



황기하 이사  
제룡산업 공장장  
cheryong@cheryong.co.kr

## 1. 제품개요

### 1-1 개요

아몰퍼스 몰드 변압기란 선로에서 공급되는 전압을 수용기의 사용전압으로 바꾸어주는 전력변환장치로서, 변압기의 권선을 Epoxy수지로 주형하고 철심소재를 기존의 방향성 규소강판 대신 비정질 자성재료(아몰퍼스 메탈)를 사용하여 무부하손(철손)을 기존변압기의 75% 이상 절감한 절전형·고효율화한 변압기이다.

좀더 구체적으로 구성부품, 변압기의 손실 및 성능비교를 상세히 살펴본다면 다음과 같다.

첫째, 변압기의 주요 구성 부품은 다음 <표 1>과 같다.

| 부 품   | 기 능   | 구 성 재 료                |
|-------|---|------------------------|
| 권 선   | 1차측 인가전압을 권수비에 비례한 2차측 출력전압으로 변환시킴          | · 도체(동, 알루미늄)<br>· 절연물 |
| 철 심   | 권선에서 발생한 지속(magnetic flux)이 흐르는 통로(path)가 됨 | · 자성재료(규소강판, 아몰퍼스 합금)  |
| 지지구조물 | 권선과 철심의 결합 및 보호 기능                          | · 철(steel), 절연물        |

<표 1> 이몰퍼스몰드변압기의 주요 구성 부품

둘째, 변압기의 손실로는 다음 <표 2>와 같이 분류할 수 있다.

| 항 목  | 기 능   | 부 하 손   |
|------|---|---|
| 개 요  | 부하 유무와 상관없이 변압기 1차측에 전원이 인가된 상태에서는 24시간 항상 발생하는 손실. 일종의 "대기전력" 손실임. | 변압기 부하율에 따라 변동 되는 손실. 대략적으로 부하율의 제곱에 비례하며, 부하가 없을 때는 부하손도 "0"이 됨. |
| 발생부위 | 철 심   | 권선, 지지구조물   |

<표 2> 변압기의 손실

| 구 성 성 분     | 이몰퍼스몰드 변압기  | 기존 몰드 변압기                        |
|-------------|---|----------------------------------|
| 구 소 강 판     | ⇒ 아몰퍼스 메탈 적용  | · 도체의 고유전기저항이 작을 것(초전도체)         |
| 손 실 절 감 방 안 | - 철심소재의 개선으로 손실(기존 변압기의 75% 이상) 절감<br>- 철심은 고유 전기저항이 크고 두께가 얇은 소재를 채택 | · 권선방법 변경<br>· 지지구조물 재질 변경(비자성체) |

셋째, Type별 성능 비교는 다음 <표 3>과 같다.

◎ : 우수, ○ : 보통

| 구 성 성 분         | 아몰퍼스 몰드 변압기 | 기존 몰드 변압기 |
|-----------------|-------------|-----------|
| 철 심 소 재         | 아몰퍼스 메탈     | 방향성 규소강판  |
| 불 연 성 (不 軟 性)   | ◎           | ◎         |
| 방 폭 성 (防 爆 性)   | ◎           | ◎         |
| 저 손 실           | ◎           | ○         |
| 고 조 파 적 용 력     | ◎           | ○         |
| 환 경 친 화 성       | ◎           | ○         |
| 내 습 성 (耐 濕 性)   | ◎           | ◎         |
| 경 제 성           | ◎           | ○         |
| S i z e         | ◎           | ○         |
| 유 지 · 보 수 용 이 성 | ◎           | ◎         |

· 변전실의 옥내 설치 증가 } 아몰퍼스 몰드변압기의 사용 확대  
· 수용기의 저손실 요구 증대

<표 3> 몰드변압기 Type별 성능 비교

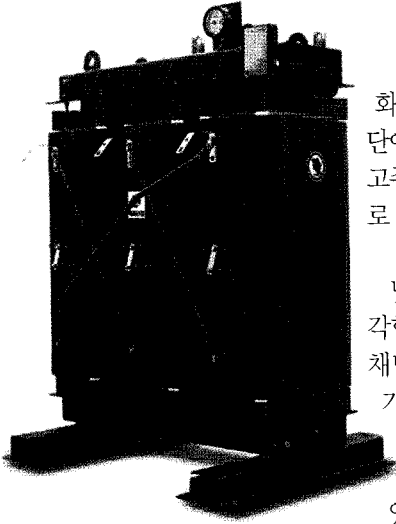
### 1-2 아몰퍼스 몰드 변압기 특징

몰드변압기의 철심재료로서 아몰퍼스 메탈을 적용하여 저손실, 신뢰성 및 소형화를 이룰 수 있으며 좀더 구체적으로 다음과 같이 정리하여 볼 수 있다.

첫째, 비정질 구조 및 박판 철심소재인 아몰퍼스 메탈을 적용하여 무부하손을 기존 몰드변압기에 비하여 75% 이상 절감할 수 있다.

둘째, 권선을 고진공 주형 방식을 채택함으로써 우수한 방재성 및 신뢰성을 확보 하였다.

## 특성과 에너지절약 효과



셋째, 산업화 및 고밀도화하는 현대사회에서 부하단에서 점점 증가되고 있는 고주파 성분에 대한 대책으로 뛰어난 성능을 발휘한다.

넷째, 철심 및 권선을 사각형(Rectangular type)을 채택함으로써 상대적으로 기존 몰드변압기에 비하여 소형화가 가능하여 설치면적을 축소할 수 있다.

다섯째, 손실절감에 의하여 변압기의 수명연장 및 전력요금 절감이 가능하게 되었다.

이밖에 환경 및 제도적 측면을 고려한다면 다음과 같은 장점을 들 수 있다.

첫째, 환경 개선 효과 측면에서는 손실 절감에 따라 열발산 감소에 따른 지구 온난화방지, 발전소 건설 감소에 의한 환경보전 및 유해가스 배출 감소가 기대된다.

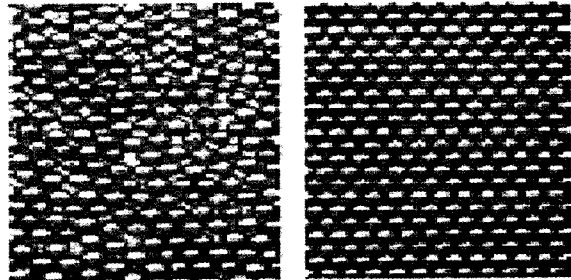
둘째, 제도적 측면으로서는 에너지 절약 설비에 대한 당해 투자금액의 10% 세액공제, 공공기관 및 50세대 이상의 건물 신축 또는 개보수시 고효율기자재 사용 의무화, 고효율 기기 설치자에 대한 자금지원 대상 확대 및 고효율 기자재 인증제품에 대한 조달청의 우선구매 등이 있다.

### 1-3 비정질 자성재료 (아몰퍼스 메탈)

아몰퍼스 메탈은 철(Fe), 붕소(B), 규소(Si) 등이 혼합된 용융금속을 급냉(106°C/sec 이상)시켜 제조하며 이때 금속 내부의 원자가 액체 상태와 같이 불규칙한 비정질(非晶質) 상태로 배열되어 있는 합금을 말한다.

이와 같은 합금은 자계의 변화에 따른 원자의 회전이 쉽기 때문에 결정 구조인 규소강판에 비해 히스테리시스손이 감

소되며, 또한 소재 자체의 두께가 얇고, 고유전기저항이 커서 와전류 손실이 감소되는 것이다. 다음 <그림 1>은 금속의 구조모형을 비교한 것이다.



(메탈)아몰더

(방향성 규소강판)

<그림 1> 금속의 구조모형비교

철심 재료에 따른 특성 비교는 다음 <표 4>와 같다.

| 구분         | 특성                                    | 비정질자성재료<br>(아몰퍼스 메탈) | 방향성규소강판<br>(G9급) | 비고           |
|------------|---------------------------------------|----------------------|------------------|--------------|
| 전자기적<br>특성 | 철손 (W/kg)                             | 0.23                 | 1.72             | 기준온도<br>25°C |
|            | 여자특성 (VA/kg)                          | 0.37                 | 5.2              |              |
|            | 포화자속밀도 (Tesla)                        | 1.55                 | 1.86             |              |
|            | 고유전기저항( $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ ) | 130                  | 45               |              |
| 동물적<br>특성  | 두께 (mm)                               | 20~30                | 250~300          |              |
|            | 비중 (g/cc)                             | 7.19                 | 7.65             |              |
|            | 경도 (Hv)                               | 900                  | 210              |              |

<표 4> 철심재료의 특성비교

## 2. 제품 성능

### 2-1 변압기 Type별 특성 비교

3상 500k VA 22.9k V/380-220V 기종의 경우 기존 몰드 변압기의 효율이 98.3%, 무부하전류가 3.5%라면 아몰퍼스 몰드변압기의 경우 효율이 98.6%, 무부하전류가 1.2%로 보증이 가능하며 각 기종의 특성을 변압기 종류별로 비교하여 보면 다음 <표 5>와 같다.

# 이몰퍼스몰드변압기(Amorphous Mold Transformer)의 특성과 에너지절약효과

| 변압기 용량 (kVA) | 효 율          |             |             | 무부하전류(%)     |             |             |
|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
|              | 규소강판 유입식 변압기 | 규소강판 몰드 변압기 | 아몰퍼스 몰드 변압기 | 규소강판 유입식 변압기 | 규소강판 몰드 변압기 | 아몰퍼스 몰드 변압기 |
| 100          | 97.5         | 97.3        | 97.8        | 6.5          | 7.0         | 2.5         |
| 200          | 97.7         | 97.8        | 98.2        | 6.0          | 5.5         | 1.9         |
| 300          | 98.0         | 98.0        | 98.3        | 5.5          | 4.5         | 1.4         |
| 500          | 98.2         | 98.3        | 98.6        | 5.0          | 3.5         | 1.2         |
| 750          | 98.3         | 98.5        | 98.7        | 4.8          | 3.0         | 1.0         |
| 1000         | 98.4         | 98.6        | 98.9        | 4.5          | 3.0         | 1.0         |
| 1250         | -            | 98.6        | 99.0        | -            | 2.5         | 0.8         |

< 표 5 > 변압기 종류별 특성 비교

註) 특성치 비교 기준

- 100% 부하시 3상 22.9kV/380-220V 기준
- 규소강판 유입변압기 : 한전규격 ESB 141-863-888 (3MVA미만의 전력용변압기)
- 규소강판 몰드변압기 : KS C 4311 (전식변압기)
- 아몰퍼스 몰드변압기 : 제룡산업(주) 보증치

## 2-2 관련 규격 및 성능시험

관련 규격으로서는 국제 규격으로 IEC-60726 (Dry-type power transformers)와 국내 규격으로 KS C 4311 (전식변압기) 등이 있으며, 고효율 기자재를 위한 규격으로 산업자원부고시 제2001-153호 (고효율에너지기자재 보급촉진에 관한 규정)가 있다.

제룡산업(주)에서는 2000년 12월 공인기관(한국 전기 연구소) 개발 시험에 합격한 이후 2002년 산업자원부고시 제2001-153호에 의한 공인기관(한국 전기 연구소) 인증 시험에 합격하였으며 이에 따라 에너지관리공단에 고효율 인증을 신청하여 인증서를 교부받을 예정에 있다.

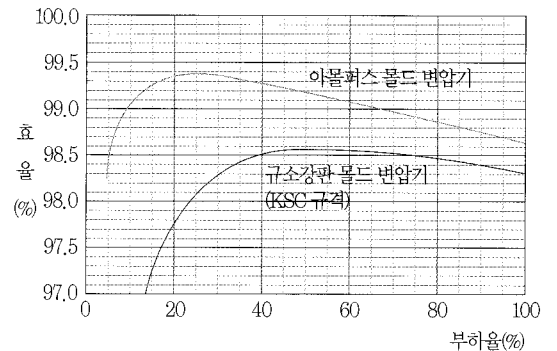
## 2-3 부하율에 따른 효율 비교

부하율이 100%일 때보다 운전중인 변압기의 일반적인 부하율(50~80%)에서 기존 몰드변압기와 아몰

퍼스 몰드변압기의 효율차이가 더욱 커진다는 것을 다음 <표 6> 및 <그래프 1>에서 확인할 수 있다.

| 효 율 (%)    | 부하율(%) | 10         | 20    | 30    | 40    | 50    | 60    | 70    | 80    | 90    | 100   |
|------------|--------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|            |        | 아몰퍼스 몰드변압기 | 99.02 | 99.31 | 99.32 | 99.27 | 99.18 | 99.08 | 98.97 | 98.86 | 98.74 |
| 규소강판 몰드변압기 | 95.96  | 97.75      | 98.28 | 98.48 | 98.55 | 98.55 | 98.52 | 98.46 | 98.39 | 98.31 |       |

< 표 6 > 3상 22.9kV급 500kva 기종의 부하율에 따른 효율 비교



< 그래프 1 > 3상 22.9kV급 500kva 기종의 부하율에 따른 효율 비교

## 3. 제품의 경제성 및 기대효과

### 3-1 전력손실 절감 효과

용량별 손실절감에 따른 전력비용절감 및 초기투자비용 예상 회수 기간은 다음 <표 7>과 같다.

| 용량 (KVA) | 무부하손(W) |       | 손실 절감량 (W) | 연간손실 절감량 (KWh) | 연간전력비 절감액 (원) | 초기투자비 예상회수 기간(년) |
|----------|---------|-------|------------|----------------|---------------|------------------|
|          | 아몰퍼스    | 일반    |            |                |               |                  |
| 100      | 180     | 770   | 590        | 5,168          | 580,566       | 3.0              |
| 200      | 260     | 1,240 | 980        | 8,585          | 964,331       | 3.0              |
| 300      | 300     | 1,690 | 1,390      | 12,176         | 1,367,775     | 3.0              |
| 500      | 440     | 2,080 | 1,640      | 14,366         | 1,613,778     | 3.0              |
| 750      | 620     | 2,970 | 2,350      | 20,586         | 2,312,425     | 3.0              |
| 1000     | 740     | 4,410 | 3,670      | 32,149         | 3,611,320     | 3.0              |
| 1250     | 870     | 5,460 | 4,590      | 40,208         | 4,516,610     | 3.0              |

< 표 7 > 용량별 손실절감 효과

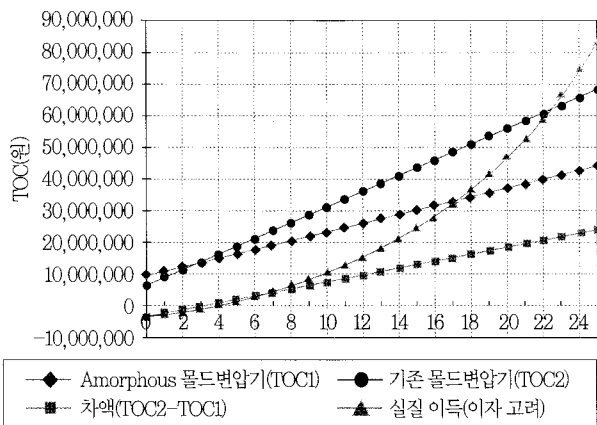
- 註) 1. 비교대상 변압기의 부하손은 동일한 조건임  
 2. 연간 손실절감량 = 무부하손 절감량(kW) × 365(일) × 24(h)  
 3. 연간 전력비 절감액 = 연간 손실절감량(kWh) × 전기요금단가(₩/kWh)  
 4. 절감액 및 회수기간은 2001년 1월 한전 전기요금(일반용) 평균단가(112.33원/kWh)를 적용

| 유해가스 종류         | 연간 유해가스 배출 감소량 | 배출 원 단위     |
|-----------------|----------------|-------------|
| CO <sub>2</sub> | 2,270 ton      | 158 g-c/kWh |
| SO <sub>2</sub> | 359 kg         | 25 g-c/kWh  |
| NO <sub>2</sub> | 36 kg          | 2.5 g-c/kWh |

※3상 500kVA 1대 기준 : 연간 무부하손실 절감량 14,366kWh

<표 8> 유해가스 배출 감소 효과

사용 년수에 따른 전력요금 절감효과는 다음 그래프와 같다.



<그래프 2> 사용 년수에 따른 전력요금 절감효과

- 註) 1. TOC(Total Owning Cost) = 변압기 구입금액 + (연간 전력손실금액 × 사용연수)  
 2. “실질이득” 곡선은 TOC 차액에 이자(연이율 10%)를 포함하여 복리로 계산한 결과임.

### 3-2 환경개선 효과

아몰퍼스 몰드변압기의 사용에 따른 전력절감으로 발전량(發電量)을 줄일 수 있으므로, 발전에 따라 발생하는 유해가스의 배출량을 감소시킬 수 있다.

### 3-3 고조파 대책으로서의 효과

고조파 발생에 따른 변압기 운전상의 문제점으로서 첫 번째 변압기 손실증가에 따른 전력요금 증가, 둘째 변압기 과열에 따른 소손 및 화재 발생의 위험, 셋째 변압기 절연물의

열화 촉진으로 변압기 수명 감소 등이 있으며, 그 대책으로서 Active Filter, Isolation transformer 등의 특수 용도 변압기의 사용이 되겠다.

고조파 대책으로서 아몰퍼스 몰드변압기는 고조파가 문제되는 계통에서 아몰퍼스 몰드변압기를 사용하게 되면, 전력손실절감, 변압기의 안전한 운전 및 신뢰성 제고가 상대적으로 기존 몰드변압기에 비하여 확보된다. 다음은 미국 전력연구소(EPR) 연구보고 내용이다.

예) 6.6kV 배전계통의 5% 고조파(일본의 고조파 환경목표치로서, 고조파 관리지침으로 용인되고 있음)에서 규소강판변압기의 무부하손은 약 23% 증가하나, 아몰퍼스변압기는 단지 6% 정도만 증가함.

### 3-4 국가적 파급 효과

국내의 전력 사용 현황으로서는 2000년 총발전량이 266,400GWh이며, 2000년 최대 수요전력은 41,007MW이다. 국내에 설치 운전중인 기존 배전용 변압기를 전부 아몰퍼스 변압기로 교체할 경우의 에너지 절감 파급효과를 도표로 나타낸다면 다음 <표 9>와 같다.

| 항 목                    | 기대효과        | 비 고   |
|------------------------|-------------|---|
| 연간 전력손실 절감량            | 2,600 GWh   | 2000년 총발전량의 1.0%                                |
| 연간 전력비 절감액             | 1,534 억원    | 발전단가(59원/KWh) 기준                                |
| 최대 수요전력 감소량            | 296 MW      | 2000년 최대수요전력의 0.72%<br>2001년 예상 발전소 증설용량의 23.1% |
| 발전소 건설비용 절감액           | 2,960 억원    | 발전소 건설단가 1,000천원/kW 기준                          |
| CO <sub>2</sub> 배출 감소량 | 410,800 Ton | CO <sub>2</sub> 배출원 단위 158kWh                   |

<표 9> 국내의 에너지 절감 파급 효과

## 아몰퍼스몰드변압기(Amorphous Mold Transformer)의 특성과 에너지절약 효과

### 4. 국내 · 외 관련기술의 현황

#### 4-1 국내 · 외 동향

국외 동향으로서는 1967년에 세계 최초로 아몰퍼스 합금이 발견된 이후 미국의 Alliedsignal사에 의해서 1975년에 아몰퍼스 합금이 생산되기 시작하였으며, 1979년에 역시 Alliedsignal사에 의하여 15kVA 아몰퍼스 유입식 변압기가 시제품으로 제작된 이후 현재까지 전세계적으로 사용이 확대일로에 있다.

다음은 주요 국외 동향을 정리한 것이다.

- 1967 세계 최초 아몰퍼스 합금 발견
- 1975 (美) Alliedsignal사, 아몰퍼스 합금 생산 개시
- 1979 (美) Alliedsignal사, Dry Type 15kVA 아몰퍼스 유입식변압기 시제품 제작
- 1980 (日) 미쓰비시 외 1개社 단상 500kVA 아몰퍼스 유입식변압기 개발
- 1985 (美) GE 주상용 아몰퍼스 변압기 1000대 제작, 90개 전력회사에 공급하여 Field Test 실시
- 1986 (美) GE 주상용 및 지상설치형 아몰퍼스 변압기 판매 실시
- 1995 전세계에 500,000대 이상 아몰퍼스 변압기 보급
- 1997 (美) Alliedsignal사 연간 60,000Ton 아몰퍼스 합금 생산설비 구축
- 1998 (美) Dyna-power사 아몰퍼스 몰드변압기 출시
- 1999 (日) Hitachi사 아몰퍼스 몰드변압기 출시 아몰퍼스 변압기로 “에너지절약 대상” 수상 (일본 에너지절약센터)

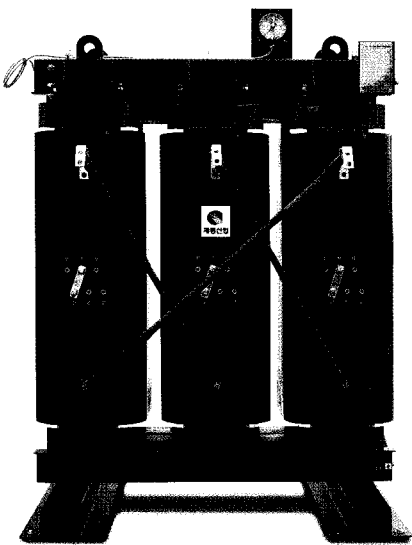
국내 동향으로서는 1988년에 한국전력에 의하여 국내 최초로 아몰퍼스 변압기가 제작되어 Field Test가 실시된 이후 주요 기술 개발 및 적용 내용은 다음과 같다.

- 1988 한전, 국내 최초 아몰퍼스 유입식 변압기 Field Test 실시 (16대)
- 1996 한전, 아몰퍼스 일단접지 변압기 구매 규격 제정
- 1997 한전, 아몰퍼스 일단접지 변압기 2,615대 구매
- 1998 한전, 아몰퍼스 일단접지 변압기 5,149대 구매
- 1999 한전, 아몰퍼스 일단접지 변압기 5,424대 구매
- 1999. 9 “비정질 자성재료를 사용한 변압기”에 대한 “국산신기술(KT)” 인정 (제0735호, 과학기술부)
- 2000. 03. 제철산업(주) 아몰퍼스 전력용(유입식) 변압기 “조달청 우수제품”으로 인정 / 09. 고효율 에너지 기자재 기술기준 제정(산업자원부 고시 제2000-103호)
- 2000. 11. 제철산업(주) 아몰퍼스 전력용(유입식) 변압기 “고효율에너지 기자재” 인증(에너지관리공단)
- 2000. 12. 제철산업(주) 아몰퍼스 몰드변압기 (500KVA) 공인기관 인정시험 합격
- 2001. 05. 아몰퍼스 몰드변압기 고효율에너지 기자재 인증 품목 선정(에너지관리공단)
- 2001. 11. 제철산업(주) 아몰퍼스 몰드변압기 녹색기기부문 에너지 위너상 수상(소비자 문제를 연구하는 시민의 모임)
- 2001. 12. 고효율 전력용변압기에 대한 고효율 에너지기자재 기술기준 고시(산업자원부고시 제2001-153호)
- 2002. 03. 아몰퍼스 몰드변압기 “고효율에너지 기자재” 인증
- 현재 한전 등 아몰퍼스 변압기 2만대 이상 설치, 운전 중 / 아몰퍼스유입변압기 3상 3,000KVA이하 생산 및 납품중 / 아몰퍼스몰드변압기 3상 1,500KVA이하 생산 및 납품중

## 4-2 각국의 보급 실적

지구온난화 방지 대책으로서 “The Climate Change Action Plan” 및 에너지성의 “Energy Star Transformers Program”으로 아몰퍼스 변압기를 정책적으로 보급중인 미국에서는 현재 1,000,000대 이상이 설치 운전중에 있으며, 주요 국가의 보급 및 실적은 다음과 같다.

- 미국 : 1,000,000대 이상 설치 운전 중 / 지구온난화 방지 대책으로서 “The Climate Change Action Plan” 및 에너지성의 “Energy Star Transformers Program”으로 아몰퍼스 변압기 정책적으로 보급 중
- 일본 : 300,000대 이상 설치 운전 중 / 아몰퍼스 변압기용 철심을 수입하여 변압기 제작 / Energy Saving Equipment로 선정하여 아몰퍼스 변압기 사용 권장
- 인도 : 56,000대 이상 설치 운전중 / 전력청에서 아몰퍼스 변압기 20% 구매 권장 / 아몰퍼스 변압기용 철심 생산설비 구축
- 필리핀 : 22,000대 이상 설치 운전 중 / 현재 10,000대 이상 구매 입찰 추진 중
- 태국 : 1,000대 구매 추진 중
- 대만 : 5,250대 이상 설치 운전 중 / 용량 4,000kVA 까지 제작 가능
  - 방글라데시 : 14,900대 이상 설치 운전 중
  - 중국 : 7,000대 이상 설치 운전 중 / 아몰퍼스 변압기용 철심 생산설비 구축 / 동북성 지역 30% 이상 아몰퍼스 변압기 구매 권장



## 4-3 주요 국가의 손실평가 기준

현재 세계적으로 변압기에 대한 제품 평가를 제품 가격에 변압기 손실을 비용으로 환산한 금액을 더하는 손실평가제 (Total Owning Cost)를 시행하고 있어 아몰퍼스 변압기는 기존의 일반 변압기에 비해 경제성이 충분한 제품으로 인정 받고 있으며 주요 국가의 손실평가 기준은 다음 <표 10>과 같다. <sup>④</sup>

| 국가명   | 무부하손(USD/W) | 부하손(USD/W) |
|-------|-------------|------------|
| 필리핀   | USD 5.25    | USD 3.5    |
| 태국    | USD 3.55    | USD 1.74   |
| 중국    | USD 5.78    | USD 2.68   |
| 베트남   | USD 6.30    | USD 1.30   |
| 대만    | USD 3.57    | USD 1.10   |
| 미국    | USD 3.50    | USD 1.0    |
| 라오스   | USD 5.25    | USD 3.67   |
| 방글라데시 | USD 8.14    | USD 2.44   |
| 일본    | USD 9.0     | -          |

<표 10> 주요 국가의 손실평가 기준

\* 손실평가제(Total Owning Cost) = 제품구입가 + 손실(무부하손 + 부하손) 평가액