

## 수냉식 1MW 고온초전도 동기모터의 설계

### Design of Water-cooled 1MW HTS Synchronous Motor

백승규\*, 손명환\*, 이연용\*, 권영길\*, 문태선\*\*, 박희주\*\*, 김영춘\*\*

Seung-Kyu Baik\*, Myung-Hwan Sohn\*, Eun-Yong Lee\*, Young-Kil Kwon\*  
Tae-Sun Moon\*\*, Heui-Joo Park\*\* and Yeong-Chun Kim\*\*

**Abstract:** Superconducting synchronous motors and generators have the field coil composed of superconductor with almost zero resistance at superconducting state. Therefore, copper loss at the conventional field coil is eliminated and the superconducting machine gets higher efficiency. The armature coil of the superconducting machine is composed of copper wire and supported by non-magnetic material such as FRP (Fiber Reinforced Plastic). This paper contains the design procedure of a 1 MW superconducting synchronous motor using high-temperature superconductor only for the field coil. Especially, the armature coil is designed by water-cooling in order to dissipate Joule heat easily. Moreover, 3-dimensional electromagnetic design is conducted to get a proper design result and reduce design errors from 2-dimensional approach.

**Key Words:** 1MW class, superconducting synchronous motor, efficiency, high-temperature superconductor, water-cooling, 3-dimensional.

줄이면서 기존의 동기기보다 우수한 특성을 갖도록 설계하고자 한다.

설계하고자하는 고온초전도 모터는 Fig. 1과 같이 Bi-2223 선재를 사용하는 계자코일(Field Coil)과 최외곽에는 기기의 내부에서 발생하는 자장이 외부로 나가는 것을 막아주는 기계실드(Machine Shield)가 존재한다. 또한 전기자와 계자코일 사이에는 전기자(Armature)로부터의 비정상 자계를 차폐하며 회전자의 탈조를 방지하는 역할을 하는 원통형의 댐퍼(Damper)가 존재한다.

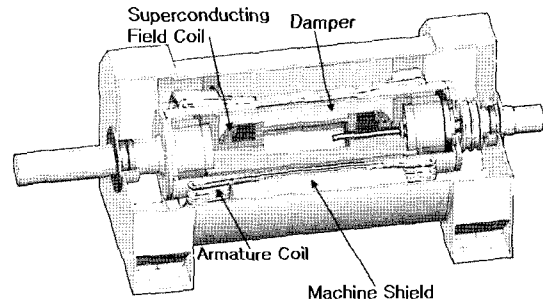


Fig. 1. The conceptual structure of HTS(High-temperature superconducting) synchronous motor.

## 1. 서 론

고온초전도 계자코일을 갖는 1 MW 정격용량의 초전도모터를 설계하고자 한다. 설계된 모터는 대형 플랜트의 냉각팬 구동이나 컴프레서 등에 사용을 목적으로 3600 rpm 의 고속이며 발전기로서의 응용과 국내의 초전도 동기회전기 개발에 중요한 모델기가 될 것이다. 기기의 용량이 커질수록 초전도를 이용하는 이점인 기기의 체적 및 중량의 감소효과를 더욱 볼 수 있으며, 설계하고자하는 1 MW 모델기에서도 기존 동급의 모터에 비하여 기기의 체적을 가능한 줄이면서 효율은 높도록 하였다. 기존 1 MW 급의 유도기와 동기기는 대부분 공랭식을 채택하므로 냉각팬과 같은 장치가 기기의 체적을 상당히 증가시킨다. 초전도모터의 전기자코일은 열전달율이 낮은 비자성재료인 FRP 으로 둘러싸여 지지가 되므로 효과적인 냉각과 기기의 체적을 더욱 줄일 수 있도록 수냉식으로 설계하고자 한다. 또한, 기존의 동기발전기보다 높은 효율을 가지면서 고온초전도 선재의 사용량도 비교적 적은 설계안을 여러 가지 경우에서 선택하여 기기의 제작비용을

## 2. 본 론

### 2.1. 설계 변수의 결정

기기의 기본적인 설계 파라미터인 단자전압, 주파수와 회전수는 모터의 응용분야와 기존 동급 모터의 사양 등을 참조하여 결정하였다[1]. 계자코일의 동작전류를 초전도체의 온도와 자장에 따른 특성곡선으로부터 설정하고, 전기자코일의 동작전류밀도는 사용하고자하는 Hollow Conductor 의 규격과 기존의 영구자석형 동기기의 기준을 고려하여 결정되었다. 동기리액턴스와 역률, 전기자의 슬롯수에 따른 영향을 분석하여 설계하고자하는 1 MW 초전도모터의 사양을 결정하였다.

#### 2.1.1 동기리액턴스에 따른 영향 분석

동기리액턴스는 전기자코일의 자기인덕턴스에 의한 성분과 상(Phase)간의 상호인덕턴스에 의한 성분의 합으로 나타난다. 해석하고자 하는 초전도모터의 사양은 Table 1과 같으며 Fig. 2와 같이 구성되는 설계 프로그램에 동일한 조건(계자전류, 전기자 슬롯수, 역률, 기계실드 내반경, 전기자와 계자 턴 수 등)을 주었을 경우에 동기리액턴스의 변화에 따른 기기 파라미터들의 변화를 보았다.

\* 정 회 원 : 한국전기연구원 초전도응용연구그룹

\*\* 정 회 원 : 두산중공업(주) 기술연구원

원고접수 : 2005년 09월 09일

심사완료 : 2005년 09월 20일

Table 1. Superconducting synchronous motor specifications for analysis.

정격용량	1 MW
정격속도	3600 rpm
주파수	60 Hz
극수	2
단자전압	3300 V
동기리액턴스	0.1 ~ 0.7 p.u
계자 사용도체	Bi-2223

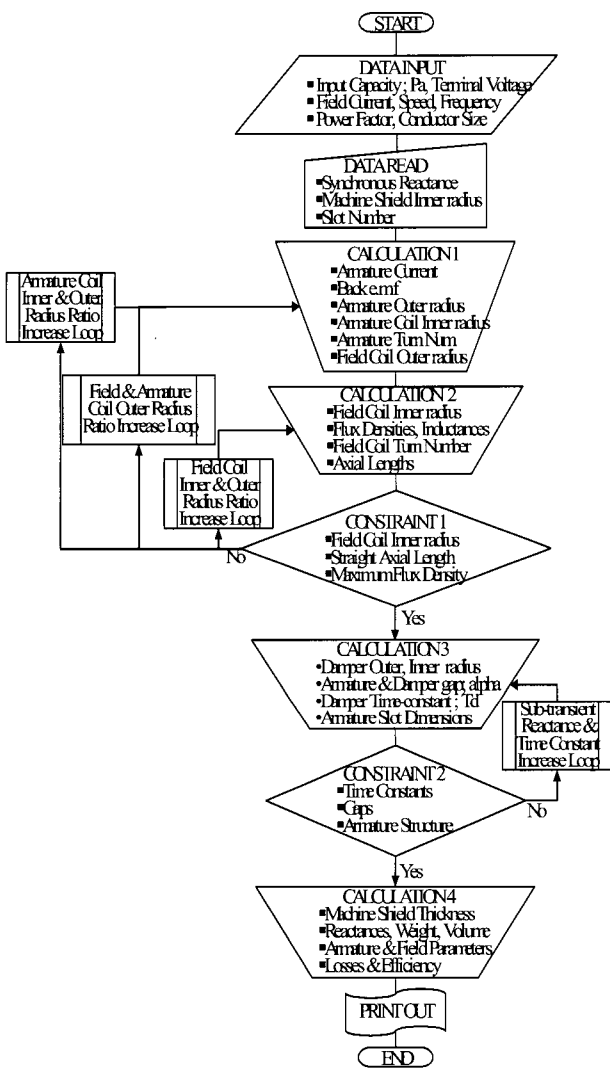


Fig. 2. Superconducting synchronous machine design program flow chart.

Fig. 3과 4에서는 동기리액턴스의 증가에 따른 기기의 체적과 중량의 변화를 보여준다. 전기자코일과 계자코일의 턴 수가 모든 경우에 동일하다고 하였으므로 동기리액턴스의 증가에 따라서 Fig. 5에서와 같이 기기의 축방향 길이가 길어졌고 이에 따라서 기기의 중량과 체적도 증가하였다. 또한, 기기의 축방향 길이의 증가에 따라서 계자코일의 축방향 길이도 동시에 증가하므로 Fig. 6에서와 같이 계자코일에 필요한 선재의 길이도 증가하게 된다.

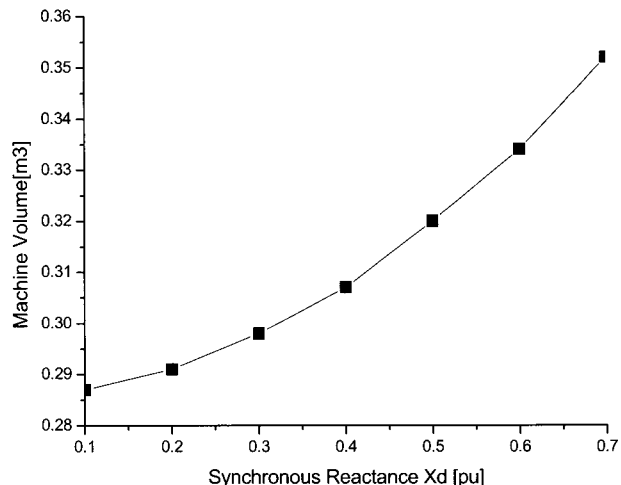


Fig. 3. Machine volume variation according to synchronous reactance.

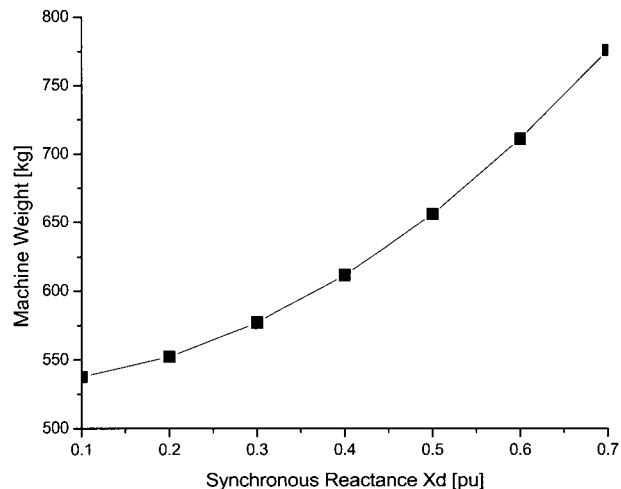


Fig. 4. Machine weight variation according to synchronous reactance.

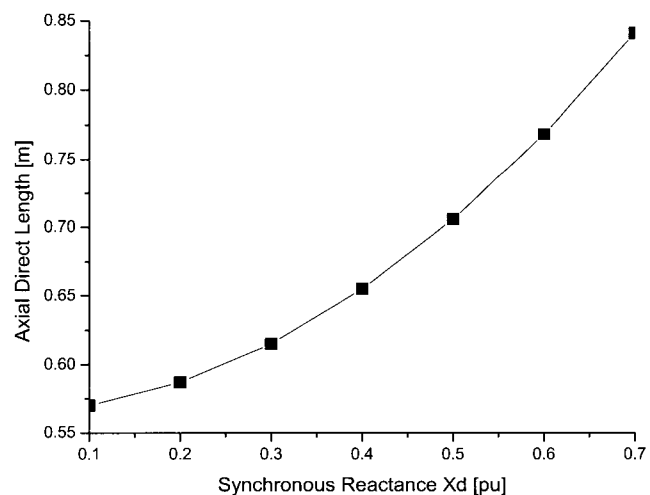


Fig. 5. Axial straight length variation according to synchronous reactance.

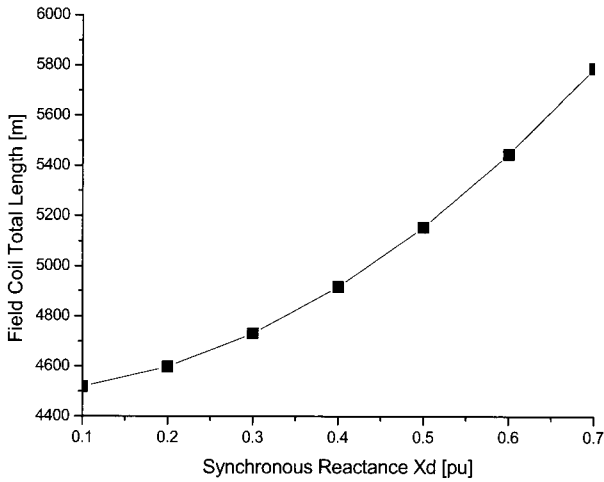


Fig. 6. Field coil total length variation according to synchronous reactance.

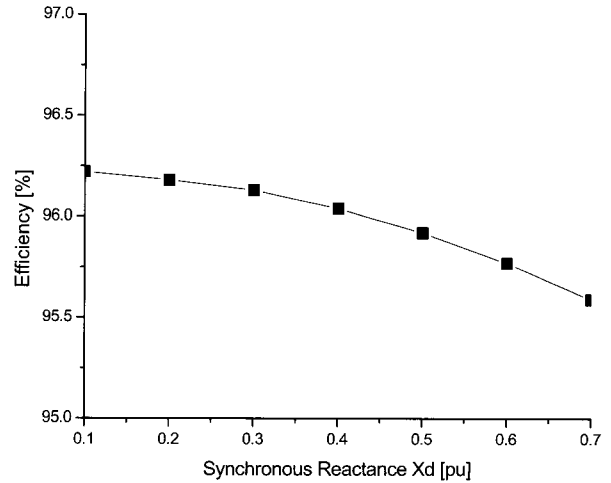


Fig. 7. Machine efficiency variation according to synchronous reactance.

전기자에 흐르는 전류와 그 턴 수가 동일한 조건에서 동기리액턴스의 증가는 기기의 축방향 길이를 증가시키며, 이에 따른 전기자코일과 기계실드의 축방향 길이의 증가로 동손과 철손이 동시에 증가하였다. 결과적으로 계산된 기기의 효율은 Fig. 7에서와 같이 동기리액턴스의 증가에 따라서 감소하였다.

1 MW 초전도 동기기를 발전기로서 운전할 경우 부하 변동에 따르는 단자전압의 변동을 동기리액턴스의 변화에 따라서 분석하였다. 발전시에는 순수 저항부하가 연결되었다고 보고 부하전류의 변동에 따른 단자전압의 변동을 Fig. 8에 보인다. 기존의 동기발전기는 큰 동기리액턴스(약 1.0 pu) 때문에 부하에 따른 전압강하가 크므로 별도의 여자제어를 하더라도 15% 이하로 전압변동율을 줄이기가 힘들다. 해석 대상의 1 MW 동기기에서는 동기리액턴스 값을 0.5 pu 으로 하였을 경우는 저항부하 발전시 13.2%, 0.2 pu 일 경우 3.5%의 전압변동율을 나타내었다. 따라서 동기리액턴스가 적은 초전도기를 사용할 경우에 부하변동에 따른 전압변동이 줄어들기 때문에 별도의 여자제어가 없어도 되는 장점이 있다.

본 설계에서는 외국의 개발사례를 참조하고 여자제어가 없어도 부하에 따른 전압변동율이 5% 이하가 되도록 동기리액턴스 값을 0.2 pu 으로 하였다. 이것은 독일의 SIEMENS에서 개발한 400 kW 초전도모터의 0.15 pu 보다 크고 미국에서 개발한 5000 마력 초전도모터의 0.32 pu 보다 적은 값이므로 적절한 값으로 여겨진다[2,3]. 동기리액턴스는 전기자코일의 자기인덕턴스와 코일 상간의 상호인덕턴스가 더해진 값으로서 위에서 볼 수 있는 바와 같이 적을수록 기기의 설계적인 측면과 정상상태의 특성에서는 유리하지만, 단락시와 같은 과도상태에서 전류나 토오크의 변동이 커지는 단점이 있다.

Fig. 9에서는 Fig. 8에서와 같은 저항부하를 연결하여 1 MW 동기기를 발전기로서 운전했을 때의 부하전류에 따른 발전되는 출력의 변동을 보여준다. 부하전류가 증가하여도 단자전압이 감소하므로 출력이 계속 증가하지 않고 최대치를 가지다가 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한 동기리액턴스가 적을수록 최대 출력치가 커짐을 볼 수 있다. 따라서 기존의 동기기에 비하여 동기리액턴스가 적은 초전도 동기기가 정상상태에서 한계 용량이 커서 안정도가 더 높음을 확인할 수 있다.

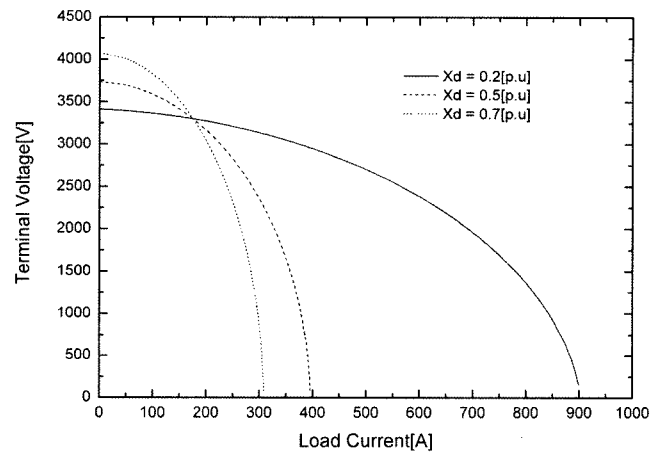


Fig. 8. Terminal voltage variation with different synchronous reactances according to load current at generator mode operation.

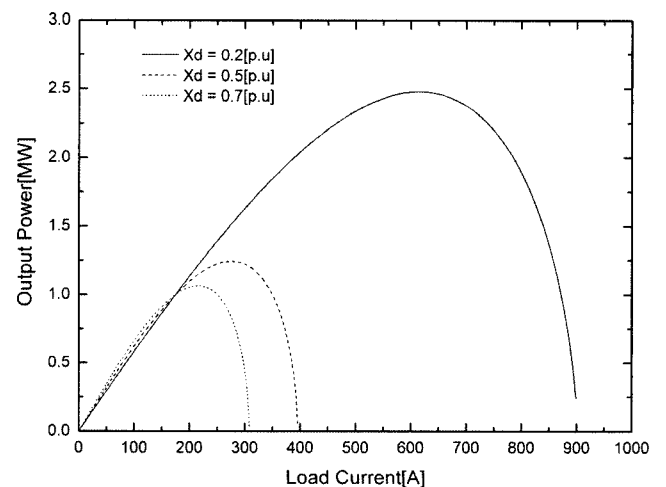


Fig. 9. Output power variation with different synchronous reactances according to load current at generator mode operation.

2.1.2 역률, 효율, 슬롯수, 기계실드 내반경 영향

기계실드의 내반경을 변화시키면서 전기자 슬롯수에 따라서 얻어지는 기기의 효율을 계산하였다. 기계실드의 내반경이 적을수록 전기자코일에 작용하는 자장의 세기가 커지므로 코일의 턴 수가 줄어들고 동손이 감소하여 기기효율이 대체적으로 높아진다. 슬롯수를 변화시키면서 설계 조건들을 만족시키는 결과들 중에서 얻어지는 가장 높은 효율들의 변화를 Fig. 10에 나타내었으며 36슬롯일 때 가장 높은 효율을 얻을 수 있었다. 발전기로서 운전시는 부하에 따라서 기기의 역률이 결정되지만 모터의 경우는 역기전력에 따라서 역률을 가변시킬 수 있다. 적절한 역률값의 선정을 위해서 Fig. 11과 같이 역률을 진상(lead), 지상(lag)으로 가변시키면서 계산된 최대 효율을 비교하였다. 진상운전시에는 역기전력이 단자전압보다 커지므로 전기자코일의 턴 수와 동손의 증가로 효율이 지상운전시보다 적어짐을 볼 수 있다. 역률 1.0 근방에서 효율이 가장 높아짐을 볼 수 있으며 지상역률 0.9~1.0 구간에서 설계안을 선정하였다. 기존의 1 MW 급 유도기의 효율은 94.6% 정도이며 동기기의 효율은 95% 정도이므로 설계 효율이 기존기기의 효율보다 높도록 하였으며, 미국에서 개발한 1000 마력 고온초전도모터의 설계 효율이 97.1% 인 것을 감안하여 97% 이상의 결과들만이 출력되도록 범위를 설정하였다.

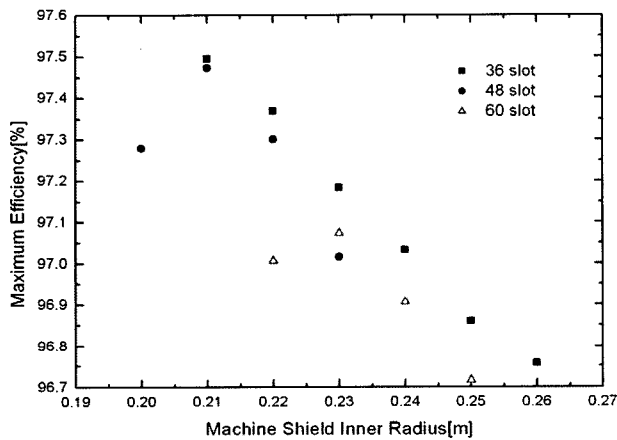


Fig. 10. Maxium design efficiency variation according to armature slot and machine shield inner radius.

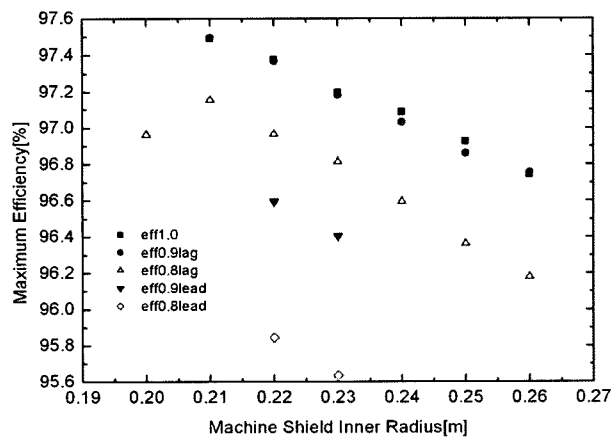


Fig. 11. Maxium design efficiency variation according to power factor and machine shield inner radius.

2.2. 설계 프로그램 실행에 따른 설계안 결정

설계하고자하는 1 MW의 고온초전도 모터는 전기자의 냉각을 위해서 수냉각 방식을 채용하고자 한다. 수냉각에 사용되는 전기자도체는 Fig. 12에서 볼 수 있는 바와 같이 도체의 내부에 냉각수가 통과할 수 있는 형태로 되어있다. 이러한 도체를 Hollow Conductor 라고 부르며 생산 업체에서 보유하여 제작에 이용할 수 있는 것을 선정하였으며, 그 형태는 폭이 6.75 mm 이고 두께가 4.36 mm 의 사각형 모양이며 내부에 폭 3.96 mm, 높이 1.57 mm 의 수냉각을 위한 공극이 존재한다. 이러한 도체의 형상을 프로그램에 입력하여 슬롯의 형상과 전기자코일의 내반경 등이 계산되도록 하였으며 여러 가지 설계 조건을 만족시키는 결과들을 Fig. 13, 14, 15와 같이 얻었다. 기기의 역률은 효율이 가장 높은 범위를 만족시키는 지상역률 0.9에서 1.0 사이로 변동시켰으며 계자코일에 필요한 고가의 고온초전도 선재량이 5.2 km 이하가 되는 결과들만 출력되도록 하였다. 얻어진 결과들의 설계 파라미터들을 상호 비교하여 직선부길이(Straight Axial Length)가 비교적 짧으며 고가의 고온초전도 선재량(Field Coil Total Length)도 많이 소모되지 않고 효율이 비교적 높은 설계안을 선택하였다.

이상에서 얻어진 선택 설계안은 Fig. 2와 같이 구성되는 설계프로그램에 의하여 얻어진 결과로서 2차원적인 자장해석에 근거한 설계 방법이다. 특히, 공극이 매우 큰 초전도 동기모터의 경우에 이러한 2차원적인 설계안으로는 코일의 단부에 의해 나타나는 영향을 충분히 고려할 수 없다. 따라서 이러한 기기의 축방향 형태에 따른 영향을 3차원적으로 고려하기로 하고 2차원적인 접근방법에 따른 횡단면 형태와 기기의 사양을 Fig. 16에 나타낸다.

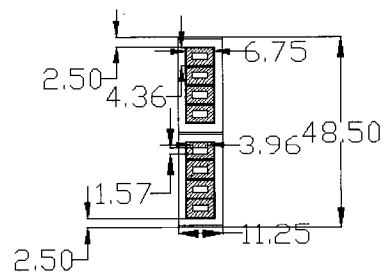


Fig. 12. Hollow conductor arrangement inside of armature slot.

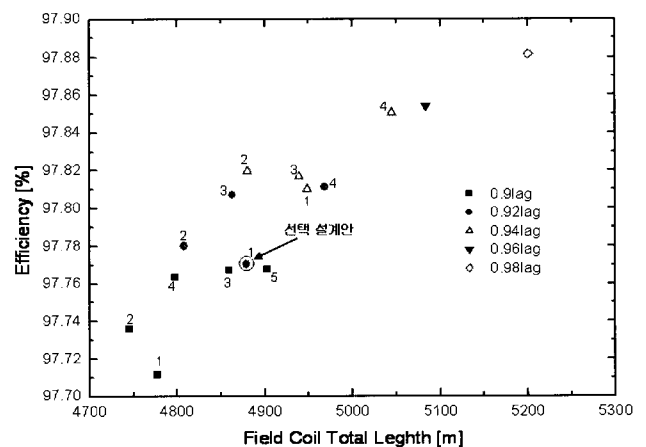


Fig. 13. Efficiency variations of program results satisfying design conditions.

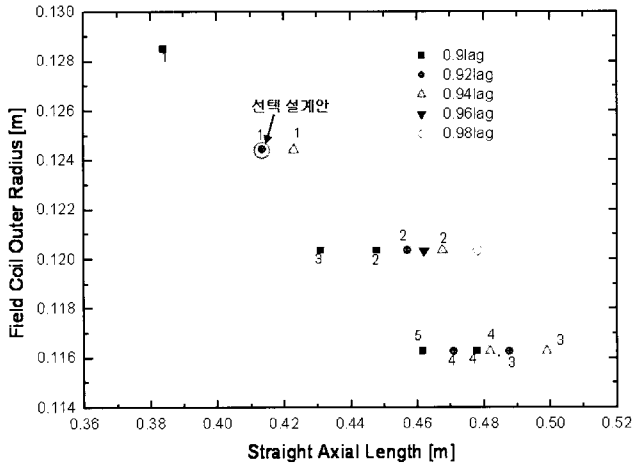


Fig. 14. Field coil outer radius variations of program results satisfying design conditions.

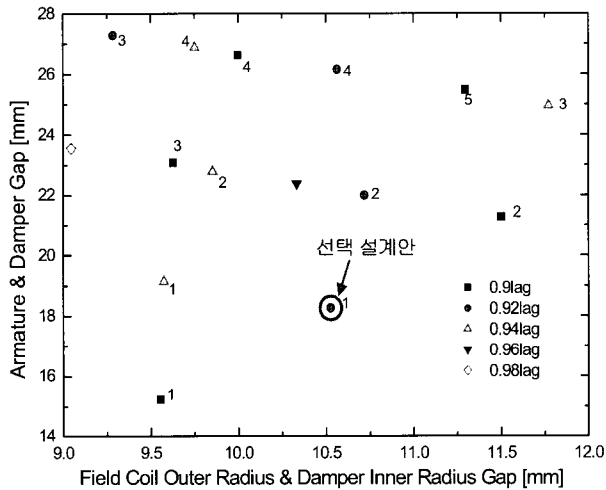


Fig. 15. Armature and damper gap variations of program results satisfying design conditions.

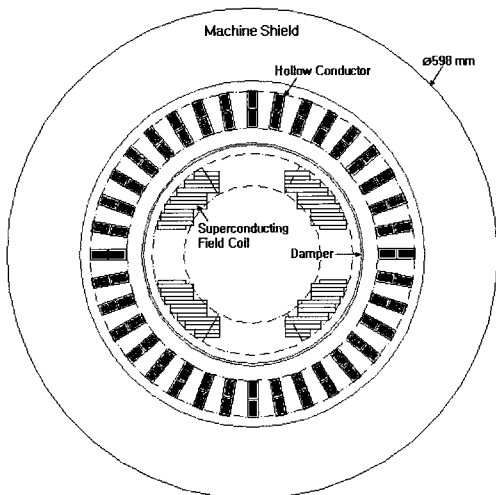


Fig. 16. Cross-section of designed 1 MW HTS synchronous motor.

Table 2. Selected design specifications of the HTS Synchronous Motor based on 2-dimensional electromagnetic approach.

정격용량	1 MW
정격속도	3600 rpm
주파수	60 Hz
극수	2
단자전압	3300 V
선간 역기전력	3100 V
역률	0.92
동기리액턴스	0.2 p.u
과도리액턴스	0.15 p.u
계자 동작전류	150 A @ 30 K
계자도체전류밀도	115 A/mm <sup>2</sup>
최대발생자장	2.36 T
계자도체전류밀도	115 A/mm <sup>2</sup>
축방향 직선부 길이	414 mm
계자코일 턴수	3348
전기자슬롯수	36
전기자코일 턴수	48 턴/상
전기자 정격전류	196 A
전기자도체전류밀도	8.4 A/mm <sup>2</sup>
전기자도체냉각	수냉식
설계 효율	97.77 %

2.3. 3차원 해석을 통한 1 MW 초전도 모터의 최종 설계

앞 절에서 결정된 2차원적인 접근 방법에 의한 설계안은 기기의 축방향에 따른 자장의 변화가 없다고 보고 설계한 것이다. 하지만 앞에서 설명한 바와 같이 초전도 동기 회전기는 공극이 기기의 대부분을 차지하고 있으므로 공극이 매우 작은 기존의 기기와는 달리 3차원적인 실제의 자장분포와 2차원적인 해석 결과가 상당히 차이가 생긴다. 또한 2차원적인 해석 방법으로는 코일의 단부에 의한 영향을 고려할 수 없으므로 정확한 설계를 위해서는 3차원적인 해석을 바탕으로 하는 설계가 필요하다. 설계하고자하는 1 MW 고온초전도 모터의 횡단면은 Fig. 16과 같은 구조로 하고 축방향의 구조에 따른 3차원적인 특성 해석을 수행하고자 한다. 축방향의 해석 형태는 Fig. 17에서와 같이 4가지의 경우로 나누어서 3차원 해석 결과를 상호 비교하여 적절한 형태를 최종적으로 결정하였다.

3차원 해석에 이용된 기법은 3D EMCN(Equivalent Magnetic Circuit Network Method) 방법과 Flux3D 유한요소해석 상용 프로그램이며 2차원 설계 결과를 바탕으로 1 MW 고온초전도 모터의 축방향 형상을 결정하여 최종 설계안을 도출하고자 한다. Fig. 17의 (a)는 투자율이 높은 규소강판으로 구성되는 기계실드의 축방향 적층길이를 2차원적 접근방법을 통하여 결정된 레이스트랙(Racetrack) 형 계자코일의 축방향 직선부 길이로 두었다. (b)는 기계실드가 반원형의 계자코일 단부를 축방향으로 모두 덮도록 한 구조이다. (a)와 같은 경우는 역기전력이 설계치보다 적어서 정격에서 전기자코일의 전류가 설계치보다 높았다. 이는 3차원적인 자장분포가 2차원적인 분포보다 값이 적고, 계자코일의 단부에서 발생하는 자장을 역기전력의 발생에 이용하지 못하기 때문이다. (b)의 경우는 역기전력이 설계치보다 높아서 정격에서 전기자코일의 전류가 설계치보다 낮았다. 이는 2차원적인 접근방법에서는 계자코일의 단부에서 발생하는 자장이 고려되지 않았기

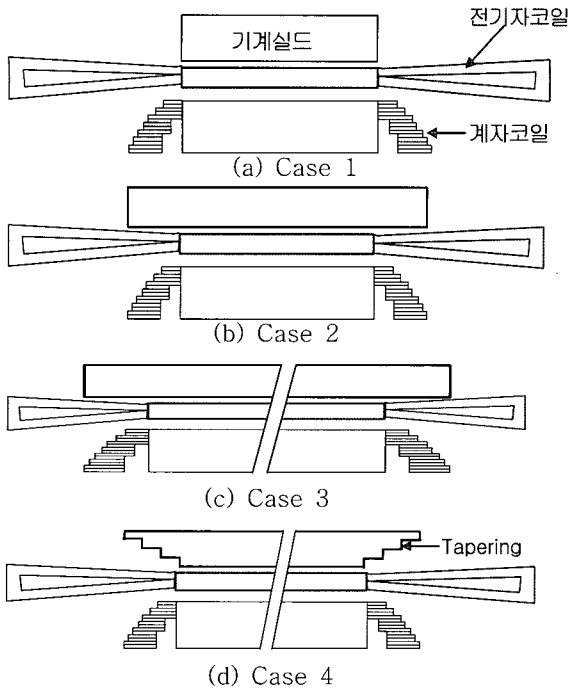


Fig. 17. Axial shape comparison for 3 dimensional effect analysis.

때문이다. 따라서 계자코일에서 발생하는 자장을 최대한 이용하고 전기자코일의 축방향길이를 줄이기 위하여 (c)와 같은 구조를 검토하였다. 최종적으로는 (d)와 같이 계자코일의 단부 영역에서 기계실드에 계단 형태로 Tapering 을 두어 다이아몬드형의 전기자코일 단부가 회전자와 접촉되지 않게 하는 실제 제작 상황을 고려한 구조를 선정하였다.

2차원적인 접근 방법으로 얻어진 Fig. 16에서의 횡단면 형태를 가지고 종단면으로는 Fig. 17과 같은 4가지 Case 에 대하여 Table 3와 같이 몇 가지의 경우로 나누어서 3차원 해석에 따른 특성을 분석하기로 한다. Case 1은 2차원적 설계 방법으로 얻어진 계자코일의 축방향 직선부 길이(straight length)와 동일하게 기계실드의 축방향 길이를 414 mm 으로 두었으며, Case 2는 기계실드가 계자코일의 축방향 전체길이를 일치하도록 하였다. Case 3은 축방향 직선부 길이를 약간씩 감소시키면서 특성을 보았으며, Case 4는 기계실드의 단부에 계단형의 Tapering 을 두어 제작시 전기자코일의 단부가 꺾여지는 영향을 감안하여 그 영향을 보았다.

2차원적 설계 방법에 따라서 결정된 축방향 직선부 길이는 414 mm 이고 Case 1에서는 Fig. 17의 (a) 에 서와 같이 기계실드의 축방향 적층을 축방향 직선부만을 덮도록하여 특성해석을 수행하였다. 3D EMCN 을 이용하여 산정된 선간 역기전력은 2794 V 이며 전기자코일의 동기인덕턴스는 3.4 mH(0.1954 p.u) 이었다. 이 값은 Table 2의 초기 설계안의 선간 역기전력 3100 V 보다 훨씬 적은 값이며, 3차원적인 자장값이 2차원적인 해석값보다 적고 코일의 단부에서의 자장의 이용률이 기계실드가 계자코일 단부를 덮지 않기 때문에 줄어들어 발생한 것으로 보인다. 역기전력이 초기 설계치보다 적어졌으므로 정격 출력에서의 전기자전류는 상대적으로 초기 설계치 196 A 보다 훨씬 큰 290 A 이었다. 이렇게 역기전력이 감소함에 따른 전기자 전류의 증가는 동손을 크게 증가시키고 효율을 떨어뜨려

Table 3. 3 dimensional analysis cases of 1 MW HTS motor.

Parameters	Case 1	Case 2	Case 3-1	Case 3-2	Case 3-3	Case 3-4	Case 3-5	Case 4-1	Case 4-2	
Field Coil Inner radius(mm)	84.5									
Field Coil Outer radius(mm)	124.5									
Armature Coil Inner radius(mm)	155.5									
Machine Shield Inner Radius(mm)	215									
Machine Shield Outer Radius(mm)	306									
Machine Shield Axial Length (mm)	Total length	414	646.8	626.1	605.4	584.7	564	543.3	615	635
	Straight length	414	414	393.3	372.6	351.9	331.2	310.5	383	403
Armature End Coil Length(mm)	200									
Pole Number	2									
Field Coil Straight Length(mm)	414	414	393.3	372.6	351.9	331.2	310.5	383	403	
Field Coil Angle(deg.)	120									
Field Coil Turns Per Pole	1674									
Field Coil Current(A)	150									
Armature Coil Turns Per Phase	48									
Field coil current(A)	150									

서 만족할만한 기기의 특성을 얻을 수 없었다. Case 2에서는 기계실드가 축방향으로 계자코일의 직선부와 단부를 모두 덮도록 하였다. 이때에 발생하는 선간 역기전력은 3561 V 이었으며 역기전력이 단자전압 3300 V 보다 커졌다. 이것은 기계실드의 축방향 길이 증가로 인하여 계자코일의 단부에서 발생하는 자속이 역기전력의 발생에 기여했기 때문이다. 이 경우는 역기전력이 단자전압보다 큰 진상역률으로 동작을 하며 정격 1 MW에서 부하각은 8.82° 이고, 역률은 90.20% 이며 전기자전류는 200.72 A 이었다. 또한 3D EMCN 으로 구한 전기자코일의 동기인덕턴스는 4.48 mH(0.1779 p.u) 이었다.

Case 3에서는 Case 2에서의 해석 모델을 기준으로 하여 축방향의 직선부 길이를 감소시키면서 단자전압보다 커진 역기전력을 줄이면서 기기의 특성을 분석하였다. Case 2에서의 기계실드 축방향 전체 길이는 646.8 mm(직선부 길이 414 mm)이었으며 축방향 길이를 감소시키면서 얻어진 특성 해석 결과를 Table 4에 보인다. 축방향의 직선부 길이가 감소할수록 전기자코일과 쇄교되는 자속량이 감소하므로 역기전력이 감소하며, Case 2에서의 진상역률이 100 % 가 되었다가 지상역률로 감소되는 추이를 볼 수 있다. Case 4에서는 전기자 코일의 단부가 권선이 될 경우에 회전자와의 마찰을 없애기 위해서 기계실드의 단부를 계단형상으로 각도를 주는 형태(Tapering)의 영향을 보았다. 기계실드의 단부에 30° 의 각도를 주고 FLUX 3D 을 이용하여 역기전력을 계산하였다. Case 4-1에서 각도를 주기 전에는 3352.8 V 의 역기전력이 발생하였으나

각도를 주었을 경우에는 3138 V 의 역기전력이 발생하여 6.4% 감소하였다. Tapering 에 따른 역기전력의 감소 비율이 해석을 통하여 거의 일정함을 확인한 후, 출력 특성이 가장 좋도록 축방향의 길이를 Case 4-2 와 같이 635 mm 으로 결정하였다. Fig. 18 에 FLUX 3D 을 이용하여 Tapering 의 영향을 보기 위한 최종 설계안인 Case 4-2 의 해석 모델의 형태를 보여주며, 이때의 축방향 직선부의 길이는 403 mm 이며 2차원 적 접근방법에 의해서 구해진 414 mm 보다 11 mm 축방향 길이가 줄어들었다. 계산된 역기전력은 3263 V 이며 전기자코일의 동기인덕턴스는 3.525 mH(0.1265 p.u) 이다.

Table 4. 3 dimensional analysis results of case 3.

	선간 역기전력 (V)	동기 인덕턴스 (mH)	출력 1 MW에서 특성				
			상전류 (A)	전류밀도 (A/mm <sup>2</sup> )	효율 (%)	역률 (%)	부하각 (°)
Case 3-5	2867 (80.5%)	4.00 (89.3%)	246	10.7	96.90	73.57	8.91
Case 3-4	3005 (84.4%)	4.09 (91.3%)	211	9.2	97.25	85.02	8.82
Case 3-3	3144 (88.3%)	4.19 (93.5%)	189	8.2	97.43	95.16	8.82
Case 3-2	3283 (92.2%)	4.29 (95.7%)	181	7.9	97.45	99.99	8.82
Case 3-1	3422 (96.1%)	4.38 (97.7%)	185	7.9	97.31	97.59	8.82
Case 2	3561 (100%)	4.48 (100%)	201	8.7	97.03	90.2	8.82

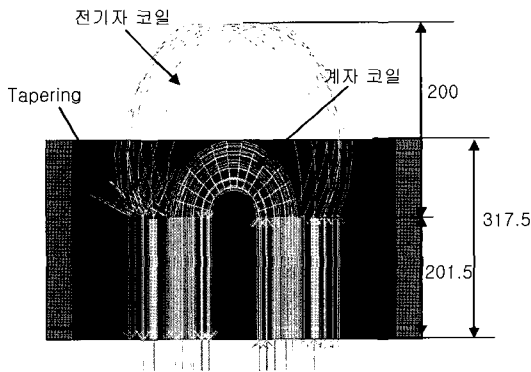


Fig. 18. 3 dimensional analysis model of case 4-2.

### 3. 결 론

1 MW 의 고온초전도 동기 모터를 전기자를 수냉식 으로 냉각하도록 설계하였다. 역률과 기계설계 내환경 과 같은 설계 변수들의 변화에 따라서 기기의 특성을 분석하여 설계 변수의 적절한 값들을 선정할 수 있었다. 또한, 공극이 큰 초전도모터의 구조로 인한 2차원 적인 설계에 따른 오차를 줄이기 위하여 3차원적인 접근 방법을 통하여 특성을 해석하여 최종 설계안을 도출하였다. 설계된 초전도모터는 Fig. 19와 같이 동급의 기존 공랭식 유도전동기와 비교할 때 1/5 이하로 기기의 체적을 줄일 수 있으며 효율도 2% 정도 높게 설계 할 수 있었다.

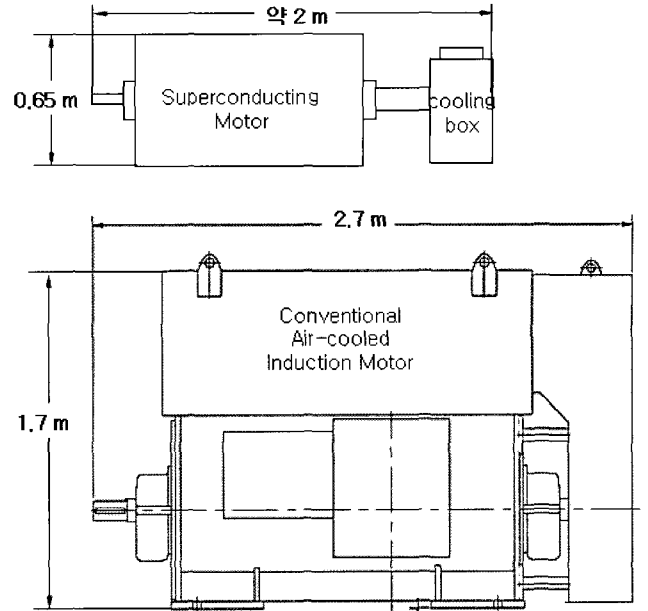


Fig. 19. Size comparison with conventional 1 MW air-cooled induction motor.

### 감사의 글

본 연구는 21세기프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

- [1] 백승규, 손명환, 이연용, 권영길, 문태선, 박희주, 김영춘, "1 MW 고온초전도 동기모터의 개념 설계 고찰", 한국초전도·저온공학회는문지, 6권 3호, pp.38~43, 2004. 9. 11.
- [2] M. Frank, et al, "Long-Term Operational Experience With First Siemens 400kW HTS Machine in Diverse Configurations", IEEE Transactions on applied superconductivity, Vol. 13, No.2, June, 2003.
- [3] David Madura, et al, "Test Results of a 5000HP HTS Motor", IEEE Transactions on applied superconductivity, Vol. 13, No.2, June, 2003.

### 저 자 소 개



백승규(白承珪)

1972년 11월 19일생, 1995년 부산대학교 전기공학과 졸업, 1997년 동대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 현재 한국전기연구원 초전도응용연구그룹 선임연구원.



손명환(孫明煥)  
1963년 4월 21일생, 1986년 부산대학교 물리학과 졸업, 1988년 동대학원 물리학과 졸업(이학석사), 1998년 동대학원 물리학과 졸업(이학박사), 현재 한국전기연구원 초전도응용연구그룹 선임연구원.



문태선(文泰善)  
1965년 6월 3일생, 1993년 부산대학교 물리학과 졸업, 1996년 동대학원 물리학과 졸업(이학석사), 현재 두산중공업(주) 기술연구원 선임연구원.



이언용(李彦容)  
1960년 5월 13일생, 1984년 창원기능대학 전기공학과 졸업, 1988년~현재 한국전기연구원 초전도응용연구그룹 책임기사.



박희주(朴希柱)  
1970년 9월 25일생, 1995년 한국해양대학교 기계공학과 졸업, 1997년 동대학원 기계공학과 졸업(공학석사), 현재 두산중공업(주) 기술연구원 주임연구원.



권영길(權永吉)  
1959년 7월 28일생, 1982년 부산대학교 기계공학과 졸업, 1984년 동 대학원 기계공학과 졸업(공학석사), 1990년 동대학원 기계공학과 졸업(공학박사), 1990년~1991년 한국기계연구원 선임연구원, 현재 한국전기연구원 초전도응용연구그룹 책임연구원.



김영춘(金永春)  
1964년 12월 26일생, 1986년 금오공과대학교 기계공학과 졸업, 1991년 동대학원 기계공학과 졸업(공학석사), 2004년 한국과학기술원 기계공학과 졸업(공학박사), 현재 두산중공업(주) 기술연구원 선임연구원.