

기상상태를 고려한 가용송전용량 산정

(Calculation of ATC considering wether conditions)

심현 · 김동민* · 김진오

(Hun Shim · Dong-Min Kim · Jin-O Kim)

Abstract

가용송전용량(ATC) 계산의 기준이 되는 총송전용량(TTC)은 일반적으로 열, 전압, 안정도 한계치에 의해 결정된다. 국내 계통의 송전선로 길이를 고려할 때, 이 세 가지 한계치 중 열 정격은 TTC 결정에 가장 큰 비중을 차지하는 요소이다. 따라서 본 논문은 열 정격에 기상상태의 변화를 고려한 송전용량(DLR)의 개념을 도입하고, TTC를 결정하는 새로운 접근법을 제안한다. 이 방법은 기존 방법과 비교하여, 주변의 물리적 환경 변화에 따른 정확한 계산 결과를 도출함으로써, 실시간 사용 가능한 용량의 평가가 가능토록 한다.

사례연구에서는 KEPCO의 PSS/E 데이터를 이용하여, 기존의 방법과 제안하는 방법을 비교함으로써 제안하는 방법의 유용성을 보였다. DLR을 적용한 ATC평가의 방법은 전기적 안전 범위 내에서 ATC의 평가 결과를 증가 시킴으로써, 선로 운영자에게 경제성 측면의 유용한 정보가 될 수 있을 것이다.

1. 서론

국내 전력산업은 수년 전부터 산업구조를 수직통합체제에서 경쟁체제로 전환하기 위한 구조개편을 진행해왔고, 이에 따라 전력거래에 참여하는 전력회사들에게 경제성과 효율성이 강조되고 있다. 따라서 발전회사 분리 이후, 전력시장의 완전개방을 고려한 개별 사업자의 최대 이익을 목적으로 하는 연구가 각 분야에서 활발히 이루어지고 있다. 특히 전력시장이 개방되면, 송전선을 안정적으로 운용하면서 동시에 상업적 이용을 극대화하기 위해, 기존에 사용하고 있는 용량에 추가적으로 사용할 수 있는 가용송전용량(Available Transfer Capability : ATC)의 정확한 산정은 매우 중요하다[1]. 이에 따라 전력 선진국에서는 ATC 산정에 관한 연구가 활발히 진행되었으며, 특히 연속조류계산법(Continuous Power Flow : CPF)방법을 중심으로, 주로 계산속도의 향상을 목적으로 기법개발에만 초점을 둔 연구결과가 다수 발표되었다[2].

따라서 각국의 실제 계통상황에 맞는 실용적인 ATC의 평가가 필요한 시점이며, 이에 본 연구는 새로운 계산 기법 제안이 아닌, ATC산정의 개념을 실용적인 측면에서 합리적으로 재평가하는데 목적을 둔다. 이에 본 논문은 기존의 단일 열적 한계치 적용의 비경제성을 극복하고자 실시간 기상 상태를 고려한 동적 송전용량(Dynamic Line Rating : DLR)을 적용하여 ATC를 계산하는 방법을 제안한다. 이는 국내 실 계통의 사례연구를 통해 다양한 관점에서 그 결과를 비교 분석하고, 그 유용성을 확인 하였다.

2. 본론

2.1 ATC의 정의

북미 신뢰도 위원회 (North American Electric Reliability Council : NERC)의 정의에 따르면 가용송전용량(ATC)의 계산은 송전선을 안정적으로 운용하면서 상업적 이용을 확대하기 위하여, 기존에 사용하고 있는 용량에 추가적으로 사용할 수 있는 송전용량, 즉 송전계통에 주어진 시간동안 사용하지 않고 남아 있는 용량을 측정하는 것이다[1]. ATC는 다음과 같이 계산 된다.

$$ATC = TTC - TRM - ETC \text{ (CBM 포함)} \quad (1)$$

여기서, 총송전용량(Total Transfer Capability : TTC)은 한 지역에서 다른 지역으로 계통 안전도의 위반 없이 안전하게 송전할 수 있는 최대 송전량이며, 송전 신뢰도 여유도 (Transmission Reliability Margin : TRM)는 계통의 불확실성을 고려하여 전력계통의 안정적인 운전의 보장을 위해 필요한 양, 설비편의 여유도 (Capacity Benefit Margin : CBM)는 발전설비 신뢰도 기준을 만족시키기 위해 필요한 양, 그리고 ETC는 현재 사용용량을 나타낸다.

가. 최대 송전용량의 결정

신뢰성을 보장하며 지역 간 전송할 수 있는 최대 송전용량으로 정의하는 TTC는 계통의 물리적, 혹은 전기

적 한계로 제약받게 된다. 일반적으로 송전용량은 그 도체가 허용할 수 있는 전류에 대한 열용량, 송전 선로의 송수전단 전압강하 한계 값 및 계통의 안정도 여유에 의해 제약을 받는다. 따라서 TTC는 결정 시점의 열, 전압, 안정도 한계치의 최소값으로 결정한다.

$$TTC = \text{Min of } \{ \text{Thermal, Voltage, Stability limit} \} \quad (2)$$

그림 1은 식 (1)의 ATC를 계산의 개념과 식 (2)의 TTC를 결정을 위한 제한요소를 표현한 것이다. 그림 1의 경우 TTC는 시간에 따라 안정도, 전압, 열, 안정도 한계의 순서로 제약되고 있음을 알 수 있다.

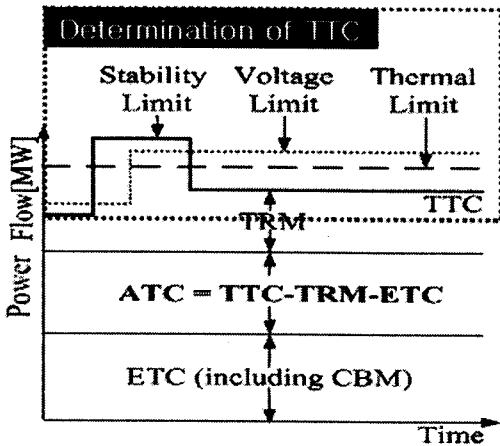


그림 1. ATC의 개념과 TTC 결정
Fig. 1. Concepts of ATC and TTC Determination

나. 계통의 불확실성을 고려한 여유용량

TRM은 계통 운영의 유연성을 확보함으로써 계통상태의 변화로부터 안전하게 계통을 운영할 수 있도록 선정되어야 한다. 따라서 TRM을 고려하기 위해서는 계통에서 발생 가능한 모든 경우를 고려해야만 한다.

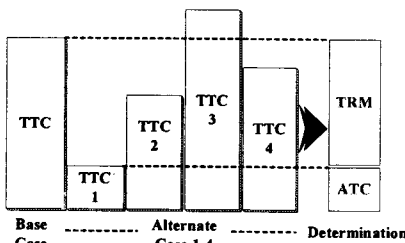


그림 2. TRM 결정
Fig. 2. Determination of TRM

TRM을 결정하는 과정은 그림 2와 같다. 우선 Base Case TTC와 Alternative Case TTC를 모두 계산하고, 그 중에 가장 작은 값을 갖는 TTC와 Base Case TTC

간의 차이가 TRM이 된다.

CBM은 발전설비 신뢰도 기준을 만족시키기 위한 예비력이다. 각 지역은 일정 수준의 발전설비 신뢰도를 유지하여야 하며, 발전설비 신뢰도를 계산하는 방법에는 결정론적 방법과 확률론적 방법이 있다. 결정론적 방법은 가장 큰 발전기의 손실에 대비한 예비용량, 혹은 이미 정해진 특정한 양의 예비용량을 유지하는 방법이다. 확률론적 방법은 일반적으로 사용되는 신뢰도 지수인 Loss of Load Expectation(LOLE)등을 발전기 강제 고장, 유지보수 고장, 최소 정전시간, 부하예측 등의 입력 데이터를 이용하여 산정한다.

2.2 동적 열용량을 적용한 TTC 산정

본 논문에서는 국내 실 계통에서 ATC를 모의하기 위해, 국내 계통을 수도권권과 비수도권 지역으로 구분하여 복상조류를 담당하는 345[kV]급 이상 주요 송전선로 6개를 그림 3과 같이 선정하였다.

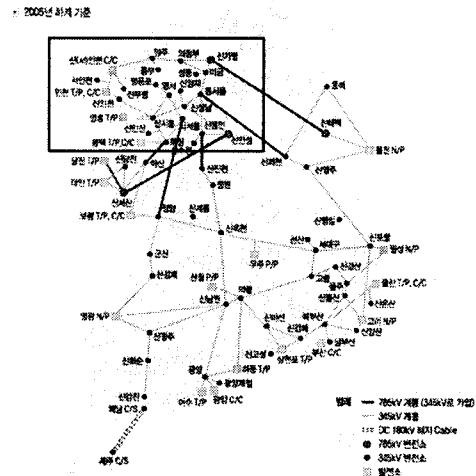


그림 3. 국내 계통의 지역구분과 연계선로
Fig. 3. Tie Lines between Two Areas in Korea

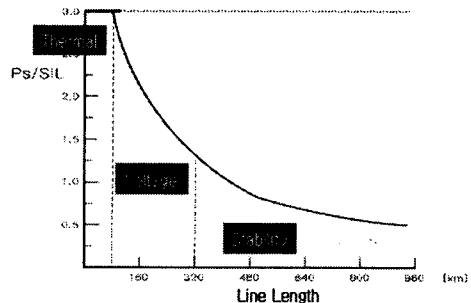


그림 4. Load Ability 곡선 (345 [kV] 급)
Fig. 4. Load Ability Curve (345 [kV] class)

Load Ability 곡선은 개별 선로의 용량을 추정하는데 널리 사용되며 도체의 종류, 선로의 규격 및 송전 전압 등에 의해 차이가 있다. 그림 4는 345[kV]급 송전 선로의 경우 일반적으로 약 80[km] 이하에서는 열용량의 대부분을 송전할 수 있지만 그 이상에서는 전압강하의 유지가 문제가 됨을 설명하고 있다. 또한, 약 320[km]이상의 경우 안정도 여유가 송전용량을 제한하는 중요한 요인이 됨을 알 수 있다.

그림 3에서 선정된 연계선로의 길이를 고려하면(최대 160km 이하) 안정도 여유 한계치는 송전용량을 제한하는데 큰 영향을 끼치지 않으며, 전압강하는 FACTS 소자에 의해 많은 부분 보상된다. 따라서 국내 계통은 열적한계치가 TTC 결정에 가장 큰 영향을 준다. 이는 사례연구에서 실 계통의 상황을 고려한 다양한 결과 분석을 통해 구체적으로 다루도록 한다.

또한 앞서 설명한 TTC의 세 가지 제한요소 중, 열적 한계치는 다른 요소와는 달리 물리적 제약조건이다. 다시 말해, 다른 전기적 제한요소는 계통의 전기적 상황에 따라 변하지만 열적한계치는 주변 환경 즉 기상조건에 따라 변경하여 적용할 수 있다[3]. 이러한 동적 송전용량(Dynamic Line Rating : DLR)의 계산 기법 및 적용 사례는 이미 활발히 연구가 되었다[4-6].

그림 5는 아산 T/L의 각 계절 대표일에 대해 ATC 계산 시 일반적으로 고려하는 단일 열 정격(Static Line Rating : SLR)과 주변의 기상조건을 실시간으로 고려한 동적 송전용량(DLR)을 계산하여 비교한 그래프이다[7].

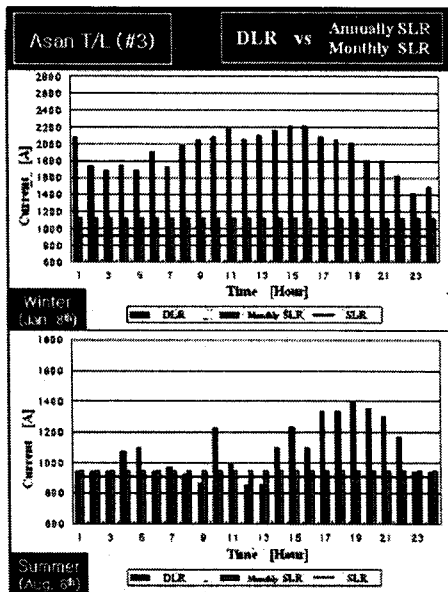


그림 5. 열용량의 비교
Fig. 5. Comparison of Thermal Ratings

겨울철 대표일의 경우, SLR에 비해 DLR은 거의 모든 시간대에서 월등히 높은 값을 보이고 있다. 따라서 송전 용량으로서 DLR을 사용하는 것이 전력 계통운영의 경제성 측면에서 바람직하다. 반면 여름철 대표일의 경우, 일부 시간대에는 현재 적용하고 있는 SLR보다 DLR이 낮은 시간대가 존재한다. 따라서 실 계통에서도 실시간으로 변화하는 기상자료를 이용하여 매시간 변화하는 DLR을 적용하는 것은 전력계통 운영의 경제성뿐만 아니라 안정성 면에서도 유용한 정확한 평가라 할 수 있다.

그림 6은 날씨 효과에 따른 열 정격의 실시간 변화를 설명하기 위해 TTC 산정의 기준이 되는 세 가지 제한요소를 그림 1과 같은 방법으로 표현한 개념도이다.

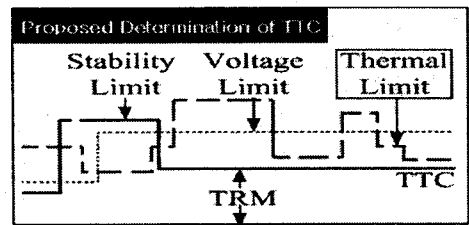


그림 6. 기상상태를 고려한 TTC
Fig. 6. TTC Considering Wether Conditions

결국 ATC 계산에 실시간으로 변화하는 기상상태를 고려하여 열정격을 적용하는 것은 기존의 방법에 비해 실시간으로 사용 가능한 용량을 정확히 평가하는 방법이라 할 수 있다.

3. 사례연구

본 논문에서 제안하는 날씨효과를 고려한 ATC 산정의 효용성을 확인하기 위해, 국내 실계통의 수도권과 비수도권 지역을 구분하고 다양한 관점으로 기준을 달리 하여 두 지역 간의 ATC계산을 수행하였다. ATC 산정은 PSS/E(ver.30)를 이용하여 수행되었으며, TRM 계산과정의 몇 가지 상정사고를 고려하기위해 연계선로로 선정된 345[kV]급 이상의 주요 6개 북상선로를 모니터링하여 결과를 산정하였다.

그림 7은 각 연계선로의 한계치에 따른 지역 간 TTC 산정을 위해, 조류계산 결과와 선로 이용정도를 모니터링하기위한 PSS/E 화면이다. 앞서 설명한 세 가지 한계치 중 최소값을 산정하고 선로 데이터의 'RATE'로 설정해 주면, 선로 송전 용량에 대한 현재 조류량의 %비로 이용정도를 나타낸다.

연계선로의 조류량을 증가시켜 어느 한 선로가 한계치에 도달하는 시점이 오면, Base Case의 TTC는 그때

의 지역 간 총 송전량으로 결정된다. 그림 7의 경우 현재 아산T/L이 54%의 송전선로 이용 정도를 보이고 있으며, 결국 이 송전선로에 의해 TTC가 결정된다.

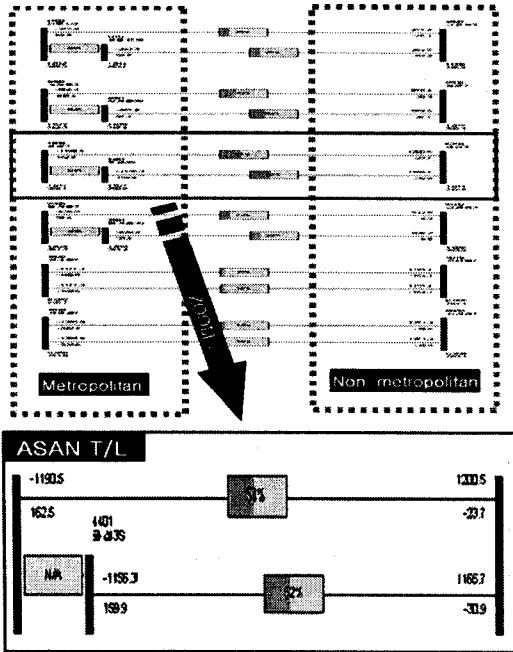


그림 7. 연계선로의 조류 해석 화면 (PSS/E)
Fig. 7 Power Flows in Tie Lines (PSS/E)

3.1 모의 조건

TRM 계산을 위한 연계선로 및 각 지역 대표발전 설비의 정보는 표 1과 같으며, ATC 산정결과를 계절별로 비교하기 위해 표 2와같이 대표일 및 대표시간을 선정하여 모의하였다.

표 1. 연계선로 및 지역 대표발전 설비의 정보
Table 1. Information of Tie Lines and Generator

대상 설비	선로명	정격		
		공칭전압 [kV]	허용전류 (SLR) [A/1B]	열용량 [MW]
지역 간 연계 선로	신용인	345	917	1086
	서청	345	917	2173
	아산	345	917	2173
	신제천	345	917	2173
	신태백	765	917	7290
	신안성	765	917	7290

대상 설비	발전기 명	지역	최대 발전량 [MW]
각 지역의 대표 발전기	영흥	수도권	880
	울진	비수도권	1055

표 2. 계절별 대표시간에 따른 지역별 발전량
Table 2. Several Information of Each Season

계절	대표일	구분	대표시간	발전량[MW]	
				수도권	비수도권
봄	2006. 4. 8	off-peak	4시	5385.0	35519.0
		peak	19시	9122.0	40493.0
여름	2006. 8. 8	off-peak	5시	3454.0	34997.5
		peak	15시	11617.0	43152.9
가을	2006.10. 8	off-peak	4시	3227.0	33084.9
		peak	15시	7974.0	40776.4
겨울	2007. 1. 8	off-peak	4시	5453.0	39127.0
		peak	19시	10437.0	43323.2

3.2 단일 열용량 (SLR) 적용

본 절에서는 기존의 일반적인 방법으로(TTC 열적한계에 SLR을 적용) ATC를 산정한 결과를 비교한다.

가. 전압강하를 완전 보상하는 경우

본 절은 전압강하를 완전히 보상하여 송전용량이 전적으로 열용량의 한계치에 의해 결정된다고 가정하였다.

TRM 계산을 위해 고려한 상정사고 항목과 그에 따른 TTC 계산 결과들은 표 3과 같다.

표 3. Alternative Case의 TTC 계산 결과
- 봄 대표일 (off-peak)

Table 3. TTC Results of Alternative Cases
- In Spring (off-peak)

Alternative Case		TTC 계산결과 [MW]
내용	대상 설비	
연계 선로 상정사고	신용인	18614.1
	서청	13468.9
	아산	16499.7
	신제천	19121.2
	신태백	18461.3
	신안성	12192.0
각 지역의 가장 큰 발전기 고장	영흥	18862.1
	울진	19371.6
송전선로 정격용량 3%감소	6개 연계선로	19085.9

표 4. 봄 대표일 (off-peak) 의 ATC 계산결과
Table 4. ATC Results in Spring (off-peak)

계산 항목	TTC [MW]	TRM [MW]	ETC [MW]	ATC [MW]
Case				
Base Case	19739.6	7547.6	8493.6	3698.4
Alternative Case 중 최소값	12192.0			

표 4는 표 3의 TTC 계산결과들을 이용하여 산정한 ATC 계산결과이다. 여기서 ETC에 CBM은 포함하지 않았으며, 순수하게 지역 간 조류량만을 표현하였다.

같은 방법으로 표 2에서 선정한 계절별 대표시간에 대한 ATC산정의 결과들은 표 5와 같다.

표 5. 계절별, 시간대별 ATC 계산결과
Table 5. ATC Results using Table 2

계절	구분	TTC [MW]	TRM [MW]	ETC [MW]	ATC [MW]
봄	off-peak	19739.6	7547.6	8493.6	3698.4
	peak	19927.1	6992.7	11320.4	1614.0
여름	off-peak	21109.6	7214.1	9852.0	4043.5
	peak	21231.5	7457.6	10369.7	3034.2
가을	off-peak	19451.5	6956.8	8649.2	3845.5
	peak	20702.3	7021.9	11710.6	1949.8
겨울	off-peak	20460.9	7624.5	8825.9	4010.5
	peak	20502.8	7818.4	11062.5	1621.9

결과를 분석해보면, 모든 계절에서 peak시의 ATC가 상대적으로 작은 값을 알 수 있다. 이는 부하가 집중된 수도권으로 북상하는 조류량(ETC)이 peak시 증가하는 국내 계통의 특성상 자명한 결과이다.

반면 연간 peak인 여름철 peak의 경우 오히려 다른 계절에 비해 ATC 결과는 큰 수치를 보인다. 이는 다른 계절에는 비수도권의 대용량 발전기들에 의해 전국 계통의 부하를 모두 담당하지만, 연간 peak시의 경우 수도권의 저용량 고가 발전기도 대부분 가동되는 점에서 그 원인을 찾을 수 있다. 다시 말해, 연간 peak시 각 지역의 총 부하는 가장 큰 값을 기록하지만, 수도권의 발전량이 다른 시점에 비해 크게 증가하며, 비수도권의 발전량은 그 지역의 늘어난 부하량을 담당하는 데 사용되기 때문에 북상조류의 양은 상대적으로 줄어들고 결국 연계선로에 남아있는 가용용량은 크게 산정된다.

나. 전압보상을 고려하지 않는 경우

본 절에서는 전압강하가 보상되지 않는 경우, 다시 말해 보상장치가 없거나 오동작으로 인해 송전단에서 수전단으로 전압 강하가 그대로 드러나는 경우를 가정한다. 이 경우를 모의하기 위해, 우선 전압강하와 안정도 여유 한계치를 고려하여 선로 길이에 따른 송전용량의 근사치의 계산 결과를 표 6과 같이 나타내었으며, 이를 이용하여 Alternative Case의 TTC를 계산하면 표 7과 같다.

표 6. 연계 선로의 길이와 송전 용량
Table 6. Length and Capability of Tie Lines

선로명	선로 길이 [km]	열용량 [MW]	송전용량 [MW]
신용인	52.574	1086	1086
서청	108.371	2173	1265
아산	48.184	2173	1910
신제천	128.391	2173	1162
신태백	154.886	7290	4957
신안성	137.37	7290	5467

표 7. Alternative Case의 TTC 계산 결과
- 여름 대표일 (off-peak)
Table 7. TTC Results of Alternative Cases
- In Summer (off-peak)

Alternative Case		TTC 계산결과 [MW]
내용	대상 설비	
연계 선로 상정사고	신용인	15299.4
	서청	13243.8
	아산	11551.1
	신제천	15137.5
	신태백	8873.5
각 지역의 가장 큰 발전기 고장	영흥	15009.2
	울진	15324.9
송전선로 정격용량 3%감소	6개 연계선로	15626.9

표 5에서, 여름 대표일의 off-peak시 지역 간 현존하는 조류량 (ETC)을 살펴보면 9852.0[MW]이며, 표7의 결과 신태백 T/L 사고시 TTC는 8873.5[MW]이다. 이는 전압 보상장치가 동작하지 않을 경우, 765[kV]급 선로에 상정사고가 발생하면 계통 붕괴의 가능성이 있음을 시사한다.

표 8은 TRM 계산 시 345[kV]급 선로 고장만을 고려하여 ATC를 산정하였다. 이 결과는 3.3절의 DLR을 적용한 ATC 산정 결과와 비교하는데 활용한다.

표 8. 계절별, 시간대별 ATC 계산결과
Table 8. ATC Results using Table 2

계절	구분	TTC [MW]	TRM [MW]	ETC [MW]	ATC [MW]
여름	off-peak	16010.7	4459.6	9950.1	1601.0
	peak	16654.5	4226.7	10369.7	2058.1
겨울	off-peak	18012.4	4833.0	8825.8	4353.6
	peak	18061.5	5013.0	11062.5	1986.0

3.3 동적 열용량 (DLR) 적용 - 실시간 기상상태를 고려

본 절에서는 기상상태를 고려하여 겨울철과 여름철 대표시간의 DLR을 그림 5의 결과와 마찬가지로 계산하고, 이를 열적 한계치로 적용하여 ATC를 산정한다. 표 9는 기상상태를 고려한 열용량을 계산한 결과이다. (여름/겨울철 peak)

표 9와 같은 방법으로 각 계절의 기상상태를 고려한 열용량을 이용하여 ATC를 계산하면 표 10과 같다. 표 10(a)는 전압강하의 완전한 보상을 가정한 결과이며, 표 10(b)는 전압 보상장치가 동작하지 않을 경우를 가정하고, 345[kV]급 선로 고장만을 고려하여 TRM을 계산하여 ATC를 산정한 결과이다.

표 9. 연계선로의 동적 열 용량
Table 9. DLR of Tie Lines

선로명	허용전류 [A/Bundle]		DLR SLR 비	열용량 [MW]	
	SLR	DLR		SLR기준	DLR기준
신용인	917	973	1.06	1086	1152
서청		1419	1.55	2173	3363
아산		1229	1.34	2173	2913
신계천		1225	1.34	2173	2903
신태백		1300	1.42	2900	10335
신안성		1574	1.72	2900	12513

(a) 여름철 peak
 (a) Peak Hours, Summer

선로명	허용전류 [A/Bundle]		DLR SLR 비	열용량 [MW]	
	SLR	DLR		SLR기준	DLR기준
신용인	917	2092	2.28	1086	2478
서청		1819	1.98	2173	4310
아산		2018	2.20	2173	4782
신계천		1952	2.13	2173	4626
신태백		2267	2.47	2900	18022
신안성		2180	2.38	2900	17331

(b) 겨울철 peak
 (b) Peak Hours, Winter

표 10. 계절별, 시간대별 ATC 계산결과
Table 10. ATC Results using Table 2

계절	구분	TTC [MW]	TRM [MW]	ETC [MW]	ATC [MW]
여름	off-peak	21809.3	7497.6	9852.0	4459.8
	peak	21891.2	7457.6	10369.7	4063.9
겨울	off-peak	25435.2	9634.5	8825.9	6974.8
	peak	25340.6	9435.6	11062.5	4842.5

(a) 전압강하를 완전 보상하는 경우
 (a) When voltage Drop is perfectly compensated

계절	구분	TTC [MW]	TRM [MW]	ETC [MW]	ATC [MW]
여름	off-peak	16103.6	4558.4	9952.0	1693.2
	peak	16654.5	4226.7	10369.7	2058.1
겨울	off-peak	18012.4	4833	8825.8	4353.6
	peak	18061.5	5013	11062.5	1986.0

(b) 전압강하를 고려하지 않는 경우
 (b) When Voltage Compensator are not Operate

우선 전압 보상장치가 동작하지 않는 경우의 결과를 비교하기 위해 표8과 표 10-(b)의 결과를 살펴보면, 날씨 효과를 고려하여 열용량이 크게 증가 하였지만, 전압강하의 제한에 의해 ATC의 산정결과는 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 다시 말해 물리적 용량이 아무리 크게 평가되어도 전기적 제한에 의해 그 만큼을 모두 ATC결과로 환원 못한다. 반면 전압 보상이 완전히 이루어진다고 가정할 때 표 5와 표 10-(a)의 결과를 비교해 보면, 실시간으로 기상상태를 고려한 ATC의 산정결과는 크게 늘어나며, 이는 선로 운영자에게 경제성 측면에서 유용한 정보가 될 수 있다.

4. 결론

국내 계통의 송전선로 길이를 고려할 때, 열적 한계치는 총송전용량(TTC) 결정의 주요 제한 조건이 되며, 다른 전기적 제한 요소와는 달리 물리적 환경을 고려하여 선 평가가 가능하다. 따라서 본 논문에서는 기존의 단일 열적 한계치 적용의 비경제성을 극복하고자 동적 송전용량을 적용하여 가용송전용량(ATC) 산정하는 방법을 제안한다. 국내 계통의 지역을 구분하고 연계선로의 계절별 실시간 열용량을 산정하여 기존 산정 방법과 비교하고 계절별 추이를 분석하였다. 국내 계통의 사례연구 결과 ATC 계산에 실시간으로 변화하는 기상상태를 고려하여 동적 열정격을 적용하는 방법은 선로의 가용능력을 기존 방법에 비해 실시간으로 정확히 평가할 수 있음을 확인하였다. 또한 다양한 관점의 모의결과를 분석함으로써, 국내 계통의 송전선로에 전압강하의 보상이 이루어진다면 제안하는 방법을 활용하는 것이 경제적으로 매우 유용함을 보였다.

지역 간 전력 거래를 위해 정확한 ATC의 산정은 구조 개편된 전력시장에서 반드시 선행되어야 할 연구이며, 본 연구는 국내 계통상황을 고려한 실용적인 ATC 산정의 기반연구로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 2006년 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음 (R01-2005-000-11214-0).

참고 문헌

- (1) North American Electric Reliability Council "Available Transfer Capability Definitions and Determination", NERC Report, June 1996.
- (2) Ashwani Kumar, S.C. Srivastava and S.N. Singh, "Available transfer capability assessment in a competitive electricity market using a bifurcation approach", IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 151, No. 2, March 2004.
- (3) "IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors", IEEE Standard pp.738, 1993.
- (4) D.A. Douglass and A.A. Edris, "Real-Time monitoring and dynamic thermal rating of power transmission circuits", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 11, No. 3, pp. 1407-1418, 1996.
- (5) J.S. Engelhardt, S.P. Babu, "Design, Installation, and Field Experience with an Overhead Transmission DLR System", Transmission and Distribution Con., 15-20 Sept. 1996 pp. 366 - 370.
- (6) J. K. Raniga, R. K. Rayudu, "Dynamic Rating of Transmission Lines - A New Zealand Experience", Power Engineering Society Winter Meeting, 23-27 Jan. 2000, IEEE Vol. 4, pp. 2403 - 2409.
- (7) 김동민, 배인수, 김진오, 조종만, "송전선로의 이용률 평가 및 합리적 운영에 관한 연구", 전기학회논문지, 제 55A권 10호, pp 426~432, 대한전기학회, 2006. 10.