碩士學位 請求論文
指導敎授 金 暎 烈

농형유도전동기 기동장치 경제성 검토

Economic Analysis of Squirrel Cage Induction motor Starter

2006年 7月

安 養 大 學 校 大 學 院

電 氣 電 子 工 學 科

魯 翰 九

농형유도전동기 기동장치 경제성 검토

Economic Analysis of Squirrel Cage Induction motor Starter

指導敎授 김 영 렬

이 論文을 電氣工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2006年 7月

安 養 大 學 校 大 學 院

電 氣 電 子 工 學 科

魯 翰 九

魯翰九의

電氣工學 碩士學位 論文을 認准함.

審 査 委 員

委員長 印

委 員 印

委 員 印

2006年 7月 日

安養大學校 大學院

[국문요약]

대부분의 3상농형유도전동기를 사용하는 장소에서 유도전동기의 용량산정 및 기동장치의 선정은 정확한 자료 없이 설계자 및 현장관리자의 경험과 직관에 의해 전동기의 용량 및 기동장치를 정함으로써 필요이상의 용량과 부적절한 기동장치의 선정으로 인한 초기투자비의 증가, 변압기, 발전기의 용량 과대선정 및 운용에 따른 전력비의 상승 등의 경제적 손실은 물론 공사주체들 간의 이해관계에서도 많은 문제점을 안고 있다.

선정기준에 대한 기준이 정립되지 않아 일률적인 전동기의 용량 및 기동장치를 적용함으로써 용량 15hp미만은 직입기동, 이상은 Y – Δ 기동방식 등을 적용하고 있으며, 설계자별로 서로 다른 실정이다. 뿐만 아니라 최근 대두되고 있는 IEC규정 적용 등은 기동장치의 선정 등을 어렵게 만들고 있다. 따라서 본 연구에서는 전동기의 용도별로 변압기용량, 간선의 거리, MCC와 전동기의 거리 등을 고려하여 기동장치를 검토하여, 보다 경제성이 높은 선정방법을 제안하고자 한다.

이를 위하여 본 연구에서는 전동기의 용량산정방법 및 기동장치를 분석하고, 현재 주요 발주처 또는 설계업체에서 적용하는 기준을 검토하고, 해외규격 및 각종기준을 조사하여 본 연구의 비교분석체계를 설계하였다. 그리고 이러한 비교분석체계에 의해 각 기동방식별 표준회로를 토대로 4개의 기동회로조건(직입기동, Y – Δ 기동, 리액터기동, 전자식(소프트스타터)기동방식)에 경제성을 용량별로 구분하여 가격경쟁력을 비교 분석하였다. 선정방법은 전동기의 용량선정방법을 일반전동기와 고효율전동기로 구분하였고 기동방법은 총 4개로 구분하여 비교 분석하였으며, 비교분석결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 전동기 용량산정의 경우 고효율전동기의 적용 시 SF(Service Factor) 1.15를 적용함으로써 전동기의 용량을 동일용량 또는 1단계 아래의 용량을 적용할 수 있었으며 동일용량 선정 시에는 신뢰도가 향상되는 것으로 나타났다.

둘째, 기동방식은 전동기부하의 형태에 따라 각기 달랐으나, 전반적으로 기동방식의 변화를 나타내며 다양한 기동방식을 적용하는 것이 신뢰도를 향상시킬 수 있는 것으로 나타났다.

셋째, 전자식(소프트스타터)기동의 경우 일부 부하에 제한적으로 적용되고 있으나 Y-Δ 기동, 리액터기동방식 등과 비교할 때 용량이 증대하면 상대적으로 경쟁력이 있으며 전력전자기기의 기술개발 등에 따라 가격이 하락되고, 다양한 기동방식 및 제어방식이 가능하며 전동기제어반내에 차지하는 면적과 체적이 적어지므로 이에 대한 적용이 설계단계에서 적용되면 경제성이 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서 실시한 전동기용량선정 검토는 고효율전동기의 SF(Service Factor) 1.15조건을 고려한 용량선정 시, 보다 정확한 정보를 제공해 줄 수 있으며, 소방펌프의 용량에 의해 비상발전기의 용량이 선정되므로 비상발전기용량선정의 기준용량으로써 보다 합리적인 기준을 제시할 수 있을 것이다.

키워드 : 3상농형유도전동기, 기동장치, 고효율전동기, 용량선정

[ABSTRACT]

In general, the capacity of 3-phase squirrel cage induction motor has been calculated, and types of the starter have been selected without proper data. The selections of not only motors but also the starters were made based on engineer's own experience and intuition. As a result, the improper selections caused not only economic loss but also conflicts amongst project participants. For example, in terms of the selection of the motor capacity and starter, of motors , N-circuit starters are applied in less than 15hp capacity of motor, Y-Δ starters were applied in more than 15hp. Moreover, it becomes more difficult to make such a decision due to recent IEC standardization. Therefore, this paper presents a cost-effective way of starter selection on motor uses considering transformer capacity, line distance, distance between MCC and motor etc of motor.

The author of this paper analyzed calculation method of motor capacity and starter, reviewing standard applied by the owners and designers, the foreign standard etc, the design comparative analysis framework. In doing so, the price competitiveness was compared and analyzed through the classification of economical efficiency to 4 types of the conditions of starting circuit(N-circuit starters, Y-Δ starters, reactor starters, soft starters), and it was based on the standard circuit of each starting types. The method of choice divides into the general and highly effective motor, and the starting method fall into four divisions.

These are the results; first, the same or one level lower of the motor was available by applying service factor 1.15 to a highly effective motor, and the reliability improved to the extent that it selected the motor of same level when the motor capacity is calculated. Second , as each style of the motor loaded, the starting method is different, but the reliability usually improve by applying the diverse starting method. Third, in spite of limited application, the soft starter was being more competitive than Y-Δ starters, reactor starters, etc., by increasing the capacity, being less expensive with technical development, possible to apply various method of starting and control, and decreasing the area and the measure of it in the control panel of motor. So the application of this method was economical in the design phase.

The investigation of the various calculation method of motor capacity in this study was to provide with more correct information when it was applied to the selection method of motor capacity in the light of service factor 1.15 to a highly effective motor and applied to the more reasonable standard capacity of the emergency motor by the capacity of fire pump.

[목 차]

제 1 장 서 론 1

1.1 연구의 배경 및 목적 1

1.2 연구의 범위 및 방법 5

제 2 장 문헌 고찰 및 사례조사 6

2.1 전동기의 기동전류와 토크 6

2.1.1 전동기의 종류 및 특성 10

2.1.2 기동전류 12

2.1.3 토크 15

2.1.4 과부하허용율(Service Factor) 16

2.1.5 비상조건하에서의 전동기 운전 16

2.2 전동기의 기동방법 16

2.2.1 직입기동(전전압 기동) 17

2.2.2 감전압 기동방식 18

2.2.3 전동기 기동방식 선정시 고려 사항 29

2.3 국내외 기준에 의한 기동방법 30

2.3.1 일본의 건축전기설비기준 30

2.3.2 신전기설비사전 30

2.3.3 전력사용시설물 설비 및 설계 31

2.3.4 대한주택공사 전기·정보통신공사 설계지침 31

2.3.5 대한주택공사 전기·정보통신공사 시방서 31

2.3.6 건설교통부 전기공사 시방서 31
2.3.7 전기공사협회 전기공사 시방서 32
2.3.8 기타 해외규격 32
2.4 유도전동기의 기동방식 선정 32
2.4.1 기동방법선정 시 고려사항 33
2.4.2 전압변동의 허용값과 기동시의 전압강하 33
제 3 장 전동기기동에 대한 영향요소의 분석 36
3.1 기준자료의 정리 36
3.1.1 표준형 유도전동기의 특성 36
3.1.2 고효율 전동기의 특장점 39
3.1.3 전동기 기동장치의 가격과 변압기 영향의 분석 43
3.1.4 설비별 기동특성의 분석 46
제 4 장 기동장치 및 공사비의 경제성 분석 53
4.1 공사비 산정 53
4.1.1 전동기의 배관·배선 53
4.1.2 공사비용의 계산 54
4.1.3 비용의 계산결과 58
4.2 기동장치 선정 기초조사 59
4.3 기동장치 선정순서 61
4.3.1 전전압기동방식의 적용 61
4.3.2 감전압기동방식의 적용 62
제 5 장 결 론 63

[참고문헌] 65

[감사의 글] 66

[표 목 차]

표 1. 전동기용량별 전동기 보유현황 [3] 2
표 2. 전동기용량별 설치대수 현황 [3] 3
표 3. 표준 4P전동기의 GD^2와 Torque 9
표 4. 회전자 표시 코드문자 13
표 5. 유도전동기의 기동계급 13
표 6. Sequence of Operation(Star Delta Satarter) 20
표 7. Sequence of Operation(직렬 Reactor 기동방식) 22
표 8. Sequence of Operation(단권변압기 기동) 23
표 9. Sequence of Operation(Part-Winding Type) 25
표 10. 표준기동방식(일본 건축전기설비기준) 30
표 11. 표준형 3상 유도전동기의 특성(LG-OTIS 4P) 37
표 12. 표준형 3상 유도전동기의 기동계급 특성(LG-OTIS 4P) 38
표 13. 고효율 3상 유도전동기의 특성(현대중공업 4P) 40
표 14. 일반전동기와 고효율전동기의 효율 및 가격비교 42
표 15. 고효율전동기 적용시 회수가능한 일운전시간 검토 43
표 16. 전동기 기동장치별 가격비교(2006.03) 44
표 17. 몰드형 변압기 전기적 특성치(효성몰드변압기 22,900/380,220V) 45
표 18. 조사대상 부하 사례분석 50
표 19. 부하종류별 전동기의 직입기동시간 50
표 20. 건축물별 변압기 용량 및 전동기 기동방법 사례조사 52
표 21. 전동기 용량별 배관·배선 기준 54

표 22. 배관·배선 공사비단가 산정기준* 55
표 23. 공급설비의 기초조사 59
표 24. 전동기부하의 기초조사 60
표 25. 전전압기동의 조건 61
표 26. 감전압기동방식의 적용 검토 항목 62

[그림목차]

그림 1. 전동기 토크 전류곡선 6
그림 2. 전동기 Torque의 종류 7
그림 3. 전동기의 속도 - 토오크 특성 7
그림 4. 직입기동방법 18
그림 5. Y - Δ (Star-Delta)기동방식(Open Transition) 20
그림 6. Y - Δ (Star-Delta)기동방식(Closed Transition) 21
그림 7. 직렬 Reactor 기동방식 22
그림 8. 기동보상기 기동(단권변압기 기동) 23
그림 9. 1차저항기동(직렬 임피던스 기동) 24
그림 10. 부분권선 기동(Part-Winding Type) 25
그림 11. Soft-Starter 기동방식의 특징 26
그림 12. 정지형 기동방식 27
그림 13. 인버터 기동법 27
그림 14. 감전압 기동방식의 주요 특성 비교 28

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

전동기는 전기적인 에너지를 기계적인 에너지로 변환하는 장치로서 국내 전체 소비전력량의 60%, 산업부문 전력소비량의 약 70% 이상을 차지하고 있다. 전동기의 연결부하는 19%가 팬(Fan), 38%가 펌프(Pump)로 대부분의 업종에서 팬과 펌프의 비중이 50%를 상회하고 있다.[1] 공동주택에 있어서도 지역난방, 대형단지의 개발, 초고층주거시설, 지하주차장설비 등의 설비용량에 기인하여 동력사용량은 전체사용량대비 30% 정도의 점유율을 보이고 있으며 수용률은 54%로서 전등전열보다는 높으나 다소 낮게 운용되고 있으며 적정수용률에 의한 합리적인 설계가 필요하다.[2] 전동기 유형별 보유현황은 3상유도전동기가 92.6%, 고효율3상유도전동기 2.1%, 단상유도전동기 2.2%, 직류전동기를 포함하는 기타가 3.1%를 차지하고 있다.[3] 3상유도전동기는 전기에너지를 이용하여 회전력 및 추력을 얻는 기기로서 수요처가 매우 광범위하고 전동기 구동을 위해 투입되는 전력은 국내 총전력소비의 약 54%이상을 점유하고 있는 것으로 추정되고 있으며, 용량별보급대수 및 사용용도별 분포를 조사하여 전동기용량선정 시 고효율전동기의 적용을 검토하고 기동장치는 각종기준을 확인하여 적용가능한 기동방법을 선정한후 경제성을 확인하여 용량별 기동방안을 제시하고자 한다.

표본 전동기사용처에서의 전동기용량별 보유현황을 살펴보면 표1과 같다.

전동기용량이 37kW이하 또한 3상유도전동기의 분포가 그 보급대수측면에서 상당부분을 점유하는 것을 알 수 있다.

표 1. 전동기용량별 전동기 보유현황 [3]

전동기용량 (kW)	일반용 전동기 보유대수		산업용 전동기 보유대수		계
	3상유도	고효율3상	3상유도	고효율3상	
0.4	1,671	174	20,121	121	22,087
0.75	1,375	92	29,833	43	31,343
1.5	1,728	900	18,231	302	21,161
2.2	1,666	18	14,598	120	16,402
3.7	2,155	37	14,906	123	17,221
5.5	1,679	100	12,038	98	13,915
7.5	1,435	67	12,013	215	13,730
11	1,607	81	7,043	209	8,940
15	937	76	6,405	172	7,590
18	458	42	1,893	120	2,513
22	511	37	4,297	76	4,921
30	531	42	3,657	109	4,339
37	411	15	3,134	112	3,672
45	186	10	1,460	89	1,745
55	176	4	1,583	84	1,847
75	90	1	1,968	53	2,112
90	42	0	803	85	930
110	28	1	836	45	910
132	8	0	321	27	356
160	18	0	392	45	455
200	13	2	1,060	32	1,107
200이상	37	2	700	5	744
계	16,762	1,701	157,292	2,285	178,040

또한 전동기용량별 누적대수를 살펴보면 표2와 같으며 37kW이하가 95%를 차지하고 있다.

표 2. 전동기용량별 설치대수 현황 [3]

전동기용량 (kW)	설치대수	누적대수	설치대수 %	설치대수 누적 %	계
0.4	22,087	22,087	12.4%	12.4%	22,087
0.75	31,343	53,430	17.6%	30.0%	31,343
1.5	21,161	74,591	11.9%	41.9%	21,161
2.2	16,402	90,993	9.2%	51.1%	16,402
3.7	17,221	108,214	9.7%	60.8%	17,221
5.5	13,915	122,129	7.8%	68.6%	13,915
7.5	13,730	135,859	7.7%	76.3%	13,730
11	8,940	144,799	5.0%	81.3%	8,940
15	7,590	152,389	4.3%	85.6%	7,590
18	2,513	154,902	1.4%	87.0%	2,513
22	4,921	159,823	2.8%	89.8%	4,921
30	4,339	164,162	2.4%	92.2%	4,339
37	3,672	167,834	2.1%	94.3%	3,672
45	1,745	169,579	1.0%	95.2%	1,745
55	1,847	171,426	1.0%	96.3%	1,847
75	2,112	173,538	1.2%	97.5%	2,112
90	930	174,468	0.5%	98.0%	930
110	910	175,378	0.5%	98.5%	910
132	356	175,734	1.2%	98.7%	356
160	455	176,189	0.3%	99.0%	455
200	1,107	177,296	0.6%	99.6%	1,107
200이상	744	178,040	0.4%	100.0%	744
계	178,040		100.0%		178,040

그러나 대부분의 시방서 및 설계기준에는 용량별로 직입기동과 Y-Δ 기동, 리액터기동방식 등을 일률적으로 정함으로써 연결부하에 대한 특성적용과 경제적인 기동방식을 고려하지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 전동기용량별 기동장치 선정을 위해 연결부하요소 및 수전용변압기의 용량을 고려하여 기동방법을 검토하여 경제적인 기동방법을 제안하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 전동기의 용량별, 연결부하별 특성, 공급변압기의 용량을 고려하여 국내외 기준을 비교 분석하였으며, 이중 가장 경제적인 기동방법을 제시하였다.

본 연구의 수행절차 및 방법은 다음과 같다.

1) 문헌고찰 및 사례조사

문헌 고찰을 통하여 전동기의 용량별 사용실태를 조사하여 기동방법의 제한요소 내용을 정리하였으며, 기동방법을 비교 분석하여 문제점을 제시하였다.

2) 기동방법 검토

사용실태조사 연구 문헌을 통하여 전동기의 용량별 기동방법설계, 기동에 따른 열적, 기계적 영향을 시간변화형태로 분석하였다. 분석된 결과와 제조업체의 전동기의 특성자료를 고려하여 기동방법의 검토를 위한 비교분석체계의 이론적 토대를 마련하였다.

3) 기동방법의 비교분석 및 결론

전동기 용량, 연결부하특성, 공급변압기용량의 자료를 토대로 경제적인 기동방법을 조건별 비교분석을 실시하여 가장 경제적인 기동방법을 제안하였다.

제 2 장 문헌 고찰 및 사례조사

본 장에서는 1) 선행연구문헌 고찰을 통해 유도전동기의 특성과 기동방식에 대하여 이론적으로 고찰하고, 2) 실제 현장에서 사용하고 있는 유도전동기의 기동방식과 실제자료를 이용하여 문제점을 제시하였다.

2.1 전동기의 기동전류와 토크

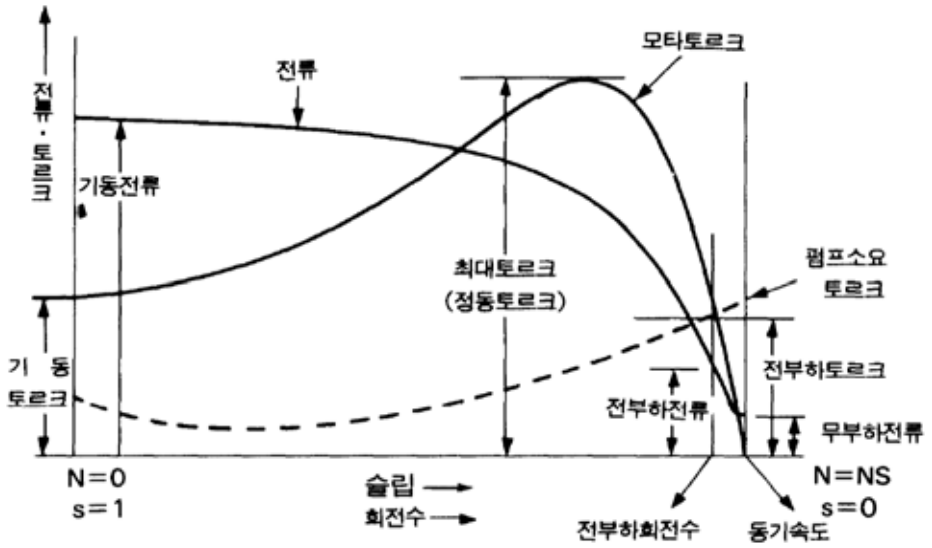


그림 1. 전동기 토크 전류곡선

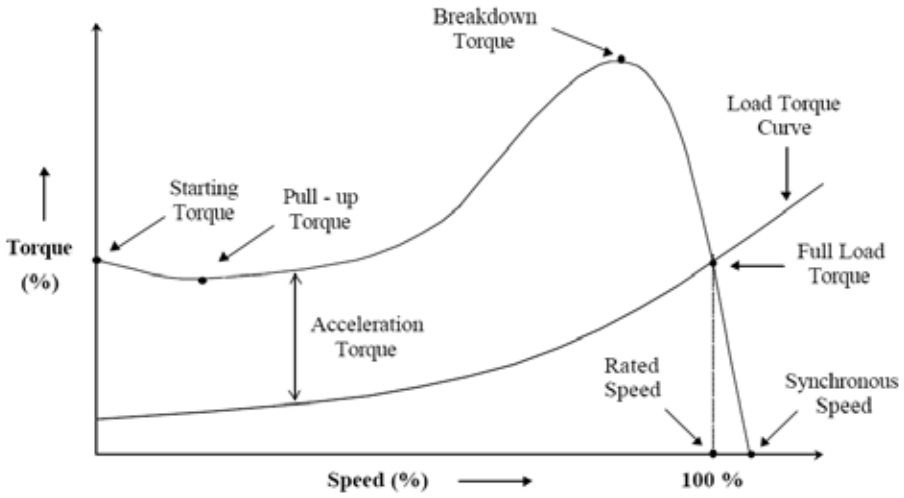


그림 2. 전동기 Torque의 종류

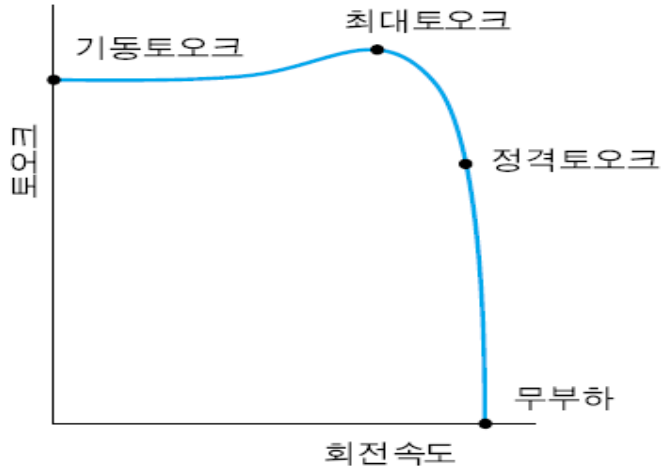


그림 3. 전동기의 속도 - 토오크 특성

유도 전동기 및 그 부하는 기동시 일반적으로 그림2와 같은 Torque 곡선을 가지며, 전동기의 Torque 와 부하의 Torque 곡선이 만나는 점에서 운전이 이루어진다. 전동기는 부하의 요구에 대응하는 토오크를 내는데, 부하의 증감에 따라 속도가 변하는 것이 보통이다. 예로 4극 60Hz의 유도전동기가 공회전 즉, 토오크 0의 경우는 거의 동기속도인 1800rpm으로 회전한다. 전동기에 부하를 걸면 부하증가

에 비례하여 회전속도가 저하되고, 계속 부하를 증가하면 어느 값 까지는 회전속도가 저하되면서 그 만큼 토오크가 증가하나, 토오크의 최대치에 도달하는 전동기는 정지하게 된다. 이와 같이 속도와 토오크의 관계를 표시한 특성을 전동기의 속도-토오크 특성이라 하고, 전동기의 특성을 단적으로 표시하는 중요한 특성으로, 어떤 부하에 대하여 어떠한 전동기를 선정해야 하는가를 검토하는 기본적 요소가 된다. 속도 0일때의 토오크, 즉 정지중인 전동기에 전원을 인가하여 회전을 시작하는 순간에 전동기가 내는 토오크를 기동토오크라 하고, 정격출력일 때의 토오크를 정격토오크, 그 때의 회전수가 정격회전수이다. 토오크의 최대치가 최대토오크이나 유도전동기의 경우는 이 토오크 때의 Slip보다 크게 되면 불안정영역으로 되어 정지하는데 이를 정동토오크라 한다. 또한 동기전동기의 최대토오크는 동기운전을 행하여 얻을 수 있는 토오크의 최대치로 그 이상에는 동기에서 벗어나는데 이를 탈출토오크라 한다. Torque 의 종류에는 다음과 같은 것들이 있다.

1) 전부하 Torque (Full Load Torque) : 정격전압 인가상태의 전부하 속도에서 정격부하를 인가할 수 있는 Torque

2) 구속 Torque(Locked Rotor or Starting Torque) : 정격전압 인가 상태에서 기동시 발생되는 Torque

3) 최소 Torque (Pull up Torque) : 기동 후 최대 토크 도달하기 까지 사이에서의 최소 Torque

4) 최대 Torque(Breakdown Torque) : 정격전압 인가 상태에서 전동기가 낼 수 있는 최대 Torque 로써 이 이상의 Torque 를 요구하는 부하가 인가될 경우에는 전동기는 정지하게 된다.

5) 가속 Torque (Acceleration Torque) : 전동기를 가속하기 위한 부하 Torque 와 전동기 출력 Torque 와의 차이

표 3. 표준 4P전동기의 GD^2와 Torque

전동기용량(kW)	전동기의 GD^2 (kg · ㎡)	허용부하GD^2 (kg · ㎡)	Torque		
			정격(kg·m)	기동(%)	정동(%)
0.75	0.0092	3.6	0.42	240	280
1.5	0.0174	6.0	0.84	250	280
2.2	0.0351	12.0	1.23	250	290
3.7	0.0600	15.3	2.07	250	280
5.5	0.1060	22.2	3.11	250	280
7.5	0.1434	29.3	4.25	250	280
11	0.2869	37.8	6.07	230	260
15	0.3764	48.0	8.28	230	260
18.5	0.6545	65.0	10.19	230	260
22	0.7447	78.7	12.12	240	280
30	0.8623	97.5	16.65	230	270
37	1.6315	117.0	20.53	210	250
45	1.8197	123.0	24.84	220	270
55	2.6864	143.0	30.61	230	270
75	4.6500	175.0	41.74	220	260
90	6.6428	195.0	52.87	210	240
110	7.2270	240.0	61.22	250	280

펌프의 부하 GD^2 는 일반적으로 전동기 GD^2 에 비하여 대단히 작기 때문에 문제가 되지않으나, 팬, 블로워, 원심분리기, 프레스 등은 전동기 GD^2 에 비하여 대단히 큰 경우가 많다. 이러한 경우는 기동시간이 길기 때문에 기동중에 발생하는 열량도 크게 되어 기동시 온도가 급격히 상승, 단시간에도 허용온도보다 상승하며, 이로 인하여 절연이 열화되어 권선이 소손되는 경우가 있다. 또한 일반적으로 중용량 이상의 전동기에서 기동시의 온도는 회전자측이 고정자보다 조건이 열악하며 회전자도체의 온도상승도 GD^2 에 비례한다. 따라서 부하 GD^2 가 큰 전동기는 기동시에 온도가 급격히 상승하여 회전자도체의 소손이 발생하는 경우도 있다. 표준

전동기는 이상과 같은 사고가 발생치 않도록 충분히 고려하여 설계 제작하였으나 허용부하 GD^2 값의 선정 잘못으로 인하여 사고가 나는 경우가 있으므로 주의하여야한다. 표준전동기의 GD^2 값과 허용부하 GD^2 값을 표3에 나타내었다.

2.1.1 전동기의 종류 및 특성

전동기는 전기적인 에너지를 기계적인 에너지로 변환하는 기계이다. 전기가 있는 한 동력원으로서 가장 편리한 기계는 전동기(Electric Motor)라는 것은 주지의 사실이다. 기동, 정지, 제어 등 취급방법이 매우 간단하여 공동주택에서부터 공장 그리고 턴넬 등에 이르기까지 그 응용범위는 대단히 넓고 또한 종류도 다양하다. 이중에서 특히 유도전동기는 산업용으로 널리 사용되고 있다.

교류전동기는 유도전동기, 동기전동기, 정류자전동기로 나누어지며 산업용으로 널리 사용되고 있는 유도전동기는 단상전원을 사용하는 단상유도전동기와 3상전원을 사용하는 3상유도전동기로 분류되며, 유도전동기는 회전자에 의해 농형과 권선형으로 분류되며, 사용전압에 의해 고압, 저압으로 분류할 수 있다.

3상유도전동기는 고정자(Stator)부분과 회전자(Rotor)부분으로 구성되어 있다. 고정자는 회전기의 주요 정지부분으로 얇은 규소 강판을 겹쳐 쌓아서 만든 고정자철심(Stator Core)의 홈속에 전류를 통하는 고정자권선(Stator Coil)을 설치하고 3상교류를 통전함으로써 회전자계를 형성하는 것이다. 홈에는 반폐홈과 개방홈이 있으며, 박강판은 규소함유율이 2~3%인 0.35㎜-0.55㎜ 두께의 규소강판을 사용한다. 회전자는 회전기의 주요 회전부분으로, 농형 회전자(Squirrel Cage Rotor)와 권선형 회전자(Wound Rotor)의 2종류가 있다. 농형 유도전동기는 저렴한가격, 취급방법이 간단하고 구조가 견고하여 기계동력원으로 널리 사용된다. 농형유도전동기는 슬립링이 없기 때문에 불꽃이 없고, 기동토크가 적으며, 속도제어가 곤란하다. 기동토크가 적다는 결점을 보완하고 운전특성을 개선한것으로 특수농형이 있다. 이것은 엘리베이터, 직기(織機), 권상기, 컨베이어, 공작기계 등에 사용된다. 농형유도전동기의 특성은 동기속도, 슬립, 토크, 정격 등으로 표현된다. 유도전동기의 동기

속도(Synchronous Speed)는 고정자에서 생기는 회전자계의 속도를 지칭하며, *Ns =2f/P*(RPS)로 표현된다. 유도전동기는 고정자에서 생기는 회전자계의 속도, 즉 동기속도에 따라 회전자가 회전하지만 전동기를 실제로 운전할 때 그 회전속도는 동기속도보다는 약간 늦어진다. 만일 전동기의 회전속도가 회전자계와 동일하다면 회전자는 자속을 끊지 못하는 상태가 됨을 의미하며 물리적으로 불가능하며, 회전자가 스스로 토크를 발생하기 위해서는 반드시 회전자계보다 속도가 늦어야 한다. 이 때의 회전자회전수가 동기속도보다 늦어지는 비율을 슬립(Slip)이라 하고 슬립은 전부하에서 3~5%이고, 소용량의 것에서 5~10% 정도이다. 전동기의 토크(Torque)는 그 회전수에 따라 다르고 전동기의 종류에 따라서도 다르다. 토크는 전동기의 속도가 증가함에 따라 크게되고, 토크가 최대가 된 후에는 급격히 감소하여 동기속도가 되었을 때, 즉 S=0이 되었을 때 토크는 0이 된다. 전동기의 사용정격은 사용방법에 따라 다양하게 표시될 수 있는데 연속사용의 기기에는 '연속정격'을 단시간사용기기에는 '단시간 정격'을 반복사용에는 '반복정격'을 각각 적용한다. 이중 연속정격이라 함은 전부하전류로 연속사용할 때 표준규격에 정해져 있는 온도상승한도를 초과하지 않고 기타의 제한에 벗어나지 않는 정격을 지칭하며, 단시간 정격은 전부하전류로 특정상태에서 시작하여 지정된 일정한 단시간 조정조건하에서 사용할 때 표준규격에 정해져있는 온도상승한도를 초과하지 않고 기타의 제한에 벗어나지 않는 정격을 말하는데 이때의 시간은 원칙적으로 10분간, 30분간, 60분간 또는 90분간으로 한다. 그리고 반복정격이라 함은 운전·정지의 주기적인 반복사용 또는 연속운전중의 부하·무부하의 반복 사용조건하에서 사용할 때, 표준규격에 정해져 있는 온도상승한도를 초과하지 않고 기타의 제한에 벗어나지 않는 정격을 지칭한다. 또한, 등가정격이라하여 쓰여질 사용조건에 따라 이를 등가의 연속사용 또는 단시간 사용 정격으로 치환한 것도 이용되며 특히, 반복부하 연속 사용에서는 무부하중에서도 회전하고 있으므로 반복사용에 있어서 1주기에 대한 부하시간의 비율을 백분율로 나타내어 부하시간율(%ED)이라 표현 한다.

3상유도전동기에서 대출력인 것은 명판에 기재된 전압을 처음부터 가하면 기동

전류는 전부하 전류의 5~7배나 흘러서 다른 기기에 장해를 주는 일이 있으므로 여러가지 기동방법이 사용되고 있다. 그러나, 특수농형 유도전동기에서 디프슬롯농형이나 2중농형은 기동시에 저항이 큰 외쪽의 도체에 전류가 집중하여 흘러서 기동전류를 제한하고 기동토크를 증대시키게 되어 있으므로 전원이 허용하는 한 직입기동이 가능하다.

2.1.2 기동전류

전동기는 일반적으로 운전중일 때 보다 기동시 더 큰 전류를 필요로 한다. 전동기는 기동시 상당히 큰전류가 흐르는데, 이는 전동기를 회전시키는 자장을 발생하기 위하여 비교적 낮은 저항을 갖는 권선을 통하여 전류가 흐르기 때문이다. 전동기는 정지에서 운전속도까지 부하가 가속됨에 따라 높은 전류가 계속흐른다. 전동기가 요구하는 기동전류에 대하여 NEC(National Electrical Code)에서는 도선의 크기와 전동기회로에 대한 특별한 규정이 있다.

1) 기동계급

기동계급을 나타내는 문자표시(Code Letter)는 전동기의 고정자에 정격전압과 정격주파수의 전원이 직접 인가되었을 때 구속시 돌입전류의 예상치를 구할 수 있도록 해준다. 이 문자표시로 사용자는 표4에 보인 마력당 구속회전자 KVA의 조견표를 참조하여 돌입전류를 계산할 수 있다. 기동계급은 NFPA 70 NEC Code (1999) table 430-7(b)와 한국공업규격 KS C 4205(유도전동기의 기동계급)에 규정되어 있으며 농형 유도전동기에 사용되는 변압기 용량계산 및 전원용량계산에 사용된다. 또 기동계급은 F ~ H의 범위가 가장 많이 사용된다.

표 4. 회전자 표시 코드문자

코드문자	구속회전자를 가진 마력당 KVA(KVA/HP)	코드문자	구속회전자를 가진 마력당 KVA(KVA/HP)
A	0.0 - 3.15	K	8.0 - 9.0
B	3.15 -3.55	L	9.0 - 10.0
C	3.55 - 4.0	M	10.0 - 11.2
D	4.0 - 4.5	N	11.2 - 12.5
E	4.5 - 5.0	P	12.5 - 14.0
F	5.0 - 5.6	R	14.0 - 16.0
G	5.6 - 6.3	S	16.0 - 18.0
H	6.3 - 7.1	T	18.0 - 20.0
J	7.1 - 8.0	U	20.0 - 22.4
		V	22.4 and Up

NFPA 70 NEC Code(1999) table 430-7(b) Locked-Rotor Indicating Code Letter

표 5. 유도전동기의 기동계급

기동계급	1kW당의 입력 [kVA]	기동계급	1kW당의 입력 [kVA]
A	4.2 미만	K	9.5 이상 - 12.1 미만
B	4.2 이상 - 4.8 미만	L	12.1 이상 - 13.4 미만
C	4.8 이상 - 5.4 미만	M	13.4 이상 - 15.0 미만
D	5.4 이상 - 6.0 미만	N	15.0 이상 - 16.8 미만
E	6.0 이상 - 6.7 미만	P	16.8 이상 - 18.8 미만
F	6.7 이상 - 7.5 미만	R	18.8 이상 - 21.5 미만
G	7.5 이상 - 8.4 미만	S	21.5 이상 - 24.1 미만
H	8.4 이상 - 9.5 미만	T	24.1 이상 - 26.8 미만
J	9.5 이상 - 10.7 미만	U	26.8 이상 - 30.0 미만
		V	30.0 이상

한국공업규격 KS C 4205(유도전동기의 기동계급)

2) 구속상태에서의 돌입전류

구속상태에서 유도전동기의 각 상은 단순한 R-L 직렬회로와 같이 동작한다. 이러한 회로에 전원을 투입하면 과도 및 정상상태 전류가 흐른게 된다. 따라서 유도전동기에 흐르는 구속회전자 돌입전류는 정상돌입전류(Normal In-rush Current)라 불리는 정상상태 성분과 매우 짧은 시간내에 감쇄하는 과도성분으로 이루어져 있다. 달리 얘기가 없다면 구속회전자전류라는 용어는 항상 정상상태 성분을 가리킨다. 비교적 관성이 적은 부하를 구동하는 보통의 전동기 동작에서는 가속이 되어 슬립이 줄어듦에 따라 구속회전자전류가 빠른속도로 감소하고 정격부하에서라면 2 내지 5초 이내에 정격전류로 감소하게 된다.

3) 기동전류

농형 유동전동기의 기동전류는 기동계급으로부터 대략적인 기동전류의 값을 구할 수 있다. 기동계급은 F ~ H의 범위가 가장 많이 사용되므로 1[kW]당 입력은 6.7~9.5[kVA]가 되고 기동전류는 전부하 전류의 4.5 ~ 8배 정도의 매우 큰 값이 된다. 기동계급에서 기동전류를 구하면 대략적인 기동전류의 범위는 알 수 있으나 정확한 기동전류의 값은 알 수가 없다. 정확한 기동전류를 구하는 방법은 전동기의 임피던스를 측정하면 정확한 기동전류의 값을 계산할 수 있다.

이 방법은 한국공업규격 KS C 4201(3상 유도전동기의 특성 산정방법)의 기동전류의 산정방법에 규정되어 있다. 기동전류의 산정방법에는 정비례법, 대수비례법(1), 및 대수비례법(2)의 3가지 방법이 있으나 여기에서는 정비례법만 설명한다.

정비례법에 의한 기동전류의 산정방법은 농형유도전동기의 구속시험 결과로부터 산출한다. 유도전동기의 기동시에는 전동기 자신의 임피던스에 의한 전류가 흐르므로 이것을 억제하기 위해서는 2차 권선에 외부에서 저항을 삽입하여 값을 크게 하거나 또는 단자전압 V를 감압하는 방법으로 기동전류를 억제하여야 한다.

농형 유도전동기는 2차 권선에 저항을 삽입할 수가 없으므로 단자전압을 감압

함으로써 기동전류를 억제한다.

2.1.3 토크

토크는 전동기가 발생하는 회전력으로서 속도에 따라 다른 토크가 발생된다. 기동토크(Locked Rotor Torque or Starting Torque)는 전동기가 임의의 각도위치에 대하여 정지상태에서 정격전압과 주파수로 발생하는 최소토크이다. 가속토크(Accelerating Torque or Pullup Torque)는 어떤속도에서 부하토크와 발생토크의 차이로서 이 토크는 전동기를 가속시키고 연결된 부하를 정지상태에서 운전속도까지 가속시킨다. 전부하토크(Pull Load Torque)는 전부하속도에서 정격출력을 발생하기 위해 필요한 값이다. 최대토크(Breakdown Torque)는 갑작스런 속도감소 없이 정격전압과 주파수에서 전동기가 발생하는 최대토크이다.

주어진 부하를 기동하고 운전하기 위한 전동기의 성능은 전동기의 속도-토크특성과 속도-부하특성을 동일축에 그려서 평가 할 수 있다. 만약 전동기의 속도-토크 곡선이 항상 부하의 오른쪽에 있으면 부하가 동작하기 시작한다. 임의의 점에서 부하곡선이 전동기곡선을 넘어서면 과부하가 되어 그 전동기는 그 부하에 적합하지 않다. 대부분의 전동기는 전속도가 요구되는 부하를 만족시키는 것으로 선택된다. 하지만 기동시 필요조건의 검토가 따로 요구되는 경우도 있다. 이는 부하의 관성모멘트(GD^2)와 전동기의 GD^2 용량을 비교함으로써 가능하다. 만약 전동기가 불충분한 용량을 가지고 있다면 기동시간이 길어지고 전동기가 과열되어 전동기의 권선과 절연에 손상을 준다. 큰 체적과 일정압력에서 작동하는 팬은 이 관성모멘트에 대한 검토가 일반적으로 필요하다. 부하에 대한 관성모멘트 값은 팬 또는 펌프 제조회사로부터 입수가 가능하며 전동기의 관성모멘트용량은 전동기제조회사로부터 얻을 수 있어야 한다.

2.1.4 과부하허용율(Service Factor)

전동기는 운전중 온도가 주위온도보다 상승되는 것이 허용되도록 설계된다. 전동기에 있어서 운전중 최대허용온도상승은 절연계급과 전동기의 과부하허용률에 따라 변한다. 과부하허용률은 필요한 안전여유(Service Margine)를 나타내며, 지정된 조건하에서 명판의 정격을 초과하는 출력을 계속해서 낼 수 있는 전동기의 능력을 말한다. SF(과부하허용률) 1.15 조건하에서 운전되는 10마력의 전동기는 그 절연계급에 대하여 허용온도상승에 대한 기준값을 초과하지 아니하고 계속하여 11.5마력의 출력을 낼 수 있어야 한다.

2.1.5 비상조건하에서의 전동기 운전

전동기는 그 사용조건에 따라 작업환경에 맞추어 적절히 선정되어야 한다. 통상적인 사용조건에 대하여 미국의 NEMA 표준간행물 “MGI-1003, Rev.1 Motor and Generator”에서는 다음과 같이 정의하고 있다.

첫 째, 0℃와 40℃ 사이의 주위온도에 노출되도록 설치

둘 째, 기계의 환기장치에 심각하게 방해를 받지않는 지면이나 구내에 설치

셋 째, 정격전압 10%의 공차(Tolerance)내에서 운전

넷 째, 3,300 피트 이하의 고도에서 운전

다섯째, 정격주파수의 5% 공차내에서의 운전

여섯째, 1% 또는 그 이하의 전압불평형상태에서의 운전

2.2 전동기의 기동방법

거의 모든용량의 전동기는 전전압을 인가함으로써 기동이 가능하고 실제로 대다수가 이런 방법으로 기동된다. 그러나 많은 경우에 전전압기동시 흐르는 돌입전류는 배전계통에 큰 전압강하를 일으켜 조명등이 어두워지거나 깜박이게하고 저전압

으로 인해 별도로 보호회로를 갖추지 않은 제어시스템이 정지하게 만들기도 하며 컴퓨터가 꺼지거나 데이터를 잃게 할 수도 있다. 나아가 전전압시 발생하는 충격토크가 클 경우에는 구동되는 설비의 기어나 다른 부분에 손상을 입힐 수도 있다. 돌입전류를 제한하기 위해 흔히 사용되는 방법으로는 단권변압기를 사용한 감전압기동, 고정자권선의 와이-델타 결선, 부분권선 결선, 직렬임피던스, 그리고 정지형(Soft Starter)제어기를 사용한 전류의 제한 등이 있다.

2.2.1 직입기동(전전압 기동)

농형 유도전동기의 회로단자에 직접 정격전압을 인가하여 기동하는 방법으로서, 대체로 소용량일 경우에 이 방식이 채택되고 있으나, 대용량에 있어서도 전원의 모선용량이 충분하고 큰 기동회전력을 요구하는 부하에 사용되고 있다. 전원 용량이 허용되는 범위내에서는 가장 일반적인 기동 방법으로 가능한 이방식이 가장 유리하며, 제어방법이 가장 간단하므로 널리 사용된다. 직입 기동시 정격전류의 4.5~8배 정도의 기동전류가 흐르므로 전원용량이 이것을 감당하여야 한다. 더욱이 100%이상의 토오크가 부하에 가하여지므로 그 기계적 충격에 견디어야 한다. 따라서 전원용량이 충분하고 부하의 GD^2이 크지 않으면 대부분 농형 유도 전동기는 직입기동을 하는 경우가 많다. 최근에는 5,000[kW]가 넘는 출력의 농형 유도전동기도 직입기동하는 경우가 있다. 그러나 아래와 같은 경우에는 직입기동이 곤란하므로 감압기동을 하여야 한다.

(1) 전원용량이 충분하지 못하다.

(2) 부하의 GD^2이 크고 가동시간이 짧으면 급속한 발열 때문에 전동기가 손상을 받는다.

(3) 필요 이상의 높은 기동 토오크는 부하에 충격을 준다.

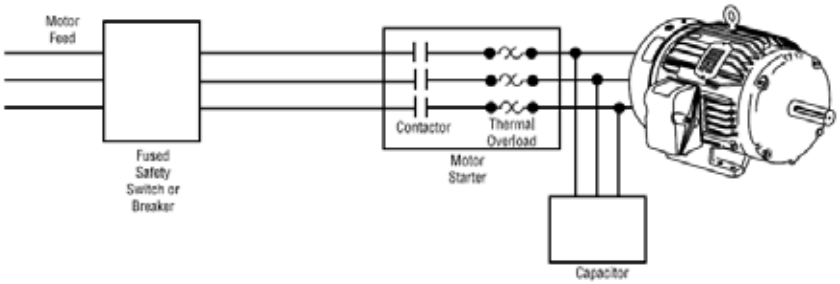


그림 4. 직입기동방법

1). 개 요

전동기에 최초부터 전전압을 인가하여 기동

2). 특 징

전동기 본래의 큰 가속 토오크가 얻어져 기동시간이 짧다. 부하를 연결한 채로 기동이 가능하고 값이 싸다

3). 단 점

기동 전류가 크고 이상전압강하의 원인이 된다

3). 제 특 성

- 기동전류 : 500～1000%
- 기동토오크 : 100%이상
- 가속성 : 최대 기동토오크, 기동시 부하에 가해지는 쇼크가 크다

2.2.2 감전압 기동방식

1) Y - Δ (Star-Delta)기동방식

전동기 인출선(Lead)을 기동시에는 Y 결선이 되도록하고 속도가 상승하여 전류가 감소하면 Δ 결선으로 변환시키는 방식으로서 기동전류 및 기동회전력이 직입기동시의 1/3이 된다. 이 기동방법은 농형 유도전동기의 고정자 권선을 전동기 외부

의 개폐기로써 권선을 변경시켜 기동하는 방법이다. 즉, 기동시에는 Y결선으로 하면 각 상에 인가되는 전압은 선간전압의 $1/\sqrt{3}$로 감압되고, 기동완료 후에는 Δ결선으로 접속을 바꾸어 각 상에 선간전압이 인가되어 운전하는 방법이다. 전동기는 각 상의 양단에서 단자를 인출하여야 하므로 6개의 단자가 필요하다. 따라서 전동기 제작상에 제약을 받는 경우도 있고, 외부의 개폐기도 직입기동보다 2대가 더 필요하게 되므로 주로 저압 150[kW]미만의 전동기에 적용된다. 기동전류와 기동토오크는 모두 직입기동시의 1/3의 값이 된다. 이 방식은 Y 에서 Δ 결선으로 전환되는 순간(무전압 상태)에 전류 및 회전력의 충격이 발생하며, 차단기와 접촉기의 가격이 저렴하므로 저압유도전동기에서 감전압기동방식으로 일반적으로 사용된다. 특징으로는 최대 기동전류에 의한 전압강하를 경감 시킬 수 있다. 감압기동 가운데에서는 가장 싸고 손쉽게 채용 할 수 있으나, 최소기동 가속 토오크가 작으므로 부하를 연결한 채로 기동할 수 없는 경우가 발생하며, 기동한 후 운전으로 전환될 때 전전압이 인가되서 전기적, 기계적 쇼크가 있다. 5.5KW이상의 전동기로 무부하 또는 경부하로 기동이 가능한 것, 감압기동에서는 가장 일반적임, 공작기, 크래셔에 적합하다. Y – Δ (Star-Delta)기동방식은 . Y에서 Δ로 전환할 때 전동기를 전원에서 분리해서 전환하는 오픈 트랜지션방식(Open Transition)과 전원에서 분리하지않고 전환하는 클로즈드 트랜지션방식(Closed Transition)이 있다. 클로즈드 트랜지션방식은 전환시 돌입전류를 작게 억제할 수 있으며, 전원용량을 작게 선정할 수 있다.

- 기동전류 : 전전압기동전류의 33.3%
- 기동토오크 : 33.3%
- 가속성 : 토오크의 증가 적다, 정동토오크적다

표 6. Sequence of Operation(Star Delta Satarter)

Open Transition	Contactor			Closed Transition	Contactor			
	1S	2S	2M		1S	2S	1M	2M
Start	*	*		Start	*		*	
Transition		*		Transition 1	*	*	*	
Run		*	*	Transition 2		*	*	
				Run			*	*

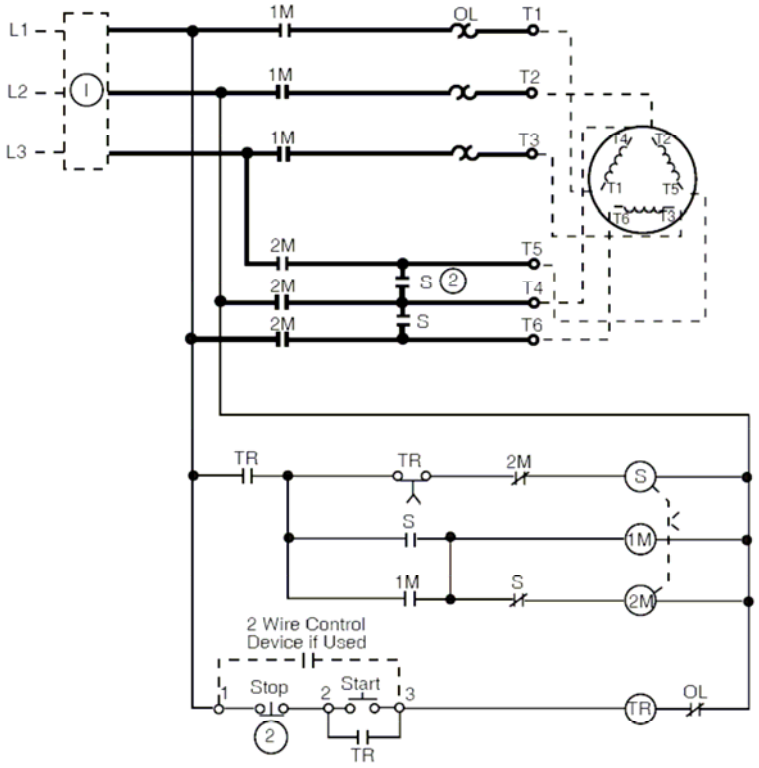


그림 5. Y - Δ (Star-Delta)기동방식(Open Transition)

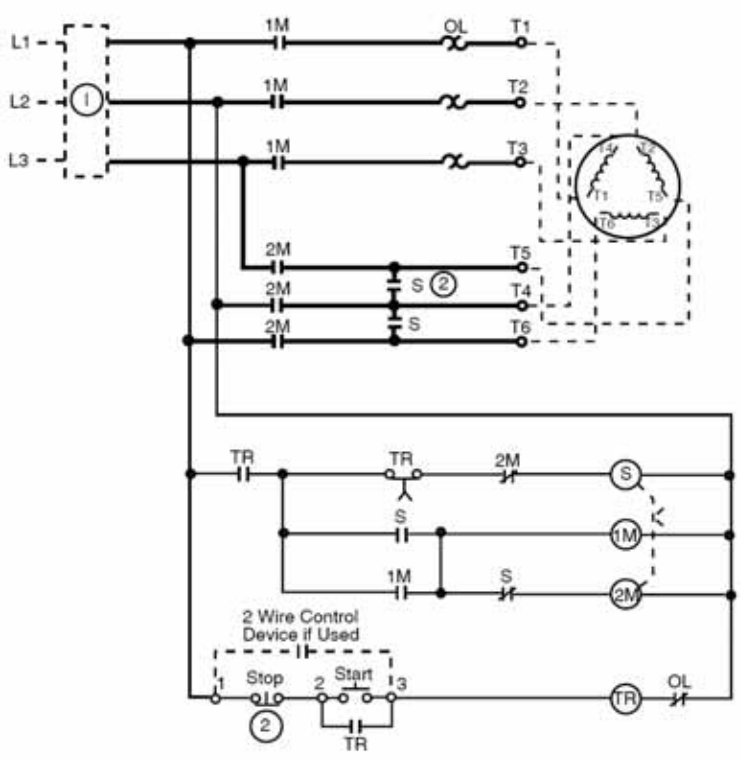


그림 6. Y - Δ (Star-Delta)기동방식(Closed Transition)

2) 직렬 Reactor

전동기 기동회로에 직렬로 Reactor를 삽입하여 기동하고 속도가 어느정도 가속되어 전류가 감소하면 Reactor를 단락시키는 방식으로 기동회전력은 기동전류(또는 전압)의 2승에 비례하기 때문에 직입기동방식에 비하여 기동 회전력이 떨어진다. 전동기의 1차측에 리액터를 넣어 기동시의 전동기의 전압을 리액터의 전압 강하분 만큼 낮추어서 기동하고, 탭 절환에 따라 최대기동전류, 최소기동토오크를 조정가능하며 전동기의 회전수가 높아짐에 따라 가속토오크의 증가가 심하다. 콘돌파 기동보다 조금 싸고 느린 기동이 가능하다. 팬, 송풍기, 펌프, 방직관계Cushion Starter용 등의 부하에 적합하다.

- 기동전류 : 전전압기동전류의 50-65-80%(탭 50-65-80%)

- 기동토오크 : 25-42-64%(탭 50-65-80%)

- 가속성 : 토오크의 증가가 매우 큼, 원할한 가속이 가능하다.

표 7. Sequence of Operation(직렬 Reactor 기동방식)

Open Transition	CONTACTOR	
	1S	2S
Start	*	
Run	*	*

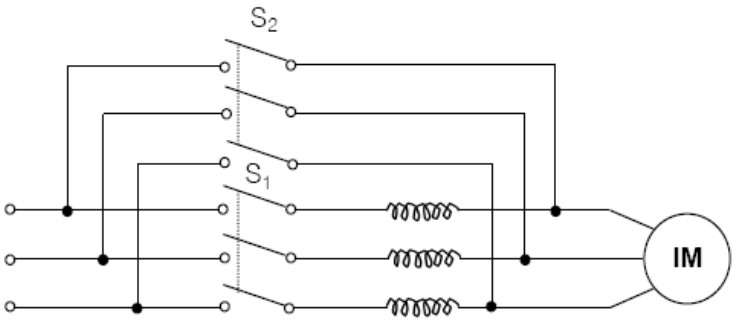


그림 7. 직렬 Reactor 기동방식

3) 기동보상기 기동(단권변압기 기동)

단권변압기 기동은 전전압의 50, 65, 85%의 탭을 갖는 와이결선된 단권변압기(기동보상기라 함)를 사용한다. 전동기는 기동시에는 단권변압기에 의해 낮은전압으로 기동하고, 정격속도 부근에 도달하면 단권변압기는 개방되며, 전동기 기동회로에 직렬로 Reactor를 삽입하여 기동하고, 속도가 어느정도 가속되어 전류가 감소하면 Reactor를 단락시키는 방식으로 기동회전력은 기동전류(또는 전압)의 2승에 비례하기 때문에 직입기동방식에 비하여 기동 회전력이 떨어진다. 전동기의 1차측에 리액터를 넣어 기동시의 전동기의 전압을 리액터의 전압 강하분 만큼 낮추

어서 기동한다. 탭 절환에 따라 최대기동전류, 최소기동토오크를 조정가능하며, 전동기의 회전수가 높아짐에 따라 가속토오크의 증가가 심하다. 콘돌파 기동보다 조금 싸고 느린 기동이 가능하다. 팬, 송풍기, 펌프, 방직관계 Cushion Starter용 등의 부하에 적합

- 기동전류 : 전전압기동전류의 50-65-80%(탭 50-65-80%)
- 기동토오크 : 25-42-64%(탭 50-65-80%)
- 가속성 : 토오크의 증가가 매우 큼, 원할한 가속이 가능하다.

표 8. Sequence of Operation(단권변압기 기동)

Open Transition	CONTACTOR		
	1S	2s	RUN
Start	*	*	
Transition		*	
Run			*

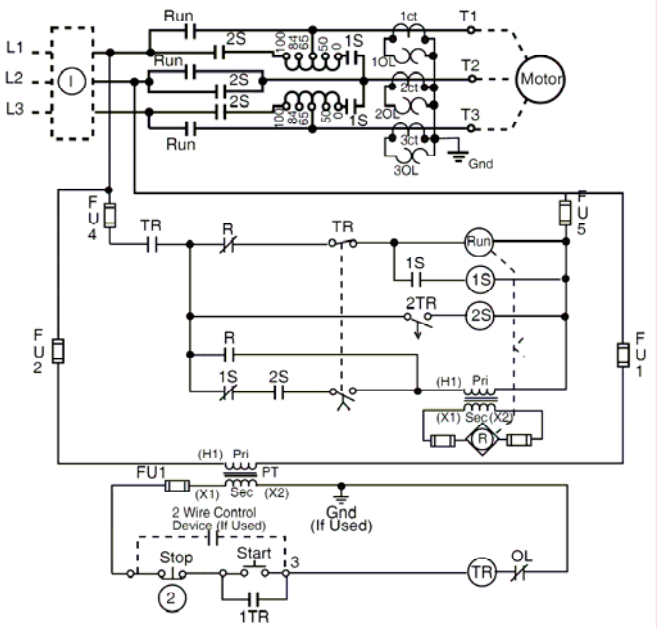


그림 8. 기동보상기 기동(단권변압기 기동)

4) 1차저항기동(직렬 임피던스 기동)

직렬임피던스기동은 고정자권선의 각 상에 직렬로 저항이나 인덕터를 삽입하여 기동과정에서 전류를 제한한다. 운전접점은 기동중에는 개방되어 돌입전류를 제한하며 전동기가 정격속도 부근에 도달하면 닫혀서 임피던스를 건너뛰게 한다. 일반적으로 저항기나 인덕터의 오옴수는 기동중 전동기의 입력단 전압이 정격의 약 70% 정도가 되도록 선정한다. 직렬임피던스 기동은 부드러운 가속이 가능하게 하면서도 유도전동기 기동에서 가장 간단한 방식이다.

- 기동전류 : 전전압기동전류의 50-65-80%(탭 50-65-80%)
- 기동토오크 : 50-65-80%(탭 50-65-80%)
- 가속성 : 토오크의 증가가 매우 큼, 원할한 가속이 가능하다.

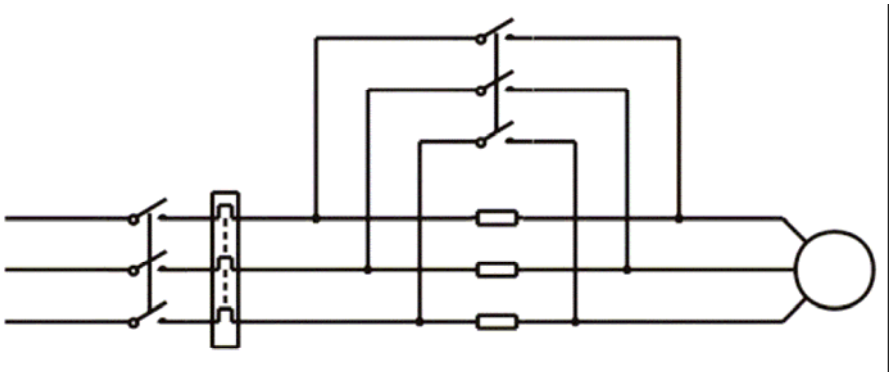


그림 9. 1차저항기동(직렬 임피던스 기동)

5) 부분권선 기동(Part-Winding Method)

부분권선방식(Part-Winding Method)은 분할권선기동(Spilt Winding Starter)라고 부르기도 하며, 전동기의 1차권선을 2이상의 병렬회로가 되도록 설계하고, 그 병렬회로의 한 부분만을 기동시에 사용하는 기동방법이다. 기동회로는 먼저 기동시에는 한 권선에만 급전하고, 잠시 후 일정속도에 이르면 나머지 권선에도 급전한

다. 부분권선기동은 가장 값싼 기동방식에 속하지만, 저전압에서 운전되는 2중전압전동기에서만 적용이 가능하다. 기동전류는 직입기동의 80%정도이며 전동기는 기동 시의 토크 특성 확보 용이, 이상음의 발생방지 등 때문에 전용설계가 되어있어 범용적이 아니다. 냉동기 등에 조립된 전동기 등의 일부에 사용되고 있는 기동법이다.

표 9. Sequence of Operation(Part-Winding Type)

Open Transition	CONTACTOR	
	S	Run
Start	*	
Run	*	*

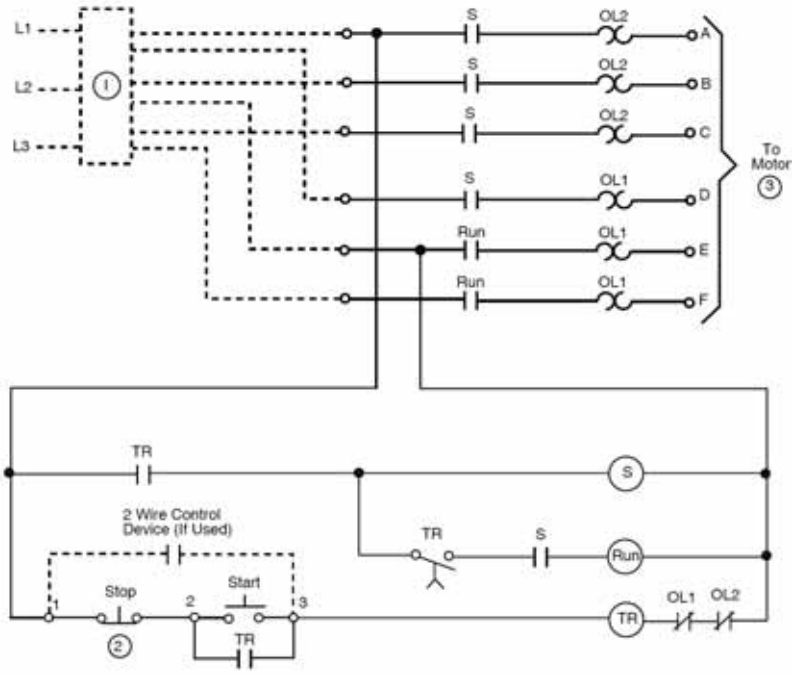


그림 10. 부분권선 기동(Part-Winding Type)

6) 정지형(Soft Starter) 기동

유도전동기는 기동시에 전 부하의 400% Torque와 600~700%의 기동전류가 발생하게 된다. 400%의 기동 Torque는 전동기와 부착되어있는 기어나 벨트 베어링 등에 마모나 파손의 원인이 되어 유지 보수비용을 증가시키게 된다. 600%이상의 높은 기동전류는 Magnetic Contactor의 주 접점에 아크(Arc)를 발생시켜, 접점 손상에 의한 결상 등의 원인이 되고 전압강하를 발생시켜 시설용량을 증대시키는 원인이 된다. 따라서 무접점 Soft Starter를 적용하여 기동 Torque에 알맞는 저전압부터 정 Torque가 발생하는 전전압까지 서서히 Analog 하게 전동기에 입력하여 저전류로 Motor를 기동시킨다. 또한 "과부하(Over Load)시 Trip 기능", "결상(Phase Loss)시 Trip 기능", "상간 단락시 Trip 기능", "SCR 과열시 Trip기능" 등의 기능을 내장하여 Motor를 보호한다. 정지형기동기(Solid-State Starter)는 역병렬 싸이리스터(SCRs)를 사용하여 전류를 제한한다. 제어회로는 전류가 서서히 증가하도록 해주며, 이는 급작스러운 부하인가나 현저한 전압강하가 없는 유연기동(Soft Start)이 가능하도록 해준다. 정지형기동기(Solid-State Starter)는 속도제어나 역률제어, 과부하나 결상에 대한 보호 등 여러가지 부가기능을 포함하여 만들어지기도 한다.

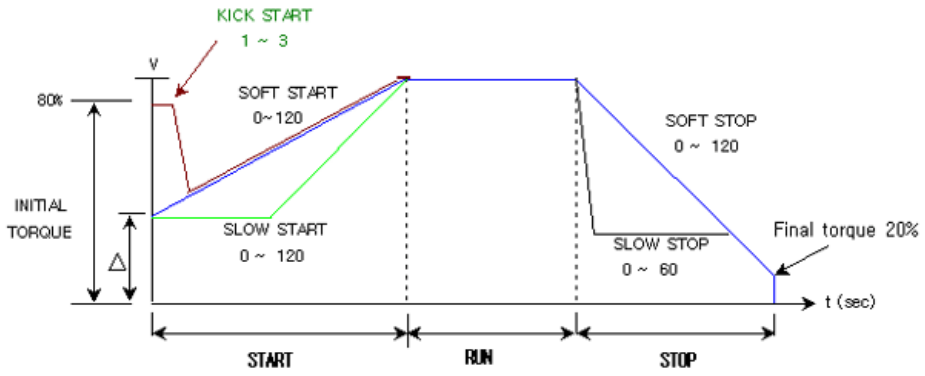


그림 11. Soft-Starter 기동방식의 특징

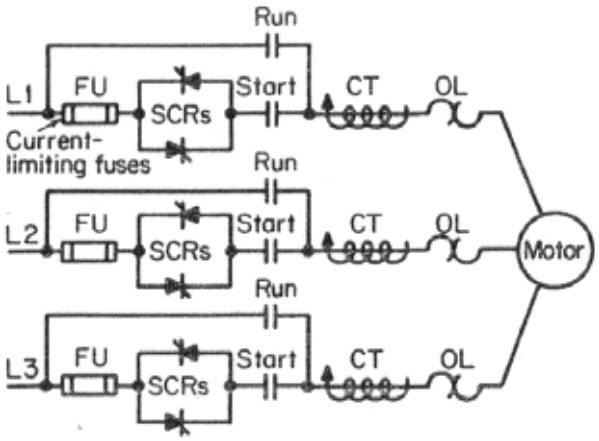


그림 12. 정지형 기동방식

7) 인버터 기동법

인버터(Inverter)에 의해 상용 교류전원을 직류전원으로 변환시킨 후, 다시 임의의 주파수와 전압의 교류로 변환시켜 유도전동기를 기동하고 속도를 제어하는 방식이다. 이방식은 주파수제어에 의하여 회전수를 임의조정 가능하고, 기동전류도 제어가능하므로 최적의 기동조건을 만족할 수 있지만 기동반의 가격이 높다.

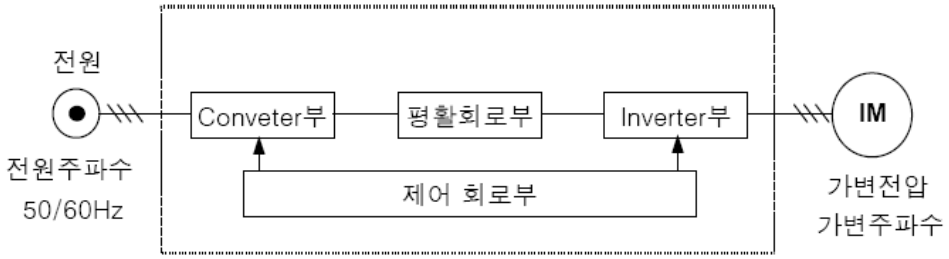


그림 13. 인버터 기동법

지금까지 살펴본 감전압기동방식의 주요 특성을 정리하면 그림14와 같다. 각각

의 기동전류와 기동토크, 기동시간, 기동제어반의 크기, 전동기의 형식, 경제성 등을 고려하여야 하며, Y – Δ 기동, 분할권선기동 방식 등은 전동기의 형식이 별도로 지정되어야 하며, 기동반에서 전동기까지 복수의 전선을 접속하여야 하므로 공사비의 지출도 고려 되어야 한다.

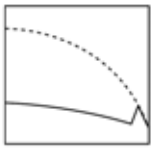
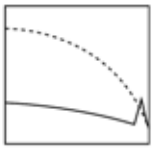
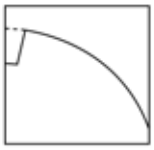
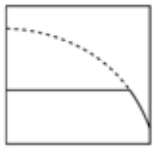
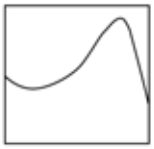
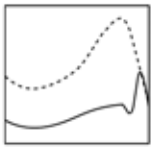
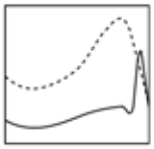
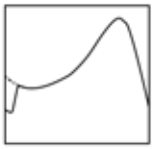
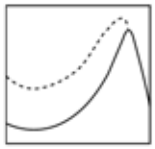
	Full Voltage	Autotransformer	Wye Delta	Part Winding	Solid State
Applied voltage at motor terminals	100%	50 / 65 / 80%	100%	100%	Ramped Up
Starting current % Full load current versus motor speed	600%	150 / 250 / 380% 	200% 	390% 	200 - 500% 
Starting torque %Full load torque versus motor speed	150% 	40 / 60 / 100% 	50% 	70% 	16 - 105% 
Starting time	-	6 - 7 sec	10 - 15 sec	1 - 1.5 sec	2 - 30 sec
Summary of advantages	-Simple -Cost effective	-High torque/amp -Good for high inertia loads -Adjustable tap settings	-High torque/amp -Good for long acceleration times -Good for high inertia loads	-Simple -Small size	-Smooth, stepless acceleration -Flexible starting characteristics -Deceleration control available
Summary of disadvantages	-High current inrush -High starting torque -Abrupt start	-Large size -Limited duty cycle	-Low torque -No flexibility in starting characteristics	-Not suitable for High inertia loads or Frequent starts	-SCR heat dissipation -Ambient limitations -Sensitive to power quality
Type of motor	Standard	Standard	Special	Special	Standard

그림 14. 감전압 기동방식의 주요 특성 비교

2.2.3 전동기 기동방식 선정시 고려 사항

전동기를 기동하여 소기의 속도까지 올리려면, 부하의 저항 토오크를 이겨야 하고, 전동기와 부하기계 전체의 관성에도 이겨 속도를 올려야 하며, 점점 운동에너지를 부여하여 증가시켜야 하므로 상당한 토오크와 시간을 필요로 한다. 그래도 이러한 과도 상태에 유입된 전력은 자칫하면 손실로 되는 경우가 많다. 그래서 기동가속시는 과전류, 과열등을 일으키기가 쉽다. 앞에서 설명한 각 기동방법에 따라 농형 유도전동기의 기동방법의 선정은 설치비용 및 전동기의 특성변화를 고려하여 결정하여야 하지만 그 외에 전원용량의 검토 및 부하의 특성, 특히 부하의 GD^2을 정확히 파악하여야 한다. 모두 부하의 GD^2에 관계가 된다. 부하의 GD^2에는 소홀히 하여 기동에 실패하는 경우가 간혹 있다. 일반적으로 전동기의 기종방식 선정 시 부하토크, 전압강하, 시간내량 등을 확인하여 전동기의 기동방식을 선정하여야 한다. 기동 시 전압강하는 단시간이므로 정상부하시의 전압변도에 비해 전체 15% 정도 허용(기동 시 10%, 정상 시 5%)하며, 전압강하 허용치를 초과할 경우에는 다음의 방식을 검토한다.

- 감전압 기동방식 채용
- 뱅크의 분리
- 변압기 뱅크 용량의 증가

유도전동기를 감전압기동하면 토크는 전압저감률의 제곱에 비례하여 감소하므로 부하소요토크를 확인하여 전동기의 토크를 확인한다. 전동기 및 기동기의 시간내량을 확인하여 시간내량은 15sec 이내가 되도록 한다. 전동기를 기동하거나 기동을 시도할 때마다 흐르게 되는 큰 돌입전류는 고정자와 회전자의 여러구성요소들에 심한 열적, 기계적 스트레스를 가하게 된다. 이러한 스트레스는 누적되어 전동기의 수명에 나쁜 영향을 미친다. 특히 대형전동기(50HP 이상)와 고관성 부하를 구동하는 전동기는 빈번한 기동으로 손상을 입을 우려가 있으므로 대형전동기의 제작사에서는 허용가능 기동횟수와 기동과 기동사이에 필요한 대기시간에 관한 정보를 제공해 주고 있다. 재기동을 시도하기 전에는 반드시 트립이 발생한 원인과 기동실

패의 원인을 규명하고 이에 관한 조치를 행하여야 한다.

2.3 국내외 기준에 의한 기동방법

국내외 자료를 조사결과는 아래와 같으며 국내와 일본은 전동기 용량별로 직입기동(전전압기동), Y-Δ 기동방식, Reactor 기동방식으로 규정되어 있으나 전압별, 부하특성에 따른 규정이 없는 것을 알 수 있으며, *NEC, IEC*규정에는 기동, 정지 및 회전자 구속전류를 차단할 수 있도록만 규정되어 있다.

2.3.1 일본의 건축전기설비기준

전동기의 기동방식은 원칙적으로 표10에 의하는 것으로 하고, 저압전동기에 사용하는 기동장치는 Y-Δ 방식으로 한다. 그리고 기동시 입력이 1kW당 4.8KVA 미만인 것은 직입시동으로 해도 좋다.

표 10. 표준기동방식(일본 건축전기설비기준)

전 압	직 입 기 동	기동장치에 의한 기동
220 V	11Kw 미만	11Kw 이상
380 V	30Kw 미만	30Kw 이상
6 kV	-	전부 *1

주 *1 작은 용량의 고압전동기인 경우, 전원용량, 부하의 특성 등을 고려한 다음 직입기동으로 해도 좋다.

2.3.2 신전기설비사전

전원측의 변압기 뱅크용량이, 전동기출력(kW)의 10배 이상이면 거의 무조건적으로 전전압(직입)기동의 채용이 가능하다. 하지만 10배 미만일 때는 충분한 검토가 필요하다. 3배 이하일 때는 전전압(직입)기동을 채용하지 않는 경우가 많다. [5]

2.3.3 전력사용시설물 설비 및 설계

Y-Δ 기동방식의 적용은 기동전류를 제한할 필요가 있는 대용량의 팬(Fan), 200[V]급에서는 15[kW]이상, 400[V]급에서는 37[kW]이상 정도이나, 소용량에서도 냉각탑 팬과 같이 큰 날개를 회전시키는 전동기에 대하여 일반적으로 적용한다.

2.3.4 대한주택공사 전기 · 정보통신공사 설계지침

전동기의 기동방식은 11kW(15HP)미만은 직입기동, 11kW(15HP)이상 ~ 55kW(75HP)미만은 Y - Δ 기동, 55kW(75HP)이상은 Reactor 기동방식을 적용하며, 전동기의 소손방지를 위하여 과부하전류 보호계전기(디지털식)을 설치한다. [11]

2.3.5 대한주택공사 전기 · 정보통신공사 시방서

전동기의 기동방식은 11kW(15HP)미만은 직입기동, 11kW(15HP)이상 ~ 55kW(75HP)미만은 Y - Δ 기동, 55kW(75HP)이상은 Reactor 기동방식을 적용한다. [12]

2.3.6 건설교통부 전기공사 시방서

3상 유도 전동기의 기동장치는 정격출력이 수전용 변압기용량(KVA)의 1/10을 초과하는 3상 유도전동기는 기동장치를 사용하여 기동전류를 억제한다. 단, 기동장치의 설치가 기술적으로 곤란한 경우로서 다른 것에 지장을 초래하지 않도록 하는 경우에는 예외로 한다. 기동장치 중 Y-△ 기동기를 사용하는 경우에는 기동기와 전동기간의 배선은 해당 전동기 분기회로 배선 60% 이상의 허용전류를 가지는 전선을 사용한다. [13]

2.3.7 전기공사협회 전기공사 시방서

3상 유도 전동기의 기동장치는 정격출력이 수전용 변압기용량(KVA)의 1/10을 초과하는 3상 유도전동기는 기동장치를 사용하여 기동전류를 억제한다. 단, 기동장치의 설치가 기술적으로 곤란한 경우로서 다른 것에 지장을 초래하지 않도록 하는 경우에는 예외로 한다. 기동장치 중 Y-△ 기동기를 사용하는 경우에는 기동기와 전동기간의 배선은 해당 전동기 분기회로 배선의 60% 이상의 허용전류를 가지는 전선을 사용한다. [14]

2.3.8 기타 해외규격

해외규격으로는 *NFPA70 NEC Code(National Electrical Code), IEC60364(KS C IEC60364* 건축전기설비), *American Electricains' Handbook(1996, McGraw-Hill), Switchgear and Controlbook(1997, McGraw-Hill)*에는 기동장치에 대한 별도 기준은 없으며 각 제어기가 제어하는 전동기를 기동하고, 정지시킬 수 있어야하며 전동기의 회전자구속전류를 차단할 수 있도록 정의되어 있다.

2.4 유도전동기의 기동방식 선정

전동기의 기동은 기동전류나 토크를 제한하지 않아도 되는 경우에는, 직입기동(전전압기동)이 가장 간단하고 저렴하므로 가능한 한 이 방식을 이용하여야 한다. 하지만 전원변압기용량이나 케이블규격이 적은 경우에는 기동전류에 의한 전압강하가 다른기기에 악영향을 주거나, 기동기에 사용하는 전자접촉기의 전자석을 트립시켜 기동할 수 없는 경우가 있다. 이런 경우나 완충기동을 위한 토크제한이 필요한 경우에는 감압기동법이나 권선형전동기를 사용하게 된다.

2.4.1 기동방법선정 시 고려사항

- 전압변동의 허용값에 대한 기동 시의 전압강하의 확인
- 부하의 소요토크에 대한 전동기 토크의 확인
- 전동기 및 기동기의 시간내량 확인

2.4.2 전압변동의 허용값과 기동시의 전압강하

1) 전압 강하에 대한고려

기동시의 전압강하는 단시간이므로 정상부하시의 전압변동과 비교해 어느 정도 허용된다. 전동기 단자에서의 전압강하는 일반적으로 기동시에 10%, 정상시의 변동을 포함해 15%가 한도라고 생각하면 된다. 단, 엘리베이터, 덤웨이터 등의 경우는 별도로 검토가 필요하다. 기동 시의 전압강하가 허용값을 넘을 때에는 감압기동을 하거나, 변압기 뱅크용량을 늘리거나, 전압변동을 꺼리는 부하와 제어회로를 다른 뱅크로 분리하는 등의 대책을 세운다.

기동 시의 전압강하는 전원측 케이블이 길지 않은 경우는 전원변압기 또는 발전기의 임피던스만을 고려해 간이식 ① 식으로 계산 할 수 있다. 케이블의 임피던스를 고려 할 경우에는 ② 식을 이용한다.

$$E[\%] = \%Z \times \frac{P_M}{P_O} = \%Z \times \frac{\sqrt{3}VI}{P_O} \qquad \text{----- ①}$$

$$E[\%] = \%\varepsilon \times \frac{P_M}{P_O} = \%Z \times \frac{\sqrt{3}VI}{P_O} \qquad \text{-----②}$$

E : 전압강하[%]

$\%Z$: 변압기 또는 발전기의 %임피던스

P_0: 변압기 또는 발전기의 용량[KVA]

P_M: 기동기의 전동기 입력[KVA]

V : 전동기의 단자전압[KV]

I : 전동기의 기동전류[A](기동법에 따라 다르다)

$\%r$: 변압기%저항과 변압기용량기준 케이블의 %저항의 합계

$\%x$: 변압기%리액턴스와 변압기용량기준 케이블의 %리액턴스의 합계

$\cos\theta$: 역률

$\sin\theta$: 리액턴스 율

$\%\varepsilon$: $\%r\cos\theta + \%x\sin\theta$

2) 부하요소 토크에 대한 전동기 토크의 확인

농형 유도전동기를 저압기동하면 그 토크는 전압저감률의 제곱으로 감소한다. 따라서 저압기동을 하기 위해 전압을 너무 내리면, 부하의 소요토크를 만족하지 못해 기동할 수 없는 경우가 있다. 이때 탭변경으로 토크조정이 가능한 기동기는 괜찮지만, 스타델타 기동기처럼 고정인 것은 기동기를 교체해야 된다. 빌딩용 설비에서 고압블로어, 냉동컴프레서 등을 부하상태에서 기동하는 경우 문제되는 것이 있다. 저압기동시 전동기의 토크커브와 부하의 토크커브가 동기속도의 80[%]이하에서 교차하면 더 이상 가속할 수 없게 되고, 그대로 델타로 전환하게 된다. 따라서 전환시의 전류는 직입기동시와 거의 동일해지며 기동전류의 최대값을 내리는 목적에서 벗어난다. 단 스타결선(Y결선)으로 어느 정도까지 가속하고 있으므로, 최대전류의 지속시간은 짧아진다. 부하의 종류와 그 기동시 조건으로 부하토크를 알아, 그것을 상회하는 토크를 발생할 수 있는 기동방식을 선정한다.

3) 기동기의 시간 내량(耐量)

농형 기동기는 각각 시간내량을 갖고 있으므로, 기동시간이 그 내량 이내인 것을 확인할 필요가 있다. 기동시간의 추정 간이법은 전동기토크, 부하토크 전부 평균해서 가속중에는 일정하다고 보고 식③을 이용한다. 직입기동기 및 스타델타 기동기는 전자접촉기만으로 기동시간 내량이 결정되며, 일반적인 선정에서는 전부 15초

정도이다. 전동기의 내량에 여유가 있으면 전자접촉기의 프레임을 올려 기동시간이 긴용도, 고빈도의 기동을 하는 용도에 적합한 선정이 가능하다. 리액터 기동기, 콘돌퍼 기동기에서는 표준으로 1분정격의 리액터 또는 단권변압기를 사용하고 있으므로 기동시간은 $2+4\sqrt{P}$ 초(P는 전동기 kW) 이내를 목표로 하고, 기동간격을 2시간 이상으로 할 필요가 있다. 2시간 이내의 기동간격이 되는 경우는 리액터 또는 단권변압기의 열시정수와 기동시의 발열량으로 사용여부를 검토할 필요가 있다.

$$t = \frac{GD^2 r\,(N_2 - N_1)}{375(\beta T_M - T_L)} \quad \text{-------} \ ③$$

GD^2_r : 전동기축 환산의 전체 GD^2_r [kg·㎡]

N_1 : 기동시작 회전수[rpm]

N_2 : 기동끝 회전수[rpm]

β : 토크 감소율 그림 14 감전압기동방식의 주요특성비교를 따른다.

$$\beta = \frac{\%\beta}{100}$$

T_M : 모터의 평균가속토크[kgf·m]

$$T_M = \frac{\%T_S + \%T_M}{200} \times \frac{974P}{N}$$

$\%T_S$: 전동기의 기동토크 [%]

$\%T_M$: 전동기의 정동토크 [%]

P : 전동기의 출력[kW]

N : 전동기의 정격회전수[rpm]

T_L : 부하의 평균토크[kg·m]

제 3 장 전동기기동에 대한 영향요소의 분석

국내기준에 의한 표준형전동기, 고효율전동기, 몰드변압기 및 현장에서 운전되고 있는 설비별 전동기에 대한 기동특성을 분석하고, 운전조건, 기동조건 및 운전실태를 분석하여 부하율을 추정하고 전동기용량의 산정에 대한 적합성을 분석하고, 실제 설치된 변압기용량과 적용가능한 기동방식을 선정하여 전압변동, 기동시의 전압강하, 전동기 토크의 확인, 기동기의 시간내량을 검토하여 경제적인 기동방법을 검토하여야 한다. 본 장에서는 이러한 사항들을 검토하고, 각종 특성자료를 활용하여 기동방식의 비교분석체계 설계를 위한 이론적 토대를 제시하였다. [4]

3.1 기준자료의 정리

3.1.1 표준형 유도전동기의 특성

1) 표준형 전동기의 특성

표준형전동기는 표 11에서 보는 것처럼 낮은 부하율로 운전시에는 효율과 역률이 나쁘고 전력을 낭비하는 결과를 초래한다. 모터시스템의 효율을 향상시키는 방법은 고효율전동기를 사용하는 방법과 전동기의 운전상태를 최적으로 유지시켜 효율을 상승시키는 2가지 방법으로 나누어 생각할 수 있다. 전동기 시장은 세트메이커라고 불리우는 제조업체들이, 판매되는 전동기의 약 50% 이상을 부품으로 구매하고 전동기를 사용한 제품을 생산하여 최종소비자에게 판매하게 되는 구조로, 생산자는 부하율의 여유를 더하여 전동기 용량을 결정하고, 고효율기기 적용을 기피하는 현상이다. 또한, 국내에 유통되는 전동기에 대한 효율규제가 없는 상황에서 저렴한 수입전동기가 사용되며 수입전동기는 효율도 낮은 것으로 알려져 있다.

표 11. 표준형 3상 유도전동기의 특성(LG-OTIS 4P)

용량 (kW)	전부하 회전수(rpm)	슬립 (%)	220V 전류(A)		380V 전류(A)		효 율(%)			역 률(%)		
			기동	정격	기동	정격	50% 부하	75% 부하	100% 부하	50% 부하	75% 부하	100% 부하
0.4	1,720	4.44%	9	1.82	5.2	1.1	68.0	73.0	74.0	57.5	69.0	78.0
0.75	1,725	4.17%	20	3.3	11.5	1.9	70.5	76.0	77.5	55.5	68.0	76.5
1.5	1,735	3.61%	48	6.4	27.7	3.7	76.0	78.0	79.5	57.0	69.5	77.5
2.2	1,745	3.06%	66	8.3	38.1	4.8	81.2	84.0	84.3	64.0	76.2	82.5
3.7	1,745	3.06%	103	13.4	59.5	7.7	82.5	85.0	85.3	68.5	79.5	85.0
5.5	1,720	4.44%	150	19.6	56.6	11.3	84.0	86.8	87.5	68.5	78.5	84.0
7.5	1,720	4.44%	216	26.3	124.7	15.2	85.8	88.0	88.5	74.0	82.0	84.5
11	1,765	1.94%	325	38.6	187.6	22.3	85.2	88.3	89.5	70.0	79.0	83.5
15	1,765	1.94%	423	50.5	244.2	29.2	88.0	90.0	90.8	72.5	81.5	85.8
18.5	1,768	1.78%	490	62.6	282.9	36.1	88.0	90.0	90.8	72.5	81.5	85.4
22	1,768	1.78%	655	76.7	378.2	44.3	88.0	90.6	91.2	70.0	78.0	82.5
30	1,755	2.50%	739	100.8	426.7	58.2	87.8	90.5	91.0	72.5	81.3	85.8
37	1,755	2.50%	793	122.4	457.8	70.7	87.8	90.5	91.2	74.5	84.2	84.0
45	1,765	1.94%	920	148.5	531.2	85.7	89.5	91.5	92.5	76.5	84.5	86.0
55	1,750	2.78%	1,195	185.7	689.9	107.2	89.5	91.5	92.0	76.5	83.0	84.5
75	1,750	2.78%	1,450	241.7	837.2	139.6	89.5	91.5	92.0	80.0	86.5	88.5
95	1,750	2.78%	1,500	307.9	866.0	177.8	88.0	90.5	91.5	80.0	86.5	88.5
110	1,750	2.78%	2,460	346.7	1,420.3	200.2	88.5	91.0	92.0	82.0	88.5	90.5

2) 전동기의 기동 계급

전동기의 기동계급은 기동입력에 대한 정격입력에 대한 정격출력의 비를 나타낸 것으로 수전단 회로의 보호를 위해 변압기용량, 배전용차단기, 퓨우즈 선정 시 이용된다. 기동계급은 정격전압, 정격주파수에서 기동장치를 사용하지 않고, 출력 1kW당 기동입력(KVA)이다.

표 12. 표준형 3상 유도전동기의 기동계급 특성(LG-OTIS 4P)

용량 (kW)	기동입력비 (KVA/kW)	기동 계급	환산용량 (KVA)	비 고
0.4	7.8	G	3.2	
0.75	9.6	J	7.2	
1.5	11.4	K	17.1	
2.2	10.9	K	24.0	
3.7	10.4	J	38.5	
5.5	10.0	J	55.0	
7.5	10.6	J	79.5	
11	10.4	J	114.4	
15	10.2	J	153.0	
18.5	10.1	J	186.9	
22	11.3	K	248.6	
30	9.8	J	294.0	
37	6.8	F	251.6	
45	7.4	F	333.0	
55	8.6	H	473.0	
75	7.4	F	555.0	
95	7.6	G	722.0	
110	8.5	H	935.0	

3.1.2 고효율 전동기의 특장점

1) 효율의 극대화로 우수한 절전효과

고등급 및 최소두께의 철심 사용, 철심장의 증대 및 Fill Factor의 증대로 손실을 최소화하여 표준전동기 대비 약 20~30%의 손실감소로 수전설비 및 전력소비량을 절약할 수 있다.

2) 낮은 온도상승 및 고절연재료 사용으로 권선수명 연장

H종 절연코일 및 바니쉬 사용, SF(Service Factor) 1.15 채택으로 전동기 온도 상승이 낮게 되어 권선의 절연수명이 연장된다.

3) 높은 경제성

손실이 적은 절전형으로 표준전동기보다 제품 Cost는 높으나 운전 Cost가 낮기 때문에 초기 추가 Cost 증가분은 단기간에 회수가 가능하며 그 후 운전시간이 길수록 경제성이 뛰어나다.

4) 저소음화

최적 팬(내열성 및 내식성에 우수한 재료사용) 및 팬카바 설계로 냉각공기의 흐름을 최적화하고, 슬롯고조파 및 포화고조파를 최소화하여 전자소음을 감소시켜 표준전동기 대비 약 3~8dB(A) 낮다.

5) 풍부한 기종

전폐외선형 및 방적보호형 2가지 Type을 기본으로 하여 수평, 수직형 및 옥외형, 방폭형, 선박용등 다양한 기종을 생산하므로 어떠한 용도 및 장소에도 적합한 전동기의 선택이 가능하다.

6) 적용시 효과가 높은 사용장소

· 기동율이 높고 연속운전이 되는 곳

· 정숙운전이 필요한 곳(저진동, 저소음)

· 고부하시 및 공조용등 전력소모가 Peak시 사용되는 곳

· 전원용량의 여유가 적어 설비증설이 제한 되는 곳

· 전체 소비전력대비 전동기의 소비전력이 큰 비중을 차지하는 곳

· Pump, Blower, Fan, Conveyor, Compressor, 방직기, 사출기 등

표 13. 고효율 3상 유도전동기의 특성(현대중공업 4P)

용량 (kW)	전부하 회전수(rpm)	380V 전류(A)		효율(%)		역 률(%)	토크(Torque)			GD^2 of Motor (kg - m²)	기동 계급
		기동	정격	75% 부하	100% 부하	100% 부하	100% 부하	기동 (%정격)	최대 (%정격)		
1.5	1,735	26.3	3.4	84.5	85.5	79.5	8.3	305	355	0.022	K
2.2	1,760	36.0	4.7	88.6	88.5	80.0	11.9	240	350	0.041	J
3.7	1,755	55.7	7.7	91.3	89.5	82.0	20.1	250	330	0.061	J
5.5	1,765	73.5	11.1	92.5	91.7	82.0	29.7	230	250	0.152	H
7.5	1,765	95.0	15.2	92.7	91.7	82.0	40.6	230	250	0.166	H
11	1,770	140.4	21.9	93.4	92.4	82.5	59.3	200	240	0.359	G
15	1,765	170.3	29.5	94.1	93.0	83.0	81.1	210	230	0.442	G
18.5	1,770	220.9	36.0	94.4	93.6	83.5	99.8	190	230	0.663	G
22	1,775	263.3	42.5	94.8	93.6	84.0	118.3	210	230	0.741	G
30	1,770	338.4	58.4	93.6	94.1	83.0	161.8	190	240	0.938	G
37	1,775	427.6	70.7	93.6	94.1	84.5	199.0	190	230	1.960	G
45	1,775	526.6	87.7	94.7	94.5	82.5	242.0	170	220	2.183	G
55	1,780	643.0	102.3	95.2	95.0	86.0	294.9	200	230	3.520	G
75	1,780	868.0	138.1	95.5	95.4	86.5	402.2	200	230	6.050	H
95	1,785	1066.0	169.3	95.5	95.4	87.5	497.3	200	230	8.850	H
110	1,785	1248.0	198.2	95.9	95.8	88.0	588.2	200	230	11.370	G

산업자원부는 1996년부터 “고효율에너지기자재 보급촉진에 관한 규정”을 통하여 고효율에너지 기자재에 대한 기준을 제시하고 보급을 촉진하고 있다. 공인시험

기관의 시험을 거쳐 고효율기기임을 인증하여 구매자에게 신뢰하며 구입할 수 있도록 노력을 기울이고 있다. 나아가 고효율에너지기자재의 판로확대를 위하여 ① 공공기관의 사용의무화 대상품목 확대, ② 일정규모 이상의 건물 신축 시 사용확대, ③ ESCO 자금지원과 고효율인증제품 사용을 연계 ④ 형식승인 또는 KS규정을 개정하여 규격강화로 인한 저효율제품 시장퇴출효과 등 고효율에너지기자재산업의 육성을 위한 지원도 병행하고 있다. 고효율유도전동기를 일반 소비자가 경제적인 가격으로 구매할 수 있도록 제품가격에 대해 적정규모로 장려금을 지원하여 보급확대를 위해 설치장려금을 지급하고 있다.

7) 한국전력공사 전기공급약관에 의한 전기요금 단가

전기공급약관(2004.03.01)에 의한 일반용전력 전기사용량에 대한 전력량요금은 모든 사용전력량에 대하여 계절별로 다른요금을 적용하고 있으므로 이를 산술평균하면 kWh당 전기요금은 68.02(원/kWh)이 된다.

-. 여름철(7월1일~8월1일) : 91.30(원/kWh)

-. 봄·가을철(4월1일~6월30일, 9월1일~9월30일) : 60.80(원/kWh)

-. 겨울철(10월1일~익년3월31일) : 64.90(원/kWh)

8) 고효율전동기 적용시 투자금액 회수기간

고효율전동기 적용시 예상되는 절감액은 설치장려금과 효율차이에 의한 전력요금의 절감으로 회수가 가능하므로 전동기가격차이에서 설치 장려금을 공제한후 효율차에 의한 용량별 절감전력요금으로 구할 수 있다. 아래의 식으로 1년, 2년, 3년을 회수기간으로 하고 일사용시간이 얼마 이상일 때 경제성이 있는가를 판단하였으며 결과를 아래의 표에 나타내었다.

$$\text{일사용시간} = \frac{\text{전동기가격차(고효율전동기-표준형전동기)} - \text{설치장려금}}{\text{용량} \times (\text{고효율효율} - \text{표준전동기효율}) \times (\_\_)\text{년} \times 365\text{일} \times \text{표준단가}}$$

표 14. 일반전동기와 고효율전동기의 효율 및 가격비교

전동기용량 (kW)	일반용 전동기		고효율 전동기			효율차 1단위당 가격차
	효율(%)	가격(원)	효율(%)	가격(원)	설치장려금	
0.75	71.5	108,000	82.5	130,000	16,000	2,000
1.5	78.0	113,000	84.0	140,000	19,000	4,500
2.2	81.0	147,000	86.5	178,000	27,000	5,636
3.7	83.0	171,000	87.5	210,000	34,000	8,667
5.5	85.0	268,000	88.5	320,000	46,000	14,857
7.5	86.0	315,000	89.5	385,000	53,000	20,000
11	87.0	428,000	91.0	520,000	87,000	23,000
15	88.0	568,000	91.0	700,000	89,000	44,000
18.5	88.5	798,000	91.7	965,000	132,000	52,188
22	89.0	925,000	91.7	1,110,000	144,000	68,519
30	89.5	1,439,000	92.4	1,720,000	208,000	96,897
37	90.0	1,652,000	93.0	1,960,000	220,000	102,667
45	90.0	2,680,000	93.0	2,940,000	285,000	86,667
55	90.0	3,598,000	93.6	4,400,000	403,000	222,778
75	90.5	4,907,000	94.1	5,890,000	549,000	273,056
90	91.0	5,120,000	94.5	6,050,000	606,000	265,056
110	91.2	6,268,000	95.0	7,400,000	784,000	297,895
150	91.7	8,612,000	95.0	10,310,000	950,000	514,545
200	92.0	10,517,000	95.0	12,581,000	1,030,000	688,000

자료: www.sukipm.co.kr/producr/premium.htm

표 15. 고효율전동기 적용시 회수가능한 일운전시간 검토

전동기용량 (kW)	효율차 (%)	가격차 - 설치장려금	회수가능 일운전시간			시간당 절감금액(원)
			1년	2년	3년	
0.75	11.0	6,000	2:55	1:27	0:58	5.61
1.5	6.0	8,000	3:34	1:47	1:11	6.12
2.2	5.5	4,000	1:19	0:39	0:26	8.23
3.7	4.5	5,000	1:12	0:36	0:24	11.33
5.5	3.5	6,000	1:15	0:37	0:25	13.09
7.5	3.5	17,000	2:36	1:18	0:52	17.86
11	4.0	5,000	0:27	0:13	0:09	29.93
15	3.0	43,000	3:50	1:55	1:16	30.61
18.5	3.2	35,000	2:22	1:11	0:47	40.27
22	2.7	41,000	2:46	1:23	0:55	40.41
30	2.9	73,000	3:22	1:41	1:07	59.18
37	3.0	88,000	3:11	1:35	1:03	75.51
55	3.6	399,000	8:06	4:03	2:42	134.69
75	3.6	434,000	6:28	3:14	2:09	183.67
90	3.5	324,000	4:08	2:04	1:22	214.28
110	3.8	348,000	3:21	1:40	1:07	284.35
150	3.3	748,000	6:05	3:02	2:01	336.72
200	3.0	1,034,000	6:56	3:28	2:18	408.15

3.1.3 전동기 기동장치의 가격과 변압기 영향의 분석

전동기 기동은 기동전류나 토크를 제한하지 않아도 되는경우는, 직입기동이 가장 간단하고 저렴하므로 가능한 한 직입기동을 하여야 한다. 하지만 전원변압기용량이나 케이블규격이 적은 경우에는 기동전류에 의한 전압강하가 다른기기에 악영향을

주게 되므로 감전압기동방식을 적용하게 된다. 감전압기동방식은 그림15와 같은 장,단점을 가지고 있으므로 수전변압기의 용량과 전동기접속 부하의 형태에 따라 다양한 기동장치의 적용이 가능하다. 또한 경제적인 요소도 고려되어야 한다.

표 16. 전동기 기동장치별 가격비교(2006.03)

(단위: 천원)

전동기용량 (kW)	3선식 배선방식			6선식배선	VVVF기동 (인버터기동)
	전전압 기 동	정지형 기동기	리액타 기 동	Y - Δ 기 동	
2.2 kW	269	457			746
3.7KW	299	457			1,295
5.5KW	335	485		385	1,370
7.5KW	366	485		423	2,052
11KW	422	542		511	2,374
15KW	458	619	770	558	2,805
22KW	492	795	898	600	3,069
30KW	539	872	966	799	3,393
37kW	579	1,055	1,027	868	4,241
40kW	609	1,126	1,077	908	4,720
45kW	667	1,499	1,545	1,033	6,567
55kW	697	1,499	1,643	1,073	6,567
60kW	753	1,983	1,735	1,190	7,836
75kW	809	1,983	1,882	1,307	7,836
90kW	898	2,410	2,211	1,544	9,884
110kW	952	2,410	2,398	1,639	,

기동시의 전압강하는 케이블의 거리가 길지 않은 경우에는 전원변압기 또는 발전기의 임피던스만 고려해도 된다. 국내에는 현재 몰드형 변압기를 일반적으로 적용하고 있으며 %임피던스는 표 17에서와 같이 6%보다 적은 값을 적용하고 있으므로 전동기의 기동용량 환산용량보다 변압기용량이 클 경우에는 전압강하에 의한 전동기 기동실패 또는 저전압에 의한 주위기기에 영향은 없는 것으로 판단된다.

표 17. 몰드형 변압기 전기적 특성치(효성몰드변압기 22,900/380,220V)

용량(KVA)	효율(%)	전압변동율(%)	임피던스(%)	비 고
200	97.0	1.90	4.00	
300	98.0	1.80	6.00	
350	98.2	1.70	6.00	
400	98.2	1.60	6.00	
450	98.2	1.60	6.00	
500	98.2	1.60	6.00	
600	98.4	1.50	6.00	
750	98.6	1.30	6.00	
1,000	98.6	1.30	6.00	
1,500	98.7	1.30	6.00	
2,000	98.8	1.10	6.00	

3.1.4 설비별 기동특성의 분석

1995년 대한주택공사에서 실시한 전동기의 부하별 사용실태를 분석하여 전동기의 부하율 및 전동기의 선정에 대한 적정성을 검토하고, 이에 대한 개선대안을 제시한다.

1) 전동기 부하설비

급수펌프는 30kW로 거의 Y – Δ 기동이며, 복지관 등 별도의 급수관을 갖는 경우에는 직입기동방식도 사용된다. Y – Δ 기동방식에서의 기동패턴은 대체로 일정한 형태이며 Y – Δ 변환시간은 단지별로 상이하다.

(1) W지구 급수펌프 1번

- 용량 및 기동방식 : 30kW, Y – Δ 기동방식
- Y – Δ 전환시간 : 5.5 초 정도(적합)
- Y 상태 기동시 최대 전류 값 : 81.2A, 역률 : 0.495
- Δ 전환시 과도시간 : 0.5초 정도
- 과도시 최대전류값 : 213.2A 역률 : 0.270
- 정속운전시 전류 : 33.9A 역률 : 0.955
- 정속운전시 부하율 : 33.9/58.2 = **58.2%**

(2) W지구 급수펌프 2번

- 용량 및 기동방식 : 30kW, Y – Δ 기동방식
- Y – Δ 전환시간 : 8.7 초 정도(약간 김 6초 정도가 적합)
- Y 상태 기동시 최대 전류 값 : 72.0A, 역률 : 0.488
- Δ 전환시 과도시간 : 0.6초 정도
- 과도시 최대전류값 : 212.3A 역률 : 0.192
- 정속운전시 전류 : 35.7A 역률 : 0.947

- 정속운전시 부하율 : 35.7/58.2 = **61.3%**

(3) W지구 급수펌프 3번

- 용량 및 기동방식 : 30kW, Y – Δ 기동방식
- Y – Δ 전환시간 : 9.3 초 정도(약간 김 6초 정도가 적합)
- Y 상태 기동시 최대 전류 값 : 70.6A, 역률 : 0.479
- Δ 전환시 과도시간 : 0.6초 정도
- 과도시 최대전류값 : 212.1A 역률 : 0.312
- 정속운전시 전류 : 33.7A 역률 : 0.951
- 정속운전시 부하율 : 33.7/58.2 = **57.9%**

(4) W지구 송풍기 1번

- 용량 및 기동방식 : 30kW, Y – Δ 기동방식
- Y – Δ 전환시간 : 15 초 정도
- Y 상태 기동시 최대 전류 값 : 53.5A, 역률 : 0.525
- Δ 전환시 과도시간 : 7.5초 정도
- 과도시 최대전류값 : 163.1A 역률 : 0.49.
- 정속운전시 전류 : 11.7A 역률 : 0.981
- 정속운전시 부하율 : 11.7/58.2 = **20.1%**

(5) W지구 송풍기 2번

- 용량 및 기동방식 : 30kW, Y – Δ 기동방식
- Y – Δ 전환시간 : 18 초 정도
- Y 상태 기동시 최대 전류 값 : 40.9A, 역률 : 0.510
- Δ 전환시 과도시간 : 6.5초 정도
- 과도시 최대전류값 : 158.2A 역률 : 0.570

- 정속운전시 전류 : 11.1A 역률 : 0.980
- 정속운전시 부하율 : 11.1/58.2 = **19.0%**

(6) W지구 난방순환펌프 1번
- 용량 및 기동방식 : 7.5kW, 직입기동방식
- 기동시 과도시간 : 0.9초 정도
- 기동시 최대전류값 : 83.6A 역률 : 0.570
- 정속운전시 전류 : 8.1A 역률 : 0.984
- 정속운전시 부하율 : 8.1/15.18 = **53.4%**

(7) M지구 난방순환펌프 1번
- 용량 및 기동방식 : 1.5kW, 직입기동방식
- 기동시 과도시간 : 0.6초 정도
- 기동시 최대전류값 : 20.9A 역률 : 0.818
- 정속운전시 전류 : 2.1A 역률 : 0.852
- 정속운전시 부하율 : 2.1/3.7 = **56.8%**

(8) M지구 난방순환펌프 2번
- 용량 및 기동방식 : 1.5kW, 직입기동방식
- 기동시 과도시간 : 0.6초 정도
- 기동시 최대전류값 : 20.8A 역률 : 0.802
- 정속운전시 전류 : 2.0A 역률 : 0.842
- 정속운전시 부하율 : 2.0/3.7 = **54.1%**

(9) M지구 Blower 2번
- 용량 및 기동방식 : 7.5kW, 직입기동방식

- 기동시 과도시간 : 1.2초 정도
- 기동시 최대전류값 : 92.5A 역률 : 0.544
- 정속운전시 전류 : 11 ~ 13A 역률 : 0.97
- 정속운전시 부하율 : 13/15.18 = **85.6%**
- 전류값이 맥동하는 것은 전동기나 설비의 설치상태가 약간 불안정하기 때문으로 운전에는 별다른 문제는 없는것으로 판단 됨.

(10) M지구 Blower 3번
- 용량 및 기동방식 : 7.5kW, 직입기동방식
- 기동시 과도시간 : 1.2초 정도
- 기동시 최대전류값 : 82.4A 역률 : 0.564
- 정속운전시 전류 : 10 ~ 13A 역률 : 0.977
- 정속운전시 부하율 : 13/15.18 = **85.6%**
- 전류값이 맥동하는 것은 전동기나 설비의 설치상태가 약간 불안정하기 때문으로 운전에는 별다른 문제가 없는 것으로 판단 됨.

2) 전동기 기동특성 및 부하의 분석

조사자료에서 보는 바와 같이 전체적으로 부하율은 60%이하로써 전동기 이용률이 낮고 과용량이 설치되어 있음을 알 수 있다. 기동시간은 펌프부하의 경우 6초 이내이며 팬과 블로워의 경우에도 10초 정도 임을 알 수 있다. 여기에는 다양한 부하가 조사 되지 않았지만 적정용량의 전동기 선정과 기동방법의 개선이 필요함을 알 수 있다.(표 18, 19 참조)

표 18. 조사대상 부하 사례분석

부하명	용량	기동 방식	부하율	부하율을 고려한 추정치			
				효율	역률	개선용량	비 고
W지구 급수펌프 1번	30kW	Y-Δ	58.2%	90%	81.3%	22.0kW	
W지구 급수펌프 2번	30kW	Y-Δ	61.3%	90%	81.3%	22.0kW	
W지구 급수펌프 3번	30kW	Y-Δ	57.9%	90%	81.3%	22.0kW	
W지구 송풍기 1번	30kW	Y-Δ	20.1%	88%	72.5%	11.0kW	
W지구 송풍기 2번	30Kw	Y-Δ	19.0%	88%	72.5%	11.0kW	
W지구 난방순환펌프 1번	7.5kW	직입	53.4%	86.8%	74.0%	5.5kW	
M지구 난방순환펌프 1번	1.5kW	직입	56.8%	76.0%	74.0%	1.5kW	
M지구 난방순환펌프 2번	1.5kW	직입	54.1%	76.0%	74.0%	1.5kW	
M지구 Blower 2번	7.5kW	직입	85.6%	88.5%	82.0%	7.5kW	
M지구 Blower 3번	7.5kW	직입	85.6%	88.5%	82.0%	7.5kW	
평 균			55.2%				

표 19. 부하종류별 전동기의 직입기동시간

부하의 종류	전동기의 기동시간	비 고
펌프, 팬*	3초 이하	
펌프, 팬	3 ~ 6초	
기동시간이 긴 것	6 ~ 10초	

㈜ * 환기 팬, 패키지형 공기조화기용 팬 등

3) 최근 시설되는 변압기의 용량, 전동기 기동방법 사례조사

조사결과 기동방법은 직입, Y-Δ, 리액타기동으로 이루어지며 리액터 기동은 소방펌프에 주로 적용되고, 부하용량별로 획일적으로 이루어져 있음을 알 수 있다. 동력용 변압기용량도 Bank용량이 500KVA 이상이 적용되고 있으며, 대한주택공사의 설계기준이 일반적으로 적용되고 있으며 일부시설만이 15kW이상을 Y - Δ 기동방식을 적용하고 있다. 이는 정확한 계산근거나 기술적기준에 의한 선정이 아니며 보편적이고 습관적인 설계임을 알 수 있다. Y - Δ 기동방식은 기동PNL과 전동기간에 전력Cable이 1Core적용 시에는 6Wire가 필요하고 3Core 적용 시에는 2Wire가 필요하며, 직입기동, 리액타기동, 전자식(Soft Starter)기동방식은 1Core 적용 시에는 3Wire가 필요하고 3Core 적용 시에는 1Wire가 필요하다.

표 20. 건축물별 변압기 용량 및 전동기 기동방법 사례조사

건축물명	주요용도	변압기 용량 (KVA)/대수		기동방법	비 고
		전등	동력		
대학로복합문화공간	관람시설	750/1	1,000/1 300/1 200/2	55kW 이상 리액타 11kW 이상 Y-Δ 11kW 미만 직입	
김천실내체육관	체육시설	750/1	750/1	11kW 이상 Y-Δ 11kW 미만 직입	
대전KTF사옥	통신시설	1,500/1	2,500/4 2,000/2	55kW 이상 리액타 11kW 이상 Y-Δ 11kW 미만 직입	
대구보훈병원	병원시설	500/1	500/1 750/1	11kW 이상 Y-Δ 11kW 미만 직입	
대전교육정보원	교육시설	500/1	600/1	15kW 이상 Y-Δ 15kW 미만 직입	
00 사업청 업무시설	사무시설	600/1	600/1	11kW 이상 Y-Δ 11kW 미만 직입	
서울 숲 공원	공원시설	200/1	450/2	11kW 이상 Y-Δ 11kW 미만 직입	
보라매 병원	병원시설	300/1	400/1	11kW 이상 Y-Δ 11kW 미만 직입	
웅상문화회관	관람시설	750/1	400/1	11kW 이상 Y-Δ 11kW 미만 직입	
대구학정APT	공동주택	1,000/3	1,000/1	55kW 이상 리액타 15kW 이상 Y-Δ 15kW 미만 직입	
용인보라주공APT	공동주택	350/2	350/1	55kW 이상 리액타 11kW 이상 Y-Δ 11kW 미만 직입	

제 4 장 기동장치 및 공사비의 경제성 분석

전동기에 전력을 공급하기 위해서는 기동장치 및 배관·배선을 하여 전동기에 공급하여야 하므로 여기에서는 공사비를 산정하기 위한 기초자료를 정리하고 거리공사비를 계산하여 기동장치 비용과의 과소를 평가하는 기준으로 한다. 전동기기동장치 및 전선·배관규격 산정은 내선규정을 기준으로 하였고, 11kW 미만은 직입기동하고 있으므로 대상에서 제외하고, 55kW이상은 리액타 기동으로 3선배선을 적용하므로 별도로 검토 하였으며, 대한주택공사 2006년 1분기 공사비용 자료를 기준으로 하였다.

4.1 공사비 산정

4.1.1 전동기의 배관 · 배선

전동기의 전부하 전류는 내선규정 표3-3(380V 3상유도전동기 1대인 경우의 분기회로)를 기준으로 하였으며, 전선의 허용전류는 KS C IEC 60364-5-523의표 52-C11 E 및 F를 적용하여 작성된 대한주택공사 전기·정보통신 설계지침 Page146(FR-8 케이블 허용전류표), 배관규격은 내선규정 표4-9(후강전선관 굵기의 산정)을 기준으로 표를 작성하였다.

표 21. 전동기 용량별 배관·배선 기준

전동기용량 (KW)	전부하 전류 (A)	케이블 1/C 3WIRE*		케이블 1/C 6WIRE**		비 고
		케이블 (㎟)	전선관 (㎜)	케이블 (㎟)	전선관 (㎜)	
11.0	25.3	6.0	22	6.0	28	
15.0	34.2	10.0	28	10.0	36	
18.7	41.6	16.0	28	16.0	36	
22.0	49.0	16.0	28	16.0	36	
30.0	65.8	25.0	36	25.0	42	
37.5	84.2	35.0	36	35.0	54	
45.0	100.0	50.0	42	50.0	70	
55.0	121.0	50.0	42	50.0		
75.0	163.0	95.0	54	95.0		

㈜* 전전압기동, 리액타기동, 단권변압기기동, 정지형기동, 인버터기동 등

㈜** Y – Δ 기동, 분할권선기동 등

4.1.2 공사비용의 계산

전동기 기동장치의 공사비용은 기동장치에 대한 비용과 공사비용인 배관·배선비용으로 나누어지며 이는 거리에 비례하는 비용과 고정비용으로 분류할 수 있다. 여기에서는 단가적용을 대한주택공사 2006년 1/4분기 단가를 적용하였다.(표 22 참조).

기동장치공사비용 = 기동장치비용 + 배관·배선공사비용

배관배선비용 = 배관공사비용 + 배선공사비용 + 단자접속공사비용

1/C 3WIRE 배선공사비용 = 배선단가 * 3

1/C 6WIRE 배선공사비용 = 배선단가 * 6

표 22. 배관·배선 공사비단가 산정기준*

명 칭	규 격	단위	자재	노무	경비	계
강제전선관배관	아연도22㎜	M	2,075	7,115	142	9,332
강제전선관배관	아연도28㎜	M	2,659	9,114	182	11,955
강제전선관배관	아연도36㎜	M	3,391	12,952	259	16,602
강제전선관배관	아연도42㎜	M	3,899	16,150	323	20,372
강제전선관배관	아연도54㎜	M	5,474	21,987	439	27,900
강제전선관배관	아연도70㎜	M	6,977	28,463	569	36,009
전력케이블(구내) FR8	6.0㎟ 1C	M	699	1,299	25	2,023
전력케이블(구내) FR8	10㎟ 1C	M	999	1,299	25	2,323
전력케이블(구내) FR8	16㎟ 1C	M	1,115	1,856	37	3,008
전력케이블(구내) FR8	25㎟ 1C	M	1,735	2,413	48	4,196
전력케이블(구내) FR8	35㎟ 1C	M	2,376	2,691	53	5,120
전력케이블(구내) FR8	50㎟ 1C	M	3,065	3,527	70	6,662
전력케이블(구내) FR8	95㎟ 1C	M	5,824	5,940	118	11,882
단말처리(W/압착터미날)	10㎟ 1C	조	170	6,497	129	6,796
단말처리(W/압착터미날)	16㎟ 1C	조	255	7,982	159	8,396
단말처리(W/압착터미날)	25㎟ 1C	조	329	9,004	180	9,513
단말처리(W/압착터미날)	35㎟ 1C	조	329	9,468	189	9,986
단말처리(W/압착터미날)	50㎟ 1C	조	537	10,210	204	10,951
단말처리(W/압착터미날)	95㎟ 1C	조	1,129	13,273	265	14,667

㈜* 대한주택공사 일위대가 기준 2006년1/4분기 자료

예1 11Kw 전동기를 직입기동과 Y – Δ 기동의 경우(거리: 50m)

1) 직입기동(정지형(Soft Starter)기동, 리액타기동 포함)의 경우

배관배선비용 = 배관공사비용 + 배선공사비용 + 단자접속공사비용

배관공사 : 전선관 22/C @9,332원/M*50M = 466,600원

배선공사 : FR8 6㎟ 3W @2,023원/M*50M*3W= 303,450원

단자접속 : 6㎟는 접속비용없음

합 계 : 466,600+ 303,450=770,050원

2) Y – Δ 기동의 경우

배관배선비용 = 배관공사비용 + 배선공사비용 + 단자접속공사비용

배관공사 : 전선관 28/C @11,955원/M*50M = 597,750원

배선공사 : FR8 6㎟ 6W @2,023원/M*50M*6W= 606,900원

단자접속 : 6㎟는 접속비용 없음

합 계 : 597,750+ 606,900=1,204,650원

3) 공사비용의 차이

1,204,650원-770,050원=434,600원

기동장치비용의 차이가 400,000원 이내인 경우 가격경쟁력이 있음

11kW 기동장치의 경우 표 16에서 확인결과

인버터기동을 제외한 3선식배선 기동장치의 비용이 Y – Δ 기동의 비용보다 낮으므로 다양한 기동장치의 적용이 가능하다.

예2 30Kw 전동기를 직입기동과 Y – Δ 기동의 경우(거리: 75m)

1) 직입기동(정지형(Soft Starter)기동, 리액타기동 포함)의 경우

배관배선비용 = 배관공사비용 + 배선공사비용 + 단자접속공사비용

배관공사 : 전선관 36/C @16,602원/M*75M = 1,245,150원

배선공사 : FR8 25㎟ 3W @4,196원/M*75M*3W= 944,100원

단자접속 : 단말처리25㎟ 3조 @9,513원/조*3조= 28,539원

합 계 : 1,245,150+ 944,100+ 28,539=2,217,789원

2) Y – Δ 기동의 경우

배관배선비용 = 배관공사비용 + 배선공사비용 + 단자접속공사비용

배관공사 : 전선관 42/C @20,372원/M*75M = 1,527,900원

배선공사 : FR8 25㎟ 6W @4,196원/M*75M*6W= 1,888,200원

단자접속 : 단말처리25㎟ 6조 @9,513원/조*6조= 57,078원

합 계 : 1,527,900+ 1,888,200+ 57,078=3,473,178원

3) 공사비용의 차이

3,473,178원-2,217,789원 =1,255,389원

기동장치비용의 차이가 1,200,000원 이내인 경우 가격경쟁력이 있음

30kW 기동장치의 경우 표 16에서 확인결과

인버터기동을 제외한 3선식배선 기동장치의 비용이 Y – Δ 기동의 비용보다 낮으므로 다양한 기동장치의 적용이 가능하다.

예3 45Kw 전동기를 직입기동과 Y – Δ 기동의 경우(거리: 25m)

1) 직입기동(정지형(Soft Starter)기동, 리액타기동 포함)의 경우

배관배선비용 = 배관공사비용 + 배선공사비용 + 단자접속공사비용

배관공사 : 전선관 42/C @20,372원/M*25M = 509,300원

배선공사 : FR8 50㎟ 3W @6,662원/M*25M*3W= 499,650원

단자접속 : 단말처리50㎟ 3조 @10,951원/조*3조= 32,853원

합 계 : 509,300+ 499,650+ 32853=1,041,803원

2) Y – Δ 기동의 경우

배관배선비용 = 배관공사비용 + 배선공사비용 + 단자접속공사비용

배관공사 : 전선관 70/C @36,009원/M*25M = 900,225원

배선공사 : FR8 50㎟ 6W @6,662원/M*25M*6W= 999,300원

단자접속 : 단말처리25㎟ 6조 @10,951원/조*6조= 65,706원

합 계 : 900,225+ 999,300+ 65,706=1,965,231원

3) 공사비용의 차이

1,965,231원-1,041,8803=923,428원

기동장치비용의 차이가 900,000원 이내인 경우 가격경쟁력이 있음

45kW 기동장치의 경우 표 16에서 확인결과

인버터기동을 제외한 3선식배선 기동장치의 비용이 Y – Δ 기동의 비용보다 낮으므로 다양한 기동장치의 적용이 가능하다.

4.1.3 비용의 계산결과

기동장치비용 검토결과 공사비를 포함한 전체비용을 고려하면 6선식기동장치인 Y – Δ 기동의 선정이 비경제적임을 알수 있으며 부하의 특성을 고려하여 다양한 감전압기동방식을 적용하여도 전체적인 비용은 증가가 없는것으로 나타났다.

Y – Δ 기동의 문제점인 기동토오크의 부족, Open transition으로 구성 시 나타나는 무전압구간에 의한 과도전류 등을 고려하고 부하의 기동 토크증가에 대처가 가능한 기동방법을 대안으로 제시할 수 있을 것이다.

4.2 기동장치 선정 기초조사

기동장치 선정을 위한 기초조사로 공급변압기의 용량, %임피던스, 전압강하율의 특성을 파악하고, 수배전반의 공급차단기의 용량, 급전선의 규격 및 거리 등을 확인하여 표23을 완성한다.

① : 변압기의 상수 및 용량, 대수[ϕ, kVA, 대]

② : 변압기의 1차 전압[kV]

③ : 변압기의 1차 전압[kV]

④ : 변압기의 %임피던스[%]

⑤ : 변압기의 전압강하율[%]

⑥ : 배전반의 전동기기동반 공급차단기의 규격[AF/AT]

⑦ : 배전반과 전동기기동반공급 Cable의 규격 및 Core[㎟ / Core]

⑧ : 공급 Cable의 Wire 수[Wire]

⑨ : 배전반과 전동기기동반의 거리[m]

표 23. 공급설비의 기초조사

조 사 항 목			조 사 자 료	비 고
변압기	① 용량		ϕ kVA 대	
	② 1차 전압		KV	
	③ 2차 전압		KV	
	④ % 임피던스		%	
	⑤ 전압강하율		%	
공급설비	⑥ 차단기용량		AF/AT	
	전선	⑦ 규격	㎟ / Core	
		⑧ 가닥수	Wire	
		⑨ 거리	m	

기동부하의 종류 및 기동요구조건이 있는지를 확인하고, 전동기의 용량 및 특성을 조사하여 표 를 완성한다.

ⓐ : 부하의 종류

ⓑ : 공급자가 특별히 요구하는 기동조건여부

ⓒ : 전동기의 상수 및 전압[ϕ, V]

ⓓ : 전동기의 용량(kW로 환산) [kW]

ⓔ : 전동기의 극수 [P]

ⓕ : 전동기의 기동계급

ⓖ : 전동기의 기동환산용량(기동계급환산용량*전동기의 용량 [KVA])

표 12에 의한 기동계급환산용량적용

ⓗ : 전동기의 형식(특별히 지정되지 않은경우 표준형)

ⓘ : 기동반과 전동기의 거리[m]

표 24. 전동기부하의 기초조사

조 사 항 목		조 사 자 료	비 고
부하조건	ⓐ 부하의 종류	Fan( ), Pump( ), 기 타( )	
	ⓑ 기동요구조건	Yes( ), No( )	
전동기 조건	ⓒ 상수 및 전압	ϕ V	
	ⓓ 용 량	KW	
	ⓔ 극 수	P	
	ⓕ 기동계급		
	ⓖ 환산용량	KVA	
	ⓗ 전동기 형식	표준형 ( ), 고효율( )	
	ⓘ 거 리	m	

4.3 기동장치 선정순서

표 24의 ⓑ기동요구조건(전동기부하)이 특별히 지정되어 있는 경우에는 별도로 검토한다. 기동요구조건이 특별히 지정되지 않은 경우에는 전전압기동방식과 감전압기동방식을 선택한다.

4.3.1 전전압기동방식의 적용

거의 모든전동기는 전전압을 인가함으로써 기동이 가능하므로 아래 표 25의 조건을 만족할 경우 전전압기동방식을 체택하고 만족하지 않을 경우에는 감전압기동방식을 검토한다.

표 25. 전전압기동의 조건

조 사 항 목	만 족 여 부	비 고
ⓖ환산용량(전동기) < ①용량(변압기)	Yes( ), No( )	
ⓓ용량(전동기)*10 < ①용량(변압기)	Yes( ), No( )	
ⓒ상수 및 전압(전동기)이 3ϕ 220V경우 ⓓ용량(전동기) < 15kw	Yes( ), No( )	
ⓒ상수 및 전압(전동기)이 3ϕ 380V경우 ⓓ용량(전동기) < 30kw	Yes( ), No( )	

4.3.2 감전압기동방식의 적용

4.3.1 전전압기동반식의 적용조건이 만족하지 않을경우에는 아래 표 26의 조건을 검토하여 감전압기동방식을 적용한다.

표 26. 감전압기동방식의 적용 검토 항목

조 사 항 목	기동방식	비 고
기동반 설치공간이 불충분하다.	전자식기동방식	
Soft Start 기동이 필요하다.	전자식기동방식	
큰 기동토크를 필요로 한다.	전자식기동방식 리액타기동방식	
기동반과 전동기의 거리가 가깝다.	Y – Δ 기동방식	
자동제어운전이 필요하다.	VVVF 기동 및 운전방식	
운전시간이 길고 에너지절감 효과가 크다.	VVVF 기동 및 운전방식	

제 5 장 결 론

본 연구에서는 3상농형유도전동기의 용량선정에서의 고효율전동기적용에 따른 SF(Service Factor)를 적용하여 전동기용량에 대한 적정성향상을 기대할 수 있음을 확인할 수 있었으며, 고효율전동기 적용과 투입비예상회수기간을 제시하였다. 또한 기동장치적용시에 직입기동과 감전압기동에서 적정용량을 계산근거나 기준이 없이 일률적으로 적용하는 것이 부적합함을 확인할 수 있었으며 다양한 기동방법과 이에 따른 경쟁력을 제시하였다.

첫째, 고효율전동기 적용시 SF 1.15를 적용하여 전동기용량을 과다하게 선정되는 것을 방지하여, 수전설비용량의 적정성이 확보되고 고효율전동기 적용시에는 하루 3시간 이상 운전시에는 고효율전동기 투자비용이 2년내 회수되는 것으로 나타났다.

둘째, 변압기용량을 검토하고 %임피던스를 고려할 때 30kW이하의 전동기에서는 직입기동(전전압기동)하여도 전압강하나 전동기의 시간내량에 영향을 주지 않으므로 가능한 것으로 나타났다.

셋째, Y – Δ 기동(6Wire 배선방식)을 감전압기동의 표준으로 적용 설계하여, 기동장치의 비용은 다소 적게 투입되지만, 공사비의 투입을 고려할 때 상대적으로 불리함을 알 수 있었으며, 전자식(Soft Starter)기동장치의 경우 전력반도체의 성능향상, 가격의 하락, 기술력이 향상되고 있으며, 3Wire 적용시에는 다양한 기동방법의 적용이 가능하고 실공사비의 절감등으로 경쟁력이 있는 것으로 나타났다.

이처럼 3상농형유도전동기는 우리생활에 다양하게 적용되고 있으며 전력소모의 60% 이상을 차지하고 있으므로 이에 대한 에너지절감대책이 다양하게 적용되어야 할 것이다. 또한 부하별 기동특성을 펌프, 팬, 블로워 등으로 한정하여 분석하였으나 산업현장에서는 다양한 부하가 사용되고 있으므로, 이에 대한 분석을 통하여 기동방법의 다양한 적용으로 경제성을 향상시킬 수 있을 것이다.

본 연구에서 검토한 기동방법 외에 인버터(VVVF)를 기동방법과 운전에 적용할 경우에는 에너지비용을 더욱 절감할 수 있고 운전비용의 절감을 고려하여 경제성을 판단할 수 있을 것이다.

마지막으로 본 연구에서 경제성의 오차를 줄이고자 다양한 자료를 수집하여 분석하였지만, 전동기와 기동장치에 대해서만 제시하였으며, 운전비용에 경제성분석은 여전히 남아있었다. 따라서 향후 전동기의 운전특성을 고려한 운전제어방법 등을 통하여 에너지비용을 절감할 수 있는 연구가 필요하다.

[참고문헌]

[1] 이성근,"산업부문의 고효율유도전동기 보급실태 조사 및 활성화 방안연구", 에너지경제연구원,2003

[2] 진준용 외 3인, "공동주택 부하행태 조사연구", 에너지관리공단, 대한주택공사, 2002

[3] 에너지경제연구원, "산업용 전동기의 보급실태 조사분석" , 에너지경제연구원, 2003

[4] 대한주택공사 주택연구소, "공동주택에서 전기에너지 사용의 최적화를 위한 전동력의 제어시스템 개발 연구", 대한주택공사, 1995

[5] 의제 편집위원회 역, "신전기설비사전", 도서출판 의제, 1999

[6] 최홍규 외, "전력사용시설물 설비 및 설계", 도서출판 성안당, 1999

[7] Wilford I. Summers, "American Electricians' Handbook", Mcgraw-Hill, 1996

[8] (사)대한전기협회, "내선규정", (사)대한전기협회, 2005

[9] 대한주택공사 건설관리처, "공사감독핸드북(전기)", 도서출판 건설도서, 2005

[10] 대한주택공사, "전기·정보통신공사 표준상세도", 대한주택공사, 2004

[11] 대한주택공사전기통신처, "전기·정보통신공사 설계지침", 대한주택공사, 2005

[12] 대한주택공사전기통신처, "전기·정보통신공사 시방서", 대한주택공사, 2005

[13] 건교부 전기공사 시방서 (2005년. 건설교통부)

[14] 전기공사협회, "전기공사표준시방서", 전기공사협회

[15] 에너지관리공단(http://www.kemco.or.kr)

[감사의 글]

직장생활을 하면서 이론에 대한 필요를 느끼고 이에 대한 갈급함을 채우기 위해 대학원의 문을 두드리고 2년의 대학원 생활을 통해 연구자로서의 분석능력과 전문 기술자로서의 꿈을 키워왔고, 그 결과의 하나로서 석사학위논문을 완성하는 시점에 이르렀습니다.

먼저 여러가지로 부족한 저에게 본 논문을 지도해 주신 김영렬 교수님, 김성원 교수님, 서삼준 교수님께 감사 드립니다. 그리고 대학원 교육과정 중에 항상 꿈과 확신을 가질 수 있도록 좋은 말씀을 주신 유재택, 원종률 교수님께 감사 드립니다. 그리고 연구실 생활을 보내는 동안 많은 조언과 격려를 아끼지 않았던 여러 선후배님들에게도 감사 드립니다. 마지막으로 오랫동안 저와 함께하고 기도로 함께 해 주신 사랑스런 내자 김영대에게 무한한 감사를 드립니다.

모든일에 최선을 다하는 모습을 자녀 관영, 은영에게 보이고자 노력은 했지만, 마침은 또 다른 시작이 있기에 이에 최선을 다하고자 합니다.

부단히 변신하여 합리적인 목표를 세우고 끈질기게 실천하여 결과로 말하는 디지털시대의 리더가 되는 각오를 새롭게하면서 글을 맺고자 합니다.

2006년 6월