

# MOLD 변압기의 특징과 적용

成 基 梁

(金星計電(株)常務理事)

## ■ 차 례 ■

- 1. 개발배경
- 2. 각종 변압기의 적용구분
- 3. MOLD 변압기의 구조
- 4. MOLD 변압기의 특성
- 5. MOLD 변압기의 절연종별
- 6. 각종 변압기와의 비교
- 7. MOLD 변압기의 적용확대
- 8. MOLD 변압기의 금후 개발과제
- 9. 결언

### [1] 개발 배경

최근 에너지 정세의 변화에 따라 수배전 설비에 대한 수용가 요구가 다양해지고 고도의 품질이 요구되고 있으며, 수배전 설비의 주요구성기기의 하나인 배전용 변압기에 대해서는 성 Energy를 비롯하여 난연성, 소형, 경량화, 저소음 간편한 보수, 점검등 종전보다 고도화된 성능이 요구되고있다. 특히 빌딩용 설비등의 인구밀집지역의 운전에 있어서는 기기의 품질향상에 의한 보다 고도의 신뢰도 보장과 운전시 안전성확보, 비상시의 防災面에서 소형 경박개념을 근거로한 절연내력 증강 또는 보전이 중요시되고있다. 이에 대응해서 배전용 변압기에 있어서는 신절연 재료를 활용하는 MOLD 변압기, SF<sub>6</sub> gas를 절연체로 사용하는 변압기등의 신제품이 실용화되어서 구 선진국에서는 착실하게 상품화되고 있다.

### [2] 각종 변압기의 적용구분

종래의 유입자냉식 배전용 변압기는 용량, 전압등의 변압기 사양 및 옥내외의 설치장소의 구

별없이 전영역에 걸쳐 사용되어 왔으며 적용실적도 많고 운전에 있어 문제점은 적다. 하지만 최근 省Energy, 防災, 옥내 좁은면적에서 사용될 변압기를 운용할 경우 각각에 대응한 성능향상은 절대적으로 필요하게되었고 구조 및 일부 재료의 변경만으로는 근일의 산업구조에 적합치 않게되었다. 특히 빌딩용 전원설비, 옥내용 수배전반 및 각기기에 대해서는 防災面의 규제등으로 난연성과 소형화가 요구되어 이에 대한 각종 신형 변압기가 개발된 것이다.

현재 주류를 이루고 있는 것은 권선부분을 Epoxy수지로 주형한 건식 변압기의 일종인 MOLD 변압기로서 이는 난연성을 갖고있는 Epoxy와 공기층으로 복합 절연하여 절연내력 강화로 기기가 소형화되고 소형화에 따른 손실방지로 에너지 절약까지 성취시킨 변압기이다. MOLD 변압기는 유럽에서 오래전에 실용화되어왔고, 일본에서는 1974年度에 실용화된 이래 종래의 Silicon Varnish 함침구조의 H중 건식변압기보다 우수성이 인정되어 급격하게 보급이되고 있으며, 국내에서도 우수한 Maker가 개발 1982년부터 판매되어 초고층 빌딩등에 多數 채택되었고, 현재까지 순조롭게 운전중에 있으며 그성능 또한 높게 인

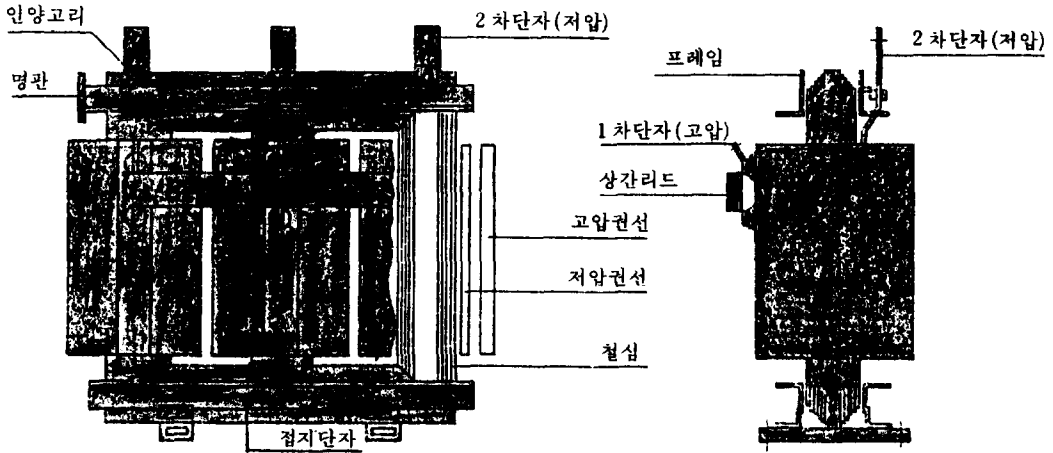


그림1 . Mold transformer의 구조

정반아 그 수요가 급격히 증가하고있다.

### [3 MOLD 변압기의 구조

#### 3.1 철심

철심에는 방향성 규소강판을 사용하며, 철심을 조립한 상태에서도 재료의 성능과 특성을 충분히 발휘할 수 있는 접합 및 조임구조로 제작된다. 철심의 접합은 磁化特性 및 勵磁特性이 양호하도록 강판의 방향성을 최대한 고려 45°절단 및 LAP Joint 방식을 채택한다. (그림 1 참조).

#### 3.2 권선

MOLD 변압기의 주요부분은 MOLD 권선이다. 이 권선은 고압권선과 저압권선을 각각 Epoxy 수지로 MOLDING하여 철심에 동심상으로 배치하며 고압권선과 저압권선간은 냉각 Duct로 설계하여 권선의 열방산을 효과적으로 행하도록 되어있다. MOLD 권선의 제조방식은 금형방식(주형법)과 무금형방식(함침법)의 두종류가 있으며 금형방식은 권선을 금형속에 삽입한뒤 고진공 상태에서 Epoxy수지를 주형하는 것으로 기포가 없고 수지층이 두꺼우며 표면이 미려해 먼지등의 부착이 적은 반면, 무금형방식의 경우는 권선을 Epoxy 수지에 함침한 뒤 건조하는 것으로 표면이 거칠고 수지층이 얇아 먼지등의 부착이

많아 耐코로나 특성저하 및 외부화재시 권선내부에 확산속도가 빠른등 단점이 있어 금형방식이 주종을 이루고 있다.

한편 MOLD 권선은 철심의 각부에서 발산되는 소음을 차음시켜주는 역할을 하며, 철심의 磁歪진동이 MOLD권선으로 전달되는 것을 막기 위해 MOLD권선의 상하지지물에 탄성체 스페이

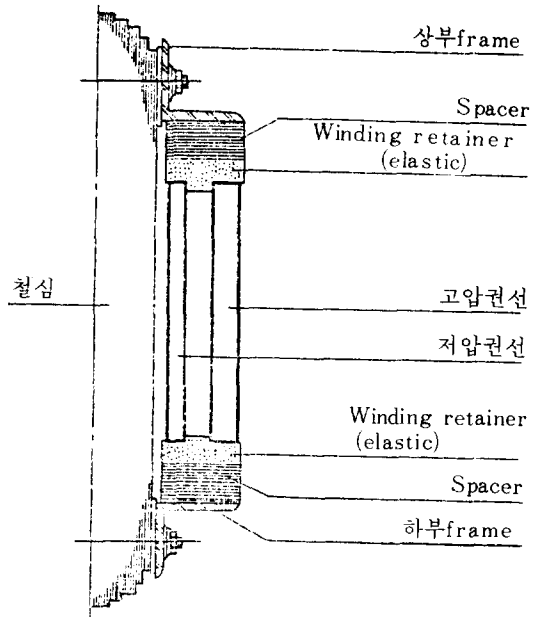


그림2 . Mold transformer의 권선구조

샤를 넣음으로서 권선표면의 소음발산을 저감시키는 구조를 갖게한다. 권선 및 지지 스테이샤의 구조는 그림 2 와 같다.

### 3.3 상간리드

MOLD 변압기는 권선전체가 Epoxy수지로 MO LD되어있기 때문에 방진, 방습면에서 뛰어난 구조로 되어있다. 각 상간의 결선에 사용되는 고압측 상간리드에 대해서도 권선과 마찬가지로 MOLD하여 각상의 권선의 시작 및 끝의 인출부 단자간을 접속하므로 외부접속부 단자이외는 충전부가 노출되지 않는 구조로되어있다.

## 4 MOLD 변압기의 특징

MOLD 변압기는 종래 유입변압기나 건식 변압기에서 기대할 수 없었던 전기적 기계적인 많은 장점을 갖고있어, 이들의 특징을 살려 안전성 신뢰성 및 경제성을 고려 여러분야에 채택되고 있다. 그특징을 열거하면 다음과 같다.

### 4.1 난연성

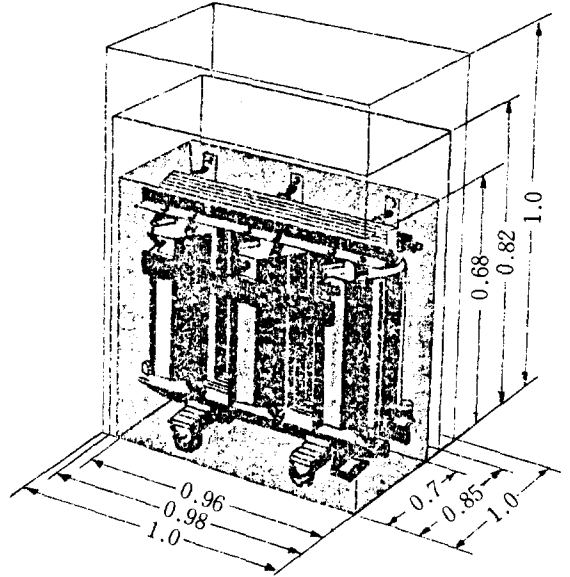
Epoxy 수지는 무기물의 충전제가 혼합되어 있어 이런 무기물의 작용으로 자기 소화능력을 갖고있기 때문에, 만일의 경우 변압기 권선내부에 아-크가 발생하여도 발화가 되지않고,외부의불꽃에 의하여 착화가 되지않는다. 이런 우수한 난연특성으로 유입 변압기에 비하여 소화설비의 경감을 가져온다.

### 4.2 절연특성의 향상

절연특성이 우수한 Epoxy 수지로 권선이 MO LD되어 있으므로 내코로나 특성 및 Impulse 특성이 좋아 절연신뢰성이 아주 높다. 또한 충분한 두께의 Epoxy 수지층을 갖고있어 습기나 먼지등에 대한 절연성능의 저하가 없으며 기온의 변화 부하의 변동으로 인한 있을 수 있는 수지층의 균열이 수지성형의 경우 발생하지 않으며 장기간에 걸쳐 Epoxy가 갖는 우수한 절연특성이 지속적으로 유지된다.

### 4.3 소형 경량

충분한 절연으로 MOLD권선이 Compact化되어 소형, 경량화되는 MOLD 변압기는 종래 사용해진 유입 변압기 및 Varnish함침형, H종 건식변압기 보다도 크기 및 중량에 있어서도 경제화되었다. 3相 20KV급, 1500KVA 배전용 변압기의 치수, 중량을 비교하면 그림 3과 같다.



3 상 20KV급, 1500KVA의 경우

구 분	유 입 식	H종건식	Mold
면 적	1.0	0.83	0.67
체 적	1.0	0.68	0.47
중 량	1.0	0.96	0.87

그림 3. 면적, 체적, 중량의 비교

MOLD 변압기를 배전반에 수납하면 배전반의 크기도 종래의 것보다 약 30% (6 KV 3相 1000 KVA의 경우)정도 축소되며 전원설비 설치장소를 축소시켜 하는 빌딩 지하등 전기실 공간을극소화, 효율적으로 활용함으로 경제성면에서 많은 Merit가 나타나며, 고층빌딩등의 경우는 더욱 큰 효과를 가져온다.

특히 옥내 좁은지하 또는 최종공사에 설치할 수 없을 경우도 MOLD권선을 분해 반입하여 설치현장에서 설치가 용이하므로, 반입구 및 중량 제한등의 제문제를 효과적으로 해결할 수 있다.

4.4 적은 전력손실

MOLD 변압기는 그 발생손실이 다른 어느 변압기보다 적어 Energy형의 기기로서 높이 평가되고있다. Compact한 권선에 의한 철심자로의 단축이 가능하고, 철심용적의 저감에 의해 무부하 손실의 발생을 적게하고있다. 또 손실 저감의 효과가 큰 부하손실에 있어서는 건식자냉식 조건에 B종(권선 온도상승 : 75℃)절연으로 설정하였기 때문에 종래의 어떤 변압기보다 손실이 적다. 유입 변압기는 A종으로 권선온도 상승한도를 55℃로 낮게 설정하고 있으나 절연유중에서 냉각조건으로, 권선으로부터 절연유로 열방산효과가 크기 때문에 발생손실은 크다. Silicon Varnish 함침형 건식변압기에서는 냉각조건은 MOLD 변압기와 동일하지만 H종(권선 온도 상승 : 120℃)절연계급으로 제작하기 때문에 부하손실이 많게된다. 그림 4는 3相 6 KV급 500KVA의 손실비교를 나타낸 것이다.

4.5 간단한 보수점검

유입 변압기는 절연유의 여과또는 교체가 항상 필요하나 MOLD 변압기는 절연유의 여과 및 교체가 필요없어 유지, 보수가 훨씬 부담이 없고, 운전중 권선내부에 먼지등의 침입우려가 없으며, 또한 장시간 운전정지후 재사용시에도 흡습의 염려가 없으므로 건조 역시 필요없어 보수, 점검이 매우 용이하다.

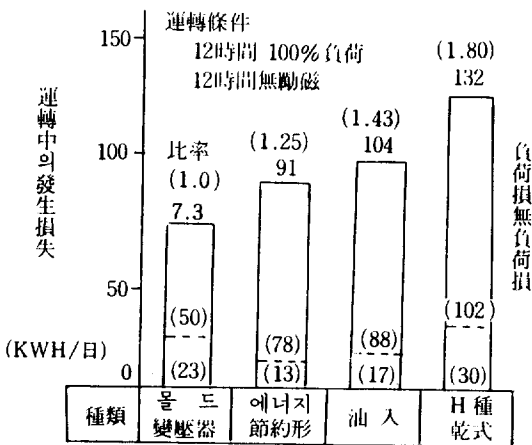


그림 4. 운전중의 발생손실 (3φ 6 KV 500KVA 例)

4.6 운전중 소음이 적음

Varnish 함침형의 H종 건식변압기에서는 소음의 주요원인이 되는 철심부가 노출된 상태로 운전하여 철심磁歪진동에 의한 소음이 변압기주위에 직접발산하기 때문에 소음이 크게된다. MOLD 변압기는 철심주위에 동심상으로 설치된 MOLD 권선을 방음벽으로 활용하고 있으며 권선 상하단의 Spacer가, 권선표면에 전달되어 주위에 방산하는 철심진동분을 흡수시켜 대폭으로 소음을 감소시키고있다.

특히 소음규제가 요구되고있는 호텔 병원등에 최우선 적용이 추천되고있다.

4.7 큰 과부하耐量

MOLD 변압기의 권선은 권선도체와 Epoxy - Mold부분이 일체로 되어있어 권선의 열용량이 크고, 절연관계로 자연히 온도상승의 시정수도 크게 되므로 단시간 과부하耐量이 다른 변압기에 비해 크다. 예를 들면 70%부하로 운전中 15분간의 단시간 과부하의 경우, 유입변압기 및 Varnish 함침형, H종 건식변압기에서는 약150%의 과부하가 허용되나 열용량이 큰 MOLD 변압기에서는 약 210%의 과부하가 가능하다. 과부하耐量이 크므로 전철, 용접기, 철강 및 압연설비등 순시 peak부하가 걸리는 설비에 대단히 유효하게 적용된다.

[5] MOLD 변압기의 절연종별

5.1 절연종별과 온도상승

MOLD 변압기의 온도상승에 따른 절연종별에는 B종, F종, H종의 3가지가 있다. 각각의 권선 온도 상승 및 허용 최고온도는 표 1과 같다.

5.2 부하변동과 온도상승

변압기는 부하 변화로 인한 온도상승 변화가

표 1. 절연 종별 온도상승한도

구 분	B종	F종	H종	비 고
권선온도상승(℃)	75	95	120	JEC 204 기준
허용최고온도(℃)	130	155	180	"

표 2. 부하율 100% → 50% 변화시의 온도변화와 열응력

절연 종별	100%시 온도상승 (°C)	50%시 온도상승 (°C)	온도차 (°C)	열응력의 크기
B종	75	$75 \times (0.5)^{1.4} = 25$	50	1.0(기준)
F종	95	$95 \times (0.5)^{1.4} = 31$	64	1.28배
H종	120	$120 \times (0.5)^{1.4} = 40$	80	1.6배

MOLD수지의 열응력으로 나타나며 그 크기는 B종 < F종 < H종과 같이 되므로, B종은 부하변동으로 인한 열적인 스트레스가 가장적다. 예를 들면 각 절연 종별에 따른 부하가 100%에서 50%로 변화시 온도변화와 열응력 관계는 표 2와 같다.

부하율에 따른 온도상승을 그래프로 나타내면 그림 5와 같다.

온도상승한도를 나타낸다.

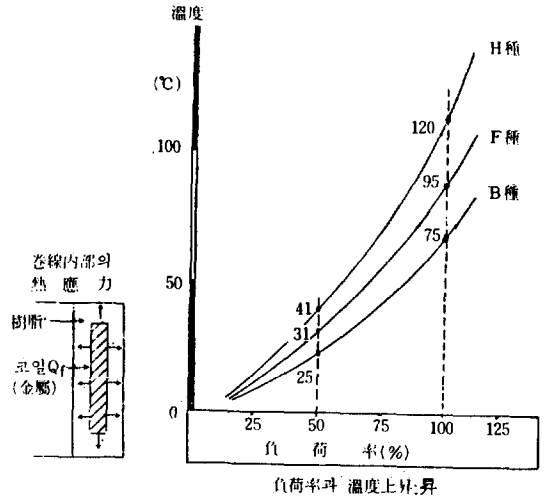


그림 5. 부하율과 온도상승

### 5.3 다른 기기와의 온도상승 협조

폐쇄 배전반내에 MOLD 변압기를 수납사용의 경우 동일 반내에 사용되는 기기의 절연종별이 A종 또는 B종이므로 절연물, 단자부 도금등에 좋지않는 영향을 미치지않는 B종 MOLD 변압기가 가장 적합하다. 표 3은 배전반내 수납기기의

표 3. 배전반내 수납기기의 온도상승 한도

배전반·각종 차단기의 단자·접속부			변류기		전력 Fuse	
銅相互	납땜鍍金	은도금	A종	B종	銅相互	은도금
40°C	45°C	65°C	55°C	75°C	50°C	65°C

표 4. 각종 변압기와의 비교

항목	종류	유 입 변 압 기	H종 건식 변압기	MOLD 변압기
절 연 의 종 별		A 종	H 종	B 종
권선의 온도상승 한도		55°C	120°C	75°C
정격전압(제작범위)		550KV 이하	33KV 이하	33KV, 10,000KVA
사 용 장 소		옥내, 옥외	옥 내	옥 내
연 소 성		가연성	난연성	난연성
폭 발 성		만일의 경우 폭발의 가능성 있음.	비폭성	비폭성
耐 濕 性		개방형은 흡습	흡습하는 경우 있음	흡습하지 않음
소 음		小	大	中
전 력 손 실		中	大	小
단 락 강 도		강하다	강하다	매우 강하다
과부하耐量(단시간) (과부전하부하70%의경우)		150%부하(15분간)	150%부하(15분간)	210%부하(15분간)
절 연 특 성		안 정	불안정 (분위기의 영향을 받기쉬움)	안 정
耐 振 性		강하다	강하다	매우 강하다
치 트 수		大	中	小
중 량		大	中	小

내 전	상용주파	3.3KV용 6.6KV용 11 KV용 22 KV용 33 KV용	16KV (3号A), 10KV (3号B) 22KV (6号A) 16KV (6号B) 28KV 50KV 70KV	10KV 16KV 25KV 50KV 70KV	10KV 또는 16KV 16KV 또는 22KV 25KV 50KV 70KV
	충격파	3.3KV용 6.6KV용 11 KV용 22 KV용 33 KV용	45KV (3号A) 30KV (3号B) 60KV (6号A) 45KV (6号B) 90KV 150KV 200KV	통상 보증하고 있지 않음 (요구에 의해 다음치를 보증 : 25KV) 上同 (上同 : 35KV) 上同 (上同 : 55KV) 上同 (上同 : 95KV) 上同 (上同 : 130KV)	30KV 또는 45KV 45KV 또는 60KV 55KV (요구에 의해 다음치를 보증 : 75KV) 95KV (上同 : 125KV) 130KV (上同 : 170KV)
보수점검	점검		1. 절소 가스누설 점검 2. Breather, 탈산제 점검 3. 유면제, 기름누설 점검 4. 온도계 감시	1. 외관 눈으로 점검 2. 온도계 감시	1. 외관 눈으로 점검 2. 풍냉의 경우 : 냉각FAN 흡기구의 점검
	보수		정기적으로 1. 절연유의 특성체크 2. 절연유의 여과 3. 내용물의 점검	정기적으로 1. 진공소제기 등에 의한 청소 2. 운전 재개직전 외관세밀 재점검 3. 건조가 필요	정기적으로 1. 결레, 진공소제기 등에 의한 청소 2. 외관 세밀 점검
부대설비	소화설비		필요	필요 유입 변압기의 경우보다 소규모	필요 유입 변압기의 경우보다 소규모
	보수점검용	내부 본체 인출을 위한 space 및 상부 space 가 필요		반에 수납하는 경우 변압기 인출점검 space 가 필요	반에 수납하는 경우 변압기 인출 점검 space가 필요

[6] 각종 변압기와의 비교

종래 사용되어온 유입변압기 또는 H중 건식변압기와 MOLD 변압기의 제반특성을 비교하여 보면 표 4 와 같다.

[7] MOLD 변압기의 적용확대

성Energy, 난연성 옥내 설치를 필요로 하는 빌딩용 수배전설비를 대상으로 한 배전용 변압기에 요구되는 성능을 주제로 최근의 동향을 분석하여 보면 항상 MOLD 변압기의 적용이 중점이 되어왔다.

표 5 는 각각의 특징과 적용예를 나타낸다.

[8] MOLD 변압기의 금후 개발과제

금후의 MOLD 변압기의 개발과제는 대용량화와 옥외형 개발이다.

8.1 대용량화

최근 MOLD 변압기의 개발방향으로서는 대용량화, 고전압화가 지향되고 있다. 그결과 현재는 유럽 및 일본에서는 30KV, 10000KVA 급의 MOLD 변압기가 실운전중에 있고 현재 30KV급 까지 제작 범위로 되어 있으나, MOLD 변압기의 대용량화의 제일 목표인 60KV~70KV급 전압과, 용량 20~30MVA도 신절연 기술과 고도의 MOLD 기술 개발로 실용화될 것이다.

표 5. 몰드변압기의 특징과 적용

특징 적용	난 연 성	성에너지 (저손실)	소형경량	저 소 음	내 습 성 양 호	절연특성 양 호	견 고 한 구 조	과부하내량 증 가	오일레스
빌딩	○	○	○	○	○				○
지하상가	○	○	○	○	○				○
병원	○	○	○	○		○			○
터널	○	○	○		○	○			○
지하철	○	○	○		○	○		○	○
철강	○	○			○		○	○	○
화학공장	○	○			○	○			○
수처리장	○	○	○		○	○			○
식품공장	○	○		○	○				○
공사현장	○	○	○		○	○			○

## 8.2 옥외용 개발

현재의 MOLD 변압기는 옥내사용을 대상으로 하고 있으나, Cubicle에 수납하여 옥외사용하는 경우도 있다.

일광에 의한 열화없이 비, 오손에서도 문제없는 수지의 개발에 의해 옥외용의 변압기가 실현되면 주상 변압기의 분야에도 대량 사용할 수 있으며 옥외설치 유입 변압기의 대체 또는 지하매설 변압기로서도 MOLD 변압기가 가장 적합하다고 생각된다.

## 9) 結言

최근 각방면에서 적극적으로 채용되고 있는

배전용 변압기인 MOLD 변압기의 성능, 적용상황등을 중심으로하여 배전용변압기의 동향을 정리해 보았다.

성 Energy, 성력화등 제합리화 시책이 요구되는 현시점에 MOLD 변압기의 개발 장래는 대단히 밝다고 볼 수 있다.

특히 자원빈국 한국에서 본제품의 개발활용은 他電氣제품의 절연기술 개발에도 일익을 담당할 것으로 믿고있다. 마지막 결론하는 입장에서 필자가 아쉬워하는것은 좋은제품(한국실정에 맞는)의 채택 적용에 있어, 한국에서도 표준화되어 사용이 확대되었으면 좋으리라고 믿는다.