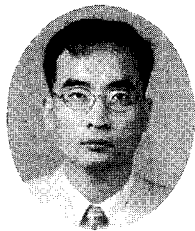


도로 포장에서의 신속 개방형 덧씌우기 포장재의 현황과 전망

- State of Art Technology of Whiteopping with Fasttrack Constructing -



조윤호*



백우현**



임태선***



임주용****

1. 머리말

국가 산업의 발전에 지대한 영향을 주는 국내의 도로는 1999년 말 현재 고속국도, 일반국도, 지방도 등을 모두 합하여 8만 6,989 km에 이르며 이 중 포장률은 74.5%에 이르고 있다. 이 중 가장 중추적인 역할을 하고 있는 고속국도 및 일반국도는 약 17%를 차지하고 있으며 이 두 도로의 경우 주요 산업 물동량을 대부분 처리하고 있다고 해도 과언이 아닐 것이다.

산업의 발전으로 교통량은 지속적으로 증가하고 이에 따라 이들 도로의 환경은 점차 악화돼가고 있으며 일부 콘크리트 재료를 이용하여 포장한 고속국도를 제외한 아스팔트 포장의 경우 중하중 교통량에 의한 러팅(rutting), 쇼빙(shoving), 코루게이션(corrugation) 등과 같은 영구 변형이 발생하여 이용자 안전을 크게 위협하고 있으며 관리 측면에서는 계속적인 덧씌우기 등의 유지 보수로 인한 비용 증가를

초래하고 있다. 또한 기존의 콘크리트 포장의 고속국도는 일부 구간의 공용 기간이 다하여 도로 수명을 연장하기 위한 보수 공법이 절실히 요구되는 실정이다.

국내 유지 보수 공법 중 덧씌우기 공법의 경우 아스팔트 재료를 이용한 경우가 대부분이며 콘크리트 재료를 이용한 덧씌우기는 전무한 실정이다. 이는 콘크리트의 경우 타설 후 아스팔트에 비해 매우 긴 양생 기간을 필요하므로 기존의 공용되는 도로에서의 적용이 거의 불가능하다는 개념에 기인한다고 할 수 있다.

최근 선진 포장 기술을 가지고 있는 국가의 경우 콘크리트 포장은 내구성이 뛰어나며 유지 관리 비용이 상대적으로 저렴하다는 장점을 충분히 활용하여 신재료의 개발과 시공 기술의 향상으로 1일 공용이 가능한 콘크리트 포장을 시공하고 있다. 따라서 국내의 경우도 콘크리트 포장 재료를 덧씌우기에 사용하기 어렵다는 인식을 버리고 국의 사례 연구, 국내 자체 기술 개발 등을 통하여 1일 교통 개방이 가능한

기술력을 확보하여야 한다.

2. 공법 소개

기존의 콘크리트 층에 강성 포장 덧씌우기를 실시하는 공법은 1910년대 초반에 시작되어 1940년대 아스팔트 기존 층인 경우에도 적용하도록 확대되었다. 초기에 whitetopping의 경우 두께가 20 cm 이상인 경우로 주로 시공되었으며 1980년대에 들어서면서 10 ~ 20 cm 사이의 thin whitetopping 개념을 적용하였고 이때부터 whitetopping 연구가 본격적으로 진행되어 AASHTO 설계법의 개념에 포함되었다.

1990년대 초반 기존의 아스팔트 층과 콘크리트 덧씌우기 포장을 부착시키고 줄눈 간격을 줄임으로써 일반적인 콘크리트 포장보다 두께를 줄이는 포장 보수 공법의 개념이 도입되어 <그림 1>과 같은 Full-depth Asphalt 포장의 보수 공법 Ultra-Thin Whitetopping(UTW)을 시공하기 시작하였다. 1991년 Kentucky주 Louisville에 위치한 매립지의 진입로에 처음으로 시공되어 미국에서만 1999년까지 180여 건의 시공 사례를 보이고 있다.

* 중앙대학교 건설환경공학과 조교수

** 중앙대학교 토목공학과 석사과정

*** 정희원, 쌍용양회공업(주) 중앙연구소 책임연구원

**** 정희원, 한국도로공사 도로연구소 수석연구원

구조적인 UTW의 특징으로는 <그림 3>과 같이 콘크리트와 아스팔트의 부착에 따라 중립 축이 하향하고 이에 따라 콘크리트에 인장 응력이 감소하며 짧은 줄눈에 따른 curling 응력이 감소하고 일반적인 지지 층에 비해 강한 아스팔트 층을 사용함에 따라 두께를 감소시킬 수 있는 점들을 들 수 있다.

UTW의 시공은 콘크리트와 아스팔트 층의 복합 거동으로 이루어짐에 따라 아스팔트 층의 상태가 매우 중요하여 아스팔트의 파손 정도에 따라 UTW 시공법을 적용하는 것이 일반적이다. 따라서 whitetopping의 적용은 기존의 아스팔트 포장이 공용 수명을 다하기 이전에 영구 변형이 발생한 도로에 적용한다. 콘크리트 덧씌우기 전 기존의 아스팔트를 밀링(milling)하게 되는데 밀링 후의 아스팔트의 두께가 ACPA의 경우 75 mm 이상으로 제한하고 있으며 콜로라도 DOT의 thin whitetopping 설계 가이드 라인에서는 125 mm 이상으로 제한하고 있다.

하지만 whitetopping 공법의 경우 기존의 강성 포장 덧씌우기의 단점인 긴 양

생 시간을 개선하지 못함에 따라 교통 조기 개방에 효과적인 패스트 트랙(fast-track) 공법을 복합적으로 사용하는 시공법이 등장하게 되었다. 패스트 트랙 공법이란 콘크리트의 강도가 조기에 발현함에 따라 교통 개방에 요구되는 시간을 최대한 단축하는 시공법으로 선진 포장 기술 보유 국가의 경우 고속도로, 도심부 도로, 교차로 등에서 시공하여 도로 이용자에 대한 불편을 최소화하고 있다. 즉, 콘크리트의 비율을 높이는 배합과 양생 기술을 개선함으로써 6 ~ 24시간 이내의 양생 시간으로 교통 개방이 가능한 강도를 얻게 되는 것이다.

패스트 트랙의 콘크리트 재료는 실험 결과에 따라 선택된다. 대부분의 경우 Type I, II, III를 사용하며 많은 시공 사례를 보면 Type III가 가장 많이 사용된다. Type III의 경우 Type I에 비해 분말도가 4,500 ~ 6,000 cm²/g 정도로 1.3 ~ 1.5배 높고 이는 조기 강도 발현에 큰 도움을 주게 된다. 패스트 트랙의 배합의 경우 콘크리트 비율이 높고 Type III가 사용됨으로 완전히 경화되기 전 수화열을

조절하는 것이 매우 중요하게 되고 따라서 AE제를 사용하여 수화열을 조절하게 된다. 하지만 실험에 의해 확인되지 않은 경우는 조기 강도 발현에 장애가 됨에 따라 사용하지 않고 있다.

혼화제의 경우 미국의 시공 사례를 보면 Type C 플라이 애쉬를 사용하며 슬래그나 실리카 폼은 잘 사용되지 않는다. Type F 플라이 애쉬는 장기 강도 발현에는 효과적이라고 알려져 있으나 조기 강도의 발현에는 영향을 주지 못하므로 실험에 의한 경우를 제외하고는 사용하지 않는 것이 일반적이다.

혼화제의 경우는 주로 공기연행제(AE제), 감수제(Water Reducing Admixture)가 주로 사용된다. 공기 연행제의 경우 상술한 바와 같고 감수제의 경우는 Type A를 많이 사용한다. 감수제는 일반적으로 6 ~ 10 % 정도의 물량을 줄일 수 있으며 물량을 줄임으로써 콘크리트 강도를 높이는 데 효과적이다. 수화열이 높은 경우는 Type D감수제를 사용하게 되며 이는 콘크리트 강도에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 알려져 있다.

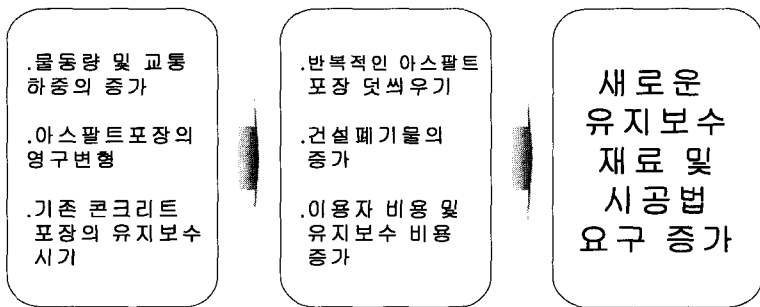


그림 1. 국내 포장의 실태



그림 2. UTW 시공 후 모습

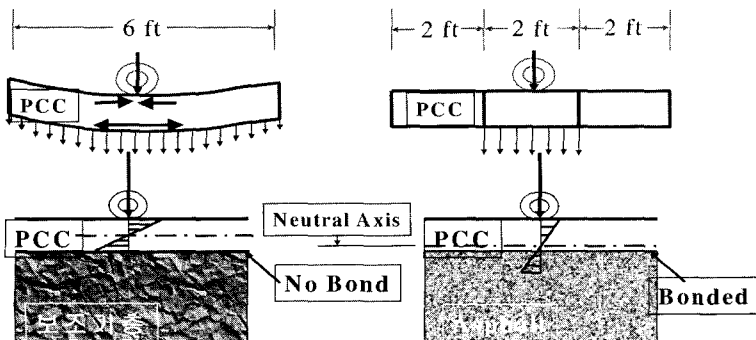


그림 3. UTW의 메커니즘 개요도

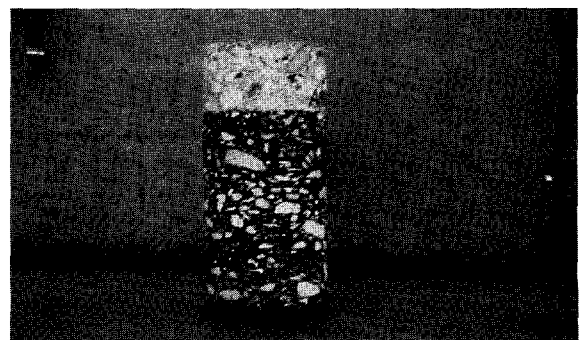


그림 4. UTW의 시공 후 코어의 모습

표 1. 미국의 시공 배합 예¹⁾

구분	시멘트 종류	시멘트량 (kg/m ³)	W/C비	플라이 애쉬 (kg/m ³)	굵은골재 (kg/m ³)	잔골재 (kg/m ³)	AE	WR	AC
A	I	380.31	n.a	43.31	842.49	824.49	Y	Y	N
B	II	390.39	0.39	0	1007.4	679.33	Y	Y	N
C	II	390.39	0.39	58.74	934.45	630.08	Y	Y	Y
D	III	421.24	0.373	0	906.56	805.70	Y	Y	N
E	III	379.71	0.425	41.53	838.33	838.33	Y	Y	N
F	III	379.71	0.425	41.53	838.33	838.33	Y	Y	N
G	III	380.31	0.425	43.31	838.93	835.96	Y	Y	N
H	III	440.82	0.40	48.65	776.04	779.00	Y	Y	N

※ AE는 공기 연화제, WR은 감수제, AC는 무염화 촉진형 감수제

표 2. 국내 시멘트 포장 재료의 개발 현황 및 기술력¹⁾

종류	특성	시공 사례
2종 시멘트	저열, 저수축, 휨-인장 강도 특성 향상	중부고속도로
3종 시멘트	조기개통 (3일 이내)	88. 부마 고속도로시험시공 (3일 개통)
하이웨이 시멘트	저열, 휨-인장 강도 향상 및 조기 개방형(14일 이내)	경부고속도로
초속경, 초조강 시멘트	조기 경화, 조기 강도 발현	소규모 현장 타설용 (10m ² 이내 면적 시공)

혼합에 사용되는 물의 경우는 일반적으로 60 ~ 66 °C 정도의 물을 사용한다. 이는 혼합수가 어느 정도의 온도를 유지해야 교통 개방의 강도를 발현하는 데 좀더 유리하게 작용할 수 있기 때문이지만 수화열에 의한 영향을 크게 받을 수 있다는 단점이 있다.

미국에서 시공한 경우 몇 가지 배합 설계의 예를 보면 다음 <표 1>과 같다. 아래와 같은 비율로 설계하였을 경우 24시간의 휨 강도가 45 ~ 55 kg/cm² 강도를 보여 교통 개방이 24시간 이내에 가능했다.

골재의 경우 일반 포장에서 사용하는 입도 분포가 사용되지만 조골재와 세골재의 혼합 입도 분포가 매우 중요하며 이에 따라 혼합수의 양, 필요한 모르타르의 양이 줄어들기도 한다. 물과 모르타르가 적게 들어가게 되는 것은 투수 계수가 작아지고 따라서 장기적인 콘크리트의 내구성이 증가하게 된다.

패스트 트랙의 시공 장비의 경우 일반 포장과 크게 다르지는 않지만 세골재량이 일반 콘크리트 배합에 비해 많기 때문에

진동 다짐을 위해 슬립 폼 페이퍼를 사용하는 것이 필수적이다.

국내의 경우 국부적인 도로 보수에는 초조강 콘크리트 재료를 사용한 바 있으나 대규모 신설 및 덧씌우기 공사에는 아직까지 적용된 경우가 없는 것으로 알려져 있다.

3. 국내 기술 동향

지금까지 국내에서 실시된 강성 포장 덧씌우기의 경우는 전술한 바와 같이 일부 시험 시공 구간 및 부분적인 보수 공사를 제외하면 전무한 실정이다. 이는 새로운 시공 기술 및 신재료의 도입 지연에 따른 교통 개방 시간의 지연이 가장 큰 원인이다. 하지만 국내의 도로 포장의 사정을 검토하여 보면 새로운 시공 기술이 절실히 필요함을 알 수 있다.

지속적인 rutting 발생과 그에 따른 아스팔트 덧씌우기의 반복, 콘크리트 박층 덧씌우기(Thin bonded Concrete Overlay)와 조기 교통 개방 콘크리트 포장 공법에 대한 연구 수행, 조기 개방 강

성 포장 재료 기술 개발 능력 향상 등을 고려하여 보면 국내의 콘크리트 포장 덧씌우기 기술 개발 환경은 충분히 갖추어 있다고 할 수 있다.

선진 포장 기술 보유 국가의 경우 rutting 발생에 의한 지속적인 아스팔트 덧씌우기의 반복과 콘크리트 포장을 아스팔트 덧씌우기 하는 경우 발생하는 반사 균열(reflection cracking)을 해결하기 위해 콘크리트 덧씌우기 연구가 지속적으로 진행되었으며 최근 국내에서도 이와 같은 추세에 따라 “조기 교통 개방 콘크리트 포장 공법에 대한 실험적 연구(한국도로공사, 1996)”, “시멘트 콘크리트 포장의 박층 덧씌우기 공법 연구(한국도로공사, 1995)”, “콘크리트 덧씌우기에 의한 포장 보강 방안 연구(한국도로공사, 1998)” 등을 수행하며 국내 적용의 타당성을 검증하였다. 위와 같은 실험을 통한 조기 강도 발현으로 3일 이내의 교통 개방 가능성과 섬유를 보강한 접착식 콘크리트 덧씌우기 포장의 현장 적용성은 이미 확보하였다고 할 수 있다.

조기 교통 개방형 whitetopping 공법을 적용함에 있어 중요한 제한 사항 중의 하나는 시멘트 재료의 품질 향상 및 재료의 개발일 것이다. 국내 시멘트 제조업체의 경우 연간 5,142만 4,000 M/T¹⁾을 생산하고 이 중 연간 389만 9,000 M/T를 수출하고 있어 상용 제품의 품질은 우수하다고 할 수 있으나 1일 교통 개방 콘크리트 덧씌우기 공법에 적합한 콘크리트의 경우는 조기 강도의 발현과 적절한 시공성을 확보하기 위해 새로운 시멘트 재료와 혼화제, 양생제의 개발이 선행되어야 하며 현장에서의 품질을 일정하게 유지하기 위한 품질관리지침의 개발은 필수적이다. 국내의 시멘트 포장 재료의 개발 현황은 <표 2>와 같다.

4. 국외 기술 동향

아스팔트 포장의 영구 변형에 의한 파

1) 통계청, 2000(인터넷자료)

손이 계속적으로 발생하고 이에 따른 연구가 진행되어 영구 변형을 방지하기 위한 콘크리트 덧씌우기 포장 공법은 계속적으로 발전하였고 이를 고찰하여 보는 것은 국내의 콘크리트 덧씌우기 포장의 적용을 위해 큰 의미가 있을 것이다.

4.1 미국의 기술 동향

1913년 이후 강성 포장 덧씌우기가 시공되기 시작하여 whitetopping의 경우 1918 ~ 1992년까지의 시공 현황을 보면 약 190여 건이 이루어졌으며 UTW의 경우 1991 ~ 1999년까지 (그림 4)와 같이 180여 건의 시험 시공 및 시공²⁾이 이루어졌다. 현재에도 거동 분석을 위한 시험 시공과 rutting 등의 영구 변형이 심하게 발생하는 고속도로, 도심부도로, 교차로, 주차장뿐만 아니라 공항에까지 계속적으로 적용되고 있다. 현재 대부분 시공되는 도로의 경우 교통 차단을 최소화하기 위해 패스트 트랙 공법을 함께 적용하거나 초조강 시멘트를 이용하여 시공하는 것이 보편화되어 있다. 패스트 트랙 공법 역시 기술적으로 많은 발전을 하여 양생 6시간만에 교통을 개방하는 수준에 도달하였다.

최근에는 주로 교통량이 적고 저속인 도로에 적용하던 UTW 개념을 확대 적용하기 위하여 주간 고속도로(Interstate Highway) 등의 교통량이 많고 고속 주행하는 도로에서 많은 시험 시공 및 현장 적용을 하고 있다. 하지만 중하중 교통이 많이 재하되고 고속 주행을 하는 도로에 적용되기 시작하면서 섬유 보강과 두께를 10 ~ 15 cm로 적용하는 Thin Composite Whitetopping(TCW) 공법으로 발전시키고 있다.

4.2 일본의 기술 동향

1988 ~ 1992년도 건설성 종합기술개발프로젝트 "건설사업의 신소재 신재료 이용 기술의 개발"의 일환으로, 1990년도에서 2년 간 토목연구소와 시멘트메이커의

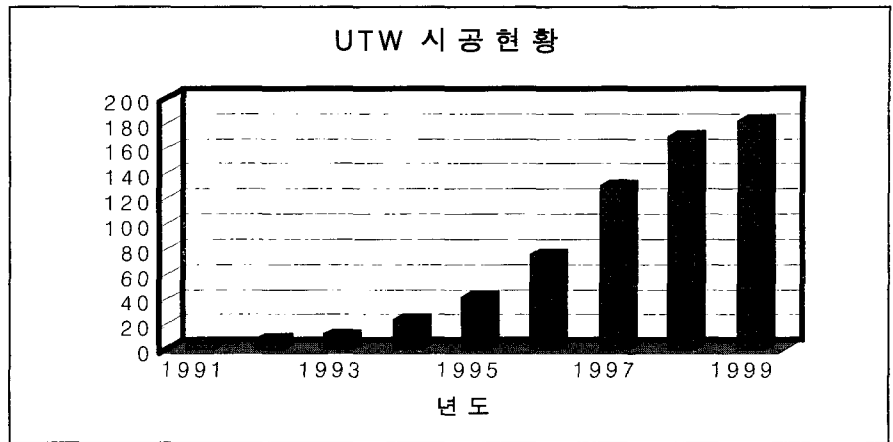


그림 5. 1999년 현재 미국 내 UTW 시공 현황
(Concrete Pavement Research & Technology, ACPA, 2000)

공동 연구로 "현장 타설 초조강 콘크리트의 실용화에 관한 연구"를 수행하였다³⁾. 개발한 제품은 초조강 콘크리트용 시멘트를 개발한 회사가 3개 사였고, 일반 시멘트에 혼합 사용한 조강 혼화재를 개발한 회사가 1개 사였으며, 표준 양생에서의 재령 1일 압축 강도가 300 kgf/cm² 이상을 발휘케 하였다. 더불어 콘크리트의 혼합에서 1시간 이상의 시간을 확보할 수 있는 성능을 갖고 있는 것이다. 내구성 등 기타 콘크리트가 지녀야 할 다른 성질은 일반 콘크리트와 동등하거나 혹은 보다 높은 결과를 얻었다.

하지만 일본의 경우 아스팔트의 영구 변형에 대응하기 위한 포장으로 주로 사용하는 것은 반휘성 포장(Semi Flexible pavement)이다. 1961년에 일본에 도입되어 영구 변형이 많이 발생하는 일부 지역에 사용하고 있다. 반휘성 포장이란 개립도 아스팔트 혼합물 사이의 공극을 고무나 수지, 물, 시멘트를 혼합한 시멘트 밀크를 주입하여 시공하는 것으로 콘크리트의 강성을 이용하여 내구성 증가시키는 공법⁴⁾이다.

5. 향후 과제 및 맺음말

국내 강성 포장 덧씌우기의 도입은 위

에서 전술한 바와 같이 지속적인 영구 변형의 발생에 대처하기 위한 대안중의 하나이며 아스팔트에 비해 공용 수명이 증가하여 건설 폐기물을 줄일 수 있고, 계속적으로 반복 시공되어 보수 비용이 증가하는 폐해를 줄일 수 있으며 이용자 안전에 크게 기여할 수 있음은 자명하다. 외국의 동향 역시 콘크리트 포장 덧씌우기를 이용하여 아스팔트 보수공법을 발전시키고 있다. 하지만 선진국의 경우에도 중하중, 고속 교통도로의 적용은 시험 시공 및 공용성 검증 단계를 거쳐 구체적인 설계법을 개발하는 단계에 있다.

따라서 국내에 강성 포장의 적용을 위해서는 국내 환경에 따른 UTW의 거동을 분석하고 조기 교통 개방이 가능한 재료를 급급히 개발하여야 한다. 이를 사용하여 기술자들의 설계 및 적용을 용이하게 할 수 있는 국내 설계법을 개발 및 확립하고 시방서를 제안하여 아스팔트의 영구 변형으로 심화되는 도로 환경의 악화를 방지해야 한다.

재료, 설계법 개발 후의 UTW의 보수 공법 개발은 국제적인 기술력 확보와 함께 국가 경쟁력 향상에 크게 이바지할 것이다. □

참고문헌

1. James W. Mack, Lon D Hawren, and Lawrence W. Cole, "Ultra Thin Whitetopping : State-of-the-Practice

2) Whitetopping-State of the practice, ACPA, 1998

3) 일본, 시멘트콘크리트, 1999년 11월호, No.633

4) www.nipponroad.co.jp

for thin Concrete Overlays of Asphalt”, Transportation Research Record 1610, 1998.

2. Jim Speakman and Harris N. Scott III, “Ultra Thin Fiber-Reinforced Concrete Overlays For Urban Intersection”, Transportation Research Record 1532, 1996.

3. James D. Grove, Gary K. Harris, and Bradley J. Sinner, “Bond Contribution To Whitetopping Performance On Low-Volume Roads”, Transportation Research Record 1383, 1993.

4. Paul E. King, P.E., “Ultra-Thin portland Cement Concrete Overlay”, 1997.

5. Concrete Paving Technology, “Fast-track Concrete Pavements”, American Concrete Pavement Association (ACPA), 1994.

6. Technical Bulletin, “Fast-Track Concrete Pavements”, American Concrete Pavement Association (ACPA), 1989.

7. <http://www.pavement.com>[American Concrete Pavement Association (ACPA)]

8. <http://restructure.fhwa.com>[Federal Highway Administration]

9. <http://www.nipponroad.co.jp>

10. <http://www.nso.go.kr>[통계청]

11. 엄주용, 임동환, 임승욱, “시멘트 콘크리트 포장의 박층 덧씌우기 공법연구”, 1995년도 중간보고서, 한국도로공사 도로연구소, 1995.

12. 이병철, 김진춘, 엄주용, 유태석, 임승욱, “조기교통개방 콘크리트 포장공법에 대한 실험적 연구”, 1996년도 실용화 연구보고서, 한국도로공사 도로연구소, 1996.

경제 용어 해설

● 파생금융상품(derivatives)

: 통화, 채권, 주식 등 기초자산으로부터 파생된 금융상품으로 금융상품의 장래 가격변동을 예상하여 금융상품의 가격움직임을 상품화한 것이다. 이는 가격변동성이 큰 금융자산의 미래가격을 현재 시점에서 확정해 놓음으로써 위험을 분산하거나 최저 수준에서 관리하기 위하여 개발되었다. 대표적인 파생금융상품으로는 선물, 선물환, 옵션, 스왑 등이 있으며 이들 파생금융상품을 대상으로 하는 선물옵션, 스왑옵션 등 2차 파생상품도 개발되어 파생금융상품의 종류는 무수히 많다. 파생금융상품의 거래규모는 금융기관들의 헷지거래와 재정거래에 대한 수요가 증가되면서 매년 큰 폭의 성장을 지속하고 있다. 파생금융상품은 최근 들어 투기적인 성향이 강해지면서 시장의 변동성을 확대시키는 등 부정적인 기능도 나타나고 있으나 세계경제의 통합으로 위험관리의 필요성이 증대됨에 따라 시장규모는 지속적으로 확대될 것으로 예상된다.

● 풋 옵션(put option)

: 콜 옵션 (call option) 에 반대되는 옵션으로 특정 기초자산을 행사가격으로 약정기일이나 (유럽의 경우) , 약정기간 내에 (미국의 경우) 매도할 수 있는 권리를 말한다. 미국의 경우 특약규정이 없는 한 약정기한은 1 년 이내이고 거래단위는 주식의 경우 100 주가 되는 것이 시장관행이다. 따라서 풋 옵션은 당해 자산의 현시가, 행사가격 및 시장금리 등의 요인에 의하여 가치를 가지게 되고 이에 근거하여 시장가격이 형성되고 이 가격으로 거래소에서 거래된다.