

EMP 전략

리밸런싱 최적화를 위한 Dynamic Programming 전략



▶EMP 전략 권병재 | byeongjae.kwon@hanwha.com | 3772-7624

“

잡은 리밸런싱은 거래 비용을 필요로 하고, 드문 리밸런싱은 추적 오차를 유발합니다. 리밸런싱 최적화는 거래 비용과 추적 오차의 상충 관계(trade-off)에서 최적 매매를 찾는 문제입니다.

”

| Contents |

I. 핵심 요약.....	03
II. 들어가며	04
III. 거래 비용과 추적 오차	05
IV. 리밸런싱	07
주기를 기준으로	07
괴리를 기준으로	08
Dynamic Programming	09
성과	12
V. Appendix	13

I. 핵심 요약

리밸런싱 사례 투자자 A가 주식, 채권에 100억 원을 투자한다고 가정하자. A가 비중별 포트폴리오의 위험 대비 수익을 산출해보니 주식, 채권 비중이 60:40일 때 가장 높았다. 그래서 초기 시점에 60억, 40억 원을 각각 투자했는데, 시간이 흘러 주식, 채권 가치가 상승하면서 주식, 채권의 평가 금액이 각각 80억, 45억 원으로 상승했다. 자산 가격이 변화하면서 주식, 채권 비중이 64:36으로 달라진 것이다.

위험 대비 수익이 가장 높은 비중은 60:40이므로 리밸런싱을 한다면 주식을 5.012억 원 매도하고 채권을 4.992억 원 매수하면 된다(거래 비용 20bp 고려). 이때 발생하는 거래 비용은 0.02억 원이다. 투자자 A는 현재 비중 64:36에서 60:40으로 조정하는 것이 거래 비용(0.02억 원)을 지불할 정도의 가치가 있는지 의문이다. 그래서 64:36에서의 위험 대비 수익과 60:40에서의 위험 대비 수익을 각각 산출하고 그 차이(추적 오차)를 계산했다. 이 값이 거래 비용보다 크다면 투자자 A는 리밸런싱을 할 것이고, 반대로 더 작다면 추적 오차를 감수하더라도 리밸런싱을 하지 않을 것이다.

리밸런싱은 거래 비용과 추적오차를 최소화하는 것

리밸런싱 최적화 문제는 거래 비용과 추적 오차를 최소화하는 비중을 찾는 것이라 볼 수 있다. 본 보고서에서는 3가지의 리밸런싱을 소개한다. 각 전략마다 가상 시나리오에서 거래 비용과 추적 오차를 산출하고 성과를 측정했다.

- 1) 주기 리밸런싱
- 2) 괴리율 리밸런싱
- 3) Dynamic Programming

첫번째는 널리 알려진 주기(Period, Calendar-based) 리밸런싱이다. 월 1회, 분기 1회 리밸런싱 등이 이에 해당한다. 두번째는 괴리율(Threshold) 리밸런싱이다. 최적 비중으로부터 한 자산의 비중이 일정 %만큼 차이 날 때 리밸런싱을 진행한다. 마지막으로 Dynamic Programming으로 비중 출력하는 함수를 반복적으로 업데이트해 비중을 조정하는 알고리즘을 소개한다.

[표1] 리밸런싱 종류별 성과(가상 10년)

리밸런싱 종류	리밸런싱 횟수	비용(%)			샤프 비율	수익률(%)
		거래 비용	추적 비용	총 비용		
보유 후 매수	0.0	0.00	0.07	0.07	0.185	62.3
Dynamic Programming	11.1	0.03	0.02	0.05	0.199	61.0
주기(월)	120.0	0.39	0.00	0.39	0.205	60.0
주기(분기)	40.0	0.23	0.00	0.23	0.206	60.2
주기(연)	10.0	0.11	0.01	0.12	0.205	60.6
주기(2년)	5.0	0.08	0.02	0.09	0.203	60.7
괴리율(1%)	44.5	0.29	0.00	0.29	0.206	60.1
괴리율(3%)	9.4	0.14	0.00	0.14	0.206	60.4
괴리율(5%)	3.8	0.09	0.01	0.09	0.206	60.6
괴리율(10%)	0.9	0.04	0.02	0.06	0.200	61.1

자료: WISEfn, 인포맥스, 한화투자증권 리서치센터

II. 들어가며

포트폴리오 비중은
자산 가격에 따라 변화

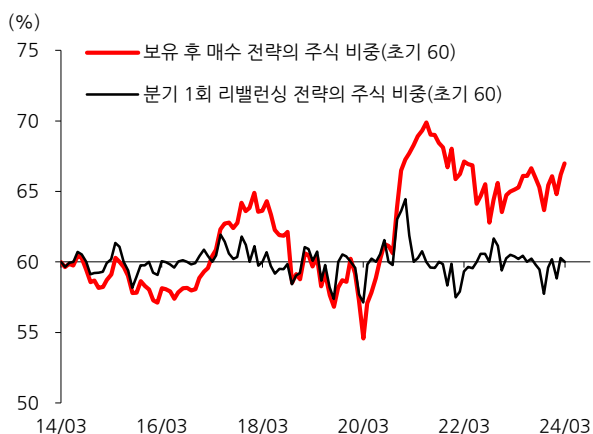
포트폴리오의 자산 비중은 매매가 없어도 자산 가격 변화에 따라 달라진다. 10년 전 국내 주식과 채권에 60:40 비중으로 투자했다고 하자. 국내 주식과 채권 지수는 10년 동안 각각 68%, 24% 상승했는데, 초기 투자 이후 어떤 매매도 하지 않았다고 가정하면 주식과 채권 비중은 오늘날 67:33이 된다. 전세계 증시와 전세계 채권에 같은 비중으로 30년을 투자했다고 가정하면, 포트폴리오 내 전세계 주식, 채권 비중은 83:17이다.

리밸런싱(re-balancing)은 자산 가격 변화에 따라 변동된 포트폴리오 비중을 초기 비중(혹은 최적 비중)으로 조정하는 과정이다. 앞서 주식, 채권 67:33으로 변한 포트폴리오를 예로 들면, 포트폴리오 비중이 다시 60:40이 되도록 주식을 매도하고 채권을 매수한다. 수익률이 높아 비중이 증가한 자산을 매도하고 상대적으로 비중이 감소한 자산을 매수하는 것이 일반적이다.

리밸런싱에는
거래 비용과 추적 오차를
고려해야

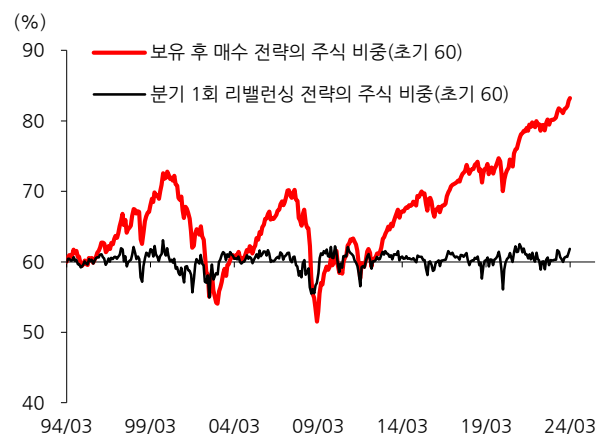
목적이 비중 유지라면 리밸런싱은 어렵지 않다. 거래일마다, 극단적으로는 초 단위로 매매하면 자산 비중을 항상 균일하게 유지할 수 있기 때문이다. 하지만 목적이 수익(혹은 위험 대비 수익)이라면 거래 비용을 고려해야 한다. 거래 비용을 지불하면서까지 현재 비중을 최적 비중으로 조정할 것인지 결정해야 한다. 때에 따라서는 추적 오차를 받아들이고 거래 비용을 절감해야 한다. 결국 리밸런싱은 거래 비용과 최적 비중의 상충 관계(trade-off)에서 최적 매매를 찾는 문제다.

[그림1] 국내 주식, 채권 10년 투자에 따른 주식 비중 변화



자료: WISEfn, 연합인포맥스, 한화투자증권 리서치센터

[그림2] 전세계 주식, 채권 30년 투자에 따른 주식 비중 변화



자료: Bloomberg, 한화투자증권 리서치센터

III. 거래 비용과 추적 오차

$$\text{총 비용} = \text{거래 비용} + \text{추적 오차}$$

$$\text{비용 고려해 조정할 비중} = \underset{w}{\operatorname{argmin}} \text{ 총 비용}$$

거래 비용은 명확하나
추적 오차는 불분명

거래 비용은 산출이 명백하다. 거래대금에 수수료, 세금 비용을 곱한다. 더 나아가 슬리피지를 고려한다면 거래대금, 변동성, 매수-매도 스프레드 등에 비례해 거래 비용을 높게 측정할 수 있다. 본 보고서에서는 모든 매매에 고정 비율(20bp)의 비용이 발생한다고 가정했다.

추적 오차는 최적 자산 비중을 포기함으로써 발생하는 손실로, 다소 불분명하다. 거래 비용을 피하고자 최적 비중을 선택하지 않는다면 추적 오차를 비용으로 대신 지불해야 한다. 이를 수치화할 수 있다면 거래 비용과 추적 오차를 저울질하여 현재 자산 비중에서 비용을 최소로 하는 비중을 선택할 수 있다.

추적 오차는
최적 비중과의
기대 효용 차

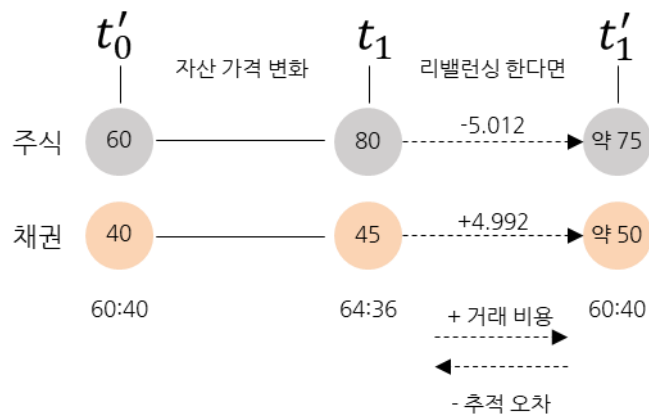
투자자에게 있어 효용(Utility)은 수익률이 주는 만족도다. 투자자들이 불확실성(변동성)을 선호하지 않는다고 가정하고, 효용 함수(U)로는 일반적으로 위로 볼록한 2차 함수나 로그 함수를 많이 사용한다. 추적 오차는 최적 비중과 현재 비중 간의 기대 효용(Expected Utility) 차로 추정할 수 있다. 즉, 추적 오차는 최적 비중을 선택하지 않음으로써 발생하는 기회손실이다.

$$E(U) = \text{기대 수익률} - \frac{\text{위험회피계수}}{2} \times \text{기대 변동성}$$

$$\text{추적 오차} = E(U)_{\text{최적 비중}} - E(U)_{\text{현재 비중}}$$

예를 들어 투자자 A가 주식, 채권에 100억 원을 투자한다고 가정하자. A가 주식, 채권 비중별 포트폴리오의 기대 효용을 산출해보니 주식, 채권 비중이 60:40일 때 가장 높았다. 그래서 초기 시점에 60억, 40억 원을 각각 투자했는데(이때 발생하는 거래 비용은 생략한다), 시간이 흘러 주식, 채권 가치가 상승하면서 주식, 채권의 평가 금액이 각각 80억, 45억 원으로 상승했다. 자산 가격이 변화하면서 주식, 채권 비중이 64:36으로 달라진 것이다.

기대 효용이 가장 높은 비중은 60:40이므로 리밸런싱 한다면 거래 비용을 고려해(20bp 가정) 주식을 5.012억 원 매도하고 채권을 4.992억 원 매수하면 된다. 이때 발생하는 거래 비용은 0.02억 원이다. 투자자 A는 현재 비중 64:36에서 60:40으로 조정하는 것이 거래 비용(0.02억 원)을 지불할 정도의 가치가 있는지 의문이다. 그래서 과거 자산별 평균 수익률과 변동성, 그리고 본인의 위험회피계수를 적용하여 64:36에서의 기대 효용과 60:40에서의 기대 효용을 산출하고 그 차이(추적 오차)를 계산했다. 이 값이 거래 비용보다 크다면 투자자 A는 리밸런싱을 할 것이고, 반대로 더 작다면 추적 오차를 감수하더라도 리밸런싱을 하지 않음으로써 거래 비용을 절약하려 할 것이다.



위 사례에서는 리밸런싱 여부로 선택의 경우를 이분하였지만, 총 비용을 최소로 할 수 있다면 부분 리밸런싱도 고려할 수 있다. 예를 들어 주식, 채권 62:38의 총 비용이 60:40, 64:36보다 낮다면 62:38로 비중을 조정할 수 있다.

$$\text{총 비용} = \text{거래 비용} + \text{추적 오차}$$

리밸런싱 종류별 총 비용 추정

뒤에서는 리밸런싱 종류에 따라 총 비용이 어떻게 달라지는지 살펴볼 것이다. 주기(Period) 리밸런싱은 특정 주기마다 비중을 조정한다. “Rational rebalancing: An analytical approach to multiasset portfolio rebalancing decisions and insights” (Vanguard, 2022)에서는 유사한 방법으로 주식, 채권 60:40 포트폴리오의 주기 리밸런싱은 연 1회가 적정하다고 보았다. 괴리율(Threshold) 리밸런싱은 한 자산의 비중이 최적 비중에서 일정 비율만큼 괴리가 발생했을 때 리밸런싱 하는 방법이다. 마지막으로 Dynamic Programming을 통한 알고리즘 리밸런싱은 현재 비중을 입력 받아 조정할 비중을 출력하는 함수를 정의하고 반복적으로 업데이트하여 함수 출력에 따라 비중을 조정한다.

IV. 리밸런싱

주기를 기준으로

월에 1번, 분기에 1번, 1년에 1번 리밸런싱 하는 것은 모두 주기를 기준으로 한다. 운용 정책에 의해 특정 주기가 요구될 수 있지만 이를 고려하지 않고 오로지 수익(위험 대비)이 목적이라면, 어느 주기의 리밸런싱이 최선일까?

국내 주식, 채권
과거 데이터로
Monte Carlo Simulation

코스피200, KRX 종합채권지수가 각각 주식, 채권을 대표한다고 가정하고, 2011년부터 월별 데이터를 활용해 평균과 공분산을 산출했다. 주식, 채권의 로그수익률이 다변량 정규분포를 따른다고 가정하여 10년, 30년 수익률 가상 시나리오를 생성했다. 포트폴리오 초기 주식과 채권 비중 66.3:33.7에서 시작해 가상의 수익률 시나리오에서 리밸런싱 여부에 따라 거래 비용 혹은 추적 오차를 경험한다. 대체로 리밸런싱 빈도가 줄어들수록 거래 비용은 감소하지만 추적 오차가 증가한다[그림3].

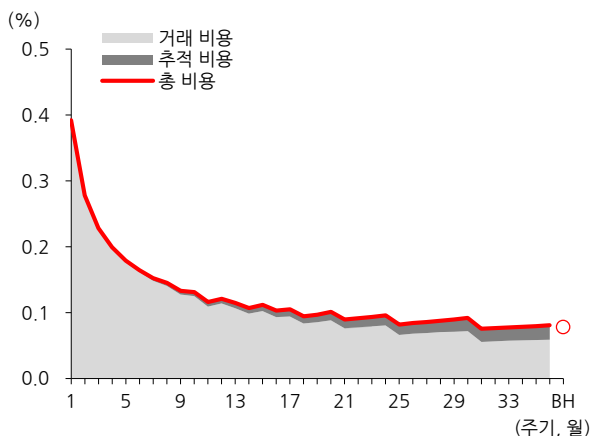
총 비용이 가장 낮았던
주기는 31개월

10년 기간에서 거래 비용과 추적 오차를 합친 총 비용은 리밸런싱 주기가 길어질수록 대체로 감소했다. 저점은 31개월 리밸런싱이었다[그림3]. 리밸런싱을 하지 않는 보유 후 매수(Buy-and-Hold) 전략의 비용도 낮은 수준이었는데, 10년 동안의 자산 가격 변화가 주식, 채권 비중에 미치는 영향이 크지 않기 때문이다. 보유 후 매수 전략은 주식, 채권 초기 비중 66.3:33.7에서 시작해 10년이 지났을 때 평균적으로 69.0:31.0 비중으로 마무리했다. 반면 30년 기간에서는 보유 후 매수 전략의 비용이 상대적으로 확대됐다.

샤프 비율이 가장 높았던
주기는 8월

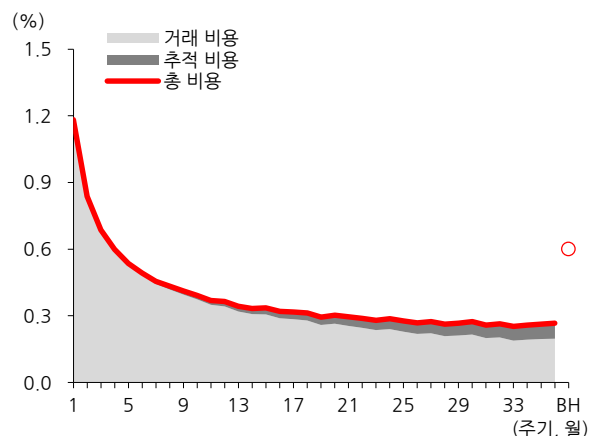
추적 오차가 예상치(기대 효용)라는 것에 주목해야 한다. 이는 매 시점 비중 괴리에 따른 예상 기회손실이다. 포트폴리오 성과에서 실제 발생한 손실을 보면, 이론적으로는 총 비용(예상)이 가장 낮은 전략에서 샤프 비율(실제)도 높게 나타나야 하나, 그렇지 않았다. 실제 성과에서 가장 효율적이었던 리밸런싱의 주기는 8개월이었다[그림7].

[그림3] 가상 시나리오 10년에서 리밸런싱 주기별 비용



주: BH는 보유 후 매수 전략으로 리밸런싱을 하지 않음
자료: WISEfn, 연합인포맥스, 한화투자증권 리서치센터

[그림4] 가상 시나리오 30년에서 리밸런싱 주기별 비용



주: BH는 보유 후 매수 전략으로 리밸런싱을 하지 않음
자료: WISEfn, 연합인포맥스, 한화투자증권 리서치센터

과리를 기준으로

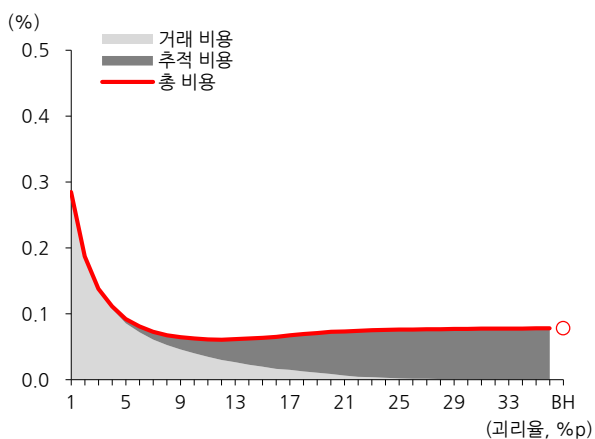
리밸런싱 목적에 보다
가까운 과리율 리밸런싱

주기를 기준으로 리밸런싱 하는 것은 자산 변동성에 취약하다. 리밸런싱을 하지 않는 기간에서 자산 가격 등락이 심해지면 자산 비중이 최적에서 멀어지기 때문이다. 주기가 아닌 특정 과리를 기준으로 리밸런싱을 할 수 있는데, 예를 들어 한 자산의 비중이 최적보다 5% 이상 벌어지면 리밸런싱을 고려할 수 있다.

국내 주식, 채권
과거 데이터로
Monte Carlo Simulation

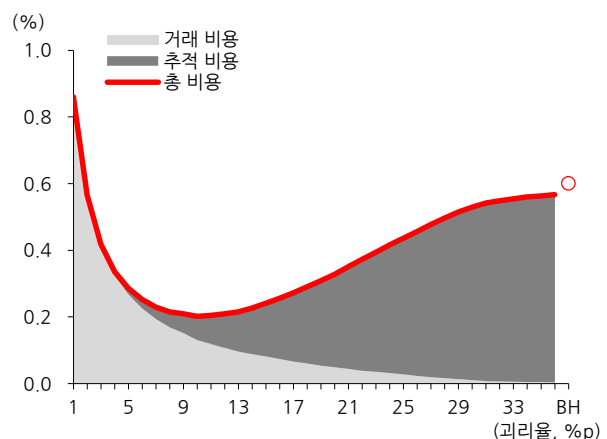
이전과 동일한 방법으로 같은 시나리오에서 총 비용을 계산했다[그림5]. 10년 시나리오에서는 과리율이 높아질수록 비용이 감소하다 12%서 저점을 기록하고 증가했다. 주기 리밸런싱과 마찬가지로 실제 나타난 샤프 비율은 총 비용 저점과 달랐는데, 과리율 3%에서 포트폴리오 성과(샤프 비율)가 가장 양호했다[그림8].

[그림5] 가상 시나리오 10 년에서 리밸런싱 과리율별 비용



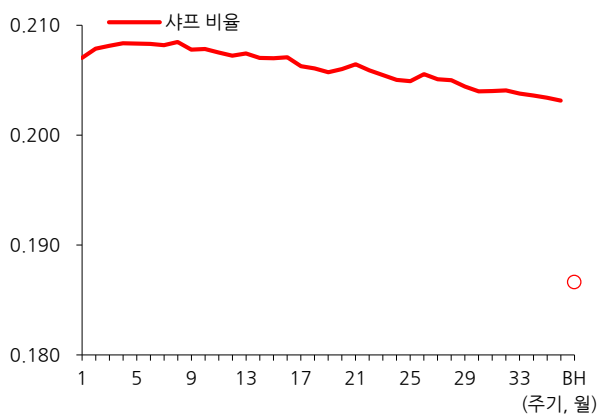
주: BH는 보유 후 매수 전략으로 리밸런싱을 하지 않음
자료: WISEfn, 연합인포맥스, 한화투자증권 리서치센터

[그림6] 가상 시나리오 30 년에서 리밸런싱 과리율별 비용



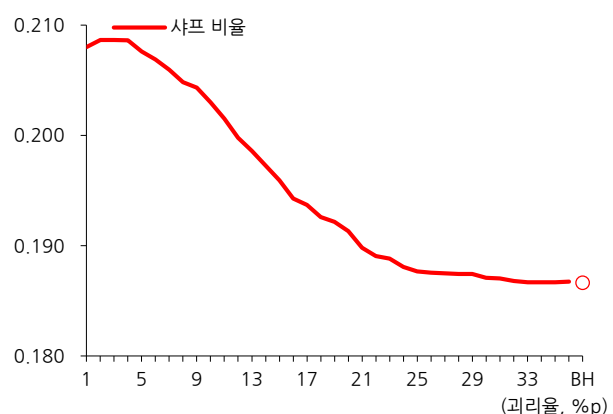
주: BH는 보유 후 매수 전략으로 리밸런싱을 하지 않음
자료: WISEfn, 연합인포맥스, 한화투자증권 리서치센터

[그림7] 가상 시나리오 10 년에서 리밸런싱 주기별 샤프 비율



주: BH는 보유 후 매수 전략으로 리밸런싱을 하지 않음
자료: WISEfn, 연합인포맥스, 한화투자증권 리서치센터

[그림8] 가상 시나리오 10 년에서 리밸런싱 과리율별 샤프 비율



주: BH는 보유 후 매수 전략으로 리밸런싱을 하지 않음
자료: WISEfn, 연합인포맥스, 한화투자증권 리서치센터

Dynamic Programming

“Optimal Rebalancing Strategy Using Dynamic Programming for Institutional Portfolios”(Walter Sun 외 4명, 2004)에서 Dynamic Programming을 통한 리밸런싱을 제안한 바 있다.

정책 함수 π 의 초기값 설정 정책(policy) 함수를 π 라 하자. π 는 비중 w 를 입력받았을 때 조정할 다음 비중 w' 를 출력하는 함수다.

$$\pi: w \rightarrow w'$$

$$\text{즉, } \pi(w) = w'$$

먼저 π 의 초기값을 설정한다. 최적 비중을 $w^*(66.3:33.7)$ 라 하면, 모든 비중 w 에 대해 w^* 을 출력하도록 초기 설정한다. 여기서 멈추면 알고리즘은 어떤 비중 w 가 주어지더라도 거래 비용, 추적 오차를 고려하지 않고 최적 비중 w^* 를 출력할 것이다. 우리의 최종 목적은 함수 π 가 최적 비중 w^* 가 아닌, 앞서 언급한 총 비용을 최소로 하는 비중을 출력하도록 정의하는 것이다. 이를 위해 먼저 비중 w 에서의 비용을 알아보고, 이후 초기 설정된 함수 π 를 업데이트할 것이다.

벨만 방정식 리밸런싱은 매 시점 현재 자산 비중에서 비용을 최소로 하는 비중으로 조정하는 과정이다. 벨만 방정식은 이러한 순차적 결정 과정에서 효과적인 것으로 알려져 있다. 리밸런싱에 적용할 벨만 방정식의 골자는 다음과 같다.

비중 w 에 대한 비용 함수를 $J(w)$ 라 하자.

$J(w) = w$ 에서 $\pi(w)$ 로 조정하여 발생하는 총 비용(거래 비용, 추적 오차)
+ 조정된 비중 $\pi(w)$ 에서 향후 발생할 비용의 기대값

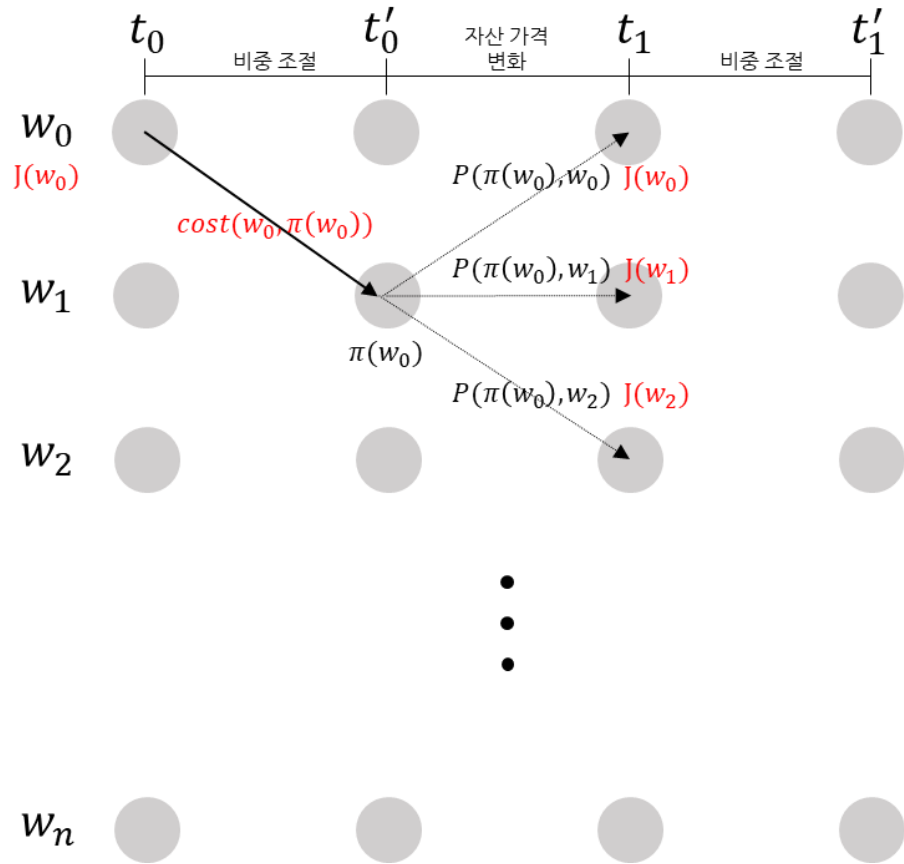
$$J(W) \equiv \min_{\pi} (\underbrace{\text{cost}(w, \pi(w))}_{\text{비중 } w \text{에서 조정하여 발생하는 총 비용}} + \underbrace{E(J(\pi(w)))}_{\text{조정된 새로운 비중에서 향후 발생할 비용의 기대값}})$$

왼쪽 항부터 살펴보면, $\text{cost}(w, \pi(w))$ 은 1) w 에서 $\pi(w)$ 로 조정할 때 발생하는 거래 비용에 2) $\pi(w)$ 와 w^* 의 차이로부터 오는 추적 오차를 더한 값이다.

오른쪽 항은, 자산 가격 변화가 정규분포를 따른다고 가정하고, 조정된 비중 $\pi(w) = w'$ 에서 향후 발생할 비용의 기대값을 나타낸 것이다. 계산량을 줄이기 위해 비중 w 변화는 0.1% 단위로 제한했다. 확률 변수(비중 w)가 이산적(discrete)이므로 기대값은 아래 수식과 같이 표현할 수 있다.

$$J(W) \equiv \min_{\pi} \left(\text{cost}(w, \pi(w)) + \underbrace{\gamma \sum_{w'} P(\pi(w), w') * J(w')}_{\text{기대값을 무위험수익률 } \gamma \text{로 할인}} \right)$$

$P(\pi(w), w')$: 자산 가격 변화에 의해 현재 비중 $\pi(w)$ 에서 w' 로 변할 확률

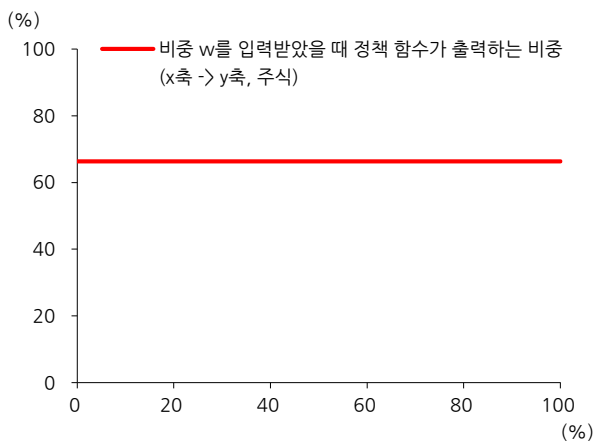


정책 함수 π
업데이트

비용 함수 J 가 잘 정의됐다면 초기값을 설정한 후 정책 함수 π 와 함께 반복적으로 업데이트한다. 업데이트에 대한 구체적인 방법은 “Constructing Optimal Portfolio Rebalancing Strategies with a Two-Stage Multiresolution-Grid Model”(Tian-Shyr Dai 외 4명, 2024)을 참고했다(Appendix 참고).

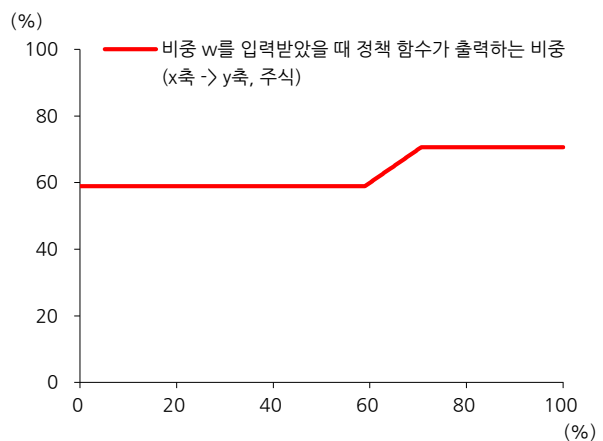
비중 w 를 입력받아 조정할 비중 w' 를 출력하는 정책 함수 π 의 업데이트 과정은 아래 그림들과 같다.

[그림9] 정책 함수 π 초기 설정



자료: WISEfn, 연합인포맥스, 한화투자증권 리서치센터

[그림10] 정책 함수 π 5회 사이클 업데이트



자료: WISEfn, 연합인포맥스, 한화투자증권 리서치센터

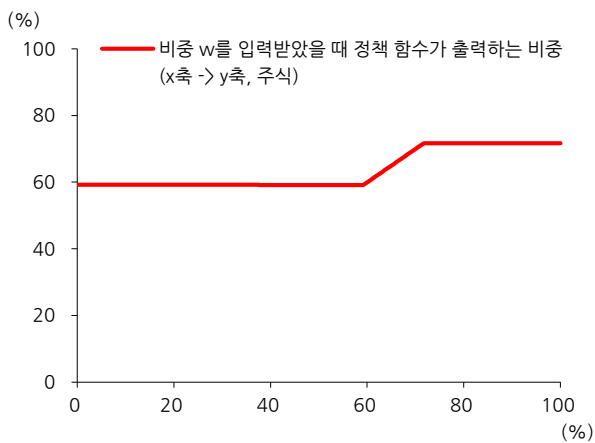
정책 함수 π 업데이트 결과 정책 함수 π 의 업데이트는 20회 사이클에서 마무리됐다. π 의 초기 설정은 모든 비중 w 에 대해 최적 비중 w^* 을 출력하는 것이었다[그림13]. 최종 업데이트된 π 는 다음과 같다.

비중 w 의 주식 비중을 $x\%$ 라고 하면,

$$\pi(w) \text{의 주식 비중}(\%) = \begin{cases} 59.3, & \text{when } x \leq 59.3 \\ x, & \text{when } 59.3 < x < 71.9 \\ 71.9, & \text{when } 71.9 \leq x \end{cases}$$

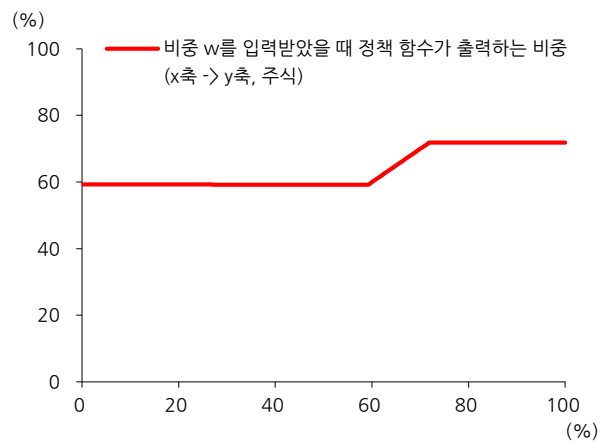
이 알고리즘은 주식 비중 기준 59.3~71.9%에서는 매매를 하지 않으며(No-Trade Zone), 그 외 비중에서는 경계값으로 조정한다.

[그림11] 정책 함수 π 10회 사이클 업데이트



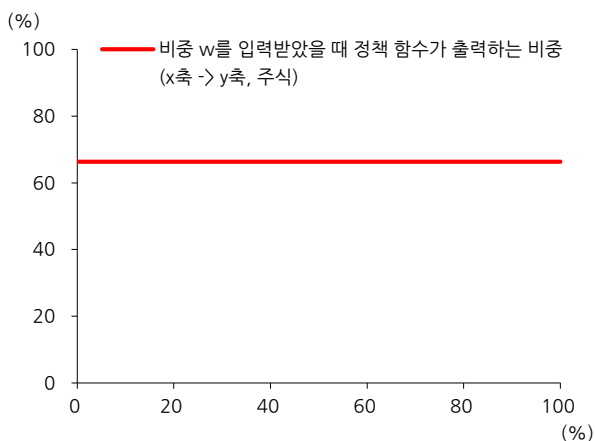
자료: WISEfn, 연합인포맥스, 한화투자증권 리서치센터

[그림12] 정책 함수 π 15회 사이클 업데이트



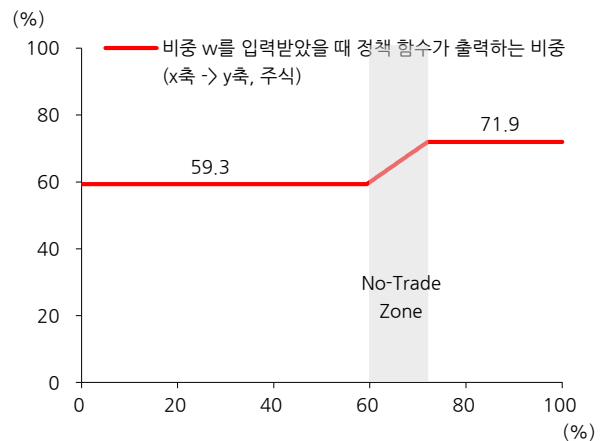
자료: WISEfn, 연합인포맥스, 한화투자증권 리서치센터

[그림13] 정책 함수 π 초기 설정([그림 9]와 동일)



자료: WISEfn, 연합인포맥스, 한화투자증권 리서치센터

[그림14] 정책 함수 π 20회 사이클 업데이트(최종)



자료: WISEfn, 연합인포맥스, 한화투자증권 리서치센터

성과

Dynamic Programming의
총 비용이 가장 낮아

앞서 리밸런싱은 총 비용(거래 비용, 추적 오차의 합)을 최소화하도록 비중을 조정하는 문제라고 밝혔다. 리밸런싱 전략별 총 비용을 보면 Dynamic Programming 알고리즘이 가장 낮았다[표1]. 의도한 바와 같이 Dynamic Programming 알고리즘이 매 시점 자산 비중에서 비용을 최소화 하는 비중을 선택하는 성능을 갖추었다고 볼 수 있다.

실제 샤프 비율은 부진해
적용 어려울 것

다만 이것이 실제 성과로 이어지지는 않았다. 총 비용 내 추적 오차는 비중 조정을 결정하는 시점에서 앞으로 발생할 것으로 예상되는 기회손실의 기대값이다. 실제 리밸런싱이 수행되었을 때 기회손실이 얼마나 발생했지를 샤프 비율로 확인하면, Dynamic Programming 알고리즘의 성과가 타 전략보다 뛰어나다고 보기는 어려웠다. 이전 주기, 괴리율 리밸런싱 성과에서도 총 비용이 가장 낮은 주기/괴리율과 샤프 비율이 가장 높았던 주기/괴리율은 일치하지 않았다. 최적 비중을 포기하는 비용을 산출하기 위해 사용했던 기대 효용(Expected Utility)이 실제 효용(Actual Utility) 혹은 샤프 비율로 이어지지 않은 것이다.

국내 주식과 채권의 리밸런싱 방법을 정한다면 앞서 Dynamic Programming 전략의 경우 기대 비용은 가장 낮았음에도 실제 나타는 성과지표가 부진했기 때문에 당장의 적용은 어려워 보인다. 주기 리밸런싱을 택한다면 샤프 비율이 높았던 8개월을, 괴리율 리밸런싱의 경우 3%가 가장 적절할 것으로 보인다.

[표2] 리밸런싱 종류별 성과(가상 10년)

리밸런싱 종류	리밸런싱 횟수	비용(%)			샤프 비율	수익률(%)
		거래 비용	추적 비용	총 비용		
보유 후 매수	0.0	0.00	0.07	0.07	0.185	62.3
Dynamic Programming	11.1	0.03	0.02	0.05	0.199	61.0
주기(월)	120.0	0.39	0.00	0.39	0.205	60.0
주기(분기)	40.0	0.23	0.00	0.23	0.206	60.2
주기(연)	10.0	0.11	0.01	0.12	0.205	60.6
주기(2년)	5.0	0.08	0.02	0.09	0.203	60.7
괴리율(1%)	44.5	0.29	0.00	0.29	0.206	60.1
괴리율(3%)	9.4	0.14	0.00	0.14	0.206	60.4
괴리율(5%)	3.8	0.09	0.01	0.09	0.206	60.6
괴리율(10%)	0.9	0.04	0.02	0.06	0.200	61.1

자료: WISEfn, 인포맥스, 한화투자증권 리서치센터

V. Appendix

Modified Policy Iteration

본 보고서에서 정책 함수 π 와 비용 함수 J 를 업데이트한 방법은 다음과 같다.
 “Constructing Optimal Portfolio Rebalancing Strategies with a Two-Stage Multiresolution-Grid Model”(Tian-Shyr Dai 외 4명, 2024) 참고.

```

For all weighs  $w \in W$ , initialize  $J(w) = 0, \pi(w) = w^*$ 
While True do
   $J'(w) = J(w)$  for all  $w$ 
   $J'(w) \leftarrow cost(w, \pi(w)) + \gamma \sum_{w' \in W} P(\pi(w), w') J'(w')$ 
  Repeat  $k(k = 20)$ 
  for each  $w \in W$  do
     $\pi_{updated}(w) \leftarrow \underset{w'}{\operatorname{argmin}} (cost(w, w') + \gamma \sum_{w'' \in W} P(w', w'') J'(w''))$ 
     $J_{updated}(w) \leftarrow \min_{w'} (cost(w, w') + \gamma \sum_{w'' \in W} P(w', w'') J'(w''))$ 
  end for
  if  $\pi_{updated} = \pi$ 
    break
  end if
   $\pi \leftarrow \pi_{updated}$ 
   $J \leftarrow J_{updated}$ 
end While
  
```

[Compliance Notice]

(공표일: 2024년 4월 26일)

이 자료는 조사분석 담당자가 객관적 사실에 근거해 작성하였으며, 타인의 부당한 압력이나 간섭없이 본인의 의견을 정확하게 반영했습니다. 본인은 이 자료에서 다룬 종목과 관련해 공표일 현재 관련 법규상 알려야 할 재산적 이해관계가 없습니다. 본인은 이 자료를 기관투자자 또는 제 3자에게 사전에 제공한 사실이 없습니다. (권병재)
 저희 회사는 공표일 현재 이 자료에서 다룬 종목의 발행주식을 1% 이상 보유하고 있지 않습니다.

이 자료는 투자자의 증권투자를 돕기 위해 당사 고객에 한하여 배포되는 자료로서 저작권이 당사에 있으며 불법 복제 및 배포를 금합니다. 이 자료에 수록된 내용은 당사 리서치센터가 신뢰할 만한 자료나 정보출처로부터 얻은 것이지만, 당사는 그 정확성이나 완전성을 보장할 수 없습니다. 따라서 이 자료는 어떠한 경우에도 고객의 증권투자 결과와 관련된 법적 책임소재에 대한 증빙으로 사용될 수 없습니다.