

水中電動機

Submersible Motor

기술해설
20~5~2

김 준 식*
(Choon Sik Kim)

1. 개 요

우리들의 일상생활에 있어서 물의 이용은 없어서는 안될 문제의 하나이다. 즉 음료수, 공업용수 농업灌溉용수, 수도용수로서의 하천 또는 지하수의 이용, 토목과 건축을 위한 배수 또는 오수 처리의 문제 등은 인간생활과 밀접한 관계가 있다. 水中전동기는 지하수의 이용에 따라 우물의 깊이에 應한 펌프 제작상의 문제를 해결하기 위하여 개발된 것으로 지하수 이용의 여러 가지 에로를 한꺼번에 해결할 획기적인 것이다. 그간 절연재료의 진보에 따른 耐水性의 개량, 각종 구조물 재료의 향상은 水中전동기의 신뢰성을 더욱 높이고 高壓수중전동기의 실용화까지 외국에서는 보고 있다. 우리 나라에 있어서도 공업용수, 농사용 및 화학공장의 프로세스 라인용에 수중전동기의 장점이 인정되어 그 수요는 급증하고 있다. 종래의 설비에 비교하면 이 수중전동기는 다음과 같은 장점을 가진다.

- (1) 양수장의 설치에는 장소의 制約을 받지 않고 큰 대지가 필요하지 않다.
- (2) 펌프윤전설이 필요없다.
- (3) 운전방식은 自動 또는 遠隔이 모두 용이하다.
- (4) 설치, 보수, 관리가 간단하고 취급이 편리하다.
- (5) 소음, 진동의 발생이 대단히 적어 도시환경에 최적하다.

이 수중전동기에는 전동기 내부에 기름을 봉입한 油封式과 清水를 봉입한 水封式이 있다. 일반적으로 전자는 汚水 또는 排水용에 사용되고 후자는 清水용에 사용된다. 여기에 수중전동기의 구조, 특성 및 제작상 문제점 등에 대하여 기술하고자 한다.

2. 종 류

水中전동기는 이름 그대로 물 속에서 운전되는 전동기이다. 따라서 가장 문제가 되는 절연방식에 따라 다음과 같이 분류된다.

2.1 油封式(Oil Immersed Type)

전동기 내부에 절연유를 봉입하고 전선은 封油性이 우수한 에나멜線を 사용하여 절연성을 유지하는 방식

이다. 전동기의 수명은 軸 seal 기구의 수명에 의하여 좌우되기 때문에 대형에 있어서는 대단히 수명의 긴 軸 seal 方式과 기름의 누설을 地上에서 검출할 수 있는 특별한 장치가 설치되어야 한다. 소형의 것으로 高價인 Seal 기구와 加壓장치가 없을 때의 수명은 通算壽命時間으로 2~3년 정도이다.

2.2 水封式(Water Immersed Type)

전동기 내부에 清水를 완전히 봉입하든지 또는 외부의 물과 filter를 통하여 貫通시키는 방식에 의하여 수명이 Seal 기구의 영향을 직접 받지 않도록 한 것이다. 이 水封式에 있어서도 捲線部가 물과 접촉하는 상태에 따라 다음 세가지로 분류된다.

2.2.1 濕式(Wet Type)

이 방식은 固定子코일에 처음부터 耐水性이 강한 절연피막으로 된 전선을 사용하고 물에 직접 노출시키는 식이다. 근래 절연전선의 특성의 괄목할만한 향상으로 신뢰성이 커졌으며 국내에서 볼 수 있는 中容量의 수중전동기는 대부분 이 방식의 것이다.

2.2.2 모울드式(Mould Type)

코일엔드부를 특수 수지로써 模造(成形)하여 씌운 것으로 전선은 일반전동기의 것과 같은 종류를 사용할 수 있고 模造型을 한번 만들어 두면 量産性이 있어 저렴하다. 그러나 사용조건에 따라 模造材의 선정이 어려운 단점이 있다.

2.2.3 캔 式(Canned Type)

固定子捲線과 鐵心 전체를 캔으로 씌우고 캔내부의 공간은 合成수지로써 充填하여 물과 완전 차단한 것으로 가장 신뢰성이 크고 절연상으로 安定된다. 회전자도 Can으로 씌운 것은 一名 Seal-less Pump라하여 導電部가 전혀 노출되지 않고 내부물 그대로 액체가 지나가게 하여 軸Seal 기구가 필요없으므로 化學공장의 Process Line 용의 펌프로써 많이 사용된다. 그러나 薄板 Can의 용접, 충전材의 선정등에 高度의 기술을 요한다.

이상의 여러 가지 방식에는 일장일단이 있고 다음의 용도별의 종류에 의하여 적절히 구분하여 사용된다.

*정회원 : 한양대학교 공과대학 교수

2.3 깊은 우물용

이 용도에는 水封式 水中전동기가 사용되며 설치되는 우물의 경에 의하여 外徑이 제한됨으로 보통 가늘고 긴 모양이 된다. 또 揚程은 높고 流量은 적은 것이 특이하고 대부분 2極機이다. 出力은 400 W~150 KW 정도까지 폭 넓게 제작되며, 이 종류의 전동기의 JIS 규격이 제정되어 있다.

2.4 오수처리용

이 종류의 전동기는 우물 경에 제한을 받지 아니함으로 일반 전동기와 거의 같은 모양을 하고 있다. 출력은 400 W에서 30 KW 정도까지의 豎軸, 橫軸이 제작되고 있다. 豎軸에는 油封式 및 水封式이, 橫軸에는 水封式만 사용된다.

2.5 河川用

주로 大流量, 低揚程을 목적으로 하고 있고 농업관개용, 수도용 등에 사용된다. 출력은 數 10 KW에서 數 100 KW 까지 비교적 多極機의 것이 제작되고 있다.

수봉식과 유봉식이 사용되고 있으며, 水封式은 모든 용도에 油封式은 기름이 새더라도 상관이 없는 용도에 사용된다.

2.6 海水用

이것은 海水에 의한 사용재료의 異種金屬間의 電蝕作用이 문제가 됨으로 재료 선정에는 충분한 검토를 하여야 한다. 해안지방 또는 선박에 사용된다.

2.7 화학공업용

캔식이 주로 사용되며, 펌프 자체를 Seal-less 구조로 할 수 있기 때문에 고귀한 액체의 無損失, 防爆구조의 容易 등 절대적인 장점이 있다.

3. 구조

수중전동기는 다른 일반전동기와 틀려서 수중에서 사용된다는 조건에서 오는 제작상 여러 가지 特異성과 문제점이 있다.

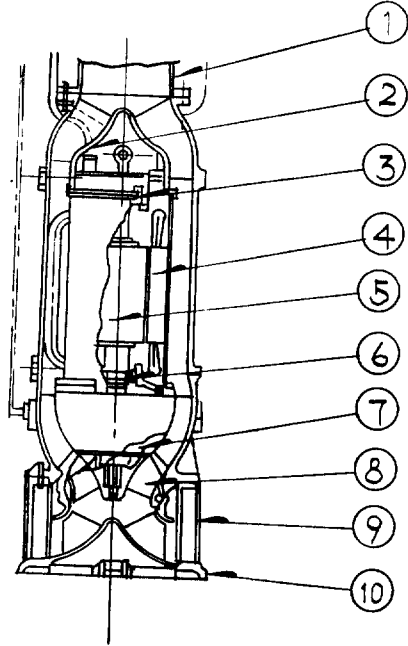
3.1 절연방식과 軸 Seal 기구

3.1.1 油封式 水中전동기

이 형식의 것은 외부와 전동기 내부와는 완전한 Seal 기구에 의하여 차단되어 있지만 非壓縮性的의 기름을 투입하여 그 효과의 增大를 꾀한 것이다.

따라서 절연방식은 일반 전동기와 동일한 것이나 油中임으로 耐油性 절연이 채택되고 있다. 軸 Seal 기구에는 mechanical seal의 組合방식이 채용되고 특별한 Seal室을 두어 기름을 봉입하여 Seal의 潤滑을 하도록 하고 있다. 내부에 봉입된 기름의 온도상승에 의한 팽창과 수축을 조절하기 위하여 전동기 내부에 특히 均壓機構를 설치하든지 또는 大形機에서는 外部에 内部封油의 加壓기구 및 均압기구를 두고 있다. Seal의 材質

은 보증하는 수명, 외부의 액의 종류 및 含有砂量 등에 의하여 決定된다(그림 1 참조).



- ① 揚水官
- ② 케이בל
- ③ 上部分 베어링
- ④ 고정자
- ⑤ 회전자
- ⑥ 下部分 베어링
- ⑦ 특수세일
- ⑧ 임펠러
- ⑨ 스트레이너
- ⑩ 펌프홀

그림 1. 油封式水中전동기펌프

3.1.2 溫式 수중전동기

직접 물과 닿는 형식의 절연에서는 그 절연전선에 다음과 같은 특성이 요구된다.

- (1) 완전한 耐水性을 가지고 수중에서의 절연저항이 安定되어 있을 것.
- (2) 환경균열성이 없을 것.
- (3) 耐熱성이 양호하고 특히 熱충격에 대하여 우수한 耐久性이 있을 것.
- (4) 우수한 기계적 강도를 가지고 卷線작업시 손상을 받지 않을 것.

위의 조건을 만족하는 것으로는 폴리에틸렌電線과 鹽化비닐電線 등이라 할 수 있겠다.

3.1.3 모울드式 水中전동기

전항의 습식에서 직접 물에 접촉하는 전선은 일반적으로 절연피막이 두껍고 小形機에 사용할 경우에는 Slot 占積率이 增大하는 관계상 제작이 困難할 때가 있다. 이런 경우 보통전동기용 전선의 절연피막 두께와 그렇게 차가 없는 耐水合成에나일 전선을 사용하고, 그 위에 耐水性이 좋은 合成樹脂를 Casting 하는 모울드 방식이 사용된다. 이 모울딩 수지에는 다음과 같은 특성

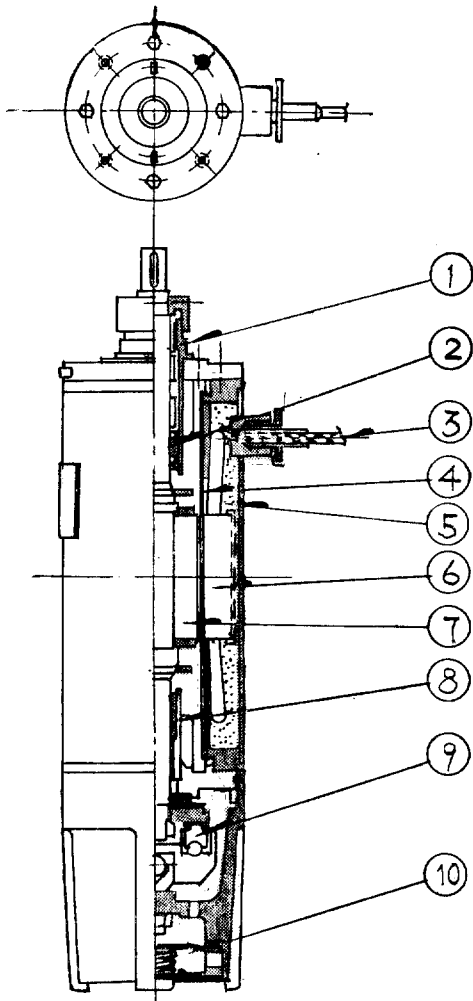
이 요구된다.

- (1) 전향의 절연피막에 요구되는 성질 이외에
- (2) 고온시 내부 gas의 발생이 없어야 한다.
- (3) 熱傳導가 크고 적당한 柔軟性을 가져야 한다.
- (4) 절연내력, $\tan \delta$ 등이 우수하고 습착에 대한 저항이 강하고 浸水 加熱에 의한 전기적 성질의 변화가 없어야 한다.

위의 성질을 만족하는 것으로 Epoxy Resin에 적당한 Filler를 첨가한 것이 사용된다.

3.1.4 캔트식 水中전동기

固定子 內徑側에 卷線部를 내부액체로부터 격리하기



- | | |
|-------------------|-----------------|
| ① Mechanical Seal | ⑥ 고정자 |
| ② 上部 Radial 베어링 | ⑦ 회전자 |
| ③ 口出線 | ⑧ 下部 Radial 베어링 |
| ④ Can | ⑨ 슬러스트베어링 |
| ⑤ 部內 Epoxy 充填 | ⑩ 內部均壓장치 |

그림 2. 캔트식 水中전동기

위하여 얇은 非磁性體의 Stainless 製 內筒 같은것을 넣고 Expand 成形하여 固定子 內面에 密着시킨다. 內筒端은 프레임의 端板과 용접하여 권선부를 밀봉하여 스위 캔드구조로 하고 있다. 卷線의 周圍 즉 고정자 캔의 내부에는 모듈드식에서와 같은 종류의 특수 充填物을 봉입하고 공기와 수분을 완전히 제거하여 절연의 보강, 방열효과, 기계적 강도 및 윤활작용 향상을 꾀한다.

캔드구조는 용접기술의 여하에 따라 장기간의 耐水性이 좌우됨으로 용접부의 leakage Test는 嚴密히 하여야 한다. 即, 이 종류의 전동기 성능과 수명을 이 캔의 용접기술 여하에 달렸다고 볼 수도 있을 정도로 중요한 것이다. 그리고 사용중 온도변화에 의하여 內部 수지에서 發生되는 gas에 의한 內壓의 증가로 Can이 歪形 또는 터지는 수가 없도록 하여야 할은 勿論이다.

3.2 베어링

구조부분 중에서 가장 중요한 베어링에 대하여는 수중전동기의 절연방식의 종류에 따라 두가지로 대별할 수 있다. 유봉식 水中전동기에서는 볼베어링을 사용하고 있는 것이 대부분이고, 내부에 봉입된 절연유를 윤활제 및 냉각제로서 공용하고 있다. 大出力의 유봉식 水中전동기는 펌프의 스테르스트 荷重이 數톤이 되는 것도 있으며 이때에는 슬라이브형 스테르스트 베어링을 기름 윤활로서 사용할 수도 있다.

수봉식 수중전동기에서는 일반 볼 베어링은 윤활 防鏽 등의 문제로 사용하기 어렵고, 물 윤활 물 냉각으로 사용할 수 있는 Sleeve 베어링으로 할 필요가 있다. 물 윤활 축수 재료로서는 최근 현저한 발전을 하고 있는 합성수지계 또는 Crbongraphite와 같은 고체 윤활제를 주체로 한 재료가 사용되고 있다. 이들 재료를 사용하여 적절한 물 윤활 및 냉각 구조를 가지고 상대금속의 표면경도, 표면 거칠기를 적절히 하여 PV 値(荷重×周速)을 재료에 따라 적당히 선택함으로써 마모가 적고 안정한 베어링으로 數톤의 스테르스트를 받게 할 수 있다.

3.3 圓筒 마찰손실

油封式 또는 水封式 水中전동기는 액체중에서 회전자가 회전하기 때문에 고정자와의 Gap에 있어서 流體 손실이 발생한다. 이 손실은 Reynold's 數가 낮은 경우에는 대략 다음 식에서 구해진다.

$$P_f = C \cdot Dr^{4 \sim 4.5} \cdot N^{2.5 \sim 3.0} \cdot L \cdot G^{0.5} (W)$$

여기서 Dr = 회전자의 외경,

N = 회전수

L = 철심폭

G = 갭의 길이

C = 액체 점도에 관한 계수

單位는 MKS 단위

이 식에서 알 수 있는 것과 같이 손실은 회전자 의 경의 4~4.5 乘에 비례하므로 수중전동기는 비교적 가늘고 긴 모양이 된다. 또 기름의 점도는 물보다 數배 가 큼으로 流體손실이 커지고 효율이 떨어진다. 따라서 전동기 내부에 액체를 봉입할 때에는 회전자의 의 경, 철심폭, Gap의 길이를 적절히 결정하여야 한다.

3.4 캔에 생기는 渦流損

스테이터 캔에 발생하는 손실 P_c 는 대략 다음 식으로 표시된다.

$$P_c = \pi/8 \cdot D^3 \cdot L \cdot t \cdot B \cdot W^2 \cdot \delta(W)$$

- 여기서 D =캔의 직경
- t =캔의 두께
- L =스테이터 코어의 길이
- B =갭의 자속밀도
- W =회전자 자속 角速度
- δ =캔의 고유도전율
- 단위는 MKS 단위

위의 식에서 P_c 는 캔의 두께에 비례하여 증감한다. 일반적으로 耐부식성, 強度면에서 보면 이 두께가 클수록 좋으나 효율면에서 보면 마이너스 이므로 대체 0.2 mm~0.5 mm의 범위의 것이 선정된다. 또 δ 의 값도 적을 필요가 있고 캔 재질로서는 非磁性, 高腐蝕抵抗性의 스테인리스 박판이 주로 사용된다. 참고로 캔 재질만 변화했을 때의 전동기 효율 변화의 일예를 든다.

표 1. 캔 재질과 전동기효율

재질	전기저항 $\mu\Omega\text{-cm}^3$	전동기효율 (20HP의 예)
Inconel	98	78.3(%)
Stainless Steel(EN 58H)	76	76.0
Nickel	10~20	41~56
Brass	8	30
Aluminium	3	18

3.5 防鏽處理

전동기가 水中에서 사용됨으로 각 주요 재료에는 녹이 슬지 않는 스테인레스鋼 등의 不鏽鋼을 사용하고 주물, 철심재료에는 충분한 脫脂처리 및 防鏽처리를 할 필요가 있다. 특히 海水중 또는 화학액체 중에서 사용되는 경우에는 재료의 선정을 엄중히 하여야 한다.

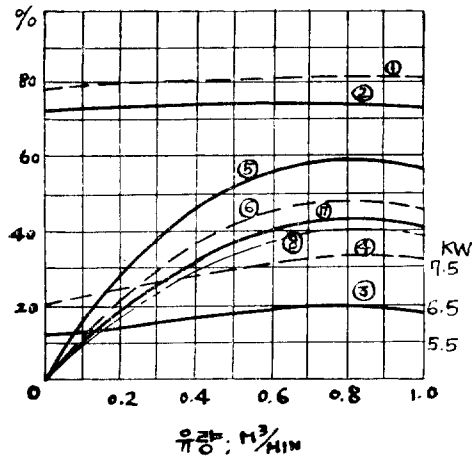
5. 特 性

5.1 효 율

水中전동기는 특히 軸 Seal 部, 베어링部の 기계손실, 流體마찰손실, 캔식에서는 Can의 渦流損 등이 생긴다. 이들 손실은 고속기에 있어서는 全 손실의 50% 이상이 됨으로 효율은 일반육상용 전동기에 비하면 5~50

% 떨어진다. 특히 濕式에 있어서는 耐水電線을 사용 하기 때문에 Slot 古積率이 나쁘고 鐵損이 증가하여 효율은 더욱 떨어진다. 그러나 水中전동기의 효율을 올리 기 위해서는 전기적 손실보다 기계적 손실 減少에 重點을 두어야 한다.

펌프와 직결한 상태의 綜合효율은 특히 깊은 우물용 인 경우 펌프自體의 효율향상으로 육상설치時보다 상당히 좋아진다. 그림 3에 綜合효율의 비교표를 만들었다. 그러나 현 단계에서는 水中모터 특성의 중요점에 있어서 효율 보다는 運轉壽命에 있다고 볼 수 있다.



- ① 육상 전동기 효율곡선
- ②수중 전동기 효율곡선
- ③수중 펌프의 축동력곡선
- ④수중 펌프의 육상에서
- ⑤수중 펌프의 효율곡선
- ⑥수중 펌프의 육상운전시 효율곡선
- ⑦수중 펌프·수중 전동기의 綜合효율
- ⑧수중 펌프·육상 전동기의 綜合효율

그림 3. 수중 전동기와 펌프의 효율
7.5 KW-2 P, (0.8 M³/Min×35 m 펌프)

5.2 토오크特性

水中전동기는 負荷時의 일정한 펌프를 운전하기 때문에 토오크특성에 대하여는 특히 고려할 필요는 없다. 그러나 슬러스트 베어링에 Sleeve 베어링을 사용할 때에는 起動時에 회전자 및 펌프 重量이 슬러스트 축수에 加해짐으로 이 전동량과 슬러스트 축수의 靜마찰계수에서 필요한 기동토오크를 算定하여 설계상의 기조로 한다. 특히 減壓기동 또는 Y-Δ기동방식을 채용할 때에는 충분한 기동 토오크가 생기도록 고려하여야 한다.

5.3 온도상승

水中전동기는 수중에서 운전되는 관계로 온도상승은 비교적 낮고 연속 운전시에 있어서는 거의 분체는 없

다. 허용온도상승치는 사용되는 전선의 성질에 의하여 결정된다. 일반적으로 水中전동기의 경우 주위의 물에 의하여 대단히 좋은 냉각을 얻을 수 있으므로 보통 사용 상태에서는 문제는 없고 육상용 전동기에 비하여 구조상의 제약에서 고정자 코일의 熱容量을 크게 할 수 없기 때문에 구속시의 온도상승은 일반전동기에 비하면 크고, 전선자체의 온도특성이 비교적 낮음으로 급속히 위험상태에 도달한다. 따라서 구속시의 전동기 보호에 대해서도 충분히 고려하여야 한다.

6. 保護와 保守

6.1 保 護

水中전동기의 保護上 特色으로

- (1) 定常에서는 온도변화가 적다.
- (2) 일단 사고가 생기면 致命的이다.
- (3) 事故探知는 신속 정확하여야 한다.

는 點을 고려하여 過負荷 및 接地계전기로서는 精密形을 선택하여야 한다.

그리고 設置 初期에는 반드시 廻轉方向이 正回轉이 되도록 確認하여야 한다.

6.2 보 수

水中전동기의 운전상태를 육상에서 직접 눈으로 볼 수는 없다. 그러나 보통전동기에 비하면 곤란하지만 적절한 방법으로 눈으로 관찰하는 것과 마찬가지로 충

분한 보수가 기대되는 것이다.

즉 정기적으로 절연저항을 實測기록하여 이것을 그래프化하여 절연저항의 변화의 경향을 관찰하고, 단일 급히 절연저항이 떨어지는 경우에는 위험상태인 것으로 주의할 필요가 있다. 또 운전중의 전류계의 눈금을 매일 기록하여 전류변동이 심하면 기계적 부분에 이상이 있음을 주의할 수도 있다. 그리고 정기적인 분해 점검은 보수면에서 없어서는 안 될 사항인 것이다.

7. 결 론

이상 水中전동기의 구조, 특징, 특성 등에 대하여 略述하였다. 水中전동기의 역사는 짧고 여러 가지 문제가 남아 있으며 그 使用台數도 現在까지는 陸上用에 比하면 문제가 되지 않을 정도로 勤少하다. 그러나 文化度の 向上에 따라 各種 化學工場, 地下水, 活水處理, 特殊灌溉等 그 用途는 자못 크지게 된다. 그러나 motor의 水中이니 氣中이니 差가 있게 되는 것은 아직까지 우리의 電氣機密에 대한 科學技術이 낮기 때문이다. 기술적으로나 과학적으로 보다 完전한 자동기라면 어느 장소에서든지 使用할 수 있어야 한다고 筆者는 主張한다. 따라서 제작기술은 물론 材料의 발달로서 不遠한 장래에 氣中에서나 水中 어디서든지 使用可能한 motor의 出現을 期하는 바이다.

<60 page 에서 계속>

만일 $A'(t) = A(t+t_0)$ 라면 $A \otimes A' \sim \delta(t+t_0)$ 가 되고, $R(t) \sim B(t+t_0)$ 가 된다.

이 積分은 그림 2와 같이 表示된다. 둘째의 모델에서는 KeyA' 이후 부분만 想起된다. 이것은 機械의 記憶을 할 경우, 人間の 記憶의 弱點과 비슷하다.

첫째 方法은 KeyA'가 어떤 부분의 것이라도 全體를 想起할 수 있는 것이므로 人工的인 기억장치를 만들 때는 이 方法이 重要하다. 또한 이러한 correlation을 사용한 시스템에서는 예러가 발생하는 確率이 매우

적다는 것도 重要的 사실이다.

이러한 조작을 디지털 計算機로 實行하는 것은 용이하며 McCulloch-Pitts의 뉴우론으로 實現하는 것도 可能하다고 본다. 神經回路網의 專門家が 이러한 構造를 구상하는 것이 요망된다. 다만 筆者는 이러한 시스템이 人間이나 動物에 實存하고 있다고 主張하지는 않는다. 그러나 그 可能性이 排除되어서는 안된다는 것을 強調하고 있다. (金洪龍 委員)