

중소형 모터의 현황과 전망

1. 머리말

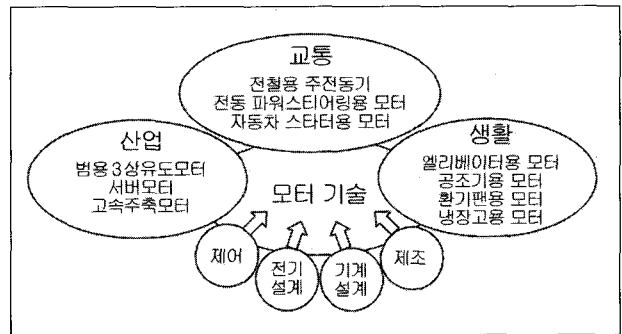
모터는 우리들의 풍족한 생활을 지탱해주는 큰 기둥이다. 전차에 의한 대량 수송이나 엘리베이터에 의한 고층 건축공간의 이용, 쾌적한 마이카생활, 사무실과 가정에서의 쾌적한 공조시설, 또 공장에서의 제품 가공과 수송 등 모터는 우리들 생활 대부분인 모든 분야에서 활약하고 있다. 모터 기술은 일본에서는 170년에 달하는 역사가 있으며, 용도에 따라 직류모터, 유도모터 및 동기모터 등의 개발이 진행되어 왔다.

최근 중소용량의 모터에 있어서는 대량생산에 의한 저(低)코스트화가 이루어지고 있으며, 또 인버터 등의 제어기기의 발전으로 종래에 적용되고 있지 않던 다양한 용도에도 사용하게 되었다. 또한 연구자적을 위시한 자료기술, 제조기술, 제어기술에서의 기술혁신으로 적용되는 모터의 종류가 변화하고 있다. 예를 들면 소형화·고효율화의 요구에 따라 가변속운전을 하는 모터는 직류모터에서 유도모터로 그리고 다시 영구자석모터로 변화하고 있다. 이 변화는 새로운 기술개발을 촉진시켜 모터는 눈에 보이지 않는 곳에서 크게 진화하고 있는 것이다. 이하에 미쓰비시電機의 최근 중 소형 모터의 개발현황과 성과 및 전망에 대해 기술한다.

2. 中小型 모터의 현황과 기술

가. 모터관련 사업과 개발현황

미쓰비시電機의 주된 모터관련 사업과 기술을 그림 1



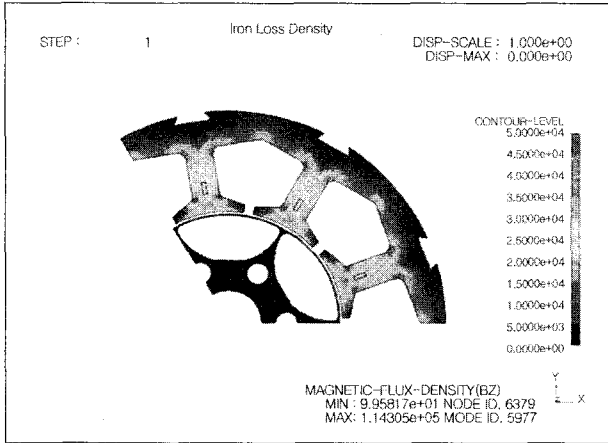
〈그림 1〉 미쓰비시電機 관련 사업과 기술

에 표시하였다. 모터 기술은 산업분야와 생활분야 및 교통분야로 크게 분류된다. 그림에 나타나는 바와 같이 동사의 모터관련 사업은 여러 갈래로 걸쳐 있어 각 사업에 대응하여 니즈를 만족시키는 다양한 모터의 개발을 추진해 오고 있다. 모터 니즈의 주된 것으로는 고효율화, 제어성의 고도화, 저소음화, 신뢰성의 향상, 저가격화 등을 들 수 있다. 이들 요구는 독립적인 것이 아니고 사용 목적에 맞추어 밸런스를 좋게 개선해 나갈 것이 요망되고 있다.

일반적으로 모터의 개발에 있어서는 설계가 완료된 단계에 처음으로 제조방법을 검토하지만 동사는 콘셉트 단계에서부터 전기설계, 기계설계, 제어, 제조의 각 부문이 연대하여 생산성, 성능, 코스트를 종합적으로 검토하면서 개발을 진행시켜 나감으로써 시장의 요구를 균형이 맞게 실현시키는 혁신적인 모터를 완성해 내고 있다.

나. 高效率化 技術

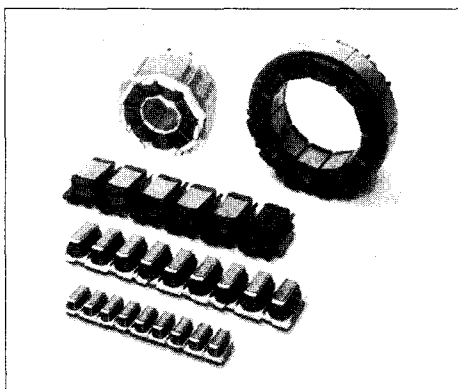
일본의 전(全) 소비전력의 50% 이상이 모터에서 소



〈그림 2〉 철손 해석의 일예

비되고 있는 것으로 추정되고 있으며, 모터효율 향상에 의한 에너지절약은 비중이 매우 크다. 동사는 손실저감 기술로서 슬롯 등 모터 형상에 의한 공간고조파와 인버터에 의한 시간고조파에 기초한 손실의 해석기술을 확립하고 있다. 그림 2에 해석의 일례를 든다.

또한, 제조기술에서는 그림 3에 표시하는 바와 같은 ‘삐끼삐끼’(ボキボキ, 푹푹하는 소리) 철심기술을 중심으로 한 새로운 제조기술이 있다. 이 기술의 적용으로 권선밀도가 크게 향상되고 코일엔드부도 축소할 수 있게 되어 철손을 크게 저감할 수 있다.



〈그림 3〉 ‘삐끼삐끼’ 철심의 예

이들의 기술을 적용한 성과로서 업계 최고의 효율을 가진 롬어킨용 모터와 고효율 범용 3상모터의 제품화를 실현하고 있다.

다. 制御性の 高度化 技術

정보산업용의 기기는 소형화·고정도화(高精度化)가 추진되고 있으며, 시대의 요청에 따라 이 경향은 더욱더 진척되어 나갈 것으로 생각된다. 이 고정도·미세가공 및 고속가공은 서버모터나 동작기계용 주축(主軸)모터 기술이 지탱하고 있다. 또한, 엘리베이터와 같이 인간의 감성(感性)에 관계되는 분야도 시장의 신장이 기대된다. 이 요망을 만족시키는 종래의 한계를 초월한 저(低)토크 리플 등의 모터가 바람직하다.

동사는 자기포화(磁氣飽和)에 의한 비선형성이나 3차원 형상을 고려한 자체해석기술, 고속운전시에 문제가 되는 공간고조파에 의한 손실의 해석기술, 학습제어기술 등을 이용하여 개발을 진행해 나가고 있다. 그 결과 높은 제어성을 가진 서버모터와 업계 최고급의 회전속도를 실현한 동작기계용 주축모터의 제품화에 성공하고 있다.

라. 低騒音化 技術

모터가 우리 생활에 침투하게 되면서 모터에 대한 저소음화의 요구가 높아지고 있다. 특히 생활공간의 질이 향상됨에 따라 종래에는 문제가 되지 않았던 적은 소리(音)도 제품의 경쟁력에 영향을 미치게 되었다. 동사는 모터의 전자(電磁) 소음과 고정자 및 회전자의 슬롯 수의 조합관계를 명확하게 하는 이론, 전자가진력(電磁加振力)의 해석기술, 소음의 원인이 되는 반경방향진력의 현상 해명에 힘을 발휘하는 측정기술을 이용한 저소음 모터를 개발하고 있다. 또 종래의 기어를 이용한 시스템에 비해 ‘기어리스’로 하면 소음은 크게 저하한다. 이들 기술을 이용하여 높은 저소음 특성을 가진 전동과워스태어링용 모터와 업계 최고급의 기계실 없는 엘리베이터용

모터를 제품화하였다.

3. 동사의 모터 開發의 실례

이 장에서는 고효율화와 제어성의 고도화 기술, 저소음화 기술을 이용하여 개발이 크게 진전되고 있는 동사의 모터에 대하여 실례를 중심으로 기술한다.

가. 高效率 모터의 실례

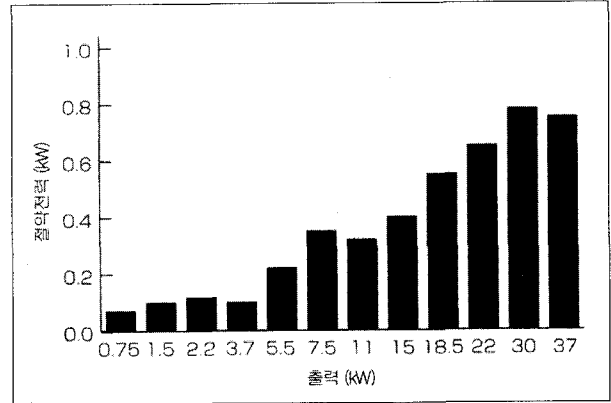
(1) 汎用 3相誘導모터

모터에 대한 에너지 절약화의 수요가 높고 규격화·법제화의 동향 가운데 이들 규격·법제를 만족하는 고효율 모터 “수퍼라인 에코시리즈”를 개발하여 판매하고 있다. 수퍼라인 에코시리즈는 전폐외선형(全閉外扇形)으로 극수는 2, 4, 6극, 출력은 0.2~55kW를 갖추고 있고, 일본 JIS 기준치와 미국 EPAAct 기준치의 양쪽 기준치를 만족하는 업계 최고급의 고효율과 동사 제품 인버터 “FR-A500”에 의한 어드밴스트 자속 백터제어 운전으로 1:10의 정토크 연속운전이 가능한 것 등의 장점을 갖고 있다.

3상모터의 손실은 1차동선, 2차동선, 철손, 기계손, 표유손으로 대별된다. JIS 및 EPAAct의 효율기준치를 만족하는 모터는 이들 손실의 합계를 표준모터보다도 20~30% 저감할 필요가 있다. 동사의 수퍼라인 에코시리즈에서는 권선방식의 변경에 의한 코일엔드 길이의 단축, 로터슬롯 형상의 최적화에 의한 2차 도체의 단면적 증가, 고자속밀도·저철손 특성재의 개발과 채용에 의한 철손의 저감, 자기회로에 있어서의 정수의 최적화 등에 의해 손실을 저감하였다. 그림 4에 종래의 유도모터와 비교한 절약전력을 표시하고 있다.

(2) 룸에어컨용 모터

각종 주거 환경기기의 동력원으로는 전고함, 저소음,



〈그림 4〉 수퍼라인 에코시리즈의 절약전력

값이싼 것 등 때문에 유도모터가 사용되어 왔으나, 최근 10년 간의 환경보전 의식이 국내외에서 높아져 기기에 대한 에너지절약화가 크게 진전되고 있는 가운데, 유도모터를 대신하여 효율이 좋은 브러시리스 DC모터가 활용되고 있다. 특히 주거환경 기기에서는 에어컨과 냉장고의 소비전력이 가정 소비전력량의 약 40%를 점하고 있는 것 때문에 양(兩) 제품의 에너지절약 수단으로서 브러시리스 DC모터화의 진전은 큰 주목을 받고 있다.

룸에어컨용 모터에는 팬용 모터와 압축기용 모터가 있으나, 압축기용 모터는 냉동사이클에서의 에너지변환 입구에 해당하여 전기입력의 80% 이상을 소비한다. 이 모터의 고효율화는 에너지절약을 추진하는데 매우 중요하다.

동사는 2001년 냉동시즌부터 지금까지 사용해 온 4극 분포권매입자석형(分布卷埋込磁石型) 모터의 구조를 일신하여, 관절형 ‘뽀끼뽀끼’ 철심구조의 6극집중권매입자석형 모터로 바꿔 놓음으로써 대폭적인 효율 향상을 실현하고 있다. 로터는 6매의 양원호(兩円弧)형상의 페라이트자석을 매입한 표면배치형의 매입자석형 구조로 되어 있다. 효율 개선율에서는 냉방정부하조건에서 5% 냉방정격조건에서 3%, 난방저외기조건에서 2%의 효과가 나타나 업계 최고급의 효율을 달성했다.

나. 制御性を 高度化한 모터의 실례

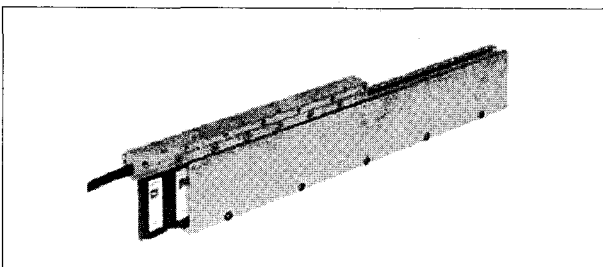
(1) 工作機械用 主軸모터

공작기계의 생산효율 향상 관점에서 최근 머시닝센터, 금형가공기 등의 주축(主軸) 고속화가 급속히 진전되고 있다.

동사는 '95년부터 "초고속 빌트인 IM 주축모터"의 개발에 착수했다. 로터는 알루미늄도체를 일체(一體) 성형한 농형로터가 채용되고 있으며, 로터 각부의 기계적 강도, 특히 로터 양단의 엔드링(短絡環) 부분의 피로강도를 향상시키기 위하여 "부동형용탕단조법(浮動型溶湯鍛造法)"이라 불리는 새로운 제조기술에 의해 결함발생을 피하여 로터외경 주속(周速) 180m/s의 초고속 로터를 실현하고 있다. 주축드라이버의 제어에서는 속도 루프 제어로 전기 각 주파수 1.167kHz 상당을 실현하고 있으며, 최고회전속도 70,000r/min까지 제품화하고 있다.

(2) 汎用 리니어 서버모터

고정도·고속·고능률화의 요구에 따라 종래의 불나사구동 시스템에 비해 고속도·고가속 특성을 얻는 것이 가능해진 LM시리즈를 제품화하고 있다. 이 모터는 다이렉트드라이브에 의한 높은 강성(剛性)과 플클로드 제어시스템에 의한 고정도의 제어로 2m/s를 실현하고 있다. 그림 5에 표시하는 코어리스 타입에서는 저속에서도 매우 스프스한 운전을 실현하고 있다.



〈그림 5〉 범용 리니어서버모터 LM-T 시리즈

다. 低騒音化한 모터의 실례

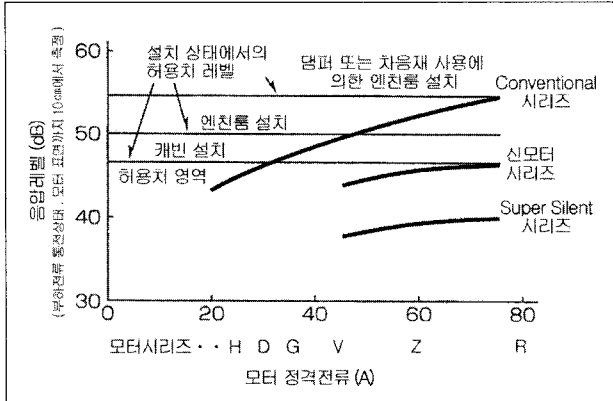
(1) 電動파워스태어링용 모터

전동파워스태어링(이하 "EPS"라 함)은 핸들의 조타시(操舵時)에만 모터를 구동하는 방식으로 엔진 운전중 상시 유압펌프가 구동되고 있는 종래의 파워스태어링에 비하여 에너지 소비가 적어 약 3~5%의 연비 향상이 가능하게 된다. 이 때문에 유압파워스태어링으로 바꾸어 놓는 일이 진행되고 있다.

동사는 '88년에 세계에서 처음으로 EPS용 모터/ECU(Electronic Control Unit)의 양산에 들어갔으나 그 이후에도 채용차종의 확대에 따라 고출력화 요구의 시장니즈에 대응하여 EPS용 모터로서 적합한 고출력모터를 시기적절하게 개발하여 양산화를 지속해 온 결과, 순조롭게 생산을 확대시킬 수 있었다. 현재 모터/ECU 각각의 누계 생산대수는 1000만대에 달하고 있으며 앞으로도 증가해 나갈 것으로 예상된다.

적용차종의 확대에 따라 EPS용 모터에 요구되는 출력도 커지고 있다. EPS용 모터의 출력 증대는 모터사이즈의 증대를 가져왔으며, 모터의 음(音)·토크리플·로스토크·관성모멘트 등도 커져, 드라이버에 불쾌감을 주거나 조타(操舵) 감각이 나쁘게 되는 문제가 있다. 동사는 이 과제를 위해 선발메이커로서 재빨리 신속하게 착수하고 있다. 독자적인 전자계 해석수법을 구사하여, 고부하 전류시에도 음(音)·진동이 낮은 브러시가 달린 고출력모터를 개발하여, 'New 모터시리즈'로 호칭하여 80A, 500W급까지 시리즈화하고 있다. 그림 6에 정격전류와 소음레벨을 나타내었다. Super Silent 시리즈에서는 종래 기종에 비해 80A에서도 음압(音壓)레벨이 작다. 이 모터로 자동차의 배기량에서 2리터급까지 대응된다.

또한, EPS 채용차종 확대시에는 다시 고출력 모터가 필요하게 된다. 브러시가 달린 모터에서 다시 고출력(500W 초과)에 대응하면 모터가 지나치게 커져, EPS



〈그림 6〉 정격전류와 소음레벨

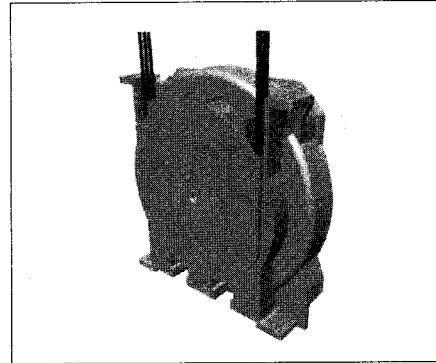
용 모터로서 그 크기·관성모멘트·로스토크 등이 허용될 수 없는 수준이 된다. 동사는 이 고출력에 대응하는 모터로서 소형·저관성모멘트·저로스토크화를 달성함과 동시에 EPS용 모터로서 필요한 저토크리플·저소음의 장점도 겸비한 브러시리스모터도 개발하고 있다.

동사는 출력이 적은 영역은 브러시가 달린 모터, 출력이 큰 영역은 브러시리스 모터로 대응하도록 하고 있으며, 다시 출력이 큰 영역(700W 초과)에는 브러시리스모터의 36V(42V) 시스템으로 대응할 계획이다.

(2) 엘리베이터용 모터

고층빌딩 등에 설치되는 고속엘리베이터에는 모터와 강차(綱車)를 연결한 기어리스 권상기가 일반적으로 사용되어, 진동과 소음이 적고 우수한 승차감을 실현시키고 있다.

한편, 맨션이나 사무용 고층건물 등에 적용되는 저속의 표준형 엘리베이터에서는 모터와 강차의 사이에 기어를 갖춘 권상기를 사용하는 것이 일반적이었으나, '90년대 후반에는 영구자석모터를 채용한 기어리스 권상기를 업계에서 최초로 고속엘리베이터에 적용하여 다시금 에너지절약과 더불어 권상기의 소형화도 실현하였다. '98년에는 저속엘리베이터의 영역에도 적용하여 기계실 없는 엘리베이터를 실현할 수 있게 되었다.



〈그림 7〉 기계실이 없는 엘리베이터용 박형권상기

스페이스절약, 에너지절약의 흐름 가운데, 저속엘리베이터에 있어서는 기계실 없는 엘리베이터가 주류가 되었다. 이 경우 권상기는 승강기 내에 설치되기 때문에 소형이면서 조용해야 할 것이 요구된다. 소음 저감에는 기어리스화가 유효하며, 소형이며 저회전 대토크의 사양에 대응하기 위해서는 PM모터가 적합한 것으로 되어 있다.

또한, 권상기의 형상에는 원통형과 박형(薄形)이 있는데 앞으로 레이아웃성(性)이 좋은 것보다 스페이스 절약이 가능한 박형권상기가 주류가 될 것으로 생각된다. 동사의 박형권상기(薄形卷上機)를 그림 7에 표시한다. 동사는 다극화(多極化), 소형화의 점에서 유도모터보다도 유리한 집중권(集中卷) PM모터를 채용하여, 독자적인 관절현 "뽀끼뽀끼(ボキボキ)" 철심을 병용함으로써 모터의 박형화를 달성했다. 이 모터의 개발로 기어리스화가 가능하게 되고 조용한 기계실이 없는 엘리베이터를 실현할 수 있었다.

4. 中小型 모터의 展望

(1) 高效率 모터의 展望

1997년 12월에 교토(京都)에서 개최된 지구온난화방지 교토회의(COP3)에서 교토의정서(京都議定書)가 채

택되어 여기서 선진국에서의 온실효과가스 배출량에 대하여 법적 구속력이 있는 삭감목표가 정해졌다. 일본은 제1준수기간인 2008년부터 2012년의 온실효과가스 배출량을 '90년 수준에서 6% 삭감하는 목표를 갖도록 되었다. 이 목표는 매우 엄하여 달성하기 위해서는 기술혁신과 생활스타일의 큰 변혁이 요구된다. 고효율 모터의 중요성은 더욱 증대해 질 것으로 생각된다.

동사는 새로워진 고효율화 때문에 리터턴스토크의 활용기술과 센서리스 제어기술을 더욱 발전시키고 있다. 또한 상용전원에 직접 접속하는 유도모터는 사용대수가 많아 그 운전이 소비되는 전력도 많다. 이것을 바꿔놓을 새로운 개념의 고효율 모터 개발도 추진하고 있다.

현재 일본에서 고효율 모터의 보급률은 수 % 정도에 지나지 않는다. 이것은 고효율 모터의 가격이 범용모터에 비해 높은 것이 원인이 되고 있다. 동사는 새로워지는 고효율화와 더불어 저가격화도 실현해 나갈 계획이다.

나. 制御性を 高度化한 모터의 展望

저(低) 토크리플화 등을 위해서는 철심재료나 영구자석의 세밀한 재료특성에까지 깊이 파고드는 연구개발이 필요하다. 특히 가공방법 등의 생산기술과 링크된 해명이 필요하다. 또 이들 데이터를 이용하여 특성을 명확하게 밝히기 위한 해석기술이 필요하게 된다. 제어기술, 제조기술도 다시 진화시켜 나갈 필요가 있다. 이들 기술을 종합적으로 이용하여 개발을 계속하여 국제경쟁의 와중에서 승리할 수 있는 제어성을 고도화시킨 모터를 실현해 나갈 계획이다.

다. 리사이클성의 向上

모터는 동, 철, 희토류(稀土類) 금속의 보고(寶庫)로 생산량도 많다. 리사이클성을 고려한 설계가 요망된다. 자연계에서 유용한 자원을 얻기 위해서는 분리하는데 많은 노력이 필요하게 된다. 이것은 재생자원에 있어서도

마찬가지이며, 리사이클성은 유용물질의 분리성(分離性)이라 말한다.

모터에서는 동, 철, 희토류 금속의 분리효율이 포인트가 된다. 동선은 철심에 감겨있고 열경화성(熱硬化性)을 주로 하는 절연바니시로 고정되어 있기 때문에 일반적으로 분리하기가 어렵다. 미세하게 재단하여 분리하는 방법도 있으나 많은 에너지가 필요하게 된다. 동사의 “뽀끼뽀끼” 철심은 높은 생산성을 실현하는 기술이지만 분해도 용이하기 때문에 분리효율을 향상시킬 가능성을 갖고 있다. 앞으로 리사이클성을 포함한 생산기술을 확립해 나갈 것이다.

5. 맺음말

모터가 커다란 원동력이 되어 참으로 매력 있는 혁신적인 제품이 실현되는 사례가 늘어나고 있다. 기계실이 필요 없도록 하여 큰 고객메리트를 실현한 박형(薄形)의 기계실 없는 엘리베이터용 모터나 시장이 크게 신장되고 있는 전동과워스태어링용 모터는 전형적인 예이다. 모터기술의 발달은 제품 자체의 혁신을 가능하게 한다. 또한 고효율화와 리사이클성의 향상은 기업으로서의 책임과 임무이기도 하다. 미쓰비시電機는 모터기술을 더욱 진화시켜 21세기의 생활을 풍요롭게 하는 혁신적인 제품의 창조에 지속적으로 도전할 것이다.

이 원고는 일본 三菱電機技報에서 번역, 전재한 것입니다. 본고의 저작권은 三菱電機(株)에 있고 번역책임은 대한전기 협회에 있습니다.