

技 術 展 望

電 動 機 의 熱 回 路 計 算

金 邦 光* · 崔 鎮 源**

■ 차

■ 례

- 1. 서 론
- 2. 본 론
 - 2.1 열 저항
 - 2.2 열 발생 부

- 2.3 회로 요소
- 2.4 Y-bus 행렬과 Simultaneous Equation 해석
- 2.5 고정자 권선 온도의 측정
- 3. 맺는 말

1. 서 론

Computer의 도움으로 복잡한 선형회로망의 해석이 쉽게 되자, 전기기계의 열회로에 관한 연구와 실험이 많은 전기기계 Maker에 의해서 수행되어 지고 있다. 열회로라는 것은 각 부분의 온도를 전위(potential)로 보고, 발열체는 current source로 보아, 온도차에 의해서 열이 전달되는 현상을 전위차(전압)에 의해서 전류가 흐르는 회로로 변환한 것을 말하는 데 전동기에 있어서의 열특성은 열저항과 열용량으로 계산되어 지고 있다.

열소자 RC회로를 계산하려면 복소수 matrix를 계산하여야 하는데 capacitance소자들은 저항과 함께 과도상태만을 결정지으므로 대개의 전동기의 열회로 계산에서는 주로 steady state만 다루게 되어 열저항 R이 특히 중요한 요소로 생각된다.

당사 회전기설제실에서 행한 실험은 fin type의 전폐형 30KW 6P 460V 60Hz 농형 유도전동기를 대상으로 아래의 3가지 사항을 고려하였다.

1) 각 부분의 기하학적 치수와 재질로부터 열저항을 계산

2) Computer(Prime 550)를 사용하여 접속행렬로부터 Y-bus행렬을 구하고 이 simultaneous equation을 풀다

3) Motor를 3시간 동안 운전시켜 포화온도까지 이른 후 온도검출기로 각 부분의 온도를 확인하고 특히 저항법으로 stator 권선의 온도를 확인

2. 본 론

2.1 열저항

열저항을 구성하는 부분을 아래와 같이 선정하고 열의 흐름을 전도, 전달, 기타로 나누어 각각 해당 부위의 열저항을 계산하되 모든 길이 단위는 cm로 하였으며 단면적은 F로, 접촉면적은 O로 표시하였다.

Stator

- 1) Slot 도체—Teeth 중간
- 2) Teeth 중간—Teeth foot
- 3) Yoke 중간부
- 4) Core—Fin
- 5) Rib—내부공기
- 6) Slot—Coil end
- 7) Coil end—내부공기

공극

- 8) 공극

Rotor

- 9) Teeth중간—Teeth foot
- 10) Yoke 중간부
- 11) 축—내부공기
- 12) Slot도체—Teeth중간
- 13) Slot—Coil end

*正會員：現代重電機(株) 回轉機 工場長

**現代重電(機) 回電機設計部

- 14) Coil end—내부공기
- 15) 외부공기—대기
- 16) 내부공기—Bearing cap
- 17) Bearing cap—외부공기

2.1.1 전도시 열저항

$$R = \frac{l}{\lambda \cdot F}$$

단 core의 λ 는 0.4, cast steel의 λ 는 0.4~0.5이며 2), 3), 4), 9), 10)이 여기에 해당한다고 생각된다.

2.1.2 전달시 열저항

$$R = \frac{1}{\alpha \cdot F}$$

열 전달계수 α 는 유체의 속도, 등가직경, 길이의 함수인 graph를 쓰며 7), 14), 16), 17)이 여기에 해당한다고 보았다.

2.1.3 기타의 열저항

1), 12)

$$R = \frac{\text{Slot 폭}}{0.025 \cdot \Sigma} + R(\text{철연물}) + R(\text{공기})$$

6), 13)

$$R = \frac{A/3 + L/6}{2 \cdot \lambda \cdot F}$$

(A는 coil end이며 $\lambda=3.75$)

5)

$$R = \frac{1}{\beta \cdot 0 \cdot \alpha}$$

(β 는 핀의 효율이며 α 는 열전달계수)

8)

$$R = \frac{1}{\alpha_j / 2 \cdot 0}$$

(α_j 는 회전자 주변속도의 함수)

11)

$$R = \frac{0.7}{\sqrt{d^3 \cdot \alpha}}$$

15)

$$R = \frac{1}{2 \cdot \alpha_a \cdot Q}$$

($\alpha_a=1.1 \times 10^3$ 이며 Q의 단위는 m^3/sec)

2.2 열 발생부

발생열량의 계산은 여기서 다루지 않았으나 철손, 1차동손, 표면손 및 맥동손 등을 KW단위로 계산하였고 fan에 의한 풍손과 bearing에 의한 기계손은 내부온도상승에 큰 영향이 없으므로 무시하였다.

Stator	Rotor
P1 Slot	P5 Slot
P2 Coil end	P6 Bar end, Ring
P3 Teeth	P7 표면선, 맥동손
P4 Yoke	

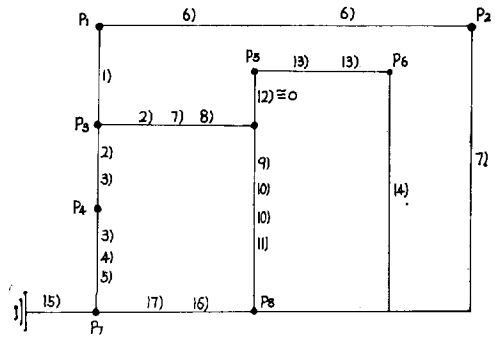


그림 1.

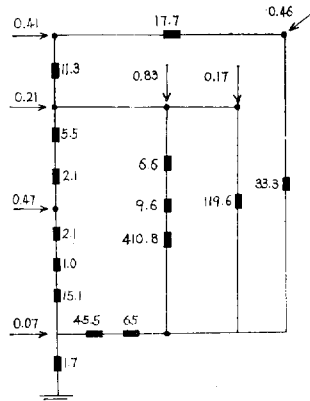


그림 2.

2.4. Y-bus행열과 Simultaneous Equation 해석

열량 $Q = (1/R) \times \text{온도차 } V$ 와 아나로그인 $[I] = [Y \cdot \text{bus}]$

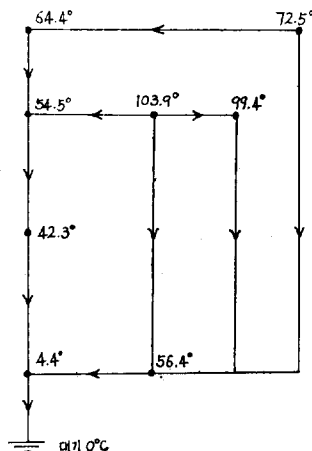


그림 3.

2.3 회로 요소

이상의 회로요소를 그림으로 나타내면 그림 1과 같으며 계산 수치를 대입하여 그림 2를 그렸다.

[V]회로에서 [Y-bus]를 fortran program의 subroutine loop에 의해서 구하였다.

행열의 차원을 줄이기 위해 그림 2의 회로중 저렬로 연결된 저항은 합산하므로써 node 8개 기준 node 1개로 Y-bus행열을 구하고 subroutine simul에 의해서 이 8원 1차 선립방정식의 해를 구하였다. 이때 그 입력데이터 및 출력치를 구했다.

그리고 그 결과를 그림 3에 나타내고 전압이 높은 곳에서 낮은 방향으로(즉 온도가 높은 곳에서 낮은 방향으로 화살표)로 나타내었다.

2.5. 고정자 권선 온도의 측정

Coil end에서 발생한 동손의 대부분이 열저항값이 적은 slot쪽으로 이동됨으로서 slot내부의 온도를 상승시키고 core를 통하여 rib에 전달된다.

이 경로를 포함하여 stator core를 기치는 설 $Q = (4.2.3 - 4.4) / (2.1 + 1.0 + 15.1) = 2.08KW$ 로서 총 발생열량의 79.4%에 이르므로 motor전체의 냉각계수를 stator

(p.36에서 계속)

遠隔컴퓨터를 on-line으로 使用하는 것이 將來에는 容易할 것이며, 오히려 그렇게 하는 것이 더욱 效率의 일 때가 있을 것이다. 예를 들어 輕水路는 가까운 將來에 尖頭負荷用의 發電所로서도 運用 가능한 制御方式이 確立되어 지겠으나, 어떤 플랜트를 負荷追從시킬 것인가는 系統의 電力配分으로 하느냐 또는 燃料의 burn-up으로 하느냐 등의 여러가지 觀點에서 最適化할 必要가 있다. 이따로 各各의 플랜트로 부터의 情報를 基礎로 한 最適化方策을 決定하여야 한다. 이러한 最適化를 自動적으로 遂行하기 위하여는 어떻게 全體系統을 監視하는 中央의 central computer와 各플랜트의 local computer를 on-line으로 接續할 必要가 있다.

그러나 local computer와 遠隔 또는 中央컴퓨터의 레벨은 將來 計算技術의 進歩에 따라 달라지겠지만 基本的으로는 必要한 制御의 實行時間間隔, 所要信賴度, 所要記憶容量, 다른 플랜트와의 關係有無에 따라 左右된다. 예를 들면, 빠른 過渡應答의 制御에는 local computer가 더 效率의이고, 燃料의 burn-up最適化와 같은, 時間이 많이 걸리고 計算이 複雜한 경우는 大容量 컴퓨터의 使用이 더 效率의이다.

將來에 豫想되는 컴퓨터技術의 進歩를 考慮한다면, 最適制御의 研究는 單一原子爐 플랜트뿐만 아니라 앞

core의 표면적만의 함수로 가정될 수도 있겠으나 이는 어디까지나 개략치에 불과하다.

그리고 외부에서 저항법으로 측정된 고정자 권선의 온도는 P1과 P2의 중간 근처의 온도라고 생각하여 계산상의 권선온도 $T = (64.4 \times 2 + 72.5) / 3 = 67.1^\circ C$ 이며 실제 2대의 motor권선온도 측정값은 $66^\circ C$ 및 $64^\circ C$ 였다.

3. 맺 는 말

Motor설계시 가장 중요한 요소의 하나인 권선온도 상승치를 약간의 경험을 토대로 계산하여 보았으며 이것이 전기기계계의 설계업무에 종사하는 분에게 다소나마 도움이 되기를 바랄뿐이다. 당사에서 행한 시험결과는 계산치와 다소의 오차를 보이고 있는바, 이는 계속적인 실험을 통해서 접근시킬 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] 조 동진 ; 기계설계전람(하권) 대광서림 pp.2109~2170.
- [2] Siemens社 Seminar자료.

으로 連繫될 大型시스템에 대해서도 考慮해야하며, 이와 같이 巨大시스템에 대한 總括的인 最適制御의 研究가 遂行되어야 할 것으로 思料되는 바이다.

參 考 文 獻

- [1] "On-line computers for power reactors", Nucl-eonics Special Report Vol. 20, No. 6, pp.51~74, June 1962.
- [2] M.A. Schultz & F.C. Legler; "Application of digital computer techniques to reactor operation", Proc. Int. Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva Switzerland, Vol. 4, pp. 312~330, 1964.
- [3] F. Bevilacqua & E. A. Yuile; "On-line computer application to a PWR nuclear power plant", Combustion Eng. Inc., TIS-3087, Oct 1969
- [4] 永山哲 ; "原子力のコンピューターコントロール"原子力工業, Vol. 14, No. 2, pp. 53~56, 1968.
- [5] 高丙俊, 金洛橋, 金恩洙 ; "電算화된 原子爐 制御系統의 設計", KAERI, Vol. NO, KAERI-320-AR-77, 1980.
- [6] W.C. Lipinski; "Optimal digital computer control of nuclear reactors", ANL-7530, Jan. 1969.