

KEC에 부합한 공동주택 동력부하용
차단기 규격 선정을 위한 전동력 특성 분석

연구기획 2023-060호

KEC에 부합한 공동주택 동력부하용 차단기 규격 선정을 위한 전동력 특성 분석

지은이 안현성, 이기홍, 안영성, 강석윤
발행인 김홍배
발행처 한국토지주택공사 토지주택연구원
주 소 (34047) 대전 유성구 엑스포로 539번길 99
홈페이지 <http://lhi.lh.or.kr>

전화번호 042-866-8654
이메일 hsan@lh.or.kr

이 출판물은 우리 공사의 업무상 필요에 의하여 연구 검토한 기초자료로서 공사나 정부의 공식적인 견해와
관계가 없습니다.

우리 공사의 승인 없이 연구내용의 일부 또는 전부를 다른 목적으로 이용할 수 없습니다.

KEC에 부합한 공동주택 동력부하용 차단기 규격 선정을 위한 전동력 특성 분석

Analysis of Motor Power Characteristic for Selection of
Circuit-breaker for Power Load in Apartment for KEC Conformance

안현성·이기홍·안영성·강석윤

참여연구진

연구책임

안현성 LH 토지주택연구원 수석연구원

연구진

안영성 LH 토지주택연구원 주임

이기홍 (전)LH 토지주택연구원 연구위원

강석운 LH 공공주택전기처(전) 차장

연구심의위원

김 산 LH 세종특별본부(전) 차장

김세동 두원공과대학교 교수

노선기 LH 공공주택전기처(전) 부장

민찬식 한국폴리텍대학 성남캠퍼스 교수

송준석 LH 경기남부지역본부 부장대우

이동건 LH 토지주택연구원 수석연구원

이우종 KEPCO 전력연구원 선임연구원

이평옥 LH 공공주택전기처 부장

천영수 LH 토지주택연구원 선임연구위원

최지훈 LH 경기남부지역본부(전) 차장

연구요약 Summary

- 본 연구의 목적은 2021년부터 시행된 한국전기설비규정(Korea Electro- technical Code, KEC)에 부합한 LH 공동주택 동력부하용 차단기 규격선정을 위한 객관적이고 신뢰성 있는 설계 계수를 도출하는 것임.
- 차단기 규격선정을 위한 중요 계수는 기동배율(β), 차단기 규격동작배율(δ)로써 적절한 설계 계수를 도출하기 위해서는 제조사의 특성값과 현장 측정값을 분석하는 것이 필요함.
- 제조사에서 제공하는 기동전류 및 구속전류를 토대로 LH 설비의 종류와 용량을 고려하여 제조사 중심의 기동배율을 1차적으로 도출하였으며, 차단기 규격동작배율을 검토하기 위해 제조사의 순시, 한시특성을 차단기 용량별로 분석하였음.
 - 전동기 기동배율 : 7개 제조사 데이터 취득 및 주요 3사의 데이터 세부 분석 후 기동방식 별, 용량 별 적합한 기동배율을 도출
 - 차단기 규격동작배율 : 11개 제조사 데이터 취득 및 분석(순시, 한시특성)하여 차단기 용량 별로 제조사 중 기동방식마다 정해진 차단기 동작시간 별 최소값을 도출
- 또한, 공동주택 주요 동력설비에 대해서는 전력분석기를 통해 기동 특성을 측정하였으며, 앞서 분석된 제조사 중심의 특성과 비교하였음. 특히, 현장 기동시간의 분석은 차단기 최소 규격동작배율을 결정하는 매우 중요한 요소임.

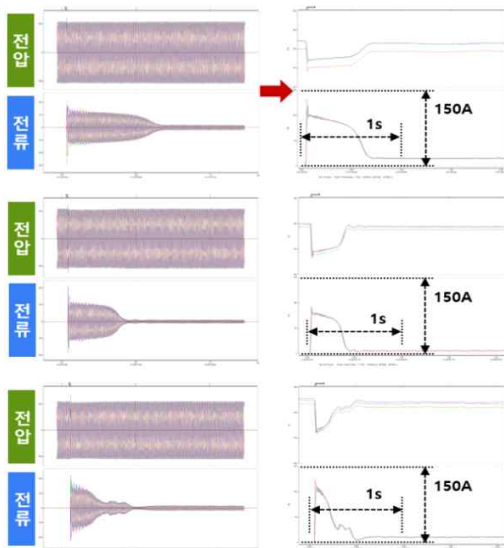
[국내 제조사 데이터시트 분석을 통한 기동배율 제안]

상수	용량	기동방식	현재 기동배율	제안 기동배율
단상	0.1~0.75kW	-		
3상	0.75~2.2kW	직입	7.2	9.5
	3.7~11kW	직입		8.2
	15~45kW	Y-D		7.2
	55~200kW	리액터		7.7

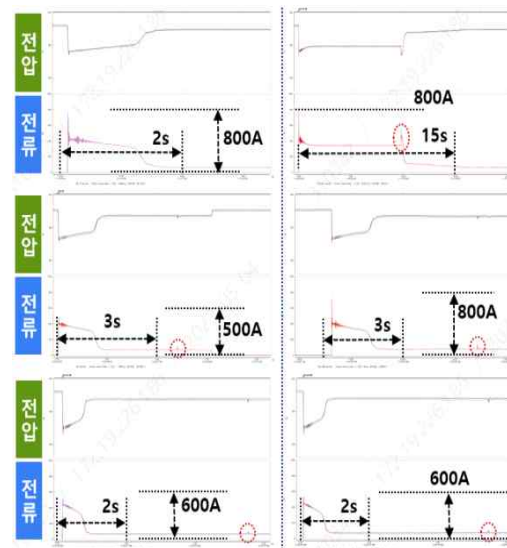
[차단기 최소동작별 최소 규약동작배율 결정]

AT	2s	4s	6s	10s	15s	20s
20	3.5	2.7	2.3	2	1.8	1.6
32	3.5	2.7	2.3	2	1.8	1.6
40	5.5	4	3.2	2.5	2.2	2
50	5.5	4	3.2	2.5	2.2	2
63	5.5	4	3.2	2.5	2.2	2
80	5.5	4	3.2	2.5	2.2	2
100	5.5	4	3.2	2.5	2.2	2
125	7.2	6	5	4	3.2	2.8
150	8	7	6.5	5	4	3.5
175	8	7	6.5	5	4	3.5
200	8	7	6.5	5	4	3.5
225	8	7	6.5	5	4	3.5
250	8	7.5	6.5	5	4	3.5
300	8	7.5	6.5	5	4	3.5
400	8	7.5	6.5	5	4	3.5

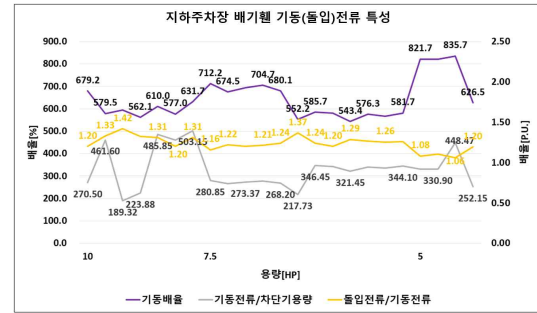
■ 현장 분석은 약 20개 단지를 대상으로 직입기동용 설비와 리액터기동 설비들에 대한 기동전류, 돌입전류, 비대칭계수, 전압강하, 기동시간 등에 대한 분석을 진행하였음. 이를 바탕으로 측정값, 현재 설계값, 제조사 특성값을 비교분석하여 규격선정에 요구되는 계수를 최종적으로 검토하였음.



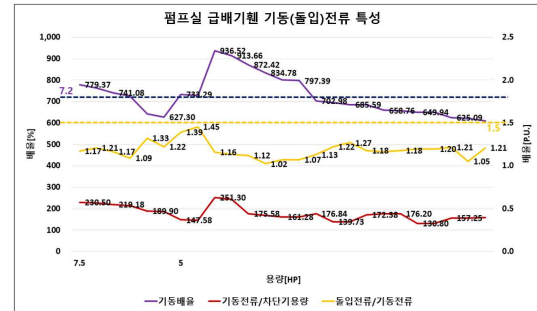
[배기휰 직입기동특성 파형]



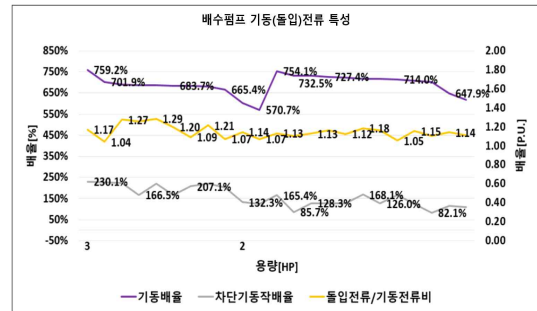
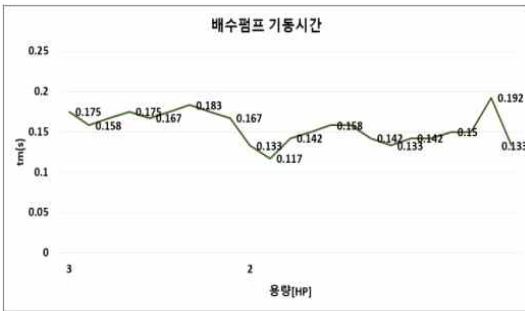
[소방펌프 리액터기동특성 파형]



[지하주차장 배기팬-직입기동 현장측정 결과]

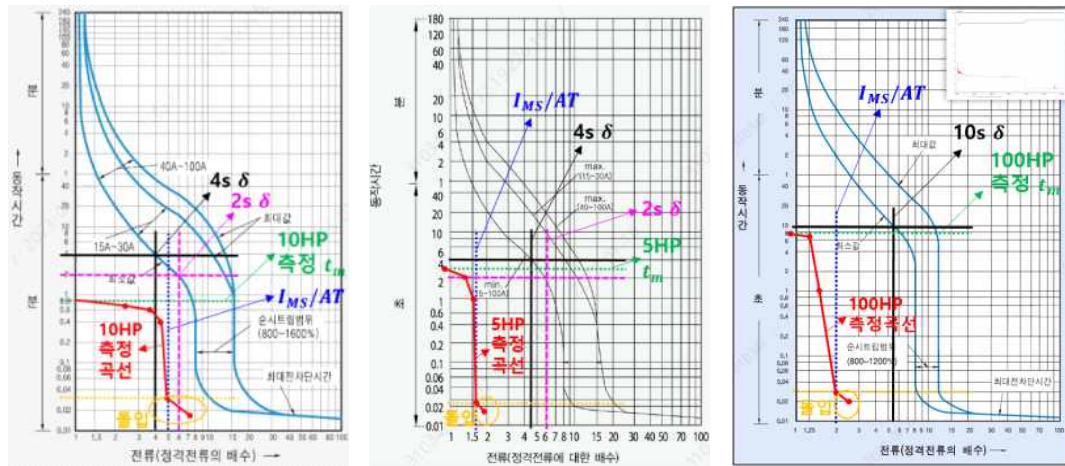


[펌프실 급배기팬-직입기동 현장측정 결과]



[배수펌프-직입기동 현장측정 결과]

- 측정된 기동배율은 현재 설계 기준과 제조사 특성값과 비교하여 적절한 차단기규격선정을 위한 설계 계수를 제안하였음. 측정값의 최대값과 제조사의 값을 비교하였을 때 제조사의 값을 토대로 적용하는 것이 적절한 것으로 판단함. 이에 따라 현재 설계기준보다 기동배율은 큰 값을 가지게 됨.
- 또한, 분석된 현장 기동특성 값을 토대로 차단기 특성곡선과 비교하여 동작의 안정성을 분석하였으며, 직입기동 설비의 기동시간이 짧음에 따라 직입기동의 차단기 동작시간 기준을 현재 4s에서 2s로 감소시키는 것을 검토함. 2s로 감소되는 것은 최소 규약동작배율은 커지게 되어 차단기 용량은 감소할 수 있음.



[측정된 기동특성과 차단기 특성곡선의 비교 분석]

- 현재 적용 중인 차단기를 비롯하여 설계 계수 변경에 따른 차단기 용량 감소를 고려하여 기동특성과 차단기 특성을 비교하였을 때 안정적인 것으로 나타났음.
- 최종적으로, 분석된 결과를 통해 제안된 설계 계수는 공사 중인 단지설계 계산서에 반영하여 차단기 용량에 대한 변화를 검토하였으며, 지하주차장 배기팬의 차단기 용량이 감소하였고 다른 설비의 차단기 용량이 작아지지는 않았음. 다만, 케이블 규격선정에 따라 규격이 달라지기에 단지 별로 결과는 상이할 것임.

[차단기 규격선정 설계계수 변화에 따른 차단기 및 케이블 규격 변화]

구 분	부하명	용량	변경전		변경후(②+③)		변경후(①+②+③)	
			차단기	배선	차단기	배선	차단기	배선
주 동	제연급기팬	5.5kW	50/40	HFIX 10mm ²	←	←	←	←
	제연급기팬	7.5kW	50/40	HFIX 10mm ²	←	←	←	←
지하 주차장	배기팬	3.7kW	32/32	HFIX 4mm ²	32/20	HFIX 2.5mm ²	32/20	HFIX 2.5mm ²
	소방펌프	75kW	400/300	FR-8 150mm ²	←	←	←	←
	소방충압펌프	3.7kW	32/32	FR-8 6mm ²	32/20	FR-8 2.5mm ²	32/32	FR-8 6mm ²
기계실	급배기팬	7.5kW	50/40	F-CV 10mm ²	←	←	←	←
	난방순환펌프	0.75kW	32/20	F-CV 2.5mm ²	←	←	←	←

주제어

공동주택, 동력설비, 직입기동, 리액터기동, 인버터기동, 차단기, 기동배율, 규약동작배율

차 례 Contents

제1장 연구의 개요

1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구내용 및 수행방법	3
2.1 동력부하 기동 특성 분석	3
2.2 차단기 및 전동기 주요 계수 분석과 데이터화	5
2.3 연구수행 체계	7
3. 선행연구와의 차별성	8

제2장 공동주택 동력부하용 차단기 규격선정 방법

1. 공동주택의 동력부하 특성	11
1.1 전동기 기동방식	11
1.2 LH 공동주택 동력설비와 기동방식	16
2. 동력부하용 차단기 규격선정계수	19
2.1 기동방식 별 차단기 규격선정(LH설계기준)	19
2.2 차단기 선정을 위한 분석 대상 계수	22

제3장 전동기 기동배율과 차단기의 동작특성

1. 전동기 기동배율 특성 분석	25
1.1 분석개요	25
1.2 기동배율 특성값	26
1.3 기존설계계수와 분석결과 비교 분석	30
2. 차단기 동작 특성 분석	34
2.1 분석개요	34
2.2 차단기 규약동작배율 특성값	37

제4장 공동주택 동력부하의 기동특성 분석

1. 분석 개요	43
1.1 측정대상 및 측정단지	43
1.2 측정방법 및 분석방안	44
2. 직입기동 동력부하 측정결과 및 분석	47
2.1 지하주차장 배기팬	47
2.2 펌프실 급배기팬	54
2.3 배수펌프	60
2.4 충압펌프	65
3. 리액터기동 소방펌프 측정결과 분석	66

제5장 차단기 규격선정의 검토

1. 현장 기동특성 및 제조사 특성 비교 분석	71
1.1 제조사 기동배율과 측정 기동배율의 비교	71
1.2 공동주택 동력부하 기동 특성과 차단기 특성곡선 비교	75
2. 계수 변화와 차단기 규격 선정	81
2.1 기동배율 계수 변화에 따른 차단기 규격	81
2.2 규약동작배율 변화에 따른 차단기 규격	82

제6장 결론

참고문헌

표 차례 List of Tables

[표 1-1] 주요 계수 별 연구목표	2
[표 1-2] LH공동주택 주요 동력설비의 기동방식과 용량범위(측정대상 음영표기)	4
[표 1-3] 연구내용 및 연구방법	7
[표 1-4] 선행연구 논문	8
[표 2-1] 설비별 기동방식과 용량	17
[표 2-2] 전동기 보호장치의 구성	19
[표 2-3] 전동기의 기동전류 선정시 계수	21
[표 3-1] 전동기 제조사의 용량별, 극수별 기동배율	27
[표 3-2] 전동기 제조사의 용량별, 극수별 기동배율	28
[표 3-3] 기동방식별 기동배율 최대값	29
[표 3-4] 주요 동력부하 설비별 용량 및 극수	29
[표 3-5] 용량별 극수별 최대 기동배율(기동방식 구분)	31
[표 3-6] 동력부하 용량 분포와 전동기 극수를 고려한 기동배율의 제안	32
[표 3-7] 기존 기동배율과 제안된 기동배율에 대한 기동전류 설계값 비교	33
[표 3-8] 30AF/50AF 용량의 순시특성 및 동작 시간별 배율 최소값	37
[표 3-9] 60AF/63AF,100AF 용량의 순시특성 및 동작 시간별 배율 최소값	38
[표 3-10] 125AF/225AF/250AF 용량의 순시특성 및 동작 시간별 배율 최소값	39
[표 3-11] 400AF이상 용량의 순시특성 및 동작 시간별 배율 최소값	40
[표 3-12] 차단기 최소동작별 최소 규약동작 배율값 결정	41
[표 4-1] 측정대상의 설비와 기동방식 분류	43
[표 4-2] 지하주차장 배기팬 주요 사양	47
[표 4-3] 환ลม 배기팬 기동 특성 결과표	51
[표 4-4] 배기팬 설계기준의 규약동작배율과 2s 시 규약동작배율	53
[표 4-5] 제조사별, 극수별 기동배율 특성	55
[표 4-6] 급배기팬 설비 기본 사양	55

[표 4-7] 펌프실 급배기웁 기동 특성 결과표	58
[표 4-8] 배수펌프 기동특성 결과표	62
[표 4-9] 소방펌프설비 주요 사양	66
[표 4-10] 소방펌프 기동 특성 결과표	69
[표 5-1] 제조사 데이터에 기반한 기동배율의 제안	72
[표 5-2] 배기웁의 설계기준 와 측정값 의 비교	73
[표 5-3] 지하주차장 배기웁과 펌프실 급배기웁의 측정된 기동배율 비교	73
[표 5-4] 소방펌프의 데이터시트 기동배율과 측정결과 기동배율 비교	74
[표 5-5] 기동방식별 차단기 동작시간 현재값과 제안된 값	80
[표 5-6] 기동배율 계수 변경에 따른 차단기용량 변화비교	81
[표 5-7] 차단기 최소동작시간 감소 시 차단기 용량 변화 비교	83
[표 5-8] 차단기 최소동작시간 감소 및 기동배율 변경 시 차단기 용량 변화 비교	84

그림 차례 List of Figures

[그림 1-1] 측정위치 선정 예시 - 급배기웬	5
[그림 2-1] 직입기동 회로구성	12
[그림 2-2] Y- Δ 기동 회로구성	13
[그림 2-3] 콘돌퍼기동 회로구성	13
[그림 2-4] 리액터기동 회로구성	14
[그림 2-5] 인버터기동 회로구성	15
[그림 2-6] 공동주택 동력부하	16
[그림 2-7] 소방펌프 용량에 따른 기동설비 차이	18
[그림 2-8] 전동기 기동특성과 차단기 특성곡선과의 관계	20
[그림 2-9] 기동전류를 고려하여 조정된 차단기 규격 선정 (좌) 조정 전 (우) 조정 후	22
[그림 3-1] 제조사별 전동기 데이터시트 예시((좌)정우전기 사양서, (우)하이젠 사양서)	26
[그림 3-2] 차단기 동작 특성곡선 예시((좌)대륙 카탈로그, (우)제일전기공업 카탈로그)	34
[그림 3-3] 차단기 규약동작배율 분석 과정	35
[그림 3-4] A사 동작 시간 별 분석 예시	35
[그림 3-5] B사 동작 시간 별 분석 예시	36
[그림 4-1] 전력분석기 설치 예시	44
[그림 4-2] 진상콘덴서 전후 위치에 대한 기동특성 비교 (위) 5HP (아래) 10HP	45
[그림 4-3] 직입기동 특성파형 분석계수	46
[그림 4-4] 리액터기동 특성파형 분석계수	46
[그림 4-5] 10HP 배기웬 기동특성 파형 (좌) 이벤트 파형, (우) 실효값	48
[그림 4-6] 7.5HP 배기웬 기동특성 파형 (좌) 이벤트 파형, (우) 실효값	49
[그림 4-7] 5HP 배기웬 기동특성 파형	49
[그림 4-8] 배기웬 용량별 기동시간과 기동배율	50
[그림 4-9] 배기웬 기동배율 및 기동초기 시 기동전류와 차단기용량의 비	52
[그림 4-10] 웬룸 배기웬 분전반 유인웬 제어 설비와 지하주차장 내 유인웬	53

[그림 4-11] 유인웬 동시기동 개수 별 기동전류 파형	54
[그림 4-12] 펌프실 7.5HP 급배기웬 기동파형 (좌) 급기웬 (우) 배기웬	56
[그림 4-13] 펌프실 5HP 급배기웬 기동파형 (좌) 급기웬 (우) 배기웬	57
[그림 4-14] 3HP 급배기웬 기동파형	57
[그림 4-15] 급배기웬 기동시간 추이	59
[그림 4-16] 급배기웬 기동배율 및 기동초기 시 기동전류와 차단기용량의 비	59
[그림 4-17] LH 공동주택 배수(수중)펌프 구성	60
[그림 4-18] 3HP 배수펌프 기동파형	61
[그림 4-19] 2HP 배수펌프 기동파형	61
[그림 4-20] 배수펌프 기동시간과 차단기 특성 비교 예시	62
[그림 4-21] 배수펌프 용량별 기동시간	63
[그림 4-22] 배수펌프 기동배율과 초기기동 시 기동전류와 차단기용량의 비	63
[그림 4-23] 배수펌프 1개 기동과 2개 동시 기동 특성 비교	64
[그림 4-24] 충압펌프 기동파형(5HP)	65
[그림 4-25] 리액터기동 소방펌프 제어설비 구성과 전류 클램프 설치	67
[그림 4-26] 100HP 소방펌프의 부하 차이에 따른 기동특성 차이 (좌) 무부하 (우) 부하	67
[그림 4-27] 75HP 소방펌프의 부하 차이에 따른 기동특성 차이 (좌) 무부하 (우) 부하	68
[그림 4-28] 주펌프와 예비펌프의 타이머 설정 차이 (좌) 주펌프 (우) 예비펌프	69
[그림 5-1] 지하주차장 배기웬 기동곡선 추이	76
[그림 5-2] 펌프실 급배기웬 기동곡선 추이	77
[그림 5-3] AT 감소에 따른 기동곡선 추이(급배기)	78
[그림 5-4] 소방펌프 기동곡선과 차단기 특성곡선 비교	79

제1장 연구의 개요

1. 연구의 배경 및 목적

■ 한국전기설비규정(Korea Electro-technical code, KEC)의 제정

- 2021년 1월부터 시행된 한국전기설비규정(KEC)에 따라 2021년 12월에 KEC 부합화 LH 전기설계기준 수립이 되어 2022년 이후 설계부터 적용 중임.
- 『KEC 부합화 LH 전기설계기준』 중 “케이블 및 보호장치 규격선정” 분야에 동력부하의 보호장치 규격 선정에 따라서 차단기를 선정하게 되며, 동력부하의 전동기 기동(돌입)전류, 차단기 규약동작배율 등을 고려하여 차단기 정격을 설계함. 또한, 차단기를 선정함에 있어 케이블 설계 기준과 연계됨.
- 기존 전동기용 차단기 선정과는 달리 KEC 제정에 따라 다양한 선정 계수들이 포함된 공식을 기반으로 한시특성(기동전류)과 순시특성(기동돌입전류)을 고려하여 차단기를 선정하며, 선정 방법은 직입기동, 리액터기동, 인버터(VVVF)기동 등 전동기의 기동방식에 따라서 기동(돌입)전류의 특성이 상이하여 달라짐.

■ 차단기 선정을 위한 주요 계수 분석의 필요성

- 동력부하용 차단기 선정에는 다양한 계수(파라미터)들을 포함하고 있으며, IEC국제 표준을 기초로 한 표준값을 대부분의 계수 값으로 사용 중임.
- 하지만, 차단기 및 전동기 제조사에 따라서 기기 별 특성이 상이하여 동일한 계수에 대해서도 다양한 값이 제시되고 있으며, 특히, 전동기의 전전압기동배율(β) 계수와 차단기의 규약동작배율(δ) 값이 제조사 별로 큰 차이를 가짐.
 - 추가적으로 차단기의 규약동작배율(δ)을 결정하기 위해서는 전동기의 기동 시간(t_m) 정보가 중요
- LH 전기설계기준에서의 전동기 전전압기동배율(β)은 권장값(4 ~ 10)의 평균값($\beta = 7.2$)을 대략적으로 적용하고 있으며, 규약동작배율(δ)은 공공성에 기인하여 국내 차단기의 특성 곡선 중 최소값을 적용하여 상향된 규격을 선정하고 있음.

- 이와 같이, 합리적인 차단기 선정에 있어 필수적으로 요구되는 특성 계수들의 값에 대한 명확한 근거와 분석된 데이터가 부족한 실정임. 특히, 건축물의 용도와 규모, 전기설비의 용량 등을 고려하여 신뢰성 있고 객관적인 자료를 토대로 차단기를 설계하는 것이 필요함.

■ 연구 수행 목적

- 차단기 규격 선정에 요구되는 계수의 표준 마련을 위한 기기의 특성 계수 데이터 수집 및 분석을 주요 목적으로 하여 객관적이고 신뢰성 있는 차단기 설계 파라미터 확보와 설계 기준 강화를 위해 연구를 수행하고자 함.
- 차단기 선정과 관련된 계수 중 본 연구과제에서 대상으로 하는 계수와 수행 목표는 다음과 같음.

[표 1-1] 주요 계수 별 연구목표

계수	연구목표
전동기 전전압 기동배율(β)	국내 주요 전동기 제조사의 기동전류 및 구속전류 분석을 통한 LH 전기설비 별 기동배율 검토
차단기 규약동작배율(δ)	국내 주요 차단기 제조사의 특성곡선 분석과 차단기 동작 시간 별 규약동작배율 도출
전동기 기동시간(t_m)	현장 측정을 통한 공동주택 동력부하용 전동기의 기동시간 및 기동배율 확보

- 연구 목표에 따라서 LH 공동주택에서의 광범위한 측정과 활용 가능한 데이터를 기반으로 차단기 규격 선정에 필요한 세부적인 근거 마련과 LH 전기설계기준 관리에 요구되는 데이터를 구축하고자 함.

2. 연구내용 및 수행방법

■ 연구 주요 내용은 공동주택의 동력부하용 전동기의 실측을 통한 기동특성 분석과 차단기 선정의 주요 계수를 분석하는 것으로써, 크게 두 가지 연구내용으로 구분하여 연구를 수행하게 되며, 세부적으로는 현장 측정을 통한 분석과 전동기, 차단기 각각의 제조사 데이터 분석으로 구분하여 세 가지의 연구내용을 수행함.

- 공동주택 동력부하 기동 특성 분석
- 차단기 및 전동기 주요 계수 분석과 데이터화

■ 세부적으로 수행되는 연구 내용의 결과는 서로 비교하여 LH 공동주택의 동력부하용 차단기 선정을 위한 계수를 도출할 것이며, 설계 시뮬레이션을 통해 계수 변화에 따른 결과를 도출하고자 함.

2.1 동력부하 기동 특성 분석

■ 공동주택의 동력부하와 측정대상

- LH 공동주택 대부분의 동력부하 용량이 소방펌프를 제외하고 20HP이하로 설치되어 직입기동 위주로 측정하게 되며, 직입기동 설비 중 기동횟수가 많고 용량이 큰 급배기팬과 배수펌프를 집중적으로 측정하여 분석하고자 함.
- 또한, 공동주택 동력부하 중 유일하게 리액터 기동인 소방펌프를 측정하며, 소방펌프와 함께 동작하는 소방 충압펌프를 측정하고 분석함.
- 인버터(VVVF) 기동은 급수펌프, 난방(환수)펌프, 승강기 운전에서 사용 중에 있으며, 세부적인 분석을 통해 계수 도출보다는 기동 특성을 확인하기 위한 정도로 측정을 수행하고자 함.
 - 용량이 큰 설비는 급수펌프와 승강기로 제조사, 설비 구조에 따라 특성이 상이, 기동 시간이 빠르고 기동 전류가 발생하는 급수 설비를 대상으로 수행(특정 제조사)
- 이에 따라 현장 측정은 기동(돌입)전류와 기동시간을 분석하는 것을 목표로 하나, 다양한 부하에 대해 현장에서의 기동시간 측정데이터가 없는 점과 제조사에서 제공 가능한 데이터에 한계 있다는 점을 고려하여 동일 설비에 대해서도 다수의 단지에서 반복 측정함.

[표 1-2] LH공동주택 주요 동력설비의 기동방식과 용량범위(측정대상 음영표기)

구분		기동방식	전동기 용량 범위
펌프	소방(주)	리액터 Ⅱ y-d	20HP - 150HP
	소방(예비)	리액터 Ⅱ y-d	20HP - 150HP
	소방충압	직입	5HP - 15HP
	난방순환	인버터	5HP - 20HP
	급탕순환	직입	1HP - 10HP
	급수	인버터	2HP - 20HP
	배수	직입	0.5HP - 5HP
휀	급배기	직입	0.5HP - 15HP
	제연	직입 Ⅱ y-d Ⅱ 인버터	3HP - 20HP
기타	승강기	인버터	10kW - 15kW

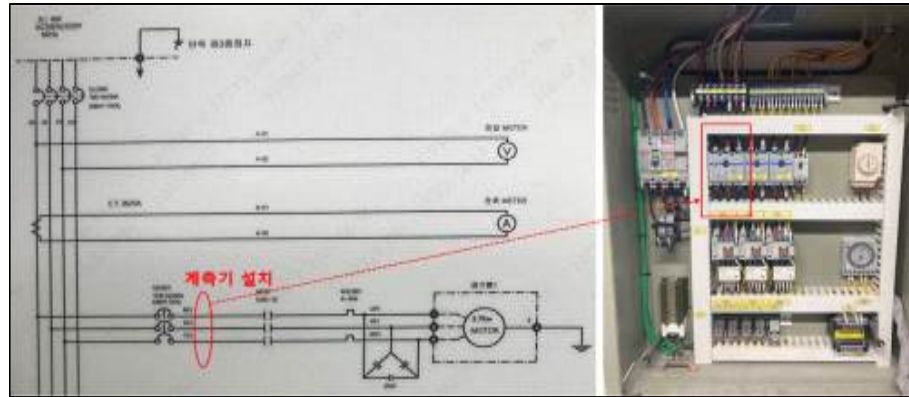
- 추가로, 공동주택의 동력부하용 전동기 및 차단기에 대한 사양을 모두 정리하여 LH 공동주택에 적합한 설계 계수 도출을 위한 자료로 활용할 계획임.

■ 기동특성 측정 및 분석방법

- 기동시 기동배율 및 기동시간 측정은 전력분석기의 돌입모드(Inrush mode)를 활용하여 측정하며, 모니터링 프로그램을 통해 측정된 기동 파형의 기동전류, 돌입전류, 기동시간 등의 차단기 선정에 요구되는 계수를 도출함.
 - 설비의 기계적 특성, 풍량, 유량 등 부하의 특성에 따라 달라질 것으로 보이며, 본 연구에서는 ms, μ s 단위의 시간 분석이 요구되지 않아 전력분석기를 활용
 - 측정 이전에는 단지별 동력부하 설비의 용량 분포, 제조사, 설치시기 등을 고려하여 단지를 선정하게 되며, 본 측정 이전에 사전 측정을 수행하여 측정 범위와 대상을 명확히 하여 수행
 - 측정은 동일 용량, 동일 제조사일지라도 단지 별 부하의 특성이 다르고 직입기동 시 전동기의 초기 회전자 위치가 다를 것이므로 반복적으로 측정 수행
 - 소방펌프의 경우는 상시 부하가 아닌 화재 시 동작하는 설비로 측정하는 것에 한계가 있어 단지별 소방 작동기능점검 또는 정밀점검에 입회하여 측정을 진행
- 기동 결과는 제조사 별, 용량별, 기동방식별로 데이터화 시키며, 전동기와 차단기의 제조사에서 제시하고 있는 데이터와 비교 분석을 진행함.

■ 계측기의 측정위치

- 모든 측정 위치는 측정 대상(전동기)에서 가장 가까운 인입부에서의 측정을 원칙으로 하고 각각의 설비 위치를 확인하여 제어반 또는 분전반의 차단기에서 측정함.
- 직입기동 동력 설비에는 저압 진상용 콘덴서가 위치하는 만큼 사전 측정을 통해 측정 위치를 확정하고 진행 필요함.



[그림 1-1] 측정위치 선정 예시 - 급배기팬

■ 수행방법

- 관련기관의 지침, 설계예시, 학술자료, 장비일람표 등의 검토 및 관련 전문가 자문 등의 방법을 통해 연구과제에 필요한 전문적인 내용을 사전 정리함.
- 연구 계획 단계에서 측정대상의 수와 범위를 선정하는 것에 한계가 있으므로 측정대상, 측정방법, 측정횟수는 수시로 실무협의를 통해 확장하며, 지역본부 및 측정 단지의 협조를 통해 측정 진행함.
 - 측정 대상 및 범위의 선정을 위해서 사전 측정과 본 측정으로 구분하여 진행
- 측정과정의 고도화를 위해 측정 결과는 1개 단지 종료 후 바로 분석을 수행하며, 다음 측정 단지에 대한 위치 및 방법에 대해 이전 측정단지의 결과를 반영

2.2 차단기 및 전동기 주요 계수 분석과 데이터화

■ 차단기 특성곡선 분석 - 전동기 기동시간(t_m)에 따른 규약동작배율(δ)

- 차단기 특성곡선의 데이터화와 현장 기동 특성과의 비교를 목적으로 수행하며, 동력 부하 분기회로에 위치한 산업용 배선차단기(MCCB) 및 산업용 누전차단기(CBR)를 대상으로 분석함.

- 국내에 설치되고 있는 10여개의 주요 제조사를 대상으로 하여 기동방식 별 전동기 기동시간(t_m)을 기준으로 해당 시간 별 규약동작배율(δ) 분석을 진행함
- 분석 대상은 LH 공동주택에 설치된 차단기 제조사의 것을 기본적으로 수행하며, 설치된 차단기 모델에 대해서는 실측과 비교 분석하기 위해 필히 수행함.
- 차단기 한시 특성(I_{MS})과 순시 특성(I_{MI})을 모두 분석하며, 현장 실측값의 분석 결과를 토대로 차단기 선정의 타당성을 추가적으로 검증하고자 함.

■ 전동기 특성 계수 분석 - 기동전류배율(β)

- 전동기 특성 계수 분석의 주요 목적은 차단기 선정을 위한 주요 계수 중 하나인 기동전류배율(β)값을 수집하고 분석하는 것으로 제조사 별 사양서(데이터시트)를 활용하여 수행함.
- 국내 전동기 주요 제조사에 대해 기본적으로 수행하며, 세부적인 분석 대상은 현장 측정 사전 조사를 토대로 제조사와 전동기 세부모델을 정하여 수행함.
- 현장 측정에서의 기동 특성 분석 결과는 해당 계수 분석의 결과와 비교 분석하여 제조사의 공개용 데이터의 활용 범위도 추가적으로 확인함.
- 또한, 현재 “LH 전기설계기준-차단기 규격선정”에 적용 중인 기동전류배율(β , 7.2)의 타당성 확인 또는 수정의 필요성 등의 결과를 도출하고자 함.

■ 수행방법

- 국내 주요 제조사별 차단기 및 전동기 사양서를 취합하고 공동주택에 적합한 설치용량 범위를 선정하여 특성 계수를 자체 분석함.
 - 필요 시 차단기 및 전동기 제조사의 기기 별 특성에 대해 자문회의를 개최
- 차단기 : 특성곡선을 토대로 차단기 규격선정 기준의 “전동기 기동시간(t_m)”에 해당하는 차단기 규약동작배율(δ)을 분석
 - 차단기 특성곡선은 차단기 동작 시간에 따른 규약동작배율을 제시, 본 연구에서 차단기 동작 시간을 전동기 기동시간(t_m)을 기준으로 분석
- 전동기 : 전동기별 데이터시트의 기동전류(Starting current) 또는 구속전류(Locked rotor current)를 정리하여 정격부하전류 대비 기동전류배율(β)을 분석
 - 용량, 제조사, 기동방식, 극수 별로 구분하여 분석하며, LH 공동주택 동력부하의 용량 범위로 한정하여 계수를 검토

2.3 연구수행 체계

- 전체적인 수행은 사전조사를 제외하고는 차단기 선정을 위한 계수 도출을 위해 연구 기간 동안 모든 내용을 병행하여 수행함.
- 연구 내용은 현장 중심의 결과를 도출하는 것으로 세 가지의 연구 내용을 통해 도출된 계수를 토대로 설계 계산서 시뮬레이션을 수행하여 계수 변경에 대한 결과를 도출함.

[표 1-3] 연구내용 및 연구방법

단 계	주요 연구내용	연구방법	
사전 조사	· 차단기 설계 기준 사례 · 차단기, 전동기 제조사 별 데이터 공개 범위 검토 · 전기협회 등의 KEC 관련 자료 확인	· 문헌을 통한 자료 조사 / 분석 · 국내 차단기 및 전동기 제조사의 데이터 시트 취합 및 사전검토	· 학술자료 · 전문가 자문 · 데이터시트
↓			
기동 특성 분석	· 측정 대상 선정 · 현장 측정 · 기동 특성분석	· 20여개 이상 단지 선정 및 설비 종류 사전 조사(설비명판 확인) · 본사, 지역본부, 관리사무소 협조 · 설비 별 수동 조작을 통한 측정 수행 · 데이터분석 및 기동특성 테이블 작성	· 자체 수행 · 현장 조사 · LH 내부자료
↕			
차단기 및 전동기 특성 분석	· 차단기 규약동작배율 분석 · 전동기 전전압기동배율 분석	· 국내 차단기 제조사 데이터 특성 곡선 분석 (11개사) - 기동시간(t_m)과 동작배율(δ) 관계 · 국내 전동기 제조사 데이터시트 계수 분석 : 기동전류 특성(β) · 규약동작배율 및 기동배율에 대한 데이터 테이블화 작업	· 데이터시트 · LH 내부자료 · 실무협의
↕			
LH 설계기준 최종검토	· 분석 결과를 토대로 협업부서와의 설계 기준 검토	· 분석된 데이터 검토 · 분석된 자료를 토대로 KEC 및 LH전 기설계기준 검토 · 설계 계산서 시뮬레이션	· 실무협의

3. 선행연구와의 차별성

■ 선행연구

- 차단기는 전기설비의 보호장치로 공동주택 이외에도 모두 설치되어 설비 및 케이블 보호를 목적으로 사용되고 있음.
- 이에 따라 차단기와 관련된 연구는 차단기 기술 개발, 차단기 특성 연구, 성능 연구, 노후화 분석 등으로 구분되어 다양한 범위에서 논문이 발표되었으며, 최근 KEC 제정에 따라 차단기 설계 방안에 대한 논문도 발표됨.
- 차단기는 보편적으로 사용되는 전기설비로 성능 기준에 맞춰 제조사 별로 고유의 성능을 제시하고 있으며, 차단기 선정에 활용 가능하도록 특성 곡선을 공개하고 있음.
- 차단기의 규격 선정과 관련되어 설비의 특성 분석 및 설계 계수에 대한 분석 사례는 미비하며, 현장에서의 광범위한 실측 위주의 특성 분석 사례는 확인되지 않음.

[표 1-4] 선행연구 논문

	논문명	발행기관	연도
1	A형 산업용 누전차단기의 원치않는 차단원인	한국조명·전기설비학회	2021
2	한국전기설비규정(KEC) 기준 차단기 및 케이블 설계	한국조명·전기설비학회	2021
3	다중권선 ZCT를 이용한 누전차단기의 누전 검출회로 자동진단 연구	한국조명·전기설비학회	2020
4	배전용 개폐기 및 차단기 기술 현황과 미래 개발 방향 연구	한국조명·전기설비학회	2018
5	누전차단기와 CT1 서지방호장치의 서지협조의 분석	한국조명·전기설비학회	2017
6	LED 고조파 유출이 누전차단기에 미치는 영향	한국조명·전기설비학회	2017
7	아파트 주동 분전반 노후배선용차단기(MCCB)의 성능평가 실험	한국조명·전기설비학회	2016
8	감전에 대한 인체보호용 누전차단기의 전자회로 특성분석을 통한 누전 트립 동작시간 개선에 관한 연구	한국조명·전기설비학회	2016
9	저압 배선용차단기 설계인자에 따른 절연회복특성	한국조명·전기설비학회	2016
10	고조파 전류에 따른 완전전자식 배선용 차단기의 동작특성에 대한 고찰	한국조명·전기설비학회	2016
11	IEC60364 기반의 한국형 저압전기설비 통합 실증단지 모델링 및 차단기와 케이블의 선정 방안 고찰	한국조명·전기설비학회	2015

- 2021년에 KEC가 제정되면서 대한전기협회 및 전문가에 의해 현장에서 활용가능한 자료 등이 출간되었음. 차단기 및 케이블 선정에 대한 지침을 비롯하여 “감전 및 과전류보호 설계 방법에 관한 기술지침 부록”으로 감전 및 과전류보호 설계 방법의 예시를 보여주고 있음.

■ 차별성

- 본 연구는 공동주택의 동력부하에 집중되어 차단기의 설계기준 강화를 목적으로 수행되며, 주요 내용은 현장 측정을 통한 동력부하용 전동기 특성 분석과 제조사 데이터 기반의 차단기 및 전동기 특성 분석임.
- 선행 연구 사례를 봤을 때, 차단기 선정을 위한 주요 계수 분석을 모든 제조사에 대해 통합 수행한다는 점과 다수의 공동주택 현장에서 실측을 통해 분석한다는 점에서 큰 차별성을 가진다고 판단됨.
- 또한, 공동주택의 전기설비분야 설계에 있어 LH가 선도적 역할을 수행한다는 점에서 객관적인 데이터에 근거한 공동주택 전기설비 설계기준 강화를 위해 세부적인 내용을 수행한다는 점에서 상당한 의미를 가짐.

제2장 공동주택 동력부하용 차단기 규격선정 방법

1. 공동주택의 동력부하 특성

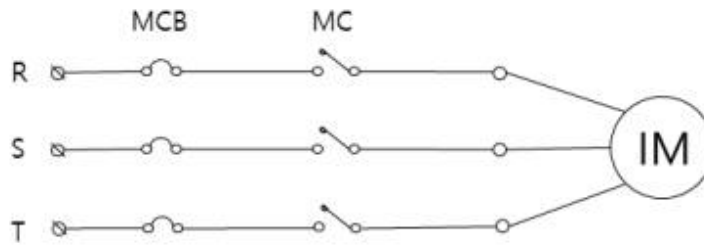
1.1 전동기 기동방식

① 직입(Direct On Line, D.O.L) 기동

- 직입(전전압)기동 또는 전동기에 전전압을 직접 인가하여 기동하는 방식으로 기동방식 중 제어방법이 가장 간단함. 직입기동의 동작순서는 시퀀스 제어회로의 릴레이 동작을 통해 전자접촉기 MC가 닫히면 전동기에 전원이 공급되어 운전하게 됨.
- 직입기동은 전부하의 1~2배 정도의 기동토크가 발생하며, 높은 가속토크로 인해 기동시간이 다른 기동 방식에 비해 짧음. 기동전류($I_{\star ting}$)는 정격전류(I_{rated})의 5~8배로 높은 전류가 흐르다가 정격속도에 도달하게 되면 감소하게 됨.

$$I_{rated} = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos\theta}, \quad I_{\star ting} = (5 \sim 8) \times I_n$$

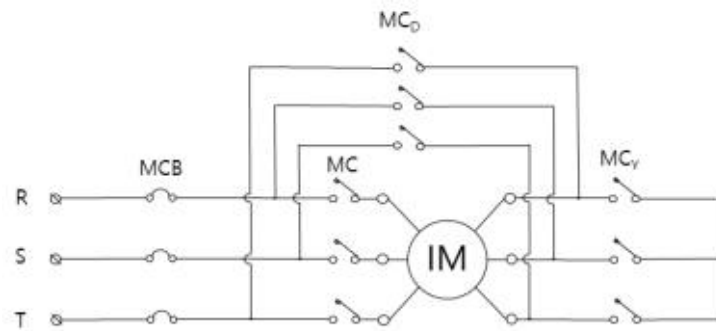
- 직입기동은 기동 시 역률이 낮아지고 정격 전류에 도달하게 되면 역률이 증가되는 특징을 가지고 있으며, 높은 기동 전류로 인해 전압강하가 크게 발생함. 전압강하는 저전압 계전기를 동작 시킬 수 있으며, 기동전류로 인한 과전류 계전기가 동작할 수 있음. 이러한 점을 고려하여 전기적, 기계적 측면에서 적절한 설비의 구성을 검토해야 함.
- 직입기동은 용량이 작은 전동기이거나 기동전류를 억제할 필요가 없는 경우, 전원 용량이 충분한 경우에 채택하지만 다음과 같은 경우에는 감전압(Y-Δ, 리액터, 콘돌퍼 등) 기동을 하여야 함.
 - 전원 용량이 충분하지 않을 경우
 - 부하의 관성모멘트(GD^2)이 크고 기동시간이 짧으면 급속한 발열로 인해 전동기가 손상을 받을 수 있는 경우
 - 기동토크로 인하여 부하에 충격을 주어서는 안 되는 경우



[그림 2-1] 직입기동 회로구성

② Y-Δ(Star-Delta) 기동

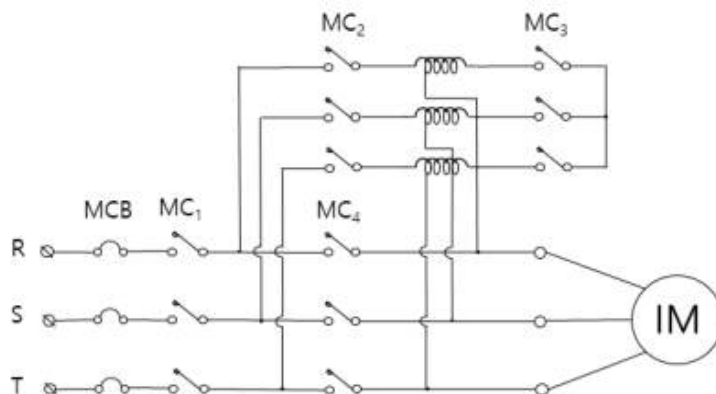
- Y-Δ 기동은 기동전류를 저감하기 위한 방법으로 Y결선으로 운전하고 정격속도에 도달하면 Δ결선으로 전환시켜 운전하는 방식임. 기동 시 Y결선으로 각 상에 인가되는 전압이 선간전압의 $1/\sqrt{3}$ 로 감압되고 기동한 후에는 Δ결선으로 접속을 바꾸어 전동기의 각 상에 전전압이 인가되어 운전함.
- Y-Δ 기동의 동작순서는 릴레이가 동작을 통해 MC, MC_Y가 닫게 되면 회로 결선은 Y결선으로 감압된 전압으로 전동기에 인가되며, 타이머 설정 시간 후 MC_Δ는 닫히게 되는데 이때 전동기는 Δ결선으로 운전함.
- 결선 특성상 Y결선으로 인가되는 상전압은 선간전압의 $1/\sqrt{3}$ 이므로 기동전류와 기동토크는 직입기동방식보다 1/3배로 감소하게 되므로 기동전류에 의한 전압강하를 경감시킬 수 있지만 Δ결선으로 전환되는 순간 전전압이 인가됨.
- Y-Δ의 기동 방식은 Y에서 Δ로 전환할 때 전동기를 전원에서 분리 전환하는 오픈 트랜지션 방식과 전원에서 분리하지 않고 전환하는 클로즈드 트랜지션 방식이 있으며, 오픈 트랜지션 방식의 경우 일반적으로 많이 사용되는 방법이며, 클로즈드 트랜지션 방식은 Y결선에서 Δ결선으로 전환 시 돌입전류를 작게 억제할 수 있는 특징이 있음.



[그림 2-2] Y-Δ기동 회로구성

③ 기동보상기(Kondorfer) 기동

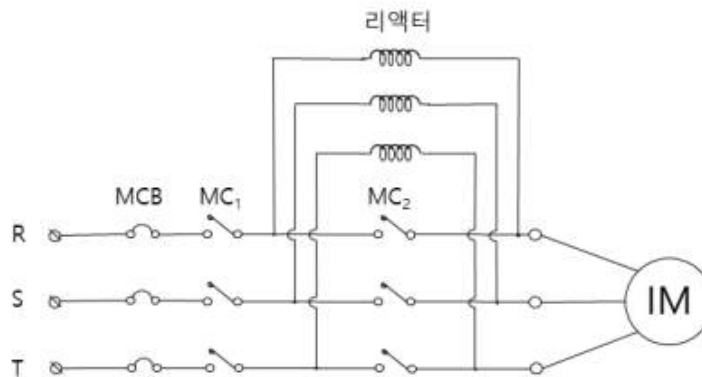
- 기동보상기 기동은 단권변압기를 이용하여 설정된 탭에 의해 저전압으로 전동기에 전원을 공급함으로써 기동전류를 억제하고 기동완료 후에는 전전압으로 가하는 방식임.
- 기동보상기의 기동순서는 릴레이 동작을 통해 이루어지며, MC₄는 개방된 상태에서 MC₁, MC₂, MC₃가 닫힌 상태로 기동하게 되면 단권변압기를 통해 전동기에는 설정된 탭 전압에 의해 기동보상기 동작으로 감전압이 인가 됨.
- 전동기가 점차적으로 정격속도에 도달 시 MC₃를 개방된 상태가 되고 리액터로 전환된 이후 MC₁과 MC₄를 닫힌 상태에서 MC₂, MC₃ 개방된 상태가 되어 정격전압으로 인가하여 전동기가 운전하게 됨. 이러한 방식은 Y-Δ와 같이 전환할 때 발생하는 서지전압을 발생을 해소시킬 수 있는 특징이 있음.



[그림 2-3] 콘돌퍼기동 회로구성

④ 리액터(Reactor) 기동

- 리액터의 기동방식은 그림과 같이 전동기와 직렬로 리액터를 삽입하여 기동 시 전동기의 전압을 리액터의 전압강하분 만큼 낮추어 기동한 후 정격속도에 도달하게 되면 리액터를 거치지 않고 전전압으로 인가하여 기동하는 방식임.
- 리액터 기동순서는 타이머에 의해 설정된 시간을 바탕으로 릴레이 동작을 통해 이루어지며, MC_2 가 개방된 상태에서 MC_1 이 닫히게 되면 리액터 탭에 의해 전동기에는 감전압이 인가 됨. 설정된 타이머가 지난 후 MC_2 는 닫힌 상태가 되고 전동기에 전전압이 인가하여 전동기는 운전하게 됨.
- 전동기에 인가되는 전압은 부하의 종류에 따라 전압 감압 50%, 65% 80% 탭으로 임의 선정할 수 있으며, 기동전류는 전압 감압비에 비례한 만큼의 감소한 전류가 흐르게 됨. 또한 기동토크는 전압 감압비의 자승에 비례함으로써 직입기동에 비해 작은 기동토크가 발생함.
- 하지만 전동기의 토크가 가속됨에 따라 전류가 감소하고 리액터 단자에 걸리는 전압이 줄어들기 때문에 전동기의 단자 전압은 상승하여 가속이 빨라지고 토크도 커지는 특징이 있음. 따라서 전압 감압을 어떤 값을 설정하는지에 따라 기동전류와 기동토크를 조절이 가능함.



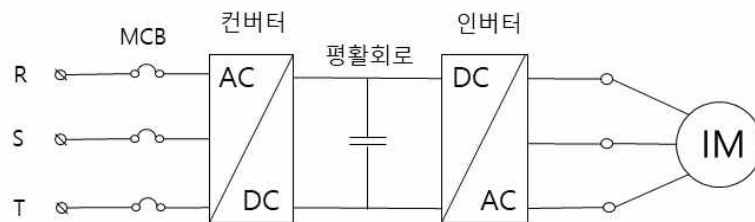
[그림 2-4] 리액터기동 회로구성

⑤ 인버터(Inverter) 기동

- 인버터 기동은 IGBT, FET 등의 전력용 반도체를 활용하여 전동기의 속도를 정밀하게 제어할 수 있는 방법으로 그림과 같이 크게 컨버터, 인버터로 구성되며, 동작원리는 상용 교류전원을 컨버터를 통해 직류로 변환시키고 평활회로에서 맥동리플을 제

거한 후 인버터(역변환장치)를 통해 임의의 주파수와 전압을 교류로 변환시켜 전동기에 전원을 인가하는 방식임.

- 공동주택의 인버터(VVVF)기동 방식은 아래 그림과 같은 구성이 대부분이기에 기본 회로도를 [그림 2-4]와 같이 표현
- 상용 전원을 이용하여 주파수와 전압이 변하는 전동기를 운전할 때 많이 쓰는 형태임. 제어는 주로 PWM(Pulse Width Modulation)방식을 통해 하며, 위 그림에서 PWM 인버터를 통해 설비의 종류에 맞는 기준값을 제어하게 됨.
- 기본적으로는 전동기의 토크 제어를 수행하게 됨. 컨버터는 인버터를 통해 전동기 측으로 전달되는 전력을 필요한 형태로 안정적으로 공급하기 위한 역할을 수행함.



[그림 2-5] 인버터기동 회로구성

1.2 LH 공동주택 동력설비와 기동방식

- 공동주택에는 입주민의 생활과 관련되어 배기팬, 급수, 난방, 승강기, 소방펌프 등의 다양한 동력부하들이 설치되어 있으며, 단지 내 사용 규모에 따라 설비용량이 결정됨.
- 공동주택의 동력부하는 종류와 용량이 다양하여 설비별로 다양한 기동방식을 통해 운전하고 있으며, 설비 별 기동 방식과 설비 용량의 범위는 표 2-1과 같음.



[그림 2-6] 공동주택 동력부하

[표 2-1] 설비별 기동방식과 용량

구분		전압	설치용량 범위 (HP)	기동방식
펌프	소방 주펌프	3상	20~125	y-d, 리액터
	소방 예비펌프	3상	20~125	y-d, 리액터
	소방 충압펌프	3상	5~15	직입
	난방순환펌프	3상	5~20	인버터
	급탕순환펌프	3상	1~10	직입
	급수펌프	3상	2~20	인버터
	동 배수펌프	1상	1~2	직입
	ELEV 배수펌프	1상	0.5~1	직입
	주차장 배수펌프	3상	1~3	직입
	조경 우수펌프	3상	1~3	직입
	부대시설 PIT 배수펌프	1상	1~3	직입
	전기실 배수펌프	3상	1~3	직입
	펌프실,저수조 배수펌프	3상	1~5	직입
	열교환실 배수펌프	3상	1~3	직입
	우수저류조 배수펌프	3상	2~3	직입
휀	제연휀	3상	3~20	직입, y-d, 인버터
	주차장 급배기휀	3상	3~15	직입
	전기실 급배기휀	3상	3~15	직입
	펌프실,저수조 급배기휀	3상	2~10	직입
	우수저류조 급배기휀	3상	2~3	직입
	열교환기실 급배기휀	1상	0.5~5	직입

- 동일 설비라도 용량 범위에 따라서 기동방식을 달리하여 운전하며, 일반적으로 15HP 미만은 직입기동을 적용하며, 15HP에서 75HP 미만은 Y-D기동, 75HP 이상은 리액터 기동을 적용함.
- 인버터 설비의 특성을 고려하여 적용되어짐.

- 인버터 기동용 설비로는 승강기, 급수펌프, 난방순환펌프 등이 있으며, 공동주택에서는 승강기와 급수펌프가 상대적으로 큰 용량을 가진 설비임.
 - 승강기 및 급수펌프의 제조사에 따라 기동 특성이 매우 상이
 - 대부분의 급수펌프는 3상 정류기를 통해 AC전원을 DC로 변환하고 다시 AC전원 변환시켜 급수펌프를 운전
 - 급수펌프설비의 인버터 제조사에 따라 기동 특성이 다르며, 본 연구에서는 기동전류가 크고 기동시간이 빠른 제조사의 것을 통해 기동 특성을 확인
 - 승강기는 앞서 설명한 급수펌프와 동일한 구조를 가진 경우도 있으나, 3상 풀브리지 정류기가 아닌 PWM 기반의 컨버터와 인버터를 통해 승강기를 운전
- 급기팬, 배기팬, 배수펌프, 급탕순환펌프 등은 직입기동을 통해 운전함. 본 연구에서 직입기동 특성 분석 주요 대상은 상대적으로 용량이 큰 지하주차장 배기팬과 펌프실의 급배기팬, 그리고 팬과 다른 부하 특성을 갖으며 공동주택에 많이 사용 중인 배수펌프임.
- 소방펌프는 공동주택의 동력부하 중 가장 큰 용량에 해당되며, 75HP 이상은 리액터 기동을 통해 기동하며, 미만의 것은 Y-D 기동을 통해 기동함.



[60HP]



[75HP]

[그림 2-7] 소방펌프 용량에 따른 기동설비 차이

2. 동력부하용 차단기 규격선정계수

2.1 기동방식 별 차단기 규격선정(LH설계기준)

[표 2-2] 전동기 보호장치의 구성

구분	주차단기	분기차단기	과전류계전기
보호 장치	산업용 배선차단기	산업용 배선차단기 또는 산업용 누전차단기	과전류, 결상(불평형), 역상, 부족전류 보호기능
기타	분기차단기 중 소화수, 급수, 배기팬, 배수펌프는 산업용 적용		

- 전동기 보호장치는 주차단기와 분기차단기, 과전류계전기로 구분되며 각각에 대한 보호장치의 조건은 위 표와 같으며, 전동기는 기동 시 기동전류 및 기동돌입전류에 의한 보호장치의 오동작을 방지하도록 전동기의 기동특성을 고려하여 보호장치를 선정해야함.
- KEC에 부합한 차단기 규격선정을 위해서는 동력부하의 케이블 규격 선정부터 시작 하게 되어 케이블 규격 선정 결과를 만족하는 차단기 규격을 선정해야함.
- 본 보고서에서는 케이블 규격 선정에 대한 부분은 생략하고 차단기 규격선정을 위한 조건을 설명함.
- 동력부하의 보호장치(차단기)의 규격 선정을 위해서는 차단기의 정격 용량(전류, I_n) 이 회로의 설계전류(I_B)보다 크고 케이블 허용전류(I_z)보다 작은 조건을 만족해야 함. I_z 는 보호장치가 규약시간 이내에 유효하게 동작하는 것을 보장하는 전류임.

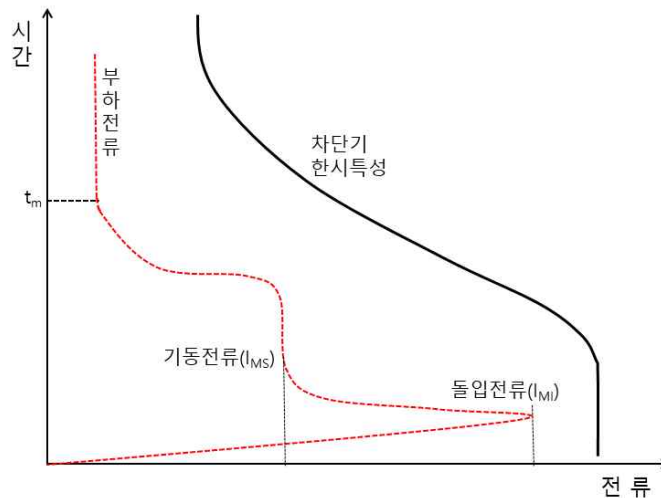
$$I_B \leq I_n \leq I_z$$

$$I_z \leq 1.45 \times I_z$$

- 회로의 설계전류(I_B)는 아래 식과 같음.

$$I_B = \frac{P}{\sqrt{3} V \cdot \eta \cdot \cos \theta} [A]$$

(P : 부하의 출력(kW), V : 부하의 정격전압(kV) η : 효율, $\cos \theta$: 역률)



[그림 2-8] 전동기 기동특성과 차단기 특성곡선과의 관계

- 전동기의 기동전류는 차단기의 한시특성과 순시특성을 고려하여 위 그림과 같이 전동기의 기동전류(I_{MS})와 기동돌입전류(I_{MI}) 보다 큰 한시특성 값, 순시특성 값을 갖는 차단기를 선정하는 것이 중요함.

- 한시특성을 고려한 차단기 정격용량

$$I_n \geq \frac{I_{MS} \times \alpha}{\delta_1} \quad \alpha : \text{설계여유 } 1.25, \quad \delta_1 : \text{차단기 규약동작배율}$$

- 순시특성을 고려한 차단기 정격용량

$$I_n \geq \frac{I_{MI} \times \alpha}{\delta_2} \quad \delta_2 : \text{순시특성 차단기 동작배율}(10)$$

- 전동기의 기동전류와 기동돌입전류는 차단기 규격을 선정함에 있어 매우 중요한 계수로 기동방식에 따라 계산하는 방법이 달라지게 됨.

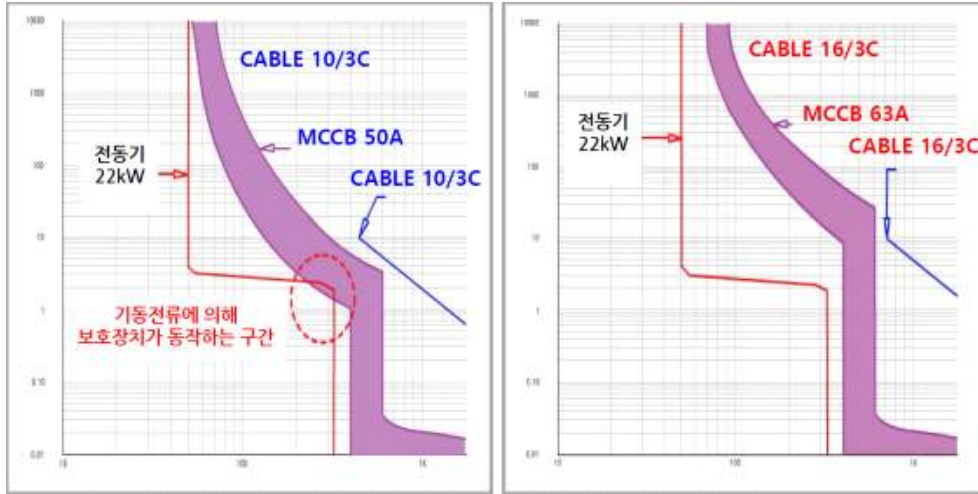
- 직입기동, Y-D기동, 리액터 기동은 직접적으로 전동기의 전기적 특성과 부하 특성에 따라 기동 특성이 결정되어 전동기의 기동전류(I_{MI}) 선정 시 기동배율(β)를 설계전류에 곱하여 계산
- 다만, Y-D기동과 리액터 기동은 직입기동에 비해 기동전류가 작아 각각의 기동 방법에 맞는 기동배수를 고려
- 소프트스타터기동과 인버터기동은 전동기, 부하 특성 이외에 제어 특성이 반영되는 기동 방식으로 기동배율을 고려하는 것이 아닌 전류제한비율(λ)을 설계전류에 곱하여 계산
- 소프트스타터기동과 인버터기동은 기동전류와 기동돌입전류 계산식은 동일

[표 2-3] 전동기의 기동전류 선정시 계수

구분	설계 계수	설계 계수 값
①	설계전류(I_B)	용량별 계산
②	전전압기동배율(β)	7.2
③	기동방식 계수(C)	· 전전압(직입)기동 : 1.0 · Y-D기동 : 0.33 · 리액터기동 : 0.65
④	기동방식전류 제한비율(λ)	· 소프트스타터 기동 : 4.0 · 인버터(VVVF) 기동 : 1.2
⑤	돌입전류비율(k)	1.5
⑥	전동기 기동전류(I_{MS})	· 전전압, Y-D, 리액터 - $I_{MS} = I_B \times \beta \times C$ · 소프트스타터, 인버터 기동방식 - $I_{MS} = I_B \times \lambda$
⑦	전동기 기동돌입전류(I_{MI})	· 전전압, Y-D, 리액터 - $I_{MI} = I_B \times \beta \times C \times k$ * Y-D기동방식 전동기의 D변환시 돌입전류 - $I_{MI} = I_B \times \beta \times V_c \times k$ · V_c : 전압계수, $1.577 \leftarrow 1 + \frac{1}{\sqrt{3}}$ · Y-D 전환시 비대칭계수(k) $1.02 + 0.98e^{-3r^{R/X}}$ · 소프트스타터, 인버터 기동방식 - $I_{MI} = I_B \times \lambda$
⑧	전동기 기동시간(t_m)	· 전전압(직입)기동, 인버터 : 4 · Y-D기동 : 6 · 리액터기동 : 10
⑨	전동기 기동시 역률($\cos\theta_s$)	0.2
⑩	변류기(CT) 선정조건	$I_B \times 1.5$ 배

- 종합해보면, 전동기의 기동방식을 고려하여 위 표에서의 계수들을 통해 차단기 규격을 선정해야함.
- 결과적으로 앞서 설명한 바와 같이 차단기용량을 구하기 위해서는 전동기 기동배율과 전동기 동작 시간을 고려한 차단기 규약동작배율을 객관적인 데이터를 토대로 선정하여 차단기 규격 선정을 위한 계수를 계산하는 것이 중요함.

2.2 차단기 선정을 위한 분석 대상 계수



[그림 2-9] 기동전류를 고려하여 조정된 차단기 규격 선정 (좌) 조정 전 (우) 조정 후

- 차단기를 선정하기 위해서는 앞서 2.1절에서 설명된 바와 같이 다양한 계수와 기동 방식 별 조건을 요구하고 있지만 가장 중요한 계수는 전동기의 기동 배율(β)과 차단기가 갖는 특성인 차단기 규약동작배율(δ)임. 두 계수는 현재 제조사에서 제공하는 데이터를 기반으로 값을 얻을 수 있음.
- 전동기 기동시간과 기동배율을 고려하여 차단기 한시특성 값과 순시특성 값을 이내에 들어야 함. 위 그림(좌)에서와 같이 특성 값을 넘어서게 되면 동력설비가 정상적인 운전을 함에도 차단기가 동작(오프)되는 문제가 발생하며, 이를 방지하기 위해서는 차단기를 적합하게 선정하여 위 그림(우측)과 같이 기동 특성이 차단기 특성 값 이내에 형성되게끔 해야 함.
- 이에 따라 전동기 기동 배율과 전동기 기동 시간을 고려한 차단기 규약동작배율을 현장 특성에 맞게 분석하여 차단기 규격선정을 위한 값을 도출하는 것이 필요함.

■ 전동기 기동배율(β)

- 기동배율은 직입기동, 리액터기동, Y-D기동 시 전동기 기동초기에 발생하는 전류로써 기동 방식에 따라 다름. 전동기 제조사에서는 구속전류 또는 기동전류를 제공하고 있으며, 배율 또는 전류값으로 표현하고 있음.
- 차단기 규격 선정시 기동전류가 결정되어야지만 정상적인 동작에서 차단기가 오동작을 하지 않게 됨. 이에 국내 전동기 제조사의 사양서를 토대로 데이터 분석을 통해

LH 공동주택 동력설비 용량에 맞는 기동배율을 도출함으로써 설계에 반영하는 것이 중요함.

- 또한, 제조사 데이터값은 정격전류에서의 기동전류, 또는 구속전류이므로 실제 설치 환경에서의 기동배율은 다를 수 있음. 이에 현장 측정을 기반으로 설비별, 용량별 기동배율 특성을 분석하여 공동주택 중심으로 객관적이고 신뢰성 있는 기동배율 정보를 도출하고 제조사 데이터와 현장 데이터 등을 전체적으로 검토하는 것이 요구됨.
- 또한, 기동배율뿐 아니라 현장 측정 시 확인되어야 하는 계수는 돌입전류와 기동전류의 비로, 직입, 리액터, Y-D기동은 기동순간에 기동돌입전류가 발생됨. 앞서 본 설계 기준 내 돌입전류비율(k)으로써 1.5의 값을 적용 중임.

■ 차단기 규약동작배율(δ) - 기동시간

- 차단기 규약동작배율도 제조사의 특성곡선을 통해 제시하고 있으며, 차단기 용량을 선정함에 있어 가장 영향을 미치는 계수임.
- 국내 제조사의 데이터를 기반으로 최소동작시간별 규약동작배율의 값이 필요하며, LH에서는 모든 제조사의 차단기를 적용할 수 있도록 모든 제조사 중의 최소값을 도출하여 설계 반영하는 것이 필요함.
- 규약동작배율은 기동방식 별 전동기 기동시간이 다르기 때문에 기동 방식을 고려하여 규약배율을 설계에 사용해야만 함. 본 연구에서의 분석하고자 하는 차단기 최소 동작시간은 기동방식 별 전동기 기동시간 기동에 맞춰 진행하고자 하며, 그 시간은 4초, 6초, 10초, 15초, 20초임. 추가로 직입기동을 고려하여 2초에 대한 값도 추가적으로 확인코자 함.
- 또한, 실제 설비의 기동을 측정하여 설비별 전동기의 기동시간을 확인하여 전동기 기동시간의 기준이 적합한지 검토를 진행하고자 하며, 기동시간 확인 후 기동시간 기준의 변경에 대한 논의가 필요함.

제3장 전동기 기동배율과 차단기의 동작특성

1. 전동기 기동배율 특성 분석

1.1 분석개요

- 전동기 제조사는 전동기에 대한 데이터시트를 제공하고 있으며, 직입, 리액터, Y-D기동을 하는 동력부하의 차단기 규격선정을 위해 필요한 기동배율(β)과 관련된 값을 제시하고 있음. 제조사 별로 상이하긴 하나 주로 구속전류(Locked rotor current) 또는 기동전류(Starting current)를 데이터 시트에 명시하고 있음.
- 전동기 기동배율 특성 분석에서는 국내의 전동기 제조사를 대상으로 전동기 용량별, 극수별 기동전류 또는 구속전류를 취합하여 동력부하용 차단기 선정에 적합한 기동배율(β) 값을 도출하고자 함.
- 제조사 데이터 기반의 결과는 제조사, 용량, 극수 별로 모두 상이하고 설계 단계에서 어느 제조사의 것이 사용될지 알 수 없기에 동력설비의 안정적인 운전을 확보하기 위해서는 최대값으로 도출해야 함(기동전류는 기동배율에 비례하여 계산되고 기동전류와 차단기 정격전류는 비례).
 - 동일 설비에 대해서도 다양한 제조사의 것이 설치
 - 동일 설비에 대해서는 극수가 상이
- 이에 따라 기동배율 제조사 데이터 분석은 아래와 같은 조건으로 진행됨.
 - 기동배율이 요구되는 직입, Y-D, 리액터 기동만을 고려
 - 수집 가능한 제조사의 데이터 중 LH 공동주택에 많이 사용 중인 제조사의 것을 대상으로 선정하여 분석 수행
 - 동력설비 별 전동기 극수의 차이를 고려
 - 전동기는 일반효율, 고효율, 프리미엄효율 등 있으나 최근 공동주택에 설치되고 있는 프리미엄 효율만을 대상으로 분석 수행
 - 제조사 데이터 기반의 용량별, 극수별 기동배율은 최대값으로 최종 도출

GENERAL DATA		PERFORMANCE DATA			
FRAME NO.	132M FF261	OUTPUT	10	HP	
TYPE	B5		7500	W	
ENCLOSURE	TEFC	POLES	4	P	
COOLING METHOD	FAN	ROTOR TYPE	SQUARE, CAGE		
FREQUENCY (HZ)	60HZ	STARTING METHOD	DOL		
PHASE	3				
REGULATION CLASS	F	VOLTAGE	220	380	V
TEMPERATURE RISE AT FULL LOAD		NO LOAD CURRENT	16.6	8.8	A
RES METHOD	105 °C	FULL LOAD CURRENT	20.5	10.5	A
THERMO METHOD	7C	STARTING CURRENT	231.0	134.0	A
LOCATION	OUTDOOR				
ALTITUDE	1000 M F18	EFFICIENCY			
HUMIDITY	85 %	AT 1/2 LOAD	80.2	%	
AMBIENT TEMPERATURE	-15 - 40 °C	AT 3/4 LOAD	80.4	%	
RATING	S1	AT FULL LOAD	81.7	%	
WINDING	FLANGE				
BEARING TYPE	BALL	POWER FACTOR			
UNLOAD/LOAD BRG NO	60X72 Z 1620RZ	AT 1/2 LOAD	55.2		
BEARING LUBRICATION	GREASE	AT 3/4 LOAD	58.5	%	
PROTECTION GRADE	IP55	AT FULL LOAD	76.3	%	
SERVICE FACTOR	1.1	SPEED AT FULL LOAD	1770	RPM	
CONDENSOR		TORQUE			
STARTING	NA	FULL LOAD	4.130	kg-m	
RUN	NA	LOCKED ROTOR	14.250	kg-m	
ACCESSORIES (OPTIONAL)		BREAKDOWN	16.590	kg-m	
TEMPERATURE DETECTOR	NO				
SPACE HEATER	NO	PAINTING	GRAY		
SLIDE BASE	NO				
VOLTAGE		220	380	V	
NO LOAD CURRENT		16.6	9.6	A	
FULL LOAD CURRENT		28.5	16.5	A	
STARTING CURRENT		231.0	134.0	A	

[그림 3-1] 제조사별 전동기 데이터시트 예시((좌)정우전기 사양서, (우)하이젠 사양서)
출처: 정우전기(www.jem21.net), 하이젠(www.higenmotor.co.kr)

1.2 기동배율 특성값

- 분석에는 총 7개 제조사에 대한 데이터를 분석하여 정리하였으며, 최종적으로 기동배율 값은 LH 공동주택에 주로 사용하는 세 곳의 데이터를 활용하여 분석하였음. 제조사 데이터시트 분석은 데이터의 취합, 용량별 기동전류 또는 기동배율 정리, 기동방식 별 구분, 용량(설비)별 기동배율 도출 순으로 이루어졌음.
- [표 3-1]의 취합 결과에서 볼 수 있듯이 제조사 별, 용량별로, 극수 별로 기동전류의 특성값이 매우 상이한 것을 볼 수 있음. 특히, 직입기동 영역으로 볼 수 있는 15HP 이하의 값에서는 650%에서 1010%로 넓게 분포 되는 것을 볼 수 있음. 전체적으로 직입기동에 해당하는 소용량의 전동기 기동배율이 높게 나타나는 것을 알 수 있음.
- Y-D 기동방식의 용량(20~60HP)에서의 최대값은 2극에서 950%의 값을 가지며, 리액터 기동방식의 용량(75~268HP)에서의 최대값은 2극에서 800%의 값을 가짐. 최대값 이외에 평균값을 보더라도 리액터 기동 용량에서 약 750%로 Y-D의 850%, 직입의 900%의 값보다 낮은 것을 볼 수 있음.

[표 3-1] 전동기 제조사의 용량별, 극수별 기동배율

% 표기		A사			B사			C사		
HP	방식	2극	4극	6극	2극	4극	6극	2극	4극	6극
1	DOL	900	750	600	640	660	460	758	768	650
2		950	900	790	870	740	640	903	703	657
3		1000	835	730	1010	900	710	909	792	645
5		915	820	720	780	660	710	800	795	650
7.5		700	950	750	650	700	650	753	702	648
10		860	750	825	800	650	720	750	752	698
15		895	750	670	650	660	650	850	700	749
20	Y-D	880	850	750	560	650	560	649	701	750
25		935	815	840	790	680	640	751	751	749
30		950	865	770	770	740	630	749	749	750
40		950	725	720	690	680	680	750	750	650
50		800	800	750	650	650	650	650	650	650
60		800	745	750		630	670	658	650	650
75	리액터	800	760	740		650	620	650	650	650
100		760	770	740		620	570	650	650	650
120		770	770	770		630	650	650	650	650
150		780	780	800		640	710	650	650	650
175		770	770	800		700		650	650	650
214		770	755	800				650	650	650
268								650	650	650

- 극수의 차이는 권선의 양에 차이가 있어 기동배율이 다르게 나타날 수 밖에 없으며, 차단기 선정을 할 경우에는 설계 계산과정에서 극수를 고려하지 않아 설비의 전반적인 사양을 고려하여 적절한 값을 찾는 것이 중요함.
- 적절한 값은 안정적인 차단기가 선정되기 위한 값이며, 용량별 분포된 값의 최대값 또는 평균값을 적용할 수 있음.
- 공동주택의 설비는 다양하지만 그 종류와 설비용이 한정적이어서 제조사 데이터 값을 바탕으로 기동배율 값을 구분하여 정하는 것은 어렵지 않음. 다만, 용량 별로 모두 구분하여 설계값을 선정하는 것은 한계가 있음.

[표 3-2] 전동기 제조사의 용량별, 극수별 기동배율

용량		기동 방식	전 압	3사 평균값(%)			3사 최대값(%)		
(HP)	(kW)			2극	4극	6극	2극	4극	6극
1	0.75	DOL	380	766	726	570	900	768	650
2	1.5		380	908	781	696	950	900	790
3	2.2		380	973	842	695	1010	900	730
5	3.7		380	832	758	693	915	820	720
7.5	5.5		380	701	784	683	753	950	750
10	7.5		380	803	717	748	860	752	825
15	11		380	798	703	690	895	750	749
20	15	Y-D	380	696	734	687	880	850	750
25	18.5		380	825	749	743	935	815	840
30	22		380	823	785	717	950	865	770
40	30		380	797	718	683	950	750	720
50	37		380	700	700	683	800	800	750
60	45		380	729	675	690	800	745	750
75	55	리액터	380	725	687	670	800	760	740
100	75		380	705	680	653	760	770	740
120	90		380	710	683	690	770	770	770
150	110		380	715	690	720	780	780	800
175	132		380	710	707	725	770	770	800
214	160		380	710	702	725	770	755	800
268	200			650	650	650	650	650	650

- 기동방식 별로 구분하여 제조사 별 특성값과 3개 제조사 중 최대값을 정리하여 보면 [표 3-3]과 같음. 최대값, 평균값, 최소값을 보여주고 있으며, 용량이 작은 직입기동의 경우 최대 약 1000%의 값을 보임.
- Y-D기동의 경우는 최대 950%의 값을 가짐. 소방펌프에 해당하는 리액터 기동의 경우는 최대 800%의 값으로 직입, Y-D에 비해 다소 낮은 것을 볼 수 있음.
- 기동방식 별로 살펴보면 동일 기동방식(동일 극수) 내에서도 최대값과 최소값의 값이 크게 나타나며, 동일 기동방식 내 모든 극수로 범위를 넓혀 보면 그 차이는 더 크게 나타남. 이러한 특성은 Y-D기동과 리액터기동에서도 동일하게 나타남.

[표 3-3] 기동방식별 기동배율 최대값

(%) 표기		A사			B사			C사			최대값		
용량 (HP)		2극	4극	6극	2극	4극	6극	2극	4극	6극	2극	4극	6극
모든 용량 (1~268)	MAX	1000	950	840	1010	900	720	909	795	750	1010	950	840
	AVG	852	798	753	738	680	642	728	703	673	855	804	760
	MIN	700	725	600	560	620	460	649	650	645	650	650	650
직입 (1~15)	MAX	1000	950	825	1010	900	720	909	795	749	1010	950	825
	AVG	889	822	726	771	710	649	817	744	671	898	834	745
	MIN	700	750	600	640	650	460	750	700	645	753	750	650
Y-D (20~60)	MAX	950	865	840	790	740	680	751	751	750	950	865	840
	AVG	886	800	763	692	672	638	701	708	700	886	804	763
	MIN	800	725	720	560	630	560	649	650	650	800	745	720
리액터 (75~268)	MAX	800	780	800		700	710	650	650	650	800	780	800
	AVG	775	768	775		648	638	650	650	650	757	751	757
	MIN	760	755	740		620	570	650	650	650	650	650	650

[표 3-4] 주요 동력부하 설비별 용량 및 극수

용량 (HP)	기동 방식	기동 배율	부하1		부하2		부하3		부하4		부하5	
			설비	극 수	설비	극수	설비	극수	설비	극수	설비	극수
1	DOL	7.2	배수 펌프	2	웬 룸 배 기 웬	4	급배 기웬	4, 6	급탕	4		
2		7.2										
3		7.2										
5		7.2									충압	4
7.5		7.2										
10		7.2										
15		7.2										
60	Y-D	7.2	소방 펌프	4								
75	리액터	7.2										
100		7.2										
120		7.2										
150		7.2										

- 이에, 정리된 값의 최대값을 통해 설계 기동배율 값을 일괄적으로 선정하는 것은 효율적이지 못하기에 다양한 설비들의 공통적인 요소를 찾아 동일한 기동배율을 가질 수 있는 범위를 선정하는 것이 필요함.
- [표 3-4]는 4장에서 설명될 현장 측정과 관련하여 현장 조사와 장비일람표를 통해 확인된 LH 공동주택 주요 동력설비가 갖는 용량과 극수를 나타내고 있음. 가장 작은 용량은 배수펌프와 급탕환수펌프로 약 1HP에서 3HP로 구성됨. 동일한 용량을 가지지만 설비 특성 상 배수펌프는 2극 구성이고 급탕펌프는 4극의 전동기를 사용하는 차이점이 있음.
- 다음 큰 용량은 급배기팬으로 지하주차장 환풍의 배기팬과 펌프실의 급배기팬이 큰 용량에 해당됨. 지하주차장의 배기팬은 2HP에서 10HP로 넓은 설비용량을 가지나 주로 5HP에서 10HP가 가장 많이 설치됨. 배기팬은 4극 전동기로 운전함.
- 펌프실은 급기팬과 배기팬으로 주로 5HP에서 7.5HP로 구성되어나 제조사에 따라 전동기 극수가 단지별로 4극 또는 6극으로 상이함.
- 펌프실 급배기팬과 같이 극수가 다른 경우를 보면 동일한 설비와 용량이라도 기동배율 특성이 다르게 적용해야하는 것을 의미함. 하지만 모든 개별 설비에서 대해서 설계 기준을 나누는 것에는 한계가 있음.
- 결과적으로는 공동주택 동력부하설비의 전동기는 2극, 4극, 6극 모두를 포함하고 있어 적절한 기동배율 설계값을 제안하고자 함.

1.3 기존설계계수와 분석결과 비교 분석

- LH 설계기준의 기동배율(β)은 7.2로 기동방식 별 기동배수(C)를 반영하여 설계에 사용하고 있음. 기동배수의 값은 직입기동방식은 1, Y-D기동방식은 0.33, 리액터기동방식은 0.65를 사용하고 있음. [표3-5]는 리액터기동과 Y-D의 기동배수를 고려한 기동배율 값을 보여줌.
- 전체적으로 현재 LH 공동주택 동력부하용 차단기 규격 선정에 적용 중인 기동배율보다 큰 것을 알 수 있으며, 특히 직입기동 용량에서 그 차이가 두드러짐.
- 이에, 공동주택의 부하 종류와 용량이 한정적이므로 제조사 기동배율 특성을 분석하고 설비의 용량 및 극성을 고려하여 일괄 적용이 아닌 설계 기동배율을 세분화시키는 것 제안하고자 함.

[표 3-5] 용량별 극수별 최대 기동배율(기동방식 구분)

% 표기		β	직입기동			리액터기동(Tap 65%)			Y-D 기동		
HP	방식		2극	4극	6극	2극	4극	6극	2극	4극	6극
1	DOL	720	900	768	650						
2		720	950	900	790						
3		720	1010	900	730						
5		720	915	820	720						
7.5		720	753	950	750						
10		720	860	752	825						
15		720	895	750	749						
20	Y-D	240	880	850	750				293	283	250
25		240	935	815	840				312	272	280
30		240	950	865	770				317	288	257
40		240	950	750	720				317	250	240
50		240	800	800	750				267	267	250
60		240	800	745	750				267	248	250
75	리액터	468	800	760	740	520	494	481			
100		468	760	770	740	494	501	481			
120		468	770	770	770	501	501	501			
150		468	780	780	800	507	507	520			
175		468	770	770	800	501	501	520			
214		468	770	755	800	501	491	520			
268		468	650	650	650	423	422	423			

- 다만 제조사의 데이터를 기반으로 하는 만큼 현장의 측정값을 분석하고 비교하여 최종적으로 검토해야만 함.
- 제안된 용량별 기동배율은 전동기의 극수와 용량별 기동배율의 최대값과 평균값을 고려하였으며, 현재 Y-D기동의 소방펌프가 설계되지 않고 있는 점을 고려하여 직입 기동과 리액터 기동의 값을 도출하였음.
- 15HP 이하의 직입기동은 2극 배수펌프를 고려하여 두 분류로 구분해 값을 선정하였음. 즉, 배수펌프가 주를 이루는 3HP이하의 직입기동 설비의 기동배율은 현재 설계 값보다 큰 9.5로 선정하였으며, 5HP 이상의 급배기 펌 설비는 8.2로 선정하였음.
- 결과적으로 취합된 직입기동배율 최대값의 2극과 4극의 차이로 나누어졌으며, 모두 기존 설계값 7.2보다는 크게 제안하였음. 이는 다수 제조사의 전동기를 고려한 결과임.

[표 3-6] 동력부하 용량 분포와 전동기 극수를 고려한 기동배율의 제안

용량 (HP)	기동방식	기동배율	기동배율 제안	최대값		
				2	4	6
1	DOL	720	950	900	768	650
2		720	950	950	900	790
3		720	950	1010	900	730
5		720	820	915	820	720
7.5		720	820	753	950	750
10		720	820	860	752	825
15		720	820	895	750	749
20	Y-D	720	720	880	850	750
25		720	720	935	815	840
30		720	720	950	865	770
40		720	720	950	750	720
50		720	720	800	800	750
60		720	720	800	745	750
75	리액터	720	770	800	760	740
100		720	770	760	770	740
120		720	770	770	770	770
150		720	770	780	780	800
175		720	770	770	770	800
214		720	770	770	755	800
268		720	770	650	650	650

- 리액터 기동은 소방펌프만 해당되고 현재 설계값보다 큰 7.7로 제안하고자 함.
- 기존 값보다 큰 값을 가지게 되면 설계전류(I_B) 대비 기동전류(I_{MS})와 돌입전류(I_{MI})의 계산치가 크게 되어 결과적으로 차단기의 용량이 커질 수 있음을 의미함. 다만, 본 연구에서는 현장 측정을 통해 기동시간 등을 통한 차단기 규약동작 배율도 추가 검토 하므로 최종적으로 차단기 용량의 증가가 결정되는 것은 아님.
 - 기동전류 : $I_{MS} = I_B \times \beta \times C$
 - 돌입전류 : $I_{MI} = I_B \times \beta \times C \times k$
- 기동배율 변경 시 10HP을 기준으로 그 차이를 보면 [표 3-7]과 같으며, 분석에 대한 차단기 용량 변화에 대한 세부적인 설명은 5장에서 하고자 함.

[표 3-7] 기존 기동배율과 제안된 기동배율에 대한 기동전류 설계값 비교

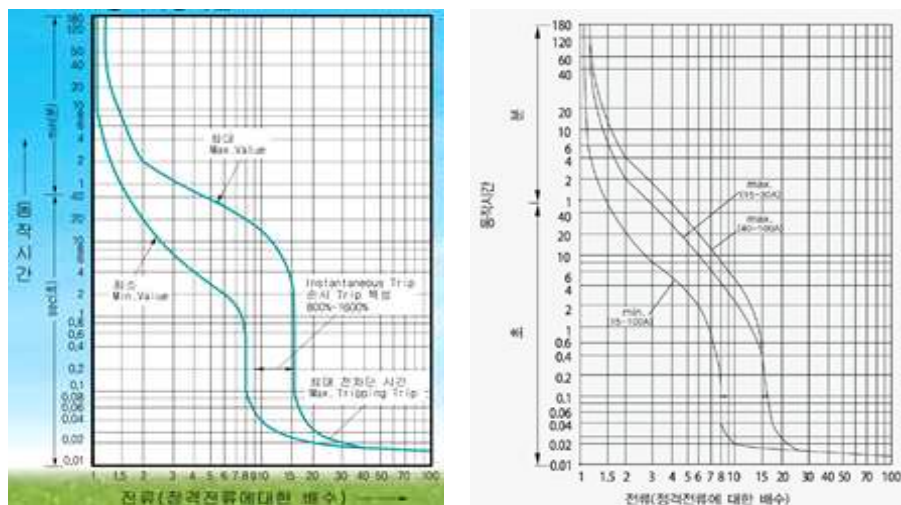
	설계전류	현재 $\beta(7.2)$	제안 β
기동전류	15.93	115	130.63
돌입전류	15.93	172	195.94

- 앞서 살펴본 내용은 3상 설비에 해당되며, 동별 지하공동구의 급수펌프와 배기팬 등에 부분적으로 단상 설비가 적용되어 있음. 대부분의 용량은 500W 이하의 소용량으로 유인팬과 열교환실의 벽부형의 배기팬이 대표적인 설비임.
- 단상 전동기의 기동 방식은 3상 전동기와 달리 분상 기동, 콘덴서 기동, 반발 기동 등의 기동방식을 적용하게 되며, 기동 시 발생하는 기동전류의 배율은 기동방식에 따라 다르나 일반적으로 300%에서 600%정도임.
 - 4장에서 단상 유인팬의 기동 배율은 3상 직입기동에서의 기동 배율보다 낮게 관측
- 단상 설비의 경우에도 현재 기동배율은 3상과 동일하게 7.2를 적용 중에 있으며, 그 외 차단기 선정에 요구되는 계수들도 3상과 동일하게 적용 중에 있음.
- LH 계산서 기반의 단상 설비 용량에 맞춰 일반적인 단상 설비의 기동특성과 제조사 데이터 수집을 통해 단상 설비의 용량 별 기동배율은 다음과 같이 제안함.
 - 현재 설계값 : 720%
 - 제안된 값 : 620%

2. 차단기 동작 특성 분석

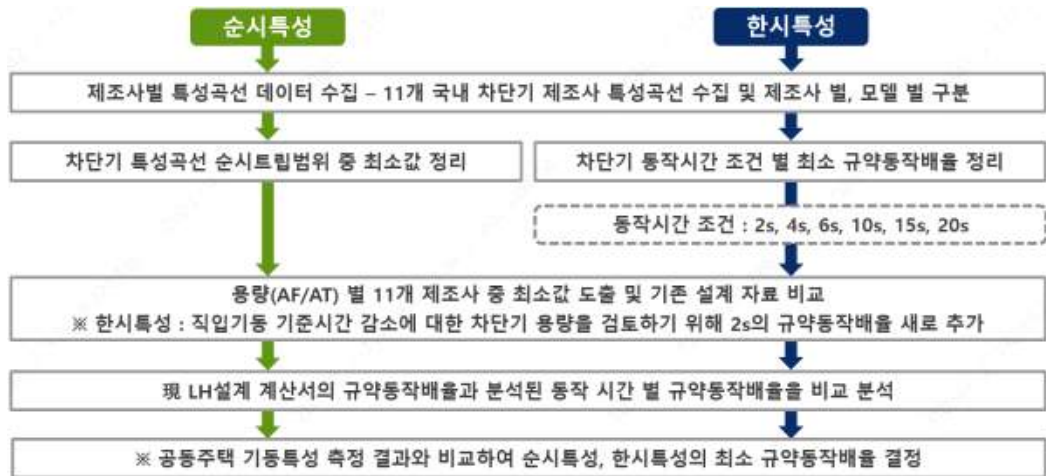
2.1 분석개요

- 기동배율과 같이 차단기 규격선정을 위한 필수적으로 요구되는 정보는 차단기 규약 동작배율(δ)로써 차단기 제조사에서는 차단기 모델 별로 차단기 특성곡선을 제공하고 있음.
- 특성 곡선은 차단기 정격용량의 배수에 따른 차단기 최소, 최대 동작시간을 나타내고 있으며, 동력부하용 차단기 용량 결정에 가장 큰 영향을 주는 정보임.
- 차단기 규격을 선정함에 있어서는 동력부하용 전동기의 기동 시간을 추정하고 이에 맞는 차단기 최소 동작 시간을 선정하게 됨. 이 때 정해진 최소 동작 시간에 해당하는 차단기 규약동작배율(δ)이 차단기 선정에 계수로 사용하게 됨,
- 차단기 최소동작 시간은 전동기 기동 방식별로 차이가 있어 이를 고려하여 분석하는 것이 중요함. 본 연구에서는 현재 설계 기준을 참고하여 4초, 6초, 10초, 15초, 20초로 구분하여 분석하였음. 또한, 4장에서 설명하게 되는 현장 측정 결과를 반영하여 2초에 대해서도 추가로 분석하였음.
- 총 11개 차단기 제조사에 대한 특성곡선을 산업용 배선차단기와 산업용 누전차단기로 구분하여 각각의 모델 별로 순시특성 값과 한시특성 값을 분석하였음. 이를 바탕으로 동작시간 별 동작배율을 정리하고 순시특성과 한시특성에 대해 LH 공동주택에 적합한 동작배율 값을 도출하고자 함.

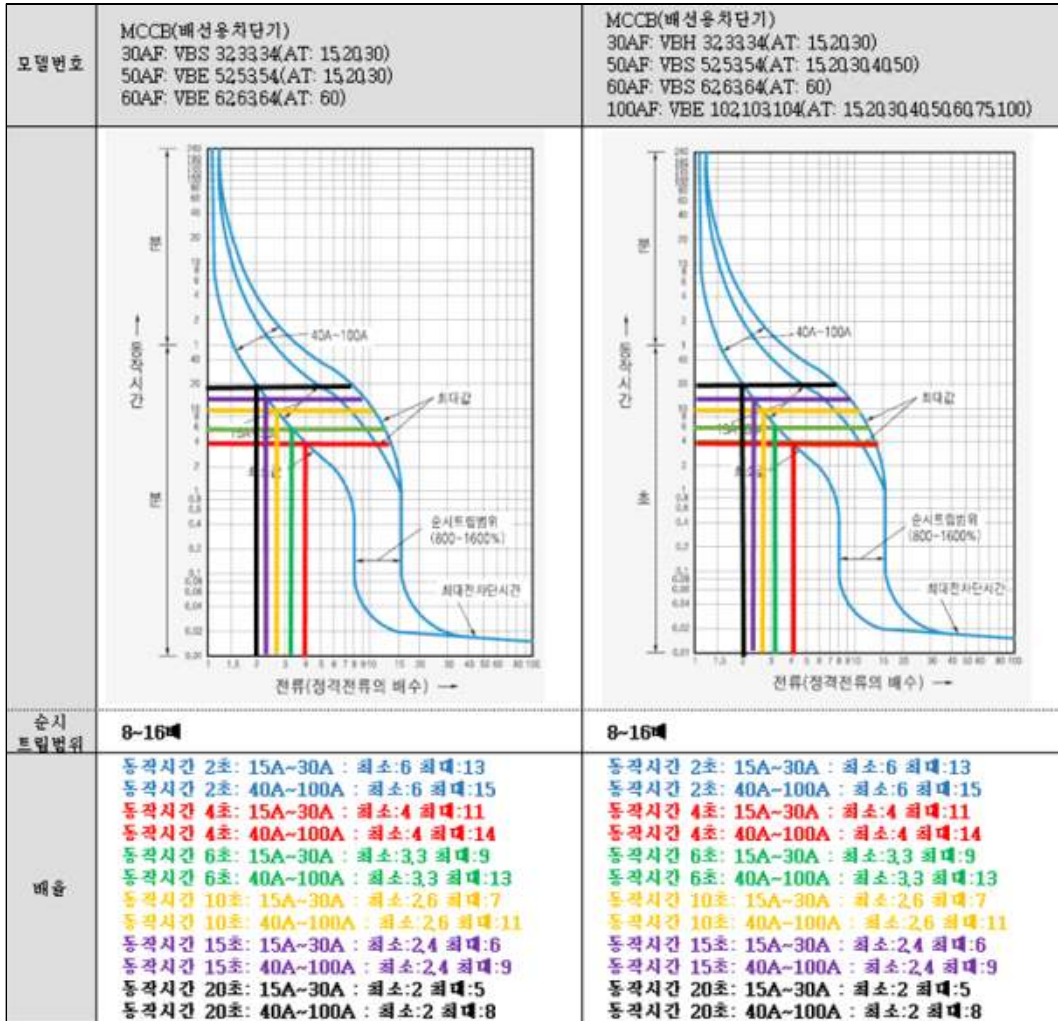


[그림 3-2] 차단기 동작 특성곡선 예시((좌)대륙 카탈로그, (우)제일전기공업 카탈로그)

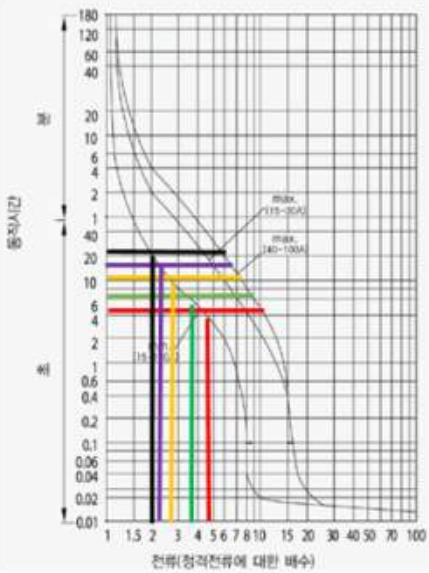
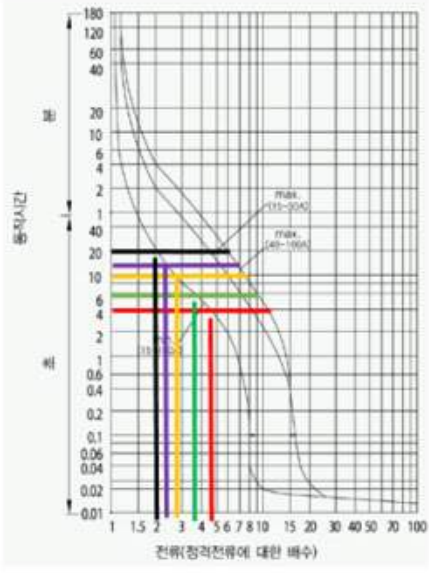
출처: 대륙(www.e-daco.net), 제일전기공업(www.cheilelec.com)



[그림 3-3] 차단기 규약동작배율 분석 과정



[그림 3-4] A사 동작 시간 별 분석 예시

모델번호	산업용(배선용차단기) 32AF: CBS 32N, 33N(AT: 15,20,30) 50AF: CBE 52N, 53N, 54N(AT: 15,20,30,40,50) 63AF: CBE 62N, 63N, 64N(AT: 63)	산업용(배선용차단기) 32AF: CBH 32N, 33N(AT: 15,20,30) 50AF: CBS 52N, 53N, 54N(AT: 15,20,30,40,50) 63AF: CBS 62N, 63N, 64N(AT: 63) 100AF: CBE 102N, 103N, 104N(AT: 15,20,30,40,50,75,100)
규약 배율		
순시 트립범위	-	-
배율	동작시간 2초: 15~30A: 최소:6 최대:11 동작시간 2초: 40~100A: 최소:6 최대:13 동작시간 4초: 15~30A: 최소:4.5 최대:8 동작시간 4초: 40~100A: 최소:4.5 최대:11 동작시간 6초: 15~30A: 최소:3.8 최대:7 동작시간 6초: 40~100A: 최소:3.8 최대:9 동작시간 10초: 15~30A: 최소:2.8 최대:6 동작시간 10초: 40~100A: 최소:2.8 최대:7.5 동작시간 15초: 15~30A: 최소:2.2 최대:5 동작시간 15초: 40~100A: 최소:2.2 최대:6.5 동작시간 20초: 15~30A: 최소:2 최대:4.5 동작시간 20초: 40~100A: 최소:2 최대:6	동작시간 2초: 15~30A: 최소:6 최대:11 동작시간 2초: 40~100A: 최소:6 최대:13 동작시간 4초: 15~30A: 최소:4.5 최대:8 동작시간 4초: 40~100A: 최소:4.5 최대:11 동작시간 6초: 15~30A: 최소:3.8 최대:7 동작시간 6초: 40~100A: 최소:3.8 최대:9 동작시간 10초: 15~30A: 최소:2.8 최대:6 동작시간 10초: 40~100A: 최소:2.8 최대:7.5 동작시간 15초: 15~30A: 최소:2.2 최대:5 동작시간 15초: 40~100A: 최소:2.2 최대:6.5 동작시간 20초: 15~30A: 최소:2 최대:4.5 동작시간 20초: 40~100A: 최소:2 최대:6

[그림 3-5] B사 동작 시간 별 분석 예시

- 차단기 특성곡선에는 최소값과 최대값을 제시하고 있으나, 안정적인 차단기 규격을 선정하기 위해서 최소값을 대상으로 분석하였음. 차단기 규약 동작 배율과 차단기 용량은 반비례 관계로 최대값을 기준으로 선정할 경우 차단기 용량이 작아 질 수 있음.
- 기동배율과 동일하게 설계 단계에서는 제조사를 특정할 수 없기에 안전한 차단기능을 확보하기 위해서는 최소값을 기반으로 차단기 규격을 선정하는 것이 적절함.

2.2 차단기 규약동작배율 특성값

- 1차적으로 11개 사의 배선용/누전용 차단기에 대한 데이터 취합을 통해 얻어진 각 값을 바탕으로 제조사 별 최소값을 분석하였으며, 모든 제조사 중 최소값을 도출하였음.
- 차단기 프레임 전류(AF)와 트립 전류(AT) 별 순시특성과 한시특성에서의 도출된 최소값은 [표 3-8]부터 [표 3-11]과 같으며, 한시특성은 2초, 4초, 6초, 10초, 15초, 20초의 값을 나타내고 있음.

[표 3-8] 30AF/50AF 용량의 순시특성 및 동작 시간별 배율 최소값

용량		순시특성		2s		4s		6s		10s		15s		20s	
AF	AT	배선	누전	배선	누전	배선	누전	배선	누전	배선	누전	배선	누전	배선	누전
30	10	7.0	8.0	5.1	5.8	3.8	4.0	3.2	3.2	2.2	2.2	2.0	2.0	1.7	1.7
30	15	7.0	8.0	3.5	3.2	2.7	2.5	2.3	2.3	2.0	2.0	1.8	1.8	1.6	1.6
30	16	0.0	0.0	9.2	9.2	6.2	6.2	5.1	5.1	3.8	3.8	3.5	3.5	2.7	2.7
30	20	7.0	8.0	3.5	3.2	2.7	2.5	2.3	2.3	2.0	2.0	1.8	1.8	1.6	1.6
30	25	0.0	0.0	9.2	9.2	6.2	6.2	5.1	5.1	3.8	3.8	3.5	3.5	2.7	2.7
30	30	7.0	8.0	3.5	3.2	2.7	2.5	2.3	2.3	2.0	2.0	1.8	1.8	1.6	1.6
32	15	0.0	0.0	6.0	6.0	4.5	4.5	3.8	3.8	2.8	2.7	2.2	2.2	2.0	2.0
32	16	0.0	0.0	12.0	12.0	7.0	7.0	5.5	5.5	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0
32	20	0.0	0.0	6.0	6.0	4.5	4.5	3.8	3.8	2.8	2.7	2.2	2.2	2.0	2.0
32	25	0.0	0.0	12.0	12.0	7.0	7.0	5.5	5.5	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0
32	30	0.0	0.0	6.0	6.0	4.5	4.5	3.8	3.8	2.8	2.7	2.2	2.2	2.0	2.0
32	32	0.0	0.0	12.0	12.0	7.0	7.0	5.5	5.5	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0
50	10	8.0	8.0	5.5	5.8	4.0	4.0	3.2	3.2	2.2	2.2	2.0	2.0	1.7	1.7
50	15	8.0	8.0	5.5	5.5	4.0	4.0	3.2	3.0	2.2	2.2	2.0	2.0	1.7	1.7
50	16	0.0	0.0	9.2	9.2	6.2	6.2	5.0	5.0	3.8	3.8	3.3	3.3	2.7	2.7
50	20	8.0	8.0	5.5	5.5	4.0	4.0	3.2	3.0	2.2	2.2	2.0	2.0	1.7	1.7
50	25	0.0	0.0	9.2	9.2	6.2	6.2	5.0	5.0	3.8	3.8	3.3	3.3	2.7	2.7
50	30	8.0	8.0	5.5	5.5	4.0	4.0	3.2	3.0	2.2	2.2	2.0	2.0	1.7	1.7
50	32	0.0	0.0	12.0	12.0	7.0	7.0	5.5	5.5	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0
50	40	8.0	8.0	5.5	3.2	4.0	2.5	3.2	2.3	2.5	2.0	2.2	1.8	2.0	1.8
50	50	8.0	8.0	5.5	3.2	4.0	2.5	3.2	2.3	2.5	2.0	2.2	1.8	2.0	1.8

[표 3-9] 60AF/63AF,100AF 용량의 순시특성 및 동작 시간별 배율 최소값

용량		순시특성		2s		4s		6s		10s		15s		20s	
AF	AT	배 선	누 전	배 선	누 전	배 선	누 전	배 선	누 전	배 선	누 전	배 선	누 전	배 선	누 전
60	15	9.6	0.0	9.2	0.0	6.2	0.0	5.1	0.0	3.8	0.0	3.5	0.0	2.7	0.0
60	16	0.0	0.0	9.2	0.0	6.2	0.0	5.1	0.0	3.8	0.0	3.5	0.0	2.7	0.0
60	20	0.0	0.0	9.2	0.0	6.2	0.0	5.1	0.0	3.8	0.0	3.5	0.0	2.7	0.0
60	25	0.0	0.0	9.2	0.0	6.2	0.0	5.1	0.0	3.8	0.0	3.5	0.0	2.7	0.0
60	30	0.0	0.0	9.2	0.0	6.2	0.0	5.1	0.0	3.8	0.0	3.5	0.0	2.7	0.0
60	32	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
60	40	9.6	0.0	8.0	0.0	6.2	0.0	5.1	0.0	3.8	0.0	3.5	0.0	2.7	0.0
60	50	9.6	0.0	8.0	0.0	6.2	0.0	5.1	0.0	3.8	0.0	3.5	0.0	2.7	0.0
60	60	8.0	8.0	6.0	6.0	4.0	4.0	3.2	3.2	2.5	2.6	2.2	2.2	2.0	2.0
63	16	0.0	0.0	12.0	12.0	7.0	7.0	5.5	5.5	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0
63	20	0.0	0.0	12.0	12.0	7.0	7.0	5.5	5.5	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0
63	25	0.0	0.0	12.0	12.0	7.0	7.0	5.5	5.5	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0
63	32	0.0	0.0	12.0	12.0	7.0	7.0	5.5	5.5	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0
63	40	0.0	0.0	10.0	10.0	7.0	7.0	5.8	5.8	4.0	4.0	4.0	3.5	3.0	3.0
63	50	0.0	0.0	10.0	10.0	7.0	7.0	5.8	5.8	4.0	4.0	4.0	3.5	3.0	3.0
63	60	0.0	0.0	6.0	0.0	4.5	0.0	3.8	0.0	2.8	0.0	2.2	0.0	2.0	0.0
63	63	0.0	0.0	6.0	6.0	4.5	4.5	3.8	3.8	2.8	2.7	2.2	2.2	2.0	2.0
100	15	8.0	8.0	5.5	5.6	4.0	4.0	3.2	3.0	2.2	2.2	2.0	2.0	1.7	1.7
100	16	0.0	0.0	9.2	12.0	6.2	7.0	5.0	5.5	3.8	4.0	3.5	3.5	2.7	3.0
100	20	8.0	8.0	5.5	5.6	4.0	4.0	3.2	3.0	2.2	2.2	2.0	2.0	1.7	1.7
100	25	0.0	0.0	9.2	12.0	6.2	7.0	5.0	5.5	3.8	4.0	3.5	3.5	2.7	3.0
100	30	8.0	8.0	5.5	5.6	4.0	4.0	3.2	3.0	2.2	2.2	2.0	2.0	1.7	1.7
100	32	0.0	0.0	12.0	12.0	7.0	7.0	5.5	5.5	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.0
100	40	8.0	8.0	5.5	5.6	4.0	4.0	3.2	3.0	2.5	2.5	2.2	2.2	2.0	2.0
100	50	8.0	8.0	5.5	5.6	4.0	4.0	3.2	3.0	2.5	2.5	2.2	2.2	2.0	2.0
100	60	8.0	8.0	5.5	4.8	4.0	3.8	3.2	3.0	2.5	2.5	2.2	2.2	2.0	2.0
100	63	0.0	9.6	8.0	8.0	6.2	6.2	5.1	5.1	3.8	3.8	3.5	3.5	2.7	2.7
100	75	8.0	8.0	5.5	4.8	4.0	3.8	3.2	3.0	2.5	2.5	2.2	2.2	2.0	2.0
100	80	0.0	9.6	8.0	8.0	6.2	6.2	5.1	5.1	3.8	3.8	3.5	3.5	2.7	2.7
100	100	8.0	8.0	5.5	4.8	4.0	3.8	3.2	3.0	2.5	2.5	2.2	2.2	2.0	2.0

[표 3-10] 125AF/225AF/250AF 용량의 순시특성 및 동작 시간별 배율 최소값

용량		순시특성		2s		4s		6s		10s		15s		20s	
AF	AT	배 선	누 전	배 선	누 전	배 선	누 전	배 선	누 전	배 선	누 전	배 선	누 전	배 선	누 전
125	15	13.0	16.0	7.8	7.8	4.5	4.5	3.5	3.5	2.6	2.7	2.2	2.5	2.0	2.0
125	16	0.0	0.0	9.2	9.2	6.2	6.2	5.1	5.1	3.8	3.8	3.3	3.3	2.7	2.7
125	20	13.0	16.0	7.8	7.8	4.5	4.5	3.5	3.5	2.6	2.7	2.2	2.5	2.0	2.0
125	25	0.0	0.0	9.2	9.2	6.2	6.2	5.1	5.1	3.8	3.8	3.3	3.3	2.7	2.7
125	30	12.0	16.0	7.8	7.8	4.5	4.5	3.5	3.5	2.6	2.7	2.2	2.5	2.0	2.0
125	32	0.0	0.0	12.0	12.0	7.0	6.2	5.5	5.5	4.8	4.8	3.5	3.5	3.0	3.0
125	40	8.0	8.0	7.2	7.8	6.0	6.2	5.0	5.0	3.8	3.8	3.0	3.2	2.5	2.7
125	50	8.0	8.0	7.2	7.8	6.0	6.2	5.0	5.0	3.8	3.8	3.0	3.2	2.5	2.7
125	60	8.0	8.0	7.2	7.8	6.0	6.2	5.0	5.0	3.8	3.8	3.0	3.2	2.7	2.7
125	63	0.0	9.6	8.0	7.8	6.2	6.2	5.1	5.1	3.8	3.8	3.3	3.3	2.7	2.7
125	75	8.0	8.0	7.2	7.8	6.0	6.2	5.0	5.0	3.8	3.8	3.0	3.2	2.5	2.7
125	80	0.0	9.6	8.0	7.8	6.2	6.2	5.1	5.1	3.8	3.8	3.3	3.3	2.7	2.7
125	100	8.0	8.0	7.2	7.8	6.0	6.2	5.0	5.0	3.8	3.8	3.0	3.2	2.5	2.7
125	125	8.0	8.0	7.2	7.8	6.0	6.2	5.0	5.0	3.8	3.8	3.2	3.2	2.7	2.7
225	100	8.0	0.0	7.2	0.0	6.0	0.0	5.0	0.0	4.0	0.0	3.2	0.0	2.8	0.0
225	125	8.0	8.0	7.2	6.0	6.0	4.5	5.0	3.8	4.0	2.7	3.2	2.3	2.8	2.0
225	150	8.0	8.0	7.2	6.0	6.0	4.5	5.0	3.8	4.0	2.7	3.2	2.3	2.8	2.0
225	175	8.0	8.0	7.2	6.0	6.0	4.5	5.0	3.8	4.0	2.7	3.2	2.3	2.8	2.0
225	200	8.0	8.0	7.2	6.0	6.0	4.5	5.0	3.8	4.0	2.7	3.2	2.3	2.8	2.0
225	225	8.0	8.0	7.2	6.0	6.0	4.5	5.0	3.8	4.0	2.7	3.2	2.3	2.8	2.0
250	100	8.0	8.0	7.2	7.8	6.0	7.0	5.0	6.0	4.0	4.9	3.2	4.0	2.8	3.5
250	125	8.0	8.0	7.2	7.8	6.0	7.0	5.0	6.0	4.0	4.9	3.2	4.0	2.8	3.5
250	150	8.0	8.0	7.2	7.8	6.0	7.0	5.0	6.0	4.0	4.9	3.2	4.0	2.8	3.5
250	160	0.0	9.6	9.0	9.0	7.5	7.5	6.0	6.0	5.0	5.0	4.0	4.0	3.5	3.5
250	175	8.0	8.0	7.2	7.8	6.0	7.0	5.0	6.0	4.0	4.9	3.2	4.0	2.8	3.5
250	200	8.0	8.0	7.2	7.8	6.0	7.0	5.0	6.0	4.0	4.9	3.2	4.0	2.8	3.5
250	225	8.0	8.0	7.2	7.8	6.0	7.0	5.0	6.0	4.0	4.9	3.2	4.0	2.8	3.5
250	250	8.0	8.0	7.2	7.8	6.0	7.0	5.0	6.0	4.0	4.8	3.2	4.0	2.8	3.5

[표 3-11] 400AF이상 용량의 순시특성 및 동작 시간별 배율 최소값

용량		순시특성		2s		4s		6s		10s		15s		20s	
AF	AT	배 선	누 전	배 선	누 전	배 선	누 전	배 선	누 전	배 선	누 전	배 선	누 전	배 선	누 전
400	250	8.0	8.0	7.1	7.1	5.5	5.5	4.8	4.8	3.8	3.8	3.0	3.2	2.5	3.0
400	300	8.0	8.0	7.1	7.1	5.5	5.5	4.8	4.8	3.8	3.8	3.0	3.2	2.5	3.0
400	350	8.0	8.0	7.1	7.1	5.5	5.5	4.8	4.8	3.8	3.8	3.0	3.2	2.5	3.0
400	400	8.0	8.0	7.1	7.1	5.5	5.5	4.8	4.8	3.8	3.8	3.0	3.2	2.5	3.0
600	500	8.0	0.0	4.0	0.0	4.0	0.0	4.0	0.0	4.0	0.0	4.0	0.0	3.5	0.0
600	600	8.0	0.0	4.0	0.0	4.0	0.0	4.0	0.0	4.0	0.0	4.0	0.0	3.5	0.0
630	500	8.0	8.0	6.8	7.1	5.5	5.5	4.8	4.8	3.8	3.8	3.2	3.2	3.2	3.0
630	600	9.0	0.0	9.0	0.0	8.0	0.0	6.5	0.0	5.0	0.0	4.0	0.0	3.5	0.0
630	630	8.0	8.0	6.8	7.1	5.5	5.5	4.8	4.8	3.8	3.8	3.2	3.2	3.2	3.0
800	700	8.0	8.0	4.0	8.0	4.0	7.9	4.0	6.0	4.0	5.0	4.0	4.0	3.5	3.5
800	800	8.0	8.0	4.0	8.0	4.0	7.9	4.0	6.0	4.0	5.0	4.0	4.0	3.5	3.5
1000	1000	3.0	3.0	2.8	3.0	2.8	3.0	2.8	3.0	2.8	3.0	2.8	3.0	2.8	3.0
1200	1200	2.5	2.5	2.8	3.0	2.8	3.0	2.8	3.0	2.8	3.0	2.8	3.0	2.8	3.0
1600	1000	4.8	0.0	5.8		5.8		5.8		5.8		5.8		5.8	
1600	1200	4.0	0.0	5.8		5.8		5.8		5.8		5.8		5.8	
1600	1400	3.4	0.0	5.8		5.8		5.8		5.8		5.8		5.8	
1600	1600	3.0	0.0	5.8		5.8		5.8		5.8		5.8		5.8	

- 위에서 정리된 값은 차단기 제조사 별 모든 AF/AT값으로 차단기 규격 선정 시 모든 값이 사용되지는 않음. AT값을 기준으로 계수가 적용되고 이에 맞는 AF가 선정되게 됨. 보고서에는 제조사 별 값을 모두 보여주고 있지는 않지만 제조사 별로 최소규약 동작배율이 큰 차이를 가짐.
- [표3-12]는 LH 보호장치 규격 설계계산서에 담겨 있는 AT별로 분석된 최소규약동작배율을 보여주고 있으며, AT 용량이 커질수록 배율이 커지는 것을 볼 수 있음. 또한, 차단기 특성곡선에서도 나타나듯이 차단기 최소동작 시간이 증가할수록 최소규약동작 배율이 작아지는 것을 알 수 있음.
 - [표 3-12]는 실제 설계계산서의 품을 보여주고 있으며, 2s의 값은 현장 측정 결과를 토대로 직입기동 시간이 짧아 새롭게 추가

[표 3-12] 차단기 최소동작별 최소 규약동작 배율값 결정

AT	2s	4s	6s	10s	15s	20s
20	3.5	2.7	2.3	2	1.8	1.6
32	3.5	2.7	2.3	2	1.8	1.6
40	5.5	4	3.2	2.5	2.2	2
50	5.5	4	3.2	2.5	2.2	2
63	5.5	4	3.2	2.5	2.2	2
80	5.5	4	3.2	2.5	2.2	2
100	5.5	4	3.2	2.5	2.2	2
125	7.2	6	5	4	3.2	2.8
150	8	7	6.5	5	4	3.5
175	8	7	6.5	5	4	3.5
200	8	7	6.5	5	4	3.5
225	8	7	6.5	5	4	3.5
250	8	7.5	6.5	5	4	3.5
300	8	7.5	6.5	5	4	3.5
400	8	7.5	6.5	5	4	3.5

- 현재 설계계산서 상에 직입기동 최소동작시간은 4s를 기준으로 하고 있으나, 2s로 기준 변경 시 기동배율이 유지된다면 최소동작배율이 감소하여 차단기 규격은 감소하게 됨.
 - 차단기 정격전류(I_n)는 전동기 기동전류에 비례하고 차단기 규약동작배율에 반비례
- 다만, 기동배율이 차단기 정격전류와 비례 관계에 있어 기동배율, 차단기 규약동작배율 변화를 모두 고려해야함.
- 또한, 공동주택 대부분의 설비는 용량이 크지 않아 63AT 이하의 차단기가 주로 선정되며, 소방펌프만이 200~400AT 정도의 차단기가 사용됨. 이에 20AT이하의 차단기가 배수펌프 등에서 많이 사용 중에 있어 규격 선정 계수가 변화더라도 차단기 규격에는 변화가 없을 것임.
- 계수 변화에 따라 차단기 규격은 주로 급배기웁, 충압펌프의 분기 차단기에서 변화를 예상함.

제4장 공동주택 동력부하의 기동특성 분석

1. 분석 개요

1.1 측정대상 및 측정단지

■ 측정대상과 설비위치

- 측정대상은 2장에서 설명한 공동주택 동력부하 중에 기동방식, 용량, 설비위치, 측정 가능 유무 등을 판단하여 기동특성 분석을 위한 설비를 선정하였으며, 측정을 수행한 설비와 용량은 다음과 같음.

[표 4-1] 측정대상의 설비와 기동방식 분류

기동방식	설비명	설비위치	측정 용량범위
직입기동	배기팬 (유인팬 별도 수행)	지하주차장 환풍	2HP ~ 10HP (~183W)
	급배기팬	펌프실	2HP ~ 7.5HP
	배수펌프	지하주차장, 환풍, 펌프실, 저수조실	1HP ~ 3HP
	충압펌프	펌프실	5P ~ 7.5HP
리액터기동	소방주펌프	펌프실	75HP ~ 100HP
	소방예비펌프	펌프실	75HP ~ 100HP
인버터 기동	급수펌프	펌프실	5HP ~ 10HP

- 설비 당 측정 횟수는 직입기동의 경우 기동특성을 확인 할 수 있는 정도의 데이터가 수집되는 시점까지 측정을 반복적으로 수행하였으며, 리액터는 측정기간 중 소방점검 시 입회하여 측정을 수행하였음.

■ 측정단지

- 측정단지는 준공연도와 주택의 규모, 설비의 제조사를 검토하여 선정하였으며, 측정 단지의 수는 기동특성 분석이 가능한 수준의 데이터가 확보 될 때까지 확장하여 측정을 진행하였음. 본 연구의 측정단지는 약 20개단지에서 진행되었으며, 측정이 수월한 급배기팬은 모든 단지에서 측정을 수행하였음. 배수펌프와, 소방펌프는 측정 가능한 단지를 선정하여 별도 진행하였음.

1.2 측정방법 및 분석방안

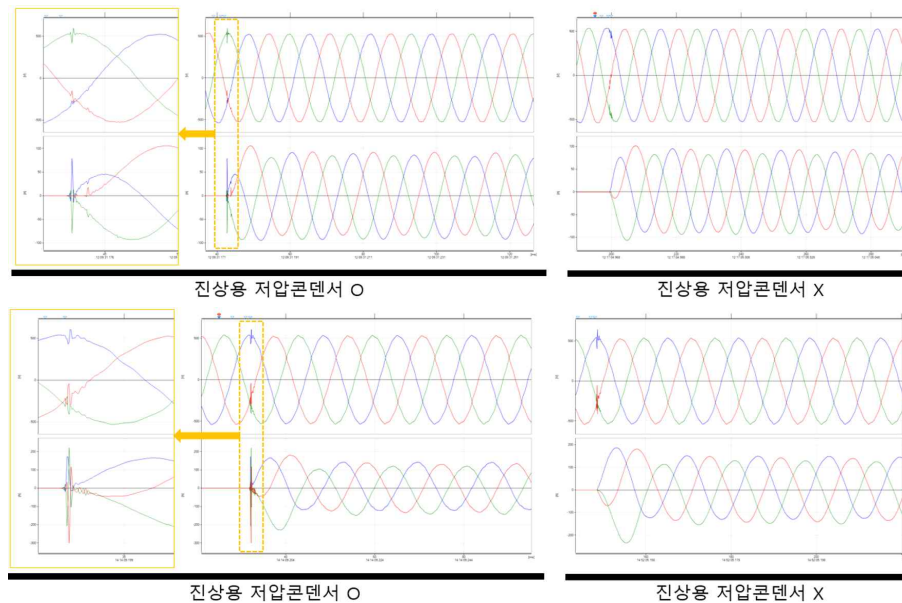
■ 측정방법

- 측정은 전력분석기(Hioki PW3198)의 돌입모드(Inrush mode)를 통해 이루어졌으며, 20HP 이하의 설비의 기동 및 돌입전류를 고려하여 전류 클램프는 Hioki 9661을 사용하였고 소방펌프는 용량을 고려하여 Hioki9667 클램프를 사용하였음.



[그림 4-1] 전력분석기 설치 예시

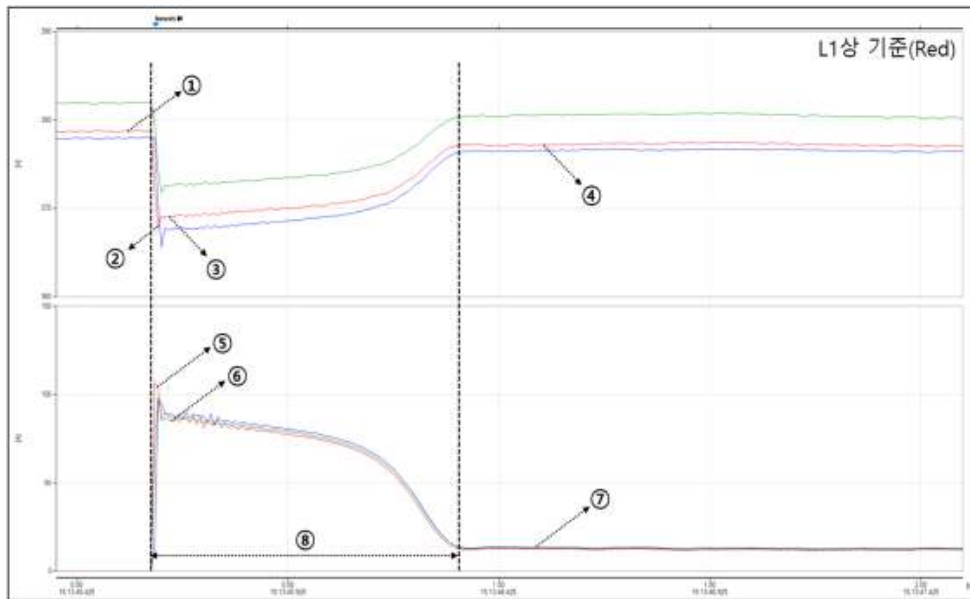
- 차단기 규격 선정과 관련된 만큼 측정은 설비의 분기 차단기에서 진행되었음. 사전 측정을 통해 측정 위치를 선정한 것으로 차단기와 설비 사이에 저압용 진상콘덴서가 위치하여 설치 위치에 주의해야함.
- [그림 4-2]는 진상용 저압콘덴서 전과 후의 위치에서 측정한 예시로 후단에서는 콘덴서에 의한 돌입전류가 나타나지 않은 것을 볼 수 있음. 동일 설비의 경우에도 콘덴서 용량에 따라서 기동 특성이 상이해지는 특성이 있음.



[그림 4-2] 진상콘덴서 전후 위치에 대한 기동특성 비교 (위) 5HP (아래) 10HP

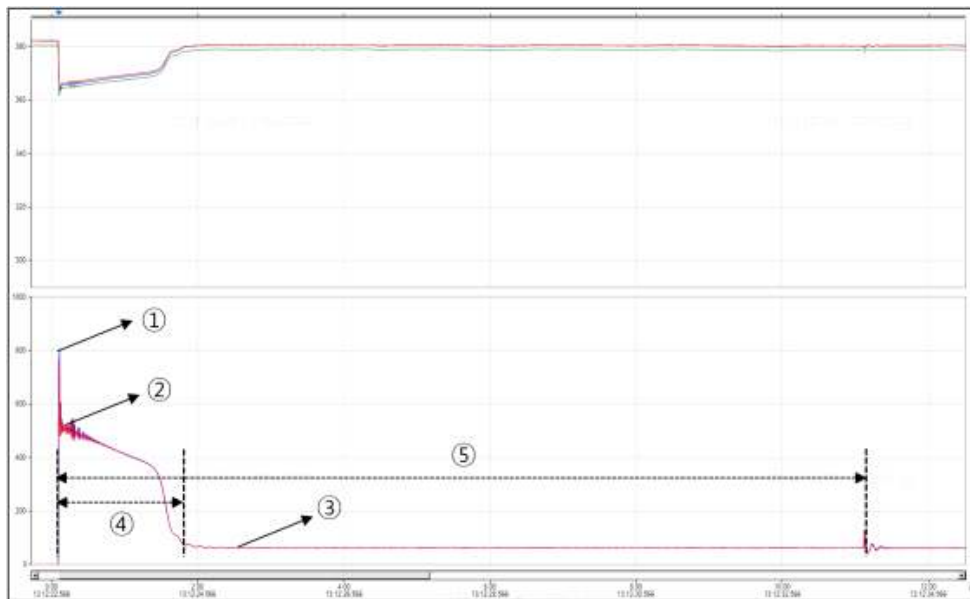
■ 분석방안

- 측정을 통해 얻어진 데이터는 전력분석기의 모니터링 프로그램을 통해 진행되었으며, 기동전류, 돌입전류, 기동시간을 정리하여 차단기 규격선정에 필요한 결과를 도출하고자 함.
 - 기동전류와 돌입전류와 더불어 전압강하율을 별도로 추가 정리하였으며, 기동 시간은 부하 전류에 달하는 시점
 - 각 상의 값을 모두 정리하여 최대값을 기준으로 해당 설비의 기동(돌입)전류 제시
- 리액터 기동의 경우는 리액터기동 후 일정 시간 후 타이머에 의해 직입운전으로 전환 되기에 추가적인 데이터 분석이 요구됨.
 - 직입기동에서의 데이터 수집과 더불어 리액터 기동에서 직입 운전으로 전환 된 시점에서 특성을 분석
 - 리액터기동 전환 타이머의 설정에 따라 단지별로 큰 차이를 보일 수 있기에 필요



- | | |
|---------------|-----------|
| ① 기동전 전압 | ⑤ 돌입전류 |
| ② 돌입전류에 의한 전압 | ⑥ 기동전류 |
| ③ 기동전류에 의한 전압 | ⑦ 정상상태 전류 |
| ④ 정상상태 전압 | ⑧ 기동시간 |

[그림 4-3] 직입기동 특성파형 분석계수



- | | |
|-----------|----------------|
| ① 돌입전류 | ④ 기동시간 |
| ② 기동전류 | ⑤ 리액터-직입 전환 시간 |
| ③ 정상상태 전류 | |

[그림 4-4] 리액터기동 특성파형 분석계수

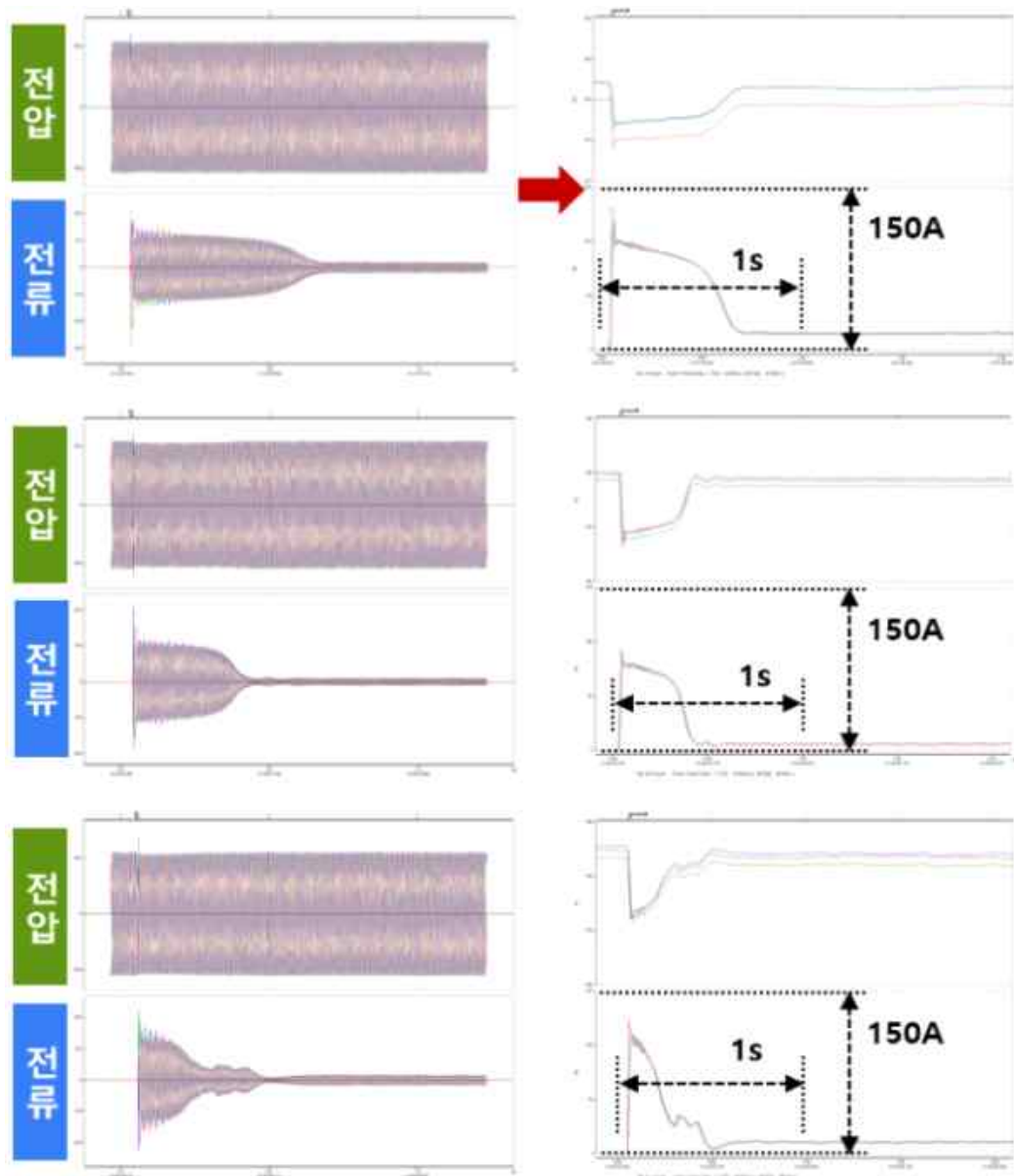
2. 직입기동 동력부하 측정결과 및 분석

2.1 지하주차장 배기팬

- 지하주차장 환풍에 위치한 배기팬은 공동주택 직입기동 중 용량 큰 동력부하에 해당함. 측정된 용량은 2HP에서 10HP이나 분석은 측정 수량이 많아 유의미한 결과 도출이 가능한 5HP에서 10HP로 정하여 진행하였음.
 - 배기팬 제조사 별로 특정 제조사의 전동기를 사용 중에 있으며, 제조사 3곳의 제품이 많이 분포
 - 용량별로 배기팬 제조사, 전동기 제조사가 고루 분포될 수 있도록 측정을 수행하였으며, 동일 용량과 제조사의 것이어도 설비의 풍량, 풍압이 다른 경우에도 별도로 구분하여 측정 수행
- 주차장의 모든 배기팬은 행거타입으로 벨트형의 구조이며, 전동기는 4극으로 1800rpm의 동기속도를 가짐. 차단기의 용량은 설비용량 별로 상이하나 50AF이하의 차단기가 설치되었음.
- 주차장의 배기팬은 지하주차장의 환풍에 위치하고 있으며, 유인팬과 연동되어 운전함. 환풍의 구조상 배기팬 덕트의 구조는 간단하고 직상으로 외기와 연결되어 있음.
- 설비 당 반복적으로 운전하여 데이터를 수집하고 분석하였음.

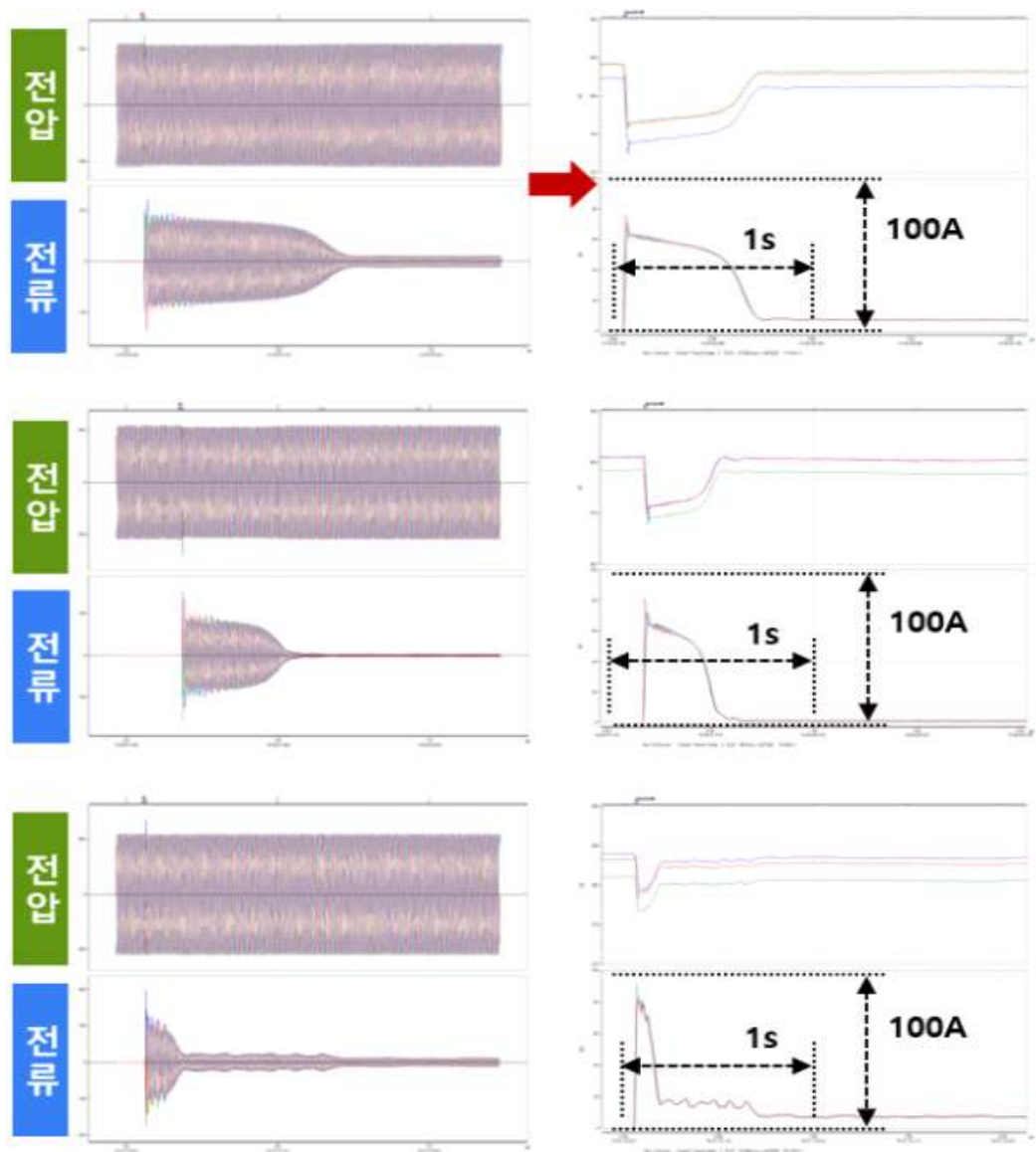
[표 4-2] 지하주차장 배기팬 주요 사양

구분	사양							
기동방식	직입기동							
배기팬 방식	Hanger FAN(BELT)							
설비용량 및 속도	약 200~900CMM / 약 750 ~ 1770rpm							
전동기 용량	3HP(2.2kW) ~ 10HP(7.5kW)							
전동기 극수 / 속도	4극 / 1740 ~ 1770rpm							
설비 용량 별 차단기용량	10HP		7.5HP		5HP		3HP	
	AF	AT	AF	AT	AF	AT	AF	AT
	30~50	20~50	30~50	20~30	30~50	15~20	30~50	15~20
	배기팬 1기 별 연결된 분기차단기의 용량으로 단지별 상이							

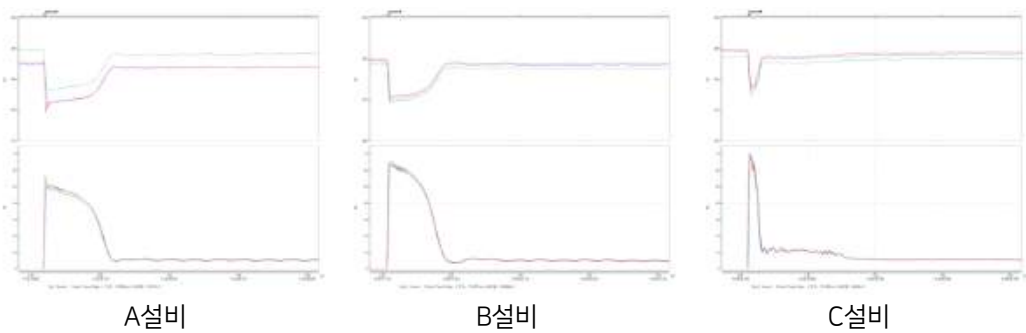


[그림 4-5] 10HP 배기팬 기동특성 파형 (좌) 이벤트 파형 (우) 실효값

- [그림 4-5]에서 [그림 4-7]까지는 측정된 배기팬의 기동특성을 보여줌. 배기팬의 기동파형은 일반적인 직입기동의 형태인 돌입전류, 기동전류, 부하전류로 구분되어 나타났다.
- 기동 특성은 제조사에 따라서 큰 차이를 보이며, 일반적으로 기동배율이 크게 나타날수록 기동시간이 짧게 나타났다. 측정위치에서 보이는 정상상태 전류는 진상용 콘덴서 용량에 따라 설비별로 크게 차이가 발생됨.



[그림 4-6] 7.5HP 배기팬 기동특성 파형 (좌) 이벤트 파형 (우) 실효값



[그림 4-7] 5HP 배기팬 기동특성 파형



[그림 4-8] 배기팬 용량별 기동시간과 기동배율

- 측정 결과를 토대로 기동전류, 돌입전류, 기동시간 분석하고 설계전류 대비 기동전류와, 돌입전류의 비율 관계 분석을 통해 현재 설계기준과 제조사 데이터의 값과의 비교를 하고자 함.
- 배기팬은 위그림에서 볼 수 있듯이 용량 상관없이 모든 측정치에서 1s 이내로 기동을 완료하는 것으로 나타났으며, 이는 현재 설계기준에 사용하는 전동기 기동시간 기준인 4s보다 확연하게 빠른 것으로 나타났음.
 - 일부 설비에서는 0.2s 이내로 빠른 기동 특성을 보이는데 제조사 별 설비의 특성에 따라 기동 시간 편차가 크게 발생
 - 특히, 특정 제조사 설비에서 기동시간은 빠르고 기동배율이 크게 나타나는 특성을 가지며, 용량이 작을수록 그 특성이 부각
- 기동배율에 대한 분석은 설계전류와 전동기의 정격전류를 기반으로 진행하였으며, 설계전류 기반의 기동배율과 정격전류 기반의 기동배율에는 큰 차이가 없었음. 차단기 선정 시에는 설계전류를 기반으로 하므로 보고서의 측정된 기동 배율은 설계전류 대비 기동전류의 비를 의미함.
- [표 4-3]에서 측정 결과를 용량별로 구분하여 차단기 규격 선정에 필요한 계수의 현장 특성을 볼 수 있음. 여기서 β 는 설계전류를 기반으로 한 기동배율이고 β' 은 전동기 정격전류를 기반으로 한 기동배율임.

[표 4-3] 웬룸 배기웬 기동 특성 결과표

용량	구분	AF (A)	AT (A)	ε (%)	k (p.u.)	β^* (%)	β (%)	I_{MS} / AT (%)	I_{Load} / AT (%)	t_m (s)
통합 (5HP~ 10HP)	MAX	50	50	4.29	1.42	820.37	835.65	503.15	72.55	0.81
	AVG			2.44	1.24	636.64	643.10	329.20	33.54	0.49
	MIN	30	15	1.34	1.06	546.04	543.45	189.32	5.4	0.11
10HP	MAX	50	50	4.29	1.42	689.17	679.22	503.15	72.55	0.81
	AVG			3.28	1.30	595.77	604.83	370.56	43.06	0.63
	MIN	30	20	1.59	1.20	546.04	562.15	189.32	15.23	0.42
7.5HP	MAX	50	30	2.81	1.37	702.13	712.21	346.45	61.70	0.78
	AVG			1.95	1.24	617.33	620.95	301.29	29.64	0.48
	MIN	30	20	1.34	1.16	549.49	543.45	217.73	5.40	0.15
5HP	MAX	50	20	2.66	1.20	820.37	835.65	448.47	30.6	0.50
	AVG			2.27	1.11	766.13	776.49	340.57	28.55	0.29
	MIN	30	15	1.68	1.06	630.38	626.46	252.15	26.15	0.11

AF : 차단기 Ampere Frame

I_{Load} : 부하전류

I_{rated} : 정격전류(제조사)

ε : 전압강하(e)율

AT : 차단기 Ampere Trip

I_{MI} : 기동돌입전류

k : 비대칭계수(I_{MI}/I_{MS})

β : 기동배율(I_{MS}/I_B)

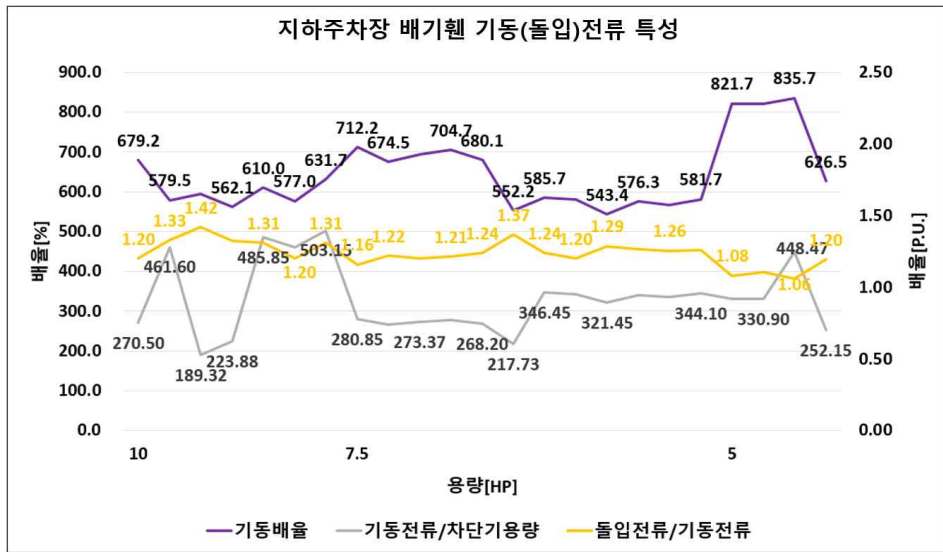
I_B : 설계전류

I_{MS} : 기동전류

t_m : 기동시간(설계값 4s)

β^* : 기동배율(I_{MS}/I_{rated})

- 동일 용량이라도 설치된 차단기 용량은 위 표와 같이 상이하게 나타나며, 상대적으로 큰 10HP에서 그 차이는 크게 나타남. 측정단지의 차단기는 KEC 제정 이전에 설계된 것으로 본 연구에서는 크게 살펴보지 않음.
- 배기웬의 측정된 기동배율의 최대값은 약 840%(5HP)로 7.5HP와 10HP에 비해 기동배율이 다소 높게 나타나며, 기동 시간은 5HP가 가장 짧게 나타났음. 기동배율의 높음은 기동토크가 높게 전달된 것을 의미하게 되고 이에 따라 기동시간이 짧게 나타나게 됨.



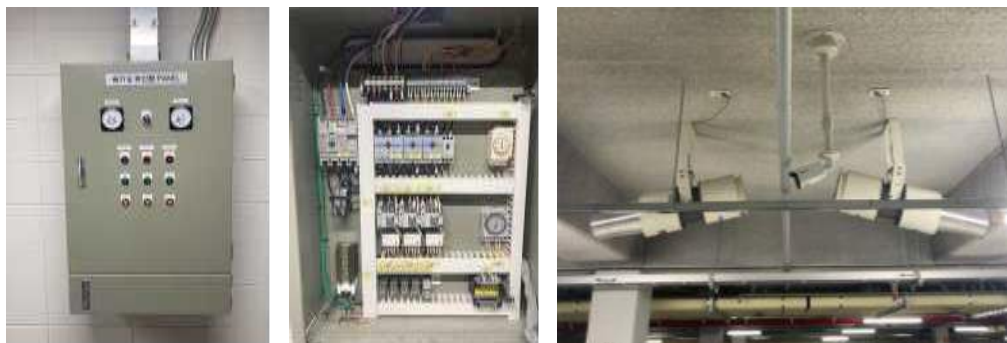
[그림 4-9] 배기팬 기동배율 및 기동초기 시 기동전류와 차단기용량의 비

- 설계기준에는 기동전류와 돌입전류의 비(k , 비대칭계수)를 계산하여 순시특성을 결정하게 되고 현재 설계에는 1.5를 적용 중에 있음. 측정 결과 k 값은 최소 1.1에서 최대 1.4로 설계값과 유사하여 설계값이 적합한 것을 확인하였음.
- 전압강하는 최대 5% 이내로 발생되고 있으나, 분기 차단기에 측정된 것으로 다른 설비에 영향을 줄 수 있는 분기점 등에서 측정을 해야 직입기동에 의한 전압강하 영향을 볼 수 있음.
- 차단기용량(AT)과 기동전류의 비는 차단기를 기준으로 기동 최초에 어느정도의 값을 보이는지 보기 위함이며, 차단기용량과 부하전류의 비는 배기팬의 정상운전 상태에서 차단기 용량의 적합함을 보기 위함임.
- 현재 직입기동은 전동기 최소 기동시간을 4초로 정하고 있고 이를 차단기 최소 동작 시간으로 정하고 있음. 이에 따라 4초에 해당하는 차단기 규약동작배율(δ)의 제조사 최소 규약동작배율을 통해 차단기 규격선정에 이용하고 있음.
 - 4s에서의 최소 규약동작배율은 차단기 용량별로 상이하지만 [표 4-4]에서와 같이 배기팬 차단기 용량의 대략적인 범위를 봤을 때 약 2.7에서 4정도 적용
- 측정된 배기팬 기동시간은 모두 1s 이내로 현재 기준대비 짧아 기준시간을 현재 4초에서 감소시키는 것을 검토하고자 함. 다른 설비에 대한 결과에 따라 달라지나 배기팬 측정 결과를 봤을 때 2초 정도로 차단기 최소 동작시간으로 검토하는 것이 합리적이라 판단됨.

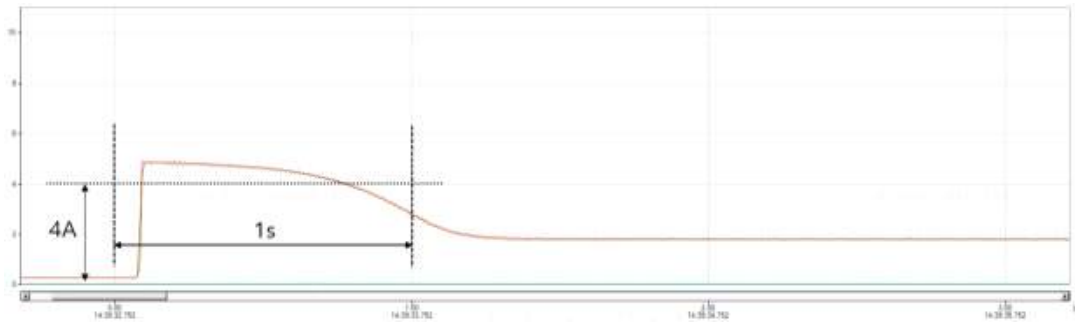
[표 4-4] 배기팬 설계기준의 규약동작배율과 2s 시 규약동작배율

AT	설계기준	2s
15	2.7	3.5
20	2.7	3.5
30	2.7	3.5
40	4	5.5
50	4	5.5

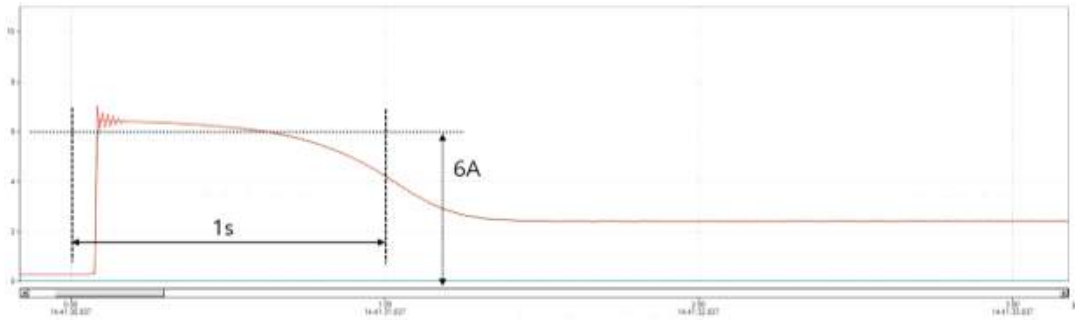
- 이러한 측정결과에 따라 앞서 3.2에서 차단기 제조사 데이터 분석에 2s를 추가하였으며, 2s로 짧아지게 되면 차단기 용량 15~50A의 규약동작배율은 3.5에서 5.5의 값을 갖게 됨. 기존 값과 비교하면 최소동작 시간이 감소함에 따라 모두 증가함.
- 배기팬과 함께 살펴봐야하는 설비는 유인팬으로 지하주차장 환기시설은 일반적으로 급배기팬과 유인팬이 연계되어 구성되며, 환룸에 위치한 배기팬 분전반 내에 유인팬 제어설비도 함께 위치하고 있음.
- 유인팬은 지하주차장 공기질 상태에 따라 또는 정해진 시퀀스에 따라서 운전하게 됨. 유인팬은 단상 220V를 전원으로 배기팬과 동일하게 기동전류가 발생됨. 다만, 유인팬의 용량은 200W 이하로 배기팬에 비해 용량이 작아 배기팬과 유인팬이 동시에 작동한다고 해도 배기팬의 기동 특성에 큰 영향을 미치지 않음.
- 본 측정에서는 배기팬을 정지시키고 유인팬만 수동으로 조작하여 기동 특성을 확인하였음. [그림 4-11]에서는 유인팬 기동 특성을 보여주고 있으며, 배기팬의 기동 특성보다 낮은 기동배율이 나타남. 또한, 기동시간은 약 1s에서 1.5s로 배기팬보다 다소 길게 나타남.



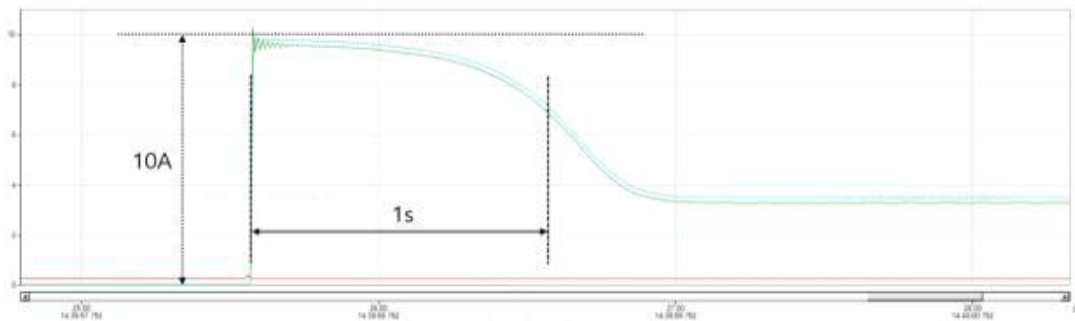
[그림 4-10] 환룸 배기팬 분전반 유인팬 제어 설비와 지하주차장 내 유인팬



(a) 유인웬 2개 동시 기동



(b) 유인웬 3개 동시 기동



(c) 유인웬 4개 동시 기동

[그림 4-11] 유인웬 동시기동 개수 별 기동전류 파형

- 유인웬 분기차단기는 배기웬 차단기와 동일 AF에 최소용량인 15AT 차단기가 적용되고 있어 기동배율 및 기동시간에 따라 차단기 용량이 변하지는 않음.
- 차단기 선정에 가장 큰 영향을 주는 계수는 차단기 규약동작배율은 3상과 동일한 값을 적용

2.2 펌프실 급배기웬

- 배기웬은 지하주차장 이외의 공간에도 많이 있으나, 급기웬과 배기웬을 모두 가지고 있고 웬설비 중 용량이 지하주차장 배기웬 다음으로 높아 펌프실에서 측정을 진행하였으며, 20여 단지 이상에서 측정을 수행하였음.

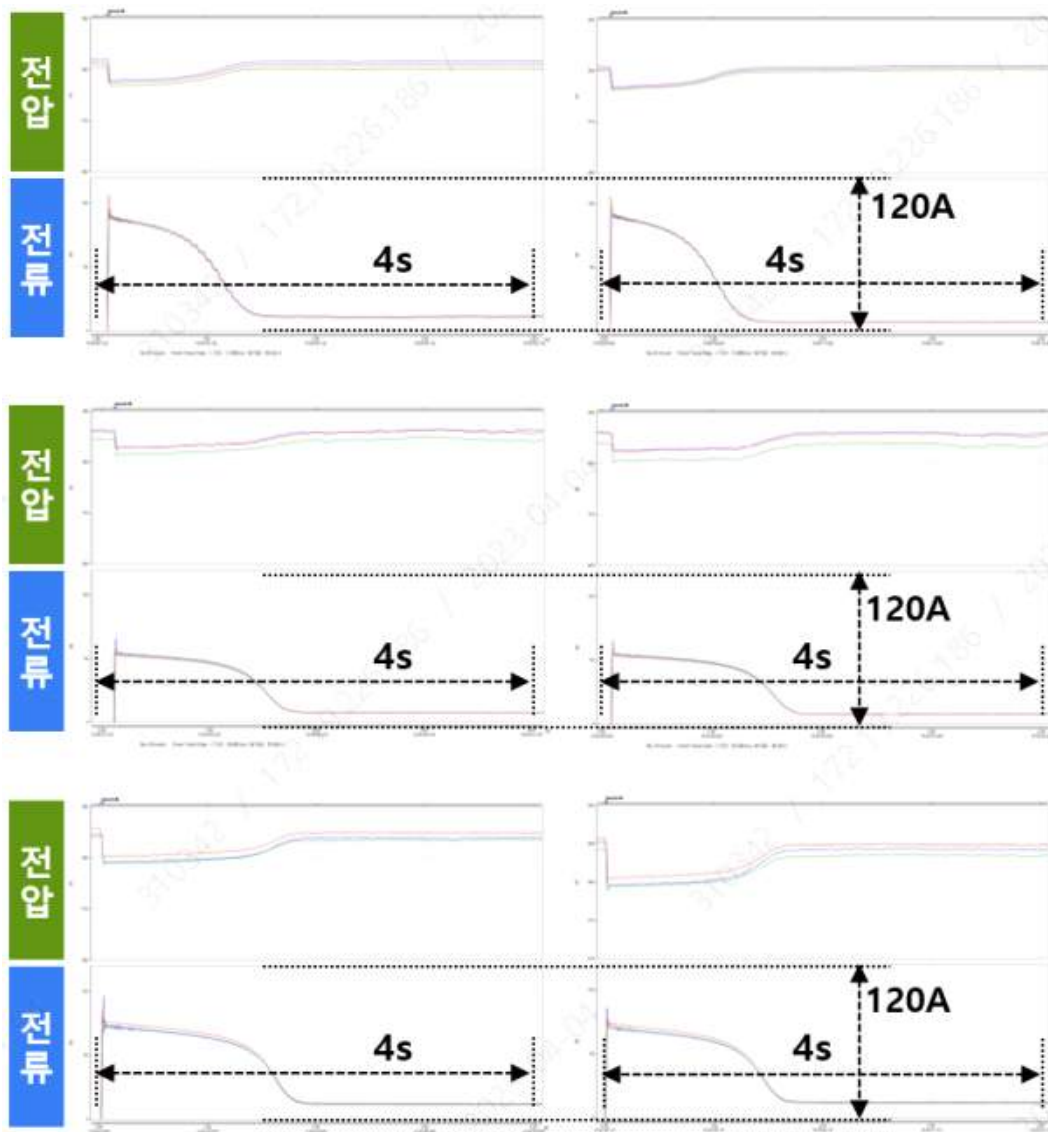
- 펌프실의 급배기웬은 직입기동으로 지하주차장의 웬과는 달리 덕트 내부에 웬과 전동기가 직결되어 있는 “Direct on Line” 방식을 사용하고 있음. 용량은 주로 5HP에서 7.5HP가 설치되어 있음. 이 급배기웬의 특징은 전동기 극수가 제조사 별로 차이를 보이고 있는데 4극 또는 6극의 전동기를 제조사마다 다르게 이용하고 있음.
 - 세부적인 전동기의 사양은 확인에는 한계가 있어 모든 분석은 설계전류를 바탕으로 진행
 - 전동기 제조사의 데이터시트를 보면 [표 4-5]와 같이 4극, 6극의 기동배율은 차이가 있으나, 설계 시 극수를 반영하지 않기에 설계전류로 분석을 진행
- 펌프실의 급배기웬은 지하주차장 배기웬의 전압강하율보다 전반적으로 낮아 별도로 전압강하율에 대한 값은 분석하지 않음.

[표 4-5] 제조사별, 극수별 기동배율 특성

용량 [HP]	A사			B사			C사		
	2극	4극	6극	2극	4극	6극	2극	4극	6극
1	900	750	600	640	660	640	758	768	650
2	950	900	790	870	740	640	903	703	657
3	1000	835	730	1010	900	710	909	792	645
5	915	820	720	780	660	710	800	795	650
7.5	700	950	750	650	700	650	753	702	648
10	860	750	825	800	650	720	750	752	698

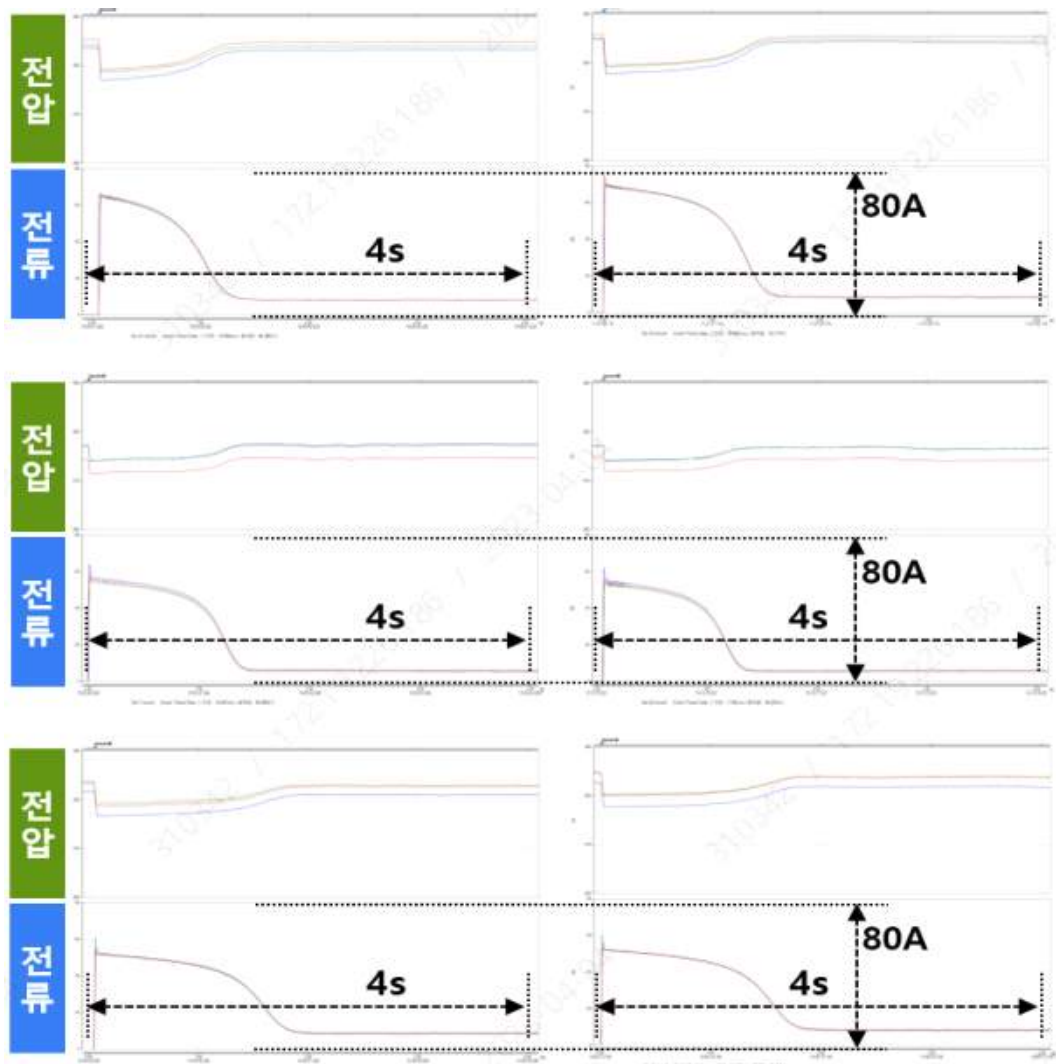
[표 4-6] 급배기웬 설비 기본 사양

구분	사양			
기동방식	직입기동			
배기웬 방식	Direct on Line			
전동기 용량	2HP(1.5kW) ~ 7.5HP(5.5kW)			
전동기 극수 및 속도	4~6극 / 1740 ~ 1180rpm ☞ 동일용량이어도 단지별로 전동기 극수가 상이함			
설비 용량 별 차단기 용량	7.5HP		5HP	
	AF	AT	AF	AT
	50	40	50	30~40
	☞ 7.5HP는 대부분 배선용 차단기로 40AT로 구성, 5HP는 배선용, 누전차단기 혼용되어 사용 중으로 30, 32, 40A로 구성되어 있음.			

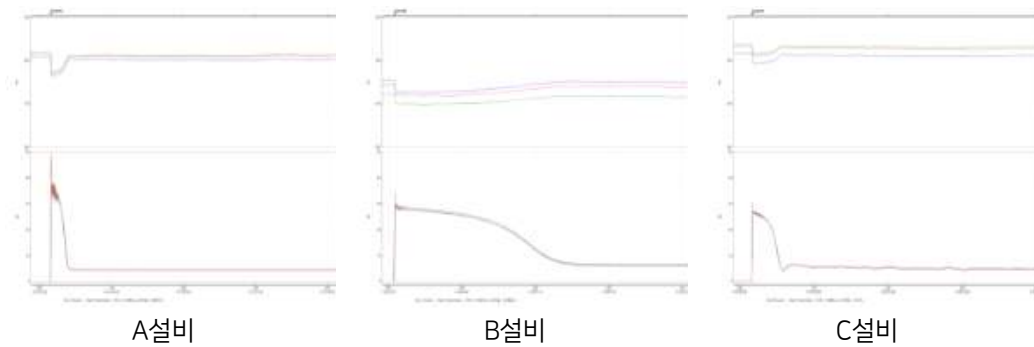


[그림 4-12] 펌프실 7.5HP 급배기형 (좌) 급기형 (우) 배기형

- 펌프실의 급배기형은 지하주차장의 배기형과 같이 유사한 직입기동의 특성을 보이나, 상대적으로 긴 기동시간을 가짐. 또한, 급배기형의 경우에도 제조사에 따라서 기동 특성이 상이한 것으로 보이며, 극수의 증가에 따라 토크가 증가하는 전동기의 특성을 봤을 때, 극수에 따른 차이도 존재할 것이라 판단됨.
- 기동파형을 봤을 때, 5HP와 7.5HP의 특성은 대부분 유사한 것으로 보이나 일부 설비에서는 짧은 기동시간이 나타났음. 3HP의 경우([그림 4-14])에서도 기동배율이 크지 않음에도 0.5s이내의 짧은 기동 시간을 보이는 경우가 있었음.



[그림 4-13] 펌프실 5HP 급배기환 기동파형 (좌) 급기환 (우) 배기환



[그림 4-14] 3HP 급배기환 기동파형

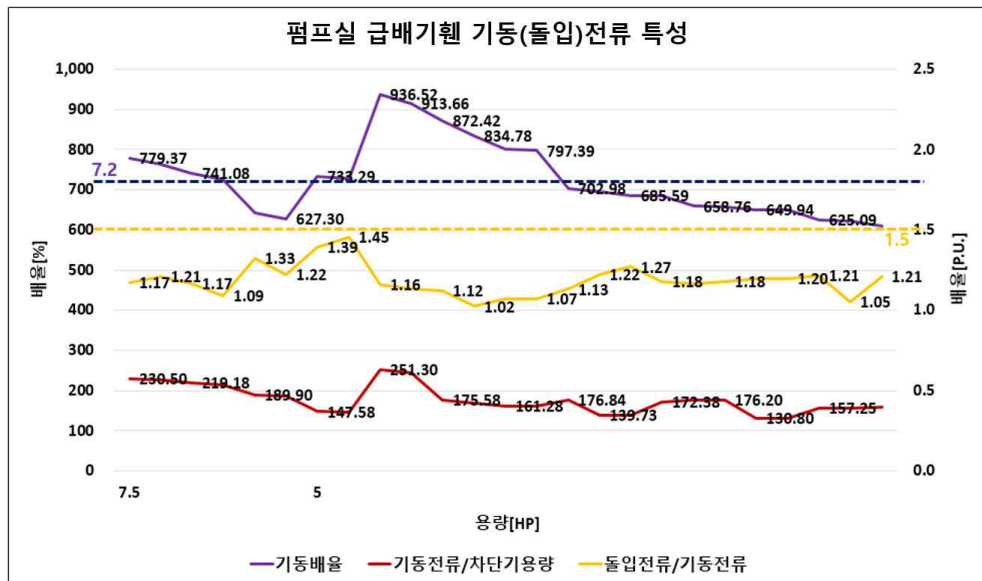
[표 4-7] 펌프실 급배기환 기동 특성 결과표

		AF (A)	AT (A)	I_{MS} (A)	k (p.u.)	β (%)	I_{MS}/AT (%)	I_{Load}/AT (%)	t_m (s)
통합 (5HP~ 7.5HP)	MAX	50	40	92.20	1.45	936.52	251.30	32.22	1.93
	AVG			64.84	1.19	725.11	177.38	22.95	1.60
	MIN		30	49.09	1.02	609.81	129.05	10.98	0.39
7.5HP	MAX	50	40	92.20	1.33	779.37	230.50	31.55	1.85
	AVG			84.38	1.20	713.26	210.95	26.63	1.43
	MIN		30	74.21	1.09	627.30	185.53	18.25	0.92
5HP	MAX	50	40	75.39	1.45	936.52	251.30	32.22	1.93
	AVG			58.67	1.18	728.85	166.78	21.79	1.65
	MIN		30	49.09	1.02	609.81	129.05	10.98	0.39

- [표 4-7]은 펌프실 급배기환의 전체적인 측정 결과를 보여줌. 기동 시간은 설계기준인 4s 이내를 모두 만족하는 것으로 나타났음. 일부 단지에서는 약 2s 정도의 기동시간을 보이거나 대부분 2s 이내에 기동함.
- 단지 별로, 용량 별로 기동시간에 대한 편차가 크게 나타나고 기동 배율 또한 편차가 크게 나타남. 설계전류를 기반으로 기동 배율을 분석하여 편차가 크게 나타난 것으로 판단되며, 극수 별로 전동기의 정격전류도 다르고 기동 배율도 다른 것을 봤을 때 기동 배율에 대한 수치도 넓게 분포할 것으로 예상됨.
- 또한, 덕트의 구조가 단지 별로 상이하고 덕트 내 급배기환의 위치가 다양하여 바람의 흐름이 다양할 것이고 이에 따라 다른 특성들이 나타날 것으로 생각됨.
- 통합 용량에서 측정 기동배율은 최대값이 약 940%이며, 평균값은 730%, 최소값은 610%로 나타남. 앞서 분석된 지하주차장 배기환에 비해서 최대값과 최소값의 차이가 크며, 동일 용량 내에서도 최대값과 최소값의 차이가 크게 나타남. 특히 용량이 작은 설비에서 그 차이는 더욱 두드러지게 나타났음.
- 이에, 급배기환의 측정결과와 전동기 제조사의 데이터 특성을 비교하여 차단기 규격 선정에 적용되는 기동배율 계수값을 적절하게 선정해야만 함. 전체 평균값을 보면 현재 기준값인 7.2가 적절해보이나, 그 이상의 값이 다수 측정된 점에서 검토할 필요성이 있음.



[그림 4-15] 급배기행 기동시간 추이



[그림 4-16] 급배기행 기동배율 및 기동초기 시 기동전류와 차단기용량의 비

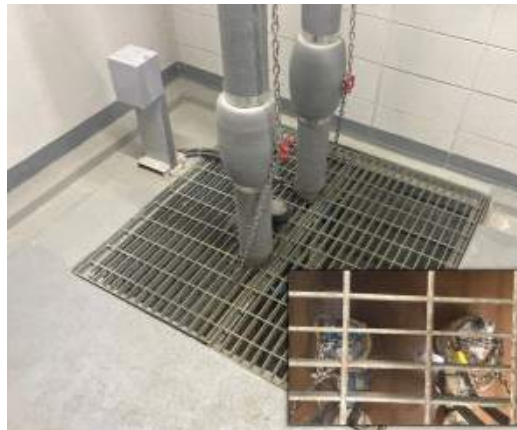
- 차단기용량과 기동전류의 비를 봤을 때는 용량별로 상이한 특성을 가지지만 매우 안정적으로 선정되어 설치된 것으로 보이며, 돌입전류와 기동전류의 비(k)는 최대값 1.45, 평균값 1.2정도로 현재 설계값 범위 내에 들어왔음.
- 급배기행 측정결과 기동시간 기준 감소와 기동배율 기준 증가에 대해 검토가 필요한 것으로 보이며, 검토결과는 5장에서 설명함.

2.3 배수펌프

- 배수펌프의 용량은 급배기환에 비해 작지만 부하 종류가 달라 측정하였으며, 약 24개 단지의 주차장 배수용, 저수조실 및 펌프실 배수용, 조정 배수용 등의 수중펌프를 대상으로 측정을 수행하였음.
- 배수펌프의 용량은 주로 1HP~3HP로 설치 운용되나 본 측정에서는 2HP~3HP의 배수펌프를 중심으로 측정하고 분석하였음. 측정 결과의 신뢰성을 확보하기 위해서 사전 측정을 통해 배수펌프 집수정의 물높이에 따른 기동 특성을 사전분석하고 본 측정을 수행하였음.
- 배수펌프의 설비 사양(유량, 양정 등)은 도면으로 확인되나, 물속에 펌프가 위치하여 세부적인 전동기의 사양은 확인이 불가하였음. 이에 배수펌프에 대한 분석은 설계전류를 기반으로 하였음.
 - 펌프용 전동기의 극수는 2극으로 동기속도는 3,600rpm
 - 용량별 설계전류 : 2HP - 3.51A, 3HP - 4.85A
- 보통 하나의 시설은 두 개의 배수(수중)펌프로 구성되며, 하나의 제어반에서 구성됨. 집수정의 물 높이에 따라 운전 펌프의 수가 결정됨. 본 측정에서는 하나의 배수펌프를 대상으로 분석하였으며, 두 대의 펌프가 동시 기동 시 특성을 확인하기 위해 별도로 측정을 수행하였음.

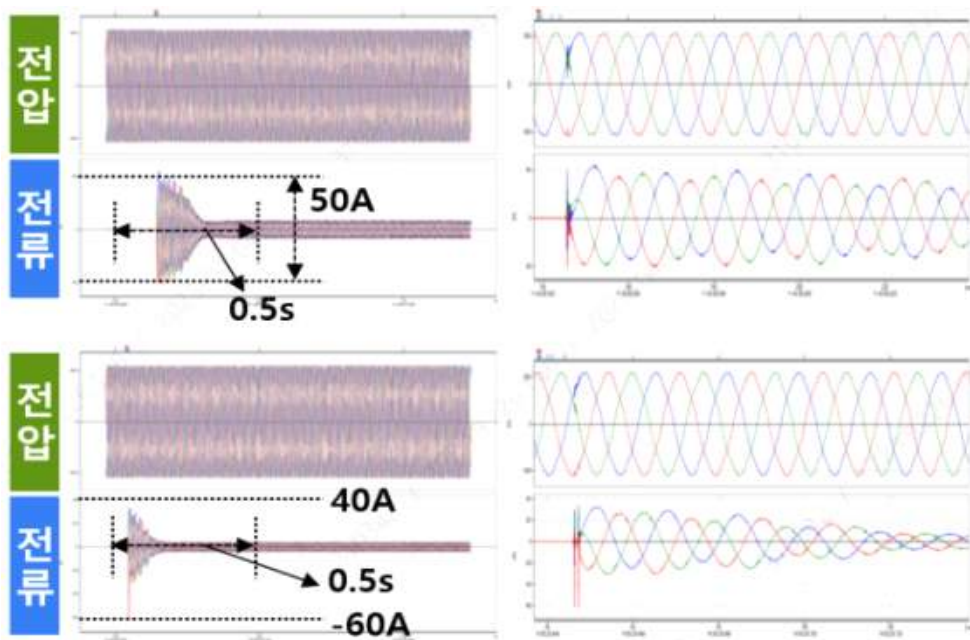


(a) 분전반 내부

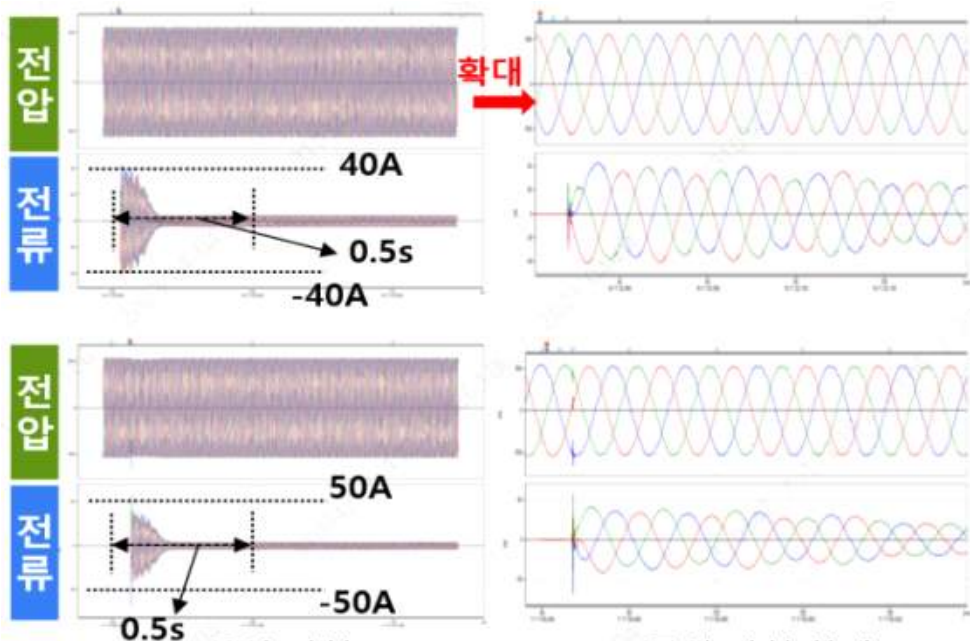


(b) 배수펌프

[그림 4-17] LH 공동주택 배수(수중)펌프 구성

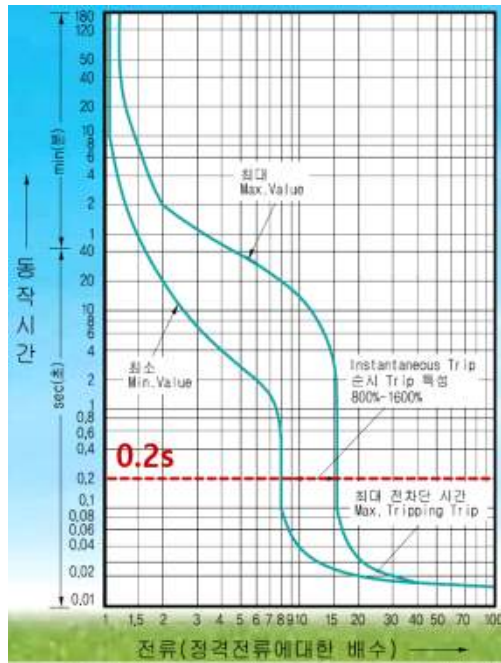


[그림 4-18] 3HP 배수펌프 기동파형

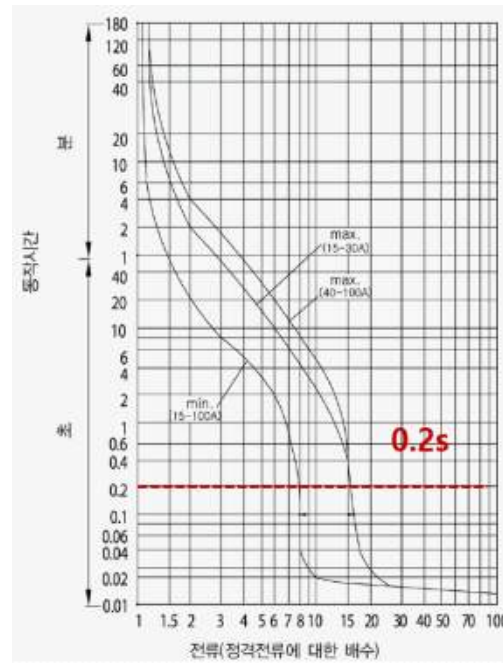


[그림 4-19] 2HP 배수펌프 기동파형

- 배수펌프의 기동 시간은 앞서 살펴본 급배기팬과 달리 매우 빠른 기동 특성을 가짐. 모든 측정에서 0.2s 이내에 기동을 완료하였으며, 이는 [그림 4-19]에서와 같이 차단기 특성 곡선에서 모두 순시영역에 해당함.



(a) A 제조사 특성곡선



(b) B 제조사 특성곡선

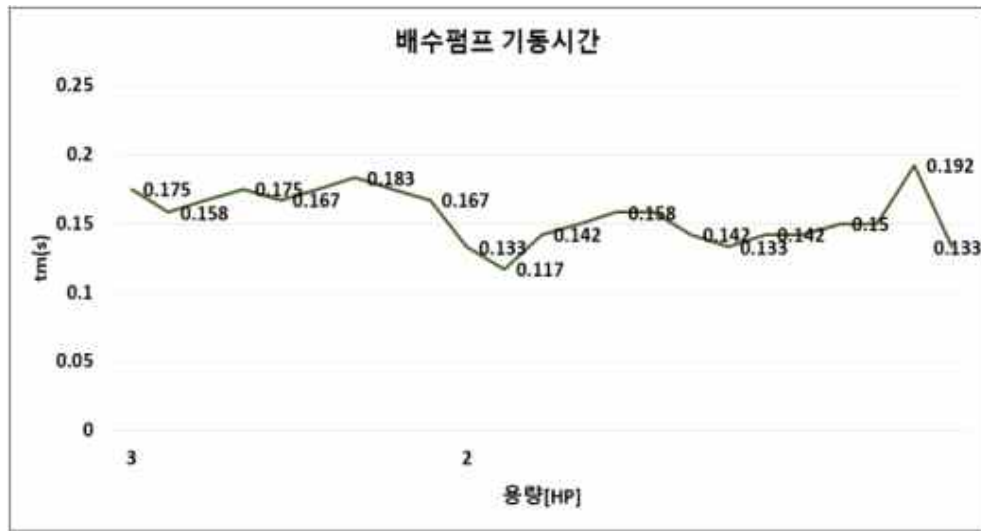
[그림 4-20] 배수펌프 기동시간과 차단기 특성 비교 예시

[표 4-8] 배수펌프 기동특성 결과표

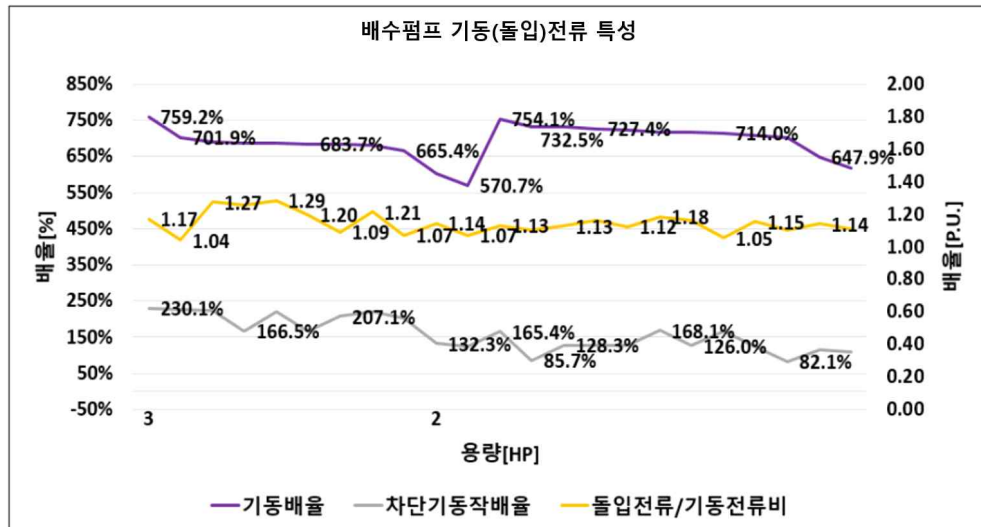
		AF (A)	AT (A)	I_{MS} (A)	k (p.u.)	β (%)	I_{MS} / AT (%)	I_{Load} / AT (%)	t_m (s)
통합	MAX	50	30	36.82	1.29	759.18	230.13	38.00	0.192
	AVG			27.90	1.15	691.38	158.42	22.72	0.156
	MIN	30	15	20.03	1.04	570.66	82.07	8.50	0.117
3HP	MAX	50	20	36.82	1.29	759.18	230.13	38.00	0.183
	AVG			33.60	1.18	692.78	206.96	32.75	0.171
	MIN	30	15	32.27	1.04	665.36	165.80	25.00	0.158
2HP	MAX	50	30	26.47	1.18	754.13	168.07	24.00	0.192
	AVG			24.24	1.13	690.48	127.21	16.28	0.146
	MIN	50	15	20.03	1.05	570.66	82.07	8.50	0.117

- 기동배율은 최대값 760%, 평균값 690%, 최소값 570%로 최대값에서도 현재 기준값인 720%와 유사한 크기를 보이고 있음. 급배기웁보다 최대값과 최소값의 차이가 크지 않았으며, 단지 별로 기계적 사양(관경, 양정 등)이 유사한 점과 부하의 특성에 의한 결과로 생각됨.

- 또한, 돌입전류와 기동전류의 비(k)는 최대 1.3, 최소 1.05로 현재 설계 기준값(1.5)이 적절한 것으로 나타났다.
- 현재 설치된 차단기는 보통 30/32AF에 15/16AT 차단기가 설치되어 있음. 펌프실 및 지하저수조의 일부 설비에서 50AF에 20AT 또는 30AT 차단기용량이 적용된 경우도 있었음. 모두 안정적인 차단기 성능을 확보할 수 있음.
 - 30AT가 설치된 경우 차단기용량 대비 기동전류의 비, 차단기용량 대비 부하전류의 비가 매우 낮게 형성

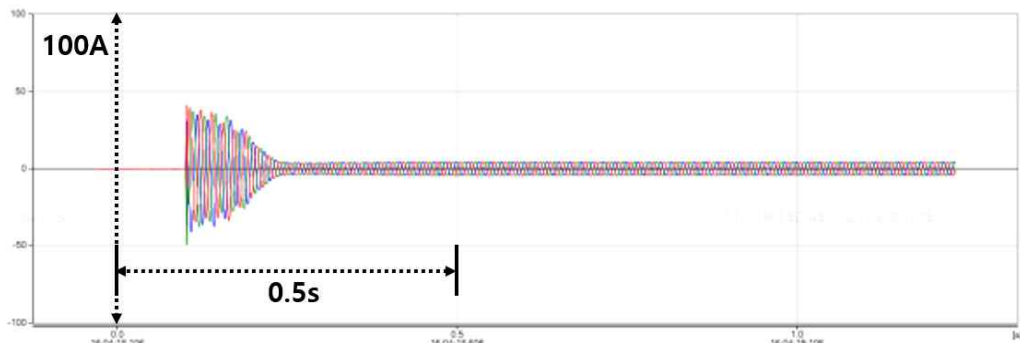


[그림 4-21] 배수펌프 용량별 기동시간

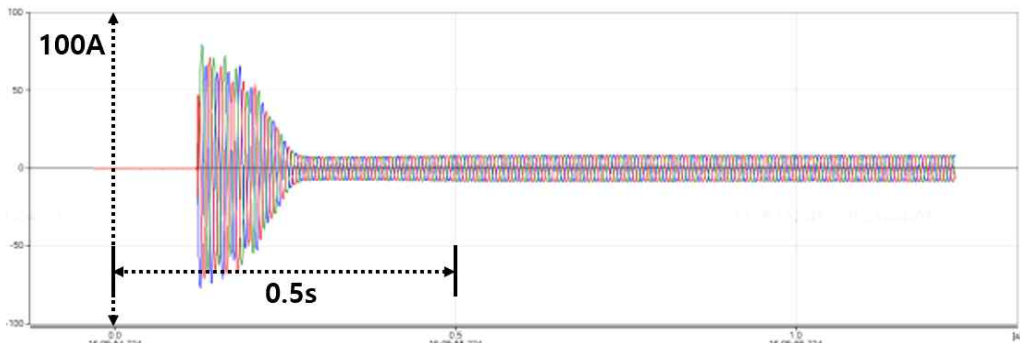


[그림 4-22] 배수펌프 기동배율과 초기기동 시 기동전류와 차단기용량의 비

- 측정결과를 종합해볼 때, 지하주차장의 배기팬과 같이 차단기 최소 동작시간을 감소하는 것도 검토할 수 있으나 기존 차단기가 대부분 최소 용량으로 설치되어 있어 차단기 용량 감소로 이어지지는 않을 것임.
- 기동 순간에서의 차단기 동작배율을 보면 최대 230%로 다른 부하 설비에 비해 낮을 것을 볼 수 있는데 설비 대비 차단기의 용량이 큰 것을 의미함. 다만, 차단기 한 개에 두 대의 배수펌프가 접속되어 있어 두 대의 펌프가 동시 운전 할 경우 기동 시 차단기 동작 배율은 두 배로 나타날 것임.
- [그림 4-22]는 배수펌프 1개 기동했을 경우와 2개 동시 기동하였을 때를 비교하여 보여줌(파형의 가로축, 세로축을 동일).
- 집수정의 물이 충분한 곳을 선정하여 5곳을 측정하였으며, 두 경우 모두 동일한 기동 배율과 기동시간이 나타났으며, 두 개 동시에 기동할 경우에도 안정적인 차단기 성능이 확보되게끔 설치되어 있음.



(a) 배수펌프 1개 기동

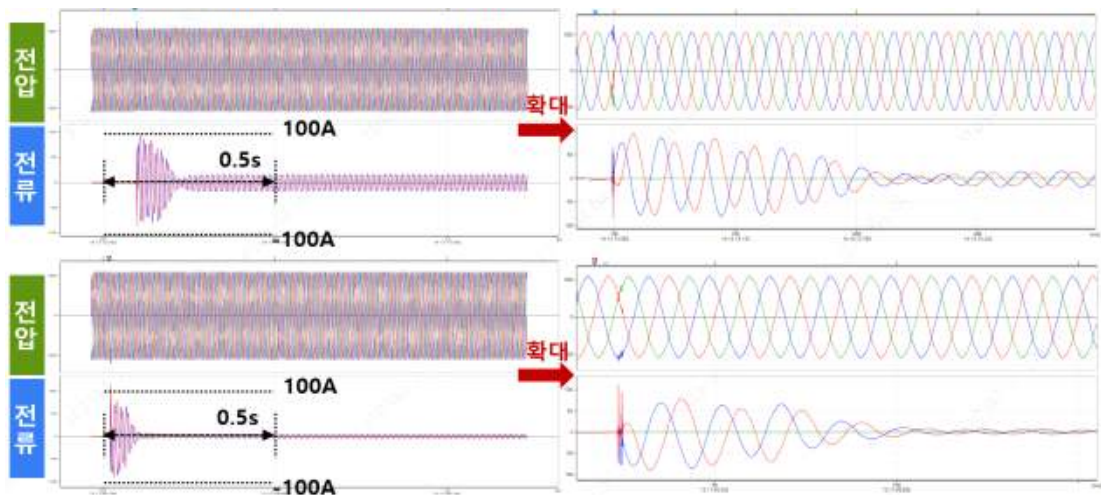


(b) 배수펌프 2개 동시기동

[그림 4-23] 배수펌프 1개 기동과 2개 동시 기동 특성 비교

2.4 충압펌프

- 충압펌프는 소화수설비를 구성하는 펌프로 소화설비 배관의 압력을 일정한 범위로 유지하기 위한 설비임. 충압펌프의 기동특성은 소방펌프 동작 시 측정되었으며, 소방펌프 측정에서와 같이 무부하상태와 부하상태에서 모두 측정하였음.
 - 7개 단지에서 수행, 1개 단지(7.5HP)를 제외하고 모두 5HP
 - 극수는 모두 4극으로 동기속도는 1,800rpm
- 충압펌프는 앞서 살펴본 직입기동 설비들과 다른 부하의 특성을 갖으며, 기동 시간이 매우 짧은 특성을 가짐. 대부분의 설비에서 0.1s 내외로 기동을 완료하여 부하상태 관계없이 빠른 기동특성을 가짐.
 - 최소 0.07s, 최대 0.15s의 기동 시간을 가지며, 7.5HP의 경우 약 2.5s내 기동
- 또한, 기동배율 역시 부하상태에 관계없이 모두 700%~800%로 나타남. 배수펌프와 마찬가지로 기동시간이 짧아 차단기 특성곡선의 순시영역 내에 해당하여 세부적인 분석에 의미가 없음.
- 측정결과에서 기동시간이 짧아 직입기동의 차단기 최소동작시간 기준인 4s를 줄이는 것에 대해 검토하는 것이 필요하며, 충압펌프용 차단기의 용량이 30AT 내외인 점에서 최소동작시간이 감소되면 규약동작배율이 증가하여 차단기 용량이 감소될 것으로 판단됨. 다만, 케이블 선정과 기동배율의 변화에 따라 최종적으로 결정될 것임.



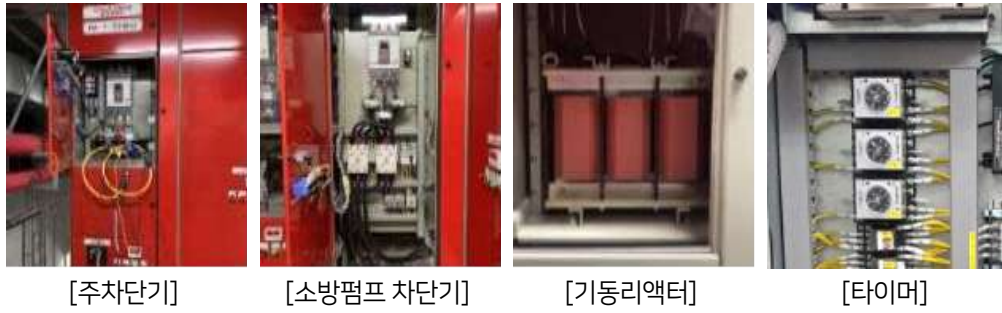
[그림 4-24] 충압펌프 기동파형(5HP)

3. 리액터기동 소방펌프 측정결과 분석

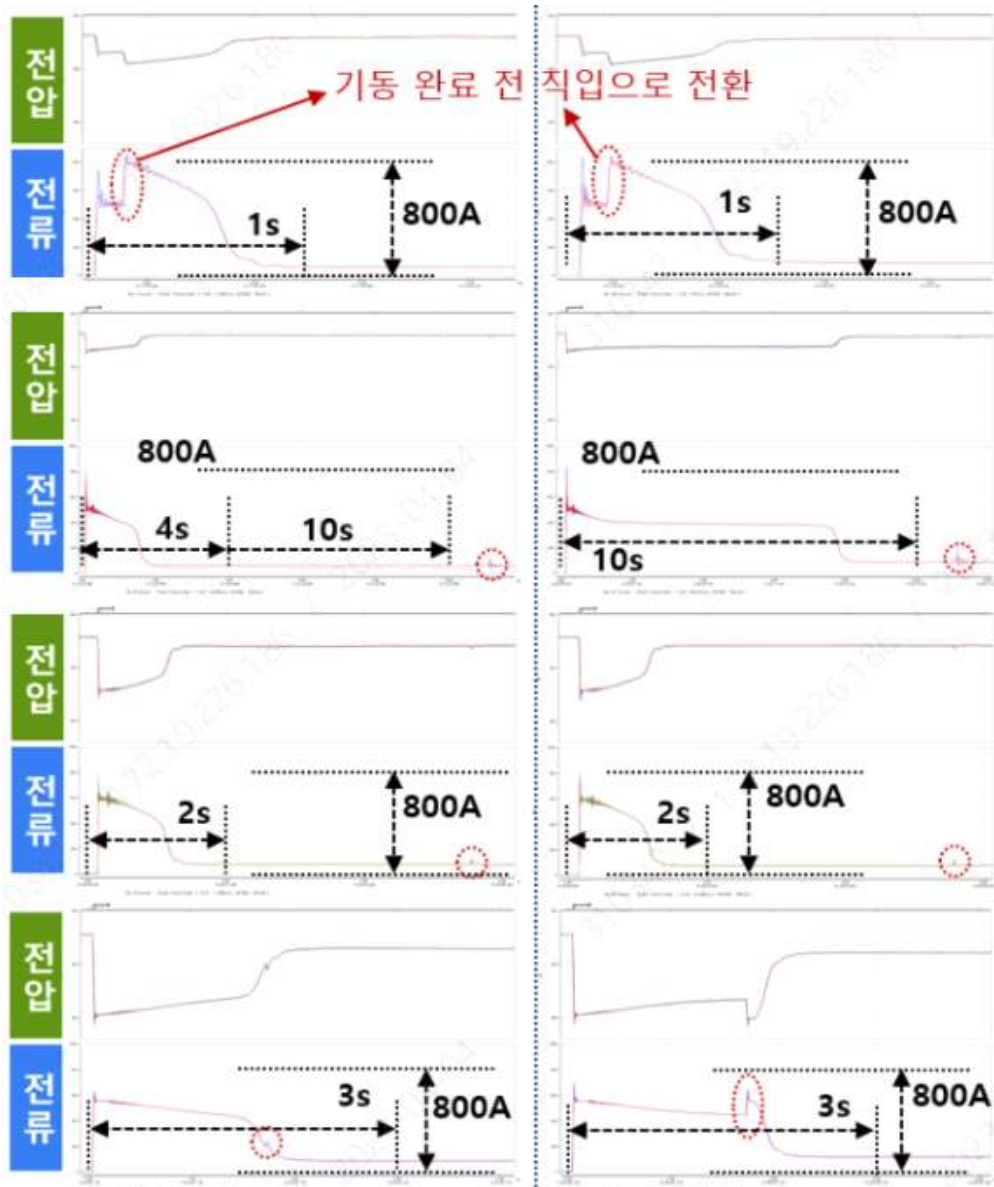
- 소방펌프는 공동주택에서 리액터기동을 하는 유일한 동력설비로써 75HP 이상부터 리액터 기동을 하게 됨. 이하의 소방펌프는 Y-D기동을 적용함. 소방펌프의 측정은 주펌프와 예비펌프, 충압펌프를 모두 측정하기 위해 소화수 분전반의 메인 차단기에서 이루어졌음.
- 리액터 기동 분석은 75HP와 100HP의 용량을 대상으로 진행하였으며, 소방주펌프와 소방예비펌프를 모두 측정하여 분석하였음. 리액터기동인 만큼 직입기동과 동일하게 분석을 진행하였으나, 리액터에서 직입운전 전환 타이머 설정에 따른 전환 구간이 있으므로 이를 고려하여 분석하였음.
 - 분석된 기동배율(β)은 리액터 기동시점으로 기동완료 전 리액터기동에서 직입운전으로 전환되어 크게 튀는 전류가 발생
 - 리액터기동 타이머의 경우 단지별, 펌프별로 다르게 설정되어 사용 중(별도 기준 X)
- 측정 조건은 소방점검 시 입회하여 측정한 만큼 두 가지 조건임. 소방점검 항목에 따라 진행되어 물의 흐름이 없이 펌프만 운전한 무부하 경우와 성능 시험을 위한 바이패스 관에 시험 유량을 확보한 상태에서 운전한 부하 상태임.

[표 4-9] 소방펌프설비 주요 사양

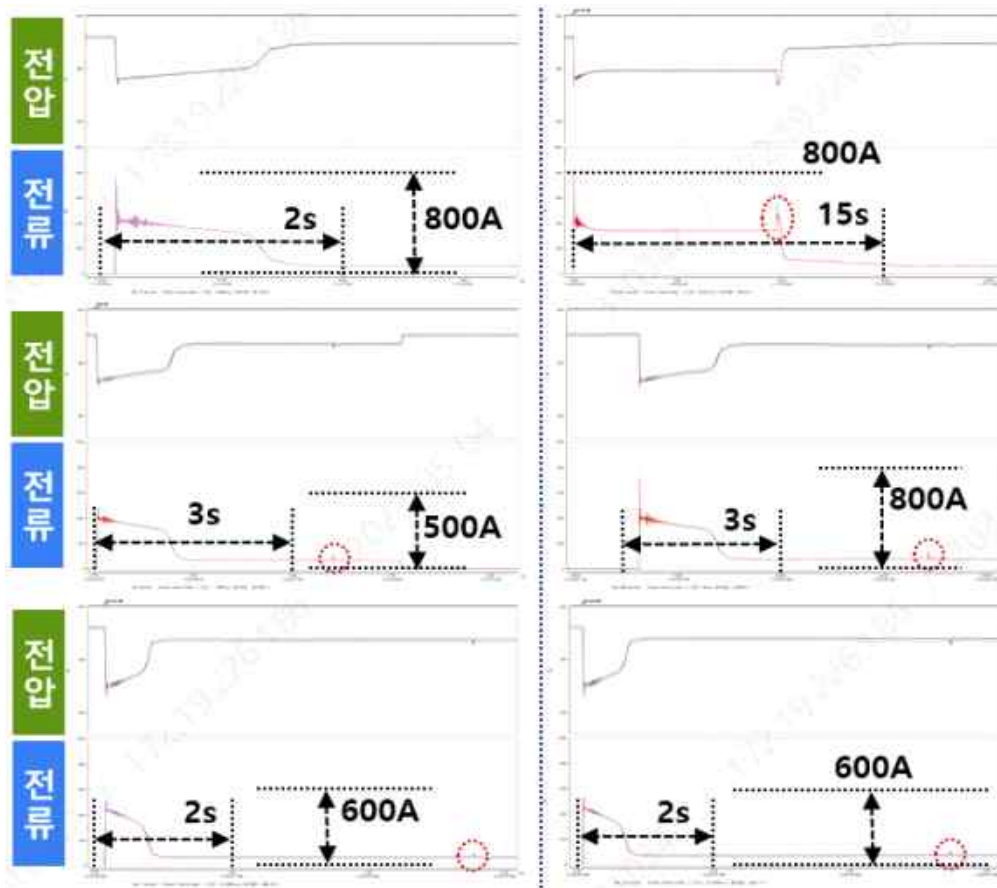
구분	사양			
기동방식	리액터기동			
펌프방식	소방용 펌프(다단펌프)			
설비유량	1180 ~ 1625LPM			
전동기 용량	75HP(55kW) ~ 100HP(75kW)			
전동기 극수 및 속도	4극 / 1760 ~ 1770rpm			
설비 용량 별 차단기용량	100HP		75HP	
	AF	AT	AF	AT
	400	300	250	200
	☞ 펌프별 분기차단기의 용량			
리액터 용량	설비 용량과 동일			
탭, 탭전압	65%, 380V 기준 77V			
리액터 기동전류	100HP 520~560A		75HP 375~400A	



[그림 4-25] 리액터기동 소방펌프 제어설비 구성과 전류 클램프 설치

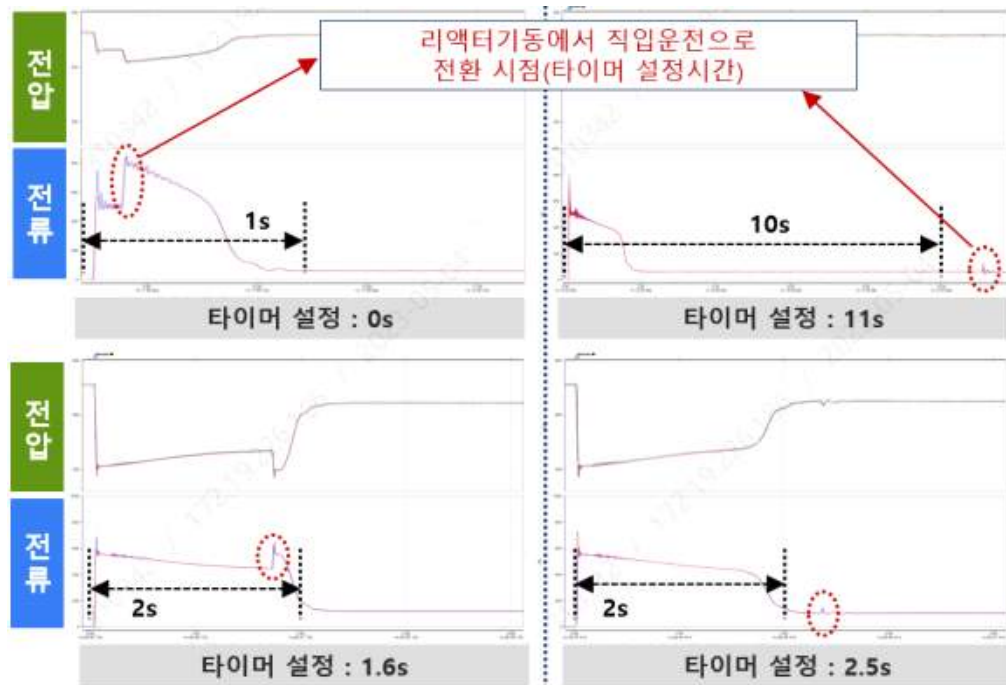


[그림 4-26] 100HP 소방펌프의 부하 차이에 따른 기동특성 차이 (좌) 무부하 (우) 부하



[그림 4-27] 75HP 소방펌프의 부하 차이에 따른 기동특성 차이 (좌) 무부하 (우) 부하

- [그림 4-25]와 [그림 4-26]은 100HP와 75HP 용량의 리액터기동 특성으로 동일 단 지에서의 동일펌프 부하상태에 따른 기동 상태를 보여줌.
- 부하상태에 따른 기동배율 및 기동시간에 큰 차이를 보이진 않지만 일부 단지에서는 그 차이가 큼. 소화배관에 일정 압을 유지하며 일정 유량이 흐를 경우에 기동시간이 길게 나타남.
- 소방펌프 측정에서는 기동 특성 이전에 살펴볼 부분은 리액터-직입 전환 시점으로 단지별로 타이머 설정이 상이하였음. 별도 타이머 설정에 대한 기준은 없고 일반적으로 리액터 기동이 끝나는 시점에 맞춰 타이머를 설정함.
- 특히, [그림 4-25]의 첫 번째 경우는 리액터기동 후 약 0.15s후에 직입으로 빠르게 전환된다는 점에서 타이머 설정에 대한 검토가 필요함. 또는 세 번째 경우는 리액터기동 완료 후 약 5s 이후에 전환되어 기동 완료 후에도 일정 시간을 리액터를 통해서 운전 함.



[그림 4-28] 주펌프와 예비펌프의 타이머 설정 차이 (좌) 주펌프 (우) 예비펌프

- 또한, 동일 단지에서 주펌프와 예비펌프 간의 타이머 차이가 있음. 그림 [4-27]에서 보면 동일 단지이고 동일 부하 상태 임에도 주펌프와 예비펌프 간에 타이머 설정 차이가 큼.

[표 4-10] 소방펌프 기동 특성 결과표

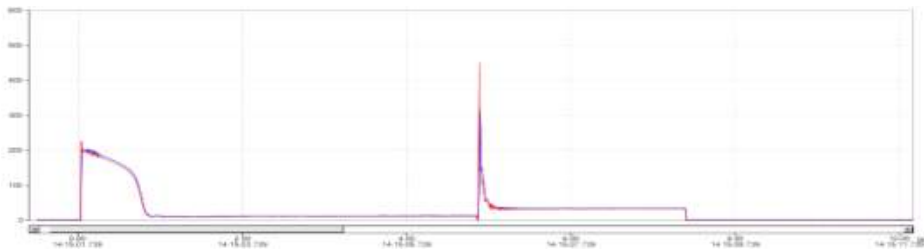
		AF (A)	AT (A)	ε (%)	k (p.u.)	β (%)	I_{MS} / AT (%)	I_{Load} / AT (%)	t_m (s)	t_1 (s)
통합	MAX			29.58	1.85	423.36	222.05	55.40	10.35	11.03
	AVE			16.49	1.50	396.34	195.49	41.53	3.29	4.99
	MIN			5.40	1.07	357.17	169.30	34.77	0.83	0.13
100HP	MAX	400	300	29.58	1.65	421.59	199.83	48.57	7.98	11.03
	AVE			16.10	1.43	391.66	185.65	39.18	2.64	3.81
	MIN			5.40	1.07	357.17	169.30	34.77	0.83	0.13
75HP	MAX	350	200	21.45	1.85	423.36	222.05	55.40	10.35	9.82
	AVE			17.09	1.43	391.21	190.27	42.37	4.32	5.19
	MIN			14.18	1.21	387.04	203.00	38.25	0.83	5.38

t_1 : 리액터-직입 전환 시간

t_m : 기동시간

- [표 4-10]은 측정한 소방펌프의 기동 특성 결과로 무부하와 부하상태의 모든 경우를 통합으로 분석하였으며, 기동배율, 돌입전류와 기동전류의 비, 기동시간 등을 보여주고 있음. 타이머 설정과 관련없이 최초 기동 시에는 리액터를 통해 기동함으로 리액터 기동에 의한 기동배율을 확인하였음.
- 기동배율은 앞서 본 직입기동과 달리 최대값과 최소값의 차이가 크지 않은 것을 볼 수 있음. 이는 단지별, 펌프별로 리액터기동에 의한 기동전류 차이가 크지 않음을 의미함. 또한, 직입기동에서는 용량이 작을수록 최대값과 최소값의 차이가 큰 특성을 가졌으나, 리액터기동에서는 차이가 크지 않음.
- 최대 측정된 기동배율은 약 4.2로 직입기동의 비율로 변환하면 약 6.5임. 이는 설계기준 7.2보다 작은 값으로 측정결과로만 봤을 때 현재 설계기준은 적합한 것으로 보임. 전동기 제조사의 특성값과 측정값을 비교하여 차단기 규격선정을 위한 기동배율 계수값을 검토할 필요가 있음.
- 앞서 설명한 바와 같이 단지별로 기동배율의 차이는 크지 않지만 기동시간에 대한 차이는 크게 나타났음. 표에서 t_m 은 펌프가 기동을 완료하는 시간이며, t_1 은 리액터에서 직입으로 전환되는 시간임.
- t_m 과 t_1 모두 최대값과 최소값의 차이가 크고 타이머 설정시간이 단지별, 펌프별 차가 크기에 기동 시간의 차이가 크게 발생됨. 다만, 기동 완료 후에 전환되는 경우를 봤을 때 대부분 설계기준인 10s 이내에 기동을 완료함.
- 최대 k 는 약 1.9로 설계 기준보다 다소 높게 나타나며, 평균값이 설계기준 수준으로 리액터기동에서 k 값의 최대와 최소 차이가 크게 나타남. 또한, I_{MS} / AT 값과 I_{Load} / AT 값을 통해 안정적인 차단기가 설치되어 있음을 볼 수 있음.

※ 참고 : 소방펌프 Y-D 기동특성



- 65HP 소방펌프로 Y결선으로 초기 기동을 하며, 기동 시작 후 약 5s이후 Delta 결선으로 전환되어 운전

제5장 차단기 규격선정의 검토

1. 현장 기동특성 및 제조사 특성 비교 분석

- 5장에서는 3장과 4장에서 다른 내용을 종합적으로 검토하여 차단기 규격선정을 위한 주요 계수를 제안하고 변화에 따른 효과를 살펴보고자 함. 주요계수는 전동기 기동배율(β)과 차단기 규약동작배율(δ)로 3장에서는 각 제조사에서 제시하고 있는 값을 바탕으로 계수를 제안하였으며, 4장에서는 현장 측정을 바탕으로 전동기 기동시간과 기동배율을 확인하였음.
- 이에, 5.1절에서는 제조사 값과 측정값이 상이하기에 두개의 값을 비교 분석하여 차단기 규격을 선정함에 적합한 값을 최종 도출하고자 하며, 5.2절에서는 도출된 값을 실제 단지 설계 계산서에 적용하여 차단기 및 케이블 변화를 확인함.

1.1 제조사 기동배율과 측정 기동배율의 비교

- 본 연구의 주요 목적은 제조사의 기동배율, 현재 설계기준, 현장 측정결과를 토대로 차단기 규격선정을 위한 적절한 계수를 찾는 것임. 이에 앞서 3장과 4장에서 분석된 결과를 토대로 세 개의 수치를 비교 분석하여 적절한 기동배율 값을 제안해 보고자 함.
- 제조사의 기동배율은 앞서 본 바와 같이 7.2로 일괄 적용하고 있는 현재 기준 값을 공동주택에 설치된 주요 설비의 용량, 기동방식, 극수를 고려하여 구분하였음. 7.2로 일괄 된 값을 [표 5-1]과 같이 용량 별로 4개의 값을 제안하고 있으며, 측정된 기동배율과 비교 검토 후 최종적으로 값을 제안하였음. 제안된 기동배율에 대한 결과는 5.2절에서 차단기 용량 변화를 검토함.
 - 표의 용량은 현재 LH설계서의 용량을 기준으로 작성
 - 공동주택의 설비는 용량 구분 이전에 단상, 3상으로 구분하여 값을 제안
 - 단상 설비는 많지 않고 전동기 기동배율에 대한 정보가 많지 않아 일반적인 학술 자료와 측정 결과를 바탕으로 값을 제안

[표 5-1] 제조사 데이터에 기반한 기동배율의 제안

상	용량		기동 방식	기동배율		기동배율 제안	
(ø)	(HP)	(kW)		기동배수 미적용	기동배수 적용	기동배수 미적용	기동배수 적용
단상	-	0.1	-	7.2	7.2	6	6
	-	0.2	-	7.2	7.2	6	6
	-	0.4	-	7.2	7.2	6	6
	-	0.75	-	7.2	7.2	6	6
3상	1	0.75	DOL	7.2	7.2	9.5	9.5
	2	1.5		7.2	7.2	9.5	9.5
	3	2.2		7.2	7.2	9.5	9.5
	5	3.7		7.2	7.2	8.2	8.2
	7.5	5.5		7.2	7.2	8.2	8.2
	10	7.5		7.2	7.2	8.2	8.2
	15	11		7.2	7.2	8.2	8.2
	20	15	Y-D	7.2	2.40	7.2	2.40
	25	18.5		7.2	2.40	7.2	2.40
	30	22		7.2	2.40	7.2	2.40
	40	30		7.2	2.40	7.2	2.40
	50	37		7.2	2.40	7.2	2.40
	60	45		7.2	2.40	7.2	2.40
	75	55	리액터	7.2	4.68	7.7	5.01
	100	75		7.2	4.68	7.7	5.01
	120	90		7.2	4.68	7.7	5.01
	150	110		7.2	4.68	7.7	5.01
	175	132		7.2	4.68	7.7	5.01
	214	160		7.2	4.68	7.7	5.01
	268	200		7.2	4.68	7.7	5.01

- 단상 설비에 대한 기동배율은 3상과 동일하게 사용 중인 7.2보다 작은 6의 값을 제안함. 현장 측정값은 더 낮은 배율로 나타났으나, 일반적인 유도전동기의 기동방법 중 기동전류가 큰 기동방법에서 4배에서 6배 정도의 기동전류가 발생하는 점을 토대로 선정하였음.

[표 5-2] 배기팬의 설계기준 β 와 측정값 β 의 비교

용량 (HP)	설계기준					측정값 기준			
	I_B (A)	I_{MS} (A)	I_{MI} (A)	β (p.u.)	k (p.u.)	I_{MS} (A)	I_{MI} (A)	β (p.u.)	k (p.u.)
통합								8.4	1.42
10HP	15.9	115	172	7.2	1.5	108.2	134.2	6.8	1.42
7.5HP	11.8	85	128	7.2	1.5	84.3	101.2	7.1	1.37
5HP	8.1	58	87	7.2	1.5	67.3	73.4	8.4	1.2

[표 5-3] 지하주차장 배기팬과 펌프실 급배기팬의 측정된 기동배율 비교

구분	설계기준		지하주차장 배기팬			펌프실 급배기팬		
			※ 극수는 모두 4pole			※ 극수는 4, 6pole		
	현재	제안	최대 (%)	평균 (%)	최소 (%)	최대 (%)	평균 (%)	최소 (%)
통합	720	820	840	780	640	940	730	630
10HP			680	600	560	-	-	-
7.5HP			710	620	540	780	710	630
5HP			840	780	640	940	730	610

☞ 통합값은 모든 용량을 범위로 최대, 평균, 최소값 각각의 최대값을 의미

- 3상 직입기동 설비는 전동기 용량과 극수를 고려하여 구분되었음. 2극 전동기는 주로 배수펌프에 사용 중에 있으며, 용량은 1HP~3HP임. 단지가 작은 지하주차장 배기팬이 2~3HP 정도가 부분적으로 있으며, 펌프실에도 3HP정도의 급배기팬이 사용 중이나 배수펌프가 주임.
- 배수펌프의 측정결과에서는 최대값이 약 760%로 현재 설계값보다는 높고 제조사 기반의 제안된 값보다는 낮게 나타남. 다만, 제조사의 데이터를 토대로 2극과 4극의 기동배율을 차이가 있고 배수펌프 용량범위에서 2극 전동기의 기동배율이 높게 나타나 기존보다 큰 9.5배율을 제안함.
- 또한, 급배기팬과 충압펌프를 주로 대상으로 5HP이상의 기동배율도 현재 설계값보다 큰 8.2의 값을 제안하였음. 전동기는 주로 4극 전동기이나 펌프실의 급배기팬에서 4극 또는 6극 전동기가 사용 중에 있음.

- 5HP에서 10HP정도의 용량을 갖는 지하주차장 배기팬의 최대 측정값은 약 840%로 나타나며, 평균값의 최대값은 약 780%정도로 현재 설계값보다 높은 값을 보이고 있음. 다만 이는 용량별 평균의 최대값으로 10HP와 7.5HP에는 720%보다 높게 나타는 값은 없음.
- 이는 펌프실의 급배기팬도 유사한 형태로 나타내고 있으며, 충압펌프의 측정결과도 약 700~800%로 형성되고 있음.
- 측정된 결과와 [표 5-1]에서 제안된 값을 보면 제조사의 값이 크게 나타난 점에서 동작의 안정성을 확보하기 위하여 제조사 기반의 값인 820%의 배율로 최종적으로 제안하고자 함.
 - 설비 별 측정 결과의 최대값이 840% 또는 940%의 값을 나타내는 경우가 있으나, 소수의 측정결과이고 기동배율이 큰 경우 기동시간이 짧으며, 설계 시 여유율(α)이 있어 차단기 동작의 안정성 확보에는 문제가 없는 것으로 판단
 - 기동시간이 짧은 경우 0.4s 이내로 차단기의 순시특성 영역에 해당
 - 이에, 제조사의 값을 토대로 결정한 820%로 최종 제안
- 직입기동의 기동배율 계수는 모두 현재 설계 기준보다 높은 값을 가지게끔 제안되었으며, 이는 차단기 용량 선정에 중요한 기동(돌입)전류의 계산값이 커지게 되고 차단기 규격이 상승할 수 있는 결과로 나타날 수 있음.
- 다만, 차단기 규격선정은 차단기 규약동작배율에 의한 영향이 크기에 기동배율의 증가만으로는 차단기 용량이 증가될 것으로는 볼 수 없음.

[표 5-4] 소방펌프의 데이터시트 기동배율과 측정결과 기동배율 비교

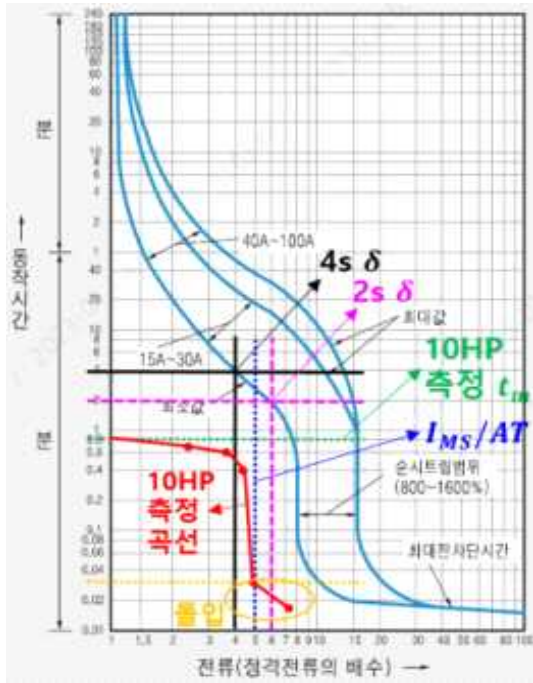
구분	설계기준		제조사 데이터시트						측정결과		
			2극		4극		6극		※ 극수는 모두 4pole		
	현재	제안	최대 (%)	평균 (%)	최대 (%)	평균 (%)	최대 (%)	평균 (%)	최대 (%)	평균 (%)	최소 (%)
통합	468	501	520	464	507	445	520	444	423	396	357
100HP			494	458	500	442	481	424	421	391	357
75HP			520	471	494	447	481	434	423	391	387

※ 기동배수를 반영하여 표기

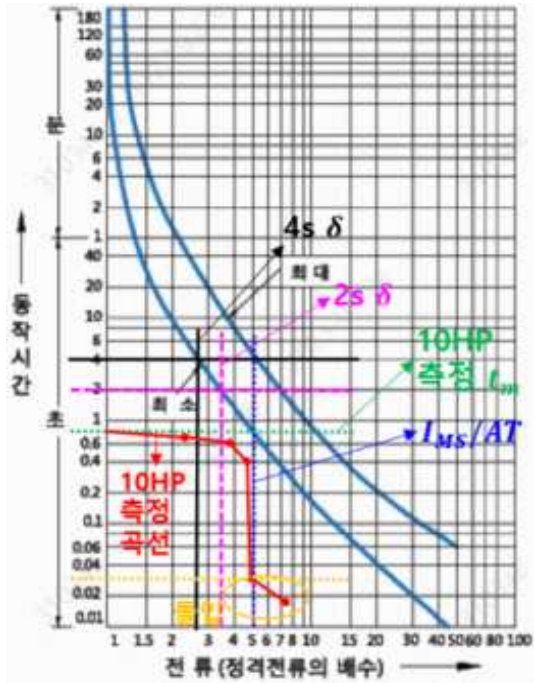
- Y-D기동과 리액터 기동은 소방펌프만 해당하는 기동 방식으로 대부분 소방펌프 용량은 75HP이상으로 리액터 기동을 주로 사용 중에 있음. 이에, Y-D기동의 기동배율을 검토하기 위한 측정 수량이 적고 현재 설계에 적용되는 경우가 적어 기존 설계값을 그대로 유지함.
- 소방펌프의 측정 결과는 설계값보다는 낮게 형성되며, 리액터 기동 용량범위에서 제조사 데이터 최대값의 평균값은 약 770%로 설계값보다 높은 값을 가짐. 안정성을 확보하기 위해 측정 결과보다 크게 나타난 제조사의 값을 토대로 기동배율을 제안하고자 함.
- 결과적으로는 제조사 데이터 기반의 값을 토대로 직입, 리액터 기동 방식의 기동배율을 제안하고자 하며, 이는 5장에서 기동배율 변화에 따른 결과를 볼 수 있음.

1.2 공동주택 동력부하 기동 특성과 차단기 특성곡선 비교

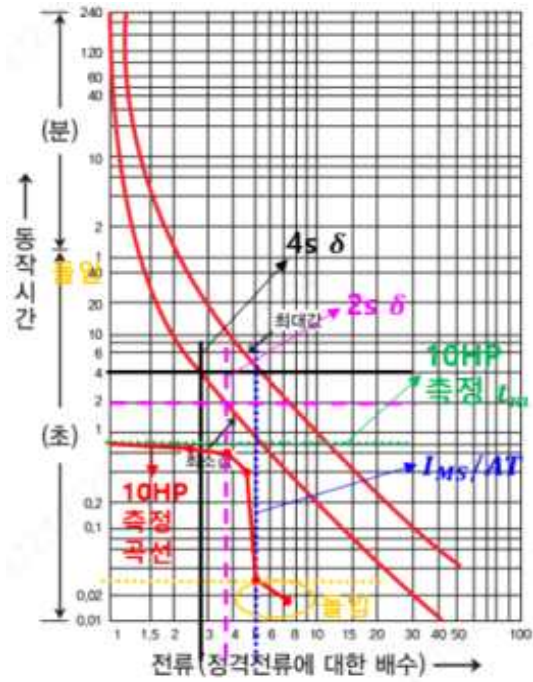
- 측정된 결과에서 대부분의 직입기동 동력부하의 기동 시간이 설계기준 4s에 비해 짧은 것을 확인하였으며, 배수펌프, 충압펌프, 지하주차장 배기팬은 1초 이내에 기동을 완료하였음. 펌프실의 급배기팬의 기동은 대부분 약 2초 이내로 나타났음.
- 측정 결과를 바탕으로 직입기동에 대한 기준 시간에 대한 검토가 필요할 것으로 판단되며, 측정을 수행한 단지에 설치된 차단기 모델을 토대로 측정된 기동특성을 차단기 특성곡선과 비교하여 안정성을 살펴보고자 함.
 - 기동시간을 차단기 동작 시간으로 보고 기동 중 시간 별로 기동배율과 기동 초기 발생하는 돌입전류를 차단기 특성곡선에 표시하여 최소 규약동작배율 내에 기동특성이 형성되는지를 확인
 - 배수펌프와 충압펌프는 모두 기동시간이 0.2s 이내로 차단기 순시영역에 해당하여 생략, 순시 규약동작배율은 최소 7~8배로 순시영역에서 모두 안정적인 성능 확보
 - 지하주차장의 배기팬은 KEC에 부합한 기준을 토대로 선정하면 대부분 32(30)AT 정도의 차단기가 선정, 현재 현장에 설치된 대부분 차단기는 20AT정도로 차단기 용량이 작아진 상태로 가정
 - 펌프실 급배기팬은 현장 설치된 차단기 용량 이외에 용량 감소를 고려하여 용량을 낮춰 추가 비교
 - 차단기 제조사는 11개이나 현장에 많이 설치된 제조사의 것과 가장 작은 규약동작배율을 갖는 제조사의 것으로 비교 분석, 기동곡선은 측정된 기동 특성 중 기동시간이 길고 기동배율이 큰 경우를 선정하여 비교에 적용



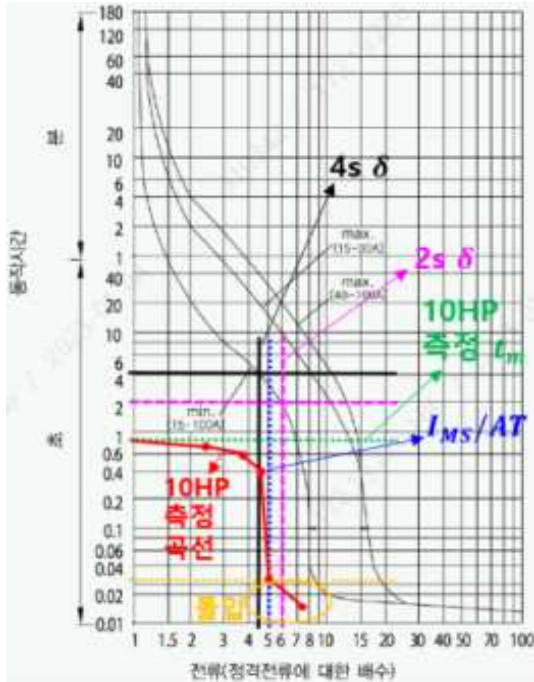
10HP - 30AF/20AT(A사)



10HP - 30AF/20AT(B사)

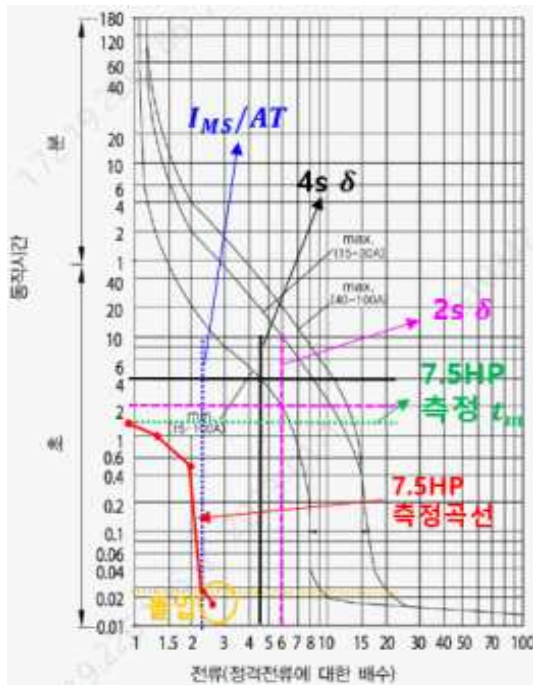


10HP - 30AF/20AT(C사)

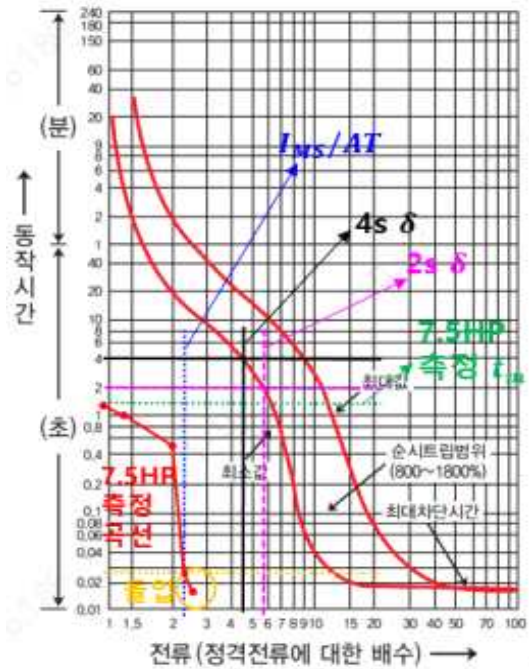


10HP - 30AF/20AT(D사)

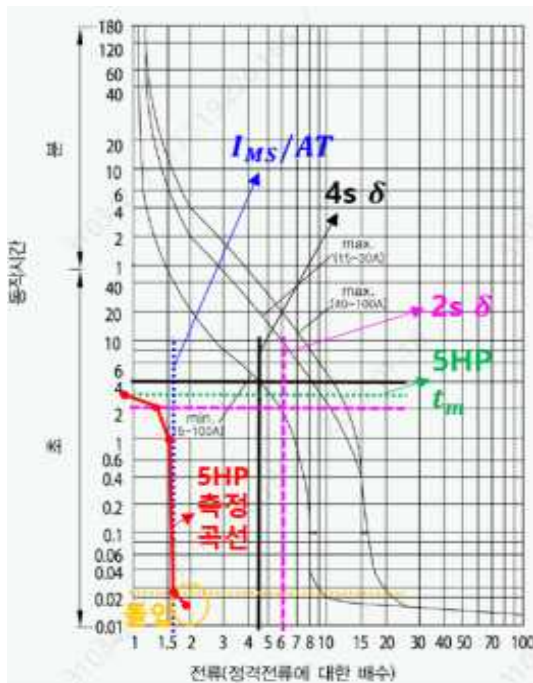
[그림 5-1] 지하주차장 배기팬 기동곡선 추이



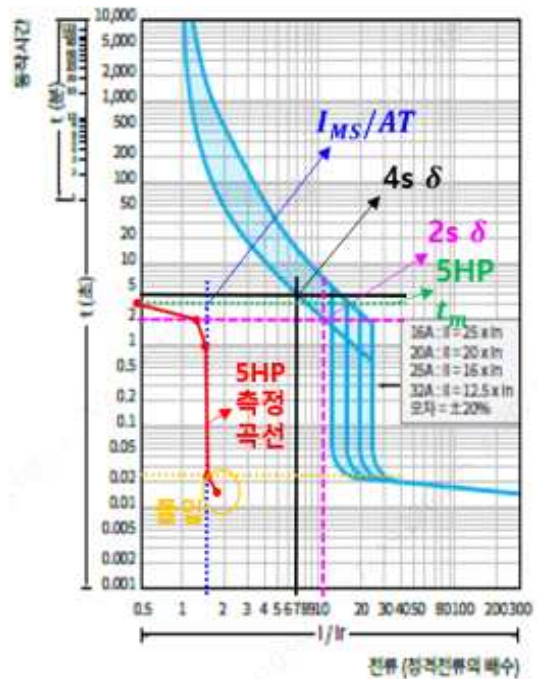
7.5HP - 50AF/40AT(A사)



7.5HP - 50AF/40AT(B사)



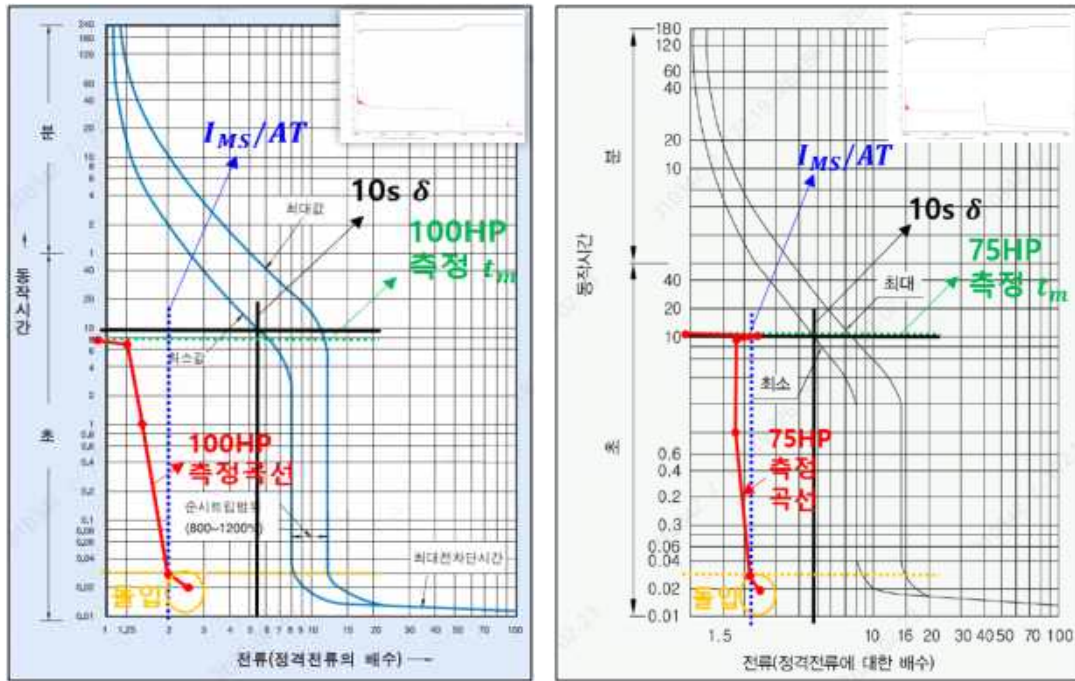
5HP - 50AF/32AT(A사)



5HP - 50AF/32AT(C사)

[그림 5-2] 펌프실 급배기팬 기동곡선 추이

- 두 설비 모두 안정적으로 선정되어 있으며, 배기팬의 경우 용량이 감소할 경우에도 안정적으로 차단기 성능을 확보할 것으로 판단됨.



[100HP - 400AF/300AT]

[75HP - 250AF/200AT]

[그림 5-4] 소방펌프 기동곡선과 차단기 특성곡선 비교

- 소방펌프의 경우도 동일한 조건으로 비교 분석한 결과 안정적인 차단기 성능을 확보하고 있음. 다만 앞선 측정 결과에서 도출된 리액터 기동 타이머의 설정 기준에 대한 부분이 앞서 해결되어야 할 것으로 보임.
- 리액터기동에서 직입운전으로 전환 시점이 빠른 경우($t_1:0.13s$)에도 기동이 빠르게 완료되어 안정적인 것으로는 보임. 이 경우 기동시간은 1초 이내로 차단기의 순시영역에서 기동을 완료함.
- 직입운전으로 전환이 기동 완료 이후 이루어지는 경우는 부하의 상태에 따라 다르면서 단지별로도 다른 특성을 가짐. 측정치에서 최대 기동 시간은 약 10s 정도로 현재 리액터기동의 차단기 동작시간인 10s와 유사함.
- 이에 따라 리액터 기동의 경우에는 현재 기준 시간인 10s를 유지하는 것이 적절해 보임. 그러므로 3장에서 분석된 차단기 제조사 데이터를 토대로 동작시간 10s에 해당하는 최소 규약동작배율을 계산서에 반영함.
- 4장의 현장 기동특성 분석결과 및 5장의 기동특성과 차단기 특성곡선의 비교 결과를 바탕으로 기동방식 별 차단기 동작시간의 기준은 [표 5-5]와 같이 정리할 수 있음.

[표 5-5] 기동방식별 차단기 동작시간 현재값과 제안된 값

기동방식	차단기 동작시간	
	현재	검토
직입기동	4	2
Y-D기동	6	6
리액터기동	10	10
인버터기동	4	2 or 4

2. 계수 변화와 차단기 규격 선정

2.1 기동배율 계수 변화에 따른 차단기 규격

- 측정결과, 기존 설계값, 제조사의 값을 비교하면 대부분 제조사의 값이 높게 형성됨. 제조사의 분석 값은 프리미엄 효율 값을 대상으로 진행되었으며, 일반 효율 및 고효율 보다 높은 기동 배율을 가짐.
- 측정결과에서도 최대값의 일부가 제조사의 측정값 만큼 높고 안정적인 차단기 성능을 확보해야 되는 만큼 현재 설계기준보다 상향된 값을 제안되었음. 이에 따라서 앞서 최종적으로 결정된 제조사의 값을 토대로 실제 설계계산서에 반영하여 차단기 용량 변화가 발생하는지에 대한 검토를 하고자 함.

- 규약동작 배율은 현재 설계 기준을 적용하며, 기동배율 변경에 대해서만 진행

[표 5-6] 기동배율 계수 변경에 따른 차단기용량 변화비교

구 분	부하명	용량	변경전		변경후	
			차단기	배선	차단기	배선
주 동	제연급기헬	5.5kW	50/40	HFIX 10mm ²	-	-
	제연급기헬	7.5kW	50/40	HFIX 10mm ²	-	-
	배수펌프	0.75kW	32/20	HFIX 2.5mm ²	-	-
	승강기 15인승/105min	18.5kW	100/80	HFIX 25mm ²	-	-
지하 주차장	배수펌프	1.5kW	32/20	HFIX 4mm ²	-	-
	배기헬	3.7kW	32/32	HFIX 4mm ²	-	-
	승강기 15인승/60min	11kW	50/50	HFIX 16mm ²	-	-
기계실	소방펌프	75kW	400/300	FR-8 150mm ²	-	-
	소방충암펌프	3.7kW	32/32	FR-8 6mm ²	-	-
	급수펌프제어반	60.79kVA	100/100	F-CV 35mm ²	-	-
	배수펌프	1.5kW	32/20	F-CV 2.5mm ²	-	-
	급배기헬	7.5kW	50/40	F-CV 10mm ²	-	-
	난방순환펌프	0.75kW	32/20	F-CV 2.5mm ²	-	-
	탈기장치팽창펌프	1.5kW	32/20	F-CV 2.5mm ²	-	-

- 실제 설계 계산서에 반영하게 되면 차단기 용량 뿐만 아니라 간선 굵기의 변화에 대한 검토도 함께 이루어짐. 계산서는 현재 공사 중인 아파트 단지로 약 1000세대 규모의 단지임. 5.2에서의 표는 공공주택의 3상 주요 설비에 대해서 진행된 결과임.
- 본 연구에서 직접적으로 케이블에 대한 언급을 하고 있지는 않으나, 케이블 선정 후 차단기 규격의 만족 여부를 확인하는 것으로 차단기가 최종적으로 선정됨.
- [표 5-6]는 [표 5-1]의 기동배율을 적용한 결과로 변경 전·후 차단기와 케이블의 규격을 보여주고 있으며, 기동배율만 변경되어 있을 경우 규격 변경이 없는 것을 볼 수 있음.
 - [표 5-6]에는 직입기동, 리액터 기동 이외에 본 보고서에는 현장 측정 결과를 제시하고 있지 않은 인버터 기동의 승강기와 급수 제어반도 포함
 - 직입기동과 인버터기동은 규약동작동배율 값을 결정하는 차단기 동작시간을 동일하게 적용 중
 - 인버터 기동의 동작 시간도 2s의 값을 적용함에 따른 변화를 표에서 나타내고 있으나, 직입기준 변경 시 인버터 기동의 기준 변경을 하는 부분은 향후 추가적인 검토가 필요
- 차단기 규격 선정에 상향된 기동배율의 변화는 영향을 주지 않으며, 추가로 차단기 규약동작배율 변화와 기동배율과 규약동작배율이 동시에 변했을 때 규격 변화에 대한 확인이 필요함.

2.2 규약동작배율 변화에 따른 차단기 규격

- [표 5-7]은 현장 기동특성 분석을 기반으로 차단기 최소동작 시간을 낮춰 계산서를 시뮬레이션 한 결과임. 2.1과 동일하게 승강기와 급수펌프도 비교하였음.
 - 기동배율은 현재 기준은 720%를 적용
- 앞서 기동배율만 변경했을 때와는 달리 직입기동에서는 배기팬과 소방충압펌프의 차단기와 케이블 규격이 감소된 것을 볼 수 있음. 또한, 승강기의 차단기와 케이블의 규격도 감소된 것으로 나타났음.
- 다만, 직입기준 시간만 2s로 변경하고 인버터의 차단기 동작시간 기준을 기존과 같이 4s를 적용한다면 변화 없이 나타날 것임. 직입기동에서의 차단기 용량이 달라지는 설비는 많지 않음.

[표 5-7] 차단기 최소동작시간 감소 시 차단기 용량 변화 비교

구 분	부하명	용량	변경전		변경후	
			차단기	배선	차단기	배선
주 동	제연급기휀	5.5kW	50/40	HFIX 10mm ²	-	-
	제연급기휀	7.5kW	50/40	HFIX 10mm ²	-	-
	배수펌프	0.75kW	32/20	HFIX 2.5mm ²	-	-
	승강기 15인승/105min	18.5kW	100/80	HFIX 25mm ²	100/63	HFIX 16mm ²
지하 주차장	배수펌프	1.5kW	32/20	HFIX 4mm ²	-	-
	배기휀	3.7kW	32/32	HFIX 4mm ²	32/20	HFIX 2.5mm ²
	승강기 15인승/60min	11kW	50/50	HFIX 16mm ²	50/40	HFIX 10mm ²
기계실	소방펌프	75kW	400/300	FR-8 150mm ²	-	-
	소방충압펌프	3.7kW	32/32	FR-8 6mm ²	32/20	FR-8 2.5mm ²
	급수펌프제어반	60.79kVA	100/100	F-CV 35mm ²	-	-
	배수펌프	1.5kW	32/20	F-CV 2.5mm ²	-	-
	급배기휀	7.5kW	50/40	F-CV 10mm ²	-	-
	난방순환펌프	0.75kW	32/20	F-CV 2.5mm ²	-	-
	탈기장치팽창펌프	1.5kW	32/20	F-CV 2.5mm ²	-	-

- 마지막으로 [표 5-8]은 전동기 기동배율과 차단기 규약동작배율이 모두 바뀌었을 때의 결과로 [표 5-7]의 변화에서 소방충압펌프가 계수 변경 전과 동일한 기존 용량으로 나타남.
- 직입기동에서는 배기휀의 경우 용량이 감소하였으며, 인버터기동에서는 승강기의 차단기 및 케이블 규격이 감소된 것으로 나타났음. 유일한 리액터기동을 하는 소방펌프는 기동배율만 달라졌기에 [표 5-6]에서와 같이 변화가 없었음.
- 5.2절에 살펴 본 바에 따르면 전체적으로 전동기 기동배율 및 차단기 규약동작배율 증가(차단기 동작시간 감소)에 따른 변화가 크지는 않았음. 하지만 차단기 및 케이블 규격의 감소에 따라 시공비가 저감될 것임.
- 다만 승강기의 변화에 대해서는 더 많은 현장 측정 분석을 토대로 추가적인 검토가 필요함.

[표 5-8] 차단기 최소동작시간 감소 및 기동배율 변경 시 차단기 용량 변화 비교

구 분	부하명	용량	변경전		변경후	
			차단기	배선	차단기	배선
주 동	제연급기웁	5.5kW	50/40	HFIX 10mm ²	-	-
	제연급기웁	7.5kW	50/40	HFIX 10mm ²	-	-
	배수펌프	0.75kW	32/20	HFIX 2.5mm ²	-	-
	승강기 15인승/105min	18.5kW	100/80	HFIX 25mm ²	100/63	HFIX 16mm ²
지하 주차장	배수펌프	1.5kW	32/20	HFIX 4mm ²	-	-
	배기웁	3.7kW	32/32	HFIX 4mm ²	32/20	HFIX 2.5mm ²
	승강기 15인승/60min	11kW	50/50	HFIX 16mm ²	50/40	HFIX 10mm ²
기계실	소방펌프	75kW	400/300	FR-8 150mm ²	-	-
	소방충암펌프	3.7kW	32/32	FR-8 6mm ²	-	-
	급수펌프제어반	60.79kVA	100/100	F-CV 35mm ²	-	-
	배수펌프	1.5kW	32/20	F-CV 2.5mm ²	-	-
	급배기웁	7.5kW	50/40	F-CV 10mm ²	-	-
	난방순환펌프	0.75kW	32/20	F-CV 2.5mm ²	-	-
	탈기장치평창펌프	1.5kW	32/20	F-CV 2.5mm ²	-	-

제6장 결론

- 본 연구는 KEC 부합한 LH 공동주택 동력부하용 차단기 규격선정을 위한 설계 계수를 도출하기 위한 목적을 가짐. 차단기 규격선정을 위한 중요 설계 계수는 기동배율, 차단기 규격동작배율이고 적절한 계수를 도출하기 위해서는 제조사의 특성값과 현장 측정값을 분석하는 것이 필요함.
- 기동배율(β)은 직입기동, 리액터기동 등의 기동전류를 선정하기 위한 중요한 계수이며, 추가로 현장측정을 통해 기동전류와 돌입전류의 비(k)를 확인하는 것도 필요함.
- 또한, 차단기 규약동작배율(δ)은 전동기의 기동시간과 관련하여 차단기 용량을 선정하는데 중요한 계수임. 적절한 규약동작배율을 결정하기 위해서는 현장에서의 기동시간을 분석하는 것이 중요함.
- 이에, 기동배율과 규격동작배율을 도출하기 위해서 국내의 전동기 및 차단기의 주요 제조사의 데이터를 분석하여 차단기 선정 검토에 요구되는 값을 도출하였음. 기동배율은 LH의 설비의 종류와 용량을 고려하여 적절한 기동배율을 도출하였으며, 차단기 규약동작배율은 제조사 별, 차단기 용량 별 특성 곡선을 분석하여 이중 최소 규약동작배율을 도출하였음.
 - 전동기 기동배율 : 7개 제조사 데이터 취득 및 주요 3사의 데이터 세부 분석 후 기동방식 별, 용량 별 적합한 기동배율을 도출
 - 차단기 규약동작배율 : 11개 제조사 데이터 취득 및 분석(순시특성, 한시특성)하여 차단기 용량 별로 11개 제조사 중 기동방식마다 정해진 차단기 동작시간 별 최소값을 도출
- 또한, 현장 측정 및 분석을 통해 실제 현장 기동 특성을 분석하였으며, 제조사 특성 및 현재 설계기준과 현장 분석데이터와의 비교를 통해 데이터 활용에 대한 적정성을 검토하였음.
- 현장 분석은 약 20개 단지를 대상으로 직입기동용 설비, 리액터기동 설비, 인버터(VVVF)기동 설비들에 대한 기동전류, 돌입전류, 비대칭계수, 전압강하, 기동시간 등에 대한 분석을 진행하였음. 이를 바탕으로 설계값과 제조사의 데이터값과의 비교를

진행하여 차단기 규격선정에 요구되는 계수를 최종적으로 검토하였음.

- 전동기 제조사의 기동배율(기동전류 및 구속전류)과 현장 측정값, 현재 설계값을 비교 분석하여 용량별 적합한 기동배율을 최종 제안
- 현장 측정된 기동 시간을 토대로 기동방식별 차단기 동작 시간을 분석하고 동작 시간 별 최소 규약동작배율을 도출, 이에 직입기동의 경우 기존 4s에서 2s로 변경하는 것을 제안
- 최종적으로, 분석된 결과를 통해 제안된 설계 계수들을 LH설계 계산서에 반영하여 차단기 용량에 대한 변화를 검토하였음. 총 3가지의 조건으로 3상 주요 설비에 대해서 검토하였음.
 - ① 기동배율만의 변경
 - ② 최소 규약동작 배율만의 변경
 - ③ 기동배율과 최소 규약동작 배율의 변경
- 설계 계수 변경에 따라 직입기동에서는 배기휀의 차단기 및 케이블 규격이 감소하였으며, 인버터에서는 승강기의 규격이 감소하였음. 측정수량이 충분했던 직입기동과는 별도로 승강기 규격 감소에 대한 부분은 추가적인 검토가 필요함.

참고문헌

- 대한전기협회(2021), 한국전기설비규정 핸드북.
- 대한전기협회(2020), 감전 및 과전류 보호 설계방법에 관한 기술지침 부록.
- 대한전기협회(2019), 감전 및 과전류보호 설계방법에 관한 기술지침.
- 한국전기안전공사(2020), KEC 검사판정기준.
- 산업통상자원부(2021), 전기설비기술기준의 판단기준.
- 한국토지주택공사(2022), KEC 부합화 LH설계기준 개선.
- 한국토지주택공사(2022), 전가·정보통신 설계지침.
- 한국표준협회(2020), KS C IEC 60034-12(단일 속도 삼상 농형 유도전동기의 가동특성).
- 한국표준협회(2020), KS C 4202(일반용 저압 3상 유도전동기).
- 한국표준협회(2020), KS C IEC 60034-26(3상 농형 유도전동기 성능에 미치는 불평형 전압의 영향).
- 한국표준협회(2021), KS C 4205(유도전동기의 가동계급).
- 한국표준협회(2020), KS C IEC 60034-28(3상 저압 농형 유도전동기에 대한 등가 회로도
의 양을 측정하는 시험방법).
- 한국표준협회(2022), KS C IEC 60034-17(컨버터 구동 농형 유도전동기).
- 한국표준협회(2022), KS C IEC 60947-2(저압 개폐장치 및 제어장치).
- 한국표준협회(2018), KS C 8321(산업용 배선차단기).
- 이규복(2021), 전기설비의 KEC 적용 설계, 감리 및 안전, 도서출판기다리.
- 남기준(2023), KEC 개정에 따른 전기설비 현장의 안전관리, 도서출판기다리.
- 김세동, 이종필(2022), 한국전기설비규정(KEC) 제정 반영 전기설비기술기준, 동일출판사.
- 안현성, 안영성, 이기홍, 강석운(2022), “공동주택 동력부하용 차단기 규격선정을 위한 저
압전동기 직입기동의 현장 측정”, 2022년 추계학술대회 논문집, 한국조명·전기설비학
회, pp.81~82.
- 강석운, 김진만(2022), “전동기 가동특성과 차단기 동작특성곡선을 고려한 차단기 정격 설

- 계의 고찰”, 2022년 춘계학술대회 논문집, 한국조명·전기설비학회, pp.66~67.
- 김종겸(2022), “유도전동기 가동시 전압강하와 변압기 용량 및 임피던스에 관한 연구”, 대한전기학회 전기학회논문지 71(4): 669~674.
- 김종겸(2020), “3상 유도전동기 가동전류의 배수에 따른 역률 변화에 관한 연구”, 대한전기학회 전기학회 논문지 69(11): 1,773~1,777.
- 김종겸(2021), “리액터 기동 유도전동기의 가속 시간에 관한 연구”, 대한전기학회 전기학회 논문지 70(9): 1,420~1,424.
- 정상웅, 민찬식(2022), “KEC 차단기 정격선정 방법”, 2022년도 춘계학술대회 논문집, 대한전기학회, pp.105~107.
- 김기현(2019), “한국전기설비규정(KEC)에 따른 감전 및 과전류 보호 규정 및 설계방법”, 한국조명·전기설비학회 학술저널 33(6): 3~12.