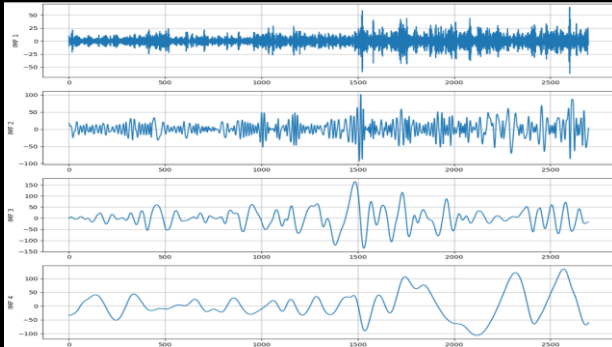
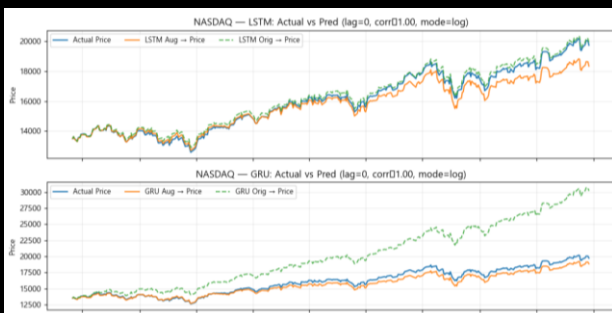




0.00423 으로, S&P500 에서는 0.00659 에서 0.00464 로 낮아지는 등 평균 약 30%의 개선을 보였다. LSTM 은 KOSPI , KOSDAQ, NASDAQ 에서 개선되었고, NASDAQ-LSTM 에서도 $DMp \approx 1.17 \times 10^{-3}$, $Wilcoxonp \approx 2.38 \times 10^{-3}$ 으로 통계적으로 유의미 했다. 급변 구간에서도 합성 학습 모델의 설명력은 대체로 높게 유지되어 희소/스트레스 구간 R^2 가 약 0.87-0.99 범위에서 관측되었고, 정상 구간에서도 유사한 수준을 보였다

0.009	0.976
0.009	0.986
0.014	0.940
0.009	0.974
0.009	0.970
0.010	0.969

KOSPI·KOSDAQ·NASDAQ·S&P500 의 일별 로그 수익률에 대해 실제 학습과 실제+가상 학습을 동일 테스트 구간에서 비교했다.



모델은 LSTM, GRU, Transformer, TCN, CNN1D 의 다섯 가지를 사용하고, RMSE/MAE 및 R^2 로 평가하였다. 합성데이터를 포함한 학습이 전반적으로 더 낮은 오류를 보여 20 개 조합 중 11 개에서 RMSE 가 개선되었고, 특히 GRU 는 네 시장 모두에서 오차가 유의하게 감소했으며, NASDAQ 에서는 RMSE 가 0.00821 에서