

# 動力馬達熱磁耦合模型建立及模擬分析技術

## Magneto-thermal Coupling Modeling and Simulation Analysis for Traction Motor

林立松

工研院機械所 智慧車輛技術組 電能系統部

### 前言

隨著環境保護的意識抬頭，電動車相關研究的發展日益蓬勃，電動車用動力系統動力輸出至為關鍵的零組件馬達，其性能相關研究亦漸受重視。馬達的運轉上，電磁與熱有著相互作用的影響，電磁損耗所產生的熱會造成馬達性能的下降，甚至造成馬達毀損破壞。所以，有效的冷卻與散熱，將是維持馬達效能與延長馬達操作壽命相當重要的議題。

### 凹版轉印技術及其應用

本計畫將針對該所自行研發之 50 kW 永磁無刷馬達，分析馬達熱磁雙向耦合之物理現象。以往研究只有討論單向耦合，算出磁場損失後當熱場分析的發熱量；然而，實際情況是熱場分析後，溫度會再影響磁場，進而使磁場損失增大，因此雙向耦合評估是必須的。馬達外殼冷卻水道之流場分析，得到相對應之對流係數及冷卻水壓降，以提升馬達散熱分析與實際馬達各部件溫升模擬的準確性。於此計畫中，模擬分析額定功率及最大功率輸出下之熱磁耦合現象，並預估主要發熱元件之最高溫，預測在不同功率輸出下之操作時間。計畫同時將利用實驗數據回歸修正模擬分析

模型，確保分析之準確性。

計畫同時以實驗數據回歸修正模擬分析模型，以比對模擬與實驗之準確性。由於車用動力馬達，除了電磁特性 [1] 外，必需考量馬達在額定功率及最大轉矩操作條件的溫升，是否造成繞組溫度過高燒毀，或磁鐵退磁，影響馬達電磁特性與功率，因此計畫以電磁與熱傳雙向耦合分析，可預估主要發熱部件之溫度，預測在額定功率及特定車輛行車模態條件下 [2]，可提供散熱系統快速及準確的設計分析，馬達在額定功率輸出下 (輸入轉速、輸入電流及預期轉矩)，主要發熱部件之損失及最高溫度值。該模擬分析模型部件最高溫需與實驗誤差小於 10%，以建立馬達熱磁耦合分析技術及電動車馬達溫升與安全性評估之技術。

執行流程與方法如圖 1 所示：

- 利用馬達分析軟體 Motor-CAD E-Magnetic 建立電磁分析模型，計算馬達部件之損失值，作為熱傳分析之馬達熱源。
- 利用 CFD(Computational Fluid Dynamics) 軟體分析馬達內部冷卻水道之流場，模擬分析熱對流係數 (Convection Coefficient, CC) 及冷卻水壓降 (Pressure Drop, PD)，並將模擬所得之  $h$  值當做 Motor-CAD 熱傳分析之邊界條件。

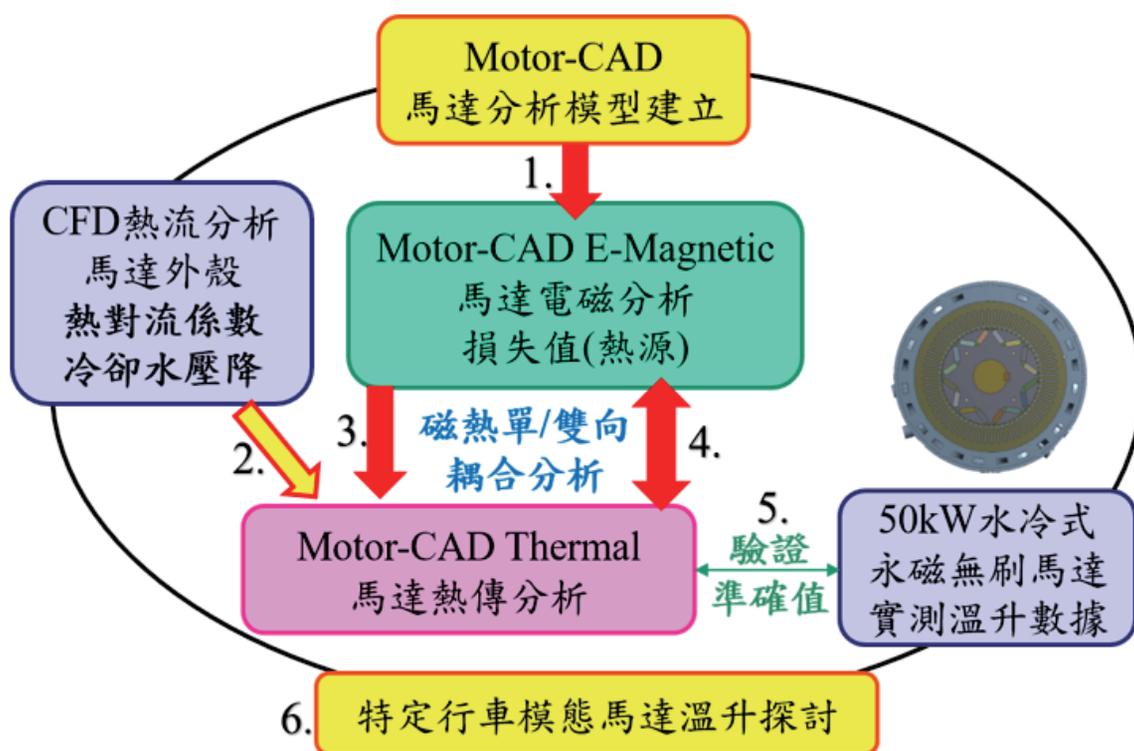


圖 1 動力馬達熱磁耦合模型建立及模擬分析技術

- 電磁分析損失熱源加上水冷式外殼散熱分析條件，達到磁熱單向之耦合分析，可得馬達各部件之溫升情況。
- 進一步利用 Motor-CAD 軟體執行熱磁雙向之耦合分析，並將溫度模擬結果跟單向分析做比較。
- 利用實驗結果與馬達實測參數來驗證分析，並回歸修正分析模型之準確性。
- 於特定車輛行車 UDDS 模態下，觀察馬達主要部件之溫度變化，探討溫升影響。

## 參考文獻

- [1] David G. Dorrel 1, Andrew M. Knight, and Mircea Popescu, 2011, "Performance

Improvement in High-Performance Brushless Rare-Earth Magnet Motors for Hybrid Vehicles by Use of High Flux-Density Steel," *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS*, Vol. 47, NO. 10, pp.3016-3091.

- [2] Modelling the Nissan Leaf Motor using Motor-CAD, Motor Design Ltd, March 2016.