 설비 감시가 가능하여 관리에 용이하며, 색상으로 Phase를 구분할 수도 있고 외부에 경고 Sticker를 부착하여 안전 사고 방지 효과 또한 크며 RTD 혹은 TC, Cooling Fan 등 설비를 보호하기 위한 별도의 장치 또한 불필요하다는 장점이 발생한다.

또한, 전기 성능과 안정적인 화학 성능으로 외피가 손상되지 않는 한 30년 이상 사용가능하다.



그림참조 1



그림참조 2

## 2-7. 복합 차폐 절연관 부스바(Complex Insulation Pipe Tubular Bus-bar) 규격

도체는 구리와 알루미늄 두 가지를 사용할 수 있으며, 규격은 아래와 같다.

### 1) Copper Type 절연관 부스바

- 440V 용

규정 전류 A	도체직경 mm	1min주파수 내압수준 kV	열안정전류 유효치 (4s) kA	동안정전류 최고상승치 kA	단면적 mm <sup>2</sup>	표준형 반경 mm	온도 상승 K	최소이격 거리 mm	부스바 최대 구간거리 M
4000	φ100×10	2	63	158	2826	350	≤55	≥275	≤10
5000	φ100×12	2	63	158	3316				
6000	φ120×12	2	63	158	3542				

- 6.6kV 용

규정 전류 A	도체직경 mm	1min주파수 내압수준 kV	열안정전류 유효치 (4s) kA	동안정전류 최고상승치 kA	단면적 mm <sup>2</sup>	표준형 반경 mm	온도 상승 K	최소이격 거리 mm	부스바 최대 구간거리 M
4000	φ100×10	24	63	158	2826	350	≤55	≥275	≤10
5000	φ100×12	24	63	158	3316				
6000	φ120×12	24	63	158	3542				

- 22.9kV 용

규정 전류 A	도체직경 mm	1min주파수 내압수준 kV	열안정전류 유효치 (4s) kA	동안정전류 최고상승치 kA	단면적 mm <sup>2</sup>	표준형 반경 mm	온도 상승 K	최소이격 거리 mm	부스바 최대 구간거리 M
4000	φ100×10	105	63	158	2826	350	≤55	≥275	≤10
5000	φ100×12	105	63	158	3316				
6000	φ120×12	105	63	158	3542				

## 2) Aluminum Type 절연관 부스바

- 440V 용

규정 전류 A	도체직경 mm	1min주파수 내압수준 kV	열안정전류 유효치 (4s) kA	동안정전류 최고상승치 kA	단면적 mm <sup>2</sup>	표준휨 반경 mm	온도 상승 K	최소이격 거리 mm	부스바 최대 구간거리 M
2500	φ100×10	2	40	50	2826	350	≤55	≥275	≤8
3150	φ100×12	2	40	63	3316				
4000	φ120×14	2	63	63	4660				

- 6.6kV 용

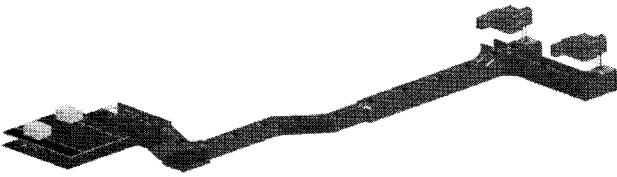
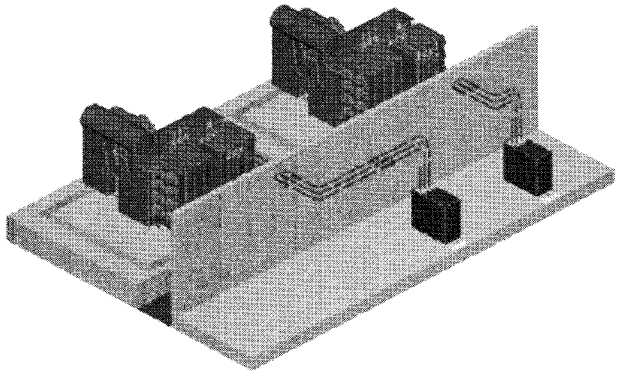
규정 전류 A	도체직경 mm	1min주파수 내압수준 kV	열안정전류 유효치 (4s) kA	동안정전류 최고상승치 kA	단면적 mm <sup>2</sup>	표준휨 반경 mm	온도 상승 K	최소이격 거리 mm	부스바 최대 구간거리 M
2500	φ100×10	24	40	50	2826	350	≤55	≥275	≤8
3150	φ100×12	24	40	63	3316				
4000	φ120×14	24	63	63	4660				

- 22.9kV 용

규정 전류 A	도체직경 mm	1min주파수 내압수준 kV	열안정전류 유효치 (4s) kA	동안정전류 최고상승치 kA	단면적 mm <sup>2</sup>	표준휨 반경 mm	온도 상승 K	최소이격 거리 mm	부스바 최대 구간거리 M
2500	φ100×10	105	40	50	2826	350	≤55	≥275	≤8
3150	φ100×12	105	40	63	3316				
4000	φ120×14	105	63	63	4660				

### 2-8. 복합 차폐 절연관 부스바(Complex Insulation Pipe Tubular Bus-bar) 시공실적 및 사례

순서	적용 회사명	사용처	규격	설치일	재질	분야
2009 년						
1	웅진폴리실리콘㈜	주 배전반용	22.9KV/3,000A	2009.12	Copper	화학
2		전기로 MAIN용	6.6KV/5,000A	2009.12	Copper	화학
3		전기로 MAIN용	6.6KV/3,000A	2009.12	Copper	화학
2010 년						
1	POSCO 포항	4소결 주 배전반	3.3KV/4,500A	2010.07	Copper	철강
2	POSCO 광양	5소결 주 배전반	6.6KV/5,000A	2010.07	Copper	철강
3	삼광유리(주)논산	주 배전반용	3.3KV/2,000A	2010.06	Aluminum	화학
4	삼광유리(주)논산	용해로 E/Booster	170V2,500A	2010.09	Aluminum	화학
5	KCC 여주공장	소내 배전반용	440V/4,000A	2010.12	Aluminum	유리
2011 년						
1	포스하이메탈	주 배전반용	22KV/4,000A	2011.3	Copper	철강
2	KCC 울산공장	주 배전반용	440V/4,000A	2011.3	Aluminum	화학
3	코오롱 구미공장	소내 배전반용	3.3KV/2000A	2011.3	Copper	화학
4	성신양회 단양공장	열병합 발전용 (증연장 3.6KM)	6.6KV/4,000A	2011.9 예정	Aluminum	시멘트



### 3. 결론

복합 차폐 절연관 부스바(Complex Insulation Pipe Tubular Bus-bar)는 표피효과에 따른 전압강하라는 전기학적인 이론을 가장 현실적으로 적용한 예라고 할 수 있다.

또한, 불필요하고, 복잡한 기계적 구조물을 단순화하여 직관적으로 점검도 가능하게 하여 유지보수적인 측면과 전압강하에 따른 에너지 손실을 최대한 줄일 수 있으며, 국가가 시행하는 스마트그리드 정책사업에 부합되는 새로운 공법으로 추천될만하다.

### [참고 문헌]

1. 송길영저, 송배전공학, 동일출판사, 2010
2. 박재환저, 쉽게 이해하는 전자기학, 한산, 2011
3. 중국, 호북성 전력시험연구소, 2011
4. 현대전공기술수첩, 중국중국수리수전출판사, 2010

## 회원사 동정 (The State of Major Affairs in Membership Companies)

### 1. 대전열병합발전(주), 집단에너지사업 기술교류 양해각서 체결

대전열병합발전(주)는 지난 1월 19일 GS파워(주)와 민간집단에너지 사업자간 다양한 협력관계를 통해 공동발전과 정부의 저탄소 녹색정책에 적극 부응하고 민간기업의 주도적 역할방안을 모색하기위해 집단에너지사업 업무교류를 위한 양해각서를 체결하였다.

### 2. OCI(주), LED용 사파이어 잉곳 사업진출

OCI(주)는 전북 전주에 연간 400만 mm를 생산할 수 있는 LED용 사파이어 잉곳 공장을 건설할 계획이라고 지난 1월 19일 밝혔다. OCI(주)는 오는 4월 공장건설을 착수해 9월부터 상업생산을 시작할 계획으로서, 태양광 산업의 기초소재인 폴리실리콘과 에너지절약에 기여하는 고성능 진공단열재와 함께 세계적인 그린에너

지 기업으로서의 사업 포트폴리오를 더욱 확고히 하게 되었다.

### 3. 에너지관리공단, 2011년도 에너지·기후변화 정책 종합설명회 개최

에너지관리공단은 지식경제부와 공동으로 지난 1월 18일부터 2월 18일까지 산업체 및 건물 에너지관련 종사자·지방자치단체 공무원 등을 대상으로 2011년 에너지·기후변화정책 종합설명회를 개최하였다. 에너지관리공단은 설명회를 통해 정부의 2011년도 에너지·온실가스 감축 정책 추진방향, 온실가스·에너지 목표관리제도의 추진방향 및 향후계획, 신·재생 에너지 보급정책 추진방향등 주요분야별 지원제도 및 시책에 대한 상세한 안내와 질의·응답등의 시간을 가졌다.