

ХҮН АМЫН АЮУЛГҮЙ БАЙДЛЫГ ХАНГАХАД БАРИЛГА БАЙГУУЛАМЖИЙН НӨЛӨӨЛӨЛД ГАРЧ БҮЙ ӨӨРЧЛӨЛТҮҮД

CHANGES IN THE STRUCTURAL CONSTRUCTION OF BUILDINGS AND FACILITIES FOR ENSURING PUBLIC SAFETY

Д.ДЭЛГЭРЭХ

Үндэсний батлан хамгаалах их сургуулийн докторант

DELGEREKH D.

(Ph.D CANDIDATE) National Defence University of Mongolia

Товч агуулга: Барилгын эмзэг байдлын функцийг үүсэл, хөгжилд нөлөөлөл үзүүлсэн хүчин зүйлсийг мэдэх нь түүнтэй холбоотой өөрчлөлтийн эхлэл, өнөөгийн байдал, цаашид хаашаа чиглэж байгааг системтэйгээр судлахад чухал үр дүнтэй юм.

Abstract: Understanding the factors which have led to the development of vulnerability functions of buildings and facilities is the beginning and basis for studying the concept systematically and effectively in the future.

Түлхүүр үгс: Барилга байгууламж, хүн ам, аюул занал, эмзэг байдлын функц, хөгжлийн түүх.

Keywords: buildings and facilities, population, dangers, vulnerability function, development history.

ОРШИЛ

1957 онд Говь-Алтайд болсон Их, Бага Богдын бүс дэх газар хөдлөлийг олон судлаач эрдэмтэд судалж үзээд Европ дахь хүн ам нягт суурьшсан Дани, Голланд, Люксембург мэт газарт ийм хүчтэй газар хөдлөл тохиолдсон бол бүхэл бүтэн улс орон ч гамшигт нэрвэгдэх байсан гэж үздэг. Энэ бүгд нь хот сууринг байгуулах, барилга байгууламжийн аюулгүй байдлыг хангах асуудлыг даяар (глобаль) төвшинд авч үзэх хэрэгцээ байгааг харуулж байна. Тиймээс барилга байгууламжийн нөлөөлөлд гарч буй дэлхийн хэмжээний өөрчлөлтүүдэд шинжилгээ хийв.

ҮНДСЭН ХЭСЭГ

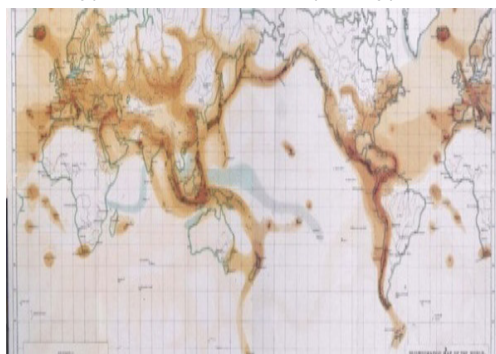
Нэг. Барилгын эмзэг байдлыг тогтооход нөлөөлсөн судалгаанууд

Барилгын эмзэг байдлын хөгжил нь газар хөдлөлийн судлал ба барилгын шинжлэх

ухааны хоорондын нягт, салшгүй хамтын үйл ажиллагааны үндсэн дээр суурилсан. Газар хөдлөлийн судлах ухааны хөгжлийн 162 жилийн түүхэн хугацаанд олсон олон гайхамшигт нээлтүүдээс онцлон тэргүүний гэж нэрлэх дараах үйл явдлуудыг дурдаж болно. Үүнд:

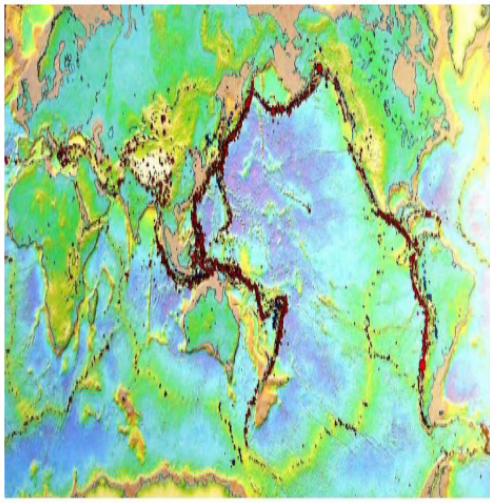
1. Ирландын эрдэмтэн геофизикч, барилгын инженер Роберт Маллет (Газар хөдлөлийг судлах ухааны “эцэг” гэж түүнийг дууддаг байна.) 1854 онд газар хөдлөлийн анхны газрын зураг зохиосон нь энэхүү шинжлэх ухааны эхлэл тавигдсан гэж үздэг¹. Түүний бүтээсэн газрын зураг сүүлийн үед хийсэн газрын зургуудтай харьцуулах юм бол үндсэн агуулгаа одоо хүртэл алдаагүйг доорх зургуудаас харж болно. Тэрээр уг зураг нь газар хөдлөлийн хавтангийн хөдөлгөөн, газар хөдлөлийн муж, бичил бүсчлэл, газар хөдлөлийн аюулын эрсдэлийн судалгаа хөгжих анхны эх сурвалж болсон байна.

Зураг 1. Маллетын газрын зураг (1854)

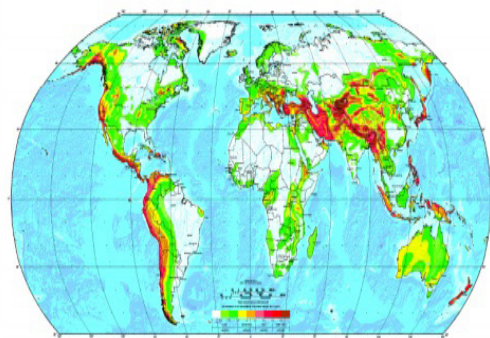


¹ Robert Mallet: Ireland's "father of seismology" sciencespin.com/articles/7-blog/109-robert-mallet-ireland-s-father-of-seismology;

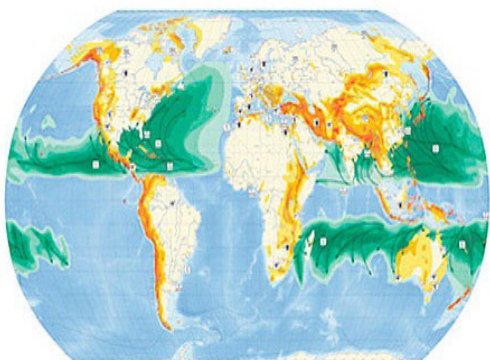
Зураг 2. Газар хөдлөлүүд
(1900-1999)



Зураг 3. Дэлхийн газар хөдлөл
(GSHAP 1998)



Зураг 4. Дэлхийн Байгалийн гамшигт
үзэгдлүүдийн газрын зураг (2015)



2. Хөндлөн чиглэлийн сейсмограф дээр ажиллаж байсан Англи Улсын геологич, уул уурхайн инженер Жон Милне (John

Milne) Мейжийн хааны үе дэх засгийн газрын урилгаар Япон Улсад (1875-1895) ажиллахаар иржээ. Нутаг нэгтэн хэсэг судлаач нартай хамтран Япон Улсын газар хөдлөлийн нийгэмлэгийг үүсгэн байгуулсан байна². Түүнчлэн гадаргуугийн газар хөдлөлийг хэмждэг багаж бүтээн, практикт нэвтрүүлэн ашиглаж байв. Түүний хичээл зааж байсан Япон шавь (Seikei Sekiya) нь дэлхийд анхны газар хөдлөлийн судлалын профессор болсон юм.

3. Рейдын уян харимхайн хариу цохилтын онол (Reid's elastic rebound the theory). Америкийн эрдэмтэн Ф. Рейд 1906 оны Сан-Францискогийн газар хөдлөлийн дараа, Сан-Андреасийн³ хагарлын үеэр үүссэн газрын гадаргуугийн шилжилтийг судалсны үр дүнд онолоо нээсэн. 5 дугаар зурагт үзүүлснээр газрын хагарлын дагуу байрласан зам, уг хөдөлгөөнд перпендикуляр байна. Газрын гүнээс чөлөөлөгдсөн энерги Е цэгт очоод тулна. Газрын хадан болон чулуулаг хэсгийн эсэргүүцэл тухайн энергийг хэдэн жил ч тогтоож болно. Харин нэг огцом чичирхийллээр, хэдэн секундын дотор хуримтлагдсан энерги сулран гарахад, сумаар заасан хоёр тийш сунасан хөдөлгөөн тасарч, газар хөдлөл үүсдэг байна. Мөн 1906 оны энэхүү газар хөдлөлийн үеэр, их хэмжээний талбайг хамарсан гал түймэр гарч, тухайн үед хэдийгээр АНУ-ын газар хөдлөлийн нийгэмлэг дөнгөж байгуулагдсан нь улс даяараа ямар ч барилгын бичиг баримтад галыг хэрхэн унтраах талаар юу ч тусгаагүйг олж мэдэв. Гурван жилийн дараа өндөр даралттай галын усны системийг (галын гидрант) өндөр өртгөөр байгуулжээ. Дээр дурдсан үйл явдалтай адил 70 мянган хүн амь насаа алдсан 1908 оны Мессина (Messina)-гийн газар хөдлөлөөс Итали Улс сургамж аван барилгын зураг төсөлд гал түймрийн эсрэг хяналтыг сайн тусгаж өгсөн нь одоо хүртэл ашиглагдаж байна. Япон Улс бие даан орчин үеийн байдлаар энэ асуудлаа тухайн үед шийдчихсэн байв.

4. Германы эрдэмтэн туйл судлаач, цаг уурч А. Веженер 1915 онд дэлхийн хуурай газрууд шилжилт хийдэг тухай анх удаа сэтгүүлд бичсэн байна⁴. 1950 он хүртэл түүний энэ санааг хүлээж аваагүй

² John Milne www.isc.ac.uk/about/history/milne;

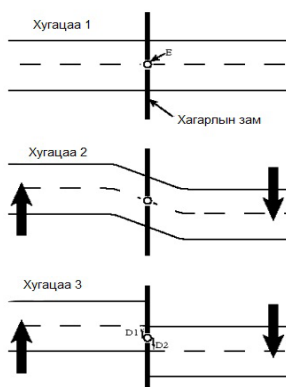
³ Reid, H.F. The Mechanics of the earthquake, The California Earthquake of April 18, 1906. Report of the State Investigation Commission, Vol 2, Carnegie Institution of Washington, Washington, D.C. 1910;

⁴ "Continental drift" www.ucmp.berkeley.edu/history/we-gener.html;

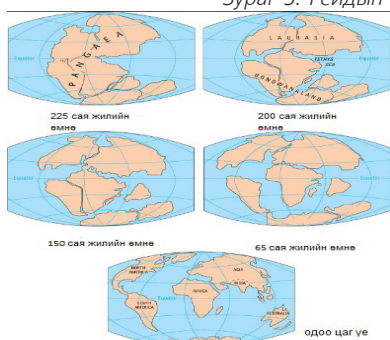


МОНГОЛЫН АМЬСЭН
УЛАСЫН ХУУЛЬ
САХИУЛАХУЙ

ба энэ нь одоогийн тектоник хавтангуудын шилжилтийн хөдөлгөөний үндэс нь болсон юм. Тектоник хавтангуудын үүслийн зургийг АНУ-ын Геологийн байр зүйн судалгаанаас авч 6 дугаар зурагт үзүүлэв.



Зураг 5. Рейдын онол



Зураг 6.
Тектоник хавтангуудын үүсэл

5. АНУ-ын эрдэмтэн Жон Фрийман 1927-1932 оны хооронд газар хөдлөлийн судлалыг хөгжүүлэх талаар маш их хичээл, зүтгэл гарган ажиллаж байв. Барилгын хохирол, түүнийг бууруулах алдагдлын хувийг хэрхэн тооцох талаар анх удаа ном⁵ бичиж хэвлүүлсэн нь өнөө үеийн барилгын эмзэг байдлын тооцооны үндсийг тавьсан гэж үздэг. Тэрээр номдоо "Америкийн барилгын инженерүүд том хэмжээний газар хөдлөлийг сөрж зогсохын тулд зураг төсөлд зайлшгүй тусгах газрын хөдөлгөөний хурдатгал, далайц, математик илэрхийллийн талаарх мэдээллүүдийг итгэл төгс бус ашиглаж байна. Улс орон даяар 50-н газар хөдлөлийг хэмждэг станцууд ажиллаж, маргашгүй маш олон газар хөдлөл судлаач, мэргэжилтнүүд,

сайн дурыхны ажиллуулж буй төхөөрөмжид барилгыг сүйрүүлэх хэмжээний хүчтэй газар хөдлөлийн чичирхийлэл мэдээлэгдэж байхад Америкийн нэр хүнд бүхий, барилгын онол, арга зүйн талаар бичдэг ихэнх хэвлэлд газар хөдлөлийг тэсвэрлэх зураг төслийн тухай юу ч алга байна." гэжээ.

Энэ хугацаанд 1923 оны Токиогийн газар хөдлөлөөс сургамж авсан Япон Улсын эрдэмтэд XX зууны эхээр Италийн эрдэмтэн Саногийн (Sano)-ийн хөгжүүлж байсан хөндлөнгийн хүчтэй тэнцэхүйц орлуулагчийг (ELF) ашиглан барилгын дүрэмдээ оновчтой газар хөдлөлийн зураг төслийн ажилбарыг хэрэгжүүлж эхэлжээ. Итали, Япон, Америк эрдэмтэд санал нэгтэй энэхүү орлуулагчийг хүлээн зөвшөөрөв. 1927 онд АНУ-ын нэгдсэн барилгын код (UBC) бий болов.

1924 онд Японд анхны газар хөдлөлийн зургийн код танилцуулагдаж, К.Сюехиро (Kyoji Suyehiro): "хүчдэлийн статик ачаа хэвтээ хурдатгалаар үржигддэг" гэж хэлэв⁶.

1920-1930 онуудад Жон Блюме (John Blume) ба Хенри Дегенколб (Henry Deggenkolb) тэргүүтэй шилдэг инженерүүд газар хөдлөлийн динамикийн талаарх үзэл санаагаа барилгын зураг төсөлд оруулахыг хүсэж байв. Энэ нь зөвхөн 1952 онд биелэгдсэн билээ.

1933 оны Лонг-Бич (Long Beach)-ийн газар хөдлөлийн хөдөлгөөний дээд хурдатгал (PGA) 280 гал (gals) хүрсэн нь дээр хүлээн зөвшөөрсөн орлуулагчаас илүү давж гарсан тул газар хөдлөлийн инженерийн судлалыг хөгжүүлэх шалтгаан болон газар хөдлөлийн зураг төсөл зохиох шаардлагатай цаг хугацаа ирсэн болохыг мэдүүлсэн байна.

6. Калифорны технологийн их сургуулиас (Caltech) АНУ-ын эрдэмтэн Роберт Милликанд (хожим физикийн салбарт Нобелийн шагнал хүртсэн) зээл өгч хэсэг эрдэмтэн нарыг (Wood, Richter, Martel, Gutenberg, Benioff, Housner and Hudson) ажиллуулахаар авчруулсан нь дараах нээлтүүдийг хийжээ.

а. Магнитудын хуваарь (Richter, 1935);

б. Магнитуд ба давтамжийн харилцаа (Gutenberg-Richter, 1941);

в. Хариу үйлдлийн спектр (Biot and Housner, 1941).

Дэлхийн хоёрдугаар дайн эхэлсэн тул газар хөдлөл болон барилгын шинжлэх

⁵ John R. Freeman. "Earthquake Damage and Earthquake Insurance" www.mit.edu/freeman-bsces/about 3.html;

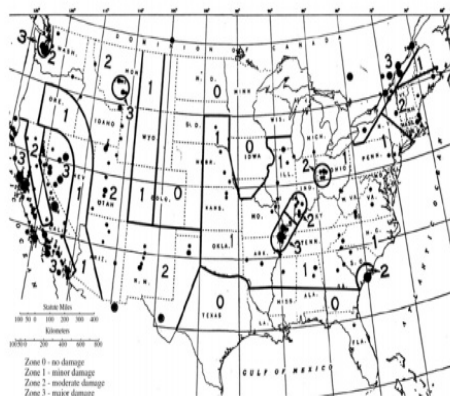
⁶ John R. Freeman. www.researchgate.net/figure/222554184-fig.4-john-Ripley-Freeman-1855-1932;

ухааны талаарх судалгааны ажлууд зогсонги байдалд орсон байна. Харин 1949 онд газар хөдлөлийн инженерийн судалгааны институт (EERI) АНУ-д байгуулагдсан нь эрдэм шинжилгээний туршилтуудыг эрчимжүүлэх хөшүүрэг болов. 1948 онд АНУ-д (US Coast and Geodetic Survey) газар зүйн үндэсний газрын зураг “магадлалд” үндэслэн хийгдлээ гэсэн боловч, тэр нь ямар ч “магадлалгүй” байв. Зөвхөн газар хөдлөлийн дээд хүчдэлээс хамааруулан бүс нутгуудыг газар зүйн гурван мужлалд хэсэгчлэн хуваасан байна. 3 дугаар мужлал нэгтэй, 2 дугаар мужлал тэг мужлалтай давхцсан нь бэрхшээл үүсгэж, дараа жил тэр зураглалыг буцаан татсан боловч тэрээр 1970 он хүртэл ашиглагдсаар байв. Уг зураг төсөлд: Ямар ч газар хөдлөл болдоггүй газарт хүртэл хүчдэл өгч байгаад иргэд олон нийтийн зүгээс хүчтэй эсэргүүцэл үзүүлсэн байна. Харин Японы эрдэмтэн Кавасуми (Kawasumi) 1951 онд магнитуд, давтамж ба газрын хүч ихтэй хөдөлгөөний сулруулалтыг хамтад нь тооцон магадлалын хурдатгал бүхий Япон Улсын газрын зургийг зохион бүтээв. 7 ба 8 дугаар зурагт үзүүлсэн Япон Улс болон АНУ-ын газрын зургийг харьцуулахад, Япон Улсад хийсэн зураг нь магадлалд үндэслэн маш нарийн газар хөдлөлийн аюулыг зөв тодорхойлж байхад, АНУ-ын зураг нь Японы газар нутаг шиг Калифорныг гурван мужлалд хуваан 3 дугаар мужлал тус улсын газар нутгийн тал хувьд байхаар хийгдсэн нь “магадлал”-д үндэслэгдээгүй байв.

Зураг 7. Хүлээгдэж буй дээд хурдатгал 200 жилд (Kawasumi, 1951)



Зураг 8. Газар хөдлөлийн магадлалын зураг, 1949 UBS (Roberts and Ulrich, 1951)



1952 онд буцааж татагдсан (USCGS)

Сан-Францискод 1952 онд “Газар хөдлөл ба салхины хөндлөнгийн хүч” нэртэй бүтээл гарч, Калифорны барилгын инженерүүдийн нийгэмлэгийн “Хөх ном” (Recommended Lateral Force Requirements)-д орон, дараагийн 40 жил АНУ-ын нэгдсэн барилгын кодын газар хөдлөлийн хэсэгт ашиглагдсан байна. Япон Улс болон Зөвлөлт Холбоот Улс түүний холбоотон орнуудаас бусад дэлхийн улсууд энэ аргыг зураг төсөлдөө авч хэрэглэсэн байна.

АНУ нь 1950-1960 оны технологийн хөгжлийн дэлхийн төв болж, олон судалгаанууд энд хийгдэж байв. Тухайлбал, цахим тоолуур, цөмийн хүч энхтайвны үйлсэд шилжих, АНУ-ын цэргийн усны инженерийн төв үерийн аюулыг үнэлэх, галын даатгал, даатгалын салбар, хот төлөвлөлт, геологи мэдээллийн систем дээрх хугацаанд анх удаа эрчимтэй хөгжиж эхэлсэн байна. Мөн Канад Улсын зайн тандалтын тогтолцоо 1967 оноос сууриа тавьсан.

7. Корнеллын 1968 оны “Газар хөдлөлийн эрсдэлийн судалгаа”-ны инженерийн бичиг баримтад (BSSA) бичсэнээр: “Эдийн засгийн өндөр алдагдал ба барилгын өндөр тэсвэрлэх арга хэмжээний хооронд суурь тохироог зайлшгүй хийх нь чухал, үүний тулд инженер хүн газар хөдлөлийн зураг, төсөлд мэргэжлийн үүднээс хариуцлагатай ханддаг.” гэжээ.

8. “Хязгаарлагдмал элементийн арга” (The finite element method, Argyris, Turner, Clough et al, 1940-1960) ба барилгын шинжилгээний програм хангамжийн



МОНГОЛ
УЛАСЫН
АЖАЙЗ
АШИГ
ХАМГАА
АХУЙН
УНДСАН
УНДСАН
УНДСАН

нийлүүлэлт хөгжиж (Wilson, 1960 оноос одоо хүртэл) ирсэн.

9. Эрсдэлийн үнэлгээг (Karl Steingbrugge⁷, Algermissen, McClure, Lagorio 1960-1980) хийх болсон.

10. Бүхий л асуудлыг шийдэх байнгын аргыг (the SDDA project at MIT 1973-78 Whitman, Cornell, Vanmarcke, Veneziano et al) эрэлхийлсэн.

11. Эмзэг байдлын функцийг хөгжүүлэх байнгын нээлттэй сүлжээ ATC-13, 1985 (Rojahn, Sharpe, Kiremidjian et al)⁸. АНУ-ын барилгын шинжлэх ухааны үндэсний институт (NIBS) АНУ-ын газар нутагт тохиолдож болзошгүй аюулуудын эрсдэлийг үнэлэх (Hazard US) үнэлгээг зохиов. Тэрээр АНУ-ын холбооны онцгой байдлын удирдлагын алба (FEMA) 1997 онд газар хөдлөлийн алдагдлыг тооцоход ашиглав. 2005 оны нэгдүгээр сараас эхлэн HAZUS MH MR-1 сүүлчийн хувилбар хэрэглээнд гарав. Тэрээр үер болон хар салхины аюулын эрсдэлийн үнэлгээнүүд нэмэгдэж орсон байна.

Роберт Маллетын анхны газар хөдлөлийн зураглал бүтээгдсэнээс хойш 162 жилийн хугацаанд газар хөдлөлийн судлалын ухаан ба барилгын шинжлэх ухаанд гарсан ололт, амжилт ба бүтэлгүйтэлд нийгэм, эдийн засаг, хүрээлэн буй орчин болон технологийн үйл явдлууд өргөн утгаараа нөлөөлөл үзүүлсэн байдаг. Тухайлбал, 1960 оноос эхлэн цөмийн эрчим хүчийг энхийн зориулалтаар ашигласан, цаг уурын дулаарал, 1980 оноос хурд, хөгжлийн эрч хүчээ авсан "персонал компьютер"-ын эрин үе дээрх нээлтүүдийн эргэн тойронд өрнөж байв.

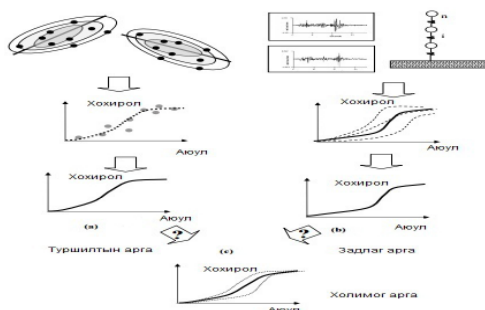
Барилгын эмзэг байдалд гарсан өөрчлөлтүүд нь өмнө дурдсан бүтээлүүдийн нөлөөн дор хөгжсөн байна. Үндсэндээ Жон Фрийман эмзэг байдлын функцийг оролцуулан газар хөдлөлийн эрсдэлийг үнэлэхэд оновчтой хүрэх арга замын суурийг 1932 онд тавьж өгсөн нь эмзэг байдлын функцийг хөгжлийн түүхийн эхлэл гэж үздэг. Гэвч, яг барилгын эмзэг байдлын функцэд тохирсон арга одоо хүртэл олдоогүй нь судалгааг үргэлжлүүлэх нэн чухал хэвээр үлдсэн байна.

Хоёр.Барилгын эмзэг байдлын функц

Эмзэг байдал нь нэгдүгээрт, эмзэг байдлын ба хэврэг байдлын функцүүдэд

хамаарна. Эмзэг байдлын функц аюулаас үүдэлтэй эцсийн алдагдал, үр дагавруудад хамаарна. Энэ нь Меркелийн хэмжигдэхүүнээр сонгогдсон барилгын төрлүүдийг сэргээн засварлах муруйн үнэ өртгийн функц юм. Хэврэг байдлын функц нь хохирлын нөхцөл байдлыг тодорхойлно. Хамгийн хүнд хохирол газрын хурдатгалын оргил цэгтэй (PGA) холбогдоно. Энэ үед бизнесийн үйл ажиллагаа тасалдаж, зогссон үр дагавар үүснэ. Хоёрдугаарт, эмзэг байдлын судалгаанд олсон дэвшил, эмзэг байдлын болон хэврэг байдлын функц нь барилгын инженерийн анализ шинжилгээний техник арга барилын хөгжилд ихээхэн хувь нэмэр оруулсан байна.

Зураг 9. Эмзэг байдлыг хөгжүүлэх аргууд.



Барилга нь босоо ба хэвтээ чиглэлийн газар хөдлөл болон салхины хүчийг тэсвэрлэх чадвар бүхий зураг төслийн дагуу бүтээгдсэн зохиомж юм. Тэдгээр хүчүүд нь газрын хөдөлгөөний хэлбэлзлээс үүснэ. Энэ үйл явцыг туршилтын (эмперик) ба анализ шинжилгээний гэсэн хоёр аргаар судалдаг. Туршилтын аргын статистик тоог, онолын аргаар батлах нь холимог (hybrid) арга юм. Энэ гурван аргыг 9 дүгээр зурагт үзүүлэв.

Гурав. Туршилтын аргын судлагдсан байдал

Эрсдэлд байгаа төрөл бүрийн барилгын мэдээлэл ба хохирлын ажиглалтыг цуглуулан нэг бүдүүвчид багтаан, нэг бүрчлэн эмзэг байдлын зэрэглэлийг тогтооно. Аюулын зэрэглэлийг тогтоох функцийг ижил үйл ажиллагааг явуулна. Эмзэг байдлын хэмжээс хүн амын нас баралт, санхүүгийн алдагдал, бизнес үйл ажиллагааны түр хугацааны зогсолтоор (3D: deaths, dollar and downtime) хэмжигдэнэ. Хэврэг байдлын хэмжээсээр хохирлын байдлыг (хөнгөн, хүнд, сүйрэл г.м) тодорхойлно. Аюулын хязгаарыг хүчдэлийн чанарын (MMI, MSK, JMA) ба тоон (PGA, Sa, Sv) хэмжээсээр дүгнэдэг.

⁷ E.Ceyhan. Impact of Risk based pml estimation on earthquake insurance www.eaee.org/Media/Default/2ECCES/2ecces_eaee/659.pdf p.2-12;

⁸ C.Sawtorn. A Brief History of Seismic Risk Assessment www.sparisk.com/pubs/Sawtorn-2008-history.pdf p.1-76;



МОНГОЛ
УЛСЫН
ХУУЛЬ
САХИУЛАХ
УНИВЕРСИТЕТ

Анхны туршилтад суурилсан функц нь Росси, Форель, Меркаль нарын хөгжүүлсэн хүчдэлийн хуваарь байлаа.

1906 оны Сан-Франциско, 1923 оны Токиогийн газар хөдлөлийн дараа барилгуудад хийсэн шалгалтуудын мэдээллийн үр дүн эмзэг байдлын функцэд таарч тохирохгүй байв. 1932 онд Жон Фрийман дээр дурдсан болон бусад газар хөдлөлийн тайланд орсон хэд хэдэн барилгын ангиллуудыг дахин нягталж үзсэний эцэст хохиролд суурилсан ерөнхий үнэлгээг танилцуулсан байна. 1933 оны Лонг-Беачийн газар хөдлөлийн судалгааг 1934 онд шалгахад өмнө хийсэн хувьтай адил гарсан байна. Ж.Фрийман барилгын ангилал, алдагдлын хүлээгдэж буй дундаж хувь, зөөлөн газрын нөлөөлөл, суурь хадан хөрс эсвэл газрын хүчин зүйлсийг ангилан, барилгын газар хөдлөлийн алдагдлын хувийг тогтоож 1932 онд хэвлүүлсэн байна.

1936 онд эрдэмтэн Мартел, Калифорны Лонг-Беачийн 1261 хүчитгэл хийгдээгүй, модон барилгуудад үзлэг хийсний дараа: "Хэрэв барилгын алдагдлын хувь мэдэгдэхүйц ялгаатай байх нь тэдгээр барилгын төрөл, эзэмшигч, зэрэгцээ орших барилгын өөр байхаас хамаарна" гэсэн дүгнэлтийг анх удаа хийсэн байна.

Дэлхийн II дугаар дайны дараах, 1948 оны Фукуйи (Японы) газар хөдлөлийн мэдээлэл статистик зорилгод нийцэхгүй болохыг Япон Улсын судлаачид, АНУ-ын армийн бичиг баримтад тэмдэглэн үлдээсэн байдаг. Үр бүтээлтэй судалгаа хийдэг шинэ үеийн судлаач нар (Steinbrugge, Dekenkobl, Moran) 1952 онд Калифорны Кернд тохиолдсон 7,6 магнитудын газар хөдлөлд хайгуул хийв. Энэ нь 1933 оноос хойш тасалдсан судалгаа, шинжилгээний ажлын эхнийх байлаа. Газар хөдлөлд нурсан 1139 барилгын хагарал, барилгын төрөл ба хажуугийн бэхэлгээ (Lateral Bracing)-ний гэмтэл, засвар хийсэн байдал, эвдрээгүй хэсгийг шалгаж, магадлалын газар хөдлөлийн аюулын үнэлгээний алдагдлыг доллараар анх удаа үнэлсэн байна. Меркалийн хуваарийн 12 хүчдэл ба барилгын 24 төрлөөр матриц үүсгэн хохирлын хувь (нөхөн хийж байгаа хувь бүрээр засах үнэ, өртөг) ба хохирлын хүчин зүйл (тухайн газар хөдлөлийн хүчдэлийн мужид байрласан, хохирол хүлээгдэж буй барилгын төрлийн хувь)-ийг оролцуулан тооцсон байна.

Венесуаль Улсын нийслэл Каракас хотод болсон 1967 оны 6,4 магнитудын газар хөдлөлд дөрвөн 10-12 давхар

барилга өртсөнөөс нэг нь бүрэн, бусад нь хэсэгчлэн нурж, 200 хүний амь нас үрэгджээ. Хохирлын шалтгааныг спектрийн хурд барилгын зургийн хажуугийн хүчний коэффициенттой таарснаас болсон байж магадгүй гэж дүгнэсэн байна. Калифорны Сан-Фернандод болсон 1971 оны газар хөдлөлд (PGA 0,25-1,0 g) өртсөн 169 нэг бүл амьдардаг барилгуудад туршилтын аргаар үнэлгээ хийхэд хохирлын хэмжээ (5,000\$-1,971\$) харилцан адилгүй байв. Эрдэмтэн Витман (Whitman) дээрх газар хөдлөлийн мэдээлэлд суурилан "хохирлын магадлалын матриц"-ыг (Damage Probability Matrices)⁹ анх удаа хийжээ. Тэрээр энэхүү сэдвээр таван жилд 33 илтгэл бичсэн байна. Илтгэлийн гол агуулга нь салангид хохирлыг Меркалийн хуваарийн хүчдэлд тохируулсанд оршдог байна. Үүнтэй ижил төсөл (MIT Seismic Design Decision Analysis SDDA) тэр үед хийгдэж байв.

1985 онд АНУ-ын технологийн зөвлөлийн баталсан (Applied Technology Council) ATC-13 (Earthquake Damage Evaluation Data for California) хэвлэгдэж гарснаас хойш одоо хүртэл өртөнгийн функцийн хөгжилд их хувь нэмэр үзүүлсээр байна. Барилгын болон дэд бүтцийн 78 байгууламжийн ялгаатай ангиллын хохирлыг үнэлэхийн тулд, 80 шилдэг шинжээч мэргэжилтний саналыг авч, сайжруулсан Делпи процессыг ашиглав. Шинжээч мэргэжилтний зөвлөмж¹⁰ (Expert's Opinions) нь "хохирлын магадлалын матриц"-аар илэрхийлэгдэнэ. ATC-13-д их өөрчлөлт оролгүй 20 жил болж аюулын үнэлгээ (HAZUS)-ний хамт ашиглагдсаар байна. Цаашид барилгын төрлүүдийн загвар (Model Building Types) олон жил хэрэглэгдэх болно. Газрын хөдөлгөөнөөс үүдэн бий болж байгаа алдагдлын эмзэг байдлын функцүүд статистик тооноос илүүтэй, шинжээчийн ажиглалтад суурилдаг тухай 3 дугаар хавсралтад дурдав.

1994 оны газар хөдлөлд (Northridge) тулгуурлан ATC-38 төслийг хэрэгжүүлсэн байна. Тэмдэглэсэн хүчтэй хэлбэлзлийн хоорондын харилцан хамаарлыг судлах зорилгоор газар хөдлөлийн хөдөлгөөн маш эрчимтэй чичирхийлэн бичигдсэн байрлалаас холгүй орших 300 метрийн дотор байгаа 530 барилгын мэдээллийг цуглуулсан байна. Гэвч, энэ туршилт амжилтгүй болжээ. Ойрхон байрлуулсан

⁹ Robert V. Whitman, John W. Reed and Sheu-Tien Hong. Earthquake Damage Probability Matrices www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/5_vol2_2531.pdf p.1-12;

¹⁰ Expert opinion procedures www.globalearthquakemodel.org/what/physical-intergrated-risk/physical-vulnerability/;

мэдрэгч багажийн тоо нь ихэвчлэн хөнгөн барилгын гэмтэл үүсэх дүгнэлт ирүүлж байв. Иймээс том хохирол гарах хүртэл мэдрэгч багажийг дахин давтан байрлуулахаас гадна тоног төхөөрөмжийн найдвартай ажиллагаа нь чухал болохыг бодит амьдрал дээрээс сургамж болгон мэдэж авсан байна. 1980-90 онуудад туршилтын аргад цөмийн аж үйлдвэрийн (Seismic Qualifications Utility Group) төхөөрөмжийг ашиглаж байв. Түүнчлэн эрдэм шинжилгээний сургууль (Electric Power Research Institute) шинэ материаллаг баазыг бэлдэж өгсөн байна.

Дөрөв. Анализ шинжилгээний аргын судлагдсан байдал

1975 онд Блюме (Blume) гурван хохирлын талаарх аргыг нэгтгэн хооронд нь харьцуулалт хийжээ. Спектр матрицын арга (задлаг шинжилгээний магадлалын арга), газар хөдлөлийн элементийн арга (онолд суурилдаг гэхдээ ажиглалт оролцуулдаг арга), шийдвэр гаргадаг аргын (туршилтын арга) аль нь давуу талтай болон програм хангамжаас хамааралтай болохыг тодруулсан байна. Массачусетсын технологийн их сургуулийн (MIT) газар хөдлөлийн зураг төслийн шинжилгээний төсөлд (SDDA) ажиллаж байсан Гзарнески (Gzarnecki): “Барилгын бүрэлдэхүүн энергийн шингээлт нь хүчний энергиэс илүү байн хохирлыг хэмжихэд ойролцоо байна”, мөн зураг, төслийн төвшинд хохирлын төвшин тэр бүр “их нөлөөлөл үзүүлдэггүй” гэсэн байна. 1974 онд Сакамото (Sakamoto): “Модон байшингийн дээд хурдатгалыг тодорхойлохын тулд стандарт шилжилтийн хариу үйлдлийн спектрын хамт гурван шугаман хүчний шилжилтийн муруй” ашигласан байна. 1978 онд Япон Улсын эрдэмтэн Курибаяши (Kuribayashi): “Хэдий барилгын системд үл хамаарах ч, хохирлын тооцогчийг хангахад жирийн тархалтын хамт, газар хөдлөлийн коэффициентын дундаж хэмжээг туялзуур шинж төлөвөөс авсан уян харимхайд хуваах” аргыг хэрэглэсэн байна.

1981 онд АНУ-ын эрдэмтэн Скавторн (Scawtorn)¹¹ анх удаа холимог загварын дагуу 1978 оны Мияягикэн-оки (Miyagiken-oki) болон бусад газар хөдлөлөөс авсан туршилтын мэдээллийг ашиглан Япон Улсын нам ба дунд зэргийн өндөртэй барилгад шугаман бус динамик загвар тохирохгүй болохыг хялбархан харьцуулалт хийн тогтоосон байна. Эмзэг байдлыг тодорхойлох анхны оновчтой, бүрэн эмзэг байдалд суурилсан угсралтын (ABV) аргыг

¹¹ Charles Scawtorn, SE, D.Eng. www.sparisk.com/people.htm;

АНУ-ын эрдэмтэн Портер (Porter) дөнгөж саяхан нээж олсон байна. Барилгын бүтээцийн ба бүтээцийн бус хийцийн бүрэлдэхүүн (гипсэн ханын самбар, цонх, эмзэг дүүжин тааз, сантехникийн хэрэгсэл) хэсгийн хохирлын байдлыг тооцоход хэрэглэсэн барилгын нарийн шугаман бус шинжилгээний үр дүнгүүд энэ аргыг бүрдүүлсэн байна. Бүрэлдэхүүн нэг бүрийг засварлах үнэ өртөгт нарийвчилсан өртгийн мэдээллийг ашиглана.

Аюулыг үнэлэх (HAZUS) програм хангамж нь хагас холимог арга бөгөөд барилгын хэврэг байдлыг тодорхойлохын тулд 1998 онд бий болгосон барилгын шугаман бус хэв шинжийг үнэлэх С.Фрийманы “Хүчин чадлын спектр”-ийн (Capacity Spectrum) аргыг ашиглана. Анализ шинжилгээний арга нь тоног төхөөрөмж, цөмийн хүч, өндөр хүчин чадал бүхий програм хангамжид суурилан туршилт явуулдаг байна.

Тав. Дэд бүтцийн шугамууд

Амьдралын шугамууд болох инженерийн шугам сүлжээний (цэвэр, бохир ус, цахилгаан, дулаан, зам, тээвэр, холбоо г.м) эмзэг байдлын талаар нарийвчилж хийсэн гурван судалгаа байдаг байна. Үүнд:

1. 1991 онд хоёр эрдэмтэн (Lund and Schiff) шугам, хоолойнуудын хохирлын тэмдэглэгээг бүрдүүлэх, тэмдэглэгээнд зориулсан мэдээллийн сан байгуулахыг эхлүүлсэн байна. Гэмтсэн нэг хоолой бүрд нэг тэмдэглэгээ хийх замаар бүх мэдээллийн санг байгуулсан байна. Нэг тэмдэглэгээ нь 51 мэдээллийн хэсгээс бүрддэг байна. Үүнд: гэмтэл гарах үеийн байгалийн байдал, угсралт ба барилгын ажлын нарийвчилсан өгөгдлүүд, хөрсний нөхцөл байдал, хоолой эвдэрсэн байршил, шугам, хоолойн эзэмшигч, газар хөдлөлийн нөлөөллийн хүчин зүйлс зэрэг багтдаг. Мэдээллийн санд 1989 онд болсон Лома-Приетагийн (Loma Pieta)-ийн газар хөдлөлд эвдэрсэн 862 хоолойн мэдээ байгаа нь ирээдүй цагт газар хөдлөлд шугам, хоолойн эрсдэлд өртөхөөс урьдчилан сэргийлэх болно.

2. Үүнтэй ижил мэдээллийн санг Япон Улсад Такада, Хамада нар хийсэн байна.

3. Саяхан АНУ-ын дэд бүтцийн шугамын холбоо (ALA) шугам, хоолойн эмзэг байдлыг тооцох ажлыг эхлүүлсэн байна.

АНУ-аас гадна Япон, Шинэ Зеландын эрдэмтэн нар энэхүү судалгааны үйл ажиллагаанд их хувь нэмэр оруулж байна.

Тусгай эмзэг байдлын харилцан хамаарлууд: Гэмтэл бэртэл (Injuries), хөрс хайлж шингэн хэлбэрт орох (Liquefaction), газар хөдлөлтийн дараах гал түймэр (Fire following earthquake), аюултай материалууд (Hazardous materials), нийгэм-эдийн засгийн үр дагаврууд ба бизнес үйл ажиллагааны тасалдал (Socio-economic impacts and business interruption) ордог байна.

Зургаа. Барилгын эмзэг байдлыг тогтоох судалгааны өнөөгийн байдал

Эмзэг байдлын функцийг алдагдлыг тооцох загварууд геологийн мэдээллийн системд (GIS)¹² суурилдаг. 20 жилийн түүхтэй энэ системд аюулын үнэлгээ, эрсдэлд байгаа барилга байгууламжийн зураглал, эмзэг байдал, эрсдэлийн шинжилгээ, төрөл бүрийн мэргэжлийн шинжээчдийн дүгнэлтүүд багтдаг. Сүүлийн үед тоон өндөрсөлттэй загварууд (Digital Elevation Model) болох (SRTM, ASTER, SAR, ERS, ENVISAT, RADARSAT, LiDAR); өндөр сансрын хиймэл дагуулаас авсан (LANDSAT, SPOT and IRS-1C, IKONOS or Quickbird); өндөр спектрийн дүрслэлтэй (AVIRIS, HyMap) ба зөөврийн гар утас (Mobile GPS)-ны (MapIT, Pocket GIS, Arc Pad) дэвшилтэд технологийг барилгын лавлагаанд (building inventory) ашиглаж байна¹³.

Эмзэг байдлын үнэлгээг хийх гол зорилго нь барилгын эрсдэлийг бууруулах газар ашиглалт, хот төлөвлөлт ба барилгын норм ба дүрмийг хийх утгвар ажил болдог. Эмзэг байдлын загваруудыг олж авах нь хялбар бус байдаг. Дэлхийн эрсдэлийн үнэлгээ хийдэг ихэвчлэн даатгалын чиглэлийн компаниудаас тухайн гаргаж буй загваруудын талаар асуухад: “Бодит шалтгааны улмаас энэ талаар мэдээлэл өгөх боломжгүй” гэсэн хариу сонсдог¹⁴. Өндөр хөгжилтэй АНУ ба Япон Улс сүүлийн үеийн шинэ бүтээлүүдийн төв болж, ихэнх загварууд эдгээр орнуудад зохиогдож байна. Загварууд нь арилжааны ба арилжааны бус гэж хоёр хуваагддаг. Арилжааны загваруудыг Munich Re, Risk-Link (RSM), EQEHAZARD (EQECAT), CAT-MAP (AIR), CATEX (CATEX), EPEDAT (Early Post-Earthquake Damage Assessment Tool, ImageCat), REDARS (Risk from Earthquake Damage to Roadway Systems), Risk Management Solutions (RMS) зэрэг байгууллагууд

хийдэг байна¹⁵.

Арилжааны бус загваруудыг боловсруулдаг компаниуд нь техникийн дэмжлэгтэйгээр програм хангамжаа үнэгүй, чөлөөтэй интернэт сүлжээнээс татаж авч хэрэглэхийг зөвшөөрдөг. Эдгээр загваруудыг USACE, HEC, FEMA, NIBS, (USA); NHEMATIS (Canada); UN IDNDR (RADIUS by Geo Hazard International in 1997); EXTREMUM (Russia); TELES (Taiwan); LESSLOSS (The European Union) зэрэг байгууллагууд хийдэг. АНУ-ын аюулын үнэлгээг (HAZUS) Сингапур, Канад, Австрали, Пакистан, Энэтхэг, Шинэ-Зеланд¹⁶ г.м олон улс өөрийн орны газар нутгийн онцлогт тохируулан хөрвүүлэн ашиглаж байна. Тухайлбал Швейцар Улсын нийт барилга байгууламжийн 90 хувь нь газар хөдлөлийн шаардлага хангаагүй зураг төслөөр баригдсан байдаг. Базель хотод 1356 онд 6,9 магнитудын газар хөдлөл болж байжээ. Одоо дахин санхүүжүүлэх даатгалын компанийн хийсэн хүлээгдэж буй тооцоогоор: “Хэрэв Швейцар Улсад 5,5-6,0 магнитудын хүчтэй газар хөдлөл болох тохиолдолд 7 тэрбум швейцар франк, харин 6,0-6,5 магнитудын газар хөдлөл болох тохиолдолд 40 тэрбум франкын өртөг бүхий ихээхэн хэмжээний хохирол амсахаар байна” гэв. Ийм учраас АНУ-ын аюулын үнэлгээнд (FEMA-154, HAZUS) тохиргоо хийх замаар өөрийн улсын барилгын өртөнгийг харьцуулан судалсан байна¹⁷.

Барилгын эмзэг байдлыг тодорхойлоход аль аргыг сонгох нь тухайн өгөгдлүүдээс гадна шинэ бүтээл, амжилтаас хамаарна. 1960 он хүртэл динамик барилгын шинжилгээ практикт бодит бус байв. 1960 онд нээгдсэн хязгаарлагдмал элементийн арга (FEM) ба цахим тоолуурын машины дэвшил нь шугаман динамик барилгын шинжилгээг бодит болгов. Энд нэн ялангуяа хурдан шилжилтийн (Fast Fourier Transform) нээлтийг дурдаж болно. Ерөнхийдөө шугаман шинжилгээ барилгын хохирлыг тодорхойлох судалгаа биш харин барилгыг шугаман бус хүрээ рүү хөтөлж байгаа төдий л юм. Шугаман бус динамик арга 1980 оны сүүлээр бодитой хэрэглэгдэж эхэлсэн байна.

Өнөөдөр, арилжааны програм хангамж (ETABS, SAP 2000, ANSYS, STRUDL, RISA3D, STAAD and MULTIFRAME) шугаман ба

¹² A brief history of risk assessment Understanding risk in an evolving world www.gfdrr.org p.36-224pp;

¹³ Geoinformation Observation for municipal risk management. The Slarim project [www.itc.ne/organisation/UNU%20DGIM/SLARIM/Paper SLARIM.pdf](http://www.itc.ne/organisation/UNU%20DGIM/SLARIM/Paper%20SLARIM.pdf) p.4-5;

¹⁴ Ana Lorena Montoya. Urban Disaster Management: A case study of earthquake risk assessment in Cartago, Costa Rica doc.utwente.nl/7994/1/MONTOYA.pdf p.75;

¹⁵ Geoinformation Observation for municipal risk management. The Slarim project. [www.itc.ne/organisation/UNU%20DGIM/SLARIM/Paper SLARIM.pdf](http://www.itc.ne/organisation/UNU%20DGIM/SLARIM/Paper%20SLARIM.pdf) p.6;

¹⁶ A brief history of risk assessment. Understanding risk in an evolving world. www.gfdrr.org p.36-224pp;

¹⁷ Earthquake vulnerability and loss estimation models for buildings in Switzerland-overview and comparison. www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article13_695.pdf p.2;



Урьдчилсан судалгаа

шугаман бус шинжилгээг зөвшөөрөн, бусад дүрслэлийн багц (Figure 12), эд хөрөнгийн хэсэг болон, (CAD)-тай нэгдэж, хэрэглэгддэг¹⁸. Номхон далайн газар хөдлөлтийн инженерийн төвийн (PEER) боловсруулсан нээлттэй харах¹⁹ (Open Sees) програм хангамжийг тухайн газар хөдлөлд, барилга болон геотехникийн системүүдийг орлуулах замаар ашиглаж байна. Америкийн газар хөдлөлийн төв (Mid Americas Earthquake Center) газар хөдлөлийн инженерийн програм хангамжид ZEUS-NL 3D²⁰ статик ба динамик шинжилгээг ашиглахаар боловсруулжээ.

Долоо. Барилгын эмзэг байдлыг тогтоох судалгааны хөгжлийн ирээдүй

Дэлхийн газар хөдлөлийн загвар (Global Earthquake Model) 2006 оноос эхлэн анх яригдсан, 2009 оны гуравдугаар сард сан байгуулагдаж, 2014 онд анхны бүтээгдэхүүн нь гарсан байна²¹. Энэ загвар нээлттэй (Open Quake) хайх эх сурвалжид тулгуурлан хийгдсэн байна. Өнгөрсөн таван жилд олон талт, түлхүүр бүхий дөрвөн үйл ажиллагааг хэрэгжүүлсэн байна²². Үүнд:

1. Нэг хэлээр ойлголцохын тулд газар хөдлөл, барилга, геотехник, нийгэм-эдийн засгийг нэгтгэн сүүлийн үеийн технологитой холбосон байна.

2. Эрдэм шинжилгээний ажлаас практикт, мэдлэгээс үйл ажиллагаанд чиглэсэн гүүр хэлбэрээр ажилласан байна.

3. Нээлттэй эх сурвалжийг (Open Quake)²³ хэрэглэгч нарт нээлттэй ба ил тод ашиглах талбар болгосон байна.

4. Газар хөдлөлийн эрсдэлийг бууруулахад хүмүүсийг тэвчээртэй, сахилга баттай хамтарч ажиллахыг уриалсан байна.

2009-2014 оны хооронд дэлхий, бүс нутаг, үндэстэн ба орон нутгийн хэмжээнд дараах амжилтыг олсон байна. Тухайлбал,

- 1900-2009 оны хооронд ерөнхий гарал үүсэлтэй 20,000 газар хөдлөлийн тухай каталогтой болов. 7 М дээш 827 газар хөдлөлийг бүртгэв. 18,000 илүү (GPS) барилгын мэдээллийн сантай болсон байна. Дэлхийн хэмжээнд идэвхтэй газар

¹⁸ For Architects, Contractors, Civil and Structural Engineers www.yourspreadsheets.co.uk/free-software-for-engineers.html;

¹⁹ OpenSees <http://opensees.berkeley.edu>;

²⁰ http://mal.cee.uiuc.edu/software_and_tools/zeus_nl.html;

²¹ A brief history of risk assessment Understanding risk in an evolving world www.gfdrr.org p.37-224pp;

²² Helen Crowley et al. Global Earthquake Model Understanding risk in an evolving world www.gfdrr.org p.100-24pp;

²³ OpenQuake. www.globalquakemodel.org;

хөдлөлийн хагалбаруудын судалгааг хийв.

- Дэлхий даяар анхны нээлттэй, эрсдэлд байгаа барилга байгууламж ба хүн амын мэдээллийг багтаасан (GED4GEM) төслийг хэрэгжүүлсэн байна.

- 1903-2011 онд болсон түүхэн 66 газар хөдлөл, түүний дагалдсан газрын чичирхийлэл, хөрсний нуралт, хөрсний хайлалт, цунами, гал түймрийн уршгаас үүссэн үр, дагаврыг багтаасан санг байгуулсан байна.

- Дэлхийд байгаа туршилт, анализ шинжилгээний, шинжээчийн дүгнэлтэд үндэслэсэн 7,000 шинэ, одоо байгаа хэврэг байдал болон эмзэг байдлын функцийг хамруулсан (хохирлын муруй) сан байгуулав.

- Нийгэм-эдийн засаг ба уян хатан байдлын дэлхийн мэдээллийн санг барилгын таксономийг оролцуулан 8 гол үзүүлэлт болох: хүн амын тоо, эдийн засаг, боловсрол, эрүүл мэнд, засаглал, институцийн хүчин чадал, хүрээлэн буй орчин, дэд бүтэц ба инженерийн шугам, сүлжээг одоогийн индекстэй нь бүрдүүлсэн байна.

- Газрын хөдөлгөөний урьдчилсан томьёоны илэрхийллийг гаргаж тавив.

- 13 шинж, төлөвөөс бүрдсэн барилгын таксономиг хийсэн байна²⁴.

- Туршилт, анализ шинжилгээ болон шинжээчийн дүгнэлтэд үндэслэсэн эмзэг байдлын функцийн талаарх сүүлийн үеийн гарын авлага хийсэн байна.

- Барилгын лавлагааг газар хөдлөлийн өмнө ба хойно гэсэн байдлаар гаргав.

- Нийгэм-эдийн засаг ба уян хатан эмзэг байдлын бүрдүүлэх сангийн тоног, төхөөрөмжийн сүлжээг ашиглалтад оруулсан байна.

Зураг 10. Барилгын 13 шинж, төлөвөөс бүрдсэн таксоном



²⁴ The taxonomy in a nutshell www.globalquakemodel.org;

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү хүн амын аюулгүй байдлыг хангахад барилга байгууламжийн нөлөөллийн үйл ажиллагаанд гарч буй өөрчлөлтийн судалгааны үр дүнгээс харахад, барилга байгууламжийн найдвартай чанар нь энэ салбарт ажиллаж буй төрөл бүрийн мэргэжлийн эрдэмтэн, судлаач, инженерүүдийн олон жилийн нөр их хөдөлмөрийн үр дүнд өнөөгийн төвшинд хүрснийг илтгэж байна. Иймд практик үйл ажиллагаанд хийгдэж буй хүн амын аюулгүй байдлыг хангахад барилга байгууламжийн нөлөөллийн байдалд хийсэн судалгааг цаашид үргэлжлүүлэн судлахын ач холбогдол их болохыг эндээс харж болно.

ЭХ СУРВАЛЖИЙН ЖАГСААЛТ

1. A brief history of risk assessment Understanding risk in an evolving world www.gfdrr.org p.36-224pp;
2. "Continental drift" www.ucmp.berkeley.edu/history/wegener.html;
3. Ceyhun E. Impact of Risk based pml estimation on earthquake insurance www.eaee.org/Medial/Default/2ECCES/2ecces_eaee/659.pdf p.2-12;
4. Expert opinion procedures www.globalearthquakemodel.org/what/physical-intergrated-risk/physical-vulnerability;
5. Freeman JR. www.researchgate.net/figure/222554184-fig.4-john-Ripley-Freeman-1855-1932;
6. For Architects, Contractors, Civil and Structural Engineers www.yourspreadsheets.co.uk/free-software-for-engineers.html;
7. Geoinformation Observation for municipal risk management. The Slarim project [www.itc.ne/organisation/UNU%20DGIM/SLARIM/Paper SLARIM.pdf](http://www.itc.ne/organisation/UNU%20DGIM/SLARIM/Paper%20SLARIM.pdf) p.4-5;
8. Helen Crowley et al. Global Earthquake Model Understanding risk in an evolving world www.gfdrr.org p.100-24pp;
9. http://mal.cee.uiuc.edu/software_and_tools/zeus_nl.html;
10. Mallet R: Ireland's "father of seismology" sciencespin.com/articles/7-blog/109-rob-ert-mallet-ireland-s-father-of-seismology;
11. Milne J. www.isc.ac.uk/about/history/milne;
12. Montoya A. Urban Disaster Management: A case study of earthquake risk assessment in Cartago, Costa Rica doc.utwente.nl/7994/1/MONTOYA.pdf p.75;
13. OpenSees <http://opensees.berkeley.edu>;
14. OpenQuake. www.globalquakemodel.org;
15. Reid.H.F. The Mechanics of the earthquake, The California Earthquake of April 18, 1906. Report of the State Investigation Commission, Vol 2, Carnegie Institution of Washington, Washington, D.C. 1910;
16. Scawtorn C, SE, D.Eng. www.sparisk.com/people.htm;
17. The taxonomy in a nutshell www.globalquakemodel.org;
18. Whitman RV, John W.Reed and Sheu-Tien Hong. Earthquake Damage Probability Matrices www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/5_vol2_2531.pdf p.1-12;



МОНГОЛЫН
ХАМГААГАХ
АЖ АХУЙ