

變壓器 技術의 現況과 展望

The Present and the Prospect of the Transformer Techniques

盧 哲 雄

暁星重工業(株)技術研究所 昌原分所長

1. 개 요

1885년 세계 最初의 變壓器가 發明된 이래 電源 開發用 電氣機器로서의 變壓器는 수없이 반복되어 형상, 構造, 適用素材 面에서 또한 超高压機器로서의 電壓이 격상 開發되어 왔으며 오늘에 이르기까지 가까운 우리 주위에서 사용되는 變電機器의 역할을 다하고 있다. 變壓器의 변천사를 볼때 1세대에는 주로 定格電壓의 승압에 치중되어 開發되었으나 2세대에 와서는 용도별 구매자 要求 사양 만족을 중시하게 되었으며, 3세대에는 損失低減, 小型 輕量化 및 예방진단기술等 新素材의 開發 또는 變壓器 신뢰성 向上 技術개발에 더욱 역점을 두게 되었다. 이는 차단기, 피뢰기等 他 電氣機器에 비해 기초응용이론이 이미 어느 水準까지 완숙된 技術分野로서 機器의 효율증대, 주변기기와의 보호System 개발 또는 기기 特性 요인별 해석용 Soft Ware 개발이 向後 추진되어야할 과제임을 말한다(표1 참조)

2. 國內 變壓器 技術의 변천

가. 製品開發 및 生産現況

國內最初 變壓器를 1938年 生産하여 22KV, 66KV 級 特高压變壓器를 開發製作하기까지는 21~25년이

所要되었으며 그즈음 海外 先進製作業체들은 500KV 級상업용전용 變壓器를 重電機 市場에 내놓고 있었다. 그후로부터 國內製作 業체들은 美國, 獨逸, 日本等の 製作業체와 技術계후를 통한 大容量 超高压 變壓器 開發에 착수케 되었으며 '69年과 '77년에는 3相154KV, 20MVA 및 單相 345KV 500/3MVA變壓器가 暁星重工業(株)에 依해 開發되어 韓國電力에 納品되고 있다. '81년에는 原子力5, 6號機 發電所用 單相 345KV 1294/3MVA主變壓器가 國產化 開發되었으며 이는 原子力發電所用 機器製作에서 높은 要求되는 品質保證 體制에 적합 인증되어 開發 試驗後 納品등 國內 最初의 大容量變壓器가 되었다.

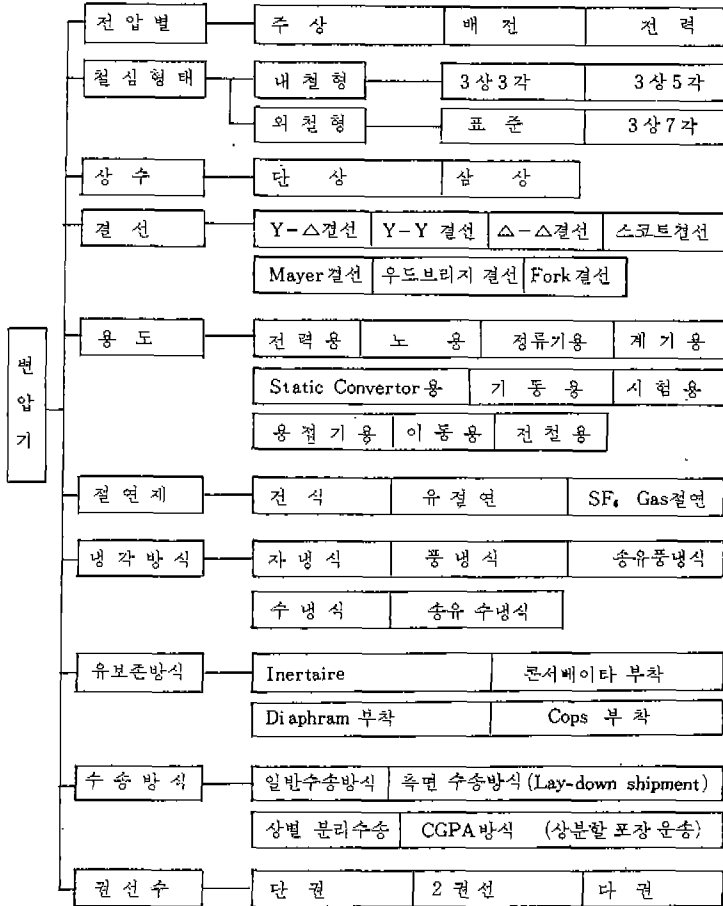
한편 國內 重電機器 生産의 約20%를 점유하는 變壓器 生産은 '76年 133억에서 9年만인 '85年 末에 8.3배의 伸장을 나타냈으며 同一기간에서 輸出의 경우 무려 30배가 증가되어 '85年 한해동안 총생산의 33%인 358억원이 輸出되었다. 海外로부터의 變壓器 輸入은 과거 10年동안 100억원대에 머물러 있으며 大部分이 特殊變壓器로서 向後 國內開發 되어야 할 部分이다(표2 참조).

나. 技術開發

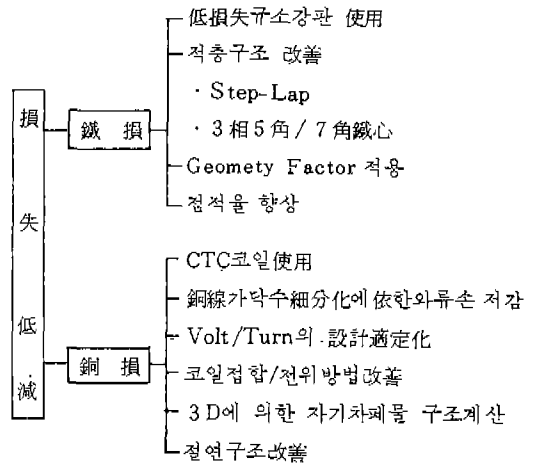
(1) 特性 改善

電力變壓器의 最初 開發當時에 비해 損失의 경우 約 10%가 低減 改善되었는데 이는 低損失 規조강

〈표-1〉 변압기의 분류



〈표-3〉 損失低減 設計方法



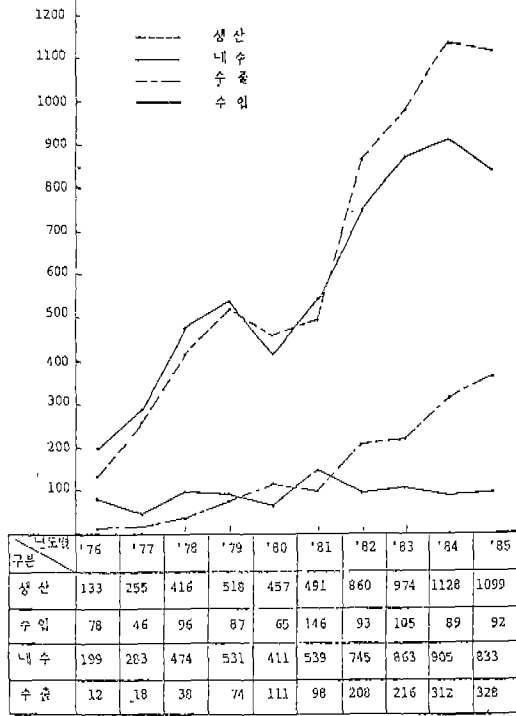
판의 使用, 鐵心적층공정改善 및 銅線의 와류손/포유부하손저감을 爲한 設計方法改善等を 들 수 있다. 또한 最近에 와서 Computer Program에 依한 電氣基本設計, 構造細部設計 및 CAD/FEM의 技術應用에 따라 Correct Per-Formance가 가능해졌으며 國際경쟁력 강화를 爲한 變壓器효율改善을 爲한 設計최적화 노력에 경주하고 있다(표3 참조).

(2) 新製品 開發

'77년에 國産化 開發된 345KV 500/3MVA 變壓器는 '80年 내륙운송 및 철도수송이 가능한 側面運送(Lay-Down Shipment)構造로 變更 개발되었으며 '84년에는 삼량진양수발전소용 3相 154KV 386MVA主

〈표-2〉 변압기 수급현황

단위 : 억원



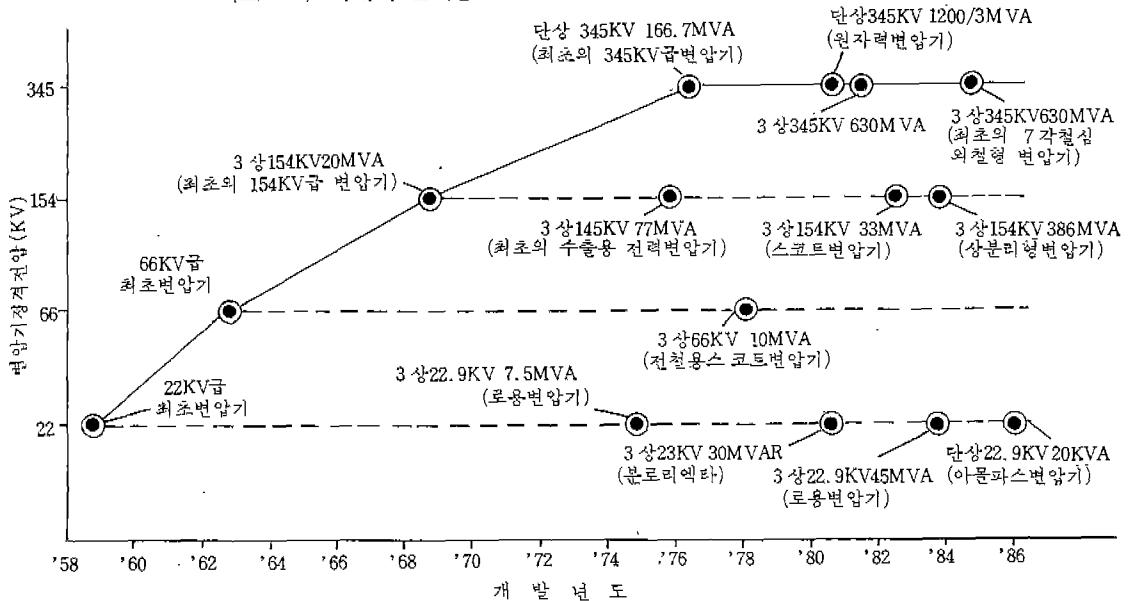
變壓器가 相分離運轉 (Phase-Separated Shipment) 構造로 開發 納品되어 運送中에 있다. 또한 '85年에 는 國內最初로 發電所用 大容量變壓器 製作에 7角 鐵心構造를 적용 3相 345KV 630MVA變壓器의 鐵 損低減, 냉각효율向上 및 운송폭을 3m以內로 크게 저감시켰다. 爐用變壓器가 '75年 7.5MVA級으로 國 內最初 開發된 이래 '84年 3相 22.9KV. 45MVA 級 大容量 爐用變壓器가 外鐵型 構造로 開發, 韓國重 工業(株)에 納品되었으며 現在 實負荷 運轉中이다. 분로리액터는 3相 23KV 30MVAR이 '80年 Air- Core Type (외철형)과 Gapped-Core Type (내철형) 으로 동시 開發되었으며 現在는 나선형 철심적응에 의한 Gapped-Core Type 리액터가 韓國電力 345KV 變電所에 納品되고 있다.

'78年과 '83年에는 相 변환 變壓器인 3相 66KV 10MVA 및 3相 154KV 33MVA Scott 變壓器가 國 內開發되어 電鐵用 變電所에 納品되었다(표 4 참조).

(3) 최적설계

電力需要의 증가에 따른 電氣機器의 運轉效率 극 대화를 爲한 損失評價(Loss Evaluation) 制度적용, 기존 운송설비의 改良사용 또는 變壓器 설치면적의

〈표-4〉 國內의 전력용變압기 개발추이('58년~'86년)



最少化를 위해 運送 및 設置制限條件 (Shipping & Installation Limitations)을 구매사양서에 성문화하거나 그의 工程制限에 따른 製造者 制限條件 (Manufacturing Limitations) 또는 자재구매상에서 생기는 制限要素 (Material Limitations) 등이 入札價格의 最少化와 더불어 판매경쟁력 확보를 어렵게 하는 구매 및 製造上의 制限條件 (Contracts)으로 대두되었다. 소수의 國內 變壓器製造 業체는 '80년부터 設計 최적화 프로그램 (Design Optimization Program) 開發에 착수하여 '83年初부터 電力變壓器 入札 設計에 適用하고 있으며, 販賣 전략별 최적설계 目的을 나열하면 아래와 같다.

첫째, 要求되는 이윤에서 入札評價金額의 最少化 - The Lowest Price Plus Customer Loss Evaluation

둘째, 要求이윤 및 표준손실치에서의 최소가격 設計 - The Lowest Cost With Losses Guaranteed

셋째, 一定한 製品價格 및 요구이윤에서 最少의 評價金額 設計 - The Lowest Customer Loss Evaluation at a Given Price and Margin

넷째, 一定한 評價金額에서 최대이윤을 얻는 設計 - The Highest Margin at a Given Price Plus Customer Loss Evaluation

다. 部品の 國産化

變壓器는 다른 重電機器에 비해 國産化율이 比較的 높은 편으로서 154KV급이상의 電力變壓器 경우 平均75% 水準이다. 대체적으로 超高压 절연물 및 Condenser Bushing을 제외하고는 대부분 國內 공급이 가능하여 이미 國産化된 資材로는 缶소강관, 집적 냉각기, 보호계기 및 탭절환기를 들 수 있다. 最近

低損失고투자율 缶소강관, 저소음냉각기 등이 國産化 추진중에 있다. 超高压 절연물 및 Condenser Bushing 등은 電力變壓器 총자재비의 20%정도를 占有하는 것으로서 정부지원에 依한 國産化 추진정책이 수립되어야 한다.

라. 海外技術 導入

國內 製造業체의 海外 技術導入은 대체로 지역적인 면에서 미국, 독일 특히 日本에 치중되어 있으며 暁星重工業(株)의 전신인 한영공업(株)는 變壓器 원천기술 업체인 美國의 Westinghouse社와 '62년 이래 기술제휴를 통해 주상, 배전, 電力用에 이르기까지 폭넓게 技術導入을 해 왔으며 '83年 8月 연장계약시 적용기종을 154KV級 이상으로만 하였으며 韓國電力이 계획하고 있는 765KV級 變壓器의 設計, 製作, 試驗技術을 이미 Westing House로부터 導入, 國産化시켜 놓은 상태에서 現在 800KV 송전선로 시험용기기를 開發중에 있다. 또한 Westing House 기술만이 갖는 外鐵型和 內鐵型의 양립은 220KV級을 분기로 초고압대용량變壓器에서 要求되는 높은 단락기계내력 및 냉각효율, 相分離 또는 側面 運送 등이 가능한 구조인 外鐵型構造로 독특하게 製作되고 있다.

한편 現代重電機(株)는 독일어권인 Siemens社와 기술제휴를 통해 3相 345KV級 390MVA와 630MVA變壓器를 內鐵型구조로 개발하여 性能화력과 삼천포화력발전소에 납품한바 있다. 그의 變壓器 生産業체들은 주로 日本제조업체와 기술제휴 또는 협력관계를 유지하고 있다(표 5 참조).

3. 先進 海外變壓器 技術水準

〈표-5〉 변압기 기술제휴 현황

업체명	최종도입일자	규격	도입선	기간	선불금	Running Royalty	비고
효성	83. 8. 17	765/345/154KV	Westinghouse	5년	-	1.5~2.5%	
현대	78. 7. 9	345KV이하	Siemens	8년	300천불	3%	500KV까지 품목추가 신청 중
이천	79. 6. 19	345 KV	TOSHIBA	5년	5,000천엔	2.5%	종료
신한	79. 7. 4	154 KV	大阪	5년	50천불	2.5%	종료

海外 원천기술 業體는 154KV, 345KV級 電力 變壓器를 國內 製造業體에 比해 各各 50年, 20年 앞서 개발시켰으며 '60年代말부터 1100KV級 UHV 變壓器 開發에 착수하였다. 아울러 變壓器에 이어 1100KV級 공심철분포리액터를 SF₆ 가스절연 방식으로 開發시켰으며 最近에는 低損失型 첨단 素材인 아몰파스(Amorphous) 鐵心을 利用한 變壓器 開發을 서두르고 있다. 또한 송전선로에서의 交流成分 損失을 경감시켜며 送電效率를 向上시킬 目的으로 美國 및 구라과 製造業體에 의해 超高压 직류송전(HVDC)을 800KV級까지 開發시켜 놓았으며 그에 따른 機器研究를 실시하고 있다. 海外 變壓器 業體는 每年 매출액 對比 8~9%의 技術開發 投資費로써 新

技術, 新機種開發을 꾸준히 추진해오고 있으며 新 素材의 研究 AC1500KV 및 DC1100KV級 電氣機器의 開發, 特性해석 용 Soft Ware開發 확대, 新開發 Model에 對한 신뢰성 項目을 포함한 Proto Type Test 등을 實施하고 있다. 先進 海外製作 業體들은 Bushing, 탭절환기, 計器類等を 직접生産 供給하고 있으며 절연물, 低損失 규소강판, CTC코일等を 自國內의 業體로 부터 供給 받음으로써 자체구매력面에서 利點을 갖고 있다. 또한 部品生産 業體들과 共同研究開發等を 통해 低損失냉각기, Powder Coated Wire, Amorphous Core, 산화아연형 피뢰기 등을 供給받고 있다(표 6 참조)

〈표 - 6〉 해외제조업체의 특수변압기 및 소재개발

특수변압기개발	· 변압기발명	· DRY-TYPE전철용변압기개발										
	· 3φ 내철형 변압기의 개발	· 로용변압기개발	· Fortable Rectifier 변압기개발									
소재개발 (절연 및 철심소재)	AIR(공기절연)	· 스크트변압기개발	· 다권선변압기개발	· Mould 변압기개발								
	절연유	· 3φ 외철형변압기개발	· 3φ 5각철심변압기개발	· SF ₆ GAS 변압기개발	· 아몰파스 변압기개발							
부품개발 및 구조개발	규소강판											
	유압침절연보드											
연 도	절연지	· 콘덴사부싱개발	· 도체분할시도(부하손저감)	· C. T. C Coil 개발								
	SF ₆ GAS	· 유보존장치개발	· Sealedaire System 개발	· Octagonal Tank 구조개발	· 유한요소법도입으로 전계 및 자계계산실시							
연 도	아몰파스	· 동유식병차 방식채택	· 온서베 이터개발	· 진공주유실시	· 아연도금강판Cooler 사용							
		· Inertiaire System 개발	· Sudden Pressure Relay 개발	· Form-Fit 구조개발	· Hot Test, Spot Temperature Indicator 개발	· 부하시 탭절환기개발	· Corrugate Tank 구조개발					
연 도		· 무부하 탭절환기										

4. 向後 國內技術開發 경향

가. 新技術의 研究開發 및 適用

變壓器가 大型化, 超高壓化될수록 경제성에 對한 拷고가 더욱 심화되고 결국에는 最高의 效率을 내며 最低價의 變壓器를 구매하게될 것이다. 이른바 綜合평가제에 依한 入札구매방식으로 變壓器製造業體는 판매제품의 最適化를 기해야 한다. 海外 入札전 別項別 損失評價 金額에서 鐵損은 平均USD 3,000/線이며, 銅損의 경우 平均 USD1,500/kw 정도를 나타내고 있다. 各國別 損失評價 金額은 表7과 같다.

이제는 모든 業體가 低損失型 素材의 研究開發을 通해 또는 設計의 最適化 즉 最低 製造原價와 最小 損失金額에 對한 2次함수의 最小點을 찾아 入札綜合평가제에 對해해야 할 것이다. 또한 매출액 對比 研究開發 투자비를 最小 3~4%線으로 끌어올림으로써 FEM, CAE 및 CAD System의 정착, 3D방식 구조해석 등에 依한 設計技術 向上을 기해야 되

며 製品의 신뢰성 試驗을 시행하며 이상유무 점검, 구매자를 위한 운전유지 보수기술의 제공등 예방진단 技術을 갖춰야 한다. 한편 소형경량화 되는 추세에서 RF, 가스절연방식 變壓器의 研究開發이 絶실하며 向後 유망제품으로 성장할 것이다.

나. 新製品 開發

전술한 바와같이 負荷증가에 따른 機器가 大型化됨에 따라 '90年代 初에는 765KV 2300BIL級 상업 운전용 變壓器와 765KV 變電所用, 154KV 또는 345KV級공심분리액터가 國內市場에 선을 보일 것이다. 이에 따라 800KV계통용 GIS/GCB가 開發될 것이고 보면 비록 貯藏량이지만 23KV級 SF₆가스 절연 變壓器도 이에 발맞추어 國內 技術에 依해 研究開發될 것이다. 아직은 크게 부각되지 않았지만 靑銅활용형 강제송유수냉식 變壓器가 新Model로서 등장하며 外國으로부터 全量 輸入되고 있는 大容量 靜류기용變壓器도 爐用變壓器에 이어 國內 開發됨으로써 特殊變壓器 製作의 영역은 100%확장될 것이다. 또한 都心地 설치형 몰도變壓器나 저소음

〈표-7〉 主要重電機業體의 國際比較

區分	企 業 名	基準 年度	總 賣 出 額 (百萬 \$) (A)	R&D 投資費 (百萬 \$) (B)	R&D 投資率 (B/A) (%)	從業員數 (%)	1人당 매출액 (千 \$)
先 進 國	General Electric	'85	28,285	2,600	9.2	304,000	93.0
	Hitachi	'85	20,053	1,072	5.3	164,51	121.6
	Westinghouse	'85	10,700	246	2.3	124,935	85.6
	Siemens	'85	23,769	2,089	8.8	348,000	68.3
	Brown Boveri	'85	7,219	539	7.5	97,800	73.8
	ASEA	'85	5,282	197	3.7	60,979	86.6
	Toshiba	'85	13,371	701	5.2	114,000	117.3
	7 個社 平均		15,526	1,063	6.8	173,524	89.5
韓 國	暁星重工業	'85	183	1.9	1.0	3,381	54.1
	利川電機	'85	24	-	-	1,031	23.3
	現代重電機	'85	102	-	-	2,390	42.7
	金星計機	'85	86	-	-	2,040	42.2
	新榮電電	'85	70	-	-	1,785	39.2
	5 個社 平均		93	-	-	2,125	43.8

資料: 暁星重工業(株) 企劃室

USD 1 = ₩885.3('86. 2월말 환율 적용)

〈표 - 8〉 손실평가금액 대비표

NO.	CUSTOMER	SPECIFICATION	UNIT	LOSS EVALUATION			BIDDING DATE
				NO-LOAD LOSS	LOAD LOSS	AUX. LOSS	
1.	N. E. S. OF MALAYSIA	3 ϕ , 50HZ, 15 MVA 33/11KV T.R.	USD/KW	7,355	5,123	-	83.2.22
2.	N. E. S. OF MALAYSIA	3 ϕ , 50HZ, 250 MVA 230/132/22KV	"	3,577.9	1,419.5	1,863.1	83.9.5
3.	N. E. S. OF MALAYSIA	3 ϕ , 50HZ, 180 MVA 275/132KV AUTO T.R.	"	3,577	1,419	1,863	84.1.30
4.	N. E. A. OF THAILAND	3 ϕ , 50HZ, 15/20MVA 67/12KV T.R.	"	4,220	2,230	2,230	83.12.7
5.	EGAT OF THAILAND	3 ϕ , 50HZ, 120/160/200MVA 220/69/11KV AUTO T.R.	"	2,522	1,304	1,304	82.9.8
6.	CODECO OF CHILE	3 ϕ , 50HZ, 25/33MVA 100/13.8KV T.R.	"	3,200	2,560	-	83.12.13
7.	TRINIDAD OF TOBAGO	3 ϕ , 60HZ, 50/70MVA 66/33KV T.R.	"	2,848	495	-	83.9.9
8.	NEPAL	3 ϕ , 50HZ, 6/8/10MVA 132/33/11KV T.R.	"	2,500	1,389	-	83.8.30
9.	SAUDI CONSOLIDATED ELEC. CO.	3 ϕ , 60HZ, 20MVA 33/13.8KV	"	2,310	1,190	1,190	83.10.28
10.	BANGLADESH	3 ϕ , 50HZ, 15/20MVA 132/33KV T.R.	"	2,303	969	769	83.9.1
11.	BANGLADESH	3 ϕ , 50HZ, 25/41MVA 132/33KV. T.R.	"	2,253	1,014	1,014	83.9.26
12.	N. P. C. OF PHILIPPINE	3 ϕ , 60HZ, 50MVA 230/69/13.8KV AUTO T.R.	"	2,100	1,600	650	84.2.21
13.	SOUTH AFRICA	3 ϕ , 50HZ 730MVA 420/22KV T.R.	"	2,043.48	1,347.83	-	83.11.
14.	NEWZEALAND	3 ϕ , 120 MVA 15.4/220KV T.R.	"	1,985.7	1,205.6	1,985.7	83.9.7
15.	WAPDA OF PAKISTAN	3 ϕ , 50HZ, 125/160MVA 220/132/132/11KV T.R.	"	1,197	718	718	84.2.2
16.	P.D.B. OF BANGLADESH	3 ϕ , 50HZ, 150MVA 240/140KV T.R.	"	1,300	680	-	84.2.15
17.	E.G.A OF THAILAND	3 ϕ , 50HZ 30/40/50MVA 115 - 22KV T.R.	"	2,913	1,739	1,739	84.7.11
18.	P.D.B OF BANGLADESH	1 ϕ , 50HZ 75/60/45 MVA 230/132/33KV AUTO-TR.	"	2,036	1,018	1,018	85.5.2
19.	COPEL OF BRAZIL	3 ϕ , 60HZ, 150MVA 240/138KV - 13.8KV	"	1,187.4	1,012	747.2	85.5.30
20.	N.P.C OF PHILIPPINE	3 ϕ , 60HZ, 60/80/100MVA 230/69/13.8KV AUTO-T.R.	"	3,000	2,000	1,450	86.3.11
21.	E.P.H. OF COLOMBIA	3 ϕ , 60HZ, 90MVA 220/110/44MVA AUTO-T.R.	"	1,400	800	1,400	86.4.7

大容量變壓器가 - 般 구매자에 依해 需要가 가속화 될 전망이고 보면 판매경쟁력 확보를 爲한 新Model 開發에 더욱 힘써야 한다.

5. 結 論

最近 世界的으로 첨단技術의 發達로 超高压계 통 보조기기의 製作技術이 海外 各 業体別로 크게 向上되고 있다. 우리도 다소 늦은감이 있으나 各種 技術改善, 新製品開發 및 試驗分析能力을 向上시켜 先

進水準과의 격차를 줄이기 爲한 研究開發 投資를 과감하게 증대시켜야 한다. 또한 海外 入札國別 變壓器구매정보는 물론 先進 製造業체별 各種 技術情報 수집을 爲한 혁신적인 方案이 모색되어야 한다. 아울러 業体別로 設計, 開發業務의 專門化 育成이 必要하며 구매자로부터의 製品수주에서부터 設計, 製作, 試驗 및 納品에 이르기까지의 發生된 모든 문제점이 적재적소에 Feed Back 되어 品質을 改善시키는 國內業体들의 意識개혁이 절실히 要求되고 있다. *



超多品種 少量生産에 挑戰

變化時代 自體工場所有는 危險

日富士通... 商品壽命 短期化에 對應
카시오計算機... 렌트工場 활용

일본 후지후 다메바야시(群馬縣·富士通 館林) 공장에서는 수요의 다양화, 상품 수명 단기화에 대응하기 위해 超多品種 소량생산에 과감하게 도전하고 있다. 오카자키 도시히코(岡崎敏彦) 공장장은 「FA는 자동화·로봇진행시키는 것 뿐만이 아니라 정보의 흐름과 공장내의 물건의 흐름을一元화하고 변화에 제빨리 반응할 수 있는 생산시스템을 만드는 데에 있다」고 말한다. (中略)

自由度の 높은 레이아웃을 채용하고 있는 것도 동 공장의 특색의 하나이다. 공장의 1, 2층 모두 간막이가 없으며 기동도 적다. 생산기종의 변경에 따라 언제든지 레이아웃을 달리할 수 있다. (中略)

변화가 심한 시대에 돈이 드는 自體공장을 가지면 위험도 많아진다. 그래서 공장과 생산라인을 필요할 때마다 빌리는 말하자면 「렌트工場」이 늘어날 전망이다.

카시오計算機가 85년 봄부터 LSI(大規模集積回路)의 개발, 생산에서 실시하고 있는 「실리콘·펜드리이(鑄造所)의 빌리는」 방식은 선구적인 예라고도 할 수 있다.

이 방법은 카시오가 LSI의 개발설계를 모두하고 생산만을 半導體메이커에 맡겼다.

보통 엘렉트로닉스·메이커가 반도체를 입수하는 때는 세가지의 방법이 있다. 스스로 반도체공장을 갖거나 알맞은 표준품을 사거나 메이커의 주문생산을 하고 있다.

표준품을 믿고 있다가는 독창적인 신제품의 개발은 어렵다. 그렇다고 하여 半導體공장을 갖는 데는 많은 投資가 있어야 한다. 카시오는 이때까지 베이커에의 주문생산을 주로해 왔다. 신제품의 콘셉트(概念)를 반도체메이커의 설계部隊에 내고, 제품에 맞는 반도체를 개발케하는 방법이다. 「실리콘·펜드리이의 임대」는 카시오가 반도체의 설계까지 하는 것인데, 반도체 베이커로서는 순전히 공장을 빌려주는데 불과하다. (中略)

이외에도 최근 家電이나 自動車메이커의 美國현지 생산이 늘어나고 있는 것과 같이 생산부문의 국제화는 가속화될 것으로 보여지고 있다.

야마다(山田)日興리서티센터取締役은 「해외공장시대는 멀지않아 사라진다. 最適立地를 구하여 기업내 國際分業이 진전될 것이다」라고 분석한다. *